

# 第 1 章 緒 言

## 緒 言

昨年度は、回復の兆しが見えない我が国の経済状況の上に、少子高齢化や教育問題、地球環境問題など、20世紀からの様々な課題を持ち越しての21世紀のスタートであった。国立大学も益々激しくなる嵐に翻弄された。法人化、TOP30（その後、21世紀COEプログラムと名称変更）、大学評価、第2期科学技術基本計画に基づく新たな产学研連携の模索など、取り巻く環境は難しさを増し、的確でスピードある対応が求められてきた。そんな中で、所長を拝命して一年余、多くの方々のご支援ご協力を頂いて無事勤められたことを、先ず心から御礼申し上げたい。

いま国立大学に問われていることを端的に言うと、「大きな国費を投入してだけの研究教育上の社会還元が、これまでどれだけあったか？」と云うことに尽きる。大学に求められていることは、一に、日本のみならず世界で活躍できる人材の育成であり、二に、我が国の産業育成の種を育てることである。それが不十分で、世界に通用する大学になっていないとの国民の認識から、これらの施策が導入された。大学に自主性・自立性をもたせ、運営組織を効率化し、評価に基づいて重点投資するなどの競争的環境において、大学教育と産業育成の基盤となる学術研究・科学技術の一層の進展を図ろうとするものである。

法人化については、本年3月26日に「国立大学等の独立行政法人化に関する調査検討会議」から最終報告が出され、「国立大学法人（仮称）」とすることを骨子とする制度設計の基本方針が示された。平成16年度には、全国の国立大学が一斉に新しい姿に変貌する。東北大学でも、評議会のもとに制度検討委員会をおいて具体化の検討に入った。国立大学の法人化は、教育行政にとっても、我が国の将来にとっても、失敗を許さない一大施策である。失敗なく如何に進め、期待通りの世界的な大学に変貌できるかは、今度は大学人に委ねられている。

大学附置の研究所は、基本的には大学と一体になって法人化されることになっている。本研究所も、国立大学法人「東北大学」（仮称）の一部局として、現在対応を進めている。一方で、学術審議会の大学共同利用機関特別委員会では、法人化後の我が国の学術研究体制についての検討を進めている。文部科学省所轄の共同利用研究機関、いわゆる直轄研の法人化と共に、大学附置研究所等との連携の在り方についても議論されている。結論次第では、附置研もそれに対する対応が求められる。

特別委員会での附置研についての論点は、大学に附置される意義、共同利用事業を実施する意義、研究所間の連携の在り方、その活動を推進するための財政措置、などになると云われている。中でも、研究と教育を共に担う研究科と研究所の違いと役割分担については、今後、学内においても議論が必要である。創設以来、研究と教育を一体で行ってきた工学研究科および情報科学両研究科の電気情報系専攻と電気通信研究所とは、法人化後の研究科と附置研究所との在り方について、他の附置研に比べても良い手本を示す最も近い関係にある。

本電気通信研究所は、国立大学附置の共同利用研究所の中で唯一のIT分野における中核的研究拠点機関である。21世紀初頭にスタートした我が国の第2期科学技術基本計画の下で、本研究所は、5年以内に我が国を世界最先端のIT国家にするとしている「e-Japan 重点計画」に積極的な社会貢献を果たすことが期待されている。本研究所がこれに応えるには、これまでの基礎・基盤研究および基盤技術の研究開発体

制に加え、眞の産官学連携、研究組織の一層の流動化、ニーズとシーズのマッチング、IT技術者の人材養成、地域連携などのため、新たな実用化研究のための研究開発システムを設けることが不可欠である。このことを認識し、昨年度、二十一世紀情報通信研究開発センター（略称：IT-21センター）の設置を文部科学省にお願いした。

お陰様で、企画開発部に教授1名、研究開発部に教授2名、助教授4名（内専任1名、流動1名、客員2名）、流動助手2名の陣容で、IT-21センターの設置が認められ、本年4月から活動を開始している。ここでは5年以内に一定の実用的な成果が見込まれる2プロジェクト、「次世代モバイルインターネット端末の開発」と「超小型大容量ハードディスクの開発」とを実施することになっている。「高機能・超低消費電力メモリの開発」も加えた3プロジェクトに対して、「e-Japan重点計画」を推進する「ITプログラム」実施機関として本研究所が認められ、総合科学技術会議が定めた資源配分方針に基づいて研究費が配分されることになった。これらのプロジェクトは、いずれも本研究所が蓄積してきた知見やノウハウなどの研究ポテンシャルをもとに、今まで以上に踏み込んだ产学研官連携での研究開発を、本研究所を中心に実践しようとするものである。このセンターには世界最先端のLSI設計ツールが設置され、試作もできる。センターだけでなく広く学内外、とくに地元企業にも開放することを予定しており、新たなビジネスの創製に貢献できることも期待している。

本研究所は、平成6年の改組以来、平成15年度末で満10年を迎える。本研究所の将来構想について、現在、将来計画委員会を中心に、議論の最中である。本研究所が次世代の情報通信分野にどのように貢献できるかは、将来構想を如何に打ち立てるかに係っている。5年で実用化を目指すIT-21センター、10年で基盤技術を創りあげようとする実験施設、その基礎となる学術研究を支える各部門とが一体となって、期待される成果を上げられる構想である。これは正に、法人化後の最初の6年間における本研究所の中期目標・中期計画そのものである。ポイントは、これまで幾多の成果を上げて平成15年度で時限を迎える「超高密度・高速知能システム実験施設」の、その後である。伝統的にハードに強いと云われてきた本研究所であるが、逆にソフトに弱いとのご指摘も頂いており、今以上にシステムを指向した、ハードとソフトのバランス良い研究体制が求められている。

本研究所は、工学研究科・情報科学研究科の電気・情報系専攻、および情報シナジー機構と、今後も一致協力して教育と研究に当たり、我が国的情報通新分野の進展に寄与していく所存である。これまで同様のご支援ご鞭撻を御願い申し上げると共に、本活動報告についての忌憚のないご意見を頂ければ幸甚である。

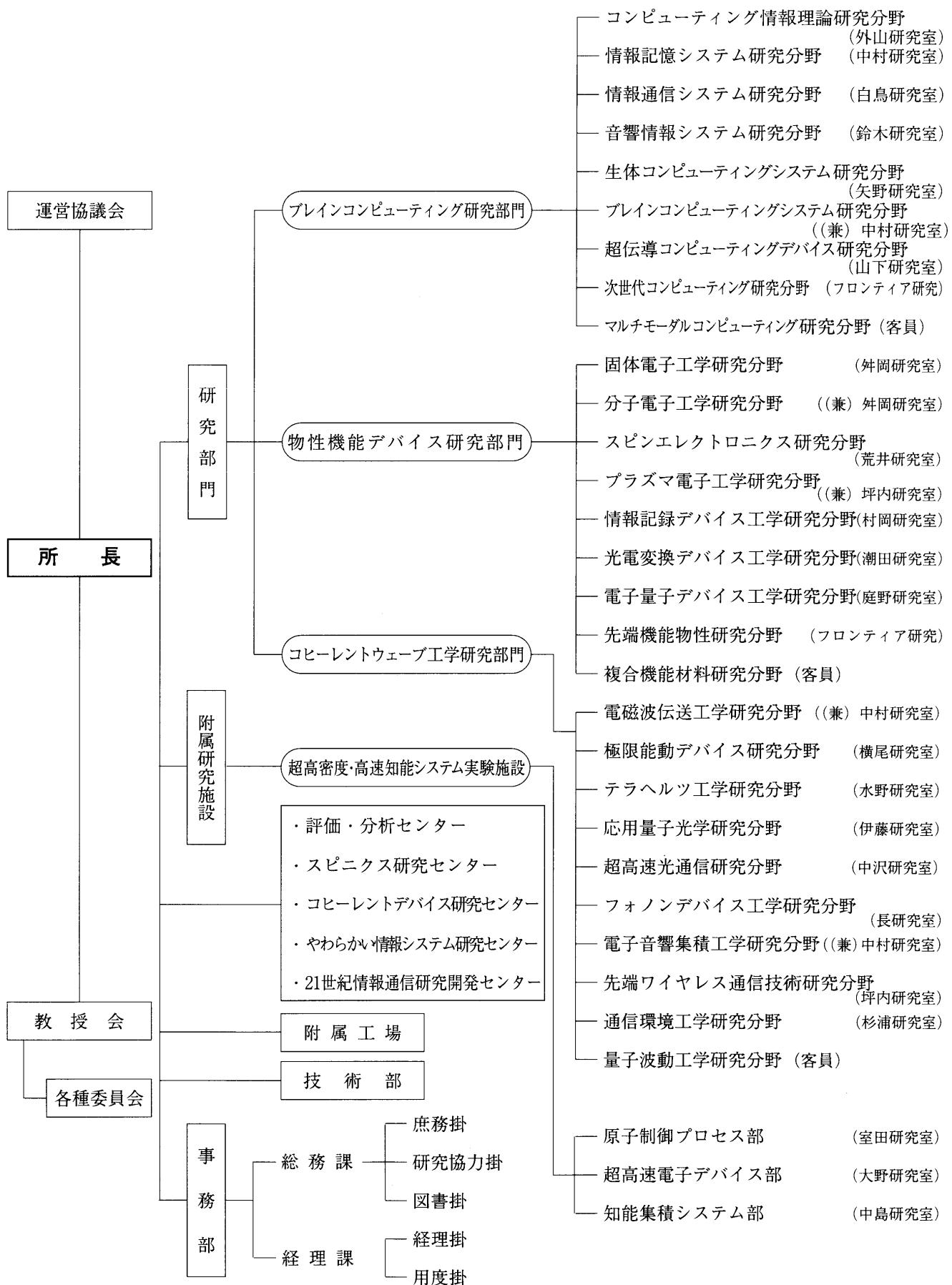
平成14年6月1日

電気通信研究所長

中 村 慶 久

## 第 2 章 組織・運営

## 2.1 組織図



## 2.2 運営協議会名簿

運営協議会は、東北大学電気通信研究所の共同プロジェクト研究に関する運営の大綱について、研究所の長の諮問に応じ、審議する組織である。

浅井彰二郎	(委員長)	(株)日立製作所常務
甘利 俊一	(委 員)	理化学研究所脳科学総合研究センター 脳数理研究チームディレクター
伊藤 龍男	(委 員)	カリフォルニア大学教授
今井 秀孝	(委 員)	独立行政法人産業技術総合研究所研究担当理事
笠見 昭信	(委 員)	(株)東芝副社長
坂内 正夫	(委 員)	東京大学生産技術研究所長
塩見 正	(委 員)	独立行政法人通信総合研究所理事
進藤 秀一	(委 員)	電気興業(株)専務取締役
谷口 健一	(委 員)	大阪大学大学院基礎工学研究科教授
山崎 攻	(委 員)	松下電器産業(株)知的財産権センター長
山田 宰	(委 員)	NHK放送技術研究所長
渡辺 久恒	(委 員)	日本電気(株)支配人
佐藤 繁	(委 員)	東北大学大学院理学研究科長
中塚 勝人	(委 員)	東北大学大学院工学研究科長
猪岡 光	(委 員)	東北大学大学院情報科学研究科長
井上 明久	(委 員)	東北大学金属材料研究所長
早稲田嘉夫	(委 員)	東北大学多元物質科学研究所長
根元 義章	(委 員)	東北大学情報シナジーセンター長
阿部 健一	(委 員)	東北大学大学院工学研究科教授 (電気情報系運営委員会委員長)

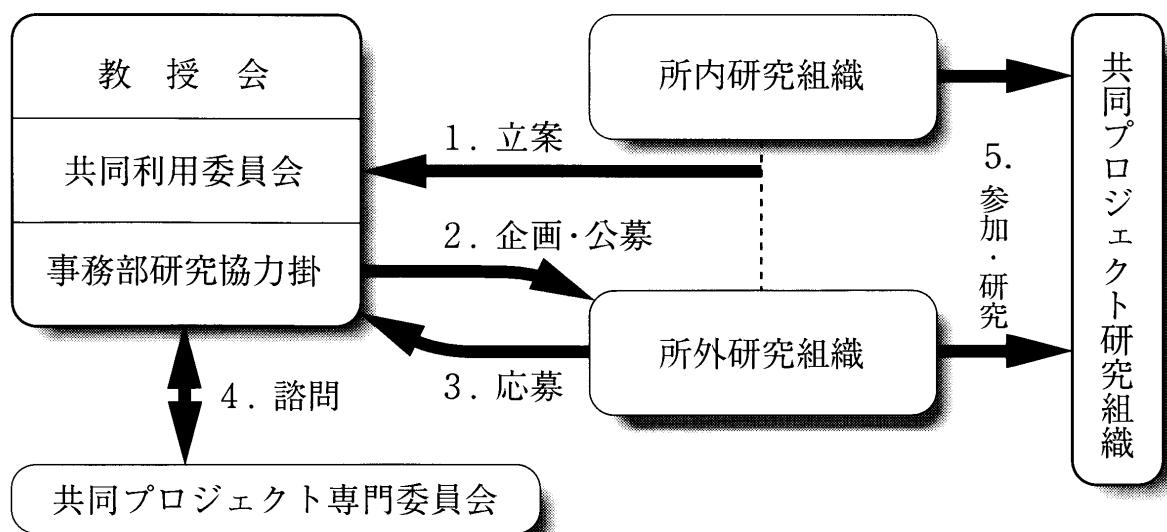
## 2.3 共同研究組織

本研究所は平成6年に国立大学附置の共同利用研究所に改組され、全国で唯一の情報通信に関する共同利用研究所となった。本研究所はこれまで半導体材料、デバイス、磁気記録、光通信、電磁波技術、超音波技術、音響通信、非線形物理工学、コンピュータソフトウェアなどの諸領域において数々の世界的業績を上げてきた。また、半導体プロセス技術、デバイス試作技術、ウルトラクリーン基盤技術など国内外に例を見ない技術を有していた「超微細電子回路実験施設」は改組を機として「超高密度・高速知能システム実験施設」としてさらに設備を充実して発足した。実験施設ではこれらの技術を発展させると共に大規模知能システムの先導的研究開発を目指すことになった。

本研究所の各分野・実験施設の各部の充実により、情報通信に関する研究環境が一層整備されつつある。これを背景として、本研究所の各研究分野・部の研究者は研究所の目的達成のための基礎研究に加えて、全国の情報通信の科学技術の研究に携わる研究者と有機的な連携を取りながら、本研究所を中心とする総合的な共同プロジェクト研究を行っている。

共同プロジェクト研究の研究組織は次のような手続きを経て構成される。まず毎年所内の研究組織が研究者の英知を集めるために所内外から広くご意見を戴き、それを基に「共同プロジェクト研究」を立案する。それを「共同利用委員会」が審査し、課題を企画する。この課題は「事務部共同利用掛」より全国の国公私立大学及び研究機関に通知され、各共同プロジェクト研究への参加者を公募する。これにより応募研究者を含めた共同プロジェクト研究組織が編成される。これを研究所内外の委員からなる「共同プロジェクト専門委員会」に諮問し、その意見を尊重して「教授会」が最終的に共同プロジェクト研究実行案が承認し、実行に移される。

運営協議会は、本研究所の「共同プロジェクト研究」に関する運営の大綱について所長の諮問に応じて審議する。



## 2.4 教育組織

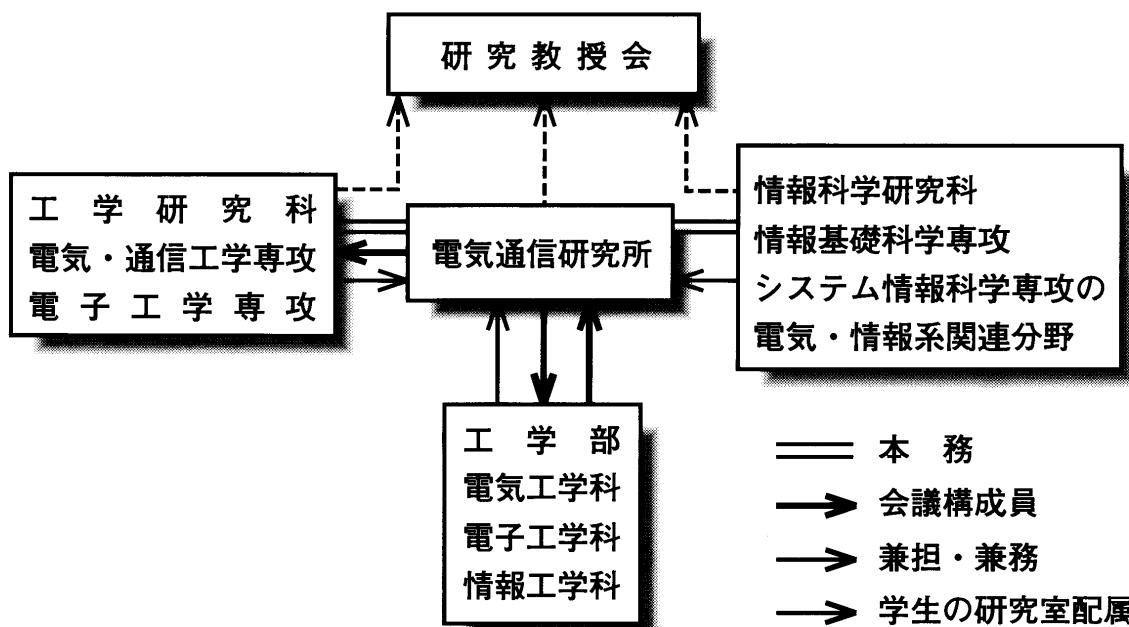
東北大学電気通信研究所（以下、通研と略称）は、発足時から設立母体である電気工学科と協力体制をとり、教育・研究の成果を挙げた。その後、通信工学科、電子工学科、情報工学専攻、情報工学科が順次設立されたが、「一体運営」の協力関係は維持された。

現在、通研と電気・情報系との間には下図に示す教育組織がある。大学院重点化に伴い、通研教官と大学院の関係は兼担から兼務へ変わり、情報科学研究科が本務の教官は工学研究科を兼担することになった。その結果、2001年度は、通研の22研究分野のうち7研究分野が工学研究科電気・通信工学専攻に、10研究分野が電子工学専攻に、2研究分野が情報科学研究科基礎情報科学専攻に、3研究分野がシステム情報科学専攻に所属し、通研で研究指導を受けた大学院学生の総数は188名、一研究室当たり平均8.5名に達した。

通研と電気・情報系学科の関係で特徴的な点は、全教官が兼務として互いに協力し合っていることである。通研の教授・助教授は全員、学部学生に対する講義を担当し、助手は実験を指導して教育に協力している。一方、電気・情報系の教官が通研兼務であるので、学部学生が通研の各研究室に配属される。学生にとって選択の幅が広がり、余裕のある研究指導が受けられる。一方、通研にとっても若い行動力は魅力があり、後継者発掘の機会も多くなる。通研が電気通信の分野で多くの成果を挙げてきた背景には、このような教育面での協力関係があった。

通研と電気・情報系の中核に、両組織の教授で構成される研究教授会がある。教授会通則に基づく会議とは別の性格の、部局を横断して形成された会議であって、教育問題など相互に関連する重要事項はここで審議される。教育上の具体的な事項の実行、運用に関しては、大学院に主任会議、電気・情報系4学科に教務委員会があり、通研からも委員が参加している。

通研は工学研究科、情報科学研究科の関連分野と協力体制をとり、研究のみならず教育でもCOEとしての責務をはたしている。



## **第 3 章 研究活動**

### 3.1 ブレインコンピューティング研究部門の目標と成果

情報化社会を実現するには「だれもが、いつでも、どこからでも、だれとでも、どんな情報でも」自由にしかも瞬時に通信できるというバリア・フリーの情報技術が必要である。更に近年では、だれもで、やさしく、安全に安心して通信できることが強く望まれている。

このような情報通信技術を実現するために、人間の優れた柔軟な情報原理を解明し、それに適合したソフトとハードを融合させる技術が必要である。脳の情報処理の特徴は柔軟性と超並列性にあり、それを明らかにするコンピューティング理論や実装するための超並列集積回路技術を発展させ、人の脳に似た超高密度高次知能情報システムを開発することが本部門の目標である。

その実現をめざし、脳の機能を模した脳型コンピュータのためのブレインコンピューティングに関する研究と、人にやさしいネットワーク実現のためのヒューマンインタフェイスに関する研究の2点について重点的に研究を進めている。

脳の機能を模したブレインコンピューティングに関する研究では、脳における知的で柔軟な情報処理を可能にするためにシステム自身が「意味付与」できる機構の実現が重要である。そのため、脳の高度に知的な情報処理である概念形成、言語処理、判断、推論等の機能を、脳の神経回路や生体の超並列分散システムを参考に、理論的に体系化し、その成果を基に脳と同等な機能をもつ高次情報処理システムの実現を目指している。

これらの研究に関係しているのは、生体コンピューティングシステム、ブレインコンピューティングシステム、超伝導コンピューティングデバイス、情報記憶システムの各研究分野である。これらの分野では、

- 1) 実世界の複雑性に対応するためには、システム自らが情報を生成しなくてはならない。そのためには帰納的推論を論理体系として整備する必要がある。特に帰納するべき拘束条件を自ら創る機構について解明する研究、
- 2) 人の脳機能の解明をめざし脳神経活動を高精度に計測する手法の研究や、人の脳の優れた情報処理能力を人工的に持たせた大規模で高密度な電子回路による実現に必要な、超低消費電力・超高速動作が可能な超伝導デバイスを実現するための研究、
- 3) 音声や映像を含むマルチメディア情報を高密度大容量に記憶蓄積する人の脳が持つ機能を人工的に実現し、これらをネットワークで結んだ超高速超大容量な並列分散情報ストレージシステムを、超高密度な垂直磁気記録方式で実現する研究、などが積極的に行われている。その結果、次のような成果を得た。

1) 視覚のパターン認識に着目し、予め対象に関する知識がない場合にも物体の位置、大きさ、回転に不变な情報表現方法を発見した。聴覚においても、複雑な3次元を認識する計算論を構築し、音響による定位の問題を大きく前進させた。

2) 人間の脳の優れた情報処理機能の電子回路実現に不可欠な、超低消費電力・超高速動作可能な超伝導ジョセフソン素子の開発と脳の神経活動によって発生する極めて微弱な磁気（脳磁界）を検出する超伝導磁気計測デバイスの研究を進めた。

3) 60ギガビット/平方インチ（市場のHDDの数倍）以上の記録密度の実用化可能性を実証するとともに、HDDにおける高画質映像信号書き込み読出し動作の解析、ビデオサーバシステム高速ネットワーク接続実験などを行った。

もう一つは、人にやさしいネットワークを実現するためのヒューマンインタフェイスに関する研究である。高度情報化社会を迎え、だれもが、いつでも、どこでで

も、情報を発・受信できるシステムの開発が進んでいる。このような状況のもと、特に、高齢者やハンディキャップをもつ社会的弱者が情報社会から阻害されないよう、だれでもがやさしく安全に安心して参加できるシステムの実現が強く求められている。このためには、やわらかい情報システム、即ち、送られる情報が送り側の意図が容易にくみ取れる情報でなくてはならないし、受け手側も送り手の意図をくみ取ることのできるシステムの実現が必要である。

これらの研究に関連しているのは、コンピューティング情報理論、情報通信システム、音響情報システム、マルチモーダルコンピューティングの各研究分野である。これらの分野では、

- 1) 高い人間性の実現をめざし、人間とコンピュータなどの機械が協調し調和して共生する高度な情報通信システムを合理的に構成するための方法を確立し、やわらかい情報ネットワークとして構築するための研究、
- 2) デジタルデバイドを回避するためには、だれもが容易にプログラミングが出来るようにならなければならない。その解決のため、必要なプログラムの仕様を与えるだけで、必要なプログラムを自動的につくってくれるようなソフトウェアの構成原理を明らかにする研究、
- 3) 人の知覚情報処理系のなかでも最重要な情報処理過程の一つである聴覚系の情報処理過程を明らかにし、その知見を応用して臨場感あふれる音響通信システムやユーザインターフェイス、快適な音環境を実現する研究、などが積極的に行われている。その結果、次のような成果が得られている。
  - 1) やわらかい情報ネットワークのフレームワークとアーキテクチャの開発と、その実現のための知的設計支援環境のプロトタイプを構築した。更に、ネットワーク情報の実時間収集・可視化表示システムの開発、サービスのフェアネスを保障するパケット制御方式の考案と評価を行った。
  - 2) 書き換えシステムの新しい停止性判定法、非決定型計算モデルの答えの一意性を保証するための新しい合流条件、プログラムのラベル付けに基づく新しいモジュラ解析法、関数型プログラムの評価メカニズムの基礎となる正規化戦略、帰納的定理の自動証明法の新しい抽象的枠組み等の成果を得た。
  - 3) 音空間認識過程に関する多くの新知見を得ると共に、キルヒホッフ積分方程式に基づいた厳密な3次元音場制御手法の実証を行った。また、デジタル補聴器の評価のための標準単語表をNTTとの共同研究により開発し公開した。更に音信号用の高精度電子透かしの開発を行い、特許出願を行った。

ブレインコンピューティング部門では、以上述べたように情報システムが抱える現在の問題点や将来への方向性を明確にし、より良い情報社会を実現するための科学技術の発展を目指して、様々な観点から研究を進めている。

生命システムは無限定な外部環境に柔軟に対応するために、脳機能を存分に活用している。これらの機能を人工の情報システムが十分に発揮するには、大量の情報を瞬時に記憶したり、予測機能を持たせたり、必要な情報を能動的に獲得することが本質的である。この研究で当初目指した成果を上げるには、まだまだ問題が山積しており、組織の充実を図るとともに、まだかなりの時間が要することは否めない。

ブレインコンピューティング部門としては、これらの研究を確実に進める一方で、各分野が有機的に共同して研究することも不可欠である。更に、現在日本が早急に成し遂げなければならない、情報通信(IT)に関する社会資本充実という課題に対しても、全国共同利用研究所として中心的な役割を果たさなければならないと考えている。

## コンピューティング情報理論研究分野

### 計算と証明の融合によるソフトウェア構成原理

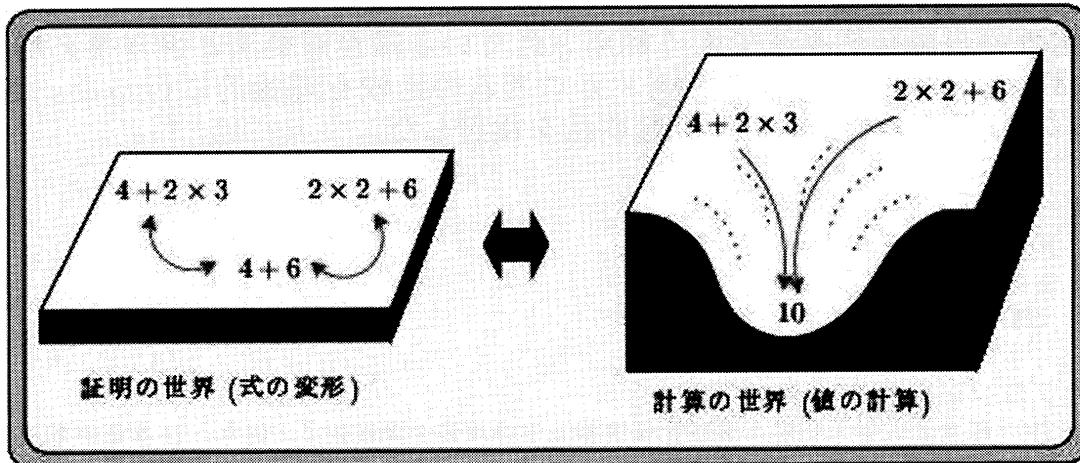


図1. 計算と証明の関係

#### 1. 分野の目標

本研究室では、証明と計算を融合した新しいソフトウェアの構成原理について研究している。ソフトウェアの形式的開発や検証では、ソフトウェアの効率のみでなく、その論理的な正当性も問題となる。書き換えシステムを基礎とした計算・証明モデルは、証明の世界と計算の世界を統一的な枠組みで取り扱えるため、新しい構成原理に基づくソフトウェアの実現が可能である。我々は、書き換えシステムに基づく関数型言語を対象に、与えられたプログラムから効率的なプログラムへの自動変換、仕様からのプログラム自動合成などの基礎研究を行っている。さらに高階書き換えシステム、プログラムの帰納的性質の自動証明法、関数・論理型言語と定理自動証明システムの融合など、書き換えシステムに基づく計算・証明パラダイムの理論的および実験的研究を進めている。

#### 研究テーマ

- |                   |                |
|-------------------|----------------|
| (1) 書き換えシステムの基礎理論 | (3) 関数・論理融合型言語 |
| (2) プログラム検証・変換・合成 | (4) 定理自動証明システム |

#### 2. 過去1年間（2001年4月から2002年3月まで）の主な成果

##### 2.1. 書き換えシステムの基礎理論

書き換え系の停止性を自動証明するため有力な手法として、依存対を利用した停止性判定法が知られている。ここでは、結合律と交換律をもつような項書き換え系に対しても、依存対の概念が拡張可能となることを示し、等式論理と書き換え系を組み合わせた計算・証明系の新しい停止性判定法を明らかにした。

##### 2.2. プログラムの自動変換

関数型プログラムの有望な自動変換法である融合変換法の実験を行い、定理自動証明に基づく方法で多くのプログラムが効率の良いプログラムに自動変換可能であ

ることを明らかにした。また、2階パターンマッチングによるプログラム変換の基礎実験も行った。

### 2.3. 関数・論理融合型言語

遅延評価に基づく関数・論理型プログラミング言語の計算モデルとして、計算機上での効率良い実装に適した新たな高階ナローイング計算系を提案した。

### 2.4. 定理自動証明の基礎

帰納的定理の自動証明手法で広く利用されている滯在帰納法と書き換え帰納法の形式的モデルを作成し、両者の証明メカニズムの比較を理論的に行った。さらに、プログラム検証のための新しい自動証明法を検討した。

## 3. 職員名

教授：外山 芳人（2000年4月より）

助手：草刈 圭一朗（2000年4月より）

助手：鈴木 大郎（2000年4月より 2001年4月まで）

## 4. 教授のプロフィール

1952年生。1977年東北大学大学院工学研究科情報工学専攻修士課程修了。同年、日本電信電話公社（現NTT）武蔵野電気通信研究所入所。1991年NTTコミュニケーション科学研究所 主幹研究員。1993年北陸先端科学技術大学院大学 情報科学研究科 教授。2000年より東北大学 電気通信研究所 教授。この間、プログラム理論、定理自動証明の基礎研究に従事。1997年第11回日本IBM科学賞受賞。

## 5. 過去1年間（2001年4月から2002年3月まで）の主な発表論文

- (1) Y.Toyama, Equational Proofs by Completion, Journal of Japanese Society for Artificial Intelligence, Vol.16, No.5, pp.668-674, 2001 (Survey Paper; in Japanese).
- (2) K.Kusakari, On Proving Termination of Term Rewriting Systems with Higher-Order Variables, IPSJ Transactions on Programming, Vol.42, No.SIG 7 (PRO 11), pp.35-45, 2001.
- (3) K.Kusakari, Y.Toyama, On Proving AC-Termination by AC-Dependency Pairs, IEICE Transactions on Information and Systems, Vol.E84-D, No.5, pp.604-612, 2001.
- (4) Y.Toyama and M.Oyamaguchi, Conditional Linearization of Non-Duplicating Term Rewriting Systems, IEICE Transactions on Information and Systems, Vol.E84-D, No.4, pp.439-447, 2001.
- (5) Taro Suzuki and Aart Middeldorp, A Complete Selection Function for Lazy Conditional Narrowing, FLOPS' 01, Proceedings of the 5th International Symposium on Functional and Logic Programming, Lecture Notes in Computer Science 2024, pp.201-215, 2001.

## 情報記憶システム研究分野

### 高密度で高速な映像情報ストレージシステムの構築

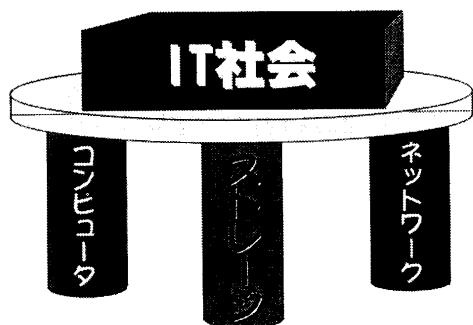


図1 IT社会を支える情報ストレージシステム

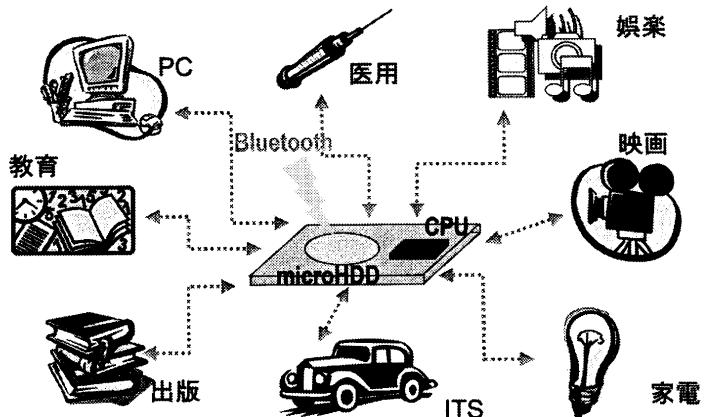


図2 ユビキタス・ストレージ・システム

情報ストレージ（蓄積）技術は、情報処理および情報伝達技術とともに、情報化社会を支える三本柱である。コンピュータは小型高性能化・高速化され、さらにネットワークがブロードバンド化されて情報インフラの整備が進むと、これを如何に活用するかが今後のIT社会発展の鍵になる。その中心は情報のコンテンツであり、それを支えるのがコンテンツを蓄積するHDDや光ディスク、磁気テープ装置などの情報ストレージ技術である。蓄積されたコンテンツからは、また新たな情報が加工、生成され、発信される。

各種サーバなどに見られるように、年々情報ストレージ装置は巨大化し記録容量は100テラバイト級に増大している。ブロードバンド化するネットワークの中で、まさに情報貯蔵庫として重要な役割を果たしている。一方で小型化も進み、ポケットに入るような携帯端末型の数ギガバイト級PCカード型HDDも開発された。これらの記録容量は益々増大し、コード情報だけでなく音声や映像などを含む多様で膨大なデータが記録され、日々の生活に不可欠のものになる。

情報記憶システム研究分野では、磁気ストレージメディアを構成する直径10ナノメータ程度の単磁区微粒子を最小記録ビットとする概念をスピニックストレージと呼び、これを垂直磁化方式で可能にする磁気メディア、磁気ヘッド、書き込み読み出し方式など、新しいストレージシステムを具体化する方法を追求している。さらに我が国的情報ストレージ分野では大きく立ち遅れているストレージサブシステムについて、映像を中心とする大容量小型ファイルシステムの可能性を調査している。

#### 1. 高密度垂直磁気ストレージシステムの研究

本分野では、ここ数年、情報記録デバイス工学研究分野と協力し、本研究分野が以前から提案してきた単磁極型書き込み磁気ヘッドによる垂直磁化方式による200ギガビット/平方インチ超の高密度HDDシステムの実現を目指している。有限要素法シミュレーションにより、記録ヘッド磁界勾配と磁化転移パラメータの関係を明らかにし、より大きな磁界勾配の得られるヘッド構造に改良することで狭小な磁化転移を得る見通しを得た。また、超高密度領域において熱安定性を保ち媒体ノイズを抑制する新しい媒体構造として、連続膜とグラニュラ膜を積層した、軟磁性裏打ち層を有するCGC (Coupled Granular and Continuous)型垂直二層膜媒体を提唱してきたが、

本年度は実ヘッドメディア系における記録再生特性測定からその優位性も明らかにした。CGC媒体は次世代垂直磁気記録媒体の可能性を広げるものと考えられるが、計算機シミュレーションによるパラメータ最適化と設計指針の確立が今後の課題である。さらに、テラビット/平方インチ超の実現に向けて、実証実験を重ねていく予定である。

## 2. 映像データストレージシステムに関する研究

情報通信システム研究分野と共同で通信・放送機構によるギガネットプロジェクトに参加し、NTSCビデオサーバシステムを用いる高速ネットワーク接続実験を行い、ストレージシステムにおける転送性能の調査を継続中である。本年度は主に、映像用HDDに求められる高速データ転送性能の解析および映像信号読み出し動作解析を行った。複数映像再生要求に応える磁気ストレージデバイスへ求められる要件として、シーク・回転性能の向上、データブロックサイズをメガバイト級に増大すること、ヘッド又はドライブのマルチ化、およびバスの広帯域化が必要であるとの指針を得た。一方で、大容量医療画像のネットワーク伝送の研究も開始している。画像を可逆圧縮することで転送時間だけでなく、各処理に費やされる時間も短縮できることから、遠隔地の病院では実際に診断できない画像を診断可能な病院に短時間で転送することが可能となる。また病院内での画像の取り扱いを速くできる上に、より多くの画像保管が可能になることを確認した。

今後は、複数かつ高画質の映像の高速転送レート書き込み/読み出しを目指した新しい磁気ストレージシステムとして当研究分野で提唱する、CSS (Cylinder Server System)の実現に向けた装置の試作と、これを用いた本格的実験を行うための環境整備を進める予定である。

### 【職員】

教授 中村慶久（1987年より）

助手 山田洋

非常勤研究員 Andrew GOODMAN

### 【教授プロフィール】

昭和43年東北大学大学院工学研究科電気及通信工学専攻博士課程修了。同年東北大学電気通信研究所助手、昭和46年助教授を経て、昭和62年より教授、現在に至る。磁気記録の高密度化に関する研究、とくに磁気記録機構の解明と超高密度記録再生方式および記録再生デバイスの研究に従事。セルフコンシスティントベクトル記録理論の確立と計算機シミュレーションによる解析、垂直磁化方式の研究などを行い、最近は大容量高速ストレージシステムの研究に興味を向けています。平成13年5月映像情報メディア学会・丹波高柳賞功績賞受賞。映像情報メディア学会、日本応用磁気学会、電子情報通信学会、情報処理学会、IEEE、各会員。IEEEフェロー。

### 【主な研究発表】

1. K. Miura, H. Muraoka, and Y. Nakamura: "Effect of head field gradient on transition jitter in perpendicular magnetic recording", IEEE Trans. Magn., Vol.37, No.4, pp.1926-1928, 2001.
2. S.J. Greaves, H. Muraoka, Y. Sonobe, M. Schabes, and Y. Nakamura: "Pinning of written bits in perpendicular recording media", J. Magn. Magn. Mater., 235, pp.418-423, 2001.
3. H. Shigematsu, H. Muraoka, and Y. Nakamura: "Influence of hard-transition shift on overwrite characteristics in perpendicular magnetic recording", J. Magn. Magn. Mater., 235, pp. 435-439, 2001.
4. 三浦健司、村岡裕明、中村慶久：“垂直二層膜媒体ノイズの記録磁界依存性”，日本応用磁気学会誌, Vol.25, No.4-2, pp.551-554, 2001.
5. 山田 洋、村岡裕明、中村慶久：“単磁極ヘッド/垂直二層膜媒体におけるトラックエッジノイズ”，日本応用磁気学会誌, Vol.25, No.4-2, pp. 555-558, 2001.
6. H. Takano, Y. Nishida, A. Kuroda, H. Sawaguchi, Y. Hosoe, T. Kawabe, H. Aoi, H. Muraoka, Y. Nakamura, and K. Ouchi: "Realization of 52.5 Gb/in<sup>2</sup> perpendicular recording", J. Magn. Magn. Mater., 235, pp.241-244, 2001. (Invited paper)

## 情報通信システム研究分野

# 知的情報通信システムの構成論

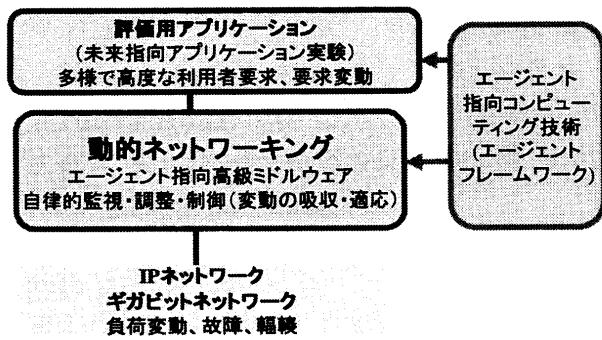


図1 動的ネットワーキングの概要

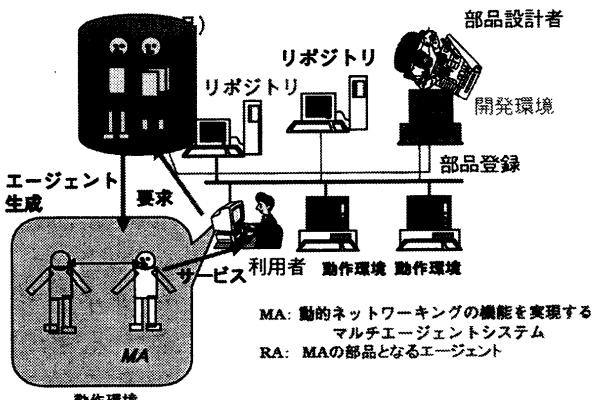


図2 エージェントフレームワークの構成

## 1. 分野の目標

「Flexible Computing」に基づいた情報通信システムの研究

当研究室では、1992年より、人間とコンピュータが共生する情報システムへ向けて、次世代の情報・通信の基本となる概念を創生しこれに基づいて研究を推進している。これまでの情報・通信は、コンピュータに代表されるように合理性（効率、機能、経済性）を評価基準として進展してきた。その結果、富と豊かさの獲得に成功したが、環境破壊や人間喪失など失ったものも多い。これをモダン情報システムと呼ぶ。このようなモダンの限界を越えるポストモダンは何か。本研究では、ポストモダンの基本的な考え方として、「Flexible Computing」を提唱している。この概念は、モダンの長所を生かしつつ、失ったものを取り戻し、人類と自然が調和しながら発展するための思想であり、モダンに「共生」を加えた考え方に基づいている。ここで、共生とは、人間と機械（コンピュータ、ネットワーク、ロボット、…）がそれぞれの長所を生かしつつ、緊張と対立を含みながら協調・調和することである。本研究の目的は、このような考え方に基づいて人間と共生する情報通信システムの構成論を確立し、特にやわらかいネットワークの実現をめざしている。

〈研究テーマ〉

- (1) フレキシブル・コンピューティングの基盤と応用
- (2) やわらかい情報ネットワーク
- (3) ネットワーク管理、計測と性能評価
- (4) 人とコンピュータの共生

## 2. 過去1年間(2001年4月から2002年3月まで)の主な成果

### 2.1 動的ネットワーキングの研究

ネットワーク環境における様々な変動（利用者のQoS、トラフィック、バンド幅など）に対処するための知的なネットワークアーキテクチャの構成を目的としている。今年度は（1）中核機能である「やわらかいネットワーク層」のエージェント指向アーキテクチャの精緻化を行い、この上で稼動するアプリケーションを含めた動

的ネットワーキングのプロトタイプを構成した。また、(2)「やわらかいネットワーク層」をエージェント指向ミドルウェアとして実現するためのツールとなるエージェントフレームワーク（設計開発ツール）の試作・実験を行い、その有効性を確認した。

## 2.2 超高速ネットワークの研究

(1)ネットワーク情報を実時間かつオンデマンドで可視化・表示するシステムを世界に先駆けて開発した。考案した方式を現在、IETFに標準化の提案を行っている。(2)効率的なネットワークトラヒック管理のための技術として、FIM (Fair In-time Marking) と呼ぶ新しい機構を提案し、その有効性を実験的に検証した。提案手法を用いると、効率的な輻輳制御を犠牲にすることなくすべてのコネクションに対してより公平な帯域配分を実現できる。本研究の成果は World Multiconference on Systemics, Cybernetics and Informatics (SCI 2001) において Best paper award を受賞している。

## 2.3 フレキシブル・コンピューティング: 理論と応用

やわらかいネットワークを実現する基盤となるマルチエージェントシステムの性能向上のためのエージェント設計論の確立に向けて理論的研究を推進した。具体的には、エージェントがシステムの状況を把握するための手法、及びその状況に応じた動作決定手法を提案した。さらに、提案手法を用いると、エージェントが動的に生成・消滅するようなシステムにおいても適応的に振舞い、効率の良いタスク処理が実現されることをシミュレーション実験により明らかにした。

## 3. 職員名

教 授：白鳥 則郎（1993年より）

助 手：菅沼 拓夫, 加藤 貴司, Salahuddin Muhammad Salim Zabir

リサーチアソシエイト：Debasish Chakraborty, 原田 耕治, 藤田 伸尚

秘 書：工藤 裕子

## 4. 教授のプロフィール

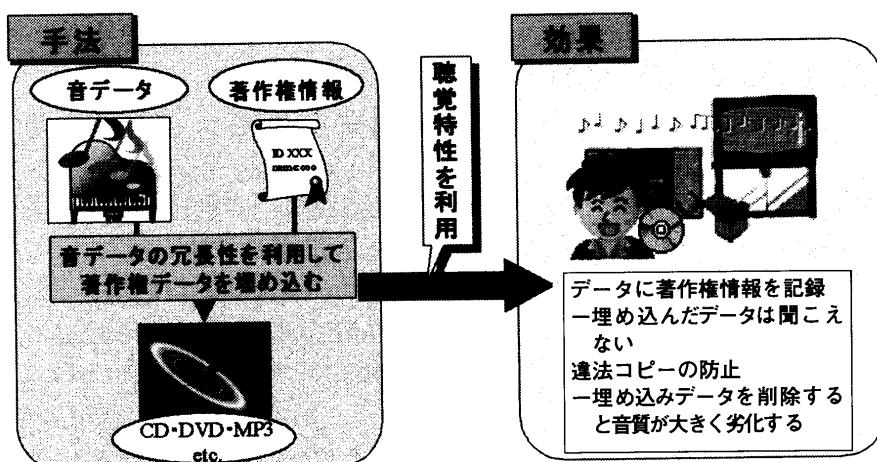
1946年宮城県生れ。1977年東北大学大学院博士課程修了。1984年東北大学助教授（電気通信研究所）。1990年東北大学教授（工学部情報工学科）。1993年東北大学教授（電気通信研究所）。1998年IEEE Fellow。2000年情報処理学会フェロー。昭和60年情報処理学会25周年記念論文賞。1998年IEEE ICOIN-12最優秀論文賞。平成13年度電子情報通信学会業績賞など。現在、人とコンピュータが共生するためのインターネットを中心とした情報通信システム、コミュニケーションなどに関する研究に従事。

## 5. 過去1年間（2001年4月から2002年3月まで）の主な発表論文

- [1] Network traffic characterization and network information services-R and D on JGN, Computer Communications, 24, pp1734-1743, 2001, A. Ashir, T. Suganuma, T. Kinoshita, T. K. Roy, G. Mansfield, N. Shiratori
- [2] An Agent Architecture for Strategy-centric Adaptive QoS Control in Flexible Videoconference System, New Generation Computing, 19 (2001), pp173-191, Takuo Suganuma, SungDoke LEE, Tetsuo Kinoshita and Norio Shiratori
- [3] A Fuzzy Based Equivalent Capacity Estimation Method for Bandwidth Allocation in High-speed Networks, IPSJ, Vol.42, No.8, pp.2167-2175, 2001.8, Leonard Barolli, Akio Koyama, Takao Yamada, Shoichi Yokoyama, Takuo Suganuma and Norio Shiratori
- [4] Providing Fair Service Among ECN Capable and non ECN Capable TCP Connections Over the Internet, Proc. of World Multiconference on Systemics, Cybernetics and Informatics, pp300-305, July 22-25, 2001, Orlando, Florida, USA, Salahuddin Muhammad Salim Zabir, Ahmed Ashir Kentaro Go and Norio Shiratori (Best paper award)
- [5] 確率的時間論理に基づくフォールトモデルを用いた診断方法, 電子情報通信学会論文誌, Vol. J83-D1, No.1, pp.215-224, 2000.1, 橋本和夫, 松本一則, 白鳥則郎 (平成13年度論文賞)

## 音響情報システム研究分野

# 高次音響情報通信システムの実現を目指して



本分野で開発を進めている音信号電子透かしのイメージ図

## 1. 分野の目標

高次・高度の通信システム及びブレインコンピュータを実現するには、人間の情報処理の仕組を明らかにすることが不可欠である。人間の知覚情報処理系のなかで、聴覚モードは最重要的情報処理過程の一つである。本分野の研究目標は、このような視点に立って、聴覚系の情報処理過程を明らかにすると共に、その知見を応用し高度な音響通信システムやユーザインターフェース、更には快適な音環境を実現することである。

## 2. 平成13年度の主な研究成果

### 2.1 ディジタル音信号用高性能電子透かしの開発

この研究は科学技術庁（現文部科学省）のミレニアム技術開発提案公募プロジェクトによるものである。電子透かしは、ネットワーク社会において、マルチメディア情報を健全に流通させるために重要な技術である。本研究では、上図に示すように、聴覚特性を巧みに利用することにより、著作権情報などの付加ディジタル情報を聴取者には気づかれず埋め込む手法の開発を行っている。平成13年度は、前年度に引き続き音信号の位相に着目して研究を進めた他、新たにエコー拡散法を提案し、その基礎的特性の検討を行った。

### 2.2 等ラウドネスレベル曲線の精密測定

この研究はNEDOの国際共同研究グラントによるもので、ドイツ、デンマーク、アメリカとの国際共同研究である。等ラウドネスレベル曲線は、人間の聴覚における周波数感度特性を示す基礎的な特性で、ISO 226として国際標準規格となっている。この規格は、1950年代の英国のデータに基づいているが、最大15 dBにも及ぶ誤差を含むことが明らかになっている。本研究では、等ラウドネスレベル曲線の全面的な精密再測定を行い、ISO 226の全面改定を目指している。

## 2.3 3次元音空間認識と制御手法の研究

音空間認識過程の解明に関する研究では、聴取者の頭部運動の役割の解明を行っている。我々は頭部を動かすことによって、聴取音の特性を時間的に変化させ、これにより、より多くの音空間情報を得ている。本年度は、特に3次元音空間の制御に関する検討に重点をおき、高精度聴覚ディスプレイの開発を進めた。我々は先に、聴取者の頭部運動に追従し、3次元音空間を精密に再現できる仮想球モデルを提案したが、本年度は、その再生性能を定量的に解析するとともに、汎用DSPを用いた実装を行い、その動作を確認した。

## 2.4 音空間内における特徴抽出機構の解明

我々は前年度までに、聴覚において、時間変動など一定の特徴を有する音が、その特徴を持たない場合に比較して容易に検出可能であることを初めて明らかにした。本年度は更に聴取実験を進めた他、このような聴覚探索課題に係る脳活動を明らかにすることを目指し、fMRIを用いた実験結果の考察を進めた。

## 2.5 音環境の認識・知覚におけるクロスモダリティ情報の役割

我々が音環境を理解する場合の、視覚情報や言語情報などクロスモダリティ情報が及ぼす影響について検討している。本年度の研究では、映像中の音源の動きと音の関係など、クロスモダリティ情報の整合性が、音の臨場感などの聴覚的な評価に影響を及ぼすことが示された。また、音像の動きが自己運動感覚を誘起すると考えられるとの興味ある実験結果を得た。

## 2.6 音声知覚過程の解明とディジタル補聴器の研究

バリアフリー通信の観点からも重要な課題である高性能で快適な補聴システムの開発を本学の耳鼻咽喉科と共同研究で進めている。本年度は、補聴を行う上で大きな阻害要因となっている低周波数音によるマスキングを積極的に軽減することを目的として、左右耳に積極的に異なる信号を与える補聴信号処理について検討を進めた。あわせて、ディジタル補聴器の評価のため、単語の親密度に基づく標準単語表をNTTとの共同研究により開発し公開した(<http://www.ais.rie.c.tohoku.ac.jp>)。

## 3. 職員名

教 授 鈴木 陽一 (1999年から)  
助 手 西村 竜一, 坂本 修一  
技 官 斎藤 文孝

## 4. 鈴木陽一教授のプロフィール

1976年3月東北大学工学部電気工学科卒、1981年3月同大学院工学研究科電気及通信工学専攻博士課程後期課程修了。東北大学通研助手、大型計算機センター助教授、通研助教授を経て現職。音の大きさ及び音色、騒音の評価、3次元音空間知覚と制御、ディジタル補聴器、音信号のディジタル信号処理手法等、人間の聴覚の解明とその工学応用の研究に一貫して従事。1992年、1994年日本音響学会佐藤論文賞。2001年5月から(社)日本音響学会副会長。

## 5. 過去1年間の主な発表論文

- Control of auditory distance perception based on the auditory parallax model, Applied Acoustics, 62 (2001), 245-270. H-Y. Kim, Y. Suzuki, S. Takane and T. Sone.
- Active control of sound intensity for suppression of reflected sound waves based on the state feedback control, IEICE Trans. Fund., E84-A (2001), 1017-1026. H. Takahashi, Y. Suzuki, S. Takane, and F. Asano.
- A speech enhancement technique using Kalman filter with state vector of time-frequency patterns, IEICE Trans. Fund., E84-A (2001), 1027-1033. R. Nishimura, F. Asano, Y. Suzuki, and T. Sone.
- Equal-loudness contours measured by the randomized maximum likelihood sequential procedure, Acustica, 87 (2001), 389-399. H. Takeshima, Y. Suzuki, H. Fujii, K. Ashihara, T. Fujimori, T. Sone.
- Evaluation of loudness-level weightings for assessing the annoyance of environmental noise, J. Acoust. Soc. Amer., 110 (2001), 2390-2397. P. D. Schomer, Y. Suzuki and F. Saito.

## 生体コンピューティングシステム研究分野

### 学習における記憶の生成機構 — Recola-Wagner 則を超えて —

複雑な実世界における認識と制御の問題は工学の目指すゴールの一つであるが、未だその情報原理は明らかではない。環境は本質的に予測不可能的に変化するので無限定である。無限定な環境に対応するには予め必要な情報を準備することが出来ないので、時々刻々必要な情報を自ら生成しなくてはならない。しかし、近代科学技術の論理体系では情報の価値や意味はその論理の外にあるために情報を生成することは原理的に不可能なのである。

情報の自律的な獲得現象として、動物の学習がある。無脊椎動物から哺乳動物にいたるまで古典的条件付け学習が可能であることが知られている。無脊椎動物であるナメクジも脳神経系は数十万と少ないにもかかわらず、味覚と嗅覚の連合に関する高次の学習能力がある。1次の条件付けでは条件刺激としてある餌Aの匂いを与える、次に無条件刺激として苦み物質であるキニジンを与えると、餌に対する嗜好性が著しく低下する。これは1回の試行で成立する。また別の餌Bの匂いを与えた後、1次条件付けで嗜好性の低下した物質Aを無条件刺激として与えると2つの餌の嗜好性が低下する（2次条件付け）。しかし、2次条件付けを行った直後に、さらに無条件刺激キニジンを与えてもBに対する学習は成立しない（ブロッキング現象）。あるいは嗜好性のあるAとBを続けて呈示すると、A、Bに対して嗜好性を示す学習が成立したあと、Bを与えて無条件刺激を与えるとAもBも嗜好性が低下するという感性的予備条件付けという学習も可能である。

学習の研究は精力的に行われてきたにもかかわらず、これらの現象を統一的に説明する法則は発見されていない。学習則として Rescorla-Wagner モデルとその変形モデルが提案されているが、それは条件刺激と無条件刺激との連合の程度の変化則であり、これは工学の分野で用いられている学習、強化学習と等価である。しかし、この法則では上記の2次条件付けや感性的予備条件付けを説明することはできない。つまり、報酬条件付けであれ、忌避条件付けであれ刺激?反応間の連合のみで学習が成立するという考えでは、生命システムの持つ記憶機能を論じるには不十分なのである。

匂いの入力は大小の2つの触角によって行われている。行動学的に見ると匂いの学習が成立している場合でもその匂いが遠くにある場合は、学習が成立していない場合と同じような行動を取り、餌のごく近傍に行って小触角からの入力があるようになって始めて忌避行動をとる。大触角から入ってきた匂いの意味付けは記憶に依存しない。その後小触角からの入力を分節化することによって学習に依存した図と地の分離を行うことになる。これは、どんな匂いが入力されるかが予め分かっていない無限定な環境にも対応できる大変有力な情報処理様式であると言える。これらの条件付けにより成立した記憶は、学習した匂いを与えた後、冷却して逆行性健忘を生じさせれば、記憶されていた状態（記憶間の関係性）を調べることができる。表の最上段のFは記憶形成後に刺激を与え冷却することを指し、逆行性健忘を引き起こした際の行動を示している。さらに、これまでの研究結果を整理して記憶間の関係と価値（意味）付けを表の右のカラムにまとめた。ここで右肩の土の符号は+

のときは誘引、一のときは忌避という刺激の価値（意味）付けを表し、矢印の方向は記憶の想起関係を表す。

この結果は記憶の形成には2つのプロセスがあることを示している。一つは刺激に対する価値づけで、もう一つは刺激間の関係である。このプロセスを生理学的に明らかにする目的で、脳神経節全体の活動を同時に観測した。大小二つの触角からの入力でも、味覚入力でも最初に活動が生じるのは後脳葉で、そのあと記憶の座といわれる前脳葉に入力される。後脳葉への入力が情動等の情報の意味付けを行うプロセスを表しているので、情報処理は嗅覚であれ味覚であれ入力情報の全体的な意味付けを行うことからまず始まる事が分かる。その後記憶の座であるといわれる前脳葉に入力され、記憶は前脳葉の細胞体層において形成される。

	Conditioning Procedures	Results CS1 CS2	CS1+F CS1 CS2	CS2+F CS1 CS2	Relationship between Memories
1st-order conditioning	CS1 + Q				CS1 <sup>-</sup>
	CS2 + Q	— —	+ —	— +	CS2 <sup>-</sup>
2nd order (sequential)	CS1 + Q				CS1 <sup>-</sup>
	CS2 + CS1	— —	+ —	+ +	(CS2 <sup>-</sup> ) $\Rightarrow$ (CS1 <sup>-</sup> )
2nd order (simultaneous)	CS1 + Q				CS1 <sup>-</sup>
	(CS2 / CS1)	— —	+ +	+ +	(CS2 <sup>-</sup> ) $\Leftrightarrow$ (CS1 <sup>-</sup> )
Sensory Pre- Conditioning	CS2 + CS1				(CS2 <sup>+</sup> ) $\Rightarrow$ (CS1 <sup>+</sup> )
	CS1 + Q	— —	+ +	+ +	(CS2 <sup>+</sup> ) $\Rightarrow$ (CS1 <sup>-</sup> )
blocking	CS1 + Q				CS1 <sup>-</sup>
	(CS2 + CS1) + Q	— +			CS1 <sup>-</sup>

記憶の形成機構として、1) 価値系は階層性を持ち味覚の価値系が嗅覚の価値系に優先する（価値づけルール1）。2) 記憶間の関係は価値系と関係が同じモダリティで整合的かつ同時に形成されるときに作られる（関係生成ルール）。3) 価値の変更は現在の刺激に対してのみ生じ、すでに形成された関係性により想起された記憶には及ばない（価値づけルール2）。4) 健忘は呼び出された記憶について価値、関係ともに同時に生じる。この機構は認識が仮説生成、行為、評価というサイクルを廻すことによって行われるアブダクションの論理の基になるものです。

## <職員>

教 授 矢野 雅文 (1992年より)

助 手 牧野 悅也

助 手 坂本 一寛 助 手 三浦 治己

<矢野雅文；福岡県久留米市生まれ、九州大学大学院理学研究科博士課程単位取得退学、東京大学助教授等を経て1992年より現職。脳の情報原理を解明することを目標に研究を進めている。特に脳の情報処理の柔軟性は情報生成能力によるものであると考え、これまでの自他分離の情報処理方式から自他非分離の情報処理、とりわけ脳の仮説生成論理の解明とその工学的応用に力点を置いている。>

## <研究テーマ>

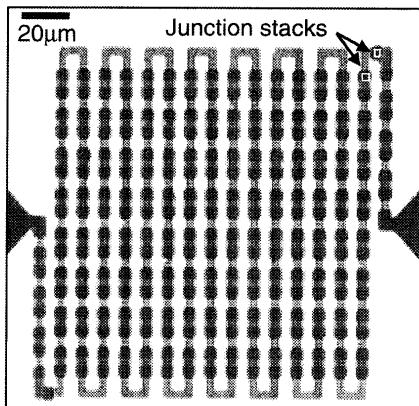
1. 視覚認識における情報表現と図と地の分離の研究
2. 記憶の生成とその時空間的発展のメカニズム
3. 無限定環境下における2足歩行・6足歩行ロボットの研究
4. コンテキストに依存する神経回路の役割の研究
5. 音響定位と不特定話者の音声認識の研究

<主な研究発表>

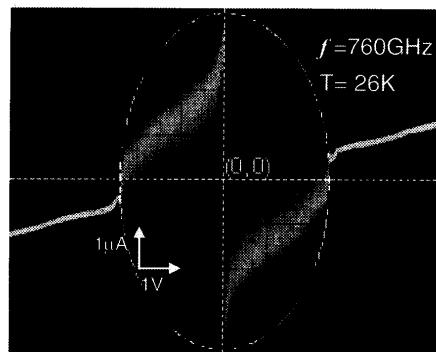
1. Ikuo Matsuo, Junji Tani and Masafumi Yano  
A model of echolocation of multiple targets in 3-D space from a single emission (2001, J.Acoust.Soc.AM. vol. 110, 607-624)
2. Masashi Ito, Jun Tsuchida and Masafumi Yano  
On the effectiveness of whole spectral shape for vowel perception. (2001, J.Acoust.Soc.AM. vol. 110, 1141-1149)
3. Masafumi Yano, Yoshinari Makino, Haruki Miura and Hisanori Makinae; Synchronization in Olfactory Recognition as an Abductive Process Makinae (2001, World Multiconference on Systemics, Cybernetics and Informatics, XIX, 37-39)
4. Masafumi Yano, Makoto Tokiwa and Yoshinari Makino; Simultaneous Self-Organization of Optimal Gait Pattern of Insect and Trajectory to its destination Makino (2001, The 4the IFAC Symposium on Intelligent Autonomous Vehicles, 261-264)

## 超伝導コンピューティングデバイス研究分野

### 超伝導を利用した高速、低消費電力、 高感度電子デバイスとシステム



256個の固有ジョセフソン接合 STACK を含む接合アレイの顕微鏡写真



256個の固有ジョセフソン接合 STACK アレイに  
760GHz の高周波を照射したときに観測される多数の  
ゼロ交差電流ステップ

#### <本研究分野の目標>

人間の脳の優れた情報処理能力を人工的に実現しようとする上で必要となるこれまでにない大規模かつ高密度の人工集積回路には、高速性はもちろん熱発生の極端に少ない演算素子が求められる。また、人工神経回路の規範となる、脳の機能には未解明な点が多く残されており、脳機能障害等を的確に診断する上からも、脳の神経活動を高精度に計測することが求められている。

超伝導体を利用した演算デバイスは、電気抵抗が無いため非常に低消費電力でしかも高速であることが確かめられている。また、超伝導体を利用した磁気計測デバイスは脳の神経活動によって発生する極めて微弱な磁気(脳磁界)を検出する能力を持っている。

本分野では、脳神経活動を計測可能な超高感度超伝導磁気計測デバイスの研究を行うとともに人工脳ともいるべき大規模な超伝導コンピュータシステムを目指した超高速・低消費電力超伝導演算デバイスおよび超伝導デバイスの高速・高感度性を利用した高周波デバイスの研究を行う。

#### <本研究分野の研究成果>

高温超伝導体の結晶構造に由来する固有ジョセフソン効果は、高速ジョセフソン接合デバイスにつながる材料機能性として注目を集めている。本分野では、高温超伝導体の結晶薄片を両面から加工することによって高性能な固有ジョセフソン接合を作製することに成功し、多数の固有ジョセフソン接合をアレイ化することに成功した。作製された固有ジョセフソン接合によって、理論的予想と一致する特性が得られ、その高速応答性能はテラヘルツ領域に到達することを実証した。(王)

磁場中に置かれた固有ジョセフソン接合内を高速で運動するジョセフソン・ボルテクスは、高周波の励振への応用が期待される。本分野では、液体ヘリウムなどの寒剤を使用しない小型で可搬な冷凍機と可変磁場マグネットを組み合わせた実験装置を開発し、ボルテクス流状態にある固有ジョセフソン接合にマイクロ波を照射

して、接合のマイクロ波応答特性からジョセフソン・ボルテックスの運動状態を明らかにした。(中島)

高温超伝導粒界ジョセフソン接合は、高速応答と高感度という特性を有しており、テラヘルツ帯域の検出器としての応用が期待されている。本分野では、 $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$ (YBCO)粒界ジョセフソン接合に、高周波(RF)信号を広帯域準光学系を通して検出器へ導入し、得られた高周波応答にヒルベルト変換を施すことでRF信号スペクトルを得るシステムを開発した、接合動作温度40 Kにおいて3.106THzまでのRF信号を十分な感度で検出できることを実証した。(陳)

本分野において開発した集束イオンビーム立体加工装置を用いて、高温超伝導体単結晶片を3次元加工することにより、ディープ・サブミクロン・サイズの微小固有ジョセフソン接合素子を作製した。この微小固有ジョセフソン接合の臨界電流の温度依存性、接合サイズ依存性を、帶電エネルギーとジョセフソン結合エネルギーの対比により説明した。(金)

3つのジョセフソン接合により構成する超伝導量子干渉デバイスを位相の異なる2つの高周波磁場によって駆動する単一磁束量子ポンプを提案し、Nb/AOx/Nbジョセフソン接合を用いて構成した素子を試作した。移相高周波磁場による単一磁束量子のポンピング動作は、素子の電圧電流特性上に観測された数値シミュレーションによる予測と一致する明瞭なゼロ・クロス電流ステップによって実証された。(水柿)

#### <職員>

教 授 山下 努 (1991年より)	助 手 水柿 義直 (1998年より)
助教授 中島 健介 (1993年より)	J S T研究員 金 相宰
助教授 陳 健 (1998年より)	J S P S研究員 Cristina BUZEA
助教授 王 華兵 (2001年より)	J S T研究員 植松 裕

#### <山下努教授プロフィール>

1939年(昭14)4月11日(63歳)生まれ、専門=電子デバイス工学、電子材料工学。研究分野=超伝導エレクトロニクスと超伝導材料。最終学歴=東北大学博士課程・電子工学専攻、1963年修了。工学博士<東北大学>1969年。学位論文「ジョセフソン素子に関する研究」。学会=応用物理学会、電子情報通信学会、電気学会。略歴=電気通信研究所助手を経た後、長岡技術科学大学電気系教授を歴任。南京大学情報物理系客員教授。現在、東北大学未来科学技術共同センター及び電気通信研究所教授。著書「超伝導回路」共立出版(1981),「薄膜ハンドブック」オーム社(1983),「ジョセフソン効果の物理と応用」近代科学社(1988),「高温超伝導の科学」裳華房(1998),新潟日報文化賞受賞(1985),超伝導科学技術賞(2001)。

#### <主な発表論文>

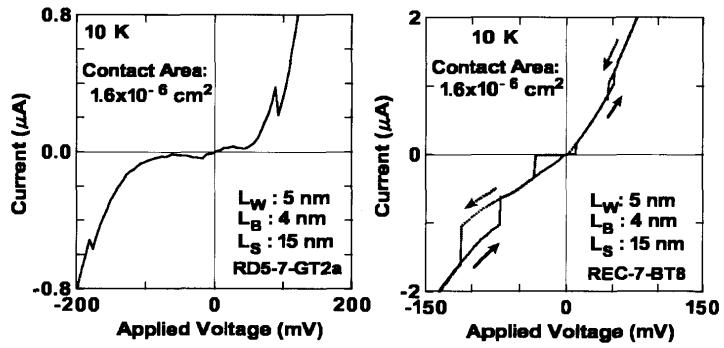
- 1) H. B. Wang, J. Chen, K. Nakajima, T. Yamashita, P. H. Wu, Intrinsic Josephson Junction Arrays on  $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_{8+x}$  Single Crystals and Their Possible Applications at 100 GHz, IEICE Trans. Electron., Vol.E84-C, pp.61-66, 2001
- 2) H. B. Wang, P. H. Wu, and T. Yamashita, Terahertz Responses of Intrinsic Josephson Junctions in High Tc Superconductors, Phys. Rev. Lett., Vol.87, pp.107002-1 - 107002-4, 2001
- 3) H. B. Wang, P. H. Wu, and T. Yamashita, Stacks of intrinsic Josephson junctions singled out from inside  $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_{8+x}$ , Appl. Phys. Lett., Vol.78, pp.4010-4012, 2001
- 4) S. -J. Kim, Yu. I. Latyshev, T. Yamashita, S. Kishida, Fabrication of ultra-small and long intrinsic Josephson junction devices from a lateral FIB etching method, IEEE Trans. Appl. Supercond., Vol.11, pp.948-951, 2001
- 5) S.-J. Kim and T. Yamashita, Fabrications and characteristics of submicron tunneling junctions on High-Tc superconducting c-axis thin films and single crystals, J. Appl. Phys., Vol.89, pp.7675-7677, 2001
- 6) T. Kondo, Y. Mizugaki, J. Chen, K. Nakajima, and T. Yamashita, Microwave Induced Steps in RF-Field-Driven DC SQUID and its Potential Applications, IEEE Transactions on Applied Superconductivity, Vol.11, pp.900-903, 2001
- 7) Y. Mizugaki and P. Delsing, Single-Electron Signal Modulator Designed for a Flash Analog-to-Digital Converter, Japanese Journal of Applied Physics, Vol.40, pp.6157-6162, 2001
- 8) Y. Yamada, Y. Uematsu, Y. Mizugaki, K. Nakajima, T. Yamashita, Josephson plasma in  $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_{8+d}$  detected by  $\text{Nb}/\text{AlO}_{x}/\text{Nb}$  junction, Physica C, Vol.362, pp.244-246, 2001

## マルチモーダルコンピューティング研究分野（客員研究分野）

### IV族半導体量子ヘテロ構造に関する研究

RTD Structure with Type-A Barrier (Si Barrier)					
Layer	Material	Thickness	Boron Doping Concentration	LPCVD Growth Temperature	
9	Spacer	Si <sub>0.9</sub> Ge <sub>0.1</sub>	15 nm		
8	Type-A Barrier	Si	4 nm		
7	Quantum Well	Si <sub>0.9</sub> Ge <sub>0.1</sub>	7 nm		
6	Type-A Barrier	Si	4 nm		
5	Spacer	Si <sub>0.9</sub> Ge <sub>0.1</sub>	15 nm		Mesa Isolated Region
4	Bottom Contact	Si <sub>0.9</sub> Ge <sub>0.1</sub>	5 nm	1 × 10 <sup>18</sup> cm <sup>-3</sup>	
3	Buried Collector	Si	1 μm	5 × 10 <sup>18</sup> cm <sup>-3</sup>	650 °C
2	Buffer	Si	100 nm	Undoped	750 °C
1	Substrate	Si(100)	625 μm	~10 <sup>15</sup> cm <sup>-3</sup>	
Structure of Type-B Barrier (Si/Si <sub>0.97</sub> C <sub>0.03</sub> Barrier)					
↑	Si	0.54 nm		500 °C	
6	Type-B Barrier	Si <sub>0.97</sub> C <sub>0.03</sub>	3 nm	Undoped	550 °C
5	Si	0.27 nm			500 °C
4	Si	0.27 nm			

表1 二重障壁共鳴トンネル構造の層構成



(a) Pure Si Barrier RTD

(b) Si<sub>0.97</sub>C<sub>0.03</sub> Barrier RTD

図1 試作したダイオードの電流一電圧特性

### <本研究分野の研究目標>

SiGeC系IV族半導体ヘテロ構造形成プロセスの開発はLSI上への新機能デバイス搭載等のために極めて重要である。現在、SiGeC系IV族半導体やそれらへの不純物ドーピング及びそれらを基とした絶縁膜、並びに金属膜等を組み合わせた極限ヘテロ構造の形成が可能になりつつある。特に、表面マイグレーションや原子ミキシングを最低限まで抑制した表面・界面制御技術が実現されつつある。本研究分野では、高清浄減圧CVD法によるSiGeC系IV族半導体エピタキシャル成長と不純物ドーピング技術を駆使して、原子オーダで表面・界面制御された高品質IV族半導体量子ヘテロ構造を実現することを目指している。さらに、形成した量子ヘテロ構造から発現する新しい電子物性の探索を行う。

### <本研究分野の研究成果>

高清浄減圧CVDによりSi(100)基板上にヘテロエピタキシャル成長させたp<sup>+</sup>SiGe/SiGe(スペーサ層)/Si(障壁層)/SiGe(量子井戸層)/Si(障壁層)/SiGe(スペーサ層)/p<sup>+</sup>SiGe/p<sup>+</sup>Si二重障壁共鳴トンネルダイオードの電流-電圧特性において、10～170Kの幅広い温度領域においてホールの共鳴トンネル現象による明瞭な電流ピークが観察されることを明らかにしてきた。さらに、Si障壁層中に高濃度のCを導入することにより、特定の電圧で電流ホッピング現象が見られた。(図1)これは、Siのバンドギャップ中にC原子が新たな準位を形成し、その準位を介したホールトンネルが生じたものと考えている。このように共鳴トンネル現象は半導体中のキャリアの波動性に起因したものであることから、その電気特性は障壁層や量子井戸層の組成や原子配列構造に大きく影響を受けるものと考えられる。これを利用して種々の元素を局所的に挿入することにより共鳴トンネル現象に変調を加えられることが期待される。現在、異種原子としてC, N, B, P, Wなど不純物を高濃度に、また、均一ドープのみならず原子層状にドープする研究が進められており、その研究成果を適用することにより、異種原子の存在が共鳴トンネル現象に与える影響を

調べることが可能となる。異種原子導入は格子歪みの増加による結晶欠陥の発生の原因になりうるが、さらに原子層ドーピング技術の進展とともに積極的に格子歪みを導入制御する等の物性制御の自由度が広がっていくものと期待される。このように本研究を進めることにより、SiGeC系ヘテロ構造に起因する新しいIV族半導体電子物性の学問分野の開拓に寄与するものである。

#### <職員>

客員助教授 韓 平 (Ping Han, 2000年より)

#### <韓平客員助教授のプロフィール>

1962年生まれ。南京大学物理系より1984, 1987年に理学学士号, 理学修士号を取得。1987～1988年中国電子工業部第55研究所助理工程師。1988年中国科学院上海技術物理研究所に入所, 1991年理学博士号取得。1991年より南京大学物理系において講師, 副教授を歴任。その間, 1993～1994年にLinköping大学物理学測量技術学部客員研究員, 1997～1999年に東北大電気通信研究所研究員, 2000年7～9月に同COE研究員を併任。2000年10月より現職。

## 3. 2 物性機能デバイス研究部門の目標と成果

21世紀の情報化社会を支える通信技術の根底には、超高速電子情報処理システムと超高密度情報記録システムが不可欠である。電気通信研究所は文部省におけるIT関係の唯一の附置研究所として、これまで電子デバイスや磁気デバイスなどの研究において世界をリードしてきた。

本研究部門は平成6年の研究所改組において新たに設立されたもので、来世紀に向けてのIT革命を先導しそれを推し進めるため、従来電気通信研究所で行われてきた伝統的な半導体、磁性体、誘電体の物性研究と、それに基づく新しい材料、加工プロセス、デバイスの開発研究を行うとともに、究極的な超高速・高密度通信用デバイスの実現を目的としている。すなわち半導体や磁性デバイスの高速化、高密度化、高集積化そして低消費電力化をはかる一方、全く新しいタイプのデバイスの提案と、超高速度電子情報処理・超高密度情報記録のシステム化の研究を行っている。またこれらの研究との関連の深い分子間相互作用プロセスと電子-光相互作用プロセスなどのミクロなレベルでの基礎的研究、ならびに微小磁性体の非接触可制御性を利用した微小医学用デバイスなどの特徴ある研究もおこなっており、目標に向けて研究は順調に進められつつあるといえる。

本年度の各分野の主な研究成果は以下の通りである。

### 1. 固体電子工学研究分野

本研究分野では、知的情報化社会の基盤を支える新しい半導体デバイス、高機能システムの実現を目指として、シリコン集積回路におけるアクティブデバイス技術、回路技術、アーキテクチャー技術、材料技術に関する研究を行っている。

2001年の成果を以下に述べる。64Gビット以上の高密度フラッシュメモリにも適用可能なStacked-Surrounding Gate Transistor (S-SGT)構造のフラッシュメモリセルを提案し、実験的にそのメモリセル動作の確認を行った。このS-SGT構造のセルは、1本のシリコン柱あたりに、2個のメモリセルを積層したもので、1ビットあたりのメモリセルの占有面積で比較して、従来の最も小さいNAND型セルの半分の面積を実現できることを示した。また、新しいソース・ドレインエンジニアリングにより、シリコン柱下部にソース拡散層を形成したSGTでは基板バイアス効果が著しく抑制されることを示した。また、薄膜酸化膜の膜厚および化学的組成が、酸化炉へのウエハの搬入条件によって影響を受けることを明らかにした。各研究テーマいずれも目標を達成しつつある。

### 2. 分子電子工学研究分野

本研究分野では、Siプロセスと互換性を持つつ、Siにない新たな電子・光物性の発現が期待されるSi系混晶・化合物の成膜プロセスに関し、原子・分子過程の解明と新たな表面・界面制御技術の確立、及び新奇物性の探索を行っている。本年度はSiCVD成長表面化学反応のキーパラメータである表面水素被覆率を、成長温度及び成長圧力の関数として初めて測定し、さらにこれら一連の実験結果を高精度、かつ統一的に記述できる2-4サイト吸着成長モデルを提案した。また次世代パワーデバイ

ス材料として注目される炭化ケイ素（SiC）のSi基板上へテロエピタキシを研究し、基板／薄膜界面制御に不可欠な界面緩衝層の形成法として、有機シランを用いたOSバッファ法を新たに開発した。同法により、従来法では900°C以上が必用だった緩衝層の形成温度が600°C以下へと、300°C以上低減される。

### 3. スピンエレクトロニクス研究分野

ナノスケールの磁気的微細構造の制御された磁性薄膜に拠ってマイクロデバイスを開発し、従来バルク状磁性体に拠っていた磁気デバイスの機能集積度を極限まで高め。次世代情報通信システム並びに医療福祉システムに資することが目標である。本年度の主要な成果は、①携帯機器用高周波集積化磁性薄膜インダクタや電磁干渉抑制用集積化磁気素子、高分解能平面型シールディドループコイルを提案し、IT機器の機能集積度の向上、信号品質の評価、IEC国際標準の確立に大きく寄与した。②磁界による非接触エネルギー供給を受けて生体内で自走し、センシングや治療を行う磁気マイクロロボットの原型を提案した。注射器によるヒト体内への注入、局所温熱療法との組合せによる癌治療、磁気モーションキャプチャシステムとの協調による追尾機能なども実証した。③磁界検出用として、 $6 \times 10^{-9}$  Oe ( $6 \times 10^{-13}$  T)という世界最高感度を有する高周波キャリア型薄膜磁界センサの開発にも成功した。

### 4. 情報記録デバイス工学研究分野

ネットワークとコンピュータの普及によって、桁違いに膨大な情報量を持つ動画等のマルチメディア情報がこれから的情報ストレージの対象となる情報である。このために超高密度で高速の磁気記録ストレージの実現を研究目標としている。特に、記録媒体の磁性微粒子1個に1ビットの情報を記録するスピニクスストレージにより面記録密度を20テラビット毎平方インチとすることを目指している。

すでに垂直磁気記録によって60ギガビット毎平方インチの実用可能性の証明と200ギガビットを超える記録密度の設計指針の理論的確立を終えているが、後者の記録密度を可能とするストレージデバイスを実際に試作する段階に入っている。すなわち、交換結合の強さが大きく異なる2層構造の新しい記録媒体と実用材料として最大の飽和磁束密度を持つFeCo薄膜を主磁極とする垂直磁気記録ヘッドの開発である。

現在の目標達成度は、当面の0.5テラビット程度の中期的目標に対しては30%程度であり、将来的な20テラビットに対しては10%程度と考えている。

### 5. 光電変換デバイス工学研究分野

#### <目標>

固体表面における電子と光の相互作用に起因するエネルギー変換機構を研究し、光電変換デバイスの基礎となる物理・化学現象と物性を解明する。特に、固体表面ナノ構造（吸着種、半導体量子構造、単分子膜）に特徴的な現象を積極的に研究している。

#### <目標達成度>

70%程度

#### <成果>

走査型トンネル顕微鏡（STM）発光分光法により、AlAs/GaAs界面における少数キャリアーの拡散過程をナノメートルの位置分解能で解明した。Ni(110)表面およびAg(110)表面に解離吸着した個々の酸素原子をSTM発光分光で識別することができ

た。直線偏光紫外光照射によって誘起されたポリイミド膜表面の異方性と光照射エネルギー密度の関係を明らかにした。

## 6. 電子量子デバイス工学研究分野

本分野では、構造規定された固体表面・界面での分子レベル反応制御によって原子・分子レベルのナノ構造を構築することを目標に、表面・界面反応のその場観察や反応制御法の開発研究を行っている。また、分子デバイスの基盤となる新しい物性機能を有する高分子薄膜電子材料の開発にも取り組んでいる。本年度は昨年度に引き続き、①シリコン表面上の原子・分子吸着状態・吸着過程の解明、②シリコン固液界面反応過程のその場観察、③半導体表面上の高分子薄膜形成過程の研究、④半導体ウェーハ表面汚染検査装置の開発に取り組んだ。シラン系分子や有機高分子(生体分子も含む)のSi表面吸着過程を調べ、第一原理計算との比較により、シラン分子やベンゼンなどの有機分子の吸着構造を原子レベルで明らかにした。また、シリコン表面の電気化学エッティングを調べ、電極電圧が高くなると現れる電流振動現象の原因を明らかにした。さらに、現在開発中の半導体ウェーハ表面汚染検査装置の性能向上を図り、赤外線検出においてヘテロダイイン方式を採用することにより検出感度が向上することを明らかにした。

## 7. 複合機能材料研究分野（客員研究分野）

複合機能材料(SiGe, SiGeC等)を用い、将来のシステムLSIに組み込む多機能化新デバイス構造の基礎的研究を進め、SiGeまたはSiGeCを応用し、オン電流が従来のMOSトランジスタの数倍大きくすることができる新MOSトランジスタ構造とその製法を考案した。考案したSiGeC HBT新構造についてシミュレーションし、遮断周波数200GHzを越えることが可能であることを示した。試作を進め、その結果を基にさらに高周波化に有利で、製造のし易い構造を提案した。

## 8. 超高密度・高速知能システム実験施設原子制御プロセス部

本研究部では、半導体デバイスの微細加工を原子スケールで制御する技術の研究開発を行い、原子制御プロセス基盤技術を創生することを目標にしている。このため、SiをベースとしたIV族半導体を中心として、原子精度の成膜・エッティングとそれを用いた超微細デバイスの試作を進めている。今年度の成果は以下の通りである。

CVDSi<sub>1-x</sub>yGe<sub>x</sub>Cy薄膜形成における不純物ドーピング制御をLangmuir型の簡単な表面吸着・反応速度式で定式化できることを体系的に示した。そしてSiGeチャネルとSiGeソース・ドレインを有する0.1μmルール高性能MOSFETを実現した。また、IV族半導体(Si, Ge, C)及びドーパント(P, B)さらに絶縁膜化元素(N)・金属元素(W)について、原子制御できるCVDプロセス条件・プラズマプロセス条件を調べ、その吸着・反応過程をLangmuir型の定式化で系統的に明らかにしつつある。特に本年度はSi中へのPのみならず、B, N, Wの原子層レベルの超高濃度ドーピングに成功した。

## 固体電子工学研究分野

# 知的情報化社会の基盤を支える 新しい半導体デバイス・システムの研究

—超インテリジェントLSIをもちいた人間の脳の実現を目指して—

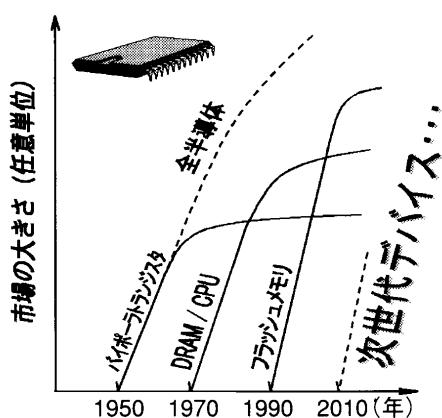


図1 DRAM, CPU, Flash Memoryに代表されるLSIは、この50年にわたり爆発的な発展を遂げました。Flash Memoryは、本研究室の舛岡教授により発明され、日本人の発明による唯一の世界標準LSIです。固体電子工学研究分野の目標は、次世代の世界標準集積回路を提案することです。

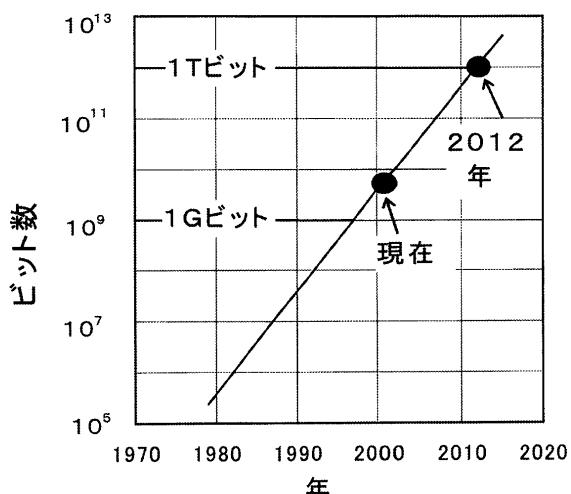


図2 Flash Memoryの集積度（ビット数）は、これまで、3年で4倍のペースで増えています。このペースでいくと、DNAと同じ1Tビットを越えるのは、2010年以降になる予測です。

### 1. 部門の目標

近年の高集積回路は、高度情報社会を支えるキーデバイスの一つであると共に、日本の基幹産業となっている。従来、DRAM, CPU, Flash Memoryをはじめとする高集積回路は、その寸法の微細化により、高速化・低消費電力化・高集積化・低コスト化を実現し、電子・情報産業は近年急成長してきた。しかし、今後、ディープサブミクロンサイズのMOSデバイスに於いては、従来の延長の縮小化では、将来の超高性能集積回路システムを実現する事はできず、今後とも電子・情報産業の急成長を維持することは困難であると考えられている。固体電子工学研究分野では、高度情報社会の基盤となる次世代の高性能半導体集積回路の提案をめざして研究を行っている。(図1, 図2)

- <研究テーマ>
1. 高性能アクティブデバイスに関する研究
  2. 超高速・超低消費電力な回路に関する研究
  3. 高性能アーキテクチャーに関する研究
  4. 薄膜ゲート絶縁膜における絶縁性劣化と破壊機構に関する研究

### 2. 過去一年間（2001年4月から2002年3月まで）の主な成果

1. 64Gビット以上の高密度フラッシュメモリにも適用可能なStacked-Surrounding Gate Transistor (S-SGT)構造のフラッシュメモリセルを提案し、実験的にそのメモリセル動作の確認を行った。このS-SGT構造のセルは、1本のシリコン柱あたりに、2個のメモリセルを積層したもので、1ビットあたりのメモリセルの占有面積で比較して、従来の最も小さいNAND型セルの半分の面積を実現できることを示した。
2. Surrounding Gate Transistor(SGT)における電流電圧特性のソース・ドレイン (S/D)

拡散層の形状依存性について解析した。その結果シリコン柱下部にソース拡散層を形成したConVex diffusion layer type SGT (CV-SGT)では基板バイアス効果が著しく抑制されることが明らかになった。この新しいソース・ドレインエンジニアリングによるCV-SGTは今後のSGTの高性能化にとって非常に重要であることを示した。

3. 薄膜酸化膜の酸化炉へのウェハの搬入条件と膜厚および化学的組成との関係を, Secondary Ion Mass Spectroscopy (SIMS) および, X-ray Photo Electron Spectroscopy (XPS)により解析した。100%の窒素中でウェハを酸化炉に搬入した場合, ウェハの中央部の酸化膜表面から1.5nmの深さに,  $2 \times 10^{21}$  atoms/cm<sup>3</sup>の窒素が検出され, 化学的組成はSiO<sub>1.4</sub>N<sub>2.6</sub>であった。また, 1%の酸素を混入した窒素中で搬入したウェハからは, 窒素は検出されなかった。このように酸化膜の膜厚・化学的組成がウェハの搬入条件によって大きく影響を受けることを明らかにした。

### 3. 職員名

- 教授　舛岡富士雄（1996年より）  
 助教授　遠藤　哲郎（1997年より）  
 助手　桜庭　弘　レンスキ・マルクス

### 4. 舛岡教授のプロフィール

1971年東北大学大学院工学研究科電子工学博士課程を修了。工学博士。1971年（株）東芝に入社。1994年退社。同10月東北大学情報科学研究科教授。現在東北大学電気通信研究所教授。研究分野は、集積回路を中心とする半導体分野。2層多結晶シリコンを用いたEPROMの発明で昭和55年度全国発明表彰発明賞を受賞、昭和53年度第1回渡辺賞を受賞、その他フィールドシールド、多層配線、DRAM、SRAM、EPROM回路及びフラッシュEEPROM等の発明で関東地方発明表彰発明奨励賞を5回受賞。1995年IEEE Fellow Award。1997年フラッシュEEPROM及びNAND型EEPROMの発明及び技術の確立の功績により、IEEEよりMORRIS N. LIEBMANN MEMORIAL AWARDを受賞し、市村産業賞本賞を受賞。電子情報通信学会IEEE会員。

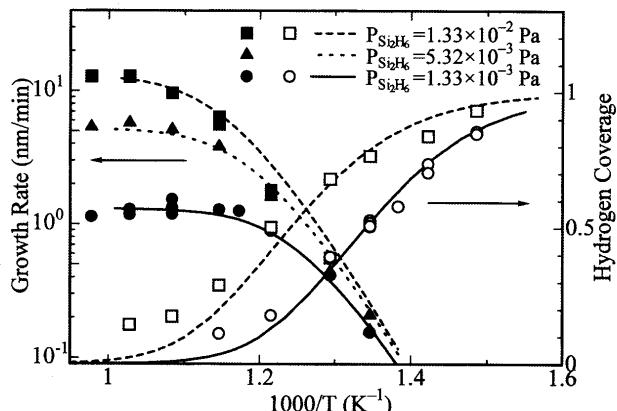
### 5. 過去一年間（2001年4月から2002年3月まで）の主な論文発表　他15件

- 1) T. Endoh, Y. Kimura, M. Lenski, H. Sakuraba, and F. Masuoka, "Influence of Wafer Loading Atmosphere upon Chemical Structure of Sub-5nm Oxide Films", Proceedings of the ECS 1st International Conference on Semiconductor Technology (ISTC 2001), pp. 196-200, Shanghai, May 27-30, 2001.
- 2) A. Tanabe, M. Umetani, I. Fujiwara, T. Ogura, K. Kataoka, M. Okihara, H. Sakuraba, T. Endoh, F. Masuoka, "0.18μm CMOS 10-Gb/s Multiplexer/Demultiplexer ICs Using Current Mode Logic with Tolerance to Threshold Voltage Fluctuation", IEEE JOURNAL OF SOLID-STATE CIRCUITS, Vol. 36, No. 6, pp. 988-996, June, 2001.
- 3) R. Nishi, M. Suzuki, H. Sakuraba, T. Endoh and F. Masuoka "Novel S/D Engineering of Surrounding Gate Transistor (SGT) for Suppressing Substrate Bias Effect" 2001 Asia-Pacific Workshop on Fundamental and Application of Advanced Semiconductor Devices (AWAD 2001), Cheju, July 4-7, 2001.
- 4) T. Endoh, M. Suzuki, H. Sakuraba, F. Masuoka, "2.4F<sup>2</sup> Memory Cell Technology with Stacked-Surrounding Gate Transistor (S-SGT) DRAM", IEEE TRANSACTIONS ON ELECTRON DEVICES, Vol.48, No.8, pp.1599-1603, August, 2001.
- 5) 西亮輔, 鈴木正彦, 桜庭弘, 遠藤哲郎, 舛岡富士雄, "SGTの基板バイアス効果を抑制させる拡散層形状に関する解析", 電子情報通信学会論文誌C, Vol. J84-C, No. 10, pp. 1018-1019, 10月, 2001.
- 6) T. Endoh, K. Kinoshita, T. Tanigami, Y. Wada, K. Sato, K. Yamada, T. Yokoyama, N. Takeuchi, K. Tanaka, N. Awaya, K. Sakiyama, and F. Masuoka, "Novel Ultra High Density Flash Memory with A Stacked-Surrounding Gate Transistor (S-SGT) Structured Cell", IEEE 2001 International Electron Devices Meeting TECHNICAL DIGEST, Washington, December 3 - 5, 2001.
- 7) T. Endoh, Y. Kimura, M. Lenski, and F. Masuoka, "Influence of Silicon Wafer Loading Ambient on Chemical Composition and Thickness Uniformity of Sub-5-nm-Thick Oxide Films", Japanese Journal of Applied Physics, Vol. 40, No.12, pp. 7023-7028, December, 2001.
- 8) 木下和司, 遠藤哲郎, 谷上拓司, 和田昌久, 佐藤功太, 山田和也, 横山敬, 竹内昇, 田中研一, 栗屋信義, 崎山恵三, 舛岡富士雄, "A Stacked-Surrounding Gate Transistor (S-SGT) Structured Cell を用いた新しい高密度フラッシュメモリ", 電子情報通信学会シリコン材料・デバイス研究会, 信学技報, SDM2001-219, pp. 43-48, 東京, 1月22日, 2002.

## 分子電子工学研究分野

# 半導体成膜プロセスの原子オーダ制御

——単結晶からアモルファスまで——



2-4サイト吸着モデルによるSiエピタキシのモデリング。圧力パラメータを変えるだけで、成長速度（黒印）と表面水素被覆率（白印）の温度・圧力依存性がほぼ完全に再現できる。(T. Murata et al., Appl. Phys. Lett., vol. 79 (2001), pp.746-748.)

## 1. 本分野の目標

今日の半導体産業の中心をなすSiデバイスの、より一層の微細化・高速化を図るには、デバイス製造プロセスの基幹となる微細構造形成技術をさらに高度化する必要がある。またSiプロセスと互換性を持ち、かつSiにない新たな電子・光物性が期待されるSi系混晶・化合物を実用化するにも、成膜、ヘテロ界面制御における微細構造形成技術を確立する必要がある。本研究分野では微細化に適した成膜技術であるガスソース(GS) MBE法を中心に、Si, SiGe, SiC, アモルファスSi, 微結晶Si, Si酸化膜, Si酸窒化膜——等のSi系薄膜の成膜機構を原子・分子レベルで明らかにするとともに、これら材料の低温・高品質形成を実現する新たなプロセス技術を創成することを目的に研究を行っている。

本研究分野で現在行っている研究テーマは以下のとおりである。

1. Si, Si系混晶薄膜エピタキシーの表面化学と原子制御プロセス技術の開発
2. Si熱酸化膜形成初期過程の解明と制御技術の確立
3. プラズマCVDによるアモルファス, 微結晶シリコン太陽電池の開発
4. 化合物半導体バルク点欠陥・表面欠陥の評価と制御技術の確立

## 2. 過去1年間の主な成果

### 2.1 Si ガスソースMBEに関する研究

CVD成長において、水素は成長表面反応を支配する鍵となる元素である。本分野では超高真空中プロセスであるガスソース(GS) MBE法を用い、SiCVD表面の水素被覆率を成長温度及び成長圧力の関数として測定することに初めて成功した。さらにこの知見に基き、成長速度と水素被覆率両者の温度及び圧力依存性を高精度、かつ統一的に記述できる2-4サイト吸着成長モデルを提案した【文献2,8】。またPドープSiCVD成長表面における水素及びP被覆率の「その場」評価を初めて行い、Pドープエピの成長機構及びドーピング機構を解明した【文献1,5】。

## 2.2 Si基板上SiCヘテロエピタキシーに関する研究

本分野ではGSMBEによるSiC薄膜成長研究を行っており、新たに開発した有機シランGSMBE法により、きわめて高品質の単結晶SiC薄膜が900℃という、従来法より200℃低い成長温度で堆積可能であることをこれまで示してきた。本年度はSi基板上SiC薄膜GSMBEヘテロ成長に不可欠なSiC/Si界面緩衝層形成プロセスへと研究を進め、有機シランを用いて新たに開発したOSバッファ法を用いることで、従来900℃以上が必要だった同緩衝層形成温度が600℃以下へと、300℃以上低減できることを明らかにした【文献3】。

### 職 員

助教授	末光真希（1990年より）
COE非常勤研究員	中澤日出樹
COE外国人研究員	カルパナン・センティル

### 主な発表論文等

- [1] Y. Tsukidate and M. Suemitsu, "Growth kinetics and doping mechanism in phosphorus-doped Si gas-source molecular beam epitaxy", *Appl. Surf. Sci.*, vol.175-176 (2001), pp.43-48.
- [2] T. Murata, H. Nakazawa, Y. Tsukidate, and M. Suemitsu, "Role of adsorption kinetics in the low-temperature Si growth by gas-source molecular beam epitaxy: In situ observations and detailed modeling of the growth", *Appl. Phys. Lett.*, vol. 79 (2001), pp.746-748.
- [3] H. Nakazawa and M. Suemitsu, "Low-temperature formation of an interfacial buffer layer using monomethylsilane for 3C-SiC/Si(100) heteroepitaxy", *Appl. Phys. Lett.*, vol. 79 (2001), pp.755-757.
- [4] Y. Tsukidate and M. Suemitsu, "Infrared study of SiH<sub>4</sub>-adsorbed Si(100) surfaces: observation and mode assignment of new peaks", *Jpn. J. Appl. Phys.*, vol. 40 (2001), pp.5206-5210.
- [5] 末光真希, 築館巖和, 「その場PドープされたSiガスソースMBEの成長・ドーピング機構」  
信学技報SDM2001-162(2001-10)pp.17-21
- [6] 末光真希, 「シリコン表面熱酸化初期過程の反応速度論」  
表面科学 vol. 23 (2002) pp.95-103.
- [7] H. Nakazawa and M. Suemitsu, "Formation of extremely thin, quasi-single-domain 3C-SiC film on resistively heated on-axis Si(001) substrate using organo-silane buffer layer", *Abstracts of the International Conference on Silicon Carbide and Related Materials 2001* (Tsukuba, 2001)
- [8] T. Murata and M. Suemitsu, "Detailed Modeling of Si Gas-source MBE: Descriptions on Growth Rate and Hydrogen Coverage", *Abstracts of the IUVSTA 15th International Vacuum Congress, AVS 48th International Symposium, 11th International Conference on Solid Surfaces* (San Francisco, 2001)
- [9] M. Suemitsu and Y. Tsukidate, "Growth and Doping Kinetics in Si Gas-source MBE with In-situ Phosphorous-doping", *Abstracts of the IUVSTA 15th International Vacuum Congress, AVS 48th International Symposium, 11th International Conference on Solid Surfaces* (San Francisco, 2001)
- [10] Hideki Nakazawa and Maki Suemitsu, "Prepairing-dependent desorption kinetics of hydrogen from Si(100)-2x1", *Abstracts of the IUVSTA 15th International Vacuum Congress, AVS 48th International Symposium, 11th International Conference on Solid Surfaces* (San Francisco, 2001)

## スピニエレクトロニクス研究分野

# 磁気物性制御技術の確立と高機能磁気デバイス・システムの開発

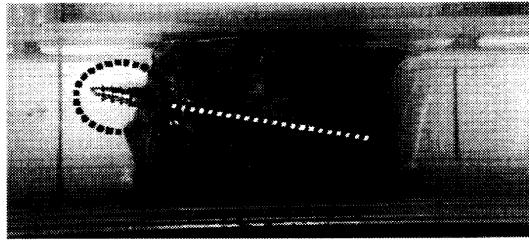


図1 マイクロマシンが牛の筋肉中を推進する様子。外部から回転磁界を印加することでマシンは回転し、推進する。20秒程で、マシンは長さ牛肉（長さ約20mm）を貫通した。

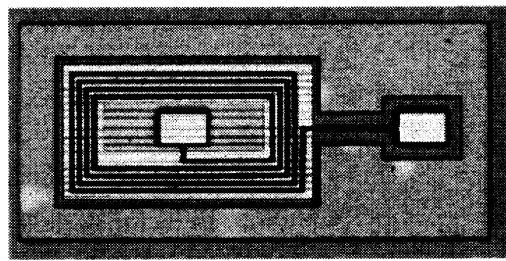


図2 RF集積化インダクタ マイクロパターン化磁性膜によって、2GHz帯で $L=7.9\text{nH}$ ,  $Q=13$ を実現した。

**分野の目標** 本分野では、ナノスケールの磁気的微細構造の制御された磁性薄膜をキーマテリアルとしたマイクロデバイスの微細加工プロセスを開発し、情報通信機器に数多く使用されているバルク状のコイル、トランス、磁気センサ、磁気アクチュエータなどをマイクロ化・集積化した磁気デバイスに置換し、デバイスの単位面積・単位体積当たりの機能集積度の局隈化を推進する。これをベースに電子スピニとエレクトロニクスを融合させた高度高機能デバイスシステムとして、次世代情報通信システム並びに医療福祉システムへの入出力インターフェースに関わるマイクロ磁気センサ・アクチュエータシステムならびにモーションキャプチャシステムを具現化することを目標としている。

### 過去1年間の主な成果

(a) 医用マイクロマシン（医薬品機構プロジェクト等）：磁気を利用したワイヤレスエネルギー供給技術を利用して、体内で動作するマイクロマシンの開発を行っている。注射針で挿入可能な直径0.8mmのマシンは、生体を模した牛肉や寒天中をワイヤレスで駆動可能である。このマシンの機能性向上のために、発熱機構の搭載や進行方向制御に関する検討を行っている。さらに、磁気トルクを利用したカテーテル先端のワイヤレス屈曲機構に関する検討も行っている。

(b) RF集積化磁性薄膜インダクタ（科研費特定領域研究A等）：次世代携帯電話やBlue-toothで益々利用が拡大するアナログ高周波回路では、集積化空心インダクタの小形化と低損失化が重要課題である。今年度は、アナログ高周波回路で実際に使用される2ポート型の磁性薄膜インダクタを試作し、5GHzまでの範囲で等価回路定数を抽出することができた。この解析によって、磁性薄膜の効果が5GHz以上までの広帯域に渡っていることが明らかになり、当初の予想を超えて広範囲な応用が拓ける可能性が見えてきた。

(c) マイクロ磁気センサ（宮城県地域結集型共同研究事業等）：CoNbZr磁性薄膜を用いた高周波キャリア型薄膜磁界センサによって500 kHz の磁界を $6 \times 10^{-8}$  Oe ( $6 \times 10^{-12}$  T)の磁界分解能で計測した。これはキャリア抑制回路を位相雑音が室温での熱雑音

以下に低減するように設計して得られたもので、昨年度より5倍高感度である。今後はセンサ素子寸法、構造の最適化により $10^{-9}$  Oe ( $10^{-13}$  T) 台の感度限界に挑む。上述(a)と次項(d)のセンサヘッドへ展開中である。

(d) 磁気モーションキャプチャシステム（宮城県地域結集型共同研究事業等）：永久磁石と磁界センサにより構成される位置検出システムの具体的応用として頸運動計測装置、放射線照射用追尾システムおよび情報入力システムを開発した。一方、多チャンネル用として電池と発振回路を内蔵した交流磁性マーカも試作し、(c)のマイクロ磁界センサによって交流マーカの発生磁界を距離1.2mの広範囲まで計測できた。

(e) 薄膜透磁率測定（通信・放送機構プロジェクト等）：進行波型電磁界のもとで金属（導電性）磁性薄膜の透磁率を6GHzまで計測可能な装置を開発した。信号検出には本分野で開発した多層平面型シールディードループコイルを用いており、14年度には商品化の見込みである。

(f) EMC計測技術（企業共同研究、NEDO-ASETプロジェクト等）：上述の透磁率測定装置で開発した多層平面型シールディードループコイルは、すでに高密度実装プリント配線板やLSI回路近傍の磁界計測用に特化され、 $10 \times 1\text{mm}^2$ および $1 \times 0.2\text{mm}^2$ の形状で製品化されている。本年度は薄膜技術により $0.6 \times 0.6\text{mm}^2$ ないし $0.02 \times 0.02\text{mm}^2$ の微小コイルを試作し、空間分解能を $100\mu\text{m}$ に向上できた。帯域は3GHz以上である。

<b>職 員 教 授</b>	荒井 賢一 (1986年から)
助教授	山口 正洋 (1991年から)
助 手	石山 和志 助 手 藤上 信
技 官	師岡ケイ子 技 官 我妻成人
産学連携研究員	金 基炫 産学連携研究員 池田慎治
非常勤研究員	裴 碩

### 荒井賢一教授のプロフィール

1966年3月 東北大学工学部電子工学科卒業。1971年3月 同学大学院工学研究科博士課程修了。1971年4月 同学助手、電気通信研究所。1975年4月 同学助教授、電気通信研究所。1986年4月 同学教授、電気通信研究所。軟質磁性材料の研究およびマイクロ磁気デバイス、マイクロ磁気センサ、アクチュエータ等のスピニックスデバイスとその医療応用に関する研究に従事。市村賞、科学技術庁長官賞、電気学会業績賞受賞。日本学術会議第18期第五部会幹事。

### 研究テーマ

1. 高機能スピニックスデバイスの創製
2. 集積化マイクロ磁気デバイス・センサ
3. 生体内駆動用磁気マイクロロボット
4. 超高周波磁気計測・EMC計測
5. 磁気モーションキャプチャシステム

### 過去1年間の主な発表論文

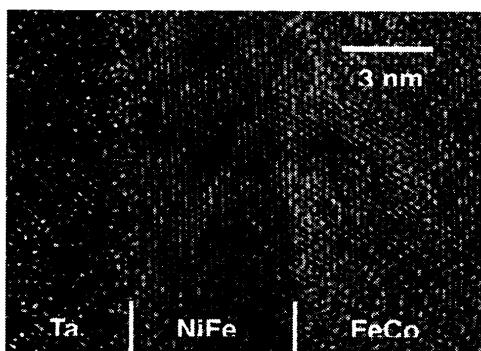
1. "Properties of High Resistivity CoPdAlO Film for Possibility of Application to RF Integrated Inductor," Taek-Soo Kim, Kenkichi Suezawa, Masahiro Yamaguchi, Ken-Ichi Arai, Yutaka Shimada, Chong-Oh Kim; IEEE Trans. Magn., vol.37, No.4, pp2255-2257 (2001).
2. "Swimming micro-machine driven by magnetic torque," K. Ishiyama, M. Sendoh, A. Yamazaki and K.I. Arai, Sensors and Actuators A: Physical, vol.91 No.1-2, pp. 141-144, (2001).
3. "Miniaturized High-Frequency Carrier-Type Thin-Film Magnetic Field Sensor with High Sensitivity," H. Kikuchi, N. Ajiro, M. Yamaguchi, K. I. Arai, M. Takezawa: IEEE Trans. Magn., vol.37, No.4, pp2042-2044 (2001).
4. "A High Frequency Carrier-Type Magnetic Field Sensor Using Carrier Suppressing Circuit," S. Yabukami, T.Suzuki, N. Ajiro, H. Kikuchi, M. Yamaguchi, K. I. Arai; IEEE Trans. Magn., vol.37, No.4, pp2019-2021 (2001).

5. "Wireless AC Magnetic Markers for Motion Capturing," M. Yamaguchi, N. Ajiro, S. Yabukami, K .I. Arai, A. Itagaki, S. Tsuji, N. Wako ; IEEE Trans. Magn., vol.37, No.4, pp2016-2018 (2001).
6. "High Sensitivity Permeability Measurements of Striped Films Obtained by Input Impedance," S. Yabukami, T. Uo, M. Yamaguchi, K. I. Arai, M. Takezawa; IEEE Trans. Magn., vol.37, No.4, pp2776-2778 (2001).

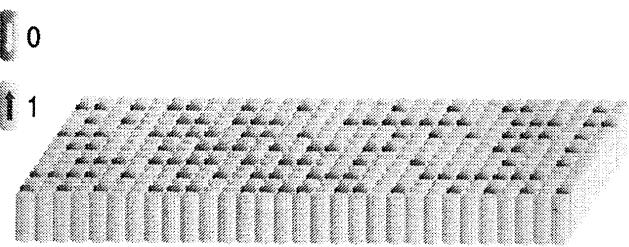
原著論文22件，国際会議口頭発表17件（内，招待講演2件）。

## 情報記録デバイス工学研究分野

### 磁性薄膜のナノスコピック物性の研究と その大容量磁気ストレージデバイスへの応用



ヘテロエピタキシャル成長により軟磁性能導出に成功した高密度記録ヘッド用高飽和磁化FeCo膜の高分解能断面TEM写真



微細磁性粒子に情報を蓄えるスピニックストレージ

情報ストレージの目標はその高記録密度化にある。最近では量産製品でも1平方インチ当たり50ギガビット（一平方ミクロン当たり77ビット）に近い記録面密度に達するドライブもあり、5年で30倍以上の早いペースを保って進歩している。これは大容量情報ストレージの旺盛な需要を背景にしており、さらなる高密度化・大容量化が強く求められている。これに応えるには、磁気ストレージデバイスの飛躍的な性能向上が必須であり、ナノスコピックレベルでの磁性薄膜物性の本質を踏まえた研究による新しいデバイス研究が必須である。本分野では垂直磁気記録方式を提案してその優れた高記録密度性を理論と実験を通して実証してきている。同時に、このためのデバイス研究も積極的に進め、高分解能単磁極ヘッドと高密度垂直媒体を用いて実際の記録再生特性を通じた研究成果を蓄積している。昨年には、日立製作所と秋田県高度技術研究所との共同研究により実用性の高い高密度垂直磁気記録のデモンстраーションを行った。これには本分野でのデバイス研究と記録理論の寄与が大きいと考えている。さらに高記録密度を目指して、最重要デバイスであるヘッドディスクを中心に幅広い情報ストレージの研究を行っている。

#### 1) 高分解能・高記録能力単磁極ヘッドの研究

本分野で提案した薄膜単磁極ヘッドの高性能化を続けている。今年度は、単磁極ヘッドの性能向上を目的とし、合金中で最も大きな飽和磁束密度を有するFeCo膜における軟磁性導出について検討し、ヘッドの試作と基礎特性の評価を行った。本所附属工場と協力して試作した超高真空スパッタ装置を用いた薄膜作製により、適切なシード層上にFeCo膜をヘテロエピタキシャル成長させることで、飽和磁束密度2.4Tのヘッド用軟磁性膜の実現に成功した。その薄膜を用いてバルクコイル励磁型の薄膜単磁極ヘッドを作製した結果、ヘッドの磁界出力が大きく増加しオーバーライ特徴が著しく改善されることを示した。

#### 2) 高分解能垂直記録メディアの研究

垂直媒体については、試作したパルス磁化率測定装置などの最先端解析装置を実験に供することにより、磁化の熱擾乱と媒体ノイズの低減について検討を行った。その結果、媒体ノイズの大きさは、活性化体積の大きさと粒間相互作用の大きさで

ほぼ決定されており、低ノイズ化には両者の低減が不可欠であることを実験的に示した。これは、今後の高密度媒体の設計指針となる重要な成果である。

### 3) 高密度垂直記録再生理論の研究

現在の国際的な目標である数百ギガビット毎平方インチを超える高密度磁気記録を垂直磁気記録で実現するために記録再生理論に基づいて検討を行った。その結果、媒体ノイズの低減によって高密度記録化が可能であり、これは記録媒体の磁気構造を微細化することで得られる見通しを得た。垂直磁気記録方式では現状の記録方式を逸脱することなく1平方インチ当たり200ギガビットの記録密度が可能であることを明らかにした。さらに、新たな方式を導入して1テラビット毎平方インチの超高密度記録を目指している。

#### 【職員】

- 教授 村岡裕明 (2000年より)
- 助手 渡辺 功
- 助手 島津武仁

#### 【教授プロフィール】

昭和56年東北大学大学院工学研究科電気及び通信工学専攻博士課程修了。同年松下通信工業（株）、平成3年電気通信研究所助手、平成5年同助教授、平成12年同教授。高密度磁気記録理論、磁気記録デバイス及び記録方式、情報ストレージ方式、等の研究・開発に従事。電子情報通信学会、映像メディア学会、日本応用磁気学会、IEEE、各会員。工学博士。IEEE Magnetics Society Education Committee, IEEE Magnetics Society Technical Committee各メンバー。

#### 【研究テーマ】

1. 高分解能・広帯域単磁極ヘッドの研究
2. 低ノイズ垂直磁気記録媒体の研究
3. 高密度薄膜媒体の熱磁気緩和に関する研究
4. 高密度磁気記録方式の研究
5. 磁性薄膜物性の研究

#### 【主な研究発表】

- (1) Hiroaki Muraoka, and Yoshihisa Nakamura, *J. Magn. Magn. Mater.*, **235**, pp.10-19, 2001. (Invited paper)
- (2) Y. Sonobe, D. Weller, Y. Ikeda, M. Schabes, K. Takano, G. Zeltzer, B.K. Yen, M.E. Best, S.J. Greaves, H. Murakawa, and Y. Nakamura, *IEEE Trans. Magn.*, **37**, pp.1667-1670, 2001.
- (3) Takehito Shimatsu, Hiroyuki Uwazumi, Hiroaki Muraoka, and Yoshihisa Nakamura, *J. Magn. Magn. Mater.*, **235**, pp.273-280, 2001. (Invited Paper)
- (4) Hisashi Takano, Yasuyuki Nishida, Astuko Kuroda, Hideki Sawaguchi, Yuzuru Hosoe, Takashi Kawabe, Hajime Aoi, Hiroaki Muraoka, Yoshihisa Nakamura, and Kazuhiro Ouchi, *J. Magn. Magn. Mater.*, **235**, pp.241-244, 2001. (Invited paper)
- (5) H. Katada, T. Shimatsu, I. Watanabe, H. Muraoka, Y. Nakamura and Y. Sugita, *IEEE Trans. Magn.*, **37**, pp.2334-2336, 2001.

## 光電変換デバイス工学研究分野

# 表面界面物性の研究と光電変換デバイスへの応用

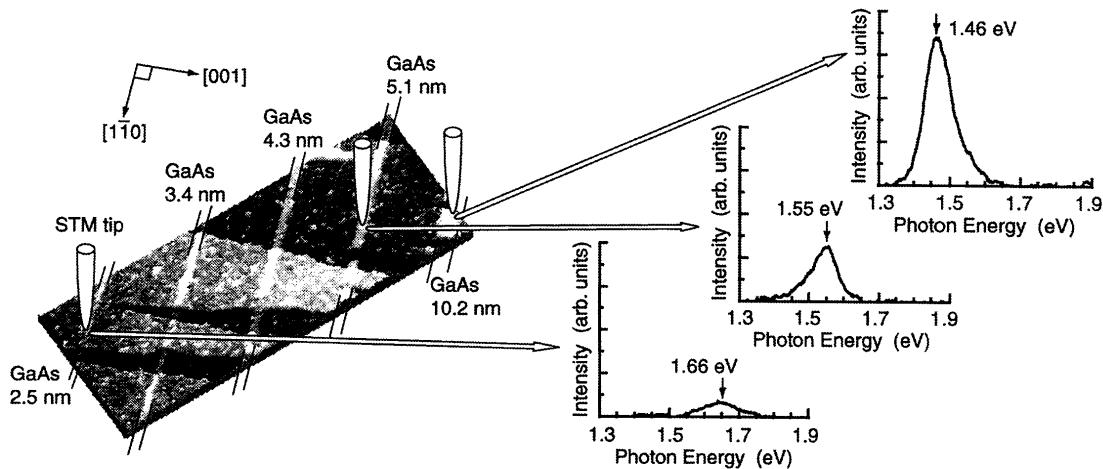


図1 AlGaAs/GaAs量子井戸劈開(110)面のSTM像( $200 \times 65 \text{ nm}^2$ )と個々の量子井戸層のSTM発光スペクトル

### 1. 分野の目標

固体表面における光と電子の相互作用を研究し、光電変換デバイスの基礎となる表面物性と固体表面で起こる物理・化学現象を探索することが本分野の現在の目標である。原子・分子レベルで表面の物理・化学現象を理解し、その結果を原子レベルで制御された機能性表面・界面および薄膜の作製、発光素子の開発、光エネルギー変換などに応用する。また表面超微細構造の物性を計測しそれを工学的に応用する方法を開発することも目標としている。

本分野では走査型トンネル顕微鏡(STM)の発光分光、レーザー・ラマン分光、フーリエ変換赤外吸収分光(FT-IR)、第二次高調波発生(SHG)、高分解能電子エネルギー損失分光(HREELS)などの測定手段を用い、表面・界面物性の研究を行っている。図1に井戸幅が異なる個々のAlGaAs/GaAs量子井戸層のSTM発光スペクトルの測定例を示す。

### 2. 過去1年間（2001年4月から2002年3月まで）の主な成果

#### 2.1 STMによる半導体中の点欠陥の同定

半導体中のドーパント原子や点欠陥は半導体デバイスの性能を左右する重要な要素の一つである。我々は、希薄磁性半導体として注目されているMn原子をドープしたGaAsの劈開(110)面のSTM像の測定を行い、原子スケールで個々のMn原子を同定した。その結果、STM像から見積もったMnアクセプター密度はホール測定から決定した正孔濃度とよい一致を示した。この結果は、用いた試料の成長温度(400°C)ではMn原子は電気的に活性なアクセプターとしてGaAsに取り込まれることを示唆している。

## 2.2 表面吸着分子からのSTM発光

清浄なAu(111)面上に約0.7分子層のC<sub>60</sub>分子を蒸着した試料を準備し、STM探針をAu露出領域とC<sub>60</sub>单分子アイランド上に固定してSTM発光スペクトルを計測した。C<sub>60</sub>单分子アイランド上にSTM探針を固定して計測したとき、明らかにAu露出領域の発光スペクトルと異なるスペクトルが観測された。この結果は分子固有の電子状態が寄与した発光成分がSTM発光スペクトル中に含まれることを示しており、STM発光スペクトルを計測することにより個々の表面吸着分子の同定が可能であることを示唆するものである。

## 2.3 液晶分子の光配向

直線偏光紫外光をポリイミド膜に照射すると偏光方向に平行に配向したポリイミド分子鎖が優先的に分解し、膜に異方性が誘起される。その膜上の液晶分子はポリイミド膜の異方性によって配向する。この液晶分子の配向機構を明らかにするために、ポリイミド膜表面とその膜上の液晶单分子層の分子配向相関を偏光赤外分光法によって調べた。その結果、ポリイミド分子鎖と液晶分子の面内配向秩序度に比例関係が成り立っていることがわかった。直線偏光紫外光照射されたポリイミド膜上の液晶单分子層の分子配向異方性は非常に小さく、ポリイミド膜表面とその膜上の液晶单分子層の分子配向相関を明らかにしたのは本研究が初めてである。

## 3. 職員名

教 授： 潮田 資勝（1985年より）  
助教授： 上原 洋一（1992年より）  
助 手： 坂本 謙二，鶴岡 徹

## 4. 潮田教授のプロフィール

潮田教授は、ラマン散乱によるポラリトンの研究でペンシルバニア大学大学院理学研究科で1969年に博士号を取得後、カリフォルニア大学アーバイン校理学部物理学科において助教授、準教授、教授を歴任した。この間ラマン散乱による固体表面励起の研究およびトンネル接合の発光機構の研究を進めた。1985年に東北大学に赴任し、現在はラマン散乱およびトンネル接合発光の研究に加えて、走査型トンネル顕微鏡の発光の研究、電子エネルギー損失分光法、第二次高調波発生法、赤外分光法などによる表面物性の研究を行っている。1996年にはアメリカ物理学会のフェローに選出された。今年度、第59期日本物理学会会長に選出された。

## 5. 過去1年間の発表論文、解説記事、著書

1. Superconducting Niobium Tip for Scanning Tunneling Microscope Light Emission Spectroscopy, Y. Uehara, T. Fujita, M. Iwami, and S. Ushioda, Rev. Sci. Instrum. **72**, no. 4, 2097-2099 (2001).
2. Influence of Molecular Structure on Anisotropic Photoinduced Decomposition of Polyimide Molecules, K. Usami, K. Sakamoto, and S. Ushioda, J. Appl. Phys. **89**, no. 10, 5339-5342 (2001).
3. Electron Energy Loss Spectra Showing the Effects of Surface Roughness and Electromagnetic Retardation--Theory and Experiment, Y. Uehara, Y. Suzuki, H. Komagata, T. Tsuruoka, and S. Ushioda, J. Phys. Soc. Jpn. **70**, no. 7, 2012-2018 (2001).
4. Cyclobutane Ring Cleavage of CBDA-ODA Polyimide Molecules Induced by Linearly Polarized UV Light, K. Usami, K. Sakamoto, and S. Ushioda, Mol. Cryst. Liq. Cryst. **368**, 453-460 (2001).
5. Effect of a Cleaning Treatment on the Orientational Distribution of Polyimide Backbone Structures in Rubbed Films and on the Pretilt Angle of Liquid Crystals, R. Arafune, K. Sakamoto, and S. Ushioda, Mol. Cryst. Liq. Cryst. **368**, 633-641 (2001).
6. Multiple-fiber Collection System for Scanning Tunneling Microscope Light Emission Spectroscopy, R. Arafune, K. Sakamoto, K. Meguro, M. Satoh, A. Arai, and S. Ushioda, Jpn. J. Appl. Phys. **40**, no. 9A, 5450-5453 (2001).
7. Identification of Electronic Transitions Localized at a Single Oxygen Atom Adsorbed on Cu(110)-(2×1) Surface, Y. Uehara, T. Matsumoto, and S. Ushioda, Solid State Commun. **119**, no. 12, 671-674 (2001).
8. Tip Shape Dependence of the Light Emission Efficiency for the Scanning Tunneling Microscope, Y. Uehara, Y.

- Suda, S. Ushioda, and K. Takeuchi, Appl. Phys. Lett. **79**, no. 11, 1718-1720 (2001).
9. Microscopic Identification of Dopant Atoms in Mn-doped GaAs layers, T. Tsuruoka, R. Tanimoto, N. Tachikawa, S. Ushioda, F. Matsukura, and H. Ohno, Solid State Commun. **121**, no. 2-3, 79-82 (2002).
10. Scanning Tunneling Microscope Light Emission Mechanism of Pb, Y. Uehara and S. Ushioda, Jpn. J. Appl. Phys. **41**, no. 1, 309-311 (2002).

他国際会議議事録 3 編, 解説記事 1 編。

## 電子量子デバイス工学研究分野

# 表面・界面反応の原子・分子レベル解析・制御と 分子・ナノデバイスの創製

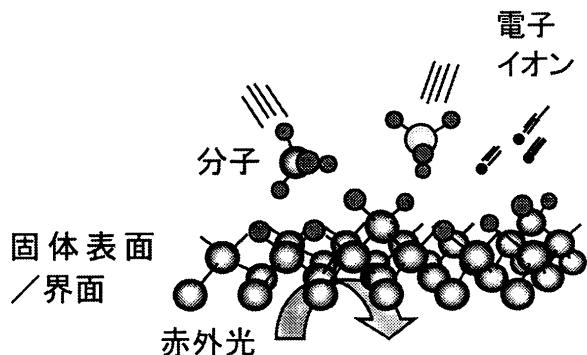


図1 光や電子を用いて固体表面の構造・電子状態・反応過程を原子・分子レベルで解析する。

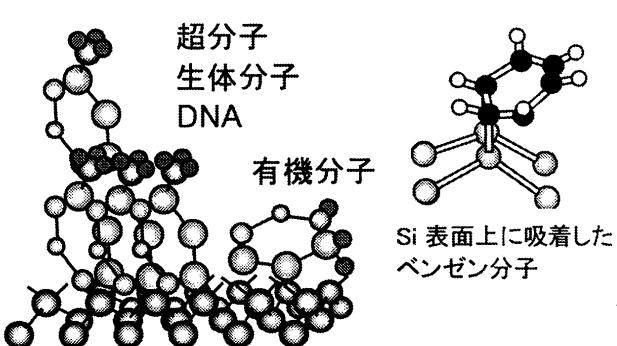


図2 固体表面上に分子やクラスターを規則的に配列・積層して、新機能分子・ナノデバイスを創製する。

### 1. 分野の目標

21世紀に向けて、高次機能を有する情報処理電子デバイスの開発が重要な研究テーマとなっている。その開発におけるキーテクノロジーの一つが、ナノスケールや分子スケールの微細構造構築、そしてその機能制御である。また、分子・ナノ構造創製のためには反応プロセスの原子・分子レベルでの制御と解析も必要不可欠である。原子・分子レベルで制御された反応で構築される分子ナノ構造体は、これまでにない新しい物性機能の発現が期待される。本分野では、構造規定された固体表面・界面での原子・分子レベル反応制御によってナノデバイス、分子デバイスを構築することを目標に、表面・界面反応のその場観察や反応制御法の研究を行っている。また、生体分子や高分子・クラスターも視野に入れた、新しい物性機能を有する分子薄膜電子材料や分子量子デバイスの研究開発にも取り組んでいる。本分野の主な研究テーマは、①半導体表面・界面の構造と機能の研究、②固体表面と分子の反応ダイナミクスの研究、③有機分子・クラスターを用いた分子エレクトロニクス、④機能性分子デバイス材料の形成と評価、⑤高感度表面分子センシング・システムの開発研究である。

### 2. 過去1年間の主な研究成果

(1) 有機高分子のシリコン表面における吸着状態・吸着過程の解明—Si表面に分子はどうのように吸着するか？

分子デバイスの創製には、デバイス製造プロセスを原子レベルで制御する必要がある。従来のシリコン半導体デバイスと超分子や有機分子との融合によって、新しい分子デバイスを創製することを目標に、Si表面における高分子の化学反応過程の解明を試みている。本研究分野で開発した、超高感度赤外分光解析システムを用いて、シリコン表面における一連の有機分子の吸着・熱分解反応を調べている。今年度はベンゼン分子の吸着過程を中心に調べた。C-H伸縮振動領域の赤外吸収スペクト

ルの測定と、第一原理計算による伸縮振動数の計算結果との比較から、ベンゼン分子の表面吸着の過程を詳細に分析し、新しい吸着状態の存在や、分子の表面吸着量（表面被覆率）によって吸着状態が変化することを見出した。現在、ペンタセンを始めとする有機半導体分子の吸着過程や、生体高分子の吸着過程の解明を行っている。

(2) Si電極固液界面反応を用いたナノ構造の構築－溶液中でSi表面を加工できないか？また、溶液中で表面はどのような状態にあるか？

Si表面にナノ構造を形成する簡便な方法の一つが、表面を電気化学エッチングすることである。この電気化学的ナノ構造構築法を確立するために、エッチング過程の原子レベルの解明を試みている。前年度は比較的低電圧を印加した場合のエッチング過程を調べ、最表面のシリコン原子が次々と剥離し、表面が多孔質化していく様子を観察した。今年度は、自己組織化機構でナノスケールの孔を創製する目的で、高電圧を印加した場合の電気化学エッチング過程を調べた。電極電流を一定に保ちながらエッチングを行うと、電極電圧の振動現象が観察されるが、そのときの電極表面（固液界面）の化学状態の観察に成功し、振動現象は酸化膜が局所的にエッチングされることを明らかにした。現在、この結果をもとに規則的なナノ孔の創製のための研究を続けている。

(3) シリコン表面を利用した高感度生体分子センサーの開発－Si表面を用いて生体分子を識別できないか？

赤外線を溶液中に置かれたSiウェーハの中を多重内部反射させて赤外吸収分光を行うと、高感度溶液モニターになる。Siウェハー表面に分子認識機能を持たせれば、高感度の分子認識センサーが実現し、たとえばDNA遺伝情報解析などのバイオテクノロジーへ応用できる。その実現のために、Si表面上に分子認識機能を持つ高分子・超分子の固定化法の研究を行っている。今年度は、脂質分子の固定化が可能になり、赤外分光法による分子認識実験を開始した。

### 3. 職員

教 授 庭野 道夫 (1998年より)

助教授 石井 久夫 (2002年より)

助 手 木村 康男 (1999年より)

### 4. 教授のプロフィール

昭和55年東北大学大学院理学研究科博士課程修了。理学博士。昭55宮城教育大学助手、昭61東北大学助手（電気通信研究所）、昭63助教授、平10教授。これまで固体光物性、半導体表面物性、半導体材料工学、表面化学の研究に従事。最近は、赤外反射分光を用いた表面物性の研究や分子デバイスに力を注いでいる。日本物理学会、応用物理学会、日本放射光学会、電気学会などの会員。

### 5. 過去1年間の主な研究発表論文

- [1] Yasuo Kimura, Yusuke Kondo, Michio Niwano: "Initial stages of porous Si formation on Si surfaces investigated by infrared spectroscopy," Appl. Surf. Sci. Vol.175/176 (2001) pp.157-162.
- [2] Masanori Shinohara, Yasuo Kimura, Daisei Shoji and Michio Niwano: "Infrared study of carbon incorporation during chemical vapor deposition of SiC using methylsilanes," Appl. Sur. Sci. Vol.175-176 (2001) pp.591-596.
- [3] N. Kamakura, Akio Seyama, M. Shinohara, Y. Akama, and M. Niwano: "Silane adsorption Processes on SiGe surface (in Japanese)," Trans. the IEICE, C, Vol.J84-C, No.9 (2001) pp. 883-887.
- [4] Masayasu Nishizawa, Tetsuji Yasuda, Satoshi Yamazaki, Masanori Shinohara, Nozomu Kamakura, Yasuo Kimura, and Michio Niwano: "Chlorosilane adsorption on clean Si surfaces: Scanning tunneling microscopy and Fourier-transform infrared adsorption spectroscopy studies," J. Vac. Sci. Technol. A19 (2001) pp.2001-2006.
- [5] Masanori Shinohara, Akio Seyama, Yasuo Kimura, and Michio Niwano: "Formation and decomposition of Si hydrides during adsorption of Si<sub>2</sub>H<sub>6</sub> onto Si(100)(2x1)," Phys. Rev. B65 (2002) 075319-1.

## 複合機能材料研究分野

# システムLSI多機能化新デバイス構造に関する研究

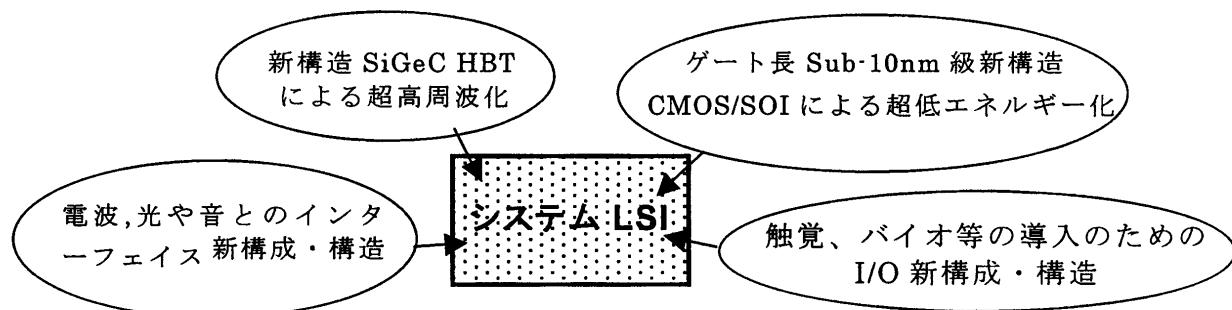


図1. システムLSI多機能化概念図

### <本研究分野の研究目標>

将来のシステムLSIでは多機能化が重要なポイントである。多機能化は従来の高集積化による機能の増加に加え、無線（超高周波）、光、音をはじめ触覚、バイオ等の機能とも融合された新規な機能のものに進化していくものと思われる。人間とシステムLSIとのインターフェイスの機能をシステムLSIにいかなる構成で組み込んでいくか、大きな課題である。本研究では複合機能材料等（SiGe等）を用いて人間とシステムLSIとのインターフェイスの機能をシステムLSIに組み込む多機能化新デバイス構造について検討する。

### <本研究分野の研究成果>

考案した新構造SiGeC HBTの高周波特性は $f_T > 200\text{GHz}$ が可能であることをデバイスシミュレーションにより予測した。試作を通してさらに構造をアドバンスした。従来構造より平面的なオン電流が数倍大きく、高性能化、高集積化に有利で応用範囲の広い新MOS構造と製法を考案し、権利化した。今後、試作により検証する。将来的携帯情報端末等のキイボードフリー化を目指し、指動作文字入力システム用システムLSIの検知部の基本検討を進め、手首の筋電位の検知で指動作を識別できる可能性を明らかにした。

**<職員>** 客員教授 酒井 徹志（2000年4月より）

### <酒井徹志客員教授のプロフィール>

1942年長野県生まれ。1966年北海道大学工学部電子工学科卒業。同年4月日本電信電話公社電気通信研究所入社。1983年同社武蔵野研究所高速度集積研究室長。1987年NTT LSI研究所微細加工技術研究部長1991年同所主席研究員。1996年NEL社LSI事業本部統括本部長。1999年東京工業大学大学院総合理工学研究科教授。2000年東北大学電気通信研究所客員教授（併任）。超高速Si LSIおよび超低エネルギーCMOS/SOI LSIデバイス・プロセス技術の研究に従事。昭和62年渡邊記念奨励賞。平成2年全国発明表彰内閣総理大臣賞。平成3年研究功績者表彰科学技術庁長官賞。平成3年電子情報通信学会業績賞。平成6年財團法人通信協会前島賞。平成8年IEEE/EDSよりJ. J. Ebers Award受賞。平成9年国際会議ISSDMのSSDM Award。平成9年IEEE/BCTMでBJT 50th Anniversary Award。

### <主な研究発表（2001年度）>

- (1) 酒井徹志、室田淳一、大見俊一郎、櫻庭政夫，“電界効果トランジスタ及びその製造方法”，特願2002-130853

### 3. 3 コヒーレントウェーブ工学研究部門の目標と成果

コヒーレントウェーブ工学研究部門は、バリアフリーな電気通信技術の構築を目標に、その根幹を成す電波、光波、超音波の広帯域にわたる発生、伝送、処理の研究を行うことを目的としている。具体的には、21世紀の高速・大容量通信時代に備えて、電波、光波による超大容量情報通信の研究開発、およびミリ波・サブミリ波の高度利用に関する技術を追求する。また、バリアフリーの無線通信を実現するために、高速・高効率信号処理技術に関わる研究、音響デバイスの研究、さらに良好な電磁環境の構築に関わる研究を行う。

本研究部門は、これらの研究目標を遂行するため、電磁波関連の研究を主とする2研究分野、光波関連の2研究分野、ワイヤレス通信、音響デバイス及び通信環境に関する各1研究分野、量子波デバイスの基盤研究を目指す1客員研究分野、さらに、超高密度・高速知能システム実験施設の1部によって構成される。平成13年度の研究活動の概要は分野毎に別途記すが、その概要は以下のとおりである。

#### (1) 極限能動デバイス研究分野

(目標) 電磁波資源の高度利用を目的として、マイクロ波から遠赤外帯域の小型、高効率の電磁波源を開発する。このため、半導体と真空デバイスの機能融合により電子デバイスの高機能化を目指す真空マイクロ・ナノエレクトロニクスを開拓する。

(成果) 短波長帯電磁波の高度利用に向けて、ペニオトロン及びジャイロトロンによるミリ波帯電磁波の高効率、単一モード広帯域発生に成功した。また、真空マイクロ・ナノエレクトロニクスに関しては、化合物半導体のガン効果に基づく変調電子ビームの発生、電界放射マイクロエミッタを用いた可視域スミス・パーセル光の高効率発生、ナノ構造微結晶冷陰極の開発など新分野の研究に進展を見た。

#### (2) テラヘルツ工学研究分野

(目標) 電波と光の中間に位置する短ミリ波-テラヘルツ波領域の技術を開拓するために、検出器、発振器、計測システム等の研究・開発を行っている。

(成果) 短ミリ波伝搬の特長を活用した計測技術として、2種類のイメージング技術（カメラ及び近接場顕微鏡方式）について研究を進めている。カメラ方式に関しては、常温物体の撮像に成功し、現在防災機器等への応用を目的として各種物体の等価放射温度測定を行っている。顕微鏡に関しては、半導体中フォトキャリアの観測に成功し、現在誘電体材料の精密測定を目的として研究・開発を行っている。

#### (3) 応用量子光学研究分野

(目標) レーザおよび非線形光学技術を用いて光波からミリ波に至るコヒーレント電磁波の発生・制御技術を確立し「テラフォトニクス」分野の創成を目指す。また、独自な周波数シフト帰還型レーザの高機能化により地球環境光センシングネットワークを構築する。

(成果)  $\text{LiNbO}_3$  ドメイン超格子および有機DAST結晶を用いて波長可変コヒーレントテラヘルツ(THz)波の発生に成功した。また、周波数シフト帰還型レーザを用いて温度、水圧の光センシングの原理を実証した。

#### (4) 超高速光通信分野

(目標) 光・量子エレクトロニクスおよび光通信工学をもとにして、超高速光通信

の基盤となる光パルス発生・伝送、ソリトン、超高速レーザ、光信号処理の研究を行い、21世紀のグローバルな超高速光ネットワークの構築を目指す。

(成果) 分散マネージソリトン伝送について研究を進め、光ファイバの分散の許容値とパワーマージンが従来に比べて大幅に改善できることを示した。今後超高速化を目指す。また、フェムト秒パルスを用いて1.28 Tbit/s OTDM 伝送を世界で初めて実現している。最近ではフォトニック結晶ファイバの研究を開始した。

#### (5) フォノンデバイス工学研究分野

(目標) 強誘電体、常誘電体、圧電体材料など誘電材料一般の評価・開発及びそれらを用いた高機能通信デバイスや記憶素子の研究を行う。

(成果) サブナノメータ分解能を有する走査型非線形誘電率顕微鏡の開発と高次非線形誘電率顕微鏡の開発、及び1 Tbit/inch<sup>2</sup>の面密度をもつ誘電体記録の基礎実験に成功するなど、ますます高度化する情報処理技術に対応するための誘電体材料とそのデバイス開発に大きな展望を与えた。今後は次世代超高密度誘電体プロープデータストレージの実現、原子分解能を有する走査型非線形誘電率顕微鏡の実現、及びナノドメインエンジニアリングによる高度情報通信素子の開発を行う。

#### (6) 先端ワイヤレス通信技術研究分野

(目標) 世界中どこにいても、高速にすべての情報を無線で手に入れることが可能となる「ユビキタス・ネットワーク」を実現する。

(成果) コンシューマ向けブロードバンド通信の実現を目標に SS-CDMA フレキシブルワイヤレスネットワークを提案している。高集積化・低消費電力化を可能とする、デジタル・アナログ混載ワンチップモジュール LSI の開発を行った。今後はこれらに加え、異種材料デバイスを高周波帯までシームレスに接続できるフリップチップ実装技術、RF Si-CMOS パワーアンプ技術の研究を行う。

#### (7) 通信環境工学研究分野

(目標) 様々な電子機器から放射される不要電磁波の測定法を研究し国際規格化に務める。また、不要電磁波の特性を解明し、高速大容量無線通信に及ぼす影響を解明し、その対策を検討する。

(成果) VHF/UHF帯電磁波の測定用アンテナの精密校正法に関する研究を行い、新たな校正法を開発した。また、EMIフェライトクランプの挿入損測定法の研究を行った。さらに、Bluetooth等の無線LANに障害を与える電子レンジの漏洩電磁波に関するモデル化にも成功し、これを用いた通信障害の研究を行っている。

#### (8) 量子波動光学研究分野

(目標) 電気デバイスの速度限界を越える周波数／ビットレート領域の開拓を目指し、单一走行キャリアフォトダイオード(UTC-PD)の高速性／高出力性を応用した超高速光電子機能デバイスを開発する。

(成果) 波長の異なる二つのレーザ光のビートを利用したミリ／サブミリ波帯発生に関してはアンテナ集積形及びハネカム形を検討し、100-900 GHzの出力を観測することに成功した。光ゲートは、UTC-PDで電界吸収光変調器を直接駆動するタイプのものであり、200 Gbit/s相当の光信号の分離動作(世界最高速)に成功した。

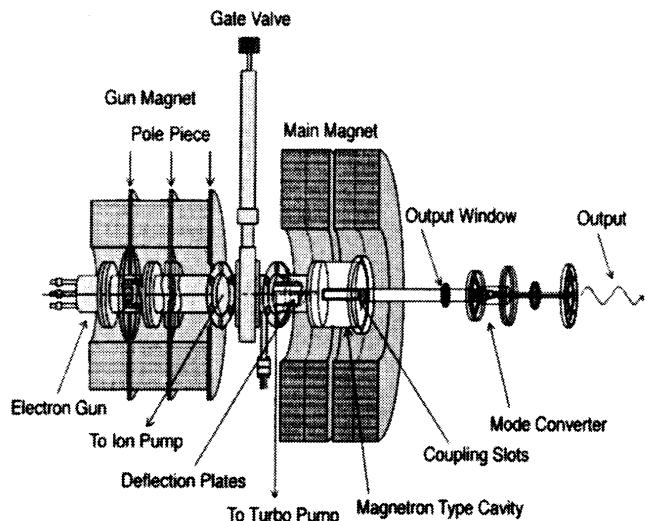
#### (9) 超高密度・高速知能システム実験施設 超高速電子デバイス部

(目標) 電荷とスピンの両方を利用するスピントロニクス技術、半導体量子構造におけるテラヘルツ光発生、などの極微細波動基盤技術を構築する。

(成果) (Ga,Mn)Asなど強磁性半導体の創生に成功し、半導体へのスピン注入や磁性の電界制御などを実証した。これらを不揮発性メモリなどのデバイスへ応用する研究を進めている。また、半導体中の電子や核のスピンコレラント制御を実証し、量子情報処理への展開を進めている。加えてInAs/GaSb量子カスケード構造で初めてサブバンド間遷移THz発光素子を実現した。現在レーザ発振を目指している。

## 極限能動デバイス研究分野

### 真空エレクトロニクスとその工学的応用の研究



ペニオトロンの構成図



シリコンティップ上へ成長したダイヤモンドエミッタ

情報通信を始めとするエレクトロニクス分野における電子デバイスに対する要求は、周波数、出力、効率、耐環境性等の点で年々ますます高くなっています。要求仕様は半導体デバイスの動作限界を超える領域に踏み込んでいる。

本研究分野では、上記の限界を破るべく真空電子デバイスの研究開発に取り組んでいます。真空電子デバイスでは動作媒質として真空を用いるために、運動電子の高速性から本質的に高速動作が可能で、耐環境性にも優れる長所を有しています。さらに物質中を運動する電子と異なり、真空電子は媒質中でのエネルギー損失を伴わないために、高効率の動作が可能である。本研究分野において、これらの特長を生かした真空電子デバイスの開発を目指して、具体的にはサイクロトロン高速波管および真空マイクロエレクトロニクスデバイスの開発研究を行っている。以下に本年度の成果について述べる。

サイクロトロン高速波管の高性能化については、ペニオトロン管のサイクロトロン2次高調波動作において、リッジ付き平行二線型共振器構造を用いてTEMモードによる自己共鳴動作に成功した。これによって、サイクロトロン高次高調波においても自己共鳴動作による高効率化が可能であることが示された。また、ペニオトロンの高周波数化を目指してサイクロトロン17次高調波および27次高調波動作による発振管の開発研究を進めており、高次高調波動作に必要な微細リッジ構造を有するマグネットロン形空腔共振器の試作を行った。一方、ジャイロトロンの広帯域化に取り組み、Eバンド帯(60~90GHz)において長尺円形空腔共振器の高次縦モードを用いることにより、60GHzから70GHzの範囲において、円形TE01单一出力モードによるステップチューナブル動作に初めて成功した。これによって、ミリ波帯域においても広帯域の大出力電磁波源が実現可能であることが示された。

真空マイクロエレクトロニクス用微小電子源の研究においては、小型、中電力、

高効率のマイクロ波、ミリ波帯電磁波源の開発を目指し、電子源から直接マイクロ波、ミリ波帯領域で変調電子ビームを発生できるGaAsのガン効果を用いた微小電子源の開発を行っている。ダイヤモンドやカーボンナノチューブ（CNT）などの炭素系陰極は、安定動作、低電圧駆動、大面積成膜、低価格が可能な電子源として注目されている。電子源の高機能化と電子放射機構の解明のため、単1のSiティップ上に成長した単結晶ダイヤモンド粒子からなるエミッタの開発を行い、ダイヤモンドの電子放射機構を明らかにした。その成果をもとに低駆動電圧、高安定、低発散角を持つ新しい平面型電子源の開発を行った。シリコン電子源の電子放射機構の解明を測るため、ナノサイズのギャップを持つ横型シリコン電子源を作成し、透過型電子顕微鏡による電子放射のその場観察を行った。製作したシリコン電子源は1ティップでmA以上の従来に報告のない高い放射電流を示し、ナノサイズのギャップや先端を持つ電子源の先端は超伝導に勝る電流密度を駆動できることがわかった。

微小電子源による小型自由電子レーザの実現を目指して、微小電子源から放射される低エネルギービーム(10 – 40keV)と回折格子を用いて、スミスパーセル効果による可視光放射実験を行い、微小電子源のスミスパーセル効果による可視光放射を世界で初めて観測した。

#### <職員>

教授 横尾 邦義 (1993年より)  
 助教授 三村 秀典 (1996年より)  
 助手 佐藤 信之  
 技官 寒河江克巳

#### <教授の研究歴>

昭和37年静岡大学工学部電子工学科卒業、昭和46年東北大学大学院工学研究科博士課程修了。東北大学助手、助教授を経て、現在電気通信研究所教授。この間、マイクロ波帯電子ビームデバイス、半導体デバイス、真空マイクロエレクトロニクスデバイスの開発研究に従事。電子情報通信学会、電気学会、応用物理学会、IEEE会員。

#### <主な研究発表2001年度>

- 佐藤信之、蒲原理水、寒河江克巳、横尾邦義，“二重リッジ付き平行二線導波路を用いた自己共鳴ペニオトロンの開発”，電子情報通信学会技術研究報告、ED2001-168, 2001.
- V. Ichizli, H. Hartnagel, H. Mimura, H. Shimawaki and K. Yokoo, “Field emission from porous (100) GaP with modified morphology”, App. Phys. Lett. (2001) 4016-4019.
- K. Yokoo, K. Okamura, H. Hasegawa, H. Mimura, O. Yilmazoglu, K. Mutamba, H. Hartnagel, H. Ishizuka, and Y. Kawamura, “Experiments of microwave and optical wave radiation using field emission micro cathode”, 8th International Symp. Microwave and Optical Technology, June 20-24, 2001, Canada.
- H. Ishizuka, K. Kawamura, K. Yokoo, H. Shimawaki, and A. Hosono, “Smith-Purcell experiment utilizing a field-emitter array cathode: measurements of radiation”, Nuc. Inst. and Methods in Physics Research, A 475 (2001) 593-598.
- H. Mimura, O. Yilmazoglu, H. Shimawaki, K. Yokoo, K. Mutamba and H. Hartnagel, “Emission characteristics of a gallium arsenide wedge emitter monolithically fabricated with an air bridge and a cantilever anode”, Tech. Dig. 14th Inter. Vacuum Microelectronics Conf., Davis, 2001, p.129-130.
- G. Hashiguchi, K. Kakushima, J. Endo, Y. Wada, H. Mimura, K. Yokoo and H. Fujita, “Emission characteristics and in-situ TEM observation of Si lateral field emitters”, Tech. Dig. 14th Inter. Vacuum Microelectronics Conf., Davis, 2001, p.237-238.
- O. Yilmazoglu, H. Mimura, K. Mutamba, H. Hartnagel, H. Shimawaki, and K. Yokoo, “Emission behavior of micromachined vertical field-emitter with cantilever structure”, Tech. Dig. 3rd European Field Emission Workshop, Alicante, 2001.
- O. Yilmazoglu, H. Mimura, K. Mutamba, H. Hartnagel, K. Okamura, H. Shimawaki, and K. Yokoo, “Generation of modulation beam with GaAs field emitter structures”, 2nd IEEE Inter. Vacuum Electronics Conf., 2-4 April, 2001, Noordwijk, The Netherlands.
- O. Yilmazoglu, H. Mimura, K. Mutamba, H. Hartnagel, K. Okamura, H. Shimawaki, and K. Yokoo, “Generation of a bunched electron beam by field-emitter structures”, Display and Vacuum Electronics 2001, 2-3 May, 2001, Garmisch-Partenkirchen, Germany.

## テラヘルツ工学研究分野

# ミリ波、サブミリ波、テラヘルツ帯におけるデバイス および計測システムの研究開発

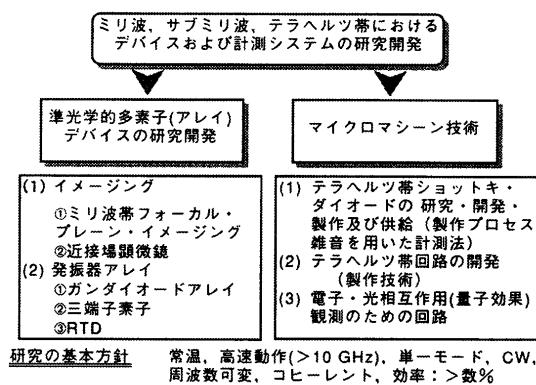
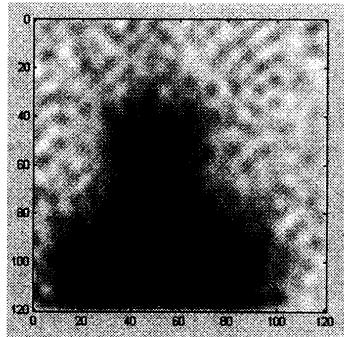


図1 テラヘルツ工学研究分野のアウトライン



(左：ミリ波による人物の画像、右：対応する可視光画像)

図2 ミリ波画像の例

電磁波のスペクトラムのうち、ミリ波からテラヘルツ帯（波長ではサブミリ波帯）にわたる領域は、電波と光との境界に位置している。電波と光の両者が共に開発が進み、現在の情報化社会で重要な役割を担っているのに比べ、この領域、特にテラヘルツ帯の技術は、その実用化技術の開発が格段に遅れている。しかし、近年の情報通信インフラの整備推進に見られるように、将来の高度情報化社会に向けて周波数資源は益々その重要性を増してきている。また、新機能材料の評価、地球環境計測、あるいはプラズマ計測等の諸分野においても、テラヘルツ領域の技術開発が強く望まれている。テラヘルツ工学研究分野では、この領域において、実用的な検出器、発振器、計測システム等種々の技術を開発し、新しい電磁波スペクトラムを開拓するための研究を行っている。(図1)

以下に本年度の主な研究成果について述べる。

### 《ミリ波帯イメージング技術の研究》

1. フォーカル・プレーン・イメージング：パッシブ・モードのイメージングを行うために、これまで研究・開発を行ってきた光学系、アンテナ系、ミリ波低雑音増幅器、ミリ波検出回路、機械的スキャニング装置等の各部分を総合し、35GHzにおいて常温物体のイメージングに成功した。対象物体としては、100~200m先の建造物、木、背景の空、人体などであり、さらにミリ波伝搬の特異性を示すために行ったボール紙で隠された人体のイメージングにも成功した。図2はミリ波でみた人物とその可視光写真との比較を示したものである。光学系レンズの直径と波長とで決定される回折限界までの分解能が得られている。またスペックル、グリントなどの効果が現れていないが、これはパッシブ・イメージング技術の実用上大きな利点である。さらにミリ波像に関して、受信ミリ波強度と物体の等価放射温度との関係を明らかに出来たので、今後各種物体の等価放射温度を測定していく予定であるが、これはこれからパッシブ・イメージング技術に対して大きな基礎データを与えるものである。

2. 近接場顕微鏡：通常のイメージング技術では、その分解能は、光学系の回折により制限され波長オーダーになる。一方、最近光領域にて活発な研究が行われている

近接場顕微鏡では、その分解能はプローブの形状により決定され、波長よりも十分に小さくすることが可能である。我々は導波管端面のスリット構造を用いる新型プローブを提案している。本プローブは、広帯域で高感度の計測が可能、固定した偏波方向で物体を観測可能という特長を有している。本年度はまず、取得画像の定量的評価に関して、観測対象である平面物体上の表面波に起因する測定値の揺らぎを低減することを目的とし、物体側の構成の改善を実施した。物体を無反射コーティングを施した半球レンズ状の台に置くことにより、不要な測定信号の揺らぎを0.3%までに低減することを可能とした。本揺らぎは、物体の誘電率分布を分解能0.4%で観測可能なことを示すものである。さらにプローブと物体との相互作用を記述する等価回路を考案し、本等価回路の有効性を実験的に検証することに成功した。

《発振器アレイの研究》短ミリ波、サブミリ波、テラヘルツ帯技術を開発するに際して、コヒーレントで同調可能な発振器の開発は不可欠である。この領域の固体素子は、いずれも出力が小さく実用的なものからは程遠い。発振器アレイを用いたコヒーレントな電力合成の研究は、固体素子のこの欠点を克服するものである。本年度は、導波管アレイを用いた電力合成器を開発し、60~100GHz帯において合成效率80%を達成可能にする合成器設計法を確立した。

《光と電子との相互作用に関する基礎研究》クライストロン等電子ビーム装置のCW動作の高周波限界は、量子効果に制限されてテラヘルツ帯にあるとされている。本研究は、この理論的な予想を実験によって検証するために計画されたもので、可視光 ( $h\nu=1.6\text{eV}$ ) と相互作用した電子ビームのエネルギーを精密に測定することを目的としている。本年度は、可視光領域における実験の予備段階として、赤外領域 ( $10.6\mu\text{m}$ ) において光と電子ビームとの相互作用動作を実験的に調べ、光近接場による電子変調理論の正当性を検証することに成功した。

**〈職員〉** 教授 水野皓司 (1984年より)  
 助教授 襄 鐘石 (1992年より)  
 助教授 荏戸立夫 (2000年より)  
 助手 石川 亮 (2001年より)

#### 〈水野皓司教授のプロフィール〉

昭38東北大・工・電子卒。昭43同大学院博士課程了。工博。東北大助手（昭43）、助教授（昭47）を経て、昭59教授（電気通信研究所）。昭47ロンドン大客員研究員、平成2カリフォルニア工科大、ロンドン大客員教授。平成2より平成10まで理化学研究所（フォトダイナミクス研究センター）チームリーダを兼務。昭59科学計測振興会賞受賞、平成5 IEEEフェロー、平成10 K. J. Button賞受賞。

#### 〈研究テーマ〉

1. ミリ波帯イメージング技術の研究
2. 発振器アレイの研究
3. ショットキ・ダイオードの開発
4. 光と電子との相互作用に関する基礎研究
5. マイクロマシーン技術を用いたミリ波、サブミリ波帯素子の製作

#### 〈主な研究発表〉

- [1] 水野皓司, “マイクロ波・ミリ波・サブミリ波帯のマイクロマシン応用技術,” 電気学会論文誌E, vol. 121-E, no. 11, pp. 585-588, 2001.
- [2] J. Bae, M. Fujita, and K. Mizuno, “A W-Band Overmoded-Waveguide Oscillator with Gunn Diodes,” IEEE Trans. Microwave Theory Tech., vol. 49, no. 12, pp. 2554-2559, 2001.
- [3] T. Nozokido, J. Bae, and K. Mizuno, “Scanning Near-Field Millimeter-Wave Microscopy Using a Metal Slit as a Scanning Probe,” IEEE Trans. Microwave Theory Tech., vol. 49, no. 3, pp. 491-499, 2001.
- [4] R. Ishikawa, J. Bae, and K. Mizuno, “Energy Modulation of Nonrelativistic Electrons in an Optical Near Field on a Metal Microslit,” J. Appl. Phys., vol. 89, no. 7, pp. 4065-4069, 2001.

## 応用量子光学研究分野

# 多次元高機能コヒーレント光源の創出と その応用に関する研究

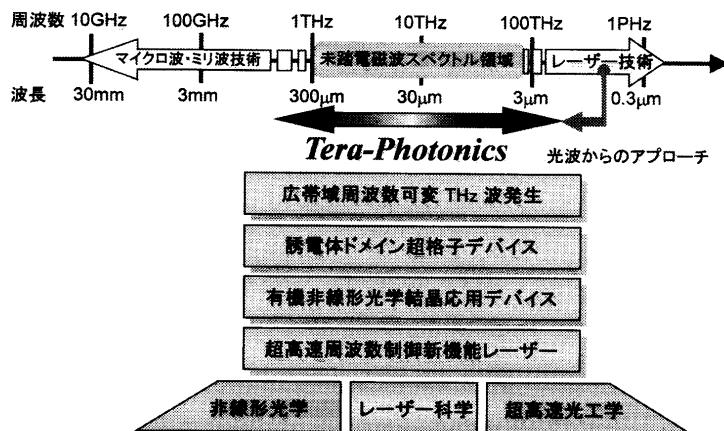


図1 レーザー制御技術による未踏周波数領域の開拓

応用量子光学研究分野では、強誘電体、半導体、有機の各種非線形光学材料に対するミクロな構造制御や、レーザー発振動作に対する高度な時間的空間的制御により、光波からテラヘルツ波に至る広範なコヒーレント波の発生を行うとともに、その検出・制御までの一貫した研究を推進しており、その知見と成果に基づいた新たな科学技術分野であるテラフォトニクスの確立と体系化を目指している。

### 《誘電体ドメイン制御非線形光学》

周期ドメイン反転誘電体結晶を用いた擬似位相整合法は、高効率な波長変換が可能な第二世代非線形光学デバイスへのキーテクノロジーとして急速に技術革新が進んでいる。我々は、世界に先駆けてドメイン制御非線形光学デバイスの研究を行っており、これまでにLiNbO<sub>3</sub>, MgO:LiNbO<sub>3</sub>, LiTaO<sub>3</sub>等の強誘電体結晶においてデューティー比が1:1に制御されたドメイン周期構造の作製法を確立し、高効率で広帯域な非線形光波長変換を実現している。結晶厚が1~2mmの強誘電体結晶に対して周期分極反転に成功し、世界最高クラスの高出力(6.6mJ)を実現した。またドメイン周期構造に位相変調を加えた多波長発振モノリシック光パラメトリック発振(OPO)デバイスをデザイン・製作して動作確認を行い、フーリエ限界に迫る狭スペクトル化制御にも成功した。

### 《非線形光学効果を用いた周波数可変THz波発生と応用》

光波と電波の境界にあるテラヘルツ(THz)領域は、未開拓の電磁波スペクトル領域であり、分子科学、物性物理学、生命科学等において新たな現象の発見をもたらす可能性がきわめて高く、また環境計測や医療、産業応用等においても幅広い展開が期待される。我々はレーザー励起パラメトリック発振により、ピークパワーがmWクラスの周波数可変コヒーレントTHz波発生を実現している。周期分極反転LiNbO<sub>3</sub>結晶を用いた表面放射型差周波混合を新たに検討し、初めてこの方式による周波数可変コヒーレントTHz波発生を確認した。また有機結晶DAST(4-dimethylamino-N-methyl-4-stilbazolium tosylate)を用いた差周波混合により、0.2~10 THzにおよぶ超広

帯域の周波数可変性コヒーレントTHz波発生を実現した。さらに、これらのTHz波光源をベースとするTHz分光システムを構築し、半導体をはじめとする固体物質や生体高分子等のTHz分光計測への応用を開始した。さらに、生体物質や固体中のTHz帯フォノンの光波によるセンシングを目的として、これらの物質中で低損失な近赤外OPOをベースとする非線形ラマン分光システムの構築を開始し、その基礎動作特性の確認・評価を行った。

### 《有機非線形結晶DASTの育成と高周波デバイス応用》

有機非線形光学結晶DASTは高い非線形光学係数と電気光学定数を有し、高効率な高周波発生・検出デバイスの実現が可能である。まず導電率測定に基づく最適育成プロセス技術を開発し、大型で高品質なDAST結晶を再現性よく得ることに成功した。また、有機結晶に対して光学レベルの使用に耐えうる高精度な表面処理や加工を行うことは従来非常に困難であったが、レーザーアブレーションを用いた高品質な加工・処理技術を開発し、ナノスケールの平坦度をもつ結晶加工を実現した。さらに光整流効果および電気光学効果に基づいて光を高速変調することにより高周波電界の発生・検出に成功し、DAST結晶をキーとするミリ波・THz波をサブキャリアとする光伝送システムの基礎技術を確立した。

### 《周波数シフト帰還型レーザー》

周波数シフト帰還型(FSF)レーザーは、共振器内に挿入した音響光学素子により光波の周波数をシフトさせてレーザー媒質に帰還させるタイプのレーザーであり、我々が独自に開発・動作機構の解明を進めてきた。この超高速に周波数チャープするFSFレーザーを周波数ドメインの光距離計測に応用すれば非常に高い距離計測精度とワイドなダイナミックレンジを同時に達成できる。モードロックFSFファイバーレーザーでは光学長150kmの光ファイバーを分解能40mmで測定することに成功した。さらに高速光通信伝送網で問題となる通信用光ファイバーの波長分散(GVD)や偏波モード分散(PMD)計測、大気屈折率変化を利用した地球温暖化現象の計測、遠隔圧力センサと組み合わせた津波計測ネットワーク等の応用を行い、情報通信、環境計測、自然災害計測において有力なツールとなりうることを示した。

#### 職員

教 授（兼任）伊藤 弘昌（1993/1～）  
 教 授 横山 弘之（2002/4～）  
 助教授 谷内 哲夫（1996/1～）  
 助 手 四方 潤一, 孫永睦  
 技 官 今野 勇治, 田久 長一  
 秘 書 溪井亜紀子

#### 伊藤弘昌教授のプロフィール

1966年東北大学工学部通信工学科卒、1972年同大学院工学研究科電子工学専攻博士課程修了。工学博士。同大学電気通信研究所助手、助教授を経て1993年より教授。現在、同大学未来科学技術センター(NICHe)教授、センター長。この間、1975～1976年に日本学術振興会派遣によるスタンフォード大学客員研究員。1998年より理化学研究所フォトダイナミクス研究センターのチームリーダーを兼務。レーザーおよび非線形光学とその応用研究に従事。1971年米澤記念学術奨励賞、1989年電子情報通信学会論文賞、2000年レーザー学会論文賞など各受賞。電気情報通信学会ES会長、レーザー学会東北支部長、応用物理学会、日本光学会、IEEE各会員、OSA Fellow。

### 主な発表論文（2001年度）

1. M. Yoshida, K. Nakamura, and H. Ito, "A new method for measurement of group velocity dispersion of optical fibers by using a frequency-shifted feedback fiber laser," IEEE Photon. Tech. Lett. **13**, 227-229 (2001).
2. K. Nakamura, T. Hatanaka, and H. Ito, "High Output Energy Quasi-Phase-Matched Optical Parametric Oscillator Using Diffusion-Bonded Periodically Poled and Single Domain LiNbO<sub>3</sub>," Jpn. J. Appl. Phys. **40**, L337-L339 (2001).
3. K. Kawase, J. Shikata, K. Imai, and H. Ito, "Transform-limited, narrow-linewidth, terahertz-wave parametric generator," Appl. Phys. Lett. **78**, 2819-2821 (2001).
4. H. Ito, T. Hatanaka, S. Haidar, K. Nakamura, K. Kawase and T. Taniuchi, "Periodically Poled LiNbO<sub>3</sub> OPO for Generating Mid IR to Terahertz Waves," Ferroelectrics **253**, 95-104 (2001).
5. M. Yoshida, T. Miyamoto, Nianyu Zou, K. Nakamura and H. Ito, "Novel PMD measurement method based on OFDR using a frequency-shifted feedback fiber laser," Opt. Express **9**, 207-211 (2001).
6. Y. Avetisyan, Y. Sasaki, H. Ito, "Analysis of THz-wave surface-emitted difference-frequency generation in periodically poled lithium niobate waveguide", Appl. Phys. B **73**, 511-514 (2001).
7. K. Kawase, J. Shikata, H. Ito, "Terahertz wave parametric source (Topical Review)," J. Phys. D **35**, R1-R14 (2002).
8. J. Shikata, K. Kawase, T. Taniuchi, and H. Ito, "Fourier-transform spectrometer with a terahertz-wave parametric generator," Jpn. J. Appl. Phys. **41**, Part I, 134-138 (2002).

## 超高速光通信研究分野

# 超短光パルスの発生と次世代超高速光通信技術 に関する研究

### <分野の目標>

インターネットで扱われる情報が単なるデータから音声、静止画、動画と多彩になり、また利用者が広がるにつれ、快適なコミュニケーション環境を提供する大容量・超高速ネットワークの実現が大変重要になってきている。超高速光通信技術はそのネットワークを支える中核技術である。本研究分野では、光・量子エレクトロニクスをもとに、超高速光通信の基盤となる超短光パルス発生・伝送技術、ソリトンを中心とする非線形波動技術、超高速レーザ技術、光信号処理技術の研究を行い、21世紀のグローバルな超高速光ネットワークの構築を目指している。

### <主な成果>

#### (1) 高速超短パルス光源に関する研究

本研究分野では、高安定な高調波モード同期ファイバレーザの開発とその光通信分野ならびに光標準・計測分野への応用を目指して研究を進めている。高調波モード同期ファイバレーザは繰り返し周波数が10~40 GHz帯で数ピコ秒のトランスマームリミットなパルスを容易に発生できるため、超高速光信用光源として期待されている。その一方で、モード同期ファイバレーザからの超短パルス光は、周波数軸上で見ると、光周波数が等間隔に並んだ複数の連続光源であるとみなすことができる。これは“光のものさし”とも言うことができ、これをうまく制御すると光周波数計測や光周波数標準信号源として幅広い応用が期待できる。しかし、今までにそのレーザの線幅に関する詳細なデータは世界的に見ても得られていない。

そこで本年度は、高調波モード同期ファイバレーザの発振縦モードの線幅測定を行った。測定技術には2つあり、1つは自己遅延ヘテロダイン法であり、他方はレーザビート法である。自己遅延ヘテロダイン法は1台のレーザでおおよその線幅測定が行えるのであるが、分解能は数10 kHz程度である。レーザビート法は2台の独立なレーザ間のビート測定であるので正確な線幅測定が可能となる。まず帯域が非常に狭い(数 GHz) ファイバブラッギングレーティング(FBG)を用いてレーザから発振縦モードの一本を抽出し、その後独立なもう1台のレーザとのビート信号からその線幅を評価した。その結果、ファイバレーザの線幅は1 kHz以下となり、非常に狭いことを初めて明らかにした。今後、レーザの縦モードを制御することにより、さらに正確な線幅の測定を目指す。

#### (2) フォトニック結晶ファイバに関する研究

光ファイバの断面内に空孔を沢山もうけたフォトニック結晶ファイバ(PCF: Photonic Crystal Fiber)はその分散・帯域特性、スポットサイズなどに関して従来のファイバにはない特徴がある。このため新たな波長における超高速光信用媒体、非線形光学材料、新たな光デバイスとして注目を集めている。本研究分野では、PCFの開発とその光通信への応用に関しても精力的に研究を進めている。

本年度は、PCFを光信用伝送路として用いる場合に大変重要なファイバの

長手方向の損失の均一性について評価した。光時間領域リフレクトメトリー(OTDR: Optical Time Domain Reflectometry)を用いて、長手方向のレイリー散乱損失の不均一性を測定することにより、構造の均一性に関する情報を得た。その結果、PCFの散乱損失特性に従来のファイバでは見られない0.5 dB程度の散乱ピークを局所的に観測した。ファイバの断面における幾何学的形状が急激に変化する場合において、屈折率の急激な変化、モードフィールド径の変化、あるいはモード変換が起っていることに起因するものと考えられる。その状況を把握するために、簡便な方法として導波光の外部への漏れ光を検出することを試みた。その結果、可視光を用いることにより、その散乱位置を特定することに成功した。今後、散乱ピークが生ずる原因をさらに詳細に調べ、それをPCFの製造過程にフィードバックすることで、構造が完全に均一なファイバの実現を目指す。

本年度は、PCFと従来のファイバとの整合性についても調べている。モードフィールド径の異なる2つのファイバ( $W_{PCF1}=3\ \mu m$ ,  $W_{PCF2}=10.5\ \mu m$ )について分散シフトファイバ(モードフィールド径 $W_{DSF}=8\ \mu m$ )との接続条件の最適化を行った。接続時の放電時間を制御することで接続損失の低減が可能であり、得られた最低接続損失はそれぞれ2.2 dB, 0.2 dBであった。ファイバモードフィールド径が小さいPCFはその構造が放電によって壊れやすいため、放電時間による低損失化が困難であり、その結果接続損失は大幅に上昇した。また、PCFはその断面内に空孔を有するため、接続条件によって大きなフレネル反射が発生し、その接続上注意を要することを新たに見い出した。この反射は伝送信号の干渉および多重反射をもたらす要因となるためにこれを除去することが大きな課題となる。

### <教員>

教授 中沢正隆 (2001年より)

助手 吉田真人

助手 廣岡俊彦

### <教授のプロフィール>

1952年山梨県生まれ。1980年東京工業大学大学院総合理工学研究科博士課程修了(工学博士)。同年日本電信電話公社入社、茨城電気通信研究所。光ファイバ中の非線形光学効果、ソリトン通信、フェムト秒パルスレーザ、光ファイバ増幅器の研究に従事。1984~1985年MIT客員研究員。1989年グループリーダ、1994~1998年特別研究員、1999~2001年NTT R&Dフェロー、1999~2000年東北大学電気通信研究所客員教授。2001年4月より東北大学電気通信研究所教授。1989年11月OITDA桜井健二郎記念賞、1990年10月英国IEE, Electronics Letters Premium Award、1994年5月および1996年5月電子情報通信学会業績賞、1997年4月科学技術庁長官賞(研究功績者賞)など受賞。IEEE, OSAおよび電子情報通信学会Fellow。

### <研究テーマ>

1. 超高速光ソリトン伝送および非線形光学効果に関する研究
2. フェムト秒光パルスを用いた光時分割多重超高速伝送に関する研究
3. 超短パルスマード同期レーザと周波数標準・光マイクロ波領域への応用
4. フォトニック結晶ファイバならびに新機能性光ファイバの研究と新たな光通信の開拓

### <2001年度発表論文>

- [1] M. Nakazawa, A. Sahara, and H. Kubota, "Propagation of a solitonlike nonlinear pulse in average normal group-velocity dispersion and its unsuitability for high-speed, long-distance optical transmission," *J. Opt. Soc. Am. B*, vol. 18, no. 4, pp. 409-418, April (2001).
- [2] T. Inui, T. Komukai, M. Nakazawa, "Highly efficient tunable fiber Bragg grating filters using multilayer piezoelectric transducers," *Opt. Commun.*, vol. 190, pp. 1-4, April (2001).

- [ 3 ] M. Nakazawa and K. Suzuki, "Cesium optical atomic clock: an optical pulse that tells the time," Opt. Lett., vol. 26, no. 9, pp. 635-637, May (2001).
- [ 4 ] T. Yamamoto and M. Nakazawa, "Third- and fourth-order active dispersion compensation with a phase modulator in a terabit-per-second time-division multiplexed transmission," Opt. Lett., vol. 26, no. 9, pp. 647-649, May (2001).
- [ 5 ] K. R. Tamura, and M Nakazawa, "A polarization-maintaining pedestal-free femtosecond pulse compressor incorporating an ultrafast dispersion-imbalanced nonlinear optical loop mirror," IEEE Photon. Technol. Lett., vol. 13, no. 5, pp. 526-528, May (2001).
- [ 6 ] K. R. Tamura and M. Nakazawa, "54-fs, 10-GHz soliton generation from a polarization-maintaining dispersion-flattened dispersion-decreasing fiber pulse compressor," Opt. Lett., vol. 26, no.11, pp. 762-764, June (2001).
- [ 7 ] 小向哲郎, 乾哲郎, 中沢正隆, "チャーピファイバグレーティングにおける群遅延リップルの発生原因の解明とその回避方法の提案," 電子情報通信学会論文誌C, vol. J84-C, no.8, pp. 673-680, August (2001).
- [ 8 ] 山本貴司, 田村公一, 中沢正隆, "位相変調器による3次, 4次分散同時補償を用いた1.28 Tbit/s - 70 km フェムト秒パルスOTDM伝送," 電子情報通信学会論文誌B, vol. J84-B, no. 9, pp. 1587-1597, September (2001).
- [ 9 ] K. R. Tamura, Y. Inoue, K. Sato, T. Komukai, A. Sugita, and M. Nakazawa, "A Discretely tunable mode-locked laser with 32 wavelengths and 100-GHz channel spacing using an arrayed waveguide grating," IEEE Photon. Technol. Lett., vol. 13, no. 11, pp. 1227-1229, November (2001).
- [10] M. Nakazawa, T. Yamamoto, and K. R. Tamura, "Ultrahigh-speed OTDM transmission beyond 1 Tera bit-per-second using a femtosecond pulse train," IEICE Trans. Electron., vol. E85-C, no. 1, pp. 117-125 January (2002).

## フォノンデバイス工学研究分野

# 強誘電体、圧電体材料などの評価・開発とそれを用いた 高機能信号処理及び超高密度記憶素子の研究

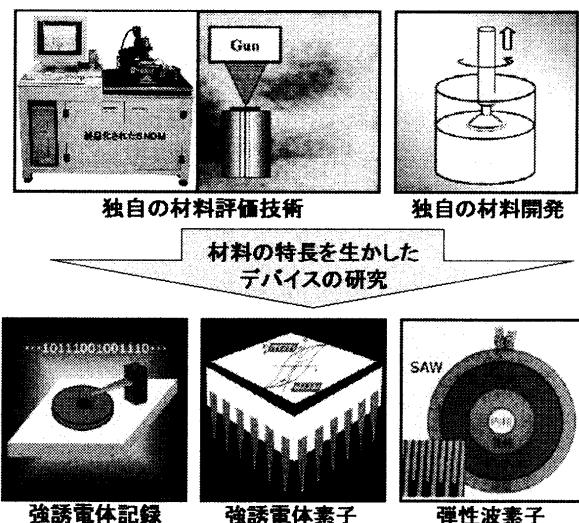


図1. フォノンデバイス工学研究分野の目標

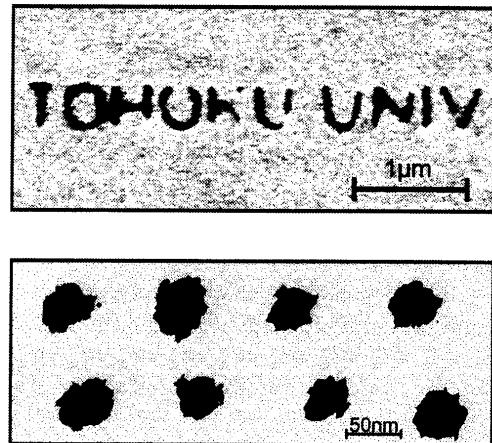
### 1. 分野の目標

本研究室では、強誘電体や圧電体などの機能性材料を評価・作製する独自技術の開発と、それらを通して明らかとなった材料の特長を生かした通信用超音波デバイス・誘電体記憶デバイスの研究を行っている。

具体的には、超音波や光及びFe-RAM等に多用され近年その発展がめざましい強誘電体単結晶や薄膜の分極分布や、様々な結晶の局所的異方性が高速かつ高分解能に観測できる非線形誘電率顕微鏡(SNDM)を開発している。この顕微鏡は残留分極分布の計測や結晶性の評価が純電気的に行える世界で初めての装置であり、既に実用化に成功している。また、 SNDMは原子スケールの分解能が期待できるため、固体中の單一雙極子モーメントの可視化とその物理について研究している。更に、 SNDMは純電気的に単純にナノサイズのドメインを観測できるため、評価装置としてのみならず、強誘電体記録の読み込み書き込みピックアップとしても使用可能であり、強誘電体のドメインがナノサイズまたはそれ以下でも存在できることから、将来の超高密度誘電体記録に大きな可能性を持っていると考え、 SNDMを用いた高密度記録の研究を推進している。

### <研究テーマ>

1. 原子分解能走査型非線形誘電率顕微鏡の研究
2. 走査型非線形誘電率顕微鏡を用いた強誘電体材料・圧電材料の評価法の研究
3. 非線形誘電率顕微法を用いた次世代超高密度誘電体記録の研究
4. 光（含む電子線）熱誘電率顕微鏡によるマイクロ波用誘電材料の評価法の研究
5. 超高結合圧電単結晶・薄膜材料の探索とそれを用いた超音波機能素子の研究

図2.. PZT薄膜に形成された微小分極反転ドメイン  
ドット

## 2. 過去1年間の主な成果

本年度は、まず0.3nm以下という高分解能のSNDMを用い、近年盛んに研究開発が進んでいる種々の強誘電体材料の評価を他研究機関と連携して行った。次に、試料表面に対して水平な方向の異方性に起因する非線形誘電率を計測するプローブを開発し、強誘電分極の3次元計測の基礎実験に成功した。また、高次の非線形定数を計測することにより、試料の極表面（数原子層）の局所的な結晶異方性の検出に成功し、その定量計測を可能とした。更に次世代高密度誘電体記録の研究では、SNDMを用いて直径25nm以下の微小分極反転ドットの安定書き込みが可能となった。これより、1Tbit/inch<sup>2</sup>を越える高密度記録の可能性が高まり、今後は記録媒体の研究も並行して行いこの研究を発展させていく予定である。

## 3. 職員名

教 授 長 康雄 (2001年より)

助 手 小田川裕之

## 4. 教授のプロフィール

### [略歴]

昭和60年4月 東北大学電気通信研究所助手  
 平成2年3月 山口大学工学部助教授  
 平成9年10月 東北大学電気通信研究所助教授  
 平成13年7月 同 教授  
 (平成7年4月～平成8年4月 米国ミシシッピ大学国立物理音響研究所客員研究員)

### [主な研究テーマ]

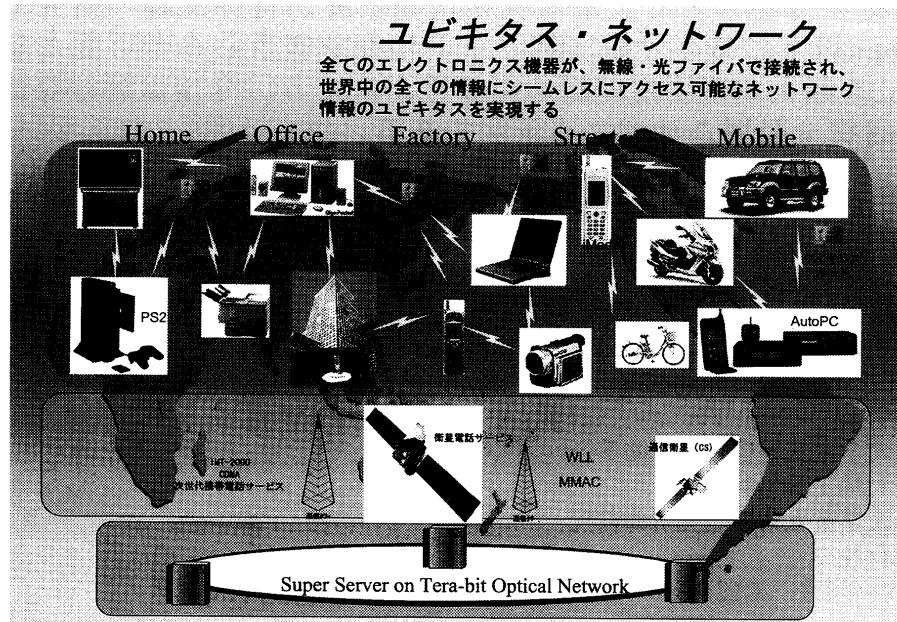
- ・非線形弾性・圧電・電歪・誘電定数の高精度計法とその高機能デバイスへの応用の研究
- ・走査型非線形誘電率顕微法(SNDM)の研究開発
- ・次世代超高密度強誘電体記録の研究開発

## 5. 過去1年間の主な発表論文

- [1] 長康雄, “超高分解能走査型非線形誘電率顕微鏡”, 応用物理, Vol.71(1), pp.62-65, 2002.
- [2] H.Odagawa and Y.Cho, “Measuring ferroelectric polarization component parallel to the surface by scanning nonlinear dielectric microscopy”, Appl. Phys. Lett., Vol.80(12), pp.2159-2161, 2002.
- [3] K.Matsuura and Y.Cho, “Observation of Artificial Nano-domains in Ferroelectric Thin Films Using Nonlinear Dielectric Imaging and Piezo Imaging”, Integrated Ferroelectrics, Vol.38(1-4), pp.59-67, 2001.
- [4] Y.Cho and K.Ohara, “Higher Order Nonlinear Dielectric Microscopy”, Appl. Phys. Lett., Vol.79(23), pp.3842-3844, 2001.
- [5] Y.Cho, S.Kazuta and H.Ito, “Scanning-Nonlinear-Dielectric-Microscopy study on periodically poled LiNbO<sub>3</sub> for a high-performance quasi-phase matching device”, Appl. Phys. Lett., Vol.79(18), pp.2955-2957, 2001.
- [6] K.Ohara and Y.Cho, “Fundamental Study of Surface Layer on Ferroelectrics by Scanning Nonlinear Dielectric Microscopy”, Jpn. J. Appl. Phys., Vol.40(9B), pp.5833-5836, 2001.
- [7] K.Matsuura, Y.Cho and H.Odagawa, “Fundamental Study on Nano Domain Engineering Using Scanning Nonlinear Dielectric Microscopy”, Jpn. J.Appl. Phys., Vol.40(6B), pp.4354-4356. 2001.
- [8] Y.Cho, K.Ohara, A.Koike and H.Odagawa, “New Functions of Scanning Nonlinear Dielectric Microscopy ~ Higher-Order Measurement and Vertical Resolution ~”, Jpn. J. Appl. Phys., Vol.40(5B), pp.3544-3548, 2001.
- [9] S.Kazuta, Y.Cho, H.Odagawa and K.Kitamura, “Small Inverted Domain Formation in Stoichiometric LiTaO<sub>3</sub> Single Crystal Using Scanning Nonlinear Dielectric Microscopy”, Integrated Ferroelectrics, Vol.38(1-4), pp.49-57, 2001.
- [10] Y.Cho, O.Jintsugawa, A.Satoh, H.Odagawa and K.Yamanouchi, “Scanning Electron-Beam Dielectric Microscopy for the Temperature Coefficient Distribution of Dielectric Ceramics”, Analytical Sciences, Vol.17, pp.s63-s66, 2001.

## 先端ワイヤレス通信技術研究分野

### システムトップダウン設計による ワイヤレスネットワークの実現



#### ＜分野の目標＞

21世紀のワイヤレスマルチメディア社会を支えるユビキタスネットワークの実現に向けて、システムトップダウン設計、システム集積化技術の確立をコンセプトに、SS-CDMA (Spread-Spectrum Code-Division Multiple-Access: スペクトラム拡散・符号分割多元接続) 技術を核としたネットワーク技術開発、シリコンによるデジタル・アナログ混載 LSI 設計・開発、GHz 帯弾性表面波デバイス開発、3 次元実装技術、プロトコル開発を目的に研究活動を行っている。以下、本年度の成果のうち、主なものについてまとめる。

#### ＜過去1年間の主な成果＞

##### 1. SS-CDMA フレキシブルワイヤレスネットワーク

ユビキタス・ネットワーク実現に不可欠な、コンシューマ向け無線通信ネットワークの提案・開発を行った。セル内通信下り回線にパケット SS-CDMA 方式を提案し、超小型・超低消費電力無線通信端末を実現した。また、上り回線に近似同期 CDMA 方式を提案し、複雑な送信電力制御を行う必要のない上り回線を実現した。さらにセル間パケット転送プロトコルとして、レイヤ 2 転送方式を提案した。本年度は特に、上下回線双方向通信が可能なデジタルワンチップモデムの設計・評価を行った。

##### 2. 電流モードアナログ信号処理 SI (Switched Current) 回路 LSI

シリコンディジタル MOSFET を用いた電流モードアナログ信号処理 SI 回路を用いた、低消費電力 CDMA 通信用相関器 (SIMF) LSI と OFDM (Orthogonal-Frequency-

Division Multiplexing) 通信用高速フーリエ変換(FFT)回路 LSI を設計・開発した。これにより超低消費電力無線端末が実現できる。

### 3. 超小型ディジタルワンチップ送受信回路 LSI

送受信器をデイジタル回路のみで実現できる超小型通信モジュール LSI を設計・試作を行った。変調器において通常の LSI で用いているクロックを搬送波として用いる。また、差動符号化・遅延検波を用いることで、変復調器で高精度な局部発振器が不要となる。試作した ASIC により通信実験を行った結果、良好な通信特性を確認した。

### 4. マイクロバンプを用いたシームレス実装技術 SiP (System in Package)

異種材料デバイスを 3 次元実装することにより、高周波帯でもシームレスに実装が可能であることを提案している。本年度は、特にマイクロバンプ技術を用いて実装を行い、高周波特性の検討を行った。

#### <職員>

教授 坪内 和夫 (1993 年より)

助手 中瀬 博之

助手 亀田 卓

#### <坪内和夫教授のプロフィール>

昭和49年3月名古屋大学大学院工学研究科電子工学専攻博士課程修了。工学博士。昭和49年4月東北大学電気通信研究所助手。昭和57年4月～10月米国パードュ大学客員助教授。昭和58年3月助教授。平成5年3月教授。昭和58年服部報公賞、平成6年第26回市村学術賞貢献賞、平成8年第11回電気通信普及財団賞（テレコムシステム技術賞）、平成9年第22回井上春成賞受賞。日本物理学会、応用物理学会、電気学会、電子情報通信学会、IEEE 会員。日本エレクトロニクス実装学会理事。

#### <主な研究発表>

##### ●学術論文

- [1] H. Nakase, Y. Iizuka, S. Kameda, S. Tomabechi, A. Komuro and K. Tsubouchi, "SS-CDMA flexible wireless network: Packet SS-CDMA modem using SAW matched filter for downlink," IEICE Trans. Commun., vol.E84-B, no.4, pp.747-751, April 2001.
- [2] S. K. Kim, J. S. Cha, H. Nakase and K. Tsubouchi, "Novel FFT LSI for orthogonal frequency division multiplexing using current mode circuit," Jpn. J. Appl. Phys. vol.40, pp.2859, part 1, no.4B, April 2001.
- [3] S. Tomabechi, A. Komuro, T. Konno, H. Nakase and K. Tsubouchi, "Design and implementation of spread spectrum wireless switch with low power consumption," IEICE Trans. Fundamentals, vol.E84-A, no.4, pp.971-973, April 2001.
- [4] K. Tsubouchi, M. Yokoyama and H. Nakase, "A new concept of 3-dimentional multilayer-stacked system-in-package for software-defined-radio," IEICE Trans. Electron., vol.E84-C, no.12, pp.1730-1734, Dec. 2001.

##### ●国際会議発表

- [5] S. Kameda, K. Takahashi, H. Nakase and K. Tsubouchi, "SS-CDMA flexible wireless network: Approximately synchronized CDMA for uplink," Proc. IEEE Int. Conf. Commun. (ICC 2001), Helsinki, Finland, G72.6, June 2001.
- [6] S. Kameda, K. Takahashi, Y. Iizuka, H. Nakase and K. Tsubouchi, "SS-CDMA flexible wireless network: Intracell uplink without transmission power control," Proc. 12th IEEE Int. Symp. Personal, Indoor and Mobile Radio Commun. (PIMRC 2001), San Diego, CA, USA, E1-1, Oct. 2001.
- [7] H. Nakase, S. Ueda and K. Tsubouchi, "All digital wireless modem LSI for software defined radio," Extended Abst. 2001 Int. Conf. Solid State Devices and Materials, Tokyo, pp.406-407, 2001.

## 通信環境工学研究分野

# 次世代情報通信を支える電磁環境の構築

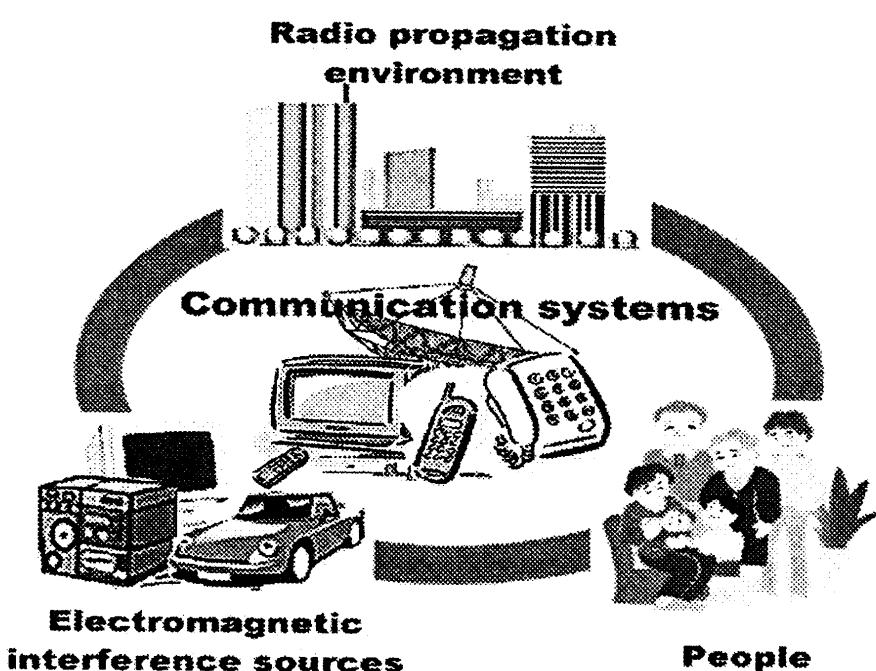
### 1. 分野の目標

携帯電話の普及に加え、高度交通システム（ITS）やホームネットワークなどの新たな通信システムの導入により小型無線機器は今後も増え続ける。また、コンピュータなどの電子機器も日常生活に氾濫し、そのクロック信号も1GHz以上に達している。このような環境では、通信機器や電子機器相互の電磁的干渉による様々な障害や、人体に対する影響が懸念される。このため、電子機器が発生する不要な電磁波を低減し、かつ無線機の電磁波によって電子機器が誤動作等の障害を発生しないようにしなければならない。さらに、超高速・高信頼性の通信を確保するには、通信機器から発射される電磁波の伝搬環境にも対策を施し、良好な情報伝送路を構築することも重要である。

本研究分野は、電子機器の不要電磁波に関する計測技術の研究と国際標準化、通信システムと電子機器間の相互干渉に関する研究と対策技術、さらに将来の電磁波利用に適した電波伝搬環境の構築を目的とする。

### <研究テーマ>

1. 不要電磁波の計測技術の研究と標準化
2. 不要電磁波によって生じる障害の研究
3. 電子機器の不要電磁波対策技術の研究
4. 電磁波利用環境の構築技術の研究
5. 電磁波利用環境の構築に必要な材料・部品の研究



## 2. 過去1年間（2001年4月から2002年3月まで）の主な成果

### (1) 電磁妨害波計測に用いるアンテナ特性の校正法

電子機器から放射される電磁妨害波の計測において、測定値を大きく左右する大地反射の影響を検討した。適当な特性を持つ電波吸収体を敷設することにより大地反射の影響を大幅に軽減できることを明らかにした。また、アンテナインピーダンスのアンテナ高依存性の測定値から、大地反射の影響を除去する方法を新たに開発した。

### (2) 電源線伝導雑音に対するフェライトクランプ装荷効果の検討

電源線を伝導する雑音を阻止する目的でフェライト製クランプが装荷されるが、その効果に関しては明確な基準が定められていない。これに対しフェライトクランプによる伝導雑音減衰量の測定法を提案すると共に、種々の要因による測定誤差について明らかにした。

### (3) 近距離無線通信システムに対する人工雑音の影響の検討

近年普及の著しいBluetooth、無線LANなどの近距離無線システムは、家庭用電子レンジを代表とする産業医科学機器と同一周波数帯を利用している。これらの無線システムへの電子レンジ雑音による干渉を表現する新たなモデルを構築し、有効性を示した。

### (4) 高分解能波源探索法を用いた電波無響室の特性評価

電波無響室の性能向上には、無響室に用いられている電波吸収壁の反射特性の評価が不可欠である。高い時間分解能を達成できる手法を適用して電波無響室内の反射特性評価を行い、吸収壁の材質と構造に依存して、等価的な反射面が複数存在することを初めて明らかにした。

### <職員名>

教授：杉浦 行（1999年より）

助教授：松本 泰（2000年より）

助手：藤井勝巳（2001年より）

### <教授のプロフィール>

1966年福井大学工学部応用物理学科卒業。1968年大阪大学大学院修士課程修了。同年郵政省電波研究所（現通信総合研究所）入所。電磁環境工学の研究に従事。同研究所次長を経て1999年より東北大学電気通信研究所教授。電子情報通信学会、電気学会、映像情報メディア学会、IEEE会員。

### <主な発表論文、解説記事、著書>

- (1) 高島、藤井、岩崎，“ダブルギャップシールドループアンテナの磁界複素アンテナ係数の測定”，電子情報通信学会論文誌，vol. J84-B, no.11, pp.2066-2070, 2001.
- (2) A. Sugiura, Y. Yamanaka, T. Iwasaki, Y. Matsumoto; “Antenna arrangements for broadband antenna calibration using the standard antenna method”, 2001 IEEE EMC Int'l Symp, D4-A2-06, 2001.
- (3) A. Sugiura, Y. Yamanaka, Y. Matsumoto; “Uncertainty Evaluation for EMI Antenna Calibration”, AP-RASC 2001, A4-1-03, 2001.
- (4) 藤井、叶、岩崎，“対数周期ダイポールアレー・アンテナ間のSパラメータ測定における周囲反射の影響の除去”，電子情報通信学会論文誌，vol. J84-B, no.11, pp.2040-2047, 2001.
- (5) 松本、井出、浜本、杉浦、奥村，“ETS-VIII搭載フェーズドアレー給電アンテナ用一括指向制御型BFNの開発”，電子情報通信学会論文誌 vol. J83B, no.12, 2001.

## 量子波動工学研究分野（客員分野）

# 单一走行キャリアフォトダイオードを用いた 超高速光電子信号処理機能デバイスの研究

### 研究分野の目標

高出力動作が可能なフォトダイオードを導入した機能デバイスは、電気増幅の制約を取り除くことにより、電気デバイスの速度限界を越えた周波数／ビットレート領域を開拓するものである。本研究は、单一走行キャリアフォトダイオードの高速性／高出力性を応用したミリ／サブミリ波の発生用フォトミキサ、および光ゲートデバイスの実現を目標とする。

### 主な成果

#### <ミリ／サブミリ波フォトミキサ>

フォトミキサは、波長の異なる二つのレーザ光をフォトダイオードに入射し(=光電気変換)、光周波数のビートを電磁波として発生させるデバイスである。今年度は、InP/InGaAs単一走行キャリアフォトダイオード(UTC-PD: Uni-Traveling-Carrier Photodiode)の半導体層構造とデバイス回路、ならびにデバイス製作法を検討し、100 GHz帯-900 GHz帯で予測された出力特性を確認することに成功した。

100 GHz帯フォトミキサ半導体チップは、UTC-PDとコプレナ線路からなるバイアス回路、整合回路を集積化したものである。真性帯域170 GHz、50オーム負荷に対するCR帯域190 GHzの素子において、100 GHz出力として10mW以上を得た。これは、従来のpin形フォトダイオードを用いた他研究機関から報告されている出力レベルに比べて20 dB高いものであり、UTC-PDの優位性が明確に示されている。

300 GHz帯フォトミキサは、ログペリオディックアンテナを集積化したデバイス、及び導波管マウントに適したハネカム構造デバイスを検討した。前者については800 GHz帯までの周波数対出力特性を測定することに成功し、今後のUTC-PDフォトミキサの設計に有用なデータを与えた。後者は、水野研究室で実績のあるショットキダイオード構造をフォトミキサ構造に発展させたものである。安定なウイスカの接触を確保すべく、フォトダイオード基板上のウイスカ保持構造を実現するための新たなプロセス技術を開発した。100 GHz帯-400 GHz帯において、フォトミキサとして最高レベルの出力を観測するに至っている。

#### <光ゲートデバイス>

トランジスタ論理回路では到達できない超高速信号処理を目指して、UTC-PDと電界吸収形光変調器(EAM: Electroabsorption Modulator)を集積化した新しい半導体光ゲートデバイス(PD-EAM)を研究している。UTC-PDに入力された光信号により電気信号を発生させ、それでEAMを通過する光データ信号を制御するタイプの一種の「光／電気／光形」の光スイッチである。PD-EAMを集積化することの意味は、EAMの特性インピーダンスに合わせて、UTC-PD／EAM間の線路を任意の値に設計できること、各素子のバイアス回路をチップ内に搭載し帯域制限を取り除くことがある。昨年度製作のデバイスにおいては、各接続点における電気反射レベルが高く、それがゲート開口特性に影響を与えていることが、電気パルス伝搬特性の診断により明

らかにされていたところである。

EAMの電気信号入力端における反射を抑えるべく線路設計を改良した結果、良好なゲート開口特性を実現することができ、200 Gbit/s相当の光信号の分離動作に成功した。この200 Gbit/s動作は、いわゆる半導体デバイスベースのものの中では最高速度であり、トランジスタ集積回路で報告されている速度の約4倍にあたる。光電気ミュレーションによれば、このPD-EAMの性能限界はさらに高く、今後の改善により300 Gbit/s以上の可能となるものと予測される。

従来の光ゲートデバイスは、光ファイバや半導体導波路の光非線形+干渉効果を応用したものであるのに対して、本PD-EAMデバイスは、OE及びEO素子を組み合わせたものである。簡易性、安定性、小形化の面で優れしており、超高速信号処理の基本デバイスとして期待される。

**<職員>** 客員教授 石橋 忠夫（2001年4月より）

#### <教授のプロフィール>

1949年札幌市生まれ。1973年北海道大学工学研究課(応用物理学専攻)修士過程終了。同年日本電信電話公社武藏野電気通信研究所入所。1986年工学博士（北海道大学）。ミリ波インパットダイオード、InP系液層エピタキシャル成長とその電界効果トランジスタへの応用、分子線エピタキシャル成長と超格子物性、GaAs系及びInP系ヘテロ接合バイポーラトランジスタ集積回路の研究、光電子融合デバイスの研究に従事。2001年NTTエレクトロニクス入社（技術開発本部）、技術部長、現在に至る。1991-1992年マックスプランク固体研究所(ドイツ)客員研究員。1992年内村賞受賞。2002年電子情報通信学会エレクトロニクスソサイエティ賞受賞。

#### <2001年度発表論文>

- (1) Y. Hirota, T. Hirono, T. Ishibashi and H. Ito, "Traveling-Wave Photodetector for  $1.55\text{ }\mu\text{m}$  Wavelength Fabricated with Uni-traveling-Carrier Photodiodes," Appl. Phys. Lett., 78, No. 24, 3767-3769, 2001.
- (2) S. Kodama, T. Ito, N. Watanabe, S. Kondo, H. Takeuchi, H. Ito and T. Ishibashi, "200-Gbit/s Monolithic Photodiode-Electroabsorption Modulator (PD-EAM) Optical Gate," Dig. 59th Annual Device Research Conference, pp. 151-152, 2001.
- (3) T. Ishibashi, S. Kodama, T. Ito, Y. Hirota, A. Hirata, T. Nagatsuma and H. Ito, "Ultrahigh-speed applications of uni-traveling-carrier photodiodes," Abst. 8th International Workshop on Femtosecond Technology, pp. 54-57, 2001 (Invited).
- (4) S. Kodama, T. Ito, K. Tsuzuki, N. Watanabe, S. Kondo, H. Ito and T. Ishibashi, "2.3 Picoseconds Optical Gate Monolithically Integrating Photodiode and Electroabsorption Modulator (PD-EAM)," Electron. Lett. 37, pp.1185-1186, 2001.
- (5) H. Ito, Y. Hirota, A. Hirata, T. Nagatsuma and T. Ishibashi, "11 dBm Photonic Millimeter-Wave Generation at 100 GHz using Uni-Travelling-Carrier Photodiode," Electron. Lett. 37, No. 20, pp.1225-1226, 2001.
- (6) T. Nagatsuma, T. Ishibashi, A. Hirata, Y. Hirota, T. Minotani, A. Sasaki and H. Ito, "Characterization of Uni-Travelling-Carrier Photodiode Monolithically Integrated with Matching Circuit," Electron. Lett. 37, No. 20, pp.1246-1247, 2001.
- (7) H. Ito, T. Furuta and T. Ishibashi, "High-Speed and High-Output Uni-Taveling-Carrier Photodiodes," Trans. IEICE, E84-C, No. 10, pp.1448-1454, 2001.
- (8) Tadao Ishibashi, "Nonequilibrium "Electron Transport in HBTs," IEEE Trans. Elecotron Devices 48, pp. 2595-2605, 2001 (invited).
- (9) H. Ito, T. Nagatsuma and T. Ishibashi, "Recent Development on Uni-Travelling-Carrier Photodiodes and Their Applications," 2001 IEEE LEOS Annual Meeting Conference Proc., pp. 386-387, 2001.
- (10) Y. Hirota, T. Ishibashi and H. Ito, "1.55- $\mu\text{m}$  Wavelength Periodic Traveling-Wave Photodetector Fabricated Using Uni-Travelling-Carrier Photodiode Structures," J. Lightwave Tech. 19, pp. 1751-1758, 2001.

### 3.4 超高密度・高速知能システム実験施設の目標と成果

東北大学電気通信研究所超高密度・高速知能システム実験施設は、平成6年6月24日、極微細構造電子回路加工技術を進展させると共に、極微新機能電子デバイスの開発と、それらの性能を活用して高度な知能的処理を行い得る超高密度・高速知能システムの基盤技術を構築することを目的として設置された。本施設は、原子制御プロセス部、超高速電子デバイス部、知能集積システム部の3部と、施設共通部からなる。

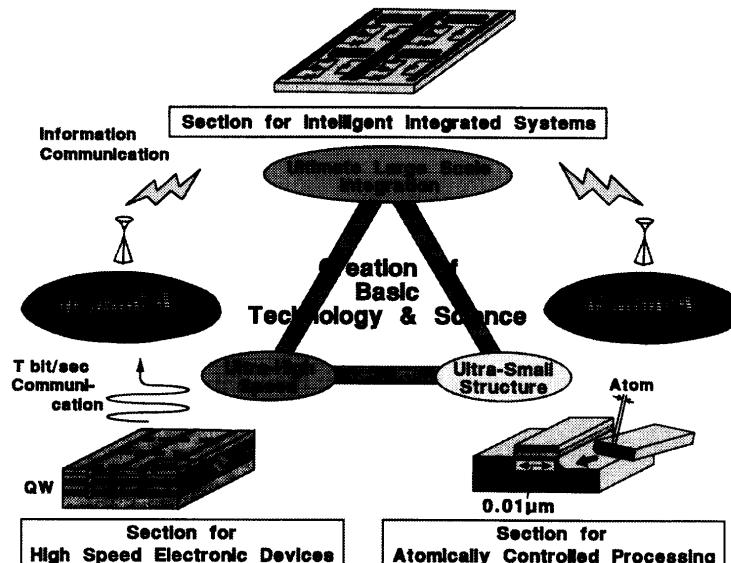
原子制御プロセス部では、原子精度の極微構造（厚さ方向1 nm、面内方向10 nmスケール）を製作するため、新概念の微小領域高精度パターニング技術、表面吸着・反応の解析・制御による原子オーダーの表面処理・成膜・エッチング技術、原子スケールその場観察評価分析技術等を研究開発し、原子制御プロセス基盤技術を創生する。

超高速電子デバイス部では、超高速（Tbit/s）情報通信を可能にするため、半導体極微ヘテロ接合により形成する電子波などの極微細波動を用いて、光波・電磁波の発生・変調・增幅から検出までを行う高速エレクトロニクス・高速フォトニクス、多重伝送技術等を研究開発し、極微細波動基盤技術を創生する。

知能集積システム部では、知的情報処理システムの構成法の確立、知的集積回路のCADとその製作、人工集積神経回路網の解析と応用、並びにそれに向けた新しいデバイスの開発を目指している。それに伴い大規模集積回路の構成全般にわたる設計・製作・検査から組立までの新概念に基づく基盤技術の開発をも併せて行っている。これらにより超高密度・高速知能システムの構築を目指す。

また、電気通信研究所の各部門およびその構成要素である研究分野、さらに工学研究科の電気通信工学、電子工学専攻や情報科学研究科の各講座が研究開発した成果を有効かつ集中的に具体化すると同時に、全国の電気通信分野の研究者の英知を結集して共同プロジェクト研究を行う。

本実験施設が10年の时限で設置されて以来、8年が経過した。現在までの研究活動



はおおむね当初の計画どおり、超高密度・高速知能システムの基盤技術の確立に向かって進められている。以下に、施設の目標として掲げた三大基盤技術に分けて、施設研究部と利用研究室の本年度の研究成果のハイライトを記す。

#### [原子制御プロセス基盤技術]

**室田研究室**（原子制御プロセス部）：CVDSi<sub>1-x-y</sub>Ge<sub>x</sub>C<sub>y</sub>薄膜形成における不純物ドーピング制御をLangmuir型の簡単な表面吸着・反応速度式で定式化できることを系統的に示した。そしてSiGeチャネルとSiGeソース・ドレインを有する0.1 μm ルール高性能MOSFETを実現した。また、IV族半導体(Si, Ge, C)及びドーパント(P, B)さらに絶縁膜化元素(N)・金属元素(W)について、原子制御できるCVDプロセス条件・プラズマプロセス条件を調べ、その吸着・反応過程をLangmuir型の定式化で系統的に明らかにしつつある。特に本年度はSi中へのPのみならず、B, N, W の原子層レベルの超高濃度ドーピングに成功した。

**潮田研究室**（光電変換デバイス工学研究分野）：STM発光分光計測から、Ni(110)表面、Ag(110)表面に吸着した個々の酸素原子サイトが識別できることを示した。低温成長したMn-doped GaAs層中のMn原子を断面STM計測により同定することに成功し、Mn原子が電気的に活性化されたアクセプターとして取り込まれていることを解明した。また、直線偏光紫外光照射によって誘起されるポリイミド膜（液晶配向膜）表面の分子配向異方性がその分子構造に強く依存することを赤外吸収分光により明らかにした。

**坪内研究室**（先端ワイヤレス通信技術分野）：2.4GHz RF フロントエンド弾性表面波マッチトフィルタ(SAW MF)に用いる、窒化アルミニウム平坦化成膜技術の検討を行い、SAW MFを用いたSS無線スイッチ、パケットSS-CDMAモデムの高性能化を行った。また、シリコンデジタル集積回路として、オールデジタルワンチップモデムを実現した。さらに、シリコンアナログ集積回路として、電流モード回路を用いたCDMA用MF LSI、OFDM用FFT演算LSI、RF CMOS B級プッシュパラアンプなどの開発を行い、移動端末の低消費電力化、小型化を目指した。

**横尾研究室**（極限能動デバイス研究分野）：低濃度のn型GaAs半導体を用いた高アスペクト微小電子源の製作に成功した。そして、GaAsのガン効果に基づくと考えられるエミッション電流の飽和特性を得た。単一ティップのSiエミッタを製作し、その放射電子のエネルギー分布、光照射効果を測定し、Si微小電子源の形状とエネルギー構造を反映した電子放射特性を得た。Siやダイヤモンドのナノ構造微結晶からなる新しい平面型電子源の製作に成功した。

**庭野研究室**（電子量子デバイス工学研究分野）：多重内部反射型赤外吸収分光法を用いてSi表面上へのC系薄膜やSi薄膜の成長初期過程を観察し、界面へ欠陥が導入される過程を明らかにした。ヘテロダイン変調型赤外分光器を開発し、その動作を確認した。さらに、Siの電気化学エッチング中に生じる電圧振動現象について、電圧振動の原因を明らかにした。

**分子電子工学研究分野**：SiCVD表面の水素被覆率を成長温度・成長圧力の関数と

して初めて測定し、成長速度と水素被覆率両者の温度及び圧力依存性を高精度、かつ統一的に記述する成長モデルを提案した。PドープSiCVDでも成長表面の水素及びP被覆率を初めて「その場」評価し、Pドープ時の成長機構及びドーピング機構を明らかにした。またSiC/Si GSMBEヘテロ成長では、従来900°C以上が必要だったSiC/Si界面緩衝層の形成温度が、有機Si化合物ガスを用いることで600°C以下へと、300°C以上低減できることを明らかにした。

#### [極微細波動基盤技術]

**大野研究室**（超高速電子デバイス部）：極微細波動基盤技術の極限を追求する目的で、半導体スピinn制御技術と、量子効果を利用したTHz対応発光素子に取り組んでいる。前者については、強磁性半導体 (In,Mn) As および (Ga, Mn) Asをチャネルとする電界効果トランジスタ構造を作製し、磁化と保持力の電界制御に成功した。また、室温強磁性を示す閃亜鉛鉱構造 CrSbのGaAs, GaSb, (Al,Ga)Sb上へのエピタキシャル成長および CrSb/GaAs 多層構造のエピタキシャル成長に成功した。後者では、InAs/AlSb量子井戸において広い波長範囲のサブバンド間光吸収を観測した。また、長波長の光に対して最適なキャビティを有する量子カスケードレーザー構造を設計し、試作した。

**水野研究室**（テラヘルツ工学研究分野）：Si基板を用いたミリ波帯光変調器に関しては、高抵抗Si基板を用いてPINダイオード装荷コプレーナ線路の製作を行った。PINダイオードのIV特性の測定結果より、光変調器として要求される特性を満たすことが確認されている。UTC-PDを用いた短ミリ波光源の製作に関して、導波管に組み込むためのUTC-PDのメサ構造のパターン形成、およびその評価を行った。更に製作されたUTC-PDを実際の導波管型発振器に組み込み、70 GHzで4.6 mW, 330 GHzで $2\mu\text{W}$ の出力を確認している。

**荒井研究室**（スピinnエレクトロニクス研究分野）：RF集積化磁性薄膜インダクタの基本構造を2ポート化し、実際にMMICに使用される形態に改良した。これを用いて高周波等価回路解析を行った結果、磁性薄膜の寄与によって5GHzまでインダクタンスが向上したことが明らかになった。一方、磁性膜をスパイラルコイルの上部のみならず下部にも配置したサンドイッチ構造の集積化インダクタも試作し、2GHzにおいて従来の空心インダクタよりインダクタンスが19%向上し、Q値も23%向上できた。

**伊藤研究室**（応用量子光学研究分野）：強誘電体のドメイン制御を用いた非線形光波長変換による高出力赤外光源の研究を行っており、最近1mm厚の周期ドメイン反転ニオブ酸リチウム（PPLN）の作製技術を確立し、PPLNによる中赤外光発生の最大出力を達成している。さらに、ドメイン構造の微細化および多重周期構造の導入により、THz帯から中赤外域を広帯域にカバーするコヒーレント波長可変光源を実現した。

**長研究室**：走査型非線形誘電率顕微法（SNDM）の研究では、試料表面に対して水平な方向の異方性に起因する非線形誘電率を計測するプローブを開発し、強誘電分極の3次元計測の基礎実験に成功した。また、高次の非線形定数を計測すること

により、試料の極表面（数原子層）の結晶異方性の検出に成功した。更に、SNDMを用いた次々世代高密度強誘電体記録の研究では、直径12nmの微小分極反転ドットの安定書き込みが可能となった。

**フォトニック結晶新機能デバイスプロジェクト**（未来科学技術共同研究センター）：本研究分野で開発した自己クローニング法では、複雑な機能を持つ回路を実現する上で基板のパターンが重要となる。平成13年度、本施設の電子ビーム描画装置を用いて光回路のパターニングを行うことで、共振器を内部に持つ光回路のパターンを描画した。その基板上に周期構造を積層することで、3次元周期構造をもつチャネル型光回路を実現し、共振回路としての機能を実証した。

#### [大規模集積化基盤技術]

**中島研究室**（知能集積システム部）：ストカスティックニューロシステムの集積化によりマルチチップ構成で1000ニューロンの回路網を構成できる見通しを得た。これにより離散時間ニューロシステムとしては実用化に向けた対応が可能となった。連続時間ニューロシステムに関しては非対称結合系におけるリミットサイクル生成のメカニズムを解明した。さらにニューロンの発火能力を取り入れた臨界状態ブレインシステムのモデルを新たに提案し、最適値問題における局所解からの脱出に有効であることを実証した。量子ニューロシステムにおいては2次トンネリングの有効性を解析した。磁束量子システムにおいては10GHz対応の乗算器を構成して実測により期待される動作を確認した。

**樋口研究室**（情報科学研究科）：現在の2値論理VLSIシステムの性能限界を克服することを目指して、非2進数演算原理と多値論理集積回路技術を駆使する”Beyond-Binary Computing”に関する研究開発を行った。特に、従来の除算器の性能を越える高基数除算器VLSIの開発に成功した。また、将来の分子コンピューティングデバイスの開発に向けた基礎実験として、多数の人工触媒素子を配列状に集積化した反応拡散セルオートマトンを試作し、微量溶液中に入工的な反応拡散場を創出することに成功した。

**大見研究室**（工学研究科）：マイクロ波励起（Kr/O<sub>2</sub>, Kr/O<sub>2</sub>/NH<sub>3</sub>, Kr/NH<sub>3</sub>）高密度プラズマによって励起されたラジカル状酸素及び窒素を用いることによりすべての面方位の単結晶シリコンの直接酸化、酸窒化、窒化を500°C以下という低温下で可能となった。酸化膜に関しては、熱酸化膜と同等の酸化速度、電気特性が得られた。酸窒化膜、窒化膜に関しては、酸化膜と比べ、窒素導入によって物理膜厚が厚くなるためリーク電流値が酸窒化膜で1桁、窒化膜で3桁向上した。正孔移動度が2.5倍向上するSi(110)面基板と低界面準位密度を維持した状態の窒化膜を用いることにより、微細化することなく従来より10倍の電流駆動能力を有するトランジスタの実現が可能となった。マイクロ波励起高密度プラズマによって形成した酸化膜の1/fノイズは熱酸化膜と比較し1桁以上低減でき、さらに従来酸化膜よりも高い1/fノイズを示すと考えられていた酸窒化膜は、酸化膜より1/fノイズを低減できることが判明した。

**山下研究室**（超伝導コンピューティングデバイス研究分野）：Bi系高温超伝導体内に存在する固有ジョセフソン接合のデバイス応用に向けて、単結晶両面加工プ

ロセスを開発した。これにより、均一性の良い固有ジョセフソン接合と、それに超伝導コンタクトした超伝導配線を同時に実現することが可能となった。デバイス応用への基礎特性評価として、THz帯の電磁波に対する応答特性を評価した。その結果、ゼロバイアス電流軸を横切る振幅を持ったシャピロステップを観測され、固有ジョセフソン接合の電圧標準デバイス応用への可能性が実証された。

**中村研究室**（情報記憶システム研究分野）・**村岡研究室**（情報記録デバイス工学研究分野）：単磁極ヘッドの記録特性改善には、ヘッド磁界強度を高めること、および磁界勾配を急峻にすることが効果的であることが明らかになり、昨年度までに試作した全薄膜型単磁極ヘッドの磁極構造の改良を続けている。このヘッド主磁極膜の高飽和密度化で高い記録性能が得られており、さらに改良を進めるとともに、実際に記録再生特性の測定を通じて、200Gbit/inch<sup>2</sup>の高密度記録の実現を目指している。

**亀山研究室**（情報科学研究科）：知能集積システム実現のための、システムインテグレーション理論、低電力化を指向したVLSIプロセッサのハイレベルシンセシス、ロジックインメモリ回路アーキテクチャなどの要素技術を開拓し、高安全知能自動車、ステレオビジョンVLSIプロセッサ、などへの具体的応用を検討し、その総合的評価を行った。

**舛岡研究室**（固体電子工学研究分野）：64Gビット以上の高密度フラッシュメモリにも適用可能なStacked-Surrounding Gate Transistor (S-SGT)構造のNAND型フラッシュメモリセルを提案した。このS-SGT構造のセルは、1本のシリコン柱あたりに、2個のメモリセルを積層したもので、1ビットあたりのメモリセルの占有面積で比較して、従来の最も小さいNAND型セルの半分の面積を実現した。また、薄膜酸化膜の膜厚および化学的組成が、酸化炉へのウェハの搬入条件によって影響を受けることを明らかにした。

## 原子制御プロセス部

# 原子精度の極微細構造製作のための基盤技術の研究

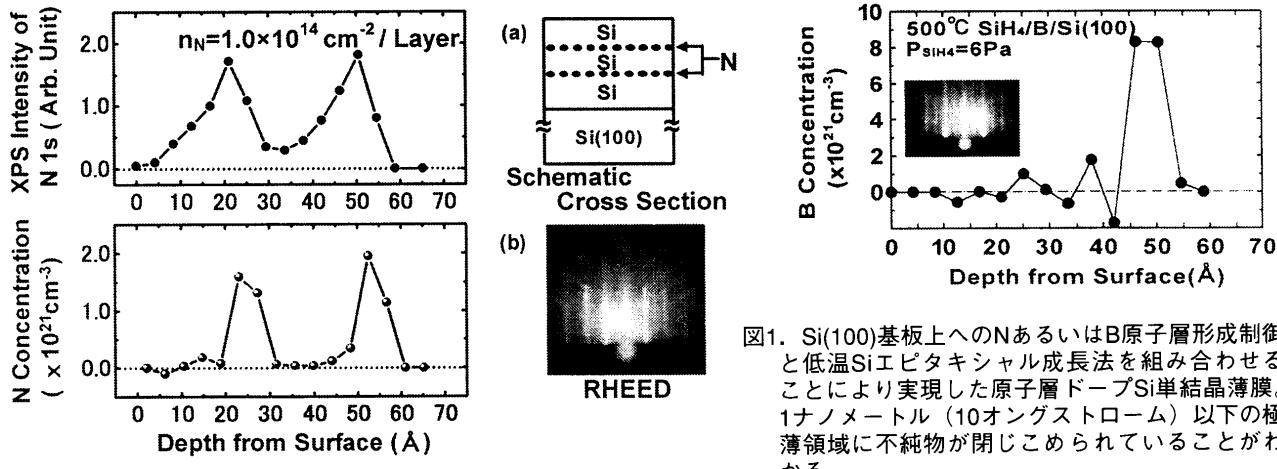


図1. Si(100)基板上へのNあるいはB原子層形成制御と低温Siエピタキシャル成長法を組み合わせることにより実現した原子層ドープSi単結晶薄膜。1ナノメートル(10オングストローム)以下の極薄領域に不純物が閉じこめられていることがわかる。

薄膜形成やエッチングを原子オーダーの精度で制御するプロセス技術の開発は、将来の超大規模集積回路(ULSI)の大容量化・高速化や量子効果を積極的に利用した新機能デバイス製作、さらに、従来のバルク材料とは異なる未知の新物性を持つ材料の創生のために極めて重要である。本研究部は、ULSIに密接に関連するSiGeC系IV族半導体材料の原子層加工技術、すなわち原子層成長と原子層エッチング、表面処理、並びに、低温ヘテロエピタキシャル成長プロセスとその極微細デバイスへの応用の研究を中心に行ってきました。そして、それらの表面吸着・反応プロセスのほとんどに対してラングミュア型定式化が可能であることを示し、CVDやプラズマプロセスにおける原子層制御条件に関するデータベース構築を進めてきた。

**【原子層成長制御CVD・原子層プラズマプロセス】** 不純物原子層形成制御と $500^\circ\text{C}$ 以下の低温Siエピタキシャル成長を組み合わせることにより、超高濃度Pドーピングに引き続き、Si単結晶薄膜中にN,B,Wの原子層ドーピングを実現し、1ナノメートル以下の極薄領域に不純物原子を閉じこめることに成功した。また、Ge(100)表面のC量を $6 \times 10^{13} \text{ cm}^{-2}$ 以下に制御した場合、その上に $500^\circ\text{C}$ でSiをエピタキシャル成長させることができると同時に、Si/Ge界面付近にCが閉じこめられることを明らかにした。そして、その界面付近のCの存在により $700^\circ\text{C}$ 熱処理時のSiとGeの相互拡散が抑制されることを見いだした。

一方、非加熱Si(100)基板表面での $\text{Ar}^+$ イオン支援 $\text{SiH}_4$ 反応により、高品質Siエピタキシャル成長を実現した。また、窒素ラジカル照射により表面窒化したSi(100)表面においても、Siエピタキシャル成長することを見いだし、1ナノメートル以下の極薄領域に $8 \times 10^{14} \text{ cm}^{-2}$ ものN原子を閉じこめることに成功した。

**【低温ヘテロエピタキシャル成長と極微細デバイスの製作】** SiGeCをSi MOSFETのゲートやソース／ドレインへ導入する際に不可欠となるSiGeC薄膜へのBおよびPの不純物ドーピング制御と同時に、ゲート絶縁膜上に形成したSiGeC薄膜をゲート電極

に応用する研究を進め、BドープSiGeCゲート電極において仕事関数低下が生じることを見いだし、pMOSFETの低しきい値化への可能性を示した。同時に、SiGeゲートへの高濃度C原子添加により格子定数の拡大が生じると同時に、格子定数変化と仕事関数シフトが対応していることを見いだした。一方、極微細デバイスの製作に関して、不純物ドープSiGe選択成長層を極浅ソース／ドレイン自己整合形成に用いた0.1  $\mu$ m短チャネル極微細MOSFETにSi／SiGe／Siチャネルを適用することにより、同寸法のSiチャネルpMOSFETと比較して、チャネルの高移動度化により電流駆動能力が約1.5倍に向上することを明らかにすると同時に、パンチスルーハイドロゲン現象の抑制された良好なトランジスタ特性であることを確認した。また、金属／不純物ドープSiGeC混晶接触抵抗の極小化についても研究を進め、 $10^8 \Omega \text{cm}^2$ 台の超低抵抗化に成功した。現在、さらに、SiGeC系IV族半導体極微細構造形成と、それを用いた超高速通信用ヘテロバイポーラトランジスタやSiGeCヘテロチャネルMOSFETの高性能化について研究を進めている。

#### 〈職員〉

教授 室田 淳一（1995年より）  
 助教授 松浦 孝（1993年より）  
 助手 櫻庭 政夫

#### 〈室田淳一教授のプロフィール〉

1948年生まれ。1970年北大・工・電子卒。1972年同大学院修士課程修了。同年日本電信電話公社武藏野電気通信研究所入所。1983年同公社厚木電気通信研究所を経て、1985年東北大学電気通信研究所助教授、1995年同教授、現在に至る。半導体プロセスの研究に従事。

#### 〈研究テーマ〉

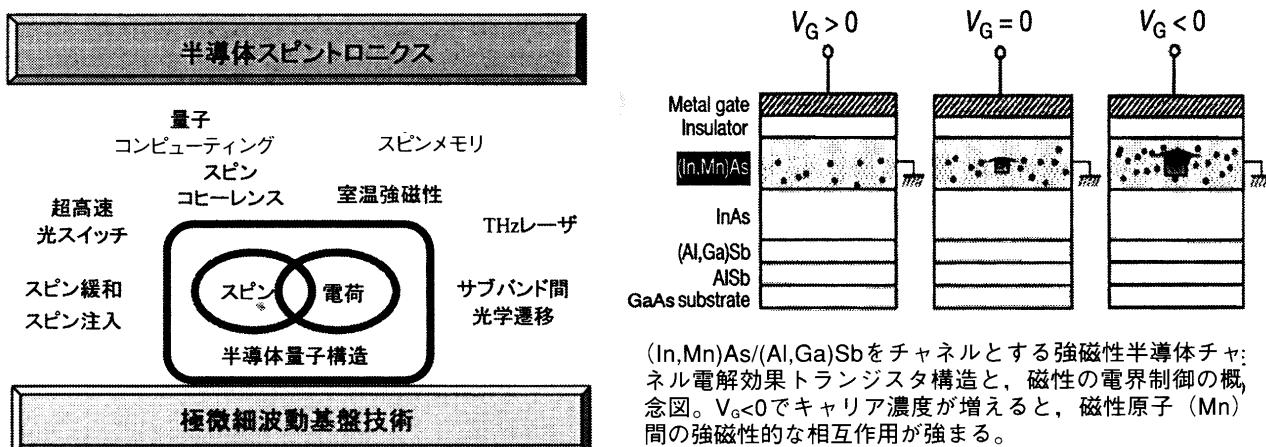
1. 原子精度の薄膜成長、エッチング、表面処理に関する研究
2. プロセスにおける表面吸着と反応の機構とその制御に関する研究
3. 極微細パターンの形成と高精度不純物制御に関する研究
4. ヘテロ構造の製作と極微半導体デバイスに関する研究
5. ヘテロ界面の物理と化学

#### 〈主な研究発表（2001年度）〉

1. Atomic-Order Thermal Nitridation of Si (100) and Subsequent Growth of Si, T.Watanabe, M.Sakuraba, T.Matsuura and J.Murota, J. Vac. Sci. Technol. A, Vol.19, No.4, PartII, pp.1907-1911, (2001).
  2. Phosphorus Doping in  $\text{Si}_{1-x-y}\text{Ge}_x\text{C}_y$  Epitaxial Growth by Low-Pressure Chemical Vapor Deposition Using a  $\text{SiH}_4\text{-GeH}_4\text{-CH}_3\text{SiH}_3\text{-PH}_3\text{-H}_2$  Gas System, D.Lee, T.Noda, H.Shim, M.Sakuraba, T.Matsuura and J.Murota, Jpn.J.Appl.Phys., Vol.40, No.4B, pp.2697-2700, (2001).
  3. Surface Adsorption and Reaction of Chlorine on Impurity-Doped Single Crystalline Si Using Electron Cyclotron Resonance Plasma, T.Kanetsuna, T.Matsuura and J.Murota, J.Electrochem.Soc., Vol.148, No.8, pp.G420-G423, (2001).
  4. Epitaxial Growth of Heavily P-doped Si Films at 450°C by Alternately Supplied  $\text{PH}_3$  and  $\text{SiH}_4$ , Y.Shimamune, M.Sakuraba, T.Matsuura and J.Murota, J.Phys.IV France, Vol.11, Pr3, pp.255-260, (2001).
  5. Epitaxial Growth Techniques : Low-Temperature Epitaxy, J.Murota, Chapter 4 in “Silicon Epitaxy” (Semiconductors and Semimetals, Vol. 72), Edited by D. Crippa, D.L. Rode and M.Masi, Academic Press, pp.127-149, Sep. 2001.
  6. CVD法による $\text{Si}_{1-x-y}\text{Ge}_x\text{C}_y$ エピタキシャル成長とドーピング制御, 室田淳一, 櫻庭政夫, 松浦孝, 応用物理学会誌, 第70巻, 第9号, pp.1082-1086, (2001).
  7. Super Self-Aligned Technology of Ultra-Shallow Junction in MOSFETs Using Selective  $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$  CVD, T.Yamashiro, T.Kikuchi, M.Ishii, F.Honma, M.Sakuraba, T.Matsuura, J.Murota and T.Tsuchiya, Mat.Sci.Eng.B, Vol.89, pp.120-124, (2002).
- 他 学術雑誌10件, 国際会議発表論文21件

## 超高速電子デバイス部

# 極微細波動基盤技術： 半導体スピントロニクスからテラヘルツ光の発生まで



## 1. 部の目標

超高速電子デバイス部では、半導体内の電子状態を制御し工学的に応用するため極微細波動基盤技術の研究を進めている。具体的には、化合物半導体量子構造を対象に、新しい半導体材料の開発、量子構造の作製と性質の理解、それらの超高速電子デバイス応用に関する研究を行っている。特に、スピントロニクスや、今後の情報通信に必要な半導体THzコヒーレント光源の実現を目指している。

本研究室では、GaAs/AlAsやInAs/GaSbなどの非磁性半導体と、III-V族ベースの新しい強磁性半導体(Ga,Mn)As, (In,Mn)As, 及び新しい磁性体CrSbを取り上げ、分子線エピタキシ法で高品質な量子構造を成長している。これまでに、半導体スピントロニクスのための強磁性半導体/非磁性半導体量子構造の作製とその спин物性の解明を行うと共に、二次元電子間の量子輸送現象における新しいスピノン現象を明らかにしてきた。また、ブローケンギャップヘテロ構造(InAs/GaSb)中のサブバンド間の光学遷移を世界で初めて電流注入により観測しこの系のレーザ実現へ道を開いた。これらの研究により、半導体中のスピノンを用いて現在のコンピュータが不得意な計算を桁違いに高速に実行できる量子コンピューティングなどの新しい半導体デバイス・システムを実現することに力を注いでいる。

## 2. 過去1年間（2001年4月から2002年3月まで）の主な成果

- 2.1 強磁性半導体(In,Mn)Asをチャネルとする電界効果トランジスタ構造において、キャリア濃度と強磁性転移温度 $T_c$ の関係を定量的に明らかにした。また、より高い $T_c$ の(Ga,Mn)Asでも磁化と保磁力の電界制御に成功した。
  - 2.2 高濃度p型の強磁性半導体(Ga,Mn)Asとn<sup>+</sup>-GaAsからなるトンネル接合において、バンド間トンネルによりスピン偏極した価電子をGaAsの伝導帯へ注入することに成功した。また、(Ga,Mn)As/GaAs界面の障壁高さを明らかにした。
  - 2.3 理論計算よりハーフメタルであると予言されている閃亜鉛鉱構造CrSbを GaAs,

GaSb、および(Al,Ga)Sbバッファ上に成長し、 $T_c$ が400 K以上であることを見出した。また、CrSbとGaAsの積層構造の成長に成功した。

- 2.4 (110)面方位に形成したGaAs/AlGaAs量子井戸におけるスピンドライナミクスを時間分解ファラデー効果測定によって調べ、レーザーパルスによって生成されたスピニ偏極電子と核スピンの相互作用の共鳴現象を観測し、核スピン分極のメカニズムを明らかにした。
- 2.5 InAs/GaSb/AlSbタイプII量子カスケード構造を用いた新しい発光素子構造を提案し、高効率に1THz（～波長300μm）近傍まで長波長化できることを理論的に示した。

### 3. 職員名

教 授：大野英男（1994年より）

助教授：大野裕三（2001年より）

助 手：松倉文礼

助 手：大谷啓太

非常勤研究員：篁 耕司

非常勤研究員：ザオ ジェンファ

### 4. 教授のプロフィール

1982年東京大学工学系研究科電子工学専攻修了。工学博士。1982年北海道大学講師、1983年北海道大学助教授、1988-1990年IBM T. J. Watson研究所客員研究員、1994年より東北大学教授。第12回日本IBM科学賞受賞。応用物理学会、日本結晶成長学会、日本物理学会、電子情報通信学会、APS、IEEE、AVS会員。

### ＜研究テーマ＞

1. 半導体スピントロニクスに関する研究
  - (a) 強磁性半導体およびその量子構造の物性と応用
  - (b) 半導体スピinnメモリの開発
  - (c) 半導体量子構造中のスピinnコヒーレンスの研究と量子情報技術への応用
2. 量子構造によるTHz～遠赤外光発生の研究
3. 量子構造における量子輸送現象の研究
4. 半導体量子構造に関する研究

### 5. 過去1年間（2001年4月から2002年3月まで）の主な発表論文

1. H. Ohno, F. Matsukura, Y. Ohno, "Semiconductor Spin Electronics", JSAP International No. 5, (2002).
2. M. Kohda, Y. Ohno, K. Takamura, F. Matsukura and H. Ohno, "A Spin Esaki Diode", Jpn. J. Appl. Phys. 40, L1274 (2001).
3. G. Salis, D. D. Awschalom, Y. Ohno, and H. Ohno, "Origin of enhanced dynamic nuclear polarization and all-optical nuclear magnetic resonance in GaAs quantum wells", Physical Review B 64, 195304 (2001).
4. J. H. Zhao, F. Matsukura, K. Takamura, E. Abe, D. Chiba, and H. Ohno, "Room-temperature ferromagnetism in zinblende CrSb grown by molecular-beam epitaxy", Applied Physics Letters 79, 2776 (2001).
5. K. Ohtani, H. Sakuma, and H. Ohno, "Emission wavelength control by potential notch in type-II InAs/GaSb/AlSb intersubband light-emitting diodes", Applied Physics Letters 78, 4148 (2001).
6. K. Takamura, F. Matsukura, Y. Ohno, and H. Ohno, "Growth and properties of (Ga,Mn)As films with high Mn concentration", Journal of Applied Physics 89, 7024 (2001).
7. H. Ohno, F. Matsukura, and Y. Ohno, "Spin-dependent phenomena in ferromagnetic/nonmagnetic III-V heterostructures," Solid State Communication 119, 281 (2001).
8. T. Adachi, Y. Ohno, F. Matsukura and H. Ohno, "Spin relaxation in n-modulation doped GaAs/AlGaAs (110) quantum wells", Physica E 10, 36 (2001).
9. D. Chiba, N. Akiba, F. Matsukura, Y. Ohno and H. Ohno, "Properties of (Ga,Mn)As/(Al,Ga)As/(Ga,Mn)As magnetic trilayer structures", Physica E 10, 278 (2001).
10. T. Dietl, H. Ohno and F. Matsukura, "Hole-mediated ferromagnetism in tetrahedrally coordinated semiconductors", Physical Review B 63, 195205 (2001).

## 知能集積システム部

# 集積化知的情報処理システムの基盤技術の研究

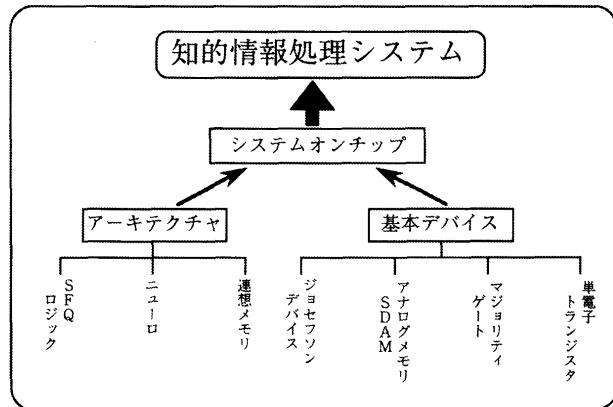
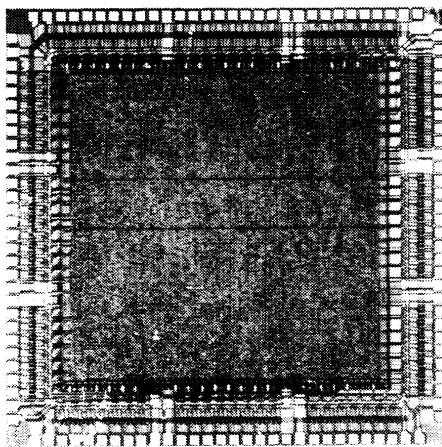


図1 知能集積システム部の研究目標

図2 ストカスティックニューロチップ  
(50ニューロン搭載)

集積回路の大規模化とデジタルデバイスの高速化は情報処理の量と質を飛躍的に高め、現在の情報化社会を築き上げるとともに将来の発展に向かって前進を続けている。その方向は質と量の向上、つまり膨大な情報の知的な柔軟性のある高速処理の実現である。知能集積システム部ではこの方向に向かって、しかしデジタル素子の高速化のみではなく、回路・システムレベルからの広い可能性を加えて検討し、知的情報処理システムの構成法の確立、知的集積回路のCADとその製作、人工集積神経回路網の解析と応用、並びにそれに向けた新しいデバイスの開発を目指している。それに伴い大規模集積回路の構成全般にわたる設計・製作・検査から組立までの新概念に基づく基盤技術の開発をも合わせて行っている。

これまでに神経回路網が目的とする動作を正確に行う設計法と同時に神経回路網のキーデバイスとなる新しいアナログメモリを開発、これらを用いて信頼性の高いパルス出力型でしかも超並列高速演算が可能な電流加算アナログ動作を行う神経回路網をシリコンチップ上に作り出した。このチップの製作にはCMOS集積化技術をベースにフローティングゲートと薄膜トランジスタの製作技術を同時に用いており、知的情報処理システムの集積化を進めるうえで技術的にも重要な位置づけを与えるチップとなっている。また超伝導デバイスを用いた位相モード計算機システムの基本論理回路の集積化にも成功している。さらに新たな機能を持つデバイスや知的回路構成法を探索しており、次の世代の情報処理システムのゲートレベルからの新構築を目指して研究を進めている。

### 〈過去1年間の主な成果〉

ストカスティックニューロシステムの集積化によりマルチチップ構成で千ニューロン、百万シナプスの回路網を構成できる見通しを得た。そのための $0.6\mu\text{m}$ ルールのデジタル使用のチップを完成させ入手したため、これにより離散時間ニューロシステムとしては実用化に向けた対応が可能となった。連続時間ニューロシステムに関してはチップ上の測定を通して非対称結合系におけるリミットサイクル生成のメ

カニズムを解明し、時系列情報連想システム構築のための基本データを取得した。さらにニューロンの発火能力を取り入れた臨界状態ブレインシステムのモデルを新たに提案し、理論と数値計算による解析を行いその動作を解明すると共に最適値問題における局所解からの脱出に有効であることを実証した。量子ニューロンシステムにおいては2次トンネリングの有効性を解析し、それを実装するため微細接合の試作行程を確立、さらにデバイス・回路の試作へと研究を進めている。磁束量子システムにおいては10GHz対応の乗算器を構成して実測により期待される動作を確認し、それを用いてFFTシステムを構成するための検討を行いその設計に着手し、将来の情報処理システムとしての高い可能性を確認した。以上、知的情報処理システムの実現に向けての研究開発を継続的に進めた。

#### 〈職員〉

教 授 中島 康治（1995年より）  
助 手 早川 吉弘, 佐藤 茂雄, 小野美 武

#### 〈教授のプロフィール〉

1949年仙台市生まれ、東北大学工学部電気工学科、同大学院博士課程修了の後、東北大学電気通信研究所助手、助教授を経て1995年より同研究所教授。ジョセフソン能動伝送線路に関する研究で博士の学位を取得、その後磁束量子・反磁束量子のソリトンとしての相互作用の直接観測に成功、その結果を基に量子力学的な位相の概念に基づく電子計算機システムを提案し、基本集積回路の試作と動作の検証を行った。さらにシリコン集積回路による知的情報処理の研究に進み、現在は連想記憶システムやニューラルネットワークによる知的情報処理システムの実現を目指している。

#### 〈研究テーマ〉

1. 集積化ニューラルネットワークの基本構成に関する研究
2. 知的記憶システム・ダイナミックメモリの構成に関する研究
3. 電流制御形インバータによる高性能画像処理集積回路の構成に関する研究
4. 量子計算のための基礎デバイスに関する研究
5. 超伝導位相モード計算機システムに関する研究

#### 〈主な研究発表〉

1. M. Kinjo, S. Sato and K. Nakajima, "Hardware Implementation of a DBM Network with Non-monotonic Neurons", IEICE Transactions on Information and Systems, vol.J85-D-II, no.3, pp.558-567, 2002
2. H. Akima, S. Sato, and K. Nakajima, "A Neural Network with Single Electron Neurons", Proceedings 2001 International Symposium on Nonlinear Theory and Its Applications, pp.625-628, Miyagi Japan, Oct. 2001
3. M. Abe, S. Sato, and K. Nakajima, "Hardware implementation of quantized connection neural networks", Proceedings 2001 International Symposium on Nonlinear Theory and Its Applications, pp.617-620, Miyagi Japan, Oct. 2001
4. K. Nemoto, M. Kinjo, S. Sato, and K. Nakajima, "A Non-monotonic Neurochip using Stochastic Logic", Proceedings 2001 International Symposium on Nonlinear Theory and Its Applications, pp.605-608, Miyagi Japan, Oct. 2001
5. S. Sato, M. Abe, T. Haga, M. Kinjo and K. Nakajima, "A New Approach for Implementation of Analog Neurochips", Proceedings 2001 International Symposium on Nonlinear Theory and Its Applications, pp.505-508, Miyagi Japan, Oct. 2001
6. M. Kinjo, S. Sato, and K. Nakajima, "Evaluation of the Quantum Adiabatic Evolution Algorithm", Proceedings 2001 International Symposium on Nonlinear Theory and Its Applications, pp.323-326, Miyagi Japan, Oct. 2001
7. F. Ishida and Y. Sawada, "Precedence of hand motion in a tracking task: a model of sensory-motor control system", Proceedings 2001 International Symposium on Nonlinear Theory and Its Applications, pp.379-382, Miyagi Japan, Oct. 2001
8. 山名智尋, 早川吉弘, 中島康治, 澤田康次, "環状結合ニューラルネットワークのアトラクタとその流域構造", 電子情報通信学会論文誌A, vol.J84-A, no.7, 2001, pp.911-920
9. T. Onomi, K. Yanagisawa, and K. Nakajima, "New Phase-Mode Logic Gates with Large Operating Regions of Circuit Parameters", IEEE Trans. on Applied Superconductivity, vol. 11, no. 1, pp. 974-977, 2001
10. T. Onomi, K. Yanagisawa, M. Seki, and K. Nakajima, "Phase-Mode Pipelined Parallel Multiplier", IEEE Trans. on Applied Superconductivity, vol. 11, no. 1, pp. 541-544, 2001

### 3.5 評価・分析センター

#### 材料・デバイスおよびシステムの測定・評価・分析



図1 評価分析関連の研究支援

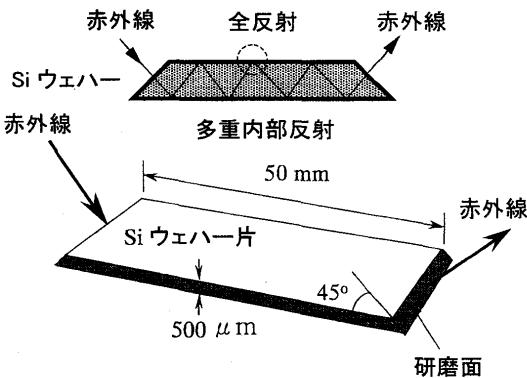


図2 多重内部反射法と多重内部反射用 Si プリズム

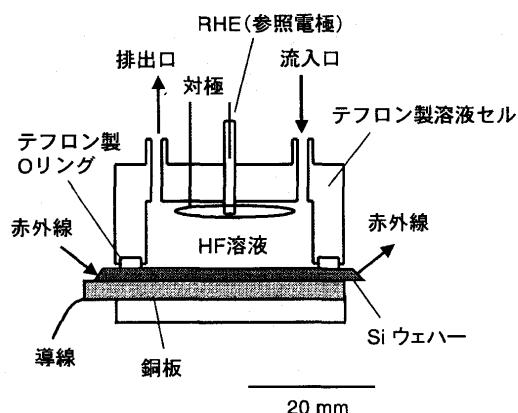


図3 多重内部反射赤外分光法を用いてSi表面のエッティング過程をその場観察できる固液界面反応解析用溶液セル。

#### 1. 分野の目標

評価・分析センターは、通研および工学部電気情報系各研究室の研究ならびに各種共同研究における、材料・デバイスおよびシステムの測定・評価・分析関連の研究支援をする共同利用センターである。材料・デバイスおよびシステムの開発においては、微細化・高性能化・高機能化が重要な課題であり、それに伴って評価・分析の精度・感度の更なる向上が求められている。この材料・デバイス評価の高度化が評価・分析センターの研究目標の一つである。また、センターは共同利用センターとしての役割も担っており、共通利用の分析・評価機器の充実も図っている。これまでに、新機種の導入の他に、各研究分野間の評価分析関連の相互協力体制づくりも行なってきた。

現在、本センターに設置されている装置は、汎用X線回折装置、二結晶X線回折装置、走査型電子顕微鏡、X線トポグラフ装置、赤外分光装置、電子スピン共鳴装置、ヘリウム後方散乱装置、昇温脱離装置、原子間力顕微鏡、紫外・可視分光器、液体クロマトグラフィ装置、二次イオン質量分析装置、 $\mu$ RHEED装置、薄膜X線回折装置、X線カット面検査器、SQUID（磁化測定装置）、フォトルミネッセンス測定装置である。構造解析から電気特性測定まで、幅広いニーズに応えられるように装置を整えている。今まで同様、これらの装置を所内外の研究者・院生・学

生に公開した。最近使用頻度の高い装置は原子間力顕微鏡である。最近、材料表面の原子レベルでの制御が益々重要になっているためである。

## 2. 本年度の主な研究成果

センターでは、新しい分析・評価手法の開発を研究テーマとしている。センターではこれまでに、電子量子デバイス研究分野と共同で、赤外反射分光を用いた新しい半導体表面分析法を開発してきた。その一つが、溶液中シリコン電極表面状態のその場観察手法の開発である。これまでに、半導体電極電圧を印加した状態で半導体電極表面がフッ酸溶液中でエッチングされていく様子をリアルタイムで計測できる装置を開発した。電極電圧を印加しながら電極表面の赤外吸収スペクトルが計測できるため、原子レベルでのエッチング過程の観察が可能になった。また、赤外スペクトルの変化と同時に電極電流の変化もモニターできるため、電荷移動がもたらすエッチングの反応機構がより正確に解明できる。この装置を用いた研究結果については電子量子デバイス研究分野の項で述べている。

本センターでは、半導体ウェーハ表面上の汚染を高感度に評価する赤外分光モニタリングシステムの開発も行っている。これまでに、300 mm径のシリコンウェーハの表面分析に成功し、大気中でも測定できること、非破壊で測定できること、測定時間が短いこと、インライン測定が可能であることなどこの測定法は多くの利点があることを示してきた。本年度は、この手法を用いて、室内汚染や環境環境汚染を高感度で計測する方法について検討し、アセトアルデヒドなどの有害物質のリアルタイム計測に成功した。

## 3. 職員

センター長・教授（兼） 庭野 道夫（1999年から）

## 4. 庭野教授のプロフィール

電子量子デバイス工学研究分野の項を参照。

## 5. 過去1年間の主な研究発表論文

- [1] Yasuo Kimura, Yusuke Kondo, Michio Niwano: "Initial stages of porous Si formation on Si surfaces investigated by infrared spectroscopy," Vol.175/176 (2001) pp.157-162.
- [2] Fumikazu Takayanagi, Michiaki Endo, Kazuyuki Maruo, Haruo Yoshida, and Michio Niwano: "Environmental measurement Technology using multiple internal reflection FTIR (in Japanese)," Trans. the IEE of Japan, Vol.121-E, No.16 (2001) pp. 331-336.

## 3.6 やわらかい情報システム研究センター

### やわらかい情報システムの研究開発と情報システムの管理運用

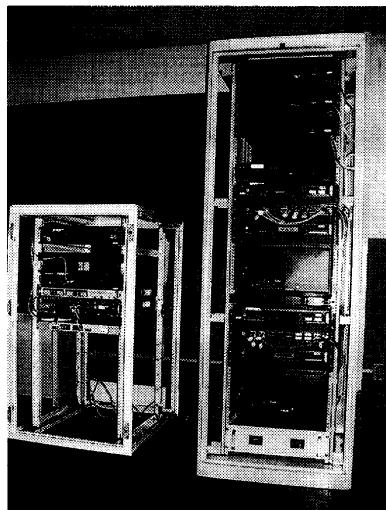


図1 本センターで  
管理する各種  
ネットワーク  
機器

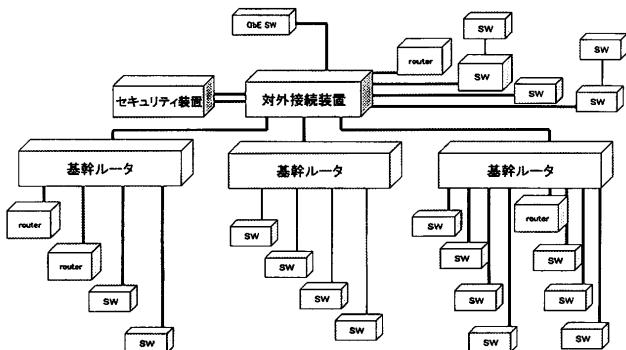


図2 やわらかいグローバルネットワーク

#### 1. センターの目標

現在のコンピュータに代表される情報システムは、前もって決められた使い方で固定的な処理や機能のみを提供するいわゆる「かたい」システムである。本センターにおける研究の目標は、これまでの「かたい」情報処理原理を超えて、人間の意図や環境に適合した柔軟な情報処理を行い、さらに視聴覚などの多元知覚情報をフルに生かすことによって柔軟な人間の思考に対応できるような「やわらかい」情報処理の原理について、理論及び実験を通して明らかにし、そのシステム構成論を確立することである。

更に、学術情報の高度な組織化、利用、管理・運用、発信などのためのやわらかい分散システムの研究を行い、成果を通研所内の学術情報とネットワークの実際面への適用を通して手法の有効性を確認し、その構成論の確立を目指している。

#### <研究テーマ>

1. 情報の収集・組織化・利用・発信及び研究支援環境に関する研究
2. ネットワークの高度な保守・管理・運用に関する研究
3. 生体の知覚情報処理及び知的ユーザインタフェースとOAに関する研究
4. 科学技術と倫理に関する研究

#### 2. 過去1年間（2001年4月～2002年3月）の主な成果

##### (1) やわらかいグローバルネットワークの導入（研究テーマ1に関連）

研究所全体を基幹1Gbps以上、末端でも100Mbpsで結ぶ超高速ネットワークとして、本センターを中心に導入された。このネットワークでは、仮想的LANを組むことにより、物理的に離れた接続点をまとめて一つのネットワーク接続として取り扱うことができ、研究室の配置階や建物が違う部屋などを相互接続し、安全で円滑なネットワークが構成可能となった。

##### (2) ネットワークセキュリティ装置の導入（研究テーマ1に関連）

平成13年度大学研究基盤経費の申請において、通研における「安全なネットワークの利用」の重要性と緊急性が認められ、これを実現する上で必要不可欠な手段となるネットワークセキュリティ装置が導入された。本装置は、前述したグローバルネットワークの安全性を高める役割を担っており、一体化したネットワークシステムとして運用されている。本装置は、外部ネットワークに対するファイアウォールを用意して外部からの不正アクセスを排除する機能を提供する。さらにコンピュータウイルスの攻撃から通研のネットワークを防御するウィルス検知システムも装備している。

### (3) 各種情報システムの構築（研究テーマ1に関連）

電気通信研究所と電気情報系学科の教官で構成される各種委員会の議事録を、各委員会メンバーがWeb上で閲覧でき、委員相互の意見交換も掲示板を利用して行えるシステムを開発した。本システムにより、地理的に離れた通研と青葉山の委員メンバーの連携による活動が、従来に比べて緊密かつ効率的に行えるようになった。

### (4) ネットワークパフォーマンスの制御に関する研究（研究テーマ2に関連）

コンピュータネットワークの実パフォーマンスを向上するために、関連パラメタを適切に制御する手法について研究を行っている。この結果、下記関連文献1,2に示す成果をあげることができた。

### (5) 知的ユーザインタフェースに関する研究（研究テーマ3に関連）

やわらかい情報システムにおいて人間に使いよさを提供するための関連研究として、マルチメディア情報からのオブジェクト抽出や高次臨場感通信に関する研究を行っている。この結果、下記関連文献5に示す成果をあげることができた。

## 3. 職員

### (1) 運営委員会

教 授 白鳥 則郎	(センター長, 1997年より)	矢野 雅文	(1997年より)	潮田 資勝	(2000年より)
鈴木 陽一	(2000年より)	外山 芳人	(2000年より)	木下 哲男	(2001年より)

### (2) 実施委員会

教 授 鈴木 陽一	(委員長, 2000年より)	木下 哲男	(2001年より, 情報シナジーセンター所属)
助教授 岩谷 幸雄	(2002年より)		
助 手 草刈 圭一朗, 西村 竜一, 水柿 義直, 佐藤 茂雄, 加藤 貴司, 今野 将			
COE研究員 佐伯 豊			
研究支援推進員 大學 紀子, 阿部 敦子, 小野さおり	(2002年2月迄)		

## 4. 教授のプロフィール

センター長・白鳥則郎教授のプロフィールは、情報通信システム研究分野を参照。

実施委員長・鈴木陽一教授のプロフィールは、音響情報システム研究分野を参照。

## 5. 主な研究発表

1. 今野将, 北形元, 原英樹, 菅沼拓夫, 菅原研次, 木下哲男, “エージェントによるアプリケーション間コネクションの動的構成手法”, 情報処理学会論文誌, Vol.43, No.2, pp.465-477, 2002.
2. 岩谷幸雄, 木村憲市, 坂田真人, “小規模LANにおけるスループット向上のためのTCP遅延確認応答制御の検討”, 電子情報通信学会論文誌, Vol.J84-B, No. 6 , pp.1099-1102, 2001.
3. 原英樹, 今野将, 菅原研次, 木下哲男, “ソフトウェアエージェント開発教育用システムTAFの設計と実装”, 電子情報通信学会論文誌, Vol.J84-D-I, No.8, pp.1202-1210, 2001.
4. 北形元, 加藤貴司, 菅沼拓夫, 今野将, 木下哲男, “FAMES: エージェントに基づく柔軟な非同期メッセージングシステムの設計と実装”, 情報処理学会論文誌, Vol.43, No.2, pp.487-498, 2002.
5. 松澤 悠樹, 阿部 亨, 熊沢 逸夫, “輪郭線周囲のクラスタリングによる動的輪郭モデルの制御”, 電子情報通信学会論文誌(D-II), Vol.J85-D-II, No.2, pp.252-261, 2002.
6. Ryuji Igarashi, Naoyasu Yamada, Yukio Iwaya, and Masato Sakata, “Random Pulser for Use as a Pulse Train Simulator”, Trans. IEE of Japan, Vol.121-A, No.12, pp.1125-1132, 2001.

### 3.7 21世紀情報通信研究開発センター（IT-21センター）

#### 産官学共同研究体制による情報通信技術 (IT) に特化した実用化技術の確立

##### <センターの目的>

電気通信研究所がこれまで蓄積してきた情報通信技術（IT）に関する実績を、産官学共同研究開発体制により、5年間の期間をもって実用化技術として完成させることを目的として設立した。大学の持つ基本技術をコアとして、設計・評価・実装まで行うことで、試作品レベルの成果を目標とする。また、開発した技術を用いた新しいビジネスモデルの創出とベンチャー企業の設立などにより、東北大学地区の産業振興に貢献し、日本のシリコンバレーとしての地位を確立する。

ITを構成する基本技術として、

- 1) インターネットを中心とする全てのネットワークへアクセス可能なモバイル・ネットワーク技術、
  - 2) ネットワークに直結することで様々な情報を大容量・高速に提供可能とし、ユーザの手元に大容量小型記憶装置を提供するネットワーク・ストレージ技術、
  - 3) ネットワーク、ストレージを自由に使いこなすためのキーボード・ディスプレイ等入出力装置の機能を飛躍的に向上するヒューマン・インターフェース技術、
- の3つが挙げられる。

本センターは、3つの柱として、本研究所が得意分野とし実績を積み重ねてきたモバイル・ネットワーク技術とネットワーク・ストレージ技術に重点を置き、産業界との強力な連携関係により、各プロジェクトから5年毎に新たな実用化技術の完成により継続的に社会へ還元し、世界のITをリードするジャパンスタンダードを生み出す。

平成13年度は、モバイル・インターネット・システム開発プロジェクトとテラビット情報ストレージ開発プロジェクトとして、以下のプロジェクトを立ち上げ、平成14年度からのプロジェクト開始に備え、準備を整えている。

##### ・モバイル・ネットワーク技術の開発

どこにでも無線端末を設置可能なユビキタスネットワークの提供を実現するために、異種材料統合/三次元システムチップの開発を行い超低消費電力・超小型ワイヤレスモデムを開発する。さらに、60GHz帯を用いて1Gbpsを実現する超高速伝送ワイヤレス端末の開発を行う。プロジェクトの専任として、IT-21センター技術開発部モバイル分野を設置し、教授、流動助教授、客員助教授、流動助手の体制により、プロジェクト推進に当たる。

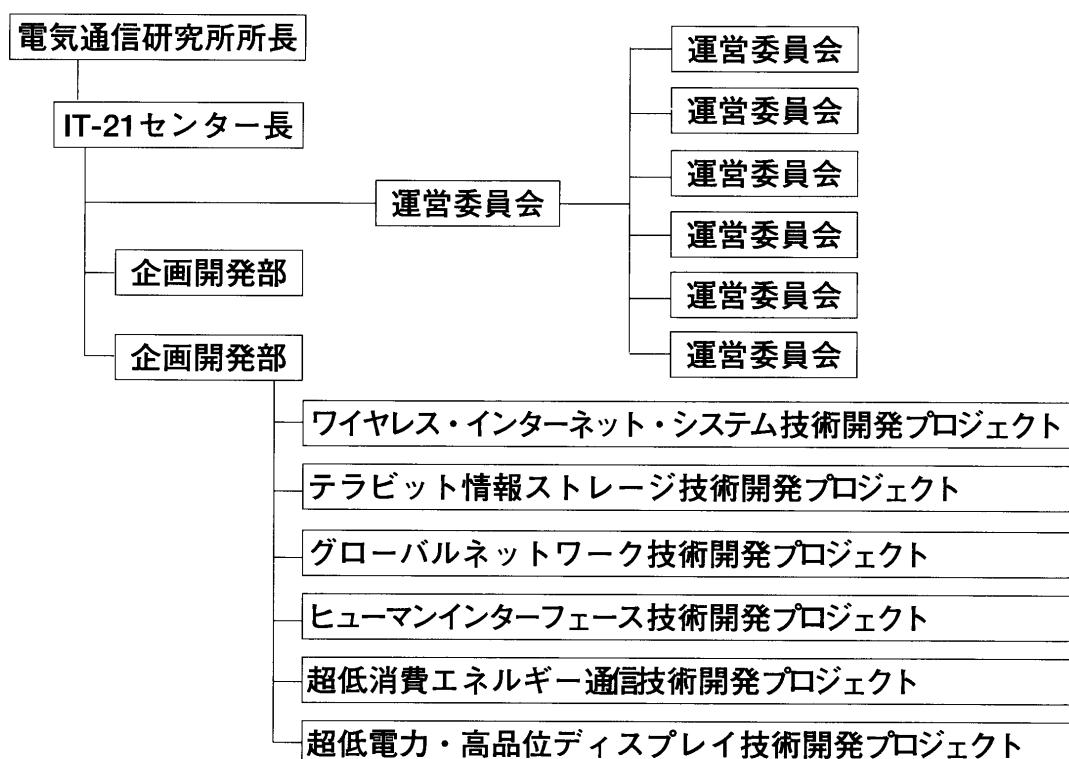
##### ・ネットワーク・ストレージ技術の開発

垂直磁気記録技術を用いた1テラビット/inch<sup>2</sup>を記憶可能な高密度記録技術を確立し、500円玉サイズに新聞230年分の情報を記憶可能なハードディスクを開発する。また、シリンド型ハードディスクを開発し、画像のような超高速ストリーム情報のアクセスが可能な2Gbps伝送超高速アクセスハードディスクシステムを開発する。プロジェクトの専任として、IT-21センター技術開発部ストレージ分野を設置し、教授、助教授、客員助教授、流動助手の体制により、プロジェクト推進に当たる。

上記プロジェクトに加え、IT-21センター企画開発部を設置し、プロジェクトに関するマネージメント、知的財産権の運用など、产学研連携に必要な大学に適したマネージメント体制を確立する。

更に、センター内設備として、IT-21センター棟（旧SKK棟）を改修し、開発室、設計センターなどを整備した。さらに、超高速LSI設計システムを導入し、最先端0.13ミクロンLSIの設計が可能な設計ツール、LSIを高速に設計し大量の設計データを安全に記憶・保存可能なファイルサーバー・ワークステーション、センター内どこでも1Gbpsでデータにアクセス可能なギガビットネットワーク、セキュリティ確保のための世界最先端ファイアウォールを導入し、平成14年度から開始するプロジェクトの準備を行った。

## 21世紀情報通信研究開発センター組織体制



### センター長

教授 坪内和夫

### 運営委員

電気通信研究所	教授 白鳥則郎
電気通信研究所	教授 鈴木陽一
電気通信研究所	教授 坪内和夫
電気通信研究所	教授 荒井賢一
電気通信研究所	教授 中村慶久
電気通信研究所	教授 大野英男
大学院工学研究科	教授 安達文幸
大学院工学研究科	教授 内田龍男
大学院情報科学研究科	教授 亀山充隆

### 3.8 コヒーレントデバイス研究センター

#### 超高速・大容量情報通信を可能にする先端デバイス・システムの開発

##### [センターの目標]

ブレインコンピュータの基本となる超並列システムを実現するためには、分散したプロセッサ間の通信機能と、それを最適化し管理することによって可能となる大容量最速並列情報処理・伝送が不可欠である。これまでの先端的研究成果を基に、超高速情報処理を可能とする新機能材料・デバイスの研究および大容量通信媒体の研究を行うことを目的としている。具体的には、以下の内容について研究を行っている。

○音声・データ・画像などの情報を、「いつでも、どこでも、誰とでも」各自が分散交換機能をもってやりとりできる携帯情報端末（Tele-Pad），ならびにフレキシブルワイヤレスネットワークの開発を目指す。

○レーザおよび非線形光学技術を駆使することにより光～電磁波に至る周波数空間の開拓を大きな目標とし、誘電体ドメイン超格子や新たな構成の光パラメトリック発振技術等を用いて、赤外～テラヘルツ(THz)波に至る波長可変コヒーレント波の発生および検出技術の研究開発を行う。

○超伝導が呈する超高速性及び低電力性は21世紀の情報・通信技術に極めて重要である。高温超伝導デバイスはミリ波ないしサブミリ波帯での電磁波発振・検出素子として有望であり、大出力の発振デバイス、高感度な計測システム、及びコヒーレント波動デバイスの応用の研究を行う。

○次世代の大容量通信では、固体素子を用いた短ミリ波からテラヘルツ帯にいたる電磁波の発生及び検出技術が必要不可欠となる。そこで、高出力固体発振器および超高速検出器、それらを用いた計測技術の研究開発を進めている。発振器開発では、固体素子を2次元的に多数個配列しその電力をコヒーレントに合成する準光学的共振器を用いた空間電力合成技術を用いている。検出器としては、常温動作可能でかつ高速応答特性を持つショットキ・ダイオードを開発しており、その高感度化・低雑音化に取り組んでいる。この周波数帯における計測技術の確立を目指し、2次元検出器アレイシステムや、この周波数帯の回路構成で要求される波長以下の微小な材料の特性評価用近接場顕微鏡の開発を行う。

○強誘電体や圧電体などの機能性材料を評価・作製する独自技術の開発と、それらを通して明らかとなった材料の特長を生かした通信用超音波デバイス・誘電体デバイスの研究を行う。

○数100 GHz帯の高出力・高効率電子ビームデバイス、真空と半導体の機能を融合した新しいデバイスの研究を行う。具体的には、ミリ波・サブミリ波帯電磁波の広

帯域、高効率発生と高機能電界放射陰極の開発とその応用研究を行う。

### [1年間の主な成果]

- ユビキタスネットワークの実現のためには、送受信回路のワンチップ化による高集積化・低消費電力化が望まれる。このために、直交周波数多重変調（OFDM）通信用の高速フーリエ変換（FET）回路のLSIの設計・試作を行った。
- 強誘電体ドメイン超格子を用いたパラメトリック発振結晶において、高出力化・多機能化のためのドメイン構造の新しいデザイン・作製を進め、THz波・中赤外光の発生に成功した。また、有機結晶DASTを用いた光混合法により0.2～10THzの周波数可変コヒーレントTHz波発生に成功した。
- 高温超伝導の磁束量子の超高速運動をBi<sub>2</sub>Sr<sub>2</sub>CaCu<sub>2</sub>O<sub>8</sub>高温超伝導体固有ジョセフ接合により実現し、THz帯電磁波の発生に道を開いた。
- ミリ波帯電磁波によるイメージング技術の高度化を目指して、35GHz帯パッシブ・イメージングにより常温物体の観測に成功した。また、60GHz帯近接場顕微イメージングの高精細化に向けて表面波伝送を抑える方法を開発した。
- 走査型非線型誘電率顕微鏡の分解能サブナノメータ（0.3～0.5nm）を実現した。また、これを用いて1Tbit/inch<sup>2</sup>の記録密度を持つ強誘電体記録の実験に成功した。
- GaAs電界放射陰極を製作し、ガン効果によるマイクロ波帯変調電子ビームの発生及びSi電界放射陰極を用いた可視域スミス・パーセル放射に成功した。

## 3.9 スピニクス研究センター

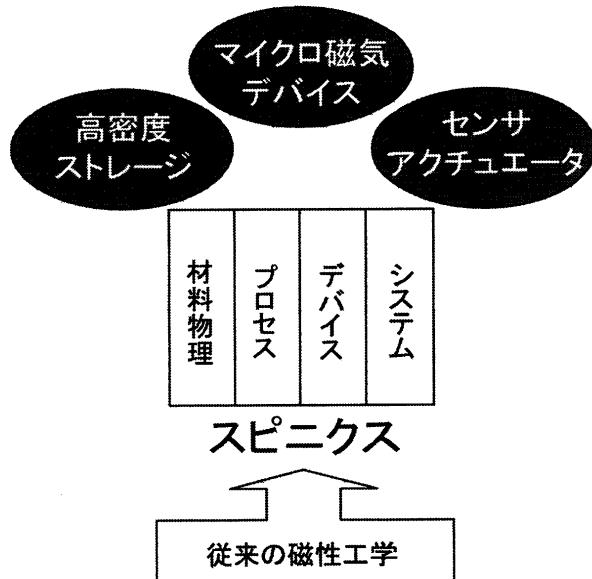
### スピニクス材料・デバイス及びスピニクストレージに関する研究

高密度ストレージ、パワーマグネティックス、マイクロマグネティックス、生体応用磁気分野など、磁性工学に立脚した技術分野は社会的に重要な役割を果たしており、旺盛な性能改善の要請を背景にますます発展を続けている。しかし、主として電磁気学とミクロンオーダの磁区理論を中心にしている従来の磁性工学ではこれから高度な発展を支えるのは不十分であるため、本所ではメゾスコピック領域の微細磁性に着目した研究の重要性を提案し、これに「スピニクス」なるキーワードを与えていた。すなわち、次世代の高性能磁性材料及び磁性デバイス・システムの実現のためにはマクロな磁気特性や磁区理論を越えて、磁性材料を構成する微細結晶粒領域における物性の制御を行なうスピニクスの研究が必須である。例えば、超高密度磁気記録ではサブサブミクロン単位の分解能で極微小な面積に情報を記録・再生する議論が進められ、磁性薄膜のナノメータ領域の微細構造を作り込むことが強く要求されている。しかもこれらは極めて多様で学際的なので、システム、デバイス、プロセス、材料の四者が密接にリンクした研究が望ましい。

このような背景から、スピニクス研究センターでは、ナノスケールに根ざした新しいマグネティックスの学理と応用を目指した研究を行っている。この統合された基礎研究基盤を通して、従来からの発想では得られなかった高性能の磁性材料を開発し、そのデバイス化、ハイブリッド化、システム化を実現することが目標である。

本研究施設における具体的な研究テーマは材料、プロセス、デバイス、及びシステムの分野に大別される。まず、磁性材料についてはストレージデバイスや磁気デバイス等の機能素子の開発上不可欠な軟質及び硬質の薄膜材料について検討し、とくにRF帯で使用可能なマイクロパターン化磁性膜について進展があった。今後、超微粒子軟磁性及び硬磁性薄膜、センサ・アクチュエータ用機能薄膜、高感度磁界検出用多層薄膜、人工格子薄膜、高密度垂直磁気記録媒体など微細構造の制御された新しい磁性材料が得られると期待される。プロセスに関しては、磁気ヘッド、磁気デバイス、マイクロ磁気デバイス等の薄膜素子の集積化と微細組織の制御技術の確立を目指して、スパッタ法、蒸着法などによる製膜技術、三次元微細加工、多層薄膜や平坦化処理などの多層化技術の開発を行っており、加工変質や加工劣化の定量的把握についても検討している。マイクロ磁気デバイス用薄膜リソグラフィー技術については、半導体集積回路プロセスとの整合性を高める点に力点を置いていた。また、集束イオンビームエッティング装置によるナノメータオーダ微細加工技術を利用するデバイス解析も行なっている。

デバイスとシステムについては、超高密度磁気記録デバイスとシステム、並びに



マイクロ磁気デバイスとセンサ・アクチュエータ及びその集積化を柱とする研究を行っている。超大容量ストレージ関連では、本所で提案された垂直磁気記録により次世代超高密度を達成する研究を行なっている。今年度は高飽和磁束密度磁性薄膜を記録磁極にした高記録能力単磁極ヘッドを試作した。メディアについては、記録層の微細構造と異方性を調べ、高密度記録時の主要課題である熱磁気緩和について明らかにし、グラニュラー薄膜とニュークリエーション型薄膜の複合構造が効果的であることが示された。記録理論については、記録密度制限を与えていたメティアノイズとヘッド磁界傾斜との相関を明らかにし、ジッタ性ノイズ低減には磁界勾配急峻化が必須であることを示した。近い将来の国際的な目標である200ギガビット／平方インチを超える高密度記録に対して、以上を総合したシステム的な研究により検討を進めている。集積化デバイスにおいてはEMC問題を検討し、電界誘起電圧抑制型マイクロシールディドループコイルの開発によってRF帯における分解能 $100\mu\text{m}$ の近傍磁界計測を実現した。一方、スピニックマイクロデバイス関係では、本センターの製膜・微細加工装置を利用して、まずSi-MMIC用GHz駆動超小形磁性薄膜インダクタ、 $10^8\text{ Oe}$ 台の磁界分解能を有する薄膜磁界センサなどを開発したほか、それらの高周波特性評価装置として開発した超広帯域1 MHz～6 GHz薄膜透磁率測定装置と、高周波・高分解能近傍磁界プローブを製品化した。次に磁気トルクによる移動機構と、主に渦電流損を用いた発熱機構を一体化し、ヒトの組織を模擬したカンテン内で移動・加熱可能な非接触駆動の磁気マイクロマシンを初めて実現した。現在これらの要素技術を統合し、医療福祉分野への応用を目的としたセンサ・アクチュエータシステムの構築に挑んでいる。

### 【研究テーマ】

1. スピニック機能材料の研究
2. 多層リソグラフィープロセス技術の研究
3. スピニックマイクロデバイスの研究
4. 超大容量スピニックストレージの研究
5. 超高周波磁気物性測定手法の研究

### 【職員】

- 教 授 中村慶久 (1987), 荒井賢一 (1986), 村岡裕明 (2000)  
 助教授 山口正洋 (1991)  
 助 手 島津武仁, 石山和志, 渡辺 功, 斎上 信, 山田 洋

### 【主な研究発表】

1. S. Yabukami, T. Suzuki, N. Ajiro, H. Kikuchi, M. Yamaguchi, K. I. Arai: IEEE Trans. Magn., 37, pp.2019-2021, (2001).
2. K. Ishiyama, M. Sendoh, A. Yamazaki and K. I. Arai: Sensors and Actuators A: Physical, 91, 1-2, pp.141-144, (2001).
3. S. Yabukami, T. Uo, M. Yamaguchi, K. I. Arai, M. Takezawa: IEEE Trans. Magn., 37, pp.2776-2778, (2001).
4. 馬場誠, 末沢健吉, 茂泉孝, 山口正洋, 荒井賢一, 芳賀昭, 島田寛, 田邊信二, 伊東健治: 日本応用磁気学会誌, 25, pp.1091-1094, (2001).
5. Masahiro Yamaguchi, Makoto Baba and Ken-Ichi Arai: IEEE Trans. on Microwave Theory and Techniques, 49, pp.2331-2335, (2001).
6. K. Miura, H. Muraoka, and Y. Nakamura: IEEE Trans. Magn., 37, pp.1926-1928, (2001).
7. Hiroaki Muraoka, and Yoshihisa Nakamura: J. Magn. Magn. Mater., 235, pp.418-423, (2001). (Invited paper)
8. 山田洋, 村岡裕明, 中村慶久: 日本応用磁気学会誌, 25, pp.555-558, (2001).
9. T. Shimatsu, H. Uwazumi, Y. Sakai, A. Otsuki, I. Watanabe, H. Muraoka and Y. Nakamura: IEEE Trans. Magn., 37, pp.1567-1569, (2001).
10. H. Katada, T. Shimatsu, I. Watanabe, H. Muraoka, Y. Nakamura and Y. Sugita: IEEE Trans. Magn., 37, pp.2334-2336, (2001).

## 3.10 附属工場

### 先端情報通信研究のための実験機器開発

#### 1. 附属工場の概要

電気通信研究所附属工場は、所内の各部門の研究を技術面から支援するために、所内の内部処置により昭和30年に発足した共通施設である。独創的な研究を遂行するためには、これまでにない新しい機器や装置を迅速にかつ精度良く製作する必要がある。そのための技術支援を当工場は担ってきている。通研専任教官から選出された工場長と運営委員が附属工場の管理と運営に当たっている。

当附属工場は、これまでに数々の新しい工作方法を開拓し、機器や各種超高真空容器などの精密工作を行い、半導体表面界面の微細構造の解析や構築の研究、高密度磁気記録の研究を始め、数々の高度情報通信に関わる研究に貢献してきた。

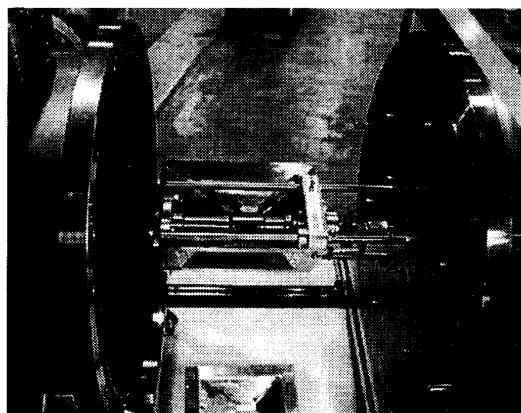
#### 2. 本年度の製作実績

各研究室からの製作依頼は142件あった。

製作した主な製作名は以下のとおりである。

中村研	カー効果測定用直交コイル 高性能三極スバッタ装置	カー効果温度変化測定用ホルダー
鈴木研	一次元音場制御用実験装置 音源用カブラー	二次元音響シミュレーター
矢野研	電極シャフトコネクタ シリコン製反射板	頭部固定具 多電電極ホルダ
山下研	低温用試料ホルダ 発振器ホルダ	ミキサーブロック 磁気ヘッド
舛岡研	シリコンウェハくりぐき用治具	
村岡研	カソードマグネット磁路	
潮田研	光ファイバーホルダ サンプルプレートホルダ	光学ベース クリーバー
庭野研	電磁石ボビン	メタルマスク サンプル研磨治具
横尾研	ジャドウマスク 電子管	AL蒸着用マスク チャンネルプレートホルダ
水野研	60GHz帯カプラマウント 高周波動作型ガンダイオード共振器	ARコート イメージング素子ベース Wバンドガンダイオード発信器
		高周波用バイアスポット

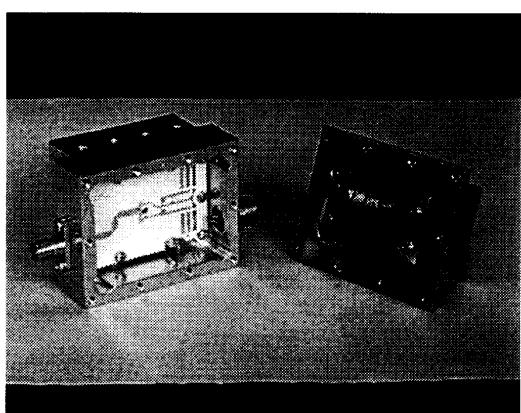
今年製作した主な作品



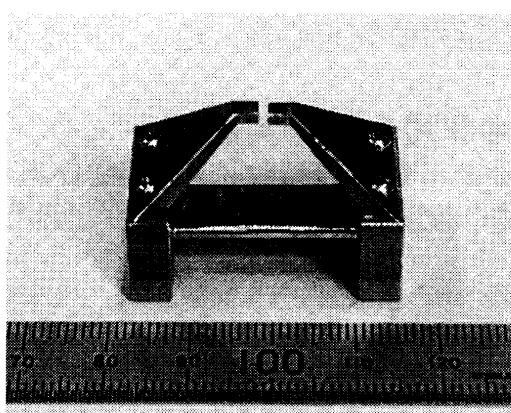
高性能三極スパッタ装置



グローブボックス



ミキサーブロック



磁気ヘッド

<附属工場組織>

工場長 (教授)	横尾 邦義	渡遽 博志	米澤 隆二
(技官)	高橋 吉昭	菅原 宗朋	庄子 康一
	菅原 宗朋	末永 保	

運営委員会

教 授	横尾 邦義	助教授	末光 真希
教 授	水野 暗司	助教授	上原 洋一
教 授	庭野 道夫		

## **第 4 章 通研重点推進研究**

## 平成13年度通研重点推進研究

# フレキシブルワイヤレスネットワークシステムの構築

## SS-CDMA によるセルラ通信技術: アップリンク

### 近似同期 CDMA モデムの開発

#### 1. 本研究の背景と目的

携帯電話の爆発的な普及などに見られるように、移動体通信への要望はますます高まっている。今後通信ネットワークのユビキタス化のためには、携帯電話網に代表される公衆網を補完する自営網が必要となる。携帯電話事業者ではなく、利用者自身が無線通信ネットワークを敷設できる自営網は、今後需要創出が大きく期待できるネットワークの形態である。例えば、携帯電話よりはるかに高速な無線通信回線を局地的に実現するホットスポットは、自営網の一形態である。このような自営網向けネットワークに必要不可欠な条件としては、初期投資額の削減、容易な設置の実現、チャネル数・データレートの自由度の高い設計が挙げられる。

しかし、無線 LAN (local area network) など、2.4GHz ISM (industrial, scientific and medical) 帯を用いた従来の自営網向け無線通信システムでは、セルラ方式による運用が考慮されておらず、サービスエリア拡大には適さない。また、PHS (personal handyphone system) は、有線基幹ネットワークを必要とするため、設置が容易ではない。よって、自営網向けネットワークに必要不可欠な条件を満たすような無線通信システムは、いまだに実用化されていない。

そこで我々は、設計自由度が高い自営網向けセルラ方式無線通信ネットワークとして、SS-CDMA (spread-spectrum code-division multiple-access) フレキシブルワイヤレスネットワークを提案している。本研究では、特にセル内通信上り回線方式に用いる、近似同期 CDMA モデムの開発と評価を行い、SS-CDMA フレキシブルワイヤレスネットワークの実用化を目指す。

#### 2. SS-CDMA フレキシブルワイヤレスネットワーク

SS-CDMA フレキシブルワイヤレスネットワークの基本概念を述べる。本ネットワークの概念図を図 1 に示す。自営網向けセルラネットワークに必要不可欠な条件である、初期投資額の削減、容易な設置の実現、チャネル数・データレートの自由度の高い設計を満たすことができる設計指針を以下に示す。

- (1) 数 10M ~ 100Mbit/s 程度の大容量無線リンクによって基地局間通信を実現することで、有線設置コストを削減する。(投資額の削減、容易な設置の実現)
- (2) ルーティング機能を各基地局に自律分散させて行うことを可能とする。これにより、基地局およびネットワークの初期投資コストを削減する。(投資額の削減、容易な設置の実現)
- (3) セル内通信では、運用免許不要である2.4GHz ISM 帯を使用帶域に採用する。(投資額の削減、容易な設置の実現)
- (4) 本設計例では基本的な通信形態を(a)上下回線 等トラフィック量、(b)回線交換方式、(c)移動速度は最大で歩行者程度、と仮定した場合の回線容量とした。その上で 1 チャネルあたり総合ディジタル通信網 (ISDN) 回線と同じ双方向 64kbit/s

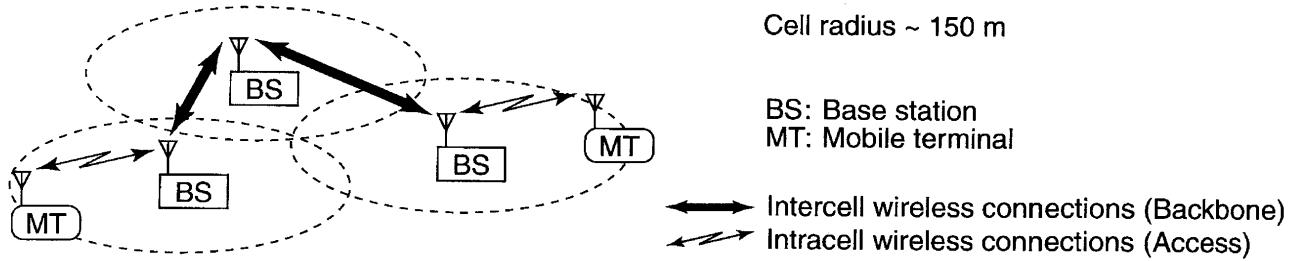


図1：SS-CDMAフレキシブルワイヤレスネットワークの概念図

の情報伝送速度を実現できる回線を半径 150m 程度のセルあたり 24ch 確保する。  
(チャネル数・データレートの自由度の高い設計)

以上の設計指針を満たすような通信方式として、現在、我々は以下のような研究を行っている。

**■基地局間通信：**基地局間通信では、直交周波数分割多重 (OFDM) 通信方式を用いて、大容量基幹ネットワークが実現可能である。また、既に提案している自律分散型レイヤ 2 転送ルーティング技術を用いることで、基地局・基幹ネットワーク設置の自由度が高く、TCP/IP (transmission control protocol/internet protocol) との親和性を持ったネットワークが構築可能である。

**■セル内通信：**セル内通信下り回線として、端末の低消費電力化・低コスト化・伝送レートの高速化が可能なパケット SS-CDMA 方式を提案している。現在、デジタルワンチップモデム LSI の試作を行っており、特性評価により、26 チャネル多重通信可能であることが示されている。セル内通信上り回線としては近似同期 CDMA (AS-CDMA) 方式を提案している。

### 3. 近似同期 CDMA 方式の設計と評価

CDMA 方式上り回線においては、各移動局・基地局間距離差に起因する受信電力誤差や受信タイミング誤差によって、遠近問題と呼ばれる深刻なチャネル間干渉が発生する。従来の公衆網 CDMA 方式では、遠近問題を解決するために、送信電力 1dB 単位で制御段数 70 程度の厳密な送信電力制御 (TPC) を行っている。しかし、複雑な制御信号系が必要であること、高価な高精度送信用パワーアンプが必要であることから、基地局・端末コストを考えると、自営網向けシステムには不向きであった。

そこで、SS-CDMA フレキシブルワイヤレスネットワークのセル内通信上り回線では、拡散符号の設計により、理論的に遠近問題を回避できる近似同期 CDMA 方式を用いる。

#### 3.1 近似同期 CDMA 方式の概念

図2(a)に上り回線における信号伝搬のタイミングチャートを示す。縦軸は、基地局 (BS) からの距離を、横軸は時間を表している。

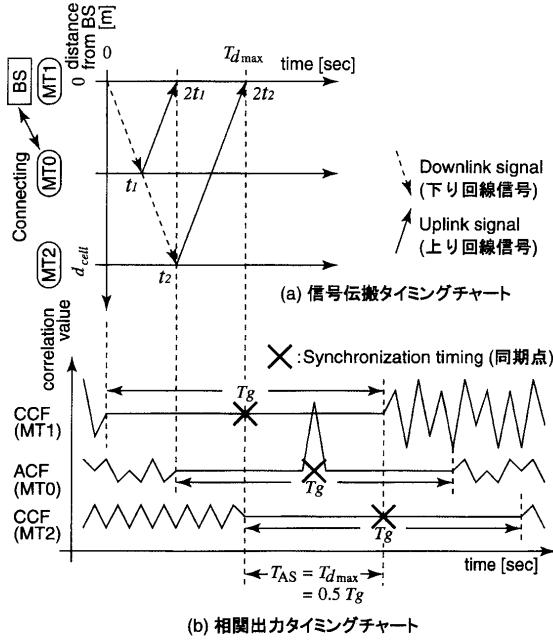


図2：信号伝搬と相関出力のタイミングチャート

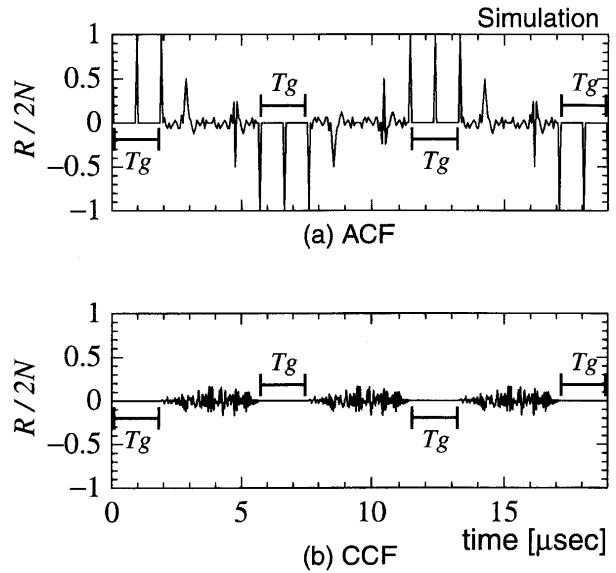


図3：近似同期符号の自己相関波形と相互相関波形

セル半径  $d_{cell}$  のセルの中に、3つの移動局 (MT0, MT1, MT2) がいたと仮定する。MT0 を希望局、MT1 と MT2 を干渉局とする。MT1 は基地局 (BS) の直下にあり、基地局からの距離 0, MT0 はセルの中、MT2 はセルの一番外側にあり、基地局からの距離  $d_{cell}$  に存在すると仮定する。下向きの破線の矢印が下り回線信号、上向きの実線の矢印が上り回線信号を示す。各移動局は、基地局からの下り信号の受信した時に上り信号の送信を開始するものとする。また、ここでは説明を簡単にするために、直接波のみを考える。

基地局が下り回線信号を送信した時刻を  $t = 0$  とすると、MT1 は時刻  $t = 0$  に下り信号を受信し、同時に上り回線信号を送信する。同様に、MT0 は  $t = t_1$  に、MT2 は、 $t = t_2$  に上り回線信号を送信する。上り信号が基地局に到着するまでの時間は、下り信号が要した時間とほぼ等しいので、MT1 の上り信号は、時刻  $t = 0$  に基地局に到達する。同様に、MT0 の上り信号は時刻  $t = 2t_1$  に、MT2 の信号は  $t = 2t_2$  に到達する。

このように基地局での受信信号には、MT1 からの上り信号が到達してから MT2 の信号が到達するまでの最大時間差が生じる。MT1 が基地局の直下、MT2 がセルの一番外側にいるので、セル半径  $d_{cell}$  から最大時間差  $T_{d_{max}}$  を求めることができる。光速を  $c$  とすると最大時間差  $T_{d_{max}}$  は、式(1)のように見積もることができる：

$$T_{d_{max}} = \frac{2d_{cell}}{c}. \quad (1)$$

図2(b)に基地局の希望信号相関用の相関器より出力される相関出力のタイミングチャートを示す。縦軸は相関値を、横軸は時間を表している。

CCF (MT1) と CCF (MT2) はそれぞれ、受信した MT1 と MT2 の上り信号と MT0 用の相関器との相互相関関数を表している。また、ACF (MT0) は、MT0 の信号と MT0 用の相関器との自己相関関数を表している。また、×点は各信号の同期点を示している。

各信号間の同期点は、図2(b)に示すようにばらつきを持っているが、最大時間差  $T_{d_{max}}$  以内にすべて同期点が存在している。つまり、この時間、各チャネル間の直交

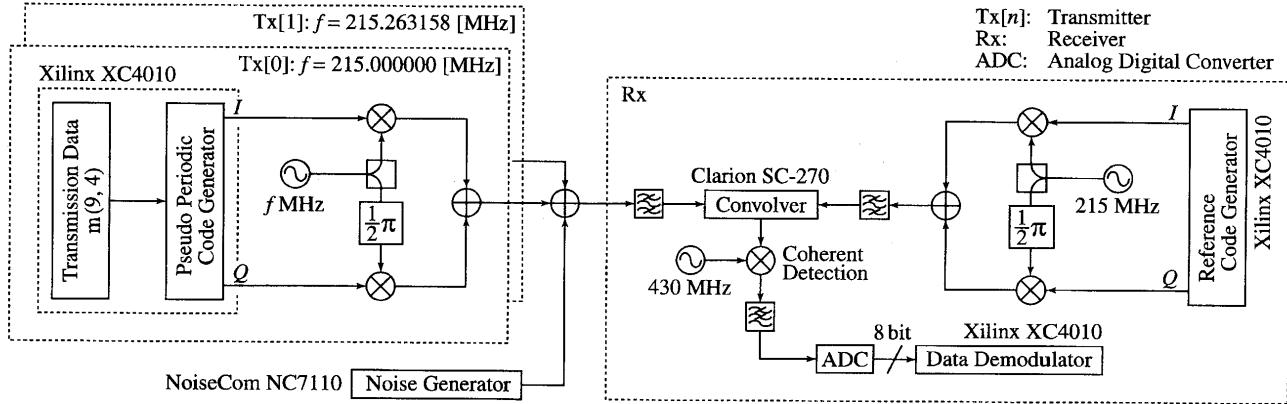


図 4：送受信回路と測定系

性が保持できれば、チャネル間干渉なく通信可能である。この時間を近似同期時間  $T_{AS}$  と定義する。近似同期時間は最大時間差と等しい：

$$T_{AS} = T_{d_{max}}. \quad (2)$$

さらに、受信時刻が最大時間差  $T_{d_{max}}$  ずれた信号間で、近似同期時間  $T_{AS}$  の間、直交性を保持するためには、最大時間差と近似同期時間の和、すなわち近似同期時間の 2 倍の時間、直交性を維持する必要がある。この時間を拡散符号のガードチップ時間  $T_g$  と定義する：

$$T_g = 2T_{AS}. \quad (3)$$

近似同期 CDMA 方式では、チャネル間干渉のないガードチップ時間  $T_g$  を拡散符号の設計により実現し、遠近問題を回避している。この拡散符号は、直交周波数変位手法と擬周期化により設計される。図 3 に、近似同期符号の自己相関波形と相互相関波形の例を示す。縦軸は相関ピーク値で規格化した相関値、横軸は時間を表す。相互相関特性において、ガードチップ時間  $T_g$  に、直交性が現れていることが分かる。

### 3.2 モデムの試作と評価

図 4 に送受信回路と測定系を示す。送信器、受信器のデジタル部は FPGA (field-programmable gate-arrays) 上に実装した。また、相関器として高速信号処理可能なアナログデバイスである、弾性表面波 (SAW) コンボルバを用いた。図 5 に SAW コンボルバを示す。送受信器と加法性白色ガウス雑音 (AWGN) 発生器を図 4 のように有線接続して評価した。信号諸元を表 1 に示す。ここで、拡散符号  $O, O_{2p}$  の要素  $m=0, 1, 2, 3$  は、

$$W_4^m = \exp\left(\frac{j2\pi m}{4}\right) \quad (4)$$

を示す。キャリア周波数を相関器である SAW コンボルバの入力周波数である 215MHz にした。情報変調を BPSK (binary phase shift keying) とした。

図 6 に干渉局がない場合の特性評価を示す。縦軸が BER、横軸が  $E_b/N_0$  である。実線は BPSK 絶対同期検波の理論値、破線は設計した近似同期符号を用いた場合の

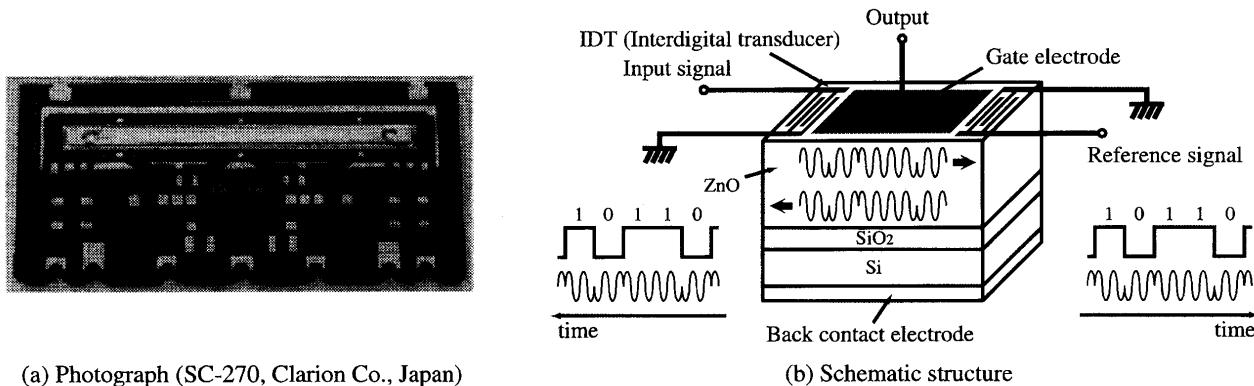


図5：SAWコンバルバ

表1：信号諸元

基礎系列	4相 16chip 直交系列 $O = \{0000012302020321\}$
近似同期符号	$O_{2p} = \{02020321, O, O, 00000123\}$ (周期: $48 = 2 \times 16 + 2 \times 8$ )
チップレート	$R_{chip} = 8.421$ [Mchip/s]
積分時間	$3.8 \mu\text{sec}$
シンボルレート	$R_{symbol} = 175.4$ [ksymbol/s]
チャネル数	2ch
キャリア周波数	$f_c = f_0 + n\Delta f$ ( $n = 0, 1$ ) $f_0 = 215$ [MHz], $\Delta f = 263.158$ [kHz]
情報変調	BPSK
復調	絶対同期検波

理論値である。その結果、近似同期符号理論特性から、 $E_b/N_0$  の劣化 1.0dB 程度のみで、モデムが実装可能であることを示した。

図7に干渉局がある場合の特性評価を示す。横軸はキャリア対雑音電力比 (CNR) である。キャリア周波数偏差を 0.0ppm とした。また、希望局対干渉局電力比 (DUR) を  $-13.3, -17.3, -20.3$  dB とした。DUR  $-20.3$  dB の場合でも、BER  $10^{-3}$ において、CNR の劣化量が 0.5dB 程度であることが分かった。この結果、現状使用可能なデバイスを用いても、制御段数 3～4 段階の緩やかな送信電力制御で上り回線が実現可能であることを示した。

以上より、近似同期CDMA方式がSS-CDMAフレキシブルワイヤレスのセル内通信上り回線に適用可能であることを実証した。

#### 4.まとめ

本研究の成果により、近似同期 CDMA 方式が自営網向けセルラネットワークセル内通信上り回線として実現可能であることを示した。これにより、ネットワークのユビキタス化を目指したSS-CDMA フレキシブルワイヤレスネットワーク構築が可能であることが示された。

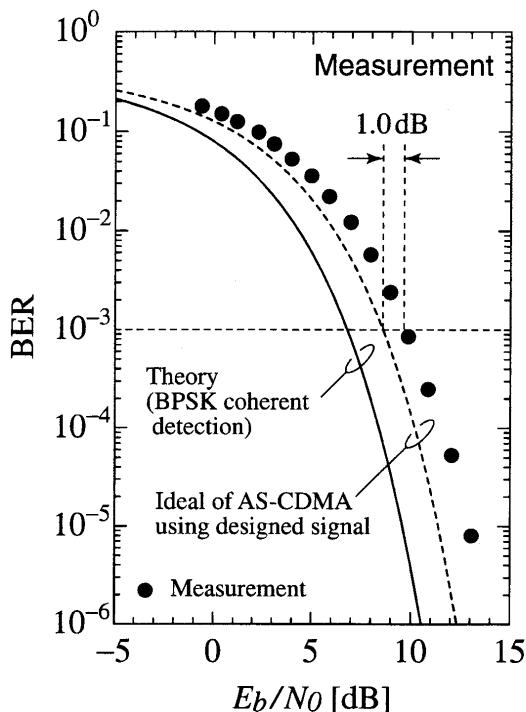
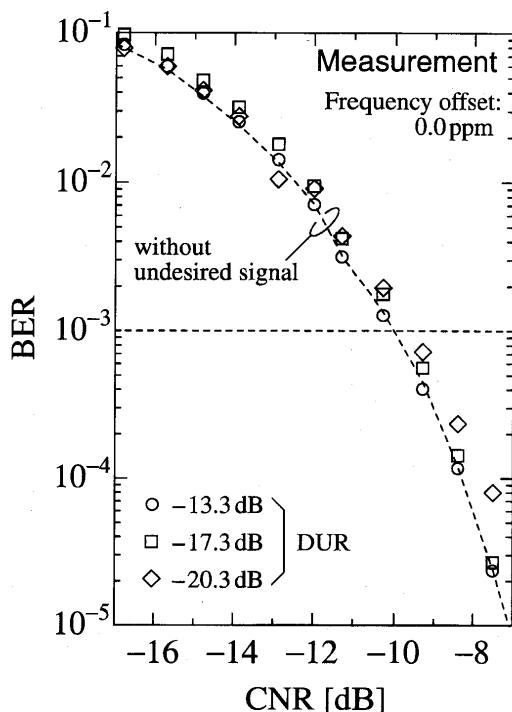
図6：干渉局がない場合の $E_b/N_0$ 対BER特性

図7：干渉局がある場合のCNR 対BER特性

## 職員

教授 坪内 和夫 (1993年より)

助手 中瀬 博之

助手 亀田 卓

## 参考文献

- [1] H. Nakase, Y. Iizuka, S. Kameda, S. Tomabechi, A. Komuro, and K. Tsubouchi, "SS-CDMA flexible wireless network: Packet SS-CDMA modem using SAW matched filter for downlink," IEICE Trans. Commun., vol.E84-B, no.4, pp.747-751, April 2001.
- [2] S. Kameda, K. Takahashi, H. Nakase, and K. Tsubouchi, "SS-CDMA flexible wireless network: Approximately synchronized CDMA for uplink," Proc. IEEE Int. Conf. Commun. (ICC2001), Helsinki, Finland, G72.6, June 2001.
- [3] S. Kameda, K. Takahashi, Y. Iizuka, H. Nakase, and K. Tsubouchi, "SS-CDMA flexible wireless network: Intracell uplink without transmission power control," Proc. 12th IEEE Int. Symp. Personal, Indoor and Mobile Radio Commun. (PIMRC2001), San Diego, CA, USA, E1-1, Oct. 2001.
- [4] 金沢 学志, 鈴木 聰, 亀田 卓, 上田 真司, 中瀬 博之, 坪内 和夫, "ワイヤレスネットワークに適したレイヤ2転送," インターネットコンファレンス 2001, pp.67-75, Nov. 2001.
- [5] 亀田 卓, 小林 宏樹, 山口 敦由, 飯塚 洋介, 中瀬 博之, 坪内 和夫, "近似同期 CDMA 方式におけるセル間干渉の影響," 電子情報通信学会スペクトル拡散研究会, SST2001-91, pp.195-202, March 2001.

## **第 5 章 共同研究**

## 5.1 共同プロジェクト研究の理念と概要

### ○共同プロジェクト研究の理念と概要

本研究所は、情報通信分野における COE (Center of Excellence) として、その成果をより広く社会に公開し、また研究所自体がさらに発展するために全国共同利用研究所として所外の研究者と共同プロジェクト研究を遂行している。本所の学問の性格上、単なる設備の共同利用ではなく、本研究所教官との共同研究を前提とした共同利用研究所であるところに特徴がある。本研究所の「共同プロジェクト研究」とは、情報通信分野における技術・システムに関する各種の研究を国内外の優れた研究者の協力のもとに企画・コーディネートし、プロジェクト研究として実施していくもので、大規模な装置・施設の共同使用に重点がある従来の共同利用型研究とは異なり、研究内容主導型の共同研究である。

共同プロジェクト研究は、所内外の研究者の英知を集めて企画され、さらにその積極的な参加を得て実施されることが肝要である。これまで、本研究所の共同プロジェクト研究の提案および実施は、国・公・私立大学、国・公立研究機関及び、民間企業・団体等の教官及び研究者を対象として、公募により行われている。

### ○共同利用委員会

共同プロジェクト研究の運営のために、共同利用委員会及び共同プロジェクト実施委員会が設置されている。共同利用委員会は、共同プロジェクト研究に関する重要な事項を審議するためには設置されており、その構成は、本研究所教授並びに本学工学研究科及び情報科学研究科の教授の7名の委員よりなっている。共同利用委員会の使命は、本研究所で遂行されている研究内容の特徴を重視しながら、所内外の意見を広く求め、研究所の目的である「高密度及び高次の情報通信に関する学理並びにその応用の研究」の発展に不可欠な共同プロジェクト研究を積極的に推進することにある。これまで、公募研究の内容、採択の基準、外部への広報、企業の参加に関する点等について議論を行ってきており、特に企業の参加に関しては、平成8年度に本所内規「東北大学電気通信研究所共同プロジェクト研究に係る研究者の受入れ等に関する申合わせ」を作成し、公平・公表を原則として積極的な対応を行ってきている。

今年度は、平成13年度共同プロジェクト研究の公募方法に関して議論を行い、次の2点を重点的に考慮し、公募を行うことにした。

- 1) 公募する共同プロジェクト研究の内容を、外部により具体的に明示することを目的に、メインテーマを次のように変更した：「時・距離・言葉の壁を越えるコミュニケーション技術に関する基礎研究」
- 2) より広範囲からの応募を目的として、ホームページ上にて公募要項の掲示を行うこととした。

なお、共同プロジェクト研究の円滑な実施を図るために、本所専任の教官より組織されている共同プロジェクト実施委員会が設置されている。

## ○平成13年度共同プロジェクト研究

平成13年度の共同プロジェクト研究は、所内外から公募され審議の結果次の35件(A:19件, B:16件)が採択された。なお、Aタイプは各々の研究課題について行う研究であり、19件のうち13件が外部よりの提案、Bタイプは短期開催の研究会形式の研究で、16件のうち8件が外部よりの提案のものである。また、Aタイプの研究のうち8件に、Bタイプの研究のうち7件には、民間の研究者が参加している。

### 平成13年度共同プロジェクト研究採択一覧

- H11/A01 IV族半導体極限ヘテロ構造形成と表面・界面制御に関する研究
- H11/A02 二波長半導体レーザによるテラヘルツ電磁波生成
- H12/A01 モバイル共有空間におけるハイパーコミュニケーションに関する研究
- H12/A02 真空マイクロエレクトロニクス用高性能電子源の開発
- H12/A03 プラズマ中フラーレン・微粒子の基礎と応用
- H12/A04 電子デバイス用高温超伝導単結晶の育成に関する研究
- H12/A05 マルチモーダル情報に基づく環境認識過程の解明
- H12/A06 冷凍機を用いた高温超伝導高周波検出・発振システムに関する研究
- H12/A08 超大容量垂直スピニックストトレージシステムの研究
- H12/A09 脳型計算機の構築と人間機械対話環境の実現のための基礎研究
- H12/A10 仮想現実環境のための音空間伝送・再生技術に関する研究
- H12/A11 ネットワーク協調型3次元仮想ユーザビリティラボに関する研究
- H12/A13 超低消費電力無線通信ULSI・ハイブリッド集積化実装技術の研究
- H12/A14 3次元フォトニック結晶とデバイス応用の研究
- H13/A01 磁気ランダムアクセスメモリ用高性能強磁性トンネル接合膜の研究
- H13/A02 高分解能音響センサーに関する研究
- H13/A03 分極反転構造ニオブ酸リチウム光導波路を用いた広波長域波長変換の研究
- H13/A04 ミリ波通信・計測用アクティブ集積化アンテナの開発・研究
- H13/A05 コミュニケーションの成立条件
- H11/B02 脳の情報原理の解明に向けた基礎的研究
- H12/B02 プラズマ加速現象の基礎と応用
- H12/B03 ナノ構造磁性体の形成と機能に関する研究
- H12/B04 ナノ構造の形成と物性機能に関する研究
- H12/B05 超高速・高精度気体絶縁金属基板SOIデバイス・プロセスの研究
- H12/B06 シリコン集積回路の高性能化に関する研究
- H12/B08 発達過程の脳モデルの研究
- H13/B01 大規模量子コンピューターの実現にむけて
- H13/B02 フィールドにおける広帯域脳波の計測及び解析と脳機能
- H13/B03 半導体スピントロニクス
- H13/B04 半導体表面におけるナノプロセスの量子科学
- H13/B05 S式の書き換えに基づく計算体系の基礎研究
- H13/B06 先端EMC計測技術に関する研究
- H13/B07 サブサーフェス制御知能プラズマプロセスに関する研究
- H13/B08 学際的新領域プラズマに関する調査研究
- H13/B09 生体内情報通信システム研究会

## ○共同プロジェクト研究の公募、実施について

共同プロジェクト研究の公募、実施は年度単位で行われている。例年、研究の公募は、11月初旬頃に来年度の研究の公募要項の公開、12月20日前後が申請書の提出締切となっており、採否の結果は3月下旬頃に申請者の所属機関の長を通じて通知される。研究期間は、4月1日より3月15日までであり、研究終了後4月25日前後までに共同プロジェクト研究報告書を提出して頂くことになっている。なお、上の「理念と概要」の項で述べたように、本共同プロジェクト研究は本研究所教官との共同研究を前提としたものであるので、申請にあたっては本所に対応教官がいることが必要である。

なお、本共同プロジェクト研究については、次のweb pageにて広報している：

www-URL: <http://www.riec.tohoku.ac.jp/nation-wide-j.html>

問い合わせ先：東北大学電気通信研究所研究協力掛

電話：022-217-5422

## 課題番号 H11 / A01

# IV族半導体極限ヘテロ構造形成と 表面・界面制御に関する研究

## [ 1 ] 組織

代表者：室田淳一（東北大学電気通信研究所）  
 分担者：  
 潮田資勝（東北大学電気通信研究所）  
 横尾邦義（東北大学電気通信研究所）  
 庭野道夫（東北大学電気通信研究所）  
 末光眞希（東北大学電気通信研究所）  
 上原洋一（東北大学電気通信研究所）  
 松浦 孝（東北大学電気通信研究所）  
 坂本謙二（東北大学電気通信研究所）  
 鶴岡 徹（東北大学電気通信研究所）  
 櫻庭政夫（東北大学電気通信研究所）  
 小柳光正（東北大学大学院工学研究科）  
 栗野浩之（東北大学大学院工学研究科）  
 米永一郎（東北大学金属材料研究所）  
 白木靖寛（東京大学先端科学技術研究センター）  
 宇佐美德隆（東北大学金属材料研究所）  
 安田幸夫（名古屋大学大学院工学研究科）  
 財満鎮明（名古屋大学先端技術共同研究センター）  
 酒井 朗（名古屋大学大学院工学研究科）  
 秋本晃一（名古屋大学大学院工学研究科）  
 池田浩也（名古屋大学大学院工学研究科）  
 平木昭夫（高知工科大学電子・光システム工学科）  
 田部道晴（静岡大学電子工学研究所）  
 青木 駿（東京工芸大学工学部）  
 小林信一（東京工芸大学工学部）  
 松本 智（慶應義塾大学理工学部）  
 坂本統徳（産業技術総合研究所）  
 三木一司（産業技術総合研究所）  
 荒井英輔（名古屋工業大学工学部）  
 畑 朋延（金沢大学工学部）  
 佐々木公洋（金沢大学工学部）  
 土屋敏章（島根大学総合理工学部）  
 石谷明彦（超先端電子技術開発機構）  
 岩井 洋（東京工業大学大学院総合理工学研究科）  
 酒井徹志（東京工業大学大学院総合理工学研究科）  
 宮尾正信（九州大学大学院システム情報科学研究院）  
 佐道泰造（九州大学大学院システム情報科学研究院）  
 中川清和（山梨大学工学部）  
 小野昭一（アルプス電気中央研究所）

阿部孝夫（信越半導体株式会社）

杉山直治（東芝研究開発センター）

国井泰夫（日立国際電気株式会社）

森谷 敦（日立国際電気株式会社）

宮本光雄（森田化学工業株式会社）

池田拓也（日本酸素株式会社）

配分研究費 校費608千円、旅費1,588千円

## [ 2 ] 研究経過

[目的] IV族半導体極限ヘテロ構造形成プロセスの開発はLSI上への新機能デバイス搭載等のために極めて重要である。本プロジェクトでは、原子層制御CVD・エッ칭・不純物ドーピング・MBE法等の極表面・界面での吸着・反応の制御プロセス技術を駆使して、原子層オーダで制御されたIV族半導体極限ヘテロ構造を形成するプロセス技術を開拓することを目的としている。さらに、形成した極限ヘテロ構造体から発現する新しい光・電子物性の探索を行う。扱う材料としては、Si-Ge-C系多層ヘテロエピタキシャル層やP・Bのドーパント原子を始め、Si窒化膜等のIV族半導体を基とする絶縁膜、さらにW等の金属膜とSiの多層膜まで幅広く行う。

[概要] 本年度は本プロジェクトの最終年度として、前年度までの成果を踏まえ、引き続きSi-Ge-Cのエピタキシャル膜や多結晶膜、N, P, B, W等の不純物原子層ドーピングを中心にして極限ヘテロ構造形成技術・表面界面制御技術の研究を進めた。プロセスにはCVD法・MBE法・ECRプラズマ法を用いて行い、相互の方法の比較を行いながら各々の特徴を生かして最適化を進めた。原子レベルでの平坦性及び表面構造の評価にはSTM/AFMやRHEED、表面の吸着物質・原子結合の同定にはXPS・FTIR・ラマン分光を用いている。また、フォトルミネッセンス分光や共鳴トンネルダイオードの電気特性測定・評価を行い、IV族半導体極限ヘテロ構造による新物性の探索を行った。さらに、SiGeをソース・ドレイン、チャネルに導入した極微細pMOSFETの試作・評価を行い、SiGe系デバイス高性能化のための指針を示した。

### [3] 成果

#### (3-1) 研究成果

これまでの本研究の成果により、表面マイグレーションや原子ミキシングを最小限まで抑制した表面・界面制御技術が実現されつつある。特に、SiやGe、C等、族半導体やそれらへのP・Bの超高濃度ドーピング及びそれらを基とした絶縁膜並びに金属膜等を組み合わせたSi系ヘテロナノ構造形成実現に向けて重要な知見が得られている。

具体的にはまず、Si-Ge-C系のエピタキシャル成長並びに多結晶成長制御やPおよびBのin-situ ドーピング制御とその電気的特性、それらの薄膜のエッチング特性の研究を進め、C比率の増加とともに多結晶膜の格子定数が増大し、仕事関数が減少する現象を見いだした。また、BドープSi-Ge-C系薄膜のドライエッ칭において、BやCが側壁に偏析することによりエッチング形状が改善されることを明らかにした。さらに、Si表面のB及びW原子層吸着反応制御とその上へのSi薄膜成長の研究を進め、B及びW原子吸着Si表面上へのSiエピタキシャル成長を実現した。この方法によりSi結晶中に $6 \times 10^{14} \text{ cm}^{-2}$ 及び $5 \times 10^{13} \text{ cm}^{-2}$ の超高濃度B及びWのデルタドーピングを実現した。一方、SiGe系デバイスの高性能化への応用として、不純物ドープ $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$ からの不純物熱拡散による自己整合型極浅ソース／ドレイン形成とSi/Si<sub>0.5</sub>Ge<sub>0.5</sub>ヘテロチャネルを導入した極微細pMOSFETを試作し、ゲート長を $0.1 \mu\text{m}$ まで極微細化してもパンチスルーよの起こらない良好なトランジスタ特性を示すことを確認し、表面チャネル型Si MOSFETに較べてキャリア移動度が増大することにより電流駆動能力を65%改善できるとともに、低周波雑音特性も大幅に改善されることを明らかにした。

本プロジェクトの寄与のある研究成果の一部は、後述の主な研究発表等をはじめとする、学術雑誌、国際会議に発表している。本プロジェクト研究は、Si系ナノデバイスの指針を得ることに重点を置いて、新規プロジェクト研究「IV族半導体極限ヘテロ構造形成とデバイス応用に関する研究」の形で新たに進められることになった。今後、この分野の共同プロジェクトを推進することにより、極限ヘテロ構造に起因する新しいIV族半導体光物性・電子物性の学問分野が大きく切り開かれると同時に、次世代Si系ヘテロナノデバイス開発の道をも開拓できよう。

#### (3-2) 波及効果と発展性

本共同プロジェクト研究のメンバーから多数が参加して、申請が認められた文部省科学研究費補助金特定領域研究(B)「人工IV族半導体の物性制御

と超高速光・電子デバイスへの応用」との連携を密にして、研究を進めることにより、この分野の飛躍的発展が期待される。また、世界各地の研究開発組織が連携して「SiGe Technology & Device Meeting」国際会議（2003年1月）を企画し、世界の英知を結集した討論を予定している。

### [4] 研究会活動（2002年1月28日（月）

東北大学電気通信研究所にて開催)

1. 「SiGe(C)のゲート、ソース・ドレイン、チャネルへの応用」、室田淳一、松浦孝、櫻庭政夫、目黒敏靖（東北大）
2. 「SiGeチャネルMOSFETの $g_m$ —低周波雑音特性およびSiGe/Siヘテロ界面評価」、土屋敏章（島根大）
3. 「レーザ誘起原子層吸着拡散法による極浅接合の形成」、栗野浩之、小柳光正（東北大）
4. 「非選択成長SiGeCを用いた超高速HBTデバイス・プロセス技術」、酒井徹志、山崎崇（東工大）、室田淳一（東北大）、小野昭一（アルプス電気）
5. 「次世代ゲート電極用多結晶SiGe/SiONにおける導入不純物の熱的安定性の向上」、宮尾正信（九州大）
6. 「ひずみSi反転層における正孔有効質量の評価」、杉山直治（東芝）

### [5] 主な研究発表

1. Surface Adsorption and Reaction of Chlorine on Impurity-Doped Single Crystalline Si Using Electron Cyclotron Resonance Plasma, T. Kanetsuna, T. Matsuura and J. Murota, J. Electrochem. Soc., 148, No.8, pp.G420-G423, (2001).
2. Channel Width Dependence of Mobility in Ge Channel Modulation-Doped Structures Order T. Irisawa, H. Miura, T. Ueno, and Y. Shiraki, Jpn. J. Appl. Phys., Vol.40, Part 1, pp.2694-2696, (2001)
3. Epitaxial Growth Techniques : Low-Temperature Epitaxy, J. Murota, Chapter 4 in "Silicon Epitaxy" (Semiconductors and Semimetals, Vol.72), Edited by D. Crippa, D. L. Rode and M. Masi, Academic Press, pp.127-149, Sep., 2001.
4. Characterization of Low Temperature Grown Si Layer for SiGe Pseudo-Substrates by Positron Annihilation Spectroscopy, T. Ueno, T. Irisawa, Y. Shiraki, A. Uedono, S. Tanigawa, R. Suzuki, T.Ohdaira and T. Mikado, J. Crystal Growth, 227-228, pp.761-765, (2001).
5. Modification of the Growth Mode of Ge on Si(100) in the Presence of Buried Ge Islands, N. Usami, M. Miura, Y. Ito, Y. Araki, K. Nakajima and Y. Shiraki,

- J. Crystal Growth, 227-228, pp.782-785, (2001).
6. Thermal Stability of Ge Channel Modulation Doped Structures, T. Irisawa, T. Ueno, H. Miura and Y. Shiraki, J. Crystal Growth, 227-228, pp.796-800, (2001).
7. Epitaxial Growth of Heavily P-doped Si Films at 450°C by Alternately Supplied PH<sub>3</sub> and SiH<sub>4</sub>, Y. Shimamune, M. Sakuraba, T. Matsuura and J. Murota, J. Phys. IV (France), Vol.11, Pr3, pp.255-260, (2001).
8. Low-Frequency Noise in Si<sub>1-x</sub>Ge<sub>x</sub> p-Channel Metal Oxide Semiconductor Field-Effect Transistors, T. Tsuchiya, T. Matsuura and J. Murota, Jpn. J. Appl. Phys., Vol.40, Part 1, No.9A, pp.5290-5293, (2001).
9. CVD法によるSi<sub>1-x,y</sub>Ge<sub>x</sub>C<sub>y</sub>エピタキシャル成長とドーピング制御, 室田淳一, 櫻庭政夫, 松浦孝, 応用物理学会誌, 第70巻, 第9号, pp.1082-1086, (2001).
10. Super Self-Aligned Technology of Ultra-Shallow Junction in MOSFETs Using Selective Si<sub>1-x</sub>Ge<sub>x</sub> CVD, T. Yamashiro, T. Kikuchi, M. Ishii, F. Honma, M. Sakuraba, T. Matsuura, J. Murota and T. Tsuchiya, Mat. Sci. Eng. B, Vol.89, pp.120-124, (2002).
11. Study on Solid-Phase Reactions in Ti/p<sup>+</sup>-Si<sub>1-x,y</sub>Ge<sub>x</sub>C<sub>y</sub>/Si(100) Contacts, A. Tobioka, Y. Tsuchiya, H. Ikeda, A. Sakai, S. Zaima, J. Murota, and Y. Yasuda, Mat. Sci. Eng. B, Vol.89, pp. 373-377, (2002).
12. Influence of Carbon on Thermal Stability of Silicon Atomic Layer Formed on Ge(100), M. Fujiu, M. Sakuraba, T. Matsuura and J. Murota, 2001 Spring Meeting, The European Materials Research Society, Strasbourg, France, June 5-8, 2001, Abs.No.D-VIII/P9.
13. Formation of Strain-Relaxed SiGe Films on Si Substrates with Cap Layers, K. Sugimoto, T. Yamamoto, M. Okada, H. Ikeda, A. Sakai, Y. Yasuda, and S. Zaima, 2nd International Conference on Silicon Epitaxy and Heterostructures, Jun. 5-8, 2001, Strasbourg, France.
14. STM Study on the Initial Growth Process of SiGeC Films on Si(100) Surfaces, Y. Torige, M. Okada, H. Ikeda, A. Sakai, Y. Yasuda and S. Zaima, 2nd International Conference on Silicon Epitaxy and Heterostructures, Jun. 5-8, 2001, Strasbourg, France
15. Atomically Precise Control of Heterointerfaces for High-Performance SiGe-Based Heterodevices, J. Murota, T. Matsuura and M. Sakuraba, 2001 Advanced Research Workshop, Future Trends in Microelectronics: The Nano Millennium, Ile de Bendor, France, June 25-29, 2001, p.51.
16. Atomically Controlled Processing for Group IV Semiconductors (Keynote Lecture), J. Murota, T. Matsuura and M. Sakuraba, 9th European Conference on Applications of Surface and Interface Analysis, Avignon, France, Sep.30- Oct. 5, 2001, Abs.No.MO-KL-MOE, p.20.
17. CVD SiGe(C) Epitaxial Growth and Its Application to MOS Devices (Invited Paper), J. Murota, M. Sakuraba and T. Matsuura, Proceedings of the Sixth International Conference on Solid-State and Integrated-Circuit Technology, Oct. 22-25, 2001, Shanghai, China, Vol.1, pp.525- 530.
18. Exploration of SiGe/Si Heterostructure Interface in SiGe-Channel MOSFETs (Invited Paper), T. Tsuchiya, Y. Imada and J. Murota, Proceedings of the Sixth International Conference on Solid-State and Integrated-Circuit Technology, Oct. 22-25, 2001, Shanghai, China, Vol.1, pp.575-579.
19. Growth Characteristics of Si<sub>1-x,y</sub>Ge<sub>x</sub>C<sub>y</sub> on Si(100) and SiO<sub>2</sub> in Ultraclean Low-Temperature LPCVD, Y. Hashiba, M. Sakuraba, T. Matsuura and J. Murota, AVS 48th International Symposium, San Francisco, California, Oct. 29-Nov. 2, 2001, SS-SC-TuP2, p.135.
20. Self-Limited Layer-by-Layer Growth of Si by Alternated SiH<sub>4</sub> Supply and Ar Plasma Exposure, D. Muto, T. Seino, T. Matsuura and J. Murota, AVS 48th International Symposium, San Francisco, California, Oct. 29-Nov. 2, 2001, EL- WeA3, p.179.

## 課題番号 H11 / A02

# 二波長半導体レーザによるテラヘルツ電磁波生成

### [1] 組織

研究代表者： 日高建彦  
 (湘南工科大学電気工学科)  
 東北大學通研対応教官：伊藤弘昌  
 研究分担者：  
 伊藤弘昌（東北大學電氣通信研究所）  
 南出泰亜（理研フォトダスセンター）  
 諸橋 功（湘南工科大学大学院）  
 前田進一（湘南工科大学大学院）  
 志村 恒（湘南工科大学大学院）  
 秋山 猛（湘南工科大学大学院）

研究費： 校費20万円、  
 旅費20万円

### [2] 研究経過

いわゆるテラヘルツ電磁波の生成、伝送、検出およびそれらの応用に関する研究は近年ますます重要性が増してきている。まず、テラヘルツ電磁波生成であるが、現在もっとも多く研究されているのは、可視一近赤外レーザを第一光源とし、その光源をもとにテラヘルツを非線形効果などにより生成せしめるものである。例えば、強力な近赤外短パルス光をLiNbO<sub>3</sub>などの物質に打ち込み、オプティカルパラメトリック発振をさせ、その発振周波数がテラヘルツ領域になるように結晶の方位とポンピング光などの相互作用を調節するやりかたや、光パラメトリック発振で得た近接二波長光をDASTのような非線形光学結晶に注入し、その差周波を得る方法、半導体で非対称2層量子井戸を作成し、それを強いフェムト秒光パルスで励起し、量子井戸中の電子分布の振動を発生させ、そこからその振動に該当する電磁波を放射させるものである。

ところが、そのようなフェムト秒短パルス光を第一光源とするようなテラヘルツ波発生装置は著しく高価かつ得られるテラヘルツもパルス状であり、全ての目的に対して理想的ではなかった。本プロジェクトでは、研究分担者の一人である日高がかつて開発した二波長同時半導体レーザと、東北大通研伊藤研究室で開発された、DASTと略称されている非線形光学結晶を用いた、非線形差周波

発生法によるテラヘルツ電磁波発生を目的として研究を平成11年度から開始し、毎年1-2回、東北大學通研に二波長同時発振半導体レーザ装置を持ち込み、THz電磁波の検出を試みた。しかしながら、光学非線形効果は入射光のピーク電力の二乗に比例するので、半導体レーザを励起光源として使用することは著しく不利であり、その期待される生成テラヘルツ電力は極めて小さく、理想的と思われる条件のもとでも検出には至っていない。しかしながら、将来的には、半導体レーザを励起源とする、差周波法によるテラヘルツ光源の開発は極めて魅力的と思われる。

また、意外に軽んじられていると思われる、テラヘルツ電磁波伝送導波路の開発を開始した。テラヘルツ領域は水分及び酸素の吸収がかなり強いので、その実用化のためには低損失の光ファイバ（ないしは機能的に該当するもの）が必須になると思われる。ところが、従来はいわゆるライトパイプ（単なる金属パイプ）しかなかった。そこで、平成12度から、新原理のテラヘルツ導波路開発を開発した。この原理を以下に述べる。まず、金属ライトパイプであるが、金属においては、斜め入射電磁波に対しては、その反射率は特に平面波に対しては導波路として要求されるほど高くはないことを数値的に確認し、THz帯で高反射率が得られる新たなクラッディング材の探索を行った。その結果、強誘電体関連材料のうち、可とう性のあるポリマー強誘電体、例えば Polyvinylidene Fluoride (PVDF) が有望であることが判明した。そこで平成12年度において、予備的測定を行い、効果を確認した。引き続き平成13年度はより実際的条件で測定し、伝送効率の角度依存性などを得た。

また、二波長同時発振半導体レーザは上述のごとく、将来の差周波法によるTHz電磁波発生光源として有望視されてはいるが、現状では可同調性および差周波の正確な計測において不十分である。そこで、将来を見越して、まず、二波長半導体レーザのマイクロ波変調（注入電流に直接マイクロ波を重畳する）特性の実験を開始した。

### [3] 成果

#### (3-1) 研究成果

本年度は以下に示す研究成果を得た。

第一に、テラヘルツ領域で金属パイプより低損失と期待される、PVDFなる有機強誘電体を使った中空導波路の開発を開始し、1-2THz の範囲で角度依存性（THz電磁波の進行方向に対する当該導波路の軸方向が傾いている場合）の詳細を得、理論との整合性を確認した。図1に結果の一例を示す。また、図2に図1に対応する理論的予想を示す。これらの実験は東北大学通研、および理研フォトダイナミックスセンターにて行われた。

第二に、二波長半導体レーザにおいて、特異なマイクロ波変調特性を観測した。すなわち、例えば同一強度で二波長発振している状態において、マイクロ波を重畠していくと低周波（3GHz以下）変調では、長波長レーザ光がクエンチされ、ある種端数（4GHz）付近では短波長レーザ光がクエンチされる。さらに高周波（5GHz以上）になると元にもどる。このような現象はまったく新しい現象であり、活性層内のキャリアーダイナミックスに関する新しい知見を提供する可能性がある。図3, 4, 5は変調によって一方の発振線がクエンチされた様子、図6にクエンチ量の変調周波数依存性を示す。理論的解析が現在進行中である。

### (3-2) 波及効果と発展性

本プロジェクトの成果はそれぞれ然るべき国際研究集会、国際的論文誌にて発表あるいは発表予定である。また、その成果はそれぞれ工業的な価値もあると思われる所以、特許申請にむけて準備中である。

### [4] 成果資料

- [1] T. Hidaka, H. Minamide, H. Ito et.al., "Transmission characteristics of PVDF polymer light pipes for coherent THz waves", Fifth International Symposium on Contemporary Photonics Technology, E27, (15-17 Jan., 2002, Tokyo)
- [2] 日高建彦、南出泰亜、伊藤弘昌他, “強誘電性 PVDF を壁材とする THz 導波路 II”, 応物(2002春), 28a-ZS-5。
- [3] 日高建彦、伊藤弘昌他, “二波長同時発振半導体レーザのマイクロ波変調特性 II”, 応物 (2002春) 29a-YS-1。
- [4] T.Hidaka, H.Minamide, H. Ito et.al., "Ferroelectric PVDF Polymer light pipes for THz waves", IQEC/LAT 2002採録決定 (Moscow, 24-27 June, 2002) .
- [5] T.Hidaka, H. Ito et.al., "Microwave modulation

characteristics of a dual-frequency laser diode" , IQEC/LAT 2002 採録決定 (Moscow, 24-27 June, 2002) .

- [6] T.Hidaka, H. Ito et.al., "Ferroelectric PVDF Polymer waveguides for THz waves", The 7th Russia-CIS-Baltic-Japan Symposium on Ferro-electricity", (St. Petersburg, 24-28, June, 2000) 採録決定。

- [7] 日高建彦、伊藤弘昌他, “強誘電性ポリマー PVDF を用いた THz 電磁波用中空導波路”, 電子情報通信学会 LQE 研究会平成14年5月, No.9. 発表予定。

- [8] 日高建彦、伊藤弘昌他, “二波長同時発振半導体レーザのマイクロ波変調特性” 電子情報通信学会 LQE 研究会平成14年5月, No.10. 発表予定。

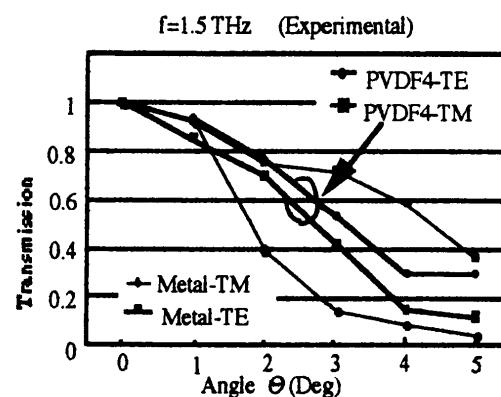


図1. PVDF導波路の伝送効率のティルト角度依存性 (1.5THz).

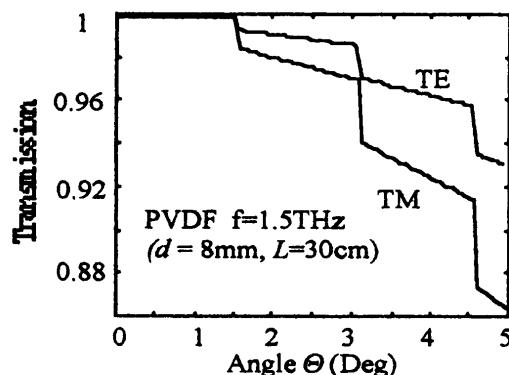


図2. 図1に対応する理論的計算値.

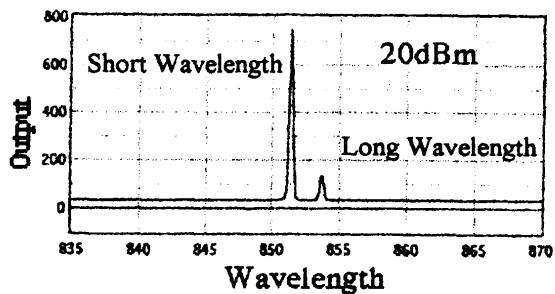


図3. 2GHz, 20dBm のマイクロ波を重畠したときのレーザ発振スペクトル（長波長側がクエンチされている）。

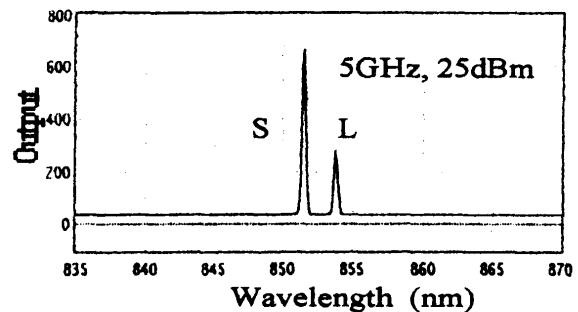


図5. 同5GHzの場合。もとに戻っている。

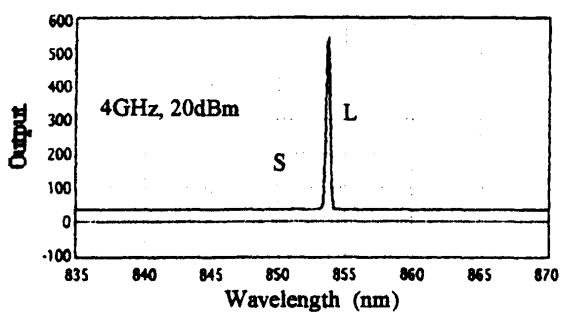


図4. 同4GHz, 20dBm のマイクロ波を重畠したときのレーザ発振スペクトル（短波長側がクエンチされている）。

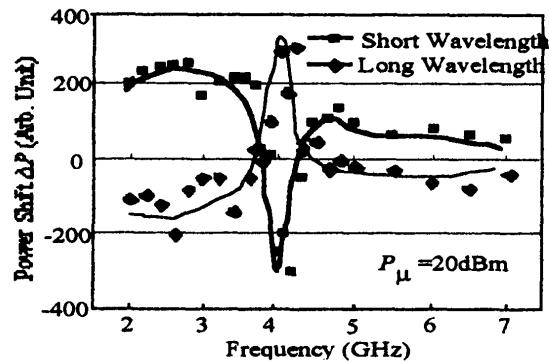


図6. クエンチ状況の変調周波数依存性。

## 課題番号 H12/A01

# モバイル共有空間における ハイパーコミュニケーションに関する研究

## [1] 組織

代表者：水野忠則（静岡大学情報学部）

通研対応教官：白鳥則郎

（東北大学電気通信研究所）

分担者：

富樫 敦（静岡大学情報学部）

渡辺 尚（静岡大学情報学部）

石原 進（静岡大学情報学部／静岡大学工学部）

岡田謙一（慶應義塾大学理工学部）

東野輝夫（大阪大学大学院基礎工学研究科）

勅使河原可海（創価大学工学部）

石田 亨（京都大学大学院情報学研究科）

曾我正和（岩手県立大学ソフトウェア情報学部）

宗森 純（和歌山大学システム情報学センター）

福田 晃（奈良先端大学大学院情報科学研究科）

相田 仁（東京大学大学院新領域創成科学研究科）

小泉寿男（東京電機大学理工学部）

研究費：校費 472千円 旅費 952千円

## [2] 研究経過

コンピュータネットワークを利用した分散環境においては、より多くの情報を、より高速に転送できるようにすることも重要であるが、それ以上に、情報交換する相手が、遠隔地にいたり、時間的なずれがあったり、あるいは移動中であったりしても、情報が伝達可能なモバイル共有空間を実現する技術が必要となる。本プロジェクトは、モバイル共有空間の通信機構を応用システム、通信システムの側面から、その概念を確立することを目的とする。これによって、物理的な地域という疑念でなく、地域には独立に情報を共に共有する空間が必須となり、ビジネスチャンスも飛躍的に増やすことを目指している。

本プロジェクトは本年度が第2年目であった。前年度は、モバイル環境ユーザの意思伝達手段として、モバイルユーザの行動モデルに応じて、進行中の電子会議の内容の要約を揭示するシステムや、音声や文字以外を用いるノンバーバルコミュニケーションを支援するグループウェアを開発した。また、モバイルユーザ移動やアプリケーションの種類に従ってこれらのグループを自律的に構築する手法についての基礎検討を進めた。

本年度は、昨年度の基礎的な検討を元に、モバイル端末の位置情報や、携帯電話のJava搭載によって飛躍的に増加した情報処理能力を活用し、(i)より高度なユーザ間の意思伝達手法、(ii) ビジネスおよびエンターテイメント分野への発展、をめざした検討を進めた。

以下、研究活動状況の概要を記す。1回の研究推進会議ならびにインターネットによる情報交換により、各サブテーマの方向性に対する議論と、今後の大規模プロジェクトへの発展をにらんだ検討を行った。

## (1) 第1回研究推進会議

日時：12月13日～12月15日

場所：東北大学電気通信研究所

## A. 講演と報告

- (1) ネットワーク上のバーチャルリアリティー協調仮想環境  
岡田謙一（慶應大）
- (2) 自動選考機能をもつ部品調達ビジネスモデルと構築評価  
小泉寿男（東京電機大学）
- (3) アドバンスト・コミュニケーションズとは  
鈴木健二（株）アドバンスト・コミュニケーションズ
- (4) IMT2000サービスとモバイルインターネットの研究開発の展望  
高橋修（NTT DoCoMo）
- (5) 分散協調モデルに基づく家電高度制御方式に関する研究  
富樫 敦（静岡大学）
- (6) モバイルハイパーコミュニケーションのための言語の設計と実装  
東野輝夫（大阪大学）
- (7) 位置情報を考慮したP2P情報発信システム  
福田 晃（九州大学）
- (8) 携帯端末・デスクトップPC混合型電子会議システム  
水野忠則（静岡大学）
- (9) モバイルグループウェア  
宗森 純（和歌山大学）
- (10) インターネット上のエンターテイメントコミュニケーションの研究

村山優子（岩手県立大学）

## B. 自由討論（講演者全員）

- (1) 分担者同士の協力による共同研究の推進
- (2) 研究の進め方と次年度の計画
- (3) 大型プロジェクトへの発展方法
- (4) その他

## [ 3 ] 成果

### ( 3 - 1 ) 研究成果

本年度は以下に示す研究成果を得た。

#### (ア) モバイル環境での高度な意思伝達

非対面環境における非同期型のコミュニケーション形態と同期型のコミュニケーション形態を組み合わせた同期・非同期型電子会議システムを実現し、実際の会議の実施によって有効性を検証した。このシステムでは、電子会議の発言のダイジエスト版を自動作成しユーザに掲示することによって、ユーザの会議への途中参加直後の会議内容の理解を促進する。また、本システムを拡張し、携帯電話とPC混在環境でのインターフェースの違いを吸収する電子会議システムを実現した [2] [9]。

ノンバーバル情報による意思疎通を目指して、平面ディスプレイ上で現実空間に近い空間認識を可能とするための視覚的効果を用いたコラボレーションシステムおよび仮想空間上での嗅覚の再現を行うシステムを実現した [4]。

さらに、モバイル端末のみを用いたアプリケーションとして、複数のモバイル端末を集めて大型のディスプレイを得るシステムを実現し、モバイル端末の新たな利用用途を開いた。

この他、モバイル端末活用システム開発のための基盤技術として、モバイル端末の位置情報の管理手法の構築 [8] [12] [13]、分散システム開発手法のモバイル端末への適用に成功した [1] [5] [6] [10] [14]。

#### ( 2 ) ビジネス、エンターテイメントへの適用

インターネット上の戸のメタファを利用したエンターテイメント型のコミュニケーションシステムを構築したほか、家電への適用、ECシステム構築の基礎検討を行った [3] [15]。

#### ( 3 - 2 ) 波及効果と発展性など

#### ( 1 ) 新たなコンピュータネットワーク利用法の開拓

マイクロエレクトロニクス技術と通信技術の統合により、マルチメディアに関する新しい市場ができつつある。特に本年度よりサービスが始まったIMT-2000携帯電話サービスや、JAVA搭載型携帯電話の登場によって、携帯電話の処理能力が飛躍的に向上しており、本研究によって培った高度な

意思伝達技術が実用になりつつある。本研究の成果である同期・非同期型電子会議システム、ノンバーバルコミュニケーション技術、PDAによる情報共有システムなどは、通信機能を有した小型端末による新たなコンピュータネットワークの利用法を広げビジネスチャンスを拡大すると期待される。

本研究で実証した同期・非同期型の電子会議システムやノンバーバルコミュニケーションシステムは、教育システム、医療システム、知的生産システムなどに展開が可能である。本研究による分散環境下で高度なコンピュータネットワークの利用形態は、ネットワーク社会における人々の日常生活や社会活動を支える共通基盤として欠かせないものである。日本における情報通信技術の新たな技術の萌芽が期待できる。

#### ( 2 ) 大型プロジェクトへの発展

本プロジェクトにより、大学間の研究者の交流が活性化し、本プロジェクト参加者の一部より、科学研究費補助金・特定領域研究（「社会を支援するための超環境ネットワークコンピューティングの研究」）を申請するに至った。

## [ 4 ] 成果資料

- [ 1 ] Keiichi Yasumoto, Teruo Higashino and Kenichi Taniguchi: "A compiler to implement LOTOS specifications in distributed environments", The International Journal of Computer and Telecommunications Networking (Computer Networks), Vol.36, No.2-3, pp.291-310 (2001-7).
- [ 2 ] 石川貴士、石原進、井手口哲夫、水野忠則: "遅延差のあるネットワークにおけるメンバ間公平性保証方式の特性評価," 情報処理学会論文誌, Vol. 42, No. 7, pp. 1819-1827 (2001-7).
- [ 3 ] H. Gondo, Y. Murayama, N. Segawa, Y. Nakamoto, and M. Miyazaki: "A Business Model for On-Door Communication Services on the WWW," Proc. of the 6th International Symposium on Logistics (ISL2001) pp. 411-414 (2001-7).
- [ 4 ] 重野寛、本田新九郎、大澤隆治、永野豊、岡田謙一、松下温: "仮想空間における風と香りの表現手法～仮想空間システム Friend Park," 情報処理学会論文誌, Vol. 42, No. 7, pp. 1922-1932 (2001-7).
- [ 5 ] Akio Nakata and Teruo Higashino : "Deriving Parameter Conditions for Periodic Timed Automata Satisfying Real-Time Temporal Logic Formulas" , Proceedings of 21st IFIP WG 6.1 International Conference on Formal Techniques for Networked and Distributed Systems, pp.151-166 (2001-8).

- [ 6 ] Jun Munemori, Emi Miyauchi, Tomohiro Muta, Takashi Yoshino, Kazutomo Yunokuchi: “Development and Application of the Electronic Playing Tag Support System” , Proceedings of Fifth International Conference on Knowledge-Based Intelligent Information Engineering Systems & Allied Technologies (KES’ 2001), pp.1545-1549 (2001-09).
- [ 7 ] Jun Munemori, Takashi Yoshino, Kazutomo Yunokuchi: “A Spiral-Type Idea Generation Method Support System for Sharing and Reusing Ideas among a Group” , Proceedings of 2001 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics (SMC2001), pp. 1898-1903 (2001-10).
- [ 8 ] 宗森純, 宮内絵美, 牟田智宏, 吉野孝, 湯ノ口万友: “電子鬼ごっこ支援グループウェアの開発と適用”, 情報処理学会論文誌, Vol. 42, No. 11, pp.2584-2593 (2001-11).
- [ 9 ] 川口明彦, 加藤善大, 石原進, 酒井三四郎, 水野忠則: “同期型電子会議へのスムーズな途中参加支援のための一方式,” 情報処理学会論文誌, Vol. 42, No. 12, pp. 3031-3040 (2001-12).
- [10] 梅津 高朗, 山口 弘純, 安本 康一, 中田 明夫, 東野 輝夫: “制約指向モデルで記述された対称性を持つ並行システムの形式的検証,” 情報処理学会論文誌, Vol. 42, No. 12, pp.3054-3062 (2001-12).
- [11] N. Segawa, Y. Murayama, and M. Miyazaki: “Information Hiding with a Handwritten Message in Vector-drawing Codes,” Proc. of the 35th Annual Hawaii International Conference on System Sciences (HICSS35) (2002-1).
- [12] Jun Munemori, Tomohiro Muta, Takashi Yoshino: “E-ONIGOCO: Electronic Playing Tag Support System for Cooperative Game,” Proceedings of The 16th International Conference of Information Networking (ICOIN-16), pp. 5D-1.1-5D-1.10 (2002-01).
- [13] 島田 秀輝, 田頭 茂明, 中西恒夫, 福田晃, “移動計算機を含む Peer-to-Peer 情報共有環境における位置管理方式,” 情報処理学会論文誌, Vol. 43, No. 2, pp. 605-615, (2002-2).
- [14] Fumiaki Kanezashi, Xaosong Lu, Atsushi Togashi, System Requirement and Formal Specification of Hierachical Reactive Systems, 情報処理学会論文誌, Vol.43, No.2, pp.361-371 (2002-2).
- [15] 瀬川 典久, 村山優子, 山根信二, 権藤 広海, 宮崎 正俊: “戸口伝言板における匿名化の提案,” 情報処理学会論文誌, Vol. 43, No. 3, pp. 815-824 (2002-3).

## 課題番号 H12/A02

## 真空マイクロエレクトロニクス用高性能電子源の開発

## [1] 組織

代表者：山本恵彦

(筑波大学物理工学系)

責任者：横尾邦義

(東北大学電気通信研究所)

分担者：石塚 浩（福岡工業大学工学部）

川崎 温（埼玉大学理学部）

西川 治（金沢工業大学工学部）

石川 順三（京都大学工学部）

高井 幹夫（大阪大学極限科学研究センター）

浅野 稔正（九州工業大学マイクロ化総合技術センター）

安達 洋（室蘭工業大学工学部）

下山 宏（名城大学理工学部）

岡野 達雄（東京大学生産技術研究所）

伊藤 順司（電子技術総合研究所）

江上 典文（NHK 放送技術研究所）

谷岡 健吉（NHK 放送技術研究所）

富取 正彦（北陸先端科学技術大学院大学）

杉野 隆（大阪大学工学部）

石沢 芳夫（いわき明星大学理工学部）

畠中 義式（静岡大学電子研）

山口 豪（静岡大学工学部）

荻田 正巳（静岡大学工学部）

中西洋一郎（静岡大学電子研）

阪井 清美（郵政省通信総合研究センター）

谷 正彦（郵政省通信総合研究センター）

越田 信義（東京農工大学工学部）

中山 正昭（大阪市立大学工学部）

金谷 敏正（イオン工学研究所）

橋口 原（香川大学工学部）

澤田 和明（豊橋技術科学大学電気・電子工学系）

岡野 健（国際基督教大学教養部）

宮本 恭幸（東京工業大学工学部）

合田 田人（A T R 環境研）

パブロバッカロ（A T R 環境研）

大谷 直毅（A T R 環境研）

佐々木正洋（筑波大学物理工学系）

鈴木 哲（仙台電波高専）

川崎 浩司（仙台電波高専）

斎藤 弥八（三重大学工学部）

蒲生 美香（筑波大学物理工学系）

松本 貴裕（スタンレー）

細田 誠（大阪市立大学）

中根 英章（室蘭工業大学工学部）

三村 秀典（東北大学電気通信研究所）

研究費：校費63万4千円、旅費156万6千円

## [2] 研究経過

真空マイクロエレクトロニクスは、マルチメディアに代表される情報通信の新時代を迎えて、性能の限界に到達しつつある半導体や真空デバイス、各種表示素子などに変わる次世代の革新デバイスを提供するものとして期待されている。本プロジェクト研究は、その基盤を開拓するもので、低電圧で動作し、高輝度で安定かつ低エネルギー分散の電子源を開発することを目的とする。

本年度は、本プロジェクト研究の2年度目であり、Cs吸着Si(111)-7x7表面の局所トンネル障壁の高さ計測と、マイクロマシーニングを用いたナノギャップSiエミッタの電子放射特性、電界放射陰極を用いたスマスピーセル光放射に関する研究を行った。

以下、本年度の主な研究活動状況の概要を記す。

第1回 日時：平成13年11月13日

場所：東北大学電気通信研究所大会議室

テーマ：材料物性と電子放射

(1) 「アルカリ金属、アルカリ土類金属吸着表面および、希土類多ホウ化物、酸化チタン表面の構造及び電子状態に関する研究」

物質・材料研究機構 左右田龍太郎

(2) 「窒素添加ダイヤモンドからの電子放出」

国際基督教大学・物理 岡野健

(3) 「窒化ホウ素からの電子放出とその応用」

大阪大学・大学院工学研究科 杉野 隆

(4) 「Comments for electron emission from a crystalline diamond layer」

東北大・通研 横尾邦義

第2回 日時：平成13年11月23日

場所：東北大学電気通信研究所大会議室

(特定領域研究研究会との共催)

(1) 「高安定真空マイクロ電子源の実現を目指した窒化物・炭化物陰極の開発」

- 京都大学・工学部 石川順三
- (2) 「ビーム支援プロセスによる極微電子源アレイの作製と安定化」  
大阪大学・極限センター 高井幹夫
- (3) 「分子線技術による仕事関数の原子レベル制御」  
筑波大学・物理工学 山本恵彦
- (4) 「高輝度電子源材料の表面電子構造解析と電子源アレイの極限動作解析」  
室蘭工業大学・工学部 安達 洋
- (5) 「電子源の高機能化と低エネルギー分散化」  
東北大学・通研 三村秀典
- 第3回 日時：平成13年12月13日～14日  
場所：東北大学電気通信研究所大会議室  
(電通学会電子デバイス研究会と共に)
- (1) 「ジャイロトロンを光源とする生体用サブミリ波カテーテル照射装置の開発」  
香川医科大学 立川敏明
- (2) 「サブミリ波ジャイロトロンの開発と応用」  
福井大学・遠赤外領域センター 出原敏孝
- (3) 「170 GHz ジャイロトロンの長パルス試験」  
日本原子力研究所 林 健一
- (4) 「大型ヘリカル装置におけるECH のシステムと実験の現状」  
核融合科学研究所 下妻 隆
- (5) 「二重リッジ付き平行二線導波路を用いた自己共鳴ペニオトロンの開発」  
東北大学・通研 佐藤信之
- (6) 「X バンドPPM パルスクライストロンの開発」  
東芝 浦方弘人
- (7) 「Ka 帯250Wpeak ヘリックス進行波管の開発」  
N E C 町田哲夫
- (8) 「半導体ティップ微小電子源からのレーザー支援電界放出」  
福岡工大・工学部 石塚浩
- (9) 「128 × 96 画素冷陰極HARP 撮像板の開発」  
NHK・技研 難波正和
- (10) 「希土類付活SrGa<sub>2</sub>S<sub>4</sub> 蛍光体薄膜の発光特性」  
静岡大・電研 中島宏佳
- (11) 「走査型アトムプローブによる電子源材料の原子レベルでの解析」  
金沢工大・工学部 西川 治
- (12) 「ErO/W(100)及びLuO/W(100)陰極の電界放射特性」  
東研 斎藤 泰
- (13) 「有機材料のスタンプ成形による高密度電子源ティップアレイの作製」  
九工大・マイクロ化センター 椿 弘一

- (14) 「エピタキシャルAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/Si 構造を用いたMOS型電子源の検討」  
豊橋技術科学大学 澤田和明
- (15) 「M I M-F E Dの寿命特性」  
日立 鈴木睦三
- (16) 「B N ナノ構造からのフィールドエミッショング特性」  
阪大・院工 山本知秀
- (17) 「高周波マグネットロンスパッタリングによる遷移金属窒化物・炭化物薄膜の作製と冷陰極材料としての評価」  
京大・院工 後藤康仁
- (18) 「カーボンナノチューブ電界放出電子源のエミッションサイトコントロール」  
阪大・極限センター 趙維江
- (19) 「ビーム支援プロセスによる電界放出電子源の製作と特性」  
阪大・極限センター Werapong Jarupoonphol
- (20) 「結晶性ダイヤモンドからの電界電子放射」  
東北大学・通研 三村秀典
- 第4回 日時：平成14年1月30日  
場所：東北大学電気通信研究所講堂
- (1) 「超高感度HARP 方式撮像管の発明とその応用」  
NHK・技研 谷岡健吉
- (2) 「極薄SOI 構造を用いたSi ナノ構造トンネルデバイス」  
静大・電研 田部道晴

### [3] 成果

#### (3-1) 研究成果

本年度は、以下に示す研究成果を得た。

#### 1. Cs 吸着Si(111)-7x7 表面の局所トンネル障壁の高さ計測

本研究は、仕事関数低減物質として知られているCs をSi(111)-7x7 表面に吸着させた系に着目し、Cs 吸着構造と微視的仕事関数の関係を明らかにすることを目的として行った。Si(111)-7x7 表面上におけるCs 吸着初期段階のS T Mによる局所トンネル障壁の高さ観察を行った。その結果Cs 吸着位置においてCs からSi アドアトムのダングリングボンドへの電荷移動があること、さらにその結果、吸着場所の局所仕事関数のみ減少していることがわかった。

#### 2. マイクロマシーニングを用いたナノギャップSi エミッタの電子放射特性

S O I 基板とSi 異方性エッチング及びL O C O S 技術を用いナノギャップを持つSi 橫型エミッタ

を製作し、透過型電子顕微鏡内で、電界放射のその場観察を行った。ナノギャップを持つSi横型エミッタは1ティップで数mA以上の中から報告のない高い放射電流を示し、ナノサイズのギャップや先端を持つ電子源の先端は超伝導に勝る電流密度を駆動できることが分かった。

### 3. 電界放射陰極を用いたスミスパーセル光放射に関する研究

小型自由電子レーザーへの微小電子源(FEA)の応用の可能性を検証するため、スミスパーセル(SP)光放射実験を行った。微小電子源を陰極として生成した電子ビームを回折格子表面に沿って伝搬させ、350-750 nmの波長範囲の光を発生させた。光は電子ビーム・エネルギー15-60 keVの全領域で検出され、光の波長はスミスパーセル放射理論と良く一致した。

#### (3-2) 波及効果と発展性など

本プロジェクトで創製される電子源は、超高速、高出力、耐環境性において半導体デバイスの欠点を補完、もしくは凌駕する新デバイスの開発や次世代の高精細・高速応答平面ディスプレイの開発を通して真空マイクロエレクトロニクスに飛躍的な技術革新をもたらす。また、本プロジェクトで得られる知見は、次世代エレクトロニクス展開への革新的な基盤技術となると考えられる。

また、本プロジェクトの主要メンバーにより、文部省特定研究(B)“高輝度電子源アレイと真空マイクロエレクトロニクスへの展開”が推進されている。

## [4] 成果

- (1) T.Kondo,T.Tomii,S.Yagyu and S.Yamamoto “Rainbow scattering of CH<sub>4</sub> and C<sub>2</sub>H<sub>6</sub> molecular beams from a LiF(001)surface:dependence on incident kinetic energy and molecular anisotropy”, J.Vac.Sc.Technol.19 (2001)2468 - 2470.
- (2) T.Kondo, H.Kozakai and S.Yamamoto “Dynamics and thermal stability of Cs superstructures on a Pt(111)surface”, J.Vac.Sci.Technol.19 (2001) 2866 - 2869.
- (3) T.Tomii, T.Kondo and S.Yamamoto “Speed distribution of C<sub>2</sub>H<sub>6</sub> molecular beam scattered through chattering collision on a LiF(001)surfce”, J.Vac.Sci.Technol.19 (2001)675 - 680.
- (4) T.Kondo, T.Sasaki and S.Yamamoto, “Disociative chemisorption of CH<sub>4</sub> on a cesiated Pt(111) surface studied by supersonic molecular beam scattering techniques”, J.Chem.Phys.116 (2002)7673 - 7684.
- (5) G.Hashiguchi, K.Kakushima, J.Endo,Y.Wada, H.Mimura, K.Yokoo, and H.Fujita “Emission characteristics and in - Situ TEM observation of Si lateral field emitters”, Technical digest of 14th Internatonal Vacuum Microelectronics Conference, Davis, p.237 - 238,2001.
- (6) H.Mimura, O.Yilmazoglu, H.Shimawaki, K.Yokoo, K.Mutamba and H.Hartnagel, “Emission characteristics of a gallium arsenide wedge emitter monolithically fabricated with an air bridge and a cantilever anode”, Technical digest of 14th Internatonal Vacuum Microelectronics Conference, Davis, p.129 - 130,2001.
- (7) H.Ishizuka, Y.Kawamura, K.Yokoo, H.Shimawaki and A.Hosono, “Smith - Purcell experiment using a field - emitter array cathode:measurements of radiation”, Nucl.Instr.and Meth.A 475, 593 - 598,2001.
- (8) 石塚 浩,河村良行,横尾邦義,三村秀典,嶋脇秀隆,細野彰彦,“半導体ティップ微小電子源からのレーザ支援電界放出”,信学技報ED2001 - 17149 - 56, 2001.

## 課題番号 H12/A03

## プラズマ中フラー・レン・微粒子の基礎と応用

## [1] 組織

企画者：佐藤徳芳（東北大学名誉教授）  
 責任者：水野皓司（東北大学電気通信研究所）  
 分担者：

宮本信雄（東北学院大学工学部）  
 庭野道夫（東北大学電気通信研究所）  
 畠山力三（東北大学工学研究科）  
 飯塚 哲（東北大学工学研究科）  
 平田孝道（東北大学工学研究科）  
 真瀬 寛（茨城大学工学部）  
 佐藤直幸（茨城大学工学部）  
 八井 浄（長岡科学技術大学工学部）  
 石川稜威男（山梨大学工学部）  
 羽鳥尹承（神奈川大学工学部）  
 三重野 哲（静岡大学理学部）  
 上村鉄雄（核融合科学研究所）  
 石黒静児（核融合科学研究所）  
 菅井秀郎（名古屋大学工学研究科）  
 庄司多津男（名古屋大学工学研究科）  
 橋 邦英（京都大学工学研究科）  
 林 康明（京都工芸繊維大学工芸学部）  
 三宅正司（大阪大学接合科学研究所）  
 奥 健夫（大阪大学産業科学研究所）  
 東辻浩夫（岡山大学工学部）  
 福政 修（山口大学工学部）  
 板谷良平（京都大学名誉教授）  
 河合良信（九州大学総合理工学研究科）  
 渡辺征夫（九州大学工学研究科）  
 白石正治（九州大学工学研究科）  
 藤山 寛（長崎大学工学部）  
 藤田寛治（佐賀大学理工学部）  
 加藤公義（デジタルテクノ専門学校）  
 栗本祐司（シャープエコロジー開発センター）  
 杉山 昭（シャープ生産技術開発推進本部）  
 古川和彦（シャープ生産技術開発推進本部）  
 松田彰久（産業技術総合研究所）  
 内田儀一郎（核融合科学研究所）  
 藤原正巳（核融合科学研究所）  
 清水鉄司（独マックスプランク研究所）  
 石原 修（横浜国立大学工学部）  
 小清水隆史（日立国際電気）  
 池上英雄（名古屋大学名誉教授）

浜口智志（京都大学エネルギー科学研究所）

研究費：校費 556千円、旅費 1,418千円

## [2] 研究経過

これまで、宇宙空間物理学、プラズマ材料プロセス、及び核融合プラズマ閉じ込めなどの研究に関連して広く注目を集めている微粒子プラズマの挙動解明を目的に研究を行ってきた。また、フラー・レン・プラズマに関連するプラズマ現象の解明により、フラー・レンをベースにした物質創製への応用の基礎を精力的に築いてきた。本プロジェクトにおいては、上述の成果に基づき更に高効率的にフラー・レン・プラズマの制御を図り、新機能・電子デバイスなどへの応用並びに複合材料創製へ向けて研究を展開する。また、プラズマ中に生成される、あるいは外部から注入された微粒子の電磁場中における挙動を明らかにする。微粒子はプラズマ中で負に帯電し、ケーロン強結合状態を形成する。微粒子群に作用するイオンドラグ力は微粒子群の集団的渦粒運動や回転運動を駆動する。これらの現象を明らかにすると共に制御法を確立することは極めて意義がある。以上をふまえてプラズマ制御によるフラー・レン生成や微粒子の挙動の解明を目指した研究を、全国のプラズマ工学者の英知を集めて行なう。本プロジェクトの第1年度では、フラー・レン・プラズマ法及びアーク放電法において、物質創製に対する最適プラズマ条件探索を目指したプラズマ生成・制御の定量的確立を行なった。外部から与えられた電場や磁場のもとでの微粒子の挙動を明らかにした。第2年度では、新種の原子内包フラー・レン創製に関する基礎実験とその最適条件等を明らかにする。更に、シリコン結合のフラー・レンの生成、並びにフラー・レン内包ナノチューブを実現する。また、電子温度制御下におけるダイヤモンド微粒子の成長や微粒子除去法の更なる改良、微小重力下における微粒子の挙動や特徴に関する実験・考察を行なう。

以下に今年度の主な活動を記載する。

(I) 日時：平成13年6月2日（土）9:00～12:00  
 場所：東北大学大学院工学研究科  
 議題：微粒子プラズマに関する討議

- (Ⅱ) 日時：平成14年2月16日（土）9:00～16:00  
 場所：五橋会館（仙台市青葉区五橋1-5-3）  
 議題：微小重力下における微粒子の課題
1. 通研共同プロジェクト代表挨拶  
佐藤徳芳（東北大名誉教授）
  2. 微小重力科学国際公募について  
渡辺征夫（九州大学）
  3. 微小重力下の微粒子解析  
東辻浩夫（岡山大学）
  4. 微小重力下の微粒子シミュレーション  
上村鉄雄（核融合科学研究所）
  5. 宇宙環境利用に関する地上研究
    - (1)微小重力下におけるプラズマ中微粒子の動的挙動と成長  
飯塚 哲（東北大）
    - (2)微粒子プラズマ・クーロン結晶による結晶核発生過程の研究  
林康明（京都繊維大学）
    - (3)微粒子プラズマ中のクーロン結晶を利用した結晶成長機構の解析  
高橋和生（京都大学）
    - (4)プラズマプロセスによる微小重力下での超高品质結晶Siナノ粒子作製  
渡辺征夫（九州大学）
  - (5)無対流ガスアークによる希少フラーーエン類の高効率合成  
三重野哲（静岡大学）
  6. 微小重力下での微粒子研究の進め方・全体会議  
渡辺征夫（九州大学）
  7. まとめ  
佐藤徳芳
- (Ⅲ) 日時：平成14年2月28日（13:30～17:00）  
 場所：東北大学大学院工学研究科  
 議題：大気圧プラズマ物理の課題
1. 挨拶  
佐藤徳芳（東北大名誉教授）
  2. 大気圧プラズマの課題  
板谷良平（京都大学名誉教授）
  3. 大気圧マイクロ波プラズマの生成とその極微量元素分析への応用放電  
岡本幸雄（東洋大学）
  4. 大気圧低温プラズマプロセシングの将来性と解決すべき諸問題点  
小駒益弘（上智大学）
  5. マイクロ波励起によるマイクロギャップ放電  
河野明弘（名古屋大学）
  6. 自己消弧2極放電による大気圧大面積プラズマ源  
真瀬 寛（茨城大学名誉教授）
  7. 劍山電極型誘電体バリア放電及び同軸ケーブルを用いた新方式による大気圧プラズマの発生  
藤原民也（岩手大学）
  8. 討論とまとめ  
佐藤徳芳

### [3] 成果

#### (3-1) 研究成果

本年度は以下に示すフラーーエン並びに微粒子に関する研究成果を得た。まず第1に金属内包フラーーエンの生成・制御機構を明らかにした。カリウムK（またはナトリウムNa, リチウムLi）の正イオンを接触電離によってプラズマ中に生成し、更に電子親和力の大きなフラーーエンC<sub>60</sub>の負イオンを含むプラズマを生成する。基板に入射するそれぞれイオンの入射フラックス及びエネルギーを精細に制御することにより、高効率的にK, Na, あるいはLiをC<sub>60</sub>の中に内包したフラーーエンを生成することに成功した。また、最も効率良く内包するために必要なイオンエネルギーはこれらのアルカリ金属の直径に比例して増大することを見出した。更には、シリコンを含む電極のアーク放電において、その周辺に補助的にDCあるいはRF放電プラズマ領域を重畠させることにより、極めて効率的に化合物SiC<sub>n</sub>（n>60）を生成することを見出した。n=74の化合物は極めて高い頻度で生成されることが分かった。そのほかにも、n=86, 94, 106, 116, 126などの化合物がより高い確率で生成されることも分かった。HREM像の解析によりシリコン内包フラーーエンの可能性が示された。また、SiC構造を持つカーボンナノチューブの存在が初めて明らかにされた。更に、イオンエネルギーを制御することにより、フラーーエンを内包するカーボンナノチューブの生成に成功した。

微粒子プラズマ中においては、微粒子と周辺プラズマは電気的、力学的に相互に作用し合い、様々な動的挙動を示すことが見出された。特に、垂直磁場を印加したプラズマ中における微粒子の集団回転現象の駆動機構が明らかにされた。4テスラまでの超強磁場を印加することにより、回転角速度が最大値をもつ磁場の存在が示された。また、それ以上の磁場強度では回転速度が減少し飽和することが明らかにされた。この最大角速度になる磁場強度は、中性ガス圧力の増加に伴い増加していくことが分かった。以上により、プラズマ中のイオンと中性ガス原子の衝突平均自由行程と、イオンのラーモア半径の比がこの最大角速度になる磁場の強さを決定していることが明らかにされた。さらに、この集団的回転現象は微粒子の数にも大きく依存することが分かった。すなわち、2, 3個の少数の集団では回転に必要なイオンドラグ力が微粒子と中性ガスとの静止摩擦力を上回るには、強い径方向電場が必要となるが、一旦回転を始めると静止させるには更に径方向電場を弱める必要があることが分かった。更に、メタン水素反

応性プラズマ中に浮遊するダイヤモンド微粒子の成長が観測され、成長機構が明らかにされた。

微粒子の集団的挙動に対する重力の効果が実験的に明らかにされた。通常微粒子は重力と静電力が釣り合うプラズマ下方のシース端に捕捉される。しかしながら、無重力では電界の弱いプラズマ中央部で静電的に捕捉されケーロン結晶などの微粒子集団構造を形成する。プラズマ中央部では超音速のイオン流はなく、理想的な微粒子構造を形成できる。実験は航空機を用いた弾道飛行における20秒間の微小重力時間帯に行われた。湾曲電極間の微粒子群は球殻（シェル）構造を形成することが初めて明らかにされた。また、球グリッドケージ内に捕捉された微粒子群はボイドの無い3次元的な微粒子構造をとることが初めて明らかにされた。

### (3-2) 波及効果及び発展性

本プロジェクトにおける共同研究並びに研究会・討論等により、フラー・レン・微粒子の基礎的解明がすすむとともに、学外研究者との交流が飛躍的に活性化した。金属を内包したフラー・レンやカーボンナノチューブの生成方法の確立及び精密な構造制御は、ナノスケールの半導体、電子デバイス、さらにはバイオや医療等のナノセンサなどの生成に極めて重要であり、今後の発展が期待される。

微粒子駆動機構の解明や制御法の確立は、プロセスプラズマ中の微粒子除去や、宇宙空間プラズマ中の微粒子の挙動解明に大きく寄与できるものと考えられる。また、微小重力下での微粒子挙動の解明は、微粒子固有の集団結晶構造の形成過程に重要な視点を与える。反応性ガスを使ったプラズマ中微粒子の浮遊・成長過程の解明は、3次元的ナノスケール・ミクロンスケール微粒子の成長技術開発に極めて重要となると考えられ、今後の発展が期待される。

## [4] 成果資料

(4-1) 主な研究発表を以下に掲げる。

- (1) Formation of Alkali- and Si-Endohedral Fullerenes Based on Plasma Technology, R. Hatakeyama, T. Hirata, N. Sato, T. Mieno, N. Y. Sato, T. Oku, H. Mase, M. Niwano and N. Sato: Proc. of International Symposium on Fullerenes, Nanotubes, and Carbon Nanoclusters, 11, 341 (2001).
- (2) Structural Modification of Single-Walled Carbon Nanotubes by Alkali-Fullerene Plasma Irradiation, G.-H. Jeong, R. Hatakeyama, T. Hirata, K. Tohji, K.

Motomiya, Y. Kawazoe and N. Sato: Proc. of XXV International Conference on Phenomena in Ionized Gases, 2, 155 (2001).

- (3) Spatial Structure Control of Na-Fullerene Plasma and High-Yield Generation of Endohedral Metallofullerene, T. Hirata, Y. Sugimoto, R. Hatakeyama, and N. Sato: Proc. of XXV International Conference on Phenomena in Ionized Gases, 2, 121 (2001).
- (6) Structural deformation of single-walled carbon nanotubes and fullerene encapsulation due to magnetized-plasma ion irradiation, G.-H. Jeong, R. Hatakeyama, T. Hirata, K. Tohji, K. Motomiya, Y. Kawazoe and N. Sato, Applied Physics Letters, 79, 4213 (2001).
- (7) Dynamics of fine particles in magnetized plasmas, N. Sato, G. Uchida, T. Kaneko, S. Shimizu and S. Iizuka: Physics of Plasmas, 8, 1786 (2001).
- (8) Fine-particle clouds controlled in a dc discharge plasma, G. Uchida, S. Iizuka and N. Sato, IEEE Transactions on Plasma Science, 29, 274 (2001).
- (9) Spin motion of single fine particle in a magnetized plasma, K. Fukagawa, G. Uchida, S. Iizuka and N. Sato: Proc. of XXV International Conference on Phenomena in Ionized Gases, 3, 37 (2001).
- (10) Rotation of strongly-coupled fine particles in a magnetized RF plasma, S. Shimizu, G. Uchida, T. Kaneko, S. Iizuka and N. Sato: Proc. of XXV International Conference on Phenomena in Ionized Gases, 3, 39 (2001).
- (11) Measurements of fine-particle dynamics in a plasma, N. Sato, G. Uchida, and S. Iizuka: 10<sup>th</sup> International Symposium on Laser-Aided Plasma Diagnostics, 2001.

### (4-2) その他の発表

- (1) Electron temperature control and fine particle removal in silane plasma, N. Sato, S. Iizuka, T. Shimizu, G. Uchida and M. Suemitsu, 14<sup>th</sup> Symposium on Plasma Science for Materials, 77(2001).
- (2) Fine particle experiment in plasmas under micro-gravity condition, S. Iizuka, S. Shimizu, W. Suzukawa, G. Uchida, and N. Sato: Second workshop on Fine Particle Plasmas, Basis and Applications, 4(2001).
- (3) Simulation study of Coulomb clusters structures, K. Hirose, G. Uchida, T. Kamimura, S. Iizuka, and N. Sato: Second workshop on Fine Particle Plasmas, Basis and Applications, 8(2001).
- (4) Potential-driven vortices of strongly-coupled fine

particles in a plasma, G.Uchida, K.Hirose, T.Kamimura, S.Iizuka, and N. Sato: Second workshop on Fine Particle Plasmas, 9(2001).

- (5) Diamond dust in a plasma, N. Sato, T. Shimizu, G. Nishimura, G. Uchida and S. Iizuka: Proceedings of the 9<sup>th</sup> Workshop on the Physics of Dusty Plasmas, 20(2001).
- (6) Grid-cage trap of fine-particles in a plasma, N. Sato, G. Uchida, and S. Iizuka: Vth European Workshop on Dusty and Colloidal Plasmas, August 23-25, 2001.
- (7) Numerical simulation on structure and dynamics of finite 2D and 3D Coulomb clusters, K.Hirose, G.Uchida, T.Kamimura, S.Iizuka, and N. Sato: Vth European Workshop on Dusty and Colloidal Plasmas, August 23-25, 2001.

## 課題番号 H12/A04

## 電子デバイス用高温超伝導単結晶の育成に関する研究

## [1] 組織

代表者：田中 功（山梨大学工学部）

責任者：山下 努（東北大学未来科学技術共同研究センター）

分担者：

中島 健介（東北大学電気通信研究所）  
 陳 健（東北大学電気通信研究所）  
 道上 修（岩手大学工学部）  
 大嶋 重利（山形大学工学部）  
 岸田 悟（鳥取大学工学部）  
 酒井 滋樹（産業技術総合研究所）  
 戸叶 一正（物質・材料研究機構）  
 綿打 敏司（山梨大学工学部）  
 A.T.M.N. ISLAM（山梨大学工学部）

研究費：校費44万4千円、旅費63万7千円

## [2] 研究経過

酸化物高温超伝導体の単結晶に特有な性質として固有ジョセフソン接合やジョセフソン・プラズマ現象が知られている。これらの性質を応用して酸化物高温超伝導体単結晶を用いた超高速マイクロ電子デバイスが考案された。この超伝導電子デバイスを開発するために、酸化物高温超伝導体の高品質単結晶が必要不可欠である。本研究では、種々の方法でバルク状や薄膜状の酸化物高温超伝導体単結晶を作製し、それらの単結晶についてデバイス特性などを測定して、電子デバイスとして最適な酸化物高温超伝導体単結晶の作製技術を確立することを目的として研究を行った。

本共同プロジェクト研究は、本年度が第2年度であった。前年度の研究を継続して行い、各共同研究者が専門としている種々の高温超伝導体単結晶の育成に関する研究をもとにして、その中で得られた単結晶を用いてデバイス特性などの物性測定を行った。これまでにLa214系酸化物超伝導体ではバルク単結晶と液相エピタキシャル単結晶膜、Bi2212系酸化物超伝導体ではバルク単結晶とホイスカーラー状単結晶およびY123系やEu123酸化物超伝導体薄膜が得られており、現在、これらの試料についてFIB加工などによりデバイス加工を施し、磁束移動速度やI-V特性などのデバイス特性を検討して

いるところである。

以下に、研究活動状況の概要を記す。

単結晶など試料作製は、各共同研究者の所属機関で行い、デバイス加工およびデバイス特性測定は、主として東北大学電気通信研究所で行った。

試料作製については、(1)  $\text{La}_{2-x}\text{Sr}_x\text{CuO}_4$ 高温超伝導体バルク単結晶のTSFZ法による育成、(2)  $\text{La}_{2-x}\text{Sr}_x\text{CuO}_4$ 高温超伝導体単結晶膜の液相エピタキシャル成長、(3) ブリッジマン法やセルフフラックス法によるBi系酸化物高温超伝導体バルク単結晶の育成、(4) Bi系酸化物高温超伝導体単結晶ウィスカーカーの合成、(5) Bi系酸化物超伝導体薄膜の作製、(6) Y123系やEu123系超伝導体の薄膜作製におけるバッファ層の探索を行った。

デバイス加工では、主に集束イオンビーム加工によりブリッジ型接合 STACK の作製および新しいジョセフソン接合法の開発を行った。デバイス特性測定では、(1) ジョセフソン・プラズマ共振、サブギャップ構造の測定、(2) 固有ジョセフソン効果の測定および理論的解釈、(3) 新現象の観測、(4) 電気抵抗や交流ジョセフソン効果の測定による結晶品質の評価を行った。

平成13年11月26～28日に東北大学工学部青葉記念会館で開催されたFirst East Asia Symposium on Superconductive Electronics(EASSE 2001：東北大学未来科学技術共同研究センター主催)に本共同プロジェクト研究のメンバーが参加し研究成果を発表することで、本共同プロジェクト研究の研究発表会を兼ねた。この国際シンポジウムには、中国、韓国、シンガポール、台湾、インドのアジア諸国その他にドイツやウクライナからも研究者が参加しており、超伝導体単結晶やジョセフソン効果に関する討議を行ったとともに国際交流を深めることができた。

## [3] 成果

## (3-1) 研究成果

本年度は、以下に示す研究成果を得た。まず第一に、 $\text{La}_{2-x}\text{Sr}_x\text{CuO}_4$ 単結晶膜をZn置換 $\text{La}_2\text{CuO}_4$ 単結晶基板上にa軸配向に成長させ、その単結晶膜の抵抗-温度特性を測定した。その結果、膜厚80  $\mu\text{m}$ 以下では膜厚の減少とともに超伝導転移温度

$T_{c,\text{onset}}$ が低下することを明らかにし、この $T_{c,\text{onset}}$ の低下は、基板と成膜との格子不整合により成膜に圧縮応力が印加されたことで説明されることを明らかにした。

第二に、Bi系酸化物超伝導体の単結晶育成については、Bi系酸化物超伝導体単結晶セルフフラックス成長において育成結晶を原料として再結晶化させることにより最大面積 $13.5 \times 12.0 \text{ mm}^2$ の大型単結晶を育成することに成功した。Bi系酸化物超伝導体単結晶ウィスカーの合成では、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 粉末を添加するASGQP(Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Seeded Glassy Quench Platelets)法を考案し、従来の方法より高速で最大長さ1.1cmの長いウィスカーを成長させることに成功した。また、Teを添加したBi-Sr-Ca-Cu-O焼結体からBi-2212単結晶ウィスカーが成長することを確認することができた。

Bi-2212単結晶ウィスカーのクロスジャンクションにおいてウィスカーの交差角が $90^\circ$ のとき臨界電流密度が最大となり $45^\circ$ で最小になることを見いだした。また、Bi2212単結晶ウィスカーの固有ジョセフソン接合の磁束フロー特性よりプラズマ周波数が印加磁場3Tで約1THzと推測することができた。

Bi-2212酸化物超伝導体薄膜の固有ジョセフソン接合のサブプランチ構造から印加磁場1.4~2.0Tでin-phase modeの共鳴、そして、1.0~1.2Tでanti-phase modeの共鳴が起こっていることを指摘し、このことは、Bi-2212結晶内の磁束フローのin-phase協調運動によるサブミリ波帯の発振への応用が期待される。

第三に、レーザアブレーション法による $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$ (Y123)超伝導体薄膜作製では、マイクロ波デバイス用低表面抵抗膜をめざして結晶粒の面内配向を制御するための最適なバッファ層の探索を行った結果、 $\text{BaZrO}_3$ がMgO基板上にYBCOを一方向に制御するバッファ層として有効であることを見いだした。また、 $\text{Gd}_2\text{CuO}_4$ や $\text{Eu}_2\text{CuO}_4$ のバッファ層は、c軸配向Y123薄膜上にa軸配向Y123薄膜を作製させるうえで非常に効果的であり、ジョセフソン接合作製に応用できると考えられる。さらに、SISジョセフソン接合の実現するためには $\text{CeO}_2/\text{SrTiO}_3$ 多バッファ層をEuBa<sub>2</sub>Cu<sub>3</sub>O<sub>7</sub>(E123)薄膜上に作製することによってE123薄膜の劣化やピンホールの発生を抑えたり活性酸素プラズマ処理を行ううえで効果的であることを明らかにした。

### (3-2) 波及効果と発展性など

本プロジェクトは、単結晶育成やデバイス作製を専門とする学外研究者との交流を飛躍的に活性

化し、専門を異にする研究者のネットワークの拡大につながっている。そして、これらのネットワークをもとに新たな大型プロジェクトに発展させていきたい。また、本プロジェクトで明らかになった酸化物超伝導体単結晶の固有ジョセフソン特性は、THz発振デバイスのほかに微小単電子対トランジスターや準粒子注入デバイスへの応用開発に結びつき、今後の発展が期待されている。

### [4] 成果資料

- (1) "Observation of Vortices in the High-Temperature Superconductor", S. Kanno, T. Kawai, S. Satou, H. Yamada, K. Aizawa, M. Kusunoki, M. Mukaida, S. Ohshima, S. Hayashi, T. Nishizaki, N. Kobayashi, Physica C, 357-360, 625-628 (2001).
- (2) "Growth of La-doped  $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_y$  Single Crystals by a Self-Flux Method", K. Maki and S. Kishida, Physica C, 357-360, 716-718 (2001).
- (3) "Growth of  $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_y$  Single Crystals by a Self-Flux Method", H. Imao, S. Kishida and H. Tokutaka, Physica C, 357-360, 719-721 (2001).
- (4) "Growth of  $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_y$  Single Crystals by a Modified Vertical Bridgman Method", H. Tanaka, M. Nakamura and S. Kishida, Physica C, 357-360, 722-725 (2001).
- (5) "Annealing Characteristics of  $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_y$  Single Crystals Grown by a Vertical Bridgman Method", M. Nakamura and S. Kishida, Physica C, 357-360, 821-823 (2001).
- (6) "Microstructure of  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-y}$  Films on  $\text{CeO}_2$ -Buffered  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ", K.D. Develos, H. Yamasaki, A. Sawa, Y. Nakagawa, S. Ohshima, M. Mukaida, Physica C, 357-360, 1353-1357 (2001).
- (7) "Ln Dependence in  $\text{Ln}_2\text{CuO}_4$  Buffer Layer of c-axis In-Plane Aligned a-axis Oriented  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$  Thin Film Growth", M. Mukaida, M. Kusunoki, S. Ohshima, Physica C, 357-360, 1382-1385 (2001).
- (8) "Preparation of  $\text{CeO}_2/\text{SrTiO}_3$  Bilayers Layers as a Barrier Material for SIS Josephson Junctions", H. Wakana and O. Michikami, Physica C, 357-360, 1440-1443 (2001).
- (9) "Effect of Sputtering Induced Oxygen Plasma on Recovery of EuBa<sub>2</sub>Cu<sub>3</sub>O<sub>x</sub> Films", O. Michikami, H. Wakana and T. Hashimoto, IEEE Trans. Appl. Supercond., 11(1), 3197-3200 (2001).
- (10) "Description of Intrinsic Josephson Junctions by the Inductive Coupling Theory", S. Sakai, H. Yamamori, Physica C, 362(1-4), 1-9 (2001).
- (11) "New Approach for Fabricating Submicron Scale

- Intrinsic Josephson Junctions using High-T<sub>c</sub> Superconducting Materials”, S.J. Kim, Yu.I. Latyshev, T. Yamashita and S. Kishida, Physica C, 362, 150-155 (2001).
- (12) “Preparation of La<sub>2-x</sub>Sr<sub>x</sub>CuO<sub>4</sub> Single-Crystalline Films by Infrared-Heated Liquid Phase Epitaxial Technique”, I. Tanaka, K. Ashizawa, H. Tanabe, S. Watauchi and J. Yamanaka, Physica C, 362(1-4), 180-185 (2001).
- (13) “Growth of Bi<sub>2</sub>Sr<sub>2</sub>CaCu<sub>2</sub>O<sub>y</sub> Superconducting Whiskers”, S. Kishida, T. Hirao, S.J. Kim and T. Yamashita, Physica C, 362, 195-199 (2001).
- (14) “Fabrication of Bi2212 Cross-Whiskers Junction”, Y. Takano, T. Hatano, A. Ishii, A. Fukuyo, Y. Sato, S. Arisawa, K. Togano, Physica C, 362(1-4), 261-264 (2001).
- (15) “Fabrication and Critical Currents of Thin-Film-Type Bi<sub>2</sub>Sr<sub>2</sub>CaCu<sub>2</sub>O<sub>x</sub> Intrinsic Josephson Junctions”, H. Fujino, Y. Kasai, H. Ota, S. Migita, H. Yamamori, K. Matsumoto, S. Sakai, Physica C, 362(1-4), 256-260 (2001).
- (16) “Josephson Vortex Flow in La<sub>2-x</sub>Sr<sub>x</sub>CuO<sub>4</sub> Single Crystals”, T. Tachiki, K. Nakajima, T. Yamashita and I. Tanaka, Physica C, 362(1-4), 277-281 (2001).
- (17) “Subgap Structures in the Current-Voltage Properties of La<sub>2-x</sub>Sr<sub>x</sub>CuO<sub>4</sub> Intrinsic Josephson Junctions”, Y. Uematsu, N. Sasaki, Y. Mizugaki, K. Nakajima, T. Yamashita, S. Watauchi and I. Tanaka, Physica C, 362(1-4), 290-295 (2001).
- (18) “Growth Mechanism of Bi-2212 Ribbon-like Thin Films”, S. Arisawa, H. Miao, Y. Takano, Y. Satoh, A. Ishii, T. Hatano and K. Togano, Physica C, 362(1-4), 301-304 (2001).
- (19) “Growth of Bi-Sr-Ca-Cu-O Ribbon-Like Thin Films on Sputter Deposited Ag Film”, Y. Satoh, S. Arisawa, A. Fukuyo, Y. Takano, A. Ishii, T. Hatano, K. Togano, Physica C, 363, 130-139 (2001).
- (20) “Flux-Flow Cavity Resonance Modes in Intrinsic Josephson Junctions by Bi<sub>2</sub>Sr<sub>2</sub>CaCu<sub>2</sub>O<sub>x</sub> Thin Films”, H. Fujino, H. Yamamori, E. Sugimata, K. Matsumoto, S. Sakai, Physica C, 367(1-4), 404-409 (2002).
- (21) “Recovery Treatment for EuBa<sub>2</sub>Cu<sub>3</sub>O<sub>7-y</sub> Films with Insulating Multilayers”, H. Wakana, M. Fujibayashi, N. Fushimi and O. Michikami, IEICE Trans. Electron, E85-C(3), 780-783 (2002).

## 課題番号 H12/A05

# マルチモーダル情報に基づく環境認識過程の解明

### [1] 組織

代表者：小澤 賢司（山梨大学工学部）  
通研対応教官：鈴木 陽一（東北大学電気通信研究所）

#### 分担者：

曾根 敏夫（秋田県立大学システム科学技術学部）  
安倍 幸治（秋田県立大学システム科学技術学部）  
金 海永（秋田県立大学システム科学技術学部）

研究費：校費42万2千円、旅費63万5千円

### [2] 研究経過

ブレインコンピューティングは、例えば歩行中の姿勢制御などのような無意識の過程と、環境を理解した上でどの方向に歩くべきかを決めるといった意識が働く過程に分けることができる。本プロジェクト研究では、後者の過程における前段部分、すなわち環境を理解する過程に焦点をあてるものである。つまり、ヒトが五感を通じて常に外界から情報を得て自分を取りまく環境を認識するという、マルチモーダル情報に基づく環境認識過程を、心理物理学的手法により解明することを目的としている。そのために、本研究では以下のような作業仮説を設け、その妥当性を検証することとした。

環境認識過程は、次の3段階からなる階層構造をなすと仮定する。

- (1) 五感を通じて得た膨大な情報から重要な情報を抽出する。この情報抽出は、五感ごとに独立した過程である。
- (2) 他の感覚との間のクロスモダリティ情報照合により情報修飾が行われた結果として、マルチモーダル情報を得る。
- (3) 記憶・知識の蓄えである脳内データベースとの照合が行われ、環境の認識に至る。

(1)の段階については、従来の研究によって、かなりの程度まで明らかとなっている。本研究の興味は、主に(2)および(3)の段階にある。

本プロジェクトは本年度が第2年度であり、前年度に得た結果を踏まえ、以下のテーマについて研究を行った。

- (A) 聴覚における環境音知覚に及ぼす視覚情報・

### 言語情報の影響の解明

- (B) 聴覚臨場感に及ぼす視覚情報の影響の解明
- (C) 環境音の精密再生手法の開発

さらに、前年度の研究結果から、複数音源が同時に存在する場合の音の知覚について考察する必要があることが示されたので、本年度は以下のテーマを立ち上げた。

- (D) 複数音源による合成音像の定位の解明

次節では、それぞれの研究について得られた成果を述べる。

なお、メンバーの個々が東北大学電気通信研究所を訪れ実験を行うとともに、通研対応教官である鈴木をリエゾンとして打ち合わせを行うことで、プロジェクト全体としての研究遂行状況の確認および研究成果のとりまとめを行った。

### [3] 研究成果

#### (3-1) 研究成果

- (A) 聴覚における環境音知覚に及ぼす視覚情報・言語情報の影響の解明

このテーマで目的とするのは、感覚間のクロスモダリティ情報照合による情報修飾の解明、および記憶・知識の蓄えである脳内データベースとの照合が環境音の知覚に及ぼす影響の解明である。まず、クロスモダリティ情報照合の解明に関して述べる。前年度は、66種類の環境音を対象として、聴覚のみによる実験（実験A）、視覚情報も同時に与えた実験（実験AV）、そして言語情報を予示した実験（実験AL）を行った。その結果から、環境音知覚には言語情報・視覚情報の影響が大きいことがそれぞれ示された。本年度は、それら3種の実験結果を統合して分析した。

実験A, AV, ALの評価値をあわせて66×3個の刺激音についての実験データとみなして因子分析を行い、7因子を得た。第1～3因子は、音色の3因子として知られている、美的・明るさ・量的因子、第4因子は音源情報に関する因子、第5因子は音源の定位情報に関する因子、第6因子は音の存在意義に関する因子、第7因子は懐古・郷愁因子と解釈した。これらの7因子は、前年度に示した、実験A, AV, ALの結果を単独に分析した場合の因子と合致していた。このことから、クロスモダリティによ

る情報照合は音知覚の基本因子を変化させるものではないことを明らかにした。

一方で、因子分析の結果のうち因子得点に着目すると、視覚による修飾と言語による修飾に差異が見られた。現在までに、その差異について予備的検討を行っており、視覚情報に含まれる音源の視認性が影響していることまでを明らかにしている。次年度は、その差異をもたらした原因について、詳細に検討する予定である。

続いて、記憶・知識の蓄えである脳内データベースとの照合が環境音の知覚に及ぼす影響の解明に関して述べる。上記のように言語情報は聴知覚に影響を及ぼすが、その原因が、脳内データベースとの照合によるものであることを検証することとした。そのために、実験A, AV, ALに参加したのとは異なる被験者群(10名)について、実験ALで用いた言語情報（音源の種類と録音場所）のみを提示し、その音の印象を回答させる実験（実験L）を行った。また、その後に、この被験者についても実験ALを行った。

実験Lの結果を因子分析したところ、上記の7因子のうち少なくとも5因子（美的・量的・明るさ・音源情報・定位情報）が抽出された。つまり、これら5因子は脳内データベース内に存在する音の知覚因子であることが示された。

さらに、両グループの実験ALと実験A, Lの結果をあわせて因子分析したところ、音及び言語情報の印象が互いの印象を和らげる緩衝効果という形のクロスモダリティが明らかとなった。

#### (B) 聴覚臨場感に及ぼす視覚情報の影響の解明

再生音圧レベルと映像の関係が臨場感に及ぼす影響について検討した前年度の結果から、原音場における本来の音圧レベル付近で臨場感尺度値が最大となる傾向が見られた。これを踏まえて、本年度は、以下のような実験を行った。

8種の素材（音と映像）を対象として、同一の映像について音圧レベルだけが異なる音を継続的に被験者に提示した。このとき、音圧レベルは、原音場における本来のレベルを含み、5 dB間隔で変化させた5種を用意した。被験者には、シェッフェの一対比較法によって臨場感を7段階で評定させ、得られた評定値について尺度構成を行った。

この実験を、映像について本来の画角を保った条件下と、被験者とディスプレイの距離を変えることで、映像に含まれる被写体の画角を大きくした条件下で行い結果を比較した。その結果、被写体の画角が大きくなった場合には、本来の音圧レベルよりも高い側で臨場感が最大値となることが

示された。一方で、一部の被験者では、画角の変化によらず、臨場感が最大となる音圧レベルは変化しない場合も見られた。前者の結果は、聴覚臨場感に及ぼす視覚のクロスモダリティが観測されたものと考えている。つまり、視覚的に大きな被写体は、より近くにあるものと知覚されたため、それに合致する音圧レベルもより高くなつたと解釈した。一方で、後者の結果は、対象物が既知のものであれば知覚される大きさの変化は網膜像の変化よりも小さいという、視覚における大きさの恒常性が反映されたものと解釈した。以上から、聴覚臨場感に及ぼす視覚のクロスモダリティの特性が更に明白なものとなつた。

#### (C) 環境音の精密再生手法の開発

上記の研究を遂行するために、原音場における音を聴取実験に参加した被験者に対して精密に再生することが必要とされた。それを実現するためには、原音場においてダミーヘッドの鼓膜位置に設置したマイクロホンにより録音を行い、ヘッドホンにより再生を行うというバイノーラル録音・再生技術を用いている。しかし、単にヘッドホンにより再生した場合には、録音時と再生時に外耳の音響特性が重複してかかるという不都合が生ずる。そこで、前年度は、その不都合を補償するために音響特性の個人差までを補正する信号処理手法を考案し、従来の補償方法よりも優れた性能を有することを示した。

その補償項は、録音側における補償と再生側における補償の2項から構成されている。本年度は、その第1項について簡略化を図ることを目的とした。まず、原音場以外の場所で補償特性を算出することを試みたが、十分な性能が得られなかつた。そこで、簡略化が主観特性に及ぼす影響を定量的に検討し、簡略化の限界を探ることとした。そのために、音の聴覚系内におけるスペクトル表現を、聴覚末梢系を模擬したフィルタバンクを計算機上に構築することで、推定することとした。これにより、簡略化によって聴覚系内スペクトルの劣化する程度が、主観的に評価した場合の劣化の程度をよく表現することを示した。

#### (D)複数音源による合成音像の定位の解明

我々をとりまく環境には、複数の音源が存在するのが一般的である。それらの音源から同様な音が発せられた場合には、音像が融合して一つの合成音像が知覚されることが従来から知られてきた。しかし、従来の研究では音源を2個に限定しており一般性に欠けるので、本プロジェクトでは音源4個

を用いて、その合成音像の定位の特性を明らかにすることとした。

被験者に面する一辺1.5 mの正方形の4隅に音源を配置し、各音源の音圧レベルを81通りに変えて、知覚される音像の位置および音像の大きさを被験者に回答させた。その結果、下側の2音源の音圧レベルが優勢な場合には、音源間を結ぶ直線よりも上昇した位置に音像が知覚されるという興味深い結果を得た。さらに、音源が含まれている平面と被験者との距離を近くして同様の実験を行った場合には、知覚される音像の大きさに変化が生じるという結果を得た。その原因として、平面までの距離が近くなったという視覚情報の影響が示唆された。

### (3-2) 波及効果と発展性

上記の(A)および(B)の成果により、自己のおかれた環境を記述する膨大な情報の中から重要な変量が抽出されるものと考える。脳内においては、それらの変量に加えて、所望の現象を記述する変量を変数として用いた評価関数を定義することにより、環境を理解した上で次に自分がとるべき行動の最適解を求めることができるものと期待される。このように、本研究の成果は、ブレインコンピューティングにおける一つのプロセスを解き明かすための礎を与えるものと考える。

電気通信という観点から見た場合には、本研究の成果は、新しい通信方式の設計に大きく寄与すると考えている。なぜならば、マルチメディア通信が今後の通信形態のキーポイントと予想されることを考えると、高品位通信のためには膨大な情報量の伝送が必要となるからである。例えば、発信者のおかれた環境までを受信者宛に伝送することを目的とした通信系を設計する際に、重要な情報だけを送ることを規範した高能率情報圧縮を実現するために、本研究の成果は情報の取捨選択の指標を与えるものと考えている。

さらに、上記の(C)や(D)の成果は、音によって空間内の場所情報を報知することの可能性を示しており、ヒューマンインターフェイスの高度化に寄与するものと考えている。

### [4] 研究資料

- (1) Koji Abe, Toshio Sone, Yōiti Suzuki, and Kenji Ozawa, "Impression of sound environments formed by verbal explanation," *J. Acoust. Soc. Amer.*, Vol. 109, No. 5, Pt. 2, p. 2344 (2001).
- (2) 安倍幸治, 小澤賢司, 鈴木陽一, 曾根敏夫, "言語および視覚情報が環境音知覚に及ぼす影響

の比較," 日本音響学会騒音・振動研究会資 N-2001-58, pp. 1-10 (2001).

- (3) 安倍幸治, 小澤賢司, 鈴木陽一, 曾根敏夫, "言語情報による音の印象が知覚に及ぼす影響," 平成13年度電気関係学会東北支部大会講演集, p.124 (2001).
- (4) 安倍幸治, 小澤賢司, 鈴木陽一, 曾根敏夫, "言語・視覚情報が環境音知覚に及ぼす影響のクラスタ分析による検討," 平成13年度電気関係学会東北支部大会講演集, p.133 (2001).
- (5) 三木真由子, 宮坂学, 小澤賢司, "聴覚臨場感が最大となる再生音圧レベルに関する考察 – 再生音圧レベルと映像の関係が臨場感に及ぼす影響 第2報," 音響学会講演集 2001年10月, pp. 493-494 (2001).
- (6) 三木真由子, 宮坂学, 小澤賢司, "映像の大きさが聴覚臨場感に及ぼす影響に関する考察 – 再生音圧レベルと映像の関係が臨場感に及ぼす影響 第3報," 音響学会講演集 2002年3月, pp. 443-444 (2002).
- (7) 廣田尚亮, 小澤賢司, 鈴木陽一, "バイノーラル再生における個人差補正の精度と主観評価値の関係," 音響学会講演集 2001年10月, pp. 701-702 (2001).
- (8) 廣田尚亮, 佐々木崇光, 小澤賢司, "バイノーラル録音再生系におけるヘッドホン依存性に関する一考察," 平成13年度電気関係学会東海支部大会講演集, p.257 (2001).
- (9) 小澤賢司, 山本寛, 廣田尚亮, "バイノーラル録音再生の補正における音場依存性に関する一考察," 平成13年度電気関係学会東海支部大会講演集, p.257 (2001).
- (10) 降矢龍浩, 小澤賢司, 鈴木陽一, "音圧レベル差を制御した合成音像による2次元音像定位," 音響学会講演集 2001年10月, pp. 495-496 (2001).
- (11) 降矢龍浩, 小澤賢司, 鈴木陽一, "音圧レベル差を制御した合成音像による音像定位に及ぼすチャネル数の影響," 平成13年度電気関係学会東海支部大会講演集, p.254 (2001).
- (12) 降矢龍浩, 小澤賢司, 鈴木陽一, "スピーカの見込み角が合成音像の2次元定位に及ぼす影響 – 音圧レベル差を制御した合成音像による2次元音像定位 第2報," 音響学会講演集 2002年3月, pp. 461-462 (2002).

## 課題番号 H12/A06

# 冷凍機を用いた高温超伝導高周波検出・発振システムに関する研究

## [1] 組織

代表者：山本 寛（日本大学理工学部）  
責任者：山下 努（東北大学未来科学技術共同研究センター）

分担者：

安岡義純（防衛大学校電気電子工学科）  
井上龍夫（アイシン精機株式会社）  
陳 健（東北大学電気通信研究所）  
中島 健介（東北大学電気通信研究所）  
内田 貴司（防衛大学校電気電子工学科）  
立木 隆（防衛大学校電気電子工学科）  
ラティシェフ ユーリー（ロシア科学アカデミー）  
岩田展幸（日本大学理工学部）

研究費：校費 43万9千百円 旅費40万3千円

## [2] 研究経過

酸化物高温超伝導体をデバイス応用する上で最も大きな利点は動作温度の上昇であり、それによって取り扱いが難しく稀少資源でもある液体ヘリウムを寒剤として使用せずに、超伝導デバイスの優れた特性を利用することができる。最近の冷凍技術の進歩によって高温超伝導デバイスを動作できる温度において十分な冷凍能力を有する小型で高性能な冷凍機が開発されつつある。

本研究では、種々の高温超伝導デバイスの中でも、動作周波数がTHz領域まで達することが期待される高周波デバイスと最新の冷凍機とを組み合わせて、完全に寒剤フリーの高温超伝導高周波検出・発振システムの開発することを目的としている。

本プロジェクトは、本年度が第2年度であった。前年度は、一段パルス管冷凍機を試作し、出力1.7kWの圧縮機を用いた運転で到達最低温度25.5Kを記録すると共に高温超伝導エレクトロニクスデバイスの運転に十分な温度30Kにおいて0.6Wの冷凍能力を得るとともに、100GHzから数THzの電磁波を高感度で検出することを目的にミリ波・サブミリ波帯に適用できる準光学高周波システムの設計と評価を行った。本年度は、前年度の成果を踏

まえ、パルス管冷凍機の特性改善と実際に高温超伝導高周波検出器が搭載可能な実証機を製作すると共に、これに搭載する高温超伝導高周波検出システムの応答周波数、検出感度特性に関する調査・研究を行った。

## 研究打合せ：

1. 平成13年9月28日 13:00～17:00  
東北大学電気通信研究所、1号館3階N308  
(参加者) 山下努, 中島健介, 陳健(東北大)  
内田貴司, 立木隆(防衛大)
2. 平成13年11月27日 10:00～17:00  
東北大学電気通信研究所、1号館3階N308  
(参加者) 山本 寛, 岩田 展幸(日本大)  
山下 努, 中島 健介, 陳 健(東北大)  
内田 貴司, 立木 隆(防衛大)

## 研究会：

- 平成14年2月15日 13:30～17:00  
(東北大学電気通信研究所工学研究会共催)  
東北大学電気通信研究所、2号館4階大会議室
- (1) 川江 健(東北大学大学院工学研究科)  
Bi-2212微小固有接合のジョセフソントンネリングに与える電荷エネルギーの影響
  - (2) ユーリ ラティシェフ(ロシア科学アカデミー)  
Probing quasiparticle dynamics in  $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_{8+\delta}$  by driven Josephson lattice
  - (3) 内藤方夫(東北大未来センター, NTT)  
高温超伝導体の擬ギャップの起源—Preformed pair or Kondo singlet?

## [3] 研究成果

それぞれの研究課題について得られた研究成果は次のとおりである。

## [3-1] パルス管冷凍機

高温超伝導デバイスの実用化に不可欠な小型で高効率かつ信頼性の高い冷凍機として冷却機構に可動部を持たないパルス管冷凍機に着目し、昨年の研究成果をもとにデバイスの目標動作温度である30Kにおいて十分な冷凍能力を有する実証モデルの製作を行った。高温超伝導エレクトロニクスデバイスの能力を十分に発揮させるのに必要とされる低温を小型のパルス管冷凍機で安定に得ること

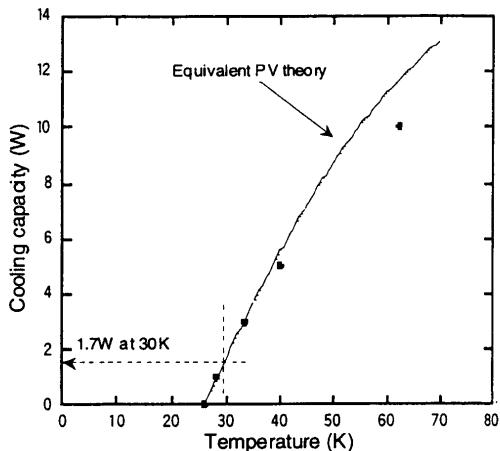


Fig. 1 パルス管冷凍機の冷凍特性

を目指して位相シフト機構等の最適化を行い、図1に示すような冷凍能力を有する実証機の試作に成功した。本冷凍機は、出力1.7kWのヘリウムガス圧縮機を用いて運転した場合、到達最低温度26Kを記録すると共に高温超伝導エレクトロニクスデバイスの動作に十分な温度30Kにおいては昨年の成績0.6Wを大幅に上回る1.7Wの冷凍能力を記録した。

### [3-2] 高周波検出システム

高温超伝導ジョセフソン接合はテラヘルツ帯域までの動作が可能であり、高速な応答や高い感度等の特徴を持つため、テラヘルツ帯域の検出器としての応用が期待されている。本年は、 $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$ (YBCO)粒界ジョセフソン接合を用いたテラヘルツ検出システムを構築し、その特性を評価した。

本システムは、真空容器内のパルス管冷凍機のコールドヘッドに超伝導検出器を装着することを前提に、高周波(RF)信号を広帯域準光学系を通して検出器へ導入し、得られた高周波応答にヒルベルト変換を施すことでRF信号のスペクトルを得ている。検出器は、平面型対数周期アンテナを集積させたYBCO粒界ジョセフソン接合で、6 Kにおいて  $R_N = 1 \Omega$ ,  $I_c R_N = 1 \text{ mV}$  のものと  $R_N = 2 \Omega$ ,  $I_c R_N = 2 \text{ mV}$  のものを用いた。

$R_N = 1 \Omega$ ,  $I_c R_N = 1 \text{ mV}$  (at 6 K)の接合を用い、動作温度を40 Kと70 K設定して0.050 - 3.106 THzのRF信号に対する規格化応答の周波数依存性を図2に示す。RF信号の周波数に対応する電圧で奇対称性のピークが現れ、接合の温度が40 K場合には応答可能な周波数帯域が高域側に広がり3.106THzの信号も十分検出できることがわかる。一方、低域側の周波数領域は、動作温度を70 Kに上昇させることでカバーできることが分かった。このとき最高応答周波数と最大規格化応答は  $I_c R_N$  に比例している。

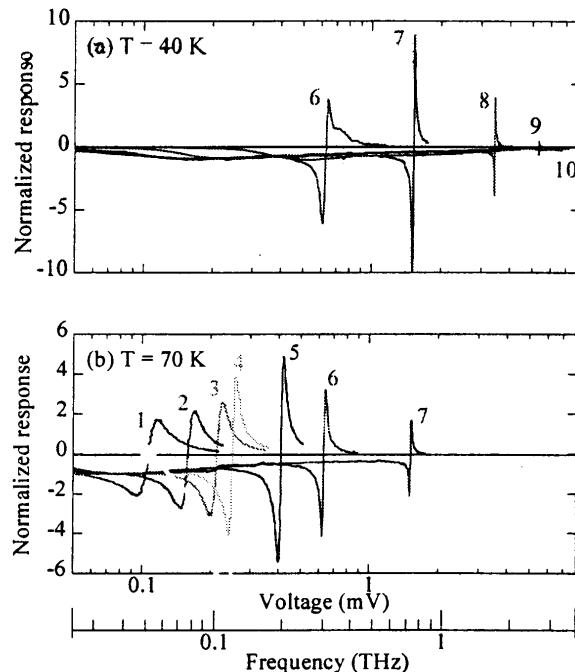


Fig. 2 動作温度40Kと70Kでの様々な高周波信号に対する規格化応答

Temperatures : (a) 40 K and (b) 70 K, Frequencies : (1) 0.050, (2) 0.075, (3) 0.098, (4) 0.120, (5) 0.196, (6) 0.294, (7) 0.761, (8) 1.627, (9) 2.525, and (10) 3.106 THz.

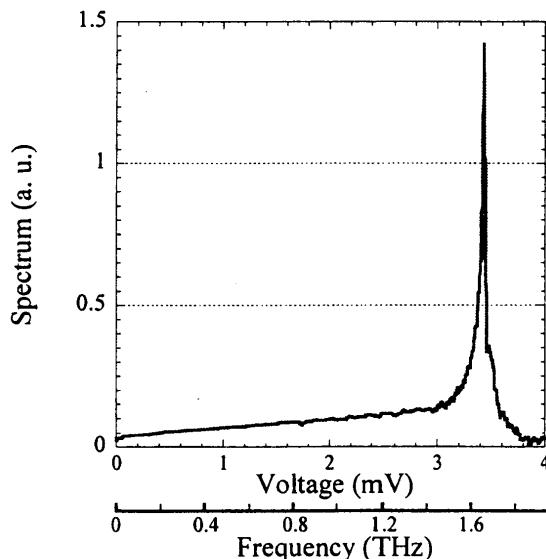


Fig. 3 1.627 THzの信号に対するヒルベルト変換高周波スペクトル。動作温度：40K

図3は、40Kで動作させた場合の1.627THzに対する応答をヒルベルト変換して得た信号スペクトルである。

また、 $R_N = 2 \Omega$ ,  $I_c R_N = 2 \text{ mV}$  (6 K)の接合でも同様の周波数依存性を調べた結果、761 GHz以上の

RF信号に対して前述の接合に比べて大きな規格化応答が得られ、最高応答周波数も4.252 THzまで到達することを確認した。以上の結果を総合して、40K～70Kで動作する高温超伝導ジョセフソン検出器をパルス管冷凍機に搭載することで、本プロジェクトが目的とするTHz帯の高周波信号が測定できるスペクトロメーターの実用化は十分に可能であると判断される。

#### [ 4 ] 主な研究発表

1. Y. Matsubara, "Pulse Tube Cryocooler for Electronics Applications", IEICE Trans. Electron., Vol. E85-C, No. 3, March 2002, pp.742-745.
2. Y. Hirasuka, K. Murayama, Y. Maeda, F. Imai, K. Y. Kang and Y. Matsubara, "Development of a Long-Life Stirling Pulse Tube Cryocooler for a Superconducting Filter Subsystem", Cryocooler, 11, KA/Plenum Press, 2001, pp.119-124.
3. S. Fujimoto, T. Kurihara, Y. M. Kang, T. Numazawa and Y. Matsubara, "Experimental Study of a 4K Pulse Tube Cryocooler", Cryocooler, 11, KA/Plenum Press, 2001, pp.213-219.
4. Y. Matsubara, H. Kobayashi and S. L. Zhou, "Thermally Actuated He3 Pulse Tube Cooler" Cryocooler, 11, KA/Plenum Press, 2001, pp.273-280.
5. 小林久恭, 吉田栄之, 菅沼洋一, 松原洋一, 富永明, 低温工学, “飽和超流動ヘリウム流路における熱振動と異常熱移送特性”, Vol.36, No.12, 2001, pp.53-58.
6. 小林久恭, 菅沼洋一, 吉田栄之, 松原洋一, 富永明, “加圧超流動ヘリウムにおける熱音響振動”, 低温工学, Vol.36, No.12, 2001, pp.47-52.
7. 陳健, 堀口陽宣, 王華兵, 中島健介, 山下努, “高温超伝導ジョセフソン接合を用いた広帯域高周波計測器”, 信学技報, Vol.SCE2001-25, 2001, pp.7-12.

## 課題番号 H12/A08

# 超大容量垂直スピニックストレージシステムの研究

### [1] 組織

代表者：中村 慶久（東北大学電気通信研究所）

責任者：中村 慶久（東北大学電気通信研究所）

分担者：

○共同研究者所属氏名

杉田 恒（東北工業大学電子工学科）

大沢 寿（愛媛大学工学部）

岡本好弘（愛媛大学工学部）

山本節夫（山口大学工学部）

村岡裕明（東北大学電気通信研究所）

大内一弘（秋田県高度技術研究所）

本多直樹（秋田県高度技術研究所）

山川清志（秋田県高度技術研究所）

伊勢和幸（秋田県高度技術研究所）

沼澤潤二（日本放送協会技術局）

西原敏和（日本ビクター）

鹿野博司（ソニー）

内田 博（日本アイビーエム）

松崎幹男（T D K）

高野研一（T D K）

田上勝通（日本電気）

二本正昭（日立製作所）

高野公史（日立製作所）

押木満雅（富士通研究所）

田中陽一郎（東芝）

竹尾昭彦（東芝）

研究費： 校費300千円、旅費1,123円

### [2] 研究経過

磁気記録研究は、材料やデバイスの議論から、信号処理やシステムの検討まで幅広い領域を含むので、本共同研究では参加研究者の研究分担をヘッドディスク系のデバイス研究と信号処理系の方針研究の二つに大きく分けている。デバイス側では材料と物性を含めた広範な高密度デバイス研究を行うとともに、試作デバイスに対してエラーレートを含めた積極的な記録再生特性評価を加えており、信号処理系ではその記録再生特性の結果をよく吟味した研究内容となるように協同研究の実を挙げている。

研究集会は3回を開催して最新の研究結果を持

ちより議論を重ねた。開催日程は以下の通りである。

### 研究集会

第1回 10月25日（木）

第2回 11月26日（月）

第3回 1月24日（木）

### [3] 成果

#### (3-1) 研究成果

本研究は本所提案の高密度垂直磁気記録方式を中心に、このためのデバイス・磁性薄膜物性や高密度信号処理方式、並びに大容量ストレージシステムの研究を分担して進めた。

#### 1) 垂直磁気記録のリードライト系におけるシステム設計の試み

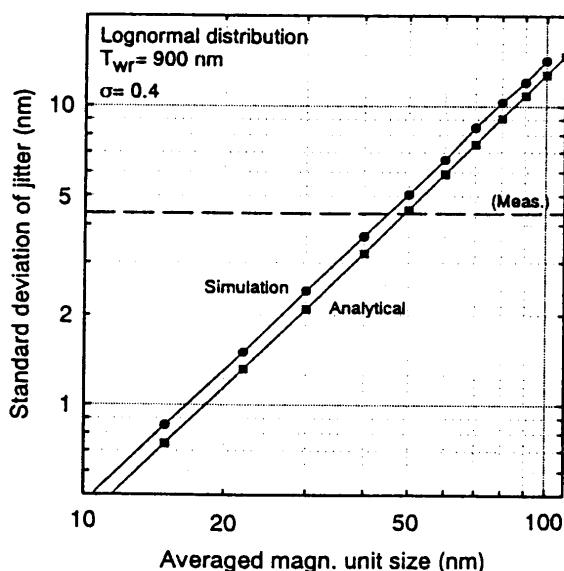
垂直磁気記録の基本構成は強記録磁界を発生できる単磁極ヘッドを用いる方向で研究開発が進んでいる。今後はデバイスの実用性を向上させる更なる技術的な努力が必要であるが、一方で、所望の記録性能に対するデバイス仕様の導出手法として、リードライト系の諸条件を考慮した高密度化の定量的な議論を試みた。

垂直磁気記録の最重要設計要素はメディアノイズである。垂直媒体のメディアノイズの主な起源は微小反転磁区と転移位置ジッタと考えられる。筆者らの測定では後者の影響が大きく、前者のノイズは熱緩和耐性の確保に必須な角形比1とすれば同時に減少するから、今後垂直媒体でも転移ジッタの割合が大きくなると予測される。この磁気単位をボロノイ多角形で近似した場合のジッタの計算と実測の比較から、ジッタは粒子性起因で転移を形成している磁気単位サイズはグレインの数倍の数十nmであることが明らかとなった。従って、低ノイズ化のためには、グレインサイズではなく反転磁気単位サイズを小さくすることが必要である。

ジッタを起こした場合、本来の転移位置にある波形との差分が転移ノイズであるので、ジッタ距離と再生波形が決まればノイズを量化できる。ジッタ距離は磁気単位の平均サイズと分散に対して計算できるし、垂直孤立転移のMR再生波形は双

曲線正接関数か誤差関数で近似できることが知られている。下図は、磁気単位を正方形で近似した場合の平均磁気単位サイズに対するジッタの依存性である。同図には、実測のジッタを示しているが、40~50nm程度のサイズに相当することが示されている。

次に、このモデルを用いて現在の測定条件と200 Gbpsi相当での再生条件の両方について、実測（実測のメディアSN比とMFM測定による磁気サイズ）もプロットしているが、そのSN比はこの計算と概ね一致する。次に、この媒体を200 Gbpsi条件に適合させた場合を考えると、そのときのSN比は、高再生分解能化による波形の急峻化・狭トラック化・高線密度化によって10 dB程度の小さな値になることが示される。逆に、必要なSN比を30 dB<sub>pp/rms</sub>と考えた場合には、そのために必要な磁気サイズは10 nm程度と予測される。記録層厚が25 nmであり熱安定性の目安を  $KuV/kBT > 100$  とすると、この磁気サイズでの異方性磁界は20 kOe弱程度になる。単磁極ヘッドが狭トラックでも20kOe以上の磁界を発生できるので、この値でも飽和記録が可能な範囲と考えられる。



## 2) コンタクト式強磁界单磁極ヘッドの試作

垂直記録の高密度化にあたっては、磁界出力が大きく、且つ、ヘッド端部における磁界勾配が大きな单磁極ヘッドの実現が不可欠である。そのためには、種々のヘッド構造・材料を有する单磁極ヘッドを効率良く短期間で作製し、その基礎特性を評価することが必要となる。そこで、バルク型单磁極ヘッドのスライダ化を図ることで、短期間で作製が可能なバルクコイル励磁型单磁極ヘッド

の作製について検討した。

試作したヘッドの構造は、主磁極部と励磁部が分離したもので、スライダ（フェライトコア）にスリットを入れバルクコイルを挿入するためのスタッフを形成し、コイル装着後に主磁極がスタッフ中央に来るよう主磁極部を接着した。主磁極をスライダ流出端に配置し、且つ、スライダを薄くしナノスライダーサイズとしている。また、コイルの巻き数は9 turn（一部20 turn）に抑え、インダクタンスの値は0.2  $\mu$ Hである。スライダは浮上型ヘッドに対応可能であるが、今回は短期間の作製を目指し、コンタクトスライディング方式を採用した。浮上面にレジストを手塗り後に3  $\mu$ m程度エッチングすることにより、3点のコンタクトパットを形成した。この3点でヘッドを支持することにより、空気の流動を妨げずに安定したヘッド走行を目指した。

作製したヘッドで記録を行いMRヘッドにより再生したところ、再生波形ならびにエンベロープとも安定なヘッド走行が行われている事を示しており、また、数時間にわたる測定に用いても波形の変化は観測されなかった。また、2.4Tの高飽和磁束密度のFeCo/NiFe薄膜を主磁極に用いることで優れたO/W特性が得られることも明らかになった。

### (3-2) 波及効果と発展性など

本共同プロジェクトの成果は、現在までに日本学術振興会未来開拓学術研究推進事業に採択されて研究を実施している。また、同じく大型プロジェクトである文科省ITプログラム公募に応じるまでに研究蓄積を行うに至っている。今後、これらの関連するプロジェクトとの連携効果を含めてのより効果的な展開を図る予定である。

## [4] 研究成果

1. K. Miura, H. Muraoka, and Y. Nakamura "Effect of head field gradient on transition jitter in perpendicular magnetic recording", IEEE Trans. Magn. Vol.37, No.4, pp.1926-1928, 2001.
2. Hiroaki Muraoka, and Yoshihisa Nakamura, "Overview of read/write scheme for perpendicular magnetic recording utilizing single-pole head and double layer media", J. Magn. Magn. Mater., 235, pp.10-19, 2001.
3. S.J. Greaves, H. Muraoka, Y. Sonobe\*, M. Schabes\*, and Y. Nakamura, "Pinning of written bits in perpendicular recording media", J. Magn. Magn. Mater. 235, pp.418-423, 2001.
4. Hiroaki Shigematsu, Hiroaki Muraoka, and

- Yoshihisa Nakamura, "Influence of hard-transition shift on overwrite characteristics in perpendicular magnetic recording", J. Magn. Magn. Mater., 235, pp. 435-439, 2001.
5. Hiroaki MUARAOKA and Yoshihisa NAKAMURA, "Analytical Expressions for Shielded MR Head Response", IEICE Trans. Electron., Vol.E84-C, No.9, pp.1165-1170, 2001
  6. 三浦健司, 村岡裕明, 中村慶久, "垂直二層膜媒体ノイズの記録磁界依存性", 日本応用磁気学会誌, Vol.25, No.4-2, pp.551-554, 2001.
  7. 山田 洋, 村岡裕明, 中村慶久, "単磁極ヘッド/垂直二層膜媒体におけるトラックエッジノイズ", 日本応用磁気学会誌, Vol.25, No.4-2, pp. 555-558, 2001.
  8. Kanai\*, R. Matsubara\*, H. Muraoka, and Nakamura, "Numerical study of a narrow-track single-pole head useful for GHz response and large field strength requirements", IEEE Trans. Magn., Vol.37, No.4, pp.1357-1359, 2001.
  9. Yasushi Kanai\*, Ryo Matsubara\*, Hiroaki Muraoka, and Yoshihisa Nakamura, "Write field of analysis and narrow-track SPT head for GHz response", J. Magn. Magn. Mater., 235, pp.368-374, 2001.
  10. 松原 亮\*, 金井 靖\*, 村岡裕明, 中村慶久, "単磁極ライトヘッドの非線形渦電流記録磁界解析", 日本応用磁気学会誌, Vol.25, No.4-2, pp.531-534, 2001.

## 課題番号 H12/A09

# 脳型計算機の構築と人間機械対話環境の 実現のための基礎研究

**[1] 組織**

代表者：矢内 浩文（茨城大学工学部）  
 責任者：中島 康治（東北大学電気通信研究所）  
 分担者：沢田 康次（東北工業大学）  
     矢野 雅文（東北大学電気通信研究所）  
     佐野 雅巳（東京大学大学院理学研究科）  
     星宮 望（東北大学大学院工学研究科）  
     二見 亮弘（東北大学大学院工学研究科）  
     山本 光璋（東北大学大学院情報科学研究科）  
     中尾 光之（東北大学大学院情報科学研究科）  
     合原 一幸（東京大学大学院工学系研究科）  
     岡部 洋一（東京大学先端科学技術研究  
                センター）  
     和久屋 寛（佐賀大学理工学部）  
     阿江 忠（広島大学工学部）  
     八木 哲也（大阪大学大学院工学研究科）  
     島 健（神奈川大学工学部）  
     近藤 由和（三菱電機先端技術総合研究所）  
     岩田 穆（広島大学工学部）  
     森江 隆（広島大学工学部）  
     平井 有三（筑波大学電子・情報工学系）  
     米津 宏雄（豊橋技術科学大学電気・電子系）  
     臼井 支朗（豊橋技術科学大学電気・電子系）  
     北嶋 龍雄（山形大学工学部）  
     田中 敦（山形大学総合情報処理センター）  
     大森 隆司（北海道大学大学院工学研究科）  
     斎藤 利通（法政大学工学部）  
     浅井 秀樹（静岡大学工学部）

研究費：校費47万円、旅費56万円

**[2] 研究経過**

本プロジェクトは、以下のような目的のもと、第2年度を迎えた。生物神経系の実験的研究、脳の情報処理原理を活用したシステム（ニューラルネットワーク）の可能性の理論的検討を行ない、そこで得られる知見をハードウェア試作により実践的に検証することを最終的な目的としている。そして自然な人間機械相互作用方式（例：ヒューマンインターフェイス）実現のための基礎研究を行なう。これまでの実験的および理論的研究によってニューラルネットワークの可能性についてさ

まざまな事実が蓄積されてきたが、本質的には、緩い意味で「人間とコンピューターでは得意課題が排他的である」という程度の理解しか得られていない。それは、ひとつには超並列なデータを処理するアーキテクチャーが明確になっていないこと、その他にはそもそも膨大な並列データの取捨選択方式が未知であることが理由である。実験、理論、実践を通して現状のコンピューターと脳の長所・短所を明確にし、人間と機械の自然な対話環境実現のための基礎を築くことを目的とする。

研究は、(A) 脳機能の研究、(B) モデル研究、(C) 知的集積回路の試作、そして(D) 人間機械環境の研究、に分類される。(A)には、脳の神経生理学的研究、脳の生体情報工学的研究が含まれる。(B)は脳の代表的要素であるニューロンとシナプスを抽象化して構成し、情報工学的に研究する。また、デジタルとアナログ、活性感受性と時間感受性、そしてそれらが複合したシステムのモデルを研究すると共に、その集積化実現のための研究を行なう。(C)は(B)の知見を活かして生体方式知的集積回路の試作研究を行なう。そして(D)では(A)～(C)を人間と機械の共生する環境（例：ヒューマンインターフェイス）に適用するための基礎研究を行なう。(B)および(C)では「超高密度・高速知能システム実験施設」を利用する。既存のコンピューターは、そのままでは人間と同等の知的情報処理をするには不十分であることが明確になってきた。また、脳のモデルであるニューラルネットワークも、理論は徐々に発展しているものの決定的な技術には成熟していない。このプロジェクト研究では、神経生理学、非線形物理学、理論脳科学、集積回路工学の知見を総合的に取り入れた研究グループを構成することで、知的集積回路を開発し応用するための基礎概念や構成法の理解が進むと期待できる。その成果は、学術的あるいは技術的な大規模問題の情報処理に活用する方向と同時に、携帯性や人間との親和性が重視される環境でのヒューマンインターフェイスを開発する上での基礎となると予想される。

**[3] 成果**

## (3-1) 研究成果

今年のプロジェクト研究では、2001年10月31日に、国際会議NOLTA 2002 Zao (Nonlinear Theory and its Applications 2002) にて、研究分担者とその他のゲストを加えて特別セッションを企画し、「脳の計算と人間を取り巻く環境との相互作用」というテーマで発表と討論を行なった。プロジェクトメンバーと、国内外から国際会議に訪れた聴講者が、積極的な討論を行ない、研究の現状と、研究の新しい方向について意見を交換した。特別セッションの内容は以下の通りである。

NOLTA 2002, Session No. 6-B, Session Title: Brain Computation and its Interaction with the Human Environment. Organizer: Hiro-F. Yanai (Ibaraki University, Japan)。この内容は文献(3)～(8)にある。

また、2002年3月1日には、電気通信研究所にて、「脳：認知科学と神経科学と工学」なるタイトルで共同プロジェクト研究会を開催した。認知科学者、電気生理学者、数理モデル家が一堂に会し、ニューロンの発火の水準から心理状態にわたる広い観点から脳を議論した。そこでの発表テーマと概要是以下の通りである。

「抑うつにおける記憶と予期の認知心理学モデル」(宮崎章夫, 茨城大学)は、認知科学から脳に迫る研究である。過去の記憶を想起し、未来を予期することは、現在、目の前に存在する問題を解決していくための有効な手段であるが、抑うつ状態のヒトでは、ネガティブな記憶が想起されやすくなると同時に、ネガティブな未来を予期しやすくなる(気分一致効果)。健常者では、抽象的な記憶から具体的な記憶までを比較的容易に往復できるために、柔軟な連想が可能になると考えられる。これらの知見から導きだされた記憶の認知心理学モデルを紹介された。

「ヒューマンインターフェイスの操作特性と脳の情報処理」(矢内浩文, 茨城大学)は、ヒューマンインターフェイスの操作に伴う誤りなどから脳の情報処理の理解のヒントを得ようという研究である。特に、片手で操作するキーボード(例：携帯電話)の操作特性を分析した結果が紹介された。

「可塑性神経回路の時間情報処理機能」(相原威, 玉川大学)は、海馬の電気生理学実験の結果である。脳内の記憶学習に関与する部位である海馬の神経回路網には、高頻度刺激によりシナプスの伝達効率が著しく増大する現象(長期増強:LTP)がある。また反対に低頻度刺激によりシナプスの伝達効率が著しく減少する現象(長期抑制:LTD)が知られている。発表では、神経細胞の入・出力の時間タイミングによるLTP/LTDの観測から、ネットワークの情報処理におけるLTP/LTDの役割を考

察した。

「神経回路網ダイナミクスとスパイク情報表現の関係」(荒木修, 北陸先端科学技術大学院大学)は海馬を意識した数理モデルに関するものである。スパイクニューロンから構成される再帰的ニューラルネットワークモデルにおいて、カオス的不安定性を持つ時空間スパイクと、ネットワーク構造を反映する安定した平均発火率の空間パターンとが共存する。これは、時空間パターンと平均発火率によって異なる情報が表現されており、神経回路網ダイナミクスの内部駆動性／外部駆動性によって表現される情報が変化することを示す。このような枠組みを用いて関連する生理データを解釈すると、脳内に複数の情報コーディングが共存し、役割分担を動的に変化させていることが示唆される。

また、文献(1)と(2)のように特筆すべき成果がまとまつたものもある。文献(1)は、循環型非対称結合を持つニューラルネットワークでは、リミットサイクルが生じるがその種類や性質など詳細に検証するアルゴリズムを提案した。これにより、結合様式によってどのようなタイプの状態が生成するかを明らかにした。また文献(2)では、非単調な入出力関係をもつニューロンモデルを用いた学習機能付きニューロチップを試作した。シュミレーションによって非単調ニューラルネットワークの学習性の評価を行い、それをSDAM(アナログメモリ)を含むニューロチップに試作した。結果、通常のニューロチップに対して、同等の性能を有する場合に高集積化が可能であることが示された。

### (3-2) 波及効果と発展性など

今年度の本プロジェクトは、国際学会とジョイントしたことにより、昨年度以上に国内外の研究者との議論の機会が豊富だった。今年度築かれた研究者の交流により、今後はより発展的な成果が期待できる。

## [4] 成果資料

- (1) 環状結合ニューラルネットワークのアトラクタとその流域構造、電子情報通信学会論文誌A, vol.J84-A, no.7, July 2001, pp.911-920, 山名智尋, 早川吉弘, 中島康治, 澤田康次
- (2) Hardware Implementation of a DBM Network with Non-monotonic Neurons, IEICE Transactions on Information and Systems, vol.J85-D-II, no.3, pp.558-567, March, 2002., Mitsunaga KINJO, Shigeo SATO and Koji NAKAJIMA
- (3) Linking Paper and Digital Media - An Approach to

- Reduce Pains of Retrieving Electronic Content, Proceedings 2001 International Symposium on Nonlinear Theory and Its Applications, Oct. 2001, pp.367-370, T. Arai
- (4) Design of a Pixel-parallel Feature Extraction VLSI System for Biologically-inspired Object Recognition Methods, Proceedings 2001 International Symposium on Nonlinear Theory and Its Applications, Oct. 2001, pp.371-374, T. Morie, M. Nagata and A. Iwata
- (5) Mutual Entrainment in a Brain Slice-Artificial Oscillator Hybrid, Proceedings 2001 International Symposium on Nonlinear Theory and Its Applications, Oct. 2001, pp.375-378, N. Katayama, D. Hyakutake, M. Nakao and M. Yamamoto
- (6) Precedence of Hand Motion in a Tracking Task: A Model of Sensory-motor Control System, Proceedings 2001 International Symposium on Nonlinear Theory and Its Applications, Oct. 2001, pp.379-382, F. Ishida and Y. Sawada
- (7) Learning to Switch Behaviors for Different Environments: A Computational Model for Incremental Modular Learning, Proceedings 2001 International Symposium on Nonlinear Theory and Its Applications, Oct. 2001, pp.383-386, Y. Sakaguchi and M. Takano
- (8) Brain Architecture for Intelligence - Evaluation of Event Driven Learning Procedure Hypothesis in Vocabulary Spurt Phenomenon -, Proceedings 2001 International Symposium on Nonlinear Theory and Its Applications, Oct. 2001, pp.387-390, T. Omori , T. Shimotomai and S. Tohyama
- (9) Universal precedence of hand motion in a tracking task, Abstracts of 4th International Conference on Biological Physics, Kyoto Japan, F176, p.72, July 2001, F. Ishida and Y. Sawada
- (10) Precedence of hand motion in a tracking task: a model of sensory-motor control system, Proceedings 2001 International Symposium on Nonlinear Theory and Its Applications, Miyagi Japan, Oct. 2001, pp.379-382, F. Ishida and Y. Sawada
- (11) A New Approach for Implementation of Analog Neurochips, Proceedings 2001 International Symposium on Nonlinear Theory and Its Applications, Oct. 2001, pp.505-508, S. Sato, M. Abe, T. Haga, M. Kinjo and K. Nakajima
- (12) A Non-monotonic Neurochip using Stochastic Logic, Proceedings 2001 International Symposium on Nonlinear Theory and Its Applications, Miyagi Japan, Oct. 2001, pp.605-608, K. Nemoto, M. Kinjo, S. Sato, and K. Nakajima
- (13) Hardware implementation of quantized connection neural networks, Proceedings 2001 International Symposium on Nonlinear Theory and Its Applications, Miyagi Japan, Oct. 2001, pp.617-620, M. Abe, S. Sato, and K. Nakajima
- (14) A Neural Network with Single Electron Neurons, Proceedings 2001 International Symposium on Nonlinear Theory and Its Applications, Miyagi Japan, Oct. 2001, pp.625-628, H. Akima, S. Sato, and K. Nakajima
- (15) Preceding Motion in A Hand Tracking Experiment, Proceedings of 8th International Conference on Neural Information Processing, pp. 409-412, Nov. 2001, F. Ishida, H. Ushioda, and Y. Sawada
- (16) 春原健一, 永井宏明, 矢内浩文: “携帯電話文字入力操作にともなう肉体的負荷の方式依存”, 電子情報通信学会 2002年総合大会 A-15-20 (2002)

課題番号 H12/A10

# 仮想現実環境のための音空間伝送・再生技術に関する研究

## [1] 組織

代表者：高根昭一

(秋田県立大学システム科学技術学部)

通研対応教官：鈴木陽一

(東北大学電気通信研究所)

分担者：浅野 太（産業技術総合研究所）

宮島 徹（清水建設技術研究所）

岩谷幸雄（東北大学電気通信研究所）

西村竜一（東北大学電気通信研究所）

研究費：校費43万3千円、旅費58万8千円

## [2] 研究経過

我々が普段行っている高度なコミュニケーションを、インターネットに代表される通信インフラを通じて仮想的に実現することを指向した研究が近年多く行われている。しかし、ヒューマンインターフェースデバイス、それを制御するための制御装置、および伝送する信号を処理するためのコンピュータの信号処理能力などの制約を受けているのが現状である。また、ヒトが感覚系を通じて知覚する臨場感といった高度な情報のコミュニケーションを行う技術は十分に確立されているとはいえない。特に、音に関しては、ヒトの知覚において画像と並び最も重要な役割を果たすメディアであるにもかかわらず、このような技術に関する研究は遅れていると言わざるを得ない。

以上のことから、本研究では、音というメディアにおける高度なコミュニケーションを、情報ネットワークを通じて実現するための技術を大きな目的とする。特に、本研究では、ヒトが音を通じて知覚する空間的な情報を伝送・再生するための技術について重点的に検討するべく、企画されたものである。

平成13年度は、本研究の最終年度であった。本年度は、前年度に本プロジェクトにおいて考案された様々な音空間再生手法や、そのような手法への応用に適した音場情報の符号化手法について引き続き検討を行ったとともに、それらの手法をコンピュータ上にインプリメントすることにより、有効性や問題点について考察した。

## [3] 成果

### (3-1) 研究成果

Kirchhoff-Helmholtzの積分方程式に基づいた反射音抑圧手法の有効性の検討

室内音場における反射音は、音の響きをサポートするという意味において、コンサートホールなど、音響的配慮を必要とする空間における重要な要因である。しかし、その一方で、音源から直接到来する音に比べ、同等あるいは大きな反射音の存在は、室内音場における音の響きの主観的印象を悪化させることが知られている。仮想的に、あるいは現実に存在する空間において不必要的反射音を取り除き、知覚上好ましい音空間を創成する技術を確立することは、バーチャルリアリティの技術を応用する上で、極めて重要であると考えられる。

前年度には、そのための手法として、音響インテンシティに着目し、音場を状態フィードバック系としてモデル化する手法と、Kirchhoff-Helmholtzの境界積分方程式から導かれる性質をもとに、対象となる音場を、無響音場に等化する手法を提案した。本年度は、これらの手法の中で、一般的な室内においてより高い抑圧性能をもつと考えられるKirchhoff-Helmholtzの境界積分方程式に基づいた手法について、抑圧性能の評価を行った。その結果、計算機シミュレーションにおいて、提案手法を、制御音源から音圧観測点までの伝達関数から、逆フィルタ理論に基づいて実現した場合、十分な反射音抑圧量を得ることができた。

さらに、前年度に提案した2つの手法の利点を合わせもつ手法として、Kirchhoff-Helmholtzの境界積分方程式に基づいた手法を、状態フィードバック制御に基づいて実現する手法を提案した。この手法については、2次元音場において計算機シミュレーションおよび実験の両面から抑圧性能の評価を行い、いずれにおいても十分な反射音抑圧量が得られることを示した。

## 高精度聴覚ディスプレイのリアルタイムシステムの構築

音を通じた空間的な情報の知覚に重要な役割を果たすと考えられる両耳音圧を、音の波動性を考慮して精密に再生することが可能で、なおかつ聴取者の頭部移動による両耳音圧の動的な変化にも追従可能な、新しい聴覚ディスプレイを、本プロジェクトでは提案し、その有効性を理論的な検討を通じて示してきた。本手法は、聴取者を中心とした任意の大きさの球形境界を仮想的に設定し、それによって、室内における音源から両耳までの音響伝達系を、頭部伝達関数と室内伝達関数に分けることから、仮想球モデルに基づく聴覚ディスプレイと呼んでいる。

本年度は、仮想球モデルに基づく聴覚ディスプレイを、聴取者の頭部の動きにリアルタイムで追従できるシステムとして開発した。開発に先立ち、仮想球モデルに基づく聴覚ディスプレイにおいて必要なパラメータを、実測や理論的近似によって得る方法と、それらの再生精度への影響などについて基礎的な検討を行った。その結果、本プロジェクトによって、前年度に公開された頭部伝達関数のデータベース(URL : <http://www.ais.riec.tohoku.ac.jp/lab/db-hrtf/>)などを用いることにより、-20 dB程度の再生精度で、仮想球モデルに基づく聴覚ディスプレイを実現できる見通しを得た。このことから、聴覚ディスプレイを、6個のDSPを搭載したパーソナルコンピュータを用いて開発した。開発した聴覚ディスプレイの基礎的な特性を考察するために、2次元音場を再生し、聴取実験により主観的な精度について検討した。その結果、従来の聴覚ディスプレイと同等の精度を得ることができた。

### 全方向の頭部伝達関数の効率的符号化

羽田らによる先行研究で有効性が示されている共通極・零モデルを、全方向の頭部伝達関数の符号化に用いた。共通極・零モデルは、複数の伝達関数の群を、群の中で共通な極と、その群の特定のパラメータに依存する零点でモデル化するものである。頭部伝達関数における極は、両耳の外耳道および耳介などによる共振で主に説明ができると考えられ、共通極・零モデルの性質によく妥当すると考えられる。本研究では、共通極・零モデルによって頭部伝達関数をモデル化するだけではなく、それを測定されていない方向の頭部伝達関

数の補間に用いたときの精度についても考察を行った。その結果、角度ごとの頭部伝達関数を単純にFIRフィルタで近似した場合に比べて、同等あるいはそれ以上の補間精度を実現しながら、頭部伝達関数のモデル化に用いるパラメータを数十分の一に圧縮できることを示した。

### (3-2) 波及効果と発展性

本年度は、前年度に本プロジェクトにおいて考案された室内音場の反射音抑圧手法について、その有効性をコンピュータ・シミュレーションと実験の両面から検討した。また、その過程で、前年度に提案した手法の利点を合わせた新たな手法を考案するに至った。また、聴取者を取り囲む全方向の頭部伝達関数を効率的に符号化する手法について考察し、共通極・零モデルに基づいて、効率的に圧縮・符号化できることを示した。これらの手法は、音を通じた高度なバーチャルリアリティを実現する上で、重要な基礎技術として波及するものと考えられる。

さらに、本プロジェクトで提案した仮想球モデルに基づく聴覚ディスプレイのリアルタイムシステムを開発し、その基礎的な性能について検討を行った。仮想球モデルに基づく聴覚ディスプレイは、任意の音場における音源から聴取者の両耳までの音響伝達系を合成することが原理的に可能であり、その再生精度は、仮想球境界上に、どれだけの仮想音源を配置できるかによる。このことは、DSPなどの演算プロセッサの能力が許すのであれば、本手法により、聴取者の両耳音圧を、頭部の動きを考慮して精密に合成することが可能であることを意味する。現在、任意の音場を対象にして、音圧の物理的な再生精度を原理的に保証できる、汎用性と精度を兼ね備えた聴覚ディスプレイは存在していない。いわば、仮想球モデルは、聴覚ディスプレイを実現するための統括的なモデルであると見なすことができる。本年度に開発されたりアルタイムシステムは、そのモデルが現状の演算プロセッサで実現可能であることを示すものであり、その工学的な意味は極めて大きいと考える。

その一方で、仮想球モデルに基づく聴覚ディスプレイに、ヒトの聴覚特性を反映させることが今後の課題として残された。すなわち、ヒトは、音場の物理特性を全て把握して音を聴取していると考えるのは非現実的であり、ヒトの聴覚特性を反映させることにより、聴覚ディスプレイは、主観的な再生精度を損なうことなく、簡略化できる可能性がある。このことにより、高い主観的再生精度

をもちながら、比較的小規模なハードウェアでインプリメント可能な聴覚ディスプレイが開発できると考えられる。

また、任意の音場における伝達関数を効率的に符号化する手法についても、さらに検討する必要もある。具体的には、仮想球モデルにおいて、音源から仮想球表面上までの伝達関数を効率的にモデル化する手法について考察を深める必要があると考える。従来研究の知見から、頭部伝達関数と同様に、羽田らによる共通極・零モデルによって効率的にモデル化できると考えられるが、定量的な評価をする必要はあるであろう。

このように、本プロジェクトでは、幾つかの課題を残してはいるものの、音を通じた高度な情報通信を行うための音空間再生・伝送技術において、新たな手法を提案し、それをインプリメントすることにより、有効性を示すことができた。

#### [4] 成果資料

1. Shouichi Takane and Toshio Sone, "A new method for active absorption of sound field based on the Kirchhoff- Helmholtz integral equation," Proc. 17th International Congress on Acoustics, 3C.07.01 (2001).
2. 高橋弘宜、高根昭一、鈴木陽一、浅野太, "Kirchhoff-Helmholtz積分方程式に着目した状態フィードバック制御による反射音抑圧手法の提案", 日本音響学会春季研究発表会講演論文集, 655-656(2002.3).
3. Hironobu Takahashi, Yōiti Suzuki, Shouichi Takane and Futoshi Asano, "A new active control method for the suppression of the sound reflection from a wall based on the state feedback control," Proc. ACTIVE2002(2002).
4. Shouichi Takane, Daisuke Arai, Tohru Miyajima, Kanji Watanabe, Yoiti Suzuki and Toshio Sone, "A database of Head-Related Transfer Functions in whole directions on upper hemisphere," Acoust. Sci. Tech., 掲載決定(2002.5).
5. Kanji Watanabe, Shouichi Takane and Yōiti Suzuki, "A new interpolation method of HRTF based on the Common Pole-Zero model," Proc. 17th International Congress on Acoustics, 3D.04.03(2001).
6. 高橋秀介、高根昭一、鈴木陽一,"仮想球モデルに基づく聴覚ディスプレイシステムの開発に関する基礎的検討", 日本音響学会秋季研究発表会講演論文集, 587-588(2001.9).
7. Shouichi Takane, Yōiti Suzuki , Tohru Miyajima and Toshio Sone, "ADVISE: A new method for high

definition virtual acoustic display," Proc. ICAD2002(2002).

8. Yōiti Suzuki, Shouichi Takane, Shusuke Takahashi and Tohru Miyajima, "A preliminary development of high definition virtual acoustic display based on ADVISE," Proc. ICAD2002(2002).

## 課題番号 H12/A11

# ネットワーク協調型3次元 仮想ユーザビリティラボに関する研究

### [1] 組織

代表者：今宮淳美（山梨大学工学部）

責任者：白鳥則郎（東北大学電気通信研究所）

分担者：

鈴木陽一（東北大学電気通信研究所）

木下哲男（東北大学電気通信研究所）

小澤賢司（山梨大学工学部）

寺田信幸（山梨医科大学情報処理センター）

安藤英俊（山梨大学総合情報処理センター）

菅沼拓夫（東北大学電気通信研究所）

郷健太郎（山梨大学工学部）

研究費：校費44万4千円、旅費51万5千円

### [2] 研究経過

インターネットに代表される近年の情報通信技術の進展に伴い、以前は専門家だけが利用していたネットワークを、専門的知識を持たない一般ユーザが利用するようになってきている。このような一般ユーザに対して易しく使いやすい情報システムを設計するためには、既存のシステム、あるいは開発中のシステムのプロトタイプを、定量的・定性的に利用試験し、そのシステムのユーザビリティ（システムに対するユーザの、学習しやすさ、利用効率の良さ、思い出しやすさ、エラーの少なさ、主観的な好み）を評価することが必要である。ユーザビリティラボとは、このような対話型の情報システムのユーザビリティを試験・評価するために使われる実験設備である。

本研究の目的は、ユーザビリティラボを、情報ネットワーク上に実現されたサイバースペース中に構築することにある。特に、人間の持つ多様なモダリティを評価材料とするため、視線・身振り・音声といったデータを、ネットワークを通して獲得できる環境を開発する。そして、ネットワークを介した協調作業における、システムの本質的な使いやすさに影響する主要因の解明を試みる。本プロジェクトは、本年度が第2年度であった。初年度は、上記目的の達成へ向けて、プロジェクト全体の方向性の明確化と基本要素技術の確立を中心とし、研究活動を展開した。そこで本年度は、初年度の成果を踏まえながら、各種要素技術の精緻化と、具体的なアプリケーションの実現を目指して研究活動を推進した。

以下、本年度の研究活動状況の概要を記す。

[視線・身振り情報の伝達技術を利用したユーザビリティの評価支援]

（今宮、白鳥、木下、菅沼、郷）

ユーザビリティの観測・評価者の分析支援システムとして、視線と身振り情報を組み入れた3次元仮想空間を構築する。仮想空間内には、試験室の仮想モデルが構築されているため、実験の準備や実験後の分析作業が、あたかも試験室内に観測・評価者がいるかのように実行できる。また、この空間では、視線方向の変化のような評価者の無意識の行動データを使って、試験対象システムの評価が可能となる。さらに、仮想空間内では、観測・評価者が時間的・空間的に制約されることなく、計測データにアクセスできる。この機能の実現のため、大量の高画質ビデオ画像を対象とした観測データベースの構築をおこなう。

本分析支援システムの構築を継続して推進するために、以下の研究打ち合わせをおこなった。

#### (1) 仮想実験室の設計会議

日時（場所）：4月31日～5月1日（東北大学）

1. 分析支援システムにおけるネットワーク基盤

白鳥則郎（東北大学）

2. 複合ネットワーク環境における分析作業支援法

今宮淳美（山梨大学）

3. 仮想実験室の分散的構築の検討

菅沼拓夫（東北大学）

仮想実験室はネットワーク上の3次元仮想空間として実現される。仮想実験室の実現に関するネットワーク上の技術的問題点を解決するために、下記の2つの研究打ち合わせを実施した。

#### (2) 3次元仮想空間モデルの設計会議

日時（場所）：8月8日～11日（東北大学）

1. 3次元仮想空間の実装にかかる諸問題

今宮淳美（山梨大学）

2. 遠隔ラボに関するネットワーク要素

白鳥則郎（東北大学）

#### (3) 3次元仮想空間モデルの設計会議

日時（場所）：3月28日～29日（東北大学）

1. 3次元仮想空間の実装にかかる諸問題

今宮淳美（山梨大学）

2. 遠隔ラボに関するネットワークの要素  
白鳥則郎（東北大学）  
[音響情報の伝達技術を導入したユーザビリティの評価支援]  
(鈴木、小澤、寺田、安藤)

ネットワークを利用した協調作業において音響情報は重要な役割を果たしているにもかかわらず、現状で一般的に利用されているステレオ録音一再生系では、音場の空間的特性が十分には伝送されていない。そこで、本グループにおいては、音場の空間的特性までを伝送するシステムを提案し、そのユーザビリティを評価する。

本システム提案の準備として、つぎの研究討論会をおこなった。

(3) 音場の空間的特性とシステムのユーザビリティに関する検討会議

日程（場所）：11月27日（山梨大学）

#### 1. マルチモーダル情報の評価手法

今宮淳美（山梨大学）

2. 音の再生方式と音声符号化が単語了解度に及ぼす影響 小澤賢司（山梨大学）

3. 仮想実験室における遠隔カメラ制御作業の評価 郷健太郎（山梨大学）

4. ネットワークを利用した仮想オブジェクト共有について 安藤英俊（山梨大学）

#### 5. ストレス要素の評価について

寺田信幸（山梨医科大学）

また、第2年度までのプロジェクトの進捗状況を把握し、研究成果を共有する目的で、つぎの研究会を実施した。

(4) 「ネットワーク協調型3次元仮想ユーザビリティラボに関する研究」研究会

日程（場所）：10月29日（東北大学）

#### [セッション1]

##### 1. プロジェクト全体構想

今宮淳美（山梨大学）

2. 3次元位置・手形状認識装置の利用

小俣昌樹（山梨大学）

3. 視線追跡装置の利用

増田尚則（山梨大学）

4. 触覚提示装置の利用

羅昭武（山梨大学）

#### [セッション2]

##### 1. 仮想ラボにおけるデータ獲得ツール

大前博敬（山梨大学）

2. カメラ制御法の提案と評価

伊藤雅広（山梨大学）

3. ビデオ会議システムにおける視線の分析

川島佑介（山梨大学）

#### 4. 音と画像の感性評価

尾山雅史（山梨大学）

5. 訪問診療に適した携帯端末インターフェースの設計 赤澤和紀（山梨大学）

#### 6. シナリオに基づくラボ設計

郷健太郎（山梨大学）

#### [セッション3]

##### 1. JGNと動的ネットワーキング

菅沼拓夫（東北大学）

##### 2. Network-based Intrusion Detection Model

大和田英成（東北大学）

##### 3. 3次元仮想空間における対話支援環境

杉山俊春（東北大学）

### [3] 成果

#### (3-1) 研究成果

専門的知識を持たない一般ユーザが現在までの情報通信技術の恩恵を享受するためには、ユーザにとって易しく使いやすい情報システムを設計・開発し、提供しなければならない。そのためには、既存のシステム、あるいは開発中のシステムのプロトタイプを、定量的・定性的に利用試験し、そのシステムのユーザビリティを評価し、システムの設計に反映させる必要がある。

本共同研究プロジェクトでは、このようなユーザビリティを評価する実験環境をネットワーク上に構築することを目的とし、本年度は、以下に示す研究成果を得た。

第一に、仮想ユーザビリティ評価環境のプロトタイプを構築した。具体的には、情報ネットワーク上に3次元仮想空間のモデルを作成して、その中にオブジェクトモデルとして、評価対象のシステムと被験者、それらを写すカメラを設置し、地理的に離れた観測者が操作の指示をおこなう環境をプロトタイプ化した。

第二に、地理的に離れた観測者による、被験者観測用カメラの制御作業を支援するシステムを構築して、評価を実施した。本システムでは、遠隔カメラのズーム量に対して適応的にパン・チルト量を調節し、任意のズーム量に対して自然なパン・チルト操作を実現する。評価実験では、提案手法が従来手法よりも目標物探索作業の作業時間を短縮することを示した。

第三に、音の空間情報を伝送することがテレビ会議における音声単語了解度に及ぼす影響を検討した。音の空間情報を伝送することにより、従来のモノラル通信系に比べて音声単語了解度が2倍

程度まで向上することを示した。

### (3-2) 波及効果と発展性など

共同研究による効果として、新たな研究に関するアイデアが創出された。特に情報ネットワーク基盤系の研究者と、マルチモーダルシステム評価系の研究者との交流によって、これらの融合領域における研究テーマの発想が多数得られた。本プロジェクトの研究打ち合わせや成果発表会では、プロジェクトの内容に特化した議論から発展して、多くの萌芽的研究の議論になることも多々見うけられた。

次年度以降も本年度同様、ネットワーク協調型3次元仮想ユーザビリティラボ実現へ向けた研究活動を実施する予定である。下記のような技術に関して、さらなる発展が期待できる。

- (1) システムのユーザビリティに影響を及ぼす、各種メディアのパラメータの制御・変換手法
- (2) アプリケーションレベルでの、マルチモーダル・マルチメディアQoS (Quality of Service: サービスの品質) の高品質化
- (3) 音響情報に特化したユーザビリティ評価技法
- (4) 超高速ネットワークを利用した応用アプリケーションにおける通信管理モデル
- (5) 大量の高画質ビデオ画像を対象とした観測データベース
- (6) 視線情報に基づくアプリケーション評価技法

## [4] 成果資料

- (1) Suganuma, T., Lee S. D., Karahashi T., Kinoshita T. and Shiratori N., "An Agent Architecture for Strategy-centric Adaptive QoS Control in Flexible Videoconference System", Next Generation Computing, Vol.19, No.2, pp.173-191, 2001.
- (2) Ahmed Ashir, Takuo Suganuma, Tetsuo Kinoshita, Tarun K. Roy, Glenn Mansfield and Norio Shiratori, "Network Traffic Characterization and Network Information Services: --R&D on JGN--", Computer Communications, 24 , pp1734-1743, 2001.
- (3) Susumu Konno, Gen Kitagata, Takuo Suganuma, Tetsuo Kinoshita, Kenji Sugawara and Norio Shiratori, "Dynamic Networking: Architecture and Prototype Systems", Proc. of International Conference on Computational Intelligence and Multimedia Applications, pp93-97, 2001.
- (4) 今野将, 北形元, 原英樹, 菅沼拓夫, 菅原研次, 木下哲男, “エージェントによるアプリケーション間コネクションの動的構成手法”, 情報処理学会論文誌, Vol.43, No.2, pp.465-477, 2002.
- (5) 北形元, 加藤貴司, 菅沼拓夫, 今野将, 木下哲男, “FAMES: エージェントに基づく柔軟な非同期メッセージングシステムの設計と実装”, 情報処理学会論文誌, Vol.43, No.2, pp.487-498, 2002.
- (6) Suganuma, T., Lee S. D., Karahashi T., Kinoshita T. and Shiratori N., "An Agent Architecture for Strategy-centric Adaptive QoS Control in Flexible Videoconference System", will be appeared in New Generation Computing Journal.
- (7) Salahuddin Muhammad Salim Zabir, Ahmed Ashir, Kentaro Go, and Norio Shiratori. Providing Fair Service among ECN Cable and Non ECN Capable TCP Connections Over the Internet, Proc. of the 5th World Multi-Conference on Systems, Cybernetics and Informatics, Vol. V, pp. 300-305, 2001.
- (8) 増田 尚則, 今宮 淳美. Undo機能をもつグラフィカル履歴ブラウザ設計と視覚的探索分析, 電子情報通信学会論文誌 D-I, 2002.
- (9) 郷 健太郎, 伊藤 雅弘, 今宮 淳美. ズーム情報を利用した適応型遠隔カメラ制御法, 情報処理学会論文誌, Vol. 43, No. 2, pp. 1234-1241, 2002.
- (10) Kentaro Go, John M. Carroll, and Atsumi Imamiya. Scenario Editor Project: Supporting Scenario Development Activities in Web-Site Design, The Annual Conference of the Computer Human Interaction Special Interest Group of the Ergonomics Society of Australia, pp.200-204, ISBN 0-7298-0504-2, 2001.
- (11) Kentaro Go and Atsumi Imamiya. Defining and Synthesizing Scenarios of Use, Proceedings of HCI International 2001: 9th International Conference on Human-Computer Interaction, pp. 115-117, 2001.
- (12) 中貝順一, 小澤賢司, 音の再生方式と音声符号化が単語了解度に及ぼす影響, 音響学会講演集 2001年10月, pp. 661-662, 2001.
- (13) 郷 健太郎, 正木 伸夫, 徳野 義信, 松井 千里, 今宮 淳美. シナリオの系統的な発展・分析作業による参加型の要求獲得, 情報処理学会研究報告, HI-98-11, 2002.
- (14) 赤澤 和徳, 郷 健太郎, 今宮 淳美, 古屋 聰, 寺田 信幸. 訪問診療用携帯端末インターフェースの設計, 情報処理学会第64回全国大会講演論文集, 6S-02, 2002.
- (15) 川島 佑介, 高橋 千津子, 郷 健太郎, 今宮 淳美. 遠隔協調型の非対称作業におけるビデオ映像の効果, 情報処理学会第64回全国大会講演論文集, 1U-03, 2002.

## 課題番号 H12/A13

# 超低消費電力無線通信ULSI・ ハイブリッド集積化実装技術の研究

### [1] 組織

代表者：堀池靖浩（東京大学大学院工学系研究科）  
 責任者：坪内和夫（東北大学電気通信研究所）  
 分担者：岩井 洋（東京工業大学大学院総合理工学研究科）  
 名取研二（筑波大学工学システム学類）  
 須賀唯知（東京大学先端科学技術研究センター）  
 浅野種正（九州工業大学マイクロ化総合技術センター）  
 小柳光正（東北大学大学院工学研究科）  
 山口正洋（東北大学電気通信研究所）  
 益一哉（東京工業大学精密工学研究所）  
 横山道央（山形大学工学部）  
 中瀬博之（東北大学電気通信研究所）  
 大見忠弘（東北大学未来科学技術共同研究センター）  
 須川成利（東北大学大学院工学研究科）  
 小谷光司（東北大学大学院工学研究科）  
 平山昌樹（東北大学大学院工学研究科）

### [2] 研究概要

21世紀の情報通信社会において、世界中のどこにいても高速で映像情報、音声情報、データベースへ自由にアクセスできる環境を提供するユビキタスネットワークの実現が必須である。ユビキタスネットワークは、大容量光ファイバ通信によるテラビット級超高速バックボーンネットワークと、ユーザへのアクセス回線「ラスト1マイル」を実現する高信頼無線通信ネットワークとの融合により実現するものと考える。

本プロジェクトは、高信頼無線通信技術の確立を目的とし、ユーザが持つ超低消費高性能無線端末を実現するための超低消費電力無線通信ULSIの設計・開発と、ベースバンドディジタルデバイスからRF/IFアナログ信号処理デバイスまで無線通信に必要なコンポーネントを超高速度小型化実装するためのハイブリッド集積化実装技術を開発する。具体的には、(1) Si ディジタル・アナログ回路素子、高・強誘電体素子、SAW機能素子などをワンチップにハイブリッド集積化するグローバルインテグレーション技術、(2) Si集積回路における、

機能材料として、高誘電体、強誘電体膜、無機及び有機の低誘電率薄膜、高熱伝導率薄膜などの微細加工技術、(3) GHz信号伝送Si ULSI多層配線技術、(4) マイクロバンプによる超高周波高密度グローバルインテグレーション実装技術、を確立することを目指す。

本年度は、超低消費電力無線通信システム実現のためのグローバルインテグレーション3次元高密度実装技術の開発研究として、低消費電力通信用Si LSIの開発、異種分野統合技術、微細素子・配線設計技術、異種素子間接合バンピング技術について研究を行った。さらに、通信用システムインパッケージ開発の基礎として微細素子積層技術・GHz信号伝送多層配線設計技術・3次元実装基盤技術・マイクロバンプ実装技術・バンプ接合部評価技術・GHz高信頼無線通信システム技術、超小型無線通信モジュールの開発について研究を行った。

今後、超小型GHz無線通信用システムインパッケージ実現、アプリケーションとしてヘルスケアチップの開発など、の基盤技術を築く。

### [3] 研究会活動

研究討論会を行った。  
 日時：平成14年2月25日13:30～  
 場所：電気通信研究所一号館S棟 S306ゼミ室  
 13:30～「はじめに」 東京大学大学院工学研究科 堀池靖浩  
 13:45 (45分) 招待講演 「三菱電機のMCP技術の状と今後」  
 三菱電機(株) 安永雅敏  
 14:30 (20分) 休憩  
 14:50 (25分) 「微細MOSデバイス技術の現状」  
 東京工業大学 岩井 洋  
 15:15 (25分) 「RF集積化強磁性体薄膜インダクタ」  
 東北大学電気通信研究所 ○山口正洋、  
 栗原 崇、荒井賢一  
 15:40 (25分) 「マイクロバンプ高密度実装技術」  
 山形大学工学部 横山道央  
 16:05 (10分) 休憩

16:15 (25分)

「超微細配線における高速信号伝搬特性」  
 東北大学工学部 森本明大, 高橋和史,  
 小谷光司, 須川成利, 大見忠弘

16:40 (25分)

「オールディジタル回路による無線通信モ  
 デムの開発」  
 東北大学電気通信研究所 ○中瀬博之,  
 坪内和夫

17:05 閉会の挨拶

東北大学電気通信研究所 坪内和夫

18:00~懇親会

**【研究成果】**

- 1 . A. Oki, Y. Takamura, T. Fukasawa, H. Ogawa, Y. Ito, T. Ichiki and Y. Horiike, Study on Elemental Technologies for Creation of Healthcare Chip Fabricated on Polyethylene Terephthalate Plate, IEICE transactions E84-C (12), (2001), 1801-1806.
- 2 . A. Oki, S. Adachi, Y. Takamura, K. Ishihara, H. Ogawa, Y. Ito, T. Ichiki, Y. Horiike, Electroosmosis Injection of Blood Serum into Biocompatible Microcapillary Chip Fabricated on Quartz Plate, Electrophoresis 22 (2001), 341-347.
- 3 . T. Kuzumaki, Y. Takamura, H. Ichinose, Y. Horiike, Structural change at the carbon-nanotube tip by field emission, Appl. Phys. Lett, 78 (2001) 3699-3701.
- 4 . T. Kuzumaki, H. Sawada, H. Ichinose, Y. Horiike and T. Kizuka, Selective processing of individual carbon nanotubes using dual-nanomanipulator installed in a TEM, Appl. Phys. Lett. 79 (2001) 4580-4583.
- 5 . HH. Doh, Y. Horiike, Gas residence time effects on plasma parameters: Comparison between Ar and C<sub>4</sub>F<sub>8</sub>, Jpn. J. Appl. Phys. Part 1, 40 (2001) 3419-3426
- 6 . H. Yoshiki, Y. Horiike, Capacitively coupled microplasma source on a chip at atmospheric pressure, Jpn. J. Appl. Phys. Part 2 Lett., 40 (2001) L360-L362
- 7 . T. Fukasawa, H. Ogawa and Y. Horiike, Elimination of Defects on Quartz Plate Surface Induced by Deep Dry Etching and Subsequent Quartz Plate binding, American Vacuum Society 48th International Symposium, Oct.28-Nov.2, 2001, Moscone Center, San Francisco, California, Thechnical Program and Abstracts p226, MM-ThA9.
- 8 . Y. Takamura, H. Onoda, H. Inokuchi, S. Adachi, A. Oki, Y. Horiike, Low-voltage Electroosmosis pump and its Application to on-chip Linear Stepping Pneumatic Pressure Source, Proceedings of Micro Total Analysis System 2001, Monterey, U.S.A., (2001) 230-232.
- 9 . A. Oki, S. Adachi, Y. Takamura, H. Onoda, Y. Ito, Y. Horiike, Electrophoresis Velocity Measurement of Lymphocytes Under Suppression of pH Change of PBS in Microcapillary, Proceedings of Micro Total Analysis System 2001, Monterey, U.S.A., (2001) 505-506.
10. T. Ichiki, T. Uniie, T. Hara, Y. Horiike and K. Yasuda, On-chip Cell Sorter for Single Cell Expression Analysis, Proceedings of Micro Total Analysis System 2001, Monterey, U.S.A., (2001) 271-273.
11. M. Ueda, Y. Takamura, Y. Horiike, T. Dotera, and Y. Baba, Conformational study of a long dna in micro and nanofabricated devices, Proceedings of Micro Total Analysis System 2001, Monterey, U.S.A., (2001) 652-654.
12. A. Oki, H. Ogawa, Y. Takamura, M. Takai, T. Fukasawa, J. Kikuchi, Y. Ito, T. Ichiki and Y. Horiike, Biochip Checking Health Condition from Analysis of Trace Blood Collected by Painless Needle, Extracted Abstracts of the 2001 International Conference on Solid State Devices and Materials, Tokyo, Japan, (2001) 460-461.
13. T. Kuzumaki, Y. Horiike and T. Kizuka, Proc. Int. Symp. on Nanonetwork Materials: Fullerenes, Nanotubes, and related Systems at Kamakura (Appl. Phys. Lett., Melville, 2001) 281-284.
14. T. Ichiki, T. Koidesawa, M. Watanabe, T. Ujiie and Y. Horiike, A Portable Biochemical Analysis System Integrated with Microcapillary Electrophoresis and Microplasma Emission Spectroscopy, (2001) 458-459.
15. T. Kuzumaki, T. Kizuka and Y. Horiike, Extracted Abstracts of the 2001 International Conference on Solid State Devices and Materials, Tokyo, Japan (2001) 574-575.
16. T. Ichiki, T. Hara, T. Ujiie, Y. Horiike and K. Yasuda, Development of Bio-MEMS Devices for Single Cell Expression Analysis, Digest of Microprocesses and Nanotechnology 2001, Shimane, Japan, (2001) 190-191.
17. M. Yanagisawa, T. Okuya, S. Iida and Y. Horiike, Nano-Topography Removal Employing Numerically Controlled Local Dry Etching, Digest of Microprocesses and Nanotechnology 2001, Shimane, Japan, (2001) 30-31.

18. T. Kuriyagawa, Y. Tezuka, T. Fukasawa, Y. Takamura and Y. Horiike, Effect of O<sub>2</sub> Plasma Cleaning and Subsequent H<sub>2</sub> addition to C<sub>4</sub>F<sub>8</sub> in Deep Si Etching Process, Proc. Plasma Sci. Symp. 2001 /18th Symp. Plasma Processing, Kyoto, Japan, (2001) 663-664.
19. T. Koidesawa, T. Ichiki and Y. Horiike, Production and Diagnostics of VHF-driven Microplasmas, Proc. Plasma Sci. Symp. 2001 /18th Symp. Plasma Processing, Kyoto, Japan, (2001) 663-664.
20. Y. Sugiyama, T. Ujiie, T. Ichiki and Y. Horiike, Deep Glass Etching for MEMS Fabrication, Proc. Plasma Sci. Symp. 2001/18th Symp. Plasma Processing, Kyoto, Japan, (2001), 459-460.
21. 堀池靖浩, 沖 明男, 高村 禅, 小川洋輝, 深澤孝之, 高井まどか, 斧田博之, 極微量全血分離・分析を目指したヘルスケアチップの創製, BME, 15(10) (2001) 2-7.

## 課題番号 H12/A14

## 3次元フォトニック結晶とデバイス応用の研究

## [1] 組織

代表者：川上彰二郎

(東北大学 未来科学技術共同研究センター)

責任者：伊藤弘昌

(東北大学 電気通信研究所)

分担者：

黒川兼行

榎 裕之 (東京大学生産技術研究所)

花泉 修 (群馬大学 工学部)

玉村敏昭 (NTT エレクトロニクス)

横浜 至 (NTT 物性基礎研究所)

竹中久貴 (NTT アドバンステクノロジ)

土屋治彦 (トーキン)

水野皓司 (東北大学 電気通信研究所)

宮城光信 (東北大学 大学院工学研究科)

谷内哲夫 (東北大学 電気通信研究所)

安松 義 (オプトクエスト)

東 伸 (オプトクエスト)

笠原一郎 (ケイワン)

研究費：校費40万円、旅費：12万3千円

## [2] 研究成果

フォトニック結晶は複数種類の誘電体からなる光の波長スケールの周期構造体であり、光波のブラッグ反射に起因する様々な魅力的な特性（高い分散性、異方性、フォトニックバンドギャップ）を有する。このため次世代の光通信素子や光情報処理機器用素子を創出する鍵として、近年急速に注目を集めている。本プロジェクトでは、代表者のグループが提案・実証した新しい3次元フォトニック結晶の作製技術の確立およびそれを用いた応用デバイスの提案と開発を目的として研究を行った。

本プロジェクトは本年度が第3年度であった。初年度はrfバイアス・スパッタリング法による3次元フォトニック結晶の生成機構の解明と、作製プロセスの確立、およびいくつかの応用素子の作製の基礎実験を行った。また、フォトニック結晶の面内伝搬、機能性材料とフォトニック結晶の融合化などについて基礎的な研究を行った。前年度の成果としては、格子変調型フォトニック結晶を利用した導波路の実証、フォトニック結晶の単位

構造の自由度を拡大するプロセス開発、伝搬特性の解析的解の発見などが挙げられる。今年度は、ヘテロ構造型フォトニック結晶の作製と、面内導波路と機能性の実証、解析的に解けるフォトニック結晶構造の伝搬特性の解明、などの課題について検討を行なった。

以下、研究活動状況の概要を記す。今回の研究会は、フォトニック結晶デバイスの実用化を念頭に置き、光ハードウエア・ベンチャーで豊富な経験を持っておられる分担者からベンチャー企業の経営についての講演をいただき、その後ディスカッションを行なった。

期 間：平成14年2月13日(水)

場 所：未来科学技術共同研究センター  
産学交流室

講演題目：「光ベンチャー企業の経営について」

講 師：安松 義 (株)オプトクエスト

概 要：

1. 米国～成功したベンチャー3つの共通要因
  - 1) 優秀な少数の人間で自力開発
  - 2) 他社と共同開発
  - 3) 世界的視野で行動
2. 日本～失敗したベンチャー3つの原因
3. ベンチャー企業経営者の役割
  - 1) 戰略策定
  - 2) 顧客訪問
  - 3) 社外人脈の形成
4. ベンチャー企業経営者の姿勢

## [3] 成果

## (3-1) 研究成果

- (1) ヘテロ構造型フォトニック結晶と面内伝搬デバイスへの応用

自己クローニング構造を利用したヘテロ構造型フォトニック結晶導波路(図1(a))は、面内あるいは積層の周期を変化させることによって、等価的な屈折率が高いコアを形成し、光を導波させるものである。これまでSi/SiO<sub>2</sub>系では実証してきた。今年度は、より低損失が期待されるTa<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/SiO<sub>2</sub>系で実証した。

作製した導波路の断面を図2に示す。コア径は約3 μm角とした。またフォトニック結晶導波路と

しては、初めてFiber-to-Fiberで測定をおこなった(波長 $1.55\text{ }\mu\text{m}$ ，導波路長 $3\text{ mm}$ )。光ファイバを導波路にレンズなしで突合せ結合を行ない、結合損失を含めて $4.6\text{ dB}$ となり、伝搬損失、結合損失ともに低損失であることを実証した。この値は、これまでのフォトニック結晶導波路の中で最も小さい値であり、実用性を示すものである。

導波路に異なる周期や方位の2次元あるいは3次元周期構造を同一プロセスで作りこむことで、様々な機能を実現できる。今回は、機能性導波路チップの一例として、格子変調導波路にバンドギャップ構造を作り、これをミラーとする共振器を作製した(図1(b)，図3)。プロセス条件を最適化することにより、すべての領域で形状を保存させることができた。透過スペクトルを測定し、 $Q=270$ の鋭い共振ピークを得た。

#### (2) フォトニック結晶の解析的な解の発見

フォトニック結晶の伝搬特性は従来、強力な計算機パワーにたより巨大な数値計算を行なうことしか求めることができなかつた。そのため物理的なイメージを得ることができず、一般的な性質を議論することができなかつた。昨年度、ある屈折率の周期関数を仮定すると、変数分離することにより分散関係を解析的に求まることを見出した。今年度はより詳細な検討を行なつた。数値解析と比較を行ない、現象を明らかにした。また類似の構造で実現しやすい構造を対象にも数値計算を行ない、より汎用性を広げた。

#### (3-2) 波及効果と発展性など

本プロジェクトを通して他大学および企業の研究者との交流が活発に行なうことができた。内容も、フォトニック結晶の電磁波解析、作製方法、応用デバイス、フォトニック結晶技術を基盤にした起業化、と大変多岐に渡って有意義な意見交換を行なえた。本プロジェクトの成果を活かすることでフォトニック結晶の基礎的な技術と応用技術の両面について、益々の発展が期待できる。

#### [4] 成果資料

- (1) 川上彰二郎，“解析解を持つフォトニック結晶構造とその電磁界”，電子情報通信学会論文誌C, vol.J84-C, pp.700-701, 2001年8月。
- (2) T. Sato, K. Miura, N. Ishino, Y. Ohtera, T. Tamamura and S. Kawakami, “Photonic crystals for the visible range fabricated by autocloning technique and their application,” Optical and Quantum Electronics, special issue on PECS-

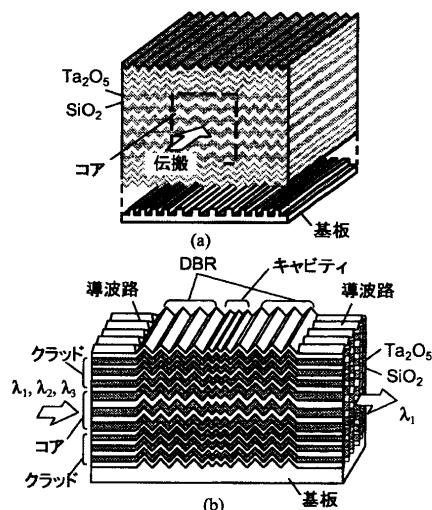


図1 (a)ヘテロ構造型フォトニック結晶導波路と(b)光共振器の概念図

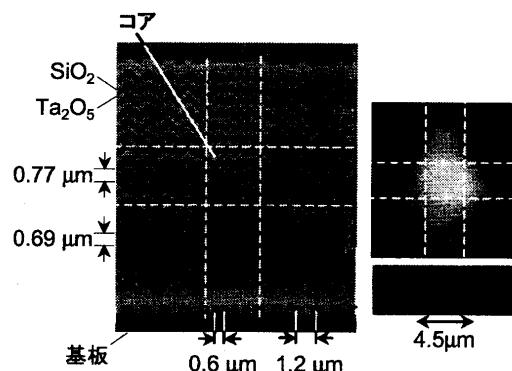


図2 (a)ヘテロ構造型フォトニック結晶導波路の断面SEM写真(b)近視野像(摂 = 1.55

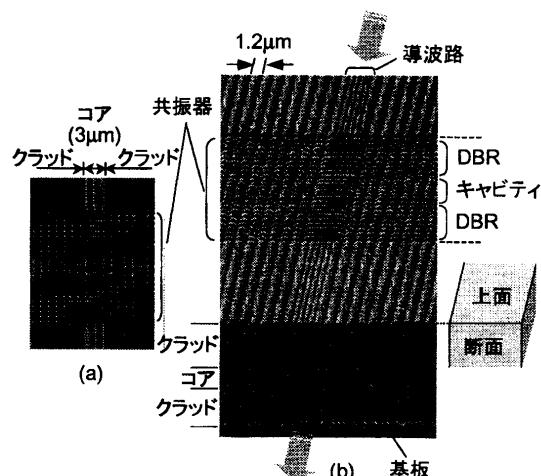


図3 (a)パターン加工した基板と(b)作製した格子変調導波路のSEM写真

- II, vol. 34, no. 1, pp. 63-70, January 2002.
- (3) O. Hanaizumi, M. Saito, Y. Ohtera, S. Kawakami, S. Yano, Y. Segawa, E. Kuramochi, T. Tamamura, S. Oku, and A. Ozawa, "Introducing CdS into two- and three-dimensional photonic crystals," Optical and Quantum Electronics, special issue on PECS-II, vol. 34, no. 1, pp. 71-77, January 2002.
- (4) S. Kawakami, "Band Engineering of Photonic Crystals: Realization of Novel Waveguides," Electromagnetic Crystal Structures – Euroconference on Electromagnetic Confinement - from Basic Research to the Marketplace -(PECS III), St. Andrews, Scotland, 9-14 June 2001(Invited).
- (5) S. Kawakami, "New concepts of wave propagation and resonance in photonic crystals," Conference on Lasers and Electro-Optics/Pacific Rim (CLEO/PR '01), Chiba, Japan, June, 2001(Invited).
- (6) Y. Ohtera and S. Kawakami, "Functional Optical Devices Consisting of Photonic Crystals," 2001 Asia-Pacific Radio Science Conference(AP-RASC '01), paper D1-1, Tokyo, Japan, August 2, 2001(Invited).
- (7) S. Kawakami and T. Kawashima, "Analytically Solvable Photonic Crystal Structures," Workshop on Electromagnetic Crystal Structures(PECS III), St. Andrews, Scotland, 9-14 June 2001.
- (8) Y. Ohtera, K. Kurokawa, and S. Kawakami, "Efficient numerical calculation method for photonic crystal waveguides - Combination of FDTD and variational principle-," Workshop on Electromagnetic Crystal Structures(PECS III), St. Andrews, Scotland, 9-14 June 2001.
- (9) T. Kawashima, T. Sato, and S. Kawakami, "Enhancement of tailorability of unit cell shapes in autocloned photonic crystals," Workshop on Electromagnetic Crystal Structures(PECS III), St. Andrews, Scotland, 9-14 June 2001.
- (10) Y. Ohtera, T. Kawashima, Y. Sakai, I. Yokohama, A. Ozawa, and S. Kawakami, "Fabrication and Characterization of Lattice-modulated Photonic Crystal Waveguides," OECC/IOOC 2001, paper OR. TueH.2, Sydney, Australia, July 3, 2001.
- (11) 川上彰二郎, 川嶋貴之, 小柴正則, 渡辺貴之, "フォトニック結晶中の波動：厳密解, 新規現象, シミュレーション," 電子情報通信学会総合大会, SC1-5, 2002年3月27日.
- (12) 大寺康夫, 佐々木良裕, 川嶋貴之, 黒川兼行, 川上彰二郎, "フォトニック結晶の電磁界シミュレーションにおける変分表現の利用," 電子情報通信学会総合大会, SC1-7, 2002年3月27日.
- (13) 石野直人, 三浦健太, 佐藤尚, 大寺康夫, 川嶋貴之, 大久保博行, 川上彰二郎, "Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/SiO<sub>2</sub>系格子変調型フォトニック結晶導波路の低損失伝搬特性," 電子情報通信学会総合大会, C-4-8, 2002年3月28日.
- (14) 三浦健太, 川嶋貴之, 佐藤尚, 阿久津直人, 川上彰二郎, "ヘテロ構造を持つフォトニック結晶の作製" 電子情報通信学会総合大会, C-4-9, 2002年3月28日.
- (15) 佐藤尚, 大寺康夫, 川嶋貴之, 大久保博行, 三浦健太, 石野直人, 川上彰二郎, "ヘテロ構造フォトニック結晶からなる機能性導波路チップの設計と評価," 電子情報通信学会総合大会, C-4-10, 2002年3月28日.

課題番号 H13/A01

# 磁気ランダムアクセスメモリ用 高性能強磁性トンネル接合膜の研究

## [1] 組織

代表者：高橋 研（東北大学大学院工学研究科）

通研対応教官：

荒井 賢一（東北大学電気通信研究所）

分担者：角田 匡清（東北大学大学院工学研究科）

石山 和志（東北大学電気通信研究所）

研究費：校費392千円、旅費 0千円

## [2] 研究経過

トンネル磁気抵抗効果は、極薄の絶縁層で分離された二枚の強磁性層磁化の相対角度の変化によって、両強磁性層間をトンネル伝導する電子のトンネル確率がスピンに依存して変化する現象であり、磁気式のランダムアクセスメモリ（MRAM）への応用が期待される。MRAMは不揮発性の他、情報の記録・読み出しに際し電荷移動を伴わないため、半導体メモリに比較して高速かつ高耐久性の特長を有する。MRAMの実現には、高品質極薄絶縁膜の安定形成技術の開発と、メモリセルサイズを微細化した場合の磁化過程の制御が最も重要であり、本プロジェクト研究はその基盤を開拓することを目的としている。代表者らの研究グループで開発した超清浄雰囲気スパッタ法を基本とし、高密度低温プラズマを特徴とするマイクロ波励起プラズマを用いた、極薄金属膜の均質酸化制御法を開発することによって、高性能強磁性トンネル接合膜を実現し、その磁化過程の詳細について、接合サイズ依存性の観点から明確化することを目的とした。

強磁性トンネル接合膜の作製は主に工学研究科にて実施した。本年度は、高品質極薄絶縁膜を形成するために、マイクロ波励起プラズマのプラズマパラメータ制御ならびに、極薄絶縁層の下地となる強磁性膜の表面形態の精密制御に傾注して研究を行った。さらに、交換磁気異方性による固定層磁化への磁気バイアス印加強度の増大について検討を行った。得られた知見を基に、トンネル接合膜の材料設計、成膜プロセス制御へのフィードバックを行い、高性能強磁性トンネル接合膜の開発を行った。

## [3] 成果

### (3-1) 研究成果

#### ① 交換磁気異方性の増強

強磁性層／反強磁性層積層膜の交換磁気異方性の発現機構が完全には理解されていないため、大きな交換磁気異方性を誘導するための指針は明らかではないが、積層界面における交換結合エネルギーが重要な因子となっていることに疑いはない。原子レベルで平坦な積層界面、強磁性的に配列した反強磁性層スピン配列、ならびにHeisenberg型の交換エネルギーを仮定すると、界面の交換エネルギーは  $J_{ex} S_F \cdot S_{AF}/a^2$  と表されるため ( $J_{ex}$  : 交換積分,  $S_F$ ,  $S_{AF}$  : 強磁性層, 反強磁性層それぞれの界面原子のスピン,  $a$  : 格子定数), 強磁性層材料も交換磁気異方性の大きさに影響を与える可能性がある。そこで、強磁性層材料にCo-Fe合金を用い、その組成を変化させた場合のCo-Fe / Mn-Ir積層膜の交換磁気異方性の変化について検討を行った。熱酸化膜付きSi基板上にTa 50 Å / Ni-Fe 20 Å / Cu 50 Å / Mn<sub>0.75</sub>I<sub>0.25</sub>  $d_{AF}$  (= 25 Å - 200 Å) / Co<sub>1-x</sub>Fe<sub>x</sub> 40 Å / Cu 10 Å / Ta 20 Å 積層膜を作製し、Fe濃度( $x$ )を0.1 ~ 1.0の範囲で変化させた。Co-Fe層のヒステリシス曲線の零磁界からのシフト量として、交換結合磁界 ( $H_{ex}$ ) を決定し、一方向異方性定数を  $J_K = M_s d_F H_{ex}$  として算出した。

Fig.1に、 $d_{AF} = 50$  Å, 75 Å, 100 Å の積層膜の  $J_K$  の、Co<sub>1-x</sub>Fe<sub>x</sub>層の組成に対する変化を示す。 $d_{AF}=50$  Å の場合に  $x = 0.38$  で得られた最大値  $J_K = 0.52$  erg/cm<sup>2</sup> は、さまざまな強磁性層と反強磁性層の組み合わせの積層膜で、これまでに報告された値のいずれよりも大きい。従来報告の最大値は、 $J_K = 0.4$  erg/cm<sup>2</sup>程度であり、本研究成果は、これを約25%上回るものである。 $J_K$  のCo-Fe層の組成に対する変化の傾向は、図中に示した、バルクCo-Fe合金の飽和磁化の組成に対する変化の傾向と一致しない事がわかる。前述したHeisenberg型の交換エネルギーが適用できると仮定すると、本実験結果は、積層界面における原子の磁気モーメントが、バルク合金のそれと異なることを示しているが、現時点では不明である。

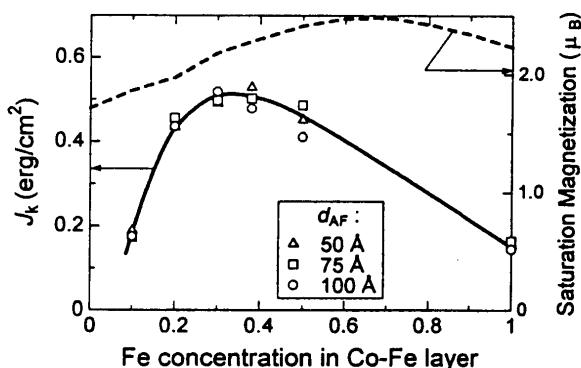


Fig.1 Changes of JK as a function of the Fe concentration in Mn-Ir dAF / Co-Fe bilayers.

② マイクロ波励起プラズマを用いて作製した強磁性トンネル接合膜の磁気抵抗効果

開発したラジアルラインスロットアンテナ(RLSA)を放射源としたマイクロ波励起プラズマ酸化法を用いて、熱酸化膜つきSi基板上に、下部電極 / Mn<sub>75</sub>Ir<sub>25</sub> 100 Å / Co<sub>70</sub>Fe<sub>30</sub> 25 Å / Al-O / Co<sub>70</sub>Fe<sub>30</sub> 25 Å / Ni-Fe 100 Å / 上部電極、の構造の強磁性トンネル接合膜を形成した。すべての金属膜は、超清浄雰囲気スパッタ法で作製した。絶縁膜の形成は、15 Å 厚の金属Al膜を堆積させた後に、試料を上記RLSAを備えたプラズマ酸化室に真空搬送機構を介して移送し、Ar+O<sub>2</sub>(3%)の混合ガスプラズマを用いて酸化処理を行った。酸化時間は、10秒から40秒の間で変化させた。その後、試料を金属膜成膜室に再度移送して残りの金属層を形成した。作製したトンネル接合膜は、高真空中で熱処理を行い磁気抵抗効果の評価に供した。

Fig.2に、作製したトンネル接合のTMR特性の熱処理温度依存性を示す。接合の電流一電圧特性(I-Vカーブ)をSimmonsの式を用いてフィッティングして求めた、絶縁層の特性(障壁高さ、 $\phi$ 、障壁厚さ、 $d$ )を合わせて示す。プラズマ酸化時間に依らず、TMR比は、熱処理温度の上昇とともに増大し、 $T_a = 250^{\circ}\text{C}$ で最大値をとった後減少した。この傾向は、絶縁障壁高さの変化の傾向と一致している。プラズマ酸化時間10 s及び20 sの試料では、最大のTMR比は約50%に到達した。この値は、従来報告されているTMR比の室温での最高値とほぼ同等である。本プラズマ酸化法の特徴として、接合抵抗( $RA$ 積)が熱処理温度の増大に伴って、大きく減少してゆくことが見出された。この傾向は、絶縁障壁厚さの変化の傾向に一致している。別途行ったTMR特性の測定温度依存性の結果から、300° Cの熱処理後に接合抵抗が低下したトンネル接合膜

においても、伝導特性はトンネル型であり、絶縁膜中のピンホールなどの欠陥の形成によって、接合抵抗が変化したものでないことが明らかとなった。

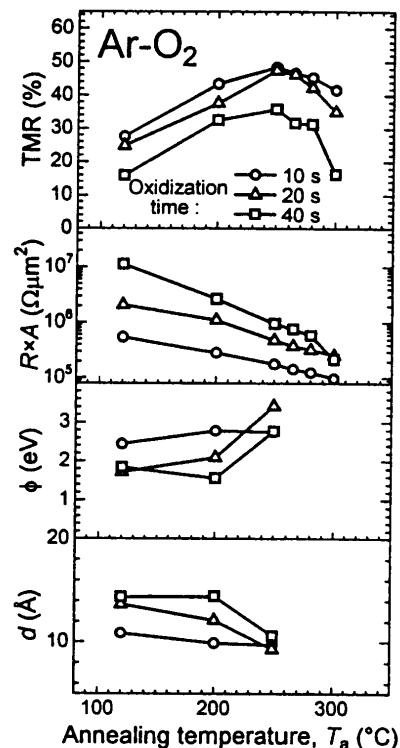


Fig.2 Annealing temperature dependence of TMR properties.

③ プラズマ酸化時の混合不活性ガスがトンネル磁気抵抗効果に及ぼす影響

Al膜のプラズマ酸化時における混合希ガスの種類を変化させた場合の、TMR効果の変化について検討を行った。混合希ガスの励起エネルギー準位はそれぞれ異なるため、酸素ガスとの混合プラズマ中においては、酸素ラジカルやイオンなどの励起される酸化種が変化することが予想される。このため、プラズマ酸化時の混合希ガス種の変化によって、絶縁障壁層の特性が変化し、それに伴ってTMR効果が変化する可能性がある。そこで、混合希ガス種を前述のArから、HeならびにKrに変化させ、同様の積層膜構成を有する強磁性トンネル接合膜を作製し、検討を行った。

Fig.3は、作製したトンネル接合膜のTMR比と接合抵抗の熱処理温度依存性である。Fig.2に示したAr+O<sub>2</sub>混合ガスプラズマで作製したトンネル接合におけるTMR効果と、概して同様の変化をしていることがわかる。しかしながら、He+O<sub>2</sub>ならびにKr+O<sub>2</sub>混合ガスプラズマで作製した接合では、プラ

ズマ酸化時間の増大に伴って、TMR比が最大値をとる熱処理温度が増大してゆくことがわかった。さらに、TMR比の最大値にも増大が認められ、Kr+O<sub>2</sub>混合ガスプラズマを用いて13 s酸化して作製した試料では、最大のTMR比58.8%が得られた。この値は、従来報告されているTMR比の最大値を20%程度上回る値である。

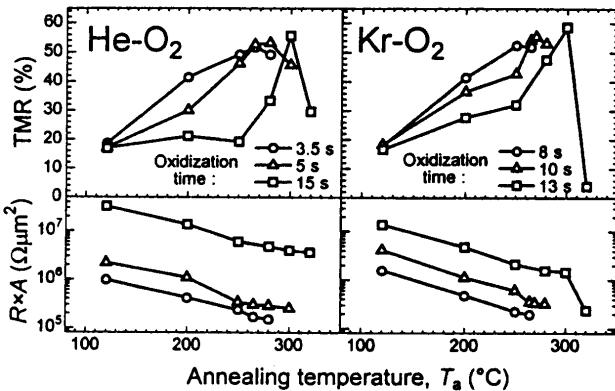


Fig.3 Annealing temperature dependence of TMR properties

### (3-2) 波及効果と発展性など

本研究により、磁気ランダムアクセスメモリ用強磁性トンネル接合膜に不可欠な磁気特性として、一方向異方性定数ならびにトンネル磁気抵抗変化率の2つについて、世界最高値の性能が得られた。本研究を継続して推進してゆくことによって、トンネル接合膜の更なる高性能化が図られることが期待される。

### [4] 成果資料

- M. Tsunoda, K. Nishikawa, T. Damm, T. Hashimoto, and M. Takahashi, "Extra large unidirectional anisotropy constant of Co-Fe/Mn-Ir bilayers with ultra-thin antiferromagnetic layer", Int'l Symp. on Physics of Magnetic Materials (ISPMM) / Int'l Symp. on Advanced Magnetic Technologies (ISAMT) 2001 (Taipei, Taiwan, May 13-16, 2001)
- 西川和宏、尾形聰、角田匡清、高橋研、"高密度低電子温度プラズマを用いて作製した強磁性トンネル接合", 日本応用磁気学会第25回学術講演会(秋田大学, Sept. 25-28, 2001)
- K. Nishikawa, M. Tsunoda, S. Ogata, and M. Takahashi, "New plasma source with Low Electron Temperature for fabrication of Insulating Barrier in

Ferromagnetic Tunnel Junctions" (DE-11), Intermag Europe 2002, (Amsterdam, April 28 - May 2, 2002)

- M. Tsunoda, K. Nishikawa, T. Damm, T. Hashimoto, and M. Takahashi, "Extra large unidirectional anisotropy constant of Co-Fe/Mn-Ir bilayers with ultra-thin antiferromagnetic layer", Journal of Magnetism and Magnetic Materials, 239, 182 (2002).
- M. Tsunoda, K. Nishikawa, S. Ogata, and M. Takahashi, "60% magnetoresistance at room temperature in Co-Fe / Al-O / Co-Fe tunneljunctions oxidized with Kr-O<sub>2</sub> plasma", Applied Physics Letters, 80, 3135 (2002).

## 課題番号 H13/A02

## 高分解能音響センサーに関する研究

## [1] 組織

代表者：宇佐川 毅

(熊本大学大学院)

責任者：鈴木陽一（東北大学電気通信研究所）

分担者：

江端 正直（熊本電波高専）

菅木 穎史（熊本大学工学部）

研究費：校費 46万4千円

旅費 66万8千円

## [2] 研究経過

多チャネル音響信号の符号化手法や音声認識装置の普及に伴い、実環境下で特定の音源信号を分離抽出する技術に対する要求が拡大するなか、よりコンパクトで高い分解能を有するアレイセンサーが必要とされている。本研究では、このような背景から音源信号の特徴に関する先見情報、例えば音源が音声であることなどを積極的に利用し、特定の音響信号の分離抽出を実現する高分解能音響センサーを開発することを目的として研究を進めてきた。

具体的には、音声信号の場合、そのスペクトル構造の特徴をもとに構成する適応コムフィルタや、雑音の統計的性質との差を利用して信号の分離抽出をアレイセンサーを用いて行なった。さらに、これらの手法をブラインド信号処理を応用したアレーシステムに応用し、音源移動等の変動に対して追従性をもつ高分解能音響センサーを構成した。また、アレイセンサーの分離抽出音の評価に際しSNRや指向特性等の物理特性のみならず、聴感上の評価も重要なとなるが、聴覚モデルを用いた評価手法を含め基本的な検討を行った。

## [3] 成果

## (3-1) 研究成果

本研究の成果は、コンパクトで高い分解能を有するアレイセンサーを実現するための基本的な要素技術の検討と、その検討に基づく具体的なアレイセンサーシステムの構成例に対する検討とからなる。

要素技術としては、以下のようなものを検討し

た。

まず、従来より一般に音源方向の推定に利用されている遅延和アレー(Delay and Sum Array)の基本的な方向推定の精度と、近接音場での性能劣化について検討した。その結果、3素子からなる直線アレイセンサーを0.15m間隔で構成した場合、音源までの距離が0.5m以上あれば、以下に述べる近傍音場向けに設計したディスプレイ組み込み型アレイセンサーを構成する場合、十分な推定精度が得られることが明らかとなった。

次に、既に代表者らのグループで開発したノッチフィルタを用いた特定方向からの音源信号の抑圧手法を、同一アレイセンサー出力に並列的に適用することにより、複数音源信号を同時に分離する手法を開発した。

基本波が欠落した調波信号から高い精度でPitch抽出ができる調波WAVELET変換を用いたPitch抽出手法を、上記ノッチフィルタと組み合わせた場合の抽出精度について検討を行った。

これまで抽出信号の分離精度を定量的に評価する手法の一つとして聴覚モデルを用いた評価アルゴリズムを開発してきた。今回、このアルゴリズムの評価値と聴取実験の結果を比較することにより、評価手法としての妥当性を検討した。具体的には、三成分複合正弦波を用いた心理実験とモデルによる予想との比較検討から、定性的には十分な整合性が得られることが確認されたが、定量的な評価についてはさらに検討が必要であることが明らかとなった。特に、複合正弦波の成分間の位相条件による特異現象の可能性が指摘され、これに対応するため帯域雑音を用いた比較を現在も継続している。途中経過ではあるが、定性的な傾向は正弦波と同様であり、今後定量的な比較を行うことにより、より詳細な評価モデルを実現できるものと期待される。

これらの基本的な要素技術を組み合わせることにより、具体的なアレイセンサーシステムを構築した。このシステムは、コンピュータディスプレイの周囲に、上下左右合計8本のセンサーマイクロホンを配置し、コンピュータオペレータの発話音声と、隣接するオペレータの音声を含む周囲雑音とを分離し、それぞれを抽出するシステムである。

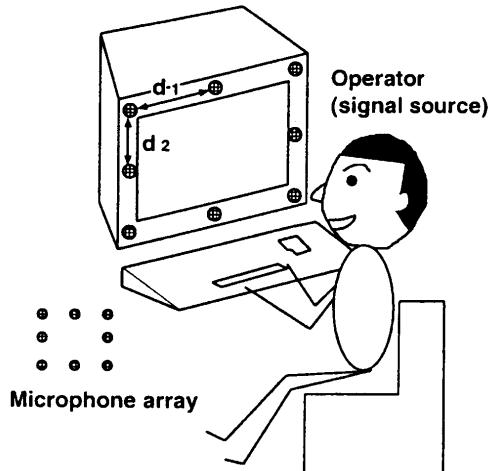


図1：ディスプレイ組立型アレイセンサー

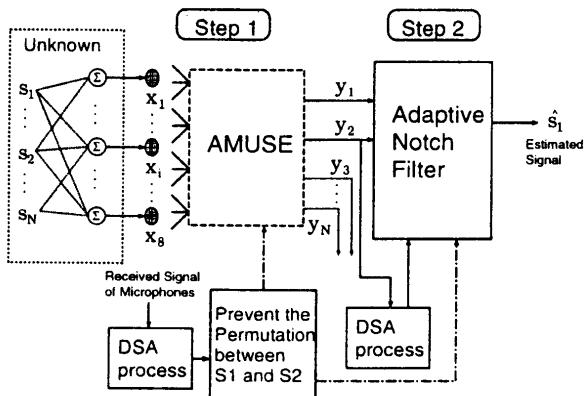
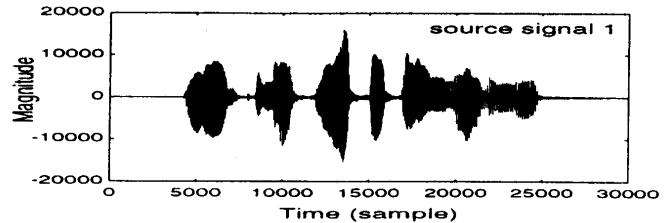


図2：システムブロック図

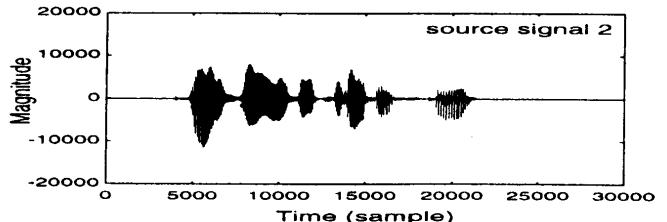
図1はシステムの概略図であり、図2がブロック図である。図2のStep1では、ブラインド信号処理アルゴリズムの一つであるAMUSE法を利用した信号の一次分離と、DSA法による主音源方向の推定を行ない、第二音源との入れ替わり防止処理を行なっている。Step2では、一次分離信号から第二音源の方向を推定するとともに、得られた方向情報をもとに適応ノッチフィルタを構成し、第二段階での分離抽出を行なう。

このシステムでは、オペレータがアレイセンサーと近接しているため、近傍音場を想定した設計を行ない、音源の移動を自動的に追跡する機能を組み込むことにより、オペレータ自身の移動や、雑音源の移動にも対応している。

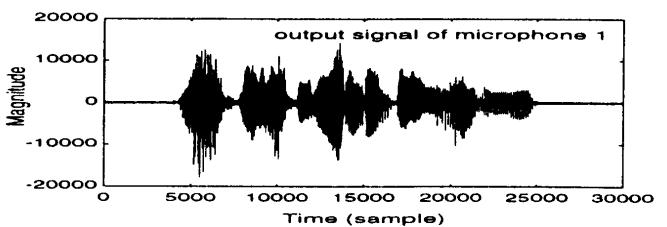
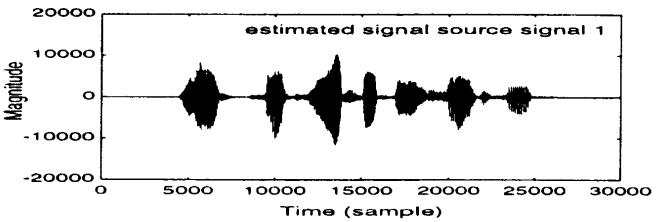
本システムに、二つの音源からの音声信号を角度を変えて加えた場合の波形を図3に示す。図3は上から、主音源の音声波形、妨害音声の波形、第一マイクロホンでの観測波形、システムによる分



(a) 主音源(音声“大きな交差点があります”)の原音波形



(b) 雜音源(音声“会場はどちらですか”)の原音波形

(c) マイクロホン1の出力波形  
(主音源信号+雑音源信号+周囲雑音)(d) 主音源に対応した分離抽出波形  
図3：周囲雑音(SNR=30dB)がある場合の  
連続音声信号の抽出結果

離波形の順に示す。更に、図4には第一音源の原スペクトログラムおよび抽出信号のスペクトログラムを示す。図の比較より、DC付近、1.8kHz近傍および3.2kHz近傍の周波数成分に欠落は見られるものの高い類似性が観察される。このことは聴覚モデルを用いた評価アルゴリズムによる“線形歪み評価”(図5(a))が、概ねこの帯域に限定されていることや、“非線形歪みを含む雑音評価”(図5(b))が比較的低レベルに留まっていることから見て取れる。さらに、本システムを音声認識装置のフロントエンドとして利用した場合、SNRが10dBの場合で、単語認識率で23%の向上が得られた。また、分離音声を聴取した結果、レベルの小さな雑音についても十分な明瞭度が得られた。

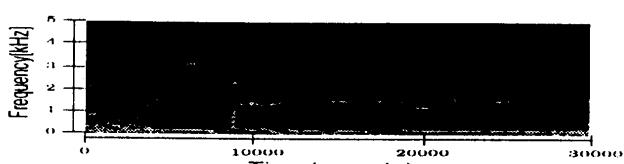


(a) 主音源信号

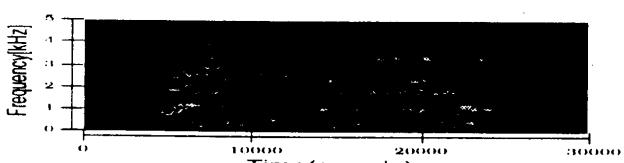


(b) 分離抽出信号

図4：原信号および分離抽出信号のスペクトログラム



(a) 線形歪み評価



(b) 非線形歪みを含む雑音評価

図5：分離抽出信号の提案の評価アルゴリズムによる評価

### (3-2) 波及効果と発展性など

本研究で開発を目指しているアレイセンサーは、音源に関する先見情報を積極的に利用した信号分離手法と、ブラインド信号処理を含めた適応アルゴリズムと融合することにより、これまでになくコンパクトで高い分解能をもつシステムが構成できるものと期待される。今後、情報機器が遍在するユビキタス社会を迎えるに際し、音響信号の効率的な分離抽出技術は基盤的なものとなる。また、本研究プロジェクトでは、個別技術をモジュールとして開発を行なっており、各モジュールの持つ特徴を選択的に組み合わせることにより、性能要因と演算負荷などの費用要因を柔軟に組み合わせることができるものと期待される。また、従来性能評価のために必要であった聴取実験を一部でも

省略できる可能性が明らかとなれば、システムの開発に際して分離信号の聴感上の質を評価に含めることができ、より広い範囲での応用が可能になることが期待される。

### [4] 成果資料

- 1) Tsuyoshi Usagawa, Hirokazu Shimada, Yoshiaki Sawada, Yoshifumi Chisaki, Masanao Ebata, "A microphone array system using iterative echo suppression method as inverse filtering," *Acoust. Sci. & Tech.*, 22, 4, pp.315-317 (2001.7).
- 2) 宇佐川毅, 岩下あずみ, 中島栄俊, 菅木禎史, 江端正直, “心理音響モデルを用いた音響信号の客観的評価手法 -聴取実験に基づく検討-,” 電子情報通信学会技術報告, EA2001-29, 9-16 (2001.8).
- 3) 菅木禎史, 城下修一, 宇佐川毅, 江端正直, “複数話者が存在する環境におけるピッチ抽出システムの検討”, 電子情報通信学会技術報告, EA2001-31, 25-32 (2001.8).
- 4) Tsuyoshi Usagawa, Ayumi Hashimoto, Hirokazu Shimada, Masanao Ebata, “Separation of concurrent signals using a microphone array,” *Proc. ICA 2001*, 6A.06 (2001.9).
- 5) Yoshifumi Chisaki, Shuuichi Shiroshita, Tsuyoshi Usagawa, Masanao Ebata, “A new pitch detection system based on harmonic analyzing wavelet for concurrent speech,” *Proc. ICA 2001*, 6C.15 (2001.9).
- 6) 宇佐川毅, 橋本あゆみ, 菅木禎史, 江端正直 “ディスプレイ組込み型マイクロホンアレーによる特定話者音声の抽出”, 電子情報通信学会技術報告, EA2001-79, 35-41 (2001.11).

課題番号 H13/A03

# 分極反転構造ニオブ酸リチウム光導波路を用いた 広波長域波長変換の研究

## [1] 組織

研究代表者：栖原敏明

（大阪大学大学院工学研究科）

通信研対応教官：伊藤弘昌

（東北大学電気通信研究所）

分担者：藤村昌寿（大阪大学大学院工学研究科）

研究費：校費 43万6千円（配分額）

旅費 18万4千円（配分額）

## [2] 研究経過

テラヘルツ（THz）帯から遠赤外・中赤外・近赤外域の電磁波・光波は、次世代の超大容量情報通信、環境計測、プロセス計測、医療・生物などの分野で多くの重要な応用が期待されており、広い波長域でコヒーレントな電磁波・光波を発生できる小型・簡便で実用的なデバイスの開発が強く望まれる。本研究課題は、ニオブ酸リチウム(LiNbO<sub>3</sub>)結晶に周期的な強誘電分極反転構造と光導波路構造を形成し、赤外レーザで励起することにより、非線形光学波長変換によりTHz帯から中・近赤外域の電磁波・光波を発生するデバイスの基礎研究を行おうとするものである。東北大学と大阪大学のグループで理論解析・設計に関して研究討論を行うと共に、分担してデバイスを実際に作製して実験を行い、その可能性を実証することを目的として研究を遂行した。以下に本年度の研究活動状況の概要を記す。

本プロジェクトは、本年度が第1年目であった。そこで東北大学と大阪大学のこれまでの研究成果と技術蓄積に関して電子メールと郵便により情報交換・意見交換し、本プロジェクトの細部を検討し具体化してゆくことから開始した。本年度は当初計画どおり、表面放射型導波路THz帯差周波発生デバイスを設計・作製・実験することとした。設計理論として、既に東北大学グループが提案・発表していた理論を大阪大学で発展させて実際的なデバイス構造に適用できるより精密な理論解析にすることにした。デバイスは東北大学での結晶分極反転と大阪大学での光導波路形成により作製した。試作デバイスを電気通信研究所の高出力励起レーザ光源およびTHz帯～赤外域検出実験設備を用いて

実験的に検討した。

この間、研究分担者 藤村の東北大学訪問（12月17日）により、導波路試料作製の討論と打合わせを行い、研究代表者 栖原の東北大学訪問（1月8－9日（別用件兼務出張））により、理論解析に関する討論および波長変換デバイスの作製と実験に関する打合わせと討論を行った。また東北大学グループのY.Avetisyanと佐々木雄三の大坂大学訪問（2月14日）により、理論解析の討論と実験に関する打合わせを行った。さらに研究代表者 栖原敏明の東北大学訪問（3月14日）により理論解析に関する共著論文の内容について最終検討を行った。

## [3] 成果

### (3-1) 研究成果

- ① 表面放射型導波路THz帯差周波発生のための具体的なデバイス構造として、新たに図1に示すようなチャンネル導波路を用いた上方放射型および横方向放射型デバイスの構成案を得た。
- ② チャンネル導波路上方放射型・横方向放射型のTHz波発生デバイスをグリーン関数法で理論解析し、放射指向性と変換効率などの理論特性と設計指針を明らかにした。
- ③ 周期的分極反転構造形成法の改善を行い、広面積で一様性の良い構造を形成する技術を確立した。その有効性をまず導波型の近赤外域差周波発生デバイスで実証した。
- ④ THz波発生用LiNbO<sub>3</sub>近赤外光導波路として、アニールプロトン交換法および光損傷耐性が高いと期待されるZn拡散LiNbO<sub>3</sub>導波路の作製法の検討を行い低損失導波路を作製する条件を見出した。
- ⑤ プレーナ導波路を用いて最初のプロトタイプ表面放射型THz波発生デバイスを試作した。現在、実験により特性を評価中である。
- ⑥ 導波路擬似位相整合同方向導波モード差周波発生型波長変換デバイスの波長域拡大のため、これまでの近赤外域デバイスの発生波長より長波長の2.8 μm帯発生デバイスの設計・試作を行い、予備的実験結果を得た。

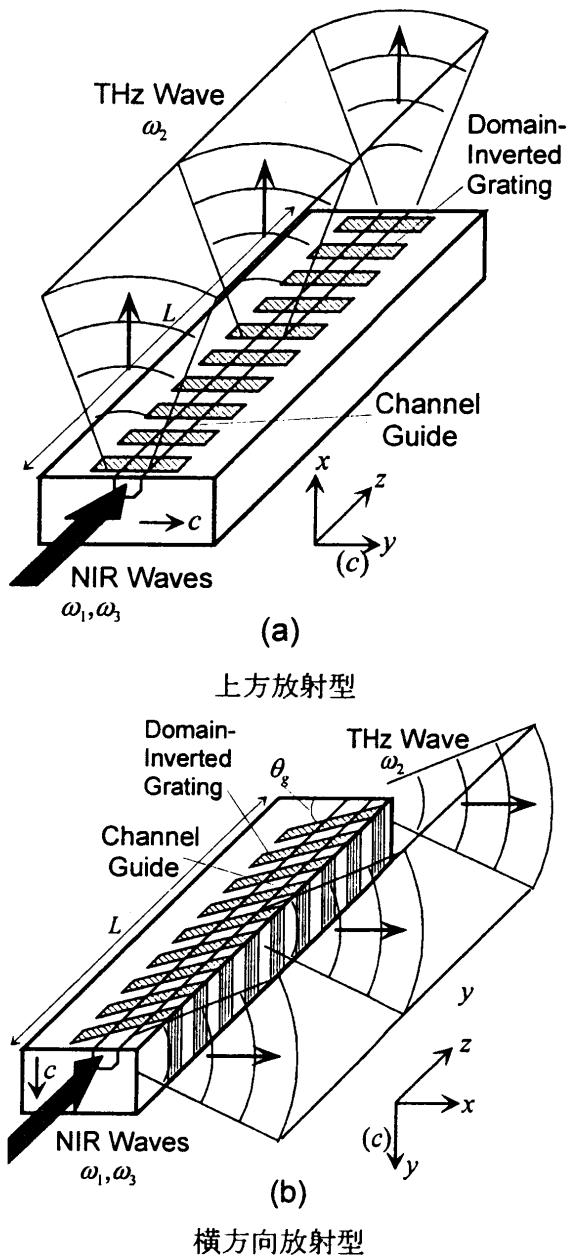


図1 表面放射型チャンネル導波路THz帯差周波発生デバイスの構造

- ⑦ チャンネル導波路上方放射型・横方向放射型差周波発生デバイスの発生波長域の拡大のため、波長20-100  $\mu\text{m}$ の中赤外域発生デバイスの理論設計を行い、デバイス作製を開始した。

### (3-2) 波及効果と発展性など

本研究は本年度が第1年目であるので、設計・作製したデバイスによる実験的検討は開始して間もない。現在も（平成14年度継続採択決定済）継続中である。今後、本年度研究で提案・理論解析した新規デバイスの実証を含めて、差周波発生型波長変換によるTHz発生の多くの実験結果が得られると期待される。また、中赤外領域発生など波

長域拡大にも着手しており、新規デバイスへの発展も予想される。これらの成果により光通信を初めとする実用的技術だけでなく、基礎科学にも幅広い貢献ができると期待できる。

### [4] 成果資料

- 1) 栖原敏明：“光通信用LiNbO<sub>3</sub>導波路擬似位相整合非線形光学デバイス(招待論文)。”電子情報通信学会論文誌C, vol.J84-C, No.10, pp.909-917, 2001.
- 2) Y.Shigematsu, M.Fujimura and T.Suhara, “Fabrication of LiNbO<sub>3</sub> TE/TM waveguides for 1.5  $\mu\text{m}$  wavelength band by Zn/Ni diffusion in low-pressure atmosphere,” 8<sup>th</sup> Microoptics Conference (MOC'01), H7, Osaka, Oct.24-26, 2001.
- 3) K.Shio, D.Sato, T.Morita, M.Fujimura and T.Suhara, “Design and fabrication of LiNbO<sub>3</sub> waveguide QPM-DFG wavelength converter for 1.  $\mu\text{m}$  band,” 8<sup>th</sup> Microoptics Conference (MOC'01), L6, Osaka, Oct.24-26, 2001.
- 4) T.Suhara, “Wavelength conversion and ultrafast signal processing using periodically domain-inverted LiNbO<sub>3</sub> waveguides,” (Invited Paper) IEEE/LEOS Annual Meeting, TuCC3, pp.364-365, San Diego, Nov.12-15, 2001.
- 5) Y.Avetisyan, Y.Sasaki and H.Ito: “Analysis of THz-wave surface-emitted difference-frequency generation in periodically poled lithium niobate waveguide,” Appl. Phys., vol.B73, pp.511-514, 2001.
- 6) 四方潤一, 川瀬晃道, 伊藤弘昌: “テラヘルツ波の発生と制御(招待論文)。”電子情報通信学会論文誌C, vol.J85-C, No.2, pp.52-63, 2002.
- 7) 佐藤大介, 森田崇, 塩和也, 藤村昌寿, 栖原敏明: “光通信用LiNbO<sub>3</sub>導波路擬似位相整合波長変換デバイスの作製と評価,” 第49回応用物理学関係連合講演会, 27p-ZS-4 (2002-03).
- 8) 栖原敏明: “LiNbO<sub>3</sub>導波路波長変換デバイス(招待論文)。”電子情報通信学会2002年総合大会 C-4-23 (2002-03).
- 9) Y.Shigematsu, M.Fujimura and T.Suhara: “Fabrication of LiNbO<sub>3</sub> TE/TM waveguides for 1.5  $\mu\text{m}$  wavelength band by Zn/Ni Diffusion in Low-Pressure Atmosphere,” Jpn. J. Appl. Phys., to be published.
- 10) T.Suhara, Y.Avetisyan and H.Ito: “Theoretical analysis of laterally emitting THz-wave generation by difference frequency generation in channel waveguides,” submitted to IEEE J. Quantum Electron.

## 課題番号 H13/A04

# ミリ波通信・計測用アクティブ集積化 アンテナの開発・研究

### [1] 組織

代表者：川崎 繁男（東海大学工学部）  
 責任者：水野 皓司（東北大学通信研究所）  
 分担者：相川 正義（佐賀大学 理工学部）  
     新井 宏之（横浜国立大学工学部）  
     栗井 郁雄（山口大学工学部）  
     伊藤 精彦（北海道大学大学院工学研究科）  
     伊藤 公一（千葉大学工学部）  
     大堂 雅之（郵政省通信総合研究所）  
     鹿子嶋憲一（茨城大学 工学部）  
     真田 篤志（山口大学 工学部）  
     塙見 英久（大阪大学大学院 基礎工学研究科）  
     田口 光雄（長崎大学 工学部）  
     野木 茂次（岡山大学工学部）  
     橋本 弘藏（京都大学 宙空電波科学研究  
センター）  
     三浦 龍（郵政省通信総合研究所）  
 研究費：公費514千円、旅費738千円

### [2] 研究経過

本プロジェクト研究では、固体能動回路と放射器とが渾然一体化したミリ波アクティブ集積化アンテナ技術の促進に対し、いろいろな機関の研究者が試作品を持ち寄り、集い、基礎技術の確認や応用技術に関する話し合いを進める場を提供してきた。すなわち、アクティブ集積化アンテナ技術に関して、その進歩に多角的な見地から寄与するため、ハードウェアの基礎技術とシステム応用の検討のための、討論の場を提供することを目的としている。ここでの討論のポイントは、平面アンテナと集積回路、および共振器の効率的融合とシミュレータによる設計法の確立、高効率・高出力化、変復調、センサー機能、光による制御等の技術があげられる。平成13年度はイメージングアレイの原型モデルの試作等の成果を公表し、2回の研究発表会を通して、上記討論のポイントに基づいた意見交換を行うことができた。

上記研究項目に関して、日本を代表する研究者を集め、1回目は一般講演に続き、アクティブ集積化アンテナの実用化に向けた応用に関して2件の招待講演を行い、さらに本プロジェクト研究の特徴である試作品を持ち寄り、実物を見ながら議論す

る形の研究発表会であった。2回目はより細部にわたる具体的な技術に関して2件の招待講演に続き、フリーディスカッションに近い形の討論会を開いて参加者の具体的な研究の進歩にヒントを与えた。

発表会プログラムは以下のとおりである。

#### ○第1回研究会

場所：（発表）東北大学電気通信研究所（2号館  
4F・大会議室）  
 （展示）東北大学電気通信研究所（2号館  
4F・中会議室）

日時： 平成13年11月2日(金) 10:00~17:00

プログラム

10:00-10:10 研究プロジェクト代表者挨拶：  
 川崎繁男（東海大学電子情報学部）  
 電気通信研究所対応教官挨拶：

水野皓司（東北大学電気通信研究所）

#### ○一般講演 座長：

新井宏之（横浜国立大学工学部）

10:10-10:30 10GHz帯磁流ループアンテナを用  
いた準光学アンテナ・ミキサアレー  
山本 学、齊藤寛之、西村寿彦、伊藤精彦\*  
 （北海道大学大学院工学研究科、\* 苫小牧工  
業高等専門学校）

10:30-10:50 フェルミアンテナを用いたミリ波  
イメージングシステムの開発研究  
新井直人、佐藤弘康\*、我妻壽彦、戸田俊一、  
 長内辰夫、澤谷邦男\*、水野皓司  
 （東北大学電気通信研究所、\* 東北大学大学  
院工学研究科）

10:50-11:10 8.45GHz 帯DBF 受信システムの検  
討

森康平、新井宏之（横浜国立大学工学部）

11:10-11:30 衛星通信用Sバンド受信アクティ  
ブ集積アンテナの試作  
岩崎和久、鈴木健太\*、川崎繁男\*  
 （スタンレー電気株式会社、\* 東海大学電子  
情報学部）

11:30-11:50 オーバーモード導波管型ミリ波帶  
電力合成器の等価回路  
山下隆征、菅野英之、襄 鐘石、水野皓司  
 （東北大学電気通信研究所）

11：50-12：10 自励発振ミキサ機能を持つ能動アンテナのフェーズドアレー動作  
佐薙稔，藤原城二，野木茂次  
(岡山大学工学部)

◎招待講演 「アクティブアンテナは市場を獲得できるか？」

座長：裴 鐘石（東北大学電気通信研究所）

13：30-14：00 SPSプロジェクト実現に必要なマイクロ波送電用アンテナ及び送電システム

篠原真毅，松本紘，橋本弘藏  
(京都大学宙空電波科学研究所センター)

14：00-14：30 成層圏プラットフォーム搭載用アーレアンテナの開発状況と課題  
三浦龍，大堂雅之（通信総合研究所）

14：30-14：45 全体質疑

◎展示説明

15：00-17：00

- ・岡山大学工学部電気工学科 野木研究室
- ・東海大学電子情報学部電気電子工学科 川崎研究室
- ・東北大学電気通信研究所 水野研究室
- ・北海道大学大学院工学研究科 山本研究室
- ・横浜国立大学工学部電子情報工学科 新井研究室

○第2回研究会

場所：(発表・展示) 東北大学電気通信研究所  
(講堂・N308)

日時：平成14年3月18日（月） 13:30～17:00

プログラム

13：30-13：40

研究プロジェクト代表者挨拶：

川崎繁男（東海大学）

電気通信研究所対応教官挨拶：水野皓司

13：40-14：40

「導波管型平面アンテナとアクティブ回路との接続」

広川二郎（東京工業大学）

14：50-15：50

「基本波リアクタンス補償型F級負荷回路のマイクロ波ヘテロ接合デバイスへの応用」

本城和彦（電気通信大学）

16：00-17：00 討論

1回目の研究会の展示会、および、第2回目の討論会では、発表に関連した実際の基礎理論・設

計・試作に関しての議論を参加者と議論しあい、有意義な研究会を開催できた。

### [3] 成果

#### (3-1) 研究成果

アクティブ集積化アンテナ技術の要素技術であるミリ波集積回路と共振器、平面アンテナと給電回路、これらの融合・制御・給電法に関する設計・解析法、シミュレーション技術の適用、空間電力合成、高効率・高出力化、多機能化、光制御技術、システム応用に関する議論を、産官学の研究者が一同に会して行った。一例をあげると、平成12年度東北大学電気通信研究所共同プロジェクト「ミリ波通信・計測用アクティブ集積化アンテナの研究」(プロジェクト研究会)の活動の成果を元に、35GHz帯のパッシブイメージング装置に関する設計を終え、画像取得の予備実験に成功した。本年度はプロジェクト研究に移行し、上記プロジェクト研究会の成果をもとに、高精度のイメージングアレイを組み立てた。

#### (3-2) 波及効果と発展性

基礎技術の確立に関する討論によって、アクティブ集積化アンテナのシステム応用技術の明確化が行える。この具体的な例として、このプロジェクトを通じて日本独自のアクティブ集積化アンテナ技術を提案することが期待でき、本プロジェクトが核となって、アクティブ集積化アンテナ技術に対する規範・基準作りを行うことにより、この技術の進展に大きく寄与できると思われる。

上記のような成果より、アクティブ集積化アンテナ技術は、通信、放送、計測の多岐にわたって応用できることが確認された。具体的には、ITS・通信衛星・移動体通信・室内LAN等が挙げられる。ミリ波帯イメージングは、環境計測、セキュリティーなど、社会の多くの分野への応用が考えられており、本システム実現への期待は極めて大きい。本研究の成果は、まず火山活動の観測、ITS(Intelligent Transport System)、ロボット用センサー等への貢献が期待される。今回の発表会の参加者間には、今後の発展により、この技術を用いた製品が売り出され、市場を獲得できる期待が高まった。

### [4] 成果資料

本プロジェクト研究発表会において配布された資料を添付する。

課題番号 H13/A 05

## コミュニケーションの成立条件

### [1] 組織

代表者：沢田康次（東北工業大学）  
 責任者：白鳥則郎（東北大通研）  
 分担者：相川清明氏（NTT基礎研）  
     猪岡光氏（東北大情報科学研究科）  
     河原達也氏（京大情報学研究科）  
     藏本由紀（京都大学理学研究科）  
     鈴木陽一（東北大通研）  
     野家啓一氏（東北大文学研究科）  
     矢野雅文（東北大通研）

研究費：校費 94,565円，  
 旅費 206,600円

### [2] 研究経過

#### 目的

2者または複数者の間でコミュニケーションが成立するとは、一般にお互いが自分の主張を述べ、かつ他者の主張を理解することであるが、自分の主張と他者の主張が有機的に統合されたものになっていない場合は真の意味でのコミュニケーションとはいえない。また、たとえ一人の中でその両者が統合されたとしても、その統合が他者と共有していることが必要である。このためには情報の一方的な流れや時間をおいたやり取りよりは同時的実時間的な情報のやり取りが必要である。本研究は、コミュニケーションが成立する条件を数理的に表現し、コミュニケーションが困難な場合の改善方法を明らかにするとともに、工学的に創造的コミュニケーションが行われやすい情報ネットワークの設計に資することを目的とする。

#### 概要

この目的を実現するために下記のシンポジウム「コミュニケーションの成立条件」を開催して、ロボットーロボット、ロボット一人間、人間一人間のコミュニケーションに関わる研究者の間でコミュニケーション成立の条件について議論を深めるとともに、コミュニケーション成立条件の基礎となる心理物理学的実験とその解析及びモデル化を行った。

そのため、コミュニケーションの成立条件の基

礎的研究として、実時間情報処理は生物が生存するのに必要な機能であることに着目し、実時間処理の数理的本質をとらえるために、本年度は先ずヒトと単純運動を行うターゲットとのコミュニケーションの研究を行った。被験者にスクリーン上を周期的に運動するターゲットをカーソルで追隨するタスクを与え両者の位相差と位置誤差を詳細に測定した。その結果、生物が日常遭遇する運動周波数領域において、手の運動がターゲットを無意識的に先行し、且つその先行度合いは、ターゲット運動の変化によるトランジエント誤差を最小にするように脳内のパラメータが設定されている（Proactive Controlと呼ぶことにした）驚くべき結果を明らかにした。

#### ○シンポジウム

日時；平成13年12月4日13時

場所；東北大通研情報科学新棟大会議室

題名「コミュニケーションの成立条件」

趣旨；

コミュニケーションの本質は情報の一方的な流れではなく、双方の情報が作用しあってcreativeなまたcooperativeな作用を作り出すことである。そのメカニズムやアルゴリズムもしくはその可能性について討論した。

#### プログラム

1) ロボットーロボットコミュニケーション

(司会：猪岡光氏)

○浅間一氏（理研）

「協調のための複数自律移動ロボット間通信」

2) マンーマシンコミュニケーション

(司会：鈴木陽一氏)

○猪岡光氏（東北大情報科学）

「人間と協調動作するロボット」

○相川清明氏（NTT基礎研）

3) マンーマンコミュニケーション

(司会：矢野雅文氏)

○河原達也氏（京大情報学）

「講演・討論の音声認識から理解へ」

○野家啓一氏（東北大文学）

## 「コミュニケーションにおける志向性と因果性」

## 4) 認識・通訳

(司会：岩崎祥一氏)

○島田智氏, 白鳥則郎氏（東北大通研）

「文字認識における先行性」

○大原貴弘氏, 岩崎祥一氏（東北大情報科学）

「心を読む」

○松原茂樹氏, 稲垣康善氏（名大工学）

「同時通訳のための話し言葉処理」

## 5) パネル討論会

(コオーディネイター：沢田康次)

「コミュニケーションの成立条件」

## ○研究打ち合わせ

日時 平成14年3月5日－6日

場所 東北大学電気通信研究所中会議室

蔵本由紀氏（京都大学理学研究科）は日本における非線形理論の第一人者であり特に位相方程式に関する業績が顕著である。

同氏とともにわれわれの発見したプロアクティブ制御の実験結果について議論し、これまで用いてきたDFFモデルから位相方程式を導出することに成功した。この方程式の数値計算はプロアクティブ制御における、ターゲット運動が0.6Hzのとき観測されるposition-matching modeとrhythm-matching modeの遷移を的確に捉えるが判明した。

## [3] 成果

本年度は、コミュニケーションの成立条件の基礎研究として、人と運動するターゲットの関係を測定し、実時間制御のひとつの戦略として環境変化のある周波数帯域において、ひとはプロアクティブ制御方式とわれわれが命名した先行制御を粉々にすることを実証し、その数理モデルとしてDFF方程式及び非線形効果を取り入れた位相方程式を導出し、これらが実測された実験結果をほぼ完全に再現することをし消すことができた。

このことにより脳内の感覚器一運動系の信号の流れに対して積極的な提案が可能になり、その機能解明に貢献できる。

また来年度はプロアクティブ制御がコミュニケーションに果たす役割について研究を進める予定であり、その基礎的な数理的知識を本年度の研究によって獲得することができた。

2. 石田文彦, 沢田康次, “人の感覚運動システムにおける先行制御”, 計測自動制御学会論文集(2002,投稿中).
3. F. Ishida, H. Ushioda, Y. Sawada, “Preceding motion in a hand tracking experiment”, Proc. of 8th International Conference on Neural Information Processing, vol.2, pp.971-974, (October,2001).
4. F. Ishida, Y. Sawada, “Precedence of hand motion in a tracking task: a model of sensory-motor control system”, Proc. of 2001 International Symposium on Nonlinear Theory and its Applications(NOLTA), vol.2, pp.379-382, (October, 2001).
5. F. Ishida, Y. Kuramoto, Y. Sawada, “Transition between the position-matching and rhythm matching modes in hand-tracking experiment”, 2002 Int. Symp. on Nonlinear Theory and its Application(NOLTA, submitted).

課題番号 H11/B02

## 脳の情報原理の解明に向けた基礎的研究

### [1] 組織

代表者：矢野雅文（東北大学電気通信研究所）  
 責任者：矢野雅文（東北大学電気通信研究所）  
 分担者：  
 土屋和雄（京都大学工学研究科）  
 伊藤宏司（東京工業大学総合理工学研究科）  
 近藤敏文（東京工業大学総合理工学研究科）  
 石黒章夫（名古屋大学大学院工学研究科）  
 浅間一（理化学研究所工学基盤研究部）  
 藤井輝夫（東京大学生産技術研究所）  
 高草木薰（旭川医科大学）  
 湯浅秀男（東京大学大学院工学系研究科）  
 太田順（東京大学大学院工学系研究科）  
 千葉龍介（東京大学工学系研究科）  
 辻田勝吉（京都大学大学院工学研究科）  
 木村真一（通信総合研究所）  
 倉林大輔（東京工業大学総合理工学研究科）  
 細田耕（大阪大学大学院工学研究科）  
 伊藤聰（岐阜大学大学院工学研究科）

研究費：校費 15万円、旅費 75万9千円

### [2] 研究経過

実世界における認識や制御の問題は情報の曖昧性や不完全性を伴うために一般には不良構造問題となる。これらの問題は現在の計算機のパワーアップをはかるだけでは解決出来ない。情報処理の応用範囲を広げ、取り扱う情報の量と質を上げるには、人間に近い柔軟な知性を持った新しい情報処理技術を開発し、従来型の情報システムと融合可能な新しいパラダイムにシフトする必要がある。脳の情報処理の特徴はその「柔軟性」にある。この柔軟性が可能になる情報原理の基本的機構は、自己言及性による仮設生成能力、すなわち予測能力にある。従って、脳がおかれた環境と内部状態によって、適切な認識を行い、環境と適切な関係を作り出すためには、視覚や聴覚の認識機構、あるいは記憶の生成・記録・想起の機構、運動の制御に関する研究が必要となる。本研究プロジェクトではこの人間の知的な活動に近い働きをする情報システムの新しいパラダイムを構築するために人間の脳で行われている「情報原理」を解明する

ことを目的として研究を行った。

前年度は、生命科学の論理を明らかにするにはこれまでの学問体系の範疇で行えるのか、あるいは新しいパラダイムが必要なのか？本質的な問題がどこにあるか？を論理的に議論した。そこで、本年度は前年度の成果を踏まえながら、第一回研究会を平成13年6月19、20日に、第二回研究会を平成14年3月6、7日に開催し、実環境における移動に伴う運動制御の問題を具体的に議論した。以下研究会の概要を記す。

実環境における移動の問題は、認識と制御のリアルタイム性を実現する必要があり、これはこれまでの自他分離と因果律に基づく論理では解決しない本質的な問題であることによる。複雑に変化する実環境において、人工物が環境を認識し、環境に対して目的を達成するように適応的制御を行うには、情報の創発機構が不可欠である。認識は一種の「見なし」情報を創り、それを行ふことで評価をする。この判断によって情報が獲得できるのであり、環境に対して適応的制御をすることが創発的制御となる。認識機構に関しては、いわゆる「認識の壁」が存在し、単なるテンプレートマッチングだけでは実世界の複雑性に対応することが出来ない。柔軟な認識が可能になる分節化とその情報表現が本質的に重要になる。情報表現に関しては分節化されたパターンのコンセプトという質を量的（解析的特徴）として記述することが重要である。また制御機構としては、目的を与えたときにシステム自身が不良設定問題を自律的に解く機構が必要となる。これまで、不良設定問題を解くための拘束条件は軌道生成によって行なわれてきたが、これは本質的にはサイバネティクスで行われてきたフィードバック制御である。リアルタイムで対応する機構を有しないので、実環境との誤差が生じたときに軌道生成を再度やり直さなければならない。また、強化学習による制御情報の獲得では、リアルタイムで実環境の変化に対応することができない。生命システムはこれらの無限定環境に対する認識・制御を行っていることから、生命システムにおける拘束条件の生成とその充足方法を明らかにしなくてはならないことが結論された。

生物の移動は、遊泳、飛翔から歩行にいたるまで、さまざまな形態をとっているが、生物の身体機能を向上させるとともに、環境や他者との多様な相互作用を生み出す働きがある。この相互作用が、生物の形態のみならず、知的機能を飛躍的に発展させてきたと考えられる。それは予測不可能的に変化する環境（無限定環境）に対して生命システムが適応するには、時々刻々移動行動を自己組織化しなくてはならないことによる。このように新たな環境にも実時間で適応的に対処する機能は、単なる運動制御では不可能であり、移動知とも言える知の発現が欠かせない。これに対して、人工物であるロボットは、すべて設計者が計算しあらかじめ作り込んだものであり、ロボット自らが獲得した機能とは言えない。実世界のような無限定環境下においても自律的かつ実時間的に対処可能なシステムを構築することは、人工物の効果的な利用を拡大するためには欠くことの出来ない重要な課題となっている。

したがって、この問題のアプローチとして、移動によって外部環境が捉えなおされ、身体を通して内面化される機能を明らかにする必要があるとの結論を得た。特に、生物およびロボットに共通するこの移動知の数理的・生物的原理を考察し、工学的実現に向けての計算手法を開発するために、神経生理学で得られた結果（解析論的アプローチ）を踏まえ、移動知を有する人工物システムの設計原理（設計論的アプローチ）を明らかにする必要があることが議論された。

その結果、主として以下の三つの研究課題が重要であることが確認された。

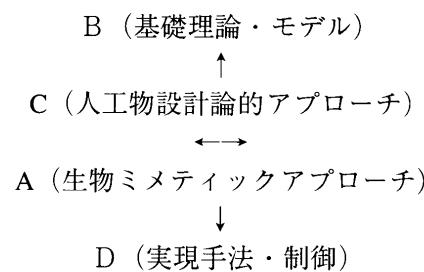
1) 情報を生み出す知：システム・身体・環境間の相互作用による拘束条件の内的生成、およびそのための数理ダイナミクスの開発を目指す。

2) 環境適応：場所的イメージによる文脈（コンテキスト）生成、すなわち巡回する道筋に沿った世界像の生成手法の開発を行う。解析論的アプローチとして、移動知の獲得における大脳基底核の役割を研究する。設計論的アプローチとして、コンテキストに基づき運動要素の結合・構造化を行う志向性運動形成メカニズムを研究する。

3) 環境創造：能動的行動による外部環境自由度の拡大・拘束、群ロボットにおけるコミュニケーションや共進化を通しての機能獲得方法を明らかにする。設計論的アプローチとして、協調するエージェントが他者とのインタラクションに基づいて自己の行動を決定するアーキテクチャについて研究する。

これらの研究を推進するに当たり、研究の軸を

以下の2軸に分類し、分担して共同研究を推進することになった。



この2軸からなる平面を共同研究により埋め尽くして行くことにより、上記の目的が達成されることになる。

研究項目については共通概念として、移動、身体性（物理要素）、循環の三者をとらえ、以下の3つを重視することとした。

#### 1. 情報の内的生成；

時空間コヒーレンスとみなし情報  
拘束条件の内的生成とその数理ダイナミクス  
場所的イメージによる文脈生成、時間と空間  
巡回空間、道筋に沿った世界像の生成手法  
自己中心認知マップと他者中心認知マップ

#### 2. 身体の可塑性；

身体構造とその可塑性（どういう構造。どの回路が変わる。）

身体の有限性、柔構造・力学的干渉と行動生成（機械的ダイナミクスの工夫）

柔構造=多義性

システム—身体—環境間の相互作用

皮質—基底核—小脳—視床（脳幹）ループと実時間行動生成

感覚・運動系の動的構成と環境内部モデル形成

知の身体依存性、身体拘束性

この部分が、1と3に対して本質的に重要な役割であることを示さなければならない

有限性と内部観測

チャンネルを変える

#### 3. 環境共創；

能動的行動による自由度の拡大・拘束  
他者との協調・競合、群における身体性拡大  
コミュニケーション・共進化による行動獲得

上記の3項目の相互関係は（環境共創） $\Leftrightarrow$ （身体可塑性） $\Leftrightarrow$ （情報の内的生成）となっており、移動知発現のシステム原理解明の基本構成として用いることとした。ここで、身体の定義を拡張すれば、群ロボット系にも適用できることになる。

本年度の研究会により研究の課題整理が出来、今後の研究の発展が期待されるところとなった。

## 課題番号 H12/B02

# プラズマ加速現象の基礎と応用

### [1] 組織

企画者：犬竹 正明（東北大工学研究科）  
 責任者：横尾 邦義（東北大電気通信研）  
 分担者：安藤 晃（東北大工学研究科）  
     服部 邦彦（東北大工学研究科）  
     佐宗 章弘（東北大流体研）  
     本間 利久（北海道大工学部）  
     渡部 政行（岩手大工学部）  
     西田 靖（宇都宮大工学研究科）  
     市村 真（筑波大プラズマ研）  
     斎藤 輝雄（筑波大プラズマ研）  
     池畠 隆（茨城大工学部）  
     桂井 誠（東京大工学研究科）  
     荒川 義博（東京大工学研究科）  
     小紫 公也（東京大工学研究科）  
     吉田 善章（東京大新領域研究科）  
     都木恭一郎（宇宙科学研究所）  
     竹ヶ原春貴（都立科学技術大工学部）  
     津島 晴（横浜国立大工学部）  
     天岸 祥光（静岡大理学部）  
     三重野 哲（静岡大理学部）  
     石田 昭男（新潟大理学部）  
     大澤 幸治（名大理学研究科）  
     藤原 正巳（核融合科学研究所）  
     伊藤 公孝（核融合科学研究所）  
     上村 鉄雄（核融合科学研究所）  
     長山 好夫（核融合科学研究所）  
     田中 雅慶（核融合科学研究所）  
     際本 泰士（京都大総合人間学部）  
     斧 高一（京都大工学研究科）  
     岡田 成文（大阪大工学研究科）  
     田原 弘一（大阪大工学研究科）  
     宇山 忠男（姫路工業大工学部）  
     草野 完也（広島大先端研）  
     佐藤浩之助（九州大応用力学研究所）  
     篠原俊二郎（九州大総合理工学研究科）  
     中島 秀紀（九州大総合理工学研究科）  
     間瀬 淳（九州大先端科学技術共同研究  
センター）

研究費：校費150千円、旅費：1,237千円

### [2] 研究の概要と成果報告

宇宙プラズマや核融合プラズマ研究では時間的に変化する場における動的な電磁流体的挙動が注目され精力的に研究が行われている。なかでもプラズマの加速現象は、荷電粒子の加速と異なり、準中性条件を満たしたプラズマが電磁場との相互作用により超音速流域へ加速される現象で、多くの応用分野があるにも関わらず未だ十分な研究が行われていない。本研究は、様々な電磁場中で起こるプラズマ加速現象を統一的に理解し、これを応用する事を目的としている。宇宙プラズマにおけるプラズマジェットやバウショック等の基礎過程の解明だけでなく、電磁推進機への応用や高密度プラズマ流を使った材料開発など幅広い応用につながる研究である。

本プロジェクトでは、上記の目的を遂行すべく宇宙から実験室プラズマまでの広範囲に渡る基礎的な分野に加え、工学的応用としても核融合発電や宇宙電磁推進機などの分野を統合的に理解するための研究会を行った。以下、研究活動状況の概要を記す。

#### （研究討論会開催状況）

##### 第1回

日時：平成13年5月31日（木）15:00-17:00

会場：東北大学電気情報館451・453会議室

「大気圧プラズマの課題と最近の応用」

板谷良平（京都大名誉教授）

##### 第2回

日時：平成14年3月6日（水）13:30-17:55

会場：東北大学工学部青葉記念会館401大研修室

- (1) 「地球磁気圏におけるリコネクション研究  
～イオンスケールの電流層における急速な磁場  
散逸機構と磁気リコネクションのトリガー～」  
    篠原 育（宇宙科学研）
- (2) 「太陽プラズマにおける磁気ヘリシティの觀  
測的研究」  
    草野完也（広島大・先端）
- (3) 「ヘリシティ入射によるSTと球状RFP間の緩  
和遷移」  
    永田正義（姫路工大・工）

- (4) 「液体推進剤を用いたマイクロプラズマスラスター」  
荒川義博（東大・院工）
- (5) 「ホール加速型イオンビーム源の基礎特性」  
鷺 雪子（東北大・院工）
- (6) 「ペレット入射における高密度プラズマ気体共存現象」  
佐藤浩之助（九大・応力研）
- (7) 「磁化回転プラズマの径方向イオン流とイオン閉じ込め」 佐伯紘一（静岡大・理）

3月7日（木）9:10-15:45

- (8) 「レーザー光による粒子加速と電磁波放射」  
西田 靖（宇都宮大・院工）
- (9) 「斜め衝撃波による相対論的粒子の多段加速」  
宇佐見俊介（名大・院理）
- (10) 「磁気ノズルによるプラズマ加速とイオン加熱」  
熊谷良輔（東北大・院工）
- (11) 「パルス高電圧技術の環境工学への応用」  
秋山秀典（熊本大・自然）
- (12) 「磁化プラズマ中のバーガース渦」  
永岡賢一（名大・院理）
- (13) 「プラズマホール構造における準中性条件の破れ」  
吉村信次（核融合研）
- (14) 「プラズマの流速測定用対向電極ダブルプローブ」  
斎藤和史（宇都宮大・工）
- (15) 「小型磁気浮上内部導体装置Mini-RTの開発と高ベータプラズマ閉じ込め実験計画」  
大國浩太郎（東大・高温）
- (16) 「HYBTOK-IIトカマクにおける回転ヘリカル摂動磁場印加実験」  
上杉喜彦（名大・理工）

### [3] 成果

#### （3-1）研究成果

講演内容としては、宇宙から実験室の広範な領域についてのプラズマ電磁流体现象の理論および実験結果が報告された。

宇宙プラズマ現象については、篠原氏によって地球磁気圏のプラズマダイナミクスのなかで磁気リコネクションとサブストーム現象との関連性を明らかにするために、イオン慣性長スケールの厚みを持つ電流層中でも有効な磁場散逸機構の可能性について2次元及び3次元の粒子シミュレーションを用いて検討した結果、従来の理論よりずっと

と速い時間スケールで磁気リコネクションを発生させることを発見したとの報告があった。また、草野氏により太陽フレアと磁気ヘリシティとの関係について太陽表面磁場の観測データに基づき誘導方程式の逆問題を解くことによって太陽コロナに入射される磁気ヘリシティを測定することに成功したとの報告があった。

実験室プラズマについては、永田氏により実験装置を使いヘリシティ入射の過程で真空のトロイダル磁界を急速に反転させることにより、初期生成球状トカマク（S T）配位プラズマがR F P配位を通過してFlipped（反転）S T配位に緩和することを発見したとの報告があった。佐藤氏によつて、トーラスプラズマ実験においてプラズマの密度分布制御や高密度化、閉じ込め改善あるいは計測など、種々の視点から研究が進められているが、ペレットとプラズマの相互作用など本質的な部分についてはいまだ不明であり、その研究の中で見出されたテールモードの検討と解析を行った報告がなされた。佐伯氏により円筒状の磁化プラズマを生成したのち、中心軸上のプラズマ端に配置したイオンコレクター電極に負電位を印加して中心軸上に集まるイオン流を観測したとの報告があった。宇佐見氏により相対的な高速イオンと、磁場に対して斜めに伝播する磁気音波衝撃波との相互作用について、理論とシミュレーションで調べたとの報告があった。熊谷氏、宮崎氏によりMPDアーケージェットに軸方向外部磁場を印加することで、その推進性能が向上させるためラバール型磁気ノズルを形成しそのノズル効果を調べた結果と、高速プラズマ流中でのイオン加熱実験についての報告があった。永岡氏は、ECRプラズマ中に自発的に形成されるプラズマホールに伴うプラズマの速度場の構造を実験的に決定し、その渦度構造、散逸構造を調べた結果、プラズマ中に形成されたバーガーズ渦(散逸性渦)と同定されたとの報告があった。吉村氏によりプラズマホール構造は空間電位が特徴的な構造をもっている可能性があるためこれをエミッショブロープを用いて空間分布を測定した結果、ホール部の電位は電子温度の5倍程度の非常に高い値であり、全体として釣鐘型の分布をしていることが分かり、電位分布とポアソン方程式を用いてプラズマホールの非中性度を評価したところ、ホール部は通常のプラズマより非中性度が103程大きな非中性プラズマであることが報告された。斎藤氏により、磁化プラズマ中で磁力線に沿ったプラズマのフローを計測する新しい手法として対向電極ダブルプローブが提案され、そ

の理論的背景と特徴について報告があった。大國氏により2流体系の新緩和配位および超高ベータプラズマ閉じ込めの可能性を探究するための磁気浮上内部導体コイルを有するトーラス装置Mini-RTについての報告があった。上杉氏により小型トカマクHYBTOK-IIにおいて行われている回転ヘリカル摂動磁場印加による周辺プラズマ制御に関する実験、特に回転摂動磁場のプラズマ中への浸透過程に関する結果についての報告がされた。

応用については、荒川氏により液体推進剤を用いたマイクロプラズマスラスターの開発を目標に、推進剤供給用の噴射器の研究、これを用いたパルス型プラズマスラスター（PPT）の放電作動、微小インパルス測定用スラストスタンドの開発を行なっているとの報告があった。鷺氏により、ホール型加速方式を用いたイオン源の開発と実験についての報告があり、最大ビーム電流密度は、放電電圧200V付近において $27-41\text{mA/cm}^2$ となり低電圧で大電流イオンビームを得ることできたとの報告があった。西田氏によりレーザー光による粒子加速と電磁波放射についての研究が紹介された。また、秋山氏からはプラズマ環境応用という観点からパルス高電圧技術をもちいた種々の応用研究についての紹介がなされた。

研究会の参加者は、学内外を含め50名以上であった。各講演内容に対して参加者による活発な討論が行われ宇宙プラズマから実験室プラズマまでの理論的、実験的側面、ならびに応用についての理解に大きく寄与した。

### （3－2）波及効果と発展性など

本プロジェクト研究会では、本年度で2年目となるが、様々な研究分野の学内外研究者が同一に会し研究者同志の交流が飛躍的に活性化したばかりでなく電磁流体现象およびプラズマ加速の広範な物理現象を多角的、統一的な描像をとらえ、その問題点を明らかにすることことができた。これらの成果は、宇宙から実験室プラズマまでの広範囲にわたる学問的波及効果が期待され、基礎分野ばかりでなく工学的応用としての核融合発電、宇宙電磁推進機、環境応用工学への発展に寄与することが挙げられる。そしてさらに新しい研究の領域の拡大と発展が期待される。

### [成果資料]

- (1) I.Shinohara, H.Suzuki, et.al., Phys. Rev. Lett., Vol.87, No.9, 095001-1(2001).

- (2) K.Kusano, T.Maeshiro, submitted to APJ(2001).
- (3) Y.Suzuki, T.Hayashi, et.al., Nuclear Fusion, Vol.41, No.6, 769(2001).
- (4) 各務 聰、小泉宏之ほか、平成13年度宇宙シンポジウム講演集、221(2002).
- (5) 鷺 雪子、福田昌史ほか、平成13年度宇宙輸送シンポジウム、245(2001).
- (6) K. Saeki, Plasma and Fusion Research, Vol.77, No.4, 329 (2001).
- (7) S.Usami, , Y.Ohsawa, Phys. Plasmas, Vol.9, No.4, 1069(2002).
- (8) S.Usami, H.Hasegawa, Y.Ohsawa, Phys. Plasmas, Vol.8, No.6, 2666(2001).
- (9) H.Tobari, M.Ashino, et al., Proc. Of 25<sup>th</sup> Int. Conf. On Phenomena in Ionized Gases, Vol.2, 193(2001).
- (10) 戸張博之、吉野恭平ほか、平成13年度宇宙輸送シンポジウム講演集、261(2001).
- (11) K.Hattori, F.Murakami, et al., Proc. Of 25<sup>th</sup> Int. Conf. On Phenomena in Ionized Gases, Vol.2, 191(2001).
- (12) K.Nagaoka, et al., J.Phys. Soc. Jpn, Vol.70, No.1, 131(2001).
- (13) S. Yoshimura, R. Ichiki, M. Shindo, and Y. Kawai, Thin Solid Films 390, 212 (2001) .
- (14) Y. Saitou and A. Tsushima: J. Phys. Soc. Jpn., 70 3201(2001) .
- (15) J. Morikawa, D. Ozawa, Y. Ogawa, et al., Jpn. J. Appl. Phys. Vol. 40 , Part 2, No. 10A, L1029 (2001).

## 課題番号 H12/B 03

## ナノ構造磁性体の形成と機能に関する研究

## [1] 組織

代表者：荒井賢一（東北大学電気通信研究所）  
 責任者：井上光輝（豊橋技術科学大学電気・電子工学系）

分担者：

山口正洋（東北大学電気通信研究所）  
 石山和志（東北大学電気通信研究所）  
 島田 寛（東北大学科学計測研究所）  
 北上 修（東北大学科学計測研究所）  
 岡本 聰（東北大学科学計測研究所）  
 武野幸雄（東北大学科学計測研究所）  
 高梨弘毅（東北大学金属材料研究所）  
 三谷誠司（東北大学金属材料研究所）  
 石井 清（宇都宮大学工学部）  
 山口一弘（茨木高専電子情報工学科）  
 田中雅明（東京大学大学院）  
 阿部正紀（東京工業大学工学部）  
 北本仁孝（東京工業大学工学部）  
 佐藤勝昭（東京農工大学工学部）  
 竹村泰司（横浜国立大学工学部）  
 逢坂哲彌（早稲田大学理工学部）  
 片山利一（東邦大学薬学部）  
 純島 滋（名古屋大学工学部）  
 岩田 聰（名古屋大学工学部）  
 藤井壽崇（愛知工科大学工学部）  
 鈴木孝雄（豊田工业大学大学院）  
 五味 学（北陸先端大学院大学）  
 森迫昭光（信州大学工学部）  
 辻本浩章（大阪市立大学工学部）  
 本多茂男（島根大学工学部）  
 山崎二郎（九州工業大学工学部）  
 竹澤昌晃（九州工業大学工学部）  
 加島 篤（北九州高専電気工学科）  
 八木正明（崇城大学エネルギー電気工学研究所）  
 福永博俊（長崎大学工学部）  
 中野正基（長崎大学工学部）  
 山城康正（琉球大学工学部）  
 伊崎昌伸（大阪市立工業研究所）  
 篠浦 治（TDK(株)開発研究所）  
 梅澤浩光（富士電気化成(株)基礎研究部）  
 堀米秀嘉（(株)オプトウェア）

研究費：校費 150,000円、旅費 1,593,000円

## [2] 研究経過

グラニュラー磁性薄膜や磁性フォトニック結晶あるいは磁性ドットなどのように、ナノ構造を導入した磁性体は連続体構造磁性体では発現しない新たな磁気的性質を示すことから、新しい機能性磁気デバイスを実現する構成媒体として高い魅力を備えている。例えばグラニュラー磁性薄膜では、軟磁性・高抵抗・高磁気異方性の共存、大きなトンネル磁気抵抗効果、量子サイズ効果、磁気光学効果の増大、あるいは保磁力の増大現象などが報告されている。また磁性フォトニック結晶では極めて大きな磁気光学効果やフォトニックバンドギャップ形成に伴う新規の磁気光学効果などが報告されている。しかしこれらナノ構造磁性体のユニークな磁気特性発現機構の解明は未だ十分に行われておらず、高性能なナノ構造磁性体を得る条件は未だ混沌とした状態にある。またこのようなナノスケール磁性体を形成する手法として、従来の微細加工技術や自己組織化的形成技術が用いられているが、スループットが高くかつ精度のよい形成手法確立も重要な問題として残されている。

本プロジェクト研究会では、ナノ構造磁性体が示すユニークな磁気特性の起源解明を目的として、磁気デバイスキヤリアとして重要なナノ構造磁性体の電気伝導特性や光伝搬特性、さらにはダイナミックな磁気現象を、電子スピンに立脚した磁性物理的立場から総合的に探求することを目的とする。また併せて、数nmから数百nmスケールの規則(不規則)構造を有するナノ構造磁性体を精度よく形成する手法の確立を目指す。

本年度は、電気学会マグネティックス技術委員会「ナノスケール磁性構造体」調査専門委員会との連携により、表1に示す共同プロジェクト研究会(2002.3.14)を開催した。この研究会は、ナノスケール磁性体の磁気光学効果やトンネル磁気抵抗効果などの機能に着眼し、同分野でユニークな調査研究を実施している研究者を国内外から招聘して開催した。また、ナノスケール磁性構造体調査専門委員会が協賛するマグネティックス研究会(2002.3.15-16)に協力し、ナノスケール磁性構造体

の形成や機能に関する調査研究を実施した。表2は、この研究会でナノスケール磁性体に関する発表論文リストである。

表1 共同プロジェクト研究会発表論文

題 目	著 者
Nonlinear magneto-optics in thin magnetic films and nanoparticles	O.A.Aktsipetrov (Moscow State Univ.)
Magnetotransport and magneto-optics in ferromagnetic nanocomposites	A.G.Granovsky (Moscow State Univ.), H.Sato(Tokyo Metropolitan Univ.), and M. Inoue (Toyohashi Univ. Tech, JST-CREST, Stanford Univ.)
Spin-polarized quantum well states in the metallic multilayered systems and its manifestation in the magneto-optical effect and TMR effect	Y.Suzuki, T.Katayama, S.Yuasa, T.Nagahama, and K.Ando (AIST)
Epitaxial magnetic heterostructures based on III - V semiconductor tunneling magnetoresistance	M.Tanaka, Y. Higo, and S.Sugahara (Univ. Tokyo)

表2 本共同研究会が協力して開催したマグネティックス研究会発表論文（ナノスケール磁性体に関するもの）

薄ガラス基板に成膜したFeRh合金薄膜の磁気相転移	梶修一郎, 柳瀬俊次, 岡崎靖雄(岐阜大), 井上光輝(豊橋技科大)
FePt合金薄膜の規則化温度低減	高橋一磨, 青木崇, 西村一寛, 井上光輝(豊橋技科大)
III-V族半導体中に形成されたMnAsナノクラスター構造の磁気光学効果と半導体導波路型光アイソレータへの応用	清水大雅, 田中雅明(東大)
Properties of Mn $\delta$ -doped-GaAs-based hetero-structures and their high ferromagnetic transition temperature (~172K)	A.M.Nazmul (Univ. Tokyo), S.Sugahara, and M.Tanaka (Univ. Tokyo and JST)
NiFe-酸化物複合膜の透磁率と電気抵抗	李衛東(トーキン), 伊藤哲夫, 加茂芳邦(東北学院大), 島田寛(東北大)
High frequency impedance and conductivity of spin-spray placed plated Ni-Zn ferrite thin films	C.M.Fu (Natil' Kaoshiung Normal Univ., Tokyo Inst. Tech.), H.S.Hsu (Natil' Kaoshiung Normal Univ.), N.Matsushita, C.P.Chong, T.Mizutani, and M.Abe (Tokyo Inst. Tech.)

フェライトめっき法による多層・磁性微粒子の作製と高周波磁気コアへの応用	金徳実, 広阪亮祐, 大西正規, 松下伸広, 阿部正則(東工大)
Ni探針によって増大されたAu(111)表面上の局所的な原子拡散のSTM観察	内田裕久, 金周映, 吉田和洋, 湯浅拓人, 金熙濬(豊橋技科大)
自己組織化テンプレートを用いたナノスケール磁性構造体の形成	熊谷正章, 池澤義文, 西村一寛, 井上光輝(豊橋技科大)
イオンビームスパッタ法による(111)単配向InSb薄膜の形成と磁気表面弹性波增幅への応用	川端武志(豊橋技科大), K.Park, K.H.Shin(慶星大), J.Park, 西村一対, 井上光輝(豊橋技科大)
Fe-SiO <sub>2</sub> グラニュラー膜のXPS分析	清水友晶(島根大), 敏治(広島工大), 坂本優, 本多茂男(島根大), 川畑敬志, 田中武(広島工大), 繩手雅彦(島根大)

表3 その他の共同研究

年月日	内 容	研究者
2001 7.11-13	レーザアブレーショングループで形成した硬質磁性薄膜に関する研究	中野正基(長崎大), 石山和志(東北大)
7.26-27	フェライトめっき薄膜を形成した磁気マイクロマシンに関する研究	阿武和男(豊橋技科大), 石山和志(東北大)
2002 2.28-3.2	生体中における微小磁性体検出に関する研究	島田順一(京都府立与謝の海病院), 藤上信(東北大)
3.6-3.9	グラニュラー構造強磁性体の高周波特性に関する研究	宗像誠, 並河雅志(崇城大), 池田眞治(信州大), 山口正洋, 藤上信(東北大)

またこれらの研究会での調査研究とは別に、東北大学電気通信研究所の施設を利用したナノスケール磁性体に関する研究と研究討議を行った。これらをまとめて表3に示す。

### [3] 成果

#### (3-1) 研究成果

本年度は、ナノスケール磁性体の機能に焦点を絞って共同プロジェクト研究を実施した。具体的には、絶縁体マトリックス中に金属磁性超微粒子が分散したグラニュラー構造磁性体や、透光性磁性体を用いた磁性フォトニック結晶、あるいは金

属多層膜や磁性半導体、磁性超微粒子などである。これらナノ構造磁性体で線型・非線型磁気光学効果が増大することや、トンネル磁気抵抗効果(TMR)の増大、あるいは磁気誘導第2次高調波発生(MSHG)とTMRとの間に密接な相関が報告されるなど、構造に起因した新たな機能発現が指摘された。

### (3-2) 波及効果と発展性

ナノスケール磁性体に関する研究は、既に応用のステージに入っている研究領域もある。例えば、磁気記録におけるパーソナルメディアや、磁性フォトニック結晶を用いた空間光変調デバイスなどがある。来年度も本共同プロジェクト研究を継続する予定であるので、ナノスケール磁性体形成手法に関する調査研究に加え、これらの領域に関する調査研究も継続して行っていく予定である。

## [4] 成果資料

- (1) Y.Higo, H.Shimizu, and M.Tanaka, "Anisotropic tunneling magnetoresistance in GaMnAs/AlAs/GaMnAs ferromagnetic semiconductor tunnel junctions," *J.Appl. Phys.*, vol.89(2001)pp.6745-6747.
- (2) M.Tanaka and Y.Higo, "Large tunneling magnetoresistance in GaMnAs/AlAs/GaMnAs ferromagnetic semiconductor tunnel junctions," *Phys. Rev. Lett.*, vol.87 (2001) pp.026602-1-026602-4.
- (3) M. Izaki and O.Shinoura, "Room-temperature deposition of defect-free magnetic film by chemical reaction from an aqueous solutions," *Adv. Matter.*, vol.13 (2001) pp.142-144.
- (4) M.Izaki, T.Saito, M.Chigane, M.Ishikawa, J.I.Katayama, M.Inoue and M.Yamashita, "Low temperature deposition of cerium dioxide film by chemical reaction," *J.Mater. Chem.*, vol.11 (2001) pp.1972-1974.
- (5) H.Fukunaga and H.Nakamura, "Micromagnetic approach for relationship between nanostructure and magnetic properties of nanocomposite magnets," *Scripta Mater.*, vol.44 (2001) pp.1341-1345.
- (6) M. Nakano, S. Tutumi, and H.Fukunaga, "Preparation of Nd-Fe-B thin film magnets with high coercivity using laser ablation technique," *IEEE Trans. Magn.*, vol.37 (2001) pp.2573-2575.
- (7) 阿部正紀, "フェライト超微粒子・薄膜の水溶液中作製とその応用", *J.Jpn. Soc. Powder Metallurgy*, vol.49 (2002) pp.87-94.
- (8) Y.Nakayama, H.Yajima, Y.Kitamoto and M.Abe, "Ferrite coating for electrical insulation of MuZn ferrite," *J.Korean Ceramic Soc.*, vol.38 (2001) pp.506-508.
- (9) 森迫昭光, 伊藤健太, 瀧澤亜由美, 松本光功, "高密度記録用バリウムフェライト薄膜の薄層化", 電気学会マグネットイクス研究会資料, MAG-02-2 (2002) PP.7-12.
- (10) K.Nishimuya, M.Hasegawa, Y.Ogura, T.Nishi, K.Kataoka, H.Hanade, and M.Abe, "4°C preparation of ferrite nanoparticles having protein molecules immobilized on their surfaces," *J.Appl. Phys.*, vol.91 (2002) pp.8555-8556.
- (11) N.S.Perov, P.M.Shevryadzeva, and M.Inoue, "Effect of magnetic field on the electrode potential of metals," *J.Appl. Phys.*, vol.91 (2002) pp.8557-8559.
- (12) H.Kato and M.Inoue, "Reflection-mode operation of one-dimensional magnetophotonic crystals for use in film-based magneto-optical isolator devices," *J.Appl. Phys.*, vol.91 (2002) pp.7017-7019.
- (13) J.H.Park, K.Nishimura, M.Inoue, D.H.Lee and J.K.Cho, "Effects of groove depth and patterned permalloy film on magnetization switching of LPE-garnet pixels for use in magneto-optic spatial light modulators," *J.Appl. Phys.*, vol.91 (2002) pp.7014-7016.
- (14) J.H.Park, J.K.Cho, K.Nishimura and M.Inoue, "Magnetooptic spatial light modulator for volumetric digital recording system," *Jpn. J. Appl. Phys.*, vol.41 (2002) pp.1813-1816.
- (15) J.H.Park, J.K.Cho, K.Nishimura, and M.Inoue, "New drive line shape for reflective magnetooptic spatial light modulator," *Jpn. J.Appl. Phys.*, vol. 41 (2002) pp.2548-2551.
- (16) 加藤英樹, 松下毅, 井上光輝, "反射型磁性フォトニック結晶の特性," 日本応用磁気学会誌, vol.26 (2002) pp.340-344.
- (17) I.Sakamoto, S.Honda, H.L.Shen, M.Koike and H.Tanoue, "Structural and Magnetic Properties of Helicon-Sputtered Fe/Si Multilayers", *Phys. Stat. Sol. (a)*, vol.89, No3, pp.721-724 (2002).

課題番号 H12/B04

## ナノ構造の形成と物性機能に関する研究

### [1] 組織

代表者：宇理須恒雄（分子科学研究所）  
責任者：庭野 道夫（東北大学電気通信研究所）  
分担者：

岩澤康裕（東大院理）  
荻野俊郎（NTT物性科学基礎研）  
関一彦（名古屋大学理学研究科）  
岩崎 裕（大阪大学産業科学研究所）  
吉信 淳（東京大学物性研究所）  
斎藤峯雄（N E C 基礎研）  
荻野俊郎（NTT物性科学基礎研）  
石井久夫（名古屋大学院理）  
室田淳一（東北大学電気通信研究所）  
小森文夫（東京大学物性研究所）  
松井真二（姫路工業大高度産業科学技術研）  
上野信雄（千葉大学工学部）  
川添良幸（東北大学金属材料研究所）  
前濱剛廣（琉球大学工学部）  
谷村克巳（名古屋大学理学研究科）  
松本吉泰（総研大・先導科学研究科）  
尾形幸生（京都大学エレキ-理工学研究所）  
堀 勝（名古屋大学院工）  
石井久夫（名古屋大学院理）  
山下一郎（松下電器 先端技術研究所）

研究費：校費150千円、旅費 777,000円

### [2] 研究経過

#### 【概要】

半導体素子製造技術は、 $0.1\mu\text{m}$ 以下の微細化が実現されるようになり、21世紀は、量子効果を利用した新しい動作原理のデバイス、回路の考案と、その実現のための従来にない新しいプロセスの開発が必須である。このような状況を考慮して、本研究では、ナノ構造デバイスの構築を目標に、新しいナノ構造製造プロセスの開発とナノ構造体の物性評価、また、ナノ構造を利用したデバイスの設計について、電子工学、物質工学、分子科学等の幅広い研究分野の研究者の英知を結集して、今後の戦略目標を討論することを目標とした。

ナノ構造デバイス構築のためには、新規な製造プロセスの開発、製造プロセスの反応制御、構築

したナノ構造体の物性評価、また、ナノ構造をベースとした新しいデバイス設計等の研究が必要である。そこで本研究では、薄膜材料プロセスや反応制御に関わってきた、材料・電子工学の研究分野ばかりでなく、物理・化学分野の研究者の英知も結集して、新しいナノ構造体の構築法とその物性機能評価についての研究会を開催することとした。また、必要に応じ、ナノ構造の専門家を特別講師として招聘する。

#### 【本年度の成果】

21世紀は情報通信の時代と言われ、現在の情報通信技術をさらに高度化することが強く望まれている。本研究では、半導体や高分子のナノ構造をベースとした電子デバイスを実現するための基盤技術の開発を目標にしている。この技術が開発されれば、将来のその実現が望まれている高集積電子デバイス、量子ドット・デバイス、単一電子トランジスタ、分子デバイスや、更には量子コンピュータなどに代表される新しい計算理論に基づいたデバイスも実現されるであろう。

そこで、本年度は、昨年度に引き続いて、バイオエレクトロニクスデバイスも含めたナノ構造デバイスの構築を目標に、固体表面をベースとした新しいナノ構造製造プロセスの開発と、ナノ構造体の物性評価などについて、電子工学、物質工学、分子科学等の幅広い研究分野の研究者の英知を結集して、今後のナノ構造研究の戦略目標について討論することを目的とし、『表面反応制御による高次ナノ構造の創製』に関する研究会を開催した。

研究会では、下記のトピックスについて討論した。

1. ナノ構造形成のための原子レベルの表面反応制御
2. ビーム励起ナノ構造形成法
3. 自己組織化膜の形成
4. 分子エレクトロニクスのための表面制御
5. 表面を利用したバイオエレクトロニクス
6. 分子認識
7. その他、表面反応やナノ構造に関するテーマ

シンポジウム参加者は、大学院生を含め50名で、

二日間にわたって活発な討論が行われた。最後にシンポジウムのプログラムを付記する。

12月14日(金)

開会挨拶 プロジェクト研究代表者  
宇理須恒雄 (分子科学研究所)

【半導体表面のナノ構造】

1. 「シリコン表面での生体機能性物質の集積をめざして-放射光エッチングの応用-」  
宇理須恒雄 (分子科学研究所)

2. 「半導体ナノ構造と機能化」  
荻野俊郎 (NTT物性科学基礎研)  
3. 「レーザー励起による半導体表面の構造制御と無欠陥完全表面の創製」  
谷村克己 (大阪大学産研)

4. 「C20固体の電子物性予測」  
斎藤峯雄 (NEC基礎研)

【有機分子と表面】

1. 「表面電位測定と光電子分光による有機半導体のバンドの曲り」  
石井久夫 (名古屋大学院理)

2. 「有機デバイス界面の電子状態：電子波干渉によるポテンシャル推定とUPSによるHOMOホール寿命」  
上野信雄 (千葉大学工学部)

3. 「STM発光分光による表面吸着種の同定」  
上原洋一, 坂本謙二, 潮田資勝 (東北大通研)  
4. 「表面テンプレートを用いた反応制御」  
松本吉泰 (総研大・先導科学研究所)

5. 「半導体表面を利用した分子認識」  
庭野道夫 (東北大学電気通信研究所)

12月15日(土)

【表面とバイオ分子】

1. 「固体表面上のタンパク質及びタンパク質間相互作用/STM・分光エリプソメトリ」  
岩崎 裕 (大阪大学産業科学研究所)

2. 「自己組織化、バイオインターフェース、そして時空間機能」  
原 正彦 (理化学研究所 局所時空間機能研究チーム)

3. 「生体膜タンパク質の膜内構造形成過程」  
阪口 雅郎 (九州大学院 医学研究院)  
4. 「ラジカル制御プラズマ励起Siおよびカーボンナノ構造形成」

堀 勝 (名古屋大学院工)

特別講演

「酸化物表面の構造と反応および触媒機能」

岩澤康裕 (東大院理)

特別講演 (通研講演会)

「DNAエレクトロニクスに向けた表面ナノ構造の創製」

川合知二 (大阪大学 産業科学研究所)

【自己組織化とナノ構造】

1. 「機能性自己組織化膜の構造と物性」

玉田 薫 (産業総合技術研究所 光技術研究部)

2. 「FIBによるナノホールの形成とバイオ分子センターへの応用」

阪本利司 (NEC基礎研究所)

3. 「バイオナノプロセス：タンパク質を利用したナノ構造作製」

山下一郎 (松下電器 先端技術研究所)

【3】 成果

(3-1) 研究成果

ナノ構造の形成とその物性機能の解明は現在焦眉の課題となっている。本研究は、化学反応制御をベースとして、固体表面上にナノ構造を構築し、それをエレクトロニクスや新しい機能を有する分子デバイスに応用することを目的としている。研究会において、このテーマに対するさまざまな観点から研究の成果が報告され、特に生体分子や有機分子によるナノ構造構築法や新規な物性発現についての興味深い発表があった。

(3-2) 波及効果と発展性など

現在、無機材料のナノ構造ばかりでなく、超分子や生体高分子を利用したナノ構造の構築が注目されている。このようなナノ構造の構築には自己組織化機能などの化学反応制御法が極めて有効である。生物の細胞はまさに自然の自己組織化機能を利用してさまざまな機能を実現している。自己組織化を利用した高分子のナノ構造の構築や、それを新しい分子エレクトロニクスやバイオエレクトロニクスに活用することは、今大きな発展を向かえる時期にあり、この分野の今後の研究の進展が大いに期待される。

【4】 成果資料

本プロジェクト研究で行った研究会の報告書を参考されたし。

課題番号 H12/B 05

## 超高速・高精度気体絶縁金属基板 SOIデバイス・プロセスの研究

### [1] 組織

代表者：大見忠弘

（東北大学未来科学技術共同研究センター）

責任者：坪内和夫（東北大学電気通信研究所）

分担者：

須川 成利（東北大学大学院工学研究科）  
 小谷 光司（東北大学大学院工学研究科）  
 平山 昌樹（東北大学大学院工学研究科）  
 横山 道央（山形大学工学部）  
 中瀬 博之（東北大学電気通信研究所）  
 森 勇蔵（大阪大学大学院工学研究科）  
 森田 瑞穂（大阪大学大学院工学研究科）  
 遠藤 勝義（大阪大学大学院工学研究科）  
 山内 和人（大阪大学大学院工学研究科）  
 山村 和也（大阪大学大学院工学研究科）  
 佐野 泰久（大阪大学大学院工学研究科）  
 有馬 健太（大阪大学大学院工学研究科）  
 久保田 弘（熊本大学工学部）  
 佐々木 守（熊本大学工学部）  
 山部紀久夫（筑波大学物理工学系）  
 石原 宏（東京工業大学精密工学研究所）  
 益 一哉（東京工業大学精密工学研究所）  
 徳光 永輔（東京工業大学精密工学研究所）  
 凤 紗一郎（東京大学新領域創成科学研究所）  
 柴田 直（東京大学新領域創成科学研究所）  
 平本 俊郎（東京大学大規模集積システム設計教育研究センター）  
 藤島 実（東京大学新領域創成科学研究所）  
 黒岩 紘一（東京農工大学工学部）  
 服部 健雄（武藏野工業大学工学部）  
 原 徹（法政大学工学部）  
 荒井 英輔（名古屋工業大学）  
 土屋 敏章（島根大学総合理工学部）  
 寺内 衛（広島市立大学情報科学部）  
 安田 幸夫（名古屋大学大学院工学研究科）  
 財満 鎮明（名古屋大学先端技術共同研究センター）  
 池田 浩也（名古屋大学大学院工学研究科）

研究費：校費、旅費

### [2] 研究経過

LSIなどの半導体デバイスは微細化により、その動作速度、性能を向上させてきた。デザインルールは $0.1\mu\text{m}$ を下回り、ゲート長が数十nmの時代に突入している。このような超微細デバイスのゲート絶縁膜の厚さもスケーリング則により薄膜化し、 $\text{SiO}_2$ 換算膜厚で2nm以下が必要となってきた。このような極限に微細化された半導体デバイスを用いて、LSIなどの大規模集積回路を形成し、さらに、動作速度を20GHz程度まで高めるためには、半導体デバイスが誤動作を起すことは許されない。半導体デバイスの製造揺らぎを一切起きない、完全に制御されたプロセス技術の開発が極めて重要である。

本研究の目的は、半導体集積回路の高速化・低消費電力化を図る上で理想的なデバイス構造およびプロセス、材料を研究開発することにより、半導体デバイスの誤動作を起すことなく集積回路の動作周波数を20GHz程度まで高速化した、極限超高速高集積ギガスケールインテグレーション（GSI）技術を確立することを目的としている。本年度は、超高速LSIの要となる金属基板SOIウェハ製造技術において、極めて重要である多孔質Siの陽極化成による製造技術を確立し、多孔質形状の主要パラメータが、電界強度、シリコンのエッティング速度および電解液による水素終端であることを明らかにした。半導体デバイスの製造揺らぎを起さないためには、プロセスの低温化が必須である。本年度は、450°C以下の低温で形成した、 $1\Omega/\square$ 以下のゲート抵抗を有する低抵抗 $\text{TaNx}/\text{Ta}/\text{TaNx}$ ゲート電極・ $\text{Si}_3\text{N}_4$ ゲート絶縁膜MNSFETの試作に成功し、ゲート空乏化フリー、低ゲート抵抗、低温プロセスによる急峻な接合を簡単なプレーンゲート構造で実現した。

本年度に行った研究会活動を以下に示す。

日時：平成14年3月13日（水）9:55-18:00

場所：東北大学未来科学技術共同研究センター  
未来情報産業研究館5F 大会議室

「多孔質シリコンの形状制御技術と貼り合わせSOIウェハへの適用」○井上信彦、須川成利、大見忠弘（東北大学）

「 $\text{SiO}_2/\text{Si}(111)$ 界面近傍における価電子に対するエネルギー障壁」○高橋健介, ムスタファ・ビン・セマン, 廣瀬和之, 服部健雄（武藏工業大学）

「超高速デバイス用歪緩和 $\text{SiGe}$ バッファ層作製技術の開発」○財満鎮明, 酒井朗, 安田幸夫（名古屋大学）

「プラズマCVMによるSOIの数値制御薄膜化－薄膜化したSOIウェハのデバイス特性－」森勇藏, 山村和也, ○佐野泰久, 上島洋輝, 森田瑞穂, 森田諭（大阪大学）, 大嶋一郎, 斎藤祐司, 須川成利, 大見忠弘（東北大学）, 沖一郎, 伊左次晃司（シャープ）

「半導体膜上での有機EL素子の作製」○上野智雄, 黒岩紘一（東京農工大学）

「完全低温プロセスによる $\text{TaN}_x$ メタルゲートMNSFETデバイス」○島田浩行, 大嶋一郎, 中尾慎一, 程イ涛, 小野泰弘, 大見忠弘（東北大学）

「相補型ショットキー障壁SOIMOSFET」○藤島実, 田辺亮, 田島卓郎, 凰紘一郎（東京大学）

「細線構造MOSFETにおける短チャネル効果の抑制と量子効果」○平本俊郎（東京大学）

「フローティング・ボディSOI MOSFETの低周波雑音特性におけるホットキャリア効果」○土屋敏章（島根大学）

「Dynamic Threshold MOSFETの閾値電圧ばらつきのCharge-Sharingに基づく解析」○寺内衛（広島市立大学）

「SOI基板上の次世代強誘電体メモリの開発」○石原宏, 山本修一郎（東京工業大学）

「強誘電体薄膜を用いた連想メモリ」○小林大輔, 柴田直（東京大学）

「低消費電力動作FFT LSI」○中瀬博之, 金成権, 亀田卓, 坪内和夫（東北大学）

### [3] 研究成果

動作速度が20GHzを超える超高速LSIを実現するためには、基板の電位を一定に制御できる金属基板SOI技術の導入が不可欠である。金属基板SOIウェハを製造技術、とりわけ多孔質シリコン形成技術は特に重要であり、デバイス層に何ら欠陥や応力を与えることなく張り合わせウェハを分離するための多孔質形状の完全制御が不可欠である。陽極化成法による多孔質シリコンの製造技術を詳細に検討した結果、多孔質シリコンを多層化すると、多孔質化がシリコン表面への電界効果により進むことを明らかにした。すなわち多孔質形状の主要パラメータは、電界強度、シリコンのエッチング速度および電解液による水素終端であり、ダングリングボンドの水素終端が十分なされる条件では、

多孔質シリコンの孔ピッチが、空乏層幅の理論値の2倍に等しくなることを確認した。さらに、初期反応の電界制御により、従来のSOIエピタキシャルウェハに比較して平坦な多孔質シリコン表面を得た。

デバイス研究において、450°C以下の低温で形成した、 $1\Omega/\square$ 以下のゲート抵抗を有する低抵抗 $\text{TaN}_x/\text{Ta}/\text{TaN}_x$ ゲート電極・ $\text{Si}_3\text{N}_4$ ゲート絶縁膜FD-SOI MNSFETの試作に成功し、その良好な特性を確認した。ゲートシリコン窒化膜の形成は、高密度( $>10^{12}\text{cm}^{-3}$ )、低電子温度( $<1.3\text{eV}$ )、低イオン照射エネルギー( $<7\text{eV}$ )を有し、メタル汚染やシリコン基板表面へのダメージがないマイクロ波励起高密度プラズマプロセス装置を用いて形成した。プロセスガスは $\text{N}_2/\text{H}_2/\text{Ar}=93/5/2(\%)$ の混合ガスを用い、基板温度400°Cで2.45GHzの周波数で励起した。物理膜厚は屈折率2.05固定のエリプソメトリー法(633nm)で測定した。ゲート電極はスパッタ法により室温で連続成膜( $\text{TaN}_x\text{-Cap}$  [15nm] / $\text{Ta}$  [160nm]/ $\text{TaN}_x\text{-Buffer}$  [15nm])した。なお、スパッタリング用のガスはプラズマダメージを低減するためキセノン(Xe)またはキセノンと窒素の混合ガス [ $\text{N}_2/(Xe+N_2)=1\%$ ] を用いた。ソース/ドレイン層のイオン注入後、活性化をAr中において450°Cの低温で行い、低い逆バイアスリーキ特性を得た。本試作でのS/D層のシート抵抗は $221\ (\Omega/\square)$ であった。試作した $\text{TaN}_x/\text{bcc-Ta}/\text{TaN}_x$ メタルゲートFD-SOI N-ch MNSFET ( $EOT = 1.9\text{nm}$ )のサブスレッシュルド特性(@  $L = 0.8\mu\text{m}$ )を図に示す。リファレンスとして熱酸化膜(dry : 900°C, ゲート絶縁膜作成プロセス以外は同一処理)のサンプルも合わせて示した。熱酸化膜と同等のしきい値電圧(0.23V)およびS値( $66.0\text{ mV/decade}$ )が得られていることから、プラズマダメージがほとんど無く非常によい界面特性が得られていることがわかる。

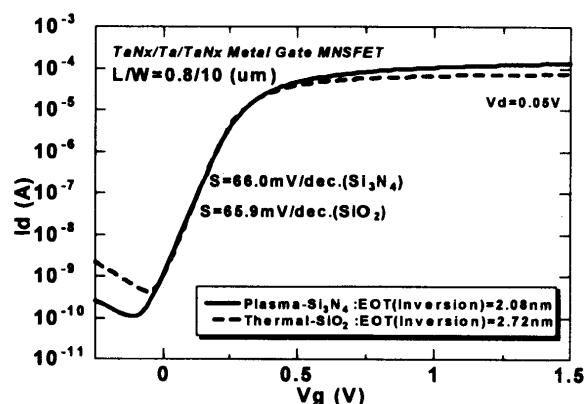


図 試作したFD-SOI MNSFETのサブスレッシュルド特性

シリコン窒化膜を用いて、ゲート空乏化フリー、低ゲート抵抗、低温プロセスによる急峻な接合を簡単なプレーンゲート構造で実現しており、sub-0.1 μm時代の有望なデバイスであることが示された。

#### [4] 成果資料

- (1) Akihiro Morimoto, Koji Kotani, Shigetoshi Sugawa and Tadahiro Ohmi, "Interconnect and Substrate Structure for Gigascale Integration", Jpn. J. Appl. Phys., Vol. 40, Part 1, No.4B, pp.3038-3043, April 2001.
- (2) Hiroyuki Shimada, Ichiro Ohshima, Shin-Ichi Nakao, Munekatsu Nakagawa, Kei Kanemoto, Masaki Hirayama, Shigetoshi Sugawa and Tadahiro Ohmi, "Low Resistivity bcc-Ta/TaNx Metal Gate MNSFETs Having Plane Gate Structure Featuring Fully Low-Temperature Processing below 450°C", 2001 SYMPOSIUM ON VLSI TECHNOLOGY, DIGEST OF TECHNICAL PAPERS, pp.67-68, June 2001.
- (3) Katsuyuki Sekine, Yuji Saito, Masaki Hirayama, and Tadahiro Ohmi, "Highly Reliable Ultrathin Silicon Oxide Film Formation at Low Temperature by Oxygen Radical Generated in High-Density Krypton Plasma", IEEE TRANSACTION ON Electron Devices, Vol.48, No.8, pp.1550-1555, August 2001.
- (4) Hiroyuki Shimada, Ichiro Ohshima, Takeo Ushiki, Shigetoshi Sugawa, and Tadahiro Ohmi, "Tantalum Nitride Metal Gate FD-SOI CMOS FETs Using Low Resistivity Self-Grown bcc-Tantalum Layer", IEEE TRANSACTIONS ON Electron Devices, Vol.48, No.8, pp.1619-1626, August 2001.
- (5) 大嶋一郎, 島田浩行, 中尾慎一, 程イ涛, 小野康弘, 平山昌樹, 須川成利, 大見忠弘「低温プロセスを特徴とする低抵抗TaNx/Ta/TaNxゲート電極・Si3N4ゲート絶縁膜MNSFET」電子情報通信学会技術研究報告, Vol.101, No.249, (電子情報通信学会), pp.71-76, 2001年8月.
- (6) Tatsufumi Hamada, Yuji Saito, Masaki Hirayama, Herzl Aharoni, and Tadahiro Ohmi, "Thin Inter-Polyoxide Films for Flash Memories Grown at Low Temperature(400°C)by Oxygen Radicals", IEEE Electron Device Letters, Vol.22, No.9, pp.423-425, September 2001.
- (7) Kazuo Ohtsubo, Yuji Saito, Msaki Hirayama, Shigetoshi Sugawa, Harzl Aharoni, and Tadahiro Ohmi, "improved J-E Characteristics and Stress Induced Leakage Currents (SILC) in oxynitride Films

Grown at 400°C by Microwave-Excited High-Density Kr/O2/NH3 Plasma", SOLID STATE DEVICES AND MATERIALS, pp.162-163, September 2001.

- (8) Ichiro Ohshima, Hiroyuki Shimada, Shin-Ichi Nakao, Weitao Cheng, Yasuhiro Ono, Msaki Hirayama, Shigetoshi Sugawa, Harzl Aharoni, and Tadahiro Ohmi, "Improved Transconductance and Gate Insulator Integrity OF MISFETs with Si3N4 Gate Dielectric Fabricated BY Microwave-Excited High-Density Plasma at 400°C", SOLID STATE DEVICES AND MATERIALS, pp.168-169, September 2001.
- (9) Shigetoshi Sugawa, Ichiro Ohshima, Hideaki Ishino, Yuji Saito, Masaki Hirayama, and Tadahiro Ohmi "Advantage of Silicon Nitride Gate Insulator Transistor by using Microwave-Excited High-Density Plasma for applying 100nm Technology Node", 2001 IEEE International Symposium on Semiconductor Manufacturing, pp.37.3.1-37.3.4, December 2001.

## 課題番号 H12/B06

# シリコン集積回路の高性能化に関する研究

### [1] 組織

代表者：舛岡富士雄（東北大学電気通信研究所）  
 責任者：舛岡富士雄（東北大学電気通信研究所）  
 分担者：  
     岩井 洋（東京工業大学大学院総合理工学研究科）  
     遠藤哲郎（東北大学電気通信研究所）  
     桜庭 弘（東北大学電気通信研究所）  
     マルクス レンスキ（東北大学電気通信研究所）

研究費：校費 15万0千円、旅費3万9千円

### [2] 研究経過

シリコン集積回路は、高度情報通信社会を支えるキーデバイスの一つであると共に、日本の基幹産業となっている。従って、シリコン集積回路は、次世代電子システムには必要不可欠であり、シリコン集積回路の高性能化は近年その重要性を増している。

例えば、インターネット通信、マルチメディア通信を始めとする基幹情報通信システムにおいては、さらなる高速動作性、高機能化が要求されている。一方、情報通信機器の小型化・携帯化が進んでおり、末端情報通信システムにおいては、さらなる低消費電力動作化、及び、低価格化が要求されている。この様に、シリコン集積回路は、高度情報通信システムにおけるキーデバイスとしてさらなる高速動作性、高機能化、低消費電力動作性、及び、微細構造化による低コスト化が求められている。

上記の状況を踏まえて、シリコン集積回路の高性能化に関する研究は、近年ますますその重要性を増しており、世界中で精力的に行われている。例えば、現在のシリコン集積回路に用いられている基本スイッチング素子である平面型MOSトランジスタは、最も重要な素子と考えられ、現在でも広く実用化のための研究が進められている。また、新しい回路技術、設計技術に関しても、多くの新規技術、実用化技術などが研究されている。従来のシリコン集積回路の研究の多くは、その基本素子であるMOSデバイスの寸法を微細化することにより、集積回路の高速化・低消費電力化・

高集積化・低コスト化を実現してきた。しかし、従来のMOSトランジスタは、ソース、ドレイン、ゲート、つまり、素子の入出力端子が、半導体基板上に平面的に配置されていたために、半導体基板上の素子面積を微細化するためには高度の微細加工技術を必要としていた。そのため、微細構造を有するMOSトランジスタの製造コストは近年増加の一途をたどっている。また、各入出力端子が半導体基板上に形成されているために各端子の寄生容量、寄生抵抗が大きいため、応答速度が遅く、消費電力が大きかった。また、各素子を接続する配線構造の限界により、さらなる高機能化が困難になってきている。

以上の理由により、従来技術の延長による微細MOSトランジスタでは、その構造的原因により、将来の超高性能情報通信システムから要求される性能を達成できる集積回路を実現する事は、原理的に困難となってきている。従って、上記問題点を克服する新しいデバイス設計、回路設計、アーキテクチャー設計が求められるようになってきている。

このような状況の下、平成12年度に「シリコン集積回路の高性能化に関する研究」という研究課題で共同プロジェクトが採択された。

本プロジェクトでは、集積回路が抱える原理的な問題点を明らかにし、それを克服する新しいデバイス設計、回路設計、アーキテクチャー設計を提案することを目的として研究を行った。

本プロジェクトは、本年度が第2年度であった。前年度は、今後シリコン集積回路の高性能化を実現する上で研究を進めるべき課題として、①プロセス設計、②デバイス設計、③回路設計、④アーキテクチャー設計の各4項目が重要であることが明らかとなった。そこで、本年度は、前年度の成果を踏まえながら、シリコン集積回路の高性能化に関する研究を展開した。

以下、研究活動状況の概要を示す。

### 第2回高性能シリコン集積回路研究会

日時：2001年 12月26日

15:00~17:00

場所：東北大学電気通信研究所  
2号館4階大会議室

シリコン集積回路の高性能化に対する問題点を克服する技術的方向性、及び、具体的な設計手法に関して、前年度の研究成果を踏まえて活発な議論がなされた。また、同年12月27日には、引き続き議論を行った。

以下に上記研究会で得られた成果を述べる。

### [3] 成果

#### (3-1) 研究成果

シリコン集積回路の高性能化に関する最新の研究状況と研究方向を議論するために、第2回高性能シリコン集積回路研究会を開催し、2年目である本年は、以下に示す研究成果を得た。

まず、本共同プロジェクト研究会での前年度までの研究状況も踏まえて、現在までに提案され、実用化してきたシリコン集積回路の高性能化に関する技術を系統的に整理した。そして、現在のシリコン集積回路の動作速度、消費電力、高密度化を律速している要因を解析した。

この知見を元に、前年度までに定めた、今後シリコン集積回路の高性能化を実現する上で研究を進めるべき課題である、①プロセス設計、②デバイス設計、③回路設計、④アーキテクチャー設計の各4項目に対してさらに深く議論した。そして今年度は特に、希土類酸化膜などの、新しい材料を用いてのプロセス設計、およびデバイス設計に関する議論を行った。その結果、物理的限界に達しているとされるシリコン集積回路の性能を、今後も引き続き高性能化していくことができることを明らかにした。

#### (3-2) 波及効果と発展性など

本共同プロジェクト研究会の目標とする成果は、高速動作デバイス、微細構造デバイス、及び、回路システムによる高性能集積回路システムの実現である。これは、超高速情報処理能力を必要とする基幹情報通信システム、及び、低消費電力処理能力を必要とするモバイル情報システムにおけるキーデバイスを実現させるものである。さらには、情報通信産業、半導体産業を始めとする電子・情報技術分野における急成長の維持を、今後も可能にするものである。従って、電子・情報通信技術分野に於ける本研究成果の波及効果は大きい。

また、本共同プロジェクト研究会により、学外研究者との交流がさらに活性化した。

今後、本年度までに得た知見を元に、次年度も本共同プロジェクト研究会を継続し、さらに継続的に研究を深めてゆく予定である。

### [4] 成果資料

- (1) T. Endoh, H. Nakamura, H. Sakuraba, and F. Masuoka, "Cell Array Design of Stacked - Surrounding Gate Transistor (S-SGT) DRAM for Small Array Noise and Ultra-High Density DRAM", Proceedings of the ECS 1st International Conference on Semiconductor Technology (ISTC 2001), pp. 23-31, Shanghai, May 27-30, 2001.
- (2) T. Endoh, Y. Kimura, M. Lenski, H. Sakuraba, and F. Masuoka, "Influence of Wafer Loading Atmosphere upon Chemical Structure of Sub-5nm Oxide Films", Proceedings of the ECS 1st International Conference on Semiconductor Technology (ISTC 2001), pp. 196-200, Shanghai, May 27-30, 2001.
- (3) A. Tanabe, M. Umetani, I. Fujiwara, T. Ogura, K. Kataoka, M. Okihara, H. Sakuraba, T. Endoh, F. Masuoka, "0.18um CMOS 10-Gb/s Multiplexer / Demultiplexer ICs Using Current Mode Logic with Tolerance to Threshold Voltage Fluctuation", IEEE JOURNAL OF SOLID-STATE CIRCUITS, Vol. 36, No. 6, pp.988-996, June, 2001.
- (4) M. Lenski, Y. Kimura, M. Iwai, H. Sakuraba, T. Endoh, and F. Masuoka, "Influence of Silicon Wafer Loading Conditions on Thickness Uniformity of Sub-5nm-Thick Oxide Films", 2001 Asia-Pacific Workshop on Fundamental and Application of Advanced Semiconductor Devices (AWAD 2001), Cheju, July 4-7, 2001.
- (5) M. Iwai, H. Ohta, M. Suzuki, H. Sakuraba, T. Endoh and F. Masuoka, "Multi-Pillar Surrounding Gate Transistor (M-SGT) type MOS Capacitor Using 0.4um MOS Technology" 2001 Asia-Pacific Workshop on Fundamental and Application of Advanced Semiconductor Devices (AWAD 2001), Cheju, July 4-7, 2001.
- (6) R. Nishi, M. Suzuki, H. Sakuraba, T. Endoh and F. Masuoka "Novel S/D Engineering of Surrounding Gate Transistor (SGT) for Suppressing Substrate Bias Effect" 2001 Asia-Pacific Workshop on Fundamental and Application of Advanced Semiconductor Devices (AWAD 2001), Cheju, July 4-7, 2001.

4-7, 2001.

- (7) T. Endoh, M. Suzuki, H. Sakuraba, F. Masuoka, “2.4F<sup>2</sup> Memory Cell Technology with Stacked-Surrounding Gate Transistor (S-SGT) DRAM”, IEEE TRANSACTIONS ON ELECTRON DEVICES, Vol.48, No.8, pp.1599-1603, August, 2001.
- (8) T. Endoh, K. Kinoshita, T. Tanigami, Y. Wada, K. Sato, K. Yamada, T. Yokoyama, N. Takeuchi, K. Tanaka, N. Awaya, K. Sakiyama, and F. Masuoka, “Novel Ultra High Density Flash Memory with A Stacked-Surrounding Gate Transistor (S-SGT) Structured Cell”, IEEE 2001 International Electron Devices Meeting TECHNICAL DIGEST, Washington, December 3 - 5, 2001.
- (9) T. Endoh, Y. Kimura, M. Lenski, and F. Masuoka, “Influence of Silicon Wafer Loading Ambient on Chemical Composition and Thickness Uniformity of Sub-5-nm-Thick Oxide Films”, Japanese Journal of Applied Physics, Vol. 40, No.12, pp.7023-7028, December, 2001.

## 課題番号 H12/B08

# 発達過程の脳モデルの研究

### [1] 組織

代表者：大森 隆司（北海道大学 工学研究科）  
 石川 悟（北海道大学 工学研究科）  
 板倉 昭二（京都大学 文学研究科）  
 岡ノ谷一夫（千葉大学 文学部）  
 倉田 耕治（琉球大学 工学部）  
 坂上 雅道（玉川大学 工学部）  
 鈴木 宏昭（青山学院大学 文学部）  
 高谷理恵子（福島大学 教育学部）  
 田野 俊一（電気通信大学 工学部）  
 針生 悅子（青山学院大学 文学部）  
 矢野 雅文（東北大学 電気通信研究所）  
 研究費：校費 15万円、旅費 62万円

### [2] 研究経過

本研究会の目的は、人間の知能および脳のシステムデザインを知ることにあるが、その研究方法として幼児の知能発達に注目し、その発達の過程を段階的に追いつつ解明・モデル化していくことを目指している。幼児の知的能力の発達は、その変化の過程が観察可能（決して容易ではないが）で、かつ知的機能が成人ほどの複雑さをもっていないため、その変化の過程が直接的に見える、という利点がある。

特に言語や思考といったいわゆるシンボル処理の高次機能に関しては、幼児は1歳から5歳にかけてゆっくりと時間をかけて段階的に獲得していく、発達心理学などでその獲得過程についての実験事実や仮説がすでに知られているなど、研究の対象として優れた条件がそろっている。

しかし幼児の脳の情報処理については、その脳そのものの変化や行動の発達過程についてすら不明なことが多く、多くの側面からの研究を総合する必要がある。そこで本研究プロジェクトでは、幼児の知的機能の発達に関連があると思われる、動物心理学（チンパンジーやサル、鳥の文法）、乳幼児の行動発達、サルやナメクジの電気生理学、幼児の語彙獲得、工学的な知能研究、などの諸分野の第一線の研究者を集め、そこでの忌憚のない議論を行なうことで新たな展開の基礎を作ろうとしているものである。

本研究会は昨年からの引き継ぎであり、今回の

メンバーには昨年の研究会で必要性が指摘された動物心理学者や乳児研究者を追加し、幼児の行動について多様な解釈を与えられる構成とした。

### [3] 成果

#### (3-1) 研究成果

昨年と同様、脳の知能発達に関して研究者間で多様な立場からの意見交換が活発になされ、実りの多い研究会となった。

基本的な枠組みとしては、昨年の成果として報告した「脳内手続きの機能部品組合せ仮説」（大森）を軸にして、動物行動（石川）、サル生理学（坂上）、乳児の行動発達（板倉、高谷）、成人の問題解決（鈴木）といった多様な方面から新しい事実が示され、さらにそのモデルの解釈の妥当性についての議論（倉田）がなされた。議論の対象は、非言語の知的行動のプロセスと、言語獲得にみられる処理プロセスの二つが中心であった。

非言語での話題は注意であった。注意は先の仮説の根幹を成すシステムであり、その解説はそのまま動物から人間までの知的プロセスの基盤の理解につながる。もちろん、そのような重要な項目の見解が一朝一夕に固まることはないが、多様な分野からの議論がその理解の促進に有効であったことは間違いない。

言語の獲得については、子供の語彙獲得現象の実験の報告（針生）の後に、語彙獲得を可能とする状況依存の学習の制御（大森）について議論がなされた。また今回の新たな展開として、動物の言語能力の進化の収斂についての仮説が提示（岡ノ谷）され、その可能性について議論がなされた。

このような具体的な実験およびそのモデルの話とは別に、より抽象化されたモデルによる情報構造の獲得（倉田）と知的行動のシステム的考察がなされた（田野）。数理モデルやシステム的な考察は、発達していく脳システムの表面的な現象に隠されてしまいがちな自己組織的な構造獲得や知的システムの発生原理に迫る鍵となる方法であり、現時点ではまだ議論の余地は大きいが、今後の発展が期待される。

最後に、ナメクジの記憶に見られる高度の文脈依存性についての新しい成果の報告（矢野）がな

され、多様な動物に見られる外見上は同一に見える行動のメカニズムの説明の妥当性について議論がなされた。

### (3-2) 波及効果と発展性など

今回の研究会での大きな成果は研究者間の相互理解の進行と、その成果としての新たな問題意識の設定である。例えば、坂上によるサル前頭葉の電気生理学的な研究は、鈴木による認知科学的手法にもとづく人間の行動研究と基本的に同一の問題を扱っていることが発見されたことは意外な成果であった。この認識に基づき、新たな研究分野が開拓されることが期待できる。願わくば、サル脳研究と人間の行動研究の成果を現実の社会のニーズに合わせて応用できる課題設定がなされるなら、工学もそれに加わって新たな展開が起きることを期待したい。

言語の獲得に関しては、幼児の語彙獲得の現象(針生)とモデルによる説明(大森)が相互の成果を組み込んだ研究になりつつあることである。その結果、幼児のすばやい言語獲得の背景にあるといわれている言語についてのメタ知識に関して、新たな仮説が検討されはじめており、今後の展開が期待される。

今後の展開に関して重要な要素はモデルである。モデルは外見上は大きく異なるように見える実験に共通の背景を与えて相互関係を明確化する重要な道具である。しかし現時点では、幼児の知的発達についての明確なモデルや理論はまだなく、乳児・幼児の言語・非言語の発達研究や動物研究は成果を相互に利用する段階に至っていない。今後は、多様な研究分野を包括するモデルの構築が重要な課題となってくるであろう。

## 課題番号 H13/B01

# 大規模量子コンピュータの実現にむけて

### [1] 組織

代表者：伊藤公平（慶應義塾大学理工学部）

責任者：大野英男（東北大学電気通信研究所）

分担者：

大野 裕三（東北大学電気通信研究所）  
 中島 康治（東北大学電気通信研究所）  
 佐藤 茂雄（東北大学電気通信研究所）  
 高木 滋（東北大学大学院理学研究科）  
 江澤 潤一（東北大学大学院理学研究科）  
 江藤 幹雄（慶應義塾大学理工学部）  
 伊藤 正（大阪大学大学院基礎工学研究科）  
 枝松 圭一（大阪大学大学院基礎工学研究科）  
 吉田 博（大阪大学産業科学研究所）  
 北川 勝浩（大阪大学大学院基礎工学研究科）  
 武藤 俊一（北海道大学工学研究科）  
 雨宮 好仁（北海道大学工学部）  
 竹内 淳（早稲田大学理工学部）  
 佐々木 進（新潟大学工学部）  
 大塚 洋一（筑波大学大学院理学研究科）  
 石橋 幸治（理化学研究所）  
 樽茶 清悟（東京大学理学系）  
 家 泰弘（東京大学物性研究所）  
 勝本 信吾（東京大学物性研究所）  
 青柳 克信（東京工業大学）  
 中村 和夫（NEC基礎研究所）  
 中村 泰信（NEC基礎研）  
 西野 哲郎（電気通信大学電気通信学部）  
 高柳 英明（NTT物性科学基礎研究所）  
 井元 信之（総合研究大学院）  
 小芦 雅斗（総合研究大学院）  
 佐々木雅英（通信総合研究所）

研究費：校費 7万円、旅費80万5千円

### [2] 研究経過

2001年9月27日(木)午後1時～9月28日(金)午後12時15分にかけて以下の趣旨とプログラムの研究会を開催した。場所は東北大学電気通信研究所・会議室であった。

主旨：これまでの量子計算に関する研究会とは趣向を変え、本研究会においてはあくまでも「大規模化」をキーワードとする。よって、世界中で

提案されている様々な量子計算手法をリストアップし、大規模化に適したアイデアを選び出したうえで、それぞれの手法の長所・短所（緩和時間、各量子操作に要する時間、集積化の可能性、プロセス技術、など）を徹底的に議論する。プログラムでは実験系の種類ごとにセクションをくぎり、各セクションの終わりには「自由発表」の場を設ける。参加者が飛び込みで、招待講演に対するコメントや自分の研究のショートプレゼンテーション(OHP利用可)を行うことで、議論を活発にし、量子計算の科学と工学について真剣に議論する機会を提供する。

プログラム：

27日（木）

13:00 開始・イントロダクション

#### 1. 半導体スピントロニクスの現状

13:10 「半導体スピントロニクスの現状  
大野英男（東北大通研）

#### 2. 量子計算と量子通信の関係－なぜ必要か？－

13:30 「量子計算の使い道」  
井元信之・小芦雅斗（総研大）  
13:55 「量子暗号・量子通信への小規模量子計算の応用について」  
中村和夫（NEC）、佐々木雅英（CRL）

14:20 自由発表・討論

14:30 休憩

#### 3. 超伝導系列

14:45 「超伝導電荷量子ビット」  
蔡兆申、中村泰信、  
ユーリ・パシュキン（NEC）

15:15 「SQUIDを用いた量子コンピュータ」  
高柳英明、田中浩之、斎藤志朗、  
関根佳明（NTT）

#### 4. 単一電子トランジスタ上のヘリウム2次元電子利用

15:35 「ヘリウム表面上单電子量子ビット」  
椋田秀和、河野公俊（理研）

## 共同プロジェクト研究

15:55 自由発表・討論

16:15 休憩

### 5. 半導体量子ドット系

16:30 「結合ドットを使ったスピニ量子ゲートへのアプローチ」

樽茶清悟（東大理）

16:55 「結合量子ドットを使った量子計算デバイス-材料からのアプローチ-」

石橋幸治（理研）

17:10 「半導体量子ドット列の電子スピニを用いた大規模量子計算の可能性」

武藤俊一， 笹倉弘理（北大工学研究科）

17:25 自由発表・討論

に向けた真剣な議論は本研究会が初めての試みであり、様々な提案の乗り越えるべき課題が明らかになった点が最大の成果といえる。

### (3-2) 波及効果と発展性など

大規模量子コンピュータの実現は困難であるが、科学者の夢であり、今後は、本研究会で明らかにされた様々な乗り越えるべき障害を基礎研究を通して克服することに焦点が当てられる。光・半導体・超伝導・分子・液体ヘリウムと様々な量子コンピュータ系を比較したことで、各研究者が考える将来展望の全体像が明らかになり、この分野の益々の活性化が見込まれる。

27日（木）

### 6. メゾスコピックアプローチ

9:00 「メゾスコピック系の可能性—デコヒーレンスは抑えられるか」

勝本信吾（東大物性研）

9:25 自由発表・討論

### 7. NMR量子コンピューティング

9:45 「NMR量子計算の課題と展望」

北川勝浩(阪大)

10:15 「シリコンNMR量子コンピューティング」

伊藤公平（慶大理工）

10:30 自由発表・討論

10:45 休憩

### 8. 線形・非線形光学アプローチ

11:00 「光子を用いた量子計算」

竹内繁樹(北大電子研, JST-CREST)

11:30 「二光子干渉と量子計算」

枝松圭一（阪大基礎工）

11:50 自由討論・まとめ

12:15 解散

## [3] 成果

### (3-1) 研究会成果

上述のとおり、2001年度は9月27～28日に「大規模量子コンピュータの実現に向けて」と題した研究会を14人の招待講演者と30名以上の参加者を集めて開催した。講演を中心とした勉強会という狙いから広報活動を行わなかったにもかかわらず多くの参加者が集まり、量子計算機の実現から大規模化に向けた課題を活発に議論した。大規模化

## 課題番号 H13/B02

# フィールドにおける広帯域脳波の計測 及び解析と脳機能

### [1] 組織

代表者：武者 利光（株式会社脳機能研究所）  
 責任者：鈴木 陽一（東北大学電気通信研究所）  
 分担者：  
     堀 忠雄（広島大学総合科学部）  
     杉田 義郎（大阪大学健康体育部健康医学第3部門）  
     白川修一郎（国立精神・神経センター）  
     山本 光璋（東北大学大学院情報科学研究科）  
     中尾 光之（東北大学大学院情報科学研究科）

研究費：校費15万円、旅費50万6660円

### [2] 研究経過

21世紀は脳の世紀といわれているが、地球上での人間の快適生存に向けた脳機能を解明することが最重要である。それは究極の脳機能といわれる意識の解明に迫るものでなければならない。本研究は、脳研究の原点に立ち返り、自然（ここでは意図的な刺激を与えない状態と定義）に於ける脳機能の解明を目的としている。そのために、フィールドにおける脳波の広帯域計測手法とその解析手法を完成させ、新しい現象の発見と目的とする脳機能の解明に迫る。これまで脳波といえば、たかだか数10Hzの帯域の現象に限られていたが、最近の認知神経科学の分野では、意識の発現過程としてのバインディング問題を、150Hz程度の帯域までのガンマ活動を指標としてとらえることが必要となってきており、広帯域脳波の計測と解析は脳研究の必須の条件となりつつある。本研究はまたブレインコンピューティングシステム研究の基礎研究でもある。

まず、最近本研究チームのメンバーが主導的に開発してきた「インテリジェント型携帯型広帯域脳波計測システム」を用い、計測の方法論上の諸問題を解決する。

次いで、これまで計測されたことのない高周波帯域の脳波の現象論を、睡眠時や覚醒時において、健常者および各種疾患患者において明らかにするとともに、其のメカニズムを意識との関連において解明する。予備的な研究の結果、脳波に高周波成分が存在することは歴然としており、このこと

は、脳波学の新たな道を開くものであると共に、ブレインコンピューティングシステムの設計指針を与えることが予想される。

本年度は初年度であり、KKディジテックス研究所製の「多チャンネル携帯型デジタル脳波計」（ポリメートAP1000）および、開発中の「インテリジェント型広帯域脳波計測システム」（ポリメートAP1500TY）を用い、各分担者がフィールドにおける脳波の計測を開始したが、目的に沿った実質的な研究の進展は次年度からとなった。今年度は、2回の研究討論会を実施し、これまでの研究成果を報告しあった。その内容を以下に記す。

### [3] 成果

#### (3-1) 研究成果

##### ○脳波解析による痴呆症の早期検出

武者利光（脳機能研究所）

高齢化社会を迎えて、老人性痴呆患者の増加は医療費および介護の点から社会的な問題になりつつある。痴呆症を予防するためには、その早期診断が最も期待されているが、未だに適当な診断法がない。脳機能研究所では過去7年間の研究によりDIMENSIONと名づけたアルツハイマー症の早期診断法を開発した。この方法の原理は、アルツハイマー症によって生じた脳神経細胞のモザイク的な機能欠損を頭皮上電位の時間的空間的ゆらぎによって定量化するものである。最近の国立精神センター武藏病院との共同研究により、この方法がSPECTによる側頭葉から頭頂葉にかけての脳血流量低下と相関していることが確認された。120人の正常およびアルツハイマー症患者についての統計から、脳機能活性度グラフを考案したが、これによつて痴呆症に対する各種療法の効果と薬物治療の効果が明瞭に読み取れる。

##### ○微小重力環境シミュレーション下での睡眠および脳機能の測定

白川修一郎（国立精神・神経センター）

国際宇宙ステーション計画地上医学研究の一環として、微小重力環境が睡眠と脳機能に及ぼす影響を検討した。健常男性成人7名（22～32歳）を対

象として、6度のhead down条件（微小重力環境シミュレーション条件）と水平仰臥位条件（対照条件）における夜間睡眠と事象関連電位（ERP）、背景脳波、作業能力課題の日内変動を測定した。head down条件下では、午前10時の反応時間変動係数、NASDAcatによるデュアルタスク課題のトラッキング成績が悪化し、注意力の持続が低下していることや、背景脳波では $\alpha$ 波の出現が減少することが判明した。夜間睡眠では、睡眠段階4が減少し、中途覚醒が増加していた。携帯型ディジタル脳波計AP1000により夜間睡眠、背景脳波を3例について計測し、本研究のような過重な負荷状態で、多くの生体情報変数を測定する上で有用であったが、より一層のS/N比の改善、記録指標ごとに個別に測定条件を設定できる機能、バッテリの長寿命化と軽量化をはかるなど、改善すべき点も明らかとなった。

#### ○睡眠時無呼吸症候群の診断システム

杉田義郎（大阪大学健康体育部健康医学第3部門）

睡眠時無呼吸症候群（SAS）は睡眠中に頻回の無呼吸・低呼吸が生じるために睡眠の分断化と日中の過眠が生じる睡眠障害である。その有病率は本邦では一般人口の1%程度（約150万人）と推測され、睡眠1時間あたり20回以上の無呼吸を呈するSASは20回未満のSASと比較して生命予後が悪いことが明らかにされていることから、SASの重症度を含めた適正な診断システムの構築は非常に重要な問題である。

しかし、従来から用いられていた検査室で行う脳波、眼球運動、筋電図、呼吸等を同時に記録する睡眠ポリグラフィ（PSG）は、検査室設備や熟練した臨床検査技士の不足から当面、本邦では年間1万件を大きく上回って実施することが困難であり、より簡便で信頼性の高いスクリーニングが求められている。

われわれは、指尖容積脈波（PW）を連続的に測定することにより、無呼吸時、努力性呼吸時、呼吸再開時や努力性呼吸からの覚醒反応時において、PWに基線の変動、呼吸性変動、脈波成分といった異なる特徴的な周波数変化が生じることを観察した。さらに連続して30秒区間の各周波数成分毎のパワー含有率を求めることにより、覚醒反応や努力性呼吸の出現時点を特定したり、睡眠の分断の程度や不安定度を判定することが可能であった。また、PWと血中酸素飽和度を連続測定するパルスオキシメータと同時に記録・解析するならば、睡

眠呼吸障害である閉塞性睡眠時無呼吸症候群と激しいいびきを伴う上気道抵抗症候群を鑑別することが可能であった。これらは装置が小型化することが容易であり、小型のパーソナルコンピュータと組み合わせると、睡眠時無呼吸症候群の診断システムを構築することができると考えられる。

#### ○生体情報計測システムを用いた咬合治療による睡眠及び愁訴への影響の評価

山本光璋（東北大学大学院情報科学研究科）

歯科治療の分野では、噛み合わせなどの不具合を調整することにより、不眠等の睡眠障害・肩こり・頭痛などの不定愁訴も同時に改善され得ることが経験的に知られている。このことを、携帯型生体情報計測システムを用いた脳波・筋電図・眼電図などの終夜睡眠脳波計測や、加速度計を内蔵したアクチグラフを用いた行動計測、不定愁訴・睡眠アンケート調査を併用して総合的に調べた。

被験者は咬合調整の必要な患者7名（45.7±8.2）で、終夜睡眠脳波計測は、デジテックス研究所製のディジタル脳波計（ポリメート1000）を用い、治療前・治療後の2回、2夜連続在宅にて実施した。治療後の計測は状態が安定するまで1ヶ月程の十分な時間を置いてから行った。また、被験者により、アクチグラフを用い、数ヶ月間昼夜連続しての長期行動計測を実施した。終夜睡眠脳波計測及びアクチグラフ計測の結果、治療後において徐波睡眠段階（S3,S4）の増加や体動の減少など、睡眠の質の改善が見られた。夜間の歯軋りにも緩和が見られた。また、アンケート等の主観的評価においても、熟眠感の増大・睡眠の満足度等に改善が見られた他、肩こりや頭痛等の不定愁訴にもその改善を見た。本研究の生体情報計測システムにより、歯科治療による睡眠の質及び不定愁訴の変容を客観的に評価し成果を得た。全身と咬合には生理学的にあまり明確にされていないものの、密接な関係があると考えられる。

#### （3－2）波及効果と発展性など

脳は、人間のあらゆる行動の発現に関わっていると同時に、諸々の行動の監視を行っている。したがって、脳波の計測をフィールドで行うだけでも価値があるが、広帯域脳波の計測を行うことは一層意義深い。本年度は初年度であり、予備的な研究であったが、すでに多くの予備的な知見が得られており、その波及効果は、臨床医学にとどまらず、基礎医学、産業医学、心理学などの新たな展開を呼ぶであろう。

#### [4] 成果資料

- [1] 中村和弘, 山本光璋, 中尾光之他: 携帯型ディジタルポリソムノグラフの歯科医学領域への応用, 第10回日本全身咬合学会学術大会プログラム・抄録集, 2000, p.46.
- [2] 中村和弘, 山本光璋, 中尾光之他: 咬合治療前後における睡眠及び愁訴の変容, 日本睡眠学会第26回定期学術集会プログラム・抄録集, 2001, p.218.
- [3] Toshimitsu Musha, Takashi Asada, Fumio Yamashita, Toru Kinoshita, Hiroshi Matsuda, Masatake Uno, Zhihua Chen and William R. Shankle, A new EEG method for estimating cortical neuronal impairment that is sensitive to early stage Alzheimer's disease, J. Clinical Neurophysiology(to appear).
- [4] 水野康, 井上雄一, 白川修一郎, 三島和夫, 田中秀樹, 駒田陽子, 須藤正道: コンピューター・テストを用いて評価したベッドレスト 2 日目における認知機能 - 水平位と 6 度ヘッドダウンの比較. 第47回日本宇宙航空環境医学会総会, 名古屋, 2001.11.1-2.
- [5] 井上雄一, 白川修一郎他: 6度ヘッドダウン条件の夜間睡眠ならびに日中の覚醒水準・精神生理機能に及ぼす影響. 第47回日本宇宙航空環境医学会総会, 名古屋, 2001.11.1-2.
- [6] 田中秀樹, 白川修一郎, 三島和夫, 井上雄一他: 微小重力環境が睡眠, 作業能力, 脳機能に及ぼす影響. 第31回日本臨床神経生理学会学術大会, 東京, 2001.11.7-9.
- [7] 白川修一郎, 井上雄一, 三島和夫他, 微小重力環境の睡眠と作業能力の概日特性への影響, 第8回日本時間生物学会, 山口, 2001.11.14-15.

## 課題番号 H13/B03

## 半導体スピントロニクス

## [1] 組織

代表者：田中雅明（東京大学工学系研究科）

通研対応教官：大野英男

（東北大学電気通信研究所）

分担者：

武藤 俊一（北海道大学工学研究科）  
 末岡 和久（北海道大学工学研究科）  
 岡 泰夫（東北大学科学計測研究所）  
 猪俣浩一郎（東北大学工学研究科）  
 前川 権道（東北大学金属材料研究所）  
 黒田 慎二（筑波大学物質工学系）  
 尊茶 清吾（東京大学理学系研究科）  
 藤森 淳（東京大学新領域創成科学研究所）  
 家 泰弘（東京大学物性研究所）  
 勝本 信吾（東京大学物性研究所）  
 吉野 淳二（東京工業大学理学部）  
 南 不二雄（東京工業大学理学部）  
 宗片比呂夫（東京工業大学工学部）  
 佐藤 勝昭（東京農工大学工学部）  
 嶽山正二郎（千葉大学理学部）  
 竹内 淳（早稲田大学理工学部）  
 伊藤 公平（慶應大学理工学部）  
 山田 省二（北陸先端科学技術大学院大学材料科学研究所）  
 井上順一郎（名古屋大学工学研究科）  
 藤原 康文（名古屋大学工学研究科）  
 赤井 久純（大阪大学理学研究科）  
 白井 正文（東北大学電気通信研究所）  
 吉田 博（大阪大学産業科学研究所）  
 田畠 仁（大阪大学産業科学研究所）  
 藤村 紀文（大阪府立大学工学部）  
 新田 淳作（NTT物性科学基礎研究所）  
 安藤 功兒（電子技術総合研究所）  
 秋永 広幸（産業技術融合領域研究所）

## [2] 研究経過

電子はその本性としてスピンをもつが、これまで半導体ではあまり意識されなかったスピン自由度を積極的に利用しようという研究が、その応用可能性とともにここ数年急速に進展してきた。新しい磁性半導体や磁性体と半導体の複合構造など、従来の半導体物性に“スピン”自由度をもたらす

様々な材料や構造が化合物半導体をベースに作製できるようになり、その興味深い物性が明らかにされつつ新デバイスの提案もなされ、将来のエレクトロニクスへの応用可能性も検討され始めている。こうした新分野は“スピントロニクス”と呼ばれるようになり、とりわけ半導体と関係の深い「半導体スピントロニクス」は21世紀のエレクトロニクスに新しい発展をもたらすものとして期待されている。

本申請グループの研究者たちは、このような新しい研究分野の潮流をつくる初期的段階からきわめて大きな貢献を為しているが、いまや世界的にみても新しい研究分野となった「半導体スピントロニクス」の我が国における一層の発展を実現し21世紀のエレクトロニクスとして実を結ばせるためには、研究コミュニティの形成とその活性化が不可欠である。本プロジェクト研究会は、このような新しい分野の研究成果の発表と討論の場を提供することにより、「半導体スピントロニクス」研究の方向性を探索するとともにその基盤技術を確立することを目指している。

本プロジェクト研究会は平成13年度が初年度であった。平成13年9月28日から29日に東北大通研会議室にて、「半導体スピントロニクス」通研共同プロジェクト研究会を開催した。本研究会の直前には、同じ会場で「大規模量子コンピュータ実現にむけて」と題した研究会（申請代表者は慶應大学の伊藤公平先生）が開催され、両方の研究会に関連する発表もあり、多数の参加者を得て活発な研究討論が交わされた。本研究会では、(A)半導体スピントロニクス材料・デバイスの理論とデザイン、(B)スピン注入、量子ドット、全光NMR、(C)強磁性金属／半導体複合構造、IV族ベース希薄磁性半導体、(D)II-VI族ベース希薄磁性半導体、(E)III-V族ベース希薄磁性半導体と題する5つのセッションにおいて、計25件の研究発表が行われた。

## [3] 成果

## (3-1) 研究成果

本年度は下記の成果が得られた。

(A)半導体スピントロニクス材料・デバイスの理論

とデザインについては、

- ・第一原理計算による磁性半導体の電子状態の計算が行われ、室温以上の高いキュリー温度をもつ化合物半導体の可能性が予言された。
- ・最近室温以上の高いキュリー温度をもつことが報告されたカルコパイライトCdGeP<sub>2</sub>:Mnの電子状態と磁性が第一原理計算により示された。
- ・第一原理計算によって完全スピニン偏極強磁性体の探索が行われ、実験的にはCrSb, CrAsなどが分子線エピタキシー(MBE)によって合成され室温以上のキュリー温度をもつことが示された。
- ・GaNにMnを添加したGaMnNのMBE成長が行われ室温以上の高いキュリー温度をもつことが示された。

(B)スピン注入、量子ドット、全光NMRについては、

- ・強磁性電極quasi-ballistic 4端子素子や強磁性体・半導体接合のスピン注入についての実験や解析がなされた。
- ・共鳴トンネル構造を用いた非磁性スピン・フィルターが提案された。
- ・半導体量子ドット間の交換相互作用による反強磁性秩序が観測された。
- ・GaAs量子井戸における全光核磁気共鳴が示された。

(C)強磁性金属／半導体複合構造とIV族ベース希薄磁性半導体については

- ・GaAs V溝基板上にMnAs成長が行われた。
- ・MnAs/AlAs/MnAs エピタキシャル強磁性トンネル接合が作製され、トンネル磁気抵抗効果が示された。
- ・GaAs上に成長したMnSbグラニュラー構造における磁気抵抗スイッチ効果とそのダイナミクスが示された。
- ・Si:Ce希薄磁性半導体の物性理解の進展が示された。

(D)II-VI族ベース希薄磁性半導体については、

- ・(Zn,Cr)Teの詳細な磁気光学的評価が行われ、強磁性秩序が示された。
- ・Zn<sub>1-x</sub>Mn<sub>x</sub>Te/Zn<sub>1-y</sub>Mg<sub>y</sub>Te超格子のキャリア閉じ込め効果とスピン分裂が示された。
- ・II-VI族ベース希薄磁性半導体を用いた量子細線における交換相互作用の制御性が示された。
- ・半導体中の時間分解ファラデー回転測定が行われた。

(E)III-V族ベース希薄磁性半導体については、

- ・GaMnAsのMn濃度の高濃度化に向けて試みと指針が示された。
- ・磁性半導体超構造における光誘起効果が示され光によって磁性を制御可能であることが示され

た。

- ・GaMnAs/AlAs/GaMnAs強磁性半導体ヘテロ接合における75%に達する大きなトンネル磁気抵抗効果が示された。
- ・Er添加GaAsにおけるEr局所構造と物性が示された。
- ・III-V族をベースにした磁性半導体、ナノ構造の光電子分光によるバンド構造の評価が示された。
- ・希薄磁性半導体(Ga,Cr)Asの伝導特性が示された。

### (3-2) 波及効果と発展性など

「半導体スピントロニクス」研究は新たな段階に入りつつあると思われる。その特徴をまとめると、i) 探索物質の多様性がますます広がった、ii) 室温以上の高いキュリー温度を示す磁性半導体が実験的・理論的に見出されつつある、iii) 強磁性トンネル接合やスピン注入デバイスなど、デバイス化を視野に入れた研究が本格的に始まった、iv) スピンの量子的な性質を利用しようとする研究が進展した、などである。この動向はますます加速されることが予想される。本研究会は、この分野の第一線で活躍する研究者の討論の場を提供しただけでなく、様々な共同研究の契機を与え、またここで活躍する研究者たちが特定領域研究など大型科学研究費申請の母体となりつつある。

### [4] 成果資料

- 1) K. Sato and H. Katayama-Yoshida, Jpn. J. Appl. Phys. **40**, L651 (2001).
- 2) K. Sato and H. Katayama-Yoshida, Jpn. J. Appl. Phys. **40**, L485 (2001).
- 3) M. Shirai, Physica E **10**, 143 (2001).
- 4) H. Akinaga, T. Manago and M. Shirai, Jpn. J. Appl. Phys. **39**, L1118 (2000).
- 5) J.H. Zhao, F. Matsukura, K. Takamura, E. Abe, D. Chiba and H. Ohno, Appl. Phys. Lett. **79**, 2776 (2001).
- 6) S. Sonoda, S. Shimizu, T. Sasaki, Y. Yamamoto and H. Hori, cond-mat/0108159 (2001), J. Crystal Growth, in press.
- 7) G. Salis, D.T. Fuchs, J.M. Kikkawa, D.D. Awschalom, Y. Ohno and H. Ohno, Phys. Rev. Lett. **86**, 2677 (2001).
- 8) Y. Sato, T. Kita, S. Gozu and S. Yamada, Jpn. J. Appl. Phys. **40**, L1093 (2001).
- 9) T. Koga, J. Nitta, H. Takayanagi and J. Datta, Phys. Rev. Lett. **88**, 126601 (2002).
- 10) S. Sugahara and M. Tanaka, Appl. Phys. Lett. **80**, 1969 (2002).

- 11) H. Akinaga, M. Mizuguchi, K. Ono and M. Oshima, *Appl. Phys. Lett.* **76**, 357 (2000).
- 12) A. Oiwa, T. Slupinski and H. Munekata, *Appl. Phys. Lett.* **78**, 518 (2001).
- 13) A. Oiwa, T. Slupinski and H. Munekata, *Phys. Rev. Lett.* **88**, 137202 (2002).
- 14) M. Tanaka and Y. Higo, *Phys. Rev. Lett.* **87**, 026602 (2001).
- 15) J. Okabayashi, A. Kimura, O. Rader, T. Mizokawa, A. Fujimori, T. Hayashi and M. Tanaka, *Phys. Rev. B* **64**, 125304 (2001).
- 16) H. Saito, W. Zaets, Y. Mishima, M. Tanaka, R. Akimoto and K. Ando, *J. Appl. Phys.* **89**, 7392 (2001).

## 課題番号 H13/B04

# 半導体表面におけるナノプロセスの量子科学

### [1] 組織

代表者：一宮 麻彦

(名古屋大学大学院工学研究科)

責任者：大野 英男

(東北大学電気通信研究所)

分担者：

西永 頌 (名城大学理工学部)

押山 淳 (筑波大学物理学系)

纒纒 明伯 (東京農工大)

名西 憶之 (立命館大学理工学部)

中山 弘 (大阪市立大学工学部)

伊藤 智徳 (三重大学工学部)

白石 賢二 (筑波大学物理学系)

長谷川修司 (東京大学大学院理学系研究科)

田中 雅明 (東京大学大学院工学系研究科)

中山 隆史 (千葉大学理学部)

金子 忠昭 (関西学院大学理学部)

大野 隆央 (金属材料研究所)

研究費：校費 5万円，旅費 55万円

### [2] 研究経過

半導体デバイスの微細化に伴って、ナノメートルサイズにおける種々の技術の確立が求められている。しかしながら、半導体微細加工の主たる技術である、エピタキシャル成長技術においても、まだ解決すべき問題点が数多く残されており、それらを克服するためには表面における種々のプロセスについて、その電子状態も含めた構造ダイナミクスの理解が必要となる。本研究は半導体のナノプロセスについて、種々の観点から検討、討論し、表面における構造ダイナミクスを明らかにする事を目的として研究会を開催した。

本プロジェクトは本年度のみの単年度プロジェクトである。以下に平成13年10月12日、13日に秋保温泉で開催された研究会について報告する。

### [3] 成果

#### (3-1) 研究成果

研究会は主に分担者および企業からの招待者により、平成13年10月12日(金)、13日(土)の2日間に渡って仙台市、秋保温泉リゾート・ホテルクレセントにお

いて開催された。19名の限定されたメンバーによる非常に活発な討論が行われた。

本研究会では（1）窒化物、III-V族半導体、シリコン等の成長過程、（2）ナノ構造における新しい機能、および（3）表面におけるステップダイナミクスの3点のテーマに絞って、講演と討論を行い、非常に活発で熱のこもった討論が展開された。以下に本研究会で討論が展開された講演のタイトルを列挙する。

#### 1. 半導体表面状態と成長過程

GaN(0001)表面における気相成長過程の解明 - H<sub>2</sub>との分解反応 -

纒纒明伯、真弓美帆、佐藤文隆、熊谷義直  
東京農工大・工学部

GaAs(111)面上へのGaN成長における成長初期過程

松尾有里子、村上尚、熊谷義直、纒纒明伯  
東京農工大工学部

サファイア(0001)基板上へのInN のRF-MBE成長条件とa軸方位との関係

名西憶之、山口智広、斎藤義樹 立命館大学  
理工学部

#### 4 探針STMで何ができるか？

長谷川修司 東大院理物理

原子状水素とSi及びSi系半導体混晶の表面反応

平岡佳子 (株) 東芝・研究開発センター

Si(001)表面における吸着ダイナミクスに関する理論的研究

大野隆央 物質・材料研究機構計算材料

RHEED振動を用いたGaAs(111)B表面相転移過程の評価

浅岡康、金子忠昭 関西学院大学理学部

高As圧下におけるGaAs成長速度As圧依存性の理論検討

寒川義裕 (学習院大学)、伊藤智徳 (三重大学),

平岡佳子（東芝），田口明仁（NTT），白石賢二（筑波大学），大鉢忠（同志社大学）

ZnSe/GaAsへテロバレントエピにおける欠陥生成  
中山隆史，小林亮 千葉大学工

## 2. ナノ構造における新しい機能

ナノチューブ，ナノフレークにおける強磁性の発現

岡田晋，押山淳 筑波大物理学系

閃亜鉛鉱型CrSbにおける室温強磁性

大野英男，J. H. Zhao，篁耕司，千葉大地  
東北大通研

MnAs/AlAs/MnAsエピタキシャル三層ヘテロ構造の成長とトンネル磁気抵抗効果

菅原聰，田中雅明 東大院工

量子ナノ構造をユニットとした新しい物質・機能設計

木村敬，\*白石賢二，田村浩之，高柳英明  
NTT物性科学基礎研究所，\*筑波大学物理学系

## 3. 表面におけるステップダイナミクス

吸着子のある微斜面における熱的ステップ・バンチング表面自由エネルギーとステップ間引力

阿久津典子 大阪電通大

Si(111)表面におけるステップフローの不安定化

本間芳和 NTT物性科学基礎研

シリコン表面におけるナノ構造の緩和過程

一宮彪彦，林 和彦，西田俊介 名大院工

本研究会では、注目すべき発表が多く、非常に活発な討論が繰り広げられた。半導体表面における成長過程では、サファイア基板上の窒化物半導体の気相成長において、成長相の極性が、成長温度や、窒化条件と密接な関係にあり、またキャリアガス水素の反応とも関連があることが明らかになった。またGaAs(111)上のGaN成長では表面に残留するAs原子が窒素分子種の吸着を防げることが明らかになった。またGaAs成長においても、成長速度に、表面の過剰なAsの存在が大きく影響し、As脱離の抑制がGaAsの成長速度の減少を引き起こすことが明らかになった。

半導体プロセスにおいて、水素は重要な役割を

果たしている。特にシリコンおよびシリコン混晶における原子状水素の挙動は、種々の反応過程を理解する上で重要である。ここでは水素のエッティング効果についての理論的研究成果が報告され、Si(001)表面において、シリコンダイハイドライドを水素原子が攻撃することにより、5配位の遷移状態を経てシランの脱離が起こることを示した。

ナノ構造における新機能についてはバルクでは磁性を示さない物質における磁性の発現について興味が集まり、活発な討論が行われた。またエピタキシャル成長により、自然界に存在しない結晶構造の薄膜を成長させることによる室温強磁性の発現にも多くの興味が集まった。特にナノチューブ、ナノフレークにおける強磁性の発現は有限なグラファイトの端の構造がジグザグ構造の場合、スピニが偏極していることを見出した。またホウ素、窒素、炭素からなるハニカム型フレークではフェリ磁性が発現していることを見出し、これらが、ハニカム型格子に特徴的な端状態、境界状態に起因することを示し、多くの討論が展開された。また自然界には存在しない閃亜鉛鉱型のCrSbを閃亜鉛鉱型半導体基板上に分子線エピタキシャル成長させると数原子層のレイヤーが形成され、室温で強磁性を示すことが報告され、活発な討論が行われた。MnAsとAlAsの3層ヘテロ構造では、GaAs(111)B基板上低温で成長させることにより、良好な3層構造を得られ、明確なトンネル磁性抵抗効果が検出されることが示され、注目を集めた。

半導体表面の電子状態はバルクの状態と異なることは知られているが、表面電気抵抗について、信頼できるデータは得られていないかった。独立に制御できる4つのSTM探針を用いたシリコン表面の電気抵抗の測定では、表面電気抵抗の信頼できるデータのみならず、表面におけるステップの電気抵抗に対する効果など、局所的な抵抗に関する知見も示され、熱い討論が繰り広げられた。

エピタキシャル成長において重要な基板表面のステップの挙動に関しても理論と実験の双方から検討され、被覆率1以下の吸着子のある微傾斜面の熱力学的振舞いについて統計力学計算により、表面エネルギーとステップ間相互作用係数を求め、モンテカルロシミュレーションによりテラス幅を求める結果は、実験を良く説明し、注目を集めた。またこれに関連して、Si(111)表面におけるシリコンのステップフロー成長の不安定化について、上下テラスのサイズ比を制御することによって、不安定化の要因について、明かにした。また $7 \times 7$ と $1 \times 1$ 相転移温度の近傍でステップ上端を $7 \times 7$

構造で覆うと、電場の存在により非対称性が増大し不安定化が顕著になることを示し、それについて、活発な議論が行われた。またシリコン表面にSTM探針により作製した、孤立したシリコンピラミッドの崩壊過程においてステップエネルギーとピラミッドのファセット面のエネルギーの優劣によって、崩壊形状が変化することを示した。また崩壊過程におけるステップの挙動と成長におけるステップの挙動の関連性について活発な議論が行われた。

### (3-2) 波及効果と発展性など

本研究会では、理論と実験の密接な協力の結果がより鮮明になり、また理論計算の結果と実験結果の比較がより明確になった。特にナノプロセスにおいて、それを制御する因子が明らかになり、複雑な成長過程などについての攻略法にある程度の道筋が付けられたと思われる。これらの結果はエピタキシャル成長を中心とするナノ構造制御の手法を飛躍的に発展させるとと思われる。また新しい機能についての実験的・理論的結果はナノ構造の新しい可能性について、多くの発展性を秘めている。またナノメートルサイズにおける種々の現象とマクロな現象との関連性についても明らかになりつつあり、これらを中心に、本研究をさらに特定領域研究等に発展させたいと考えている。

## [4] 成果資料

研究会に関連して得られた成果の論文等は特に無し

## 課題番号 H13/B05

## S式の書き換えに基づく計算体系の基礎研究

## [1] 組織

代表者：外山芳人

責任者：外山芳人（東北大学電気通信研究所）

分担者：

佐藤雅彦（京都大学情報学研究科）

大堀 淳（北陸先端科学技術大学院大学情報  
科学研究科）

亀山幸義（筑波大学電子情報工学系）

桜井貴文（千葉大学理学部情報数理学科）

酒井正彦（名古屋大学大学院工学研究科）

鈴木大郎（会津大学コンピュータソフトウェ  
ア学科）

研究費：校費26,638円、旅費600,920円

## [2] 研究経過

ソフトウェアの検証技術は、近年ますますその重要性を増している。本プロジェクトでは、プログラミング言語Lispでプログラムおよびデータの表現形式としてもちいられるS式を対象に、S式に基づく計算体系の基礎理論を確立し、プログラムの検証・変換・合成等の新しい可能性を探求することを目的として研究を行なった。

本プロジェクトは、本年度が第1年度であった。本年度は、研究集会を開催し、研究分担者がこれまでの研究成果について情報交換するとともに共通の問題意識を明確にし、本プロジェクトの具体的な方向付けを行なうことから開始した。

その結果、書き換えシステムに基づくS式の操作的意味論、環境の形式的な取り扱い、型をもつ関数型言語のコンパイラや検証技術との比較、計算体系に対応する論理体系などについて基本的な考察を行なうこととなった。

この方針に基づき、第1回目の研究集会が8月28日・29日に電気通信研究で開催された。ここでは、プロジェクト全体の方向付けとして、S式書き換えシステムの可能性について外山（東北大）が発表を行なった。ついで、大堀（北陸先端大）による評価メカニズムによる正規化の意味、佐藤（京大）によるCALにおけるS式のタイプと論理の関係、桜井（千葉大）による明示的環境と明示的代入の論理の研究発表があり、それぞれのテーマ

についての研究討論が行なわれた。

第2回目の研究集会は12月14日・15日に鎌先温泉で開催された。ここでは、前回の研究集会のテーマをさらに発展させる方向で研究討論が2日間にわたって行なわれた。酒井（名大）による書き換えシステムの逆関数の構成法、桜井（千葉大）による逆ラムダ計算の理論の説明があり、ついで鈴木（会津大）による関数・論理融合型言語の論理的基礎の問題点について報告があった。また、桜井の発表と関連して、大堀（北陸先端大）からコンパイラと逆ラムダ計算の関係についての問題提起がなされ、研究討論が行なわれた。また、外山（東北大）からはS式の評価に基づく正規化について、草刈（東北大）からは型システムの強正規性の証明法について発表があった。

第3回目の研究集会は3月12日～14日に電気通信研究所で開催された。ここでは、本プロジェクトのこれまでの研究成果のまとめと今後の方向について相談し、プロジェクトの研究成果をさらに発展させるために、次年度も継続申請することを決定した。また、研究発表としては、大堀（北陸先端大）と佐藤（京大）による文脈とメタ変数の関係の考察、亀山（筑波大）によるメタレベル記法とリフレクションの解析、酒井（名大）による抽象リダクションシステムの拡張などがあった。さらに、桜井（千葉大）は逆ラムダ計算の発展について問題提起を行ない、佐藤（京大）による図式的式の論理や外山（東北大）によるS式書き換えシステムの形式化について討論を行なった。

さらに、タイプ理論、ラムダ計算、論理、自動証明に関する研究集会(Workshop on Type, Lambda, Logic and Automated Provers)を3月9日に電気通信研究所で開催した。これは、ラムダ計算、タイプ理論、自動証明、計算数学などの分野で広く活躍しているNijmegen大学のHerman Geuversを招聘した機会を利用して、国内の関連研究者が集まって情報交換と研究討論を行なうことを目的としたものである。研究集会では、本プロジェクトの分担者を中心として9件の研究発表があり、研究集会終了後も関連研究テーマに関して研究討論が続けられた。

### [3] 成果

#### (3-1) 研究成果

(1) 高階関数を取り扱うことの可能な書換え型計算プログラムの停止性を示すために、依存対法が適用できることを示した。しかしながら、停止性証明の道具として用いる順序に単調性が必要であり適用範囲が十分ではないため、単調性を必要としない手法の開発が重要であるとの結果を得た。

(2) 書換え型の計算系のサブクラスであるPT関数のクラスのプログラムから、その逆計算を行うことの可能な書換え型プログラムを合成するプログラム変換法を示した。

(3) 2階の $\lambda$ 計算におけるいくつかの文法的性質のモデル論的な証明に関する研究であり、モデルの構成において通常使われるadjointという条件の代わりにsemi-adjointという条件を使えば、文法的性質の証明において使われる条件とモデルの構成のためだけに使われる条件を明確に区別できることを示した。

(4) 単純型付 $\lambda$ 計算に明示的環境(explicit environment)を加えた体系 $\lambda\epsilon$ に関する研究であり、 $\lambda\epsilon$ 体系が合流性、強正規化性、単純型付 $\lambda$ 計算に対する保守的拡大性等の好ましい性質を有していることを示した。

(5)  $\lambda\epsilon$ に第一級文脈(first-class context)を加えた体系 $\lambda\kappa\epsilon$ に関する研究であり、 $\lambda\kappa\epsilon$ は $\lambda\epsilon$ と同じように好ましい性質を有していることを示した。また、 $\lambda\kappa\epsilon$ では束縛変数は名前を持つので代入操作は従来の名前の $\alpha$ 変換による方法を用いることができず、自由変数の名前を変更するという新しい方法を与えた。

(6) LispのS式などの高水準表現の機械語コードへのコンパイル過程に対する論理学的な基礎を与えることを目的として研究を行い、低レベルの機械の動作は、前提が一つに限定された左規則のみからなるシーケント計算系の証明簡約と解釈できること、さらにLispなどの高水準言語から機会語コードへのコンパイルは、自然演繹体系からシーケント計算を経て機械語コードの証明系への証明変換と解釈できる、との結果を得た。

(7) 依存対の概念をAC項書換え系上へ拡張し、効果的なAC停止性の証明手法を与えた。AC項書換え系

へ直接依存対の概念を導入することはできないため、AC拡張依存対の概念を導入した。さらに、近似AC依存グラフを導入し、書き換えの手法に基づいた近似アルゴリズムを提案した。

(8) 遅延条件付きナローイング計算 LCNC の完全性は示されているが、その証明は完全な選択関数を生成しない。それゆえに、実装においては全ての解の並び上げを保証するために、ゴール等式の選択をバックトラックする必要がある。他方、条件部を持たない系においては、最左選択関数に関する完全性が知られている。最左選択関数に関する LCNC の完全性を示す事により、これらの完全性の関係を明らかにした。

#### (3-2) 波及効果と発展性など

本プロジェクトは本年度が第1年目であるため、これまでの研究成果に関する情報交換と研究討論が中心であり、分担者の共同研究の具体的成果があがるのは来年度以降と考えられる。しかし、本プロジェクトが対象として取り上げるS式に基づく計算体系は、現在プロトタイプや大規模システムの作成に広く利用されている実用言語 Lisp の理論的基礎となりうるものであり、本研究の方向は、ソフトウェア検証技術や開発支援技術の新しい可能性を開くものとして期待できる。また、本プロジェクトを通して複数の大学の研究グループの交流が飛躍的に活性化し、さらに海外からの招聘研究者を含めた研究集会を開催したこと、電気通信研究所を中心とした国際的な研究ネットワークの形成も今後期待できる。

### [4] 成果資料

- (1) 外山 芳人, 完備化に関する等式証明, 人工知能学会誌 16(5) (2001) 668-674.
- (2) K. Kusakari, Y. Toyama, On Proving AC-Termination by AC-Dependency Pairs, IEICE Transactions on Information and Systems, Vol. E84-D, No5, pp.604-612.
- (3) Y. Toyama and M. Oyamaguchi, Church-Rosser Property and Unique Normal Form Property of Non-Duplicating Term Rewriting Systems, IEICE Transactions on Information and Systems, Vol. E84-D, No.4, pp.439-447, 2001.
- (4) Yukiyoshi Kameyama and Masahiko Sato, Strong Normalizability of the Non-deterministic Catch/Throw Calculi, Theoretical Computer Science 272 (1-2), pp. 223-245, 2002.

- (5) Masahiko Sato, Yukiyoshi Kameyama, Takeuchi Izumi, CAL: A Computation and Logic, EUROCAST2001, Lecture Notes in Computer Science, 2178, pp.509-524, 2001.
- (6) Masahiko Sato, Takafumi Sakurai, R. Burstall, Explicit Environments, Fundamenta Informaticae, vol.45, no. 1-2, pp.79-115, 2001.
- (7) Masahiko Sato, Theory of Judgments and Derivations, To appear in Arikawa, S. and Shinohara, A. eds., Progress in Discovery Science, lecture Notes in Artificial Intelligence, State-of the Art Surveys, Springer, 2002.
- (8) S. Katsumata and A. Ohori, Proof-Directed De-Compilation of Low-Level Code, In Proceedings of European Symposium on Programming, Springer Lecture Notes in Computer Science 2028, pages 352-366. 2001.
- (9) S. Hashimoto and A. Ohori, A Typed Context Calculus, Theoretical Computer Science, 266 (1-2): 249-272, 2001.
- (10) Alan Mycroft, Atsushi Ohori, Shinya Katsumata, Comparing Type-Based and Proof-Directed Decompilation, In Proceedings of IEEE WCRE Workshop of Decomposition Technique, IEEE Press, October 2001, pp.362-367.
- (11) Yukiyoshi Kameyama, Dynamic Control Operators in Type Theory, Proc. Second Asian Workshop on Programming Languages and Systems, Daejon, Korea, pp. 1-11, Dsc. 2001.
- (12) T. Sakurai, Categorical Model Construction for Proving Syntactic properties, International Journal of Foundations of Computer Science, vol. 20, no. 12, pp. 213-244, 2001.
- (13) Masahiko Sakai, Yoshitsugu Watanabe, Toshiki Sakabe, An Extension of Dependency Pair Method for Proving Termination of Higher Order Rewrite Systems, Vol. E84-D, No. 8, pp. 1025-1032 (2001, 8).
- (14) 西田直樹, 酒井正彦, 坂部俊樹, PT関数の逆関数を定義するTRSの生成, コンピュータソフトウェア, Vol. 19, No. 1, pp.29-33 (2002, 1).
- (15) Taro Suzuki and Aart Middeldorp, A Complete Selection Function for Lazy Conditional Narrowing, FLOPS' 01, Proceedings of the 5th International Symposium on Functional and Logic Programming, Lecture Notes in Computer Science 2024, pp.201-215, 2001.

## 課題番号 H13/B 06

# 先端EMC計測技術に関する研究

### [1] 組織

代表者：澤谷 邦（東北大学大学院工学研究科）

責任者：杉浦 行（東北大学電気通信研究所）

分担者：

荒井賢一（東北大学電気通信研究所）

岩崎 俊（電気通信大学電気通信学部）

越後 宏（東北学院大学工学部）

上 芳夫（電気通信大学電気通信学部）

桑原伸夫（九州工業大学工学部）

曾根秀昭（東北大学情報シナジーセンター）

多氣昌生（東京都立大学大学院工学研究科）

遠矢弘和（NECラボラトリーズ生産技術研究所）

徳田正満（武藏工業大学工学部）

西方敦博（東京工業大学教育工学開発センター）

根元義章（東北大学大学院情報科学研究科）

野島俊雄（北海道大学大学院工学研究科）

橋本 修（青山学院大学理工学部）

藤原 修（名古屋工業大学工学部）

山中幸雄（独立行政法人通信総合研究所）

山根 宏（NTT生活環境研究所）

和田修己（岡山大学工学部）

研究費：消耗品 35,000円

### [2] 研究経過

IT社会の高度化に伴って、近い将来、各種の有・無線通信システムや多種多様な電子機器が極めて高密度に利用されるようになってくる。このような環境では、電子機器や自動車等の電磁雑音による通信システムの受信障害や、通信システムの電磁波による電子機器等の誤動作など、様々な障害の多発が懸念される。従って、IT社会の発展にとって、機器システム相互の電磁的適合性(EMC)の確保が不可欠であり、その基盤となる計測技術の開発が極めて重要である。このため、大学、国立研究機関、民間企業の研究者が集まって、多様なEMC計測技術の高精度・高確度化に関する研究を行う。

本共同プロジェクトは、以下のような研究課題について、3年計画で行う。

(1) 電子機器等における電磁雑音の発生・伝搬機

### 構に関する計測

- (2) 電子機器等のエミッション及びイミュニティ特性に関する計測
- (3) EMC対策用部品・材料の特性に関する計測
- (4) 通信システムの受信障害に関する計測
- (5) 電波防護指針に関する計測

上記課題の種々の問題について、情報交換と検討をおこなう研究会を、2回開催した。

第1回 日時：10月24日(水) 13:30-18:00

場所：東北大学電気通信研究所  
(W棟4階、中会議室)

- (1) EMC分野の研究の現状について  
杉浦 行（東北大・通研）
- (2) 近傍での磁界計測  
荒井賢一（東北大・通研）
- (3) 近傍電磁界計測の可視化  
越後 宏（東北学院大・工）
- (4) モータからのノイズの抑制  
曾根秀昭（東北大・シナジーセンター）
- (5) 小型磁界プローブの開発と応用  
遠矢弘和（NECラボ・生産技術研）
- (6) 電磁シールド効果測定法  
西方敦博（東工大・教育工学開発センター）
- (7) 移動通信におけるEMC計測の課題  
野島俊雄（NTT DoCoMo）
- (8) 材料測定の非破壊測定法  
橋本 修（青山学院大・理工）
- (9) 静電気放電  
藤原 修（名工大・工）
- (10) CISPRの現状  
山中幸雄（通信総研）
- (11) 電磁両立性の確立  
山根 宏（NTT・生活環境研）
- (12) 半導体のEMI測定法  
和田修己（岡山大・工）

第2回 日時：3月18日(月) 15:00-18:00

場所：東北大学電気通信研究所  
(W棟4階、大会議室)

- (1) 回転電磁界を用いる放射イミュニティ／サセ

- <sup>1</sup> プティビリティ試験方式  
　　上 芳夫（電通大・電気通信学部）
- (2) 電磁界の生体影響  
　　多氣昌生（都立大・院・工学研究科）
- (3) 九工大の電波暗室  
　　徳田正満（武藏工大・工）
- (4) 桑原研究室の最近のアクティビティ  
　　桑原伸夫（九工大・工）

### [3] 成果

#### (3-1) 研究成果

第一回研究会では、電磁界の近傍界領域での測定法、磁性材料に関する測定、移動体通信機器に関するEMC対策、静電気放電、半導体デバイスからの放射に関する問題等、様々な角度からEMC計測の先端技術についての話題が取り上げられ、活発な意見交換が行われた。

第二回研究会では、放射イミュニティ測定に関する報告の他、電磁波の生体への影響、電波暗室の性能評価、放射波源の推定法等に関する報告が行われた。

#### (3-2) 波及効果と発展性など

本共同プロジェクトによって、多様なEMC計測技術の高精度・高確度化が図られるため、IT社会の発展に不可欠な電子機器等のEMC対策が大いに促進されることが期待される。

また、研究成果を国内・国際標準化組織に提案することにより、産業界に大いに貢献できる。

2度開催された研究会には、学外からの多数の研究者が出席され、交流が活発化した。次年度も本研究プロジェクト研究会を継続し、さらに研究者間の交流を深め、研究を深めていく予定である。

### [4] 成果資料

- (1) F. Xiao, W. Liu, and Y. Kami, "Analysis of crosstalk between finite-length microstrip lines: FDTD approach and circuit-concept modeling," IEEE Trans. Electromagn. Compat., Vol. 43, No.4, pp.573-578, Nov. 2001.
- (2) 遠矢, “高速／微細プロセスに適する信号を電磁波と見なした配線設計法,” 電子情報通信学会論文誌C, Vol.J85-C, No.3, pp.117-124, Mar. 2002.
- (3) 遠矢, “ギガヘルツ時代のLSIとプリント基板を統合するディジタル回路設計法,” NEC技報, Vol.55, No.2, pp.57-62, Feb. 2002.
- (4) Y. Fukumoto, Y. Takahata, O. Wada, Y. Toyota, T. Miyashita, R. Koga, "Power Current Model of

- LSI/IC Containing Equivalent Internal Impedance for EMI Analysis of Digital Circuits," IEICE Trans. Commun., Vol.E84-B, No.11, pp.3041-3049, Nov. 2001.
- (5) A. Namba, O. Wada, Y. Toyota, Y. Fukumoto, Z. L. Wang, R. Koga, T. Miyashita, T. Watanabe, "A Simple Method for Measuring the Relative Permittivity of Printed Circuit Board Materials," IEEE Trans. on Electromagn. Compat., Vol.43, No.4, pp.515-519, Nov. 2001.
- (6) 笹部, 王, 藤原, “コモンモードパタン電流のFDTD計算によるプリント回路基板からの遠方界強度の予測,” 電気学会論文誌, 121-A, 9, pp.823-827, Sep. 2001.
- (7) 石居, 岩崎, “ダイポールアレイアンテナを用いた波形再生による単一パルス電磁波の2次元到来方向推定,” 電気学会論文誌C, Vol.121-A, pp.997-1005, Nov. 2001.
- (8) 山本, 下塩, 古賀, 徳田, “ツイストペアケーブルの構造的不均等による電気的特性,” 電子情報通信学会論文誌B, Vol.J84-B, No.8, pp.1529-1543, Aug. 2001.
- (9) M. Maki, S. Hamada, M. Tokuda, Y. Shimishio and N. Kuwabara, "Home information wiring system using UTP cable for IEEE1394 and Ethernet systems," IEEE Trans. on Consumer Electronics, Vol.47, No.4, pp.921-927, Nov. 2001.
- (10) 秋山, 山根, “ホームネットワーク化におけるEMC的課題の検討,” 電気学会産業電力電気応用研究会資料, IEA-01-36, pp.31-38, 2001.
- (11) 秋山, 高谷, 山根, “Bluetoothの2.4GHz無線LANによる干渉特性,” 信学技報, Vol.101 No.530, pp.55-60, 2001.
- (12) 野島, 垂澤, “携帯電話電波による医用電気機器電磁干渉の試験法,” 電子情報通信学会論文誌B, Vol. J84-B, No.1, Jan. 2001.
- (13) 豊島, 野島, “心臓ペースメーカーと携帯電話とのEMC”, 電子情報通信学会誌, Vol. 84, No.12, pp.895-897, Dec. 2001.
- (14) Biological and health effects of exposure to electromagnetic field from mobile communications systems M. Taki and S. Watanabe, IATSS Research, Vol.25, No.2, pp.40-50, Oct. 2001.
- (15) 藤原, 井川, “表面電荷法を用いた人体要領の数値計算,” 電子情報通信学会論文誌B, J84-B, 10, pp.1841-1847, Oct. 2001.
- (16) 江原, 曽根, 根元, “Ag-Pd電気接点のアーク放電により生じる電磁ノイズの熱的要因による低減方法,” 電子情報通信学会論文誌B, Vol. J84-

- B, No. 12, pp.2367-2373, Dec. 2001.
- (17) L. Morin, H. Sone, N. Ben Jemaa, D. Jeannot, "Transition from the Anodic Arc Phase to the Cathodic Metallic Arc Phase in Vacuum at Low DC Electrical Level," 47th IEEE Holm Conference on Electrical Contacts, Montreal, 33, Sep. 2001.
- (18) 斎藤, 西方, "磁性損失材料装荷によるマイクロ波増幅器筐体内マイクロストリップ線路間結合の低減効果の解析," 電子情報通信学会論文誌B, Vol.J84-B, No.10, pp.1834-1840, Oct. 2001.
- (19) 斎藤, 西方, "マイクロ波増幅器筐体内マイクロストリップ線路間結合を低減させる損失材料の最適設計," 電子情報通信学会論文誌B, Vol.J85-B, No.3, pp.400-407, Mar. 2002.
- (20) 鍵和田, 橋本, 平田, 都甲, "X帯における液晶材料の複素誘電率測定法と測定結果," 電子情報通信学会論文誌B, Vol.J84-B, No.5, pp.945-947, May 2001.
- (21) 花澤, 阿部, 橋本, 安岡, "抵抗皮膜を用いた700GHz帯用電波吸収体の実験的検討," 電子情報通信学会論文誌B, Vol.J84-B, No.5, pp.948-950 May 2001.
- (22) M. Maki, S. Hamada, M. Tokuda, Y. Shimoshio and N. Kuwabara, "Home Information Wiring System Using UTP Cable for IEEE1394 and Ethernet Systems," IEEE Trans. Consumer Electronics, vol.47, no.4, pp.921-927, Nov. 2001.
- (23) K. Murano, and Y. Kami, "A new immunity test method," IEEE Trans. Electromagn. Compat., Vol. 44, No.1, pp.119-124, Feb. 2002.
- (24) 菊池, 網代, 山口, 荒井, 竹澤, "リフトプロセスによる高周波キャリア型薄膜磁界センサ," 日本応用磁気学会誌, Vol.25, pp.975-978, 2001.
- (25) 高島, 藤井, 岩崎, "ダブルギヤップシールデッドループアンテナの磁界複素アンテナ係数の測定," 電子情報通信学会論文誌B, vol.J84-B, No.11, pp.2066-2070, 2001.
- (26) A. Sugiura, Y. Yamanaka, T. Iwasaki, Y. Matsumoto; "Antenna arrangements for broadband antenna calibration using the standard antenna method", 2001 IEEE EMC Int'l Symp, D4-A2-06, 2001.
- (27) A. Sugiura, Y. Yamanaka, Y. Matsumoto; "Uncertainty Evaluation for EMI Antenna Calibration", AP-RASC 2001, A4-1-03, 2001.
- (28) K. FUJII and T. IWASAKI, "Effect of a Finite Ground Plane on the S-parameter between Two Dipole Elements," IEICE Transactions on Communications, Vol. E84-B, No.2, pp.344-348, Feb. 2001.
- (29) 藤井, 千賀, 岩崎, "バイログアンテナを用いた正規化サイトアッテネーション測定のシミュレーション," 電子情報通信学会論文誌B, vol.J-84-B, No.2, pp.272-282, Feb. 2001.
- (30) 藤井, 叶, 岩崎, "対数周期ダイポールアーランテナ間のSパラメータ測定における周囲反射C7影響の除去," 電子情報通信学会論文誌B, vol. J84-B, No.11, pp.2040-2047, Nov. 2001.

## 課題番号 H13/B 07

# サブサーフェス制御知能プラズマプロセスに関する研究

### [1] 組織

代表者：藤山 寛（長崎大学工学部）

責任者：庭野道夫（東北大学電気通信研究所）

分担者：

後藤 俊夫（名古屋大学工学研究科）  
 室田 淳一（東北大学電気通信研究所教授）  
 浜田 智志（京都大学エネルギー科学研究所）  
 松田 良信（長崎大学工学部）  
 節原 裕一（京都大学工学研究科）  
 白谷 正治（九州大学システム情報科学研究院）  
 佐道 泰造（九州大学システム情報科学研究院）  
 古関 一憲（九州大学システム情報科学研究院）  
 近藤 道雄（通産省電子技術総合研究所）  
 寒川 誠二（東北大学流体科学研究所）  
 南部 健一（東北大学流体科学研究所）  
 中野 俊樹（防衛大学校電気電子工学科）  
 堀 勝（名古屋大学工学研究科）  
 西澤 典彦（名古屋大学工学研究科）  
 河野 明廣（名古屋大学先端技術共同研究センター）  
 山本 雅博（京都大学 工学研究科）  
 中村 敏浩（京都大学 工学研究科）  
 伊達 広行（北海道大学医療技術短期大学部）  
 佐藤 孝紀（室蘭工業大学 工学部）  
 赤澤 正道（北海道大学 工学研究科）  
 高桑 雄二（東北大学科学計測研究所）  
 山崎 聰（JRCAT）  
 安田 哲二（JRCAT）  
 大森 達夫（三菱電機先端技術総合研究所）  
 真壁 利明（慶應義塾大学理工学部）  
 飯塚 哲（東北大学工学研究科）  
 小松正二郎（科学技術庁無機材質研究所）  
 関根 誠（超先端電子技術開発機構）

研究費：校費150千円、旅費 1,122,000円

### [2] 研究経過

#### 【概要】

21世紀における日本の発展は、独自先端技術を基盤とする新産業の創出にかかっている。このような先端技術として、ナノ技術立国をになう量子効果素子、ナノマシン等のための量産ナノ加工技

術であるプラズマプロセスがある。プラズマプロセスは、これまでにLSI製造等の先端技術の基盤を支えてきた。しかし、最近、従来技術の延長では、これらの将来デバイス創製が高精度に実現出来ないことが明らかになってきた。それは、プロセス中に気相・固相界面と固相バルク及び気相バルクの間に存在する遷移相（サブサーフェスと呼ぶ）が膜質や加工結果に対して決定的な役割を果たしていることである。バルクと表面の科学は、20世紀に大きく発展したが、界面近傍の遷移領域であるサブサーフェス中の組成、構造、反応等を決定する科学は、ほとんど解明されていない。このため、このサブサーフェスの科学の理解と、その理解に基づくインテリジェントなプラズマ制御の実現が、ナノ技術立国への展望を拓く鍵を握っている。本研究の目的は、3次元ナノデザインシンセシス実現のために、プラズマプロセスで発生するサブサーフェスの科学を理解し、その理解をもとにインテリジェントなプラズマ制御によりサブナノ精度の量産ナノ加工技術として、プラズマプロセスを発展させることである。

本研究プロジェクトでは、薄膜材料プロセスや反応制御に係わってきた、材料・電子工学の研究分野ばかりではなく、物理・化学の研究分野の研究者の英知も結集して、プラズマプロセスを発展させるために研究会を開催する。また、必要に応じ、ナノテクノロジー・バイオテクノロジー研究の専門家を特別講師として招聘し、21世紀の量産ナノ加工技術の将来展望について議論する。

#### 【本年度の成果】

シンポジウムを平成13年9月22日、23日の二日間にわたって開催した。シンポジウムの趣旨は、プラズマプロセスで発生するサブサーフェスの科学を理解し、その理解をもとにインテリジェントなプラズマ制御により、サブナノ精度の量産ナノ加工技術としてのプラズマプロセスを発展させることである。

シンポジウム参加者は、民間研究機関からの参加者、大学院生を含め45名で、二日間にわたって活発な討論が行われた。最後にシンポジウムのプログラムを付記する。

9月22日(土)

開会挨拶 「ザブサーフェス研究の具体的課題と応用」

プロジェクト研究代表 藤山 寛(長崎大)

特別講演「ナノクリスタルシリコンを用いた映像、音響デバイスの創製」越田信義(東京農工大)

(講演要旨) 量子サイズのナノ結晶シリコンは、光学的・電気的・熱的・化学的に、通常のサイズでは見られない特異な機能を示す。それらが発現する意味を述べた後、特に可視発光に関わる諸現象と熱誘起音波放出効果について、それぞれの基本特性と素子化に向けた研究の現状を紹介した。また、技術的発展の一つの方向として、映像情報と音響情報をシリコン基板上で機能的にパッケージングする可能性についても言及した。

特別講演

「プラズマ利用のフラーレンベース新規ナノ構造創成」

畠山力三(東北大院工)

「プラズマを用いた機能性超微粒子および超薄膜の開発とその工業的応用」

竹田 篤(有)アイエスアイ)

「多結晶Siの核発生制御」

浅野種正(九州工業大)

「シリコン系薄膜太陽電池」

近藤道雄(産総研)

「プラズマ化学におけるサブサーフェス」

葛谷昌之(岐阜薬科大)

「まとめ」

藤山 寛(長崎大)

9月23日(日)

「BN系中空構造ナノ物質」

小松正二郎(物質研)

「微細加工技術によるバイオマイクロシステム」

一木隆範(東洋大)

「効率的なフラーレン類合成にむけて」

三重野哲(静岡大)

### [3] 成果

#### (3-1) 研究成果

21世紀の日本がナノ技術立国として発展するためには、世界に先駆けて量産ナノ加工技術としてのインテリジェントなプラズマプロセスを確立することが必要不可欠である。これまでに、量子効果素子、ナノマシン等が独自先端技術の基盤とし

て新産業の創出につながる可能性は十分示されており、この分野で日本は特に大きな競争力を有するが、これを日本の中核産業に育てるためには、今、戦略的に将来デバイス創製量産技術としてプラズマプロセスを確立するための組織的研究を開始することは極めて大きな意義を有する。バイオ、情報通信等の21世紀に発展すると見なされる科学・産業の多くの部分にナノ技術が用いられつつあり、量産ナノ加工技術を確立することは極めて広範な科学・産業へ大きな波及効果を有する。

プラズマプロセス中に存在する気相・固相界面と固相バルク及び気相バルクの間の遷移相(サブサーフェスと呼ぶ)が膜質や加工結果を決定する重要な役割を果たしている。しかしながら、サブサーフェス中の組成、構造、反応等を決定するダイナミクスは、ほとんど解明されていない。成膜・加工過程とプロセス終了後の膜の物性や形状との関係を解明し、製膜中あるいは微細加工中の薄膜の組成・構造・物性の時空間的变化を意識的に制御することによって、高度な量産ナノ加工技術(3次元プラズマ造形法)を世界に先駆けて確立することが求められている。

シンポジウムの討論において、上記量産ナノ加工技術を確立することの重要性が再確認され、今後の研究の進め方について目標が設定できた。

#### (3-2) 波及効果と発展性など

本プロジェクト研究をベースとして、文部省特定領域研究(B)「サブサーフェス制御知能プラズマプロセス」を藤山寛教授(長崎大)を領域代表者として申請した。

### [4] 成果資料

参考資料として、本プロジェクト研究で行ったシンポジウムの報告書を添付する。

## 課題番号 H13/B 08

# 学際的新領域プラズマに関する調査研究

### [1] 組織

企画者：畠山力三（東北大学工学研究科）  
 責任者：庭野道夫（東北大学電気通信研究所）  
 分担者：  
     金子 俊郎（東北大学工学研究科）  
     大原 渡（東北大学工学研究科）  
     金山 敏彦（産業技術総合研究所）  
     齊藤 直昭（産業技術総合研究所）  
     小松正二郎（物質・材料研究機構）  
     大谷 俊介（電気通信大学レーザーセンター）  
     和田 節子（電気通信大学量子・物質学科）  
     田中 基彦（核融合科学研究所）  
     吉川 研一（京都大学理学研究科）  
     西原 功修（大阪大学レーザーセンター）

研究費：校費 0千円、旅費 305千円

### [2] 研究経過

プラズマ科学は、21世紀の重点的分野と注目されている環境・エネルギー、ナノテクノロジー・材料、ライフサイエンス、フロンティア（宇宙など）そして情報通信のいずれにも、学問的基盤として根幹的に関与している。これはプラズマが非線形、非平衡、不安定、反応性等多様な特質を有する物質状態であることに起因する。ここにおいて、プラズマ理工学の発展の歴史的経過を踏襲した上で、学際的新領域プラズマに関する開拓的研究を行うことを最終目標に、その基礎を確立するために調査研究を行うことを目的としている。

本プロジェクトにおいては、本年度1年間において上記の目的を遂行するべく、非線形科学の最前線である不安定性の非線形発展・分岐現象からナノ科学技術であるナノサイズクラスター合成までの、基礎物理/工学的応用を包含する広範囲な分野を統合的に鳥瞰・理解するための研究会を開催した。

### (研究討論会開催状況)

日時：平成13年9月6日（木）  
 会場：東北大学大学院工学研究科  
     電気・情報系207講義室  
     「プラズマ中の分岐現象の歴史と展望」

佐貫平二（核融合科学研究所）

日時：平成14年1月29日（火）

場所：東北大学大学院工学研究科

電気・情報館 204号室

- (1) 「東北大学工学研究科電子工学専攻における学際的新領域プラズマ研究」  
    畠山力三（東北大学工学研究科）
- (2) 「プラズマエッティングにおける新展開」  
    寒川誠二（東北大学流体科学研究所）
- (3) 「イオントラップによるSiクラスター形成・成長」  
    金山敏彦（産業技術総合研究所）
- (4) 「非中性プラズマの最前線」  
    際本泰士（京都大学総合人間学部）
- (5) 「実験室プラズマによるスターダスト合成」  
    和田節子（電気通信大学量子・物質学科）
- (6) 「プラズマ・アシストテド・レーザーアブレーション法によるBNナノバルーンの合成」  
    小松正二郎（物質・材料研究機構）
- (7) 「プラズマ物理学フロンティアのソフトマターリー研究」  
    田中基彦（核融合科学研究所）

### [3] 成果

#### (3-1) 研究成果

新規採択された本研究プロジェクトでは、学際的新領域プラズマに関する調査を行うために研究会を行ったので、以下に講演の内容と得られた知見について述べる。

平成13年9月に行われた佐貫氏の講演では、次のような報告・紹介があった。様々な状態における運動や変化は一般に多くのパラメータに依存する。これらのパラメータの変化に対し、一つの状態から他の状態へ緩やかに変化する場合が多いが、特定のパラメータの値や場所で大きく現象が変化する場合があり、これは一般に分岐現象と呼ばれている。プラズマの閉じ込め改善に関連して、近年このプラズマ中の分岐現象に基づく様々な理論や実験が意欲的に研究されている。具体的には、分岐現象を記述する基本的な方程式として知られている一次微分系としての非線形方程式、リカッ

チ方程式タイプのロジスティック方程式などに関連する分岐現象について理論的側面から解説があった。次に、プラズマ中の電場分岐現象に限定して、これまで検討されている様々な理論モデルや実験観測例、すなわちプラズマ中の電場に関する諸問題、径電場によるプラズマ中の低周波振動の抑制機構、異常輸送の軽減化、径電場形成機構についての紹介とともに、その主張点や問題点についての指摘がなされた。更に、プラズマの非線形効果の結果として起こる分岐現象の一例として、ヘリカルプラズマの分岐現象に関する理論モデルに関する最近の話題とCHSやLHD等の実験で観測されている分岐現象について紹介があった。

本研究会では学内外を含め50名を越える参加者があり、講演時間だけで2時間を越えており、質疑討論が熱心に行われた。

次に平成14年1月に行われた研究会では、以下のような報告・紹介があった。寒川氏により、プラズマエッティングにおける諸問題とプラズマ源に関する講演があった。超LSIデバイス製造においては低圧高密度プラズマを用いたエッティングが主流となっているが、加工精度にナノオーダーが要求され、極めて高精度な制御が求められている。そこで、エッティング反応に必要な活性種のみを選択的に輸送し、電荷蓄積や放射光損傷を抑制できる新しい中性粒子ビーム生成源の開発についての紹介があった。

金山氏により、シリコン(Si)ナノクラスターの形成とその物性についての講演があった。Siクラスターは、Siのナノ構造を作製する構造単位となり得るだけでなく、微細化の極限でのSiの物性を知る手がかりとなる。イオントラップを用いて原子組成を制御した水素化Siクラスターイオンを形成しSi表面に堆積した結果を基に、共有結合性の原子であるSiクラスターは、原子組成や存在状態により、構造や電子状態が大きく変化することについて報告があった。

際本氏により、電子のみから成る非中性プラズマに関する最近の話題について講演があった。非中性プラズマは外部から与える電場、磁場中に長時間閉じ込めることができる。希少な荷電粒子の蓄積と保存等を行う応用が考えられている。例えば、反陽子と陽子から反水素を形成し、CPT対象性を確認するプロジェクトは国際競争のなかで進行中である。非中性プラズマの保持に関する基礎的事項と、渦交互作用を介した自己組織化の実験結果の紹介があった。

和田氏により、実験室において合成されたダス

トと宇宙空間ダストとの比較についての講演があった。炭素質の星間ダストの代表的な発光・吸収スペクトルとして、紫外線と可視光領域の吸収線、反射星雲で見られる赤色光、惑星状星雲などに見られる赤外線発光バンド等がある。星間ダストに見られる217.5 nmの吸収ピークはグラファイトの微粒子による吸収ではないかと推定されていた。この微粒子を作るために、マイクロ波を用いてメタンをプラズマ化して、細孔から真空中へと噴出させた。このビーム中心で固体状微粒子(dark-QCC)、ビーム外側では有機質の凝集物(filmy-QCC)が形成される。Dark-QCCは星間ダストの示すスペクトルと似ており、高分解能電子顕微鏡で観察するとオニオン状になっていることがわかった。メタンと水素の混合ガスを用いて微粒子を形成すると、水素が増加するにつれて角張った微粒子となり、これはグラッシーカーボンに似ている。形成された微粒子の質量分析の結果からは、大きな分子量を持つほど縮合が進んでコンパクトな形になり、炭素数に対して付加している水素が数少なくなることわかった。以上のように、実験室で既知の物質によりダストを生成してそのスペクトル特性等を調べれば、宇宙空間に存在するダストの種類及びその合成過程が明らかになるであろうという研究紹介があった。

小松氏により、BNナノバルーンの合成およびその解析結果についての講演があった。BNをターゲットとするレーザーアブレーションにおいて、そのプルームをレーザーパルスに同期した変調プラズマ・パケットにより吹き飛ばすという新手法により、中空構造ナノ物質が合成される。中空構造出現の物理的条件を明らかにするため、フォトダイオードプローブを用いたプラズマ速度場とプルームダイナミクスの測定を、更に化学的環境を調べる目的でプラズマ発光分光を行った。その結果、プラズマ発生時にはNHラジカルが支配的であるが、プラズマ無しのレーザーアブレーションではB+、N+のカチオンが支配的であることがわかった。また、EELSによる分析、分子軌道法による構造の検討等についても紹介があった。

田中氏により、電荷を持つソフトマターである電解質高分子、マクロイオンの電荷逆転（過剰遮蔽）についてのシミュレーション結果についての講演があった。静電エネルギーが熱エネルギーを上回るクーロン強結合の状態では、粒子の間の相関のために荷電粒子間の引力が斥力を上回り、数々の特異な現象が生じる。正と負に帯電したモノマー2種から成る両極性の電解質高分子は、電

荷の自己中和が可能であり、クーロン引力と熱運動の競争により、温度や塩濃度など外部環境に応じて、グロビュールと伸長した鎖状態の間で構造を変化させる。このクーロン力に短距離引力が加わると、体積の温度に対する変化経路にヒステリシスが現れる。また、塩イオンを含む溶液中では、デバイ液体理論の常識を越えて、マクロイオンが自己電荷量の数倍の電荷をもつ対イオンを集めて逆符号に帯電した複合体を形成する「電荷逆転」現象が室温において生じる。これら2つのイオン性ソフトマターに関する現象について、物質科学と生物物理の観点からの紹介があった。

本研究会では学内外を含め40名以上の参加者があり、我々の研究グループとはなじみの薄い分野の講演であったことから講演が新鮮に感じられ、聴講者の興味を引き活発な議論がなされた。

### (3-2) 波及効果と発展性など

本プロジェクト研究会では、非線形科学の基礎物理分野からナノ科学技術であるナノサイズクラスター合成に関する工学的応用分野に渡る研究者が一同に会し、研究者同士の交流が飛躍的に活性化したばかりでなく、これら広範囲な分野の最前線を統合的に理解する第一歩を踏み出すことに成功した。論文等では知り得ないナノ構造創成等の新たな手法の詳細を知ることができたことも大きな成果であると言える。さらに新しい学際的新領域の拡大と発展が今後大いに期待される。

## [4] 成果資料

### (4-1) 主な研究発表

1. "Experimental Evidence for Spatial Damping of Left-Hand Circularly Polarized Waves in an Electron Cyclotron Resonance Region", T. Kaneko, H. Murai, R. Hatakeyama, and N. Sato, Phys. Plasmas **8** (2001) 1455-1458.
2. "An Improved Q-machine Source with a Rotating Cathode System", T. Kaneko, H. Ishida, R. Hatakeyama, and N. Sato, Rev. Sci. Instr. **72** (2001) 3854-3858.
3. "The Effect of Strong and Weak Magnetic Fields on the Synthesis of SWNTs", B. Jeyadevan, Y. Sato, K. Tohji, K. Motomiya, A. Kasuya, R. Hatakeyama, H. Ishida, and T. Takagi, Proc. Int. Sympo. on Cluster Assembled Mater. IPAP Conf. Series **3** (2001) 93-96.
4. "Structural Deformation of Single-Walled Carbon Nanotubes and Fullerene Encapsulation due to Magnetized-Plasma Ion Irradiation", G.-H. Jeong, R.

Hatakeyama, T. Hirata, K. Tohji, K. Motomiya, and, N. Sato, Appl. Phys. Lett. **79** (2001) 4213-4215.

5. "Dynamic Evolution of Plasma Structures due to Local Production of Massive Negative Ions", W. Oohara, S. Ishiguro, R. Hatakeyama, and N. Sato, J. Phys. Soc. Jpn. **71** (2002) 373-376.
6. "Gyrokinetic Study of the Electron Temperature Gradient Instability in Plasmas with Slightly Hollow Density Profiles", J. Q. Dong, H. Sanuki, and K. Itoh, Phys. Plasmas **8** (2001) 3635-3644.
7. "Transition of Radial Electric Field in Helical Systems", K. Itoh, H. Sanuki, S. Toda, M. Yokoyama, S. -I. Itoh, M. Yagi, and A. Fukuyama, J. Phys. Soc. Jpn. **70** (2001) 1575-1584.
8. "Generation of Vorticity Hole Surrounding a Point Vortex in a Nonneutral Plasma", A. Sanpei, Y. Kiwamoto, and K. Ito, J. Phys. Soc. Jpn. **70** (2001) 2813-2816.
9. "Field Analysis of Two-Dimensional Dynamics of Non-Neutral Plasma by Imaging Diagnostics and Examination by Sector Probing", K. Ito, Y. Kiwamoto, and A. Sanpei, Jpn. J. Appl. Phys. **40** (2001) 2558-2565.
10. "Giant Charge Inversion of a Macroion due to Multivalent Counterions and Monovalent Coions: Molecular Dynamics Study", M. Tanaka and A. Y. Grosberg, J. Chem. Phys. **115** (2001) 567-574.
11. "Scanning-Tunneling-Microscope-Assisted Assembling of Hydrogen-Saturated Silicon Clusters on Si(111)-(7×7) Surfaces", L. Bolotov, N. Uchida, and T. Kanayama, Appl. Phys. Lett. **78** (2001) 3720-3722.
12. "Mass-Selective Resonance Ion Ejection from the External Quadrupole Static Attraction Ion Trap", H. Hiura and T. Kanayama, Rev. Sci. Instrum. **72** (2001) 2893-2899.
13. "Novel Ion-Molecular Surface Reaction to Result in CH<sub>3</sub> Adsorbates on (111) Surface of Chemical Vapor Deposition Diamond from Ethane and Surface Anionic Sites", S. Komatsu, K. Okada, Y. Shimizu, and Y. Moriyoshi., J. Appl. Phys. **89** (2001) 8291-8296.
14. "Nanoparticles and Nanoballoons of Amorphous Boron Coated with Crystalline Boron Nitride", S. Komatsu, Y. Shimizu, Y. Moriyoshi, K. Okada, and M. Mitomo, Appl. Phys. Lett. **79** (2001) 188-190.

課題番号 H13/B09

## 生体内情報通信システム研究会

### [1] 組織

代表者：阿部健一（東北大学 大学院工学研究科）

責任者：

吉澤 誠（東北大学情報シナジーセンター）

分担者：

越地 耕二（東京理科大学 理工学部）

齊藤 制海（千葉大学 工学部）

三田村好矩（北海道大学 大学院工学研究科）

岡本 英治（北海道東海大学 大学院理工学研究科）

吉澤 誠（東北大学情報シナジーセンター）

山口 正洋（東北大学 電気通信研究所）

荒井 賢一（東北大学 電気通信研究所）

研究費：校費0円、旅費：173,000円

### [2] 研究経過

近年のマイクロプロセッサ技術の発達により、生体内で働く人工的な機器であるペースメーカー、人工臓器、生体内マイクロマシン、外科手術用マニピュレータ等がますますインテリジェントになりつつある。これに伴い、生体内機器と外部との情報やエネルギーのやり取りを、いかに非侵襲的に、確実に、継続的に、高速・大容量に、簡単・安価に、効率良く行うかが、生体内機器の高性能化への鍵となっている。本研究会はこの問題に関する最新の研究成果の発表と情報交換を行うことを目的とした。

上記の趣旨に従って、本年度は研究会を1回開催し、分担者相互の研究発表と情報交換を行った。

以下、本研究会の概要を記す。

#### 第1回 生体内情報通信システム研究会

主 催：東北大学電気通信研究所共同利用プロジェクト研究会（課題番号H13/B09）

共 催：東北ME談話会、計測自動制御学会東北支部、電気通信研究所システム制御研究会

日 時：2001年12月22日(土) 13:00~17:20

会 場：東北大学 大学院工学研究科 電気・通信工学専攻 電気情報館4階451・453号室

#### 1. 磁気利用医療機器の新しい研究動向

石山 和志、薮上 信、山口 正洋、荒井 賢一  
東北大学 電気通信研究所

2. 経皮コイルを用いた双方向信号伝送法に関する基礎的検討
  - 1) 五十嵐邦之, 1) 佐藤文博, 1) 松木英敏,
  - 2) 佐藤忠邦
  - 1) 東北大学大学院工学研究科, 2) (株)トーキン
3. DPSK方式を用いた経皮光情報伝送システム
  - 1) 井手暁彦, 1) 黒木 努, 1) 横田龍平,
  - 1) 越地耕二, 2) 塚原金二, 2) 土本勝也,
  - 3) 角田幸秀, 3) 翼 英介, 3) 妙中義之,
  - 3) 高野久輝
  - 1) 東京理科大学 大学院理工学研究科電気工学専攻, 2) アイシンコスモス研究所, 3) 国立循環器病センター
4. 生体表面の電磁波伝搬特性の検討
 

越地耕二, 佐藤誠二  
東京理科大学 大学院理工学研究科電気工学専攻
5. 超音波を利用した生体内医用機器への電力・情報伝送システム
 

齊藤制海, 鈴木真之介  
千葉大学 工学部 電子機械工学科
6. 体内埋込型人工心臓用経皮的情報伝送システムの改良と動物実験による評価
  - 1) 岡本英治, 1) 渡辺和也, 1) 岩澤英智, 1) 橋本琢也, 2) 井上 拓, 3) 阿部裕輔, 4) 鎮西恒雄, 3) 齊藤逸郎, 3) 井街 宏, 5) 三田村好矩
  - 1) 北海道東海大学 大学院理工学研究科 電子情報工学専攻, 2) 北海道東海大学 工学部 生物工学科, 3) 東京大学 大学院医学系研究科 生体物理医学専攻, 4) 東京大学 先端科学技術研究センター 人工生体機構分野, 5) 北海道大学 大学院工学研究科 システム情報工学専攻
7. 人工心臓システムの推定・制御・監視と情報通信
  - 1) 吉澤 誠, 2) 田中 明, 2) ポール・オレガリオ, 2) 阿部 健一, 3) 山家 智之, 3) 仁田 新一
  - 1) 東北大学 情報シナジーセンター, 2) 東北大学大学院工学研究科, 3) 東北大学 加齢医学研究所
8. Recent Progress in Vibrating Flow Pump

1) Tomoyuki Yambe, 2) Satoyuki Kawano, 3) Hiroyuki Hashimoto, 1) Shunsuke Nanka, 4) Makoto Yoshizawa, 2) Akira Tanaka, 2) Ken-ichi Abe, 2) Hidetoshi Matsuki, 5) Kou-ichi Tabayashi, 1) Shin-ichi Nitta

1) Department of Medical Engineering and Cardiology, Institute of Development, Aging and Cancer, Tohoku University, 2) Graduate School of Engineering, Tohoku University, 3) Ebara Co., 4) Information Synergy Center, Tohoku University, 5) Graduate School of Medicine, Tohoku University.

### [3] 成果

#### (3-1) 研究成果

##### (3-1-1) 磁気利用医療機器の新しい研究動向

磁気を利用することにより、エネルギーと情報をワイヤレスで伝達することができる。これを医療へ応用することにより、医療の低侵襲化のための新しい医療機器の実現が可能になると考えられる。現在、生体内でワイヤレス動作するマイクロマシン、磁気トルクを利用したガイドワイヤの能動屈曲、ワイヤレス三次元位置検出(モーションキャプチャ)、などが検討されており、本発表ではこれらについての報告がなされた。

##### (3-1-2) 経皮コイルを用いた双方向信号伝送法に関する基礎的検討

体内埋め込み型人工心臓において、体内機器を長期にわたり安全に動作させるためには、体外からの連続的な駆動電力の安定供給システムの確立が不可欠である。同時に、機器の動作状態や体内環境の計測監視、体内機器の制御信号の送信などもきわめて重要である。そこで電磁誘導を利用して経皮的に電力伝送を行う際にそれと並行して信号伝送も行えばシステムの簡素化に有効である。これに関する双方向の信号送受信について検討を行った。

##### (3-1-3) DPSK方式を用いた経皮光情報伝送システム

体内に完全埋込型人工心臓などの人工機器を埋め込んだ場合、動作状態を監視・制御するために、体外から体内、体内から体外の双方向の経皮的な情報伝送システムが必要となる。本発表では、EMIの観点から優れている赤外領域の光を用いたDPSK方式の経皮光情報伝送システムの研究・開発について報告された。

##### (3-1-4) 生体表面の電磁波伝搬特性の検討

近年の電子実装技術の急速な進歩にともない、めがね型ディスプレイ装置、腕時計型のコンピュ

ータなどのWearable systemが実現しつつある。Wearable systemの装着性・自由度を高めるためには各デバイス間のワイヤレス通信は必須であり、そのためには生体内外間および表面に沿う電磁波伝搬特性を明らかにする必要がある。本発表では、生体表面(腕モデル)に沿う電磁波伝搬特性をTLM法により数値解析し検討を行った結果が紹介された。

##### (3-1-5) 超音波を利用した生体内医用機器への電力・情報伝送システム

超音波によってペースメーカーなどの生体内医療機器へエネルギーと情報を伝達したり、情報を受信するシステムの開発を行った。本システムは体内側におけるエネルギー消費を最小にするためにエコーバック方式を採用している。本システムでは、体内2次電池(NiCd, 2.4V, 1.0Ah)の充電を10時間で完了でき、体内外間の通信では9.5kbps以上の通信速度を達成することができた。

##### (3-1-6) 体内埋込型人工心臓用経皮的情報伝送システムの改良と動物実験による評価

電磁誘導を利用して経皮的情報伝送システムを開発した。本システムの特徴は、消費電力が少なく(13mW)、情報伝送可能距離が長く(7cm)、情報通信速度が速い(100kbps)ことであり、経皮的エネルギー伝送システムからの影響を受けないことが確認された。また、CAD/CAM技術により、ユニットの小型化と装着性の向上が実現した。

##### (3-1-7) 人工心臓システムの推定・制御・監視と情報通信

人工心臓を完全に体内に埋め込むためには、人工心臓の駆動、制御、監視に不可欠である経皮的エネルギー・情報伝送システムが必要である。さらに、在宅の人工心臓装着患者のモニタリングにとってはインターネット等を利用して遠隔監視システムも必要となってくる。本研究では人工心臓システムの推定・制御・監視と情報通信に関する従来の研究を調査し、将来あるべきシステムの予測を行った。

##### (3-1-8) 人工心臓用振動流ポンプの改良

振動流ポンプは、小型で任意の周波数の振動流を作り出す血液ポンプとして注目されている。本年度では、振動流ポンプの経皮的エネルギー伝送システムの改良とともに、従来のソレノイド駆動方式とは異なるクラシクシャフト方式でモータ駆動される超小型の振動流ポンプを開発し、その性能評価を行なった。その結果、従来のものに比較して1.5kgの重量軽減が達成できた。また、振動流ポンプによる補助循環時の心拍数変動解析により、

補助循環の有無でそのゆらぎ成分に有意な変化を認めた。この解析法は今後の補助循環の評価法として有効である可能性がある。

### (3-2) 波及効果と発展性

生体内エネルギー・情報伝送システムの基本方式は多様であり、皮膚を非侵襲的に貫通する媒体である電波、電磁誘導、光、超音波等が利用される。各媒体にはそれぞれ実用上の長所・欠点があり、用途によって媒体を使い分ける必要があることが今回の研究会により改めて明らかとなった。将来、生体内に埋め込んで使用するマイクロチップや高機能の人工臓器等の開発が進むことが予測されるため、小型・大容量・高効率の生体内エネルギー・情報伝送システムの役割が重要となりつつある。本システムの開発には、今後も本研究会を通じた横断的な情報交換が不可欠であると考えられる。

## [4] 成果資料

- (1) 井手暁彦、黒木 努、越地耕二、土本勝也、塙原 金次、角田幸秀、巽 英介、妙中義之、高野 久輝：完全埋込型人工心臓用経皮光情報伝送システム—DPSK予変調方式を用いた通信システムのin vivo評価—、電子情報通信学会、D-7-19 (2002)
- (2) 黒木 努、井手暁彦、越地耕二、土本勝也、塙原 金次、角田幸秀、巽 英介、妙中義之、高野 久輝：完全埋込型人工心臓用経皮光情報伝送システム—矩形波の搬送波を用いたDPSK方式の評価・検討—、電子情報通信学会、D-7-18 (2002)
- (3) 越地耕二、佐藤誠二：生体表面の電磁波伝搬特性の解析、平成13年度東京理科大学ハイテクリサーチセンター計算科学フロンティア研究センター研究成果報告書、159-164 (2002)
- (4) E. Okamoto, E. Iawasawa, S. Suzuki, S. Fukuoka, Y. Mitamura: Feasibility of a remote monitoring system for patients with a implantable left ventricular assist device using personal handy-phone system, J. of Artificial Organs 4(3): 172-179 (2001)
- (5) 岡本英治、三田村好矩：人工臓器における移動体通信技術の活用、BME, 5(4):32-39(2001)
- (6) T. Yambe, N. Owada, S. Kobayashi, S. Nanka, A. Tanaka, M. Yoshizawa, K. Abe, K. Tabayashi, H. Takeda, H. Hashimoto, S. Nitta: Treatment of the multiple oregam failure by the use of the totally implantable ventricular assist device, J Artif Organs 4: 252-256 (2001)
- (7) T. Yambe, S. Nanka, A. Tanaka, H. Hashimoto, M. Yoshizawa, K. Tabayashi, H. Takeda, S. Nitta: Autonomic nerve function with an artificial heart and ventricular assist device. J Artif Organs 4: 83-87 (2001)
- (8) M. Yoshizawa, T. Sato, A. Tanaka, K. Abe, H. Takeda, T. Yambe, S. Nitta, Y. Nose: Sensor-less estimation of pressure head and flow of a continuous-flow artificial heart: Journal of Congestive Heart Failure and Circulatory Support, 1(4): 259-262 (2001)
- (9) 吉澤 誠、田中 明、阿部 健一、竹田 宏、山家 智之、仁田 新一：IT革命が加速する人工臓器の計測・制御・通信の未来、BME, 15(4): 16-22 (2001)
- (10) 鈴木、木村、片根、早乙女、斎藤、小林：超音波による体内医療機器への電力および双方向情報伝送の開発、第22回超音波エレクトロニクスの基礎と応用に関するシンポジウム (USE2001), P 1-52 (2001)
- (11) 木村、鈴木、片根、斎藤、小林：超音波による体内医療機器への双方向情報伝送の大容量化に関する研究、電子情報通信学会、A-1-8, 2002年総合大会 (2002)
- (12) 仙道雅彦、山崎彩、石山和志、井上光輝、早瀬敏幸、荒井賢一、：極低レイノルズ数における磁気マイクロマシンの泳動、日本応用磁気学会誌, 25: 1223-1226 (2001).
- (13) K. Ishiyama, M. Sendoh, A. Yamazaki and K.I. Arai: Swimming micro-machine driven by magnetic torque, Sensors and Actuators A: Physical, 91(1-2): 141-144 (2001)
- (14) K. Ishiyama, M. Sendoh, A. Yamazaki, M. Inoue, K. I. Arai: Swimming of magnetic micro-machines under a very wide-range of reynolds number conditions, IEEE Trans. Magnetics, 37(4): 2868-2870 (2001)
- (15) M. Takahashi, K. Watanabe, F. Sato, H. Matsuki: Signal transmission system for high frequency magnetic telemetry for an artificial heart, IEEE Trans. Magn., 37(4): 2921-2924 (2001)
- (16) T. Sato, F. Sato, H. Matsuki, T. Sato: New functional electrical system using magnetic coils for power transmission and control signal detection, IEEE Trans. Magn., 37(4) : 2925-2928 (2001)

## 第 6 章 シンポジウム

## 6.1 通研国際シンポジウム

### 証明と計算における書き換え技法

International Workshop on Rewriting in Proof and Computation

**主催** 東北大学電気通信研究所

**後援** (財)電気通信工学振興会, (財)仙台コンベンション

**開催期間と会場** 2001年10月25日～27日 仙台・五橋会館

#### 主たる講演者

Mariangiola Dezani-Ciancaglini (Torino, Italy)

Kokichi Futatsugi (JAIST, Japan), Ryu Hasegawa (Tokyo, Japan)

Susumu Hayashi (Kobe, Japan), Jean-Pierre Jouannaud (Paris-Sud, France)

Yuji Kobayashi (Toho, Japan), Robert Nieuwenhuis (Catalonia, Spain)

Michio Oyamaguchi (Mie, Japan), Sophie Tison (Lille, France)

#### シンポジウムの概要

項書き換えシステム, ラムダ計算, 高階書き換えシステム, 文字列書き換えシステム, 合流性, 停止性, 計算戦略, 定理自動証明, 並行システム, 計算の理論など, さまざまな構造を対象にした書き換え技法の研究は, 計算機科学の中で近年もっとも活発な研究分野のひとつである。本国際シンポジウムは, 関連分野の国内外の第一線の研究者を招聘して研究成果発表と討論を行うことにより, 計算機科学の中に多様な形で現れる書き換え技法の基礎理論およびその応用技術の一層の発展を促すこととして開催された。とくに, 記号処理に関連した計算システム, および, 論理構造に関連した証明システム, という二つの側面からの研究報告・討論を行い, これらを統合することにより, 書き換え技法に基づく新しい計算理論の枠組の確立を目指した。講演内容は, 書き換えに基づく推論システム, 多重書き換えによるプロトコル解析, 書き換え型言語による実時間検証, 書き換え戦略, ラムダ計算のモデル, リダクション戦略, 合流条件, 語の問題, 高階システム, 証明ダイアグラム, 定理自動証明, 木オートマトンなど基礎理論から応用までの広い分野にわたっていた。現在, 我国の書き換え技法の研究は世界のトップレベルにあり, 基礎から応用までの広い範囲で先駆的な研究が活発に進められている。この中において, 書き換え技法にとどまらず, 数理論理学, 自動証明, プログラミング言語などの関連分野の研究者が多数参加し, 記号処理に関連した計算システム, および論理構造に関連した証明システム, という二つの側面から研究成果を発表し, 国際的な情報交換ができたことは, 本国際シンポジウムの大きな成果である。

#### シンポジウムの構成

論文21件 (外国人招待講演4件, 国内招待講演5件, 一般講演12件)

**参加国および参加人数**

日本, フランス, イタリア, スペイン, オランダ, アメリカ

海外参加者			国内参加者			合計
招待者	一般参加者	計	招待者	一般参加者	計	
4人	6人	10人	5人	55人	60人	70人

海外からの研究者10名を含む70名の参加でした。

## 非線形理論とその応用

Nonlinear Theory and its application

**主催** 東北大学電気通信研究所

**共催** 電気情報通信学会

**開催期間と会場** 平成13年11月28日から12月1日（5日間）宮城蔵王ロイヤルホテル

### 主たる講演者

Y. Sawada(Tohoku Inst. Tech.), W. Schwarz(Dresden Univ. of Tech.),  
 S. M. Rump(Tech. Univ. Hamburg-Harburg), S. Amari(RIKEN),  
 H. Hayashi(Kyoshu Inst. of Tech.), L. E. Keshet(UBC),  
 A. L. Barabasi(Univ. of Notre Dame.), H. Takayasu(Sony CSL)

### シンポジウムの概要

本シンポジウムは電子情報通信学会のサブソサイアティである NOLTA の一貫として行うものであり, Chaos&Bifurcation, Chaotic Neural Network, Circuits&Systems, Oscillation, Cellular Neural Network, Self-Validating Numerics, Learning & Memory, Modeling&Simulation, Communication, Prediction&Identification, Large-Scale Networks, Chua's Circuits, Image&Signal Processing, Analog&Digital ICs, Control, Neuro Dynamics, Distributed Networks, Complex Systems, Evolutionary Computation, Power Systems, Fractals, Optimization, Fuzzy, Applied Mathematics, Biocybernetics 等に渡る広範囲のテーマについて世界の第1人者の研究者がその成果を持ち寄り発表することにより, 広く議論してこれらの分野のブレークスルーを目指すものであり, その歴史は10数年に及ぶ。今年度は東北大学電気通信研究所の国際シンポジウム, 及び共同プロジェクト研究会との共催で行われ, 工学のみならず物理・生物・数学といった多岐に渡

る招待講演者の発表、および5つの特別セッションと26の一般セッションが行われ、発表件数も170件を越えた。

本シンポジウムの成果としまして、狭い分野にとらわれずに非線形問題全般についての活発な議論がなされ、この分野の世界的な発展に寄与出来たものと考える。

### シンポジウムの構成

論文数178件（海外招待者講演4件、国招待招待者講演4件）

### 参加国および参加者数

日本、アメリカ、カナダ、イギリス、イタリア、中国、ドイツ、スウェーデン他15カ国

海外参加者			国内参加者			合計
招待者	一般参加者	計	招待者	一般参加者	計	
4人	41人	45人	4人	184人	188人	233人

## 6.2 國際會議等の開催状況

### 第1回 東アジア超伝導エレクトロニクスシンポジウム

First East Asia Symposium on Superconductive Electronics (EASSE 2001)

(山下 努)

開催日：2001年11月26日（月）～11月28日（水）

開催場所：東北大学青葉記念会館

#### シンポジウム概要

第1回 東アジア超伝導エレクトロニクスシンポジウムは、日本、中国、韓国、シンガポール、インド、ロシア、ウクライナ、ドイツ等の国々から108名の研究者が出席し、開催された。

発表論文数は61件（ポスター21件含む）。日本以外の東アジア諸国・地域でも、特に中国、韓国などの超伝導エレクトロニクスの研究レベルは、近年目覚ましい成長が見られた。また、会場では、参加研究者による活発な意見交換及び情報交換がなされた。

シンポジウムの主な内容は以下の通りである。

- (1) 超伝導デジタルデバイス及びそのシステム（発表：4件）
- (2) 超伝導量子干渉デバイス及びそのシステム（発表：5件）
- (3) 超伝導高周波デバイス及びそのシステム（発表：21件）
- (4) 超伝導材料及び接合（発表：10件）
- (5) 電圧標準（発表：4件）
- (6) 新しい超伝導デバイスとその物理（発表：15件）
- (7) 冷凍機等

Proceedingsは査読を経て、2002年中旬シンガポール物理雑誌(SJP)に発表される予定。

尚、次回シンポジウムは、2003年11月12 - 14日、台北で開催される。

## 6.3 工学研究会

東北大学電気通信研究所、東北大学大学院工学研究科と情報科学研究科および関係ある学内外の研究者、技術者が相互に連絡・協力し合うことによって、学問的・技術的問題を解決し、研究開発を促進することを目的として工学研究会が設置されている。そのため、専門の分野に応じて次のような分科会を設けて、学術的および技術的な諸問題について発表・討論を行っている。発表された研究の一部は東北大学電気通信談話会記録に抄録されている。

	研究会名	主査	幹事	備考
1	伝送工学研究会	澤谷教授	陳（強）助教授	
2	音響工学研究会	鈴木教授	西村助手 鈴木（基）助手	
3	仙台「プラズマフォーラム」 (旧名称 プラズマ研究会)	犬竹教授	畠山教授	
4	EMC仙台ゼミナール	根元教授	曾根教授	
5	コンピュータサイエンス研究会	外山教授	周助教授	
6	システム制御研究会	阿部教授	吉澤教授	
7	電子ビーム工学研究会 (旧名称 大電力マイクロ波ミリ波研究会)	横尾教授	佐藤（信）助手	
8	分子デバイス工学研究会 (旧名称 放射光工学研究会)	庭野教授	木村助手	
9	テラヘルツ工学研究会 (旧名称 ミリ波デバイスと半導体プロセス技術研究会)	水野教授	蒼戸助教授	
10	スピニクス研究会 (旧名称 磁気工学研究会)	村岡教授	山口（正）助教授 佐藤（文）助手	
11	表面・界面工学研究会	潮田教授	上原助教授	
12	超伝導工学研究会	山下教授	陳（健）助教授 中島（健）助教授	
13	超高密度・高速知能システム工学研究会	潮田教授		
14	ニューパラダイムコンピューティング研究会	亀山教授	青木助教授	
15	超音波エレクトロニクス研究会	櫛引教授	小田川助手 高長助手	
16	情報・数物研究会	海老澤教授	林講師	
17	インテリジェントマルチメディア 電子システム・デバイス研究会	大見教授	坪内教授	
18	ブレイン機能集積工学研究会	中島教授	佐藤（茂）助手	
19	生体・生命工学研究会	山本教授	中尾助教授	

## 伝送工学研究会

主査 澤谷邦男, 幹事 陳強

伝送工学研究会は、最も長い歴史をもつ研究会であり、平成14年3月の時点で450回を数えている。本研究会は、電波から光波にわたる電磁波を用いた有線・無線伝送に関する基礎・応用研究の発表と討論を目的としており、放射・伝搬・伝送およびこれらに用いるデバイスや方式などの研究報告と招待講演を行ってきた。

本年度は、以下に示すように、学内から32件、学外から11件の発表論文が寄せられ、活発な討論が行われた。また、6件の学術講演会が開催され、それぞれ最新の研究動向と成果が発表された。

## 音響工学研究会

主査 鈴木陽一, 幹事 西村竜一, 鈴木基之

音響工学研究会は、音波、固体振動、超音波などの弾性波を対象とする研究の成果を発表し、討論や意見交換をする場として、1950年頃に発足した研究会である。関連する分野は、電気音響、聴覚・心理音響、建築音響、騒音制御、ディジタル補聴器、音声分析・合成、音声認識・理解、音環境工学など、多岐にわたっている。

2001年度は、主査鈴木陽一教授、幹事西村竜一助手、鈴木基之助手のもとで、研究会6回(第312回～第317回)と通研講演会1回が開催された。会場は、第313回が東北大学工学部電気情報館451・453会議室であり、その他は全て東北大学電気通信研究所大会議室で行われた。なお、第313回は超音波エレクトロニクス研究会と合同で開催され、第316回は電子情報通信学会HIP研究会との共催で開催された。

第312回音響工学研究会は、2001年5月30日(水)に開催され、研究発表2件、参加者は33名であった。第313回音響工学研究会は、2001年7月19日(木)に開催され、研究発表6件、参加者は41名であった。第314回音響工学研究会は、2001年11月1日(木)に開催され、研究発表3件、参加者は30名であった。第315回音響工学研究会は、2001年12月13日(木)に開催され、研究発表3件、参加者は28名であった。第316回音響工学研究会は、2001年12月17日(月), 18日(火)に開催され、研究発表21件、参加者は74名であった。第317回音響工学研究会は、2002年2月13日(水)に開催され、研究発表2件、参加者は30名であった。通研講演会は、2001年11月21日(水)に開催され、田静(Tian Jian)教授(中国科学院声学研究所)による，“Some progress in active noise and vibration control”という題の講演が行われた。参加者は、29名であった。

## 仙台“プラズマフォーラム”

主査 犬竹正明, 幹事 嶋山力三

本研究会は、プラズマ、放電、核融合、その他プラズマ応用の最新の研究成果に関する、特別講演及び特別企画を開催するとともに、活発な研究討論と研究発表を行うことを目的としている。以下に平成13年度の活動概要を示す。

学部学生を中心とする、既刊論文に基づいたプラズマ生成、閉じ込め、加熱、計測及びプラズマ応用に関する「研究討論会」を4回開催。大学院及びスタッフを中心とするプラズマの巨視的不安定現象及び波動伝播、高速プラズマ流の生成や加速、加熱現象、微粒子プラズマの挙動制御、高周波放電プラズマの生成、イオン源の開発などの「研究発表会」を3回開催。

国内、国外研究者による、大気圧プラズマ生成と応用、プラズマ中分岐現象、ダストプラズマの構造形成、プラズマ波動現象に関する「特別講演会」を4回開催。その他、国内研究者による新領域プラズマ、プラズマ中のフラー・レン・微粒子、大気圧プラズマ放電、プラズマ加速などの基礎と応用に関する「研究発表」を4回開催。以上において、参加者は常時50名前後であった。

## EMC仙台ゼミナール

主査 根元義章, 幹事 曽根秀昭

EMC（環境電磁工学）は、電磁ノイズと信号の電磁干渉（EMI）や電磁界の生体効果などの電磁環境問題を扱う分野である。今日では、電気工学分野の研究者と技術者は、なんらかの形でEMC問題に関わらざるを得ない。この問題がわが国で知られるようになって間もなく、1977年2月に、EMCにいかに取り組むべきであるかを調査し、学問として体系化する目的で、「EMC仙台ゼミナール」が発足した。この活動は、誰もやらない研究と取り組む東北大学の学風によるものであると言え、世界にEMC研究の方向を示し実践してきた。また、ここで討論された先進的な研究の成果はわが国や世界のEMC研究の牽引力の役目を果たしている。たとえば、電磁界環境の定量的測定、ノイズ源のモデル化と耐ノイズ性試験法、耐ノイズ性信号伝送システムなどについて、独創的研究成果をこの研究会から世に送り出してきた。

平成12年度には、第163回（6月25日）、第164回（9月26日）、第165回（11月14日）、第166回（12月19日）の4回の研究会を開催し、2件の特別講演「Arcing Phenomena and Subsequent Erosion of Electrical Contact for the Future 42V Automobile Battery（今後の42V自動車電源における電気接点のアーク放電現象とそれに伴う消耗）」（Nourredine BEN JEMAA先生）と「Electromagnetic Compatibility in High-Speed Digital Systems」（James L. Drewniak）を含む、7件の講演・研究発表があった。研究発表の主な話題は、近傍電磁界の測定法、生体電磁環境問題、電磁界センサ、アンテナの校正、電気接点のアーク放電現象の分析などである。

## コンピュータサイエンス研究会

主査 外山 芳人 幹事 周 晓

コンピュータサイエンス研究会は、国内外で活躍する研究者を講師に招き、コンピュータサイエンスにおける最新の研究成果、話題について講演会を開催し、通研および電気・情報系に所属する研究室間の学問の交流を図ることを目的としている。2001年度は、4月17日の第94回講演会から3月20日の第96回講演会まで3回の講演会を開催した。

まず、グラフアルゴリズムに関して、高見沢一彦博士（日本電気）による講演では、VLSIレイアウト設計の現状と課題について紹介された。

ソフトウェアの基礎に関して、Herman Geuvers 教授（ナイメヘン大学、オランダ）は、人間の定理証明を補助する定理自動システムの形式的枠組みとしてインタラクティブ論理を紹介した。ホールに部分証明を入れると全体が完成する未完成な証明を、ホールのある項として形式化する。このとき、証明過程の状況を文脈、証明の戦略を文脈の変換として説明できることが示された。

データマイニング (Data Mining) は、データベースに蓄積された大量のデータから、自明でない規則性をとりだす方法についての研究であり、1990年代初頭から、ビジネス分野や自然科学分野で活発に研究されている。有村博紀 助教授（九州大学）は、データマイニングはデータベースからの知識獲得であるという立場から、彼らのグループで研究を進めているテキストデータと半構造データを対象としたデータマイニングについて紹介した。

本研究会は、以上のように第一線で活躍する研究者による最新の研究成果の講演をもとに、活発な討論と意見交換がなされ、有意義な学問交流の場を提供した。

## システム制御研究会

主査 阿部健一、幹事 田中 明

本研究会は、システム制御における、理論から応用にわたる広範な最新の研究動向について討議することを目的としている。本年度の活動は下記の通りである。1) Dept. of Chemical Engineering, Obafemi Awolowo University, Nigeria, Prof. O. Taiwo (題目: The Computation of Higher IMN Constants and Application to the Accurate Determination of the Numerical Laplace Inversion), 2) 東京大学大学院工学系研究科電気工学専攻 横山明彦教授 (演題: 競争環境下における電力システムの技術的課題, 主催: 先端電力工学(東北電力)寄附講座, 共催: 電気学会東北支部, システム制御研究会), 3) 先端電力工学(寄附講座)シンポジウム(浦野公男氏(東北電力)による「NAS電池の制御方式」のほか, 5件の研究発表と八戸工業大学 松坂知行教授と東北学院大学 皆川 保教授による2件の特別講演, 主催: 先端電力工学(東北電力)寄附講座, 共催: 電気学会東北支部), 4) (通研講演会) 大阪大学大学院工学研究科電子情報エネルギー工学専攻 谷野哲三教授 (演題: 協力ゲームにおけるプレイヤーの貢献度に基づく解とその応用), 5) 生体内情報通信システム研究会(東北大学 石山和志氏による「磁気利用医療機器の新しい研究動向」のほか, 7件の研究発表, 主催: 東北大学電気通信研究所共同利用プロジェクト研究会(課題番号H13/B09)), 共催: 東北ME談話会, 計測自動制御学会東北支部)。

また、共催で、研究集会(計測自動制御学会東北支部第206回研究集会)を行った。この研究集会では、13件の研究発表と1件の特別講演があった。

## 電子ビーム工学研究会

主査 横尾邦義, 幹事 佐藤信之

本研究会は、近年における核融合プラズマの加熱及び計測、セラミック材料のマイクロ波を用いた焼結など、基礎科学分野から工業分野にわたる広い方面でのミリ波～サブミリ波領域の大出力電磁波源の開発要求をうけて、大出力マイクロ波・ミリ波源を中心とした基礎的、技術的諸問題を探り上げ、議論を重ねることを目的として1987年に「大電力マイクロ波・ミリ波研究会」として設立された。その後、多方面での電子ビームの生成、制御及び応用技術の研究の必要性をうけて、1995年に名称を「電子ビーム工学研究会」と改め、最近の極微細冷陰極の研究開発の進展や、これに伴う真空マイクロエレクトロニクスといった新たな研究分野も視野に入れて研究会の活動を行ってきた。平成13年度においては、大出力のミリ波源の開発とプラズマ加熱及び計測への応用、電界電子放射ビーム源の基礎物性等に関して、核融合科学研究所共同研究「ミリ波プラズマ応用技術」と共催で研究会を開催した。以下に平成13年度に開催された研究会で発表、討議されたテーマを記す。

- ECRHのためのハイパワーミリ波伝送系
- アルカリ金属、アルカリ土類金属吸着表面および希土類多ホウ化物、酸化チタン表面の構造及び電子状態
- 窒素添加ダイヤモンドからの電子放出 ○窒化ホウ素からの電子放出とその応用
- 遷移金属窒化物の微視的仕事関数分布計測
- Electron emission from a crystalline diamond layer

## 分子デバイス工学研究会

主査 庭野道夫, 幹事 木村康男

半導体素子製造技術は、 $0.1\mu\text{m}$ 以下の微細化が実現されるようになり、21世紀は、量子効果を利用した新原理のデバイス・回路の考案と、その実現のための新プロセスの開発が必要である。特に、分子のスケールまで加工寸法が小さくなってくると、これまでのような固体を加工するのではなく、分子から出発したデバイスの開発が必要不可欠である。このような状況を考慮して、本研究会では、分子ナノ構造デバイスの構築を目標に、新しい分子ナノ構造製造プロセスの開発と分子ナノ構造体の物性評価、また、ナノ構造を利用したデバイスの設計について、電子工学、物質工学、分子科学等の幅広い研究分野の研究者の英知を結集して、討論することを目標とする。本年度は、研究会を5回開催し、川合知二氏の通研講演会を開催した。講演会の題目は以下のとおりである。

[第1回]□「機能性有機材料と金属の界面の電子構造と構造」石井久夫（名古屋大院理） [第2回] 電気通信研究所共同プロジェクト研究「サブサーフェイス制御知能プラズマプロセスに関する研究」研究会と共に【特別講演】「プラズマ利用のフラー・レンベース新規ナノ構造創成」畠山力三（東北大院工） [第3回] 電気通信研究所共同プロジェクト研究B-04「ナノ構造の形成と物性機能に関する研究」研究会と共に【特別講演（通研講演会）】「DNAエレクトロニクスに向けた表面ナノ構造の創製」川合知二（大阪大学 産業科学研究所） [第4回] 【特別講演】「シリコン量子分子デバイスを目指して」岩崎裕（大阪大学産業科学研究所） [第4回] 【研究発表】「半導体表面を用いた分子認識」木村康男、渡辺隼人、宮本浩一郎、庭野道夫（東北大・通研）【特別講演】「有機固体最外層の観測」原田 義也（聖徳大学）

# テラヘルツ工学研究会

主査 水野皓司, 幹事 茂戸立夫

本研究会は、テラヘルツ領域の技術開発を目的として設置されたもので、実用的な技術開発のガイドを得るための講演会及び研究をさらに押し進めるための議論の場としての研究会の二種類を開催しており、これまで通算63回の研究会を行った。以下に全体のまとめを記す。

テラヘルツ（サブミリ波）領域の技術は、長年その開発の必要性が言われてきている。しかし、今までこの領域の技術は、あまりにもその未開拓であることが強調され過ぎ、その為この領域の技術開発に甘えがあったように思う。むしろ、光と電波（マイクロ波）の両領域の中間に位置するこのスペクトルには、それら両領域からの延長として様々な多くの技術が存在しており、各種技術は1970年代に核融合プラズマの研究に刺激されて大きく進歩した。新材料の評価・分析、分光学、超高密度プラズマの測定等、従来からの応用分野に対しては、既存の技術でほぼその要求を満足し得るよう思われる。

通信分野への応用を考えると、その技術への要求は格段に厳しいものとなる。先ずテラヘルツ波をキャリア波として用いることは、大気伝搬特性等より困難であろう。次いで、光通信技術との融合—テラヘルツ・フォトニクスとでもいうべき分野を考えると、現在のWDM方式でテラビット伝送が可能であること、また現在はテラヘルツ帯で動作する実用的な電子デバイスが存在しないことなどより、この分野への応用は、今後の社会的要請また技術開発にかかっている。ただ、ミリ波領域の技術は今後社会的に大きな要請があると考えられるが、実用的なミリ波帯デバイスを開発するために、テラヘルツ帯の技術は極めて重要である。それは、デバイスの効率を十分に高める為には、その遮断周波数はテラヘルツ帯に入っている必要があるためで、この点でテラヘルツ帯技術の開発は、大きな意義がある。

また、短ミリ波帯からテラヘルツ波帯にかけては、各種イメージング技術（セキュリティー、材料・生体計測を含む）の分野に於いて、重要な応用分野が存在し、現在技術開発が活発に行われているところである。

なお、我々が行っているテラヘルツ帯技術（検出器、光源）開発の指針は次のキーワードに要約される：常温・高速動作、コヒーレント光、cw、そして tunable であること。

## スピニクス研究会

主査 村岡裕明, 幹事 山口正洋, 佐藤文博

本年度はまず通研講演会に協賛し、6月25日にミズーリ大（米）James L. Drewniak助教授による講演会「Electromagnetic Compatibility in High-Speed Digital Systems」を行った。7月12～13日には特別研究会を松島で開催し、RF帯応用、プロービング、電力用磁気・アクチュエータ、モータ、磁気記録、磁気計測、薄膜物性等、32件を討議した。東北学院大の菊地新喜教授による特別講演も行われた。11月22日には「高密度磁気記録を支える高機能性磁性薄膜材料の設計」をテーマに、まず東芝の佐橋政司氏から、高記録密度化を牽引し続けるGMRヘッドの高性能化について最新の研究が紹介され、引き続いて日立金属の三俣千春氏から反強磁性／強磁性積層膜における交換結合バイアスの発生機構に関する研究成果が紹介された。最後に、産業総合技術研究所の及川勝成氏より、Co-Cr合金薄膜における磁気誘起二相分離についての研究が紹介された。3月1日には、新しい磁気応用のトピックスとして「モーションキャプチャシステム、位置検出システムの医療・情報入力機器への応用」を取り上げた。京都府立与謝の海病院の島田順一氏からは微小肺腫追尾手術システム、東北大学大学院工学研究科の芳賀洋一助手からはカテーテル先端の位置・姿勢検出システムが報告され、日商エレクトロニクス（株）の青野政博氏からはモーションキャプチャシステムとその応用について製品をベースに紹介があった。最後に東北大通研の藪上信助手から、永久磁石を用いた位置検出システムの医療および情報入力機器への応用が報告された。

## 表面・界面工学研究会

主査 潮田資勝, 幹事 上原洋一

ここ30年の表面科学の長足の進歩により表面界面に特有な物性現象が数多く発見されている。また、分子線エピタクシー技術を代表とする薄膜成長技術の進歩は原子層オーダーで制御された超格子のような人工物質の作製を可能にし、そこでも新しい表面界面物性の発現が観測され、その工学的な応用が活発になされている。表面界面工学研究会は表面界面でみられる興味深い物性やその応用について議論し、表面界面物性の工学的応用について研究することを目的として、毎年幾人かの研究者をお呼びし研究会を開催している。

以上のような主旨に沿って平成13年度は2名の講師をお招きし、以下の研究会を開催した。

- |            |   |
|------------|---|
| 平成14年1月30日 | 「電荷密度波における光誘起動的相転移」（宮野 健次郎・東京大学先端科学技術研究センター・教授）         |
| 平成14年3月28日 | 「軟X線励起電子分光による固体電子状態の研究」（上田茂典・理化学研究所フォトダイナミクス研究センター・研究員） |

# 超伝導工学研究会

主査 山下 努, 幹事 中島 健介, 陳 健

本研究会は、超伝導の工学応用に関して材料、デバイス、プロセス技術など幅広い分野にわたる最新の研究に関する討論と研究開発動向の調査を通して超伝導応用の推進に資することを目的にしている。平成13年度は計6回の研究会を開催した。開催日時、場所、講演件数及び講演者は下記のとおりである。

- 第41回 平成13年2月21日（水）  
東北大学電気通信研究所2号館4階大会議室 1件  
Tord Claeson (スウェーデン, チャルマース工科大学)
- 第42回 平成13年3月8日（水）  
東北大学電気通信研究所1号館4階通研講堂 1件  
N. F. Pedersen (デンマーク, デンマーク工科大学)
- 第43回 平成13年4月2日（月）  
東北大学電気通信研究所2号館4階大会議室 2件  
Bernt Seeber (スイス, ジュネーブ大学・応用物理研究所)  
Cristina Buzea (東北大・未来センター)
- 第44回 平成13年9月21日（金）  
東北大学電気通信研究所2号館4階大会議室 2件  
内藤方夫 (東北大・未来センター)  
王 華兵 (東北大・通研)
- 第45回 平成13年12月17日（月）  
東北大学電気通信研究所2号館4階大会議室 1件  
Hu-Jong Lee (東北大・未来センター)
- 第46回 平成14年2月15日（金）  
東北大学電気通信研究所1号館3階N308講義室 3件  
川江 健 (東北大・大学院工学研究科)  
Yuri Latishev (ロシア, ロシア科学アカデミー電子無線通信研究所)  
内藤方夫 (東北大・未来センター)

# 超高密度・高速知能システム工学研究会

主査 潮田資勝

本研究所では、極微細構造電子回路加工技術を発展させると共に、極微新機能電子デバイスの開発と、それらの性能を十分に活用して高度な知的処理を行い得る超高密度・高速知能システムを構築することを目的として、超高密度・高速知能システム実験施設を平成6年度に新設した。本研究会は、この施設を中心に展開して得られた成果にもとづき、広く超高密度・高速知能システムに関連した科学技術に関して十分論議することを目的としている。

平成13年度は以下の講演会を実施した。なお回数は本研究会発足よりの通し番号である。

第28回 平成13年1月26日

「半導体量子ドットの電子スピンを用いた量子コンピューティングの可能性」  
武藤 俊一 先生 (北海道大学)

第29回 平成13年7月2日

1 「シリコン表面の酸化および窒化過程と局所信頼性評価」  
財満 鎮明 先生 (名古屋大学先端技術共同研究センター)  
2 「アナ・デジ混載LSI設計」  
松澤 昭 氏 (松下電器産業(株) 半導体社開発本部)

第30回 平成13年11月19日

「SIMS Depth Profiling of Si<sub>x</sub>Ge<sub>1-x</sub> Layers」  
Dr. Dietmar Kruger ( I H P ・ ドイツ半導体研究所／研究員)

第31回 平成13年12月13日

1 「量子暗号の基礎と展望」  
2 「量子コンピュータの基礎と展望」  
中村 和夫氏 (NEC基礎研究所)

第32回 平成14年3月25日

「Optical detection of electron spin resonance in type-I CdTe-based quantum wells with two dimensional electron gas」  
Dr. C.Y. Hu (中国科学院半導体研究所)

## ニューパラダイムコンピューティング研究会

主査 亀山充隆, 幹事 青木孝文

本研究会は、従来の延長上にない新しいパラダイムに基づくコンピューティングシステムに関する研究を推進することを目的としており、平成13年度は以下の5回を開催した。

- 第27回 平成13年9月14日（金） 東北大学工学部青葉記念会館  
平成13年度情報処理工学セミナーと共催 ポスターセッション35件。
- 第28回 平成13年10月30日（火） 東北大学工学部電気情報館 招待講演  
演題： 「閉ループ学習に基づく音声合成技術」  
講演者： 赤嶺政巳 ((株)東芝研究開発センター)
- 第29回 平成13年12月14日（金） 東北大学工学部電気情報館 通研講演会  
演題： 「くし形フィルタに基づいた採譜システムの提案」  
講演者： 田所嘉昭（豊橋技術科学大学情報工学系）
- 第30回 平成14年1月29日（火） 東北大学情報科学研究科新棟 招待講演  
演題： 「IT分野の科学技術政策と大学」  
講演者： 羽生貴弘（東北大学大学院情報科学研究科）
- 第31回 平成14年3月15日（金） 東北大学工学部電気情報館 招待講演  
演題： 「次世代インターネット・マルチメディアの展望」  
講演者： 太田直久氏（ソニー株式会社）

# 超音波エレクトロニクス研究会

主査 櫛引淳一, 幹事 小田川裕之 (~31回), 高長和泉 (~31回), 荒川元孝 (32回~)

## 第30回

日 時：平成13年6月7日（木）15:00～17:00

会 場：東北大学工学部電気・情報系451・453会議室

演 題：

1. 「LiTaO<sub>3</sub>回転Y板を用いた短冊状エネルギー閉じ込め振動ジャイロ」  
阿部孝司, 中村僖良 (東北大学大学院工学研究科)
2. 「VHF帯における石英系ガラスの超音波スペクトロスコピー」  
岡部亮一, 荒川元孝, 櫛引淳一 (東北大学大学院工学研究科)
3. 「走査型非線形誘電率顕微鏡を用いた強誘電分極の3次元ベクトル計測用プローブの開発」  
小田川裕之, 長 康雄 (東北大学電気通信研究所)
4. 「3次元音場の模擬による動脈壁厚変化計測の精度検討」  
渡辺 優, 金井 浩 (東北大学大学院工学研究科)

## 第31回

日 時：平成13年7月19日（木）13:30～16:45

会 場：東北大学工学部電気・情報系451・453会議室

演 題：

1. 「高次非線形誘電率顕微法を用いた強誘電体表面に関する基礎的研究」  
大原鉱也, 長 康雄 (東北大学電気通信研究所)
2. 「LFB/PW超音波材料解析システムによる天然水晶と人工水晶の音響特性の比較」  
太田川真則, 高長和泉, 櫛引淳一 (東北大学大学院工学研究科)
3. 「最小二乗法による動脈壁の微小厚み変化の高精度計測法」  
長谷川英之, 金井 浩 (東北大学大学院工学研究科), 小岩喜郎 (東北大学大学院医学系研究科)
4. 「bigramを出力確率とするHMMによる言語モデルの検討」  
長野 雄 (東北大学大学院情報科学研究科), 鈴木基之 (東北大学大学院情報科学研究科／東北大学情報シナジーセンター), 牧野正三 (東北大学大学院工学研究科)
5. 「特徴ベクトルを分割したVFS話者適応の検討」  
大河雄一 (東北大学大学院情報科学研究科), 鈴木基之 (東北大学大学院情報科学研究科／東北大学情報シナジーセンター), 牧野正三 (東北大学大学院工学研究科)
6. 「fMRIを用いた聴覚探索時の脳活動に関する一考察」  
阿瀬見典昭 (東北大学大学院情報科学研究科／東北大学電気通信研究所), 杉田陽一 (産業技術総合研究所), 鈴木陽一 (東北大学大学院情報科学研究科／東北大学電気通信研究所)

### 第32回

日 時： 平成13年11月15日（木） 13:00～15:00  
会 場： 東北大学工学部電気・情報系451・453会議室  
演 題：

1. 「複合圧電材料の励振電界傾斜化とその無回折ビームトランステューサへの応用」  
大久保篤徳，山田 順，中村僖良（東北大学大学院工学研究科）
2. 「円筒を伝搬するGuided waveの特性と応用」  
西野 秀郎（東北大学大学院工学研究科）
3. 「動脈壁の厚み方向の振動伝搬評価を目指した壁振動の層状計測と解析」  
砂川和宏，金井 浩（東北大学大学院工学研究科），小岩喜郎（東北大学大学院医学系研究科），田中元直（(財)結核予防会 宮城県支部）

### 第33回／通研講演会

日 時： 平成13年12月13日（木） 10:00～14:30  
会 場： 東北大学工学部青葉記念会館 401研修室  
演 題：

1. 「カンチレバーを用いた走査型非線形誘電率顕微鏡による誘電率定量計測」  
大原鉄也，長 康雄（東北大学電気通信研究所）
2. 「分極反転層を利用したハーモニックイメージング用超音波トランステューサ」  
深沢健太郎，中村僖良，山田 順（東北大学大学院工学研究科），斎藤繁実（東海大学海洋学部）
3. 「心臓壁からの超音波後方散乱信号の変動周波数と心臓壁局所厚み変化速度の関係」  
勝又慎一，金井 浩（東北大学大学院工学研究科），本田英行（東北文化学園大学 医療福祉学部），小岩喜郎（東北大学大学院医学系研究科），田中元直（(財)結核予防会 宮城県支部）
4. 「高解像度動脈壁弾性率断層像の算出に関する検討」  
渡辺 優，長谷川英之，金井 浩（東北大学大学院工学研究科），小岩喜郎（東北大学大学院医学系研究科）
5. 通研講演会

講 師：千葉大学工学部電子機械工学科 橋本 研也 先生

演 題：弾性表面波デバイス用シミュレーション技術

## 情報・数物研究会

主査 海老澤丕道，幹事 林 正彦

情報・数物研究会は、情報科学の問題やスピン系の統計物理学的研究と超伝導やメソスコピック系の問題の物性理論的研究に関して、広く学内外で活躍している研究者を講師として招き、最近の研究成果や話題についての講演会を開催し、学問の交流を図ることを目的としている。

本年度は、工学部管理棟316号室において計14回の講演会を開催した。講師（敬称略）および講演題目は次の通りである：三浦治己（通研）“真性粘菌の情報処理—結合振動子系を用いたサイズ不变な位置情報の自律生成ー”，草部浩一（新潟大）“半金属バンド構造における強磁性と長岡定理”，北谷英嗣（長岡技大）“スピングラス研究の現状と幾つかの話題”，J.Martinek（金研）“Spin effects in ferromagnetic single-electron transistors”，青柳富誌生（京大）“脳における同期現象の役割とその神経基盤”，宮下精二（東大）“三次元6状態モデルの相転移”，中ノ勇人（NTT物性基礎研）“冗長qubitを使ったデコヒーレンス抑制方法とqubit-qubit相互作用”，小林研介（東大物性研）“低次元ナノ構造体における電子の位相とコヒーレンス，多体効果”，奈良重俊（岡山大）“神経回路網におけるカオス的記憶ダイナミックスとその機能的側面”，丹田聰（北大）“The Moebius Crystal（メビウス結晶）”，江藤幹雄（慶應大）“半導体量子ドットにおける近藤効果”，高安美佐子（はこだて未来大）“インターネットの情報流に見られる臨界ゆらぎ”，田中利幸（都立大）“CDMAマルチユーザ復調方式の解析的性能評価”。3月7日には、上村 洋氏（東京理科大）を招き，“高温超伝導の謎に迫る”の題目で通研講演会を開催した。

## インテリジェントマルチメディア電子システム・デバイス研究会

主査 大見忠弘，幹事 坪内和夫

本研究会は、自然界との柔軟なインターフェイス、高速情報通信ネットワークとの超高速インターフェイスを装備したA/V・通信融合形インテリジェントマルチメディア情報処理電子システムの実現を目指し、新しい原理に基づくデバイス・回路およびシステム技術、ソフトウェア技術、通信技術分野を網羅した研究討論会を開催することにより、各分野の研究者の英知を結集することを目的として1998年度に発足した研究会である。

4年目となる2001年度は、集積回路システム分野の第一線でご活躍の、九州大学システムLSI研究センター教授の安浦 寛人 先生をお招きし、研究会を兼ねた講演会を開催した。講演では、情報化社会の基盤をささえる基盤情報技術、特に、行政、経済、各種サービスを支える個人認証システムに関し、半導体技術により物理的に提供されるPIDチップを中心に構築される新しい個人認証システムの構想について発表があった。講演終了後、聴講者を交え、個人認証システムの実現のために必要となる集積回路技術について活発な議論が行われた。

日 時：平成14年3月16日（土） 13:00～16:00

会 場：東北大学電気通信研究所2号館4階大会議室

講演題目：社会基盤のための個人IDシステムの構想

講 演 者：安浦 寛人 九州大学システムLSI研究センター 教授

## ブレイン機能集積工学研究会

主査 中島康治, 幹事 佐藤茂雄

本研究会は生物の脳が情報処理に対して示す高度で広範囲な機能を可能な部分について人工的に集積回路として構成して、現在の電子計算機による情報処理の欠点を補い得るシステムの構築を実現するために、各方面の英知を集め議論することを目的として設立された。その対象となる機能は分散記憶、連想記憶処理、学習による機能の自律修正、最適値問題に於ける計算量の爆発の抑制、時系列情報の認識判断などであり、これらの機能をゲートレベルからの並列処理により実現することを目指した集積回路の構成を追究している。

本年度は平成12年1月29日に名古屋大学大学院工学研究科助教授・藤巻朗氏を招いて「単一磁束量子回路のネットワークコア機器への応用」と題して通研講演会を行った。超伝導体ループ中の量子化された磁束（磁束量子）の有無を2値信号の「1」「0」に対応させる单一磁束量子（SFQ）回路が注目を集めており、将来のブロードバンドネットワーク社会でのコア機器となる移動体通信基地局やハイエンドルータ、あるいはハイエンドサーバーなどが応用先として検討されている。講演では、設計・テスト技術を含めたSFQ回路の現状と将来にむけた動向について紹介して頂き、活発な討論がなされた。

## 生体・生命工学研究会

主査 山本光璋, 幹事 中尾光之

生体・生命工学研究会は平成12年9月より発足した研究会である。21世紀は現代人の生存をかけた世紀となると思われる。このような時代の要求に応えるべく、遺伝子レベルから行動学的レベルまでを見渡せる透徹した理念を、工学的な観点から確立することを目指す生体・生物・生命関連の工学研究会である。

第3回研究会は平成13年9月20日(木) (14:00-18:00) 電気・情報系103号室で開催され、東北大学生命科学研究科の八尾 寛教授の「カルシウムチャネルを介するシナプス伝達」と題する特別講演とともに5件の一般発表が行われ、活発な討論がなされた。参加者は48名であった。平成13年12月4日(火) (14:00-18:00) 電気・情報系103講義室で開催された第4回研究会では、東北大学未来科学技術共同研究センターの川島隆太教授に「イメージングによる脳機能の時空間パターン表現の研究」と題してご講演頂くとともに、6件の一般講演が行われ、活発な討論が行われた。参加者は36名であった。第5回研究会は平成14年2月25日(月) (11:00-15:00) 電気通信研究所2号館4階大會議室で行われた。特別講演として東京薬科大学生命科学研究科助教授の宮川博義先生に「膜電位イメージングによるシナプス応答の解析」(通研講演会)について紹介して頂いた。その後、4件の一般講演が行われ、活発な討論が行われた。参加者は37名であった。

## 6.4 通研講演会

### Electromagnetic Compatibility in High-Speed Digital Systems

ミズーリ大学助教授 James L. Drewniak

これまでプリント配線板に関するEMC（電磁環境）問題は、過去の対策経験をもとに解決が図られてきたが、今後の高速デジタル回路の設計には不十分である。IT関連機器において機器内信号周波数と通信周波数が競合し、高周波電磁干渉の問題が顕在化している現状に鑑み、プリント配線板やICの内部、さらにはICパッケージレベルでの電磁ノイズの結合パスを知る必要がある。それらのEMC設計のためのツールとして、ミズーリ大学EMC研究所では近傍磁界、近傍電界プローブとそのスキャニングシステムを開発した。周波数掃引ならびにタイムドメイン掃引によって収集したデータをもとに、プリント配線板のEMI、高速差動信号線、電源バスのモデリングと設計、シールド設計などについて、将来動向を含めて議論した。

### Arcing Phenomena and Subsequent Erosion of Electrical Contact for the Future 42V Automobile Battery

University of Rennes 1 Nourredine BEN JEMAA 先生

平成13年9月26日に、フランス・レンヌ第1大学のベンジャマ先生を講師に招いて、標記講演会が行われた。自動車の電子化が進み多くの電動アクチュエータやリレーと電子回路が高密度に搭載されるようになり、電気自動車など将来は車内電源が現行の3倍の42Vが主流になるので、車内の環境電磁工学(EMC)が重要な課題になってくる。レンヌ第一大学と本学はともに、電気接点の放電現象に伴う電磁ノイズ発生や電気接点の寿命などの諸問題の研究分野をリードしてきた。

ベンジャマ先生のこの日の講演では、42V電源条件におけるレンヌ大学の研究成果を講演していただき、電気接点現象の研究を概観し、放電現象の観測の研究を解説してくださった。特に、42V条件ではリレー等の動作に伴う放電現象が質的に異なるものになることを示された。出席者と熱心な討論が行われ、電気接点に関するEMC研究への取組みを学ぶ貴重な機会であった。

## Some progress in active noise and vibration control

中国科学院声楽研究所所長 田 静

工業技術の発展により騒音・振動が社会的な問題となっており、この問題に対してもさまざまな対策がなされている。近年では、CPU、DSPなどの半導体技術の発達にともない、電気音響機器を用いた能動的な制御に注目が集まっている。中国科学院声楽研究所では、騒音・振動を能動的に制御する研究を進めており、工場などに設置されたダクトや室内における騒音の抑圧、固体中を伝わる振動の抑圧に能動制御が有効であることを実験的に確認している。現在、自動車や船舶などエンジンのマフラーからの騒音を能動的に抑圧する手法の研究を進めているが、排気の熱に耐えることができる音源がほとんどないため、能動制御が困難であるという問題があった。そこで、当研究所において、排気の熱に十分耐えることが可能な音源を新たに開発し、能動制御に用いたところ、マフラーからの騒音を能動的に抑圧できることを確認した。

## 单一磁束量子回路のネットワークコア機器への応用

名古屋大学大学院工学研究科助教授 藤巻 朗

超伝導体中の磁束量子の有無を2値信号に対応させる单一磁束量子(SFQ)回路は、高速低消費電力デジタル回路として期待されており、本講演ではネットワークコア機器への応用を目指した研究紹介がなされた。SFQ回路の低消費電力性は、回路の高密度集積化を可能にし、システムを構成した際の小さいレイテンシを導く。また、半導体回路での遅延の主要因である配線の充放電現象からSFQ回路は解放され、高いスループットが得られることから、SFQ回路の応用を考える場合、こういった特長を活かす分野を探す必要性が論じられた。その応用例として、将来のブロードバンドネットワーク社会でのコア機器となる移動体通信基地局やハイエンドルータ、あるいはハイエンドサーバーなどが検討され、設計・テスト技術を含めたSFQ回路の現状と将来にむけた動向について紹介があった。

# 弾性表面波デバイス用シミュレーション技術

千葉大学工学部電子機械工学科 橋本研也

本講演では、弾性表面波（SAW）デバイス用シミュレーション技術の現状について、様々な観点から解説していく。まず、モード結合法（COM）を用いたシミュレータについて解説すると共に、Full Wave解析に基づくCOMパラメータの決定法を示す。そして、Rayleigh-SAWデバイスの場合、この手順により高速・高精度なシミュレーションが可能であることを示す。次にSH-SAWデバイスに対するシミュレーション技法を解説する。まず、バルク波との結合がSH-SAWの諸特性に及ぼす影響を明らかにする。続いて、それをモデル化してCOMへ組み込むことにより、Rayleigh-SAWの場合と同様の高速・高精度シミュレーションが可能であることを示す。最後に、シミュレータの高精度化に伴って明らかとなった幾つかの現象を解説すると共に、それらに対する解析手法開発の現状を紹介する。

## くし形フィルタに基づいた採譜システムの提案

豊橋技術科学大学情報工学系 教授 田所嘉昭

平成13年12月14日に開催された標記講演会の概要は次のとおりである。

楽器音、歌唱音等の楽音から楽譜を作成することを採譜という。この採譜のためには、楽音の高さ（音高、ピッチまたは基本周波数）とその持続時間（音価）を測定することが基本になる。楽音は基本周波数とその倍音成分からなる非定常信号である。特に異楽器による和音や重唱の採譜は困難であり、今まで種々の方法が提案されている。それらの方法は、基本周波数を検出することを基本にしている。本講演では、まず、これまでの採譜の方法およびディジタル信号処理技術の基礎について解説された。さらに、講演者が最近提案している基本周波数とその倍音成分を除くことによって音高を検出する方法が紹介された。この処理は信号の差分で実現されるくし形フィルタを基に構成できることが示された。提案された方法で、異楽器音による和音、重唱の採譜が可能であることが実例をあげながら紹介された。

# DNAエレクトロニクスに向けた表面ナノ構造の創製

大阪大学 産業科学研究所 川合知二

ナノテクノロジーは材料研究の分野ばかりでなく情報通信分野や医療分野においても極めて重要なテクノロジーになっている。このナノテクノロジー研究の国内外の研究の現状や今後の重点課題について紹介があった。後半では、具体例として、講演者の研究グループが世界に先駆けて進めているDNAエレクトロニクスについての研究紹介があった。DNAを用いたバイオ分子エレクトロニクスへ向けた2次元ネットワーク回路の形成や、DNAの電気伝導性の研究、DNA-FETの試作、DNAを利用した超微粒子メモリーの提案などについて、最近の研究成果が紹介された。

## Tunneling Studies on Intrinsic Josephson Junctions of $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_{8+d}$ Single Crystals: Fluxon Dynamics and Tunneling Spectroscopy

韓国 ポハン科学技術大学 教授 Hu-Jong Lee

日時 平成13年12月17日

場所 東北大学電気通信研究所 2号館4階大会議室

Bi系単結晶のような強い異方性を持つ層状銅酸化物超伝導体は、固有ジョセフソン接合のスタックを形成する。この固有ジョセフソン接合の研究は高温超伝導体の超伝導と常伝導の状態における特性に対して有力な情報を提供すると共に、これらの材料を用いた超高周波数でのデバイス応用にも重要な指針を与える。

本講演では、テラヘルツ帯の発振器と関連する長い固有ジョセフソン接合におけるジョセフソン・フラクションのコーヒレンント運動について説明し、Bi系単結晶表面に作製した常伝導/超伝導インターフェースにおけるc-軸輸送特性上に観測されたゼロ・バイアス準粒子コンダクタンスの増強についても触れる。

## 協力ゲームにおけるプレイヤーの貢献度に基づく解とその応用

大阪大学大学院工学研究科教授 谷野哲三

多くのシステム計画問題において、問題に関与する意思決定主体が複数存在することがある。その場合、意思決定主体の利害は時には一致し、また時には相反する。それらの主体間の競合や協調を考慮した計画を進めていくには、ゲーム理論を用いることが有効になる。ゲーム理論の中で、協力ゲームにおいては種々の解概念が提案されている。このうちShapley値などのプレイヤーの貢献度に基づく解は、ゲームの一意的な解を与えかつ公理的観点からも興味深い。本講演では、提携形成の際の非対称性なども考慮したより一般的な解概念の紹介があり、その合理性について論じるとともに、その応用についても述べられた。

# 極薄SOI構造を用いたSiナノ構造トンネルデバイス

静岡大学電子工学研究所 田部道晴

静岡大学電子工学研究所の田部道晴氏を講師として招き、SOI基板を用いたSi系の量子効果デバイスの最近の成果について講演していただいた。まず、張り合わせSOI基板を用いたSi共鳴トンネルダイオードの製作と、その共鳴トンネルダイオードで見られたSi/SiO<sub>2</sub>系で初めての負性微分コンダクタンスについての紹介があった。次に、ナノLOCOSを用いたSiナノ突起の製作と、Siナノ突起からの電界電子放射についての紹介があった。Siナノ突起については、クーロンブロッケードや共鳴トンネル現象も観察されるとのことであった。最後に極薄SOI層の熱的不安定性の紹介があり、いずれのトピックスに対しても非常に活発な質疑応答があった。

# 膜電位イメージングによるシナプス応答の解析

東京薬科大学生命科学研究科助教授 宮川博義

神経細胞のシナプス応答の基本的特性を調べるため海馬スライス標本に電位感受性色素を取りませ、集合的電位応答を光学的方法で記録して解析した結果について述べた。特に最近の研究の中から、1) 錐体細胞EPSPの伝播とその解析、2) 樹状突起スパイクの起始部位の解析、3) 長期増強現象に伴うグルタミン酸放出量の変化の解析について述べた。

## ヒューマンインターフェイスの操作特性と脳の情報処理

茨城大学工学部メディア通信工学科講師 矢内浩文

ヒューマンインターフェイスの事例として携帯電話への文字入力を取り上げ、操作に伴う肉体的負荷のモデル化を試みた研究紹介がなされた。ひらがな文章データベースに基づいて必要打鍵数を比較し、ポケベル方式入力（基本的に2タップの組み合わせで1文字を入力）の方がマルチタップ方式入力（ボタンの連打で文字をスクロール）に比べて圧倒的に効率的であることが示された。次に、操作時の「押し」と「移動」から肉体的負荷のモデル化を試みた紹介があった。今後の方針として、定常的タッピング時のタイミングずれ特性を考慮した疲労検出を試みるとともに、精神的負荷をモデル化し、肉体的負荷と合わせた総合的負荷のモデル化についての紹介がなされ、これら一連の実験から得られた操作誤りパターンや方式による効率の変化から人間の脳の情報処理を理解するヒントが得られる可能性を示唆し、活発な議論が行われた。

## 微小肺腫瘍追尾システム

京都府立医科大学助手・京都府立与謝の海病院 島田順一

島田氏らは磁気マーカを患部に埋め込み内視鏡手術器具をつけた磁界センサでマーカの位置を3次元的に計測し、モニタ画面にバーチャル画像を表示するシステムを開発した。このシステムを用いて医師はモニタの画像や座標を見ながら患部を探り当て癌の切除を行い、これまで発見が難しいとされていた肺癌等の内視鏡手術に有効と考えられる。この位置検出システムに関して、逆問題解析手法の有効性、新規に開発した小型磁界センサの測定感度と温度安定性、金属材料がシステムの周辺に存在した場合の位置推定誤差への影響等について活発に議論を行った。

# パルス高電圧技術の環境工学への応用

熊本大学大学院自然科学研究科 秋山秀典

パルスパワーは大電力であるが短パルスであるためエネルギーとしては小さい。高繰り返しパルスパワーの発生技術開発が急速に進み、それに伴いパルスパワーの産業応用も進みつつある。大気圧の気体にパルスパワーを印加すると大容量の均一な放電プラズマが生成でき、それを排ガス処理、オゾン生成、殺菌、揮発性有機化合物処理等に応用することが可能である。水にパルスパワーを印加すると大容量の水中放電プラズマが生成でき、それを湖沼浄化、上下水処理、殺菌、有害化学物質分解等に応用可能である。さらに、固体にパルスパワーを印加すると固体の破碎分離ができ、リサイクルや建築物の破碎等に利用可能である。講演では、熊本大学で行っている実験結果を中心に将来展望についても紹介された。

# 高温超伝導の謎に迫る

東京理科大学教授 上村 洸

平成14年3月7日に、東京理科大学教授上村洸先生を講師としてお迎えし、標記講演会を開催した。講演前半では、1960年代のMatthias博士による、BCS機構による超伝導の臨界温度が40Kを越えないという予言の内容や、同位体効果や電気伝導などから高温超伝導体がいかにBCS超伝導体と異なるかについて、研究の歴史を交えつつ、初学者にも分かり易く解説された。後半は、ご自身の研究について、特に配位子場理論を応用し、頂点酸素の効果を考慮した高温超伝導の「二階屋モデル」に関して、銅-酸素のクラスターに関する第一原理的な計算の詳細や、角度分解光電子分光や電子エントロピー等に関する最新の実験結果と共に詳しくご解説頂き、初学者ならずとも得るところが大きかった。当日は学内各所からご来聴頂き、活発な議論がなされた。

## 社会基盤のための個人IDシステムの構想

九州大学システムLSI研究センター教授 安浦寛人

今後の半導体集積回路の大きな市場として、情報化社会の基盤をささえる基盤情報技術が重要である。特に、行政、経済、各種サービスを支える個人認証システムは、情報社会の基盤として最も重要である。信頼性を高めるためには、ソフトウェア技術だけに頼らず、半導体技術により物理的に提供されるPIDチップが重要であり、それを中心に構築される新しい個人認証システムを現在構想している。さらに、同技術を応用することにより、タグ(Tag)チップを用いた物品管理システム、物流管理システムを構築することが可能となる。これらのチップには、超低消費電力性、耐タンパー性とテスト容易性、低コスト性が要求され、その実現のために必要となる半導体基盤技術開発と実験システム開発を九州大学システムLSI研究センターで実施する計画である。

## 基本波リアクタンス補償型F級負荷回路の マイクロ波ヘテロ接合デバイスへの応用

電気通信大学教授 本城和彦

近年ヘテロ接合トランジスタの性能、特に高周波帯での性能向上が著しい。これ用いるとF級増幅動作が可能となる。電力効率、回路構成等について、次に纏めるような内容の講演がなされた。

1. デバイスの高  $f_{max}$  を高くすることは、動作周波数域の向上だけでなく、低周波数帯における電力効率を向上させることにもつながる。
2. 動作周波数の二十数倍の  $f_{max}$  が確保できると、F級増幅動作が可能となる。
3. 基本波のインピーダンスに影響を与えずに、偶数次高調波の短絡、奇数次高調波の開放が実現できる回路を提案した。
4. この回路をミリ波HBT、ヘテロ接合FETに適用すると、マイクロ波帯で90%程度の付加電力効率が実現できる。

## FDTD法による電磁界解析の動向

東京農工大学教授 宇野 亨

平成14年3月19日（火）に、第450回伝送工学研究会に引き続いで通研講演会“FDTD法による電磁界解析の動向”が開催された。FDTD（Finite-Difference Time-Domain、時間領域差分）法はMaxwellの方程式を計算機を使って数値的に直接解く方法であり、近年の計算機の高速化とメモリの増大に伴って急速に普及してきた電磁界の解析法である。講師の宇野亨教授はこの分野で豊富な経験を有しており、最近のFDTD法の利用状況、この方法を用いる際の注意点、放射問題への応用の際に不可欠となる吸収境界条件などについての詳細な紹介があった。出席者は40名を越え、具体的な問題への応用などについて突っ込んだ質問と討論が交わされた。

## ウェブと半構造データからのデータマイニング

九州大学助教授 有村博紀

データマイニング (Data Mining) は、データベースに蓄積された大量のデータから、自明でない規則性をとりだす方法についての研究であり、1990年代初頭から、ビジネス分野や自然科学分野で活発に研究されている。本講演では、データマイニングはデータベースからの知識獲得であるという立場から、有村氏のグループで研究を進めているテキストデータと半構造データを対象としたデータマイニングについて紹介した。従来のデータベースが対象としたデータと比較すると、インターネット上で利用できるデータの多くは、膨大な不均質で多様な電子化されたテキストデータである。このようなデータから意味のあるパターンを発見するためには、データの絶対的な特徴を調べるのではなく、むしろデータ間の差分による特徴抽出が効果的である。このためには、機械学習と統計解析の組合せが不可欠であることが示された。

# 軟X線励起電子分光による固体電子状態の研究

理化学研究所フォトダイナミクス研究センター 上田茂典

大型放射光施設SPring-8の円偏光軟X線ビームラインBL-25SUで行った共鳴光電子分光 (R PES), 内殻光吸収 (XAS) における磁気円二色性 (MCD) およびMCD光電子顕微鏡 (PEEM) の実験結果の紹介がなされた。最初に, 四元系希薄磁性半導体  $Hg_{1-x-y}Cd_xMn_yTe$  ( $x=0\sim0.215$ ,  $y\sim0.02$ ) に対してなされたMn 2p-3d XASの共鳴光電子分光が紹介された。局在的なMn 3d電子状態とCd濃度によって変化する価電子帯との相関が, 実験結果とクラスター モデル計算の比較から議論された。次に, 強磁性を示す希薄磁性半導体  $Ga_{1-x}Mn_xAs$  ( $x=0.025$ ) に対してなされたMn 2p-3d XAS-MCDが紹介された。Mn 3d軌道の磁気的状態が, 実験とクラスター モデルを比較しながら議論された。最後に, MCDとPEEMを組み合わせた「高い位置分解能」を有する実験が紹介された。この手法によりミクロン・サイズの位置分解能で表面磁気構造が解析できることが示され, 応用例としてCo薄膜の磁区構造のサイズ依存性が議論された。

## **第 7 章 評価と課題**

## 7.1 運営協議会報告

第14回東北大学電気通信研究所運営協議会

日 時：平成13年7月23日（月）午後3時～6時30分

場 所：東北大学電気通信研究所大会議室

出席者：浅井彰二郎（委員長）（株）日立製作所常務

今井秀孝（委員）独立行政法人産業技術総合研究所理事  
 塩見正（委員）独立行政法人通信総合研究所理事  
 笠見昭信（委員）（株）東芝副社長  
 山田宰（委員）NHK放送技術研究所長  
 進藤秀一（委員）電気興業（株）専務取締役  
 渡辺久恒（委員）日本電気（株）支配人  
 谷口健一（委員）大阪大学大学院基礎工学研究科教授  
 佐藤繁（委員）東北大学大学院理学研究科長  
 猪岡光（委員）東北大学大学院情報科学研究科長  
 井上明久（委員）東北大学金属材料研究所長  
 早稲田嘉夫（委員）東北大学多元物質科学研究所長  
 根元義章（委員）東北大学情報シナジーセンター長  
 阿部健一（委員）東北大学大学院工学研究科教授  
 （電気情報系運営委員会委員長）

陪席者：中村慶久

東北大学電気通信研究所長  
 水野皓司 東北大学電気通信研究所教授（評議員・部門主任）  
 潮田資勝 東北大学電気通信研究所教授（実験施設長）  
 鈴木陽一 東北大学電気通信研究所教授（総務委員会委員長）  
 室田淳一 東北大学電気通信研究所教授（予算・環境委員会委員長代理）  
 荒井賢一 東北大学電気通信研究所教授（研究企画委員会委員長）  
 中島康治 東北大学電気通信研究所教授（部門主任）  
 白鳥則郎 東北大学電気通信研究所教授  
 山下努 東北大学電気通信研究所教授  
 外岡富士雄 東北大学電気通信研究所教授  
 横尾邦義 東北大学電気通信研究所教授  
 中沢正隆 東北大学電気通信研究所教授  
 坪内和夫 東北大学電気通信研究所教授  
 杉浦行 東北大学電気通信研究所教授

### 議事審議

#### 1. 研究所の運営について

配付資料に基づき研究所の運営体制、教官の充足率、予算状況、外部資金受入状況、概算要求等について説明後、次のような質問、意見等が出された。

- ・全体予算から共通的経費、設備費、人件費などを除くと研究者1人当たりの研究費はいくらになるか。
- ・新しい教官人事選考プロセスとはどのようなものか。
- ・教官採用についてのポリシーはどのように考えているか。教官の年齢分布、外国人教官の任用状況、女性教官の割合、専門分野の分布、大学院学生を含んだ1人当たりの研究費、学位授与の実績等を定量的にとらえた資料があれば教育及び研究の外観がわかりやすいと思う。
- ・I T -21センターの要求は研究所の内部組織をスクラップして新しくビルドしたのか。

## 2. 国立大学の法人化と電気通信研究所の対応について

東北大学は附置研究所、病院も含めて東北大学一本で法人化するという方針なので、東北大学全体及び中央の動きを見ながらどうあるべきかの議論を進めていく。情報通信分野でトップ30は当然のこと、ナンバーワンを目指して積極的に対応していく、との説明後、次のような質問、意見等が出された。

- ・今回の第2次科学技術基本計画あるいは総合科学技術会議の中で一番のポイントは、産業界にとっては産業競争力をどうやってつけていくのか、大学にとってみれば、社会への還元（研究成果の具体化と人材）ができるシステムをどう築いていくのかということが強く根底にある。そういう視点から産業界が大学に期待するのは、大学はもっと競争力（グローバルな視野で）のある形で产学連携をやっていかなければならない。強い分野のハードをベースにソフトも含めた形でどう世界に発信していくかを考えなければだめだと思う。一番危惧しているのは若い学生が本当に世界と競争力ある形で卒業してくるのか心配である。そのためにも通研が強力なリーダーシップで競争環境の中で特徴のある研究所にしていくことを原点に立ち返って考えていただきたい。
- ・工学研究科の電気・情報系との一体運営という中でも、附置研究所としての特長を出すべきではないか。
- ・東北大の通研は通信技術に関して、これからも先進的な位置、トップ集団に入っていたい。世界を見たときにどう勝負していくかが一番よく見える論理的な方法はベンチマークングで、是非一回やって位置づけをはっきりさせ、今まで以上にコンプリヘンシブな電気通信技術への取り組みを願いたい。
- ・産業技術総合研究所は4月に独立行政法人になったばかりだが、特に若手は大半が任期つき採用で、大学、企業と流動性がないと育たない。大学、旧国立研究所、民間での交流を引き続き検討願いたい。

## 3. 第2期科学技術基本計画に対する対応について

通研では科学技術基本計画あるいは総合科学技術の中の重点領域に対し、情報通信分野だけでなくナノテクノロジー・材料分野でも十分貢献できるし、ライフサイエンスや環境の問題でも対応できるかもしれないこと、その中でも情報通信分野での貢献の一つの目玉が平成14年度概算要求中の21世紀情報通信研究開発センター（略称：I T -21センター）であることの説明後、次のような質問、意見等が出された。

- ・移動通信分野から見ると、技術よりも標準化の方が優先され、それで決まってしまうという感じがする。
- ・心配なのは通研の先生が全部イコールなライト（等しい権利）を持っていること。

マネージメントを相当やらないと、本当のビジョンは実現できないのではないか。

- ・IT-21センターは通研そのものではないかという言い方もあるのではないか。
- ・理学関係の方々も今の情報関係の課題に対して、人材の発掘や課題の掘り起こしに積極的に取り組んでほしい。また、研究成果を公表しながら意見を広く求めるようなフォーラム的な、あるいはカンファラス的な場面を通研としてリードしてほしい。

#### 4. 電気通信研究所の将来計画について

法人化に向けて通研の理念・目的・目標を作成したこと及び平成15年度末時限の実験施設について、IT-21センターの概算要求とからめて、電気通信研究所をどう改組すべきかを所内の将来計画検討委員会で議論しており、一つの案としての改組イメージをまとめたこと、人間性豊かなコミュニケーションを実現する総合的科学技術を標榜し、ハードウエア・ソフトウエア融合型のコミュニケーション・システムを実現できる体制に移行するのが次の目標であること等の説明後、次のような質問、意見等が出された。

- ・「ハードとソフトの融合」とは具体的にどういうことで、どこに本当の特徴があるのか
- ・将来計画検討委員会には大学関係者だけでなく、ぜひ産業界からこれだと思う人を入れて議論されるのがいいのではないかと思う。
- ・どの分野でどのような新しい領域の先生方をリクルートするとか、基本的な運営方針を打ち出し、作業、調査、企画して所長に提言する機関をしっかりとさせないと経営ができない。
- ・企画部門はとても大切であるが、同時に管理部門とか関連部門の強化も必要である。附置研究所は学部と協力して、学部では基礎的なことをやり、研究所では短期決戦のようなターゲットが決まった技術対応のようなことに集中するのも一つの手であると思う。
- ・学問からの出発ではなくて、課題からの出発であってほしいと強くお願いしたい。産業界と密接な連携を図り、課題レベルでもっと議論をさせていただきたい。

#### 研究所視察

2班に分かれて次の分野を視察した。

- ・情報通信システム研究分野
- ・スピニエレクトロニクス研究分野
- ・極限能動デバイス研究分野

## 第15回東北大学電気通信研究所運営協議会

日 時：平成14年2月28日（木）午後3時～6時30分

場 所：東北大学電気通信研究所大会議室

出席者：	浅井彰二郎	(委員長) (株) 日立製作所常務
	今井秀孝	(委 員) 独立行政法人産業技術総合研究所理事
	塙見 正	(委 員) 独立行政法人通信総合研究所理事
	進藤秀一	(委 員) 電気興業（株）専務取締役
	谷口健一	(委 員) 大阪大学大学院基礎工学研究科教授
	山崎 攻	(委 員) 松下電器産業（株）知的財産権センター長
	山田 宰	(委 員) NHK放送技術研究所長
	渡辺久恒	(委 員) 日本電気（株）支配人
	佐藤 繁	(委 員) 東北大学大学院理学研究科長
	中塚勝人	(委 員) 東北大学大学院工学研究科長
	猪岡 光	(委 員) 東北大学大学院情報科学研究科長
	井上明久	(委 員) 東北大学金属材料研究所長
	早稲田嘉夫	(委 員) 東北大学多元物質科学研究所長
	根元義章	(委 員) 東北大学情報シナジーセンター長
	阿部健一	(委 員) 東北大学大学院工学研究科教授 (電気情報系運営委員会委員長)

陪席者：	中村慶久
	水野皓司
	潮田資勝
	鈴木陽一
	庭野道夫
	荒井賢一
	中島康治
	矢野雅文
	白鳥則郎
	坪内和夫
	横尾邦義
	室田淳一
	大野英男
	舛岡富士雄
	杉浦 行
	外山芳人
	村岡裕明
	長 康雄

東北大学電気通信研究所長	
東北大学電気通信研究所教授	(評議員・部門主任)
東北大学電気通信研究所教授	(実験施設長)
東北大学電気通信研究所教授	(総務委員会委員長)
東北大学電気通信研究所教授	(予算・環境委員会委員長)
東北大学電気通信研究所教授	(研究企画委員会委員長)
東北大学電気通信研究所教授	(部門主任)
東北大学電気通信研究所教授	

### 議事審議

#### 1. 研究活動報告について

- (1) 研究活動一般報告について
- (2) 地域貢献・社会貢献について

配付資料及びP C プロジェクターに基づき、研究活動一般報告、地域貢献・社会貢献、平成14年度予算内示、IT-21センターの研究開発プロジェクト計画について説明後、次のような意見が出された。

- ・大学の附置研究所は大学院学生の教育というのも使命の一つだと思うので、その教育のデータもあった方が良い。
- ・地域貢献・社会貢献の企画は子供たちを対象にした非常にすばらしい企画だと思う。子供の理科離れが叫ばれているが、科学技術を体験させて子供たちに興味を持ってもらうという非常に重要な活動だと思う。
- ・物づくりの中心が日本から中国へ大きくシフトしている現在、知財権の確立についても従来の国内偏重を改め、費用はかかるが海外出願を強化し、本の国益を守ってほしい。
- ・研究活動のアピールという点で、研究所主催のシンポジウムや海外ワークショップも取り上げたほうが良い。
- ・研究活動状況の数値的な把握をした上で、今後こうしていくという方針や個々に対する所見を並べると、数字が意味を持ってくる。また、ベンチマーク、交流、他流試合等を企画し、大学がこういういいことをやっているということは積極的に取り入れた方が良い。学生の交流で、若いうちに海外の人と一緒に仕事をしたという経験が一人一人の大変な財産になると思う。

(3) 平成14年度予算内示について

(4) IT-21センターの研究開発プロジェクト計画について

平成14年度予算内示報告として、21世紀情報通信研究開発センターの設置が認められ、产学研連携の場として研究を進めていくこと、21世紀情報通信研究開発センターの研究開発プロジェクト計画について説明後、次のような意見が出された。

- ・IT-21センターの研究テーマの一つがモバイルだが、将来の技術課題は広く、モバイルとなれば電池から光ネットワークと幅広く、東北大学の中でもいろいろ研究活動があるが、できるだけ糾合していく工夫が必要ではないか。例えば法律、経済等との連携まで考えて、強い全人格的な研究者、技術者の育成を検討願いたい。

## 2. 通研の将来計画について

超高密度・高速知能システム実験施設が平成15年度末で期限を迎えるため、通研本体も改組しようという計画を進めていること、時期が国立大学の法人化と同時期なので、外部評価の実施を予定しているとの説明があった。

(1) 将来計画について

通研内の将来計画委員会で審議中の内容について説明後、次のような意見が出された。

- ・理念は非常にドメスティックな感じがする。国際的な言語の壁を越えたコミュニケーションができるような取り組みができたらすばらしい。
- ・部門・分野の設定が一般の人にはわかりにくい気がする。あまり細分化しないで大きな課題の中で自由に研究するという方が良い。
- ・研究で重要な役割を果たす博士後期課程の学生に対する経済的支援が必要であり、今後、予算・制度の中でそれを検討してほしい。

(2) 法人化の対応について

国立大学の法人化は、(1)再編・統合、(2)民間的発想の経営手法、(3)第三者評価による競争原理の導入、の3つがポイントであり、現在、通研に法人化検討委員

会を作つて対応している等の説明後、次のような意見が出された。

- ・法人化と改組とのスケジュールをどう考えているか。
- ・組織のあり方を把握する指標というのはどんなものであるか、それをどう持つていくのかという哲学を持つ必要がある。法人化になってから考えるわけにはいかないので、法人化する前にどういう経営をするかという思想を決めなければならない。これから大変なある種の頭脳プロセスを経ていくことになる。アメリカの州立大学あたりが非常に良いベンチマークの対象になると思う。州立大学は多かれ少なかれ私立大学的に運営されているのが現状なので、ぜひベンチマークをしてほしい。
- ・少し先に法人化された組織として、安全の問題で苦労している。東北大学も全体で法人化するのなら共通認識を持たなければならぬ。環境と安全の問題、特に実験に使うような安全の問題、人間の安全の問題等、事務系の人だけではわからないところがあるので、相当早くから技術系あるいは研究系の人も一緒に考えなければならないと思う。それは一部分だけではなくて、大学全体で考えなければならない。また、情報公開で、世の中には穏やかな人ばかりではないので、そういう点に対する防衛も必要になる。
- ・組織の問題で、世の中の速度、研究開発の速度が非常に早くなっているから即決ができる体制が必要である。

#### (3) 外部評価について

平成16年度の通研改組概算要求に盛り込むために、平成14年度に外部評価を総合評価と分野別評価に分けて実施すること等の説明後、次のような質問、意見等が出された。また、総合評価の運営協議会選出の外部評価委員として、浅井・塙見・山崎の3委員を選出した。

- ・今まで2回外部評価を受けたことによってその後の研究所の運営等に大きく生かされたという事例はあるか。
- ・運営協議会が研究所の運営に参考になるような意見を交わす場になったとしたら、継続性、連続性があり、今回の議論がまた次回の議論につながり、次の議論がその次の議論につながる、その間にいろいろアクションがなされるというところで効果があったのではないかと思う。3年に1度の外部評価をどう生かしていくかという工夫が必要だ。基本的には外部評価というのは評価されようという態度に変わっていくことが一番大事なポイントである。自助努力をいろいろな角度から続けてほしい。

#### (4) 「21世紀COEプログラム」について

「世界的教育研究拠点の形成のための重点支援・21世紀COEプログラム」について、通研は単独に申請はせず、工学研究科の電気・通信工学専攻と電子工学専攻、情報科学研究科の情報基礎科学専攻とシステム情報科学専攻に協力講座の立場で協力していく等の説明を行った。

#### 研究所視察

2班に分かれて次の分野を視察した。

- ・音響情報システム研究分野
- ・情報記録デバイス工学研究分野
- ・テラヘルツ工学研究分野

視察終了後、中村所長から第4期運営協議会委員の任期が今回で満了となることの謝辞があった。

## 7.2 現在の課題

平成16年度には、全国の国立大学が一斉に国立大学法人に替わる。本年3月に文部科学省の「国立大学等の独立行政法人化に関する調査検討会議」から最終報告が出され、「国立大学法人」とすることを骨子とする制度設計の基本方針が示された。本学でも、現在、法人化に向けての具体化の検討に入っている。附置研究所は、基本的には大学と一体になって法人化されることになっており、本研究所も、国立大学法人「東北大学」の一部局となる予定で準備を進めている。しかし附置研については、我が国の学術を支える研究体制の一貫として、大学に附置される意義やその活動を推進するための財政措置などが、我が国の学術体制を検討する学術審議会の特別委員会や全国研究所長会議で議論されている。

附置研に対しても、現在は人材育成がとくに問われており、研究と教育を担うということでは、言葉の上で、研究科と同じである。研究を主務とする研究所が大学に附置されるには、人材育成を主務とする研究科に対して研究をどう支援するか、また教育をどの程度引き受けるか、が問われている。それを主務としている教官の評価、任期、人事交流などについて、法人化を機会に再検討すべき時期に来ていると思われる。

研究に関しては、法人化後も、共同利用型の研究所を引き続き学術研究の中核的研究拠点として維持・発展させるには、その設置目的に沿って、如何に社会貢献に実績を上げていくか、が今後益々問われる。「高密度高次情報通信に関する学理とその応用の研究」を設置目的とする本研究所こそ、国が世界最先端のIT社会を目指す中で、その中核となるべき大きな責務を負っている。同時に、大学に附置されている以上、情報通信分野での研究と教育に対し如何に実績を上げていくか、その基本的役割が今後も問われ続ける。

教育に関して本研究所は、創設以来伝統的に工学部の電気系学科と、さらに大学院重点化以降は、工学研究科および情報科学研究科の電気・情報系4専攻と、一体になって研究教育に当たってきた。研究所教官全員が伝統的に、先端的な研究を通じて応分の負担で学部・大学院教育にも当たってきた。これは他の附置研究所と大きく異なる本研究所の特徴である。これから法人化の中で、それぞれの役割を一層明確にし、教育と研究の実を上げるために、相互の人事交流や任期制の導入、研究プロジェクトへの参画の仕方などについて、改めて検討すべきではないか、と思われる。従来から本研究所が情報通信のハード技術、デバイス技術に強いことには定評がある。これは諸先輩方のご努力によることは云うまでもない。しかしハード技術も、これからは性能や数値を競うだけでなく、システムの中でどう生かすかが問われる。ハードにソフトをどう組み込むか、ソフトをハードでどう活かすか、すなわちハードとソフトとの融合が益々重要な課題になる。これができるか、どうかに、本研究所が貢献を期待されている情報通信分野で、世界のCOEとして維持・発展できるかが懸かっている。

本研究所では、平成16年度に実験施設の時限を迎えるに当たり、施設を含む研究所の改組・再編について、教授会ならびに将来計画委員会で議論している。情報通信分野における学術研究、人材育成、社会貢献などに、本研究所が如何に応えて行くかは、これから将来構想に大きく関わっている。本年4月に設置が認められた

二十一世紀情報通信研究センター（IT-21センター）は、本研究所がこれまで蓄積した研究成果を世に送るための真の産官学連携による実用化研究開発の場である。当面は、これを軌道に乗せることが課題である。これにより、本研究所の研究成果を世に送り出すことは勿論、世界最先端の研究開発を通じての大学院教育や産業界の研究者技術者の再教育などで優れた人材を育成すること、技術開発を通じて地域に貢献すること、などによって本研究所の存在意義を示すことが望まれる。関連するベンチャー企業が生まれれば、さらに大成功である。

最先端の実用化研究からは、常に新たな解決すべき課題が生まれる。これはまた新たな学術研究の種になり、基礎研究が始まる。研究所の各部門で、こういった新たな学問の芽を再び時間をかけて育て、実験施設では、これを具現化する最先端の基盤技術を創り上げ、IT-21センターでは、これらから生まれた実用化直前の成果を実用化し産業化する。このサイクルが順調に動けば、電気通信研究所の存在意義はこれからも永遠に続く。

平成16年度からの法人化に向け、本研究所では、現在、当面6年間の中期目標・中期計画を作成している。これこそ、電気通信研究所の21世紀における発展の基礎をつくるものになる。これを如何に作成するかが、将来の本研究所の姿を決める最も重要な当面の課題である。

所 長

# 資 料 編

# 第1章 予算の概要

## 本研究所の予算の概要

(千円単位)

項目	年度	平成9年度	平成10年度	平成11年度	平成12年度	平成13年度
人件費	991,748	1,217,790	1,175,263	1,050,873	949,095	
物件費	856,701	841,560	787,982	767,669	1,246,649	
奨学交付金	212,258	187,473	138,281	138,265	150,383	
共同利用研究施設運営費	49,512	48,975	46,017	43,592	44,502	
その他物件費	594,931	605,112	603,684	585,812	1,051,764	
产学連携等研究費	233,626	317,814	496,175	521,095	537,587	
計	2,082,075	2,377,164	2,459,420	2,339,637	2,733,331	
科学研究費補助金	309,650	292,000	371,825	279,200	351,805	
合計	(755,534)	(797,287)	(1,006,281)	(938,560)	(1,039,775)	
	2,391,725	2,669,164	2,831,245	2,618,837	3,085,136	

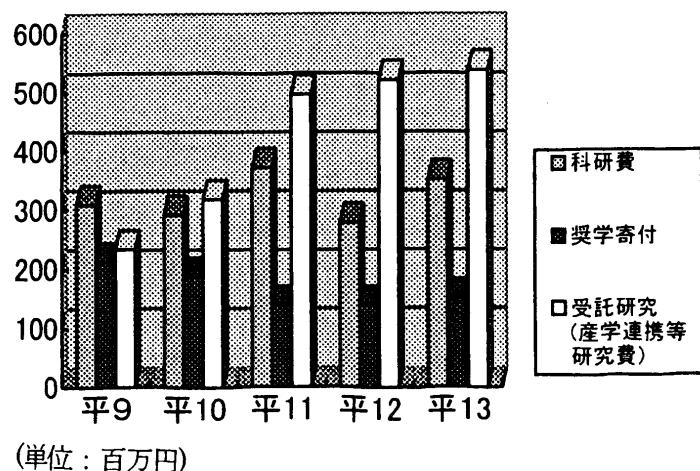
※共同利用研究施設運営費：研究所（校費） 16,759千円

△（研究員等旅費） 27,743千円

※その他物件費は、経常的な物件費及び各種旅費を計上。

※合計欄の上段（）書きは競争的研究資金の合計で内数。

本研究所の過去5年間の予算は上の表に示したとおりである。この内容を平成13年度について大まかに分析すると、その他物件費約10.5億円の中の2.0億円が研究特別設備費（補正予算）、2.2億円が研究所重点設備整備による設備費、2.1億円が実験施設の維持費、2.0億円が光熱水道料及び事務経費を含む共通経費、1.3億円が營繕費、設備整備費、その他の経費であり、各研究分野で校費として使用した経費は全体で約0.9億円であった。研究部門に配分された校費（0.9億円）に、科学研究費3.5億円、奨学交付金1.5億円、及び产学連携等研究費5.4億円を加えた総額11.3億円が直接の研究経費として研究部門で使用された。直接研究経費に占める校費の割合は昨年度と今年度ではそれぞれ8.7%と8.0%である。平成12年度の直接研究費総額は10.3億円で、本年度は約9.7%増加したことになる。この増分は科学研究費の増加によるところが大きい。本研究所の研究活動をさらに発展されるために重要なのは科学研究費、奨学寄付金及び受託研究費であり、研究所の活動の活性度を反映すると考えられる。下に示した過去5年間のグラフに見えるように、これら3種目の予算は奨学寄付金を除き継続的に増加の傾向にある。特に平成9～13年度の受託研究の伸びは提案公募型受託研究の増加によるところが大であり、本研究所の全国共同利用研究所としての活性度が増していることの証であると考えられる。



## 1.1 科学研究費補助金

研究種目	代表者	2001年度 交付金額	補助金総額	研究課題	採択年度
学術創成研究	伊藤 弘昌	千円 84,100	千円 380,000	フォノン工学	H13
特定領域研究（A）	山口 正洋	14,100	42,100	極微小・高Q集積化RF強磁性薄膜 インダクタ	H13
特定領域研究（B）	谷内 哲夫	13,100	50,600	非線形光学効果を用いたコヒーレントテラヘルツ波センシングの研究	H11
	室田 淳一	32,000	190,800	人工IV族半導体極微細構造を用いた超高速光・電子デバイスの開発	H11
	長 康雄	9,300	39,700	超高分解能走査型非線形誘電率顕微鏡法を用いた強誘電体中のドメイン構造の解析	H12
	三村 秀典	13,900	45,900	電子源の高機能化と低エネルギー分散化	H12
特定領域研究（C）	外山 芳人	3,000	5,600	完備化に基づくプログラム自動変換の研究	H13
基盤研究（A）一般	庭野 道夫	3,300	36,400	多重内部反射赤外分光による半導体表面水素反応ダイナミクスの研究	H11
	坪内 和夫	4,800	38,700	RF／アナログ／デジタル混在グローバルインテグレーション技術の研究	H11
	大野 英男	11,800	37,000	半導体超構造における電子のスピンドコヒーレンスとその制御	H12
	山口 正洋	8,300	40,800	集積回路用GHz駆動磁性薄膜インダクタの開発	H12
	潮田 資勝	14,400	20,800	個別に識別した半導体ナノ構造の物性研究	H13
	伊藤 弘昌	21,100	41,800	高度光ファイバー通信システムにおける偏波モード分散の全自動計測・制御の研究	H13
基盤研究（A）展開	伊藤 弘昌	6,700	35,200	次世代レーザー津波計測ネットワークシステムの開発研究	H11
	室田 淳一	24,600	33,300	超高キャリア濃度半導体構造を用いた超低抵抗金属／半導体接合の形式	H13
基盤研究（B）一般	室田 淳一	2,400	7,600	高集積通信システム制作のためのSiGe系MOS-HBT技術の開発	H11
	櫻庭 政夫	3,000	12,800	Si-Ge-C-N系原子層積層による共鳴トンネルダイオードの製作	H12
	長 康雄	7,400	14,800	走査型非線形誘電率顕微鏡法を用いた単一永久双極子モーメントの可視化	H12
	坂本 謙二	4,800	7,400	ポリイミド膜上の液晶分子の光配向機構の解明	H13
	三村 秀典	8,900	13,200	GaAsガン効果電子源を用いたマイクロ波・ミリ波帯デバイス	H13
	菅沼 拓夫	8,700	14,800	生体の機構に基づくポスト・エージェント技術の基礎的研究	H13
基盤研究（B）展開	長 康雄	7,100	13,400	非線形誘電率顕微鏡法を用いた電気双極子モーメントメモリー	H13
基盤研究（C）一般	外山 芳人	500	1,000	プログラム検証のための帰納的定理自動証明法の研究	H12
	末光 真希	800	4,100	有機ケイ素を用いたSiCエピタキシャル成長の表面化学	H12
	鈴木 陽一	1,500	3,200	マルチモーダル環境下における3次元音空間知覚過程の研究	H12
	中村孝一郎	2,400	3,600	擬似位相整合光パラメトリック発振の高出力化と機能的制御の研究	H13

研究種目	代表者	2001年度 交付金額	補助金総額	研究課題	採択年度
基盤研究（C）一般	杉浦 行	千円 2,200	千円 3,400	EMC対策部品の高周波特性に関する研究	H13
	荏戸 立夫	1,800	3,500	ミリ波・サブミリ波帯近接場顕微鏡に関する研究	H13
萌芽的研究	中島 康治	900	2,000	Si-LSIによる量子計算機実現に関する基礎的研究	H12
	庭野 道夫	1,200	1,800	量子コンピューティング系としてのフラー・レン分子	H13
	伊藤 弘昌	1,600	2,200	導波路型周期分極反転ニオブ酸リチウム結晶を用いた波長可変テラヘルツ波発生の研究	H13
	佐藤 茂雄	600	2,100	核スピン検出用単電子トランジスタの試作	H13
奨励研究（A）	鶴岡 徹	1,000	2,100	強磁性金属表面上の極薄絶縁膜の初期形成過程	H12
	四方 潤一	800	2,200	テラヘルツ・パラメトリック発生光を光源とする高分解能テラヘルツ波干渉分光計の研究	H12
	小野美 武	800	2,000	超伝導クーパー対のコヒーレントシンセーリングを利用した量子論理ゲートの研究	H12
	石山 和志	1,000	2,400	リモート温度計測システム	H12
	早川 吉弘	900	2,100	実用的学習速度を達成する新学習則の開発	H12
	水柿 義直	900	1,900	高転移温度金属超伝導体を用いた單一超伝導電子対デバイスの作製	H13
	薮上 信	2,300	2,900	直接通信による磁性薄膜の高周波透磁率計測装置の開発	H13
特別研究員奨励費	島宗 洋介	900	2,700	IV族半導体への原子層ドーピングと超格子デバイスに関する研究	H11
	大泉 善嗣	1,000	3,000	半導体単一量子構造の発光分光	H12
	安達 太郎	1,000	2,000	半導体量子構造におけるスピノの輸送と干渉に関する研究	H13

研究種目	分担者	2001年度 交付金額	補助金総額 (千円)	研究課題	採択年度
特定領域研究（B）	末光 真希	3,000	10,000	人工IV族半導体の物性制御と超高速・電子デバイスへの応用	H11
がん克服戦略研究事業 (厚生労働省)	荒井 賢一	5,000	10,000	医療用マイクロマシーンの開発に関する研究	H12
高度先端医療研究事業 (厚生労働省)	荒井 賢一	2,500	2,500	磁気応用診断・治療装置の開発及び肺癌診療への適用	H13
独創的革新技術開発研究提案 (文部科学省)	山口 正洋	1,000	9,200	常温作製・高絶縁性フェライトを用いたマイクロ磁気技術の開発	H13

## 1.2 受託研究費の内訳

機関名	研究代表者	受託研究事項	受託金額(千円)
秋田県高度技術研究所	中村 慶久	電子計算機を利用した高密度磁気記録機構の解明及びその解析手法の応用	3,000
医薬品副作用被害救済・研究振興調査機構	荒井 賢一	生体内で自律動作可能な医用インテリジェント磁気マイクロロボット開発の基礎研究	57,000
科学技術振興事業団	山下 務	銅酸化物超伝導単結晶を用いる超高速集積デバイス	3,520
科学技術振興事業団	大野 裕三	初期化技術の開発	2,470
科学技術振興事業団	佐藤 茂雄	量子ビットを用いた知能デバイス	1,000
(株)インテリジェント・コスモス研究機構	島津 武仁	省エネルギー型マイクロ電源の開発「②高性能マイクロインダクタの開発 (②-3 高飽和磁化薄膜技術を応用した薄膜磁心の組成・成膜方法の検討)」	2,310
(株)NTTドコモ	白鳥 則郎	やわらかいモバイルインターネット構成方式に関する研究	3,000
技術研究組合超先端電子技術開発機構	山口 正洋	超高速・高分解能マイクロ磁界プローブに関する研究開発	4,000
技術研究組合超先端電子技術開発機構	松浦 孝	微細配線構造形成プロセス技術の研究	5,250
技術研究組合フェムト秒テクノロジー研究機構	伊藤 弘昌	ドメイン反転擬似位相整合超高速光デバイスの研究	2,625
(財)あきた産業振興機構	村岡 裕明	大容量医療画像の記録に適した大容量高速画像情報システムの開発	900
(社)電波産業会	莅戸 立夫	スリット型プローブを用いたミリ波・サブミリ波帯近接場顕微鏡システムに関する研究	4,000
(社)電波産業会	ペイ 鐘石	オーバーサイズ導波管を用いたミリ波・サブミリ波帯電力合成器の研究	4,000
新エネルギー・産業技術総合開発機構	鈴木 陽一	2次元等ラウドネス曲線の全聴野精密決定	20,000
新エネルギー・産業技術総合開発機構	中沢 正隆	計量器校正情報システムの研究開発-1	16,200
通信・放送機構	伊藤 弘昌	光波と未開拓電磁波の超高速変換・制御の研究	8,100
通信・放送機構	舛岡富士雄	3次元デバイスを用いた高機能通信用集積回路の研究開発	39,826
通信・放送機構	室田 淳一	超高速無線通信用SiベースIV族半導体極微細デバイスに関する研究	28,900
通信・放送機構	大谷 啓太	量子カスケード型半導体長波長発光素子に関する研究	8,300

機 関 名	研究代表者	受 託 研 究 事 項	受託金額(千円)
(独)産業技術総合研究所	庭野 道夫	高感度赤外線検出方式に関する研究	3,000
日本学術振興会 (未来開拓)	大野 英男	非平衡表面層の原子スケールダイナミクスと新物質の創生	70,900
日本学術振興会 (未来開拓)	白鳥 則郎	動的ネットワーキング	104,602
日本学術振興会	長 康雄	非線形誘電率顕微鏡の高性能化に関する研究	41,991
日本学術振興会 (未来開拓)	中村 慶久	超大容量高速垂直ストレージシステムの研究	104,034
日本電気(株)光・無線デバイス研究所	伊藤 弘昌	波長変換非線形光学材料・デバイスの研究	500
NEDO 産業技術研究助成事業助成金	木村 康男	半導体ウェーハ表面汚染インライン・モニタリング・システムの研究開発	8,528
文部科学省	鈴木 陽一	デジタル音信号用高性能電子透かしの開発	16,000
文部科学省	中島 康治	位相モード論理回路を用いた高速フーリエ変換に関する研究	5,989

機 開 関 名	研究分担者	受 託 研 究 事 項	受託金額(千円)
通信・放送機構	山口 正洋	ナノ構造制御による高性能電波吸収薄膜材料の開発	3,361
日本学術振興会 (未来開拓)	坪内 和夫	CDMAデータバスとそれを用いた高度情報処理システムの研究開発	2,500
日本学術振興会 (未来開拓)	坪内 和夫	新圧電単結晶・薄膜材料の探索と次世代高度情報システム用高機能弾性波デバイスの研究	7,150
日本学術振興会 (未来開拓)	長 康雄	新圧電単結晶・薄膜材料の探索と次世代高度情報システム用高機能弾性波デバイスの研究	3,000
日本学術振興会	室田 淳一	非平衡表面層の原子スケールダイナミクスと新物質の創生	10,500
文部科学省	三村 秀典	マルチナノプローブ加工法による高性能単電子デバイスに関する研究	16,000

### 1.3 COE関連研究経費

事 項	予 算 額	備 考
中核的研究機関支援プログラム	千円 109,000	
非常勤研究員経費	30,720	9名分
外国人研究員経費	14,280	3名分
研究高度化支援経費	64,000	

## 1.4 奨学寄付金の受け入れ

アオイ電子(株)	(株)日立国際電気 放送・映像システム事業部
旭化成(株) 中央技術研究所第一研究部	(株)日立製作所システム開発研究所
安藤電気(株)	(株)日立超L S I システムズ
沖電気工業(株) オプティカルコンポーネントカンパニー	(株)富士通研究所
オムロン(株) 技術本部 I T 研究所	(株)本田技術研究所和光基礎技術研究センター
サンコーコンサルタント(株) 東北支店	(株)村田製作所
シャープ(株) ディスプレイ技術開発本部ディスプレイ研究所	(財)小笠原科学技術振興財団
情報処理装置等電波障害自主規制協議会	(財)テレコム先端技術研究支援センター
情報ストレージ研究推進機構 S R C	(財)電気通信工学振興会
新日本製鐵(株) 技術開発本部	(財)電気・電子情報学術振興財団
スタンレー電気(株)	(財)日本板硝子材料工学助成会
ソニー(株) 厚木テクノロジーセンター S N C ・ L S I テクノロジー開発部門	(財)光科学技術研究振興財団
ソニー(株) C N C . R M . 開発部門ディスク開発部	(財)双葉電子記念財団
タカノ(株)	(財)みやぎ産業科学振興基金
T D K(株)	(財)村田学術振興財団
電源開発(株)	
日本鋼管(株)	
日本電気(株)	
日立金属(株) 先端エレクトロニクス研究所	
日立マクセル(株) 開発本部	
富士通東日本デジタル・テクノロジ(株)	
松下通信工業(株)	
松下電器産業(株) マルチメディア開発センター	
三菱化学(株) 科学技術研究センター	
三菱重工業(株) 技術本部基盤技術研究所	
三菱電機(株) 情報技術総合研究所	
三菱電機(株) 先端技術総合研究所	
三菱電機(株) 通信システム開発センター	
三菱電線工業(株) 情報通信・フォトニクス研究所	
三菱電線工業(株) 電子通信研究所	
リオン(株)	
(株)アドバンテスト	
(株)N T T ドコモ	
(株)O C C	
(株)光電製作所	
(株)玉川製作所	
(株)東芝 研究開発センター	
(株)東芝 セミコンダクター社	
(株)東芝デジタルメディアネットワーク社 コアテクノロジーセンター	
(株)東芝デジタルメディアネットワーク社 光・磁気 ストレージ開発センター	
(株)東北テクノブレインズ	
(株)トーキン	
(株)トーキン・イ・エム・シ・エンジニアリング	
(株)トクヤマ つくば研究所	
(株)日立国際電気	

計 104件 150,382,526円

## 第2章 研究活動状況

### 2.1 國際活動

区分	1997年度	1998年度	1999年度	2000年度	2001年度	合計
国際的研究集会・学会等での招待者数	33	44	59	64	54	254
国際共同研究の実施状況 (件数)	16	17	30	19	15	97
外国人研究者 の来訪状況 (人数)	1か月以上 滞在	9	11	7	11	6
	1週間以上 1か月未満	20	8	19	11	4
外国人研究員の受入状況 (人数)		9	4	8	8	6
						35

### 2.2 発表論文数

区分	1997年度	1998年度	1999年度	2000年度	2001年度	合計
掲載された論文数 学会誌						
	148	175	197	184	231	935
国際会議議事録等	155	140	202	288	201	986

## 2.3 外国の大学等との学術交流部局間協定締結一覧

代表者	協定校		協定締結年月日	研究課題	協定の主な内容
	国名	研究機関名			
教授 津屋 昇 (荒井賢一教授)	ポーランド	ポーランド 科学アカデミー	1976.8.3	磁性体における磁性 弾性結合に関する研 究	教官等の交流 共同研究の実施 研究指導 刊行物の交換
教授 沢田康次	アメリカ 合衆国	シカゴ大学 ジェームス・フランク 研究所	1987.4.27	カオスと乱流	教官等の交流 共同研究の実施 刊行物の交換
教授 白鳥則郎	中国	ハルビン工業大学 計算機科学工程系	1987.6.15	計算機ネットワーク 構築に関する研究	教官等の交流 共同研究の実施 刊行物の交換
教授 水野皓司	イギリス (文部省と英国科 学工学研究会議 との学術交流企 画に参加)	ロンドン大学 クイーンメアリー・ ウェストフィールド カレッジ	1990.4.3	サブミリメートル波 の測定に関する研究	教官等の交流 共同研究の実施 学術資料の交換
教授 白鳥則郎	韓国	成均館大学 情報通信技術研究所	1995.9.13	ユーザインタフェー スとエージェントの 知的化	教官等の交流 共同研究の実施 刊行物の交換
教授 山下 努	オランダ	トウェンテ大学 応用物理学部 材料科学研究所	1998.1.27	超伝導材料と電子素 子に関する研究	教官等の交流 共同研究の実施 刊行物の交換 学部学生及び大学院 学生等の交流
教授 山下 努	ロシア	ロシア科学アカデミー 通信電子工学研究所	1998.2.23	超伝導電子通信 デバイスの研究	教官等の交流 共同研究の実施 刊行物の交換 学部学生及び大学院 学生等の交流
教授 山下 努	中国	南京大学	1998.4.16	超伝導ミリ波・サブ ミリ波デバイスの 研究	教官等の交流 共同研究の実施 刊行物の交換 学部学生及び大学院 学生等の交流
教授 中島康治	韓国	大邱大学校 工科大学	1998.11.6	ニューラルネットワー ークと知的情報処理 に関する研究	教官等の交流 共同研究の実施 刊行物の交換 学部学生及び大学院 学生等の交流
教授 室田淳一	ドイツ	アイエイチピー（半導 体物理学研究所）	2000.1.22	高集積通信システム 製作のためのSiGe系 MOS-HBT技術の開発 研究	教官等の交流 共同研究の実施 刊行物の交換

## 2.4 学振特別研究員およびC O E研究員

### 日本学術振興会特別研究員（D C）

氏名	任用期間	研究内容
島宗洋介	H.11.4.1～H.14.3.31	IV族半導体への原子層ドーピングと超格子デバイスに関する研究
大泉善嗣	H.12.4.1～H.15.3.31	半導体単一量子構造の発光分光
安達太郎	H.13.4.1～H.15.3.31	半導体量子構造におけるスピノの輸送と干渉に関する研究

### C O E非常勤研究員

氏名	任用期間	研究内容
岩田一樹	H.13.4.1～H.14.3.31	感覚遮断環境におけるヒトの生理学的状態の特異性に関する研究
佐伯豊	H.13.4.1～H.14.3.31	再利用可能な拡張機構を持つプログラミング言語に関する研究
篠原正典	H.13.4.1～H.14.3.31	半導体表面ナノ構造創製プロセスに関する研究
鈴木章夫	H.13.4.1～H.13.7.31	視覚形態情報処理の研究
松尾行雄	H.13.8.1～H.14.3.31	エコー定位による三次元間認識に関する研究
篁耕司	H.13.4.1～H.14.3.31	III-V族希薄磁性半導体の結晶成長と物性に関する研究
中澤日出樹	H.13.4.1～H.14.3.31	SiC薄膜形成法に関する研究
宮下雅仁	H.13.4.1～H.14.3.31	直線集束ビーム超音波顕微鏡による電子デバイス作成プロセスの評価法に関する研究
李載廣	H.13.4.1～H.14.3.31	ミリ波帯走査型近接場顕微鏡に関する研究

### C O E外国人研究員

氏名	任用期間	研究内容
元光	H.12.4.1～H.13.10.12	炭素系エミッターの電子放射機構の解明に関する研究
趙建华	H.13.4.1～H.14.3.31	高温強磁性転移温度を持つ(Ga, Mn)Asの成長、物性、スピンドルレンズの制御に関する研究
Karuppanan SENTHIL	H.13.9.17～H.14.3.22	炭化ケイ素薄膜成長の表面化学に関する研究

## 2.5 特別研究員・大学院生の受入状況

区分	1997年度	1998年度	1999年度	2000年度	2001年度	合計
特別研究員	5	14	14	14	12	59
大学院生	201	200	198	199	188	986

## 第3章 論文題目

### 3.1 修士論文

題 目	著 者	指導教官
<b>電気・通信工学専攻</b>		
超伝導単結晶電子デバイスの材料評価の研究	猪股 邦宏	山下教授
電界放射陰極のエネルギー計測に関する研究	今井 保貴	横尾教授
ダイヤモンド・プラズマCVDの反応機構に関する研究	桑野 隆行	庭野教授
空間関係性を用いたテクスチャ抽出	桑原 匠	矢野教授
奥行き知覚における情報の生成と統合に関する研究	佐々木麻友子	矢野教授
電界放射陰極の光照射効果に関する研究	志賀 智英	横尾教授
BSCCO固有ジョセフソン接合からの高周波放射	中尾 光明	山下教授
RF励起dc-SQUIDのデバイス応用に関する研究	西方 啓	山下教授
Si表面の電気化学エッチング反応に関する研究	根本 淳	庭野教授
拘束条件の生成・充足による昆虫ロボットの制御	日比谷新平	矢野教授
ヘテロダイイン変調型赤外分光システムに関する研究	藤村 厚	庭野教授
超伝導ジョセフソン高周波検出器の研究	堀口 陽宣	山下教授
多孔質Siからの電子放射に関する研究	宮嶋健太郎	横尾教授
半導体表面上の有機高分子薄膜形成に関する研究	渡辺 隼人	庭野教授
<b>電子工学専攻</b>		
ミリ波パッシブ・イメージング装置に関する研究	新井 直人	水野教授
SS-CDMA用超低消費電力アナログLSIの研究	飯塚 俊丞	坪内教授
SS-CDMAワイヤレスシステムの研究	飯塚 洋介	坪内教授
高速フォトダイオードを用いた短ミリ波の発生に関する研究	伊藤 吉紀	水野教授
ソフトウェア無線用LSIの研究	上田 真司	坪内教授
GHz帯無線通信用SAWデバイスの研究	上原 健誠	坪内教授
擬似位相整合デバイスの製作とその評価に関する研究	宇佐美 威	伊藤教授
有機非線形光学結晶DASTの結晶成長及びその非線形光学効果の研究	大崎 直樹	伊藤教授
周期分極反転LiNbO <sub>3</sub> の光通信への応用に関する研究	太田 祥恵	伊藤教授
高次非線形誘電率顕微鏡に関する研究	大原 鉄也	長教授
マイクロマシン技術のミリ波回路への応用に関する研究	岡田 千秋	水野教授
IV族半導体への金属の原子層ドーピングに関する研究	金谷 敏行	室田教授

## 論文題目

タイプII InAs/GaSb/AlSb量子カスケード型発光素子に関する研究	佐久間 仁	大野教授
微細共鳴トンネル構造の作製と評価	清水 智弥	大野教授
走査型トンネル分光法による半導体ナノ領域の電子状態に関する研究	立川 法義	潮田教授
強磁性半導体構造のデバイス応用に関する研究	千葉 大地	大野教授
SGTの負荷容量に関する研究	張 薇	舛岡教授
Si-Ge-C系多結晶薄膜形成に関する研究	沈 玄永	室田教授
ミリ波帯近接場顕微鏡における画像の定量的評価に関する研究	縫村 修次	水野教授
二波長動作光パラメトリックデバイスに関する研究	平間 淳司	伊藤教授
Si-Ge-C系原子層ヘテロ構造形成に関する研究	藤生 政樹	室田教授
周波数シフト帰還型ファイバーレーザーの動作とその応用に関する研究	藤本美代子	伊藤教授
SGT DRAMのソフトエラーに関する研究	松岡 史宜	舛岡教授
GHzLSIの基板クロストークに関する研究	三浦 雅和	舛岡教授
ECRプラズマによる低温Siエピタキシャル成長に関する研究	武藤 大祐	室田教授
SiGe系ガスソースMBE成長素過程に関する研究	村田 威史	舛岡教授
オーバーモード導波管を用いたミリ波帯電力合成回路の研究	山下 隆征	水野教授
3次元型SGTデバイスのプロセス設計に関する研究	山下 弘臣	舛岡教授
オンチップ光配線のための応力フリー集積化プロセスに関する研究	山田 敦史	室田教授
数10GHz帯の高速回路技術に関する研究	吉田樹誉満	舛岡教授

## 情報基礎科学専攻

ネットワークトラフィック監視型不正侵入の検出に関する研究	大和田英成	白鳥教授
スレッド移送の高速化を指向したJava言語に関する研究	佐藤 芳樹	白鳥教授
An Efficient Method for High Resolution Network Traffic Measurement (高解像ネットワークトラフィック計測の効率化に関する研究)	Sandeep Karkala	白鳥教授
3次元仮想空間における対話支援環境の研究	杉山 俊春	白鳥教授
事例ベースを用いたやわらかい情報通信システムの構成に関する研究	武田 敏志	白鳥教授
テスト集合を用いた帰納的定理の自動証明について	福井 信一	外山教授
ポテンシャルを用いたエージェントの行動様式に関する研究	星 謙作	白鳥教授

## システム情報科学専攻

単電子ニューロデバイスに関する基礎的研究	秋間 学尚	中島教授
量子化結合大規模集積化ニューラルネットワークの構成に関する研究	安部 正夫	中島教授
聴覚と自己運動感覚との相互作用に関する基礎的研究	長田 祐介	鈴木教授
映像用ハードディスクシステムの高速データ転送に関する研究	佐々木紀夫	中村教授
音信号電子透かしのブラインド検出に関する基礎的研究	薗田光太郎	鈴木教授
仮想球モデルに基づく聴覚ディスプレイシステムの開発に関する研究	高橋 秀介	鈴木教授
单磁極ヘッドの高性能化の研究	高橋 正晴	中村教授
ストカスティックニューロシステムの集積化に関する研究	根本 憲	中島教授

## 3.2 博士論文

題 目	著 者	指導教官
<b>電気・通信工学専攻</b>		
銅酸化物単結晶のジョセフソンプラズマ励振に関する研究	植松 裕	山下教授
高周波キャリア形薄膜磁界センサに関する基礎的研究	菊池 弘昭	荒井教授
下等生物の認識メカニズムの理論的研究	三浦 治己	矢野教授
<b>電子工学専攻</b>		
ファイバオプティクスイッチの研究	青山 勉	伊藤教授
非線形光学結晶の成長と高機能光デバイス化に関する研究	浦田 佳治	伊藤教授
マイクロ波帯サブキャリア光伝送システムの高性能に関する研究	金子 進一	伊藤教授
スペクトラム拡散通信ネットワークシステムの研究	亀田 卓	坪内教授
IV族半導体への原子層ドーピングとその応用に関する研究	島宗 洋介	室田教授
IV族半導体の原子層プラズマ表面改質とその応用に関する研究	清野 拓哉	室田教授
Research on Nonlinear Optical Devices Using Organic Crystal DAST (有機結晶DASTの非線形光学デバイス応用に関する研究)	孫 永睦	伊藤教授
DRAM混載対応Logic LSI製作のプロセスの高密度・高性能化に関する研究	田中 宏幸	室田教授
広帯域・省電力シリコンRF回路の研究	東原 恒夫	坪内教授
周波数シフト帰還型レーザを用いた環境計測の研究	原 武文	伊藤教授
光ファイバ增幅器用高出力出力单一横モード980nm帯半導体レーザに関する研究	堀江 秀善	伊藤教授
固体表面上に吸着した有機分子のSTM発光スペクトル	目黒 和幸	潮田教授
高速IPネットワークシステムの実現に関する研究	弓削 哲也	坪内教授
<b>情報基礎科学専攻</b>		
制約的仕様記述法とその応用に関する研究	安藤 敏彦	白鳥教授
仮想化に基づく分散システムモデルとその処理系に関する研究	菊池 一彦	白鳥教授
エージェント型ネットワークミドルウェアの構成に関する研究	北形 元	白鳥教授
マルチメディア通信システムにおけるエージェント知識の構成に関する研究	李 成竺	白鳥教授
<b>システム情報科学専攻</b>		
垂直磁気記録媒体の信号品質と熱安定性に関する研究	上住 洋之	中村教授
Fe-Pt薄膜を用いる次世代高密度垂直磁気ディスクに関する研究	鈴木 淑男	中村教授
壁面反射音抑圧のためのアクティブ音場制御手法に関する研究	高橋 弘宜	鈴木教授
高品位映像の高能率符号化と蓄積・伝送技術への応用に関する研究	村上 篤道	中村教授

## 第4章 受章・受賞

賞名等	受賞者氏名	所属分野・部	研究課題名・功績名等
(社)映像情報メディア学会 丹波高柳賞功績賞	中村 慶久	情報記憶システム研究分野	セルフコンシスティント磁化理論と垂直磁気記録の先駆的研究
電子情報通信学会 平成13年度業績賞	白鳥 則郎 菅原 研次 木下 哲男	情報通信システム研究分野	知的情報通信システムの設計法とその応用
電子情報通信学会 平成13年度論文賞	橋本 和夫 松本 一則 白鳥 則郎	情報通信システム研究分野	確率的時間論理に基づくフォールトモデルを用いた診断方法
国際会議最優秀論文賞 (5th World Multiconference on Systemics, Cybernetics, and Informatics)	Ahmed Ashir Salahuddin Zabir 白鳥 則郎	情報通信システム研究分野	Providing Fair Service Among ECN Capable and non ECN Capable TGP Connections Over the Internet
平成13年度電子情報通信学会学術奨励賞	加藤 貴司	情報通信システム研究分野	主観的協調関係に基づくマルチエージェントの振舞い
平成13年度電子情報通信学会学術奨励賞	北形 元	情報通信システム研究分野	FAMESのためのエージェント間通信基盤
日本バーチャルリアリティ学会論文賞	西村 龍一	音響情報システム研究分野	頭部近傍を通過する物体の聴感実時間合成
(財)未踏科学技術協会 超伝導科学技術賞	山下 務 他	超伝導コンピューティング デバイス研究分野	単一区バー対素子の提唱と実証
日本電子材料技術協会 優秀発表賞	山下 勿 他	超伝導コンピューティング デバイス研究分野	Bi系高温超伝導体単結晶ウイスカーの育成と固有ジョセフソン特性についての研究
応用物理学会 講演奨励賞	水柿 義直	超伝導コンピューティング デバイス研究分野	フラッシュ型4ビット单電子アナログ・デジタル変換器の試作
応用物理学会 講演奨励賞	植松 裕	超伝導コンピューティング デバイス研究分野	LSCO固有接合の電流電圧特性上に観測されるジョセフソンプラズマ共振
日本応用磁気学会 優秀講演賞	山口 正洋	スピニエレクトロニクス 研究分野	集積化スパイラルインダクタの高Q化
科学計測振興会賞	山口 正洋	スピニエレクトロニクス 研究分野	多層平面型シールディードループコイルによる高周波磁界計測
総務省東北総合通信局長 表彰	横尾 邦義	極限能動デバイス研究分野	電磁波資源の開始
電子情報通信学会フェロー	中沢 正隆	超高速光通信研究分野	エルビウム光ファイバ増幅器、光ソリトン並びに超高速伝送に関する先駆的貢献

賞名等	受賞者氏名	所属分野・部	研究課題名・功績名等
平成13年度トーキン科学技術振興財団研究奨励賞	櫻庭 政夫	原子制御プロセス部	原子層積層によるIV族半導体量子ヘテロ構造の製作
光科学技術研究振興財団研究表彰	大野 裕三	超高速電子デバイス部	強磁性半導体を用いたスピノ注入偏光発光ダイオードの開発
第10回応用物理学会講演奨励賞	千葉 大地	超高速電子デバイス部	(In, Mn) Asにおける強磁性の電界制御

## 教官の最終学歴（大学または大学院等）

最終学歴	教授	助教授	講師	助手	計
東北大学	14	6		26	46
ペンシルバニア大学	1				1
東京大学	1	4		2	7
北海道大学	1			1	2
名古屋大学	1				1
大阪大学	1				1
九州大学	1				1
東京工業大学	1				1
ヤラバン州立大学	1				1
千葉工業大学				2	2
筑波大学				1	1
北陸先端科学技術大学院大学				1	1
大阪府立大学		1			1
日本大学		1			1
静岡大学		1			1
長岡技術科学大学		1			1
電通大学				1	1
朝鮮大学		1			1
南京大学		1			1
バングラデシュ工科大学				1	1
フランクフルトヨハンゲーテ大学				1	1
仙台工業高校				1	1
合 計	22	16	0	37	75

## 第5章 トピックス

## ウイルス、発信元まで追跡

## 侵入者けん制見込む

## サイバー・ソリューションズなど開発

の侵入者を検知すると、社内のネットワーク図上で異常発生個所を音と点滅で警告する。同時にプロバイダー単位で表示したインターネット網の地図上で、侵入者のIPアドレスなどを基にして侵入経路を特定、発信源を知らせる。「ニムダ」など感染力の強いウイルスやハッカーの被害が広がる中、従来の侵入検知ソ

フトは「侵入に対する警告はするが追跡は難しかった(同社)。サイバー社は独自の追跡機能で侵入者をけん制、攻撃を抑制する効果も見込む。

ネットワークなどの地図の自動作成機能は東北大の白鳥則郎教授らと開発した。ネット接続状況などを数秒で地図に表示、侵入者など異常の早期発見につながるという。

日本経済新聞  
2001年11月13日掲載

【仙台】東北大電気通信研究所の白鳥則郎教授とサイバー・ソリューションズ（仙台市青葉区、キニード社長）は、ネットワークのトラフィックなど各種ネットワーク情報をリアルタイム（数秒）で可視化表示できる新システムを共同開発

独自のプローブ（測定器）を用いる方式によりデータの効率的な集約と圧縮を実現。ネットワークへの負荷増大を抑えつつ高精度化を可能にした。今後、研究グループは、インターネットを安心して使える基盤技術として新システムの普

新システムの名称は「J N A O」。通信放送機構（TAO）が取り組むJG Nプロジェクト（期間99～2003年）の一環として、同プロの基幹ネットワークを利用して開発した。従来システムでは数10秒単位以上要したネットワーク

一  
イ  
ン  
タ  
ー  
ネ  
ッ  
ト  
の  
国  
際  
標  
準  
化  
組  
織  
(IE  
T  
F)  
へ提  
案  
する準備を行っており、12  
月にも提案する見込み。  
今回の研究成果は、19日  
から沖縄で開催される「ギ  
ガビットネットワーク・シ  
ンポジウム2001」で発  
表する予定。

## ネットワーク情報 数秒で可視化表示

東北大とサイバー  
・ソリューションズ

## 情報の測定精度を、J a N

日刊工業新聞  
2001年11月14日掲載

**新システム開発  
東北大教授ら  
不正使用監視も可能**

東北大電気通信研究所の白鳥則郎教授(情報通信)と、仙台市の情報関連ソフトウェア会社の共同研究グループが、コンピュータネットワークの混雑状況などを瞬時に把握できる新システムを開発した。混雑する経路を避けるソフトを併用すれば、インターネットのアクセス時間短縮など、様々なメリットが期待できるらしい。

白鳥教授と「サイバー・ド社長」が開発した新システムの名前は「JANI」。インターネット上のアクセストラフィックを瞬時に監視し、混雑状況を把握する。この結果、ネットワーク上の障害が発生する場合、専用ソフトで検知・対処できる。

# ネット混雑、瞬時に把握

東北大教授ら  
新システム開発

不正使用監視も可能

ポートを開発すれば、ユーザが障害や混雑を避けて目的の所にアクセスできるようになり、ネットワーク全体の安定も図れる。

また、現状では専門家でも五分から数時間が必要とされるアクセス経路の把握が瞬時にできるため、不正使用の常時監視にも活用できる。新システムは、米ソルトレークシティーで開かれたインターネットの国際標準化組織(IETF)の会合で発表した。

読売新聞 2001年12月19日掲載

# 日本の若者は 騒音に鈍感?

フィンランドと比較調査

# 難聴がまん延の恐れ

「コンサートやヘッドホンで音楽を聴くのが危険」といわれる危険性や聴力の保護に対する若者の意識では、日本は「フィンランドに比べてかなり低い」。東北大電気通信研究所の鈴木陽一教授(音響情報工学科)の研究グループが、フィンランド国立労働衛生研究所と共同で実施したアンケートでこんな実態が浮き彫りになった。鈴木教授は「このままでは、日本の若者が難聴になる危険が高い」と警告している。

## 低い聴力保護意識

アンケートでは、日本では「音楽レベル」と感じている人が多い。しかし、日本では音楽の使用者は年々減少。フィンランドでは聴力の18歳が満足度で30%が「大変、非常に高い」レベルと回答。コンサートやヘッドホンで音楽を聴く人が対象に実施。フィンランドでも同年代の若者十六十九人を対象にしていても、日本の方が高音の大ささを多めに感じ取っている。大ささを我慢して取つていたり、耳鳴りなど難聴を引き起す行為が多かった。一方で、日本では保護員に対する知識が学校ではほとんど教えられていないことも明った。アンケート結果は、東北と比較した場合、日本の70%が「スリーカー」の音楽を「普通の会話」としており、日本の方が高音の大ささを感じ取つていた。イヤカ奉公などの聴力保護意識が、一日一時間平均七十五分の音にぎやかな音に四十程度が利交差点程度)の音に四十ほど感じているのに対し、フィンランドの若者の30%程度が利

確率で難聴が発症するという。ロックコンサートは百倍程度といわれており、これは鉄道のガード下と同程度。日本の若者は、耳鳴りなど難聴を引き起す行為を経験していた。日本では保護員に対する知識が学校ではほとんど教えられていないことも明った。アンケート結果は、東北と比較した場合、日本の70%が「スリーカー」の音楽を「普通の会話」としており、日本の方が高音の大ささを感じ取つていた。イヤカ奉公などの聴力保護意識が、一日一時間平均七十五分の音にぎやかな音に四十程度が利交差点程度)の音に四十ほど感じているのに対し、フィンランドの若者の30%程度が利

河北新報 2001年9月14日掲載

# **Valtaosa nuorista altistuu liialle melulle joka viikko**

- Japanilaisnuorten korvat pääsevät vähemmällä
  - Suomen diskissa äänekkäämpää kuin Japanin karaokebaareissa

**Minna Pölkki**  
HELSINGIN SANOMAT

**KUOPIO.** Kolme neljästä suomalaisnuoresta altistuu viikoittain liialliselle melulle. Yleisimmin se tapahtuu diskioissa, ravintoloissa ja kuuntelemalla stereota.

Kuopion yliopiston, Kuuhonhuoltoliitto ry:n ja Työterveyslaitoksen tutkimuksessa kyseltiin 13–25-vuotiailta koululaisilta ja opiskelijoilta heidän altistumisestaan melulle vapaa-aikana. Tuloksia vertailtiin Japanissa tehtyyn vastaanvankaiseen tutkimukseen. Kyselyyn vastasi yli tuhat nuorta molemmissa maissa.

**Suomalaisnuoret** altistuvat japanilaisnuoria selvästi enemmän melulle: Japanissa vain yksi kolmesta kokee viikoittain liallista melua. Eroa selitetään muun muassa sillä, että Suo-

messä nuoret käyvät diskossa  
kun taas Japanissa he suosivat  
karaokeravintoloita, joissa me-  
lutaso ei ole välttä korkea.

Ero näkyy oireissa: Suomessa koetaan selvästi enemmän haitallisia kuulo-oireita.

Turvallisena päivittäisenä al-tistumisrajana melulle pide-tään 75:tä desibelijä päivässä. Diskoissa melutaso on noin sa-ta desibelijä, konserteissa jos-kus iopa 110 desibelijä.

**Ihmisten herkkyys** kuulo-vaurioille vaihtelee. Haitallisia oireita ei huomaa heti, sillä kuulovaurio kehittyy petolli-sesta toistuvien altistumisten seurauksena.

Mehilaboratorion johtajan, dosentti Erikki Björkin mukaan kuijon alenemia havaitaan nuorilla muun muassa armeijan tulevien tarkastuksissa.

a. "Jos menee meluisaan työ-

hön meluisan nuoruuden jälkeen, kuulovamma voi tulla jo 30-40-vuotiaana”, Björk sanoo.

**Usein vauriot ilmenevät** vasta 50–60-vuotiaana. Nuorten kuulovauriot enteilevät... Björkin mukaan ikähuonokulaisuuden lisääntymistä.

Dosentti Björkin mielestä diskot ja konserittien järjestäjät pitäisi velvoittaa kertomaan vaaroista. Björkin mielestä järjestäjien pitäisi myös jakaa asiakkailleen ilmaisia korvatulppia, joiden käytöö hän suosittelee diskoiissa ja konserteissa.

"Korvatulppia käyttämällä saataisiin jäämään niin sanottu musiikki menee ihon läpi -efekti, mutta korvat olisi turvattu."

2001年10月5日 Helsingin Sanomat

### 単語リストの例

- |          |               |                |              |
|----------|---------------|----------------|--------------|
| (1)高親密度  | アサメシ<br>オハナシ  | イマドキ<br>ガチャガチャ | ウチアゲ<br>カナナニ |
| (2)中親密度  | アレハダ<br>エスプリ  | イリノフ<br>オシノビ   | ウワバリ<br>ガクダン |
| (3)低親密度  | アテゴト<br>エキダン  | イシュユミ<br>オオトノ  | ウレギ<br>ガジュマル |
| (4)超低親密度 | アミハイン<br>オーナー | イラツミ<br>ガクーン   | ウスバタ<br>ガラハフ |

の機器電話の音量調節の詳細を述べた。また、ホールドの音量調整機能についても述べた。単語リストはデータベースとして公開され、技術的問題点について述べた。参考文献は、主に IEEE の会員登録ページへのリンクである。<http://www.ieee.org>

## アサメシ・イマドキ・オシノビ

「トサメン」、「トレハダ」、  
「トコロト」、「トミン」。  
あたしは聞き取ります。

東北大震災復興研究所所長  
NTTコミュニケーションズ研究所  
学術研究部の共同研究グループ  
が「日常会話の聞き取り  
能力テスト用の新しい単語リスト」を開発した。補聴器の調  
整などに応用できると期待される。  
これまでの聞き取りの能力は、  
ストressは「[1]」といふ時單音  
のよな純音で「[あ]」「[か]」  
などの単音語、「[一]」「[二]」  
などの1けたの数字が使われ  
てきた。だが、普段慣れを  
单純で聞くのはそれで、日常  
の音をどう聞き取らんか、  
のがわからる。難聴者の聞き取  
り能力を正しく把握でき  
る」と鈴木教授は期待する。

NTTの大野昭成主任研究  
員も「デジタル技術の進歩で  
様々な補聴器が開発されてお  
り、その最適な機能ができない

# 聞き取る力 正しく判断

東北大など単語リスト開発

の聞き取り能力を十分反映しているとはいえないかった。

## 超伝導単結晶集積回路とテラヘルツデバイスの開発

## —10,000個の固有ジョセフソン接合の作製に成功—東北大未来科技センター—

東北大未来科学技術共同研究センター  
山下努教授のグループはJST戦略基礎研究プロジェクトで、10,000以上もの固有ジョセフソン接合を形成させることに成功し、2.5Vまで零交差シャビロステップを観測したことを公表した。

その加工技術は、昨年の本稿(Supercom, Vol.10, No.2, P.9, 2001.4)で報告した両面加工プロセスを発展させたものである。開発した加工プロセスは、通常のリソグラフィ技術に基づいているが、単結晶デバイスの作製におけるブレークスルーであり、様々なデバイス構造とその集積回路を作製する際に用いられてきた。

図1は、固有ジョセフソン接合(IJJ)を互いに直列接続したスタックの作製方法を模式的に示したものである。まずBSCCO単結晶をへき開し、基板1に固定してから表面を金薄膜で覆い、2つのスタック構造をもつメサ(図中点線の丸印)をフォトリソグラフィでパターニングした後に製作した(図1(a))。メサは別の基板(図1(b)の基板2)上に貼り付けられ、下地の結晶からへき開し、その結果、200~300nm高さをもつII型の試料が基板2上に立てられる。50nmの金薄膜を試料上にスパッタした後、中心部を保護するためにストリップ状のフォトレジストを置き、所望の接合数(数個~数十個)に応じた高さだけ、レジスト以外の部分をArイオンミリングで掘り下げた(図1(c))。基板1にはどのような基板でも用いることができるが、基板2には実用上マイクロ波帯で低損失などを考慮し、SiやMgOを専ら使用する。図1(d)にはアレー化によりもっと多くのスタックを含ませる方法を示している。

実際、150ミクロン×170ミクロンの領域に積層スタックを256個直列接続したものを作製することにより、10,000以上もの固有ジョセフソン接合を形成させることに成功した。図2は、MgO基板上に作製された256個のスタックの顕微鏡写真と、その電流-電圧特性である。接合数は11,000であると見積られる。図より全ての接合の特性が非常に均一であることが分かる。

さらに山下教授らのグループでは、その成果をもとにそれらのテラヘルツ応用を多角的に研究した。例を挙げると、上述のIJJアレーの高周波応答を測定している。図3は760GHz照射下での256スタックアレーの典型的なI-V特性である。零交差シャビロステップ2.5Vまで観測されている。50Kまで零交差ステップが観測されたことから、高温動作の電圧標準器の実現が可能となる見込みである。さらに、

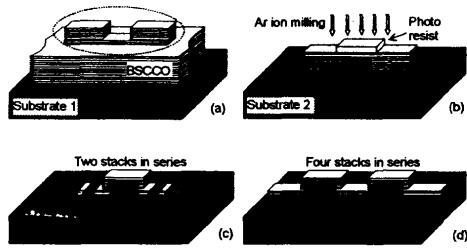


図1(a)～(b) 固有ジョセフソン接合を互いに直列接続したスタックの作製を示した模式図；(d) II型の構造はアレーに多くのスタックが含まれるものとして有効である。

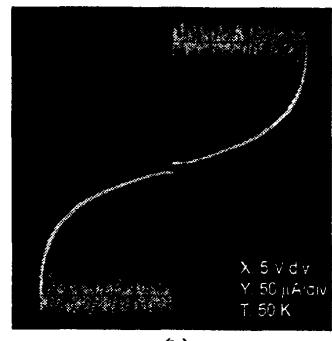
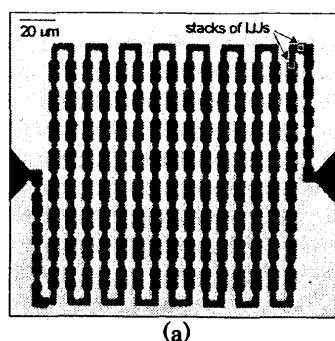


図2 (a) 透過光で撮影されたMgO基板上の256直列スタックの光学顕微鏡写真(b) 256スタックの典型的なI-V特性。

10,000もの固有ジョセフソン接合からなる大規模アレーは、コヒーレント放射に基づくテラヘルツ連続発振の可能性が注目される。

これらの成果のいくつかは、昨年8月に開かれた第5回ヨーロッパ応用超伝導会議(EUCAS)で報告され、Applied Physics Letter(2002年3月4日号)に出版される。山下教授は「これらの研究は、非常に高く評価されており、高温超伝導体の研究を実用に結び付けるもののうちで、近年最も重要な成果の一つであると思う。産業技術分野とりわけ情報技術産業で特に必要になるであろう。この分野を研究室レベルから、今後、工業生産レベルへと容易に移行させることができになるであろう。関連分野の研究グループから共同研究の申し出が數箇所でてきた。」と語っている。(三尺玉)

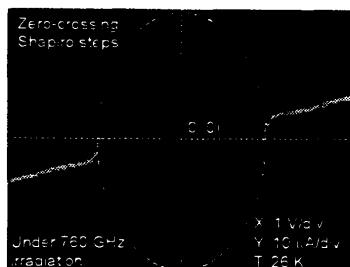


図3 約11,000接合をもつ256スタックアレーの760GHz照射下での零交差シャビロステップ

## 読書室

### 『フラッシュメモリビジネス最前線』

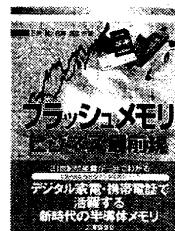
フラッシュメモリの市場が2000年には、メモリチップ本体の生産高が1兆円を超え、CPUなどにフラッシュメモリを組み込んだエンベデッドメモリの生産高も1兆円を超えて合計2兆円以上の生産高を達成していると言われている。特に日本におけるフラッシュメモリの生産高のシェアが50%を越えており、日本の半導体産業に大変貢献している。

この時期に本書が発売され、フラッシュメモリの市場における用途とその使用量が詳細に定量的に分析されており、今後のマーケットの予測を行っていることは、まさに当を得ていると言える。特に、フラッシュメモリをNOR型とNAND型に分類し、それぞれの特徴をまず回路の構成の組み方、動作原理およびその特徴を詳細に述べながら、初めて半導体メ

モリに遭遇する読者にもイメージをつかめるように工夫している。その後、NOR型のマーケットとして、高速読み出しの特徴を生かした分野に多く使われ、これまでには、たとえば携帯電話などの携帯機器に使用されており、今後の成長の見込みも詳細に述べられている。同じくNAND型のマーケットについては、高速書き込みおよびピット単価が安くなることが可能である特徴を生かして、ファイルメモリの分野に対する今後の急速の伸びの可能性が述べられている。このように、現在のフラッシュメモリを理解するためには非常に役に立つ。

しかし惜しまらくはフラッシュメモリの発表に対して多少正確さを欠く点がある。補足すると、最初のフラッシュメモリの発表は1984年米国で開催されたIEDM

石原昇・宮崎智彦  
共著/B6判・  
208頁/定価(本  
体1,600円+  
税)/工業調査会



(国際電子デバイス会議)で東芝に所属していたわれわれが、フラッシュメモリの命名も含めて行った。1987年に同じくIEDMで東芝に所属していたわれわれが、NAND型フラッシュメモリを命名も含めて発表した。このためNAND型と区別する目的で、1984年に発表したフラッシュメモリをNOR型とわれわれが命名したのが事実である。もちろん特許などに関しても、これらの事実から自明である。

(東北大学 外岡富士雄)

電子材料 2001年6月号掲載



シャープと東北大

シャープと東北大は、デジタルカメラの記録媒体などに使われた  
十倍以上に高める技術を開発した。動画一時間分を収録できる  
二〇〇六年、うに達成できる見通し。消費電力が少なく故障しない  
やDVD（デジタル多用途ディスク）を代替する可能性が出てきた。

# 16 ギガフラッシュメモリー

2006年にも達成  
容量10倍以上に

共同チームは、シンジンの大輔に増えぞ見通しき  
基板の表面に微細な凹凸を作り、その周囲にセルとい  
うデータを記録する素子を作り、その加工方法を開発した。  
現在のフラッシュメモリはセルを平面に並べてお  
る。セルを平面に並べておけば、半導  
体の加工技術を開発した。を使っても容量を一ヶ所に  
このセルを二段積んだ素子ででは四八段重ねの素子  
II写真IIを試作して、容量式では四八段重ねの素子

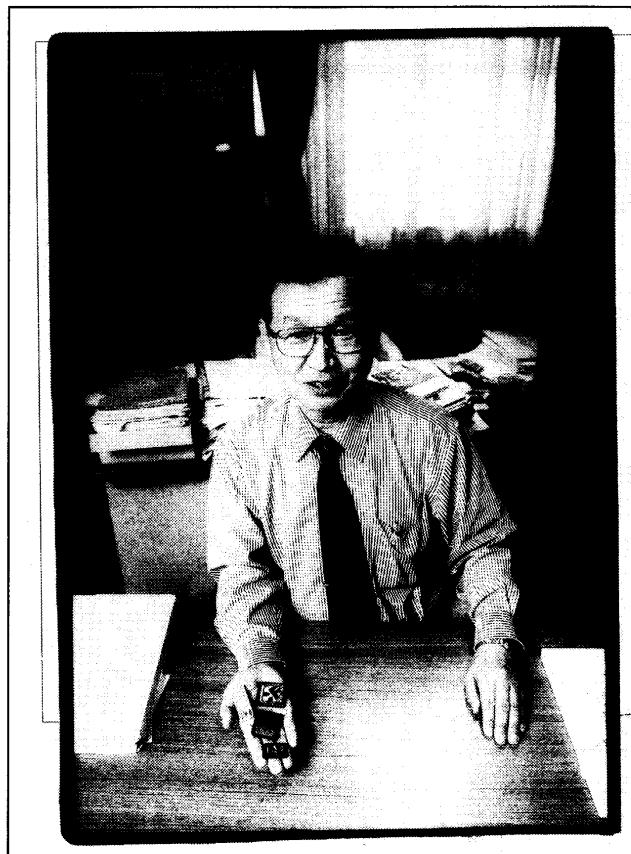
DVD代替の可能性

も開発可能で、面積の拡大やセルの高密度化などで、将来は三十ガド以上<sup>ギ</sup>の容量

をいたはく、消費電力を抑えられることで、特徴がある。容量に制約があり用途が限られていたのが、拡大の見通しが立ったことで、ノート型パソコンなど携帯情報端末機の主要な情報記録装置にする可能性が開ける。大きさも手のひらに収まる程度に抑えられたため振動を受けても壊れにくく、

日本経済新聞 2001年12月7日掲載

図5 フラッシュEEPROMのメモリ・セルを多層化  
従来のフラッシュEEPROMのメモリ・セルは、平面的に構成され、微細化や多価化によって容量を向上してきた。これに対し、メモリ・セルを縦横も形で構成するための基本技術を東北大学とシャープが共同開発した。NAND型フラッシュEEPROM「設計ルールをFとしたとき、セル面積4F<sup>2</sup>に比べて、セル面積を50%以上削減できる」という、セルを2段階構みにしたメモリ素子を試作し、フラッシュEEPROMの基本動作である書き込み/消去特性を確認した。0.1μmルール以降の技術で製造する16GB以上のデータ格納向けフラッシュEEPROMに向ける。(図:東北大学、シャープ)



モノ・マガジン 2002年NO.448 4-2掲載

歴史は繰り返す

舛岡富士雄

(東北大学電気通信研究所 教授)

日米半導体戦争と1980年代にいわれて久しい。20年前に、半導体に関するシェア問題で米国は、日本に圧力をかけてきました。とともに半導体戦争といわれた集積回路、DRAM、SRAM、EPROM、マスクROM等の半導体メモリは、1970年までに全てインテルが命名、開発、かつ自ら市場を切り開き、市場が大きくなった後に日本が参入した経緯があります。米国は、日本に圧力をかけながら、当時日本が強くなってきた汎用晶帯にDRAM等が撤退し、知的所有権で保護された半導体に特化すると同時に、当時の比較的弱かつた製造技術を産学官共同で強化し、DRAMの低コスト化も実現しています。例えばインテルはCPU、モトローラは通信用、TIはDSP、AMDは高速ロジック、IBMは汎用ロジック及びマイクロはDRAM等に選択と集中を行ないました。この結果、現在米国の半導体産業は、恩を吸き返して完全に日本を凌駕しています。一方日本は、いわば誰もが作れる20年前日米半導体戦争の表舞台に立っていましたDRAMの低価格化で韓国をダントンと訴えています。まさに歴史は繰り返すです。私共は、1984年1月

月フラッシュメモリを米国サンフランシスコで開催された IEDMで発表しました。ラムtron社等は、1986年2月FRAMをISSCCで発表しました。これに対してインテル社は、自社で開発したDRAM及びEPROMの市場から撤退し、数百人の技術者をフラッシュメモリの開発に投注し、NOR型フラッシュメモリのリーディングカンパニーとなりました。トローラ社は、同じくDRAMの開発を他社に止めエンベデッドフラッシュメモリの開発に注力し、通信用エンベデッドフラッシュメモリのリーディングカンパニーとなりました。一方日本のほとんどどの会社は、FRAMの開発に走り、米国の会社は、FRAMの開発に目も向かんでいませんでした。私は当時上司からFRAMについて意見を求められ、次のように回答しました。FRAMの商品価値はなく、開発に着手しない方が良い。私の目から見るとFRAMの動作時間はせいぜい1日です。このため、FRAMのマーケットは小さく、開拓する意味がないと判断したからです。残念ながらFRAMの寿命を1日と理解できた技術者は、当時少なかつたでしょう。現在実用化されているFRAM

の動作原理は、書き込みも読み出しも同じ液  
水晶読み出します。書き換え可能回数が10の  
12乗回で、読み出し可能回数も10の12乗回です。読み出しは、3時間だけでF  
RAMの破壊がおこることになり、DRAM及びSRAMの書き換えが、不可能になります。  
唯一使われる分野としては、人の手を介した  
書き換えが制限された駅の定期券、高速料金支払い等の限られた市場です。少なくとも私の  
在職中は、F RAMの開発はありませんでした。  
結果として私の予想が的中し、2001年  
の世界のフラッシュメモリ及びエンベデッド  
ドフラッシュメモリ(フラッシュマイコン)  
の総生産高は、2兆5千億円と言われ、F  
RAMの総生産高は、250億円と言われて  
います。フラッシュメモリのマーケットは、F  
RAMの100倍の規模になっています。自  
分の判断で、技術者がマーケットまで視野に  
入れて開発を決めることが、非常に重要であ  
ります。

正しくマーケットサイズまで考慮して開発の方向を決める上に出来るための必要な条件は、半導体の技術、販売及び損益等全てを自分自身で理解することです。米国の大学院では、半導体技術に関する製造装置、プロセス、MOSトランジスタ等のデバイス技術、回路技術、システム技術までドクタースクールで習得しています。この後会社に入社し、販売及び損益等を経験することにより自分自身で開拓の方向を決める事が出来る技術者になれる可能性があります。韓国及び台湾でも、米国で博士を取り、米国企業で豊富な経験を持つ技術者が、多数働いているのが現状です。かつ韓国及び台湾では、国の費用で大学内にスーパークリーンルームを作ると

共に、自国出身の米国で博士を取る米国企業で働いた経験を持つ多数の技術者を、大学に教授として招致し、国を挙げて集団回路の研究及び教育を行っています。一方日本の企業は、主に、学部及び修士の卒業生を採用したのちプロセスデバイス、設計及び販売等に配属した後、異なる分野に移籍する事は、ほとんどございません。結果として、プロセスから製品まで自分自身で理解し開拓の方向を決めることが出来て技術者の育成を、意識して行っていないのが現状です。このため論理ICが、数年前カッパー配線を高速論理ICに採用し、日本中の会社があたふたしたように、高いリスクのプロセスを最初に製品に取り込むことが、日本では困難だったのです。現在 LSI の製造技術の中核技術である CMP 技術も、1980 年代に IBM 社は、4 M DRAM の製造で世界に先駆けて使用していました。カッパー配線にせよ、CMP にせよ生産に取り入れるために、百億円を超える製造装置の初期投資と、LSI の回路設計変更及びプロセス変更も含めたリスクは、数百億円を超過する初期投資が必要です。このため、その核算を開発責任者が、自分自身で全ての技術をジャッジ出来なければ、そのようなハイリスクの判断を出来ないからです。今後の方向は、自分自身の技術で 100% 成功するジャンプを出来る開発責任者の養成にかかっていると言って昔の過ぎではあります。これは日本でも可能なことです。是非新幹線トップから新入社員で、100% 成功する開発責任者の養成にチャレンジし、世界の半導体のリーディングカンパニーに挑戦



日立超LSI技報 2002年第四卷掲載

252



【研究】宮城県産業技術総合センター（仙台市泉区）と東北大電気通信研究所（同）の研究グループはこのほど、高感度の磁気センサー「MRI」を開発した。これまで開発されたMRIは、コバルトが主成分の合金製。長さ二三メートル、幅三十センチ、厚さ二センチで、両側に銅の電極が設けられている。この感度は従来のMRIと比べて十倍以上である。しかし、検出能力は千倍。体内の微弱な磁力をキャッチする能力も検出することができた。

## MRIの小型化に期待

宮城県産業技術センターなど

開発したのは宮城県産業技術センター（仙台市）と東北大電気通信研究所（同）の研究グループはこのほど、高感度の磁気センサー「MRI」を開発した。これまで開発されたMRIは、コバルトが主成分の合金製。長さ二三メートル、幅三十センチ、厚さ二センチで、両側に銅の電極が設けられている。この感度は従来のMRIと比べて十倍以上である。しかし、検出能力は千倍。体内の微弱な磁力をキャッチする能力も検出することができた。

河北新報 2001年8月30日掲載

# 高感度磁気センサー開発

開発したのは宮城県産業技術センター（仙台市）と東北大電気通信研究所（同）の研究グループはこのほど、高感度の磁気センサー「MRI」を開発した。これまで開発されたMRIは、コバルトが主成分の合金製。長さ二三メートル、幅三十センチ、厚さ二センチで、両側に銅の電極が設けられている。この感度は従来のMRIと比べて十倍以上である。しかし、検出能力は千倍。体内の微弱な磁力をキャッチする能力も検出することができた。

【研究】宮城県産業技術センター（仙台市泉区）と東北大電気通信研究所（同）は、これまでのMRIの感度を十倍以上に向上する「MRI」を開発した。この感度で、素子に対してより高い駆動力が得られる。また、この感度で、素子に対する冷却設備が不要となり、装置の小型化などが可能。

開発したのは宮城県産業技術センター（仙台市）と東北大電気通信研究所（同）の研究グループはこのほど、高感度の磁気センサー「MRI」を開発した。これまで開発されたMRIは、コバルトが主成分の合金製。長さ二三メートル、幅三十センチ、厚さ二センチで、両側に銅の電極が設けられている。この感度は従来のMRIと比べて十倍以上である。しかし、検出能力は千倍。体内の微弱な磁力をキャッチする能力も検出することができた。

日刊工業新聞 2001年8月30日掲載

科学技術振興事業団  
基礎戦略研究推進事業

注目される研究成果か

25

▲原子位置分解STM発光分光技術

M発光分光法と近  
赤外分光法による表  
面微細構造の電子物性  
由 資勝氏  
(東北大学電気  
通信研究所教授)

我が国の国家戦略として  
現在「ナノテクノロジー」  
重要な柱の一つに挙げられ  
いるが、原子レベルで固体  
面を観測できる走査型ト  
ンネル顕微鏡（STM）は、ナ  
ノテク研究に欠かせないツー  
である。STMは現年、理学  
工学、生物学など分野を問

STMでは、固体表面上の原子レベルのサイズを持つ構造が造はわかるが、その構造がどんな原子（分子）からできていて、構成している原子（あるいは分子）が何であるかを同定する。

それを分光学的に解析することによって、その構造がどんな物質であるかを同定することを可能にする技術である。その構造の形状や構成原子・分子種によって固有の発光スペクトルを持つために同定が可能になる。この技術は一九八〇年にSTM探針・試料間にギャップから可視光が出ていた谷に電子を打ち込んだ場合で放出される光の波長が異なることを発見した。このことは山と谷で金表面の電子状態が異なることを示しており、さらにSTM発光分光技術による、銅表面上に吸着している酸素原子や金表面上に吸着

# わが国の基礎研究を支えるプロジェクト

# STMに分光学的手法応用 ナノテク評価に必須ツール

時間分解STM発光分光法

また、ピコ秒バルスレーザーとストリーカカメラを組み合わせることにより、ピコ秒の時間分解能を持つSTM発光分光法も可能にした。これによって、位置分解、エネルギー分解に加えて、時間分解を把握することを可能にした。

△探針開発

STMの像観察の結果や發

「ファイバー」による集光系へ（トヨタニシク結晶）における通常のSTM発光計測は、その固有モードを赤外分光によって調べ、理論計算とよく一致が得られた。しかし、レンズで光を集めるが、発光強度が微弱なため、検出が困難な場合がある。潮田氏らは光ファイバーを使った集光系を用いて、新たに開発し、レンズと同程度の集光能力をもつ光ファイバーを多数本同時に用いることで、特定の方向から完全に反射され、その方向からわずかに従って透過するような結果に成功した。彼らはこの構造と同程度の波長を持つ電磁波に対する応答性を示すことを成功させた。この技術も特許出願されている。

究を効率よく進めるために探針の開発もいろいろ行った。その過程で、高い発光効率を持った銀探針や超導性を有する二才<sup>ト</sup>探針の製作に成功した。また電子顕微鏡下で直径 $2\text{nm}$ のラジカルを観察するため、製造特許の出願を行って申請している。これらの探針の製作だけでも、1年くらいかかって、きちんと並んで配列させるのが



The Weekly Newsmagazine of Science

# SCIENCE NEWS

May 26, 2001  
Vol. 159, No. 21  
Pages 321-336

## Deadpan Nomenclature

### Electrons trip on tiny semiconductor steps

If scientists could extend spintronics to semiconductor chips, faster, cooler-running, lower-power devices might result. However, efforts to make spintronic components have stalled because electrons injected into semiconductors often don't maintain their up or down spin orientations.

In the May 25 *Science*, a team at the University of Arkansas in Fayetteville reveals a surface feature of semiconductors that appears responsible for flipping those electronic spins. Using a scanning tunneling microscope (STM) to probe gallium arsenide, Vincent P. LaBella and his colleagues have found that a surface step only two dozen atoms high can disrupt the spin orientation of more than 80 percent of the electrons injected there.

"This is the first time, I believe, that people have observed on the nanometer scale the disruption of spin injection," LaBella says.

To determine the fate of electrons' spins, the Arkansas researchers scanned the semiconductor surface while injecting

electrons into it. To acquire information about the electrons, they simultaneously measured light rays emitted from the material. Melding those approaches "is really quite a beautiful idea," comments David D. Awschalom of the University of California, Santa Barbara.

In STM scans, electrons leap from an ultrasharp tip through a vacuum into a surface (*SN*: 10/24/98, p. 268). By moving the tip up and down to maintain a constant current, the STM can sketch an atomically detailed topographic map.

In the recent experiment, electron-hungry atoms in the semiconductor absorb some of the STM-supplied electrons and then emitted light. The light's orientation, or polarization, revealed the spin directions of absorbed electrons, LaBella says.

Within 5 nanometers of a sharp step in the sample, most of the electrons' spins flipped. On smoother portions of the surface, the spins remained unchanged.

Laurens W. Molenkamp of the University of Würzburg in Germany, cautions that the STM tip itself rather than a change in spin might alter the polarization.

If confirmed, the Arkansas researchers' find could be more than academic. Their method provides a way to identify steps and other spin-flipping structures that



*Electrons' spins flip least often (blue) on flat semiconductor surface and most often (red) in a 10-nanometer-wide swath near a 5-nm-tall step (not visible).*

should be avoided in spintronic devices, says Hideo Ohno of Tohoku University in Sendai, Japan. Awschalom's group has observed electrons retaining their spin orientations in multilayered structures with well-matched interfaces (*SN*: 3/4/00, p. 155).

Observations like these may usher in more-extensive spintronic technology, including information-processing circuits that would depend on quantum properties of particles (*SN*: 4/3/99, p. 220), Awschalom notes.

P. Weiss

## TECHNOLOGY

by Stuart A. Wolf, Daryl Ingrey, and Almadena Citcherka

## Electronics with a Twist

In conventional electronics, only the charge of the electrons matters. But using an electron's other fundamental property—its spin—is starting to open up a new field dubbed "spintronics."

Based on spin, in 1998 and rapidly evolving toward practical devices over the past two years, spintronics promises the possibilities of integrating memory and logic into a single device, allowing switching times faster than 1 ps, and greatly increasing the efficiency of optical devices such as light-emitting diodes (LEDs) and lasers. The control of spin is also central to efforts to create entirely new ways of computing, such as quantum computing, that use the phase of photons for computation (Figure 1).

## The basics

Spin is a fundamental quantum mechanical property. It is the intrinsic angular momentum of an elementary particle, such as an electron. Any charged object possessing spin also possesses an intrinsic magnetic moment. It has been known for decades that in ferromagnets, the spins of electrons are preferentially aligned in one direction. But only in 1988 was it recognized that in the currents flowing from a ferromagnet into an ordinary metal, the electrons retain their spin alignment, so that spin and its associated magnetic field can be transferred passively (1). The more that magnetization can be converted from one spot to another.

The first practical application of this phenomenon was in the giant magnetoresistive (GMR) effect, which is observed in artificial

thin-film materials composed of alternate layers of ferromagnetic and nonmagnetic materials (2). The resistance of the material is lowest when the magnetic moments in

GMR-based sensor for magnetic fields was created in 1994, and GMR-based read heads to detect magnetic fields in high-performance disk drives came in 1997.

Several groups are trying to develop a device similar to a GMR cell as a basis for a nonvolatile memory, one that does not require power to store information. The new device, termed a tunneling magnet resistance device, or TMR, replaces the metal between the two ferromagnetic layers with a very thin insulator through which a current can tunnel, but only when the magnetic orientation on the two sides of the insulator is aligned. The difference in resistance between the spin-aligned and nonaligned cases is about 40%, greater than for GMR devices and enough for the low resistance state to encode, say, a 1 and the high resistance state to encode a 0 (2).

The difficulty in developing this device, however, is the very thin insulator ( $10\text{--}15\text{ }\text{\AA}$  thick), which must be uniform over large areas. A Defense Advanced Research Projects Agency (DARPA) project called Spintronics (for spin transport electronics) is funding efforts by Motorola (Figure 2), IBM, and Honeywell to develop advanced prototypes of this memory device, starting with a 1-megabit chip that is being developed by Honeywell.

## Spin and memory

Although fast nonvolatile memories could greatly increase the capabilities of computers, a key bottleneck is moving information between memory and logic circuits. Ideally, if individual devices could

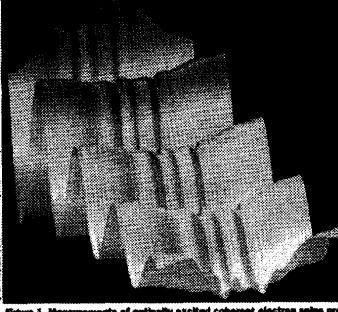


Figure 1. Measurements of optically excited coherent electron spin precession in GaAs as a function of time and magnetic field suggest new opportunities for quantum spintronics using both electronic and nuclear spin in multistate materials.

## 3.3 The Industrial Physicist

JUNE/JULY 2001 • American Institute of Physics

Current GMR materials are subjected to relatively small external magnetic fields. Thus, they can be used as magnetic field sensors. The imposed magnetic field changes the magnetization of one of the two layers, disrupting the alignment and increasing resistivity. The first

search, quantum computing algorithms have been developed that show a significantly shorter computation time and reduced complexity. For certain calculations that find global properties of functions like factoring and discrete logarithms, the speed-up for a quantum processor is dramatic. For these operations, a 30-qubit quantum processor can perform the same calculation in the same time as a 1-gigabit classical computer.

Researchers have shown theoretically that such coherent spin states could be used in new forms of analog computing, in which the value is encoded as the phase or position of the rotating magnetic field. This might be more useful for some applications than current techniques that encode data as digital numbers. For example, human and other mammalian brains appear to use such phase relations as a fundamental way of encoding data. This enables them to harness the work of hundreds of millions of neurons in performing tasks such as image recognition more efficiently than any digital computer.

Another avenue for using the spins of elementary particles comes from the rapidly-developing field of quantum computing. The status of spin of electrons or other 1/2-spin particles can be used as an implementation of a qubit (quantum bit, which is the unit of quantum computation). Information can be encoded using manipulation of the spin's manipulations (computation) can be done using external magnetic fields or laser pulses, and readout can be done by measuring spin-polarized current. Quantum computers execute a series of simple unitary operations (gates) on 1 or 2 qubits at a time. The computation on a quantum computer is a sequence of unitary transformations of an initial state of a set of qubits. After the computation is performed, the qubits can be measured, and the outcome of the measurement is the result of the quantum computation.

Quantum effects such as interference and entanglement are used as computational resources and make fast solutions to hard problems possible. For some special but important problems, such as factorization of large prime numbers or database

semiconductors ferromagnetic. *Science* 1996, 271, 951–956.

6. Jonker, B. L.; et al. Robust electrical spin injection into a semiconductor heterostructure. *Phys. Rev. B*, 2000, 62, S180–S183.

7. Awschalom, D.; Kikkawa, J. M. Electron spin and optical coherence in semiconductors. *Phys. Today* 1999, 52, 33–38.

## References

1. Prinz, G. Magnetoelectronics. *Science* 1998, 282, 1660–1663.
2. Parkin, S.S.P.; et al. Exchange-bias magnetic tunnel junctions and application to non-volatile magnetic random access memory. *J. Appl. Phys.* 1999, 85, 5826.
3. Ohno, H.; et al. (Ga, Mn)As: A new diluted magnetic semiconductor based on GaAs. *Appl. Phys. Lett.* 1996, 69, 363–365.
4. Matsukura, Y.; et al. Room-temperature ferromagnetism in transparent transition metal-doped titanium dioxide. *Science* 2001, 291, 634–636.
5. Ohno, H.; et al. Making roomagnetic

35 The Industrial Physicist

## Technology

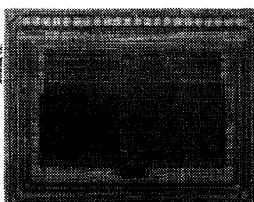


Figure 2. This 256-Mb, nonvolatile, magnetoresistive random access memory chip is based on a memory cell defined by a single transistor and a single magnetic tunnel junction with read and write cycles of <50 ns.

batch process and stored information, transfer delays would be eliminated, at least for data in memory, are use. A spin-based device that could accomplish this dual task is a spin-polarized field-effect transistor (spin-FET), first proposed in 1990. In a conventional FET, when a bias voltage is applied, a conducting channel is created between the source and the drain regions, allowing the transistor to act as a switch.

If the source and drain contacts are made of ferromagnetic materials, the current that comes from each contact has a preferential spin. This means that the current can be controlled by applying the bias voltage, as in a conventional FET or by changing the orientation of the magnetic field in one of the ferromagnetic contacts. Because this orientation remains the same even with the power switched off, each spin-FET will have a built-in nonvolatile memory of its last state.

A serious difficulty, however, has so far prevented the development of practical spin-FETs. The conductivity of ferromagnetic metals is generally higher than that of the semiconductor that makes up the rest of the FET. Thus, there are more mobile electrons in the ferromagnets than in the semiconductors, so when the spin-aligned electrons try to squeeze into the semiconductor, only a few of them make it. For a large transfer of spin-aligned electrons, the conductivity of the ferromagnets and the semiconductors must be closely matched. To achieve this match, the ferromagnetic contacts must be semiconductors.

The first ferromagnetic semiconductors, developed in 1996, were diluted magnetic semiconductors, alloys of which some atoms are easily replaced by magnetic atoms, such as manganese. However, these materials had to be cooled to below 10 K to exhibit ferromagnetism. More recent research has shown that other types of semiconductors exhibit ferromagnetism—and at much higher temperatures. In 1998, the ferromagnetic behavior of GaMnAs at a critical

temperature,  $T_c$ , of around 110 K was reported, and in 2000, above-room-temperature ferromagnetism in TiCoO<sub>3</sub> was discovered in Japan (3,4). This latest discovery brings practical spin-FETs within reach.

The addition of spin sensitivity could be used to produce devices that can switch faster than any resistor. One such example is a ferromagnetic tunneling diode (FRTD), which consists of a quantum well sandwiched between two insulating barriers. Current flows only when the applied voltage reaches a precise value that allows a quantum mechanically resonant state to exist in the quantum well. Such switches can turn on and off in less than 1 ps. However, conventional RTDs cannot substitute for transistors because they lack a third terminal that allows an input signal to alter the switch's functioning.

A spin-RTD, in contrast, can act like a transistor. In such a device, the barriers are of unusual thickness, generating a spin valve voltage for each spin wave. By using ferromagnetic contacts, vary the spin state of electrons in the current, the RTD can be switched between two states with different resonant voltage, allowing the third input to affect the current flowing across the RTD. This design could be used to create an ultrafast logic device (5).

## 3.4 The Industrial Physicist

JUNE/JULY 2001 • American Institute of Physics

## Polarized electrons

When electrons and holes combine in an LED, light is generated. But if the electrons are spin-polarized, the emitted light is circularly polarized as well. This makes spin-LEDs a good way to detect and measure the degree of spin polarization in currents in spintronics devices: the greater the degree of circular polarization in the emitted light, the greater the amount of spin polarization of the electron current. For example, detection efficiencies greater than 50% were measured for diluted magnetic semiconductors (6).

Spin-LEDs could also greatly increase the efficiency of LED light production. For one thing, circularly polarized light is often desired as the end product, but in conventional LEDs this is achieved with polarizing filters, which throw away part of the light produced. With spin-LEDs, the polarization can be produced intrinsically in the light, avoiding filters. Furthermore, in certain LEDs based on polymers, light is emitted only when holes and electrons having opposite spins combine, reducing conversion efficiency. By polarizing the electrons' spins, spin-LEDs can increase the efficiency of light production.

Just as electron spins can affect the polarization of light, so polarized light can be used to control spins, a phenomenon that might lead to alternatives to digital computing (7). When electrons are exposed to a circular magnetic field, the electrons' spins flip parallel to each other, but perpendicular to the direction of the external field. The direction of the spins, the resulting current, at constant frequency, left to itself, this coherent state will readily break up because of small irregularities in the field. But repeated pulses from an ultrafast laser maintain and amplify the spin-coherent state, just as repeated pushes on a swing amplify its oscillation.

**IEEE** China in Space Gifts for the Holidays

# SPECTRUM

DECEMBER 2001

## The Quest for the Spin Transistor

Electronics Explores Its Great New Frontier

IEEE

**The Quest for the Spin Transistor**

BY GLENN ZORPETTE  
Senior Editor

**F**rom the earliest batteries through vacuum tubes, solid state, and integrated circuits, electronics has staved off obsolescence. Engineers and scientists have remade it repeatedly, vaulting it over one hurdle after another to keep alive a record of innovation unmatched in industrial history.

It is a spectacular and diverse account through which runs a common theme: When a galvanic pile switches a frog's leg, when a triode amplifies a signal, or when a microprocessor stores a bit in a random access memory, the same agent is at work: the movement of electric charge. Engineers are for ever exhausting the possibilities of this magnificent mechanism. But even if a dead end is not yet visible, the foreseeable hurdles are high enough to set some searching for the physics that will carry electronics on to its next stage. In so doing, it could help up the ante in the semiconductor stakes, ushering in such marvels as nonvolatile memories with enormous capacity, ultrafast logic devices that can change function on the fly, and maybe even processors powerful enough to begin to rival biological brains.

A growing band of experimenters think they have seen the future of electronics, and it is spin. This fundamental yet elusive property of electrons and other subatomic particles underlies permanent magnetism, and is often regarded as a strange form of nano-world angular momentum.

Microelectronics researchers have been investigating spin for at least 20 years. Indeed, their discoveries revolutionized hard-disk drives, which since 1976 have used a spin-based phenomenon to store more bits than ever on their disks. Within five years, Motorola Inc. and IBM Corp. are expected to take the next step, introducing the first commercial semiconductor

chips to exploit spin—a new form of random access memory called MRAM (for magnetic) RAM. Fast, rugged, and nonvolatile, MRAMs are expected to carve out a niche from the US \$10.6-billion-a-year flash memory market. If engineers can bring the costs down enough, MRAMs may eventually start digging into the \$35 billion RAM market as well.

The sultans of spin say memory will be just the beginning. They have set their sights on logic, embodied by experimental results over the past two or three years that have shown the building technologies of spin to be surprisingly compatible with the materials and methods of plain old charge-based semiconductor electronics. In February 2000, the Defense Advance Research Projects Agency announced a \$15-million-a-year, five-

PHOTO BY GLENN ZORPETTE FOR IEEE SPECTRUM

use much less power than conventional electronics, because the energy needed to change a spin is a minute fraction of what is needed to push charge around.

Other advantages of spintronics include normalizing current fluctuations when the power is turned off. And the quantum nature of spin—the quantum effects that make electrons in other words, wonderful possibilities, for many other functions—AND, OR, NOR, and NOT, to name a few—and has changed a billion times a second, electronics that would work directly with beams of polarized electrons, as well as voltages and current elements that could be in two different states at the same time. "It offers completely different types of functionality" from today's electronics, said David D. Awschalom, who leads the Center for Spintronics and Quantum Computation at the University of California at Santa Barbara. "The most exciting possibilities are the ones we're not thinking about."

Much of the research is still preliminary. Awschalom cautions: A lot of experiments are still performed at cryogenic temperatures. And no one has ever managed to demonstrate a useful semiconductor transistor or transistors-like device based on spin, let alone a complex logic circuit. Nevertheless, researchers at diverse organizations are racing to make spin-based transistors and logic, and encouraging results from groups led by Awschalom and others have given ground for a sense that major breakthroughs are imminent.

**The Quest for the Spin Transistor**

The mystical property of electron spin is revolutionizing the memory business. If it can do the same with logic, electronics will become "spintronics"

"A year and a half ago, when I was giving a talk and said something about magnetic logic, before I went on with the rest of my talk, I prefaced my statement with, 'Now, now, let's return to the planet Earth,'" said Samuel D. Bader, a group leader in the materials science division at Argonne National Laboratory, in Illinois. "I can drop that line now," he added.

**Quantum mechanical mystery**

Now spintronics emerges an entirely new form of electronics, called spintronics. It would be based on devices that used the spin of electrons to control the movement of charge. Farther down the road, perhaps a decade later, researchers might even succeed in making devices that used spin itself to store and process data, without any need to move charge at all. Spintronics would

PHOTO BY GLENN ZORPETTE FOR IEEE SPECTRUM



物理学家 Paul A. M. Dirac，剑桥大学理论物理系教授，1933 年因对量子力学的贡献而获得诺贝尔物理学奖。

Physicists know that spin is the root cause of magnetism, and that, like charge or mass, it is an intrinsic property of the two great classes of subatomic particles: fermions, such as electrons, protons, and neutrons; and bosons, including photons, pions, and more. What distinguishes them, by the way, is that a boson's spin is measurable as an integer number (0, 1, 2, ...), whereas fermions have a spin of 1/2, 3/2, 5/2, ... units.

Much of spin's elusiveness stems from the fact that it goes right to the heart of quantum theory, the foundation of modern physics. Devoted in the early decades of the 20th century, quantum theory is an elaborate conceptual framework, based on the notion that the exchange of energy at the subatomic level is constrained to certain levels, or quantizes.

Paul Dirac, an electrical engineering graduate of Bristol University, in England, earned Cambridge mathematician, postulated the existence of spin in the late 1920s. In a work that won him a Nobel prize, he reconstituted equations for energy and momentum from quantum theory with those of Einstein's special theory of relativity.

Spin is hard to grasp because it lacks an exact analog in the macroscopic world we inhabit. It is named after its closest real-world counterpart—the angular momentum of a spinning body, whereas the term angular momentum refers to a whirling planet, say, or a top. In both cases, the moment of the object spins around and hence its net spin is a kind of intrinsic angular momentum that a particle cannot gain or lose.

"Imagine an electronics technology founded on such a bizarre property of the universe," says Byers.

Of course, the analogy between angular momentum and spin goes so far. Particle spin does not arise out of rotation as we know it, nor does the electron have physical dimensions, such as a radius. So the idea of the electron having angular momentum in the classical meaning of the term doesn't make sense.

Confused? "Welcome to the club," Byers said, with a laugh.

#### The smallest magnets

Fortunately, a deep grasp of spin is not necessary to understand the promise of the recent advances. The usual imperfect analogies that somehow manage to render the quantum world meaningful for mortal minds turn out to be rather useful—as is spin's role in magnetism, a macroscopic manifestation of spin.

Start with the fact that spin is the characteristic that makes the electron a tiny magnet, complete with north and south poles. The orientation of this tiny magnet's north-south axis depends on the particle's axis of spin. In the atoms of an ordinary material, some of these spin axes point "up" (with respect to, say, an ambient magnetic field) and an equal number point "down." The particle's spin is associated with a magnetic moment, which may be thought of as the handle that lets a magnetic field torque the electron's axis of spin. As the electron's ordinary motion plus up that could hold it intact to a refrigerator magnet.

For that, you need a ferromagnetic material, such as iron, nickel, or cobalt. These have tiny regions called domains in which an excess of electrons have spins with axes pointing either up or down—at least, until heat destroys their magnetism, above the metal's Curie temperature. The many domains are

ordinarily randomly scattered and evenly divided between majority-up and majority-down. But an externally applied magnetic field will move the walls between the domains and line up all the domains in the direction of the field, so that they point in the same direction. The result is a permanent magnet.

Ferromagnetic materials are central to many spintronics devices. Use a voltage to push a current of electrons through a ferromagnetic material, and a axis like a spin polarizer, aligning the spin axes of the transiting electrons so that they are up or down. One of the most basic and important spontaneous devices, the magnetic tunnel junction, is just two layers of ferromagnetic material separated by an extremely thin, nonconductive barrier (see figure below). The device was first demonstrated by the French physicist J. M. Saveille in the mid-1970s.

It works like this: suppose the spins of the electrons in the ferromagnetic layers on either side of the barrier are oriented in the same direction. Then applying a voltage across the thin layer device is quite likely to cause electrons to tunnel through the thin barrier, resulting in high-current flow (top illustration). But flipping the spins in one of the two ferromagnetic layers, so that the two layers have opposite alignment, restricts the flow of current through the barrier (bottom). Tunnel junctions are the basis of the MRAMs developed by IBM and Motorola, one per memory cell.

Any memory device can also be used to build logic circuits, in theory at least, and spin devices such as tunnel junctions are no exception. The idea has been explored by Mark Johnson, a leading spin researcher at the Naval Research Laboratory, and others. Lately, work in this area has shifted to a newly formed program at Honeywell Inc., Minneapolis, Minn. The challenges to the device's use for programmable logic are formidable. To quote William Black, principal engineer at the Rocket Chips subsidiary of Xilinx, a leading maker of programmable logic in San Jose, Calif., "The basic device doesn't have gain and the switching threshold old-style is not very well controlled." To call that "the biggest technical impediment" as he does, sounds like an understatement.

**Relativistic transistors**

Already on the drawing board are spin-based "transistors" that would act something like conventional transistors—and that might even produce gain. There are several competing ideas. The most enduring one is the spin field-effect transistor (FET). A more recent proposal puts a new spin, so to speak, on an almost mythical device physicists have pursued for decades: the resonant tunneling transistor.

In an ordinary FET, a metal gate controls the flow of current from a source to a drain through the channel of a semiconductor. A voltage applied to the gate sets up an electric field, and that field

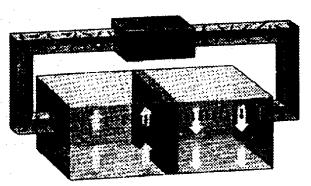
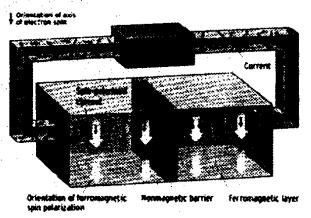
in turn varies the amount of current that can flow between source and drain. More voltage produces more current.

In 1990 Supriyo Datta and Biman Das, then both at Purdue University, in West Lafayette, Ind., proposed a spin FET in a seminal article published in the journal *Applied Physics Letters*. The two theorized about an FET in which the source and drain were both ferromagnetic metals, with the same alignment of electron spins. Electrons would be injected into the source, which would align the spins so that their axes were oriented the same way as those in the source and drain. These spin-polarized electrons would shoot through the source and travel at 1 percent or so of the speed of light toward the drain.

This speed is important, because electrons moving at so-called relativistic speeds are subject to certain significant effects. One is that an applied electric field acts as though it were a magnetic field. So a voltage applied to the gate would torque the spin-polarized electrons racing from source to drain

#### How a Magnetic Tunnel Junction Works

One of the most fundamental spintronic devices, the magnetic tunnel junction, consists of two layers of ferromagnetic material [light blue] separated by a non-magnetic barrier [dark blue]; in the top illustration, when the spin orientation [white arrows] of the electrons in the two ferromagnetic layers are the same, a voltage is quite likely to pressure the electrons to tunnel through the barrier, resulting in high current flow. But flipping the spins in one of the two layers [yellow arrows, bottom illustration], so that the two layers have oppositely aligned spins, restricts the flow of current.



#### COVER STORY

and flip their direction of spin. Thus electron spins would become polarized in the opposite direction to the drain, and could not enter it so easily. The current going from the source to the drain would plummet.

Note that if the application of the voltage would cut off current rather than turn it on, as in a conventional FET. Otherwise, the basic operation would be rather similar—but with a couple of advantages. To turn the current on or off would require only the flipping of spin, which takes very little energy. Also, the polarization of the source and drain could be flipped independently, offering intriguing possibilities unlike anything that can be done with a conventional FET. For example, Johnson patented the idea of using an external circuit to flip the polarization of the drain, turning the single-transistor device into a nonvolatile memory cell.

Alas, 11 years after the paper by Datta and Das, no one has managed to make a working spin FET. Major efforts have been led by top researchers, such as John Johnson at the NREL, Michael Flatté at the University of Iowa, Michael L. Roukes at the California Institute of Technology, Hideo Ohno of the Tohoku University,

a device in which the spin-up and spin-down energy levels are different, so that there are two different tunneling pathways. The two tunnels would be accessed with different voltages; each voltage would correspond to one or the other of the two spin states. At one voltage, a certain level of spin-down current would flow. At some other voltage, a different level of spin-up current would go through the quantum wells' barriers.

One way of splitting the energy levels is to make the two barriers of different materials, so that the potential energy that confines the electrons within the quantum well is different on either side of the well. That will confine the electrons in the quantum well, which have magnetic fields that are different from each other. Those asymmetric fields in turn give rise to the different resonant energy levels for the up and down spin states. A device based on these principles is the goal of a team led by Thomas McAllister at the California Institute of Technology, with members at HRL Laboratories LLC, Jet Propulsion Laboratory, Los Alamos National Laboratory, and the University of Iowa.

Another method of splitting the energy levels is to simply put them in a magnetic field. This approach is being taken by a collaborative effort of nine institutions, led by Bruce D. McCombe at the University at Buffalo, New York. Neither team has managed to build a working device, but the promise of such a device has kept interest high. A specific voltage would produce a certain current of, say, spin-up electrons. Using a tiny current to flip the spins would enable a larger current of spin-down electrons to flow at the same voltage. Thus a small current could, in theory anyway, be amplified.

#### Ray of hope

As these researchers refine the resonant and ballistic devices, they are looking over their shoulders at colleagues who are forging a whole new class of experimental device. This surging competition is based on devices that create or detect spin-polarized electrons in semiconductors, rather than in ferromagnetic metals. In these experiments, researchers use lasers to get around the difficulties of injecting polarized spin into semiconductors. By shaming beams of polarized light onto ordinary semiconductors, such as gallium arsenide and zinc selenide, they create pools of spin-polarized electrons.

Some observers lament the dependence on laser beams. They find it hard to imagine how the devices could ever be miniaturized to the extent necessary to compete with conventional electronics. Yet alone work smoothly with them on the same integrated circuit. Also, in some semiconductors, such as GaAs, the spin polarization persists only at cryogenic temperatures.

In an early experiment, Michael Oestreich, then at Philips University in Marburg, Germany, showed that electric fields could push pools of spin-polarized electrons through nontoxic semiconductors such as GaAs. The experiment was reported in the September 1998 *Applied Physics Letters*.

Then over the past three years, a breathtaking series of findings has turned the field into a thriving subdiscipline. Several key results were achieved in Awschalom's laboratory

at Santa Barbara. He and his co-workers demonstrated that pools of spin-coherent electrons could retain their polarization for an unexpectedly long time—hundreds of nanoseconds. Working separately, Awschalom, Oestreich, and others also created pools of spin-polarized electrons and moved them across semiconductor boundaries without the electrons losing their polarization.

If not for these capabilities, spin would have no future in electronics. Recall that a practical device will be operated by altering its orientation of spin. That means that the spin coherence has to last, at a minimum, longer than it takes to alter the orientation of that spin polarization. Also, spintronic devices like conventional ones, will be built with multiple layers of semiconductors, so moving spin-polarized particles across junctions between layers without losing the coherence will be essential.

Awschalom and his co-workers used a pulsed polarized laser to establish pools of spin-coherent electrons. The underlying physics revolves around the so-called selection rules. These are quantum-mechanical laws describing whether or not an electron can change energy levels by absorbing or emitting a photon of light. According to those selection rules, light that is circularly polarized will excite only electrons of one spin orientation or the other. Conversely, when spin-coherent electrons combine with holes, the result is photons of circularly polarized light.

**Puzzling precession**

In his more recent work, Awschalom and his graduate student, Ibraim Malachias, collaborated with Nitin Samarth of Pennsylvania State University in University Park and his graduate student, Joseph Berry. As he has in the past, Awschalom performed the experiments on a gallium arsenide substrate. The result is that not only spin-polarized electrons but were also precessing. Precession occurs when a pool of spin-polarized electrons is put in a magnetic field; the field causes their spin axes to rotate in a wobbly way around that field. The frequency and direction of rotation depend on the strength of the magnetic field and on characteristics of the material in which the precession is taking place.

The Santa Barbara-Penn State team used circularly polarized light pulses to create a pool of spin-coherent electrons in GaAs. They applied a magnetic field to make the electrons precess and then used a voltage to drag the precessing electrons across a junction into another semiconductor, ZnSe. The

researchers found that if they used a low voltage to drag the electrons into the ZnSe, the electrons took on the precession characteristics of the ZnSe as soon as they got past the junction. However, if they used a higher voltage, the electrons kept on precessing as though they were still in the GaAs (see illustration below).

"You can tune the whole behavior of the current depending on the electric field," Awschalom said in an interview. "That's what was so surprising to us." The group reported its results in the 14 June issue of *Nature*, prompting theorists around the world to wear out their pencils trying to explain the findings.

Other results from the collaboration were even more intriguing. The Santa Barbara and Penn State researchers performed a similar experiment, except with p-type GaAs and n-type ZnSe. n-type materials rely on electrons to carry current; p-type, on holes. Because the materials were of two different charge-carrier types, an electric field formed around their junction. That field, the experimenters found, was strong enough to pull a spin-coherent electrons from the GaAs immediately into the ZnSe, where the coherence persisted for hundreds of nanoseconds.

The result was encouraging for two reasons. As Awschalom put it, "It showed that you can build n-type and p-type materials and spin can get through the interfaces between them just fine." Equally important, it demonstrated that the spin can be moved from one kind of semiconductor into another without the need for external electric fields, which would be practical in a commercial device.

The next big opportunity is to make a spin transistor," Awschalom added. "These results show, in principle, that there is no obvious reason why it won't work well."

Such a device is at least several years away. But even if researchers were on the verge of getting a spin transistor to work in the laboratory, many breakthroughs would be necessary before the device could be practical.

For example, the fact that the device would need pulses of circularly polarized laser light would seem an inconvenience, although Awschalom sees a bright side. The good is that the photons would be used for communications among chips, the magnetic elements for memory, and the spin-based devices for fast, low-power logic.

It's far-fetched now—but no more so than the idea of 1-Gb DRAMs would have seemed in the days when modes mind.

6

세계 나노기술 혁자를 찾아서

첨단 장비 '중무장'... 新기술 메카로

한국어판



#### \*스피어 기법 속자 이용례

### 자선마도체 협심증 가능\*

제가도 흥미가 있어서 하는 사회방법으로 활동을  
제가 후원하겠습니다. 사실 스트리트온나눔은 30  
년전부터 있었지만 나노기술에 상응하게 지금  
까지 열기기 태우는 것 같습니다.

—스냅트로니스를 이용한 차세대 디비에스는 어떤 것인가.

\*주로 퀴즈드리스코 경기에서 활용되며 이동하는데 있어 CTR(인식률)이 높은 고정형 퀴즈드리스코에 대비해 고정형 CTR은 3~5%에 비해 10~15%에 이를 데, 이를 통해 Magnetic Random Access Memory(MRAM)과 같은 신형 메모리 장치는 신뢰도와 대비해는 속도가 더 빠르고 더 저렴하고 역시 신체동작의 활용은 디지털화를 향해 고도화되고 있다.

자체를 증명은 무엇인가.

▲▲▲▲▲▲▲▲  
▲▲▲▲▲▲▲▲

—스턴포드네스가 능동화된 경우 일련의 이벤트

▲ 우선 컴퓨터를 잘 활용할 수 있는 것 같았는데, 예전처럼 스핀드로나스 기능을 이용하면 컴퓨터를 쓰기 좋고 그나마 높아졌다. 특히 소모가 적었으니

한국에서 제작된 영화로는 드물게 작품으로서 평가를 받았습니다. 작품 자체 및 배우, 제작진과  
제작 초기 기술 등에 흥미를 가졌다기 때문입니다. 그렇지만 한글 대로 나오기 어려워서  
한글 감상연구가 있기를 바랍니다.

The Electronic Times(Korea) 2002年2月26日掲載

2002年(平成14年)2月27日 水曜日

Business &amp; Technology

## 東北大通研

# 4月、新センター始動 産官と連携、5年で製品化

# 十の戦略的研究開発推進

東北大大学電気通信研究所（略称・通研、中村慶久所長）は、ITの戦略的研究開発を推進する新たな技術開発拠点「21世紀情報通信研究開発センター（IT-21センター）」を4月に始動する。これまで通研が蓄積してきた基礎技術を産官連携による実用化プロジェクトにより5年間で商品化するのが新センター設立の狙い。当初、実用化研究プロジェクトは、次世代のモバイル・ネットワーク技術など3テーマが走り出す。

## モバイルネットなど3テーマ

「IT-21センター」（研教授）は、片平キャンパス内にある現在未使用の研究棟（情報科学研究所）に設置。3月末までに研究棟を改装し、実用化プロジェクト（設計・実装評価）推進に向けた設備を順次整備する構え。組織体制は、企画開発部と技術開発部の2部構成。技術開発部門は民間から招く（現在、内部を改装中）。



システム開発、「トラビット情報ストレージ開発」、「高機能・超低消費電力メモリーの開発プロジェクト」の3

人（現在未定）の教員を含め初年度8人体制となる。  
見込み。実のある「次の産業界連携強化」が新センターの目指す基本的な方向性だ。  
4月からスタートする実用化プロジェクトのテーマは「次世代モバイルインターネット」（内閣教官）  
（近々問題を解決した符合）では、SS-ICDMA式などをコア技術として高速無線ネットワークの実

呼ぶ新技术を用いて、  
「学」主導で次世代メモリの開発を進める考えだ。

電力メモリーの開発プロジェクト。次世代モバ

イリプロジェクト（プロジ

クトリーダー＝坪内教

授）では、

電力メモリーの開発

（大野英男通研教授）は、

10年先を見越したプロジェ

クト。スピントロニクスと

現取り組む。通信速度を

現在の300倍とするのが

一つの目標。同プロにはN

ECCを中心に数社が参加する

見込み。

テラビットプロ（プロジェクター＝中村所長、村岡裕明通研教授）では、記録密度を現在の70倍とする実用化目標などを掲げた。現時点では自立製作所を中心とする企業グループが同プロに参加する見込み。一方、高機能・超低消費電力メモリーの開発プロジェクト（大野英男通研教授）は、10年先を見越したプロジェクト。スピントロニクスと

現取り組む。通信速度を現在の300倍とするのが一つの目標。同プロにはN

ECCを中心に数社が参加する見込み。

日刊工業新聞 2002年2月27日掲載

# 付録 構成員

(平成14年2月1日現在)

所長（併）・教授 中 村 慶 久

## 研究部門

### ブレインコンピューティング研究部門

#### ■コンピューティング情報理論研究分野

教 授	外 山 芳 人
〃 (兼)	静 谷 啓 樹
〃 (〃)	丸 岡 章
〃 (〃)	阿 曾 弘 具
助教授 (兼)	満 保 雅 浩
〃 (〃)	大 町 真一郎
〃 (〃)	瀧 本 英 二
助 手	草 刈 圭一朗
事務補佐員	伊 藤 美 香

#### ■情報記憶システム研究分野

教 授	中 村 慶 久
〃 (兼)	樋 口 龍 雄
〃 (〃)	木 下 哲 男
助教授 (兼)	青 木 孝 文
〃 (〃)	阿 部 亨
助 手	山 田 洋
事務補佐員	長 崎 京 子

#### ■情報通信システム研究分野

教 授	白 鳥 則 郎
〃 (兼)	伊 藤 貴 康
〃 (〃)	根 元 義 章
〃 (〃)	曾 根 秀 昭
助教授 (兼)	斎 藤 浩 海
〃 (〃)	加 藤 寧 宁
〃 (〃)	水 木 敬 明
助 手	菅 沼 拓 夫
〃	加 藤 貴 司
〃	Salahuddin M. S. ZABIR
リサーチアソシエイト	原 田 耕 治
〃	藤 田 伸 尚
事務補佐員	工 藤 裕 子

#### ■音響情報システム研究分野

教 授	鈴 木 陽 一
〃 (兼)	牧 野 正 三
〃 (〃)	金 井 浩 一
助 手	西 村 竜 一
〃	坂 本 修 文
技 官	斎 藤 孝 孝
事務補佐員	浅 野 彰 子

#### ■生体コンピューティングシステム研究分野

教 授	矢 野 雅 文
〃 (兼)	堀 口 剛 彦
助教授 (兼)	福 井 芳 也
助 手	牧 野 寛 一
〃	坂 本 治 己
中核的研究機関研究員	三 松 尾 雄 樹
〃	岩 田 一 春
研究支援推進員	遠 藤 千 春

#### ■ブレインコンピューティングシステム研究分野

教 授 (兼)	中 村 慶 久
〃 (〃)	阿 部 健 一
〃 (〃)	吉 澤 誠 誠
助教授 (兼)	郭 海 蛟
〃 (〃)	田 中 和 之
〃 (〃)	早 川 美 德

#### ■超伝導コンピューティングデバイス研究分野

教 授 (兼)	山 下 努
助教授	中 島 介 健
〃	陳 王 華 兵
〃	王 水 柿 義 直
助 手	土 田 直 貞
技 官	川 大 貞 夫
事務補佐員	川 直 美

#### ■マルチモーダルコンピューティング研究分野（客員）

客員助教授	韓 平
-------	-----

## 物性機能デバイス研究部門

### ■固体電子工学研究分野

教授	舛岡	富士雄
〃(兼)	江刺	正喜
助教授	遠藤	哲郎
助手	桜庭	弘
事務補佐員	鈴木	敦子

講師(兼)	林	正彦
助手	坂	二謙
〃	鶴	徹
学振特別研究員(DC)	岡	善嗣
事務補佐員	大	恵
	泉	
	伊	
	藤	

### ■分子電子工学研究分野

教授(兼)	舛岡	富士雄
助教授	末光	眞希
中核的研究機関研究員	中澤	日出樹
COE外国人研究員	Karuppanan	SENTHIL

### ■電子量子デバイス工学研究分野

教授	庭	道夫
助教授	石	久夫
助手	井	夫男
中核的研究機関研究員	村	正典
	篠	
	原	

### ■スピニエレクトロニクス研究分野

教授	荒井	賢一
〃(兼)	高橋	研
〃(〃)	一ノ倉	理
〃(〃)	松木	英敏
助教授	山口	正洋
〃(兼)	角田	匡清
助手	石山	和志
〃	薮上	信
技官	師岡	ケイ子
〃	我妻	成人
事務補佐員	八重樫	文

## コヒーレントウェーブ工学研究部門

### ■電磁波伝送工学研究分野

教授(兼)	中村	慶久
-------	----	----

### ■極限能動デバイス研究分野

教授	横尾	邦義
〃(兼)	内田	龍男
〃(〃)	畠山	三力
助教授	山村	秀典
〃(兼)	三大	朗哉
〃(〃)	宮沼	俊哲
助手	佐藤	信之
技官	寒河江	克巳
事務補佐員	多賀谷	宏子

### ■プラズマ電子工学研究分野

教授(兼)	坪内	和夫
〃(〃)	山本	光璋
助教授(兼)	中尾	光之
〃(〃)	飯塚	哲
〃(〃)	安藤	晃

### ■テラヘルツ工学研究分野

教授	水野	皓司
〃(兼)	犬竹	正明
助教授	裴莅	鐘立
〃	戸川	夫
助手	石我	亮彦
技官	李妻	壽廣
中核的研究機関研究員	李	載廣
事務補佐員	猪股	久美子

### ■情報記録デバイス工学研究分野

教授	村岡	裕明
〃(兼)	西関	隆夫
助教授(兼)	周	
助手	島津	武仁
〃	渡邊	功
事務補佐員	茨木	奈

### ■応用量子光学研究分野

教授(兼)	伊藤	弘昌
教授	Yuri O.	AVETISYAN
〃(〃)	星	望
助教授	谷	哲夫
〃(兼)	二見	弘

### ■光電変換デバイス工学研究分野

教授	潮田	資勝
〃(兼)	海老澤	丕道
助教授	上原	洋一
講師(兼)	阿部	光衛

助教授（兼）	渡邊	高志	一治	一雄
助手	四方	潤	勇	長
技官	今野	久	長	鐵
〃	田庄	子	美紀子	雄
研究支援推進員	齋藤	田	亞紀子	
技術補佐員	齊藤			
事務補佐員	津			

**■超高速光通信研究分野**

教授	中沢	正隆	信司	人
〃(兼)	宮城	光祐		
助教授(兼)	松浦			
助手	吉田	眞		

**■フォノンデバイス工学研究分野**

教授	長	康	雄	良
〃(兼)	中村	僖	顕	雄
助教授(兼)	山田	治	雄	之
講師(兼)	田中	裕		
助手	小田川			
技官	我妻	康		

**■電子音響集積工学研究分野**

教授(兼)	中村	慶久		
-------	----	----	--	--

**■先端ワイヤレス通信技術研究分野**

教授	坪内	和夫	一郎	之卓
〃(兼)	櫛引	淳	秀	仁
講師(兼)	西野	博	大	下
助手	瀬田		安	雅
〃	亀宮		太	仁
中核的研究機関研究員	下		耕	子
事務補佐員	氏		建	

**■通信環境工学研究分野**

教授	杉浦	行幸	島	治
〃(兼)	安達	文邦	又川	征弘
〃(〃)	澤谷	泰	早川	吉雄
助教授	松本	泰	佐藤	茂
〃(兼)	陳	強	小野	武
〃(〃)	工藤	亮	美今	裕美
助手	井	已	野	真裕美

**■量子波動工学研究分野(客員)**

客員教授	石橋	忠夫		
------	----	----	--	--

**附属研究施設****超高密度・高速知能システム実験施設**

施設長(併)	潮田	資勝	
教授	木村	典江	
事務補佐員	澤田	珠代	
研究支援推進員	小田切	節子	
〃			

**■共通部**

助手	目黒	敏靖	
----	----	----	--

**■原子制御プロセス部**

教授	室山	淳一	
〃(兼)	松浦	孝弘	
助教授	羽生	夫介	
〃(兼)	庭宗	美明	
助手	櫻島		
学振特別研究員(DC)	橋岸		
事務補佐員	高山		
〃			

**■超高速電子デバイス部**

教授	大野	男弘	
〃(兼)	見野	三司利	
助教授	谷川	忠礼	
〃(兼)	川倉	太郎	
〃(〃)	谷達	司	
助手	須松	耕建	
〃	大安	佳緒	
学振特別研究員(DC)	笠原	里	
中核的研究機関研究員	萱岡		
COE外国人研究員	趙山		
事務補佐員	田佳		

**■知能集積システム部**

教授	島	治	
〃(兼)	又川	征弘	
助教授	早川	吉雄	
〃	佐藤	茂	
〃	小野	武	
助手	美今		
事務補佐員	野		

# 附属施設

教授(兼) 内田龍男

## ■評価・分析センター

センター長(兼) 庭野道夫  
 教授  
 技官 赤間洋助  
 研究支援推進員 千葉綾子

## ■やわらかい情報システム研究センター

センター長(兼) 白鳥則郎  
 教授  
 フ(兼) 鈴木陽一  
 フ(フ) 木下哲男  
 助教授 岩谷幸雄  
 助手 今野将  
 中核の研究機関研究員 佐伯豊  
 研究支援推進員 大學紀子  
 フ 小野さおり  
 フ 阿部敦子

## ■21世紀情報通信研究開発センター

センター長(兼) 坪内和夫  
 教授  
 フ(兼) 中村慶久

## ■コヒーレントデバイス研究センター

教授(兼)	水野皓司
フ(フ)	山下努
フ(フ)	伊藤昌弘
フ(フ)	坪内和夫
フ(フ)	横尾邦義
フ(フ)	長康雄

## ■スピニクス研究センター

教授(兼)	中村慶久
フ(フ)	荒井賢一
フ(フ)	村岡裕明
助教授(兼)	山口正洋

## ■附属工場

工場長(兼)	横尾邦義
教授	吉田昭志
技官	高橋博二
フ	渡邊宗一
フ	米原康一
フ	菅庄永保
フ	庄末

# 事務部

事務部長	霜山忠男
総務課長	安斎純一
庶務掛長	森美知子
主任	鈴木敦
事務補佐員	青山美弥子
フ	寺島弘美
フ	小熊絵美
フ	長谷川恵
研究支援推進員	平間美香
研究協力掛長	加茂敬一
主任	長里千恵
事務補佐員	長澤左絵子
図書掛長	南館義孝
事務官	早坂幸子

経理課長	本郷幸雄
経理掛長	大瀬卓也
主任	加藤佳由
事務官	土門紫津子
事務補佐員	小島倫志
フ	杏澤貞行
用度掛長	佐藤泰志
主任	大場良勝
技官	阿部正志
事務官	阿部久美子
事務補佐員	川北郁子
フ	角田千紀
フ	白鳥千亜紀