

第 1 章 緒 言

緒 言

昨年度までに、科学技術基本法と科学技術基本計画が国会を通過し、大学の研究を取り巻く環境がこれまでに無いほど改善されるかと感じられていた矢先に、本年度は構造改革元年として政府は、行政改革会議、財政構造改革会議、教育改革プログラムなどを矢継ぎに発足させ、聖域なしの構造改革に取り組んでいる。ある見方をすれば、研究所の個々の問題より大きな荒波が押し寄せているとも考えられるが、世の中がどう変わろうとも、社会は研究成果の上がっているところを認めるのだから、世の中の動きをそれほど気にせず、当研究所の設置目的である「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」で成果を上げることが肝要であると考えられる。

幸い、所員一同の努力により科学研究費は全国平均の伸び率10.2%に比して28.3%であり、教官の充足率も昨年度の82.8%に比して87.4%となっている。本報告書に見られるように、学術論文数も昨年に比して16.8%の伸び率を示している。量的のみならず、特徴ある研究の成果が新聞各紙に報じられている。

去る5月9日には、関係各位のご援助のもと、付属「超高密度高速知能システム実験施設」の新棟落成式を盛大に挙行することができ、この施設が名実ともにスタートを切り、多くの利用者と共に今後の研究成果が期待されている。

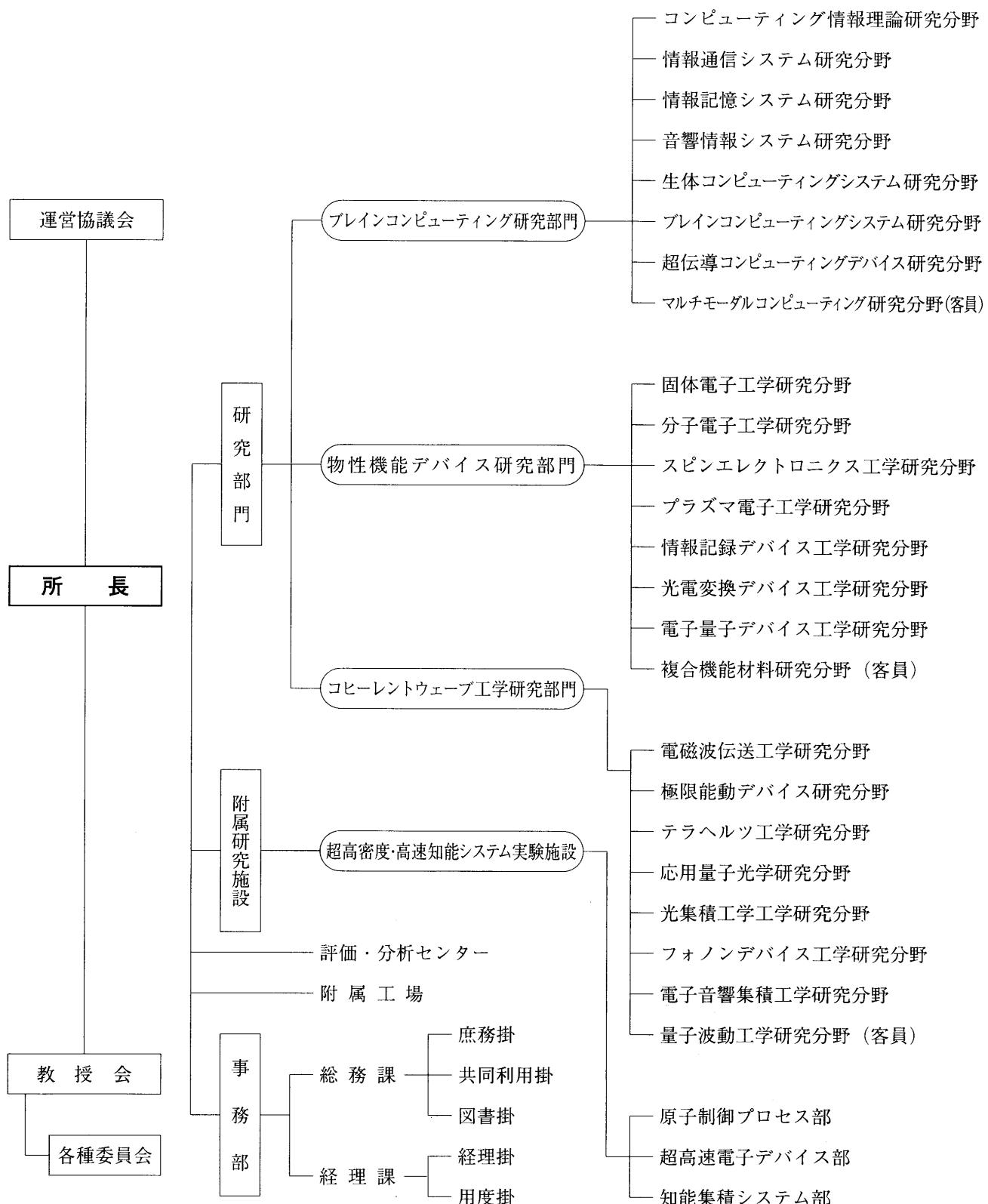
しかしながら、本研究所独特の問題がある。「現在の課題」に記した如く、ゆっくりとしたボディーブロウが研究所を襲うこと为了避免るために片平丁キャンパスの早期移転を実現しなければならない。早期実現の過程に於いても何らかの移行措置を求めて模索して行かなければならない。その努力なしには、科学技術基本法の精神を全うすることに困難が生じ兼ねないと考える。

電気通信研究所長

沢 田 康 次

第 2 章 組織・運営

2.1 組織図



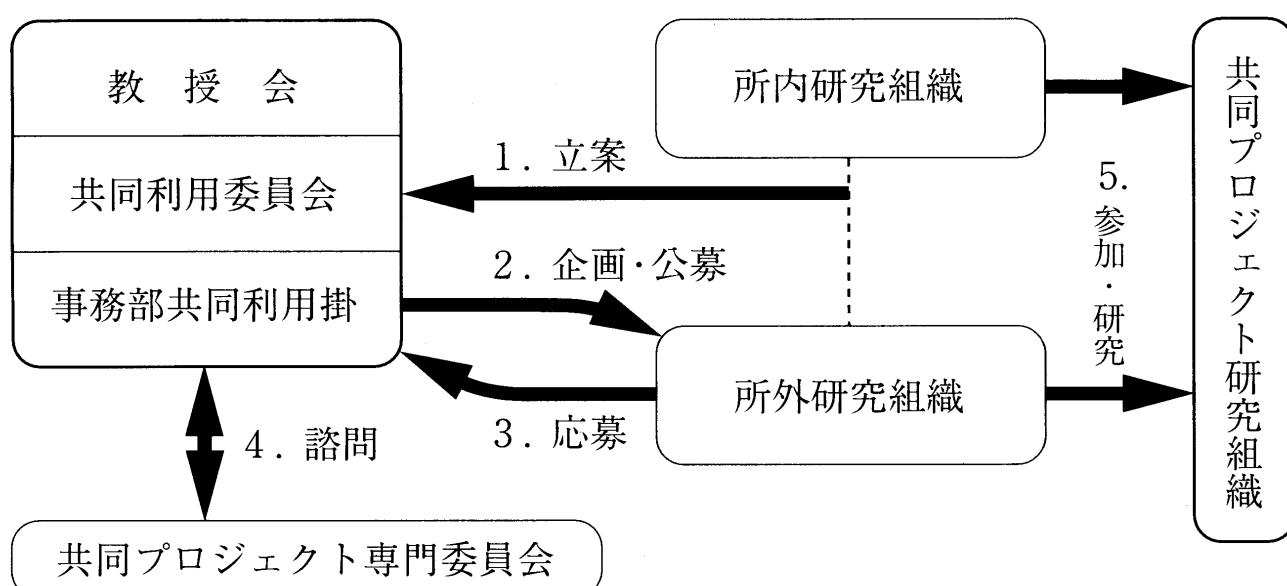
2.2 共同研究組織

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研究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。



2.3 教育組織

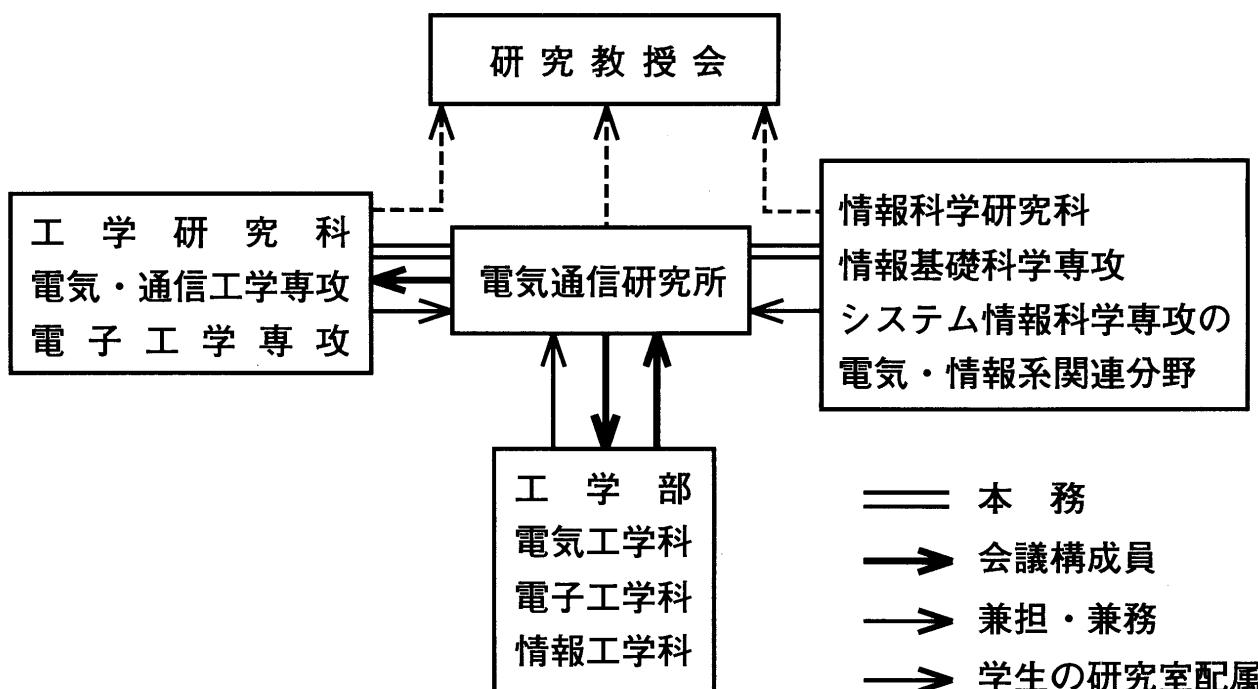
東北大電気通信研究所（以下、通研と略称）は、発足時から設立母体である電気工学科と協力体制をとり、教育・研究の成果を挙げた。その後、通信工学科、電子工学科、情報工学専攻、情報工学科が順次設立されたが、「一体運営」の協力関係は維持された。

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任から兼務へ変わり、情報科学研究科が本務の教官は工学研究科を兼任することになった。その結果、昨年度は、通研の21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、11研究分野が電子工学専攻に、1研究分野が情報科学研究科基礎情報科学専攻に、2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201名、一研究室当たり平均9.6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

外部環境を瞬時に認識し、それに即応するための制御情報を作り出す生体の機能の源泉は、脳に存在する。この脳における情報処理を担っているのは、神経回路網を構成する神経細胞の電気的活動であり、その伝搬は電気通信の一種であるとみなすことができる。

本部門の目的の1は、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ある。すなわち、脳で行われる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、得られた成果を基に、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すものである。目的の2は、ヒューマンインターフェイスに関する研究である。高度情報化社会においては、誰もが、何時でも、どこからでも、情報を容易に発・受信できるシステムの実現が求められている。特に、高齢化社会において、感覚機能の衰えた高齢者やハンディキャップをもつ社会的弱者にも、容易に参加できるシステムの実現が求められている。そのためには、目的を与えるだけでシステムが作動するような、ヒューマンインターフェイスの実現が必須条件であり、必要な情報をシステム自体が作り出すことのできるインターフェイスの実現を目指すものである。

第一の目的に対するアプローチを主とする研究分野は、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、情報記憶システム研究分野であり、第二の目的に対するアプローチを主とする研究分野は、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。以下、具体的なテーマごとに、研究の概要を述べる。

Flexible Computingに基づく情報通信システムの研究 人間とコンピュータが共生する情報システムの実現に向けて、Flexible Computingの概念を提唱し、それに基づく「やわらかいネットワーク」の構成論の確立を目指した研究である。その基本となるエージェント指向プログラミング環境として前年度に開発したADIPS95について、言語仕様、開発環境、利用環境の観点からの拡張を行った。その応用例として、やわらかいビデオ会議システムを開発し、やわらかさの検証実験を行った。その結果、ネットワークやワークステーションの負荷の変化を自律的に吸収し、システムの安定な動作を保証できることが確認された。また、ネットワークの上でエージェントと人間とが互いに協調して目的を達成する環境として、共生空間の概念を提案し、それを実現するための枠組として、ADIPSフレームワークを利用した共生空間基盤の設計と実装を行った。さらに、やわらかいソフトウェアに関して、情報通信システムのサービス仕様の変更に対するプロトコル仕様の自動変更法を開発した。一方、マルチメディアヒューマンインターフェイスに関しても、HM(Hyper Media)を効果的に支援するため、再利用に基づくHM設計手法を提案して、HMオーサリングプロセスの分析・モデル化について成果を得た。

聴覚における情報処理過程の解明 音色知覚過程の入力は、聴覚系で情報処理を受けた聴覚系内スペクトルであるとの仮説に基づき、本年度は、動的変化音と音色の多次元空間との関係について重点的に研究を行った。その結果、定常音とは異なり、聴覚系内スペクトルの微細な時間的変動を考慮する必要のあることが明らかとなった。一方、音の感覚の基本的要素であるラウドネス(音の大きさ)知覚の実験に基づき、音圧レベルとラウドネスの関係を記述するラウドネス関数の精密なモデルを構築した。

三次元音場情報の伝送に関する研究 複雑な音場における音情報を、臨場感を完全に保ったまま伝送するための研究である。これを実現するため、音場の伝達関数の精密な計算手法と所望の伝達関数を実現するための音場制御手法の研究を重点的に行った。

デジタル補聴器の研究 内耳性難聴を対象とするデジタル補聴器の開発を、医学部耳鼻咽喉科と共同で行っており、その成果としての単耳ラウドネス補償アルゴリズムに基づく補聴器は、すでに実用されている。本年度は、両耳ラウドネス補償アルゴリズム開発のための基礎研究を行うとともに、不要音抑圧や適応ビームフォーミングなど、関連するデジタル信号処理手法の研究を進めた。

無限定テクノロジーの設計原理の解明 脳は、環境が予測不可能な変化を示す場合でも、柔軟に機能する。生命システムは、このような無限定問題を実時間で処理できる方法論を有している。本研究は、無限定問題の情報原理を明らかにし、工学システムへの応用を図るものであり、これらのシステムの必要条件とし

て、無限定問題を処理できるシステムはそれ自体が無限定でなければならないこと、無限定問題を解くには、システム自体が必要な諸条件を自律的に決定できる機構をもたなければならぬことなどを明らかにした。これに基づき、歩行制御の問題、不特定話者の音声認識、超音波を用いた音響定位、記憶の生成と意味の生成等を取り上げ、これまでに存在しなかった情報生成システムの構築を目指している。実時間で目的と環境を調和させるような歩行パターンシステムについては、アナログ神経回路網を構成し、そのパラメータをシステム自体が決定できるルールを導入した。神経回路網は、階層的に構成されており、上位からの入力は目的設定の回路に働き、それを拘束条件として、下位の神経回路は、目的を最適に達成するように個々の要素間の関係および要素の性質を自己言及的に決定することにより、運動制御が可能となることを、シミュレーションとロボットへの実装により明らかにした。

生命状態の自己組織の研究 非平衡系ではあるが、非線形系として捉えるには複雑過ぎる生物における生命状態を数理的に解明するため、腔腸動物ヒドラの構成細胞を解離し、その無秩序集合体が個体を再生する過程を研究している。これまで複雑系としての生命状態を数理的に扱う情報理論を提案し、ヒドラの再生を定量的に検証し、物理モデルと化学モデルの相互関係を明らかにする研究を進めている。

非線形非平衡系の不偏法則の研究 自然現象や生命現象を含む複雑系における構造と情報の自己組織に関する研究で、生物個体群の集団運動に関する新しいモデルの提案、乱流中の普遍構造と転移の考察、散逸のある多重安定系における粒子の確率的な挙動の解析、フラクタルなどの自己相似パターンを特徴づけるエントロピースペクトラムの概念の提案などが本年度の成果である。

ブレインコンピュータに関する研究 フィードフォワード型のニューラルネットワークにおける学習、非対称結合ニューラルネットワークの動的動作の解析、フラクタルなシナプス結合をもつ階層型ニューラルネットワークモデルの汎化能力の評価などの研究を行った。

超伝導を利用した高速・低消費電力・超高感度電子デバイスとシステムに関する研究 大規模で高密度の人工集積回路には、高速性のみならず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機能の解明は重要であり、脳の神経活動を高精度に計測する必要がある。これらの点で、超伝導体は優れた性質を持っており、ここでは、脳神経活動を計測できる超高感度超伝導磁気計測デバイスの開発を行うと共に、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・低消費電力超伝導デバイスと人工神経回路の研究を行っている。平成8年度は、高温超伝導粒界型ジョセフソン素子を用いてテラヘルツ帯でのミキシング特性を評価し、それが同帯域のヘテロダイン検出器として有望であることを示した。また、MgO基板上にYBCOランプ型ジョセフソン接合を作製することに初めて成功し、この素子がテラヘルツ帯電磁波を検出可能であることを、FIR レーザからの信号を用いて明らかにした。

Sr₂CuO₃-(Bi_{1.7}Pb_{0.3})CuOy-Ca₂CuO₃凝3成分系内における安定な超伝導相として、2223(110K; H)および4425(80K; L1)相の他に、76710(65K; L2)相の存在を確認し、それがPbOの作用であることを明らかにした。

時間変動音の知覚に関する研究 時間的に変動する音信号に対する聴覚の情報処理過程を調べるために、振幅変調音の知覚を対象に研究を行った。その1は、ランダム振幅変調の知覚に関する研究であり、その2は、振幅変調信号のエンベロープを正弦的およびランダムに変化した場合の変化の知覚に関する研究である。さらに、その3として、振幅変調信号の変調度の両耳間差の知覚について研究を行った。すなわち、左耳と右耳に変調度の異なる振幅変調音を与えた場合に知覚される変調度は、両耳差が小さいときは、両耳の音の変調度の平均で近似されるが、差が大きくなると非線形特性を示すことを明らかにし、その4として、両耳に与えられる変調波に位相推移がある場合の変調度の知覚に関する研究を行って、聴覚の情報処理過程を考察した。

情報通信システム研究分野

「Flexible Computing」に基づいた 情報通信システムの研究

1. 分野の目標

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、次世代の情報処理の基本となる「Flexible Computing」の概念を創成し提唱している。情報通信を含めこれまでの情報処理は、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）を評価基準として発達してきた。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。しかば、モダンの限界を越える21世紀へ向けた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、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考え方であり、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「Flexible Computing」に基づいた人間とコンピュータが共生する情報システムの構成論を確立することである。現在のコンピュータや情報ネットワークは、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「堅い」システムである。このようなシステムでは、ユーザが操作法を少しでも誤ると正しく動作しない。また、使用法を熟知した専門家を対象とし、利用者層が限定されている。国内外で話題となっている情報ハイウェイやインターネットも堅いシステムである。本研究の目的は、上述のような現在の堅いシステムの限界に対してブレークスルーをもたらす、これまでの概念とは全く異なる新しい考え方として、Flexible Computingに基づいたやわらかい情報システムの基礎概念を創成し、さらにこれに基づくモデルを構築し、その系統的な構成論を確立することである。具体的には、世界に先駆けてエージェント指向プログラミング環境を開発し、これを用いてネットワーク上に、人間と秘書エージェントなど多彩なエージェントが共生する空間（サイバースペース）を構築する。このようなシステムでは、ユーザの利用法が変化あるいは誤った場合、また故

障などによりシステム内に変化が生じた場合でも、システム自身が自律的に変化しユーザが必要とする環境を提供することができる。このような人間指向のやわらかい情報システムの構成問題は次の3つの副問題に分割でき、それについて今年度の成果を要約する。

2. 過去1年間（96年4月から97年3月まで）の主な成果

(1) 情報ネットワーク

本研究の一部は、情報処理開発協会（通産省）の「創造的ソフトウェア開発」に採択され平成8年度より2年間（3億2000万円）のプロジェクト研究として推進されている。また、本研究に関連した論文は、平成8年度情報処理学会論文賞及び国際会議（11th IEEE-ICOIN）の最優秀論文賞を受賞している。さらに、学会だけでなく、テレビや新聞紙上で報道されるなど国内外から高く評価され注目されている。

1) やわらかいネットワーク やわらかい情報システム構成法の基本となるエージェント指向プログラミング環境として前年度に開発を行ったADIPS95に対し、言語仕様、開発環境、利用環境の観点から拡張を行った（ADIPS96）。

またADIPSを用いたエージェント指向情報ネットワークの応用例として、やわらかいビデオ会議システムの設計・開発を行い、やわらかさの検証実験を行った。この結果、ネットワークやワークステーションの負荷の変化を自律的に吸収しシステムの安定な動作を保証することが可能であることが確認された。これにより、やわらかいネットワークの有効性を検証した。

2) 共生空間基盤 ネットワークの上でエージェントと人間とが共生し、互いに協調して目的を達成する環境として、共生空間の概念の提案を行った。また、共生空間の概念を実現するための枠組として、ADIPSフレームワークを利用した共生空間基盤の設計と実装を行った。また、共生空間の応用例として、サイバーオフィスのプロトタイプシステムを実装し、その実現性を確認した。

(2) ソフトウェアのやわらかい開発 本研究では、情報通信システムのサービス仕様の変更に対するプロトコル仕様の自動変更法を構成した。本手法の特徴は、ある等価性を保った既存のサービス仕

様と既存のプロトコル仕様が存在する状況で、サービス仕様の変更に対し、変更後のサービス仕様と等価性を保つようにプロトコル仕様を自動変更する点にある。この手法によって変更されたプロトコル仕様は、サービス仕様で保証されている正当性を保存する。したがって本手法は、高信頼システムの設計工程における要求仕様の円滑な変更や拡張に有効となる。

尚、本研究に関する論文は平成8年度電子情報通信学会情報ネットワーク研究賞を受賞している。

(3) マルチメディアヒューマンインターフェース 本研究では、HM (Hyper Media) 作成を効果的に支援するために、再利用に基づくHM設計手法を提案した。まず、再利用可能な既存のHMオブジェクトを表現するためのHM記述モデルO/D (Outline/Detail) モデルを提案した。O/Dモデルでは、HMにおける時間及びリンク概念、時間的グループ化などを統一的に扱うための時間コンポーネントを考察し、更にその時間コンポーネント間の関係記述やその再利用を効果的に行うために、2段階の時間関係記述レベルを導入した。再利用に基づく支援手法としては、まずHMオーサリングプロセスの分析・モデル化を行い、そのプロセスモデルに基づき、様々なオーサリングの状況に応じた具体的な再利用支援手法について成果を得た。

3. 職員名

教 授：白鳥 則郎（1993年より）

助教授：木下 哲男（1996年より）

助 手：郷 健太郎、菅沼 拓夫、徳田 佳一

秘 書：八巻美智子

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）

昭和47年より現在まで、主としてコンピュータネットワークの研究に従事。初期はネットワークの性能評価を行い、昭和52年よりプロトコルの仕様化環境、昭和60年より通信ソフトウェアやヒューマンインターフェースの研究に従事。

平成4年に人間とコンピュータが共生する情報システムへ向けて「Flexible Computing」の概念を提唱し、爾来その研究開発を中心に推進している。

5. 過去1年間（96年4月から97年3月まで）の発表論文

1) Norio Shiratori, Takuo Saganuma, Shigeki

Sugiura, Goutam Chakraborty, Kenji Sugawara, Tetsuo Kinoshita, E. S. Lee, Framework of a flexible communication network, Computer Communications, Vol.19, pp.1268-1275, 1996.

2) Norio Shiratori, Kenji Sugawara, Goutam Chakraborty and Dusan Jokanovic, Towards Development of the Next Generation Computer Communication Systems, Regional Symposium on Telecommunications Electronics Circuits and Systems (RESTECS '96) (招待講演), pp.S-12-S-19, 1996.

3) 藤田 茂、菅原 研次、木下 哲男、白鳥 則郎、分散処理システムのエージェント指向アーキテクチャ、情報処理学会論文誌、Vol.37, No.5, pp.840-852, 1996.

4) Ken Teruya and Norio Shiratori, A Consideration of Transient Characteristics on Throughput in a Slotted Ring Network, IEICE Trans. Fundamentals, Vol. E79-A, No.11, pp.1829-1833, 1996.

5) Shigetomo Kimura, Atsushi Togashi, Norio Shiratori, Extension of synthesis algorithm of recursive processes to μ -calculus, Information Processing Letters 58, pp.97-104, 1996.

6) Atsushi Togashi, Glenn Mansfield, Norio Shiratori, Animating LOTOS Specifications using AMLOG, International Journal of Software Engineering and Knowledge Engineering, Vol.6, No.1, pp.5-19, 1996.

7) Pairoj Termsinsuwan, Zixue Cheng, Norio Shiratori, A new approach to ADT specification support based on reuse of similar ADT by the application of Case-Based Reasoning, Information and Software Technology 38 pp.555-568, 1996.

8) Chotipat Pornavalai, Norio Shiratori, Goutam Chakraborty, Neural Network for Optimal Steiner Tree Computation, Neural Processing Letters, Vol. 3, No.3, pp.139-149, 1996.

9) Ushio Yamamoto, Eun-Seok Lee and Norio Shiratori, Reuse Based Specification Support Method Using Mathematical Similarity, IEICE Trans. Fundamentals, Vol. E79-A, No.11, pp.1752-1759, 1996.

10) Takuo Saganuma, Shigeru Fujita, Kenji Sugawara, Tetsuo Kinoshita, Norio Shiratori, An Agent-based Architecture for Flexible Multimedia Communication Networks, Proc. Second Int. Conf. on Multiagent Syst.(ICMAS-96), 1996.

6. 著書

1) 分散処理、白鳥則郎、滝沢誠、丸善（1996）。

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

○分野の目標

通信システムでは、情報の発信と受容の担い手として、人間は大きな役割を担っている。しがたって、誰でもがどんな環境でも快適に通信できるシステムを作り上げるために、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、聴覚モードは重要な情報処理過程の一つと考えられる。通信路の両端に人間がいる場合には、聴覚はとりわけ大きな役割を果たしている。

本分野の研究目標は、聴覚系の情報処理過程を明らかにすると共に、その知見を応用して高度な音響通信システムや快適な音環境を実現することである。

○平成8年度の主な研究成果

1. 音色知覚過程の研究

音は、その物理的な周波数スペクトルそのものが、音色知覚過程の入力として用いられているのではなく、聴覚系における情報処理の結果得られる主観的な聴覚系内スペクトルが用いられていると考えるのが自然である。我々は、この聴覚系内スペクトルの高精度な推定手法の検討を行うとともに、そのスペクトルと音色知覚多次元空間との写像関係を明らかにするための研究に取り組んでいる。

平成8年度は、動的変化音と音色の多次元知覚空間との関係について重点的に研究を行った。この研究ではまず、さまざまな時間包絡を持つAM変動音を刺激音として、音色の類似度の判断を行わせた。次に、この類似度から刺激音間の心理的な距離を求め、それに多次元尺度構成法を適用して、音色の多次元知覚空間の推定を行った。

その結果、定常音の音色とは異なり、聴覚フィルタと呼ばれるフロントエンド処理と、聴覚フィルタ出力間の側抑制だけでは、音色知覚多次元空間を説明することはできず、聴覚系内スペクトルの微細な時間変動を考慮することが、多次元音色知覚空間を構成するうえで重要であることを明らかにした。

2. ラウドネス知覚の研究

ラウドネス（音の感覚的な大きさ）は、音色、ピッチ（感覚的な音の高さ）と並んで聴覚の基礎的な知覚要因である。平成8年度は、特に、最小可聴域値から40 dB程度の音圧レベルまでの、低レベル域におけるラウドネス知覚実験を行い、こ

のデータに基づいて、音圧レベルとラウドネスの関係を記述するラウドネス関数の精密なモデルを構築した。

本研究は、音響標準特性として重要な、等ラウドネスレベル知覚特性の現行国際標準(ISO 226)を全面的に見直すための国際共同研究の一環として行っているものである。得られたデータは、国際標準化機構第43技術委員会に提供し、新標準を決定するための基礎データとして大きな貢献を果たしている。

3. 三次元音場情報の通信手法の研究

この研究の目的は、音楽ホールやスタジオ内のように高質な音場における音情報を、臨場感ごと精密に伝送することである。そのためには、音場の解析と制御手法の研究が極めて重要である。平成8年度は、音場の伝達関数／インパルス応答を数値的に精密に算出する手法の研究と、所望の伝達関数を実現するための音場制御手法の研究を重点的に行なった。

音場の精密数値計算の研究では、壁面が局所作用するという、従来用いられてきた近似を行わず、より厳密な拡張作用をすると考えた場合に、ある閉空間の音場を高精度に数値解析するための手法を開発し、実際の音場における測定結果との比較検討を行なった。さらに、音像定位知覚に極めて重要な役割を果たしている頭部伝達関数（自由空間上的一点から外字道入り口までの音響系の伝達関数）を、頭部の形状か数値計算によって精密に推定するための研究を行なった。

音場制御手法の研究では、音源から聴取者までの伝達関数を、キルヒホップ積分定理に基づいて精密に制御するための研究を行なった。また、ヘッドホンを用いてキルヒホップ積分定理に基づいた制御を行うための音場モデルの提案を行なった。このモデルでは、音源から聴取者までの伝達関数を、聴取者を取り巻く仮想的な球を設定して2段階に分割することにより、聴取者の移動に伴う伝達関数の動的な変化に追随することを可能にしている。また、実際にこのモデルを実時間で実現するためのデジタル信号処理システムの構築を行い、国内外の学会において、デモンストレーションを行なった。

4. ディジタル補聴器の研究

高性能で快適な補聴システムの実現は、高齢化社会の進展による老人性難聴者の急増を見越した

とき、極めて重要な課題である。

我々が、現在実用化を目指しているデジタル補聴システムは、本学の耳鼻咽喉科との共同研究によるものである。この補聴システムでは、入力信号の周波数スペクトルを実時間で分析し、ある時点ある周波数における出力が健聴者と同じ大きさ（ラウドネス）になるように利得を決定することによって、出力音を常に最適なスペクトルとレベルに保つというものである。このような考えに基づく補聴アルゴリズムは、ラウドネス補償型と呼ばれ、本研究グループは研究開始以来、この考え方の重要性を一貫して訴えてきた。このアルゴリズムに基づく補聴器は、平成7年から実際に市販されるに至っている。

本年度は、次世代のデジタル補聴器への適用を目指し、両耳ラウドネス補償アルゴリズム開発のための実時間システムの構築と、ラウドネス補償アルゴリズムを発展させて更に音色までのレベルで補償を行うためのアルゴリズムの基礎検討を行った。

ウェーブレット変換を用いた不要音抑圧手法や、両耳情報を保存することによって優れた音像定位能力を有する適応ビームフォーミングなど、基礎的なデジタル信号処理手法の研究を進めている。

5. 快適な音環境の実現を目指して

高度な音響通信システムを開発しても、それを用いる音環境が劣悪では意味がない。そこで本研究分野においては、快適な音環境を実現するための計測と評価手法の研究にも取り組んでいる。

今年度は、環境音がどのような音として知覚されているかを明らかにするため、我々を取り巻く様々な環境音を実際に収録し、これらの環境音を様々な形容詞対を用いて評価する、SD法を用いた聴取実験を行った。その結果、環境音の知覚要因として、4つの主要な要因が抽出された。特に、一般的な音色知覚にも表れる美的要因などの他、音を聞いただけで何の音かどうか分かりやすいかどうかが環境音の知覚の主要要因の一つとなっているという興味深い知見を得た。

○研究テーマ

1. 動的変化音の音色知覚過程の研究
2. ラウドネス知覚特性の研究
3. 3次元音像知覚過程の解明と制御
4. 3次元音場の精密数値解析と制御手法
5. デジタル補聴システムの研究
6. 次世代デジタル補聴アルゴリズムの研究
7. 環境音の評価手法の研究

○職員

- | | | |
|-----|-------|-----------|
| 教 授 | 曾根 敏夫 | (1981年より) |
| 助教授 | 鈴木 陽一 | (1989年より) |
| 助 手 | 小澤 賢司 | |
| 助 手 | 高根 昭一 | |
| 技 官 | 齊藤 文孝 | |

○曾根敏夫のプロフィール

1958年3月東北大学工学部電気工学科卒、1963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修了。東北大学工学部助手、同助教授、同教授を経て現職。大学院当時から、人間の聴覚を対象とする音響学の研究に従事。音響機器、ホールの音響特性の主観評価と物理特性の関連、聴覚における情報処理過程、騒音の評価と低減策、騒音中における音信号の伝送、音像の定位、デジタル補聴器、ラウドネス特性等の研究に従事。

○平成8年度の主な発表論文

1. G. Chen, T. Sone and M. Abe: Effects of multiple secondary paths on convergence properties in active noise control systems with LMS algorithm, *J. Sound and Vib.*, 195 (1996) 217-228
2. F. Asano, Y. Suzuki and T. Sone: Sound equalization using derivative constraints, *Acustica*, 82 (1996) 311-320.
3. N. Saito and T. Sone: Influence of modeling error on noise reduction performance of active noise control system using filtered-X LMS algorithm, *J. Acouse. Soc. Jpn. (E)*, 17(1996)195-202
4. H. Uematsu, K. Ozawa, Y. Suzuki and T. Sone: A model for timbre discrimination taking the effect of lateral inhibition into consideration, *J. Acouse. Soc. Jpn. (E)*, 17(1996)265-267.
5. 鈴木陽一, 伊勢友彦, 曽根敏夫, 大山健二, 高坂知節: 評定尺度法を用いたラウドネス補償関数の推定, *Audiology Japan*, 39 (1996) 209-223.
6. H.-Y. Kim, F. Asano, Y. Suzuki and T. Sone: Speech Enhancement Based on Short-Time Spectral Amplitude Estimation with Two-Channel Beamformer, *IEICE Trans. on Fundamentals of Electronics, Communications and Computer Sciences*, E79-A (1996) 2151-2158.
7. 西村竜一, 浅野太, 鈴木陽一, 曽根敏夫: Wavelet変換を用いたSpectral Subtractionによる音声強調, 電子情報通信学会論文誌A, J79-a (1996) 1986-1993.
8. 植松尚, 小澤賢司, 鈴木陽一, 曽根敏夫: 高次高調波のみからなる複合音の音色知覚過程とそのモデルに関する検討, 日本音響学会誌, 52 (1996) 948-956

生体コンピューティングシステム研究分野

無限定テクノロジーの設計原理の解明に向けて； 不良構造問題の解法

情報科学やコンピュータサイエンスは最近急速に発達し、高度情報化社会はまさにその幕開けを迎えたと言って良い。しかし、これら最先端の情報機器をもってしても取り扱うことが困難な問題は山積している。パターン認識（視覚、聴覚）、不完全な情報からの推論、自己学習能力、予測不可能な環境変化の下での運動制御などを実時間で柔軟に行なうことは出来ない。この柔軟性が欠如している原因はこれまで行ってきた「表象主義」にその原因を求めることが出来る。つまり、自他分離の方法論である。人間の知的な活動を人工知能に代表されるように、個別的な事象として分類し、それを集合させることによって全体が構成できると仮定し、コンピュータ上でシミュレーションを行うためである。つまり、そこでは人間の知的活動をすべて見通せる神がいて、それが全ての実世界を表現した系を作り、問題の解は全てその中にあるという探索の問題として形式化することで行おうとした。

この方法論は限定された問題では有効であるが、最初に意図しなかった問題に関しては原理的に対応できない。それは、実世界は実に予測できないような変化をするからそれに対応しようとすると、生命システムの「脳」の様な情報システムが必要となる。「脳」は環境が予測不可能的に変化する場合でも柔軟に機能する。生命システムは必然的に無限定問題に常にさらされているが、生命システムは無限定問題を実時間で処理できる方法論を有している。生命システムにおける「脳」という情報システムと我々がこれまで用いてきた情報処理システムと本質的に異なる点はこの無限定問題を解くことが出来るかどうかである。限定問題では人間が神の立場で情報を全て作ることになるので、情報処理の現場で情報を作る必要はないが、無限定問題ではでは全ての情報が予め準備されているわけではないので、情報システムが問題解決の現場で情報を作らざるを得ない。この能力の有無がいま問われていることである。

無限定問題は、現在盛んに研究されている複雑系とも論理構造を異にする。複雑系はその置かれて環境に応じて多様な時空間パターンを自己組織することが出来る。複雑系は非線形ダイナミカル

システムの一つであり、固有のダイナミクスを持つ多数の要素により構成され、ある拘束条件下で、複雑な相互作用をすることによって多様な時空間パターンを自発的に形成する。この性質を利用して線形システムでは実現できなかった機能を実現するための研究が行われている。複雑系に自発的に形成される動的な秩序を、記憶・探索等の情報処理に用いたり、運動制御に用いる研究がそれに当たり、それなりに有効な場合もある。しかし、そこで行われているのは与えられた機能を複雑系の持つ時空間パターンに埋め込むことなので、この立場は依然として自他分離の立場であり、「知」はシステムの外にある。

本研究分野では無限定問題に焦点を当てその「情報原理」を明らかにし、工学システムへの応用を図っている。その中でいくつかのことが明らかになってきた。まずこれらのシステムの必要条件を挙げる。第一に無限定問題を処理できるシステムは、それ自身は無限定で無くてはならない。無限定な現象つまり、予測不可能的に変化するものに対して、システムが限定されていると、原理的に無限定なものを認識し、システムをそれに適応させていくことは出来ない。無限定なシステムは、無限定ではあるが、ある環境に置いたときに、無限定状態から限定状態に移行することが出来なくてはならない。第二にこの無限定問題を解くことは言い換えれば、不良設定問題を良設定問題にすると言うことであるので、そのための方法論を有している必要がある。一般に不良設定問題は観測限界から系を規定するに十分な情報が得られない場合におきる。力学系で言えば、初期条件、パラメタ、境界条件のすべてを定めることができるとは限らない。元々自然界から生命システムが得られる情報は不完全なものである。したがって、この問題解くと言うことは、システム自身が初期条件、パラメタ、境界条件を自律的に決定できる機構を有するということである。自律性は文字どおり、システム自らと言う意味であるので、システム自身がそれらを決める規範を持っているということになる。つまり、自己言及的に、不良設定問題を良設定問題に変える能力を有すると言うことである。これで一つの結論が導かれる。環境変

化は無限定であり、そのために情報を生成することが動物の運動制御や環境認識において本質的であり、情報を作り出すには自己言及性が必要条件となる。

この立場はこれまでの情報システムが「情報の存在論」に立脚していたので、存在する情報をシステムに入力して処理する方法論である。ここで取り扱おうとする情報システムは入力をシステムにとっての情報として処理することが求められている。つまり、内的観点に立って、自他非分離的にシステムを記述し、情報の質や価値を取り扱えるようにすることである。そうして初めてシステムは無限定な環境下でも、システムの内的な状況と環境とを調和させることができる。その時の情報は予めシステムに入っていない情報なので、システムが情報を作ることになる。

工学としては一気にこれらのこと全てを取り込んだ、システムをすぐに作れるわけではない。しかし、目的を変化させても、要素が自己言及的に変化することによって対応できるようになれば、これまでよりずっと柔軟な情報システムを作ることが出来ることになる。従って、この考えを基本にして、技術的な展開を図ることは重要なことである。そこで我々はこれらの考え方を基本として、歩行制御の問題を始めとして、不特定話者の音声認識、あるいは超音波を用いた音響定位、自己言及性の本質的問題である記憶の生成と意味の生成等を取り上げ、これまでには存在しなかった情報生成をするシステムの構築を目指している。これまでシステムとして完成の域に達しているのは、実時間で目的と環境を調和させるような歩行パターンをシステムが自ら作り出すことが出来る運動制御の問題である。

実際上の構成としては、アナログ神経回路網を構成し、その神経回路網は目的あるいは環境を設定しない場合は無限定な回路になる。これは生理実験で発見された、多形回路の一種である。この回路がどのように運動制御を行っているのかは明らかでは無かったので、我々はこの神経回路のパラメーターをシステム自身が決定できるルールを導入した。神経回路網は階層的に構成されており、上位からの入力は目的設定の回路に働き、それを拘束条件として下位の神経回路は目的を最適に達成するように個々の要素間の関係、及び要素の性質を自己言及的に決定できることにより、運動制御が可能であることをシミュレーション及びロボットに実装することで明らかにした。この考えは認識システムにおいても有効であると考えられ、入力情報から如何にして意味のある情報を分節化

し、それに如何にして意味を付けるかを研究している。

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 鈴木 章夫

研究テーマ

1. リアルタイムの認識地図の自律生成の研究
2. 記憶の生成とその時空間的発展のメカニズム
3. 運動パターンの自律生成の研究
4. コンテキストに依存する神経回路の役割の研究
5. 不特定話者の音声認識の研究

<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、学術振興会奨励研究員、東京大学助手、講師、助教授を経て1992年より現職。物としての生物を研究することより、「こと」としての生命現象に興味がある。その究極は脳における情報生成にあると考え、通研に移ったのを機として本格的に脳の研究を開始する。チャレンジングなテーマゆえに時間も掛かると思われるが、腰を据えて取り組む予定。将来の情報システムの基礎を作りたい。>

主な研究発表

1. Environment-dependent self-organization of positional Information field in chemotaxis of *Physarum Plasmodium*, Y. Miyake, S. Tabata, H. Murakami, M. Yano & H. Shimizu J. theor. Biol. **178**, 341–353 (1996)
2. Mechanical Apparatus in Biological Systems; A New Control Mechanism Applied to an Insect Robot, M. Yano, K. Akimoto & S. Watabe in “Breaking Paradigms; The Seamless Electro-Mechanical Vehicles, 487-491 (1996)
3. Removal after addition of NO-generating agents and 8-bromo-cyclic GMP causes morphological change of cultured cerebellar astrocytes: a new mode of NO action, A. Tomita, S. Yoshida, M. Yano, Y. Kirino, S. Kawahara and H. Shimizu, Brain Res. **744**, 344-346 (1997)

ブレインコンピューティングシステム研究分野

複雑系の科学とブレインコンピューターの設計・試作

分野の目標：

沢田研究室では、生体を含めて自然界に形成される構造の自己組織機構とその情報生成、情報処理機構、その延長としての生命状態の物理数学的理論の枠組みの構築、及び、脳の知的情報処理機構の構成論的解明を目指している。非線形数理と生物に関する理解なしには、脳機能の解明は不可能である。

過去1年間の主な成果：

過去1年間の主な成果：本研究室の研究分野は、主として3つに分けることができる。

[I] 生命状態の自己組織

非平衡系ではあるが非線形系として捉えるには複雑すぎる生物における生命状態を数理的に定義する目的を持って、腔腸動物ヒドラの構成細胞を解離しその無秩序集合体が個体を再生する過程を研究している。その主たる成果は、

1)これまで、複雑系としての生命状態を数理的に扱う情報理論を提案しており、これにより生命状態、一個の細胞生命から多細胞生命への遷移などが説明可能になった。これを検証する目的で、ヒドラ解離細胞集合体を用いて実験を行ない、初期の無秩序状態から、秩序的集団運動状態への遷移、また同時期におこる神経ネットワークの再生を定量的に検証した。

2)再生過程の初期段階における内胚葉性上皮細胞と外胚葉性上皮細胞の初期細胞選別機構に対して、全表面張力を基礎にした物理学的モデルと接着分子を基礎にした化学的見地の相互関係を明かにする研究を進めている。

さらに、細胞性粘菌に見られる細胞分化の実験によって、生物の分化と自律協調メカニズムの解明、およびそれらの数理モデルの構築を目指している。

[II] 非線形非平衡系の普遍法則

自然現象や生命現象を含めた、複雑系における構造と情報の自己組織に関して研究を行なっている。96年度の主たる成果は、

1)生物個体群の集団運動に関する新しいモデルを提案し、編隊、迷走、蚊柱など様々な典型的

な群運動が同じ決定論の方程式で記述されることを示した。また、遷移がある無次元パラメータでコントロールされているという理論的予測を提案するとともに、力学系理論を用いて複雑な集団運動を量化した。

2)水銀の熱対流系の実験を広範囲のレイリー数に渡って行ない、系を特徴づける無次元数間のスケーリング関係や温度揺らぎ等の測定から得られた知見をもとに、乱流中の普遍構造と転移を議論した。

3)散逸のある多重安定系において時間相関をもつノイズによって駆動される粒子の確率的な挙動を理論的に解析し、運動の対称性の破れが生じることを示した。さらに、カオスノイズを含む多様なノイズについての輸送効率を議論した。

4)フラクタルなど自己相似なパターンは、自然界に数多くあるが、これらを特徴づける新たな指標として、エントロピースペクトラムの概念を新たに提案し、種々の自己組織モデルについてその有効性を示した。

5)進化を記述するレプリケータ方程式において、無限個の周期アトラクターおよびストレンジアトラクターが存在することを初めて示し、ポアンカレ断面を用いた解析によって相空間の詳細な構造を明らかにした。

6)方向性を持って進展する準静的破壊の実験とモデリング・理論解析を行ない、亀裂パターンの転移の様式と亀裂間隔の選択則を導いた。また、衝撃破壊のメカニズムと破片の統計的性質を調べ、普遍的なスケーリング則を見いだした。

[III] ブレインコンピュータ

1)フィードフォワード型のニューラルネットワークの学習において、呈示するパターン間の時間相関と学習速度の関係性について解析を行なった。

2)運動ベクターを用いた連続時間ニューラルネットワークの解析方法を用い、ある種の非対称行列についてのリミットサイクル数を理論的に調べた。

3)非対称結合ニューラルネットワークの動的動作において発生するリミットサイクルの性質を

調べ、新しい動的メモリ機構の可能性を示した。また、回路シミュレーションによってその回路動作を確認した。

4) 人工ニューラルネットワークの集積回路化に適した新アナログメモリ SDAM を設計・試作した。線形動作特性を高めるために新しい電荷輸送機構を考案し、それを実装した。

5) 生体ニューロンにヒントを得た、非対称な学習ルールを組み込んだハードウェアニューラルネットの開発を行なった。

6) フラクタルなシナプス結合を持つ階層型ニューラルネットワークモデルを構成し、ソナーデータの分類問題についてその汎化能力を評価した。ランダム結合に較べフラクタル結合なネットワークは汎化能力に優れており、効率を犠牲にすることなくニューラルネットワークの結合数を減じられる可能性を示した。

7) 多数の相互作用するエージェントによって構成される系の群機能を解析し、パック収集のタスクについて統計的手法によってその効率を検討した。

職員

教 授 沢田康次（1972年より）

助教授 佐野雅己（1990年より）

助 手 早川美德

助 手 早川吉弘

COE研究員 茶碗谷毅

COE研究員 小松輝久

学振研究員 大内則幸

学振研究員 Antoine Naert

学振研究員 Jean-Paul Rieu

教授のプロフィール：

60年代に固体中のプラズマの研究からスタートし、70年代に液体ヘリウムの超流動現象や各種音波の研究、ソリトンの研究、化学反応系や流体系に代表される非線形非平衡系の散逸構造の研究を行なう。80年代は、非線形系のカオスやフラクタルの研究、生物の形態形成の研究、超伝導量子磁束による量子コンピュータの開発を経て、現在までブレインコンピュータの原理と設計の研究を行なっている。

過去1年間の発表論文、解説記事、著書

発表論文

1. Tsuyoshi CHAWANYA: Infinitely many attractors in game dynamics systems, Progress of Theoretical

Physics 95, 679-684 (1996).

2. Teruhisa S. Komatsu and Shin-ichi Sasa: Pattern Selection of Cracks in Directionally Drying Fracture, Jpn. J. Appl. Phys. 36, 391-395 (1996).

3. Tsuyoshi Hondou, Mitsuaki Yamamoto, Yasuji Sawada and Yoshihiro Hayakawa: Effect of time-correlation of input patterns on the convergence of on-line learning, Physical Review E 53, 4217-4220 (1996).

4. Hondou, T. and Sawada, Y.: "White-noise-induced transport in periodic structures" by J. Luczka et al., Europhysics letters 35, 313-314 (1996).

5. Hondou, T., Sawada, Y.: Effect of chaotic noise on multistable systems, Physical Review E 54, 3149-3156 (1996).

6. Basabi Chakraborty and Yasuji Sawada: Fractal Connection Structure: A Simple Way to Improve Generalization in Nonlinear Learning Systems, IEICE TRANS. FUNDAMENTALS E79-A, 1618-1623 (1996).

7. Hysoig Won, Yoshihiro Hayakawa, Koji Nakajima, and Yasuji Sawada: Switched Diffusion Analog Memory for Neural Networks with Hebbian Learning Function and Its Linear Operation, IEICE TRANS. FUNDAMENTALS E79-A, 746-751 (1996).

8. Yoshinori Hayakawa: Impact Fragmentation of an Ideal Brittle Crystal, Physical Review B 53, 14828-14833 (1996).

9. Cheol-Young Park, Yoshihiro Hayakawa, Koji Nakajima, and Yasuji Sawada: Limit Cycles of One-Dimensional Neural Networks with the Cyclic Connection Matrix, IEICE TRANS. FUNDAMENTALS E79-A, 752-757 (1996).

10. Naohiko Shimoyama, Ken Sugawara, Tsuyoshi Mizuguchi, Yoshihiro Hayakawa, and Masaki Sano: Collective Motion in a System of Motile Elements, Physical Review Letters 76, 3870-3873 (1996).

11. Tohru Takeshita, Takehiko Segawa, James A. Glazier: Thermal Turbulence in Mercury, Physical Review Letters 76, 1465-1468 (1996).

国際会議プロシードィング

12. Cheol-Young Park, Toyohiro Abe, Koji Nakajima, and Yasuji Sawada: Implementation of Neural Networks for Dynamic Pattern Generation, Proceedings of ITC-CSCC '96, 353-356 (1996).

13. Cheol-Young Park, Koji Nakajima, and Yasuji Sawada: Analytical Estimation of the Number of Limit Cycles Generated by Circular Networks, 1996

International Symposium on Nonlinear Theory and its Applications, 13-16 (1996).

14. Hyosig WON, Yoshihiro Hayakawa, Koji Nakajima, and Yasuji Sawada: Hardware Implementation with 3TFT SDRAM for Neural Networks of Asymmetric Learning Rule, Proceedings of ITC-CSCC '96, 983-986 (1996).

15. Basabi Chakraborty and Yasuji Sawada: A Neuro-Fuzzy Model for Feature Selection, Proceedings of International Symposium on Nonlinear Theory and its Applications (NOLTA '96), 161-164 (1996).

16. A. Yuse and M. Sano: Transition of Crack Patterns in Quasi-static Fracture 物性研究 66, 582-583 (1996).

17. K. Sugawara and M. Sano: Cooperative Acceleration of Task Performance: Foraging Behavior of Multi-robot System, Distributed Autonomous Robotic Systems 2, ed. by H. Asama et al., 233-242 (Springer, 1996).

18. Ken Sugawara and Masaki Sano: Distributed Autonomous Robotic Systems 2, 3rd International Symposium on Distributed Autonomous Robotic Systems, 233-242 (Springer-Verlag, 1996).

解説記事

19. 佐野雅己: 「散逸構造」, ながれ (日本流体力学会誌), 265-268 (1996).

20. 佐野雅己: 「割れ目」, 科学 66, No.10, 697-702 (1996).

21. 早川美德: 「衝撃破壊の統計則」, 科学 66, No.12, 845-852 (1996).

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， 超高感度電子デバイスとシステム

○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人工神経回路の研究を行う。

○本研究分野の研究成果

1) 高温超伝導粒界型ジョセフソン素子を用いてテラヘルツ帯でのミキシング特性を評価した。その結果、基本波ミキシングでは変換効率がかなり高いことを見出した。また、ハーモニックミキシングではミキシング次数が500次まで確認でき、これらの素子はテラヘルツ帯のヘテロダイン検出器として有望であることが結論づけられる。

2) MgO基板上へYBCOランプ型ジョセフソン接合の作製に初めて成功し、この素子の特性がバリア層として用いているGaドープPrBCOによって主に決定されていることを明らかにした。また、この素子がTHz帯電磁波を検出可能であることをFIRレーザからの信号を用いて明らかにした。

LaSrGaO₄(100)基板を用いることにより、面内でc軸の揃ったa軸配向 (LaSr)₂CuO₄薄膜の作製に成功し、抵抗率の異方性を測定した。また、特定の電極配置をとると超伝導転移温度直上に電圧ピークを生じることを示し、これが不均一な電流分布によることを示唆した。

3) Sr₂CuO₃- (Bi_{1.7}Pb_{0.3}) CuOy-Ca₂CuO₃擬3成分系内における安定な超伝導相として、2223 (110K;H) および4425 (80K;L1) 相の他に76710 (65K;L2) 相の存在を確認した。この相は特定量のPbOを含むことによってのみ安定に生成される。また、H相の生成に関与するPbOの役割は、2223の組成的条件の充足 (Bi不足の補填) に加えて共析温度の低下に効果的であり、それによって生成温度領域の実質的な拡大が得られ、H相の安定生成が可能となることを明らかにした。

4) Theory of interaction between external microwave fields and layered superconductors. The obtained results provide a microscopic explanation of known experimental data by S. Uchida. Particularly, a new test for unconventional Cooper pairing in the metal oxides is carried out.

The theory of spikes observed experimentally by T. Aray in the tunneling spectra of metal oxide superconductors. The spikes are explained by minisubband structure of the quasiparticle spectra taking the place due to Andreev reflections in the periodic energy gap potential.

○職員

教 授 山下 努 (1991年より)

助教授 中島 健介 (1993年より)

助 手 菅井 徳行

助 手 明連 広昭

助 手 陳 健

COE外国人研究員 S. E. Safranjuk

○山下努教授プロフィール

1939年4月11日生まれ、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=電気通信研究所助教授を経た後、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。著書「超伝導回路」共

立出版（1981）、「薄膜ハンドブック」オーム社（1933）、「ジョセフソン効果の物理と応用」近代科学社（1988），新潟日報文化賞受賞（1985）。

○発表論文

- 1) "ac properties of an anisotropic layered superconductor", S. E. Shafranjuk, M. Tachiki, and T. Yamashita, Phys. Rev., Vol.53, No.22, pp.15136-15146, 1996
- 2) "Single-Crystal Switching Gates Fabricated Using Cuprate Superconductors", T. Yamashita, and M. Tachiki, Jpn. J. Appl. Phys., Vol.35, No.8, pp.4314-4317, 1996
- 3) "Synthetic Conditions of Single 110K Phase of Bi-Containing High-Tc Superconductor" T. Sugai, and T. Yamashita, J. Ceramic Society of Jpn. Vol.104, pp.314-319, 1996
- 4) "Experimental Operation of an RS Flip-Flop Composed of Non latching Josephson Gates" Y. Mizugaki, T. Onomi, K. Nakajima, and T. Yamashita, IEEE Trans on Appl. Supercond., Vol.6, No.2, pp.90-93, 1996
- 5) "Penetration of ac fields into anisotropic layered Superconductors", S. E. Shafranjuk, M. Tachiki, and T. Yamashita, Phys. Rev. B, 1996
- 6) "Odd-gap spikes in the electron density of states of the La-Sr-Cu-O single crystal observed by tunneling spectroscopy" T. Arai, S. E. Shafranjuk, and T. Yamashita Phys. Rev. B, 1996
- 7) "Slot Antenna Coupled Thin-Film YBCO Josephson Mixers", T. Nozue, A. Hasegawa, Y. Yasuoka, and T. Yamashita, Jpn. J. Appl. Phys., Vol.35, pp. L1181-L1183, 1996
- 8) "Binary Counter with New Interface Circuits in the Extended Phase-Mode Logic Family" T. Onomi, Y. Mizugaki, T. Yamashita, and K. Nakajima, IEICE Trans. Electron., Vol.E79-C, No.9, pp. 1200-1205, 1996
- 9) "YBCO粒界ジョセフソン接合の固有雑音温度とその動作周波数", 中島健介, 陳健, 明連広昭, 山下努, 吳培亨, 信学技報, SEC96-16, pp.37-41, 1996
- 10) "電子ビーム照射によるSi基板上YBCO Josephson接合の高周波特性", 金相宰, 明連広昭, 陳健, 中島健介, 山下努, 信学技報, SEC96-11, pp.7-12, 1996
- 11) "Intrinsic noise temperatures of $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$ Josephson devices on bicrystal substrates and the upper frequency for their operation" J. Chen, H. Myoren, K.

Nakajima, and T. Yamashita

J. Appl. Phys., Vol.80, No.11, pp.6536-6538, 1996

12) "The isotope effect coefficient dependence on nonstoichiometry for single CuO layer superconductors", C. Buzea, T. Yamashita, K. Nakajima, C. G. Buzea, M. Agop Physica C, Vol.270, pp.317-326, 1996

マルチモーダルコンピューティング研究分野

人間の知覚過程における クロスモダリティの研究に向けて

○分野の目標

ブレインコンピューティング研究部門の目的である、人間の脳で行われている高度な情報処理過程の解明とその人工的実現のためには、人間と外界との情報処理インターフェイスを構成する視覚、聴覚などの諸感覚器官を通しての知覚過程に対する理解が不可欠である。

それは、一つには、人間の脳に比肩する高度な情報処理能力をもつコンピュータは、当然のことながら人間と同様の知覚情報処理能力をもつことが期待されるからである。更には、そのような高度のコンピュータは、人間のさまざまな知覚過程を通して、人間との自然なコミュニケーション、すなわちマルチモーダルコミュニケーションの能力を有することが期待される。近年のマルチメディア通信への関心の高まりも、マルチモーダルコミュニケーションの実現の期待を背景にしたものであることは言を俟たない。

人間の知覚過程においては、それぞれの過程が独立な情報処理過程として機能しているばかりでなく、複数の知覚過程が影響を及ぼし合い、連係して機能している。すなわち、知覚過程のクロスモーダル性である。

「マルチモーダルコンピューティング研究分野」では、そのような人間の知覚過程のクロスモーダル性に着目し、音、テキスト、画像を入力とし、それらの情報を一体化したマルチモーダル情報処理について、さらには、マルチモーダル情報処理システムを用いた人間と機械の間のマルチモーダルコミュニケーションについて、実績をもつ外国の専門家を迎えて研究を遂行する。

本分野は特に、ブレインコンピューティング研究部門の「情報通信システム研究分野」における研究、特に人間と機械を含む系での情報の伝達手段の開発、また「音響情報システム研究分野」における聴覚を基本とする人間のコミュニケーションへのクロスモーダル的アプローチなどに基礎資料を提供するものと期待されている。

このように、本分野は、ブレインコンピューティング研究部門における学際性を基調とした共同研究体制の構築のために重要な位置を占めている。

○過去1年間の主な成果

前年度に引き続き、時間的に変動する音に対する聴覚の情報処理過程について調べるため、振幅変調音の知覚を対象に実験的研究を進めてきた。

[ランダム振幅変調の知覚に関する研究]

この研究では、変調波および搬送波の周波数の関数としてのランダム振幅変調の検知限を考察した。ランダム振幅変調（RAM）は、ガウス過程から取られた標本関数（modulator）で純音キャリアを振幅変調することによって得られた。実験で使った変調周波数は、 $f_m = 4, 16, 64, 128, 256, 512, 1028\text{Hz}$ であり、キャリアの周波数は $f_c = 250, 1000, 4000, 6000\text{Hz}$ で、音の提示レベルはラウドネスレベル70 phonであった。

2つの実験を行った。実験1は、一定の変調周波数で、振幅のみランダムに変化させた場合の検知限に関するものであり、実験2は、振幅と変調周波数の両方を、同時にランダムに変化させた場合の検知限を扱ったものである。得られたデータから、低い変調周波数 f_m では、正弦波による振幅変調（SAM）の検知限、一定変調周波数におけるランダム振幅変調の検知限、および振幅と変調周波数の両方をランダムとした場合の検知限が、ほぼ一致することがわかった。しかしながら、実験1によれば、キャリアの周波数と変調周波数が高い場合、変調周波数のある範囲では、ランダム振幅変調（変調周波数一定）の検知限は、正弦振幅変調の検知限より8~14dB小さい傾向があることがわかった。実験2では、変調周波数と振幅の変化が共にランダムの場合、ランダム振幅変調（ f_m : ランダム）の検知限は、高いキャリア周波数において、変調周波数のある範囲で、ランダム振幅変調（ f_m : 一定）の検知限にくらべ3~6 dB減少することが示された。RAMおよびSAM信号を帯域フィルタで分析した結果、スペクトルによって両者の検知限の差がよく説明されることがわかった。

[振幅変調信号のエンベロープのランダム変化とその知覚に関する研究]

この研究では、振幅変調信号のエンベロープを正弦的およびランダムに変化した場合の変化の検知限を測定した。キャリアは、純音であった。擬

似ランダムおよびランダム変調では、変調度あるいは変調度と変調周波数の両方がランダムに変化する場合についてだけ、検知限を求めた。その結果、低い変調周波数の場合は、正弦振幅変調、擬似ランダム振幅変調、およびランダム振幅変調の検知限の間に差は認められなかったが、高い変調周波数ではランダム変調の場合の検知限は、正弦波変調の場合の検知限より小さくなることがわかった。

[振幅変調信号の変調度の両耳間差の知覚]

左耳と右耳に提示される振幅変調音の変調度が異なる場合について、知覚される変調度はどうなるかということを調べるのがこの研究の目的である。測定は、キャリア周波数250, 1000, 4000Hz, 変調周波数8, 64, 128Hzで、変調度が0%から100%までのさまざまな組合せについて行った。変調度の両耳差が小さいときは、知覚される変調度は、テストに使ったすべての変調周波数および搬送周波数において、両耳に提示された音の変調度の平均で近似できることができた。しかし、両耳差が大きくなると、知覚される変調度は、両耳のそれの平均より小さくなり、非線形特性を示す。線形性を仮定した計算値との比較も行った。

[変調に位相推移がある場合の振幅変調信号の変調度の両耳知覚]

両耳に与える振幅変調音の変調度が等しく、変調波の間に位相差がある場合について、知覚される変調度を位相差の関数として求めた研究である。キャリア周波数 250, 1000, 4000Hz, 変調周波数 4, 64, 128Hzの場合について、位相差が $0\sim180$ 度の範囲で測定を行った。知覚される平均変調度は、変調度が小さい範囲ではほぼ線形であったが、変調度が大きくなると、位相差に対して指數形の関数となる傾向がある。線形を仮定した計算値と実測値の間の差は、位相差とともに大きくなり、位相差180度のときには、両耳の平均値は零となるのに、なお非常に大きい変調度が知覚された。

○職員名

教授 エドワード・オジメック (1995年9月より)

○教授のプロフィール

1961年にポーランドのアダム・ミツケビッチ大学で物理学修士を、1968年には同大学で理学博士の学位を受け、同大学助教授を経て、現在同大学音響研究所教授。1995年9月より1996年12月まで、東北大学電気通信研究所の客員教授。これまでの主な研究テーマは、聴覚における時間変動音の知

覚、および音の伝搬変形に着目した室の音響特性の評価の研究であるが、他に音響計測および音響診断、騒音制御などの研究にも従事してきた。

○過去1年間の発表論文等

1. Detection of random amplitude modulation, Edward Ozimek, Jacek Konieczny, Yoiti Suzuki and Toshio Sone (Acta Acustica採録決定)
2. Random changes in envelope of AM signals and their detection, Edward Ozimek, Jacek Konieczny, Yoiti Suzuki and Toshio Sone (J. Acoust. Soc. Jpn. (E)に投稿中)
3. Dichotic perception of modulation depth of AM signals, Edward Ozimek, Jacek Konieczny and Toshio Sone, Proceedings of Acoust. Soc. Am. and Acoust. Soc. Jpn. Third Joint Meeting (1996), 629-634
4. Detection thresholds of random amplitude modulation, Edward Ozimek, Jacek Konieczny, Yoiti Suzuki and Toshio Sone, Proceedings of Acoust. Soc. Am. and Acoust. Soc. Jpn. Third Joint Meeting (1996), 641-646

物性機能デバイス研究部門の目標と成果

物性機能デバイス研究部門は高速・高密度の信号を制御するために、半導体、磁性体、誘電体の物性に基づく新しい材料、加工プロセス、電子デバイスを開発することを目標としている。具体的な研究テーマは以下の通りである。

1. メゾスコピックな領域での電磁気現象を利用した超高密度高機能情報処理および蓄積デバイスの研究：

将来ますます大容量化してゆく情報を、リアルタイムで処理することは不可能である。このため大容量の情報を記憶するための磁気記憶材料・デバイス、および高速信号処理用新磁性材料・デバイスの開発研究をメゾスコピックな領域での電磁気現象に立脚して行う。

2. 将来の高速電子デバイスおよびその実現のための製作プロセスの基礎的研究：

次世代デバイスのための原子配列制御された半導体などの新機能性材料の創製、新しい電子デバイス構造、光・プラズマなどを用いた低温化新製作プロセスなどに関する基礎的な研究を行う。

これらの研究テーマに対し各研究分野の研究テーマおよび昨年度の研究成果は以下の通りである。

1. 固体電子工学研究分野

○分野の目標

固体電子工学研究分野では、新しい構造、及び、動作原理に基づく超微細デバイス、回路、及び、アーキテクチャーに関する研究を通して、高度情報社会の基盤となる超高速・超低消費電力・超高機能・高集積回路を実現する事をめざしている。また、MOSトランジスター物理的限界を材料的に決める薄膜ゲート絶縁膜等の材料物性における高品質化、及び、薄膜化の研究も行う。

○過去一年間の主な成果

高性能アクティブデバイスに関する研究においては、新しい3次元構造MOSデバイスであるSURROUNDING GATE TRANSISTOR (SGT) におけるゲート容量モデル、しきい値モデル、チャネル中を伝導する電荷のモビリティーモデル、ショートチャネル現象モデルを提案し、世界で初めて、SGTの動作メカニズムが明らかにした。これにより、SGTが将来の超高速シリコン集積回路の基本素子として有望であることを示した。また、超高速・超低消費電力回路に関する研究及び、高性能アーキテクチャーに関する研究においては、新しい降圧回路を提案した。本提案の降圧電圧回路は、外部駆動電圧5Vを3Vに降圧させる条件下で、約100uAの消費電流で50mAの負荷電流を駆動できることを確認した。この性能は、従来の降圧回路と比較して、負荷電流あたりの消費電流を約1%までの低減を可能にし、新しい超低消費電力回路の実現を示した。

2. 分子電子工学研究分野

本分野では半導体プロセスで用いられる結晶・薄膜の(1)成長・堆積と(2)評価研究を行っている。(1)では超高真空下での化学反応を用いて単原子層単位で成膜制御するガスソース分子線エピタキシー(GSMBE)を中心に、その表面過程の解明とプロセスの低温・高品質化を、また(2)では作られた結晶・薄膜の結晶構造・化学状態の各種表面分析手段による評価研究を行っている。96年度の成果は以下の通りである。

(1)我々が以前報告したSi GSMBE成長中光電子強度振動現象が、表面電子構造のバンド分散の異方性に由来することを明らかにした。

(2)Si表面の初期酸化過程をその場光電子分光法で観察し、酸化温度700°C以下ではラングミュア吸着型、それ以上では二次元核成長型の酸化モードを示すことを明らかにした。

(3)Si GSMBEにおけるシランとジシランの成長機構の違いを水素脱離機構の違いを手がかりとして明らかにした。

(4)Si GSMBEにおけるSi上シラン吸着過程における必要吸着サイト数が、成長温度の上昇に伴い2から4へと変化することを見出した。

3. スピンエレクトロニクス研究分野

本分野では、ナノメートルオーダの微細構造の制御された磁性薄膜をキーマテリアルとし、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、鉄心をマイクロ化・集積化した磁気デバイスに置換し一層の小型化・高機能化を推進するとともに、次世代情報通信機器やブレインコンピュータ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、マイクロ磁気アクチュエータを具現化してゆく。

本年度は、まずナノメートル領域における異方性分散と1MHz～1.5GHz領域における薄膜透磁率の挙動

との関係を解明するとともに、パワー用薄膜デバイス用磁性薄膜としては異方性分散の小さい高飽和磁化膜が適当であることを明らかにした。

一方、マイクロデバイス関係では、携帯電話やPHS用の磁性薄膜インダクタのプロセス技術の基礎を確立し、飛行形アクチュエータの羽の動作解析をほぼ終了したことと並んで、高粘度流体中の遊泳に適したアクチュエータ構造を示した。将来の「室温SQUID」を目指してマイクロ磁気センサの開発に着手した。関連の周辺技術として、超広帯域コイルを開発し、磁性薄膜の高周波透磁率を1MHz-2.0GHzまで一括して計測可能な新システムと、情報通信機器用回路基板からの2次元電磁ノイズマッピングが1MHz~1.8GHz、分解能0.5mm以上で可能な装置を開発した。

4. プラズマ電子工学研究分野

プラズマと気体および固体表面との相互作用の解明をもとに、新材料・電子デバイスの開発に必要な知的プラズマプロセスの基盤技術を構築するための研究を行う。

5. 情報記録デバイス工学研究分野

垂直磁気記録を基礎とする超高密度情報ストレージ方式とそれを用いる大容量高速ストレージシステムの実現を目標に研究を行い、主として以下のような成果を得た。

昨年度に試作が完了した高真空対応アルミチャンバをもつ多元スパッタ装置を用いて、高密度記録媒体の検討を行った。成膜雰囲気の清浄化により、結晶粒子が粗大化するものの粒子間の磁気的孤立化が進み再生信号を高SN比化できることを確認した。この結果に加えて媒体作製パラメータの最適化を試みて、記録媒体のノイズをさらに低減した。また、高再生感度MRヘッドを、垂直磁気記録に適合させるヘッド構造を提案し、試作を通じてその性能を確認した。これらのデバイスを用いる記録システムとして、電子回路も含めた記録再生方式を検討し、微分型再生チャネルにより従来の150%程度に当たる270kFRPI（ビット間隔94nm）の高い記録密度と高SN比が同時に得られることを実験的、理論的に示した。この結果から、記録媒体を10dB程度高SN化する事により21世紀の世界的な目標である1平方インチ20Gビットの高面密度が達成できることを見積もっている。

なお、従来方式では高分解能化のために媒体を極薄化しその結晶粒子を微細化しているが、この結果熱緩和現象による再生電圧の経時変化が本質的な記録密度限界として懸念されている。本垂直媒体では、50nm程度の厚みでも十分な高密度が達成でき、再生減磁も10⁴秒で2%以下（5年で4%以下に相当）と小さく、実用上問題にならないことを示した。

6. 光電変換デバイス工学分野

○目標

固体表面における光と電子の相互作用を通じて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る物理・化学現象を研究し、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ことを目標としている。

○過去1年間の主な成果

原子分解能を有するSTM発光分光計測システムおよびSTMフォトン・マッピング計測システムを新たに構築し、分子線エビタキシー（MBE）法によって作製したIII-V族半導体表面上の自己形成量子ドットの量子物性を調べた。ラビングされたポリイミド膜の分子配向分布をFT-IR法により測定し、その平均傾斜角と液晶のプレチルト角の間に正の相関があることを見いだした。表面から100nmのところにあるGaAs/n-AlGaAs単一ヘテロ構造のHREELSスペクトルを測定し、ヘテロ界面に形成される2DEGの空間的広がりの評価を行った。

7. 電子量子デバイス工学研究分野

電子の波動性を利用するための基礎研究と電子細線、ドットなどの微細構造物性を応用した高密度高速電子波デバイスの開発研究を行う。

8. 複合機能材料研究分野

本分野は、半導体、磁性体、誘電体などの電子材料を複合化することにより、新たな機能を発現させるための基礎的研究とそのデバイス化のための研究を行う。本年度は主として、水溶液中でフェライト膜を形成するフェライトメッキ法により垂直磁気記録用・下地層、超音波増映剤用・フェライト・カプセル多孔質シリカ球を開発した。また強力超音波印加によってフェライトメッキ膜の結晶性を改善すると共に、NiZnフェライト膜のマイクロ波損失を真空処理することによって低減した。さらにNiZnフェライト・メッキ膜中の陽イオン分布、および微粒子分散媒体の一種とみなせるカエルのメラノフォアの色調の光照射による変化を明らかにした。

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

○分野の目標

固体電子工学研究分野では、高度情報社会の基盤となる超高速・超低消費電力・超高機能・高集積回路を実現するデバイス、回路、及び、アーキテクチャーの提案をめざして以下の4テーマに関する研究している。

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を始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。

本研究室では、新しい構造、及び、動作原理に基づく超微細デバイス、回路、及び、アーキテクチャーに関する研究を行うことによって、現在の高集積回路に於ける高速動作、低消費電力動作、微細構造化を律速している問題に対して技術的ブレイクスルーを起こす事をめざしている。また、MOSトランジスター物理的限界を材料的に決める薄膜ゲート絶縁膜における高品質化、及び、薄膜化の研究も行う。

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

○過去一年間の主な成果

- (1) 高性能アクティブデバイスに関する研究においては、新しい3次元構造MOSデバイスに関する研究を推進した。具体的には、本研究では、完全空乏型SURROUNDING GATE TRANSISTOR (SGT) の静的動作特性を解析した。具体的には、世界で初めて、SGTにおけるゲート容量モデル、

しきい値モデル、チャネル中を伝導する電荷のモビリティーモデルを提案し、解析的に定式化した。これにより、SGTにおいて、シリコン柱を細く微細化するにつれて、単位面積当たりのゲート容量は大きくなり、しきい値は小さくなり、チャネル中を伝導する電荷のモビリティーは小さくなることを定量的に明らかにした。更に、これらの結果を用いて、完全空乏型SURROUNDING GATE TRANSISTOR (SGT) の強反転領域における電流・電圧特性のモデルを提案し、解析的に定式化した。これにより、SGTにおける電流・電圧特性におけるゲート酸化膜厚、シリコン柱半径等のデバイスパラメータ依存性を、世界で初めて定量的に明らかにした。この研究結果により、従来の平面型MOSトランジスタと比較して、SGTは高駆動能力を有し、将来の超高速シリコン集積回路の基本素子として有望であることを示した。

さらに、完全空乏型SURROUNDING GATE TRANSISTOR (SGT) におけるショートチャネル現象、及び、ショートチャネルSGTの静的動作特性を解析した。世界で初めて、ショートチャネル現象におけるしきい値モデルを提案し、解析的に定式化した。具体的には、完全空乏化条件下であるので、チャネル表面とゲート電極、ソース電極、ドレイン電極とのキャパシタンスカップルと考え、チャネル表面ポテンシャルの変動を定量化した。これにより、SGTにおけるしきい値のチャネル長依存性を定量的に明らかにした。これにより、SGTにおいて、シリコン柱を細く微細化するにつれて、ショートチャネル現象が抑制されデバイス特性が安定することが定量的に明らかにされた。更に、これらの結果を用いて、ショートチャネル領域における完全空乏型SURROUNDING GATE TRANSISTOR (SGT) の電流・電圧特性のモデルを提案し、解析的に定式化した。これにより、SGTにおける電流・電圧特性におけるチャネル長、ゲート酸化膜厚、シリコン柱半径等のデバイスパラメータ依存性を、世界で初めて定量的に明らかにした。この研究結果により、従来の平面型MOSトランジスタと比較して、SGTは高駆動能力を有し、将来の超高速シリコン集積回路の基本素子として有望であることを示した。

(2) 超高速・超低消費電力な回路に関する研究及び、高性能アーキテクチャーに関する研究においては、少ない消費電力で大負荷電流を供給できる新しい降圧回路を提案した。ここで、消費電流は降圧回路のグランドに流れる電流であり、負荷電流とは降圧電圧の出力端子から負荷回路に流れる電流である。本提案の降圧回路は参照電圧を発生する回路と降圧電圧の変動を抑制する新しい低消費帰還回路の2つの回路から構成されている。この帰還回路は、充放電電流で降圧電圧を安定化させるとともに、待機時においては電力を消費しない。本提案の降圧電圧回路は、外部駆動電圧5Vを3Vに降圧させる条件下で、約100uAの消費電流で50mAの負荷電流を駆動できることを回路シミュレーションにて確認した。この性能は、従来の降圧回路と比較して、負荷電流あたりの消費電流を約1%までの低減を可能にしている。さらに、待機時の消費電流は1uA以下であることも確認した。この研究結果より、大負荷電流を駆動できる低消費電力降圧回路を実現する新しいコンセプトと具体的な回路を提案した。以上により、この技術は、大きな負荷電流を低消費電力に駆動する必要のある高機能ULSIにおいて有効であることを示した。

○職員名

- 教授 夔岡富士雄 (1994年より)
 講師 遠藤 哲郎 (1995年より)
 助手 桜庭 弘 (1996年より)

○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、集積回路を中心に半導体分野。今日に至るまで、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、また、1995年1月1日IEEE Fellow Awardとなり、1997年には、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。

○過去一年間の発表論文、解説記事、著書

- (1) "Characteristics of Silicon N+-n-n+ Diode with

Sub-Micrometer n-Region", IEEE TRANSACTIONS ON ELECTRON DEVICES, 43.12 (1996), 2068-2073, Jun-ichi Nishizawa, Nobuo Takeda, and Fujio Masuoka

(2) "Technology Trend of Flash Memory", International Electron Devices and Materials Symposia, (1996), Fujio Masuoka

(3) "Flash Memory Technology", International Electron Devices and Materials Symposia, (1996), Fujio Masuoka

(4) "A Novel Programming Method Using a Reverse Polarity Pulse in Flash EEPROMs", IEICE TRANSACTIONS ON ELECTRONICS, E79-C-6 (1996), 832-835. Hirohisa IIZUKA, Tetsuo ENDOH, Seiichi ARITOME, Riichiro SHIROTA and Fujio MASUOKA

(5) "フラッシュEEPROMのデータ書き換え特性" 電子情報通信学会論文誌C-I, J79-C-I, (1996), 203-209 遠藤 哲郎 夔岡 富士雄

(6) "大負荷電流を駆動できる新しい低消費電力降圧回路" 電子情報通信学会論文誌C-II, J80-C-II, (1997), 117-118 遠藤哲郎, 中村和敏, 夔岡富士雄

分子電子工学研究分野

半導体プロセスの表面科学

—原子オーダ制御に向けて—

本分野の目標と研究概要

本分野では半導体プロセスで用いられる結晶・薄膜について、(1)これらをどう作るか（結晶成長・薄膜堆積）、(2)これらをどう観るか（結晶・薄膜評価）を研究している。(1)では、超高真空下での化学反応を用いて単原子層単位で成膜制御するガスソース分子線エピタキシー(GSMBE)を中心に、その表面素過程の解明とプロセスの低温・高品質化を目指している。(2)では作られた結晶・薄膜の結晶構造、化学状態を光電子分光法、赤外吸収法、オージェ電子分光法、昇温脱離法、トンネル顕微鏡、高速反射電子線回折などによって評価しており、それらとデバイス特性との関連を明らかにすることを目標としている。さらにこれらの研究を支える基幹技術である(3)放射光利用技術および極高真空発生技術の研究も行っている。放射光は赤外からX線領域にわたる広い範囲の波長をカバーして上記の光電子分光法に最適の光源を提供するほか、表面化学反応を選択的に励起して新しい半導体プロセスをもたらす可能性を持ち合わせている。また極高真空技術では独自のアルミ表面処理法を開発して 10^{-11} Pa台を実現しており、アルミの持つ極めて低いガス放出特性を生かしたプロセス開発を行っている。

従来、薄膜評価は成膜プロセスの終了後に別の場所で行われてきたが、GSMBEという超高真空成膜プロセスを採用することで、成膜中にこれを行うことが可能になった。本分野では上に述べた各種表面分析手段をプロセス装置に組み込み、結晶成長あるいは酸化プロセスにおける表面化学反応を原子・分子レベルで明らかにしている。これらの知見はGSMBEに限らず従来のCVDプロセスの表面化学の解明にも大いに貢献している。本分野では評価結果を成膜条件にフィードバックさせる<その場評価・制御プロセス>、あるいは分子・原子の物理・化学的な特性を利用した<自己組織化プロセス>の構築をさらにめざしている。

主な研究成果

(1) Si GSMBEに関する研究

本分野ではシランおよびゲルマンを用いたSi系GSMBEの成長機構に関し、特に表面水素の振る舞いに注目して研究を進めている。これまでに(a)成長温度約600°Cを境として、水素脱離過程が律

速の低温領域と原料ガス吸着過程が律速の高温領域とに分かれること、(b)シラン吸着は表面ダングリングボンド4個を要して行われること、(c)成長中の水素脱離は水素分子として行われるにも関わらず一次過程であること、(d)Geの混入はSi表面の水素脱離過程を促進すること——等を明らかにしている。

成長表面からの水素脱離は水素化原料ガスを用いたGSMBEやCVDにおける重要な素過程であるが、これについてもこれまでに、(a)シランを用いたGSMBEの成長凍結表面からの水素脱離の反応次数が高次過程を含むこと、(b)シランにゲルマンを添加した場合、成長低温領域において水素脱離過程が促進されること、を明らかにしている。この研究はまだSiエピタキシープロセスにおける重要なn型ドーパントであるフォスファイン吸着Si(100)表面からの水素脱離過程へと展開され、Si表面上のPは(a)脱離エネルギーの増大、および(b)反応次数の高次化という2因子を通して水素脱離を抑制することを明らかにしている。

今年度はこれらの成果を踏まえ、Siソースガスとしてこれまで主として取り上げてきたシランに加え、ジシランを用いたSi成長素過程の研究に展開した。その結果、成長凍結表面からの水素脱離機構がシランとジシランの場合で異なることを見出し、これが両者の成長機構の違いに起因することを明らかにした(文献4)。またジシランの吸着過程についても光電子分光によって評価し、水素や塩素脱離に伴う吸着モードの温度変化を明らかにした(文献5)。シランについても研究を深め、Si(100)表面上へのシラン吸着過程が吸着温度によって変化すること、すなわち低温領域では必要吸着サイト数が2であるのに対し、高温領域ではこれが4へと増加することを見出した(文献6)。

(2) Si成長時の光電子強度振動に関する研究

本分野では、Siエピタキシー時に表面準位からの光電子を「その場」観察すると単原子層の成長に伴って光電子強度が振動する光電子強度振動現象を初めて見いだしている(文献7)。この現象は固体ソースMBEやガスソースMBEといった成長方法によらず観察され、Si(100)表面に交互に出現する2x1と1x2の周期構造の交代に対応することが現在明らかになっている。今回、角度分解光

電子分光による光電子強度変化と光電子強度振動の振幅を比較することにより、この光電子強度振動現象が、表面電子構造のバンド分散の異方性に由来することを明らかにした（文献1）。

(3) Si初期酸化過程に関する研究（文献2）。

Si表面の初期酸化過程をその場光電子分光法で観察し、酸化温度650℃以下ではラングミュア吸着型、それ以上では二次元核成長型の酸化モードを示すことを明らかにした。

職員

助教授 末光眞希（1990年より）
助手 遠田義晴

研究テーマ

1. Si系(Si, SiGe, SiC) GSMBEの表面化学
2. ドーピングの表面化学
3. 熱酸化膜形成初期過程と電気特性
4. 光電子強度振動法による半導体結晶成長その場モニター
5. 光電子分光法による半導体／半導体、金属／半導体、酸化膜／半導体の界面構造
6. 化合物半導体点欠陥の評価と制御
7. 化合物半導体表面欠陥とデバイス特性
8. 燃焼炎法によるダイヤモンド微結晶薄膜形成
9. 極高真空技術の開発と半導体プロセスへの応用

主な研究発表

＜論文＞

1. Band-dispersion-originated photoelectron intensity oscillations during Si epitaxial growth on Si(100), Y. Enta, Y. Takegawa, D. Shoji, M. Suemitsu, Y. Takakuwa, H. Kato, and N. Miyamoto, J. Electron. Spectr. Vol. 80, (1996), pp. 173-176.
2. Growth kinetics of thermal oxidation process on Si (100) by real time ultraviolet photoelectron spectroscopy, Y. Enta, Y. Takegawa, M. Suemitsu, and N. Miyamoto, Appl. Surf. Sci. Vol. 100/101 (1996), pp. 449-453.
3. Temperature-programmed desorption study on the outgassing process from aluminum surface, M. Suemitsu, Y. Tsukidate, and N. Miyamoto, Vacuum Vol. 47, (1996), pp. 733-735.
4. H₂-TPD study on the difference in the growth kinetics between SiH₄- and Si₂H₆-GSMBE, M. Suemitsu, H. Nakazawa, and N. Miyamoto, Surf. Sci. Vol. 357-358 (1996), pp. 555-559.
5. Kinetics of dissociative adsorption of dichlorosilane on Si (100) 2x1, H. Sakamoto, Y. Takakuwa, T. Hori, T. Horie, M. Suemitsu, and N. Miyamoto, Appl. Surf. Sci. Vol. 107 (1996), pp. 68-74.
6. A model for the temperature-dependent adsorption kinetics of SiH₄ on Si (100), M. Suemitsu, K-J. Kim, H. Nakazawa, and N. Miyamoto, Appl. Surf. Sci. Vol. 107 (1996), pp. 81-84.
7. In situ observation of the surface reaction during synchrotron radiation-assisted gas source molecular beam epitaxy of silicon, Y. Takakuwa, Y. Enta, and N. Miyamoto, Optoelectronics-Devices and Technologies-Vol. 11 (1996), pp. 3-22.

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の開発

分野の目標 本分野では、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、鉄心をマイクロ化・集積化した磁気デバイスに置換し一層の小型化・高機能化を推進するとともに、次世代情報通信機器やブレインコンピュータ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、マイクロ磁気アクチュエータを具現化してゆく。これによって、携帯情報端末機器やインターネットの普及で益々加速している高密度高速度情報通信への社会ニーズに応えて行く。更に薄膜インダクタ・トランスをキーデバイスとした高効率超薄型電源や、超低損失かつ低騒音の電力用変圧器材料の開発を通して、高度情報化社会を支える電気エネルギーの高効率利用技術を推進する。

磁性体の高周波特性はナノメートルオーダの磁気的微細構造のゆらぎに支配され、デバイスの微細化の極限は結晶粒サイズに強く依存することなど、次世代材料の開発にはナノメートルオーダの磁気物性、微細構造の解明と制御技術の開発が重要である。デバイス面からのガイドラインは、磁性体の高周波利用（～3GHz程度）と磁気デバイスの微小化である。

すなわち本分野の目標を達成するため、磁気発生の根元である電子スピinnのオーダを意識した微細構造の解明とこれに立脚した新材料（スピニックマテリアル）の開発が重要である。これを機軸に、デバイスプロセス、設計法ならびに測定技術などを総合的に推進し、電子スピinn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を実現する。

過去1年間の主な成果

(a) 磁性材料の微細構造と磁気特性

材料の微細構造の検討を通して、高性能スピニックマテリアルの開発について以下の成果を得た。

二軸方向の磁化成分を検出可能な高感度振動試料型磁力計（二軸VSM）を用いて、ナノメートル領域における異方性分散と1MHz～1.5GHz領域における薄膜透磁率の挙動との関係を明らかにし、材料設計上必要な異方性分散と透磁率との定量的

関係がかなり明確になった。

一方、本分野が開発した世界一低損失な方向性3%Si-Fe電力用変圧器鉄心材料の再結晶過程を微視的に検討した結果、板厚100μmまでの厚手化に成功し、実用材料としての可能性が一段と進展した。方向性3%Si-Fe材料では、磁化方向が[001]方向からずれた場合、結晶磁気異方性エネルギー、磁歪およびゼーマンエネルギーのバランスにより微視的に特異な磁区構造が現れることを見出した。

(b) マイクロ磁気デバイスの微細加工プロセス

Fe, Co, Niなどの磁性元素は難エッチング材料であり、半導体プロセスで常用される反応性イオンエッチング（RIE）の適用が困難である。このため磁性薄膜の微細加工には、従来から基板への損傷をある程度覚悟してイオンミリングが適用されてきた。この問題を解決すべく電気化学的手法による磁性薄膜・導体厚膜の形成を試み、NiFe及びCu膜について良好な特性を得ることが出来た。

(c) 薄膜インダクタの応用

携帯機器の小型化を促進するためには電源装置の小型集積化が必要である。マイクロ電源では単位体積当たりの電力取扱量（エネルギー密度）を高める必要があり、必然的に磁性薄膜は飽和磁束密度に近い高磁束密度領域で使用される。本年度は磁性薄膜単独の透磁率と高周波磁化曲線を10MHz, 5 Oeの大振幅励磁のもとで計測可能な装置を開発し、異方性分散の小さい高飽和磁化膜が応用上適当であることが明らかとなった。

一方、携帯電話やPHSの動作する800MHz～1.9GHzでは、インピーダンスマッチング用や信号処理用の目的で薄膜空心コイルが使用されている。これに磁性薄膜を適用し、小形化と低挿入損失化を同時に達成できると考えられる。これに必要なプロセス技術として、6μm厚のコイルを3μm以下の間隔で配置し、その表面を平坦化して2μm厚の磁性膜を積むことが可能となった。

(d) マイクロ磁気アクチュエータ

簡単な構造で歩行、飛行ならびに遊泳が可能なマイクロ磁気アクチュエータの試作に成功した。被写形アクチュエータの羽の動作解析がほぼ終了し、最適設計に着手する段階を迎えている。遊泳

形アクチュエータでは、高粘度流体中の遊泳に適した構造を明らかにすことができる、今後の生応用へ期待が持たれる。

(e) マイクロ磁気センサ

磁性膜に高周波キャリア電流を流すと、そのインピーダンスが外部磁界に対して極めて敏感に変化する。これは外部磁界によって磁性膜の透磁率が変化し、表皮効果を介してインピーダンスが変化するという原理に基づく。本年度は、LC共振の併用により磁界感度が飛躍的に向上可能であること、並びに薄膜インダクタにおける透磁率の外部磁界依存性の利用によっても高感度マイクロ磁気センサが実現可能であることを示した。

(f) 超高周波磁気計測技術

本年度は微弱磁界検出用無共振コイルを試作し、磁性薄膜の高周波透磁率を1MHz-2.0GHzまで一括して計測可能な新システムを世界に先駆けて開発した。高周波透磁率はナノメータオーダの磁気的微細構造を解析する有力なツールであり、同時にマイクロデバイスの性能に直接反映されるパラメータでもある。平成9年度上期には実用化される見込みである。

さらにこのコイルが容易にアレー化できる点に着目し、情報通信機器用回路基板からの1MHz～1.8GHz 2次元電磁ノイズマッピング装置を開発した。ベクトル表示が可能でかつ0.5mm以上の分解能を有する点において世界一の性能である。

(g) その他

研究開発では地元並びに中央の企業との共同開発を積極的に進めている。公的機関の研究プロジェクトにも積極的に参加している。スピニクス研究センターをはじめとする本所の施設を活用しながら微細領域における磁気物性探求とデバイスシステム化に引き続き取り組む予定である。

職 員

教 授 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 X. F. Bi

助 手 本田 崇

技 官 我妻成人 技 官 師岡ケイ子

学振研究員 薮上 信

研究テーマ

1. 高機能スピニクスマテリアルの創製
2. 磁気デバイスの微細加工プロセス
3. マイクロ磁気デバイス・マイクロ磁気アクチュエータ・マイクロ磁気センサの開発
4. 超高周波磁気計測技術

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

主として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、アクチュエータなどのスピニクスデバイスの研究に従事。市村賞受賞。電気学会マグネティックス技術委員会委員長。

過去1年間の主な発表論文

1. A New Permeance Meter Based on Both Lumped Elements/Transmission Line Theories, M. Yamaguchi, S. Yabukami and K. I. Arai, IEEE Trans. Magn., 32, 4941-4943 (1996).
2. Electromagnetic Noise Measurements Using Microstrip Coil Array, M. Yamaguchi, S. Yabukami, M. Watanabe, A. Itagaki and K. I. Arai, IEEE Trans. Magn., 32, 4920-4922 (1996).
3. Micro Swimming Mechanisms Propelled by External Magnetic Fields, T. Honda, K. I. Arai and K. Ishiyama, IEEE Trans. Magn. 32, 5085-5087 (1996).
4. Study on the Deformation of 3%Si-Fe Single Crystal with Magnetic Field Being Deviated from [001], S. Hashi, K. Ishiyama, K. I. Arai, M. Kawasaki and Y. Yamashiro, IEEE Trans. Magn., 32, 4848-4850 (1996).
5. 100 μ m 厚けい素鋼板の(110)[001]組織形成, 中野正基, 石山和志, 荒井賢一, 福永博俊, 日本応用磁気学会誌 20, 445-448(1996).
6. 異方性分散を持つ軟磁性薄膜の磁気特性評価, 石山和志, 豊田明久, 荒井賢一, 日本応用磁気学会誌 20, 493-496 (1996).
高周波大振幅励磁における軟磁性薄膜のパーキアンス, 山口正洋, 吉田周作, 荒井賢一, 芳賀昭, 日本応用磁気学会誌 20, 613-616 (1996).
(一般論文20件, 国際会議招待講演3件, 解説記事2件)

情報記録デバイス工学研究分野

スピニックスストレージの研究とそのテラビット 情報ストレージシステムへの応用

マルチメディアなどに代表される情報通信の高度ネットワーク化に伴い、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を取り扱う大規模情報システムの開発と普及が進んでいる。このインフラストラクチャとして、情報システムの三要素である伝達、処理、蓄積の、全てに亘ってバランスの取れた発展が不可欠である。取り扱う情報量の飛躍的な増大は、伝達と処理の高速化をとくに求めている。同時に、それに伴って情報を蓄積するストレージシステムの高密度大容量化と高速化も進まないと、これがシステム全体のスループットや容量限界を決める重大な隘路になる。

これに応えるには、磁性連続膜に情報を書き込むというマクロ的な見方での高密度化では、もはや不十分で、ストレージメディアを構成する要素である単磁区磁性微粒子、すなわち電子スピン群、のそれぞれに二値データを書き込むという新しいミクロな概念が必要である。本分野では、これをスピニックスストレージと呼ぶことを提案し、新しい磁気記録工学の展開を模索している。今後、スピノンの挙動に根ざした学問体系の確立とそれに基づいたストレージシステムの設計原理を導いていく必要がある。

一方、これからは動画等の超大容量情報の普及が見込まれている。これにはテラバイトクラスの高速ファイルシステムの実現が強く求められている。しかし従来方式に限界が見え始め、本分野で提案され研究開発が進められてきた垂直磁気記録方式が改めて注目されている。格段に高い記録密度がすでに実証されているだけでなく、現在の磁気記録装置の製造技術のインフラを大きく換えることなく技術移転できる可能性が見えてきたからである。実用方式として具体化するには、垂直磁化方式の利点を活用しながら、さらにシステムアーキテクチャを総合的に検討する必要がある。

これらの観点から、本分野ではこれまでのデバイス中心の研究範囲を広げ、システム的な視点を取り入れたデバイス研究を行うとともに、従来のわが国の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の研究を、大容量映像ファイルシステムを視野に入れて開始しつつある。

本分野では、このような背景のもとで研究を行ない、以下に示す主な成果を得ている。

(1)スピニックスストレージ方式の基本コンセプトの構築と検証

すでに、マルチトラック並列記録一括再生による超高密度スピニックスストレージの基本コンセプトを提案し、昨年度までに世界に先駆けて 2 Gbit/cm^2 (13 Gbit/inch^2) の高記録密度の可能性を実験的に確かめている。さらに高密度記録の可能性を、ヘッドメディア系を精密にモデル化した磁気記録再生の三次元大規模コンピュータシミュレーションを用いて検証した。すなわち、本分野で提案している新構造の単磁極型ヘッドを用いると、 100 nm 程度のトラック幅で、 25 nm 程度のビット間隔までは書き込めることが確認した。これは、 40 Gbit/cm^2 (250 Gbit/inch^2) に相当する超高密度である。シミュレータの精度をさらに高めれば、理論的には平方センチ当たりにテラビット級の記録密度で書き込める可能性もある。これは、直径 9 cm 程度の磁気ディスクを用いるHDDにテラバイト級の超大容量でストレージできることに相当する。

(2)スピニックスストレージメディアの研究

数百 Gbit/cm^2 以上の超高密度ストレージでは、1ビットの占有面積が 1000 nm^2 以下になり、メディアの磁性層を構成する直径数十nmの磁性微結晶粒数個分に書き込むことになる。このような超高密度記録を実現するには、先ず、磁性膜の成膜物理を理解し、その上で制御された磁気的微細構造を持つストレージメディアを実現することが不可欠である。このため、本所附属工場と連携して多元アルミニウムチャンバスピッタ装置を試作し、これを用いた成膜実験と成膜プロセスおよび構造解析の研究を開始した。本装置による成膜で、良好な結晶性を持ち、粒子間の磁気的孤立性も良い微粒子性垂直磁化メディアが得られている。

(3)スピニックスストレージ用ヘッドの研究

スピニックスストレージ用の書き込み読み出しヘッドの研究においては、先ず高感度の磁気抵抗効果型読み出しヘッドの試作に成功し、その読み出し感度や分解能のシミュレーション解析から、これらに関わるパラメータを明らかにすることができた。また書き込みヘッドにも、軟磁性薄膜の膜厚をトラック幅とする新規構造の超狭トラック幅ヘッドを提案するとともに、インダクタンスが数ナノヘンリー以下と低い薄膜単磁極ヘッドの構造を提案、試作して、基本記録特性の確認を終えた。現在、より実用的な薄膜型ヘッドの試作を目指し

て、そのリソグラフィープロセスの研究開発を進めている。

(4)スピニックスストレージシステムの研究

以上述べたヘッドディスク系を主とする検討に加え、ストレージシステムとしての研究も開始している。今年度は、記録再生信号のデジタル化回路について検討を加え、上述の磁気抵抗効果型ヘッドに良く適合する信号処理方式を提案し、国際的にも極めて高い信号半減記録密度270kFRPIを実験で得た。また、ニューラルネットワークを用いる復調方式についても検証し、ヘッドディスク系の非線形の影響が極めて小さく、ノイズによる復調マージン劣化も少ないと見出した。今後、スピニックスストレージを動画像ストレージシステムに適用するためには、オーバーヘッドのないデータ転送インターフェース方式の探索と、切れ目のない高速大容量情報を取り扱うファームウェア的な研究がより重要な検討課題になると考え、検討を進めている。

(5)スピニックランダムアクセスメモリの研究

一方、新しい展開として、GMRの一種であり磁気ヘッド用としての可能性が期待されているスピバルブやスピニク偏極トンネル効果を、新しいランダムアクセス薄膜メモリ素子に応用することも提案し、メモリ素子の試作と動作確認実験を行った。書き込み読みだし時間が数nsであることもすでに報告されており、三次元メモリの可能性がある。一層の性能改善と動作解析、高密度化を目指して、当面は、軟磁性膜／非磁性（導体あるいは絶縁体）膜／半硬質磁性膜の積層膜構造を持つ弱結合型素子の安定な作製法やデバイス化の確立に注力した研究を進めている。

従来の磁気記録の概念に替わるスピニックスストレージの新しい指導原理の下に、工学的な観点から全国的規模で今後の発展を図るために、共同プロジェクト研究「スピニクスの基礎と応用」をテーマする研究会を開催した。この活動は、これまで理学分野での研究と見られがちな微細磁性に関する研究を工学的に捉え直すことで、超大容量磁気ストレージの研究をはじめ、各種磁気デバイスの今後の発展に寄与しようとするものである。

さらに、本分野では3年に一度「垂直磁気記録国際会議」を開催しているが、これを補完する国内会議として「垂直磁気記録シンポジウム」を毎年主体的に運営している。平成8年10月には、第5回を横浜で開催した。本分野からは、招待総括講演を行うとともに、大規模電子計算機シミュレーションによる記録ヘッド磁界の最適化や高再生感度MRヘッド、新規等化方式を用いた実用性の高い高密度垂直磁気記録、などを発表した。

職員

教授 中村 慶久 (1987年より)
助教授 村岡 裕明 (1992年より)
助手 丹 健二
助手 清水 幸也
技官 渡辺 功

教授プロフィール

昭和43年東北大学大学院工学研究科博士課程了。同年、同大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磁気記録方式の研究開発に従事。セルフコンシスティントベクトル記録理論の確立、垂直磁気記録方式の研究、高分解能高感度磁気ヘッドおよびそのマイクロ加工と物性の研究などを行ない、最近は大規模計算機シミュレーションの研究や超高密度スピニックスストレージの提唱とその記録再生理論の研究、高速大容量ファイルシステムの研究などに従事。電気学会、電子情報通信学会、映像情報メディア学会、日本応用磁気学会、各会員。IEEEシニアメンバー。

研究テーマ

1. サブミクロン幅マルチトラック記録の研究
2. 薄膜コイル型高感度広帯域単磁極ヘッドの研究
3. 高分解能磁気記録メディアの研究
4. 3次元磁気記録シミュレータの研究
5. スピントンネリング効果型センサおよびメモリ応用の研究

主な研究発表

1. 磁気記録の超高密度化－3次元シミュレーションによる予測－、中村慶久、田河育也、清水幸也、電子情報通信学会論文誌C-I, J79-C-I, 6, 152-164, 1996
2. MR Head Reading Characteristics in Perpendicular Magnetic Recording, H. Muraoka, H. Yamada and Y. Nakamura, IEEE Trans. Magn., 32, 5, 3482-3484, 1996
3. Submicronwidth Multitrack Single Pole Head for Ultra High Density Perpendicular Magnetic Recording, N. Jiang, H. Muraoka and Y. Nakamura, IEEE Trans. Magn., 32, 5, 3554-3556, 1996
4. Nonlinear Transition Shift Measurement in Perpendicular Magnetic Recording, H. Muraoka, R. Wood and Y. Nakamura, IEEE Trans. Magn., 32, 5, 3926-3928, 1996
5. A spin-valve memory cell, Z.G. Wang and Y. Nakamura, J. Magn. Magn. Mat., 159, 233-235, 1996 (他4件)

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

○光電変換デバイス工学分野の目標

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。

○過去1年間の主な成果

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。過去1年間に得られた研究成果を研究テーマ別に述べる。

1. 個々のナノスケール構造の光物性の研究

走査型トンネル顕微鏡(STM)の探針下の試料表面から微弱な可視光が放出される。この発光を分光することにより原子スケールの位置分解能をもって表面超微細構造1つ1つの幾何構造を知ると同時に、その構造を構成している物質の電子物性を解明することができる。具体的な測定試料としては量子細線、量子ドット、微粒子、表面吸着分子等を予定している。

本年度は原子分解能を有するSTM発光分光計測システムおよびSTMフォトン・マッピング計測システムを新たに構築した。また、III-V族半導体表面上の自己形成量子ドットを分子線エビタキシー(MBE)法によって作製した。

また、STM発光分光計測と波長可変短パルスレーザーで励起したホット・エレクトロンのトンネリングを組み合わせることにより、表面でおこる物理、化学現象を原子スケールの空間分解能、数meV以上のエネルギー分解能、数ps程度の時間分解能で測定可能となる。現在、このシステムの構築を並行して行っている。

2. ポリイミド膜上の液晶分子の配向機構の研究

ラビングされたポリイミド膜は液晶の配向膜として広く用いられている。この膜上の液晶分子はラビング方向に沿って、しかも膜表面に対して傾斜して配向するが、その配向機構は未だ十分に理解されていない。これまでわかっているのは、ラビング処理によって表面に形成される微細な溝ではなく、ポリイミド分子の配向が重要な役割を果たしているということだけである。本分野ではラビングされたポリイミド膜上の液晶分子の配向機構を分子レベルで理解するために、ラビングされたポリイミド膜の分子配向分布をFT-IR法により測定し、その配向分布と液晶分子の平均配向方向との関係を調べた。

その結果、基板面に対するポリイミド分子の骨格構造の平均傾斜角は、ラビング条件およびポリイミドの分子構造に依存することがわかった。さらに、その平均傾斜角と液晶のプレチルト角(液晶分子の基板表面からの平均傾斜角によって定義され、液晶デバイスの特性を決める重要なパラメーターである)の間に正の相関があることを見いだした。これはラビング処理によって誘起されるポリイミド分子の骨格構造の傾斜が液晶のプレチルト角発生に重要な役割を果たしていることを示す重要な実験結果である。

3. 金属／半導体界面の研究

光第二高調波発生(SHG)は金属／半導体界面の電子状態を研究するための手法として最近注目されているが、第二高調波(SH)強度と界面(表面)の電子状態との関係はまだ完全には理解されていない。その関係を明らかにするために、励起波長を変えてCs/GaAs系の表面SHG強度のCs吸着量依存性を測定した。測定結果は流体力学的自由電子モデルに基づいた理論計算によって定性的に再現できること、またSHG強度のCs吸着量依存性は入射光またはSH光と金属吸着層のプラズマ振動との共鳴として理解できることがわかった。

この結果を踏まえて、高い光電子放出効率を示すCs, O₂/p-GaAs系の表面自由電子密度と光電子放出効率との関係を調べた。この系の表面SHG強度の酸素露出量依存性の測定から、光電子放出効率が最大となるCs, O₂共吸着層の自由電子密度を見積もると金属Csの密度の16%以下であることがわかった。この低いCs, O₂共吸着層中の自由電子密

度はCs, O₂/ GaAs系の仕事関数低下機構のモデルの一つとして提案されているクラスター・モデルでは説明できない。

4. 半導体ヘテロ界面の研究

半導体ヘテロ構造に変調ドーピングを行うと界面には高い移動度を有する2次元電子ガス(2DEG)が形成される。近年、この電子特性を利用した電子デバイスが実用化されているが、デバイスの縮小化に伴い表面近傍の2DEGの特性をより精密に知ることは今後ますます重要になると考えられる。HREELSは表面素励起を極めて高い感度で検出できる手法としてよく知られており、半導体ヘテロ・超格子構造の界面物性を探る強力な手段となる。そこで、表面から100nmのところにあるGaAs/n-AlGaAs単一ヘテロ構造のHREELSスペクトルを測定し、ヘテロ界面に形成される2DEGの空間的広がりの評価を行った。得られたHREELSスペクトルは、セルフ・コンシスティントな方法で求めた2DEGの界面垂直方向の密度プロファイルを従来のEELS理論に組み込むことによって解析した。その結果、2DEGはヘテロ界面から10nm以下に局在しており、この準2次元的な電子の素励起と入射電子の相互作用によってスペクトルの構造が決定されることを見いだした。この結果は2DEGの界面垂直方向の広がりを考慮することによって初めて得られるものであり、理想的なシート電荷モデルでは説明できない。このことは、HREELSがヘテロ界面の電子特性を評価する方法としても有力であることを示している。

○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
助 手 鶴岡 徹
COE研究員 岩見 正之

○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。

○過去1年間の発表論文、解説記事、著書

<発表論文>

1. Determination of Molecular Orientation of Very Thin Rubbed and Unrubbed Polyimide Films, K. Sakamoto, R. Arafune, N. Ito, S. Ushioda, Y. Suzuki, and S. Morokawa, J. Appl. Phys. **80**, 431-439 (1996).
2. Surface SHG and Photoemission from Cs, O₂/p-GaAs Coadsorbed System, T. Yamauchi, Y. Sonoda, K. Sakamoto, S. Ushioda, H. Sano, J. Sakai, and G. Mizutani, Surf. Sci. **363**, 385-390 (1996).
3. STM Light Emission Spectra of Individual Nanostructures of Porous Si, K. Ito, S. Ohyama, Y. Uehara, and S. Ushioda, Surf. Sci., **363**, 423-427 (1996).
4. Molecular Orientation of Polyimide Films Determined by an Optical Retardation Method, K. Sakamoto, R. Arafune, S. Ushioda, Y. Suzuki, and S. Morokawa, Appl. Surf. Sci. **100/101**, 124-128 (1996).
5. Nanometer-scale Characterization of Surface Materials by STM Light Emission Spectroscopy, Y. Uehara, K. Ito, and S. Ushioda, Appl. Surf. Sci., **107**, 247-254 (1996).
6. UV Resonant Raman Spectra of Nitrobenzene Adsorbed on Ni (111), K. Sakamoto, H. Hashizume, M. Nagafusa, H. Sato, and S. Ushioda, Surf. Sci. **368**, 292-295 (1996).
7. Pretilt Angles of Liquid Crystals in Contact with Rubbed Polyimide Films with Different Chain Inclinations, R. Arafune, K. Sakamoto, D. Yamakawa, and S. Ushioda, Surf. Sci. **368**, 208-212 (1996).
8. Combined HREELS, Raman and X-ray diffraction study of short-period GaAs-AlAs superlattices, T. Tsuruoka, Y. Uehara, S. Ushioda, T. Kijima, and Y. Sugiyama, Surf. Sci. **368**, 185-189 (1996).

<著書>

1. 6章 表面増強ラマン散乱、「表面の電子励起」
塚田 捷編, 潮田資勝, 坂本謙二, 丸善, 1996年.
2. 7章 非弾性トンネル分光、「表面の電子励起」
塚田 捷編, 潮田資勝, 上原洋一, 丸善, 1996年.

複合機能材料研究分野（客員分野）

新複合機能材料とそのデバイス化技術の開発

分野の目標

磁性体、特にフェライトの薄膜、超微粒子、微粒子分散媒体の開発、および得られた新材料の評価と理論解析と複合化による機能を備えた新しい素子の開発などに関する研究を行う。

100°C以下の水溶液中で結晶質フェライト薄膜を作製するフェライトメッキ法によって、低耐熱性基板上にフェライト薄膜を作製したり、微小球をフェライト・カプセル化して、それらを磁気記録媒体、医用磁気デバイス等に応用する。

1996年度の主な成果

- (1) 強力超音波印加によるフェライトメッキ膜の結晶性改善
- (2) 多孔質シリカ球の表面をフェライトメッキ法でフェライト化した微小球による超音波増映剤の開発
- (3) NiZnフェライトメッキ膜を用いたCoCr垂直磁気記録媒体用下地層の開発
- (4) NiZnフェライト・メッキ膜のマイクロ波損失の真空処理による低減
- (5) NiZnフェライトメッキ膜中の陽イオン分布のEXAFSによる解析
- (6) 微粒子分散媒体としてのカエルのメラノフォアの色調の光照射による変化の測定と解析

職員名

教授（客員）阿部正紀（1996年4月～1997年3月）

教授のプロフィール

1972年東京工業大学大学院博士課程終了、その後同大学工学部の助手、助教授を経て、1989年から、東京工業大学・工学部・電子物理工学科教授、現在に至る。その間、アメリカン大学客員研究員（1985～1986）として勤務。

過去一年間の発表論文・著書

- (1) Ultrasound-Enhanced Ferrite Plating, A Novel Technique Applied to Ferrite-Encapsulation of Polymer Microspheres, J. Magn. Soc. Jpn., 21 (1997) 135-138.
- (2) Ultrasonic Visualization of Still and Flowing

Waters Using Contrast Agents of Magnetite-Encapsulated Porous Silica Microspheres, Jpn. J. Appl. Phys., 36, Part 1, No. 1A, (1997) 243-246.

- (3) Preparation of Co-Cr Alloy / Ni-Zn Ferrite Doublelayered Films for Perpendicular Magnetic Tape, IEEE Trans. Magn., 32, No.5, (1996) 3834-3836.
- (4) Deposition of Co-Cr Films with Excellent c-Axis Orientation and Uniform Thickness for Rigid Disks Using Compact Sputtering Apparatus, IEEE Trans. Magn., 32, No. 5, (1996) 4547-4549.
- (5) Microwave Dielectric Loss Reduction by Vacuum Treatment for $(\text{Ni}, \text{Zn}, \text{Fe})_3\text{O}_4$ Films Prepared by Ferrite Plating, IEEE Trans. Magn., 32, No.5, (1996) 4183-4185.
- (6) Cation Distribution in NiZn-ferrite Films Determined Using X-ray Absorption Fine Structure, J. Appl. Phys., 79 (8), (1996) 4561-4563.
- (7) Cation Distribution in NiZn-Ferrite Films Via Extended X-ray Absorption Fine Structure, Appl. Phys. Lett., 68 (15), (1996) 2082.
- (8) Light-Sensitive Response in Melanophores of *Xenopus Laevis*: I. Spectral Characteristics of Melanophore Response in Isolated Tail Fin of *Xenopus* Tadpole, J. Experimental Zoology, 276 (1996) 11-18.

3. 3 コヒーレントウェーブ工学研究部門の目標と成果

近年における電気通信に関する研究は、高速コンピューターに代表されるような研究手法の高度化・インテリジェント化に伴って、情報通信を主とする広域研究へと変遷してきている。また、今後増大する情報量に対応し、より高度な情報化社会を実施するためにも、情報通信を念頭に置いた通信技術の研究開発が急務である。情報通信技術の究極の目標は、バリアフリー通信、即ち「いつでも、誰とでも、何処からでも、いくらでも、どんな情報でも送受できる通信」を実現することにある。この電気通信から情報通信への進展・変遷に対応した研究を効率良く進めるためには、これまでの各個研究から研究分野間の有機的結合をはかる総合的研究が重要である。

本「コヒーレントウェーブ研究部門」は、情報の伝送及び処理のための諸技術を総合的に研究開発することを目的・目標にして組織されているものである。情報通信の発展にとって、伝送媒体となる電磁波（マイクロ波、光波など）を発生・伝送・信号処理する技術の研究開発は根幹の課題である。信号処理の分野では音響波、量子波など各種の波動が活用される。本研究所は、これまで電磁波・光波の発生、伝送に数多くの先駆的業績を持ち、高い水準の研究を進めてきた。また音響振動及びその電子工学との境界分野も、本研究所が世界的に高い評価を得ている研究領域である。本研究部門では、これら電磁波・光波・音響波更に量子波の研究・技術を有機的・総合的に結合し、各波の周波数スペクトルを高度に利用することにより、情報の伝送及び処理のための諸技術を研究開発することを目的・目標としている。

本研究部門は8研究分野より成り、その内訳は、大きく分けて、電磁波関連に3分野、光波に2分野、音響波に2分野、さらに量子波を研究する1客員分野となっている。次に、これら8分野の目標および平成8年度の成果の概要を記す：

電磁波伝送工学研究分野

ミリ波の実用化を目指し、NRDガイドを基にしたデバイス、システムの開発研究を行った。具体的には漏れ波NRDガイド給電平面アンテナの改善を試み、一段と小型化を達成した。また、この平面アンテナを車載レーダーに応用することにより実用性が更に向上した。ミリ波フォトニクスの分野では、逆スロット線路を用いた高効率、超高速光変調機についても国際学会で研究成果を発表した。

極限能動デバイス研究分野

人類の活動する環境と規模はますます拡大している。これに対処するための極限エレクトロニクスの創出を目的として、真空エレクトロニクスの構築とその工学的応用の研究を行う。このため、これまで開発の遅れているミリ波、サブミリ波帯電磁波源の開拓と、真空集積機能デバイスの開発を目的とした微小冷陰極の開発研究を行い、サイクロトロン高速波管における空間高調波相互作用の概念の実験的検証、電界放射陰極と半導体デバイス機能の複合化を提案し、その素子動作の一つの実験的検証を行った。

テラヘルツ工学研究分野

電波と光との境界領域であるミリ波、サブミリ波、テラヘルツ帯等の技術を実用に供するために、この領域で動作する各種デバイスおよび計測システムを研究開発することを目的としている。本年度の主たる研究進展は以下のようである：本分野で開発したテラヘルツ帯高速ショットキ・ダイオード（SBD）検出器、ミリ波帯イメージング装置がプラズマ計測の分野で実用された。また、SBDは現在世界的に重要視されている大気観測の分野でも、英国ラザフォード・アップルトン研究所からの要望で、テラヘルツ帯ミクサーの開発に採用された。ミリ波帯電力合成器では、60GHz帯で1W(cw)の全電力を得た。ミリ波、サブミリ波帯イメージングに関しては、前記イメージング・アレイの他に特殊な近接場プローブを用いた波長以下の分解を高いS/Nで得る方法を提案し、基礎実験に成功した。本方法は、材料計測等の分野で有効である。またミシガン大学、NASAジェット推進研究所などの協力を得て、マイクロマシーン技術、フォトニッククリスタル等のミリ波・サブミリ波領域への応用の研究を開始した。これから進展については、今年度3ヶ所の国際会議にて招待講演として発表された。

また、本研究分野の研究は、多くの研究者から密な議論を頂くために本研究分野関連の次の研究会にて議論、討論されている：本所共同プロジェクト研究「ミリ波イメージング技術の研究」、テラヘルツ工学研究会、理化学研究所シンポジウム、電気学会公開研究会「ミリ波・サブミリ波デバイスの技術とその応用」など。

応用量子工学研究分野

光波領域のスペクトルとコヒーレンスの制御を可能とする、新しいレーザ動作とその応用の研究を行っている。今年度は、強誘電体および量子井戸材料によるドメイン制御非線形光学と、周波数シフト帰還型全固体レーザの動作解明と長距離高精度リフレクトメトリーへの応用、および非線形光学効果を用いた波長可変なテラヘルツ波発生および分子の分光の研究で大きな進展がみられた。

光集積光学研究分野

光ファイバ・ネットワークを加入者系へ発展させることを目的に、高性能でかつ生産性の高い光機能デバイスの開発を目指している。具体的には、光ファイバに直接集積できる薄型の光機能デバイス（アイソレータ、増幅器、液晶偏波コントローラ、スイッチ、多層構造をもつ偏光分離素子（LPS）など）の開発と無調整でコア拡大（TEC）ファイバに集積化する技術の研究を行っている。様々な光デバイスについて、新しい構成を提案し、その有用性を実証している。特にTECファイバを用いたアイソレータでは実用化されている。

また、今年度は新たにサブミクロン周期3次元フォトニック結晶の研究を開始した。10年前に提唱されて以来、未解決であったその作製法に見通しが得られたので、今後力を注いで基礎的諸問題に取り組む。

フォノンデバイス工学研究分野

圧電体中及び表面を伝搬する超高周波のフォノン波動が電磁波の波長の 10^5 倍であることを用いた高度に集積化した信号処理デバイスの研究とその応用、並びにこの波動と電子・光・電磁波との相互作用の基礎とその応用、及びこの波動を発生・検出するに重要なサブミクロンオーダーの電極を作成する微細加工技術の研究開発を行うことを目的としている。

圧電体基板表面に弾性表面波を励振・受信する“すだれ電極”を発明、この電極を用いたフィルタは、テレビの中間周波数フィルタ、移動体通信のフィルタなどに広く応用されている。また、超微細加工プロセスを開発し、10GHz帯のコヒーレント弹性表面波の高効率励振・受信に成功した。また、これまでの圧電体に較べて約10倍の変換効率の単結晶基板を思い出した。これらの成果は、次世代の電子・情報・通信システムへの応用が期待される技術である。

電子音響集積光学研究分野

音声・データ・画像の情報を各自が分散交換機能をもって、「いつでも、どこでも、誰とでも」やりとりのできる携帯情報無線端末（Tele-Pad）の実現を目指している。この目的に向かって、超高信頼無線通信システム、アナログ・デジタル信号処理回路/デバイスの研究開発から、極微細プロセス技術・新しい弹性表面波（SAW）材料開発までを一貫して行っている。

今年度は、スペクトラム拡散通信方式を用いた「構内CDMA（Code-Division-Multiple-Access）システム」の構築を目指し、チャンネル間干渉のない近似同期CDMA符号による基地局用相関回路を試作・評価した。さらに、ULSI多層配線技術として開発してきた「選択AICVD技術」を発展させ、「完全自己整合メタライゼーション技術」を用いたGHz帯極微細シリコンRFモジュールの開発を行っている。

量子波動光学研究分野（客員）

新しい電子デバイス創製のために、電子の波動としての性質に関する基礎的な研究を行う客員研究分野である。堀越佳治氏（NTT基礎研究所）が着任しておられ、原子層制御結晶成長とその物理、および半導体ヘテロ接合の評価技術について研究討論を行った。

電磁波伝送工学研究分野

ミリ波利用技術の確立を目指して

情報化社会の実現には、バリアフリー通信の開発が不可欠であり、それには、電波技術に頼るところが大きい。しかし、周波数帯に殆ど余裕がないのが現状である。このような状況を打開する目的で、電磁波伝送工学研究分野では、未利用周波数帯であるミリ波の開発に取り組んでいる。

ミリ波帯は特殊なスペクトラムである。波長が短いこともさることながら、各種の物質との相互作用が顕著である。これには大気中のH₂OやO₂も含まれ、伝搬損の主因となる。更に、ミリ波帯では金属はもはや電流の良導体とはなり得ない。これらがミリ波開発の隘路となっていた。

例えば、マイクロ波集積回路では、伝送線路としてマイクロストリップ線路やコプレーナ線路などのいわゆるプリント線路が使用される。プリント線路はマイクロ波帯では優れた集積回路用伝送線路であるが、ミリ波帯になると伝送損が急増し、60GHz帯ではその値が50dB/mを超える。更に線路のランダムな製作誤差による不要放射も無視できなくなる。

伝送損の軽減には誘電体線路が有効であることは古くから知られていた。特にミリ波帯になると回路もコンパクトになるので、イメージ線路、ストリップ誘電体線路、Hガイドなど各種の誘電体線路が提案、研究された。プリント線路に比べて、誘電体線路は極めて低損失で、その伝送損は60GHz帯で3dB/m以下であることが確認されている。しかしながら、誘電体線路は曲げることができない。曲げると放射が生じ、損失となる。これでは複雑な集積回路を構成するのに適さない。誘電体線路の不要放射抑制が大きな課題であった。

電磁波伝送工学研究分野ではこの課題に取り組み、不要放射を完全に抑制できる誘電体線路としてN R Dガイド（非放射性誘電体線路）を提案した。2枚の導体板を半波長以下の間隔で対向させると電波を全く通さない遮断空間ができる。この中に誘電体線路を構成すると不要放射のない、しかも低損失な伝送路ができる。電磁波伝送工学研究分野の研究目標は、このN R Dガイドを用いて、種々の実用ミリ波システムを開発することであり、併せて新しいミリ波応用の可能性を探求することである。

最近、我が国では、ミリ波技術の研究、開発を目的に60GHz帯が開放された。この周波数帯は大気による減衰が大きく、それだけシステム間の干渉が少ない。昨年度は60GHz帯で室内L A N用トランシーバと車載レーダの開発研究を行った。トランシーバは送信電力10mW、パルス変調方式を採用し、伝送速度100Mbps以上、同時・双向通信が可能である。将来的には、マルチメディア対応を目標に改良を重ねて行く予定である。車載レーダについては実用化が近いとの新聞報道があり、開発が急がれている。本研究室でも60GHz FM-CWレーダについて経済性も考慮した、実用化研究を行った。ガン発振器を外部反射から保護するためのバファには、高価なサーキュレータは必要なく、単に減衰器を挿入するだけで十分であることが分かったが、これは経済性と機械的強度の面で収穫であった。また、受信系でも経済的なシングルミキサで十分なN Fが得られることが分かった。このようにして、これまで経済性が疑問視されていたN R Dガイド車載レーダも意外に安価に製作できることが明らかになった。

以上のようなN R Dガイドミリ波システムの実用化研究と平行して、N R Dガイド技術の新しい展開も試みている。N R Dガイドにガンドイオードやビームリードダイオードを装荷する技術は実用レベルに達しているが、HEMTやFETなどの3端子素子の装荷法はこれまで殆ど考慮されていなかった。しかし、3端子素子が取り扱えて、N R Dガイド技術は本物になるとのコメントもあり、この課題に挑戦した。元来、N R DガイドにはL S Mモード、L S Eモードの2つの非放射性モードがある。このうち、伝送損の少ないL S Mモードが動作モードとして常用されるが、これと直交するL S Eモードを併用すると3端子素子が取り扱える。このような着想で本研究を開始し、昨年度は35GHz帯でHEMT増幅器及び発振器の試作を進めた。

N R Dガイドは運動を加えることで漏れ波アンテナになる。しかし、我々は漏れ波N R Dガイドをアンテナとしてではなく、平面アンテナの給電系として利用することを新たに提案し、研究を進めている。単なる漏れ波アンテナでは放射パター

ンが扇形となるのに対し、漏れ波N R Dガイドで給電した平面アンテナの放射パターンはペンシルビームとなる。

さらにミリ波利用技術の開発として平面アンテナの開発を積極的に進めた。周波数特性の優れた扇形ホーンは平面アンテナの給電系に適する。しかし、その全長が長いのが難点である。H面扇形ホーンを折り返して全長を短くした折返し扇形ホーンを新たに提案し、研究を進めた。折返し扇形ホーンは多重に折り返しても扇形ホーン特有の広帯域動作は保たれる。実際に22GHzで20%以上の帯域で動作することを確認し、高利得平面アンテナの試作を行った。今後は車載レーダへの応用を考え、60GHz帯での高利得平面アンテナの実現について検討する。

一方、誘電体共振器アンテナを導体板で覆って構成される屋根付誘電体共振器アンテナを新たに提案した。このアンテナは導体板を付加することで、小形化、薄形化が達成でき、更に共振器に比べて導体板がかなり大きい場合でも、導体面上に一様位相の電流が誘起されアンテナとして動作する。屋根付誘電体共振器アンテナはパッチアンテナと誘電体共振器アンテナの特徴を合わせもつ、新しい動作原理のアンテナであり、実験的検証のみならず理論解析を進め、その設計方針を明らかにする必要がある。

ミリ波利用の一環として、光変調器の研究も進めている。パソコン通信を目指したミリ波サブキャリア光ファイバシステムの実現を念頭に置いたものである。これには我々の提案した逆スロット線路が用いられている。逆スロット線路はLN基板中で光波とミリ波の伝搬速度を完全に整合できる優れた線路であり、しかも構造が簡単である。逆スロット線路光変調器は高効率で、60GHz帯の実測によると60mWの入力で1.25Rad.の位相変調が得られる。また、逆スロット線路をMach-Zehnder構造に適するように改造したリッジコプレーナ線路を提案した論文は1994年アジア太平洋マイクロ波会議で日本マイクロ波賞を受賞している。昨年度はこれをMach-Zehnder構造にして、振幅変調を試み、60GHzにおいて世界でトップレベルの変調効率（Optical Response K=0.17W⁻¹）を実現した。

技官 我妻 寿彦

教授のプロフィール

昭和34年東北大学通信工学科卒。40年同大学電気通信研究所助教授、現在教授。マイクロ波／ミリ波の研究に従事。NRDガイドを提案。電子情報通信学会マイクロ波研究会委員長、評議員、東北支部長を歴任。第3回アジア太平洋マイクロ波国際会議実行委員長。郵政省通信総合研究所客員研究官。IEEE MTT-S東京支部長、1993-1995 Distinguished Lecturer。電子情報通信学会稻田賞、著述賞、論文賞受賞。1995年度志田林三郎賞受賞。1996年度電子情報通信学会業績賞受賞。

主な研究発表

1. Optical Intensity Modulator Using Inverted Slot Line At 60 GHz, Debasis Dawn and Tsukasa Yoneyama, Proceedings of 1996 China-Japan Joint Meeting on Microwaves, PP.48-51, April 1996.
2. Computer-Aided Design and Optimization of NRD-Guide Mode Suppressors, Jifu Huang, Ke Wu, Futoshi Kuroki and Tsukasa Yoneyama, IEEE Trans. Microwave Theory Tech., Vol. MTT-44, No.6, June 1996.
3. 漏れ波アンテナの利用に関する一考察, 明石 栄太郎, 米山 務, 電子情報通信学会論文誌 C-1 Vol.J79-C-1 No.6 PP.196-198, June 1996.
4. Optical Modulator Using Inverted Slotline At 60 GHz, Tsukasa Yoneyama and Debasis Dawn, URSI General Assembly, September 1996.
5. Ridge Coplanar Waveguide for Optical Amplitude Modulation, Wilson A. Artuzi and Tsukasa Yoneyama, IEEE Trans. Microwave Theory Tech., Vol.MTT-44, No.10, pp.1675-1678, October 1996.
6. NRD Guide Transceivers for Millimeter Wave LAN System, Futoshi Kuroki and Tsukasa Yoneyama, IEICE Trans. Commun., Vol.E79-B, No.12, December 1996.
7. Recent Advance of Millimeter Wave Technology in Japan, Tsukasa Yoneyama and Kazuhiko Honjo, IEICE Trans. Commun., Vol.E-79-B, No.12, December 1996.
8. Optical Intensity Modulator Using Inverted Slot Line At 60 GHz, Tsukasa Yoneyama, Debasis Dawn and Tatsuya Hanasaki, International Topical Meeting on Microwave Photonics MWP' 96, December 1996.

職員

教授 米山 務 (1986年～)
助手 デバシス ドーン

極限能動デバイス分野

真空エレクトロニクスの構築とその工学的応用の研究

人類の活動範囲は、1957年のスプトニクの地球周回以来、大気圏外へと拡大し、活動の規模も原子力利用のような大規模システムを運用するに至っている。また、21世紀においては、核融合エネルギーの利用も不可欠な状況にある。このような人類の活動の範囲と規模の拡大により、その活動の場は、放射線や高温に曝される過酷な環境及びエネルギー密度の極度に集中する環境となることが想定される。一方、その活動は、安全性と信頼性を最優先した科学技術によって支えられなければならない。従って、耐環境、高エネルギー密度などの点での極限エレクトロニクスの創製が、21世紀の人類の活動を支える重要な科学技術の一つとして急務な課題である。真空電子デバイスは、動作媒体を真空としていることから、耐環境性、エネルギー密度、高速性の全てにおいて基本的に優れている。さらに、動作後の余剰エネルギーの回収が可能で、本質的に動作効率が高いという利点があり、真空エレクトロニクス研究の推進、再構築を必要とする基盤がここにある。

本研究分野では、高周波数電磁波源及び耐環境、高機能真空電子デバイスの開発研究を行い、新しい真空エレクトロニクスの基盤を築くことを目的とする。すなわち、前者は、プラズマ核融合の加熱、計測、制御、分子分光などから要求されるミリ波、サブミリ波帯の電磁波源を開発することにある。後者は、真空電子デバイスの利点と半導体微細加工技術を融合して微細真空集積デバイス、いわゆる真空マイクロエレクトロニクスの基礎を築こうとするものである。

高出力ミリ波電磁波源の開発研究は、プラズマ核融合の加熱源としての要請から世界的に活発化したが、現在では加熱用高周波源としての用途のみではなく、プラズマの計測、制御などプラズマ核融合を実現するための必須の技術と考えられている。このような高周波数、高出力電磁波源として開発の進められているデバイスとしては、ジャイロトロン、ペニオトロン、自由電子レーザが挙げられる。中でも、ペニオトロンは、本研究分野で発明、開発の進められているもので、高出力化につれ必然的に要求される高効率動作の点で際立った特徴を持っている。これまでの研究で、電子ビームの運動エネルギーから電磁波のエネルギーへの変換効率をほぼ100%にできることが理論的

に実証されている。また、高周波数化について要求されるサイクロトロン高調波動作において、高効率動作を維持できることもペニオトロンの大きな長所である。

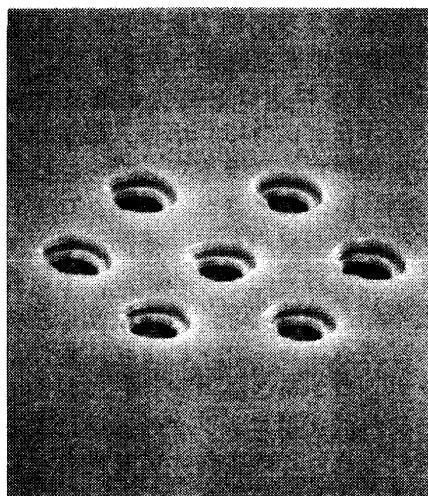
これまで、種々のペニオトロンの開発研究を行い、ペニオトロンの長所である高効率性をサイクロトロン基本波及び高調波動作においても実証してきた。これらの研究成果を踏まえて、本年度は、ミリ波帯サイクロトロン高次高調波ペニオトロン、及び実用化に向けて、小型、軽量化の可能な永久磁石を用いたペニオトロンの実験研究を継続して行った。さらに、これらサイクロトロン高速波管の広帯域化を目指して、後進波ジャイロトロンの開発研究を行った。その結果、本研究分野で発案した空間高調波相互作用の概念に基づいて設計したミリ波ペニオトロンにより、動作効率75%をサイクロトロン第3高調波動作において実証した。さらに、減速型コレクタの採用によるエネルギー回収により、この動作の実質効率として92%を達成できることを示した。

また、永久磁石を用いたマイクロ波帯サイクロトロン2倍高調波ペニオトロンにより理想的な動作効率に近い約80%を得た。これは小型化により、安定な電子ビーム輸送が可能となったこと、実験系の構成精度が高くなったことによると思われるが、今後のマイクロ波帯電磁波の工業応用に道を開くと考えられる。後者の広帯域化に向けては、マイクロ波帯後進波ジャイロトロンの開発を行い、8~12GHzにわたる広帯域発振に成功した。今後、ミリ波帯での広帯域発振を目指すが、ミリ波帯電磁波源の小型化、省エネ化に向けて、昨年度開発した伝導冷却超伝導マグネットを用いたミリ波帯ジャイロトロンでの予備実験から、種々の共振モードの選択で、30~140GHzの超広帯域発振が可能なことが確認された。

一方、高機能微細真空集積デバイスの開発を目的とする真空マイクロエレクトロニクスの推進には、高性能微小冷陰極の開発が不可欠である。このため、Siプロセスを中心とした電界放射陰極アレイ（FEA）及びトンネル陰極の開発研究を行った。

FEAの実用上の最大の課題は、放射電子電流の変動、ばらつき、短絡故障などを如何に克服するかである。原子レベルの多数の針状構造で構成さ

れるFEAでは、これらの要求を全て製造プロセスに負わせることは極めて困難である。このため、FETやTFTなどの能動素子とFEAとを同一基板に集積化して、能動素子により放射電流を制御することを提案してきたが、本年度は、より製作の容易な接合型FETを組み込んだFEAの提案と試作を行い、この方法が電流の制御と安定化に極めて有効であることを実証した。FEAの実用上のもう一つの課題は、放射電子の収束技術である。これに対して、縦型及び平面構造のビーム収束FEAの試作を行い、その有効性を示した。



ビーム収束型電界放射陰極

平面構造微小冷陰極として、これまでMOSトンネル陰極の研究を行い、トンネル電子放射を世界に先駆けて確認すると共に、トンネル陰極高性能化の最大の課題は、酸化膜中での電子の散乱にあることを明らかにしてきた。さらに、n及びp基板のMOSトンネル陰極からの放射電子のエネルギー分布の測定より、電子放射には、半導体の荷電子帯からのトンネル電子放射の寄与が大きいことを初めて明らかにした。今後、これらの知見を元にして、トンネル陰極の高性能化を図る。

一方、これら微小冷陰極を用いて、赤外からX線領域に及ぶ将来の電磁波源を開拓するため、原研、福岡工大などとの共同研究を継続して行っている。

今後は、微小冷陰極の実用化に向けて、本研究で提案した数々の素子の実証研究と応用研究を進める。

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	助 手 嶋脇 秀隆
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、マイクロ波帶電子ビームデバイス、半導体デバイス及び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。

研究テーマ

1. ミリ波、サブミリ波電磁波源の開発研究
2. 高性能の電子ビームの発生と工学的応用の研究
3. 微小冷陰極アレイの形成と工学的応用の研究
4. 低エネルギー分散電子線及び単電子の発生に関する研究

主な研究発表

発表論文

- T. Ishihara, H. Tadano, H. Shimawaki, K. Sagae, N. Sato and K. Yokoo; "Space Harmonic Peniotron in a Magnetron Waveguide Resonator", IEEE. Trans. on Electron Devices, Vol. 43, No. 5, (1996), 827-833.
- K. Yokoo, G. Koshita, S. Hanzawa, Y. Abe and Y. Neo; "Experiments of highly emissive metal-oxide-semiconductor tunneling cathode", J. Vac. Sci. Technol. B 14 (3), (1996), 2096-2099.
- H. Ishizuka, A. Watanabe, M. Shiho. S. Kawasaki, J. Itoh, M. Arai, H. Shimawaki and K. Yokoo; "Beam Extraction Experiment with Field-Emission Arrays", Nuclear Instruments and Methods in Physics Research, A 375, (1996), 116-118.

国際会議報告

- H. Mimura, K. Yokoo, M. Hosoda, N. Ohtani, T. Watanabe, K. Fujiwara and H. T. Grahn; "Current self-oscillations due to electric-field domains in photoexcited type-II GaAs-AlAs super-lattices", Sympo. Rec. 15th Electronic Materials Sympo., (1996), 85-88.
- K. Yokoo and H. Ishizuka ; "RF applications Using Field Emitter Arrays (FEAs)", Tech. Digest of 9th Int. Vacuum Microelectronics Conf. (1996), 490-500.

テラヘルツ工学研究分野

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

電磁波のスペクトラムのうち、テラヘルツ帯（あるいは波長でサブミリ波帯）と呼ばれる領域は、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、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。

本「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。我々のデバイス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, tunable.

なお、本分野が中心となって開催している「テラヘルツ工学研究会」(5.2 節を参照)は、テラヘルツ帯研究に関する討論の場として所内外の研究者へ公開されているものである。また、本所共同プロジェクト研究「ミリ波帯のイメージング技術」(4.1 節を参照)も本分野の企画、実施によるものである。

以下に本年度の研究テーマ及び成果を述べる。

1. ショットキ・ダイオードの開発

ショットキ・ダイオード (SBD) は、高速検出器、ミクサー、周波数倍器などとして常温で動作するテラヘルツ帯開発のキーデバイスである。

本年度は、英国ラザフォード研究所と共同研究を行っている衛星搭載用 THz 帯導波管型検出器に用いられる SBD の開発を行った。本 SBD は、アノードと同一面にオーミック電極を設けており、それが導波管壁面として働くため、高周波直列抵抗を低減する事が出来る。本 SBD を 2.5 THz 帯導波管に組み込んだ部分の SEM 写真を図 1 に示す。本 SBD 検出器はオゾン層破壊に関連するガスの観測用として使用される予定である。

従来のドットマトリクス型 SBD について、本年度は主に直径 $0.3 \mu\text{m}$ のものを製作したが、これらは、低雑音性、均一性、再現性の向上により、プラズマ計測等に応用している研究者から高い評価を得た。

2. 雜音による金属-半導体 (M-S) 界面の評価

現在、界面のごく近傍のトラップレベル等を評価出来る方法は知られていない。我々は、M-S ダイオード、及び pn 接合ダイオードの雑音スペクトルを調べることにより、界面近傍の状態を評価する方法を提案し、現在実験を主に研究を進めているところである (NTT 基礎研究所との共同研究)。

3. 発振器アレイの研究

電磁波のスペクトルを開発するに際して、同調可能な発振器は非常に重要である。短ミリ波からサブミリ波における固体素子は、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は、固体素子のこの欠点を克服するためのものである。今年度は、ホーンアンテナアレイ型ファブリ・ペロー共振器を用いた電力合成器で 60 GHz 帯ガンドイオード 9 個を用い、合成出力 1 W を達成した。図に、1 W 合成時の出力スペクトラムを示す。また発振器

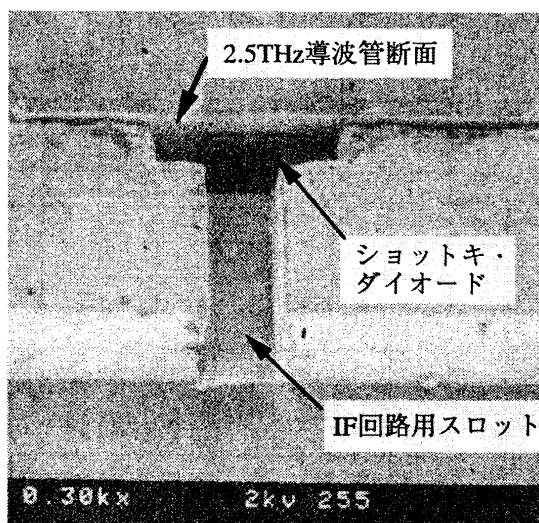


図1 2.5THz導波管及びショットキ・ダイオード

構成時に要求される可変結合率型出力カプラーとして、外部レーザー光照射による変調機能付きの光制御型金属ストリップカプラーを開発した。これは、準光学的な回路構成を持ち、サブミリ波帯の高い周波数まで利用可能なものである。

4. ミリ波帯イメージング・アレーの研究

ミリ波帯のイメージング技術は、プラズマ計測、地球環境計測、リモートセンシング、車載レーダー等の分野より要求のある分野である。本研究室では、これまで、ショットキダイオード付半波長アンテナを誘電体基板に配列したイメージング・アレーを提案・開発してきた。その成果は、プラズマ計測の分野で大きな貢献をした。

今年度の研究は、主に i) 2次元イメージングのための光学系の設計、製作、ii) パッシブ・イメージングのための基礎データを得るために理論計算、の2点について行った。先ず、光学系に関しては、収差が少なく、また回折限界の像が得られるような2次元光学系の設計、製作を行い、筑波大学のプラズマ装置に適用して、設計通りの性能が得られることを確認した。現在、プラズマの計測を行っているところである。この研究は本年度の本所共同プロジェクト研究に採択され、全国の研究者と議論しながら研究を進めた。

次に、パッシブ・イメージングに関しては、マイクロ波からミリ波に亘る大気の吸収（放射）特性を考慮して、種々の理論計算を行った。この結果を基に、12GHz帯の衛星放送受信機を用いて基礎実験を行い、センチ波イメージングに成功した。今後は、これらの結果を用いて実用的なミリ波イメージング・アレイを開発していく予定である。この時、アンテナ系としては、今年度開発に成功した新型のテーパースロット・アンテナを用いる

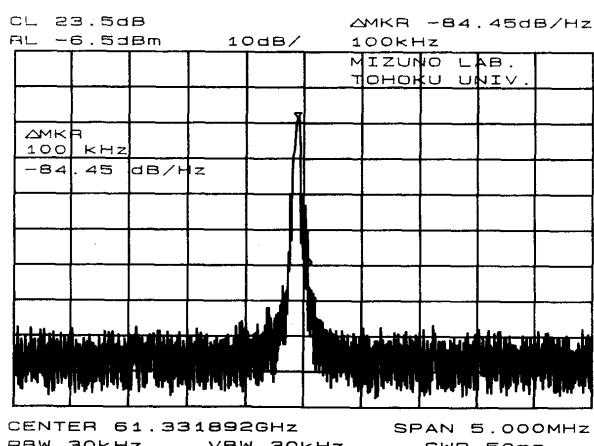


図2 ホーンアンテナ結合型ガンダイオード発振器の出力スペクトル図

ことを考えている。

5. 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、量子効果によってサブミリ波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、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。相互作用回路は、光ファイバー先端上の間隙幅 195 nm の金属スリットを用いる予定で、現在マイクロマシン技術を利用してその製作を進めているところである。将来、光領域における小型電子ビーム装置開発のための基礎データの取得、あるいはエバネッセント波の精密測定手段の開発などの分野に応用できると考えている。

職員：水野 皓司（教授、1984年より）、
裴 鐘 石（助教授、1992年より）、
鈴木 哲（助手）。

水野 皓司のプロフィール

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2カリフォルニア工科大、ロンドン大客員教授。平2より理化学研究所（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5 IEEE フェロー。学会活動；国内：応用物理学会東北支部長、電気学会「ミリ波・サブミリ波の技術」調査専門委員会委員長など。国際：94 IR & MM Waves の実行委員長、IEEE MTT-S Int'l Microwave Symposium TPC member、など。

1996年度の発表論文

- 「ミリ波・サブミリ波帯可変結合型エバネッセント波カプラー」、裴鐘石、喬榮治、デビッドラトリッジ、水野 皓司、電子情報通信学会論文誌C-I, J79, 370-377, (1996).
- その他 国内学会発表：15件、国際会議発表：7件（内招待講演3件）。

なお、本研究分野の研究内容、職員、学生については、下記のホームページをご覧下さい：

URL : <http://www.mizuno.riecl.tohoku.ac.jp/lab/>

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

<はじめに>

応用量子光学研究分野では、強誘電体、半導体、有機の各種材料における非線形光学特性をはじめとした光物性およびレーザー動作を、材料のミクロな構造制御や高度な時間的空間的制御により、従来無い新たな機能や特性を有する小型・超広帯域コヒーレント光源の開拓とその応用について研究を行なっている。光波による光波の制御を可能とする非線形光学により、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から、さらに検出、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応用領域の創生を目指している。これらの研究テーマの中で、本年度は特に2つのテーマの成果をまとめた。

<周波数シフト帰還型レーザー>

周波数シフト帰還型レーザー（FSFレーザー）は、レーザー共振器内に挿入された音響光学素子で周波数シフトした光波を、レーザー媒質に帰還させる構成のレーザーである。我々は半導体レーザー励起Nd:YVO₄結晶をレーザー媒質として、全固体型のFSF型発振に成功した。これまでの研究の成果として、レーザー出力が数百PHz/sで超高速にチャープする周波数コムからなることを明らかにした。さらにその発振のメカニズムの解析を行った結果、レーザー媒質のレーザー遷移周波数の横緩和過程が源泉となって、周波数コムが生成されるというモデルを初めて提案した。

図1に全固体FSFレーザーの構成を示す。音響光学素子の駆動周波数は78.5MHz、共振器長は10cm

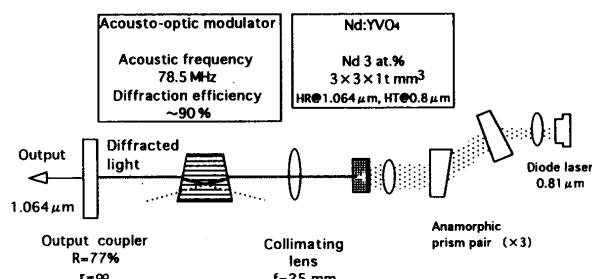


図1 半導体レーザー励起Nd:YVO₄ FSFレーザーの構成。出力光波の周波数は240PHz/sという超高速度でチャープしている。

である。レーザー出力の周波数成分は240PHz/sでチャープし、共振器縦モード周波数 (=1.5GHz)ごとに複数の成分が存在している。このFSFレーザーの応用として光周波数領域リフレクトメトリ（OFDR）に取り組んでいる。FSFレーザーの出力の特徴である超高速チャープ周波数コムを用いれば、測定対象までの距離にかかるわらず縦モード周波数以下の周波数で、距離を高精度に測定することが可能である。これまでに初期的な結果ながら1km遠方において100 μm程度という非常に高い測定精度を得ており、この値はさらに向上可能であると考えられる。

また昨年度COE海外客員教授として招聘したF. Kowalski教授（Colorado School of Mines）との共同研究の成果として、新たな回折格子移動型FSFレーザーの動作を確認しており、今後FSFレーザーのさらに詳細な特性解析ならびに分光学への応用に向けて研究を行う。

<非線形光学効果に基づく波長可変コヒーレント THz波発生>

コヒーレントで波長可変なTHz波（サブミリ波）の発生を、LiNbO₃結晶のポラリトンによる誘導ラマン散乱を介した光パラメトリック発振によって実現している。図2に装置の構成を示す。入力励起光には、波長1.064 μm、強度約30mJ/pulse、パルス幅10nsのQスイッチNd:YAGレーザー光を用い、ラマンのストークス光に相当するアイドラー波（波長1.072 μm）に対して光共振器を構成する。挿入図にあるようにノンコリニアな位相整合条件に従って波長が可変となり、約0.5度の変化により、波長140~300 μm（約1~2THz）が同調可能である。THz波は、端面に設けたプリズム結合器により取り出している。プリズム材料にTHz領域で分散の極めて小さな、Si等の半導体を用いることにより、発生波長が大きく変化してもTHz波の発生方向は実用上全く変化しないことを新たに見出し、実験でも確認した。大気中の水分の分光をこの波長域で行い、本光源の有効性を実証した。

従来この周波数領域の波長可変な光源としては、自由電子レーザーや特殊な後進波管がある。また、ステップチューナブルな分子を用いたサブ

ミリ波レーザーが用いられてきた。小型で特別な施設を必要としない本方式によるこの光源の開拓は、これまだほとんど未開拓であったこの周波数帯の分光を始めとする基礎研究から、光波の持つ超高周波特性の有効な利用の開拓に不可欠なものである。

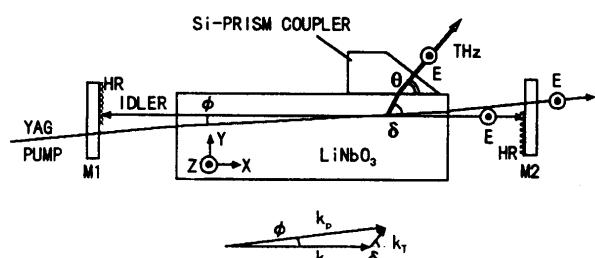


図2 光パラメトリック発振によるTHz波発生装置の構成

職員

教授 伊藤弘昌 (1993/1~)
助教授 谷内哲夫 (1996/1~)
助手 佐藤 学, K. S. アベディン
COE研究員 川瀬晃道
技官 今野勇治, 田久長一 秘書 溪井亜紀子

教授のプロフィール

1966年東北大学工学部通信工学科卒業、1972年同大大学院工学研究科電子工学専攻博士課程終了。以来一貫して、量子電子工学研究部門（改組により応用量子光学研究分野に移行）で、研究・教育に従事。（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として、非線形光学の研究に従事。）

研究テーマ

1. ドメイン制御非線形光学の研究
2. 非線形光学効果を用いたTHz波の発生とその応用の研究
3. 周波数シフト帰還型レーザーの研究
4. 有機非線形光学結晶DASTの結晶成長と超高周波域への応用の研究

主な研究発表

1. Coherent tunable THz-wave generation from LiNbO_3 with monolithic grating coupler, Kodo Kawase, Manabu Sato, Tetsuo Taniuchi, and Hiromasa Ito, Appl. Phys. Lett., **68** (18), 2483-2485 (1996).
2. Characteristics of THz-wave radiation using a monolithic grating coupler on a LiNbO_3 crystal,

Kodo Kawase, Manabu Sato, Tetsuo Taniuchi, and Hiromasa Ito, Int. J. of Infrared and Millimeter Waves, **17** (11), 1839-1849 (1996).

3. Temperature-dependent dispersion relation of ferroelectric lithium tantalate, Kazi Sarwar Abedin and Hiromasa Ito, J. Appl. Phys., **80** (11), 6561-6563 (1996).
4. Integrated Intracavity quasi-phase-matched second harmonic generation based on periodically poled $\text{Nd}:\text{LiTaO}_3$, Kazi Sarwar Abedin, Takehiro Tsuritani, Manabu Sato, and Hiromasa Ito, Appl. Phys. Lett., **70** (1), 10-12 (1997).
5. Spectral characteristics of an all solid-state frequency-shifted feedback laser, Koichiro Nakamura, Fumitoshi Abe, Kumio Kasahara, Takefumi Hara, Manabu Sato, and Hiromasa Ito, J. of Quantum Electronics, **33**(1), 103-111 (1997).

光集積工学研究分野

微小光機能デバイスと集積技術の研究

加入者系光ネットワークの普及を加速させるため、様々な光機能素子/デバイスの高性能化、生産性向上が望まれる。本研究分野では、この要求を満たすため、様々な微小光素子をレンズを用いずに無調整で光ファイバや光回路に集積する新しい技術を提案・開発している。今年度は、特にアイソレータアレイにおいて、この集積化技術の有用性を実証した。

また新しい光デバイスへの応用が期待されるフォトニック結晶に関して、作製・応用の研究を行なっている。多層膜成膜・リソグラフィ技術を利用して、光波帯における3次元周期構造の作製に成功した。

1. 無調整ファイバ集積光アイソレータアレイ

光ファイバ増幅器の安定動作のためには複数の光アイソレータが必要不可欠である。我々は、TECファイバの結合損失の特徴を活かした、新しい構造のアイソレータを提案・検討した。即ち一対のくさび型ルチルを用いて、逆方向の損失をファイバ軸との角度ずれにより与えるものである。今年度は、2本のTECファイバにアイソレータチップを集積化したアイソレータアレイにおいて(図1)、波長 $1.55\mu\text{m}$ で挿入損失 1dB 以下(過剰損失 0.2dB 以下)、逆方向損失 30dB 以上と良好な特性を実現し、本集積構造の有用性を実証した。また、カスケード接続したアイソレータチップを用いて、挿入損失 0.7dB 、逆方向損失 50dB に特性が向上することを確認した。

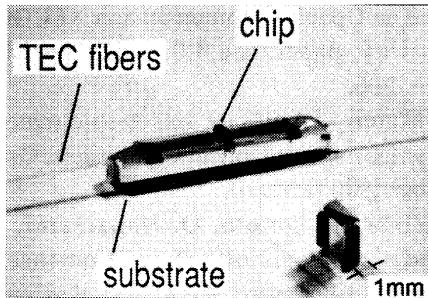


図1. 無調整ファイバ集積光アイソレータアレイ

2. 積層形偏光分離素子(LPS)と光回路への応用

LPSは誘電体交互多層膜からなり、大きな分離角を有する極めて薄型な偏光分離素子である。波長 $1.55\mu\text{m}$ 帯用LPSではa-Si:HとSiO_x:Hの多層膜をrfスパッタリング法で、波長 $1.3\mu\text{m}$ 帯用LPSではa-

SiCとSiO₂の多層膜をプラズマCDV法で作製している。前者において、バイアススパッタリング法および高精度研磨技術を用いて、多層膜の厚膜化($200\mu\text{m}$)・平坦化プロセスを確立し、大口径(> $100\mu\text{m}$)・低損失($0.1\text{dB}/100\mu\text{m}$)なLPSを達成した。

LPSや液晶波長板など薄型素子を平面光回路にハイブリッド集積することで(図2)、様々な光機能デバイスの構成が可能である。現在、ポリマ導波路を用いた集積型光スイッチの設計・作製を行なっている。

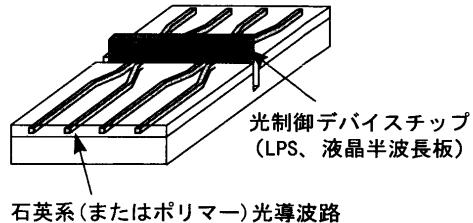


図2. LPSを用いた平面光回路集積光スイッチ

3. 液晶機能デバイス

(a)可変波長フィルタの動作解析

波長多重伝送システムにおいて、可変波長フィルタは信号波長の選択や信号の雑音成分の除去をおこなうデバイスである。キャビティ媒質にねじれネマティック液晶セルを用いたファブリ・ペロー型構造に着目し、その共振特性の解析を行なった。特に共振時の偏波状態、波長が複雑な変化をする動作領域において、液晶層の屈折率分布をモデル化することで、はじめて解析的な表示式を得た。

(b)面型液晶回転波長板と偏波コントローラ

偏波コントローラは、光通信システム中に偏波依存性のある光機能デバイスを組み込む際に必要となる。以前に提案した、方位を回転できる液晶波長板(RWP)を2枚組み合わせることで、小型・低電力動作のエンドレス偏波コントローラを構成した(図3)。波長 $1.55\mu\text{m}$ において、光ファイバ中の偏波ゆらぎに比べ十分高速な偏波制御動作($900^\circ/\text{sec}$)を実現した。

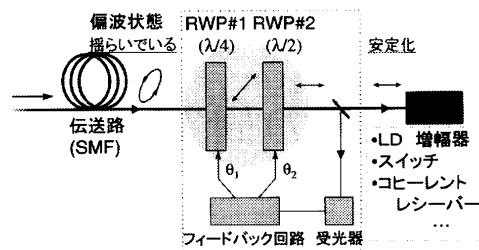


図3.液晶波長板を用いた偏波コントローラ

4. 光励起面型半導体光増幅器

加入者系光ネットワークにおいて、分岐損失を補償するための光増幅器は重要である。我々は、偏波無依存、ファイバとの結合が容易な光励起面型光増幅器を提案・検討した（図4）。InGaAs/InGaAlAs歪み補償100周期MQWからなる広帯域、利得平坦なシングルパス型増幅器を作製し、波長 $1.54\mu\text{m}$ において 3.1dB の利得を得た。更に大きな利得を得るために、MQWの両面にDBRミラーを形成したファブリペロ共振型増幅器を設計し、利得 8dB が得られることを示し、その効果を実験的に確認した。

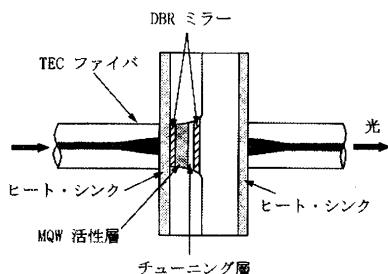


図4.光励起面型増幅器の構造

5. フォトニック結晶 (PhC)

PhCは、周期的な（1次元、2次元、3次元）屈折率分布を持たせることで、個々の材料は透明でありながら光に対して禁制帯を持つという特徴があり、様々な光デバイスへの応用が期待されている。我々は、電子ビームリソグラフィ、リアクティブイオンエッティング、高周波バイアスパッタリング技術を用いた新しい作製方法を開発し、光波帯における3次元PhCを初めて実現した（図5）。

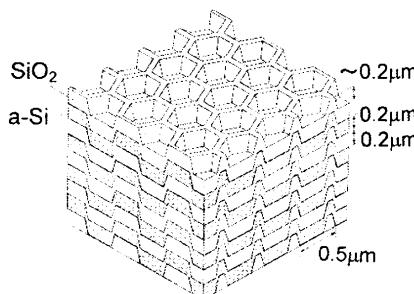


図5.3次元周期構造の概念図

職員

教 授 川上彰二郎（1979年より）

助教授 花泉 修（1996年より）
 助 手 佐藤 尚, 大寺 康夫
 技 官 相澤 芳三
 秘 書 三浦 由子

研究成果の実用化

GIファイバ、W型ファイバが広く実用化されているのは衆知のとおりである。近年の成果については、積層型偏光子（LAMIPOL）、ビーム拡大（TECファイバ）、TECファイバを用いたアイソレータは各国でLN変調器、EDFA、光センサなど多くの用途で実用化されている。

教授のプロフィール

昭和40年東北大学電気通信研究所に入所以来、光通信、光エレクトロニクス技術の分野で研究を続けている。はじめグレーテッドインデックス光ファイバ、W型光ファイバの解析、設計など光ファイバに最大の興味をもった。近年は主に光機能デバイス・部品に興味をもち、積層形偏光制御素子（LAMIPOL, LPS）、光アイソレータ、スイッチ、アンプ、ビーム拡大（TEC）ファイバなどの各光素子と、それらを統合した光ファイバ集積化機能デバイスの開発を目指している。また、新しい光技術として注目されているフォトニック結晶を現実に作製するプロセスを初めて見出し、その研究を展開している。

主な発表論文

- [1] K. Shiraishi, T. Irie, T. Sato, R. Kasahara, O. Hanamizumi, and S. Kawakami, "Integration of in-line optical isolators", Conference issue of the IEEE Transactions on Magnetics, vol.32, pp.4108-4112, September 1996.
- [2] T. Sato, R. Kasahara, T. Irie, K. Shiraishi, and S. Kawakami, "Lens-free alignment-free optical isolators integrated into a fiber array", 22nd European Conference on Optical Communication (ECOC '96), Oslo, Norway, paper Tuc.3.6, vol.2, pp.131-134, September 1996.
- [3] Kawakami, "Artificial anisotropic material for optics", Symposium on Optical Composites, Grasmere, UK, October 1996 (invited).
- [4] H. Yoda, Y. Ohtera, O. Hanaizumi, and S. Kawakami, "Analysis of polarization-insensitive tunable optical filter using liquid crystal -Connection formula and apparent paradox-", Optical and Quantum electronics, vol. 29, pp. 285-299, Feb. 1997.
- [5] 笠原亮一, 佐藤尚, 孫鈞, 川上彰二郎, 「ファイバレイ集積化光アイソレータの高性能化」電子情報通信学会論文誌 C-I vol.80-C-I, no.3, pp.136-137, 1997年3月。
- [6] 川上, 白石, 大橋, 「光ファイバとファイバ型デバイス」, 培風館, 1996年7月。

フォノンデバイス工学研究分野

高性能圧電体単結晶・薄膜と超微細加工プロセス を用いた超高周波弹性波機能デバイスの研究

分野の目標

本研究分野では、来るべき21世紀のグローバルな高度情報化社会に向けて、弹性波デバイスの超高周波化、高機能化の実現、ならびに新しい概念の弹性波機能デバイスの研究開発を行うことを目標としている。

弹性波デバイスは、高速・高密度・超小型の周波数制御・選択ならびに信号処理のための独自の機能と優れた特性を有することから、電子・情報通信システムの高度化に大きな役割を果しており、更なる研究・開発が是非必要である。

具体的には、高速・高密度・超小型の弹性表面波デバイスの研究開発のために、大きな電気機械結合係数と大きな音速をもつ圧電体単結晶及び圧電単結晶薄膜材料の研究・開発、それらの材料中を伝搬する線形・非線形の弹性波動の解明、及びその波動を用いた高性能デバイス、また、弹性表面波と光波の相互作用を利用して、光の偏向、変調、周波数変換、フィルタリング、ミキシングなどの機能をもつ高性能光デバイスの研究、更に、薄膜半導体と弹性表面波との相互作用を利用した、スペクトル拡散通信のキーデバイスである高効率コンボルバの開発を行う。また、弹性表面波デバイスの超高周波化、即ちGHz帯から数十GHz帯のデバイスを得るためのナノメータ超微細加工プロセスの研究を行い、GHz帯の弹性表面波機能素子の実現を図る。

過去1年間の主な成果

(1) 新圧電単結晶・薄膜材料の探索の研究

これまでにない非常に大きな電気機械結合係数(K^2)をもつ、KNbO₃単結晶基板を見いだした。即ち、レイリー波モードでのLiNbO₃単結晶の約10倍の電気機械結合係数($K^2=0.53$)の基板を理論解析と実験により見いだした。特に、本基板は常温付近で零温度特性をもつ優れた特性を有している。

(2) 超高周波弹性表面波デバイスの研究

数GHzから数十GHz帯への弹性波デバイスの超高周波化を実現するため、ナノメータ超微細加工プロセスの研究を行い、0.1μm以下の線幅の電極

を作製し、15GHz帯の弹性表面波の実験に成功した。特に、一方向性すだれ状電極を用いて、10GHz帯で約10dBの挿入損失のフィルタを得た。

(3) 半導体薄膜を用いた弹性表面波コンボルバの研究

新たな動作原理に基づく高機能弹性表面波デバイスの研究開発を進めている。特に、高結合弹性表面波基板上に作製した、MBE法によるInSb半導体薄膜中のキャリアと弹性表面波の伝搬に伴って生ずる電界との相互作用を用いた、新たな構造のコンボルバを開発し、性能指数(M値)30dBと高効率コンボルバを得た。

(4) 低損失弹性表面波マッチドフィルタの研究

高結合の弹性表面波基板をマッチドフィルタに用いれば、低損失のフィルタが得られるが温度特性の点で特性を満足できず、これまで大きな挿入損失の水晶基板が用いられていた。本研究は、温度特性を補償するように、ローカル発信器の周波数を変化させることにより、高結合のLiNbO₃基板を用い、一方向性すだれ状電極を用いて、相関出力電力ピークが入力電力レベルを3dB上回る、低挿入マッチドフィルタを得た研究である。

(5) 超音波を用いたマイクロマニプレータの研究

液体中の微粒子を超音波マイクロマニ퓰ーション技術を用いて、コンピュータ制御により、任意の位置に制御する技術を開発した。

職員名

教 授 山之内和彦 (1979年より)

助教授 竹内 正男 (1985年より)

助 手 目黒 敏靖

助 手 小田川裕之

技 官 我妻 康夫

教授のプロフィール

山之内 和彦 (やまのうち かずひこ)

東北大通信工学科卒業(1959年)、博士課程修了(1965年)、博士論文「サイクロトロン波を用

いたマイクロ波電子管に関する研究」。東北大通研助手（1965年），助教授（1968年），教授（1979年），米国コーネル大学客員教授（1979～1980年）。1979年発明賞，1984年市村賞，1995年電子情報通信学会業績賞。1995年からIEEE Transaction of UFFC のAssociate EditorとADCOM委員。日本学術振興会弹性波素子技術第150委員会委員長。

過去1年間の主な発表論文

- (1) Theoretical and Experimental Study of Super-High Electromechanical Coupling Surface Acoustic Wave Propagation in KNbO₃ Single Crystal, K.Yamanouchi, H.Odagawa, T.Kojima and T.Matsumura, Electronics Letters, Vol.33, No.3, pp193-194 (1997).
- (2) 10 GHz Surface Acoustic Wave Filters with Narrow-Gap Interdigital Transducer Structure, K.Yamanouchi, K.Aoki, T.Tsuji and Y.Wagatsuma, Jpn.J.Appl.Phys., Vol.35, No.5B, pp.2994-2996 (1996).
- (3) 5 GHz-Range Low-Loss Wide Band Surface Acoustic Wave Filters Using Electrode Thickness Difference Type of Unidirectional Transducers, H.Odagawa, T.Meguro and K.Yamanouchi, Jpn.J.Appl.Phys., Vol.35 , No.5B, pp3028-3031 (1996).
- (4) High Efficient Electro-Acoustic Convolvers, K.Yamanouchi, W.Sato and H.Odagawa, 1996 IEEE Ultrason. Symp. Proc., pp.1583-1586 (1996).
- (5) 温度偏差補正法を用いた低損失SAW整合フィルタ，竹内嘉彦，山之内和彦，信学論，Vol.J80-A, No.1, pp.1-10 (1997).
- (6) Ultrasonic Micromanipulator Using Visual Feedback, M.Takeuchi, H. Abe and K.Yamanouchi, Jpn. J. Appl. Phys., No. 5B, pp3244-3247 (1996).

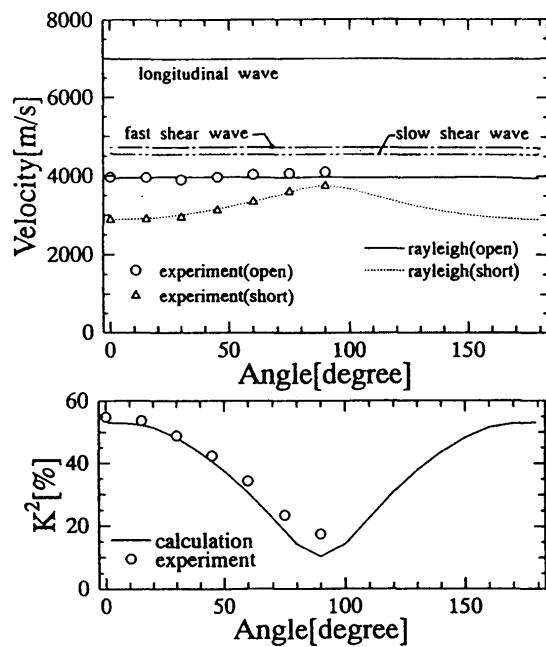


図1. 回転YカットX伝搬KNbO₃の弾性表面波伝搬特性

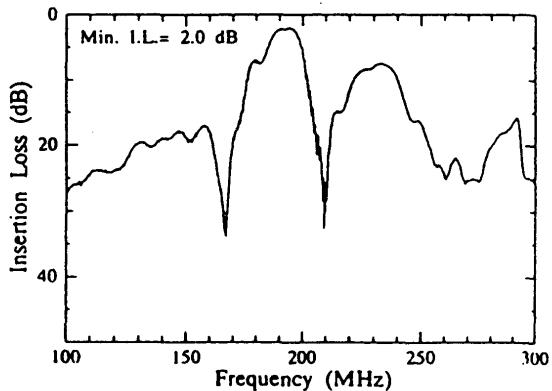


図2. KNbO₃を用いた弾性表面波フィルタの周波数特性

電子音響集積工学研究分野

超高信頼性無線通信技術を目指した システム・回路・デバイス・プロセス・材料の一貫した研究

21世紀の高度情報化社会において、各個人は Tele-Padと命名される携帯情報無線端末をもち、Tele-Pad相互間あるいは基幹ネットワークに接続されたスーパー・ワーカステーションとの間で、音声・データ・画像などの情報を各自が分散交換機能をもって、「いつでも、どこでも、誰とでも」自由にやりとりするC&Cのパーソナル化がますます進展すると考えている。本研究分野では、Tele-Padの実現を目的に、システム・回路・デバイス・プロセス・材料の一貫した研究を行っている(図1)。以下本年度の成果について述べる。

《超高信頼性スペクトラム拡散(SS)通信モジュール》

スペクトラム拡散通信方式は、ベースバンドデータを高速の擬似雑音(PN)コードで2次変調し、周波数帯域を拡散して送信し受信側では送信側と同じPNコードを用いて相関をとり(2次復調)，元のデータに復調する。拡散・逆拡散というプロセスを経ることによってSS固有のS/N改善であるプロセスゲインを得ることができ、無線通信区間をロバスト化できる。また、PNコードによるチャネル識別能力、即ちCDMA(Code Division Multiple Access)が可能であり、さらに位置検出が可能といった特徴をもつ。

ノイズレベル以下になる受信信号を逆拡散によって復調するためには相関素子が必要であるが、特に携帯無線端末には低消費電力かつ小型の相関素子が必須であった。本研究分野では、IF(200MHz)帯で非同期で相関処理を行う信号処理デバ

イスとして、ZnO/Si構造SAWコンボルバを開発・実用化した。さらにSAWコンボルバのコヒーレント相関特性を利用した非同期SS無線モジュールを開発し、国内認可第1号となる2.4GHz SS無線モジュールを完成させている。

本年度は、SS通信方式を用いた「構内CDMAシステム」(図2a)の構築を目指した。多数の移動局から任意の時間に信号を受け取る必要のある基地局への「Upリンク」側では、チャネル間干渉のない近似同期CDMA符号(末広符号)を用いる点に着目した。従来多相系列であったこの符号を少ない位相状態で実現する方法を提案し、実際にSAWコンボルバを用いた相關回路の試作・評価を行った結果、末広符号を用いたセル化CDMAシステムの性能として実用上十分である、セル半径約160m、Upリンクデータレート45kbpsが可能である事を示した。

一方受信機に小型・低消費電力復調器が必須となる移動局への「Downリンク」側では、フロントエンドマッチトフィルタを用いて、2.4GHz SS信号を直接ベースバンドデータに復調する。本研究分野で開発してきた窒化アルミニウム/サファイア(AlN/Al₂O₃)構造は、約6,000m/secの高音速を有し、かつ本研究分野で見出した零温度係数伝搬遅延時間特性を持つので、2.4GHzフロントエンドSAWマッチトフィルタに最適な材料である。これまでにAlN/Al₂O₃ SAWマッチトフィルタを設計・試作し、これを用いた2Mbps伝送カードサイズSS復調



図1 電子音響集積工学研究分野の研究目標

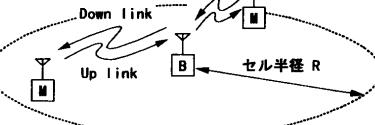


図2a セル化CDMAシステム

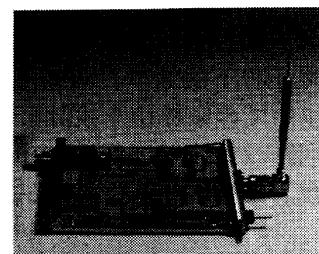


図2b 2.4GHzフロントエンドSAWマッチトフィルタを用いた
カードサイズSS復調器

器を開発した（図2 b）。モデム全体の低消費電力化として増幅器の検討・高効率フィルタパターン設計等を行い、わずか28mWで動作するSSモデムが実現可能である事を明らかにした。

さらに、AlNエピタキシャル成長技術に関して、2インチサファイア基板上に膜厚分布±1%で高品質AlNエピタキシャル膜を成長させる「クヌーセン圧MO-CVD技術」の確立を行った。

《極微細シリコン技術》

RFからベースバンドまでの信号処理のためにはSi集積回路の高速化が必須である。本研究分野では極微細 $0.1\mu m$ MOSFETを設計・試作し、低電圧駆動高速MOSFETの作製プロセスを確立している。

この極微細MOSデバイス技術を発展させ、GHz帯シリコンRFモジュールの開発を行っている。具体的には、ULSI多層配線技術として本研究分野で開発してきた「選択Al CVD技術」を、積極的に高周波MOSFETの寄生抵抗低減に応用した「完全自己整合メタライゼーション（Fully Self-Aligned Metalization;FSAM）技術」である。本年度は特にTiサリサイド化した素子のゲート/ソース・ドレイン上を自己整合的に窒化する事によりTi-Si-N極薄10nmアモルファスバリア層形成技術を確立した。これらのデバイス・プロセス技術を発展させ、GHz帯シリコンFSAMデバイスを実現し、携帯移動端末用極微細Si RFモジュールの研究を進めていく。

《超低消費電力Si集積回路》

[RF～ベースバンド回路設計技術] 乾電池で動作するTele-Pad実現のためには、アナログ・デジタル信号処理集積回路の低消費電力化が必須である。本研究分野では、システムから回路、デバイスレベルまでを一貫して評価、議論できる指標として、従来から通信システムの設計・評価に広く用いられているEb/No-BER（Eb: 1ビット当たりのエネルギー、No:1Hz当たりの雑音電力、BER:ビット誤り率）特性に着目している。本年度は、このEb/No-BER特性が集積回路動作解析にも適用可能である事を実験並びにシミュレーションによって明らかにし、実際の回路におけるクロストークノイズ等を定量的に解析可能な回路を試作し、システム側の要求という観点から、CMOS回路の電源電圧の下限値や、隣接配線電圧値・配線間距離についての限界値を検討した。今後、超低消費電力回路設計技術、さらにRF～ベースバンド統合回路設計技術へと発展させる。

<職員>教 授 坪内和夫（1993年より）

助教授 益 一哉（1993年より）

助 手 横山道央

<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3月～10月米国パーデュ大学客員助教授。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）受賞。日本物理学会、日本応用物理学会、電気学会、電子情報通信学会、IEEE会員

<研究テーマ>

- 1.高信頼性GHz帯CDMA方式無線通信モデム及びシステムの研究
- 2.GHz帯弾性表面波信号処理デバイス及び材料の研究
- 3.超低消費電力GHz帯サブ $0.1\mu m$ SiアナログRFチップの研究
- 4.サブ $0.1\mu m$ 超微細プロセス技術の研究
5. $0.01\mu m$ プロセス技術とデバイスの研究

<主な研究発表>

1. Multilevel Metallization Based on Al CVD, K. Masu, H. Matsuhashi, A. Gotoh, J.-H. Chung, M. Yokoyama, R. Tajima, Y. Fujita and K. Tsubouchi, 1996 Symposium on VLSI Technology, Digest of Technical Papers, Honolulu, June 11-13, 1996, pp. 44-45.
2. Fluorine Termination Effect on Al-CVD, J.-H. Chung, H. Matsuhashi, A. Gotoh, M. Yokoyama, K. Masu, S.-I. Lee, M.-Y. Lee, K. Tsubouchi, Proc. of Advanced Metallization and Interconnect Systems for ULSI Applications in 1996, pp.43-49.
3. Self-Aligned Barrier Layer Formation for Fully-Self-Aligned Metallization MOSFET, H. Matsuhashi, A. Gotoh, M. Yokoyama, K. Masu and K. Tsubouchi, Proc. of Advanced Metallization and Interconnect Systems for ULSI Applications in 1996, pp.253-259.
4. AlN Epitaxial Growth on Atomically Flat Initially Nitrided a-Al₂O₃ Wafer, T. Suetsugu, T. Yamazaki, S. Tomabechi, K. Wada, K. Masu and K. Tsubouchi, 2nd Int. Symp. on Control of Semiconductor Interfaces (ISCSI-2), Karuizawa, Oct. 28- Nov. 1 (1996), B2-4.

量子波動工学研究分野（客員分野）

波動としての電子の性質を用いた 電子デバイス創製のための基礎的研究

○分野の目標

物質の大きさを電子の波長より小さなサイズに制御することにより、量子効果を制御し、これによって新しい機能をもつデバイスを実現する。このため原子レベルで平坦な表面および側面をもつ半導体微細構造の製作技術を開発する。

○主な成果

量子効果を顕著に示す微細構造を実現するためには欠陥の少ない、原子レベルでよく制御された表面、側面をもつ量子細線、量子ドットを形成する必要がある。

今期、分子線エピタキシャル成長法を改良したMEE法およびこれを気相成長法に応用したFME法を用いることにより、一原子レベルの平坦性をもつ微小面に囲まれた微細構造を実現した。サイズは $\sim 1\text{ }\mu\text{m}$ の大きさであり、量子効果を示すにはさらに微細化が必要であるが、電気的、光学的特性の測定により結晶品質は二次元的な広がりをもつ結晶と同等であることが確認された。

基板の厚さ方向の制御性においては、これまでにも分子線エピタキシャル成長法や気相エピタキシャル成長法によって原子層レベルの制御が可能であるとされてきた。しかし平均としては一原子レベルの制御が達成されていても、実際の成長では表面原子の限られた拡散長のためにヘテロ接合には4~5分子層におよぶ凹凸が発生してしまう。これでは広い面積にわたって均質なエネルギー構造をもつ量子構造を作ることは困難である。これを改善するため、今期我々はMEE法を用いることにより原子レベルで平坦な成長面を実現した。

一方、量子細線や量子ドットなど低次元構造を形成する場合、これに加えて側面、つまり横方向の障壁が必要である。横方向についても原子レベルの平坦性を実現するため、我々は結晶の面指数の特徴によって現れるファセットを制御する技術を開発し(001)および(111)B基板において、基板に垂直な(110)ファセットで囲まれた良好な細線構造およびディスク構造を実現した。細線、ディスク構造とも、まだミクロンサイズであるため、電子波の量子効果を顕在化させるには至っていないが、ディスク構造において低しきい値の全反射

モードレーザー発振が観察され、これらの構造が良好な品質をもっていることが確認された。

○職員名

客員教授 堀越佳治（1995年より）

○教授のプロフィール

1966年東北大学工学部電気工学科卒業、1971年同大学院工学研究科博士課程（電子工学専攻）修了。ただちに日本電信電話公社電気通信研究所（現NTT基礎研究所）に入社。以来化合物半導体エピタキシャル成長、半導体レーザー、光検出器など、光通信用半導体デバイスの研究開発に従事。1982年以降、半導体物性に関する基礎研究に転じ、半導体超格子、低次元電子構造の光および電子物性に関する研究、半導体表面の相転移の研究などに従事、現在に至る。1995年1月東北大学電気通信研究所量子波動工学研究分野客員教授に、1996年4月早稲田大学理工学部電気電子情報工学科教授に就任。

○発表論文等

1. 堀越佳治

「21世紀の化合物半導体、結晶半導体の研究」
応用物理166（1997）95（巻頭言）

2. K.Kanisawa, H. Yamaguchi and Y. Horikoshi

「Electronic properties of monolayer steps on (2×4)/c(2×8) reconstructed GaAs(001) surface」
Phys. Rev. B 54(1996) 4428.

3. Y. Horikoshi, S. Ando, H. Ando and N. Kobayashi 「Surface atomic processes during flow-rate modulation epitaxy」 Appl. Surf. Science 112 (1997) 48.

4. Z. Peng and Y. Horikoshi

「Surfactant effect of atomic H on Si incorporation in GaAs」 Appl. Phys. Lett. 70 (1997) 604.

5. T. Yamada, H. Yamaguchi and Y. Horikoshi
「Effect of growth interruption during GaAs/AlGaAs

molecular beam epitaxy」 Jpn. J. Appl. Phys. 35
(1996) L822.

6. Z. Peng and Y. Horikoshi
Carrier concentration saturation of double Si doping
layers in GaAs」 Jpn. J. Appl. Phys. 35(1996)
L1151.

7. Z. Peng, T. Saku and Y. Horikoshi
「 Study of photoconductivity in Al_xGa_{1-x}As/GaAs modulation-doped heterostructures」 J.
Appl. Phys. 79(1966)3592

3.4 超高密度・高速知能システム実験施設の目標と成果

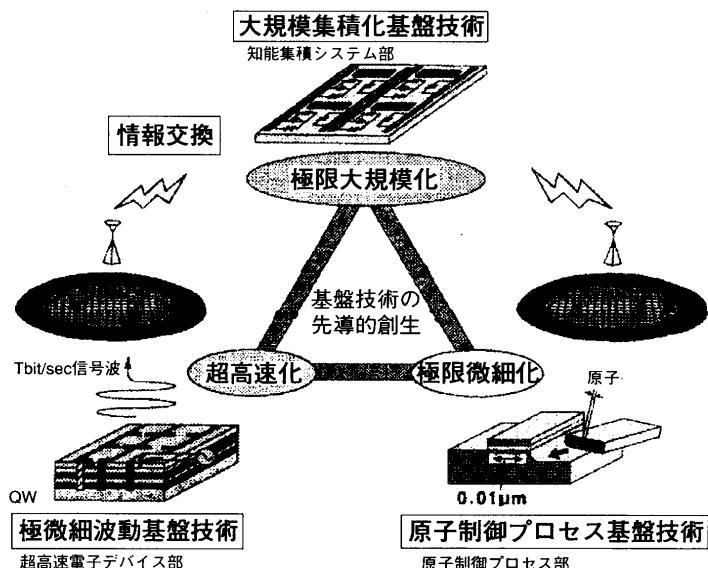
東北大学電気通信研究所超高密度・高速知能システム実験施設は、平成6年6月24日、極微細構造電子回路加工技術を進展させると共に、極微新機能電子デバイスの開発と、それらの性能を活用して高度な知的処理を行い得る超高密度・高速知能システムの基盤技術を構築することを目的として設置された。

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部から成る。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/sec）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合わせて行っている。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。

原子制御プロセス部では、本年度はSiやGe表面でのGeやSiの一原子層成長、SiのNH₃による一原子層熱窒化、CH₄による一原子層炭化を実現し、表面の水素終端や再配列超格子構造との関係を明らかにした。またECRプラズマを用いてSiに引き続きGeの原子層エッチングを実現した。さらに、ゲート電極寸法と実効チャネル長がほぼ等しい0.075 μmルールの新しいpチャネルMOSFETを実現した。

超高速電子デバイス部では、(211)B GaAs基板上に自己組織化InAs量子ナノ構造を作成することに成功し、それが量子ダッシュ構造となることを明らかにした。また強磁性半導体(Ga,Mn)Asの強磁性の起源がRKKY相互作用にあることを定量的に明らかにすると共に、(Ga,Mn)As/GaAs超格子を作成した。

知能集積システム部では、アナログメモリSDAMの完全線形化動作モードを用いて、連想記憶システムの開発を行い集積回路を試作、また集積化人工神経回路網の学習回路を、SDAMと3段の直列TFTによる新たなデバイスの開発により実現し、決定論的ボルツマンマシンを試作、測定評価を行った。



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

物質の加工すなわち薄膜形成やエッチングを原子オーダ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Si系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とその極微細デバイスへの応用の研究を中心に行っている。

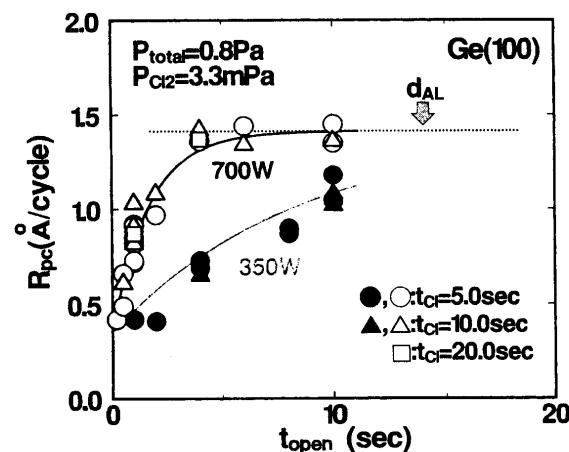
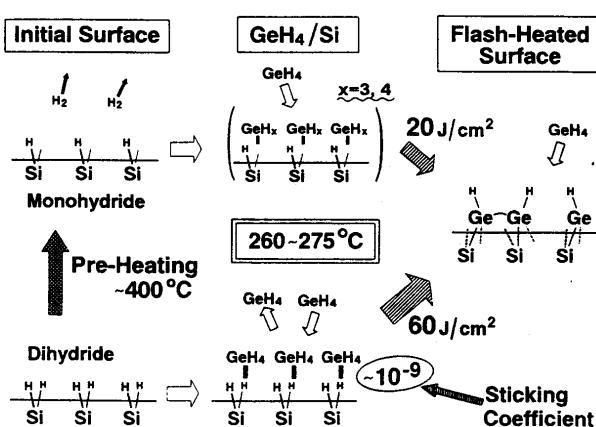
原子層成長制御 CVD

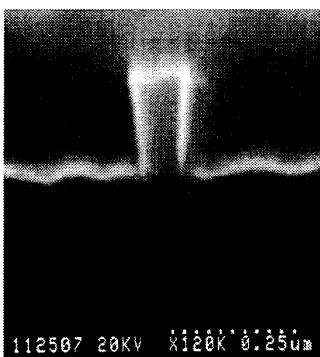
Si集積回路製作への適応性を考え、原料ガスとして最も単純な分子構造でかつ取り扱いの容易な SiH_4 、 GeH_4 等の水素化物ガスを用い、IV族半導体の原子層成長を実現してきた。連続的反応を抑制するよう反応温度の低温化を図り、反応雰囲気の高清浄化により不要不純物の吸着を抑え、原料ガスの供給を止めることなく高い分圧（数Pa～数百Pa）に保ったまま单分子吸着層の形成を図る。そして必要に応じてこの吸着層のみをフラッシュ光照射による瞬時加熱で分解し、SiやGeの一原子層ずつの成長を可能にするという独創的な原子層成長制御の方式である。本年度は特に、Ge表面でのSiの一原子層成長、及びSi表面でのGeの一原子層成長を研究し、Ge及びSi表面の水素終端や再配列超格子構造の制御が單原子層成長に重要なことを明らかにした。また、 NH_3 による300～500°C

の一原子層熱窒化、 CH_4 による600°Cの一原子層炭化の可能性を示し、これらの量子構造形成への適用も研究している。また、W膜の原子層オーダの成膜制御の研究を進めている。

原子層エッチング

高清浄電子サイクロトロン共鳴(ECR)プラズマエッチング装置を用いて表面への塩素の吸着と低エネルギー Ar^+ イオン照射を交互に行うことにより、Siの自己制限型原子層エッチングが可能であり、超微細パターン加工もできることを実証してきた。本年度はさらに、Geの原子層エッチングを実現した。すなわち、Geは塩素が飽和吸着している条件で Ar^+ イオン照射量が少ないところでは1サイクル当たり約1/4原子層がエッチングされ、 Ar^+ イオン照射量の増加と共に増加して1原子層に飽和するエッチングがおこることを見いだした。また、 Ar^+ イオン照射量の多いところでは、単純な確率的 Ar^+ イオン誘起反応を考えた指数関数漸近型の式によりエッチング量の Ar^+ イオン照射量依存性が表現されることを明らかにした。さらに、入射 Ar^+ イオン流密度のエネルギー分布の測定結果から、約13eV程度以上のエネルギーを持った Ar^+ イオンがGeの原子層エッチングに支配的に寄与していると考えられる。これらの結果をSiの場合と比較し、統一的描像を考察している。さらに、Si窒化膜の原子層エッチングの研究を進めている。



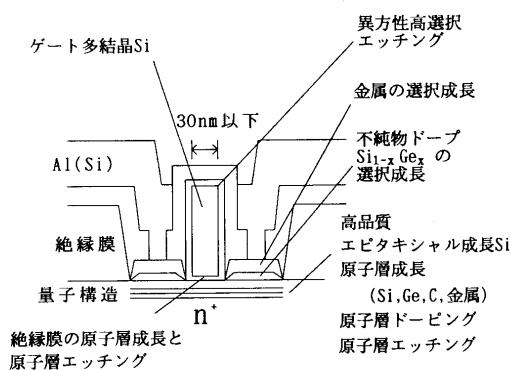


ソース／ドレインに選択成長SiGeを用いた $0.075\mu\text{m}$ 極微細MOSFET

極微細ヘテロデバイスの製作

極微細Si-Ge系ヘテロデバイスの実現を目指して、SiGe混晶のSi上のみへの550°Cという低温での高選択成長条件を明らかにしてきたが、本年度はさらに、SiGe混晶の形成におけるB及びPの高濃度ドーピング機構の研究を行った。また、Si基板と選択成長SiGe混晶層のpn接合特性を調べ、接合形成後の熱処理なしで逆方向リーケ電流密度が $10^{-10}\text{A}/\text{cm}^2$ 台と非常に良好な接合特性であることを確認している。これらの結果をもとにソース・ドレイン層形成の最適化を図り、BドープSiGe混晶の選択エピタキシャル成長層をソース・ドレイン層とする新しいMOSFET製作プロセスを構築し、ゲート電極寸法と実効チャネル長がほぼ等しい $0.075\mu\text{m}$ ルールのpチャネルMOSFETを実現した。さらに、より一層の素子の微細化を図ると同時に、電極構成を研究し、ヘテロデバイス並びにCMOS回路への適用を進めている。

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



極微細構造形成プロセス

教授のプロフィール

室田淳一：1948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蔵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（平成8年度）

1. High-Mobility Strained-Si PMOSFET's, D. K. Nayak, K. Goto, A. Yutani, J. Murota, and Y. Siraki, IEEE Trans. Electron Devices, 43(10), 1709-1716, (1996).
2. Atomic-Layer Etching of Ge Using an Ultraclean ECR Plasma, T. Sugiyama, T. Matsuura, and J. Murota, Appl. Surf. Sci., 112, 187-190 (1997).
3. Initial Growth Characteristics of Germanium on Silicon in LPCVD Using Germene Gas, S. Kobayashi, M. Sakuraba, T. Matsuura, J. Murota, and N. Mikoshiba, J. Crystal Growth, 174(1-4), (in press, 1997).
4. Atomic-Order Layer Growth of Silicon Nitride Films at Low Temperatures, T. Watanabe, M. Sakuraba, T. Matsuura and J. Murota, in CVD XIII / 1996 (The Electrochemical Society, Pennington, NJ, 1996), PV96-5, pp.504-509.
5. Selective Growth of W at Very Low Temperatures Using a WF₆-SiH₄ Gas System, Y. Yamamoto, T. Matsuura and J. Murota, in CVD XIII / 1996 (The Electrochemical Society, Pennington, NJ, 1996), PV96-5, pp.814-820.
6. Atomic-Layer Surface Reaction of Silane on the Germanium(100) Surface, J. Murota, T. Watanabe, M. Sakuraba and T. Matsuura, Proc. 2nd Topical Meeting on Structural Dynamics of Epitaxy and Quantum Mechanical Approach, Kobe, Jan. 22-23, (1997), pp.97-101.

超高速電子デバイス部

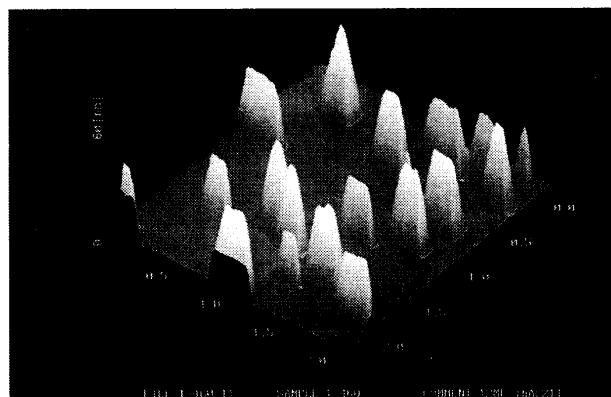
半導体量子構造の物性と応用

超高速電子デバイス部では、半導体極微構造を用いて電子波や光波を制御する技術であって、次世代の超高速情報通信を可能とする、極微細波動基盤技術に関する研究を進めている。半導体の微細化を極限まで押し進めていき、構造が電子のドブロイ波長と同程度以下になると、電子準位が量子化された影響が半導体の電子・光物性に顕著に現れる。本研究部では、半導体内のスピニを含めた電子状態をさまざまな方法で制御し工学的に応用する立場から、この領域の半導体の構造、すなわち半導体量子構造を研究の対象とし、特に化合物半導体の量子構造の作製と物性の理解、それらのデバイス応用に関する研究をすすめている。具体的には、

- ・半導体量子構造の形成に関する研究、
 - ・量子構造によるTHz～遠赤外光発生の研究、
 - ・量子構造における量子輸送現象の研究、
 - ・超高速・超高周波デバイスに関する研究、
 - ・希薄磁性半導体およびその量子構造の物性と応用に関する研究、
- の5項目を取り上げ研究を進めた。

・半導体量子構造の形成

分子線エピタキシ(Molecular beam Epitaxy, MBE)法を用いた高純度のAlGaAs/GaAs系量子構造や、界面や組成が制御されたInAs/GaSb系量子構造の結晶成長をはじめ、それらの量子構造形成に必要な原子層エピタキシ技術、リソグラフィ技術などのプロセス技術の基礎および応用に関する研究を進めた。特に(211)BGaAs基板上に自己組織化によって数10nmサイズの特異な形状を有するInAs量



自己組織化により形成されたInAs量子ドット構造の原子間力顕微鏡像

子ダッシュ構造を形成することに成功した。これを活性層とする面型半導体レーザーではしきい値が下がると共に偏波面制御が容易になると期待される。

・量子構造によるTHz～遠赤外光発生の研究

量子構造中のサブバンド間の光学遷移によるTHz～遠赤外光の発生を取り上げ、AlGaAs/GaAs系の共鳴トンネル構造や、InAsの伝導帯がGaSbの価電子帯よりエネルギー的に低いところに位置するInAs/GaSbヘテロ構造の特異なバンドラインアップを利用した構造によってキャリアのエネルギーフィルタリングを行い効率の良い発光を実験的に得ることを目指している。現在、このような特異なバンドラインアップからなる超薄膜構造を製作し、その光学特性・輸送特性を明らかにしつつある。

・量子輸送現象の研究

量子構造における強磁場中の単電子凝縮など物理の基礎に関わるものから、単電子トンネル現象、超高速電子輸送現象などデバイス応用に関わるものまで、広い範囲を視野に入れて研究を進めている。東北大学理学部と共同で進めている、結合量子井戸構造における分数量子ホール状態の2層の電子間に生じると期待されるジョセフソン現象の実験的研究では、2層の電子層間の量子位相の存在を示唆する実験結果を得た。これは、波動基盤技術の基礎物理への応用と位置付けられる。

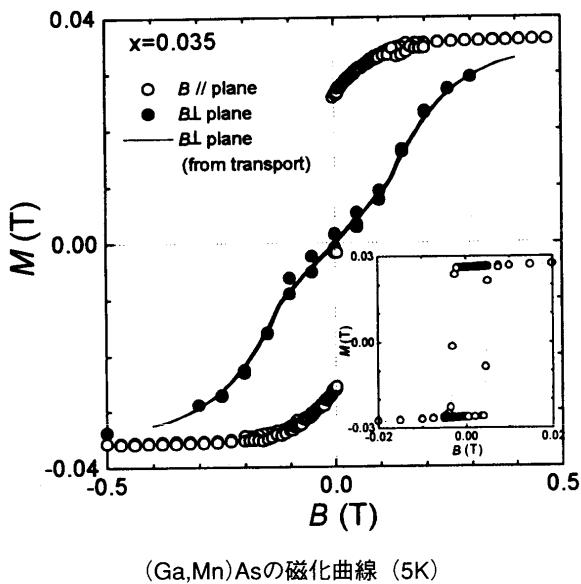
・超高速・超高周波デバイスに関する研究

半導体量子構造を用いた超高速・高周波電子デバイスの基礎的研究を行い、THz・Tbitデバイスを指向する。特に、半導体量子構造におけるキャリアの速いバンド間、あるいはサブバンド間の緩和過程、さらには超高速のスピニ緩和過程を利用した光スイッチ等の研究を進めている。

・希薄磁性半導体およびその量子構造の物性と応用に関する研究

半導体材料の範囲を従来の非磁性の半導体から磁性原子を含む希薄磁性半導体に広げ、光・電子デバイスで成功を収めてきた半導体に磁性という新しい自由度を付加して半導体量子構造の世界を

さらに豊かにすることを目指している。本年度は、エレクトロニクスに既に応用されている非磁性III-V族化合物半導体中の一部の原子を磁性原子に置換し、強磁性半導体(Ga,Mn)Asを創成するのに成功した。さらに非磁性／（強）磁性半導体薄膜を積層した超構造の結晶成長にも成功した。現在、その物性の解明、特にキャリアや光による磁性の制御の可能性を探求している。



研究テーマ

1. 半導体量子構造の形成に関する研究
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. 超高速・高周波デバイスに関する研究
5. 希薄磁性半導体およびその量子構造の物性と応用に関する研究

職員

- 教授 大野 英男 (1994年より)
助手 松倉 文礼
大野 裕三
沈 愛東
秘書 佐々木延子

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。

一貫して化合物半導体の分子線エピタキシおよび有機金属気相成長法を用いた薄膜・超構造の結晶成長を行い、その電気的・光学的物性の解明と電子デバイス、光デバイスへの応用の研究を進めてきた。

現在最も高い周波数で動作する電界効果トランジスタ材料であるAlInAs/GaInAsへテロ接合を初めて実現しそれを用いたMESFETを製作してその後の超高速電子デバイス応用の端緒をつくった。

1988年よりIII-V族ベースの希薄磁性半導体の研究を開始し、それまで存在しなかったIII-V族希薄磁性半導体((In,Mn)As)を初めて創成した。さらに最近では(Ga,Mn)Asの成長に成功しGaAs系デバイス応用への道を切り開きつつある。

発表論文

1. H. Ohno, A. Shen, F. Matsukura, A. Oiwa, A. Endo, S. Katsumoto, and Y. Iye, "(Ga, Mn)As: A new diluted magnetic semiconductor based on GaAs," *Appl. Phys. Lett.* vol. 69, pp. 363-365, 1996.
2. H. Ohno, F. Matsukura, A. Shen, Y. Sugawara, A. Oiwa, A. Endo, S. Katsumoto, and Y. Iye, "Ferromagnetic order in (Ga, Mn)As/GaAs heterostructures," *Proc. 23rd Int. Conf. Physics of Semiconductors* (World Scientific, Singapore, 1996), pp. 405-408.
3. A. Shen, H. Ohno, F. Matsukura, Y. Sugawara, Y. Ohno, N. Akiba, and T. Kuroiwa, "(Ga, Mn)As/GaAs diluted magnetic semiconductor superlattice structures prepared by molecular beam epitaxy," *Jpn. J. Appl. Phys.*, vol. 36, pp. L73-L75, 1997.

著書

1. H. Ohno, "Advances in the Understanding of Crystal Growth Mechanisms," ed. T. Nishinaga, K. Nishioka, J. Harada, A. Sasaki, and H. Takei, pp. 149-162 (Elsevier Science B.V., 1997).

口頭発表

- | | |
|------|-----|
| 国際会議 | 5件 |
| 国内会議 | 21件 |

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

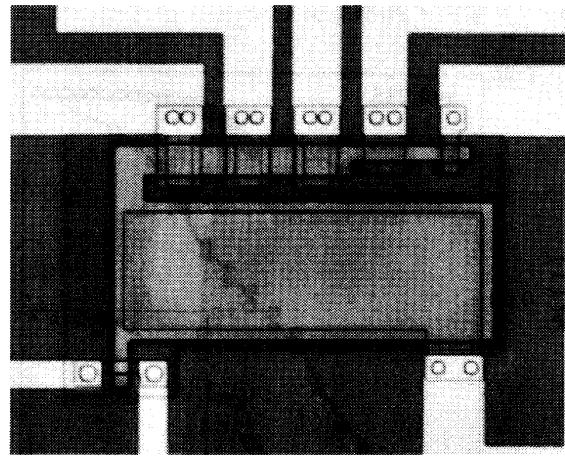
〈部の目標〉

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標としている。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神経回路網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〉

アナログメモリSDAMの完全線形化動作モードを用いて、知的情報処理システムの一翼を担うとされる連想記憶システムの開発を行い集積回路を試作、測定を通して各種動作の評価を行った。新開発のアナログメモリを用いているために、このシステムは従来処理速度のネックとなっているアナログ→デジタル変換を必要としない特徴がある。



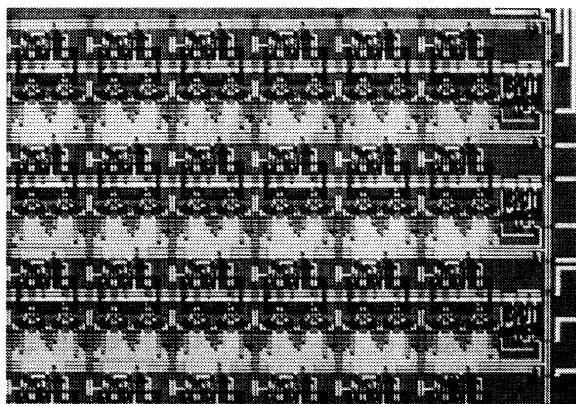
アナログメモリSDAM

またSDAM開発の本来の目標であった集積化人工神経回路網の学習回路を、SDAMと3段の直列TFTによる新たなデバイスの開発により実現し、決定論的ボルツマンマシンを試作、測定評価を行い知的情報処理システムの実現に向け前進した。次期学習回路に関しては従来の対称な連続値結合強度を実現するモデルから、閾値が設定された結合強度のモデル、非対称な結合強度のモデルへと発展させ、その能力を数値実験により評価した。次に神経回路の能力を向上させると期待されているカオス発生回路を設計しその評価を行い、合わせて非単調ニューロンモデルによる学習能力の評価を行い集積回路化へのパターン設計を行った。

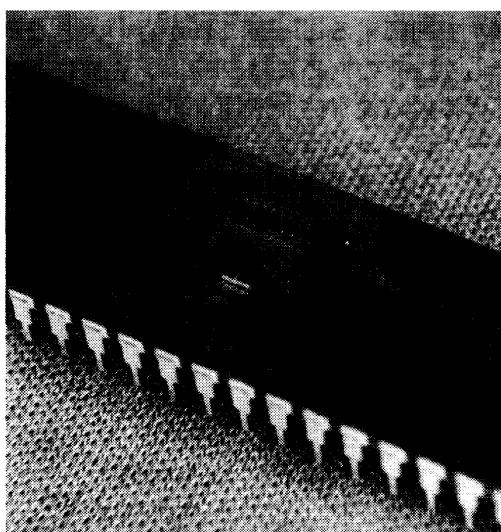
さらに知的情報処理システムに必須とされる動的なパターンの処理能力を実現する第一歩として、人工神経回路網における時系列情報の発生と記憶に関する解析を行い、多数のリミットサイクルが同時共存する状態を評価した。その結果を基に時系列情報の発生と記憶を可能とする集積化人工神経回路網の試作測定を行った。

その他に超伝導位相モード計算機システムの基本デバイスの試作を行い、その動作を検証し高速性、低消費電力性を実証、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。

超高密度、高速知能システム実験施設としては新規クリーンルームならびに導入装置の立ち上げ整備を終了した。



動的パターン処理用ニューロチップ



パッケージしたニューロチップ

〈職員〉

教授 中島康治 (1995年より)
助手 佐藤茂雄 水柿義直

〈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. 集積化ニューラルネットワークの学習性能に関する研究
4. アナログメモリSDAMによる連想記憶システムに関する研究
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. Switched Diffusion Analog Memory for Neural Networks with Hebbian Learning Function and Its Linear Operation, H. Won, Y. Hayakawa, K. Nakajima and Y. Sawada, IEICE Trans. Fundamentals, E79-A, 6, 746-751, (1996).
2. Limit Cycles of One-Dimensional Neural Networks with the Cyclic Connection Matrix, C. Y. Park, Y. Hayakawa, K. Nakajima and Y. Sawada, IEICE Trans. Fundamentals, E79-A, 6, 752-757, (1996).
3. Experimental Operation of an RS Flip-Flop Composed of Nonlatching Josephson Gates, Y. Mizugaki, T. Onomi, K. Nakajima, and T. Yamashita, IEEE Trans. Appl. Superconduct., 6, 2, 90-93, (1996).
4. Binary Counter with New Interface Circuits in the Extended Phase-Mode Logic Family, T. Onomi, Y. Mizugaki, T. Yamashita and K. Nakajima, IEICE Trans. Electron., E79-C, 9, 1200-1205, (1996).
5. Implementation of Neural Networks for Dynamic Pattern Generation, C. Y. Park, T. Abe, K. Nakajima and Y. Sawada, Proc. ITC-CSCC '96, 353-356, (1996).
6. Hardware Implementation with 3TFT SDAM for Neural Networks of Asymmetric Learning Rule, H. Won, Y. Hayakawa, K. Nakajima and Y. Sawada, Proc. ITC-CSCC '96, 983-986, (1996).
7. Analytical Estimation of the Number of Limit Cycles Generated by Circular Networks, C. Y. Park, K. Nakajima and Y. Sawada, Proc. NOLTA '96, 13-16, (1996).
8. Numerical Investigation and Model Approximation for the Hysteretic Current-Voltage Characteristics of Josephson Junctions with Nonlinear Quasiparticle Resistance, Y. Mizugaki and K. Nakajima, Jpn. J. Appl. Phys., 36, 1A, 110-113, (1997).

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

【センターの目標】 評価・分析センターは、通研および電気情報系の研究分野内研究、施設の部内研究、共同プロジェクト研究ならびに各種共同研究を進めるために必要な材料・デバイスおよびシステムの測定・評価・分析を行うことを目的としている。これからますます超微細化・高性能化の要求が高まる材料・デバイスおよびシステムの開発において、評価・分析の精度・感度をどこまで上げられるかが大きな研究課題になる。この課題に取り組むことが評価・分析センターの研究目標である。また、各研究分野の研究、施設の部内研究、共同プロジェクト研究などの研究を支援するために、共通の分析評価設備・機器の充実を図っていくことも本センター目標である。そのために、新機種の導入を図るとともに、各研究分野所有の評価・分析機器を互いに利用しあうための体制づくりも行なっている。

【センターの現状】 本センターには、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などが揃っていたが、1996年度は、これらの装置のほかに、超高密度・高速知能システム実験施設から二次イオン質量分析装置、 μ RHEE装置、薄膜X線回折装置、X線カット面検査器が移設され、また、SQUID、フォトルミネッセンス測定装置が新規導入され、測定装置が充実した。昨年同様、これらの装置を所内外の研究者・学生に対して公開し、所内の各研究分野の研究の支援や、共同プロジェクト研究の支援を行なっている。特に使用頻度の高かった装置は昨年度と同様X線回折装置で、主な用途は半導体薄膜材料、磁性薄膜材料、超伝導体材料の構造評価であった。X線二結晶法を用いた半導体エピ膜や化合物半導体超格子の格子定数の測定も昨年同様利用頻度が高かった。次に使用頻度の高かった測定装置は赤外分光装置と原子間力顕微鏡である。原子間力顕微鏡は磁気構造の解析にも利用でき、磁性薄膜構造の解析にも多用された。

装置の利用頻度は高くなっています、今後、データ

処理の円滑化や、データベースの公開のためにインターネット機能の充実を測る必要がある。現在、測定装置とインターネットを接続する作業を進めている。

【平成8年度の主な研究成果】

(シリコン表面の分子吸着状態の解明)

シリコン・テクノロジーにおいて、表面を原子レベルで制御することがこれから大きな研究課題であり、そのためにはシリコン表面における化学反応機構の微視的な解明が不可欠である。本センターでは、シリコン表面反応のその場観察手法として、超高感度赤外内部反射分光法の開発を行なってきているが、本年度は、シリコン表面における酸化や分子吸着・分解反応をその場観察できる分光装置の開発に成功した。図1は分光装置の概念図である。

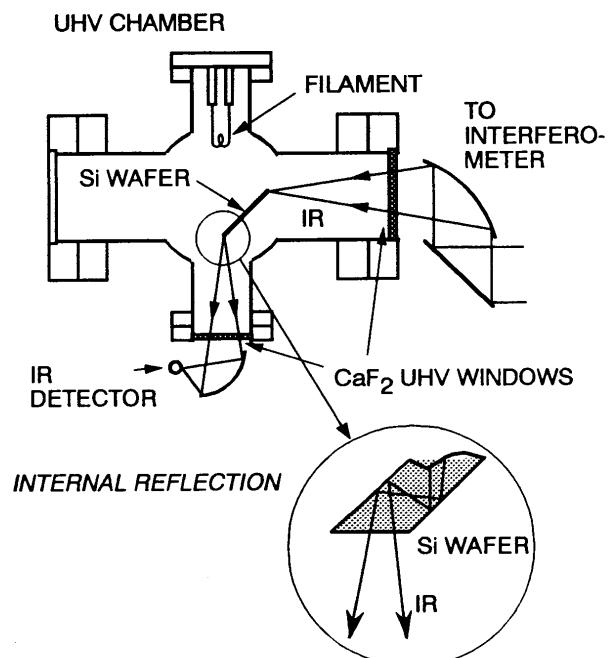


図1 超高真空赤外内部反射分光装置

赤外線を超高真空反応槽内のシリコンウェーハの端面に集光させ、ウェーハ内を多重内部反射して出てきた赤外線を真空槽外の赤外検出器で検出する。赤外線がウェーハ表面で100回程度反射する

ため高感度で表面化学状態を検出できる。

水を吸着させた Si (100) 清浄表面の化学状態を調べた結果、水が解離吸着して、シリコンダングリングボンドに水素と水酸基が結合し、Si - H 結合と Si - OH 結合ができることがはっきりと確かめられた。さらに、表面の温度を上げると、Si - OH 結合が分解して、解離した酸素原子がシリコン原子間に入り、Si - O - Si 架橋結合ができることも分かった。この反応プロセスはシリコンウェット酸化に対応するものであり、その詳細な分析は酸化のメカニズムの解明を可能にする。

現在、水素原子吸着など他の表面反応系の解析も行なっているが、その解析結果は、開発した赤外内部反射分光法の有効性をはっきり示している。

(溶液中シリコン表面状態のその場観察)

本センターで開発した、溶液中のシリコン表面化学状態を赤外分光法で”その場”観察する手法を用いて、純水に浸した水素終端シリコン表面の化学状態を分析した。純水中の水素終端シリコン表面は、見かけ上は水素で覆われた状態に留まっているが、実際は、シリコン表面上の水素と水分子の水素が置換反応していることが分かった。また、重水素中でも同様の観察を行なった結果、置換反応速度には同位体効果があることが確かめられた。また、純水に浸した水素終端シリコン表面に紫外線を照射すると表面酸化が激しく進行することが分かった。これは電子移動過程が表面反応に大きな影響を与えていた証拠であり、今後、さらに詳細な検討を加えていく予定である。

【研究テーマ】

1. 半導体表面・界面の原子レベル構造解析
2. 半導体表面化学反応の反応機構の解明とプロセスへの応用
3. 新機能性薄膜の形成と構造評価

【職員】

センター長・教授 荒井 賢一（スピネレクトロニクス研究分野、1996年より）
助教授 庭野 道夫（電子量子デバイス工学研究分野、1994年より）

【主な研究発表】

1. M. Niwano, T. Miura, R. Tajima, and N. Miyamoto, "Infrared Study of Chemistry of Si Surfaces in

"Etching Solution", Appl. Surf. Sci. Vol.100/101 (1996) 607-611.

2. M. Niwano, J. Sawahata, T. Miura, D. Shoji, and N. Miyamoto, "Synchrotron Radiation Induced Reactions of Condensed Layer of Organosilicon Compounds", J. Electron Spectr. Related Phenomenon Vol.80 (1996) 89-92.
3. K. Ohno, Y. Maruyama, Y. Kawazoe, N. Sato, R. Hatakeyama, T. Hirata, and M. Niwano, "Ab-initio molecular dynamics simulations for collision of C60- and alkali-metal ions: A possibility of Li@C60", Phys. Rev. Lett. Vol.76, No.19 (1996) 3590-3593.
4. M. Niwano, T. Miura, Y. Kimura, R. Tajima, and N. Miyamoto, "In-situ infrared study of chemical nature of Si surface in etching solution and water", Mat. Res. Soc. Symp. Proc. Vol.432.
5. D. Shoji, M. Niwano, and N. Miyamoto, "Low temperature epitaxial growth of CaF2 on (NH4)2Sx treated GaAs (100) surface", Appl. Surf. Sci. (in press).

3.6 附属工場

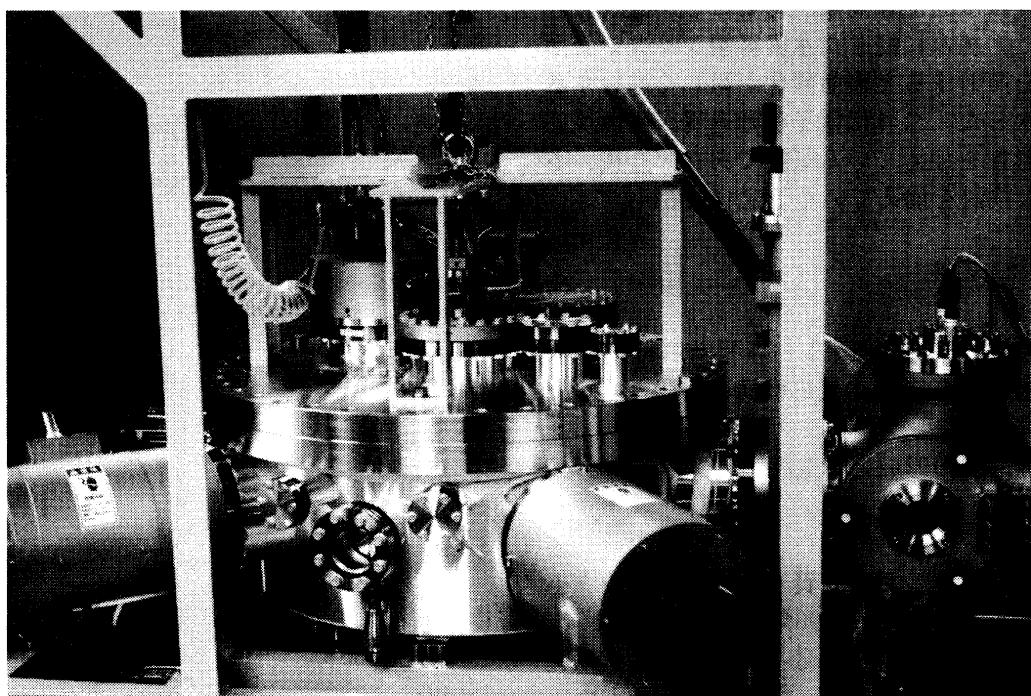
本附属工場は、研究所付属の工場として、各分野、施設からの要求に応じて、電気通信研究用の各種の実験装置の設計、試作をはじめ、学生、教職員への工作指導を行っている。工作の方法としては、旋盤、フライス盤等による精密機械工作が主であるが、本工場は従来より新しい工作方法を取り入れることにも積極的で、超音波加工、ガラス研磨の技術を始め、近年はステンレス材、アルミニウム材の溶接技術をいち早く研究してその技術を修得し、各種超高真空容器の精密工作に成功し、半導体界面、磁気記録の研究を始め種々の電気通信の研究に対して多大な貢献をしている。これらの精密工作を行うために本工場では、その内部に、温度コントロールされた精密工作室、湿度をコントロールしたアルゴン溶接室、アルミニウム溶接室、また真空リークテスト室などを設備している。

平成8年度に製作した主な実験機器は下記の通りである。

アルミニウム合金製スパッタ装置、光STMマニュピレータ、光ファイバー精密駆動装置、
多点電極駆動装置、金属格子型ファブリ・ペロー共振器、ミリ波帯発振器及び検出器、
ヘッドホン音圧校正装置、TEM試料台

主な機械設備

旋盤 17台、フライス盤 15台、プレーナー 1台、治具ボーラー 1台、切断機 8台、
微細放電加工機 1台、ボール盤 6台、溶接機 8台（アルゴン直交用 3台）、
真空リーク検出器 3台（ 2×10^{-11} atm cc/sec）



アルミニウム合金製スパッタ装置

第 4 章 共同研究

4.1 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

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、共同プロジェクト研究の提案およびその参加は、国・公・私立大学の教官及び国・公立研究所等の研究者、又はこれに準ずる研究者を主な対象として、公募により行っている（本共同プロジェクト研究については、www - URL: <http://www.riec.tohoku.ac.jp> - にても広報している）。なお、企業など民間と共同で行う研究に関しては、受託研究あるいは財団法人電気通信工学振興会などを通しても行っており、現在本所全体として70社を越す企業等と研究を行っている。

また、本研究所はその設立以来、本学工学部電気・情報系学科と研究・教育における一体運営を遂行してきており、これにより人材の育成と研究の実を挙げることを共に果たしてきた。この運営方法は共同プロジェクト研究所に移行した現在も維持している。

○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（本年度に設置）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設置されており、その構成は、本学工学研究科および情報科学研究科の教授を含む6名の委員よりなっている。共同利用委員会は、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を、その使命としている。本プロジェクト研究の3年目にあたる本年は、特に来年度の公募に向け、外部への広報の徹底、企業の参加等について重点的に議論を行った。特に企業の参加に関しては、本所の内規を作成し、公平・公表を原則として積極的に対応していくことにした。

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8年度共同プロジェクト研究

平成8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20件（A：12件、B：8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、Bタイプは短期開催の研究会形式の研究である。

平成8年度共同プロジェクト研究採択一覧

- A-1 ブレインコンピュータの構成に関する基礎的研究
- A-2 ULSI用高品質酸化膜形成プロセスの研究
- A-3 フラーレンプラズマに関するプラズマ現象の解明とその物質創製への応用
- A-4 ヴァーティカル・フォトニクス技術の研究
- A-5 聴覚情報処理過程に関する研究
- A-6 微小電子源の物理と電子ビーム応用
- A-7 結晶成長面における原子制御に関する基礎研究

共同プロジェクト研究

- A-8 層状構造超伝導体完全単結晶のサブミリ波プラズマ励起
- A-9 フォノン集積デバイス・材料の研究
- A-10 やわらかい情報システムに関する基礎的研究
- A-11 IV族半導体極微構造形成と表面・界面制御に関する研究
- A-12 ニューロンダイナミクスとその情報処理機能に関する研究
- B-1 マイクロ波帯における材料特性の評価
- B-2 プラズマ中の自己組織化現象の解明とその応用
- B-3 並列・分散・協調コンピューティング
- B-6 ミリ波イメージング技術の研究
- B-8 ミリ波帯電波の利用に関する調査研究
- B-9 半導体スピニクスの基礎と応用
- B-10 光励起表面反応の解明と半導体プロセスへの応用
- B-11 スピニクスの基礎と応用

課題番号 A-1

ブレインコンピュータの構成に関する基礎的研究

[1] 組織

企画者：沢田 康次（東北大学電気通信研究所）
 責任者：沢田 康次（東北大学電気通信研究所）
 分担者：矢野 雅文（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）
 佐野 雅己（東北大学電気通信研究所）
 星宮 望（東北大学工学部）
 亀山 充隆（東北大学工学部）
 山本 光璋（東北大学工学部）
 中尾 光之（東北大学工学部）
 二見 亮弘（東北大学工学部）
 甘利 俊一（理化学研究所）
 合原 一幸（東京大学工学部）
 金子 邦彦（東京大学教養学部）
 岡部 洋一（東京大学
 先端科学技術研究センター）
 藏本 由紀（京都大学理学部）
 津田 一郎（北海道大学理学部）
 本庄 春雄（九州大学工学部）
 新貝 錦蔵（岩手大学工学部）
 佐藤 信一（静岡大学教養学部）
 和久屋 寛（佐賀大学理工学部）
 山崎 義武（九州工業大学情報工学部）
 八木 哲也（九州工業大学情報工学部）
 矢内 浩文（玉川大学工学部）
 藤井 宏（京都産業大学工学部）
 川人 光男（ATR人間情報通信研究所）

[2] 研究経過

人の脳に似た知的情報処理機能を持つ新しいタイプの計算機（ブレインコンピューター）に対する要望が強い。ブレインコンピューターは、従来の計算機とはそのアーキテクチャが全く異なり、その可塑性と完全並列性によりプログラムを外から与えることなく、環境に適応しながら実時間能動的情報処理を行なうことになる。本研究はこのような新しいタイプの計算機の実現を目指した基礎的研究として、3年間、理論、設計、実装に亘り幅広い研究を行なってきた。これらを同時に研究するのは、高機能大規模なブレインコンピューターを製作するために、現時点では、理論・設計・実装の全てにわたる基本的性質の解明と根本

的問題の解決が必要であるからである。このため今年度は記憶・学習のダイナミックス、記憶デバイスとその性能、位置情報、歩行パターン、回路実装の半導体・超伝導体プロセスを中心をおいて研究を行なった。従って、その研究成果を1) 記憶・学習、2) 認識、3) 回路実装の3つに分類することが出来る。

先ず、1) ではダイナミックな記憶手段を開発するため、循環型神経回路のリミットサイクルに関して、その数とペイスンに関する知見を得た。学習に関しては生理学的知見に基づきヘブ則の非対称化による効果の研究、新しい高速学習アルゴリズムLFLの提案を行なった。更にオンライン学習に対するカオス等時間相関を持つノイズの影響を解明した。また、2) では聴覚を通しての短期記憶の研究、位置情報の自己組織の研究、昆虫の歩行モードの自己組織等の研究は今後の認識システムの研究に繋がるものである。3) では超並列動作を容易にするための多値論理ネットワーク及び低消費電力化のための超伝導ジョセフソン接合回路によるフラクソソン神経回路網に関しても見るべき成果があった。

しかしながら本共同プロジェクト研究においては脳型計算機全体のアーキテクチャの研究まで進めず、脳型計算機の全貌が浮かび上がっていないので、今後は特にアーキテクチャに焦点を合わせて研究を進める必要があると考えている。

[3] 研究会活動

今年度は、研究会を1回行った。

日時：平成8年12月12日（木）

場所：仙台国際センター 小会議室

- (1) 「ローカルフィーチャを取り入れた高速学習アルゴリズム」
早川 吉弘（東北大）
- (2) 「ニューラルネットワークと情報統合」
石川 真澄（九工大）
- (3) 「巡回結合神経回路の性質とリミットサイクルの記憶」
中島 康治（東北大）
- (4) 「海馬皮質系の記憶メカニズム」
塚田 稔（玉川大）

- (5) 「脳における運動の順序制御機構」
丹治 順(東北大)
- (6) 「不良設定問題のアプローチ－情報生成による運動制御－」
矢野 雅文(東北大)
- (7) 「神経活動の波動伝播性としての聴覚情報処理」
山口 陽子(東京電機大学)
- (8) 「網膜外網状層の生理工学モデル」
臼井 支朗(豊技大)
- (9) 「現時点における脳型計算機とは」(総合討論)
沢田 康次(東北大)

[4] 主な研究発表

- (1) C. Y. Park, Y. Hayakawa, K. Nakajima and Y. Sawada : Limit Cycles of One-Dimensional Neural Networks with the Cyclic Connection Matrix, IEICE Trans. Fundamentals, Vol.E79-A, No.6, 1996, pp.752-757
- (2) T. Hondou, M. Yamamoto, Y. Hayakawa and Y. Sawada : Effect of time correlation of input patterns on the convergence of on-line learning, Physical Review E, Vol 53, No.4, 1996, pp.4217-4220
- (3) T. Hondou and Y. Sawada : Effect of chaotic noise on multistable systems, Physical Review E, Vol 54, No.4, 1996, pp.3149-3156
- (4) B. Chakraborty and Y. Sawada : Fractal Connection Structure: A Simple Way to Improve Generalization in Nonlinear Learning Systems, IEICE Trans. Fundamentals, Vol.E79-A, No.10, 1996, pp.1618-1623
- (5) M. Musila, M. Nakao, A. Fine and M. Yamamoto : EFFECT OF SPATIAL FACILITATION ON NEURAL NETWORK EXCITABILITY, Cybernetics and Systems: International Journal, 27, 1996, pp.367-383
- (6) K. Sugawara and M. Sano : Cooperative acceleration of task performance: Foraging behavior of interacting multi-robots system, Phisica D, Vol. 100, 1997, pp.343-354
- (7) N. Shimoyama, T. Mizuguchi, Y. Hayakawa and M. Sano : Collective Motion in a System of Motile Elements, Physical Review Letters, Vol.76, No. 20, 1996, pp.3870-3873
- (8) Y. Miyake, S. Tabata, H. Murakami and M. Yano : Environment-Dependent Self-Organization of Positional Information Field in Chemotaxis of Physarum Plasmodium, J. Theor. Biol., 178, 1996, pp.341-353
- (9) S. Kanoh, R. Futami and N. Hoshimiya : Characteristics of Short-Term Memory of Tone Duration in the Human Auditory System, Electronics and Communications in Japan, Part 3, Vol. 79, No. 5, 1996, pp.753-762
- (10) 加納慎一郎,伊藤猛,風見邦夫,二見亮弘,星宮望 : 音の長さの違いに対するミスマッチ応答についての脳波・脳磁図による検討, 医用電子と生体工学, 34-4, 1996, pp.418-426
- (11) N. Katayama, M. Nakao and Y. Mizutani and M. Yamamoto : Thickness Controls Spatial Cooperation of Calcium-Activated Dynamics in Neural Dendrite System, IEICE Trans. Fundamentals, Vol. E80-A, No.1, 1997 (in press)
- (12) H. Won, Y. Hayakawa, K. Nakajima and Y. Sawada : Switched Diffusion Analog Memory for Neural Networks with Hebbian Learning Function and its Linear Operation, IEICE Trans. Fundamentals, Vol.E79-A, No.6, 1996, pp.746-751
- (13) X. Deng, T. Hanyu and M. Kameyama : Synthesis of Multiple-Value Logic Networks Based on Super Pass Gates, Multi. Val. Logic, Vol.1, 1996, pp.161-183
- (14) 張山昌論, 荒海雄一, 亀山充隆 : 3次元物体直方体表現用ロボットビジョンVLSIプロセッサ, 電子情報通信学会論文誌D-I, J79-D-I, No.5, 1996, pp.245-252
- (15) T. Hanyu, N. Kanagawa and M. Kameyama : Design of a one-Transistor-Cell Multiple-Valued CAM, IEEE Journal of Solid-State Circuits, Vol.31, No.11, 1996, pp.1669-1674
- (16) 張山昌論, 亀山充隆 : 読出し専用型連想メモリに基づく高安全自動車衝突チェックVLSIプロセッサ, 電子情報通信学会論文誌C-II, J79-C-II, No.11, 1996, pp.698-705
- (17) 亀山充隆, 藤岡与周 : ロボット用VLSIプロセッサシステム, 日本ロボット学会誌, Vol.14, No.1, 1996, pp.22-25
- (18) 亀山充隆, 藤岡与周 : デジタル制御並列VLSIプロセッサの開発, 機械の研究, 第48巻, 第5号, 1996, pp.549-554
- (19) Y. Fujioka, M. Kameyama and N. Tomabechi : Reconfigurable parallel VLSI processor for dynamic control of intelligent robots, IEE Proc.-Comput. Digit. Tech., Vol. 143, No.1, 1996, pp.23-29
- (20) Y. Mizugaki, T. Onomi, K. Nakajima and T. Yamashita : Experimental Operation of an RS Flip-Flop Composed of Nonlatching Josephson Gates, IEEE Tran. Applied Superconductivity, Vol.6, No.2, 1996, pp.90-93
- (21) T. Onomi, Y. Mizugaki, T. Yamashita, and K. Nakajima : Binary Counter with New Interface Circuits in the Extended Phase-mode Logic

Family, IEICE Trans. Electron., vol.E79-C, no.9, 1996,
pp.1200-1205

(22) Y. Mizugaki and K. Nakajima : Numerical
Investigation and Model Approximation for the
Hysteretic Current-Voltage Characteristics of
Josephson Junctions with Nonlinear Quasiparticle
Resistance, Jpn. J. Appl. Phys., vol.36, No.1, part 1,
1997, pp.110-113

課題番号 A-2

U L S I 用高品質酸化膜形成プロセスの研究

[1] 組織

代表者：大見 忠弘（東北大学工学部）
 責任者：坪内 和夫（東北大学電気通信研究所）
 分担者：

室田 淳一（東北大学電気通信研究所）
 柴田 直（東北大学工学部）
 森田 瑞穂（東北大学工学部）
 益 一哉（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）
 丁 剛洙（東北大学工学部）
 小谷 光司（東北大学工学部）
 横山 道央（東北大学電気通信研究所）
 梅野 正隆（大阪大学工学部）
 谷口 研二（大阪大学工学部）
 鶴島 稔夫（九州大学工学部）
 松波 弘之（京都大学工学部）
 冬木 隆（京都大学工学部）
 立花 明知（京都大学工学部）
 伊賀 健一（東京工業大学精密工学研究所）
 石原 宏（東京工業大学精密工学研究所）
 大曾根隆志（富山県立大学工学部）
 安田 幸夫（名古屋大学工学部）
 廣瀬 全孝（広島大学工学部）
 服部 健雄（武藏工業大学工学部）
 野平 博司（武藏工業大学工学部）
 羽路 伸夫（横浜国立大学工学部）

研究費：校費 150万円、旅費 160万円

[2] 研究経過

高度情報化社会の発展を支える超々大規模集積回路（U L S I）のシステム性能を向上させるためには、デバイスの微細化およびチップの大面積化が不可欠である。デバイスの微細化を推進するためには、デバイス構成材料であるゲート酸化膜の薄膜化が必須であり、チップの大面積化を達成するためには、酸化膜の高品質化が不可欠である。したがって、高性能U L S Iを実現するために、高品質の極めて薄い酸化膜が要求されている。

本研究は、U L S I用金属-酸化物-半導体（M O S）デバイスの心臓部となる、50Å以下の大面積化技術を確立する研究である。超高清淨

シリコン（S i）表面に酸化膜を成長、界面特性の分析評価とともに、ドープドポリS i、化学気相堆積（C V D）アルミニウム（A l）薄膜を堆積させ、これを電極として電気特性評価を行う。界面の物性現象を学問的に解明するとともに、電荷注入に対して高い信頼性を持った酸化膜形成技術を確立する。

本年度は、高品質極薄酸化膜形成法を開発するために、面方位がジャスト（100）であるS i基板を用い、金属、有機物汚染のない超高清淨且つ表面マイクロラフネスが極めて小さいS i表面を生成し、熱酸化の研究を行った。また、極薄酸化膜上にドープドポリS i薄膜を堆積させ、これを電極としてデバイスを試作した。特に、極薄酸化膜表面のハイドロカーボン汚染を除去するため、ドープドポリS i薄膜堆積前にクリーニング処理を行う研究を行った。さらに、界面特性の分析評価とデバイスの電気特性評価を行い、本研究の方法により高品質極薄酸化膜の形成が可能であることを明らかにした。具体的には、酸化膜の絶縁破壊電荷量は、電流ストレスが $1\text{ A}/\text{cm}^2$ である電子基板注入に対して $100\text{ C}/\text{cm}^2$ であることを実証した。また、各研究者の研究結果を比較検討し、界面の物性現象を学問的に解明するとともに、高い信頼性を持った極薄酸化膜の形成プロセスを開発した。

半導体表面制御・評価（大見、鶴島、安田、羽路、森田、丁）

ゲート酸化工程前にR C A洗浄が行われる。しかし、R C A洗浄は、使用薬液が多く、高温かつ長い洗浄時間を要していた。本研究において、洗浄メカニズムを明らかにすることにより、HF、O₃/H₂O、界面活性剤、メガソニックを用いた全工程室温の洗浄技術を開発した。この新しい洗浄技術は従来の洗浄技術に比べ薬液量、工程面ともに劇的に簡略化する事に成功した。次に本研究で明らかにした洗浄メカニズムを説明する。洗浄対象はパーティクル、有機物、金属が挙げられる。まず、R C A洗浄においてアルカリ溶液の洗浄工程によりパーティクルが除去出来たのはアルカリ溶液によるわずかの表面エッチングと液中で各種基

板表面とパーティクルのゼータポテンシャルが同極であったためであった。次に酸性溶液の洗浄工程で有機物、金属が除去出来たのは pH が低い溶液ほど高い酸化還元電位を有していたためであった。本研究においてはゼータポテンシャルの制御に界面活性剤を使用した。また、酸化還元電位の制御に pH 6 程度で非常に高い酸化還元電位を有する O_3/H_2O を使用した。これらの洗浄メカニズムを明らかにすることにより、全工程室温の新しい洗浄技術が生まれたのである。本研究においては、この新しく開発した洗浄の性能を従来の R C A 洗浄と比較すべく、ゲート酸化膜形成前の洗浄に適用したデバイスの試作を行い、電気的評価を行った。評価はゲート酸化膜の膜質に関するもので、ゲート酸化膜厚 10 nm、ゲート電極にアルミニウムを採用した M O S ダイオードで行った。絶縁破壊強度 (E_{BD}) については R C A 洗浄、新洗浄ともに判定電流値 $1 \times 10^{-3} A/cm^2$ において各々、8.6 M V/cm、8.9 M V/cm とほぼ同等の結果を得た。また注入電荷量 (Q_{BD}) についても同等のワイブル分布特性を得た。

極薄酸化膜形成・評価（大見、梅野、松波、冬木、大曾根、廣瀬、服部、柴田、谷口、小谷）

ゲート酸化膜形成後、ゲート電極を形成する前にウェハはクリーンルームエアー中で搬送する。クリーンルームエアー中にウェハが曝露されると、ウェハ表面にクリーンルームエアー中のハイドロカーボンが付着する。また、通常のデバイス製造ラインではゲート電極形成前、ゲート酸化膜表面は有機物汚染を受けている。本研究において、これまでに付着したカーボン汚染がゲート酸化膜の電気的特性へ悪影響を及ぼすことを明らかにした。クリーンルームエアーから、極薄酸化膜表面へ付着したハイドロカーボンを除去するため、酸化力の高いオゾンガスを用いてドープドポリ Si 薄膜成膜前に、ハイドロカーボンの除去の研究を行った。オゾンガスとゲート酸化膜表面へ I R ランプを照射することにより効率よく有機物汚染を除去できることを見いだした。これは、活性なオゾンガスだけでは除去効率が悪く、有機物にエネルギーを与えて活性状態にすることが必要であることを示している。本研究結果を踏まえ、ゲート電極成膜前に C V D チャンバー内でオゾンガスと I R ランプを併用したクリーニングを行い、M O S ダイオードを用いて T D D B 特性を評価した。ゲート酸化膜形成には本研究でこれまでに報告した水素過剰雰囲気酸化を用い、酸化後に 1 % の酸素添加アルゴンガスアーナーを 60 分行った。5 n

m の酸化膜において電流ストレスが $0.1 A/cm^2$ のゲート注入に対して、50 % Q_{BD} が $62.6 C/cm^2$ を達成している。カーボン汚染フリープロセスを具現化するために、窒素搬送ボックスを開発した。

高品質酸化膜形成プロセス（大見、坪内、室田、伊賀、石原、益、松浦、立花、横山）

ゲート酸化膜形成などの熱酸化プロセスは従来高温で行われる。しかしこれ世代のプロセスにおいて、そのような高温（～900°C）は例えば微細な不純物プロファイルの実現などのためには適さない。低温で酸化を行う方法としてプラズマを用いたものがあるが、従来の平行平板型プラズマ装置では、プラズマ中のイオン照射エネルギーが比較的大きく (>9 eV)，酸化膜形成などの成膜プロセスには適さないことが分かっている。本研究において、ラジアル・ライン・スロット・アンテナを用いたマイクロ波励起高密度プラズマ装置を開発し、その低温 (430°C) で形成した酸化膜の電気的特性を明らかにした。このプラズマ装置はプラズマ中のイオン照射エネルギーが 7 eV 以下と低く、また大面積上で非常に均一なプラズマ密度 (< 2%) が得られる。このプラズマ酸化においてはアルゴンガスと酸素ガスを用いてプラズマを励起している。酸化膜成長のための熱エネルギー不足分を、プラズマ中のアルゴンイオンを照射することにより補うため、アルゴンガスの分圧を 96% 以上に設定している。この装置で形成した酸化膜の成膜速度においては、従来の平行平板型プラズマ装置で成膜した酸化膜と比較して高速であり、30 秒で 3 nm、50 分で 12 nm の酸化膜が得られる。また酸化膜耐圧は判定電流値 $1 A/cm^2$ において 11.9 M V/cm であり、平行平板型プラズマ装置の酸化膜と比較しても耐圧および均一性が向上している。T D D B 特性においては約 $60 mC/cm^2$ であり、平行平板型と比較して（最高 $1 C/cm^2$ ）低いが、均一性はよいことが分かっている。さらにプラズマ励起するためのガス種により酸化膜特性を向上させるための研究を進めている。

また、各大学のレベルアップを図り、国全体のレベルアップに貢献するために、これまでの共同研究で得られた成果を基に、技術トレーニングを行った。

本研究により、シリコン-シリコン酸化膜界面およびドープドポリシリコン-シリコン酸化膜界面物性現象を学問的に解明するとともに、電荷注入に対して高い信頼性を持った高品質シリコン酸

化膜形成技術を開発した。これらの成果は、デバイスの微細化およびチップの大面積化により高いシステム性能を備えたU L S Iを実現するうえで、貢献度は極めて高い。

[3] 研究会活動

研究討論会を1回行った。

[第1回]

日時：平成9年2月3日，4日

場所：東北大学電気通信研究所2号館4階大会議室

- (1) 「Si(100)表面の有機炭素吸着と自然酸化膜形成の関係」
松尾直人，三好正毅（山口大工）
- (2) 「水素終端Si表面の酸化初期過程：面方位依存性」
安田幸夫，財満鎮明，池田浩也（名古屋大工）
- (3) 「極薄シリコン酸化膜の表面，界面，価電子帯の構造」
服部健雄，野平博司，大橋正俊，山本宏之（武藏工大工）
- (4) 「励起活性種を用いて低温形成したシリコン酸化膜の電気的特性」
冬木隆，松波弘之（京都大工）
- (5) 「共鳴核反応を用いた水素終端Si(111)と金属オーバーレーザー間の界面水素の研究」
村田好正（電通大），福谷克之（東京大生研）
- (6) 「Al-CVD技術による完全自己整合メタライゼーション」
益一哉，松橋秀樹，後藤晶央，李昌勲，田嶋陵，横山道央，坪内和夫（東北大通研）
- (7) 「水素脱離に誘起されたAl選択堆積反応」
坂上弘之，勝田義彦，新宮原正三，高萩隆行（広島大工）
- (8) 「エレクトロマイグレーションの分子動力学ミュレーション」
新宮原正三，佐山康之，坂上弘之，高萩隆行（広島大工）
- (9) 「InP系におけるAlAs酸化膜形成と面発光レーザへの応用」
大軒紀之，小山二三夫，伊賀健一（東工大精研）
- (10) 「マイクロ波励起高密度プロセスを用いた低温酸化膜形成技術」
海原竜，平山昌樹，岩本敏幸，森田瑞穂，大見忠弘（東北大工）
- (11) 「水素終端シリコン酸化過程の量子化学」
立花明知，坂田健，佐藤貴洋（京都大工）
- (12) 「Siの熱酸化条件と酸化膜の構造」
梅野正隆（大阪大工）

- (13) 「極薄ゲート酸化膜へのP拡散が構造及び電子状態に及ぼす影響」
宮崎誠一，広瀬全孝（広島大工）

- (14) 「Siイオン注入MOSダイオードのEL発光特性」
大曾根隆志（富山県立大工）

- (15) 「強誘電体/Si構造の形成とデバイス応用」
石原宏，徳光永輔（東工大精研）

- (16) 「高密度C₄F₈プラズマによるSiO₂エッチング反応機構」
一木隆範，鎮西康彦，森川泰宏，武川純也，尾形誠，堀池靖浩（東洋大工）

- (17) 「TiNの酸化機構とその酸化膜生成ドライプロセスへの応用」
久保田弘（熊本大自然科）

- (18) 「NH₃によるSi表面の低温窒化」
渡辺健，市川明宏，櫻庭政夫，松浦孝，室田淳一（東北大通研）

- (19) 「極薄酸化膜の疑似破壊について」
畠田孝之，宇都宮裕人，谷口研二（大阪大工）

技術トレーニングを1回行った。

[第1回]

日時：平成9年3月10日～12日

場所：東北大学工学部ミニスーパークリーンルームおよび東北大学電気通信研究所スーパークリーンルーム

受講者：大阪大学工学部 助教授 3名，助手3名

(1) クリーンルーム，空調

- (1)防塵服の着脱衣
- (2)搬入時の機器の清掃
- (3)更衣室，クリーンルームの清掃
- (4)防塵服，靴，手袋の洗濯
- (5)O A H Uのフィルター交換
- (6)クリーンルーム，空調の日常点検
- (7)非常時の対処法

(2) 超純水

- (1)純水設備の日常点検
- (2)水質チェック
- (3)消耗品交換時の配慮
- (4)漏電・感電対策
- (5)タンク・配管の殺菌手順・方法

(3) 超高純度ガス

- (1)日常点検項目および具体的な点検内容
- (2)ガス精製装置の操作，メンテナンス
- (3)シリンダーキャビネットの操作，メンテナンス
- (4)その他の装置，機器類のメンテナンス
- (5)溶接

- (6) UPG継手の取り扱い
- (7) リークチェックの方法（減圧および加圧）
- (8) ボンベ交換方法
- (9) ボンベ交換後のラインページ方法、手順
- (10) APIMSによるガス分析
- (11) N₂ガスの取り扱い、超純水による水拭き
- (4) ウエットベンチ
 - (4-1) ウエットベンチ使用・洗浄実習
 - (1) 超純水洗浄
 - (2) フッ酸洗浄
 - (3) 酸およびアルカリ洗浄(塩酸・硫酸・アンモニア)
 - (4) 有機溶剤洗浄(IPA)
 - (5) 薬液の混合(ふつ酸過水・フッ化アンモニウム等の作成)
 - (6) メガソニック洗浄
 - (7) オゾン水洗浄
 - (8) UV洗浄
 - (9) イオン水洗浄
 - (10) 高温薬液による洗浄(熱硫酸・熱水等)
 - (11) 東北大でのシリコンウエハの標準的洗浄
 - (12) 乾燥処理
 - (4-2) 清掃と保守点検
 - (1) 薬液の廃棄
 - (2) 実験器具（ビーカー、ピンセットなど）の洗浄・保守
 - (3) ウエットベンチ清掃・保守
 - (4) 廃液タンク保守
 - (5) 薬液および試料の保存
 - (4-3) 試料等の準備
 - (1) シリコンウエハの切断(劈開)
 - (2) シリコンウエハ等試料の梱包

[4] 主な研究発表

- (1) A. Baba, D. Bai, T. Sadoh, A. Kenjo, H. Nakashima, H. Mori and T. Tsurushima “Behavior of Radiation-Induced Defects and Amorphization in Silicon Crystal,” Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B (1996) I-99, pp.1-3.
- (2) T. Shimura, H. Misaki, M. Umeno, I. Takahashi and J. Harada, “X-Ray Diffraction Evidence for the Existence of Epitaxial Microcrystallites in Thermally Oxidized SiO₂ Thin Films on Si (111) Surfaces,” Journal of Crystal Growth 166 (1996), pp.786-791.
- (3) T. Shimura, I. Takahashi, J. Harada and M. Umeno, “X-Ray Diffraction Evidence for Crystalline SiO₂ in Thermal Oxide Layers on Si Substrates,” The Physics and Chemistry of SiO₂ and the Si-SiO₂

- Interface - 3, Proc. Vol. 96-1, pp.456-467, The Electrochemical Society, Pennington, NJ, 1996.
- (4) T. Hattori, K. Watanabe, M. Ohashi, M. Matsuda and M. Yasutake, “Electron Tunneling through Chemical Oxide of Silicon,” Applied Surface Science 102 (1996), pp.86-89.
- (5) T. Iwamoto, M. Morita and T. Ohmi, “Highly-Reliable Ultra Thin Gate Oxide Formation Process,” IEDM 96 (1996), pp.751-754.
- (6) 財満 鎮明, 池田 浩也, 安田 幸夫, “水素終端シリコン(100)表面の酸化初期過程”, 応用物理, 第65巻, 第1号, pp. 1237-1242, (1996).
- (7) 池田 浩也, 財満 鎮明, 安田 幸夫, “水素終端シリコン表面の初期酸化過程”, 固体物理, Vol. 31, No.8, pp. 18-24, (1996).
- (8) H. Ikeda, S. Furuta, S. Zaima and Y. Yasuda, “Orientation Dependence of the Initial Oxidation of H-Terminated Si Surfaces Studied by High-Resolution Electron Energy Loss Spectroscopy,” The Physics and Chemistry of SiO₂ and the Si-SiO₂ Interface - 3, Proc. Vol. 96-1, pp.72-80, The Electrochemical Society, Pennington, NJ, 1996.
- (9) K. Masu, H. Matsuhashi, A. Gotoh, J. H. Chung and M. Yokoyama, “Multilevel Metallization Based on Al CVD,” 1996 Symposium on VLSI Technology Digest of Technical Papers, pp.44-45.
- (10) E. Tokumitsu, R. Nakamura and H. Ishiwara, “Fabrications of Ferroelectric-Gate Field-Effect-Transistors Using P(L)ZT Films,” Journal of the Korean Physical Society (Proc. Suppl.), Vol. 29, November 1996, pp.S640-S643.
- (11) T. Ohzone, T. Matsuda and T. Hori, “Erase/Write Cycle Tests of n-MOSFET’s with Si-Implanted Gate-SiO₂,” IEEE Transactions on Electron Devices, Vol.43, No.9, September 1996, pp. 1374-1381.
- (12) T. Iwamoto, T. Miyake and T. Ohmi, “Influence of Carbon Contamination on Ultra Thin Gate Oxide Reliability,” SPIE Vol. 2875, pp. 207-215.
- (13) T. Matsuoka, S. Taguchi, H. Ohtsuka and K. Taniguchi, “Hot-Carrier-Induced Degradation of N₂O-Oxynitrided Gate Oxide NMOSFET’s,” IEEE Transactions on Electron Devices, Vol. 43, No. 9, September 1996, pp.1364-1373.
- (14) I. Sakai, E. Tokumitu and H. Ishiwara, “Preparation and Characterization of PZT Thin Films on CeO₂(111)/Si(111) Structures,” Jpn. J. Appl. Phys. Vol. 35 (1996) pp.4987-4990, Part 1, No. 9B,

September 1996.

- (15) T. Yoshida, S. Miyazaki and M. Hirose, "Analytical Modelling of Quasi-Breakdown of Ultrathin Gate Oxides under Constant Current Stressing," Extended Abstracts on the 1996 International Conference on Solid State Devices and Materials, Yokohama, 1996, pp. 539-541.
- (16) N. Ohnoki, T. Mukaihara, N. Hatori, A. Mizutani, F. Koyama and K. Iga, "GaInAs/AlGaInAs Semiconductor Lasers on InP Substrate with AlAs Oxide Current Confinement," Extended Abstracts of the 1996 International Conference on Solid State Devices and Materials, Yokohama, 1996, pp. 595-597.
- (17) T. Watanabe, M. Sakuraba, T. Matsuura and J. Murota, "Atomic-Order Layer Growth of Silicon Nitride Films at Low Temperatures," Electrochemical Society Proceedings Volume 96-5, pp.504-509.
- (18) Y. Yamamoto, T. Matsuura and J. Murota, "Selective Growth of W at Very Low Temperatures Using a WF₆-SiH₄ Gas System," Electrochemical Society Proceedings Volume 96-5, pp.814-820.

課題番号 A-3

フラー・レン・プラズマに関するプラズマ現象の解明と その物質創製への応用

[1] 組織

企画者：佐藤 徳芳（東北大学工学部）
 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（東北大学工学部）
 飯塚 哲（東北大学工学部）
 石黒 静児（東北大学工学部）
 李 雲龍（東北大学工学部）
 平田 孝道（東北大学工学部）
 真瀬 寛（茨城大学工学部）
 佐藤 直幸（茨城大学工学部）
 石川稜威男（山梨大学工学部）
 三重野 哲（静岡大学理学部）
 菅井 秀郎（名古屋大学工学部）
 庄司多津男（名古屋大学工学部）
 橋 邦英（京都大学工学部）
 三宅 正司（大阪大学溶接工学研究所）
 福政 修（山口大学工学部）
 板谷 良平（新居浜工業高等専門学校）
 河合 良信（九州大学総合理工学研究科）
 渡辺 征夫（九州大学工学部）
 藤山 寛（長崎大学工学部）
 藤田 寛治（佐賀大学理工学部）

研究費：校費 150万円、旅費 190万円

[2] 研究経過

微粒子（ダスト）を含むプラズマあるいはプラズマ中の微粒子の振る舞いは、物理的に興味があるのみならず、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。本プロジェクトにおいては、炭素60個が結合した球状で安定な超微粒子であるC₆₀に代表されるフラー・レンを取り上げ、フラー・レン粒子とプラズマの相互作用を調べ、一般に極めて難しいと言われていてダスト・プラズマの解明に資する研究を行う。

また、フラー・レンは特異な電気、磁気、光特性を発現する可能性を秘めていることに注目し、それを次世代の新機能光・電子デバイスに応用することを目標に、内包型のような新種フラー・レンの

高効率大量生成法の開発、及びフラー・レンと他の原子・分子から成るフラー・レン・プラズマを用いた新機能性複合材料創製を目指した研究を、全国のプラズマ工学者の英知を集めて行う。

本年度の研究内容は以下の通りである。

I. K⁺ - C₆₀⁻ プラズマを用いる研究

昨年度は、K⁺ - e⁻ プラズマ柱の中央付近にフラー・レン C₆₀を噴射して電子付着反応による負イオン化の結果としてフラー・レン・プラズマを生成し、その中の薄膜形成におけるバイアス制御の成功について報告したが、今年度はその詳細研究を継続した。

フラー・レン・プラズマ中に設置されたガラス基板上に形成された薄膜の電気伝導度に関するバイアス電圧依存性のその場測定を行った。C₆₀⁻イオンを追い返しK⁺イオンを加速するシース電位構造になっている深い負バイアスの場合にも、逆にC₆₀⁻イオンを加速しK⁺イオンを追い返す配位の高い正バイアスの場合にも、導電率は格段に小さくなつた。最大の導電率は基板への印加電位 ϕ_{ap} がプラズマ空間電位 ϕ_s よりもかすかに高い場合 ($\Delta \phi_{ap} = \phi_{ap} - \phi_s \sim 1V$) に得られた。この状況では1~2eVのフローエネルギーを有するK⁺イオンは基板に達するときにはゼロエネルギー近くまで減速され、C₆₀⁻イオンは $e\Delta \phi_{ap}$ のエネルギーまで幾分シース加速されて基板に達して薄膜が形成されている。導電率の比較の観点からは、ここで形成されたK-C₆₀薄膜 ($10^{-6} \sim 10^{+2} S/cm$) は、K金属 ($10^{+6} S/cm$) と C₆₀絶縁物 ($10^{-10} \sim 10^{-7} S/cm$) の中間の状態に属している。導電率の温度依存性の測定結果によると、このK-C₆₀薄膜は半導体的温度係数を有していることが明らかになった。

以上の薄膜はKとC₆₀の複合物質により構成され、しかもC₆₀ケージ内にK原子が外部から注入された金属内包フラー・レン K@C₆₀も含んでいることが昨年度確認された。そこで、薄膜のレーザーイオン化飛行時間型質量分析を行い、経時変化と基板バイアス電位 $\Delta \phi_{ap}$ 依存性について調べた。図1は基板バイアスを変化させた場合のC₆₀に対するK@C₆₀の質量スペクトルピーク高さの比率を表したものである。ピーク比率は $\Delta \phi_{ap} = 5 V$ で

最大となり、 $10 \text{ V} < \Delta \phi_{\text{ap}} < 50 \text{ V}$ の領域では飽和する傾向が見られた。更に高いバイアス電位では ($\Delta \phi_{\text{ap}} \sim 100 \text{ V}$)、 C_{60} 及び内包フラーレンに相当するスペクトルピークが殆ど見られなかつたことから、基板への高エネルギー C_{60} 衝突によってフラーレン類が破壊もしくは分解した可能性がある。また、これらの分析は長期間（約 6 カ月）にわたって大気中に放置した薄膜に対して行われたので、 $K @ C_{60}$ は大気中でも十分安定に存在することが分かった。

II. アーク放電プラズマを用いる研究

① Si 内包フラーレン生成の試み

前項では既に形成されたフラーレンケージ内に外から異種原子を注入する方法について述べたが、ここでは対照的に、昨年度に製作完成したカーボンベース超微粒子生成装置を用いて、フラーレンケージを形成しながら異種原子を包み込む方法に興味を注いでいる。この場合本共同プロジェクトチームがターゲットにした原子内包フラーレンとしては、典型的な半導体材料として重要なシリコン (Si) を内包する新物質である。

実験においては、シリコンを効率よくアーク点付近に蒸発させるため（図 2），通常原子内包フラーレン生成に使用されるシリコン粉末含浸炭素棒（メインアノード，直径 0.6 cm）の他に、アーク点下からシリコンウェハをつめた炭素円筒（直径 1.2 cm，シリコンと炭素の体積比 4:5）を近づけてサブアノードとして使用した。これらと直径 1.5 cm のカソードを He ガス雰囲気下（圧力 $P_{\text{He}} = 100 \text{ Torr}$ ）でアーク放電（メイン電流 90 A，サブ電流 20 A）を行い、半径 3 cm の半円型制御電極をアーク点上からかぶせて、これにバイアス ϕ_{ap} を加えることでアーク周辺プラズマを制御し、上へ吹き上がった煤を終端電極で捕集した。この際、制御電極と終端電極に堆積した煤のレーザー脱離飛行時間型質量分析を行った。なお、 $\phi_{\text{ap}} = +60 \text{ V}$ 付近から局所グロー放電が始まり、この時の電流を I_{con} とする。シリコン内包フラーレンの内で比較的多く確認された $\text{Si} @ C_{74}$ と $\text{Si} @ C_{84}$ の質量スペクトル（図 3）の出現頻度の ϕ_{ap} 依存性を調べたところ、両者とも $\phi_{\text{ap}} = 100 \text{ V}$ ($I_{\text{con}} = 1.0 \text{ A}$) で出現頻度が最大となり $\text{Si} @ C_{74}$ は ϕ_{ap} が負バイアスになると、その質量スペクトルが観測されなくなる結果が得られた。シリコン内包フラーレンにはマジックナンバーが存在し、その内で $\text{Si} @ C_{74}$ はどの ϕ_{ap} においても多く観測された。 C_{74} はアニオンにもカチオンにもなりやすく、Si も同様の性質を持つことから電極制御されたアークプラズ

マ中を介して正負イオン間の相互作用が促進されたものと考えられる。

② アーク放電法による C_{74} の大量生成

上記の Si 内包フラーレン生成実験において、 C_{74} などの高次フラーレンの生成に関する実験的知見が急務となつた。従来は、高次フラーレンに関して C_{70} , C_{76} , C_{78} , C_{82} , C_{84} , ... 等について主に調べられてきて、 C_{60} に次いで C_{70} , C_{84} の順に生成量が多いとされている。しかし、 C_{74} については金属の内包に適しているという点で理論的には注目されていたが、それがキシレンなどの溶媒によって抽出されるフラーレンの中には全く存在しないという事実により、 C_{74} そのものの生成に関する報告はこれまでほとんど成されていない。そこで、Si を混入しない単純炭素電極アーク放電法で作られる煤の直接分析及び溶媒種類の吟味等を行い、 C_{74} の生成について調べた。

実験においては図 2 の装置から制御電極、サブアノードなどを除去し、3 cm と 0.6 cm 直径の炭素棒をそれぞれ陰極、陽極とした He ガス雰囲気下でアーク放電（電流 I_{arc} ）を行い、縦方向 ($z : x = y = z = 0$ はアーク点) に移動可能な上部大直径電極 (A) に堆積した煤、又はそれを除去して z 方向に 2 列に並んだ小電極群 (B) に堆積した煤のレーザー脱離飛行時間型質量分析を行った。煤の質量スペクトルは、 I_{arc} , P_{He} 及び電極の位置 (x , y , z) に依存することが分かった。A 電極を除去し、 $I_{\text{arc}} = 100 \text{ A}$, $P_{\text{He}} = 600 \text{ Torr}$ に設定した場合の B 電極の煤の中には、 C_{70} 等の高次フラーレンのみならず C_{60} よりも大きな量の C_{74} が含まれていることを示すスペクトルが得られた（図 4 : $x = y = 0$, $z = 13 \text{ cm}$ ）。各々の B 電極上の煤を分析し、 C_{60} に対するスペクトルピーク比として高次フラーレン C_{70} , C_{74} , C_{84} の生成比率を求めるとき、 C_{74} のそれはアーク点より上方向に徐々に増え、10 cm 以上では飽和し 100 % を越している。 C_{70} は 45 % 内外であり、空間的にはほぼ一定である。 C_{84} は 20 % 内外であるが、空間分布は C_{74} と似ていた。雰囲気ガス圧力を下げた場合には ($P_{\text{He}} = 100 \text{ Torr}$) この結果と異なり、どの高次フラーレンの生成率も 50 % 以下となり、 C_{74} は C_{70} よりも生成率が低い。さらに、アニリン溶媒抽出後の質量分析においても、 C_{74} の高生成比率結果が得られた。

[3] 研究会活動

本研究課題に直結した研究会としては 2 回開催した。

[第1回]

- 日時：平成9年2月4日（火）
 場所：東北大学工学部・電気情報館 451・453号室
 題目：「新領域プラズマ」に関する研究会
 (1) 「企画者挨拶」
 佐藤徳芳（東北大学工学部）
 (2) 「大強度パルス軽イオンビームによる材料開発」
 八井 浄（長岡技術科学大学工学部）
 (3) 「プロセス用プラズマ」
 河合良信（九州大学総合理工学研究科）
 (4) 「非中性プラズマ」
 毛利明博（京都大学総合人間学部）
 (5) 「微粒子プラズマ」
 庄司多津男（名古屋大学工学部）
 (6) 通研共同プロジェクト研究：シリコン内包フラーレン生成の試み
 畠山力三（東北大学工学部）
 (7) 金属内包フラーレン生成の検証と構造
 篠原久典（名古屋大学理学部）

[第2回]

- 日時：平成9年3月13日（木）
 場所：東北大学工学部・電気情報館 451・453号室
 題目：“共同プロジェクト” フラーレンプラズマ研究成果報告会
 (1) 「企画者挨拶及び共同プロジェクト研究の現状」
 佐藤徳芳（東北大学工学部）
 (2) 「フラーレンプラズマへの応用をめざした微粒子外部注入システムの構築」
 藤田寛治，大津康徳（佐賀大学理工学部）
 (3) 「フラーレンプラズマ中におけるイオン種計測とフラーレン堆積膜形成」
 佐藤直幸，田中順也，真瀬寛（茨城大学工学部）
 (4) 「炭素固体材料を用いたマイクロ波プラズマによるフラーレン形成」
 桑原清，藤山寛（長崎大学工学部）
 (5) 「強制循環H_e流中炭素アーカ放電によるフラーレン生成」
 真瀬寛，宮城裕行，佐藤直幸（茨城大学工学部）
 (6) 「アーカ放電法によるC₇₄の大量生成」
 長野雄，畠山力三，平田孝道，林豊彦，石田裕康，佐藤徳芳（東北大学工学部）
 (7) 「チップ状炭素投げ込み型アーカ連続合成裝

置を用いた金属内包フラーレンの合成と抽出」

三重野哲，櫻井厚（静岡大学理学部），平田孝道，畠山力三，佐藤徳芳（東北大学工学部）

- (8) 「アーク周辺プラズマ制御によるSi内包フラーレン生成の試み」
 林豊彦，畠山力三，平田孝道，佐藤徳芳（東北大学工学部），三重野哲（静岡大学理学部），佐藤直幸，真瀬寛（茨城大学工学部），庭野道夫（東北大学電気通信研究所），宮本信雄（東北学院大学工学部）
 (9) 「炭素アーカ放電の発光状態とナノチューブの成長形態」
 秋田成司，芦原洋司，中山喜萬（大阪府立大学工学部）
 (10) 「大強度パルス軽イオンビームによる薄膜及び超微粒子形成」
 八井 浄（長岡技術科学大学工学部）
 (11) 「C₆₀の電子デバイスへの応用」
 庭野道夫（東北大学電気通信研究所）
 (12) 「今後の共同プロジェクト研究に関する討論」

[4] 主な研究発表

1. "Production and control of K - C₆₀ plasma for material processing", T. Hirata, R. Hatakeyama, T. Mieno, and N. Sato, J. Vac. Sci. Technol. A 14, 615 (1996).
2. "The K⁺ - C₆₀ plasma for material processing", T. Hirata, R. Hatakeyama, T. Mieno, S. Iizuka, and N. Sato, Plasma Sources Sci. Technol. 5, 288 (1996).
3. "Ab initio molecular dynamics simulations for collision between C₆₀ and alkali-metal ions: A possibility of Li@C₆₀", K. Ohno, Y. Maruyama, K. Esfarjani, Y. Kawazoe, N. Sato, R. Hatakeyama, T. Hirata, and M. Niwano, Phys. Rev. Lett. 76, 3590 (1996).
4. "Production of various fullerenes by a J×B arc jet reactor with a revolver type automatic material injector", T. Mieno, A. Sakurai, R. Hatakeyama, N. Sato, and H. Inoue, Proc. 3rd. Asia-Pacific Conf. on Plasma Science & Technology, Tokyo, Japan, July 1996, Vol.2, p.275.
5. "Production of K - fullerene plasma using a new-type sublimation oven", S. Sasaki, T. Hirata, R. Hatakeyama, T. Mieno, and N. Sato, Proc. 1996 Int. Conf. on Plasma Physics, Nagoya, Japan, September 1996, Vol.2, p.1990.
6. "Electrostatic potential modification due to C₆₀ generation", W. Oohara, S. Ishiguro, R. Hatakeyama,

- and N. Sato, Proc. Fifth Symp. on Double Layers - Potential Formation and Related Nonlinear Phenomena in Plasmas, Sendai, Japan, September 1996, p. 19.
7. "Low-frequency instabilities under a cross-field electric field in a $K^+ - C_{60}^-$ plasma", K. Furuta, R. Hatakeyama, W. Oohara, and N. Sato, Proc. Fifth Symp. on Double Layers - Potential Formation and Related Nonlinear Phenomena in Plasmas, Sendai, Japan, September 1996, p.33.
 8. "A possibility of the formation of silicon endohedral - fullerenes", R. Hatakeyama, T. Hirata, T. Hayashi, T. Mieno, N. Y. Sato, H. Mase, M. Niwano, N. Miyamoto, and N. Sato, Proc. Int. Conf. on the Physics of Dusty Plasmas, Goa, India, October 1996, p. 60.
 9. "K - フラーレンプラズマの生成と応用", 平田孝道, 畠山力三, 佐藤徳芳, 三重野哲, 電気学会「プラズマ研究会」資料 EP-96-105, 101 (1996).

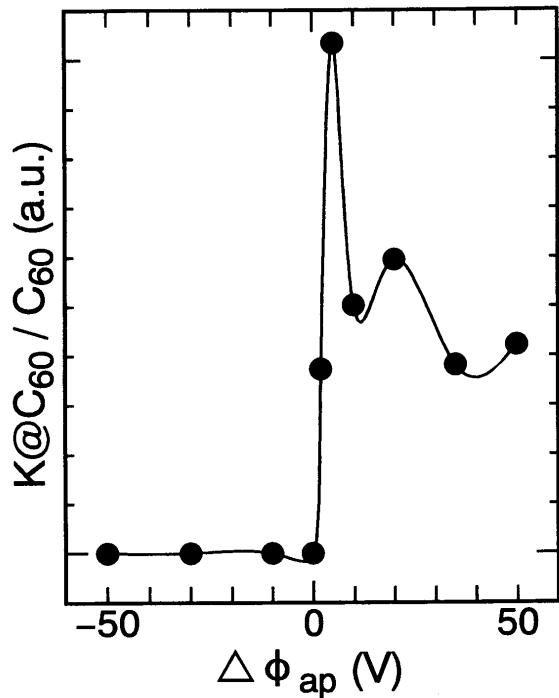


図1：カリウム内包フラーレン生成比率の基板バイアス依存性。

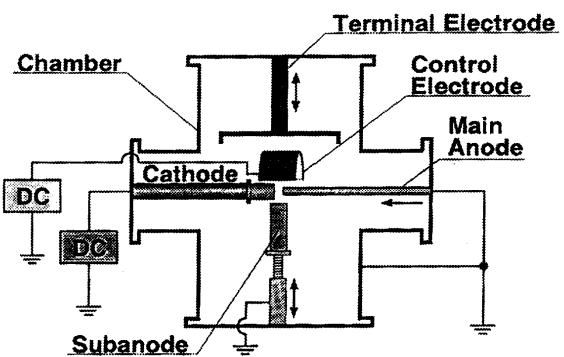


図2：シリコン内包フラーレン生成装置の概略。

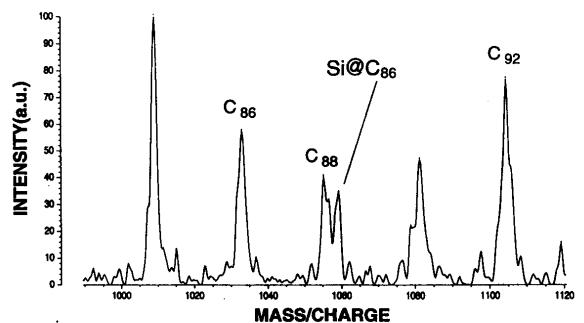
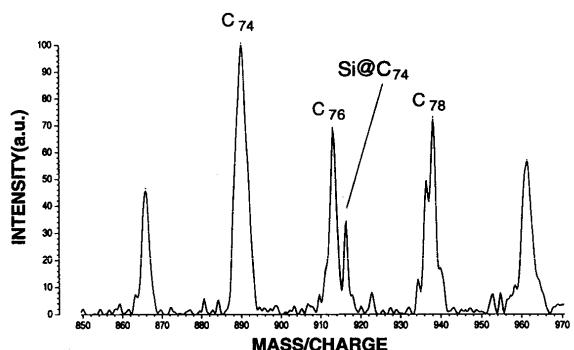


図3：Si-Cアーカ放電によって生成された煤のレーザー脱離飛行時間型質量分析スペクトル。

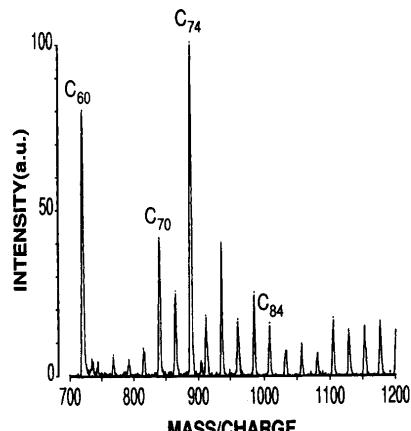


図4：C - Cアーカ放電によって生成された煤のレーザ脱離飛行時間型質量分析スペクトル。

課題番号 A-4

ヴァーティカル・フォトニクス技術の研究

[1] 組織

企画者：川上彰二郎（東北大学電気通信研究所）
責任者：川上彰二郎（東北大学電気通信研究所）
分担者：

多田 邦雄（東京大学工学部）
伊賀 健一（東京工業大学精密工学研究所）
佐々木 豊（茨城大学工学部）
白石 和男（宇都宮大学工学部）
内田 龍男（東北大学大学院工学研究科）
大野 英男（東北大学電気通信研究所）

研究費：校費 150万円、旅費：38万円

[2] 研究経過

フルブルーフ集積化光デバイス（川上）

光アイソレータでは、逆方向損失を角度ずれで与えるくさび形ルチルを用いたアイソレータチップを使用し、複数個を無調整一括集積した。その結果、波長 $1.55\text{ }\mu\text{m}$ で挿入損失 1dB 、逆方向損失 30dB を得た。また、2段型チップを提案・作製し、挿入損失 0.7dB 、逆方向損失 50dB と特性を向上させることができた。面型液晶回転波長板では、挿入損失が 0.1dB 以下と十分低いものが得られ、実際に変動する入射光の偏波面をリアルタイムで安定化することができた。インライン型でも偏波制御素子の作製を行い、初期的な動作の確認ができた。TN型液晶可変波長フィルタにおいては、材料定数とフィルタの波長選択特性、及び駆動電圧などを数値的に明らかにした。積層形偏光分離素子（LPS）では、a-Si:H/SiO₂からなる波長 $1.55\text{ }\mu\text{m}$ 用において素子長 $100\text{ }\mu\text{m}$ あたり、常光で 0.08dB 、異常光で 0.01dB と従来よりも低損失なものが得られた。化合物半導体面型光増幅器では、100周期のInGaAs/InGaAlAsからなる歪み格子多重量子井戸構造により、波長 $1.54\text{ }\mu\text{m}$ においてこれまで最高のシングルパスゲイン 3.1dB を得ることができた。

面型光スイッチ（多田）

矩形量子井戸構造を用いた自己電気光学効果素子（SEED）は、動作波長において電界印加時に大きな光吸収が残留し、素子に応用上で許容できない挿入損失をもたらす。また、ON/OFF光吸収変

化比が小さいことは対称(S)-SEEDで構成された多段光ロジック回路のビットレート低減につながる。本年度は、残留損失の低減が可能な変形非対称量子井戸を有するS-SEEDをMBE法で作製し、 $784\sim808\text{nm}$ の広い波長範囲で光双安定スイッチング動作を確認した。

矩形量子井戸の電界誘起屈折率変化を利用したデバイスでは、大きな屈折率変化を得るために吸収端付近で使用しなければならず、挿入損失が大きな問題となる。そこで、電界印加時に吸収端がレッドシフトしない5段階非対称結合量子井戸（FSCQW）を提案し、吸収端から十分に離れた動作波長でも矩形量子井戸に比べて一桁大きな屈折率変化が得られることを理論的に示した。また、FSCQWをMBE法で作製し、吸収電流スペクトルの測定から、エキシトン吸収スペクトル全体がレッドシフトはせずに吸収強度だけが増大するという、理論と一致する結果を得ることができた。

面型半導体発光・受光素子（伊賀）

コンピュータ間・内での信号伝送遅延のボトルネックを解消するために、次世代光技術として並列光インターフェクションが検討されている。本研究では、垂直共振器型面発光レーザの低しきい值化と面型光検出器の高速化を進め、低消費電力の高速光インターフェクションの基盤技術を開拓した。まず、面発光レーザの酸化膜閉じ込め構造のモデル化を行い、酸化膜開口を直径数 μm まで微小化することにより、 10mA 以下の低しきい值化の可能性を示すとともに、GaInAs/GaAlAs系、及び、GaInAsP/GaAlInAs系材料における酸化膜閉じ込め構造の作製プロセスを確立した。また、歪み伝導層を導入した新しいMSM（Metal-Semiconductor-Metal）面型高速光検出器構造を提案し、GaInAs/InP系MSM光検出器を作製してその効果を実証した。さらに、送受信器を含んだ光インターフェクションのモデル化を行い、面発光レーザの低しきい值化に加え、光検出器の高速化、低量化の重要性を指摘するとともに、mWオーダーの低消費電力化の可能性を示した。

面型デバイス用光ファイバ（佐々木）

TEC（コア拡大）ファイバ技術を偏波保持光ファイバの一種であるPANDAファイバに施した場合、従来の構造では拡大したモードフィールドが楕円化するという問題があった。そこで本研究ではTECファイバ技術に適したPANDAファイバ構造を提案し、光ファイバジャイロのような数100m程度のファイバ系においては十分な偏波保持特性を有し、モードフィールドを楕円化することなく従来に比べてより大きなモードフィールドMFD拡大率が得られることを理論的に示した。また、従来マイクロバーナーやマイクロヒータにより作製されてきた融着延伸形光ファイバカプラをCO₂レーザ照射を用いて作製する方法を提案し、作製実験を行った。その結果、レーザを照射し続けてもファイバの延伸が自動的に止まる「自己形成効果」を見出し、その効果を理論的に解明した。また、低損失のカプラが高速かつクリーンに再現性良く作製できることを実験的に示し、得られたテーパ形状から従来に比べて小型のカプラを作製できる可能性を示した。

多結晶Siを使った積層形偏光分離素子（白石）

多結晶Siと石英から成る新しい積層形偏光分離素子を提案した。長波長帯での多結晶Siの低損失性と高屈折率特性を利用していいる。作製はSiをターゲットとした高周波スパッタリング法を使用し、基板温度を600°C以上の高温にして多結晶Si膜を得ている。低屈折率層には石英を用い、両者の交互多層膜化はスパッタリングガス（Ar）へのO₂の添加／停止の切り換え操作により行った。O₂ガスの制御のみで多層化できるため、成膜用チャンバー内に機械的可動部が無く、高速積層や超多層化が可能であるほか、塵埃発生の抑制も期待できる長所がある。多層膜の作製時に通常問題となる積層膜界面の微小な凹凸についても検討し、積層の際には石英層が多結晶Si膜の表面微小ラフネスが積層方向に伝搬・成長するのを防止する効果があることを見いだした。素子を試作し偏光分離特性を調べた結果、波長1.55 μmで偏光分離角21°を得た。これは方解石やルチルの偏光分離特性の4倍近い値である。また、本構成材料は波長1.3 μm帯でも使用できる可能性がある。

液晶による面型光コンピューティング（内田）

光コンピューティングやスマートピクセルを応用したパターン認識システムにおいて、最も大きなボトルネックの一つは外界からのデータの入力部である。これは、外界からのデータの取り入れにピント合わせが必要であり、一般にメカニカル

な機構によって行われているため高速化が妨げられていることによる。一方、液晶レンズによるピント合せでは、応答速度が数ms～数10msであり、十分とはいえない。そこで本研究では、全くピント合わせを必要としない新しい超高速パターン認識システム、「超高速3次元シフト不変光学的相関・WTAシステム」を提案し、その動作を確認した。本システムは、構造が簡単であるばかりでなく、光学的フーリエ変換を応用したマッチトフィルタやJTCで問題となるマルチレファレンス間の相互相関ピークや自己相関ピークが全く発生せず、光の回折効率やクロストークの問題を完全に解決できると言う優れた特性をも有している。

面型光アイソレータ用磁性半導体（大野）

本研究では、非平衡な状態での結晶成長法(低温MBE成長)を用いることにより、GaAs結晶中にパーセント・オーダ（~7%）までMnイオンを取り込み、混晶(Ga,Mn)Asを得ることに成功した。III-V族化合物半導体GaAsへの遷移金属の固溶度は低く、これまでこのようにGaAs中に磁性イオンを大量に導入した例はない。さらに、(Ga,Mn)Asは低温で強磁性体に転移し、現在得ている最高の強磁性転移温度は約110Kであることを明らかにした。磁気輸送測定の結果を解析した所、その強磁性の発生起源は磁性スピン間の相互作用(RKKY相互作用)によるものであることも明らかにした。このような磁性原子を含む半導体では大きな磁気光学効果が期待される。(Ga,Mn)Asのファラデー効果の測定を行った所、低温の強磁性領域で磁化に比例する大きなファラデー回転が観測された(6x10⁴ deg/cm at 1.55 eV, 10K)。室温においても、現在アイソレータとして実用化されている希薄磁性半導体CdMnHgTe系と同程度のVerdet定数(0.1 deg/cmG)を持つことが分かった。

以上のように、誘電体・半導体・液晶・磁性体など様々な材料のもつ特性を生かし、実用化が可能な多くの面型光集積用デバイスが創出された。当初の目的をほぼ達成し、3年間の研究を成功裡に終了させることができた。

[3] 研究会活動

研究会を1回行なった。

日時：平成9年3月12日（水）

場所：東北大学電気通信研究所講堂

(1) 「TEC技術に適した偏波保持光ファイバの研究」

佐々木豊、横田浩久、沖津恵美子、菅井栄（茨城大学工学部）

- (2) 「多結晶シリコンと石英から成る積層形偏光分離素子の作製」白石和男, 室幸市(宇都宮大学工学部)
- (3) 「強磁性半導体(Ga,Mn)Asの物性」大野英男, 松倉文礼, A. Shen, 菅原靖宏(東北大学電気通信研究所)
- (4) 「液晶による光コンピューティング」川上徹, 内田龍男(東北大学大学院工学研究科)
- (5) 「低消費電力光インタークロネクトのための面発光レーザ／受光器の設計」小山二三夫, 井上茂之, 伊賀健一(東京工業大学精密工学研究所)
- (6) "Large field-induced refractive index change without red shift of absorption edge in five-step asymmetric coupled quantum wells with modified potential", Hao Feng, Jia-Pang Pang, 多田邦雄, 中野義昭(東京大学工学部)
- (7) 「フルプルーフ集積と光デバイスについて(最近の進展)」川上彰二郎(東北大学電気通信研究所)

[4] 主な研究発表(グループあたり2編ずつ)

- 1. M. Kato, K. Tada, and Y. Nakano, "Wide-wavelength polarization-independent optical modulator based on tensile-strained quantum well with mass-dependent width", IEEE Photon. Tech. Lett., 8, 785-787 (1996)
- 2. J-H. Liang, K. Tada, and Y. Nakano, "Observation of large electro-absorption changes in a modulated asymmetric coupled quantum wells", PS '96, PThD2, 184-185 (1996)
- 3. T. Kato, J. Mizuno, and K. Iga, "Self-alignment optical interconnect scheme using put-in microconnector", IEICE Trans. Electron., E80-C, 1-5 (1997)
- 4. K. Iga, "Prospects of surface emitting lasers", Inst. Phys. Conf. No.145, Chap.8, IOP Publishing Ltd., 967-972 (1997)
- 5. H. Yokota, E. Okitsu, and Y. Sasaki, "Design of polarization-maintaining fiber suitable for thermally-diffused expansion techniques", OECC '96, 17P-36, 282-283 (1996)
- 6. 横田, 沖津, 佐々木, "TEC技術に適した偏波保持光ファイバの設計", 信学技報, OFT96-16 (1996)
- 7. K. Shiraishi, T. Irie, T. Sato, R. Kasahara, O. Hanaizumi, and S. Kawakami, "Integration of in-line optical isolators", IEEE Trans. on Magnetics, 32, 4108-4112 (1996)
- 8. K. Shiraishi, H. Ohnuki, N. Hiraguri, K. Matsumura, I. Ohishi, H. Morichi, and H. Kazami, "A lensed-fiber coupling scheme utilizing a graded-index fiber and a hemispherically ended coreless fiber tip", J. of Lightwave Technol., 15, 1-8 (1997)
- 9. H. Seki, Y. Masuda, and T. Uchida, "Rubbing effect on geometrical anisotropy of alignment surface of liquid crystal", Mol. Cryst. Liq. Cryst., 282, 323-329 (1996)
- 10. T. Miyashita and T. Uchida, "Optically compensated bend mode (OCB mode) with wide viewing angle and fast response", IEICE Trans. Electron., E79-C, 1076-1082 (1996)
- 11. H. Ohno, A. Shen, F. Matsukura, A. Oiwa, A. Endo, S. Katsumoto, and Y. Iye, "(Ga, Mn) As: A new diluted magnetic semiconductor based on GaAs", Appl. Phys. Lett., 69, 363-365 (1996)
- 12. A. Shen, H. Ohno, F. Matsukura, Y. Sugawara, Y. Ohno, N. Akiba, and T. Kuroiwa, "(Ga, Mn) As / GaAs diluted magnetic semiconductor superlattice structures prepared by molecular beam epitaxy", J. Appl. Phys. Lett., to be published
- 13. T. Sato, R. Kasahara, T. Irie, K. Shiraishi, and S. Kawakami, "Lens-free alignment-free optical isolators integrated into a fiber array", ECOC '96, TuC3.6, 2.131-2.134 (1996)
- 14. K. T. Jeong, O. Hanaizumi, I. Syuaib, S. Kashiwada, K. Kawase, and S. Kawakami, "Analysis and assessment of the gain of optically pumped surface-normal optical amplifiers", Opt. Commun., 135, 227-232 (1996)

課題番号 A-5

聴覚情報処理過程に関する研究

[1] 組織

企画者：曾根 敏夫（東北大学電気通信研究所）
 責任者：曾根 敏夫（東北大学電気通信研究所）
 分担者：江端 正直（熊本大学工学部）
 宇佐川 毅（熊本大学工学部）
 津村 尚志（九州芸術工科大学）
 三浦 甫（静岡理工科大学）
 岩谷 幸雄（秋田大学）
 岡田 齊（新潟中央短期大学）
 平原 達也（N T T 基礎研究所）
 熊谷 正純（仙台電波高等工業専門学校）
 竹島 久志（仙台電波高等工業専門学校）
 浅野 太（通産省電子技術総合研究所）
 加藤 孝義（東北大学大学院情報科学研究科）
 和田 仁（東北大学工学部）
 高坂 知節（東北大学医学部）
 鈴木 陽一（東北大学電気通信研究所）
 小澤 賢司（東北大学電気通信研究所）
 高根 昭一（東北大学電気通信研究所）

研究費：校費 150万円、旅費 137万円

[2] 研究経過

バリアフリー通信あるいはマルチメディア通信といった、人間を情報の発信及び受信源とする高次情報通信システムを構築するには、人間の情報知覚過程の解明が不可欠である。本プロジェクト研究は、視覚と並んで重要な情報モダリティである聴覚系の情報処理過程を明らかにすることを通して、高次音響通信システムの基礎を確立することを目的として企画された。本年度は、以下の点を主眼として研究活動を展開した。
 ①定常音の音色知覚という観点から聴覚情報処理過程の静的特性を明らかにする。
 ②変動音の音色知覚という観点から聴覚情報処理過程の動的特性を明らかにする。
 ③両耳に入力された音に対する聴覚系内の情報処理過程を明らかにする。
 ④上記3点に基づき、高次音響信号伝達方式について検討した。以下では、各項目について概略を記載する。

①聴覚情報処理過程の静的特性

ヒトの聴覚系における情報処理過程を解明する

にあたっては、生理学的手法を用いることは極めて困難である。それゆえ、音の知覚結果に基づいて、逆問題として解く手法が有効となる。時間的に定常な音に限定すれば、音色はスペクトルの相違のみに起因すると考えられる。逆に、定常音を用いることにより、聴覚系の静的な特性を知ることが可能であると考えた。音の物理的な特性の相違は、主観的には音色の相違として知覚されるところから、本プロジェクトでは、音色知覚に直接対応する音のスペクトル表現が、聴覚系内における音のスペクトル表現であるという仮説を設け、音色知覚過程を明らかにすることを通して、その逆問題として聴覚系における情報処理過程を明らかにすることとした。

昨年度の研究では、基本周波数が同一で、スペクトルの形状のみが異なる刺激音を用いた。その結果、そのような刺激の音色は、聴覚系の特性を通じて変換されることにより形成された聴覚系内スペクトルによって説明されることが明らかとなつた。本年度は、昨年までに得た結論が、より広範な対象に対しても妥当するかどうかを検討するために、基本周波数が異なる刺激音まで含めて実験を行つた。まず、刺激音の音色の類似度に関する主観的実験を行い、その実験結果に多次元尺度構成法を適用して、3次元音色知覚空間を導出した。その空間の広がりは、物理スペクトルでは十分に説明することはできなかつた。一方、聴覚系の種々の特性を模擬するよう計算機上に構築した仮想聴覚系から出力された、聴覚系内スペクトルを用いれば、かなり良く説明されることが示された。以上により、定常音に対する聴覚系の情報処理部分、すなわち静的な特性は把握できたものと考える。(以上担当：曾根、鈴木、小澤、平原、岡田、津村)

②聴覚情報処理過程の動的特性

自然界に存在する全ての音は、何らかの時間的な変動を有すると考えられる。この時間変動音の音色知覚過程を検討することにより、聴覚情報処理過程の動的特性を捉えることが可能であると考えている。その緒として、振幅の変動が音色の変化に及ぼす影響を観察するために、変調信号波の

波形と変調度が異なるAM音を対象として、音色の類似度を主観実験により測定した。その結果として、時間軸上で反転した2つの音は、パワースペクトルが同一であるにも関わらず、音色が大きく異なることが示された。この傾向は、従来まで定性的には知られていたが、本研究の結果からは、単に音色が異なるだけではなく、時間反転による音色の類似度の変化に非対称性があることまでが定量的に示された。

以上の実験結果は、聴覚系の静的特性から与えられる上述の聴覚系内スペクトルを用いても説明ができない。そこで、聴覚系内スペクトルを時間一周波数軸上に拡張した2次元スペクトルを考察の対象とするために、計算機上に構築した仮想聴覚系を2次元信号処理が可能となるように拡張した。現在までに、聴覚系の動特性として、ラウドネス知覚を説明するのに有効であるとされている2時定数回路を組み込んだが、必ずしも実験結果を良く説明するには至っていない。これは、音色知覚という高次の情報処理は、ラウドネスという総量的な処理と同列に扱うことができないことを示唆している。いずれにしろ、動的特性を解明するための研究は緒についたばかりであり、今後はAM音だけではなく、FM音、AM-FM音などを刺激音として知見を蓄えていくことが必要である。(以上担当：曾根、鈴木、高根、岩谷、江端、宇佐川)

③両耳に入力された音に対する聴覚系の情報処理

前項までに問題とした音色知覚は、単耳から得られた情報に対する処理の結果である。一方、ヒトは両耳相互作用(両耳という2つのセンサからの入力信号を統合して処理する機能)により、音像の空間定位や、複数音源の分離といった機能を実現している。

両耳に加えられた音情報の処理過程を明らかにするために、本プロジェクト研究では、まず両耳への入力信号に内在する情報を、頭部音響伝達関数(音源から外耳までの伝達関数)に基づいて統一的に説明することを考えている。これまでに、水平面の音像定位については、ヒトは両耳情報の差分を抽出して音像定位を実現していることを示している。

昨年度は、音像定位に及ぼす頭部伝達関数の寄与を明らかにした。ただし、そこでは音源が固定され、また聴取者も位置を変えないという非常に限定された条件の下で検討を行っていた。ところが、人間は頭部の微小な回転/移動を行うことによって、頭部伝達関数を積極的に変化させる、す

なわち音源から耳に到達する音の特性を変化させることによって、音像定位の精度を向上させていくと一般的に言われてきた。本年度は、その効果を定量的に明らかにすることを目指した。そのため、聴取者の頭部の動きをジャイロを用いて回転・うなづき・かしげという3方向に分解して検出し、その動きに伴い、聴取者のヘッドホンに与える信号を実時間で制御するためのシステムを構築した。このシステムを用いて、被験者の頭部の微小な動きを反映した信号制御を行った場合と、全く行わなかった場合の定位精度を聴取実験により測定した。その結果、信号制御を行うことにより、特に音像の前後方向の誤判断が著しく減少し、方向の定位精度も有意に向上することが確認できた。(以上担当：曾根、鈴木、高根、岩谷、江端、宇佐川)

④高次音響信号伝達方式に関する研究

既存のHi-Fi音響通信では、原音の音響特性を高忠実に伝送することが特性設計の規範とされていた。しかし、ステレオと通常呼ばれる2チャネル再生系では、臨場感などの高次の情報は伝送されない。臨場感までを含めた再生を行うためには、聴取者の鼓膜に、その人が原音場に居ると仮定した場合と全く同じ刺激を与えればよいこと、すなわち聴覚の仮想現実感技術を実現すればよいことになる。

③項で述べた音像定位制御システムは、その入力として、原音場の室内インパルス応答を畳み込んだ刺激を与えれば、そのまま臨場感通信のシステムとなる。さらに、室内インパルスレスポンスは実測されたものである必要はなく、例えばコンサートホールの設計図を基に計算機上で合成したものでもよい。すなわち、従来までは困難であった未知の音場を体感することも可能な仮想現実感聴覚ディスプレイとしても応用可能であることが示された。

鼓膜面上に所望の音圧を発生させるためには、ヘッドホンを利用する必要はなく、複数のスピーカーから両耳への音響経路のクロストークを制御することにより、本来の音源から両耳への音響伝達特性を実現することも可能である。ただし、この場合には、頭部が所定の位置から移動すると、制御の精度が著しく悪化するという問題があった。そこで、本プロジェクトでは、従来行われてきた所定の位置における音圧の制御に加えて、音圧傾度(音圧の空間的な微係数)に拘束を加えることにより、精度が高い制御領域を空間的に拡げることに成功した。また、音像の距離知覚を対象とし

た聴取実験を行い、この技術の有効性を示した。
 (以上担当：曾根、鈴木、浅野、高根、岩谷)

[3] 研究会報告

研究討論会を1回開催した。

日時：平成9年1月10日（金）13:00～15:00

場所：東北大学電気通信研究所 中会議室

本プロジェクトは今年度で終了する予定である。この討論会では、プロジェクトを組織した研究者の個々による研究成果の報告を行い、全体としての成果を総括した。単耳の情報処理過程については、特に静的特性を明らかにした。また両耳情報処理過程については、頭部伝達関数を実時間で制御する技術の確立に伴い、その過程を解明するための基礎が得られた。総じて、本プロジェクト研究では、従来の音響通信技術の研究では十分に顧みられているとはいえないかった聴覚情報処理過程に関して、詳細に検討することにより、さらなる情報圧縮や高次通信の可能性を示した。

[4] 主な研究発表

- (1) F. Asano, Y. Suzuki, and T. Sone, "Sound equalization using derivative constraints," *Acoustica*, Vol. 82, No. 2, pp. 311-320 (1996).
- (2) H. Uematsu, K. Ozawa, Y. Suzuki, and T. Sone, "A model for timbre discrimination taking the effect of lateral inhibition into consideration," *J. Acoust. Soc. Jpn. (E)*, Vol. 17, No. 5, pp. 265-267 (1996).
- (3) 植松尚, 小澤賢司, 鈴木陽一, 曾根敏夫, "高次高調波成分のみからなる複合音の音色知覚過程とそのモデルに関する検討," 日本音響学会誌, Vol. 52, No. 12, pp. 948-956 (1996).
- (4) S. Takane, Y. Suzuki, and T. Sone, "Selection of control points for sound field reproduction based on Kirchhoff's integral equation," *Proc. 3rd International Conference on Motion and Vibration Control*, Vol. 1, pp. 302-307 (1996).
- (5) K. Ozawa, Y. Suzuki, and T. Sone, "A consideration on timbre of broad-band harmonic complex tones with different fundamental frequencies and spectral envelopes," *Proc. Acoust. Soc. of Amer. and Acoust. Soc. of Jpn. 3rd Joint Meeting*, pp. 701-706 (1996).
- (6) T. Shihara, H. Miyazono, T. Usagawa, and M. Ebata, "Dynamic property of pitch perception of sweep tone," *Proc. Acoust. Soc. of Amer. and Acoust. Soc. of Jpn. 3rd Joint Meeting*, pp. 713-716

- (1996).
- (7) T. Usagawa, M. Bodden, and K. Rateitschek, "A binaural model as a front-end for isolated word recognition," *Proc. Int. Symp. on Spoken Language Processing*, pp. 2352-2354 (1996).
- (8) 宮島徹, 山田雄介, 高根昭一, 新井大輔, 鈴木陽一, 曾根敏夫, "仮想球モデルに基づく聴覚ディスプレイの開発," 日本バーチャルリアリティー学会大会論文集, pp. 101-104 (1996).
- (9) 金海永, 高根昭一, 鈴木陽一, 曾根敏夫, "頭部音響伝達関数模擬による近距離音像定位の制御に関する一考察," 日本バーチャルリアリティー学会大会論文集, pp. 55-58 (1996).
- (10) 熊谷邦洋, 小澤賢司, 鈴木陽一, 曾根敏夫, "三角波で振幅変調された正弦波の音色について," 音響学会講演論文集平成9年3月, pp.447-448 (1997).
- (11) K. Ozawa, Y. Suzuki, H. Uematsu, and T. Sone, "Effects of aural combination tones on the loudness of a pure tone masked by an inharmonic pure-tone," *J. Acoust. Soc. Jpn. (E)*, Vol. 18, No. 1, pp. 9-18 (1997).
- (12) K. Ozawa, Y. Suzuki, and T. Sone, "Phase effects on masked threshold of pure tones 1.5 and 2.5 times as high as the frequency of a pure-tone masker in monaural tone-on-tone masking," *Contributions to Psychological Acoustics*, A. Schick and M. Klatte, Eds. pp. 439-446 (1997).
- (13) Y. Suzuki, K. Ozawa, and T. Sone, "Sound quality of steady harmonic complex tones," *Contributions to Psychological Acoustics*, A. Schick and M. Klatte, Eds. pp. 417-438 (1997).
- (14) S. Takane, T. Miyajima, Y. Yamada, D. Arai, Y. Suzuki, and T. Sone, "An auditory display based on virtual sphere model," *Proc. Int. Symp. on Simulation, Visualization and Auralization for Acoust. Res. and Edu.*, pp. 379-384 (1997).

課題番号 A-6

微少電子源の物理と電子ビーム応用

[1] 組織

企画者：横尾 邦義（東北大学電気通信研究所）
 責任者：横尾 邦義（東北大学電気通信研究所）
 分担者：室田 淳一（東北大学電気通信研究所）
 石塚 浩（福岡工業大学）
 川崎 温（埼玉大学理学部）
 下山 宏（名城大学理工学部）
 三間 圭興（大阪大学レーザー核融合
 研究センター）
 山本 恵彦（筑波大学物理工学系）
 綱脇 恵章（大阪産業大学工学部）
 大東 延久（関西大学工学部）
 田口 俊弘（摂南大学工学部）
 車 信一郎（レーザー技術総合研究所）
 荻田 正巳（静岡大学工学部）
 安達 洋（室蘭工業大学）
 中根 英章（室蘭工業大学）
 斎藤 宏文（文部省宇宙科学研究所）
 黒木 聖司（創価大学
 システム科学研究所）
 内池 平樹（広島大学工学部）
 岡野 健（東海大学工学部）
 嶋脇 秀隆（東北大学電気通信研究所）

研究費：校費 100万円、旅費 206.7万円

[2] 研究経過

真空マイクロエレクトロニクスは、半導体微細加工技術を用いて、半導体デバイスと同程度の大きさの超微細な真空デバイスやその集積回路の開発を目指す技術分野の総称であり、平面ディスプレイから高エネルギー電子ビーム応用におよぶ非常に幅広い技術分野を包括する。将来的には、真空電子波の空間多重や位相制御型の情報処理などの量子計算機や電子チャネリングX線レーザなどの次世代エレクトロニクスへの展開が期待される。すなわち、研究対象としての真空マイクロエレクトロニクスの興味は下記の3点に集約される。

(1) 半導体（固体）デバイスと対比して、電荷輸送媒体としての真空媒質の利点からくる観念的期待

(2) 電子ビーム技術の高性能化が先進技術に及ぼす波及効果

(3) 真空電子波の可干渉を基調とする電子波エレクトロニクスの創製

これらの展開には、真空マイクロエレクトロニクスの基幹素子と考えられる電界放射陰極アレイ（Field Emitter Arrays:FEAs）に関わる解決しなければならないいくつかの課題がある。一つは、放射電流密度は大きいが、放射面積が小さいため放射電流量が小さいことである。このことは、電流駆動能力が小さく、高速動作が困難なことを意味する。もう一つは、電界放射特有の電流変動が大きいことである。前者には、微細真空デバイス固有の革新的なコンセプトを必要とする。後者では、FEAsと能動素子と一緒に基板内に組み込んだ制御法が、平面ディスプレイ等の用途には極めて有効である。また、放射電子のエネルギー分散を回避しなければならない用途には、放射電流安定化のための、材料探査、原子スケールの電子源形成技術や表面改質技術の確立が必要である。これらの課題を対象にプロジェクト研究を行った。

本年度の研究内容は以下の通りである。

(1) 高機能Si-FEAsの開発

JFET一体型FEAsを提案、製作し、特性評価を行った。FEAsの最大の課題は、放射電流の制御、安定化である。これには、FET等の能動素子による電界放射陰極の放射電流の制御が極めて有効である。JFETのp層は、エミッタを形成する際、エミッタ上部の酸化膜をマスクとしたイオン注入により自己整合的に形成される。放射電流は、p層に印加する電圧を負側に大きくするに従って減少する。すなわち、p-n接合の空乏層の広がりで、エミッタ直下のチャネル幅が変化し、電子の供給量が制御される。また、パルス駆動した場合、駆動電圧に応じて、放射電流は数nAから1μAまで変化すると共に、電圧印加時の放射電流は安定に維持される。更に、単一陰極からの電子放射像の観察において、Siの結晶面方位を反映する放射像を得た。これを活用して、面方位に依存する陰極表面の不活性化や表面改質等の研究を通して、安定でエネルギー分散の小さい電子ビームの形成が期待される。

(2) 極微陰極の電子ビーム応用

電界放射陰極の放射電子ビームは、 $20\sim30^\circ$ と比較的大きな放射角を有しており、電子ビーム応用上、何らかの収束機構が必要となる。積層及び平面収束構造電界放射陰極製作し、両者とも、放射電子ビームの収束が可能なことを確認した。これら極微構造陰極で発生するミクロサイズの電子ビームは、電子チャンネリングを用いたX線レーザなど、これまでに例を見ない全く新しい応用分野を開拓すると考えられる。このため、ミクロサイズの電子ビームの輸送特性を調べる必要があり、このミクロビームのエミッターンス測定装置を開発した。ここでは、FEAsから放射され、輸送された電子ビームを4重極レンズで拡大、蛍光板上に投影することでビームのエミッターンスが測定される。これまでに観測した規格化エミッターンスは、 $10\sim9\text{mrad}$ 程度であるが、ビーム輸送系での収差に起因すると思われるエミッターンスの増大が見られ、本来のFEAsのエミッターンスはさらに小さいものと推定される。今後の詳細な測定が待たれる。

(3) MOSトンネル陰極

高電界の印加された絶縁薄膜を電子がトンネル現象で透過し、真空中へ放射するトンネル陰極は、平面構造陰極であること、ガス圧等の真空環境の依存性が小さい等の利点から、その開発が期待されている。しかし、電子放射効率（ダイオード電流に対する放射電流の比）が小さいことがトンネル陰極の実用上の最大の懸案である。この要因を探るため、MOSトンネル陰極から放射される電子のエネルギー分布の測定を行った。酸化膜厚が厚くなるにつれて、エネルギー分布は広がるが、 9nm 程度を境にして再び狭くなり、ゲート電圧の依存性も少なくなる。さらに、奇妙なことは、酸化膜厚 8.5nm の素子では、ゲート電圧によって、放射電子が低エネルギー側と高エネルギー側と2つのピークを持つ。これは、半導体の伝導帯のみでなく、価電子帯からのトンネル電子が、かなりの割合で放射電子に関与していることを示唆している。今後、さらに詳細な実験的検討が必要であるが、トンネル陰極開発の展開のみでなく、トンネル物性解明の興味ある研究対象である。

真空マイクロエレクトロニクスは、耐環境性、高速性、高エネルギー密度等、媒質としての真空の利点を生かした新しいデバイスを開発するための技術を総合的に研究する分野である。従って、ここから誕生する真空素子は、超高速コンピュータ、マイクロ波から遠赤外線、X線までの電磁波

の発生など、半導体素子が当面課題としている分野はもとより、原子力および宇宙関係デバイス、画像表示装置など極めて広い応用分野を持っている。本プロジェクト研究は、そのキーデバイスである微小電子源に着目し、表面物性から応用デバイスに至るまで幅広く探究することを目的として企画された。

[3] 研究会活動

研究討論会を、電気通信研究所工学研究分科会電子ビーム工学研究会と共に共催で、3回行った。

第1回 日時：平成8年6月26日（水）

場所：東北大大学電気通信研究所大会議室

(1)下山 宏（名城大学理工学部）

「高性能Field Emitter-Angular confinementの向上とremodeling」

(2)安達 洋（室蘭工業大学工学部）

「ZrO/W(100)表面のXPS-LEED同時観察」

(3)横尾邦義（東北大大学電気通信研究所）

「半導体(Si)からの電界電子放射」

第2回 日時：平成8年11月30日（土）

場所：東北大大学電気通信研究所大会議室

(1)高井幹夫（大阪大学極限センター）

「マスクレス・ビームプロセスによるFEAの作製と表面改質」

(2)石川順三（京都大学大学院工学研究科）

「イオンビーム・プロセスの電子源への応用」

(3)浅野種正（九州工業大学マイクロ化

総合技術センター）

「微小電子源の応用とプロセス技術」

(4)横尾邦義（東北大大学電気通信研究所）

「半導体材料からの電子放射」

(5)西川 治（金沢工業大学工学部）

「走査型アトムプローブの開発とそれによる電界放射電極の原子レベルでの解析」

(6)富取正彦（北陸先端科学技術大学院大学）

「密集配列した微細針状電子源の個々の針先のSTM/STSによる評価」

(7)大島忠平（早稲田大学理工学部）

「カーボン系電子源の電子放射特性」

(8)山本恵彦（筑波大学物理工学系）

「電子源の新量子効果応用への展開」

(9)岡野達雄（東京大学生産技術研究所）

「電子源の干渉性評価」

(10)伊藤順司（電子総合技術研究所）

「電子波デバイス」

(11)山口 豪（静岡大学工学部）

「吸着表面系の第一原理電子状態理論：電界放

射理論への展望」

(12) 渡辺一之 (東京理科大学理学部)

「強電界下表面課程の第一原理電子論：電界放射理論の構築をめざして」

第3回 日時：平成8年3月5日（水）

場所：東北大学電気通信研究所大講義室

(1) 西川 治 (金沢工業大学工学部)

「走査型アトムプローブに至るまで—Muller先生との交流を通して—」

(2) 山口 豪 (静岡大学工学部)

「第一原理計算による電界の取り扱い」

[4] 主な研究発表

- (1) 新井 学, 森 雅弘, 川上雅哉, 鹿山英則, 嶋脇秀隆, 横尾邦義, "Si電界放射陰極の電子放出特性", 第43回応用物理関係連合講演会(春季), 1996.
- (2) 鹿山英則, 新井 学, 川上雅哉, 北野延明, 嶋脇秀隆, 三村秀典, 横尾邦義, "半導体エミッタからの電界放射特性", 第57回応用物理関係連合講演会(秋季), 1996.
- (3) M. Arai, H. Kayama, M. Kawakami, N. Kitano, H. Shimawaki, H. Mimura and K. Yokoo, "Emission Characteristics of Semiconductor Field Emission Cathodes", Proc. of 3rd Int. Display Workshops, Vol. 2, FED 2-1, pp.131-134, 1996.
- (4) 川上雅哉, 北野延明, 鹿山英則, 新井 学, 寒河江 克巳, 嶋脇秀隆, 三村秀典, 横尾邦義, "Si電界放射陰極の放射電流制御", 第44回応用物理関係連合講演会(春季), 1997.
- (5) H. Ishizuka, A. Watanabe, M. Shiho, S. Kawasaki, J. Itoh, M. Arai, H. Shimawaki and K. Yokoo, "Bwam Extraction Experiment with Field-emission Arrays", Nucl. Inst. And Math., A375, pp. 116-118, 1996.
- (6) K. Yokoo and H. Ishizuka, "RF Applications Using Field Emitter Arrays (FEAs)", Tech. Digest of 9th Int. Vacuum Microelectronics Conf., pp.490-500, 1996.
- (7) H. Ishizuka, S. Kawasaki, M. Arai, H. Shimawaki, K. Yokoo, H. Kubo, A. Watanabe, M. Shiho and J. Itoh, "Experiments with Field Emitter Arrays for Free Electron Micro-Laser Applications", Tech. Digest of 18th Int. Free Electron Laser Conf., 1996.
- (8) 北野延明, 新井 学, 川上雅哉, 鹿山英則, 嶋脇秀隆, 三村秀典, 横尾邦義, "平面収束型電界放射陰極の放射ビーム特性", 電気関係学会東北支部連合 講演会, 1996.

- (9) K. Yokoo, G. Koshita, S. Hanzawa, Y. Abe and Y. Neo, "Experiments of highly emissive metal-oxide-semiconductor electron tunneling cathode", J. Vac. Sci. Technol., B14(3), pp.2096-2099, 1996.
- (10) 阿部善亮, 池田順司, 田原 薫, 寒河江克巳, 三村秀典, 横尾邦義, "Si-MOSトンネル陰極の電子放射特性", 信学技報, ED96-142, 1996.
- (11) 三村秀典, 細田 誠, 大谷直毅, 池田順司, 根尾陽一郎, 嶋脇秀隆, 横尾邦義, "GaAs/AlAs超格子のサブバンド特性とフィールドエミッタへの応用", 信学技報, ED96-144, 1996.
- (12) 阿部善亮, 池田順司, 田原 薫, 三村秀典, 横尾邦義, "MOSトンネル陰極の放射電子のエネルギー分布", 第57回応用物理関係連合講演会(秋季), 1996.
- (13) 三村秀典, 阿部善亮, 池田順司, 田原 薫, 根尾陽一郎, 嶋脇秀隆, 横尾邦義, "MOSトンネル陰極における電子波干渉", 第44回応用物理関係連合講演会(春季), 1997.

課題番号 A-7

結晶成長面における原子制御に関する基礎研究

[1] 組織

代表者：潮田 資勝
 分担者：尾関 雅志（産業技術融合領域研究所
 アトムテクノロジーハウス）
 山崎 隆浩（産業技術融合領域研究所
 アトムテクノロジーハウス）
 木村 克美（北陸先端科学技術大学院大学）
 松村 英樹（北陸先端科学技術大学院大学）
 大塚 信雄（北陸先端科学技術大学院大学）
 水谷 五郎（北陸先端科学技術大学院大学）
 富取 正彦（北陸先端科学技術大学院大学）
 佐野 陽之（北陸先端科学技術大学院大学）
 酒井 士郎（徳島大学工学部）
 直井 美貴（徳島大学工学部）
 井上 直久（大阪府立大学先端科学研究所）
 河村 裕一（大阪府立大学先端科学研究所）
 森本 恵造（大阪府立大学先端科学研究所）
 楠 獨（東北大学科学計測研究所）
 河野 省三（東北大学科学計測研究所）
 上原 洋一（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）
 岩見 正之（東北大学電気通信研究所）

[2] 研究会報告

次世代の高速高密度情報処理を担う超高集積デバイスや量子効果応用デバイスの開発・作製には原子スケールで3次元的に制御された高品質の半導体作製技術の確立が必要不可欠であると考えられている。このための技術として原子層成長エピタクシー（ALE）や選択成長技術が注目され、実際にこれらの手法を用いて原子スケールのサイズを有する半導体構造の作製もなされているが、その成長過程には不明な点が多い。

本プロジェクト研究の目的はこのような結晶成長過程の素過程（結晶成長面における原料原子の積層過程）を物理的・化学的観点から解明することにある。この研究を効果的に推進するために、結晶成長を専門とする研究者と評価分析を専門とする研究者による研究グループを組織した。従来、結晶成長を専門とする研究者は評価分析に十分な

研究時間を割くことができず、また逆に評価分析を専門とする研究者自らが結晶成長を行うことは設備の点からも困難であった。両分野の研究者が共同で標記テーマを研究することにより、所期の目的がより素早く達成されると考えた。

これまでの研究活動は研究会を中心に行ってきただが、今年度も第四回の研究会を開催した。その他に標記課題に関する研究をおこなっている研究者2名と研究打ち合わせを行った。それらの内容は以下の通りである。

第4回研究会

日時：平成9年1月30日（木）
 場所：東北大学電気通信研究所・2号館中会議室

プログラム：

1. 潮田資勝（東北大学電気通信研究所）
 開会の辞
2. 大塚信雄（北陸先端科学技術大学院大学）
 GaAsのMBE低温成長におけるAsの吸着・脱離過程
3. 棚橋克人（大阪府立大学先端科学研究所）
 GaAsのMBE成長過程における成長島、穴、ステップのSEMその場観察
4. 鶴岡徹（東北大学電気通信研究所）
 MBEによる量子構造の作製とその評価
5. 直井美貴（徳島大学工学部）
 サファイア基板上InGaN/GaNへテロ構造の有機金属気相成長とその評価
6. 森本恵造（大阪府立大学先端科学研究所）
 成長とプラズマドーピングを交互に行って有機金属気相成長法で作製したN添加ZnSe/GaAs (100)
7. 松村英樹（北陸先端科学技術大学院大学）
 cat-CVD法によるポリ・シリコン成長とその構造
8. 楠 獨、高岡 育（東北大学科学計測研究所）
 Si(100)表面におけるNH₃の吸着確率
9. 木村克美（北陸先端科学技術大学院大学）
 ZEKE光電子分光の研究
10. 佐野陽之（北陸先端科学技術大学院大学）
 SHG顕微鏡による固体表面観察

11. 水谷五郎（北陸先端科学技術大学院大学） $\text{TiO}_2(110)$ の光第二高調波発生

プログラムの2と3はIII-V族結晶成長過程に関するものである。4は本共同プロジェクト研究経費を用いて整備してきたMBE装置を用いてGaAs基板上にInAs量子ドットの作製に成功したことが報告された。5と6はII-VI族半導体に関するものである。7は新しいポリシリコンの成長技術とそれを用いて作成したデバイスの特性について講演していただいた。8はSi基板上への NH_3 分子の吸着過程に関する研究について表面科学の立場から最近の成果を講演していただいた。9から11は新しい評価分析技術に関する講演である。

以上の講演内容をキーワード的に分類すれば、III-V族とII-VI族半導体や結晶成長と評価分析となることからもわかるように、標記研究表題にたいして幅広い研究をカバーしうる研究組織を形成することができたと考えている。

上記の研究会とは別に研究打ち合わせを行った。これは当初計画した構成員には加わらなかつたが、標記研究題目の観点からユニークかつ興味深い研究をなされている研究者をお招きし、共同プロジェクト研究の新しい方向を探ろうとするものであり、本共同プロジェクト研究開始当初から実施しているものである。今年度は水本先生（富山商船高等専門学校）に光子数レベルまでの感度がある赤外計測法についてご紹介いただくとともに、赤外域でのSTM発光計測について議論した。STM発光計測法は固体表面の個々の微細構造評価手法として最近注目されているが、計測器の波長感度の点から従来は可視や紫外域でのみ実施されてきた。さらに赤外域でのSTM発光計測が可能になれば標記研究テーマにとっても極めて有意義なことである。

また、牧村哲也氏（筑波大学物理系・村上研究室）には最近のSiナノ光物性の研究についてご講演いただいた。ポーラス・シリコンは”可視光を発するシリコン”として有名であり、非常に活発に研究されているが、発光機構は依然としてよく理解されていない。これはポーラスシリコン形成時にフッ素(F), 水素(H), 酸素(O)などが構造に取り込まれ、シリコンが微細化することによる発光に加えて、これらのシリコンの化合物が発光する場合があることが現象をより複雑にしていることも一因であることが指摘された。この点レーザー・アブレーションで作製されたシリコン微粒子はこのような不純物を取り込むことがなく、

しかも、微粒子表面に水素や酸素をつけることは超高真空中の制御された条件下で可能である。従って、この系はシリコン微細構造の発光機構を考える上ですぐれた試料系の一つであることも指摘された。この講演がきっかけとなり村上研究室とはレーザー・アブレーション法で作製したシリコン・ナノ構造の物性に関する共同研究を開始することになった。村上研究室で作製された試料を電気通信研究所のSTMで表面のシリコンナノ構造のサイズを計測し、各構造についてSTS（走査トンネル分光）を行ったところI-V特性とサイズとの間に相関関係があることが分かった。

[3] 研究活動報告

本年度は共同研究旅費とは別に60万円の研究費補助があった。この予算を「共同研究受け入れ環境を整備する方向に活用する」という観点から、MBE装置の整備費に昨年度に引き続き用いた。電気通信研究所・潮田研究室が中心になって整備努力をした結果、平成8年度末にはInAs量子ドットの作製が可能になった（図参照）

[4] まとめ

標記研究テーマについて3年間共同研究を行った。活動の中心は年1回の研究会であったが、日ごろ学会等ではあまり顔を合わす機会のない異なる分野に所属する方々で組織構成を行ったこともあり、活発な議論がなされた。このような組織構成は参加者の間でも非常に好評であり、この分野の研究ネットワークをつくる上でもこの共同研究は大変有意義であった。

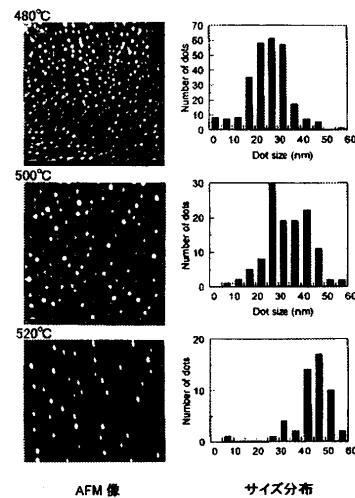


図 成長温度とInAs量子ドットサイズの関係

課題番号 A-8

層状構造超伝導完全単結晶の サブミリ波プラズマ励起

[1] 組織

企画者：山下 努（東北大学・電気通信研究所）

責任者：山下 努（東北大学・電気通信研究所）

分担者：

立木 昌（金属材料研究所）
 児嶋 弘直（山梨大学工学部）
 幸坂 紳（電子技術総合研究所）
 大矢銀一郎（宇都宮大学・工学部）
 道上 修（岩手大学・工学部）
 大嶋 重利（山形大学・工学部）
 鈴木 光政（東北大学・電気通信研究所（併任））
 中島 健介（東北大学・電気通信研究所）
 岸田 悟（鳥取大学・工学部）
 坂上 登（秋田工業高等専門学校）
 田中 功（山梨大学工学部）
 王 鎮（通信総合研究所・関西支所）

研究費：校費 110万円， 旅費 87万円

[2] 研究経過

層状高温超伝導体の特性を利用した超高速論理デバイス，超高周波能動デバイスを開発する上で最も重要な磁束量子の運動と層状構造に起因するテラヘルツ・プラズマ現象，固有ジョセフソン効果に関する研究を行った。また，固有ジョセフソン効果に関しては， $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_y$ 結晶におけるPbの添加による結晶構造変化ならびに固有ジョセフソン接合特性への影響が系統的に研究された。

Bi系酸化物超伝導体は，超伝導層である CuO_2 層と絶縁性あるいは半導体性を示す BiO および SrO 層が交互積層して超伝導層/絶縁層（半導体層）/超伝導層構造（超格子）を自己形成しており，極めて強い異方性を示す物質の一つとして知られている。プロジェクトメンバーの宇都宮大学の大矢教授を中心としたグループは，最近， $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_x$ (BSCCO)および $(\text{Bi}, \text{Pb})_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_y$ (BPSCCO)単結晶におけるこの積層構造と強い異方性に着目し，その層に垂直方向（c軸方向）の電気・磁気的（超伝導）特性の測定から，直流および交流ジョセフソン効果の直接測定に成功し，同単結晶に

固有のジョセフソントンネル接合が自然に積層構成されていることを実験的に明らかにした。

本研究で用いた $(\text{Bi}_{1-x}\text{Pb}_x)_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_y$ ($x=0 \sim 0.25$) 単結晶は，自己フラックス法により育成した。育成した単結晶の表面をへき開後，フォトリソグラフィ技術とArイオンエッティング技術によりメサ型に加工した。メサ加工プロセス後の臨界温度 T_c は80~90Kであり，加工前後での T_c の変化は認められなかった。作製したメサの抵抗-温度 (R-T) 特性および電流-電圧 (I-V) 特性を測定し，c軸方向の超伝導特性を評価した。作製したメサの断面図を図1に示す。メサの面積は $30 \times 30 \mu\text{m}^2 \sim 230 \times 230 \mu\text{m}^2$ とし，イオンエッティングの時間によってメサの段差を制御して，メサ内（c軸段差方向）に含まれる固有ジョセフソン接合の数を調整した。

・BSCCO固有ジョセフソン接合

図2(a)にBSCCO単結晶上に作製したメサの4.2Kにおけるc軸方向のI-V特性を示す。ここで，メサの寸法は $120 \mu\text{m} \times 120 \mu\text{m} \times 32\text{nm}$ である。大きいヒステリシスとともにゼロ電圧電流 $I_{c0}=17\text{mA}$ 以上でいくつかの電圧ジャンプが観測される。このヒステリシスは，温度の上昇とともに小さくなり $T_c=83\text{K}$ 近傍で消失する。図2(b)は，一旦バイアス電流を0から電圧ジャンプが生じるところまで増加させた後，0まで減少させるという操作を繰り返すことによりストレージオシロスコープ上に記録したI-V特性である。この特性は，ジョセフントンネル接合を直列接続したものとよく似ており，メサの段差方向に多数のジョセフソン接合が積層していることを強く示唆している。メサの高さ h を観測した抵抗ブランチの数Nで割ると $h/N=320 \text{ \AA}/22=\sim 15 \text{ \AA}$ となり，一つの抵抗ブランチに相当する接合間隔は CuO_2 層の間隔に一致する。このことは，固有ジョセフソン接合が CuO_2 層間のジョセフソン結合に起因していることを強く示唆する。ブランチ間電圧（電圧ジャンプ）， $V_i=\sim 14\text{mV}$ であり，この値は高電圧側ほど小さく，また，第4ブランチ付近からは負性抵抗が見られる。この現象は，準粒子注入による非平衡効果ならびに発熱により CuO_2 層の超伝導性が弱くなるこ

とに起因するものと理解される。

・BPSCCO固有ジョセフソン接合

$x=0.15, 0.2$ のBPSCCO単結晶上に作製したメサの4.2KにおけるI-V特性を図3(a), (b)に示す。それぞれのメサの大きさは $80\mu\text{m} \times 80\mu\text{m} \times 54\text{nm}$, $30\mu\text{m} \times 30\mu\text{m} \times 20\text{nm}$ である。これらのI-V特性は、3端子法により測定されており、そのためコンタクト抵抗による電圧降下が重畠されている。しかし、基本的には図2(b)の特性と類似しており、 $x=0.15, 0.2$ の単結晶においても固有ジョセフソントンネル接合の存在が確認できる。また、 V_i の値はBSCCOの場合と同様に10-13mVである。ただし、大きい発熱ならびに非平衡効果のために臨界電流近傍の電圧ジャンプ幅は、より低いバイアス電流における電圧ジャンプ幅より減少している。BPSCCO試料の臨界電流はメサの面積がBSCCOの試料のそれより小さいにも関わらず、それぞれ56mA, 31mAと大きく、BSCCOと同一の有効面積を仮定して臨界電流密度、 J_c を求めるときそれぞれ ~ 1.4 , $\sim 3\text{kA/cm}^2$ となりBSCCO試料よりも一桁大きい。

ジョセフソントンネル接合の臨界電流 I_c の温度依存性は、Ambegaokar-Baratoff理論により次式で記述される。

$$I_c(T) = \frac{\pi \Delta(T)}{2eR_n} \tanh \frac{\Delta(T)}{2k_b T} \quad (1)$$

ここで、 $\Delta(T)$ はBCS理論によるエネルギーギャップ、 R_n はノーマル抵抗、 e は電子電荷、 k_b はボルツマン定数である。図3に示すBSCCO及びBPSCCO固有ジョセフソン接合の I_c の温度依存性は、 $T_c=85\text{K}$, $2\Delta(0)=26\text{meV}$ をフィッティングパラメータとしたときに理論値と非常に良い一致を見た。 CuO_2 層のエネルギーギャップとして $2\Delta(0)=26\text{meV}$ は、バルク試料に対しこれまで報告されている $2\Delta(0)=40\text{-}50\text{meV}$ と比べ若干小さいものの、固有ジョセフソン接合がBSCCO単結晶に内在する絶縁性 BiO/SrO 層を挟んだ超伝導性 CuO_2 層間のジョセフソントンネル結合に起因していると判断される。

[3] 研究会活動

平成9年2月23日～25日に、プロジェクトメンバーならびに外国人26名を含む関係研究者100余りの参加を得て「高温超伝導体におけるテラヘルツプラズマと固有ジョセフソン効果に関する国際シンポジウム」を開催し、最新の理論と実験データをもとに活発な討論が行われた。なお、発表

件数は口頭発表38件、ポスター発表38件計76件であった。

[4] 主な研究発表

- 1) S. E. Shafranjuk, M. Tachiki, and T. Yamashita," ac properties of an anisotropic layered superconductor", Phys. Rev., Vol.53, No.22, pp.15136-15146, 1996
- 2) T. Yamashita, and M. Tachiki,"Single-Crystal Switching Gates Fabricated Using Cuprate Superconductors", Jpn. J. Appl. Phys., Vol.35, No.8, pp.4314-4317, 1996
- 3) T. Sugai, and T. Yamashita, "Synthetic Conditions of Single 110K Phase of Bi- Containing High-Tc Superconductor", J.Ceramic Society of Jpn. Vol.104, pp.314-319, 1996
- 4) "Penetration of ac fields into anisotropic layered Superconductors"S. E. Shafranjuk, M. Tachiki, and T. Yamashita Phys. Rev. B, 1996
- 5) S. E. Shafranjuk and T. Yamashita, "Minibands in electron excitation spectra of layered short-coherence-length superconductors", Phys. Rev. B, Vol.54, pp.15380-387, 1996
- 6) C. Buzea, T. Yamashita, K. Nakajima, C. G. Buzea, M. Agop,"The isotope effect coefficient dependence on nonstoichiometry for single CuO layer superconductors", Physica C, Vol.270, pp.317-326, 1996
- 7) G. Oya, N. Aoyama, A. Irie, S. Kishida and H. Tokutaka, Jpn. J. Appl. Phys., Vol.31, L829, 1992
- 8) A. Irie, M. Sakakibara and G. Oya, IEICE Trans. Electron, Vol.E77-C , pp.1191-95, 1994
- 9) A. Irie and G. Oya, IEEE Trans. Appl. Supercond., Vol.5, pp.3267-3269, 1995

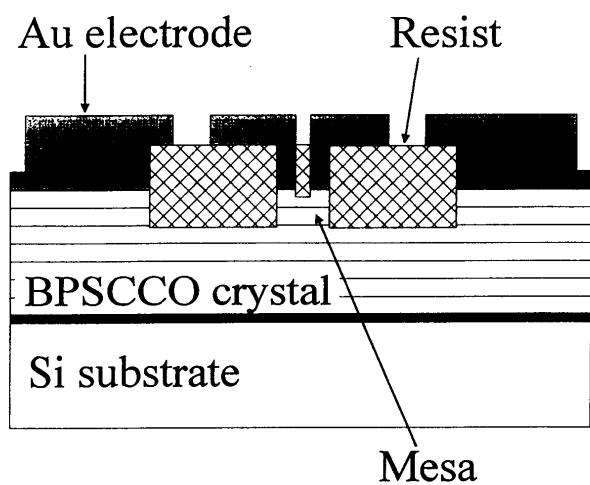


図1 BSCCO単結晶メサ接合の断面図

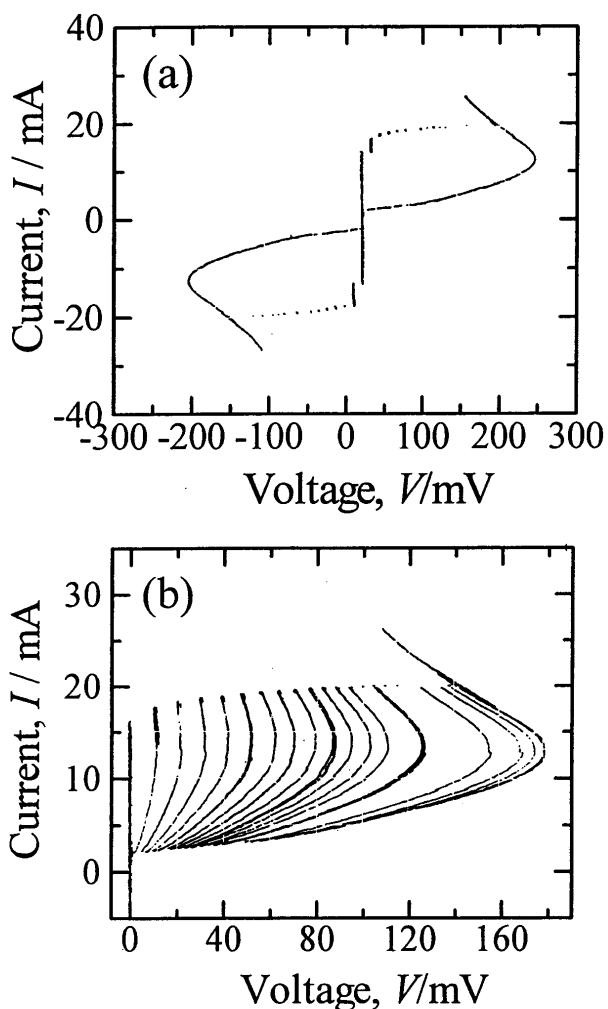


図2 BSCCO単結晶メサ接合の電圧-電流特性

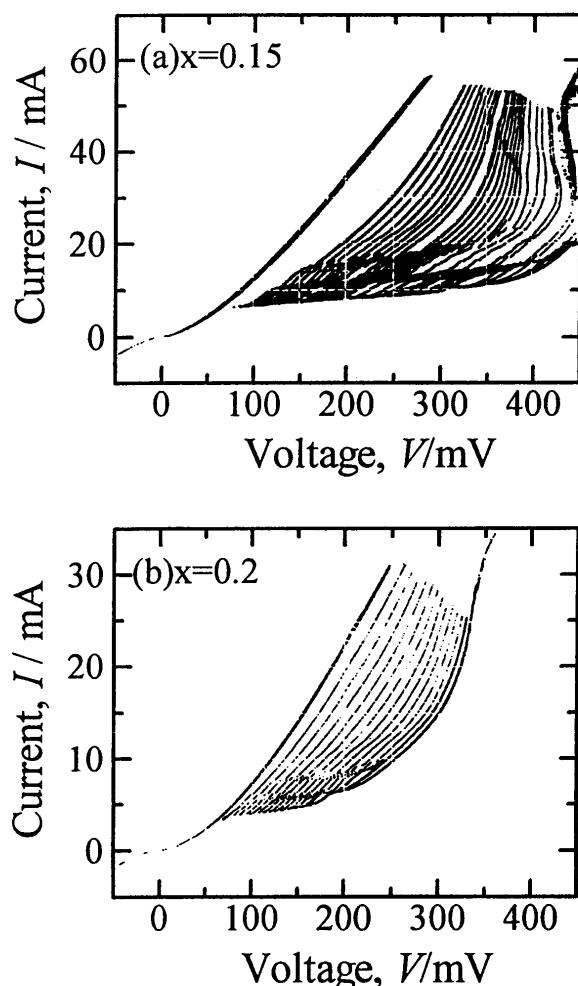


図3 BPSCCO単結晶メサ接合の電圧-電流特性

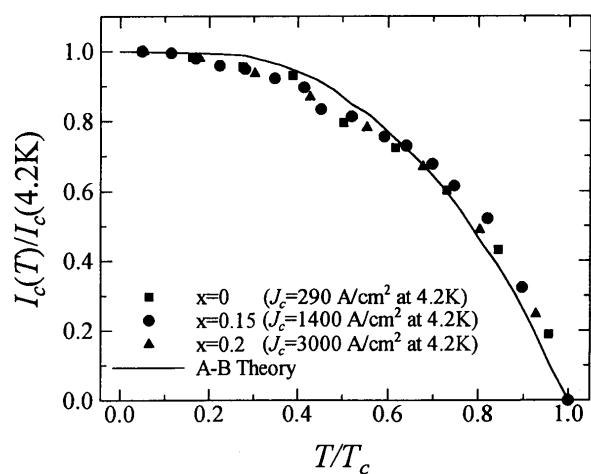


図4 BSCCO, BPSCCO単結晶メサ接合の臨界電流-温度依存性

課題番号 A-9

フォノン集積デバイス・材料の研究

[1] 組織

代表者：山之内和彦（東北大学電気通信研究所）
 分担者：中鉢 憲賢（東北大学工学部）
 中村 健良（東北大学工学部）
 坪内 和夫（東北大学電気通信研究所）
 櫛引 淳一（東北大学工学部）
 小柴 正則（北海道大学工学部）
 小池 卓郎（玉川大学工学部）
 児島 俊弘（玉川大学工学部）
 清水 康敬（東京工業大学大学院
 社会理工学研究科）
 高木堅志郎（東京大学生産技術研究所）
 山口 正恵（千葉大学工学部）
 中川 恭彦（山梨大学工学部）
 皆方 誠（静岡大学電子工学研究所）
 塩崎 忠（京都大学工学部）
 長 康雄（山口大学工学部）

研究費：校費 50万円、旅費 100万円

[2] 研究経過

本プロジェクト研究は、超高周波帯の音響波に対するフォノン波動、及び種々の境界条件のもとで伝搬する境界波の線形・非線形挙動を解明し、この波動を高度に集積化したデバイス、及びこの境界波と光・電磁波或いは半導体キャリアとの相互作用を用いた新しい機能を持つデバイスの研究開発を行うことを目的に、平成6年度に準備研究として発足し、昨年度よりプロジェクト研究を行っている。

本年度は、昨年度の研究成果を踏まえて、以下に示す内容について研究を行った。

(1)新圧電体単結晶・伝搬方位の探索とそれを用いたデバイスの研究（山之内、清水）

○新しい材料としてKNbO₃単結晶について弾性表面波(SAW)の伝搬特性を調べた。KNbO₃は電気信号と弾性波動を変換する度合いを表す係数(電気機械結合係数K²)が0.53と非常に大きく、従来最も大きいとされていたLiNbO₃の約10倍であることが理論及び実験により明らかになった。また、

KNbO₃を用いた一方向性変換器によるSAWフィルタを試作し比帶域幅20%の広帶域低損失フィルタを得ることができた。

○最近注目されているLa₃Ga₅SiO₁₄基板を伝搬するSAWの特性について研究を行った。これにより、K²は水晶に比べて約2~3倍大きいことがわかった。また、これまでに報告されているいくつかの材料定数について比較検討した結果、用いる定数により温度特性が異なる結果を得た。定数の検討が必要である。

(2)高品質圧電体・誘電体薄膜作製とそれを用いたデバイスの研究（中村、坪内、中川、塩崎）

○高真空中での薄膜形成が可能なECR-MBE法を用いたZnO薄膜の作製について研究を行った。本方法により、従来法と比べて低温でZnOのエピタキシャル成長が可能となるものであり、サファイア基板温度275°Cで、膜厚が330nmと薄いにもかかわらずFWHM=0.58°の良好な膜を得た。

○MO-CVD法によるAlN薄膜の高品位形成法の研究を行った。成膜前のサファイア基板の処理として水素アニールを行い、その最適化、及び初期窒化の最適化を行い、クヌーセン圧MO-CVD法により、2インチで膜厚分布1%，平均表面荒さRa=70ÅのエピタキシャルAlN薄膜を得た。

○rfスパッタリング法によるLiNbO₃薄膜の研究を行い、サファイア基板上でエピタキシャル膜を得た。SiO₂/Si基板でもLiNbO₃(001)単一配向膜を得るとともにすだれ状電極を作製し、SAWの励振を確認した。また、LiNbO₃(110)/α-Al₂O₃(110)構造で基本モードでK²=0.074、1次モードでK²=0.21という解析結果を得た。

○薄膜成長中の基板にSAW定在波を励起することで周期的な膜厚及び屈折率分布を得ることができる、弾性表面波アシストによるTa₂O₅成膜の研究を行い、スパッタ中のTa₂O₅のイオンとSAW電界が深く関わっていることが明らかになった。また、

本方法を用いて2次元薄膜位相格子を得た。

○ゾルゲル法で形成したPZT薄膜のUHF～SHF帯における超音波特性の研究を行った。厚み縦振動のK²は0.4と大きく、中心周波数1.75GHzで変換損失4dBの良好な特性を得た。また、サファイア基板上に作製したPZTを用いて、周波数約1GHzでSAWデバイスを得た。

(3)圧電体及び誘電体材料の評価法の研究（櫛引、長）

○直線集束（LFB）超音波顕微鏡を用いて、光導波路型デバイスで用いられるLiTaO₃上のプロトン交換層と、プロトン交換法を用いた分極反転層の評価法の研究を行った。層構造を伝搬するLSAWの速度を測定することにより、各層の作製プロセス条件を推定できることがわかった。

○非線形誘電率の分布から分極や結晶性を測定できる走査型非線形誘電率顕微鏡の研究を行った。本方法は、誘電体の永久分極を純電気的に行えるものである。集中定数型の小型プローブを新たに開発し高分解能化を図り、LiNbO₃基板の1μm以下の分極ドメインを観測した。

(4)フォノン波動及び超音波の励振に関する研究（中鉢、高木）

○円筒型セラミック振動子を用いて、強力な出力が得られる、広帯域空中超音波トランスジーサの研究を行った。共振周波数を僅かにずらした振動子を2段重ねにし、それぞれの励振位相を制御することにより、遠距離音場において、比帯域幅約6%の広帯域特性を得た。

○赤外半導体レーザによる広帯域フォノン励起の研究を行った。本方法は、振幅変調された赤外半導体レーザ光を金属表面に入射し、表面の熱膨張を起こすことによって簡便にフォノンを励振でき、高い周波数での音波計測が可能となると期待される。

(5)弹性波・光・静磁波デバイスのシミュレーション方法の研究（兒島、小柴、小池）

○SAWデバイスの設計に有効である等価回路解析法の研究を行い、すだれ状電極のZパラメータを用いた等価回路基本式を得た。本方法を用いると、

インピーダンス制御が可能なすだれ状電極の直列接続を用いたSAWデバイスの設計を容易に行うことができる。

○材料の熱膨張係数差に起因する光導波路の残留熱応力分布を評価することが可能な、光導波路の有限要素法による解析法の研究を行った。本方法は弾性的に任意の異方性を有する光導波路の評価が可能であり、最近盛んに利用されている低損失光導波路の解析に有効である。

○マイクロ波からミリ波領域の信号処理デバイスとして期待される、YIG薄膜中の静磁波の非線形伝搬のシミュレーションの研究を行った。等価回路解析法による静磁包絡ソリトン波発生と伝搬特性を解析するアルゴリズムを研究し、実験結果とよい一致を得た。

以上のように、本プロジェクトでは、フォノン集積デバイスに必要となる、材料・薄膜形成・プロセス・評価といった研究項目を網羅した研究開発を行い、大きな成果を得た。

[3] 研究会活動

研究会を下記のとおり行った。

日時：平成9年2月12日（水）

場所：東北大学電気通信研究所大会議室

- (1) 「円筒型圧電振動子による広帯域空中超音波の送受信」
中鉢憲賢、三野宮利男（東北大学工学部）
- (2) 「直線集束超音波顕微鏡によるLiNbO₃プロトン交換層の評価法」
櫛引淳一、宮下雅仁（東北大学工学部）
- (3) 「集中定数型走査型非線形誘電率顕微鏡の開発と強誘電分極像の観察」
長 康雄（山口大学工学部）
- (4) 「ECR-MBE法による(001)Al₂O₃基板上へのZnO薄膜の形成」
姜熙復、中村信良、石川一夫（東北大学工学部）
- (5) 「IDTのZパラメータを用いた基本式と応用」
兒島俊弘、河合範行（玉川大学工学部）
- (6) 「光音響光学デバイス設計支援のための応力／光導波路解析統合ソフトウェア」
小柴正則（北海道大学工学部）
- (7) 「クヌーセン圧MO-CVD法によるAINエピタキシャル成長」
坪内和夫、益一哉（東北大学電気通信研究所）
- (8) 「弹性表面波アシストによる薄膜位相格子」

中川恭彦, 渡辺昌彦, 垣尾省司 (山梨大学工学部)

- (9) 「赤外半導体レーザーによる広帯域フォノン励起」
服部浩一郎, 高木堅志郎 (東京大学生産技術研究所)
- (10) 「YIG薄膜中を伝搬する静磁包絡ソリトン波のシミュレーションと実験結果について」
小池卓郎 (玉川大学工学部)
- (11) 「ゾルゲル法によるPZT薄膜のUHF-SHF帯における超音波特性」
南條亮太, 橋本研也, 山口正恵 (千葉大学工学部)
花嶋直之, 津々見修司, 米沢政 (三菱マテリアル総合研究所)
- (12) 「KNbO₃圧電体単結晶を伝搬する超高結合弾性表面波を用いた一方向性低損失広帯域フィルタ」
山之内和彦, 小田川裕之, 小島敏之, 松村武 (東北大学電気通信研究所)

[4] 主な研究発表

- (1) K.Yamanouchi, H.Odagawa, T.Kojima and T.Matsumura, Theoretical and Experimental Study of Super-High Electromechanical Coupling Surface Acoustic Wave Propagation in KNbO₃ Single Crystal, Electronics Letters, Vol.33, No.3, pp.193-194 (1997).
- (2) 小田川, 小島, 松村, 山之内, KNbO₃圧電体単結晶上の超高結合弾性表面波の解析と実験, 信学技報, US96-100, pp.23-28 (1997).
- (3) T.Suetsugu, T.Yamasaki, S.Tomabechi, K.Wada, K.Masu and K.Tsubouchi, 2nd Int.Symp. on Control of Semiconductor Interfaces, Karuizawam, 1996: to be published in Appl. Sur. Sci. (1997).
- (4) T.Nishida, T.Shiosaki et. al, Jpn. J. Appl. Phys. Vol.35, L1966 (1996).
- (5) M.Watanabe, Y.Nakagawa and S.kakio, Jpn. J. Appl. Phys, Vol.35, p.4999 (1996).
- (6) J.Kushibiki et.al., IEEE Photon. Technol. Lett. Vol.8 p.1516 (1996).
- (7) Y.Cho, A.Kirihara and T.Saeki, Rev. Sci. Instrum, Vol.67, p.2297 (1996).
- (8) T.Koike, T.Ito T.Hirao and N.Taguchi, Jpn. J. Appl. Phys. to be published (1997).

課題番号 A-10

やわらかい情報システムに関する基礎的研究

[1] 組織

企画者：白鳥則郎（東北大学電気通信研究所）

責任者：白鳥則郎（東北大学電気通信研究所）

分担者：

根元 義章（東北大学大学院情報科学研究科）
 西関 隆夫（東北大学大学院情報科学研究科）
 宮崎 正俊（東北大学大学院情報科学研究科）
 牧野 正三（東北大学大学院情報科学研究科）
 阿曾 弘具（東北大学大学院工学研究科）
 佐藤 雅彦（京都大学大学院）
 菅原 研次（千葉工業大学情報工学科）
 滝沢 誠（東京電機大学理工学部）
 水野 忠則（静岡大学工学部）
 富樫 敦（静岡大学工学部）
 柴田 義孝（東洋大学工学部）
 宗森 純（大阪大学工学部）
 浮貝 雅裕（千葉工業大学情報工学科）
 荒井 一（千葉工業大学情報工学科）

研究費：校費 50万円、旅費 123万8000円

[2] 研究経過

本研究の目的は、次世代の情報処理へ向けてやわらかい情報システムの構成論の基礎を確立することである。現在のコンピュータや通信ネットワークは、事前に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「堅い」システムである。このようなシステムでは、ユーザが操作法を少しでも誤ると正しく動作しない。また、使用法を熟知した専門家を対象とし、利用者層が限定されている。国内外で話題となっている情報ハイウェイやインターネットも堅いシステムである。本研究の当面の目標は、上記のような現行の堅いシステムの限界に対してブレークスルーをもたらす基本概念の創成、すなわち次世代情報システムの基本概念を創成し、更に、それに基づくモデルを構築し、その系統的な構成論の基礎を確立することである。

今年度の研究成果を以下に要約する。

(1) 次世代情報システムの基本概念（白鳥、菅原）

大規模なネットワーク環境をベースとしたサイバースペースの中で、人々が、各自の目的に即し

た創造的活動にゆとりをもって取り組んでゆくためには、様々な知識や資源の共有・再利用、知的柔軟な情報処理、そして、人間とシステムとの間での円滑なコミュニケーションなどを効果的に支援する機能が必要となる。次世代の情報システムでは、これらの機能を、利用者の要求に応じて適切に組み合わせ、所望のサービスを自由かつ柔軟に構成できなければならない。また、サービスを利用する人々の要求は、各自の目的や状況に応じて不規則に変化し、サービスを提供するシステム自身も、システム環境で生起する様々な要因によって、一時的／恒久的に変化するので、これらの変化に対して柔軟に対処できる機能や構造を持つことも必要となる。こうした特性を備えたシステムをやわらかい情報システムと呼ぶ。

やわらかい情報システムを実現する基盤として、次の2つが重要である。

(a) エージェント指向コンピューティング基盤：人間の活動を支援するサービスを、自律性を備えた知的エージェントとその組織として構成するための機能を提供する。

(b) 知的ネットワーク基盤：利用者相互の円滑なコミュニケーションに基づく柔軟な情報処理環境を提供する知識型ネットワークである。そのシステムコンセプトが、やわらかいネットワークである。

(2) エージェント指向コンピューティング基盤（菅原、白鳥、柴田）

人間の活動に必要となる様々なサービスやシステムを、自律性を備えた知的エージェントとその組織（知識型分散エージェントシステム）として構成するために、ADIPSフレームワークと呼ぶ設計支援環境を提案し、その試作と評価を行った。ADIPSフレームワークでは、エージェント指向コンピューティングの枠組みに基づいて、利用者要求を的確に反映したエージェント指向分散処理システム（Agent-based Distributed Information Processing System: ADIPS）を構築することができる。その特徴は、分散環境上で稼働する様々な計算機プロセスを本フレームワークに基づくエージェントとして形式化（これを計算機プロセスのエージェ

ント化と呼ぶ)し、設計目標となるADIPSにおける効果的な利用／再利用の促進を図る点にある。ADIPSフレームワークは、分散環境上に配置される3種類の機構、即ち、(i) ADIPSリポジトリ、(ii) ADIPSワークスペース、(iii) ADIPS設計支援、から構成される。本年度は、ADIPSリポジトリとADIPS動作環境はC++を用いて、また、エージェント本体とエージェントの領域知識はTcl/Tkを用いて、UNIXワークステーション上に実装した。更に、後述するやわらかいビデオ会議の試作を通して、その基本機能の有効性を確認した。

(3) やわらかいネットワークのエージェント指向アーキテクチャ (白鳥、菅原、滝沢、柴田)

やわらかいネットワークは、その利用者の多様な要求とその変化に追従できるやわらかさ、及び、ネットワークシステムやその動作環境上で発生する様々な変動に対処できるやわらかさを備えたネットワークである。こうしたやわらかさを産み出すベースとして、やわらかい情報処理システムの枠組みでは、知性、恒常性、発展性という3つのシステム特性に着目している。そこで、やわらかいネットワークにおいてこれらの特性を実現するために、エージェント指向コンピューティングに基づくやわらかいネットワークのアーキテクチャを提案した。このアーキテクチャでは、システム構成要素を知的エージェントのレベルに引き上げ、やわらかいネットワークを、従来の情報通信ネットワークの上位層として稼働する知識型分散システムとして実現することを目指す。

(4) やわらかいネットワークの実験システム (菅原、白鳥、宗森、滝沢、水野)

やわらかいネットワークのアーキテクチャに基づく応用システム事例として、やわらかいビデオ会議システムを提案し、そのプロトタイプの設計と実装を行った。やわらかいビデオ会議システムは、1) ユーザエージェント、2) ビデオ会議マネージメントエージェント、3) 各ベースプロセスの管理・制御を担当するエージェント(プリミティブエージェント)、及び、4) ベースプロセスから構成される。ビデオ会議の利用者から初期要求が出されると、ADIPSリポジトリからADIPS動作環境上にインスタンスエージェントが生成され、ビデオ会議システムが起動される。起動後に各エージェントが協調を行うのは以下の2つの場合である。

(a) 利用者の要求が変化した場合：利用者の要求が初期要求から変化した場合、エージェントは要

求の変化に対応してサービスの質を変更する。

(b) 利用可能な計算機/ネットワーク資源が変化した場合：利用可能な計算機/ネットワーク資源の変化によって、現状のサービスを維持することが不可能になった場合、エージェントは利用者の要求と要求の優先度に照しあわせて、サービスの質を調整し、資源の解放を図る。資源を解放することにより、利用者の優先度が高いサービスを維持する。

やわらかいビデオ会議システムのプロトタイプを用いた実験により、やわらかいネットワークに基づくアプリケーションアーキテクチャの有効性を検証した。例えば、利用可能な計算機資源が変化した場合、利用者の初期要求が「画質よりも動画のスムーズさを優先する」というものであれば、計算機資源を解放するために、各プリミティブエージェントが、クライアントマシンの画質を下げ、画面のサイズを小さくし、動画のスムーズさを維持するように自律的に動作する。同様に、利用者の要求が変化した場合、例えば、計算機資源が十分でないときに「画質を上げたい」という新たな要求がユーザから出された場合でも、エージェントが動画のスムーズさを自律的に低下させることで、計算機資源の解放を図り、最終的に利用者の要求を満たすように動作する。

[3] 研究活動 研究会を2回行なった。

[第1回]

日時：平成8年5月16日、17日

場所：東北大学電気通信研究所2号館4階大会議室

(1) 「命題論理に基づいたやわらかいソフトウェア 設計支援システムとその応用」

福沢尚司 (東北大学電気通信研究所)

(2) 「事例ベースに基づく仕様記述環境における類語辞書を用いた利用者要求獲得」

唐橋拓史 (東北大学電気通信研究所)

(3) 「マルチメディアG U I 開発支援環境における事例再利用機構の実現について」

伊澤謙一 (東北大学電気通信研究所)

(4) 「進化的情報探索エージェントについて」

阿部康一 (山形大学工学部)

(5) 「マルチエージェントに基づく情報検索システム」

木原英人 (東北大学電気通信研究所)

(6) 「ネットワーク利用者へのエージェントによるマルチメディア情報提供の一方式」

菅沼拓夫 (千葉工業大学情報工学科)

(7) 「ワールドワイドな分散オブジェクト指向環境の構想」

- 濱崎陽一（電子技術総合研究所）
 (8) 「Checkpoint and Rollback in Asynchronous Distributed Systems」
 桧垣博章（東京電機大学理工学部）
 (9) 「Group Communication for Dynamic Member Changes」
 立川敬行（東京電機大学理工学部）

[第2回]

- 日時：平成8年9月24日
 場所：東北大学電気通信研究所2号館4階大会議室
 (1) 「マルチキャスト向け分岐抑制型経路決定アルゴリズムの提案と評価」
 藤井章博（東北大学大学院情報科学研究科）
 (2) 「通信システムのサービス仕様の変更に基づくプロトコル仕様の自動変更法とその応用」
 郷健太郎（東北大学電気通信研究所）
 (3) 「Towards Protocol Synthesis by Generating a Peer Entity」
 Bhed Bahadur Bista（東北大学電気通信研究所）
 (4) 「High Speed Protocol of Packet Transport」
 Gengyu Wei（東北学院大学）

[4] 主な研究発表

- (1) Norio Shiratori, Takuo Suganuma, Shigeki Sugiura, Goutam Chakraborty, Kenji Sugawara, Tetsuo Kinoshita, E. S. Lee, Framework of a flexible communication network, Computer Communications, Vol.19, pp.1268-1275, 1996.
 (2) Norio Shiratori, Kenji Sugawara, Goutam Chakraborty and Dusan Jokanovic, Towards Development of the Next Generation Computer Communication Systems, Regional Symposium on Telecommunications Electronics Circuits and Systems (RESTECS'96) (招待講演), pp.S-12-S-19, 1996.
 (3) Ken Teruya and Norio Shiratori, A Consideration of Transient Characteristics on Throughput in a Slotted Ring Network, IEICE Trans. Fundamentals, Vol. E79-A, No.11, pp.1829-1833, 1996.
 (4) Kenji Shima, Hiroaki Higaki and Makoto Takizawa, Fault-Tolerant Intra-Group Communication, Trans. IPSJ., Vol.37, No.5, pp.883-890, 1996.
 (5) Yoshitaka Shibata, Hideyoshi Kuraishi, Hiroyuki Sakamoto, Feeling Communications Feasibility Using Facial Expression Analysis/Synthesis Based on Individual Model, Trans. IPSJ., Vol.37, No.5, pp.920-930, 1996.
 (6) Takayuki Tachikawa and Makoto Takizawa, Object-Based Group Communication for Distributed

- Systems, Trans. IPSJ., Vol.37, No.5, pp.865-873, 1996.
 (7) Michiaki Katsumoto, Naoya Seta and Yoshitaka Shibata, A Unified Media Synchronization Methods for Dynamic Hypermedia System, Trans. IPSJ., Vol.37, No.5, pp.711-720, 1996.
 (8) 藤田 茂, 菅原研次, 木下哲男, 白鳥則郎, 分散処理システムのエージェント指向アーキテクチャ, 情報処理学会論文誌, Vol.37, No.5, pp.840-852, 1996.
 (9) Ushio Yamamoto, Eun-Seok Lee and Norio Shiratori, Reuse Based Specification Support Method Using Mathematical Similarity, IEICE Trans. Fundamentals, Vol. E79-A, No.11, pp.1752-1759, 1996.
 (10) Chotipat Pornavalai, Norio Shiratori, Goutam Chakraborty, Neural Network for Optimal Steiner Tree Computation, Neural Processing Letters, Vol. 3, No.3, pp.139-149, 1996.
 (11) Pairoj Termsinsuwan, Zixue Cheng, Norio Shiratori, A new approach to ADT specification support based on reuse of similar ADT by the application of Case- Based Reasoning, Information and Software Technology 38 pp.555-568, 1996.
 (12) Atsushi Togashi, Glenn Mansfield, Norio Shiratori, Animating LOTOS Specifications using AMLOG, International Journal of Software Engineering and Knowledge Engineering, Vol.6, No.1, pp.5-19, 1996.
 (13) Shigetomo Kimura, Atsushi Togashi, Norio Shiratori, Extension of synthesis algorithm of recursive processes to μ -calculus, Information Processing Letters 58, pp.97-104, 1996.
 (14) Hara H., Kinoshita T., Sugawara K., Shiratori N., Active Software Components Based on An Agent Model, Proc. Second Joint Conf. on Knowledge-based Software Engineering, pp.3-10, 1996.
 (15) Fujita S., Sugawara K., Kinoshita T., Shiratori N., An Approach to Developing Human-Agent Symbiotic Space, Proc. Second Joint Conf. on Knowledge-based Software Engineering, pp.11-18, 1996.
 (16) Suganuma T., Fujita S., Sugawara K., Kinoshita T., Shiratori N., An Agent-based Architecture for Flexible Multimedia Communication Networks, Proc. Second Int. Conf. on Multiagent Syst. (ICMAS-96), 1996.

課題番号 A-11

IV族半導体極微構造形成と表面・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)
末光 真希	(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)
櫻庭 政夫	(東北大学電気通信研究所)
小柳 光正	(東北大学工学部)
栗野 浩之	(東北大学工学部)
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	(東京大学先端科学技術研究センター)
安田 幸夫	(名古屋大学工学部)
財満 鎮明	(名古屋大学工学部)
池田 浩也	(名古屋大学工学部)
田部 道晴	(静岡大学電子工学研究所)
御子柴宣夫	(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	(電子技術総合研究所)
三木 一司	(電子技術総合研究所)
荒井 英輔	(名古屋工業大学)
佐々木公洋	(金沢大学工学部)
土屋 敏章	(NTTシステムエレクトロニクス研究所)

配分研究費 校費 100万円 旅費 150万円

[2] 研究経過

IV族半導体極微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。本研究では、原子層制御CVD・エッティング・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、IV族半導体極微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、形成した極微構造体から発現する新しい光・電子物性の探索を行う。具体的には、原子レベルで平坦な、Si-Ge-C系超格子が一原子層単位で制御された多層エピタキシャル成長を始め、Si窒化膜等のIV族半導体を基とする絶縁膜やW等の金属膜

とSiの多層膜の原子層成長技術並びにそれらをエッティングしました評価する技術を確立し、さらに、量子井戸・量子細線などの任意の極微構造を形成してその物性を研究するものである。

本年度はSi-Ge-Cの多層エピタキシャル膜、Si窒化膜、Si酸化膜、WとSiの多層膜等を中心にして極微構造形成技術・表面界面制御技術の研究を行った。また、表面・界面が大きな影響を及ぼす極微細デバイスの研究を行った。プロセスにはCVD法・MBE法・ECRプラズマ法・イオンビームスパッタ法等を用いて行い、相互の方法の比較を行いながら各自の特徴を生かした最適化を行っている。原子レベルでの平坦性及び表面構造の評価にはSTM/AFM・X線回折・電子線回折等、表面の吸着物質・原子結合の同定にはXPS・FTIR・ラマン分光・SIMS等を用いた。また、IV族半導体極微構造による新機能デバイスの創生のための指針を得ること目指して、共鳴トンネルダイオード・量子箱・量子細線等の形成した極微構造の電気特性、発光、及び電子放出特性の計測・評価を行った。研究は、本研究所超高密度・高速知能システム実験施設でのプロセス実験・評価実験を中心に、各共同研究者の有する特色有る試料作成・評価実験等はそれぞれの研究機関で行った。さらに、今後引き続き行う共同実験の具体的分担内容について討論を行った。

本年度に得られた主な研究成果は以下のとおりである。

[SiGe系の反応・成長・エッティング] (室田、白木、安田、御子柴、松本、財満、末光、坂本(統)、三木、佐々木、松浦、宇佐美、池田、小林、櫻庭)

CVDにおけるSi上へのGeの成長初期過程が表面水素終端により大きく変化することを明らかにした。また、SiH₄やGeH₄のGe上・Si上での表面反応過程を表面水素脱離との関係も含めて議論し、Si・Geの原子層成長を実現した。そして、CVD・MBE・イオンビームスパッタ法・溶融再成長法によるエピタキシャル成長を比較した。さらに、結晶成長における表面偏析抑制法や表面拡散の実観察法を明らかにした。一方、SiやGeの原子層エッティングを可能にし、その自己制限型

反応機構について考察した。

[窒化膜・酸化膜・拡散] (室田, 田部, 松本, 荒井, 松浦, 櫻庭)

SiやGeをNH₃雰囲気中で低温熱窒化することにより, 原子層オーダの極薄窒化膜が形成できることを明らかにした。また, Si熱窒化核の形成過程とそれをマスクとした選択酸化について研究した。さらに, 窒化膜応力下でのB減速拡散を調べ、圧縮歪みと点欠陥濃度の関係を明らかにした。

[半導体表面上での金属の表面反応, コンタクト]

(室田, 安田, 財満, 松浦, 池田, 櫻庭)

Si上でのSiH₄-WF₆系の表面吸着・反応について研究し, 表面水素終端が吸着に影響していること, 表面でSiH₄とWF₆が相互に反応することを明らかにした。また, SiGe系と金属とのコンタクト特性を研究し, ショットキーバリア高さとドーピング濃度でほぼ説明できることを明らかにした。

[SiGe系の物性, 量子構造] (室田, 潮田, 白木, 田部, 上原, 坂本(謙), 宇佐美)

SiGe系ヘテロ構造をラマン散乱とフォトルミネッセンスで解析した。また, SiGe系変調ドープ構造・ヘテロ井戸層等の量子構造の形成法を研究し, それらの量子構造に特有の電気伝導特性, 光学特性を明らかにした。

[SiGe系デバイスの高性能化] (室田, 横尾, 小柳, 白木, 土屋, 荒井, 佐々木, 松浦, 栗野, 櫻庭)

不純物ドープSiGe混晶の選択エピタキシャル成長層をソース・ドレイン層とする新しいMOSFET(S³EMOSFET)の製作プロセスを構築し, ゲート電極寸法と実効チャネル長がほぼ等しい0.075μmルールのpチャネルMOSFETを実現した。また, 歪みSi層を用いたpMOS, HBTの高周波特性, MOS界面特性がデバイスに与える影響, 極薄膜微細SOIデバイス, 半導体冷陰極からの電子放出特性等について研究し, デバイスの高性能化の指針を得た。

本研究により, 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, SiやGe, C等IV族半導体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任意の極微構造形成プロセスの開発にさらに大きな期待が持たれる。さらにこれにより, 極微細領域での光物性・電子物性の学問分野が大きく切り開かれると同時に, Si系デバイスの物理的微細化限界についての有用な知見も得られ, 次世代Si系極微細デバイス開発の道をも開拓できよ

う。

[3] 研究会活動

本共同プロジェクト研究に関する討論のため, 下記の研究会活動を行った。

日時: 1997年1月27日 (月)

場所: 東北大大学電気通信研究所2号館4階大会議室

(1) IV族半導体極微構造形成プロセスに関する研究,

室田淳一, 松浦孝, 櫻庭政夫 (東北大通研)

(2) 高機能シリコンヘテロ構造材料の開発,

白木靖寛, 油谷明栄, 砂村潤, 金銀洙, 宇佐美徳隆 (東大先端研)

(3) Si_{1-x}Ge_x/Siヘテロ構造のラマン散乱とフォルトミネッセンス,

潮田資勝, 坂本謙二 (東北大通研)

(4) STMによるガスソース系シリコンMBE/CVDの結晶成長の実観察,

三木一司, 坂本統徳 (電総研)

(5) 水素脱離をプローブとして見たSiガスソースMBEの成長機構,

末光真希, 中澤日出樹, 築館巖和 (東北大通研)

(6) IBS(イオンビームスパッタ)法によるSiGeのエピタキシャル成長—その基礎特性,

佐々木公洋, 畑朋延 (金沢大工)

(7) 高清淨雰囲気下での熱CVD法によるSi上のGe成長初期過程,

小林信一, 櫻庭政夫*, 松浦孝*, 室田淳一*, 御子柴宣夫 (東京工芸大工, *東北大通研)

(8) SiGe混晶薄膜の低抵抗コンタクトへの応用,

財満鎮明, 池田浩也, 安田幸夫 (名大工)

(9) シリコン熱窒化核をマスクとした選択酸化,

田部道晴, 山本武司, 寺尾要一 (静岡大電子研)

(10) FZ-Siにおける窒化膜応力下でのB減速拡散,

財津吉隆, 清水敬, 高城敏夫, 松本智 (慶應大理工), 荒井英輔 (名工大工)

(11) 半導体冷陰極からの電子放射特性,

嶋脇秀隆, 新井学, 阿部善亮, 鹿山秀英, 川上雅哉, 北野延明, 池田順司*, 田原薰, 渋谷俊平, 三村秀典, 横尾邦義 (東北大通研, *ニコン技術開発本部)

(12) MOS界面特性がデバイス特性に及ぼす影響,

および極薄膜微細SOIデバイスの高速・低消費電力化の研究,

土屋敏章 (NTTシステムエレクトロニクス研)

(13) 極微細MOSトランジスタの動作解析,

小柳光正, 島谷民夫, 松本拓治, Sergey Pidin, 栗野浩之 (東北大工)

[4] 主な研究発表

1. High-Mobility Strained-Si PMOSFET's, D. K. Nayak, K. Goto, A. Yutani, J. Murota, and Y. Shiraki, IEEE, Trans. Electron Devices., **43** (10), 1709-1716 (1996).
2. Atomic-Layer Etching of Ge Using an Ultraclean ECR Plasma, T. Sugiyama, T. Matsuura, and J. Murota, Appl. Surf. Sci., **112**, 187-190 (1997).
3. Initial Growth Characteristics of Germanium on Silicon in LPCVD Using Germane Gas, S. Kobayashi, M. Sakuraba, T. Matsuura, J. Murota, and N. Mikoshiba, J. Crystal Growth, **174** (1-4), (in press).
4. Atomic-Order Layer Growth of Silicon Nitride Films at Low Temperatures, T. Watanabe, M. Sakuraba, T. Matsuura, and J. Murota, Eds. by T. M. Besmann, M. D. Allendorf, McD. Robinson and R. K. Ulrich, Proc. 13th Int. Conf. Chemical Vapor Deposition/1996 (The Electrochemical Society, Pennington, NJ, 1996), Vol. **PV96-5**, pp.504-509. The Electrochemical Society Ext. Abstr., Los Angels, California, May 5-10, 1996, pp.1048-1049.
5. Selective Growth of W at Very Low Temperatures Using a WF₆-SiH₄ Gas System, Y. Yamamoto, T. Matsuura, and J. Murota, Eds. by T. M. Besmann, M. D. Allendorf, McD. Robinson and R. K. Ulrich, Proc. 13th Int. Conf. Chemical Vapor Deposition / 1996 (The Electrochemical Society, Pennington, NJ, 1996) , Vol. **PV96-5**, pp.814-820. The Electrochemical Society Ext. Abstr., Los Angels, California, May 5-10, 1996, pp.1091-1092.
6. Atomic-Layer Surface Reaction of SiH₄ on Ge (100) and GeH₄ on Si(100), J. Murota, M. Sakuraba, T. Watanabe, and T. Matsuura, 1996 Int. Symp. Formation, Physics and Device Application of Quantum Dot Structures (QDS '96), Sapporo, Japan, November 4-7, 1996, p.24.
7. Atomic-Layer Surface Reaction of Silane on the Germanium (100) Surface, J. Murota, T. Watanabe, M. Sakuraba and T. Matsuura, Proc. 2nd Topical Meeting on Structural Dynamics of Epitaxy and Quantum Mechanical Approach, Kobe, January 22-23, 1997, pp.97-101.
8. Formation and Optical Properties of SiGe/Si Quantum Structures, Y. Shiraki, H. Sunamura, N. Usami, and S. Fukatsu, Appl. Surf. Sci. **102**, 263-271 (1996).
9. Exciton Diffusion Dynamics in SiGe/Si Quantum Wells on a V-Groove Patterned Si Substrate, N. Usami, H. Akiyama, Y. Shiraki, and S. Fukatsu, Solid-State Electronics, **40** (1-8), 733-736 (1996).
10. Transport Properties of N-Channel Si/SiGe Modulation-Doped Systems with Varied Channel Thickness: Effect of the Interface Roughness, A. Yutani, and Y. Shiraki, Semicond. Sci. Technol., **11**, 1009-1014 (1996).
11. Studies on the Suppression of Ge Segregation during Si Overgrowth on Ge (n ML) /Si (100) Substrates by Gas-Source MBE, S. Zaima, and Y. Yasuda, J. Crystal Growth, **163**, 105-112 (1996).
12. Electrical Properties in Metal/Si_{1-x}Ge_x/Si(100) Contacts, S. Zaima, J. Kojima, H. Shinoda, and Y. Yasuda, Proc. Advanced Metallization, and Interconnect Systems for ULSI Applications, Boston and Tokyo, Oct. 23-24, 1996.
13. Stress of ECR Plasma CVD Si₃N₄ films on FZ-Si, Y. Zaitsu, T. Shimizu, J. Takeuchi, S. Matsumoto, M. Yoshida, T. Abe, and E. Arai, Eds. by G.R. Srinivasan, C.S. Marthy, and S.T. Dunham: Proc. Forth Int. Symp. Process Physics and Modeling in Semiconductor Technology, Vol. **PV96-4** pp. 288-297.
14. Heteroepitaxial Melt-regrowth of Si_{1-x}Ge_x/Si(100) Formed by Laser Melt Mixing of Photochemically Deposited Ge Films and Si Substrate, T. Akane, M. Umekawa, S. Matsumoto, and H. Higuchi, J. Crystal Growth, **167**, 32-37 (1996).
15. High Frequency Characteristics of Si Based Heterojunction Bipolar Transistors with True Amorphous Emitter, K. Sasaki, T. Hikichi, and S. Furukawa, Int. Electron Devices and Materials Symp. (IEDMS '96) B1-5 pp. 41-44.
16. Silicon Deep Submicron LSI Technology and Cooperation in Technology Development, E. Arai, Asia Pacific Microwave Conf. (1996) A5-INV1 pp.453-456.

課題番号 A-12

ニューロンダイナミクスとその情報処理機能に関する研究

[1] 組織

代表者：山本光璋（東北大学大学院情報科学研究科）
 責任者：矢野雅文（東北大学電気通信研究所）
 分担者：中尾光之（東北大学大学院情報科学研究科）
 加藤宏司（山形大学医学部）
 伊藤憲一（山形大学医学部）
 宮川博義（東京薬科大学生命科学部）
 研究費：校費100万円、旅費67万円

[2] 研究経過

近年のニューラルネットワーク研究の隆盛の多くは、主にその応用研究によって支えられているといつても過言ではない。しかしながら、神経科学の立場から見れば、このことは必ずしも、その発展に寄与するとは限らない。事実、これまで明らかにされてきた神経生理学的知見は人工ニューラルネットワークにはほとんど反映されておらず、両者の差は開くばかりである。計算論的な立場から神経科学に貢献していくこうとする計算論的神経科学だけにとどまらず、工学にとってもその新たな計算原理を模索する上で、実際のニューロンの働きを、それ本来の姿に近い形で再現し、その計算様式を研究することは意義深いことのように思われる。本研究は、(1)人工的な環境下において、実際のニューロンの基本的な性質を調べる *in vitro* の実験を行なうレベル。(2)実験的に得られたダイナミクスをモデル論的に解釈し、その情報処理機能を探るレベル。のそれぞれについて、神経生理学、生体情報学、神経薬理学などの広範な分野の専門家を結集し共同して、実験レベルで見い出される知見の機能的な意義を明らかにすることを目的にしている。

研究成果は以下の通りである。

ニューロンダイナミクスに関する実験による成果

従来、中枢ニューロンの樹状突起は受容したシナプス入力を細胞体へ伝える単純な受動的ケーブルとして捉えられていたが、最近ではこれが能動的な応答特性を持ち (Spruston et al., 1995), 複雑なダイナミクスを呈することが明らかにされている。そのため、樹状突起はその能動性を利用した独自の情報処理機能を有している可能性が指摘されている。本研究では樹状突起の能動的な性質を

明らかにするため、多点で計測した細胞外電位応答に電流源密度 (CSD) 解析法 (Miyakawa and Kato, 1989) を適用し、海馬錐体ニューロンの尖頭樹状突起における膜興奮の伝播特性を調べた。

海馬スライス標本のrad層及びalv/ori層に電気刺激を与えると、細胞体層 (pyr) の近傍に膜の興奮を表すと考えられる内向き電流源 (sink) が、rad層刺激のときには潜時約10msで、alv/ori層刺激のときには約2msと10msで生じ、これが尖頭樹状突起 (rad,lac-mol) 及び基底樹状突起 (ori) を末端方向に伝播する現象が観測される (sinkの逆伝播現象)。人工脳脊髄液からCa²⁺を除き、シナプス伝達を阻害すると、rad層刺激による伝播性 sink及びalv/ori層刺激のときに遅れて生じる sink はいずれも消失する。このことから、これらはそれぞれ尖頭樹状突起、基底樹状突起へのシナプス入力によって生じたものであることが示唆される。また、人工脳脊髄液からCa²⁺を除いても消失しなかった伝播性 sinkは、錐体細胞の出力線維を逆行する活動電位によって生じたものであると考えられる。

尖頭樹状突起の各記録点のpyr層からの距離と各点におけるシナプスを介して生じた sinkのピーク潜時特性から、sinkの伝播速度を最小二乗法により求めた。rad層を paired-pulse 刺激したときの1発目および2発目の刺激で生じる sink の伝播速度はそれぞれ $0.025 \pm 0.007\text{ ms}$ ($n=7$)、 $0.034 \pm 0.006\text{ ms}$ ($n=6$) であり、これらの間には t -検定 (有意水準 5%) で有意差がみられた。また、alv/ori層を刺激したときの伝播速度はそれぞれ $0.052 \pm 0.011\text{ ms}$ ($n=7$)、 $0.055 \pm 0.010\text{ ms}$ ($n=8$) であり、これらの間には有意な差がみられなかった (有意水準 5%)。CA1錐体ニューロンは興奮性入力だけでなく、その近傍に存在する多種の介在ニューロンからの抑制入力を受容しており、電気刺激はこれらの入力を非選択的に活性化する。paired-pulse 刺激を与えたときは2発目の刺激のときに抑制性シナプス入力が弱くなるとの報告があり、これによって尖頭樹状突起へ入力を与えたときの sink の伝播速度に違いが生じた可能性がある。

本実験は東北大学大学院情報科学研究科動物実験委員会の承認を得て行なわれた。

モデリングの成果

我々はアクティブな樹状突起をもつニューロンのコンパートメントモデルの入出力特性に基づいた形式ニューロンを定式化した。形式ニューロンの基となった海馬CA1錐体ニューロンのコンパートメントモデルは、等価円柱で近似した細胞体、基底（basal）樹状突起と尖頭（apical）樹状突起、および軸索小丘（AIS）が電気的に結合されたものである。各コンパートメントの膜電位ダイナミクスは Hodgkin-Huxley 方程式を拡張した微分方程式で記述されている。最近の研究によれば、このニューロンの細胞体と樹状突起には、膜電位依存性Na⁺チャネルがほぼ一定の密度で分布し (Magee and Johnston, 1995)，その活性によって細胞体で発生した活動電位を樹状突起の先端まで伝播させることができる (Spruston et al., 1995)。モデルパラメータは、これら最近になって明らかにされた生理学的実験データに基づいて設定した。また、ニューロンは多種の興奮性および抑制性シナプス入力を受容するが、これらはその入力系統に応じて細胞体や樹状突起の上を整然と「棲み分け」していることが知られている。従来この「シナプスの棲み分け」は単にシナプス結合の強度の問題に還元できるものとして捉えられてきたが、我々のこれまでのシミュレーション研究によって、樹状突起がアクティブな性質を有する時には(1)シナプス入力がその空間的配置に規定された局所的・階層的相互作用をすること、および(2)出力が入力タイミングのわずかなずれに対してロバストな性質をもっていること、が明らかになっている。そこで本研究では「シナプスの棲み分け」を考慮して形式ニューロンを構築した。以下では簡単のために、興奮性 (x) および抑制性 (y) シナプス入力をそれぞれ尖頭樹状突起の中央に配置されたものを x_m, y_m 、末端に置かれたものを x_d, y_d 、および基底樹状突起に配置されたものを x_b, y_b と記す。

同時に与えられる1組のシナプス入力 ($x_b, y_b, x_m, y_m, x_d, y_d$) に対するニューロンの出力 ζ (1または0の値をとり、ニューロンの興奮を $\zeta=1$ で表す) が次の様に定式化できるものと仮定する。

$$\zeta = \Theta [I_{\text{dendrite}} (x_b, y_b, x_m, y_m, x_d, y_d) - h] \quad (1)$$

ここに I_{dendrite} は樹状突起によるシナプス入力の統合特性を表すスカラー関数（シナプス入力統合関数）、 h はニューロンの発火閾値、また $\Theta [z]$ はヘビサイドステップ関数である。

前述したシナプス入力の統合特性、すなわちシナプス入力統合の局所性と階層性(1)から、形式ニューロンは次のように記述される。

$$\zeta = \Theta [I_{\text{basal}} (z_b) + I_{\text{apical}} (z_m + I_{\text{distal}} (z_d)) - h] \quad (2)$$

ここに、 z はその場所におけるシナプス入力の局所的な統合特性、 I_{basal} および I_{apical} はそれぞれ基底樹状突起および尖頭樹状突起のシナプス入力の統合特性、 I_{distal} は尖頭樹状突起の基部および末端部に入力されたシナプス入力間の階層関係、をそれぞれ表す。シナプス入力の組 ($x_b, y_b, x_m, y_m, x_d, y_d$) が張るベクトル空間を入力空間と定義すると、次式は入力空間を発火閾値以上のものとそれ未満のものに分割する曲面をなす。

$$0 = I_{\text{basal}} (z_b) + I_{\text{apical}} (z_m + I_{\text{distal}} (z_d)) - h \quad (3)$$

ただし、 $z_b (\hat{x}_b, \hat{y}_b) = \hat{z}_b$ 、 $z_m (\hat{x}_m, \hat{y}_m) = \hat{z}_m$ 、および $z_d (\hat{x}_d, \hat{y}_d) = \hat{z}_d$ と略記した。式(3)の解 ($\hat{x}_b, \hat{y}_b, \hat{x}_m, \hat{y}_m, \hat{x}_d, \hat{y}_d$) を閾値入力ベクトルと呼ぶ。この曲面をモデル化できれば閾値近傍のシナプス統合関数を記述できることになる。 $I(\cdot)$ が逆関数 $I^{-1}(\cdot)$ をもつとすれば z_d は次のように書くことができる。

$$z_d (\hat{x}_d, \hat{y}_d) = I_{\text{distal}}^{-1} (-\hat{z}_m + I_{\text{apical}}^{-1} (h - I_{\text{basal}}^{-1} (\hat{z}_b))) \quad (4)$$

最終的に次式のシナプス入力統合関数が得られる。

$$\begin{aligned} I_{\text{dendrite}} &= I_{\text{basal}} (z_b) + I_{\text{apical}} (z_m + I_{\text{distal}} (z_d)) \\ &= f(w_b z_b - h_b) \\ &\quad + f(w_m z_m - h_a + k f(w_d z_d - h_d)) \end{aligned} \quad (5)$$

ここに、 $f(x) = 1/(1 + \exp(-x))$ 、 $z_b = x_b - s y_b$ 、 $z_m = x_m - r y_m$ 、 $z_d = (x_d + p)/(y_d + q)$ 、また $w_b, w_m, w_d, h_b, h_a, h_d, p, q, r, s$ および k はモデルパラメータで、その値は非線形最小2乗法を用いて閾値入力ベクトルをモデルに当てはめることによって推定した。この形式ニューロンは古典ニューロンで構成された多層神経回路網と相似な構造をもっており、計算論的にも扱いやすい構造を有している。

[3] 研究活動報告

研究打合せを8月24日～26日、12月25日～27日、2月26日～3月1日の計三回行なった。それぞれ次のようなテーマについて研究発表を行ない、討論を深めた。

加藤宏司、伊藤憲一（山形大・医）：

「海馬ニューロンにおけるLTPおよびLTD形成のメカニズムについて」

宮川博義（東京薬科大・生命科学）：

「膜電位とカルシウム濃度の同時測定による樹状突起の能動性の解析」

山本光璋、中尾光之（東北大・情報科学）：

「能動的な樹状突起を有するニューロンのモデル化とその機能的意義」

矢野雅文（東北大・通研）：

「振動子ニューラルネットワークの情報処理能力」

その他、当初計画した構成員には加わらなかつたが、標記研究題目の観点からユニークかつ興味深い研究をされている研究者を適宜招いて研究打合せを行なった。今年度は、三浦正巳（理化研）、井上貴文（東大医科研）、児玉亨（東京都神経研）、吉田祥子（豊橋技科大）の各氏を招聘した。このうち、三浦氏はニューロンの樹状突起における細胞内カルシウム濃度のダイナミクスを光学計測しており、抑制入力下存在下でのシナプス入力によって引き起こされるカルシウム流入について議論して頂いた。井上氏は細胞内カルシウム濃度の調節機構を担うイノシトール三リン酸の働きを追究しておられ、最近の実験結果を被歴して頂き、その機能的な意義について議論した。児玉氏はin vivo系におけるマイクロダイアリシスの第一人者であり、特にアセチルコリンやアミンによる神経調節について議論して頂いた。小脳は運動調節において重要な役割を果たしていると考えられているが、吉田氏は、その整然とした構造と機能の関係を形態形成の観点から追究しておられ、最近の知見について被歴して頂いた。

[4] 主な研究発表

- (1) M. Musila, M. Nakao, A. Fine, M. Yamamoto, "Effect of spatial facilitation on neural network excitability", *Cybernetics and Systems*, Vol.27, pp.367–383 (1996).
- (2) 中尾光之, 山本光璋, “生体 $1/f$ ゆらぎ現象とそのメカニズム—モデル論的解釈を中心に—,” *電子情報通信学会誌*, Vol.79, pp.62–64 (1996).
- (3) 高橋和巳, 中村和浩, 遠藤久美, 片山統裕, 中尾光之, 児玉亨, 山本光璋, “睡眠時ネコ外側膝状体単一ニューロン活動の計測と解析,” *信学技報 MBE-96-91* (1996).
- (4) 片山統裕, 中尾光之, 山本光璋, “アクティブな樹状突起のシナプス入力統合特性に基づいた形式ニューロン,” 第11回生体・生理シンポジウム論文集, pp.69–72 (1996).
- (5) 中山亮, 片山統裕, 中尾光之, 山本光璋, 塚原保夫, “海馬CA1錐体ニューロンの樹状突起における興奮伝播の電流源密度解析,” 第11回生体・生理シンポジウム論文集, pp.85–88 (1996).
- (6) 片山統裕, 中尾光之, 山本光璋, “アクティブな樹状突起をもつニューロンの形式的モデル,” 日本神経回路学会論文集, pp.235–234 (1996).
- (7) 中山亮, 片山統裕, 中尾光之, 山本光璋, 塚原保夫, “海馬CA1錐体ニューロンの尖頭樹状突起における興奮の逆伝播現象,” 日本神経回路学会論文集, pp.315–316 (1996).
- (8) N. Katayama, M. Nakao, Y. Mizutani, and M. Yamamoto, “Thickness controls spatial cooperation of calcium-activated dynamics in neuronal dendrite system,” *IEICE Trans. Fundamentals*, Vol.E80-A, pp.197–205 (1997).
- (9) K. Ito, A. Fujii, Z. Chen, H. Miyakawa, H. Sasaki, K. Kaneko, and H. Kato, “LTD and depotentiation in hippocampus,” In *Brain Process and Memory*, K. Ishikawa, J. L. McGaugh, and H. Sakata eds, Elsevier Science, pp.249–260 (1996).
- (10) Z. Chen, K. Ito, S. Fujii, M. Miura, H. Furuse, H. Sasaki, K. Kaneko, H. Kato, and H. Miyakawa, “Roles of dopamine receptors in long term depression: enhancement via D1 receptors and inhibition via D2 receptors,” *Receptors and Channels*, Vol.4, pp.1–8 (1996).
- (11) T. P. Hicks and K. Ito, “The effects of D- α -amino adipic acid on long-term potentiation in the hippocampus of the rat in vitro”, *Neurosci. Res.*, Vol.24, pp.139–150 (1996).
- (12) A. Kammesheidt, K. Ito, K. Kato, L. P. Villarreal, and K. Sumikawa, “Transduction of hippocampal CA1 by adenovirus in vivo,” *Brain Res.*, Vol.736, pp.297–304 (1996).

課題番号 B-1

マイクロ波帯における材料特性の評価

[1] 組織

代表者：米山 務（東北大学電気通信研究所）
 分担者：澤谷 邦男（東北大学工学部）
 大嶋 重利（山形大学工学部）
 水野 皓司（東北大学電気通信研究所）
 福富 勝夫（科学技術庁金属材料技術研究所）
 上野 祥樹（株移動体通信先端技術研究所）

[2] 研究会報告

『マイクロ波帯における材料特性の評価』

本プロジェクト研究は、新たな周波数資源として利用が期待されているマイクロ波からミリ波において、導体および誘電体の損失が問題となっていることを背景に、これらの周波数帯における導体の表面抵抗並びに誘電体の複素誘電率を精度良く評価する手法を確立することを目指して設立された。

本年度は、以下の研究会を開催した。

日時：平成9年3月13日（木）

午後1時30分～5時00分

場所：東北大学工学部青葉記念会館7階中研修室

(1)澤谷邦男（東北大学工学部）

『企画者挨拶』

(2)本間尚樹、陳強、澤谷邦男（東北大学工学部）

『FDTD法を用いたマイクロストリップ線路共振器のQ値の解析』

(3)江畑克史、楠正暢、大嶋重利（山形大学工学部）

『酸化物超伝導パッチアンテナの試作・評価』

(4)宇野亨（東京農工大学工学部）

『特殊媒質に対するFDTD法と吸収境界条件』

(5)上野祥樹（移動体通信先端技術研究所）

『移動体通信基地局用高温超伝導受信フィルタ』

(6)小森和範、福富勝夫（金属材料技術研究所）、

斉藤正和（ミツバ）

『誘電体共振器法を用いたYBCO薄膜のマイクロ波特性評価』

(7)陳健、小林英介、明連廣昭、中島健介、山下努（東北大学電気通信研究所）、許偉偉（中国南京大学）

『テラヘルツ帯における高温超伝導粒界ジョセフソン接合の応答及び混合特性』

各講演の要旨は以下の通りである。（以下敬称略）

澤谷邦男（東北大・工）は、企画者挨拶で共同プロジェクト研究の発足とその後の経過並びに平成8年度で本プロジェクト研究が終了するとの説明があった。

次に、本間尚樹（東北大・工）が『FDTD法を用いたマイクロストリップ線路共振器のQ値の解析』について講演を行った。アンテナやフィルタなどのマイクロ波デバイスの効率を向上する方法として、酸化物高温超伝導材料の応用が期待されており、これに伴って、超伝導材料の高周波特性の評価が重要となっている。また、高温超伝導材料は誘電体基板上に作製されることから、基板材料の複素誘電率を測定しておくことも重要である。本研究では、温度特性だけでなく周波数特性も明らかにすることを目的としていることから、複数の共振点を利用できるマイクロストリップ線路共振器を採用し、種々のマイクロストリップ線路に対する計算式と実験により、誘電体の複素誘電率や導体の表面抵抗を求めてきた。しかしながら、放射抑制のために設けられるキャビティやストリップ線路の形状が複雑となった場合に、その効果を考慮できる解析が困難であった。そこで、複雑な形状の共振器にも比較的簡単に適用可能な時間領域差分法（Finite Difference Time Domain Method, FDTD法）に基づいて数値解析を行った。Q値の解析方法として(1)ストリップ線路のインピーダンスから求める方法、(2)導体損と誘電体損に伴う消費電力から求める方法、(3)パルス応答の減衰特性から求める方法の3種類の方法について比較し、(2)の方法がQ値が高い場合および低い場合の両方に適用できるなど、それぞれの利点と欠点を明らかにした。

江畑克史（山形大・工）は『酸化物超伝導パッチアンテナの試作・評価』に関する講演を行った。まず、伝送線路モデルにより方形パッチアンテナの設計を行い、次にこれに基づいて銅およびYBCO薄膜のアンテナを試作し、その特性を評価した結果が報告された。図1に試作されたYBCO方形パッチアンテナの利得の温度特性を示す。温

度が50K以下になると急激に利得が向上することがわかる。また、32Kにおける利得は常温の銅のアンテナに比べて2.1dB向上しており、超伝導体を用いたことに伴う効率の向上が確認された。

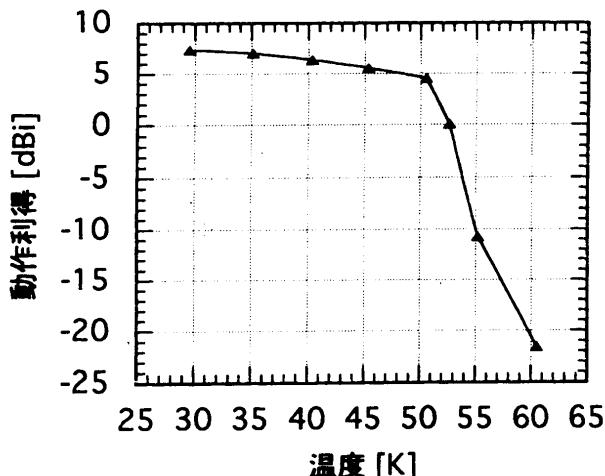


図1 YBCO方形パッチアンテナの動作利得の温度特性(5GHz)。

宇野亨（東京農工大・工）は『特殊媒質に対するFDTD法と吸収境界条件』について講演し、異方性や分散性のような特殊媒質の特性を評価するためにFDTD法を用いる際の問題点を述べた。また、これらの特殊媒質を含む解放領域を扱うときの完全吸収層（Perfectly Matched Layer, PML）について新たな提案を行った。

上野祥樹（移動体通信先端技術研）は『移動体通信基地局用高温超伝導受信フィルタ』について講演を行った。まず、Qが高く低雑音のフィルタを開発することにより、移動体通信における周波数利用効率の向上ができるとの報告があり、次にYBCO薄膜により試作したフィルタの特性が紹介された。誘電体基板材料としてLaAlO₃を用い、7段チェビシェフを試作し、その特性を評価した結果、図2に示すように、挿入損失が0.3dB以下が得られ、高温超伝導の特長を生かした小形、低損失でシャープカットなフィルタとなっていることが確認された。

小森和範（金属材料技術研）は『誘電体共振器法を用いたYBCO薄膜のマイクロ波特性評価』について講演を行った。この研究は大面積で優れたマイクロ波特性を有する高温超伝導薄膜の形成を目的としたもので、まずレーザーAブレーション法とミラースキャンにより直径20mm以上の広範囲にYBCO薄膜を作製した結果が示された。次に、平行平板誘電体共振器を用いてYBCO薄膜のQを

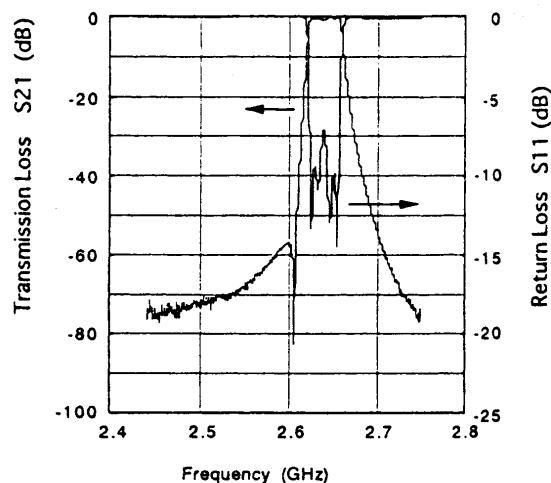


図2 7段YBCOフィルタの周波数特性。

測定した結果、88K以下で銅の場合のQ値を上回る結果を得た。さらに、金属層とバッファ層の上、並びにMgO単結晶上に作製されたYBCO薄膜を比較した結果、単結晶の方が高いQ値を示すことを明らかにした。

最後に、陳健（東北大・通研）が『テラヘルツ帯における高温超伝導粒界ジヨセフソン接合の応答及び混合特性』についての講演を行い、YBCOジヨセフソン接合を用いて、テラヘルツ帯における応答、混合および固有雑音温度限界などを評価した結果が紹介された。直接応答特性によりこれまで報告されているYBCO接合の応答の周波数は最高で約0.9THzであったが、本研究では最適な基板を用い照射システムを改善することにより、最高2.53THzのサブミリ波において明瞭な応答を確認し、これらの接合がテラヘルツまで動作することを明らかにした。また、これらの接合を用いてテラヘルツ帯におけるハーモニック混合特性を調べ、マイクロ波との約500次のハーモニック混合が得られ、ジヨセフソンハーモニックミキサーとしての高次動作が確認された。さらに、テラヘルツ帯における固有雑音温度について詳細に評価し、ジヨセフソン接合の固有雑音温度は広い温度範囲で熱雑音だけの理論値よりも高いことがわかり、余剰なショット雑音が存在する可能性があることが示された。

課題番号 B-2

プラズマ中の自己組織化現象の解明とその応用

[1] 組織

企画者：犬竹 正明（東北大学工学研究科）
 責任者：横尾 邦義（東北大学電気通信研究所）
 分担者：安藤 晃（東北大工）
 服部 邦彦（東北大工）
 天岸 祥光（静岡大理）
 桂井 誠（東大工）
 吉田 善章（東大工）
 荒川 義博（東大工）
 伊藤 早苗（九大応用力学研）
 大澤 幸治（名大理）
 栗木 恭一（宇宙科学研）
 宇山 忠男（姫路工大）
 八坂 保能（京大工）
 瞳道 恭（京大理）
 藤原 正巳（核融合科学研）
 佐藤浩之助（核融合科学研）
 羽鳥 尹承（核融合科学研）
 川端 一男（核融合科学研）
 長山 好夫（核融合科学研）
 伊藤 公孝（核融合科学研）
 佐貫 平二（核融合科学研）
 市村 真（筑波大プラズマ研）
 隈本 泰士（筑波大プラズマ研）
 間瀬 淳（筑波大プラズマ研）

[2] 研究会報告

実験室プラズマから核融合プラズマ、そして宇宙空間プラズマ中など広範囲なプラズマ領域において、プラズマ中での非線形性に起因する多くの構造形成や自己組織化を伴った複雑な電磁流体现象の共通した物理過程を相互に情報交換を行い検討することにより荷電粒子の複合体であるプラズマ中の自己組織化現象に関する理解を進めることが必要である。さらに、渦を伴った電磁流体现象は上記の理解にとって重要なばかりではなく電磁推進などへの応用が期待されており、原理実験だけでなく実用機の高性能化を目指した実験が行われている。そこで、これらに関する研究会を以下のように実施した。

第1回

日時：平成9年9月17日（火）9:00
 ~19日（木）16:30

場所：東北大学工学部 青葉記念会館

題名：Symposium on Double Layers-Potential Formation and Related Nonlinear Phenomena in Plasmas

講師／演題

- (1) M.Inutake (Tohoku University)
 Control of Axial and Radial Potential Profiles in Tandem Mirrors
- (2) H.Sanuki (National Institute for Fusion Science)
 Studies on Radial Electric Field and Confinement in Toroidal Plasmas
- (3) K.H.Sato (National Institute for Fusion Science)
 Pellet Ablation Characteristics and the Effect on the Potential in Toroidal Plasmas
- (4) M.Yoshinuma, K.Hattori, A.Ando, M.Inutake, T.Kaneko, R.Hatakeyama, and N.Sato (Tohoku University)
 Control of Radial Potential Profile and Related Low Frequency Fluctuations in an ECR-Produced Plasma
- (5) Y.Tatematsu, Y.Kiwamoto, T.Saito, Y. Yoshimura, I.Katanuma, and T.Tamano (University of Tsukuba)
 Control of Potential Profile and Energy Transport to Machine Ends along Open Magnetic Field Lines in a Tandem Mirror

第2回

日時：平成9年1月29日（水）13:30

~30日（木）11:45

場所：東北大学工学部電気・情報館451・453号室

題名：超短パルス技術を用いたプラズマ計測ならびに応用

講師／演題

- (1) 間瀬 淳（筑波大学プラズマ研究センター）
 ガンマ10におけるマイクロ波反射計測
- (2) P.Pavlichenko, 江尻 晶, 川端一男
 (核融合科学研究所)
 Development of Pulse Radar reflectometer for CHS plasmas.
- (3) 小林英樹, 服部邦彦, 安藤 晃, 犬竹正明
 (東北大学工学部)
 HITOP (HIgh density TOhoku Plasma) におけるマイクロ波計測
- (4) 北條仁士（筑波大学プラズマ研究センター）
 サブサイクル電磁波とプラズマの相互作用

- プラズマ診断と粒子加速への応用 -

- (5) 山中龍彦（大阪大学レーザー研究センター）
超高輝度レーザーとプラズマとの相互作用
- (6) 西田 靖（宇都宮大学工学部）
電磁的横波による電子線形加速器の現状
- (7) 中塚宏樹（筑波大学物理工学）
超短パルスレーザーおよび白色光を用いた超高速分光

この研究会では、プラズマ内部の現象をより詳細に観測するための新しい計測法の現状や問題点が討論され、さらに、短時間で起こると考えられるプラズマの自己組織化現象を観測する手段の一つとして超短パルス技術の開発と応用の有用性が検討された。

第3回

日時：平成9年2月3日（月）13:30
～4日（火）10:30

場所：東北大学工学部電気・情報館451・453号室
題名：プラズマ電位制御および新領域プラズマに関する研究会
- プラズマ中の電場形成と揺動制御 -

講師／演題

- (1) 金子俊郎（東北大学工学部）
QT-Uにおける軸方向電場制御
- (2) 吉沼幹郎（東北大学工学部）
QT-Uにおける径方向電場制御
- (3) 立松芳典（筑波大学プラズマ研究センター）
ガンマ10における電子加熱と電位形成
- (4) 長山好夫（核融合科学研究所）
直線プラズマの電場や圧力勾配による回転
- (5) 居田克巳（核融合科学研究所）
ヘリカル／トカマクにおける電場構造と輸送過程
- (6) 津島 晴（横浜国立大学工学部）
JFT-2Mにおける電子速度分布測定
- (7) 団子秀樹（京都大学エネルギー科学）
ペレット溶発の基礎過程とペレット入射による新しい平衡状態の形成過程
- (8) 池畠 隆（茨城大学工学部）
磁場中の膨張プラズマ、回転プラズマの不安定性と渦形成
- (9) 田中雅慶（核融合科学研究所）
ECRプラズマ中の流れ場の測定

この研究会ではプラズマ中の電位形成機構や不安定性の抑制、緩和過程など多様なテーマを含んでいるが、これらの事象をプラズマの自己組織化というキーワードで統一的に解釈しようという立場から各プラズマ実験での最近の実験結果をふま

えた有意義な討論の場となった。

第4回

日時：平成9年2月24日（月）13:30
～25日（火）12:15

場所：東北大学工学部 青葉記念会館大研修室
題名：プラズマの電磁加速と高エンタルピー流
講師／演題

- (1) 清水幸夫（宇宙科学研究所）
宇宙実験室（SFU）での電気推進実験（EPEX）
- (2) 都木恭一郎（宇宙科学研究所）
DCアーキジェット／MPDアーキジェット流れ場の計測
- (3) 池田宏一、安藤 晃、服部邦彦、犬竹正明（東北大学工学部）
MPDプラズマの粒子エネルギー測定
- (4) 船木一幸（宇宙科学研究所）
DCアーキジェット流れ場数値シミュレーション
- (5) P.C.Sleziona（東北大学工学部）
CFD Calculation of MPD Devices
- (6) C.Park（東北大学工学部）
Nonequilibrium Air Chemistry in Arc-Jet Flow
- (7) 佐宗章弘（東北大学流体科学研究所）
外部磁場定常MPDスラスターの推進性能と実験
- (8) 佐鳥 新（宇宙科学研究所）
ECRプラズマ源と半導体レーザーによる計測
- (9) 上松和夫（石川島播磨重工）
MPDアーキジェットの産業応用
- (10) 荒川義博（東京大学工学部）
ホール推進機の高出力化

この研究会では、プラズマ自己組織化現象の応用という立場から電気推進機および加速機等の実験の現状や問題点、課題などが明らかになり、今後の研究の動向に大いに役立つ内容であった。

研究会の参加者は、学内外を含め常時50名以上であった。各講演に対して参加者による活発な討論が行われ、プラズマの自己組織化現象の素過程の理解や応用の一端に大きく寄与する研究会となつた。

課題番号 B-3

並列・分散・協調コンピューティング

[1] 組織

代表者：西関 隆夫（東北大学大学院情報科学研究科）
 分担者：白鳥 則郎（東北大学電気通信研究所）
 阿曾 弘具（東北大学大学院工学研究科）
 伊藤 貴康（東北大学大学院情報科学研究科）
 丸岡 章（東北大学大学院情報科学研究科）
 根元 義章（東北大学大学院情報科学研究科）
 牧野 正三（東北大学大型計算機センター）
 中野 真一（東北大学大学院工学研究科）
 龍田 真（京都大学大学院理学研究科）
 佐藤 雅彦（京都大学大学院工学研究科）
 富樫 敦（静岡大学工学部）
 西野 哲朗（電気通信大学）
 平田 富夫（名古屋大学工学部）
 堀口 進（北陸先端科学技術大学院大学）
 浅野 孝夫（中央大学工学部）
 斎藤 恒雄（筑波大学電子情報系）
 山下 雅史（広島大学工学部）
 伊藤 彰則（山形大学工学部）
 宗森 純（大阪大学工学部）

[2] 研究会報告

高度情報化社会の進展により、効率的かつ信頼性の高い協調型並列・分散処理システムをシステムティックに開発するための基礎理論と実際の方法論を確立することが必要不可欠である。そこで、本プロジェクト研究は、効率のよい並列・分散・協調アルゴリズムの統一的設計法や大規模並列・分散・協調システムの構成・解析法の確立を目指すことを目的として企画された。

本年度は、7回の研究会を開催し、並列・分散・協調コンピューティングに関する諸問題を幅広く討論した。各研究会の主な講演内容は以下の通りである。

第1回

日時：平成8年7月18日（木）
 場所：東北大学附属図書館工学分館視聴覚室
 講師／演題

1. 五十嵐善英（群馬大学・教授）
 “Independent Spanning Trees of Product Graphs”
2. Tao Jiang（マクマスター大学・教授）

“Rotations of Periodic Strings and Short Superstring”

五十嵐教授は、耐故障ブロードキャスティングにおいて重要な問題である、積グラフの独立全域木について新たな証明を紹介した。

第2回

日時：平成8年10月18日（金）
 場所：東北大学工学部電気情報系208号室
 講師／演題

1. 阿江忠（広島大学・教授）
 「ブレインウェアーキテクチャをめざして（ニューラルネットワークから人工頭脳へ）」
2. 堀口進（北陸先端大・教授）
 「HRクロスドキューブ相互結合網の内包するトポロジー」

堀口教授は、プロセッサ（PE）間のネットワークの通信遅延問題の解決法として、理論的・物理的アプローチを同時に満たす相互結合網としてHR-クロスドキューブを提案した。データ構造のうち代表的なリング結合、全域木、完全2分木をHR-クロスドキューブが内包していることを証明した。

第3回

日時：平成8年11月1日（金）
 場所：東北大学工学部青葉記念会館702号室
 講師／演題

1. 西野哲朗（電通大・助教授）
 「量子Turing機械上の効率的アルゴリズムについて」
2. 大山口通夫（三重大学・教授）
 「項書き換えシステムとその応用」
3. 五十嵐善英（群馬大学・教授）
 “Fault-tolerant Broadcasting in Distributed Systems”

第4回

日時：平成8年11月27日（水）
 場所：東北大学工学部電気情報系101大講義室

講師／演題

Donald E. Knuth

(スタンフォード大学・名誉教授)

“J. J. Sylvester and the Matrix-tree Theorem”

TEXの開発者として世界的に有名なKnuth博士の1996年度京都賞受賞を記念して招待講演を行った。博士は、シルベスターの行列木定理をグラフ理論の基本的手法だけを用いて証明してみせた。

第5回

日時：平成8年11月28日（金）

場所：東北大学工学部青葉記念会館4階大研究室

講師／演題

1. Donald E. Knuth

(スタンフォード大学・名誉教授)

“All questions answered”

2. 徳山豪（IBM東京基礎研究所）

“Norms of a Distance Sequence and the Largest Common Point Set Problem”

3. 浅野孝夫（中央大学・教授）

平田富夫（名古屋大学・教授）

“Approximation Algorithms for MAX SAT: Network Flows and Semi-definite Programming Approach”

4. 周暁（東北大学・助手）

“Finding Edge-Disjoint Paths in Partial k-Trees”

5. 今井浩（東京大学・助教授）

“Geometric Clustering and the K-Means Algorithm”

6. 加藤直樹（神戸商科大学・教授）

“Efficient Algorithms for Optimization-Based Image Segmentation”

7. 浅野哲夫（大阪電通大学・教授）

“Digital Halftoning as an Optimization Problem”

8. 山下雅史（広島大学・教授）

“Maintaining a Dynamic Set in a Distributed System”

Knuth博士の来学を記念し、内外の著名なアルゴリズム研究者を招き講演及び討論を行った。とりわけ、同氏との討論の機会は、本プロジェクトの参加者にとって大変貴重な学問交流の場となつた。

第6回

日時：平成8年12月13日（金）

場所：東北大学工学部 電気・情報系453号室

講師／演題

1. A. J. J. Kloks

(テュエンティ大学・助教授)

“Independent Sets in AT-Free Graphs”

2. Jens Lagergren

(ロイヤル工科大学・助教授)

“On the Hardness of Max K-Cut and its Dual”

3. K. Fuse（東北大大学）

“Finding [g,f]-Colorings of Partial k-Trees”

4. X. Zhou（東北大大学）

“Edge-Disjoint Paths Problems for Partial k-Trees”

5. M.A.Kashem（東北大大学）

“Generalized Vertex-Rankings of Partial k-Trees”

第7回

日時：平成9年2月24日（月）

場所：東北大学工学部 電気・情報系453号室

講師／演題

斎藤恒雄（筑波大学・教授）

「3次元生体イメージング」

以上7回の研究会は、いづれも確固たる研究に裏付けされた最新の研究結果が発表され、すばらしい講演ばかりであった。講演後の討論も活発になされ、講演者、参加者ともに積極的に意見交換を行い、研究会を一層意義深いものにすることができた。

3年間で16回にも及んだ本プロジェクト研究会活動は、内外の研究者の学問交流の場として大変貴重なものとなり、参加者各人の今後の研究活動の一層の飛躍と同時に、高次並列・分散情報処理分野の発展にも大いに貢献したものと確信する。

課題番号 B-6

ミリ波帯イメージング技術の研究

1. 研究会の設置目的

ミリ波は雲、霧あるいは炎などの条件下においても可視光に比べて格段に透過性が良い。また、核融合を目指して研究が行われている高密度プラズマに対してミリ波を用いた各種計測は非常に有効である。この例に示されているように、ミリ波を用いたセンシング技術は特異な応用分野を有しており、特にイメージング技術実現に対する要求は大きい。本共同プロジェクト研究は、ミリ波イメージングアレー（カメラ）システムの開発を志向し、次の「組織」に示すようにいくつかの研究機関に所属する研究者による研究会の開催を主目的として企画されたものである。本年度は特に高感度検出器、及びイメージング用の光学系の設計・製作のための各種技術、またイメージングアレーの応用分野に関する研究調査を行った。

研究費：（旅費）1,100千円
 （校費） 450千円

2. 組織

企画者：水野 皓司（東北大学電気通信研究所）
 責任者：水野 皓司（東北大学電気通信研究所）
 共同研究者：
 赤池 正巳（東京理科大学工学部）
 稲谷 順司（国立天文台野辺山電波観測所）
 井原 俊夫（通信総合研究所）
 岡島 茂樹（中部大学工学部）
 黒澤 富蔵（工業技術院計量研究所）
 小平 真次（木更津工業高等専門学校）
 斎藤 修二（岡崎・分子科学研究所）
 榊 裕之（東京大学生産技術研究所）
 手代木 扶（通信総合研究所）
 野口 卓（国立天文台野辺山電波観測所）
 林 理三雄（鹿児島大学工学部）
 藤田 順治（核融合科学研究所）
 増子 治信（通信総合研究所）
 間瀬 淳（茨城大学物理工学系）

3. 研究会報告

本共同プロジェクト研究（B項、研究会形式）は、ミリ波帯のイメージング技術を開発すること

を目的に、種々のテーマについて議論するために設置されたものである。従って、各研究会のテーマは、ミリ波帯デバイスなどの要素技術、画像信号処理、イメージングの応用分野など、多方面の討論課題より構成されている。以下、本年度開催の研究会について述べる。

3-1 第1回研究会

日時：平成8年6月28日（金）9:30～17:00
 - GaAs ショットキ・ダイオードを用いた高速ミリ波・サブミリ波計測 -

ミリ波・サブミリ波帯のデバイス開発のキーワードは次のようになると思われる：コヒーレント、常温高速動作、cw、そして tunable。本研究会は、常温動作可能で、しかも高速応答性を有する検出器である「ショットキ・ダイオード」をそのテーマとして選び、種々の活発な議論を行った。

午前 「東北大学におけるショットキ・ダイオードの開発状況、取り扱い方法、その他」

- (1)鈴木 哲（東北大学 電気通信研究所）
 「ショットキ・ダイオードの取り扱い方、光学系、その他」
- (2)莅戸立夫（理化学研究所 フォトダイナミクス研究センター）
 「サブミリ波高速パルスの発生と計測」
- (3)Bae Jongduck（東北大学 電気通信研究所）
 「サブミリ波立体回路」
- (4)デモンストレーション
 サブミリ波パルスの発生と計測
 液体窒素温度黒体放射のヘテロダイイン検出等

午後 招待講演

- (5)川端一男（核融合科学研究所）
 「大型ヘリカル装置での遠赤外レーザー計測とSBD」
- (6)大山直幸、間瀬 淳（筑波大学 プラズマ研究センター）
 「ミリ波イメージングアレイによるガンマ10
 プラズマ計測」
- (7)藤井研一、大山 忠司（大阪大学 理学部）

- 「超短パルス遠赤外光の生成と半導体過渡現象計測への応用」
(8) 斎藤修二, 尾関博之 (分子科学研究所)
「気相短寿命分子の高感度・高分解能サブミリ波・遠赤外分光」
(9) 増子治信 (通信総合研究所)
「テラヘルツ帯分光放射計による地球大気環境の計測」
(10) 山田 巧, 鈴木 哲*, 堀越佳治**, 水野皓司*
(NTT光エレ研, *東北大通研, **早稲田大)
「In-situで連続成長したAl/n-GaAsショットキーダイオードの雑音特性」

3-2 第2回研究会

電磁波スペクトルの開発にとって三端子素子の実現は不可欠である。イメージング技術にとってもRF増幅器として重要である。現在最も高周波数動作が実現しているHEMTについて、その技術動向を知り、議論するために、この分野での第一線の研究者による下記の講演会を企画した。

日時：平成8年11月27日（水）13:30～16:00
講師 徳田 博邦 (株) 東芝小向工場
「ミリ波HEMTの技術動向」

3-3 第3回研究会

テラヘルツ帯の開発を目指し、研究を進めている企業、研究所の技術者による講演およびそれに関する議論を行う為に企画した研究会である。

- 日時：平成9年2月28日（金）13:30～17:00
(1) 「テラテックHBTの紹介」
三浦 明 (株) テラテック
(2) 「Millimeter and Submillimeter Wave Research at JPL」
Part1- Victor Manuel Lubecke, JPL
(現在フォトダイナミクス研究センター)
Part2- Olga Boric-Lubecke, JPL
(現在フォトダイナミクス研究センター)
(3) 「InP系ヘテロ構造デバイスの現状とミリ波応用」
榎田洋太郎 NTTシステムエレクトロニクス研究所

3-4 研究打ち合わせ

以下の研究者の方々と「ミリ波・サブミリ波帯計測」に関する研究打ち合わせを行った。

- 9月24日 筑波大大学院M2 大山直幸
12月15-17日 鹿児島大教授 林理三雄
鹿児島大M1 江口慎一
2月28日-3月1日 東京理科大教授 赤池正巳
国立天文台野辺山宇宙電波
観測所教授 稲谷順司

4. SCS (スペース・コラボレーション・システム) の利用
本共同プロジェクト研究は、衛星を用いたSCSを積極的に利用している。今年度は以下のような研究打ち合わせに用い、有用に運営するこが出来た。特に、核融合科学研究所とのミリ波光学系の議論には大いに役だった。

- 4-1 日時：10月18日 13:30～14:00
(1) 東北大通研 渡部謙一
「筑波大学ガンマ10プラズマ計測用光学系について」
4-2 日時：2月14日 13:30～14:00
(1) 核融合研 田中謙治
「LHDの進行状況とそれに関連するミリ波マイクロ波計測」
(2) 鹿児島大 工 江口真一
「ミリ波発振器について」

5 まとめ

これまでの共同研究により、ミリ波帯イメージング用の光学系の設計が完了し、この成果は筑波大学、核融合科学研究所のプラズマ装置の計測に適用された。また、平行してイメージング・アレイの開発、製作も成功裏に行われた。更に、パッシブ・イメージング用の基礎データーの理論計算も行い、基礎実験に成功した。これらの成果は、多くの研究者の関心を招き、次年度（平成9年度）もこのテーマに関する共同プロジェクト研究を企画する必要があるとの結論になり、中部大学岡島茂樹教授を研究代表者として申請することとなった。

課題番号 B-8

ミリ波帯電波の利用に関する調査研究

[1] 組織

企画者：米山 務（東北大学電気通信研究所）
 責任者：米山 勿（東北大学電気通信研究所）
 分担者：水野 皓司（東北大学電気通信研究所）
 伊藤 弘昌（東北大学電気通信研究所）
 伊藤 精彦（北海道大学工学部）
 小柴 正則（北海道大学工学部）
 北澤 敏秀（茨城大学工学部）
 小林 福夫（埼玉大学工学部）
 赤池 正巳（東京理科大学工学部）
 木村 宏（岐阜大学工学部）
 小牧 省三（大阪大学工学部）
 井筒 雅之（郵政省通信総合研究所）
 野木 茂次（岡山大学工学部）
 栗井 郁雄（山口大学工学部）
 橋本 勉（東京工科大学工学部）
 繁沢 宏（同志社大学工学部）
 黒木 太司（呉工業高等専門学校）
 手代木 扶（郵政省通信総合研究所）
 小川 博世（NTTワイヤレスシステム研究所）
 永沼 充（NTT光エレクトロニクス研究所）

[2] 研究会報告

- 日時：1997年1月30日（木）13:30～18:00
 場所：東北大学電気通信研究所講堂
1. 開会の挨拶 米山 勿（東北大学）
 2. 光波電波融合通信における活動状況と用語 小牧 省三（大阪大学）
 3. 光・ミリ波融合技術と光無線アクセスネットワーク 北山 研一（CRL）
 4. サブキャリア多重・光伝送方式を用いた対列車 ミリ波無線通信システムの検討 阿部 紘士・石渡 厚（東北大学）
 5. 移動通信用マイクロ波光伝送システム 斎藤 瓊郎・法兼 敏雄・亀村 昭寛・志村 竜宏（住友電工）
 6. 無線基地局用光SCM伝送へのファブリペローレーザーの適用の検討 笹井 裕之・山本 浩明・内海 邦昭・藤戸 克行（松下電器）
 7. 不感地対策用移動通信光交換ブースタの開発

松田 成司・千葉 修・谷口 郁夫・
 小原 広隆・則近 道夫（国際電気）

8. 超格子APDとそのマイクロ波伝送への応用 香川 俊明・松岡 裕・堀川 浩二（NTT）

周波数帯の錯綜に伴い、未利用周波数帯であるミリ波が注目されている。この共同プロジェクト研究はミリ波帯電波の利用技術に関する研究・開発の現状を把握するために企画されたものである。今年度は、携帯電話に代表される電波を利用した移動通信と、情報通信基盤として整備が進む光ファイバを同一の次元でとらえた光電波融合技術が必要になってきていることから、光波およびミリ波それぞれの技術的課題を単に解決するのみでは実現できない複合的課題を取り上げ、1997年1月30日に研究会を開催した。研究会では約80名の参加者があり、超高速光変調技術、超広域光検出器、光マイクロセル無線通信方式などが話題として取り上げられた。

小牧(大阪大)は光ファイバ内に電波を閉じこめて伝送する光電波融合通信方式の課題として、非線形ひずみ、フェージング、電波と光のシームレス性と高機能化を取り上げた。非線形ひずみでは、光ファイバ伝送系により発生する相互変調ひずみによって無線信号のS/N比が劣化する問題があり、一括周波数変調や搬送波周波数の並び替え等の補償法が示された。フェージングでは、移動通信により各サブキャリア間のレベル差が大きくなり、非線形ひずみの影響がさらに大きくなるため、全帯域AGCや帯域内等化などの装置面の工夫、送信電力制御やチャネル配置替えなどのシステム面の工夫が示された。電波と光のシームレス性と高機能化では、各移動端末で受信した無線信号はそのままの形で一括して光ファイバ内を伝送するため、無線基地局を汎用的に使用した光ファイバ内ルーティング機能の必要性が述べられ、仮想無線空間ネットワークあるいは無線ハイウェイの概念が紹介された。

北山（CRL）は光周波数多重無線アクセスネットワークアーキテクチャについて新たな提案を行った。この方式は、ダウンリンクでは、制御局内の一つのコピーレント多波長光源から出る光を周

波数分離フィルタで分離しペイロード信号で変調した後、波長の異なる複数の光波を一本の光ファイバで多重伝送し、各無線基地局で分配された2光波のビート周波数に相当するキャリア周波数の無線信号を発生させる。一方、アップリンクでは、アンテナで受信した無線信号を光信号に変換して、ダウンリンクで同一の光ファイバで制御局まで伝送する方式である。具体的な技術として、モード同期半導体レーザと光ファイバ周波数コムジエネレータを組み合わせて等周波数間隔の発振スペクトルを発生し、所望のミリ波無線周波数に相当する周波数差の2つの発振モードを光周波数分離フィルタにより取り出し、フォトディテクタの自乗検波特性を用いた光自己ヘテロダイイン検波により無線搬送波を得る技術が明らかにされた。

阿部（東北大）は鉄道列車情報ネットワークシステムの概念を示し、その中で重要な役割を担うと考えられる列車と地上設備間の移動体通信システムとしてフィーダリンクにサブキャリア多重光伝送方式を採用し、無線リンクにミリ波を用いる対列車無線通信システムを提案し、検討した。

齊藤（住友電工）は波長オフセット光伝送システムに関する検討結果を報告した。移動通信用マイクロ波光伝送方式として、各エリアからの無線信号を1本の光ファイバで基地局まで伝送する方式では、電気-光変換素子であるLDはメインモード光の他にサイドモード光が存在するため、隣接チャンネルのメインモード信号に干渉を与えCNRを劣化させる。このため対移動局装置のLDのサイドモード光の影響をなくすために各波長に応じた光フィルタを入れると共に、光カプラの分配比を等CNRとなるよう選択した波長オフセット光伝送方式の提案とその性能評価結果について報告があった。

笹井（松下電器）は携帯電話等の無線基地局用光SCM伝送の低コスト化を目的に、従来光源に使用されていた非常に高価な分布帰還型半導体レーザ（DFB-LD）の代わりとして、ファブリペロレーザ（FP-LD）の適用を検討した。FP-LDモジュールには通常アイソレータは内蔵されていないため、光ファイバ伝送路中の反射光の影響が非常に大きい。レーリー散乱による反射戻り光は、従来指摘されたホッピング雑音を生じさせるだけではなく、歪み特性も劣化させることを確認し、これらの伝送特性の劣化を抑制する方式として光スペクトラム拡張方式を提案し、その効果を実験的に確認した。また光源にFP-LDを使用した応用システムとして、マルチポイントシステムを取り上げて、FP-LDの使用及び光スペクトラム拡張方

式が、マルチポイントシステムで問題となるビート雑音の抑制に有効であることを示した。

松田（国際電気）は携帯電話やページャなどの移動体通信において、トンネル等の地下や、山、建物の陰などの基地局からの電波が届かない不感地へのサービスとして、無線信号を光信号に変換し、伝送する光変換ブースタの開発について報告した。

香川（NTT）は光ミリ波伝送用の光検出器として、アバランシェフォトダイオード（APD）に超格子構造を導入することで電子及び正孔のイオン化比率を増大し、帯域の拡大、増倍雑音の低減、非線形歪みの低減が可能になることをInGaAs（P）/InAlAs超格子を用いたAPDにより明らかにした。さらにマイクロ波受信特性をフォトダイオードと比較した結果、APDを用いた受光器の方が後段の增幅率を小さくでき、付加雑音によるSFDR（spurious free dynamic range）の劣化を防ぐことが判明した。

以上の研究報告に述べたように、本研究会では電波光境界領域における研究状況ならびに課題と動向をまとめ、ミリ波と光技術の融合がもたらすインパクトを光電波融合通信方式並びに基盤技術としての超高速光変調技術及び超広帯域光検出技術の面から明らかにした。

課題番号 B - 9

半導体スピニン工学の基礎と応用

[1] 組織

企画者：吉野 淳二（東京工業大学理学部）
 責任者：大野 英男（東北大学電気通信研究所）
 分担者：中原純一郎（北海道大学理学部）
 岡 泰夫（東北大科学計測研究所）
 三浦 登（東京大学物性研究所）
 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）
 平川 一彦（東京大学生産技術研究所）
 G. Fasol（東京大学生産技術研究所）
 田中 雅明（東京大学工学研究科）
 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）
 前川 穎道（名古屋大学工学部）
 吉田 博（大阪大学産業科学研究所）
 中山 弘（神戸大学工学部）
 小川 真人（神戸大学工学部）
 嶽山正二朗（姫路工業大学理学部）
 小柳 剛（山口大学工学部）
 安藤 功兒（電子技術総合研究所）
 秋永 広幸（産業技術融合研究所）

[2] はじめに

情報処理の中心的な役割を果たす半導体デバイスでは、キャリアが有する「電荷」が、また、情報の記録において重要な役割を果たしている磁気メモリーでは、電子の有する「磁気モーメント」、すなわち「スピニン」を利用してそれぞれ大きな成功を収めてきた。この2大分野で利用されている電子が有する「電荷」と「スピニン」という二つの性質を同時に利用することが可能となれば、新しいエレクトロニクスの世界が拓ける可能性がある。しかし、これまで半導体デバイスにおいてキャリアのスピニンが露に利用されなかったのは、通常の半導体中ではスピニン状態の違いによるエネルギーの違いが極めて小さいことが理由と考えられる。スピニン状態の違いを露に利用した新しいデバイスを開発するためには、半導体中のスピニンに起因した物理の理解を深めると同時に新しい半導体や各種の構造の開発が必須である。そのためには、半導体と磁性体の分野の基礎と応用にまたがる研究者を集めた新しい研究組織が必要である。その

ような新しい組織を形作るためにには、まず、これらの異分野の研究者がこれまで個別に進めてきたスピニンの関与する物性の研究成果を持ち寄って、集中的に討議する場を提供することがまず第一歩である。このような理解をもとにして、平成7、8年度に「半導体スピニン工学の基礎と応用」という研究課題で当該共同プロジェクト研究を申請し、採択の運びとなったので、上記の趣旨の研究会を初めて開催することが可能となった。

[3] 研究経過

半導体中のスピニン関連の物性の理解と応用という新しい分野の発展のためには、半導体研究者に留まらず磁性体の研究者を含めた新しい討論の場、最終的には研究組織を作る必要があるという認識から、平成7年度に「半導体スピニン工学の基礎と応用」という研究課題で当該プロジェクト研究に採択された。そこで、平成7年12月に一般にも広く論文を求める公開の第1回の研究会を企画した。その結果、40件以上の論文投稿と、70名以上の参加者が集まり、活発な討論を展開することができた。特に、(1)新しいIII-V族希薄磁性半導体の結晶成長、物性、(2)半導体/磁性体ヘテロ接合の形成法と磁性、(3)強磁性的p-d交換相互作用を示すII-VI族希薄磁性半導体に関する半導体研究者と磁性研究者の間での有意義な意見交換が行われた。

予想以上の論文投稿件数や参加者数は、本研究会が目指す新しい萌芽的分野への注目の高さと期待の大きさを端的に表すものであると考えられる。そこで、このような討論の場の提供と新たな研究組織の形成への要請に応えるため、平成8年度も引き続き同じ研究課題で当該プロジェクト研究に申請、採択されて、第2回の研究会を開催する運びとなった。

[4] 研究成果

第1回とほぼ同様のスコープで、また一般にも投稿論文を求めるという公開の形の研究会を平成9年1月下旬に企画した。その結果、第1回研究会の発表論文数46件に対して55件、また、参加者も80名以上という、第1回を上まわる活発で有意

義な研究会を実現することができた。

今回の研究会では、希薄磁性半導体の研究では長い歴史を有するポーランドのグループとこの新しい研究分野のヨーロッパにおける中心的なグループであるベルギーのIMECから招待講演者を迎えることができ、最新の成果を含めた講演を伺うとともに、有意義な意見交換が実現できた。

以下に本年度の第2回研究会の概要を報告する。今回の研究会では、1.のプレナリー講演を含めて以下の4件の招待講演が行われた。

1. 望月和子（岡山理科大学理学部）：Electronic Structure and Physical Properties of Transition-Metal Compounds
2. A. Twardowski (Institute of Experimental Physics, Warsaw University) : Ferromagnetic Carrier-ion Exchange in II-VI and III-V Diluted Magnetic Semiconductors
3. J. De Boeck (IMEC) : MnAs/III-V Heterogeneous Thin Films: A Review of Structural Properties
4. 大谷義近（東北大学工学部）：Magnetic and Transport Properties of Micron Size Magnetic Particulate Arrays Fabricated on a 2D Superconducting Nb and Submicron Magnetic Wires

今回の研究会の一般講演と招待講演を含めた全公演数55件を主に材料と区分すると、

1. II-VI族希薄磁性半導体	20件
2. III-V族希薄磁性半導体	11件
3. IV-VI族希薄磁性半導体	1件
4. 遷移金属ドープSi	1件
5. 磁性金属およびその半導体とのヘテロ接合	15件
6. カルコゲナイト、酸化物	4件
7. 非磁性半導体中のスピントランジistor	6件

のようになる。なお、複数の材料系に関して述べられた論文は、それぞれの材料系に含めた。昨年度と比較すると、5.のIII-V族化合物半導体と5.の磁性金属およびその半導体とのヘテロ接合に関して著しく論文件数が増加している。以下では、この1年で特に進展の著しかった、2.に関する研究報告の概要を示す。

昨年度の研究会では、III-V族希薄磁性半導体に関する発表は、実質的にInMnAsに関する発表の東北大、東工大、東大からの3件に限られ、また、実質的に結晶作成が行われていたのは、わずか1グループに過ぎなかった。本年度は、従来のInMnAsに、新しくGaMnAsという材料系が加わり、発表論文件数、9件、材料作製を行っているグループも6グループ（海外の2グループを含む）に増加した。しかもGaMnAsに関しては、多くのグ

ループで試料作製が行われ、磁性、輸送特性のおおよその振る舞いに関しては、ほぼ同様な結果が再現され、強磁性や輸送特性の起源に関する詳細な議論に興味の中心が移っている。磁性の発生機構に関しては、p-d交換相互作用の大きさを見積もることが非常に重要となる。今回の会議では、招待講演のTwardowskiが2.5eV、東北大の松倉らが3.3 eV、東工大の西川らが1.5 eVという値を報告しており、何れもII-VI族やIV-VI族希薄磁性半導体の場合と比較し、かなり大きい値が示された。また、東工大の宗片らは、InMnAsに光を照射しキャリア濃度を増大させると、強磁性的な磁化特性が現れることを示した。III-V族希薄磁性半導体の強磁性の発生機構は、キャリア誘起のモデルで説明できるようである。GaMnAsの光学特性に関しては東北大の黒岩らと東大の田中らより、ファラデー効果と円二色性測定の結果が、初めて報告された。その他、GaMnAsのアニールの効果（IMECのVan Eschら）、高いMn濃度を有するGaMnAs試料で観測される巨大磁気抵抗効果（東の大岩ら）、GaMnAsの第1原理バンド計算とMnの有する磁気モーメントの見積もり（阪大の鈴木ら）、などの報告がなされ、GaMnAsのバルクの性質は、着実に明らかにされつつある。

[5] まとめ

本年度の第2回の研究会では、昨年度の第1回の研究会と比べ、投稿論文件数や参加者面で昨年を上まわると共に、海外からの参加者を含めて十分が議論を展開する事ができた。さらに、本プロジェクト研究会への参加者を核として文部省科学研究費補助金重点領域研究「スピニ制御による半導体超構造の新展開（代表者：東北大通研 大野英男）」が、平成9年度より発足の運びとなつたことも、本研究会の一つの成果と考えられる。しかし、プロジェクト研究が目指している「半導体スピニ工学」という新しい工学の一分野を確立するためには、引き続き広く討論の場を提供し、研究のすそ野を広げることが必須と考えられる。

課題番号 B-10

光励起表面反応の解明と半導体プロセスへの反応

[1] 組織

企画者：宮本 信雄（東北学院大学工学部）
 責任者：舛岡富士雄（東北大学電気通信研究所）
 分担者：宇理須恒雄（分子科学研究所）
 英 貢（豊橋技術科学大学）
 田中健一郎（広島大学理学部）
 加藤 博雄（高研放射光実験施設）
 上野 信雄（千葉大学工学部）
 山崎 義武（九州工業大学情報工学部）
 難波 秀利（立命館大学理工学部）
 河野 省三（東北大学科学計測研究所）
 渡辺 誠（東北大学科学計測研究所）
 高桑 雄二（東北大学科学計測研究所）
 柳原 美広（東北大学科学計測研究所）
 末光 真希（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）
 遠田 義晴（東北大学電気通信研究所）

[2] 研究会報告

将来の高密度電子デバイスの実現に向けて、ナノオーダーの微細構造を如何に形成するかが重要な研究課題となっている。このような微細構造を形成する場合、従来の熱を用いたプロセスでは熱拡散により加工精度に限界がある。この問題の解決策の一つが光励起法の活用である。光を用いることによってプロセスの低温化が可能になり、熱拡散による構造の乱れが防げる。また、薄膜形成やエッチングにおける空間選択性が向上する。

本プロジェクト研究は、結晶成長、薄膜形成、エッチングなどの半導体プロセスに光励起法を応用するために、光励起表面反応の反応機構の解明や反応条件の最適化など、光励起表面反応を様々な見地から総合的に検討し、将来の高密度電子デバイスに適合する低温プロセス法や原子制御プロセス法を確立することを目的とした。

光励起法を応用する場合、半導体表面上の吸着原子・分子の吸着構造・電子状態、吸着種の光反応性、半導体表面上での光分解種の挙動の解明などが研究課題となる。関連する研究分野は電子・電気工学から物理・化学の基礎研究分野にまでわたる。研究の推進には、これらの幅広い研究分野の研究者の学際的な研究協力が不可欠である。そこで、それぞれの研究課題ごとに研究会を開催し、関連する研究者が研究の現状認識と将来の研究方

針を議論し、研究の効率的な推進を図ることを基本方針とした。

平成8年11月14日（木）と平成9年3月14日（金）の2回の研究会を開催した。1回目の研究会のテーマは「分子レベルで制御した表面反応プロセスの新展開」として、表面反応過程の反応機構やプロセスの分子レベルの診断や制御について、6名の講師によるショート講演と自由討論を行った。講演者は以下の通りである。

開会挨拶 宮本信雄（東北学院大工）

1. 「極短パルス光による表面の熱励起」英 貢
2. 「凝縮系での内殻励起とサイトスペシフィックプロセスの可能性」宇理須 恒雄
3. 「内殻励起の特徴とその後続反応」田中健一郎
4. 「複合表面反応プロセスの研究」後藤 俊夫
5. 「シンクロトロン放射光電子回折：Ge/Si(001)」河野 省三
6. 「表面反応プロセス診断法としての赤外反射分光」庭野 道夫

以下に講演の概要を紹介する。

宮本は、光励起反応の応用として半導体プロセスばかりでなく、エネルギー問題や環境問題への応用も考える必要がある。例えば、最近問題となっているオゾンホールの問題もまさに光励起プロセスであり、光反応機構の解明は環境問題の解決にもつながる可能性があること、そしてそういったグローバルな問題も射程距離に入れることによって、光励起プロセスの新しい展開があることを指摘した。英は、極短パルス光による表面励起の問題についてのこれから的研究課題を概説した。これからの光励起プロセスは光密度をあげる必要があり、そのことによって新しい物質との相互作用の発現が期待できる。例えば、高パワー密度の極短レーザ光を固体表面に照射すれば、高強度電場が生じて多価イオンの発生やクーロン爆発といった現象が起きる。このような新しい励起現象を利用すれば光励起プロセスの新しい展開が期待できることを強調した。宇理須は、光励起プロセスの利点を述べ、これを半導体プロセスに応用すれば、 0.1μ まで達成できるであろうことを指摘した。さらに、微細なプロセスを可能にするには、分子レベルの反応過程の制御が必須である。光による内殻電子励起を利用すれば、光エネルギーを最適化することによって分子のどの結合を切るかを選択

できることを、最近の実験結果に基づいて示し、この方法を用いればまさにシングルモレキュールプロセスが可能になることを指摘した。田中は、光による内殻電子励起とそれに続いて起こる後続反応との関係について、最近の光刺激脱離実験の結果を紹介しながら議論した。光エネルギーを選択すれば、内殻励起の後続反応、例えばイオン脱離においてもサイト選択性が残っていることを指摘した。これは、光が分子の中の特定の結合を切断できることを示すものでありことを指摘し、この方法が分子研の井口洋夫により「分子メス」と名づけられた経緯を紹介した。後藤は、プラズマと表面との反応過程の計測・診断が今後ますます重要になり、光励起プロセス解析で用いられてきた手法が、プラズマプロセス解析にも有効になることを指摘した。現在、 0.15μ スケールの半導体デバイスをプラズマで製造することが検討されているが、プロセス制御のためには経験的手法だけでは対処できない段階にきており、反応過程の基礎研究、特に、ラジカルと表面との反応過程の微視的な解明が必要不可欠であることを指摘した。河野は、Si上のGeのヘテロ成長初期過程について、シンクロトロン放射光電子回折で調べた結果を紹介した。光電子回折法は表面原子構造を解明する上で有力な手段であり、光源としてシンクロトロン放射光を用いるとその応用範囲は広くなること、結晶成長過程における原子の吸着箇所の解析に威力を発揮することを指摘した。庭野は、表面反応プロセス診断法としての赤外反射分光法が非常に有効であることを、最近の水吸着Si表面の酸化過程の実験結果を紹介しながら示した。Si表面上の原子の吸着状態の解析には光電子分光法や電子エネルギー損失分光法などが用いられているが、赤外反射分光法はエネルギー分解能と表面感度においてこれらの分光法と比べ勝るとも劣らない性能を有しており、結晶成長反応過程や光励起反応、プラズマ励起反応の解析に有効であることを指摘した。

以上の講演、討論を通して、光励起プロセスの反応制御のためには、分子レベル、原子レベルの反応機構の解明が必須であり、その方向の研究の進展が、光励起プロセスの新しい展開につながることが認識された。

2回目の研究会は「光・プラズマ励起プロセスにおける分子レベルの反応制御」をテーマとして、プラズマ研究者も交えて講演と討論を行なった。光・プラズマ励起プロセスの分子レベルの診断や制御について、8名の講師によるショート講演と自由討論を行った。

プログラムは以下の通りである。

開会挨拶 宮本信雄（東北学院大工）
1. 「放射光による局所結合切斷の可能性を探る」

上野 信雄

2. 「低温プラズマにおける電子衝突励起過程」
田中 大
3. 「光・プラズマ励起プロセスにおけるin-situ表面診断法」 橋 邦英
4. 「”プロセス用CCPリアクターの機能分離” のモデリング」 真壁 利明
5. 「プラズマの電子温度制御」 佐藤 徳芳
6. 「放射光によるテフロンのアブレーション」 平松 美根男
7. 「広島大学の放射光利用」 関谷 徹司
8. 「立命館大学の放射光利用」 難波 秀利

以下に講演の概要を紹介する。

上野は、電子の局在励起状態を生成する内殻電子励起を行なうことにより、高分子の結合切斷箇所を選択できること、そしてこの局所結合切斷が光励起プロセスの大きな長所となっていることを示した。今後は、励起される分子が単分子層であるか凝縮層であるかによる反応過程の違いや、光分解種の中の中性種の同定と定量が研究課題となることを指摘した。田中は、低温プラズマ中でのラジカル生成や反応で重要な電子衝突励起過程について、半導体プラズマプロセスで多用されている簡単な分子を例に挙げて、これまでの研究の結果を概説した。さらに、今後、反応断面積などの基礎データをより正確に幅広くすることと、これらの研究においては多分野の研究者の協同作業が必要不可欠となることを指摘した。橋は、ラジカルやイオンの照射を受ける材料表面の化学結合状態や光学物性をその場で計測するための手法としての、時空間分解能に優れた紫外～赤外領域の偏光解析法について概説し、その手法を用いて明らかにした、シリコン表面のエッチングや薄膜形成に関わる表面反応機構について紹介した。この手法は光・プラズマ励起プロセスにおけるin-situ表面診断法として非常に有用であることを指摘した。真壁は、プラズマ反応制御という観点から非常に重要であるプラズマプロセス用低温プラズマにおけるイオンやラジカルの時空間分布を、非接触のレーザー相互作用を利用して制御する手法の開発の現状を紹介した。佐藤は、プラズマ中の電子エネルギーを大幅に制御する方法について、その制御法の開発の歴史・現状を紹介した。最近開発した、弱電離のままで電子エネルギーを制御する方法を用いると、ラジカルの密度及び種類の制御が可能になることを示した。平松は、シンクロトロン放射光によるテフロンのアブレーションによって、テフロンを微細加工する手法について、最近の研究結果を紹介した。関谷と難波は、それぞれ、最近稼働した広島大学放射光科学センターと立命館大学放射光センターの現状と放射光を用いた研究テーマについて紹介した。

課題番号 B-11

スピニクスの基礎と応用

[1] 組織

研究代表者：荒井 賢一（東北大学電気通信研究所）
 共同研究者：中村 慶久（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）
 藤森 啓安（東北大学金属材料研究所）
 高橋 研（東北大学工学部）
 深道 和明（東北大学工学部）
 宮崎 照宣（東北大学工学部）
 一ノ倉 理（東北大学工学部）
 山口 正洋（東北大学電気通信研究所）
 村岡 裕明（東北大学電気通信研究所）
 松木 英敏（東北大学工学部）
 大谷 義近（東北大学工学部）
 武笠 幸一（北海道大学工学部）
 石尾 俊二（秋田大学鉱山学部）
 大内 一弘（秋田県高度技術研究所）
 羽田 紘一（石巻専修大学理工学部）
 菊地 新喜（東北学院大学工学部）
 白川 究（電気磁気材料研究所）
 片山 利一（電子技術総合研究所）
 伊藤 彰義（日本大学理工学部）
 杉田 恒（日立製作所）
 直江 正彦（東京工業大学工学部）
 角野 圭一（横浜国立大学工学部）
 山口 豪（静岡大学工学部）
 山沢 清人（信州大学工学部）
 藤井 壽崇（豊橋技術科学大学）
 綱島 滋（名古屋大学工学部）
 松井 正顕（名古屋大学工学部）
 本多 茂男（広島大学工学部）
 山崎 二郎（九州工業大学）
 福永 博俊（長崎大学工学部）
 中野 正基（長崎大学工学部）
 八木 正昭（熊本工業大学）
 山城 康正（琉球大学工学部）

[2] 研究会の概要

マクロな理論では取り扱えない極微細・高密度領域での磁性物理現象の解明は、社会の急務課題となっている。実際高密度磁気記録では記録ビットサイズが $0.1\mu\text{m}$ を下回り、磁気デバイスもマイクロ化が急激に進んでいるため、今後の発展に対

する指導原理の確立が必要である。そこで磁性薄膜やバルク磁性材料のメソスコピックな領域における磁気現象ならびに関連の諸現象を磁気の根源である電子スピンに根差したスピニクス（スピニクス）に立脚して解明し、これをもとに超高密度磁気記録システム、ならびにマイクロ磁気デバイス・マイクロ磁気アクチュエータを開発するための指針を明らかにすることを目的として本共同プロジェクト研究会を行った。

[3] 1996年度の成果報告

1996年度は6回の研究会と1回の講演会を行った。内容は以下のとおりである。

7月17日～18日

秋田大学工学部田島克文助手、長崎大学工学部福永博俊教授、横浜国立大学工学部角野圭一教授、琉球大学工学部山城康正教授を招き、スピニクス材料開発に関する討論を行うとともに、7月17日に開催された工学研究会第45回スピニクス研究会での討論にご参加いただいた。

9月25日～26日

琉球大学工学部山城康正教授を招き、スピニクス材料、特に表面原子密度差を利用した材料作成法に関する討論を行った。

10月16日～17日

東京工業大学工学部北本仁孝助手を招き、スピニクス材料の液中合成の可能性について討論するとともに、10月16日に開催された工学研究会第46回スピニクス研究会での討論にご参加いただいた。

11月7日～8日

愛媛大学工学部田中寿郎助教授を招き、超伝導体の磁化曲線と形状効果について討論を行った。

12月13日～18日

すべての共同研究者に電気通信研究所への来訪を依頼し、その結果、代理も含めて31名の研究者を招いた。テーマを絞った個別の討論を行ない、さらに12月16日には本研究会主催の講演会を青葉記念会館で行なった。この講演会では本プロジェクト研究会に参加している第一線の研究者による最新の研究成果が、物性、磁性材料、電子輸送、磁気応用、ストレージの5つのセッションに分け

て合計18件報告された。報告された講演題目ならびに講演者は次のとおりである（連名研究者名は紙面の都合で省略した）。

物性

「遷移金属クラスターの磁性」

藤間信之（静岡大学工学部）

「Vicinal基板上に成長した磁性超薄膜の磁気異方性」

片山利一（電子総合技術研究所）

「窒素添加Mnスパッタ薄膜の結晶構造と磁気特性」

直江正彦（東京工業大学工学部）

「単結晶 $Fe_{16}N_2$ 及びFe-Nマルテンサイト薄膜の異常ホール効果」

杉田 恒（株）日立製作所中央研究所）

磁性材料Ⅰ

「無方向性珪素鋼鉄磁気特性改善の一方法」

山城康正（琉球大学工学部）

「高周波電力用アモルファス粉末成形磁心の開発」

八木正昭（熊本工大エネルギー電気工学系研究室）

磁性材料Ⅱ

「ソフト磁性材料にみられるハードな磁気特性」

羽田紘一（石巻専修大理工学部）

「ナノコンポジット磁石の磁気特性に及ぼす組織の影響—計算機シミュレーションによるアプローチー」

福永博俊（長崎大学工学部電気情報工学科）

電子輸送

「FeCoNi体心立方合金膜を用いたスピンドルブロードの巨大磁気抵抗効果」

神保睦子（大同工業大学）

「Fe-SiO₂ナノ・グラニュラー膜のトンネル電流磁気効果」

本多茂男（広島大学工学部）

「乱れた積層構造をもつBi:YIG/SiO₂多層膜の巨大磁気ファラデー効果」

井上光輝（豊橋技科大）

「反磁性磁化曲線と超伝導特性」

田中寿郎（愛媛大学工学部）

磁気応用

「プレーナインダクタを搭載した小型DC-DCコンバータ」

佐藤敏郎（信州大）

「電力消費型埋め込み機器を対象とした経皮的エネルギー伝送システム」

松木英敏（東北大学工学部）

ストレージ

「MFMによる磁気記録媒体の三次元磁場解析」

石尾俊二（秋田大学鉱山学部）

「多層光磁気記録での光波長多重再生」

中川活二（日本大学理工学部）

「垂直磁気記録媒体の低ノイズ化」

本多直樹（秋田県高度技術研究所）

「ECRスパッタ法を用いたCoCr垂直磁気異方性膜の作成」

山本節夫（山口大学工学部）

この講演会には本プロジェクト参加者を含め、学内外から合計110名が参加し、熱心な討論が行われた。これらの講演ならびに討論により、スピニクス研究に関する物性、磁性材料、電子輸送、磁気応用、ストレージの各分野における最新の研究成果ならびに現状の問題点が明確となった。

2月18日

早稲田大学理工学部高井まさか助手、早稲田大学理工学部林勝義氏を招き、超高周波磁気特性測定法ならびにその校正法に関する討論を行った。

[4] まとめ

東北大学電気通信研究所が提唱した新しい学問分野であるスピニクスは、着実にその裾野を広げつつある。とくにマイクロ磁気デバイス、マイクロ磁気アクチュエータ、超高密度磁気記録システムなど、社会生活に密接に関わる技術の革新のためにはスピニクスに立脚した新しい視野からの研究が不可欠であることが本研究会により再認識された。本年度は、界面でのスピノン相互作用の評価と制御、スピニクスに立脚したマイクロ磁気デバイスの実用化、超高密度磁気記録媒体の磁気的微細構造制御など、多くのスピニクスに関する研究成果が達成されている。来年度も引き続き本研究会を開催し、本年度のスピニクス全体を捉えた研究から、物性・材料に具体的目標を絞り、検討を行う予定である。

4.2 外国の大学等との学術交流部局間協定締結一覧 (電気通信研究所)

研究課題名	相手先研究機関		本研究所の 研究代表者	協定締結 年月日	方 法
	国名	研究機関名			
磁性体における磁性弹性結合に関する研究	ポーランド	ポーランド 科学アカデミー	津屋 昇教授 (荒井賢一教授)	1976.8.3	部局間協定
カオスと乱流	アメリカ合衆国	シカゴ大学 ジェームス・ フランク研究所	沢田康次教授	1987.4.27	部局間協定
都市騒音の実態と住民 への影響に関する計測 と評価の国際比較による 研究	タイ	チュラロンコン 大学 理学部	曾根敏夫教授	1987.4.28	部局間協定
計算機ネットワーク構 築に関する研究	中国	ハルビン工業大学 計算機科学工程系	白鳥則郎教授	1987.6.15	部局間協定
サブミリメートル波の 測定に関する研究	イギリス	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	水野皓司教授	1990.4.3	部局間協定 (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)
音響通信に関する騒音 の研究	中国	深圳大学 科研處	曾根敏夫教授	1993.2.8	部局間協定
ユーザインタフェース とエージェントの知的 化	韓国	成均館大学 情報通信技術 研究所	白鳥則郎教授	1995.9.13	部局間協定

4.3 国際活動

区分		1992年度	1993年度	1994年度	1995年度	1996年度	合計
国際的研究集会・学会等での招待者数		55	76	46	27	34	238
国際共同研究の実施状況 (件数)		6	6	8	12	7	39
外国人研究者	1か月以上 滞在	7	6	13	6	8	40
の来訪状況 (人数)	1週間以上 1か月未満	4	14	4	11	6	39
外国人研究員の受入状況 (人数)		1	0	1	8	9	19

国際シンポジウム、セミナー、フォーラム等の主催状況 (主要委員を務めた場合を含む)

第4回並列処理と分散処理に関する国際会議 The 1996 International Conference on Parallel and Distributed Systems

情報化社会の発展に伴い、分散処理技術と並列処理技術の重要性がますます高まっている。特に、情報化社会の基盤技術である並列処理と分散処理に関する研究は、国内外で精力的に行われているものの個別的にしか行われておらず、実用化へ向けた統一的体系化にあたっては、解決すべき難問が山積しているのが現状である。そのため、理論的な体系化に基づいた実用化の統一的な方法についての議論の場として、国際会議の重要性が高まっている。

このような背景のもと、情報処理学会が主催し IEEE Computer Society と IEEE 台北セクションが協賛する『第4回並列処理と分散処理に関する国際会議』が、平成8年6月3日～6月6日まで、東京都新宿区のホテルストラーダ新宿で開催され、15ヶ国から約200名の参加があった。本会議の目的は、情報化社会における最も重要な基盤技術である並列処理技術と分散処理技術の将来展望と技術的課題を多角的かつ総合的に検討することである。会議では、15ヶ国から68編の論文の発表があり、20のテクニカルセッションが構成された。また、最近の並列処理と分散処理に関して2件の招待講演が企画された。論文発表のセッションでは、情報と協調システム、グラフ理論、エージェントシステムとエージェント技術、分散アルゴリズム、通信ネットワーク、並列処理、モバイルネットワークとモバイルコンピューティング、グループ通信、ルーティング、リアルタイムシステムとベンチマーク、分散データベース、並列アルゴリズムなどに関する論文発表が行われた。

本会議は、第1回から第3回まで台湾において開催されている。わが国においても並列処理技術と分散処理技術に関する研究は活発に行なわれており、さらに近年、分散協調処理技術や分散エージェント技術が重要な研究課題となっている。このため、情報処理の研究分野における日本の推進母体である情報処理学会が、IEEE Computer Society と IEEE 台北セクションとの協賛のもとに本会議を開催したことは、わが国の研究を海外にアピールするとともに、内外の研究者の交流を通じ、わが国およびアジア地域における並列処理技術と分散処理技術の発展に大きく寄与できたと考えられる。

以下に、会議の概要を簡単にまとめる。

1. 開催期間 平成8年6月3日～6月6日（4日間）
2. 参加者 国内研究者150名、国外研究者50名、合計200名
3. 実行委員会
 - ・大会委員長： 松下温（慶應大学）
 - ・プログラム委員長： 白鳥則郎（東北大学）
 - ・実行委員長： 鈴木健二（KDD）

（白鳥則郎 記）

International Topical Meeting on Microwave Photonics (MWP '96)

マイクロ波フォトニクス国際会議は1996年12月3日から4日間にわたり国際電気通信基礎技術研究所で開催された。本会議は1991年のIEEE/LEOSのSummer Topical Meetingに端を発し6回目の開催となるが、次世代の情報通信技術として光・電波融合技術が注目を集めていることから、今回から名称をマイクロ波フォトニクス国際会議と定めて毎年開催することになった。会議は電子情報通信学会が主催し、IEEE LEOSならびにMTT-Sおよびそれぞれの東京チャプターが協賛した。会期中合わせて90の講演が行われ、221名の参加登録があった。発表はマイクロ波（ミリ波）無線アクセスのための光技術が中心で、超高速光デバイスやミリ波信号の発生・制御などの研究も注目を集めた。

（米山務 記）

China-Japan Joint Meeting on Microwaves (CJMW '96)

China-Japan Joint Meeting on Microwaves (CJMW) は、日本の電子情報通信学会と中国の電子学会（CIE）の共催で2年に一度開催されるマイクロ波技術全般に関する国際会議である。今回は第2回目であり、1996年4月25日～26日中国のHefeiで開催された。発表された論文数は約90編で約300名の参加があった。なかでも光波・ミリ波相互作用、デバイスやアンテナなどの研究が注目を集め、活発な討論がなされた。

（米山務 記）

4.4 COE研究員および学振特別研究員

COE非常勤研究員（1996年度）

氏名	任用期間	研究内容
小松輝久	H.8.4.1～H.9.3.31	人工脳の設計のための非線形・複雑系の理論と応用に関する研究
岩見正之	H.8.4.1～H.9.3.31	走査型トンネル電子顕微鏡を用いた表面物性の研究
川瀬晃道	H.8.4.1～H.9.3.31	非線型光学効果を用いたコヒーレントテラヘルツ波発生に関する研究
茶碗谷毅	H.8.4.1～H.9.3.31	人工脳の設計のための非線形・複雑系の理論と応用に関する研究

COE外国人研究員（1996年度）

氏名	任用期間	研究内容
SHIPING GUO 郭世平	H.8.4.1～H.9.12.31	量子ナノ構造における光学遷移に関する研究
	H.8.1.1～H.9.3.31	量子ナノ構造におけるキャリアのダイナミクスに関する研究
CHAFRANIOUK Serguei サフランジエツク セルゲイ	H.8.4.1～H.9.3.31	銅酸化物超伝導単結晶のTHz帯電子物性

日本学術振興会特別研究員(PD)（1996年度）

氏名	任用期間	研究内容
大内則幸	H.8.4.1～H.10.3.31	非線形開放系における自己組織化と階層化のモデル化及び統計的性質

日本学術振興会外国人特別研究員（1996年度）

氏名	国籍	受入期間	研究内容
NAERT ANTONE	フランス	H.7.3.31～H.8.9.30	大自由度複雑系の普遍法則
CIOBANU G. M.	ルーマニア	H.7.6.10～H.8.6.9	関数型プログラミングと並列性
SHEN AIDON 沈 愛 東	中国	H.7.7.1～H.9.4.9	InMnAs/AlSb 希薄磁性半導体ヘテロ構造の分子線エピタキシ成長と評価
RIEU JEAHN PAUL	フランス	H.8.2.1～H.9.3.15	生命状態の物理学

日本学術振興会重点領域外国人招へい研究者

氏名	国籍	受入期間	研究内容
GREAVES SIMONJOHN	イギリス	H.8.3.20～H.9.1.20	巨大磁気抵抗効果材料並びにその応用に関する研究
WU PEIHENG 吳 培 亨	中国	H.8.3.1～H.8.6.28	高温超電導体を用いたサブミリ波におけるデバイスの研究

第 5 章 シンポジウム

5.1 通研シンポジウム

電気通信研究所では所内及び工学部電気・情報系教官が中心となり、最近の研究の最先端の基礎科学、基礎技術に関する問題をテーマとしてシンポジウムを毎年開催している。講師には国外を含む所内外の一線の研究者を迎える多くの参加者を得て活発な討論の場となっている。

「プラズマ中の電気二重層—電位形成及び関連する非線形現象—」

平成8年9月17—19日，通研シンポジウム“プラズマ中の電気二重層—電位形成及び関連する非線形現象”が東北大学青葉山キャンパス内青葉記念会館において開催された。

この会議は，本表題がプラズマ科学の基礎的重要課題として決定され，理論，実験・観測，計算機シミュレーションの3大枠から精力的に研究されている現状を考慮して，“プラズマ中の電気二重層”に関する第5回国際シンポジウムとして開かれた。第1回シンポジウムが1982年にデンマーク，リゾーで開催されて以来，第2回がオーストリア，インスブルックで1984年に，第3回がルーマニア，ヤシで1987年に，第4回が再び，オーストリア，インスブルックで1992年に開催されてきている。会議のテーマは，初期の頃には，強い非線形現象としてプラズマ中に形成され，荷電粒子の加速に密接に関与する電気二重層に絞られていたが，回を重ねるに従い，プラズマ中の電位形成及び関連する現象を対象としながら，その時々の関心を捉えながら開催されてきている。いずれも，プラズマ理工学国際会議の直後に開催されてきた。今回も，名古屋で行われた1996年プラズマ理工学国際会議後に開催された。

今回は，プラズマ閉じ込め，近年多くの関心を集めているプラズマ材料プロセス分野における電位構造とその効果をも重要視してプログラムを編成し，プラズマ電気二重層，シーズ，電位構造，沿磁力線電場と粒子加速，垂直電場，速度シアー，渦形成，ソリトン，ショック，波動・不安定性，関連非線形現象をトピックス項目として設定した。出席者は，過去の会議と同様に，出来る限り小人数に制限し，深みのある討論と相互交流に力点を置いた。総出席者は89人で，国内66人，国外23人（アメリカ，スウェーデン，デンマーク，ドイツ，ルーマニア，オーストリア，ロシア，ウクライナ，バーレーン，南アフリカ）であり，講演数は，レビュー及びトピックスに関する招待講演が13件（国内6，国外7），一般ポスター発表が51件であった。招待講演の内容は次の通りである。

スペースプラズマ関係：音波定常電気二重層の流体モデル，超イオン音波電気二重層形成の計算機シミュレーション，沿収束型磁力線プラズマ流中の大電位段差形成，不均一 $E \times B$ フローによって誘起される静電波。

核融合指向プラズマ関係：トーラスプラズマにおける径方向電場と閉じ込めに関する研究，開放端系閉じ込め実験における軸方向及び径方向電位分布の制御，トーラスプラズマにおけるペレット浸食特性と電位への効果。

実験室プラズマ関係：境界プラズマエッヂ物理の計算機シミュレーション，振動源としてのシングルエンディドQマシーン，電子ビーム励起局在高周波放電による電位構造，沿磁力線速度シアー不安定性に対する負イオンと中性粒子衝突の効果，微粒子を含むプラズマ雲の膨張，磁化ダストプラズマ中の粒子渦形成。

以上のように，スペースプラズマ，核融合指向プラズマ，プロセス対応を含む実験室プラズマ研究に携わる研究者が一同に会し，数多くの先端の研究成果が発表され，熱心な討論を満喫することが出来た。

会議初日の夕方，レセプションの夕食時に，澤田康次通研所長の歓迎の挨拶があり，和やかな一時を過ごし，二日目午後には，平泉中尊寺まで遠出し，東北の風情の一端に触れる機会をもち，極めて好評であった。天候に恵まれたことも幸運であった。

本シンポジウム開催にあたり，電気通信工学振興会，青葉工業振興会，その他，数多くの企業の援助があった。シンポジウムの成功を報告するとともに，この場をかりて謝意を表す。尚，次回は1998年にスウェーデン，ストックホルムで開催される予定である

「新しい超音波計測技術」

東北大学電気通信研究所は磁気記録の開拓者である永井健三所長の定年退官を記念して、昭和39年2月に研究所主催のシンポジウムを開催した。1年後の昭和40年2月に菊池喜充所長が当時のトピックであった「超高周波電子音響学」を主題にシンポジウムを開催した。このような研究所主催のシンポジウムは当時の我国では珍しいことで、大変好評を博した。それ以来、このシンポジウムは、「通研シンポジウム」として毎年開催され、今ではCOEとしての電気通信研究所の定例行事となり、今回は第36回にあたる。

シンポジウム企画委員会では、第36回東北大学電気通信研究所シンポジウムの主題として超音波に関する研究を取り上げた。超音波の応用は極めて多岐にわたり、これまでも、上述の「超高周波電子音響学」をはじめ、第6回には国際会議として「Acoustoelectronics」を、第9回には「弾性表面波工学」を、そして第25回には「超音波エレクトロニクス—新しい圧電応用—」を取り上げている。そこで、本シンポジウムでは観点を計測の面におき、表題を「新しい超音波計測」とし、実行委員長に中鉢憲賢教授がなり、1997年2月3日・4日の二日間、東北大学工学部青葉記念会館において開催した。

新しい研究分野の開発・発展は計測技術と深い関係がある。今回のシンポジウムでは、(1)超音波トランスデューサとセンサ、(2)材料評価、(3)医用超音波計測、の3領域を選び、合計22件の講演を依頼し、195ページの論文集を発行し、全国の大学・企業・研究機関から182名の参加者があった。

(1)の「超音波トランスデューサとセンサ」は計測の基礎技術である。新しい計測技術を発展させ、支えるのもセンサである。計測用の超音波トランスデューサの最近の研究について、あるいは新しいセンサへの超音波の応用などを取り上げ、次の7件の講演が行なわれた。1.「圧電多層構造による超音波トランスデューサの周波数制御」金 茂俊、河 康烈(釜慶大学校) 中鉢憲賢(東北大学) 2.「重み付けコニカル形無回折ビーム超音波トランスデューサ」山田 順、中村信良(東北大学) 3.「電磁超音波トランスデューサと応用」川島捷宏(東京工科大学) 4.「弾性表面波マイクロセンサ」塩川祥子、近藤 淳(静岡大学) 5.「LB膜を用いた弾性表面波化学センサ」野村 徹、竹林正明(芝浦工業大学) 6.「漏洩弾性波トランスデューサを用いたマイクロマニピュレーション」竹内正男、山之内和彦(東北大学) 7.「レーザーの位相速度走査による超音波発生技術とその応用」山中一司、佐藤治道(工業技術院) 長 秀雄(青山学院大学) 西野秀郎(凸版印刷)

(2)の「材料評価」は超音波計測の重要な分野で、新材料開発には不可欠の技術である。最近の研究動向を次の8件講演して戴いた。1.「非破壊探傷映像装置の開発とその応用」有馬幸男(日立建機) 2.「音弹性応力測定」戸田裕己(和歌山大学システム) 3.「擬セザワ波を用いた超音波スペクトロスコピーによる膜の評価」塚原祐輔、中曾教尊(凸版印刷) 櫛引淳一、中鉢憲賢(東北大学) 4.「超音波スペクトラム顕微鏡の局所的材料評価への適用」井原郁夫(長岡技術科学大学) 中曾教尊(凸版印刷) 相澤龍彦、木原諒二(東京大学) 5.「超音波顕微鏡によるSAW用基板及びバルク波用基板の評価とその応用」門田道雄(村田製作所) 6.「新しい超音波映像法---温度可変低温及びナノメートル分解能---」山中一司、佐藤治道(機械技術研究所) 廣瀬徳豊(東京都立工業技術センター) 7.「超音波マイクロスペクトロスコピーとその応用」櫛引淳一、中鉢憲賢(東北大学) 8.「VHF/UHF帯生体超音波スペクトロスコピーとその応用」明石尚之、櫛引淳一、中鉢憲賢(東北大学) Floyd Dunn(イリノイ大学)

また、(3)の医用超音波計測は、上述の菊池喜充教授らが昭和27年頃より研究開発を始めている。現在では臨床で盛んに使用されて、完成された技術のように見えるが、学術的には新しい局面を迎えている。このセッションではそのブレークスルーとして期待されている新しい研究を7件紹介して頂いた。高齢化社会を迎えて予防医学の分野にも超音波医学の貢献が期待される。1.「加振映像法」山越芳樹(群馬大学) 2.「鍼灸医学における超音波計測の応用」田中治雄(東北大学) 佐々木和郎(明治鍼灸大学) 3.「動脈硬化の定量評価を目指した超音波計測」山本克之、工藤信樹(北海道大学) 4.「骨の診断を目指した超音波計測」細川 篤、大谷隆彦、須崎琢而(同志社大学) 5.「漏洩弾性波を利用した骨の超音波診断の可能性」浅井 仁、金井 浩、中鉢憲賢(東北大学) 6.「心臓壁の微小運動速度の計測とその診断の可能性」金井 浩、中鉢憲賢、小岩喜郎、鎌田英一、斎藤淑子(東北大学) 田中元直(東北厚生年金病院) 7.「超音波による動脈硬化診断の可能性」小岩喜郎、本田英行、白土邦男、長谷川英之、金井 浩、中鉢憲賢(東北大学) 中村正三、市木正隆(仙台JR病院) 通研シンポジウムはこれまでも新しい局面の展開に重要な役割を果してきた。ここに取り上げた超音波の3つの分野にも、それぞれ長い歴史的な背景がある。古きを尋ねて新しきを知るという諺があるが、20世紀の締めくくりのためというのではなく、21世紀の夜明けを告げる行事として本シンポジウムが少なからず貢献したと言える。

第1回東北大学電気通信研究所国際シンポジウム 高温超伝導単結晶の固有ジョセフソン効果とTHz帯プラズマ振動

電気通信研究所は平成6年度より西澤潤一前総長の御助力により全国共同利用型研究所に改組され、COE(Center of Excellence(卓越する研究拠点))の1つとなりました。これにともない、通研ではCOE経費による国際シンポジウムや会議を毎年、青葉山の電気・情報系と協力して開催することにしました。その第1回国際シンポジウムが表記のテーマで2月23日より25日までの3日間に金属材料研究所講堂で開催されました。

酸化物超伝導体の固有のジョセフソン効果とTHz帯プラズマ周波数に関して、物理学、科学。応用の立場からその学術的意義が議論され、このテーマの最初の国際シンポジウムとなりました。議論された主要題目は下記の通りです。

- | | |
|------------------------|--------------------|
| a. 高温超伝導における固有ジョセフソン効果 | b. GHz及びTHz帯プラズマ励起 |
| c. 高温超伝導体単結晶と高品位薄膜 | d. 電気磁気的異方性 |
| e. 層状構造と磁束量子の相互作用 | f. 遠赤外領域の電子物性 |
| g. 高周波電子デバイス | |

10年前に発見された高温超伝導体の単結晶は、雲母のような層状構造をしていますが、この層の間はジョセフソン接合となっていることが最近明らかになってきました。ジョセフソン接合は、生体の発生する弱い磁場や、超高周波の電磁波センサーとして応用されていますので、高温超伝導単結晶も、このような応用が期待されます。

このシンポジウムではビスマス系超伝導単結晶で観察された固有ジョセフソン効果や高周波電磁波の鋭い吸収などの新しい研究成果が発表され、更に今後の超高速電子デバイスの可能性が指摘されました。このようなテーマのシンポジウムは世界で初めての試みでしたが、発表論文数は76件、参加者は日本人84名と外国人32名の総計116名に達しました。新しいテーマに関して熱心でかつ家庭的雰囲気のシンポジウムとなり、この分野での一つの新しいグループを作ることができたことは大きな成果と思われます。

代表的参加者は、金研の立木昌名誉教授をはじめ、Erlangen Nurnberg大学のP. Müller教授(独)、Denmark工科大のN. Pedersen教授、Princeton大学のN. Ong教授(米)、Argonne国立研のG. Crabtree教授(米)、南京大学の吳培亨教授、東大の内田慎一教授などが挙げられます。

シンポジウムで発表された論文は本年中にPhysica C誌に掲載される予定です。又、次回シンポジウムは2~3年後にドイツで開催される予定です。

最後に700万円余りの経費がかかりましたがこの内の3分の1程がCOE経費により支えられ、残りは科学技術事業団、宮城県、仙台市、学術振興会第146委員会よりいただいた拠金でまかなわれました。これら拠金をいただきました皆様に深く感謝致しますと共に、御協力いただきました応用物理学会と日本物理学会に御礼申し上げます。

組織委員長 山下 努



ビスマス系超伝導体のマイクロ波吸収に関する研究を熱心に発表する北海道大学の松田祐司助教授。

5.2 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	発 足 年
1	伝送工学研究会	米山教授		1950年頃
2	音響工学研究会	曾根教授	木幡助教授 高根助手	1950年頃
3	仙台「プラズマフォーラム」 (旧名称 プラズマ研究会)	佐藤(徳)教授	畠山助教授	1993年 (1986年)
4	EMC仙台ゼミナール	根本教授	曾根助教授	1986年
5	コンピュータサイエンス研究会	西閑教授	瀧本助手	1986年
6	システム制御研究会	阿部教授	吉澤助教授	1986年
7	電子ビーム工学研究会 (大電力マイクロ波ミリ波研究会)	横尾教授	佐藤(信)助手	1995年 (1987年)
8	放射光工学研究会	舛岡教授	庭野助教授	1987年
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	襄助教授	1993年 (1989年)
10	スピニクス研究会 (旧名称 磁気工学研究会)	荒井教授	松木助教授 石山助手	1992年 (1990年)
11	表面・界面工学研究会	潮田教授	上原助教授	1991年
12	プレインコンピューティング研究会	沢田教授		1992年
13	ヴァーティカル・フォトニクス研究会	川上教授	花泉助手	1992年
14	超伝導工学研究会	山下教授	鈴木(光)助教授 中島(健)助教授	1993年
15	メディカルエンジニアリング研究会	中鉢教授	松木助教授 金井助教授	1994年
16	超高密度・高速知能システム工学研究会	沢田教授		1994年
17	ニューパラダイムコンピューティング研究会	樋口教授	亀山教授	1995年
18	超音波エレクトロニクス研究会	山之内教授	櫛引教授	1995年
19	プレイン機能集積工学研究会	中島教授	水柿助手	新規

伝送工学研究会

伝送工学研究会は、電気通信研究所工学研究会の中で最も長い歴史をもつ研究会であり、平成9年3月の時点ですでに403回を数えている。本研究会は、電波から光波に亘る電磁波を用いた有線・無線伝送に関する基礎・応用研究を目的としており、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招待講演や研究報告を行ってきた。今年度は9回の研究会を開催し、特別講演及び研究発表を行った。

まず、特別講演では平成8年12月17日に郵政省通信総合研究所の井原俊夫氏による”ミリ波近距離利用の最近の動向”，Vanderbilt大学のProf.Richard F. Haglund Jr.による”Making Metal Quantum DOT Composites Into Practical Nonlinear Optical Devices”，平成9年3月4日に三菱電機の石田修己氏による”超小型携帯電話用高周波デバイス”と題する3件の講演が行われ、それぞれ最新の研究動向と成果が報告された。

また、一般講演では線路一体型FETミリ波スイッチ、広帯域・高精度アナログ信号の光ファイバ伝送、赤外中空光導波路、追記型光ディスク、磁性薄膜の透磁率及び電磁雑音の計測、折返しホーン給電平面アンテナ、誘電体共振器アンテナ、超伝導薄膜を用いたマイクロ波部品の開発実験、有限プリント基板を有する線路の近傍電磁界、円形一方形導波管T分岐回路、有限長円柱導体近傍のダイポールアンテナ、円柱導体上斜めスロットアンテナに関する20件の理論的、実験的発表があり、それぞれ活発な討論が行われた。

さらに、平成8年5月14日に開催された研究会では、東北大学名誉教授虫明康人先生とアンテナ技研佐藤源貞氏より大正末期・昭和初期の東北大学に於ける八木宇田アンテナの発明にまつわる研究史についての講演があった。

音響工学研究会

音響工学研究会は、音波、固体振動、超音波などの弹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。

1996年度は、主査曾根敏夫教授、幹事木幡稔助教授、高根昭一助手のもとで、研究会6回(第284回～第289回)、通研講演会1回が開催された。会場は、第289回は本学工学部電気情報館351・353号室であり、他の回は本学電気通信研究所大会議室であった。なお、第285、286、287、289回は、超音波エレクトロニクス研究会と、第285、287回はメディカルエンジニアリング研究会と合同で開催された。

第284回音響工学研究会は、1996年6月3日(月)に開催され、研究発表4件、参加者26名であった。第285回音響工学研究会は、1996年7月3日(水)に開催され、研究発表8件、参加者58名であった。第286回音響工学研究会は、1996年10月18日(金)に開催され、研究発表3件、参加者42名であった。第287回音響工学研究会は、1996年11月22日(金)に開催され、研究発表2件、参加者42名であった。第288回音響工学研究会は、1997年1月10日(金)に開催された。この会に先立ち、通研講演会が開催され、「ネコ第一次聴覚野における情報の時間的統合：連続聴効果について」と題して、豊橋技術科学大学知識情報工学系の杉田陽一助教授に講演いただいた。引き続いて、音響工学研究会講演として、「内耳における増幅機構」という題目で、東北大学工学研究科機械電子工学専攻の和田仁教授に講演いただいた。第289回音響工学研究会は、1997年1月30日(木)に開催され、研究発表2件、参加者39名であった。

仙台“プラズマフォーラム”

本研究会においては、プラズマ、放電、核融合、その他のプラズマ応用の最新の研究成果について、特別講演及び特別企画を催すとともに、刺激的な研究討論と研究発表を行うことを目的とする。

以下に、1996年度の活動概要を記する。

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。

大学院生及びスタッフを中心とするプラズマ計算機シミュレーション、プラズマ中の波動及び不安定現象、プラズマ電位形成、MPDアーケジエットプラズマの生成と計測、プロセス用プラズマの生成と制御、フラーインプラズマ現象に関する”研究発表会”を3回開催。

国内及び国外研究者による、韓国におけるプラズマ応用研究の現状、LHDの3次元MHD平衡と安定性の解析に関する”研究発表会”を2回開催。

国内及び国外研究者による、金属内包フラーインの生成の検証と構造、プラズマ利用高エネルギー粒子制御研究の現状、トカマクプラズマにおけるTAEモード、LHDの最近の状況、プラズマプロセス研究における最近の話題に関する”特別講演会”を5回開催。

通研シンポジウム共催としてのプラズマ中の電気二重層一電位形成及び関連する非線形現象に関する国際シンポジウム、研究会形式としての超短パルス技術を用いたプラズマ計測ならびに応用研究会、プラズマ電位制御および新領域プラズマに関する研究会、プラズマの電磁加速と高エンタルピー流研究会、「共同プロジェクト」フラーインプラズマ研究成果報告会の”特別企画”を5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

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。

1996年度には、第156回（12月19日）の1回の研究会を開催し、1件の特別講演「EMC計測の諸問題」（井上浩先生）を含む、3件の講演・研究発表があった。研究発表の主な話題は、微小三次元画像計測、放電による電磁ノイズの発生機構の解析、放電からの誘導ノイズのシミュレーション、プリント配線からの電磁ノイズ放射の計測などである。

コンピュータサイエンス研究会

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、話題についての講演会を開催し、電気・情報系及び通研に所属する研究室の学問の交流を図ることを目的としている。

1996年度は、7月18日の五十嵐善英教授（群馬大学）による“Independent Spanning Trees of Product Graphs”の講演に始まり、2月24日の斎藤恒雄教授（筑波大学）による「3次元生体イメージング」まで、国内外から19名（内外から4名）もの講師を招待し、7回の講演会が行われた。主なところでは海外から、本年度京都賞受賞者であり、TEXの開発者としても有名な D.E. Knuth 名誉教授（スタンフォード大学）の“J.J.Sylvester and the Matrix-tree Theorem”，や Tao Jiang 教授（マクマスター大学）の“Rotations of Periodic Strings and Short Superstring”，Jens Lagargren 教授（ロイヤル工科大学）による“On the Hardness of Max k-Cut and its Dual”など、海外から著名な研究者たちを招き活発な意見交換がなされた。また国内からは、阿江忠教授（広島大学）の「ブレインアーキテクチャをめざして」，堀口進教授（北陸先端科学技術大学院大学）の「HRクロスドキューブ相互結合網の内包するトポロジー」，浅野孝夫（中央大学）・平田富夫（名古屋大学）両教授による“Approximation Algorithms for MAX SAT: Network Flows and Semi-definite Programming Approach”，加藤直樹教授（神戸商科大学）の“Efficient Algorithms for Optimization-Based Image Segmentation”，大山口通夫教授（三重大学）の「項書き換えシステムとその応用」，西野哲朗助教授（電気通信大学）の「量子Turing機械上の効率的アルゴリズムについて」など、第一線で活躍する研究者による最新研究成果の講演を基に、活発な討論、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

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。本年度は、講演会を3回、および東北大学電気通信研究所共同プロジェクト研究との共催による研究会を1回、それぞれ開催した。

講演会は本研究会が例年行っている主たる活動で、学内外の研究者に、システム制御関連のホットな話題を提供して頂いている。本年度は、大阪大学大学院工学研究科教授薦田憲久氏（演題：システム技術と知識処理技術の融合－知識型スケジューリングと定性的故障診断を中心として、共催：大規模システムステージ工学（JR東日本）寄附講座大規模システム工学研究会Ⅱ、東日本旅客鉄道株式会社総合企画本部総合技術開発推進部担当部長小林輝雄氏（演題：21世紀の鉄道システム、共催：大規模システムステージ工学（JR東日本）寄附講座大規模システム工学研究会Ⅱ、早稲田大学理工学部教授秋月影雄氏（演題：地中の信号伝送システム、共催：大規模システムステージ工学（JR東日本）寄附講座大規模システム工学研究会Ⅱの諸氏を招いて講演会を開催し、それぞれ活発な討議があった。

共同プロジェクト研究との共催による研究会は、本研究会が企画したもので、「複雑系の設計・制御に関する研究」というテーマで、7件の研究発表があった。詳しくは本研究活動報告第2号の共同プロジェクト研究の項を参照されたい。

電子ビーム工学研究会

現在、核融合プラズマの加熱及び計測、セラミックのマイクロ波を用いた焼結等、基礎科学分野から工業分野にわたる広い方面から、ミリ波～サブミリ波領域における大出力の電磁波源が強く求められている。この要求に応えるための研究開発が世界各国で進められているが、本研究会は、以上のような実状に鑑み、大電力のマイクロ波・ミリ波源の研究開発を中心として、その基礎的、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。これまでに、従来からのマイクロ波管にとどまらず、サイクロトロン高速波管、自由電子レーザ、さらにはコヒーレント放射光など高エネルギー電子ビームの利用も視野にいれ、技術的諸問題及び将来展望を討議してきた。そして、近年における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う新たなる研究分野の急速な発展などにともない、本研究会の一層の活性化と、より多くの研究者への公開性を図るために、平成7年度より研究会名を「電子ビーム工学研究会」と改め、活動を行ってきた。以下に平成8年に開催された研究会で発表、討議された主なテーマを記す。

大出力高周波電磁波源の開発と応用

- サイクロトロン高速波管（ジャイロトロン、ペニオトロン）
- 自由電子レーザ及びコヒーレント放射光
- トカマクプラズマの電子サイクロトロン加熱
- マイクロ波電力伝送と成層圏プラットホーム

微小冷陰極の開発と応用

- 電界放射冷陰極

放射光工学研究会

本研究会は、シンクロトロン放射光（以下「放射光」という。）を用いた材料創製・加工や物性評価に関する技術的諸問題を討論する目的で活動を行っている。放射光を用いた評価分析技術の開発、光励起表面反応過程の解明や光励起プロセスの開発研究などを研究討論の対象としている。本年度は、以下に示す合計4回の研究会と、大柳宏之氏の通研講演会を開催した。

[第34回] 平成8年11月14日（研究発表6件）研究会テーマ『分子レベルで制御した表面反応プロセスの新展開』 1.「極短パルス光による表面の熱励起」 英 貢（豊橋技科大） 2.「凝縮系での内殻励起とサイトスペシフィックプロセスの可能性」 宇理須 恒雄（分子研） 3.「内殻励起の特徴とその後続反応」 田中健一郎（広大理） 4.「複合表面反応プロセスの研究」 後藤 俊夫（名大工） 5.「シンクロトロン放射光電子回折：Ge/Si(001)」 河野 省三（東北大科研） 6.「表面反応プロセス診断法としての赤外反射分光」 庭野 道夫（東北大通研）

[第35回] 平成8年12月18日（特別講演1件）「Resonance electron attachment to diatomic molecules - HBr, DBr, HI, DI」（Prof. Jiri Horacek, Charles University(Czech Republic)）

[第36回] 平成8年3月14日（講演8件）研究会テーマ『光・プラズマ励起プロセスにおける分子レベルの反応制御』 1.「放射光による局所結合切断の可能性を探る」上野 信雄（千葉大工） 2.「低温プラズマにおける電子衝突励起過程」田中 大（上智大理工） 3.「光・プラズマ励起プロセスにおけるin-situ表面診断法」橋 邦英（京都大工） 4.「”プロセス用CCPリアクターの機能分離”のモデリング」真壁 利明（慶應大理工） 5.「プラズマの電子温度制御」佐藤 徳芳（東北大工） 6.「放射光によるテフロンのアブレーション」平松 美根男（名城大） 7.「広島大学の放射光利用」関谷 徹司（広島大理工） 8.「立命館大学の放射光利用」難波 秀利（立命館大理工）

[第37回] 平成8年3月21日（通研講演会）「X線吸収分光(XAS)と物理科学－最近の進歩と展望－」（電子技術総合研究所 大柳 宏之氏）

テラヘルツ工学研究会

電波と光に挟まれたスペクトル、ミリ波、サブミリ（テラヘルツ）波帯は、電波（マイクロ波）あるいは光領域に比べて、その技術の実用性はまだまだ低い。この理由（すくなくも理由の一つ）は、この領域にまだ明確な応用分野が存在しないことにあると思われる。この領域の特徴として、先ず帯域の広い事が挙げられる。ミリ波帯だけを考えてみても、今現在我々が用いている30GHzまでの電波全体のほぼ10倍の周波数バンドがある。これに加えてデバイスが小型になる特徴があり、これらは、パーソナル動画伝送など将来の高密度情報通信技術にとって極めて大きな魅力である。この領域の技術開発に対するキーワードは次のようになると思われる：コヒーレント、常温高速動作、cw、そして tunable。

本研究会は、ミリ波からテラヘルツ領域に亘るスペクトルにおける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に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いる。平成8年度には、前者について5件、後者について8件の講演、討論の機会を得、デバイスからシステムに亘る活発な議論・討論が行われた。まとめると、次のようなことになろう：現在の技術の進展を考えると、従来のマイクロ波技術の延長で、少なくとも300GHzまでは各種基盤技術の開発が可能と思われる。能動素子としては、三端子デバイスが実用性に優れているが、既に $f_{max} = 600\text{ GHz}$ の HEMT が報告されており、検出器ではショットキ・ダイオードがテラヘルツ帯で動作している。この領域は、大気中の各種分子による吸収が大きいため、大気伝搬には適さないが、長距離伝送に対しては、光技術との融合が研究されている。また、短距離回路用線路に関しては、MMIC 等でいくつかの線路が使用されてきており、また最近のマイクロマシーン技術の進歩により短ミリ波以上では再び導波管が使用されるようになる可能性がある。また、フォトニックバンドクリスタルの概念もこの領域の基盤技術を大きく変える可能性を持っている。

本年度の主査は水野皓司教授、幹事はペイジョンソク助教授が務めた。

スピニクス研究会

スピニクス研究会は、磁気現象の起源である電子スピンを意識した新しい学問分野であるスピニクスに携わる多くの研究者間の情報交換・討論の場として1990年に発足した。現在登録会員数は産官学合計で300名を超えており、本研究会は例年スピニクスに関する最新の話題に関する3件程度の依頼講演による研究会、研究の最前線を報告すると同時に萌芽的研究に関する討論を行うことを目的とした一般公募による特別研究会、および東北大学修士論文特集報告会を行っている。加えて本研究会は、IEEE、電気学会、電子情報通信学会、応用磁気学会などの各種学会活動の東北地区における受け皿としても機能している。

本年度は依頼講演による研究会を電気通信研究所にて4回、一般公募による特別研究会を工学部青葉記念会館にて1回、東北大学修士論文特集報告会を電気通信研究所にて1回開催した。特別研究会では、物性、材料、デバイス、ストレージ等幅広い分野にわたって合計35件の講演が2日間にわたって議論された。この特別研究会の参加者は100名を超え、スピニクスの裾野の広がりとともに、スピニクスに対する期待の高さを改めて明確にした。さらに本年は、共同プロジェクト「スピニクスの基礎と応用」との密接な協力関係を持ち、第45回研究会、第46回研究会、特別研究会にはそれぞれ共同プロジェクト共同研究者の参加を得ることができた。

本年度の運営は、主査：荒井賢一教授(通研)、幹事：松木英敏助教授(電気)、石山和志助手(通研)、企画幹事：村岡裕明助教授(通研)、山口正洋助教授(通研)、莊司弘樹助教授(電子)、北上修助教授(科研)、大谷義近助教授(材料物性)、家名田敏昭助手(電気)で行った。

表面・界面工学研究会

ここ20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8年は5名の講師を国内外からお招きし、以下の研究会を開催した。

(1) 平成8年5月27日「1) Recent advances in high resolution electron spectroscopy, 2) Temperature and time dependent investigations using variable temperature STM and AFM, 3) Surface science at Liquid He temperatures with a new dedicated low temperature STM」(Dr. M. Sander and Dr. M. Detje, Omicron, Germany), (2) 平成8年7月25日、「Opto-electronic response of metals to 10 fs laser excitation」(Dr. Hrvoje Petek, Advanced Research Laboratory, Hitachi Ltd), (3) 平成8年8月26日「Electrically driven Bloch oscillators」(Professor Peter Vogl, Walter Schottky Institut Technical University of Munich, Germany), (4) 平成8年8月29日「Electron spectroscopies studies (Photoemission and HREELS) of copper oxide thin film growth on MgO(100).」(Dr. Thierry Conard, Electron Spectroscopy Laboratory (LISE), University of Namur, Belgium), (5) 平成8年10月24日、「Inelastic light scattering by intersubband excitations in quantum wells」(Professor Elias Burstein, Pennsylvania University, USA)

ブレインコンピューティング研究会

1. 会の目的

情報社会の肥大化に伴い、情報処理システムの硬直性の顕在化が社会の危機管理と関連し大きな問題となっている。その硬直性を打破するため、脳機能の生理学的研究を基礎に超並列ブレインアーキテクチャを確立し、それをマイクロチップ化するまでの技術を一貫して研究し、緊急の判断と柔軟な対処を要求する社会的危機管理に資する高次情報処理システム（ブレインコンピュータ）を開発することが望まれている。

そのため本研究会においては、生体機能に学ぶ自律分散制御、電気生理学実験による脳機能の解明、しきい値論理などに基づくブレインアーキテクチャの確立、及びそのシステム開発を目的として、全国の生体情報工学、非線形物理学、神経回路網理論、半導体・超伝導体集積回路の研究分野の研究者の意見交換をし、それらの有機的結合によりその目的を達成する。

2. 1996年度の活動概要

平成8年12月20日（金）午前10時より東北大学電気通信研究所中会議室において、大阪大学大学院理学研究科・助教授・荻原哲氏を招いて「アメーバ細胞の運動と情報統合のメカニズム」と題して講演会並びに研究会を開催し、単純と考えられる生体における複雑な情報統合のメカニズムについて討論した。参加人数は約30名であった。講演会の要旨は、以下のとおりである。「アメーバ細胞は、直線的な移動と一見ランダムで自発的な方向転換を繰り返す。方向転換は仮足の突出・伸縮活性が時間的空間的に協調されることによって可能になっており、走化性応答では、方向転換の過程で、移動方向が濃度勾配情報に応じて決定されている。したがって、アメーバ運動を構成するいくつもの情報過程、分子過程、運動過程の間の時間的・空間的関係性を明かにする必要がある。これらの複雑な過程がどのように働いているのかが、最近巧妙な実験により実証的に示された。」

ヴァーティカル・フォトニクス研究会

ヴァーティカル・フォトニクス研究会では、種々の面垂直型光素子の高性能化と光ファイバ一体化技術の確立を目指し、関連分野の研究者と研究討論を行なっている。本年度は研究会を2回行なった。

[第1回] 日時：平成8年4月11日 場所：東北大学電気通信研究所大会議室

(1) 「半導体光集積デバイスの実用化」 中村道治（株）日立製作所 中央研究所所長

[第2回] 日時：平成9年3月12日 場所：東北大学電気通信研究所講堂

(1) 「TEC技術に適した偏波保持光ファイバの研究」 佐々木豊、横田浩久、沖津恵美子、菅井栄（茨城大学工学部）

(2) 「多結晶シリコンと石英から成る積層形偏光分離素子の作製」 白石和男、室幸市（宇都宮大学工学部）

(3) 「強磁性半導体(Ga,Mn)Asの物性」 大野英男、松倉文礼、A.Shen、菅原靖宏（東北大学電気通信研究所）

(4) 「液晶による光コンピューティング」 川上徹、内田龍男（東北大学工学部）

(5) 「低消費電力光インターコネクトのための面発光レーザ/受光器の設計」 小山二三夫、井上茂之、伊賀健一（東京工業大学精密工学研究所）

(6) "Large field-induced refractive index change without red shift of absorption edge in five-step asymmetric coupled quantum wells with modified potential", H. Feng, J. P. Pang, 多田邦雄、中野義昭（東京大学工学部）

(7) 「フルブルーフ集積と光デバイスについて（最近の進展）」 川上彰二郎（東北大学電気通信研究所）

超伝導工学研究会

本研究会は、超伝導の工学応用に関する材料、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成果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平成5年度に設立された。超伝導転移温度が液体窒素温度を超える高温超伝導体は、応用に向けて活発な取り組みがなされる一方、超伝導ギャップ周波数以下の低周波プラズマ現象などが新たに見出されている。平成8年度は、下記研究会を開催した他、平成9年2月23日から25日の3日間にわたりて内外の研究者100余名の参加を得て高温超伝導における固有ジョセフソン効果とテラヘルツプラズマ振動に関する国際シンポジウムを共催した。研究会の開催日と研究発表者および国際シンポジウムの概要は以下のとおりである。

第18回研究会 平成8年6月28日 東北大学電気通信研究所 2号館4階大会議室

Cristoph Heiden (Institute of Applied Physics, Univ. of Giessen, Germany)

Michael Gurvich (Department of Physics, State Univ. of New York at Stony Brook, U.S.A.)

第19回研究会 平成8年11月26日 東北大学電気通信研究所 2号館4階大会議室

斗内政吉（大阪大学超伝導エレクトロニクス研究センター）

大谷義近（東北大学工学部材料物性学科）

第20回研究会 平成9年6月2日 東北大学電気通信研究所 2号館4階大会議室

I. P. Nevirkovetz (Institute for Metal Physics, National Academy of Sciences of the Ukraine)

Alex Semenov (Department of Physics, University of Regensburg)

国際シンポジウム（共催）

平成9年2月23日～25日 東北大学金属材料研究所構造

発表件数 76件（内、口頭発表38件、ポスター発表38件）

メディカルエンジニアリング研究会

東北大学電気通信研究所 工学研究会分科会メディカルエンジニアリング研究会本研究会は、医用工学、生体電磁工学、生体電子工学及びその他の生体に関する研究分野における研究発表並びに諸問題・将来展望を討議することを目的として、平成6年4月に新たに発足したものであり、主査は中鉢憲賢教授、幹事は松木英敏助教授と金井 浩助教授である。1996年度は、合計2回（第13～14回）の研究会を開催し、合計10件の研究発表と、さらにDiane Dalecki（米国ロチェスター大学電気工学科助教授）による通研講演会を開催した。以下に、本年度に開催された研究会の発表題目を記す。

1. 「建築的手段によるピアノ練習室の音場制御に関する研究 - ピアノ練習室に適した室内平均吸音率と吸音面配置 -」富士田隆志（ヤマハ株）
2. 「電気音響的手段によるピアノ練習室の音場制御に関する研究 - 反射音合成方式を用いた音場の能動制御と室の影響 -」富士田隆志、安藤繁雄（ヤマハ株）
3. 「人工心臓用振動流ポンプの経皮的駆動に関する一考察」山方義彦、松木英敏（東北大学大学院工学研究科電気・通信工学専攻）
4. 「動脈壁の微小振動の非侵襲的高精度計測と弾性的特性の評価法の提案」長谷川英之、金井浩、中鉢憲賢（東北大学大学院工学研究科電気・通信工学専攻）、小岩喜郎（東北大学医学部第一内科）
5. 「 $\lambda/4$ 正規型一方向性弾性表面波すだれ状電極変換器と低損失フィルタ」小島俊之、小田川裕之、目黒敏靖、我妻康夫、山之内和彦（東北大学電気通信研究所）
6. 「LiNbO₃回転変位圧電アクチュエータを用いた波長可変光フィルタ」黒沢葉子、中村信良（東北大学工学部通信工学科）
7. 「LiTaO₃の単分域結晶と多分域結晶の弾性特性」高長和泉、櫛引淳一（東北大学工学部電気工学科）
8. 「直線集束ビーム超音波顕微鏡による材料評価法における試料裏面反射波の影響 --- 試料厚さに関する検討 ---」櫛引淳一、荒川元孝、大橋雄二（東北大学工学部電気工学科）
9. 「平行電界励振厚みすべり振動のエネルギー閉じ込めを利用した圧電振動ジャイロ」阿部洋、吉田哲男、宮崎紀子（株式会社トーキン）、渡辺博（福島高専）
10. 「循環器疾患の診断を目指した心臓壁上微小運動速度波形解析」佐藤路恵、金井浩、中鉢憲賢（東北大学工学部）、小岩喜郎（東北大学医学部）、田中元直（東北厚生年金病院）。

（金井記）

超高密度・高速知能システム工学研究会

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・技術に関して十分議論することを目的としている。

- 平成8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6回 平成8年4月19日 「Current Self-Oscillations and Chaos in Doped Superlattice」 Holger Grahn, 東工大量子効果エレクトロニクスセンター, Paul-Drude-Institute, Berlin, Germany
 - 第7回 平成8年6月7日 「Device Physics, Computer Modeling, and New Effects in Quantum Well Infrared Photodetectors」 M.Ershov Computer Solid State Physics Lab, University of Aizu
 - 第8回 平成9年1月29日 「The s, p-d exchange interaction in CdCrS diluted magnetic semiconductor」 Andrzej Twardowski Institute of Experimental Physics, Warsaw University
 - 第9回 平成9年1月30日 「量子コンピュータについてーその概念と展望ー」 福見俊夫 通商産業省 工業技術院 大阪工業技術研究所
 - 第10回 平成9年2月13日 「化合物半導体デバイス研究の歴史とナノメータデバイス実現に向けての研究最前線」 横山直樹 富士通研究所

ニューパラダイムコンピューティング研究会

本研究会は、種々の観点から新しいパラダイムに基づくコンピューティング、すなわち従来の延長上にはない新しい概念に基づくコンピューティングに関する研究報告や話題提供を行ない、次世代の電子・情報システムの基盤技術の研究討論を行なうことを目的としている。以上の趣旨に基づき、平成8年度は3回の研究会を開催した。

第6回（特別講演会）平成8年6月7日

- A Fast Programming Flash EEPROM Cell
Wai Tung Ng(University of Toronto)

第7回 平成9年2月3日

- 「ビットシリアル方式に基づく再構成可能並列プロセッサの構成と評価」
藤岡与周、苦米地宣裕（八戸工大）
- 「3値セットリテラルの3値クリーネ・ストーン表現への書換えについて」
長田康敬（琉球大学）、向殿政男（明治大学）、安富祖忠信（琉球大学）
- 「周期分解アルゴリズムに基づく高集積多値剩余数演算回路の設計と評価」
島袋勝彦、金城光永、瑞慶覧長定（琉球大学）
- 「A Design of FIR Filter Using CSD with Minimum Number of Registers」
鈴木健一、尾知博、金城繁徳（琉球大学）

第8回（通研講演会） 平成9年3月21日

- 「最近のロボット工学の話題と将来展望」
内山勝（東北大学）

超音波エレクトロニクス研究会

超音波エレクトロニクス研究会は、固体中及び固体表面の超音波の発生・受信・伝搬特性の解明と材料の研究、及び、それらを電子通信工学へ応用する研究について討論・意見交換を行う場として、昨年度から発足した研究会である。

本年度は主査山之内和彦教授、幹事櫛引淳一教授のもとで、4回の研究会が開かれた。

第1回目は、1996年7月3日に開催され、 $\lambda/4$ 正規型一方向性変換器を用いた低損失弾性表面波フィルタ、 LiNbO_3 回転変位アクチュエータを用いた波長可変光フィルタ、 LiTaO_3 の単分域結晶と多分域結晶の弾性特性、及び、直線集束ビーム超音波顕微鏡による材料評価法における試料裏面反射波の影響に関する研究発表があった。

第2回目は、1996年10月18日に開催され、低粘性液体試料の横波音響特性測定に関する研究発表があった。

第3回目は、1996年11月22日に開催され、平行電界励振による厚みすべり振動のエネルギー閉じ込めを用いた圧電振動ジャイロに関する研究発表があった。

第4回目は、1997年1月30日に開催され、衝撃波加振法による物質材料の弾性特性評価に関する研究があった。

いずれも、およそ50名の参加者を得て、活発で有意義な討論が行われた。

ブレイン機能集積工学研究会

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及している。本年度は電子情報通信学会非線形問題研究会との共催により、以下に示す研究発表を行うと共に、矢内浩文氏の通研講演会を開催した。

- 1) 従属スイッチを含む非自律系回路のカオスと分岐
- 2) カオス発生回路のパラメータ変動検出器
- 3) カオス的な力で相互作用しているブラウン粒子を用いたニューラルネットワークの研究
- 4) 反応拡散セルオートマトン
- 5) 非線形自己回帰移動平均モデルの離散フーリエ変換による解析
- 6) CNNによる面積階調ダイナミクスー両眼視差の為のブロックマッチング
- 7) アナログ連想メモリの高機能化とその集積化
- 8) Implementation of Asymmetric Neural Networks for Generating Limit Cycles
- 9) 調和振動子を用いたカオスニューラルネットの研究
- 10) カオス的なニューラルネットワークにおける遍歴現象と協同現象についての研究
- 11) 最適化問題を解くカオス的力学系の大域的分岐構造とその最適化手法の検証
- 12) 荷重値の更新に閾値を設けたニューラルネットワークの学習性能とその集積化

5.3 通研講演会

Inelastic Light Scattering by Intersubband Excitations in Quantum Wells

—量子井戸中のインターバンド励起による非弾性光学散乱—

Elias Burstein ペンシルベニア大学名誉教授

物性研究において分光学的手法は有用な手段の一つとして挙げられる。その中でもバンド間遷移に伴う非弾性光学散乱の理解は物質中の素励起や電子状態を議論する上で重要である。

本講演は、Burstein氏が長年に亘って進めてきた浅い不純物準位や表面ポラリトン、ラマン散乱の研究について、その中でも特に電界誘起ラマン散乱の基本概念について紹介したものである。

まず、集団励起による非弾性散乱の物理的描像を明らかにした上で、ファイマンダイヤグラムを用いて散乱断面積を理論的に評価し、その機構について簡単なレビューを行った。

次に、具体的な観測例として、比較的簡単なn型GaAs中の単一電子励起による共鳴光散乱から始めて、より複雑な半導体超格子中の量子井戸による非弾性光学散乱を挙げ、ラマンスペクトル中に見られるスピニ密度励起、電荷密度励起、単一電子励起の各ピークについての説明を行い、スピニおよびプラズモンが重要な役割を果たしていることを示した。

ミリ波HEMTの技術動向

(株) 東芝 小向工場 德田 博邦

日時： 平成8年11月27日 13:30～16:00

場所： 東北大学電気通信研究所 大会議室

本講演会は、ミリ波帯のHEMT (High Electron Mobility Transistor) に関する、現状と将来展望を議論したものである。電磁波のスペクトル領域を開発していく上で、その領域での実用的な3端子デバイスの実現は不可欠である。3端子デバイスは、制御性の良さなどから2端子デバイスに比してはるかに実用性に富んでいるからである。本講演では、先ずミリ波帯の応用、考えられる市場についての予想・動向についての紹介があり、次いで HEMT が特に高周波特性に優れていることについて、各種の構造についての理論的検討、さらに実績などの議論があった。また、HEMT を組み込んだ MMIC (Millimeter wave Monolithic Integrated Circuit) について実際例についての紹介があった。ミリ波帯の低雑音増幅及び電力増幅の両分野において、現在 HEMT を用いた MMIC が優れていることについての明快な説明など、今後の研究遂行にとって示唆に富む内容の講演であった。

トカマクプラズマの電子サイクロトロン加熱

京大・院・理学研究科 嘉道 恒

現在、熱核融合による発電の実現に向けて、各国で核融合プラズマの研究が盛んに行われている。核融合プラズマの加熱法において、磁場中での電子のサイクロトロン共鳴を用いる方法 (E C H) は、プラズマの追加熱及び電流駆動、加熱の局所性を利用したプラズマの分布制御等に対する有効な手段として重要な位置を占めている。E C Hを実現するまでの最大の課題は、これに用いられるミリ波からサブミリ波における大出力の電磁波源の開発である。例えば、核融合炉の実現を目指したITER計画においては、発振周波数170GHz、出力1MWの連続波発振が可能な電磁波源が要求されている。現在のところ、この要求が実現可能な電磁波源は、ジャイロトロン等のサイクロトロン高速波管以外には考えられない。本講演においては、ジャイロトロン開発の歴史的経緯、動作原理および特長、実用化に向けての課題（大出力化、長パルス化、高周波数化、高効率化）、プラズマ加熱に用いるための伝送系と入射方法、核融合プラズマと入射電磁波の相互作用の過程について述べる。

距離系列のノルムと最大共通点集合問題

徳山 豪

1996年11月28日に開催された通研講演会では、IBM東京基礎研究所の徳山豪氏が「距離系列のノルムと最大共通点集合問題」について講演した。徳山氏は、点数最大の共通部分集合を計算する問題(LCP)を、距離重複度ベクトルの内積の概念に着目し、その解析を通して、点数最大の共通部分集合を計算する問題(LCP)の考察を試みた。(共通部分集合とは、ユークリッド平面内の二つの点集合P,Qに対して、各々の部分集合で、互いに合同なものをいう。)さらに、高次元の場合には、この内積の概念を拡張し、LCPの高速解析を設計できることも明らかにした。

フェムト秒光励起による高温超伝導体からのTHz電磁波発生

大阪大学超伝導エレクトロニクス研究センター 斗内政吉

日時 平成8年11月26日 14:00~

場所 東北大学電気通信研究所2号館4階大会議室

本講演では、斗内助教授らが最近発見した酸化物高温超伝導体薄膜にフェムト秒レーザ光を照射したときに数THzまでのスペクトルを有する電磁パルスが放射される現象が紹介され、電磁波発生機構及び応用を含めた今後の展望について解説された。高温超伝導体は超伝導エネルギーギャップが非常に大きく、ジョセフソン接合を使ったTHz電磁波の発振・検出が盛んに研究されているが、本現象は、高温超伝導体のクーパー対の光励起破壊-再結合が極めて高速であるという性質を利用している点や電磁波発生機構に関連して超伝導体に特有の磁束量子状態が電磁波発生に強い影響を及ぼすことを見出すなど非常に興味深い。さらに、連続発振の実現に関する取り組みやTHz電磁波源としての応用などの話題は、新しい高温超伝導体の応用として注目されよう。

フォトニック・バンドギャップ・マテリアル

バース大学（英国）P.St.J. Russell 教授

フォトニック・バンドギャップ・マテリアルとは、ある周波数帯の光がその中でどの方向に対してもブリッジ条件を満たしている様な周期構造体を指す。この様な構造体を用いると光の2次元/3次元的な閉じ込めが可能となるため、種々の光デバイスへの応用が期待されている。

本講演会ではフォトニック・バンドギャップ・マテリアルの権威であるRussell教授により、その理論から現在の研究動向まで平易に解説が成された。まずフォトニックバンドの仕組みが半導体中の電子のバンド構造との対比で説明された。次に1次元構造を利用した導波路、集光器などの応用デバイスの例が、実験結果と共に示された。また同教授らのグループが世界で初めて2次元構造を応用して実現した”フォトニック・バンドギャップ光ファイバ”について、その作製方法、光学特性などの紹介があった。数多くのデバイスの構造や動作状況が豊富な資料とともに示され、大変示唆に富んだ内容であった。講演中及び講演後も活発な意見交換があった。

EMC計測の諸問題

秋田大学鉱山学部 井上 浩 先生

平成8年12月19日に東北大学工学部において、秋田大学鉱山学部教授の井上浩先生を講師に招いて、標記講演会が行われた。先生の幅広い研究分野の紹介に始まり、とくにEMC計測に関する研究について、さまざまなエピソードも交えて最新の研究内容を興味深く解説していただいた。

EMCの研究分野において、システムから外へ放射する電磁雑音を低減し、また外来の電磁雑音による妨害を受けにくくすることが、基本的な問題の一つである。放電による誘導電磁雑音の測定方法の開発から始めて、その測定結果を解析して考案した複合雑音発生器（CNG）の提案、CNGによる雑音妨害のシミュレーション実験および雑音抑圧試験へと展開してきた。CNGは、電磁雑音妨害などの標準的な評価手法として利用されることが期待される。また、プリント基板上の高速スイッチング素子はシステム内にあって電磁雑音源となる。これから放射される電磁界を測定し、プリント配線の諸元との関係を評価している研究についても解説があり、熱心な討論が行われた。

神経回路の数理モデルのダイナミクスから見た記憶機構の可能性

玉川大学工学部 矢内浩文

神経回路モデルにおいてニューロンの入出力特性がその記憶容量に影響を及ぼすことが知られており、シグモイド型の単調増加関数で表現される場合に対して特定の非単調関数を使用した場合は、相関学習による自己想起の記憶容量が向上することが数値解析により示されている。一方シグモイド型の単調増加関数で表現される場合は直交学習によって相関学習に比較して記憶容量は向上するが、雑音に弱くロバスト性が低下することが示されている。矢内氏はこの関係に注目して、理論解析によりニューロンに非単調関数を使用した場合と直交学習の間には繋がりがあり、極限操作により互いに移行することが可能であることを見出した。これらの間の関係について詳細な講演をしていただいた。また神経回路の連想記憶とその応用についてこれまでの研究成果を概説の後、今後の展望についてのまとめをより広い観点から講演いただいた。

アメーバ細胞の運動と情報統合のメカニズム

大阪大学大学院理学研究科 萩原 哲

日時：12月20日（金） 10:00 - 12:00

場所：電気通信研究所 2号館4階 中会議室

アメーバ細胞は、直線的な移動と一見ランダムで自発的な方向転換を繰り返す。方向転換は仮足の突出・伸縮活性が時間的空間的に協調されることによって可能になっており、走化性応答では、方向転換の過程で、移動方向が濃度勾配情報に応じて決定されていると考えられている。したがって、アメーバ運動を構成するいくつもの情報過程、分子過程、運動過程の間の時間的・空間的関係性を明かにすること無しには、アメーバ運動のしくみを捉えることはできない。微少管系は、細胞内の分子過程を関係づけるものの実体である。微少管は、通常はランダムな方向に伸びており、特に片寄った局在は示さない。しかし、走化性応答では、誘因物質の濃度勾配情報に応じて微少管系が細胞の中心体の網引きを演じ、その結果として対称性が破れ中心体と微少管系の片寄りが生じ、仮足の選択が行なわれる。これらの複雑な過程がどのように働いているのかが、最近、巧妙な実験により実証的に示された。このような実験により、明かになってきたのは、細胞はモーター分子とATPを使って方向性のある運動を反応の場に与えて、その空間配置を変えて、ランダムだけではなく秩序ある動きを作りだしているという描像である。講演では、初心者向けのイントロから初めて、興味ある実験のビデオなどを交えながらごく最近の発展までを話して頂き、専門家以外にも興味の持てる内容で、多くの質問や活発な意見の交換が行なわれた。

ネコ第一次聴覚野における情報の時間的統合：連続聴効果について

杉田陽一

ネコ第一次聴覚野の細胞は、与えた音の周波数が一定の場合よりも、周波数が連続的に上昇あるいは下降する音に対して強く応答する。音の周波数が上昇あるいは下降する音について、連続的な変化の一部分を切り取って空領域で置き換えた刺激音を作成して、ネコ第1次聴覚野の応答を観測したところ、周波数が連続的に変化する音の場合に比較して、応答は著しく減衰した。このとき、空領域を帯域雑音で置き換えると、再び強く応答するようになった。しかし、雑音を単独で呈示したときには応答しなかった。この結果は、第一次聴覚野の細胞が、情報を時間的に統合していることを示している。またこのことは、ヒトに空領域を帯域雑音で置き換えた周波数変化音を聴取させたときに、音の周波数感覚（ピッチ）が連續した音として知覚される現象—連続聴効果—と同様の現象がネコの第1次聴覚野でも生じていることを示すものである。

誘電率変化型機能性顕微鏡の開発とその将来展望

山口大学工学部 長 康雄

誘電体の微小部位に何らかの交番的刺激を与え、その刺激により生じた微小な交番的な誘電率変化を、更に周波数変化に置き換ることにより高感度に検出する技術を開発し、それを走査系と組み合わせた、全く新しいタイプの機能性顕微鏡についての講演があった。

その、交番的刺激として光及び電界を用いた2種類の具体例について詳細な報告があった。まず前者は光吸収に伴う微小な発熱を原因とした誘電率変化を検出するものであり、この効果を光熱誘電率効果と名付け、これを用いた全く新しい分光法や顕微鏡を開発している（光熱誘電率分光顕微鏡）。次に後者の印加電界による誘電率変化を用いた顕微鏡は、強誘電材料の永久分極分布の可視化を行うものである（走査型非線形誘電率顕微鏡）。本顕微鏡は強誘電体の永久分極分布の観測を焦電現象を用いずに純電気的に行える世界で初めての装置であり、分極像の具体的計測例が多数報告された。

量子コンピュータについて

—その概念と展望—

通産省工業技術院 大阪工業技術研究所 福見俊夫

量子力学に基づく情報処理システム「量子コンピュータ」の研究が、ファインマンの提案の後各方面で活発に進められている。この方面での新しいプロジェクト研究を計画推進中の大阪工業技術研究所、首席研究官福見俊夫氏にその概念と展望についてご講演をお願いした。講演の前半は実験的な側面を中心とした、これまでのこの研究分野の概要であり、イオントラップによる量子コンピュータシステム構成の可能性について講演いただいた。後半部は福見氏のグループによる理論的な量子コンピュータシステム構成についての最近の展開について、お話し頂いた。経路積分を用いた解析手法を取り、無限次元で構成される量子力学独特のベクトル空間に関する考察から、計算量の爆発を引き起こすNP完全問題など最適値問題等に解答を与えることが可能となると判断していることが強調された。

トカマクプラズマにおけるTAEモードについての研究発表と討論

核融合科学研究所 渡利徹夫

世界の大型トカマクに於ける研究の進展、及び、国際核融合実験炉（ITER）建設をめぐる議論の活発化に伴い、TAEモード（Troidicity Induced Alfvén Eigenmode）の研究が重要視されるに至った。TAE-modeは本質的にはアルフベン波である。アルフベン波はプラズマ中にアルフベン共鳴層 ($(\omega_p / \omega_{ci})^2 = (ck_\parallel / \omega)^2$) を持つため、不安定性励起の可能性が軽視されていた。しかし、トロイダル効果により起こるモード結合を考慮すると、アルフベンギャップ（アルフベン共鳴層の無い周波数帯）が発生し、グローバルモードが生まれる可能性が指摘された。将来の核融合装置では TAE-mode がアルファ粒子の閉じ込めを劣化させ、このため核融合Q値を下げる事が懸念されている。また、中心部から排出された粒子がリップル損失として局的に炉壁にあたりそれを損傷することも考えられる。

講演では、アルフベンギャップの存在、不安定性励起の機構、他の減衰のメカニズム等TAE-mode に関連した物理を Drift Kinetic Equation に基づき詳細に説明するが、この報告ではモントリオールのIAEA国際会議に発表された論文を中心として近年の代表的な実験結果を整理しておく。問題の重要性により今後も TAE-mode のより詳細な研究が進行するものと思われる。

遺伝的アルゴリズムとスケジューリングへの応用

（株）日立製作所システム開発研究所 吉原郁夫

平成9年2月27日、（株）日立製作所システム開発研究所主任研究員吉原郁夫氏を迎えて標記講演会を行った。吉原氏は、ニューラルネットワークや遺伝的アルゴリズムのシステム最適化への応用などの研究開発に携わっている。

生物の進化プロセスを模擬した遺伝的アルゴリズム（GA）は、新しい探索、最適化および学習の手法として、研究サイドだけでなく産業界からも注目されて、実際のスケジューリングなどに応用されている。本講演では、まずGAの歴史的背景とアルゴリズムの概要を解説し、ついで実際の問題にどのように応用されているかを2つの例、すなわち、トラック配車スケジューリングとバス仕業ダイヤの作成を紹介し、さらにGAの今後の展望を述べた。

超小型携帯電話用高周波デバイス

石田修己

携帯電話は、さらに小形・軽量化することによって、シャツの胸ポケットや女性のハンドバッグに収まるようになると予想される。今回は、超小形・軽量のカード型携帯電話を実現するための高周波デバイス技術の開発について講演された。

小形・軽量化の技術として、1チップに集積した送受一体化モノリシック・マイクロ波集積回路（MMIC），偶高調波ミクサを適用したひずみ波の小さいダイレクトコンバータなどの技術が紹介された。

X線吸収分光（XAS）と物理科学 —最近の進歩と展望—

電子技術総合研究所 大柳 宏之

X線吸収分光（XAS）は内殻励起の終状態効果として物質の電子状態や原子配列を調べる分光法である。研究手法としての急速な「進化」と最近の重要な研究成果を関連させて紹介し、物理科学へのインパクトは何かについて講演した。高温超伝導酸化物への応用により一連の強相関酸化物の基底状態に関する理解が深まるとともに、格子異常など超伝導機構に直接関わる物理現象の理解にもXASは非常に有効であることを明らかにした。また、高輝度で高強度の挿入光源や、新しい検出器の開発により硬X線領域での表面研究への適用も現実のものとなっていることも具体的な事例で示した。半導体の表面歪みに起因する特徴的な原子の再配列を表面の電子状態やダイナミクスと関連させて議論した。最後に波長可変X線アンジュレーターを用いた準単色コヒーレント光による第3世代XASの概要を示し、磁性への応用、時間、空間領域への展開など新しい可能性を示した。

Fe基アモルファス粉末成形磁心の磁気特性とその応用

熊本工業大学教授 八木正昭

アモルファス・ナノ材料が優れた軟磁性を有しているにもかかわらず、高周波電力用磁心の分野ではMn-Zn系フェライトが依然として大きなシェアを占めている。この理由は、アモルファス・ナノ材料のコストの高さとトロイダルまたは積層に限定される磁心形状にあると考えられる。この問題を解決し、高周波電力用アモルファス粉末成形磁心を開発するために講演者らは最近アモルファス粉末の製造法として有望だと考えられるSWAP法（Spinning Water Atomization Process）を用いて、Fe系アモルファス粉末を試作し、これら原料粉に少量のガラス粉を混合し、ホットプレス法などで成形磁心の試作開発を行っている。その結果、試作Fe基アモルファス粉末成形磁心は、市販のギャップ付きアモルファス薄帯磁心およびセンダスト系圧粉磁心とほぼ同等の磁気特性が得られ、さらに回路試験の結果でもほぼ同等の動作特性が実証され、100kHz以上の高周波用のチョークコアやフライバックトランスとして適していることが明らかとなった。

Bioeffects of Ultrasound in Tissues Containing Contrast Agents —超音波造影剤存在下での生体組織における超音波の生体作用—

米国ロチェスター大学電気工学科助教授 Diane Dalecki

本講演会は、1997年3月11日（火）に工学部電気・情報館4階451大会議室で開催された。超音波の照射によって、超音波造影剤として用いられるマイクロバブルが共振したり崩壊するときの生体作用について最近注目されている。ロチェスター大学のDalecki先生は、この分野での第一人者で、肺や腸における超音波照射の生体作用や、超音波造影剤存在下での実質臓器における生体作用に関する最新知見の紹介をした。

最近のロボット工学の話題と将来展望

東北大学大学院工学研究科航空宇宙工学専攻 内山 勝

ロボット工学の最近の研究状況について、①情報通信機能を有するロボット、②人間共存形ロボット、③宇宙ロボットなどに内外研究者の高い関心があり、関連プロジェクト研究が推進されていることが紹介された。

次いで、このようなトレンドに先行した研究を継続している講演者の最新の研究成果の一部について解説があった。これらのトピックは、高速運動が可能なパラレル機構や宇宙ロボットシミュレータなどであり、ビデオデモを利用したわかりやすく興味ある説明が行われた。

パラレル機構での注目される特徴は、高精度、高負荷、高剛性、高速性であるが、このうちHEXAと呼ばれる機構は世界最高の運動性能を誇っている。また、宇宙ロボットシミュレータ実験装置は、単にコンピュータのみによるシミュレータではなく、双腕フレキシブルロボットを内蔵したシミュレータであり、種々の作業知能の新しパラダイムを検討・実証するツールとして有用である。

第6章 予算の概要

本研究所の予算の概要

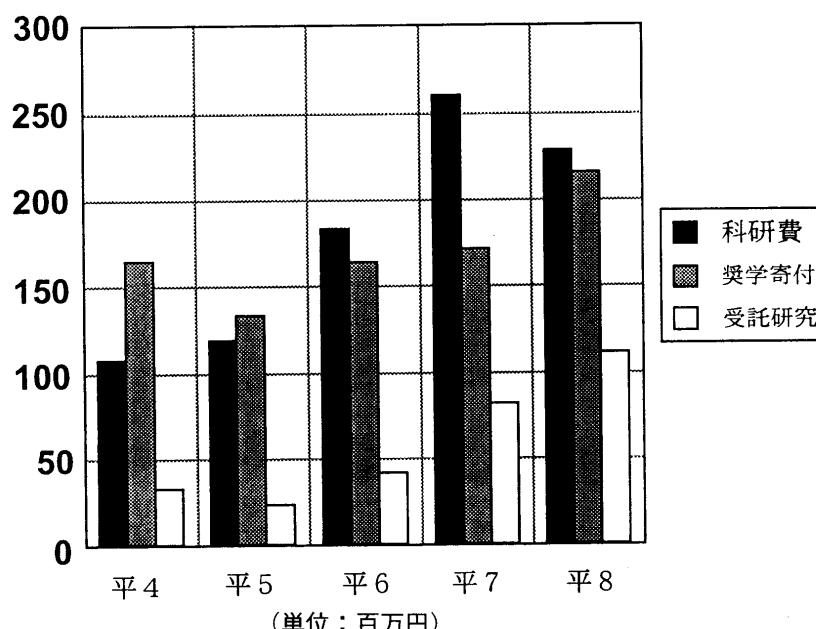
(千円単位)

年度 項目	平成4年度	平成5年度	平成6年度	平成7年度	平成8年度
人件費	758,314	813,509	843,785	856,794	912,365
物件費	539,527	712,592	623,659	2,162,356	600,691
科研費	107,300	118,800	183,000	260,300	228,100
奨学寄付金	164,816	132,890	163,667	171,130	215,882
受託研究費	32,559	22,649	41,981	81,549	110,384
共同利用研究施設運営費			26,572	46,317	48,869
その他経費	52,068	93,507	28,213	99,085	16,693
計	1,654,584	1,893,947	1,910,877	3,677,531	2,132,984

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8年度について大まかに分析すると、物件費約6億円の中1.8億円が実験施設の維持費、2億円が光熱水道費及び事務経費を含む共通経費、1.3億円が営繕費、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9千万円であった。

研究部門に配分された校費（9千万円）に、科学研究費2.3億円、奨学寄付金2.1億円、及び受託研究費1.1億円を加えた総額6.4億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約14%である。この分析からわかるように、本研究所の研究活動をさらに発展させ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る。また、研究所の活動の活性度を反映するのもこれらの種目の予算であると考えられる。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種目の予算是平成5年度まで減少の傾向にあったが、平成6年度からは増加の傾向を示している。平成8年度もこれらの直接研究費が伸びていることは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。



科学研究費補助金

研究種目	代表者	1996年度 交付金額	補助金総額 (千円)	研究課題	採択年度
重点(1)	坪内 和夫	29,600	78,800	時間情報瞬時処理システム	1995～1996
重点(2)	大野 英男	1,200	1,200	化合物半導体結合量子井戸構造における量子電子輸送現象とジョセフソン効果	1996
〃	佐野 雅己	2,200	2,200	アクティブエレメント集合体の数理と実現	1996
〃	伊藤 弘昌	2,300	2,300	有機イオン塩光学結晶を用いた機能性光エレクトロニクスデバイスの研究	1996
〃	室田 淳一	1,500	1,500	IV族半導体極微細構造形成プロセスに関する研究	1996
基盤(A) (1)	白鳥 則郎	2,500	6,200	次世代の総合情報処理システムに関する研究	1995～1996
〃 〃	川上彰二郎	2,000	12,200	積層構造をもつ超小型偏光分離素子の開発研究	1994～1996
〃 〃	横尾 邦義	1,800	16,600	電動冷却超伝導マグネットをもつミリ波帯電磁波の発生に関する研究	1995～1996
基盤(A) (2)	末光 真希	2,600	38,200	表面電子分光による半導体表面化学反応の放射光励起効果と反応構造の研究	1994～1996
〃 〃	中村 慶久	6,200	33,300	テラビット・スピニック・データストレージの基礎検討	1995～1997
〃 〃	益 一哉	21,000	41,300	Eb/No-BER設計に基づく超低消費電力シリコン集積回路	1996～1999
〃 〃	沢田 康次	26,500	29,100	細胞のランダムな運動とその制御による個体保持機能の研究	1996～1997
〃 〃	伊藤 弘昌	1,200	18,500	ドメイン超格子による複合機能非線形光デバイスの試作研究	1994～1996
〃 〃	松浦 孝	1,700	14,300	垂直極微細加工可能なSiの自己制限型原子層エッチング技術の開発	1994～1996
〃 〃	白鳥 則郎	2,200	10,200	状況依存エージェントを用いた知的グループウェアの研究開発	1994～1996
〃 〃	曾根 敏夫	1,200	11,100	高機能デジタル補聴器の開発とそのフィッティング手法の研究	1994～1996
〃 〃	中村 慶久	3,600	35,700	スピニック・データストレージ・メディア作製装置の試作	1995～1996
〃 〃	大野 英男	3,900	8,300	希薄磁性半導体メモリデバイスの研究	1995～1996
〃 〃	沢田 康次	3,400	9,900	完全線形化SDAMを用いたダイナミックメモリ集積化の試作研究	1995～1996
〃 〃	室田 淳一	1,800	13,500	Si系格子デバイス作製のための原子制御CVD装置の開発研究	1995～1997
〃 〃	中島 健介	5,000	15,600	シリコンを基板とする高温超伝導ミリ波サブミリ波帯検出器	1995～1997
〃 〃	坪内 和夫	10,000	17,700	超LSI多層配線AICVD装置の開発	1996～1998
〃 〃	室田 淳一	18,700	29,800	ラングミュア吸着・反応制御プロセスを駆使して製作するIV族半導体極微細デバイス	1996～1998
基盤(B) (1)	大野 英男	2,200	4,400	スピノ制御による半導体超構造の新展開	1995～1996

研究種目	氏名	1996年度 交付金額	補助金総額 (千円)	研究課題	助成年度
基盤(B) (1)	沢田 康次	2,400	2,400	脳の計算論と脳計算機の設計	1996
〃	大野 英男	3,000	3,000	スピニ制御による半導体超構造の新展開	1996
基盤(B) (2)	庭野 通夫	900	7,500	有機金属を用いた光触反応による層状超薄膜構造の形成	1994~1996
〃	伊藤 弘昌	1,600	7,700	ファジィモードレーザの基礎と応用に関する研究	1995~1997
〃	裴 鐘石	2,400	6,800	準光学的共振器を用いたミリ波帯電力合成型固体発振器	1995~1996
〃	曾根 敏夫	2,100	5,700	補聴器のための環境騒音除去システムに関する研究	1995~1996
〃	潮田 資勝	8,700	8,700	レーザー励起低速光電子と表面素励起の相互作用	1996
〃	佐野 雅己	7,700	7,700	散逸大自由度系の2つの実験	1996
〃	大野 英男	4,000	7,500	III-V族希薄磁性半導体におけるキャリア誘起磁性とその制御	1996~1997
〃	横山 道央	5,200	7,100	完全自己整合メタライゼーション超高速CMOSの研究	1996~1998
〃	遠藤 哲郎	6,600	7,800	超高集積回路に用いられる3次元トランジスタの動作機構の研究	1996~1998
〃	川上彰二郎	4,700	7,800	新しい偏波制御素子の機能デバイスおよびシステムへの応用	1996~1997
〃	上原 洋一	500	2,900	STM発光スペクトロスコピー用探針位置ロック手法の開発	1995~1996
〃	谷内 哲夫	5,700	7,400	非線形光学効果を用いた波長可変コヒーレントテラヘルツ光源の研究	1996~1997
基盤(C) (2)	遠田 義晴	400	2,500	光電子分光強度の振動測定による単原子層精度結晶成長のその場観察	1995~1996
〃	嶋脇 秀隆	400	2,200	微小冷陰極による極微細電子ビーム形成に関する基礎的研究	1995~1996
〃	竹内 正男	2,000	2,000	視角制御を用いた超音波マイクロマニピュレータに関する研究	1996
〃	鈴木 陽一	1,800	1,800	聴覚系内スペクトルの補償に基づくデジタル補聴アルゴリズムの研究	1996
奨励(A)	鶴岡 徹	1,000	1,000	自然形成量子ドット構造の格子振動	1996
〃	松倉 文礼	1,000	1,000	III-V族希薄磁性半導体の成長と量子構造の作製	1996
〃	佐藤 尚	1,000	1,000	光ファイバ集積型アイソレータの高性能化の研究	1996
〃	花泉 修	1,000	1,000	III-V族活性層のバンド端近傍における複素屈折率変化の高精度測定法の研究	1996
〃	小田川裕之	1,000	1,000	GHz帯膜厚差型一方向性すだれ状電極を用いた広帯域低損失弾性表面波フィルタ	1996
〃	水柿 義直	1,100	1,000	高速度アナログ情報記憶デバイスの集積化に関する研究	1996
特別研究員奨励費	湯瀬 晶文	900	900	進行する亀裂パターンの研究	1996
〃	本田 崇	800	900	マイクロ磁気アクチュエータにおける移動機構に関する研究	1996
〃	大内 則幸	1,200	1,200	非線形開放系における自己組織化と階層化のモデル化及び統計的性質	1996
〃	リュー JP	1,100	1,100	細胞接着と細胞選別	1996
〃	沈 愛東	1,000	1,000	InMnAs/AlSb希薄磁性半導体ヘテロ構造の分子線エピタキシ成長と評価	1996
国際学術(共同)	白鳥 則郎	2,600	2,600	やわらかい分散システムの構成に関する研究	1996

予算の概要

研究種目	分担者	1996年度 交付金額		研究課題	
重点	潮田 資勝	2,000		個々の原子のトンネル物性	1994~1999
重点(1)	矢野 雅文	3,300		動的コヒーレンス法による空間認知地図の自己創成	1995~1997
〃	坪内 和夫	11,000		金属系単電子トランジスタとその集積化	1996~1999
総合研究(A)	米山 務	500		TEM導波路を用いた超高能率平面アレーランテナの研究	1996
基盤研究(A) (1)	山下 努	150		高温超伝導体の異方性とその制御	1996
基盤A (1) 総合	室田 淳一	150		IV族半導体超格子の原子層成長	1995~1996
基盤研究(A) (2)	中島 康治	3,400		完全線形化を用いたダイナミックメモリー集積化の試作研究	1995~1996

1996年度受託研究費の内訳

(他省庁・県・市町村等公的機関からの受入実績)

機 関 名	研究代表者	受 託 研 究 事 項	受託金額(千円)
新エネルギー・産業技術総合開発機構	伊藤 弘昌	誘導体ドメイン超格子を用いたフォトニックデバイス	9,412
新技術事業団	大野 英男	Ⅲ-V族ベースとする希薄磁性体半導体との量子構造	500
超先端電子技術開発機構	中村 慶久	超高密度記録方式の基礎技術に関する研究	10,000
日本原子力研究所	横尾 邦義	大出力ミリ波FEL用高輝度カソードに関する研究	2,500
オングストロームテクノロジ研究機構	潮田 資勝	光学的手法による薄膜成長過程の観測	1,030
科学技術振興事業団	潮田 資勝	STM発光分光法と近接場光学分光法による表面極微細構造の電子物性の研究	19,003
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析及びその解析手法の応用	3,000
(財)テレコム先端技術研究支援センター	中島 健介	層状高温超伝導体を用いたミリ波・サブミリ波伝送線路の研究	3,800
(財)テレコム先端技術研究支援センター	白鳥 則郎	やわらかい通信ネットワークに関する基礎研究	2,000
(財)テレコム先端技術研究支援センター	川上彰二郎	多層膜偏光分離素子と光ファイバ垂直集積デバイスへの応用	2,811
(財)テレコム先端技術研究支援センター	伊藤 弘昌	超高速フォトニクス光源の研究	4,500
中小企業事業団	山口 正洋	超高周波磁性薄膜透磁率測定装置の開発	13,800
(学)金沢工業大学	矢野 雅文	無限定環境における自在コマンドシステムの設計原理とその応用	10,596
(社)電波産業界	水野 皓司	ミリ波帯イメージング技術の研究開発	3,500
(財)半導体研究振興会	荒井 賢一	磁場中超磁歪材料の創製	5,195
科学技術振興財団	山下 努	銅酸化物超伝導帶単結晶を用いる超高速集積デバイス	11,200
沖電気工業(株)	中島 健介	高温超伝導三端子デバイスの研究	515

COE関連研究経費（1996年度分）

事項	予算額	備考
	千円	
中核的研究機関支援プログラム	48,648	
研究高度化推進経費	20,400	
非常勤研究員経費	15,152	4名分
外国人研究員経費	13,092	2名分
先導的研究設備経費	0	

奨学寄付金の受け入れ

愛三木材	東洋通信機
旭化成工業	ニコン
E A G L 事業推進機構	日本板硝子材料工学助成会
石田記念財団	日本鋼管
エイティアール	日本硝子
エス技術	日本酸素
N E C	日本電気
N T T	日本電気 U L S I
N T T データ通信	日本電気 C & C 研究所
大阪ガス	日本電気光エレクトロニクス
沖電気	日本電気マイクロエレクトロニクス
小野測器	日本電気資源環境技術
オプテックス	日本電波工業
カイジョー	ハーモニック・ドライブ
キャノン	光科学技術財団
クラリオン	日立
クリアートン	日立建設設計
K D D	日立システム開発研究所
小糸製作所	日立中央研究所
光電製作所	日立電子
国際電気	日立電線
国際ディスクドライブ	日立日立研究所
サイエンティア	富士通
三洋電機	富士通研究所
島津製作所	放送文化基金
清水建設	北部通信
シャープ	ホシデン
ジョイント・ラボ	本田技研
情報ストレージ	松下通信工業
新日本製鉄	松下電工
住友金属工業	松下電子部品
仙台地方裁判所	三井金属鉱業
ソニー	三菱電機
大興電子通信(株)	三菱化学
ダイセル化学工業	三菱財団
超高速ネットワーク	三菱重工業
T D K	三菱電機情報技術総合研究所
トーキン	三菱電機先端技術研究所
東京電力	三菱電機情報システム技術
東芝	三菱電線工業
東芝半導体事業	三菱マテリアル
東北テクノブレインズ	ミツミ電機

予算の概要

宮城沖電気

村田学術振興財団

明電舎

八木アンテナ

ユニデン

吉田科学技術財団

リコー

ワイ・アル・エス

ワイ・アル・ピー

計 152件 215,882千円

第7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
11th ICOIN (11th International Conference on Information Networking) 最優秀論文賞 ETRI Taiwan, 情報処理学会	白鳥 則郎	情報通信システム研究分野	On Traffic Characteristics in a Slotted Ring Network
情報処理学会(東北支部) 奨励賞	岡田ロベルト	情報通信システム研究分野	A study on Society of Cooperative Agents and Its Application to Information Retrieval
アメリカ物理学会 フェロー	潮田 資勝	光電変換デバイス工学研究 分野	表面励起のラマン散乱とトンネリング電子 からの発光機構の解明への貢献に対し て
電子情報通信学会 平成8年度学術奨励賞	水柿 義直	知能集積システム部	高電流密度ジョセフソン接合のVm値の解 析的表現
服部報公会・報公賞	川上彰二郎	光集積工学研究分野	光ファイバとファイバ形デバイスの研究
電子情報通信学会 学術奨励賞	佐藤 尚	光集積工学研究分野	レンズフリー集積化技術を応用した光デバ イス －光アイソレータと光スイッチの新展開－
1997 IEEE MORRIS N. LIEBMANN MEMORIAL AWARD	舛岡富士雄	固体電子工学研究分野	Flash EEPROM とNAND type EEPROM技 術の開発
流体科学研究賞	佐野 雅己	ブレインコンピューティン グシステム研究分野	カオスと乱流の普遍性に関する研究

第 8 章 トピックス

インターネットで教育・会議

双方向環境を手助け

東北大など
が新ソフト

【仙台】東北大等が新ソフト開発へ 地元のソフトウェア会社のサイエンティア、千葉工業大学、米国UC Berkeleyなど、日本の大企業の三社が協力して、エージェント指向の概念を実現させたソフトウェアの新技術「インターネットによる教育・会議のためのやわらかい環境支障環境の開発」を考案。一年後に商品化のめざす人間にやさしい環境を作り出す。

興業協会（IPA）から「創造的ソフトウェア育成事業」に指定され、資金的な支援を得て開発したので、「世界的」のトウエアの共同開発の道を開くものと関係者は期待している。

エージェントは、コンピュータやネットワーク上であたかも知能性を備えたかのように振る舞う機能をもつて、インターネットの弱みを補完し、より多くの人間が、会議する人間を補佐することもできる。このプロジェクトは鹿児島大学、沖縄工業高等専門学校の先駆者たちによるもの。

具体的な成果としてはインターネットを通じた仮想空間での会議システムが予定されており、例えば海外にいる相手との会議を行う場合、（情報提供のシミュレーション設計および意思決定支援）を行えるエージェントが、会議する人間を補佐することもできる。このプロジェクトは鹿児島大学、沖縄工業高等専門学校の先駆者たちによるもの。

研究はエージェント指向のサイバースペースが容易に実現できるようになるという。

研究はエージェント指向に適切なプログラム言語と、それを用いたアプリケーションの開発を二年間で行う。開発した言語は世界標準を目指し、アプリケーションはインターネット上に無料で配布する。

人間にやさしい仮想空間

日米7大学・企業が研究

通産省、育成事業に選定

専門家には高度に
素人には初步的に

東北大、サイエンティア（仙台市、東正樹社長）、米UC Berkeleyなど日本の中の大学・企業が共同で、だれもがインターネット上で簡単に利用できる、仮想空間（サイバースペース）のためのやわらかい発達支援研究を始める。このほど通産省の創造的ソフトウェア育成事業の研究テーマとなり、次世代ソフトウェア技術を利用した仮想オフィス、仮想教室、仮想会議室を選ばれた。研究期間は一

年間で、六億四千七百万円を投げる予定だ。

研究テーマは「インターネット機能。専門家には専門家」の大学・企業

ト（代理人）指向の概念を発展させた新技術の確立を目指す。

エージェントとは、コンピューター上であたかも知能性を備えたように振る舞う機能をもつて、インターネットの弱みを補完し、より多くの人間にやさしい環境を実現する。インターネットによる教育・会議のためのやわらかい環境支障環境の開発を二年間で行う。開発した言語は世界標準を目指し、アプリケーションはインターネット上に無料で配布する。

日本経済新聞 1996年4月5日掲載

流通サービス新聞 1996年4月9日掲載

創造的ソフトウェアで共同研究

一年間の共同研究のスタート

トを開始。

若者育てる土壤を

白鳥 則郎さん

東北大電気通信研究所教授

5年から現職。宮城県富谷町の5台の自宅で母、娘、息子の5人暮らし。49歳。

しらとりのりお 昭和21年5月11日、宮城県南町生まれ。同大工学部情報工学科修了。北大大学院博士課程修了。平成21年5月から現職。宮城県富谷町の5台の自宅で母、娘、息子の5人暮らし。49歳。

河北新報 1996年4月22日掲載

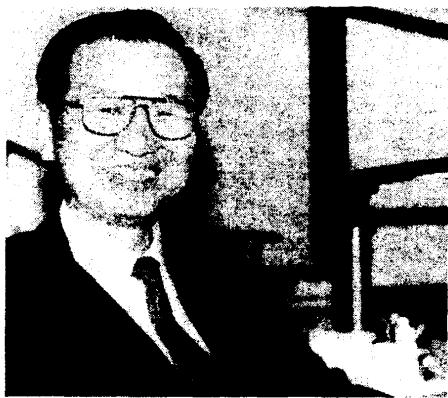
台を超えた日本で、四百三十五万台を販売した。そこで、電話を切らしても、登録していた電話番号や住所は消えないといふ。秘密のかぎは、舛岡さんの発明した「フランシスメモリ」だ。半導体を使った集積回路で、電源がなくても記憶を保てる。一括抹消をかけば、データを一度に消せることから、写真的のフランシスをイメージして、自ら名づけた。

東北大大学院を修了後、東芝に就職。発明を成功した後、九年八月の十年近くを、エレクトロニクスの研究に費やした。発明のきっかけは、その間に「寄り道」した、東芝での営業マンの経験があつたといふ。

畑違いの世界に飛び込んだのは、自身も開発に加わった大容量DRAMの販売不振が、

モリス・N・リーブマン記念賞を受賞する東北大電気通信研究所教授

舛岡 富士雄さん（ますおか ふじお）



1943年、群馬県高崎市生まれ。東北大学院工学研究科電子工学専攻を修了後、東芝に勤務。94年から東北大学院の教授となり、昨年から現職に。学生時代は、前学長の西沢潤一氏に師事。研究室の入り口には、西沢氏が表紙を飾った雑誌が、いまでも掲げてある。53歳。

ひ
と

加入数が全国で四百三十万台を超えた。日銀。うつかり電池を切らしても、登録していく電話番号や住所は消えない。ならばおれが売つてやる。しかし、現実は厳しい。売り込みのため日本企業は歩き回って気付いたのは、多少性能が劣つても、安価な製品の方があくまで売れるといふマーケティングの法則だった。

「研究者は、いいモノなら売

信研研究所教授 ふじお)

秘書のかぎは、舛岡さんの

朝日新聞 1997年2月3日掲載

大阪製作所

-7
10 ルート一台真空に対応

アルミ精密加工技術考案

東大阪 大阪製作所(大阪) 工技術」を考案した。同技術は、更に「電気溶接計器」によって確立された。

ツアード加工技術を確立した。

卷之三

拾徐考案

支那詩

文
序

卷之六

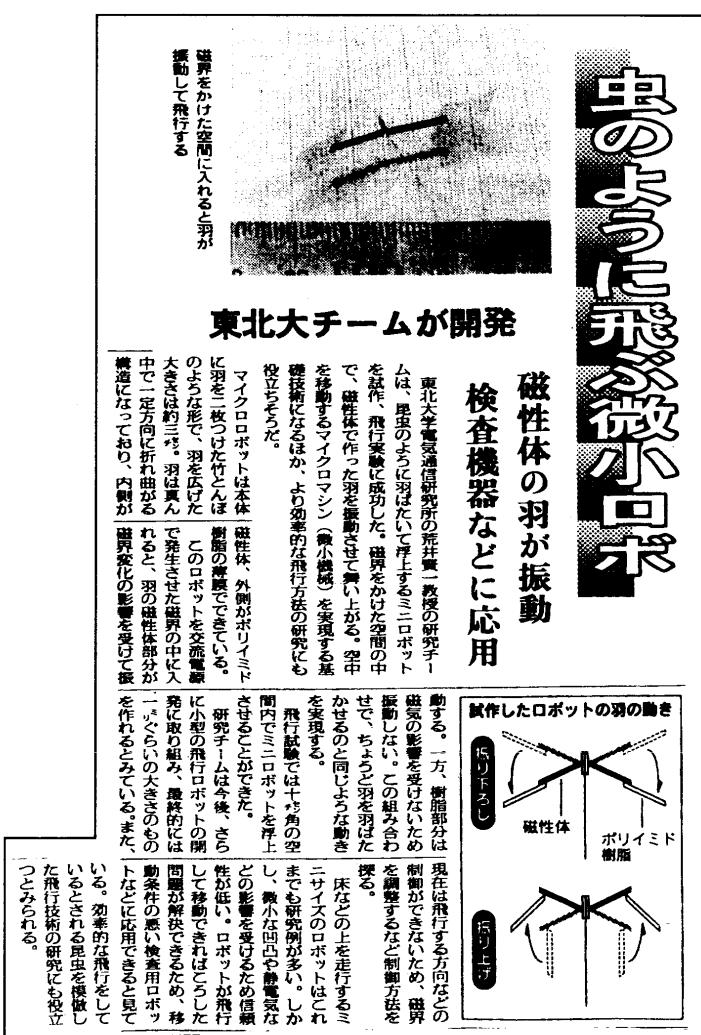
十一

卷之三

ノールを吹きかけながら、ホンシャーが研磨剤で部品の表面を洗浄研磨する仕組み。アルコールトルエンが化学反応し、工場内に漂っている酸化物が形成され、「アル」部品のリーン性が向上するといい。

同社は機器部品の部品加工においてステップ一つなが、八年分の精密機器部品の加工に取り組み、小規模でも技術力がある「アーバー」（後藤良一）（後藤良一）を自指している。難題車両や航空機用部品も手がけ、半導体製造装置部品や医療分析機器など、多くの部品も製品化・販売している。

日刊工業新聞 1996年12月13日掲載



日本経済新聞 1996年4月27日掲載

日刊工業新聞 1996年10月17日掲載

【スピinn制御による半導体超構造の新展開】
領域代表者
大野 英男
(東北大電通研教授)

造中のハム、移動をもつておらず、
理解して、これを積極的に
利用し、それを大きく展開す
せる機運が急速に高まってきた
た。すなはち、電子の持つス
ピンと電荷を半導体超構造を
用いて制御し、それによって
スピンの自由度を生かした新
しい物理的・工学的ブレーク
スルーが実現されようとして
いる。

（二）半導体超構造の応用の可能性を明らかにする、（三）半導体超構造の開発による新しい回路度を利用した半導体超構造の応用の可能性を明確に示す、（四）半導体超構造の開発による新しい回路度を利用した半導体超構造の応用の可能性を明確に示す、（五）半導体超構造の開発による新しい回路度を利用した半導体超構造の応用の可能性を明確に示す。

成創学工尙で御制

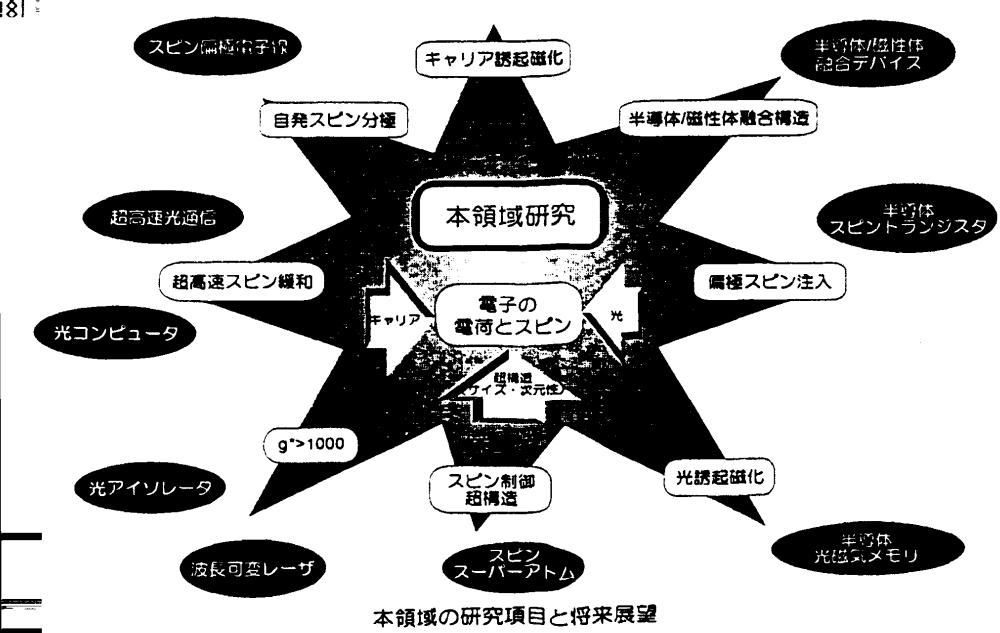
スピニン自由度を超構造で制御 新分野「半導体スピニン工学」^{創成}

新分野「半導体スピニン工学」創成

する。(3)「スル」の制御された半導体超構造の光物理性を明らかにし、その応用の可能性を明らかにする。(4)「スル」の制御された半導体超構造の電子物性を明らかにし、その応用の可能性を明らかにする。

各研究項目は、スルを導入した相互作用によって結ばれながら、お互いに緊密な関係をもつて構造作製、光・電子・ヘリウム物性の解明と応用を進めるものである。

二大研究分野を融合





エレクトロニクス分野である磁性体と半導体の融合材料や、スピニンを制御したい研究領域が台頭してきた。電子の自転（スピニン）を制御して動かすトランジスタの発明が相次いた。

文部省が四月から開始する重点領域研究「スピニン制御による半導体超構造の新展開」は、この分野で初の大規模プロジェクトとなる。成績が相次ぎ発表され、文部省の大型研究プロジェクトも今春始動する。

今春に初の大規模計画

ユニークな個人研究を支援する科学技術振興事業团の「さきがけ研究21」では、スピニン工学関連の研究テーマを進めている。従来の電子工学では電子のスピニンも制御して高機能の素子を作ろうというのものが、スピニン工学の基本的な考え方だ。スピニンの制御には電気や光、熱などを利用すれば、現在は磁気化の方向を切り替えることができる。磁気的効果で半導体レーザーの出力を制御するなど、具体的な素子の開発は今後の課題。この分野への企業の本格的な参入が始まっている。しかし、多くの企業がスピニン工学の研究会に参加して最新動向に目を光せることなど関心が高い。

スピニン工学によって、演示される。半導体内部の電子をスピニンで制御して超高密度メモリがスピン工学の基礎となる材料が日本で続々と生まれる。また東京大学の田中雅明教授はシリコン上に磁性

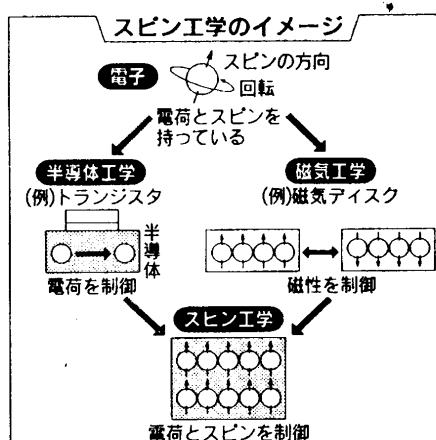
電子の自転を制御

の研究者が三年計画で研究を進める。

従来の電子工学では電子のスピニンも制御して高機能の素子を作ろうというのものが、スピニン工学の基本的な考え方だ。スピニンの制御には電気や光、熱などを利用すれば、現在は磁気化の方向を切り替えることができる。磁気的効果で半導体レーザーの出力を制御するなど、具体的な素子の開発は今後の課題。この分野への企業の本格的な参入が始まっている。しかし、多くの企業がスピニン工学の研究会に参加して最新動向に目を光せることなど関心が高い。

既存のシリコン技術は二〇一〇年ごろ、限界を迎えるといわれる。スピニン工学がボストン・シリコンの基礎技術に成長できるかどうかは、今後二、三年で順調に基礎研究の成果を積み上げられるかどうかにかかる。

スピニン工学



高機能の素子開発に道

<研究開発小史>

1970年代後半=国内外で希薄磁性半導体の研究が始まる

80年代=分子線エピタキシーなどスピニン工学の材料となる結晶作製技術が高度化

89年=宗片比呂夫氏らがインジウム・マンガン・ヒ素の希薄磁性半導体を開発

94年=トーキンが希薄磁性半導体を使った通信用素子を製品化

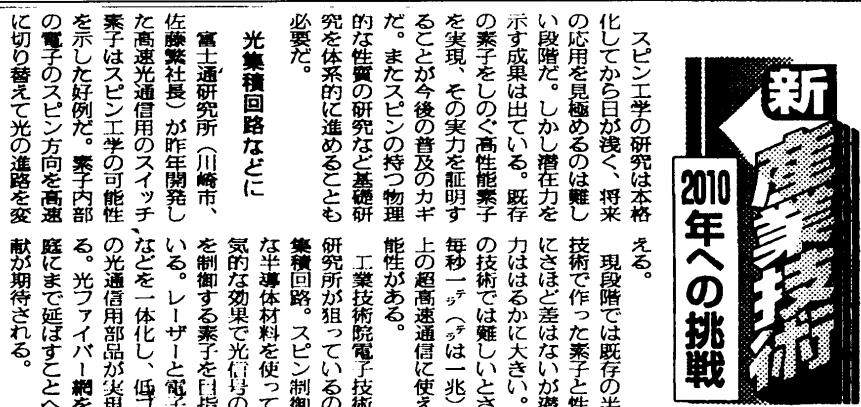
96年=米物理学会で関連シンポジウムが開催されるなど、国内外で研究が活発に

97年=文部省重点領域研究「スピニン制御による半導体超構造の新展開」が始動

オリジナリティ=

電子のスピニンを制御する研究は二十年以上前からあるが、物理現象を解説することが研究の目的で、産業応用への意識はない。なかつた。状況が一変したのは八〇年代末。東京工業大学

の宗片比呂夫教授、東北大学の大野英男教授らが「スピニン」と呼ばれる半導体材料に磁性体を混入する特許は今のところ知られていない。研究が基礎から応用へと移るにつれて、有望材料や素子構造を巡る特許取得競争が活発になりそうだ。



スピニ工学の研究は本格化してから日が浅く、将来の応用を見極めるのは難しく段階だ。しかし潜在力を示す成果は出ている。既存の素子をしおぐ高性能素子を実現、その実力を証明するところが今後の普及のカギだ。またスピニの持つ物理的な性質の研究など基礎研究を体系的に進めることも必要だ。

光集積回路などに
半導体研究所（川崎市、佐藤義社長）が昨年開発した高速光通信用のスイッチなどを一体化し、低成本化を図った。この素子はスピニ工学の可能性、の光通信用部品が実現できることを示した好例だ。素子内部の電子のスピニ方向を高速化して、光の進路を変更する。これによって、光の進路を変更が期待される。

現段階では既存の半導体技術で作った素子と性能的にはさほど差はないが潜在能

力ははるかに大きい。現状の技術では難しいとされる

毎秒一兆（ 10^{12} ）ト以上の超高速通信使える可

能性がある。

工業技術院電子技術総合研究所が狙っているのは光集積回路。スピニ制御可能な半導体材料を使って、磁気的な効果で光信号の方向を制御する素子を目指してある。

従来の素子とは根本的に異なる機能を目指す研究もある。

基礎研究は大学中心

究に力を入れる」と代表者の大野英男（東北大学教授）は話す。

「今後、この分野は国際化と高速化を軸に開発が進んでいく。「不揮発性で書き換え可能な

100万バイト（これは10億バイトメモリーが実用化されるのは2007年）と予測している。「分子レベルで1テラバイトの情報を記憶し、読み出す技術」

は2015年に登場する。スピニ工学

が応用される可能性がある。データは科学技術庁科学技術政策研究所の「第5回技術予測調査」による

。

。

。

。

。

。

。

。

。

。

。

。

。

。

。

。

。

。

。

。

。

。

。

。

。

。

。

。

。

。

。

。

。

。

。

。

。

。

。

。

。

。

。

。

。

。

。

。

。

。

。

。

。

。

。

。

。

。

。

。

。

。

。

。

。

。

。

。

。

。

。

。

。

。

。

。

。

。

。

。

。

。

。

。

。

。

。

。

。

。

。

。

。

。

。

。

。

。

。

。

。

。

。

。

。

。

。

。

。

。

。

。

。

。

。

。

。

。

。

。

。

。

。

。

。

。

。

。

。

。

。

。

。

。

。

。

。

。

。

。

。

。

。

。

。

。

。

。

。

。

。

。

。

。

。

。

。

。

。

。

。

。

。

。

。

。

。

。

。

。

。

。

。

。

。

。

。

。

。

。

。

。

。

。

。

。

。

。

。

。

。

。

。

。

。

。

。

。

。

。

。

。

。

。

。

。

。

。

。

。

。

。

。

。

。

。

。

。

。

。

。

。

。

。

。

。

。

。

。

。

。

。

。

。

。

。

。

。

。

。

。

。

。

。

。

。

。

。

。

。

。

。

。

。

。

。

。

。

。

。

。

。

。

。

。

。

。

。

。

。

。

。

。

。

。

。

。

。

。

。

。

第 9 章 評価と課題

9.1 発表論文数

区分	1992年度	1993年度	1994年度	1995年度	1996年度	合計
掲載された論文数						
学会誌	99	117	129	119	139	603
国際会議議事録等	78	121	102	92	91	484

9.2 修士論文

題目	著者	指導教官
電気・通信工学専攻		
トンネル陰極の高性能化に関する研究	阿部 善亮	横尾教授
ファイバ集積型光アイソレータに関する研究	笠原 亮一	川上教授
微小電子源のビーム応用に関する研究	鹿山 英則	横尾教授
電界放射陰極の電流制御に関する研究	川上 雅哉	横尾教授
プラズマ CVD 法による積層型偏光分離素子の作製プロセスに関する研究	川嶋 貴之	川上教授
光励起面型光増幅器に関する研究	川瀬 賢司	川上教授
脳の高次機能解明のための多点電極駆動装置の製作	川見 豊顕	矢野教授
磁気素子のマイクロ化の研究	菊池 弘昭	荒井教授
視覚の仮現運動における時間的・空間的要因の相関	杉浦 貴之	矢野教授
積層型偏光分離素子の高性能化のためのプロセス技術に関する研究	杉山 典三	川上教授
下等動物の記憶の時空間パターンの研究	高群 直樹	矢野教授
酸化物超伝導単結晶の電磁気特性	立木 隆	山下教授
磁性薄膜の窒化に関する研究	土井 覚	荒井教授
導体板を付加した誘電体共振器アンテナに関する研究	慕 小 昭	米山教授
ミリ波帯ペニオトロンに関する研究	本田 弘毅	横尾教授
コウモリの音響定位による 3 次元空間認識の研究	松尾 行雄	矢野教授
多形回路を用いた歩行ロボットの制御の研究	渡辺 茂道	矢野教授
電子工学専攻		
III-V 族希薄磁性半導体 (Ga,Mn) As へテロ構造の輸送特性	秋葉 教充	大野教授
テラヘルツ帯ショットキ・ダイオードに関する研究	荒沢 正敏	水野教授
垂直磁気記録メディアのノイズの研究	五十嵐克人	中村教授

評価と課題

Si (100) 2×1表面・Cs 吸着系の分光学的手法による研究	生熊 誠	潮田教授
垂直磁気記録用高分解能MRヘッドの研究	石野 利和	中村教授
微小間隙回路を用いた光電子相互作用に関する研究	岡元 達哉	水野教授
スペクトラム拡散無線通信システムの研究	鎌田 武遠	坪内教授
二重量子井戸構造中の2次元電子系の輸送特性	岸本 修也	大野教授
超微細選択AICVD技術の研究	後藤 晶央	坪内教授
垂直磁気記録メディアの高S/N化の研究	坂口 武	中村教授
半絶縁性GaAs中諸準位のフォトクエンチング機構	寒河江美友	舛岡教授
超低消費電力シリコン集積回路の研究	鷺谷 剛	坪内教授
ミリ波帯パッシブイメージングに関する研究	佐藤 優	水野教授
半導体集積型弾性表面波能動素子に関する研究	佐藤 和助	山之内教授
磁気記録メディアにおける熱磁気緩和の影響の研究	姜 文 紅	中村教授
磁気ディスク・ヘッド間スペーシングの低減に関する研究	白藤 幸喜	中村教授
IV族半導体の原子層エッチャリングに関する研究	杉山 剛之	室田教授
ドメイン制御非線形デバイスの研究	鈴木 丈司	伊藤教授
3端子素子を用いた電力合成型発振器に関する研究	竹井 文一	水野教授
完全セルフアラインメタライゼーションMOSFETの研究	田嶋 陵	坪内教授
ショットキ・ダイオードを用いたサブミリ波レーザーの変調に関する研究	田村 直子	水野教授
SiガスソースMBEにおけるドーピング機構	築館 厳和	舛岡教授
電子ビーム露光超微細加工技術を用いた10GHz帯一方向性弾性表面波 変換器に関する研究	辻 大俊	山之内教授
疑似位相整合デバイスの研究	釣谷 剛宏	伊藤教授
高性能垂直磁気記録メディアの作製法の研究	中塙 栄治	中村教授
SGT型3次元MOSトランジスタの静的特性に関する研究	中村 大陸	舛岡教授
磁気記録シミュレータによる高性能記録再生方式の研究	西田 周治	中村教授
通信用信号処理シリコン集積回路の研究	藤田 康仁	坪内教授
有機非線形光学結晶DASTとそのデバイス化の研究	真塙 尚哉	伊藤教授
電子エネルギー損失分光法による半導体ヘテロ界面の研究	松井 之輝	潮田教授
弹性波とファイバ中の光波との相互作用に関する研究	八尾 宏	山之内教授
金属薄膜の低温選択成長に関する研究	山本 裕司	室田教授

情報基礎科学専攻

マルチメディア教材の作成支援法に関する研究	安部 優子	白鳥教授
やわらかいネットワークにおける協調プロトコルの設計と実装	勝倉 真	白鳥教授
エージェント指向システムのための協調プロトコルに関する研究	加藤 貴司	白鳥教授
3次元仮想空間の構築支援環境に関する研究	杉山 達彦	白鳥教授
命題論理に基づく要求の詳細化とその支援	福沢 尚司	白鳥教授

システム情報科学専攻

音像定位における動的要因の影響に関する基礎的研究	新井 大輔	曾根教授
NMRによる3次元解離細胞集合体における細胞選別過程の研究	片岡 尚岐	沢田教授
単語了解度に基づく音声聴取能力の測定手法に関する研究	坂本 修一	曾根教授
頭部伝達関数の推定に関する基礎的研究	佐藤 伸行	曾根教授
環境適応型連想記憶システムの研究	原田 知親	沢田教授
細胞性粘菌における高速分化現象と比例制御に関する研究	前田 義喜	沢田教授
しきい値制御による高効率学習システムとその集積化の研究	松浦 良行	沢田教授

9.3 博士論文

題 目	著 者	指導教官
電気・通信工学専攻		
電界放射ディスプレイに関する基礎的研究	新井 学	横尾教授
サイクロトロン高調波ペニオトロンに関する研究	石原 剛	横尾教授
液晶機能デバイスとその光通信への応用に関する研究	大寺 康夫	川上教授
A Study of High Temperature Superconducting Josephson Junctions using Silicon Substrates (シリコン基板を用いた高温超伝導ジョセフソン接合の研究)	金 相 宰	山下教授
広帯域・高精度アナログ信号の光ファイバ伝送の研究	千葉 幸正	山下教授
高温超伝導薄膜マイクロ波デバイスの研究	鈴木 尚文	山下教授
FETを用いたマイクロ波モノリシック制御回路に関する研究	伊山 義忠	米山教授
マイクロ波・ミリ波受動回路素子の数値解析に関する研究	米田 尚史	米山教授
微細 MOSFET における低抵抗電極・平坦化配線の研究	最上 徹	坪内教授
電子工学専攻		
液晶の表面・界面配向の研究	伊藤 直樹	潮田教授
周波数シフト帰還型レーザーの動作機構の研究	笠原久美雄	伊藤教授
スペクトル拡散通信システムと弾性表面波マッチドフィルタの応用に関する研究	竹内 嘉彦	山之内教授
弾性表面波コンボルバを用いたスペクトル拡散通信に関する研究	加藤 俊治	山之内教授
遅延帰還型光共振器の非線形現象とその応用に関する研究	會田 田人	伊藤教授
半導体製造装置におけるパーティクル計測	一条 和夫	坪内教授
衛星通信用低スプリアス周波数変換器に関する研究	伊東 健治	水野教授
情報基礎科学専攻		
Tradeoff Scheduling and its Application to Multimedia Systems (トレードオフスケジューリングとそのマルチメディアシステムへの応用)	MOSER MARTIN KARL 白鳥教授	
Synthesis of Communication Protocols Using Formal Description Techniques (形式記述技法を用いた通信プロトコルの合成)	BISTA BHED BAHADUR 白鳥教授	
人間と機械の協調に基づく協調作業支援システムの構成に関する研究	宮地 泰造	白鳥教授
再利用に基づいた通信システムの設計支援環境に関する研究	山本 潮	白鳥教授
システム情報科学専攻		
音像制御のための能動音場制御手法に関する研究	阿部 一任	曾根教授
Study of Information Processing Ability of Integrated Neural Networks with New Learning Algorithm of Synaptic Bidirectional Change (シナプス両方向可塑性学習則を持つ集積化神経回路網の情報処理能力 に関する研究)	元 孝 植 菅原 研	沢田教授
アクティブエレメント集合体が示す群機能の研究		

Study of Cyclic Neural Networks for Dynamic Information Processing

(動的情報処理のための循環結合型神経回路網の研究)

準静的破壊における不安定性とパターン形成

朴 哲 永

湯瀬 晶文

沢田教授

沢田教授

	1992年度	1993年度	1994年度	1995年度	1996年度	合 計
特別研究員の受入状況	3	4	6	11	7	31
大学院生の受入状況	145	175	205	193	201	919

9.4 運営協議会報告

第4回東北大学電気通信研究所運営協議会（平成8年7月26日）

出席者：	植之原道行（委員長）	日本電気株式会社特別顧問
	古濱 洋治（委員）	郵政省通信総合研究所所長
	田村浩一郎（委員）	通産省工業技術院電子技術総合研究所所長
	東海林恵二郎（委員）	三菱電機株式会社取締役副社長
	中村 道治（委員）	株式会社日立製作所
	長尾 真（委員）	京都大学工学部教授
	廣田 榮治（委員）	総合研究大学院大学長
	池上 徹彦（委員）	核融合科学研究所名誉教授
	大須賀節雄（委員）	早稲田大学理工学部情報学科教授
	樋口 龍男（委員）	東北大学大学院情報科学研究科長
	鈴木 謙爾（委員）	東北大学金属材料研究所所長
	豊田 淳一（委員）	東北大学工学部教授
	中鉢 憲賢（委員）	東北大学工学部教授
	米山 努（委員）	東北大学電気通信研究所教授

陪席者：	沢田 康次	東北大学電気通信研究所所長
	水野 皓司	附属超高密度・高速知能システム実験施設長、共同利用委員会委員長
	山之内和彦	東北大学電気通信研究所総務委員会委員長
	中村 慶久	東北大学電気通信研究所研究企画調整委員会委員長

主たる指摘項目

- 大学の研究費が増えると、研究の主力である学生がプロジェクト研究に充分対応できない場合もあり、事務手続きも増すので必ずしも良い点だけとは限らない。
- 民間等との共同研究について産業界に発信しているか。
- 研究テーマも寿命があり、研究所をたえず活性化するために研究テーマの選択、ライフサイクルでの位置づけ、それを維持するための共同研究の進め方がありそのような線で共同研究やシンポジウムを掘んでほしい。
- 流動性は構造的になっていないといけない。
- 流動度は基礎研究の場合20-30%でもよい。
- WWWサービスシステムのアクセス数はどのくらいか？

第5回東北大学電気通信研究所運営協議会（平成9年3月6日）

出席者：	植之原道行（委員長）	日本電気株式会社特別顧問
	古濱 洋治（委員）	郵政省通信総合研究所所長
	東海林恵二郎（委員）	三菱電機株式会社取締役副社長
	池上 徹彦（委員）	NTT基礎技術総合研究所所長
	池上 英雄（委員）	核融合科学研究所名誉教授
	大須賀節雄（委員）	早稲田大学理工学部情報学科教授
	樋口 龍男（委員）	東北大学大学院情報科学研究科長
	鈴木 謙爾（委員）	東北大学金属材料研究所所長

石龜 希男 (委員)	東北大学科学計測研究所長
曾根 敏夫 (委員)	東北大学大型計算機センター長
豊田 淳一 (委員)	東北大学工学部教授
中鉢 憲賢 (委員)	東北大学工学部教授
米山 努 (委員)	東北大学電気通信研究所教授

陪席者： 沢田 康次	東北大学電気通信研究所長
水野 皓司	附属超高密度・高速知能システム実験施設長、共同利用委員会委員長
山之内和彦	東北大学電気通信研究所総務委員会委員長
中村 慶久	東北大学電気通信研究所研究企画調整委員会委員長
白鳥 則郎	東北大学電気通信研究所教授
矢野 雅文	東北大学電気通信研究所教授
舛岡富士雄	東北大学電気通信研究所教授
荒井 賢一	東北大学電気通信研究所教授
川上彰二郎	東北大学電気通信研究所教授
伊藤 弘昌	東北大学電気通信研究所教授

主たる指摘項目

- 概算要求の新しい実験施設は学外の若い人たちに開かれていなければ有効に機能しない。
- この概算要求は機能と構造の研究があるが、機能・コンセプトをどうするかを議論する強力なグループが必要で年齢には関係がない。
- 通研として特色のある機能性材料の研究の将来展望はどうか。
- 科学技術基本計画により、地場と協力して産業振興があり、東北大学の特徴として、地場産業と協力し合って、10%程度企業のコンサルタント等になれば仙台に愛される通研になる。
- 日本の大学は特許が少ない。情報処理などコンセプト特許は外国に押さえられている。日本の大学でも特許に関してもう少し関心を持ってくれれば、産業界とのギャップが埋まる方向に行く。
- 大学でも社会に出て社会還元のためのリエゾンするメカニズムを作る必要がある。
- 大学の研究はオープンであるべきで、産業界が大学の研究に参画するときは基本を順守しないとやりにくい。企業が機密に関わる応用研究から実用研究に進む研究に参画するときは、違った形のメカニズムを作らないと大学の性格を侵害してしまう危険性がある。全国の先頭になって思考錯誤して欲しい。
- 信頼関係で、厳密な透明性ではなくともある種の性善説でするしかない。

9.5 現在の課題

1年前の第2号では外部評価委員会と運営協議会の指摘事項をまとめたものを課題としてこの欄に報告した。その指摘のなかで解決し得た課題もあるが、まだ取り組んでいない課題も残されている。これらの課題に対しては引き続き検討を行なうが、この第3号ではそれとは別に以下の4項目を現在の時点での重要課題と考えた。

1) 産業界との共同研究の推進

大学の在り方についての議論が構造改革会議等で行なわれている。バブル崩壊による財政破綻問題を教育と言う極めて長期的最重要問題にからませる議論は納得が行かないが、大学は主体的にその在り方に対して意見を持っていなければならない。電気通信研究所の設置目的は、現代社会にとって重要な位置を占めている情報産業とは関係が強く、研究所の在り方を考えるときに産業界とどのような形態の共同研究をどのように推進するのが適切であるかに答えをださなければならぬ。

2) 概算要求

研究所の長期的方向を決める概算要求は研究所にとって最重要事項である。しかるに、科学技術基本計画の立案から半年経たずし発足した行政改革会議や財政改革会議では人員及び予算にたいして今までにない厳しい態度を示している。我々は学術審議会の答申に沿った方向の概算要求を提出しているが、今後更に厳しい見直しを行ない実現性のある案を練りあげなければならない。

3) 研究所内の研究情報の交流

研究所の各分野は独自の研究を行なっているので自分たちの研究を深く掘り下げていくことに精一杯の時間を使っているが、お互いの研究についてもう少しでも情報交換が出来れば、更に活性度の高い研究所になるであろうが、精神論でなく仕組み論は結構難問である。

4) 青葉山移転の推進

片平キャンパス移転の意志表明の後、移転実現まで長期に亘る期間を研究所のポテンシャルを維持するだけでなく強化していくための具体的年次計画の立案と実行が必要である。早くても10年と言われる時間を出来るだけ短縮する努力と共にその間の適切な経過措置なしには片平の6研究所と1センターの地盤沈下が憂慮される。

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	1 2	9		2 6	4 7
ペンシルバニア大学	2				2
東京大学	3	2	1	2	8
北海道大学	1			1	2
名古屋大学	1				1
九州大学	1				1
東京工業大学		1			1
大阪府立大学		1			1
日本大学		1			1
朝鮮大学		1			1
静岡大学		1			1
広島大学				1	1
福井大学				1	1
長岡技術科学大学				1	1
東北学院大学				1	1
仙台電波高校				2	2
ミュンヘン工科大学	1				1
豊橋技術科学大学		1			1
サルフォード大学				1	1
上海光学精密機械研究所				1	1
千葉工業大学				1	1
合 計	2 1	1 7	1	3 8	7 7

第10章 構成員

(平成9年4月1日現在)

所長（併）・教授 沢田康次

技官 斎藤文孝
事務補佐員 八代幸子

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（併）	佐藤 雅彦
〃（兼）	丸岡 章
〃（〃）	阿曾 弘具

■情報通信システム研究分野

教授	白鳥 則郎
〃（兼）	伊藤 貴康
〃（〃）	豊田 淳一
〃（〃）	根元 義一
助教授	木下 哲夫
〃（兼）	斎藤 浩海
〃	加藤 寧
助手	石垣 久四郎
〃	郷 健太郎
〃	菅沼 拓夫
〃	徳田 佳一
〃	杉浦 茂樹
技術補佐員	大學 紀子
事務補佐員	八巻 美智子

■情報記憶システム研究分野

教授	中村 慶久
〃（兼）	樋口 龍雄
助教授（兼）	青木 孝文

■音響情報システム研究分野

教授	曾根 敏夫
〃（兼）	牧野 正三
助教授	鈴木 陽一
〃（兼）	曾根 秀昭
〃（〃）	金井 浩
〃（〃）	木幡 稔
助手	小澤 賢司
〃	高根 昭一

■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 刚彦
助教授（〃）	福井 宽也
助手	牧野 寛夫
助手	坂本 春
〃	鈴木 千春
技術補佐員	藤遠 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	沢田 康次
教授（兼）	阿部 健一
助教授	佐野 雅誠
〃（兼）	吉澤 蛟
〃（〃）	郭海 義徳
講師（〃）	藤木 川弘
助手	早川 美穂
〃	川谷 義文
中核的研究機関研究員	茶碗湯 澄
〃	瀬谷 美晶
学振外国人特別研究員	A.ナヤト
〃	J. P. リュウ
学振特別研究員(PD)	大内 幸則
事務補佐員	針間 朱美
技術補佐員	阿敦 子

■超伝導コンピューティングデバイス研究分野

教授	山下 努
〃（兼）	平井 敏雄
助教授	中原 健介
〃（兼）	鈴木 光政
助手	菅明 行
〃	井連 広昭
〃	陳健 康
中核的研究機関研究員	金相
COE外国人研究員	S.サフランジェック
技官	土田 貞夫
事務補佐員	川嶋 朝子

**■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 ヘルマン・ローナ・フィリス

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 弘
技 官	酒 井 俊 章
技術補佐員	鹿 野 春 子
事務補佐員	唐 木 裕 美子

■分子電子工学研究分野

教 授	フランシーレネー
〃 (兼)	佐 藤 繁
助教授	末 光 真 希
〃 (兼)	柴 田 直
助 手	遠 田 義 晴

■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
助教授	山 口 正 洋
〃	井 上 光 輝
〃 (兼)	松 木 英 敏
〃 (〃)	竹 内 伸 直
〃 (〃)	莊 司 弘 樹
助 手	石 山 和 志
技 官	師 岡 ケイ子
〃	我 妻 成 人

■プラズマ電子工学研究分野

教 授 (兼)	沢 田 康 次
〃 (〃)	山 本 光 璇
助教授	蝦 名 悅 子
〃 (兼)	中 尾 光 之
〃 (〃)	飯 塚 哲
〃 (〃)	安 藤 晃

■情報記録デバイス工学研究分野

教 授	杉 田 恒
〃 (兼)	西 関 隆 夫
助教授	村 岡 裕 明

助教授 (兼)	中 野 真 一
助 手	丹 健 二
〃	S. グリーブス
技 官	渡 邊 功
技術補佐員	姜 文 紅
事務補佐員	高 橋 香 織

■光電変換デバイス工学研究分野

教 授	潮 田 資 勝
〃 (兼)	海 老 澤 不 道
助教授	上 原 洋 一
講 師 (兼)	阿 部 光 衛
助 手	坂 本 謙 二
〃	鶴 岡 徹 之
中核的研究機関研究員	岩 見 正 之

■電子量子デバイス工学研究分野

教 授 (兼)	沢 田 康 次
〃 (兼)	佐 藤 德 芳
助教授	庭 野 道 夫

■複合機能材料研究分野 (客員)

教 授 (併)	押 山 淳
---------	-------

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	米 山 務
〃 (兼)	澤 谷 男
〃 (〃)	塩 川 泰
助教授	中 條 渉
助 手	D. ド ン
技 官	我 妻 彦
事務補佐員	新 田 子

■極限能動デバイス研究分野

教 授	横 尾 邦 義
〃 (兼)	内 田 龍 男
助教授	三 村 秀 典
〃 (兼)	大 沼 朗 三
〃 (〃)	島 山 力 之
助 手	佐 藤 信 隆
〃	嶋 脇 秀 隆
技 官	寒 河 江 克 己
事務補佐員	多 賀 谷 宏 子

■テラヘルツ工学研究分野

教 授	水 野 皓 司
-----	---------

教授(兼) 犬竹 明
助教授 裕 鐘 石 哲
助手 鈴木 哲
事務補佐員 笹谷 いづみ

■応用量子光学研究分野

教授 伊藤 弘昌
△(兼) 星宮 望夫
助教授 谷内 弘
△(兼) 谷哲亮
助手 二佐 学治
技官 今藤 勇一
△ 事務補佐員 野久井 長一
事務補佐員 田亞紀子

■光集積工学研究分野

教授 川上 彰二郎
△(兼) 宮城 光信
助教授 (△) 馬場 信隆
△(△) 松浦 一祐
△(△) 泉司修
助手 佐藤 尚尚
技官 大寺 康夫
事務補佐員 相澤 三子
事務補佐員 浦由 子

■フォノンデバイス工学研究分野

教授 山之内 和彦
△(兼) 中村 良
助教授 (兼) 山田 健
講師 (△) 田中 順
助手 目治 雄
△ 小田川 敏
技官 我妻 靖
事務補佐員 野邊 康
事務補佐員 邊貴子

■電子音響集積工学研究分野

教授 坪内 和夫
△(兼) 櫛引 淳一
助教授 益山 一哉
助手 橋道 央

■量子波動工学研究分野 (客員)

客員教授 永沼 充

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) 水野皓司
教授 千葉純子
事務補佐員

■原子制御プロセス部

教授 室田一隆
△(兼) 山浦淳充
助教授 鳥鶴孝弘
△(兼) 松生貴弘
助手 羽庭貴政
技官 櫻洋裕
事務補佐員 赤橋裕
△ 高橋美美

■超高速電子デバイス部

教授 大野弘
△(兼) 田英忠
助教授 森瑞穂
助手 倉文礼
△ 大沈裕
COE外国人研究員 郭愛世
事務補佐員 佐々木平延子

■知能集積システム部

教授 中島康治
△(兼) 川又直
助手 水柿政
助 手 佐藤義
事務補佐員 鬼柳茂
事務補佐員 鬼柳貴美子

附属施設

■評価・分析センター

センター長(兼) 荒井一夫
教授 荒井賢一
助教授 (兼) 庭野道夫
技官 (兼) 赤間洋助
技術補佐員 森梅初子

■附属工場

工場長(兼) 横尾邦義
教授 高橋吉昭
技官

技官	渡邊	志
タ	澤	二朋
タ	原	勝
タ	部	一
タ	庄	
	子	
	康	

事務部

事務部長	荒井 完	経理課長	夫雄人彦
総務課長	天内 正光	経理掛長	子繁
庶務掛長	星村 定邦	主任	一治
主任	津沼 宜邦	事務官	崇美
事務官	永沼 ひろみ	事務補佐員	子
事務補佐員	川北 久美子	タ	潤
タ	小岩 澄子	用度掛長	榮吉
タ	渡邊 奈央	主任	弘
共同利用掛長	上山 成美	タ	郁
主任	伊藤 恵美子	事務官	千亜紀
図書掛長	千葉 龍郎	事務補佐員	辺
事務官	鹿島 正子	タ	きゑ子
		タ	
		臨時用務員	