第 1 章　緒　言

緒　言

法人化のもとの大学と附置研究所

文部大臣はさる５月26日国立大学長にすべての国立大学を独立行政法人化する決意の説明を行った。法人化を決定するまでの政府のこれまでの議論の進め方からしても，その筋道は滑らかとは言えない。最初に行政改革ありきから始まり，科学技術基本法，学術審議会答申，自由民主党政務調査会報告を経て文部大臣説明となっている。そして，文部大臣説明によると，結局のところ法人化は大学改革の一方策であると位置づけているいる。

イデオロギーの対立が80年代に消滅し，GNP２位の大国となって国内の階級対立も希薄になり，また幸か不幸か民族問題がなく，問題は少子化・青少年教育・高齢化など先進国化の結果必然的に生じてきたものに移行しつつある。このような変化の過程において，当然の結果，大学と社会の関係はその意味を変えてきた。

しかし，大学がこれまで改革に熱心でなかったのは，大学が国という有機体の行政機関の一部にすぎず，大学自身が有機体として存在していなかったためである。一般に，有機体でない組織は自己改革する論理を持ちえないのである。そのために社会情勢の変化に対応できず，その役割を十分に果たしてこなかったという批判が外部から上がり，改革が要求されることになったのである。大学はこれまでも教育・研究機関ではあったが，研究面では社会との関係が強かったわけではない。では，このところ科学技術基本法などによって大学が研究面においても経済成長を支える役割を果たすべきであるとの声が大きくなってきたのはなぜか？

我が国では，その経済の成長期において国の産業と大学の関係は希薄であった。アメリカでは，60年代から70年代の黄金期に企業が極めて高度な研究所をもっていて産業的にも学術的にもトップの位置をしめていた。我が国にもいくつかの巨大企業が存在したにもかかわらずで，遂にそのような状況が出現しなかった。これには，資産の蓄積度の違いや科学または科学技術に対する認識の違いがあったことだけではない。世界をリードする科学技術と後追いの科学技術の差がその違いの背景にはあった。

このところ世界をリードする科学技術でなくては成り立たない状況に置かれている我が国の産業界の分野によっては，そのための研究所を海外に設置したり，海外の大学との共同研究をおこなっている。つまり我が国の産業界は世界をリードする科学技術を生み出す人材を必要としているにもかかわらず国内で十分に供給されていない。たとえ産業界がそのための研究所を国内に作っても人材が十分でなければ成功はおぼつかない。

大学院の重点化によって博士課程の定員が大幅に増大したが，上記の社会要請に応える教育システムにならなければならない。現在の状況は，学生の経済的自立を可能にするフェローシップ制の欠如による定員割れ，従来型博士からの脱皮が不十分な教育，そのために生じる社会の要求とのギャップのために，大学は社会が要求する人材を十分に提供していない。

この度，法人化によって大学の改革を促すこととしているが，大学の改革の中で

博士課程の改革は焦眉の急である。このことが整備されたときに初めて世界をリードできる科学技術が生むことができる社会が誕生し，大学との健全な関係が生まれるであろう。

以上の様な理由で大学が自ら改革する論理を持つことができる法人化はやむを得ないと納得して，大学そのものを有機体とするためには，種々の運営組織の変革が必要となってくることは明らかである。このことは，大学全体のみならず，一研究所に対しても同じことである。

本年４月からスタートした大学評価機関が大学全体，また，個別の研究所の評価をおこなうことになっている。大学附置研究所はそれぞれの設置目的が異なることにより，その運営形態・大学院との関係も異なってくる。また，研究所は最先端の研究を行うために常に学際的側面を強く持っている。このために研究所の評価項目は研究所が自ら提案することが最も重要かつ適切であると考えられる。大学の自治の持つ意味は時代とともに変化しているが，自らの自立性は適切な評価項目を提案できるかどうかに懸っている。

電気通信研究所はIT世紀を大学附置研究所の立場でリードすることが社会から期待されているが，そのことの評価基準を具体的に設定しなければならない。また全国共同利用研究所としての評価基準は何かを示さなければならない。

その上で，その評価基準を実現するための研究組織，人事のあり方を構築しなければならない。この意識のもとにこの１年間に実現したことを列挙すると

１）３研究部門にそれぞれ教授・助教授・助手からなる一つのフロンティア研究分野を新設し，教授任期７年，助教授５＋２年，助手５＋２年の法令による任期を付して研究組織の柔軟化・人事の流動性の促進・他研究機関との交流促進をおこなうこととした。

２）21世紀情報通信研究センターを新設し，グローバルネットワーク技術・未来型ワイヤレス通信技術・超大容量ストレージシステムなど５年ごとのプロジェクト研究を産学連携で実施することにした。

３）研究室・教授室の透明化を実施し研究室間の壁をハード面からできるだけ低くし研究所内部の研究交流を促進することを図った。

このような新しい組織・制度・試みの成否は，今後の我々の努力に掛かっている。そのためにも上記の評価基準を所員全員が常に考え明確化していくことが必要である。

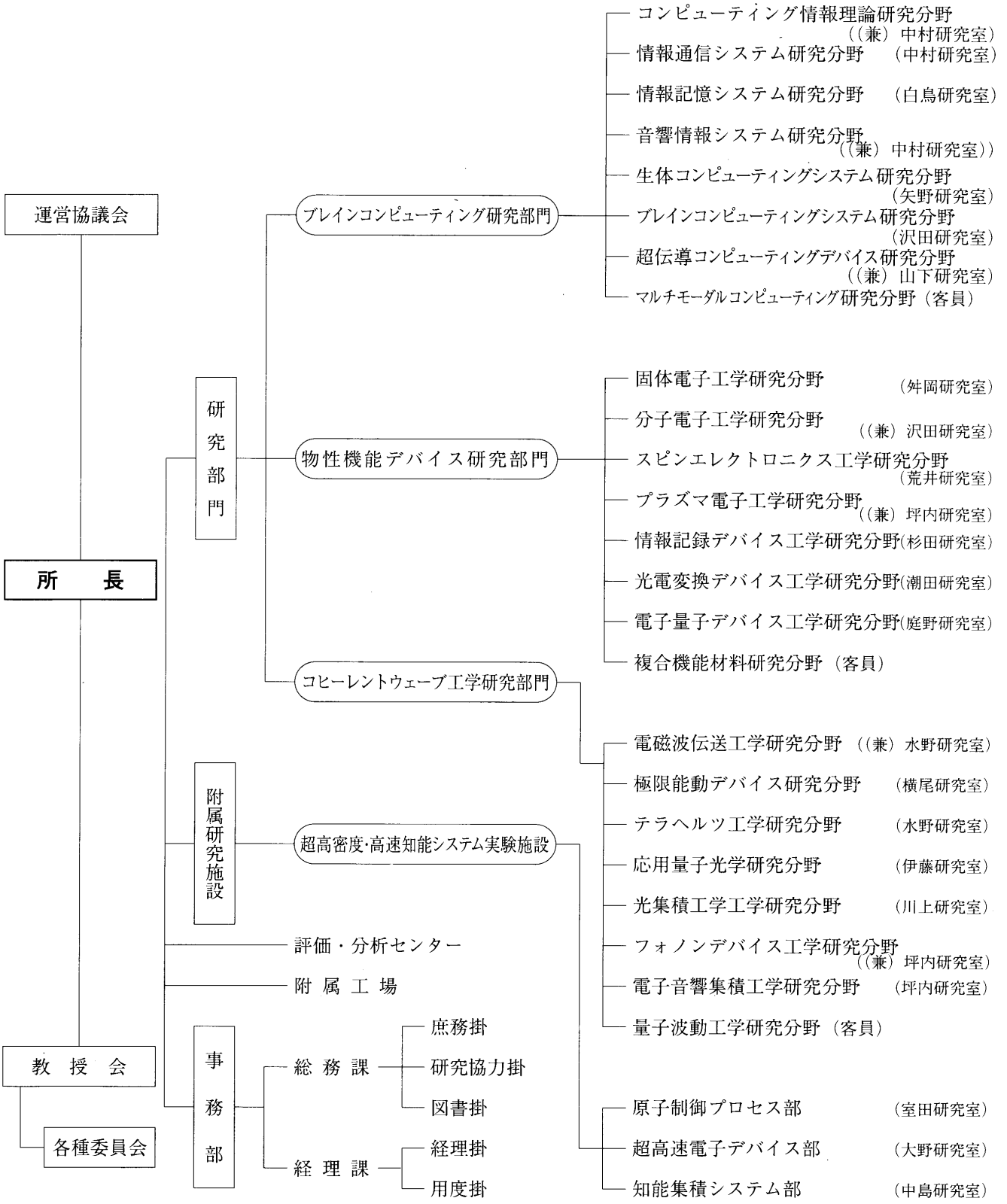
平成12年６月６日

電気通信研究所長

沢　田　康　次

第 2 章　　組織・運営

2.1 組　織　図


運営協議会
所　長
教　授　会
各種委員会
研究部門
附属研究施設
事務部
ブレインコンピューティング研究部門
物性機能デバイス研究部門
コヒーレントウェーブ工学研究部門
超高密度･高速知能システム実験施設
評価・分析センター
附属工場
総務課
経理課
庶務掛
研究協力掛
図書掛
経理掛
用度掛
コンピューティング情報理論研究分野 ((兼) 中村研究室)
情報通信システム研究分野 (中村研究室)
情報記憶システム研究分野 (白鳥研究室)
音響情報システム研究分野 ((兼) 中村研究室))
生体コンピューティングシステム研究分野 (矢野研究室)
ブレインコンピューティングシステム研究分野 (沢田研究室)
超伝導コンピューティングデバイス研究分野 ((兼) 山下研究室)
マルチモーダルコンピューティング研究分野 (客員)
固体電子工学研究分野 (舛岡研究室)
分子電子工学研究分野 ((兼) 沢田研究室)
スピンエレクトロニクス工学研究分野 (荒井研究室)
プラズマ電子工学研究分野 ((兼) 坪内研究室)
情報記録デバイス工学研究分野(杉田研究室)
光電変換デバイス工学研究分野(潮田研究室)
電子量子デバイス工学研究分野(庭野研究室)
複合機能材料研究分野 (客員)
電磁波伝送工学研究分野 ((兼) 水野研究室)
極限能動デバイス研究分野 (横尾研究室)
テラヘルツ工学研究分野 (水野研究室)
応用量子光学研究分野 (伊藤研究室)
光集積工学工学研究分野 (川上研究室)
フォノンデバイス工学研究分野 ((兼) 坪内研究室)
電子音響集積工学研究分野 (坪内研究室)
量子波動工学研究分野 (客員)
原子制御プロセス部 (室田研究室)
超高速電子デバイス部 (大野研究室)
知能集積システム部 (中島研究室)

2.2　運営協議会名簿

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

主席者：	植之原道行	（委員長）	玉川大学大学院名誉教授
	古濱　洋治	（委　員）	宇宙開発事業団理事
	梶村　皓二	（委　員）	通産省工業技術院電子技術総合研究所長
	山田　敏之	（委　員）	学校法人ソニー学園副理事長
	池上　徹彦	（委　員）	会津大学副学長
	中村　道治	（委　員）	日立製作所研究開発本部副本部長
	相磯　秀夫	（委　員）	東京工科大学学長
	廣田　榮治	（委　員）	総合研究大学院大学長
	池上　英雄	（委　員）	核融合科学研究所名誉教授
	甘利　俊一	（委　員）	理化学研究所脳型情報システム研究分野グループグループディレクター
	大須賀節雄	（委　員）	早稲田大学理工学部情報学科教授
	佐藤　　繁	（委　員）	東北大学大学院理学研究科長
	四ツ柳隆夫	（委　員）	東北大学大学院工学研究科長
	国分　　振	（委　員）	東北大学大学院情報科学研究科長
	藤森　啓安	（委　員）	東北大学金属材料研究所長
	田中　通義	（委　員）	東北大学科学計測研究所長
	根元　義章	（委　員）	東北大学大型計算機センター長
	伊藤　貴康	（委　員）	東北大学情報学科研究科教授
	佐藤　徳芳	（委　員）	東北大学工学研究科教授

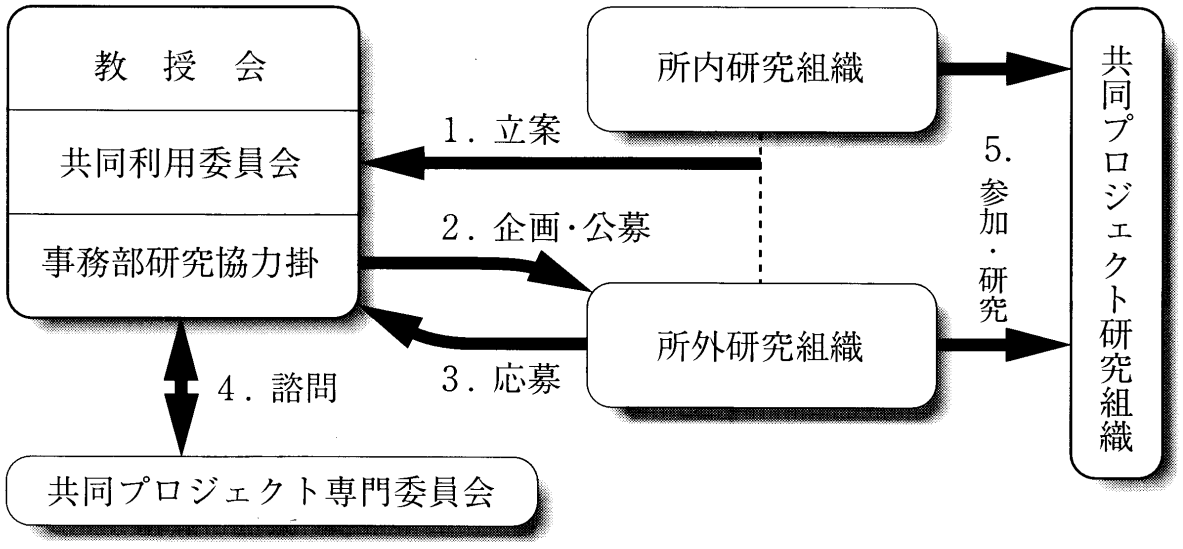
2.3　共同研究組織

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

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

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

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



2.4　教育組織

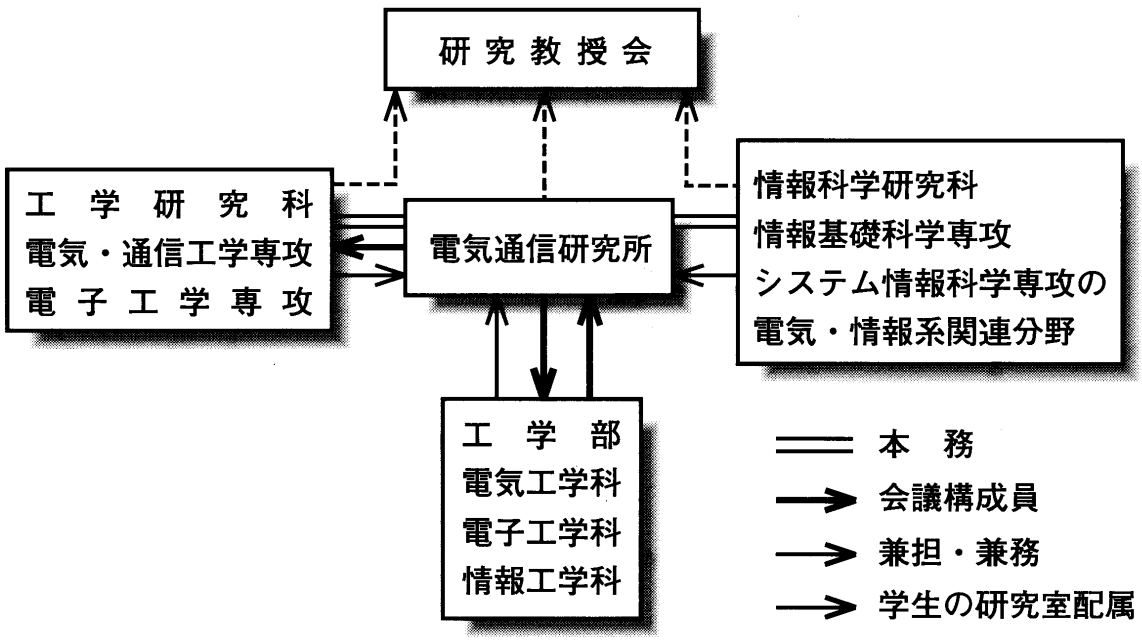
東北大学電気通信研究所（以下，通研と略称）は，発足時から設立母体である電気工学科と協力体制をとり，教育・研究の成果を挙げた。その後，通信工学科，電子工学科，情報工学専攻，情報工学科が順次設立されたが，「一体運営」の協力関係は維持された。

現在，通研と電気・情報系との間には下図に示す教育組織がある。大学院重点化に伴い，通研教官と大学院の関係は兼担から兼務へ変わり，情報科学研究科が本務の教官は工学研究科を兼担することになった。その結果，1999年度は，通研の21研究分野のうち５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198名，一研究室当たり平均9.4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・情報系の中枢に，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

バリアフリー通信の重要な要素である高次コミュニケーションの実現を目指して，本部門は，人間の優れた情報処理機能を解明し，ハードウエアとして実現する手法を追求することを目標としている。超並列コンピューティング理論や超並列集積回路技術を発展させ，人の脳に似た超高密度知能情報処理システムを開発することが，改組当初の目標である。五感や手足の機能を模したヒューマンインターフェイスに関する研究と，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に大別できる。このため本部門では，これまで，現在の計算機のソフトウェアにエージェント機能を導入して「人に優しいネットワークを実現」する研究と，「人の脳に似た機能を持つ計算機」を実現してコミュニケーションの高次化を図る研究を行ってきた。

前者では，多様で膨大な情報を，バリアーフリーで送受信できる高次情報通信システム，あるいは感覚機能の衰えた高齢者やハンディキャップをもった障害者らが容易に社会参加できる高機能なヒューマンインターフェイスシステムの実現を目指している。このためには，送られる情報そのものが知能を有していること，例えば，相手が不在の時，情報それ自体が相手先を自動的に探すような機能を情報に付加すること，などが求められる。

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

1） 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，効率や機能，経済性などを評価基準として発展してきた現在の情報通信システムに対し，これによって失った「人と自然が調和しながら発展するための考え方」を取り戻し，人間とコンピュータなどの機械が協調し調和して共生するフレキシブル・コンピューティングの概念を創成提唱し，これを実現する研究，

2） 人の知覚情報処理系のなかでも最重要な情報処理過程の一つである聴覚系の情報処理過程を明らかにし，その知見を応用して高度な音響通信システムやユーザインターフェイス，快適な音環境の実現する研究，

などに成果を得た。この部分では当初目指した目標の60％程度を達成している。

また後者では，脳における高度に知的な情報処理，すなわち概念形成，言語処理，判断，推論，記憶などの機能を，脳の神経回路や生体の超並列分散システムなどを参考にして理論的に体系化し，その成果を基にできるだけ脳に近い機能をもつ高次情報処理システムを実現することを目指している。

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

1） 実世界の複雑性に対応できる制御能力や認識能力を情報処理システムに持たせるため，記号化できない実世界の不良設定問題を，リアルタイムで良設定問

題に変えて認識や制御を行うための拘束条件を自ら創る機構について解明する研究，
2） 脳における高次の情報処理機構における最大の特徴の一つであるリアルタイムアクティブ処理機構を数理的に解明し，アーキテクチャを構築するために，脳のグローバルなアーキテクチャ，学習方式，記憶システムの生理学的に解明し，数理学的に構成する研究，および生命の自己組織機構や脳を含む生物の複雑なシステムを理解する手法を開発する複雑系の研究，
3） 人の脳機能を解明し，脳機能障害などを的確に診断するなど，脳神経活動を高精度に計測する手法の研究や，人の脳の優れた情報処理能力を人工的に持たせた大規模で高密度な将来のコンピュータシステムを超伝導デバイスで実現するための研究，
4） 音声や映像を含むマルチメディア情報を高密度大容量に記憶蓄積する人の脳が持つ機能を人工的に実現し，これらをネットワークで結んだ超高速超大容量な並列分散情報ストレージシステムを，超高密度な垂直磁気記録方式で実現する研究，超伝導神経回路網の実現，
5） 脳の記憶方式として中核をなすと考えられる連想記憶システムをチップ上で実現するための新しいアナログメモリ素子とそのアレイや集積回路システムの開発，またニューロチップの基本素子であるマジョリティゲートやカオス，非単調関数を導入したニューロシステムの集積化の研究，

などで多くの成果を得た。

この部分では，鳥でも持っている機能の実現を目標として，視覚，聴覚，運動，記憶などの機構の解明とハードウエア化を目指して研究を進めてきた。現在鳥の脳における情報処理原理の解明とハードウエア化の研究が進められている段階であり，およそその達成度は50～60％である。無限定な外部環境に生物が対応し，脳機能が十分に発揮されるために本質的に重要な要素は，大量の情報を瞬時に記憶して，外部環境の変化に先立って予測し，情報を能動的に獲得することである。この研究で当初目指した成果を挙げるには，まだかなりの時間が必要である。

ブレインコンピューティング部門としては，これらの目標に向けた研究を着実に進める一方で，人の固有の機能である予測，計画，言語，記憶の統合，編集などの機能を集中的，かつ総合的に研究することも不可欠である。これらに向けて一歩一歩前進させるとともに，その成果を，現在緊急に求められている情報通信技術に対しても，他部門と協力して少しでも貢献する方策を講じることが必要である。

情報通信システム研究分野

知的で動的なネットワーク環境の構成論

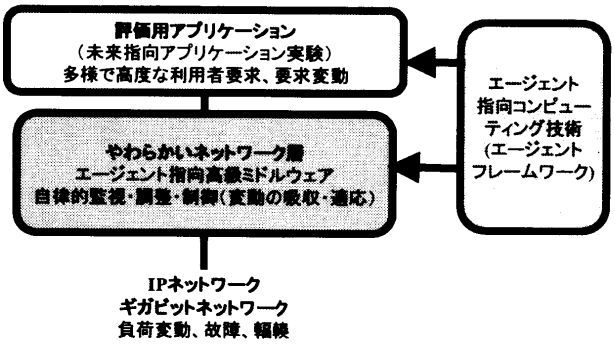


図1　動的ネットワーキングの概要

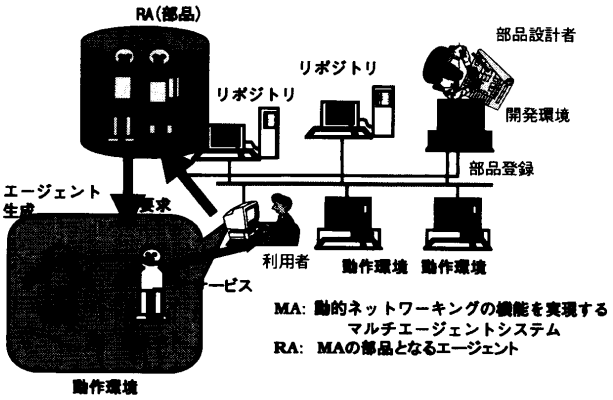


図2　エージェントフレームワークの構成

1. 分野の目標

「Flexible Computing」に基づいた情報通信システムの研究

当研究室では，1992年より，人間とコンピュータが共生する情報システムへ向けて，次世代の情報・通信の基本となる「Flexible Computing」の概念を創生し提唱している。これまでの情報・通信は，コンピュータに代表されるように合理性（効率，機能，経済性）を評価基準として発達してきた。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。このような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。

〈研究テーマ〉

(1) フレキシブル・コンピューティング: 理論と応用
(2) 情報通信ネットワークとサイバースペース
(3) マルチエージェントシステム
(4) マルチメディア・ヒューマンインタフェース

2. 過去1年間(1999年4月から2000年3月まで)の主な成果

2.1 未来開拓プロジェクト

日本学術振興会の未来開拓学術研究推進事業研究プロジェクト「動的ネットワーキング」に関する研究を推進した。本プロジェクトは5ヶ年プロジェクトで予算総額は約7億円である。メンバーはプロジェクトリーダー白鳥教授，コアメンバ2名，研究協力者11名により構成される。本年度は1年目にあたり，次の項目についての基

礎的研究を行い，基本概念とフレームワークを構成した。
(1)動的ネットワーキングアーキテクチャ（図1）
(2)エージェントフレームワーク（図2）

2.2 JGN（研究開発用ギガビットネットワーク）プロジェクト

郵政省・通信放送機構(TAO)のプロジェクトであり，東京大，高知工科大，慶応大，岩手県立大，山梨大，会津大，千葉工大と共同で研究を進めている。本年度は1年目であり，以下のサブテーマに関して実験環境の整備，予備実験，基礎的研究を行った。
(1)ネットワークおよびアプリケーションのための効率的な運用と管理
(2)やわらかいビデオ会議システムにおけるQoS制御
(3)高速映像サーバにおけるストレージシステム
(4)高齢者向きヘルスケアカンファレンスシステム

2.3 フレキシブル・コンピューティング: 理論と応用

やわらかさの定量化へ向けて，応用例を含めて検討を行った。また，プロトコルの仕様，検証，試験の統一的な構成論について，理論的研究を推進した。具体的には，1）プロトコルの自動合成環境の構成，2）ネットワークトラフィックの変動に応じた最適なルーティング方式の提案と検証，3）アプリケーション指向の柔軟なネットワーク操作，管理手法の提案，4）アプリケーションの通信履歴に基づくネットワーク性能の予測手法と，それを利用したアプリケーションの性能向上方法の確立，などの興味深い知見が得られた。

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：菅沼　拓夫，杉浦茂樹
秘　書：工藤裕子

4. 教授のプロフィール

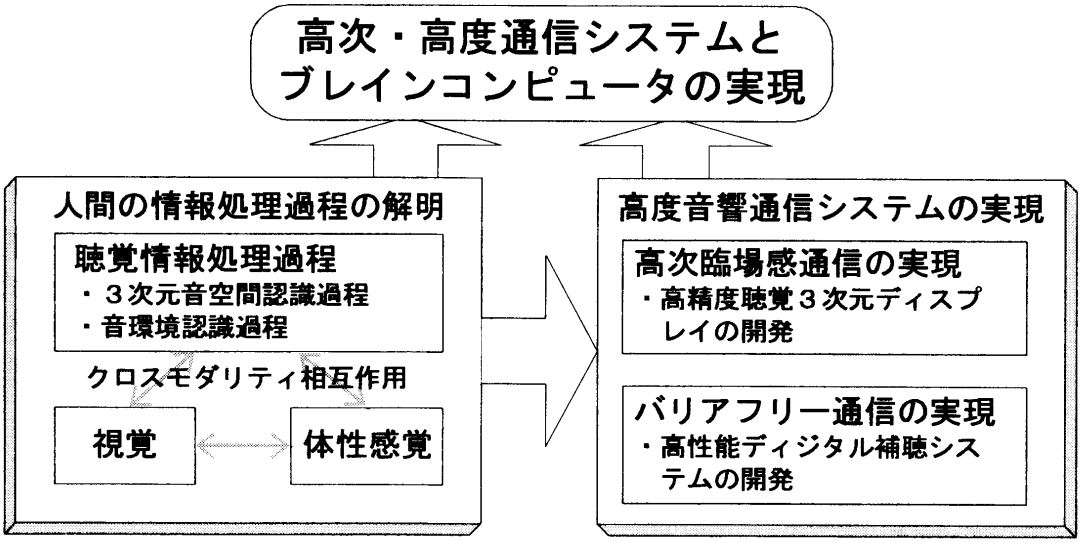
1946年宮城県生れ。1977年東北大学大学院博士課程修了。1984年東北大学助教授（電気通信研究所）。1990年東北大学教授（工学部情報工学科）。1993年東北大学教授（電気通信研究所）。1997年IEEE Fellow 。2000年情報処理学会フェロー。昭和60年情報処理学会25周年記念論文賞受賞。平成3年第6回電気通信普及財団賞(テレコムシステム技術賞)受賞。平成9年平成8年度情報処理学会論文賞受賞。平成10年IEEE ICOIN-12最優秀論文賞受賞。平成12年IEEE ICPADS 2000最優秀論文賞など。

5. 過去1年間（1999年4月から2000年3月まで）の主な発表論文

[1] Kentaro Go and Norio Shiratori, "A Decomposition of a Formal Specification: An Improved Constraint-Oriented Method," IEEE Transaction on Software Engineering, Vol.25, No.2, pp.258-273, 1999.
[2] Debasish Chakraborty, Norio Shiratori, Goutam Chakraborty and Chotipat Pornavalai, "Optimal Routing for Dynamic Multipoint Connection," European Transaction on Telecommunications (ETT), Vol.10, No.2, 1999.
[3] Norio Shiratori, Tetsuo Kinoshita, Takuo Suganuma and Glenn Mansfield, "Towards Application-Centric Flexible Network Operation and Management," IEICE Transaction on Communications, Vol.E82-B, No.6, pp.800-805, 1999.
[4] Ahmed Ashir, Glenn Mansfield and Norio Shiratori, "Estimation of Network Characteristics and Its Use in Improving Performance of Network Applications," IEICE Transaction of Information and System, Vol.82-D, No.4, 1999.
[5] Bhed Bahadur Bista, Kaoru Takahashi and Norio Shiratori, "A Composition Approach for Constructing Communication Services and Protocols," IEICE Transaction on Fundamentals, Vol.E82-A, No.11, 1999.

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＞

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

＜平成11年度の主な研究成果＞

3次元音空間認識における聴取者の動的挙動の効果・影響　音空間を認識する際，我々は，頭部を動かすことによって，聴取音の特性を時間的に変化させ，これにより，より多くの音空間情報を得ている。そこで，聴覚ディスプレイシステムを用い，この点に関する聴覚情報処理過程の解明を進めている。本年度は，頭部運動に対し再生音場の追従に遅れ時間がある場合について，異なった遅れ時間の間の弁別限を初めて明らかにした。

音空間内における特徴抽出機構の解明　視覚においては，多くの図形の中から容易に検出可能な図形要素が存在することが知られている。いわゆるポップアウト現象である。我々は前年度までに，聴覚においてもポップアウト現象が見られることを初めて明らかにした。本年度は更に，高次の音刺激である音声を用い，通常音声が時間逆転音声に対してポップアウトすることを示した。また，このような聴覚探索課題に係る脳活動を明らかにすることを目指し，fMRIを用いた実験を開始した。この研究は今後，音空間内における，一般的な特徴要素とその抽出機構の解明を目指して発展することが期待できる。

音環境の認識・知覚におけるクロスモダリティ情報の役割　我々が音環境を理解する場合には，聴覚だけではなく，視覚などからのクロスモダリティ情報も合わせ用いていると考えられる。そこで，言語情報や視覚情報が環境音知覚に及ぼす影響

を検討した。その結果，言語情報や視覚情報により，与えられた音源に対するイメージが呼び起こされ，それが音の評価に影響を及ぼすことが明らかとなった。また，映像中の音源の動きと音の関係など，クロスモダリティ情報の整合性が聴覚的な評価に影響を及ぼすことが示された。

高精度３次元聴覚ディスプレイの開発　音の高次臨場感通信を実現するうえで，聴取者の音知覚を精密に制御するための装置，すなわち聴覚ディスプレイは重要なサブシステムである。本分野では，聴取者の頭部運動に追従し，両耳音圧を精密に再現できる方式として，仮想球モデルを提案，その工学的実現を目指した研究を進めている。本年度は，仮想球モデルに基づく聴覚ディスプレイの再生性能を定量的に解析した。

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，高齢化社会の進展を見越したとき，バリアフリー通信の観点からも重要な課題である。この研究は，本学の耳鼻咽喉科との共同研究であり，我々の提案になるラウドネス補償型ディジタル補聴器は，平成７年から実際に市販されるに至っている。本年度は，適応ビームフォーミングを用いた不要音抑圧手法等，基礎的なディジタル信号処理手法の研究を進めた。更に，単語の親密度に着目して，難聴者の聴力を精密に評価する手法についても研究を進めた。

＜職員＞教　授　鈴木　陽一（1999年から）
助　手　金　海永
技　官　斉藤　文孝

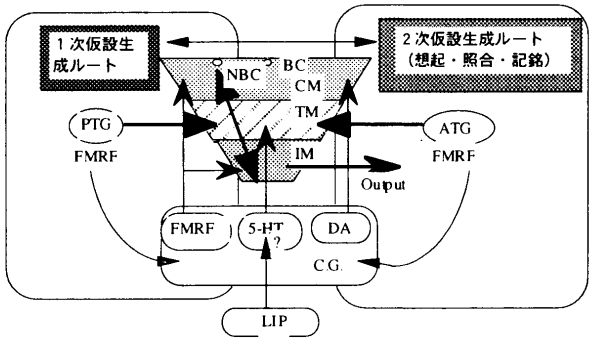
＜鈴木陽一教授のプロフィール＞
1976年3月東北大学工学部電気工学科卒，1981年3月同大学院工学研究科電気及通信工学専攻博士課程後期課程修了。東北大学通研助手，大型計算機センター助教授，通研助教授を経て現職。人間の聴覚を対象とする音響学の研究に一貫して従事。音の大きさ及び音色，騒音の主観評価と物理特性の関連，３次元音空間知覚と制御，ディジタル補聴器，音信号のディジタル信号処理手法等の研究に従事。1992年，1994年日本音響学会佐藤論文賞。

＜研究テーマ＞
１．聴覚における基礎的情報処理過程の解明
２．３次元音空間認識過程の解明と３次元音空間制御手法の開発
３．次世代ディジタル補聴システムの開発と，補聴性能の評価手法の研究
４．環境音の評価手法の研究

＜主な発表論文＞
1. Yôiti Suzuki, Shinji Tsukui, Futoshi Asano, Ryouichi Nishimura, and Toshio Sone, “New design method of a binaural microphone array using multiple constraints,” IEICE Trans. on Fundamentals, E82-A (1999) 588-596.
2. Yukio Iwaya, Tomoki Ichinoseki, Yôiti Suzuki, Masato Sakata, and Toshio Sone, “Adaptive control of vibration intensity in a beam in the frequency domain,” IEICE Trans. on Fundamentals, E82-A (1999), 605-610.
3. Futoshi Asano, Yôiti Suzuki, and David C. Swanson, “Optimization of control source configuration in active control systems using Gram-Schmidt orthogonalization,” IEEE Trans. on Speech and Audio Processing, 7 (1999), 213-220.
4. Tetsuaki Kawase, Tetsuo Koiwa, Ryo Yuasa, Yu Yuasa, Hiroshi Hidaka, Tomonori Takasaka, Kenji Ozawa, Yôiti Suzuki, and Toshio Sone, “Sound localization for virtual sound source in cases of chronic otitis media,” Audiology, 38 (1999), 83-90.
5. Shouichi Takane, Yôiti Suzuki, and Toshio Sone, “A new method for global sound field reproduction based on Kirchhoff’s integral equation,” Acustica united with Acta Acustica, 85 (1999), 250-257
6. 金 海永，鈴木陽一，高根昭一，小澤賢司，曽根敏夫，“絶対判断と相対判断による音像距離知覚の比較,” 日本バーチャルリアリティ学会誌, 4 (1999), 455-460.
7. 安倍幸治，小澤賢司，鈴木陽一，曽根敏夫，“言語による音源情報の予示が環境音の知覚に与える影響,” 日本音響学会誌, 55 (1999), 697-706.

生体コンピューティングシステム研究分野

脳のコンピューティング原理と その応用に向けた研究



下等動物における認識機構の模式図

記憶の座は中心に描いている前脳葉で，これは高等動物の大脳にあたる。入力は記憶に依存しない大触角（PTG）と記憶の想起・記銘に関与する小触角（ATG）によって行われる。価値づけはCG（中脳葉・後脳葉）によって行われる。

現代の情報システムの進歩は著しく大量のデータを高速で処理したり，世界的規模で通信することが可能になってきた。しかしながら，現在の情報システムはなお，生体システムとりわけ，脳の情報処理に遠く及ばない。それは近代科学の方法論に限界があるために，実世界の複雑性に対応できる制御能力や認識能力を持たせることができないからである。これまでの全ての情報システムが処理できるのは，定義可能な問題に限られていて，問題が定義できれば，それを探索問題として形式化することで処理することができる。このためには問題解決に必要な完全な情報を予め要求し，記号系の上に実世界を表現しなくてはならない。よって限定された問題，厳密に抽象化された問題には適用可能であるが，実世界のような複雑な世界は記号化できないという限界を持つ。つまり，以下のような問題点を指摘することが出来る。1）問題自身が曖昧であったり，情報が不完全な場合はそれを解決する手段がない。2）アルゴリズムが不明な場合は定式化できないので，対応できない。3）仮に定義可能な場合でも，探索空間と探索時間はトレードオフの関係になるのでリアルタイムに認識したり，制御することは不可能である。4）これまでの方法論はいちいち定義することが必要なので，常に変化する環境の複雑性に適応できない。5）システムの故障や想定しなかった不測の事態に対応することはできない。これらの問題は一般に不良設定問題（ill-defined problems）とよばれるものである。したがって，実世界では常に不良設定問題となるので，これをリアルタイムで良設定問題にすることによって認識や制御を行う問題にしなければならない。そのためには一般に拘束条件が必要となるが，その拘束条件はシステム自身が創り出すものでなければならない。その時必要なことはシステム自身が複雑な環境に対応できる複雑性を持つことであり，これを無限定状態という。無限定な状態からシステムが自己言及的に必要な拘束条件を作る（知の内在化）ことで，認識・制御が可能になるが，この時，拘束条件を自ら創る機構が重要になる。これらの方針に基づき，比較的脳神経系が簡単な下等動物（ナメクジ）を用いた研究を行った。実験的な知見から，認識の情報処理として以下の作業仮説を作った。1）認識・行為のための仮設生成，仮設の下での拘束条件を生成する。2）その仮設の下で行為をする。3）行為を行うことによって仮設の妥当性を評価する。このことにより，初めて認識が出来る。つまり，目的を作り・それを達成する逆問題を解くことになるが，これはこれまでの情報システムが不可能であった知識獲得の方法論でもある。

ナメクジの脳神経節は人間の脳が約150億の神経細胞からなるのに比べて，数十万の神経細胞から出来ている。ナメクジは味と匂いの連合学習を１回の経験で成立させることの出来る一発学習が可能で，記憶は関係性の記憶であることが判明した。入力は触角で行われ，触角は頭の上についている大触角と口の周りにある小触角の２種類である。忌避学習したナメクジは大触角から入ってきた情報処理には記憶に依存しない処理を行う。これを１次的な意味空間の設定と呼び，高等動物の情動と言われるものとと同じである。その後小触角からの入力を分節化することによって図と地の分離を行うことになる。ここでは認識のための「仮設」を生成するが，１次的に設定した意味空間と異なる場合，仮設した意味空間が優先し，１次的な意味空間は変更される。こうして，生命システムは仮設によって行動する情報を作り出し，行動することによって初めて認識することが出来ることになる。これらの情報処理のルートが明らかになったことで，ここで行われている記憶のダイナミクスを明らかにする基本的な知見は得られたことになる。この論理に基づく認識システムは近い将来人工的に実現することが可能であり，現在の柔軟性に乏しい人工の情報システムをはるかに超えた，実世界に対応できるシステムになることは間違いない。

＜職員＞
教授　矢野　雅文　（1992年より）
助手　牧野　悌也
助手　坂本　一寛
助手　三浦　治己

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

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

＜主な研究発表＞

1. Naoyuki Sato & M. Yano
A Model of binocular stereopsis including a global consistency constraint., (2000, Biol. Cybernetics, 82, 357-371)
2. Yoshinari Makino, Masanori Akiyama and Masafumi Yano ; Emergent Mechanism in Multiple Pattern Generation of the Lobster Pyloric Network (2000, Biological Cybernetics, 82, 443-454)
3. Masafumi Yano, Tsuyoshi Suzuki and Kazuhiro Sakamoto ; Interaction between Spatial Frequency Components on Apparent Depth: Effects of Contour shape (1999, Soc. Neurosci. Abstr.)
4. Kazushi Akimoto, Shigemichi Watanabe, Yoshinari Makino and Masafumi Yano
Highly adaptable optimal control of an autonomous insect walking robot in the real world (1999, IEEE Systems, Man and Cybernetics, Proceedings VI-942-947)
5. Kazushi Akimoto, Shigemichi Watanabe, Yoshinari Makino and Masafumi Yano
An Insect Robot Controlled by Emergence of Gait Patterns., (1999, Artificial Life and Robot, Vol.3,102-105)
6. T.Sugiura, K.Sakamoto, T.Kaku, M.Yano
A Competition between Temporal and Spatial Factors in One-Shot Visual Apparent Motion: Directional Effect (1999, The 5th international conference on neural information processing, ICONIP , vol.1 307-310)

ブレインコンピューティングシステム研究分野

脳の情報処理機構の解明とブレインコンピューティングアーキテクチャの構築を目指して

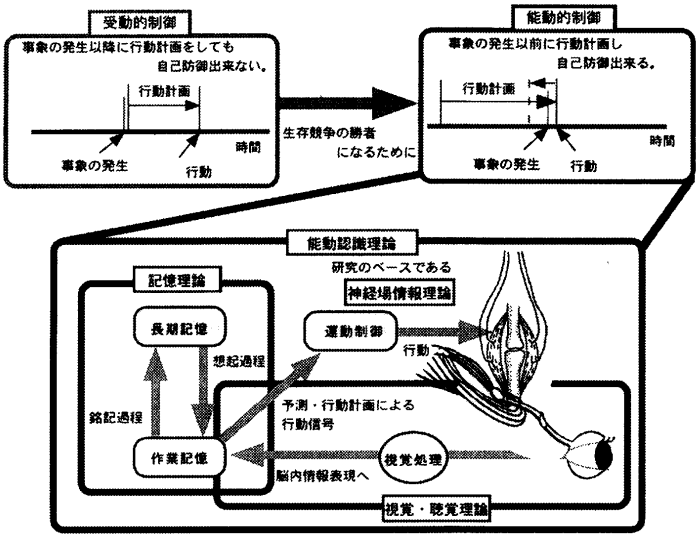


図　リアルタイムアクティブ処理

＜分野の研究目標＞

脳における高次情報処理メカニズムを工学的に実現するために，その最大の特徴の一つであるリアルタイムアクティブ処理機構（図）を数理的に解明しアーキテクチャを構築しなければならない。本分野においては脳のグローバルなアーキテクチャ，学習方式，記憶システムを生理学的知見を参考にしつつ，数理学的に構成する研究を行ってきた。また，脳は生命維持装置として進化した生物の一部であることから生命の自己組織機構，さらに脳を含む生物の複雑なシステムを理解する手法を開発するための複雑系の研究を同時に行っている。本年度の成果は以下の通りである。

「I」　ブレインコンピューティング

１）脳の主体性発現の数理的条件とアーキテクチャ

脳のリアルタイム情報処理を可能にしているのは，生存をかけて進化してきた環境変化の先読み能力であり，生物の個，主体性ひいては意識などの科学的に未解決な概念の解明に糸口を与えるものである。我々は，主体性発現条件が時空間的に有限性を持ち，その限度が外部環境の変化速度と脳の処理速度との相対関係で決まることを示し，外部環境の変化を先読みするシステムを構築してそのアーキテクチャを導いた。

２）学習方式

従来から継続している局所微分まで取り入れるLFLアルゴリズムによる学習方式のほかに，本年度は，明確な教師信号なしに目的動作を学習する強化学習の新しい方式を提案し，ラットの目的探索行動において海馬の役割を明確化し海馬切除ラットの生理実験との良い一致を示した。また行動空間・状態空間の増大に伴う強化学習時間の増大を対数的増大に軽減するマルチエージェント方式を提案しその実効性を

証明した。
3）記憶システム
神経ダイナミックスの特徴を表現したマップの結合による結合マップ系の示すカオスを用いて，任意の長時間時系列記憶の可能性を示した。また，神経回路網における静的記憶・動的記憶の状態およびその引き込み領域を求める新しいアルゴリズムを提案し，その例を循環結合型回路で実証した。

「II」 生命状態の自己組織・複雑系の研究
生命の数理学的理解とその応用を目指して行った研究の今年度の主な成果は，均一な細胞集団がチューリング機構によってシンメトリーブレイクすることを示したことと，外部からの摂動によってシンメトリーブレイクを起こす際に必要な最小限の摂動の大きさを実験的に決めたことである。又，物理的な系の中では最も複雑な現象の一つである熱乱流では究極乱流への転移が起こると理論的に予想されるレーリー数より，3桁以上も高い状態を初めて実現し，境界層の不安定化が起こっても転移は存在しないことを実験的に確認し，従来の理論の大幅な訂正の必要性を提唱した。

＜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　美徳
助　手　　早川　吉弘
COE研究員　大内　則幸

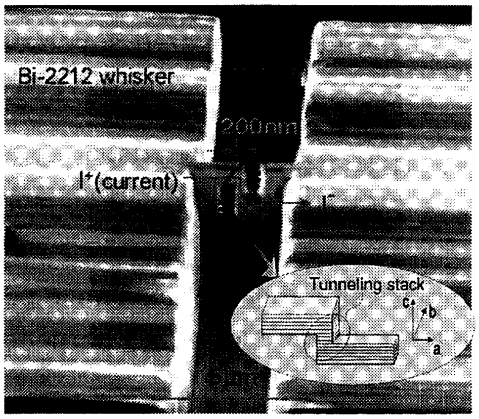
＜教授のプロフィール＞
60年代に固体中のプラズマの研究からスタートし，70年代に液体ヘリウムの超流動現象や各種音波の研究，ソリトンの研究，化学反応系や流体系に代表される非線形非平衡系の散逸構造の研究を行う。80年代は，非線形系のカオスやフラクタルの創生期の研究に貢献し，生物の形態形成，超伝導量子磁束による量子コンピュータの開発を経て，現在までブレインコンピュータの原理と設計の研究を行っている。

＜過去1年間の発表論文，解説記事，著書＞

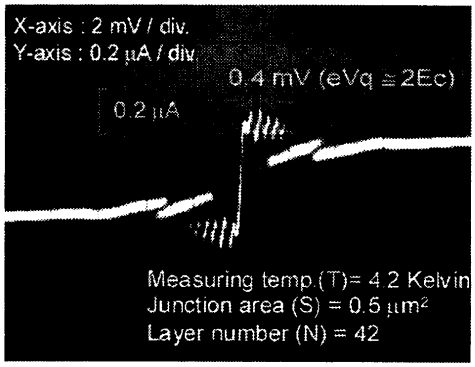
1. A.-H. Sato, H. Takayasu and Y. Sawada, "Invariant power law distribution of Langevin systems with colored multiplicative noise", Physical Review E, 61 (2000) 1081-1087.
2. M. Sano, T. Segawa, A. Naert, and J. A. Glazier, "Dose the Ultimate State of Thermal Turbulence Exists?", J. Plasma and Fusion Research Series, Vol.2 (1999), 28-31.
3. Basabi Chakraborty and Yasuji Sawada, "Fractal Neural Network Feature Selector for Automatic Pattern Recognition System", IEICE Trans.Fundamentals,Vol E82-A No9 , pp1845-1850(Sept.1999)
4. 菅原研，中村崇仁，佐野雅己，「アクティブエレメント集合による機能創発」，計測と制御，38, No.10 (1999), 641-645.
5. M. Sano and S. Ochiai, "Chaos and Periodic Dynamics in Adaptive Motion Control Systems under Unknown Environment", Proc. of IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics, (Tokyo, 1999) I. 262-265.
6. M. Ito, S. Miyake, S. Inawashiro, J. Kuroiwa and Y. Sawada, "A Hippocampal CA3 Model for Temporal Sequences", 6th International Conference on Neural Information Processing, Perth, vol.2, pp.771-776, 1999.
7.Yasuji Sawada, "A Physical Theory on the Emergence of a Subjective State", Toward a Science of Consciousness - Fundamental Approaches-Tokyo '99 Extended abstract in Souvenir Programme P.A16 (May1999)
8. 堀口　剛，佐野雅己，「情報数理物理学」，（講談社サイエンティフィック，2000）

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



集束イオンビーム加工により作製した高温超伝導Bi-2212　単結晶素子



Bi-2212　単結晶を用いた単電子対トンネル素子の電流（I）-電圧（V）特性

＜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うべき大規模な超伝導コンピュータシステムを目指した超高速・低消費電力超伝導演算デバイスおよび超伝導デバイスの高速・高感度性を利用した高周波デバイスの研究を行う。

＜本研究分野の研究成果＞

高温超伝導体内の磁束量子運動に伴う電磁波の超放射現象の基礎となる磁束量子の高速運動を$Bi_2Sr_2CaCu_2O_8$高温超伝導体固有ジョセフソン接合により実現した。これまでに1Tの磁場下において最大1.15×10^6m/secの磁束量子速度を観測している。この速度は周波数にして750GHzに対応する。

高温超伝導接合のジョセフソン効果により、液体ヘリウム温度（4.2K）から液体窒素温度（77K）の低温における平面型アンテナの特性について詳細に評価した。その結果、ジョセフソン接合の電気特性上に幾つかの共振構造が明瞭に計測され、定量的な計算から、その現象はジョセフソン効果と集積されたアンテナの形状共振であることを判明した。これにより、低温デバイスの高周波応答を改善するために必要となる平面型アンテナの低温特性の評価法を確立した。

C-axis junction-stacks were patterned on $Bi_2Sr_2CaCu_2O_8$ single crystals. We measured the current voltage characteristics with irradiation at a few to 100 gigahertz. At a few gigahertz and very high power level, current steps were stimulated and the voltage separations of a few mV between them were independent of the microwave power. Under irradiation at 100 GHz, we successfully performed harmonic mixings between the 100 GHz signal and up to the 100th harmonic of a local oscillator at about 1 GHz. These experimental results show that intrinsic Josephson junctions can be good candidates for high frequency applications, and harmonic mixing may be a useful probe to investigate plasma phenomena inlayered superconductors. The intrinsic Josephson effects and the microwave response were studied in oxygen deficient $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ thin films as well.

異方性被加工材料を用いた、立体的電子素子の作製方法及びその製造装置を考案し、高品質のｃ軸配向薄膜及び単結晶の積層構造を用いた微少トンネルデバイスの作製プロセスを確立した。

Theoretical and experimental results for LSCO samples show that the resistance peak effect in HTSC seems to be the result of the critical current anisotropy along and perpendicular to CuO planes.

銅酸化物超伝導体$La_{2-x}Sr_xCuO_4$単結晶と金属超伝導体Nb間のジョセフソン接合特性において、多重アンドレーエフ反射に由来する特異構造を観測し、デバイス応用上重要なパラメータである超伝導ギャップの評価に成功した。

＜職員＞

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

＜山下努教授プロフィール＞

1939年（昭14）４月11日（61歳）生まれ，専門＝電子デバイス工学，電子材料工学。研究分野＝超伝導エレクトロニクスと超伝導材料。最終学歴＝東北大学博士課程・電子工学専攻，1963年修了。工学博士＜東北大学＞1969年。学位論文「ジョセフソン素子に関する研究」。学会＝応用物理学会，電子情報通信学会，電気学会。略歴＝電気通信研究所助手を経た後，長岡技術科学大学電気系教授を歴任。南京大学電子科学技術系客員教授。現在，東北大学未来科学技術共同研究センター及び電気通信研究所教授。著書「超伝導回路」共立出版（1981），「薄膜ハンドブック」オーム社（1983），「ジョセフソン効果の物理と応用」近代科学社（1988），「高温超伝導の科学」　裳華房（1998），新潟日報文化賞受賞（1985）。

＜主な発表論文＞

1）"Intrinsic Josephson junctions in oxygen-deficient $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ film deposited on a substrate step", H. B. Wang, J. Chen, T. Tachiki, Y. Mizugaki, K. Nakajima and T. Yamashita, J. Appl. Phys., Vol.85, No.7, pp.3740-3744, April 1999

2）"Intrinsic Josephson Junction Array with Typical Tunneling Characteristics in Oxygen-deficient YBaCuO Thin Films", H. B. Wang, J. Chen, K. Nakajima and T. Yamashita, IEEE Transactions on Applied Superconductivity, Vol. 9, No. 2, pp.3008-3011, June 1999

3）"YBCO SQUIDs Fabricated by Field-Emission Electron Beam Source", S. - J. Kim, J. Chen, Y. Mizugaki, K. Nakajima and T. Yamashita, IEEE Transactions on Applied Superconductivity, Vol. 9, No. 2, pp.3089-3092, June 1999

4) "Focused Electron Beam Damaged YBCO Josephson Junctions for THz Device Applications", S. - J. Kim and T. Yamashita, IEEE Transactions on Applied Superconductivity, Vol. 9, No. 2, pp.4221-4224, June 1999
5) "Fabrication of Submicron BSCCO Stacked Junctions by Focused Ion Beam(FIB)", Yu. I. Latyshev, S. - J. Kim and T. Yamashita, IEEE Transactions on Applied Superconductivity, Vol. 9, No. 2, pp.4312-4315, June 1999
6) "Fabrication of Josephson Junctions on La-Sr-Cu-O Single Crystals", Y. Uematsu, H. Myoren, K. Nakajima, T. Yamashita, I. Tanaka and H. Kojima, IEEE Transactions on Applied Superconductivity, Vol. 9, No. 2, pp.4296-4299, June 1999
7) "Microwave-induced Current Steps in Intrinsic Josephson Junctions Patterned on $Bi_2Sr_2CaCu_2O_8$ Single Crystal", H. B. Wang, Y. Aruga, T. Tachiki, Y. Mizugaki, K. Nakajima, T. Yamashita and P. H. Wu, Appl. Phys. Let., Vol.74, No.24, pp.3693-3695, June 1999
8) "Submicron scale High-Tc superconducting stacks for single Cooper-pair tunnling", S. - J. Kim, Yu. I. Latyshev, T. Yamashita, N. Sato and S. Kishida, Pysica B, June 1999
9) "Interlayer Transport of Quasiparticles and Cooper Pairs in $Bi_2Sr_2CaCu_2O_{8+\delta}$ Superconductors", Yu. I. Latyshev, T. Yamashita, L. N. Bulaevskii, M. J. Graf, A. V. Balatsky and M. P. Maley , Physical Review Letters, Volume 82, Number 26, 28 June 1999
10) "Three-Dimensional Intrinsic Josephson Junctions Using C-Axis $YBa_2Cu_3O_{7-y}$ Thin Film", S. - J. Kim and T. Yamashita, Jpn. J. Appl. Phys., Vol.38, No.11, pp.5069-5070, 1999, Sep. 1999

マルチモーダルコンピューティング研究分野（客員分野）

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

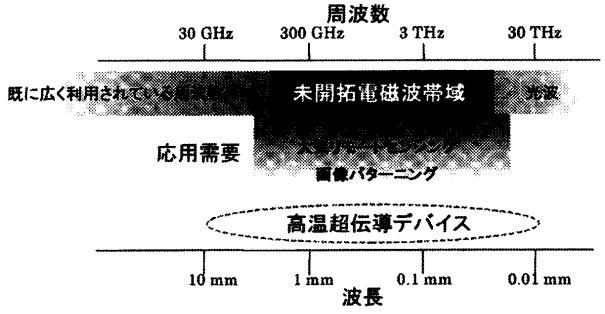


図1　マルチモーダルコンピューティング研究分野の研究目標

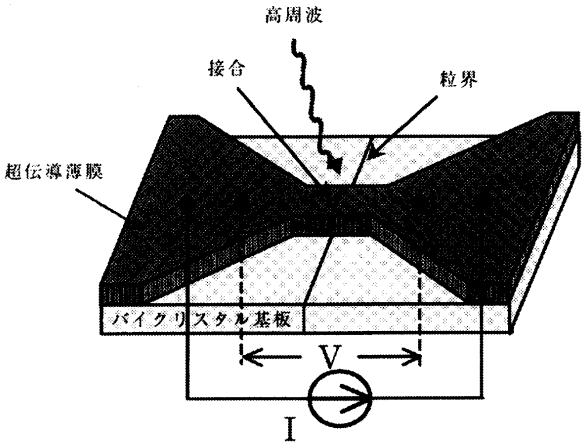


図2　高周波信号が照射された高温超伝導粒界型ジョセフソン接合の概念図

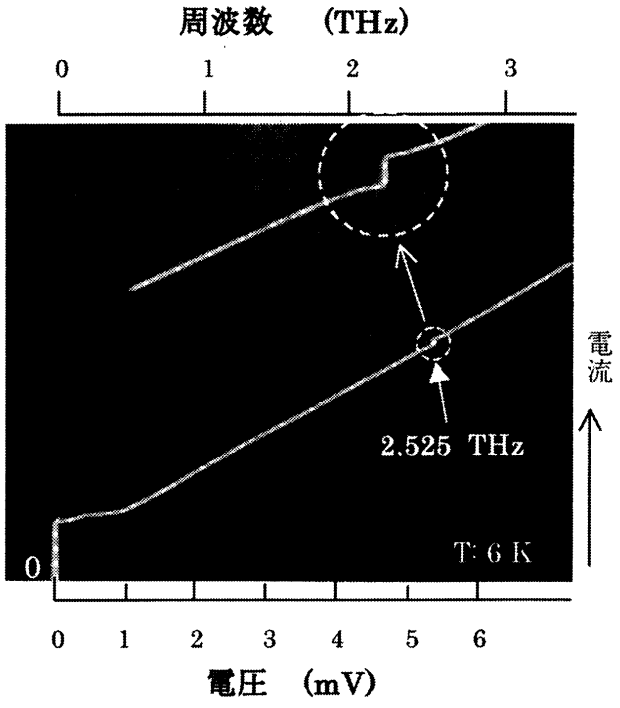


図3　テラヘルツ波（周波数：f=2.525 THz）信号を照射した高温超伝導ジョセフソン接合の電流（縦軸）—電圧（横軸）特性に現れた応答特性

○本研究分野の目標

大気リモートセンシング画像パターニング用のミリ波サブミリ波超伝導検出器の研究（図1）。

○過去1年間の主な成果

テラヘルツ(THz)帯までの広帯域電磁波信号を短時間で簡便に計測可能な高温超伝導スペクトロメータの開発を目的に，低損失のシリコン・バイクリスタル基板上に高温超伝導体YBCO粒界型ジョセフソン接合（図2）を作製し，そのTHz帯まで電磁波に対する応答特性などを調べた。最適な基板材質の選択や薄膜と接合の作製技術の改善などにより，高温超伝導ジョセフソン接合の直接応答周波数としてこれまで最高の2.525 THzの電磁波に対する明瞭な応答（シャピロステップ）を観測した（図3）。また，これらの接合ではより高い動作温度 (70K) においても2.525 THzの信号に応答することを確認した。さらに，これらの接合の外部印加磁界やテラヘルツ波

電界の偏向等に対して応答の影響，ヘテロダイン検波特性，平面型アンテナとの集積化方法なども詳細に調べ，その結果，微弱な直流外部磁界を印加することによってテラヘルツ信号の応答感度を向上できることが見出され，数値計算により新たな現象であることが確認された。高温超伝導ジョセフソン接合のテラヘルツ波応答ではテラヘルツ波電界偏向の影響が少ないことが分かり，ハーモニック・ヘテロダイン・ミキシングによってはTHz信号をより低い中間周波数（1.5GHz）信号への変換にも成功した。これらの結果により，高温超伝導ジョセフソン接合は高温，広帯域で動作する簡便なスペクトロメータとして非常に有望であることを明らかにした。これらの結果は今後実用的なテラヘルツ帯での高速，広帯域検出システムの実現に重要な指針を与えた。

○職員

客員助教授　Iouri Latyshev
（ユーリ　ラティシェフ）

○ラティシェフ客員助教授のプロフィール

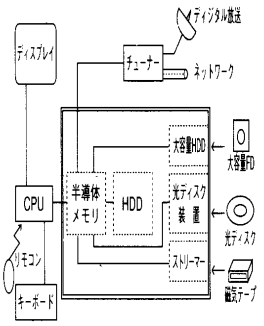
Moscow Physics and Technical Institute (Technical Univ.) より，学士号，修士号，博士号を1973，1976，1980年に取得。1976年より，Institute of Radio Engineering and Electronics Russian Academy of Science (IREE RAS)にて技官を務め，研究員，Ph.D研究員を経て，現在は上級研究員及びロシア研究特別資格を取得。1998年4月より2000年1月までブレインコンピューティング研究部門客員助教授。

○過去1年間の主な発表論文

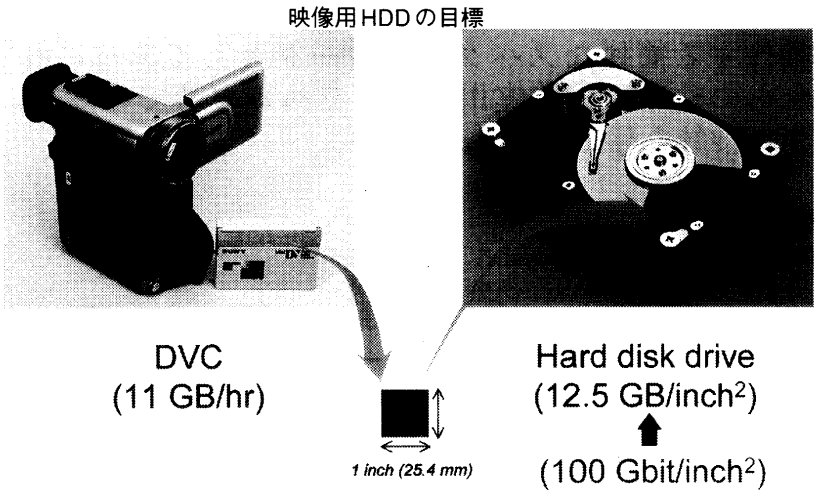
1. Yu. I. Latyshev, S.-J. Kim, and T. Yamashita, "Experimental Evidence for Coulomb Charging Effects in the Submicron Bi-2212 Stacks ", Pis'ma Zh. Eksp. Teor. Fiz., Vol. 69, pp. 594 -599, 1999.
2. Yu. I. Latyshev, S. -J. Kim, T. Yamashita, "Fabrication of Submicron BSCCO Stacked Junctions by Focused Ion Beam (FIB)", IEEE Trans. Appl. Supercond., Vol. 9, pp. 4312 -4315, 1999.
3. Latyshev Yu. I., Yamashita T., Bulaevskii L. N., Graf M.J., Balatsky A.V., and Maley M.P., "Interlayer transport of quasiparticles and Cooper pairs in $Bi_2Sr_2CaCu_2O_{8+x}$ superconductors", Phys. Rev. Lett., Vol. 82, pp. 5345-5348, 1999.
4. Latyshev Yu.I., Laborde O., Fournier Th., and Monceau P., "Sliding and quantum interference of charge density waves moving through columnar defects in $NbSe_3$", Phys. Rev. B, Vol. 60, pp. 14019-14024, 1999.
5. S.-J. Kim, Yu. I. Latyshev, T. Yamashita, "Single Cooper-pair tunneling junctions using high-Tc superconducting materials", IEEE Trans. on Mag., Vol. 35, No. 5, pp. 4094 -4096, 1999.
6. S.-J. Kim, Yu. I. Latyshev, T. Yamashita, "3-D Intrinsic Josephson junctions using c-axis thin films and single crystals", Supercond. Sci. and Tech., Vol. 12, pp. 729-731, 1999.

情報記憶システム研究分野

スピニック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



パーソナルビデオサーバシステムの一例



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，多様かつ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おり，処理すべき情報量が飛躍的に増大している。これに対応する次世代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，特に，莫大な情報を蓄積できる唯一の手段である磁気ストレージの高密度・大容量化及び高速化を図っておかないと，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おそれがある。

本分野では，これからの超高密度化の研究には，ストレージメディアの構成要素である単磁区磁性微粒子，云い換えれば電子スピン群，に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ことを提唱し、これをスピニックストレージと呼んでいる。一方でこれらの動画情報を中心とする大容量情報の普及に備えるには，テラバイトクラスの超大容量高速ファイルシステムの実現が必要である。限界が見え始めた従来方式に対して，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大きな前進が成し遂げられている。さらに実用方式として具体化するには，ヘッド，メディア，信号処理，システムアーキテクチャ，をシステム的に検討する必要がある。

これらの観点から，本分野では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。

1. 高密度垂直磁気記録再生システムの研究

垂直磁気記録における超100ギガビット／平方インチの高密度記録の可能性を理論的なアプリーチから検討した。システムの記録密度限界は再生信号のＳＮ比と記録ビットの熱減磁安定性のトレードオフで決定される。所要密度を実現するために必要な分解能を達成できるヘッド仕様を計算から求めた上で，その再生条件下でのノ

イズ実効値を最近確立したノイズ理論から予測した。その結果，記録媒体の微細磁気構造サイズを10ｎｍとすれば、超100Ｇビット級の超高密度ストレージが実現できることを示した。また，このときに高密度記録の物理限界となっている記録ビットの熱安定性についても記録媒体の磁気異方性を14ｋＯｅとすることで回避できることも同時に示し，今後の垂直磁気記録のシステム的なポテンシャルを提示した。

2. 高密度信号処理方式の研究

垂直磁気記録の信号処理技術は、その最適化が必ずしも確立していない。ヘッドディスク系のステップレスポンスが従来とは大きく異なることとノイズの性状が不明なことがその背景にある。最近、我々は垂直磁気記録のノイズはディスクノイズが主であり，しかもそれは転移性であることが明らかにした。このヘッドディスク系に適当な信号処理方式の一案として，再生シンボル間のノイズ相関を用いたノイズ予測型最尤復号を試みた。パーシャルレスポンスチャネルに対して適用し，１～３ｄＢの効果を確認した。

3. 動画情報ネットワーク伝送の実験

情報通信システム研究分野と共同で、ネットワーク上でのＭＰＥＧ映像情報の高速転送試験を実施した。本実験の目的は大容量映像情報ストレージにおけるネットワークでの情報転送速度の制約が発生する状況を調べた。今回は，ＳＣＳＩインタフェースを持つストレージシステムでは必ずしも転送速度制約にはならないことが示されたが，今後の広帯域ネットワークではストレージネックとなる可能性もある。

職員

教授　中村　慶久（1987年より）
助手　山田　洋
COE研究員　サイモン・グリーブス

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。映像情報メディア学会副会長。ＩＥＥＥフェロー。

研究テーマ

1. マルチトラック並列記録の研究
2. 高速変復調チャネルの研究
3. 超高速ストレージシステムの研究
4. ３次元磁気記録シミュレータの研究
5. 大容量動画像ファイルストレージシステムの研究

主な研究発表

(1) Y. Nakamura, J. Magn. Magn. Mat., 200, 634-648, 1999.
(2) S. J. Greaves, H. Muraoka, Y. Sugita, Y. Nakamura, J. Magn. Magn. Mat., 193, 409-411, 1999.
(3) S. J. Greaves, H. Muraoka, Y. Sugita, Y. Nakamura, IEEE Trans. Magn., 35, 3772-3774, 1999.
(4) 村岡裕明・佐藤靖夫・杉田愃・中村慶久，23, 985-988, 1999.
(5) 村岡裕明・三浦健司・杉田愃・中村慶久，23,1065-1068, 1999.
(6) 村岡裕明・三浦健司・杉田愃・中村慶久，日本応用磁気学会誌, 23 S2, 35-40, 1999.
(7) 中村慶久，“動画ディスクカメラ用ストレージメディアの動向と展望”，映像情報メディア学会誌, 53, 1344-1346, 1999.

物性機能デバイス研究部門の目標と成果

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

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

本年度の各分野の主な研究成果は以下の通りである。

1. 固体電子工学研究分野

本研究分野では，知的情報化社会の基盤を支える新しい半導体デバイス，高機能システムの実現を目標として，①超微細・高性能アクティブデバイスに関する研究，②超高速・超低消費電力な集積回路に関する研究，③高性能アーキテクチャに関する研究，④ＭＯＳデバイスの物理的限界を材料的に決める薄膜ゲート絶縁膜の高品質化，及び，薄膜化の研究に関する研究を行っている。99年度の成果を以下に述べる。

99年度にも通信放送機構の「光通信の高速化・効率化・長寿命化のための研究開発プロジェクト」を遂行中であり，その中で，新しく開発したＭＣＭＬ回路を用いたＤＥＭＵＸ(シリアル－パラレル変換器)シリコンＣＭＯＳ集積回路の試作に成功し，ＣＭＯＳ集積回路としては世界最高速の10.6Gb/sの性能を実現した。システムＬＳＩに必要不可欠なＤＣ－ＤＣコンバータをＣＭＯＳ型集積回路にて試作し，90%以上の高変換効率を実現していることを実験的に検証した。ＤＲＡＭの集積度を飛躍的に向上させる新しい３次元型メモリアレイ技術を提案した。フラッシュメモリの集積度を飛躍的に向上させる新しい３次元型メモリ素子の設計技術を提案した。薄膜シリコン酸化膜におけるストレスリーク現象に関する定量的な解析モデルを提案した。各研究テーマいずれも目標を達成しつつある。

2. 分子電子工学研究分野

Siプロセスと互換性を持ち，かつ新たな電子・光物性が期待されるSi系混晶・化合物デバイスの実用化に向け，Si系成膜プロセスにおける原子・分子過程の解明，表面・界面制御技術の確立，新たな成膜プロセス技術の創成を目的としている。これ

までに超高真空下での表面化学反応を用いたガスソース分子線エピタキシー(GSMBE)法を開発し，高品質，高スループットのSi，SiGe成膜を実現してきた。また従来困難だった成長表面の水素定量を実現し，GSMBEやCVD成長表面における原料ガス吸着過程や水素脱離過程，及びその不純物効果を原子レベルで解明している。本年度は(1)Si表面上ホスフィン吸着過程の解明と「P吸着量デジタル制御法」の開発，(2)有機Siガスによる，従来より200℃低温での高品質SiCエピ成膜の成功，(3)Si表面初期ウェット酸化機構の解明，(4)半導体中の深い準位を高感度で検出できる光音響分光法の開発――に成果をあげた。今後これらの知見を基に，Si系ナノ構造形成技術の確立をめざしたい。

3．スピンエレクトロニクス研究分野

スピンエレクトロニクス研究分野では，次世代情報通信機器や生体計測・医療分野における高次高機能入出力インターフェースとして集積化マイクロ磁気デバイス，磁気マイクロアクチュエータ，磁気モーションキャプチャシステムなどの研究開発を行っている。本年度は，二方向マイクロパターン化軟磁性膜を適用したRF集積回路磁性薄膜インダクタ，集積回路近傍におけるEMC計測を目的とした空間分解能300?m帯域1GHzの薄膜マイクロ近傍磁界プローブ，10-11Tesla台の磁界分解能を有する高周波キャリア型薄膜マイクロ磁界センサ，生体を摸擬した食肉片内を駆動可能なスパイラル型磁気マイクロマシン，スマートアクチュエータのキーデバイスとなる薄膜磁気機械結合素子の開発などに成功した。

これらの成果は，電子スピンオーダの微細構造を制御した新材料（スピニックマテリアル）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という本分野の基本目標を追求する中で得られたもので，目標の完遂に向けて現在のところ概ね順調に推移している。

4．情報記録デバイス工学研究分野

＜分野の目標＞

これまでのコード情報とは桁違いに膨大な情報量を持つマルチメディア情報を蓄積し、高次ネットワーク社会を有効に機能させる、超高密度磁気記録のための研究を行っている。このためには、記録媒体の磁性微粒子１個に１ビットの情報を記録するスピニックストレージが是非とも必要である。本分野では超高密度磁気記録のための記録デバイスを実現することが目標である。

＜成果＞

垂直磁気記録による超高密度記録デバイスについて、新しい高効率低インダクタンス垂直ヘッドを開発した。我々は、このヘッドは超100Ｇビット（平方インチ）級記録が１ＧＨｚ以上の高周波で可能なことを示している。現在、このヘッドの能力をさらに発揮させるための記録媒体の検討を行っている。

＜目標達成度＞

スピニックストレージでは、熱磁気緩和耐性が保証できる10ｎｍサイズの磁性粒子に対して６テラビット（現状の100～500倍程度）が定量的な目標となるが、上記の超100Ｇビットはこの１／10程度である。

5．光電変換デバイス工学研究分野

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きる物理・化学現象を研究し，得られた知見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的としている。

99年度にも科学技術振興事業団の戦略的基礎研究プロジェクト「ＳＴＭ発光分光法と近接場光学分光法による表面微細構造の電子物性の解明」を遂行中であり，このプロジェクトで走査型トンネル顕微鏡（STM）発光現象を利用した原子レベルの位置分解能，meVのエネルギー分解能，psの時間分解能を有する新しい計測手法による表面微細構造の物性研究に力を注いでいる。99年度にはAlGaAs/GaAs量子井戸劈開(110)面の単一GaAs層からのSTM発光スペクトルを探針の位置を変えながら測定し，探針から注入された電子が発光に至るまでの距離が10nm程度（面内方向）であること明らかにした。また，井戸層内で探針の位置を20nm移動しただけで発光スペクトルの形状が変化することを発見した。HOPG表面上の孤立したGe超微粒子のバンド・ギャップを走査トンネル分光法によって計測することに成功し，そのバンド・ギャップが超微粒子の直径の2乗に反比例することを明らかにした。

また，液晶の光配向の研究も行った。99年度には，シクロブタン環を含むポリイミド配向膜材料の直線偏光紫外光照射による光分解過程をFT-IR法によって調べた。シクロブタン環の光裂開反応の異方性が非常に大きいこと，裂開後に分子配向がランダム化が起こることを明らかにした。

なお，改組時の目標に対する当分野の研究達成度は50％程度と考えている。

6．電子量子デバイス工学研究分野

本分野では，構造規定された固体表面・界面での分子レベル反応制御によって原本分野では，構造規定された固体表面・界面での分子レベル反応制御によって原子・分子レベルの微細構造を構築することを目的に，表面・界面反応のその場観察や反応制御法の開発研究を行っている。また，分子デバイスの基盤となる新しい物性機能を有する薄膜電子材料の開発にも取り組んでいる。本年度は昨年度に引き続き，①シリコン表面の原子・分子吸着状態の解明，②シリコン固液界面反応過程のその場観察，③半導体表面上の高分子薄膜形成過程の研究，④半導体ウェーハ表面汚染検査装置の開発に取り組んだ。高感度赤外内部反射分析装置を用いて，シラン系分子のSi表面吸着過程も調べ，特に，メチルシランやジシランの吸着過程について，赤外スペクトルと 第一原理計算によるシミュレーションとの比較を行うことにより新しい分子吸着状態の同定に成功した。また，溶液中のシリコン表面化学状態を赤外分光“その場”観察法で調べ，半導体電極の表面原子がエッチングされる過程を原子レベルで明らかにした。さらに，現在開発中の半導体ウェーハ表面検査装置の性能を調べ，Siウェーハ表面の水分子の吸着状態を高感度でかつリアルタイムでモニターできることが分かった。

7．複合機能材料研究分野（客員研究分野）

本分野の研究目的は，量子力学の第一原理に立脚した計算により，実際の物質での諸現象の微視的起源を明らかにし，また新現象の予言を行うものである。具体的には，シリコンテクノロジーにおける基本的プロセスの原子スケールでの解明，また新材料新物性の理論的探索を主目標としている。1999年度の成果の一部は以下のようなものである。

（１）水素化 Si (100) 面上での IV 族アドアトム（ Si，Ge ）の拡散機構を密度汎関数

法により原子スケールで解明した。結果は，エピタキシャル成長下での薄膜モルフォロジーを原子スケールでよく説明する。（２）フラレンＣ60固体に20Ｇｐａの圧力を加えると，３次元のポリマーとなり，このポリマーは金属であることを理論的に予言した。（３）Si 結晶中の多原子空孔の安定形態と，その不純物の捕獲形態を明らかにし，電子物性への効果を明らかにした。

8. 超高密度・高速知能システム実験施設原子制御プロセス部

NやPを原子層オーダで吸着させたSi表面へのSiエピタキシャル成長の実現等，Ⅳ族半導体超構造形成や極限ドーピング制御の指針を得た。また，SiやSiGe混晶へのCの導入，B及びPの高濃度ドーピング制御とその電気的特性，ドープトSiGe混晶からSiへの低温不純物拡散と偏析特性，並びにプラズマプロセスにおけるSiの原子オーダ窒化過程や微細エッチングでの原子オーダ不純物偏析過程を系統的に明らかにした。これらの成果をもとに，サブ0.1μmSiGeソース・ドレインｎMOSFET並びにｐMOSFET，超高速HBT，$Si_{0.6}Ge_{0.4}$/Si共鳴トンネルダイオードを製作した。

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

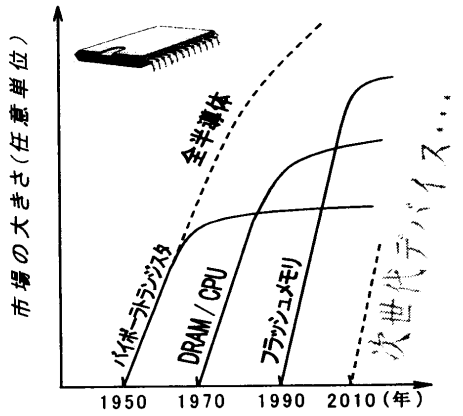


図1　DRAM, CPU, Flash Memoryに代表されるLSIは，この50年にわたり爆発的な発展を遂げました。Flash Memoryは，本研究室の舛岡教授により発明され，日本人の発明による唯一の世界標準LSIです。固体電子工学研究分野の目標は，次世代の世界標準集積回路を提案することです。

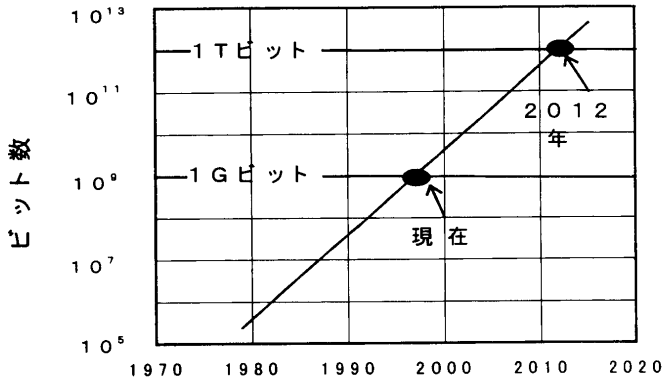


図2　Flash Memoryの集積度（ビット数）は，これまで，3年で4倍のペースで増えています。このペースでいくと，DNAと同じ1Tビットを越えるのは，2010年以降になる予測です。

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

以下に，本年度の成果について述べる。

１．新しく開発したＭＣＭＬ回路を用いたＤＥＭＵＸ(シリアルーパラレル変換器)シリコンＣＭＯＳ集積回路の試作に成功し，ＣＭＯＳ集積回路としては世界最高速の10.6Gb/sの性能を実現した。

２．システムＬＳＩに必要不可欠な新しい降圧回路を提案した。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。この降圧回路はＣＭＯＳ型集積回路にて試作し，90%以上の高変換効率を実現していることを実験的に検証した。これにより，システムＬＳＩの各回路ブロック毎に，最適な電圧を安定にかつ高効率に供給する事が可能となった。

３．ＤＲＡＭの集積度を飛躍的に向上させる新しい３次元型メモリアレイ技術，及び，フラッシュメモリの集積度を飛躍的に向上させる新しい３次元型メモリ素子の設計技術を提案した。

4．薄膜シリコン酸化膜におけるストレスリーク現象に関する定量的な解析モデルを提案した。
5．次世代の露光技術として注目されている電子ビーム直描技術において，電子ビーム照射後ウェハのライフタイム測定，及び，電子ビーム直描技術を用いて試作したＭＯＳＦＥＴにおける電荷の移動度を実験的に評価した。これにより，電子ビーム直描技術によるデバイス特性の劣化現象が無いことを実験的に検証した。
6．電子ビーム直描技術にて最小デザインルール0.09μmの形成に成功した。この微細電子ビーム直描技術を用い，0.15μmルールのＭＯＳＦＥＴを試作，その動作確認を行った。
7．新しい３次元構造MOSデバイスである完全空乏型SURROUNDING GATE TRANSISTORの静的動作特性を解析し，従来の平面型ＭＯＳトランジスタと比較してＳファクターに優れ，スイッチング特性が改善されることを定量的に明らかにした。

＜職員＞教　　授　　舛岡富士雄（1994年より）
助 教 授　　遠藤　哲郎（1997年より）
助　　手　　桜庭　　弘（1996年より）
助　　手　　レンスキ・マルクス（1998年より）
COE研究員　ミトラ・ヒリシケシュ（1999年より）

＜舛岡教授のプロフィール＞

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

＜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

＜主な研究発表＞　他14件

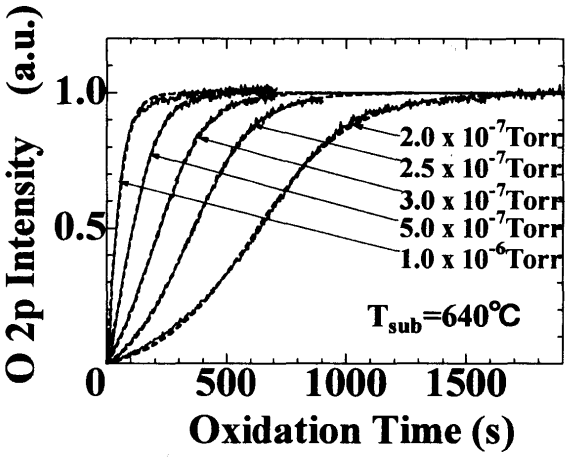
1. T.Endoh, T.Chiba, H.Sakuraba, M.Lenski and F.Masuoka, A quantitative analysis of stress-induced leakage currents and extraction of trap properties in 6.8nm ultrathin silicon dioxide films," JOURNAL OF APPLIED PHYSICS, Vol. 86, No.4, pp.2095-2099, 15 August, 1999.
2. 小倉，遠藤，桜庭，舛岡，"Double Side Quasi-SOI MOSFET," 電子情報通信学会論文誌，C-II, Vol. J 82-C-II, No.8 pp.464-465, 8月，1999.
3. T.Yamaha, and F.Masuoka, "Infuluence of Retarding Hydrogen Diffusion in Boron Phosphosilicate Glass on Annealing Damage of Metal-Oxide Semiconductor Transistors," Journal of The Electrochemical Society, 146 (8), pp.3065-3069, 1999.
4. T.Endoh, K.Shinmei, H.Sakuraba and F.Masuoka, "New Three-Dimensional Memory Array Architecture for Furture Ultrahigh-Density DRAM," IEEE JOURNAL OF SOLID-STATE CIRCUITS, VOL.34, No.4, pp. 476-483, APRIL, 1999.
5. 鈴木，遠藤，桜庭，舛岡，"Stacked-SGT DRAMを用いた2.4F^{2}メモリセル技術," 電子情報通信学会論文誌, C, Vol.J83-C No.1，pp.92-93，1月，2000.

6. H.Miya, M.Izumi, K. Yuasa, S. Konagata, Y. Kimura, L. Markus, T. Endoh, F. Masuoka, and T. Takahagi, "Loadlock Furnace Application to Ultrathin Oxide Films," 7th International Conference on Advanced Thermal Processing of Semiconductors-RTP '99, pp244-251, September, 1999.
7. T.Endoh, M.Hioki, H.Sakuraba, M.Lenski, and F.Masuoka,"Floating Channel Type SGT Flash Memory," 196th Meeting of The Electrochemical Society, and 1999 Fall Meeting of The Electrochemical Society of Japan with technical cosponsorship of the Japan Society of Applied Physics,Abstract No.1323, October, 1999.
8. A. Tanabe, M. Umetani, I. Fujiwara, T. Ogura, K. Kataoka, M. Okihara, H. Sakuraba, T. Endoh, and F.Masuoka, "A 10 Gb/s Demultiplexer IC in 0.18mm CMOS using Current Mode Logic with Tolerance to the Threshold Voltage Fluctuation," 2000 IEEE International Solid-State Circuits Conference, pp62-63, February 2000.
9. M. Suzuki, T. Endoh, H. Sakuraba, and F. Masuoka, "The $2.4F^2$ Memory Cell Technology with Stacked-Surrounding Gate Transistor (S-SGT) DRAM," Third International Conference on Modeling and Simulation of Microsystems, pp388-391, March, 2000.

分子電子工学研究分野

半導体成膜プロセスの原子オーダ制御

——単結晶からアモルファスまで——



Siドライ酸化における酸化膜被覆率時間発展の圧力依存性と自己触媒反応モデルによる解析.
(M. Suemitsu et al., Phys. Rev. Lett. 82 (1999) 2334)

本分野の目標

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

本研究分野で現在行っている研究テーマは以下のとおりである。

1．GSMBEによる高密度ドープSi薄膜，SiGe歪超格子，量子ドット作成とデバイス応用
2．Si熱酸化膜形成初期過程の解明と制御技術の確立
3．プラズマCVDによる微結晶シリコン太陽電池の開発
4．化合物半導体バルク点欠陥・表面欠陥の評価と制御技術の確立

過去1年間の主な成果

(1)Si GSMBEに関する研究

GSMBE法は超高真空中でのプロセスなので，従来のCVD法では不可能だった表面化学反応が「その場」で観察できる。そこで成長機構の理解に不可欠な表面水素定量を昇温脱離(TPD)法により実現し，成長表面における原料ガスの吸着過程や水素脱離過程，およびその不純物効果を明らかにしてきた(発表14)。今年度はTPD法に加え，Si表面水素化状態に関し有力な情報を与えるフーリエ変換赤外分光（FTIR）法による表面評価を行い，シランとジシランの初期吸着過程の違いを明らかにした（発表9,13)。さらにSi(100)表面におけるホスフィン吸着過程を詳細に調べ，その結果を基に，ホスフィン飽和吸着とアニールによる水素脱離を繰り返すことで表面P原子密度

をデジタル的に制御できる「P吸着量デジタル制御法」を開発した（発表2)。

(2)Si基板上SiCヘテロエピタキシーに関する研究

有機Si化合物ガスを用いたGSMBE成長表面を解析し，その吸着および水素脱離素過程を解明した。とくに表面水素を除去しないと良好なSiCエピタキシーが得られないことを初めて明らかにした（発表5,8,10　特許申請中)。

(3)Si初期酸化過程に関する研究

Si表面の初期酸化過程を「その場」光電子分光法で観察し，酸化温度約600℃を境として生じる酸化モードの変化を観測した。そして自己触媒酸化モデルを提案し，これが上記変化を含めSi(100)表面初期酸化過程ダイナミクスをきわめてよく記述できることを明らかにした(発表4,7)。本研究は国際微分方程式学会の招待講演となった。またウェット酸化の初期過程を放射光を用いて「その場」観察し，ウェット酸化の場合にはドライ酸化と異なり，水素脱離反応が酸化を律速する領域があることを明らかにした（発表1,6)。

(4)光音響分光法による半絶縁性GaAs結晶の深い準位検出に関する研究

デバイス特性に大きな影響を持つ半絶縁性GaAs基板中の深い準位に関し，光音響分光法による高感度検出法を開発し，深い諸準位の微視的構造を議論した（発表11,12)。

職員

助　教　授　　末光眞希（1990年より）
COE非常勤研究員　中澤日出樹

主な研究発表

1. “Si 2p Spectra of Initial Thermal Oxides on Si(100) oxidized by H_2O”, Y. Enta, D. Shoji, M. Shinohara, M. Suemitsu, M. Niwano, N. Miyamoto, Y. Azuma, H. Kato, Jpn. J. Appl. Phys., Vol.38, Suppl. 38-1, pp.253-256 (1999).
2. “Saturated adsorption of PH_3 on Si(100):P and its application to digital control of phosphorus coverage on Si(100) surface”, Y. Tsukidate and M. Suemitsu, Appl. Surf. Sci., Vol.151, pp.148-152 (1999).
3. “Separation of electron-stimulated-desorption neutrals from outgassing originating from the grid surface of emission-controlled gauges: Studies with a heated-grid gauge”, F. Watanabe and M. Suemitsu, J. Vac. Sci. Technol., Vol.A17, pp. 3467-3472 (1999).
4. “Autocatalytic reaction description of two di-mensional island growth of Si oxide on Si(100)-(2x1)”, M. Suemitsu, Y. Enta, Y. Miyanishi, Y. Takegawa, and N. Miyamoto, 5th International Conference on Atomically Controlled Surfaces and Interfaces and Nanostructures, WEB15.15 (Aix en Provence, 1999).
5. “Effects of surface carbon atoms on the kinetics of hydrogen desorption from hydrogenated Si(100) surface”, H. Nakazawa and M. Suemitsu
5th International Conference on Atomically Con-trolled Surfaces and Interfaces and Nanostructures, P14 (Aix en Provence, 1999)
6. “Reaction kinetics on dry and wet oxidations of Si(100) surface”, Y. Enta, D. Shoji, M. Shinohara, M. Suemitsu, M. Niwano, N. Miyamoto, Y. Azuma and H. Kato, 5th International Conference on Atomically Controlled Surfaces and Interfaces and Nanostructures, P38 (Aix en Provence, 1999)
7. “Autocatalytic Reaction Equation: A Simple but Excellent Mathematical Tool to Describe Thin Film Growth”, M. Suemitsu, 10th International Colloquim on Differential Equations (Plovdiv, 1999) (invited)
8. “Gas-source MBE of SiC/Si using monometh-ylsilane”, H. Nakazawa, M. Suemitsu, and S. Asami, International Joint Conference on Silicon Epitaxy and Heterostructures, PI-26 (Zao, 1999)
9. “Comparative study on the growth kinetics of Si-GSMBE between silane and disilane as observed with MIR-FTIR”, Y. Tsukidate and M. Suemitsu, International Joint Conference on Silicon Epitaxy and Heterostructures, C-5 (Zao, 1999)
10. “Formation of high quality SiC on Si(001) at 900C using monomethylsilane gas-source MBE”,
H. Nakazawa, M. Suemitsu, and S. Asami, Inter-national Conference on SiC and Related Materials (North Calorina, 1999)

11. "Detail observation of the photoquenching effect of EL2 in semi-insulating GaAs by the piezoelectric photoacoustic measurements", A. Fukuyama, Y. Akashi, M. Suemitsu, and T. Ikari, 8th International Conference on Defects Recognition, Imaging and Physics in Semiconductors (Narita 1999)
12. "New aspects for investigation of carrier transition through deep levels in GaAs by a piezoelectric photoacoustic tequnique", A.Fukuyama, M.Iwamoto, Y.Akashi, M.Suemitsu, and T.Ikari,
1999IEEE International Ultrasonics Symposium (Nevada, 1999)
13. "MIR-FTIR study of SiH_4-adsorbed Si(100): observation and mode assignment of new peaks", Y. Tsukidate and M. Suemitsu, 3rd International Symposium on Surface Science for Micro and Nano Device Fabrication (Tokyo, 1999)
14. "The role of surface hydrogen in Si epi-taxy(invited)", M. Suemitsu, 3rd International Symposium on Surface Science for Micro and Nano Device Fabrication
(Tokyo, 1999)

スピンエレクトロニクス研究分野

磁気物性制御技術の確立と高機能磁気デバイス・システムの開発

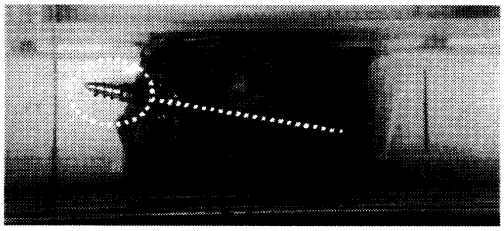


図1　マイクロマシンが牛の筋肉中を推進する様子。外部から回転磁界を印加することでマシンは回転し，推進する。20秒程で，マシンは長さ牛肉（長さ約20㎜）を貫通した。

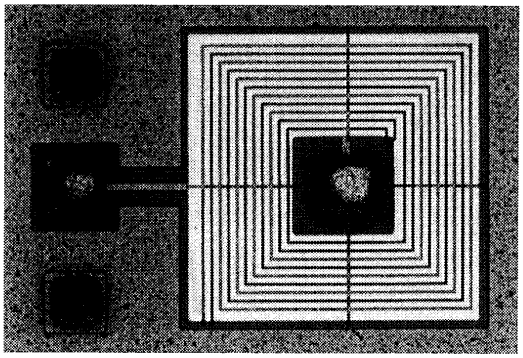


図2　RF集積化インダクタ　マイクロパターン化磁性膜によって，1GHz帯でL=7.6nH, Q=7.1を実現。

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

過去１年間の主な成果

(a) 磁気マイクロマシン：場からのエネルギー供給によりワイヤレス動作が可能なスパイラル型磁気マイクロマシンを開発し，今年度は液体中ならびにゲル状物質あるいは生体組織中を駆動し，進行方向の制御も可能であることを実証した。最適設計・動作解析ツールも開発した。現在，具体的医療応用を東北大学医学部放射線科などと協力して検討中である。

(b) 磁気モーションキャプチャシステム：永久磁石をマーカとしたリアルタイム磁性体位置検出システムを試作し，センサ・マーカ間の距離が250mm以内であればマーカが1個の場合で精度1.5mm，2個で精度20mmで検出できることを実証した。医学部放射線科と共同で臨床用放射線照射装置へ，また多数個交流磁気マーカの位置検出システムへ展開中。

(c) マイクロ磁気センサ：1mm以下への小形化を目標とした高周波キャリア型薄膜磁気センサについて，サブミクロン微細加工精度によって素子感度が著しく変化することを見出した。一方，キャリア周波数抑圧方式検出回路によって10^{-7}Oe (10^{-11} Tesla) オーダというこの型のセンサとしては世界最高の磁界検出分解能を実現した。上述(a)の磁気マイクロマシンの位置検出，ならびに(b)のセンサヘッドとしてシステム応

用すべく展開中である。

(d) RF帯マイクロパターン化軟磁性薄膜と集積化インダクタ：第3世代携帯電話IMT-2000で益々利用が拡大するアナログ高周波回路では，空心インダクタの小形化と低損失化が重要課題である。我々は昨年，軟磁性薄膜を用いた磁性薄膜インダクタによってこの2つの問題を同時に解決しうることを示した。本年は，周波数域をこれまでの1GHzから2GHzに拡大することを目的に，信号周波数が磁性膜本来の強磁性共鳴周波数より高い場合であってもマイクロパターン化によって低損失な膜が得られることを示し，更に2方向に磁化容易軸を区分し，磁性膜の面積利用率を倍増する新しい制御方法を開発した。このマイクロパターン化磁性膜を用いた結果，1GHz駆動薄膜インダクタにおいて，同一寸法の空心に比べてインダクタンスを30%増大させることが出来た。また，空心とQ値が同等で12%インダクタンスを向上させることができた。

(e) 超高周波磁気計測およびEMC計測技術：(d)項のRF帯磁性薄膜の評価用に開発した1MHz-3.5GHz全自動透磁率測定システムを，1999年9月に製品化した。そのセンサヘッドとして開発した多層平面型シールディドループコイルの形状寸法を高分解能高周波磁界計測用に特化させたものが，IEC(International Electrotechnical Commission) TC47/WG9へ「集積回路からの放射性電磁雑音測定用磁界プローブ」として規格提案されている。

さらにこの多層平面コイルを薄膜微細加工プロセスにより作製し，300?mの空間分解能を有する近傍磁界計測が可能であること，LSI回路近傍の高分解能磁界計測に有用であることを示した。今後RF集積化インダクタのEMC解析にも適用する予定である。

(f)薄膜磁気機械結合素子：我々の開発した逆磁歪効果を利用した新しい歪みセンサ素子に圧電素子を組み合わせた薄膜磁気機械結合素子を試作した。この素子はセンサ機能を有するアクチュエータとして動作する。この素子を貼付したステンレス片持ち梁の動作を検討し，先端変位のアクティブ制御に関する検討を行っている。

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　薮上 信
技　官　我妻成人　技官　師岡ケイ子
医薬品機構派遣研究員　杤　修一郎

荒井賢一教授のプロフィール

1966年3月　東北大学工学部電子工学科卒業。
1971年3月　同学大学院工学研究科博士課程修了。
1971年4月　同学助手，電気通信研究所。1975年４月　同学助教授，電気通信研究所。1986年４月　同学教授，電気通信研究所。軟質磁性材料の研究およびマイクロ磁気デバイス，マイクロ磁気センサ，アクチュエータ等のスピニックスデバイスの研究に従事。市村賞，科学技術庁長官賞受賞。電気学会A部門長，日本応用磁気学会企画委員長。

研究テーマ

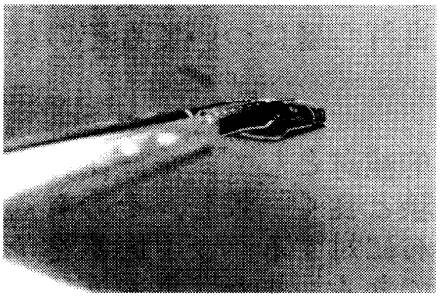
1．高機能スピニックマテリアルの創製
2．集積化マイクロ磁気デバイス・センサ
3．生体内駆動用磁気マイクロロボット
4．超高周波磁気計測・EMC計測
5．磁気モーションキャプチャシステム

過去1年間の主な発表論文

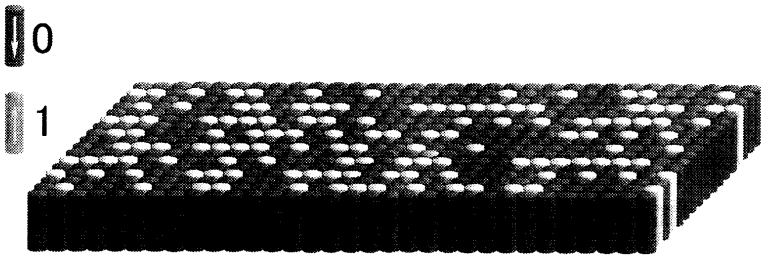
1. Microfabrication and characteristics of magnetic thin-film inductors in the ultrahigh frequency region, M. Yamaguchi, K. Suezawa, K. I. Arai, Y. Takahashi, S. Kikuchi, Y. Shimada, W. D. Li, S. Tanabe, and K. Itoh, J. Appl. Phys., vol. 85, pp. 7919-7922 (1999).
2. Fe-Al-Oグラニュラ膜の微細パターン化による磁気特性の制御, 末沢健吉, 高橋祐一, 山口正洋, 荒井賢一, 島田 寛, 李 衛東, 田邉信二, 伊東健治, 日本応用磁気学会誌 vol. 23, pp. 1637-1640 (1999).
3. INTEGRATION OF HIGH FREQUENCY CARRIER TYPE THIN-FILM MAGNETIC FIELD SENSOR WITH SmCo THIN-FILM BIAS MAGNET, M. Takezawa, Y. H. Kim, K. Ishiyama, M. Baba, M. Yamaguchi, K. I. Arai, N. Wako and I. Abe, IEEE Trans. Magn., vol. 35, pp. 3682-3684 (1999).
4. Effect of Machine Shape on Swimming Properites of the Spiral-Type Magnetic Micro-Machine, M. Sendoh, N. Ajiro, K. Ishiyama, M. Inoue, K. I. Arai, T. Hayase, J. Akedo, IEEE Trans. Magn., vol.35, pp. 3688-3690 (1999).
5. Analysis of Swimming Properties and Design of the Spiral-Type magnetic Micro-Machine, M. Sendoh, N. Ajiro, K. Ishiyama, M. Inoue, K. I. Arai, T. Hayase, Journal of Robotics and Mechatronics, vol. 12, pp. 165-171 (2000).
6. 磁気弾性歪センサのスマートアクチュエータへの応用,申 光鎬,今村幸喜,井上光輝,荒井賢一,日本応用磁気学会誌, vol. 24, pp. 975-978 (2000).

情報記録デバイス工学研究分野

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



開発した高分解能・低インダクタンス垂直ヘッド



微細磁性粒子に情報を蓄えるスピニックストレージ

情報ストレージの一貫した目標はその高記録密度化にある。最近では一平方インチ当たり30ギガビット（一平方ミクロン当たり46ビット）の記録面密度に達し，さらに５年で30倍以上の早いペースを保って進歩している。これは大容量情報ストレージの旺盛な需要を背景にしており，さらなる高密度化・大容量化が強く求められている。これに応えるには磁気ストレージデバイスの飛躍的な性能向上が必須であるが，すでに最先端のデバイスではサブサブミクロンオーダの微小構造を制御して作製されており，これまでの延長での性能改善には原理的にも技術的にも限界がある。今後は，ナノスコピックレベルでの磁性薄膜物性の本質を踏まえた研究による新しいデバイス研究が必須である。

本分野では垂直磁気記録方式を提案してその優れた高記録密度性を理論と実験を通じて実証してきている。同時に，このためのデバイス研究も積極的に進め，高分解能単磁極ヘッドと高密度垂直媒体を用いて実際の記録再生特性を通じた研究成果を蓄積している。これらの観点から，本分野では最も重要なストレージデバイスであるヘッドディスクを中心に検討を行うとともに，これまでのストレージデバイス研究では必ずしも十分でなかった微細磁気物性とデバイス性能の関連についても積極的な研究を行っている。

１）高分解能・高記録能力単磁極ヘッドの研究

昨年度までに原理試作を終えてその実用性能を確認した薄膜単磁極ヘッドについて，さらに高性能化を図るために，記録磁極の高飽和磁束密度化による記録能力の更なる向上と薄膜巻線の多巻線化を試み，重ね書き特性や電流記録感度などの改善を達成した。本研究は，共同プロジェクト研究による秋田県高度技術研究所との共同研究である。

また，磁気ヘッド応用で重要な数十ｎｍ以下の薄い軟磁性薄膜における磁気特性の制御に関して，パーマロイ膜を中心に調べ20ｎｍ以下の薄膜領域では異方性磁界が低下するとともに，比較的低温の熱処理でも磁化容易軸方位が変化しやすくなることも見出した。

2）高分解能垂直記録メディアの研究

垂直媒体については，本所附属工場と協力して立ち上げた高真空スパッタ装置による垂直磁気記録媒体について，今後の高密度化への検討を加えた。本年度は，記録層の厚みや磁気異方性などの検討を透過型電子顕微鏡観測やパルス磁界計測などの物性検討と記録特性の検討を対比させながら行なった。その結果，30ｎｍ以下の記録層厚さでは保磁力が低下する一方，50ｎｍ以上の厚さでは磁性粒子内で非一斉回転型磁化過程となって熱緩和耐性が効果的には発揮されないことが示唆され，30ｎｍ付近に最適点があることを示した。また，軟磁性裏打ち層についてもその材料や厚みなどについても最適化を行っている。

3）高密度垂直記録再生理論の研究

高密度磁気記録系の設計指針を確立するための理論的検討として，垂直記録磁化の再生応答の解析解と近似式を導いた。本表現式は実験と良く一致し，その有効性を示した。従って，本解析式により任意の記録磁化分布に対するヘッド応答を予測することが可能となり，重要な設計ツールとして利用できる。また，高密度化の大きな障害である媒体ノイズについても実験結果の詳細な解析と理論的な考察を対応させて新たな知見を得た。即ち，現状の垂直二層膜媒体では有限の磁気揺らぎがノイズの大きさを支配しており，測定された磁気揺らぎサイズに基づいて計算した結果は実測したノイズの性状を定量的に説明することを明らかにした。この結果に基づきボロノイ多角形を用いるモデリングを提示した。

以上は，垂直磁気記録の超高密度記録特性を予測する理論として今後重要である。

【職員】

教　授　杉田　　愃（1997年より）
助教授　村岡　裕明（1992年より）
助　手　渡辺　　功
助　手　島津　武仁

【教授プロフィール】

昭和35年東京大学理学部物理学科卒，同年（株）日立製作所中央研究所，昭和60年同社日立研究所，平成3年同社中央研究所，平成9年東北大学電気通信研究所教授。磁性薄膜，磁気バブルメモリ，薄膜磁気ヘッド，等の研究・開発及び実用化，並びに縞状磁区構造の発見，窒化鉄の巨大飽和磁化など磁性体物理学研究に従事。日本物理学会，電子情報通信学会，日本応用磁気学会，ＩＥＥＥ，各会員。理学博士。日本応用磁気学会会長。ＩＥＥＥフェロー。

【研究テーマ】

1．高分解能・広帯域単磁極ヘッドの研究
2．低ノイズ垂直磁気記録媒体の研究
3．高密度薄膜媒体の熱磁気緩和に関する研究
4．多層膜超高感度磁界センサ素子の研究
5．磁性薄膜物性の研究

【主な研究発表】

(1) H. Muraoka, K. Sato, Y. Sugita, Y. Nakamura, IEEE Trans. Magn. 35, 643-648, 1999.
(2) H. Muraoka, Y. Sugita, Y. Nakamura, IEEE Trans. Magn., 35, 2235-2237, 1999.
(3) S. J. Greaves, H. Muraoka, Y. Sugita, Y. Nakamura, J. Magn. Soc. Jpn. 23, 993-996, 1999.
(4) T. Shimatsu, J. C. Lodder, Y. Sugita, Y. Nakamura, IEEE Trans. Magn., 35, 2697-2699, 1999.
(5) 島津武仁・パウフィ・スリスティオ・駒込博泰・渡辺功・杉田愃・中村慶久，日本応用磁気学会誌, 23, 969-972, 1999.
(6) 姜文紅・村岡裕明・杉田愃・中村慶久，日本応用磁気学会誌, 23, 1001-1004, 1999.

光電変換デバイス工学研究分野

表面界面物性の研究と光電変換デバイスへの応用

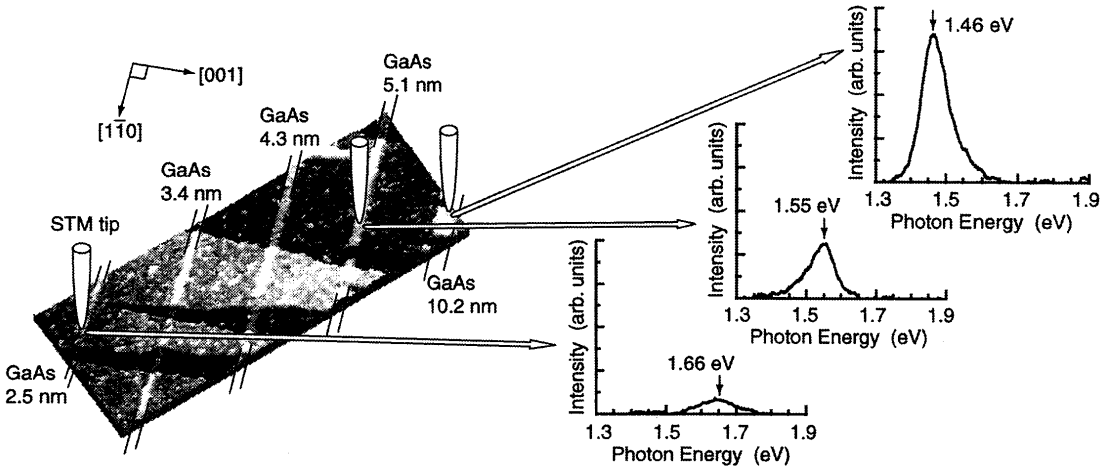


図１　AlGaAs/GaAs量子井戸劈開(110)面のSTM像(200 ×65 nm^2)と個々の量子井戸層のSTM発光スペクトル

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

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

1. 半導体量子井戸構造のSTM発光

STM探針を局所的なキャリアの注入源として用いるSTM発光分光は，量子井戸や量子ドットなどの単一の半導体量子構造の光学特性を探る有力な手段として注目されている。我々は，AlGaAs/GaAs量子井戸劈開(110)面の単一GaAs層からのSTM発光スペクトルを計測し，探針の注入位置と発光スペクトルの関係を調べた。その結果，注入された電子が発光に至るまでの距離は10nm程度（面内方向）であることがわかった。これはSTM発光分光がnmオーダーの空間分解能で半導体量子構造の光学特性を調べることが可能であることを示唆するものである。また，同一の井戸層上においても電子を注入する位置を20nm移動しただけで発光スペクトルの形状が変化することを見いだした。これは，ドーピング濃度の不均一性や探針直下の局所的な構造が発光スペクトルに反映していると考えられる。

2. Ge超微粒子の走査トンネル分光

数百個以下の原子で構成される半導体超微粒子は粒子のサイズに強く依存した特異な光学特性を示す。このサイズ依存性は量子閉じ込め効果や表面の効果に起因する。しかしながら，SiやGeなどの間接遷移型の半導体微粒子の物性のサイズ依存性については明確な結論が得られていない。本分野では，HOPG表面にGe超微粒子を孤立して堆積させ，サイズが異なる個々の超微粒子の電子状態を走査トンネル分光法によって測定した。得られたトンネルスペクトルには，超微粒子の直径の2乗に反比例する明確なバンド・ギャップが現れた。このバンド・ギャップのサイズ依存性は，直径が無限大の極限でバルクGeのバンド・ギャップに一致する。このことから，観測されたバンド・ギャップはバルクGeのバンド・ギャップが量子閉じ込め効果によって広がったものであると結論した。この結果は，フォトルミネッセンス法で観測されているGe超微粒子の発光スペクトルの粒子サイズ依存性を極めてよく説明することができる。

3. 液晶分子の光配向

直線偏光紫外光をポリイミド膜に照射すると偏光方向に平行に配向したポリイミド分子鎖が優先的に分解し，膜に異方性が誘起される。液晶分子はこのポリイミド膜の異方性によって偏光方向に対して垂直に配向する。そこで，紫外光照射によって液晶分子の配向を制御するためには，偏光紫外光に対する分解の異方性が大きいポリイミド材料を用いることが重要である。本分野ではシクロブタン環を含むポリイミド材料に注目し，その偏光紫外光に対する分解の異方性及び光分解に伴う分子配向変化を偏光赤外分光法によって調べた。その結果，紫外光の偏光方向に平行に配向したポリイミド分子のシクロブタン環が優先的に裂開すること，その光裂開反応の異方性が非常に大きいこと，シクロブタン環の裂開後に裂開されたポリイミド分子の配向がランダムになることを明らかにした。また，偏光紫外光照射されたポリイミド膜の表面異方性はラビング処理（現在広く用いられている配向処理法）によって誘起される膜表面の異方性に匹敵することがわかった。

○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
JST研究員　岩見　正之
JST研究員　荒船　竜一

○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. Evidence for Germanium Phosphide Dots on Ge(001), D. J. Bottomley, M. Iwami, Y. Uehara, and S. Ushioda, J. Vac. Sci. Technol. A **17**, 698-703 (1999).
2. Molecular Orientation of Liquid Crystal Monolayers on Polyimide Films Exposed to Linearly Polarized UV Light, K. Kumagai, K. Sakamoto, K. Usami, R. Arafune, Y. Nakabayashi, and S. Ushioda, Jpn. J. Appl. Phys. **38**, 3615-3618 (1999).
3. Combined HREELS/LEED Study on the Oxidation of GaN Surfaces, T. Tsuruoka, M. Kawasaki, S. Ushioda, R. Franchy, Y. Naoi, T. Sugahara, S. Sakai, and Y. Shintani, Surf. Sci. **427-428**, 257-261 (1999).
4. A Model of Inclined Orientation of Polyimide Backbone Structures in Rubbed Films, R. Arafune, K. Sakamoto, and S. Ushioda, Mol. Cryst. Liq. Cryst. **329**, 153-160 (1999).
5. Dichroism of a Polyimide Chain for Ultraviolet Light, K. Sakamoto, K. Usami, R. Arafune, and S. Ushioda, Mol. Cryst. Liq. Cryst. **329**, 393-400 (1999).
6. Scanning Tunneling Microscope Light Emission Spectra of Au(110)-(2×1) with Atomic Spatial Resolution, Y. Uehara, T. Fujita, and S. Ushioda, Phys. Rev. Lett. **83**, 2445-2448 (1999).
7. Light Emission Spectra of Individual GaAs Quantum Wells Induced by Scanning Tunneling Microscope, T. Tsuruoka, Y. Ohizumi, R. Tanimoto, and S. Ushioda, Appl. Phys. Lett. **75**, 2289-2291 (1999).
8. Anisotropic Molecular Orientation of Poly[4,4′-oxydiphenylene-1,2,3,4-cyclobutanetetracarboxyimide] Films Irradiated by Linearly Polarized UV Light, K. Sakamoto, K. Usami, T. Araya, and S. Ushioda, Jpn. J. Appl. Phys. **38**, L1435-1438 (1999).

9 Servomechanism for Locking Scanning Tunneling Microscope Tip over Surface Nanostructures, K. J. Ito, Y. Uehara, S. Ushioda, and K. Ito, Rev. Sci. Instrum. **71**, 420-423 (2000).

複合機能材料研究分野

量子力学の第一原理に立脚した計算物理学による現象の理解と予言，そして新機能探索



シリコン表面での原子層階段と電子雲の分布： ステップ近傍はエピタキシャル成長の成長の核となる。

テクノロジーを支える材料群を舞台とする現象は，量子力学によって微視的に解明されるはずである。80年代からの数学的手法の開拓と計算機能力の発達によって大きな展開を遂げてきた計算物理は，今や実際の物質の複雑な現象をターゲットとして，そこに内在する微視的な“からくり”を明らかにする力を備えてきた。本研究分野では，そうした計算物理のアプローチにより，シリコンあるいは他のIV族材料を舞台とする現象の微視的解明と新現象の予言を行っている。本年度の成果は以下のように要約される。

《Siエピタキシャル成長の微視的機構》

結晶成長現象は太古の昔から人々を魅了してきた。一方，現在の半導体テクノロジーでは，実験室あるいは生産現場で多層膜を形成する技術（エピタキシャル成長技術）が確立してきた。しかしその技術は，多分に経験と勘によっている。量子力学の第一原理からの理論計算によって，原子スケールでの成長現象の機構解明が望まれてきた。今回，水素化Si(100) 面での成長を取り上げ，IV族飛来原子の拡散経路と活性化エネルギーを決定した。ひとつの知見として，拡散は拡散種の単純な移動ではなく，水素の捕獲・放出を伴う複雑な現象であることがわかった。また単原子層ステップの下端には深い捕獲位置があり，エピ成長の核位置となることが示唆された。

《表面ナノ構造での新物性の予測》

最近のＳＴＭを用いた原子操作により，原子１個１個を表面に配置することも不可能ではなくなってきた。ひとつの例は，Si(100) 面上のGaのワイヤーである。従来このワイヤーは，日立基礎研究所のグループにより作成され，興味深いことに，非常に平坦なバンド構造を有することが示されていた。今回，密度汎関数法の局所スピン密度近似および一般化スピン密度勾配近似により，このGaワイヤーの構造安定性とスピン秩序を調べた。その結果，３つの（準）安足構造を見出し，そのうち

のひとつの構造は，電子的には強磁性状態であることを明らかにした。他の二つの構造との相対的安定性，構造間の転移の活性化エネルギー，他の秩序状態（電荷密度波状態，反強磁性状態）の可能性，キャリヤー・ドーピングの効果も吟味した結果，この強磁性状態は充分ロバストであることが示された。

《半導体中欠陥の科学》

物質中には必ず不完全性が存在し，その不完全性（例えば原子空孔なら母体原子の1000 万分の 1 の濃度）が母体物質の物性に決定的な影響を及ぼす。その典型は半導体中の原子空孔であろう。典型的半導体である Si 結晶中の単原子空孔，複原子空孔については昔から多くの研究があるが，それらが集積した多原子空孔については，その存在は疑い得ないにも係わらず，微視的同定は全くなされていない。今回，多原子空孔の安定サイズ（魔法数）と微視的な原子構造を，密度汎関数法の局所密度近似，一般化勾配近似を用いて明らかにした。6 原子空孔，10原子空孔が魔法数であり，緩和のパターンの特異性が解明された。また，半導体中に最もしばしば存在する水素原子（分子）が，この安定多原子空孔（負の Si クラスター）に捕獲される可能性を検討し，水素原子の化学ポテンシャルの関数としての水素修飾多原子空孔の安定性を明らかにした。さらにその多原子空孔に水素分子が捕獲される際のエナージェティクスを計算し，また水素分子の伸縮振動の周波数が，原子空孔のサイズによって変化することを突き止めた。振動数の計算には，周囲原子の緩和効果と電子相関効果の双方が重要であることがわかった。この理論的結果は，最近のラマン散乱実験で観測されている複数種類のピーク出現のパズルを無理無く説明した。

〈職員〉　教授（併任）　押山　淳

〈押山教授のプロフィール〉　1981年東京大学理学系大学院博士課程修了。理学博士（物理学）。1981年東京大学理学部助手。1983年 IBM Watson 研究所客員研究員。1985年　NEC 基礎研究所研究員。　1995年　筑波大学物理学系教授。

〈研究テーマ〉

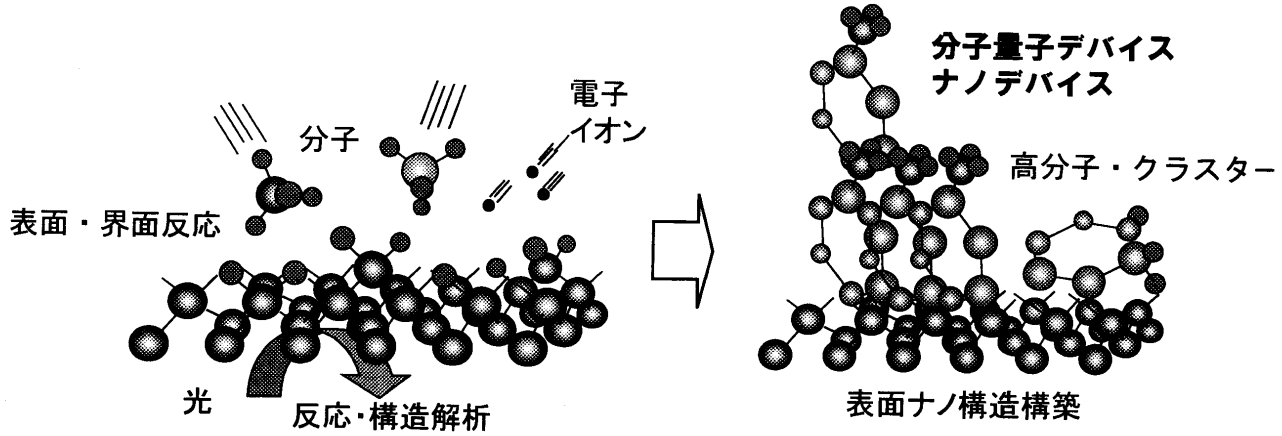
1. 計算物性物理学。第一原理計算の手法開拓とその応用。
2. 半導体物理学。半導体中の欠陥の原子・電子構造
3. 表面科学：　エピタキシャル成長の機構

〈主な研究発表〉

1. S. Jeong, A. Oshiyama, “Complex Diffusion Mechanism of a Silicon Adatom on Hydrogenated Si(100) Surfaces: On terraces and near Steps”, Surf. Sci. 433-435 (1999) 481-485.
2. S. Jeong and A. Oshiyama, “Energetics and Kinetics for Si-Ge Intermixing on Ge-adsorbed Hydrogenated Si(001) Surfaces”, Surf. Sci. 436 (1999) L666-L670.
3. S. Jeong and A. Oshiyama, “Chemical Difference in Surface Diffusion: Si and Ge Adsorption at the D_B Step on the Hydrogenated Si(100) Surfaces”, Phys. Rev B60 (1999) R11269 - R11272.
4. S. Okada, S. Saito, A. Oshiyama, “New Metallic Crystalline Carbon: Three-Dimensionally Polymerized C_{60} Fullerite” Phys. Rev. Lett. 83 (1999) 1986-1989.
5. T. Akiyama, Y. Okamoto, M. Saito and A. Oshiyama, “Multivacancy and Its Hydrogen Decoration in Crystalline Si” Jpn. J. Appl. Phys. 38 (1999) L1363-L1365.

電子量子デバイス工学研究分野

表面・界面反応プロセスの原子・分子レベル制御と表面ナノ微細構造の設計・解析



電子量子デバイス研究分野　説明図

21世紀に向けて，高次機能を有する情報処理電子デバイスの開発が重要な研究テーマとなっている。その開発におけるキーテクノロジーの一つが，ナノスケールや分子スケールの微細構造構築，そしてその構造制御である。そのために，微細構造創製プロセスの分子レベルでの制御と解析も重要な研究テーマとなりつつある。原子・分子レベルで制御された反応プロセスで構築されるナノ構造体は，これまでにない新しい物性機能の発現が期待できる。本分野では，構造規定された固体表面・界面での原子・分子レベル反応制御によってナノ構造デバイス，分子デバイスを構築することを目標に，表面・界面反応のその場観察や反応制御法の研究を行っている。また，生体分子や高分子・クラスターも視野に入れた，新しい物性機能を有する分子薄膜電子材料や分子量子デバイスの研究開発にも取り組んでいる。本年度の主な研究成果は以下の通りである。

（1）シラン系分子の新しい吸着状態・吸着過程を解明

シリコン・テクノロジーにおいて，表面状態・構造を原子レベルで制御する必要があり，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必須である。本研究分野では，これまでに半導体表面反応“その場”観察用の超高感度赤外分光解析システムの製作に成功した。このシステムは表面の化学状態・構造を原子・分子レベルで解析でき，また表面反応過程をリアルタイムで追跡できる。本年度は，この装置を用いて，主にシリコン表面におけるシラン系分子の吸着・分解反応を調べた。この表面反応の解析にはSi表面上の水素化物の種類や吸着状態を明らかにする必要があり，そのためにSi-H伸縮振動領域の赤外吸収スペクトルを集中的に分析した。さらに，詳細な表面化学種同定のために，第一原理計算によるSi-H伸縮振動数の計算を行い，計算と実験との比較を行った。その結果，これまで報告されていない吸着状態や吸着過程を新たに見出すことができた。

（2）Si電極のエッチング過程を分子レベルで解明

Si表面にナノ構造を形成する方法の一つは，表面を電気化学的にエッチングすることである。ナノ構造構築の第一段階として，エッチング過程の原子レベルの解明

を試みた。評価・分析センターで開発した，半導体固液界面赤外分光”その場”解析装置を用いて，フッ酸溶液中のシリコン電極表面化学状態の変化をリアルタイムで分析した。溶液中では表面が水素で終端され，水素化物で覆われているが，半導体電極に印加する電圧の値によって，エッチングされる表面の水素化物の種類が異なることが分かった。ある電極電圧以上では水素化物の種類によってエッチングされ易さは変わらない。そのため表面は一様にエッチングされる。しかし，それ以下では特定の水素化物が優先的にエッチングされ，エッチピットが形成されることが分かった。これは，電極表面で微細構造の自己組織化現象が起こっている可能性があり，基礎化学的にも興味深い。この結果は，溶液中で半導体表面上に微細構造（例えばナノ・ホール）を構築できる可能性を示唆しており，電圧制御ナノ構造形成法につながると期待できる。

（3）超高感度半導体表面赤外モニタ装置の開発

次世代の大型Siウェーハ(直径300mm)上の有機汚染を多重内部反射赤外分光法を用いることにより非接触・非破壊かつ高感度に“その場”観察する技術の開発を続けている。今年度は，特にウェーハ表面上に吸着した水分子の分析性能について調べた。本研究分野で開発した評価装置は，1分子層以下の水分子の付着をリアルタイムで，なおかつ数分の時間内でモニタできることが分かった。現在，シリコン半導体ウェーハ表面状態管理に活用する方法について検討中である。

＜職員＞

教　授　　庭野　道夫（1998年より）
助　手　　庄子　大生（1999年より）
助　手　　木村　康男（1999年より）

＜庭野道夫教授のプロフィール＞

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

＜研究テーマ＞

1．半導体表面・界面の構造と機能の研究
2．固体表面と分子の反応ダイナミクスの研究
3．有機分子・クラスターを用いた分子エレクトロニクス
4．機能性分子デバイス材料の形成と評価
5．高感度表面センシング・システムの開発研究

＜主な研究発表＞

1. In-situ IR observation of etching and oxidation processes of Si surfaces”, Michio Niwano, Surf. Sci. 427-428, (1999) p.199.
2. F. Hirose, H. Sakamoto, M. Terashi, J. Kuge and M. Niwano, “Hydrogen adsorption and desorption on SiGe investigation by in situ surface infrared spectroscopy”, Thin Solid Films vol.343-344 (1999) p. 404.
3. D. Shoji, M. Shinohara, Y. Kondo, and M. Niwano, “Photoemission study of the metal deposition on the $(NH_4)_2S_x$-treated GaAs(100) surface at room temperature”, J. Electro. Spectr. & Related Phenom. 101-103 (1999) pp. 315.
4. M. Endo, H. Yoshida, Y. Maeda, N. Miyamoto and M. Niwano, “Infrared monitoring system for the detection of organic contamination on a 300 mm Si wafer”, Appl. Phys. Lett. Vol.75 (1999) p.519.
5. 篠原正則, 庄子大生, 前濱剛廣, 赤間洋介, 庭野道夫, “$SiH_x(CH_3)_{4-x}$分子のSi表面吸着過程の赤外反射分光解析”,電子通信学会論文誌C-II(Trans. the IEICE, C-II) J82-C-II, (1999) p.557.

3. 3　コヒーレントウェーブ工学研究部門の目標と成果

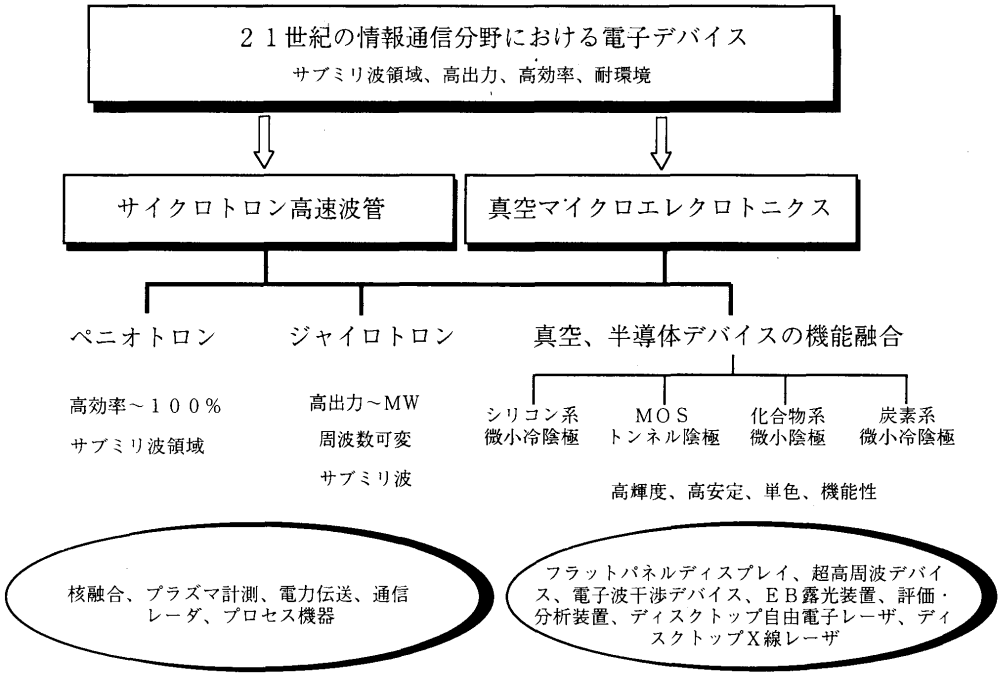
コヒーレントウエーブ工学研究部門は、平成６年６月本研究所が３大研究部門、１実験施設に改組・転換した折り、３大研究部門の一つとして組織された。本研究部門は、バリアフリーの電気通信技術の構築を目標に、その根幹を成す電波、光波、超音波の広帯域にわたる発生、伝送、処理の研究を行うことを目的としている。具体的には、電波、光波による超大容量情報通信技術、及び高速・高効率信号処理技術に関わる下記の研究目標を掲げている。すなわち、前者は、超大容量の情報を光ファイバ通信網で伝送するために、光をミリ波・サブミリ波で変調・復調するための技術・システム、光をパーソナルに使えるようにするためのデバイス技術の研究、及び地震等の災害に強い宇宙空間利用の大容量情報通信の研究であり、後者は限られた周波数帯域を有効に用いるためのスペクトル拡散通信など、超音波信号処理の特性を活かした小電力通信技術の研究を目的とした。本研究部門はこれらの研究目標を遂行するため、電磁波関連の研究を主とする３研究分野、光波関連の２研究分野、音響波関連２研究分野と量子波の研究を中心とする１客員研究分野の８研究分野により構成されている。また、超高密度・高速知能システム実験施設の超高速電子デバイス部は、コヒーレントウエーブ工学研究部門の関連分野として、各研究分野と協力して部門の管理・運営、目標の達成に当たると共に、遠赤外電磁波の発生や電子スピン制御による信号処理など新しい領域を開拓している。

これら８研究分野及び施設１部の具体的な研究項目と平成11年度の研究成果の概要は分野毎にまとめられているが、誘電体結晶中の光パラメトリックや量子構造中のサブバンド間光学遷移による高効率、広帯域THz電磁波の発生、ミリ波の近接場や誘電率の非線形性を用いた新しい原理に基づく走査型顕微鏡の開発、真空と半導体の機能融合によりマイクロ波からサブミリ波帯域の高性能デバイスの開発など、情報通信の基盤技術の構築とその推進に資するための独創的、かつ先駆的な研究に取り組んでいる。さらに、誘電体線路を基本とするミリ波帯光変調器やフォトニック結晶による３次元光導波路の開発、スペクトル拡散通信方式を用いた新しい近似同期CDMA方式の開発など、情報の伝送・処理における将来の情報通信の根幹をなす諸技術においても数多くの顕著な先駆的業績をあげている。このように、各研究分野及び施設の関連研究部の研究経過は、改組・転換時に掲げた目標、高速・大容量通信のための先端デバイス開発と通信技術の構築に向けて、60％～70％の着実な進展を見せている。

一方、これらの研究業績を更に発展させ、バリアフリー通信を目指す広範なニーズと通信環境への適応を可能とするためには、これらの目的に即応できるシステムの構築が求められる。このため、平成12年度より先端ワイヤレス通信技術研究分野及び通信環境工学研究分野（フロンティア研究分野）を新たに発足させた。さらに、超高速・高度通信技術構築への要求に応えるべく、光波通信を含む総合システム技術として展開できるよう研究分野の改組及び研究目標の策定の作業を進めている。

極限能動デバイス研究分野

真空エレクトロニクスとその工学的応用の研究



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

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

ペニオトロン管のサイクロトロン3次高調波動作において，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が75% に達する動作に成功した。また，真空電子デバイスに特有なエネルギー回収機構を用いることにより，実効的に変換効率を92%まで高め得ることを明らかにした。現在，これらの結果を基にして発振周波数35GHzにおいて発生電力10KW と実用レベルの発振管の開発を進めている。一方，高周波数化の試みとして，サイクロトロン高次高調波を用いた発振実験を行い，サイクロトロン 0次高調波動作において発振周波数100GHzの動作に成功した。現在，さらなる高周波数化を目指してサイクロトロン17次高調波および27次高調波動作による発振管の開発研究を進めている。また，サイクロトロン高速波管の広帯

域化に取り組み，Xバンド帯の単一モードにおいて周波数連続可変 (8～12GHz) の動作に成功した。さらにこの結果を踏まえて，Eバンド (60～90GHz) において動作する周波数可変ジャイロトロンを開発し，発振に成功した。

真空マイクロエレクトロニクス用微小電子源の研究においては，まず放射電流の安定化を図るため，接合型電界効果トランジスタ (JFET)をモノリシックに組み込んだ Si FEA を製作した。これにより，放射電流の安定化及び，0から0.45Vの JFET の制御電圧で 5 桁にわたる放射電流の制御が可能なことを示した。次に，微小電子源をフラットパネルディスプレイへ応用する際重要となる放射電子ビームの低発散角化を実現するため，収束電極を組み込んだ，ポリシリンコン２段ゲート型電界放射陰極を考案，その試作に成功した。また，放射電子の低エネルギー分散化のため，GaAs/AlAs 単一量子構造からなる平面型共鳴トンネルエミッタを製作した。このエミッタでは，共鳴トンネル効果を放射電子のエネルギーフィルタとして用いるため，低エネルギー分散化を実現できると考えられる。製作した共鳴トンネルエミッタの電圧－電流特性より，共鳴トンネル効果と関わる電子放射を得た。現在，放射電子のエネルギー計測の準備を進めている。さらに，マイクロマシーニングを用いてGaAs横型エミッタ製作した。これは，GaAsエミッタ中のGunn 効果を利用して，マイクロ波，ミリ波領域の集群電子ビームを発生させようとするもので，これにより小型，高効率のマイクロ波，ミリ波帯電磁波源の開発を目指している。実験の結果，Gunn 効果により周期的に走行する空間電荷を真空中へ取り出せることを確認した。

＜職員＞
教　授　横尾　邦義（1993年より）
助教授　三村　秀典（1996年より）
助　手　佐藤　信之
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，マイクロ波帯電子ビームデバイス，半導体デバイス，真空マイクロエレクトロニクスデバイスの開発研究に従事。電子情報通信学会，電気学会，応用物理学会，IEEE会員。

＜主な研究発表＞
○T. Ishihara, K. Sagae, N. Sato, H. Shimawaki and K. Yokoo, “Highly Efficient Operation of Space Harmonic Peniotron at Cyclotron High Harmonics”, IEEE Trans. on Electron Devices 46, 1999, 798 - 802.
○N. Sato, H. Shimawaki, K. Yokoo, J. Sakuraba, Y. Yamada and K.Watanabe, “Fabrication of Liquid Helium-Free Superconducting Magnet for Millimeter Wave Gyrotron”, Int. J. of Infrared and Millimeter Waves 20, 1999, 979 - 989.
○Y. Neo, M. Niwano, H. Mimura and K. Yokoo, “Growth of Aluminum on Silicon Using Dimethyl-ethyl Amine Alane”, Appl. Surf. Sci. 142, 1999, 443-446.
○H. Mimura, M. Hosoda, N. Ohtani and K. Yokoo, “Γ－X Electron Transfer in GaAs-AlAs Type-I Superlattices”, Appl. Surf. Sci. 142, 1999, 624-628.
○K.Yokoo, “Functional Field Emission for High Frequency Wave Application”, Tech. Digest of 12th Int. Vacuum Microelectronics Conf. pp.206-207, 1999.
○H. Mimura, Y. Neo, K. Okamura, H. Shimawaki and K.Yokoo, “Resonant Tunneling Emission from GaAs/AlAs Quantum Structures”, Tech. Digest of 12th Int. Vacuum Microelectronics Conf. pp.378-379, 1999.
○H. Mimura, D. Arslan, H. Hartnagel, K. Tajima, K. Okamura, H. Shimawaki and K.Yokoo, “Lateral GaAs Field Emitters Fabricated by Micromachining Technique”, Tech. Digest of 12th Int. Vacuum Microelectronics Conf. pp.146-147, 1999.

テラヘルツ工学研究分野

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

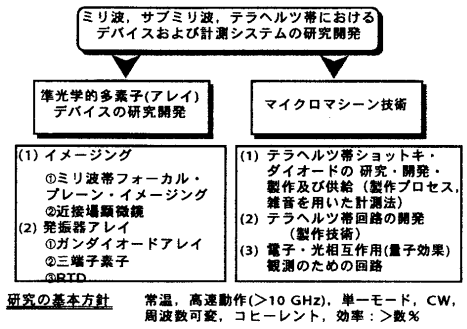
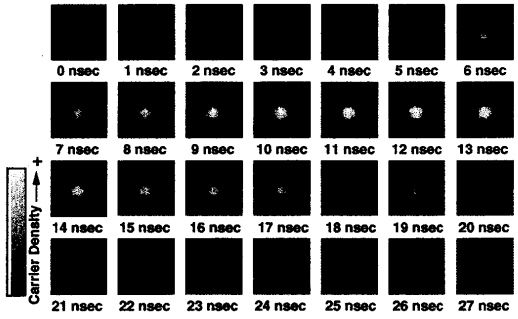


図1 テラヘルツ工学研究分野のアウトライン



（画像サイズ：2mm×2mm）

図2 光励起キャリア分布の時間変化

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

以下に本年度の主な研究成果について述べる。

《ミリ波帯イメージング技術の研究》通常のイメージング技術では，その分解能は，光学系の回折により制限され波長オーダになる。一方，最近光領域にて活発な研究が行われている近接場顕微鏡では，その分解能はプローブの形状により決定され，波長よりも十分に小さくすることが可能である。我々は導波管端面のスリット構造を用いる新型プローブを提案している。本年度は，我々のミリ波帯近接場顕微鏡システムを，半導体中フォトキャリア分布の時間変化の観測に適用し，時間分解能 1 nsec での観測に成功した。（図2）

《発振器アレイの研究》短ミリ波，サブミリ波，テラヘルツ帯技術を開発するに際して，コヒーレントで同調可能な発振器の開発は不可欠である。この領域の固体素子は，いずれも出力が小さく実用的なものからは程遠い。発振器アレイを用いたコヒーレントな電力合成の研究は，固体素子のこの欠点を克服するものである。本年度は，ホーンアンテナを用いた電力合成器に対して，出力モードの変換器を考案，設計・製作を行い，60GHzにおいて金属導波管の基本モードであるTE_{10}モードの出力を得ることに成功した。また，36個の HEMTを回折格子に配列し，ファブリ・ペロー共振器を構成した電力合成装置において，10GHzでの電力合成実験に成功した。

《ショットキ・ダイオードの開発》ショットキ・ダイオードは，高速検出器，ミク

サー，周波数逓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。我々は，これまでに直径0.3μmまでのPt/GaAsショットキ・ダイオードの開発を行い，主として核融合プラズマ計測用のテラヘルツ帯検出器としてわが国をはじめ，世界各国の諸研究所に供給してきた。本年度は次世代超高温・高密度プラズマの計測のために，5.2THz帯ダイオード（直径0.25μm）の研究開発を行い，ビデオ感度3 V/W*のトップデータを得，実用的な検出器の開発に成功した。

《光と電子との相互作用に関する基礎研究》クライストロン等電子ビーム装置のCW動作の高周波限界は，量子効果に制限されてテラヘルツ帯にあるとされている。本研究は，この理論的な予想を実験によって検証するために計画されたもので，可視光（$h\nu$=1.6 eV)と相互作用した電子ビームのエネルギーを精密に測定することを目的としている。本年度は可視光領域における実験の予備段階として，赤外領域（10.6μm）にて動作する微小間隙回路を設計，製作し，赤外光と電子ビームとの相互作用を実験的に観測することに成功した。　（*文部省核融合科学研究所にて測定）

〈職員〉教　授　水野皓司 (1984年より)
助教授　裵　鐘石 (1992年より)
助　手　濱野哲子
助　手　荒木　実

〈水野皓司教授のプロフィール〉

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

〈研究テーマ〉

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

〈主な研究発表〉

1. T. Suzuki, T. Yasui, H. Fujishima, T. Nozokido, M. Araki, O. Boric-Lubecke, V. M. Lubecke, H. Warashina, and K. Mizuno, "Reduced Low Frequency Noise Schottky Barrier Diodes for Terahertz Applications," IEEE Trans. Microwave Theory Tech., vol. 47, pp. 1649-1655, 1999.
2. K. Ohtaka, Y. Suda, S. Nagano, T. Ueta, A. Imada, T. Koda, J. S. Bae, K.Mizuno, S. Yano, and Y. Segawa, "Photonic band effect in a two-dimensional array of dielectric spheres in the millimeter-wave region," Physical Review B, vol. 61, no. 8, pp. 5267-5279, 2000.
3. 莅戸立夫，裵　鐘石，水野皓司，"ミリ波帯近接場顕微鏡による光励起キャリアの画像化," 電気学会論文誌 C, vol. 119-C, pp. 1100-1105, 1999.
4. 裵　鐘石，水野皓司，" 電子ビームを変調する光，" 光学, vol. 28, pp. 503-507,1999.
5. N. Oyama, A. Mase, H. Negishi, T. Tokuzawa, A. Itakura, T. Tamano, K. Yatsu, K. Watabe, K. Mizuno, Y. Nagayama, K. Kawahata, H. Matsuura, K. Uchida, and A. Miura, "Development of millimeter-wave two-dimensional imaging array," Rev. Sci. Instrum., vol. 70, pp. 1003-1006, 2000.
6. 米山正秀，山際　基，澤井秀文，水野皓司，" ボルツマンマシンによるミリ波劣化画像からの原画再生，" Journal of Signal Processing, vol. 3, pp. 481-490, 1999.

応用量子光学研究分野

多次元高機能コヒーレント光源の創出とその応用に関する研究

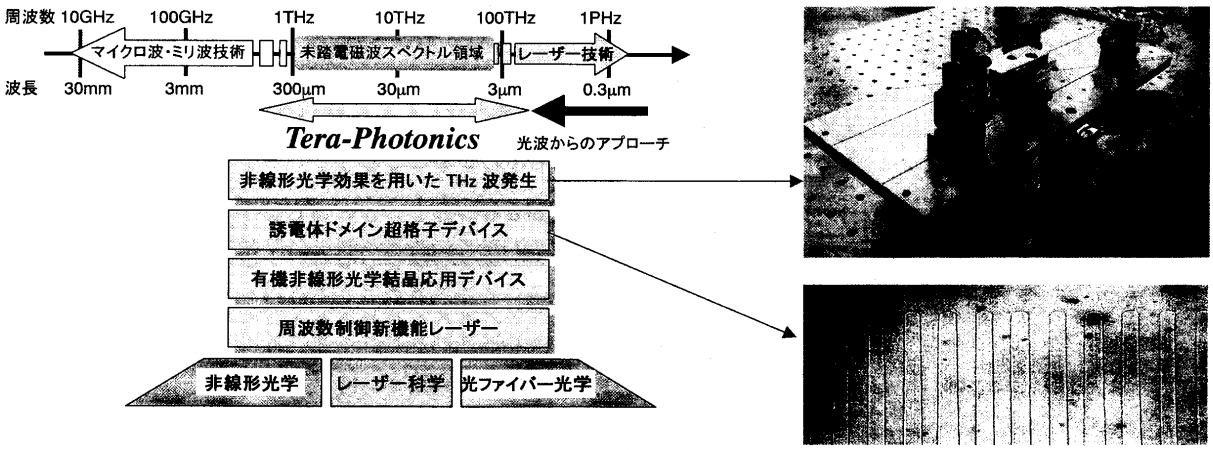


図1 レーザー制御技術による未踏周波数領域の開拓

応用量子光学研究分野では，強誘電体，半導体，有機の各種非線形光学材料に対するミクロな構造制御や，レーザー発振動作に対する高度な時間的空間的制御により，光波からテラヘルツ波に至る広範なコヒーレント波の発生を行うとともに，その検出・制御までの一貫した研究を推進しており，その知見と成果に基づいた新たな科学技術分野であるテラフォトニクスの確立と体系化を目指している（図1)。

＜ドメイン制御非線形光学＞

周期ドメイン反転誘電体結晶を用いた擬似位相整合法（QPM）は，高効率な波長変換が可能な第二世代非線形光学デバイスへのキーテクノロジーとして急速に技術革新が進んでいる。我々は，世界に先駆けてドメイン制御非線形光学デバイスの研究を行っており，$LiNbO_3$，$MgO:LiNbO_3$，$LiTaO_3$結晶においてデューティー比が1:1に制御されたドメイン周期構造の再現性良い作製に成功し，光パラメトリック発振（OPO）において材料の吸収端(4.5μm)をはるかに超える波長7.3μmまでの波長可変域を達成した。また，2つのドメイン周期構造を有するモノリシック2波長発振QPM-OPOデバイスや，ウエハーボンディングを利用した高出力のQPM-OPOデバイスも実現している。さらに，電気光学（EO）効果を利用したQPM-OPO分光システムを構築し，中赤外域における気体の微分分光測定に成功した。

＜非線形光学効果を用いた広帯域波長可変コヒーレントTHz波発生＞

光波と電波の境界にあるテラヘルツ波（THz波）領域は，未開拓の電磁波スペクトル領域であり，分子科学，物性物理学，生命科学において新たな現象の発見をもたらす可能性がきわめて高く，また環境計測や医療，産業応用等においても幅広い展開が期待される。我々は非線形性に優れた$LiNbO_3$や$MgO:LiNbO_3$結晶を用いたレーザー励起パラメトリック発振により，98～420μm（0.7～3.1THz）にわたる広帯域波長可変性と10mW以上(ピークパワー)の高出力を実現し，さらに連続波シード光源を用いた光注入法を導入してTHz波スペクトルの大幅な狭帯域化にも成功した。また，本光源を用いた高輝度・高分解能THz波干渉分光光度計を構築している。

また，$LiNbO_3$に比べて1桁以上高い非線形光学係数を有する有機非線形結晶DAST(4-

dimethylamino-N-methyl-4-stilbazolium tosylate)の高品質な結晶育成に成功しており，KTPやQPMデバイスを用いた2波長発振OPO光源を用いた差周波混合による波長可変コヒーレントTHz波の発生や，高感度なEO電界センサーを実現している。

＜周波数シフト帰還型レーザー＞

周波数シフト帰還型（FSF）レーザーは，共振器内に挿入された音響光学素子（AOM）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をもつ。我々はその発振機構の解明において先駆的な研究を行っており，圧力や温度等の高精度な光計測への応用研究に取り組んでいる。また，レーザー媒質としてエルビウム添加ファイバー（EDF）を用いたファイバー型FSFレーザーにおける発振に成功しており，AOMの駆動周波数により発振波長を1.549～1.559 μ mの範囲にわたって電子的に同調することが可能である。このファイバー型FSFレーザーを用いて，光学長 150 kmの光ファイバーを分解能 40 mm で測定することに成功している。また，観測されるビートスペクトルの半値幅から，測定対象の群速度分散を測定可能であること，および高速光伝送通信における問題点である偏波モード分散（PMD）の測定が可能であることを提案し，実験的確認にも成功した。これらは既に敷設されている通信用ファイバのPMDの評価にも適用でき，高速通信網の診断に有力な手段となることが期待される。

職員
教　授　伊藤弘昌(1993/1～)
助教授　谷内哲夫(1996/1～)
助　手　四方潤一，中村孝一郎
技　官　今野勇治，田久長一
技術補佐員　庄子鉄雄，齋藤美紀子
秘　書　津田 亜紀子

教授のプロフィール

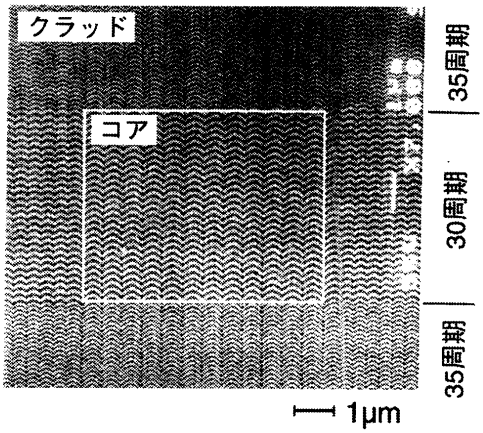
1966年東北大学工学部通信工学科卒，1972年同大大学院工学研究科電子工学専攻博士課程修了。工学博士。同大学電気通信研究所助手，助教授を経て現職。この間，1975～1976年に日本学術振興会派遣によるスタンフォード大学客員研究員。1998年より理化学研究所フォトダイナミクス研究センターのチームリーダーを兼務。レーザーおよび非線形光学とその応用研究に従事。昭和46年度米澤記念学術奨励賞，平成１年度電子情報通信学会論文賞。応用物理学会，電気情報通信学会，日本光学会，レーザー学会，IEEE各会員。OSAフェロー。

主な発表論文（1999年度）

1. M. Sato, T. Hatanaka, S. Izumi, T. Taniuchi, and H. Ito, "Generation of 6.6-μ m optical parametric oscillation with periodically poled $LiNbO_3$," Appl. Opt. **38**, pp.2560-2563 (1999).
2. J. Shikata, K. Kawase, M. Sato, T. Taniuchi, and H. Ito, "Characteristics of Coherent Terahertz Wave Generation from $LiNbO_3$ Optical Parametric Oscillator," Electron. Commun. Jpn. **82**, pp.46-53 (1999).
3. J. Shikata, K. Karino, H. Ito, and K. Kawase, "Tunable terahertz-wave generation from MgO:$LiNbO_3$ optical parametric oscillator," OSA TOPS **26**, pp. 481-486 (1999).
4. 森川顕洋, 川瀬晃道, 四方潤一, 谷内哲夫、伊藤弘昌, "台形非線形光学結晶を用いたテラヘルツ帯パラメトリック発振器," レーザー研究 **27**, pp.426-429 (1999).
5. S. Sohma, H. Takahashi, T. Taniuchi and H. Ito, "Organic nonlinear optical crystal DAST growth and its device applications," Chem. Phys. **245**, pp. 359-364 (1999).
6. K. Kawase, M. Mizuno, S. Sohma, H. Takahashi, and T. Taniuchi, Y. Urata, S. Wada, and H. Tashiro, H. Ito, "Difference-frequency terahertz-wave generation from 4-dimethylamino-N-methyl-4-stilbazolium-tosylate by use of an electronically tuned Ti:sapphire laser," Opt. Lett. **24**, pp. 1065-1067 (1999).
7. S. Haidar and H. Ito, "Injection-seeded optical parametric oscillator for efficient difference-frequency generation in mid-IR," Opt. Commun. **171**, pp. 171-176 (1999).

光集積工学研究分野

フォトニック結晶とその応用デバイスの研究



格子変調型導波路断面のSEM写真

○本分野の目標

屈折率の多次元周期性を持つ構造は、電子系の固体結晶との類似性から，光子にとっての結晶，すなわちフォトニック結晶と呼ばれる。フォトニック結晶を用いることで光の制御性を飛躍的に向上させることができるため，ここ数年光の分野で大きな注目を集めている。本分野では，世界に先駆けて多次元フォトニック結晶の実用的な作製方法である自己クローニング法を提案・実証し，それを用いた新機能光デバイスの開発を行っている。

最近では，遮断域におけるフォトニックバンドギャップ効果のみならず，透過域における異方性や分散などバンド特性全体を利用する「フォトニックバンドエンジニアリング」への展開をリードすると共に，フォトニック結晶構造の周期を徐々に変化させる「格子変調型フォトニック結晶」を提案・実証するなど，フォトニック結晶の新しい応用分野を開拓する研究を急速に進めている。1999年より科学技術振興調整費によるフォトニック結晶に関する産官学共同研究をリーダーとして推進している。

○過去１年間の主な成果

(1) 可視光域用フォトニック結晶

従来は光通信への応用が重要視され，材料系も近赤外光を想定したものが中心であったが，本分野ではフォトニック結晶の光磁気ディスク用光学部品への応用もねらい，動作波長域を可視光域へ拡張する検討を行った。まず材料の検討を行い，TiO_2やTa_2O_5などの材料でフォトニック結晶を作製するプロセスを開発した。さらにこれらの材料系から成る2次元フォトニック結晶可視光域波長板を実現した。

(2) 格子変調型フォトニック結晶

フォトニック結晶は，波長が一定の場合，その周期が変ればその光学特性も変化する。例えば光から見た実質的な屈折率が変化する。従ってフォトニック結晶の周

期を場所により自由に変化させることにより，様々な光デバイスへの応用が可能となる。本分野ではこのようなフォトニック結晶の新しい概念を提唱するとともに，その原理を応用した導波路（前ページのSEM写真）や波長フィルタなどを提案した。柔軟な応用が可能な自己クローニング法を駆使し，実際のデバイスの作製と原理確認実験を進めている。

(3) 完全バンドギャップ

完全バンドギャップとは3次元フォトニック結晶において，特定の波長域で3次元方向すべてに対してバンドギャップが存在する場合を言う。この構造では，光の伝搬が完全に禁止されるため，光の完全な閉じ込めが可能となる。これは放射のない微小光回路といった魅力的な光デバイスの実現を意味する。この完全バンドギャップが，自己クローニング法で作製されるフォトニック結晶を基本構造とした構造により実現可能であることを，数値計算により実証した。現在はその実現に向けて，作製技術の検討を行っている。

(4) フォトニック結晶と機能性材料との融合

完全バンドギャップにより光の伝搬が禁止される場合，その中に発光体を埋め込むことができるならば，その発光効率は飛躍的に向上する。我々はその基礎的な検討として，発光材料をフォトニック結晶へ取り込むプロセスの検討を行った。Ⅲ－Ⅴ族系およびⅡ－Ⅵ族系発光材料をフォトニック結晶に取り込む技術を開発し，フォトニック結晶の光学特性を反映した発光を観測した。

○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
助　手　大寺　康夫
技　官　相澤　芳三
秘　書　菅田亜貴子

○教授のプロフィール

昭和40年東京大学大学院工学研究科博士課程修了。同年東北大学電気通信研究所助手。昭和41年助教授を経て，昭和54年より教授。グレーデッドインデックス光ファイバ，W型光ファイバの解析，設計など光デバイスの研究に従事した。1980年以降，光機能デバイス・部品に興味を持ち，積層形偏光素子（LAMIPOL，LPS），光アイソレータ，スイッチ，アンプ，ビーム拡大光ファイバ(TEC）等について研究した。ここ数年間はフォトニック結晶とその応用デバイス技術に力を注いでいる。電子情報通信学会，日本光学会，OSA各会員。IEEEフェロー。電子情報通信学会稲田賞（昭40），同会業績賞（昭62），同会功績賞（平10），市村賞貢献賞（昭52），服部報公賞（平8）受賞。電子情報通信学会副会長（平8～10）。2000年3月31日付けで定年退官。2000年4月より，本学未来科学技術共同研究センター客員教授。

○主な研究発表

[学会誌総合報告]

1. 川上彰二郎，大寺康夫，川嶋貴之，「フォトニック結晶の作製と光デバイスへの応用(総合報告)」，応用物理，vol. 68，no. 4，pp. 13335-1345(1999年12月）.

[国際会議招待講演]

1. T. Kawashima, T. Sato, S. Kawakami, "Self-organized 3-D photonic crystals: Fabrication by sputtering process and application devices," 43rd International Conference on Electron, Ion and Photon Beam technology & Nanofabrication (EIPBN99), ND4, Marco Island, USA, June 1999.

2. S. Kawakami, "Autocloning of three-dimensional photonic crystals and their applications," International Workshop on Femtsecond Technology (FST '99), TB-11, pp. 157-160, July 1999.
3. S. Kawakami, "Three-dimensional periodic nanostructures: Fabrication and applications," URSI General Meeting, Toronto, Canada, D-7, Aug. 1999.
4. S. Kawakami, "Automatic shaping of three-dimensional photonic crystals," European Conference on Optical Communication (ECOC99), Nice, France, pp. 236-239, Sept. 1999.
5. Y. Ohtera, O. Hanaizumi, T. Sato, T. Kawashima, and S. Kawakami, "Recent progress of autocloning technology," International Workshop on Photonic and Electromagnetic Crystal Structures(PECS2000), T1-3, Sendai, March 2000.

[速報論文]

1. Y. Ohtera, T. Sato, T. Kawashima, T. Tamamura and S. Kawakami, "Photonic crystal polarization splitters," Electron. Lett., vol. 35, pp. 1271-1272(1999).
2. 佐藤尚，三浦健太，川嶋貴之，川上彰二郎，「可視域透明材料からなるフォトニック結晶の作製」，電子情報通信学会論文誌 C-Ⅱ，vol. J82-C-Ⅱ，no. 9，pp. 524-525(1999年9月)
3. 花泉修，斎藤牧人，川上彰二郎，矢野聡，瀬川勇三郎，倉持栄一，奥哲，"3次元フォトニック結晶へのCdSの取り入れ，"電子情報通信学会論文誌 C-I, vol. J82-C-I, no. 10,pp. 606-607(1999年10月).
4. 花泉修，桜井康樹，相澤芳三，川上彰二郎，倉持栄一，奥哲，「3次元フォトニック結晶へのⅢⅤ族化合物半導体活性層の埋め込み」，電子情報通信学会論文誌 C，vol. J83-C，no. 3，pp. 232-233(2000年3月)

フォノンデバイス工学研究分野

強誘電体，常誘電体，圧電体材料などの評価・開発及びそれらを用いた高機能通信用超音波デバイスや超高密度記憶素子の一貫した研究

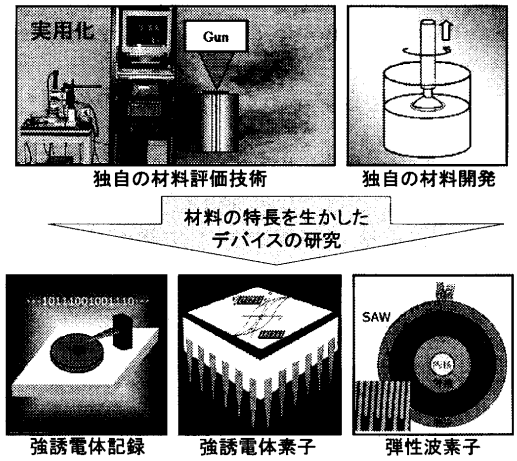


図1．フォノンデバイス工学研究分野の目標

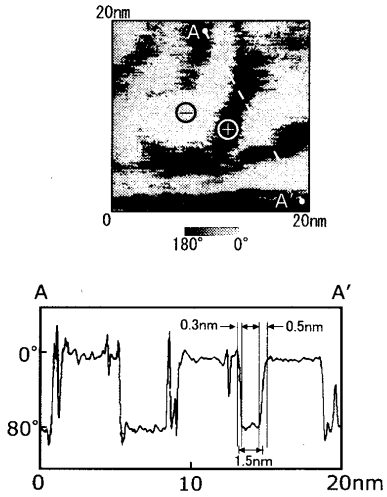


図2．SNDMによるPZT薄膜中のナノサイズドメインの観測

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

本年度の主な研究成果を要約すると，まず通信用超音波デバイスの研究に於いては，$KNbO_3$単結晶の非線形圧電定数を計測し，従来エラスティクコンボルバに用いている$LiNbO_3$単結晶の数倍から数十倍の巨大な非線形圧電定数を$KNbO_3$圧電単結晶は持っていることを明らかにした。その値を用いてＳＡＷエラスティックコンボルバに有用な基板カットを検討し，45°Y-X $KNbO_3$基板のコンボルバ効率は今まで効率がもっとも大きいとされていたY-Z $LiNbO_3$基板より25dBも大きな効率が得られることが分かった。

次に評価技術に於いては，１ナノメータ分解能を有する走査型非線形誘電率顕微鏡の開発と実用化に成功した。１ナノメータの大きさになると，強誘電体の単位格子が0.4ｎｍ程度の大きさであることより，もはや平均的な分極という概念は適用できなくなり幾つかの双極子モーメントを直接観測している可能性がある。また，理論的な展開も大きく進展し，新たに考案した計算手法により，顕微鏡像や面内分解能，深さ方向分解能の理論計算が可能になった。この結果より原子スケールの分解能が期待でき，かつ高分解能化のために探針半径をいくら小さくしても計測感度が下がることがないということが判明したため，固体中の単一双極子モーメントの可視化も夢物語ではないところまで来ている。さらに，理論解析結果を応用して線形・非線形誘電率分布の定量測定も可能になった。また本顕微鏡は，強誘電体のみならず一般の結晶の局所的な異方性を検出できる顕微鏡であることから，従来困難であった圧電基板上に成長した圧電薄膜の面方位の決定等，結晶学的にも超音波素子工学上の応用にも重要な知見を簡単に得る事ができる事も明らかになった。また極最近は，AFMとプローブを共通化することにより，表面形状と分極構造を同時に計測できるタイプの走査型非線形誘電率顕微鏡の開発にも成功し，これを用いてPZT

薄膜中に１ナノサイズの大きさの分極ドメインが存在していることも見いだしている。この様に，本顕微鏡プローブは純電気的に単純にナノサイズのドメインを観測できるため，強誘電体や圧電体の評価装置としてのみならず，強誘電体記録の読み込み書き込みピックアップとしても使用可能であり，強誘電体のドメインがナノサイズまたはそれ以下でも存在できることから，将来の超高密度誘電体記録に大きな可能性を持っていると考え更に研究を発展させている。最後にマイクロ波用誘電体セラミックスの誘電率温度係数分布が計測できかつ，ＳＥＭによる表面形状，ＥＰＭＡによる元素分布の同時計測が可能な走査型電子線誘電率顕微鏡の開発の成功した。分解能は光熱誘電率顕微鏡に比べ格段に向上しサブミクロン分解能での誘電率温度係数分布像の撮影に成功している。

＜職員＞助教授　長　　康雄（1997年より）
　　助　手　小田川裕之

＜研究テーマ＞
１．サブナノメータの分解能をもつ走査型非線形誘電率顕微鏡の開発とそれを用いた強誘電体材料・圧電材料の評価法の研究
２．非線形誘電率顕微法を用いた超高密度誘電体記録の研究
３．光（含む電子線）熱誘電率顕微鏡によるマイクロ波用誘電材料の評価法の研究
４．超高結合圧電単結晶・薄膜材料の探索とそれを用いた超音波機能素子の研究

＜主な研究発表＞
1. Y.Cho, K. Matsuura, S. Kazuta, H. Odagawa and K.Yamanouchi:" Observation of Ultrathin Single-Domain Layers Formed on $LiTaO_3$ and $LiNbO_3$ Surfaces Using Scanning Nonlinear Dielectric Microscope with Submicron Resolution", Jpn. J. Appl. Phys, Vol.38, No.5B (1999), pp.3279-3282.
2. H. Odagawa, K. Kotani, Y. Cho and K. Yamanouchi :" Observation of Ferroelectric Polarization in $KNbO_3$ Thin Films and Surface Acoustic Wave Properties" , Jpn. J. Appl. Phys, Vol.38, No.5B (1999), pp.3275-3278.
3. Y.Cho and K.Yamanouchi:" Scanning Nonlinear Dielectric Microscope for Investigation of Ferroelectric Domains", Ferroelectrics, Vol.222(1999),pp189-196.
4. Y.Cho and K.Yamanouchi:"Temperature Coefficient Image of Dielectric Materials using Scanning Photothermal Dielectric Microscope", Ferroelectrics, Vol.223(1999), pp.337-344.
5. Y.Cho, T.Kasahara and K.Fukuda:" Determination of the Temperature Coefficient Distribution of Dielectric Ceramics Using Scanning Photothermal Dielectric Microscopy", J. Am. Ceram. Soc., Vol.82, No.7(1999)pp.1720-1724.
6. Y. Cho, S. Kazuta, K. Matsuura: "Scanning Nonlinear Dielectric Microscopy with Contact Sensing Mechanism for Observation of Nano-Meter Sized Ferroelectric Domains", Jpn. J. Appl. Phys, Vol.38, No.9B (1999), pp.5689-5694.
7. Y. Cho, S. Kazuta, K. Matsuura: "SCANNING NONLINEAR DIELECTRIC MICROSCOPY WITH NANOMETER RESOLUTION", Appl. Phys. Lett, Vol.72, No.18(1999), pp.2833-2835.
8. Y. Cho, S.Kazuta, K. Matsuura and H. Odagawa:" SCANNING NONLINEAR DIELECTRIC MICROSCOPY FOR INVESTIGATION OF NANO-SIZED FERROELETRIC POLARIZATION" , The 7th International Colloquium on Scanning Probe Microscopy, (1999)p.34.
9. H.Odagawa and Y.Cho:" Simultaneous Observation of Ferroelectric Domain Patterns by Scanning Nonlinear Dielectric Microscope and Surface Morphology by Atomic Force Microscope", The 7th International Colloquium on Scanning Probe Microscopy, (1999)p.17.
10. K.Yamanouchi, H.Nakagawa, J. Ahmad Qureshi and H.Odagawa:" 10GHz-Range Surface Acoustic Wave Low Loss Filter Measured at Low Temperature", Jpn. J. Appl. Phys., Vol.38 (1999)pp3270-3274.
11. K.Yamanouchi and H.Odagawa:" Super High Electromechanical Coupling and Zero Temperature Coefficient Surface Acoustic Wave Substarte in $KNbO_3$ Single Crystal", IEEE Trans on UFFC, Vol.46, No.3 (1999)pp.700-705.
12. S.KAZUTA, Y.CHO, H.ODAGAWA and M.KADOTA:" Determination of Crystal Polaritiy of Piezoelectric Thin Film Deposited on Polar Substrate Using Scanning Nonlinear Dielectric Microscopy", Abstracts of 12th International Symposium on Integrated Ferroelectrics,189P (2000)P.239.
13. Y. CHO, K. OHARA, S. KAZUTA and H.ODAGAWA:" Image Production Mechanisum for Scanning Nonlinear Dielectric Microscopy with Super High Resolution and Its Application to Quantitative Evaluation of Linear and

Nonlinear Dielectric Properties of Ferroelectric Materials", Abstracts of 12th International Symposium on Integrated Ferroelectrics,002C (2000)P.10.
14. H.ODAGAWA and Y.CHO:" Simultaneous Observation of Nano-Sized Ferroelectric Domains and Surface Morphology Using Scanning Nonlinear dielectric Microscopy", Abstracts of 12th International Symposium on Integrated Ferroelectrics,188P(2000)P. 238.
15. Y.Cho, N.Oota, H. Odagawa and K. Yamanouchi:" Quantitative study on the nonlinear piezoelecyric effect in $KNbO_3$ single crystals for a super highly efficient SAW elastic convolver", J. Appl. Phys. , Vol.87 (2000), pp.3457-3461。

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世紀のワイヤレスマルチメディア社会において，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・ワーク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によるフレキシブルワイヤレスネットワークの実現を目的に，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)通信システム》
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・逆拡散のプロセスによりSS固有のS/N改善であるプロセスゲインが得られ，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 Multi-ple 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り復調するためには相関素子が必要であるが，特に携帯端末には低消費かつ小型相関素子が必須である。本研究分野では，IF(200 MHz)帯で非同期で相関処理を行うデバイスとして，ZnO/Si構造SAWコンボルバを開発・実用化し，国内認可第1号となる2.4GHz非同期SS無線モデムを開発した。
本年度は，SS-CDMA通信方式を用いたラスト1マイルアクセス網・WLL(Wireless-Local-Loop)の基盤技術の構築を目指した。(図2a)　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符号を使用し，SAWコンボルバを用いた相関回路の試作を行った。システム性能としてセル半径約150mが可能である事を示した。また，近似同期CDMA符号として，相互相関が零であるチャネル数を多く確保できる新たな2相および3

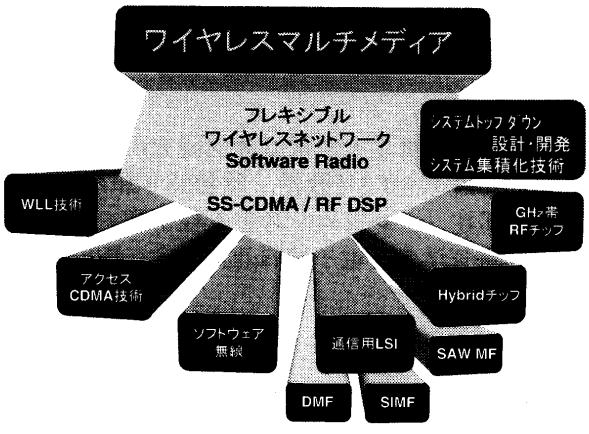


図1 電子音響集積工学研究分野の研究目標

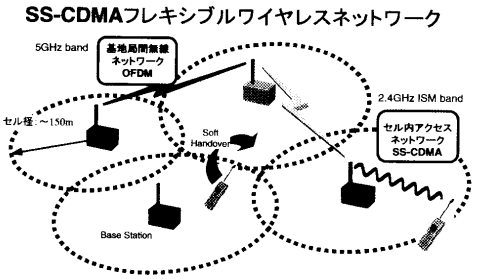


図2a セル化CDMAシステム

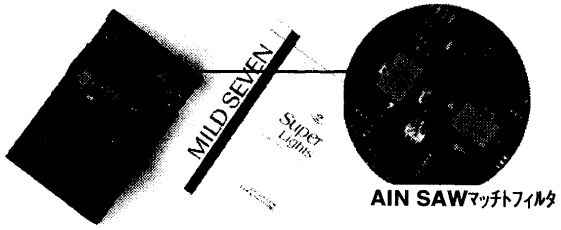


図2b 2.4GHzフロントエンドAIN SAWマッチトフィルタを用いた2.4GHzSS無線カード（PC card type-Ⅱ,2Mbps）

相系列を提案した。

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，2.4GHz SS信号を直接ベースバンドデータに復調するフロントエンドマッチトフィルタを用いる。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/Al_2O_3)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。これまで設計・開発したマッチトフィルタを用いて2MbpsSS無線カードを開発している(図2ｂ)。本年度は，拡散符号同期にSAWマッチトフィルタを用いたパケットSS-CDMA方式を提案し，実際に送受信機を構成して通信実験を行い，その実用性を評価した。

また，AlNエピタキシャル成長技術に関して，開発してきた2インチサファイア基板上に膜厚分布±1%でAlN膜を成長させる「クヌーセン圧MO-CVD技術」において問題となる表面クラックの発生について，高温成長による低減を図り，AlN薄膜のSAW伝搬特性評価により伝搬損失の大幅な低減を確認した。

《超低消費電力Si集積回路》

バッテリ動作Tele-Padの実現のためには，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，10mW以下の消費電力が実現可能なDS-CDMA移動端末用電流モードマッチトフィルタCC-SIMF(Curent-cut switched current matched filter)を提案している。本年度は，128Chip-SIMFを試作し，その相関特性を実測・確認した。またシステムから回路，デバイスレベルまでを一貫して評価する指標として，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）特性を提案し，CMOS集積回路のみならず単一電子トランジスタ(SET)回路にも適用可能である事を明らかにし，超低消費電力回路設計技術へと発展させている。さらに，シリコンLSIにおけるGHz信号伝送方式として高速RFバスラインの開発を行った。

《超微細シリコン技術》

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。本年度は，GHz帯CDMAデジタル携帯電話用送信アンプとして，高効率・線形動作が可能なCMOSアンプを提案し，回路構成について試作・シミュレーションにより評価した。またULSI多層配線形成プロセス技術として本研究分野で開発してきた選択AlCVD技術を量産化装置開発として，高速成膜のための有機金属原料の大量供給法であるDLI(Direct Liquid Injection)を導入し，堆積速度1 μm/minを実現した。

＜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
助　手　中瀬博之

＜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回市村学術賞貢献賞，平成8年第11回電気通信普及財団賞（テレコムシステム技術賞）受賞。平成9年第22回井上春成賞受賞。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. GHz帯SS-CDMAフレキシブルワイヤレスネットワークシステムの研究
2. GHz帯弾性表面波信号処理デバイス及び材料の研究
3. 超低消費電力シリコンアナログLSIの研究
4. シームレスインターコネクト実装技術の研究
5. ソフトウェア無線の研究

＜主な研究発表＞

1. K. Tsubouchi and K. Masu "Wireless Multimedia: SS-CDMA Technology" Proc. of International Symposium on Future of Intellectual Integrated Electronics (March 14-17, 1999, Sendai) p.259-268.

2. K. Masu, S. Shimano and K. Tsubouchi Matched Filter Type SET circuit for Room Temperature Operation Ext. Abst. 1999 Int. Conf. on Solid State Devices and Materials, Tokyo, p.82-83 (1999).

3. K.Togura, K. Kubota, K. Masu, and K. Tsubouchi
Nobel Low-Power Switched Current Matched Filter without Current-Transfer-Error Accumulation Ext. Abst. 1999 Int. Conf. on Solid State Devices and Materials, Tokyo, p.442-443 (1999).

4. S. Shimano, K. Masu and K. Tsubouchi, Reliability of Single Electron Transistor Circuits Based on Eb/No-BER Characteristics, Jpn. J. Apl. Phys., Vol.38 (1999) pp.403-405.

5. C.-H. Lee, T. Nishimura, H. Matsuhashi, M. Yokoyama, K. Masu and K. Tsubouchi, Crystallographic Structures and Parasitic Resistances of Self-Aligned Silicide TiSi2/Self-Aligned Nitrided Barrier Layer/Selective Chemical Vapor Deposited Aluminum in Fully Self-Aligned Metallization Metal Oxide Semiconductor Field-Effect Transistor, Jpn. J. Apl. Phys., Vol.38 (1999) pp.5835-5838.

6. J. S. Cha, S. Kameda, K. Takahashi, M. Yokoyama, N. Suehiro, K. Masu and K. Tsubouchi Proposal and Implementation of Approximately Synchronized CDMA System Using Novel Biphase Sequences International Technical Conference on Circuits/System, Computers and Communications (ITC-CSCC' 99), July 13-15, Niigata, Japan.56-59 (1999).

7. M. Yokoyama, T. Saito, R. Tachibana, A. Morimoto, K. Masu and K. Tsubouchi A High-Efficiency CMOS Class-B Push-Pull Power Amplifier for CDMA Cellular System Ext. Abst. 1999 Int. Conf. on Solid State Devices and Materials, Tokyo, p.572-573 (1999).

量子波動工学研究分野（客員分野）

光ソリトンによる超高速・長距離次世代伝送システムの研究

次世代の超高速光伝送システムの構築を目指して高速光ソリトン伝送技術を確立する。また，超高速光パルス技術ならびに分散制御技術を駆使してOTDM(Optical time division multiplexing)のテラビット伝送の基盤技術を確立する。

主な成果

＜光ソリトン伝送技術＞

（1）分散マネージソリトン（DM：Dispersion Managed）ソリトンにより40 Gbit/s×16チャンネル（伝送容量640 Gbit/s）で1,000 kmの伝送に成功した。周波数の利用効率は0.4 bit/s/Hzと今までで最高値を実現した。これにより，DMソリトンは高速長距離伝送ばかりでなく，DWDM分野にも利用できることを世界で初めて示すことができた。この方法の伝送路としては既設のSMF(NTTのネットワークの半分近くを占める）を使用するものであり，簡単な変更で既存の伝送システムをup-gradeできるのが特徴である。

（2）また，我々は独自に In-line synchronous modulationと呼ばれるソリトン技術を開発してきたが，今期は1チャンネルあたり80 Gbit/sという高速で，10,000 kmの２波長ＷＤＭ伝送に世界で初めて成功した。この方法では光ソリトンの非線形性（スペクトルの自己再形成力）と雑音の線形性との差を利用しており，原理的に距離に制限のない光伝送が可能であることが判っている。今期はこの手法を用いると偏波分散の問題点を低減できることも新たに報告した。アルカテルなどが最近この方法に力を入れ始めているが，このように高速な光信号を超長距離伝送する手法はこれ以外にないため今後利用される可能性が高い。

＜超高速光パルス技術＞

（1）高速のネットワークを作るためには　高速のパルス光源が不可欠であるが今回再生モード同期という手法ではじめて40 GH帯でサブピコ秒の発振に成功した。また，10 GHzのファイバレーザをANDOより販売を開始した。

（2）フォトニックネットワークへの新たな切り口として，波長スイッチングモード同期レーザを提案し，それを用いた新しい光ルーティングの基本実験に成功した。この結果をECOC '99 に報告し大きな反響を得た。本件ではレーザ１台で32～64波長を制御すべく他の研究グループとレーザ部品を現在開発中である。

（3）フェムト秒光パルスを用いてOTDM640 Gbit/s-100 km の線形伝送に世界で初めてに成功した。伝送路の高次分散の補償及び光ファイバ増幅器の広帯域化が大きいなポイントである。

（4）周波数シフト帰還型ファイバレーザにおけるモード同期法を提案し，その発振に成功した。各モードがコヒーレントにたされるため，測定用光源として利用すると大幅なSN 比の改善が期待できる。

＜分散制御技術＞
(1) チャープファイバブラッググレーティング（CFBG）における群遅延リップルを位相マスクの多重露光化で低減することに成功した。しかし100%除去出来たわけではなくまだ未知な部分が多いので今後この部分を詰める必要がある。
(2) さらに，非線形チャープFBGにより原理的な自動等化実験に成功したが，今後，電気誤差信号のフィードバックによる自動適応等化の実験まで進めていきたい。本分野は世界的にもホットな分野でありさらに注力して研究を進めたい。

職員名
客員教授　中沢　正隆（1999年４月より）

教授のプロフィール
1952年　山梨県生まれ。1980年　東京工業大学　大学院総合理工学研究科博士課程終了　工学博士。同年日本電信電話公社入社，茨城電気通信研究所。光ファイバ中の非線形光学効果，ソリトン通信，フェムト秒パルスレーザ，光ファイバ増幅器の研究に従事。1984－1985年　MIT客員研究員1989年－1997年　NTT 伝送システム研究所・アクセス網研究所，グループリーダ，特別研究員。現在　NTT フェロー，未来ねっと研究所グループリーダ。　平成元年11月　OITDA 桜井健二郎記念賞，平成2年10月　英国 IEE, Electronics Letters Premium Awards，平成6年5月および平成8年5月　電子情報通信学会業績賞，平成9年4月　科学技術庁長官賞（研究功績賞）など受賞。IEEE およびOSA Fellow。

研究テーマ
・ 光ソリトン伝送の研究
・ フェムト秒光エレクトロニクスの研究
・ モード同期パルスレーザの研究
・ FBGによる分散等化技術の研究
・ 機能性光ファイバの研究

1999年度発表論文
[1] 山林由明，鳥羽　弘，中沢正隆，”時分割多重超高速光伝送の現状と将来展望，”レーザー研究, vol. 27, No. 4, April, pp.231-239, (1999).
[2] 鈴木和宣，久保田寛和，山田英一，佐原明夫，中沢正隆　”分散マネージメントを用いた40 Gbit/s ソリトン伝送現場実験，” レーザー研究，vol. 27, No. 4, April, pp.268-273, (1999).
[3] 吉田英二，中沢正隆，”超短パルス高繰り返しモード同期ファイバレーザー，” レーザー研究，vol. 27, No. 4, April, pp.274-280 (1999).
[4] E. Yoshida and M. Nakazawa，” Measurement of the timing jitter and pulse energy fluctuation of a PLL regeneratively mode-locked fiber laser，” IEEE Photonics Tech. Lett., vol. 11, May, pp. 548-550, (1999)
[5]小向哲朗，今井健之，中沢正隆，”チャープファイバグレーティングを用いた分散等化器の設計，” 電子情報通信学会論文誌，CI，vol. J82-C-I, No. 6, pp. 359-369, (1999).
[6] M. Nakazawa, K Suzuki, and H. Kubota, “160 Gbit/s (80 Gbit/s x 2 channels) WDM soliton transmission over 10,000 km using in-line synchronous modulation”, Electron. Lett., vol. 35, No. 16, pp. 1358-1359, September (1999).
[7] K. Tamura, T. Komukai, and M. Nakazawa, “A new optical routing technique with a subcarrier clock controlled wavelength converter”, IEEE Photon. Technol. Lett., vol. 11, No. 11, pp. 1491-1493, November (1999).
[8] 吉田英二, 田村公一, 中沢正隆, “モード同期ファイバリングレーザー “, レーザー研究, Vol. 27, No.11, pp. 756-761, November (1999).
[9] H. Kubota, K. Tamura, and M. Nakazawa, “Analyses of coherence-maintained ultrashort optical pulse trains and supercontinuum generation in the presence of soliton-amplified spontaneous-emission interaction”, J. Opt. Soc. Am. B, vol. 16, No. 12, pp. 2223-2232, December (1999).
[10] E. Yoshida, N. Shimizu, and M. Nakazawa, “A 40 GHz, 0.9 ps regeneratively mode-locked fiber laser with a tuning range of 1530 - 1560 nm”, IEEE Photon. Technol. Lett., vol. 11, No. 12, pp.1587-1589, December (1999).
[11] K. Suzuki, H. Kubota, A. Sahara, and M. Nakazawa, “640 Gbit/s (40 Gbit/s x 16 channel) dispersion-managed DWDM soliton transmission over 1,000 km with a spectral efficiency of 0.4 bit/Hz”, Electron. Lett., vol. 36, No. 5, pp.443-445, March (2000).
[12] T. Yamamoto, E. Yoshida, K. Tamura, K. Yonenaga, and M. Nakazawa, “640 Gbit/s optical TDM transmission

over 92 km through a dispersion-managed fiber consisting of single-mode fiber and "reverse dispersion fiber", IEEE Photon. Technol. Lett., Vol. 12, No. 3, pp.353-355, March (2000).

国際会議

M. Nakazawa, "Ultrahigh speed soliton and non-soliton technologies", UEO99 (Ultrafast Electronics and Optelectronics), Aspen, Colorado, April 12-16　他9件。

招待講演

M. Nakazawa, H. Kubota, K. Suzuki, E. Yamada, and A. Sahara, "80 Gbit/s multi-channel soliton transmission over transoceanic distances", ROSC '99 Kyoto, November 9-12 (1999)　他10件。

執筆依頼

中沢正隆, "超高速大容量光通信技術,"　レーザー研究，vol. 27, No. 4, P. 230　（1999 4 月）他 4 件。

特許

名称「光自動等化器」出願日平成11年8月11日，出願番号特願平11-227832　他 6 件。

国内学会学術講演報告

佐原, 久保田, 中沢, "同期変調方式を用いたソリトン伝送による偏波モード分散の補償", 1999年電子情報通信学会ソサイエティ大会, 1999年9月　他16件

国内研究会報告

吉田, 中沢, "10 GHz再生モード同期ファイバレーザのジッター特性", 電子情報通信学会，フェムト秒エレクトロニクス研究会，(1999)　他5件。

その他

（1）電子情報通信会より平成11年度論文賞
　　(山本，吉田，中沢)
（2）NTTフェローの称号を授与。

64

3.4　超高密度・高速知能システム実験施設の目標と成果

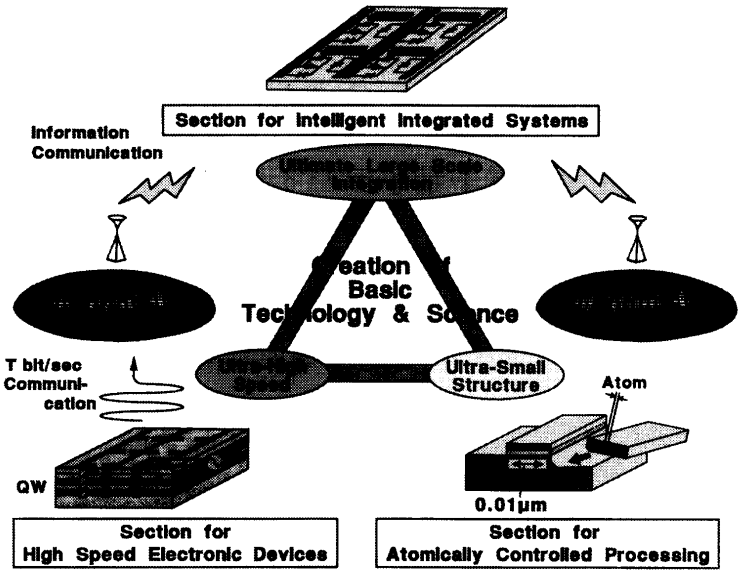
東北大学電気通信研究所超高密度・高速知能システム実験施設は、平成6年6月24日、極微細構造電子回路加工技術を進展させると共に、極微新機能電子デバイスの開発と、それらの性能を活用して高度な知能的処理を行い得る超高密度・高速知能システムの基盤技術を構築することを目的として設置された。本施設は、原子制御プロセス部、超高速電子デバイス部、知能集積システム部の3部と、施設共通部から成る。

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

超高速電子デバイス部では、超高速 (Tbit/s)情報通信を可能にするため、半導体極微ヘテロ接合により形成する電子波などの極微細波動を用いて、光波・電磁波の発生・変調・増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併せて行っている。これらにより超高密度・高速知能システムの構築を目指す。

また、電気通信研究所の各部門およびその構成要素である研究分野、さらに工学



研究科の電気通信工学、電子工学専攻や情報科学研究科の各講座が研究開発した成果を有効かつ集中的に具体化すると同時に、全国の電気通信分野の研究者の英知を結集して共同プロジェクト研究を行う。

本実験施設が10年の時限で設置されて以来6年が経過した。現在までの研究活動はおおむね当初の計画どおり、超高密度・高速知能システムの基盤技術の確立に向かって進められている。本施設の上記3部の研究の進展と本施設を利用して研究を進めてきた電気・情報系の研究室の成果を総合すると、当初設定した目標の75%程度は達成されたと言える。

以下に、施設の目標として掲げた三大基盤技術に分けて、施設研究部と利用研究室の本年度の研究成果ハイライトを記す。

[原子制御プロセス基盤技術]

本基盤技術を創生するために，原子精度微細構造の形成技術、高集積化の為の微細配線技術、更に原子精度の計測技術、それらの技術を用いた微細デバイス具現化の研究・開発を施設研究部と各研究室で進めている。

原子精度微細構造の形成技術に関しては、半導体や絶縁膜系原子制御成膜・エッチングに対して，NやPを原子層オーダで吸着させたSi表面へのSiエピタキシャル成長の実現等，Ⅳ族半導体超構造形成や極限ドーピング制御の指針を得た。また，SiやSiGe混晶へのCの導入，B及びPの高濃度ドーピング制御とその電気的特性，ドープトSiGe混晶からSiへの低温不純物拡散と偏析特性，並びにプラズマプロセスにおけるSiの原子オーダ窒化過程や微細エッチングでの原子オーダ不純物偏析過程を系統的に明らかにした（室田研究室（原子制御プロセス部））。更に，Si表面上ホスフィン吸着過程の解明とP吸着量デジタル制御法の開発，有機Siガスによる従来より200℃低温での高品質 SiC エピ成膜，Si表面初期ウェット酸化機構の解明，等を行った（分子電子工学研究分野）。

高集積化に必須な微細配線に関しては，ULSI多層配線用量産Al CVD法の装置化，直接液体供給法を用いた1μm／分の高速Al膜堆積の実現，さらにCu添加によるAl膜質改善の効果を明らかにし，次世代多層配線形成技術としての有効性を示した(坪内研究室（電子音響集積工学研究分野））。

原子精度の計測に関しては，Au (110)- (2x1)表面，GaAlAs/GaAs量子井戸構造，Nb等の試料に対して原子レベルの位置分解能を有するSTM発光分光法の開発（潮田研究室（光電変換デバイス工学研究分野））, また大口径（300mm）Siウェーハ表面の汚染評価のため高感度赤外分析システムの開発，多重内部反射法の採用による非破壊超高感度検出の実現，ウェーハ上の水分付着のリアルタイム・モニタ化等に成功した（庭野研究室（電子量子デバイス工学研究分野））。これらの成果をもとに，サブ0.1μmSiGeソース・ドレインnMOSFET並びにpMOSFET，超高速HBT，$Si_{0.6}Ge_{0.4}$/Si共鳴トンネルダイオードを製作した（室田研究室（原子制御プロセス部））。また，GaAs/AlAs共鳴トンネル量子構造を製作し，共鳴トンネル電子の真空中への放射を確認した（横尾研究室（極限能動デバイス研究分野））。

[極微細波動基盤技術]

極微細波動を用いた光波・電磁波の発生・変調・増幅・伝送から検出までを行う高速エレクトロニクス・高速フォトニクスの具現化と共に基盤技術の創生と新デバイスの研究開発を進めている。具体的成果を以下に記す。

発生に関しては、電子ビーム描画マスクを用いて作製したLiNbO3誘電体ドメイン超格子による光パラメトリック発振デバイスを開発し、波長 0.6～7.3μmの波長可変可視・赤外光および波長 139μmのテラヘルツ波の発生に世界に先駆けて成功し（伊藤研究室（応用量子光学研究分野））、またInAs/GaSb量子構造中のサブバンド間光学遷移を利用した長波長赤外発光素子を初めて実現し、遠赤外-THz半導体レーザへの道を拓いた（大野研究室（超高速電子デバイス部））。さらに準光学的共振器を用い、短ミリ波帯共鳴トンネルダイオードの電力合成に成功した（水野研究室（テラヘルツ工学研究分野））。

変調については、フォトニック技術を利用した準光学的変調器を提案し、ミリ波帯及び 1.2 THz 帯における原理実験を完了して、10 GHz 以上の変調速度が得られる見通しを得た（水野研究室（テラヘルツ工学研究分野））。

増幅・伝送では、自己クローニング法を駆使し、フォトニック結晶型可視域用偏光制御素子の実証と格子変調型導波路の提案・設計・試作を行った。また、フォトニック結晶と発光材料との融合技術を開発し、新しい素子機能の可能性を示した（川上研究室（光集積工学研究分野））。

検出に関しては、直径0.25μmの低雑音GaAsショットキ・ダイオードを開発し、5.2 THzにて3V/Wのトップ・データの感度を得、テラヘルツ帯の実用的検出技術の開発に成功した（水野研究室（テラヘルツ工学研究分野））

最後に、極微細波動技術の創生と新デバイスの研究開発では、（１）半導体中の電子スピンを量子コンピューティングなどに応用するのに必要な、非磁性半導体への電気的スピン注入を、強磁性半導体(Ga,Mn)Asと非磁性半導体GaAsのヘテロ構造を用いて初めて実現すると共に、GaAs量子構造における室温の電子スピン寿命を1000倍に増大させた（大野研究室（超高速電子デバイス部））。（２）1ナノメータ分解能を有する走査型非線形誘電率顕微鏡の開発と実用化、$KNbO_3$圧電単結晶に於ける巨大非線形圧電効果の発見と高効率SAWエラスティックコンボルバ用基板方位の発見及び走査型電子線誘電率顕微鏡の開発に成功（山内研究室（フォノンデバイス工学研究分野））。（３）RF集積化インダクタ（1GHz帯で空心インダクタより高 Q）、高周波高空間分解能マイクロ磁界プローブ（800MHz帯で分解能300ミクロン）、高周波キャリア型薄膜磁界センサ（室温で8×10^{-11} T の磁界分解能）などの磁性薄膜デバイスについて成果を挙げた（荒井研究室（スピンエレクトロニクス研究分野））。

大規模集積化基盤技術

知的情報処理システムの構成では、（１）システム構成の全体的検討、（２）その中での情報記憶部分と処理部分の重点的検討、さらに（３）それらを構成する高性能デバイスや回路とその実現方法の検討など、階層的でしかも包括的に研究を進めることが求められる。これらを分担し、それぞれの成果を有機的に統合することが必要不可欠である。

そのため、まず（３）に重点を置き、動作周波数10GHzを実現する金属基板金属ゲートSOI集積回路の研究を行い，Ta金属ゲートMOSデバイスの製造プロセスを確立した。高信頼性極薄酸化膜の研究を行い，特に空気中の有機物分子による汚染がデバイス特性に与える影響について明らかにした（大見研究室（工学研究科））。また、システムLSIに不可欠なDCDCコンバータをCMOS集積回路にて試作し、90%以上の高変換効率を実証した。DRAMの集積度を飛躍的に向上させる新しい3

次元型メモリアレイ技術を提案した（舛岡研究室（固体電子工学研究分野））。さらに、高温超伝導体内の磁束量子運動に伴う電磁波の超放射現象の基礎となる磁束量子の高速運動を$Bi_2Sr_2CaCu_2O_8$高温超伝導体固有ジョセフソン接合により実現した。これまでに1 Tの磁場下において最大1.15 x 10^6m/secの磁束量子速度を観測している。この速度は周波数にして750GHzに対応する（山下研究室（超伝導コンピューティングデバイス研究分野））。

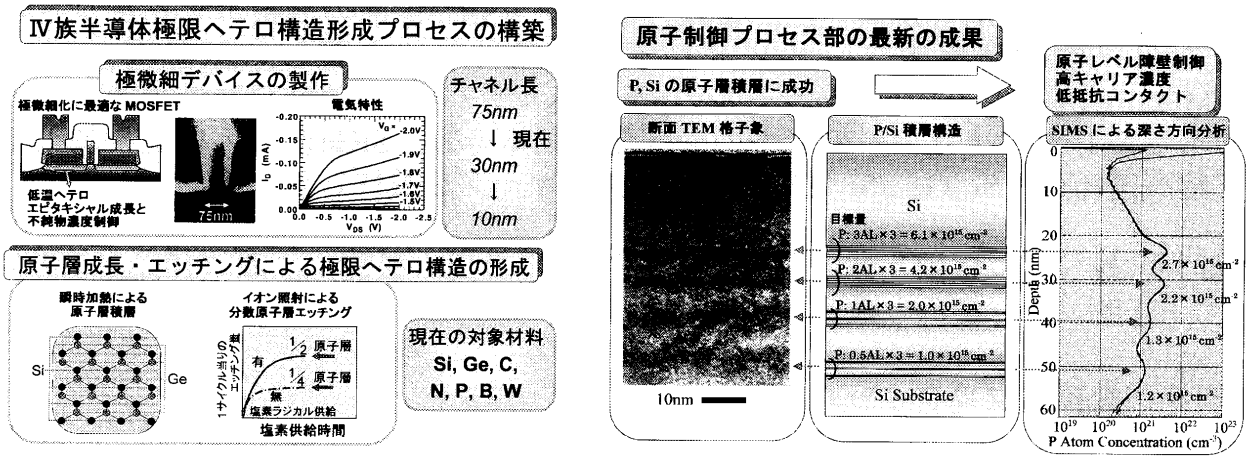
次に（２）に重点を置き、連想記憶システムの開発を続行し、新しいアナログメモリの各種改良を行いメモリアレイを試作、測定を通して各種動作の評価を行うとともにシステムとしての集積回路を製作し、評価した(電子情報通信学会論文賞を平成12年5月20日受賞)。また、ニューロチップの基本素子であるマジョリティゲート回路を新たに開発し、これを用いたニューロチップを製作した。さらに、カオスや非単調関数を導入したニューラルネットワークの性能を評価し、これらの集積化を行った（中島研究室（知能集積システム部））。また、垂直磁気記録による高密度磁気ストレージのための垂直型磁気ヘッドの研究を行い、本年度は全薄膜型の垂直ヘッドについて、その電流効率と記録磁界の強度向上に努めた。実際にリソグラフィーによりヘッドを試作し、記録特性を確認した（中村研究室(情報記録デバイス工学研究分野)）。さらに、GHz動作を目指した、セルフチェッキング性を有する低消費電力多値電流モード集積回路の開発に成功した。また、チップ内転送ボトルネックを解消するため、不揮発性のリアルタイム・リライタブル多値ロジックインメモリVLSIを提案した。さらに、ロジックインメモリ構造VLSIプロセッサのハイレベルシンセシス法を考案し、ステレオビジョンVLSIプロセッサへの応用を検討した（亀山研究室（情報科学研究科））。

最後に（１）では、動的メモリの連想記憶を実現するために非対称結合を持つ神経回路の動的安定状態とその引き込み領域を検索するソフトウエアを制作し回路のパラメータによる動的記憶状態を変化を解明し、その一例として循環結合型回路による動的記憶ニューロチップのCAD設計を行った（沢田研究室（ブレインコンピューティングシステム研究分野））。また、現在の2値論理VLSIシステムの性能限界を克服するために、多進数・非２進数ハードウェアアルゴリズムおよび多値論理集積回路技術を駆使した Beyond-Binary Computing System の研究を行った(樋口研究室（情報科学研究科））。

以上の成果の有機的統合を実験施設を共通基盤として行い、超高密度・高速知能システムの構築に向け研究を進めている。

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プロセスとその極微細デバイスへの応用の研究を中心に行い，また，そのプロセスの殆どでラングミュア型定式化を示してきた。

《原子層成長制御CVD》

Si集積回路製作への適用性を考え，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，CH_4等の水素化物ガスを用いたCVD法により，SiやGe等のⅣ族半導体の一原子層ずつの成長，NH_3による原子層熱窒化，PH_3によるPの原子層吸着等を実現し，それに関連する吸着・脱離過程や水素の効果についても明らかにしてきた。反応温度の低温化と反応雰囲気の高清浄化を基に，高原料ガス分圧（数Pa～数百Pa）で単分子吸着層の形成を図り，必要に応じてフラッシュ光照射瞬時加熱で反応を促進するという独創的な原子層成長制御方式を用いている。本年度は特に，NやPがSi上に原子層オーダで吸着した上へのSiのエピタキシャル成長を実現し，Ⅳ族半導体超構造形成や極限ドーピング制御実現に大きく貢献した。また，W膜の原子層オーダの選択成長初期における吸着・核形成過程を明らかにした。

《原子層プラズマプロセス》

高清浄電子サイクロトロン共鳴(ECR)プラズマ装置を用いて，表面への反応種の吸着と低エネルギーイオン照射により誘起される反応を交互に行うことにより，Si，GeやSiGeにとどまらず絶縁体化合物であるSi窒化膜でも原子層エッチングが可能であることを実証してきた。本年度は特に，Nプラズマによる Si表面の原子オーダ窒化過程，特にラジカルとイオンの寄与とその微細パターンエッチングへの応用について明らかにした。

《低温ヘテロエピタキシャル成長と極微細デバイスの製作》

極微細Si-Ge系ヘテロデバイスの実現を目ざして，SiGe混晶のSi上のみへの低温選択成長や，ヘテロ接合の良好なpn接合特性を明らかにしている。本年度は特に，SiやSiGe混晶へのCの導入，B及びPの高濃度ドーピング制御とその電気的特性，ドープトSiGe混晶からSiへの低温不純物拡散と偏析特性，並びにエピタキシャル薄膜のエッチング特性を明らかにした。また，ドープトSiGe混晶の選択エピタキシャル成長層を自己整合型極浅ソース／ドレイン形成に用いた新しい極微細MOSFET（S^3EMOSFET）を，0.075μmルールのpチャネルデバイスに続いてnチャネルデバイスでも実現した。より一層の素子の微細化を図る一方，SiGe系ヘテロ成長加工を用いて超高速HBTや$Si_{0.6}Ge_{0.4}$/Si 共鳴トンネルダイオードを製作している。

〈職員〉　教　授　室田　淳一（1995年より），助教授　松浦　　孝（1993年より）
　　助　手　櫻庭　政夫

〈室田淳一教授のプロフィール〉

1948年生まれ。1970年北大・工・電子卒。1972年同大学院修士課程修了。同年日本電信電話公社武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〉

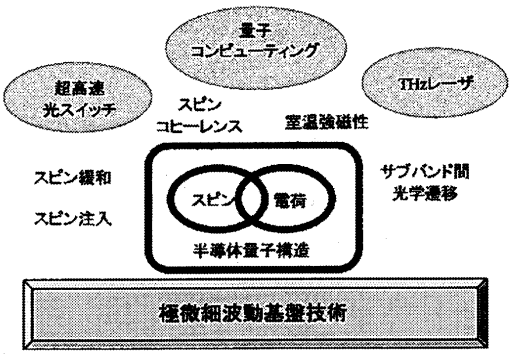
1．原子精度の薄膜成長，エッチング，表面処理に関する研究
2．プロセスにおける表面吸着と反応の機構とその制御に関する研究
3．極微細パターンの形成と高精度不純物制御に関する研究
4．ヘテロ構造の製作と極微半導体デバイスに関する研究
5．ヘテロ界面の物理と化学

〈主な研究発表（1999年度）〉

1. Atomic-Order Layer-by-Layer Role-Share Etching of Silicon Nitride Using an Electron Cyclotron Resonance Plasma, T. Matsuura, Y. Honda and J. Murota, Appl. Phys. Lett., Vol.74, No.23, pp.3573-3575, (1999).
2. Layer-by-Layer Growth of Silicon Nitride Films by NH_3 and SiH_4, T. Watanabe, M. Sakuraba, T. Matsuura and J. Murota, J. Phys. IV France, Vol.9, pp.Pr8-333-Pr8-340, (1999).
3. H-Termination Effects on Initial Growth Characteristics of W on Si Using WF_6 and SiH_4 Gases, T. Yamamoto, T. Matsuura and J. Murota, J. Phys. IV France, Vol.9, pp.Pr8-431-Pr8-436, (1999).
4. Segregation and Diffusion of Phosphorus from Doped $Si_{1-x}Ge_x$ Films into Silicon, S. Kobayashi, M. Iizuka, T. Aoki, N. Mikoshiba, M. Sakuraba, T. Matsuura and J. Murota, J. Appl. Phys., Vol.86, No.10, pp.5480-5483, (1999).
5. Contribution of Radicals and Ions in Atomic-Order Plasma Nitridation of Si, T. Seino, T. Matsuura and J. Murota, Appl. Phys. Lett. Vol.76, No.3, pp.342-344, (2000).
6. High Quality $Si_{1-x}Ge_x$ Epitaxial Growth by CVD (Invited paper), J.Murota, M.Sakuraba and T.Matsuura, Proc. Third Int, Symp. on Defects in Silicon, (The Electrochemical Society, Pennington, NJ, 1999), Vol.PV99-1, pp.189-202.
7. CVD $Si_{1-x}Ge_x$ Epitaxial Growth and Its Application to MOS Devices (Invited paper), J.Murota, M.Sakuraba and T.Matsuura, Proc. SPIE Conf. on Microelectronic Device Technology III, (The International Society for Optical Engineering, Santa Clara, CA, 1999), Vol.3881, pp.33-45.
8. Atomically Controlled Processing for Si-Based Ultrasmall Devices (Invited paper), J.Murota, T.Matsuura and M.Sakuraba, Ext. Abs. 18th Symp.on Future Electron Devices, Tokyo, Oct.20-21, 1999, pp.65-70.

超高速電子デバイス部

半導体量子構造の研究：THzの発生から半導体スピントロニクスまで



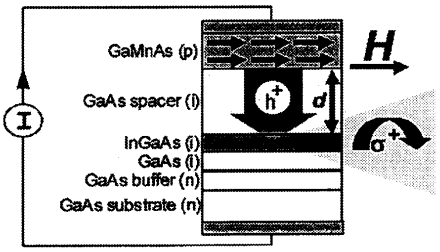


図1　(Ga,Mn)As/GaAs ヘテロ接合におけるスピン注入。強磁性(Ga,Mn)As からスピン偏極した正孔が GaAs に注入される。スピンの検出は光学的に行う。

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

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

平成11年度の主な研究成果を以下に記す。

1. (Ga,Mn)Asをベースとする強磁性/非磁性半導体ヘテロ接合を用いて，磁場なしで電流注入により非磁性半導体へのスピン注入を実現した（図１）。
2. kp摂動法を用いた(Ga,Mn)Asの価電子帯構造から，強磁性転移温度を計算した。これに基づきGaN，ZnOベースの磁性半導体で強磁性転移温度が室温を超えることを予測した。
3. スピンを用いた演算には長いスピン緩和時間が不可欠であるが，GaAs/AlGaAs量子井戸構造において，井戸の面方位やドーピングを適切に制御することにより室温で通常100ps程度のスピン緩和時間が10ns以上までになることを明らかにした。
4. 閃亜鉛鉱構造の強磁性(Ga,Mn)Sbを新しくエピタキシャル成長することに成功した。
5. 強磁性(Ga,Mn)As/非磁性(Al,Ga)As/(Ga,Mn)As三層構造を用いて半導体におけるスピン依存散乱による磁気抵抗効果，トンネル磁気抵抗，層間磁気結合を確認した。
6. InAs/(Al,Ga)Sb量子カスケード構造においてサブバンド間遷移による電流注入発光

に初めて成功した。

＜職員＞　教　授　大野英男（1994年より）
助　手　松倉文礼
助　手　大野裕三
リサーチアソシエイト　大谷啓太
COE研究員　篁　耕司
学振特別研究員　岸本修也

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

＜研究テーマ＞
1. 半導体量子構造の形成に関する研究
2. 超高速・超高周波デバイスに関する研究
3. 量子構造によるTHz～遠赤外光発生の研究
4. 量子構造における量子輸送現象の研究
5. 半導体のスピン物性とその応用

＜主な研究発表＞

1. T. Dietl, H. Ohno, F. Matsukura, J. Cibert, and D. Ferrand, "Zener Model Description of Ferromagnetism in Zinc-Blende Magnetic Semiconductors", *Science, 287,* 1019, 2000.
2. S. P. Guo, A. Shen, H. Yasuda, Y. Ohno, F. Matsukura, and H. Ohno, "Surfactant effect of Mn on the formation of self-organized InAs nanostructures", *J. Crystal Growth, 208,* 799, 2000.
3. Y. Ohno, D. K. Young, B. Beschoten, F. Matsukura, H. Ohno, and D. D. Awschalom, "Electrical spin injection in a ferromagnetic semiconductor heterostructures," *Nature, 402,* 790, 1999.
4. Y. Ohno, R. Terachi, T. Adachi, F. Matsukura, and H. Ohno, "Spin relaxation in GaAs (110) quantum wells," *Physical Review Letters, 83,* 4196, 1999.
5. H. Ohno, "Properties of ferromagnetic III-V semiconductors," *J. Magnetism and Magnetic Materials, 200,* 110, 1999.
6. B. Beschoten, P. A. Cowell, I. Malajovich, D. D. Awschalom, F. Matsukura, A. Shen, and H. Ohno, "Magnetic Circular Dichroism Studies of Carrier-Induced Ferromagnetism in $(Ga_{1-x}Mn_x)As$," *Physical Review Letters, 83,* 3073, 1999.
7. K. Ohtani and H. Ohno, "Intersubband electroluminescence in InAs/GaSb/AlSb type II cascade structures," *Applied Physics Letters, 74,* 1409, 1999.
8. K. Ohtani and H. Ohno, "Mid-infrared intersubband electroluminescence in InAs/AlSb cascade structures," *Electronics Letters, 35,* 935, 1999.
9. H. Ohno, F. Matsukura, T. Omiya, and N. Akiba, "Spin-dependent tunneling and properties of ferromagnetic (Ga,Mn)As," *J. Applied Physics, 85,* 4277, 1999.
10. R. Terauchi, Y. Ohno, T. Adachi, A. Sato, F. Matsukura, A. Tackeuchi, and H. Ohno, "Carrier mobility dependence of electron spin relaxation in GaAs quantum wells," *Jpn J. Applied Physics, 38,* 2549, 1999.
11. J. G. E. Harris, D. D. Awschalom,, F. Matsukura, H. Ohno, K. D. Maranowski, and A. C. Gossard, "Integrated micromechanical cantilever magnetometry of $Ga_{1-x}Mn_xAs$," *Applied Physics Letters, 75,* 1140, 1999.
12. H. Ohno, "III-V based ferromagnetic semiconductors," *J. Magnetics Society of Japan, 23,* 88, 1999.
13. A. Sato, K. Ohtani, R. Terauchi, Y. Ohno, F. Matsukura, and H. Ohno, "X-ray diffraction study of InAs/AlSb interface bonds grown by molecular beam epitaxy," *J. Crystal Growth, 201-202,* 861, 1999.
14. S. P. Guo, A. Shen, F. Matsukura, Y. Ohno, and H. Ohno, "InAs and (In,Mn)As nanostructures Grown on GaAs (100), (211)B, and (311)B Substrates," *J. Crystal Growth, 201-202,* 684, 1999.
15. A. Sawada, Z. F. Ezawa, H. Ohno, Y. Horikoshi, A. Urayama, Y. Ohno, S. Kishimoto, F. Matsukura, and N. Kumada, "Interlayer coherence in $\nu = 1$ and $\nu = 2$ bilayer quantum Hall states," *Physical Review B, 59,* 14888, 1999.
16. J. Szczytko, W. Mac, A. Twardowski, F. Matsukura, and H. Ohno, "Antiferromagnetic p-d exchange in ferromagnetic $Ga_{1-x}Mn_xAs$ epilayers," *Physical Review B, 59,* 12935, 1999.

知能集積システム部

集積化知的情報処理システムの基盤技術の研究

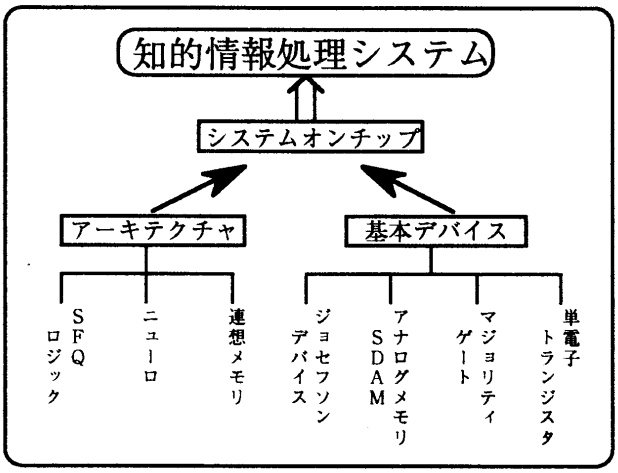


図1　知能集積システム部の研究目標

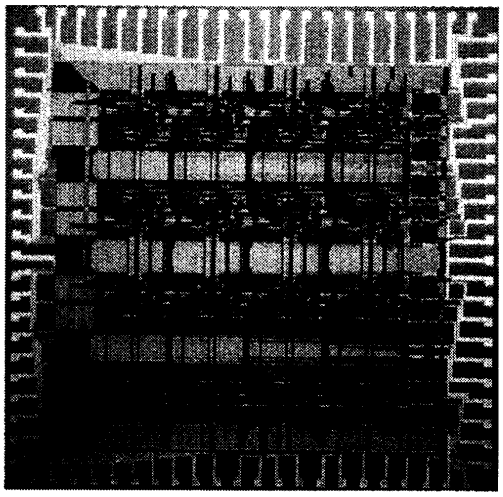


図2　学習機能付き非単調ニューロチップ

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位相モード計算機システムの基本論理回路の集積化にも成功している。さらに新たな機能を持つデバイスや知的回路構成法を探索しており，次の世代の情報処理システムのゲートレベルからの新構築を目指して研究を進めている。

〈過去１年間の主な成果〉

集積化人工神経回路網に関して従来の対称な連続値結合強度を実現するモデルから，量子化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た。層状の回路に関しては量子化結合の学習可能性を数値実験により評価し，新しく提案した多入力多数決回路に基づくニューロチップを試作，測定評価を行い，学習性

能を実証した。非対称な結合強度のモデルについては，連続時間での動作の解析をさらに前進させ統一的な解明を行った。次に非単調ニューロンモデルにより学習能力を向上させるための集積回路を製作・測定し，その結果を基に大規模な人工神経回路の能力を詳細に評価した。

また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も続行し，新しいアナログメモリの各種改良を行いメモリアレイを試作，測定を通して各種動作の評価を行うとともにシステムとしての集積回路を製作し，評価した。その他に超伝導位相モード計算機システムの新しい乗算回路の設計を行いその動作を検証，高速性，低消費電力性を解析，新たなFFTシステム構成を提案し，将来の情報処理システムとしての高い可能性を提示した。以上，知的情報処理システムの実現に向けての研究開発を継続した。

〈職員〉

教　授　　中島　康治（1995年より）
助　手　　佐藤　茂雄　小野美　武

〈教授のプロフィール〉

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

〈研究テーマ〉

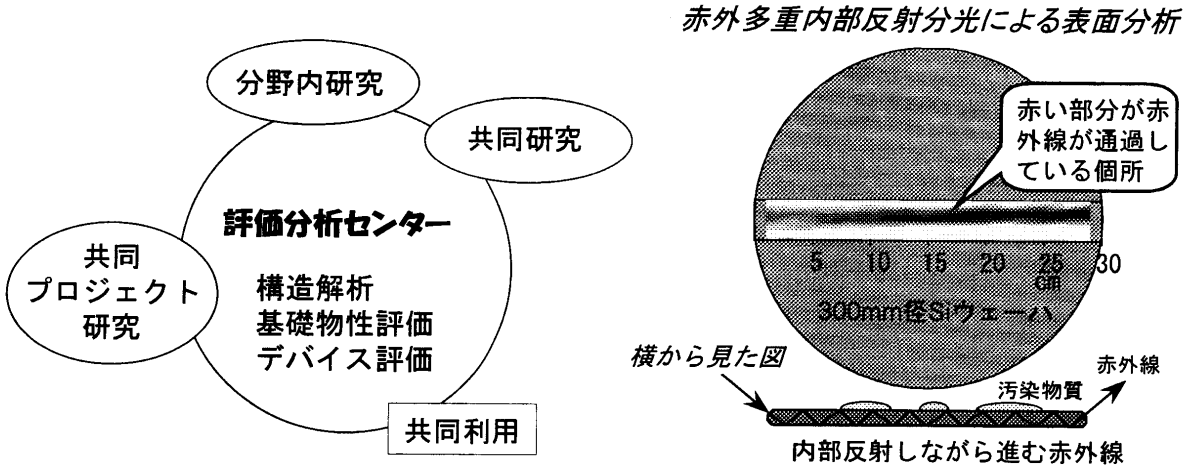
1．集積化ニューラルネットワークの基本構成に関する研究
2．知的記憶システム・ダイナミックメモリの構成に関する研究
3．集積化ニューラルネットワークの学習性能に関する研究
4．アナログメモリSDAMによる連想記憶システム関する研究
5．超伝導位相モード計算機システムに関する研究

〈主な研究発表〉

1. 佐藤茂雄，中島康治，“電子回路によるカオス生成とカオスニューラルネットワークの集積回路化”，システム制御情報学会誌，vol.43, no.11, pp.577-583, 1999
2. T. Harada, A. Sato, M. Kinjo, Y. Katayama, S. Sato and K. Nakajima, “New Nonvolatile Analog Memories for Building Associative Memories”, Extended Abstract of the 1999 International Conference on Solid-State Devices and Materials (Tokyo, Sep. 21-24, 1999), pp.270-271
3. M. Kinjo, S. Sato, and K. Nakajima, “A Study on DBM Network with Non-Monotonic Neurons”, Proceedings of International Joint Conference on Neural Networks ‘99 (Washington, DC, July 10-16, 1999), p.2065
4. C. Y. Park and K. Nakajima, “Analog CMOS Implementation of Quantized Interconnection Neural Networks for Memorizing Limit Cycles”, IEICE Transactions on Fundamentals, vol.E.82-A, no.6, pp.952-957, 1999
5. T. Onomi and K. Nakajima, “New fabrication process elements of Phase-Mode Logic Circuits”, IEEE Transactions on Applied Superconductivity, vol.9, no.2, pp.3318-3321, 1999
6. K. Nakajima, Y. Mizugaki, T. Onomi, and T. Yamashita, “Fluxoid-type Logic Circuits”, Physics and Applications of Mesoscopic Josephson Junctions, Tokyo : The Physical Society of Japan, pp.267-288, 1999

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



評価・分析センター説明図

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

現在本センターには，評価・分析用の装置が数多く設置されている。その一部は研究分野から提供されたものである。現在設置されている装置は，汎用Ｘ線回折装置，二結晶Ｘ線回折装置，走査型電子顕微鏡，Ｘ線トポグラフ装置，赤外分光装置，電子スピン共鳴装置，ヘリウム後方散乱装置，昇温脱離装置，原子間力顕微鏡，紫外・可視分光器，液体クロマトグラフィ装置，二次イオン質量分析装置，μＲＨＥＥＤ装置，薄膜Ｘ線回折装置，Ｘ線カット面検査器，ＳＱＵＩＤ（磁化測定装置），フォトルミネッセンス測定装置である。構造解析装置から電気特性測定装置まで，幅広いニーズに応えられるように体制を整えている。昨年同様，これらの装置を所内外の研究者・院生・学生に公開した。使用頻度の高かった装置は昨年度と同様Ｘ線回折装置である。利用頻度の高かった主な装置の使用研究室数及び使用時間数は表の通りである。

評価分析センターにおける本年度の主な研究成果は以下の通りである。

センターでは，新しい分析・評価手法の開発が研究テーマである。センターではこれまでに，電子量子デバイス研究分野と共同で，赤外反射分光を用いた新しい半

導体表面分析法を開発してきた。その一つが，溶液中シリコン電極表面状態のその場観察手法の開発である。本年度は，半導体電極電圧を印加した状態で半導体電極表面がフッ酸溶液中でどのようにエッチングされていくかを，リアルタイムで計測できる装置を開発した。電極電圧を印加しながら電極表面の赤外吸収スペクトルが計測できるため，原子レベルでのエッチング過程の観察が可能になった。また，赤外スペクトルの変化と同時に電極電流の変化もモニターできるため，電荷移動がもたらすエッチングの反応機構がより正確に解明できる。この装置を用いた研究結果について電子量子デバイス研究分野の項で述べている。

第二の開発研究は，半導体ウェーハ表面上の汚染を高感度に評価する赤外分光モニタリングシステムの構築である。前年度，赤外光学系の工夫により，300 mm径のシリコンウェーハの表面分析に成功し，大気中でも測定できること，非破壊で測定できること，測定時間が短いこと，インライン測定が可能であることなどこの測定法は多くの利点があることを示した。本年度は，この手法を用いて，大気中の汚染物質をモニターする方法を検討した。その結果，GaAsウェーハを多重内部反射用プリズムとして用いると，汚染物質が高感度で検知できることが分かった。この方法は環境モニタリングシステムの基盤技術として用いることができ，将来の発展が期待できる。

装　置　名	使用研究室数	使用時間数
汎用X線回折装置	13	1490
二結晶X線回折装置	3	130
走査型電子顕微鏡	5	110
赤外分光装置	2	250
原子間力顕微鏡	10	280
薄膜X線回折装置	2	70
全装置(上記以外も含めて)	17	2400

＜職員＞
センター長・教授（兼）庭野　道夫（1999年から）

＜庭野教授のプロフィール＞
電子量子デバイス工学研究分野の項を参照。

＜研究テーマ＞
1. 電子材料の高精度構造解析法の開発研究
2. 固体表面・界面原子レベル構造・組成評価法の開発研究

過去一年間の主な発表論文
1. “Infrared monitoring system for the detection of organic cotamination on a 300 mm Si wafer”, Michiaki Endo, Haruo Yoshida, Yasuhiro Maeda, Nobuo Miyamoto and Michio Niwano, Appl. Phys. Lett. 75, 519 (1999)
2. “In-situ Infrared Observation of Etching and Oxidation Processes at Si Surface in NH4F Solution”, Michio Niwano, Yusuke Kondo, Yasuo Kimura, J. Electrochem. Soc. 147 (2000) p.1555.

3.6　やわらかい情報システム研究センター

やわらかい情報システムの研究開発と情報システムの管理運用

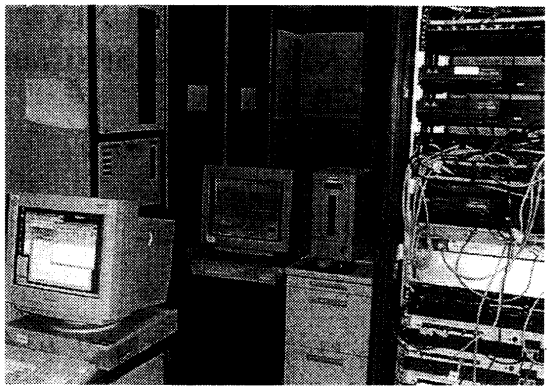


図1 各種情報サービスを提供する本センター電子計算機システム

＜センターの目標＞

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

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

＜研究テーマ＞

(1)　情報の収集・組織化・利用・発信及び研究支援環境に関する研究
(2)　ネットワークの高度な保守・管理・運用に関する研究
(3)　科学技術と倫理に関する研究
(4)　生体の知覚情報処理及び知的UIとOAに関する研究

＜平成11年度の主な研究成果＞

[1] 研究活動

(1)　情報の収集・組織化・利用・発信及び研究支援環境に関する研究

研究情報の収集・組織化・利用・発信及び研究支援環境の構成に関する研究を行った。具体的には，インターネットを用いた学術情報の統一的な収集・組織化・利用・発信に関する研究，自律性をもった機械と人間の共生系に基づく研究活動の支援環境に関する研究などを行った。

(2)　ネットワークの高度な保守・管理・運用に関する研究

コンピュータ及びネットワークの初心者でも快適かつ安心してネットワークを利用できるようにする保守・管理・運用の技術の確立に関する研究開発を行った。

[2] 研究会活動

以下の研究懇談会を1回行った。

日時：2000年 2月22日（火）
場所：東北大学電気通信研究所 2 号館W301号室
「東北大学コンピュータネットワーク安全・倫理に関するガイドラインについて」
杉浦茂樹（やわらかい情報システム研究センター）

[3] 情報システムの管理運用

本センターでは通研の教官及び学生に最先端の計算機資源（ハードウェア，ソフトウェア）とネットワーク資源を提供するために情報システムの管理運用を行っている。本情報システムはSPARCアーキテクチャのUNIXサーバ10台を中核として構成されており，システム全体の理論最大性能は78.1 SPECint95 / 130.2 SPECfp95，主記憶は計7,520 MB，補助記憶は計111 GBである。

情報システムの管理運用の内容は以下の通りである。

(1) 電子計算機の保守・管理

本センターの計算機資源を最善の状態で安定して提供するために，電子計算機の保守・管理を行っている。

(2) ネットワークの保守・管理

通研の計算機群は世界規模ネットワークであるインターネットに接続されている。本センターでは本情報システムだけではなく通研全体に対し高速かつ安定したネットワークの利用を提供するため，ネットワークの保守・管理を行っている。

(3) 通研文献データベースの構築と保守・管理

通研の研究業績の全世界に対する情報発信のために，インターネットから検索・閲覧が行える通研文献データベースの構築と保守・管理を行っている。

(4) 各種ネットワークサービスの提供

本センターの計算機資源及びネットワーク資源を利用者が有効に活用できるようにするため，a) 通研WWWサーバの管理・運用，b) メーリングリストの管理・運用，c) 電話回線からの接続サービスの管理・運用 などの各種サービスの提供を行っている。

(5) 技術的支援と広報

通研内の電子計算機に関する，a) 事務電子システムの技術的支援，b) 通研ホームページの技術的支援，c) 各研究室のホームページ公開の技術的支援，d) 計算機に関する情報の提供，e) 利用者からの問い合わせの対応 などの技術的支援と広報を行っている。

＜職員＞

(1) 運営委員会

教授　白鳥則郎（1997年より）
　　矢野雅文（1997年より）
　　沢田康次（1997年より）

(2) 実施委員会

委員長・教　授　白鳥則郎（1997年より）
　　教　授　鈴木陽一（1999年より）
　　助教授　木下哲男（1997年より）
　　助　手　坂本一寛，坂本謙二，佐藤信之，菅沼拓夫，杉浦茂樹，早川美徳
　　研究支援推進員　大學紀子

＜主な研究発表＞

1. 杉浦 茂樹, 白鳥 則郎, “知的エージェントを用いた研究活動支援システムの提案,” 情報処理学会DPSワークショップ論文集, pp.171-176 (Dec. 1-3, 1999).
2. 杉浦 茂樹, 白鳥 則郎, “分散環境を用いた研究活動支援システム,” 電子情報通信学会技術研究報告, IN99-39, Vol.99, No.335, pp.25-30 (Sep. 27, 1999).

3.7　コヒーレントデバイス研究センター

超高速・大容量情報通信を可能にする先端デバイス・システムの開発

[センターの目標]

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

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

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

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

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

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

○当研究室で創案・実証された自己クローニング法を用いたフォトニック結晶の作製と形状自由度の向上を図ると共に，それを応用した光通信用新機能デバイスの開発を目標とする。また材料系を拡張することで，データストレージ用光磁気ディス

クに用いる光ピックアップへの応用も検討する。

○数 100 GHz 帯の高出力・高効率電子ビームデバイス，真空と半導体の機能を融合した新しいデバイスの研究を行う。具体的には，ミリ波・サブミリ波帯電磁波の広帯域，高効率発生と低エネルギー分散集積型電界放射陰極の開発とその応用研究を行う。

[１年間の主な成果]

○今年度は，ラスト１マイルアクセス網・WLL (Wireless-Local-Loop)の基幹技術として，スペクトラム拡散(SS)通信方式を用いたSS-CDMAシステムによる基地局－端末間Up/Downリンクシステムの構築を行った。また，新しい近似同期CDMA符号の提案，及び超低消費電力シリコン電流モード相関素子の設計・評価を行った。

○周期長6.5～30μmの$LiNbO_3$ドメイン超格子を用いた光パラメトリック発振により，0.65μm～7.3μmの波長可変コヒーレント光発生に成功した。また，$AgGaSe_2$結晶を用いた光パラメトリック発振により5～18μmの中赤外光発生およびMgOドープ$LiNbO_3$結晶を用いたTHz波パラメトリック発振により，Nd:YAGレーザを励起光として139～420μm（0.7～2.2THz）の波長可変THz波の発生を確認した。これらの成果は，非線形光学の新たなブレークスルーとして国際的に高い評価を得ている。

○高温超伝導体内の磁束量子運動に伴う電磁波の超放射現象の基礎となる磁束量子の高速運動を $Bi_2Sr_2CaCu_2O_8$ 高温超伝導体固有ジョセフソン接合により実現した。これまでに１Tの磁場下において最大1.15×10^6m/secの磁束量子速度を観測している。この速度は周波数にして 750 GHz に対応する。

○短ミリ波固体光源開発では，周波数94GHz帯において，オーバーサイズ導波管共振器に組み込んだ複数個のガンダイオードからの電力を，効率60%以上でコヒーレントに合成することに成功している。この結果，約100GHzで出力400mW以上の連続動作が可能となっている。また，テラヘルツ検出器として開発した直径0.25μmショットキ・ダイオードは，5.2 THzでビデオ感度3 V/Wのトップデータを得た。これらの装置は，テラヘルツ電磁波開発の基礎デバイスとなるものである。計測技術開発において，35GHz帯でMMIC高周波アンプ及びショットキダイオード検出器を組み込んだフェルミディラック型テーパースロットアンテナアレイを開発した。また，スロット型近接場プローブを用いた顕微鏡システムの開発を進め，60GHz帯で，シリコン半導体中の光励起キャリアの空間分布の変化を空間分解能100μm，時間分解能1nsecで観察することに成功した。この結果より，本顕微鏡を用いてミリ波帯誘電体基板の均一性を高い空間分解で観察出来ることを明らかにした。

○通信用超音波デバイスの研究に於いては，$KNbO_3$単結晶の非線形圧電定数を計測し，従来エラスティクコンボルバに用いている$LiNbO_3$単結晶の数倍から数十倍の巨大な非線形圧電定数を$KNbO_3$圧電単結晶は持っていることを明らかにした。その値を用いてＳＡＷエラスティックコンボルバに有用な基板カットを検討し，実験的に確かめたところ，45° Y-X $KNbO_3$基板のコンボルバ効率は今まで効率がもっとも大きいとされていたY-Z $LiNbO_3$基板より25dBも大きな効率が得られることが分かった。

次に評価技術に於いては，１ナノメータ分解能を有する走査型非線形誘電率顕微鏡の開発と実用化に成功した。１ナノメータの大きさになると，強誘電体の単位格子が0.4*n*m程度の大きさであることより，もはや平均的な分極という概念は適用できなくなり幾つかの双極子モーメントを直接観測している可能性がある。また本顕微鏡は，強誘電体のみならず一般の結晶の局所的な異方性を検出できる顕微鏡であることから，従来困難であった圧電基板上に成長した圧電薄膜の面方位の決定等，結晶学的にも超音波素子工学上の応用にも重要な知見を簡単に得る事ができる事も明らかになった。また，マイクロ波用誘電体セラミックスの誘電率温度係数分布が計測でき，かつＳＥＭによる表面形状，ＥＰＭＡによる元素分布の同時計測が可能な走査型電子線誘電率顕微鏡の開発にも成功した。

○構造の周期を徐々に変化させた「格子変調型フォトニック結晶」の概念およびそれを用いた導波路などの新しいデバイスの提案を行い，実験段階へと進んでいる。また材料系の拡張により可視光域でも動作するフォトニック結晶波長板を実現した。さらにCdSなどの発光材料をフォトニック結晶中に埋め込むことで，その発光制御の可能性を立証した。

○マイクロ波帯域でのバンチビームの発生を目指し，GaAsマイクロエミッタで，Gunn 効果による空間電荷ドメインを真空中へ取り出せることを確認した。低エネルギー分散を持つ電子源の開発を目指し，GaAs/AlAs 共鳴トンネルダイオードを製作し，量子構造中のエネルギーサブバンドを共鳴トンネルする電子の真空中への放射を確認した。サイクロトロン高速波管の周波数可変動作に取り組み，Xバンド(8～12GHz)において連続的に周波数可変な動作に成功した。さらにこの結果を踏まえて，Ｅバンド (60～90GHz) において動作する周波数可変ジャイロトロンを開発し，発振に成功した。

[1年間の発表論文など]

(1) S. Tomabechi, S. Kameda, K. Masu and K. Tsubouchi, “2.4GHz front-end multi-track AlN/a-Al_2O_3 SAW matched filter”, 1998 IEEE International Ultrasonic Symposium, Sendai, Oct. 5-8 (1998) p.272-273.

(2) K. Tsubouchi and K. Masu, “Wireless Multimedia: SS-CDMA Technology”, Proc. of International Symposium on Future of Intellectual Integrated Electronics (March 14-17, 1999, Sendai) p.259-268.

(3) Junichi Shikata, Kodo Kawase, Manabu Sato, Tetsuo Taniuchi, and Hiromasa Ito, “Characteristics of Coherent Terahertz Wave Generation from $LiNbO_3$ Optical Parametric Oscillator”, Electronics and Communications in Japan, Part. 2, Vol. 82, No. 5, pp.46-53 (1999).

(4) Sajjad Haidar, Koichiro Nakamura, Eiji Niwa, Katashi Masumoto, and Hiromasa Ito, “Mid-infrared (5-12 μ m) and limited (5.5-8.5 μ m) single-knob tuning generated by difference-frequency mixing in single-crystal $AgGaS_2$”, Applied Optics, Vol.38, No.9, pp.1798-1801 (1999).

(5) K. Nakajima, N. Yamada, J.Chen, T. Yamashita, S. Watauchi, I. Tanaka, and H. Kojima, "Bi-Sr-Ca-Cu-O intrinsic Josephson junctions fabricated by inhibitory ion implantation", IEEE Trans. Appl. Supercond, Vol.9, pp. 4515-4518 (1999).

(6) H.B.Wang, Y.Aruga, T.Tachiki, Y.Mizugaki, J.Chen, K. Nakajima, T.Yamashita, and P. H. Wu: "Microwave-induced current steps in intrinsic Josephson junctions patterned on $Bi_2Sr_2CaCu_2O_{8+x}$ single crystal", Appl. Phys. Lett., Vol.74, pp. 3693-3695 (1999).

(7) T. Suzuki, T. Yasui, H. Fujishima, T. Nozokido, M. Araki, O. Boric-Lubecke, V. M. Lubecke, H. Warashina, and K. Mizuno, "Reduced Low Frequency Noise Schottky Barrier Diodes for Terahertz Applications", IEEE Trans. Microwave Theory Tech., Vol. 47, pp. 1649-1655 (1999).

(8) N. Oyama, A. Mase, H. Negishi, T. Tokuzawa, A. Itakura, T. Tamano, K. Yatsu, K. Watabe, K. Mizuno, Y. Nagayama, K. Kawahata, H. Matsuura, K. Uchida, and A. Miura, "Development of millimeter-wave two-dimensional imaging array", Rev. Sci. Instrum., Vol. 70, pp. 1003-1006 (2000).

(9) Y. Cho, S. Kazuta, K. Matsuura, "Scanning Nonlinear Dielectric Microscope with Nanometer Resolution", Appl. Phys. Lett, Vol.72, No.18, pp.2833-2835 (1999).

(10) Y.Cho, N.Oota, H. Odagawa and K. Yamanouchi, "Quantitative study on the nonlinear piezoelecyric effect in $KNbO_3$ single crystals for a super highly efficient SAW elastic convolver", J. Appl. Phys., Vol.87, pp.3457-3461 (2000).

(11) Y. Ohtera, T. Sato, T. Kawashima, T. Tamamura and S. Kawakami, "Photonic crystal polarization splitters," Electron. Lett., Vol. 35, pp. 1271-1272 (1999).

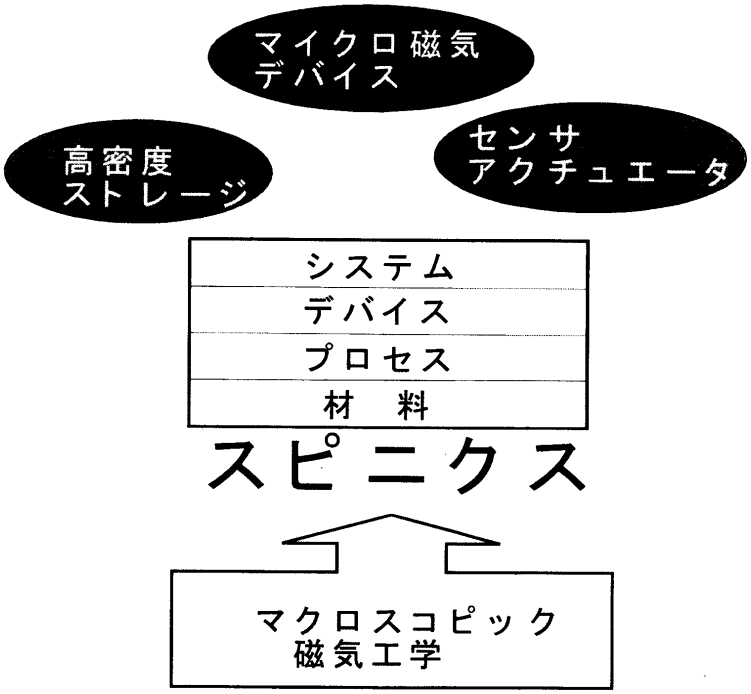
(12) 川上彰二郎，大寺康夫，川嶋貴之，「フォトニック結晶の作製と光デバイスへの応用」，応用物理，Vol. 68, pp.1335-1345 (1999).

(13) T. Ishihara, K. Sagae, N. Sato, H. Shimawaki and K. Yokoo, "Highly Efficient Operation of Space Harmonic Peniotron at Cyclotron High Harmonics", IEEE Trans. on Electron Devices Vol. 46, pp. 798 - 802 (1999).

(14) H. Mimura, Y. Neo, K. Okamura, H. Shimawaki and K.Yokoo, "Resonant Tunneling Emission from GaAs/AlAs Quantum Structures", Tech. Digest of 12th Int. Vacuum Microelectronics Conf. pp. 378-379, 1999.

3.8　スピニクス研究センター

スピニック材料・デバイス及びスピニックストレージに関する研究



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

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

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

術については，半導体集積回路プロセスとの整合性を高める点に力点を置いている。また，集束イオンビームエッチング装置によるナノメータオーダ微細加工技術を利用するデバイス解析も行なっている。

デバイスとシステムについては，超高密度磁気記録デバイスとシステム，並びにマイクロ磁気デバイスとセンサアクチュエータ及びその集積化を柱とする研究を行っている。新たに集積化デバイスにおけるEMC問題の検討を開始し，電界誘起電圧抑制型マイクロシールディドループコイルの開発によってRF帯における分解能300mmの近傍磁界計測を実現した。超大容量ストレージ関連では，本所で提案された垂直磁気記録により次世代超高密度を達成する研究を行なっている。今年度は高飽和磁束密度磁性薄膜を記録磁極にした高記録能力単磁極ヘッドを試作した。メディアについては，記録層の微細構造と異方性を調べ、高密度記録時の主要課題である熱磁気緩和について明らかにした。記録理論については、記録密度制限を与えているメディアノイズについての検討を進め、記録媒体の微細磁気構造とノイズの大きさの定量的な関係を示した。近い将来の国際的な目標である100ギガビット／平方インチ級の超高密度記録に対して、以上を総合したシステム的な研究により検討を進めている。一方，スピニックマイクロデバイス関係では，本センターの成膜・微細加工装置を利用して，まずSi－MMIC用GHz駆動超小形磁性薄膜インダクタ，10^{-7}Oe台の磁界分解能を有する薄膜磁界センサなどを開発したほか，それらの高周波特性評価装置として開発した超広帯域1MHz～3.5GHz薄膜透磁率測定装置と，高周波・高分解能近傍磁界プローブを製品化した。次に磁気トルクを用いた非接触駆動方式によって，ヒトの組織を摸擬したカンテンならびに動物筋肉組織中で駆動可能なマイクロ磁気アクチュエータを初めて実現した。現在これらの要素技術を統合し，医療福祉分野への応用を目的としたセンサーアクチュエータシステムの構築に挑んでいる。

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

【職員】
教　授　中村慶久，荒井賢一，杉田　愃
助教授　山口正洋，村岡裕明
助　手　島津武仁，石山和志，渡辺　功，薮上　信，山田　洋

【主な研究発表】
1. M. Takezawa, Y.H.Kim, K.Ishiyama, M.Baba, N.Ajiro, M.Yamaguchi, K.I.Arai; IEEE Trans. Magn., 35,3682-3684,1999
2. M.Sendoh, N.Ajiro, K.Ishiyama, M.Inoue, K.I.Arai; IEEE Trans. Magn.,35,3688-3690, 1999
3. Kwang-Ho Shin, Mitsuteru Inoue,Ken-Ichi Arai; J. Appl. Phys.,85, 5465-5467, 1999
4. 山口正洋,高橋祐一,末沢健吉,荒井賢一,菊地新喜,島田 寛,他; 日本応用磁気学会誌,23, 1649-1652, 1999
5. 万木弘之,薮上 信,山口正洋,荒井賢一,他； 電気学会論文誌A(基礎・材料・共通専門誌), 120-A, 33-319, 2000
6. H. Muraoka, K. Sato, Y. Sugita, Y. Nakamura, IEEE Trans. Magn., 35,643-648,1999.
7. 島津武仁・パウフィ・スリスティオ・駒込博泰・渡辺功・杉田愃・中村慶久,日本応用磁気学会誌, 23,969-972,1999.
8. Y. Nakamura, J. Magn. Magn. Mat.,200, 634-648,1999
9. S. J. Greaves, H. Muraoka, Y. Sugita, Y. Nakamura, J. Magn. Magn. Mat., 193, 409-411,1999.
10. 村岡裕明・佐藤靖夫・杉田愃・中村慶久，日本応用磁気学会誌,23, 985-988,1999.

3.9　附属工場

先端情報通信研究のための実験機器開発

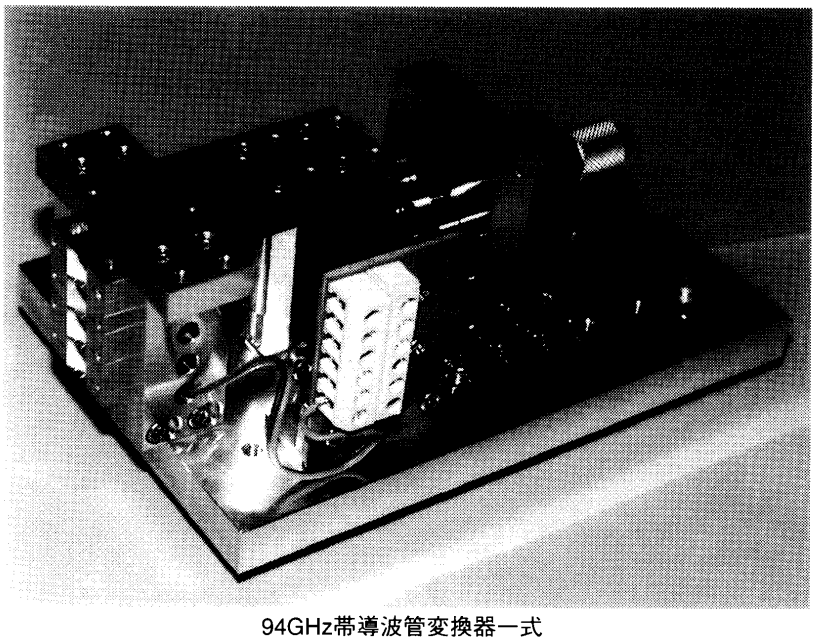
本附属工場は，研究所附置の工場として，各分野，施設からの要求に応じて，電気通信研究用の各種の実験装置の設計，試作をはじめ，学生，教職員への工作指導を行っている。工作の方法としては，旋盤，フライス盤等による精密機械工作が主であるが，本工場は従来より新しい工作方法を採り入れることにも積極的で，超音波加工，ガラス研磨の技術，ステンレス材，アルミニウム材の溶接技術をいち早く修得し，各種超高真空容器等の精密工作を通して半導体界面，磁気記録の研究を始め種々の電気通信の研究に多大な貢献をしている。これらの精密工作を行うために本工場では，恒温の精密工作室，湿度調整の可能なアルゴン溶接室，アルミニウム溶接室，また真空リークテスト室などを設備している。

平成11年度に製作した主な実験機器は下記の通りである。

スパッタリング用基板ホルダー，ECRプラズマ生成用アンテナ，電力合成共振器，ホーンアンテナ一式，有機結晶用マスクホルダー，モリブデン製寸切りナット，脳神経活動測定用チャンバー，プラズマCVD真空容器，人工外耳，アルミ製マスク，表面分析装置用サンプルホルダー，電極マニピュレーター装着型グリット，DAST加工用マスクステージ，Susチャンバー，プラズマ測定用メッシュ電極，94GHz帯導波管変換器一式，EELS用サンプルホルダー，MASK固定台

主な機械設備

旋盤 15台，　フライス盤 13台，　ボール盤 6台，　切断機 7台，
微細放電加工機 1台，　真空ﾘｰｸ検出器 3台(2×10－11 atm cc/sec)，
溶接機 6台(アルゴン交直両用 3台)，　プレーナー1台，　治具ボーラー1台，



94GHz帯導波管変換器一式

第 4 章　通研重点推進研究

平成11年度通研重点推進研究

「超高密度スピニックストレージシステムの研究」

１．研究代表者，分担者
＜代表＞
情報記憶システム研究分野　教　授　中村慶久
＜分担＞
情報記録デバイス工学研究分野　教　授　杉田　愃
情報記録デバイス工学研究分野　助教授　村岡裕明
情報記録デバイス工学研究分野　助　手　島津武仁
情報記憶システム研究分野　　助　手　山田　洋

２．研究目的

次世代情報通信システムにおいては，高速ネットワーク上であらゆる情報をバリアフリーでアクセスできるシステムを提供しなくてはならない。特に，今後飛躍的な普及が予測される，高細精度動画情報などの大容量マルチメディアデータは，格段に容量が大きい上に切れ目のない高速転送が強く要求される格段に負荷の重いコンテンツである。これを破綻なく処理できる超大容量・高速ファイルストレージシステムはまだ適当なものが実現されておらず，将来のネットワーク化された情報システムの実現の制約ともなっている。

本研究は，本所で提案された超高密度記録が実現できる垂直磁気記録を発展させて，超大容量ストレージシステム技術として確立することを目標とするプロジェクトである。

３．本年度の研究成果概要

昨年度まで本プロジェクトの結果，本分野で開発した薄膜単磁極ヘッドにより実用的な垂直磁気記録系が構成でき高密度エラーレート特性を満足し，これまでの垂直磁気記録研究では必ずしも明らかでなかった高記録密度でのシステム性能を発揮することを示した。今年度はこれらの結果を踏まえて，超100ギガビットの超高密度記録への設計指針を導くための理論的な検討を深めてその可能性をより具体的なものにした。

３.１　超高密度垂直磁気記録再生機構の研究

今後の垂直磁気記録のさらなる高性能化には的確な設計指針を確立し，これに基づいて定量性の高い理論的予測を行うことが必要である。このためには垂直磁気記録の記録再生理論を検討しこれに立脚した理論を整備しておくことが重要である。

まず，記録過程において記録磁化転移幅をヘッドと媒体の諸パラメータに対して定量的に予測できることが有用である。これを実現するために，垂直媒体での動的な記録磁界と減磁界を同時に考慮したセルフコンシステントな解析を行ない，記録ヘッドの記録磁界と垂直媒体のヒステリシス曲線から磁化転移幅を導く表式を得た。本結果によれば，磁界勾配の大きな記録ヘッド磁界とヒステリシス曲線上の保磁力

付近での傾きの急峻な記録媒体を組み合わせることの重要性が示唆される。

一方，再生過程については，高密度磁気記録に必須なＭＲヘッドの垂直磁化に対する応答を定式化した。これまで取り扱いが必ずしも容易ではなかった記録媒体に軟磁性裏打ち層がある系に対して，ラプラス方程式をフーリエ変換法で解いて厳密解を得，これに適切な近似を加えて解析解を求めたものである。この結果は，磁気記録においてヘッド再生応答を求めるために汎用的に用いられる相反定理を適用できるようにするもので，数値計算に頼ることなく任意の再生パラメータからヘッド応答を得ることができるようになった。図１には，実測された再生波形との比較を示すが，よく一致することが確かめられた。逆に，必要な再生分解能を達成するヘッド仕様を定量化できるので，今後の垂直磁気記録系の設計ツールを形作る理論的な基礎を与えるものである。

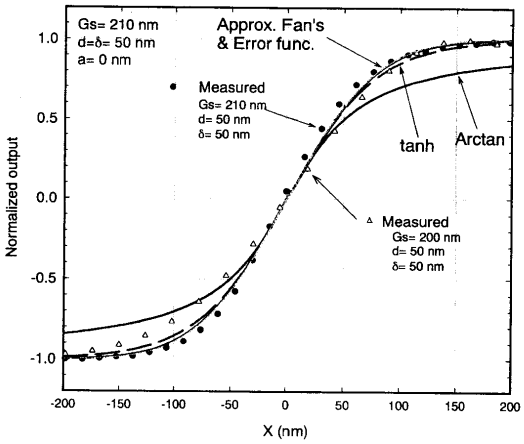


図1　解析解による計算結果と実測との比較

垂直磁気記録のエラーレート測定からエラーレート制限要因は媒体ノイズであることが明らかになっている。従って，緊急の課題の一つに媒体ノイズの低減がある。この対策立案にはノイズの起源を明らかにして，効果的な対策を講じることが不可欠である。ノイズの起源を知るためには媒体上のノイズ発生位置を特定することが直接的であるので，媒体上の転移位置を基準としてノイズ発生部分を特定するための時間軸解析を行なった。すなわち，多数の再生波形を転移位置を揃えて取り込んだ波形データに対して，アンサンブル平均と標準偏差を時間を変数として求め，これをプロットした。実効値ノイズ電圧の定義は平均値からの二乗偏差の積分の平方根であるので，ここで求めた標準偏差は媒体実効値ノイズに直接対応する明確な物理的な意味を有する。本解析の結果，垂直媒体の再生波形は各磁化転移位相がランダムにジッタしていることが示された。これはいわゆる転移ノイズが垂直磁気記録媒体でも主であることを意味している。さらに，この転移ノイズの起源が有限サイズの磁気的な揺らぎにあると仮定してモデリングから考察を加えた。用いたモデルはランダムな多角形から成るボロノイセルである。図２には生成したボロノイセルの一例を示す。このボロノイセルにより媒体を近似して，上述の実験と同様の時間軸解析を行なった結果，実験結果とよく対応する結果となった。また，磁気揺らぎサイズは約70ｎｍであることが示されたが，これは別途測定したＭＦＭによる転移近傍の磁気揺らぎ単位の約80ｎｍとよく対応するものである。以上より，垂直二層膜媒体のノイズは転移近傍に集中しており，しかもその起源は有限サイズの磁気揺らぎにあると言える。ここで示した揺らぎサイズはかなり大きいもので，この微細化が垂直二層膜媒体の低ノイズ化にはまず重要であると結論できる。

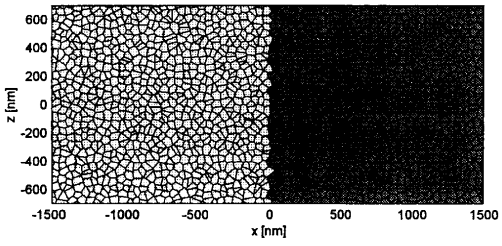


図2　生成したボロノイセルの一例

3.2 超100Gビット記録のためのキャラクタリゼーション

垂直磁気記録の目標記録密度100Gbits / inch^2 (100Gbpsi)以上とした際に，どのようなヘッドディスク系が要求されるか，その具体的なキャラクタリゼーションはまだ終わっていない。100Gbpsi及び200Gbpsiという超高面密度に必要な線密度とトラック密度は，830kbpi/120ktpiあるいは1.26Mbpi/160ktpiとなる。いずれも極めて高い記録密度であるが，これらを満たす単磁極/MRヘッド・二層膜ディスク系の目標仕様を明らかにすることを試み，その実現のための課題抽出を試みた。

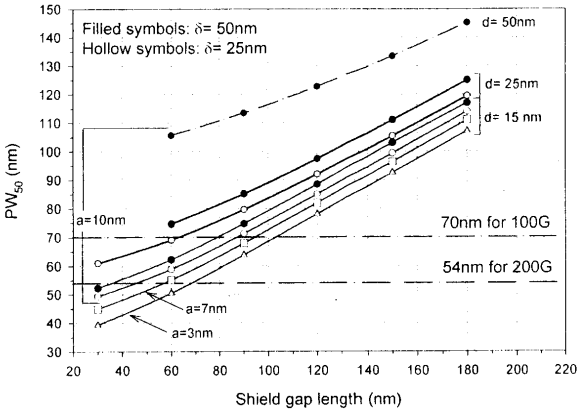


図3 各再生パラメータに対する再生信号パルス幅の依存性

将来の信号処理技術の進展が前提ではあるが，規格化記録密度を100Gbpsiと200Gbpsiのそれぞれで，2.4あるいは2.7と仮定すると，必要な微分パルス幅は70nmあるいは54nmとなる。この再生パルス幅を実現できるＭＲヘッドの仕様を，垂直磁化に対する再生応答理論により推測した。図3は，上述の再生理論を用いシールドギャップ長に対するパルス幅を様々なパラメータに対して求めた結果である。同図より，70nmを満たすには，シールドギャップで95nm，磁気スペースが15nm，記録層厚さが25nmで磁化転移幅は7nmが必要である。一方，200Gbpsiには，同じく順に70nm, 15nm, 25nm, 3nmとなった。これらは容易な値ではないものの，実現の可能性のあるものと考えられる。

以上のように，ＭＲヘッドと媒体の仕様が決定できれば，現在の測定値をもとに信号ＳＮ比を決めるための信号振幅と再生ノイズ電圧を計算できる。垂直磁化記録媒体からの再生磁束は媒体表面の漏洩磁界をシールドギャップにわたって積分したものであるから，ＭＲヘッドのシールドギャップ長に比例して再生電圧が低下する。さらに現在の垂直磁気記録媒体の媒体ノイズは微細な磁気揺らぎが起源であるために「磁気的に」白色ノイズであり，ヘッド再生出力でのノイズは再生ヘッドの伝達関数に依存して決定される。従って，狭シールドギャップヘッドほど再生ヘッドが高密度まで感度を有するようになるために，再生帯域で積分した実効値媒体ノイズは増加する。以上の２つの影響のため，同一の媒体に対しては，狭シールドギャップＭＲヘッドほど再生信号のＳＮが劣化する結果となる。さらに狭トラック化により，トラック幅の平方根に比例してＳＮ比の劣化が生じる。これらの要因のため，現状のヘッドディスク系で得られている38ｄＢのＳＮ比は，100Gbpsiあるいは200Gbpsiという目標面記録密度では大きく低下する。

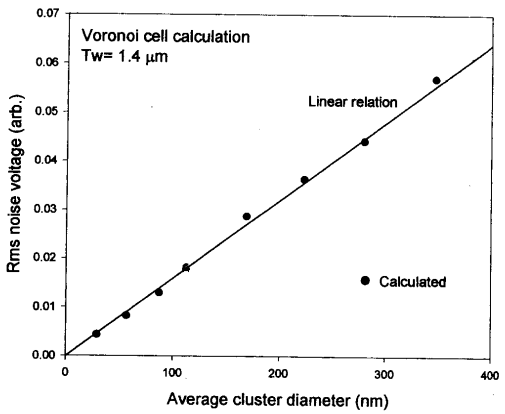


図4 クラスタサイズと媒体ノイズ

このＳＮ比をエラーレートを満たすレベルまで向上させるには，媒体ノイズの低下が必須である。垂直磁気記録の媒体ノイズは上述のようにボロノイセルで表現した媒体モデルを使ってシミュレーションできる。

ここで，ノイズの計算にはヘッド系の伝達関数が必要になるが，これには上記の再生応答の解析解を利用して，求めるべきパラメータを有する再生ヘッドを想定した相反定理計算を実施した。この結果，図4に示すように，磁気揺らぎサイズを微細化するにつれてほぼ直線的に媒体ノイズが低下することが分かった。この性質から，上述の再生信号ＳＮ比の劣化は媒体の磁気揺らぎサイズを低下させることで補うことが可能であり，必要なＳＮ比を確保できるはずである。媒体の揺らぎ（あるいは，クラスタ）の大きさは，12nmサイズで100Gbpsi条件に対して30dB，10nmサイズで200Gbpsi条件に対して28dB程度の媒体ＳＮ比とできることが示された。これに，回路ノイズやヘッドノイズも含めて考えた100Gbpsi条件でのＳＮ比を求めたところ，やはり媒体ノイズが主であるが，要求トラック密度に対応するリードトラック幅である140nmでも29dBの総合SN比を確保できることが示された。200Gbpsi条件ではこの値はリードトラック幅が100nmで27dBとなる。このＳＮ比は容易ではないものの現実的な目標とできる範囲であると考えられる。

ただし，いかに優れた信号SN比が得られても十分な記録ビット安定性を保っていなくては意味がない。このためには，熱エネルギーによるランダムな磁化反転を抑圧するために必要にして十分な磁気異方性を記録媒体に対して持たせる必要がある。この熱緩和耐性について近似的な計算を行った。孤立磁性粒子を想定して，熱緩和に対する指標であるKuV/kT値が60あるいは100以上となるための異方性を持たせた場合の異方性磁界Hkを粒子径に対してプロットしたのが図5である。粒子サイズが12nmであれば異方性磁界は14kOeとなり，10nmに対しては19kOeの異方性磁界となる。単磁極ヘッドではディープギャップ磁界を発生できるので，おおむね現実的なヘッド磁界強度と同等の異方性磁界に抑えるられることが分かった。K_uV/kTが60程度で良ければ，前者で8kOe，後者で12kOeとより飽和記録が容易なものとなる。なお，ここではノイズ起源となっている磁気揺らぎサイズと熱緩和を決める粒子サイズが等しいとしたが，これは一般的には成り立つとは限らない。いくつかの磁性粒子が結びついて集団的に振舞うクラスタリングは許されないことに注意を要する。

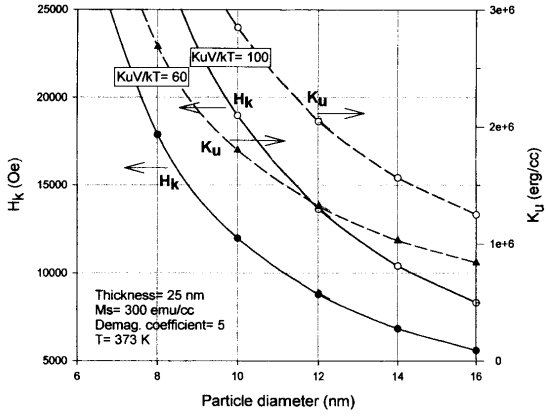


図5　異方性磁界Hkの粒子サイズ依存性

以上の計算から，垂直磁気記録による100Gbpsiあるいは200Gbpsiのヘッドディスク系の実現には，ヘッド浮上量や媒体の微細化，さらにはクラスタリングのない媒体構造，強ヘッド磁界強度，狭トラックヘッドコア加工法の確立など，多くの困難な課題はあるものの，原理的あるいは物理的な制約なく信号ＳＮ比と熱緩和耐性を両立できることが示された。

３.３　高分解能・高記録能力単磁極ヘッドの研究

昨年度までに原理試作を終えてその実用性能を確認した薄膜単磁極ヘッドの構造を図６に示す。このヘッドについて，記録磁極の高飽和磁束密度化による記録能力の更なる向上と薄膜巻線の多巻線化を試みた。記録磁極はFe-Si-N軟磁性膜を用いて18ｋＧの飽和磁束密度を達成した。別途実施したシミュレーションから本ヘッドでは条件を整えることで15ｋＧを越える大きな記録磁界が発生できることが分かっている。実際にウェハを試作し，その記録特性を評価したところ，飽和特性と重ね書

き特性の改善が認められた。また，コイル巻数の増加により電流記録感度の改善を確認した。本研究は，共同プロジェクト研究による秋田県高度技術研究所との共同研究である。なお，ヘッド用高飽和磁束材料にはFeAlN膜も検討を続けている。

また，磁気ヘッド応用で重要な数十ｎｍ以下の薄い軟磁性薄膜における磁気特性の制御に関して，パーマロイ膜を中心に調べ20ｎｍ以下の薄膜領域では異方性磁界が低下するとともに，比較的低温の熱処理でも磁化容易軸方位が変化しやすくなることも見出した。

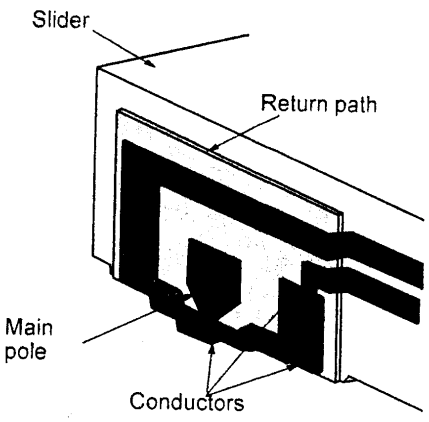


図6　薄膜型単磁極ヘッドの概略構造

3.4　高分解能垂直記録メディアの研究

垂直媒体については，本所附属工場と協力して立ち上げた高真空スパッタ装置による垂直磁気記録媒体について，今後の高密度化への検討を加えた。高密度磁気記録の重要な因子に微細化した記録ビット磁化が熱エネルギーのために減磁する現象がある。本年度は，記録層の厚みや磁気異方性などの検討を透過型電子顕微鏡観測やパルス磁界計測などの物性検討と記録特性の検討を対比させながら行なった。その結果，30ｎｍ以下の記録層厚さでは保磁力が低下する一方，50ｎｍ以上の厚さでは磁性粒子内で非一斉回転型磁化過程となって熱緩和耐性が効果的には発揮されないことが示唆され，30ｎｍ付近に最適点があることを示した。また，軟磁性裏打ち層についてもその材料や厚みなどについても最適化を行っている。

4．まとめ

以上，二年度にわたるプロジェクトを実施し，

1) 垂直磁気記録によるストレージシステム性能についてエラーレート特性を通じた実証，
2) 実用的な構造と性能を持つ浮上スライダ搭載全薄膜型垂直ヘッドの開発とその改良，
3) 記録媒体の低ノイズ・高ビット安定性のための物性的な成膜プロセスの解明，
4) 垂直磁気記録に関する記録再生理論の深化と設計ツールとしてのモデリングの確立，
5) 記録再生理論を踏まえた定量的予測に基づく超100Ｇビット記録のためのヘッド媒体系仕様の見積もりと今後の課題の抽出，

などで成果があり，垂直磁気記録の実用化のための重要なステップとなった。

以上の成果を踏まえることで日本学術振興会未来開拓学術研究に採択され，平成11年度より本格的な垂直磁気記録研究の大型プロジェクトを開始できている。また共同プロジェクト研究を通じて，平成12年４月に日立製作所中央研究所より発表された垂直磁気記録による50Ｇビット／平方インチのデモンストレーションなどに波及効果を及ぼすものであったと考えている。

5．主な発表論文

(1) Y. Nakamura, “Perpendicular magnetic recording - progress and prospects”, J. Magn.

Magn. Mat.,200, pp.634-648, 1999.
(2) S. J. Greaves, H. Muraoka, Y. Sugita, Y. Nakamura, "Simulations of time dependence in perpendicular media", J. Magn. Magn. Mat., 193, pp.409-411, 1999.
(3) H. Muraoka, Y. Sugita, Y. Nakamura, "Simplified Expression of Shielded MR Head Response for Double-Layer Perpendicular Medium", IEEE Trans. Magn., 35, pp.2235-2237, 1999.
(4) S. J. Greaves, H. Muraoka, Y. Sugita, Y. Nakamura, "Intergranular exchange pinning effects in perpendicular recording media", IEEE Trans. Magn., 5, pp. 3772-3774, 1999.
(5) 村岡裕明・佐藤靖夫・杉田愃・中村慶久, "単磁極ヘッドの外部磁界安定性に関するシミュレーション解析", 日本応用磁気学会誌, 23, pp.985-988, 1999.
(6) S. J. Greaves, H. Muraoka, Y. Sugita, Y. Nakamura, "Effect if Exchange Interaction on Written Bit Stability in Perpendicular Media", J. Magn. Soc. Jpn. 23, pp.993-996, 1999.
(7) 姜文紅・村岡裕明・杉田愃・中村慶久, "垂直二層膜磁気記録媒体の再生減磁に与える外部磁界の影響", 日本応用磁気学会誌, 23, pp.1001-1004, 1999.
(8) 村岡裕明・三浦健司・杉田愃・中村慶久, "単磁極ヘッド・二層膜垂直媒体におけるエラーレート特性評価",日本応用磁気学会誌, 23, pp.1065-1068, 1999.
(9) 村岡裕明・三浦健司・杉田愃・中村慶久, "二層膜垂直磁気記録のキャラクタリゼーションと高密度記録性能", 日本応用磁気学会誌, 23 S2, pp.35-40, 1999.
(10) 中村慶久, "動画ディスクカメラ用ストレージメディアの動向と展望", 映像情報メディア学会誌, 53,pp.1344-1346, 1999.
(11) H. Muraoka, K. Sato, Y. Sugita, Y. Nakamura, "Low Inductance and High Efficiency Single-Pole Writing Head for Perpendicular Double Layer Recording Media", IEEE Trans. Magn. 35, pp.643-648, 1999.
(12) H. Muraoka, T. Shoji, I. Watanabe, Y. Sugita, Y. Nakamura, "Recording characteristics of perpendicular media deposited on a ferrite disk substrate", J. Magn. Magn. Mat., 193, pp.55-58, 1999.
(13) T. Shimatsu, J. C. Lodder, Y. Sugita, Y. Nakamura, "Thermal Fluctuation of Magnetization in Nanocrystalline FePt Thin Films with High Coercivity", IEEE Trans. Magn. 35, pp.2697-2699, 1999.
(14) 島津武仁・パウフィ・スリスティオ・駒込博泰・渡辺功・杉田愃・中村慶久, "CoCrTa/Ti/CoZrNb垂直二層膜媒体におけるTi層厚みの低減と磁気特性", 日本応用磁気学会誌, 23, pp.969-972, 1999.

第 5 章　　共同研究

5.1　共同プロジェクト研究の理念と概要

○共同プロジェクト研究の理念と概要

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

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

○共同利用委員会

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

今年度は，平成12年度共同プロジェクト研究の公募方法に関して議論を行い，次の２点を重点的に考慮し，公募を行うことにした。

1）公募する共同プロジェクト研究の内容を，外部により具体的に明示することを目的に，メインテーマを次のように決めた：「時・距離・言葉の壁を超えるバリアフリー通信に関する基礎研究」，
2）より広範囲からの応募を目的として，関連学会誌上にて公募要項の掲示を行うこととした。

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

○平成11年度共同プロジェクト研究

平成11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23件

(A：14件, B：９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，14件のうち８件が外部よりの提案，B タイプは短期開催の研究会形式の研究で，９件のうち３件が外部よりの提案のものである。また，Aタイプの研究のうち９件には，民間の研究者が参加している。

平成11年度共同プロジェクト研究採択一覧

H09/A01　人間とエージェントの協調を支援する拡張現実空間とそのソフトウェアに関する研究
H09/A02　酸化物超伝導体のミリ波・サブミリ波デバイスに関する研究
H09/A03　超大容量垂直スピニックストレージシステムの研究
H09/A04　微小電子源の物理と電子ビーム応用
H09/A05　新圧電単結晶・薄膜の探索と弾性波デバイスの高度情報通信システムへの応用の研究
H09/A06　脳型計算機のアーキテクチャに関する基礎的研究
H09/A07　超高速LSI用SOIMOSデバイス・プロセスの研究
H09/A08　フラーレンプラズマの構造制御と内包フラーレン生成への応用
H09/A09　ミリ波・サブミリ波帯計測システムの開発
H09/A10　音の高次臨場感通信に関する研究
H09/A11　超低消費電力無線通信ハイブリットULSIプロセス技術の研究
H11/A01　Ⅳ族半導体体極限ヘテロ構造形成と表面・界面制御に関する研究
H11/A02　二波長半導体レーザによるテラヘルツ電磁波生成の研究
H11/A03　周波数シフト帰還型レーザによる光通信用デバイスの特性評価システムの開発
H09/B02　電磁流体現象の解明とその応用
H09/B04　計算資源制約下の計算パラダイム
H10/B01　半導体エピタキシャル成長の原子レベル制御に関する研究
H10/B02　環境共生型量子反応制御プロセスに関する研究
H10/B03　テラフォトニクスの研究
H10/B04　３次元フォトニック結晶とデバイス応用の研究
H10/B05　新機能性スピニクス材料の基礎と応用に関する研究
H11/B01　マイクロ磁気システムの研究
H11/B02　脳の情報原理の解明に向けた基礎的研究

○共同プロジェクト研究の公募，実施について

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

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

www - URL: http:/www.riec.tohoku.ac.jp

問い合わせ先：東北大学電気通信研究所研究協力掛
電話：022-217-5422

課題番号　H09/A01

人間とエージェントの協調を支援する拡張現実空間とそのソフトウェアに関する研究

[1] 組織
代表者：菅原 研次（千葉工業大学工学部）
通研対応教官：白鳥 則郎
（東北大学電気通信研究所）
分担者：
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）
阿曽　弘具（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）
佐藤　雅彦（京都大学工学部）
長沢　庸二（鹿児島大学工学部）
今宮　淳美（山梨大学工学部）
山崎　晴明（山梨大学工学部）
石田　亨（京都大学大学院工学研究科）
柴田　義孝（岩手県立大学ソフトウェア情報学部）
照屋　健（琉球大学工学部）
服部　文夫（NTTソフトウェア株式会社）
木下　哲男（東北大学電気通信研究所）
岡田　謙一（慶応大学工学部）
程　子学（会津大学）
ゴータム・チャクラボルティ（岩手県立大学ソフトウェア情報学）
藤田　茂（千葉工業大学工学部）
原　英樹（千葉工業大学工学部）
橋本　浩二（岩手県立大学ソフトウェア情報学）

研究費　校費　808千円　旅費　1,498千円

[2] 研究経過

近年のインターネットの普及や，マルチメディア，ＣＳＣＷなどの情報処理技術の発展に伴い，企業などの社会活動がネットワークを利用して行われるようになっている。しかしながら，一般の利用者が，ネットワークが提供する情報や，その処理機能を使いこなすことはいぜんとして困難であり，この事が高度ネットワーク社会への移行に対する障壁となっている。この障壁を乗り越えるために，現実世界の人間の活動の様式を，ネットワークの中に構築されるサーバースペースへと自然に拡張する，新しい協調的情報処理技術を創造することが重要である。

本研究プロジェクトの目的は，バーチャルリアリティ技術とエージェント技術を組み合わせることにより，人間とエージェントが共存するための仮想現実感を組み込んだ分散処理技術を開発することにある。

本年度は第３年度目にあたるので，第２年度目までに行ったモデル設計にに基づいて，上記目的を実現する試作システムの実装と評価を行った。以下，本年度の研究活動の概要を記す。

[拡張現実空間のソフトウェアの実装と評価]
（菅原，白鳥，根本，西関，阿曽，牧野，佐藤，柴田，照屋，木下，岡田，藤田，原）

拡張現実空間の例題として，サイバースペースのなかに構築されるオフィスのメタファに基づく仮想空間を構成した。仮想空間はサーバとインターネットに接続されるクライアントからなり，そのソフトウェアの実装と評価を行った。言語VRMLを使用してサーバマシン上にオフィスの３次元仮想空間システムの実装を行った。次に，仮想３次元空間を利用する利用者のために，パーソナルコンピュータの，ビューアー用ソフトウェアを開発した。

本仮想空間の，試作のため，以下の研究打ち合わせを行った。

(1) 仮想空間（サイバーオフィス）の設計会議
日時：５月14日～５月15日
１．仮想空間サイバーオフィスの空間モデルと設計
　菅原研次（千葉工大）
２．仮想空間のネットワーク上での分散的構築について，
　白鳥則郎（東北大学）
３．仮想空間のアバターの動作モデルについて
　木下哲男（東北大学）

(2) 仮想空間サイバーオフィスの接続試験と評価
日時：８月27日～８月28日
１．仮想空間サイバーオフィス試作システムの概要
　菅原研次（千葉工大）
２．利用者間協調のインターフェースの評価
　木下哲男（東北大）
３．メタファに基づく現実感の評価
　白鳥則郎（東北大学）

[エージェントの設計と実装]
(菅原，木下，山崎，石田，服部，岡田，程，
チャクラボルティ，橋本，藤田，原)

サイバーオフィスの利用者は，他の参加者とのコミュニケーションを取るサービスを受けるだけではなく，利用者の様々な作業を代行するエージェントにより支援を受けることができる。これらのエージェントもビジネスアシスタントや情報処理サービスなどのオフィスメタファで表現される。

サイバーオフィスでは，このような利用者の作業を代行するためのさまざまなエージェントが組み込まれており必要に応じて呼び出される。このようなエージェントの動作環境をエージェント空間という。

本プロジェクトではエージェント空間の開発のために，すでに我々のグループが開発しているADIPSフレームワークを用いて行った。

エージェント空間の試作のために，以下の研究打ち合わせを行った。

(3) エージェント場の設計会議
日時：7月15日～7月16日
1．エージェント場の設計と実装について
藤田　茂（千葉工大）
2．エージェントの分類と仕様
菅原研次（千葉工大）
3．やわらかい通信処理のためのエージェント
菅沼拓夫（東北大学）

(4) エージェントの実装と評価会議
日時：10月27日～10月29日
1．サイバーオフィス業務支援のエージェントの設計
藤田茂，菅原研次（千葉工大）
2．サイバーオフィス業務支援のエージェントの実装
原英樹，菅原研次（千葉工大）
3．通信処理のためのエージェントの実装
菅沼拓夫，木下哲男（東北大学）

[全体システムの評価]
(菅原，白鳥，木下，長沢，今宮，服部，藤田)

図1は，試作したオフィスの全体像を上方から俯瞰したものである。このオフィス空間の中で，クライアントマシンを使用してアクセスする参加者は，アバターと呼ばれる人型のオブジェクトとして表現される。アバターはオフィス空間を自由に移動でき，他のアバターを認識できる。図2は，他のアバターと会話をしている状態を表している。

また図3にみられるように，電話やファックスなどの現実空間の道具をそのまま仮想空間のオブジェクトとして実現し，仮想空間におけるメッセージ通信，情報処理機器として，現実空間と同じに作用するので，説明無しにその機能を利用できるようになり，情報処理過程が直感的に把握できるようになった。

全体評価のために以下の研究会議を持った。

(5) システム評価会議
日時：12月22日～23日
1．サイバーオフィスの現実感の評価
白鳥則郎，木下哲男（東北大学）
2．エージェントのオフィス業務支援機能の評価
桑原和宏（NTTソフトウェア）
3．エージェント場の協調プロトコルの評価
藤田　茂，菅原研次（千葉工大）
4．協調作業支援機能の評価
服部文夫（NTTソフトウェア）

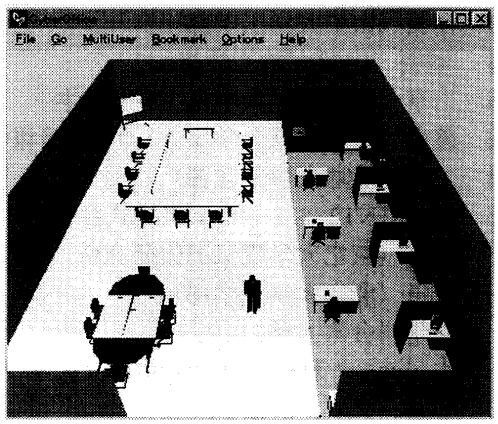


図1　サイバーオフィスの俯瞰図

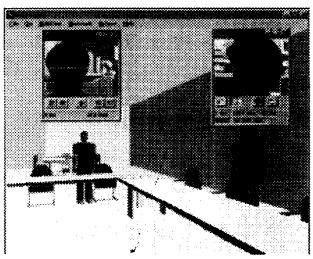


図2　サイバーオフィスでの人間の協調

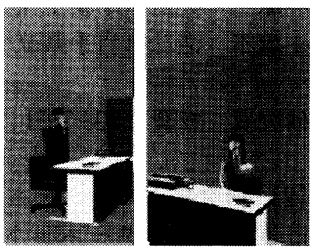


図3　現実空間メタファに基づくエージェント通信

[3] 成果
(3－1) 研究成果

21世紀のネットワーク社会においては，利用者に対して，より高度な情報処理作業環境を提供するとともに，情報弱者を作らないようにより簡単に，より効率的に情報の検索と情報処理を行うための新しいインタフェースが必要である。本共同研究プロジェクトは，(1)現実空間のメタファを用

い，エージェントと人間が協調することができる拡張現実空間インタフェースを試作し，だれでもが簡単にサイバースペースを利用することのできるインタフェースの構成法を与えた。(2)利用者の作業を代行し様々な情報処理作業を支援するエージェント空間の構成法と，業務領域ごとのエージェントの試作を行い，人間とエージェントが協調する情報処理空間の有効性を示すことができた。

（３－２）波及効果と発展性など

(1) 未来開拓プロジェクトへの発展

(3-1) に述べたように，本プロジェクトのアプローチは効率的な作業環境を与え，かつ情報弱者を作らない分散型情報処理システムを構成する上で妥当であることが確認された。しかし，従来のネットワークサービスの上に，直接このインタフェースを構築することに関する問題点がいくつか明確になった。これを，解決するには，利用者やアプリケーションの要求の変化，多様化や，ネットワーク通信環境の変動に適応して，適切なネットワークサービスを提供する動的ネットワーキングサービスが必要であることが明らかになった。従って，本研究をさらに進めるために，新たに「動的ネットワーキング」プロジェクトを，日本学術振興会未来開拓事業受託研究に申請し，これは1999年から2005年３月までの大型プロジェクトとして採択された。

(2)国際共同研究の主要テーマへの発展

さらに2000年３月に北京で開催されたSino-Japan Symposium on Intelligent Information Systemにおいても，本共同プロジェクト研究は今後継続すべき主要な研究テーマとして認められ，今後の国際間の重要な共同研究課題として注目を集めている。

[4] 成果資料

(1)原英樹　他，ADIPSフレームワークのためのエージェント開発支援環境，情報処理学会論文誌，40巻・11号，4030 - 4040，1999

(2)白鳥則郎　他，次世代ネットワークソフトウェアの構築に向けて，電子情報通村学会論文誌B,vol.J82-B,no.5,pp.694-701, 1999

(3)Kenji Sugawara, et.al., Agent Framework ADIPS, Proc. of Sino-Japan Symposium on Intelligent Information System, Beijing China, 13 - 22,2000

(4)Tetsuo Kinoshita, et. al., Agent-based Flexible Videoconference System, Proc. of Sino-Japan Symposium on Intelligent Information System, Beijing China, 29 - 41,2000

(5)Norio Shiratori, et. al., A Dynamic Networking Architecture -Next Generation Research on Information Network -, Proc. of Sino-Japan Symposium on Intelligent Information System, Beijing China, 1 - 7,2000

(6)B.B.Bista, et.al., A compositional Approach for Constructing Communication Services and Protocols, IEICE Trans. on FUNDA, vol.E82-A, pp.2646-2557

(7)K. Hashimoto, Y. Shibata, N. Shiratori, Agent-Oriented Flexible Multimedia System Considering Organization and QoS Function, Proc. of Tenth International Workshop on Database and Expert Systems Application, Florence, Italy,Sept. pp.662-666,1999

(8)K. Hashimoto, Y. Shibata, N. Shiratori, System Organization Protocol for Flexible Multimedia System with QoS Guarantee Functions, Proc. of ICPP, Aizu, Sept., pp.602-pp.607, 1999

(9)K. Hashimoto, Y. Shibata, N. Shiratori,The System Organization and QoS Functions for Flexible Multimedia System, Proc. of DMS'99, Aizu, July, pp. 209-216

(10)A.Ashir, G. Mansfield, N. Shiratori, Estimating of network characteristics and its use in improving performance of network application, IEICE Trans. INF & SYST., vol.E82-D, no.4, April,pp.747-755, 1999

(11)K. Go, N. Shiratori, A decomposition of a formal specification: An improved constraint oriented method, IEEE Trans. on Soft. Eng., vol. 25, no.2,pp.258-273,1999

(12)N. Shiratori, et.al., Towards Application-Centric Flexible Network Operation and Management, IEICE Trans. on Communication, vol. E82-B, no. 6, pp. 800-805, 1999

(13)B. Park, K. Takahashi, N. Shiratori,An error detection method for recursive processes for LOTOS instruction and its support system, Interdisciplinary Information Sscience, vol.5, no.1, pp.87-98, 1999

(14)菅原研次(分担執筆)，インターネットの進化と日本の情報通信政策，日鉄技術情報センター，75 - 100,2000年4月20日

(15)菅原研次(分担執筆)，サイバーネットワーク，NTT出版，117 - 143,1999

共同プロジェクト研究

課題番号　H09/A02

酸化物超伝導体のミリ波・サブミリ波デバイスに関する研究

［1］組織

代表者：大嶋　重利　（山形大学工学部）
責任者：山下　努　（東北大学電気通信研究所）
分担者：
中島　健介　（東北大学電気通信研究所）
陳　健　（東北大学電気通信研究所）
中村　嘉孝　（八戸工業高等専門学校）
道上　修　（岩手大学工学部）
大矢銀一郎　（宇都宮大学大学院工学研究科）
楠　正暢　（山形大学工学部）
向田　昌志　（山形大学工学部）
川崎　雅司　（東京工業大学大学院総合理工学研究科）
高田　進　（埼玉大学工学部）
小林　禧夫　（埼玉大学工学部）
山本　寛　（日本大学理工学部）
安岡　義純　（防衛大学校）
伊藤　公一　（千葉大学工学部）
今井　捷三　（北陸先端科学技術大学）
斉藤　幸典　（山梨大学工学部）
藤巻　朗　（名古屋大学大学院工学研究科）
斗内　政吉　（大阪大学超伝導エレクトロニクスセンター）
吉田　啓二　（九州大学大学院システム情報工学科）
王　鎮　（郵政省通信総合研究所）
大杉　武司　（アイシン精機）
井上　佳弘　（アンリツ）
岩下　節也　（セイコーエプソン）
高橋　和浩　（信光社）
佐藤　敏美　（住友重機械工業）
山下　信一　（ＴＤＫ）

研究費：校費　97万８千円
旅費　122万４千円

［2］研究経過

高温超伝導体のマイクロ波，ミリ波・サブミリ波のデバイスは，コンパクトで高性能な素子として注目されている。特にマイクロ波領域の超伝導フィルタは，移動体通信の基地局用フィルタとして注目され，近年盛んに研究されている。また，サブミリ波帯の電磁波検出では，高温伝導体を用いてより高い周波数の検出を目指している。本プロジェクト研究は，高温超伝導体のミリ波・サブミリ波デバイスに関する基礎的な事項の検討や新しい現象の発見，デバイスの実用化の問題点をより明確にすること等を目的としている。

本プロジェクトは平成９年度より開始され，本年度が最終年であった。平成9～10年度に，高温超伝導体のマイクロ波・ミリ波の評価技術の確立や新しい電磁波デバイスの検討，Bi系超伝導体の固有ジョセフソン効果等を検討した。本年度は，前年度の成果を踏まえながら，

(1) 高温超伝導薄膜の作製法
(2) 高温超伝導薄膜のマイクロ波表面抵抗測定技術
(3) 高温超伝導マイクロ波デバイスの試作・評価
(4) Bi2212単結晶の固有ジョセフソン効果
(5) ミリ波・サブミリ波検出デバイス
(6) 高温超伝導体からのテラヘルツ電磁波放出
(7) デジタルデバイスの検討

等，応用に密接に関連した研究を行った。また，３回の研究会を開き，プロジェクト研究者間の情報交換や交流を行った。以下に研究会の概要と研究成果のあらましを述べる。

研究会：

（Ｉ）平成11年７月29日（木）13:00～18:30
会場：東北大学電気通信研究所2号館4階大会議室
（日本学術振興会超伝導エレクトロニクス第146委員会・マイクロ波分科会と共催）
この研究会はマイクロ波デバイス用の高温超伝導薄膜の問題点を明確にすることを目的としたもので，スパッタリング，レーザアブレーション，ＭＢＥ，ＣＶＤ等による作製について詳しく議論した。

(1) マグネトロンスパッタ法によるデバイス用ＹＢＣＯ系薄膜の形成・処理技術
岩手大学工学部　道上　修，若菜　裕紀，
橋本　健男
(2) レーザ蒸着法による超伝導薄膜の作製と評価
山形大学工学部　向田　昌志，楠　正暢，

大嶋　重利

(3) 大面積金属基板上へのYBCO薄膜の作製とマイクロ波表面抵抗測定
金属材料技術研究所
小森　和範，川岸　京子，福富　勝夫，戸叶　一正
高エネ研　劉　　建飛，稲垣　慈見，浅野　清光，絵面　栄二

(4) １２３系高品質超伝導薄膜のＭＢＥ成長
NTT物性科学基礎研究所　内藤　方夫

(5) MOCVD膜の成長プロセスとそのマイクロ波応用
名古屋大学大学院　吉田　隆，高井　吉明
超電導工学研究所　平林　泉

（Ⅱ）平成11年12月15日
場所：東北大学電気通信研究所2号館中会議室
最終年を迎えるプロジェクト研究の進展について各研究機関より成果報告をしてもらった。

（Ⅲ）平成12年2月10日（木）13：30～17：00
場所：東北大学電気通信研究所１号館４階講堂
ポスター会場：東北大学電気通信研究所１号館３階Ｎ308教室
講演１　「強磁場における材料プロセス」
東北大学金属材料研究所　本河光博 教授
講演２　岩手県の地域結集型共同プロジェクト「生活・地域への磁気活用技術の開発」の紹介
岩手大学工学部　能登宏七　教授
ポスター発表（学生）
１．「イオン注入によるBSCCO単結晶の特性改質」
渡邉潤平　（東北大学）
２．「rf磁界駆動型dcSQUIDスイッチング素子の研究」
チャン　コクフー，斉藤　桂　（東北大学）
３．「FIB加工によるLSCO単結晶固有ジョセフソン接合の作製」
佐々木　登　（東北大学）
４．「BSCCO固有ジョセフソン接合の磁束量子ダイナミックス」
中尾光明，須藤　聡　（東北大学）
５．「$YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$マイクロ波パッチアンテナ及びパッチアレイアンテナの研究」
Md.Idris Ali（山形大学）
６．「超伝導セキュリティアンテナ用小型冷却システム」
佐藤和秋　江畑克史（山形大学）
７．「８段超伝導クロスカップル型フィルタの設計」
金原智之　（山形大学）
８．「高温超伝導体単結晶円筒形メサにおけるジョセフソンボルテックスフローに関する研究」
近藤　悟（宇都宮大学）
９．「高温超伝導トンネル接合の製作に関する基礎的研究」
高嶋裕司　（宇都宮大学）
10．「$Pr_{1-x}Ca_xMnO_{3-d}/YBa_2Cu_3O_{7-y}$ ２層膜の電界効果」
北川篤史（北陸先端技術大学）
11．「ミニチュアパルスチューブの周波数特性」
永井　亨　（日本大学）
12．「ミリ波検出用高温超伝導YBCOホットエレクトロンボロメータの製作」
矢崎天一　（防衛大学）
13．「ＲＦマグネトロンスパッタ法によるBPSCCO薄膜の作成」
坂本真一　（山梨大学）
14．「直流対向ターゲットスッパッタ法によるBPSCCO薄膜の作成」
中沢純一　（山梨大学）
15．「Bi系超伝導薄膜の表面抵抗に及ぼすインターグロースの影響」
山本　修　（名古屋大学）
16．「YBCOログペリアンテナからのテラヘルツ電磁波放射」
西條人司　（大阪大学）
１７．「サファイア共振器を用いたYBCO薄膜の表面抵抗のミリ波測定」
吉川博道　（埼玉大学）

［３］成果

（３－１）研究成果
本年度は，以下に示す研究成果を得た。まず第一に，高温超伝導薄膜の作製法の確立。レーザアブレーションやスパッタリング法により，低表面抵抗を有する高温超伝導薄膜の作製技術を確立した。第二に，高温超伝導薄膜の表面抵抗測定技術の確立。誘電体共振器法やマイクロストリップ線路共振器法により，精密な表面抵抗を測定する技術を確立した。第三に，高温超伝導デバイスの試作。超伝導アンテナ，フィルタやモノリシックデバイスを試作し，その特性を評価した。第四に，高温超伝導特有の固有ジョセフソン効果の検討。Bi2212 単結晶をＦＩＢ微細加工により，メサ構造を作製し，その固有ジョセフソン効果を検討した。第五に，ホットエレクトロンボロメータを高温超

伝導薄膜により作製し，ミリ波・サブミリ波電磁波の検出に成功した。第六に，高温超伝導薄膜より放出されるテラヘルツ電磁波の発生メカニズムを明らかにした。第七に，ジョセフソン接合を用いた新しいデジタル回路を提案した。第八に，高温超伝導デバイスを冷却する小型の冷凍機システムを開発した。

（３－２）波及効果と発展性

本プロジェクト研究により得られた成果を基に，以下のような波及効果が生じた。

（イ）高温超伝導薄膜の市販

マイクロ波デバイス用高温超伝導薄膜の作製技術を東北精機工業（株）と共同開発し，日本で初めて高温超伝導薄膜を市販する企業を育てた。

（ロ）高温超伝導体パッシブデバイスの研究グループの確立

日本学術振興会超伝導エレクトロニクス第146委員会の「マイクロ波～光」分科会との連携を推進し，研究グループを確立した。

（ハ）固有ジョセフソン効果に関する国際会議開催

平成12年８月末に東北大学電気通信研究所山下教授主催により固有ジョセフソン効果に関する国際会議が開かれる。本プロジェクトグループから研究成果が幾つか報告される。

［４］主な研究発表

1. S. OHSHIMA. K. EHATA and T. TOMIYAMA, "High-Temperature Superconducting Microwave Passive Devices, Filter and Antenna" IEICE TRANS. Advances In ELECTRON., VOL. E83- C, NO.1 (January 2000) pp.2-6.
2. K. EHATA, M. KUSUNOKI, and S.OHSHIMA, "Design, Fabrication, and Characterization of Patch Antenna Using Superconducting Thin Film" Electronics and Communications in Japan, Part 2, Vol.82, No.11 (1999) pp.59-69.
3. K.Nakajima, N.Yamada, J.Chen, T.Yamashita, S. Watauchi, I. Tanaka, and H. Kojima, "Bi-Sr-Ca-Cu-O intrinsic Josephson junctions fabricated by inhibitory ion implantation", IEEE Trans. Appl. Supercond. 9 (1999) pp. 4515-4518.
4. H.B.Wang, Y.Aruga, T.Tachiki, Y.Mizugaki, J.Chen, K. Nakajima, T.Yamashita, and P. H. Wu: "Microwave-induced current steps in intrinsic Josephson junctions patterned on $Bi_2Sr_2CaCu_2O_{8+x}$ single crystal", Appl. Phys. Lett., 74, (1999) pp. 3693-3695.
5. A. Irie, Y. Hirai, and G. Oya, "Fiske and flux-flow modes of the intrinsic Josephson junctions in $Bi_2Sr_2CaCu_2O_y$ mesas" Appl. Phys. Lett., 72, (1998) pp. 2159-2161.
6. A. Irie, S. Kaneko, and G. Oya, "JOSEPHSON VORTEX FLOW IN $Bi_2Sr_2CaCu_2O_y$ INTRINSIC JOSEPHSON JUNCTIONS", International Journal of Modern Physics B, Vol. 13, Nos. 29, 30 & 31 (1999) pp.3678-3681.
7. H. Myoren, S. Ono, and S. Takada, "NAND Gate for SFQ Logic Circuits", IEICE TRANS. Advances In ELECTRON., VOL. E83-C, NO.1 (January 2000) pp.81-84.
8. H. Yoshikawa, S. Okajima, Y. Kobayashi "Comparison Between BMT Ceramic One-Resonator Method and Sapphire Two-Resonator Method to Measure Surface Resistance of YBCO Films", APMC Proc., Vol.2 (1998) pp.1083-1086.
9. H. Zama, M. Miyakoshi, H. Yamamoto, and T. Morishita, "Effects of Seed Layer on $YBa_2Cu_3O_x$ Films Grown by Liquid Phase Epitaxy" Jpn. J. Appl. Phys. Vol. 38, Part 2, No.11A, 1,Nov. (1999) pp.L1225-L1227.
10. Y. Yasuoka, T. Nozue and Y. Yasuoka, "Millimeter Wave Harmonic Mixing in Thin-Film $YBa_2Cu_3O_{7-x}$ Josephson Junction", Jpn. J. Appl. Phys., 38(1999) pp.6268-6271.
11. J. Sakai, J. Hioki, T. Ohnishi, T. Yamaguchi, S. Imai, "$YBa_2Cu_3O_{7-z}/Pr_{0.5}Ca_{0.5}MnO_{3+y}$/ $YBa_2Cu_3O_{7-z}$ sandwich type Josephson junctions" , Jpn. J. Appl. Phys. Pt.1, vol.37, No.6A, (1998) pp.3286-3289, June.
12. N. H. Hong, J. Sakai, H. Iwasaki and S. Imai, "Magnetoresistance in $La_{0.45}Ba_{0.05}Ca_{0.5}MnO_{3-y}$ thin films, "Proceedings of The Third International Workshop on Materials Science (IWOMS '99) (Hanoi, Nov.2-4, 1999) p.403.
13. S. Hontsu, H. Nishikawa, H. Nakai, J. Ishii, M. Nakamori, A. Fujimaki, Y. Noguchi, H. Tabata, T. Kawai, "Preparation of all-oxide ferromagnetic /ferroelectric/superconducting heterostructures for advanced microwave applications", Supercond. Sci. Technol. Vol. 12 (1999) pp. 836-839.
14. O. Morioka, M. Yamashita, H. Saijo, M. Morimoto, M. Tonouchi, and M. Hangyo, "Vector imaging of supercurrent flow in $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ thin films using terahertz radiation", Appl. Phys. Lett., VOL. 75 (1999) pp.3387-3389.

15. M. Tonouchi, S. Shikii, M. Yamashita, K. Shikita,T. Kondo, O. Morikawa, and M. Hangyo "Visualization of Optically Controlled Magnetic Flux in $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ Thin Film Loop by Terahertz Radiation Imaging", Jpn. J. Appl. Phys., 37 (1998) L1301-L1303.
16. K. Yoshida, Y. Kanda, and S. Kohjiro, "A Traveling -Wave-Type $LiNbO_3$ Optical Modulator with Superconducting Electrodes, "IEEE TRANS. Microwave Theory Tech. VOL. 47 (1999) pp. 1201 - 1205.
17. K. Yoshida, K. Sashiyama, S. Nishioka, H. Shimakage and Z. Wang, "Design and Performance of Miniaturized Superconducting Coplanar Waveguide Filters", IEEE Trans. Appl. Supercond. VOL. 9 (1999) pp. 3905-3908.

共同プロジェクト研究

課題番号　H09/A03

超大容量垂直スピニックストレージシステムの研究

［1］組織

代表者：　中村慶久（東北大学電気通信研究所）
責任者：　中村慶久（東北大学電気通信研究所）
分担者：
○共同研究者所属氏名
杉田愃（東北大学電気通信研究所），大沢寿（愛媛大学工学部），岡本好弘（愛媛大学工学部），山本節夫（山口大学工学部），村岡裕明（東北大学電気通信研究所），大内一弘（秋田県高度技術研究所），本多直樹（秋田県高度技術研究所），山川清志（秋田県高度技術研究所），伊勢和幸（秋田県高度技術研究所），沼澤潤二（日本放送協会技術局），西原敏和（日本ビクター），鹿野博司（ソニー），内田博（日本アイビーエム），松崎幹男（ＴＤＫ），高野研一（ＴＤＫ），田上勝通（日本電気），坪井眞二（日本電気），二本正昭（日立製作所），梅本益雄（日立製作所），高野公史（日立製作所），押木満雅（富士通研究所），田中陽一郎様（東芝），竹尾昭彦（東芝）

研究費：校費673千円，旅費1,537千円

○研究経過

本年度も，参加研究者の研究分担をヘッドディスク系のデバイス研究と信号処理系の方式研究の二つに大きく分けて検討を行った。研究結果の交換及びデバイスの相互評価を通じたインタラクティブな研究を積極的に展開した。また，本年は日本ビクターによる標準媒体の配布を行ない，これをリファレンスとして記録特性の議論の位置付けを明らかにした。研究集会は５回を開催して成果を持ちより議論を重ねた。開催日程は以下の通りである。

第１回：６月29日（火），第２回：9月22日（水），
第３回：11月24日（水），第４回：2月１日（火），
第５回：３月16日（木），第６回：3月22日（水）

［3］成果

(3-1) 研究成果

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

(1) MRヘッドの二層膜垂直磁化再生応答の近似式定式化

垂直磁気記録では磁化転移幅が狭いので，再生分解能がヘッドディスク系の総合的な分解能に与える影響が大きい。従って，MRヘッドによる二層膜垂直記録磁化の再生レスポンス表現を確立することは理論的に重要な課題である。

MRヘッドの二層膜媒体に対する再生応答はその感度関数を求めて相反定理に適用すれば得られる。昨年度までに，Fan方程式が本目的に適用可能であることを見出し，二層膜媒体系に関するMRヘッドの微分方程式の解として有効なことを示した。しかし，その表現式は級数と無限積分を含んで比較的複雑であり，簡便な用途には必ずしも向いていなかった。そこで，これまで導いた級数関数を基礎としてより簡単な近似解を得た。この関数はシールドギャップ長が記録層厚とスペースの和の3～4倍より狭い場合には十分な近似が得られる。次に，級数近似された感度関数をさらに単項式関数とする可能性を調べた結果，誤差関数及び双曲線正接関数が実測波形と比較的よく一致することを見出した。さらに，転移パラメータがaであるような逆正接型磁化転移$(2/\pi)\arctan(x/a)$に対して，上記の理論的検討により孤立再生波形を計算して実測と比較検討した。その結果，ヘッドの再生分解能程度では転移幅の影響は小さく，明確な差異が認められるのはa=20nm程度以上からであることが分かった。また，実測値は磁化転移幅をゼロとした計算値が実測値と最も良く一致し，垂直磁気記録では再生条件が全体の性能を決めることが示唆された。

(2) 二層膜垂直媒体のメディアノイズの時間軸解析とボロノイ型モデリング

垂直磁気記録のエラーレート測定からエラーレート制限要因は媒体ノイズであることが明らかになっている。従って，緊急の課題の一つに媒体ノイズの低減がある。このための方策の立案にはノイズの起源を明らかにして，効果的な対策を講じることが不可欠である。これまで垂直磁気記録の

ノイズソースとしてビット中央での大きな反磁界による局所的な磁化反転領域が定説になっていた。しかしながら，最近の二層膜垂直磁気記録媒体は高密度で増加するノイズ傾向を示すなど，必ずしも従来のノイズ理論で説明できるわけではない。本検討では，記録媒体の低ノイズ化の指針を得るためにより詳細な実験的検討とそれに基づくモデリングを行なった。

ノイズの起源を知る上で磁化転移がノイズの発生源になっているか否かは重要な知見となる。このためには媒体上のノイズ発生位置を特定することが直接的である。そこで，時間軸ノイズ測定により媒体上の転移位置を基準としてノイズ発生部分を特定するための測定を行なった。その結果，再生パルスが時間軸上でランダムにジッタしていることを明らかにした。これはいわゆる転移ノイズが垂直磁気記録媒体でも主であることを意味している。さらにこの転移ノイズの起源が有限サイズの磁気的な揺らぎにあると仮定してモデリングから考察を加えた。用いたモデルはランダムな多角形から成るボロノイセルである。このボロノイセルにより媒体を近似して，磁化転移をセルの境界線となる折れ線で近似した。次に，この磁化転移に対してマイクロトラック分割を施して再生波形を合成した。この合成再生波形を多数生成した上で上述の実験と同様の時間軸解析を行なった。計算結果は，実験と対応する双峰性の標準偏差分布を示した。これを種々の平均粒径をもつボロノイセルモデルの計算の結果，実測結果のピーク位置ジッタと信号SN比は別途測定した磁気力顕微鏡による転移近傍の磁気揺らぎ単位の約80nmとよく対応した。以上より，垂直二層膜媒体のノイズは転移近傍に集中しており，しかもその起源は有限サイズの磁気揺らぎにあると言える。ここで示した揺らぎサイズはかなり大きいもので，この微細化が垂直二層膜媒体の低ノイズ化にはまず重要であると結論できる。

(3) 垂直磁気ヘッドの研究

垂直磁気記録用単磁極ヘッドについてはすでに昨年度までに主磁極を薄膜導体で直接励磁する理想的な構造で原理試作を終え，浮上スライダに搭載してその記録特性の確認を完了している。本年度は秋田県高度技術研究所と東北大学を中心として，コイル巻数を増加して電流感度を向上させるとともに，主磁極に高飽和磁束薄膜を用いて記録能力を高めたヘッドを試作した。本ヘッドにより，オーバーライト特性が向上し，記録パターンがより鮮明になることを確認して，単磁極ヘッドの性能を改善した。更に，収束イオンビーム装置により主磁極を最小で100nm程度まで微細加工してその狭トラック記録分解能を磁気力顕微鏡で調べた結果，主磁極幅に応じて記録トラック幅が狭くなることが分かり，二層膜・単磁極ヘッド系垂直磁気記録の優れたトラック端記録分解能を示した。

また，実際のリードヘッドを用いた狭トラック特性も測定し，トラック両端の消去領域は30nmと非常に狭く記録されたトラック幅も主磁極の形状によく一致することが測定され，実記録特性上からも磁気力顕微鏡観測結果を裏付けた。

(4) 垂直磁気記録媒体の研究

最近の高密度媒体の重要な特性因子は記録磁化の熱緩和現象による減磁量である。すでに昨年度までに，減磁界の性質から垂直磁気記録では長手記録とは逆に高密度ほど減磁量が小さいことが分かっている。本年度はさらに媒体の磁気特性との関係を調べて，角形比が重要な性能指標であることが明らかになった。即ち，角形比が1に近い媒体サンプルほど減磁量が小さいことを示した。これは垂直磁気記録媒体の設計指針として極めて重要である。また，50nm以下の膜厚領域で磁気異方性を詳細に調べた結果，既存の媒体では熱緩和現象による保磁力低下が起こっており，そのためにVSM等で観測される保磁力が小さいことが示された。これを補正すれば垂直磁気記録媒体の保磁力は異方性から予測される値の70%程度と高いことが分かった。さらに，30nm以上の膜厚では磁性粒子体積ほどには熱的な磁化反転体積が大きくなく，この意味で現状では30nm程度が適切な厚みであることも導いた。

これまで課題となっている媒体ノイズについて上述の粒子の微細化に加えて軟磁性裏打ち膜が大きな影響を与える点についても明確なデータを得た。低ノイズ媒体のためには裏打ち層の材料を慎重に選ぶ必要があることを示した。

(3-2) 波及効果と発展性など

本プロジェクトは，垂直磁気記録研究者間の密接な研究成果の交換や実験結果の相互検証を通じて，垂直磁気記録研究をリードし，応用に直接結びつく実際的な高密度記録特性の議論や性能改善の提案が頻繁に行われている。この成果は，学会での共同研究発表として公開してきたが，今年度の研究成果はメンバー企業からの平成12年度初頭での新聞発表に結実する予定である。

ここでの成果を基礎にして，平成11年度より大型プロジェクト「日本学術振興会未来開拓学術研究推進事業」に採択され，本プロジェクト代表者中村慶久教授を中心とする研究組織で研究が開始されている。

［4］研究成果

(1) Y. Nakamura, "Perpendicular magnetic recording - progress and prospects", J. Magn. Magn. Mat., 200, pp.634-648, 1999

(2) H. Muraoka, Y. Sugita, Y. Nakamura, "Simplified Expression of Shielded MR Head Response for Double-Layer Perpendicular Medium", IEEE Trans. Magn., 35, 5, pp.2235-2237, 1999

(3) 村岡裕明・佐藤靖夫・杉田愃・中村慶久, "単磁極ヘッドの外部磁界安定性に関するシミュレーション解析", 日本応用磁気学会誌, 23, 4-2, pp.985-988, 1999

(4) H. Muraoka, K. Sato, Y. Sugita, Y. Nakamura, "Low Inductance and High Efficiency Single-Pole Writing Head for Perpendicular Double Layer Recording Media", IEEE Trans. Magn., 35, 2, pp.643-648, 1999

(5) 島津武仁・パウフィ・スリスティオ・駒込博泰・渡辺功・杉田愃・中村慶久, "CoCrTa/Ti/CoZrNb垂直二層膜媒体におけるTi層厚みの低減と磁気特性", 日本応用磁気学会誌, 23, 4-2, pp.969-972, 1999

(6) 姜文紅・村岡裕明・杉田愃・中村慶久, "垂直二層膜磁気記録媒体の再生減磁に与える外部磁界の影響", 日本応用磁気学会誌, 23, 4-2, pp.1001-1004, 1999

(7) 村岡裕明・三浦健司・杉田愃・中村慶久, "単磁極ヘッド･二層膜垂直媒体におけるエラーレート特性評価", 日本応用磁気学会誌, 23, 4-2, pp.1065-1068, 1999

(8) 村岡裕明・三浦健司・杉田愃・中村慶久, "二層膜垂直磁気記録のキャラクタリゼーションと高密度記録性能", 日本応用磁気学会誌, 23, S2, pp.35-40, 1999

(9) 高野公史・西田靖孝・黒田敦子・山本康彦・村岡裕明・中村慶久, "計算機シミュレーション・R/W評価による垂直磁気記録特性に関する検討", 日本応用磁気学会誌, 23, S2, pp.15-18, 1999

(10) 大沢寿・住吉弘行・岡本好弘・斎藤秀俊・村岡裕明・中村慶久, "二層膜媒体による垂直磁気記録のためのPRML方式" 日本応用磁気学会誌, 23, S2, pp.9-13, 1999

課題番号　H09/A04

超小電子源の物理と電子ビーム応用

［1］組織

代表者：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：庭野　道夫（東北大学電気通信研究所）
石塚　　浩（福岡工業大学工学部）
川崎　　温（埼玉大学理学部）
西川　　治（金沢工業大学工学部）
山本　恵彦（筑波大学物理工学系）
石川　順三（京都大学工学部）
高井　幹夫（大阪大学極限科学研究センター）
浅野　種正（九州工業大学マイクロ化総合技術センター）
安達　　洋（室蘭工業大学工学部）
下山　　宏（名城大学理工学部）
岡野　達雄（東京大学生産技術研究所）
伊藤　順司（電子技術総合研究所）
江上　典文（NHK放送技術研究所）
谷岡　健吉（NHK放送技術研究所）
畑中　義式（静岡大学電子デバイス研）
山口　　豪（静岡大学工学部）
荻田　正巳（静岡大学工学部）
中西　洋一郎（静岡大学工学部）
越田　信義（東京農工大学工学部）
石沢　芳夫（いわき明星大学理工学部）
大島　忠平（早稲田大学理工学部）
渡辺　一之（東京理科大学理工学部）
小林　功佳（お茶の水大学理学部）
富取　正彦（北陸先端科学技術大学院大学）
阪井　清美（郵政省通信総合研究センター）
谷　　正彦（郵政省通信総合研究センター）
中山　正昭（大阪市立大学工学部）
橋口　　原（香川大学工学部）
澤田　和明（豊橋技術科学大学電気・電子工学系）
宮本　恭幸（東京工業大学工学部）
岡野　　健（国際基督教大学教養部）
小野寺俊男（熊本工業大学工学部）
三村　秀典（東北大学電気通信研究所）

研究費：校費　67万3千円，旅費　163万9千円

［2］研究経過

本研究プロジェクトは，微小電子源の高性能及び高機能化を目的に研究を行った。両者は相互に拘わっており，前者の研究は，主として，微小冷陰極の電子放射機構の解明と放射電子の高輝度，低エネルギー分散化を目的とし，一方，後者は，高周波数デバイスへの応用を目的としたマイクロ波帯からテラヘルツ帯の周波数帯域での変調電子ビームの発生法に関するものである。

本年度は，本プロジェクト研究の第3年度に当たるが，前年度は，主に次の3項目についての研究を行った。(1) III-V族系化合物半導体共鳴トンネル陰極の開発を行い，共鳴トンネル効果を反映すると思われる電子放射を観測した。(2) ダイヤモンドライクカーボン（DLC）のコートによる電界放射陰極の表面改質について検討を行い，DLCのような誘電体薄膜のコーティングによる実効的な仕事関数は，誘電膜への電子の注入障壁と誘電膜の比誘電率，誘電膜の電子親和力の三者の相関関係により決定されることを明らかにした。(3)微小電子源のマイクロ波，ミリ波及びTHz帯の高周波デバイスへの応用を考慮して，高周波トランジスタ及びガン効果素子とFEAの融合による変調電子ビーム発生，フェムト秒光励起及び光混合励起による微小電子源からの変調電子ビームの発生法を提案した。以上の成果を踏まえ，本年度は，共鳴トンネル陰極の構造の最適化，ガン効果を用いた変調電子ビームの発生，電界放射陰極を用いたスミスパーセル光放射に関する研究を展開した。

以下，本年度の主な研究活動状況の概要を記す。

第1回　日時：平成11年12月13日～14日
場所：東北大学電気通信研究所大会議室
（電子情報通信学会電子デバイス研究会との共催）

(1) 葛巻　徹，高村　禅，堀池靖浩（東大）
「カーボンナノチューブフィールドエミッタのI-V特性と先端構造」

(2) 松田考平，藤井英俊，長岡克己，大島忠平（早大）
「Ni針上の炭素ナノ構造の原子構造と電界電子放出」

(3) 藤井英俊，松田考平，小牧正史，村田吉隆，長岡克己，大島忠平（早大）
「Nb超伝導針からの電界電子放出（II）」
(4) 中根英章，山根康一，武藤康史，安達　洋（室蘭工大）
「放射顕微鏡によるFEA放射特性の雰囲気ガス依存性の検討」
(5) 馬場昭好，岩本正和，浅野種正（九工大）
「スタンプ法による有機材料の構造形成と電界放出型微小電子源への応用」
(6) 小野修一，新井　学（新日本無線）
「ダイヤモンドの選択成長法」
(7) 木村千春，栗山憲治，杉野　隆（阪大）
「リンドープダイヤモンド薄膜の電界放出機構」
(8) 長岡勝玄，難波正和，山岸敏郎，岡崎三郎，江上典文，谷岡健吉（NHK），高山勝己，田中満，伊藤茂生（双葉電子）
「冷陰極HARP撮像板の基礎検討」
(9) 岡本和也，鈴木一明，沖野輝昭，河田真太郎，守田憲司，泰　一成，内川　清，谷元昭一，山口　武（ニコン）
「次世代露光機EBステッパ」
(10)石塚　浩，河村良行（福岡工大），横尾邦義，嶋脇秀隆（東北大通研），細野彰彦（三菱電機）
「微小電子源を用いたスミスパーセル光放射実験」

第２回　日時：平成11年12月22日
場所：東北大学電気通信研究所中会議室
（通研講演会，非常勤講師講演会との共催）
岡野達雄（東京大学生産研）
「超格子界面電子系からの電界電子放射」
渡鍋文哉（九州大学工学部）
「電界放射時間分解による表面吸着司の挙動観察」

第３回　日時：平成12年2月3日～4日
場所：東北大学電気通信研究所大講義室
(1) 會田田人（ATR環境適応通信研究所）
「米国における光デバイス研究調査他」
(2) 久保田和芳（ATR環境適応通信研究所）
「磁性体ならびにマイクロマシニングを用いた光デバイスの高機能化に関する調査」
(3) 大谷直毅（ATR環境適応通信研究所）
「タイプ２超格子の光電流発振について」
(4) 黒柳和良（ATR環境適応通信研究所）
「GaAs/AlGaAs短周期超格子におけるフランツ・ケルディッシュ振動とアバーブバリア遷移の共存」
(5) 堂本千秋（ATR環境適応通信研究所）
「GaAs/AlAs非対称二重量子井戸の高次準位へのキャリア注入」
(6) 谷岡秀昭（ATR環境適応通信研究所）
「微細構造による輻射場の制御」
(7) 柄沢　武（ATR環境適応通信研究所）
「RHEEDによる歪超格子成長の表面観察」
(8) Pablo O. Vaccaro（ATR環境適応通信研究研）
「横型接合面発光レーザの発光特性」
(9) 細田　誠（ATR環境適応通信研究所）
「type-II超格子における光電流応答，及びGamma-X輸送による電子冷却素子」
(10) 三村秀典（東北大学電気通信研究所）
「マイクロマシーニングを用いたGaAs系エミッタ」

［３］成果

（３－１）研究成果

本年度は，以下に示す研究成果を得た。

１．III-V族化合物半導体共鳴トンネル陰極

前年度に引き続き，放射電子エネルギーの単色性に優れた電子源を開発することを目的として，量子構造のサブバンド間の共鳴トンネル現象を利用した電子源の開発を行った。多層薄膜材料としては，III-V族化合物半導体を選び，現在，原子層レベルでの結晶成長で最も信頼性の高いGaAs/AlAsヘテロ接合から成る共鳴トンネル陰極を分子線エピタキシー（MBE）法により製作した。共鳴トンネル効果により量子井戸を透過した電子が真空中に放射されるためには，ゲート電極材料のGaAsの仕事関数4.07eV以上のエネルギーが必要であるが，III-V族化合物超格子ではエネルギー障壁高さは1eV程度しかないため，不足分のエネルギーを補うために電界により電子を加速させる必要がある。このため，共鳴トンネル陰極構造として，AlAs障壁層とGaAs電極層の間に適当な膜厚のnon-doped GaAs等の加速層を設けることにより，共鳴トンネル電子の真空中への放射が可能となると考えられる。

以上のことを考慮して，各境界面での波動関数の連続条件を用いるトランスファー・マトリックス（TM）法を用いて共鳴トンネル陰極の構造を決定し，non-doped GaAs加速層および$Al_xGa_{x-1}A_s$加速層を持つ単一量子井戸，２重量子井戸，３重量子井戸型共鳴トンネル陰極を製作し，放射電流特性を超高真空装置を用いて測定・評価した。その結果，ダイオード電流特性に共鳴トンネル効果に伴う負性抵抗性が観測される電圧近傍で，ステップ状とインパルス状の放射電流が観測された。これら電子放射機構の詳細は明らかではないが，放射電流の立ち上がり電圧が，ダイオード電流に負性

抵抗の現れる電圧と一致することから，共鳴トンネル効果を反映した電子放射と考えられる。また，素子面積を50mm□から10mm□と従来に比べて大幅に小さくすることで，ダイオード電流における負性抵抗特性が著しく改善された。今後，２次電子増倍管（MCP）を用いて放射電子の測定を行うと共に，共鳴トンネルに基づく放射電子のエネルギー分布の高精度計測を行う予定である。

２．微小電子源を用いた変調電子ビームの発生

高周波数デバイスへの応用を目的として，化合物半導体のガン効果と電界放射陰極の機能を融合し，マイクロ波帯からミリ波帯の周波数帯域での変調電子ビームの発生法の検討を行った。GaAsやInPなどの二谷構造を持つ化合物半導体に閾値以上の電界が印加されると，空間電荷の偏りによる２重極ドメインが発生し，半導体中を走行する。エミッタティップに到達したこの空間電荷をティップに印加されている高電界により真空中へ放射させることで，変調電子ビームを発生することができる。走行ドメインの周期は，主として，ドメインの走行距離で決定され，マイクロ波・ミリ波帯域の集群電子ビームの発生が可能である。GaAs系材料を用いた横型電界放射陰極をマイクロマシーニング技術を利用して製作し，動作実験を行った。GaAsへのドーピング濃度が1×10^{18}／㎤の場合，Fowler-Nordheimトンネリングと思われる電流－電圧特性を得た。一方，ドーピング濃度を1×10^{15}／㎤と低下させると，高電圧側でF-N特性から大きくずれた特性となる。このことは，ガン効果によるバンチビームの発生を示唆している。今後，エミッタ上部にアノードを設けるなど，詳細な検討を行い，バンチビームの明確な検出を行う。

３．微小電子源を用いたスミスパーセル光放射実験

小型自由電子レーザーへの微小電子源（FEA）の応用の可能性を検証するため，第１段階として，スミスパーセル（SP）光放射実験を行った。電子ビームはFEAを陰極とする長さ５cmの３極型電子銃により生成され，最大100keV程度に加速される。陽極板のスリット（直径0.2mm）を通過した電子ビームは，1800本／mmの回折格子の表面に接触して伝搬する。これまでに，加速電圧45keVにおいて，放射次数－2の安定なSP光が回折格子表面中央から測ってビームと$\theta=80^{\circ}$をなす方向で検出された。実験において，FEAは再現性の良い電子ビームを長期間に渡って供給した。今後，光子数やスペクトル幅を調べると共に，電子ビームエネルギーの向上を図る。

（３－２）波及効果と発展性など

半導体と真空電子デバイスの機能融合による新しいエレクトロニクスの展開は，本研究者らが提案しているものである。高周波トランジスタおよびガン効果素子などの高周波半導体素子とFEAの融合や光半導体技術との融合は，その一環をなすもので，今まで困難であったTHz帯におよぶ電磁波の高出力，高効率発生に道を開くものであり，今後の展開が期待される。

［４］成果

(1)Y. Neo, M. Niwano, H. Mimura and K. Yokoo, “Growth of aluminum on Silicon using dimethyl-ethyl amine alane”, Appl. Surf. Sci., 443-446, 1999.

(2)H. Mimura, M. Hosoda, N. Ohtani and K. Yokoo, “Γ-X electron transfer in GaAs-AlAs type-I superlattices”, Appl. Surf. Sci., 142, pp. 624-628, 1999.

(3)T. Matsumoto, H. Mimura N. Koshida and Y. Masumoto, “Deep-Level Energy States in Nanostructural Porous Silicon”, Jpn. J. Appl. Phys., 38, 1B, pp. 539-541, 1999.

(4)K.Yokoo, “New Approach for High Frequency Electronics based on Field Emission Array”, Proc. of 2nd Int. Workshop on Vacuum Microelectronics, pp.38-40, 1999.

(5)K.Yokoo, Y. Neo and H. Mimura, “New Electronics Bridging the Gap between Solid-State and Vacuum Microelectronics”, Proceedings of 7th Int. Sympo. on Resent Advances in Microwave Technology, pp. 259-262, 1999.

(6)H. Mimura, D. Arslan, H. L. Hartnagel, K. Tajima, K. Okamura, H. Shimawaki and K. Yokoo, “Lateral GaAs field emitters fabicated by micromachining technique”, Tech. Digest of 12th Int. Vacuum Microelectronics Conf., pp.146-147, 1999.

(7)K.Yokoo, “Functional Field Emission for High Frequency Wave Application”, Tech. Digest of 12th Int. Vacuum Microelectronics Conf., pp.206-207, 1999.

(8)H. Mimura, Y. Neo, K. Okamura, H. Shimawaki and K. Yokoo, “Resonant tunneling emission from GaAs/AlAs quantum structures”, Tech. Digest of 12th Int. Vacuum Microelectronics Conf., pp.378-379, 1999.

(9)石塚　浩, 河村良行, 横尾邦義, 嶋脇秀隆, 細野彰彦, “微小電子源を用いたスミスパーセル光放射実験”, 信学技報, ED99-254, 1999.

共同プロジェクト研究

課題番号　H09/A05

新圧電単結晶・薄膜の探索と弾性波デバイスの高度情報通信システムへの応用の研究

[1] 組織

代表者：山之内和彦（東北工業大学）
通研対応教官：
　　坪内　和夫（東北大学電気通信研究所）
分担者：中村　僖良（東北大学大学院工学研究科）
　　櫛引　淳一（東北大学大学院工学研究科）
　　長　　康雄（東北大学電気通信研究所）
　　小柴　正則（北海道大学院工学研究科）
　　小池　卓郎（玉川大学工学部）
　　兒島　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　正恆（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）
　　塩嵜　　忠（奈良先端科学技術大学院大学）
　　宝川　幸司（神奈川工科大学）
　　加藤　俊治（ミヨタ（株））
　　竹間　清文（パイオニア（株））
　　鈴木　幸俊（ヤマハ（株））
　　熊谷　博彦（旭ガラス（株））

[2] 研究経過

本プロジェクト研究は，平成6年度から平成8年度までの実施された共同プロジェクト研究，「フォノン集積デバイス・材料の研究」の研究成果，即ち，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・非線形挙動の解明，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デバイスの研究開発の研究成果を基盤として，97年度から発足した研究プロジェクトである。本研究では，それらの研究成果を発展させるとともに，デバイスの基礎となる大きな電気機械結合係数をもつ新しい圧電単結晶及び圧電体薄膜の研究，原子分子単位で制御された金属電極薄膜及び誘電体薄膜の研究，高周波フォノン波動の発生・検出電極を作製するためのナノメータリソグラフィ及びプロセスの研究・開発を行い，高度情報通信システムへの応用の研究を行っている。

本年度は，以下に示す内容について研究を行った。

○今までの研究で，YIG薄膜中を伝搬する静磁波ソリトンを用いたデバイスの研究を進めており，等価回路設計法を提案している．先に，これまでの成果と非線形シュレーディンガ方程式を組み合わせてソリトンの生成と伝搬についてシミュレーションを行っているが，これは，ソリトンが生成された後の振る舞いが解析の中心でソリトンそのものの生成についての知見が不十分であった．そこで本年度は，ソリトンそのものの生成を含めた取り扱いについて検討し，実験結果をよく説明できる結果を得た。

○今までの研究で，すだれ状電極(IDT)を力係数を用いた等価回路で表した解析法の研究を行ってきた．本年度は，並列接続と直接接続を用いた場合の解析法を検討した．これにより，SAWデバイスの特長である，インピーダンス変換を用いたデバイスの設計の自由度が増加した．これは，IIDTのような多電極型SAWデバイスへの拡張も容易に行うことが可能である。

○これまで，音響光学可変波長フィルタ(AOTF)の設計法として，SAW導波路解析と光導波路解析を組み合わせた方法を研究してきた。本年度は，新たに3次元SAW導波路解析のための有限要素法に基づくビーム伝搬法を用いてSAW導波路内の歪みや，電界分布からAO，EO効果による屈折率変化を導出し，得られた屈折率変化を光導波路解析のための3次元ビーム伝搬法に取り込む方法について検討を行い，いずれも実験値とよく一致した結果を得た。

○SAWの伝搬実験から基板の材料定数を求める方法について研究を行い，電気機械結合係数が水晶よりも大きく，温度特性が良好であるため移動体通信用SAW基板として注目されている$La_3Ga_5SiO_{14}$基板の代表的なカットから，伝搬方向の選定を行い誤差が少なく求まる組み合わせを検討してきた。

本年度は，より誤差を小さくするため任意のカット・伝搬方向の組み合わせの検討を行い，求まる弾性定数の有効桁数を明らかにした。

○$LiNbO_3$，$LiTaO_3$等の強誘電体結晶に電子ビームを照射してナノメートル分極反転ドットを作製する研究を行っている。しかし，分極反転制御を行う場合，注入された電子間に強いクーロン相互作用が働くことが予想される。本年度は，微小パターンを描画する前にその周囲に電子濃度の異なるガードリングを形成してクーロン相互作用の様相を調べ，その影響について実証した。

○弾性表面波(SAW)に対する電気機械結合係数K^2が53%と，従来最も大きいとされていた$LiNbO_3$の約10倍であることから，新しい圧電体材料として注目されている$KNbO_3$の単結晶の育成について検討を行った。$KNbO_3$の育成には，育成中及び冷却中温度勾配の制御が特に重要であることがわかっている。本年度は，溶液中で結晶を成長させるカイロポーラス法により，50×50×10(mm)の$KNbO_3$の育成に成功した。また，走査型非線形誘電率顕微鏡を用いた最適なポーリング方向の決定について提案した。実際に，ポーリングした結晶を用いてSAWフィルタを作製したところ，良好な特性を得ることができ，本方法で育成しポーリングした結晶が良質な$KNbO_3$であることがわかった。

○高音速SAW材料として，移動体通信への応用が注目されているAlN圧電薄膜のMO-CVD法による高品位形成法の研究と，それを用いた2.4GHzフロントエンドSAWマッチトフィルタの研究を進めている。本年度は，AlN/Al_2O_3構造SAWデバイスの温度特性向上を目指して，まず，反応管内圧力を増加させ，良好な温度特性を得た。これは，反応管内の圧力の増大により基板表面における反応種が増加し，AlNの初期核数が増大して，より緻密で結晶性の良い膜が得られたためと考えられる。また，バックアップガスにN_2を用いV/Ⅲ比の増加と温度特性の関係を検討し，V/Ⅲ比の増加も温度特性の改善に有効であることがわかった。

○SAWデバイスの高性能化を目指してECR-MBE法による高品位ZnO薄膜作製の研究を行ってきており，Z-cut $LiNbO_3$上にエピタキシャル成長することに成功している。本年度は，より電気機械結合係数が大きい基板材料を得るために，$LiTaO_3$(012)面上に，c軸が基板に平行なZnOを育成する研究を行った。これにより，育成条件を選ぶことで，c軸が基板に水平・垂直それぞれに向くZnO膜を育成することが可能となった。また，c軸が横を向いた膜の極性を判定する方法について検討を行い，下地基板の極性との関係を明らかにした。この場合，電気機械結合係数が基板のみの場合よりも大きくなることが理論計算によりわかった。

○光散乱現象の研究が急速に発展しているが，基本的な未解決問題として光の多重散乱現象がある。そのなかでも，光の局所現象としてコヒーレント後方散乱現象が非常に注目を集めている。これは，不均一系に特有な波動の弱局所現象であり，電子，光波，音波などあらゆる波動についてその存在が予測されている。本年度は，そのコヒーレント後方散乱現象を超音波で観察することに成功した。また，輸送平均自由行程の評価，及び光波では困難なパルス形状の評価を行い，理論の妥当性を確かめた。

○従来，圧電性基板上の薄膜導波路にSAWを励振し光を制御する方法が考えられてきたが，その場合，光と相互作用するのは薄膜中のSAW パワーだけであり，基板中のSAWパワーが有効に利用されていない。そこで，基板中のSAWパワーを有効に利用した偏光面制御素子を提案し実現した。理論解析からは，SAWの伝搬方向ごとに最高効率を得ることのできる膜厚が存在することがわかった。出力光が得られるSAWの周波数帯域0.5MHz得ることができた。

○エピタキシャルリフトオフ(ELO)技術を用いた弾性波半導体結合素子の作製を行い，弾性波と半導体中の光励起キャリアの相互作用について基礎的実験を行った。これにより，光励起キャリアに対してSAWは敏感に反応することがわかり，光により発振周波数を制御することができた。また，半導体薄膜のレイヤー構造や電極パターンを変えることによって，キャリアとカップリングが最大で損失の少ないSAWデバイスが実現可能であり，光発信器，光検出器，光コンボルバなどの応用が期待できる。

○大きな圧電性を示すPTやPZTの薄膜の研究が，盛んに進められている。今までの研究で，ゾルゲル法によりマイクロ波帯で利用可能な薄膜を得ている。しかし，ゾルゲル法では膜厚の厚い薄膜を得るためには，塗布，仮焼成を繰り返す必要があ

ったため，ゲル化した膜を直径200μm程度に細分化することで，一度の塗布で厚い膜を作製可能にする方法を提案した。これにより，基板上に2次元的に配列された，直径160μm，厚さ0.7μmのPZTディスク群の形成に成功し，厚み縦振動特性を観測して，作製したPZTが良好な圧電特性を有していることを確認した。

○直線収束ビーム超音波顕微鏡を用いて，バルクのみならず，薄膜や拡散層などの層状構造試料の評価解析の研究を進めている。本年度は，様々な条件で処理した，光導波路用のプロトン交換Z-cut $LiTaO_3$について，LSAW速度の周波数依存性の測定を行い，プロトン交換Z-cut $LiTaO_3$におけるLSAW速度の分散特性と層状構造モデルについて実験的に検討を行った。これにより，プロトン交換層深さを定義することで，一様な弾性特性をもつ表面層が形成されているとして取り扱うことができることがわかった。また本方法は，プロトン交換時の作製プロセス条件の評価にも有用である。

[3] 研究会活動

研究回を下記のとおり行った。
日時：平成12年2月21日（月）
場所：東北大学電気通信研究所

(1) 「非線形静磁波伝搬の等価回路的扱いについての一考察」小池卓郎（玉川大学工学部）
(2) 「インピーダンス変換を伴うSAWフィルタについての一検討」兒島俊弘（玉川大学工学部）
(3) 「音響光学可変波長フィルタ設計のための光導波路ならびに弾性表面波導波路の3次元ビーム伝搬解析」小柴正則，斎藤晋聖（北海道大学大学院工学研究科）
(4) 「SAW速度によるランガサイト弾性定数決定法におけるカット選定に関する検討」室田真男，張漢坤，清水康敬（東京工業大学大学院社会理工学研究科）
(5) 「ナノメートル分極反転制御とその応用 ―電子ビーム照射$LiTaO_3$におけるガードリング効果―」皆方誠，粟野春之，中田善一（静岡大学電子工学研究所）
(6) 「$KNbO_3$単結晶の育成（その１）」小松隆一，池田攻（山口大学工学部）
(7) 「$KNbO_3$単結晶の育成と評価」我妻康夫,小田川裕之,長康雄,*山之内和彦（東北大学電気通信研究所,*東北工業大学）
(8) 「AlNエピタキシャル成長におけるV/III比に関する検討」坪内和夫，苫米地秀一，三枝茂人，上原健誠，益一哉（東北大学電気通信研究所）
(9) 「ECR-MBE法による$LiTaO_3$回転Y板上への(110)ZnO薄膜の成長とその極性判別」庄子竜也，中村僖良，姜熙復（東北大学大学院工学研究科）
(10) 「音響コヒーレント後方散乱」山本健，酒井啓司，高木堅志郎（東京大学生産技術研究所）
(11) 「弾性表面波パワーを有効に利用した光偏光面制御素子」中川恭彦，中谷忍，垣尾省司（山梨大学工学部）
(12) 「ELO技術を用いた半導体／$LiNbO_3$結合素子の作製」兼城千波,青木裕介,須田隆也,洪哲雲,黄啓新,宝川幸司（神奈川工科大学工学部）
(13) 「ゾル-ゲル法による二次元構造PZTの作製」牧田博史，高松睦，大森達也，橋本研也，山口正恆（千葉大学工学部）
(14) 「直線集束ビーム超音波顕微鏡によるプロトン交換$LiTaO_3$における漏洩弾性表面波速度分散特性と層状構造モデル」宮下雅仁，櫛引淳一（東北大学大学院工学研究科）

課題番号　H09/A06

脳型計算機のアーキテクチャに関する基礎的研究

[1] 組織
企画者：中島　康治
責任者：中島　康治
分担者：沢田　康次（東北大学電気通信研究所）
矢野　雅文（東北大学電気通信研究所）
佐野　雅巳（東北大学電気通信研究所）
星宮　　望（東北大学大学院工学研究科）
二見　亮弘（東北大学大学院工学研究科）
山本　光璋（東北大学大学院情報科学研究科）
中尾　光之（東北大学大学院情報科学研究科）
山崎　義武（東北大学工学部）
合原　一幸（東京大学大学院工学系研究科）
岡部　洋一（東京大学先端科学技術研究センター）
新貝　鉊蔵（岩手大学工学部）
和久屋　寛（佐賀大学理工学部）
阿江　　忠（広島大学工学部）
八木　哲也（九州工業大学情報工学部）
矢内　浩文（茨木大学工学部）
島　　健（神奈川大学工学部）
近藤　由和（三菱電機先端技術総合研究所）
岩田　　穆（広島大学工学部）
森江　　隆（広島大学工学部）

[2] 研究経過

本研究は電気生理学的実験により得られる知識を用いて，高度知的情報処理機構を解明し，また非線形物理学，神経回路網理論，情報理論，並列計算機アーキテクチャー等により得られた成果を基盤に，半導体，超伝導体集積回路技術を駆使，人間にとって扱いやすい脳型計算機として，実時間大規模情報処理システムを構築するための基礎研究を行うことを目的としている。研究は，A. 脳機能の研究，B. モデリングと設計，C. 大規模インテリジェントチップの試作の３つのテーマからなり，共同研究会を開催し，研究者間の有機的結合をはかり，基礎概念の確立と新しいアーキテクチャの開発を目指している。

Aの脳機能の研究では，生体工学的に脳機能を解明するため，脳の知性と行動の基本とされている時系列情報の認識と発生，並びにこれらの相互作用について生体電子工学あるいは生体情報工学的観点から研究を進めている。Bのモデリングと設計では，情報工学的にしきい値論理，多値論理，集合論理を用いた脳型計算機のモデルを構成し，その理論的，数値的解析を通して，そのモデルを多値，アナログ，およびその融合型知能集積システムのマイクロチップとして実現するための設計，シミュレーションを行い，研究を進めている。Cの大規模インテリジェントチップの試作では，超多値知能集積システム開発，生体方式スーパーインテリジェントチップ開発を目指し，Bで設計された集積回路をチップ上に実現するシステムオンチップ技術について超高密度・高速知能システム実験施設において研究を行っている。

本年度は本プロジェクトの最終年度であり総合的なまとめの意味も含めて，個々の研究を推進すると同時に，研究者間の幅広くしかも深く掘り下げた議論を通して，各分野の研究の有機的な結合を達成し，より深い研究成果につなげるために，平成11年12月20(月)，21(火)に東北大学電気通信研究所において学術研究集会を開催した。そのプログラムを以下に記載する。

プログラム

12月20日（月）

○「神経回路の記憶情報処理でニューロン発火時間情報を活用する」
矢内浩文（茨城大）

○「培養神経ネットワークにおける多細胞同時記録と同期発火ダイナミクスの解析」
佐野雅巳，吉田　篤，石田文彦，沢田康次（東北大）

○「脳の時空間ダイナミクスと情報処理」
合原一幸（東京大）

○「積分発火ニューロンモデルの複数の入力に対する応答について」
斉藤利通，鳥飼弘幸（法政大）

○「大域結合写像による神経回路網モデルのダイナミクス」
早川美徳，鈴木大弼，沢田康次（東北大）

○「局所適応網膜機能と動き検出機能の集積回路化」
米津宏雄（豊橋技科大）
○「大規模カオスニューラルネットワークの構築：1万ニューロンシステムと要素回路」
堀尾喜彦（東京電機大）
○「パルス変調方式によるVLSI非線形ダイナミカルシステムの応用」
森江　隆（広島大）
○「シンボル処理とパターン処理のハイブリットによる画像理解」
大森隆司（東京農工大）

12月21日(火)
○「単電子回路による集積化神経回路の構成」
佐藤茂雄，秋間学尚，中島康治（東北大）
○「Adaptive Computer-Experimental System for Nanomaterials by Concepts of Neural-Nets -- Towards Nano Media Computers-- 」
山崎義武（東北大）
○「進化をめざす脳型コンピュータ・アーキテクチャについて」
阿江　忠（広島大）
○「人工網膜とその応用」
八木哲也，亀田成司，林田祐樹，Li Liming(九工大)
○「TSPの統計論的アプローチ」
田中　敦（山形大）
○「20万ゲートFPGA-CNNと無歪み画像の圧縮再生」
田中　衛（上智大）
○「自己組織型学習回路のハードウエア実装」
平井有三，西澤邦宜（筑波大）
○「CMOSの負性抵抗特性に基づくハードウエアニューロンモデルの基礎特性」
加納真一郎，二見亮弘，星宮　望（東北大）
○「量子化結合ニューラルネットワークの集積化」
片山康弘，中島康治（東北大）
○「脳に学ぶ学習則の集積回路化について」
北嶋龍雄（山形大），原　健一（石巻専修大）

さらに平成12年１月27日に以下２件の講演会を開催した。
○「超電導工学研究所におけるADコンバータ・メモリの研究開発」
宮原一紀（超電導工学研究所）
○「超伝導ネットワーク」
田原修一（NEC基礎研究所）

[3] 研究成果

上記の学術研究集会と講演会を開催し，研究者間の幅広くしかも深く掘り下げた議論を通して，各分野の研究の有機的な結合を達成し，より深い研究成果につなげる努力を行った。個々の成果の例としては次に代表的ものの概要を述べる。FitzHugh-Nagumoモデルがタイミングと発火率を相互に変換する機構を持つことが判明し，摂動の正負や大きさに応じて多様な反応を示すことが解析された。ラット大脳皮質の多細胞同時記録データベースの構築を可能にする基盤技術が確立し，今後公開の予定である。興奮性と相対不応期を表現する１次元写像ニューロンにおいてカオス的な持続発火状態への不連続転移とHebb学習による同期クラスタの出現が確認され，パルスニューロン集団による非定常的な時系列情報の記憶と生成の可能性が示された。２状態自律系における現象の分類と認識を電子回路と対応付けて行い人工ニューラルチップの基礎を与えた。生体の情報処理を取り入れた動き検出素子をアナログ集積回路化し，良好な結果を得た。１万ニューロンシステムに向けての大規模カオスニューラルネットワークの構築が順調に進められている。パルス変調を用いた任意非線形変換の原理を提案し任意カオス生成回路とそれを用いた確率連想チップを設計・試作し，動作を確認した。また画像分割用の非線形振動子モデルを提案し，チップを設計・試作して動作を確認した。シンボルとパターンのハイブリット処理のメカニズムを推定し，モデルの構築を行い，良好な結果を得た。単電子ニューロン回路における熱雑音の利用に基づく動作を解析し，工学的応用に関して良好な結果を得た。進化するコンピュータに関してのモデル構築を行い，ハードウェア化と同時にその応用例について検討した。ビジョンチップの開発を行い画像処理に良好な結果を得た。フラクタル概念の適用によりTSP問題を統計的に処理する提案を行った。CNNの集積化を通して符合化負担による無ひずみ画像のロスレス可逆伝送が可能となることを議論した。パルス密度型ディジタルニューラルネットワークを用いて主成分分析を行う実・連続時間形学習回路のハードウェアを構成し，信号処理などへの応用において良好な結果を得た。CMOS負性抵抗に基づくハードウェアニューロンモデルを構成し，生体特有のPost-Inhibitory Rebound 発火を観測した。新提案の多入力多数決素子をベースに量子化ニューラルネットワークの集積化を行い，その学習可能性を確立して大規模システムの実現への道筋を明らかにした。

既存の計算機は，直列計算方式で知的情報処理に多くの困難を抱えている。また最近研究が盛ん

になったニューラルネットワークは，現在のところ適当なアーキテクチャを持たず計算機の構成に問題があり，集積回路としては結線が面積の大部分を占有するなどの欠点があった。本研究により，生理学的知見を取り入れ，しきい値論理，多値論理，集合論理を有機的に併用することにより，これらの欠点を除去したスーパーインテリジェントチップを試作するために不可欠な基礎的概念やアーキテクチャの開発が可能になりつつある。これにより並列情報処理原理に基づいたより柔軟な，ロバスト性のあるシステムが構築できると期待される。

[4] 成果資料

(1) 佐藤茂雄,中島康治, "電子回路によるカオス生成とカオスニューラルネットワークの集積回路化", システム制御情報学会誌, 43, 11, pp.577-583 (1999)

(2) Y.Mizugaki, K. Yanagisawa, T.Onomi, T. Yamashita, K. Nakajima, H. Yamamori and A.Shoji, "Magnetic isolation on a superconducting ground plane", Jpn. J. Appl. Phys., 38, 10, pp.5869-5870 (1999)

(3) T.Onomi and K.Nakajima, "New fabrication process elements of phase-mode logic", IEEE Trans. on Applied Superconductivity, 9, 2, pp.3318-3321 (1999)

(4) C. Y. Park and K. Nakajima, "Analog CMOS implementation of quantized interconnection neural networks for memorizing limit cycles", IEICE Trans. Fundamentals, E82-A, 6, pp. 952-957 (1999)

(5) T.Harada, A.Sato, M.Kinjo, Y.Katayama, S.Sato, and K.Nakajima, "New nonvolatile analog memories for building associative memories", Ext. Abstracts of the 1999 Int. Conf. on Solid State Devices and Materials, pp. 270-271 (1999)

(6) M.Kinjo, S.Sato, and K.Nakajima, "A study on DBM network with non-monotonic neurons", Proc. of 1999 Int. Joint Conf. on Neural Networks (1999)

(7) T.Asai, M.Ohtani and H.Yonezu, "Analog Integrated Circuits for the Lotka-Volterra Competitive Neural Networks", IEEE Trans. on Neural Networks, 10, 5, pp.1222-1231 (1999)

(8) T.Asai, M.Ohtani and H.Yonezu, "Analog MOS Circuits for Motion Detection Based on Correlation Neural Networks", Jpn. J. Appl. Phys., 38, 4B, pp.2256-2261 (1999)

(9) M.Nakao, H.Nishiyama, D.McGinty, R.Szymusiak, M.Yamamoto, "Model-based interpretation of biphasic daily pattern of sleepiness", Biol. Cybernetics, 81, pp.403-414 (1999)

(10) M.Nakao, M.Yamamoto, "Modeling Neuronal Dynamics-Transition During Sleep", IEEE Eng. Med. & Biol. Magazine, 18, pp.99-107 (1999)

(11) H.Wakuya and K.Shida, "Acquired sensorimotor coordinated signal transformation in a bi-directional neural network model", Proc. of 1999 Int. Joint Conf. on Neural Networks, 509 (1999)

(12) 碓井大祐, 荒木宏行, 阿江忠, "構造化ストリングデータにおける知識獲得および生成", 情報処理学会論文誌, 40, 4, pp.1774-1781 (1999)

(13) 石原彰人, 神山斉己, 臼井支朗, "イオン機構に基づく網膜オン型双極細胞シナプス終末モデル", 電子情報通信学会論文誌, J83-D-II, 2, pp.723-731 (2000)

(14) T.Yamanaka, T.Morie, M.Nagata and A.Iwata, "A Stochastic Association Circuit Using PWM Chaotic Signals", Ext. Abst. of the 1999 Int. Conf. on Solid State Devices and Materials, pp.100-101 (1999)

(15) H.Ando, M.Miyake, T.Morie, M.Nagata and A.Iwata, "A Nonlinear Oscillator Network for Gray-level Image Segmentation and PWM/PPM Circuits for its VLSI Implementation", IEICE Trans. Fundamentals, E83-A, 2, pp.329-336 (2000)

(16) T.Ae, H.Araki, K.Sakai, "Structured Brain Computting and its Learning, Computing Anticipatory Systems(edited by Daniel M.Dubois), CP465, American Institute of Physics (1999)

(17) T.Kanamaru and Y.Okabe, "Fluctuation-induced memory retrieval in the associative memory of spiking neurons", Proc. of 1999 Japan-China Symposium on Advanced Information Technology, pp.177-184 (1999)

共同プロジェクト研究

課題番号　H09/A07

超高速LSI用SOIMOSデバイス・プロセスの研究

[1]組織

代表者：大見　忠弘（東北大学未来科学技術共同研究センター）

責任者：坪内　和夫（東北大学電気通信研究所）

分担者：

益　　一哉（東北大学電気通信研究所）
横山　道央（東北大学電気通信研究所）
平山　昌樹（東北大学大学院工学研究科）
柴田　　直（東京大学大学院新領域創成科学研究科基盤情報学専攻）
森田　瑞穂（大阪大学大学院工学研究科）
小谷　光司（東北大学大学院工学研究科）
森　　勇蔵（大阪大学大学院工学研究科）
片岡　俊彦（大阪大学大学院工学研究科）
遠藤　勝義（大阪大学大学院工学研究科精密科学専攻）
山内　和人（大阪大学大学院工学研究科）
杉山　和久（大阪大学大学院工学研究科）
山村　和也（大阪大学大学院工学研究科）
佐々木　守（熊本大学工学部）
久保田　弘（熊本大学工学部）
山部紀久夫（筑波大学物質工学系）
石原　　宏（東京工業大学　フロンティア創造共同研究センター）
徳光　永輔（東京工業大学・精密工学研究所）
鳳　紘一郎（東京大学大学院新領域創成科学研究科基盤情報学専攻）
黒岩　紘一（東京農工大学工学部）
荒井　英輔（名古屋工業大学電気情報工学科）
安田　幸夫（名古屋大学大学院工学研究科）
財満　鎮明（名古屋大学先端技術共同研究センター）
池田　浩也（名古屋大学大学院工学研究科）

研究費：校費　3,000千円，旅費　　1,245千円

[2]研究経過

集積回路の高速化・高集積化のために推し進められてきた従来の半導体デバイス微細化一辺倒の技術開発が，限界に近づきつつある。多数存在する技術的・物理的な限界，或いは経済的な課題により，従来技術のエクステンションでは，来る21世紀に市場出荷が義務づけられているギガ・スケール・インテグレーション（GSI）の実現どころか，マイクロエレクトロニクス産業が，産業として破綻をしかねない状況にあるからである。

本研究の目的は，超高速集積回路に最適な新材料・新構造を開発することにより，現在の集積回路と比較して約100倍もの動作速度を有するギガ・スケール・インテグレーションを安価に実現する製造プロセスを確立することにある。前年度は，①良好な閾値電圧制御特性②従来に比べてより少ないマスク枚数・CMOSデバイス製造工程数③低ゲート電極抵抗といった特徴を有するTaゲートSOIMOSデバイスについて，主にTaゲート成膜時のプラズマ誘起ゲート酸化膜ダメージの低減に注目して研究を行った。本年度はTaゲートMOSデバイスはポリシリコンゲートよりも電流駆動能力が大きいことを確認した。またこれはTaとSiO_2が界面反応が原因であることがわかった。またHigh-Dose SIMOX基板上に作成した完全空乏型SOIMOSデバイスのバックゲート相互コンダクタンス特性において，室温でキンク現象をはじめて発見し，物理的な説明を持ってそれを明らかにした。

Ta/SiO_2界面反応層がタンタルゲートMOSデバイスの特性に与える影響

タンタルゲートMOSFETにおいて，同一のゲート酸化膜プロセスを経たポリシリコンゲートMOSFETに比べ，電流駆動能力が向上していることを示した。その原因がタンタルとSiO_2が反応することによりゲート酸化膜厚が1nm程度減少し，ゲート容量が向上したためであることを示した。また生成されたタンタル - SiO_2界面の反応層は導電性であることを示した。さらに界面反応層は550℃のプロセス温度において安定であり，さらなる反応の進行を押さえる役割をしていることを示した。以上よりゲート電極としてタンタルは，その酸化膜との界面反応層における電気的特性，および熱的安定性から非常に有効な材料であることが明らかになった。

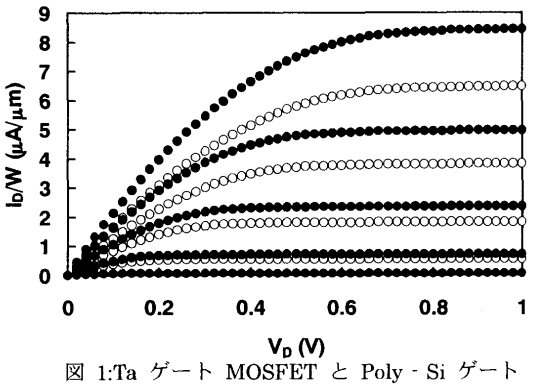


図 1:Ta ゲート MOSFET と Poly - Si ゲート MOSFET の電流電圧特性。両サンプル同時にゲート酸化した。

High-Dose SIMOX基板上に作成した完全空乏型SOIMOSデバイスのバックゲート相互コンダクタンス特性

優れた短チャネル効果をもつ完全空乏型SOIデバイスの実現に向けて，ロジック用途におけるSOIウェハの活性シリコン層は，100nm以下の厚さにまで薄くなる傾向にある。同時に，シリコン薄膜と埋め込み酸化膜界面(SOI/BOX界面)に存在する電気的活性欠陥は，薄膜SOIデバイスの動作性能と信頼性に

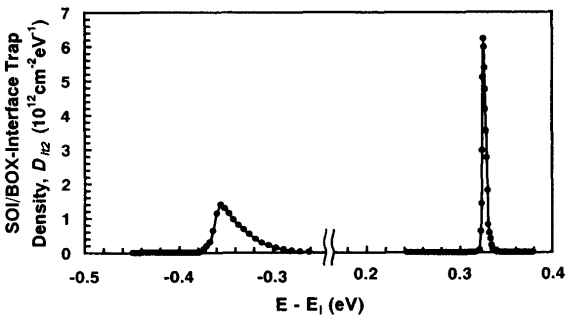


図 2:High-dose SIMOX 基板の SOI/BOX 界面における界面トラップ密度のエネルギ分布図

大きく影響を及ぼすため，可能な限りその密度を小さくしなければならない。界面カップリング効果により，界面ポテンシャルは，それに隣接するゲート電極からだけではなく，真反対に位置するゲート電極によっても制御されるからである。完全空乏型SOIMOSデバイスのフロントチャネル・トランジスタのサブスレッショルド・スロープは，ゲート酸化膜/SOI層界面欠陥にも増して，SOI/BOX界面欠陥によって敏感に影響を受けるといった報告もなされている。耐久性と信頼性を兼ね備えた高性能デバイスを実現する上で，SOI/BOX界面の完全性が必須なのである。そこでHigh-Dose SIMOX基板上に完全空乏型SOIMOSデバイスを試作しそのバックゲート相互コンダクタンス特性を測定した。nMOSにおけるバックゲート相互コンダクタンスキンク現象は，ドナーライクな電子トラップサイトが，ある限定されたエネルギレンジをもってSOI/BOX界面に存在することに起因する。それは，Siミッドギャップの上側～0.325eVのエネルギ準位に，～$6.0\times10^{12}cm^{-2}eV^{-1}$の密度で存在する。またpMOSにおいてはドナーライクなホールトラップサイトが，Siミッドギャップの上側～0.35eVのエネルギ準位に，～$1.5\times10^{12}cm^{-2}eV^{-1}$の密度で存在する。そのドナーライクなホールトラップサイトは，SOI/BOX界面における，弱く結合したSi-Si結合あるいは酸素空孔に起因する。そしてSOI/BOX界面に存在するこれらの電気的活性欠陥は，SIMOX製造プロセスによりもたらされたことが明らかになった。

○ まとめ

TaゲートMOSプロセスにおけるゲート電極のTaとゲート酸化膜のSiO_2の界面反応がデバイス特性に与える影響を実験的に調査した。界面反応に伴うゲート酸化膜の薄膜化によりMOSFETの電流駆動能力が向上すると同時に，界面反応層がタンタルとSiO_2の密着性と熱的安定性を向上させていることを示した。

またHigh-Dose SIMOX基板上に作成した完全空乏型SOIMOSデバイスのバックゲート相互コンダクタンス特性において，室温でキンク現象をはじめて発見し，物理的な説明を持ってそれを明らかにした。

[３]研究会活動

研究会討論会を1回行った。

[第1回]

日時：平成12年2月14日

場所：東北大学電気通信研究所2号館4階大会議室

(1)「フッ素および塩素によるSi(001)表面原子のエッチング機構」

○岡田浩巳，遠藤勝義，広瀬喜久治，森勇藏(大阪大学)

(2)「数値制御プラズマCVM(Chemical Vaporization Machining)によるSOIの薄膜化加工」

森　勇藏，山内和人，山村和也，○佐野泰久(大阪大学)

(3)「ULSI多層配線Al-CVD技術」

○李昌勲，西村隆正，益一哉，坪内和夫（東北大学）

(4)「Kr+O_2高密度プラズマ酸化を用いた新しい半

導体プロセス」
大見忠弘（東北大学）
(5)「極薄シリコン酸化膜の劣化現象とSi表面欠陥の関係」
○財満鎭明，大毛利健二，池田浩也，酒井　朗，安田幸夫（名古屋大学）
(6)「SOI構造における不純物拡散の遅延現象」
○内田秀雄，市村正也，荒井英輔（名古屋工業大学）
(7)「Mo酸化物を利用した一次元電子系の作製とその電子物性」
○久保田 弘（熊本大学）
(8)「SOI基板上に作製した強誘電体ニューロン回路の適応学習機能」
○尹 聖民，徳光 永輔，石原 宏（東京工業大学）
(9)「ULSI GHz高速配線技術」
○益 一哉，坪内和夫（東北大学）

[4]主な研究発表

1. Takeo Ushiki, Mo-Chium Yu, Kunihiro Kawai, Toshikuni Shinohara, Kazuhide Ino, Mizuho Morita and Tadahiro Ohmi, "Gate Oxide Reliability Concerns in Gate-Metal Sputtering Deposition Pocess: An Effect of Low-Energy Large Mass Ion Bombardment," Microelectronics Reliability, Vol.39, No.3, pp.327-332.
2. Takeo Ushiki, Kunihiro Kawai, Ichiro Ohshima, and Tadahiro Ohmi, "Effect of in-situ Formed Interlayer at Ta-SiO_2 interface on Performance and Reliability in Ta-Gate MOS Devices," 1999 International Conference on Solid State Devices and Materials, pp.178-179.
3. Takeo Ushiki, Koji Kotani, Toshihiko Funaki, Kunihiro Kawai, and Tadahiro Ohmi, "Evidence of Energetically-Localized Trap-States at SOI-BOX Interface in High Dose SIMOX Wafers," 1999 IEEE International SOI Conference, pp.48-49, October 1999.
4. Takeo Ushiki, Koji Kotani, Toshihiko Funaki, Kunihiro Kawai, and Tadahiro Ohmi, "New Aspect and Mechanism of Kink Effect in Static Back-Gate Transconductance Characteristics in Fully-Depleted SOI MOSFET's on High-Dose SIMOX Wafers," IEEE Trans. On Electron Devices, Vol.47, No.2, pp.360-366, February 2000.

課題番号　H09/A08

フラーレンプラズマの構造制御と内包フラーレン生成への応用

[1] 組織
企画者：佐藤徳芳（東北大学工学研究科）
責任者：水野皓司（東北大学電気通信研究所）
分担者：
宮本　信雄（東北学院大学工学部）
庭野　道夫（東北大学電気通信研究所）
畠山　力三（東北大学工学研究科）
飯塚　　哲（東北大学工学研究科）
平田　孝道（東北大学工学研究科）
真瀬　　寛（茨城大学工学部）
佐藤　直幸（茨城大学工学部）
八井　　浄（長岡科学技術大学工学部）
石川稜威男（山梨大学工学部）
羽鳥　尹承（神奈川大学工学部）
三重野　哲（静岡大学理学部）
上村　鉄雄（核融合科学研究所）
石黒　静児（核融合科学研究所）
菅井　秀郎（名古屋大学工学研究科）
庄司多津男（名古屋大学工学研究科）
橘　　邦英（京都大学工学研究科）
林　　康明（京都工芸繊維大学工芸学部）
三宅　正司（大阪大学接合科学研究所）
奥　　健夫（大阪大学産業科学研究所）
東辻　浩夫（岡山大学工学部）
福政　　修（山口大学工学部）
板谷　良平
河合　良信（九州大学総合理工学研究科）
渡辺　征夫（九州大学工学研究科）
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 673千円，旅費　1521千円

[2] 研究経過

これまで，宇宙空間物理学，プラズマ材料プロセス，及び核融合プラズマ閉じ込めなどの研究に関連して広く注目を集めている微粒子（ダスト）プラズマの解明に資することを目的に，フラーレンプラズマに関与する多岐に亘るプラズマ現象を解明し，またその物質創製への応用の基礎を精力的に築いてきた。

本プロジェクトにおいては，上述の第一期の成果に基づき発展的にターゲットを絞り，フラーレンプラズマを新機能光・電子デバイスなどへの応用に繋がる複合材料創製に資するものとすべく研究を展開する。すなわち，原子・分子レベルで制御された物質創製を行うために，プラズマ物理学的知見のもとにフラーレンプラズマの３次元的局所構造制御を高精度に制御する方法を確立し，それにより特異な電気，磁気，光特性を発現する可能性を秘めている新種の原子内包フラーレンを高効率に生成することを目指した研究を，全国のプラズマ工学者の英知を集めて行なってきた。本プロジェクトの第1年度では，フラーレンプラズマ法及びアーク放電法において，物質創製に対する最適プラズマ条件探索を目指したプラズマ生成・制御の定量的確立を行ない，第2年度では，新種の原子内包フラーレン創製に関する基礎実験とその最適条件等を明らかにした。そこで，最終年である本年度は，原子内包フラーレン創製機構の解明を目指した実験と総合的な観点からの考察を行なった。

[3] 成果

（３－１）研究成果

Ⅰ．アルカリ－フラーレンプラズマを用いる研究

我々は，フラーレンへの原子内包化機構とプラズマ効果の関係解明を目的としたアルカリ－フラーレンプラズマの生成・制御と，プラズマ中へ挿入した基板への直流バイアス電圧の印加によるアルカリ金属内包フラーレン($K@C_{60}$)の生成に成功し，更なる高効率合成に関する研究を展開してきた。本年度は，前年度から続行しているNa内包フラーレン($Na@C_{60}$)を含むと予想されるNaフラーレン複合物質($Na(@)C_n$)の高効率生成実験とその評価・分析を行なった。基板バイアス電圧を変化させた場合のC_{60}と$Na(@)C_{60}$の平均強度に関しては，C_{60}は正バイアス電圧の上昇に伴って増加するのに対して，$Na(@)C_{60}$は＋５Ｖ（プラズマ空間電位に対する印加電圧値）で最大値[C_{60}に対する平均強度は30～50％（最大200％以上）]を示す傾向がみられた。図１(a)の写真は，高分解能電子顕微鏡(HREM)による薄膜の直接観察写真である。中心に黒点を持つC_{60}分子が数多く観察されており，黒点直径がNa^+イオン直径にほぼ一致することから，N

aがC_{60}に内包したものであると考えられる。一方，薄膜を溶解させたアニリン及びピリジン溶液の質量分析の結果，薄膜中に含まれるNa(@)C_{60}はアニリン及びピリジンに溶解することが判明した[図1(b)]ので，高速液体クロマトグラフィー法等による分離・単離が可能であるといえる。さらに，紫外／可視吸収分光法によるアニリン溶液の分光分析で得られた吸収スペクトルのピークは，空C_{60}のピークよりも短波長側に移動することが観測された。現段階で分離・単離が成功している原子内包フラーレンの吸収ピークが短波長側に移動するという報告例より判断すると，Na原子が内包している可能性が極めて高いといえる。

以上の結果から，我々はフラーレンプラズマによるアルカリ金属内包フラーレン(Na@C_{60})を主とした複合物質の大量生成に成功し，その評価・分析による内包フラーレン存在の可能性を見出した。このことは，物質の組成・構造・特性分析を専門とする研究者に対しての試料提供を可能にしたのみならず，フラーレンをベースとした半導体素子などの新機能性デバイスの形成に大いに貢献できるものと考えている。

Ⅱ．アーク放電プラズマを用いる研究

共同プロジェクトとして製作したカーボンベース超微粒子生成装置を用いて，アーク放電の周辺プラズマを積極的に制御することによりフラーレンケージを形成しながら異種原子を効率的に包み込む方法の開発を目指してきた。本共同プロジェクトチームがターゲットにしているSi－フラーレン複合物質としては，典型的な非金属でありながら半導体材料として重要な役割を果たすシリコン（Si）を内包した新物質（Si@C_n：$n \geqq 60$）である。実験装置は，前年度と同様に，カソード電極とメインアノード電極（MA：Si粉末含浸炭素棒）間の放電に，Si蒸発促進用サブアノード電極（SA：Si粉末充填炭素円筒）を追加した双アノード放電方式を用いている。更にアーク周辺補助放電プラズマ生成用の直流制御電極又はRFアンテナをアーク点上方に設置し，He圧力P_{He}，メイン／サブアーク電流比I_{arc}/I_{sub}，制御電極投入電力P_{DC}またはRFアンテナ投入電力P_{RF}の各条件を一定に保ちながら煤の作製を行なった。更に煤回収用の終端電極が設置されている。今回は，これまでに達せられたSi@C_n（$n=74,\cdot\cdot$）生成に対する補助プラズマ発生の効果を調べる目的で，ラングミュアプローブによるアーク周辺プラズマの測定と高分解能電子顕微鏡による直接観察を行なった。

プローブによるアーク周辺プラズマの測定

図2に示すように，アーク点（$x=y=z=0$）から上方（y方向，右上図参照）に沿ってのプローブ特性曲線の変化は，C_{74}等の高次フラーレンが形成し始めるy＝3 cm辺りでは，環状炭素クラスター（フラーレンの胎児）が負イオン化（Cm^-, $m<60$）していることを示唆している。また，その位置にアンテナを設置し高周波放電による補助プラズマを発生させると，アンテナの下領域では中心付近（$|r|<2$ cm）のプラズマ密度n_eが大きく増加する。補助生成れたプラズマの電子温度T_eは高いが，アンテナの上部域（$y>3$ cm）では，密度及び電子温度が急激に減少，低下している（図3：$x=z=0$）。この補助プラズマの主なイオン種は，イオン化ポテンシャルがC(11.26 eV)，He(24.58 eV)よりも低いSi(8.15 eV)であると考えている。

高分解能電子顕微鏡による直接観察

この様な条件の下にアンテナ上空で回収された煤の，高分解能電子顕微鏡（HREM）によるナノスケール観察を行った。第一に，内部に小粒状の陰影を有するフラーレンサイズの円状のコントラストが見られ〔図4(a)〕，質量分析結果等から判断した場合，これはSi内包フラーレン（Si@C_{74}等）であると考えられる。さらに，他のカーボンベースナノ構造物質としては，内部にSiC微結晶を閉じ込めグラファイト層が3次元的に閉殻した内包ナノカプセル〔図4(b)〕と球形炭素ケージが同心状に積み重なり玉ねぎの形態をしたバッキーオニオン〔図4(c)〕の存在が明らかになった。

以上の結果より，シリコン－フラーレン複合物質形成過程のモデルを示すと，図5のようになる。補助プラズマ発生によるSiのラジカル・正イオン化が，アークプラズマ中で形成された環状炭素クラスター負イオンとのクーロン相互作用と，その閉殻過程を触媒的に促進した結果，Si内包フラーレン，SiC内包ナノカプセル，バッキーオニオンの直接的創製を初めて可能にしたと考えている。

[4] 成果資料

（4－1）主な研究会

本研究課題に直結した下記の研究会を開催した。

日時：平成11年12月11日（土曜日）10:00～12:30

場所：KKRホテル仙台

（1）今年度共同プロジェクト実験成果報告

（2）共同プロジェクト研究における今後の展開

参加者：真瀬寛，佐藤直幸（茨城大学工学部），佐藤徳芳，畠山力三，平田孝道，石田裕康

（東北大学大学院工学研究科）
日時：平成12年2月29日（火曜日）13:30～18:00
場所：東北大学工学部電気・情報館451･453号室
1．佐藤徳芳（東北大・院工）
「企画者挨拶」
2．佐藤直幸，真瀬寛（茨城大・工）
「ECR 放電を用いたフラーレンプラズマの生成」
3．三重野哲（静岡大・理）
「フラーレンの合成素過程について」
4．庭野道夫，木村康男，近藤雄介，渡辺隼人（東北大・通研）
「赤外分光による固液界面解析法とフラーレン単分子薄膜形成」
5．平田孝道，杉本裕一，佐々木麻友子，奥健夫A，畠山力三，佐藤徳芳（東北大･院工,大阪大･産研A）
「Ｎａ－フラーレンプラズマ中で形成された薄膜の組成分析と構造観察」
6．大槻 勤（東北大・核理研）
「フラーレンへの重い異原子挿入の可能性」
7．奥 健夫（大阪大・産研）
「C－B－N系フラーレン物質の形成と構造」
8．畠山力三，平田孝道，吉田洋平，三重野哲A，佐藤直幸B，奥健夫C，石田裕康，真瀬寛B，庭野道夫D，宮本信雄E，佐藤徳芳（東北大・院工，静岡大・理A，茨城大・工B，大阪大・産研C，東北大・通研D，東北学院大・工E）
「アークプラズマ構造制御によるＳｉ－フラーレン複合物質の創製」
9．「まとめ」

（4－2主な研究発表）

1．“Characteristics and Applications of Fullerene Plasmas”, R. Hatakeyama, T. Hirata, and N. Sato, J. Plasma and Fusion Res., **Vol.75, No.8,** 927-933 (1999).
2．“Formation and Structure of Ag, Ge and SiC Nanoparticles Encapsulated in Boron Nitride and Carbon Nanocapsules”, T. Oku, T. Kusunose, T. Hirata, R. Hatakeyama, N. Sato, K. Niihara, and K. Suganuma, Proc. 10th European Conf. on Diamond, Diamond-like Materials, Carbon Nanotubes, Nitrides and Silicon Carbide, Praha, Czech Republic, September 1999 in press.
3．“Structure of Carbon Nanocapsules with Ge and Si Formed by DC-RF Hybrid Arc-Discharge”, T. Oku, T. Hirata, N. Motegi, R. Hatakeyama, T. Hirano, L. R. Wallenbrg, K. Suganuma, T. Mieno, N. Y. Sato, H. Mase, M. Niwano, N. Miyamoto, and N. Sato, Proc. 3rd Int. Nano Ceramic Forum and 2nd Int. Symp. on Intermaterials, Seoul, Korea, June 1999, p.207.
4．“Production of Na(@)C_{60} by Na-Fullerene Plasma and Its Structure Observation”, T. Hirata, Y. Sugimoto, T. Oku, R. Hatakeyama, and N. Sato, Proc. 17th Symp. on Plasma Processing, Nagasaki, Japan, January 2000, p.227.
5．“Structure Control of Arc-Discharge Plasma for Producing Fullerene-Based Novel Materials”, N. Y. Sato, T. Mieno, T. Hirata, R. Hatakeyama, T. Oku, H. Ishida, H. Mase, M. Niwano, N. Miyamoto, and N. Sato, Proc. 17th Symp. on Plasma Processing, Nagasaki, Japan, January 2000, p.471.
6．“Si-Fullerene Compounds Produced by Controlling Plasma Spatial Structure”，平田孝道，茂木規行，畠山力三，奥 健夫，三重野 哲，佐藤直幸，真瀬寛，庭野道夫，宮本信雄，佐藤徳芳，第12回プラズマ材料科学シンポジウム，東京大学，1999年6月, p.35。
7．“ペアナノ分子プラズマの生成”，富岡直之，大原 渡，平田孝道，畠山力三，佐藤徳芳，プラズマ・核融合学会第16回年会，仙台，1999年11月, 25pA13p, p.102。
8．“プラズマ制御によるフラーレンベースのナノ構造創成（招待講演）”，畠山力三，平田孝道，奥 健夫，三重野 哲，佐藤直幸，真瀬 寛，庭野道夫，宮本信雄，佐藤徳芳，プラズマ・核融合学会第16回年会，仙台，1999年11月,26aB7, p.175-176。
9．“薄膜形成用フラーレンプラズマの空間構造”，杉本裕一，平田孝道，畠山力三，飯塚 哲，佐藤徳芳，プラズマ・核融合学会第１６回年会，仙台，1999年11月, 26pB20p, p.189。
10．“Na－フラーレンプラズマ制御の薄膜構造への効果”，平田孝道，杉本裕一，畠山力三，佐藤徳芳，プラズマ・核融合学会第16回年会，仙台，1999年11月, 26pB21p, p.19。
11．“プラズマ制御によるフラーレンベースのナノ新物質構造創成”, 畠山力三，平田孝道，佐藤徳芳，奥 健夫，三重野 哲，佐藤直幸，真瀬寛，庭野道夫，宮本信雄，平成11年度金研ワークショップ 実験と計算科学的アプローチの共同によるナノ物質研究, 東北大学金属材料研究所, 1999年11月。
12．“プラズマ理工学に基づく新規超分子構造の創成”，畠山力三，佐藤徳芳，平田孝道，大原 渡，

大友勇太郎，富岡直之，第３回「プラズマ科学の新しい展開」，核融合科学研究所,1999年12月。
13. “アークプラズマ制御によるフラーレンベースのナノ構造創成”，畠山力三，平田孝道，奥 健夫，三重野 哲，佐藤直幸，真瀬 寛，庭野道夫，宮本信雄，佐藤徳芳，第11回日本ＭＲＳ学術シンポジウム，川崎，1999年12月，2-4P20, p.99。
14. “プラズマ制御によるフラーレンベースの新規ナノ構造創成”，畠山力三，平田孝道，奥 健夫，佐藤徳芳，ナノ構造ベースの材料機能探索研究会，大阪大学接合科学研究所，2000年1月。
15. “アークプラズマ制御のフラーレンベースナノ構造創成への効果”，畠山力三，平田孝道，吉田洋平，三重野 哲，佐藤直幸，奥 健夫，真瀬 寛，庭野道夫，宮本信雄，佐藤徳芳，日本物理学会2000年春の分科会，関西大学，2000年3月, 25pB-4, p.187。
16. “Ｎａ－フラーレンプラズマで形成されたNa(@)C_{60}の組成分析と構造観察”，平田孝道，杉本裕一，佐々木麻友子，奥 健夫，畠山力三，佐藤徳芳，第47回応用物理学関係連合講演会，青山学院大学，2000年3月, 28-YE-3, p.102。

Figure Captions

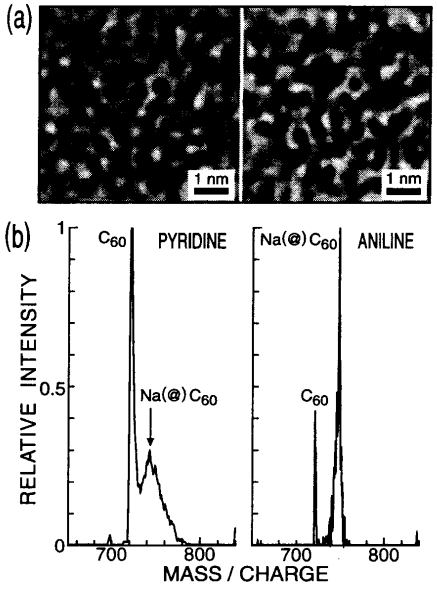


図１．薄膜の高分解能電子顕微鏡写真及び溶媒抽出溶液の質量分析結果。

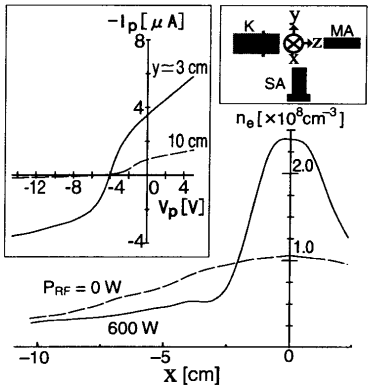


図２．補助プラズマ発生時のプローブ特性及びプラズマ密度の半径(x)方向分布。

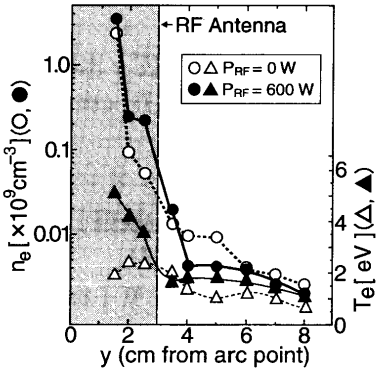


図３．補助プラズマ発生前後の電子密度及び電子温度の変化。

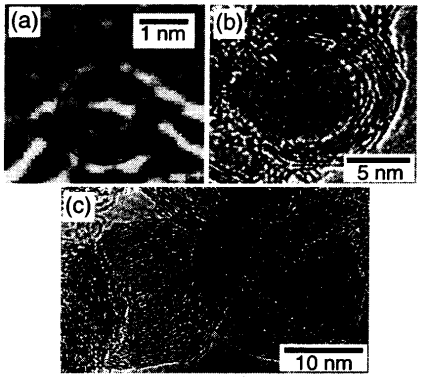


図4．高分解能電子顕微鏡写真
（ａ）：Si内包フラーレン，（ｂ）：SiC内包ナノカプセル，
（ｃ）：バッキーオニオン。

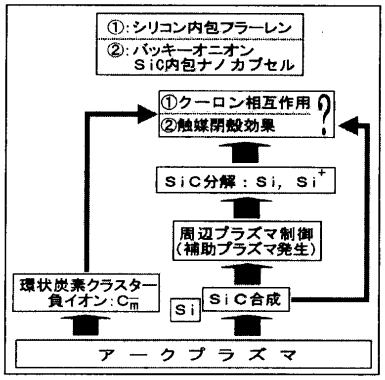


図５．シリコン－フラーレン複合物質の形成過程

課題番号　H09/A09

ミリ波・サブミリ波帯計測システムの開発

1．研究会の設置目的

ミリ波・サブミリ波を用いた計測技術は，この波長領域特有の各種応用分野を持っている。この領域の電磁波は，雲，霧あるいは炎などの条件下において可視光に比べて格段に大気透過性が良い。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の解析に対してミリ波，サブミリ波を用いた各種計測は非常に有効である。この波長領域の技術は，将来の高密度通信に対して非常に重要なものであるが，その研究開発は，計測分野に於いての応用が先行して行われて行くと考えられる。

さて，現在文部省核融合科学研究所は，土岐市にヘリカル装置 LHD の建設を進めている。それに伴い，より高密度のプラズマの発生が期待されそれを測定するためのサブミリ波計測システムの開発が必要になってきている。一方筑波大学では，プラズマ密度の時間変化，揺動などを２次元で計測する研究を進めており，ミリ波帯２次元イメージングシステムの開発が重要な課題となっている。更に，地球環境計測の分野では，オゾン層破壊の機構解明のためにサブミリ波を用いた中間生成ガス分子の観測が不可欠である。

本共同プロジェクト研究は，これらミリ波・サブミリ波帯計測システムの開発を目指し，この分野の各種技術の調査・評価，更にミリ波帯２次元イメージングシステム，及びサブミリ波（テラヘルツ帯）検出用ショットキ・ダイオードの開発を行うこと等を目的としたものである。なお，本研究の研究所世話分野は，テラヘルツ工学研究分野である。

研究費：（校費）　808千円
　　（旅費）　1,124千円

2．組織

企画者：岡島　茂樹（中部大学工学部）
通研対応教官：水野　皓司
共同研究者：
犬竹　正明（東北大学工学部）
安井　孝成（理化学研究所）
川端　一男（核融合科学研究所）
長山　好夫（核融合科学研究所）
田中　謙治（核融合科学研究所）
益田　光治（九州大学）
林　理三雄（鹿児島大学工学部）
安田　　茂（鹿児島大学工学部）
能勢　敏明（秋田大学鉱山学部）
奥山　澄雄（山形大学工学部）
稲谷　順司（宇宙開発事業団）
小平　眞次（木更津工業高専）
藤田　順治（大同工業大学）
赤池　正巳（東京理科大学工学部）
藤井　研一（大阪大学理工学部）
増子　治信（通信総合研究所）
松井　敏明（通信総合研究所）
清川　雅博（通信総合研究所）
阪井　清美（通信総合研究所）
黒澤　富蔵（工業技術院計量研究所）
斉藤　修二（分子科学研究所）
堤　　誠（京都工芸繊維大学）
浅田　雅洋（東京工業大学）
野木　茂次（岡山大学）
川崎　繁男（東海大学）
板野　　斎（山梨大学）
高橋　信行（滋賀県立大学）
北野　正雄（京都大学）
橋本　　修（青山学院大学）
小宮山牧兒（ATR環境適応通信研究所）
前川　　孝（京都大学）
野口　　卓（国立天文台野辺山電波観測所）
間瀬　　淳（筑波大学）

3．研究会報告

本共同プロジェクト研究では，システム，デバイスの開発研究と平行して，ミリ波・サブミリ波帯デバイスの要素技術，イメージング用アレイ及び光学系，さらにイメージングシステムの応用分野など，多方面の分野について調査し議論を行うための研究会を企画・実施した。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　平成11年12月22日

1)「プラズマ計測におけるサブミリ波計測及びそ

の必要性」川端一男（文部省核融合科学研究所）
2)「計測用サブミリ波レーザーの開発の現状と今後の展望及びTHz計測用ショットキ・ダイオード検出器の計測」岡島茂樹（中部大学工学部）
3)「サブミリ波帯超伝導ミクサの開発」
野口　卓（国立天文台野辺山電波観測所）
4)「縦型結合ドット構造のテラヘルツ光吸収測定」
藤井研一（大阪大学理学部）
5)「テラヘルツ帯分光と星間化学」
齋藤修二（福井大学遠赤外領域開発研究センター）
6)「超伝導サブミリ波リム放射サウンダー(SMILES)」尾関博之（宇宙開発事業団）
7)「宇宙マイクロ波背景放射温度揺らぎ観測計画」
服部　誠（東北大理学部天文学科）
8)「プラズマのミリ波イメージング計測の現状」
間瀬　淳（筑波大学プラズマ研究センター）

3－2　第2回研究会　平成11年12月22日
1)「化合物半導体 HBT，主として回路，デバイスの信頼性」三浦　明（テラテック社）
2)「化合物HBTとHEMT の動作速度制限要因について」石橋忠夫（NTT）
3)「超高速SiGe HBT技術とIC応用」
鷲尾勝由（日立製作所中央研究所）

4．ミリ波2次元イメージングシステムの研究

ミリ波伝搬の特異性を利用したミリ波帯イメージングは，雲，霧を通してのイメージングをはじめとして多くの重要な応用分野を有している。本共同研究では，ミリ波帯の2次元アクティブ・イメージング技術を開発するために，主として光学系の設計，製作を行い，実用的なプラズマ計測装置を開発した。

光学系の設計は，先ず，回折限界の分解能を得るための光学系とイメージング・アレイとの組み合わせについて考察し，次いで，収差の少ない光学系を得るための基本設計法と光線追跡法によるその検証を行った。特に，光線追跡法がミリ波帯光学系の設計・検証に有効な手段であることを明らかにした。

この成果を筑波大学のプラズマ装置 (GAMMA 10)の 70 GHz 帯2次元イメージング用光学系の設計に適用し，実際に光学系を組み上げ，プラズマ放電の1ショット内での2次元プラズマ密度分布の時間変化を得ることに成功した。この結果は，ミリ波帯イメージング技術がプラズマ計測に極めて有用であることを示したものである。

5．ショットキ・ダイオードの研究・開発

常温動作，高速応答を有するテラヘルツ帯の検出器/ミキサとして，ショットキ・ダイオードは唯一のものである。この共同研究では，プラズマ計測用および地球環境計測用のショットキ・ダイオードの開発研究を行った。核融合研究用プラズマの密度の上昇に伴って，計測用テラヘルツ波の周波数は益々高くなり，4 THz が現在のターゲットである。本年度の研究では，この周波数で動作するダイオードの設計，製作，特性評価を行った。本共同研究の世話部門（テラヘルツ工学研究分野）で製作を行なった直径が 0.25 μ mのダイオードの特性評価を核融合科学研究所で実施し，5.2 THzにおいてビデオ感度3 V/Wが得られた。本結果より，製作したダイオードは次世代高密度プラズマ計測用検出器として十分な性能を有していることが明らかとなった。

また，本研究の応用としてテラヘルツ工学研究分野では，環境計測特にオゾンホールに関係した分子形成の過程を観測するため，2.5 THz 検出器を英国のラザフォードアップルトン研究所と共同で開発している。現在のところ，本共同研究の世話部門で設計，製作した新型ショットキ・ダイオードチップを搭載した2.5 THz導波管型ミキサにおいて，DSB雑音温度24,000Kが得られている。

6．まとめ

本共同プロジェクト研究では，研究会を開催してミリ波，サブミリ波の各種技術について調査，議論すること及びミリ波イメージング技術またサブミリ波，テラヘルツ帯ショットキ・ダイオードを実際に製作・開発していくことを目的に行われ，ほぼその目的を達成した。特に，ミリ波帯2次元イメージング技術を開発し実用に供したこと，サブミリ波帯ショットキ・ダイオードを研究開発し関係研究機関に供給できたこと，4 THz 帯の動作を目指したダイオードを製作し，これからの開発研究に対して大きな指針を得たこと等，実際にもの作り，特性評価まで行えたことは，極めて貴重な成果であると考えている。

課題番号　H09/A010

音の高次臨場感通信に関する研究

［1］組織

代表者：曽根　敏夫
（秋田県立大学システム科学技術学部）
通研対応教官：鈴木　陽一
（東北大学電気通信研究所）
分担者：
江端正直（熊本大工）
宇佐川毅（熊本大工）
津村尚志（九州芸工大）
福留公利（九州芸工大）
三浦　甫（静岡理工科大）
浜田晴夫（東京電機大）
竹田　仰（長崎総合大）
金井　浩（東北大院工）
宮坂栄一（ＮＨＫ技研）
浅野　太（電総研）
棟方哲弥（特殊教育総研）
佐藤　洋（東北大院工）
岩谷幸雄（秋田大鉱）
平原達也（ATR基礎技研）
宮園博光（熊本県立大）
西村竜一（ATR MIC）
植松　尚（NTT基礎研）
杉田陽一（生命研）
小澤賢司（山梨大工）
高根昭一（秋田県立大）
武藤憲司（都立航空高専）

［2］研究経過

本研究所が掲げる「いつでも，どこでも，だれとでも」行うことができるバリアフリー通信やマルチメディア通信における情報の発信，受信には人間が深く関与する。しかしながら，現在の情報通信システムでは，人間が感覚系を通して知覚する臨場感といった高度な情報を劣化なく通信する技術は十分に確立されているとは言えない。インターネット，衛星通信に代表される通信メディアのインフラストラクチャは整備されつつある中で，臨場感通信を可能にする次世代の高度情報通信技術を確立することは，高度情報通信の実現にとって必要不可欠である。本プロジェクト研究は，光と並んで大きな情報量をもつ音という通信メディアにおける臨場感通信，特に高次の3次元音場情報の伝送と再生を実現する技術を確立することを大きな目的として企画された。

本プロジェクトは，本年度が最終年度の第３年度であった。

第１年度は，音というメディアに限らず，あらゆるメディアにおける臨場感通信に関する従来の研究を調査し，それを通じて，音における臨場感通信に関する今後の研究方針を議論するためにシンポジウム形式の公開研究会を開催した。このシンポジウムを通して，高次臨場感通信を実現する上での音響学的な課題は，音場の物理的特性の解析，及び3次元音空間知覚過程の解明，及び，3次元音場情報の精密な再生技術の開発であることが明らかになった。

第２年度は，第１年度の3次元音場情報の精密な再生技術に関する研究の成果を踏まえながら，音場の物理的特性の解析と，音空間知覚過程の解明の２点を主眼として，継時的に提示された二つの音像の距離の相対的判断，聴取者の動的な動きが音像定位に与える効果や影響，マルチモーダル環境において視覚情報が環境音知覚に及ぼす影響などについて検討を行った。

本年度は，これまでの研究に基づき，3次元音場情報の精密な再生技術と，臨場感の定量化と最適再生手法，環境音知覚においてクロスモダリティ情報が及ぼす影響，及び，聴覚における特徴抽出過程について特に重点を置いて研究を進めた。

［3］成果

（３－１）研究成果

高精度聴覚ディスプレイの開発

音の高次臨場感通信において，聴取者の音知覚を精密に制御するための装置，すなわち聴覚ディスプレイは重要なサブシステムである。本プロジェクトでは，聴取者の頭部運動に追従し，両耳音圧を精密に再現できる新しい方式として，仮想球モデルに基づく聴覚ディスプレイを前年度までに提案した。この聴覚ディスプレイによって，実際の聴取状態により近い状況での両耳音圧再生が可能になる。

この手法は，聴取者の両耳音圧を原理的には精

密に再生することが可能であるが，その精度については定量的な考察は行われていない。そこで本年度は，仮想球モデルに基づく聴覚ディスプレイがもつ再生性能を定量的に示すため，聴取者の両耳に相当する位置での音圧の再生精度について詳細に検討した。

仮想球モデルに基づく聴覚ディスプレイでは，聴取者の周囲に球状の仮想境界(以後仮想球境界と呼ぶ)を設置し，その境界上の音圧および音圧傾度を精密に観測する必要がある。実際には，観測を行う音圧および音圧傾度は，仮想球境界上で離散的にならざるを得ない。また，仮想球境界は任意の大きさで設置できるものの，半径が大きすぎると，音圧・音圧傾度の観測が必要な境界の表面積が大きくなり，信号処理の規模が膨大になる。これらのことから，上記の再生精度と，聴覚ディスプレイを構成する上でのパラメータとの関係についても検討を行った。

仮想球モデルに基づく聴覚ディスプレイに基づいて剛体球の両耳相当位置の音圧の再生を試みた結果，音圧・音圧傾度の観測点を音の波長に比べて十分に細かくとれば，−20〜30 dBの誤差に収まっており，良好な精度が得られることが明らかになった。また，仮想球の半径を0.5 m程度に小さくしても十分な精度が得られることがわかった。

更に，前年度行った頭部運動に対する追従の遅れ時間の検知限に加え，異なった遅れ時間の間の弁別限を実験的に求めた。これは，実システム構築の際に有用なデータである。

「臨場感」の定量化

臨場感が，実際にはどのような感覚であるかは十分に明らかにされているとはいえない。そこで，その基本的性質を明らかにすることを目的とし，ダミーヘッドを用いて録音した環境音を刺激音として用い，以下の3種の実験を行った。

1．音源の種類による臨場感の相違を定量化する実験： 受聴者に対して音源が相対的に動く音，および音像に広がりのある音の臨場感が有意に高いと評価されることを明らかにした。

2．音の再生方式による臨場感の相違を定量化する実験： 再生系として，精密なバイノーラル系からモノラル系までの5種を対象とした。音像の定位情報が正確に再現されるほど，臨場感が有意に高いと評価されることを明らかにした。

3．臨場感を構成する聴覚要因を探る実験： 臨場感は，音知覚に関する既知の５因子（量的因子，美的因子，柔らかさ因子，音情報に関する因子，音像定位に関する因子）の線形結合として表現される複合的な感覚であることが示された。特に，情景が自然にとらえられるように音情報が与えられることと，音像が良好に定位することが，高臨場感を得るために重要であることが判った。

高臨場感音響通信における再生条件の最適化

高臨場感音響通信の原理は，原音場における鼓膜面の音圧を，再生音場における鼓膜面に精密に再現することである。これを実現するのに最も容易な録音・再生系は，原音場においてダミーヘッドの鼓膜位置に設置したマイクロホンを使って録音を行い，再生音場ではヘッドホンにより再生する系である。しかし，単にヘッドホンにより再生した場合には，録音時と再生時に外耳の音響特性が重複するという不都合が生ずる。そこで，個人ごとに再生時の信号を補償するためのディジタル信号処理手法を考案した。聴取実験の結果，本研究で提案した補正手法は，従来のダミーヘッドを用いた補正手法に比べて，聴取時の自然性が有意に向上することを示した。

上述のように，音源の位置情報は，音による通信に「臨場感」を付加するための重要な要素の一つである。位置情報は，受聴者に知覚されるべき定位位置を，その位置から両耳までの頭部伝達関数(HRTF)を音源に畳み込んで制御することで，伝達可能である。しかし，HRTFには個人差があるため，厳密な制御には，個人ごとのHRTFを用いなければならず，実用的ではない。一方，汎用化を目的にモデル化されたHRTFを用いると，個人差のために設計位置と知覚位置に「ずれ」が生じ，問題となる。そこで，まずモデル化されたHRTFによる音像の「ずれ」の特性を測定し，実際の再生時には，この「ずれ」の逆特性を付加することにより高精度の再生を実現することを考案した。聴取実験の結果，概ね知覚方向が目的の方向に定位することが明らかになり，本手法の有効性が示された。

マルチモーダル環境における環境音知覚

高次臨場感を実現するためには，聴取者が通信環境をどのように知覚・評価しているかを明らかにすることが重要である。そこで，視覚や聴覚によりもたらされる情報，そしてそれらにより呼び起こされる感情などに着目し，このようなマルチモーダル環境における環境音知覚について，前年度までの実験結果をも加え，総合的な実験・考察を行った。実験は，以下に示す3種類である。第一に，刺激音のみを与えて評価を行わせる実験

A(Audio)，第二に，刺激音を提示する前に言語で提示される音の情報を予め与える実験AL(Audio & Linguistic)，そして最後に音と同時に録音音場の映像を提示する実験AV(Audio & Visual)を実施した。また，より一般的な結論を得るために刺激音として人工的な音，自然音などを含む66種類の音を用い，評価語には，音質を評価する言葉から，音の持つ情報に関連した言葉，音により与えられる感情を表現する言葉を用いた。

それぞれの実験を個別に分析した結果，全ての実験において同様に解釈することのできる因子が得られ，環境音知覚の因子は，言語情報の予示や視覚情報の付加によらず，安定していることが明らかとなった。続いて，聴覚以外の経路によって得られた情報が，音の知覚にどのような影響をもたらすかを検討するため，各実験の比較を行った。その結果，言語情報や視覚情報により与えられた音源に対する情報から提示された音が何であるかを明確に知ることにより，人が元々その音に対して持っていたイメージが呼び起こされ，それが音に対する評価に影響を及ぼすことが明らかとなった。特に，自然の水音などにおいてその影響が顕著に見られた。また，視覚情報が付加された場合の影響は，その個別の映像の状態に依存するところが大きく一概にその影響の傾向を論ずることはできなかった。しかし，各刺激音ごとに検討を行った結果，映像の視覚的な美しさや音源の動きなど，クロスモダリティ情報の整合性が聴覚的な評価に影響を及ぼす可能性が示された。

音空間内における特徴抽出機構の解明

高次臨場感音響通信において効率的な情報伝送を実現するためには，空間的に分散し様々な特徴を有する音信号の中から優先的に選択知覚可能な特徴，即ちポップアウト現象を示す特徴を明らかにすることが重要である。

前年度は，その基礎段階として，純音と狭帯域雑音を刺激音として用いた実験を行い，狭帯域雑音にポップアウト現象が見られることを明らかにして，聴覚系におけるポップアウト現象を初めて実証した。本年度は，更に，通常音声と時間逆転音声，及び純音と周波数変調音を刺激音として用い，通常音声及び周波数変調音がポップアウトすることを示した。また，このような聴覚探索課題における選択非対称性に係る脳活動を明らかにするための予備実験として，fMRIを用いた実験を行った。

本研究は今後，音空間内における，より一般的な特徴要素とその抽出機構の解明を目指して，大きく発展することが期待できる。

（3－2）波及効果と発展性など

本年度は，音における臨場感通信を実現する上で重要と考えられる音場の精密再生の実現手法と，音空間知覚過程の解明に関して，特に注力して研究を行った。その結果，高精度の音場再生に向けた研究が大きく進展したほか，臨場感の定量化が可能となった，環境音知覚におけるマルチモーダル情報の重要性が明らかになった，聴覚系における特徴抽出過程の解明が進んだなど多くの新しい知見を得た。これらの成果は，今後，3次元音空間知覚と認識における一般的な特徴要素の解明と抽出機構の解明へと大きく進展することが期待される。また，これにより，3次元音空間情報の高精度伝送方式の開発に寄与しうるものと期待される。

［4］成果資料

(1) 小澤, 中條, 鈴木, 曽根, “臨場感に及ぼす再生音と音場再生方式の影響,” 日本音響学会講演論文集 1999年9月～10月, pp. 611-612 (1999).
(2) 小澤, 中條, 鈴木, 曽根, “音響臨場感を構成する聴覚要因に関する考察,” 第1回日本感性工学会大会予稿集, p. 126 (1999).
(3) 小澤, 中條, 鈴木, 曽根, “臨場感を構成する聴覚要因,” 日本音響学会講演論文集 2000年3月, pp. 411-412 (2000).
(4) 小澤, 金澤, 鈴木, “ヘッドホンを用いたバイノーラル再生における個人差補正の効果,” 日本音響学会講演集 1999年11年9月～10月, pp. 623-624 (1999).
(5) 岩谷, 野島, 日沼, 坂田, ” モデル化されたHRTFによる音像のずれと補正に関する一考察,’’ 信学技報, EA00-33, pp. 37-44(1999).
(6) 高根, 鈴木, 宮島, 曽根,「仮想球モデルに基づく聴覚ディスプレイの再生精度に関する検討」, 日本バーチャルリアリティ学会第4回大会論文集, 4, 373-374(1999)。
(7) 木村, 鈴木, 高根, 曽根,「頭部移動による音像移動の遅延検知限に関する考察」, 平成11年度電気関係学会東北支部連合大会講演論文集, 21(1999)。
(8) 木村, 鈴木, 金, 頭部運動に対する音像移動遅延の検知限と弁別限, 日本音響学会講演論文集 2000年3月, pp. 405-406 (2000).
(9) 阿瀬見, 杉田, 鈴木, 曽根, 水平面内に定位させた純音と周波数変調音による探索非対称性,

日本音響学会講演論文集 2000年3月, pp. 413-414 (2000).

(10) 安倍，小澤，鈴木，曽根，言語による音源情報の予示が環境音の知覚に与える影響，日本音響学会誌，55, pp. 697-706, 1999

(11) Suzuki, Y., Abe, K., Ozawa, K., & Sone, T., Factors for perceiving sound environments and the effects of visual and verbal information on these factors, *Results of the 8th Oldenburg Symposium on Psychological Acoustics (A. Sshick, M. Meis & C. Reckhardt Eds.), ISBN 3-8142-0697-5,* pp. 209-233, 2000.

課題番号　H09/A011

超低消費電力無線通信ハイブリット ULSIプロセス技術の研究

[1] 組織
代表者：堀池靖浩（東京大学大学院工学系研究科）
責任者：坪内和夫（東北大学電気通信研究所）
分担者：
一木　隆範（東洋大学工学部）
花尻　達郎（東洋大学工学部）
目黒多加志（理化学研究所）
進藤　春雄（東海大学工学部）
菅井　秀郎（名古屋大学工学部）
益　　一哉（東北大学電気通信研究所）
横山　道央（東北大学電気通信研究所）
大見　忠弘（東北大学未来科学技術共同研究センター）
小谷　光司（東北大学工学部）
平山　昌樹（東北大学工学部）

研究費：校費3,000千円，旅費317千円

[2] 研究概要・成果

21世紀の高度情報化社会において，各個人がTele-Padと命名される携帯情報無線端末をもち，「いつでも，どこでも，誰とでも」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・ワーク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やりとりする姿が，パーソナルC＆Cの究極の姿であると考えられる。このTele-Pad実現のためには，周波数としてはベースバンドからGHz・RF帯までのデジタルおよびアナログ信号を処理する「超低消費電力無線通信ハイブリッドULSI」を開発しなければならない。これには，Siデジタル信号処理集積回路，アナログ信号処理回路，弾性表面波RF信号処理機能デバイス。超高安定マイクロオシレータなどがハイブリッド集積化される。これらデバイスプロセス技術開発の課題として，Si集積回路における高誘電率薄膜，強誘電体薄膜，無機および有機の低誘電率薄膜，高熱伝導度薄膜，高音速弾性表面波(SAW)素子材料など，多くの新機能材料の微細加工技術を確立しなければならない。また，GHz信号処理を扱う新たなSi ULSI多層配線技術，Si集積回路と上記機能材料による新機能デバイスを高密度に集積する新実装技術を確立する必要がある。本研究の目的は，これら新機能材料の加工・実装技術を確立することである。

具体的には，
(1) Siデジタル・アナログ回路素子，高・強誘電体素子，SAW機能素子等をワンチップにハイブリッド集積化するグローバルインテグレーション技術
(2) Si集積回路における機能材料として，高誘電率，強誘電体薄膜，無機及び有機の低誘電率薄膜，高熱伝導度薄膜などの微細加工技術としてのドライエッチング技術を確立する。
(3) 高音速弾性表面波素子材料AlNについて，特に金属材料との選択加工技術を開発する。
(4) GHz信号伝送SiULSI多層配線技術，および高密度グローバルインテグレーション実装技術を確立する事，を目的とする。

本年度は，ハイブリッドULSI開発のための微細加工技術開発，多層配線技術，及び実装技術開発として以下の研究を行った。
グローバルインテグレーション実装技術の基礎となるプロセス・デバイス・配線設計・実装技術として，微細化世代に依存しないダメージフリー新規コンタクト・ビア形成技術開発，Si ULSI多層配線における高速GHz信号伝送配線技術開発，バンプレス微細金属接合技術開発，ならびにチップ積層集積化技術・三次元実装技術開発を行った。

[3] 研究会活動

研究討論会を1回行なった。
日時：平成12年1月22日
場所：東北大学電気通信研究所2号館4階大会議室

【プログラム】
13:10-13:40「グローバルインテグレーションの研究」
堀池靖浩（東京大学）
13:40-14:10「微細化世代に依存しないダメージフリー新規コンタクト・ビア形成技術」
須川成利，大見忠弘（東北大）

14:10-14:40「グローバルインテグレーションに向けて －配線に係わる問題－」
名取研二（筑波大）
14:40-15:10「ＧＨｚ高速配線技術」
益　一哉，坪内和夫（東北大）

15:10-15:30　休　憩

15:30-16:00「微細デバイスと配線技術」
岩井　洋（東工大）
16:00-16:30「微細金属接合とグローバルインテグレーション」
須賀唯知（東大）
16:30-17:00「実装技術の新展開によるチップ積層集積化に向けて」
浅野種正（九州工大）
17:00-17:30「３次元実装によるグローバルインテグレーション」
小柳光正（東北大）

[４] 主な研究発表

[１] H. Shindo, T. Urayama, T. Fujii, Y. Horiike and S. Fujii; "Electron energy control in an inductively coupled plasma at low oressures", Appl. Phys. Lett., Vol. 76, No. 10, 6 March, (2000), 1246-1248.

[２] Y. Chinzei, Y. Feurprier, M. Ozawa, T. Kikuchi, M. Ozawa, K. Horioka, T. Ichiki and Y. Horiike; "High aspect ratio SiO_2 etching with high resist selectivity improved by addition of organosolane to tetrafluoroethyl trifluoromethyl ether", J. Vac. Sci.& Technol. Vol. 18, No.1, Jan/Feb, (2000), 158-165.

[３] A. Oki, S. Adachi, Y. Takamura, K. Ishhara, K. Kataoka, T. Ichiki and Y. Horiike; "Glucose Measurement in Blood Serum Injected by Electroosmosis into Phospholipid Polymer Coated Microcapillary", Proc. μ-TAS '2000, Enschede, The Netherland 14-18 May, (2000),403-406.

[４] T. Ichiki, T. Ujiie, T. Okuda and Y. Horiike; "Immuni-Electrophoresis of Blood Cells on Micro-Capillaty Chips", Proc. μ-TAS '2000, Enschede, The Netherland, 14-18 May (2000), 119-122.

[５] Y. Horiike, M. Ogata, H. Oshio, Y. Chinzei, Y. Feurprier, Y. Takamura and T. Ichiki;"Fine/High Aspect Ratio SiO_2 and Gap etching", Elecrochem. Soc. Proc. Vol. 99-18, (1999), 329-344.

[６] T, Ichiki, H. Oshio and Y. Horiike; "Charge Referencing of XPS from Fluorocarbon Polymer Films using Fluorine as an Internal Standard", J. Surface Analysis, 5, (1999), 193-196.

[７] Y. Feurprier, Y. Chinzei, M. Ogata, T. Kikuchi, M. Ozawa, T. Ichiki and Y. Horiike;" Microloading effect in ultrafine hole/trench etching", J. Vac. Sci. Technol. A 17(4), Jul/Aug,(1999), 1556-1561.

[８] T. Fujii, H. Aoyagi, K. Kusaba, Y. Horiike and H. Shindo; "Enhancement of Negative-Ion-Assisted Silicon Oxidation by Radio Frequency Bias", Jpn. J. Appl. Phys.,38,(1999), L1466-L1468.

[10] H. Shindo, T.Urayama, T. Fujii, Y. Horiike and S.Fujii; "Electron Energy Control in Inductively Coupled Plasma Employing Multimode Antenna", Jpn. J. Appl. Phys., 38((9AB), (1999), L1066-L1069.

[11] T.Urayama, Y. Horiike, S.Fujii and H. Shindo, Thin Film Detection Employing Frequency Shift in Sheath Current Oscillation Jpn. J. Appl. Phys., 38((8), (1999),4917-4921.

[12] H. Ogawa, T. Arai, Y. Feurprier, Y. Takamura, T. Ichiki and Y. Horiike; "In-situ Observation of Si Native Oxide Removal Employing Hot NH3/NF3 Exposure, Proc. of 21th Symp. on Dry Process, Nov. 11-12, Tokyo, (1999), 273-278.

課題番号　H11/A01

Ⅳ族半導体極限ヘテロ構造形成と表面・界面制御に関する研究

［1］ 組織
代表者：室田　淳一（東北大学電気通信研究所）
分担者：潮田　資勝（東北大学電気通信研究所）
横尾　邦義（東北大学電気通信研究所）
庭野　道夫（東北大学電気通信研究所）
末光　眞希（東北大学電気通信研究所）
上原　洋一（東北大学電気通信研究所）
松浦　　孝（東北大学電気通信研究所）
坂本　謙二（東北大学電気通信研究所）
鶴岡　　徹（東北大学電気通信研究所）
櫻庭　政夫（東北大学電気通信研究所）
小柳　光正（東北大学大学院工学研究科）
栗野　浩之（東北大学大学院工学研究科）
米永　一郎（東北大学金属材料研究所）
白木　靖寛（東京大学先端科学技術研究センター）
宇佐美徳隆（東北大学金属材料研究所）
安田　幸夫（名古屋大学大学院工学研究科）
財満　鎭明（名古屋大学先端技術共同研究センター）
酒井　　朗（名古屋大学大学院工学研究科）
秋本　晃一（名古屋大学大学院工学研究科）
池田　浩也（名古屋大学大学院工学研究科）
平木　昭夫（高知工科大学電子・光システム工学科）
田部　道晴（静岡大学電子工学研究所）
青木　　彪（東京工芸大学工学部）
飯塚　昌之（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（名古屋工業大学工学部）
佐々木公洋（金沢大学工学部）
土屋　敏章（島根大学総合理工学部）
石谷　明彦（超先端電子技術開発機構）
梶山　健二（イオン工学研究所）
岩井　　洋（東京工業大学大学院総合理工学研究科）
酒井　徹志（東京工業大学大学院総合理工学研究科）
三宅　雅保（福山大学工学部）
宮尾　正信（九州大学大学院システム情報科学研究科）
佐道　泰造（九州大学大学院システム情報科学研究科）
大黒　達也（東芝マイクロエレクトロニクス研究所）
中川　清和（日立製作所中央研究所）
伊藤　秀二（沖電気工業半導体技術研究所）
小野　昭一（アルプス電気中央研究所）
尾藤三津雄（アルプス電気中央研究所）
篠井　　潔（アルプス電気中央研究所）
阿部　孝夫（信越半導体株式会社）
宮　　博信（国際電気株式会社）
国井　泰夫（国際電気株式会社）
森谷　　敦（国際電気株式会社）
宮本　光雄（森田化学工業株式会社）
池田　拓也（日本酸素株式会社）
廣瀬　泰夫（日本酸素株式会社）
佐藤　政明（新日本無線株式会社）

配分研究費　校費808千円，旅費1,481千円

［2］ 研究経過

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

［概要］　本年度は本プロジェクトの初年度として，Si-Ge-Cのエピタキシャル膜，Si窒化膜，ＰやＢの原子層ドーピング，WとSiの多層膜を中心に極限ヘテロ構造形成技術・表面界面制御技術を研究した。プロセスにはＣＶＤ法・ＭＢＥ法・ＥＣＲプラズマ法を用いて行い，相互の方法の比較を行いながら各々の特徴を生かして最適化を進めた。原子レベルでの平坦性及び表面構造の評価にはＳＴＭ／ＡＦＭ，表面の吸着物質・原子結合の同定にはＸＰＳ・ＦＴＩＲ・ラマン分光を用いている。また，共鳴トンネルダイオードの電気特性の測定・評価を行い，Ⅳ族半導体極限ヘテロ構造による新物性の探索を行った。

［3］成果

（3－1）研究成果

本研究により，SiやGe，C等Ⅳ族半導体やそれらへのP・Bのドーピング及びそれらを基とした絶縁膜，並びに金属膜等を組み合わせた極限ヘテロ構造の形成が可能になりつつある。特に，表面マイグレーションや原子ミキシングを最低限まで抑制した表面・界面制御技術が実現されつつある。

具体的にはまず，Si-Ge-C系のエピタキシャル成長やPおよびBのドーピング制御とその電気的特性，それらのエピタキシャル薄膜のエッチング特性を明らかにした。また，Si表面の原子オーダプラズマ窒化・NH_3窒化，Pの原子層吸着制御を可能にし，Si上にNやP原子が吸着した上へのSiのエピタキシャル成長の実現を断面TEM分析等で確認した。さらに，ドープト$Si_{1-x}Ge_x$からSiへのPやBの低温不純物拡散と偏析特性を明らかにした。一方，Si表面でのSiH_4とWF_6のCVD低温反応初期過程，特に水素の効果を明らかにした。SiGe系の物性研究としては，$Si_{0.6}Ge_{0.4}$/Si(100) 共鳴トンネルダイオードを製作しその量子構造に特有の電気伝導特性を研究した。さらに，SiGe系デバイスの高性能化への応用として，ドープト$Si_{1-x}Ge_x$を自己整合型極浅ソース／ドレイン形成に用いた極微細MOSFET（S^3EMOSFET）をpチャネルに続いてnチャネルでも実現した。

本プロジェクトの寄与のある研究成果の一部は，後述の主な研究発表等をはじめとする，学術雑誌，国際会議に発表している。本プロジェクト研究の継続・推進により，極限ヘテロ構造に起因する新しいⅣ族半導体光物性・電子物性の学問分野が大きく切り開かれると同時に，次世代Si系極限ヘテロデバイス開発の道をも開拓できよう。

（3－2）波及効果と発展性

本共同プロジェクト研究のメンバーから多数が参加して，文部省科学研究費補助金特定領域研究(B)「人工Ⅳ族半導体の物性制御と超高速光・電子デバイスへの応用」の申請が認められ，平成11年度後半から研究が開始されている。これにより，この分野の飛躍的発展が期待される。

［国際会議］　これまでの歴史ある2つの国際会議｛The 8th International Symposium on Silicon Molecular Beam Epitaxy (Si-MBE8)とThe 3rd International Symposium on Silicon Heterostructures: From Physics to Devices (Si-HS3)｝がジョイントした国際会議，International Joint Conference on Silicon Epitaxy and Heterostructures (IJC-Si, September 12 (Sun.) - 17 (Fri.), 1999 Miyagi-Zao Royal Hotel, Miyagi, Japan)を，通研国際シンポジウムとして本プロジェクトが中心となり開催することができた。海外53名を含めて215名の参加者を得，以下の12件の招待講演の他，104件の一般講演及び2つのランプセッションでSiエピタキシーとヘテロ構造に関して広範で深い討論ができ，きわめて有意義であった。なお，会議詳細はhttp://ijc-si.murota.riec.tohoku.ac.jp/にも公開している。

A-1. Self-assembling Si/SiGeC and Si/SiGe nanostructures for light emitters and tunneling diodes, K. Eberl, O. G. Schmidt, and R. Duschl, Max-Planck-Inst., Germany

A-2. High-speed device applications of SiGe, K. Washio, Hitachi Ltd., Japan

B-5. Nanostructures in silicon devices. I. Eisele, and W. Hansch, Univ. der Bundeswehr München, Germany

D-1. Diffusion mechanism of Ge atoms on H/Si(100)-(2xl) surface, J. Nara, and T. Ohno, National Research Inst. for Metals, Japan

E-1. Polycrystalline-SiGe applications in Si CMOS technology, K. C. Saraswat, Stanford Univ., USA

E-5. Atomic layer doping of SiGe-fundamentals and device applications, B. Tillack, B. Heinemann, and D. Knoll, Inst. for Semiconductor Phys., Germany

F-1. Epitaxial silicide interfaces in microelectronics, R. T. Tung and S. Ohmi, Lucent Technologies Bell Labs., USA

F-3. SiC/Si heteroepitaxial growth, M. Kitabatake, Matsushita Electric Industrial Co., Ltd., Japan

H-1. Alloy and other scattering mechanisms in Si/SiGe heterostructures for field effect transistors, T. E. Whall, The Univ. of Warwick, UK

I-4. Performance enhancements in strained Si/relaxed $Si_{1-x}Ge_x$, MOSFETs, J. L. Hoyt, K. Rim and J. F. Gibbons, Stanford Univ., USA

J-1. High-speed transport in Si/SiGeC heterostructures, F. Schäffler, Univ. Linz, Austria

K-1. Self-organized and self registered Ge dots on Si and their potential applications, K. L. Wang, UCLA, USA

Rump Session I. Silicon Nanostructures
-How to Control and What to Expect-

Rump Session II. Post Silicon MOSFETs
-Breakthrough with Heterostructures-

［4］主な研究発表

1. Doping and Electrical Characteristics of In Situ Heavily B-Doped $Si_{1-x}Ge_x$ Films Epitaxially Grown Using Ultraclean LPCVD, A. Moriya, M. Sakuraba, T. Matsuura and J. Murota, Thin Solid Films, Vol.343-344, pp.541-544, (1999).
2. Atomic-Order Layer-by-Layer Role-Share Etching of Silicon Nitride Using an Electron Cyclotron Resonance Plasma, T. Matsuura, Y. Honda and J. Murota, Appl. Phys. Lett., Vol.74, No.23, pp.3573-3575, (1999).
3. Layer-by-Layer Growth of Silicon Nitride Films by NH_3 and SiH_4, T. Watanabe, M. Sakuraba, T. Matsuura and J. Murota, J. Phys. IV France, Vol.9, pp.Pr8-333-Pr8-340, (1999).
4. H-Termination Effects on Initial Growth Characteristics of W on Si Using WF_6 and SiH_4 Gases, T. Yamamoto, T. Matsuura and J. Murota, J. Phys. IV France, Vol.9, pp.Pr8-431-Pr8-436, (1999).
5. Segregation and Diffusion of Phosphorus from Doped $Si_{1-x}Ge_x$ Films into Silicon, S. Kobayashi, M. Iizuka, T. Aoki, N. Mikoshiba, M. Sakuraba, T. Matsuura and J. Murota, J. Appl. Phys., Vol.86, No.10, pp.5480-5483, (1999).
6. Contribution of Radicals and Ions in Atomic-Order Plasma Nitridation of Si, T. Seino, T. Matsuura and J. Murota, Appl. Phys. Lett. Vol.76, No.3, pp.342-344, (2000).
7. Observation of Sharp Current Peaks in Resonant Tunneling Diode with Strained $Si_{0.6}Ge_{0.4}$/Si(100) Grown by Low-Temperature Low-Pressure CVD, P. Han, M. Sakuraba, Y. C. Jeong, K. Bock, T. Matsuura and J. Murota, J. Crystal Growth, Vol.209, No.2-3, pp.315-320, (2000).
8. Atomic-Order Surface Reaction of CH_3SiH_3 on Ge(100) and Si(100), T. Takatsuka, M. Fujiu, M. Sakuraba, T. Matsuura and J. Murota, Appl. Surf. Sci., (in press, 2000).
9. Atomic-Layer Adsorption of P on Si(100) and Ge(100) by PH_3 Using an Ultraclean Low-Pressure Chemical Vapor Deposition, Y. Shimamune, M. Sakuraba, T. Matsuura and J. Murota, Appl. Surf. Sci., (in press, 2000).
10. Epitaxial Growth of $Si_{1-x-y}Ge_xC_y$ Film on Si(100) in a SiH_4-GeH_4-CH_3SiH_3 Reaction, A. Ichikawa, Y. Hirose, T. Ikeda, T. Noda, M. Fujiu, T. Takatsuka, A. Moriya, M. Sakuraba, Thin Solid Films, (in press, 2000).
11. Diffusion and Segregation of Impurities from Doped $Si_{1-x}Ge_x$ Films into Silicon, S. Kobayashi, M. Iizuka, T. Aoki, N. Mikoshiba, M. Sakuraba, T. Matsuura, and J. Murota, Thin Solid Films, (in press, 2000).
12. Drain Leakage Current and Instability of Drain Current in Si/$Si_{1-x}Ge_x$ MOSFETs, T. Tsuchiya, K. Goto, M. Sakuraba, T. Matsuura and J. Murota, Thin Solid Films, (in press, 2000).
13. Evaluations of Dynamic Threshold-Voltage MOSFET's with Modulated Doping in Ge_xSi_{1-x}/Si Strained Layer Heterostructures, B. Jicheol, S. Yunhup, M. Takahama, H. Kurino, J. Murota and M. Koyanagi, 1999 Silicon Nanoelectronics Workshop, Session 3, Kyoto, Japan, June 12-13, 1999.
14. C Introduced $Si_{1-x}Ge_x$/Si Resonant Tunneling Diodes Epitaxially Grown Using Low-Temperature Low-Pressure CVD, P. Han, M. Sakuraba, Y-C. Jeong, T. Matsuura and J. Murota, Int. Joint Conf. on Si Epitaxy and Heterostructures (IJC-Si), Zao, Japan, Sep.12-17, 1999, Abs.No.J-4.
15. Micro-Roughness Control of the $Si_{1-x}Ge_x$ Surfaces Treated with Buffered Hydrofluoric Acid, S. Ishida, T. Osada, M. Miyamoto, M. Sakuraba, T. Matsuura and J. Murota, Int. Joint Conf. on Si Epitaxy and Heterostructures (IJC-Si), Zao, Japan, Sep.12-17, 1999, Abs.No.P I-2.
16. Super Self-Aligned Processing for Sub 0.1 μ m MOS Devices Using Selective $Si_{1-x}Ge_x$ CVD, T. Kikuchi, T. Yamashiro, A. Moriya, T. Noda, Y. Yamamoto, C. Deng, M. Sakuraba, T. Matsuura and J. Murota, Proceedings of the First International Symposium on ULSI Process Integration, (C. L. Claeys, H. Iwai, G. Bronner and R. Fair eds., The Electrochemical Society, Pennington, NJ, 1999), Vol.PV99-18, pp.147-153.

共同プロジェクト研究

課題番号　H11/A02

二波長半導体レーザによるテラヘルツ電磁波生成の研究

[1] 組織
研究代表者：日高建彦
（湘南工科大学電気工学科）

東北大学通研対応教官：伊藤弘昌
研究分担者：　伊藤弘昌
（東北大学電気通信研究所）
四方潤一
（東北大学電気通信研究所）
高橋英憲
（東北大学大学院）
水野麻耶
（東北大学大学院）
諸橋功
（湘南工科大学大学院）
金井裕貴
（湘南工科大学大学院）

研究費：　校費94万3千円，
旅費25万3千円

[2] 研究経過

いわゆるテラヘルツ電磁波の生成，伝送，検出およびそれらの応用に関する研究は近年ますます重要性が増してきている。まず，テラヘルツ電磁波生成であるが，現在もっとも多く研究されているのは，可視ー近赤外レーザを第一光源とし，その光源をもとにテラヘルツを非線形効果などにより生成せしめるものである。例えば，強力な近赤外短パルス光を$LiNbO_3$などの物質に打ち込み，オプティカルパラメトリック発振をさせ，その発振周波数がテラヘルツ領域になるように結晶の方位とポンピング光などの相互作用を調節するやりかたや，光パラメトリック発振で得た近接二波長光をDASTのような非線形光学結晶に注入し，その差周波を得る方法，半導体で非対称２層量子井戸を作成し，それを強フェムト秒光パルスで励起し，量子井戸中の電子分布の振動を発生させ，そこからその振動に該当する電磁波を放射させるものである。

ところが，そのようなフェムト秒短パルス光を第一光源とするようなテラヘルツ波発生装置は著しく高価かつ得られるテラヘルツもパルス状であり，必ずしも実用的ではなかった。そこで，安価かつ連続である，半導体レーザを第一光源とするテラヘルツ電磁波生成の試みが各所で始まってきた。例えば，近接する周波数をもつ二台の連続半導体レーザを用意し，その各々のレーザからの光を合波して半導素子に照射して差周波を取り出す方法や，強い非線形性もつ高温超伝導物質に照射してテラヘルツを得る方法などが試みられており，それぞれ初期的成果を得つつある。

本プロジェクトでは，研究分担者の一人である日高がかつて開発した二波長同時半導体レーザと，東北大通研伊藤研究室で開発された，DASTと略称されている非線形光学結晶を用いた，非線形差周波発生法によるテラヘルツ電磁波発生を目的として研究を行いつつある。この方法の特徴は，第一（励起）光源が著しく安価簡便となり，また，二個の独立のレーザを準備してその各々の出力を合波するという，光学的にはかなりやっかいな作業を回避できる。ところが，当二波長連続発振半導体レーザの出力は大きくとも10 mWのオーダーであり，従来用いられてきたフェムト秒発光レーザや，それを用いた，オプティカルパラメトリック発振で得られるパルス光に比すると，そのピーク値は著しく低い。光学非線形効果は入射光のピーク電力の二乗に比例するので，半導体レーザを励起光源として使用することは著しく不利であり，その期待される生成テラヘルツ電力は極めて小さい。しかしながら，将来的には，半導体レーザを励起源とする，差周波法によるテラヘルツ光源の開発は極めて魅力的と思われる。

以上にのべたごとく，連続半導体レーザとDASTのような非線形光学結晶を用いたテラヘルツ電磁波生成の試みは成功すれば画期的と期待されるが，なにぶん，現状にて期待される出力は微小である。実際に行った実験では，「成果」で述べられておるように，微弱な信号を得ているが，さらに確認が必要である。また，光学系，信号検出系において，更なる改良が必要なことが判明した。これらは現在進行中である。

また，同時に平成11年度では，テラヘルツ領域の発生・伝送・検出技術に習熟すべく，まず，フ

ェムト秒チタンサファイアレーザと半導体などを使ってともかくテラヘルツ波を生成させ，その検出システムを整備・習熟することを重点におき，いくつかの取り組みをおこなった。その際，平成11年度共同プロジェクト予算にて購入した物品（光学アライメント素子など）を計測システムに組み込んで使用した。

また，意外に軽んじられていると思われる，テラヘルツ電磁波伝送導波路の開発を開始した。テラヘルツ領域は水分及び酸素の吸収がかなり強いので，その実用化のためには低損失の光ファイバ（ないしは機能的に該当するもの）が必須になると思われる。ところが，従来はいわゆるライトパイプ（単なる金属パイプ）しかなかった。そこで，平成11年度から，新原理のテラヘルツ導波路開発を開始した。

[3] 成果

(3-1) 研究成果

本年度は以下に示す研究成果を得た。

第一に，二波長半導体レーザと DAST 結晶を用いたテラヘルツ生成を試み，その前兆らしい信号を確認した。その結果を図１に示す。この信号は現状では未だ極めて微弱であるが，期日をおいて２回試み，同じ程度の信号を得ている。テラヘルツである否かの確認が急がれる。

第二に，テラヘルツ領域で金属パイプより低損失と期待される，PVDF なる有機強誘電体を使った中空導波路の開発を開始し，２ＴＨｚ近傍でたしかに金属パイプよりも低損失であることを確認した。図２にその結果の一例を示す。

第三に半導体非対称二重結合量子井戸とフェムト秒光パルスを用いた，テラヘルツ電磁波生成実験を試み，図３のような信号を得た。
(a) は横軸が時間であり，それをフーリエ変換したものが(b) である。これにより，このシステムで確かにテラヘルツが生成されていることが確認された。

第四に半導体対称三層量子井戸とフェムト秒光パルスを用いたテラヘルツ生成実験を試みた。その結果を図４ (a) に示す。また，そのフーリエ変換したものを図４(b) に示す。いずれもテラヘルツ発生が確認されたものである。

第五に，フェムト秒光パルスの制御に関する実験を行い，所定の成果を得た。これは，フェムト秒単パルスをまず回折格子で分光し，各周波数成分の振幅と位相を２段液晶光変調器で独立に制御し，任意の間隔をもつ連続パルストレインに変換するものであり，将来のテラヘルツ電磁波生成用の光源技術として重要視されているものである。かようにして生成された多連光の一例を図５に示す。

（３－２）波及効果と発展性

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

[4] 成果資料

[1] T. Hidaka, H. Ito et.al., Hollow waveguide for THz waves with feroelectricpolymer PVDF as the cladding material",FST 2000, FA-3, Tsukuba

[2] T.Hidaka , H. Ito et.al., "Hollow waveguide for THz waves with PVDF as the cladding material", CLEO Europe 2000, CWF0007 Nice, France.

[3] 日高建彦，伊藤弘昌他，" 強誘電体 PVDF をクラッディング材とする可とう性テラヘルツ帯中空導波路" 電子情報通信学会論文誌Ｃ投稿中。

[4] T. Hidaka. H. Ito, et.al," Hollow wave-guide for THz electromagnetic waves with ferroelectric PVDF as a cladding material", Electronics Letters 投稿中

[5] K. Komori, Y. Fukunaga, I. Morohashi, T.Sugaya, M. Watanabe, and T.Hida "Coherent Control of exctions in quantum wells using shaped ultrashort pulse" The 6th international workshop on femtosecond technology (FST99), No.36, Chiba, Japan, (July 1999).

[6] I. Morohashi, K. Komori, T. Sugaya, andT. Hidaka: "Generation of THz electro-magnetic wave from semiconductor multi-coupled quantum well", 7th IEEE International conference on Terahertz electronics, Nara, Japan, P8, (Nov. 1999).

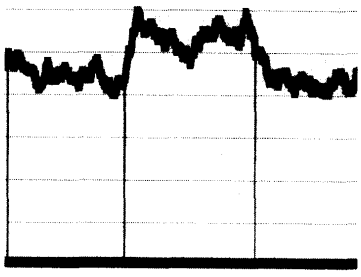


図１．二波長発振ＬＤで励起された DAST からの放射電磁波。

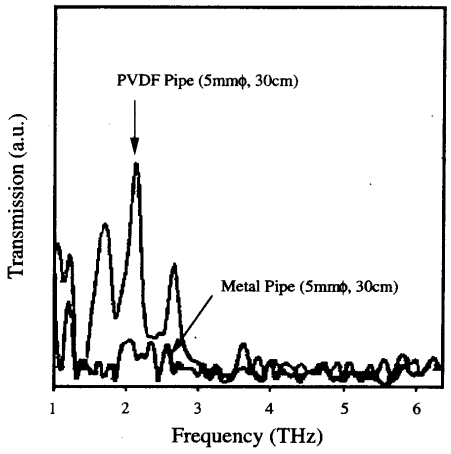
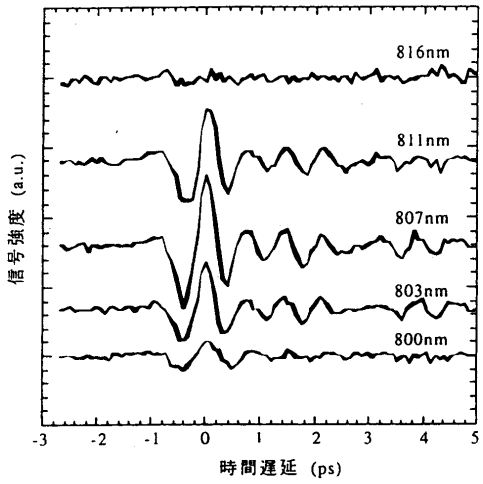
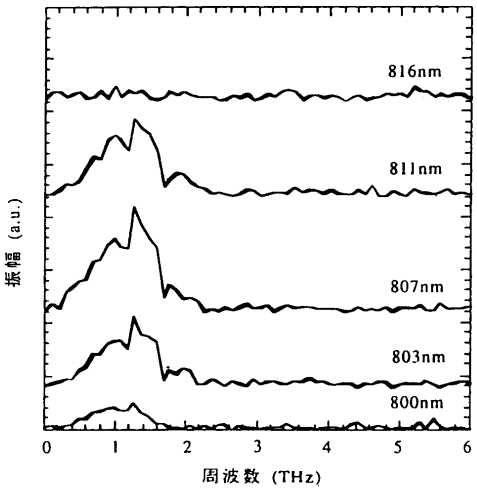


図２．PVDF Hollow Tube の伝送特性。

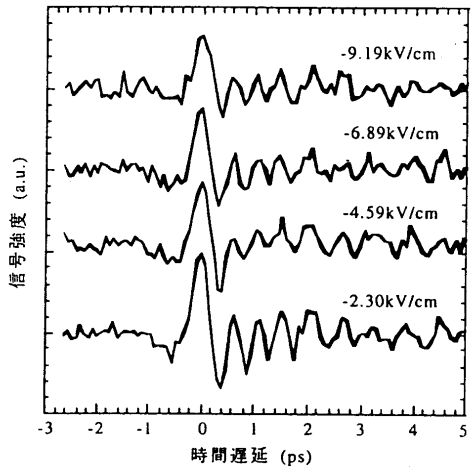


(a) THz 電磁波波形

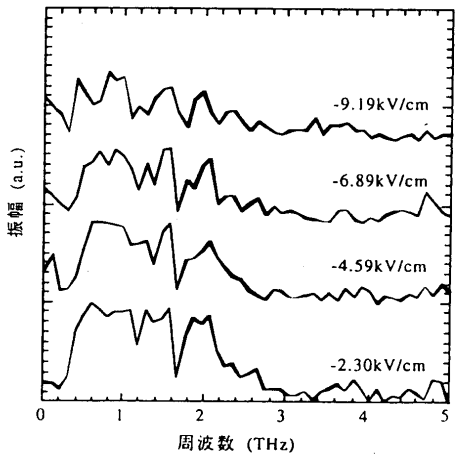


(b) フーリエスペクトル

図３．(a) 非対称二重結合量子井戸からの発生電磁波
(b) フーリエ変換された信号



(a) THz 電磁波波形



(b) フーリエスペクトル

図４．(b)．対称三重結合量子井戸からの発生電磁波。
(b) フーリエ変換された信号

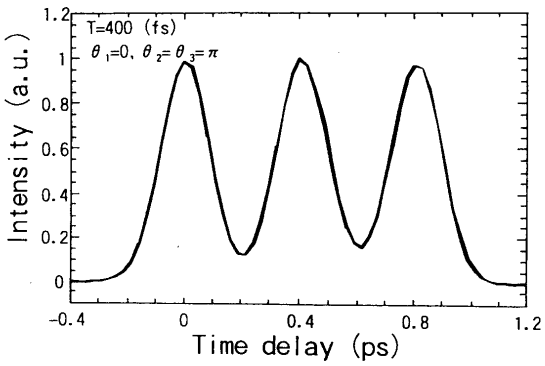


図５．位相制御多連光パルス波形（相関）。

課題番号　H11/A03

周波数シフト帰還型レーザによる光通信用デバイスの特性評価システムの開発

[1]組織
代表者：飯山　宏一（金沢大学工学部）
分担者：伊藤　弘昌（東北大学電気通信研究所）
中村孝一郎（東北大学電気通信研究所）
吉田　真人（東北大学電気通信研究所）
高宮　三郎（金沢大学工学部）
前田　隆宏（金沢大学大学院自然科学研究科）

研究費：校費660千円，旅費692千円

[2]研究概要

超高速光ファイバ通信システム実現に向けた研究開発が活発に行われているが，その実現のためには，光の領域で様々な信号処理が可能な光導波路形デバイスの開発や，伝送路である光ファイバの高性能化・高機能化が必要である。光導波路形デバイスや光ファイバの開発のためには，これらの光素子単体や組み合わせて使用したときの特性評価が重要である。特性評価法（光リフレクトメトリという）としては光パルスを用いる時間領域光リフレクトメトリ（Optical Time Domain Reflectometry：OTDR）が実用化されているが，OTDRに代わる可能性のある特性評価法として，光周波数が線形にチャープされた光源を用いる周波数領域光リフレクトメトリ (Optical Frequency Domain Reflectometry：OFDR) がある。OFDRは簡単な構成で比較的高い空間分解能が得られるので，光導波路形デバイスや光ファイバの特性評価法として有望である。OFDRにおいて光源に要求される性能は，光周波数が時間に対して線形に掃引されていることと，光周波数チャープ幅が広いことである。

さて最近，光周波数シフタをレーザ共振器内に内蔵した周波数シフト帰還型レーザ（FSFレーザ）という新しいタイプのレーザが，東北大学電気通信研究所の伊藤教授のグループにより精力的に研究されている。FSFレーザは光周波数が時間に対して線形にチャープするという特徴を持っているのでOFDRの光源に最適であり，OFDRにおける性能向上が期待される。本プロジェクト研究は，FSFレーザを用いて光通信用の光導波路形デバイスや光ファイバの特性評価システムを構築することを目的として企画された。

本プロジェクトは，本年度は第1年度であり，(1) 光通信の波長帯でのFSFレーザの構成，(2) OFDRの構成と光ファイバの特性評価を行った。

[3]研究経過

(1) FSFレーザの構成

本プロジェクトでは光通信用の光導波路形デバイスおよび光ファイバを評価対象としているので，光通信で利用されている波長1550 nm帯でFSFレーザを構成する必要がある。そこでまず，FSFレーザの構成について研究を行った。利得媒体にエルビウム添加光ファイバを用い，光ファイバを用いてFSFレーザを構成し，光出力2 mW以上，発振波長範囲1530～1560 nm，光周波数チャープ幅20 GHz以上を得た。また，光ファイバでレーザ共振器を構成すると振動や周囲温度変化などにより発振特性が不安定であるが，レーザ共振器内に偏光子（ポーラライザ）を挿入することにより，発振特性が安定することがわかった。さらに，光距離計測に利用した場合，偏光子を使用することにより信号強度（SN比）が20 dB程度向上することがわかった。これらの結果より，発振特性の不安定性の要因は，レーザ共振器内での異なる偏波間の結合であることがわかった。

また，FSFレーザの自励パルス発振についても研究を行った。レーザ共振器内の周波数シフタでの周波数シフト量がレーザ共振器の縦モード間隔の整数倍に等しい場合に，自励パルス発振するというものである。発振パルス波形をオシロスコープおよびオートコリレータで測定したところ，パルス幅はFSFレーザの構成方法により変化し，数10 ps～2 nsであった。自励パルス発振動作は利得媒体の励起状態，レーザ共振器の損失，レーザ共振器内の偏波状態などに大きく依存すると考えられる。

(2)OFDRの構成と光ファイバの特性評価

OFDRによる光距離計測

光ファイバや光導波路の特性評価の基礎実験として，FSFレーザを用いたOFDRによる光距離計測システムを構成した。この実験では，OFDRシステ

ムの空間分解能，感度および測定可能距離などを評価することができる。測定対象には長さ2 m以下の短尺の光ファイバを採用した。測定の結果，1本の光ファイバに対して，FSFレーザの共振器縦モード間隔（FSR：本実験では6 MHz）内に2本のビート信号が測定されること，光ファイバが長くなると2本のビート信号のビート周波数は近づくこと，ビート周波数は光ファイバの長さに比例することがわかった。また，光ファイバ長が1.2 mのときにFSR内の2本のビート信号のビート周波数が一致することから，連続的（分布的）に測定可能な光ファイバ長は1.2 mであることがわかった。なお，空間分解能は1 cmであり，これは光周波数チャープ幅により決定される。FSFレーザ内に挿入した波長可変フィルタの帯域幅（3 nm）により光周波数チャープ幅が制限されているので，より帯域幅の広い波長可変フィルタを用いて光周波数チャープ幅を広げることにより，1 mm程度の空間分解能を得ることができる。また，光ファイバ内の後方レイリー散乱光は検出できておらず，半導体レーザを光源に用いた従来のOFDRより感度は30 dB程度悪いことがわかった。感度が悪いのは以下の原因によるものと考えられる。FSFレーザの出力は複数本の発振モードが同時にチャープしているチャープ周波数コムとなっているが，本実験ではレーザ共振器のFSRが6 MHz，光周波数チャープ幅が20 GHzであることから，3,300本余りの発振モードが同時にチャープしていることになり，各発振モード間の位相が完全には同相になっていないために，発振モードによってはビート信号強度を打ち消しているためである。そこで，感度向上のためには各発振モード間の位相を完全に同相にする必要があると考えられる。

次に，5 km長の光ファイバを用いて同様の実験を行ったところ，短尺の光ファイバを用いた実験結果と同様，FSR（6 MHz）内に2本のビートスペクトルが得られた。発振モードが1本であれば5 km長の光ファイバに対してはビート周波数は10 GHzと非常に高周波になるが，FSFレーザでは異なる発振モード間においてもビート信号が生じるため，数MHzという低周波領域でビートスペクトルを得ることができる。また，空間分解能は5 km遠方においても1 cmであった。

これらの結果より，FSFレーザを用いたOFDRでは，従来のOFDRと比べて感度は悪いものの，空間分解能は優れていることがわかった。

波長分散測定への応用

次に，FSFレーザを用いた光距離計測システムを，長尺光ファイバの波長分散測定に応用した。波長分散とは波長により光ファイバ中の光波の伝搬時間が異なることであり，言い換えれば，波長により光波が感じる光ファイバ長が異なることである。そこで，FSFレーザの発振波長を変化させてビート信号の変化分を測定すれば波長分散が測定できる。80 km長の分散シフト光ファイバを測定対象としたとき，ビート周波数はFSFレーザの波長に対して2次関数的に変化する結果が測定され，最大のビート周波数変化量は800 kHzであった。800 kHzのビート周波数変化は35 cmの光ファイバ長の変化に相当する。すなわち，本システムの空間分解能が80 km遠方においても数cmであるという特徴を活かした測定であるといえる。OTDRでは80 km遠方における空間分解能は10 m程度，半導体レーザを用いたOFDRでは80 km遠方における空間分解能は100 m以上であるので，FSFレーザを用いたOFDRが非常に有効なシステムであることがわかる。得られた測定結果から，80 km長の光ファイバの零分散波長および分散値を評価することができた。

次に，接続されている2本の光ファイバの波長分散測定を行った。この場合，ビートスペクトルを測定すると，2本の光ファイバの接続点でのフレネル反射と2本目の光ファイバの出射端でのフレネル反射が同時に測定されるので，それぞれのフレネル反射によるビート周波数の波長依存性を測定すれば，それぞれの光ファイバの波長分散を同時に測定可能となる。5 kmと6 kmの光ファイバを接続して測定対象に用いたところ，それぞれの光ファイバに対するビート周波数の波長依存性が同時に測定できることがわかった。

[4] 研究討論会

以下の日程で研究討論および共同実験を行った。場所はいずれも，東北大学電気通信研究所伊藤研究室である。

平成11年6月17日（木）～19日（土）
平成11年7月22日（木）～24日（土）
平成11年11月24日（水）～27日（土）
平成11年12月17日（金）～19日（日）
平成12年3月2日（木）～4日（土）

[5] 主な研究発表

1. 前田，飯山，高宮，吉田，中村，伊藤：“周波数シフト帰還型ファイバレーザによる長尺光ファイバの群速度分散測定”，平成11年度電気関

係学会北陸支部連合大会，D-32，富山大学（1999年10月）。
2. 飯山，前田，高宮，吉田，中村，伊藤：“周波数シフト帰還型光ファイバレーザによる光ファイバの群速度分散測定”，2000年電子情報通信学会総合大会，B-13-17，広島大学（2000年3月）。
3. 飯山，前田，高宮：“波長可変周波数シフト帰還型光ファイバレーザによる光ファイバの波長分散測定”，電子情報通信学会 レーザ・量子エレクトロニクス研究会，LQE2000-13，福井大学（2000年5月）

共同プロジェクト研究

課題番号　H09/B02

電磁流体現象の解明とその応用

[1] 組織

代表者：犬竹　正明
（東北大学大学院工学研究科）
責任者：横尾 邦義
（東北大学電気通信研究所）
分担者：
安藤　　晃（東北大工学研究科）
服部　邦彦（東北大工学研究科）
市村　　真（筑波大プラズマ研）
間瀬　　淳（九州大学先端科学技術セ）
天岸　祥光（静岡大理学部）
桂井　　誠（東京大新領域）
吉田　善章（東京大新領域）
荒川　義博（東京大工学系）
佐藤浩之助（九州大応用力学研）
伊藤　早苗（九州大応用力学研）
大澤　幸治（名古屋大理学研究科）
宇山　忠男（姫路工業大工学部）
八坂　保能（京都大工学研究科）
畷道　　恭（京都大理学研究科）
際本　泰士（京都大学総合人間部）
石田　昭男（新潟大理学部）
藤原　正巳（核融合科学研究所）
伊藤　公孝（核融合科学研究所）
上村　鉄雄（核融合科学研究所）
川端　一男（核融合科学研究所）
長山　好夫（核融合科学研究所）
佐貫　平二（核融合科学研究所）
羽鳥　尹承（神奈川大理学部）
竹内　伸直（秋田県立大システム科学）

研究費：校費150千円，旅費899千円

[2] 研究経過

プラズマと電磁場とが複雑に相互作用する電磁流体現象は，磁気圧に対するプラズマ圧力が比較的大きい（高ベータ）宇宙プラズマや核融合プラズマ中で現われる特徴的な現象であり，その解明は非常に重要課題となっている。これらの電磁流体現象は磁力線の再結合を伴ったプラズマの自発的構造変化や磁場エネルギーの解放など複雑な現象を伴っている。これらの現象には共通の基礎的物理過程が内包されており，宇宙観測，核融合プラズマ実験，小型実験および計算機シミュレーションなどにより総合的に検討することで統一的理解を深める必要がある。

本プロジェクトは，本年度が3年度であり，前年度は，電磁場と流れ場についてのテーマを中心に行った。そこで本年度は，前年度の成果を踏まえながら各分野からの電磁流体に関連した種々の基礎とその応用をテーマとした研究会を開催した。

（研究討論会開催状況）
日時：平成12年2月24日(木) 13：00
～25日(金)16:10
場所：2/24東北大学工学部電気情報館
451･453号室
2/25東北大学工学部青葉記念会館
401大研修室

1)「流れによるプラズマ閉じ込めを目的としたプラズマの電気的非中性化」
比村治彦（東大工）
2)「トーラスプラズマへの加速プラスモイドとヘリシティ入射」　永田正義（姫路工大）
3)「回転するプラズマにおける構造形成と流れ」
田中雅慶（核融合研）
4)「流れのある磁場反転配位の構造と特徴」
山田英明（新潟大自然）
5)「シア流による核融合プラズマの閉じ込め改善」
居田克巳（核融合研）
6)「電場とシアによる低周波揺動の抑制」
吉沼幹朗（東北大工）
7)「高強度レーザー科学」=エネルギー研究から未踏の科学挑戦へのパラダイム･シフト=」
高部英明（阪大レーザー核融合センター）
8)「レーザーによるプラズマ生成と宇宙推進機への応用」　小紫公也（東大工）
9)「電磁流体中の衝撃波の反射と干渉」
小川博之（宇宙科学研）
10)「流体力学的手法を用いた弱電離プラズマ実験」　佐宗章弘（東北大流体研）
11)「磁気チャンネル流中のプラズマ加速と衝撃

波」　土谷　晃（東北大工）
12)「LHCDによるm=1圧力駆動型MHD不安定性の励起とECHによる抑制」　田中　仁（京大エネ科）
13)「ELM様熱パルス入射に伴うダイバータプラズマの動的挙動」　上杉喜彦（名大理工学）
14)「外部磁場印加MPDアークプラズマの分光測定」　山本真也（東北大工）
15)「ガンマ10におけるアルフェン波実験」　市村　真（筑波大プラズマ）
16)「アルフェン渦励起用ヘリシティアンテナの基礎特性」　谷貝　剛（東北大工）

本研究会では，学内外の参加者は５０名を超え活発な議論がなされた。

[成果]
(3-1) 成果

本年度は，電磁流体現象の理論的考察から実験室における基礎実験および応用研究に至る幅広い領域の発表があり以下の知見を得た。

理論については，主に2件あり山田氏により磁場反転配位プラズマが，磁気流体エネルギー最小の緩和状態の一つとして高βの性質を持ち得るのかを評価し高βな配位を明らかにした。

小川氏は，完全導体楔に入射する電磁流体衝撃波の非定常反射現象の数値解析を行い，衝撃波の反射形態は衝撃波の伝播速度，楔の角度，プラズマβ値に依存しており，衝撃波どうしの干渉の様子によって大きく4種類に分類できることを示した。

基礎実験については，主にプラズマの閉じ込めや自己組織化現象，プラズマ加速などがあり，さらにこれらを応用した核融合炉のダイバータシミュレーション実験や電気推進機などの発表があった。また，レーザーを用いた宇宙プラズマシミュレーションなどの紹介もあった。

比村氏によりトーラスプラズマ中に高速流を駆動する方法として電気的非中性プラズマを生成する実験的検証が進められている。非中性化プラズマ中の自己電場と磁場を組み合わせることにより，プラズマ中に強い回転流を駆動する実験報告があった。

永田氏より核融合装置への先進的な応用（燃料補給や電流駆動）の１つとして磁化同軸プラズマガンを用いたコンパクト・トーラス（ＣＴ）型磁化プラズモイド入射実験についての報告があった。

田中（雅）氏は回転するプラズマにおける渦を実験的に生成し，その構造を観測した。そして渦対の速度場は，流体の運動エネルギーに対する運動的ヘリシティの選択的減衰による構造形成として定性的に説明した。

居田氏は，電場のシアーがプラズマの揺動を抑制して輸送障壁を作り，プラズマの閉じ込めが改善される現象のプラズマ閉じ込め改善過程のシナリオを実験的に検証することを目指した研究について述べた。

吉沼氏は，プラズマ中の低周波揺動に及ぼす径方向電場および電場シアの影響を実験的に明らかにした。

山本氏は，外部磁場印加におけるMPDアークプラズマを分光的手法を用いてプラズマ流速，回転，温度測定を行い，その挙動について調べた。さらに土谷氏は，その下流に磁気ノズルを形成しマッハ数の振る舞いを観測し等エントロピー１次元流体モデルで説明した。

佐宗氏は，高速かつ低温，非平衡度の低い中性粒子流を発生させ，その応用として，超軌道速度大気圏再突入の模擬，臨界電離速度の測定などについて述べた。

田中（仁）氏は，WT-3トカマクにおいて，オーミック加熱プラズマ中での低域混成波による電流駆動(LHCD)実験について述べた。

市村氏によりタンデムミラー装置ガンマ１０においてアルフェン波動を用いたプラズマ生成・加熱，また，強い温度非等方性に起因する自発励起のアルフェンイオンサイクロトロン(AIC）波動に関する実験結果についての報告があった。

谷貝氏により電磁流体渦生成用の新しいヘリシティーアンテナを製作して初期実験を行ったとの報告があった。

上杉氏により国際熱核融合実験炉(ITER)の定常運転に際してのELMを伴うH-mode(ELMy　H-mode)とダイバータ領域における非接触プラズマの関係を調べるために，直線型ダイバータプラズマ模擬実験装置で，高周波加熱による熱パルスを発生させ，その入射に伴う非接触プラズマの動的応答解明を目的とした実験結果についての報告があった。

高部氏により高強度レーザーを用いた核融合実験や宇宙の超新星爆発現象のシミュレーション実験などの最近のトピックスについての研究紹介があった。

小紫氏によりプラズマ加速応用の１つであるレーザーをもちいた宇宙推進機実験についての報告があった。

(3-2) 波及効果と発展性など

本プロジェクトは，学外研究者との交流が飛躍的に活性化し研究者同志の交流ばかりでなく電磁流体現象の広範囲な物理現象を多角的および統一的な描像として捕らえ，その問題点を明らかにした。これらの成果は，宇宙から実験室プラズマまでの広範囲に渡る学問的波及効果が期待され，また，工学的応用としても核融合発電や宇宙電磁推進機などの発展へ寄与する事が挙げられる。そして新しい研究領域の拡大と発展が期待される。

[成果資料]

1) H. Himura et al., Non-neutral Plasma Physics III, (1999, AIP) 405.
2) M. Nagata et al., 17th IAEA Fusion Energy Conference, Yokohama, October19-24, AEA-CN-69/EXP4/10 (1998).
3) M. Kono and M. Tanaka, Phys. Scripta., **T84** (2000) 47.
4) K. Ida, Plasma Phys. Control. Fusion **40** (1998)1429.
5) M. Yoshinuma, et al., Plasma Physics Letters A, **255** (1999)301.
6) B. A.Remington, R.P.Drake, H.Takabe, D.Arnett, Phys. Plasmas, **7** (2000)1641.
7) K.Toyoda, K.Komurasaki and Y.Arakawa, Proc. 26th Int. Electric Propulsion Conf., **1** (1999)79.
8) L.C. Steinhauer and A. Ishida, Phys. Plasmas, **5** (1998)2609.
9) A.Sasoh,, Proc. 26th Int. Electric Propulsion Conf., **2** (1999)201.
10) H. Hojo, et al., J. Plasma Fusion Res. **75** (1999) 1089.
11) A.Ando, et al., Proc. 26th Int. Electric Propulsion Conf., **2** (1999)1040.
12) M.Inutake, et al., Proc. 26th Int. Electric Propulsion Conf., **2** (1999)1010.
13) S. Watanabe, Y. Uesugi, et al., Rev. Sci. Instrum., **69** (1999)3555.
14) M.Ichimura, et al., Nuclear Fusion, **39** (1999) 1995.
15) H.Zushi, et al., Nuclear Fusion, **39** (1999) 1955.

課題番号　H09/B04

計算資源制約下の計算パラダイム

[1] 組織

代表者：丸岡　章（東北大学大学院情報科学研究科）
責任者：白鳥　則郎（東北大学電気通信研究所）
分担者：阿曽　弘具（東北大学）
伊藤　貴康（東北大学）
西関　隆夫（東北大学）
根元　義章（東北大学）
牧野　正三（東北大学）
瀧本　英二（東北大学）
天野　一幸（東北大学）
伊藤　章則（山形大学）
五十嵐善英（群馬大学）
渡辺　　治（東京工業大学）
斉藤　和巳（NTTコミュニケーション科学基礎研究所）
中野　良平（NTTコミュニケーション科学基礎研究所）
西野　哲朗（電気通信大学）
戸田誠之助（日本大学）
酒井　義文（東洋大学）
平田　富夫（名古屋大学）
佐藤　雅彦（京都大学）
橋口攻三郎（岡山大学）
神保　秀司（岡山大学）
大里　延康（日本大学）
塚田　　稔（玉川大学）

研究費：校費15万円，旅費72万3千円

[2] 研究経過

Turning 機械は元々人間の知的活動の一側面を表す計算モデルとして定式化された。

この計算モデルに端を発する計算科学はその後大きく発展はしたが，認識，学習，記憶等のテーマとますます遊離する傾向にある.また，一方，パーセプトロン，セル構造オートマトン，ニューロネットワーク，隠れマルコフモデル等，これまで提案されている各種の計算モデルが何故計算効率がいいのかについて十分な理解が得られるまでには至っていない。

本研究プロジェクトでは，基本計算単位を組み立て，所望の機能を実現するという，計算科学のボトムアップの方法論を踏襲しながら，時間や空間（メモリ）の計算リソースを，所望の機能を実現するのに必要なぎりぎりのものに限定した場合の計算に，その計算の本質が潜むという立場にたち，個々の問題の計算現象の解明を図る。

この研究のプロジェクトは，上に述べた視点から計算資源制約下での新しい計算パラダイムの確立を目指して企画された。本プロジェクトは，本年度が3年度目の最終年度である。

本年度は以下のとおり3回の研究会を開催した。

第１回
日時：平成12年1月24日（月）
場所：東北大学工学部電気情報棟 451室
演題と講師：“脳の記憶の書き込みと読み出しのメカニズム”
塚田　稔教授（玉川大学脳科学研究施設）

第2回
日時：平成12年1月28日（金）
場所：仙台国際センター小会議室4
演題と講師:

1．“Formal Languages over Free Binoids”
橋口攻三郎教授（岡山大学工学部情報工学科）
2．“On the Intervals Between Identical Vertices on Eulerian Circuits”
神保秀司講師（岡山大学工学部情報工学科）
3．“コルモゴロフ記述量を利用したモノポリスト・ゲームの解析”
渡辺　治教授（東京工業大学大学院情報理工学研究科）
4．“量子計算量理論における最近の話題”
西野哲朗助教授（電気通信大学電子情報学科）
5．“Notions of Security for Public-Key Encryption”
五十嵐善英教授（群馬大学工学部情報工学科）
“弱片側誤り仮説を用いたブースティング”
酒井義文講師（東洋大学工学部情報工学科）
7．“広域最適解を目指すEMアルゴリズム”
中野良平教授（名古屋工業大学知能システム学科）
8．“交差検証誤差最小化による重要重みの発

見”
斉藤和巳研究員（NTTコミュニケーション科学基礎研究所）

第３回
日時：平成12年2月25日（金）
場所：東北大学工学部青葉記念会館702
演題と講師：
1．“非決定性計算構造のleaf言語と計算量クラス”
戸田誠之助教授（日本大学文理学部応用数学科）
2．“ビア数最小化問題とグラフの最大カットアルゴリズム”
平田富夫教授（名古屋大学大学院工学研究科）

[3] 成果

(3-1) 研究成果

本年度開催の3回の研究集会を通して，計算資源に厳しい制限が課せられた状況下で，計算の設計をいかになすべきかについて幅広いテーマについて活発な討論が行われた。これらの研究集会で神経回路網における情報の記憶のメカニズム，量子計算モデルにおける計算量の尺度，公開鍵暗号系における暗号の強さの定義，学習アルゴリズムのブースティング，未知パラメータの推定する逐次最大化アルゴリズム，ニューラルネットワークにおける重み決定の新手法，新しい代数系上の言語の生成機構，コルモゴロフ記述量を利用したモノポリストゲームの解析手法，非決定性計算構造から定義されるleaf言語の特性化，ビア数を最小化するアルゴリズム等で大きな成果が得られたことが報告されている。

この他，[4]に記載するように，本プロジェクトで得られた多くの成果が公表されている。

(3-2) 波及効果と発展性など

本プロジェクトのメンバーには，特定領域研究「発見科学」や「アルゴリズム工学」に加わっているものも多い。これらの特定領域研究グループが開催する国際学会での発表等を通して，本プロジェクトは，他の関連分野とも大きな係わりをもちつつ，活動してきた。

[4] 成果資料

(1) Y. Sakai and A. Maruoka, Learning Monotone Log-Term DNF Formulas under the Uniform Distribution, Theory of Computing Systems, Vol.33, pp.17-33 (2000).

(2) K.Go And N.shiratori, A Decomposition of a Formal Specification:An Improved Constraint-Oriented Method, IEEE Transactions on Software Enginering, Vol.25,No.2, pp.258-273 (1999).

(3) 泉信人，伊藤貴康，ISO標準Lisp言語ISLISPのインタプリタおよびコンパイラ，情報処理学会論文誌, Vol.40, No.9, pp.3510-3523 (1999).

(4) X. Zhou, S.Tamura, and T. Nishizeki, Finding Edge-Disjoint Paths in Partial k-Trees, Algorithmica, Vol.26, pp.3-30 (2000).

(5) 石井力，和泉勇治，加藤寧，根元義章，ニューラルネットワークを用いた二者択一方式の手書き文字認識システム，電子情報通信学会論文誌，Vol.J83-D-II, No.3, pp.988-995 (2000).

(6) 鈴木基之，阿部俊朗，森大毅，牧野正三，阿曽弘具，音素ごとの木構造話者クラスタリングによる話者適応，電子情報通信学会論文誌, Vol.J82-D-II, No.6, pp.981-989 (1999).

(7) Y. Sakai, E. Takimoto, and A. Maruoka, Proper Learning Algorithm for Functions of k Terms under Smooth Distributions, Information and Computation, Vol.152, pp.188-204 (1999).

(8) 天野一幸，丸岡章，垂井淳，否定数限定論理回路におけるマージングの複雑さ，電子情報通信学会技術研究報告, COMP99-26, pp.33-38 (1999).

(9) Y.Han and Y.Igarashi,Parallel PROFIT/COST algorithms through fast derandomization, Acta Informatica, Vol.36, No.3, pp.215-232 (1999).

(10) W. Lindner, R. Schuler, and O. Watanabe, Resource-Bounded Measure and Learnability, Theory of Computing Systems, Vol.33, pp.151-170 (2000).

(11) K. Saito and R. Nakano, Second-Order Learning Algorithm with Squared Penalty Term, Neural Computation, Vol.12, pp.709-729 (2000).

(12) 上田修功，中野良平，混合モデルのための併合分割操作付きEMアルゴリズム，電子情報通信学会論文誌，Vol.J82-D-II, No.5, pp.930-940（1999）.

(13) 西野哲朗，ニューロイダルネットの計算能力について，電子情報通信学会論文誌，Vol.J83-D-I, No.1, pp.36-44（2000）.

(14) 宮田優治，磯直行，平田富夫，2層配線における発見的ビア数最少化手法，電子情報通信学会技術研究報告，VLD99-122, pp.41-48（2000）.

(15) T. Aihara, M. Tsukada, and H. Matsuda, Two dynamic processes for the induction of long-term potentiation in hippocampal CA1 neurons, Biological Cybernetics, Vol.82, pp.189-195（2000）.

共同プロジェクト研究

課題番号　H10/B01

半導体エピタキシャル成長の原子レベル制御に関する研究

［1］組織

企画者：　白石　賢二（ＮＴＴ物性基礎研）
責任者：　大野　英男（東北大通研）
分担者：　西永　　頌（東大・工）
　　一宮　彪彦（名大・工）
　　押山　　淳（筑波大・物理）
　　中山　　弘（神戸大・工）
　　纐纈　明伯（東京農工大・工）
　　伊藤　智徳（三重大・工）
　　大野　隆央（金材技研）
　　金子　忠明（関西学院大・理）
　　五明　明子（ＮＥＣ光超高周波デバイス研）
　　平岡　佳子（東芝基礎研）
　　中山　隆史（千葉大・理）
　　常行　真司（東大物性研）
　　冬木　　隆（奈良先端大）
　　秋本　晃一（名大・工）
　　吉野　淳二（東工大・理）
　　名西やすし（立命館大・理工）
　　阿久津典子（大阪電通大・工）
　　田中　雅明（東大・工）
　　宇田　　毅（ＪＲＣＡＴ）
　　塚田　　捷（東大・理）
　　尾浦憲治郎（阪大・工）
　　入沢　寿美（学習院大計算機センター）
　　長谷川修司（東大・理）
　　山口　浩司（ＮＴＴ物性基礎研）
　　桑野　範之（九大・先端研）
　　市川　昌和（アトムテクノロジー研究体）
　　大野かおる（東北大金研）
　　中嶋　一雄（東北大金研）
　　室田　淳一（東北大通研）
　　庭野　道夫（東北大通研）

［2］研究経過

今日の情報処理技術において中心的役割を果たしているのは半導体ＣＰＵ、半導体メモリーに代表される半導体デバイスである。近年ではこのような半導体デバイスの微細化のニーズの高まりに伴い、原子レベルで制御可能な半導体デバイス製造技術が求められるようになってきた。ところが、半導体微細加工を担う代表的な技術であるエピタキシャル成長をひとつとってみても、原子スケールでの機構が十分に理解されているとは言いがたい。これは、エピタキシャル成長それ自体が「吸着」、「拡散」、「島形成」、「新たな再構成表面の形成」等、多くの素過程が複雑に絡み合った現象だからである。このため、「半導体エピタキシャル成長の原子レベル制御」の実行には、まず、「表面物理」、「結晶成長」、「電子デバイス」、「第一原理計算」、「統計力学」等、広範な分野の研究者が一同に会して「半導体エピタキシャル成長」について有機的に議論する機会を設けることが第一歩であると考えられる。

このような状況の下、平成10年度に「半導体エピタキシャル成長の原子レベル制御に関する研究」という研究課題で共同プロジェクト研究が採択され、第１回目の研究会が平成10年の10月22日～23日に秋保温泉で開催され、エピタキシャル成長に関わる分野間の垣根を越えた活発な議論がなされた。第１回目の研究会の成果を踏まえて、第２回目の研究会が平成11年11月11日～12日に松島で開催された。

以下に第２回の研究会に関して報告する。

［3］成果

（３－１）研究会の成果

第２回研究会は第１回研究会と同様、研究分担者に「半導体エピタキシャル成長」に関する研究発表を募集して、平成11年11月11日（木）～12日（金）の２日間にわたって松島・大観荘ホテルにて開催された。研究会では39名の参加者によって活発な討論が行われた。

今回の研究会では、（１）エピタキシーにおける水素、（２）成長モード、（３）ドーピング機構、の３つのテーマに絞って研究会を開催し、それぞれのテーマ全体を見渡すレクチャー講演の後に自由討論が行われ、熱のこもった議論が展開された。自由討論の場で講演されたタイトルと講演者を以下に列挙する。

セッション 1
エピタキシーにおける水素

1.「エピタキシーにおける水素の概要」
レクチャー講演（東北大通研、庭野道夫）
2.「Ge／Si系における水素の効果」
（ＮＴＴ物性基礎研、荻野俊郎）
3.「水素化Si表面上でのGeの拡散」
（金材研、大野隆央）
4.「量子化学計算よる水素化Si表面の検討」
（東芝研究開発センター、平岡佳子）
5.「Si表面と水素」
（筑波大物理、押山淳）
6.「Si(001)表面における水分子のプロトンリレー吸着」　（東大物性研、赤木和人、常行真司、東大・理、塚田捷）
7.「CVD·Si1-xGexエピタキシャル成長とドーピング制御」　（東北大通研、室田淳一）
8.「GaNプラズマ励起MBE成長に対する水素添加効果」　（立命館大・理工、名西やすし）

セッション　2
エピタキシャル成長における成長モード

1.「エピタキシャル成長における成長モード」
レクチャー講演（東北大金研、中嶋一雄）
2.「Si双晶超格子の成長」
（ＮＴＴ物性基礎研、荻野俊郎）
3.「酸化膜中のSi(001)開口部におけるSiナノ結晶の成長と安定性」（JRCAT、市川昌和）
4.「RDSからみたInAsぬれ層構造の変化」
（千葉大・理、中山隆史）
5.「Ge／Si(001)初期拡散におけるGeの深さ分布」（東大・理、吉本芳英、塚田捷）
6.「面間拡散」
（東大・工、岸本大輔、西永頌）
7.「MBEマイクロチャネルエピタキシー」
（東大・工、成塚重也、西永頌）
8.「As2とAs4のエピタキシーに与える効果の相違」　（東大・工、西永頌）
9.「気相成長における不混和性が大きな混晶の成長」　（東京農工大・工、纐纈明伯）
10.「GaAs(001)2x4表面構造について」
（名大・工、一宮彪彦）
11.「MBE-GaAs成長時における仮想的ステップ端障壁の導入」　（関西学院大理、金子忠明）
12.「Electronic Growth」
（東大院・工、長谷川修二）
13.「SiC-MBEにおける表面超構造ダイナミクスと成長機構」　（奈良先端大、冬木隆）
14.「半導体格子不整合系の結晶成長のミクロとマクロからの検討」（早大理工、武田京三郎）
15.「微斜面における吸着子効果」
（大阪電通大、阿久津典子）
16.「異常分散X線回折法によるGaN薄膜の極性の研究」　（名大・工、秋本晃一）
17.「InGaAs/InP(110)における秩序構造の形成機構」　（九大・先端研　桑野範之）
18.「Si(111)上のピラミッド」
（名大・工、一宮彪彦）

セッション　3
ドーピング

1.「GaAs表面上のSi原子の吸着過程のElectron Counting Monte-Carlo 法による検討」
レクチャー講演　（三重大・工、伊藤智徳）
2.「GaAs表面上のSi原子の吸着過程の第一原理計算による検討」（NTT物性基礎研、田口明仁）
3.「GaAs中のドナー原子のSTMによる観察」
（ＮＴＴ物性基礎研、山口浩司）
4.「半導体への磁性不純物の高濃度ドーピング」
（東北大通研、大野英男）
5.「低温MBE成長法を用いたGaAs中への高濃度Erドーピング」　（東大・工、三島善行、清水大雅、田中雅明）
6.「Si中の深い不純物の超高濃度ドーピング：成長と物性」　（神戸大・工、中山弘）
7.「MBEによるⅢ-Ⅴ族化合物半導体への遷移金属等の高濃度ドーピング」（東工大・理、吉野淳二）
8.「同時ドープ法の最近の発展」
（大阪大・産研、吉田博）

今回の研究会で目立った研究の進展について簡単に述べる。「エピタキシーにおける水素の効果」前回と同様非常に活発な討論が行われた。今回非常に注目されたのは「過剰水素」のエピタキシーに与える影響である。まだ現在のところは、過剰水素の直接観察には至っていないが、過剰水素の存在を示唆するいくつかの傍証が存在することも今回の討論で明らかにされた。また、大野ら（金材研）がGe吸着子が存在するときに提案した水素を含むミクロスコピックな表面構造は、庭野ら（東北大通研）の実験によって得られる実験結果と

よい一致を示すことも指摘された。

また格子不整合系における成長モードの解釈にも大きな前進が見られた。武田（早大理工）及び中嶋（東北大金研）は格子不整合系における成長モードを表面エネルギー、界面エネルギー、転位形成、SK島形成との競合によって理論的に議論し、実験的に観測される多くの成長モードを再現できることを示した。武田ら（早大理工）は第一原理計算を基礎のおいた自由エネルギーの表式から理論的に予言されるInAs/GaAs(110)の臨界膜厚等の物理量が実験的にも再現できることを示した。この例は、原子レベルの理論とマクロスコピックな実験をタイアップさせてゆく上での今後のよいモデルケースとなると考えられる。

ドーピングにおいては、吉田（大阪大産研）によって同時ドープ法の発展が紹介され、ドナーとアクセプターの２種類の元素を不純物として添加することによって多くの魅力的な物性が発現しうることの紹介があった。その他、磁性不純物の高濃度ドーピングにおいても大きな進展がみられ、GaAs中のMn不純物以外の系でも強磁性の発現は近いことが予感された。

その他、電子エネルギーの損得で成長モードが決まるElectronic Growth（東大理、長谷川）、Siドナー原子のSTM観察（山口、NTT物性基礎研）等数多くの興味深い報告もなされた。

（３－２）波及効果と発展性など

今回の研究会の全体的な印象として、「理論研究」と「実験研究」の間の垣根が本研究分野においては着実に低くなっていることが実感される。さらに、今回は現実に理論と実験が密接なタイアップした研究成果の報告もいくつかなされ、本研究会が目指している「有機的な研究者間の協力」の一端が実現されつつあることを実感できた。特筆すべきは、原子レベルの理論研究とマクロスコピックな実験研究のタイアップが実現されたことである。この例は、「ミクロ」と「マクロ」をつなぐ研究における今後のモデルケースになっていくと考えられる。

今後は第１回、及び第２回研究会において得られた成果を基礎に、さらに一層の「分野を越えた研究協力」を発展させていきたいと考えている。

［４］まとめ

本プロジェクト研究会は、「表面物理」、「結晶成長」、「電子デバイス」、「第一原理計算」、「統計力学」等、広範な分野の研究者が一同に会して「エピタキシャル成長」について有機的に議論する機会を設けることにより、「半導体エピタキシャル成長の原子レベルでの制御技術」の確立に資することを目的として組織された。第２回のプロジェクト研究会が平成11年の11月11日～12日に行われ、活発で有機的な討論が行われた。研究会の討論では理論研究」と「実験研究」の間の垣根が着実に低くなっていることが実感されるだけでなく、今回は現実に理論と実験が密接なタイアップした研究成果の報告もいくつかなされた。

なお、昨年度発足した本プロジェクト研究会は、電気通信研究所のご厚意により来年度も継続できる予定となっている。今後はさらにエピタキシャル成長における「ミクロ」と「マクロ」の間の関係連続的に繋ぐことを目指して、第１回、第２回研究会において得られた成果を基礎に、さらに、第３回研究会に生かしていく予定である。

課題番号　H10/B02

環境共生型量子反応制御プロセスに関する研究

【概要】

電子デバイスの製造技術は飛躍的に発展してきた。しかし，豊かな人間生活を支える科学技術の急速な発展の代償として，資源・エネルギーの浪費，およびそれに伴う環境の破壊が大きな問題となっている。この問題を解決するために，今後あらゆる科学技術の分野で，省エネルギー・低負荷の「環境共生型」技術を開発していくことが焦眉の急となっている。

本プロジェクト研究は，この要請に答えるべく，現在用いられているプロセス用の各種材料ガスおよびそれの代替となる原材料を用いた，プラズマ・イオン・光プロセス中の量子反応過程を系統的に研究し，低環境負荷・高効率反応経路を見出し，その反応の制御法を開発ことにより，次世代の電子デバイスを創製できる「環境共生型量子反応制御プロセス」を確立するためのストラテジーを構築することを目的とする。

環境問題は今や人類の最も重要な課題となっており，材料・エレクトロニクスのような先端技術の係わる研究者もそれに対する強い問題意識を持っており，その解決策を模索していると思われる。しかし，この問題は，問題の複雑さ・深刻さにより，個々の研究者が個別に取り組むことは極めて難しい状況にある。

そこで，本研究プロジェクトでは，薄膜材料プロセスや反応制御に係わってきた，材料・電子工学の研究分野ばかりでなく，物理・化学の研究分野の研究者の英知も結集して，新しい環境共生・ゼロエミッション型の反応プロセス制御法の開発のためのストラテジーを構築するための討論を行うことを目的とした。また，必要に応じ，環境問題の専門家を特別講師として招聘し，地球規模の環境問題についての認識も深めることも目的とした。

21世紀の電子デバイス製造技術は，何らかの形で省エネルギー・低環境負荷の「環境共生型」技術となることが強く求められてくる。そして，生産される電子デバイスも省エネルギー型のものになっていくであろう。このような大きな流れが始まっている中で，様々な分野で環境にマッチした科学技術の研究が開始されようとしている。本研究プロジェクトは，このような背景の中で，これからの材料・デバイスプロセス技術が今後どのように進展すべきかを，様々の角度から総合的に検討した。

【本年度の成果】

本共同プロジェクト研究「環境共生型量子反応制御プロセス」のシンポジウムを平成11年12月17日，18日の二日間にわたって開催した。シンポジウムの趣旨は，昨年と同様，現在大きな課題となっている環境問題との関連で，新しい半導体プロセス制御技術についての今後の展望，戦略を検討することとし，以下に示す4テーマについて討論した。

1．低環境負荷型の新しいデバイス材料の選択，探索
2．省エネルギー・高機能型の極微細構造の構築
3．高効率・低環境負荷型のプロセスの開拓
4．低環境負荷型のプロセスシステムの構築

基本となるのは低環境負荷，環境共生であるが，21世紀の半導体デバイスプロセスをどうするかを考えると，最先端技術としての微細化プロセスの開発も重要なことである。その点も考慮して討論が行われた。

シンポジウム参加者は，民間研究機関からの参加者，大学院生を含め40名で，二日間にわたって活発な討論が行われた。最後にシンポジウムのプログラムを付記する。

12月17日（金）
開会挨拶　プロジェクト研究代表者
　　後藤　俊夫（名大学院工）
低環境負荷型の新しいデバイス材料の選択，探索
1.「酸素プラズマＭＢＥによる酸化物半導体の作製」八百 隆文（東北大金研）
2.「Ⅳ族半導体の原子制御プロセス」　室田 淳一（東北大通研）
3.「アモルファスSiの結晶化」木村 康男（東北大通研）
4.「ダイヤモンド薄膜形成」高桑 雄二（東北大科研）

特別講演

「大気中における二酸化炭素濃度とその炭素同位体比から見た地球規模の炭素循環について」青木周司（東北大院理　大気海洋変動観測研究センター）

省エネルギー・高機能型の極微細構造の構築

1.「表面複雑系のARUPSによる分析」上野信雄（千葉大工）
2.「放射光によるナノプロセスと極微細構造の形成」竹田美和（名古屋大院工）
3.「改良MBE法による半導体/磁性量子ドットの作製と物性」尾嶋正治（東大院工）
4.「イオン注入法によるナノ結晶の形成プロセス」池田光晴（京都大院工）
5.「ＳＴＭを用いたシリコン酸化膜のナノスケールパターン形成」岩崎　裕（阪大産研）

12月18日（土）

高効率・低環境負荷型のプロセスの開拓

1.「新規ラジカル制御法による低環境負荷型ULSI-SiO2エッチングおよび低誘電率（low-k）薄膜形成プロセス」堀　勝，後藤俊夫（名古屋大院工）
2.「大口径・低電子温度マイクロ波プラズマ源の開発」河合良信（九州大総理工）
3.「メタン水素プラズマにおける電子温度制御の成膜への影響」飯塚哲，佐藤徳芳（東北大院工）
4.「負イオンビームによるチャージング・エッチング特性」石川順三（京都大院工）

低環境負荷型のプロセスシステムの構築

1.「高密度窒素プラズマによる低環境負荷のシリコン酸窒化プロセスに関する検討」池田　晃裕（九州大システム情報）
2.「Figure-8アンジュレータからの軟Ｘ線によるSiO2膜のエッチングおよびSiの酸化・窒化」奥山雅則（大阪大基礎工）
3.「Si単結晶表面へのチッ化の可能性」難波秀利（立命館大理工学部）
4.「放射光励起プロセスで形成される特異なＳｉ表面」宇理須恒雄（分子研）

課題番号　H10/B03

テラフォトニクスの研究

[1] 組織

企画者：伊藤弘昌（東北大通研）
責任者：伊藤弘昌（東北大通研）
分担者：小川　洋（沖電気 半導体技術研究所）
伊藤日出男（通産省電総研）
上杉　直（東北工大）
阪井清美（郵政省通総研）
中沢正隆（NTT未来ねっと研究所）
野田　進（京大）
横山弘之（NEC光・無線デバイス研究所）
日高建彦（湘南工科大）
小野寺紀明（郵政省通総研）
田代英夫（理研）
丹羽英二（電気磁気材料研究所）
平川一彦（東大生研）
K.S.アベディン（郵政省通総研）
鈴木　哲（仙台電波高専）
和田智之（理研）
川瀬晃道（理研PDC）
佐藤　篤（理研PDC）
宮城光信（東北大）
水野皓司（東北大通研）
井筒雅之（郵政省通総研）
平野嘉仁（三菱電機情報技術総合研究所）
加藤　洌（千歳科学技術大）
斎官清四郎（東北大）
横尾邦義（東北大通研）
大野英男（東北大通研）
谷内哲夫（東北大通研）
四方潤一（東北大通研）
平等拓範（分子研）
萩行正憲（阪大超伝導エレクトロニクス研究センター）
猿倉信彦（分子研）
佐々木孝友（阪大）
小林喬郎（福井大）
南出泰亜（理研PDC）
今井一宏（理研PDC）
高岡詠子（千歳科学技術大）
森　勇介（阪大）
吉村政志（阪大）
永沼　充（帝京大）

[2] はじめに

光波とマイクロ波・ミリ波の境界領域にある1～100THzの周波数領域（波長3～300μm）は，未開拓な電磁波スペクトル空間であり物性物理学，応用物理学，生命科学等の研究分野において新たな現象の発見をもたらす可能性が高い。本研究では，テラヘルツ波の発生，検出，制御技術およびその応用システムまでの一連の研究を展開し「テラフォトニクス」の確立と体系化を図ることを目的とする。

[3] 研究経過

テラフォトニクスに関する最新の研究状況と将来の研究方向を議論するために，産官学の共同研究者を仙台に招聘し，下記の通り2回の研究会を開催した。

第4回テラフォトニクス研究会

日時：1999年　9月16日（木）13:00～17:00,
9月17日（金）10:00～15:00
会場：宮城県松島海岸 ホテル松島大観荘，中心テーマ：「各種光源の新展開」

9月16日

1.「マルチモード半導体励起テラヘルツ波光源とその応用」萩行正憲,森川治,斗内政吉（阪大超伝導エレクトロニクス研究センター）
2.「強磁場下での超短パルスレーザー励起半導体からのTHz電磁波の飽和現象」猿倉信彦,大竹秀幸,小野晋吾,酒井雅弘（分子研）
3.「p型ゲルマニウムレーザーの新展開」寶迫巌（郵政省通総研）
4.「添加$LiNbO_3$を用いたパラメトリック発振によるTHz波発生」四方潤一+,狩野健一+,川瀬晃道*,伊藤弘昌*+（+東北大通研，*理研PDC）
5.「結合量子井戸からのTHz電磁波発生」諸橋功*,小森和弘**+,菅谷武芳**,日高建彦*（*湘南工科大，**電総研，+科学技術振興事業団）

9月17日

1.「電子波長制御チタンサファイアレーザーのCWおよびモードロック化」和田智之,J.Geng,田代英夫（理研）

2.「2次非線形光学定数の絶対値スケール」庄司一郎*, 近藤高志**, 伊藤良一+ (*分子研分子制御レーザー開発研究センター, **東大工学部, +明治大学理工学部)
3. 企画講演「光伝導素子を用いた光ミキシングによるCWテラヘルツ光源」松浦周二 (宇宙科学研究所)
4.「安定化超高速モード同期半導体レーザ」小川洋,荒平慎 (沖電気光エレクトロニクス研究所)
5.「テラヘルツパラメトリック発振の低閾値化, 狭帯域化」今井一宏*, 川瀬晃道*, 南出泰亜*,佐藤篤*, 伊藤弘昌*+ (*理研PDC, +東北大通研)
6.「広帯域連続波長可変テラヘルツパラメトリック発振器」南出泰亜*, 川瀬晃道*,今井一宏*,佐藤篤*, 伊藤弘昌*+ (*理研PDC, +東北大通研)
7.「テラヘルツイメージング」ミハエルヘルマン, 阪井清美 (関西通総研)
8.「フェムト秒レーザー照射による半導体表面からの超短パルステラヘルツ光発光」島田洋蔵, 松野哲也, 関根徳彦, 平川一彦 (東大生研)

第5回テラフォトニクス研究会

日時：2000年1月27日 (木) 13:00～17:30,
1月28日 (金) 9:30～15:30
会場：1月27日 東北大通研2号館4階中会議室, 1月28日 理研PDC会議室
中心テーマ：「テラフォトニクスの要素技術」

1月27日

1.「量子井戸のサブバンド間遷移を用いた超高速光変調のフェムト秒時分解測定」吉澤深,野田進 (京大工学研究科)
2.「低温成長GaAsのキャリア寿命の反射型ポンプ-プローブ法による評価」矢野隆治 (NTT物性科学基礎研究所)
3.「高スペクトル分解能分光計測用固体レーザーの開発」小林喬郎,川戸栄 (福井大工学部)
4.「ヘテロ接合を用いたサブミリ波検出器 －マイクロ波帯モデル実験－」鈴木哲 (仙台電波高専)
5. 企画講演「SPring-8における赤外ビームラインの建設」難波孝夫 (神戸大学自然科学研究科)

1月28日

1.「シグナル2波長擬似位相整合光パラメトリック発振の差周波混合によるDAST結晶からのTHz波発生」畑中孝明*, 川瀬晃道**, 高橋英憲*, 中村孝一郎*, 谷内哲夫*, 伊藤弘昌*,** (*東北大通研, **理研PDC)
2.「擬似位相整合光パラメトリック光源によるガス計測応用」柴崎浩樹, 畑中孝明, 中村孝一郎, 伊藤弘昌 (東北大通研)
3.「THzパラメトリック発振器の狭線化」菅原郷史*, 四方潤一*, 川瀬晃道**, 伊藤弘昌*, ** (*東北大通研, **理研PDC)
4.「光パルス励起テラヘルツ波放射による超伝導電流可視化装置」山下将嗣,斗内政吉,萩行正憲 (阪大超伝導エレクトロニクス研究センター)
5. 企画講演「新しい人工結晶創製とテラフォトニクスへの展望」福田承生,島村清史 (東北大金研)
6.「THz電磁波の分光実験への応用」猿倉信彦,大竹秀幸 (分子研)
7.「THz帯PVDFクラッド中空導波路」日高建彦 (湘南工科大電気工学科)
8.「The THz-wave surface-emitted difference frequency generation」Yuri Avetisyan (Yerevan State Univ., Armenia)

[4] 研究成果

本年度は, 2回の研究会を通じ, レーザ·非線形光学技術および半導体技術を中心とした最新のテラヘルツ波発生技術, ならびにこれらの光源を用いた計測技術など応用への展開までを幅広く議論することができた。

[5] まとめ

本研究会により, 材料研究者からデバイスおよびシステム研究者までの専門研究者間においてテラヘルツ技術に関する活発な討論が行われ, 共通の課題認識と将来方向を考えることができた。これらの研究は今後さらに継続し研究を深めていくことにより, 国際的にも大きく拡大する予定である。

課題番号　H10/B04

3次元フォトニック結晶とデバイス応用の研究

[1]組織
代表者：川上彰二郎（東北大学電気通信研究所）
責任者：川上彰二郎（東北大学電気通信研究所）
分担者：井上　久遠（北海道大学 電子科学研究所）
小柴　正則（北海道大学 大学院工学研究科）
中川　清司（山形大学 工学部）
水野　皓司（東北大学 電気通信研究所）
谷内　哲夫（東北大学 電気通信研究所）
馬場　一隆（東北大学 大学院工学研究科）
白石　和男（宇都宮大学 工学部）
大高　一雄（千葉大学 工学部）
伊賀　健一（東京工業大学 精密工学研究所）
榊　裕之（東京大学 先端科学技術研究センター）
荒川　泰彦（東京大学 国際産学共同研究センター）
小関　健（上智大学 理工学部）
馬場　俊彦（横浜国立大学　工学部）
野田　進（京都大学　大学院工学研究科）
吉野　勝美（大阪大学 大学院工学研究科）
井上　光輝（豊橋技術科学大学電気・電子工学系）
永沼　充（帝京科学大学理工学部）
瀬川勇三郎（理化学研究所）
平山　秀樹（理化学研究所）
桜井　照夫（技術研究組合フェムト秒テクノロジー研究機構）
浅川　潔（技術研究組合 フェムト秒テクノロジー研究機構）
井筒　雅之（郵政省 通信総合研究所）
佐藤　史朗（㈱リコー 研究開発本部）
阿部　孝夫（信越半導体㈱磯部研究所）
山田　博仁（NEC㈱筑波研究所）
岡本　勝就（NTTフォトニクス研究所）
玉村　敏昭（NTT物性科学基礎研究所）
川西　悟基（NTT光ネットワークシステム研究所）
土屋　治彦（㈱トーキン）
勝山　俊夫（㈱日立製作所基礎研究所）
石川　浩（㈱富士通研究所 盤技術研究所）
花泉　修（東北大学電気通信研究所）
佐藤　尚（東北大学電気通信研究所）
大寺　康夫（東北大学電気通信研究所）

研究費：校費15万円，旅費94万1千円

[2]研究経過

フォトニック結晶は複数の誘電体からなる光の波長スケールの周期構造体であり，光波のブラッグ反射に起因する様々な魅力的な特性を有する。このため次世代の光通信素子や光情報処理機器用の創出の鍵として近年注目を集めている。本プロジェクトでは3次元フォトニック結晶の作製技術の確立と応用デバイスの提案／開発を目的として研究を行った。

本プロジェクトは本年度が第2年度であった。以下に研究成果の概要を記す。

(1) 偏光分離素子の特性改善

2次元結晶のバンドギャップ異方性を利用した偏光分離素子において，堆積膜の低損失化，無反射防止層構成及びフォトニックバンド構造の最適化により，波長1.55μm帯にて挿入損失0.2dB以下，消光費50dB以上と，現行素子に匹敵する性能を実現した。

(2) 偏波選択性回折素子の開発

TiO_2とSiO_2からなる可視域用回折素子を設計・試作し，動作を確認した。あわせて幾つかの新しい可視域材料に対する成膜プロセスの探索も行った。

(3) フォトニック結晶への活性材料の導入

発光素子への応用を目的として，フォトニック結晶中に形成した孔中にIII-V族化合物半導体多重量子井戸構造や，CdS層を成長させる実験を行った。

(4) 格子変調型素子の提案と試作

格子定数や格子方位が結晶中の場所ごとに異なる「格子変調型フォトニック結晶」が可能になれば，応用デバイスの設計の自由度が飛躍的に高ま

るだけでなく，新たな機能の創製も期待できる。本年度は格子方位変調型と格子定数変調型の2種類の導波路，及び多チャンネル波長選択フィルタの提案，設計を行った。導波路については試作まで行った。

[3] 研究会活動 （国際ワークショップ“PECS”）
日時：平成12年3月8日（水）～10日（金）
場所：仙台第二ワシントンホテル
参加総人数は200名（うち外国参加者約50名）内外から約30件の招待講演，20件の一般講演，60件のポスター講演があり，活発な意見交換が行われた。

[4] 主な研究発表

1. 川上 彰二郎 他，“フォトニック結晶の作製と光デバイスへの応用,” 応用物理, 1999年12月.
2. 花泉 修 他，“3次元フォトニック結晶へのCdSの取り入れ,” 電子情報通信学会論文誌 C-I, vol. J82-C-I, no. 10, pp. 606-607, 1999年10月.
3. 佐藤 尚 他，“可視域透明材料からなるフォトニック結晶の作製,” 電子情報通信学会論文誌 C-I, vol. J82-C-I, no. 9, pp. 572-573, 1999年9月.
4. Y. Ohtera et al., “Photonic Crystal Polarization Splitters,” Electronics Letters, vol. 35, no. 15, pp. 1271-1272, 1999.
5. Y. Ohtera et al., “Recent progress of autocloning technology,” International Workshop on Photonic and Electromagnetic Crystal Structures （PECS）, T1-3, Sendai, Japan, March 9, 2000 （Invited）.
6. S. Kawakami, “Automatic shaping of three-dimensional photonic crystals,” The 25th European Conference on Optical Communication （ECOC ‘99）, Tu B3.1, Nice, France, September 28, 1999 （Invited）.
7. T. Kawashima et al., “Self-Organized 3D Photonic Crystals: Fabrication by Sputtering Processes and Device Applications,” The 43rd International Conference on Electron, Ion and Photon Beam, technology and Nanofabrication （EIPBN ’99）, ND4, Florida, USA, June 2, 1999 （Invited）.

課題番号　H10/B05

新機能性スピニクス材料の基礎と応用に関する研究

[1] 組織
代表者：井上　光輝
（豊橋技術科学大学）
責任者：荒井　賢一
（東北大学電気通信研究所）
分担者：
岡田益男（東北大学大学院工学研究科）
宮崎照宣（東北大学大学院工学研究科）
高橋　研（東北大学大学院工学研究科）
深道和明（東北大学大学院工学研究科）
本間基文（東北大学大学院工学研究科）
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）
前川禎通（東北大学金属材料研究所）
大谷義近（東北大学大学院工学研究科）
荘司弘樹（東北大学大学院工学研究科）
杉本　諭（東北大学大学院工学研究科）
北上　修（東北大学科学計測研究所）
高梨弘毅（東北大学金属材料研究所）
山口正洋（東北大学電気通信研究所）
高村　仁（東北大学大学院工学研究科）
亀川厚則（東北大学大学院工学研究科）
角田匡清（東北大学大学院工学研究科）
岡本　聡（東北大学科学計測研究所）
武野幸雄（東北大学科学計測研究所）
三谷誠司（東北大学金属材料研究所）
石山和志（東北大学電気通信研究所）
竹澤昌晃（東北大学電気通信研究所）
石井　清（宇都宮大学工学部電気電子工学科）
田中雅明（東京大学大学院工学系研究科）
阿部正紀（東京工業大学電子物理工学科）
佐藤　駿（東京工業大学金属工学科）
北本仁孝（東京工業大学電子物理工学科）
佐藤勝昭（東京農工大学物理ｼｽﾃﾑ工学科）
角野圭一（横浜国立大学電子情報工学科）
竹村泰司（横浜国立大学電子情報工学科）
逢坂哲彌（早稲田大学応用化学科）
片山利一（東邦大学薬学部物理学教室）
森迫昭光（信州大学情報工学科）
藤井壽崇（豊橋技術科学大学電気･電子工学系）
綱島　滋（名古屋大学大学院工学研究科）
岩田　聡（名古屋大学大学院工学研究科）
神保睦子（大同工業大学材料科学研究所）
辻本浩章（大阪市立大学電気工学科）
本多茂男（島根大学総合理工学部）
縄手雅彦（島根大学地域共同研究センター）
山崎二郎（九州工業大学工学部電気工学教室）
八木正明（熊本工業大学工学科）
福永博俊（長崎大学工学部）
中野正基（長崎大学工学部）
山城康正（琉球大学工学部電気電子工学科）
山本健一（琉球大学工学部電気電子工学科）
伊崎昌伸（大阪市立工業研究所無機化学課）
千葉龍夫（㈱トーキン技術開発本部）
板垣　篤（凌和電子㈱技術部開発課）
篠浦　治（TDK㈱開発研究所 ）
桂川忠雄（㈱リコー中央研究所）
梅澤浩光（富士電気化学㈱基礎研究部）

研究費：校費　15万円　，旅費165万9千800円

[2] 研究経過

バルクから超薄膜の広範な形状をもつ最先端の磁性材料開発の発展には，現象論を含むマクロな理論では取り扱えない超微細領域に踏み込んだ材料開発，特にマグネティックスの根源である電子スピンを制御することを目指す新たな材料(スピニクス材料)の研究が必須である。本プロジェクトでは，こられの新しい機能をもつスピニクス材料のメゾスコピックな領域での磁気現象ならびに関連の諸現象を電子スピンに立脚した磁性物理現象から解明し，これを基にスピン構造を制御したスピニクス材料を設計・実現，並びにこれら材料の特性計測手法を確立することを目的とするものである。

本年度は第2年目であり，前年度成果を踏まえ表1に記載する活動を行なった。特に，12月16,17日に行なった研究会は，磁性薄膜の機能ごとに詳細な研究討論を行なった。この研究会の講演リストを表2に示す。

表1　H11年度プロジェクト研究会活動

表2　共同プロジェクト研究会発表論文

月　日	内　容	参加者
H11年 6月1-2日	機能性磁性薄膜に関する研究討論	井上，石山
H11年 11月3-5日	高性能珪素鋼板開発に関する研究討論	山城，石山，荒井
H11年12月 16-17日	研究成果発表会	伊崎，井上，角野，山内，山城，藤井，阿部，佐藤，五味，仲村，石井，福永，八木，田島，福永，中野，竹澤，島田，篠浦，大橋，高山，梅澤，大橋，小林，石山，山口，荒井
H12年 2月3-5日	磁性単結晶薄膜及び電気磁気機能性薄膜に関する測定・研究討論	井上，加藤，西村，石山，荒井
平成12年 2月16-17日	機能性スピニクス材料に関する研究討論及びH11年度共同プロジェクト研究会総括	井上，石山，荒井
H12年 3月9-10日	パルスレーザ蒸着法で形成したフェライト薄膜の特性評価及び研究討論	中野，石山，山口，荒井

[3] 成果

題　　目	著　者
第1部ウエットプロセス（座長：篠原治）	
高純度CoNiFeめっき膜およびその磁気ヘッドへの応用	大橋啓之
マイクロめっき法によるMI磁界センサ	高山昭夫
光ｱｼｽﾄｿﾌﾄ溶液ﾌﾟﾛｾｽによる形状ならびに配向制御酸化亜鉛膜の作製	伊崎昌伸
第2部　粒子・微粒子磁性体（座長：井上光輝）	
微粒子混入型磁性薄膜	石井　清
硬軟粒子混在型スプリングマグネット	福永博俊
アモルファス粉体と磁心への応用	八木正昭
微粒子，グラニュラー強磁性体の性質とその応用	島田　寛
第3部　磁気光学効果（座長：阿部正紀）	
磁気光学研究の将来展望	佐藤勝昭
磁性酸化物における磁気光学研究の展開	五味　学
磁性フォトニック結晶	仲村健志
光通信用磁気光学デバイスと材料の動向	梅澤浩光
第4部　電流磁気効果（座長：石山和志）	
電流磁気効果とその応用	角野圭一
高周波キャリア薄膜磁界センサ	竹澤昌晃
高いＭＲ磁界感度を有するGIG (nano- Granular In Gap) 膜	小林伸聖
軟磁性スパッタ下地層を用いたトンネル磁気抵抗効果膜	山内慎也

(3－1) 研究成果

本年度は，以下に示す研究成果を得た。

まず第一に，磁性体の新機能発現に関して，磁気と種々の物理量との相互作用を利用する手法が示された。例えば，磁気光学効果における磁性フォトニック結晶や，電流磁気効果における高周波電流の利用あるいはトンネル磁気抵抗効果の利用が重要であることが示された。

第二に，人為的な構造導入による新規の磁気特性発現が示された。例えば，磁性超微粒子を非磁性酸化物媒体に分散させたグラニュラー磁性薄膜における保磁力の増大現象や，磁性粒子をハイブリッド化させることによる硬質磁性体の実現などが示された。

第三に，これらの機能性磁性材料を形成する手法として，従来からの物理成膜形成法に加え，環境にやさしいソフト溶液法の導入や，溶液プロセスによるマイクロデバイス化への展開が示された。

(3－2) 波及効果と発展性など

本プロジェクト研究により，学外研究者との交流が飛躍的に活性化した。

また本プロジェクトで明らかになった人為的構造導入による機能性磁性材料形成に関する研究成果を踏まえ，新たな共同プロジェクト研究「ナノ構造磁性体の形成と機能に関する研究」として更に詳細な共同研究を実施することとなった。

これらの研究成果の一部に基づき，平成12年度日本応用磁気学会「ナノ・メゾスコピックスケール磁性体の形成と機能」シンポジウム講演会が企画され，国内外の研究者との研究討論が予定されている。

課題番号　H11/B05

マイクロ磁気システムの研究

1．概　要

本プロジェクト研究会に先立つ平成9年度の「マイクロ磁気デバイス・アクチュエータの研究」ならびに平成10年度の「マイクロ磁気デバイス・アクチュエータシステムの研究」によって，磁性薄膜インダクタを携帯電話に適用するための技術的課題，ならびに生体へのマイクロ磁気センサ·アクチュエータシステムの適用についての諸問題を明確化してきた。

これに対して本研究会は，まずこれまで個別に独立したレベルで議論されてきたマイクロ磁気デバイスと磁気マイクロマシンをシステムレベルで捉え直し，半導体回路システムならびに光回路システムなどからみた磁気デバイス・マシンへのニーズを明らかとし，これを基に磁性材料開発，プロセス技術，デバイス機能，EMC問題ならびに実装技術などを有機的に結合するための指針を提示し，磁気を主軸としたマイクロシステムすなわちマイクロ磁気システムを構築することを最終目的に研究を行った。

2．共同研究者所属氏名

研究代表者：東北大通研　山口正洋

共同研究者：通研対応教官　荒井賢一
山崎　二郎（九工大）
井上　光輝（豊橋技科大）
内山　　剛（名大・工）
大谷　義近（東北大・工）
角野　圭一（横浜国大・工）
川人　祥二（豊橋技科大）
斎藤　兆古（法政大工）
坂本　禎智（八工大）
早乙女英夫（千葉大・工）
笹田　一郎（九大・総合理工）
佐藤　敏郎（信州大・工）
島田　　寛（東北大科研）
庄子　習一（早大理工）
白川　　究（電磁研）
杉山　　進（立命館大）
関　亨士郎（岩手大・工）
丹　　健二（秋田県高度技研）
辻本　浩章（大阪市立大・工）
中野　正基（長崎大）
中谷　　功（金材技研）
本田　　崇（九工大）
松木　英敏（東北大・工）
宮崎　照宣（東北大・工）
宗像　　誠（熊本工大）
山口　　崇（九産大・工）
山田　外史（金沢大・工）
明渡　　純（機械技研）

3. 研究経過

冒頭に述べた目的を達成するために，本研究会はマイクロ磁気デバイス，磁気マイクロマシンに関する最新の研究成果を討論とともに今後の研究開発の方向を模索するという，2つの目的意識を持って運営した。

このため単に研究会の開催のみならず，個別の研究討論や実験のために，豊橋技科大，九州工大，横浜国大，立命館大，秋田県高度技研，長崎大ならびに熊本工大らの研究者が東北大を訪問し，有益な成果を得た。

これらを2000年1月26日に開催した研究会によって集中的に討議した（共催：東北大学電気通信研究所スピニクス研究会，主査：杉田 愃。協賛：電気学会マイクロ磁気デバイスのシステム化調査専門委員会，委員長：東北大 山口正洋。同：電気学会磁気マイクロマシンシステム調査専門委員会委員長：九工大 山崎二郎）。以下プログラムを記す。

磁気マイクロマシン／RF磁性材料

00-1-1　[セレクティド・トピックス]摩擦駆動を利用した磁気マイクロマシン
本田崇，山崎二郎 (九工大)

00-1-2　PLD法を用いた室温ガラス基板上へのMnZnフェライト薄膜の作製
中野正基，福永博俊 (長崎大)

00-1-3　1GHz付近における(CoFeB)-(SiO_2)系高電気抵抗膜の高周波透磁率特性
宗像　誠，八木正昭，*島田　寛，**馬場誠，**山口正洋，**荒井賢一
（熊本工業大学，*東北大学科学計測研究所，**東北大学電気通信研究所）

特集セッション：マイクロEMC

00-1-4　マイクロＥＭＣの提案　山口正洋（東北大）

00-1-5　超小型プローブによる高密度実装プリント配線板/LSIの高周波電流計測
増田則夫，玉置尚哉(ＮＥＣ)

00-1-6　マイクロ搬送技術　中澤治雄（富士電機総研）

00-1-7　超薄型「マイクロＥＭＣ」対策材料
吉田栄吉，小野裕司，安藤慎輔，*津田文史郎，**島田　寛
(トーキン，*環境電磁研，**東北大)

通研講演会

00-1-8　機能性スピニクス薄膜材料とマイクロ磁気デバイス　井上光輝，藤井壽崇 (豊橋技科大)

マイクロパワー／磁化機構

00-1-9　[セレクティド・トピックス]FeCoBN磁性薄膜インダクタの試作と5MHzスイッチングDC-DCコンバータへの応用
佐藤敏郎，山沢清人，*富田　宏，*井上哲夫，*溝口徹彦 (信州大，東芝)

00-1-10　導体埋め込み形平面磁心の磁気抵抗の解析
山口　崇，*笹田一郎，木脇久勝（九産大，*九大)

00-1-11　高周波バルクMnZnフェライト　柳　邦雄，大浦秀男（日本ビクター）

00-1-12　磁壁のカオス運動とエネルギー損失　奥野光（筑波大）

マイクロセンサとシステム化

00-1-13　[セレクティド・トピックス] ＭＩマイクロ磁気センサを用いた高度センシングシステム
内山　剛，毛利佳年雄(名古屋大)

00-1-14　GHz帯における高周波キャリア型薄膜磁界センサ
丹　健二，竹澤昌晃*，山口正洋**，山川清志，大内一弘，本多直樹，荒井賢一**
(秋田県高度技術研究所，*九州工業大学工学部，**東北大学電気通信研究所)

4．まとめ

本プロジェクト研究会によって，とくに従来磁性材料の用途が限られていたGHz帯における材料開発，デバイス化研究，ならびに計測技術の進展が著しかった。更にMPUのGHzクロック化や第3世代携帯電話IMT-2000等への展開を前に，高密度実装プリント配線版やLSIの近傍磁界計測技術が新しい高周波磁気計測分野を形成しつつある状況について議論が深まり，マイクロEMCなる新しい概念を提案するに至ったことは本研究会の重要な成果である。これらの成果に拠り，平成12年度にはいくつかの原著論文が発行される見通しである。

その一方で新たなデバイスやマシンの提案とそれらのシステム化，新材料の進展などの新局面に対応するため，次年度も本共同プロジェクト研究会を継続し，議論を深める予定である。

課題番号　H11/B02

脳の情報原理の解明に向けた基礎的研究

[1] 組織
代表者：矢野　雅文
（東北大学電気通信研究所）
責任者：矢野　雅文
（東北大学電気通信研究所）
分担者：
澤田　康次（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）
早川　義徳（東北大学電気通信研究所）
早川　吉弘（東北大学電気通信研究所）
甘利　俊一（理化学研究所脳科学総合研究センター）
村田　　昇（理化学研究所脳科学総合研究センター）
福水　健之（理化学研究所脳科学総合研究センター）
津田　一郎（北海道大学理学研究科）
金子　邦彦（東京大学総合文化研究所）
山口　陽子（東京電機大学理工学部）
岡田　節人（生命誌館）
武田　　暁（東北学院大学）
蔵本　由紀（京都大学理学研究科）
松本　　元（理化学研究所脳科学総合研究センター）
相沢　洋二（早稲田大学理工学部）
北原　和夫（国際基督教大学）
北野　宏明（ソニー・CSL）
牧野　悌也（東北大学電気通信研究所）
坂本　一寛（東北大学電気通信研究所）
鈴木　章夫（東北大学電気通信研究所）

研究費：校費10万円，旅費40万７千円

[2] 研究経過

脳の情報原理の解明は，実世界における認識や制御を柔軟に行う上で不可欠と考えられる。本プロジェクトでは，視覚や聴覚の認識機構，記憶の生成・記銘・想起の機構，運動の制御機構，に関する研究会を開催し新しい情報処理パラダイムの体系化に関する研究を行った。

脳においては，認識・記憶・運動制御は独立した過程ではなく，それぞれが密接な関連を持って行動が発現される。よって，脳の情報原理の解明のためには，認識から運動までを含むシステム全体の機能に関する神経科学的知見が必要となる。昆虫は，神経細胞の数が少なく神経系の構造も脊椎動物に比べ単純であること，また高次の学習能力を有することから，脳システム全体を考察する上で非常に有用である。

そこで，講師として水波　誠氏（北海道大学電子科学研究所・助教授）を招聘しプロジェクト研究会（平成11年12月17日午後１時30分より）を開催した。講演内容は，昆虫神経系の高次中枢であるキノコ体に関する最新の知見に関してであった。これまでキノコ体は昆虫における感覚情報処理の高次中枢または記憶の座と考えられてきたが，水波氏の行動学的，電気生理学的，組織学的研究から，運動制御中枢でもあることが示唆された。これは，感覚情報・記憶・運動の制御情報の脳における表現様式が共通していることを示唆し，脳の情報原理を考える上で重要となる。

講演題目：「微小脳キノコ体の構造と機能」

講演要旨：昆虫の小さな脳「微小脳」にはキノコ体と呼ばれる高次中枢があり，ミツバチやショウジョウバエを材料とした研究により匂いの記憶に深く関わる領域であることが知られている。私はゴキブリを材料とした研究により，キノコ体が場所の記憶にも深く関与していること，キノコ体には特定の行動の開始に先行して活動するニューロンがあること，またキノコ体が約３０の構造単位から構成されていることなどを明らかにしてきた。さらに最近の成果を総合し，微小脳システムの中でキノコ体が受け持つ役割分担について考察する。

****

脳の機能と構造は強く相関する。脳の構造がいかに形成されるかを知ることは脳の機能発現を考える上での基盤となる。そこで，講師として吉田祥子氏（豊橋技術科学大学・講師）を招聘しプロジェクト研究会を開催した（平成11年12月24日午後１時30分より）。講演内容は，ラット新生仔小脳スライス in vitro 培養系における小脳ネットワークの形成に関して，であった。ラット新生仔の小脳

は未分化であり機能的ネットワークの形成過程を研究する上で適している。スライス in vitro 培養系は，実験条件のコントロールおよび組織学的観察が容易であるが，脳の３次元的構造を破壊してしまうため通常形態形成は進まない。

吉田らの研究は，未分化小脳スライス全体に細胞分裂の周期同調を施すことで，細胞の分化および移動が起こりネットワーク形成が進むこと，さらに，この過程には細胞内 Ca^{2+} 濃度が本質的に重要であることを明らかにした。これは，ネットワーク全体としての整合性が小脳の機能発現に不可欠であることを示唆し，脳において情報は大域的に整合してはじめて処理されると考えることが出来る。

講演題目：「小脳の機能発現のための形態形成」

講演要旨：ラット小脳の入力性神経細胞である顆粒細胞は，出生後７～10日までは外顆粒層で増殖するが，その後内顆粒層へ移動して分化する。我々は未分化な小脳組織に細胞周期同調を与えることで，生後２日の顆粒細胞が内顆粒層へ移動して分化することを明らかにした。さらに，1) 周期同調時間と組織分化，2) 短期同調培養に対するグルタミン酸の効果，3) 単離した顆粒細胞層の分化，に関する実験を行った。この結果から，顆粒細胞の周期同調がどのような機序で神経分化を引き起こすかについて，同調時間の変動と物質的な情報の変動の両面から検討する。

****

脳における機能的ネットワークで，処理過程の計算論的基礎は，情報のコーディング様式，情報処理機構の設計論等において重要となる。そこで，講師として川上 進氏（富士通研究所・ペリフェラルシステム研究所・研究員）を招聘しプロジェクト研究会を開催した（平成12年２月22日（火）14：00から）。

講演内容は，運動視による平面認識に関わる計算論モデルに関してであった。モデルの基本的な仮定は「視覚ネットワークは網膜からの実画像をハフ変換する」である。運動視から得られる情報はハフ変換の後では情報圧縮が容易で，平面の問題の取り扱いが可能となる。川上らのモデルは神経生理学的に得られる視覚野での神経活動を説明することもできる。彼らのモデルは計算論と脳活動を初めて統一的に繋いだモデルであり，運動視のみに限定されず，形態視，聴覚，異種感覚の統合等を考える上でも本質的に重要と思われる。

講演題目：「運動視による網膜からＭＳＴ野における面の分節化のモデルに関する研究」

講演要旨：運動視により平面パラメータ(法線ベクトル，平面に到達するまでの時間，平面までの最短距離を検出するアルゴリズムを発見した。これまでの局所運動検出の神経網モデルを合わせ用いることにより，網膜からＭＳＴ野までの平面検出の神経網（約５億本）のモデル化とＭＳＴ野の細胞による平面パラメータを検出機構について論じる。

****

平成12年３月16日，17日には本共同プロジェクト研究に関する討論会を行った。実世界における認識や制御の問題は情報の曖昧性や不完全性を伴うために一般には不良構造問題となる。これらの問題は現在の計算機のパワーアップをはかるだけでは解決出来ない。情報処理の応用範囲を広げ，取り扱う情報の量と質を上げるには，人間に近い柔軟な知性を持った新しい情報処理技術を開発し，従来型の情報システムと融合可能な新しいパラダイムにシフトする必要がある。

この人間の知的な活動に近い働きをする情報システムの新しいパラダイムを構築するために様々な側面から検討を行うために議論を行った。参加者は甘利俊一（理研），池上高志（東大），金子邦彦（東大），蔵本由紀（京大），津田一郎（北大），土屋和雄（京大），山口陽子（東京電機大学）佐野雅己，沢田康次，矢野雅文（東北大）である。

討論内容：最初に心脳問題について問題提起があり，これまでのデカルトの２元論に基づく論理展開では，心の問題は取り扱えないことが指摘された。脳の活動の中に心が生じるという素朴な心の存在論は，生命システムを一定の環境という境界で切り取り，対象化することで初めて可能になる。

しかし，生命システムは無限定な実世界の中で生きており，心を自然から切り取り，客体化するという操作が常に可能になるわけではないので，存在論で取り扱うことは出来ない。いわゆる心は脳を含む身体と環境とが不可分の関係にあるので，両者を切り離しては議論できないことが示された。つまり，両者が切り離せないと言うことは，すべての生命は変化する環境に合わせて，時々刻々意味空間を設定しなくてはならないと言うことである。これが心を生成する必要条件となる。

さらに複雑系の立場から生命現象を捉え，複雑系生命科学の論理について討論を行った。ここでは部分と全体の相互循環が生命現象の本質であるという立場をとる。例えば，内部状態を持つ系が

相互作用を通してその発展のルール自体を変化させていくメタダイナミクスを持つ系を生命体のモデルとして選んで対象化する。下位のレベルでダイナミクスを規定する力学系のルールを置くと，そこではダイナミックなパターンが作られる。このパターンにより下位のレベルの自由度が変化するようなメタルールを置くと上位のルール生成が可能になる。このように構成論的に生命システムを構築すると細胞の分化などの現象が説明可能になることが議論された。

自然現象は本質的に予測不可能であるという意味で無限定である。生命システムの場合はこの無限定な実世界の中で生きており，時々刻々複雑に変化している環境と調和的な関係を作り出さなければならない。そのためには環境と自己との関係性を時々刻々生成していくことが必要になる。したがって，先に議論した複雑系生命科学の立場をさらに進めて，いかに環境と自律的に調和を取るのかという問題が重要になる。空間関係性を例に取れば，生命システムは空間のどこに自分が位置するのかを常に知らなくては，自己同定が出来なくなる。このため，自己は空間に対する位置情報を常にコードする必要が生じる。これは海馬により行われていることが知られており，このコーディングのダイナミクスを位相情報を用いて行う方法の有効性が提示され，これについて議論を行った。

また無限定な環境で生存している生命システムは置かれた環境によって始めて意味を持つと言われるが，これは，生命システムは置かれた環境に意味をつけることによって始めて生きていくことが出来る，といえる。そのためには予測機能が本質的であって，この予測を行う数理モデルを構築することによって，予測の機構を構成論的に議論することが可能になる。例えば画面に提示した文字を目で追いながらキーボードを操作する実験では必ず，目の動きが手の操作に先んじて行われる。これをモデル化すると予測には脳の全体的な機能との関連が推論できることが示された。また生命現象を工学的に応用するという立場から，いかにして柔軟性を獲得するのかという議論がなされ，必ずしも工学の立場からは生命システムと同じ原理である必要はないが，応用できるものは取り入れて構築していくことが重要であるということが提案された。

生命システムがおこなう認識の論理は工学的に行われている予め入力された情報とのマッチングとは異なることが議論された。不完全あるいは曖昧な情報から，認識しようとすると，それを良設定にするための拘束条件が必要となる。この拘束条件は認識しようとするものの全体を表すものでなくてはならない。この全体を表す拘束条件がパースのいう「仮設発想（アブダクッション）」である。この論理はこれまでの科学技術が用いてきた，演繹・帰納論理と異なっていて，第３の論理と言われるものになる。

しかし，パースはどのような機構で仮設を発想するのかについては，何も述べていない。仮設発想の機構を考える際にもっとも参考になるのは，西田の「場所の論理」であるが，必ずしも十分条件を与えているとは言えない。そこでは「述語的論理」が認識にとって重要な働きをするが，これはいわゆる述語論理とは異なるものである。環境が無限定であるとすれば，一般に生命システムに入力されたものはどれがノイズでどれがシグナルかは予め分からない。この信号に生命体の持つ関係生成ルールともいえるルールで関係付けを行うことによって部分情報を作り出す。

このとき重要なのは，部分情報はいわゆる述語とは異なっていて，何らかの意味で全体的なものを反映した部分情報でなければならない，ということである。この部分情報を統合することによって全体を作り出す，すなわち認識のための「仮設」を生成することになる。仮設設定には階層性があり，生命システムはまず環境と生命システムの関係で大まかな意味空間を設定することになる。

これが雰囲気などと言われるものに相当し，１次的な意味空間と呼ぶ。この意味空間の中の分節化していく場を２次的な意味空間と呼ぶ。この際重要なことは仮設した意味空間が，１次的に設定した意味空間と異なる場合，仮設した意味空間が優先し，１次的な意味空間は変更されることである。これは意識がまず環境と生命システムの関係で大まかにまず設定され，それにより自己と環境の関係が仮に設定されることになり，このことが行動を誘起する。

つまり生命システムは仮設によって行動する情報を作り出し，行動することによって初めて認識する論理が重要であることが議論された。すべての生命はこの意味空間を設定することから逃れることはできない。すなわち，生命システムの進化はこの意味空間の設定の方法が多様化されてきた歴史であるとも言える。この情報処理のための器官として特に分化が進んだのが「脳」であり，その論理をさらに深めていく必要があることが確認された。

****

第 6 章　　シンポジウム

6.1　通研国際シンポジウム

第4回東北大学電気通信研究所国際シンポジウム「Siエピタキシーとヘテロ構造に関する国際合同会議」

International Joint Conference on Silicon Epitaxy and Heterostructures (IJC-Si)

（主催）東北大学電気通信研究所
（後援）日本学術振興会
（開催期間と会場）1999年9月13日～17日（5日間）宮城蔵王ロイヤルホテル

（主要課題と主たる講演者）※Organizing Committeeを除く

a. 総合講演	K. Eberl, K. Washio
b. ナノ構造	I. Eisele, K. Brunner, V. Le Thanh
c. 表面関連現象	C. Schelling, H. Hibino, J. Schulze
d. 薄膜成長	J. Nara, K. Sumitomo, K. Shiraishi
e. プロセス技術	K. C. Saraswat, S. Yamaguchi
f. Silicide/SiC	R. T. Tung, M. Kitabatake, T. Koga
g. 酸化・窒化	K. Sato, F. Ishida
h. 輸送特性Ⅰ	T. E. Whall, N. Sandersfeld
i. 電子デバイス	J. L. Hoyt, K. Oda, N. Sugii
j. 輸送特性Ⅱ	F. Schäffler, D. Knoll
k. 光学物性とデバイス	K. L. Wang, C. Penn

（シンポジウムの概要）

3年で約4倍の集積度の向上を達成してきたSi集積回路技術の成熟に伴い，素子の微細化で対応してきたこれまでの高性能化の方向に限界が見えはじめてきた。こうした中で，本国際合同会議は，Siエピタキシーとヘテロ薄膜成長の基礎物理からデバイス応用まで包括的に議論し，薄膜技術を用いての次世代Siデバイスの飛躍的な性能向上と新しい概念のデバイス創生のための指針を得ることを目的として行なわれた。

このようなSiエピタキシーとヘテロ構造に関して統一して取り扱った国際シンポジウムはこれまでに例がなく，この分野の情報交換を専門家が一堂に会して行なうことで，Si系薄膜成長の将来が明確となった。これらの結果についてはAbstract Bookletを発行し，またProceedings VolumeはThin Solid Films誌に発刊される予定である。さらに，今回を第1回として2年後に第2回の本国際合同会議をFranceのStrasbourgで開催計画することに発展した。

（シンポジウムの構成）

論文件数116件（国外招待講演9件，国内招待講演3件）

（参加国および参加登録者数）

日本，ドイツ，アメリカ，イギリス，フランス，オーストリア，中国，イタリア，スイス，スウェーデン，インド，韓国，台湾，オランダ，デンマーク，オーストラリア，ロシア，フィンランド

国内参加者			国外参加者			合計
招待講演	一般参加	計	招待講演	一般参加	計	215人
3人	159人	162人	9人	44人	53人	

(委員会委員の構成)

組織委員長：安田幸夫　名古屋大学,　副組織委員長：白木靖寛　東京大学
論文委員長：白木靖寛　東京大学,　副論文委員長：財満鎭明　名古屋大学,
宮尾正信　日立製作所
実行委員長：室田淳一　東北大学,　副実行委員長：松浦孝　東北大学

フォトニック結晶構造国際会議

International Workshop on Photonic and Electromagnetic Crystal Structures (PECS)

開 催 日：2000年3月8日(水) ～ 3月10日（金）
開催場所：仙台第二ワシントンホテル

１ミクロン以下の寸法の人工周期構造体である「フォトニック結晶」は，超小型光導波路，超高効率レーザー，高分散性プリズムなどの次世代の光デバイスを創出する鍵として，近年注目を集めてきた。

本会議は，光領域の新しい材料系であるフォトニック結晶と応用光素子の研究分野の進展を図るため，微細加工技術，光エレクトロニクス，量子エレクトロニクス，計算電磁気学などの関連分野の研究者が一堂に会して議論できる国際的な機会を提供することを目的として開催された。国内のフォトニック結晶の研究でリーダー的役割を担う東北大学電気通信研究所・川上彰二郎教授と北海道大学電子科学研究所・井上久遠所長が国内外の主な研究者に呼びかけて実行委員会を組織し，この会議の運営を行なった。

会議では本研究分野のパイオニアの一人である，カリフォルニア大学ロサンゼルス校のヤブロノビッチ教授に基調講演を頂いた。１時間の講演時間の中で，現在までのフォトニック結晶の研究の流れから，アンテナ応用素子の提案まで幅広いトピックについて解説頂いた。また招待／一般講演では，近い将来の光集積回路への応用の観点から，２次元フォトニック結晶を導波層に，上下クラッド層を空気または一様誘電体で構成した擬２次元型結晶構造による光導波路の解析と実験に多くの関心が寄せられた。

３次元結晶関連では，京都大学のグループから拍子木を交互に積み重ねた構造である「ｗｏｏｄｐｉｌｅ型結晶」とそれを用いた立体導波路の作製が，またスペインのグループからは半導体／空気の人工オパール型結晶の作製の最新の成果が，また徳島大学やイギリスのＯｘｆｏｒｄ大学のグループからは有機媒質への多重干渉露光による３次元構造の作製の結果が，それぞれ報告された。また東北大通研からは，自己クローニング法による結晶作製の進展，酸化チタン／石英による可視域フォトニック結晶，フォトニック結晶中へのCdSの取り入れ，と題して光集積工学分野の川上教授，花泉助教授らから３件の講演があった。いずれも前年のワークショップから大きな進歩が見られ，活発な議論がおこなわれた。

6.2　国際会議等の開催状況

第24回赤外とミリ波に関する国際会議

（水野皓司）

サブミリ（テラヘルツ）波帯の研究を扱う国際会議で一番長い歴史を有する「赤外とミリ波に関する国際会議」の第24回目が1999年の９月６－10日に亘って米国モントレー（CA）にて開催された。会議のセッション構成は，午前，午後とも最初２件の招待プレナリー講演があり，その後２－３セッションに分かれるものである。論文の総数は180編余り（ポスターセッションのものを含む），参加人数は約150人であった。論文の内容は，検出器，発振器などのデバイス，測定法，そのシステム，またスペクトロスコピーまで含む幅広いものである。プレナリー講演は全部で19件であったが，プログラム委員会の努力でいずれもこの分野の現在の動向を知る上で重要な内容であった。

2000 Topical Symposium on Millimeter Waves

（水野皓司）

2000年３月23－24日に亘って，横須賀リサーチパークにて，郵政省通信総合研究所の主催，電子情報通信学会，IEEE MTTS の後援により開催された。このシリーズの会議の第２回目にあたる。論文数は60編余り（招待講演，ポスターセッションのものを含む），参加者の総数は約150名（うち海外からの参加は約20名）であった。発表論文の内容は，周波数の割り当てから，回路技術，アンテナ技術，ワイアレスシステム，衛星通信システム，などミリ波帯の研究全般にわたったものであった。会議の途中で，リサーチパーク内で研究されているミリ波システムの見学があり，参加者による活発な議論が行われた。

第2回Japanese-American Frontiers of Science Symposium

(日本側運営委員　大野英男)

Japanese-American Frontiers of Science Symposiumは，日米の科学研究に携わる45歳以下の研究者を集め，最先端の分野の研究発表を聞いた後，全員で討論を行うシンポジウムである。研究者として確立した日米の若手の交流を図ることを目的として昨年第1回がアメリカで開催され，今年は1999年10月1－3日に新築のつくば国際会議場（茨城県つくば市）で第2回が，科学技術振興事業団・科学技術庁とアメリカ科学アカデミーの共催で開催された。参加者は日本，アメリカそれぞれ40人，合計80人（すべて招待）であり，シングルセッションでセッション数は8，一セッション2時間となっている。それぞれのセッションでは，設定したテーマに関してまず2ないし3件の講演が1時間20分あり，その後40分が質問を含む討論に充てられる。同様の会議は，アメリカ国内，アメリカとドイツ，アメリカと中国で開催されている。今回は，Advances in Microscopy（化学），Aging Mechanism（生物），Emerging Viral Diseases（生物），Extrasolar Planets（天文），Geometry and Dynamics（数学），Learning and Memory（生物），Mantle Dynamics（地球科学），Neutrino Physics（物理）の8テーマのセッションが開催された。また，日本から本田技研工業の「歩行ロボット開発」（平井一雄氏），アメリカから「地球上で最古の生命」（Doug Michaelカリフォルニア工科大学教授）がアフターディナートークとして選ばれ講演があった。東海村であったＪＣＯの臨界事故と重なったため，ロボットをすぐに派遣できないかという質問がアメリカ側参加者から出されたが，残念ながらそのような事態に即応はできないとの答えであった。日本側参加者の大部分はこの質問を冗談と受け取ったようであったが，質問者は至って真剣であり，緊急事態の受けとめ方の違いが印象に残った。

第12回国際超電導シンポジウム（ＩＳＳ'99）

（山下　努）

開催日：平成11年10月17日～19日
開催場所：ホテルメトロポリタン盛岡

（財）国際超電導産業技術センターの主催する第12回目のシンポジウムは，岩手県等の支援で盛岡市で開かれた。このシンポジウムは，超電導の物理，化学，材料，線材，エレクトロニクス，電力応用までの広い範囲のセッションより構成され，参加者も米国，欧州を中心とする外国人と日本国内からの参加により開催された。

最近の各分野の超電導の技術開発状況が，労せずしてよく判るように工夫されたシンポジウムで，微細な磁気構造を見ることの出来るＳＱＵＩＤ顕微鏡が，市販されるようになったことがニュースとしてあげられる。

JSPS-NUS Workshop On High Temperature Superconducting Thin Films and Devices

（山下　努）

開催日：平成11年12月４日～５日
開催場所：シンガポール国立大学

日本学術振興会（ＪＳＰＳ）とシンガポール国立大学（ＮＵＳ）の共催で開かれた。本シンポジウムのテーマは「高温超伝導薄膜とデバイス」を中心として討論が行われた。参加者は，日本，シンガポール，中国，オーストラリア，インドで，真に国際色豊かであった。主たる目的は，東アジアにおけるこのテーマの研究の更なる発展を目指すもので，日本の果たすべき役割が期待されている。

6.3　工学研究会

東北大学電気通信研究所，東北大学大学院工学研究科と情報科学研究科および関係ある学内外の研究者、技術者が相互に連絡・協力し合うことによって，学問的・技術的問題を解決し，研究開発を促進することを目的として工学研究会が設置されている。そのため，専門の分野に応じて次のような分科会を設けて，学術的および技術的な諸問題について発表・討論を行っている。発表された研究の一部は東北大学電気通信談話会記録に抄録されている。

	研　究　会　名	主　査	幹　事	発足年
1	伝送工学研究会	澤谷教授	陳　助手	1950年頃
2	音響工学研究会	牧野教授	鈴木助手 金　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	飯塚助教授	1993年 (1986年)
4	ＥＭＣ仙台ゼミナール	根元教授	曾根助教授	1986年
5	コンピュータサイエンス研究会	阿曽教授	周　講師	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	庭野教授	末光助教授	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	裵　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)	杉田教授	村岡助教授 家多田助手	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	ブレインコンピューティング研究会	沢田教授	佐野助教授	1992年
13	超伝導工学研究会	山下教授	陳　助教授 中島（健）助教授	1993年
14	超高密度・高速知能システム工学研究会	水野教授		1994年
15	ニューパラダイムコンピューティング研究会	亀山教授	青木助教授	1995年
16	超音波エレクトロニクス研究会	中村（健）教授	金井助教授 長　助教授	1995年
17	情報・数物研究会	堀口教授	林　助手	1998年
18	インテリジェントマルチメディア 電子システム・デバイス研究会	大見教授	坪内教授	1998年

伝送工学研究会

伝送工学研究会は，最も長い歴史をもつ研究会であり，平成12年2月の時点で430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・応用研究の発表と討論を目的としており，放射・伝搬・伝送およびこれらに用いるデバイスや方式などの招待講演や研究報告を行ってきた。本年度は学内から14件，学外から５件の発表論文が寄せられ，研究討論が活発に行われた。また，平成12年3月22日（水）午後3時より電気・情報系351室において，学内・学外から約40名の出席を得て通研講演会が行われた。

講師は東京農工大学教授の宇野亨氏で，演題は「FDTD法の研究動向」であった。FDTD(Finite Difference Time Domain)法は1966年，K.S.Yeeによって電磁界解析に初めて応用されて以来，計算機の発達に伴って急速に発展してきた。FDTD法を理解するのには必ずしも専門的な知識を必要とせず，しかもモデリングが簡単であるため，いままでに電磁界の散乱問題ばかりではなく，アンテナや平面回路，光導波路など数多くの複雑な問題に適用されてきたが，その傾向は近年急速に加速し，毎年多くの研究成果が報告されている。したがってFDTD法はモーメント法と同様に，いまやアンテナや電磁界解析にたずさわる技術者なら誰でも知っておくべき基本計算ツールの一つとなっている。講演では，FDTD法の概要と応用例，特にプリントアンテナや平面回路，光導波路の解析の実例が示された。また，FDTD法の問題点及び研究動向についての紹介があった。この後，参加者から多くの質問が出され，活発な討論が交わされた。

音響工学研究会

音響工学研究会は，音波，固体振動，超音波などの弾性波を対象とする研究の成果を発表し，討論や意見交換をする場として，1950年頃に発足した研究会である。関連する分野は，電気音響，聴覚・心理音響，建築音響，騒音制御，ディジタル補聴器，音声分析・合成，音声認識・理解，音環境工学など，多岐にわたっている。

1999年度は，主査牧野正三教授，幹事金海永助手，鈴木基之助手のもとで，研究会5回（第301回～第305回）と通研講演会1回が開催された。会場は第302回が本学工学部キャンパス内の青葉記念会館4階会議室で，その他は全て本学電気通信研究所大会議室であった。なお，第302回と第304回は超音波エレクトロニクス研究会と合同で開催された。第301回音響工学研究会は，1999年5月26日（水）に開催され，研究発表2件，参加者は22名であった。第302回音響工学研究会は，1999年7月21日（水）に開催され，研究発表8件，参加者は63名であった。第303回音響工学研究会は，1999年10月6日（水）に開催され，研究発表3件，参加者は23名であった。第304回音響工学研究会は，1999年12月15日（水）に開催され，研究発表4件，参加者は45名であった。第305回音響工学研究会は，2000年1月27日（木）に開催され，研究発表4件，参加者は18名であった。通研講演会は，2000年2月25日（金）に開催され，早稲田大学の小林哲則教授から，「マルチモーダルインターフェースによるヒューマノイドロボットとの会話」という題の講演があった。参加者は36人であった。

仙台“プラズマフォーラム”

本研究会は，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関して，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している。以下に，1999年度の活動概要を記す。

学部学生を中心とする，既刊論文に基づいたプラズマ生成，閉じ込め，加熱，計測及びプラズマ応用に関する「研究討論会」を5回開催。大学院及びスタッフを中心とするプラズマ電位形成及び電位分布制御，プラズマ中の波動伝播及び不安定現象，プロセス用プラズマの生成と制御及びプラズマ容器壁のクリーニング，プラズマディスプレイの実用化，高速プラズマ流の生成と測定法の開発に関する「研究発表会」を2回開催。

国外研究者による，特別企画「Future Directions of Fine-Particle Plasma Researches」を1回開催。国内研究者による，電磁流体現象，プラズマのスパイラル構造形成，非中性プラズマ実験，新材料としてのフラーレン類合成，高品質アモルファスシリコン薄膜形成などに関する「特別講演会」を2回開催。

「プラズマが拓く次世代先端科学」，「21世紀の国産エネルギー『核融合』」と題した「市民公開講演（プラズマ・核融合学会主催）」を1回開催。その他，国内，国外研究者による「研究発表」を3回開催。

以上において，参加者は市民公開講演（約200名）を除いて常時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。

1998年度には，第161回（12月15日)の１回の研究会を開催し，１件の特別講演「電気接点の放電に伴う放射・誘導雑音」（内村 圭一先生）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，放電による電磁ノイズの発生機構のモデル化，放射・誘導ノイズ，およびノイズ制御技術などである。

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，話題について講演会を開催し，通研及び電気・情報系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。

1999年度は，11月17日の第85回講演会に始まり，1月28日の第88回講演会まで，11名(内外国人1名)の講師による4回の講演会を行なった。 Magnus M. Halldorsson教授(京都大学情報科学研究科)による“Scheduling Dependent Jobs and Graph Multi-coloring Problems”の講演と平田富夫教授(名古屋大学工学研究科)による「距離変換によるモルフォロジ演算の高速化について」の講演が行われた。前者は並列処理スケジューリング問題をモデル化したグラフの多彩色問題の解法に関するものであり，後者は計算幾何学の知見を用いた高速な距離変換アルゴリズムの提案とその応用であり，多くの参加者を得て，活発な議論が行われた。

ついで，最新の脳神経科学の観点から，塚田稔教授(玉川大学脳科学研究施設)による「脳の記憶の書き込みと読み出しのメカニズム」の講演が行われた。最後の講演会は，コンピュータサイエンスの最前線の話題を集めたもので，橋口攻三郎教授(岡山大学)による新しい代数系と形式言語の話，神保秀司講師(岡山大学)によるグラフのオイラー閉路の基本的性質の話，渡辺治教授(東京工業大学)によるコルモゴロフ記述量によるランダム列の応用の話，西野哲朗助教授(電気通信大学)による量子計算量理論の話，五十嵐善英教授(群馬大学)による公開鍵暗号の安全性の話，酒井義文講師(東洋大学)による計算論的学習理論の話，中野良平教授(名古屋工業大学)による新しいEMアルゴリズムの話，斉藤和巳氏(NTTコミュニケーション科学基礎研究所)によるニューラルネットの重要重み決定手法の話であった。

本研究会は，以上のように第一線で活躍する研究者による最新の研究成果の講演を基に，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

主査　阿部　健一、　幹事　吉澤　　誠

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，下記のように，４人の講師を招いて３回の講演会を開催した。

１）東北電力配電部副長(配電計画)　安孫子堅二氏（演題：東北電力における配電部門の技術開発動向－配電自動化技術を中心として－），主催：先端電力工学（東北電力）寄附講座，２）（財）電力中央研究所　研究参事　林　敏之氏（演題：電力システムの将来展望とパワーエレクトロニクス技術），主催：電気学会東北支部，共催：：先端電力工学（東北電力）寄附講座，３）講演Ⅰ：三洋電機（株）筑波研究所　環境・バイオ研究グループ　主任研究員　岩間明文 氏（演題：ナメクジにおける嗅覚情報処理と振動的神経活動），講演Ⅱ：北海道大学　電子科学研究所　助教授　水波　誠氏（演題：微小脳キノコ体の構造と機能），共催：共同プロジェクト研究講演会。

また，共催で，研究集会（計測自動制御学会東北支部　第185回 研究集会）を行った。この研究集会では，東北大学　陸 翔杰氏（振り子の手動制御の学習過程）ほか10件の研究発表があった。

電子ビーム工学研究会

本研究会は，近年における基礎科学分野から工業分野にわたる広い方面でのミリ波～サブミリ波領域の大出力電磁波源の開発要求をうけて，基礎的，技術的諸問題を採り上げ，議論を重ねることを目的として，1978年に「大電力マイクロ波・ミリ波研究会」として設立された。その後，最近の極微細冷陰極の研究開発の進展や，これに伴う真空マイクロエレクトロニクスなどの新たな研究分野の発展も視野に入れて，1995年より名称を「電子ビーム工学研究会」と変更して研究会の活動を行ってきた。平成11年度においては，大出力のミリ波～サブミリ波源の開発とその応用，微小電子源の基礎及び応用に関して研究会を開催するとともに，核融合科学研究所共同研究「ミリ波加熱技術」と共催で研究会を行った。以下に平成11年度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。

○プラズマのECH
○広帯域TWT
○大電力ジャイロクライストロン
○ダイアモンド窓を用いた大出力ガウシアンビームジャイロトロン
○永久磁石を用いた工業用ジャイロトロン
○広帯域周波数可変ジャイロトロン
○超格子界面電子系からの電界電子放射
○電界放射時間分解による表面吸着子の挙動観察

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，放射光リソグラフィやLIGAプロセスなどの微細加工技術の開発，光励起表面反応過程の解明や光励起プロセスの研究などを研究討論のテーマとしている。本研究会は昭和62年4月に第1回研究会を開催して以来，これまでに通算42回の研究会を開いてきた。全国の放射光施設の第一線の研究者を招き，特別講演会も多数回開催してきた。本年度は，講演会，研究会を３回開催し，辛　埴氏の通研講演会を開催した。講演会の題目は以下のとおりである。光電子分光法，赤外分光法等を用いた固体表面・界面電子状態や表面化学反応の研究についての成果発表が行われた。

[第43回]□「角度分解光電子分光法によるGaNのバンド構造の研究」　丸山隆浩（筑波大学VBL）□「シリコン絶縁薄膜のSi 2p内殻準位スペクトル」遠田義晴（弘前大学 理工学部）□「赤外分光によるGaAs(100)表面上の硫化水素ガス吸着状態の解析」庄子大生（東北大通研）

[第44回]□【特別講演】「スピン分解光電子分光によるFe薄膜の磁性と電子状態の研究」鎌倉　望（東大　物性研）□「水分子によるSi(100)表面の初期酸化過程」木村康男，庄子大生，篠原正典，庭野道夫（東北大通研）□「Si(100)面上のシラン系分子吸着過程の赤外分光解析」篠原正典，瀬山顕雄，木村康男，庭野道夫（東北大通研）

[第45回]【特別講演（通研講演会）】「軟Ｘ線発光分光による半導体の電子構造の研究」辛　埴（東大　物性研）

テラヘルツ工学研究会

本研究会はテラヘルツ領域の技術開発を目的として設置されたもので，実用的な技術開発のガイドを得るための講演会及び研究をさらに押し進めるための議論の場としての研究会の二種類を開催している。本年は前者について２件，後者について２件の講演，討論の機会を得，これまで通算55回の研究会を行ったことになる．以下に全体のまとめを記す。

テラヘルツ（サブミリ波）領域の技術は，長年その開発の必要性が言われてきている。しかし，今までこの領域の技術は，あまりにもその未開拓であることが強調され過ぎ，その為この領域の技術開発に甘えがあったように思う。むしろ，光と電波（マイクロ波）の両領域の中間に位置するこのスペクトルには，それら両領域からの延長として様々な多くの技術が存在し，各種技術は1970年代に核融合プラズマの研究に刺激されて大きく進歩した。それらの技術が現在真の意味で実用的なものになっていない理由は，実は明確な応用分野が存在しないからであろう。新材料の評価・分析，分光学，超高密度プラズマの測定等，従来からの応用分野にとっては，既存の技術でほぼその要求を満足し得るように思われる。

しかし，将来の通信分野への応用を考えると，その要求は格段に厳しいものとなる。ここでの通信は，テラヘルツ波のみによるものではなく，光通信との組み合わせ，テラヘルツ・フォトニクスとでもいうべき分野であり，これは未来社会におけるインフラストラクチャ構築に重要な役割を果たすと思われる。この時必要とされるテラヘルツ波技術は，実用的に極めて高度のもので，この技術開発に際し良いガイドになるのは，現在の高度に発達したマイクロ波領域の技術である。誤解を恐れずに云うならば，本来，実用に耐える技術は非常に「保守的」なもので，地道な努力，つまりマイクロ波，ミリ波，そしてテラヘルツ波へと連続して開発されて行くものではないだろうか。この時，テラヘルツ領域デバイス開発の指針は次のキーワードに要約されるだろう：常温・高速動作，コヒーレント光，cw，そして tunable であること。

スピニクス研究会

新しい磁性に関するエンジニアリングを切り拓くことを目的として，磁気現象の本質である電子スピンを意識したスピニクスに関する研究者間の情報交換と討論の場を提供する研究会を1990年に発足させた。この10年間の継続的活動の結果，在東北を中心とする登録研究者は産学官合計で350名を越えている。本研究会は，各回3名程度の講師を招いて，年4～5回の研究会を電気通信研究所及び工学研究科電気系の教官が主催して開催している。この中で，主として東北地方の磁性研究者に交流の場を提供することを目的に，萌芽研究を含めた一般公募を呼びかけて広く磁性工学に関する研究成果を議論できる特別研究会を年1回行っている。

本年度は電気通信研究所での通常研究会を3回，岩手大学工学部を会場とする特別研究会を1回開催した。通常研究会は以下の通りである。①高密度ストレージ関連（第60回）として，大容量ドライブテクノロジーと今後の高密度化の鍵を握る記録ビットの熱磁気緩和現象と磁気ヘッド磁界の高周波化について集中した討議を行った。②強磁気科学（第61回）では生体磁気分野からの強磁界暴露の影響並びに歯科分野における高エネルギー積磁石の応用，さらには新機能材料創製への試みが講演され，幅広い質疑が行われた。③マイクロ磁気デバイスとマイクロマシン関連（第63回）では，磁気マイクロマシン，ＧＨｚ帯高周波磁性材料，マイクロＥＭＣ，マイクロパワーデバイス，マイクロセンサなどの各分野から，14に及ぶ最先端の研究発表を集めた。いずれの研究会でも先端分野での講演に対して活発な討議が行われた。特別研究会は，投稿数35件で平成11年11月4日と5日の2日間で開催された。

本年度は，主査に杉田教授，幹事に村岡助教授と家名田助手，企画幹事に松木教授，山口助教授，荘司助教授，北上助教授，の役員体制で運営した。

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11年度は２名の講師をお招きし，以下の研究会を開催した。

平成12年３月13日：「融合研次世代光基盤研究グループの研究紹介～光記録への近接場光の応用」（桑原正史，通産省工業技術院産業技術融合領域研究所・研究官）
平成12年３月29日：「有機・無機ハイブリッドシステムの新しい展開」（三谷忠興，北陸先端科学技術大学院大学・教授）

ブレインコンピューティング研究会

１．会の目的

情報化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た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。

本研究会では，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，しきい値理論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。

２．1999年度の活動概要

平成12年3月17日に東北大学電気通信研究所において，東京大学大学院総合文化研究科・金子邦彦氏を招いて「複雑系生命プロジェクト」について講演，討論会が行われた。内容は，現在の分子生物学の発展は華々しく，生命は非常によくできた機械であり，その要素過程や部品を解明することで機械全体（生命そのもの）が理解できるはずだという暗黙の了解があるようにみられる。このような「組み合わせ機械論」だけで生物は理解できるのか？この問題に対して，生命現象においてはむしろダイナミックな変化と相互作用が本質的であると考え，そこから現われる部分と全体の相補的な関係の理解を目指して複雑系生命科学の理論的枠組みを新たに形成するために，理論・実験・シミュレーションを用いてのアプローチの方法が述べられ，活発な議論が行われた。

超伝導工学研究会

本研究会は、超伝導の工学応用に関して材料，デバイス，プロセス技術など幅広い分野にわたる最新の研究に関する討論と研究開発動向の調査を通して超伝導応用の推進に資することを目的にしている。平成11年度は計4回の研究会・講演会を開催した。研究会の開催日時，場所，講演件数及び講演者は以下のとおりである。

第32回　平成11年度7月29日（木）東北大学電気通信研究所2号館4階大会議室　5件
道上　修（岩手大・工），向田昌志（山形大・工），小森和範（金材技研），内藤方夫（NTT基礎研），吉田　隆（名古屋大）

第33回　平成11月4日（木）東北大学電気通信研究所2号館4階大会議室　1件
Prof. Alex I. Braginski（東北大学未来科学技術共同研究センター・客員教授）

第34回　平成11月24日（水）東北大学電気通信研究所2号館4階大会議室　3件
蔡兆申（日本電気基礎研究所新機能素子研究部・主管研究員）
白樫淳一（秋田県立大学システム科学技術学部・助教授）
Yuri Latyshev（東北大学電気通信研究所・助教授）

第35回　平成12年1月24日（月）東北大学電気通信研究所2号館4階大会議室　1件
Hu-Jong Lee（韓国，ポハン科学技術大学物理学部・教授）

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論議することを目的としている。平成11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21回　平成11年5月20日　「非磁性半導体のスピン物性－スピン緩和を中心として－」　武藤俊一（北海道大学工学研究科）

第22回　平成11年6月23日　「Minibands and Wannier-Stark ladders in superlattices studied by infrared spectroscopy」Manfred Helm（University of Linz,Austria）

第23回　平成11年7月19日　「希薄磁性半導体$Cd_{1-x}Mn_xTe$の自己組織化ドット」　黒田眞司（筑波大学物質工学系），「Lateral and Vertical Ordering in Quantum Dot Superlattices」　Gunther Bauer（ヨハネス・ケプラー大学リンツ、オーストリア），「希薄磁性半導体量子ドットと量子細線の磁気光学特性」　岡　泰夫（東北大学科学計測研究所）

第24回　平成11年11月10日　「Quantum Dots and Hybrid Structures of Ⅱ－Ⅵ Compounds」　Jacek Kossut（Polish Academy of Science ,Warsaw,Poland）

第25回　平成11年11月25日　「選択WCVD法による薄層SOIのメタライゼーション」石井　仁（NTT通信エネルギー研究所低エネルギーエレクトロニクス研究部），「シリコン単電子デバイス」　高橋庸夫（NTT物性科学基礎研究所先端デバイス研究部）

工学研究会

ニューパラダイムコンピューティング（NPC）研究会

主査　亀山　充隆　　幹事　青木　孝文

本研究会は，従来の延長上にない新しいパラダイムに基づくコンピューティングシステムに関する研究を推進することを目的としており，平成11年度は以下の4回を開催した。

第18回　平成11年4月24日（土）　東北大学工学部 青葉記念会館　研究発表　12件
亀山充隆（東北大学），田所嘉昭（豊橋技術科学大学），小林孝次（(株) 山武），川又政征（東北大学），鹿股昭雄（仙台電波工業高等専門学校），川人祥二（豊橋技術科学大学），藤岡与周（八戸工業大学），弓仲康史（群馬大学），張山昌論（東北大学），阿部正英（東北大学），平塚眞彦（東北大学），本間尚文（東北大学）

第19回　平成11年6月20日（日）　沖縄県青年会館　研究発表9件
亀山充隆（東北大学），山田親稔（琉球大学），原田倫子（琉球大学），島袋勝彦（琉球大学），瑞慶覧長定（琉球大学），藤岡与周（八戸工業大学），川又政征（東北大学），羽生貴弘（東北大学），青木孝文（東北大学），樋口龍雄（東北大学）

第20回　平成11年11月27日（土）　静岡大学 電子工学研究所　研究発表9件
亀山充隆（東北大学），Qiangfu Zhao（会津大学），川人祥二（静岡大学），岩田 靖（株式会社 デージーエス・コンピュータ），斎藤　努（豊田工業高等専門学校），田所 嘉昭（豊橋技術科学大学），川又政征（東北大学），春日　健（福島工業高等専門学校），鹿股昭雄（仙台電波工業高等専門学校）

第21回　平成12年1月17日（月）　東北大学工学部 電気情報館　特別講演 1 件
演　題：「言語コンピューティング　――新しいコンピューティングパラダイム」
講演者：向殿　政男（明治大学理工学部）

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平成7年度から発足した研究会である。本年度は主査中村僖良教授，幹事金井 浩助教授，長 康雄助教授のもとで，6回の研究会と1回の講演会が開かれた。各回の内容は以下のとおりである。

第21回は，ZnO/Y-X $LiNbO_3$構造におけるSH型弾性表面波と光波のコリニア相互作用，ナノメータ分解能を有する走査型非線形誘電率顕微鏡，入出力に圧電縦効果を用いた圧電トランスとACアダプタへの応用，バルク超音波パルスを用いた音速・減衰測定における回折の影響の研究発表があった。

第22回は，超音波により計測した頸動脈壁の運動速度波形解析による局所脈波伝搬速度の算出，直線集束ビーム超音波顕微鏡による光導波型デバイス作製プロセスの評価，直線集束ビーム超音波顕微鏡による SAWデバイス用$LiNbO_3$, $LiTaO_3$単結晶基板の評価・選別，高分解能走査型電子線誘電率顕微鏡，$KNbO_3$単結晶のバルク波に対する電気機械結合係数，ECR-MBE法による$LiTaO_3$回転Yカット上へのZnO圧電薄膜の成長の研究発表があった。

第23回は，音響工学研究会と合同で，大規模言語データベースからの言語モデルの自動獲得，ISODATA法を用いたNOAA衛星画像の雲域認識，事務機における音質評価手法の開発と音質改善事例，超音波ドップラー法による地下き裂透水性の影像化，拍動にともなう動脈壁厚の微小変化の超音波による計測におけるS/Nの改善法，血管内超音波による血管壁弾性特性の評価のための管壁の拍動に伴う微小厚み変化の計測，直線集束ビーム超音波顕微鏡による圧電材料の弾性関連物理定数決定法，圧電体中に形成した温度勾配による圧電定数の傾斜化の研究発表があった。

第24回は，走査型非線形誘電率顕微鏡像の出現機構の解明と定量計測への応用，走査型非線形誘電率顕微鏡を用いたZnO圧電薄膜の面方位決定，走査型非線形誘電率顕微鏡によるナノサイズ分極ドメイン像とAFMによるトポグラフィの同時観測，$LiTaO_3$(012)上にエピタキシャル成長した (110)ZnO膜の極性判別とSH-SAW特性，超音波マイクロスペクトロスコピーによる溶融石英ガラスの均質性の評価，平面超音波の反射特性を用いた表面粗さの評価，超音波パルスを用いた複素反射係数測定法による水の横波音響特性の測定の研究発表があった。

第25回は，音響工学研究会と合同で，3次元ヒストグラムを用いたNOAA画像からの海氷の抽出に関する研究，発話順序に頑健な音声対話システム，動脈脈波伝搬速度の非侵襲的計測のための動脈壁運動波形の解析，直線集束ビーム超音波顕微鏡によるプロトン交換$LiTaO_3$における漏洩弾性表面波速度分散特性と層状構造モデルの研究発表があった。

第26回は，動脈壁に加わる応力の非侵襲的推定を目指した動脈壁振動の計測と解析，$LiNbO_3$結晶の分極反転層を用いた超音波トランスデューサの特性解析の研究発表と，山梨大学工学部 中川恭彦教授による「あ! 弾性表面波でこんなこともできる」の講演会があった。

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。

情報・数物研究会

情報・数物研究会は，情報科学の問題やスピン系の統計物理学的研究と超伝導やメソスコピック系の問題の物性理論的研究に関して，広く学内外で活躍している研究者を講師として招き，最近の研究成果や話題についての講演会を開催し，学問の交流を図ることを目的としている。

本年度は，工学部管理棟316号室において計13回の講演会を開催した。学外から招いた講師および講演題目は次の通りである。別役 廣氏（茨城大 工学部）“3次元異方的ＸＹ模型の相図”，樺島 祥介氏（東工大 院 総合理工学研究科）“誤り訂正符号の統計力学”，武田 暁氏（東大・東北大名誉教授）“記憶と意識の物理学”，D. Rainer氏（ドイツ・バイロイト大）“The Core of a Pancake Vortex”，宮島 佐介氏（中部大 工学部）“複雑系に関するオムニバス的話題－政治の力学，名前の分布，高額所得者の分布など－”，岡田 真人氏（科学技術振興事業団・川人学習動態脳プロジェクト）“視覚系は緩和計算を用いているか? －モデルと心理実験による検証－”，坂井 徹氏（姫路工大 理学部）“一次元反強磁性体の磁化過程に見られる量子効果”，吉岡 英生氏（名古屋大 院 理学研究科）“カーボンナノチューブにおける電子相関”。

また学内からは次の諸氏にご講演いただいた。樋口 秀男氏（工学研究科）“タンパク質１分子科学”，田中 和之氏（情報科学研究科）“確率コンピューティングと画像処理”，新関 駒二郎氏（理学研究科）“準周期系（含準結晶）の構造と電子状態”。さらに平成12年3月28日には，大阪大学大学院理学研究科の松川 宏氏を招き，“摩擦の科学”というテーマで通研講演会を開催した。

インテリジェントマルチメディア電子システム・デバイス研究会

本研究会は，自然界との柔軟なインターフェイス，高速情報通信ネットワークとの超高速インターフェイスを装備したA/V・通信融合形インテリジェントマルチメディア情報処理電子システムの実現を目指し，金属基板SOI，4端子デバイス，バイナリ多値融合演算処理等の新しい原理に基づくデバイス・回路およびシステム技術，ソフトウェア技術，通信技術分野を網羅した研究討論会を開催することにより，各分野の研究者の英知を結集することを目的として1998年度に発足した研究会である。

2年目となる1999年度は，知的情報処理システム研究の第一線でご活躍の，理化学研究所の甘利 俊一 先生をお招きし，研究会を兼ねた講演会を開催した。講演では，独立成分解析(Independent Component Analysis, ICA)に関して，その考え方，理論的基礎，応用，さらに最近の画像への応用とスパースな情報表現について，わかりやすく御講演頂いた。講演終了後，聴講者を交え，将来の脳型知的情報処理技術の展望について活発な議論が行われた。

日　　時：平成12年3月8日（水）　13:00～15:30
会　　場：東北大学電気通信研究所2号館4階大会議室
講演題目：『独立成分解析――多次元信号の新しい分解法』
講 演 者：甘利 俊一　理化学研究所　脳科学総合研究センター
　　『脳を創る』領域、脳型情報システム研究グループディレクタ

6.4　通研講演会

FDTD法の研究動向

東京農工大教授　宇野　亨

FDTD(Finite Difference Time Domain)法は1966年，K.S.Yeeによって電磁界解析に初めて応用されて以来，計算機の発達に伴って急速に発展してきた。FDTD法を理解するのには必ずしも専門的な知識を必要とせず，しかもモデリングが非常に簡単であるため，いままでに電磁界の散乱問題ばかりではなく，アンテナや平面回路，光導波路など数多くの複雑な問題に適用されてきたが，その傾向は近年急速に加速し，毎年多くの研究成果が報告されている。したがってFDTD法はモーメント法と同様に，いまやアンテナや電磁界解析にたずさわる技術者なら誰でも知っておくべき基本計算ツールの一つとなった感がある。このような事情から，FDTD法の概要と最近の技術動向について講演した。

マルチモーダルインタフェースによるヒューマノイドロボットとの会話

早稲田大学教授　小林　哲則

ヒューマノイドロボット（人間型ロボット）を用いた音声会話研究についての講演があった。会話は，音声認識結果に合成音で答えれば実現できるというような単純なものではなく，視覚による状況判断や，身体表現による例示や対話調整などを含む総合的な行為である。小林教授らは，この会話という複雑な行為の本質に迫るために，ヒューマノイドロボットを用いた研究を行ってきた。WABOT(1973)，WABOT-2(1985)に代表される第1世代の対話ロボットは，単にロボットに対する指令を音声によって伝えることを目的としたが，Hadaly(1995)，Hadaly2(1997)，WABIAN(1997)などの第2世代においては，円滑な対話を進めるための，身体表現と言語表現の協調について検討が行われた。

現在のロボットROBITAは，第3世代にあたり，実空間での身体表現の活用法についてより深い検討を進めながら，グループ会話を実現する手法について検討が進められている。

本講演では，VTRなどもまじえながらこれらのロボットの概要を紹介し，ヒューマノイドロボットを用いた音声会話研究の動向についての解説があった。

通研講演会

ビックプロジェクトと哲学の道

中央大学　飯吉　厚夫

21世紀を目前にして，今まで一直線に走り続けてきた高度科学・技術，特にその先頭を走ってきたビッグプロジェクトにも足踏の状態が見られるようになってきた。これを機に，明治期に京都再興をかけて行われた我が国初のビッグプロジェクトである琵琶湖疎水事業を振り返り，今後のあり方を議論しようとの趣旨で紹介された。なお，疎水に沿って銀閣寺まで続く「哲学の道」にちなんで表題がつけられた。

この疎水事業は，明治２年の東京遷都以来，火の消えかけていた京都を再興しようと，時の京都府知事北垣国道が「百年の計」として決断実行したものである。特筆すべき点は，この事業を京都市民全体の力で行うべきと考え，府知事自ら市民を説得して総工費の半分を市民の負担としたことである。計画段階から市民参加という発想は，まさに21世紀を先取りしたものであり，地方自治，自立の精神に繋がり，これからの日本再生に必要な気概と21世紀のビッグプロジェクトのあるべき姿の原型であると紹介された。

電気接点の放電に伴う放射・誘導雑音

熊本大学工学部数理情報システム工学科　内村　圭一先生

平成11年12月15日に東北大学工学部電気・情報館において，熊本大学工学部教授の内村 圭一先生を講師に招いて，標記講演会が行われた。電気・電子機器は，高性能化と低電力動作の傾向，及び筐体のプラスチック化により，放射ノイズの影響を受けやすくなっている。同時に，機器内でリレーなどの電気接点が電力，自動制御，情報伝達用に広範囲に使用されるようになり，電気接点の放電に伴う電磁雑音の発生を制御する技術が必要とされている。内村先生は，かなり早くから，電気接点からの誘導・放射ノイズについて放電モードとの関係に着目され，特に，間欠放電の条件の範囲において，この問題の実験的研究に取り組まれてきた。

この日の講演では，ＥＭＣ技術に関連する幅広い分野全般の解説に始まり，とくに電気接点の放電モードと放射ノイズの分類，各カテゴリーごとの特徴などの研究成果を紹介していただき，本学の同分野の研究者と熱心な討論が行われ，電磁ノイズ制御に関するＥＭＩ研究の基礎から応用までを学ぶ貴重な機会であった。

距離変換によるモルフォロジ演算の高速化について

名古屋大学大学院工学研究科　教授　平田　富夫氏

平成11年11月24日に開催された標記講演会の概要は次の通りである。

２値画像のモルフォロジ演算はフィルタを用いた処理で、フィルタのサイズの各部分領域において同一の変換を施す。この演算として黒画素のかたまりの周辺を白画素に変換する細め化処理やその逆の肥大化処理、その組み合わせによる輪郭線抽出処理などがある。このようなモルフォロジ演算は、定義通りの処理をすると、画像のサイズがn×nでフィルタのサイズが$r\times r$の場合$O(n^2r^2)$時間かかる。本講演では、この演算の実現に距離変換を用いると$O(n^2)$時間でできることが紹介され、さらに、ユークリッド距離やマンハッタン距離などの各種距離に適用可能な距離変換アルゴリズムが紹介された。特に、ユークリッド距離に関する距離変換アルゴリズムについて計算幾何学のアルゴリズムに基づく新しい効率的手法が提案紹介された。さらに、画像処理で現れる多くのフィルタについて距離変換を用いて統一的にモルフォロジ演算ができることが紹介された。

Robust Stabilization of the Vibrating Rotor under Harmonic Excitation

台湾国立高雄科学技術学院助教授　鄭　良安

平成12年2月22日に開催した標記講演会の概要はつぎの通りである。

調和(正弦波)励振を受ける多変数機械振動系のロバスト・安定性/制御に関する研究は応用上重要であり，現在までに様々な手法が提案されてきた。本研究では，この問題に対する新しい制御系設計法として，周波数依存の重み行列を用いてLQG制御系を構成することを提案する。正弦波外乱に対するロバスト外乱除去を達成するためには，2次形式評価関数の制御対象出力に対する周波数依存の重み係数として，外乱と同一のモードを含むものを用いる必要があることを指摘する。この設計法は重み係数に対応する動的システムと制御対象との合成系に対して，LQG理論を適用することで容易に実行できる。

提案した設計法を用いて4自由度の柔軟回転系(2入力2出力系)に対する制御系設計を行い，その有効性を計算機シミュレーションにより確認している。

超格子界面電子系からの電界電子放射

東京大学生産技術研究所　岡野　達雄

ＨＥＭＴ（高移動度トランジスタ）を用いて電子源を製作する試みについて講演した。ＨＥＭＴ構造を用いる目的は，エネルギーが単色でコヒーレンシイの高い電子源を開発するためである。講演では主に，ＨＥＭＴ構造の製作方法及び電子源構造とするための加工方法，特に（110）面での劈開方法とその治具等について述べた。現時点では，ネイティブ酸化膜の影響が大きく電子放射は得られていない。同じ構造において光伝導による高速スイッチ機構も期待できることも報告した。

軟Ｘ線発光分光による半導体の電子構造の研究

東京大学物性研究所　　辛　埴

軟Ｘ線発光分光は，高輝度・エネルギー可変の放射光を必要条件とする分光実験の一つであり，光電子分光法のような電子を介した分光法に対して「表面に敏感ではない」という特徴を持っている。この特徴を利用すると，固体内部の電子構造についての情報を得ることが出来る。この分光法を用いて半導体や遷移金属・希土類金属の化合物・酸化物の電子状態，特に界面の電子状態が調べられ，新しい知見が次々と明らかになっている。講演では，フォトンファクトリーに設置されている軟X線発光分光装置の現状と，4f軌道と配位子との混成の強い絶縁体CeO_2についての実験結果が紹介された。他の分光手段では解明できなかった4f電子の振る舞いが明らかになったことが紹介された。また，半導体の電子構造の研究結果についても紹介された。

ミリ波フォトニック計測技術とその応用

日本電信電話株式会社　通信エネルギー研究所　永妻　忠夫

光とミリ波は同じ電磁波でありながら，従来その取扱いは大きく異なり，両技術は比較的独立した形で発展を遂げてきた。光ファイバーによる有線通信技術と，移動体通信を始めとする無線通信技術がその代表例である。ここで両者の周波数に着目してみると，光技術がPHzから100THzくらいまでの周波数帯をカバーする一方，ミリ波技術は産業応用レベルで数10GHz帯にまで手が届くようになってきた。すなわち，両者の間にある数10GHz～数10THzの領域が，21世紀を目前に，我々人類にとって貴重な周波数資源として残されていることになる。これまでこの領域は，遠赤外～ミリ・サブミリ波帯と呼ばれ，電波天文やプラズマ診断，分光学の分野における計測ニーズがメインであったが，近年の光およびミリ波技術の成熟と相まって，新しい応用展開が萌芽しつつある。

特に，この未知の周波数帯を開拓するためのアプローチとして，光技術とミリ波技術を有機的に融合した技術に大きな関心が寄せられており，ミリ波フォトニクス，テラフォトニクスなどと総称されている。本講演では，光技術とミリ波技術との融合から生まれる，新しい計測技術に関しての最近の進展が紹介され，キーとなる技術と実際の応用例，さらに実用化のための課題や将来の動向などについて解説された。

スピニクス材料と新機能スピニクスデバイス

豊橋技術科学大学　井上　光輝

磁気デバイスの小型・軽量化を目指して，マイクロ磁気デバイスと呼ばれるデバイスが注目されており，デバイスの設計・プロセスはもとより，その構成材料にも新たな機能をもつ磁性材料（スピニクス材料）が研究されている。本講演では，機能性スピニクス薄膜材料の開発とマイクロ磁気デバイスへの応用についての多くのトピックスの中から，(イ)磁気弾性結合を利用したアクチュエータ，信号処理素子，センサなどの高感度高性能化，(ロ)高周波電流の表皮効果を利用して種々の物理量センシングを行う高周波キャリア型信号キャリアセンサのうちから，光をキャリアに用いて小型化・省電力，光集積回路一体化による新しいマイクロ磁気デバイスの可能性，(ハ)室温で強磁性と強誘電性が共存するアモルファス酸化物薄膜による容量型マイクロ湿度センサや電子バンドギャップ制御型磁性フォトニック結晶，(ニ)ヘテロエピタキシー型磁性半導体素子などについて述べられた。

融合研次世代光基盤研究グループの研究紹介 ～光記録への近接場光の応用

工業技術院産業技術融合領域研究所
研究員　桑原　正史

光の回折限界からくる光記録密度の上限を克服する新しい技術として，近接場光を用いた光記録が注目されている。しかし，近接場光学顕微鏡で一般に使用されるプローブによって記録を行う従来型の方式では，低速，走査面積が狭い，耐衝撃性が低いなどの実用上の問題があった。講演者らは，表面プラズモンによる近接場光の増強効果に着目し，光散乱型スーパーレンズと呼ばれる新しい方式を考案した。この方式では酸化銀膜を再生層として使用し，レーザービームによって化学分解した微小な銀の光散乱体が発生する近接場光によって記録層に記録したマークが再生される。この方式による記録再生のキャリア信号対雑音比は，従来の透過型よりも10dB近い高い値が得られることが示された。講演ではさらに，スーパーレンズを用いたフォトリソグラフィによる微細加工技術の開発についても紹介がなされた。

通研講演会

ニオブ系単一電子トランジスタ

秋田県立大学システム科学技術学部　助教授　白樫　淳一

日時：11月24日（水）16:00～17:00
会場：東北大学電気通信研究所，2号館大会議室

単一電子トランジスタ(SET)の室温動作を実現するには，従来の電子線リソグラフィー技術を超える新しい極微細加工技術が必要とされていた。本講演では，金属／絶縁体系極微小トンネル接合の作製手法として提案されている走査型プローブ顕微鏡(SPM)を用いた数十nm級の超微細酸化技術(SPM酸化法)をNb超薄膜に適用したNb系SETの作製が紹介された。SPM酸化法と組み合わせて用いる事で更にその微細化限界を超える事が可能な新しい熱酸化法の開発によって，Nb系SETに於いて良好な室温動作特性が得られたこと，また，室温動作特性とオーソドックス理論とのフィッティングにより導出された接合パラメータをもとに容量結合型SETインバータの特性解析を行った結果，安定動作にはバックグラウンド電荷の影響が重要であることなどが報告された。

言語コンピューティング
―― 新しいコンピューティングパラダイム

明治大学理工学部情報科学科　向殿　政男

従来の厳密な数学を用いたシステムのモデル化に対して，ファジィ理論を用いてシステムを言葉で近似的に表現する言語モデリングの研究が行われている。これと同様に，大量の数値データを簡単な言葉で表現したり，数値間の関係を言葉を用いた簡単な幾つかのルールで表現することも可能である。ここでは数値のみでなく，画像や音楽までも簡単な言葉で表現することを試みる言語化理論の提案をまず行う。

次に，各種のマルチメディア情報を言語レベルで統一的に表現し，そこで情報の融合，変換，推論等を行おうとする言語コンピューティングの概念を提案する。これにより，これまでにない，新しいコンピューティングパラダイムを提案しようとするものである。

摩擦の科学

大阪大学大学院理学研究科　松川　宏

平成12年3月28日に，大阪大学大学院理学研究科 松川 宏氏を講師として迎え，「摩擦の科学」という題目で通研講演会を開催した。松川氏は，摩擦という日常ありふれた現象が，数理物理学的なモデルを用いてどのようにして理解できるか，という問題について研究を進め，成果を上げられておられる。当日のご講演では，高校生でも習う静止摩擦や動摩擦といった基礎的な現象が，現代物理の観点からは十分説明できていないこと，特に静止摩擦から動摩擦への移り変わりの領域では，stick-slip運動やcreep現象といった，より複雑な現象が起こっている可能性があるという，最近のこの分野での発展を，豊富な実験事実を交えながら紹介された。さらに後半では，数理的なモデルによる摩擦のシミュレーションの最新の結果，また量子論における摩擦についてもご紹介いただいた。当日は院生の参加も多く，活発な質疑応答がなされた。

「独立成分解析—多次元信号の新しい分解法」

理化学研究所脳科学総合研究センター　甘利　俊一

画像信号は典型的な超多次元の信号である。多次元または多変量信号を分解する手法は，主成分分析，ウェーブレット変換など，これまでにも多く研究されてきた。独立成分解析 (Independent Component Analysis,ICA)は，新しく開発された多変量信号の分解の手法と見ることができる。

独立成分解析は，独立の信号源からの信号が混合したものを分解して元の信号を復元する手法として提案され，ニューラルネットのような学習機能を持つものとして注目された。その理論的基礎には，情報幾何が有用であり，数学的にも興味ある課題である。最近はその手法が脳データの解析や画像信号の分解に用いられ，世界中で活発に研究が進められている。その考え方，理論的基礎，応用，さらに最近の画像への応用とスパースな情報表現について，わかりやすく論じた。

第 7 章　　評価と課題

7.1　運営協議会報告

第10回東北大学電気通信研究所運営協議会（平成11年７月30日）

出席者：植之原道行（委員長）　NECリサーチインスティチュートInc.会長
古濱　洋治（委　員）　郵政省通信総合研究所長
廣田　榮治（委　員）　総合研究大学院大学長
池上　英雄（委　員）　核融合科学研究所名誉教授
山田　敏之（委　員）　学校法人ソニー学園理事
佐藤　　繁（委　員）　東北大学大学院理学研究科長
四ツ柳隆夫（委　員）　東北大学大学院工学研究科長
国分　　振（委　員）　東北大学大学院情報科学研究科長
藤森　啓安（委　員）　東北大学金属材料研究所長
根元　義章（委　員）　東北大学大型計算機センター長
佐藤　徳芳（委　員）　東北大学大学院工学研究科教授

陪席者：沢田　康次　東北大学電気通信研究所長
川上彰二郎　東北大学電気通信研究所教授（評議員）
室田　淳一　東北大学電気通信研究所教授（実験施設長代理）
舛岡富士雄　東北大学電気通信研究所教授（総務委員長）
白鳥　則郎　東北大学電気通信研究所教授（予算・環境委員長）
中村　慶久　東北大学電気通信研究所教授（部門主任）
荒井　賢一　東北大学電気通信研究所教授（部門主任）
伊藤　弘昌　東北大学電気通信研究所教授（部門主任代理）

主たる議事内容

１．研究所の運営等について

(1)　研究所全般について

資料２により教授の充足率，資料３，４，５により予算の状況について説明。

(2)　共同プロジェクト研究について

資料６，７により共同プロジェクト研究について説明後，次のような質問があった。

・外国人研究者を研究所で雇用する仕組み，人件費の予算と決算の大きな違いなどについて。

(3)　研究紹介

資料に基づき，「３次元フォトニック結晶研究」の最近の進展について説明後，次のような質問や意見があった。

・フォトニック回路が集積回路技術的な関係で，今後大きく発展する可能性を示唆している。
X線まで光の領域を拡大していけるような構造ができると大変なことになる。

・波長はＸ線の波長程度まで縮めないと加工技術との関係である程度限界がくるのではないか。
・３次元にすると波長に余り拘束されず，いわゆるサブハーモニック的な関係でパラメトリックにコントロールする回路ができるのではないか。
・短い波長の光に対し，このような特殊な構造をとったとき，電気的な性質に何らかの影響を及ぼし得るものなのか，このような全然違った角度なり，構造から見直すと何かひょとする面白いことが出るのではないか。

２．独立行政法人化への対応について

(1) 国立大学の独立行政法人化について，(2) 東北大学の対応について，(3) 全国研究所群の対応について，(4) 電気通信研究所の対応について，それぞれ資料に基づき説明後，引き続き，本学における研究所のあり方，電気通信研究所の状況，各部門の状況等の説明があり，その後次のような意見や指摘があった。

・電気通信研究所は大学院との関係を考えたときに先取りして非常にうまくいっている例ではないか。しかし，外向けの全国共同利用研としての顔を見たとき，どの様な特徴があって，そこから通研固有の研究者プラス外部研究者を入れた研究成果が出ているのか見えにくい。
・共同利用研究所の存在意義は立派な機械を並べて多くの人に来ていただく，決してそういうものであってはならない。研究のピークを作る，つまり多くの研究者が集まり，優れた研究の場をエンジョイする，一緒に優れた研究をすることが共同利用研の精神ではないか。
・国研側から教官を期限付きで派遣する場合，迎える大学側は短期に受け入れるシステムがない。急に立ち上がった分野では実績がなく，論文数だけで評価されると非常に困る。大学に優秀な研究者を３から５年の期限付きで派遣する場合，バリアを少し下げて流動しやすくして欲しい。
・一般論として，大学の方が世の中の早い動きに対しテンポが遅れがちであり，企業の一番動きの激しい中で研究活動，技術開発活動している人たちが世の中の動きを大学に持ち込み，一方で大学のたゆまざる研究活動を企業の中に持ち込むことが交流を盛んにし，流動性を高めるのではないか。
・任期制は良い点と悪い点があり，任期制で動ける人は非常に優秀な人で，悪い人だけが後に残って動けなくなるというのが任期制の問題点である。
・研究支援職員の問題は非常に大切で，科学技術基本計画の中にも唱われている。支援職員の中身がかなり雑多なものを考えており，議論がリファインされていない。一番大変なのは大学での技官の人達で，数字だけが先生一人に一人とか唱っていても何もならない。基本的な考え方を詰めて議論することが不可欠である。研究支援職員の問題は大学だけの問題ではなく，民間企業でも全く同じ問題を抱えている。高等工業学校の優秀な人材を採れた時代は良かったが，民間の研究所でも技能職の数はどんどん減ってきた。この対策として，技能者だけの技能サービス会社を作り，派遣によって対応している。大学の技官問題では，全く新しい分野の場合，大学や国立研究所が新しい技能者を育てられる体制を是非確立して欲しい。

3．その他

資料16の活動報告から資料22のトピックスまで簡単に説明後，引き続き電気通信研究所の研究組織体制について，次のような意見や指摘があった。

・大学，特に工学系研究所としては社会のニーズに先生方が接しないと本当の連携がうまくいかない。
どの様な問題を科学技術的，工学的に世の中が必要としているかの認識をある程度組織的に検索することも研究の一つの重要な部分ではないか。
目がそちらの方に向いていかないとアメリカの大学と産業との関係のような状況が日本では生まれにくい。

・企業の研究所には基礎的な問題が山積みされている。基礎研究の課題を抽出してやりたいけど，横に置いて先に走らざるを得ないと言う問題がある。その辺を大学が基礎的な問題を自分の意図で抽出して研究することが企業にとっても非常に必要である。

・企業側にも大学の基礎研究を十分に咀嚼出来るだけの人材を育ててなかった。
同時に大学側にも基礎的な研究成果を判ることばで産業側に説明するだけの努力をしてこなかった。その辺をもう少し近づけたらいいのではないか。

・大学側から見て，研究を企業と一緒にやってみようと大学側から積極的に働きかけるケースがどのくらいあるのか。

・大学対企業の関係は企業の中の研究所対事業部と同じように捉えられるのではないか。大学側が研究成果のマーケティングを企業に対して行い。同時に，企業側は何かいいネタをもっているのではないかと大学に行く。このような状況がもっと頻繁に行われ，もっと大学の研究成果が企業に流れて行く。更に，企業が本当に必要としている基礎研究を大学で受け持ってもらう。このような交流が従来以上に本格的に行われるとますます良い方向になって行く。

・一時的に企業から大学に行って，また企業に戻ることを想定している場合，給与の差額を企業が負担することは可能だ。しかし，国家公務員になってしまうといろいろと制約があるのではないか。何れ変わると思うが。

以上

第11回東北大学電気通信研究所運営協議会（平成12年３月10日）

出席者：植之原道行（委員長）　多摩大学名誉教授
古濱　洋治（委　員）　宇宙開発事業団理事
廣田　榮治（委　員）　総合研究大学院大学長
池上　徹彦（委　員）　会津大学副学長
甘利　俊一（委　員）　理化学研究所脳科学総合研究センター　チームディレクター
山田　敏之（委　員）　学校法人ソニー学園副理事長
佐藤　　繁（委　員）　東北大学大学院理学研究科長
四ツ柳隆夫（委　員）　東北大学大学院工学研究科長
国分　　振（委　員）　東北大学大学院情報科学研究科長
藤森　啓安（委　員）　東北大学金属材料研究所長
田中　通義（委　員）　東北大学科学計測研究所長
根元　義章（委　員）　東北大学大型計算機センター長

陪席者：沢田　康次　東北大学電気通信研究所長
舛岡富士雄　東北大学電気通信研究所教授（総務委員長）
白鳥　則郎　東北大学電気通信研究所教授（予算・環境委員長）
荒井　賢一　東北大学電気通信研究所教授（部門主任）
横尾　邦義　東北大学電気通信研究所教授（部門主任）
矢野　雅文　東北大学電気通信研究所教授（部門主任代理）
坪内　和夫　東北大学電気通信研究所教授

主たる議事内容

１．研究所の運営等について

(1)　研究所全般について

本研究所の組織運営上，研究組織の柔軟化，人事交流の促進，他研究機関との交流促進の３点の重要性を述べた後，資料２，資料３により，①将来構想について，②フロンティア研究分野について，③建物の透明化について，④部門制の強化について，⑤片平祭について，⑥21世紀企画について説明。

引き続き，(2)　実験施設の現状について，(3)　共同プロジェクト研究について，資料４により説明の後，次のような質問や意見があった。

・21世紀に向けて情報通信がどうあるべきか，科学技術と社会の接点というのはこれからクローズアップしてくる。その辺の目標がないとやたら技術革新ばかりしてもだめで，通研はどの様なイメージでどの様なビジョンを持っているか。
・今までフィジカルな電気通信という立場で行ってきた東北大学も，コミュニケーションというビジョンに立って，もう一度次の世代を考える。そういう意味でルネッサンスという言葉を使っていると思うが，そういうことを検討すべきでないだろうか。
・フロンティア研究分野は大変すばらしい試みで，非常に興味を持って伺っ

た。人材交流で民間企業あるいは私立大学の先生がこのポストに応募したときに，７年とか５年の期間だけそのポジションに着くことは大学では問題がないのか。

・フロンティア研究分野というものは何かきらきら輝くようなところにしたい。二つあって，一つは研究のトピックスが非常に新しいとか革新的であるとか。誰が見ても面白いアイデアの研究テーマをやる人を人選する。もう一つは任期が付いている分メリットがあるべきで，研究費がよその倍とか，給料が５割り増しとか。今は難しいが，将来はそのような形なってこれが回っていくといい。

・ハイリスクハイリターンで当たれば非常に大きなインパクトがある。それも教授に係るインパクトが大きいと思う。最大限７年と決まっているとその中で最大限の結果を出そうとする。そのとき一緒にやりたい仲間を選考できるシステムがあったらいい。

・21世紀の企画では，人文社会系の人も組み込み，東北大学の総合大学としての立場から発信できれば，このテーマどおりのものになるのではないか。

２．国立大学及び附置研究所のあり方について

資料５から資料10により説明の後，大学における研究所の果たすべき教育役割，大学院博士課程の社会的ニーズなどについて次のような質問や意見があった。

・多くの国で，博士課程の学生は国が学費を全部負担しているところさえあるのに，日本はそのような投資もしていない。
東北大学工学研究科の場合，１人の教授が毎年１人のドクターを排出している。
20年に１人の後継者がいればいいのに，95％までが後継者ではないことは，その教育戦略が当然変わらねばならないのが工学研究科の状況である。

３．研究部門の将来構想と現状について

ブレインコンピューティング研究部門，物性機能デバイス研究部門，コヒーレントウェーブ工学研究部門の将来構想と現状について，それぞれ説明。

４．概算要求について

本研究所が目指す研究開発の産官学連携国際拠点センターとしての「21世紀情報通信研究センター」設置について，当面の研究開発テーマであるグローバルネットワーク技術，マルチモーダルバーチャルリアリティ技術，未来型ワイヤレス通信技術，超低消費エネルギー通信技術，超大容量ストレージシステムの５プロジェクトの具体的内容を説明。

５．研究紹介

「ＳＳ－ＣＤＭＡフレキシブルワイヤレスネットワーク」のテーマについて，いつでも，どこでも文字や音声などを同時に好きなときに得ること出来ることを研究開発の第一歩として進めていることなど，詳細に説明の後，次のような質問や意見があった。

・情報通信研究センターはＲ＆ＤのＤの方に重点を置いて，企業からのコントリビューションも含めてやってきたと言うことだが，超大容量ストレージは100ギガビット/スケアインチを考えているようだが，もっと先まで考えると，もっと基礎に遡ったＲの領域も相当やらないと太刀打ちできないのではないか。
・未来型ワイヤレスコミュニケーションは，世界的にはキャリアを中心にした，言ってみればコンソーシアムの草刈り場になっている分野である。Ｄの方は動向を見ずにやっても余り意味がないかも知れないので，ＲとＤとの関連とか，何を目指すのかというのをもう少し鮮明にすべきである。
IT-2000との関係で，ワイドバンドのＳＳ－ＣＤＭＡは非常に興味の対象で，どうなるかと言うことが今，非常にホットな話題になっているが，そういったこととタイアップして今の研究を進めるのか。
・研究組合等で建物を造る場合，長期的に考えて建物を造るべきで，プロジェクトが変わるたびに次のプロジェクトが引き継ぐようなシステムを考えないと，民間企業はとても支えきれないと言っている。
研究組合のプロジェクトに大学院学生を参画させ，組合から学生に報酬を支払うことで，学生にもプラスになる。先生が一緒に研究するのがまずいならばリモートコントロールすればいい。そのような動きが今どんどん具体化しつつあり，大変いいことである。
・大学や大学の研究所はまた大変な時期を迎えるが，東北大学，特に電気通信研究所は先取りしてどんどん意欲的なことをやっていると思う。決して恐れるに足らないので，もっと進めて欲しい。
本当に改革するときは痛みを伴うと思う，先を見ながら改革を進めていく，それを大胆に，今は非常にうまくいっていると思う。そうすると，独法化なんかはもう災い転じて福となすではないけれど，本当に鬼に金棒の組織が出来るのではないか，そういう方向に是非進んで欲しい。
・改革して先に進まないとアメリカにいいようにやられてしまう。1980年代，日本の製造業が大変な力を持っていたころ，アメリカが大変な危機感を持って戦略的に日本潰しにかかった。何をやれば本当にいいのかという基本的なことを考えて，いいと思ったら大胆にやって欲しい。

以上

7.2　現在の課題

昨年学術審議会などから明確な形で大学附置研究所に問われた存在意義に対して本研究所教授会・運営協議会さらには所長が昨年度会長を努めた文部省所轄ならびに国立大学附置研究所長会議などで鋭意その答えを出す議論をおこなってきた。

大学附置研究所はそれぞれの設置目的が異なることにより，その運営形態・大学院との関係も異なってくる。また，研究所は最先端の研究を行うために常に学際的側面を強く持っている。このために研究所の評価項目は研究所が自ら提案することが最も適切であると考えられる。このことが本年４月１日からスタートした大学評価機関などで認められるかはひとえに我々の努力に掛かっている。

電気通信研究所はIT世紀を大学附置研究所の立場でリードすることが社会から期待されているが，そのことの評価基準を具体的に設定しなければならない。また全国共同利用研究所としての評価基準は何かを示さなければならない。

その上で，その評価基準を実現するための研究組織，人事のあり方を構築しなければならない。この意識のもとにこの１年間に実現したことを列挙すると

１）３研究部門にそれぞれ教授・助教授・助手からなる一つのフロンティア研究分野を新設し，教授任期７年，助教授５＋２年，助手５＋２年の法令による任期を付して研究組織の柔軟化・人事の流動性の促進・他研究機関との交流促進をおこなうこととした。

２）21世紀情報通信研究センターを新設し，グローバルネットワーク技術・未来型ワイヤレス通信技術・超大容量ストレージシステムなど５年ごとのプロジェクト研究を産学連携で実施することにした。

３）研究室・教授室の透明化を実施し研究室間の壁をハード面からできるだけ低くし研究所内部の研究交流を促進することを図った。

このような新しい組織・制度・試みの成否は，今後の我々の努力に掛かっている。そのためにも上記の評価基準を所員全員が常に考え明確化していくことが必要である。

所長

資　料　編

第１章　予算の概要

本研究所の予算の概要

（千円単位）

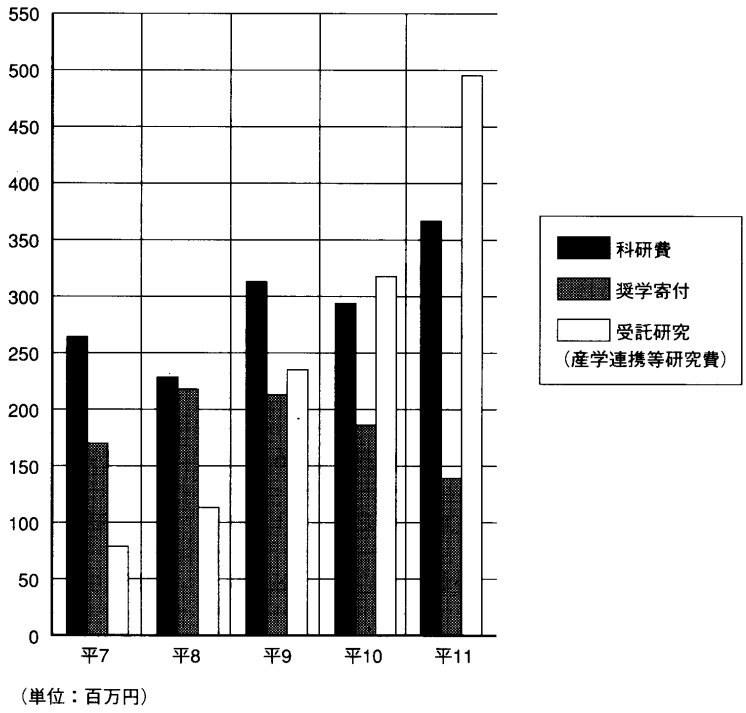
項目＼年度	平成７年度	平成８年度	平成９年度	平成10年度	平成11年度
人　件　費	856,794	912,365	976,085	1,011,275	996,968
物　件　費	2,162,356	600,691	588,666	598,407	595,420
科　研　費	260,300	228,100	309,650	292,000	371,825
奨学寄付金	171,130	215,882	212,258	187,473	138,281
受託研究費	81,549	110,384	233,626	317,814	496,175
共同利用研究施設運営費	46,317	48,869	49,512	48,975	46,017
その他経費	99,085	16,693	21,928	213,220	186,559
計	3,677,531	2,132,984	2,391,725	2,669,164	2,831,245

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11年度について大まかに分析すると，物件費約6.0億円の中1.9億円が実験施設の維持費，２億円が光熱水道料及び事務経費を含む共通経費，1.1億円が営繕費，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１億円であった。

研究部門に配分された校費（１億円）に，科学研究費3.7億円，奨学寄付金1.4億円，及び受託研究費5億円を加えた総額11.1億円が直接の研究経費として研究部門で使用された。直接研究経費に占める校費の割合は昨年度と今年度ではそれぞれ11％と9％である。平成10年度の直接研究費総額は９億円で，本年度は約23％増加したことになる。この増分は科学技術基本法に基づく大型プロジェクトに負うところが大きい。

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り，研究所の活動の活性度を反映すると考えられる。下に示した過去５年間のグラフに見えるように，これら３種目の予算は奨学寄付金を除き継続的に増加の傾向にある。特に平成９～11年度の受託研究の大幅な伸びは提案公募型受託研究の増加によるところが大であり，本研究所の全国共同利用研究所としての活性度が増していることの証であると考えられる。



（単位：百万円）

1.1 科学研究費補助金

研究種目	代表者	平成11年度交付金額	補助金総額（千円）	研究課題	採択年度
特定領域研究(A)	大野　英男	12,000	29,700	スピン制御による半導体超構造の新展開	平9
	大野　英男	35,500	168,500	スピン制御された半導体超構造の電子物性と応用	平9
	庭野　道夫	1,700	1,700	赤外反射分光法による半導体電極ー溶液界面反応機構の研究	平11
特定領域研究(B)	谷内　哲夫	18,700	50,600	非線形光学効果を用いたコヒーレントテラヘルツ波センシングの研究	平11
	室田　淳一	52,200	138,800	人工Ⅳ族半導体極微細構造を用いた超高速光・電子デバイスの開発	平11
基盤研究(A)一般	益　一哉	3,700	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	平8
	横尾　邦義	3,300	27,900	共鳴トンネル電子源の放射電子のエネルギー計測に関する研究	平9
	舛岡富士雄	7,100	39,600	電気的解析手法と構造的解析手法の融合によるシリコン酸化膜の破壊機構に関する研究	平10
	庭野　道夫	25,200	36,400	多重内部反射赤外分光による半導体表面水素反応ダイナミクスの研究	平11
	坪内　和夫	19,400	38,700	RF/アナログ/デジタル混在グローバルインテグレーション技術の研究	平11
	中村　慶久	35,000	41,000	柔軟なスピンクラスター配列からなる超高密度磁気記録メディアの研究	平11
展開	中村　慶久	3,400	32,300	垂直ハード磁気ディスク装置を用いる超大容量ストレージシステムの研究	平9
	水野　皓司	9,200	23,100	ミリ波帯イメージング技術の研究開発	平10
	大野　英男	18,100	27,100	InAs/GaSb を用いた量子カスケード型遠赤外～テラヘルツ帯発光素子	平11
	伊藤　弘昌	18,000	35,200	次世代レーザー津波計測ネットワークシステムの開発研究	平11
基盤研究(B)一般	末光　真希	800	14,100	Si 上水素の表面化学とエピタキシー制御	平9
	中島　康治	3,500	13,400	ニューロベースダイナミックメモリーの構成的研究	平9
	白鳥　則郎	1,600	11,300	エージェント指向に基づくやわらかいネットワークの研究	平9
	川上彰二郎	2,700	5,900	3次元サブミクロン構造フォトニック結晶の実験的理論的研究	平10
	大野　英男	5,400	13,700	分子線エピタキシにおける化合物半導体の成長過程と成長層の特性	平10
	谷内　哲夫	5,000	16,100	フォトンミキシングによるデジタルイメージ変換の研究	平10
	伊藤　弘昌	6,200	14,100	周波数チャープ光を用いた相関領域分光法の研究	平10
	佐藤　信之	1,500	6,600	仕事関数制御による平面トンネル陰極の高輝度化に関する研究	平10
	佐野　雅己	8,200	15,100	散逸大自由度系の実験（非線形ダイナミクスとゆらぎの観点から）	平11
	室田　淳一	2,800	7,600	高集積通信システム制作のためのSiGe系MOS-HBT技術の開発	平11
	山下　努	10,100	13,700	テラヘルツ帯超伝導高速・高分解能計測システム	平11

研究種目	代表者	平成11年度交付金額	補助金総額（千円）	研究課題	採択年度
基盤研究(B)一般	花泉　修	10,500	15,600	自己クローニングによる3次元フォトニック結晶の作製	平11
展開	長　康雄	900	12,460	高分解能走査型非線形誘電率顕微鏡の開発とその強誘電体記録への展開	平9
	舛岡富士雄	900	12,100	集積回路に用いられるナノメータ・スケールMOSトランジスタの研究	平9
	白鳥　則郎	3,200	9,400	共感覚メタファーのモデル化と分散システムユーザインターフェースへの応用	平9
	遠藤　哲郎	5,800	12,700	3次元MOSデバイスを用いた超高性能3次元集積回路に関する研究	平10
	庭野　道夫	2,200	12,100	Siウェーハ表面汚染インライン赤外診断装置の開発研究	平10
	小田川裕之	9,500	13,800	$KNbO_3$圧電薄膜の作製と次世代移動体通信用弾性表面波デバイスの研究	平11
基盤研究(C)一般	長　康雄	900	3,400	走査型電子線誘電率顕微鏡	平10
	鈴木　陽一	1,400	3,200	3次元音空間の動的知覚過程の解明	平10
	大野　裕三	2,600	3,600	磁性・非磁性半導体ヘテロ構造の作製と半導体スピンデバイスへの応用	平11
	嶋脇　秀隆	2,500	3,300	半導体電界放射陰極を用いた変調電子放射に関する基礎的研究	平11
萌芽的研究	木下　哲男	500	2,000	知的エージェントを用いた仮想的活動空間に関する基礎的研究	平9
	室田　淳一	1,200	2,100	Si-Ge系エピタキシャル成長による超高濃度不純物半導体の形成とその物性	平11
奨励研究(A)	坂本　謙二	500	2,400	偏光紫外光照射によるポリイミド膜の表面異方性の制御	平10
	石山　和志	900	2,100	マイクロアクチュエータ用磁石薄膜の開発	平10
	小田川裕之	400	2,500	$KNbO_3$単結晶を用いた次世代移動体通信用広帯域低損失SAWフィルタ	平10
	大寺　康夫	1,000	2,100	液晶を用いた多機能平面光回路の研究	平10
	早川　吉弘	800	1,900	創作的な思考過程を実現する基礎的モデル・計算原理に関する研究	平10
	松倉　文礼	1,300	2,200	高温で磁気転移する半導体の創製	平11
	中村孝一郎	1,900	2,400	高感度分光システム用高速変調光パラメトリック発振器の研究	平11
	荒木　実	1,100	2,200	プラズマ計測用4THz帯ショットキ・バリア・ダイオードの開発	平11
	佐藤　茂雄	1,400	2,100	単電子トンネリング現象を利用した集積化神経回路に関する基礎的研究	平11
	佐藤　尚	1,500	2,300	平面光導波路に多並列集積化した光非相反デバイスの研究	平11
	浜野　哲子	1,100	2,100	紫外線硬化樹脂を応用したサブミリ波帯回路素子の開発に関する研究	平11
	山田　洋	1,100	2,100	垂直磁化方式による超高面密度ハード磁気ディスクシステムの研究	平11
	菅沼　拓夫	800	1,700	利用者と環境に適応する自己組織型ビデオ会議支援環境に関する研究	平11
特別研究員奨励費	渡辺　健	900	1,800	Ⅳ族半導体原子層超格子構造の形成とその応用に関する研究	平10
	築舘　厳和	900	1,800	シリコンガスソースMBEにおけるドーピング機構と原子オーダ制御	平11
	岸本　修也	900	1,800	二重量子井戸構造を用いた低次元電子系間のトンネル現象に関する研究	平11

研究種目	代表者	平成11年度交付金額	補助金総額（千円）	研究課題	採択年度
特別研究員奨励費	山本　裕司	900	1,800	金属薄膜の原子層成長制御とその応用に関する研究	平11
	川嶋　貴之	800	1,600	フォトニック結晶の作製とその応用に関する研究	平11
	伊藤　真	800	1,700	新皮質ー海馬における記憶システムの研究	平11
	島宗　洋介	900	2,700	Ⅳ族半導体への原子層ドーピングと超格子デバイスに関する研究	平11

研究種目	分担者	平成11年度交付金額	補助金総額（千円）	研究課題	採択年度
基盤研究(A)（2）	鈴木　陽一	2,700	11,400	高次臨場感通信のための３次元音空間の知覚過程と制御手法の研究	平10
基盤研究(C)	鈴木　陽一	2,500	3,600	難聴耳の音声認知における聴覚，視覚入力の相互作用とその可逆性に関する研究	平11
基盤研究(B)	鈴木　陽一	3,900	5,400	仮想音源（バーチャルリアリティー）技術を利用した聴覚機能検査システムの開発	平11
特定領域(1)	坪内和夫	3,950	23,350	単電子デバイスの創出とその回路・アーキテクチャの検討	平８
特定領域研究(A)(1)	室田淳一	1,320	7,120	Ⅳ族半導体極微細構造形成プロセスに関する研究	平８

1.2　1999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)
日本学術振興会	大野　英男	非平衡表面層の原子スケールダイナミクスと新物質の創生	76,065
新エネルギー・産業技術総合開発機構	伊藤　弘昌	室内低消費電力無線通信ターゲット用レーザーレーダシステムの開発	8,950
通信・放送機構	川上彰二郎	3次元フォトニック結晶とその回路技術の研究	15,500
通信・放送機構	伊藤　弘昌	光波と未開拓電磁波の超高速変換・制御の研究	9,800
通信・放送機構	室田　淳一	超高速無線通信用SiベースⅣ族半導体極微細デバイスに関する研究	26,600
医薬品副作用被害経済・研究振興調査機構	荒井　賢一	生体内で自律動作可能な医用インテリジェント磁気マイクロ・ロボット開発のための総合的基礎研究	47,268
日本電信電話㈱NTT	室田　淳一	Si-Ge系表面構造の原子レベル制御の研究	1,500
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	6,000
科学技術振興事業団	山下　　努	銅酸化物超伝導体単結晶を用いる超高速電子集積デバイス	4,000
㈱インテリジェント・コスモス研究機構	伊藤　弘昌	フォトニクスセンシングに関するコンソーシアム研究（DAST単結晶の高品質とミリ波センシ）	6,337
技術研究組合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	8,001
技術研究組合超先端電子技術開発機構	杉田　　愃	超高感度磁気ヘッド用磁性薄膜の基礎研究	4,011
科学技術庁	川上彰二郎	３次元フォトニック結晶の作製，解析法，デバイス展開の総合研究に関する研究	63,280
日本学術振興会	中村　慶久	超大容量高速垂直ストレージシステムの研究	119,293
日本学術振興会	白鳥　則郎	動的ネットワーキング	70,906
㈱インテリジェント・コスモス研究機構	荒井　賢一	超高密度情報ストレージコンポーネント	1,260
中小企業総合事業	石山　和志	磁気トルクにより屈曲する能動多機能内視鏡とその操作システムの研究開発	2,000
科学技術振興事業団	大野　英男	酸化亜鉛薄膜ショットキーダイオード	3,000
秋田県高度技術研究所	中村　慶久	電子計算機を利用した高密度磁気記録機構の解明及びその解析手法の応用	3,000
㈳電波産業会	横尾　邦義	ミリ波－サブミリ波帯電磁波源の高性能化に関する研究	4,000
栢森情報科学振興財団	早川　美徳	鳥の歌を学習し生成するシステムの研究	600

機関名	研究分担者	受託研究事項	受託金額(千円)
（未来開拓）電気通	長　康雄	新圧電単結晶・薄膜材料の探索と次世代高度情報システム用高機能弾性波デバイスの研究	10,000
（未来開拓）電気通	坪内　和夫	新圧電単結晶・薄膜材料の探索と次世代高度情報システム用高機能弾性波デバイスの研究	15,500
科学技術庁	花泉　修	フォトニック結晶デバイス作製技術とデバイス機能に関する研究	729
地域コンソーシアム研究開発制度	荒井　賢一	圧電セラミックと磁歪薄膜を複合化したアクチュエータの開発	4,229
中小企業創造基盤技術研究事業	石山　和志	磁気トルクにより屈曲する能動多機能内視鏡とその操作システムの研究開発	2,000
日本学術振興会	室田　淳一	次世代ULSI用薄膜材料とナノスケールプロセスインテグレーション	31,500
日本学術振興会	坪内　和夫	新圧電単結晶・薄膜材料の探索と次世代高度情報システム用高機能弾性波デバイスの研究	15,500
日本学術振興会	坪内　和夫	次世代ULSI用薄膜材料とナノスケールプロセスインテグレーション	1,500
日本学術振興会	長　康雄	新圧電単結晶・薄膜材料の探索と次世代高度情報システム用高機能弾性波デバイスの研究	10,000
日本学術振興会	白鳥　則郎	ホロニック光通信網に関する基礎的研究	1,000
日本学術振興会	室田　淳一	非平衡表面層の原子スケールダイナミクスと新物質の創生	42,468

1.3　COE関連研究経費（1999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	６０，２４２	
研究高度化推進経費	１９，２０４	
非常勤研究員経費	２３，３４１	６名分
外国人研究員経費	１７，６９７	３名分
先導的研究設備経費	0	

1.4　奨学寄付金の受け入れ

アオイ電子株式会社
㈶青葉工学振興会
㈱アドバンテスト
沖電気工業㈱
㈶小笠原科学技術振興財団
花王㈱加工・プロセス開発研究所
㈶カシオ科学振興財団
光電製作所
シャープ㈱生産技術開発推進本部
シャープ株式会社
情報ストレージ研究推進機構
新日本製鉄株式会社　技術開発本部鉄鋼研究所
㈶住友財団
大興電子通信株式会社
大宏電機株式会社
TDK株式会社
TDK株式会社開発研究所
株式会社　テラック
中央精機株式会社
㈶電気通信工学振興
㈶電気通信普及財団
㈱トーキン
東芝　セミコンダクター社
東芝　光・磁気ストレージ開発センター
東芝研究開発センター
戸田工業㈱創造本部
株式会社東北テクノブレインズ
日本板硝子材料工学助成㈶
日本鋼管株式会社　総合材料技術研究所
日本電気㈱　光・超高周波デバイス研究所
日本電気株式会社
日本電気株式会社デバイス評価技術研究所
日本電気㈱　C＆Cメディア研究所
東日本電信電話㈱
㈱ハーモニック・ドライブ・システム
日立金属㈱磁性材料研究所
㈱日立製作所システム開発研究所
日立製作所ストレージシステム事業部
日立造船㈱
日立電子株式会社
日立電線㈱オプトロシステム研究所
日立電線㈱
日立マクセル株式会社
株式会社富士通研究所
富士通東北ディジタル・テクノロジ
本田技術研究所　和光基礎技術研究センター
松下技研株式会社
松下電器産業㈱マルチメディア開発センター
三菱化学㈱横浜総合研究所
三菱電線工業㈱
三菱電機㈱情報技術総合研究所
三菱電機株式会社先端技術総合研究所
三菱電線工業㈱総合研究所
㈶村田学術振興財団
村田製作所㈱

計　　１０８件　　１３８,２８０,７２０円

第2章　研究活動状況

2.1　国際活動

区　　分		1995年度	1996年度	1997年度	1998年度	1999年度	合　計
国際的研究集会・学会等での招待者数		27	34	33	44	59	197
国際共同研究の実施状況（件数）		12	7	16	17	30	82
外国人研究者の来訪状況（人数）	1か月以上滞在	6	8	9	11	7	41
	1週間以上1か月未満	11	6	20	8	19	64
外国人研究員の受入状況（人数）		8	9	9	4	8	38

2.2　発表論文数

区　　分	1995年度	1996年度	1997年度	1998年度	1999年度	合　計
掲載された論文数						
学会誌	119	139	148	175	197	778
国際会議議事録等	92	91	155	140	202	680

2.3　外国の大学等との学術交流部局間協定締結一覧

代表者	協定校		協定締結	研究課題	協定の主な内容
	国名	研究機関名	年月日		
教授 津屋　昇 (荒井賢一教授)	ポーランド	ポーランド 科学アカデミー	1976.8.3	磁性体における磁性弾性結合に関する研究	教官等の交流 共同研究の実施 研究指導 刊行物の交換
教授 沢田康次	アメリカ 合衆国	シカゴ大学 ジェームス・フランク研究所	1987.4.27	カオスと乱流	教官等の交流 共同研究の実施 刊行物の交換
教授 曽根敏夫	タイ	チュラロンコン大学 理学部	1987.4.28	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	教官等の交流 共同研究の実施 刊行物の交換
教授 白鳥則郎	中国	ハルピン工業大学 計算機科学工程系	1987.6.15	計算機ネットワーク構築に関する研究	教官等の交流 共同研究の実施 刊行物の交換
教授 水野皓司	イギリス (文部省と英国科学工学研究会議との学術交流企画に参加)	ロンドン大学 クイーンメアリー・ウェストフィールドカレッジ	1990.4.3	サブミリメートル波の測定に関する研究	教官等の交流 共同研究の実施 学術資料の交換
教授 曽根敏夫	中国	深圳大学 科研処	1993.2.8	音響通信に関する騒音の研究	教官等の交流 共同研究の実施 刊行物の交換
教授 白鳥則郎	韓国	成均館大学 情報通信技術研究所	1995.9.13	ユーザインタフェースとエージェントの知的化	教官等の交流 共同研究の実施 刊行物の交換
教授 山下　努	オランダ	トウェンテ大学 応用物理学部材料科学研究所	1998.1.27	超伝導材料と電子素子に関する研究	教官等の交流 共同研究の実施 刊行物の交換 学部学生及び大学院学生等の交流
教授 山下　努	ロシア	ロシア科学アカデミー 通信電子工学研究所	1998.2.23	超伝導電子通信デバイスの研究	教官等の交流 共同研究の実施 刊行物の交換 学部学生及び大学院学生等の交流
教授 山下　努	中国	南京大学	1998.4.16	超伝導ミリ波・サブミリ波デバイスの研究	教官等の交流 共同研究の実施 刊行物の交換 学部学生及び大学院学生等の交流
教授 中島康治	韓国	大邱大学校 工科大学	1998.11.6	ニューラルネットワークと知的情報処理に関する研究	教官等の交流 共同研究の実施 刊行物の交換 学部学生及び大学院学生等の交流

2.4 COE研究員および学振特別研究員

日本学術振興会特別研究員（ＤＣ）（1999年度）

氏名	任用期間	研究内容
渡辺 健	H.10.7.1～H.12.3.31	Ⅳ族半導体原子層超格子構造の形成とその応用に関する研究
伊藤 真	H.11.1.1～H.13.3.31	新皮質ー海馬における記憶システムの研究
山本裕司	H.11.1.1～H.13.3.31	金属薄膜の原子層成長制御とその応用に関する研究
岸本修也	H.11.1.1～H.13.3.31	二重量子井戸構造を用いた低次元電子系間のトンネル現象に関する研究
築舘厳和	H.11.1.1～H.13.3.31	シリコンガスソースＭＢＥにおけるドーピング機構と原子オーダ制御
川嶋貴之	H.11.1.1～H.13.3.31	フォトニック結晶の作製とその応用に関する研究
島宗洋介	H.11.4.1～H.14.3.31	Ⅳ族半導体への原子層ドーピングと超格子デバイスに関する研究

ＣＯＥ非常勤研究員（1999年度）

氏名	任用期間	研究内容
鈴木章夫	H.11.4.1～H.12.3.31	視覚形態情報処理の研究
石芸尉	H.11.4.1～H.12.3.31	赤外伝送路の研究
中澤日出樹	H.11.4.1～H.12.3.31	SiC薄膜形成法に関する研究
大谷啓太	H.11.4.1～H.11.9.30	InAs/GaSb/AlSbヘテロ構造サブバンド間発光素子に関する研究
大谷啓太	H.11.10.1～H.12.3.31	分子線による半導体ヘテロ接合の結晶成長に関する研究
秋元一志	H.11.4.1～H.11.5.31	昆虫型歩行ロボットの自律分散システムとしての最適制御に関する研究
篁耕司	H.11.4.1～H.12.3.31	III-V 族希薄磁性半導体の結晶成長と物性に関する研究
大内則幸	H.11.6.1～H.12.3.31	ブレインコンピューティングの基礎的研究
李昌勲	H.11.10.1～H.12.3.31	超微細AL CVD 技術の研究

ＣＯＥ外国人研究員（1999年度）

氏名	任用期間	研究内容
グリーブス・サイモン・ジョン	H.11.4.1～H.12.3.31	スーパーコンピュータを用いた高分解能垂直媒体の解析
ユエン・グアン	H.11.6.12～H.12.3.31	微小電子源の高性能化に関する研究
ミトラ・ヒリシケシュ	H.11.7.4～H.12.3.31	高分能半導体デバイスに関する研究

2.5　特別研究員・大学院生の受入状況

区　　分	1995年度	1996年度	1997年度	1998年度	1999年度	合　計
特別研究員の受入状況	１１	7	5	１４	１４	５１
大学院生の受入状況	１９３	２０１	２０１	２００	１９８	９９３

第3章　論文題目

3.1　修士論文

題　　目	著　者	指導教官
電気・通信工学専攻		
ＢＳＣＣＯ固有ジョセフソン接合の高周波応答に関する研究	有賀　康浩	山下教授
多形回路を用いた予測的運動制御の研究	宇和野良亮	矢野教授
模擬外耳を用いたエコー定位のための伝達関数に関する研究	大林　幹生	矢野教授
rf励起dcSQUIDスイッチングデバイスの研究	斉藤　　桂	山下教授
発光性材料とフォトニック結晶の複合系に関する研究	斎藤　牧人	川上教授
化合物半導体とフォトニック結晶の複合系に関する研究	桜井　康樹	川上教授
無限定環境下における速度と方向を制御する６足歩行システムの研究	佐藤　　充	矢野教授
シリコンプロセスによる電界放射陰極の作製	渋谷　俊平	横尾教授
BSCCO固有ジョセフソン接合の磁束量子ダイナミックスの研究	須藤　　聡	山下教授
ＦＤＴＤ法による３次元同期構造の解析に関する研究	竹井　良彦	川上教授
電界放射陰極の電流制御に関する研究	田島　邦敏	横尾教授
パターン認識における情報表現に関する研究	鳥潟　文男	矢野教授
広帯域ジャイロトロンに関する研究	西原　　淳	横尾教授
フォトニック結晶における光線屈折効果に関する研究	廣嶋　隆憲	川上教授
光学測定を用いたナメクジ記憶中枢のダイナミクスの研究	蒔苗　久則	矢野教授
可視光域フォトニック結晶に関する研究	三浦　健太	川上教授
多層平面コイルによるＥＭＣ計測に関する研究	万木　弘之	荒井教授
高電気抵抗軟磁性膜を用いた準マイクロ波帯薄膜インダクタの研究	末沢　健吉	荒井教授
電子工学専攻		
半導体量子井戸におけるスピン緩和過程とその機構	安達　太郎	大野教授
垂直磁気記録ヘッド用磁性薄膜に関する研究	片田　裕之	杉田教授
不純物ドープⅣ族半導体のプラズマ反応制御に関する研究	金綱　俊和	室田教授

ドープした$LiNBo_3$を用いたテラヘルッパラメトリック発生の研究	狩野　健一	伊藤（弘）教授
ミリ波帯パッシブ・イメージング技術の研究	岸　　克人	水野教授
CDMA通信用ベースバンドLSIの研究	久保田耕司	坪内教授
CoCrTa垂直磁気記録媒体における記録層厚の最適化の研究	駒込　博泰	杉田教授
スペクトラム拡散通信用ハイブリッドRFモジュールの研究	小室　　敦	坪内教授
半導体電極固液界面反応に関する研究	近藤　雄介	庭野教授
スペクトラム拡散通信用SAWデバイスの研究	三枝　茂人	坪内教授
RFシリコン集積回路の研究	斎藤　哲也	坪内教授
擬似位相整合光パラメトリック光源と分光応用の研究	柴崎　浩樹	伊藤(弘)教授
リング型テラヘルツパラメトリック発振器の研究	菅原　郷史	伊藤(弘)教授
低インダクタンス薄膜単磁極ヘッドの作製法の研究	鈴木　　忍	杉田教授
3次元超高密度ＤＲＡＭを実現するStacked-SGT DRAMのプロセスに関する研究	鈴木　正彦	舛岡教授
超低消費電力を指向したＵＬＳＩ用降圧回路とその応用に関する研究	須永　和久	舛岡教授
有機非線形光学材料DASTの結晶成長制御と電界検出応用の研究	高橋　英憲	伊藤(弘)教授
$Si_{1-x}Ge_x$薄膜のプラズマエッチング制御に関する研究	竹内　　肇	室田教授
電力合成用トランジスタ・アレイに関する研究	豊田晋二郎	水野教授
Al CVD技術の研究	西村　隆正	坪内教授
光パラメトリックデバイスによる広帯域中赤外光発生の研究	畑中　孝明	伊藤(弘)教授
超高密度フラッシュメモリを実現するＳＧＴ型フラッシュメモリセルに関する研究	日置　雅和	舛岡教授
パスゲートロジックにおけるデバイス設計に関する研究	船木　寿彦	舛岡教授
周波数ｼﾌﾄ帰還型レーザーによる光ファイバーの分散測定の研究	宮本　敏行	伊藤(弘)教授
Surrounding Gate Transistor(SGT)のデバイス設計に関する研究	森　　雅朋	舛岡教授

情報基礎科学専攻

ユーザエージェントによるイベント情報獲得手法に関する研究	大沼　義孝	白鳥教授
ネットワーク動作情報の収集・管理手法に関する研究	金子　正和	白鳥教授
マルチエージェントに基づくｿﾌﾄｳｪｱ部品の協調機構に関する研究	関場　治朗	白鳥教授
WWW利用者特性を反映したディレクトリサービスに関する研究	仲澤　誠志	白鳥教授
引用関係を利用した学術論文の分類・検索方式	野口　進祐	白鳥教授
実時間アプリケーションにおけるネットワーク動作状況の解析手法に関する研究	六藤　雄一	白鳥教授
ネットワークコミュニティにおける参加者の活動支援に関する研究	矢野　　昇	白鳥教授

システム情報科学専攻

鳥の歌の神経場による表現に関する研究	鈴木　大介	沢田教授
聴覚の探索非対称性に関する基礎的研究	阿瀬見典昭	鈴木(陽)教授
量子化結合ニューラルネットワークの集積化学習回路に関する研究	片山　康弘	中島(康)教授
光ピンセットによるＤＮＡ分子の一分子計測の研究	坂巻　義彦	沢田教授
サッカード・滑動性追従機構を用いた能動撮映システムの研究	千葉　敏博	沢田教授
超大容量垂直磁気ストレージの信号処理方式の研究	中川　　健	中村(慶)教授
マルチエージェント系における強化学習に関する研究	中村　崇仁	沢田教授
液晶対流系におけるパターン遷移に関する研究	長谷川一志	沢田教授
ヒドラの再生における頭部形成の研究	松永　徹人	沢田教授
垂直磁気記録ハードディスクシステムの高密度化の研究	三浦　健司	中村(慶)教授
超伝導位相モードデータプロセッサの集積化に関する研究	柳澤　　潔	中島(康)教授
異方性を持つ粒状体の振動層における統計的性質の研究	山田　大三	沢田教授

3.2 博士論文

題目	著者	指導教官
電気・通信工学専攻		
3次元フォトニック結晶の作製とデバイス応用に関する研究	川嶋 貴之	川上教授
銅酸化物超電導単結晶の磁束量子ダイナミックスの研究	立木 隆	山下教授
Electronic Properties Due to Anisotropy in High-temperature Superconductors（高温超電導の異方性に起因する電子物性の研究）	ブゼアクリスティナ	山下教授
無方向性電磁鋼板の低損失化に関する研究	黒崎洋介(短縮)	荒井教授
ナメクジ嗅覚中枢における振動的活動による情報処理の研究	岩間明文(短縮)	矢野教授
電子工学専攻		
強磁性半導体(Ga,Mn)Asヘテロ構造に関する研究	秋葉 教充	野教授
半導体低次元電子系間のトンネル現象に関する研究	岸本 修也	大野教授
Siエピタキシーにおける水素の表面化学とホスフィンドーピング過程	築舘 厳和	舛岡教授
Research on Tunable Mid-infrared Generation Employing Nonlinear Optical Processes（非線形光学過程に基づく可変中赤外光発生の研究）	ハイダルサッシャド	伊藤(弘)教授
CVD法によるタングステンの低温選択成長に関する研究	山本 裕司	室田教授
カオス支援知的情報処理集積回路に関する研究	田中 一広	室田教授
化合物半導体中の深い電子準位の非幅射検出	福山敦彦(短縮)	舛岡教授
情報基礎科学専攻		
分散環境における情報システムの協調設計法とその応用に関する研究	片岡 信弘	白鳥教授
高速通信機構を備えた並列計算機に関する研究	岸本 光弘	白鳥教授
制御用LANにおけるリアルタイム通信方式の研究	矢部 正行	白鳥教授
システム情報科学専攻		
高密度データーストリーマー用電磁気テープの研究	小野寺誠一	中村(慶)教授
新アナログ記憶デバイスを用いた集積化連想記憶システムに関する研究	原田 知親	中島(康)教授
捕食者—被食者の動力学に関する研究	古市 望	沢田教授
リミットサイクルをアトラクタとするニューラルネットワークの基礎的性質とその実装の研究	山名 智尋	沢田教授
MEG Study of Spontaneous Electrical Activity in a Blain（MEGによる脳の自発電気活動に関する研究）	陳 志華	沢田教授

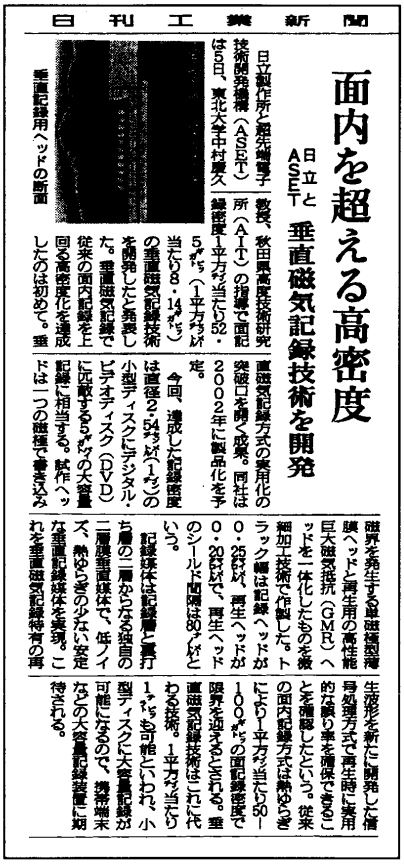
第4章　受章・受賞

賞　名　等	受賞者氏名	所属分野・部	研究課題名・功績名等
学術功労勲章 シュバリエ章（仏政府）	沢田　康次	ブレインコンピューティングシステム研究分野	
トーキン科学技術振興財団研究奨励賞	薮上　　信	スピンエレクロニクス研究分野	磁気マーカ式モーションキャプチャシステムの開発・高感度薄膜磁界センサの開発
東北電機通信管理局 情報通信月刊表彰	水野　皓司	テラヘルツ工学研究分野	ミリ波テラヘルツ帯などの新しい周波数領域の実用化に向けた研究開発
第47回電気科学技術 奨励賞（オーム技術賞）	田久　長一	応用量子光学研究分野	非線形波長変換デバイス用高品質誘電体多層膜反射鏡の研究・開発・制作
青葉工業振興会研究 奨励賞 （平成12年12月）	中村孝一郎	応用量子光学研究分野	周波数シフト帰還型レーザーの動作機構の解明と計測応用
青葉工業振興会研究 奨励賞 （平成12年3月）	中村孝一郎	応用量子光学研究分野	周波数シフト帰還型レーザー
電子情報通信学会功績賞	川上彰二郎	光集積工学研究分野	電子工学及び情報通信に関する学術または関連事業に対し特別な功労がありその功績が顕著な者に送られる
第6回応用物理学会 講演奨励賞 （1999年春季）	松浦かおり	フォノンデバイス工学研究分野	高分解能走査型非線形誘電顕微鏡によるBaTiO3単結晶ドメインの観測
第6回応用物理学会 講演奨励賞	大谷　啓太	超高速電子デバイス部	InAs/GaSb/AlsbタイプIIカスケード構造のサブバンド間エレクトロルネッセンス
第7回応用物理学会 講演奨励賞 （1999年秋季）	大野　裕三	超高速電子デバイス部	GaAs/AlGaAs(110)量子井戸中のスピン緩和
財団法人青葉工学振興会	松倉　文礼	超高速電子デバイス部	強磁性(Ga,Mn)Asの磁気輸送特性：臨海温度近傍のふるまい

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	10	8		26	44
ペンシルバニア大学	2				2
東京大学	3	3		3	9
北海道大学	1			1	2
名古屋大学	1				1
阪大	1				1
九州大学	1				1
東京工業大学		1		1	2
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
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
テクニオン・イスラエル工科大学	1				1
千葉工業大学				1	1
フランクフルトヨハンゲーテ大学				1	1
モスクワ国立大学	1				1
モスクワ物理科学研究所					1
仙台工業高校				1	1
合計	21	17	0	39	77

第5章　トピックス



日刊工業新聞

面内を超える高密度

日立とASET　垂直磁気記録技術を開発

日立製作所と超先端電子技術開発機構（ASET）は5日、東北大学中村慶久教授、秋田眞平高密度技術研究所（AIT）の指導で面記録密度1平方インチ当たり52・5ギガビット（1平方インチは約6・45平方センチ）の垂直磁気記録技術を開発したと発表した。垂直磁気記録は従来の面内記録を上回る高密度化を達成できる次世代技術。ただ、これまでは一つの磁極で書き込みと読み出しを行うヘッドの開発が難しく、実用化は困難とされていた。

今回、日立とASETは垂直磁気記録方式の実用化の突破口を開く成果。同社は2002年に製品化を予定。

今回、達成した記録密度は面積で？54ギガビット（1インチの二乗）の小型ディスクにデジタル・ビデオディスク（DVD）に記録する5インチの大容量記録に相当する。試作ヘッドは磁界を発生する単磁極型薄膜ヘッドと再生用の高性能巨大磁気抵抗（GMR）ヘッドを一体化したもの。トラック幅は記録ヘッドが0・25ミクロン、再生ヘッドが0・20ミクロンで、再生ヘッドのシールド間隔は80ナノメートルという。

記録媒体は記録層と裏打ち層の二層からなる独自の二層膜垂直媒体で、低ノイズ、熱ゆらぎの少ない安定な垂直記録媒体を実現。これを垂直磁気記録特有の再生波形を新たに開発した信号処理方式で再生時に実用上十分な大きな振り幅を確保できるようにした。

従来の面内記録方式は熱ゆらぎによる1平方インチ当たり50～100ギガビットの面記録密度で限界を迎えるとされる。垂直磁気記録技術はこれに代わる技術。1平方インチ当たり1テラビット（1兆ビット）も可能といわれ、小型ディスクに大容量記録が可能になるので、携帯用途や、ノートパソコンなどの大容量記録装置に期待される。

垂直記録用ヘッドの断面



河北新報

コンピューターの記録容量大幅アップ可能

東北生まれの「夢の技術」

垂直磁気記録方式 再び脚光

HD内蔵 新製品の起爆剤に

日刊工業新聞
2000年4月3日掲載



河北新報　2000年1月8日掲載



河北新報

◉仏から学術功労章

東北大電気通信研究所長の沢田康次教授（六一）＝写真＝情報物理学＝が二十七日までに、学術研究・教育分野で多大な貢献をしたとして、フランス政府から学術功労勲章シュバリエ章を授与された。

多くのフランス人物理学者と共同でカオス等非線形物理学の研究に取り組んだほか、パリの高等師範学校客員教授も務め、著名な物理学者を育てた。東北大では、フランスから研究者などを積極的に受け入れた。

沢田氏は「日本人の国際貢献が求められているときに、お役に立てて大変うれしい。今後も若い研究者と交流を重ね、互いに刺激し合いたい」と話している。

沢田氏は東大阪市生まれ。東大工学部卒。大阪大理学部講師などを経て昭和四十八年東北大通研教授。平成八年から所長を務めている。

河北新報　1999年4月28日掲載

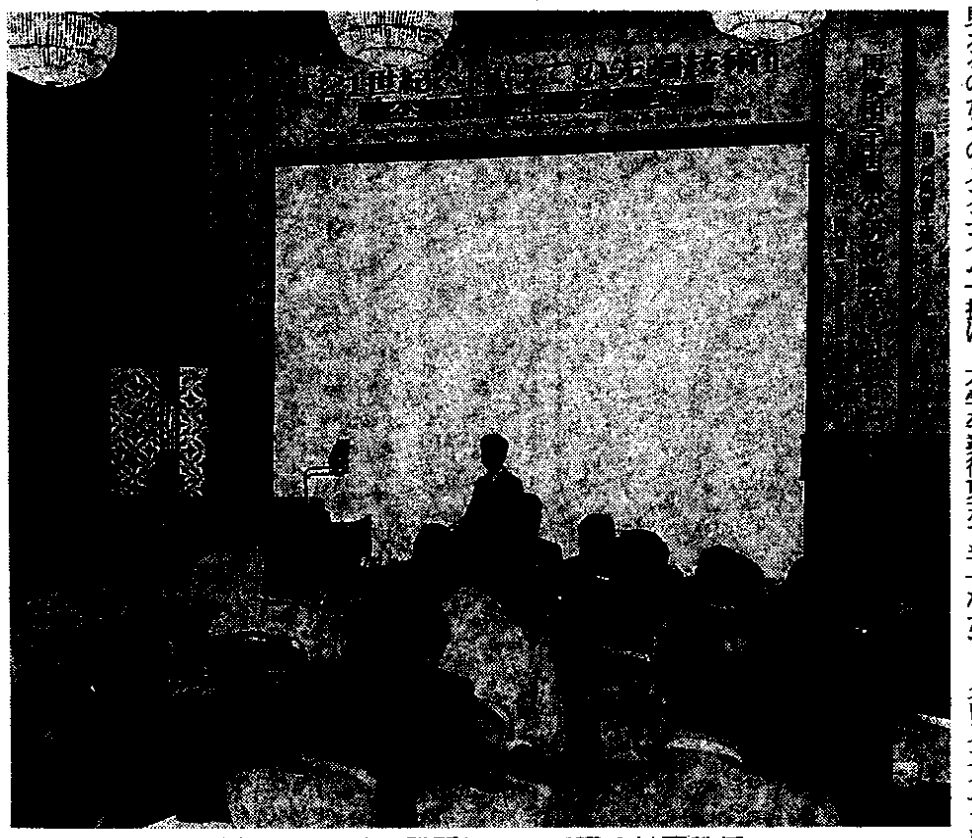
東北大學生新聞
THE TOHOKUDAI GAKUSEI SHIMBUN
1999年(平成11年) 第260号
10月20日
発行所
東北大学生新聞会
仙台中央郵便局私書箱190号
郵便番号980-8691
電話 (022) 211-1056
郵便振替口座 02290-7-20437

品質は語る・・・・
名菓 白松がモナカ本舗
仙台工場 札幌工場

21世紀の先端技術について講演

異業種間交流促す
発明体験談に会場沸く

応用物理学会公開講演会「二十一世紀へ向けての先端技術」が十月八日、仙台国際ホテルで行われた。本学科学計測研究所所長の田中通義教授が「極微の世界の観察」と題して未来型電子顕微鏡について講演、続いて本学電気通信研究所の舛岡富士雄教授が「新しいコンピューターメモリー」と題してフラッシュメモリーの開発とその将来について講演した。また、「再使用宇宙機の研究開発について」と題し、科学技術庁航空宇宙技術研究所角田宇宙推進技術研究センターセンター長宮島博氏も講演した。これは、先端科学技術を異業種間、または一般市民と一緒に考える会として続いているもので、今回、仙台での開催にあたり本学教授二名が講演した。これからの先端技術について理解を深めるとても有意義なものとなり、多くの質問も相次いで出ていた。



フラシュメモリー発明について語る舛岡教授

最初に講演した本学科学計測研究所所長の田中通義教授は、なぜ電子顕微鏡が見えるのかそのメカニズムに触れ、分かりやすく説明していた。また、本学電気通信研究所の舛岡富士雄教授は、本学卒業後東芝で半導体の技術開発を手掛け、米国の半導体製造メーカーインテル社との開発競争のなかで、クロスライセンスとなるような優れた技術開発に成功し、さらに半導体産業の第三世代の牽引車となるフラッシュメモリを発明した。フラッシュメモリは、電源を切ってもデータが消えないという不揮発性メモリで、現在携帯電話、留守番電話のテープの代わり、産業用としては、ロボット及び自動車の排ガス規制のためエンジン制御計算機などに使われている。

このような体験談を踏まえ、舛岡教授は、「フラッシュメモリは不揮発性メモリであるデバイスとしてハード・ディスク及びフロッピー・ディスクに置き換える可能性がある。そのマーケットはDRAMの数倍の大きさである」と語った。また、自身が開発した半導体が後発の東芝でなかなか売上に結びつかなかったため、自ら志願して営業に回った経験を話し、性能の良さに加えて、コストにも目を向けるようになったエピソードを紹介。これが今日のフラッシュメモリの発明につながったということを話していた。舛岡教授は、大学時代六年間西澤潤一前総長のもとで研究し、まさに恩師の独創研究を受け継いだと言え、とても明解な話で会場は盛り上がっていた。

一九九九年のフラッシュメモリの売り上げは、磁気メモリであるハードディスク及びフロッピーディスクの売り上げの一〇%を越えるといわれている。またパソコン、携帯電話、デジタル家電の好調のため、フラッシュメモリの増産に向け大幅な設備投資が起こって半導体を含む電気機械産業は、東北の製造業出荷額の三割以上を占める基幹産業のため、景気回復のきっかけとして期待が高まっている。

フラッシュメモリの発明、動作原理、特徴及び今後の展望について分かりやすくなされた。講演の後、多くの関係者、一般市民から質問が相次ぎ、関心の高さが感じられた。

東北大学生新聞　1999年10月20日掲載

超集積への挑戦
〜証言でつづるニッポン半導体50年史

垂井康夫監修

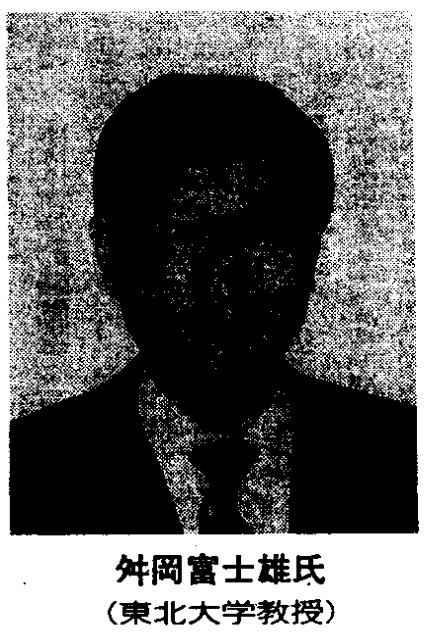
50

1997年(平成9年)

舛岡氏、フラッシュM発明でIEEEリーブマン賞

一九九七年二月、米国サンフランシスコのホテルマリオットで開かれたある授賞式の壇上で、一人の日本人が脚光を浴びていた。その賞は、エレクトロニクス業界で権威ある賞として知られるIEEEのMorris・N・Liebman Memorial Awardであり、この脚光のただ中にいた日本人技術者こそ、フラッシュメモリーの発明者として知られる舛岡富士雄氏(当時東芝、現東北大学教授)であった。

同氏が提唱したフラッシュメモリーとは、電気的に一括消去が可能な不揮発性メモリーである。当時の不揮発性メモリーは、一ビットごとの書き換えが必要な紫外線消去型のEPROMであり、その点でこのフラッシュメモリーというデバイスは、画期的な発明であった。さらに一括消去方式を採用することは、一ビット一個のトランジスターで構成できるため、専有面積で従来のEPROMの四分の一以下、コストで一〇〇分の一以下にすることも理論上可能となった。同氏は、このデバイスに対し、一括消去という機能から写真のフラッシュをイメージし、「フラッシュメモリー」と命名し、その呼び方は世界に広まることになる。



舛岡富士雄氏
(東北大学教授)

舛岡富士雄氏は一九四三年五月八日群馬県高崎市生まれ。同氏の半導体との出会いは、一九六四年までさかのぼる。この年同氏は、ニッポン半導体の歴史に大きな功績を残した東北大学の西沢教授の研究室に籍を置くことになる。ここで同氏は約七年間西沢教授の薫陶を受け、バイポーラトランジスタの研究に没頭する。その後一九七一年学位を取得すると、同氏は活躍の場を東芝に移す。入社後の配属は総合研究所で、ここで同氏はMOSメモリーの研究に着手した。

同氏がフラッシュメモリー(NOR型)を発明するのは一九八四年。三年後に最初に製品化(NOR型二五六K)されるが、すでにこの年にはNAND型も開発。当初アプリケーションは、自動車のエンジンコントロールやロボットであったが、近年の携帯情報端末の急速な拡大により、フラッシュメモリーの需要は急速な勢いで伸びており、半導体産業の牽引役の一つになっている。

このフラッシュメモリー開発について、舛岡氏自身はこう語っている。「私はこのデバイスを八五年二月にISSCCで発表した当時は、まだフラッシュメモリーという言葉は受け入れられてはいなかった。しかし現在、様々な機器にこのデバイスが使われるようになり、このフラッシュメモリーという言葉も世界共通語になった。このことは発明者として何よりの喜びだ。フラッシュメモリーは、その性能だけでなく内蔵される機器の小型化、低価格化を促進したという意味で、現在の携帯端末の爆発的な拡大に大きく貢献できたと自負している。フラッシュメモリーは、デバイス自体が持つポテンシャルはまだまだ大きく、今後も市場は伸びると思っている。この九七年のIEEEの受賞は、私の仕事に対する正当な評価として大きな励みであったと同時に、実に名誉なこととして記憶に残っている。」

この九七年のリーブマン賞受賞後も、同氏の研究開発の意欲は全く衰えることはない。現在同氏は東北大学において、人材育成に取り組む一方、フラッシュメモリーに次ぐ日本発の次世代デバイスの開発に向け研究を重ねる毎日を送っている。

半導体産業新聞　1999年11月24日掲載

日経産業新聞　1999年(平成11年)11月2(

シリコンインダストリーの未来図 ④

第5部　日本再生の担い手たち

発明生む土壌大切

研究者の情熱引き出せ

R&D衰退に歯止めを

エレクトロニクス

今月初め、独ベルリンで開かれたベルリンの壁崩壊十周年を祝う記念式典。その模様を伝えるテレビニュースを感慨深く見つめる一人の日本人発明者がいた。東西冷戦時代に終止符を打ったのは東側に自由を伝えた西側の衛星放送。その受信アンテナの本格的普及のきっかけとなる半導体を開発した富士通研究所の三村高志フェローは「ベルリンの壁を崩壊に導いた男」として知られる。

壁を崩した男

三村氏が八〇年に開発したのは高周波の微弱な電波を拾って増幅できる化合物半導体の高電子移動度トランジスタ（HEMT）。アンテナの中心部に搭載する。三村氏の発明で大幅に価格が低下、東欧でも爆発的に売れた。だが、この発明だけで満足しなかった。



舛岡 東北大教授

次の目標はIBMが独走する半導体の次世代技術「シリコンゲルマニウム」での画期的な発明だ。

シリコンゲルマニウムは一般的に使われているシリコンよりも電子の移動スピードが五倍も速く、IBMは既に高周波無線用ICとして量産を始めている。消費電力が高いバイポーラ型と呼ぶ構造で高集積化が難しい。そのすきを突いて、微細化が可能で低消費電力のMOS（金属酸化膜半導体）型の実用化に三村氏は残りの人生のすべてをかける。五十歳を超えて現役を続けるのは珍しいが今もリーンルームに入り浸る。すべてが研究者としての情熱からだ。



研究に力が入る三村高志・富士通研究所フェロー（中央）

現在、半導体市場で最大の有望製品の一つとされるフラッシュメモリー（電気的に一括消去・再書き込み可能な読み出しメモリー）。その思いがフラッシュ発明への出発点になった。

メモリー研究に携わっていた舛岡氏は自ら希望して営業部門に移ったが未経験の営業現場では実績を上げられなかった。「顧客は必要最低限の機能を求める。驚くほど安いメモリーを作ってやる」。もともと実は日本人が発明した。八四年の東芝在籍時に世界に先駆けて発表、九四年から東北大学教授に移った舛岡富士雄氏だ。

七七年、研究所でDRAM（記憶保持動作が必要な随時書き込み読み出しメモリー）などの技術を築き上げて東北大に移った。管理職としての出世ではなく、研究者として完全燃焼したいとの思いからだった。

日本への関心薄れる

半導体分野の日本の研究開発力が衰えたと言われて久しい。実際、論文の審査基準が厳しいことで知られる国際学会「ISSCC（国際固体素子回路会議）」でも発表件数が減るだけでなく、「日本の注目度がどんどん落ちている」（国内大手首脳）。原因として研究所のサラリーマン化の弊害を指摘する声が多い。

異才を駆り立てる

海外の研究者が多い民間研究機関から国内ハイテク大手の研究所長に移った技術者は最近こんな経験をした。研究所では始業時、昼休み前後、終業時と一日に四回も所内でチャイムが鳴り響く。早速、チャイムをやめさせたところ複数の研究者から抗議の声が上がった。「本当の研究者とは時間なんて気にしないものだが」と苦笑いする。

日本の半導体業界では業績悪化のたびに研究開発部門への風当たりは強まる。事業部門から「金を稼いでる国際学会」（菅原透）

ばかり言うな」と集中砲火を浴びる。基礎研究費もカットの連続。大きな成果をあげても金一封と賞状だ。天才的な技術者を育成し駆り立てる仕組みはない。

日本の復活には画期的な製品の発明が必要だ。そのためには研究者の創意や情熱を最大限に発揮させていくしかない。

富士通研の三村氏はノーベル賞受賞者を次々と輩出した旧米AT&Tベル研究所の正面玄関に掲げられたプレートの言葉をいつも思い起こす。そこには「踏みならされた道から外れて森に入れ。そこに発見がある」と刻まれているという。道から外れることを認める懐の深さがなければ常に後追いに終わる。第二、第三の「三村」「舛岡」は生まれない。

日経産業新聞　1999年11月26日掲載

日経産業新聞

シリコンで光通信分配用回路

消費電力1万分の1

送信・放送機構グループ

通信・放送機構（本部・東京）仙台リサーチセンターのシリコン集積回路研究グループは八日、光通信で送るために重ね合わせた多数の電気信号を元通りに分ける分配化装置用の集積回路をシリコン半導体を用いて試作したと発表した。毎秒五ギガ（一ギガは十億）ビット程度の高速伝送では化合物半導体が用いられているが、シリコン化によって消費電力を一万分の一程度に削減できる。既存のシリコン半導体製造設備などを生かして一貫生産できるため製造コストを引き下げられるという。

多数（多チャンネル）の電気信号を多重化装置で重ね合わせ一チャンネルにしてから光信号に変換して高速伝送する通信手法が光通信で使われている。送信側で重ねた信号を受信側で分離して元のチャンネル数に戻すのが分配化装置だ。

現在の多重化・分配化装置は、信号を多チャンネル化が難しく二種類の集積回路間でデータ転送することから消費電力が大きいなどの欠点がある。

東北大学の舛岡富士雄教授らのグループは、シリコン半導体でも高速に動作する分配化装置用の集積回路を試作することに成功した。電源電圧二ボルトで一秒あたり最高十・六ギガビットの高速で比較的遅い速度で送る場所では、シリコン半導体の集積回路を使用しているが、一チャンネルで毎秒五ギガビット程度の高速伝送をするところではガリウム・ヒ素化合物半導体の集積回路を採用している。

このため、多重化装置、分配化装置の両方でシリコンとガリヒ素タイプの二種類の集積回路が必要。一体化が難しい二種類の集積回路を一つにまとめ、シリコン集積回路は五ギガビット以上の高速信号処理は無理と考えられていたが、「十分では特殊な論理回路を使って安定に動くようにしたほか、高速動作によって生じる各トランジスタの動作しきい値のばらつきを減らすフィードバック回路も採用した。研究グループは多重化装置用にもシリコンの高速処理回路を開発する考えだ。

日経産業新聞　2000年2月9日掲載

河北新報　平成12年(2000年)2月9日(水曜日)

高性能のMOSシリコン集積回路開発

世界最高速の情報処理実現

通信・放送機構仙台リサーチセンター

光通信の変換器に使用

大幅コスト減可能に

郵政省出資の研究機関、通信・放送機構仙台リサーチセンター（仙台市、総括責任者・西澤潤一岩手県立大学長）は八日、金属酸化膜半導体（MOS）とシリコンで作った集積回路を性能アップさせ、光通信の分野で、世界最高速の情報処理をする実験に成功した、と発表した。これで光通信に必要な集積回路を減らせ、大幅な省電力、低コスト化が可能だ。技術は高速情報処理が必要なスーパーコンピューターをはじめ、携帯電話、ケーブルテレビなどにも応用でき、さまざまな分野で効率化が期待できるという。

研究成果は、米サンフランシスコで同日（現地時間七日）あった米国電気電子学会（IEEE）の国際会議でも発表された。

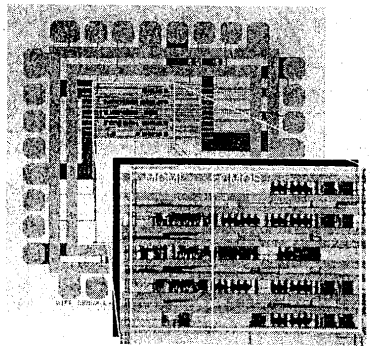
性能アップさせたMOSシリコン集積回路は、国際電話ケーブルなどに使われる光通信に必要な変換器に使った。変換器は、百万本以上の電話回線を一本の光ケーブルに束ねたり、逆に光ケーブルから電話回線に分配する。

現行の変換器は、MOSシリコン集積回路が低速信号処理しかできないため、高速情報処理用にガリウムヒ素の化合物の集積回路を併設している。二種類の集積回路間でデータを転送するため、Oが大きな電力を消費するのが欠点がある。

センターは、このMOSシリコン集積回路を、変換器の全領域の情報処理が可能なレベルにした。高速の切り替え動作を必要とする部分に、振幅の小さいロジック（論理回路）を使って、スピードアップを実現。出力部分の信号の一部を入力部分に戻すフィードバック回路を独自開発して取り付け、高速動作時の出力信号のばらつきなどを減らした。

新開発のMOSシリコン集積回路は、一秒当たり10・6ギガビット（10ギガビットは電話約十六万回線分）の高速情報処理を、世界で初めて実現した。また、化合物集積回路を併設した変換器より、消費電力を一万分の一にまで削減することができた。製造コストも、百分の一程度に押さえられるという。

開発に当たった東北大電気通信研究所の舛岡富士雄教授（固体電子工学）は「情報処理のさまざまな分野に応用でき、効率化、低コスト化を図れる」と話している。



仙台リサーチセンターが世界最高速の情報処理に成功した、MOSシリコン集積回路を組み込んだチップ。拡大部分が集積回路で、実際の長さは縦1ミリ、横2ミリ

河北新報　2000年2月9日掲載

科学技術

夢は和製ロジック





舛岡さん

▽…「このままでは米国に完全に負けてしまう」とは通信・放送機構仙台リサーチセンター（仙台市）サブリーダーの舛岡富士雄さん。舛岡さんは東北大学教授で、フラッシュメモリーの開発者。

▽…DRAMは韓国や台湾の追い上げを受けロジック開発はベル研やインテルなど米国の名だたる研究機関やメーカーに「水を開けられたまま」だ。「中ぶらりんでもがいているのが日本の現状」と分析。

▽…「いまの私の夢はFRAM（フラッシュメモリー）に続く和製ロジックを開発することです」ときっぱり。「幸い仙台には産学官連携体制や研究者はそろっている」と後は夢を目指して進むだけのようだ。（仙台）

日刊工業新聞　2000年2月18日掲載

科学新聞

光通信用の超高速回路 MOSシリコンで実現

10.6Gの高速デバイス

—TAO・仙台リサーチセンター試作—

画期的な低消費電力、低コスト

通信・放送機構（TAO）の仙台リサーチセンター（総括責任者＝西澤潤一・岩手県立大学長）のシリコン集積回路研究グループ（サブリーダー＝舛岡富士雄・東北大学電気通信研究所教授、研究フェロー＝遠藤哲郎・同助教授）はこのほど、MOSシリコン集積回路技術を用いた、十六Gbpsの DEMUXの試作に成功した。

DEMUX（DEMULTIPLEXER＝パラレル変換器、分配化装置）は、一本の回線を例えば百数十方回線に分配するデバイスであり、従来は高速のDEMUXをMOSシリコン集積回路で実現するのは困難であった。

今回の成果は、従来GaAs（ガリウム・ヒ素）のMES・FETやバイポーラトランジスターの適用領域とされてきた、光通信用十Gbpsの DEMUXを、MOSシリコン集積回路で実用可能なことを示したもので、従来より大幅な低消費電力化と低コスト化につながる画期的な成果である。

現在、光通信に使われている五Gbpsの MUX（MULTIPLEXER＝パラレル→シリアル変換器、多重化装置）やDEMUXは、化合物半導体のGaAsによるMES・FETが使われている。DEMUXは、金属半導体の積層構造をそのゲート構造とするトランジスターであり、高速性等の多くの利点により、現在では化合物集積回路において最も広く用いられている。

その理由は、従来の五Gbpsの高速信号を、従来のMOSシリコン集積回路では処理できなかったからである。

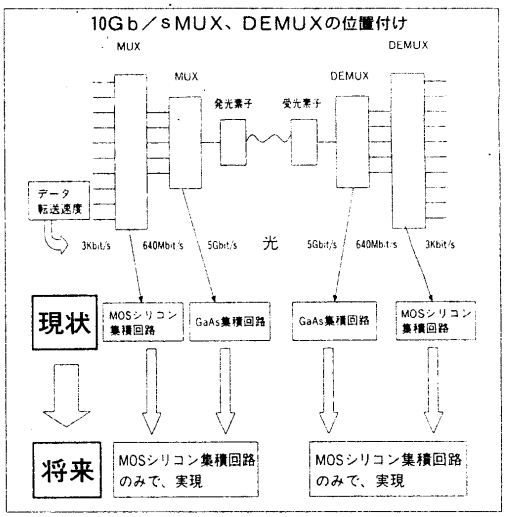
一回線の電話回線を束ねる低速領域はMOSシリコン集積回路で処理し、六百四十Mbpsから五Gbpsの高速領域をGaAsのMES・FETを用いた集積回路で処理していた。

このため、光通信を行うのに送受それぞれ二種類の集積回路チップを必要とし、二種類のチップ間にデータを転送させるため大きな消費電力を要するという問題があった。これは、一チップ内でのデータの転送と比較して、チップ間のデータ転送には一万倍以上の電力を必要とするからである。さらには、二種類のチップでは、スペースも大きくなるなどの問題があった。

実際に試作した、今回の光通信用DEMUX集積回路は、ゲート長〇・一八μmのMOSプロセス技術を用いている。これは、高速な動作を必要とする部分に、小振幅の差動ロジック（論理回路）を必要とすることで、通常のMOSロジックよりも高速な動作を達成するなど工夫した。

測定の結果、この回路は電源電圧二Vで、最高十・六Gbpsの MOSシリコン集積回路としては、最高速の性能を実現していることを確認している。

今後は、今回のMOSシリコン集積回路技術を用いて、十Gbpsの MUXの開発を行うとともに、今回の超高速回路の基盤技術を用いて、一層の高速化を進める予定。



科学新聞　2000年2月18日掲載

磁性薄膜で走行制御センサー

ITS向けに開発

大北荒教授ら

【仙台】東北大学電気通信研究所の荒井賢一教授らとトーキン、凌和電子（仙台市若林区）は高度道路交通システム（ITS）用のマイクロ磁気センサーを共同開発した。ITS関連技術では交通情報システムや自動料金収受システム（ETC）に関心が集まるが、もう一つ重要なのが自動車の走行制御技術。新型センサーは薄膜のマイクロ磁気デバイスで磁気を補足し、走行中の自動車の位置や向きなどを検出、運転の安全性確保に役立つ。

ITSの走行にかかわる技術は現在、道路に磁気ネイルと呼ぶ高性能磁石を等間隔に埋め込み磁界をセンシングしながら走行する方式がITS市場に参入を目指すメーカーや団体で検討されている。新型センサーは磁界を検知する車載センサーにあたるもの。従来、ITS関連技術では交通情報システムや自動料金収受システム（ETC）にはバルク型の磁性材料を応用したもの。磁性薄膜の使用は今回が初めて。装置化する際に小型化できるメリットがあり実用化に近い。

磁界検知の仕組みは、センサーに組み込まれた磁性薄膜にあらかじめ高周波電流を流す。道路に埋め込まれた磁気ネイルの磁気により薄膜表面の電流分布が変化。これに伴う電圧を補足する。センサーで磁界を正確にとらえて自動車の位置情報や方向、車間距離を割り出す。センサー心臓部の磁性薄膜は厚さ5ナノメートルのコバルト二オブジルコニウムに3ナノメートルのサマリウムコバルト薄膜を集積した。

また、センサーは28ミリ四方にワンチップ化。回路設計を工夫し高感度で磁気を補足できる範囲も拡大。センサーから半径2－3メートル距離で約10万分の1テスラの微小磁気をとらえることができる。

今後は実際に自動車への搭載を目指しコンパクト化や温度耐久性をポイントに実用化研究を進める。

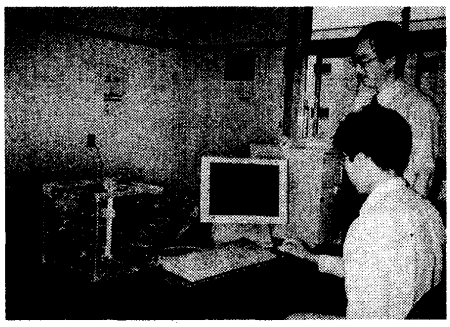
日刊工業新聞　1999年6月8日掲載

磁気式モーション キャプチャー開発

物体の動き瞬時に検出

東北大など

人体の微妙な運動解析も リハビリに応用期待



東北大電気通信研究所などが共同開発した磁気式モーションキャプチャー

【仙台】東北大学電気通信研究所の山口正洋助教授は、トーキン、凌和電子と物体の動きを簡単にリアルタイム検出できる新しい「磁気式モーションキャプチャーシステム」を共同開発した。宮城県などが最先端リハビリシステム開発のテーマで、科学技術庁から指定された産学官連携の大型プロジェクト「地域結集型共同研究事業」での成果。このシステムは人体の微妙な動きといったモーション検出も対応できるためリハビリ分野で肢体などの運動解析で実用化を目指す。

新しい磁気モーションキャプチャーの計測方法は、まずアクリル樹脂に覆われた測定空間を設定。次に人体や物体にあらかじめ磁気的なマーキングを施す。測定空間内で磁気マーキングが発生する微小磁気を小型超感度磁気センサーで補足し運動解析する。解析ソフトも開発、パソコン画面で位置や向き、方向などを簡易に可視化できる。

最先端リハビリ分野は現在FESなど電気刺激で肢体の機能回復を目指す研究が進展。磁気モーションキャプチャーは細かく速い動きまで解析できるためリハビリ分野で肢体の動きなどのリアルタイム検出法として注目が集まっている。

これまでの磁気モーションキャプチャーは測定空間全体に磁界を発生させる必要や磁気センサーそのものを体表面に直接張り付けコードで情報を取り出すなど高コストで運動自由度は大幅に制約されていた。

新システムは人体や物体などに磁気マーキングをするだけで簡単にモーション検出できる。解析のための複雑計算も必要なく検出速度も速い。リハビリ分野では患者に対する負担が軽減でき実用化の可能性が高い。実験では30㌢㍍四方の測定空間を設定。位置や向きなど測定結果と実際のモーションがほぼ一致することも確認した。

山口助教授らは30万分の1㌉レベルのごく弱い磁界をとらえる高性能磁気センサーの開発にも成功。今後はリハビリ用の新モーションシステムの実用化に向け研究を加速する。

日刊工業新聞　1999年6月10日掲載

河北新報

東北大グループ

電子スピン方向 制御電流を実現

独自の強磁性半導体を開発

量子コンピューターに道

東北大電気通信研究所の大野英男教授（半導体工学）らの研究グループは、米国カリフォルニア大サンタバーバラ校と共同で、電子のスピン（自転）の向きがそろった電流を半導体の接合面に流すことに成功した。スピンの向きを制御し、読み取ることができれば、従来のコンピューターが不得意な因数分解やデータベースの検索などを高速で可能にする「量子コンピューター」の開発につながるという。十六日発売の英国科学誌ネイチャーに掲載される。

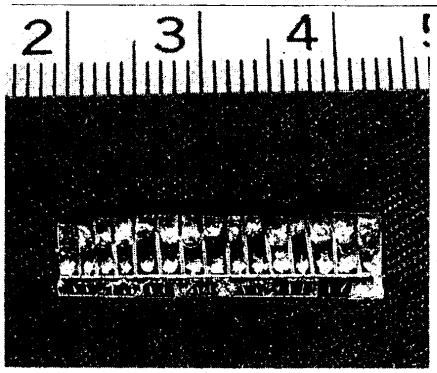


大野英男教授

大野教授らは、ガリウムとヒ素に加え、磁性体のマンガンを四・五割含む強磁性半導体を開発。通常の集積回路に使われている非磁性半導体と開発した半導体を接合させ、発光ダイオードをつくった。

強磁性半導体内の電子はスピンの向きがそろっているため、ここに電流を流すと、通常は右回り、左回りが半々となる電流内の電子や、電子が抜けた穴（正孔）の向きが、一定方向に偏るという。

大野教授らはスピンの偏りを検証するため、強磁性半導体内にある正孔と、非磁性半導体内の電子が結合する際に出す光を分析。放出された光はスピンの向きの偏りに呼応する。分析の結果、左回り由来の光成分と右回り由来の光成分の強度に偏りが見られ、スピンの偏りも確認された。



これまで非磁性半導体と金属磁石をくっつけた半導体接合に電流を通し、スピンの方向をそろえる研究が行われてきた。しかし、金属中でスピンの向きがそろっていても、金属と半導体の境界面でスピンの向きが乱されてしまっていた。

スピンの向きを情報処理や伝達、記録などに使おうと世界中の研究者が開発にしのぎを削っている。大野教授は「スピンを使った演算を実現するには多くの壁を越えなければならないが、今回の成果は小さいながらも第一歩になるはずだ」と話している。

研究進展に貢献

榊裕之・東大生産技術研究所教授（半導体エレクトロニクス）の話　今回の発見は学問的な面白さもさることながら、世界中の研究者が競い合っている電子のスピンの向きを情報として使う次世代の半導体エレクトロニクスの進展に重要な貢献を果たすはずだ。

開発された強磁性半導体を乗せた半導体基板。横一列に並ぶ黒い四角の表面に厚さ約200万分の1）の強磁性半導体が張り付いている

河北新報　1999年12月16日掲載

日経産業新聞

半導体回路に流す 電子の向きそろった スピン 東北大など 量子電算機に道

東北大学電気通信研究所と米カリフォルニア大学サンタバーバラ校の研究グループは、スピン（自転）の向きがそろった電子を半導体の回路に流す実験に世界で初めて成功した。通常の半導体と、磁石の性質を持つ特殊な半導体を組み合わせて実現した。現在のコンピューターが苦手な計算を高速処理できる「量子コンピューター」の実現につながる成果という。研究成果は十六日付の英科学誌「ネイチャー」に掲載される。

研究チームは東北大の大野英男教授らが開発したガリウム・マンガン・ヒ素という材料を利用した。金属のように磁石になる性質を備えた強磁性体で、この材料と通常のシリコンを接合して発光ダイオードを作った。

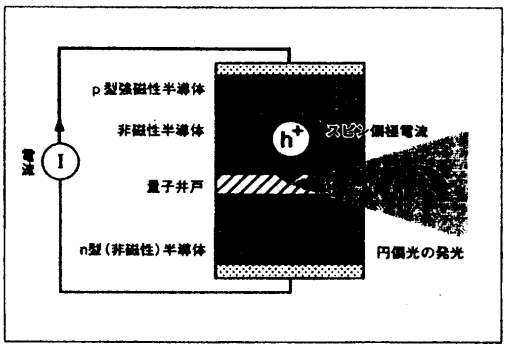
発光ダイオードから出た光の偏光度を調べ、一方向に偏っていることを確認した。偏光度はスピンの向きに応じて決まることから、発光ダイオードの中を流れる電子のスピンの向きがそろっていることを示しているという。

強磁性体である金属磁石の中では電子のスピンの向きがそろう。今回は強磁性体であるガリウム・マンガン・ヒ素の中で同様に電子のスピンがそろい、それが非磁性のシリコン半導体に乱れずに流れたとみている。

電子などのスピンの向きが制御できれば、複雑な計算を瞬時に処理する量子コンピューターの実現が可能になるとされる。スピンの向きがそろった電流を半導体に流した例は初めてだが、大野教授は「二十年ほどで量子コンピューターを実現できるかもしれない」と話している。

日経産業新聞　1999年12月16日掲載

日本工業新聞



スピンの向きがそろった電流実現

東北大、半導体接合で超高速演算

東北大学電気通信研究所の大野英男教授らと米国カリフォルニア大サンタバーバラ校の研究チームは、半導体接合にスピンの向きがそろった電流を流すことに初めて成功、この成果を十六日発売の英科学誌ネイチャーで発表する。

電子のスピンを使う計算方式は量子コンピューティングの一種で、これまでの一と〇を使う計算ではなく、それらの量子力学的な重ね合わせを使うことで超高速演算を可能にする。

スピンを計算に使うにはスピンの向きがそろった状態をつくり、スピンの向きを制御して演算、読み出しをしなければならない。しかし、ICに使われる半導体は非磁性体でスピンの向きがそろった電子を作るには超電導磁石による大きな磁場を必要とする。

また、金属磁石中の電子はスピンの向きがそろっているが、半導体との接合界面でスピンの向きが乱され、向きがそろった状態で金属から半導体に電流を流すことは極めて難しいとされてきた。

これに対し、大野教授らは非磁性半導体と相性の良い、強磁性半導体を開発して半導体接合を作った。これによって磁場などを使わずに、強磁性半導体のスピンの向きがそろった電子を非磁性半導体に電流として流すことに成功した。

開発した強磁性半導体はガリウムマンガンヒ素で、ガリウムヒ素に分子線エピタキシー（結晶成長）法により、磁性原子のマンガンを導入して作った。ガリウムマンガンヒ素はp型半導体で、n型のガリウムヒ素半導体と接合して発光ダイオード＝図＝を製作した。この発光ダイオードに電流を流して発光させ、スピンの向きの偏りにもとづく発光の、円偏光成分を測定することで、スピンの向きがそろった電流がpn接合に流れたことを確認した。

日本工業新聞　1996年12月16日掲載

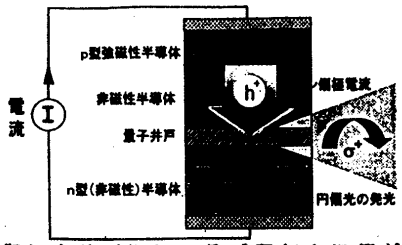
日刊工業新聞　Business & Technology

スピンの向きそろった

半導体接合面に電流流す

東北大と米カ大

スピン偏極電流が半導体に入る様子



【仙台】東北大学電気通信研究所の大野英男教授はカリフォルニア大学理学部のデービッド・アウシュロム教授と共同で集積回路（IC）の基本構成要素の半導体接合にスピンの向きがそろった電流を流すことに成功した。ICは半導体の電荷を使って情報処理を行うが、電子のスピンを使うと従来のコンピューターが不得意な演算をけた違いに高速処理できることが94年米国・ベル研究所で理論づけられている。

しかしスピンを情報処理に使うにはスピンの向きがそろった状態をつくりスピンの向きを制御・演算し、その結果を読み出すことが必要になる。スピンを使う情報処理に不可欠なスピンの向きがそろった電流を半導体接合面に流す成功例は初めてという。

ICやトランジスタに使う半導体は非磁性半導体でスピンの向きのそろった電子をつくるには超電導磁石による大きな磁場が必要だった。また金属磁石中の電子はスピンの向きがそろっているが、金属と半導体の界面でスピンの向きが乱され、向きがそろったままの状態で金属から半導体に電流を流すことは難しかった。

これに対し、大野教授らは非磁性半導体と相性の良い強磁性半導体を開発、半導体接合面を形成。磁場などを用いずに強磁性半導体のスピンの向きがそろった電子を通常の非磁性半導体に電流として流すことに成功。スピンの向きがそろっていることは非磁性半導体からの発光を分析することで実証した。

開発した強磁性半導体はガリウム・マンガン・ヒ素と呼ぶもの。ガリウム・ヒ素に非磁性のマンガンを導入して開発した。ガリウム・マンガン・ヒ素はP形。高速トランジスタや半導体レーザーに使うガリウム・ヒ素のN形のものを組み合わせPN接合を作成し発光ダイオード（LED）をつくる。このLEDに電流を流し発光させスピンの向きの偏りに基づく発光の円偏光成分を測定。強磁性半導体からのスピンの向きのそろった電流がPN接合を介して非磁性半導体まで運ばれていることを確認した。

日刊工業新聞　1999年12月17日掲載

Part 2

"スピンの向きの揃った電流を半導体に流す"

●

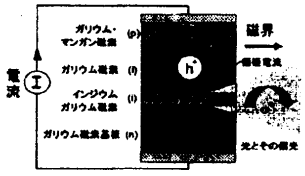
集積回路の基本構成要素である半導体接合にスピンの向きの揃った電流を流すことに初めて成功した、と東北大学電気通信研究所超高密度・高速知能システム実験施設の大野英雄教授が率いるグループとカリフォルニア大学サンタバーバラ校のチームが英科学誌ネイチャーに発表した。

集積回路では、半導体中の電子の電荷を使って情報処理を行うが、電子のスピンを使うことにより従来のコンピューターが不得意な演算を桁違いに高速に処理できることが理論的に明らかにされ、各国のチームがその実現に向けて精力的に研究を進めている。スピンを情報処理に使うには、スピンの向きの揃った状態をつくり、スピンの向きを制御して演算し、その結果を読み出すことが必要となる。しかし、スピンを使った情報処理に不可欠であるスピンの向きが揃った電流を半導体接合に流すことに成功した例はこれまでになかった。

大野教授は、「スピンを使った演算を半導体で実現するには、まだ多くのブレークスルーが必要だが、今回のような研究を積み上げることで一歩でも近づきたい。研究を開始したときは完成まで半世紀かかると予想したが、もしかしたら20年ぐらいで実現できるかもしれない。」と語っている。

【技術内容】スピン電流の注入は、ガリウム砒素上にエピタキシャルに成長された強磁性・非磁性半導体のpn接合を用いて実現された（図参照）。強磁性でありかつp型の伝導を示すガリウムマンガン砒素と、非磁性のガリウム砒素およびインジウムガリウム砒素をn型ガリウム砒素基板上に積層し、両端に電極を設けてある。このpn接合に順方向に電圧を印加して電流を流すと、ガリウムマンガン砒素からスピンの揃った正孔（h+）が、基板側から（スピンは揃っていない）電子が、それぞれインジウムガリウム砒素の量子井戸（活性層）に流れ込み、そこで両者が結合して消滅する際光が生成される。出射される光の右回りと左回りの円偏光の強度比は、注入されるキャリア（電子と正孔）のスピン方向に応じて決まる。このデバイスからの出射光の偏光度を調べた結果、一方向に偏っていることがわかった。これは、ガリウムマンガン砒素中のスピン偏極した正孔が、そのスピンの極性を維持したまま非磁性の半導体へ輸送されたことを示している。

スピンを用いる演算は、量子コンピューティングと呼ばれるものの一種である。従来の"1"と"0"のみによる演算ではなくそれらの量子力学的重ね合わせを用いることで超高速の演算を可能とするものと期待される。



●

問い合わせ先

東北大学　電気通信研究所
〒980-8577　仙台市青葉区片平2-1-1
TEL/FAX 022-217-5553

MATERIAL INTEGRATION NEWS

マテリアル・インテグレーション　掲載

Trzeba je scalić, przyspieszyć, przemodelować

Komputery pod Moore'em

W przemyśle komputerowym szykuje się przełom. Jesteśmy na tropie nowego typu materiałów, które mogą zrewolucjonizować światową elektronikę – mówi prof. Tomasz Dietl z Instytutu Fizyki PAN, współautor pracy poświęconej półprzewodnikom ferromagnetycznym, która dziś ukazuje się w „Science"

Piotr Cieślinski: Skąd pewność, że nastąpi elektroniczna rewolucja?

Prof. Tomasz Dietl: Zna pan prawo Moore'a, które mówi, że co 18 miesięcy podwaja się moc obliczeniowa komputerów? Sprawdza się od ponad 30 lat – w układy scalone „upakuje się" coraz więcej tranzystorów, postępuje miniaturyzacja. Ale na horyzoncie widać już granice obecnych technologii. Jeśli prawo Moore'a ma nadal się sprawdzać, tranzystor musiałby znaleźć do wielkości atomu. Naukowcy muszą znaleźć nowe materiały, opracować nowe technologie. Na razie jesteśmy na etapie testowania różnych pomysłów.

Jakich?

– Po pierwsze, być może odejdziemy od krzemu. Myśli się o komputerach biologicznych, opartych na DNA. Próbuje się też stosować materiały nadprzewodnikowe. A być może zwycięży technologia wykorzystująca całkiem nowy materiał – półprzewodnik ferromagnetyczny.

Po drugie, może nastąpić rewolucyjna zmiana architektury komputera. Od pół wieku nie zmieniła się zasada działania komputerów, opartych na systemie binarnym, wymyślona jeszcze przez von Neumana. Zupełnie inaczej ma działać hipotetyczny wciąż komputer kwantowy. Przewidywana ogromna moc obliczeniowa takiego urządzenia wynika z kwantowego zjawiska interferencji fal.

Pan stawia na półprzewodniki ferromagnetyczne? Co to takiego?

– Ze zwykłych półprzewodników konstruuje się dzisiaj obwody scalone, których działanie opiera się na przepływie prądu, czyli elektronów. Korzysta się przy tym z faktu, że elektrony są obdarzone ładunkiem. Zaś w ferromagnetykach wykorzystuje się inną cechę elektronów – ich wewnętrzny moment pędu, zwany spinem. Ferromagnetyki mogą służyć do trwałego zapisu danych i informacji. Pokrywa się nimi powierzchnie twardych dysków czy taśm magnetowidowych, bo można je trwale namagnesować, odpowiednio ustawiając spiny elektronów. Z kolei opisywany przez nas półprzewodnik ferromagnetyczny to materiał, w którym można jednocześnie kontrolować i ładunek elektryczny, i spin elektronu.

Co to oznacza w praktyce?

– Umożliwi scalenie na jednej płytce urządzeń do przetwarzania i przesyłania informacji z urządzeniami do przechowywania informacji, a więc np. mikroprocesora z twardym dyskiem albo telewizora z magnetowidem. Zauważmy, że dziś jedne urządzenia – jak półprzewodnikowe procesory – służą do przetwarzania informacji, natomiast inne – jak pokryte ferromagnetykami twarde dyski – do trwałego jej zapisu. Przy tym urządzenia do zapisu informacji składają się z części mechanicznych, np. głowicy w magnetowidzie czy twardym dysku, które łatwo ulegają uszkodzeniu. Ponadto słamazarnie działają – odczyt i zapis danych trwają długo, co jest wąskim gardłem współczesnych komputerów. Wady tej nie mają pamięci półprzewodnikowe, DRAM, które znajdują się w każdym komputerze domowym. Nie psują się, są bardzo szybkie, ale z kolei nie nadają się do trwałego zapisu danych.

Pamięci skonstruowane z półprzewodników ferromagnetycznych łączyłyby zalety pamięci półprzewodnikowej, szybkiej, mało zawodnej, z pamięciami trwałymi – twardym dyskiem czy taśmą magnetyczną. Takie urządzenie nie będzie potrzebowało głowicy do zapisu danych, bo na półprzewodnik można wpływać światłem albo prądem.

Spin elektronu jest dużo mniej podatny na zewnętrzne zaburzenia, np. cieplne drgania atomów. Z tego powodu sądzi się, że półprzewodniki ferromagnetyczne mogą odegrać znaczną rolę przy konstrukcji komputerów kwantowych.

Czy mamy już takie półprzewodniki?

– Jeden ze współautorów publikacji, Hideo Ohno z Uniwersytetu Tohoku w Sendai, zsyntetyzował taki materiał – arsenek galu z manganem. Ale jest on ferromagnetycznym półprzewodnikiem w bardzo niskich temperaturach – poniżej minus 200 st. C. W „Science" przedstawiamy teorię, która dobrze tłumaczy własności tego materiału. Pozwalamy sobie też na pewne spekulacje; dowodzimy, że jest możliwe skonstruowanie materiałów, które będą półprzewodnikami ferromagnetycznymi w temperaturze pokojowej. Co ciekawe, te dające nadzieję materiały są podobne i bliskie tym, które od wielu lat badają polscy fizycy. Np. tlenek cynku z manganem czy też azotek galu z manganem. Dwie grupy fizyków warszawskich już takie materiały otrzymały.

Autorami pracy w „Science" są Tomasz Dietl, H. Ohno, F. Matsukura, J. Cibert, D. Ferrand. Badania finansuje KBN i Fundacja na rzecz Nauki Polskiej

ACE znaczy as

Asem sportowym łatwiej zostanie ten, kto ma dłuższą wersję genu ACE – informują we wczorajszym „Nature" naukowcy z Rayne Institute z Londynu. Gen ów steruje produkcją enzymu – angiotensyny. Zdaniem prowadzącego badania H.E. Montgomery angiotensyna wśród licznych swoich funkcji (takich jak kurczenie mięśniówki, która tworzy ścianę naczynia krwionośnego) wpływa również w nieznany jeszcze sposób na wydajność pracy mięśni. Oznacza to, że mięśnie człowieka, który ma dłuższą wersję genów ACE, będą silniejsze i będą mogły dłużej pracować. MAJ

Piątek 11 lutego 2000 **GAZETA WYBORCZA**

GAZETA WYBORZA（ポーランドの新聞）
2000年2月11日掲載

PHYSICS IN ACTION

Semiconductors put spin in spintronics

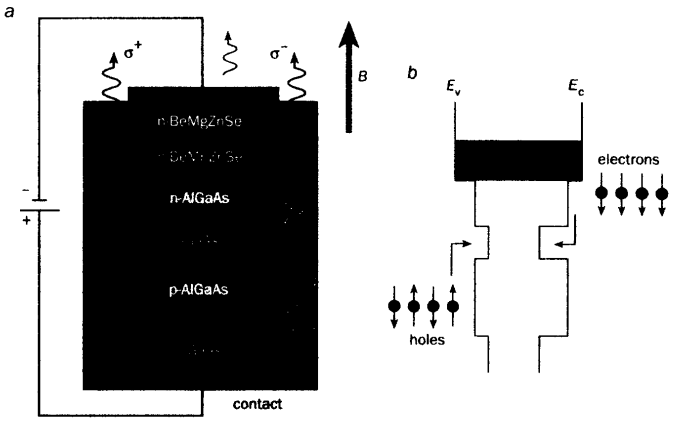
From **Dieter Weiss** in the Department of Experimental and Applied Physics, University of Regensburg, Germany

Electrons and holes, which carry the current in semiconductor devices, are quantum-mechanical objects characterized by a set of quantum numbers – the band index, the wave-vector (which is closely related to the electron or hole velocity) and spin. The spin, however, is one of the strangest properties of particles. In simple terms, we can think of the spin as an internal rotation of the electron, but it has no classical counterpart. The spin is connected to a quantized magnetic moment and hence acts as a microscopic magnet. Thus the electron spin can adopt one of two directions ("up" or "down") in a magnetic field. The spin plays no role in conventional electronics and the current in any semiconductor device is made up of a mixture of electrons with randomly oriented spins.

However, a new range of electronic devices that transport the spin of the electrons, in addition to their charge, is being developed. The spin transistor was first suggested by Supriyo Datta and Biswajit Das at Purdue University in the US a decade ago. More recently, Atac Imamoglu of the University of California at Santa Barbara and co-workers have proposed that spin wavefunctions could be used to build a solid-state quantum computer, which could, in principle, outperform a classical computer. Indeed, several groups have recently shown that the polarization or spin direction of the electrons in a semiconductor survives for a sufficient length of time for it to be exploited in electronic devices (see *Physics World* March 1999 p22). However, the biggest obstacle to making practical "spin electronic" or "spintronic" devices so far has been finding a way of injecting spin-polarized electrons or holes into the semiconductor and then detecting them.

At first glance, the recipe for making a source of, for example, spin-polarized electrons seems simple: just make an electrical contact between a semiconductor and a ferromagnetic metal (i.e. a metal in which all the spins point in the same direction). Then if an electric field is applied between the semiconductor and the ferromagnet, the spin-aligned electrons in the metal get extracted and injected into the semiconductor.

While researchers at the Naval Research Laboratory in the US have reported spin injection across magnet–semiconductor interfaces, the degree of polarization is small – around 1% – which means that there are nearly as many spin-up as spin-down electrons. Even worse, these results are believed by some to be due to the well known Hall effect, rather than spin injection. The problem encountered with magnet–semiconductor hybrids may be due to magnetic "dead" layers at the interface, or a consequence of the mismatch in electron energy and carrier density on both sides of the interface.



(a) The spin-polarized light-emitting diode developed by Fiederling and co-workers at the University of Würzburg. The n-doped beryllium manganese zinc selenium (BeMnZnSe) layer (blue) first polarizes the electron spins. The polarized electrons then recombine with the unpolarized holes in the undoped gallium arsenide layer and emit either right- (σ^+) or left- (σ^-) circularly polarized light depending on the spin polarization. The magnetic field aligns the spins perpendicular to the layers. (b) The energy gap between the valance band E_v and conduction band E_c.

Recently a team of physicists from the University of Würzburg in Germany, and also a collaboration of researchers from Tohoku University in Japan and the University of California at Santa Barbara, have found a way round these problems using either semi-magnetic or ferromagnetic semiconductors as "spin aligners" (R Fiederling *et al.* 1999 *Nature* **402** 787; Y Ohno *et al.* 1999 *Nature* **402** 790). Both groups carried out their experiments using modified light-emitting diode (LED) structures on gallium arsenide substrates. To understand the basic principle of these experiments, it is useful to take a closer look at the non-magnetic semiconductor part.

When the gallium and arsenic atoms are brought together, their electron energy levels become blurred and form two bands separated by an energy gap. When the semiconductor is illuminated with light that is higher in energy than this energy gap, the electrons can "jump" from the lower band to the higher band, leaving behind a positively charged hole. Alternatively, electrons or holes can be introduced in the semiconductor by doping. If the added impurities donate extra electrons, the semiconductor is said to be n-type; if the dopants add free holes to the valence band, it is called p-type. When an electron meets a hole, the two can recombine and emit a photon. But the light emitted by a conventional LED is not polarized because the device is driven by an unpolarized electrical current. However, if the current is carried by spin-polarized electrons and unpolarized holes, the emitted light is circularly polarized. In other words, the electric-field vector of the electromagnetic wave rotates around its direction of propagation. Both experiments exploit the fact that the spin polarization of electrons or holes can be determined by analysing the degree of polarization of the light.

The device used by the Würzburg team comprised various layers of semiconductor material (see figure). When it is biased in the forward direction, electrons move from the n-doped to the p-doped region, while holes move in the opposite direction. The two types of charge carrier recombine in the thin undoped gallium arsenide layer, which acts as trap for electrons and holes.

The novel ingredient that makes the device a spin injector is a layer of the exotic semi-magnetic beryllium manganese zinc selenium (BeMnZnSe), which aligns the electron spins preferentially in one direction when placed in a magnetic field. The reason for this spin rectification is the large difference between the energy levels of spin-up and spin-down electrons at low temperatures and in sufficiently high magnetic fields. This is due to a "giant Zeeman splitting" mediated by the interaction of the conduction electrons with the spatially localized magnetic moments of the manganese ions.

PHYSICS IN ACTION

Only the energetically lower, spin-polarized level becomes occupied.

The electron spins are aligned once they have passed through the BeMnZnSe layer, thereby ensuring that the emitted light is polarized. The difference between the intensity of the left-handed and the right-handed polarization is a measure of the degree of spin polarization of the electron: the maximum degree of spin polarization observed was about 90%.

While the Tohoku–Santa Barbara experiment relies on the same principles, it is different in two essential aspects. First, it used gallium manganese arsenide, a semiconductor that is ferromagnetic at cryogenic temperatures. Second, the manganese placed within the gallium arsenide lattice results in p-doping, which means that the holes become polarized rather than the electrons.

Gallium manganese arsenide has a huge advantage over BeMnZnSe and other II–VI semiconductors, since the spin injection can be accomplished without an external magnetic field. However, the drawback is that the effects observed are small – the measured spin polarization is in the range of few per cent, in contrast to the 90% observed in the Würzburg experiment. One of the reasons for this could be that spin polarization is much more unstable for holes than for electrons. In other words, the spin of a hole can "flip" over much shorter distances.

Despite the fact that the experiments are currently limited to low temperatures, both represent important steps towards spin electronics. The Würzburg and Tohoku–Santa Barbara groups have shown a novel route to spin injection that will be widely explored in the future. For widespread applications one of the most challenging tasks will be to operate such devices at room temperature.

Physics World　2000年3月掲載

Piątek 11 lutego 2000
ŻYCIE nauki 11

Tygodnik „Science"

Pamięć bez zasilania

Polsko-japońsko-francuskiej grupie uczonych udało się teoretycznie opisać działanie półprzewodników o bardzo ciekawych właściwościach. Dokonanie to może pomóc np. przy budowie komputerów kwantowych. Praca na ten temat została opublikowana w dzisiejszym numerze „Science".

Z półprzewodników zbudowane są tranzystory, te zaś są podstawowym elementem wszelkich urządzeń elektronicznych od magnetofonu po procesor komputerowy. Prof. Tomasz Dietl z Instytutu Fizyki PAN w Warszawie wraz z naukowcami z Japonii i Francji stworzyli model teoretyczny pewnych oddziaływań zachodzących w tzw. półprzewodnikach ferromagnetycznych. Różnią się one tym od „zwykłych" półprzewodników, że zdolne są przechowywać dane bez zasilania z zewnętrznego źródła energii. Polski naukowiec wraz kolegami wykazał, że jest to możliwe nie tylko w bardzo niskich temperaturach, o czym wiadomo było już wcześniej, ale również w temperaturze pokojowej. Dzięki odkryciu takich półprzewodników uda się kiedyś scalić na jednej płytce urządzenia do przetwarzania i przesyłania informacji z urządzeniami do ich przechowywania – mikroprocesor z twardym dyskiem, telewizor z magnetowidem. Półprzewodniki ferromagnetyczne mogą ponadto odegrać znaczną rolę przy konstruowaniu komputerów kwantowych. Ogromna moc obliczeniowa takich urządzeń będzie wielokrotnie większa niż dzisiejszych maszyn.

Tygodnik „Science" jest jednym z najbardziej prestiżowych pism naukowych na świecie, a zamieszczenie w nim publikacji, która przechodzi przez gęste „sito" recenzentów, jest marzeniem uczonych na całym świecie. MR

ZYCIE（ポーランドの新聞）
2000年2月11日掲載

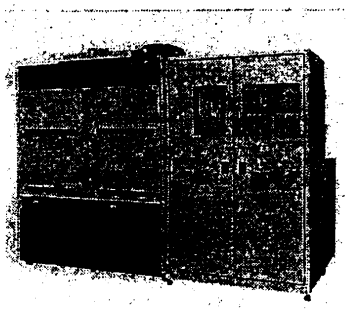
日経産業新聞

次世代半導体材料シリコンゲルマニウム

国際電気が成膜装置

東北大と開発
来春から量産出荷

国際電気は次世代半導体材料のシリコンゲルマニウム用成膜装置を東北大学と共同で開発した。同材料の薄膜を基板に形成することができる。シリコンゲルマニウムを使った半導体チップは今後、携帯端末や携帯電話の基地局向けに市場の拡大が見込める。二〇〇〇年春から量産出荷を始め、初年度十五―二十台の販売を目指す。



シリコンゲルマニウムの半導体チップは携帯電話向けに拡大が見込める

シリコンゲルマニウムは電子の移動速度が速いので高速処理する次世代の半導体に向く。消費電力が小さいのも特長だ。米IBMが開発した。同社は電波から信号を取り出したりする高周波半導体として通信機器向けに量産出荷を始めている。独インフィニオン・テクノロジーズや仏伊合弁のSTマイクロエレクトロニクスなども製品化の準備を進めているほか、国内ではNECや東芝、富士通が研究を進めている。

東北大学電気通信研究所の室田淳一教授らと共同開発したのはシリコンゲルマニウム用減圧CVD（化学気相成長法）装置。直径六インチのウエハーを横に置く横型炉と呼ぶタイプだ。炉内を七五〇―七五〇度に加熱して、シリコンゲルマニウム基板の結晶の並び方にそって連続的に分子を積層、薄膜を形成する。

二十五枚のウエハーを格納できる処理室を二つ持ち最大五十枚のウエハーを一度に処理するバッチ方式。今後、直径八インチウエハー対応でウエハーを縦に置き一枚一枚流して処理する枚葉式の縦型炉の開発も急ぐ。

同社ではこの量産ライン対応の装置を来春から販売する計画だ。価格は当初一億五千万円。シリコンゲルマニウムはシリコンより融点が低く、ほこりなどが付着すると低い温度でも酸化しやすい。同社と東北大では熱処理するウエハーを投入する装置内の清浄度を高め維持して酸化を防ぐ技術を確立し、課題を解決した。

日経産業新聞　1999年11月4日掲載

付録　構成員

（平成12年２月１日現在）

所長（併）・教授　沢　田　康　次

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（兼）	中　村　慶　久
〃　（〃）	丸　岡　　章
〃　（〃）	阿　曽　弘　具
助教授（〃）	大　町　真一郎
〃　（〃）	瀧　本　英　二

■情報通信システム研究分野

教　授	白　鳥　則　郎
〃　（兼）	伊　藤　貴　康
〃　（〃）	根　元　義　章
助教授	木　下　哲　男
〃　（兼）	斎　藤　浩　海
〃	加　藤　　寧
助　手	石　垣　久四郎
〃	菅　沼　拓　夫
〃	杉　浦　茂　樹
リサーチアソシエイト	アハメッド・アシル
〃	チャクラボルティ・デバシシュ
技術補佐員	大　學　紀　子
事務補佐員	工　藤　裕　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
助　手	山　田　　洋
COE外国人研究員	グリーブス・サイモン・ジョン
事務補佐員	長　崎　京　子

■音響情報システム研究分野

教　授	鈴　木　陽　一
〃　（兼）	牧　野　正　三
助教授（兼）	曽　根　秀　昭
〃　（〃）	金　井　　浩
助　手	金　　海　永
技　官	斎　藤　文　孝
事務補佐員	佐　藤　亮　子

■生体コンピューティングシステム研究分野

教　授	矢　野　雅　文
〃　（兼）	堀　口　　剛
助教授（〃）	福　井　芳　彦
助　手	牧　野　悌　也
〃	坂　本　一　寛
〃	三　浦　治　己
中核的研究機関研究員	鈴　木　章　夫
技術補佐員	遠　藤　千　春

■ブレインコンピューティングシステム研究分野

教　授	沢　田　康　次
教　授（兼）	阿　部　健　一
助教授	佐　野　雅　己
〃　（兼）	吉　澤　　誠
〃　（〃）	郭　　海　蛟
〃　（〃）	田　中　和　之
助　手	早　川　美　徳
〃	早　川　吉　弘
学振特別研究員(PD)	大　内　則　幸
学振特別研究員(DC)	伊　藤　　真
事務補佐員	中　井　直　子

■超伝導コンピューティングデバイス研究分野

教　授（兼）	山　下　　努
〃	平　井　敏　雄
助教授	中　島　健　介
〃	陳　　　健
助　手	菅　井　徳　行
〃	水　柿　義　直
〃	B. パブレンコ
中核的研究機関研究員	金　　相　宰
技　官	土　田　貞　夫
事務補佐員	菊　田　陽　子

■マルチモーダルコンピューティング研究分野

（客員）

構成員

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
〃	マルクス・レンスキ
COE外国人研究員	ミトラ・ヒリシケシュ
技　官	酒　井　俊　章
技術補佐員	有　馬　美弥子
事務補佐員	鈴　木　敦　子

■分子電子工学研究分野

教　授（兼）	沢　田　康　次
助教授	末　光　眞　希
中核的研究機関研究員	中　澤　日出樹

■スピンエレクトロニクス研究分野

教　授	荒　井　賢　一
〃　（兼）	高　橋　　研
〃　（〃）	一ノ倉　　理
〃　（〃）	松　木　英　敏
〃　（〃）	島　本　　進
助教授	山　口　正　洋
〃　（兼）	荘　司　弘　樹
助　手	石　山　和　志
〃	薮　上　　信
技　官	師　岡　ケイ子
〃	我　妻　成　人
事務補佐員	山　城　秋　乃

■プラズマ電子工学研究分野

教　授（兼）	坪　内　和　夫
〃　（〃）	山　本　光　璋
助教授	蝦　名　惇　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　　愃
〃　（兼）	西　関　隆　夫
助教授	村　岡　裕　明
講　師（兼）	周　　暁
助　手	島　津　武　二
〃	渡　邉　　功
事務補佐員	茨　木　加　奈

■光電変換デバイス工学研究分野

教　授	潮　田　資　勝
〃　（兼）	海老澤　丕　道
助教授	上　原　洋　一
講　師（兼）	阿　部　光　衛
助　手	坂　本　謙　二
〃	鶴　岡　　徹

■電子量子デバイス工学研究分野

教　授	庭　野　道　夫
〃　（兼）	佐　藤　徳　芳
助　手	庄　子　大　生
〃	木　村　康　男

■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	杉　浦　　行
〃　（兼）	澤　谷　邦　男
〃　（〃）	塩　川　孝　泰
〃　（〃）	安　達　文　幸

■極限能動デバイス研究分野

教　授	横　尾　邦　義
〃　（兼）	内　田　龍　男
〃　（〃）	畠　山　力　三
助教授	三　村　秀　典
〃　（兼）	大　沼　俊　朗
〃　（〃）	宮　下　哲　哉
助　手	佐　藤　信　之
〃	嶋　脇　秀　隆
COE外国人研究員	元　　光
技　官	寒河江　克　巳
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　正　明
助教授	襄　　鐘　石
助　手	濱　野　哲　子
技　官	我　妻　壽　彦
事務補佐員	笹　谷　いずみ

■応用量子光学研究分野

教　授	伊　藤　弘　昌

教　授（兼）	星　宮　　望
助教授	谷　内　哲　夫
〃　（兼）	二　見　亮　弘
助　手	中　村　孝一郎
〃	四　方　潤　一
技　官	今　野　勇　治
〃	田　久　長　一
技術補佐員	庄　子　鉄　雄
〃	門　脇　由　佳
事務補佐員	津　田　亜紀子

■光集積工学研究分野

教　授	川　上　彰二郎
〃　（兼）	宮　城　光　信
助教授	花　泉　　修
〃　（兼）	馬　場　一　隆
〃　（〃）	松　浦　祐　司
助　手	佐　藤　　尚
〃	大　寺　康　夫
中核的研究機関研究員	石　　芸　　尉
学振特別研究員(DC)	川　島　貴　之
技　官	相　澤　芳　三
事務補佐員	菅　田　亜貴子

■フォノンデバイス工学研究分野

教　授	アハローニ・ヘーゼル
〃　（兼）	坪　内　和　夫
〃　（〃）	中　村　僖　良
助教授	長　　康　雄
助教授（兼）	山　田　　顕
講　師（〃）	田　中　治　雄
助　手	小田川　裕　之
技　官	我　妻　康　夫

■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　　一　哉
〃　（兼）	松　本　　泰
助　手	横　山　道　央
〃	中　瀬　博　之
中核的研究機関研究員	李　　昌　　勲
事務補佐員	寺　澤　久　美
〃	渡　部　晃　子

■量子波動工学研究分野（客員）

客員教授	中　沢　正　隆

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	
事務補佐員	中　村　純　子

■共通部

助　手	目　黒　敏　靖

■原子制御プロセス部

教　授	室　田　淳　一
〃　（兼）	亀　山　充　隆
助教授	松　浦　　孝
〃　（兼）	羽　生　貴　弘
助　手	櫻　庭　政　夫
学振特別研究員(DC)	渡　辺　　健
学振特別研究員(DC)	山　本　裕　司
技術補佐員	高　橋　裕　美
事務補佐員	山　岸　　明

■超高速電子デバイス部

教　授	大　野　英　男
〃　（兼）	大　見　忠　弘
助教授（〃）	小　谷　光　司
〃　（〃）	須　川　成　利
助　手	松　倉　文　礼
〃	大　野　裕　三
学振特別研究員(DC)	岸　本　修　也
中核的研究機関研究員	篁　　耕　司
リサーチアソシエイト	大　谷　啓　太
事務補佐員	佐々木　延　子

■知能集積システム部

教　授	中　島　康　治
〃　（兼）	川　又　政　征
助　手	佐　藤　茂　雄
〃	小野美　　武
事務補佐員	今　野　真由美

構成員

附属施設

■評価・分析センター

センター長(兼)	庭野道夫
教　授	
技　官（兼）	赤間洋助
技術補佐員	千葉綾子

■附属工場

工場長（兼）	横尾邦義
教　授	
技　官	高橋吉昭
技　官	渡邉博志
〃	米澤隆二朋
〃	菅原宗一
〃	庄子康
〃	末永保

事　務　部

事務部長	佐々木正勝
総務課長	天内正光
庶務掛長(主査)	岩渕武
主　任	津村宜邦
事務官	大槻奈津子
〃	永沼ひろみ
事務補佐員	小岩澄子
〃	寺島弘美
〃	生亀富弥子
研究協力掛長	加茂敬一
主　任	濱田宣子
図書掛長	南舘義孝
事務官	山本衆子
技術補佐員	阿部敦子

経理課長	本郷幸雄
経理掛長	大槻宏
主　任	佐藤利信
事務官	長岡幸司
事務補佐員	小島紫津子
〃	沓澤倫子
用度掛長	荒川繁
主　任	庄子浩
文部技官	阿部良勝
事務官	大場泰行
事務補佐員	川北久美子
〃	角田郁子
〃	白鳥千亜紀