

NTT 物性科学基礎研究所の研究活動

平成 13(2001)年度

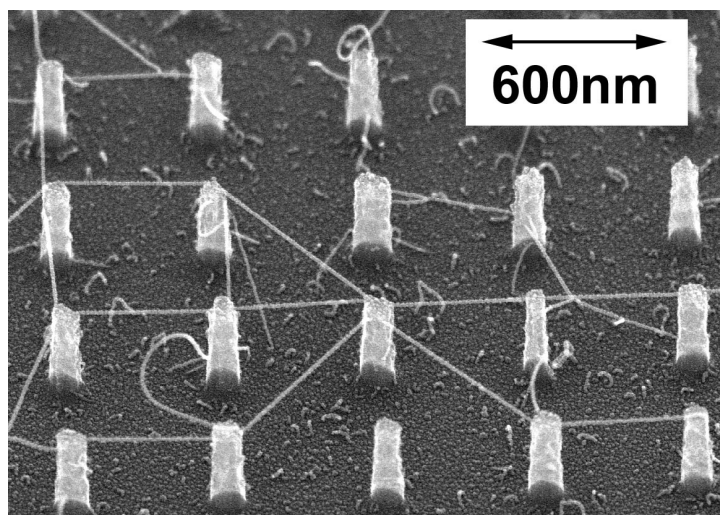
Volume 12

2002 年 7 月

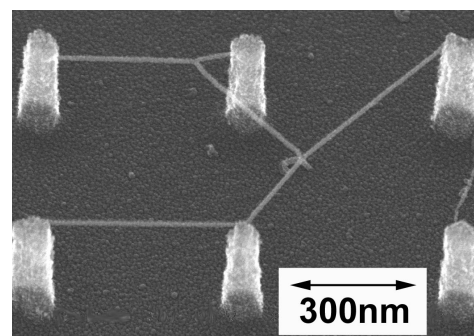
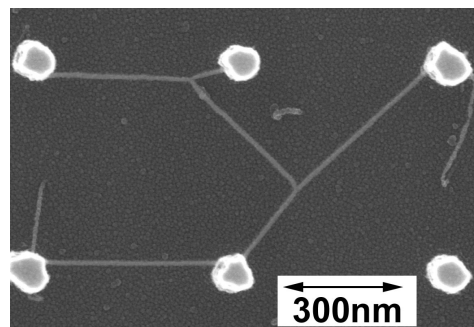
日本電信電話株式会社
物性科学基礎研究所

NTT Basic Research Laboratories

<http://www.brl.ntt.co.jp>

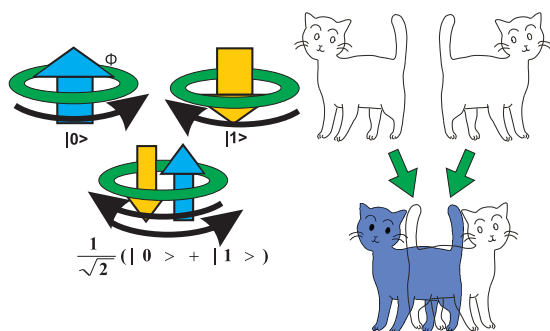


微細 Si ピラー間に成長したカーボンナノチューブの走査電子顕微鏡像

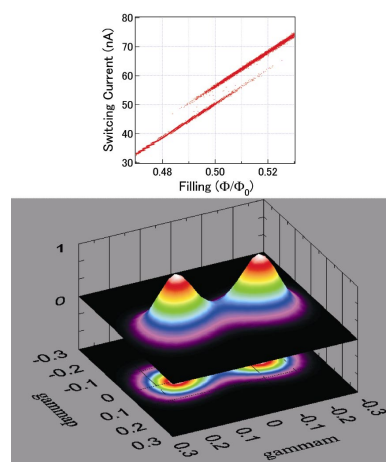


カーボンナノチューブ配線

カーボンナノチューブはナノ構造を相互に接続して信号の入出力を可能にするための配線材料として既存の材料にはない優れた特性を持つことが期待されています。配線応用への最初のステップとして、成長条件の制御により微細ピラー構造間を架橋・交差するカーボンナノチューブの形成に成功しました。(15 ページ)



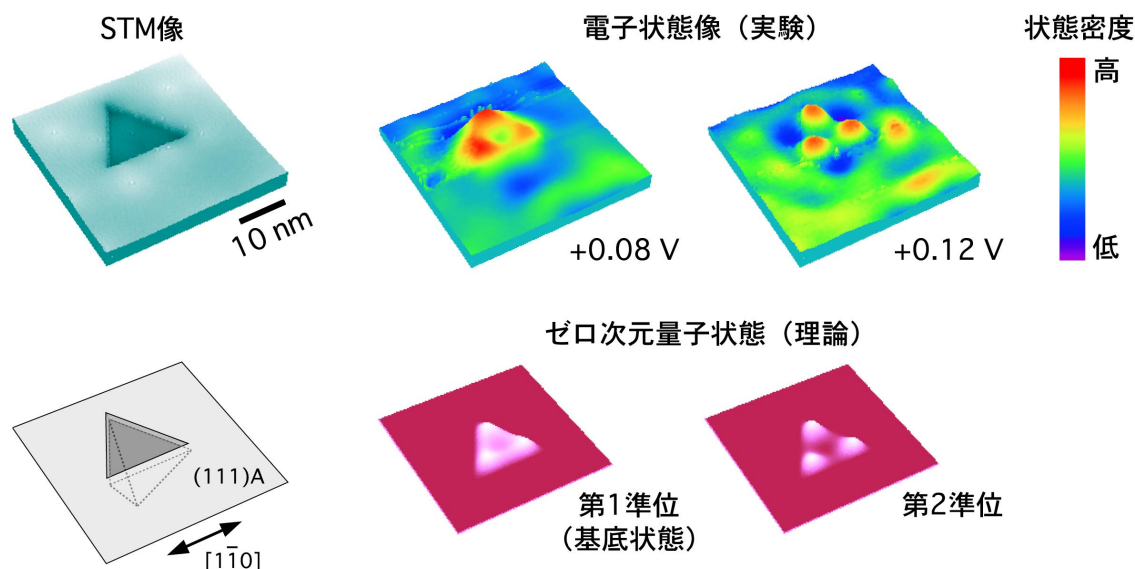
量子ビットの状態とシュレディンガーの猫状態



読み出し特性と波動関数

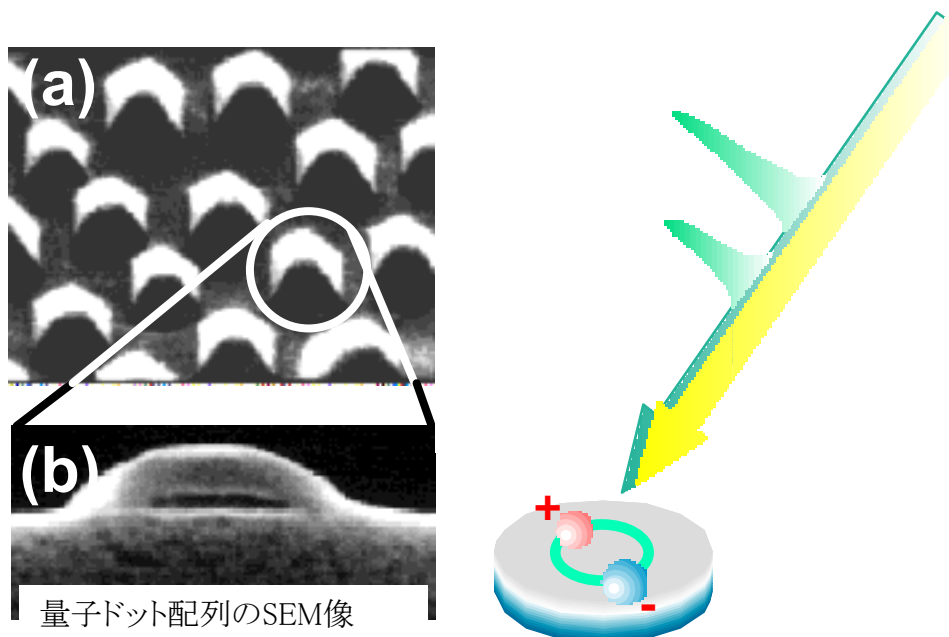
超伝導を用いた量子コンピュータ

量子コンピュータ基本素子である量子ビットを超伝導体を用いて作製し、その読み出しについて実験的に調べました。この磁束型量子ビットでは、右回り、左回りの電流が流れている2つのことになった量子状態の違いがきちんと読み出されていることがわかりました。この超伝導リングの量子状態はシュレディンガーの猫状態とも呼ばれています。(20 ページ)



半導体ナノ構造中のゼロ次元状態の観察

量子効果デバイスや量子コンピュータを実現するためには、ナノ構造の物性を支配する量子力学的波動性の活用が重要です。我々は、走査トンネル顕微鏡 (STM) を応用した電子状態密度 (LDOS) 分布測定を低温で行い、ゼロ次元状態の電子波を直接観察することに成功しました。半導体ナノ構造におけるLDOS分布が、計算によるゼロ次元構造 (量子ドット) 中の固有状態の存在確率分布と良く一致しています。(23ページ)



量子ドット励起子重ね合わせ状態の光による制御

単一のInGaAsドット中の励起子の重ね合わせ状態を位相制御レーザーパルス列の照射によって自在に制御することに成功しました (右図)。第一のパルスはコヒーレントな励起子分極をある重ね合わせにします。続くパルスによって、このような重ね合わせ状態は位相も含めて如何なる他の重ね合わせ状態にも変更することが出来ます。写真(a)はInGaAsドットアレイの全体像を、(b)はディスク状のInGaAsがAlを含む混晶に埋め込まれていることを示す断面像です。(30ページ)

はじめに



日頃より私どもNTT物性科学基礎研究所の研究活動に多大なご支援・ご関心をお寄せ頂き誠にありがとうございます。

NTT物性科学基礎研究所は、将来の Informative Ambienceと呼ばれる高度情報流通社会のハードウェア基盤を支える新原理デバイスや新技術を創製することをミッションとしております。このため、革新的なコア技術を生み出して新しい分野を開拓し、世界に評価される学術成果を創出すべく日々努力を続けております。ミッションを遂行するにあたって、デバイス物理、機能物質科学、量子電子・光物性という研究分野で約100名の研究者が研究を行っております。これらの研究では、「原子・分子レベルの構造を制御するナノテクノロジー

(NT)から量子力学の原理に基づいた量子情報技術(QIT)まで」をキャッチフレーズとして、より革新的でよりインパクトの大きい研究に邁進しているところです。

革新的な研究を推進し、新しい分野を開拓していくためには、研究活動の積極的なオープン化と多様な研究者の活躍が重要であります。このため、多数の外部研究者の招聘やポスドクの採用、国際共同プロジェクトや創造科学技術推進事業等の公募型研究による外部との連携、あるいは内外を問わず大学や研究機関との研究交流などを積極的に進めております。

更にこのような外部との研究交流の一環として毎年当研究所主催で国際シンポジウムを企画しておりますが、今年度は「メゾスコピック超伝導・スピントロニクス国際シンポジウム」を開催いたしました。

本冊子では、「NTT物性科学基礎研究所の活動報告(Volume 12)」として、この2001年度を通した最新の成果と研究活動についてご紹介しております。この小冊子をご覧いただき、国内外の研究交流促進の一助となれればと考えております。

2002年7月

石原直

石原 直

物性科学基礎研究所長
〒243-0198 厚木市森の里若宮3-1
電話：046-240-3300
FAX：046-270-2358
E-mail：ishihara@will.brl.ntt.co.jp

目次

ページ

物性科学基礎研究所所員一覧	1
---------------------	---

I. 研究紹介

◆ デバイス物理の研究概要	12
◆ 単電子多値論理	
◆ レジストのラフネス発生機構	
◆ カーボンナノチューブ配線	
◆ 表面ナノ粒子の化学結合マニピュレーションによる Si の多機能化	
◆ 機能物質科学の研究概要	17
◆ 神経活動とマグネシウム	
◆ 硼化物超伝導体 MgB_2 薄膜のその場成長	
◆ 超伝導を用いた量子コンピュータの状態読み出し	
◆ 半導体スピン・フィルタの提案	
◆ 量子電子物性の研究概要	22
◆ 半導体ナノ構造中のゼロ次元状態の観察	
◆ 電子二層系における擬スピン強磁性秩序	
◆ Npn 型 InGaN/GaN 窒化物半導体ヘテロ接合バイポーラトランジスタ(HBT)	
◆ AlGaN 系紫外発光ダイオード	
◆ 量子光学・光物性の研究概要	27
◆ 量子マジックプロトコル	
◆ 超短パルス軟 X 線波形計測	
◆ 単一量子ドット励起子の量子ゲート操作	
◆ フォトニック結晶単一モード光導波路	

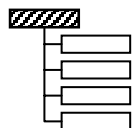
II. 資料

◆ 「メゾスコピック超伝導とスピントロニクス」国際シンポジウム	32
◆ 表彰受賞者一覧	33
◆ 報道一覧	35
◆ 報道(抜粋)	39
◆ 来訪者による講演一覧	43
◆ 学術論文掲載件数	48
◆ 国際学会発表件数	49
◆ 国際会議招待講演一覧	50

物性科学基礎研究所 所員一覧

2002 年 3 月 31 日現在
(*は年度途中までの在籍者)

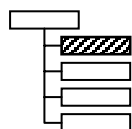
物性科学基礎研究所



所長

石原 直

企画担当



企画担当部長

森田雅夫

総括担当課長

寒川哲臣

研推担当主任研究員

前田文彦

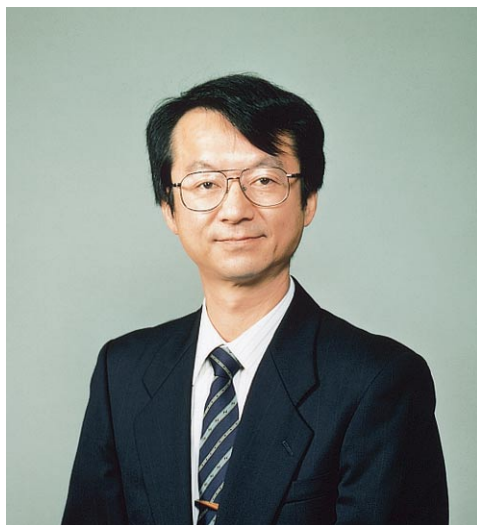
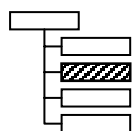
NTT R&D フェロー

山本喜久(スタンフォード大学、USA)
高柳英明(物質部 部長)

NTTリサーチ・プロフェッサ

井元信之(総合研究大学院大学)
上田正仁(東京工業大学)
樽茶清悟(東京大学)

先端デバイス研究部



部長 荻野俊郎

補佐 影島博之

唐沢 毅

Siナノデバイス研究G

グループリーダー

高橋庸夫

猪川 洋

小野行徳

堀口誠二

藤原 聡

植松真司

秋山 亨

ナノ加工研究G

グループリーダー

生津英夫

永瀬雅夫

山崎謙治

林 順三

渡辺義雄

山口 徹

神崎賢一

表面構造制御研究G

グループリーダー

荻野俊郎

小林慶裕

川村朋晃

住友弘二

尾身博雄

本間芳和

Kuniyil, Prabhakaran

日比野浩樹

鈴木 哲

渡辺義夫

前田文彦

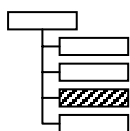
金子 新

Nath, Krishna Gopal*

Bottomley, David*

Lin, Feng

機能物質科学研究部



部長 高柳英明

補佐 柴田浩行

分子生体機能研究G

グループリーダー

鳥光慶一

藤木道也

鈴木康夫

河西奈保子

Han, Chunxi

江幡啓介

古川一暁

檜村吉晃

Tang, Hongzhi*

神保泰彦

味戸克裕

中島 寛

超伝導体薄膜研究G

グループリーダー

内藤方夫

山本秀樹

Kurian, Jose

狩元慎一

植田研二

超伝導量子物理研究G

グループリーダー

高柳英明

松田 梓

中ノ勇人

田村浩之

齊藤志郎

Richter, Andreas

仙場浩一

畠中憲之

田中弘隆

松田健一

赤崎達志

原田裕一

木村 敬

川村 稔

スピントロニクス研究G

グループリーダー

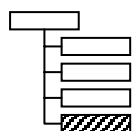
新田淳作

椿 光太郎

関根佳明

古賀貴亮*

量子物性研究部



部長 向井孝彰

補佐 田口明仁

量子電子物性研究G

グループリーダー

平山祥郎

都倉康弘

村木康二

Austing, David Guy*

林 稔晶

山口浩司

蟹沢 聖

板倉利文

藤澤利正

佐々木智

鈴木恭一

ワイドギャップ半導体研究G

グループリーダー

小林直樹

牧本俊樹

小林康之

前田就彦

熊倉一英

嘉数 誠

安藤精後

山内喜晴

廣木正伸

松岡隆志

西田敏夫

赤坂哲也

谷保芳孝

量子光制御研究G

グループリーダー

向井孝彰

井上 恭

向井哲哉

Jack, Michael Wong

清水 薫

森越文明

山下 眞

Zhang, Bingyang

Hong, Tao

超高速光物理研究G
グループリーダー

光デバイス物理研究G
グループリーダー

フォトリックナノ構造研究G
グループリーダー

中野秀俊
西川 正
尾崎恒之

齊藤 正
鎌田英彦
後藤秀樹

向井孝彰
須佐信彦
横尾 篤

矢野隆治
Lin, Jingquan

熊谷雅美
俵 毅彦

納富雅也
新家昭彦

小栗克弥

野嶋俊司
Wang, Hailong

倉持栄一

特別研究員



牧本俊樹

昭和 58 年東京大学工学部電子工学科卒業。昭和 60 年同大学院工学系研究科電子工学専攻修士課程修了。同年日本電信電話株式会社に入社。以来、有機金属気相成長法および流量変調エピタキシ法による結晶成長、光吸収法を用いたエピタキシャル層のその場観察、化合物半導体への高濃度不純物ドーピングに関する研究、ヘテロ接合バイポーラトランジスタの研究、走査型トンネル顕微鏡を用いたナノ構造選択成長に従事。現在は、窒化物半導体結晶成長および窒化物半導体デバイスに関する研究に従事。平成 5 年工学博士（東京大学）。平成 5～6 年カリフォルニア大学（アメリカ、サンタバーバラ）にて客員研究員。現在、NTT 物性科学基礎研究所量子物性研究部ワイドギャップ半導体研究グループに所属。応用物理学会、MRS 会員。



藤澤利正

昭和 61 年東京工業大学理学部応用物理学科卒業。平成 3 年同大学院総合理工学研究科物理情報工学専攻博士課程修了（工学博士）。同年日本電信電話株式会社（NTT）に入社。以来、集束イオンビーム・電子ビーム露光による半導体微細構造の作製、半導体量子ドットの輸送特性、単一電子ダイナミクスの研究に従事。現在、NTT 物性科学基礎研究所量子物性研究部量子電子物性研究グループに所属。平成 9～10 年デルフト工科大学（オランダ、デルフト）客員研究員。応用物理学会、日本物理学会会員。

特別研究員



納富雅也

昭和63年東京大学大学院工学系研究科物理工学専攻修士課程修了。同年日本電信電話(株)入社、NTT 光エレクトロニクス研究所光素子研究部勤務。平成7年から8年リンシェーピング大学(スウェーデン)客員研究員。平成11年より NTT 物性科学基礎研究所。現在同所量子物性研究部フォトニックナノ構造研究グループに所属。入社以来一貫してリソグラフィを用いた人工ナノ構造による物質の光学物性制御及びデバイス応用の研究を行う。半導体量子細線、半導体量子箱の研究を経て、現在フォトニック結晶の研究に従事。工学博士(東京大学)。日本応用物理学会、米国物理学会会員。

アドバイザーボード（2001 年度）

氏名	役職 所属
Dr. Johan E. Mooij	Professor Department of Applied Physics Delft University of Technology, The Netherlands
Dr. C. Tord Claeson	Professor Physics Department Chalmers University of Technology, Sweden
Dr. Klaus von Klitzing	Professor Max-Planck-Institut für Festkörperforschung Germany
Dr. Klaus H. Ploog	Director Paul-Drude-Institut für Festkörperelektronik Germany
Dr. Michel H. Devoret	Professor Department of Applied Physics Yale University, USA
Dr. Christos Flytzanis	Professor Physics of Condensed Matter Laboratory Ecole Normale Supérieure, France
Dr. Chung L. Tang	Professor School of Electrical Engineering Cornell University, USA

招聘教授・研究員（2001 年度）

氏名	所属 期間
Prof. Michael B. Santos	University of Oklahoma, USA March – July, 2001
Prof. Zhigang Zhang	Tianjin University, China September– October, 2001
Dr. Hai-Du Cheong	Pohang University of Science and Technology, Korea September, 2001– August, 2002
Dr. Takaaki Koga	科学技術振興事業団(JST), Japan December 2001 – November, 2002
Dr. Paulo V. Santos	Paul-Drude-Institut für Festkörperelektronik, Germany January – March, 2002
Prof. Gerrit E. W. Bauer	Delft University of Technology, The Netherlands March – June, 2002

海外研修生(2001 年度)

氏名	所属(期間)
Ronald Hanson	Delft University of Technology, The Netherlands (Feb. – Apr. 01)
Elise Laffosse	Institut National Des Sciences Appliquées, France (Mar. – Aug. 01)
Jean Delmas	Institut National Des Sciences Appliquées, France (Mar. – Aug. 01)
Yingkai John Liaw	University of Illinois, USA (May – Aug. 01)
Tine Greibe	Technical University of Denmark, Denmark (Jun. – Jul. 01)
Ruth Anne Child	University of Oxford, England (Jul. – Sep. 01)
Julien Derr	Ecole Supérieure de Physique et de Chimie Industrielles de Paris, France (Aug. – Dec. 01)
Richard Engstrom	Chalmers University of Technology, Sweden (Sep. 01 – Aug. 02)
Francois Dewarrat	University of Basel, Switzerland (Nov. – Dec. 01)
Niti Goel	University of Oklahoma, USA (Jan. – Feb. 02)
Ronald Hanson	Delft University of Technology, The Netherlands (Jan. – Feb. 02)
L. H. Willems van Beveren	Delft University of Technology, The Netherlands (Jan. – Mar. 02)
Frank Erik Meijer	Delft University of Technology, The Netherlands (Feb. – Aug. 02)
Kenny Shan Kivong	Institut National Des Sciences Appliquées, France (Mar. – Aug. 02)
Stephane Marcet	Institut National Des Sciences Appliquées, France (Mar. – Aug. 02)

国内実習生（2001 年度）

氏名	機関(期間)
(*は連携大学院学生)	
會澤 功嗣	東京工芸大学大学院 (H13.10～H14.3)
青木 和也*	東京理科大学大学院 (H13.4～H14.3)
秋山 亨	筑波大学大学院 (H14.1～H14.2)
浅川 直輝	東京大学大学院 (H13.6～H14.3)
浅利 祐介	早稲田大学大学院 (H13.4～H14.3)
浅山 徹哉	東京大学大学院 (H13.4～H14.3)
天羽 真一	東京大学大学院 (H13.4～H14.3)
柏 正博	湘南工科大学 (H13.7～H14.3)
川畑 達郎	東海大学大学院 (H13.4～H14.3)
北 智洋	北陸先端科学技術大学院大学 (H13.11～H14.3)
重盛 聡	静岡大学 (H13.10～H13.12)
杉尾 嘉宏	東京大学大学院 (H13.11～H14.3)
高橋 智紀	慶應義塾大学大学院 (H13.4～H14.3)
東田 昭雄*	東京理科大学大学院 (H13.4～H14.3)
中村 徳亨	早稲田大学大学院 (H13.4～H14.3)
西 義史	東京大学大学院 (H13.4～H14.3)
沼田 愛彦	東京大学大学院 (H13.6～H14.3)
萩原 恵美	東海大学大学院 (H13.4～H14.3)
本田 元就	東京大学大学院 (H13.4～H14.3)
山本 倫久	東京大学大学院 (H13.4～H14.3)
山下 隆之	東海大学大学院 (H13.4～H14.3)
横山 弘泰	東京大学大学院 (H13.6～H14.3)
和田 征大	早稲田大学大学院 (H13.4～H14.3)

I . 研究紹介

デバイス物理の研究概要

荻野 俊郎
先端デバイス研究部

情報通信技術の革新を担うハードウェア技術の主役は、シリコン(Si)集積デバイスである。先端デバイス研究部では、その究極の技術へ向けたシリコンナノテクノロジーの研究を行っている。情報処理の基本原則としては、電子一個で電子一個一個の流れを制御する単電子スイッチングが究極の技術であり、消費電力を極限まで低減したデバイスが可能となる。情報を送る機構においては、電子一個を順次隣に転送する単電子転送と、電子一個を遠方に位置するデバイスに送る単電子伝達が最終目標となる。これらのデバイスを作製する技術としては、原子一個一個のレベルでデバイス構造が制御され、かつ Si ウェーハ全面でデバイスの作製が可能な技術が究極である。この目標へ向かう手法として、リソグラフィを基本とする微細化を極限まで進める方法(トップダウン技術)と、Si 基板のもつ原子の規則配列からデバイス構造を組み上げていく方法(ボトムアップ)とがある。先端デバイス研究部では、これらの究極技術を共通目標に、その実現に向けた新コンセプトの創造を目指している。

Si ナノデバイス研究グループでは、Si 単電子デバイスとその回路応用、動作機構、プロセスシミュレーション、等の研究を進めている。これまで、単電子トランジスタを用いたインバータや加算回路などの論理回路を試作し、その動作を実証してきた。今期、単電子トランジスタの多彩な機能を発揮させる回路として、多値論理回路、多ビット加算回路、等の提案と動作の実証を行った。単電子デバイスに現れる負性微分抵抗特性の回路応用を検討した。単電子転送デバイスにおいては、室温で単電子と単正孔の転送を検出することに成功した。ナノ加工技術研究グループで行った構造評価に基づき、単電子デバイスの動作原理のモデルを提案した。デバイス作製の最も重要なプロセスである熱酸化については、原子レベルでの理論解析を基礎とする統一モデルを用いて、さまざまな条件下での酸化過程を統一的に説明できることを実証した。

ナノ加工研究グループでは、トップダウンによる加工技術の極限を目指した研究を展開している。電子ビームリソグラフィの高精度化と、レジスト材料・レジストプロセスの最適化により、ラフネスの少ない極微細パターン形成の基本技術確立した。オリジナルな技術として、超臨界流体を用いた現像プロセスを提案し、高アスペクト比・超高密度レジストパターンの形成に革新的な技術であることを実証した。Si ナノデバイス研究グループで試作した単電子デバイスの構造評価を進め、三次元構造モデル確立した。

表面構造制御研究グループでは、Si 表面の原子構造制御とナノ構造自己形成、およびカーボンナノチューブによる配線自己形成を軸に、ボトムアップによるナノ構造集積の研究を進めている。原子構造制御では、ウェーハ表面のすべての原子をデザインすることを目標に、原子ステップ配列を制御した表面の原子配列を明らかにした。ナノ構造形成では、Si 表面の Ge 量子ナノ構造の位置、分布、形状を制御する歪みエンジニアリング確立した。外部で作製したナノ粒子の導入による表面機能化のコンセプトを発展させた。放射光応用では、成長過程のその場観察技術を発展させるとともに、光電子顕微鏡によるナノ構造観察の研究を本格化した。今期、カーボンナノチューブによる配線自己形成の研究を大幅に強化し、NEDO 国際共同研究チームを組織した。ナノチューブによる Si ピラー間の架橋、電子状態計測と異種原子の導入(インターカレーション)過程の解析、原子構造評価技術の検討、等を進めた。

単電子多値論理

猪川洋 藤原聡 高橋庸夫
先端デバイス研究部

単電子デバイスは、クーロン島中の離散的な電子数を多値のレベルに対応できるため、多値論理回路への応用に適していると考えられる。しかし、単電子デバイス単独では電圧ゲインが低い、取り扱える電圧が小さい等の理由から、回路の構築が困難であった。この問題を解決するために単電子トランジスタ(SET)とMOSFETを組み合わせた複合デバイスを提案し、パタン依存酸化(PADOX)法で同一Silicon-On-Insulator(SOI)基板上に作製したデバイスを用いて動作を検証した。

新提案のデバイスはSETとMOSFETが直列につながれたシンプルなものである。MOSFETはSETのドレイン電圧を低い一定の値に保つ働きをする。この結果、デバイスを流れる電流はSETの入力電圧のみで決まり、出力電圧には依存しなくなる。ここで入力と出力をショートすることで、多数のピークを持った負性微分抵抗が二端子特性として得られる(図1)。適当な負荷(図1の例では定電流源)をつなぐと多数の安定点が現れ、それぞれを多値論理のレベルに対応させることができる[1]。

図2は提案のデバイスを、多値論理の基本回路のひとつである量子化器として動作させた際の入出力波形である。入力はサンプリングパルスが加えられた瞬間にトランスファゲートMOSFET(図示せず)を介して出力端子(図1のV)に伝えられ、近傍の安定点に量子化される。三角波の時時変化する電圧レベルが、安定点a~fに対応する電圧に明瞭に量子化される様子が観測されている。

新提案のデバイスではSETの入出力特性の周期性を利用しているため、回路規模が多値レベルの数に依存せず、極めてコンパクトな多値論理回路を作ることができる。ビット数 n に比例した回路規模のフラッシュ型A/Dコンバータや(従来は n^2-1 に比例)、キャリア伝搬の無い超高速多値加算器など、単電子デバイス応用の新たな展開が期待できる[2]。

[1] H. Inokawa et al., Appl. Phys. Lett. **79** (2001) 3618.

[2] H. Inokawa et al., International Electron Devices Meeting (IEDM) (2001) 147.

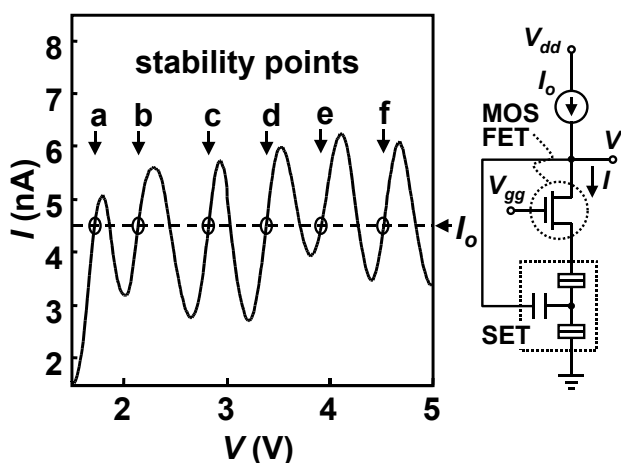


図1 SET-MOSFET 負性微分抵抗デバイスの二端子 I-V 特性。動作温度 27K。

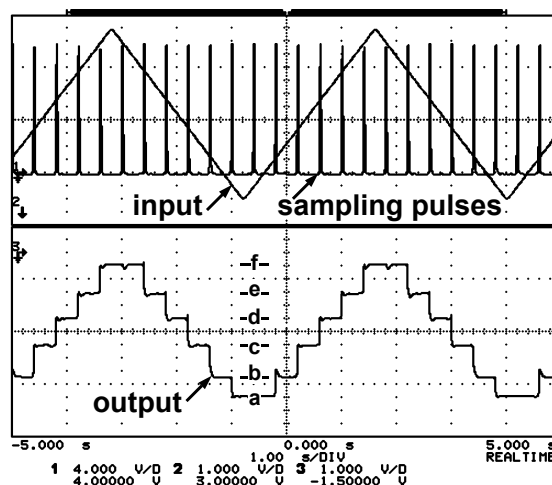


図2 量子化器の入出力波形。

レジストのラフネス発生機構

山口 徹 生津英夫
先端デバイス研究部

電子線ナノソグラフィ技術は、単電子トランジスタ等のナノ構造作製に必要な 10nm 以下の極微細パターン形成を可能にすると期待されている。その実現のためには、転写のマスクとなるレジストパターンのパターン端部のラフネス(凹凸)を低減することが不可欠となる。これまで、ラフネスの発生が、「集合体脱離現象」と呼ぶ現象プロセスに起因していることを明らかにしてきた[1,2]。レジスト膜中には 20-30 nm 程度の高分子集合体が存在する。これらの集合体内部へは現像液が浸透しにくいいため、集合体周囲部分が先に溶解し、現像時に集合体単位で脱離し、パターン表面に露出するため、ラフネスが生じるのである。今回我々は、この集合体脱離現象が、現像に用いる液体分子の大きさに強く依存していることを明らかにするとともに、集合体脱離現象を完全に抑えることに成功した。

図 1 は、現像途中のレジスト表面を原子間力顕微鏡 (AFM) で観察した像である。表面モフォロジーは、現像液の種類により、大きく異なる。通常のパターン形成に用いている酢酸ヘキシル現像では、多くの集合体が表面に露出している (図 1(c))。一方、酢酸エチル現像の場合は、表面に露出している集合体は皆無である(図 1(a))。

レジスト高分子の溶解は、現像液分子の高分子マトリックス中への浸透が律速段階となる。現像液分子の浸透は、高分子マトリックス中の高分子が占有していない空孔(自由体積)を介して行われる。したがって、集合体自身の溶解性は、集合体内部の空孔の大きさと現像液分子の大きさの相対関係により決まる。酢酸ヘキシルのような大きな分子の現像液では、現像液分子は集合体内部に浸透しにくいいため、集合体周囲部分が速く溶解する。したがって、集合体脱離現象がおき、多くの集合体が表面に露出する。一方、酢酸エチルのような小分子現像液では、現像液分子が集合体内部に拡散することが容易であるため、集合体自身を溶解することができる。したがって、集合体脱離現象が起きる代わりに、分子レベルで溶解が進行するため、集合体が表面に露出しないのである。酢酸ブチルは臨界的な大きさのため、両者の中間のような状態となると考えられる。これらの結果は、分子レベルの溶解が起きるか、あるいは集合体脱離が起きるかという溶解過程の違いが、ラフネスの発生機構と直接関係していることを示している。

[1] T. Yamaguchi et al., Appl. Phys. Lett. **71** (1997) 2388.

[2] T. Yamaguchi et al., Proc. SPIE **3333** (1998) 830.

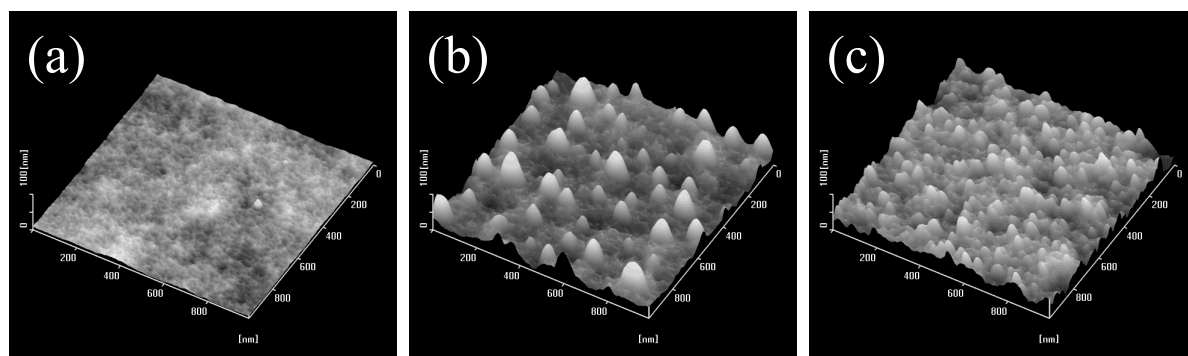


図 1 現像途中のレジスト表面の AFM 像
(a)酢酸エチル現像、(b)酢酸ブチル現像、(c)酢酸ヘキシル現像

カーボンナノチューブ配線

小林慶裕 山下隆之 本間芳和 荻野俊郎
先端デバイス研究部

半導体ナノ構造を電子デバイスに応用するには、ナノ構造間を相互に接続し、信号の入出力を可能とすることが不可欠である。しかしながら、量子効果を発現するような微細で高密度なナノ構造の接続はこれまでの配線技術では困難であった。そこで我々は、カーボンナノチューブ(CNT)を配線材料に用いることを提案している。CNT は、高い伝導率が得られること、機械的に柔軟で強靱なため信頼性の極めて高い配線が可能なこと、1~10nm の細線が自己形成できることなどが知られている。このようにナノ構造間の配線材料として理想的な物性を備えてた CNT の成長を制御することにより、ナノ構造間の配線を自己組織的にウエハスケールで形成する試みを進めている[1,2]。その最初のステップとして Si ナノ構造間に架橋する CNT の成長に成功した結果を以下に報告する。

Si ピラー形成基板に CNT を成長(口絵参照)した場合の成長形態の分布を図 1 に示す。全ピラーの 3/4 で CNT の成長が観察され、その約半数が近傍のピラー間で架橋していることがわかる。常識的にはランダムと思える CNT 成長においてこのように規則的な形態が観測されるのは、成長する際に CNT 全体が振動することによって近くのピラーを“探して”いるためであると考えている。このメカニズムを検証するために、CNT の構造をラマン分光法で調べた。図 2 はピラーの無い領域から存在する領域へスキャンしながら測定したラマンスペクトルである。1316 cm^{-1} の信号は CNT の欠陥に起因する。直線状に成長しており欠陥が少ないと予想されるピラー間に架橋した CNT の方がむしろ多くの欠陥を含んでいることがわかる。この結果は CNT が架橋成長する際に振動することによって欠陥が導入されたことを示唆しており、架橋メカニズムの妥当性を示している。

[1] Y. Homma et al., Jpn. J. Appl. Phys. **41**(2002) L89.

[2] Y. Homma et al., Physica B *in press*.

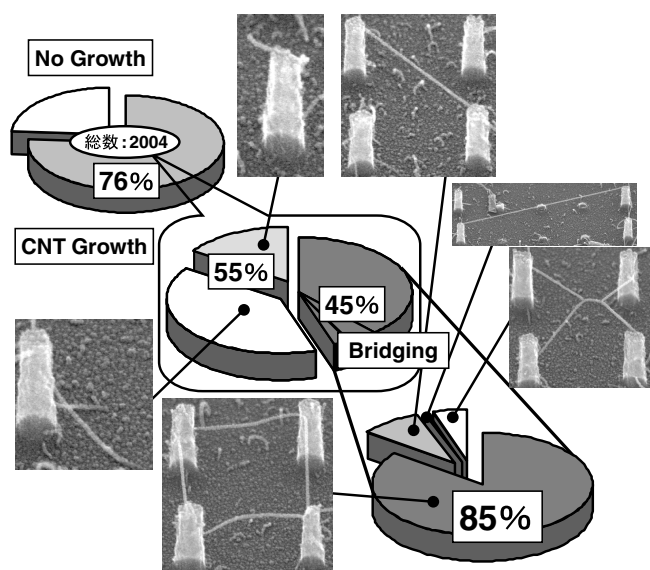


図1 CNT のピラー間架橋確率
(Fe 触媒、ピラー径 100nm、間隔 400nm)

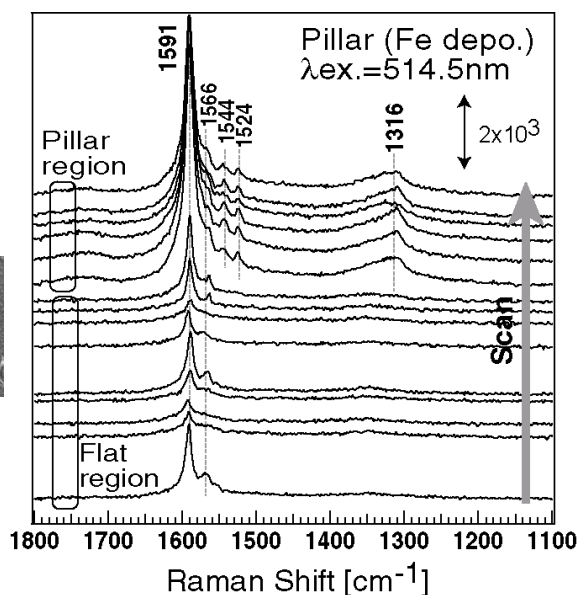


図2 ピラー構造領域と平坦領域における
ラマンスペクトルの対比

表面ナノ粒子の化学結合マニピュレーションによる Si の多機能化

K. Prabhakaran 萩野俊郎
先端デバイス研究部

ナノデバイス作製の重要な要素技術は、ナノ構造形成とともにその機能化である。しかし、自己形成においては、ナノ構造のサイズ、形状、空間的な分布、および機能を制御するには多くの問題を抱えている。したがって、自己組織化、あるいは自然に起こる形成プロセスにおいて、新たなアプローチの開拓が必要とされている。我々は、外部で合成されたナノ粒子を Si 基板上に導入し、化学結合を操作することによって多彩な機能を実現する新たな手法を提案する。ナノ粒子は Si 表面の外部で合成されるため、Si 表面では不可能な様々な制御が可能になる。

まず、外部で合成された Fe_2O_3 ナノ粒子を超音波によりエタノール中に浮遊させ、清浄 Si 基板上に付着させる。試料を乾燥させた後、表面物質を分析するための光電子分光を備えた超高真空チャンバ内に入れる。熱処理により、Fe と結合していた酸素は結合相手を Si に置換し、 SiO となって表面から脱離する。この反応により、 Fe_2O_3 ナノ粒子は 760°C 付近で完全に還元され、図1に示すように、Si 表面には元の Fe_2O_3 ナノ粒子のサイズを保持した鉄粒子が形成される。この段階で、Si 表面には図 2 に示すような軟強磁性が発現する。さらに Si 薄層を堆積し、 550°C で熱処理することにより鉄シリサイドナノ粒子が形成される。同時に、図 3 のフォトルミネッセンススペクトルに示すような発光の機能が付与される。以上のように、ナノ粒子を Si 表面に導入し、その化学結合を操作することによって、もともと Si が持っていなかった様々な機能を発現させることができる。

[1] T. Ogino et al., Account. Chem. Res. **32** (1999) 447.

[2] K. Prabhakaran et al., Advan. Mater. **13** (2001) 1859.

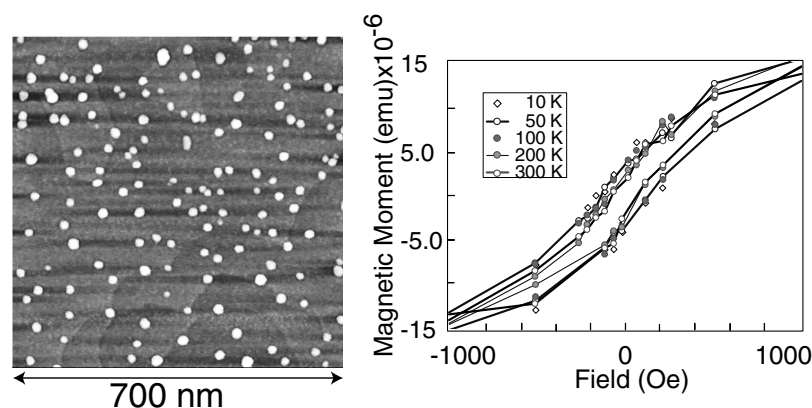


図 1 Fe_2O_3 ナノ粒子を導入し、超高真空中で熱処理することによって形成された Si 表面の原子間力顕微鏡像

図 2 鉄ナノ粒子を形成した Si 基板のヒステリシスをもつ磁化特性

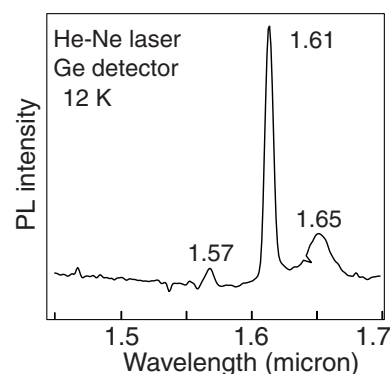


図 3 Si 薄層の堆積と熱処理を行った Si 基板からのフォトルミネッセンススペクトル

機能物質科学の研究概要

高柳英明

機能物質科学研究部

我々は、原子や分子の配列や結合を制御して、天然には存在しない新しい物質を創り出すと共に、この新物質を用いた新しい量子現象の発見や新機能の発現を目指しています。この目的のため、本研究部は以下の4つのグループが、それぞれ異なった観点から研究を進めています。各グループは、半導体などの無機物質から神経伝達物質などの有機物質にいたる広範囲な物質群をカバーするだけでなく、独自の微細加工技術や精密測定技術を通じて互いに有機的に連携されています。これによって、互いの研究領域や手段が融合し、情報流通社会における技術革新が可能となります。

分子生体機能研究グループ

単分子レベルの操作技術を利用した今までにない有機・生体分子デバイスの創出、および、神経機能を土台とした新しい情報処理機構を開拓する。

超伝導体薄膜研究グループ

MBE成長技術を利用して、新しい高温超伝導材料を合成すると共に、超伝導体薄膜を利用したマイクロ波デバイスを作製する。

超伝導量子物理研究グループ

超伝導を用いた量子コンピュータの実現、および、量子ドット列を用いた新機能の発現を目指す。

スピントロニクス研究グループ

半導体中のスピンを電氣的に制御する方法を確立し、これを用いた新しいデバイスを実現する。

今年度の代表的な成果を、次ページ以降に4つ掲載します。最初のトピックは、神経活動に対するマグネシウムイオンの影響に関するものです。ラット海馬におけるグルタミン酸の空間分布を独自の微小電極アレイで測定し、マグネシウムイオンを取り除くと神経細胞の電気活動が著しく増加することを明らかにしました。この結果は海馬における神経活動そのものがマグネシウムイオンによって制御されていることを示しています。

分子線エピタキシー法(MBE法)を用いて、金属系超伝導体の中では最も高い超伝導転移温度を持つ MgB_2 超伝導体の薄膜合成に成功しました。この薄膜は as-grown でバルクに近い超伝導転移温度を持ち、従来不可欠であった高温焼成プロセスが不要となったため、良質なジョセフソン接合や多層膜の作製に有効と考えられます。

3番目のトピックは超伝導を用いた量子コンピュータの実現に向けた研究です。今回、独自の超伝導体のリングを考案・作製し、磁束量子型の量子ビット状態の読み出しに成功しました。超伝導リングを流れる右回りおよび左回りの超伝導電流をもつ状態をきちんと分けて観測することが出来ました。

最後のトピックは、半導体中のスピンを100%の効率で選別できる、非磁性半導体のみで実現可能な半導体スピン・フィルタの理論提案です。三重障壁構造における共鳴トンネル準位をエミッタ・コレクタ間電圧で制御することにより、異なったスピン状態の電子を取り出すことが可能となります。

神経活動とマグネシウム

鳥光慶一 河西奈保子 神保泰彦
機能物質科学研究部

生体における反応においてマグネシウムイオンが重要な働きを有していることは良く知られている。しかしながら、脳などの中枢神経系の神経活動に対する役割やその作用機構については、未だ明らかになっていない。本研究では、脳における記憶の中心的役割を担う海馬神経細胞に対し、代表的神経活動である電気信号の変化やグルタミン酸の放出変化を調べることにより、マグネシウムイオン、特に低マグネシウムの神経機能への影響について検討を行っている。

試料には生まれて間もないラット(Wistar)海馬の分散培養細胞と厚さ $300\ \mu\text{m}$ の組織切片を用いる。電気測定については、リソグラフィ技術で作製した 64 チャンネルの微小電極アレイ(電極サイズが $10\sim 50\ \mu\text{m}$ 角)を用い、グルタミン酸計測には、このアレイ電極上にグルタミン酸の分解酵素であるグルタミン酸酸化酵素とその生成物を分解する酵素の西洋わさびペルオキシダーゼを二重コーティングすることにより電気化学的に空間分布を計測できるようにしたものを用いている。

マグネシウムイオンを除くことにより、海馬神経細胞の電気活動は、著しく増加する。このとき、細胞からのグルタミン酸の放出も一過性に増加し、その傾向は、海馬の各部分 CA1, CA3、歯状回において顕著である。細胞内のカルシウム濃度も一過性に増加する。

しかしながら、NMDA 受容体のアンタゴニストである MK801 は、CA1 のみの反応をブロックし、CA3 や歯状回には全く影響を与えていない。この結果は、本計測法により海馬における NMDA 受容体の空間的分布を明らかにすることが可能であるばかりでなく、その機能変化の計測についても可能であることを示唆している。マグネシウムイオンがこれら海馬神経細胞の活動に対し、著しい影響を与えることから、シナプス活動など、神経活動そのものがマグネシウムイオンにより制御されているものと考えられる。

[1] N. Kasai et al., Neurosci. Lett. **304** (2001) 112.

[2] K. Torimitsu et al., Gordon Res. Conf. **3** (2002)

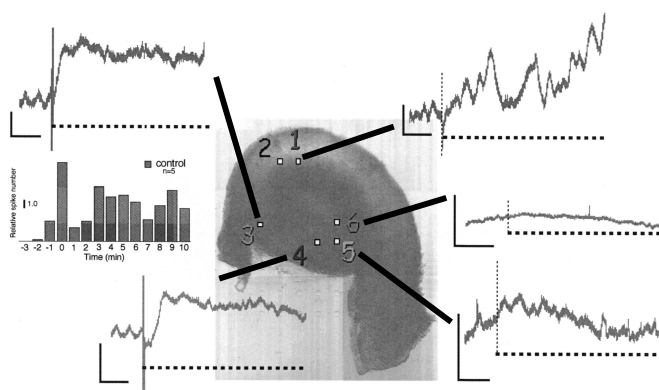


図1 海馬スライス組織におけるグルタミン酸分布とスパイク数

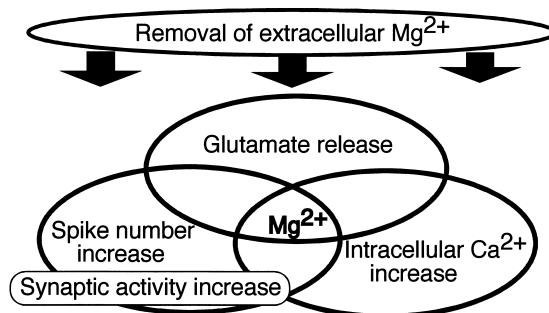


図2 グルタミン酸放出と Mg^{2+}

硼化物超伝導体 MgB_2 薄膜のその場成長

植田 研二 内藤 方夫
機能物質科学研究部

2001 年に秋光等により見出された MgB_2 (図1) は T_c (超伝導転移温度) を 39K に持ち、バルクの金属系超伝導体としては最も T_c が高い化合物である [1]。現在、超伝導に関する研究は銅系酸化物系を主体に行われているが、その T_c の向上は 1993 年の Hg-Ba-Ca-Cu-O 系超伝導体の 135 K を最後に 10 年近く頭打ちであり、かつ応用の方面でも未だに良質のジョセフソン (SIS) 接合が作製することができない等問題が多い。

そのような状況の中で発見された MgB_2 は BCS 超伝導体であるにもかかわらず、BCS 理論の予測を上回る高い T_c を持つため、その超伝導発現機構が注目されている。また、応用の観点からも、初期の実験データで既に高い超伝導臨界電流 ($\sim 10^6 \text{ A/cm}^2$) が確認されており、かつ、酸化物系に比べて線材加工や微細加工が容易なことから盛んに欧米で実用化研究が進められている。エレクトロニクス応用に関しては、高品質薄膜の作製及び薄膜上に良質のジョセフソン接合の作製ができるか否かがキーポイントとなり、このような観点から MgB_2 薄膜の合成が多数行われている。しかし、その殆どが高温焼成プロセス (600～900°C) を併用しており、 MgO 等の不純物析出、表面劣化、積層界面でのミキシング等の為、接合、多層膜作製には不向きである [2]。

我々は、分子線エピタキシー法 (MBE 法) を用い、世界で初めてバルクに近い超伝導転移温度 ($T_c \sim 35\text{K}$) をもつ as-grown MgB_2 超伝導薄膜を作製する事に成功した [3] (図2)。作製温度は 300°C 程度であり、バルク ($\sim 1000^\circ\text{C}$) やアニール膜 (600～900°C) と比較すると格段に低温である。 MgB_2 超伝導薄膜のその場低温作製により、本材料を用いたジョセフソン接合等の形成に進展が期待される。

[1] J. Nagamatsu et al., Nature **410** (2000) 63.

[2] K. Ueda, M. Naito, Studies of High Temperature Superconductors, in press.

[3] K. Ueda, M. Naito, Appl. Phys. Lett. **79** (2001) 2046.

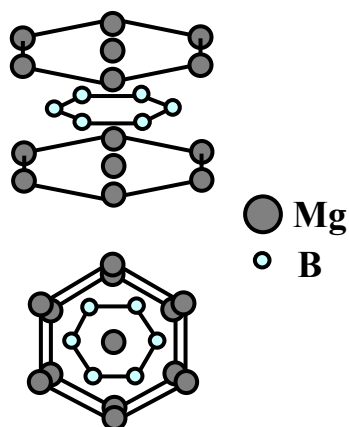


図1 MgB_2 の結晶構造

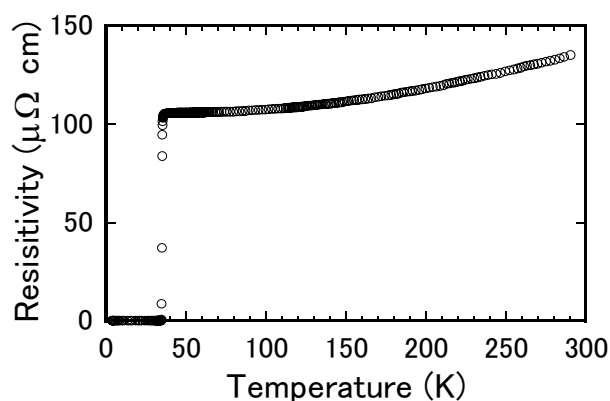


図2 MgB_2 薄膜の抵抗率の温度変化

超伝導を用いた量子コンピュータの状態読み出し

田中弘隆 斉藤志郎 上田正仁* 高柳英明

機能物質科学研究部

*NTT リサーチプロフェッサ、東京工業大学大学院

量子コンピュータは、量子力学の法則を直接利用して、高速、超並列計算を行うことが出来る新しいタイプの計算原理である。この量子コンピュータの基本素子である、量子ビットの実現のためには、量子状態という究極の状態の制御が求められる。最近我々は、超伝導体のリングを用いた、磁束量子型の量子ビットでの状態の読み出しに成功した。これらの量子状態を操る技術は、近年の、ナノテクノロジーに代表される微細構造を作製する技術の進歩により可能になった。この超伝導のリングでは、リングを流れる右回り、左回りの電流が、量子的な振る舞いを示す。今までは、量子状態とは、1 つ 1 つの原子や電子などのミクロな対象の状態をあらわすのに使われてきた。しかし、この超伝導リングの電流の量子状態は、百万個以上のクーパーペアによって担われているという点で巨視的量子現象と呼ばれ、物理的にも興味を持たれている。これは、シュレディンガーの猫と呼ばれる量子力学の解釈の問題として議論されることもある。このリングの量子状態の読み出しは、量子コンピュータの出力にあたるばかりでなく、量子力学では観測にあたり、そのダイナミクスは非常に重要になる。図1に全体の構造を示すが、読み出しは、量子ビットの近くに配置した DC-SQUID というデバイスを用いて行なった。読み出し特性について実験的に詳細に調べた結果、図2のように、右回り、左回りの電流をもつ状態がきちんと分かれて観測されることが示された。今後は、量子状態を任意の状態に制御してから読み出すための研究を進める予定である。

[1] H. Tanaka et al., Physica C **368** (2002) 300.[2] H. Tanaka et al., Supercond. Sci. Technol. **14** (2001) 1161.

[3] H. Takayanagi et al., Proc. of Jubilee Nobel Symposium (Dec. 2001, Goteborg Sweden), to be published in Physica Scripta.

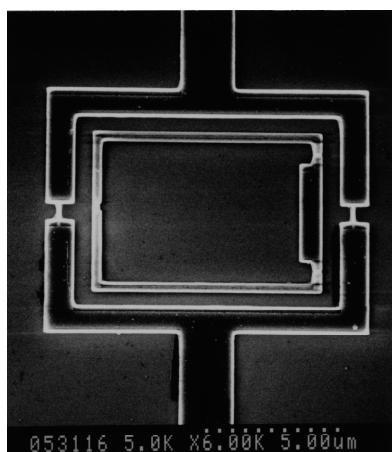


図1 電子顕微鏡写真。中心の四角が量子ビット、外側が読み出しデバイスの DC-SQUID (超伝導量子干渉計)。量子ビットに 3 つ、DC-SQUID に 2 つあるくびれはジョセフソン接合とよばれ、1~5nm のアルミニウム酸化膜がアルミニウムの間に挟み込まれている。

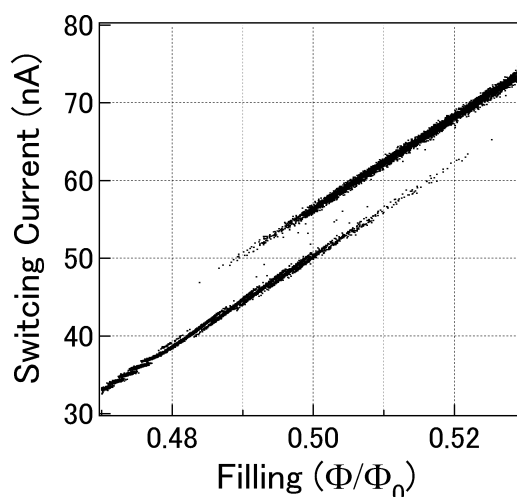


図2 DC-SQUID の読み出し特性。外部の磁場を変化させた場合の SQUID のスイッチング電流の変化を繰り返し測定すると、上下 2 つのラインにきちんと分かれて状態が読み出されていることがわかる。これは理論的に求めた量子ビットの波動関数とよく一致する。(口絵参照)

半導体スピン・フィルタの提案

古賀 貴亮 新田 淳作
機能物質科学研究部

将来の電子デバイスにおいては、電子の持つ電荷の自由度とともにスピンの自由度の利用が新機能発現の鍵となると考えられている。これまでは、このような観点から、(i) 強磁性金属／非磁性半導体接合を利用したスピン注入、(ii) ゲート電圧による非磁性半導体2次元電子気体中のスピン歳差運動の制御、(iii) 希薄磁性半導体を利用したスピンの磁氣的制御、などの研究が行われてきた。今回、我々は、半導体ヘテロ構造中の電場によるスピン-軌道相互作用と共鳴トンネルデバイス構造を組み合わせることにより、材料の磁氣的性質を一切使用しない(非磁性半導体のみで実現可能な)半導体スピン・フィルタを提案した[1]。このスピン・フィルタは、ほぼ100%の効率でスピンを選別することができ、将来的には量子ビットや磁気メモリの情報読み出しデバイスに応用できる可能性を秘めている。

提案するスピン・フィルタは、井戸層、障壁層にそれぞれ $\text{In}_{0.53}\text{Ga}_{0.47}\text{As}$ 、 $\text{In}_{0.52}\text{Al}_{0.48}\text{As}$ を利用した三重障壁構造をしている(図1)。また、これらの障壁層が適当にドーピングされた結果(barrier1, barrier3 は n 型に barrier2 は p 型にドーピングされている)、図1(b)(c)に示すような特徴ある山型のポテンシャルが実現している。これにより、最初と次の量子井戸中(それぞれ well1、well2 と呼ぶ)に形成される共鳴トンネル準位は、図1(b)(c)のようにスピン分離を起こし、エミッタ・コレクタ間電圧(V_{EC})を制御することにより、2つの違ったスピン状態の電子を取り出すことができる。図2に示したのは、トランスファ・マトリックス法によって計算した、いくつかのデバイス構造に対する提案デバイスの I - V 特性である。図2(a)のように山型ポテンシャルが最も急峻なデバイスでは、 I - V 特性上のピークのスピン分離が最も大きく、図2(c)のように井戸中のポテンシャルが平坦なデバイスにおいては、ピークの分離がみられないことがわかる。今後は、提案デバイスを実際に作製し、実験による動作の検証を行う予定である。

[1] T. Koga, J. Nitta, H. Takayanagi, and S. Datta, Phys. Rev. Lett. **88** (2002) 126601.

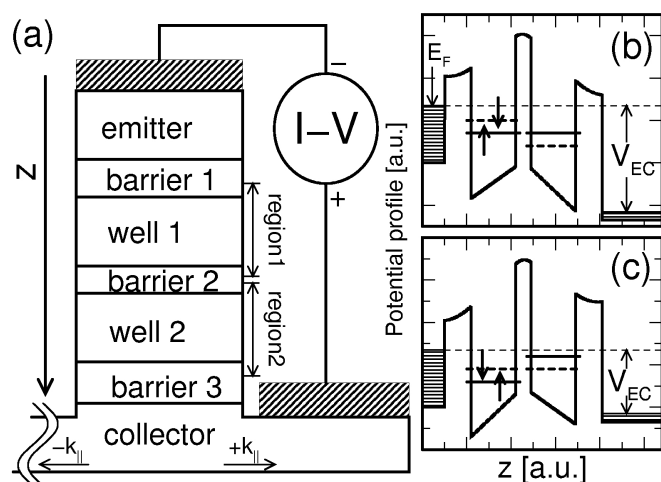


図1 本研究で提案する非磁性半導体共鳴トンネルスピン・フィルタ

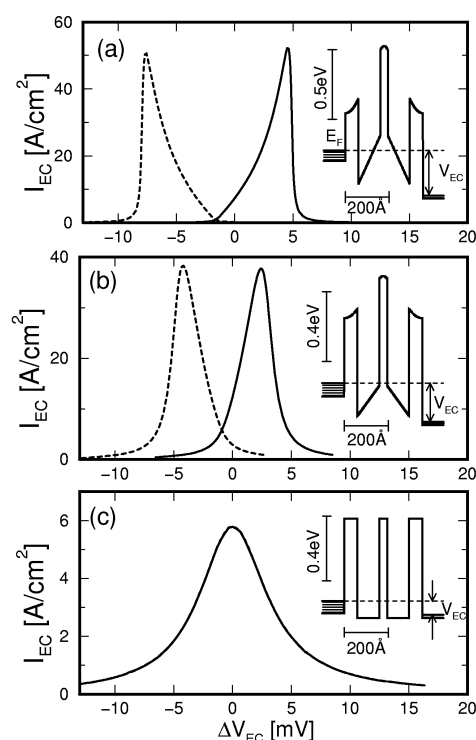


図2 I - V 特性

量子電子物性の研究概要

向井孝彰
量子物性研究部

情報通信技術に大きな変革をもたらす先端半導体成長技術を駆使した革新的半導体デバイスの提案、ならびに電子物性分野における学術的貢献を目指して研究を進めています。本研究分野の研究は量子電子物性研究グループ、ワイドギャップ半導体研究グループにより進められています。各研究グループの研究項目と本年度の代表的な研究成果の概要を下記に示します。

量子電子物性研究グループ

- (1) 低次元半導体ヘテロ構造中のキャリア関連の研究(高移動度半導体中二次元電子、正孔の輸送特性、二層二次元系のキャリア関連、伝導電子と核スピンの関連)
- (2) 量子ドット半導体構造における量子電子状態制御の研究(量子ドットの電子状態、スピン制御、キャリアダイナミクス、量子計算機構成法の基本特性の解明)
- (3) 半導体ナノメカニカルシステムの研究(構造作製と物性評価)、ナノプローブ技術(低温 STM による電子状態のナノスケール直接観測)

ワイドギャップ半導体研究グループ

- (1) 有機金属気相成長法を用いた GaN 結晶成長およびデバイス作製加工技術の研究
- (2) GaN 半導体を用いた電子および光デバイス物理の研究
- (3) AlN 冷陰極材料の電界発光の研究
- (4) ダイヤモンド薄膜結晶成長と物性解明の研究

本研究分野の本年度の代表的な研究成果4つを次ページ以降に掲載しています。

極低温で動作する走査型トンネル顕微鏡を用いて、半導体ナノ構造に閉じ込められたゼロ次元状態の電子波を直接観測することに初めて成功し、測定した局所状態密度の分布が計算によるゼロ次元固有状態の存在確率分布と良く一致することを実証しました。これは量子力学が古くから教えてきた現象を、あたかも顕微鏡を覗くように検証したものです。

二層の二次元電子ガスからなる電子二層系に垂直磁場を印加すると、層間の結合により二つに分離したサブバンドから派生したランダウ準位が様々に交差します。この交差状態でもエネルギーギャップが存在し量子ホール状態が出現することを見出しました。これは、電子系に強磁性的秩序が形成された結果生じる新しいタイプの整数量子ホール効果です。

波長 200～360nm の紫外波長域で発光可能な AlGaIn を活性層に持つ発光ダイオードを作製し、従来よりも 1 桁以上高い光出力 10mW を波長 352nm で実現しました。外部取り出し効率はまだ 1% であるものの、内部量子効率には既に 80% に達しており、Al を含む窒化物材料系の高効率発光デバイスとしてのポテンシャルの高さを初めて実証したものです。

独自に開発した正孔濃度が高い p 型 InGaIn をベース層に用いて、Npn 型ヘテロ接合バイポーラトランジスタ(HBT)を作製し、世界トップクラスの電流利得 20 を実現しました。このことは p 型 InGaIn 層の結晶性が良好であることと、大きなバンドギャップを持つ窒化物半導体の高出力電子デバイスとしての可能性を実証したものです。

半導体ナノ構造中のゼロ次元状態の観察

蟹澤 聖 都倉康弘 山口浩司 平山祥郎
量子物性研究部

微細加工技術の進歩により、今日ではナノスケールの素子が作製可能となっている。ナノスケール領域では、量子力学的波動性が電子物性を支配する。電子の波動性を活用した高機能な量子効果デバイスや量子コンピュータなどを実現するには、ナノ領域での電子の振る舞いを実空間観察して理解することが重要である。そのため我々は、低温で動作する走査トンネル顕微鏡 (STM) を応用した微分伝導度 (dI/dV) 測定により局所状態密度 (LDOS) 分布測定を可能とし、化合物半導体 InAs (砒化インジウム) の薄膜表面に存在する二次元伝導電子ガス (2DEG) の Friedel 振動の観察など、波動性に起因する伝導電子の振る舞いの評価を実現してきた [1]。

今回、半導体ナノ構造に閉じ込められた電子の振る舞いの評価にこの観察技術を適用し、ゼロ次元状態の電子波を直接観察することに初めて成功した [2]。図 1 に、積層欠陥四面体と呼ばれる半導体ナノ構造を示す。電子波長サイズのものは InAs 表面蓄積層中の 2DEG を閉じ込めるゼロ次元構造 (量子ドット) として機能する。ナノ構造において測定した LDOS 分布が、計算によるゼロ次元固有状態の各存在確率分布と、エネルギー準位差も含め良く一致することがわかった。これは、ゼロ次元量子化により状態密度分布のエネルギー依存性が離散化の傾向を示すようになったためであり、特に電子エネルギーが量子準位に一致する場合では、構造内部の LDOS が外部に比べて高くなる量子力学的共鳴現象も観測することができた。

[1] K. Kanisawa, M. J. Butcher, H. Yamaguchi, and Y. Hirayama, Phys. Rev. Lett. **86** (2001) 3384.

[2] K. Kanisawa, M. J. Butcher, Y. Tokura, H. Yamaguchi, and Y. Hirayama, Phys. Rev. Lett. **87** (2001) 196804.

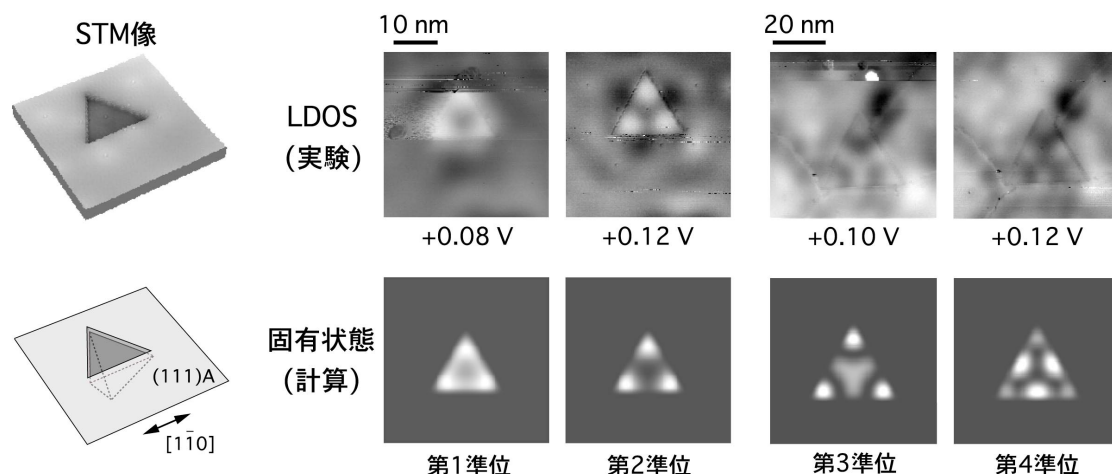


図 1 半導体ナノ構造の STM 像と透視図(左)、及び測定した LDOS 分布と計算で求めたゼロ次元固有状態(右)。明るい領域は高い LDOS (存在確率) に対応。

電子二層系における擬スピン強磁性秩序

村木康二 佐久規 平山祥郎
量子物性研究部

半導体成長技術の進歩によって、数ナノメートルの厚さのトンネル障壁によって隔てられた二層の二次元電子ガスを作成することが可能である。そのような系(電子二層系)では、二層間の電子-電子相互作用やトンネリングの強さを制御することが可能であり、それによって一層系では得られない新しい物性が期待される。特に電子系に垂直磁場を加えることによって電子の運動エネルギーは離散的なランダウ準位へと凍結され、電子間相互作用の効果はより顕在化する。この研究では、フェルミエネルギー(E_F)において交差する2つのランダウ準位を仮想的なスピン(擬スピン)の上向き、下向き状態とみなした場合、特定の条件下で電子系が強磁性的秩序を示すことを明らかにした。

我々は、電子密度およびポテンシャルの対称性を独立に制御するため、フロントゲートおよび n^+ -GaAs バックゲートを有する新しい GaAs/AlGaAs 量子井戸構造を作成した[1, 2]。我々が用いた幅 40 nm の量子井戸では、対称(S)および反対称(A)波動関数をもった2つのサブバンドが占められており、実効的に二層系として振舞う[図1(a)]。垂直磁場を加えると、2つのサブバンドからランダウ準位が派生し、様々な準位交差を生じる[図1(b)]。これらのエネルギー構造や準位交差は、ポテンシャルを対称に保ったまま磁場と電子密度の関数として磁気抵抗を測定することによって確かめることができる[図1(c)]。活性化エネルギーの測定により、ランダウ準位占有率 $\nu = 3, 4$ において、2つの準位がフェルミエネルギーで交差する場合においても有限のエネルギーギャップが存在することが分かった[図2(a), (b), (c)]。このエネルギーギャップは電子系に強磁性的秩序が存在することを表しており、それによって電子の擬スピン反転が抑制され、散逸的な電流が消失する。これは相互作用のみによって生じた新しいタイプの整数量子ホール効果である。

[1] K. Muraki, N. Kumada, T. Saku, and Y. Hirayama, Jpn. J. Appl. Phys. **39** (2000) 2444.

[2] K. Muraki, T. Saku, and Y. Hirayama, Phys. Rev. Lett. **87** (2001) 196801.

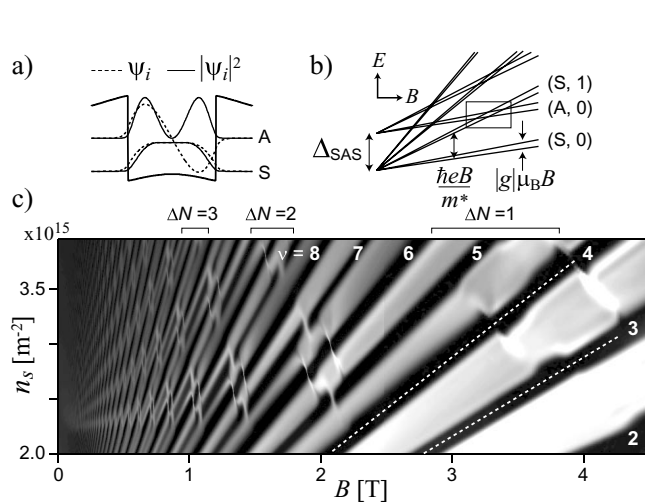


図1(a) 単一量子井戸の波動関数 (b) 二層系におけるエネルギー準位図 (c) 50 mK における磁気抵抗のグレースケール表示. 暗い領域は小さい R_{xx} を示す.

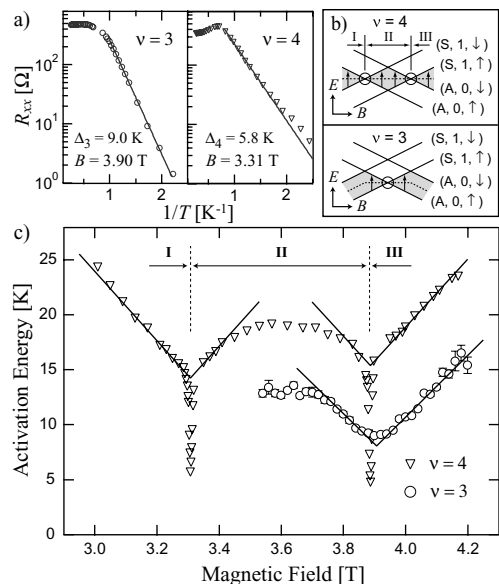


図2(a) R_{xx} vs $1/T$ (b) $\nu = 3, 4$ における準位交差付近のエネルギー準位図 (c) 磁場の関数として現した活性化エネルギー.

Npn 型 InGaN/GaN 窒化物半導体ヘテロ接合バイポーラトランジスタ(HBT)

牧本俊樹 熊倉一英 小林直樹
量子物性研究部

窒化物半導体は大きなバンドギャップを持っているため、電子デバイスへ応用すれば、極めて出力の大きなデバイスや、高い温度でも使用することのできるデバイスを作製することが期待できる。一方、電子デバイスの一種類であるヘテロ接合バイポーラトランジスタ (Heterojunction Bipolar Transistor ; HBT) は、降伏電圧が高い、電流密度が高い、閾値電圧が一様である、という特徴を持つため、高出力電子デバイスに適している。従って、窒化物半導体で HBT を作製することができれば、材料およびデバイスの両面から、従来よりさらに高出力用の電子デバイスの作製が期待できる。しかしながら、今までに良好な窒化物半導体 HBT の報告例は少なかった。この主な原因の一つは、GaN では抵抗の低い p 型層を成長することが困難であること、もう一つは、p 型 GaN は加工ダメージに弱いこと、である。この二つの大きな問題点を解決するために、我々は InGaN に着目し、GaN に比べて加工ダメージが少なく、室温における正孔濃度が 10^{19} cm^{-3} 以上にも達することを見出した。[1、2]

今回、この加工ダメージに強く、正孔濃度が高い p 型 InGaN を Npn 型 HBT のベース層に初めて応用した。図1は、作製した InGaN/GaN 窒化物半導体 HBT の構造を示している。また、降伏電圧を高くするために、コレクタ層には InGaN よりもバンドギャップが大きな GaN を用いた。この構造において高い電流利得を得るためには、エミッタから注入した電子をコレクタへ到達させることが必要である。このため、ベース層とコレクタ層の間には、In 組成を変化させた傾斜 InGaN 層を挿入した。図2は、室温におけるエミッタ接地電流—電圧特性を示している。図2からわかるように、実用に一步近づく高い電流利得 (20) を得ることに成功した。このことは p 型 InGaN 層の結晶性が良好であることも示している。さらに、窒化物半導体の特徴である 20V 以上の高い降伏電圧が得られている。[3、4] 今後、低転位密度化などによる結晶品質の改善、プロセスダメージの低減などにより、さらなる特性の改善が期待できる。

[1] K. Kumakura et al., Jpn. J. Appl. Phys. **39**, (2000) L337.

[2] T. Makimoto et al., J. Cryst. Growth **221**, (2000) 350.

[3] T. Makimoto et al., Appl. Phys. Lett. **79**, (2001) 380.

[4] T. Makimoto et al., phys. stat. sol. (a) **188**, (2001) 363.

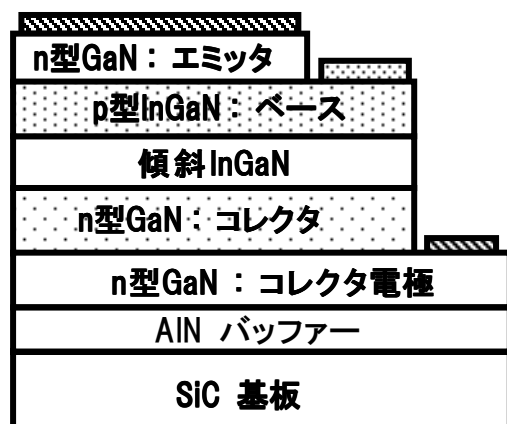


図1 InGaN/GaN 窒化物半導体 HBT の構造

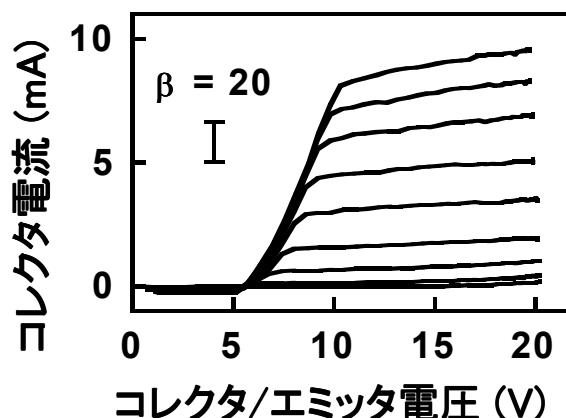


図2 エミッタ接地電流—電圧特性

AlGaN 系紫外発光ダイオード

西田敏夫 小林直樹
量子物性研究部

窒化アルミニウム・ガリウム (AlGaN) は直接遷移型のワイドギャップ半導体で、波長 200 ~ 360 nm の波長域で半導体紫外光源が可能である。また紫外光源は照明・ディスプレイ・蛍光分析・光触媒化学・高分解能光学機器等の多様な応用分野を有している。しかしながら、これまで Al を含む材料による高効率発光は困難と言われ、その実現は疑問視されてきた。これに対し、我々は窒化物半導体の光・電子物性を明らかにすることにより、窒化物半導体紫外光源を実現する研究を進めてきた。

高効率な発光を実現するためには量子井戸構造が望ましい。これまで、我々は窒化物半導体量子井戸構造においては内部分極を抑制することが発光効率向上に不可欠であることを明らかにした。このような窒化物半導体光物性に基づく知見に加えて、低抵抗かつ透明な電流注入層 (クラッド層) を実現するための短周期超格子構造 (SPASL)、高電流注入を実現する高 Al 組成電流ブロック層 [1]、更に結晶欠陥での非発光過程を抑制する高品質 GaN 単結晶バルク基板を採用し、紫外発光ダイオード (UV-LED) の特性向上を図った [2]。

図 1 に試作した LED の構造を示す。本素子は内部分極を抑制する厚さ 2nm (8 分子層) の AlGaN 単一量子井戸発光層、これを挟む高 Al 組成 ($\text{Al}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{N}$) 電流ブロック層、更に周期 3nm の SPASL クラッド層 ($\text{Al}_{0.16}\text{Ga}_{0.84}\text{N}/\text{Al}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{N}$) から成っている。図 2 に本 LED の動作特性を示す。発光出力は波長 352nm で従来よりも 1 桁高い 10mW を達成した。微分外部量子効率は最大 1% を示し、LED 構造から算出される内部量子効率は 80% に達する値である。これは既存の可視・赤外の発光ダイオードと比べても同程度となる高い値となっている。また発光スペクトルの単色性が良好で、可視光波長領域での深い準位からの発光が充分抑制されている [2]。

更に、本 LED からの紫外光を用いて照明やディスプレイに使用されている赤・青・緑の 3 原色の蛍光体の励起実験を行なったところ、同時にかつ同程度の効率で励起できることを示し、その応用可能性を明らかにした。 [3]

[1] T. Nishida et al., Appl. Phys. Lett. **78** (2001) 3927.

[2] T. Nishida et al., Appl. Phys. Lett. **79** (2001) 711.

[3] T. Nishida et al., Phys. Stat Sol. (a) **188** (2001) 113.

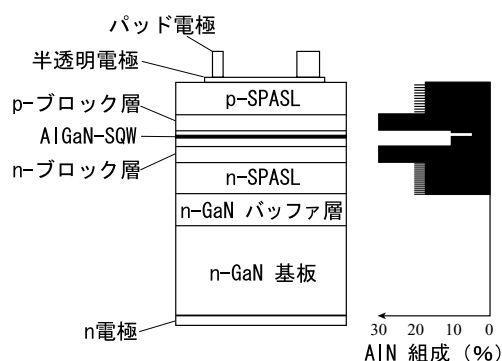


図1 UV-LED の構造

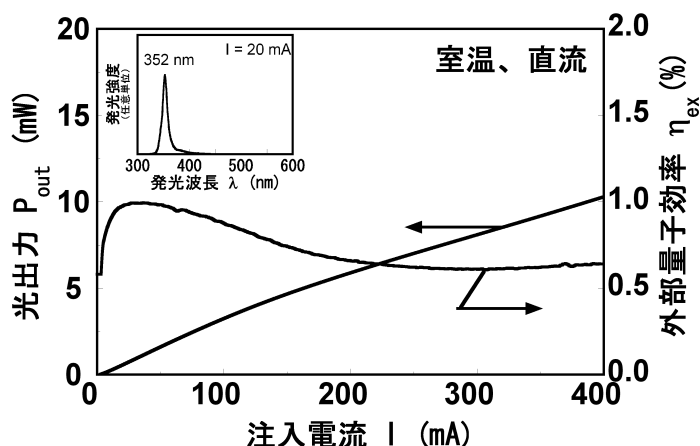


図2 試作した LED の発光出力、効率、発光スペクトル特性

量子光学・光物性の研究概要

向井孝彰
量子物性研究部

光通信技術や光情報処理技術に大きなブレークスルーをもたらす革新的基盤技術の提案、ならびに、量子光学・光物性分野における学術的貢献を目指して研究を進めています。本研究分野は量子光制御研究グループ、超高速光物理研究グループ、光デバイス物理研究グループ、フォトニックナノ構造研究グループにより進められています。各研究グループの研究項目と本年度の代表的な研究成果の概要を下記に示します。

量子光制御研究グループ

- (1) 量子情報技術の研究(量子暗号、量子計算、量子エンタングルメントの理論と実験)
- (2) 原子波制御の研究(アルカリ金属原子のボーズ・アインシュタイン凝縮の理論と実験)

超高速光物理研究グループ

- (1) フェムト秒レーザを用いた高輝度・短パルス軟X線の発生・計測とその応用の研究
- (2) 超短光パルス誘起 THz電磁波発生とその応用

光デバイス物理研究グループ

- (1) 量子ドットの励起子およびスピンの物性とそのコヒーレント量子操作の研究
- (2) 窒化物半導体の光物性とデバイス応用の研究(吸収・発光、分極効果、励起子効果)
- (3) ナノスケール加工技術と周期構造効果の研究

フォトニックナノ構造研究グループ

- (1) SOI 基板上2次元フォトニック結晶光回路の研究(線欠陥導波路、点欠陥共振器など)
- (2) 3次元フォトニック結晶および有機フォトニック結晶レーザの研究
- (3) フォトニックナノ構造と物質系の相互作用の研究(負の屈折現象、群速度分散)

本研究分野の本年度の代表的な研究成果4つを次ページ以降に掲載しています。

個別粒子攻撃に対して安全なビットコミットメントのための量子プロトコルの構築に成功しました。これは、光子などの情報キャリア粒子が持つ物理的な性質を巧みに利用してセキュリティ情報処理を行う量子暗号の手法を、暗号鍵配送以外の認証・署名や秘密証拠供託などのマジックプロトコルに拡張したものです。

高強度フェムト秒レーザを用いて発生される超短パルス軟X線のパルス幅を、急峻に立ち上がる Kr 原子の光電界イオン化過程を利用して測定する新しい相関パルス幅測定法を提案、実証しました。本測定法は、現在、ストリークカメラの 1ps に制限されているX線領域でのパルス幅測定の時間分解能を大きく向上させる可能性を秘めています。

単一の InGaAs 量子ドット中に生じる励起子の分布数を、照射する光パルス対の位相制御により、加算と減算を自在に制御できることを実証しました。この結果は、量子ドット励起子を基本素子とする光量子コンピュータが必要とする回転ゲート操作を実現したものです。

SOI 基板上の2次元フォトニック結晶中に光導波路を作製し、バンドギャップ波長内で単一モード伝搬する光導波路としての動作を初めて確認しました。また、この光導波路中では光の伝搬速度が空気中の光速の 1/100 まで減速することを見出しました。これらは、将来のフォトニック結晶をベースとした超小型・高機能光集積回路実現への大きなステップです。

量子マジックプロトコル

清水 薫 *井元 信之
量子物性研究部

情報の秘匿にとどまらず、認証・署名なども含めた広い意味での現代暗号の重要性は益々高まっている。しかしながら、これらの現代暗号は、「ある種の数学的な問題を解くためには天文学的な時間が必要になるだろう」という数学的予想を安全性の根拠としており、解読の原理的な不可能性を保証してはいない。それに対して量子暗号は、光子などの情報のキャリア粒子がもっている物理的な性質を巧みに利用してセキュリティ情報処理を行う試みであり、その目的は不確定性原理という自然法則によって暗号の安全性を保証することにある。量子鍵配送プロトコルはそのような試みの中でも最も成功した例であり、離れた二者間での原理的に安全な暗号鍵の生成共有を可能にしている。一方で量子暗号の手法を、鍵配送以外の処理、例えば認証・署名や秘密証拠供託などの所謂マジックプロトコルに拡張することは容易ではなく、幾つかの原理的困難も見出されている。

このような背景のもと、我々は、「どのような量子マジックプロトコルならば実現可能なか?」、「達成される安全性に制限をつけた場合でも、量子力学の利用はマジックプロトコルの構築において利点をもたらさうか?」、という問題意識をもって研究を進めてきた。そして肯定的な結果として、(1)「鍵の繰り返し利用が可能な暗号文伝送」のための量子プロトコル[1]、(2)「個別粒子攻撃に対しては安全なビットコミットメント」のための量子プロトコル[2]の構築に成功している。前者は、暗号文に対する盗聴を監視することによって暗号鍵の安全性低下を未然に防ぐ方法である。後者は、1ビット情報の秘密証拠供託、すなわちビット値自体は秘密にしたまま、しかし既に選択済みであることを確信せしめるに足る証拠を相手に与えるための量子プロトコルであり、個別粒子攻撃と呼ばれる実際的な暗号破りの方法に対しては安全であることが示される。更に従来 of 類似のプロトコルと比較して、誤り訂正符号を有効に活用できるため、使用する光子の数を格段に減らすことができ、また伝送誤りに対する耐性も高いという特徴をもつ。

図1はこれらのプロトコルを実現する際に利用する四経路干渉計であり、伝播する光子の経路に関する量子力学的重ね合わせ状態を操作することにより量子通信チャネルを実現できる[1]。(* NTT リサーチプロフェッサ、総合研究大学院大学)

[1] K. Shimizu and N. Imoto, Phys. Rev. A **60** (1999) 157, Phys. Rev. A **62** (2000) 054303.

[2] K. Shimizu and N. Imoto, Phys. Rev. A **65** (2002) 032324.

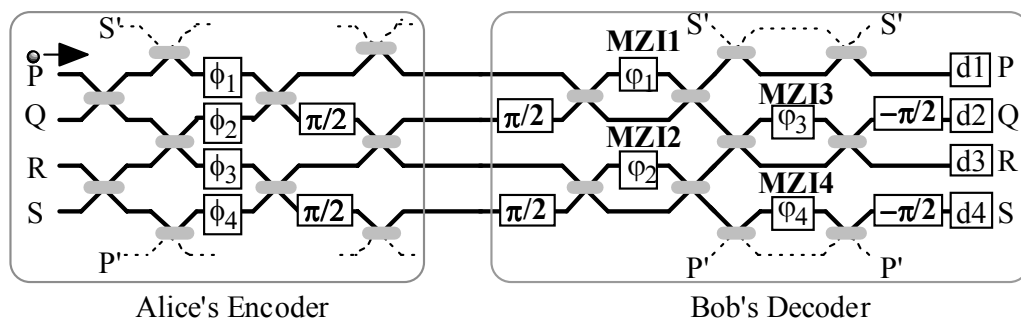


図1 量子通信チャネルのための四経路一光子干渉計

超短パルス軟 X 線波形計測

小栗克弥 中野秀俊 西川正
量子物性研究部

近年、高強度フェムト秒レーザを用いた様々な超短パルス X 線光源の開発により、ピコ秒からサブピコ秒スケールの時間分解 X 線吸収や X 線回折の実験が可能となってきた。そのような超高速時間分解 X 線分光における時間分解能は X 線のパルス波形によって制限されているため、X 線パルス波形は把握すべき重要なパラメータである。しかしながら、従来 X 線パルス波形計測に用いられてきた X 線ストリークカメラの時間分解能は現時点で高々 0.9 ps 程度であり、さらに高い時間分解能を達成するのは難しい。従って、サブピコ秒の X 線パルス波形を測定するためには、フェムト秒レーザパルスの波形計測に幅広く用いられてきた相関法を X 線の波長領域まで拡張することが不可欠である。

我々は光電界イオン化による Kr^+ イオンの急峻な密度変化を超高速動作する X 線吸収スイッチとして利用した相互相関法を用いて、100 fs レーザ生成 W プラズマから発光する超短パルス軟 X 線波形計測の実証実験を行った[1]。図 1 は時間積分した軟 X 線スペクトルの一例である。図 1(a) はプラズマからの軟 X 線発光スペクトルを示している。図 1(b) は、Kr ガス中の軟 X 線透過スペクトルであり、13.5 nm 付近に 3 本の中性 Kr の吸収線が明瞭に観察される。軟 X 線パルスの到着より 3 ps 以前に Kr ガスにポンプ光を照射すると、イオン化のため Kr イオンの吸収線が新たに現れ、それに伴い中性 Kr による吸収は減少する (図 1(c))。15.6 nm に位置する Kr^+ の吸収線に着目し、その差分透過量をレーザパルスと軟 X 線パルスの遅延時間の関数として図示した (図 2)。この図の差分透過量は軟 X 線パルスと階段関数的に瞬時変化する軟 X 線吸収とのたたみこみである。その結果、軟 X 線パルス波形をガウシアンと仮定してデータをフィッティングすることにより、半値全幅が 3.8 ps であることがわかった。この値はストリークカメラによる計測値ともよく一致しており、本方法の有効性が実証できた。本方法の時間分解能を制限する光電界イオン化は照射するレーザパルスの立ち上がり部分で完了するので、レーザ光のパルス幅よりもさらに短い時間分解能が期待できる。

[1] K. Oguri et al., Appl. Phys. Lett. **79** (2001) 4506.

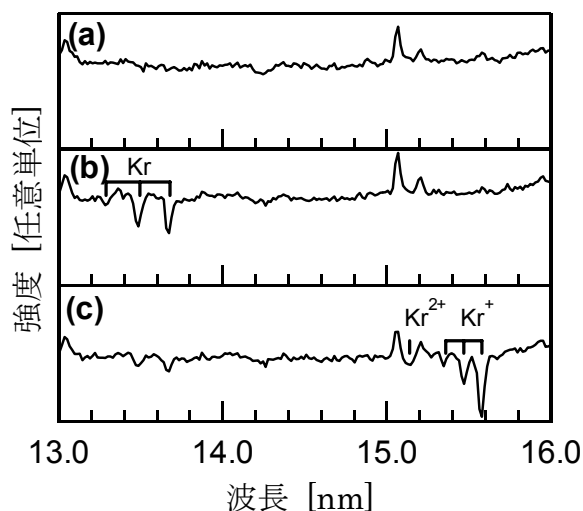


図1 波長 13 – 16 nm 領域における軟 X 線透過スペクトル

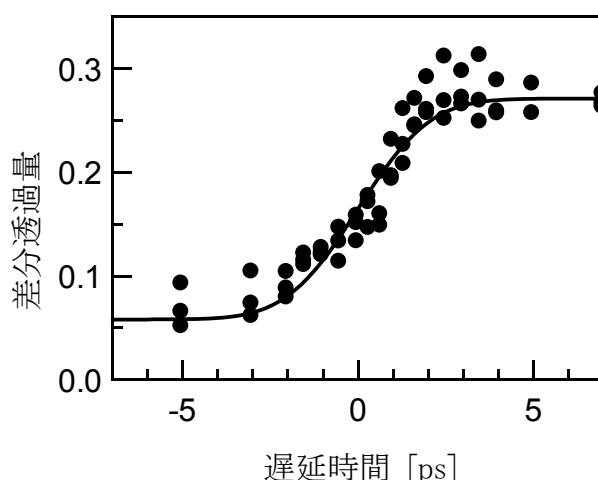


図2 15.6 nm における軟 X 線透過量の遅延時間依存性

単一量子ドット励起子の量子ゲート操作

鎌田英彦 後藤秀樹

量子物性研究部

量子コンピュータに必要な量子ビットの実現に向けて、半導体量子ドット中に生じる励起子(一対の電子・正孔ペア)を光によって自在に制御することに成功した。

半導体量子ドット励起子では、状態の離散化によるフォノン散乱の抑制から長いコヒーレンス寿命が得られる。このため、コヒーレンス寿命以内に極短パルスレーザを用いて十分な回数のゲート操作を行うことができると期待され、量子コンピュータにおける量子ビットの候補として非常に有望である。

InGaAs 量子ドットへの光照射により光の位相情報は励起子の周期的な分極振動へ受け継がれる。この分極振動のコヒーレンスが続く限り、励起子が存在する確率は時間の経過とともに光の吸収によって増大し、また逆に光を放出することで減少する。光電場に比例して頻繁になるこの繰り返しがラビ振動である。これまでの研究により、このラビ振動の観測に成功し、さらに分極振動が 40 ps 以上と普通の半導体の数 10 から数 100 倍も長く続くことを確認していた。

今回、励起子の存在確率の自由な制御を目的として、時間を精密に制御してずらした2つの光パルスを単一の量子ドットに照射して、励起子重ね合わせ状態の制御を狙った。光がつくるコヒーレントな重ね合わせ状態はフォノン放出によって最低準位へ転写されるため、励起子の存在確率はそこでの自然放出光の強度から知ることができる。1.5 ps の第1パルスで約 30-40%の重ね合わせ状態をつくり、その 10 ps 後に同位相のパルスを照射した時には励起子の強度は倍増し、逆位相の場合には消滅することが確認できた(図1)。この結果は量子ドット励起子を基本要素とする量子ビットで量子コンピュータが必要とする回転ゲート操作を実証したことを意味する。

[1] H. Kamada, H. Gotoh, J. Temmyo, T. Takagahara, and H. Ando, Phys. Rev. Lett. **87** (2001) 246401.

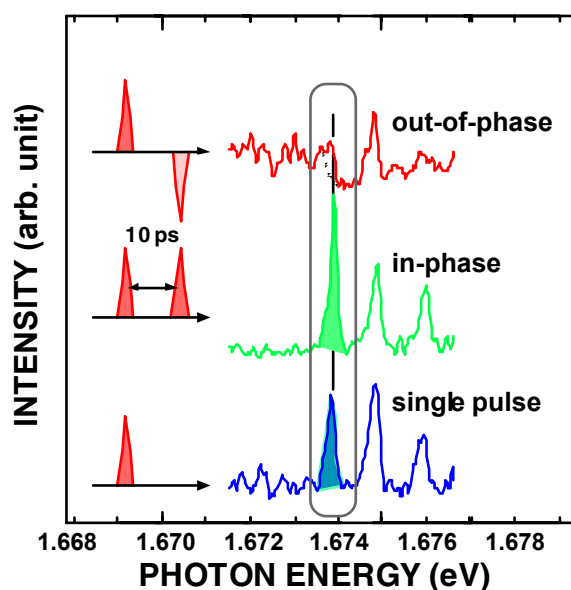


図1 1.5 ps の光パルス対による重ね合わせ状態の制御の実験: 第1パルスの後、第2パルスが同位相であるか逆位相であるかに応じて、励起子の population は倍になるか、消失する。

フォトニック結晶単一モード光導波路

納富雅也 新家昭彦 横浜至
量子物性研究部

フォトニック結晶とは光の波長と同程度の周期を持つ屈折率の周期構造であり、近年のナノ加工技術の進展によって作製可能になった人工結晶である。この結晶はある条件を満たすと光の伝播を許さないフォトニックバンドギャップを持ち、このギャップ内の波長に対して自然界には存在しない光絶縁体として振舞い、光を波長サイズの領域に強く閉じ込めることが可能となる。従来の光回路では屈折率差による全反射により光閉じ込めを行っていたが、この方法では閉じ込めサイズは波長に比べてはるかに大きくなってしまい、これが光回路の小型集積化を困難にしていた。フォトニック結晶はその限界を打破する可能性を秘めており、従来困難とされていた大規模光集積回路(光 LSI)を実現する有力候補としての可能性を持っている。

我々はこれまでこのような可能性に注目し NTT 通信エネルギー研と共同で、Si をベースとしたフォトニック結晶の研究開発を行っており、SOI 基板にリソグラフィ技術を用いて、光通信波長帯をほぼカバーする 1.3 から 1.6 μm の波長領域に広いバンドギャップを持つ結晶を既に実現している。最近この結晶中に図 1 に示すような光導波路を作製し、バンドギャップ波長内で単一モード伝播する光導波路としての動作を確認した[1]。この導波路では一列抜いた中央部分のみ光の伝播が許され、強く光が閉じ込められた光導波が実現される。この導波路ではサイズの極小化に留まらず、閉じ込め原理の違いから通常は実現不可能な様々な特性が期待されるが、同様なフォトニック結晶導波路において、導波路構造制御によって光の伝播速度を大きく変化させることが可能であることを実証し、図2に示すように空気中の光速の 1/100 までの減速を観測した[2]。このような大きな光の伝播速度制御は高速光信号処理において様々な応用が考えられ、このような興味深い機能を持った極小幅導波路の実現は、将来のフォトニック結晶をベースとした光集積回路実現への大きなステップと期待される。

[1] M. Notomi et al., Electron. Lett. **37**, (2001) 243.

[2] M. Notomi et al., Phys. Rev. Lett. **87**, (2001) 253902.

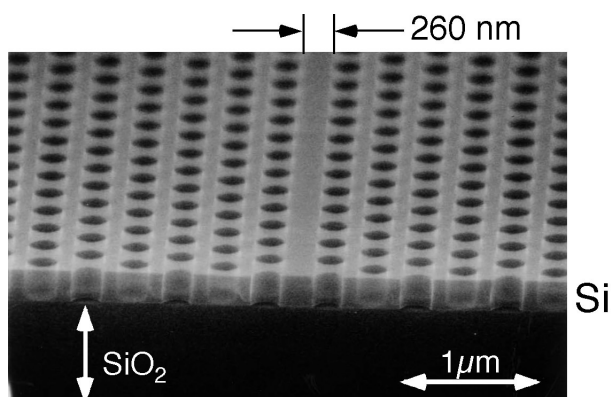


図1 SOI フォトニック結晶型単一モード光導波路の電子顕微鏡像

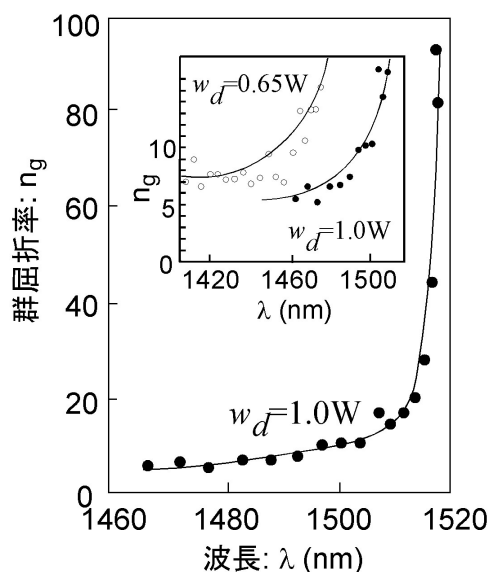


図2 観測された導波路分散値(群屈折率の波長依存性)

II. 資料

「メゾスコピック超伝導とスピントロニクス」国際シンポジウム

2002 年 3 月 4 日から 6 日まで、NTT 厚木研究開発センター講堂において、「メゾスコピック超伝導とスピントロニクス」国際シンポジウムが、NTT 物性科学基礎研究所、新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO)、日本物理学会の共催で開催されました。

「メゾスコピック超伝導」と呼ばれる新しい分野には、アンドレーフ反射や量子コンピュータなど、多くの特異な量子効果が期待されています。一方、スピントロニクスとは、スピンとエレクトロニクスからの造語です。本シンポジウムは、これらの分野をリードする NTT 物性科学基礎研究所が中心となり、国内外の著名な研究者が一堂に会し、最新の研究成果について活発な意見交換を行うことを目的として開催されたものです。

まず石原直・NTT 物性科学基礎研究所長の開会の挨拶と、高柳英明・NTT R&D フェロー・機能物質科学研究部長の本シンポジウム開催の経緯についての説明が行われました。講演に入ってから、3 日間で、招待講演者らによる 51 件の口頭発表と、62 件のポスター発表が行われました。

超伝導磁束量子干渉計 (SQUID) の生みの親である J. Clarke 教授 (University of California, Berkeley) は、「DC SQUID: 伝統的設計から量子計測のための新アイデアまで」と題する招待講演を行いました。続いて、量子重ね合わせとラビ振動が、SQUID や非常に小さな超伝導構造で観測されたとの報告がありました。NTT 物性基礎研からは、dc-SQUID を用いた、量子ビットの単一読み出しに関する研究結果が発表されました。スピントロニクス分野では、ラシュバ効果で有名な E. Rashba 教授 (MIT) が、スピン偏極した電子の輸送特性において最も重要なのはスピン注入である、と述べました。NTT 物性基礎研からは、共鳴トンネル構造におけるラシュバ効果を用いた、スピンフィルタの提案が行われました。

参加者は、190 名 [内訳、大学、企業関係者 149 名 (国外 64 名、国内 126 名)、NTT 関係者 41 名] を数え、参加者からは、充実した発表内容に関して賞賛の声が寄せられました。なお、本シンポジウムの内容は、プロシーディングスにまとめられ、World Scientific から本として出版される予定です。またビデオも記録され、NTT の研究広報にも利用されています。



社外表彰受賞者一覧

第 4 回エレクトロニクス ソサイエティ賞 (電子情報通信学会)	向井 孝彰 齊藤 正 山本 喜久* *NTT R&D フェロー スタンフォード大	「半導体光増幅器の 先駆的研究」	2001.9.19
EMS 賞 (第 20 回電子材料シン ポジウム)	嘉数 誠	「高濃度 Si ドープ窒化アルミニ ウムの MOVPE 成長と高輝度フ ィールドエミッション」	2001.6.22
SLOW-MAG AWARD (Gordon Research Conference)	鳥光 慶一 河西 奈保子 神保 泰彦 古川 由里子* *CREST	“Glutamate transients and neuronal bursts at multiple positions in a rat cortex and hippocampus induced by low magnesium”	2002.2.8

社内表彰受賞者一覧

先端技術総合研究所 所長表彰 研究開発賞	蟹沢 聖 山口 浩司 平山 祥郎 都倉 康弘	「半導体中の電子の波の直接観察」	2001.12.20
物性科学基礎研究所 所長表彰 業績賞	生津 英夫	「超臨界流体を用いた先端的パターン形成技術」	2002.2.27
物性科学基礎研究所 所長表彰 業績賞	納富 雅也 新家 昭彦 横浜 至	「2 次元フォトニック結晶における基本光学特性の解明」	2002.2.27
物性科学基礎研究所 所長表彰 功労賞	山口 徹	「汎用バーコードを用いた薬品管理システムの構築」	2002.2.27
物性科学基礎研究所 所長表彰 論文賞	藤原 聡	“Manipulation of Elementary Charge in a Silicon Charge-Coupled Device” Nature vol. 410, 560-562 (2001)	2002.2.27
物性科学基礎研究所 所長表彰 論文賞	鎌田 英彦	“Exciton Rabi Oscillation in a Single Quantum Dot” Phys. Rev. Lett. vol. 87, 246401 (2001)	2002.2.27

報道一覧

発表月日	新聞名 「見出し」
I. 共通	
9 月 28 日	日刊工業新聞 新原理・新技術開発を推進／高次元セキュリティーを目指して
1 月 1 日	電経新聞 NTT のナノテクへの挑戦／新しい物性を創出／ナノテクで技術の壁を突破
1 月 5 日	毎日新聞 ナノテクノロジー／欧米も国挙げて開発競う
2 月 5 日	日経産業新聞 基礎物理学研究 NTT 人脈走る／「学術で頂点」10 年の遺産／次代のリーダー続々輩出
II. デバイス物理	
4 月 13 日	朝日新聞(夕刊) 電子1個を操る素子を開発
5 月 30 日	読売新聞(夕刊) ナノ革命／産学連携に国の浮沈／電子工学／総力戦で技術革新
7 月 19 日	日本経済新聞 ナノテク IT を主導／応用製品続々と登場／未知の分野を切り開く
8 月 8 日	日本工業新聞 新規採択研究チームに助成証書授与／NEDO があす東京・池袋で式典
8 月 20 日	日経産業新聞 NEDO の国際研究助成／18 チームを選出
9 月 28 日	日刊工業新聞 大容量・高速化が進展／消費電力 10 万分の 1 デバイス
1 月 1 日	電経新聞 単電子デバイス／電子 1 個を制御／消費電流を 10 万分の 1 に

- 1 月 7 日 日本経済新聞
先端研究 日本に世界注目／論文の引用数 本社調査
- 1 月 7 日 日経産業新聞
工学 企業研究者が活躍／日本のトップ研究者／論文引用調査から
- 3 月 11 日 THE NIKKEI WEEKLY
Single electrons key to next computer chips／Researchers believe application of nanotechnology could yield huge leaps in calculating power, memory

Ⅲ. 機能物質科学

- 5 月 16 日 日経産業新聞
グランドチャレンジ ノーベル賞を超えろ／量子コンピューター／ネット社会揺るがす力／暗号、わずか数分で解読／「物理学の世界観、一変させるかも」
- 6 月 19 日 産経新聞(夕刊)
写イエンス／六角形に広がる神秘の光／人工神経回路
- 8 月 20 日 日経産業新聞
ナノに挑む 欧米最前線の動向／量子コンピューターに展望／暗号技術の将来を左右
- 1 月 1 日 日本経済新聞
未来はこうなる／量子コンピュータ／計算量の壁を打ち破る
- 1 月 1 日 電経新聞
量子コンピュータ／長持ちするかが鍵／超伝導体のリング 1000 個に

Ⅳ. 量子電子物性

- 4 月 27 日 日本経済新聞
「電子の波」見えた／NTT 研究チーム／半導体内部を顕微鏡観察
- 7 月 27 日 日経産業新聞
高出力・高周波に対応／NTT が新トランジスタ／衛星通信や LAN 応用
- 8 月 8 日 日本工業新聞
新規採択研究チームに助成証書授与／NEDO があす東京・池袋で式典

- 8 月 20 日 日経産業新聞
NEDO の国際研究助成／18 チームを選出
- 9 月 28 日 日刊工業新聞
ナノテクが拓く産業社会／未来社会に限りないインパクト／21 世紀のリーディング産業に
- 11 月 2 日 日本経済新聞
電子が波打つ様子 NTT 研が確認／半導体研究に有効
- 11 月 2 日 日本工業新聞
世界初、直接観察に成功／量子ドットで電子の波の性質／NTT 物性科学基礎研究所
- 11 月 2 日 日刊工業新聞
STM で直接観察／量子ドット中の電子波／科技事業団／量子機能デバイスに道
- 11 月 15 日 科学新聞
NTT が世界で初めて観察／ナノ構造半導体の電子の波
- 1 月 1 日 電経新聞
量子コンピュータ／現代暗号を無力化／数万年単位の計算を一瞬で
- 2 月 5 日 日本経済新聞(夕刊)
NTT から世界へ／気鋭の基礎物理学者たち／測定容易な「人工原子」

V. 量子光学・光物性

- 8 月 3 日 日本経済新聞
チップの上に光の集積回路／NTT 先端総研が基礎技術
- 8 月 23 日 日経産業新聞
ナノに挑む 欧米最前線の動向／量子ドット応用に期待／ベンチャー活躍で米先行
- 9 月 28 日 日刊工業新聞
”光”制御で超小型光デバイス／情報通信ネットに変革
- 9 月 28 日 日刊工業新聞
量子物理基礎研究進む／「理論の世界から実験の時代」

- 10 月 8 日 日本経済新聞
量子計算機開発日米産学で始動／基礎研究、10 年単位／スパコンで
1000 億年の処理、わずか数分
- 11 月 5 日 日経産業新聞
量子コンピューター創世記／「暗号解読」の激震／計算の歴史に革命／
「空想」から一転、人材流入
- 11 月 6 日 日経産業新聞
量子コンピューター創世記／「不可能」に挑んだ若者達／素子実現へ模
索始まる
- 12 月 11 日 日本経済新聞(夕刊)
花の 33 歳トリオ研究の最前線に／超高速「量子コンピューター」
- 1 月 1 日 電経新聞
光 LSI／100 ミクロン弱に超小型化／急角度曲げ、電力も極小に
- 1 月 25 日 日本経済新聞
企業・大学を「掛け持ち」／研究者 広がる舞台
- 1 月 28 日 日本経済新聞
光の速度 100 分の 1 に／人工結晶使い成功 NTT／超小型光スイッチに
応用
- 2 月 5 日 日本経済新聞(夕刊)
NTT から世界へ／気鋭の基礎物理学者たち／解読難しい量子暗号の理
論／光の揺らぎ抑える
- 2 月 6 日 日経産業新聞
基礎物理学研究 NTT 人脈走る／量子情報処理に先べん／未踏の領域、
挑み続ける
- 2 月 7 日 日経産業新聞
基礎物理学研究 NTT 人脈走る／「極微の宇宙」を研究／電子や原子の
本質明らかに

都合により画像を掲載しておりません

都合により画像を掲載しておりません

都合により画像を掲載しておりません

都合により画像を掲載しておりません

来訪者による講演一覧 (2001 年度)

I. デバイス物理関連

講演日	講演者	講演者所属 「講演タイトル」
6 月 1 日	Prof. Christian Teichert	Institute of Physics, University of Leoben 「Self-organization of nanostructures in semiconductor heteroepitaxy」
6 月 19 日	Dr. David Fraboulet & Dr. Barbara De Salvo	CEA-LETI, France 「About CEA-LETI and research on silicon single electronics in LETI」
9 月 14 日	Ms. Ruth Child	University of Oxford, UK 「Tunable mid-IR emission using a novel quantum dot-quantum well coupled system」 「STM study of germanium quantum dots on patterned silicon surfaces as a function of growth time」
9 月 14 日	Mr. Damiano Giubertoni	The Center for Scientific and Technological Research (ITC-irst), Italy 「Solid state reaction in Ti-Si bilayers: new results from in situ measurements」
10 月 17 日	寺岡 有殿 博士	原子力研究所・放射光科学研究センター 「Oxidation reaction dynamics of Si(001) surfaces using supersonic O ₂ molecular beams」
11 月 1 日	Dr. Robin Williams	Institute for Microstructural Sciences, National Research Council, Canada 「Ordered quantum dots for InAs/InP」
11 月 22 日	Ms. Berta Guzman	Universidad Politecnica de Madrid, Spain 「Simulation of SiO ₂ build-up in silicon under oxygen bombardment」
11 月 28 日	Dr. Satyban Bhunia	The University of Electro-Communications 「Fabrication of a GaInP/GaAs heterojunction bipolar transistor (HBT) by MOCVD」 「Real-time study of MOCVD growth process by using synchrotron x-ray source」
12 月 18 日	関口 隆史 博士	物質・材料研究機構 ナノマテリアル研究所 「Cathodoluminescence and its application to various semiconductors」
12 月 18 日	田沼 繁夫 博士	物質・材料研究機構 ナノマテリアル研究所

12 月 20 日	片山 光浩 教授	「Calculation and measurements of electron inelastic mean free paths in solids」 大阪大学 「表面における水素介在自己組織化現象と水素サーファクタント効果」
2 月 22 日	山本 直紀 教授	東京工業大学 「Cathodoluminescence study of nano-structures in semiconductor epilayers」
2 月 22 日	Dr. V. Grillo	東京工業大学 「InAs/GaAs Self Assembled Quantum dots study: emission, strain and morphology by HRTEM and CL-TEM」
2 月 27 日	林 和彦 博士	株式会社 半導体エネルギー研究所 「走査トンネル顕微鏡を用いたシリコン表面上のシリコンナノメーターオーダーの構造物の作成過程と崩壊過程の研究」
3 月 26 日	高桑 雄二 教授	東北大学 多元物質研究所 「リアルタイム RHEED-AES による Si 酸化初期過程の「その場」観察」

Ⅱ. 機能物質科学関連

講演日	講演者	講演者所属 「講演タイトル」
5 月 8 日	中村 栄一 教授	東京大学 「フラーレンの超効率化学修飾. フラーレン・金属複合ポリマーへの道程」
6 月 18 日	Dr. P. M. Koenraad	Eindhoven University of Technology, The Netherlands 「Analysis of single and stacked InAs quantum dots at the atomic level by cross-sectional STM」
6 月 18 日	Dr. Ronald Cron	CEA-Saclay, France 「Electrical transport through one atom contacts」
8 月 17 日	川合 知二 教授	大阪大学 産業科学研究所 「人工生体情報材料・デバイスへのナノテクノロジー」
10 月 2 日	Prof. Rudolf Gross	Technical University of Munich, Germany 「Physics and applications of superconducting and magnetic oxides」
12 月 14 日	Dr. Larry Nagahara	Physical Sciences Research Laboratories,

		Motorola Inc., USA 「Molecular-scale engineering: what is needed for success?」
1 月 10 日	嶋 睦宏 博士	マサチューセッツ工科大学、米国 「Nanostructured magnetic materials for data storage applications」
1 月 25 日	Dr. Duanlian	東京医科歯科大学 「TNF- α とシスプラチンによる神経膠腫細胞株のアポトーシス誘導とカスパーゼ8の活性化」
3 月 15 日	Prof. Peter Gruenberg & Dr. E. Buerger	Institute of Solid State Research (IFF), The Research Centre Juelich, Germany 「Structures of thin magnetic films separated by metallic or semiconducting interlayers: growth, structural, magnetic and magnetotransport properties」

III. 量子電子物性関連

講演日	講演者	講演者所属 「講演タイトル」
5 月 15 日	榊 裕之 教授	東京大学 生産技術研究所 「情報通信技術の進展とナノ構造デバイス」
6 月 18 日	山本 喜久 教授	スタンフォード大学、米国 「量子情報処理のハードウェア技術」
7 月 10 日	Prof. Michael Santos	University of Oklahoma, USA 「Novel electronic properties of narrow-gap quantum wells」
8 月 28 日	Dr. Jeremy O'Brien	The University of New South Wales, Australia 「STM fabrication of single phosphorus atom arrays for a silicon quantum computer & an investigation of the 0.7 feature in GaAs open quantum dots」
8 月 30 日	Dr. Adrian Avramescu	The Institute of Physical and Chemical Research (RIKEN) 「Growth of AlN-SiC solid solutions by sequential supply epitaxy」
10 月 5 日	Dr. Huili Xing	University of California, Santa Barbara, USA 「Progress in gallium nitride based bipolar transistors」
10 月 9 日	Dr. Rudolf Hey	The Paul-Drude-Institute, Germany 「Growth of a two-dimensional electron gas system」

10 月 11 日	Prof. Klaus H. Ploog	of high mobility and density] The Paul-Drude-Institute, Germany 「Tunneling-induced spin injection from Fe and MnAs into GaAs」
10 月 22 日	Prof. B. Monemar	Linköping University, Sweden 「Photoluminescence of excitons in In _x Ga _{1-x} N/In _y Ga _{1-y} N multiple quantum wells」
1 月 11 日	Prof. Yshai Avishai	Ben-Gurion University of the Negev, Israel 「Electron tunneling through artificial and real molecules」
3 月 6 日	Prof. Harry W. Tom	University of California, Riverside, USA 「Femtosecond laser-induced physical and chemical processes at surfaces」
3 月 7 日	Dr. J. Herfort	The Paul-Drude-Institute, Germany 「Mound formation and its consequences for the growth of GaAs at low temperatures」

IV. 量子光学・光物性関連

講演日	講演者	講演者所属 「講演タイトル」
4 月 5 日	二国 徹郎 博士	トロント大、米国 「有限温度におけるボーズ・アインシュタイン凝縮気体のダイナミクス」
6 月 25 日	和田 一実 教授	マサチューセッツ工科大学 「シリコンマイクロフォトニクス」
9 月 5 日	Dr. G. Ravindra Kumar	Tata Institute of Fundamental Research, India 「Femtosecond, intense laser interaction with solids – hot electrons and megagauss magnetic fields」
10 月 9 日	Prof. Wolfgang Husinsky	Vienna University of Technology, Austria 「The possible role of ballistic electrons in ultra-fast laser ablation of metals: studied by pump-probe experiments」
10 月 12 日	Prof. A. A. Andreev	Research Institute for Laser Physics, Russia 「Generation of superstrong laser fields and their applications」
1 月 22 日	藤井 隆 博士	電力中央研究所 「モバイルテラワットレーザーを用いた大気伝播実験」
1 月 23 日	鶴見 剛也 博士	東京大学

「トーラス状にトラップされたボース・アインシュタイン
凝縮体」

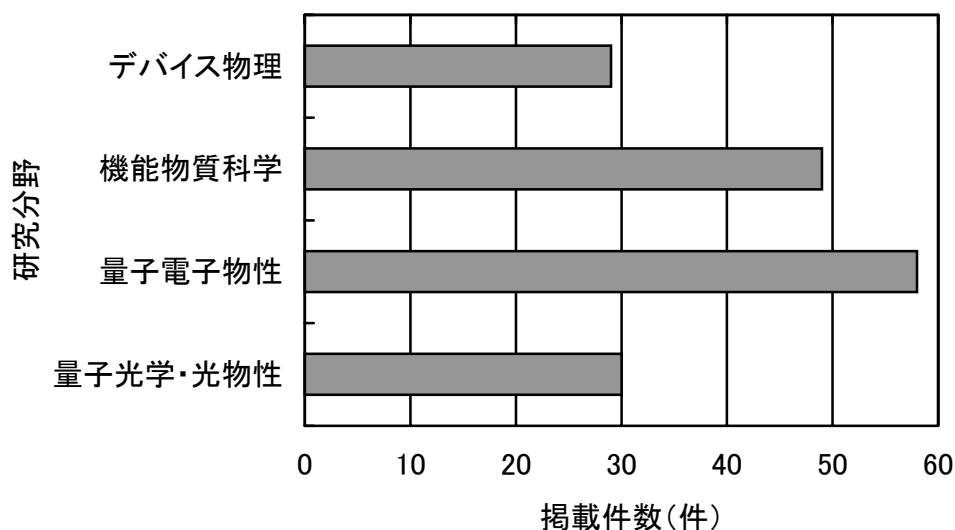
1 月 30 日 Dr. Paulo V. Santos

The Paul-Drude-Institute, Germany

「Dynamical modulation of quantum wells by
high-frequency fields」

学術論文掲載数（2001 年度）

2001 年度に国内外の学術論文誌（英文）に掲載された学術論文の件数は、物性科学基礎研究所全体で 166 件です。研究分野別の掲載件数は以下の通りです。



主な掲載先と掲載件数は以下の通りです。

学術論文誌

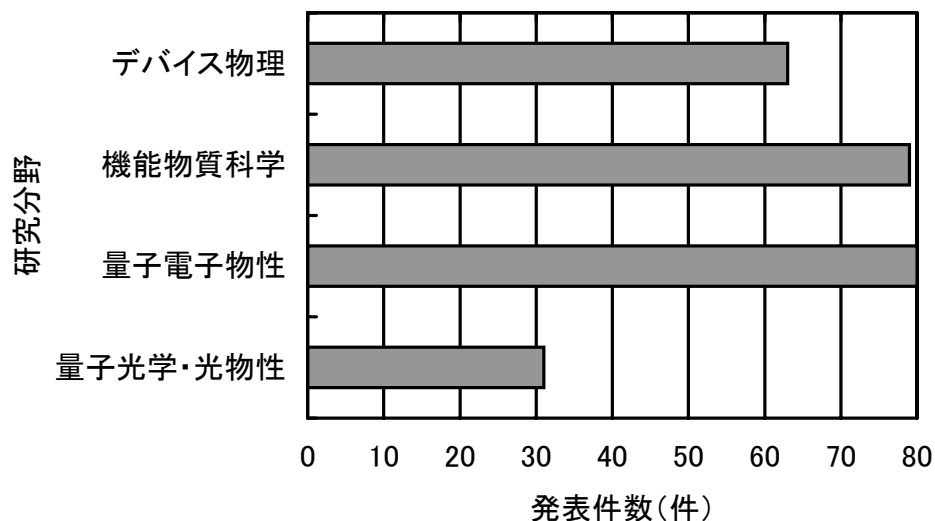
雑誌名	(IF2000)*	件数
Applied Physics Letters	(3.906)	24
Physical Review B	(3.065)	12
Macromolecules	(3.697)	10
Japanese Journal of Applied Physics	(1.157)	10
Physical Review Letters	(6.462)	9
Surface Science	(2.198)	5
Journal of Applied Physics	(2.180)	5
Journal of Crystal Growth	(1.375)	5
Journal of Vacuum Science & Technology B	(1.605)	4
Material Science & Engineering B	(0.592)	4
Journal of American Chemical Society	(6.025)	3
Physical Review A	(2.831)	2
Journal of Physical Society of Japan	(1.943)	2
Reports on Progress in Physics	(9.000)	1
Advanced Materials	(5.522)	1
Chemical Communication	(3.695)	1
Optics Letters	(2.989)	1
Neuroscience Letters	(2.091)	1

* IF2000：インパクトファクター 2000(出典、Journal Citation Reports, 2000)

研究所全体では、1論文あたりの平均インパクトファクターは 2.37 です。

国際学会発表件数（2001 年度）

2001年度に国際学会で発表を行った件数は、物性科学基礎研究所全体で253件です。研究分野別の発表件数は以下の通りです。



主な発表先と発表件数は以下の通りです。

国際会議名	件数
14th International Conference on the Electronic Properties of Two-Dimensional System	16
13th International Conference on Crystal Growth/11th International Conference on Vapor-Phase Epitaxy	13
Mesoscopic Superconductivity and Spintronics	11
2001 International Conference on Solid State Devices and Materials	10
28th International Symposium on Compound Semiconductors	9
2001 Materials Research Society Fall Meeting	7
4th International Conference on Nitride Semiconductors	6
14th Pacific Rim Conference on Lasers and Electro-Optics	6
10th Narrow Gap Semiconductor Structures	5
American Physical Society March Meeting	4
International Symposium on Superconducting Device Physics 2001	4
8th International Conference on Formation of Semiconductor Interface	4
14th Annual Meeting of IEEE Lasers and Electro-Optics Society	3
4th International Symposium on Blue Laser and Light Emitting Diodes	3
43rd Electric Material Conference	3
International Workshop of Photonic and Electromagnetic Crystal Structures	3

国際会議招待講演一覧 (2001 年度)

I . デバイス物理関連

- (1) Y. Takahashi, “Silicon single-electron devices and their circuit applications”, The 1st Annual US-Korea-Japan Workshop on Nanostructure Science/Technology, Seoul, Korea (April, 2001).
- (2) H. Kageshima, K. Shiraishi, and M. Uematsu, “Theory of Si oxide growth rate taking account of interfacial Si emission”, Electrochemical Society International Semiconductor Technology Conference 2001, Shanghai, China (May, 2001).
- (3) Y. Ono, K. Yamazaki, and Y. Takahashi, “Arithmetic operation by single-electron transistors”, 2001 Silicon Nanoelectronics Workshop, Kyoto, Japan (June, 2001).
- (4) M. Nagase, S. Horiguchi, A. Fujiwara, Y. Ono, K. Yamazaki, H. Namatsu, and Y. Takahashi, “Single-electron devices formed by pattern-dependent oxidation”, 8th International Conference on Formation of Semiconductor Interface, Sapporo, Japan (June, 2001).
- (5) H. Kageshima, M. Uematsu and K. Shiraishi, “Theory of Si thermal oxide growth rate taking into account interfacial Si emission effects”, Bianual International Conference of Insulating Films on Semiconductors, 2001, Udine, Italy (June, 2001).
- (6) Y. Ono, Y. Takahashi, and H. Namatsu, “Single-electron and quantum SOI devices”, Bianual International Conference of Insulating Films on Semiconductors, 2001, Udine, Italy (June, 2001).
- (7) Y. Homma and P. Finnie, “Step dynamics on growing silicon surfaces observed by ultrahigh vacuum scanning electron microscopy”, The 13th International Conference on Crystal Growth in Conjunction with The 11th International Conference on Vapor Growth and Epitaxy, Kyoto, Japan (July, 2001).
- (8) H. Kageshima, M. Uematsu, and K. Shiraishi, “Theory of Si oxide growth rate including interfacial Si emission effects”, 2nd Korea-Japan Workshop on Frontier Nanostructure, Seoguipo, Korea (August, 2001).
- (9) M. Nagase, S. Horiguchi, K. Shiraishi, A. Fujiwara, and Y. Takahashi, “Single-electron devices formed by thermal oxidation”, International Symposium on Materials Processing for Nanostructured Device, Kyoto, Japan (September, 2001).
- (10) H. Inokawa, A. Fujiwara, and Y. Takahashi, “A multiple-valued single-electron SRAM by PADOX process”, 2001 6th International Conference on Solid-state and Integrated Circuit Technology, Beijing, China (October, 2001).
- (11) A. Fujiwara, K. Yamazaki, and Y. Takahashi, “Si single-electron CCD”, International Microprocesses and Nanotechnology Conference 2001, Matsue, Japan (October,

- 2001).
- (12) T. Ogino, Y. Homma, Y. Kobayashi, H. Hibino, K. Prabhakaran, K. Sumitomo, H. Omi, D. Bottomley, F. Lin, Z. H. Zhang, and A. Kaneko, “Atomic structure control on Si surfaces and its application to nanofabrication”, International Workshop on Atomic-Scale Surface Dynamics of Advanced Materials, Izunagaoka, Japan (November, 2001).
 - (13) Y. Homma, A. Takano, and Y. Higashi, “Formation mechanism of oxygen-ion-induced ripple topography”, 13th International Conference on Secondary Ion Mass Spectrometry and Related Topics, Nara, Japan (November, 2001).
 - (14) Y. Takahashi, Y. Ono, A. Fujiwara, and H. Inokawa, “Silicon single-electron devices”, 7th International Symposium on Advanced Physical Fields, Tsukuba, Japan (November, 2001).
 - (15) Y. Homma, P. Finnie, A. Kaneko, and T. Ogino, “Ultrahigh vacuum scanning electron microscopy – towards the engineering of atomic steps–”, 3rd International Symposium on Atomic Level Characterization for New Materials and Devices, Nara, Japan (November, 2001).
 - (16) T. Ogino, Y. Homma, Y. Kobayashi, H. Hibino, K. Prabhakaran, K. Sumitomo, H. Omi, S. Suzuki, T. Yamashita, D. Bottomley, F. Lin, and A. Kaneko, “Design and functionalization of Si surfaces for self-assembled nano-architecture”, Yamada Conference LVII, Atomic-Scale Surface Designing for Functional Low-Dimensional Materials, Tsukuba, Japan (November, 2001).
 - (17) H. Namatsu, “Nanoline formation by using small aggregate resist and supercritical resist drying”, 2001 Fall Meeting of Materials Research Society, Boston, USA (November, 2001).
 - (18) Y. Takahashi, A. Fujiwara, Y. Ono, H. Inokawa, and K. Yamazaki, “Silicon single-electron transistor and single-electron CCD”, 2001 Fall Meeting of Materials Research Society, Boston, USA (November, 2001).
 - (19) S. Heun, L. Gregoratti, A. Barinov, B. Kaulich, M. Kiskinova, S. Suzuki, Y. Watanabe, T. Ogino, W. Zhu, C. Bower, and O. Zhou, “Electronic structure of aligned carbon nanotubes studied by photoemission microscopy”, IX ELETTRA Users Meeting, Trieste, Italy (December, 2001).
 - (20) K. Prabhakaran, “Multifunctionalisation of silicon through nanoparticles: plug and play approach”, International Symposium on Solid State and Material Chemistry, Indian Institute of Science (December, 2001).
 - (21) H. Omi, D. Bottomley, Y. Homma, T. Ogino, and S. Stoyanov, V. Tonchev, “Shape of atomic steps on Si(111) under localized stress”, IV East West Surface Science Workshop, Pamporovo, Bulgaria (February, 2002).

- (22) T. Ogino, Y. Homma, Y. Kobayashi, H. Hibino, K. Prabhakaran, K. Sumitomo, H. Omi, A. Kaneko, and F. Ling, “Atomic-structure and strain engineering for control of self-organized Ge quantum nanostructures on Si surfaces”, Dr. Rohrer’s JSPS Award Workshop (International Workshop at IMR Tohoku University), Sendai, Japan (March, 2002).
- (23) T. Ogino, “Control of single electron, control of single atom”, International Nanotechnology Exhibition & Conference, Makuhari, Japan (March, 2002).
- (24) T. Ogino, Y. Homma, Y. Kobayashi, H. Hibino, K. Prabhakaran, K. Sumitomo, H. Omi, S. Suzuki, T. Yamashita, F. Lin, and A. Kaneko, “Bottom-up approach for future Si integration technology”, Flip Chip & Chip Scale Europa 2002, Bueblingen, Germany (March, 2002).
- (25) T. Ogino, Y. Homma, Y. Kobayashi, H. Hibino, K. Prabhakaran, K. Sumitomo, H. Omi, S. Suzuki, T. Yamashita, F. Lin, and A. Kaneko, “Integration of semiconductor nanostructures and interconnections for future self-assembled nano-architechture”, Nanoarchitectonics Using Suprainteractions, Los Angels, USA (March, 2002).

Ⅱ. 機能物質科学関連

- (1) M. Fujiki, “A question of parity conservation at the helical polysilylene level”, 2nd International Workshop Silicon Chemistry Polymers (ISPO2001), Canterbury, Kent, UK (June, 2001).
- (2) Y. Jimbo, N. Kasai, and K. Torimitsu, “Multi-site recording of neuronal activity using electrode array substrates”, International Workshop on Cell-Substrate Coupling, Munchen, Germany (June, 2001).
- (3) K. Furukawa and K. Ebata, “End-grafted polysilane-synthesis, structure and properties of single polysilane molecule tethered on solid surface”, International Workshop on Si containing polymers, Canterbury, UK (June, 2001).
- (4) H. Shibata, “Optical study of the Josephson plasma in various high-Tc superconductors”, Superconducting Device Physics 2001 (SDP2001), Tokyo, Japan (June, 2001).
- (5) H. Takayanagi, “Reflectionless tunneling due to Andreev reflection in a gated superconductor-semiconductor junction”, Superconducting Device Physics 2001 (SDP2001), Tokyo, Japan (June, 2001).
- (6) A. Matsuda, S. Sugita, and T. Watanabe, “Zn and Co impurity in Bi-2212 Superconductor probed by LT-STM”, International Workshop on Defects in Correlated Electron Systems, Dresden, Germany (July, 2001).
- (7) K. Torimitsu, Y. Furukawa, and H. Tabei, “Nanostructure controlled substrates: nanostructure modification of bio-active substrates for nerve cell growth”, 8th International Conference of Composit Engineering, Tenereife, Spain (August, 2001).

- (8) K. Torimitsu, Y. Furukawa, N. Kasai, and Y. Jimbo, “Sensapoloosa: Guided tour of the new silicon senses”, SIGGRAPH2001, Los Angeles, USA (August, 2001).
- (9) M. Naito, S. Karimoto, K. Ueda, and T. Greibe, “Epitaxy stabilized n-type superconducting thin films”, The 2nd International Workshop on Novel Quantum Phenomena in Transition Metal Oxides, Sendai, Japan (August, 2001).
- (10) M. Naito and S. Karimoto, “High-quality large-area high-T_c films grown by molecular beam epitaxy”, An International Conference on Advanced Ceramics and Glasses (PAC RIM 4), Maui, USA (August, 2001).
- (11) M. Fujiki, J. R. Koe, M. Motonaga, H. Nakashima, T. Sato, K. Terao and A. Teramoto, “Switchable ambidextrous helical organopolysilylene”, 8th International Conference on Circular Dichroism (CD2001), Sendai, Japan (September, 2001).
- (12) M. Naito and H. Yamamoto, “Redox reaction at surface and interface of cuprates”, Korean-Japanese International Workshop on Strongly Correlated Electron Systems, Himeji, Japan (September, 2001).
- (13) K. Torimitsu, “Molecular and Bioscience Research in NTT”, Tateshina Conference on Organic Chemistry, Tateshina, Japan (November, 2001).
- (14) M. Fujiki, “Switchable hyper helical polymers toward molecular processors”, 1st AIST International Symposium on Nanotechnology, Tokyo, Japan (November, 2001).
- (15) M. Naito, H. Sato, S. Karimoto, H. Yamamoto, and A. Tsukada, “Epitaxial superconducting oxide films: strain enhanced pairing and epitaxy produced new materials”, Material Research Society (MRS) Fall Meeting, Boston, USA (November, 2001).
- (16) K. Torimitsu, N. Kasai, Y. Jimbo and Y. Furukawa, “Glutamate transients and neuronal bursts at multiple positions in a rat cortex and hippocampus induced by low magnesium”, Gordon Research Conference, Magnesium in biochemical processes and medicine, Ventura, USA (February, 2002).
- (17) Y. Jimbo, H. P. C. Robinson and K. Torimitsu, “MEA-based neuronal recording”, Winter Conference on Brain Research, Colorad, USA (February, 2002).

Ⅲ. 量子電子物性関連

- (1) N. Kobayashi, “Growth of GaN-based materials and their device applications”, 2001 The Sino-Japanese Modern Engineering and Technology Symposium, Hsinchu, Taiwan (May, 2001) .
- (2) Y. Hirayama, “Spin related phenomena in semiconductor layer and dot structures”, CIAR (The Canadian Institute for Advanced Research) Nanoelectronics Program Meeting, Victoria, Canada (June, 2001).

- (3) S. Tarucha, K. Ono, D. G. Austing, S. Sasaki, T. Fujisawa, Y. Tokura, and L. P. Kouwvnhoven, “Tunable two-electron spin states in quantum dot structures and applicability for making spin qubits”, The 59th Annual Device Research Conference (DRC), Notre Dame, USA (June, 2001).
- (4) K. Kanisawa, M. J. Butcher, Y. Tokura, H. Yamaguchi, and Y. Hirayama, “Imaging of wave phenomena at InAs(111)A surfaces using scanning tunneling microscopy”, First International Workshop on Quantum Nonplanar Nanostructures & Nanoelectronics '01 (QNN '01), Tsukuba, Japan (July, 2001).
- (5) K. Shiraishi, N. Oyama, K. Okajima, N. Miyagishima, H. Yamaguchi, K. Takeda, T. Ito, and T. Ohno, “First principle and macroscopic studies on semiconductor epitaxial growth”, 13th International Conference on Crystal Growth (ICCG13), Kyoto, Japan (July, 2001).
- (6) D. G. Austing and S. Tarucha, “Addition energy spectra of practical artificial atom and artificial molecule vertical quantum dot structures”, The Nano-Physics & Bio-Electronics Workshop, Dresden, Germany (August, 2001).
- (7) T. Fujisawa, Y. Tokura, D. G. Austing, Y. Hirayama, and S. Tarucha, “Long-lived spin state and spin blockade in a vertical quantum dot”, The 12th International Conference on Nonequilibrium Carrier Dynamics in Semiconductors (HCIS-12), Santa Fe, USA (August–September, 2001).
- (8) K. Kanisawa, M. J. Butcher, Y. Tokura, H. Yamaguchi, and Y. Hirayama, “Two-dimensional Friedel oscillations and electron confinement to nanostructures at a semiconductor surface”, 2001 International Conference on Solid State Devices and Materials (SSDM2001), Tokyo, Japan (September, 2001).
- (9) H. Yamaguchi, R. Dreyfus, S. Miyashita, and Y. Hirayama, “Application of InAs free-standing membranes for electromechanical systems”, 2001 International Conference on Solid State Devices and Materials (SSDM2001), Tokyo, Japan (September, 2001).
- (10) T. Matsuoka, “Substrates for epitaxial growth of InGaAlN system and growth on their substrates”, Frontier Science Research Conference in Materials Science and Technology Series ; Science and Technology of NITRIDE MATERIALS-2001, La Jolla, USA (November, 2001).
- (11) T. Nishida and N. Kobayashi, “Highly efficient AlGaIn-based UV-LED and its application to visible light source”, SPIE Optoelectronics 2002, San Jose, USA (January, 2002).
- (12) T. Fujisawa, “Time-dependent phenomena of charge state and spin state in quantum dots”, International Workshop on Quantum Dots for Quantum Computing and Classical Size Effect Circuits (IWQDQC), Kochi, Japan (January, 2002).
- (13) Y. Hirayama, K. Hashimoto, K. Muraki, and T. Saku, “Possible control of nuclear spin polarization by two-dimensional electron gas”, 2002 RCIQE International Seminar on

Quantum Nanostructure and Their Device Applications, Sapporo, Japan (February, 2002).

- (14) T. Matsuoka, “Miscibility gap in wurtzite $\text{In}_{1-x-y}\text{Ga}_x\text{Al}_y\text{N}$ ”, Compound Semiconductor Optoelectronic Materials and Device Workshop, Hsinchu, Taiwan (March, 2002).
- (15) N. Kobayashi, T. Nishida, T. Akasaka, S. Ando, and H. Saito, “AlGaN UV-LEDs with High Efficiency and InGaN LDs Using Grown Facet Mirrors”, 4th International Symposium on Blue Laser and Light Emitting Diodes (ISBLLED-2002), Cordoba, Spain (March, 2002).
- (16) T. Fujisawa, “Time-dependent phenomena of a quantum dot in the Coulomb blockade regime”, The 10th JST International Symposium on Quantum Computing, Tokyo, Japan (March, 2002).
- (17) T. Nishida and N. Kobayashi, “Fabrication of AlGaN-based ultraviolet light emitting diodes”, International Symposium on Light of 21st Century, Tokyo, Japan (March, 2002).

IV. 量子光学・光物性関連

- (1) M. Notomi, A. Shinya, E. Kuramochi, I. Yokohama, T. Tamamura, J. Takahashi, C. Takahashi, T. Kawashima, and S. Kawakami, “Si-based photonic crystals as guided-wave platforms: SOI slab and cross-dimensional structures”, International Workshop of Photonic and Electromagnetic Crystal Structures (PECS III), St. Andrews, UK (June, 2001).
- (2) N. Uesugi, H. Nakano, T. Nishikawa, and K. Oguri, “Short X-ray pulse generation towards time-resolved spectroscopy”, XVII International Conference on Coherent and Nonlinear Optics (ICONO 2001), Minsk, Belarus (June-July, 2001).
- (3) M. Notomi, A. Shinya, E. Kuramochi, I. Yokohama, T. Tamamura, J. Takahashi, C. Takahashi, T. Kawashima, and S. Kawakami, “Si-based composite-dimensional photonic crystals towards Si photonics”, The 4th Pacific Rim Conference on Lasers and Electro-Optics (CLEO/PR), Makuhari, Japan (July, 2001).
- (4) H. Nakano, T. Nishikawa, K. Oguri, and N. Uesugi, “Time-resolved soft x-ray absorption spectroscopy using femtosecond laser plasma x-rays”, International Conference, Advanced Laser Technologies 2001 (ALT’01), Constanta, Romania (September, 2001).
- (5) M. Notomi, A. Shinya, I. Yokohama, K. Yamada, J. Takahashi, and C. Takahashi, “2D SOI photonic crystal slabs and line-defect waveguides”, The 14th Annual Meeting of IEEE LEOS (LEOS 2001), San Diego, USA (November, 2001).
- (6) M. Notomi, A. Shinya, K. Yamada, J. Takahashi, C. Takahashi, and I. Yokohama, “Si-based photonic crystals and photonic-band-gap waveguides”, SPIE Photonics West, Optoelectronics 2002, San Jose, USA (January, 2002).

- (7) H. Kamada, H. Gotoh, H. Ando, and T. Takagahara, “Coherent optical control of single dot exciton wavefunction”, International Workshop on Quantum Dots for Quantum Computing and Classical Size Effect Circuits (IWQDQC), Kochi, Japan (January, 2002).
- (8) H. Kamada, H. Gotoh, H. Ando, and T. Takagahara, “Quantum gate operation of quantum dot exciton”, The 10th JST International Symposium on Quantum Computing, Tokyo, Japan (March, 2002).

編集 “NTT 物性科学基礎研究所の研究活動”編集委員会

影島 博之

山口 徹

松田 梓

清水 薫

発行 日本電信電話株式会社(NTT)

物性科学基礎研究所

企画担当

〒243-0198 神奈川県厚木市森の里若宮 3-1

電話: (046) 240-3312

URL: <http://www.brl.ntt.co.jp>

E-mail: kensui@will.brl.ntt.co.jp