

NTT 物性科学基礎研究所の研究活動

平成 14(2002)年度

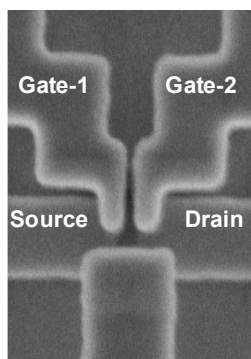
Volume 13

2003 年 6 月

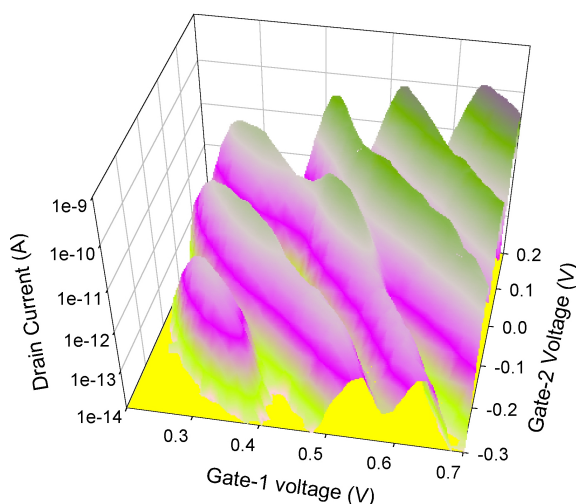
日本電信電話株式会社
物性科学基礎研究所

NTT Basic Research Laboratories

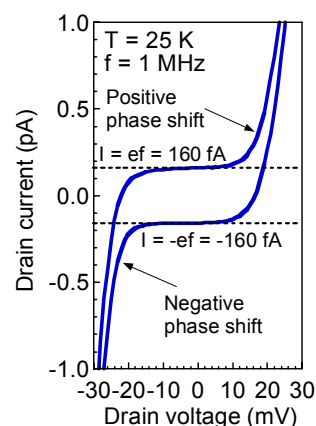
<http://www.brl.ntt.co.jp>



電子顕微鏡写真



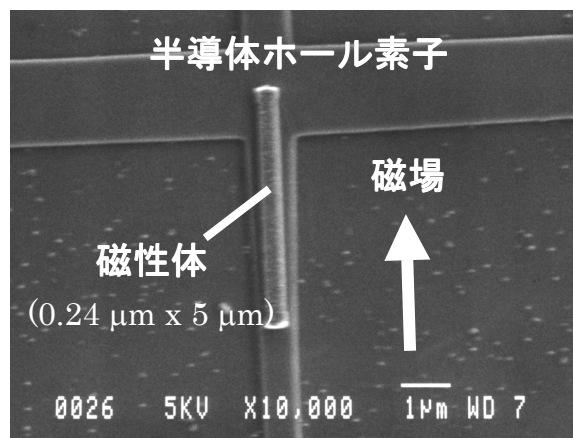
DC電流電圧特性



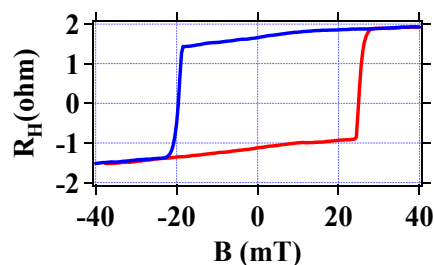
AC電流電圧特性(ポンプ動作)

シリコン単電子ポンプ

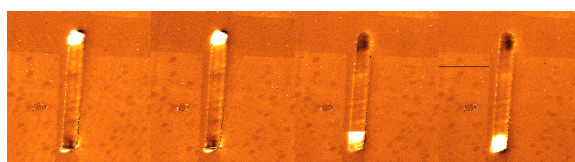
単電子ポンプは、その名の通り、電子1個を電圧にさからって転送するデバイスで、要するエネルギー消費も非常に低く、極めて高い精度で電子1個の転送が可能です。今回、単電子ポンプの新構造を提案し、母材として安定なシリコン基板を用いた作製に世界で初めて成功しました。(16 ページ)



磁性体・半導体ハイブリッド構造



ホール抵抗特性

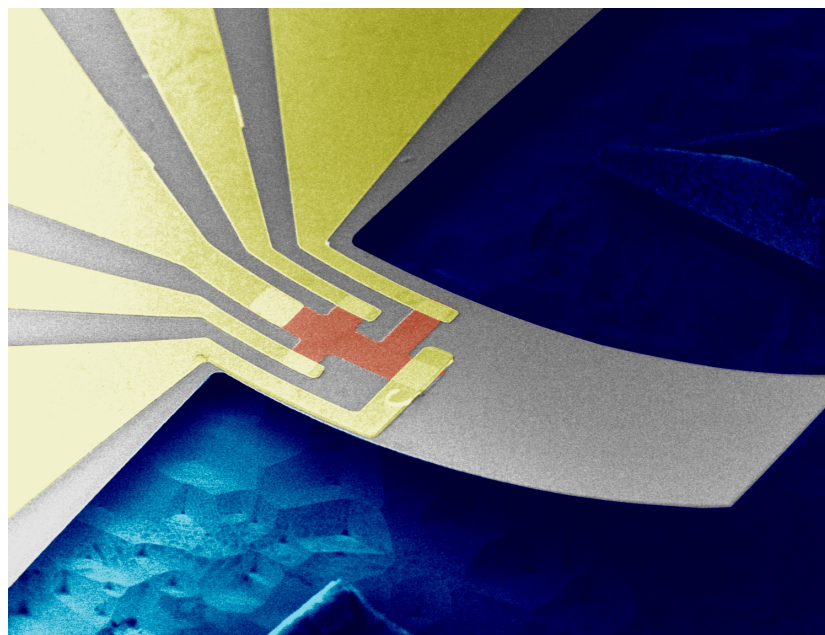


-20 mT -19.2 mT -19 mT -18mT

磁気力顕微鏡観察

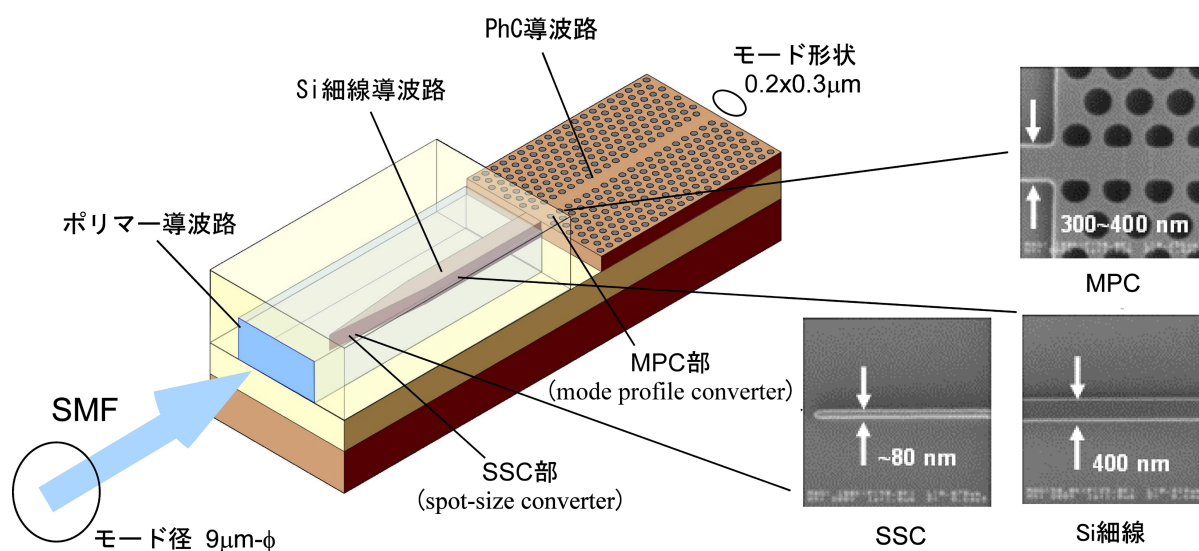
微小磁性体のヒステリシス

磁性体のサイズがミクロンオーダーになってくると、市販の超伝導量子干渉計では磁性体のヒステリシスを測定するのが困難になってきます。半導体ホール素子と磁性体のハイブリッド構造のホール抵抗を測定することにより、微小磁性体のヒステリシスが簡便に測定できることを確認しました。この結果は、磁気力顕微鏡による結果とも一致します。



化合物半導体マイクロ・ナノメカニカル素子

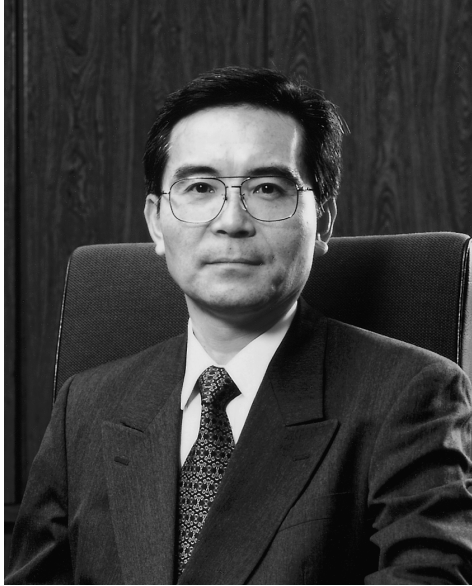
化合物半導体による量子ナノ構造とマイクロマシン技術とを融合し、量子力学的な原理に基づく新しいメカニカル素子の研究を進めています。図は InAs と AlGaSb からなる半導体ヘテロ構造をメカニカルカンチレバーに埋め込んだ変位検出素子です。量子力学的な効果により変位の検出感度が著しく向上することを明らかにしました。(27 ページ)



スポットサイズコンバータ付きフォトニック結晶導波路

フォトニック結晶導波路と単一モード光ファイバを高効率で結合するスポットサイズコンバータを実現しました。フォトニック結晶を用いると光素子の超小型化が可能です。光ファイバのような外部光学系との結合効率が極端に低いという問題点がありました。この機構によりそれが解決されナノスケールの光回路に光を導入することが可能となります。(34 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、将来のレゾナントコミュニケーションと呼ばれる高度情報流通社会のハードウェア基盤(RENA)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戦略的創造研究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「ナノ構造におけるキャリア相関とスピントロニクス」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(Volume13)」として、この2002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ばと考えております。

2003 年 6 月

石原直

石原 直

NTT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@nttbl.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	15
◆ シリコン単電子ポンプ	
◆ 超薄膜レジストの解析	
◆ 光電子顕微鏡によるカーボンナノチューブの電子状態観察	
◆ 高指数面上の異方的歪緩和とナノ構造形成	
◆ 機能物質科学の研究概要	20
◆ 神経回路の可塑性	
◆ ランタン銅酸化物における銅・酸素配位制御 一分子線エピタキシ法を用いた新物質開発ー	
◆ 量子ドット超格子を用いた超伝導体の設計	
◆ 半導体中のスピン軌道相互作用制御	
◆ 量子電子物性の研究概要	25
◆ 量子ドットの長寿命スピン状態	
◆ 化合物半導体マイクロ・ナノメカニカル素子	
◆ 選択成長を用いた窒化物半導体ヘテロ接合バイポーラトランジスタ (HBT)	
◆ ウルツ鉱型結晶 InN のバンドギャップ・エネルギー	
◆ 量子光学・光物性研究概要	30
◆ 単一光子光源を用いた量子暗号実験	
◆ 固体表面プラズマからの高次高調波	
◆ 深くエッチングした半導体/空気型回折格子を用いた InGaN/GaN レーザ ダイオード用高反射率分布ブラッグ反射器	
◆ スポットサイズコンバータ付きフォトニック結晶導波路	

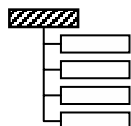
II. 資料

◆ 「ナノ構造におけるキャリア相関とスピントロニクス」国際シンポジウム	35
◆ Workshop on Surface & Nano-Science in NTT	36
◆ サイエンスプラザ 2002	36
◆ 表彰受賞者一覧	37
◆ 報道一覧	39
◆ 報道(抜粋)	44
◆ 来訪者による講演一覧	48
◆ 学術論文掲載数、国際会議発表件数および出願特許数	53
◆ 国際会議招待講演一覧	55

物性科学基礎研究所 所員一覧

2003 年 3 月 31 日現在
(*は年度途中までの在籍者)

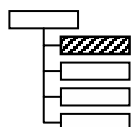
物性科学基礎研究所



所長

石原 直

企画担当



企画担当部長

森田雅夫

総括担当部長

小林康之

研推担当主任研究員

原田裕一

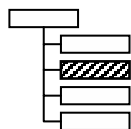
NTT R&D フェロー

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・プロフェッサー

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 高橋庸夫
 荻野俊郎*

補佐 住友弘二
 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
西口克彦

堀口誠二
藤原 聡
秋山 亨

植松真司
影島博之

ナノ加工研究G

グループリーダー

生津英夫

永瀬雅夫
山口 徹

山崎謙治
神崎賢一

林 順三

表面構造制御研究G

グループリーダー

本間芳和

小林慶裕
川村朋晃

渡辺義夫
尾身博雄

前田文彦

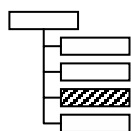
Kuniyil, Prabhakaran

Lin, Feng*

Bhunia, Satyaban

鈴木 哲

機能物質科学研究部



部長 高柳英明

補佐 井桁和浩

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*

古川一暁

檜村吉晃

江幡啓介

味戸克裕

中島 寛

神保泰彦

河西奈保子

Han, Chunxi

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

植田研二

柴田浩行

Kurian, Jose

狩元慎一

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

田中弘隆

川村 稔

仙場浩一

畠中憲之

齊藤志郎

Richter, Andreas

赤崎達志

田村浩之

松田健一*

スピントロニクス研究G

グループリーダー

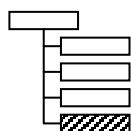
新田淳作

椿 光太郎*

関根佳明

Lin, Yiping

量子物性研究部



部長 平山祥郎
 向井孝彰*

補佐 熊谷雅美

量子電子物性研究G

グループリーダー

平山祥郎

山口浩司

蟹沢 聖

鈴木恭一

Houlet, Lionel

藤澤利正

佐々木智

林 稔晶

高品 圭

村木康二

田口明仁

遊佐 剛

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

西田敏夫

赤坂哲也

谷保芳孝

嘉数 誠

前田就彦

熊倉一英

Wang, Chengxin

松岡隆志

山内喜晴

廣木正伸

量子光制御研究G

グループリーダー

都倉康弘

井上 恭

向井哲哉

板倉 利文

Jack, Michael Wong

清水 薫

森越文明

Hong, Tao

山下 眞

Zhang, Bingyang*

超高速光物理研究G

グループリーダー

中野秀俊

西川 正

石澤 淳

矢野隆治

尾崎恒之

小栗克弥

Lin, Jingquan*

光デバイス物理研究G
グループリーダー

齊藤 正
寒川哲臣
俵 毅彦

鎌田英彦
Wang, Hailong*

後藤秀樹

フォトニックナノ構造研究G
グループリーダー

平山祥郎
須佐信彦
横尾 篤
Ryu, Han-Youl

納富雅也
新家昭彦

倉持栄一
三木 聡

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 主幹研究員。応用物理学会、電子情報通信学会、MRS 会員。



山口浩司

昭和 59 年大阪大学理学部物理学科卒業。昭和 61 年同大学院理学研究科物理学専攻博士前期課程修了。同年日本電信電話株式会社に入社。以来、分子線エピタキシによって形成した化合物半導体の表面物性を電子線回折、走査型トンネル顕微鏡などの手法により実験的に解明する研究に従事。最近は、半導体低次元構造の弾性的、機械的性質の研究に取り組んでいる。平成元年日本応用物理学会論文賞受賞。平成 7～8 年ロンドン大学インペリアルカレッジ客員研究員。平成 13 年から NEDO 国際共同研究チーム（Nano-elasticity）研究代表者。Japanese Journal of Applied Physics 編集委員。応用物理学会、日本物理学会会員。



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。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。



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。平成14年より東京工業大学連携客員講座助教授。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（2002 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（2002 年度）

氏名	所属 期間
Dr. Hai-Du Cheong	Pohang University of Science and Technology, Korea September 01– August 02
Dr. Takaaki Koga	科学技術振興事業団(JST), Japan December 01 – November 04
Prof. Gerrit E. W. Bauer	Delft University of Technology, The Netherlands March – June 02
Dr. Vladimir Seleznev	Institute of Semiconductor Physics Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Russia March - June 02
Dr. Alexander Andreev	Institute for Laser Physics Research Center "S.I. Vavilov State Optical Institute", Russia April - June 02
Prof. Zhaohui Zhang	Peking University, China July – September 02
Prof. Hai-Du Cheong	Keimyung University, Korea January - February 03

海外研修生(2002 年度)

氏名	所属(期間)
Richard Engstrom	Chalmers University of Technology, Sweden (Sep. 01 – Aug. 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)
Frank Deppe	Technische Universität München, Germany (May 02 – May 05)
Yung Joon Jung	Rensselaer Polytechnic Institute, USA (May – Nov. 02)
Jeremy Graham	University of Oklahoma, USA (Jun. – Aug. 02)
Simon Perraud	École Supérieure de Physique et de Chimie Industrielles, France (Jul. – Dec. 02)
Guillaume Lang	École Supérieure de Physique et de Chimie Industrielles, France (Jul. – Dec. 02)
Alexandre Soujaeff	Laboratoire GTL-CNRS-Telecom, France (Jul. – Sep. 02)
Niti Goel	University of Oklahoma, USA (Sep. – Oct. 02)
Florian Meneau	The University of Wales in Aberystwyth, UK (Sep. 02)

Marc van Veenhuizen	Rijksuniversiteit Groningen University of Groningen, The Netherlands (Sep. 02 – Feb. 03)
Oliver Regenfelder	Technische Universität Graz, Austria (Sep. 02 – Aug. 03)
Yoshiharu Krockenberger	Technische Universität München, Germany (Nov. 02 – May 03)
Marcus Steiner	Universität Hamburg, Germany (Jan. – Jun. 03)
Sung Woo Jung	Pohang University of Science and Technology, Korea (Jan. 03 – Jan. 04)
Sandrine Buhours	Institut National Des Sciences Appliquées, France (Feb. – Jun. 03)
Nicolas Gaillard	Ecole Nationale Supérieure de Physique de Grenoble, France (Mar. – Jul. 03)
Antonio Ballestrazzi	Università degli Studi di Modena e Reggio Emilia, Italy (Mar. – May 03)
Sang-jin Kim	Chungbuk National University, Korea (Mar. 03 – Mar. 04)

国内実習生（2002 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 (H14.4～H15.3)
青木和也*	東京理科大学大学院 (H14.4～H15.3)
浅川直輝	東京大学大学院 (H14.4～H15.3)
天羽真一	東京大学大学院 (H14.4～H15.3)
大野圭司	東京大学 助手 (H14.4～H15.3)
大室直也	明治大学 (H14.4～H15.3)
大矢剛嗣	北海道大学大学院 (H14.7～H14.8)
岡本 創	早稲田大学大学院 (H14.6～H15.3)
柏 正博	湘南工科大学大学院 (H14.4～H15.3)
川口 晃	大阪大学大学院 (H14.11～H15.3)
川畑達郎	東海大学大学院 (H14.4～H15.3)
菅藤 徹	電気通信大学大学院 (H14.7～H14.8)
木戸崇敏	湘南工科大学 (H14.5～H15.3)
小寺哲夫	東京大学大学院 (H14.4～H15.3)
小林尚文	明治大学 (H14.12～H15.3)
重盛 聡	静岡大学大学院 (H14.7～H14.8)
清水 宏	大阪電気通信大学 学術研究員 (H14.5～H14.6)
清水督史	東京大学大学院 (H14.4～H15.3)
杉尾嘉宏	東京大学大学院 (H14.4～H15.3)
高木大輔	明治大学大学院 (H14.4～H15.3)
高橋智紀	慶應義塾大学大学院 (H14.4～H15.3)

竹井邦晴	豊橋技術科学大学 (H15.1～H15.2)
谷 賢典	東海大学 (H14.4～H15.3)
束田昭雄*	東京理科大学大学院 (H14.4～H15.3)
西 義史	東京大学大学院 (H14.4～H15.3)
西永滋郎	早稲田大学 (H15.2～H15.3)
沼田愛彦	東京大学大学院 (H14.4～H15.3)
深津茂人	慶應義塾大学大学院 (H14.4～H15.3)
本田元就	東京大学大学院 (H14.4～H15.3)
丸山結城	豊橋技術科学大学 (H15.1～H15.2)
山口晋平	東京大学大学院 (H14.4～H15.3)
山崎 仁	豊橋技術科学大学 (H15.1～H15.2)
山本倫久	東京大学大学院 (H14.4～H15.3)
横山弘泰	東京大学大学院 (H14.4～H15.3)

I . 研究紹介

デバイス物理の研究概要

高橋庸夫

先端デバイス研究部

携帯情報端末などの高度情報処理技術を支えてきた集積回路技術は、サイズの縮小とそれに伴う集積度の向上で高機能化を為し遂げて来ましたが、サイズの縮小の困難さと集積度の急増による消費電力の増加が危機的な問題となっています。これらの問題を打破し、更なる情報処理技術の発展を目指して、先端デバイス研究部では、ナノメートルのサイズを有し、究極の省電力デバイスである単電子デバイス、またこれを高精度に実現するための微細加工技術と超高精度なプロセス技術、原子配列からなる結晶格子を基本に、ナノメートルサイズの構造を作り上げる技術などの研究を進めました。また、新たなナノスケールの構造体としてカーボンナノチューブなどの新たな材料の研究と、このような新材料、ナノ構造体の評価技術についても、新たな研究を進めました。

Siナノデバイス研究グループでは、Siの単電子デバイスとその動作機構、回路応用、さらにこれを実現するプロセスの研究を行っています。これまでに単電子インバータや加算回路や多値論理回路などを提案し、実際に作製したデバイスでこれらの機能を実証して来ました。これまで単電子トランジスタはオフセットチャージによる不安定性が避けられないと言われてきましたが、今期はSiを材料とするデバイスではこれを払拭できるという結果と同時に、これまで提案してきた動作原理を証明できる結果を示しました。また、電子 1 個を確実に転送する新構造の単電子ポンプデバイスを実現しました。デバイス作製プロセスの検討では、最も重要なプロセスである熱酸化の原子レベルでの理論解析を行い、反応の機構解明を進め、同時にナノ構造シリコンの酸化後の形状やシミュレーションを可能にしました。

ナノ加工研究グループでは、トップダウンリソグラフィを主体としたナノレベルの加工技術の実現と、ナノ構造評価技術としてのプローブ技術の研究を展開しています。電子ビームリソグラフィをベースに、レジスト・プロセス技術の改良を行い、超臨界乾燥等を含むナノレベルのパターン形成技術と構造評価を確立し、微細パターン形成を示してきました。今期は、パターン揺らぎを最小に押さえるためのレジスト材料とプロセス手法についての最適化法を進展させ、レジストのパターンエッジの揺らぎ低減を進めました。これと並行してナノ加工技術の粋を集めて単電子デバイスを作製し、高温での動作を示しました。また、ナノプローブ技術として、微細な領域の伝導特性が測定可能な四短針構造の形成に成功しました。

表面構造制御研究グループでは、ボトムアップナノ構造の集積化を目指して、ナノ構造形成と評価技術に関する広範な研究を行っています。Si 表面の原子構造制御し、さらにこれを基にして新たに歪みの効果などをも導入することによるナノ構造の自己形成をウェハスケールでの制御、また、微細構造上でのカーボンナノチューブの成長を制御した、ナノチューブによる自己形成配線の実現、並びに、放射光を用いた成長過程のその場観察などを可能にしてきました。今期は、Si 表面の原子ステップ形成の理論的検討や、Si 上での Ge 原子の再配列に関する解明を進めました。カーボンナノチューブに関しては、プラズマ CVD による新しい成長手法を開拓すると共に、その電子状態や欠陥を評価する光学的な手法を確立しました。また、CdS の独特な自己配列ナノ構造の実現や、InP のナノワイヤの形成などを実現しました。

本年度の先端デバイス研究部の代表的な成果の一部を、次の4ページに示します。

シリコン単電子ポンプ

小野行徳 高橋庸夫
先端デバイス研究部

単電子デバイスは電子1個で動作させることが可能なデバイスであり、従来型トランジスタに比べサイズも消費電力も桁違いに小さいことから、将来の超大規模集積回路の構成部品として注目されている。単電子ポンプは、単電子デバイスの中の一形態であり、“ポンプ”の名が示すとおり、印加電圧が負であっても正方向に単一の電子を転送することが可能である。単電子トランジスタをはじめとする単電子デバイスの中でも、転送精度が最も高く、かつ、エネルギー消費は最も少ない。しかしながら、これまでの金属を用いた単電子ポンプは、動作温度が 100 mK 以下に限られ、また、動作も不安定であり、応用上、大きな問題があった。

通常、単電子ポンプは、リーク電流を極限まで抑えるために、クーロン島と呼ばれるナノメートル (nm) サイズの微細構造を多重に連結する必要がある。この多重連結島の作製は極めて困難であり、シリコンを用いた作製技術はいまだ確立されていない。一方、たった一つのクーロン島を有する単電子トランジスタでは、リーク電流を抑えることができず、単体としてはポンプとして動作しないが、シリコンを用いた単電子トランジスタは、特性が安定しており、高温で動作することが知られている[1]。

今回我々は、多重連結島を用いる代わりに、シリコン単電子トランジスタのクーロン島の両脇に超微細 MOS トランジスタを配備した新構造を考案した。これら MOS トランジスタのチャンネルを必要に応じてオフすることにより、リーク電流を抑制し、従来より2-3桁高い 25K でのポンプ動作に成功した[2]。図1は単電子トランジスタ・MOS トランジスタ複合構造の電子顕微鏡写真、図2は、同デバイスのポンプ動作を示す電流電圧特性である。図 2 において、二つのゲート電極に位相差をつけた交流電圧を印加することにより、ドレイン電圧 0V 付近の電流が、 e を素電荷、 f をゲート電圧の周波数として、 $I = ef$ に量子化されている。また、位相差を反転すると電流の極性も反転という、単電子ポンプ特有の特性が得られている。

今回の結果は、実用的単電子ポンプ作製への第一歩である。

[1] Y. Takahashi, et al., J. Phys.: Condens. Matter **14** (2002) R995.

[2] Y. Ono and Y. Takahashi, Appl. Phys. Lett. **82** (2003) 1221.

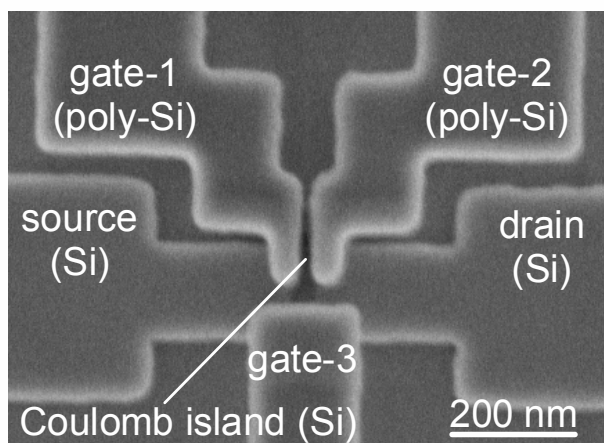


図1 単電子ポンプの電子顕微鏡像

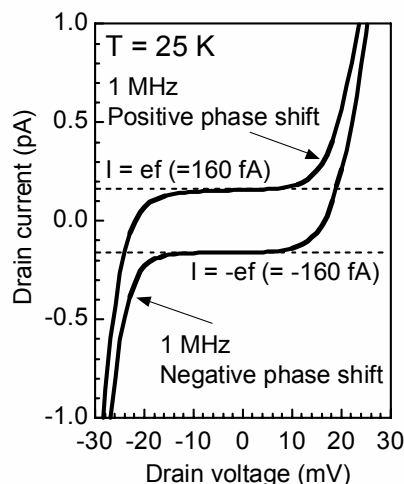


図2 ドレイン電流-ドレイン電圧特性

超薄膜レジストの解析

神崎賢一 山口 徹 永瀬雅夫 生津英夫
先端デバイス研究部

レジストの薄膜化は、パターンアスペクト比を緩和し、解像性を向上させるために有効である。しかし、高分子膜であるレジスト膜を 100 nm 程度以下にまで薄膜化した場合、従来の厚い膜と異なり、表面や界面の影響をより反映した膜性能を発現することが予測される。その場合、解像性を決める主要因であるラフネスへも影響が現れる可能性があり、実用上その理解が重要となる。そこで我々は、レジストの薄膜化に伴うレジスト特性の定量的な解析を試み、薄膜化がラフネスおよびレジストの内部組織に与える影響を明らかにした[1]。

電子線ポジ型レジスト(ZEP520)を使用し、膜厚 10、30、100 nm について検討した。ラフネスは、ラインパターン(設計線幅 50 nm)の幅揺らぎを評価することにより比較した。図1に示すように、レジスト膜厚の減少とともにパターン幅揺らぎ値が増大することが分かった。特に 30 nm より薄くなると、その傾向は顕著になった。この増大の原因について考察するため、レジスト内部の組織構造である高分子集合体に着目し、薄膜化の影響について検討した。その例を図2に示す。高分子集合体の断面形状を比較すると、膜厚の減少に伴い、ほぼ円形から歪んだ楕円状へと変化することが分かった。また、体積も減少した。このような内部組織構造の変化は、現像液に対するレジストの溶解性にも現れ、薄膜化によって溶解性は増加した。これは、薄膜化に伴う組織構造変化により、主として高分子集合体の周囲部分の溶解性が増すことを示すものである。このことから、薄膜化によって高分子集合体と周囲部分との溶解コントラストが増大し、ラフネスが増加したと考えられる。超薄膜レジストでは、分子レベルのラフネスが増大することが明らかとなり、レジスト内部の組織構造制御が重要になる。

[1] K. Kanzaki et al., Jpn. J. Appl. Phys. **41** (2002) L1342.

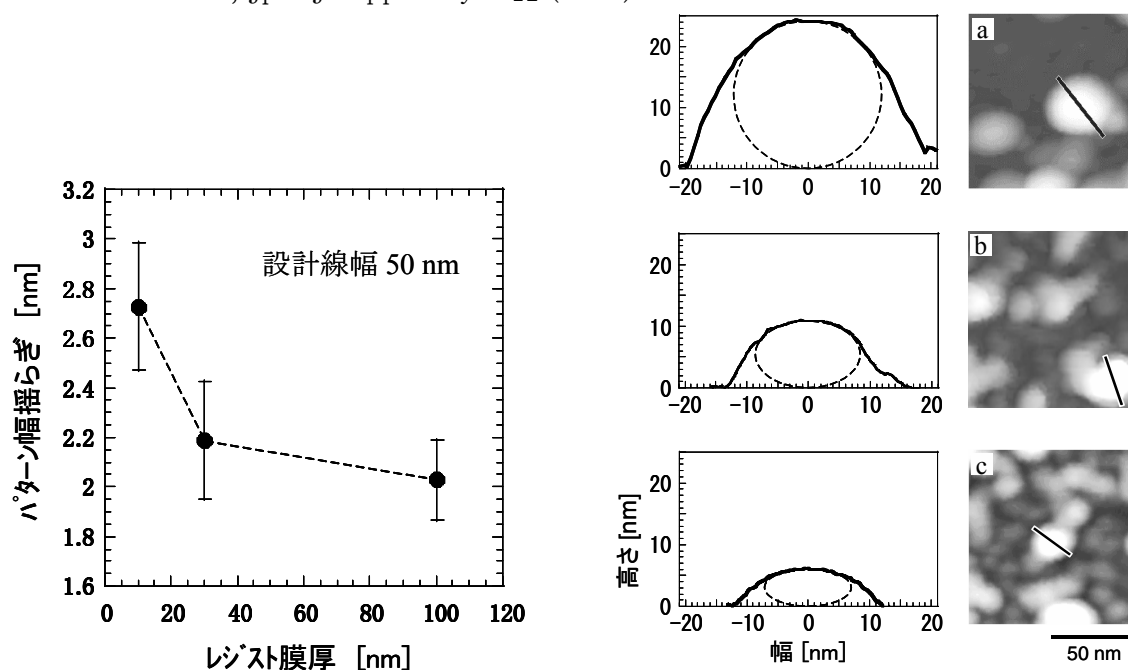


図1 パターン幅揺らぎの膜厚依存性

図2 原子間力顕微鏡(AFM)により観察した膜厚 (a)100 nm、(b) 30 nm、(c) 10 nm における高分子集合体と断面再構成プロファイル

光電子顕微鏡によるカーボンナノチューブの電子状態観察

鈴木 哲 渡辺義夫 荻野俊郎 本間芳和
先端デバイス研究部

カーボンナノチューブ(CNT)は 1~10 nm 径の擬一次元構造、高い電流輸送密度、強靱な機械的強度、高い化学的安定性等の特徴を有するため、ナノ配線／デバイス、電界放出電子線源、走査プローブ顕微鏡の探針等への応用等が盛んに研究されている。CNT は通常、先端に半球状のキャップ構造を有しており、ここでは側壁とは異なる電子状態が期待される。我々は、90 nm の高い空間分解能を持つ光電子分光装置(走査型光電子顕微鏡)を用い、CNT の軸方向に沿った局所電子状態を測定した。その結果先端で観測された特異な電子状態について報告する[1]。

Si 基板上に垂直配向した多層 CNT 試料の C1s 光電子顕微鏡像を図 1 に示す。CNT 先端付近が明るく観察されており、CNT がほぼ一様な長さで成長していることがわかる(一部に見られる配向の乱れは試料の破断時に生じたものと思われる)。図 1 に示した各点から得られた価電子帯光電子スペクトルを図 2 に示す。側壁部のスペクトルは場所に依らずほぼ同一であり、いずれもフェルミレベル上の状態密度はほとんど観測されない。これは側壁部がグラファイトと同様に半金属的な電子状態を持つことを示している。一方、先端ではフェルミレベル上、およびその近傍に非常に大きな状態密度が観測された。これまでに、CNT 先端に 6 個存在するとされる五員環の影響によりこのような状態密度が形成されると理論的に予測されてきた。しかしながら今の場合、CNT 先端を形成する六員環の数は約 4500 個と見積もられ、6 個の五員環がスペクトルにこれほど大きな影響を及ぼすことは考えられない。この結果は、CNT 先端は原子レベルでは閉殻構造を有しておらず、多数の欠陥を含んでいることを示唆している。CNT のフェルミレベル上の状態密度は本来小さいことから、欠陥状態が CNT の電子特性を大きく作用すると考えられる。

[1] S. Suzuki et al., Phys. Rev. B **66** (2002) 035414.

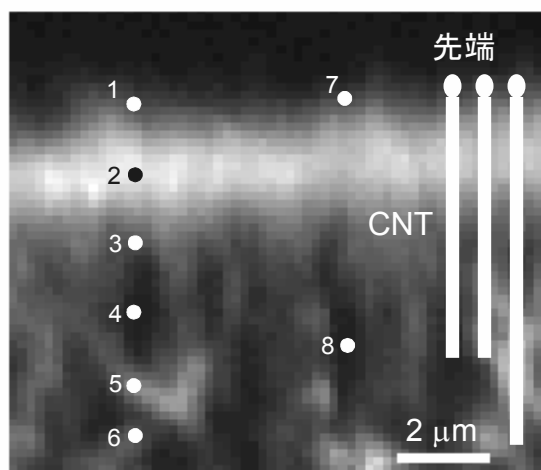


図1 配向 CNT の C1s 光電子顕微鏡像。

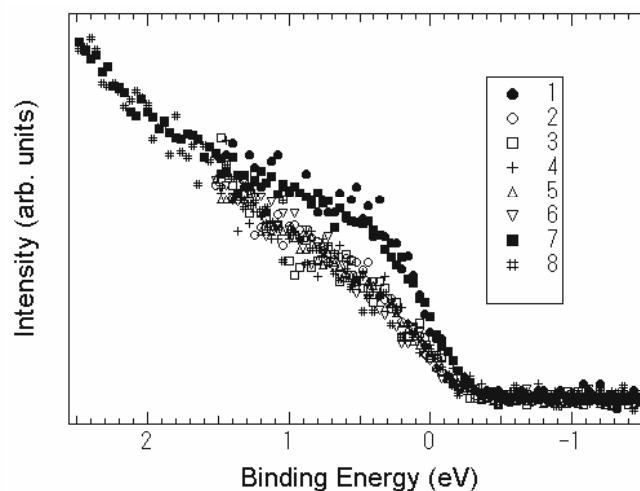


図2 CNT の局所領域から得られた光電子スペクトル。測定箇所は図1に示した。

高指数面上の異方的歪緩和とナノ構造形成

住友弘二 Zhaohui Zhang 尾身博雄 荻野俊郎
先端デバイス研究部

ナノ構造の自己組織化は、ボトムアップの半導体ナノテクノロジーにおいて、最も重要な技術の一つである。しかし、これらの技術を基に Si ナノデバイスを実現するためには、ナノ構造のサイズ・形状・配置を制御する必要がある。ナノ構造形成制御の重要要素の一つである表面応力と歪緩和について、原子スケールでの検討を行った。Si(113)面上における Ge ナノ構造形成について、新しい表面超構造モデルを提案し、異方的な表面応力・歪緩和とナノ構造形成メカニズムの関係を明らかにした。

Si(113)面上に Ge を 2 原子層程度成長すると、安定な 2×2 超構造となる。図 1 に、今回我々が提案した構造モデルと、それに対応する走査トンネル顕微鏡 (STM) 像 (実験と理論計算) を示す[1]。A 列では、最表面の Ge 原子が 1 個抜けて再結合している。B 列の Ge 原子は 5 角形を形成し、一方の原子 (2 番) が高く持ち上がり、反対の原子 (5 番) が沈みこんでスタックした構造を示す。実験で得られた STM 像と、理論計算を基にしたシミュレーション結果はよく一致し、我々の提案したモデルの妥当性を示している。また、この特徴的な表面再配列は、 $[110]$ 方向には圧縮応力を、 $[332]$ 方向には引っ張り応力を引き起こしており、更に Ge の成長を続けると、このような異方的な表面応力が、図 2 に示すような $[332]$ 方向に長く伸びた 3 次元島 (ナノワイヤ) の自己形成を引き起こす事が分かった。また、ナノワイヤ構造内部の歪は、ワイヤと垂直方向にのみ完全に緩和することも分かった[2]。このナノワイヤの形成は、完全な歪緩和が可能な幅に制限され、ワイヤ間の相互作用 (斥力) を生み出し、幅と分布の均一性を引き起こしていると考えられる。表面応力と結晶歪の異方性により、ナノ構造の形状やサイズを原子スケールで制御できる事を示唆する結果である。

[1] Z. Zhang et al., Phys. Rev. Lett. **88** (2002) 61011.

[2] K. Sumitomo et al., Phys. Rev. B **67** (2003) 35319.

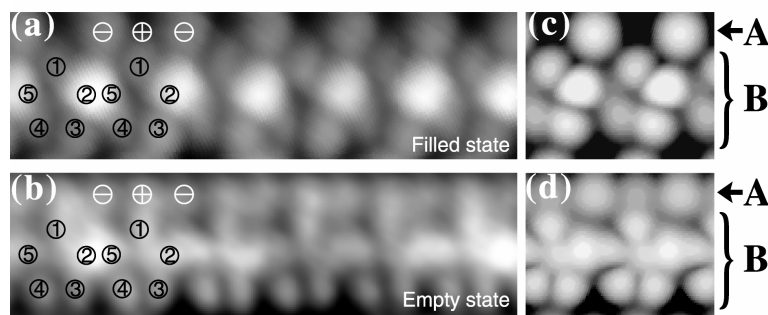
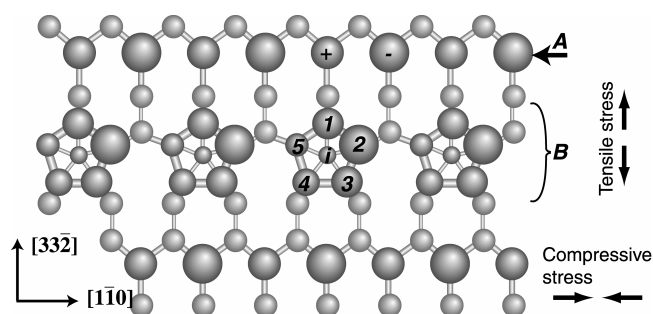


図1 Ge/Si(113)- 2×2 超構造モデルと、STM 像
(a,b) 実験、(c,d) シミュレーション

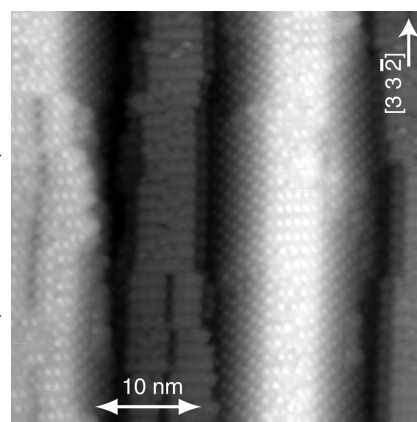


図2 Ge ナノワイヤー構造の
STM 像

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することにより、天然には存在しないものまでも含めた新物質を創り出し、その物質の量子現象を利用した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よう配置され、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をもたらす機能物質の研究が可能となります。

分子生体機能研究グループ

ナノバイオをキーワードに、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を進め、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

分子線エピタキシ(MBE)成長技術を用いて、最高品質の高温超伝導材料を合成しその謎の解明を目指す。超伝導体薄膜を利用したマイクロ波デバイスの研究も進めている。

超伝導量子物理研究グループ

もっとも実現に近いと考えられる超伝導量子素子による量子計算機の研究を行っている。量子ビットの実験的検証とともに、量子ドット構造により新機能が設計できる事を提案する。

スピントロニクス研究グループ

電子スピンによる情報処理という新しい分野を開拓するために、半導体中のスピンを電氣的に制御する方法を確立し、これを用いた機能デバイスの実現を目指す。

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、神経回路の可塑性の確認についてです。ラット大脳皮質を培養した神経回路を独自の微小電極アレイ技術と新規に開発した再現性に優れた電気刺激システムにより測定し、外部刺激に対する誘発反応が刺激のパターンと高い相関を持つことが確認できました。これは脳の記憶メカニズムを神経回路レベルで裏付けるものと考えられます。

超伝導薄膜の研究ではMBE法の特性を生かした低温合成を行うことにより、従来、 K_2NiF_4 構造のみ合成されてきた高温超伝導体 La_2CuO_4 を Nd_2CuO_4 構造として合成することに初めて成功しました。二つの配位構造を自由に選択成長するための条件も解明され、今後の新物質合成のための技術が確立できました。

3番目のトピックは量子ドット超格子構造のパラメータ設計により発現する新機能についてです。InGaAs 中に埋め込まれた InAs 細線による正方格子の間隔を変更しプラケット格子とすることにより、超伝導転移温度が 2 倍以上高くできる事が理論的に導かれました。構造パラメータ設計により所望の物性を得られることが示されました。

最後はスピン軌道相互作用の制御についてです。非対称な InGaAs 量子井戸の磁気抵抗測定を行い、ラシュバスピン軌道相互作用が非対称性に伴い変化することを確認しました。得られた相互作用係数はポテンシャル形状から得られる理論値とよく一致し、ラシュバスピン軌道相互作用係数の系統的な測定に初めて成功したことになります。

神経回路の可塑性

神保泰彦 河西奈保子 韓 春錫 鳥光慶一
機能物質科学研究部

「シナプスの可塑性」が生物の記憶・学習機能を担うとする考え方は既に普遍的なものとなっている。しかしながら、分散処理(sparse coding)が特徴であるとされる生物の脳神経回路で、「シナプスの可塑性」がどのように統合されているかはまだほとんどわかっていない。我々のグループでは、マイクロ電極アレイ上に再構成した神経回路(図1(a))を使って、多数のニューロンの長時間・非侵襲的な活動計測を実現した。さらに、固体／液体界面の電気化学特性を考慮した、制御性、再現性に優れた電気刺激システムの開発[1]により、誘発応答の変化を高い精度で検出することが可能になった。

本研究では「神経回路の可塑性を誘発応答の変化として観測する」ことを目標に、特定の活動を繰り返し誘起することによる時空間パターン変化の誘導を試みた。実験に用いたラット大脳皮質培養神経回路は、活発な自発活動を示し[2]、その上に外部からの入力に対する応答が重畳するという点で、*in vivo*での脳神経系のアクティビティと高い類似性がある。図1(b)は、記録した53個のニューロンのうち1つについて、入力に対して発生した活動電位時系列を示している。入力(stim.)よりも早いタイミングで生じている活動が自発活動である。10秒に1回の入力を1時間継続、合計360回というセッションを3回に渡って積み重ねた際の応答変化を上から順にたどることができる。刺激入力から数10msの区間の応答に、徐々に構造が形作られていく様子がわかる。多数のニューロンが各々示す変化は必ずしも一様ではないが、そこには「入力パターンとの相関関係」に基づく一定の規則が存在することが明らかになりつつある。従来の手法と異なり、数日から数週間にわたる変化を連続して追跡できることから、今後、「より生物らしい学習」の本質に迫ることを期待している。

[1] Y. Jimbo et al., IEEE Trans. Biomed. Engng. **50** (2003) 241.

[2] T. Tateno et al., Phys. Rev. E **65** (2002) 051924.

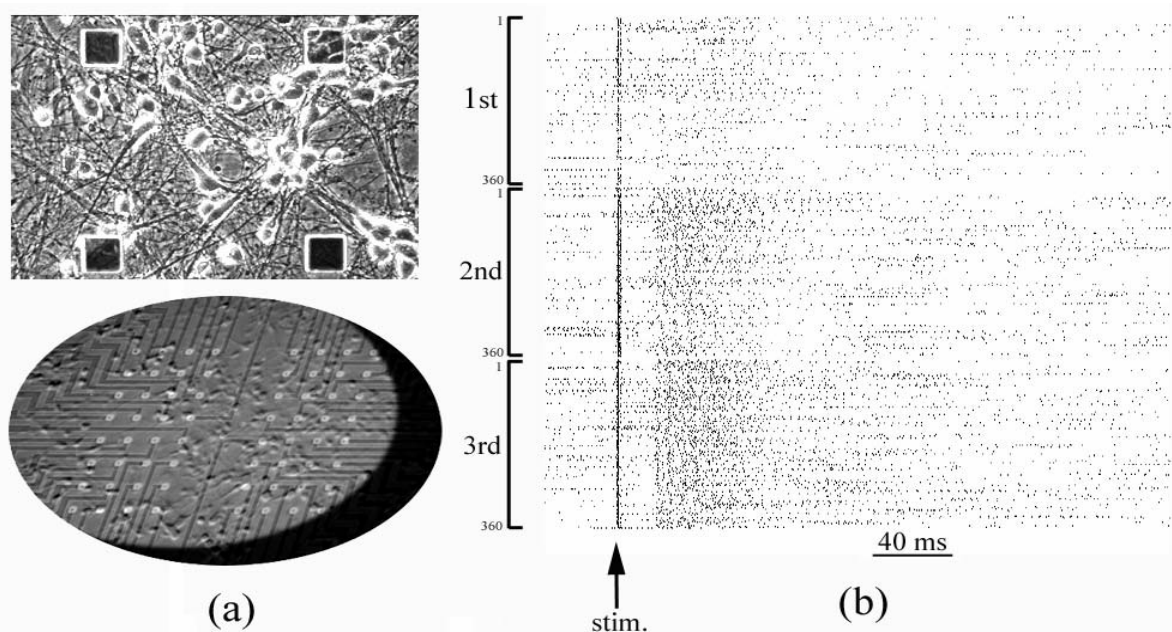


図1 電極基板上で培養した神経回路(a)と履歴に依存したその応答変化(b)

ランタン銅酸化物における銅・酸素配位制御 —分子線エピタキシ法を用いた新物質開発—

東田昭雄 内藤方夫
機能物質科学研究部

希土類銅酸化物 RE_2CuO_4 (RE =希土類元素)は K_2NiF_4 構造(銅・酸素八面体型6配位)と Nd_2CuO_4 構造(平面体型4配位)の2種類の結晶構造をとる(図1)。前者はホールドープ型、後者は電子ドープ型高温超伝導体の基本結晶構造として知られている。どちらの構造が安定化するかは、第一義的には、希土類元素のイオン半径によって決まり、イオン半径の大きな La では K_2NiF_4 構造が安定化し、イオン半径が Pr 以下の元素では Nd_2CuO_4 構造が安定化する。しかし、イオン結合性の強い $\text{RE}-\text{O}$ ボンドと共有結合性の強い $\text{Cu}-\text{O}$ ボンドの熱膨張係数の違いのために、 La_2CuO_4 も 400°C 以下の低温合成をすれば、 Nd_2CuO_4 構造をとることが予測されていた[1]。 Nd_2CuO_4 型の La_2CuO_4 を合成する試みは過去に行われたが、バルク合成では、酸化物や炭酸化物の混合粉を拡散過程で化学反応を起こさせるために、 400°C という低温では反応が起こらなかった[2]。我々は分子線エピタキシ法を用いた低温合成により、 Nd_2CuO_4 構造の La_2CuO_4 の単結晶薄膜合成に初めて成功した[3]。

図2は、6配位の K_2NiF_4 構造の La_2CuO_4 (白領域)と4配位の Nd_2CuO_4 構造の La_2CuO_4 (灰領域)の選択成長が可能なことを示したものである。縦軸は成長温度、横軸は基板格子定数である。本結果は人工的に $\text{Cu}-\text{O}$ 配位を制御した最初の例であり、新物質合成の戦略技術ととらえることができる。

[1] A. Manthiram and J. B. Goodenough, J. Solid State Chem., **92** (1991) 231.

[2] F. C. Chou *et al.*, Phys. Rev. B, **42** (1990) 6172.

[3] A. Tsukada, T. Greibe, and M. Naito, Phys. Rev. B, **66** (2002) 184515.

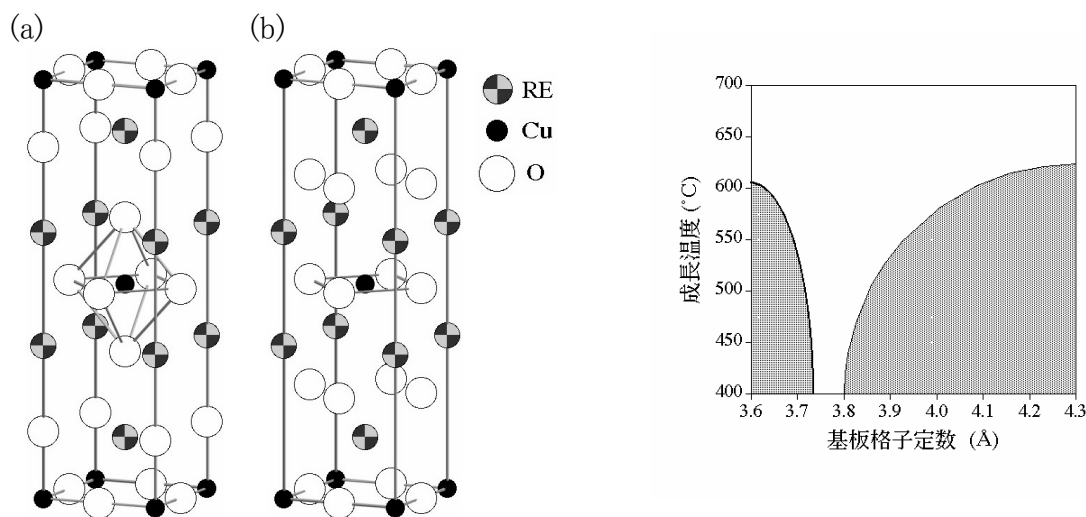


図1 RE_2CuO_4 の結晶構造

(a) K_2NiF_4 構造、(b) Nd_2CuO_4 構造

図2 La_2CuO_4 の結晶構造と成長温度、
基板格子定数との関係。

灰色の領域に Nd_2CuO_4 構造が安定化。

量子ドット超格子を用いた超伝導体の設計

田村浩之 高柳英明
機能物質科学研究部

固体の電子状態は結晶構造と密接に関連しているが、結晶構造はそれを構成している元素の原子的性質によってほとんど決まってしまう。しかし、人工原子をあらかじめ設計して決めた格子構造に作り込んで人工結晶を作り出すことが出来れば、所望の物理特性を選択的に発現させることが出来ると予想される。これまで我々は半導体の量子ドットを格子点上に配置して互いに結合させることによって、量子ドット超格子と呼ばれる人工結晶を作り出すことを提案してきた[1,2]。

ここで我々は、図1のような量子細線のネットワークが量子ドット超格子として機能し、正方格子やプラケット格子の量子ドット列が実現できることを提案する[3]。プラケット格子とは、図2の挿入図にあるように各单位胞内に正方形のプラケットをもち、その4つの頂点を格子点を持つような格子形のことをいう。我々はスピンの依存する局所密度近似を用いてこの細線ネットワークのバンド構造を計算し、どちらの格子構造もハバード模型でよく表されることを示した。この2つの格子構造の違いはフェルミ面の形が異なる点に現れ、正方格子はただ1つのフェルミ面からなるのに対して、プラケット格子は互いに連結していない4つの部分に分かれている。このようなフェルミ面の構造とクーロン相互作用とがどのように電子相関効果に影響を与えるかを調べるために、我々は2つの格子構造をもつハバード模型を調べた。その結果、細線ネットワークが低温で超伝導となることを見いだした。また、図2に示すようにプラケット格子における超伝導転位温度は、正方格子のものと比べると2倍以上になることも見いだし、実験で十分観測可能であることを示した。

- [1] H. Tamura, K. Shiraishi, T. Kimura, and H. Takayanagi, Phys. Rev. B **65** (2002) 085324.
[2] K. Shiraishi, H. Tamura, and H. Takayanagi, Appl. Phys. Lett. **78** (2001) 3702.
[3] T. Kimura, H. Tamura, K. Kuroki, K. Shiraishi, H. Takayanagi, and R. Arita, Phys. Rev. B **66** (2002) 132508.

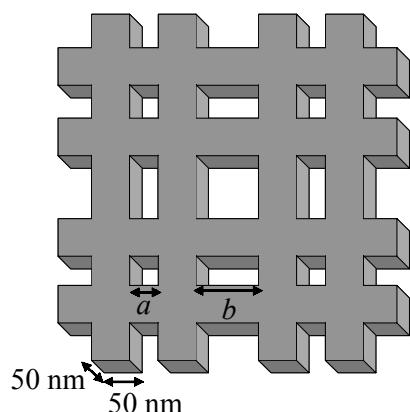


図1 量子細線ネットワーク。InAs からなる細線が $\text{In}_{0.776}\text{Ga}_{0.224}\text{As}$ のバリアの中に埋め込まれている。隣り合う細線の間隔は a と b で表し、 $a=b$ ($a<b$) の場合が正方(プラケット)格子に対応する。

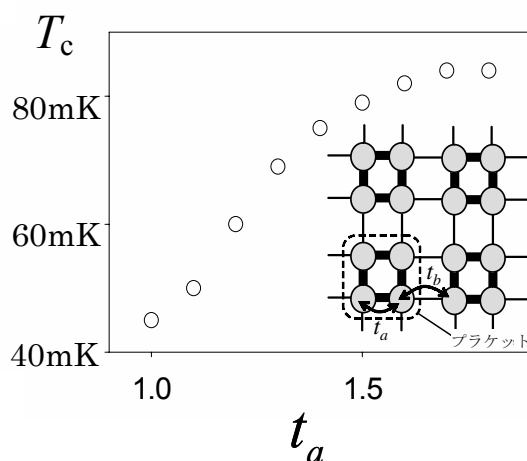


図2 超伝導転位温度 T_c をトランスファエネルギー t_a で表した図。プラケット格子 ($t_a=1.5$, $t_b=0.5$) の T_c は正方格子 ($t_a=t_b=1$) のものよりも倍以上も大きい。挿入図は図1に対応する強結合模型 (t_a and t_b はトランスファエネルギー)

半導体中のスピン軌道相互作用制御

古賀貴亮 新田淳作
機能物質科学研究部

スピン軌道相互作用は、半導体中のスピン歳差運動や、スピン上向き下向きのエネルギー差(スピン分離)を決める重要なパラメータである。従って、その大きさ(強さ)を制御することは、スピンの自由度を利用した新しいエレクトロニクスー半導体スピントロニクスー分野発展の鍵となると考えられている [1,2]。ラシュバのスピン軌道相互作用は、半導体ヘテロ構造における、構造反転対称性の崩れに起因し、量子井戸のポテンシャル形状を変化させることにより制御可能であることが指摘されてきた。しかしながら、このスピン軌道相互作用に起因するスピン分離の大きさは一般的に小さく、定量的な値の見積もり(測定)はこれまで困難であった。本研究では、ラシュバスピン軌道相互作用の大きさの測定法として、電子輸送現象における反局在解析を利用し、定量的且つ系統的な測定に初めて成功した [3]。

図1は本研究で用いた $\text{In}_{0.53}\text{Ga}_{0.47}\text{As}$ 量子井戸のポテンシャル図を示したものである。系統的な測定を行うため、量子井戸の上下にキャリア供給層を設け、量子井戸ポテンシャル形状の対称性を変えたサンプルを四種類用意した。これらのサンプルの低温 (0.3 K) での磁気抵抗を図2(a)に示す。サンプル量子井戸のポテンシャル形状が非対称になればなるほど、磁場ゼロ付近で抵抗が極小になる反弱局在の現象が強く現れ、スピン軌道相互作用が強くなることがわかった。図2(a)に示す曲線は、これらの実験結果をフィットする理論曲線であり、その際のフィッティング・パラメータよりラシュバのスピン軌道相互作用係数 α の値が見積もられる[図2(b)]。また、図2(b)に示す曲線は、図1に示すサンプル量子井戸のポテンシャル形状から予測される α の理論値であり、 $\mathbf{k}\cdot\mathbf{p}$ 摂動法によって求めた。この図に示すように、反局在解析により実験的に求めた α 値と $\mathbf{k}\cdot\mathbf{p}$ 摂動法によって求めた理論的な α 値は、非常によい一致を示すことがわかった。

[1] S. Datta and B. Das, Appl. Phys. Lett. **56** (1990) 665.

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

[3] T. Koga, J. Nitta, T. Akazaki and H. Takayanagi, Phys. Rev. Lett. **89** (2002) 046801.

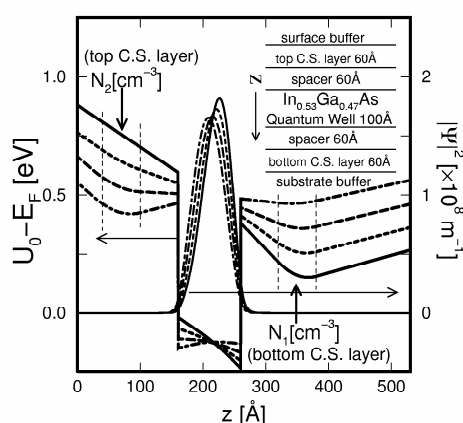


図1 反弱局在解析に用いた $\text{In}_{0.53}\text{Ga}_{0.47}\text{As}$ 量子井戸のポテンシャル図。実線、短破線、長破線、破点線はそれぞれ、サンプル1-4を表す。

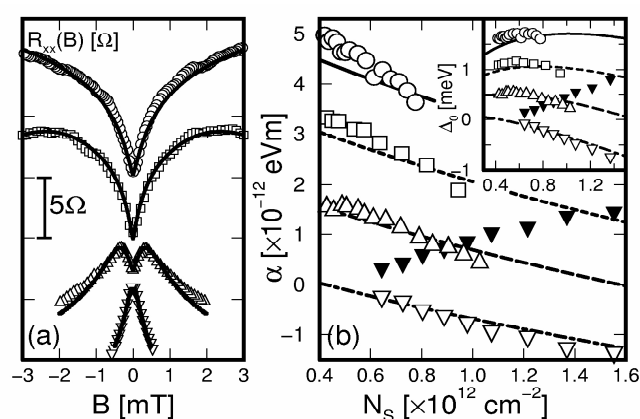


図2 (a) 図1で示すサンプルの低温 (0.3 K) での磁気抵抗。○□△▽はそれぞれ、サンプル1-4の結果を表す。(b) 反弱局在解析から見積もられた α の値。挿入図は、同じ結果を零磁場スピン分離エネルギー Δ_0 でプロットしたもの。

量子電子物性の研究概要

平山祥郎

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) 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、スピン状態制御、キャリアダイナミクス、固体量子計算機に向けた基本特性の解明)
- (3) 半導体ナノメカニクスの研究 (構造作製と物性評価)
- (4) 低温 STM による電子状態のナノスケール観測の研究

ワイドギャップ半導体研究グループ

- (1) 紫外 LED 光デバイスとその物理、マイクロファセットを用いた光デバイスの研究
- (2) 窒化物 FET、HBT デバイスとキャリア輸送特性の研究
- (3) ワイドバンドギャップ半導体へのドーピング特性の研究
- (4) ダイヤモンドや InN などの新しい半導体材料の研究

本研究分野の本年度の代表的な研究成果を次ページ以降に掲載しています。

量子ドット系に関しては電気的なポンプ・プローブ法を確立しました。励起状態から基底状態への電子の緩和時間を正確に測定し、緩和がスピン反転を伴う場合に緩和時間が極めて長くなることを見出しました。この成果は電子スピンの量子ドット中で外界から良く隔離されていることを示しています。また、結合量子ドットにおける電子のコヒーレント振動の観察にも成功しました。これは半導体による全電気型電荷量子ビットの世界最初の実現例です。

二次元電子系と核スピンの関連に関しても研究を進め、ある条件で二次元系に流す電流により核スピンの偏極するなど、核スピン偏極、緩和の全電気的な制御の可能性を示しました。ナノメカニクスの研究では InAs をベースにしたメゾスコピック寸法のカンチレバーを作製し、量子効果に基づく高感度を実現しました。

ワイドギャップ半導体に関する研究では、オーミック特性を改良するために再成長技術を駆使し npn 型 GaN/InGaN ヘテロバイポーラトランジスタ (HBT) を作製しました。これにより従来報告された素子をはるかに超える特性を実現することができました。この結果は窒化物系 HBT が将来の高出力電気デバイスに有望であることを示しています。

また、従来バンドギャップが 1.9eV と信じられていた InN のバンドギャップについて高品質結晶を用いて再調査することにより、実はバンドギャップが 0.9eV であることを確認しました。これは窒化物半導体が通信用の光デバイスにも有望な材料であることを示しています。

量子ドットの長寿命スピン状態

藤澤利正
量子物性研究部

半導体量子ドットは人工原子とも呼ばれ、人為的に制御可能な電子状態を作ることができる。このような量子ドットは、電子スピンを利用したスピントロニクスや、量子力学によって超高速並列計算を目指す量子コンピュータなどへの応用が期待されている。これらの応用上重要な課題は、どれだけ長い時間、電子スピンがその状態を保つことができるか(緩和時間)にあるが、その最も基本的なエネルギー緩和過程についても、十分理解されていなかった。我々は、ごく少数個の電子のみを有する量子ドット(人工原子)のエネルギー緩和時間を測定することに成功し、ほぼ理論予測どおりの緩和時間を確認したとともに、電子スピンが情報記録媒体(量子コンピュータにおける量子ビット)として有望であることを示した。

実験は、電子を1個しか含まない量子ドット(人工水素原子)と、電子を2個含む量子ドット(人工ヘリウム原子)について行い、電氣的なパルス信号をゲート電圧に印可することにより、第一励起状態から基底状態に変化するエネルギー緩和時間を測定した(図1参照) [1]。エネルギー緩和時間は、0(基底状態)または1(励起状態)の情報を区別できなくなる時間と考えることができ、古典的な情報の保持時間にあたる。図1に示したように、人工水素原子の緩和では、電子スピンの変化はない。この場合の人工原子ではフォノン(格子振動)を放出して緩和することができ(許容遷移)、通常の水素原子が光子(光)を放出して遷移する様子を類似している。一方、人工ヘリウム原子ではスピンの変化を伴うためフォノン放出は抑制され(禁制遷移)、長い緩和時間が期待される。実際、人工水素原子の緩和時間よりも数万倍も長い緩和時間であることを確認した。この大きな選択比は、量子ドットを構成するガリウム砒素半導体の物性に起因するスピン軌道相互作用に基づく理論予測に近く、品質の高い量子ドットが作製できていることを示している。

本結果は、電子のスピンが「上向き」「下向き」を情報とする電子スピン量子ビットへの応用を期待させるものである。この場合のエネルギー緩和時間(すなわち1個の電子の電子スピンの反転する時間)を今回得られた結果から見積もると、1ミリ秒を越える。この時間は、量子コンピュータにおける論理ゲートに要する時間(数ピコ秒程度)よりも著しく(10億倍程度)長い。量子コンピュータでは、緩和時間のうちに何回の論理ゲートを行うことができるかが重要であり、この大きな比は、電子スピン量子コンピュータへの期待を裏付けるものである。

[1] T. Fujisawa et al., Nature **419** (2002) 278.

[2] J. Gupta et al., Science **292** (2001) 2458.

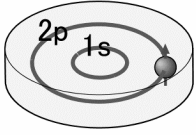
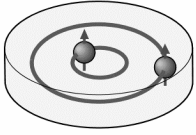
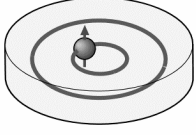
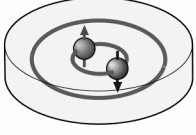
	人工水素原子	人工ヘリウム原子
励起状態		
基底状態		
エネルギー緩和の特徴	軌道は変化するが、電子スピンは変化しない(許容遷移)	軌道と電子スピンの両方とも変化する(禁制遷移)
測定されたエネルギー緩和時間	3~10ナノ秒	約200マイクロ秒

図1 人工水素原子と人工ヘリウム原子のエネルギー緩和過程

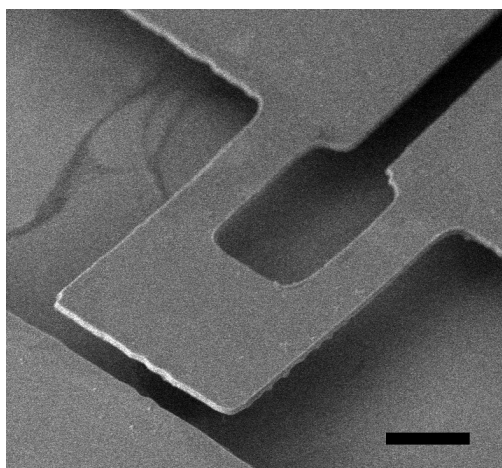
化合物半導体マイクロ・ナノメカニカル素子

山口浩司 平山祥郎
量子物性研究部

化合物半導体ヘテロ構造は、ナノメートルスケールで組成が変調できる特徴を生かし、これまでレーザや超高速トランジスタなどの光・電子デバイスに数多く用いられてきた。特に、電子の波としての性質が顕著になる量子ヘテロ構造では、量子力学的な原理に基づく機能性が出現する。我々は、化合物半導体によって作製した量子ヘテロ構造に微小な機械としての機能を加えることにより、新原理に基づく半導体デバイスの開発を目指している。図1はその典型例であるヘテロ構造メカニカル変位センサーの電子顕微鏡写真である。導電性 InAs 薄膜(厚さ 15 nm)と絶縁性 AlGaSb 薄膜(厚さ 285 nm)のヘテロ接合構造をリソグラフィと選択エッチングによりカンチレバー状に加工し、InAs 薄膜の抵抗値の変化を検出することにより、このカンチレバーの「しなり」を高感度に検出することが可能である。試作した素子では、量子力学的な有限サイズ効果により、 $0.01 \text{ nm/Hz}^{0.5}$ 以下という極めて高い感度でカンチレバーの変位を検出することが可能である [1]。図2は結晶成長における自己組織化技術を用いて作製した、厚さ 6 ~ 30 nm、幅が 20 ~ 100 nm、長さが 50 ~ 500 nm という極めて微細な InAs カンチレバーである [2]。InAs は表面近傍数ナノメートルの領域に電子がたまるという特徴を持っているため、このカンチレバーは高い導電性を持つ。このようなナノメートルサイズのメカニカル構造では、極低温において機械振動のエネルギーが量子効果により離散的になると期待され、これまでとは全く異なる新原理・新概念に基づいたデバイス応用の可能性が広がる。

[1] H. Yamaguchi, S. Miyashita, and Y. Hirayama, Appl. Phys. Lett. **82** (2003) 394.

[2] H. Yamaguchi and Y. Hirayama, Appl. Phys. Lett. **80** (2002) 4428.



5μm

図1 InAs/AlGaSb ヘテロ構造により作製した変位検出器の電子顕微鏡写真

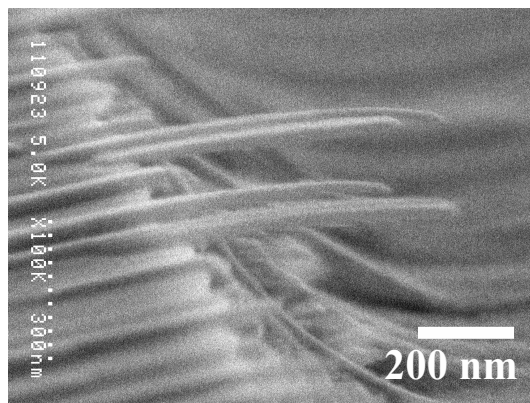


図2 結晶成長における自己組織化手法を用いて作製したナノスケールカンチレバーの電子顕微鏡写真

選択成長を用いた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

携帯電話などの無線通信の発展にともなって、1GHzを超える高い周波数領域で高い出力を発揮するトランジスタの開発がますます重要になってきた。携帯電話の基地局などの無線通信に用いられるからである。トランジスタの出力を高くするためには、動作電圧を高くするとともに、大きな電流を流すことが必要である。ここで、窒化物半導体は他の半導体よりも大きなバンドギャップを持っているため、高い電圧を印加することができる。一方、ヘテロ接合バイポーラトランジスタ(HBT)は、大きな電流を流すことのできる高周波用トランジスタの一つの形式である。従って、窒化物半導体を使ってHBTを作製すれば、極めて高い出力を発揮させることが期待できるので、窒化物半導体 HBT の研究が進められている。

しかしながら、従来の窒化物半導体 HBT には、二つの大きな課題があった。一つ目の課題は、HBT の特性を示す指標である電流利得が低かったことである。二つ目は、コレクタ電流が流れ始める電圧(オフセット電圧)が高かったことである。これらの二つの課題はトランジスタ作製時に発生する結晶欠陥に関連すると考えられる。本研究では、これらの欠陥の影響を抑制するために、外部ベース層に p 型 InGaN を選択成長する方法を提案した。

図1は、本研究で作製した HBT の構造である。ベース層には p 型 GaN に比べて抵抗の低い p 型 InGaN を用いており[1]、高い降伏電圧を得るためにダブルヘテロ構造を採用している [2]。図1に示したように、HBT を作製する際のエッチングによってベース層表面には多数の結晶欠陥が発生している。そして、これらの欠陥が HBT 特性を劣化させていた。本研究では、多数の結晶欠陥が存在するベース表面上に p 型 InGaN を再成長することにより、欠陥の影響を大幅に抑制した。その結果、電流利得は従来の窒化物半導体 HBT で報告されている最大値よりも 100 倍も高く、オフセット電圧も 1/10 まで低くすることができた[3,4]。

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

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

[3] T. Makimoto et al., Proceeding of The Fifth International Conference on Nitride Semiconductors (ICNS-5), Nara Japan, May 2003.

[4] T. Makimoto et al., Proceeding of 2003 Device Research Conference (2003 DRC), Salt Lake City USA, June 2003.

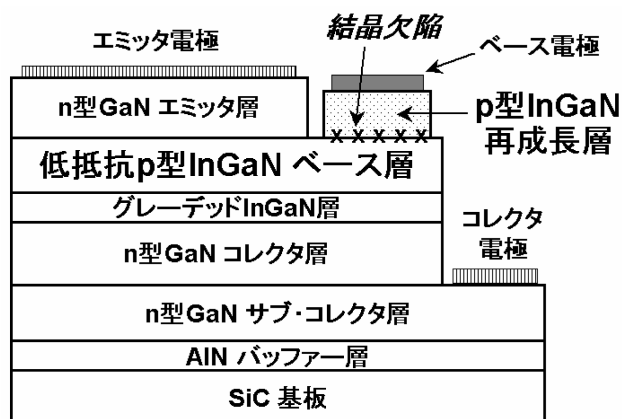


図1 本研究で作製した窒化物半導体 HBT の構造

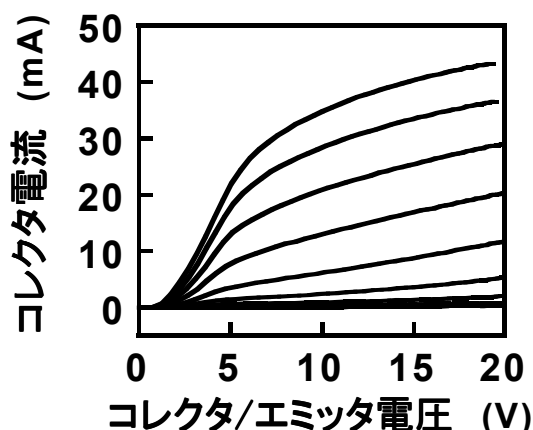


図2 HBT のエミッタ接地電流-電圧特性

ウルツ鉱型結晶 InN のバンドギャップ・エネルギー

松岡隆志

量子物性研究部

1989 年に提案された InGaAlN 窒化物半導体は、青色 LED などに実用化されている[1]。しかし、この中で InN が、ミステリアスな材料として残っていた。窒素の平衡蒸気圧が極めて高く、成長が難しいためである。吸収から求められた多結晶 InN のバンドギャップ・エネルギー E_g は光学吸収から 1.8–2.0 eV とされていた。一方、単結晶 InGaN の E_g は In 組成 0–42% の間で明らかにされており、In 組成 42% のときの E_g は InN の報告値にほぼ近く、単結晶 InN の E_g は報告値よりかなり小さいと予想されていた[1]。ここでは、高品質 InN を用いて測定された E_g が、従来の報告値の半分以下であることを述べる。

単結晶 InN は、有機金属気相成長法(MOVPE)を用いて、(0001)面サファイア基板上に温度 500°C で常圧成長された。成長原料はトリメチルインジウムとアンモニアである。それぞれの流量は毎分 1–6 μmol と 15 リットルであり、大きな V/III 比が膜中へのインジウムの析出を抑制している。光学吸収特性として、吸収量の二乗と光子・エネルギーとの関係を図 1 に示す。直線領域から内挿して求められる E_g は、0.8–1.0 eV である。また、図 2 に示す室温でのフォトルミネッセンス・スペクトルにおいても、0.76 eV に発光を観測された。一方、従来の報告値 2 eV 近傍では、0.6 MW/cm² という強励起下でも、非発光である。InGaN の E_g をまとめて図 3 に示す。多結晶の E_g は、常に単結晶より大きい。実験データに最小自乗法でフィッティングした二次曲線の外挿点から求めた InN の E_g は 0.85 eV である。

以上の結果から、InN の E_g は、0.8 eV 近傍と推定される。この値と報告されている従来の報告値との差異は、多結晶と単結晶の差と思われる。今後、精密な E_g の決定のためには、低キャリア濃度で高品質な厚膜 InN の成長を待つ必要がある。ここで示した結果は、InGaAlN を光通信領域へも適用できることを示している。

[1] T. Matsuoka et al., Proc. Int. Symp. on GaAs and Related Comps, Karuizawa, Japan, 1989, 141.

[2] T. Matsuoka et al., Appl. Phys. Lett. **81** (2002) 1246.

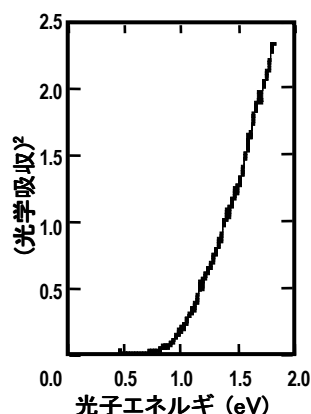


図1 InN の光学吸収

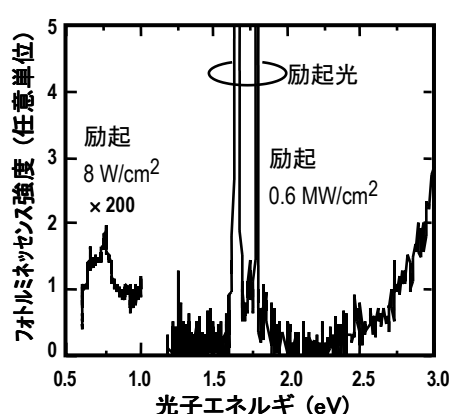


図2 InN の室温でのフォトルミネッセンス

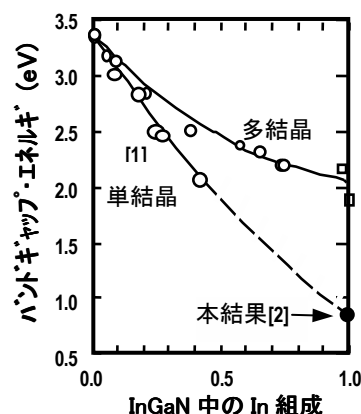


図3 InGaN バンドギャップ・エネルギー

量子光学・光物性の研究概要

平山祥郎
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。

量子光制御研究グループ

- (1) 量子通信、量子情報処理の研究(量子暗号/プロトコル、量子エンタングルメント、量子コンピュータ)
- (2) 原子光学の研究(アルカリ金属原子のボーズ・アインシュタイン凝縮)

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の研究

光デバイス物理研究グループ

- (1) 窒化物半導体の光物性とデバイス応用の研究
- (2) 量子ドットの励起子、スピン状態のコヒーレント制御の研究

フォトニックナノ構造研究グループ

- (1) フォトニック結晶光回路の研究(二次元 SOI フォトニック結晶、有機フォトニック結晶、三次元フォトニック結晶)
- (2) 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、フォトニック準結晶レーザ)
- (3) ナノプリントリソグラフィの研究

本研究分野の本年度の代表的な研究成果を次ページ以降に掲載しています。

量子暗号に関してはスタンフォード大学と共同で単一光子源を用いた量子鍵配送実験に成功しました。パルス毎に正確に光子 1 個を放出する単一光子源はビームスプリット攻撃から暗号通信の安全性を守るのに本質的なものです。

また、極紫外波長域における固体表面高調波のスペクトル形状が励起レーザのスペクトル形状操作によって変化することを示しました。さらに、ガラスターゲットの利用によって、固体表面高調波の強度が著しく増強されることも見出しました。これらの成果は、励起レーザならびにターゲットを制御することによって固体表面高調波発生状態を制御し得ることを示しています。これらは、単一アト秒パルス発生を実現する上で重要な知見です。

半導体/空気 DBR ミラー InGa_N/Ga_N レーザに関しては新しい構造デザインを提案しました。側壁が傾いている現実の DBR 構造においては、最適なデザインは通常使われている $\lambda/(4n)$ 半導体、 $\lambda/4$ 空気とは異なることを見出しました。最適に構造制御された DBR ミラーでは反射率が 62% に達することを確認しました。

フォトニック結晶では光ファイバーとフォトニック結晶の効率的な結合を可能にするスポットサイズ変換器を実現し、フォトニック結晶研究の大きな障害を解決しました。また、様々なナノ構造デバイスの作製に応用可能なナノ電極リソグラフィ技術を開発しました。

単一光子光源を用いた量子暗号実験

井上 恭
量子物性研究部

将来いかなる技術革新があろうとも、量子力学の基本原理解により絶対に安全であることが保証された量子暗号システムの研究が進められている。量子暗号は、光子の非直交状態を用いて暗号化・復号化のための秘密鍵を配送するシステムで、非直交状態間の不確定性のため盗聴者が 100%の確率で状態を特定できないことを安全性の基本原理解としている。これまで、平均光子数を 0.1/パルス程度まで減衰させたレーザ光を用いて実験がなされているが、レーザ光の光子数はポワソン分布に従うため、有限の確率で1パルスに2個以上の光子が存在し、このパルスから盗聴者が情報を得ることが原理的には可能である。盗聴情報量は伝送損失が大きいほど大きくできることが理論的に知られている。そのため、レーザ光を用いたシステムでは長距離伝送ができず、長距離化のためには1パルスに2個以上の光子が存在し得ない単一光子光源によるシステム実験が望まれていた。今回、スタンフォード大学と協力し、世界で初めて単一光子光源を用いた量子暗号実験に成功した。

用いた単一光子光源は、スタンフォード大で作製された InAs 半導体量子ドット(直径 20nm、厚さ 4nm)である。効率良く光子を取り出すために、ポスト型の微小共振器内に埋め込まれている(図1)。この素子にポンプ光パルスを照射すると、特定の準位間から1パルスあたり1個の光子が放出される。実際の素子における光子の出力効率は約 6%、パルス当たり2個以上の光子が存在する確率はレーザ光の 1/10 であった。この光源を使い、4偏波状態間の不確定性を利用する量子暗号方式(通称 BB84)の実験を行った。その結果、送受信間に誤り率 2.5%で所望の相関が得られた。このデータに誤り訂正・秘匿性増強などの処理を施し、安全な秘密鍵を生成した。最終秘密鍵生成率は 25kbit/s であった。さらに、弱レーザ光との比較実験を行った(図2)。低効率のため損失小の領域ではレーザ光より鍵生成率が劣っているが、秘密鍵生成可能な損失限界は本光源の方が大きいという結果が得られた。これは本光源の単一光子性によるもので、単一光子光源を用いることにより量子暗号システムの長距離化が可能なが示された。

[1] E. Waks et al., Nature **420** (2002) 762.

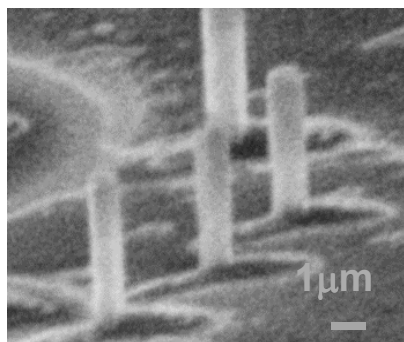


図1 単一光子光源

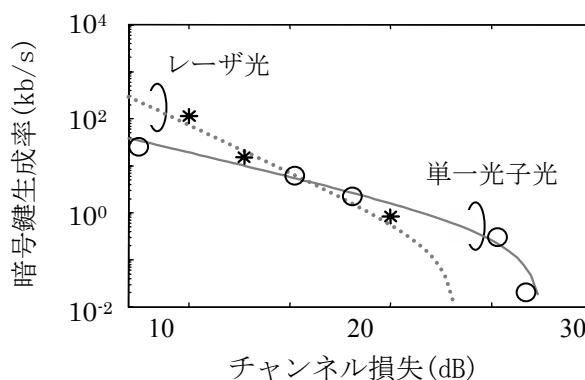


図2 暗号鍵生成率

固体表面プラズマからの高次高調波

尾崎恒之 石澤 淳 中野秀俊
量子物性研究部

アト秒パルス光の発生・制御技術やナノメートル分解能技術の確立をめざす際、コヒーレント軟X線光源は不可欠な道具であり、現在世界中の多くの研究機関がその実現に向けて精力的に研究を進めている。本研究では高次高調波の中でも固体高調波という新しい手法に着目し、さらにターゲット材質や表面構造の工夫によるこの分野におけるブレークスルーを模索している。

まず極短真空紫外(XUV)波長域における固体高調波スペクトルの観測を行った。励起光源にはテラワット級チタンサファイヤレーザ(パルス幅 55fs、ピーク光強度 $4 \times 10^{16} \text{ W cm}^{-2}$ 、P偏光)を用い、軸外放物面鏡でシリコンウェハータラゲット上に入射角 45 度で集光した。図1に、励起光の反射方向に観測される時間積分 XUV スペクトルを示す。(a) は通常のスムーズなスペクトルをもつ励起光を用いた場合、そして (b) は狭帯域成分をもつ励起光を使用した場合のスペクトルである。790 nm 中心の基本波に対する14次から16次高調波がはっきりと観測されている。また (b) の場合、励起光スペクトルを反映して高次高調波にも狭帯域成分が存在し、以上からこれらのスペクトルが高調波であることが示される。

一方、ターゲット種類により2倍高調波強度が大幅に増大するという新しい現象を見いだしている。図2は面精度 $\lambda/4$ のパイレックス及びアルミ蒸着ミラーからの2倍高調波スペクトルである。驚くことにパイレックスターゲットを用いた場合、アルミミラーの結果と比較して2倍高調波強度が2桁以上強いことがわかる。また実験からパイレックスの場合高調波強度がショット毎に大きくばらつく傾向があり、またS偏光励起光を用いると2倍高調波がまったく観測されないことも判明した。現在この現象のメカニズムを調べているが、ターゲットの光損傷閾値および固体表面上に生成されるプレプラズマの状態が大きく影響していると考えられる。

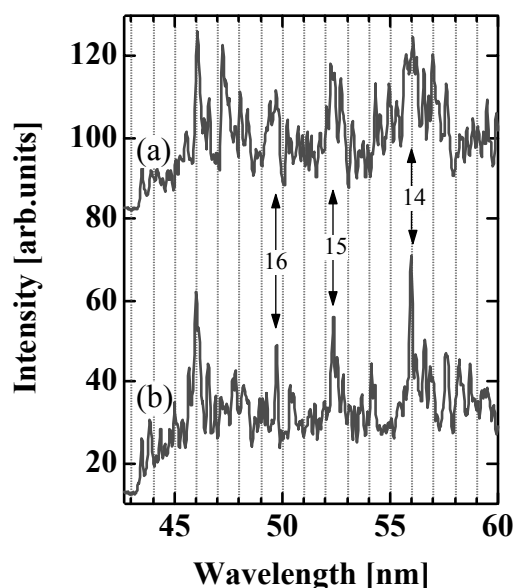


図1 極短真空紫外固体高調波スペクトル

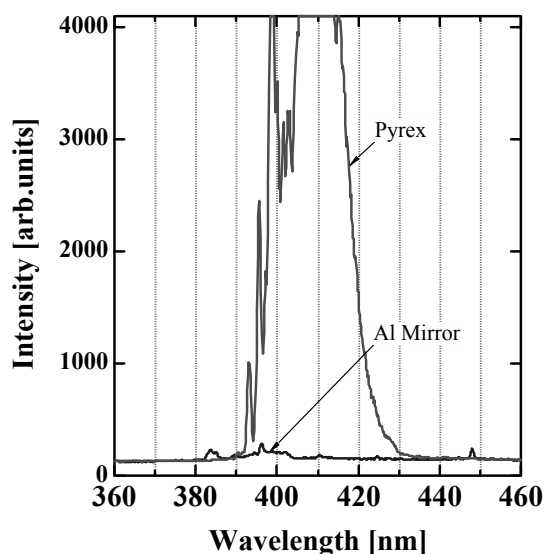


図2 パイレックス及びアルミミラーからの2倍高調波スペクトル

深くエッチングした半導体/空気型回折格子を用いた InGaN/GaN レーザダイオード用高反射率分布ブラッグ反射器

齊藤 正 熊谷雅美 Hailong Wang 俵 毅彦 西田敏夫 赤坂哲也 小林直樹
量子物性研究部

InGaN/GaN レーザは Blu-ray Disc など次世代のストレージシステム用青紫色光源として注目されている[1]。しかしながら、InGaN/GaN レーザは従来の GaAs/AlGaAs レーザや GaInAsP/InP レーザに比べて動作電流が大きいという問題がある。このように発振しきい値電流が大きい理由のひとつは、GaN 系材料の屈折率が 2.5 程度と小さいために、端面反射率が 18% 程度しかないことである。InGaN/GaN レーザの寿命は動作電流に大きく依存するため、発振しきい値を低減することはきわめて重要である。動作電流を低減して長寿命化するために、通常は端面に誘電体多層膜をコーティングして端面反射率を高めているが、これはレーザ作製工程を増やすことになる。誘電体多層膜を用いて端面反射率を高くする方法に代わって、深いエッチングにより分布ブラッグ反射器 (Distributed Bragg Reflector; DBR) を形成した構造が有望である[1]。

NTT 物性科学基礎研究所では、深いエッチングにより形成した InGaN/GaN DBR ミラーにより高反射率を達成している。深いエッチングではエッチング側壁が垂直に形成できないことが多いため、この設計では斜めの側壁を有する場合について時間領域差分 (Finite Difference Time Domain; FDTD) 法を用いて構造の最適化を行った (図 1)。計算から得られた最適構造は、通常用いられる半導体 $\lambda/(4n)$ - 空気 $\lambda/4$ の構造とは異なっている。通常的设计では側壁が 4 度傾いただけでも、DBR 反射率は 40% 以下になってしまう (破線、点線)。しかし、本最適構造を用いれば、4 度程度の傾きでは反射率の低下は数%に抑えることが可能である (実線)。この設計に基づいて InGaN/GaN 多層量子井戸レーザを作製し、DBR のない場合よりも発振しきい値が低減できることを確認した。DBR ミラーの反射率は発振しきい値とレーザ共振器長の関係から見積もり、62% という高い値を得た (図 2)。

[1] H. Wang et al., Jpn. J. Appl. Phys. Part 2, **41** (2002) L682.

[2] H. Wang et al., Appl. Phys. Lett., **81** (2002) 4703.

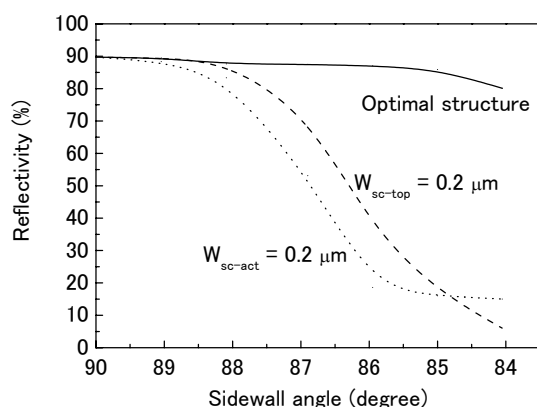


図1 DBR 反射率の回折格子側壁角度依存性

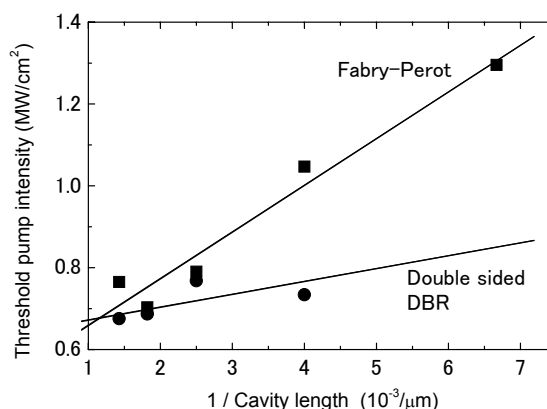


図2 発振しきい値のレーザ共振器長依存性

スポットサイズコンバータ付きフォトニック結晶導波路

新家昭彦 倉持栄一 納富雅也

量子物性研究部

(協力:土澤泰、渡辺俊文、荘司哲文、山田浩治、マイクロシステムインテグレーション研)

フォトニック結晶とは屈折率の多次元周期構造であり、フォトニックバンドギャップを有するフォトニック結晶をベースとした光回路は将来の超小型大規模集積光回路のプラットフォームとして期待を集めている。我々はSOI(Silicon-On-Insulator)基板を用いて高精度の2次元フォトニック結晶の作製を行っており、これまでにバンドギャップ内で動作する単一モード導波路を実現し、その特異な特性を実証している[1,2]。フォトニック結晶導波路および共振器中の光のモードサイズは非常に小さく、これが光回路小型化に有利な理由の一つであるが、逆にこれが光ファイバーに代表される外部の通常光学系のモードサイズに比べて小さすぎるため、外部系との光結合効率が非常に低くなってしまうという問題をはらんでいた。単純にモードサイズで比較すると、単一モードファイバーとフォトニック結晶の結合損失は30dB程度になる。

我々はこの問題を解決するために、マイクロシステムインテグレーション研究所の協力のもと、フォトニック結晶導波路にモード形状およびスポットサイズ変換機構をつけ、断熱的にモードを単一モードファイバーのモードに接続することにより、結合効率の極めて高いフォトニック結晶導波路を実現した[3]。試料構造(図1)はフォトニック結晶導波路、シリコン細線導波路、ポリマー導波路の3つに分かれ、それぞれの境界にスポットサイズ(及びモード形状)変換領域が存在している。この構造で実測された結合損失は片端で3-4dBであり、スポットサイズ変換を設けない場合に比べて劇的な効率の改善が達成された。この構造は将来の回路応用にも極めて重要な1ステップであるが、それだけでなく従来構造では結合効率が低すぎて不可能だった様々な物性研究も可能になると考えられる。

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

[2] M. Notomi et al., IEEE J. Quantum Electron. **38**, (2002) 736.

[3] A. Shinya et al., SPIE Photonics West 2003, 5000-21, San Jose, USA. (2003).

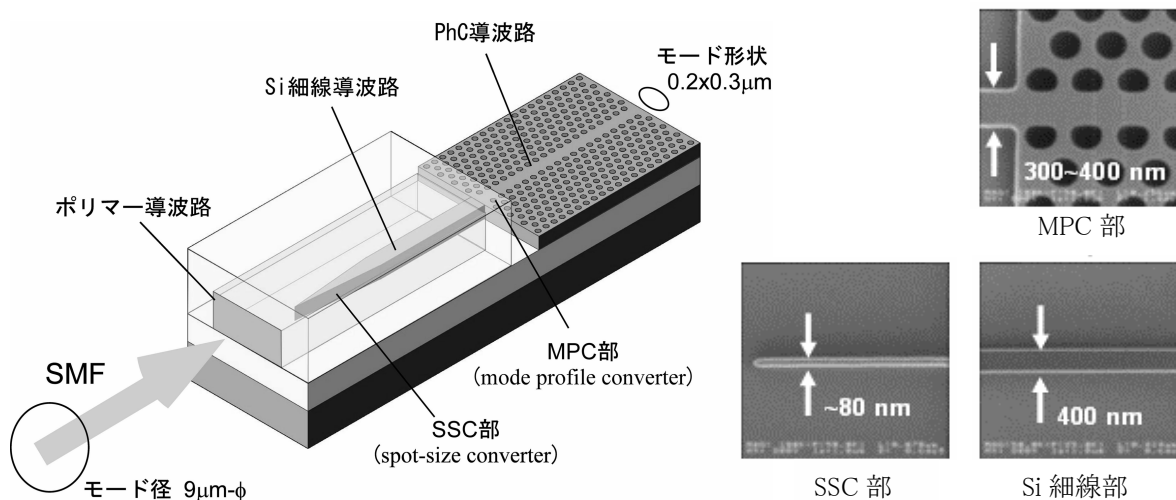


図1 スポットサイズ変換機構付きフォトニック結晶導波路の模式図(左)及び作製した構造の断熱変換部の走査型電子顕微鏡像(右)。

Ⅱ. 資料

「ナノ構造におけるキャリア相関とスピントロニクス」国際シンポジウム

2003 年 3 月 10 日から 12 日までの 3 日間、NTT 厚木研究開発センター講堂において、「ナノ構造におけるキャリア相関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)、科学技術振興事業団(JST)戦略的基礎研究推進事業(CREST)の共催で開催されました。

キャリア相関は固体をベースにした量子コンピュータなどの新しい夢のあるデバイスに繋がる可能性から関心を集めています。スピンはキャリア相関を担う最も重要な要素のひとつであり、スピンエレクトロニクスはスピントロニクスとして熱心に研究されています。最近、電荷やスピンのコヒーレント制御に関する研究も急速に活発化してきました。本シンポジウムは、これらの分野の研究をより推進するために NTT 物性科学基礎研究所の平山祥郎(量子物性研究部長)と新田淳作(スピントロニクス研究グループリーダー)によりキャリア相関とスピントロニクスをキーワードにオーガナイズされたもので、同分野をリードする NTT 物性科学基礎研究所を中心に、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ました。

10 日は、石原直・NTT 物性科学基礎研究所長の歓迎・開会の挨拶のあと、Prof. D. D. Awschalom (UCSB)、Prof. K. H. Ploog (ポール・ドルーデ研究所)が、それぞれ電子スピン・核スピンの操作、強磁性-半導体ヘテロ構造に関してプレナリー講演を行いました。さらに、ナノ材料、ヘテロ構造、スピントロニクスに関して 9 件の口頭講演があり、23 件のポスター発表がありました。

11 日は、ナノ細線、スピン関連物性、ナノメカニクス、ナノプローブ、量子ホール効果、量子情報処理に関する 15 件の口頭講演があり、スタンフォード大のグループが単一光子放出を、そして、NEC のグループが超伝導電荷量子ビットを基にした二量子ビット動作を報告しました。

12 日は、超伝導近接効果、希釈磁性半導体、量子情報処理に関する 9 件の口頭講演がありました。NTT からは世界最初の半導体電荷量子ビットが紹介され、24 件のポスター講演が行われました。

参加者は、162 名[NTT 関係者 69 名を含む]を数え、キャリア相関とスピントロニクスに関する質の高い講演、発表、議論を十分に楽しみました。



Workshop on Surface & Nano-Science in NTT

2002 年 11 月 29 日に NTT 厚木研究開発センタにおいて国際ワークショップ Workshop on Surface & Nano-Science in NTT を開催いたしました。このワークショップは、東京で開催された「第 2 回 International Workshop on Nano-Scale Spectroscopy and Nanotechnology」のサテライト会議として開催されたものです。ナノテクノロジーの計測分野、特にナノメータ領域における現象を分光法によって解析を進める研究者が国内外から集い、最新の成果について意見交換を行いました。参加者は 51 名(国外 14 名, 国内 17 名, NTT 20 名)で、小規模ながら密度の濃い議論が交わされました。

ワークショップでは、NTT 物性科学基礎研究所長の石原による開会の挨拶にはじまり、M. Kiskinova 氏 (Sincrotrone Trieste) と G. Salviati 氏 (IMEM-CNR, Parma) によりサブミクロンからナノメータ領域における構造体の作製、そしてその元素分析ならびに電子状態の解析など現在進行中のプロジェクトについて講演が行われました。NTT からは、カーボンナノチューブならびに放射光応用解析技術などのナノサイエンスやナノ加工技術、さらに将来の応用と考えられる量子コンピュータへ向けた物性研究など4件の講演を行いました。また、物性科学基礎研究所の研究施設についてラボツアーも行われ、NTTの充実した研究環境ならびに成果を知っていただき、情報発信の良い機会となりました。

サイエンスプラザ 2002

2002 年 8 月 30 日(金)、NTT 厚木研究開発センターにおいて、各分野の研究者の方々を招いて「サイエンスプラザ 2002」を実施しました。物性科学基礎研究所の研究アクティビティを広くアピールし、他分野の研究者との交流を通じて新たな研究を展開する事を目的として開催されました。

今回のサイエンスプラザでは、量子物性・先端デバイス・物質科学各分野から 3 件の「シンポジウム講演」、シンポジウムにつづけて、ポスター展示に関する 12 件の「ショートプレゼンテーション」、最新の研究成果を紹介する 41 件の「ポスター展示」、研究施設を見学していただく5件の「ラボツアー」、主なトピックスを映像で紹介する「ビデオ上映」を企画し、物性科学基礎研究所における最近の研究のアウトラインを紹介しました。全ての展示や公開を終えた後、夕刻からは社内食堂にて「懇親会」を行い、和太鼓演奏を楽しみながらご来場いただいた方々と親交を深める事もできました。

遠方からの方も含め 218 名の多くの方にご来場いただき、有意義なディスカッションやコメントをいただき、盛況のうちに終了することができました。

社外表彰受賞者一覧

日本電子顕微鏡学会 学会賞(瀬藤賞)	本間芳和	「超高真空その場観察用 SEM の開発とその結晶成長過程研 究への応用」	2002.5.14
第 37 回機械振興協会 賞	生津英夫	「極微細パターン形成用超臨 界乾燥装置の開発」	2002.12.4
応用物理学会第 12 回 講演奨励賞	神崎賢一	「ラフネスに対するレジスト薄 膜化の影響」	2002.9.24
第 23 回低温物理国際 会議ポスター賞	E. Huefeld T. Bauch V. Krasnov P. Delsing 高柳英明	「バリスティックなアンドレーエ フ接合における臨界電流分 布」	2002.8.27

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	小林直樹 西田敏夫 牧本俊樹 前田就彦 嘉数 誠 熊倉一英	「窒化物半導体の結晶成長とバンドエンジニアリングの研究」	2003.2.12
物性科学基礎研究所 所長表彰 業績賞	河西奈保子 神保泰彦 鳥光慶一 古川由里子	「神経情報機能におけるマグネシウムの影響に関する研究」	2003.3.20
物性科学基礎研究所 所長表彰 業績賞	藤澤利正 都倉康弘	「量子ドットのキャリアダイナミクスの測定」	2003.3.20
物性科学基礎研究所 所長表彰 業績賞	尾身博雄 住友弘二 D. J. Bottomley	「歪制御によるナノ構造の自己組織化形成」	2003.3.20
物性科学基礎研究所 所長表彰 論文賞	K. Prabhakaran	“Ultrafine and Well-Defined Patterns on Silicon Through Reaction Selectivity” Advanced Materials Vol. 14, 1418 (2002)	2003.3.20
物性科学基礎研究所 所長表彰 論文賞	松岡隆志	“Optical Band-Gap Energy of Wurtzite InN” Appl. Phys. Lett. Vol. 81, 1246 (2002)	2003.3.20
物性科学基礎研究所 所長表彰 レゾナント賞	鈴木恭一 古川一暁	NTT“光”新世代ビジョンキーワード 「レゾナント・コミュニケーション」の提案	2003.3.20

報道一覧

発表月日	新聞名 「見出し」
I. 共通	
8 月 25 日	日経産業新聞 ナノサイエンスシンポジウム
10 月 31 日	日経産業新聞 基礎研究 外の風で刺激／次のノーベル賞へ改革急ぐ／NTT国内外の 人材と連携
12 月 5 日	朝日新聞 田中さんと中村さん／社員の発明 評価手探り／「特許で稼ぐ」に転換も
3 月 31 日	通信興業新聞 開発力 NTT R&D の現場／転換 15 年で高水準に／物性科学基礎研究 所 個人の意欲が鍵
II. デバイス物理	
4 月 29 日	日本経済新聞 ナノチューブ／超高集積チップへ道／NTT 超 LSI 配線応用
4 月 30 日	日経産業新聞 単一電子素子／消費電力 1000 分の 1 に／NTT、室温で作動成功
6 月 24 日	日経産業新聞 NTT、微細ドット構造作製
8 月 26 日	日経産業新聞 多値論理の量子化器作り
8 月 28 日	日経産業新聞 産業力 ジャパンモード／「環境大国」で制する
10 月 14 日	日経産業新聞 ナノチューブの物性を解明
11 月 6 日	日本経済新聞 NTTなど 6 件に協会賞／機械振興協会

11 月 6 日 日経産業新聞
機械振興協会賞／6 件が受賞／NTTの微細加工法など

1 月 27 日 日経産業新聞
最適な形状のシリコン細線

Ⅲ. 機能物質科学

6 月 10 日 日経産業新聞
超伝導物質、一度で成膜

6 月 28 日 日本経済新聞
量子計算機研究を強化

7 月 12 日 日本経済新聞
量子コンピューター開発競争／「超電導素子」軸に激化／NTT・米 IBM も参戦

10 月 28 日 日経産業新聞
グルタミン酸、瞬時に検出

1 月 6 日 日刊工業新聞
量子情報通信技術／総務省が研究本格化／日本初の目玉技術 研究前倒しで育成へ

2 月 3 日 日経産業新聞
電子の自転を電圧で制御

2 月 17 日 日経産業新聞
高温超電導体で新合成法

3 月 28 日 日本工業新聞
量子情報通信／完璧に安全、光より早く／従来技術と使い分けを

Ⅳ. 量子電子物性

4 月 3 日 日刊工業新聞
ダイヤモンド半導体の製造技術／NTT が開発

4 月 3 日 日本工業新聞
ダイヤモンド半導体薄膜／NTTが作製技術／結晶欠陥 数百分の一

- 4 月 3 日 日経産業新聞
高品質ダイヤモンド半導体／傷少なく動作速度 20 倍に
- 4 月 3 日 朝日新聞
放射線・熱に強いダイヤモンドの半導体／NTT研究所
- 4 月 8 日 日経産業新聞
微細カンチレバー作製
- 5 月 1 日 日経産業新聞
高速で振動する梁／NTT、ナノサイズで実現
- 5 月 20 日 日経産業新聞
接触抵抗 1000 分の 1 以下に
- 6 月 28 日 日本経済新聞
量子計算機研究を強化
- 7 月 8 日 日経産業新聞
単一電子トランジスタ考案
- 7 月 26 日 日本経済新聞
電子自転利用の整流素子
- 7 月 26 日 日刊工業新聞
パウリの排他律観測／整流作用の形でスピンメモリー応用へ
- 7 月 26 日 日経産業新聞
電流、一定方向に／電子の自転利用の新素子
- 9 月 19 日 日刊工業新聞
人工原子中の電子スピン／情報記憶保持 1 ミリ秒に／NTTなど量子計算機に応用確認
- 9 月 19 日 日本工業新聞
「人工原子」を「量子ビット」に応用／NTTなどが可能性実証／スピン自由度が軌道自由度から分離／エネルギー緩和時間は1ミリ秒を超える
- 9 月 24 日 日経産業新聞
量子計算機／人工原子をメモリーに／NTTなど可能性示す
- 10 月 21 日 日経産業新聞
窒化物半導体で電圧向上

- 3 月 7 日 日経産業新聞
信号、100 倍に増幅／窒化物素子で高出力化／NTT 研
- 3 月 24 日 日本工業新聞
戦略的創造研究推進事業／継続実施の 19 課題決定 JST 成果見込める
テーマで

V. 量子光学・光物性

- 4 月 17 日 日経産業新聞
アルミ基板に微小穴／発光素子を規則的に／NTT・都立大が試作
- 4 月 19 日 日本経済新聞
都立大と NTT／ナノ規則構造、自在に作製
- 4 月 22 日 日経産業新聞
電子と正孔を光で制御
- 4 月 25 日 日経産業新聞
半導体レーザー／加工コスト 10 分の 1／NTT、ナノ突起で穴形成
- 11 月 18 日 日経産業新聞
電気化学反応で微細パターン
- 11 月 20 日 日経産業新聞
量子 IT 実現の道－第一人者に聞く／不正のない選挙可能／ネットの可能性広げる
- 12 月 2 日 日経産業新聞
ルビジウムボーズ凝縮
- 12 月 19 日 日本工業新聞
量子暗号伝送に成功／JST が共同で／単一光子光源使い世界初
- 12 月 19 日 日刊工業新聞
JST と NTT／単一光子光源で量子暗号通信／光子を 1 個ずつ発生／太平洋横断伝送も
- 12 月 30 日 日経産業新聞
電子の自転の影響を確認

- 1 月 23 日 日本工業新聞
「量子連結相関の抽出」実験／総研大などが成功
- 3 月 24 日 日本工業新聞
戦略的創造研究推進事業／継続実施の 19 課題決定 JST 成果見込める
テーマで

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 (2002 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」
5 月 16 日	宗像利明 博士	理化学研究所 「Time-resolved photoemission microspectroscopy based on fs-VUV laser light」
5 月 23 日	Prof. T. Gustafsson	Rutgers University (State University of New Jersey), USA 「Medium energy ion scattering studies of thin films for microelectronic applications」
5 月 28 日	越川孝範 教授	大阪電気通信大学 「LEEM・PEEM による表面研究とその展望」
9 月 3 日	Prof. Adarsh Sandhu	東京工業大学 「Room temperature magnetic imaging of ferromagnetic domains by scanning micro-hall probe microscopy」
9 月 20 日	Prof. Zhaohui Zhang	Peking University, China 「Structure transition of Ge/Si(113) surfaces during Ge epitaxial growth」
9 月 20 日	Mr. Florian Meneau	Royal Institution of Great Britain, UK 「Real-time observation of CdS Nanoparticle Synthesis」 「Self-organization of CdS nanoparticles on silicon」
10 月 1 日	Dr. Mark Baxendale	University of London, UK 「The physics and applications of carbon nanotubes」
10 月 9 日	辰村光介 氏 渡邊孝信 博士	早稲田大学 「分子動力学法による大規模 SiO ₂ /Si 界面構造のモデリング」
12 月 5 日	Prof. E. Bauer	Arizona State University, USA 「LEEM and XMCDPEEM Studies of MX layers on semiconductor surfaces (M=Ga, Mn, X=N, As)」
12 月 18 日	Dr. Bingqing Wei	Rensselaer Polytechnic Institute, USA 「Tailoring and modification of carbon nanotube architectures」
3 月 26 日	Dr. Philip J. Poole	National Research Council, Canada

「Growth of InAs/InP nanostructures by selective area CBE」

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」
4 月 17 日	雨宮邦招 博士	東京大学 「がん硼素中性子捕捉療法における細胞内硼素分布の高分解能観察」
5 月 24 日	Dr. Y. Lin	SUNY at Stony Brook, USA 「Magnetotunneling in an electron-hole system」
5 月 27 日	Dr. Simon Pedersen	Chalmers University of Technology, Sweden 「Competition of phase-breaking and thermal broadening in few-mode mesoscopic rings」
6 月 21 日	野村晋太郎 助教授	筑波大学 「半導体量子ドットアレーの発光分光」
8 月 12 日	Dr. F.J. Jedema	University of Groningen, The Netherlands 「Spin transport and spin precession in mesoscopic metal spin valve devices」
8 月 15 日	Dr. L.M.K. Vandersypen	Delft University of Technology, The Netherlands 「Spin qubit experiments – from room temperature nuclei to mK electrons」
8 月 23 日	関 隆広 博士	名古屋大学 「液晶分子でアシストされた疎水性ポリシランの水面単分子膜形成」
8 月 28 日	Dr. Marija Drndic	Massachusetts Institute of Technology, USA 「Transport in CdSe nanocrystal solids」
9 月 2 日	Dr. Lambert Alff	Walther-Meissner-Institut and Technische Universitaet Muenchen, Germany 「Electron-doped high-Tc superconductors: pairing symmetry and pseudogap as viewed from grain boundary Josephson junctions」
9 月 20 日	Dr. Thomas Schaepers	Institut fuer Festkoeperforschung Forshungszentrum Juelich, Germany 「Quantum structures based on InGaAs/InP layer systems: quantum wires and Josephson junctions」
10 月 9 日	山口真澄 博士	京都大学 「核整列固体 ^3He の超音波測定」
11 月 15 日	Dr. Wenping Hu	Stuttgart University, Germany

11 月 28 日	Dr. Tobias Nyberg	「Organic light-emitting diodes and field-effect transistors」 Linkopings Universitet, Sweden
12 月 5 日	Dr. Irinel Chiorescu	「Nano and micro patterned organic devices – from neural interfaces to optoelectronic devices」 Delft University of Technology, The Netherlands
1 月 29 日	Prof. B. Altshuler	「Coherent quantum dynamics of a superconducting flux-qubit」 NEC Laboratories America & Princeton University, USA
3 月 7 日	Dr. Cristian Urbina	「Dephasing of interacting electrons」 CEA-Saclay, France
		「Steering the quantum state of an electrical circuit」

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」
4 月 11 日	Prof. G. E. W. Bauer	Delft University of Technology, The Netherlands 「AC-DC magnetoelectronics」
5 月 8 日	Prof. G. E. W. Bauer	Delft University of Technology, The Netherlands 「Elements of semiconductor magnetoelectronics」
5 月 17 日	Dr. Chul Huh	Kwangju Institute of Science and Technology, Korea 「Chemical treatment for metal contact to n- and p-GaN」
6 月 18 日	Dr. Chengxin Wang	Simon Fraser University, Canada 「Growth and characterization of nitride and other III-V semiconductors for device applications」
8 月 20 日	Dr. Nicolas Freytag	Max Planck Institute for Solid State Research, Germany 「Measurements of the electron spin degree of freedom in 2D electron systems」
8 月 29 日	Dr. Maarten Wegewijs	Institut für Theoretische Physik A, Germany 「Negative differential conductance in a benzene-molecular device」
9 月 2 日	Prof. Y. Avishai	Ben Gurion University, Israel 「Dynamical symmetries in Kondo tunneling through complex quantum dots」

9 月 10 日	川口 晃 博士	大阪大学 「量子相転移点近傍における一次元量子系の性質」
9 月 13 日	Prof. A. Asenov	University of Glasgow, UK 「Nanotechnology research and nanoscale device simulation at University of Glasgow」
10 月 1 日	Dr. V. Seleznev	Russian Academy of Sciences Novosibirsk, Russia 「Rolled-up heterostructures: fabrication, properties, applications」
10 月 10 日	Dr. C. Fuhner	University of Hannover, Germany 「Kondo and Fano resonances in semiconductor quantum dots」
11 月 13 日	Dr. Xuedong Hu	Riken and University of Maryland, USA 「Spin-based quantum dot quantum computing approaches」
1 月 15 日	Dr. M. Henini	University of Nottingham, UK 「Structural and optical properties of self-assembled quantum dots grown by molecular beam epitaxy」
1 月 20 日	Prof. A. R. Hamilton	University of New South Wales, Australia 「1. Macroscopic quantum coherence in bilayer quantum Hall systems 2. Fast twin-SET readout for semiconductor based quantum computation」
1 月 22 日	Prof. C. H. Nam	KAIST, Korea 「Coherent control of high-order harmonics」
1 月 29 日	Dr. Joshua Folk	Harvard University and M.I.T., USA 「Spin measurements in lateral GaAs quantum dots」

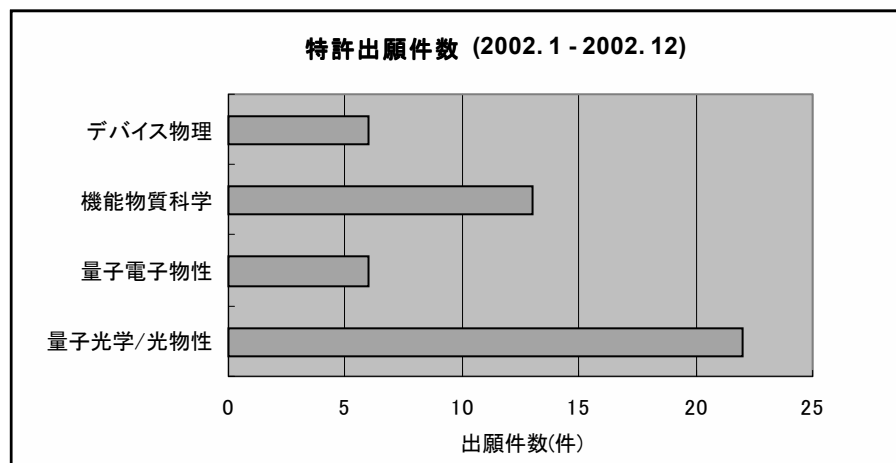
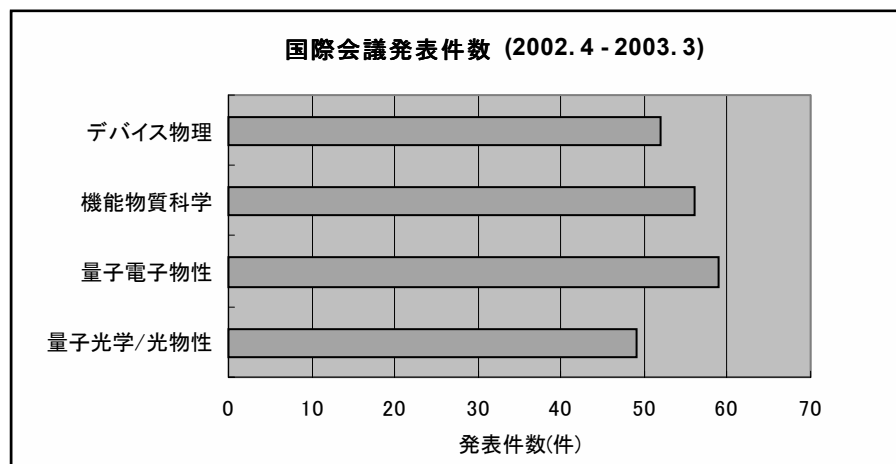
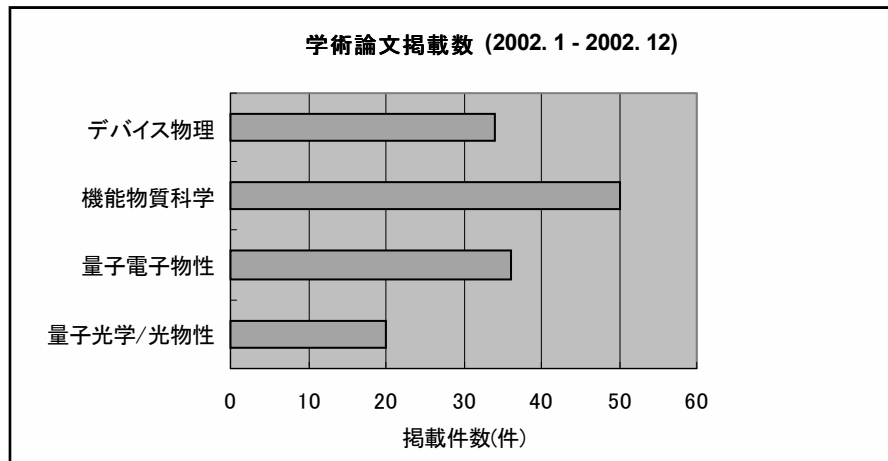
IV. 量子光学・光物性関連

講演日	講演者	講演者所属 「講演タイトル」
6 月 25 日	Prof. A. A. Andreev	Research Institute for Laser Physics, Russia 「Femtosecond x-ray line emission from multilayer targets irradiated by ultrashort laser pulses」
7 月 8 日	Prof. Y. H. Lee	Korea Advanced Institute of Science and Technology, Korea 「Toward the ultimate light source via 2-D photonic crystal lasers」

8 月 9 日	Alexandre Soujaeff	CNRS, France 「Research & development of quantum cryptography system in CNRS」
8 月 9 日	吉川 豊 博士	東京大学 「非共鳴光下におけるボース凝縮気体の電歪効果」
10 月 30 日	Dr. B. Zhang	Stanford University, USA 「Single photon emission source: fabrication of a single quantum dot in a micropost microcavity」
11 月 5 日	Dr. A. V. Gopal	FESTA 「1.35 μ m intersubband transition in InGaAs/AlAs/AlAsSb」
3 月 3 日	Prof. S. John	Toronto Univesity, Canada 「Photonic band gap materials: semiconductors of light」
3 月 5 日	Dr. S. Sebban	Ecole Polytechnique, France 「X-ray sources using fs lasers at the LOA」
3 月 20 日	Prof. F. Meseguer	Universidad Politecnica de Valencia, Spain 「Photonic crystal based on opals」

学術論文掲載数、国際会議発表件数および出願特許数（2002 年）

2002 年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 140 件、国際会議の発表件数(2002 年度)は 215 件です。また出願特許数は 47 件になります。以下に分野別の件数を示します。



学術論文の主な掲載先と掲載件数は以下の通りです。

一般科学雑誌

雑誌名	(IF2001)*	件数
Nature	(27.955)	4
Science	(23.329)	2

学術論文誌

雑誌名	(IF2001)*	件数
Physical Review B	(3.07)	16
Physical Review Letters	(6.668)	14
Applied Physics Letters	(3.849)	14
Physica E	(1.009)	14
Japanese Journal of Applied Physics	(1.248)	12
Physica C	(0.806)	12
Surface Science	(2.189)	4
Journal of Applied Physics	(2.129)	4
Macromolecules	(3.733)	3
Journal of The American Chemistry Society	(6.079)	1
Advanced Materials	(5.579)	1

* IF2001 : インパクトファクター 2001 (出典、Journal Citation Reports, 2001)

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 3.53 です。

国際会議の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
The 23rd International Conference on Low Temperature Physics	12
26th International Conference on the Physics of Semiconductors	12
Carrier Interactions and Spintronics in Nanostructures (CISN 2003)	12
2002 Material Research Society Meeting	7
The 2002 International Conference on Solid State Devices and Materials	7
The 29th International Symposium on Compound Semiconductors (ISCS 2002)	5
Second International Conference on Molecular Electronics and Bioelectronics (M&BE2)	4
2002 International Workshop on Nitride Semiconductors (IWN2002)	4
Electrochemical Society Spring Meeting 2002	4
Conference on Laser and Electro-Optics/Quantum Electronics and Laser Science Conference	3

国際会議招待講演一覧 (2002 年度)

I . デバイス物理関連

- (1) H. Kageshima, A. Taguchi, and K. Wada, “Theoretical investigation of nitrogen-doping effect on native defect aggregation”, MRS Spring Meeting, San Francisco, USA (Apr. 2002).
- (2) S. Uematsu, “Processes in silicon simulation of transient enhanced diffusion in silicon taking into account Ostwald ripening of defects”, MRS Spring Meeting, San Francisco, USA (May 2002).
- (3) Y. Takahashi, Y. Ono, S. Fujiwara and H. Inokawa, “Silicon single-electron transistors and their applications to logic”, Electrochemical Society Spring Meeting 2002, Philadelphia, USA (May 2002).
- (4) S. Uematsu, H. Kageshima and K. Shiraishi, “Unified theory of silicon oxide growth”, Electrochemical Society Spring Meeting 2002, Philadelphia, USA (May 2002).
- (5) T. Ogino, Y. Homma, Y. Kobayashi, H. Hibino, P. Kuniyil, K. Sumitomo, H. Omi, D. Bottomley, A. Kaneko and F. Lin, “Integration of semiconductor nanostructures and interconnections of future self-assembled nanoarchitecture”, Electrochemical Society Spring Meeting 2002, Philadelphia, USA (May 2002).
- (6) T. Ogino, Y. Homma, Y. Kobayashi, H. Hibino, P. Kuniyil, K. Sumitomo and H. Omi, “Control of nanostructure self-assembly by atomic-structure and strain engineering”, IUVESTA Workshop, Trofaiach, Austria (Jun. 2002).
- (7) Y. Watanabe, S. Suzuki, T. Ogino and S. Heun, “Spectromicroscopy of carbon nanotubes”, E-MRS, Strasbourg, France (Jun. 2002).
- (8) T. Ogino, Y. Homma, Y. Kobayashi and H. Hibino, “Atomic-structure and strain engineering for control of self-organized Ge quantum nanostructures”, E-MRS, Strasbourg, France (Jun. 2002).
- (9) A. Fujiwara and Y. Takahashi, “Si nano-devices using an electron-hole system”, 5th European Workshop on Low Temperature Electronics (WOLTE-5), Grenoble, France (Jun. 2002).
- (10) P. Kuniyil and T. Ogino, “Synthesis of Nanomagnets on Semiconductor Surfaces”, Int. Conf. Comp. Eng., San Diego, USA (Jul. 2002).
- (11) Y. Takahashi, Y. Ono, A. Fujiwara and H. Inokawa, “Silicon single-electron devices”, Euro. Sol. Stat. Circ. Conf., Firenze, Italy (Sep. 2002).
- (12) A. Fujiwara and Y. Takahashi, “Single-charge detection and manipulation in a Si nanowire”, Int. Conf. on Semiconductor Quantum Dots (QD2002), Tokyo, Japan (Sep. 2002).

2002).

- (13) Y. Takahashi, “Silicon single-electronics”, The 3rd Workshop for Terabit-level Nano-Electronics, Cheongju, Korea (Oct. 2002).
- (14) H. Kageshima, S. Uematsu and K. Shiraishi, “Si injection model for the Si thermal oxidation”, 5th Asian Workshop on First-Principles Calculation, Seoul, Korea (Oct. 2002).
- (15) P. Kuniyil and T. Ogino, “Versatile functionality to silicon by nanoparticle incorporation”, Nanoparticles 2002, New York, USA (Oct. 2002).
- (16) T. Ogino, Y. Homma, Y. Kobayashi, H. Hibino, P. Kuniyil, K. Sumitomo, H. Omi and Z. Zhang, “Strain engineering for control of Ge quantum nanostructures on Si surfaces”, The 10th international Colloquim on SPM, Waikiki, USA (Oct. 2002).
- (17) Y. Homma, H. Takenaka, F. Tojou, S. Hayashi, N. Goto, M. Inoue and R. Shimizu, “Evaluation of BN-delta-doped multilayers as the reference material for SIMS shallow depth profiling”, The 2nd China-Japan Joint Seminar on Atomic Level Characterization, Guillin, China (Nov. 2002).
- (18) T. Yamaguchi, K. Yamazaki, M. Nagase and H. Namatsu, “Line-edge roughness: Characterization and material origin”, MNC2002, Tokyo, Japan (Nov. 2002).
- (19) S. Suzuki, Y. Watanabe, T. Ogino and S. Huen, “Photoemission spectromicroscopy of carbon nanotubes”, 2nd Int. Workshop on Nano-scale Spectroscopy and Nanotechnology, Tokyo, Japan (Nov. 2002).
- (20) Y. Watanabe, S. Suzuki, T. Ogino, S. Huen, L. Gregoratti, A. Barinov, B. Kaulich, M. Kiskinova, W. Zhu, C. Bower and O. Zhou, “Electronic properties of carbon nanotubes studied by photoemission spectroscopy and spectromicroscopy”, Int. Symp. on photoelectron micro-PES, Tsukuba, Japan (Dec. 2002).
- (21) Y. Takahashi, Y. Ono, A. Fujiwara and H. Inokawa, “Development of silicon single-electron devices”, Nano MES 2003, Tempe, USA (Feb. 2003).
- (22) P. Kuniyil, “Nanoparticles as potential candidates for bottom-up approach”, JSPS-DST Symposium, Tokyo, Japan (Mar. 2003).

Ⅱ. 機能物質科学関連

- (1) H. Takayanagi, R. Shaikhaidarov, A. F. Volkov, V. T. Petrashov, P. Delsing and T. Cleason, “ π - state in a S-N-S junction with a dangling superconducting arm”, First International Workshop on the Symmetry in Macroscopic Quantum States, Augsburg, Germany (Apr. 2002).
- (2) H. Takayanagi, S. Saito, H. Tanaka and H. Nakano, “Squid qubit and its readout”, Euroworkshop “Quantum computers:mesoscopic implementations, perspectives and

- open problems”, Torino, Italy (Jun. 2002).
- (3) M. Naito, “Phase control of La_2CuO_4 ”, International Conference on Electronic Materials (IUMRS-ICEM2002), Xian, China (Jun. 2002).
 - (4) J. Nitta, “Rashba spin-orbit interaction and its applications”, NATO Advanced Research Workshop “Frontiers of Spintronics and Optics in Semiconductors: A Symposium in Honor of E. I. Rashba”, Boston, USA (Jun. 2002).
 - (5) K. Torimitsu, Y. Furukawa and H. Tabei, “Nanostructure controlled substrates: Surface modified substrates for nerve cell growth”, 9th Int. Conf. Comp. Eng., San Diego, USA (Jul. 2002).
 - (6) M. Naito, A. Tsukada, T. Greibe and H. Sato, “Phase control in La-214 epitaxial thin films”, SPIE Annual meeting 2002, Seattle, USA (Jul. 2002).
 - (7) K. Torimitsu, “Analysis of brain functions and nano-bio device architecture”, Swedish-Japanese Workshop on Bioelectronics, Sigtunastiftelsen, Sweden (Aug. 2002).
 - (8) A. Matsuda, T. Fujii and T. Watanabe, “Gap inhomogeneity, phase separation, and a pseudogap in $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_{8+\delta}$ ”, 23rd International Conference on Low Temperature Physics (LT23), Hiroshima, Japan (Aug. 2002)
 - (9) H. Takayanagi, H. Tamura, K. Shiraishi, T. Kimura, T. Akazaki and A. Richter, “Ferromagnetism and superconductivity in artificial crystals”, International Workshop on Electron Interference and Decoherence in Nanostructures Ferromagnetism in quantum-dot array system, Dresden, Germany (Nov. 2002).
 - (10) Y. Jimbo, N. Kasai and K. Torimitsu, “MEA-based recording of neuronal activity”, International Forum on Biochip Technologies 2002, Beijing, China (Nov. 2002).
 - (11) H. Takayanagi, S. Saito, H. Tanaka and H. Nakano, “Readout of the qubit state with a SQUID”, 5th Sweden-Japan Joint Workshop on Quantum Nanoelectronics, Yokohama, Japan (Dec. 2002).
 - (12) M. Naito, S. Karimoto, K. Ueda, H. Yamamoto and J. Kurian, “MBE growth of high- T_c superconductors – cuprates to borides”, MRS Fall Meeting, Boston, USA (Dec. 2002).
 - (13) H. Takayanagi, S. Saito, H. Tanaka and H. Nakano, “Readout of the qubit state with a SQUID”, International Conference on Nanoelectronics Ferromagnetism in quantum-dot-array systems, Lancaster, UK (Jan. 2003).
 - (14) H. Takayanagi, S. Saito, H. Tanaka and H. Nakano, “Readout of the qubit state with a dc-SQUID”, Int. Symp. on Advanced Physical Fields, Tsukuba, Japan (Jan. 2003).
 - (15) J. Nitta, “Rashba spin-orbit interaction and spin-interference in nano-structures”, International Workshop “Coherence in Nanosystems, Spin-related Transport in Semiconductors”, Seoul, Korea (Jan. 2003).

Ⅲ. 量子電子物性関連

- (1) Y. Hirayama and Y. Tokura, “Point contact conductance in backgated heterostructures”, The Electrochemical Society, Philadelphia, USA (May 2002).
- (2) T. Fujisawa, “Spin relaxation in semiconductor artificial atoms — energy relaxation time and nonequilibrium transport —”, 7th International Conference on Nanometer-scale Science and Technology (NANO-7), Malmo, Sweden (Jun. 2002).
- (3) T. Fujisawa, “Inelastic spin relaxation in a quantum dot”, 26th Int. Conf. Phys. Semicond. (ICPS), Edinburgh, UK (Jul. 2002).
- (4) Y. Hirayama, “Electrical manipulation of nuclear spin polarization by quantum Hall states”, ERATO Workshop: Mesoscopic Correlation in Nanostructures, Delft, Holland (Jul. 2002).
- (5) T. Fujisawa, “Inelastic spin relaxation and non-equilibrium transport in quantum dots”, ERATO Workshop: Mesoscopic Correlation in Nanostructures, Delft, Holland (Jul. 2002).
- (6) K. Muraki, T. Saku, and Y. Hirayama, “Charge excitation and transport in pseudo-spin quantum Hall ferromagnets”, LT-23, Hiroshima, Japan (Aug. 2002).
- (7) T. Fujisawa, “Dynamics of single-electron charge and spin in quantum dots”, Int. Colloquium on Scanning Probe Microscopy (ICSPM10), Hawaii, USA (Oct. 2002).
- (8) Y. Tokura, “Point contact conductance in backgated heterostructures”, The Electrochemical Society, Philadelphia, USA (Oct. 2002).
- (9) H. Yamaguchi, K. Kanisawa, Y. Tokura, and Y. Hirayama, “Structural and Electrical Characterization of InAs/GaAs (111)A Heterostructures by Scanning Tunneling Microscopy and Spectroscopy”, 2nd International Workshop on Nano-scale Spectroscopy and Nanotechnology, Tokyo, Japan (Nov. 2002).
- (10) K. Kanisawa, Y. Tokura, H. Yamaguchi and Y. Hirayama, “Scanning tunneling spectroscopy study of zero-dimensional structures at the InAs surface”, 30th Conference on the Physics and Chemistry of Semiconductor Interfaces (PCSI-30), Salt Lake City, USA (Jan. 2003).
- (11) K. Kanisawa, Y. Tokura, H. Yamaguchi and Y. Hirayama, “Direct probing of local-density-of-states in semiconductor nanostructures”, Photonics West 2003, San Jose, USA (Jan. 2003).
- (12) H. Yamaguchi, S. Miyashita and Y. Hirayama, “Fabrication and characterization of InAs-based electromechanical systems”, 2002 RCIQE International Seminar on Quantum Nanoelectronics for Mem-Media-Based Information Technologies, Sapporo, Japan (Feb. 2003).

- (13) M. Kasu, A. Aleksov, M. Kubovic, N. Teofilov, E. Kohn, R. Sauer, N. Kobayashi, “High crystalline quality (111) homoepitaxial diamond layer grown by MOCVD”, Surface and Bulk Defects in CVD Diamond Films VIII, Hasselt, Belgium (Feb. 2003).
- (14) T. Fujisawa, “Single electron dynamics in quantum dots”, Sweden-Japan Nanotechnology Colloquium, Lund, Sweden (Mar. 2003).

IV. 量子光学・光物性関連

- (1) M. Notomi, A. Shinya, I. Yokohama and K. Yamada, “SOI photonic crystals and photonic band gap waveguides”, MRS Spring Meeting, San Francisco, USA (Apr. 2002).
- (2) H. Kamada, H. Gotoh, H. Ando, T. Takagahara and J. Temmyo, “Exciton rabi oscillation : Coherently manipulate zero-dimensional quantum states by light”, CLEO/QELS, Long Beach, USA (May 2002).
- (3) M. Notomi, A. Shinya, E. Kuramochi, I. Yokohama, K. Yamada, C. Takahashi and J. Takahashi, “Highly dispersive nature of photonic-band-gap waveguide”, CLEO/QELS 2002, Long Beach, USA (May 2002).
- (4) M. Notomi, A. Shinya, E. Kuramochi, I. Yokohama, K. Yamada, C. Takahashi and J. Takahashi, “Photonic crystal waveguide”, Opto-Electronics and Communications Conference (OECC 2002), Yokohama, Japan (Jul. 2002).
- (5) M. Notomi, “Wavelength and spatial dispersion in photonic crystals”, EOS Topical Meeting on Two-dimensional Photonic Crystals, Ascona, Switzerland (Aug. 2002).
- (6) H. Kamada, H. Ando, T. Takagahara, H. Gotoh and J. Temmyo, “Quantum mechanical time-evolution of exciton states in semiconductor quantum dots: Quantum gate operation of exciton qubits”, International Conference on Solid State Devices, Nagoya, Japan (Sep. 2002).
- (7) H. Nakano, T. Nishikawa and K. Oguri, “Time-resolved absorption spectroscopy using ultrashort soft x-ray pulses from femtosecond laser-produced plasma”, JST International Symposium on Control of Molecules in Intense Laser Fields, Tokyo, Japan (Sep. 2002).
- (8) H. Nakano, T. Nishikawa, K. Oguri and N. Uesugi, “Time-resolved absorption spectroscopy using ultrashort soft x-ray pulses from femtosecond laser-produced plasma”, JAERI Symposium on Control of Lasers for Strong Field Phenomena, Kyoto, Japan (Sep. 2002).
- (9) H. Kamada, H. Gotoh, H. Ando, T. Takagahara and J. Temmyo, “Single quantum dots exciton : Application to quantum optics”, QD2002, Tokyo, Japan (Sep. 2002).
- (10) K. Inoue, E. Waks and Y. Yamamoto, “Differential phase shift quantum key distribution”, Photonics Asia 2002, Shanghai, China (Oct. 2002).

- (11) M. Notomi, “Dispersive behavior of photonic crystals (Dispersion control and negative refraction)”, The 4th International Meeting on Photonic and Electromagnetic Crystal Structures (PECS IV), Los Angeles, USA (Oct. 2002).
- (12) M. Notomi, “Wavelength and spatial dispersion in photonic crystals”, CIAR Nanoelectronics Program Fall Workshop, Banf, Canada (Oct. 2002).
- (13) M. Notomi, A. Shinya, E. Kuramochi, K. Yamada, T. Shoji, T. Watanabe, T. Tsuchizawa and J. Takahashi, “Novel properties of photonic band gap waveguides”, The 15th Annual Meeting of IEEE/LEOS (LEOS 2002), Glasgow, UK (Nov. 2002).
- (14) H. Kamada, H. Gotoh, H. Ando, and T. Takagahara, “Quantum dot exciton Rabi oscillation and quantum gate operation”, APF8, Tsukuba, Japan (Jan. 2003).
- (15) H. Kamada, H. Gotoh, H. Ando, T. Takagahara and J. Temmyo, “Quantum gate operation of exciton qubits in semiconductor quantum dots”, Photonics West 2003, San Jose, USA (Jan. 2003).

編集 “NTT 物性科学基礎研究所の研究活動”編集委員会

住友弘二

川村朋晃

佐々木 智

松田 梓

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