

NTT 物性科学基礎研究所の研究活動

平成 16(2004)年度

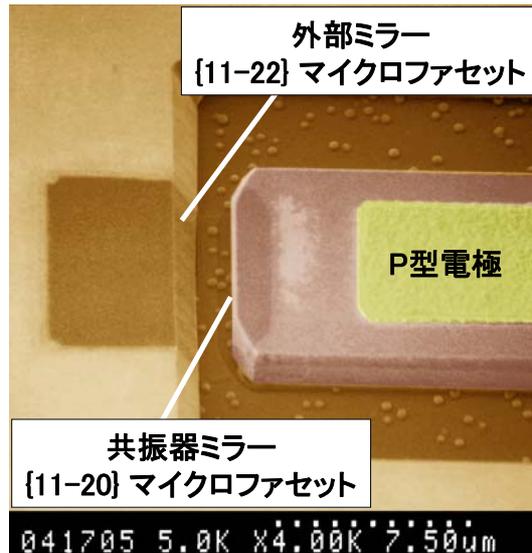
Volume 15

2005 年 6 月

日本電信電話株式会社
物性科学基礎研究所

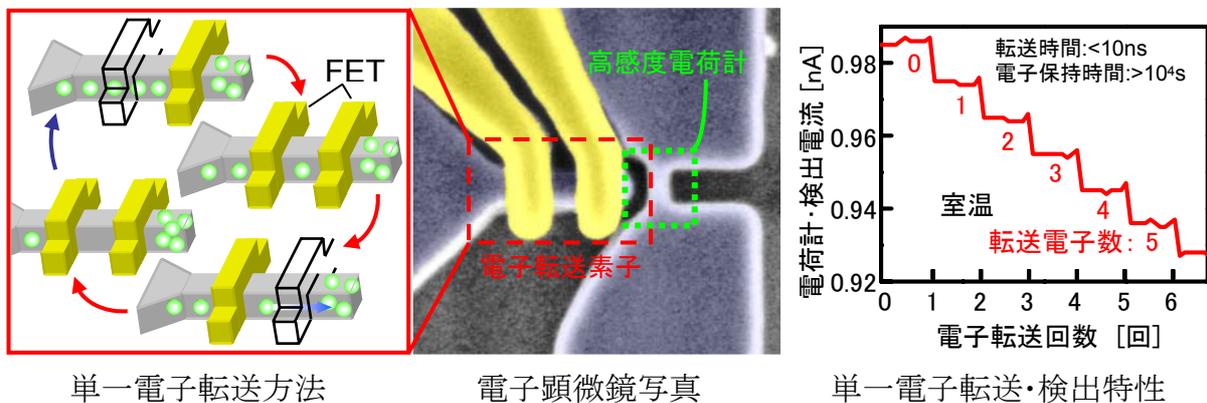
NTT Basic Research Laboratories

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



InGaN ベース水平共振器型面発光レーザダイオード

InGaN ベース水平共振器型面発光レーザダイオード(HCSELD)の鳥瞰 SEM 像。共振器ミラーと外部ミラーは、それぞれ、選択成長した Mg ドープ GaN 薄膜の{11-20} マイクロファセットと{11-22}マイクロファセットで構成されている。{11-20} マイクロファセットは SiC 基板に対して完全に垂直であり、{11-22}マイクロファセットは 58° の角度を持つ。したがって、共振器ミラーから水平に射出されたレーザ光は基板に対して 64° の角度で外部ミラーにより跳ね上げられる。本レーザは室温で電流注入発振した。(18 ページ)



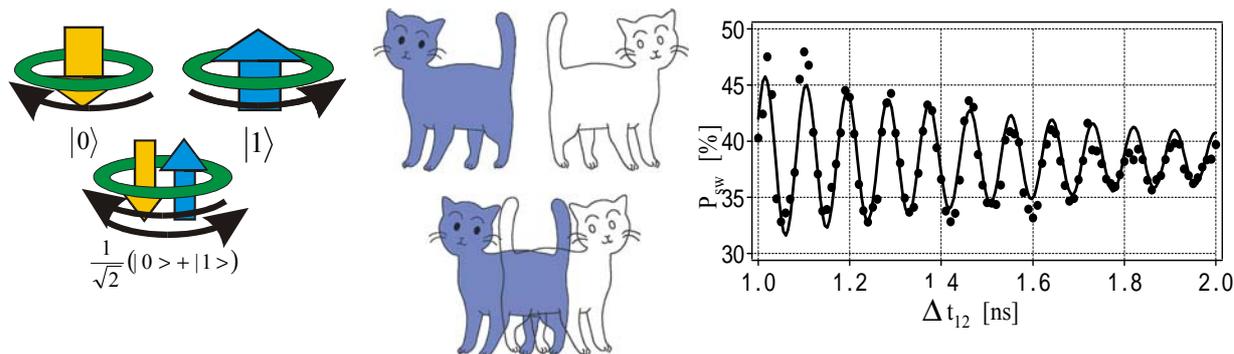
単一電子転送方法

電子顕微鏡写真

単一電子転送・検出特性

シリコン・ナノデバイスを用いた室温での単電子転送と検出

単一の電子を正確に転送し、それを高感度に検出するシリコン・ナノデバイスを作製した。2 つの細線 FET を交互に開閉して単一の電子を転送し、高感度電荷計の電流変化をモニターすることで単一電子を検出する。今回、寸法縮小と動作条件の改良により室温での動作に成功した。FET を用いて電子を転送・蓄積するため、高速な動作と長時間の電子保持が可能となる。また、これらの特徴を生かした単一電子多値メモリの動作を確認した。(30 ページ)



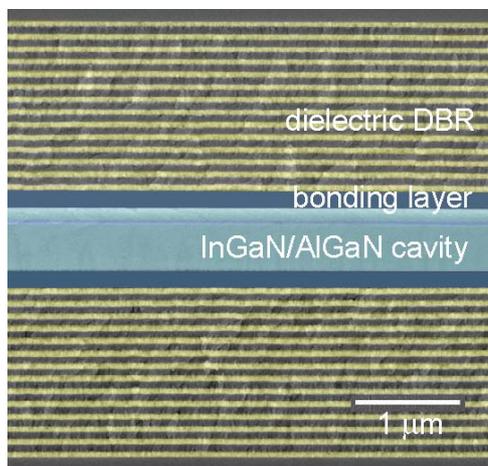
量子ビットを流れる電流
時計回り、反時計回り、およびそれらの重ね合わせが示されている。

シュレディンガーの猫
左向き、右向き、それらの重ね合わせ。大きなサイズの物体でも量子力学的な重ね合わせは存在するのか？

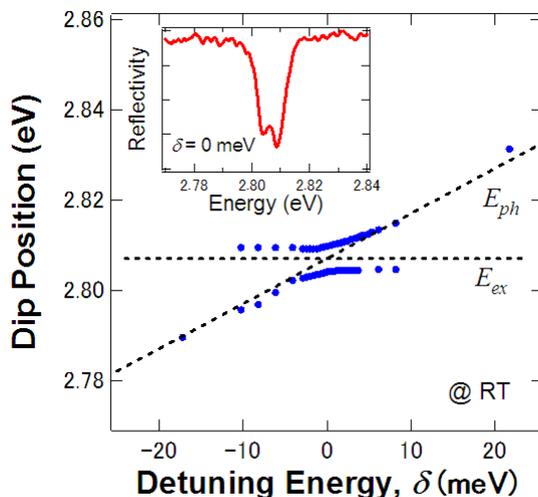
量子力学的コヒーレンス振動
2つのマイクロパルスの相対位相制御により、リングの量子力学的な状態が変化している事が観測されている。

位相シフト法による量子ビットにおけるコヒーレンスの高速制御

ジョセフソン接合を持つ超伝導リングは、量子2準位系として振舞い、量子情報処理の基本素子である量子ビットとしても期待されている。このリングの大きさは $\sim 10 \mu\text{m}$ と原子や分子などに比べると巨視的であるが、量子2準位系として動作することが実験で確認された。このように、巨視的な物体であるにもかかわらず、量子的な重ね合わせをあらわす現象は、シュレディンガーの猫とも言われている。(36 ページ)



共振器の断面SEM写真



InGaN共振器ポラリトンの分散関係

InGaN共振器ポラリトン

共振器ポラリトンは半導体微小光共振器中における強い励起子-光子結合状態が作り出す新しい量子状態である。我々は高品質な窒化物半導体微小共振器構造をウエハボンディング法を用いて作製し、初めて室温でのInGaN共振器ポラリトンの形成に成功した。(44 ページ)

サイエンスから革新的技術まで



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。

物性科学基礎研究所のミッションは、(1)速度／容量／サイズなどネットワーク技術の壁を越える新原理・新概念の創出と(2)5～20年後を見据えた、将来のビジネスにつながる基礎技術の開拓です。その代表格が、量子情報処理とナノバイオです。

量子情報処理研究の中核を成すのは、量子コンピュータと量子暗号です。物性研では、集積性の有利さから、超伝導素子、半導体量子ドット、冷却原子など、固体素子による量子ビット研究を遂行しており、世界の研究の一翼を担った成果を挙げています。さらに研究所では、新しいアルゴリズムを用いた量子暗号

研究を強力に推進しています。一方ナノバイオ研究は、神経科学、バイオ分子科学そしてナノテクノロジーを融合した形で推進しています。例えば分子と蛋白とのハイブリッド構造は、新しいデバイスを予感させます。

このような強化項目を前面に押し立てる一方で、低次元電子系における量子相関、スピンを情報担体とするシステム、さらに量子ドットを building block とした物質設計、カーボンナノチューブにおける電気光学特性、量子力学と結びつけたMEMSなど、探索的研究も展開しています。このような探索的研究を行うにあたっては、将来の新しい技術の核となるかどうかを判断する必要があり、研究担当者とマネージャーとの日常のコミュニケーションが重要な役割を果たします。

物性基礎研では、このような将来の芽を育てる探索的研究を遂行しながら、革新的な技術の研究も平行して行っています。例えば我々は、高品質のダイヤモンド薄膜を成長する技術開発を通して、ダイヤモンドトランジスタを 80GHz で動作させることに成功しています。その他、超低消費電力デバイスである単電子トランジスタ、能動的な光回路としてのフォトニック結晶、ワイドギャップ半導体による電子デバイスなどのコア技術を展開しており、これらはネットワークの壁を超える革新技術として位置づけています。

さらに NTT 内の他の研究所との連携を密にする一方で、国内外の多くの研究機関との共同研究も積極的に展開しています。オランダのデルフト工科大学やスタンフォード大学とは量子ドットや量子ビットで共同研究を行っており、多くの優れた成果を挙げています。また、先ごろ開始したオックスフォード大学とのナノバイオにおける共同研究も、今後の実りが期待されます。

共同研究は物性基礎研からの情報発信という役目も果たしていますが、その他、物性基礎研では、国際シンポジウム、BRL スクール、そして International Advisory Board

Meeting 等の開催を通して、広く世界に情報発信し、開かれた研究所としての使命を果たしています。

2005 年 6 月

高柳 英明

高柳 英明

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: takayanagi@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	
◆ 各研究部の研究概要	15
◆ 機能物質科学研究部の研究紹介	16
◆ MgB_2 を用いたジョセフソン接合の作製	
◆ 極めて発光効率の高い窒化物半導体量子井戸	
◆ 窒化物半導体面発光型レーザーダイオード	
◆ 新しいバッファー層を用いた高品質 GaN の成長	
◆ AlN フィールドエミッションディスプレイ	
◆ GISAXS によるナノワイヤー成長のリアルタイム観察	
◆ DNA と金微粒子によるカーボンナノチューブ複合体の合成	
◆ カーボンナノチューブの空間選択的除去	
◆ 金-シリコン合金島の原子ステップへの配列	
◆ 導電性ポリマー電極の開発と多点電極を用いた神経活動の計測	
◆ IP_3 受容体タンパク質の溶液中 AFM 観察	
◆ 光応答性を示す導電性高分子ナノデバイス	
◆ 海馬組織培養を用いた神経細胞毒性研究	
◆ 量子電子物性研究部の研究紹介	29
◆ シリコン熱酸化における界面反応機構の第一原理計算	
◆ シリコン・ナノデバイスを用いた室温での単一電子転送と検出	
◆ ナノスプリング付きカーボンプローブのSiカンチレバー上への集積化	
◆ 電子の干渉を用いた力・変位測定	
◆ InAs/GaSb 電子-正孔系におけるランダウ準位の混成と量子ホール効果	
◆ $SiO_2/Si/SiO_2$ 量子井戸における谷分離の制御	
◆ 単一電子トンネル電流の電子カウント	
◆ 位相シフト法による量子ビットにおけるコヒーレンスの高速制御	
◆ 中性原子を用いた量子演算	
◆ Rashba スピン軌道相互作用を用いたスピン干渉計	
◆ RKKY 相互作用に基づく電子スピン制御	
◆ 量子光物性研究部の研究紹介	40
◆ 分散シフトファイバ中の自然放出四光波混合を用いた通信波長帯偏波もつれ光子対の発生	
◆ 差動位相シフト量子鍵配送実験	
◆ 時間分解 EXAFS	
◆ 量子ドットにおける、励起子・励起子分子コヒーレント効果	
◆ InGaN共振器ポラリトン	

- ◆ 低損失フォトニック結晶スラブ導波路の作製と物理
- ◆ フォトニック結晶微小共振器による全光スイッチ
- ◆ ナノ電極リソグラフィ

II. 資料

◆ 第2回 NTT 物性科学基礎研究所スクール	49
◆ サイエンスプラザ 2005	50
◆ 第3回アドバイザーボード	51
◆ 「ナノエレクトロニクス・ナノ構造・およびキャリア関連」国際会議	52
◆ 表彰受賞者一覧	53
◆ 報道一覧	57
◆ 報道(抜粋)	60
◆ 来訪者による講演一覧	63
◆ 学術論文掲載数・国際会議発表件数および出願特許数	67
◆ 国際会議招待講演一覧	69
◆ 英文論文一覧	76
◆ 和文論文一覧	94

表紙の写真:

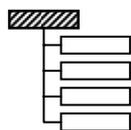
化合物半導体マイクロ・ナノメカニカル構造

化合物半導体ヘテロ構造から作製した様々なマイクロ・ナノメカニカル構造。カンチレバーやビームの厚さは 20 から 700 nm、長さは 500 nm から 200 μm の範囲にわたる。これらの構造は電氣的・力学的自由度の結合における量子力学的効果を探査するのに用いられ、極めて微細な力や変位を検出する素子としての応用が期待される。(32 ページ)

物性科学基礎研究所 所員一覧

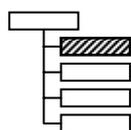
2005年3月31日現在
(*は年度途中までの在籍者)

物性科学基礎研究所



所長 **高柳 英明**

企画担当



企画担当主幹研究員	横浜 至
総括担当主幹研究員	藤原 聡
研推担当主任研究員	西川 正
欧州研究協力担当 主任研究員	原田 裕一

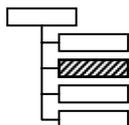
NTT R&D フェロー

山本喜久(スタンフォード大学、U.S.A)
高柳英明(物性科学基礎研究所 所長)

NTTリサーチ・プロフェッサー

井元信之(大阪大学)
上田正仁(東京工業大学)
清水富士夫(電気通信大学)
山本喜久(スタンフォード大学、U.S.A)

機能物質科学研究部



部長 **鳥光慶一**

補佐 佐藤寿志
味戸克裕

薄膜材料研究G

グループリーダー

牧本俊樹

嘉数 誠
山本秀樹
赤坂哲也
谷保芳孝
Ye, Haitao

松岡隆志*
柴田浩行
熊倉一英
Kurian, Jose*

小林康之
狩元慎一
植田研二
東田昭雄

低次元構造研究G

グループリーダー

小林慶裕

前田文彦
Kuniyil, Prabhakaran
神崎賢一

日比野浩樹
尾身博雄
登倉明雄

川村朋晃
鈴木 哲
Jeong Goo-Hwan

分子生体機能研究G

グループリーダー

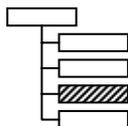
鳥光慶一

江幡啓介
河西奈保子
中島 寛
小林未明

古川一暁
島田明佳
後藤東一郎
Nyberg, Tobias

住友弘二
檜村吉晃
Han, Chunxi

量子電子物性研究部



部長 **平山祥郎**

補佐 田村浩之
唐沢 毅

ナノデバイス研究G

グループリーダー

猪川 洋

植松真司
西口克彦

小野行徳
Clement, Nicolas

影島博之
内田和之

ナノ加工研究G

グループリーダー

生津英夫

山口浩司
山口 徹
Houlet, Lionel*

永瀬雅夫
林 順三

山崎謙治
岡本 創

量子固体物性研究G

グループリーダー

平山祥郎

藤澤利正
佐々木智
林 稔晶
高品 圭

村木康二
田口明仁
熊田倫雄

蟹沢 聖
鈴木恭一
遊佐 剛

超伝導量子物理研究G

グループリーダー

仙場浩一

中ノ勇人
齊藤志郎

向井哲哉
Eichler, Taro

田中弘隆
Kasper, Alexander

スピントロニクス研究G
グループリーダー

新田淳作

赤崎達志

山口真澄

Zhong, Yuan-Liang

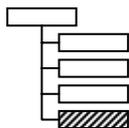
原田裕一

小林俊之

関根佳明

Lin, Yiping*

量子光物性研究部



部長 **森田雅夫**

補佐 山下 眞
藤野正家

量子光制御研究G

グループリーダー

都倉康弘

井上 恭
武居弘樹
川口 晃

井桁和浩
森越文明

熊谷雅美
本庄利守

量子光デバイス研究G

グループリーダー

中野秀俊

鎌田英彦
俵 毅彦
久津輪武史
Cade, Nicholas

後藤秀樹
小栗克弥
Hughes, Stephen

舘野功太
石澤 淳
岡野泰彬

フォトニックナノ構造研究G

グループリーダー

納富雅也

横尾 篤
谷山秀昭
三木 聡

矢野隆治*
新家昭彦
伊藤 哲

倉持栄一
田辺孝純

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、ヘテロ接合バイポーラトランジスタの研究等に従事。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 機能物質科学研究部 薄膜材料研究グループ グループリーダー。新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)技術評価委員、産業技術総合研究所ダイヤモンド研究センター評価委員、JSAPI 編集委員。応用物理学会、電子情報通信学会会員。

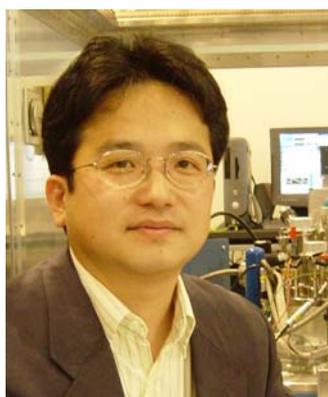
特別研究員



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、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5年工学博士。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 13～15 年度 NEDO 国際共同研究チーム (*Nano-elasticity*) 研究代表者。平成元年および平成16年日本応用物理学会論文賞受賞。応用物理学会、日本物理学会会員。

特別研究員



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電子物性研究部量子固体物性研究グループ。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。平成15年6月より、東京工業大学大学院理工学研究科客員助教授(併任)。平成15年10月サーマーティンウッド賞受賞。平成17年3月日本学術振興会賞受賞。応用物理学会、日本物理学会。

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。現在同所量子光物性研究部フォトニックナノ構造研究グループリーダー。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（2004 年度）

氏名	役職 所属
Dr. Boris L. Altshuler	Professor Department of Physics Princeton University, U.S.A
Dr. Michel H. Devoret	Professor Department of Applied Physics Yale University, U.S.A
Dr. Serge Haroche	Professor Department de Physique De l'Ecole Normale Supérieure, France
Dr. Mats Jonson	Professor Department of Applied Physics Chalmers University of Technology, Sweden
Dr. Anthony J. Leggett	Professor Department of Physics University of Illinois at Urbana-Champaign U.S.A
Dr. Johan E. Mooij	Professor Department of Applied Physics Delft University of Technology, The Netherlands
Dr. Klaus H. Ploog	Director Paul-Drude-Institut für Festkörperelektronik Germany
Dr. John F. Ryan	Professor Clarendon Laboratory University of Oxford, U.K
Dr. Klaus von Klitzing	Professor Max-Planck-Institut für Festkörperforschung Germany

招聘教授／客員研究員（2004 年度）

氏名	所属 期間
矢口 宏	京都大学大学院 理学研究科 December 03 – December 05
Dr. Tobias Nyberg	東京大学 医科学研究所 January 04 – December 04
Dr. Jan Johansson	科学技術振興機構(JST) CREST February 04 – January 06
Prof. Tord Claeson	Chalmers University of Technology, Sweden February 04 – April 04
Prof. C.J.P.M. Harmans	Delft University of Technology, The Netherlands April 04 – June 04
Dr. Tobias Bergsten	科学技術振興機構(JST) CREST April 04 – March 06
須原 和歌子	東京大学 医科学研究所 June 04 – March 05
Prof. Yshai Avishai	Ben Gurion University, Israel August 04 – September 04
Dr. Victor Prinz	Russian Academy of Science, Russia October 04 – December 04
Dr. Andrei Zaikin	Forschungszentrum Karlsruhe, INT, Germany October 04 – November 04
Prof. Andreas Knorr	Technische Universität Berlin, Germany November 04
Prof. Alexander Khaetskii	Ludwig-Maximilians-Universität, Germany February 05
Dr. Michael Thorwart	Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf, Germany February 05 – March 05

海外研修生（2004年度）

氏名	所属(期間)
Frank Deppe	Technische Universität München, Germany May 02 – May 05
Jeff Liu	Simon Fraser University, Canada June 03 – April 04
Joyce Yat-Ling Wong	University of Toronto, Canada July 03 – June 04
Guk-Hyun Kim	KAIST (Korea Advanced Institute of Science and Technology), Korea August 03 – July 04
Nicolas Thillozen	Aachen University of Technology (RWTH) / Research Center Jülich, Germany November 03 – April 04
Christopher Schierholz	Universität Hamburg, Germany January 04 – July 04
Julien Duvernay	INSA (Institut National des Sciences Appliquées), France February 04 – September 04
David Deen	University of Oklahoma, U.S.A. May 04 – August 04
Kislon Voitchovsky	University of Oxford, U.K. June 04
Michael Wagenknecht	Universität Tübingen, Germany June 04 – December 04
Aravind Vijayaraghavan	Rensselaer Polytechnic Institute, U.S.A.

June 04 – December 04

Christopher Margach University of Glasgow, U.K.
July 04 – January 05

Marc-Aurèle Brun ESPCI (École Supérieure de Physique et de Chimie
Industrielles), France
July 04 – December 04

Olivier Crauste ESPCI (École Supérieure de Physique et de Chimie
Industrielles), France
July 04 – December 04

Kasper Grove-Rasmussen University of Copenhagen, Denmark
August 04 – December 04

Simon Perraud University of Paris 6 / CNRS, France
October 04 – September 05

Eek Huisman University of Groningen, The Netherlands
November 04 – March 05

Huang-Ming Lee National Chiao Tung University, Taiwan R.O.C.
November 04 – November 05

Yueh-Chin Lin National Chiao Tung University, Taiwan R.O.C.
November 04 – May 05

Arnaud Valeille SUPAERO (École Nationale Supérieure de L'aéronautique
et de L'espace), France
January 05 – August 05

Wouter Naber Delft University of Technology, The Netherlands
January 05 – June 05

Francois Chabrol University of Newcastle Upon Tyne, U.K.
February 05 – March 05

Shih-Chieh Huang National Chiao Tung University, Taiwan R.O.C.

February 05 – February 06

Vittorio Peano

Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf, Germany

February 05 – March 05

Taryl Leaton Kirk

Universität Stuttgart, Germany

/ Max-Planck-Institut für Festkörperforschung, Germany

March 05 – April 05

国内実習生（2004年度）

氏名	所属(期間)
五十嵐 悠一	東京大学大学院 (H16.4～H17.3)
岩井 泰章	東京大学大学院 (H16.4～H17.3)
遠藤 晋旦	東京理科大学 (H16.5～H17.3)
大野 圭司	東京大学大学院 講師 (H16.4～H17.3)
大野 暁	慶応義塾大学 (H17.3)
小野 絢哉	筑波大学 (H17.3)
唐澤 秋慶	湘南工科大学 (H16.6～H17.3)
神田 寛史	東京工業大学大学院 (H16.7～H16.8)
北川 広野	東京理科大学大学院 (H16.4～H17.3)
北村 陽介	東京大学 (H17.1～H17.3)
木戸 崇敏	湘南工科大学大学院 (H16.4～H17.3)
吉良 剛	東京工業大学大学院 (H16.4～H17.3)
沓澤 竜弥	東京理科大学大学院 (H16.4～H17.3)
小寺 哲夫	東京大学大学院 (H16.4～H17.3)
小林 尚文	明治大学大学院 (H16.4～H17.3)
近藤 真吾	東海大学大学院 (H16.4～H17.3)
佐藤 大輔	筑波大学大学院 (H16.4～H17.3)
重富 拓也	熊本大学大学院 (H16.7～H16.8)
栖川 淳	東京大学大学院 (H16.4～H17.3)
曾我部 敦士	湘南工科大学 (H16.5～H17.3)
高橋 明雄	東京大学大学院 (H16.4～H17.3)
田村 和之	長岡技術科学大学 (H16.10～H17.2)
土谷 大	慶應義塾大学 (H16.4～H17.3)

出川 勝彦	東北大学大学院 (H17.1～H17.3)
富田 律也	東京工業大学大学院 (H16.4～H17.3)
中野 弘雅	東京理科大学 (H16.8～H17.3)
中村 知弘	湘南工科大学 (H16.5～H17.3)
西 義史	東京大学大学院 (H16.4～H17.3)
野田 真澄	東京理科大学大学院 (H16.4～H17.3)
日達 研一	東京大学大学院 (H16.4～H17.3)
深津 茂人	慶應義塾大学大学院 (H16.4～H17.3)
古川 裕介	東京大学大学院 (H16.4～H17.3)
堀越 宗一	電気通信大学大学院 (H16.4～H17.3)
本田 元就	東京大学大学院 (H16.4～H17.3)
松本 哲憲	東京理科大学大学院 (H16.4～H17.3)
宮越 賢治	東京理科大学 (H16.4～H17.3)
毛利 拓也	東京理科大学大学院 (H16.4～H17.3)
森田 雅和	東京工業大学大学院 (H16.4～H17.3)
藪内 真	慶應義塾大学大学院 (H16.4～H17.3)
山本 倫久	東京大学大学院 助手 (H16.4～H17.3)
横山 朝夫	横浜国立大学大学院 (H16.4～H17.3)
横山 弘泰	東京大学大学院 (H16.4～H17.3)
吉田 秀人	大阪大学大学院 (H16.11～H16.12)

I . 研究紹介

各研究部の研究概要

機能物質科学研究部

鳥光慶一

原子や分子の配列や結合を制御することにより、新しい機能を有する物質の創製、新物質および生体機能に基づく革新的デバイスの提案、ならびに、物質科学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。特に、ナノバイオについては、本研究部の重点研究分野として積極的に研究を進めています。

本研究部に所属する研究グループは、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。

昨年10月には、オックスフォード大との共同研究に基づく英国拠点を設立し、ナノバイオ領域における研究推進を積極的に進めています。

量子電子物性研究部

平山祥郎

量子電子物性研究部(物性部)は 21 世紀の情報通信技術に大きな変革をもたらす固体量子システムやナノデバイスの研究を推進しています。特に将来の量子情報処理に向けた固体量子ビット研究の着実な推進と関連する研究の促進に力を入れています。私たちは開かれた研究所を標榜し、多くの研究機関と協力して基礎研究に取り組んでいます。

物性部の5つのグループで進めている研究は、半導体や超伝導体のコヒーレント制御、半導体ヘテロ(ナノ)構造におけるキャリア相関、電子スピンや核スピンの操作を目指したスピントロニクス、単一電子の正確でダイナミックな制御、低消費電力を実現するナノデバイス、原子トラップ/光学、化合物半導体を用いた新しいナノメカニクスなどです。これらの研究は最先端のナノリソグラフィ、精密なナノ構造作製プロセス、高品質結晶成長、第一原理計算をはじめとした理論研究により支えられています。

量子光物性研究部

森田雅夫

量子光物性研究部(量光部)は 2004 年 4 月に新設した研究部で、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。

量光部の3つのグループでは、光の量子状態制御および光などによる物質の量子状態制御、極短パルス光による高速現象の解明や量子ドットなどナノ構造による半導体光物性、二次元フォトリソグラフィによる超小型集積光回路などの研究がおこなわれています。

この1年で、量子暗号の高速化、長距離化、窒化物半導体によるポラリトンレーザーの実現、フォトリソグラフィの高Q値共振器による光双安定素子などにおいて進展がみられました。

MgB₂を用いたジョセフソン接合の作製

植田研二 牧本俊樹
機能物質科学研究部

2001年に超伝導が見出された MgB₂は超伝導転移温度(T_c)を39Kに持ち、金属系超伝導体の中では最も T_c が高い化合物である [1]。現在、発見から4年程度が経過しており、超伝導発現機構については2ギャップ超伝導でコンセンサスが得られており、線材、エレクトロニクス等の超伝導応用の側面から盛んに研究が行われている。

超伝導エレクトロニクス応用の中核部となるのはジョセフソン接合(特にSISトンネル接合)であるが、ジョセフソン接合には現在 Nb ($T_c=9K$) が主として用いられており、使用する際には液体ヘリウムで冷却する必要がある。一方、MgB₂は T_c が39Kと高く、トンネル接合に用いられれば液体ヘリウムが不要となり、冷却コストを削減できるとともに装置の取扱いも容易になる。また、高い T_c を有する銅酸化物高温超伝導体を用いて液体窒素温度(77K)以上で動作するトンネル接合を作製する試みも盛んに行なわれてきたが、発見以来20年近く経過した現在でもトンネル接合の界面制御性に課題があり作製手段が確立していない。この為、MgB₂がトンネル接合用の材料として注目されていた。

我々は MBE 法を用い作製した as-grown MgB₂ 薄膜[2]を用いて SIS トンネル接合(MgB₂/AlO_x/MgB₂)を作製する事に成功し(図1)、20K で超伝導電流を世界で初めて確認した(図2)[3]。これは人工的に作製したトンネル接合では現在最高温度での観測であり、液体ヘリウムを使わずに市販の冷凍機で容易に到達可能な温度である。

今回作製した超伝導トンネル接合は、接合品質改善、特性の再現性向上等の課題は存在するが、今回の結果は MgB₂ の超伝導エレクトロニクス応用に向けての重要な1ステップである。

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

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

[3] K. Ueda, S. Saito, K. Semba, T. Makimoto, M. Naito, Appl. Phys. Lett. **86** (2005) 172502.

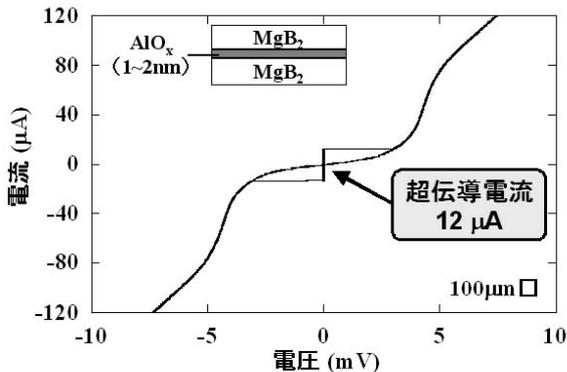


図1 MgB₂ トンネル接合の電流-電圧特性(測定温度は4.2 K)

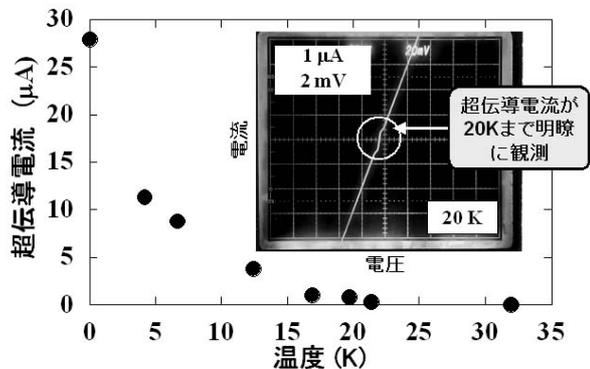


図2 MgB₂ 接合における超伝導電流の温度依存性、挿入図は20Kでの電流-電圧特性

極めて発光効率の高い窒化物半導体量子井戸

赤坂哲也 後藤秀樹 中野秀俊 牧本俊樹
機能物質科学研究部

InGaN量子井戸は可視から紫外領域の発光ダイオードやレーザダイオードの発光層としてすでに広く用いられているが、発光効率が必ずしも高くないため、これら発光素子の性能は改善の余地が大きい。InGaN量子井戸の発光効率は、インジウム組成の揺らぎや、非発光センタ密度などにより制限されている。本研究では、InGaN量子井戸を結晶欠陥低減層(InGaN下地層)の上に成長することにより、インジウム組成の揺らぎや、非発光センタ密度の改善を試みた。その結果、従来の報告よりも著しく大きな発光効率を室温で得ることができた[1, 2]。時間分解フォトルミネッセンス(TRPL)により、結晶欠陥低減層へのインジウム原子の添加が非発光センタを消失させることを突き止めた。

InGaN下地層上に成長したInGaN量子井戸の積分PL強度のアレニウスプロットを図1に示す。積分PL強度は、14~150Kの温度範囲でほとんど一定値を示し、さらに温度を上げると緩やかに減少した。しかしながら、室温においても14Kにおける積分強度の71%を保っている。この室温PL効率は、青紫色に発光するInGaN量子井戸として最高値である。TRPLにより測定したPL寿命の温度依存性を図2に示す。従来のInGaN量子井戸では、温度上昇と共に非発光センタが熱的に活性化され、PL寿命が単調に減少した。一方、InGaN下地層上のInGaN量子井戸では、100K以下でPL寿命が一定であり、比較的浅い準位に局在した励起子の挙動が観測された。すなわち、インジウム組成の揺らぎは比較的少ない。さらに、100~250Kの温度範囲ではPL寿命は線形に増加しており、二次元励起子が明瞭に観測された。これらは、InGaN下地層へのインジウム原子の添加により、非発光センタが著しく減少したことによりTRPLで観測された。InGaN下地層を用いることによって、インジウム組成の揺らぎや非発光センタ密度の改善が可能であることが、TRPLより分かった。

InGaN下地層を用いたInGaN量子井戸は、室温での高い発光効率及要求されるポラリトンレーザや単一光子源といった新規発光素子の活性層として有望である。

[1] T. Akasaka et al., Appl. Phys. Lett. **85** (2004) 3089-3091.

[2] T. Akasaka et al., Appl. Phys. Lett. (accepted).

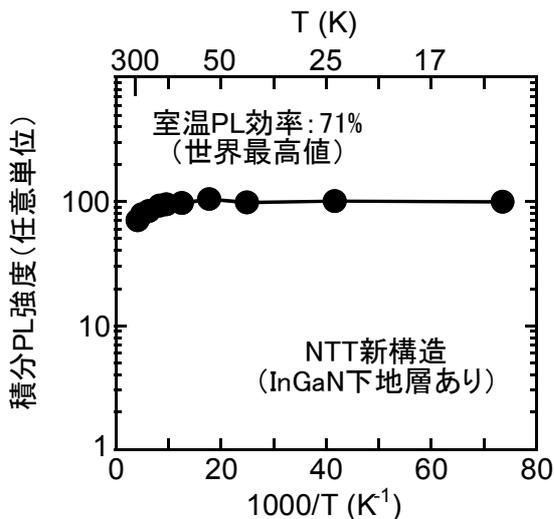


図1 InGaN下地層上のInGaN量子井戸の積分PL強度のアレニウスプロット

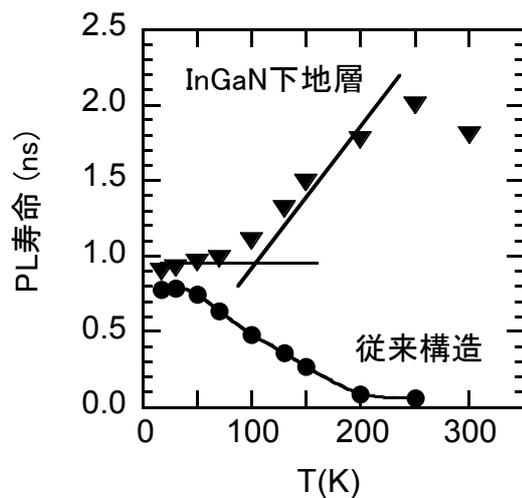


図2 PL寿命の温度依存性

窒化物半導体面発光型レーザダイオード

赤坂哲也 西田敏夫 小林直樹 牧本俊樹
機能物質科学研究部

AlN、GaN、InN、あるいは、それらの混晶である窒化物半導体はバンドギャップの大きな直接遷移型半導体であるため、可視から紫外域の発光素子材料として魅力的である。窒化物半導体を用いたレーザダイオードのミラーは、へき開やドライエッチングにより形成されている。一方、本研究ではより高性能なミラーとなる選択成長によるマイクロファセットを用いて、InGaN ベースの水平共振器型面発光レーザ、horizontal cavity surface emitting laser diode (HCSEL)、を作製した [1]。この HCSEL はファブリ・ペローレーザと外部ミラーを組み合わせており、この外部ミラーでレーザ光を斜め上方向に跳ね上げることができる。また、共振器ミラーと外部ミラーは、それぞれ、選択成長で形成した{11-20} マイクロファセットと{11-22}マイクロファセットで構成されている。さらに本研究では、このHCSELの室温における電流注入発振を達成した。

図1に InGaN ベース HCSEL の鳥瞰 SEM 像を示す。共振器ミラーと外部ミラーは、それぞれ、選択成長した Mg ドープ GaN 薄膜の{11-20} マイクロファセットと{11-22}マイクロファセットで構成されている。{11-20} マイクロファセットは SiC 基板に対して完全に垂直であり、{11-22}マイクロファセットは 58° の角度を持つ。したがって、共振器ミラーから水平に射出されたレーザ光は基板に対して 64° の角度で外部ミラーにより跳ね上げられる。本レーザは室温で電流注入発振した。発光スペクトルを図2に示す。発振しきい値を超えると、スペクトル幅の狭鋭化が起こっている。また、しきい値近傍で光出力-電流曲線の非線形な変化も観測し、レーザ発振を確認した。これは、窒化物半導体を用いた面発光型のレーザとして世界初の電流注入発振である。

[1] T. Akasaka et al., Appl. Phys. Lett. **84** (2004) 4104-4106.

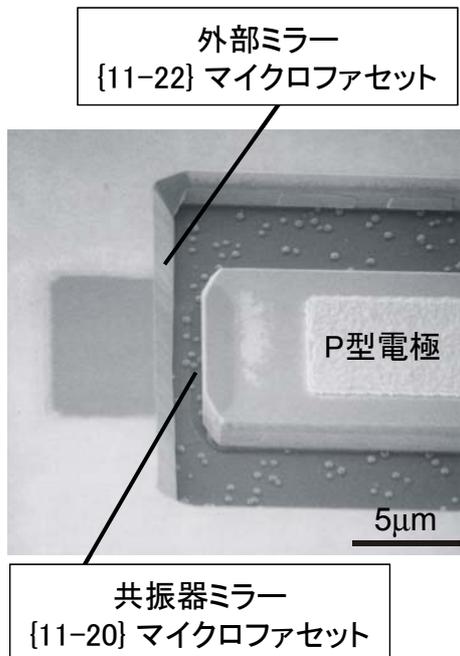


図1 InGaN ベース HCSEL の鳥瞰 SEM 像

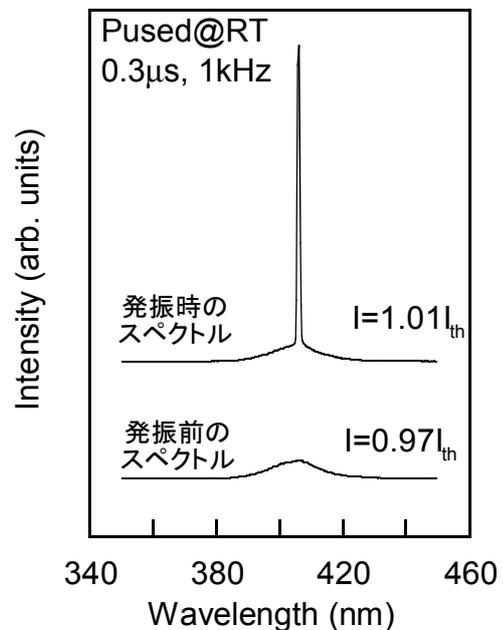


図2 発振しきい値前後の発光スペクトル

新しいバッファー層を用いた高品質GaNの成長

熊倉一英 *廣木正伸 牧本俊樹
機能物質科学研究部、*フォトニクス研究所

サファイア基板上有機金属気相成長法により成長したGaNの結晶性は、低温堆積AlNやGaNを用いることで改善される。これらの低温堆積バッファー層は不安定なため、結晶成長の昇温中に様々な形状の島を形成することが良く知られている。したがって、満足のいく結晶性や再現性よくGaNを成長することが困難であり、このことは、産業的に見ても非常に重要な問題である。

ECRプラズマスパッタリングでは、緻密、均一、そして、安定な酸化膜や窒化膜を大面積に室温で容易に堆積することが可能である。融点が2000°Cを超えるAl₂O₃やAlNも、ECRプラズマスパッタリングにより容易に室温で堆積することができる。つまり、これらの材料を熱的に安定なバッファー層として使うことが可能となるので、低温堆積AlNやGaNバッファー層の代わりに、ECRプラズマスパッタリングしたAl₂O₃/組成傾斜AlON/AlN/Al₂O₃層をバッファー層としたサファイア基板上のGaN成長を提案した。

c面サファイア基板に、ECRプラズマスパッタリングにより、上述のバッファー層を室温で形成し、成長用の基板とした。バッファー層の全膜厚は20nmである。1000°Cにおいて、この基板に、GaNを直接成長した。図1(a)と(b)は、サファイア基板とGaN成長層の界面におけるエネルギー分散型X線分光法(EDS)スペクトルと断面透過電子顕微鏡(TEM)像である。図1(a)に見られるように、窒素に起因するピーク強度は、サファイア基板からGaN層へと徐々に増加しているのに対し、酸素に起因するピークが減少していることが分かる。この結果は、酸化物層から組成を徐々に変化させ窒化物層を容易に形成できることを示している。

図2のように、断面の明視野TEM像から、成長の初期段階で転位が曲がっていることが分かる。このことは、横方向成長が促進されていることを示しており、GaN中の転位を低減させる働きをしている。転位密度は、 $6 \times 10^8 \text{ cm}^{-2}$ である。成長したGaNのキャリア濃度と移動度は、それぞれ、 $2 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ と $540 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ である。この結果は、ECRプラズマスパッタリングにより作製したバッファー層を用いて成長したGaNの品質が、これまでの低温堆積バッファー層を用いて作製したGaN層と同等かそれよりも優れていることを示している。

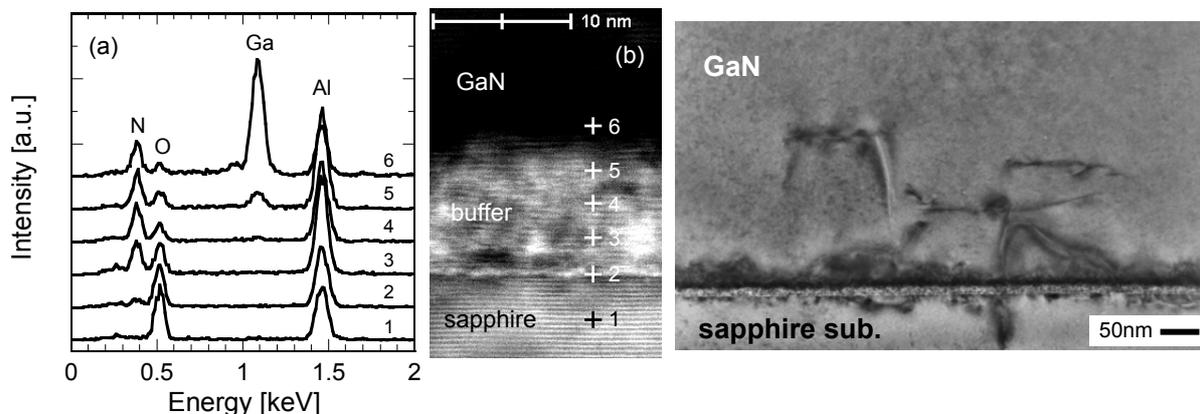


図1 サファイア基板とGaN成長層の界面における(a) EDSスペクトルと、(b) 断面TEM像。

図2 サファイア基板とGaN成長層の界面における断面TEM明視野像。

AlN フィールドエミッションディスプレイ

谷保芳孝 嘉数 誠 牧本俊樹
機能物質科学研究部

窒化アルミニウム(AlN)は直接遷移型で最大のバンドギャップエネルギー(6.2 eV)を有する。また、AlN は電子親和力がほとんど零である。そのため、AlN を用いれば電界放出(フィールドエミッション)が起こりやすいことが予想され、フィールドエミッションディスプレイなどへの応用が期待されている。しかし、これまで、AlN のn型伝導性制御は非常に困難で、表面に電子を効率よく供給できないため、報告されてきた AlN のフィールドエミッション特性では、エミッション電流が低く、駆動電圧も高く、時間に対する電流変動が大きいという、問題があった。

これまで、我々は、Siドーピングにより、世界に先駆けて AlN のn型伝導性制御に成功した[1]。また、AlN に Si を高濃度にドーピングするとフィールドエミッション特性が著しく向上することを見出した[2]。今回、エミッション電流の制御が可能な三端子構造を有するディスプレイの基本構造を作製し、AlN を用いたディスプレイの動作を実現した[3]。そして、実際のデバイス構造において、高濃度 Si ドープ AlN のフィールドエミッション特性を評価した。

図1に作製したディスプレイの基本構造を示す。ディスプレイは、カソード電極上に設置した高濃度 Si ドープ AlN、メッシュ状のグリッド電極、蛍光体を塗布したアノード電極からなる。本構造では、グリッド電極に印加された電圧によって AlN 表面から電子をフィールドエミッションさせ、グリッドを通過した電子をアノード電圧により加速し、蛍光体をその加速電子で励起し発光させる。AlN-グリッド電極間の電界強度 E_G が $11\text{V}/\mu\text{m}$ 以上において、エミッション電流は検出された。そして、エミッション電流は電界強度の増加により指数関数的に増加し、 $E_G = 23\text{V}/\mu\text{m}$ で $16\ \mu\text{A}$ に到達した。また、時間に対するエミッション電流の安定性を評価した結果、エミッション電流の変動率はわずか 5.5%で、放電も起こらず安定した動作が確認された。この高い安定性は強い Al-N 原子間結合に起因している。

図 2 は、ディスプレイ動作時の発光の様子である。発光領域はメッシュグリッドの開口部とほぼ一致している。蛍光体からの発光は面内で均一であり、発光輝度はディスプレイとして実用レベルの $300\ \text{cd}/\text{m}^2$ が得られた。

[1] Y. Taniyasu, M. Kasu, and T. Makimoto, Appl. Phys. Lett. **85** (2004) 4672.

[2] M. Kasu and N. Kobayashi, Appl. Phys. Lett. **79** (2001) 3642.

[3] Y. Taniyasu, M. Kasu, and T. Makimoto, Appl. Phys. Lett. **84** (2004) 2115.

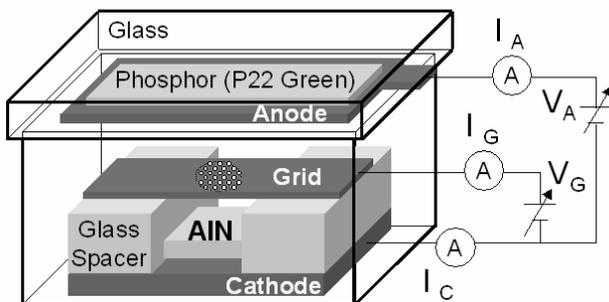


図1 ディ스플레이の基本構造

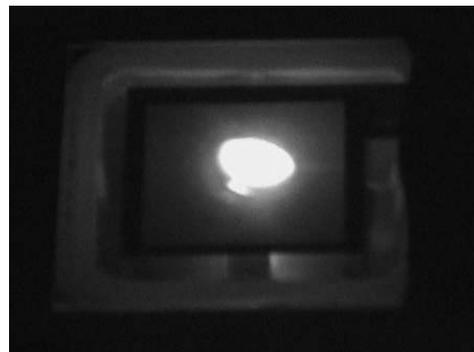


図2 ディ스플레이からの発光の様子

GISAXS によるナノワイヤー成長のリアルタイム観察

川村朋晃 Satyaban Bhunia *藤川誠司 渡辺義夫
機能物質科学研究部 *兵庫県立大学

近年ナノテクノロジーの進展に伴い種々のナノ構造材料の研究が進められており、触媒粒子の過飽和現象を利用した VLS (Vapor-Liquid-Solid)成長機構による一次元半導体ナノワイヤーもその一つとして注目されている。このナノワイヤーは触媒粒子サイズを制御することにより数 nm 径のナノワイヤーを作製することが可能、エピタキシャル以外の成長も可能であるため材料の自由度が大きい、溶液中に分散させることによりナノワイヤー単体での利用も可能など多くの特長を持っており、量子デバイスのみならず光応用、バイオ・医療のための”基本構造”としても注目されている。

しかし VLS 成長は通常気相中で行われるため RHEED 等による成長モニタリングは困難でありナノワイヤー成長過程の詳細を知ることは容易ではなかった。そこで今回透過力の高い反射 X 線小角散乱(GISAXS : Grazing Incidence Small Angle X-ray Scattering)を用い InP ナノワイヤー成長過程のリアルタイム観察を行った[1]。図 1 に GISAXS 測定配置を示す。測定には直径 20nm の金微粒子触媒を用い MOCVD 法により作製した InP ナノワイヤーを用いた[2]。図 2 にナノワイヤー成長直後に X 線 CCD カメラで測定した GISAXS イメージを示す。qy および qz 方向にナノワイヤーによる散乱が明瞭に観測されていることが判る。また DWBA (Distorted Wave Born Approximation)近似により半球および六角柱状散乱対による GISAXS イメージ (図 3(a)、(b)) を計算したところ、測定結果は六角柱を仮定した GISAXS イメージと定性的に一致していた。この結果は SEM 観察結果と一致しており、本手法を用いることによりナノワイヤーの成長モニターが可能となった。

[1] T. Kawamura, et al., Proc. of XTOP 2004, Prague, September 2004.

[2] S. Bhunia, et al., Appl. Phys. Lett. **83** (2003) 3371.

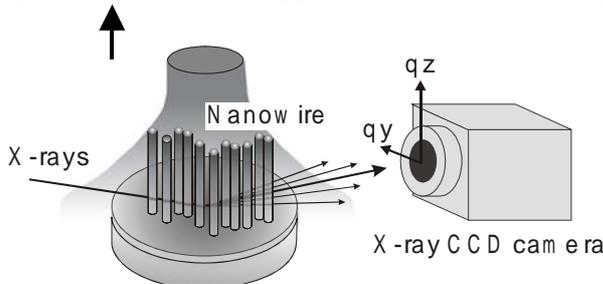


図 1 GISAXS 測定配置

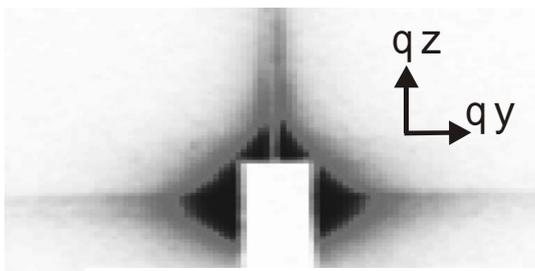


図 2 ナノワイヤー成長後の GISAXS イメージ (Ts=400)

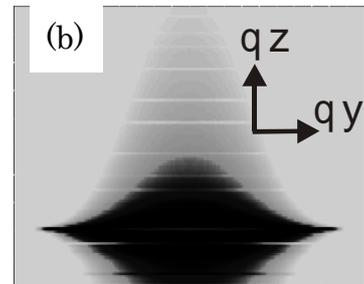
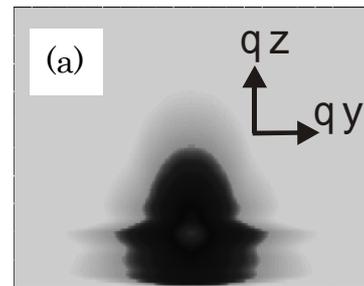


図 3 DWBA 近似による計算
(a) hemisphere, (b) hexagonal pillar.

DNA と金微粒子によるカーボンナノチューブ複合体の合成

Goo-Hwan Jeong、鈴木哲、小林慶裕
機能物質科学研究部

カーボンナノチューブ (CNT) は優れている物理的・化学的・電気的特性から様々な分野への応用が期待されているが、現在、構造(直径、らせん度)選択的合成は実現していないため、合成された CNT に原子・分子等を導入することによって電子構造を制御する研究が活発に行われている[1]。そこで、我々は CNT ベースの電子デバイスやバイオセンサーなどへの応用を目指して、自己組織結合特性を持つ DNA と金微粒子との複合体を合成し、それを用いて、CNT ベースの新規複合構造体を制御性よく合成する研究を行っている。

CNT の合成触媒としては、従来の薄膜触媒ではなく、直径 6nm の鉄微粒子を内包した蛋白質であるフェリチンを利用した。さらに、Fe 代わりに Co 微粒子を内包した Co-フェリチンも初めて利用し、均一径を持つ CNT 成長を試みた。Si, SiO₂ 柱パターン基板上にフェリチンを均一分散させ、メタンを炭素源とした CVD 法を用いて成長した結果、図1 (a) に示すように、柱パターン間を繋ぐ架橋単層 CNT を成長できた[2]。また Raman 分光測定結果[図1(b)]から、成長した CNT の結晶性は高く、径も 1.1nm 程度であることがわかる。

CNT の DNA/金微粒子複合体による修飾を行うため、CNT を硝酸及び APTES (aminopropyltriethoxysilane) で処理し、CNT 側面に DNA 修飾の起点となるアミノ基を導入した。DNA/金微粒子複合体はチオール化 DNA を直径 5nm の金微粒子と混合して合成し、それを酸・APTES 処理した架橋 CNT に滴下することによって表面修飾を行った。図2は金微粒子[(a)、(b)]あるいは DNA/金微粒子複合体(c)によって表面修飾された架橋 CNT の電子顕微鏡像である。CNT 表面に修飾される金微粒子の密度は修飾時間や金微粒子濃度で制御できる。また、DNA/金微粒子によって修飾された架橋 CNT からは Raman スペクトルの変化が観測されている[3]。このような CNT/DNA/金微粒子の新規複合体の電気的及び光学的特性は本来の CNT とは異なり、電子・光学分野への応用が期待される。

[1] M. Zheng et al., Science **302** (2003) 1545-1548.

[2] G.-H. Jeong et al., J. Am. Chem. Soc., submitted 2005.

[3] G.-H. Jeong et al., MRS 2005 Spring Meeting, San Francisco, March 2005.

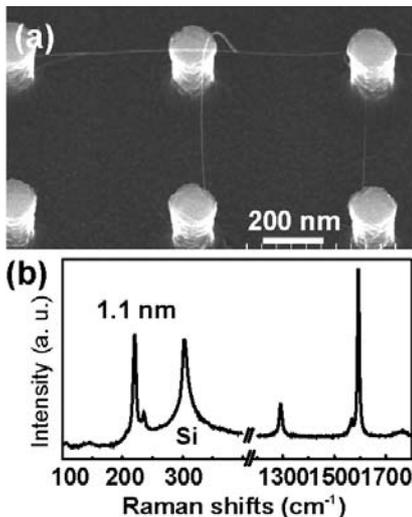


図1 Co-フェリチンから成長した架橋 CNT (a)電子顕微鏡像、(b) Raman 測定結果

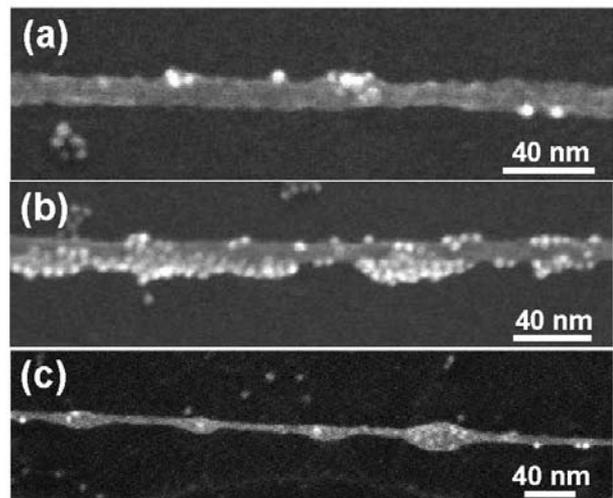


図2 (a)、(b)密度制御された金微粒子の様子、(c)CNT/DNA/金微粒子の新規複合体

カーボンナノチューブの空間選択的除去

鈴木哲 小林慶裕
機能物質科学研究部

カーボンナノチューブはナノメートルスケールの直径と優れた電気的特性を有しているため、将来のナノエレクトロニクス材料の候補として期待されている。実際にナノチューブを用いた電界効果トランジスタや単電子トランジスタは既存のシリコンデバイスを凌駕する特性を示すことが明らかになっている。しかしながら、ナノチューブの集積化の研究はほとんど進んでいない。これはナノチューブを所望の場所にのみ成長、配置する技術が全く確立していないためである。従って基板上の所望の場所にナノチューブを配置すべく高密度成長を行うと所望の場所以外にも多数のナノチューブが成長、配置され、これらが電気的短絡を引き起こすという問題があった。

ランダムなナノチューブネットワークから短絡を起こす不要なナノチューブのみを選択的に除去することができればナノチューブを用いて様々な回路構造を構成することができる。今回我々は、低加速電子の照射がナノチューブに損傷を与える現象を発見すると共に、この損傷を利用して不要なナノチューブのみを空間選択的に除去する方法を提案した。加速電圧 1 kV の電子線照射前後の単層ナノチューブのラマン散乱スペクトルを図1に示す。ナノチューブに特徴的な RBM (Radial Breathing Mode) ピークが電子線の照射と共に大きく減少しており、ナノチューブに損傷が誘起されたことを示している。またこの損傷は 1 kV 前後の非常に低い加速電圧で激しく起こることが明らかとなった。一般にカーボンナノチューブは強靱な化学的、機械的強度を有するが、電子線照射損傷によりその強度は大きく減少する。我々はこのことを利用して、損傷を受けたナノチューブを選択的に、また簡便に除去する方法を開発した。この手法を 200 nm 径の微細な円柱構造を架橋する単層ナノチューブネットワークに適用した例を図2に示す。図中の破線上に電子を照射した後、試料に大気中で加熱処理を施した。非常に簡便な手法であるが、照射線上を横切るナノチューブが全て除去されていることがわかる。本結果は、ナノチューブの集積化の可能性を開くものである。

[1] S. Suzuki et al., Jpn. J. Appl. Phys. **43** (2004) L1118.

[2] S. Suzuki et al., Jpn. J. Appl. Phys. **44** (2005) L133.

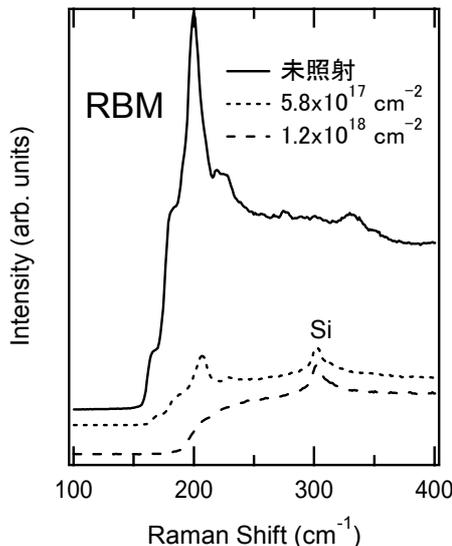


図1 電子照射前後のラマン散乱スペクトル

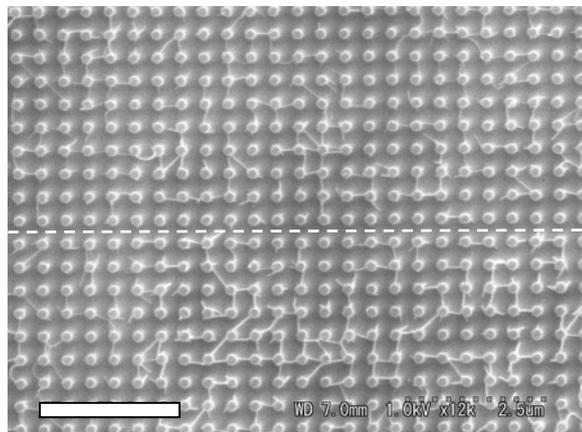


図2 選択除去処理後の架橋ナノチューブネットワーク。破線に沿って電子が照射された。スケールバーは 2.5 μm 。

金-シリコン合金島の原子ステップへの配列

日比野浩樹 渡辺義夫*
機能物質科学研究部

半導体ナノ構造の作製手法を大別すると、トップダウン的な微細加工法とボトムアップ的な自己形成法がある。自己形成法は、低コスト・大規模・高品質等の潜在的な利点を有するが、サイズや位置等の制御性には課題が多い。我々は、これまで半導体表面構造の原子スケール制御を通して、ナノ構造をウェハースケールで自己組織的に形成する手法を開拓してきた。今回、シリコン表面の原子ステップ配列をテンプレートとして用いることにより、金-シリコン合金島の自己形成を制御できることを示す。

Si(111)表面に、超高真空中で高温(～700℃)と低温(～400℃)の二段階で Au を蒸着することにより三次元島を形成した。図1は形成した三次元島の原子間力顕微鏡(AFM)像とそこから求めた高さ分布である。10%程度のサイズばらつきをもつ三次元島が原子ステップに配列している様子がわかる。この島形成過程を低エネルギー電子顕微鏡(LEEM)によりリアルタイム観察することにより、三次元島が非常に狭い Au 被覆率の範囲内で一斉に出現することが明らかとなった。このためサイズの均一な島が形成される。また、島を形成した表面において、Au 成長を一旦止め、三次元島の数を減少させた後、Au を再成長すると、三次元島が後方に溝を残しつつ上段テラスへと侵入した。このことから、三次元島が Au と Si の混晶からなる液滴であることがわかる。このときの移動距離を時間に対してプロットした図2は、島はテラス上をほぼ一定の速度で移動するのに対し、テラスを渡りきり上段側のステップに接近すると、そこへジャンプすることを示している。ステップが Au-Si 島の安定な存在位置であることがわかる。

ここで紹介した方法により、リソグラフィーを用いることなく、ナノメートルサイズの Au-Si 合金島を位置やサイズを制御して形成できる。金は半導体ナノワイヤ成長の触媒や分子の固定に広く用いられており、今後、半導体ナノワイヤや分子を用いた機能化の可能性を探る。

*現 NTT-AT

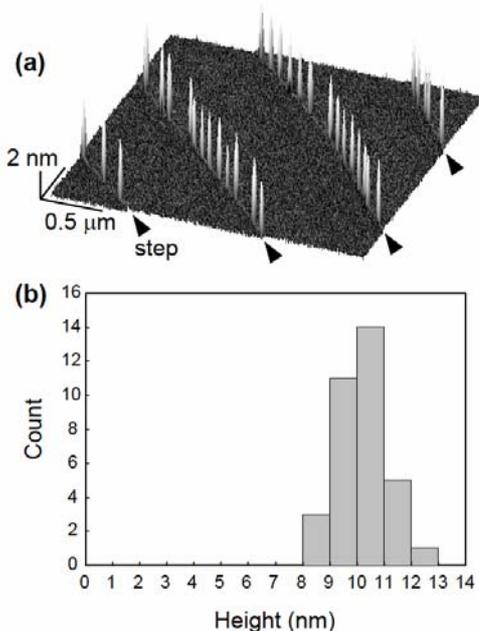


図1 Au-Si 合金島の AFM 像と高さ分布

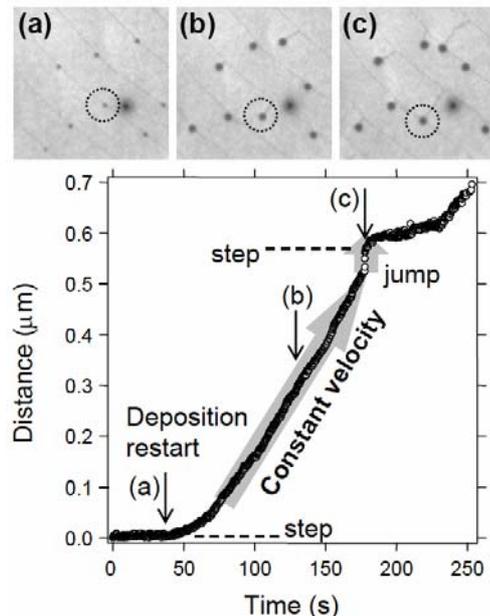


図2 Au-Si 合金島の移動を示す LEEM 像と円で囲んだ島の移動距離の時間依存性

導電性ポリマー電極の開発と多点電極を用いた神経活動の計測

島田明佳 Tobias Nyberg 河西奈保子 鳥光慶一
機能物質科学研究部

生物の脳は、「知覚」「意識」「行動」などに関する情報を、神経細胞が発する 2 種類の電気信号、すなわち局所的電位と活動電位により処理している。しかし、情報がこれらの電気信号によってどのように表現されているのか、そのためにどのように神経回路網が形成されているのかについては、よくわかっていない。

我々はこれらの疑問の解明を目指して、マウス及びラットの大脳皮質由来の神経細胞を分散培養して形成される神経回路網の活動電位を、多点電極を用いて計測している。多点電極による同時計測は、個々の神経細胞とそれらから構成される神経回路網の電気的な活動の関係を明らかにするための有効な手段である。

しかし多点電極で計測される活動電位は一般的に微弱であり、S/N 比の優れた電極が求められていた。図 1 は、今回開発されたインピーダンスが小さくかつ神経細胞との親和性が保たれた導電性ポリマー電極の構造を示す。この電極のインピーダンスは、約 $5k\Omega@1kHz$ で[1]、従来の白金電極の約 20 分の 1 であった[2]。我々は、この電極を用いて大脳皮質由来の神経細胞の活動電位を 1 ヶ月以上測定できることを確認した。

大脳皮質由来の神経細胞は、興奮性及び抑制性の 2 種類が存在するが、分散培養された神経回路網において両者を区別することは困難である。そこで抑制性神経細胞の大部分を占める GABA 作動性神経細胞が、図 2 のように緑色蛍光タンパク質で標識された分散培養を用い、自発的な活動電位を計測した。その結果、GABA 作動性神経細胞の電気活動は、緑色蛍光タンパク質で標識されていない神経細胞よりも早い時期に活発になることを示唆する知見を得た。

今後は、興奮性及び抑制性神経細胞の情報処理過程における相互作用の研究を、導電性ポリマー電極を用いて進めていく。

[1] N. Tobias et. al., Neuro2004 Sept 21-23, Osaka, Japan (2004).

[2] Y. Jimbo et al., IEEE Trans. Biomed. Eng., **50**, 2 (2003) 241.

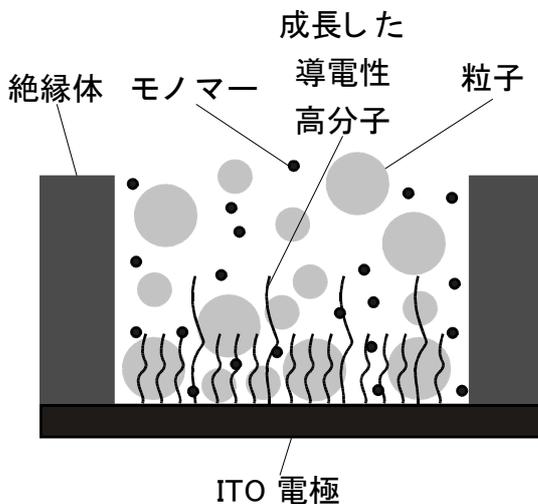


図1 ポリマー電極の構造

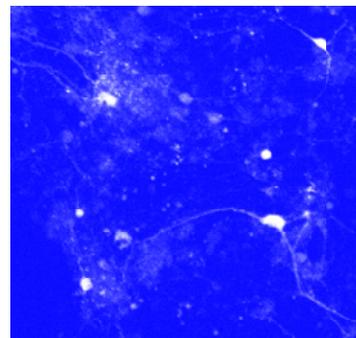


図2 緑色蛍光タンパク質で標識された抑制性神経細胞

IP₃ 受容体タンパク質の溶液中 AFM 観察

¹須原和歌子 ¹藤本一朗 ^{1,2}御子柴克彦 ^{1,3}小林未明 ^{1,3}後藤東一郎 ^{1,3}鳥光慶一

¹東京大学医科学研究所 神経情報シグナル共同研究ユニット

²東京大学医科学研究所 脳神経発生・分化分野 ³機能物質科学研究部

小脳プルキンエ細胞には、リン酸化を受ける、ある糖タンパク質が豊富に存在することが知られていた。御子柴らは 1989 年、このタンパク質がイノシトール三リン酸受容体(IP₃R)そのものであることを発見し、その全アミノ酸配列を決定した。続いて IP₃R が細胞内のカルシウム振動を発振するために重要な分子であること、受精、卵の活性化、ニューロンの突起伸展、脳の可塑性に関わり、欠損動物はてんかんを起こすこと等を次々と明らかにしてきた。

IP₃R タンパク質の立体構造に関しては、透過型電子顕微鏡(TEM)解析によって、一辺が約 20nm の四角型構造をとることを明らかにし、Ca²⁺を加えることによって、この4量体が直径約 30nm の風車型構造に変化することも報告している。

今回我々は、生理的な条件で IP₃R の構造を Ca²⁺存在下/非存在下で観察することを目的とし、原子間力顕微鏡(AFM)を用いた実験を行った。マウス小脳から精製した IP₃R をマイカに滴下し静置した後洗浄し、溶液中で AFM 観察を行った。IP₃R の濃度を約 0.1mg/ml とした場合、IP₃R の方向は一定していないが、Ca²⁺を加えると、大きさに明らかな変化が見られた。また IP₃R の濃度を 0.025mg/ml に希釈して観察したところ、IP₃R が独立して存在していた。詳細に観察したところ、4量体と考えられる構造を捉えることに成功した。この外径は 25nm であり、TEM の結果と類似していた。さらに Ca²⁺を含んだ溶液中で走査したところ、Ca²⁺非存在下では見られなかった構造が観察された。これは TEM 観察から類推された風車型構造に類似しており、その外径は

30nm であった。

この研究成果は、生体試料を AFM 観察する際の第一歩であり、今後さまざまな膜タンパク分子を生体内と同様の環境下で観察する上で重要な布石となると考えている。

[1] W. Suhara et al., 34th annual meeting of Society for Neuroscience, San Diego, USA (2004)

[2] I. Fujimoto et al., 9th Linz winter workshop, Linz, Austria (2005).

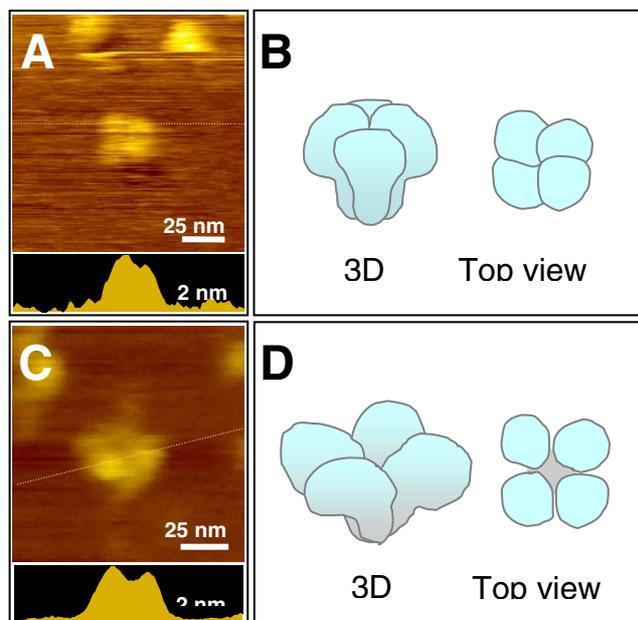


図1 IP₃R の AFM 観察。溶液中 Ca²⁺非存在下(A)、Ca²⁺存在下(C)での観察像。図中の点線に沿った断面図をそれぞれ下に示した。また、それぞれの状態の4量体構造モデルを(B)、(D)に示した。

光応答性を示す導電性高分子ナノデバイス

中島 寛 Wenping Hu 古川一暁 樫村吉晃 味戸克裕 鳥光慶一
機能物質科学研究部

単一または少数の有機分子を電子回路部品として用いる分子スケール素子を目指した研究開発が盛んである。分子は思い通りに形状や機能を設計できる特徴を有するため、分子を組み上げていくボトムアッププロセスにより、素子構造の高密度化・高機能化・高速化が期待できる。中でも導電性高分子は、主鎖の電子共役に基づく顕著な電荷輸送特性、光吸収・発光特性を示し、ナノスケールでの光・電子機能部品としての用途が志向されている。これまで我々は、剛直な π 共役系導電性高分子として知られるポリ(*p*-フェニレンエチニレン) (PPE) に着目し、その分子末端を巧く加工することで、末端チオール基を導入した PPE 誘導体 (TA-PPE) を分子設計してきた[1]。末端チオール基の Au 表面への選択的な化学吸着性を利用し、Au ナノギャップ電極間への自己集積による TA-PPE の分子接合が可能となった(図1)。今回、Au ナノ電極間(ギャップ間隔: ~ 40 nm)に TA-PPE を接合したナノデバイスの光誘起電流特性に顕著なスイッチング挙動を観測することに成功した[2]。

図2に Au/TA-PPE/Au ナノ接合デバイスの光電流応答特性を示す。照射する白色光の on-off に伴い、ナノ接合デバイスは暗(off)状態での低電流値/明(on)状態での高電流値の明らかな差異を示し、ナノスケールでの光スイッチ機能を発現した。(ナノ電極間には 0.5 V の一定電圧を印加)。“off”状態での電気抵抗値 $\sim 10^{15} \Omega$ に対し、“on”状態では $\sim 10^{12} \Omega$ の値を示し、その比は 1000 倍にも及ぶ。また、このスイッチング特性は、高速かつ再現性良く繰り返し観測される。光照射下では、TA-PPE 鎖中に発生した光励起子が、ナノ電極間の印加電圧に誘発され電子と正孔へと電荷分離を引き起こす。それらのキャリアは、暗状態では達成できない Au-S 結合部位に存在するエネルギー障壁をトンネル可能にするため、光誘起電流が観測されるものと説明できる。さらにナノ接合デバイスに生じる光電流には、顕著な照射光の強度依存性が見られ、照射光がもたらす光子密度の変化に敏感に応答する結果も得られている。

今後、ナノ接合デバイスと他の有機・生体機能性分子との複合化を達成し、分子の個性を活かした、より高度な光・電子機能を有する分子スケール素子作製を検討していく。

[1] H. Nakashima, et al., *Langmuir* **21** (2005) 511.

[2] W. Hu, et al., *J. Am. Chem. Soc.* **127** (2005) 2804.

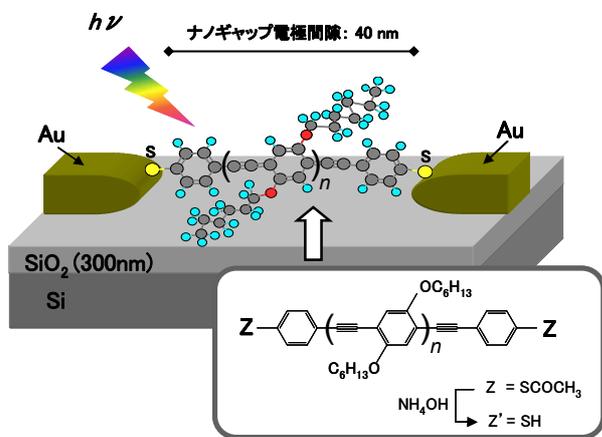


図1 TA-PPE の分子構造とデバイス構造

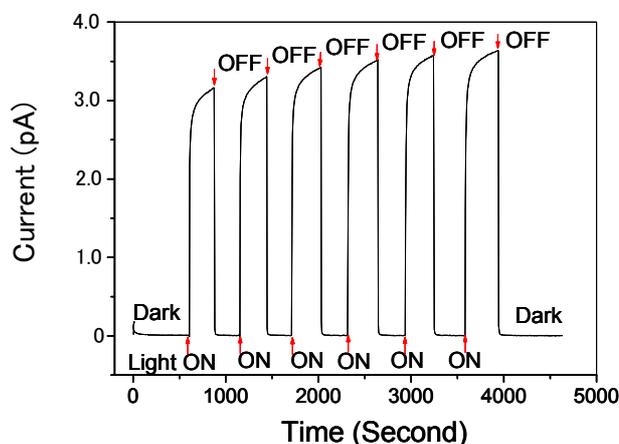


図2 ナノ接合デバイスの光電流応答特性 (白色光照射, 52 mW)

海馬組織培養を用いた神経細胞毒性研究

韓 春錫、河西奈保子、鳥光慶一
機能物質科学研究部

ラット海馬のスライス培養技術は神経細胞、神経回路の特徴を生理学および薬理的に解明する上で非常に重要な研究手法である。その理由として、調製された海馬スライスには細胞層構造と神経回路が正確に維持されていること、また、その調製が比較的容易であることがあげられる。

一方、てんかん動物モデルや側頭葉てんかんの患者においては、海馬の CA1, CA3 領域の神経細胞死が起こることがよく知られている。しかし、CA2 領域の神経細胞についてはほとんど検討されていない。

本研究ではラット海馬のスライス培養系に bicuculline (BiC: 抑制性神経伝達物質受容体 GABA_A の拮抗剤) を投与し、その神経細胞毒性ならびに電位依存性カルシウムチャネル (VDCC) の関与について調べた[1][2]。その結果、CA2 領域に選択的な神経細胞死が BiC 投与 12 時間後に認められた (図 1 A)。さらに、24 時間後には神経細胞死が他の領域、特に CA3 領域にも及んでいることが観察された。薬理的解析により、これらの神経細胞死に VDCC を介した神経細胞内のカルシウムの過剰流入が関与していることが確認された(図 1 B)。

今回の研究では、海馬 CA2 領域の神経細胞の脆弱性を初めて証明し、記憶、学習機能を司る海馬の神経細胞機能を理解する上で重要な知見を得た。

[1] C. Han, N. Kasai, K. Torimitsu. Neuroreport **16** (2005) 333-336.

[2] C. Han, N. Kasai, K. Torimitsu. Bul. JSN. **42** (2003) 238.

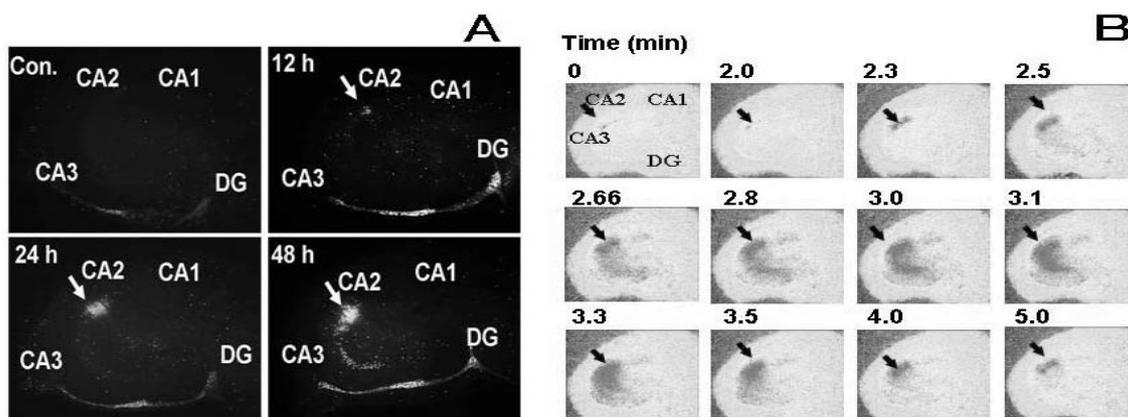


図 1 時間、領域依存的な神経細胞死 (A)と Ca²⁺ 流入 (B)がラット海馬スライス培養中で BiC によって誘導された。

シリコン熱酸化における界面反応機構の第一原理計算

影島博之、植松真司
量子電子物性研究部

シリコン熱酸化膜はシリコンを使ったデバイス作成において欠かすことができず、その必要性は将来のシリコンデバイスでも不変である。我々はシリコン熱酸化過程の原子スケールでの詳細制御を目指して、メカニズムの統一的な理解を研究している。

シリコン熱酸化過程は、表面を覆う酸化膜を酸素が拡散していく過程、そして酸素が界面で基板のシリコンと反応を起こす過程、の通常2つの段階に分けられると考えられてきた。我々は、界面で反応を起こす過程をさらに細分化し、酸素がシリコン基板に取り込まれる過程と、反応によって界面に発生した歪みを解放する過程、に区別すべきであると考えている。最近、界面から還元性の原子種が酸化膜中に流れ込んでいることが同位体を用いた実験によって確認され [1]、この考え方の重要性が裏付けられている。

酸素がシリコン基板に取り込まれる過程については、これまでの理解で期待されるような大きな反応障壁を必ずしも持たないことが、第一原理計算で明らかになっている(図1)[2]。つまり、この過程が必ずしも界面反応の律速過程になるとは限らない。これは、界面に到達した酸素分子が解離して界面のシリコン間に割って入って酸化反応する際に、従来言われていたように酸素同士の結合を完全に切り離してバラバラにしたり、シリコン同士の結合を一度完全に切り離したりする必要がないからである。

一方、界面に発生した歪みを解放する過程については、界面付近に生成される酸素空孔を伴った高密度酸化領域(図2)が深く関与していることが、同じく第一原理計算によって明らかになっている[3]。この領域は、酸素空孔を伴っているとはいえども、全ての結合手はしっかりした共有結合を組んでいて、界面固定電荷密度や磁性中心密度が低いという実験結果と矛盾しない。この領域は、また格子間 SiO 分子を伴った領域と見なすことが可能であり、界面から還元性の原子種が発生するという前述の実験結果とも矛盾しない。

[1] S. Fukatsu et al., Appl. Phys. Lett. **83** (2003) 3897.

[2] T. Akiyama and H. Kageshima, Surf. Sci. **576** (2005) L65.

[3] H. Kageshima et al., Jpn. J. Appl. Phys. **43** (2004) 8223.

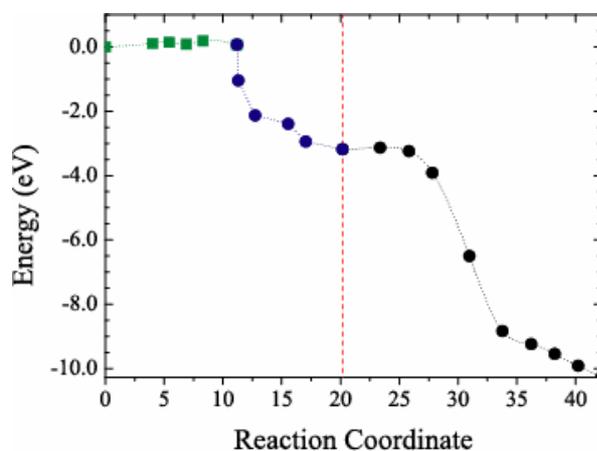


図1 酸素分子の反応パス

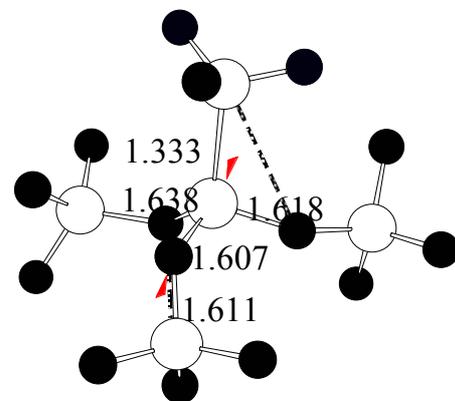


図2 酸素空孔を伴った高密度酸化膜構造

シリコン・ナノデバイスを用いた室温での単一電子転送と検出

西口克彦 藤原聡 小野行徳 猪川洋 *高橋庸夫
 量子電子物性研究部 *現在:北海道大学

単一電子デバイスは、超低消費電力デバイスとしての観点から注目を集めている。その一形態である単一電子転送デバイスは、単一の電子で情報を伝達・処理する回路等への利用が期待されている。これを実現するには正確に電子の動きをコントロールし、その電子を高感度に検出する方法が必要である。しかし、これまではデバイス・サイズが大きいため動作温度が低温に限られ、また、デバイスの不安定性、作製や動作方法の複雑さが回路を構成する上で大きな障壁となっていた。

今回、我々はSOI基板を用いたMOSFETの作製方法を応用して、単一電子転送デバイスと高感度電荷計を組み合わせたシリコン・ナノデバイスを作製した(図 1)[1]。単一電子転送デバイスは直列に接続された2つの細線FETで構成され、その間に非常に小さな単電子箱が形成される。図 2 の挿入図は単一の電子を転送する方法を示しており、FET1 と FET2 を交互に開閉して単一の電子を単電子箱を通して電子蓄積部へと転送する[2]。これを転送サイクルとして繰り返すことで電子を次々と電子蓄積部に転送、蓄積する。そして電子蓄積部に近接した高感度電荷計の電流変化をモニターすることで、転送された単一電子の検出を行う[3]。

図 2 は転送サイクルを繰り返したときの高感度電荷計の電流変化であり、サイクル毎に起こる電流変化は電子蓄積部に 1 個の電子が転送されたことを意味する。今回、デバイス構造と動作条件の改良により単電子箱を小さくすることで、室温での単一電子転送と検出に成功した。このデバイスはFETを用いて電子を転送、蓄積するので、高速な電子転送(10 ナノ秒以下)と長い電子保持時間(10^4 秒以上)が可能となった。また、これらの特徴を生かして単一電子多値メモリ(多値レベル数:32)の動作を確認した[1]。

[1] K. Nishiguchi, et al., International Electron Devices Meeting (IEDM) (2004) 199.

[2] A. Fujiwara, et al., Appl. Phys. Lett. **84** (2004) 1323.

[3] K. Nishiguchi, et al., Appl. Phys. Lett. **85** (2004) 1277.

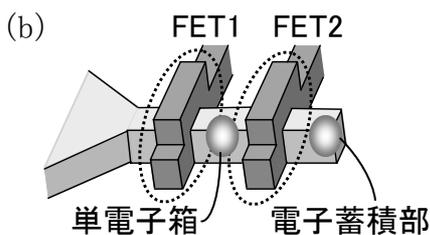
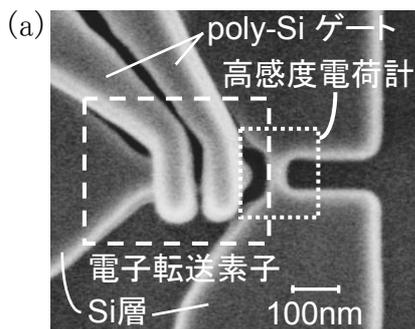


図1 (a) 素子の平面SEM像

(b) 単一電子転送素子の鳥瞰図

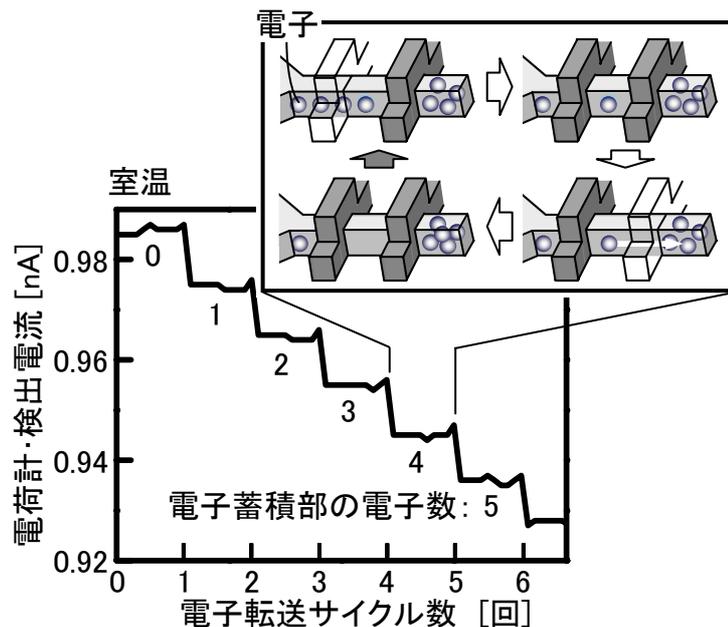


図2 単一電子の転送と検出特性

ナノスプリング付きカーボンプローブのSiカンチレバー上への集積化

永瀬 雅夫
量子電子物性研究部

走査プローブ顕微鏡技術をベースとしたマルチプローブシステムは高い空間分解能で電気特性を計測できる有力なシステムになると期待されている。今回我々は、新しいタイプのマルチプローブシステムを開発した。ナノスプリング付きの四つのカーボンプローブをAl電極付きのSiカンチレバー上に作製した。集束イオンビーム化学気相堆積法(FIB-CVD)により形成したダイヤモンド状カーボンは、堅く、且つ、導電性があることが知られており、プローブ材料としては最適である。最近、松井らは FIB-CVD 法によりコイルスプリング構造を作製している。[1]ナノスプリングは複数のプローブ高さの違いを吸収できる可能性があり、従来のマルチプローブシステム[2]にはない機能が実現できることが期待される。

図1は Si カンチレバー上のカーボン四探針プローブの(a)概略図と(b),(c)SEM 像である。FIB-CVD 三次元構造体は兵庫県立大学の SMI2050(SIINT 社製)で作製した。[1]ナノスプリング部を含むプローブの高さは $10\ \mu\text{m}$ 、プローブ直径は 110nm 、ナノスプリング径は 380nm である。図2はプローブと導電性試料のコンタクト特性である。このプローブの場合、 580nm の高さで試料との電氣的接触が確立されている。図2中の原点(AFM の制御高さ)では Si カンチレバーは 200nm 変位しているため、ナノスプリングは約 400nm 縮んでいることになる。四つのプローブはすべて同時に試料と電氣的コンタクトをしており、各々のプローブの高さの違いをスプリングで吸収出来ることが確認された。スプリング部の機械特性の定量計測を行った結果、ナノスプリングの弾性定数が、通常のスプリングの弾性定数とほぼ一致することが判った。このプローブを用いて AFM 形状像の取得を行った後のプローブ形状を確認したが、変形等はなく剛性は十分に高くナノプローブとして利用可能なことが判った。

走査プローブ顕微鏡技術と集束イオンビーム技術の融合がマイクロ・ナノ電気機械システム(MEMS/NEMS)の新しい領域を切り開いていくことが期待される。

[1] S. Matsui et al., J. Vac. Sci. & Technol. B 18 (2000) 3181.

[2] M. Nagase et al., Jpn. J. Appl. Phys. 42 (2003) 4856.

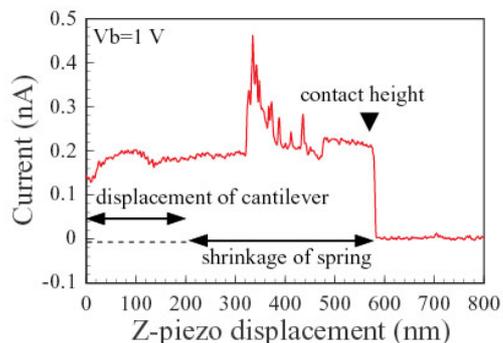
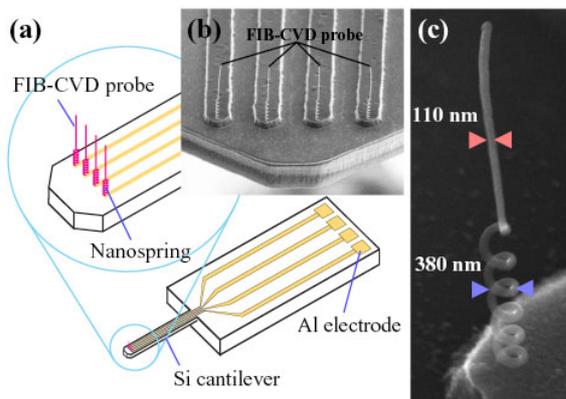


図1 Si カンチレバー上のナノスプリング付き四探針プローブ (a)概略図、(b)低倍SEM像、(c)高倍SEM像

図2 プローブ電流の変位量依存性
試料(Au 薄膜) 電圧 1V

電子の干渉を用いた力・変位測定

山口浩司 平山祥郎
量子電子物性研究部

微小カンチレバーによる力・変位の高感度検出技術は、古くはアナログレコードのピックアップから、最近においては原子間力顕微鏡やエアバック用加速度センサーに至るまで、これまで幅広い分野に応用されてきた。特に MEMS (Microelectromechanical Systems) 技術の進展により、昨今では微小機械の構成部品としての重要性も注目されている。現時点で最も高い感度を持つ変位・力検出手法は、カンチレバーとレーザー干渉変位計の組み合わせで実現されており、昨今では単スピンの検出に応用された例も報告されている [1]。我々は光学的手法とは相補的で、微細化・集積化に有利な手法として、カンチレバーの変位を半導体における電気抵抗の変化(ピエゾ抵抗)により検出する手法を研究してきた。特に半導体ナノ構造を用いたピエゾ抵抗カンチレバーでは、量子力学的効果によりピエゾ抵抗が大幅に増大することが期待される。ここでは光の干渉と同様に、電子波の干渉を用いて高い検出感度を得る試みについて紹介する [2]。

図1は作製したデバイスの電子顕微鏡写真である。カンチレバーの厚さは300 nm であり、15 nm 厚の導電性 InAs 薄膜と 285 nm 厚の絶縁性 $Al_{0.5}Ga_{0.5}Sb$ 薄膜のヘテロ構造を、選択エッチングにより GaAs 基板から分離させて作製される。InAs 薄膜の表面には種々の原子や凹凸が存在し、100 nm 程度の周期で網目のように張り巡らされた電子の経路を作る。この経路間の干渉により抵抗値の変化は増強される。図2はカンチレバーを曲げた時の抵抗値の変化を磁場の関数として測定したものである。磁場は電子の干渉の具合を調整するために用いられる。図より、磁場を適当な値に調整し、最も強く干渉の効果が得られる条件では、磁場を加えない場合に比較して一桁近い抵抗値の変化が得られている。この結果は、このような電子の干渉効果を用いることにより、カンチレバーの変位を高感度に検出できる可能性を示している。

[1] D. Ruger et al., Nature **430** (2004) 329.

[2] H. Yamaguchi et al, Phys. Rev. Lett. **93** (2004) 036603.

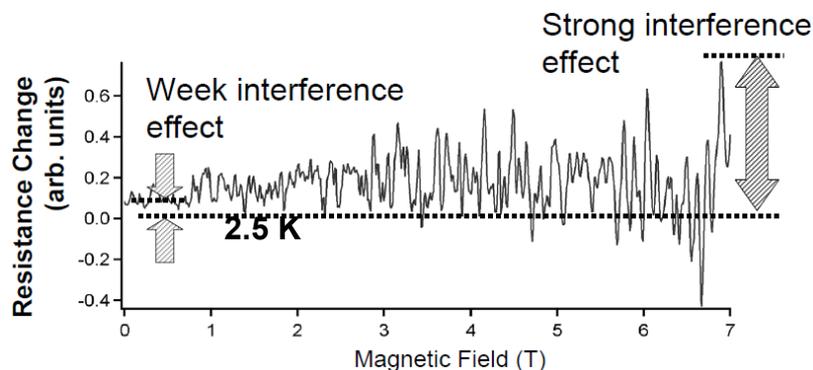
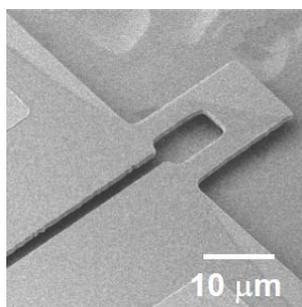


図1 作製した構造の SEM 写真

図2 カンチレバーを曲げた時の抵抗値変化

InAs/GaSb 電子-正孔系におけるランダウ準位の混成と量子ホール効果

鈴木恭一 高品圭 平山祥郎

量子電子物性研究部

InAs/GaSb ヘテロ接合を作製すると、InAs の伝導帯と GaSb の価電子帯のエネルギーが重複し、二次元電子と二次元正孔が近接した状態で共存し得る系が可能となる。この系では、電子と正孔のランダウレベル軌道占有率の差でホール抵抗が整数に量子化する、特有の量子ホール効果が知られていたが、その機構は解明されておらず、電子と正孔それぞれが量子ホール状態になり、それらが組み合わさることで起こる量子ホール効果とされていた。

我々は、図 1 に示したような伝導性基板をゲートとするバックゲート構造を採用し、GaSb 正孔層を基板側、InAs 電子層を表面側に配置することで、電子濃度を表面ポテンシャルにより固定し、正孔濃度のみがゲート変調可能な試料の作製に成功した。InAs 層と GaSb 層の間の AISb 層は、電子、正孔両方にポテンシャルバリアとして働き、厚さを変えることで電子-正孔波動関数の混成を制御できる。このような試料を用い詳細な磁気伝導特性を調べることで、InAs/GaSb 電子-正孔系の磁場中でのエネルギー構造および量子ホール効果の機構を以下のように明らかにした。波動関数の混成がないときには、磁場中で電子、正孔のエネルギーは図 2 の波線で示したようなランダウ準位に量子化されるが、波動関数の混成により、それらは実線で示したように混成し、電子と正孔の占有率が等しいエネルギー領域(電子、正孔濃度が等しい領域)がバンドギャップとなる新たなエネルギー構造が形成される。このとき、ネットキャリア(電子、正孔の濃度差)がこの混成したランダウ準位を満たすことで、二次元電子系と同様の量子ホール効果が起こる。

本研究で得られた波動関数の混成とエネルギー構造の基礎的な理解は、この系で期待されている、定常的な励起子ボーズ凝縮等の電子-正孔相関に起因する新たな物性の実現や、サブバンド間遷移と層間トンネリングを利用した中赤外光デバイスへの応用に大きく寄与すると考えられる。

[1] K. Suzuki et al., Phys. Rev. Lett. **93** (2004) 016803.

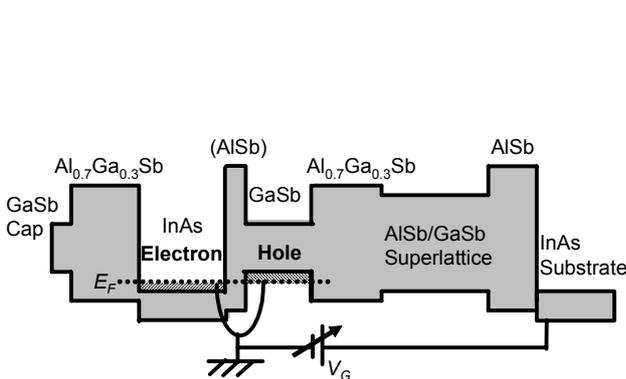


図1 試料のエネルギー構造

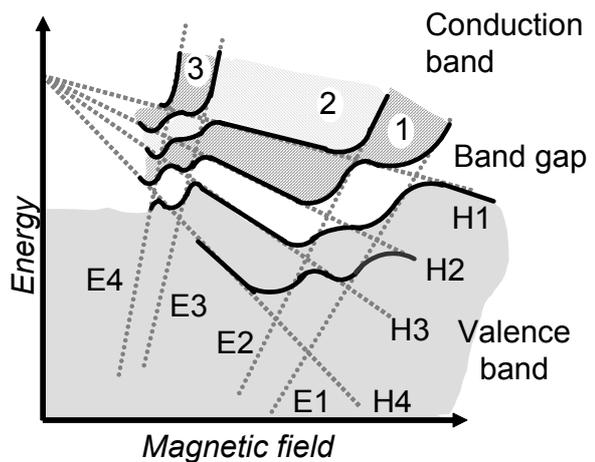


図2 ランダウ準位の混成

(破線 E、H は混成がないときの電子、正孔のランダウ準位。実線は混成したランダウ準位。)

SiO₂/Si/SiO₂ 量子井戸における谷分離の制御

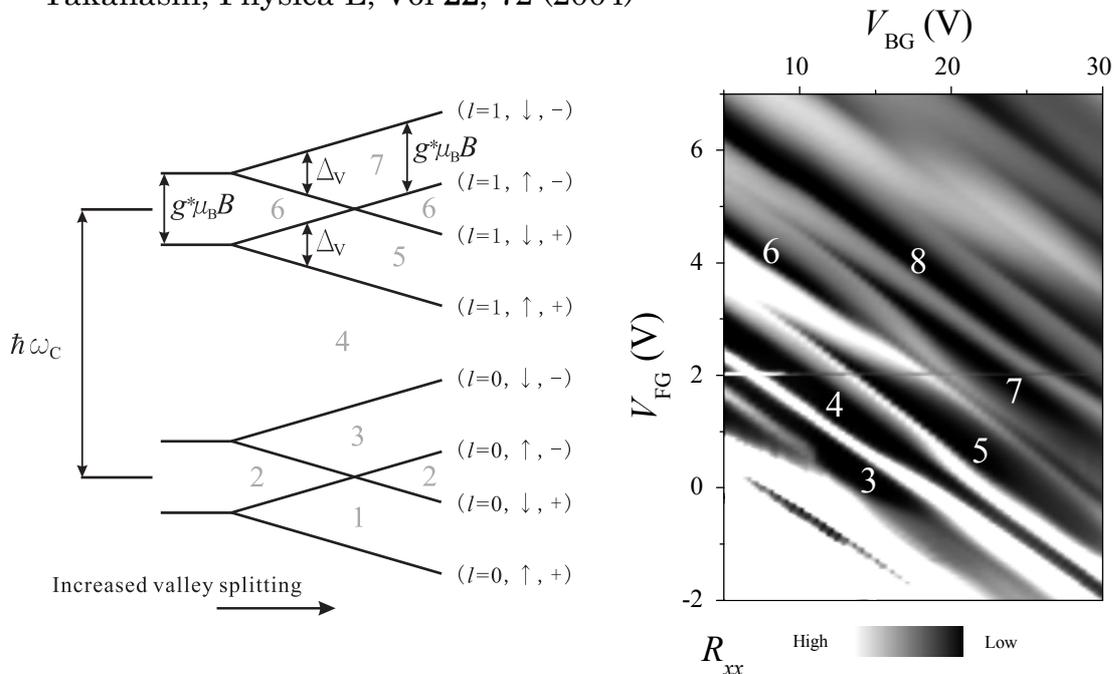
高品 圭 藤原 聡 平山 祥郎
量子電子物性研究部

一般的に用いられる MOSFET などシリコン(100)面をベースにした二次元構造では、伝導電子の分散関係において電子の入れる等価な「谷」が2つ存在し、電子は自由にどちらかの谷を占有する。シリコン薄膜構造では二次元電子系の面内運動、スピンの自由度に加えて、第三の自由度「谷自由度」の利用が期待できる。

本研究では、SIMOX と呼ばれる代表的な SiO₂/Si/SiO₂ 量子井戸構造において、谷状態の振る舞いが通常の MOSFET とは大きく異なることを明らかにした。具体的には、イオン注入で作成した裏側の埋め込み酸化膜界面に電子を近づけると、通常の熱酸化で形成した表側酸化膜界面に近づけたときよりはるかに大きな谷分離が出現した。

一般的な MOSFET では界面が1つだけなのに対して、量子井戸構造では上下に2つの界面がある。さらに酸化膜で隔てられたシリコン基板を裏側のゲート(バックゲート)として用いることもできる。2つのゲートをもつこの構造では、電子の波の位置をシリコン薄膜内で上下に移動して、量子状態を制御することができる。この結果は、バックゲートとトップゲートを操作すると谷分離が自由自在に制御できることを示している。[1、2]

- [1] T. Ouisse, D.K. Maude, S. Horiguchi, Y. Ono, Y. Takahashi, K. Murase and S. Christoleanu, *Physica B*, **249-251**, 731 (1998)
 [2] K. Takashina, A. Fujiwara, S. Horiguchi, Y. Takahashi, Y. Hirayama, *Phys. Rev. B*, **69** 161304(R), (2004), K. Takashina, Y. Hirayama, A. Fujiwara, S. Horiguchi, Y. Takahashi, *Physica E*, Vol **22**, 72 (2004)



左：谷分離を増やしたときのランダウ準位の様子。

右：強磁場 (11T) における縦抵抗。数字は量子ホール状態の占有率を表す。

単一電子トンネル電流の電子カウント

藤澤利正

量子電子物性研究部

「電流」は、多くの電子機器で用いられ、電子輸送現象における基本的な測定対象であるが、その検出感度は低く、高感度電流計においても毎秒 $10^5 \sim 10^6$ 個程度の電子の流れを必要とする。一方、ナノテク研究においては、100ナノメートル以下の微小な伝導領域(量子ドット)を用いることにより、クーロン閉塞によって電子を1個ずつ出し入れすることが可能になり、単一電子トランジスタなどへの応用や、量子ドット内の電子状態の物性研究が行われている。本研究は、量子ドットのクーロン閉塞現象を用いることによって、単一電子トンネル電流の電子の流れを実時間で観測することに成功したもので、電子を1個ずつカウントすることによって電流を測定する超高感度電流計への応用が期待される。

本研究では、2つの量子ドット(上・下)を静電的に結合させ、上側の量子ドットを流れる微弱な電流を、下側の量子ドットを流れる比較的大きな電流の変化によって検出する[1]。上側量子ドットに電子が入ると、下側量子ドットの電流が減少するため、単一電子電流のカウントが可能になる。実験で用いた素子(図1のSEM写真)は、AlGaAs/GaAs 変調ドーピング二次元電子ガスをエッチング(上・中央・下の暗い領域)とゲート電極(縦の明るい線)によって作製したもので、絶縁された2つの伝導チャネル(2本の帯)内に量子ドットを1個ずつ(白丸)形成した。上側のチャネルに電流を流し、その電子のトンネル事象を下側量子ドットの伝導度の変化として検出する。十分な周波数帯域を得るため、高周波信号(660MHz)を入射し、その透過信号をLC共振回路・低ノイズアンプ・ミキサーによって検波し、伝導度に比例した出力 V_{det} を測定する。

図2(a)は、上側量子ドットがクーロン閉塞(CB)にある場合のノイズ信号と、単一電子トンネル(SET)領域におけるカウント特性を示している。SET 領域で2値的な信号が観測され、より長い時間でのヒストグラム(図2(b))に2つのピーク構造が見られることから、電子が上側量子ドットに入った事象(白丸)と電極に出て行った事象(黒丸)を観測することができる。図の例では、10ms に約5個の電子が流れたことを示しており、0.08fA という微弱な電流をカウントできている。今後は、双方向電流をカウントできる素子と微小電流計としての応用を目指す。

[1] T. Fujisawa et al., Appl. Phys. Lett. 84, 2343 (2004).

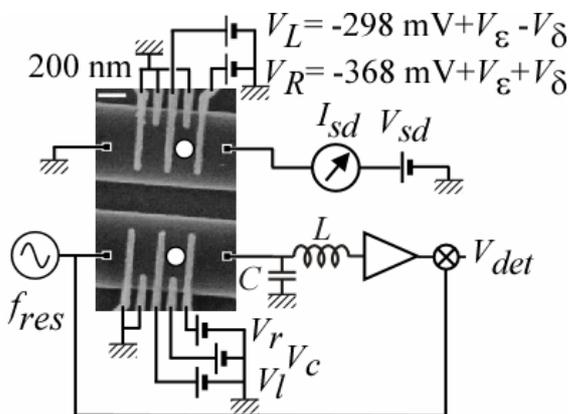


図1 単一電子カウントの測定系

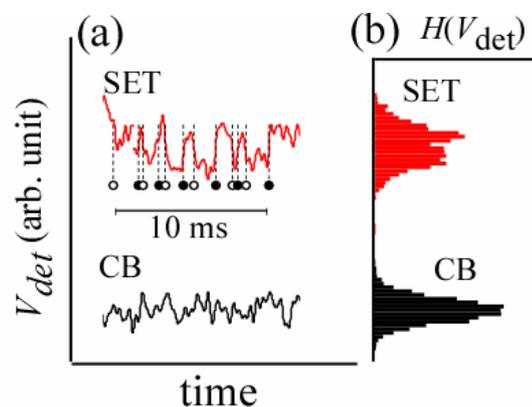


図2 実時間カウント(SET)と背景ノイズ(CB)

位相シフト法による量子ビットにおけるコヒーレンスの高速制御

田中弘隆 沓澤竜弥 齊藤志郎
量子電子物性研究部

ジョセフソン接合を持つ超伝導リングは、量子 2 準位系として振舞い、量子情報処理の基本素子である量子ビットとしても期待されている(図 1)。このリングの量子力学的なコヒーレンスを、位相をシフトさせた2つのマイクロ波パルスを用いることにより、制御・観測することに成功した。このリングは、電流が時計回り・反時計回りに回っているという2つの状態を持ち、それらは量子力学的な重ね合わせを示す。このリングの大きさは $\sim 10 \mu\text{m}$ と原子や分子などに比べると巨視的であるが、状態は量子 2 準位系として動作する。そしてこの2つの状態、 $|0\rangle$ と $|1\rangle$ はそれぞれ、相対位相を含む重ね合わせ状態になることが、実験で確認された。巨視的な物体でもあるにもかかわらず、量子的な重ね合わせを表す現象は、シュレディンガーの猫とも言われている。(口絵参照)

我々は、位相・パルス同時変調を用いた位相シフト法により、11.4GHzで持続時間が5nsの、2つの連続的に位相の異なるマイクロ波パルスを、超伝導リングに印加した。最初のパルスで、リングの波動関数は、 $|0\rangle$ と $|1\rangle$ の重ね合わせ状態になる(図2下部の球の赤道上の点)。このとき、超伝導のリングは、最初のパルスの位相に応じた重ね合わせ状態となる。続いて、2つめのパルスを与えると、相対的なパルスの位相によって、リングは、別の状態に遷移する。(図2の球の赤道、北極、南極に相当する点)

我々は、今回開発した位相シフト法により、高速、高効率な量子状態制御が可能であることを実験的に示した[1]。本方法により、量子ビットの代表的な演算である、アダマール変換も効率的に実現出来る。更に、2量子ビット以上の系においても、最適なパルスの組み合わせを選択することが可能になった。

[1] T. Kutsuzawa, et al., Appl. Phys. Lett. **87**, (2005): (accepted). ArXiv : cond-mat/0501592.

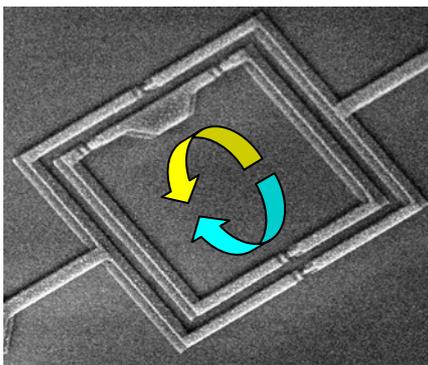


図1 超伝導量子ビットの電子顕微鏡像
内側の四角い輪が量子ビットで、その外側が、読み出し用の DC-SQUID (超伝導量子干渉計)である。

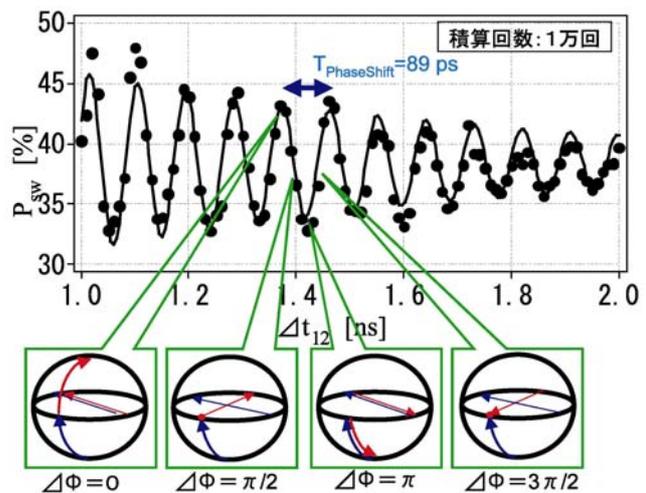


図2 2つのパルスを印加した場合の状態
最初のパルスの位相に対する 2 目目のパルスの位相によって、状態が振動している。パルスの相対位相を制御する事により xy 面内の量子ビットの回転軸を変化させる事ができるようになった。

中性原子を用いた量子演算

向井哲哉 Taro Eichler Alexander Kasper 清水富士夫*

量子電子物性研究部

*NTTリサーチプロフェッサー・電気通信大学レーザ新世代研究センタ

中性原子は、量子ゲートを実現するリソースの有力候補である。すなわち、1) 光で任意の状態が作れるため、1量子ビット演算が簡便かつ正確に出来ること、2) 原子間相互作用や補助的量子システムを使って、2量子ビット間の演算が出来ること、3) 環境からの影響が小さく、デコヒーレンス時間が長いこと、4) 原子は互いに全く同等で、バラツキ等は原理的に存在せず、量子ビット数を自然に拡張出来ること、5) ボーズ凝縮を用いることで、欠陥の少ない量子ビット配列が作れること。しかしながら、演算に必要な機能の実現が難しく、中性原子を量子情報へと応用する試みは遅々として進んでいない。

近年の原子冷却技術の発展により、原子を μK 以下にまで冷却し、1粒1粒の原子を2乃至3次元的に整列させることが出来るようになってきた。我々は、これまでに蓄積したボーズ凝縮に至る高効率原子冷却技術[1]と微細加工技術とを用い、冷却中性原子を用いた量子情報処理システムの実現を目指した研究を行っている。

第1の試みは、2次元磁場トラップ列による方法で、Z型の電流を微細加工技術でシリコンチップ表面にミニチュア化したものを用いる。1粒1粒の原子を、振動の基底状態に捕捉して原子間相互作用を用いた演算を行うには、原子をチップ表面に近づけることが必須であるが、これはポテンシャルの乱れをもたらし、デコヒーレンス時間短縮の原因となる。我々は超伝導を用いてこれを克服する可能性を探っている。

第2の試みは、3次元的な光定在波で原子を捕捉する光格子を用いる方法で、2種類の原子を、それぞれの光格子に並べ独立に動かして量子計算を行う方法(2重光格子量子計算機)を提案[2]し、その実現に取り組んでいる。この2重光格子量子計算機は、完全な数的拡張性を備えているため、1000量子ビットを越える実用的な量子計算機になることが期待されている。

[1] T. Mukai and M. Yamashita, Physical Review A **70** (2004) 013615

[2] F. Shimizu, Japanese Journal of Applied Physics **43** (2004) 8376

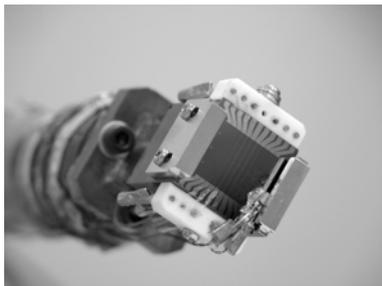


図1 アトムチップサンプル

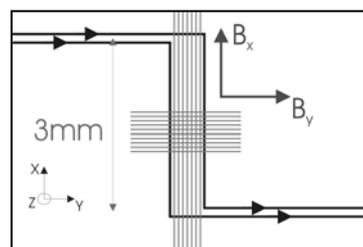


図2 チップ配線例



図3 2重光格子量子計算機

Rashba スピン軌道相互作用を用いたスピン干渉計

関根佳明¹ 古賀貴亮^{1,2,*} 新田淳作^{1,3,‡}

量子電子物性研究部¹ PRESTO 科学技術振興機構² CREST 科学技術振興機構³

半導体中の電子スピンの回転を電場により制御し、スピンの回転により電子波の干渉が変化することを実験的に確認した。スピンは電荷とともに電子のもつ制御可能な物理量であり、通常の半導体デバイスでは電子の電荷を制御するが、本研究では電子のスピンのみに注目している。スピンは一般的には磁場により制御してきたが、本研究では、電子の電荷を制御するために用いているゲート電圧(電場)によるスピン制御を確認し、スピンを用いた新たなデバイスの可能性を示した。

電子スピンを電場により制御する時に重要なのが Rashba スピン軌道相互作用であり、この効果により、電子スピンの回転が電場により制御できる。実験では、半導体を図 1(a)のように正方形ループ列に微細加工し、その正方形ループを進む電子波の干渉を調べる [1]。電子波は、右回りにも左回りにも進んで、元の位置に戻って来て干渉する。元の位置に戻って来た時の右回り、左回りの電子波におけるスピンの回転の差により、電子波の干渉は変化する。この干渉の変化は電気伝導率(σ_{xx})の変化として観測できる。この電気伝導率(σ_{xx})の磁場(B)依存性は振動し、この振動を Al'tshuler-Aronov-Spivak (AAS) 振動という。図 1(b)に試料の模式図を示しているが、試料はゲート電極に覆われており、AAS 振動の振幅のゲート電圧(V_g)依存性を調べることができ、電子スピンの回転が電場により変化することが分かる。図 2 のようにゲート電圧(V_g)が増大すると、零磁場($B=0$)での AAS 振動の振幅が負から正へ変化しており、電子のスピン干渉が起きていることを示している。このように本研究の成果は、電場により電子スピンの回転を制御し、スピンの回転による電子波の干渉が変化したことを実験的に確かめた、世界的にも他に例のない研究成果である。

[1] T. Koga, J. Nitta, M. van Veenhuizen, *Phy. Rev. B* **70**, 161302(R) (2004).

現在の所属 北海道大学大学院情報科学研究科* 東北大学大学院工学研究科‡

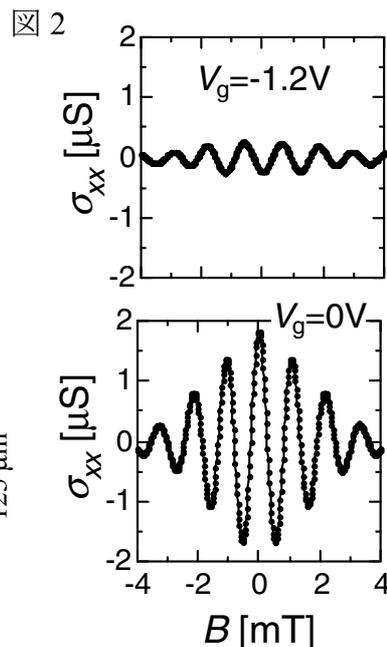
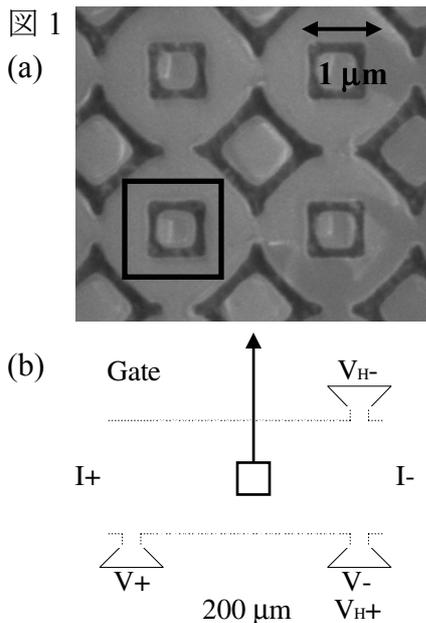


図1(a)スピン干渉計の電子顕微鏡写真。白い部分が電子の通り道で、典型的な道が図中の四角形である。(b)スピン干渉計全体の模式図。

図2スピン干渉計のAAS振動のゲート電圧(V_g)依存性。零磁場($B=0$)に注目すると、ゲート電圧(V_g)の増大により、電気伝導率(σ_{xx})は負から正に変化しており、AAS振動の様子が変化している。

RKKY 相互作用に基づく電子スピン制御

田村浩之
量子電子物性研究部

我々は、量子ドットが半導体伝導電子系と結合したときにドット中の電子スピン間に磁氣的相互作用が働く性質を利用して、ドット中の電子スピンの状態を電氣的に制御する方法を理論的に提唱した[1]。電子が閉じ込められているドットを、電流を流せる半導体に結合すると、伝導する電子が量子ドットの中に入りし、ドット中に閉じ込められている電子と相互作用する。このときドット中のスピンと伝導電子のスピンとの間には、スピンの向きを反対に揃えようとする反強磁性的な磁氣相互作用が働く。このままでは強磁性的なスピンを発生させることは出来ないが、2つのドットを伝導電子系と結合させると、ドット間の距離がフェルミ波長よりも十分小さければ伝導電子はスピンの向きを減衰させることなく2つのドット間を行き来することが出来るので、ドット中の電子スピンは同じ向きに揃えられて、実効的にドット中の局在スピン間に強磁性的な相互作用が働くことになる(図参照)。これが Ruderman-Kittel-Kasuya-Yosida (RKKY) 相互作用と呼ばれるものの原理である。伝導電子スピンの減衰の仕方は伝導電子濃度に依存するので、半導体中の伝導電子濃度をゲート電極により増減させることによって、2つのドット間のスピンの状態を強磁性にも反強磁性にも制御することが出来るのが特徴である。

磁性不純物を含む金属中でこのような磁氣的相互作用が働くことは知られていたが、本研究のアイデアは、磁性を持たない半導体中のナノ構造を用いて人工的に磁性不純物を作り出し、電子濃度が可変であるという半導体材料の長所を生かすことによって、電子スピンの状態を電氣的に制御するというものである。これは金属では出せない、半導体材料ならではの特徴である。

この RKKY 相互作用を利用すると、ドットを多数並べてスピンをすべて同じ向きに揃えれば、半導体材料だけで強磁性を発現させることも可能であることが予想されている。既にこのようなドット中スピンの RKKY 相互作用を観測しようと試みる報告[2]がなされており、我々の理論予測を実証することに役立っている。

[1] H. Tamura, K. Shiraishi, and H. Takayanagi, Japan Journal of Applied Physics **43** (2004) L691-693.

[2] N. J. Craig, J. M. Taylor, E. A. Lester, C. M. Marcus, M. P. Hanson, and A. C. Gossard, Science **304** (2004) 565-567.

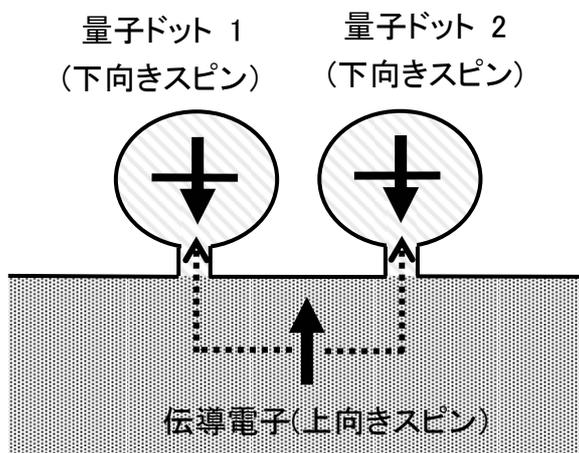


図 伝導電子系に結合した2つの量子ドット。上向きスピンを持つ伝導電子が異なるドットに出入りするにより、ドット内の電子スピンの向きが揃う。

分散シフトファイバ中の自然放出四光波混合を用いた 通信波長帯偏波もつれ光子対の発生

武居 弘樹
量子光物性研究部

1.5 μm 帯における量子もつれ光子対の発生は、光ファイバ網を用いた量子情報通信実現のための重要な技術である。我々は、ループ状に構成した分散シフトファイバ(DSF)中の自然放出四光波混合(SFWM)過程を用いて、1.5 μm 帯偏波もつれ光子対を発生することに成功した[1]。

提案手法の構成を図 1 に示す。ポンプ光パルスの偏波状態を偏光子により 45° の直線偏波に設定し、偏波ビームスプリッタ(PBS)及びDSFにより構成されたループに入力する。ポンプ光は PBS により横偏波(H)及び縦偏波(V)成分に分離され、それぞれループを左回り、右回りに伝搬し、DSF 中の SFWM 過程を介してシグナル-アイトラ光子対 $|H\rangle_s |H\rangle_i$ 、 $|V\rangle_s |V\rangle_i$ を発生する。PBS の出力ポートにおいてこれらの状態が重ね合わされ、偏波もつれ状態 $(|H\rangle_s |H\rangle_i + |V\rangle_s |V\rangle_i) / \sqrt{2}$ を得る。

DSF の零分散波長 1551 nm 付近に中心波長を持つパルス幅 20 ps のポンプパルスをループに入力した。ループ出力光は、Fiber Bragg grating (FBG)によりポンプ光成分を抑圧した後、Arrayed waveguide grating (AWG)及び光バンドパスフィルタ(BPF)により、シグナル光子とアイトラ光子に分離した。シグナル及びアイトラ光子は、分離後の経路において同じ偏波変化を被るよう偏波調整し、偏光子を通過させた後、光子カウンタに入力して同時計数率を測定した。アイトラ側の偏光子を固定し、シグナル側偏光子の角度を変化させて同時計数率を測定したところ、明瞭度 90 %以上の二光子干渉波形を得た(図 2)。また、ベル不等式のテストを行い、標準偏差の 7 倍の大きさで不等式の破れを観測した。さらに、20 km の光ファイバ伝送の後にも二光子間に量子力学的相関が保持されていることを確認した。

本成果は、光ファイバ網を用いた高度な量子通信網実現のための重要な 1 歩である。

[1] H. Takesue and K. Inoue, Phys. Rev. A, 70, 031802(R) (2004).

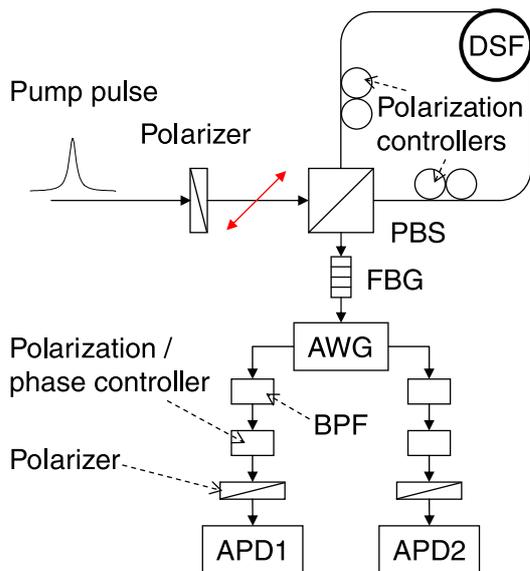


図1 提案手法の構成

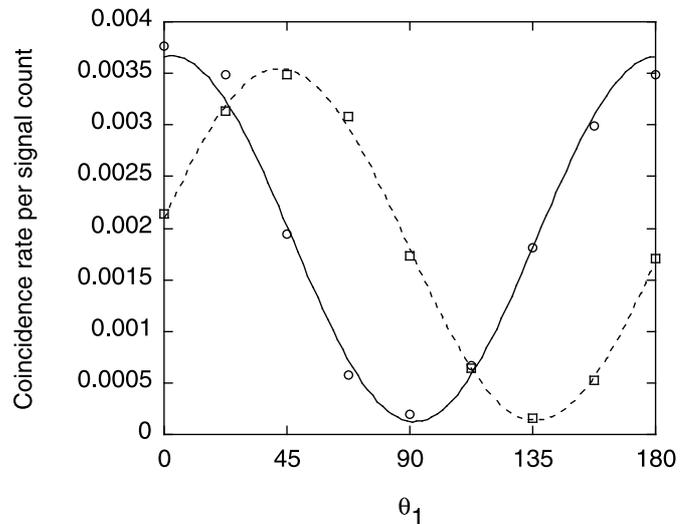


図2 二光子干渉波形

差動位相シフト量子鍵配送実験

本庄 利守 井上 恭
量子光物性研究部

量子力学の原理に基づいて絶対安全な通信を提供する量子鍵配送の研究が進められている。我々は、差動位相シフト量子鍵配送(DPS-QKD)と呼ばれる新しい量子鍵配送方式を提案した。この方式は、ファイバー伝送に適しているなどの特徴を有する。本研究では、平面光導波回路を用いて DPS-QKD の実現性を実験により示した。

図 1 に実験構成を示す。光源には、外部共振器レーザーを使用した(波長 1551nm)。レーザーからの CW 光を強度変調器で繰り返し 1GHz、幅 125ps のパルスにし、各パルスを位相変調器でランダムに 0 もしくは π の位相変調をした。光強度を 1 パルス当たり 0.1 光子にして、20km のファイバー(減衰 4.46dB)を伝送させた後、Mach-Zehnder 干渉計を通過させた。干渉計の光路差は 20cm であり、1Gbit/s の 1 ビットの遅延(1ns)に相当する。干渉計には、PLC(planar lightwave circuit)光導波路を用いており、透過ロス、2.64dB である。入力偏波によらず消光比 0.27%から 0.46%であり偏波依存性も小さい。干渉計の出力を、5MHz でゲート電圧をかけた APD で受信した。光子伝送の後に、Alice は Bob から通知される光子検出時刻からシフト鍵を生成する。ここで APD による光子検出にはジッターがあるため、到着時刻にゆらぎが発生する。これによるエラーを低減するために時間幅を設けて、時間幅内に到着した光子のみをシフト鍵生成に用いた。シフト鍵生成レートの低下を伴うが、QBER を低減できることが分かる。図 2 にシフト鍵生成レートとエラーレート(QBER)を示す。時間幅 0.6ns の場合にシフト鍵生成レート 3076bit/s、QBER 5.0%が得られた。エラー訂正とプライバシー増幅を行って秘密鍵を生成するのに十分な結果が得られ、差動位相シフト量子鍵配送の実現可能性を示した。

[1] K. Inoue, E. Waks and Y. Yamamoto, Phys. Rev. A **67**, (2003) 022317.

[2] T. Honjo, K. Inoue and H. Takahashi, Opt. Lett. **29**, (2004) 2797.

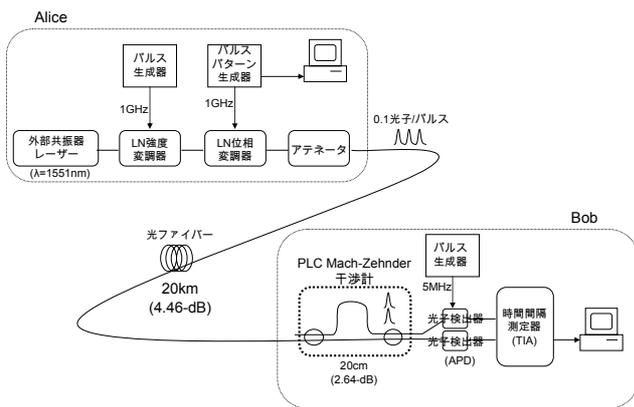


図 1 実験構成

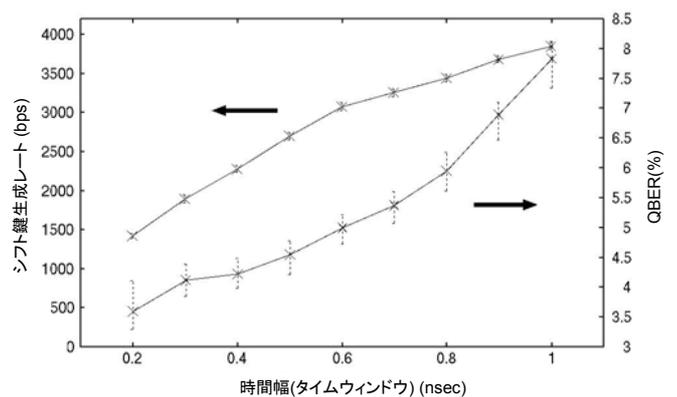


図 2 実験結果

時間分解 EXAFS

小栗克弥 岡野泰彬 西川正 中野秀俊
量子光物性研究部

近年の高強度フェムト秒レーザー光を用いた様々な超短パルス X 線光源技術の進展により、従来、静的な状態を主な計測対象としてきた X 線回折や X 線吸収といった X 線計測手法をピコ秒からサブピコ秒スケールの高速現象に適用する時間分解 X 線計測へ向けた取り組みが活発化している[1]。我々は、X 線吸収分光法の中でも原子間距離や配位数等の吸収原子近傍の構造情報を与える広域 X 線吸収微細構造(EXAFS)に着目し、フェムト秒レーザープラズマ軟 X 線を利用した時間分解 X 線吸収分光システムの構築を行ってきた。今回我々は、Si のレーザー励起熔融状態における L 吸収端 EXAFS の時間分解計測を行い、その過渡的構造変化の観測に成功した[2]。

実験は、ポンプ・プローブ型配置で行い、パルス幅 100 fs の Ti:Al₂O₃ レーザパルスを 2 つに分岐させ、一方のレーザーパルスで Si 薄膜(厚さ 120 nm)サンプルを照射し、他方のレーザーパルスにより発生させたパルス幅約 7 ps のレーザープラズマ軟 X 線パルスでプローブする。図 1 に 90 - 280 eV における Si 薄膜の吸光度スペクトルを示す。100 eV 付近に L_{II,III} 吸収端、150 eV 付近に L_I 吸収端が見られ、L_I 吸収端から高エネルギー側には EXAFS 振動が明瞭に観察される。図 2 に各遅延時間におけるポンプ光照射前後の Si の L 吸収端の EXAFS スペクトルを示す。X 線パルスがレーザーパルスよりも早くサンプルを通過する場合、両者に大きな違いは見られず、Si の原子間距離は $r_0 = 2.32 \text{ \AA}$ と求められた(a)。2 つのパルスがほぼ重なり合った場合は、EXAFS スペクトルの振幅が減少すると共に振動周期のわずかな短縮が観察され、Si 原子間距離は $r_0 = 2.42 \text{ \AA}$ に変化した(b)。レーザーパルス到着後 1670 ps では、EXAFS スペクトルにおける振動構造がほぼ消失した(c)。これらの EXAFS スペクトルの変化は、レーザー光照射直後に Si が高速融解し、Si 原子間距離が拡大していることを明瞭に示している。また、時間が経過すると局所的原子配列の秩序がほぼ無くなった状態を示すことから、アブレーションが起こっていることを示唆している。今回の結果は、時間分解 EXAFS 計測法の確立に向けた第一歩である。

[1] T. Lee et al., Chem. Phys. **299** (2004) 233.

[2] K. Oguri et al., Appl. Phys. Lett. **87** (2005) 011503.

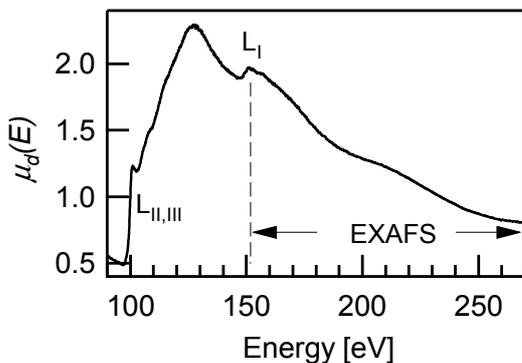


図 1. Si 薄膜の吸光度スペクトル.

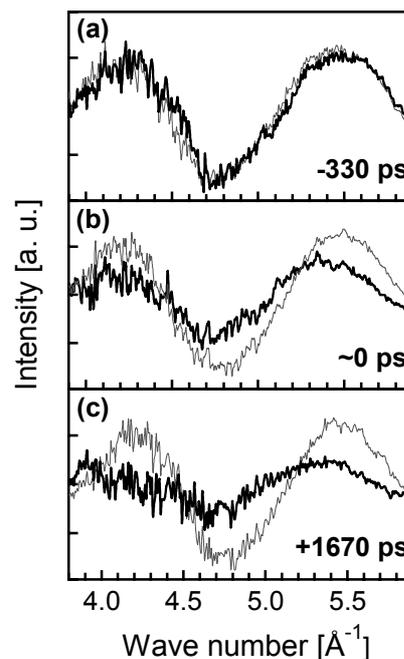


図 2. レーザ光照射前(灰)後(黒)の EXAFS スペクトルの時間発展.

量子ドットにおける、励起子・励起子分子コヒーレント効果

後藤秀樹 鎌田英彦
量子光物性研究部

半導体量子ドットは、原子状の状態密度を持ち、かつ原子より大きい光との相互作用効果がある。また、光照射によって形成される励起子と励起子分子は、量子ドット内に閉じ込められるため、安定に存在することができる。これらの特徴から、量子ドットは、量子情報処理分野において情報の基本要素である量子ビットを実現させ、かつ量子計算時でのゲート操作をも提供することが期待され、注目を集めている。量子ドット中の励起子と励起子分子は、コヒーレントに相互作用する可能性があり、これは、2 量子ビットの量子相関の源となるとともに、量子干渉効果を用いた光機能への発展も期待できる。

我々は、単一 InGaAs 量子ドット中にレーザを照射して、励起子と励起子分子を生成し、両方の光吸収スペクトルを測定した。励起子と励起子分子の間にコヒーレント効果が存在すれば、吸収スペクトルに反映されることが予測される。実験方法は顕微フオルミネッセンス (PL) 法である。図1は、2 種類の励起強度での励起子 (X) と励起子分子 (XX) の吸収スペクトルの測定結果である。励起強度が弱い場合は、両方ともピーク状のスペクトルとなっている。しかし、励起強度が強い場合は、両方のスペクトル形状は大きく異なる。励起子分子は、線幅が広がったピーク状のスペクトルであるが、励起子は窪み構造をもった特異なスペクトルとなっている。このスペクトルの原因は図2で説明される。実験では、励起子と励起子分子から構成される 3 準位系が形成されている。この 3 準位系は、励起強度によって変化し、励起強度が強い場合は、励起子と励起子分子との間で激しくラビ振動を起こし、エネルギー状態が分裂する。これが窪み構造の原因となる。この効果は、励起子-励起子分子間のコヒーレント効果そのものであり、実験結果はコヒーレント効果の検証となることを意味する。[1,2]

本結果は、励起子と励起子分子を 2 量子ビットとする量子ゲートの実現とともに、光デバイス機能につながる量子干渉効果の観測のための重要なステップとなる。

[1] H.Gotoh, et al., Appl. Phys. Lett. **85** (2004) 3480.

[2] H.Gotoh, et al., Phys. Rev. **B** in press

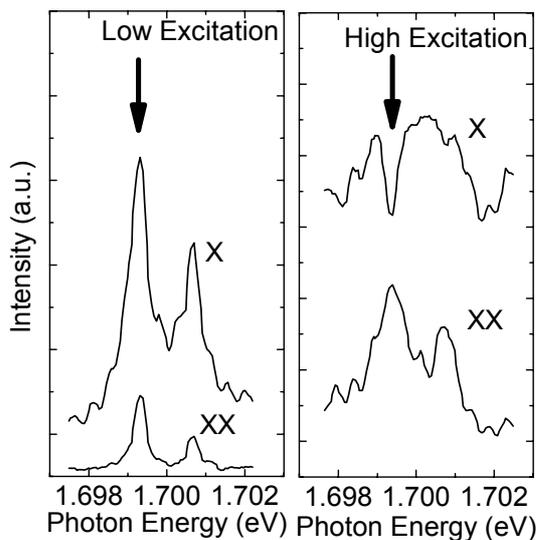


図1 励起子・励起子分子光吸収特性

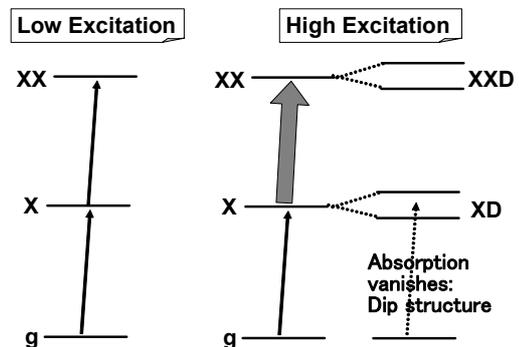


図2 エネルギーダイアグラム

InGaN共振器ポラリトン

¹ 俵毅彦 ¹ 後藤秀樹 ² 赤坂哲也 ² 牧本俊樹

¹ 量子光物性研究部 ² 機能物質科学研究部

共振器ポラリトンは半導体微小光共振器中での強い励起子-光子結合状態が作り出す新しい量子状態である。近年特にこの共振器ポラリトン密度が十分小さいときに現れるボーズ粒子性に興味が集まっている。この性質を利用するとポラリトンレーザと呼ばれるような閾値の無い(反転分布を必要としない)レーザ等、全く新しい光デバイスへの応用が可能となる。これらのポラリトンデバイスを実現し、かつ室温動作させるためには大きな励起子振動子強度と束縛エネルギーを有する材料を選択する必要がある。

窒化物半導体は大きな励起子束縛エネルギーを有し、室温でも安定して励起子が存在する。さらにこの系では励起子の有効質量が大きく、振動子強度も他の化合物半導体系に比べ非常に大きいことが予想される。これらのことから窒化物半導体微小共振器では、非常に強い励起子-光子結合が室温付近でも発現することが期待され、また実際のポラリトンデバイスの実現にも有望である。

今回我々は、選択ドライエッチングとウエハボンディング技術を用いてInGaN/AlGaN量子井戸と誘電体多層膜反射鏡(DBR)からなる微小共振器構造の作製方法を開発した(図1)。作製された微小共振器は室温での面発光レーザ動作を実現しており(図2)、非常に高品質な構造が得られていることを示している[1]。図3は室温で測定された反射スペクトルの共振器 detuning エネルギー(δ :励起子遷移と共振器モードのエネルギー差)依存性を示している。これより δ に依存した2つの dip の形成・消滅が観測された。これらの特性は共振器ポラリトンの形成を表しており、このとき励起子-光子結合の強さを表すラビ分裂量は 6 meVであった。この結果からInGaN励起子の振動子強度は従来のGaAs系励起子に比べ10倍程度大きいことが見積もられ、共振器ポラリトンの物性解明やデバイス応用に非常に有効な材料系であることが示された。

[1] T. Tawara, et al., Appl. Phys. Lett. **83** (2003) 830.

[2] T. Tawara, et al., Phys. Rev. Lett. **92** (2004) 256402.

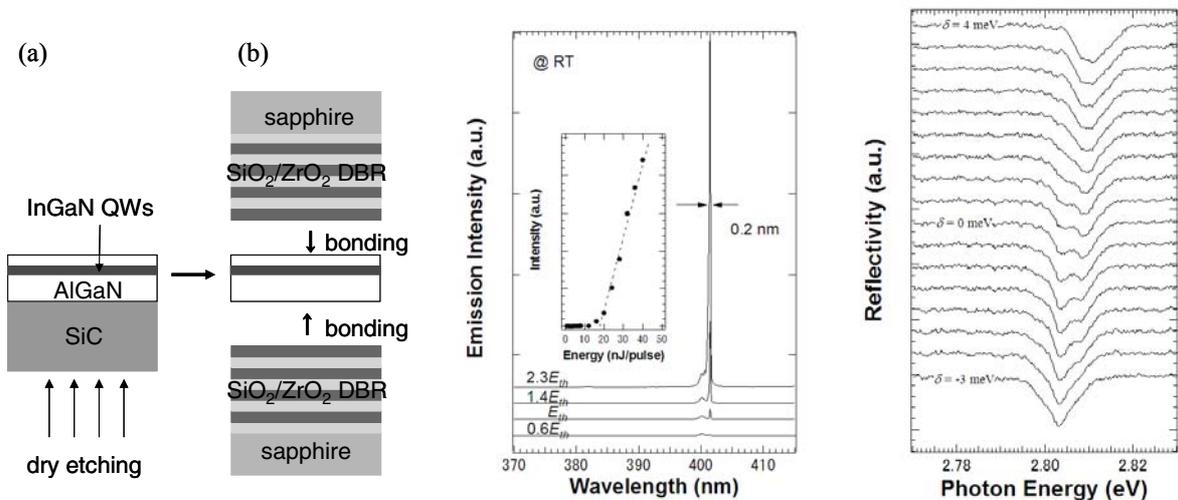


図1 微小共振器構造の作製

図2 レーザ発振(光励起)

図3 ポラリトンの形成

低損失フォトニック結晶スラブ導波路の作製と物理

倉持栄一 Stephen Hughes 納富雅也
量子光物性研究部

近年、高い Q 値を持つナノ光共振器と低損失ナノ光導波路を実現できる 2 次元フォトニック結晶スラブ(PCS)が脚光を浴びている[1]。理想結晶においては線欠陥導波路における導波モードをフォトニックバンドギャップ内かつライトラインの下側に制御すれば導波路が無損失になることが分かっているが、現在のリソグラフィ技術で不可避なナノメートルオーダーの加工揺らぎが招く面外散乱により重大な損失増大が発生していると考えられている。

本研究では加工揺らぎの低減により低損失化できることを示すために、1nm の位置精度と 100kV 加速による電子線リソグラフィで Si-PCS を加工し、その際近接効果の抑制に努めた。電子顕微鏡により高精度加工を実証し(図 1)、加工揺らぎが 3nm 程度(RMS)であることを確認した。カットバック法により導波路の損失スペクトルを求めたところ、最低損失がフォトニック結晶導波路として最高記録である 5dB/cm であることを確認した(図 2)[2]。

また本研究では PCS 導波路の損失の物理の解明にも取り組んだ。PCS の電磁場に対するグリーン関数法を定式化し[3]、それを導波モードにおける揺らぎによる散乱問題に適用した。損失が単純に始状態・終状態における揺らぎと状態密度の積で表せることを導いた。加工揺らぎ 3nm として計算した損失スペクトルは測定結果と驚くべき一致を示した(図 2)[2]。このような詳細な損失計算は本研究で初めて実現された。さらに実験と計算により、PCS 導波路の散乱損失機構を詳細に解析した。その結果、PCS 導波路では、後方散乱、モード間散乱など複数の散乱過程がバンド構造の影響を強く受けるため、損失スペクトルを決める機構が通常の導波路とは大きく異なることが初めて明らかになった。

以上述べたように、今回我々は低損失導波路の主な損失要因が加工揺らぎであることを明らかにし、また加工揺らぎによる散乱損失のその物理機構を理論、実験の両面から明らかにした。

- [1] M. Notomi et al., Optics Express **12**, 1551 (2004).
- [2] E. Kuramochi et al., LEOS2004, WF6 (2004).
- [3] S. Hughes et al., Phys. Rev. Lett. **94**, 033903 (2005).

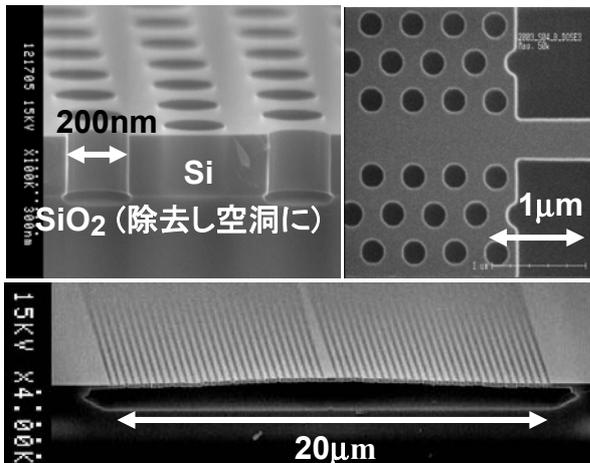


図1 PCS の電子顕微鏡像

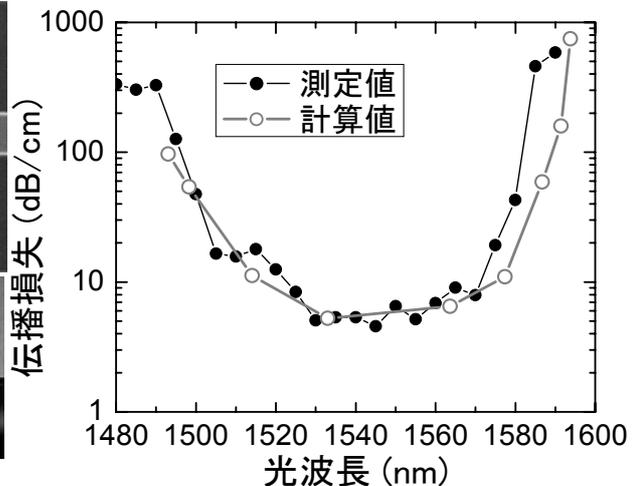


図2 PCS 導波路の損失スペクトル

フォトニック結晶微小共振器による全光スイッチ

田辺孝純 新家昭彦 納富雅也
量子光物性研究部

誘電率の周期構造であるフォトニック結晶を用いると、強い光閉じ込め効果をもつ (High-Q)微小光共振器を作成できる[1]。High-Q 微小共振器中では極めて高い光子密度が得られるため光・物質相互作用に基づく効率的な光・光変調の実現が期待される。シリコンを基盤とする微小光回路は既存の電子デバイスとの親和性とも相まって大きな可能性を秘めている。しかし、その実現に必要とされるアクティブ全光素子には、超低エネルギーで動作すること、高速動作すること、高スイッチングコントラストであること、微小サイズであること、面内で連結可能であること、等が求められるがこれらの要件を同時に満たすことは難しく、そのようなシリコンデバイスはこれまで存在しなかった。そこで我々は、低動作エネルギーで高速な全光スイッチングをシリコン基板上のフォトニック結晶 High-Q 微小共振器を用いて実現した[図 1(上)]。

本デバイスは線形動作条件下では図 1(下)のような共鳴透過スペクトルを持つが、近赤外光のエネルギーが多光子吸収を介して熱に変換されると、シリコンの屈折率が変調されるため微小共振器の中心透過波長がシフトする。この現象を用いると数 pJ (pico=10⁻¹²)の、超低エネルギーで動作する全光スイッチが実現できる[2]。更なる低エネルギー化及び高速化を求めるためには、キャリアプラズマ効果による屈折率変調を用いればよい。図 2 に示すようにキャリアプラズマ効果を用いた光スイッチングは数 10 fJ (femto=10⁻¹⁵)の実効エネルギーで動作し速度は 100 ps を切るものであった[3]。この図の例では、Mode C の波長の制御光パルスを用いて、Mode S からわずかに短波長側にずらした波長の連続光を変調している。シリコン全光高速アクティブデバイスにおいて、これまでに報告されたことの無い微小な動作エネルギー及び素子サイズが実現できたのは High-Q 及び導波路との効率的な結合の双方が我々のフォトニック結晶微小共振器において同時に達成できたからである[2]。

今回の微小光スイッチデバイスの実現は、シリコンフォトニクス of 新たな展望、すなわちシリコンフォトニック結晶を基盤とする高速・低パワー・高密度な光論理回路の応用への可能性を開く。

[1] M. Notomi et al., Opt. Express **12** (2004) 1551.

[2] M. Notomi et al., Opt. Express **13** (2005) 2678.

[3] T. Tanabe et al., CLEO/QELS2005, QPDA5, Baltimore(2005).

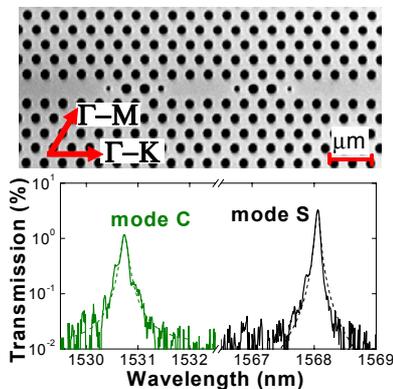


図1 (上)シリコンフォトニック結晶共振器の電子顕微鏡像 (下)線形透過スペクトル

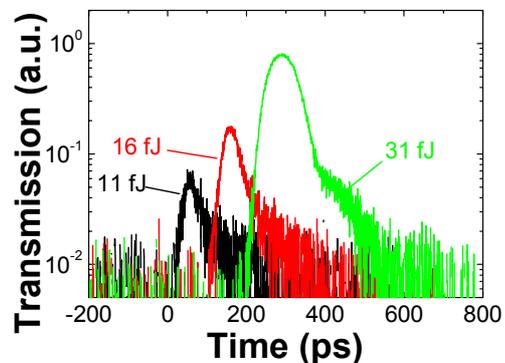


図2 観測された信号光のスイッチング動作の制御光エネルギー依存性

ナノ電極リソグラフィ

横尾 篤
量子光物性研究部

近年、電子デバイスや光デバイスで要求されるサブミクロンオーダーの微細構造を提供する手段として、ナノプリント・ナノインプリント技術や、電気化学反応を使った走査探針型 (SPM) リソグラフィが注目を集めている。このような「接触型」リソグラフィは、従来のプロジェクション型のパタン作製技術に比べて、簡便に微細パタンを提供できるという特徴をもつ一方、ナノプリント・ナノインプリント技術ではパタン変更などの要求に対応できるフレキシビリティが小さく、SPM リソグラフィでは十分なスループットが得られない。我々は、ナノプリント・ナノインプリント技術のもつスループットの高さ、電気化学反応のもつフレキシビリティを合わせ持つパタン作製手法の実現を目指している。

ナノ電極リソグラフィでは、図1に示されるように、導電部と絶縁部からなるパタンを表面に有するナノ電極を用い、ナノ電極上のパタンを電気化学反応により対象に転写する[1]。ナノ電極を対象に接触させて電圧を印加し、ナノ電極の導電部と対象物表面が接触した部分に電流が流れることにより局所的に電気化学反応が生じる。Si や GaAs などの半導体基板の場合、大気中での陽極酸化反応により表面に生成した酸化物によりナノ電極上のパタンを一括転写することができる[1, 2]。図2に、Si 基板上に転写されたドットパタン(ピッチ 300nm)を示す。形成された酸化物パタンは、直接、エッチングマスクとして利用することができるため、レジストを用いない微細構造作製が可能となる。また、ナノインプリント技術のように凹凸形状を物理的に転写する方法ではないため、対象表面の大きな変形は伴わず、ナノ電極リソグラフィを繰り返してより複雑なパタンを形成することが可能となる。図3にライン・アンド・スペース(L/S)パタン(ピッチ 500nm)の転写を2回繰り返す、多重パターニングにより作製された格子状パタンを示す[3]。

このように、ナノ電極リソグラフィは、エッチングマスクの直接形成や、パタン追加のフレキシビリティをもつパターニング手法である。また、基板表面に化学的性質の違いからなるパタンを直接形成できる手法であり、選択成長用のテンプレートなどへの応用も考えられる。今後、より一般的なパターニング手法とするために、基板上金属薄膜やレジストへのパタン転写を検討していく。

[1] A. Yokoo, Jpn., J. Appl., Phys., 42, L92 (2003)

[2] A. Yokoo, S. Sasaki, Jpn., J. Appl., Phys., 44, 1119 (2005)

[3] A. Yokoo, J. Vac. Sci. Technol. B, 21, 2966 (2003)

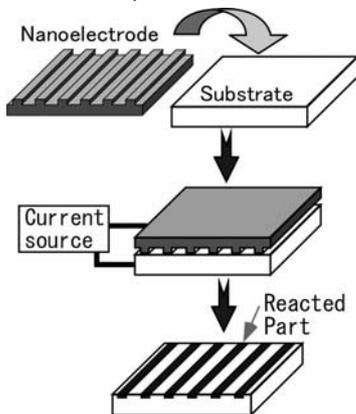


図1 ナノ電極リソグラフィ

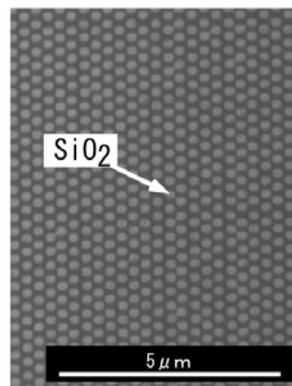


図2 Si 上のドットパタン

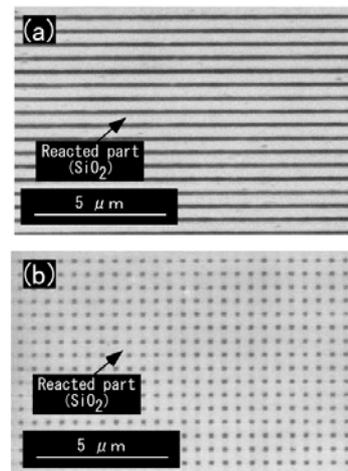


図3 L/S 多重パターニング
(a) 1回目終了後
(b) 2回目終了後

II. 資料

第2回 NTT 物性科学基礎研究所スクール

物性物理分野の若手研究者の育成と海外におけるビジビリティ向上を目的として、2004年10月8～14日の日程で山梨県富士吉田市の富士研修所とNTT厚木研究開発センターにて、第2回 NTT 物性科学基礎研究所スクール(NTT-BRL スクール)を「量子ナノ構造における輸送現象」のテーマで開催しました。

NTTと関係が深い国内外の著名教授を講師にお迎えして、L. Glazman 教授(米 ミネソタ大学)による「量子ドットと量子細線の理論」、樽茶清悟教授(東京大学)による「量子ナノ構造の電子物性」、R. Fazio 教授(伊 スクオーラ・ノルマーレ・スペリオレ)による「超伝導ナノ回路における量子ダイナミクス(理論)」、C. Schöenenberger 教授(スイス バーゼル大学)による「カーボンナノチューブの電子物性(実験)」、安藤恒也教授(東京工業大学)による「カーボンナノチューブの物理(理論)」の各講義が17ヶ国32名の参加者(主に大学院博士課程学生)に対して行われました。

講義終了後には、参加学生によるポスター形式での研究紹介が行われました。ポスターセッションには学生、講師に加えて、NTT 物性科学基礎研究所の所長、各研究部長、各グループリーダーも参加しました。参加学生が大学での研究内容を詳しく説明するとともに、学生どうし、学生と講師、NTT 研究者の間でかなり突っ込んだディスカッションが夜遅くまで行われ、有意義な議論を行うことができました。

また、初日には、NTT 物性科学基礎研究所所長が、研究所の概要やミッション、研究体制などを紹介しました。最終日には、機能物質科学研究部、量子電子物性研究部、量子光物性研究部の研究活動について、各研究部長が詳しく紹介し、また参加学生に研究の現場を見てもらう事を目的として、ラボツアーを実施しました。クリーンルーム、低温物性研究棟、光物性評価装置、超伝導薄膜結晶成長装置等、研究設備や装置を見学してもらうとともに、それらを用いた研究成果の紹介を行いました。

参加学生のアンケート結果からは、「非常に充実かつ密度の濃い講義内容であった」、「NTT 物性科学基礎研究所の研究活動を深く知ることができ、また素晴らしい研究環境であった」、「将来ぜひNTT物性科学基礎研究所において研究してみたい」等の感想をいただき、NTT 物性科学基礎研究所の高い研究アクティビティをアピールでき、出席者から好評を博するとともに、ビジビリティ向上に大きく貢献することができました。今年も NTT-BRL スクールを継続して開催し、海外の若手研究者へのさらなるビジビリティ向上に向けて、精力的な取り組みを続けていきます。



サイエンスプラザ 2005

2005年1月24日(月)にNTT厚木研究開発センタにおいて、「サイエンスプラザ 2005」を開催しました。本サイエンスプラザは、「ナノサイエンスが拓く量子の世界」と題して、最新の研究成果について、NTT内外の方々に紹介するとともに、ディスカッションを通して様々なご意見をいただく事を目的として実施しました。

今回のサイエンスプラザでは、機能物質科学・量子電子物性・量子光物性各分野の研究成果の概要を午前中の講演会で説明しました。午後には、外部から講師を迎えて特別講演会を開催しました。国際的な理論物理学者であるとともに、ノーベル賞委員会物理学委員としても活躍中の Mats Jonson 先生(スウェーデン Chalmers & Goteborg 大学教授)に、「The Nobel Prize in Physics, past, present and future」と題して、ノーベル物理学賞の歴史、最近の受賞、そして今後の展望についての講演をしていただきました。

ポスター展示では、最新の研究成果 30 件を紹介し、数多くの有意義なコメントをいただき、また活発なディスカッションとなりました。ビデオ上映では、代表的なトピックスや主催した国際シンポジウムの様子を映像で紹介しました。研究設備を見学していただく「ラボツアー」を3件行い、低温実験棟をはじめ研究の現場を直接見ていただくとともに、そこでやっている研究の概要を説明しました。全ての講演・展示・公開を終えた後、夕刻からは社内食堂にて「懇親会」を行い、ご来場いただいた方々と親交を深めながら有意義なディスカッションの場となりました。

大学等研究機関・一般企業・NTTグループの方々など、200名近い方々に参加いただきました。おかげさまで持ちまして、盛況のうちに終了する事が出来ました。ご来場いただきました方々には、心より感謝いたします。



特別講演会



ポスター展示



ラボツアー:カーボンナノチューブ

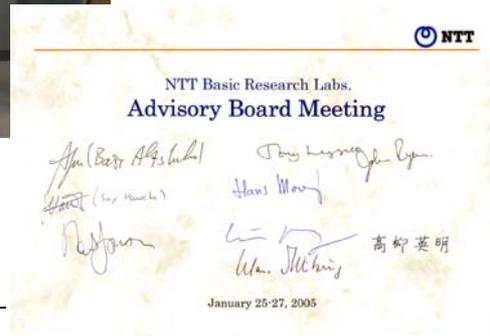


ラボツアー:低温物性実験

第3回アドバイザリボード

2005年1月25-27日の3日間、物性科学基礎研究所の外部評価委員会である「アドバイザリボード」を開催しました。外部評価の導入により、客観的かつ時代に即応した適切な研究所の運営を目指して2001年に開始されたアドバイザリボードも、今回で3回目を迎えました。今回は、第1回、第2回のボードでお世話になったボードメンバの先生方のうち約半数を、新しいメンバに交代して頂きました。新しいメンバからの意見も取り入れることにより、研究内容と研究マネジメントについて有益な提言を数多く頂きました。研究のレベルについては、概ね高い評価を頂き、今後も質の高い研究を世界に向け発信していく重要性を再認識しました。それと同時に、世界のCOEとしての地位を維持していくために、ヒューマンリソース確保、技術の継承、内部交流・外部交流の強化など、いくつかの改善点をご指摘いただきました。頂いた提言を、今後の研究所運営に役立てていきます。

3回目となる今回のボードの運営の特色として、若手研究者とボードメンバが触れ合う機会を増やすこととしました。若手研究者との意見交換会を開催したほか、ラボツアーの説明員をできるだけ若手の研究者としました。ボードの先生方にも、物性科学基礎研究所の若い力を見ることができたと大変好評を博しました。また、研究所の所員も世界の著名な先生方との交流を深めることができました。次回開催は、1年半後を予定しております。



ボードメンバ	所属	専門分野
Prof. Altshuler	Princeton U	凝縮系物理
Prof. Devoret	Yale U	メゾスコピック物理
Prof. Haroche	Ecole Normale	量子光学
Prof. Jonson	Chalmers UT	物性理論
Prof. Leggett	U Illinois	低温物性理論
Prof. Mooij	Delft UT	超伝導量子物理
Prof. Ploog	Paul-Drude-Inst.	半導体結晶成長
Prof. Ryan	U Oxford	ナノバイオ
Prof. von Klitzing	Max-Planck-Inst.	半導体量子電子物性

「ナノエレクトロニクス・ナノ構造・およびキャリア関連」国際会議

2005年1月31日から2月2日までの3日間、NTT厚木研究開発センター講堂において、「ナノエレクトロニクス・ナノ構造・およびキャリア関連」国際シンポジウムが、NTT物性科学基礎研究所と科学技術振興機構(JST)戦略的創造研究推進事業発展研究(SORST)の共催で開催されました。

非常に微細な「ナノスケール」の構造と、その中での電子の微視的な振る舞いは、これまでナノテクノロジーの発展とともに重要な研究対象となってきました。特に昨今では、電子および核スピン、磁性、機械的・弾性的性質などの新しい自由度が加わり、構造の持つ機能性が増え、研究対象は大きく拡大しています。さらに、量子計算や量子暗号など、量子情報処理分野の研究が大きく進展し、ナノ構造とそのエレクトロニクスは、それらを実現できる舞台として極めて重要な役割を担っています。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(量子電子物性研究部長)と山口浩司(ナノ加工研究グループ特別研究員)により、ナノエレクトロニクス・ナノ構造・キャリア関連の3つをキーワードに開催されたもので、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。

31日は、高柳英明・NTT物性科学基礎研究所長の歓迎・開会の挨拶のあと、Prof. J.E. Mooij (Delft University of Technology)の超伝導体を用いた量子ビットに関する招待講演により会議は始まりました。この日は超伝導量子ビット、走査ナノプローブ、メソスコピック・スピン関連現象に関して11件の口頭講演があり、さらに28件のポスター発表が行われました。1日は、マイクロ・ナノメカニクス、量子情報処理、メソスコピック・スピン関連現象に関する12件の口頭講演が、さらに2日には核スピン関連現象と新しいヘテロ構造に関する9件の口頭講演、および28件のポスター講演が行われ、Prof. K. Ploog (Paul Drude Institute) によるスピン注入材料に関する招待講演により幕を閉じました。

参加者は、149名[NTT関係者67名を含む]を数え、非常に幅広い分野から多くの著名な研究者が参加し、ナノ構造およびそのエレクトロニクスとキャリア関連に関する質の高い講演、発表、および活発な議論が行われました。



社外表彰受賞者一覧

応用物理学会 講演奨励賞	齊藤 志郎	「超伝導磁束量子ビットにおける 多光子吸収過程」	2004.5.17
第33回IEEE多値論理 国際シンポジウム 優秀論文賞	猪川 洋 高橋 庸夫	「Experimental and Simulation Studies of Single-Electron-Transistor-Based Multiple-Valued Logic」	2004.5.21
未踏科学技術協会 超伝導科学技術賞	内藤 方夫	「高温超伝導体分子線エピタキシ ー成長技術の確立」	2004.6.21
応用物理学会 JJAP 論文賞	V. Seleznev 山口 浩司 平山 祥郎 V. Y. Prinz	「Single-Turn GaAs/InAs Nanotubes Fabricated Using the Supercritical CO ₂ Drying Technique」	2004.9.1
応用物理学会 JJAP 論文賞	西川 正 小栗 克弥 鈴木 哲 渡辺 義夫 中野 秀俊	「Enhanced Water-Window X-Ray Pulse Generation from Femtosecond-Laser-Produced Plasma with a Carbon Nanotube Target」	2004.9.1
IOP フェロー	平山 祥郎	「物理分野における地位と編集委 員としての IOP への貢献」	2004.9.1

エリクソン・ヤングサイ エンティスト・アワード	遊佐 剛	「量子ドットを用いた光検出器に 関する先駆的研究」	2004.11.22
日本物理学会 JPSJ 注目論文	川村 稔 矢口 宏 菊川 直樹 前野 悦輝 高柳 英明	「 Tunneling Properties at the Interface between Superconducting Sr_2RuO_4 and a Ru Microinclusion」	2005.2
日本学術振興会賞	藤澤 利正	「半導体量子ドットにおける量子 制御の研究」	2005.3.22

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	林 稔晶 藤澤 利正	「全電気制御半導体量子ビットの実現」	2004.12.8
先端技術総合研究所 所長表彰 報道特別賞	山崎 謙治 生津 英夫	「ナノ地球儀」	2004.12.8
物性科学基礎研究所 所長表彰 業績賞	山口 浩司	「量子ナノメカニクス領域の開拓」	2005.3.15
物性科学基礎研究所 所長表彰 業績賞	田中 弘隆 齊藤 志郎 上田 正仁 中ノ 勇人 仙場 浩一	「超伝導磁束量子ビットのコヒーレント制御」	2005.3.15
物性科学基礎研究所 所長表彰 業績賞	本庄 利守 武居 弘樹 井上 恭 都倉 康弘	「光ファイバを用いた量子鍵配送と量子もつれ光子対発生」	2005.3.15
物性科学基礎研究所 所長表彰 論文賞	高品 圭	“Valley splitting control in SiO ₂ /Si/SiO ₂ quantum wells in the quantum Hall regime” Phys. Rev. B Vol. 69, 161304(R) (2004)	2005.3.15
物性科学基礎研究所 所長表彰 論文賞	赤坂 哲也	“An InGaN-based horizontal cavity surface emitting laser diode” Appl. Phys. Lett. Vol. 84, 4104 (2004)	2005.3.15

物性科学基礎研究所 所長表彰 特別賞	生津 英夫	特許出願施策への貢献	2005.3.15
フォトニクス研究所所 長表彰 実用化業績賞	横山 春喜 廣木 正伸 杉山 弘樹 熊倉 一英 渡邊 則之	「サファイアテンプレート基板上の 高品質 GaN/AlGaN HEMT 系エピ 成長技術の開発」	2005.3.16

報道一覧

発表月日	新聞名 「見出し」
I. 共通	
4 月 26 日	中国新聞 量子コンピューター 通信革命起こす処理力
4 月 28 日	讀賣新聞 大学と企業のかげ橋に
5 月 3 日	The Japan TIMES Japan leading quest for first quantum computer
7 月 15 日	中央日報 交大興日 NTT 人才研究交流
7 月 15 日	台湾英文新聞 Student exchange
7 月 15 日	自由時報 交通大學
7 月 15 日	英文中国郵報 National Chiao Tung varsity signs agreement with NTT
9 月 17 日	科学新聞 平成 17 年度 文部科学省科学研究費補助金分配分上位 300 機関
9 月 24 日	日本経済新聞 ナノテク実用化秒読み 「極微」夢の技術 新産業創出に期待
1 月 31 日	通信興業新聞 NTT 物性研 量子研究成果を公開 超伝導の新技術に衆目
II. 機能物質科学研究部	
10 月 7 日	朝日新聞 NTT、英オックスフォード大と バイオナノで共同研究

- 10月7日 読賣新聞
NTT 欧州共同でナノ・バイオ研究 オックスフォード大と
- 10月7日 日本経済新聞
NTT 欧州法人ナノテクを研究 オックスフォード大と
- 1月24日 日経産業新聞
窒化アルミニウム電界放出を確認
- 1月28日 日経産業新聞
青色レーザー 発光効率2倍 NTT 省電力・長寿命化に寄与
- 2月3日 日経産業新聞
電子線で容易に切断 NTT LSI 向け配線技術

Ⅲ. 量子電子物性研究部

- 4月26日 日経産業新聞
NTT 1個の記憶容量5倍 「単電子」の新型素子開発
- 5月27日 日経産業新聞
21世紀の気鋭 半導体で量子計算機 常識の逆、集積しやすく
- 7月12日 日経産業新聞
4探針のナノプローブ構築
- 7月12日 日経産業新聞
顕微鏡 フラッシュメモリーの微細技術開発
- 9月3日 科学新聞
NTT 電子の波で力を測る 半導体微小力検出素子作製
- 9月9日 日経産業新聞
量子コンピューター 素子と伝送路接合 NEC・NTT など実現へ一歩
- 9月9日 日刊工業新聞
磁束量子ビットと調和振動子間 固体デバイスで操作 NECとNTT・蘭大
- 9月10日 日経産業新聞
量子コンピューター 要素技術を考案 NTT

- 9 月 10 日 日刊工業新聞
超電導電束量子ビット 多光子制御に成功 NTT と JST 量子計算機へ前進
- 9 月 24 日 科学新聞
量子コンピューター実現へ成果 NTT 超伝導磁束量子ビット マイクロ波で多光子制御実現
- 9 月 29 日 読賣新聞
量子コンピューター実現のカギ “瞬間秒移” 解明進む
- 12 月 27 日 日経産業新聞
小型化・微細分野で成果 2004 年 技術トレンド調査
- 12 月 27 日 日本経済新聞
技術トレンド本社調査
- 2 月 4 日 日本経済新聞
新型メモリー 電子1個で動作 NTT、記憶容量 5 倍に
- 2 月 21 日 日刊工業新聞
第 1 回日本学術振興会賞 青木氏 (筑波大教授) ら 25 人
- 3 月 4 日 科学新聞
全分野の優れた若手研究者を表彰 第一回日本学術振興会賞受賞者

IV. 量子光物性研究部

- 7 月 21 日 読賣新聞
究極の「量子暗号」実用化
- 7 月 22 日 日経産業新聞
創造性・効率性が両輪
- 10 月 22 日 日刊工業新聞
「量子暗号通信」実用段階へ
- 1 月 31 日 日経産業新聞
NTT 波形を精密制御 光通信、超高速化に威力

報道(抜粋) (2004年度)

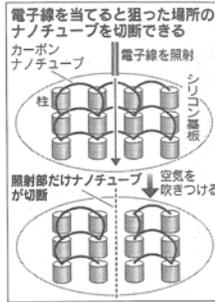
I. 機能物質科学研究部

電子線で容易に切断

NTT LSI向け配線技術

ナノチューブ

NTTは代表的なナノテクノロジー(超微細技術)素材のカーボンナノチューブ(筒状炭素分子)を大規模集積回路(LSI)の微細配線に使う基礎技術を開発した。ナノチューブは強度が大きいため切断が難しかったが、電子線を照射すると容易に切断できることを突き止めた。現在の銅配線の限界とされる線幅数ナノメートル(1ナノメートルは10億分の1メートル)を表現でき、将来の半導体製造の基礎技術となる。



ナノチューブは太さが数ナノメートルと極めて細く、銅よりも電気をよく通す。このため半導体素子同士をつなぐ配線向けに注目されているが、強度が鋼線以上に大きいので、配線後に余った部分を切断できないなど、加工性が低いことが難点だった。新技術は半導体の微細加工に使う電子線描画装置を使い、約100ボルトの電圧で発生させた電子線を照射してナノチューブ配線を切断する。従来は切断には10万ボルトの高電圧が必要と考えられていたが、照射した後に空気と反応させると、低電圧の電子線でも簡単に切断できることを突き止めた。実験ではシリコン基板上に等間隔に並べた柱同士を化学的な方法でナノチューブで結び、電子線を照射。空気を吹き付けると照射部だけが切れ

た。電気的特性を調べ、研究チームは断片をつなげた部分で切断できたことを確かめた。ナノチューブを微小な配線として使う技術としては、原子間力顕微鏡と呼ばれる「原子間力顕微鏡」と呼ぶ装置を使ってナノチューブの断片を移動する技術が考案されている。研究チームは断片をつなげた部分で切断できたことは、長い配線から切断する方が加工が容易になるとも期待されている。今後、加工技術を使って実際にLSIを試作し、動作を確かめる研究に取り組み。現在の銅配線は線幅四ナノメートルの次の次世代半導体で配線するよりは、長い配線から切断できたことは、長い配線から切断する方が加工が容易になるとも期待されている。ナノチューブには微小な分子が自律的に並ぶ「自己組織化」と呼ぶ性質もあり、将来の超高密度半導体の配線技術として有望視されている。

NTT 英オックスフォード大と バイオナノで共同研究

【ロンドン】小森敦(NTTヨーロッパ(本社・ロンドン)は6月、傘下のNTTヨーロッパ基礎研究所と英オックスフォード大学が、バイオナノ(10億分の1)サイズのバイオサイエンスの共同研究(生命科学)の共同研究を始めること発表した。約2億2千万円をかけた、当面の研究期間は3年だ

が、継続する可能性もある。研究テーマは、つねられた時に「痛い」という信号がどう脳に伝わるのか、といった神経のメカニズムなど。予防、再生医療に役立つが、NTTでは遠隔治療に応用できないか、と期待している。オックスフォード大のジョン・ライアン教授は「わくわくする研究だ。基礎的な機構解明や機能、特性を探求したい」としている。オックスフォード大はバイオ関連、NTT側はナノテクノロジーの技術に強く、双方の得意分野を生かす。

朝日新聞 2004年10月7日

窒化アルミの電界放出を確認

NTT物性科学基礎研究所は、窒化アルミニウム半導体を用いて電界による高効率の電子放出に成功した。電界放出型ディスプレイ(FED)の基本構造も作製し、安定した実用レベルの輝度の発光を観測した。実用レベルの輝度が得られたことから、窒化アルミを用いた実用的FEDへ向けて一歩前進したといえそうだ。研究グループは、セ氏1100度で高品質の半導体を結晶成長。残留不純物の混入を抑制し、世界に先駆けてN型伝導制御技術を実現した。

日経産業新聞 2005年2月4日

日経産業新聞 2005年1月24日

II. 量子電子物性研究部

多光子制御に成功

JNTと量子計算機へ前進

【本報記者 藤沢 利正】NTT物性科学基礎研究所の藤沢利正氏らが、超伝導量子ビットを用いた多光子制御に成功した。これは、量子計算機の実現に向けた重要な一歩と見られる。藤沢氏は、この成果について「量子計算機の実現に向けた重要な一歩と見られる」とコメントしている。

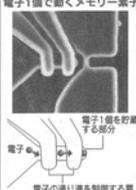
超伝導量子ビットを用いた多光子制御は、量子計算機の実現に向けた重要な一歩と見られる。藤沢氏は、この成果について「量子計算機の実現に向けた重要な一歩と見られる」とコメントしている。

日刊工業新聞 2004年9月10日

電子1個で動作

NTT、記憶容量5倍に

【本報記者 藤沢 利正】NTT物性科学基礎研究所の藤沢利正氏らが、電子1個で動作する新型メモリーを開発した。これは、記憶容量を5倍に向上させた。藤沢氏は、この成果について「記憶容量を5倍に向上させた」とコメントしている。



電子1個で動作する新型メモリーは、記憶容量を5倍に向上させた。藤沢氏は、この成果について「記憶容量を5倍に向上させた」とコメントしている。

日本経済新聞 2005年2月4日

先端技術

21世紀の

半導体で量子計算機



藤沢 利正氏
NTT物性科学基礎研究所
研究員

常識の逆、集積しやすく

【本報記者 藤沢 利正】NTT物性科学基礎研究所の藤沢利正氏らが、半導体で量子計算機を開発した。これは、常識の逆、集積しやすく、量子計算機の実現に向けた重要な一歩と見られる。藤沢氏は、この成果について「常識の逆、集積しやすく」とコメントしている。

半導体で量子計算機を開発した。これは、常識の逆、集積しやすく、量子計算機の実現に向けた重要な一歩と見られる。藤沢氏は、この成果について「常識の逆、集積しやすく」とコメントしている。

日経産業新聞 2004年5月27日

基幹部品の研究加速

1000%の素子必要

【本報記者 藤沢 利正】NTT物性科学基礎研究所の藤沢利正氏らが、基幹部品の研究を加速させた。これは、1000%の素子が必要と見られる。藤沢氏は、この成果について「1000%の素子が必要」とコメントしている。

基幹部品の研究を加速させた。これは、1000%の素子が必要と見られる。藤沢氏は、この成果について「1000%の素子が必要」とコメントしている。

先端技術

21世紀の

半導体で量子計算機



藤沢 利正氏
NTT物性科学基礎研究所
研究員

常識の逆、集積しやすく

【本報記者 藤沢 利正】NTT物性科学基礎研究所の藤沢利正氏らが、半導体で量子計算機を開発した。これは、常識の逆、集積しやすく、量子計算機の実現に向けた重要な一歩と見られる。藤沢氏は、この成果について「常識の逆、集積しやすく」とコメントしている。

半導体で量子計算機を開発した。これは、常識の逆、集積しやすく、量子計算機の実現に向けた重要な一歩と見られる。藤沢氏は、この成果について「常識の逆、集積しやすく」とコメントしている。

日経産業新聞 2004年5月27日

基幹部品の研究加速

1000%の素子必要

【本報記者 藤沢 利正】NTT物性科学基礎研究所の藤沢利正氏らが、基幹部品の研究を加速させた。これは、1000%の素子が必要と見られる。藤沢氏は、この成果について「1000%の素子が必要」とコメントしている。

基幹部品の研究を加速させた。これは、1000%の素子が必要と見られる。藤沢氏は、この成果について「1000%の素子が必要」とコメントしている。

III. 量子光物性研究部

量子暗号通信 実用段階へ

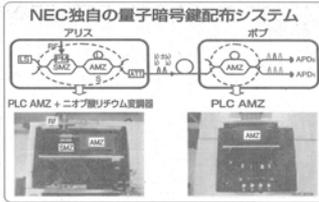
NEC 伝送距離150km、毎秒100ビット実現

平面導波路回路を活用 雑音少なく、長距離化に利点

【本報記者 山本 隆】 NECは、量子暗号通信の実用化に向けた研究開発を進めている。伝送距離150km、毎秒100ビットを実現する量子暗号通信システムを開発した。このシステムは、平面導波路回路を活用し、雑音を少なく、長距離化に利点がある。また、安全性にも優れている。NECは、このシステムを、量子暗号通信の実用化に向けた研究開発を進めている。伝送距離150km、毎秒100ビットを実現する量子暗号通信システムを開発した。このシステムは、平面導波路回路を活用し、雑音を少なく、長距離化に利点がある。また、安全性にも優れている。NECは、このシステムを、量子暗号通信の実用化に向けた研究開発を進めている。

NEC独自の量子暗号鍵配布システムは、アリスとボブの2人が、量子暗号鍵を共有する。アリスは、量子暗号鍵を生成し、ボブに送信する。ボブは、量子暗号鍵を受信し、アリスと共有する。このシステムは、平面導波路回路を活用し、雑音を少なく、長距離化に利点がある。また、安全性にも優れている。NECは、このシステムを、量子暗号通信の実用化に向けた研究開発を進めている。

NECは、このシステムを、量子暗号通信の実用化に向けた研究開発を進めている。伝送距離150km、毎秒100ビットを実現する量子暗号通信システムを開発した。このシステムは、平面導波路回路を活用し、雑音を少なく、長距離化に利点がある。また、安全性にも優れている。NECは、このシステムを、量子暗号通信の実用化に向けた研究開発を進めている。



日刊工業新聞 2004年10月22日



完全密閉型、閉じ込められた光子が「フォトニック結晶」の構造を形成し、光の伝播を制御する。この技術は、量子暗号通信の実用化に向けた研究開発を進めている。

技術経営改革で 世界の先端へ

創造性・効率性が両輪

NECは、技術経営改革を進め、世界の先端へ進出している。創造性と効率性が両輪となり、新しい技術を開発し、製品化する。NECは、この改革を進め、世界の先端へ進出している。創造性と効率性が両輪となり、新しい技術を開発し、製品化する。NECは、この改革を進め、世界の先端へ進出している。

NECは、技術経営改革を進め、世界の先端へ進出している。創造性と効率性が両輪となり、新しい技術を開発し、製品化する。NECは、この改革を進め、世界の先端へ進出している。創造性と効率性が両輪となり、新しい技術を開発し、製品化する。NECは、この改革を進め、世界の先端へ進出している。



技術立社 特集

NECは、技術立社を推進し、技術経営改革を進めている。技術立社とは、技術を開発し、製品化する。NECは、この改革を進め、世界の先端へ進出している。創造性と効率性が両輪となり、新しい技術を開発し、製品化する。NECは、この改革を進め、世界の先端へ進出している。

NECは、技術立社を推進し、技術経営改革を進めている。技術立社とは、技術を開発し、製品化する。NECは、この改革を進め、世界の先端へ進出している。創造性と効率性が両輪となり、新しい技術を開発し、製品化する。NECは、この改革を進め、世界の先端へ進出している。

日経産業新聞 2004年7月22日

来訪者による講演一覧 (2004 年度)

I. 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 17 日	西川 敦 氏	東京大学 「MBE 法による GaInNAs 量子ドットの作製と発光特性」
6 月 1 日	Prof. I.S.T. Tsong	Arizona State University, USA 「Nucleation and growth of epitaxial ZrB ₂ (0001) on Si(111) for III-nitride applications」
6 月 11 日	Dr. Jingyue Liu	Monsanto Company, USA 「Electron Microscopy of Atoms and Clusters」
6 月 18 日	中村 淳 博士	電気通信大学 「外部静電場印加第一原理計算による超薄膜の誘電特性評価」
7 月 6 日	Dr. Sonia A. Contera	University of Oxford, UK 「Pulling an alpha-helix peptide out of a lipid bilayer with an AFM」
11 月 15 日	Prof. Daoben Zhu	Chinese Academy of Sciences, China 「Recent Advance on Molecular Materials in the Organic Solid Laboratory」
11 月 15 日	Prof. Wenping Hu	Chinese Academy of Sciences, China 「Self Assembly Devices」
11 月 22 日	Prof. Esko I. Kauppinen	Helsinki University of Technology, Finland 「Nanoparticle Technology Center for New Materials (CNM)」
2 月 17 日	Prof. Clive Bramham	University of Bergen, Norway 「Molecular mechanisms of synaptic plasticity in vivo: BDNF as a trigger for synaptic consolidation」
2 月 22 日	Prof. Mervyn Miles	University of Bristol, UK 「Real-time imaging of materials using fast scan AFM」
2 月 22 日	Prof. Daniel Robert	University of Bristol, UK 「Mechano receptor involvement in nanoscale sensing capability of insect antennae」
3 月 10 日	Prof. Kenshi Hayashi	Kyushu University 「Multi-purpose electrochemical sensor detecting molecular adsorption」

Ⅱ. 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 7 日	Prof. T. Claeson	Chalmers University of Technology, Sweden 「Transport in single molecules: influence of distinctly different charged states of the conjugate molecule and of the image charge in the electrodes」
4 月 15 日	Prof. Yosuke Kayanuma	Osaka Prefecture University 「Nonadiabatic Electron Manipulation in a Quantum-Dots Array and Some Related Topics」
4 月 28 日	Prof. Fujio Shimizu	University of Electro-Communications 「How to pursue atomic quantum computer」
5 月 19 日	Prof. Kees Harmans	Delft University of Technology, Netherlands 「Quantum dynamics of persistent current Qubits」
5 月 25 日	Dr. Gunther Lientschnig	Delft University of Technology, Netherlands 「Electrical Transport through Molecules」
7 月 16 日	Dr. Cary Y. Yang	Santa Clara University, USA 「Carbon Nanotubes as On-chip Interconnects」
9 月 7 日	Dr. Evgeni Ilichev	Jena University, Germany 「Radio-frequency method for investigation of quantum properties of superconducting structures」
9 月 10 日	Dr. P. V. Santos	Paul Drude Institute, Germany 「Controlling photons, electrons, and spins in GaAs using acoustic waves」
9 月 14 日	Prof. R. A. Hogg	University of Sheffield, UK 「Low Threshold 1.31um QD laser Diodes on GaAs」
9 月 16 日	小坂 英男 助教授	東北大学 「光子偏光キュービットから電子スピンキュービットへの量子メディア変換実現への挑戦」
10 月 6 日	佐々木 進 助教授	新潟大学 「核磁気共鳴の新しい展開---半導体中核スピンのコヒーレンス」
10 月 6 日	Prof. Rul dof Gross	Bavarian Academy of Sciences, Germany 「Research activity in Solid state based quantum information, within the Cooperative Research

		Center 6317]
10月14日	Dr. Ch. vom Hagen	Universität Heidelberg, Germany 「Towards a Degenerate Fermi Gas on an Atom Chip」
11月2日	Prof. A.D. Zaikin	Universität Karlsruhe, Germany 「Interaction-induced low temperature decoherence of electrons in disordered conductors: Theory and Experiment」
11月18日	Prof. Eugene S. Polzik	Copenhagen University, Denmark 「Quantum memory for light: can complementary variables be remembered?」
11月19日	Prof. Gerhald Abstreiter	Walter Schottky Institute, Germany 「Optoelectronic control of single charge, spin and photon in semiconductor quantum dots and its possible impact on future quantum information technology」
12月1日	Prof. V. Y Prinz	Russian Academy of Science, Russia 「Precise semiconductor nanotubes, nanofibers and nanocorrugated quantum systems」
12月2日	Prof. Pawel Hawrylak	National Research Council of Canada, Canada 「Designing quantum systems for nano-spintronics, nano-photonics and quantum information processing」
12月3日	Prof. A. J. Fisher	University College London, UK 「Decoherence and quantum information processing in condensed matter」
12月16日	Prof. Miles.P.Blencowe	Dartmouth College, USA 「Mesoscopic Mechanics」
12月16日	Prof. K. H. Ploog	Paul Drude Institute, Germany 「Nitrides seem to be good for everything」
12月22日	Dr. Vladimir Bubanja	Industrial Research, New Zealand 「Single Electron Metrology」
1月11日	Dr. Pablo Jarillo-Herrero	Delft University of Technology, Netherlands 「Orbital spectroscopy and Kondo effects in carbonnanotubes」
1月19日	Prof. Jung-Bum Choi	Chungbuk National University, Korea 「Single-Electronics: Beyond the Roadmap CMOS toward Quantum Computation」
2月21日	Dr. Alexander Khaetskii	Russian Academy of Science, Russia 「Spin currents. Myth and reality.」
2月25日	佐藤 徹哉 教授	慶応義塾大学 「多面体ナノ粒子の表面に発現する磁気特性」
2月25日	Vittorio Peano	Dusseldorf University, Germany

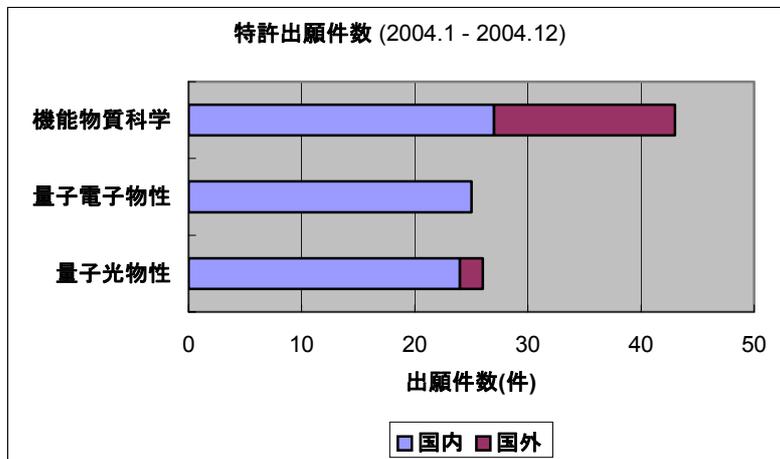
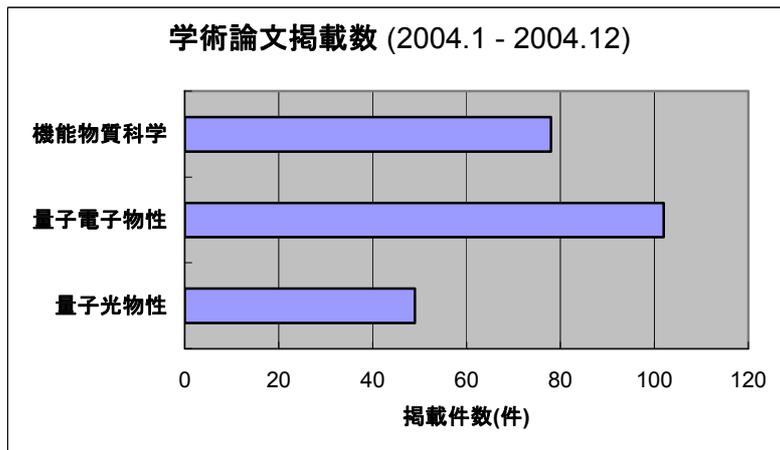
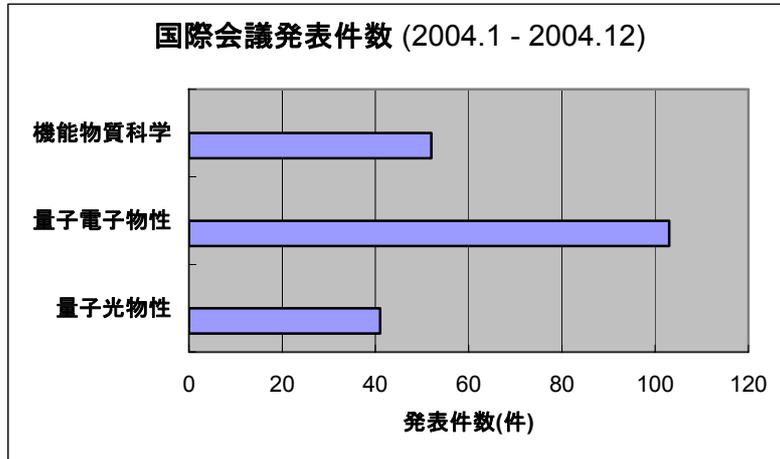
	Michael Thorwart	「One-Dimensional Ultracold Atom Gases in a Nanoscale Magnetic Waveguide formed by two Doubly-Clamped Suspended Carbon NanoTubes」
3 月 15 日	Prof. Bernhard Kramer	Universtitaet Hamburg, Germany 「Spin blockade in quantum dots」
3 月 18 日	Prof. Jörg Schmiedmayer	Universität Heidelberg, Germany 「Micro-manipulation of ultra cold atoms on Atom Chips」
3 月 22 日	Mr. Anton Öttl	ETH Zürich, Switzerland 「Observation of Single Atoms in Degenerate Quantum Gases」

Ⅲ. 量子光物性関連

講演日	講演者	講演者所属 「講演タイトル」
4 月 16 日	枝川 圭一 助教授	東京大学 「準結晶の現状と展望」
7 月 7 日	Dr. Xuedong Hu	SUNY Buffalo, USA 「Dynamical Nuclear Spin Polarization in a Semiconductor Double Quantum Dots」
8 月 19 日	Mr. Aaron Danner	The University of Illinois, USA 「Photonic Crystal VCSEL (Vertical Cavity Surface Emitting Laser)」
9 月 22 日	Prof. S. G. Tikhodeev	General Physics Institute, Russia 「Waveguide-plasmon polaritons in photonic crystal slabs with metal nanowires」
11 月 11 日	Prof. A. Knorr	TU Berlin, Germany 「Semiconductor Nano Optics: Perspective from the Theory of Light-Matter Interactions on Ultrashort Time and Length Scales」
11 月 17 日	Prof. A. Knorr	TU Berlin, Germany 「Ultrafast Optics of Multiple-Quantum-Well Photonic Crystals」
1 月 7 日	Prof. Yshai Avishai	Ben-Gurion University, Israel 「Fano effect of a strongly interacting quantum dot in contact with superconductor」
3 月 11 日	Prof. Ian Walmsley	University of Oxford, UK 「The Photon and the Vacuum Cleaner」

学術論文掲載数、国際会議発表件数および出願特許数 (2004 年)

2004 年に国内外の月術論文誌(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 227 件、国際会議の発表件数は 196 件です。また出願特許数は 64 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	(IF2003)*	件数
Nature	(30.979)	1
学術論文誌		
雑誌名	(IF2003)*	件数
Physica E	(0.93)	34
Japanese Journal of Applied Physics	(1.171)	32
Physical Review B	(2.962)	24
Applied Physics Letters	(4.049)	23
Physica C	(1.192)	13
Physical Review Letters	(7.035)	12
Applied Surface Science	(1.284)	7
Nano Letters	(6.144)	2
Advanced Materials	(7.305)	1
Analytical Chemistry	(5.25)	1
Biophysical Journal	(4.463)	1

*IF2003: インパクトファクター 2003 (出展, Journal Citation Reports, 2003)

研究所全体では、一論文あたりの平均インパクトファクターは 2.42 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
27th International Conference on the Physics of Semiconductors (ICPS27)	17
International Symposium on Mesoscopic Superconductivity and Spintronics 2004	12
International Conference on Solid State Devices and Materials (SSDM)	11
Annual APS March Meeting 2004	7
MRS Meeting 2004	7
CLEO/QELS 2004	4
14th International Conference on Ultrafast Phenomena	4
17th International Symposium on Superconductivity (ISS2004)	4
2004 International Workshop on Dielectric Thin Films for Future ULSI Devices	4
International Workshop on Nitride Semiconductors	4

国際会議招待講演一覧 (2004)

I. 機能物質科学関連

- (1) N. Kobayashi, K. Kumakura, T. Makimoto, T. Hashizume, T. Fukui, and H. Hasegawa, “Characterization of Heterojunction in High Current Gain GaN/InGaN Heterojunction Bipolar Transistors”, 31st Conference on The Physics and Chemistry of Semiconductor Interfaces (PCSI-31), Hawaii, USA (Jan. 2004).
- (2) T. Nishida, T. Ban, H. Saito, N. Kobayashi and T. Makimoto, “High power extraction of 340 to 350-nm UV-LEDs”, Photonics West, San Jose, USA (Jan. 2004).
- (2) K. Furukawa, “Single polymer science based on semiconducting polymer”, International Workshop “Beam Science and Nanotechnology”, Osaka, Japan (Jan. 2004).
- (4) Y. Homma, Y. Kobayashi, J. Lefebvre, and P. Finnie, “Suspended Carbon Nanotube Architectures: Growth Control and Optical Properties”, International Symposium on the Creation of Novel Nanomaterials (ISCNN'04)”, Toyonaka, Japan (Jan. 2004)
- (5) E. Kohn, A. Aleksov, M. Kubovic, A. Denisenko, and M. Kasu, “Diamond electronic devices - opportunities and obstacles”, 9th International Conference on New Diamond Science and Technology, Tokyo, Japan (Mar. 2004).
- (6) Y. Homma, “Standardization of SIMS depth profiling in ultra-shallow region”, 1st International Symposium on Standard Materials and Metrology for Nanotechnology (SMAM-1), Tokyo, Japan (Mar. 2004)
- (7) K. Torimitsu, “Nano-bio science: from molecule to nano-bio device”, Chinese Chemical Society & 24th CCS Congress, Hunan, China (Apr. 2004).
- (8) K. Torimitsu, N. Kasai and Y. Furukawa, “Effect of magnesium on neural activities in cultured rat cortical and hippocampal neurons”, 8th European Magnesium Conf., Romania, Italy (May, 2004).
- (9) C. Han and K. Torimitsu, “Neuronal cell death and sprouting of mossy fibers are induced by kainic acid exposure in rat hippocampal slice cultures”, The 3rd International Symposium on Neuroscience of Young Scholars”, Guangzhou, China (Jun. 2004).

- (10) Y. Homma, "Towards standardization of ultra-shallow depth profiling: Multiple delta layers as a measure of depth scale", 16th International Vacuum Congress, Venice, Italy (Jun. 2004)
- (11) K. Torimitsu, "Bioinformatics", The 19th UK-Japan High Technology Industry Forum, Bristol, UK (Jul. 2004).
- (12) K. Torimitsu, Y. Furukawa, H. Nakashima, K. Furukawa, Y. Kashimura and W. Hu, "NanoBio Science - Neural functions and molecules", ICCE-11, Hilton Head Island, USA (Aug. 2004).
- (13) T. Makimoto and K. Kumakura, "Recent Development of Nitride Heterojunction Bipolar Transistors", 2004 ECS Joint Meeting in Hawaii, Honolulu, USA (Oct. 2004).
- (14) Y. Watanabe, S. Suzuki, Y. Homma, S. Heun, and A. Locatelli, "SPELEEM observation of individual single-walled carbon nanotubes", 3rd Int. Workshop on Nanoscale Spectrosc. Nanotech., Maryland, USA (Dec. 2004).

II. 量子電子物性関連

- (1) T. Fujisawa "Coherent control of carrier dynamics in coupled quantum dots", 31st Conf. Phys. Chem. Semicond. Interface (PCSI-31), Kailua-Kona, USA (Jan. 2004).
- (2) T. Fujisawa "Dynamics of single-electron charge in quantum dots", 20th Yokohama City University International Forum (YCUIF-20), Yokohama, Japan (Jan. 2004).
- (3) T. Hayashi, T. Fujisawa, and Y. Hirayama, "Coherent charge oscillation and decoherence in a semiconductor double quantum dots", Rencontres de Moriond, La Thuile, Italy (Jan. 2004).
- (4) H. Takayanagi, "Superconducting Flux Qubit as a Macroscopic Artificial Atom", 39th Rencontres de Moriond, LaThuile, Italy (Jan. 2004).
- (5) Y. Tokura, "Spin-Effects in a Transport Through a Point Contact", Int. Workshop on Spin-FET based Quantum Information Processing, Tsukuba, Japan (Feb. 2004).
- (6) K. Inoue, "Nonlinear amplifiers and fiber processing devices," Conference on Optical Fiber Communications (OFC2004), Los Angles, USA (Feb. 2004).
- (7) H. Tamura, "Tunable exchange interaction and Kondo screening in quantum dot devices", The

2nd Quantum Transport Nano-Hana International Workshop, Chiba, Japan (Mar. 2004)

- (8) H. Takayanagi, “Quantum Information Processing at NTT BRL”, International Symposium on Quantum Info-Communications and Related Quantum Nanodevices, Tokyo, Japan (Mar. 2004).
- (9) H. Takayanagi, “Superconducting Flux Qubit”, Quantum Technologies 2004, Vancouver, Canada (Mar. 2004).
- (10) T. Fujisawa “Dynamics of single-electron charge in quantum dots”, Material Research Society (MRS) Meeting, San Fransisco, USA (Apr. 2004).
- (11) K. Semba, “Superconducting qubits:Experimental forefront and challenges”, International conference : Are the DiVincenzo Criteria fulfilled 2004 ?, Osaka, Japan (May. 2004).
- (12) J. Nitta, “Spin-related transport in semiconductors and semiconductor/ferromagnet hybrid structures” International Conference on “Nanospintronics Design and Realization” ICNDR, Kyoto, Japan, (May 2004)
- (13) T. Fujisawa, “Dynamics of Single Electron Charge in a Double Quantum Dot”, Quantum Dots Conference (QD2004), Alberta, Canada (May, 2004).
- (14) T. Fujisawa “Dynamics of single-electron charge and spin in semiconductor quantum dots”, Quantum Computation:Are the DiVincenzo criteria fulfilled in 2004?, Osaka (May 2004).
- (15) Y. Hirayama, “Coupled-quantum-dot charge qubit”, Spin and Qubit, Niels Bohr Institute, Copenhagen, Denmark (May, 2004).
- (16) Y. Hirayama, T. Hayashi, T. Fujisawa, “Semiconductor charge qubit”, ITAMP workshop on Mesoscopic Physics, Quantum Optics, and Quantum Information, Boston, USA (May, 2004).
- (17) H. Inokawa, Y. Ono, A. Fujiwara, K. Nishiguchi, and Y. Takahashi, “Single-Electron Devices fabricated by MOS Processes,” European Materials Research Society (E-MRS) Spring Meeting, Strasbourg, France (May, 2004).
- (18) H. Takayanagi, “Research Acitivities of Quantum Information Technology at NTT BRL”, Spin Qubit Symposium, Copenhagen, Denmark (May 2004)
- (19) T. Fujisawa “Dynamics of single-electron charge and spin in semiconductor quantum dots”, International workshop on Macroscopic Quantum Coherence and Computing (MQC2), Napoli,

Italy (Jun. 2004).

- (20) S. Horiguchi, A. Fujiwara, H. Inokawa and Y. Takahashi, “Electronic States in Si Single-Electron Transistors,” IEEE Si Nanoelectronics Workshop, Honolulu, USA (Jun. 2004).
- (21) Y. Takahashi, Y. Ono, A. Fujiwara, K. Nishiguchi, and H. Inokawa, “Fabrication and Application of Silicon Single-Electron Devices,” Ultimate Lithography and Nanodevice Engineering Conference, Agelonde, France, (Jun. 2004).
- (22) H. Takayanagi, “Superconducting Flux Qubit”, Foundation of Probability and Physics-3, Växjö, Sweden (June 2004)
- (23) M. Yamashita, “Magnetic properties of trapped spin-one bosons in an optical lattice”, International Laser Physics Workshop (LPHYS'04), Trieste Italy (Jul. 2004).
- (24) T. Fujisawa, “Single electron charge qubit in a semiconductor double quantum dot”, Control of quantum coherence, BadHonnet, Germany (Jul. 2004).
- (25) Y. Hirayama, “Manipulation of nuclear spin polarization and relaxation by two-dimensional electron systems”, International Conference on Superlattices, Nano-structures and Nano-devices (icsnn04), Cancun, Mexico (Jul. 2004).
- (26) H. Yamaguchi, S. Miyashita, Y. Tokura, and Y. Hirayama “InAs-based Micromechanical Two-dimensional Electron Gas Systems”, 27th International Conference on the Physics of Semiconductors (ICPS27), Flagstaff, USA (July. 2004).
- (27) M. Uematsu, “Unified simulation of diffusion in silicon and silicon dioxide,” 6th international conference on diffusion in materials (DIMAT), Krakow, Poland (Jul. 2004).
- (28) J. Nitta, “Spin-controlled transport in semiconductor nano-structures” Taiwan International Conference on Superconductivity and Low Temperature Physics, Penghu, Taiwan (Jul. 2004)
- (29) H. Yamaguchi, “Quantum Micro/Nanomechanical Systems”, JAIST International Symposium on Nano Technology 2004 (NT2004), Ishikawa, Japan (Sept. 2004).
- (30) J. Nitta, “Challenges of Spintronics; from basics to nanoscale devices”, Ramp Sessions Panelist, International Conference on Solid State Devices and Materials (SSDM 2004), Tokyo, Japan (Sep. 2004)
- (31) J. Nitta, “Spin controlled transport in semiconductor nano-structures and

semiconductor/ferromagnet hybrid structures”, The 7th Oxford-Kobe Materials Seminar; Spintronics Materials and Technology, Kobe Institute, Kobe (Sep. 2004)

- (32) T. Fujisawa, “Quantum information devices based on semiconductor quantum dots”, Solid State Devices and Materials, Tokyo, Japan (2004).
- (33) T. Fujisawa, “Dynamics of single-electron charge and spin in semiconductor quantum dots”, ERATO Imai Quantum Information Science (EQIS) Workshop, Tokyo, Japan (Sep. 2004)
- (34) Y. Hirayama, “Experimental Implementation of Semiconductor Qubit”, Isaac Newton Institute, Cambridge, UK (Sep. 2004).
- (35) H. Yamaguchi, S. Miyashita, and Y. Hirayama, “Force/Displacement Detection using Quantum Effects in InAs/Al_{0.5}Ga_{0.5}Sb Two-dimensional Electron Systems”, 2004 International Symposium on Compound Semiconductors (ISCS2004), Seoul, Korea (Sept. 2004).
- (36) H. Takayanagi, “Solid State Qubits”, Solid State Based Quantum Information Processing, Herrsching, Germany (Sep. 2004)
- (37) F. Shimizu “New Quantum Mechanical Applications of Atoms”, The 9th Asia Pacific Physics Conference (9th APPC), Hanoi, Vietnam (Oct. 2004).
- (38) Y. Hirayama, “Manipulation of Nuclear Spins in GaAs Based Hetero- and Nanostructures”, Frontiers in Nanoscale Science and Technology, Boston, USA (Oct. 2004).
- (39) T. Fujisawa, “Dynamics of single-electron charge and spin in semiconductor quantum dots”, Tera-level Nano-Devices (TND) Workshop, Seoul, Korea (Oct. 8, 2004).
- (40) Y. Takahashi, Y. Ono, A. Fujiwara, and H. Inokawa, “Silicon Single-Electron Devices and Their Applications,” The 7th International Conference on Solid-State and Integrated-Circuit Technology (ICSICT), Beijing, China (Oct. 2004).
- (41) Y. Takahashi, Y. Ono, A. Fujiwara, K. Nishiguchi, and H. Inokawa, “Application of Silicon Single-Electron Devices,” First Annual Meeting on the Fusion of Biotechnology, Nanotechnology and Semiconductor Technology (FBNS), Kyoto, Japan (Oct. 2004).
- (42) H. Takayanagi, “Readout of Superconducting Flux Qubits”, The 4th Taiwan-Japan Microelectronics International Symposium -Nano, MEMS/NEMS, and Display Technologies-, Hsinchu, Taiwan (Oct. 2004)

- (43) H. Takayanagi, "RKKY Interaction on Quantum Dot Array", Argonne Fall Workshop on the Nanoscale Physics, Argonne, USA (Nov. 2004)
- (44) H. Takayanagi, "Readout of Flux Qubit", Processing of Quantum Information in RSFQ Circuits and Qubits", Bad Honnef, Germany (Nov. 2004)
- (45) K. Semba "Coherent control of superconducting flux qubits", 17th International Symposium on Superconductivity (ISS2004), Niigata, Japan (Nov. 2004).
- (46) T. Fujisawa, "Dynamics of single-electron charge and spin in semiconductor quantum dots", The 1st Asia-Pacific Conference on QIS, Tainan, Taiwan (Dec., 2004).
- (47) Y. Takahashi, Y. Ono, A. Fujiwara, K. Nishiguchi, and H. Inokawa, "Single-Electron Device applications using their special functionalities," The 6th International Conference on Nano-molecular Electronics (ICNME-2004), Kobe, Japan (Dec. 2004).
- (48) K. Semba "Coherent control of superconducting flux qubit", Joint Workshop on Superconductivity The Second CREST-NANOFAB Workshop NFS2004 The XII-th Vortex Physics Workshop of Japan (VPJ12) Osaka, Japan (Dec. 2004).

III. 量子光物性関連

- (1) H. Nakano, K. Oguri, and T. Nishikawa, "Temporal characterization of femtosecond soft x-ray pulse using optical field-induced ionization dynamics in noble gas," The Fourth Asian Pacific Laser Symposium (APLS 2004), Yongpyong, Korea (Mar. 2004).
- (2) M. Notomi, H. Suzuki, T. Tamamura, K. Edagawa, "Penrose-lattice laser: lasing action due to quasi-periodicity", International Workshop on Photonic Electromagnetic Structures (PECS-V), Kyoto, Japan (Mar. 2004).
- (3) M. Notomi, A. Shinya, E. Kuramochi, S. Mitsugi, H-Y. Ryu, S. Hughes, G-H. Kim, T. Tanabe, "Multi-Port PBG Components in SOI Photonic Crystal Slabs", OSA Topical Meeting of Integrated Photonic Research (IPR 2004), San Francisco, USA (Jun. 2004).
- (4) M. Notomi, "PBG Waveguides and Related Devices in SOI Photonic Crystal Slabs", OECC Workshop for Micro/Nano Waveguides and Devices, Yokohama, Japan (Jul. 2004).

- (5) M. Notomi, A. Shinya, E. Kuramochi, S. Mitsugi, H-Y. Ryu, S. Hughes, G-H. Kim, T. Tanabe, “Light Propagation Control in Photonic Crystals: Dispersion and Confinement”, OSA Topical Meeting of Ultrafast Phenomena (UP2004), Niigata, Japan (Jul. 2004).
- (6) S Hughes, “Optical Scattering and Single-Quantum-Dot Strong Coupling in Semiconductor Photonic Crystal Slabs,” Colorado Meeting on Fundamental Optical Processes in Semiconductors (FOPS), Colorado, USA (Aug. 2004).
- (7) M. Notomi, A. Shinya, E. Kuramochi, S. Mitsugi, H-Y. Ryu, G-H. Kim, T. Tanabe, “Slow-light Waveguides and High-Q Nano-resonators in Photonic Crystals”, Frontiers in Optics, OSA Annual Meeting (FiO 2004), Rochester, USA (Oct. 2004).
- (8) M. Notomi, A. Shinya, E. Kuramochi, S. Mitsugi, H-Y. Ryu, S. Hughes, G-H. Kim, T. Tanabe, “PBG Resonators and Waveguides in SOI Photonic Crystals”, International Conference on Solid-State Devices and Materials (SSDM 2004), Tokyo, Japan (Sep. 2004).
- (9) H. Nakano, K. Oguri, and T. Nishikawa, “Bright ultrafast EUV sources for time-resolved absorption measurements,” The 17th Annual Meeting of the IEEE Lasers & Electro-Optics Society (LEOS 2004), Rio Grande, Puerto Rico (Nov. 2004).
- (10) A. Yokoo, “Photonic crystal with organic functional material”, The 4th International mini-Symposium on Advanced Organics Photonics (ISAOP-4), Osaka, Japan (Nov. 2004).

英文論文一覧

機能物質科学研究部

薄膜材料研究グループ

1. T. Akasaka, H. Gotoh, T. Saito, and T. Makimoto, "High luminescent efficiency of InGaN multiple quantum wells grown on InGaN underlying layers," *Appl. Phys. Lett.* **85** (15), 3089-3091 (2004).
2. T. Akasaka, T. Nishida, T. Makimoto, and N. Kobayashi, "An InGaN-based horizontal-cavity surface-emitting laser diode," *Appl. Phys. Lett.* **84** (20), 4104-4106 (2004).
3. A. Aleksov, M. Kubovic, M. Kasu, P. Schmid, D. Grobe, S. Ertl, M. Schreck, B. Stritzker, and E. Kohn, "Diamond-based electronics for RF applications," *Diam. Relat. Mat.* **13** (2), 233-240 (2004).
4. B. Chesca, K. Ehrhardt, M. Mossle, R. Straub, D. Koelle, R. Kleiner, and A. Tsukada, "Phase-sensitive evidence for a predominant d-wave pairing symmetry in the electron doped superconductor $\text{La}_{2-x}\text{Ce}_x\text{CuO}_{4-y}$," *Physica C* **408-10**, 321-323 (2004).
5. T. Fujii, I. Terasaki, and A. Matsuda, "Thermopower anisotropy of lightly-doped and optimally-doped $\text{Bi}_2\text{Sr}_{2-x}\text{La}_x\text{CaCu}_2\text{O}_{8+\delta}$ single crystals," *Physica C* **408-10**, 674-676 (2004).
6. T. Hashizume, S. Anantathanasarn, N. Negoro, E. Sano, H. Hasegawa, K. Kumakura, and T. Makimoto, " Al_2O_3 insulated-gate structure for AlGaN/GaN heterostructure field effect transistors having thin AlGaN barrier layers," *Jpn. J. Appl. Phys. Part 2 - Lett. Express Lett.* **43** (6B), L777-L779 (2004).
7. M. Hiroki, K. Kumakura, T. Makimoto, N. Kobayashi, and T. Kobayashi, "Fabrication of GaN/Alumina/GaN structure to reduce dislocations in GaN," *Jpn. J. Appl. Phys. Part 1 - Regul. Pap. Short Notes Rev. Pap.* **43** (4B), 1930-1933 (2004).
8. S. Karimoto and M. Naito, "Electron-doped infinite-layer thin films with T-C over 40 K grown on DyScO_3 substrates," *Appl. Phys. Lett.* **84** (12), 2136-2138 (2004).
9. S. Karimoto and M. Naito, "Electron-doped infinite-layer thin films with T-C(zero)=41 K grown on DyScO_3 substrate," *Physica C* **412-14**, 1349-1353 (2004).
10. M. Kasu, M. Kubovic, A. Aleksov, N. Teofilov, R. Sauer, E. Kohn, and T. Makimoto, "Properties of (111) diamond homoepitaxial layer and its application to field-effect transistor," *Jpn. J. Appl. Phys. Part 2 - Lett. Express Lett.* **43** (7B), L975-L977 (2004).
11. M. Kasu, M. Kubovic, A. Aleksov, N. Teofilov, Y. Taniyasu, R. Sauer, E. Kohn, T. Makimoto, and N. Kobayashi, "Influence of epitaxy on the surface conduction of diamond film," *Diam. Relat. Mat.* **13** (2), 226-232 (2004).

12. A. Kubovic, A. Denisenko, W. Ebert, M. Kasu, I. Kallfass, and E. Kohn, "Electronic surface barrier characteristics of H-terminated and surface conductive diamond," *Diam. Relat. Mat.* **13** (4-8), 755-760 (2004).
13. M. Kubovic, M. Kasu, I. Kallfass, M. Neuburger, A. Aleksov, G. Koley, M. G. Spencer, and E. Kohn, "Microwave performance evaluation of diamond surface channel FETs," *Diam. Relat. Mat.* **13** (4-8), 802-807 (2004).
14. J. Kurian and M. Naito, "Growth of epitaxial CeO₂ thin films on r-cut sapphire by molecular beam epitaxy," *Physica C* **402** (1-2), 31-37 (2004).
15. J. Kurian and M. Naito, "Low microwave surface resistance in NdBa₂Cu₃O_{7- δ} films grown by molecular beam epitaxy," *Jpn. J. Appl. Phys. Part 2 - Lett. Express Lett.* **43** (11B), L1502-L1505 (2004).
16. J. Kurian, M. Naito, H. Sato, and K. Cho, "Large area RE-123 thin films for microwave applications grown by molecular beam epitaxy," *Physica C* **412-14**, 1513-1518 (2004).
17. T. Makimoto, K. Kumakura, and N. Kobayashi, "Extrinsic base regrowth of p-InGaN for Npn-type GaN/InGaN heterojunction bipolar transistors," *Jpn. J. Appl. Phys. Part 1 - Regul. Pap. Short Notes Rev. Pap.* **43** (4B), 1922-1924 (2004).
18. T. Makimoto, Y. Yamauchi, and K. Kumakura, "High-power characteristics of GaN/InGaN double heterojunction bipolar transistors," *Appl. Phys. Lett.* **84** (11), 1964-1966 (2004).
19. H. Matsui, T. Sato, T. Takahashi, S. C. Wang, H. B. Yang, H. Ding, T. Fujii, T. Watanabe, and A. Matsuda, "Spectral evidence for Bogoliubov quasiparticle in triple-layered high-T_c superconductor Bi₂Sr₂Ca₂Cu₃O₁₀," *Physica C* **408-10**, 814-815 (2004).
20. T. Matsuoka, H. Okamoto, H. Takahata, T. Mitate, S. Mizuno, Y. Uchiyama, and T. Makimoto, "MOVPE growth and photoluminescence of wurtzite InN," *J. Cryst. Growth* **269** (1), 139-144 (2004).
21. M. Naito and K. Ueda, "MgB₂ thin films for superconducting electronics," *Supercond. Sci. Technol.* **17** (7), R1-R18 (2004).
22. T. Nishida, T. Makimoto, H. Saito, and T. Ban, "AlGa_N-based ultraviolet light-emitting diodes grown on bulk AlN substrates," *Appl. Phys. Lett.* **84** (6), 1002-1003 (2004).
23. K. Onomitsu, T. Okabe, T. Makimoto, H. Saito, M. Ramsteiner, H. J. Zhu, A. Kawaharazuka, K. Ploog, and Y. Horikoshi, "Magnetic and electric field effects of photoluminescence of excitons bound to nitrogen atom pairs in GaAs," *Jpn. J. Appl. Phys. Part 2 - Lett. Express Lett.* **43** (6B), L756-L758 (2004).
24. H. Sato and K. Cho, "Third-order intermodulation measurements for superconducting bandpass filters," *IEICE Trans. Electron.* **E87C** (5), 708-713 (2004).
25. H. Sato, J. Kurian, and M. Naito, "Third-order intermodulation measurements of

- microstrip bandpass filters based on high-temperature superconductors," IEEE Trans. Microw. Theory Tech. **52** (12), 2658-2663 (2004).
26. H. Sato, A. Tsukada, and M. Naito, "La-214 thin films under epitaxial strain," Physica C **408-10**, 848-852 (2004).
 27. T. Sato, H. Matsui, T. Takahashi, H. Ding, H. B. Yang, S. C. Wang, T. Fujii, T. Watanabe, A. Matsuda, T. Terashima, and K. Kadowaki, "Fermi surface, superconducting gap, and many-body effects in Bi₂Sr₂Ca_{n-1}Cu_nO_{2n+4} (n=1-3)," Physica C **408-10**, 812-813 (2004).
 28. T. Sato, H. Matsui, K. Terashima, T. Takahashi, H. Ding, H. B. Yang, S. C. Wang, T. Fujii, T. Watanabe, A. Matsuda, T. Terashima, and K. Kadowaki, "Magnetic interaction in hole-doped high-T_c superconductors observed by angle-resolved photoemission spectroscopy," Physica C **412-14**, 51-58 (2004).
 29. Y. Taniyasu, M. Kasu, and T. Makimoto, "Electrical conduction properties of n-type Si-doped AlN with high electron mobility (> 100 cm² V⁻¹ s⁻¹)," Appl. Phys. Lett. **85** (20), 4672-4674 (2004).
 30. Y. Taniyasu, M. Kasu, and T. Makimoto, "Field emission properties of heavily Si-doped AlN in triode-type display structure," Appl. Phys. Lett. **84** (12), 2115-2117 (2004).
 31. K. Tsubaki, N. Maeda, T. Saitoh, and N. Kobayashi, "Hall resistance hysteresis in AlGa_N/Ga_N 2DEG," Physica E **21** (2-4), 676-678 (2004).
 32. K. Ueda and M. Naito, "Tunnel junctions on as-grown MgB₂ films," Physica C **408-10**, 134-135 (2004).
 33. C. X. Wang, N. Maeda, K. Tsubaki, N. Kobayashi, and T. Makimoto, "Electron transport properties in lightly Si-doped InGa_N films grown by metalorganic vapor phase epitaxy," Jpn. J. Appl. Phys. Part 1 - Regul. Pap. Short Notes Rev. Pap. **43** (6A), 3356-3359 (2004).
 34. C. X. Wang, K. Tsubaki, N. Kobayashi, T. Makimoto, and N. Maeda, "Electron transport properties in AlGa_N/InGa_N/Ga_N double heterostructures grown by metalorganic vapor phase epitaxy," Appl. Phys. Lett. **84** (13), 2313-2315 (2004).
 35. H. Yamamoto, K. Aoki, A. Tsukada, and M. Naito, "Growth of Ba_{1-x}K_xBiO₃ thin films by molecular beam epitaxy," Physica C **412-14**, 192-195 (2004).
 36. H. Yamamoto, M. Naito, A. Tsukada, and S. Suzuki, "In situ angle-resolved photoemission study of MBE-grown (La,Ce)₂CuO₄ thin films," Physica C **412-14**, 134-138 (2004).

低次元構造研究グループ

1. K. Akiba, N. Yamamoto, V. Grillo, A. Genseki, and Y. Watanabe, "Anomalous temperature and excitation power dependence of cathodoluminescence from InAs quantum dots," Phys. Rev. B **70** (16), 165322 (2004).

2. S. Bhunia, T. Kawamura, S. Fujikawa, H. Nakashima, K. Furukawa, K. Torimitsu, and Y. Watanabe, "Vapor-liquid-solid growth of vertically aligned InP nanowires by metalorganic vapor phase epitaxy," *Thin Solid Films* **464-65**, 244-247 (2004).
3. S. Bhunia, T. Kawamura, S. Fujikawa, K. Tokushima, and Y. Watanabe, "Free-standing and vertically aligned InP nanowires grown by metalorganic vapor phase epitaxy," *Physica E* **21** (2-4), 583-587 (2004).
4. S. Bhunia, T. Kawamura, S. Fujikawa, and Y. Watanabe, "Systematic investigation of growth of InP nanowires by metalorganic vapor-phase epitaxy," *Physica E* **24** (1-2), 138-142 (2004).
5. H. Hibino, Y. Homma, C. W. Hu, M. Uwaha, T. Ogino, and I. S. T. Tsong, "Structural and morphological changes on surfaces with multiple phases studied by low-energy electron microscopy," *Appl. Surf. Sci.* **237** (1-4), 51-57 (2004).
6. Y. Homma, S. Suzuki, Y. Kobayashi, M. Nagase, and D. Takagi, "Mechanism of bright selective imaging of single-walled carbon nanotubes on insulators by scanning electron microscopy," *Appl. Phys. Lett.* **84** (10), 1750-1752 (2004).
7. Y. J. Jung, Y. Homma, R. Vajtai, Y. Kobayashi, T. Ogino, and P. M. Ajayan, "Straightening suspended single walled carbon nanotubes by ion irradiation," *Nano Lett.* **4** (6), 1109-1113 (2004).
8. Y. Kobayashi, H. Nakashima, D. Takagi, and Y. Homma, "CVD growth of single-walled carbon nanotubes using size-controlled nanoparticle catalyst," *Thin Solid Films* **464-65**, 286-289 (2004).
9. Y. Kobayashi, D. Takagi, Y. Ueno, and Y. Homma, "Characterization of carbon nanotubes suspended between nanostructures using micro-Raman spectroscopy," *Physica E* **24** (1-2), 26-31 (2004).
10. Y. Kobayashi, T. Yamashita, Y. Ueno, O. Niwa, Y. Homma, and T. Ogino, "Extremely intense Raman signals from single-walled carbon nanotubes suspended between Si nanopillars," *Chem. Phys. Lett.* **386** (1-3), 153-157 (2004).
11. J. Lefebvre, P. Finnie, and Y. Homma, "Temperature-dependent photoluminescence from single-walled carbon nanotubes," *Phys. Rev. B* **70** (4), 045419 (2004).
12. J. Lefebvre, J. M. Fraser, P. Finnie, and Y. Homma, "Photoluminescence from an individual single-walled carbon nanotube," *Phys. Rev. B* **69** (7), 075403 (2004).
13. J. Lefebvre, J. M. Fraser, Y. Homma, and P. Finnie, "Photoluminescence from single-walled carbon nanotubes: a comparison between suspended and micelle-encapsulated nanotubes," *Appl. Phys. A-Mater. Sci. Process.* **78** (8), 1107-1110 (2004).
14. F. Lin, K. Sumitomo, Y. Homma, and T. Ogino, "STM observations of three-dimensional Ge islands on Si(111) surfaces with different step orientations and step-bunching conditions," *Surf. Sci.* **562** (1-3), 15-21 (2004).
15. F. Maeda, E. Laffosse, Y. Watanabe, S. Suzuki, Y. Homma, M. Suzuki, T. Kitada, T.

- Ogiwara, A. Tanaka, M. Kimura, V. A. Mihai, H. Yoshikawa, and S. Fukushima, "Surface and interface reactions of catalysts for carbon nanotube growth on Si substrates studied by soft X-ray photoelectron spectroscopy," *Physica E* **24** (1-2), 19-25 (2004).
16. F. Maeda and Y. Watanabe, "Real-time analysis of a surface phase transition of GaAs(001) by core-level photoelectron spectroscopy and photoelectron diffraction," *J. Electron Spectrosc. Relat. Phenom.* **137-40**, 107-112 (2004).
 17. F. Maeda and Y. Watanabe, "Time-resolved core-level photoelectron spectroscopy and reflection high-energy electron diffraction study of surface phase transition on GaAs(001)," *Appl. Surf. Sci.* **237** (1-4), 224-229 (2004).
 18. T. Ogino, Y. Homma, K. Ishibashi, and H. Yamaguchi, "Proceedings of the International symposium on Functional Semiconductors Nanostructures 2003 FSNS2003 - Held in Atsugi, Kanagawa, Japan, 12-14 November 2003 - Preface," *Physica E* **24** (1-2), VII-VII (2004).
 19. H. Omi and Y. Homma, "Stiffness of step bunches on Si(111)," *Jpn. J. Appl. Phys. Part 2 - Lett. Express Lett.* **43** (6B), L822-L824 (2004).
 20. H. Omi, Y. Homma, T. Ogino, S. Stoyanov, and V. Tonchev, "Design of atomic step networks on Si(111) through strain distribution control," *J. Appl. Phys.* **95** (1), 263-266 (2004).
 21. K. Prabhakaran, F. Meneau, T. Murashita, G. N. Greaves, G. Sankar, Y. Homma, and T. Gino, "Reply to "comment on luminescent nanoring structures on silicon"," *Adv. Mater.* **16** (17), 1495-1496 (2004).
 22. K. Sumitomo, F. Lin, Y. Homma, and T. Ogino, "Selective formation of Ge nanostructures on Si(111) surface with patterned steps," *Appl. Surf. Sci.* **237** (1-4), 68-74 (2004).
 23. S. Suzuki, K. Kanzaki, Y. Homma, and S. Y. Fukuba, "Low-acceleration-voltage electron irradiation damage in single-walled carbon nanotubes," *Jpn. J. Appl. Phys. Part 2 - Lett. Express Lett.* **43** (8B), L1118-L1120 (2004).
 24. S. Suzuki, Y. Watanabe, Y. Homma, S. Fukuba, S. Heun, and A. Locatelli, "Work functions of individual single-walled carbon nanotubes," *Appl. Phys. Lett.* **85** (1), 127-129 (2004).
 25. S. Suzuki, Y. Watanabe, T. Ogino, Y. Homma, D. Takagi, S. Heun, L. Gregoratti, A. Barinov, and M. Kiskinova, "Observation of single-walled carbon nanotubes by photoemission microscopy," *Carbon* **42** (3), 559-563 (2004).
 26. D. Takagi, Y. Homma, and Y. Kobayashi, "Selective growth of individual single-walled carbon nanotubes suspended between pillar structures," *Physica E* **24** (1-2), 1-5 (2004).
 27. F. Toujou, S. Yoshikawa, Y. Homma, A. Takano, H. Takenaka, M. Tomita, Z. Li, T. Hasegawa, K. Sasakawa, M. Schuhmacher, A. Merkulov, H. K. Kim, D. W. Moon, T. Hong, and J. Y. Won, "Evaluation of BN-delta-doped multilayer reference materials

- for shallow depth profiling in SIMS: round-robin test," *Appl. Surf. Sci.* **231-2**, 649-652 (2004).
28. Y. Watanabe, S. Bhunia, S. Fujikawa, T. Kawamura, H. Nakashima, K. Furukawa, and K. Torimitsu, "Heteroepitaxial metalorganic vapor phase epitaxial growth of InP nanowires on GaP(111)B," *Thin Solid Films* **464-65**, 248-250 (2004).
 29. Y. Watanabe, H. Hibino, S. Bhunia, K. Tateno, and T. Sekiguchi, "Site-controlled InP nanowires grown on patterned Si substrates," *Physica E* **24** (1-2), 133-137 (2004).
 30. Y. Watanabe, N. Yamamoto, S. Bhunia, T. Kawamura, and S. Fujikawa, "Structural and optical properties of vertically aligned TnP nanowires grown by metal organic vapor phase epitaxy," *Physica E* **23** (3-4), 305-308 (2004).
 31. Z. H. Zhang, K. Sumitomo, F. Lin, H. Omi, and T. Ogino, "Structure transition of Ge/Si(113) surfaces during Ge epitaxial growth," *Physica E* **24** (1-2), 157-160 (2004).
 32. Z. H. Zhang, K. Sumitomo, H. Omi, T. Ogino, and X. Zhu, "Ge molecular beam epitaxy on Si(113): surface structures, nanowires and nanodots," *Surf. Interface Anal.* **36** (2), 114-118 (2004).

分子生体機能研究グループ

1. K. Ajito, C. X. Han, and K. Torimitsu, "Detection of glutamate in optically trapped single nerve terminals by Raman spectroscopy," *Anal. Chem.* **76** (9), 2506-2510 (2004).
2. K. Furukawa, H. Nakashima, K. Ajito, Y. Kashimura, W. Hu, and K. Torimitsu, "Observation and manipulation of nanostructures formed by rigid rodlike polymers," *Jpn. J. Appl. Phys. Part 1 - Regul. Pap. Short Notes Rev. Pap.* **43** (7B), 4521-4524 (2004).
3. W. P. Hu, M. Matsumura, K. Furukawa, and K. Torimitsu, "Oxygen plasma generated copper/copper oxides nanoparticles," *J. Phys. Chem. B* **108** (35), 13116-13118 (2004).
4. W. P. Hu, H. Nakashima, K. Furukawa, Y. Kashimura, K. Ajito, C. Han, and K. Torimitsu, "Carrier injection from gold electrodes into thioacetyl-end-functionalized poly(para-phenyleneethynylene)s," *Phys. Rev. B* **69** (16), 165207 (2004).
5. W. P. Hu, H. Nakashima, K. Furukawa, Y. Kashimura, K. Ajito, and K. Torimitsu, "Self-assembled rigid conjugated polymer nanojunction and its nonlinear current-voltage characteristics at room temperature," *Appl. Phys. Lett.* **85** (1), 115-117 (2004).
6. T. Ishimoto, H. Tokiwa, H. Teramae, and U. Nagashima, "Development of an ab initio MO-MD program based on fragment MO method - an attempt to analyze the fluctuation of protein," *Chem. Phys. Lett.* **387** (4-6), 460-465 (2004).
7. M. Kobayashi, J. Buck, and L. R. Levin, "Conservation of functional domain structure in bicarbonate-regulated "soluble" adenylyl cyclases in bacteria and eukaryotes," *Dev.*

- Genes Evol. **214** (10), 503-509 (2004).
8. K. Ohtawara and H. Teramae, "Study on optimization of molecular structure using Hamiltonian algorithm," Chem. Phys. Lett. **390** (1-3), 84-88 (2004).
 9. I. Suzuki, Y. Sugio, H. Moriguchi, K. Takahashi, T. Kaneko, Y. Jimbo, and K. Yasuda, "Pattern modification of a neuronal network for on-chip single-cell-based electrophysiological measurement using photo-thermal etching of an agarose architecture with a multi-electrode array," Biophys. J. **86** (1), 271A-271A (2004).
 10. T. Yamazaki, Y. Murata, K. Komatsu, K. Furukawa, M. Morita, N. Maruyama, T. Yamao, and S. Fujita, "Synthesis and electrolytic polymerization of the ethylenedioxy-substituted terthiophene-fullerene dyad," Org. Lett. **6** (26), 4865-4868 (2004).

量子電子物性研究部

ナノデバイス研究グループ

1. T. Akiyama, H. Kageshima, and T. Ito, "First-principles analyses of O-2 molecules around ultrathin SiO₂/Si(100) interface," Jpn. J. Appl. Phys. Part 1 - Regul. Pap. Short Notes Rev. Pap. **43** (11B), 7903-7908 (2004).
2. K. Degawa, T. Aoki, T. Higuchi, H. Inokawa, and Y. Takahashi, "A single-electron-transistor logic gate family for binary, multiple-valued and mixed-mode logic," IEICE Trans. Electron. **E87C** (11), 1827-1836 (2004).
3. A. Fujiwara, N. M. Zimmerman, Y. Ono, and Y. Takahashi, "Current quantization due to single-electron transfer in Si-wire charge-coupled devices," Appl. Phys. Lett. **84** (8), 1323-1325 (2004).
4. S. Fukatsu, K. M. Itoh, M. Uematsu, H. Kageshima, Y. Takahashi, and K. Shiraishi, "Effect of Si/SiO₂ interface on silicon and boron diffusion in thermally grown SiO₂," Jpn. J. Appl. Phys. Part 1 - Regul. Pap. Short Notes Rev. Pap. **43** (11B), 7837-7842 (2004).
5. S. Horiguchi, A. Fujiwara, H. Inokawa, and Y. Takahashi, "Analysis of back-gate voltage dependence of threshold voltage of thin silicon-on-insulator metal-oxide-semiconductor field-effect transistor and its application to Si single-electron transistor," Jpn. J. Appl. Phys. Part 1 - Regul. Pap. Short Notes Rev. Pap. **43** (4B), 2036-2040 (2004).
6. H. Inokawa and Y. Takahashi, "Simultaneous-sweep method for evaluation of single-electron transistors with barriers induced by gate electric field," Jpn. J. Appl. Phys. Part 2 - Lett. Express Lett. **43** (8B), L1048-L1050 (2004).
7. H. Inokawa, Y. Takahashi, K. Degawa, T. Aoki, and T. Higuchi, "A simulation methodology for single-electron multiple-valued logics and its application to a latched parallel counter," IEICE Trans. Electron. **E87C** (11), 1818-1826 (2004).
8. H. Kageshima, M. Uematsu, K. Akagi, S. Tsuneyuki, T. Akiyama, and K. Shiraishi,

- "Theoretical study of excess Si emitted from Si-oxide/Si interfaces," *Jpn. J. Appl. Phys. Part 1 - Regul. Pap. Short Notes Rev. Pap.* **43** (12), 8223-8226 (2004).
9. S. J. Kim, Y. Ono, Y. Takahashi, and J. B. Choi, "Real-time observation of single-electron movement through silicon single-electron transistor," *Jpn. J. Appl. Phys. Part 1 - Regul. Pap. Short Notes Rev. Pap.* **43** (10), 6863-6867 (2004).
 10. S. M. Koo, A. Fujiwara, J. P. Han, E. M. Vogel, C. A. Richter, and J. E. Bonevich, "High inversion current in silicon nanowire field effect transistors," *Nano Lett.* **4** (11), 2197-2201 (2004).
 11. K. Nishiguchi, H. Inokawa, Y. Ono, A. Fujiwara, and Y. Takahashi, "Automatic control of oscillation phase of a single-electron transistor," *IEEE Electron Device Lett.* **25** (1), 31-33 (2004).
 12. K. Nishiguchi, H. Inokawa, Y. Ono, A. Fujiwara, and Y. Takahashi, "Multifunctional Boolean logic using single-electron transistors," *IEICE Trans. Electron.* **E87C** (11), 1809-1817 (2004).
 13. K. Nishiguchi, H. Inokawa, Y. Ono, A. Fujiwara, and Y. Takahashi, "Multilevel memory using an electrically formed single-electron box," *Appl. Phys. Lett.* **85** (7), 1277-1279 (2004).
 14. K. Nishiguchi, H. Inokawa, Y. Ono, A. Fujiwara, and Y. Takahashi, "Multilevel memory using single-electron turnstile," *Electron. Lett.* **40** (4), 229-230 (2004).
 15. M. Uematsu, H. Kageshima, Y. Takahashi, S. Fukatsu, K. M. Itoh, and K. Shiraishi, "Correlated diffusion of silicon and boron in thermally grown SiO₂," *Appl. Phys. Lett.* **85** (2), 221-223 (2004).
 16. M. Uematsu, H. Kageshima, Y. Takahashi, S. Fukatsu, K. M. Itoh, and K. Shiraishi, "Simulation of correlated diffusion of Si and B in thermally grown SiO₂," *J. Appl. Phys.* **96** (10), 5513-5519 (2004).
 17. M. Uematsu, H. Kageshima, Y. Takahashi, S. Fukatsu, K. M. Itoh, K. Shiraishi, and U. Gosele, "Modeling of Si self-diffusion in SiO₂: Effect of the Si/SiO₂ interface including time-dependent diffusivity," *Appl. Phys. Lett.* **84** (6), 876-878 (2004).
 18. N. M. Zimmerman, E. Hourdakis, Y. Ono, A. Fujiwara, and Y. Takahashi, "Error mechanisms and rates in tunable-barrier single-electron turnstiles and charge-coupled devices," *J. Appl. Phys.* **96** (9), 5254-5266 (2004).

ナノ加工研究グループ

1. L. F. Houlet, H. Yamaguchi, S. Miyashita, and Y. Hirayama, "InAs/AlGaSb piezoresistive cantilever for sub-angstrom scale displacement detection," *Jpn. J. Appl. Phys. Part 2 - Lett.* **43** (3B), L424-L426 (2004).
2. R. Koch, A. K. Das, H. Yamaguchi, C. Pampuch, and A. Ney, "Perpendicular magnetic fields in cantilever beam magnetometry," *J. Appl. Phys.* **96** (5), 2773-2778 (2004).

3. R. Koch, C. Pampuch, H. Yamaguchi, A. K. Das, A. Ney, L. Daweritz, and K. H. Ploog, "Magnetoelastic coupling of MnAs/GaAs(001) close to the phase transition," *Phys. Rev. B* **70** (9), 092406 (2004).
4. M. Nagase and H. Namatsu, "A method for assembling nano-electromechanical devices on microcantilevers using focused ion beam technology," *Jpn. J. Appl. Phys. Part 1 - Regul. Pap. Short Notes Rev. Pap.* **43** (7B), 4624-4628 (2004).
5. K. Nakamatsu, K. Watanabe, K. Tone, T. Katase, W. Hattori, Y. Ochiai, T. Matsuo, M. Sasago, H. Namatsu, M. Komuro, and S. Matsui, "Bilayer resist method for room-temperature nanoimprint lithography," *Jpn. J. Appl. Phys. Part 1 - Regul. Pap. Short Notes Rev. Pap.* **43** (6B), 4050-4053 (2004).
6. H. Namatsu, "The impact of supercritical fluoro-compounds on lithography use," *Jpn. J. Appl. Phys. Part 2 - Lett. Express Lett.* **43** (4A), L456-L459 (2004).
7. M. S. M. Saifullah, D. J. Kang, K. R. V. Subramanian, M. E. Welland, K. Yamazaki, and K. Kurihara, "Electron beam nanolithography of beta-ketoester modified aluminum tri-sec-butoxide," *J. Sol-Gel Sci. Technol.* **29** (1), 5-10 (2004).
8. H. Yamaguchi, K. Kanisawa, S. Miyashita, and Y. Hirayama, "InAs/GaAs (111)A heteroepitaxial systems," *Physica E* **23** (3-4), 285-292 (2004).
9. H. Yamaguchi, S. Miyashita, and Y. Hirayama, "Mechanical and piezoresistive properties of InAs/AlGaSb cantilevers," *Appl. Surf. Sci.* **237** (1-4), 649-653 (2004).
10. H. Yamaguchi, S. Miyashita, and Y. Hirayama, "Piezoresistive cantilevers using InAs-based 2D heterostructures," *Physica E* **24** (1-2), 70-73 (2004).
11. H. Yamaguchi, S. Miyashita, and Y. Hirayama, "Quantum-mechanical displacement sensing using InAs/AlGaSb micromechanical cantilevers," *Physica E* **21** (2-4), 1053-1056 (2004).
12. H. Yamaguchi, Y. Tokura, S. Miyashita, and Y. Hirayama, "Quantum interference effects in the magnetopiezoresistance of InAs/AlGaSb quasi-one-dimensional electron systems," *Phys. Rev. Lett.* **93** (3), 036603 (2004).
13. T. Yamaguchi and H. Namatsu, "Effect of developer molecular size on roughness of dissolution front in electron-beam resist," *J. Vac. Sci. Technol. B* **22** (3), 1037-1043 (2004).
14. T. Yamaguchi and H. Namatsu, "Impact of developers on roughness of dissolution front in electron-beam resists," *J. Photopolym. Sci. Technol.* **17** (4), 557-565 (2004).
15. T. Yamaguchi, K. Yamazaki, and H. Namatsu, "Influence of molecular weight of resist polymers on surface roughness and line-edge roughness," *J. Vac. Sci. Technol. B* **22** (6), 2604-2610 (2004).
16. K. Yamazaki and H. Namatsu, "5-nm-order electron-beam lithography for nanodevice fabrication," *Jpn. J. Appl. Phys. Part 1 - Regul. Pap. Short Notes Rev. Pap.* **43** (6B), 3767-3771 (2004).

17. K. Yamazaki and H. Namatsu, "Two-axis-of-rotation drive system in electron-beam lithography apparatus for nanotechnology applications," *Microelectron. Eng.* **73-74**, 85-89 (2004).
18. K. Yamazaki, T. Yamaguchi, and H. Namatsu, "Three-dimensional nanofabrication with 10-nm resolution," *Jpn. J. Appl. Phys. Part 2 - Lett. Express Lett.* **43** (8B), L1111-L1113 (2004).

量子固体物性研究グループ

1. D. G. Austing, S. Tarucha, K. Muraki, F. Ancilotto, M. Barranco, A. Emperador, R. Mayol, and M. Pi, "Integer filling factor phases in vertical diatomic artificial molecules," *Physica E* **22** (1-3), 502-505 (2004).
2. T. Fujisawa, T. Hayashi, H. D. Cheong, Y. H. Jeong, and Y. Hirayama, "Rotation and phase-shift operations for a charge qubit in a double quantum dot," *Physica E* **21** (2-4), 1046-1052 (2004).
3. T. Fujisawa, T. Hayashi, and Y. Hirayama, "Controlled decoherence of a charge qubit in a double quantum dot," *J. Vac. Sci. Technol. B* **22** (4), 2035-2038 (2004).
4. T. Fujisawa, T. Hayashi, Y. Hirayama, H. D. Cheong, and Y. H. Jeong, "Electron counting of single-electron tunneling current," *Appl. Phys. Lett.* **84** (13), 2343-2345 (2004).
5. N. Goel, S. J. Chung, M. B. Santos, K. Suzuki, S. Miyashita, and Y. Hirayama, "Ballistic transport in InSb quantum wells at high temperature," *Physica E* **20** (3-4), 251-254 (2004).
6. N. Goel, S. J. Chung, M. B. Santos, K. Suzuki, S. Miyashita, and Y. Hirayama, "Effect of temperature on ballistic transport in InSb quantum wells," *Physica E* **21** (2-4), 761-764 (2004).
7. K. Hashimoto, T. Saku, and Y. Hirayama, "Nuclear-spin-related resistance enhancements observed over a wide range of magnetic fields," *Phys. Rev. B* **69** (15), 153306 (2004).
8. T. Hatano, M. Stopa, W. Izumida, T. Yamaguchi, T. Ota, and S. Tarucha, "Gate-voltage dependence of inter dot coupling and Aharonov-Bohm oscillation in laterally coupled vertical double dot," *Physica E* **22** (1-3), 534-537 (2004).
9. T. Hayashi, T. Fujisawa, H. D. Cheong, Y. H. Jeong, and Y. Hirayama, "Coherent charge oscillation in a semiconductor double quantum dot," *IEEE Trans. Nanotechnol.* **3** (2), 300-303 (2004).
10. T. Ito, K. Tsutsumida, K. Nakamura, Y. Kangawa, K. Shiraishi, A. Taguchi, and H. Kageshima, "Systematic theoretical investigations of adsorption behavior on the GaAs(001)-c(4 x 4) surfaces," *Appl. Surf. Sci.* **237** (1-4), 194-199 (2004).
11. S. W. Jung, T. Fujisawa, Y. Hirayama, and Y. H. Jeong, "Background charge fluctuation in a GaAs quantum dot device," *Appl. Phys. Lett.* **85** (5), 768-770 (2004).

12. T. Kodera, W. G. van der Wiel, K. Ona, S. Sasaki, T. Fujisawa, and S. Tarucha, "High-frequency manipulation of few-electron double quantum dots - toward spin qubits," *Physica E* **22** (1-3), 518-521 (2004).
13. N. Kumada, K. Tagashira, K. Iwata, A. Sawada, Z. F. Ezawa, K. Muraki, T. Saku, and Y. Hirayama, "Effects of in-plane magnetic fields on spin transitions in bilayer quantum Hall states," *Physica E* **22** (1-3), 36-39 (2004).
14. N. Kumada, D. Terasawa, M. Morino, K. Tagashira, A. Sawada, Z. F. Ezawa, K. Muraki, Y. Hirayama, and T. Saku, "Phase diagrams of $\nu=2$ and $\nu=(2)/(3)$ quantum Hall states in bilayer systems," *Phys. Rev. B* **69** (15), 155319 (2004).
15. J. Lagoute, K. Kanisawa, and S. Folsch, "Manipulation and adsorption-site mapping of single pentacene molecules on Cu(111)," *Phys. Rev. B* **70** (24), 245415 (2004).
16. K. Muraki, J. G. S. Lok, S. Kraus, W. Dietsche, K. von Klitzing, D. Schuh, M. Bichler, and W. Wegscheider, "Coulomb drag as a probe of the nature of compressible states in a magnetic field," *Phys. Rev. Lett.* **92** (24), 246801 (2004).
17. K. Ono and S. Tarucha, "Nuclear-spin-induced oscillatory current in spin-blockaded quantum dots," *Phys. Rev. Lett.* **92** (25), 256803 (2004).
18. K. Ono, K. Uchida, N. Miura, Y. Hirayama, K. Ohdaira, and Y. Shiraki, "Exciton recombination process in GaAs/AlAs type-II heterostructures in pulsed high magnetic fields and a uniaxial pressure," *Physica E* **21** (2-4), 698-702 (2004).
19. K. Onomitsu, H. Fukui, T. Maeda, Y. Hirayama, and Y. Horikoshi, "Mn and Be codoped GaAs for high hole concentration by low-temperature migration-enhanced epitaxy," *J. Vac. Sci. Technol. B* **22** (4), 1746-1749 (2004).
20. T. Ota, T. Hatano, K. Ono, S. Tarucha, H. Z. Song, Y. Nakata, T. Miyazawa, T. Ohshima, and N. Yokoyama, "Single electron spectroscopy in a single pair of weakly coupled self-assembled InAs quantum dots," *Physica E* **22** (1-3), 510-513 (2004).
21. T. Ota, K. Ono, M. Stopa, T. Hatano, S. Tarucha, H. Z. Song, Y. Nakata, T. Miyazawa, T. Ohshima, and N. Yokoyama, "Single-dot spectroscopy via elastic single-electron tunneling through a pair of coupled quantum dots," *Phys. Rev. Lett.* **93** (6), 066801 (2004).
22. M. Rontani, S. Amaha, K. Muraki, F. Manghi, E. Molinari, S. Tarucha, and D. G. Austing, "Molecular phases in coupled quantum dots," *Phys. Rev. B* **69** (8), 085327 (2004).
23. S. Sasaki, S. Amaha, N. Asakawa, M. Eto, and S. Tarucha, "Enhanced Kondo effect via tuned orbital degeneracy in a spin 1/2 artificial atom," *Phys. Rev. Lett.* **93** (1), 017205 (2004).
24. K. Suzuki, S. Miyashita, K. Takashina, and Y. Hirayama, "Quantum Hall effect in back-gated InAs/GaSb heterostructures under a tilted magnetic field," *Physica E* **20** (3-4), 232-235 (2004).
25. K. Suzuki, K. Takashina, S. Miyashita, and Y. Hirayama, "Landau-level hybridization

- and the quantum Hall effect in InAs/(AlSb)/GaSb electron-hole systems," *Phys. Rev. Lett.* **93** (1), 016803 (2004).
26. A. Taguchi, "Importance of the sp(2)-like orbital formation for stabilizing surface local structures," *Physica E* **24** (1-2), 153-156 (2004).
 27. A. Taguchi and K. Shiraishi, "First-principles investigations of GaAs(311)A surface reconstruction - failure of the electron counting model," *Appl. Surf. Sci.* **237** (1-4), 189-193 (2004).
 28. K. Takashina, A. Fujiwara, S. Horiguchi, Y. Takahashi, and Y. Hirayama, "Valley splitting control in SiO₂/Si/SiO₂ quantum wells in the quantum Hall regime," *Phys. Rev. B* **69** (16), 161304 (2004).
 29. K. Takashina, A. Fujiwara, Y. Takahashi, and Y. Hirayama, "Resistance spikes induced by gate-controlled valley-splitting in silicon," *Int. J. Mod. Phys. B* **18** (27-29), 3603-3608 (2004).
 30. K. Takashina, Y. Hirayama, A. Fujiwara, S. Horiguchi, and Y. Takahashi, "A silicon bi-layer system," *Physica E* **22** (1-3), 72-75 (2004).
 31. D. Terasawa, M. Morino, K. Nakada, S. Kozumi, A. Sawada, Z. F. Ezawa, N. Kumada, K. Muraki, T. Saku, and Y. Hirayama, "Simultaneous excitation of spins and pseudospins in the bilayer $\nu=1$ quantum Hall state," *Physica E* **22** (1-3), 52-55 (2004).
 32. D. Terasawa, K. Nakada, S. Kozumi, Z. F. Ezawa, A. Fukuda, A. Sawada, N. Kumada, K. Muraki, Y. Hirayama, and T. Saku, "Double magnetoresistance minima induced by the in-plane magnetic field for the $\nu=1$ double-layer quantum Hall state," *Int. J. Mod. Phys. B* **18** (27-29), 3709-3712 (2004).
 33. H. Yokoyama, T. Sato, K. Ono, Y. Hirayama, and S. Tarucha, "Tunable quantum dot resonator embedded in a quantum wire," *Physica E* **21** (2-4), 527-531 (2004).
 34. G. Yusa, K. Hashimoto, K. Muraki, T. Saku, and Y. Hirayama, "Self-sustaining resistance oscillations: Electron-nuclear spin coupling in mesoscopic quantum Hall devices," *Phys. Rev. B* **69** (16), 161302 (2004).
 35. G. Yusa, K. Muraki, T. Saku, and Y. Hirayama, "Intralayer backscattering in narrow GaAs/Al_xGa_{1-x}As/GaAs bilayer channels," *Phys. Rev. B* **69** (8), 085323 (2004).

超伝導量子物理研究グループ

1. P. Bertet, I. Chiorescu, K. Semba, C. J. P. M. Harmans, and J. E. Mooij, "Detection of a persistent-current qubit by resonant activation," *Phys. Rev. B* **70** (10), 100501 (2004).
2. I. Chiorescu, P. Bertet, K. Semba, Y. Nakamura, C.J.P.M. Harmans, and J. E. Mooij, "Coherent dynamics of a flux qubit coupled to a harmonic oscillator," *Nature* **431** (7005), 159-162 (2004).
3. F. Deppe, S. Saito, H. Tanaka, and H. Takayanagi, "Determination of the capacitance

- of nm scale Josephson junctions," J. Appl. Phys. **95** (5), 2607-2613 (2004).
4. T. Mukai and M. Yamashita, "Efficient rapid production of a Bose-Einstein condensate by overcoming serious three-body loss," Phys. Rev. A **70** (1), 013615 (2004).
 5. S. Saito, M. Thorwart, H. Tanaka, M. Ueda, H. Nakano, K. Semba, and H. Takayanagi, "Multiphoton transitions in a macroscopic quantum two-state system," Phys. Rev. Lett. **93** (3), 037001 (2004).
 6. F. Shimizu, "Scalable quantum computer with optical lattices," Jpn. J. Appl. Phys. Part 1 - Regul. Pap. Short Notes Rev. Pap. **43** (12), 8376-8382 (2004).

スピントロニクス研究グループ

1. T. Akazaki, H. Yamaguchi, and H. Takayanagi, "Nonequilibrium transport of InAs/GaAs(111)A heterostructures coupled with superconducting Nb electrodes," Semicond. Sci. Technol. **19** (4), S182-S184 (2004).
2. Y. Asari, K. Takeda, and H. Tamura, "Hund's first and second rules in spherical quantum dots (I) in the zero-magnetic field," Jpn. J. Appl. Phys. Part 1 - Regul. Pap. Short Notes Rev. Pap. **43** (7A), 4424-4433 (2004).
3. D. G. Austing, S. Tarucha, H. Tamura, K. Muraki, F. Ancilotto, M. Barranco, A. Emperador, R. Mayol, and M. Pi, "Integer filling factor phases and isospin in vertical diatomic artificial molecules," Phys. Rev. B **70** (4), 045324 (2004).
4. J. Haruyama, K. Takazawa, S. Miyadai, A. Takeda, N. Hori, I. Takesue, Y. Kanda, T. Akazaki, and H. Takayanagi, "Supercurrent in diffusive multi-walled carbon nanotubes," Physica C **408-10**, 85-87 (2004).
5. T. Koga, J. Nitta, and M. van Veenhuizen, "Ballistic spin interferometer using the Rashba effect," Phys. Rev. B **70** (16), 161302 (2004).
6. Y. Lin, J. Nitta, T. Koga, and T. Akazaki, "Electron g factor in a gated InGaAs channel with double InAs-inserted wells," Physica E **21** (2-4), 656-660 (2004).
7. F. E. Meijer, A. F. Morpurgo, T. M. Klapwijk, T. Koga, and J. Nitta, "Competition between spin-orbit interaction and Zeeman coupling in Rashba two-dimensional electron gases," Phys. Rev. B **70** (20), 210307 (2004).
8. F. E. Meijer, A. F. Morpurgo, T. M. Klapwijk, T. Koga, and J. Nitta, "Statistical significance of the fine structure in the frequency spectrum of Aharonov-Bohm conductance oscillations," Phys. Rev. B **69** (3), 035308 (2004).
9. F. E. Meijer, J. Nitta, T. Koga, A. F. Morpurgo, and T. M. Klapwijk, "Experiments on Aharonov-Bohm conductance oscillations: a statistical analysis of the averaged Fourier spectrum," Physica E **22** (1-3), 402-405 (2004).
10. J. Nitta, Y. P. Lin, T. Koga, and T. Akazaki, "Electron g-factor in a gated InAs-inserted-channel In_{0.53}Ga_{0.47}As/In_{0.52}Al_{0.48}As heterostructure," Physica E **20** (3-4), 429-432 (2004).

11. A. Richter, M. Yamaguchi, T. Akazaki, H. Tamura, and H. Takayanagi, "Single-electron charging effects in a semiconductor quantum wire with side-coupled quantum dot," *Jpn. J. Appl. Phys. Part 1 - Regul. Pap. Short Notes Rev. Pap.* **43** (10), 7144-7149 (2004).
12. P. V. Santos, J. Nitta, and K. H. Ploog, "Stern-Gerlach spin filter using surface acoustic waves," *Solid State Commun.* **132** (9), 631-634 (2004).
13. Y. Sekine, J. Nitta, T. Koga, A. Oiwa, S. Yanagi, T. Slupinski, and H. Munekata, "Magnetization reversal process of submicrometer-scale Hall bars of ferromagnetic semiconductor p-In_{0.97}Mn_{0.03}As," *Jpn. J. Appl. Phys. Part 1 - Regul. Pap. Short Notes Rev. Pap.* **43** (4B), 2097-2100 (2004).
14. M. Steiner, G. Meier, U. Merkt, and J. Nitta, "Magnetic transitions of permalloy rings in hybrid devices," *Physica E* **24** (1-2), 124-128 (2004).
15. M. Steiner and J. Nitta, "Control of magnetization states in microstructured permalloy rings," *Appl. Phys. Lett.* **84** (6), 939-941 (2004).
16. K. Shiraishi, H. Tamura, and H. Takayanagi, "Theoretical design of a semiconductor ferromagnet based on quantum dot superlattices," *Physica E* **24** (1-2), 107-110 (2004).
17. I. Takesue, T. Akazaki, S. Miyadai, N. Kobayashi, A. Tokita, M. Nomura, J. Haruyama, and H. Takayanagi, "Multi-walled carbon nanotubes with NbN superconducting electrodes," *Physica E* **24** (1-2), 32-36 (2004).
18. H. Tamura, K. Shiraishi, and H. Takayanagi, "Tunable exchange interaction in quantum dot devices," *Jpn. J. Appl. Phys. Part 2 - Lett. Express Lett.* **43** (5B), L691-L693 (2004).

量子光物性研究部

量子光制御研究グループ

1. D. Fattal, E. Diamanti, K. Inoue, and Y. Yamamoto, "Quantum teleportation with a quantum dot single photon source," *Phys. Rev. Lett.* **92** (3), 037904 (2004).
2. D. Fattal, K. Inoue, J. Vuckovic, C. Santori, G. S. Solomon, and Y. Yamamoto, "Entanglement formation and violation of Bell's inequality with a semiconductor single photon source," *Phys. Rev. Lett.* **92** (3), 037903 (2004).
3. K. M. C. Fu, T. D. Ladd, C. Santori, and Y. Yamamoto, "Optical detection of the spin state of a single nucleus in silicon," *Phys. Rev. B* **69** (12), 125306 (2004).
4. T. Hong, M. W. Jack, and M. Yamashita, "On-demand single-photon state generation via nonlinear absorption," *Phys. Rev. A* **70** (1), 013814 (2004).
5. T. Honjo, K. Inoue, and H. Takahashi, "Differential-phase-shift quantum key distribution experiment with a planar light-wave circuit Mach-Zehnder interferometer," *Opt. Lett.* **29** (23), 2797-2799 (2004).

6. K. Inoue and K. Shimizu, "Generation of quantum-correlated photon pairs in optical fiber: Influence of spontaneous Raman scattering," *Jpn. J. Appl. Phys. Part 1 - Regul. Pap. Short Notes Rev. Pap.* **43** (12), 8048-8052 (2004).
7. Y. X. Liu, A. K. Ozdemir, A. Miranowicz, M. Koashi, and N. Imoto, "Exciton entanglement in two coupled semiconductor microcrystallites," *J. Phys. A-Math. Gen.* **37** (15), 4423-4436 (2004).
8. Y. X. Liu, S. K. Ozdemir, A. Miranowicz, and N. Imoto, "Kraus representation of a damped harmonic oscillator and its application," *Phys. Rev. A* **70** (4), 042308 (2004).
9. F. Morikoshi, M. F. Santos, and V. Vedral, "Accessibility of physical states and non-uniqueness of entanglement measure," *J. Phys. A-Math. Gen.* **37** (22), 5887-5893 (2004).
10. Y. Narumi, K. Kindo, M. Hagiwara, H. Nakano, A. Kawaguchi, K. Okunishi, and M. Kohno, "High-field magnetization of S=1 antiferromagnetic bond-alternating chain compounds," *Phys. Rev. B* **69** (17), 174405 (2004).
11. S. K. Ozdemir, J. Shimamura, and N. Imoto, "Quantum advantage does not survive in the presence of a corrupt source: optimal strategies in simultaneous move games," *Phys. Lett. A* **325** (2), 104-111 (2004).
12. S. K. Ozdemir, J. Shimamura, F. Morikoshi, and N. Imoto, "Dynamics of a discoordination game with classical and quantum correlations," *Phys. Lett. A* **333** (3-4), 218-231 (2004).
13. C. Santori, D. Fattal, J. Vuckovic, G. S. Solomon, E. Waks, and Y. Yamamoto, "Submicrosecond correlations in photoluminescence from InAs quantum dots," *Phys. Rev. B* **69** (20), 205324 (2004).
14. C. Santori, D. Fattal, J. Vuckovic, G. S. Solomon, and Y. Yamamoto, "Single-photon generation with InAs quantum dots," *New J. Phys.* **6**, 89 (2004).
15. J. Shimamura, S. K. Ozdemir, F. Morikoshi, and N. Imoto, "Entangled states that cannot reproduce original classical games in their quantum version," *Phys. Lett. A* **328** (1), 20-25 (2004).
16. J. Shimamura, S. K. Ozdemir, F. Morikoshi, and N. Imoto, "Quantum and classical correlations between players in game theory," *Int. J. Quantum Inf.* **2** (1), 79-89 (2004).
17. H. Takesue and T. Horiguchi, "Broad-band lightwave synthesized frequency sweeper using synchronous filtering," *J. Lightwave Technol.* **22** (3), 755-762 (2004).
18. H. Takesue and K. Inoue, "Generation of polarization-entangled photon pairs and violation of Bell's inequality using spontaneous four-wave mixing in a fiber loop," *Phys. Rev. A* **70** (3), 031802 (2004).
19. Y. Tokura, "Current noise in a quantum point contact," *Physica E* **22** (1-3), 284-287 (2004).

20. E. Waks, E. Diamanti, B. C. Sanders, S. D. Bartlett, and Y. Yamamoto, "Direct observation of nonclassical photon statistics in parametric down-conversion," *Phys. Rev. Lett.* **92** (11), 113602 (2004).
21. M. Yamashita, "Dynamics of evaporative cooling and growth of a Bose-Einstein condensate," *Laser Phys.* **14** (4), 597-602 (2004).

量子光デバイス研究グループ

1. N. I. Cade, R. Roshan, M. Hauert, A. C. Maciel, J. F. Ryan, A. Schwarz, T. Schapers, and H. Luth, "Carrier relaxation in GaAs v-groove quantum wires and the effects of localization," *Phys. Rev. B* **70** (19), 195308 (2004).
2. R. A. Ganeev, T. Kanai, A. Ishizawa, T. Ozaki, and H. Kuroda, "Development and applications of a compact hybrid tabletop terawatt chirped-pulse amplification Ti:sapphire-Nd: glass laser for x-ray lasing and harmonic generation," *Appl. Optics* **43** (6), 1396-1403 (2004).
3. H. Gotoh, H. Kamada, T. Saitoh, H. Ando, and J. Temmyo, "Effects of biexcitons on exciton decoherence processes in In_xGa_{1-x}As quantum dots," *Phys. Rev. B* **69** (15), 155328 (2004).
4. H. Gotoh, H. Kamada, T. Saitoh, H. Ando, and J. Temmyo, "Effects of exciton-biexciton coherent coupling on exciton absorption in quantum dots," *Appl. Phys. Lett.* **85** (16), 3480-3482 (2004).
5. H. Gotoh, H. Kamada, T. Saitoh, S. Shigemori, and J. Temmyo, "Positional control of self-assembled quantum dots by patterning nanoscale SiN islands," *Appl. Phys. Lett.* **85** (14), 2836-2838 (2004).
6. H. Gotoh, S. Shigemori, H. Kamada, T. Saitoh, and J. Temmyo, "Spatially ordered self-assembled quantum dots with uniform shapes fabricated by patterning nanoscale SiN islands," *Jpn. J. Appl. Phys. Part 1 - Regul. Pap. Short Notes Rev. Pap.* **43** (10), 6894-6899 (2004).
7. S. Hughes, "Enhanced single-photon emission from quantum dots in photonic crystal waveguides and nanocavities," *Opt. Lett.* **29** (22), 2659-2661 (2004).
8. S. Hughes, "High-field wave packets in semiconductor quantum wells: A real-space finite-difference time-domain formalism," *Phys. Rev. B* **69** (20), 205308 (2004).
9. S. Hughes and H. Kamada, "Single-quantum-dot strong coupling in a semiconductor photonic crystal nanocavity side coupled to a waveguide," *Phys. Rev. B* **70** (19), 195313 (2004).
10. H. Kamada and H. Gotoh, "Quantum computation with quantum dot excitons," *Semicond. Sci. Technol.* **19** (4), S392-S396 (2004).
11. A. Nakamura, J. Ishihara, S. Shigemori, K. Yamamoto, T. Aoki, H. Gotoh, and J. Temmyo, "Characterization of wurtzite Zn_{1-x}Cd_xO films using remote plasma-enhanced metalorganic chemical vapor deposition," *Jpn. J. Appl. Phys. Part 2*

- Lett. Express Lett. **43** (11A), L1452-L1454 (2004).
12. H. Nakano, A. A. Andreev, and J. Limpouch, "Femtosecond X-ray line emission from multilayer targets irradiated by short laser pulses," *Appl. Phys. B-Lasers Opt.* **79** (4), 469-476 (2004).
 13. T. Nishikawa, H. Nakano, K. Oguri, N. Uesugi, K. Nishio, and H. Masuda, "Nanohole-array size dependence of soft x-ray generation enhancement from femtosecond-laser-produced plasma," *J. Appl. Phys.* **96** (12), 7537-7543 (2004).
 14. T. Nishikawa, S. Suzuki, Y. Watanabe, O. Zhou, and H. Nakano, "Efficient water-window X-ray pulse generation from femtosecond-laser-produced plasma by using a carbon nanotube target," *Appl. Phys. B-Lasers Opt.* **78** (7-8), 885-890 (2004).
 15. K. Oguri, T. Nishikawa, T. Ozaki, and H. Nakano, "Sampling measurement of soft-x-ray-pulse shapes by femtosecond sequential ionization of Kr⁺ in an intense laser field," *Opt. Lett.* **29** (11), 1279-1281 (2004).
 16. K. Oguri, T. Ozaki, T. Nishikawa, and H. Nakano, "Femtosecond-resolution measurement of soft-X-ray pulse duration using ultra-fast population increase of singly charged ions induced by optical-field ionization," *Appl. Phys. B-Lasers Opt.* **78** (2), 157-163 (2004).
 17. K. Tateno, H. Gotoh, and Y. Watanabe, "GaAs/AlGaAs nanowires capped with AlGaAs layers on GaAs(311)B substrates," *Appl. Phys. Lett.* **85** (10), 1808-1810 (2004).
 18. T. Tawara, H. Gotoh, T. Akasaka, N. Kobayashi, and T. Saitoh, "Cavity polaritons in InGaN microcavities at room temperature," *Phys. Rev. Lett.* **92** (25), 256402 (2004).
 19. R. Yano, H. Gotoh, Y. Hirayama, and S. Miyashita, "Systematic pump-probe terahertz wave emission spectroscopy of a photoconductive antenna fabricated on low-temperature grown GaAs," *J. Appl. Phys.* **96** (7), 3635-3638 (2004).
 20. R. Yano, H. Gotoh, Y. Hirayama, S. Miyashita, Y. Kadoya, K. Kusuda, and M. Yamanishi, "Low-frequency spectral enhancement of THz electromagnetic waves emitted from InAs surface with increased excitation intensity," *J. Appl. Phys.* **95** (4), 2141-2145 (2004).

フォトリックナノ構造研究グループ

1. G. H. Kim, Y. H. Lee, A. Shinya, and M. Notomi, "Coupling of small, low-loss hexapole mode with photonic crystal slab waveguide mode," *Opt. Express* **12** (26), 6624-6631 (2004).
2. M. Notomi, A. Shinya, E. Kuramochi, S. Mitsugi, H. Y. Ryu, T. Kawabata, T. Tsuchizawa, T. Watanabe, T. Shoji, and K. Yamada, "Photonic-band-gap waveguides and resonators in SOI photonic crystal slabs," *IEICE Trans. Electron.* **E87C** (3), 398-408 (2004).
3. M. Notomi, A. Shinya, S. Mitsugi, E. Kuramochi, and H. Y. Ryu, "Waveguides,

- resonators and their coupled elements in photonic crystal slabs," *Opt. Express* **12** (8), 1551-1561 (2004).
4. M. Notomi, H. Suzuki, T. Tamamura, and K. Edagawa, "Lasing action due to the two-dimensional quasiperiodicity of photonic quasicrystals with a Penrose lattice," *Phys. Rev. Lett.* **92** (12), 123906 (2004).
 5. T. Okuda, H. Kiwata, T. Matsushima, T. Wakita, A. Harasawa, K. Ono, T. Kihara, M. Oshima, A. Yokoo, and T. Kinoshita, "Magnetic domain imaging of Ni micro ring and micro dot array by photoelectron emission microscopy," *Jpn. J. Appl. Phys. Part 1 - Regul. Pap. Short Notes Rev. Pap.* **43** (7A), 4179-4184 (2004).
 6. H. Y. Ryu, M. Notomi, G. H. Kim, and Y. H. Lee, "High quality-factor whispering-gallery mode in the photonic crystal hexagonal disk cavity," *Opt. Express* **12** (8), 1708-1719 (2004).
 7. H. Y. Ryu, M. Notomi, E. Kuramoti, and T. Segawa, "Large spontaneous emission factor (> 0.1) in the photonic crystal monopole-mode laser," *Appl. Phys. Lett.* **84** (7), 1067-1069 (2004).
 8. H. Suzuki, A. Yokoo, and M. Notomi, "Organic emissive materials and devices for photonic communication," *Polym. Adv. Technol.* **15** (1-2), 75-80 (2004).
 9. A. Yokoo, H. Suzuki, and M. Notomi, "Organic photonic crystal band edge laser fabricated by direct nanoprinting," *Jpn. J. Appl. Phys. Part 1 - Regul. Pap. Short Notes Rev. Pap.* **43** (6B), 4009-4011 (2004).

和文論文一覧

機能物質科学研究部

1. 谷保芳孝、嘉数誠、牧本俊樹、「n型AlNの物性とそれを用いたショットキーダイオード」、応用電子物性分科会誌、第10巻、第4号、p.167 (2004).
2. 嘉数誠、山内喜晴、M. Kubovic、E.Kohn、牧本俊樹、「ダイヤモンドMESFETのマイクロ波帯増幅特性」、電子情報通信学会技術報告ED2004-134、p.93 (2004).
3. 嘉数誠、「ダイヤモンドMESFETのミリ波帯増幅と高周波出力電力特性」、応用物理学 会応用電子物性分科会、第10巻、第2号、p.86 (2004).
4. 嘉数誠、「世界最高の周波数特性を持つダイヤモンド半導体の作製に成功」、NTT技術ジャーナル、第16巻、第1号、p.66 (2004).
5. 渡辺義夫、川村朋晃、Satyaban Bhunia、藤川誠司、「高輝度放射光を用いた気相成長表面の実時間X線回折」、応用物理、第73巻、第5号、p. 620.
6. 河西奈保子、韓春錫、鳥光慶一、「生体試料からの過酸化水素放出空間分布のリアルタイム測定に成功」、日経先端技術、第4号、p.9 (2004).
7. 鳥光慶一、河西奈保子、古川由里子、「海馬神経活動とMg」、Clinical Calcium、第14号、p. 1204 (2004).

量子電子物性研究部

1. 永瀬雅夫、「ナノ四探針プローブシステム」、日経先端技術、第64号、p. 3 (2004).
2. 山口浩司、「「電子の波」で力を測る-- 電子波干渉力センサーの作製に成功 --」、日経先端技術、第69号、p.2 (2004)
3. 猪川洋、「単一電子算術演算回路の新アーキテクチャを開発トランジスタ数 $1 / 10$ 、消費電力 $1 / 100$ を実現」、日経先端技術、第72号、p.5 (2004).
4. 高柳英明、「メゾスコピック超伝導の魅力」、数理科学、第496号、p. 26 (2004).
5. 鈴木恭一、「電子 - 正孔近接系の量子ホール効果を解明 中赤外光素子、負性抵抗素子の応用に貢献」、日経先端技術、第65号、p.6 (2004).

6. 田村浩之、白石賢二、高柳英明、「量子ドットデバイスにおける調節可能な交換相互作用」、応用物理学会誌、第73巻、第7号、p.971 (2004).
7. 平山祥郎、「量子情報技術」、NTT技術ジャーナル、第16巻、第1号、p.38.
8. 仙場浩一、「超伝導磁束量子ビットの単一回読み出し」、NTT技術ジャーナル、第16巻、第1号、p.42 (2004).
9. 林稔晶、「半導体二重量子ドットを用いた電荷量子ビット」、NTT技術ジャーナル、第16巻、第1号、p.46 (2004).
10. 藤澤利正、「単一電子ダイナミクスへの期待」、NTT技術ジャーナル、第16巻、第1号、p.55 (2004).

量子光物性研究部

1. 横尾篤、「ナノ電極リソグラフィ」、電子材料、第43巻、第1号、p.131 (2004).
2. 鎌田英彦、「半導体量子ドット励起子を使う量子コンピューティング」、NTT技術ジャーナル、第16巻、第1号、p.50 (2004).

編集 “NTT 物性科学基礎研究所の研究活動”編集委員会

佐藤 寿志

川村 朋晃

山崎 謙治

向井 哲哉

後藤 秀樹

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>