

NTT 物性科学基礎研究所の研究活動

平成 17(2005)年度

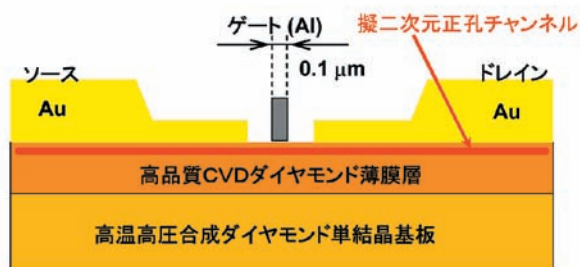
Volume 16

2006 年 9 月

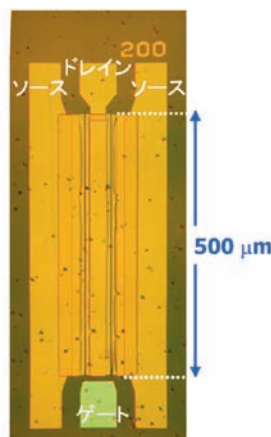
日本電信電話株式会社
物性科学基礎研究所

NTT Basic Research Laboratories

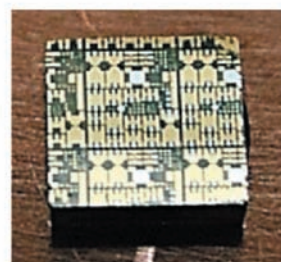
<http://www.brl.ntt.co.jp/>



ダイヤモンドFETの断面構造



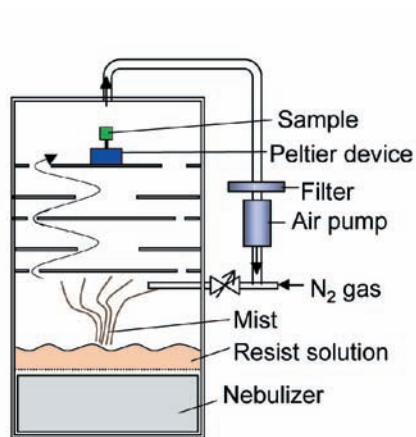
ダイヤモンドFET
(ゲート幅1mm)



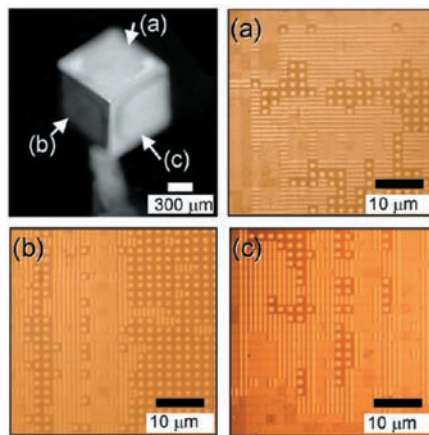
ダイヤモンドFET
(3ミリ角)

ダイヤモンドFETのGHz大電力動作

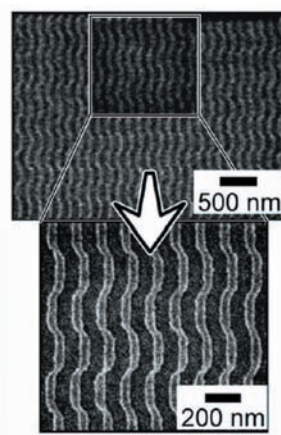
半導体の中で最も優れた高周波電力特性が期待されているダイヤモンドでFET(電界効果トランジスタ)を作製し、1GHz で世界最高の 2.1 W/mm の高周波出力電力密度を得た(18ページ)。



塗布装置の概略



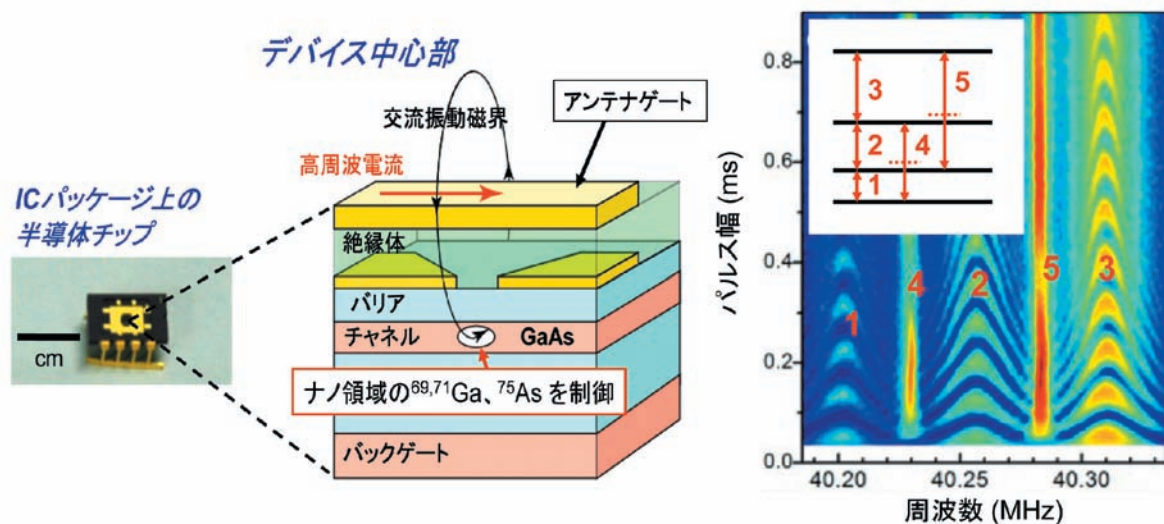
立方体上のパターン



SiO₂ に転写した細線

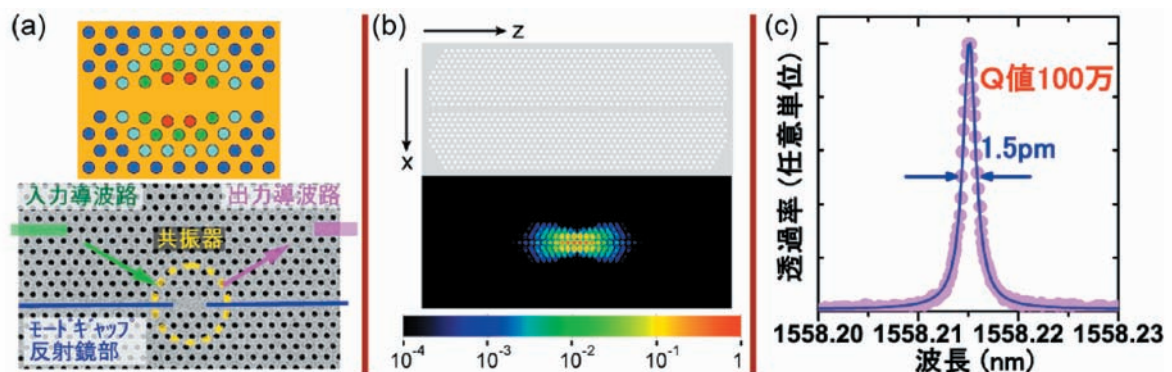
霧を用いた3次元レジスト塗布技術とSi立方体上のナノパターン形成

様々な材料の 3 次元ナノ加工を目的として、立体試料の表面上にレジストを一括塗布する新たな 3 次元レジスト塗布技術を開発した。超音波霧発生器によりレジスト溶液の霧を発生させ、細かい霧の準静的な雰囲気中に立体試料を配置することにより、小さい面粗さで均一性良くレジストを塗布することができるようになった。更に、SiO₂/Si立方体上に 3 次元電子ビーム描画を行うことにより、各面上に同様のパターンが形成でき、SiO₂膜に転写した細線から 50nm 以下の解像度が得られることを確認した(32 ページ)。



ナノスケールデバイスにおける核スピンのコヒーレント制御

半導体ポイントコンタクトデバイスを用いて核スピンの量子コヒーレント制御を実現した。図は左から実験に用いた半導体チップ、中に作り込まれたナノデバイスの概略図、As のNMR共鳴周波数付近で測定されたナノデバイスの抵抗変化のカラープロットを示している。As に典型的な4つに分裂した核スピン状態間で、様々な量子遷移がきわめて正確に制御され、明瞭なコヒーレント振動が観測されている (36 ページ)



(a)共振器構造と試料の顕微鏡像

(b)共振器電磁界計算結果

(c)試料の透過スペクトル

線欠陥幅変化による超高Q値フォトニック結晶微小共振器

フォトニック結晶中に形成した点欠陥は光を閉じ込める微小共振器、線欠陥は光の導波路として働くことが知られている。最近我々は線欠陥の一部の幅を変化させ極めて緩やかな光閉じ込めを実現すると超小型かつ超高Q値の共振器になることを見出した。上に示すSiフォトニック結晶では一部の穴を写真では判別不能である数nm単位で横にずらすことで線欠陥幅を変化してある。以前フォトニック結晶では困難と考えられていた実験Q値100万の壁を本共振器により世界で初めて破ることに成功した (48 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では、

- (1) ネットワーク・情報処理技術における処理能力・セキュリティの壁を越える新原理・新コンセプトの創出
- (2) 中長期的なイノベーションにつながる基礎技術の開拓

を進め、中長期的NTT事業への貢献のみならず、普遍的知見の獲得など学術的貢献もミッションとして研究活動を進めております。その目的を達成するうえで、研究成果をタイムリーかつ継続的に提供することが重要と考え、各研究テーマを

- (i) スピードを重視し、内外との連携により戦略的に展開を図るべきテーマ(重点研究)
- (ii) 重点テーマへの発展を期待した探索的な研究(探索研究)
- (iii) 従来技術から脱却し、破壊的イノベーションへと発展させるべきテーマ(革新的研究)

に分類、それぞれの状況に適したマネジメントを行うよう努めております。

重点研究のテーマとしては、量子情報処理とナノバイオ研究があります。前者は、量子力学の根幹である電子、あるいは光子の本質を解明し、量子暗号通信あるいは量子コンピューティングといった具体的な応用を設定、情報処理能力・セキュリティの壁を凌駕しようというものです。物性科学基礎研究所では、これまで量子光学、半導体電子物性、半導体微細加工技術などの研究を進めており、半導体量子ドット、超伝導素子、冷却原子などの研究において多くの成果を上げております。それらの成果、知見をベースとして、更に内外研究機関との連携により、量子暗号通信および量子コンピュータの可能性を検討しております。また、ナノバイオ研究では、神経科学・バイオ分子科学とナノテクノロジーの融合による新分野の創出を目指しており、分子・蛋白と人工ナノ構造との融合は、新しいデバイスの登場を期待させます。

また探索研究としては、ナノメートルスケールの微細構造において、その機械的運動と量子力学的電子状態を関連付け、機械的運動に現れる量子力学的側面について研究を進めております。また、カーボンナノチューブを所望の場所で切断するなど、ナノ構造を自在に操る技術、更には電子のスピン状態の解明とその制御を目指したスピントロニクスなどの研究を推進しています。

更に近い将来、既存の技術を駆逐するような破壊的イノベーションの実現を目指した革新的研究も進めております。例えばワイドギャップ半導体、単電子素子、フォトニック結晶デバイスなどの研究を推進し、既存技術にとって変わる技術の確立を目指しております。

これらの研究を行うにあたって、NTTの他研究所に加え、日本、米国、欧州、アジアの大学や研究機関と広く共同研究を行っており、多くの優れた成果を上げています。また、物性科学基礎研究所では、当厚木R&Dセンター内において国際シンポジウムを毎年開催しております。2006年2月には、メゾスコピック超伝導とスピントロニクスに関する国際シンポジウムを開催し、内外から100名以上の方々に参加して頂きました。また2005年10月には、Decoherence and Noise in Quantum SystemsをテーマにBRLスクールを開催しました。このスクールでは、7名の一流研究者を講師として迎え、世界17カ国の若手研究者や学生を対象に、その分野における一流研究者との交流の場を提供しました。これらの活動を通じて、開かれた研究所としての使命を果たすとともに、本研究所での成果を広く世界に発信するよう努めております。

本冊子は2005年度の成果と研究活動についてご紹介しております。この小冊子をご覧いただき、研究交流促進の一助となれば幸いです

2006年9月

湯本 潤司

湯本 潤司

NTT 物性科学基礎研究所長

〒243-0198 神奈川県厚木市森の里若宮3-1

電話：+81 46 240 3300

FAX：+81 46 270 2358

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	17
◆ 機能物質科学研究部の研究紹介	18
◆ ダイヤモンドFETのGHz大電力動作	
◆ BGaN バッファ層を用いた高品質 GaN 薄膜の成長	
◆ FME 法による高品質六方晶 BN ヘテロエピタキシャル成長	
◆ 窒化物半導体 HBT の高温動作特性	
◆ 低速電子線照射によるカーボンナノチューブの金属-半導体転移	
◆ フェリチン触媒を用いたカーボンナノチューブの径制御成長	
◆ 微小角入射 X 線回折によるシリコンナノ薄膜の歪み解析	
◆ 室温における分子デバイスの電子物性	
◆ 海馬切片のリアルタイム過酸化水素イメージングと神経細胞死	
◆ 原子間力顕微鏡による生体分子の静的・動的構造解析	
◆ 細胞内pHを制御する IP3 レセプターの新規の機能	
◆ 1 分子フォトニクス	
◆ 量子電子物性研究部の研究紹介	30
◆ ナノキャパシタンスの物質依存性に関する理論検討	
◆ シリコン・ナノデバイスを使った室温動作可能な単一電子デジタル-アナログ変換器	
◆ 霧を用いた 3 次元レジスト塗布技術と Si 立方体上のナノパターン形成	
◆ 超伝導近接効果を用いた力・変位測定	
◆ 量子ドットにおける選択的電子スピン緩和	
◆ 核スピンを用いた二次元電子スピン物性の計測	
◆ ナノスケールデバイスにおける核スピンのコヒーレント制御	
◆ 巨視的超伝導量子ビット LC 振動子結合系の真空ラビ振動	
◆ 超伝導磁束量子ビットのパラメトリック制御	
◆ 超伝導アトムチップによる原子の捕捉	
◆ 局所ホール効果を使った磁壁速度の測定	
◆ GaAs 量子井戸を用いた電子密度と電場の独立操作	
◆ 量子光物性研究部の研究紹介	42
◆ 周波数上方変換型光子検出器を用いた長距離、高速量子鍵配送	
◆ 通信波長帯における energy-time もつれ光子対の発生	
◆ 傾斜磁場を利用した単一スピンのコヒーレント制御	
◆ 量子ドットにおける励起子・励起子分子を用いた光非線形	

- ◆ 逆 VLS 機構により形成されるナノホール
- ◆ 表面高調波のスペクトル干渉による極短レーザーパルスのキャリアエンベロープ位相計測
- ◆ 線欠陥幅変化による超高Q値フォトニック結晶微小共振器
- ◆ フォトニック結晶共振器を用いた全光フリップフロップ回路
- ◆ 共振器の動的チューニングによる断熱的波長変換

II. 資料

◆ サイエンスプラザ 2005Fall	51
◆ 第3回 NTT 物性科学基礎研究所スクール	52
◆ 国際シンポジウム「メゾスコピック超伝導とスピントロニクス」MS+S2006	53
◆ 表彰受賞者一覧	54
◆ 報道一覧	57
◆ 報道(抜粋)	60
◆ 来訪者による講演一覧	63
◆ 学術論文掲載件数、国際会議発表件数および出願特許件数.....	68
◆ 国際会議招待講演一覧.....	70
◆ 英文論文一覧.....	78
◆ 和文論文一覧.....	96

表紙の写真:

半導体ナノ構造における核スピンのコヒーレント制御

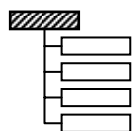
ガリウム砒素中に形成されたナノ構造における核スピンを全電氣的に制御、検出した。それにより、従来の NMR 技術では測定できない多量子準位間の量子力学的重ね合わせ状態を直接観測することに成功した。カラープロットは高周波照射による As 核スピンの時間発展

物性科学基礎研究所 所員一覧

2006 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

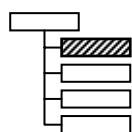


所長

湯本 潤司 (2006 年 4 月 1 日より)

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
主幹研究員

原田 裕一

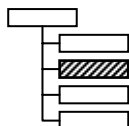
NTT R&D フェロー

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

上田正仁 (東京工業大学)
清水富士夫 (JST-CREST、電気通信大学)
山本喜久 (スタンフォード大学、U.S.A)*
野村晋太郎 (筑波大学)
井上 恭 (大阪大学)

機能物質科学研究部



部長 **鳥光慶一**

補佐 佐藤寿志 上野祐子
味戸克裕 Rungsawang, Rakchanok
富田 勲

薄膜材料研究G

グループリーダー

牧本俊樹

嘉数 誠	小林康之	山本秀樹*
柴田浩行	狩元慎一	赤坂哲也
熊倉一英	植田研二	谷保芳孝
Ye, Haitao*	西川 敦	Tallaire, Alexandre

低次元構造研究G

グループリーダー

小林慶裕

前田文彦	日比野浩樹	川村朋晃
Kuniyil, Prabhakaran*	尾身博雄	鈴木 哲
神崎賢一	登倉明雄	Jeong Goo-Hwan

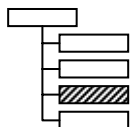
分子生体機能研究G

グループリーダー

鳥光慶一

江幡啓介	古川一暁	住友弘二
河西奈保子	島田明佳	樫村吉晃
中島 寛	後藤東一郎	Han, Chunxi*
小林未明	Nyberg, Tobias	

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

山口浩司

永瀬雅夫

林 順三

山崎謙治

岡本 創

山口 徹

Mahboob, Imran

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

Renard, Vincent

蟹沢 聖

鈴木恭一

遊佐 剛*

Giudici, Paula

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

Kasper, Alexander

向井哲哉

角柳孝輔

田中弘隆

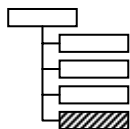
Eichler, Taro*

スピントロニクス研究G
グループリーダー

赤崎達志
原田裕一
小林俊之

関根佳明 山口真澄
Zhong, Yuan-Liang

量子光物性研究部



部長 **都倉康弘**
 森田雅夫*

補佐 山下 眞

量子光制御研究G

グループリーダー

都倉康弘

清水 薫
武居弘樹
川口 晃*

井桁和浩
森越文明
玉木 潔

熊谷雅美
本庄利守
Tobiska, Jens

量子光デバイス研究G

グループリーダー

中野秀俊

寒川 哲臣
舘野功太
石澤 淳
岡野泰彬

鎌田英彦
俵 毅彦
眞田 治樹
Cade, Nicholas

後藤秀樹
小栗克弥
Hughes, Stephen*

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

川西悟基
谷山秀昭
加藤正夫

横尾 篤
新家昭彦
伊藤 哲*

倉持栄一
田辺孝純

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。最近では、半導体低次元構造の弾性的、機械的性質の研究に取り組んでいる。平成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17年より東北大学理学部物理学科連携大学院客員教授。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、日本物理学会会員。

特別研究員



納富 雅也

昭和 63 年東京大学大学院工学系研究科物理工学専攻修士課程修了。同年日本電信電話株式会社入社、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)。2006/2007 IEEE/LEOS Distinguished Lecturer Award 受賞。JJAP 編集委員。日本応用物理学会、APS、IEEE/LEOS 会員。

特別研究員



嘉数 誠

昭和 60 年京都大学工学部電気工学科卒業。平成 2 年同京都大学大学院工学研究科博士課程修了(電気工学専攻、工学博士)。同年日本電信電話株式会社(NTT)に入社。以来、走査型トンネル顕微鏡(STM)を用いたナノ構造作製技術、窒化アルミニウム(AIN)、ダイヤモンド電子デバイスの研究に従事。現在、NTT 物性科学基礎研究所機能物質研究部薄膜材料研究グループ。平成 14~15 年ウルム大学(ドイツ)客員研究員。平成 13 年電子材料シンポジウム(EMS)アワード受賞。東京大学、東京理科大学、立命館大学非常勤講師、表面科学会編集委員、窒化物半導体国際会議(ICNS-5)実行委員、日本学術振興会 132 委員会企業幹事などを歴任。応用物理学会、電子情報通信学会、表面科学会会員。平成 18 年より総務省 SCOPE プロジェクト「ダイヤモンド高周波電力デバイスの開発とマイクロ波・ミリ波帯電力増幅器への応用」研究代表者。

アドバイザーボード（2005 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（2005 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. Jan Johansson	科学技術振興機構（JST）CREST February 04 – January 06
Dr. Tobias Bergsten	科学技術振興機構（JST）CREST April 04 – March 06
三木 聡	東京工業大学 April 05 – July 05
宮下 英俊	東京大学医科学研究所 April 05 – March 06
川畑 史郎	独立行政法人 産業技術総合研究所 April 05 – May 05
Dr. Stefan Fölsch	Paul Drude Institute for Solid-State Electronics, Germany April 05
Prof. Rui-Rui Du	Rice University, U.S.A. July 05 – August 05
Prof. Jian Chen	Nanjing University, R.O.C. July 05 – August 05
古賀 貴亮	北海道大学大学院 情報科学研究科 August 05 – July 06
束田 昭雄	東京農工大学 June 05 – March 06
Dr. Chandra Ramanujan	University of Oxford, U.K. October 05 – November 05
遊佐 剛	科学技術振興機構（JST）さきがけ October 05 – September 08

宮本 泰敬
(交流研究員)

日本放送協会放送技術研究所
December 05 – November 06

片岡 真哉

ケンブリッジ大学
January 06

Prof. Yong-Hang Zhang

Arizona State University, U.S.A.
January 06 – July 06

Prof. Alexey Ustinov

University of Erlangen-Nürnberg, Germany
January 06 – March 06

Prof. Mats Jonson

Göteborg University, Sweden
February 06 – March 06

Prof. Eleanor Campbell

Göteborg University, Sweden
February 06 – March 06

Dr. Christopher Bauerle

CNRS-CRTBT, France
February 06 – March 06

Dr. Fabio Taddei

Scuola Normale Superiore, Italy
February 06 – March 06

海外研修生（2005 年度）

氏名	所属 期間
Frank Deppe	Technische Universität München, Germany May 02 – July 05
Simon Perraud	University of Paris 6 / CNRS, France October 04 – September 07
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 – August 05 October 05 – January 06
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
Shih-Chieh Huang	National Chiao Tung University, Taiwan R.O.C. February 05 – February 06 March 06 – September 06
Taryl Leaton Kirk	Universität Stuttgart, Germany Max-Planck-Institut für Festkörperforschung, Germany March 05 – April 05
Samir Etaki	Delft University of Technology, The Netherlands April 05 – September 05
Rémi Rivière	INSA (Institut National des Sciences Appliquées de Toulouse), France May 05 – September 05

Na Young Kim	Stanford University, U.S.A. June 05 – June 05
Andreas Winkler	Darmstadt University of Technology, Germany July 05 – December 05
Jennifer Chan	University of Oxford, U.K. July 05 – August 05
Carole Planchette	ESPCI (Ecole Supérieure de Physique et de Chimie Industrielles), France July 05 – December 05
Pierrick Balestrieri	ESPCI (Ecole Supérieure de Physique et de Chimie Industrielles), France July 05 – December 05
Rebeca Alonso	"Miguel Hernández" University of Elche, Spain January 06 – August 06
François Chabrol	University of Newcastle upon Tyne, U.K. January 06 – February 06
Jean-François Morizur	ENS (Ecole Normale Supérieure), France February 06 – July 06
Raphael de Gail	ENS (Ecole Normale Supérieure), France February 06 – August 06
François Parmentier	ENS (Ecole Normale Supérieure), France February 06 – July 06
Benjamin Gaillard	INSA (Institut National des Sciences Appliquées de Toulouse), France February 06 – September 06
Wan-Cheng Zhang	Chinese Academy of Sciences, R.O.C. February 06 – August 06

Lars Tiemann

Max-Planck-Institut für Festkörperforschung, Germany
March 06 – June 06

国内実習生（2005 年度）

氏名	所属(期間)
五十嵐 悠一	東京大学大学院 (H17.4～H18.3)
井上 智博	大阪大学 (H18.1)
宇都宮 聖子	東京大学大学院 (H17.6, H17.10～H18.3)
遠藤 晋旦	東京理科大学大学院 (H17.4～H18.3)
大岩 顕	東京大学大学院 講師 (H17.4～H18.3)
大窪 洋平	北海道大学大学院 (H17.8～H17.9)
大野 暁	慶應義塾大学大学院 (H17.4～H18.3)
奥谷 洋	北海道大学大学院 (H17.8～H17.9)
小野 絢哉	筑波大学大学院 (H17.4～H18.3)
折原 辰昌	慶應義塾大学大学院 (H17.7～H17.8)
姜 承求	筑波大学大学院 (H17.4～H18.3)
北川 広野	東京理科大学大学院 (H17.4～H18.3)
北村 陽介	東京大学大学院 (H17.4～H18.3)
木原 脩一郎	早稲田大学大学院 (H17.6～H18.3)
沓澤 竜弥	東京理科大学大学院 (H17.4～H18.3)
郡司 まり香	慶應義塾大学 (H17.4～H18.3)
小寺 哲夫	東京大学大学院 (H17.4～H18.3)
近藤 真吾	東海大学大学院 (H17.4～H18.3)
榊原 孝太	豊橋技術科学大学 (H18.1～H18.2)
佐々木 洋輔	東京工業大学大学院 (H17.4～H18.3)
新海 剛	東京工業大学大学院 (H17.4～H18.3)
栖川 淳	東京大学大学院 (H17.4～H18.3)
鈴木 裕之	東京大学 (H17.11～H18.3)

相馬 章宏	東京大学大学院 (H17.4～H18.3)
曾我部 敦士	湘南工科大学大学院 (H17.4～H18.3)
高橋 俊岳	慶應義塾大学 (H17.4～H18.3)
田澤 雅也	東京理科大学 (H17.6～H18.3)
田中 伸哉	豊橋技術科学大学 (H18.1～H18.2)
田中 雅	長岡技術科学大学 (H17.10～H18.2)
Daniel Ioan Moraru	静岡大学大学院 (H17.10～H18.2)
土谷 大	慶應義塾大学 (H17.4～H17.8)
出川 勝彦	東北大学大学院 (H17.4)
富田 律也	東京工業大学大学院 (H17.4～H18.3)
中野 弘雅	東京理科大学大学院 (H17.4～H18.3)
中村 知弘	湘南工科大学大学院 (H17.4～H18.3)
野田 真澄	東京理科大学大学院 (H17.4～H18.3)
橋本 惇一	横浜国立大学大学院 (H17.8～H18.3)
日達 研一	東京大学大学院 (H17.4～H18.3)
古川 裕介	東京大学大学院 (H17.4～H18.3)
堀江 留美子	東京大学大学院 (H17.4～H17.9)
堀越 宗一	電気通信大学大学院 (H17.4～H18.3)
堀口 嵩浩	京都大学大学院 (H17.11)
益原 和臣	東京大学 (H17.10～H18.3)
松本 哲憲	東京理科大学大学院 (H17.4～H18.3)
丸田 裕己	東京大学 (H17.10～H18.3)
宮越 賢治	東京理科大学大学院 (H17.4～H18.3)
宮崎 祐史	早稲田大学大学院 (H17.6～H18.3)
宮脇 哲也	東北大学大学院 (H18.2～H18.3)
森田 雅和	東京工業大学大学院 (H17.4～H18.3)

藪内 真	慶應義塾大学大学院 (H17.4～H18.3)
山口 貴雄	東海大学 (H17.8～H18.3)
山本 倫久	東京大学大学院 助手 (H17.4～H18.3)
渡辺 一弘	大阪大学大学院 (H17.10)

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まで様々な物質群をカバーし、独自の物質創製技術や精密計測技術を通じて互いに連携されています。グループ間共同研究をはじめ、互いの研究領域や手段が有機的に融合し、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。

ナノバイオにおいては、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、英国政府支援の下、研究を強力に推進するとともに、窒化物における台湾との共同研究など国際協力関係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、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

都倉康弘

量子光物性研究部(量光部)は、光通信技術や光情報処理技術に大きな変革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推進しています。

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行われています。

この1年で、量子暗号の飛躍的な高速化、通信波長帯の量子もつれ光子の生成、極短パルス光電界の絶対位相制御と広帯域X線パルスによる時間分解吸収測定、欠陥導波路の低損失化や点欠陥共振器の高Q値の成果がありました。

ダイヤモンドFETのGHz大電力動作

嘉数誠 植田研二
機能物質科学研究部

近年、通信情報量は急速に大容量化する傾向にあり、GHz 帯で大電力動作可能な電子デバイスが求められている。ダイヤモンドは、最高の熱伝導率、最高の破壊電界強度を有し、キャリアの移動度やドリフト速度も高いため、ダイヤモンド電子デバイスは、理論的に、最も優れた高周波電力デバイスの性能を示すと予想されている。

従来のダイヤモンドは、結晶成長中に結晶欠陥が容易に生成し、高濃度の不純物が混入するため、良質な結晶を得ることができなかった。しかし我々は、結晶成長前の基板の表面処理や高純度メタン原料ガスを用いる成長方法によって、高品質ダイヤモンド薄膜結晶を成長する技術を確立することができた。

図1に作製したダイヤモンド FET (電界効果トランジスタ) の構造を示す。高温高圧 (HTHP) 合成ダイヤモンド基板の上に、水素ガスと高純度メタン原料ガスを用いて、高品質ダイヤモンド薄膜を CVD 成長する。次に高品質ダイヤモンド薄膜の表面を水素終端化し、表面近傍に正孔チャンネルを形成する。最後に電子ビーム露光技術とセルフ・アライン技術でサブミクロン Al ゲートを形成した。今回は電子ビーム露光技術を改良し、FET のソース・ゲート電極間隔を $0.5\ \mu\text{m}$ 程度まで縮小し、更に Al ゲートのゲート長を $0.1\ \mu\text{m}$ まで短縮したことによって、高周波特性は更に向上した。

図2に、ゲート長 (L_g) $0.1\ \mu\text{m}$ 、ゲート幅 (W_g) $100\ \mu\text{m}$ のダイヤモンド FET の 1GHz、A 級動作での入出力電力特性を示す。最大出力電力密度 (P_{out}) は、 $2.1\text{W}/\text{mm}$ に達した。この値は、これまでの世界最高の我々の報告値の7倍、現在実用にある GaAs FET 電力増幅器の約 2 倍に相当する。また線形電力利得 (Gain) は 10.94dB 、付加電力効率 (PAE) は 31.8% で、GaAs FET と比べても遜色のない値が得られた。

今後はダイヤモンド FET の実用化へ向けて、更なる高周波化、大電力化を進める一方で、信頼性の向上にも努めていく。

[1] M. Kasu, M. Ueda, H. Ye, Y. Yamauchi, et al., Electronics Letters **41** (2005) 1249.

[2] M. Kasu, M. Ueda, H. Ye, et al., Diamond and Related Materials **15** (2006) 783.

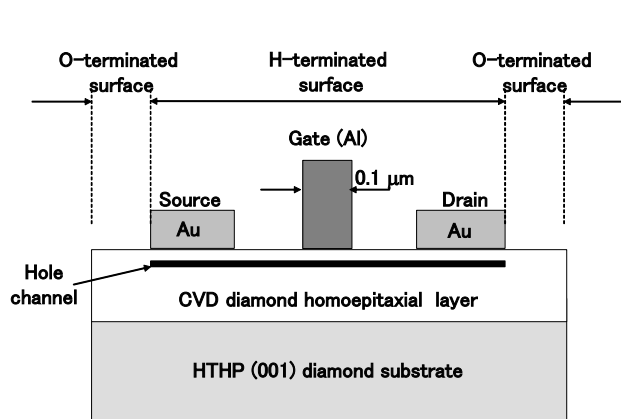


図1 ダイヤモンド FET の断面構造

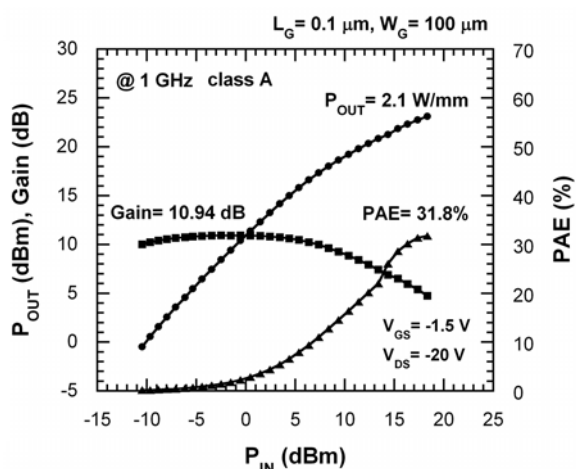


図2 1GHz での入出力電力特性

BGaN バッファ層を用いた高品質 GaN 薄膜の成長

赤坂哲也 小林康之 牧本俊樹
機能物質科学研究部

GaN 系薄膜は、SiC や GaN 基板などに比べて安価で大面積であるという特徴があるサファイア基板上に形成することが好ましい。ところが、GaN とサファイアとの間の格子定数と熱膨張係数の大きなミスマッチによる多数の結晶欠陥（貫通転位）が存在したり、高抵抗で移動度の高い GaN 薄膜が得られなかったりという問題がある。これまでも、これらの問題を解決する手法は存在したが、どちらか一方の問題にしか対処できず、複雑な工程を必要とした。我々は、BGaN をバッファ層として初めて用いることにより、1回の結晶成長のみという簡単な工程で、2つの問題を同時に解決した。[1]

BGaN は、B の固溶度が低く相分離を起こしやすい。B 組成がわずか2%であっても、相分離により2次元的な結晶成長が行われず、BGaN は図1に示したような多数の島状結晶を形成した。本来ならこのような3次元成長は半導体素子への応用を考えれば好ましくない。ところが、このような BGaN 島状結晶をバッファ層とし、更に GaN 薄膜を成長したところ、島々の間を埋めるように横方向成長が起こり、最終的に GaN 薄膜の表面は平滑で途切れなく一様になった。BGaN バッファ層を2層用いた GaN 薄膜の断面透過型電子顕微鏡(TEM)写真を図2に示す。GaN の横方向成長に伴い、貫通転位の折り曲げ、横伝播、half-loop 形成、および、合体などが起こり、貫通転位密度は1/100 ($2 \times 10^8 \text{ cm}^{-2}$)に低減した。この GaN 薄膜は残留キャリア密度が極めて低いことが分かった。更に、本手法を用いてサファイア基板上に、GaN 系トランジスタの基本構造である AlGaN/GaN ヘテロ構造を作製したところ、最高レベルの二次元電子ガス移動度(室温で $1910 \text{ cm}^2/\text{Vs}$)が得られた。

本手法は、1回の結晶成長のみで、結晶欠陥が少なく電気的特性にも優れた GaN 薄膜を安価なサファイア基板の全面に均一に形成できるので、GaN 系トランジスタやレーザダイオードの低価格化や長寿命化のための基盤技術として非常に有望である。

[1] T. Akasaka and T. Makimoto, Jpn. J. Appl. Phys. (JJAP Express Letter) **44** (2005) L1506.

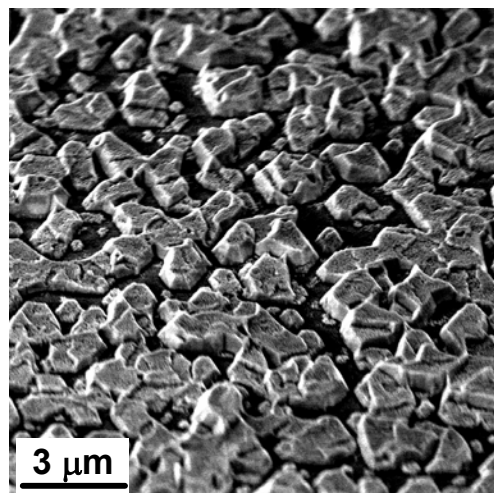


図1 BGaN 島状結晶(バッファ層)の電子顕微鏡写真

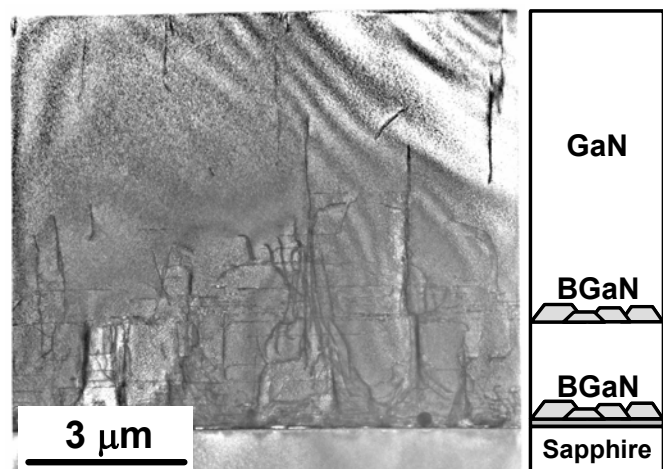


図2 BGaN バッファ層を用いた GaN 薄膜の断面 TEM 写真

FME 法による高品質六方晶 BN ヘテロエピタキシャル成長

小林康之 赤坂哲也 牧本俊樹
機能物質科学研究部

六方晶 BN(h-BN)は、5.97eV のバンドギャップと149meVの励起子束縛エネルギーを有するため、紫外領域の光デバイスや励起子をベースにした量子情報処理材料として期待されている。しかしながら、これまでのところ、エピタキシャル成長に適した基板上的高品質BN成長についての報告はない。2、3の論文が、従来の有機金属気相成長法によるBN成長について報告しているのみであり、結晶性を含む多くの基本的な問題が未解決のままである。

未解決の問題の1つは、III族原料とV族原料の間で気層中で反応が生じるということである。流量変調エピタキシー法(FME)においては、III族原料とV族原料を交互に基板表面に供給するため、気相反応を最も効率的に抑制すると期待される。Ni(111)基板は、h-BNの面内の格子定数と非常に近い格子定数を有するため、高品質h-BN成長を実現する可能性を持っている。今回、我々は、FME法を用いて、Ni(111)基板上に初めてh-BNのヘテロエピタキシャル成長を実現した。

図1はMOVPE法とFME法により成長したBNの成長速度のアンモニア(NH₃)流量依存性である。MOVPE成長したBNにおいては、NH₃流量を増加させることにより、BNの成長速度は単調に減少した。FME成長したBNの成長速度も、NH₃流量の増加と共に、少しずつ減少したが、その減少量はMOVPE成長における減少量よりもはるかに低減されていた。これらの結果は、FME成長が気相反応を効果的に抑制することが可能であることを示している[1]。図2はFME成長したh-BNの2θ/ωのX線回折パターンである。Ni(111)回折ピークから離れたところに、h-BN(0001)面からの特徴的な鋭いh-BN(0002)と弱いh-BN(0004)ピークが観測され、その成長層が、Ni(111)表面に対してc軸が垂直な単結晶(0001)h-BNヘテロエピタキシャル層であることを示している[2]。

今回の結果は、将来の光デバイス応用への道筋を切り開くものである。

[1] Y. Kobayashi and T. Makimoto, Jpn. J. Appl. Phys. **45** (2006) 3519.

[2] Y. Kobayashi et al. Abstracts of 13th International Conference on Metal Organic Vapor Phase Epitaxy, Th-A1.1 (2006).

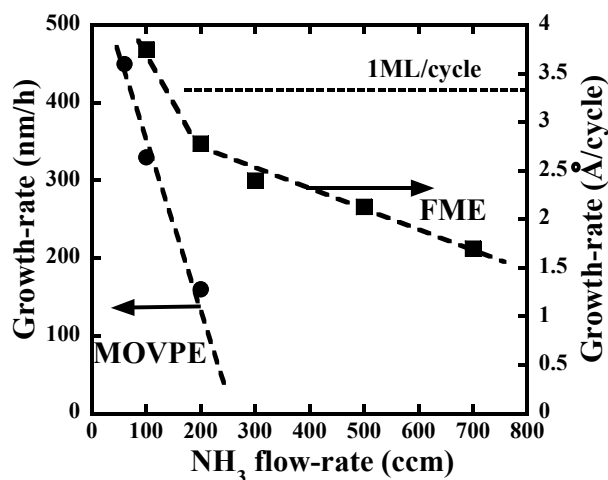


図1 MOVPEとFME法によるBN成長速度のNH₃流量依存性

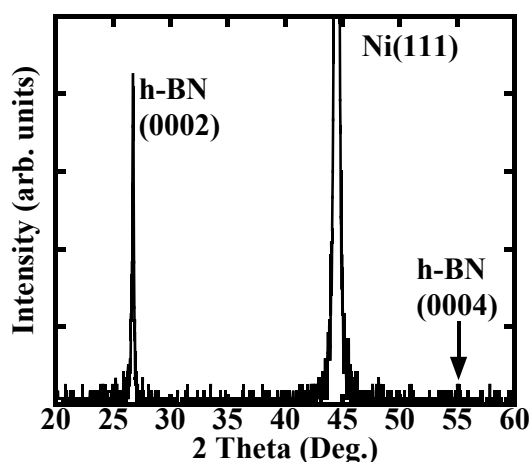


図2 h-BNのX線回折パターン

窒化物半導体 HBT の高温動作特性

熊倉一英 牧本俊樹
機能物質科学研究部

窒化物半導体は、大きなバンドギャップを有するなどの材料特性から、高温・高耐圧で動作するデバイスの材料として有望である。ヘテロ接合バイポーラトランジスタ(HBT)は、ノーマリーオフデバイスであり、大きな電流密度での動作が可能である。したがって、窒化物半導体HBTは、従来の半導体では実現できないような、高温で動作するハイパワーデバイスとして期待されている。しかし、これまでの窒化物半導体HBTは、結晶欠陥が多いことやデバイスプロセスによるダメージにより、リーク電流が多いなどの問題があり、耐圧などの実験値は、理論的に予測される値を下回っていた。

我々のグループでは、独自に開発した緩衝層を使用することで、サファイア基板上に高品質の窒化物半導体を成長することに成功している[1]。また、この技術とプロセスダメージの低減により、Pnp型窒化物半導体HBTのエミッタ接地動作に、世界で初めて成功している。今回我々は、このPnp型窒化物半導体HBTの高温での特性を評価し、伝導機構の解明を図った。

c面サファイア基板上に、ECRプラズマスパッタリングにより、 Al_2O_3 /組成傾斜AlON/ AlN / Al_2O_3 を、室温において20nm堆積した。この基板上に、有機金属気相成長法により図1に示すHBT構造を成長した。エミッタおよびベースメサはECRプラズマエッチングにより形成した。エミッタおよびサブコレクタへのオーミック接触にはPd/Auを、ベースにはAl/Auを用いた。

図2は、550°Cにおけるエミッタ接地コレクタ電流－コレクタ電圧特性である[2]。高温においても飽和特性が良く、ベース電流がゼロの場合の漏れ電流も $1\ \mu\text{A}$ 以下と小さな値であった。このような高温での動作は、半導体デバイスの中でも最高クラスである。今回の結果は、高品質結晶成長と低プロセスダメージの結果得られたものであり、窒化物半導体HBTが将来のハイパワーエレクトロニクスにとって有望であることを示している。

[1] K. Kumakura, M. Hiroki, and T. Makimoto, Int. Workshop on Nitride Semiconductors 2004, P5.1, Pittsburgh, USA, 2004; J. Crystal Growth **292** (2006) 155-158.

[2] K. Kumakura and T. Makimoto, 2005 Int. Conference on Solid State Devices and Materials, Kobe, Japan, I-6-2, 2005.

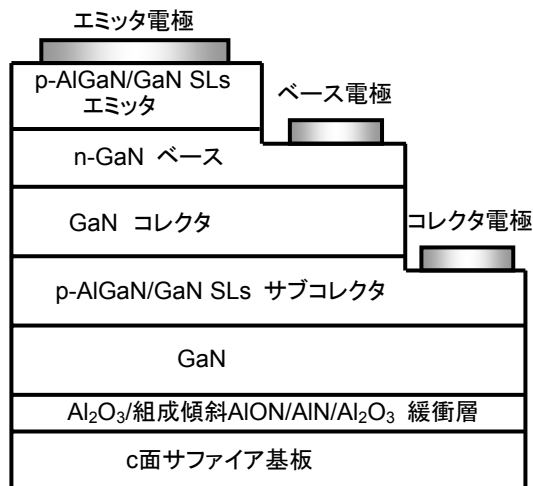


図1 作製したHBT構造の模式図

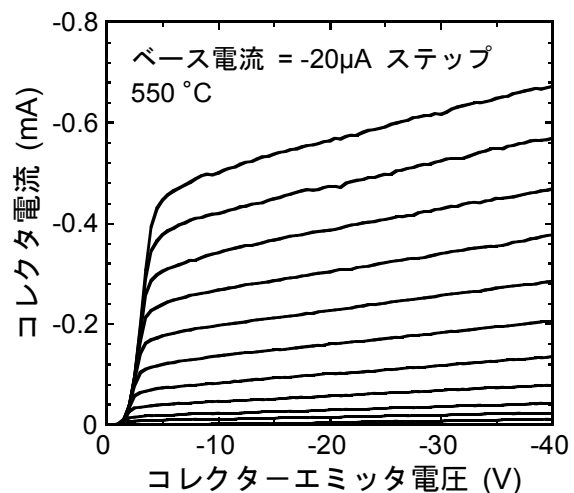


図2 550°CにおけるHBTの電流－電圧特性

低速電子線照射によるカーボンナノチューブの金属－半導体転移

鈴木哲 神崎賢一 小林慶裕
機能物質科学研究部

カーボンナノチューブはカイラリティ(グラファイトシートの巻き方)に依存して、金属的、あるいは半導体的な電子状態を持ち、また半導体ナノチューブのバンドギャップはチューブ径に依存して様々な値を取る。現在、ナノチューブのカイラリティや直径を制御する技術は確立されておらず、これがナノチューブのデバイス応用上大きな問題点となっている。例えば金属ナノチューブは、電界効果トランジスタ(FET)としては全く動作しない。

最近我々は、簡便な手法により金属ナノチューブの電気特性を半導体的に変化させる方法を開発した[1]。図1に単層ナノチューブをチャンネルとしたFETの28 Kでのゲート特性を示す。このナノチューブは金属的であり、したがってゲート電圧に依存せず常にオン状態となる (a)。伝導度にスパイクが現れているのは、低温下での測定のためクーロンブロッケードが生じているためである。このデバイスに加速電圧 1 kV の電子線を 10^{-4} C/cm² 程度照射することにより、電流が流れないオフ領域(矢印)がゲート特性に現れた (b)。このようなオフ領域の出現は、半導体ナノチューブに特有のものである。また更なる照射によりオフ領域を広げることができる (c)。電子線照射によるこのようなゲート特性の変化は、照射によってナノチューブのカイラリティや直径を変化させたことと電気的には同等である。また、図2に示すように、激しい照射を行うと、全てのナノチューブはほぼ絶縁体的になる[2]。このように照射量の制御により、ナノチューブの電気特性を金属的から半導体的、更に絶縁体的にまで広く制御できることが明らかとなった。これらの電気特性の変化は、照射によってナノチューブ中に生成された欠陥[3、4]の働きによるものである。

[1] A. Vijayaraghavan et al., Nano Lett. **5** (2005) 1575.

[2] S. Suzuki et al., Jpn. J. Appl. Phys. **44** (2005) L1498.

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

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

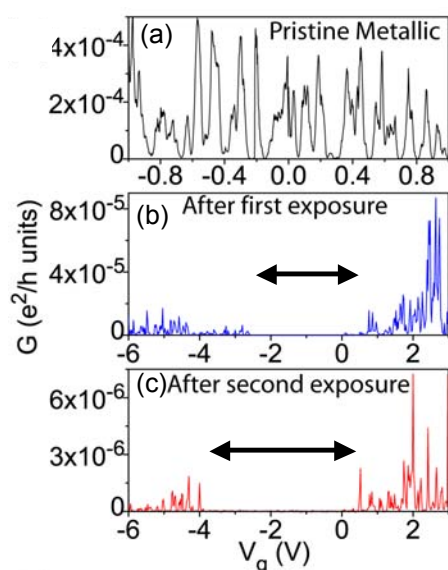


図1 電子照射前後のナノチューブデバイスのゲート特性

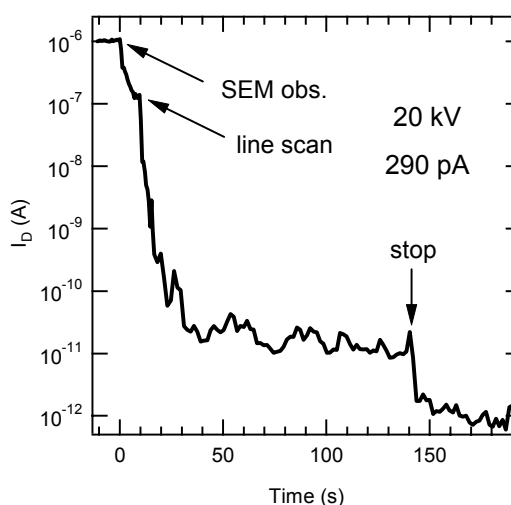


図2 電子照射中のナノチューブデバイスの電流変化

フェリチン触媒を用いたカーボンナノチューブの径制御成長

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) の電気的特性は幾何学的な構造 (直径、らせん度) に応じて金属的にも半導体的にもなりえる。CNT を次世代電子素子へ応用するためには特定の構造を持った CNT のみを選択的に合成する手法の開発が必須不可欠な課題となっている。そこで、我々は均一径を持つ CNT 成長を目指して、CVD 成長の触媒として従来の薄膜ではなくサイズの揃ったナノ微粒子を用いて、CNT の構造制御成長研究を進めている[1]。

CNT の合成触媒としては、直径 6-8 nm の鉄微粒子を内包したフェリチン蛋白質、Co 微粒子を内包した Co-フェリチン、および直径 4 nm の鉄微粒子を内包した Dps 蛋白質を利用した。CNT の成長は SiO₂ 平板基板及び柱パターン上にこれらのフェリチン類を均一に分散し、熱処理(calcination)によって蛋白質殻を除去後、CVD 法で成長した。

図 1 はフェリチンと Co-フェリチンを触媒として CNT 成長後に観測された AFM 像の解析結果である[2]。サイズの大きな触媒から細い CNT が成長し、CNT 径は成長に寄与した触媒微粒子の径が上限となっていることが分かる。またフェリチンを用いた場合には、模式図のように、Fe 微粒子が基板へと沈み込む現象も透過型電子顕微鏡で確認されている。

図 2 はフェリチンより小さいサイズを持つ Dps 蛋白質を触媒とした場合の CNT 成長結果である。ナノ柱状構造間を架橋した CNT[電子顕微鏡像]から強いラマンスペクトルが観測された。その解析から、成長した CNT の結晶性が高く、径は 1 nm 程度であることが分かる。

図 3 はフェリチン類の触媒サイズと CNT 径の相関関係をまとめた結果である。分散されたフェリチン類(10.2-4.0 nm)は熱処理によって蛋白質殻が除去され触媒微粒子(5.3-2.4 nm)になり、それらから細い径を持つ CNT(1.6-1.1 nm)が成長する。触媒サイズが減少するにつれて、触媒サイズと CNT 径の差および成長した CNT 径は小さくなる傾向にあることが分かる。この結果は、より小さい触媒微粒子を均一に合成することが CNT の直径制御に結び付くことを示唆する。このように触媒サイズと CNT 径とのサイズ相関を調べることは、成長中の触媒の挙動の解明[3]とともに、CNT の直径制御成長に大きく寄与すると考えられる。

[1] G. H. Jeong et al., J. Am. Chem. Soc. **127** (2005) 8238.

[2] G. H. Jeong et al., J. Appl. Phys. **98** (2005) 124311.

[3] G. H. Jeong et al., Chem. Phys. Lett. **422** (2006) 83.

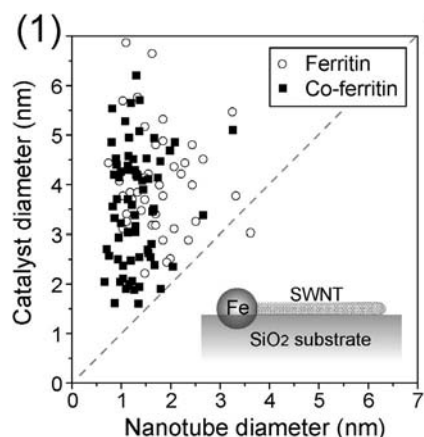


図1 触媒サイズと CNT 径の相関及び成長模式図

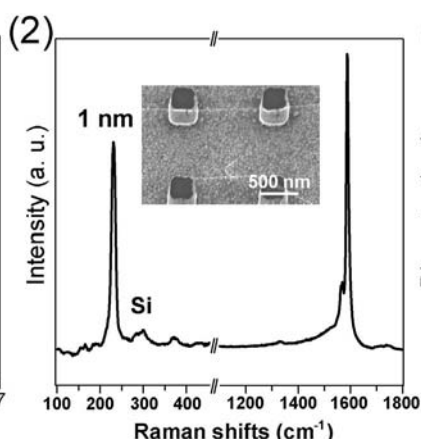


図2 Dps から成長した架橋 CNT の Raman 特性と電子顕微鏡像

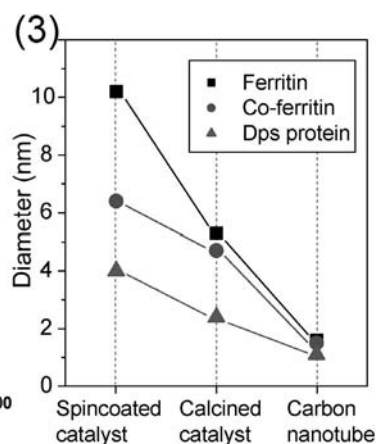


図3 フェリチン類触媒と CNT 径のサイズ関係

微小角入射 X 線回折によるシリコンナノ薄膜の歪み解析

尾身博雄 川村朋晃
機能物質科学研究部

シリコンナノ薄膜はその膜厚を数 nm まで小さくすると量子閉じ込め効果が発現することが知られており、この量子効果を使ったシリコンナノデバイスを安定に動作させるためには、まずは歪み分布のない良質なシリコンナノ薄膜を実現することが欠かせない。シリコンナノ薄膜は一般的に、シリコンで酸化ケイ素をサンドイッチした SOI (Silicon On Insulator) 基板を熱酸化し、この熱酸化膜をエッチングで除去する手法を用いて形成する。この方法では、熱酸化プロセス中のシリコンナノ薄膜と酸化ケイ素膜との膨張率の相異によって、シリコンナノ薄膜全体が歪んでしまう。その結果、シリコンナノ薄膜が薄くなればなるほど、この歪みの効果は増大することが X 線回折法やラマン法などを用いて解析されてきている。しかし、この手法ではシリコンナノ薄膜の平均的な歪みしか評価できず、表面やシリコンナノ薄膜と酸化ケイ素膜の界面に存在する局所的な歪み分布を知ることは難しかった。

我々は、通常の斜入射 X 線回折法(GIXD)よりも更に表面に対してすれすれの 0.01° 程度の角度で X 線を入射し、表面の歪みのみを選択的に検出する「極微小角入射 X 線回折法」を新たに開発し(図 1)、その手法を用いてシリコンナノ薄膜の表面近傍に存在する微小な歪みの検出に成功した。この測定は、高輝度放射光施設「SPring-8」の強力な放射光を用いることにより初めて可能となった。

シリコンナノ薄膜の深さ方向の歪み分布は X 線の入射角を変えて分析した。入射角が 0.01° 、 0.1° の測定結果は、それぞれ表面から 2nm、6nm の深さの領域の結晶構造を反映している(図 2(a))。このような X 線強度パターンを、歪み状態が 2 層が存在する 2 層歪みモデルで詳細に解析したところ、シリコンナノ薄膜表面に有限サイズ歪みドメインや 10^{-4} 程度の極微小歪みが存在することが明らかになった(図 2(b))。更に、この手法を熱アニール処理を施した試料にも適用し、 1000°C という高温アニール処理を施すことにより歪みむらのない均質なシリコンナノ薄膜が得られることも見出した。

[1] H. Omi, *et al.*, Appl. Phys. Lett. **86** (2005) 263112.

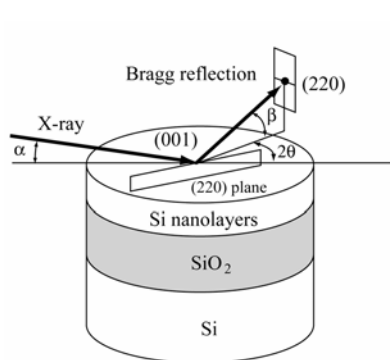


図 1 極微小角入射 X 線回折

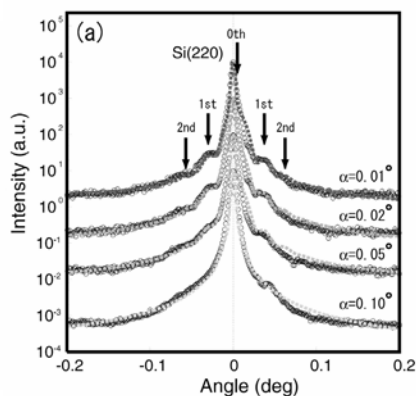
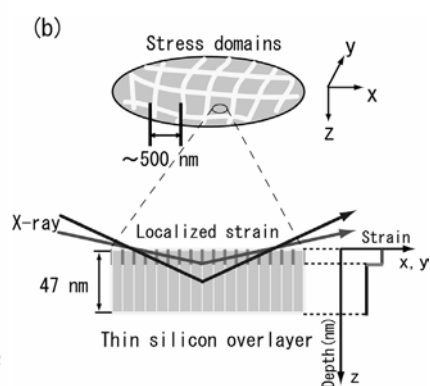


図 2 (a) Si(220) Bragg 回折



(b) 2層歪みモデル

室温における分子デバイスの電子物性

後藤東一郎 檜村吉晃
機能物質科学研究部

単分子レベルで動作する分子デバイスは低消費電力と高集積化を期待される次世代の電子デバイスであり、分子の物性を反映した、様々な特性を有するデバイスの創出が期待されている。しかしながら、ほとんどのデバイスの動作温度が低温に限られているうえ、電極と分子の接合の不安定性がデバイスの物性解析を進めるうえで障害になっていた。

今回、金に選択的に結合する官能基を両端に有する共役系分子を金ナノギャップ電極に架橋して分子デバイスを作製し、その特性を評価した。初めに長さ 1.5nm の共役系低分子 TPDT(ターフェニルジチオール)を架橋し、その電気特性を測定した。その結果、室温でクーロンダイヤモンド(単電子帯電効果)が観測された(図 1)。この実験結果を単電子回路でシミュレーションを行った結果、デバイスの特性はデバイス作製中に形成した、電極間の金属のマルチドットを単電子島と仮定することでほぼ説明がつき、分子は電極と金属ドットをつなぐトンネル接合として働いていると思われる[1](ナノデバイス研究 G との共同研究)。

また、剛直な共役系高分子 PPE(ポリ-*p*-フェニレンエチニレン)の末端をチオアセチル化した TA-PPE(長さ 18nm)を合成して金ナノギャップ電極に架橋し、その電気特性を調べた。結果、TA-PPE を架橋したデバイスは室温で周期的なステップ状電流-電圧(コンダクタンス-電圧)特性を示した。この電気特性は共鳴トンネリングに基づいた第一原理分子軌道計算の結果とよく一致し(図 2)、分子の非占有軌道が伝導チャネルとして開き、電極から分子へ電子がトンネリングした結果、周期的な電流-電圧特性を示すことが判明した[2]。

本研究は、分子デバイスが室温で電子構造に反映した電子物性を示した例といえる。今後は生体分子の物性を利用したナノデバイスなどへの発展に向けて検討していく。

[1] T. Goto et al., Jpn. J. Appl. Phys. **45** (2006) 4285.

[2] W. Hu et al., Phys. Rev. Lett. **96** (2006) 027801.

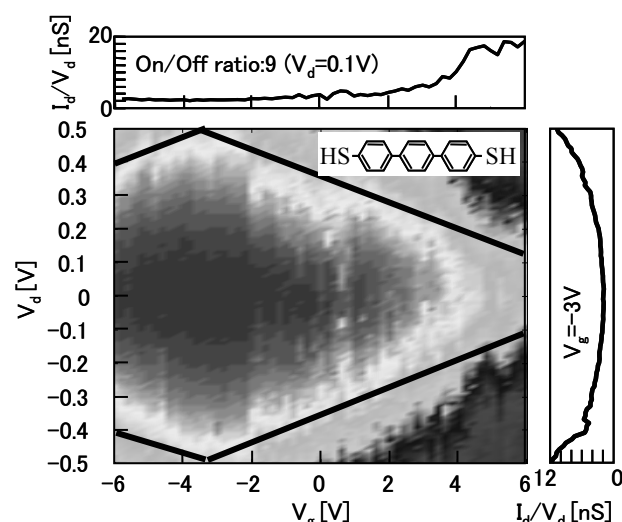


図 1 室温における TPDT のコンダクタンス等高線
枠内は TPDT の構造式

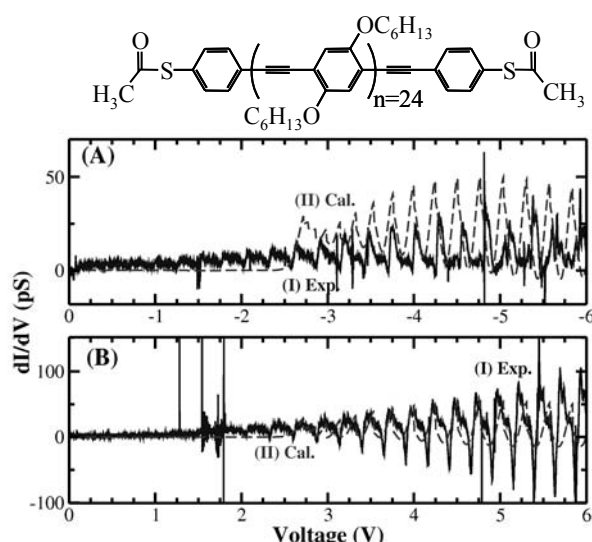


図 2 TA-PPE の構造式と、室温における TA-PPE
のコンダクタンス-電圧特性の実験結果(実線)と
計算結果(破線)

海馬切片のリアルタイム過酸化水素イメージングと神経細胞死

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

過酸化水素 (H_2O_2) は、活性酸素種の1つで毒性が強いスーパーオキシドの分解生成物である。 H_2O_2 自身も毒性を有するが、ラジカル種であるスーパーオキシドと比較すると系内に安定に存在するため、酸素ストレスの有効な指標である。

一方、海馬は古くから神経回路について検討されている組織である。薬物により興奮性神経伝達を活性化すると、海馬の特定の部位で細胞死がおこるが、これは神経疾患であるてんかんと関係がある。一方、我々は抑制性神経伝達を阻害する薬物によっても、海馬の特定の領域に神経細胞死が起こることを確かめた[1]。しかし、この神経細胞死のメカニズムについてはほとんど知見が得られていなかった。

我々は H_2O_2 の濃度をリアルタイムに2次元イメージングする手法を開発した。本研究では、抑制性神経伝達を阻害する薬物によって生じる細胞死が、酸素ストレスと関与しているのかを H_2O_2 の濃度分布を指標にして検討した[2]。

アレイ型 H_2O_2 センサを作製し、薬物刺激により抑制性神経伝達を阻害した際にラットの海馬切片の各部位において放出される H_2O_2 のリアルタイム2次元イメージングを行ったところ、図のとおり、細胞死(D)が起こる領域とほぼ同じ領域において、刺激の初期に H_2O_2 の放出が起こり(B)、続いて細胞内カルシウム流入が起きている(C)ことを確認した。これらの結果は、細胞死が酸素ストレスと大きく関与していることを示唆している。

神経組織におけるリアルタイムな H_2O_2 分布計測は、脳損傷機構の解明、脳疾患の治療に役立つと期待される。

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

[2] N. Kasai, C. Han, K. Torimitsu, Sens. Act. B **107** (2005) 746-750.

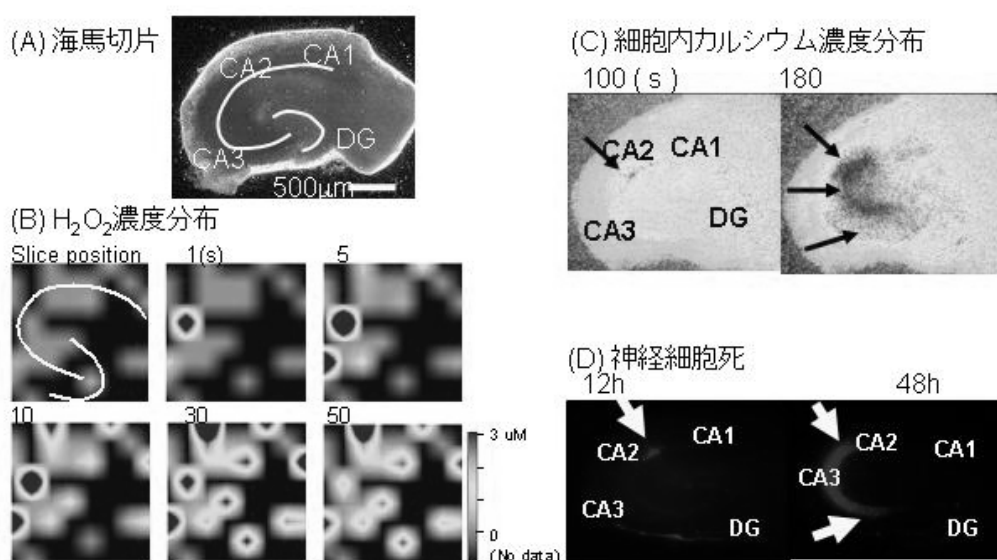


図 海馬切片(A)において、抑制性神経伝達の阻害後に H_2O_2 の放出(B)、細胞内へのカルシウム流入(C)が観察されたが、これらは神経細胞死(D)と同じ領域で特に顕著であることが確認された

原子間力顕微鏡による生体分子の静的・動的構造解析

住友弘二¹ 小林未明¹ 中島寛¹ C. S. Ramanujan² 鳥光慶一¹ J. F. Ryan²¹機能物質科学研究部 ²オックスフォード大学

タンパク質をはじめとする生体分子の機能発現には、分子の構造変化が深く関与する。ナノテクノロジーとバイオテクノロジーを融合した新規バイオナノデバイスを実現するにあたり、分子個々の構造情報を捉え、その知見をデバイス機能制御に結び付けることは重要な課題である。原子間力顕微鏡 (AFM) は、分子スケールで生体分子の構造を調べる有力なツールであり、特に、生理条件下に近い溶液中で、生体分子が“機能した状態”での高分解能観察を可能にする。今回、液中 AFM を用いた分子イメージングにより、膜タンパク質の静的な構造解析、および高速イメージングによる DNA の動的な構造観察に成功した。

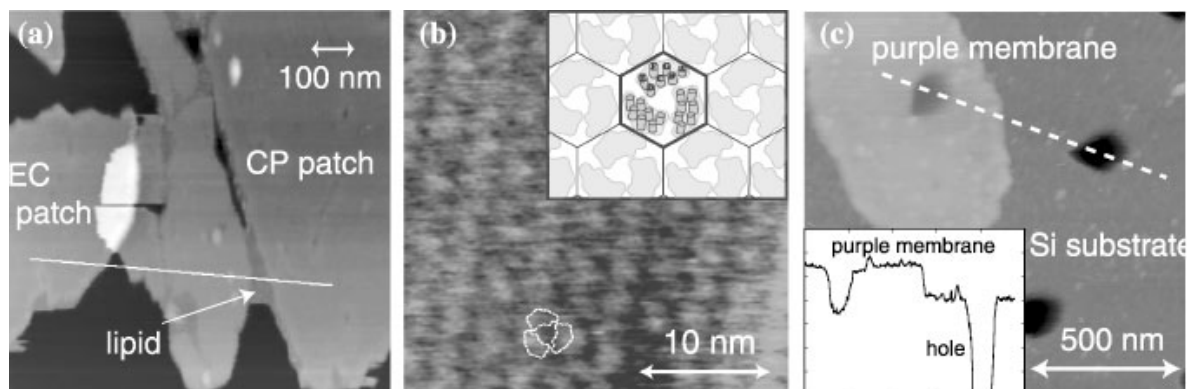
図 1(a)に、溶液中で観察したマイカ基板上の紫膜 (バクテリオロドプシン (bR) を含む膜) の AFM 像を示す。マイカ上に吸着した膜表面の滑らかさや硬さ、あるいは表面モフォロジーから、細胞膜での外側 (EC) または内側 (CP) に位置する膜面が識別可能である。また高分解能イメージングにより、bR の 3 量体が 2 次元結晶化し紫膜を構成する様子を確認した (図 1(b))。更に最近、半導体ナノ加工技術と組み合わせて、シリコン基板上のナノホールパターンを紫膜でシールした微小なセルの作製に成功した (図 1(c)) [1]。セルをシールする膜内の bR が光に応答し、そのチャンネルを開閉することで、イオンの透過をゲーティングする機能を発現させることができる。今後、セル上の bR の構造変化と機能発現との相関性を詳細に解析し、光感受性生体分子を用いた光電子ナノデバイスの構築を目指していく。

一方、AFM イメージングの高速化により、末端をビオチン化した DNA とストレプトアビジンとの吸脱着過程をリアルタイムで観察することに成功した。AFM の高速イメージングは、基板に十分に固定化せず溶液中で自由に運動する試料の観察も可能にする。溶液中で移動する DNA 末端のビオチンがストレプトアビジンと衝突し、選択的に結合する過程や、イメージング時の探針の物理的な力により、結合が解離していく様子が観察された [2]。外部刺激に対する応答や化学反応など、生体分子の動的な挙動をリアルタイムで追跡できる有効な解析手法である。

今後、AFM 観察から得られる生体分子の構造と機能に関する知見を深め、更に電気化学的アプローチを組み合わせながら、バイオナノデバイスの実現を目指していく。

[1] K. Sumitomo et al., NTT Technical Review, 4 (2006) 40.

[2] M. Kobayashi et al., Ultramicroscopy (in press).



(a) マイカ表面上の紫膜の AFM 像

(b) bR の 2 次元結晶像

(c) ナノホールを紫膜がシールした
ナノセルの AFM 像

図1

細胞内pHを制御する IP₃ レセプターの新規の機能

藤本一朗¹ 白壁恭子¹ 宮下英俊¹ 御子柴克彦^{1,2} 鳥光慶一^{1,3}

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

細胞内のpHは、生体内で産出される二酸化炭素によりダイナミックに変化する。二酸化炭素は重炭酸イオンとして細胞膜を輸送されることによりpH調整が行われている。特に膵臓の腺房中心細胞では重炭酸イオンの分泌が胃酸を中和する働きを担っている。腎臓では血液内のpH濃度を制御しており、このバランスが崩れた場合には動脈内の血液のpHが低くなり、視覚の異常の緑内障、白内障、角膜障害、盲目や低身長、精神遅滞などの障害を引き起こす。

今回、イノシトール3リン酸レセプター(IP₃R)に結合している新規タンパク質のアービット(IRBIT)が、細胞表面に存在するナトリウム・重炭酸イオン共輸送体(NBC)に結合し、そのイオン輸送活性を飛躍的に上昇させることを見いだした。NBCには2種類のサブタイプが報告されているが、今回の活性はPタイプのみ作用し、Kタイプには作用しなかった。今回の発見で重要なことは、これまで生体内でNBCのタイプ別の発現の意義が理解されていなかった状況で、初めてタイプ別の活性制御機構が明らかとなったことであり、細胞内pHの制御メカニズムを解明する上で極めて意義のあるものであると言える。しかも細胞内で種々の重要な役割を担うIP₃Rから放れたIRBITが、別のタンパク質に作用してその活性を上げることは細胞内シグナルの新しい展開でもあり、今後の発展が注目される。

昨年、米国の科学誌「Science」に発表したIP₃Rの2型・3型のダブルノックアウトマウスの唾液腺や膵臓などで消化器系の機能不全が見いだされたことに非常に関連すると考えられ、IP₃Rから放出されるタンパク質分子による新しい情報連絡機構が明らかになってきた。

[1] K. Shirakabe et al., Proc Natl Acad Sci USA **103** (2006) 9542–9547.

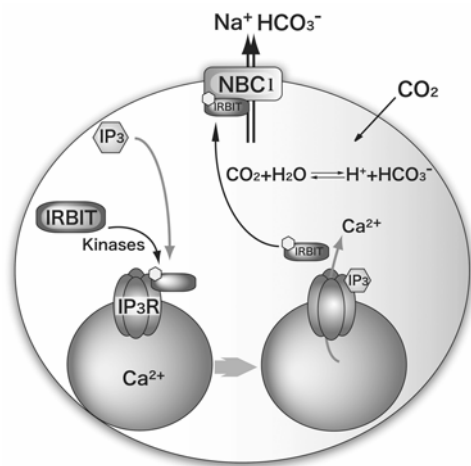


図1 新しい情報連絡システム概念

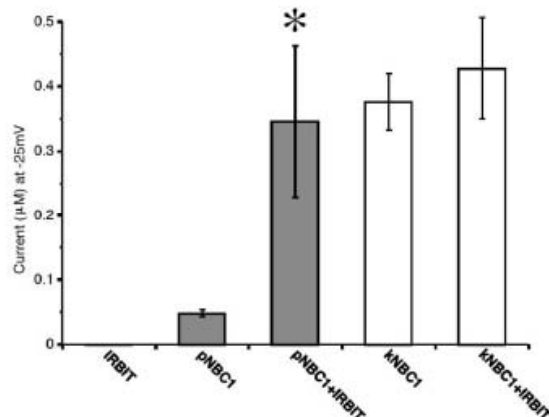


図2 卵母細胞での電気生理学的活性評価

1 分子フォニクス

味戸克裕¹ Rakchanok Rungsawang¹ 上野祐子² 富田勲³¹機能物質科学研究部²NTT マイクロシステムインテグレーション研究所 ³NTT フォトニクス研究所

テラヘルツ(THz、 10^{12} Hz)分光が生体分子分析として注目され始めているが、これは今まで困難であった分子間や分子内の弱い結合の情報が分子の低振動モードとして得られるためである。我々はテラヘルツ電磁波パルスを用いるテラヘルツ時間領域分光法(THz-TDS : Terahertz Time-Domain Spectroscopy)と呼ばれる手法において、スペクトル測定可能な周波数帯域や検出感度が分析化学の分野で十分威力を発揮できるレベルであることを見出し、タンパク質を構成するアミノ酸に特有の低振動モードを得ることに成功した。

図1にアミノ酸の1つであるトリプトファン(Trp)の THz 吸収スペクトルの励起レーザーのパルス幅依存性を示す。THz-TDS での THz 電磁波パルスの発生と検出には通常、光伝導アンテナを短パルスのモードロック・チタンサファイヤレーザーで励起するが、発生する電磁波の周波数の上限は励起パルス幅に関係する。測定可能帯域が広いほどより多くの分子情報が得られるが、10fs 以下の超短パルスレーザーでの励起によって、5THz 程度までの高周波数域までの測定が可能となった。そして、アミノ酸単結晶での角度依存のスペクトル測定の結果から結晶中の分子配向や水素結合など分子間相互作用の解析に有効であることを示した[1]。

また、タンパク質として乾燥状態のミオグロビンの測定を行ったところ、図2に示すように濃度に対応して THz 周波数領域の吸収の増大が見られることが分かった[2]。今後、構造水の制御等によって高次構造に関する水素結合の情報が得られることが期待できる。更に、差周波を用いた半導体テラヘルツ波発生素子[3]の開発を進め、生体 1 分子の分析やイメージング応用等を目指している。

[1] R. Rungsawang, K. Ajito, Y. Ueno, I. Tomita, Extended Abstracts: International Workshop on Terahertz Technology, Nov. 16-18 (2005) 199-200.

[2] R. Rungsawang, Y. Ueno, H. Takenouchi, I. Tomita, K. Ajito, Proceedings of IRMMW-THz2005, Sep 19-23, Williamsburg (2005) 211-212.

[3] I. Tomita, H. Suzuki, H. Ito, H. Takenouchi, K. Ajito, R. Rungsawang, and Y. Ueno, Appl. Phys. Lett. **88** (2006) 071118.

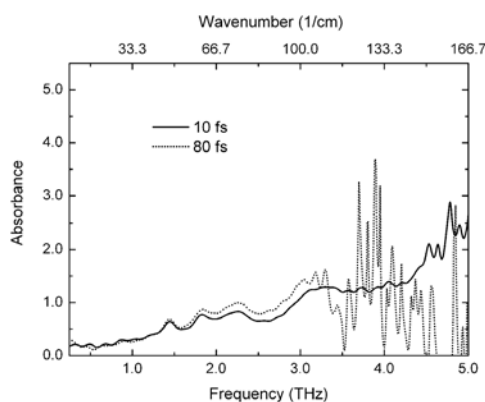


図1 トリプトファン(アミノ酸)のテラヘルツ吸収スペクトルの励起レーザーのパルス幅依存性

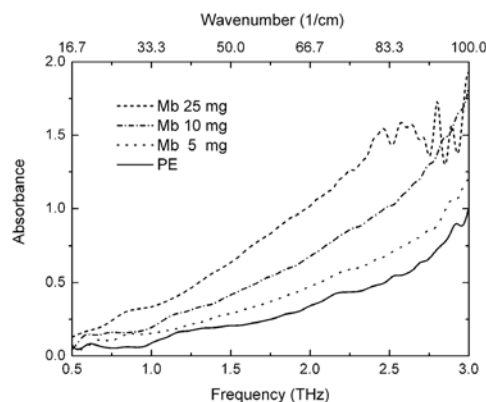


図2 ミオグロビタンパク質(Mb)を含むポリエチレン(PE)ペレットのテラヘルツ吸収スペクトル

ナノキャパシタンスの物質依存性に関する理論検討

内田和之 影島博之 猪川洋
量子電子物性研究部

ナノスケールの構造を持つナノデバイスでは、これまでにない特徴的な物性の発現が期待されているが、その物性に関するミクロな理解はまだこれから多くの検討を要する状況である。例えば、電界効果トランジスタ(FET)などの基本特性であるキャパシタンス特性が、ナノスケールになった場合にどのように物質に依存するかはまだ明らかでない。我々は、原子の配置と元素の種類を与えるだけで第一原理からキャパシタンス特性を計算できる新しい手法(EFED 法、フェルミエネルギー分割法)を開発し、ナノスケールキャパシタの特性の物質依存性の検討を行った。

通常の第一原理計算は全電子系の最安定な状況を計算するため、電子が必ず原子核の正電荷を遮蔽するように満遍なく系全体に広がる。しかし、これでは電荷が偏らず、キャパシタンス特性を計算することはできない。この問題をクリアするために、我々は系を空間的に分割し、その分割した系の上に仮想的に外部から電荷を移動させる仕事を与えることにした。こうして全電子系の自由エネルギーに電荷に対する仕事の項を加えたうえで、この自由エネルギーを最安定化するような条件で、電子に対する運動方程式を導き出すことができ、そうすると電荷が偏って存在する状況における電子状態の計算が自動的に可能となる。これが EFED 法の原理である[1]。

この手法を用いて計算したナノキャパシタのキャパシタンス特性のフェルミエネルギー差依存性を図に示した。対象は SrTiO₃(001) 3 原子層薄膜を交互に並べ電極としたもので、図の縦軸は微分キャパシタンスの逆数にとっている。古典的には平行平板のキャパシタンスは $C = eS/d$ と電極間距離と電極間材料の誘電率だけで決まるが、ナノ構造では必ずしもそうではなく、電極内の電子の状態が空間的な閉じ込め効果と電子相互の反発力のために離散的になる傾向が強くなるため、電極間距離や電極間材料を変えなくても電位差(フェルミエネルギー差)に伴ってキャパシタンスの値が変化することが明らかになった。

[1] K. Uchida, et al., e-J. Surf. Sci. & Nanotechnol. **3** (2005) 453.

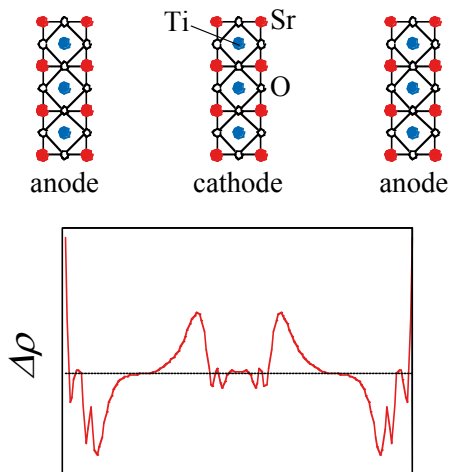


図1 SrTiO₃ ナノキャパシタ

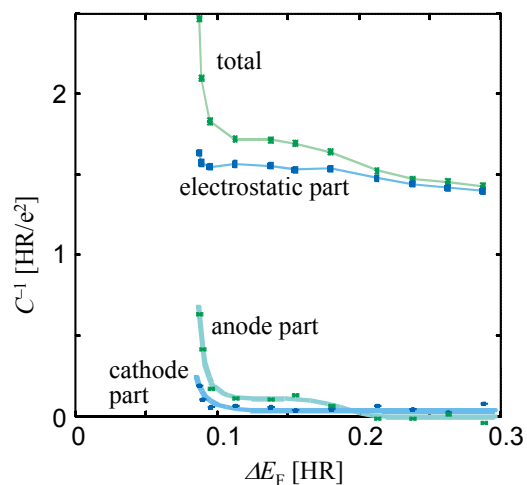


図2 キャパシタンス特性

シリコン・ナノデバイスを使った 室温動作可能な単一電子デジタル-アナログ変換器

西口克彦¹ 小野行徳¹ 藤原聡¹ 猪川洋^{1*} 高橋庸夫²¹量子電子物性研究部 ²北海道大学

単一電子転送デバイスは、単一の電子で情報を伝達・処理する超低消費電力回路への利用が期待されている。我々はこれまでに MOSFET の作製方法を応用したシリコン・ナノデバイスを用いることで、正確に電子の動きをコントロールし、その単一電子信号を増幅することに室温で成功している[1]。今回、このデバイスを利用した新たな情報処理回路を考案し、室温で動作確認を行った。

今回作製した回路は、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・ナノデバイスである(図 1)[2]。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。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(図 2 挿入図)[3]。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することで、転送された単一電子の検出を行う。

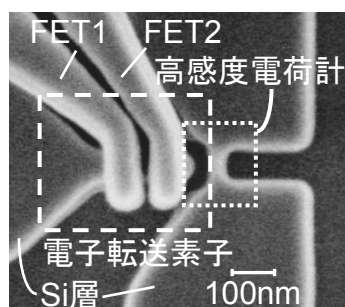
デバイス構造と動作条件の改良により単電子箱を小さくすることで、転送時間が 10 ナノ秒以下の単一電子転送と、高感度($0.005e/\text{Hz}^{0.5}$)な単一電子検出が可能となった。更に、1 回に転送する電子の数が 0、1、2、4 個になるように印加電圧を制御することで、時分割入力した 3 bit 2 値信号をデジタル-アナログ変換し、8 値の電流変化として出力することに成功した[2]。単一電子回路の新しい応用可能性を広げるだけでなく、従来の LSI で利用する 2 値信号を単一電子信号に変換する基幹デバイスとしての利用が期待できる。

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

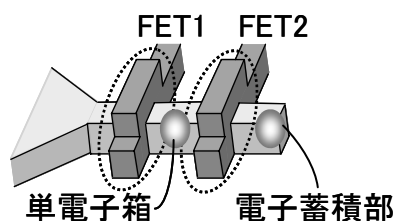
[2] K. Nishiguchi, et al., Appl. Phys. Lett. **88** (2006) 183101.

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

*現在所属:静岡大学



(a) 素子の平面 SEM 像



(b) 単一電子転送素子の鳥瞰図

図1

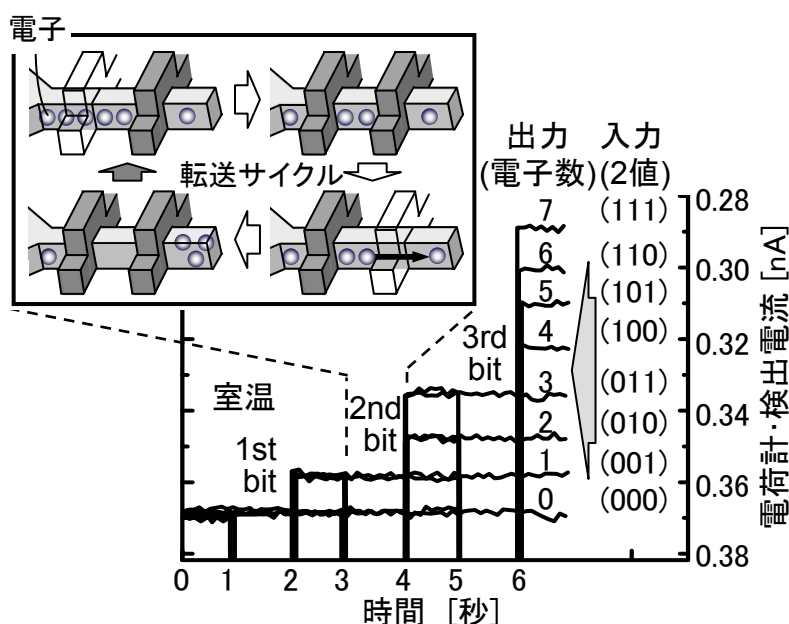


図2 単一電子デジタル-アナログ変換特性

霧を用いた 3 次元レジスト塗布技術と Si 立方体上のナノパターン形成

山崎謙治 生津英夫*
量子電子物性研究部

NEMS(ナノ電気機械システム)など様々なナノテクノロジーへの応用を目的として、ナノメートルオーダの解像度で立体的構造を作製する、いわゆる 3 次元ナノ加工技術の重要性が増している。我々は、既に電子ビーム(EB)リソグラフィを用いたレジスト材料の 3 次元ナノ加工・パターン形成技術を開発し、10nm という高い解像度と高速性を得ている [1]。今回、この技術を様々な材料へ適用するために、立体試料の表面上にレジストを一括塗布する、新たな 3 次元レジスト塗布技術を開発した。更に Si 立方体上に塗布したレジストに、EB を用いた 3 次元パターン形成を行い、良好なパターン形成結果を得た。

図1は作製した塗布装置の概略である。超音波霧発生器によって生成したレジスト溶液の霧のうち、微細な霧の粒子のみが N_2 ガスにより試料室に移送され、そこで細かい霧の準静的な雰囲気形成される。1mm の Si 立方体をこの雰囲気中に配置し、これにポリメチルメタクリレート(PMMA)レジストの塗布を試みた。立方体基板の各面上に、小さい面粗さでレジストを均一に塗布するためには、レジストの溶剤、試料温度、移送ガスの流量が重要な要因であることが分かった。例えば、溶媒には PMMA の溶解度が低めで表面・界面エネルギーが抑えられるメチルイソブチルケトンが適当であること、基板上にレジスト溶液の薄膜ができるように、結露点付近で微妙な温度調整が必要であることなどである。条件の最適化により、面間・面内とも 50~60%の誤差範囲内の膜厚でレジストが塗布できた[2]。図2左は、この Si 立方体上に 3 次元 EB リソグラフィによりパターンを描画した結果で、各面とも同様のパターン形成が出来ている。更に、このレジストパターンをマスクとしたドライエッチングを行い、 SiO_2 膜に転写したパターンから 50nm 以下の解像度が得られることを確認した(図2右) [3]。

この技術により、様々な立体材料にレジスト塗布が可能となり、3 次元 EB リソグラフィおよびエッチングと組み合わせることにより、自由度の高い 3 次元ナノ加工ができると考えられる。3 次元ナノテクノロジーに向けた重要なキー技術となることが期待できる。

[1] K. Yamazaki et al., Jpn. J. Appl. Phys. **43** (2004) L1111-L1113.

[2] K. Yamazaki and H. Namatsu, Tech. Digest 19th IEEE Conf. MEMS (2006) 254-257.

[3] K. Yamazaki and H. Namatsu, Jpn. J. Appl. Phys. **45** (2006) L403-L405.

*現所属:NTT-AT

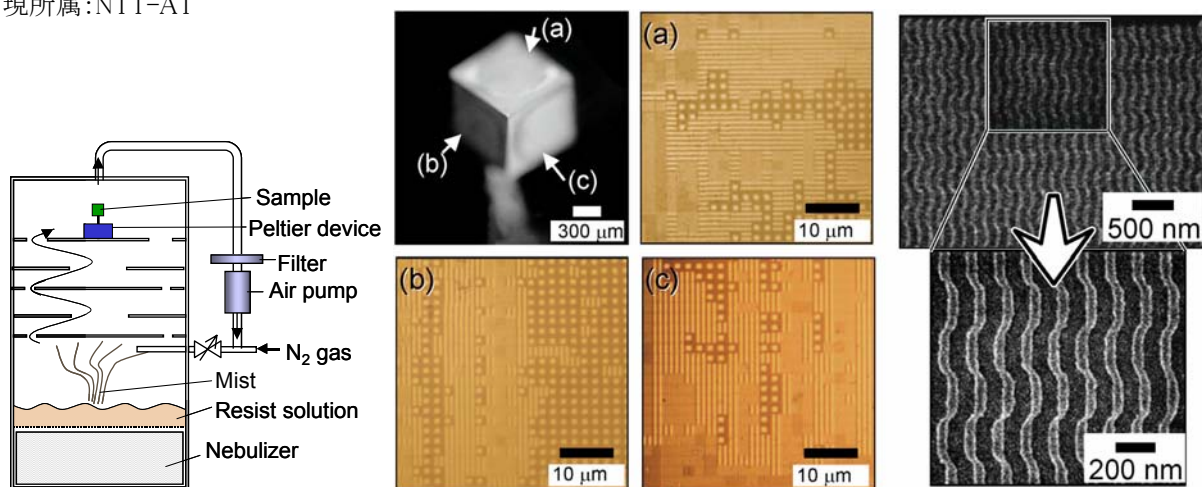


図1 塗布装置の概略

図2 立方体上のパターン(左)と SiO_2 膜に転写した細線(右)

超伝導近接効果を用いた力・変位測定

岡本創 赤崎達志 山口浩司
量子電子物性研究部

半導体の微小な板ばね(カンチレバー)を用いた力や変位の検出技術は、加速度・ガス検知などの各種センサ応用から原子間力顕微鏡に至るまで現在幅広く利用されている。その検出方法は光学的手法と電気的手法に大別されるが、大掛かりな外部検出装置を必要としない後者の手法、中でも板ばねのしなりを電気抵抗の変化により検出するピエゾ抵抗カンチレバーは微細化・集積化に適したメカニカル素子として注目を集めている。我々はこれまでに半導体量子ナノ構造を含むピエゾ抵抗カンチレバーを作製することにより、量子力学的効果がもたらすピエゾ抵抗の増大によって高感度な力・変位検出が可能となることを報告している[1]。ここでは最近開発した超伝導体-半導体接合を含むピエゾ抵抗カンチレバーによる新しい力・変位検出手法を紹介する[2]。

作製したカンチレバーを図1に示す。長さ $200\mu\text{m}$ 、幅 $60\mu\text{m}$ のカンチレバーの根元には超伝導体(Nb)と半導体(InAs)の微小接合が組み込まれており、極低温環境では InAs を介して Nb 電極間に超伝導電流が流れる(超伝導近接効果)。この接合に流れることのできる最大超伝導電流(臨界電流)がカンチレバーのしなりににより僅かに変調されることを我々のグループは見出した。この臨界電流の機械的な変調を利用すれば、臨界電流付近にバイアス電流を固定することにより、しなりに応じて超伝導状態と抵抗状態との状態変化が誘発され、大きな抵抗値変化(ピエゾ抵抗)が現れる。実際に希釈冷凍機温度での測定により、超伝導状態と抵抗状態との境界($\sim 327\text{mA}$)においてピエゾ抵抗が桁違いに増強されることを我々は確認した(図2)。以上の結果は、超伝導近接効果を用いることによりカンチレバーの先端にかかる微小な力や変位を高感度に検出できることを示している。

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

[2] H. Okamoto, et al. Physica E, **32** (2006) 512.

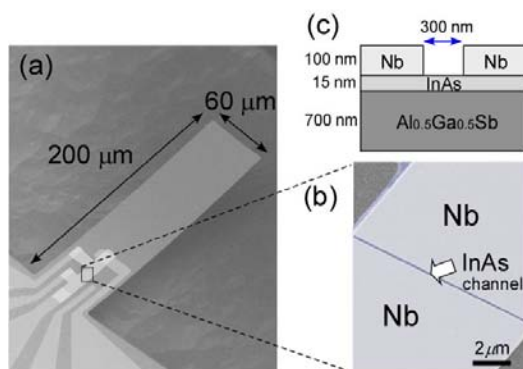


図1 超伝導体-半導体カンチレバーの電子顕微鏡像(a)と接合部の拡大図(b)。(c)は接合の断面図

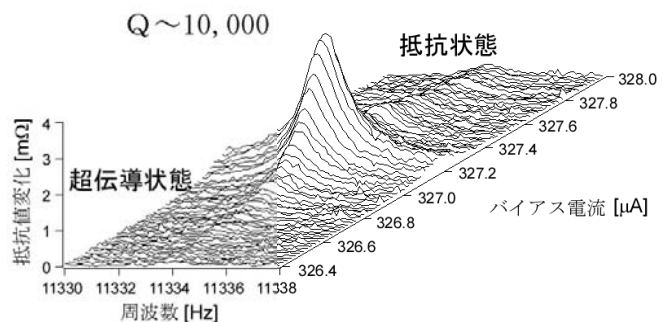


図2 超伝導体-半導体接合カンチレバーの共振特性(抵抗値変化)におけるバイアス電流依存性(30mK)。Q値は約1万

量子ドットにおける選択的電子スピン緩和

佐々木智 藤澤利正 林稔晶 平山祥郎
量子電子物性研究部

偶数個の電子を含む半導体量子ドットにおいては、電子間のクーロン相互作用によってスピン一重項・三重項状態が形成される。我々は、GaAs 系量子ドットのゲート電極に電気的なパルス信号を印加することによって、スピン三重項励起状態から一重項基底状態への緩和時間を測定し、その緩和特性に選択性があることを見出した。

図1(a)は、スピン軌道相互作用とフォノン放出によって遷移が起こっている領域で測定したスピン緩和時間 τ_s を、一重項(S)と三重項(T)の間のエネルギー差 Δ_{ST} の関数としてプロットしたものである。 Δ_{ST} が 300 μeV 付近では図1(b)の上図に示すように、ドットに電子を注入してから待ち時間 t_h に対してトンネル電子数が指数関数で減衰し、その時定数よりスピン緩和時間が 160 μs と求まる。ところが、外部磁場によって Δ_{ST} を 400 μeV 付近に変えて同様の実験を行うと、図1(a)の挿入図に示すように三重項励起状態が基底状態とは別の一重項励起状態(S')と交差するため、緩和時間の急激な減少が観測されるとともに、図1(b)の下図に示すように速い成分と遅い成分を持って減衰する。これはスピンのz方向成分 S_z が 1, 0, -1 の3つの三重項状態のうち、スピン軌道相互作用によって一重項状態に遷移できるのは S_z が ± 1 の2種類のみで、 S_z が 0 のものは遷移できないことを反映している。この選択性を利用すると、2種類の軌道にそれぞれ逆向きスピンをつめたスピン相関状態である S_z が 0 の三重項状態だけを取り出すことができるので、2つの電子を空間的に離すことによって量子エンタングルメント状態が形成できると期待される [1]。

[1] S. Sasaki et al., Phys. Rev. Lett. **95** (2005) 056803.

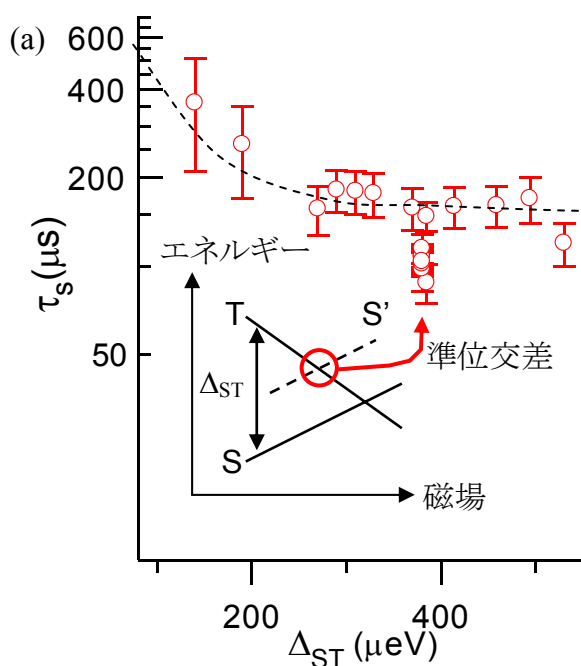
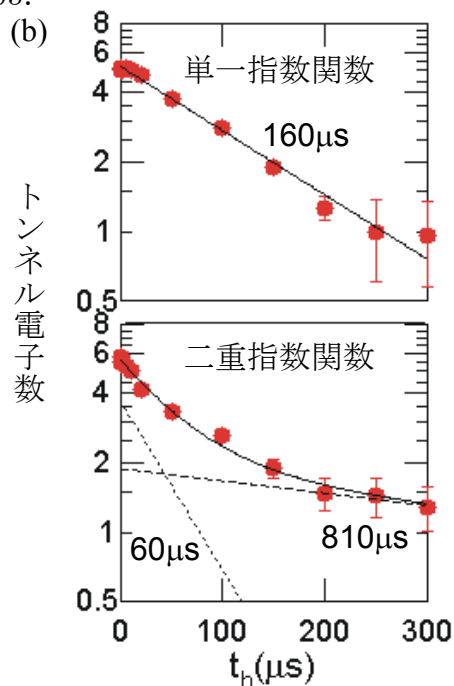


図1 (a)スピン緩和時間の緩和エネルギー依存性



(b)通常の一指数関数的な緩和特性、およびT-S準位交差点における二重指数関数的な緩和特性

核スピンを用いた二次元電子スピン物性の計測

熊田倫雄 橋本克之^{1*} 村木康二 平山祥郎
量子電子物性研究部¹ SORST-JST

核磁気共鳴 (NMR) は磁性体の内部磁場など静的な情報だけでなく、相転移における電子スピンの揺らぎなど動的な情報も与える有用な手段として広く用いられている。半導体中の 2 次元電子系においても、量子ホール系におけるトポロジカルな準粒子 (スカームイオン) の存在を実験的に明らかにしたのは NMR であった。しかし、通常の NMR では信号強度をかせぐために 2 次元電子系を 100 層程度積層した試料を用いる必要があり、そのためゲート電圧による電子密度の制御が出来ないという欠点があった。そこで我々は、量子ホール系に特有のある電子状態において電流によって核スピンを偏極させ、その偏極度を抵抗の変化として観測することにより、電子密度制御可能な 2 次元電子系 1 層に対する核スピン測定を可能にした。これにより、幅広い電子状態で核スピンを用いた電子スピン物性の計測が行えるようになり、これまで観測できなかった微小な電子スピン状態の変化を明らかにしてきた。以下、この実験手法を用いて得られた具体的な成果を示す。

2 次元電子系を 2 枚近接配置した 2 層系では、励起子の超流動状態の存在を示唆する実験結果が発表され注目を集めている $n_{\text{tot}}=1$ 量子ホール状態において核スピン緩和速度を測定し [図 1(a)]、電子スピンが揺らいでいることを明らかにした [1]。この結果は、これまで理論で便宜上無視されていた電子スピン自由度の重要性を示したという点において重要である。また、量子井戸ポテンシャルを非対称にしたとき、電流による核スピン偏極が抑制されることを明らかにした [図 2]。この結果は、通常の測定では表れないような非常に弱いスピン-軌道相互作用でも電子スピン-核スピン相互作用に大きな影響を与えるということを示している [2]。

核スピンによる電子スピンの高感度測定方法の確立と、それによる新たな物理現象の発見は、今後予想される低次元デバイスの発展に大きく寄与すると考えている。

[1] N. Kumada et al., Phys. Rev. Lett. **94** (2005) 096802.

[2] K. Hashimoto et al., Phys. Rev. Lett. **94** (2005) 146601.

*現所属:ハンブルク大学

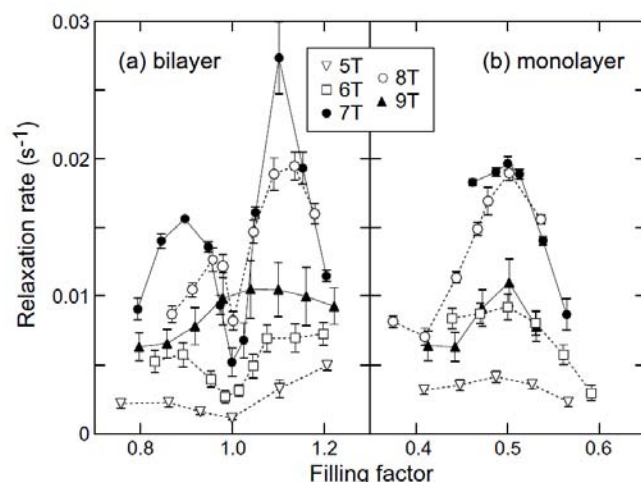


図1 (a) 2 層系 $n_{\text{tot}}=1$ 状態の (b) 1 層系 $n=1/2$ 状態の
周りにおける核スピン緩和速度

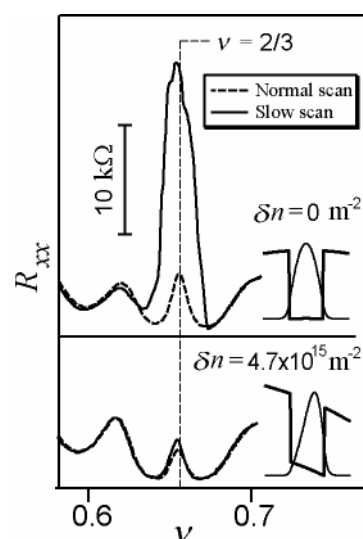


図2 ポテンシャルの非対称性による
核スピン偏極の変化

ナノスケールデバイスにおける核スピンのコヒーレント制御

遊佐剛* 村木康二 高品圭 橋本克之† 平山祥郎
量子電子物性研究部

化学分析に広く用いられている核磁気共鳴 (NMR) は核スピンの量子状態のコヒーレントな重ね合わせを用いている。最近、この NMR が量子ビットを取り扱う量子計算や量子情報処理の関係から大いに着目されている。しかし、通常の NMR では量子ビットの規模拡大が難しく、それを実現するには、電気的な制御、特にマイクロな量の核スピンの状態を簡便に読み出す手法を開発することが不可欠と考えられている。この研究ではアンテナゲートを集積化した半導体 NMR デバイスを作製し、ナノ領域での核スピンの制御を実現した。

GaAs 量子井戸に閉じ込められた二次元電子系は適当な静磁場条件でスピン偏極、非偏極 $n = 2/3$ の2つの状態が縮退した状態を取ることができ、このとき、強い電子スピン・核スピン相互作用が生じる。この面白い特性をナノスケール半導体デバイスに拡張し、核スピンの精密制御に結び付けた。アンテナゲートをうまく集積した構造では極めて精度の高い核スピン制御が実現され、Ga、As に特徴的な 4 つに分裂した核スピン状態間で量子力学的な重ね合わせを完全に操作することに成功した。

全電氣的制御によるナノスケールデバイスでの核スピンコヒーレント制御は規模拡大可能な核スピン量子コンピュータに向けた大きな前進である。また、この新手法では、他の手法では見えない、スピン核運動量が 1 量子以上離れた多量子遷移を検出することも可能である。したがって、このミクロスコピックな高感度 NMR は、量子情報処理分野以外にも、多量子状態を有する材料に適用可能な NMR として、また、極微量な分量の分析を可能にする新しい NMR として魅力的なものである。

[1] G. Yusa, K. Muraki, K. Takashina, K. Hashimoto, and Y. Hirayama, Nature **434** (2005) 1001.

現所属: *東北大学 †ハンブルグ大学

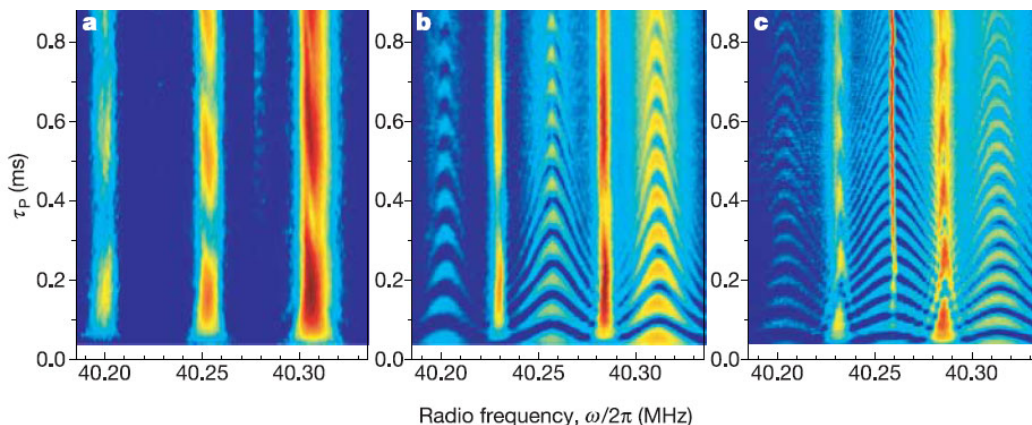


図1 ^{75}As NMR 共鳴周波数付近で、3つの異なる RF パルス強度 B_1 で測定されたパルス幅 t_p による抵抗変化 DR のプロット。 B_1 は RF 発信器の出力 $P_{r.f.}$ の平方根に比例している。測定は静磁場 $B_0=5.5\text{T}$ 、温度 0.1K で行われ、データを明瞭に示すために核スピンの垂直磁化にほぼ比例する。 DR は log スケールでカラーコードしている。a: $P_{r.f.}=0\text{ dBm}$ 、b: 13 dBm 、c: 20 dBm

巨視的超伝導量子ビット LC 振動子結合系の真空ラビ振動

ヤン・ヨハンソン¹ 齋藤志郎¹ 中ノ勇人¹ 上田正仁² 仙場浩一¹
¹量子電子物性研究部 ²東京工業大学/NTT リサーチプロフェッサ

ジョセフソン接合を含む超伝導回路は、量子計算の必須要素である量子ビットの有望な候補と考えられている[1]。3つのジョセフソン接合を含む磁束量子ビット[2]もそのような候補の1つである。超伝導量子ビットの基本的なコヒーレント操作[3、4] が日常的に可能となった今日では、原子を磁束量子ビットで置き換え、Q 値の高い単一モード(光子)共振器を LC 回路で置き換えることで、超伝導チップ上で共振器量子電気力学 (cavity QED) 実験を行うことが夢ではなくなってきた(図1)。励起状態に準備した磁束量子ビットをバイアス磁束シフトパルスによって LC 調和振動子と共鳴させた直後に量子ビット状態を読み出すという手法を用いて本系の真空ラビ振動(光子 1 個の交換振動)を時間領域で観測することに成功した[5]。観測された真空ラビ振動数は約 140 MHz で、リュードベリ状態 $n=50, 51$ の Rb 原子(通常の原子)を用いた実験[6]と比較するとその値は約 3×10^3 (1×10^7) 倍にも達する。このように、超伝導量子回路を用いれば cavity QED 実験の必須条件である強結合条件が原子の場合と比較して遥かに容易に達成可能であることが実証された。これは、原子に比べ超伝導回路が桁違いに大きく、マクロな数のクーパー対で形成される μA レベルの電流が量子状態を形成していることで説明される。また、図2 に示すように、LC 回路を非常に僅かに励起し真空状態と異なる初期状態を準備した場合のラビ振動数の変化を観測することにより、数百ミクロンの超伝導 LC 回路の状態が確かに量子化されていることの直接証拠を得ることができた。更に、我々はこの量子 LC 振動子を多数の磁束量子ビットで共有し、量子光学分野で実績のある一連のマイクロ波パルス列を用いることによって、隣接していない任意の一組の量子ビット間のユニバーサルな量子演算ゲートを実現可能であると考えている。

- [1] F. Wilhelm and K. Semba, in "Physical Realizations of Quantum Computing: Are the Divincenzo Criteria Fulfilled in 2004?", (World Scientific Publishing Company; April, 2006)
 [2] J. E. Mooij et al., Science **285** (1999) 1036.
 [3] T. Kutsuzawa et al., Appl. Phys. Lett. **87** (2005) 073501.
 [4] S. Saito et al., Phys. Rev. Lett. **96** (2006) 107001.
 [5] J. Johansson et al., Phys. Rev. Lett. **93** (2006) 127006.
 [6] J. M. Raimond, M. Brune, and S. Haroche, Rev. Mod. Phys. **73** (2001) 565.

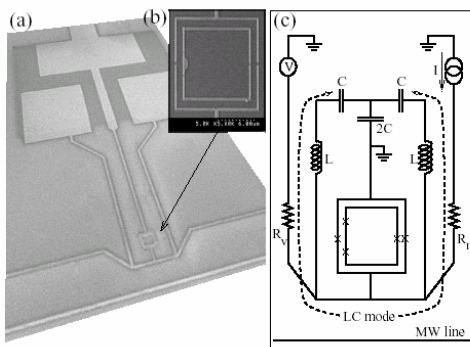


図1 (a) 試料の走査型電子顕微鏡写真(量子ビット、測定用 SQUID、LC 回路) (b) 量子ビット、測定用 SQUID 部分の拡大図 (c) 試料の等価回路

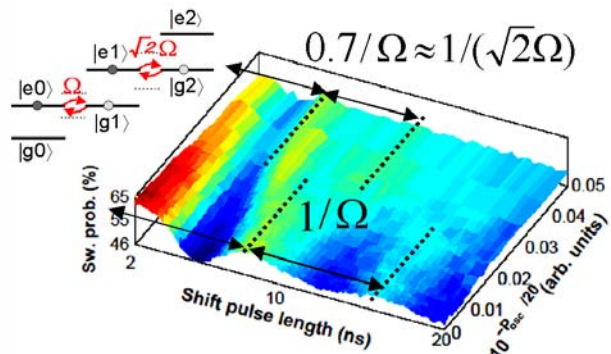


図2 共鳴時間(磁束バイアスパルス持続時間)と LC 振動子に共鳴した微弱パルス強度の関数として測定されたラビ振動。2つの周期が観測できる

超伝導磁束量子ビットのパラメトリック制御

齊藤志郎¹ 上田正仁² 田中弘隆¹ 仙場浩一¹¹ 量子電子物性研究部 ² 東京工業大学/NTT リサーチプロフェッサ

近年、固体物理の分野において量子状態の制御が重要になっている。特に量子 2 準位系のコヒーレント制御は、量子情報・量子コンピューティングの観点から注目を集めている。現在実現されている量子 2 準位系の中で、超伝導磁束量子ビットは集積化と長いコヒーレンス時間を両立できる素子として有望である。磁束量子ビットにおいては、これまでに、多光子吸収による 2 状態間の遷移が観測されている[1]。本研究では、異なる周波数を持つ 2 種類のマイクロ波(MW1、MW2)を用いて、量子ビットをパラメトリックに制御することに成功した。すなわち、我々は、2 種類の周波数(f_{MW1} , f_{MW2})の和あるいは差が量子ビットのラーモア周波数 f_{qb} に一致する条件で、2 光子ラビ振動の観測に成功した。

超伝導磁束量子ビットは、3 つのジョセフソン接合を含む超伝導(アルミニウム)ループから構成され(図1)、ループを流れる右回り $|e\rangle$ と左回り $|g\rangle$ の超伝導電流が、量子ビットの 2 状態に対応する。量子ビットの読み出しは、外側の dc-SQUID を用いて行う。まず 2 種類の周波数($f_{MW1}=11.1\text{GHz}$, $f_{MW2}=18.5\text{GHz}$)を含むパルス長 t_p のマイクロ波パルスで量子ビット($f_{qb}=7.4\text{GHz}$)へ照射し、量子ビットの状態を準備する。その後、dc-SQUID にパルス電流を印加し、SQUID が電圧状態へスイッチするか否かを測定する。この測定を繰り返し、得られたスイッチング確率 P_{sw} は、量子ビットを $|e\rangle$ に見出す確率と比例する。図2(b)の挿入図は、このときの量子ビットのエネルギー準位とマイクロ波周波数の関係を模式的に表している。図2(a)は、MW2 の強度 V_{MW2} を 50.1mV に固定し、MW1 の強度 V_{MW1} を変化した時の P_{sw} の振動(ラビ振動)を表す。この振動を減衰振動でフィットすることによりラビ振動数 $W_{\text{Rabi}}/2\pi$ が得られる。様々な V_{MW1} , V_{MW2} での $W_{\text{Rabi}}/2\pi$ (図2(b)ドット)は、MW1, MW2 を古典的な振動場として扱うモデルから得られたラビ振動数(図2(b)実線)と良く一致している。

パラメトリック制御を用いると、 f_{qb} よりも高い周波数を持つマイクロ波での量子ビット制御が可能となり、 f_{qb} 以下の周波数を持つノイズをハイパスフィルターによりマイクロ波ラインからカットすることが出来る。このフィルターにより量子ビットのコヒーレンス向上が期待される。

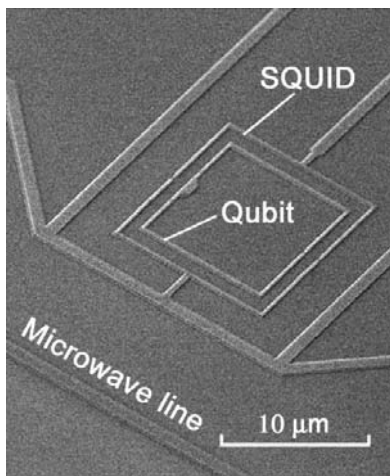
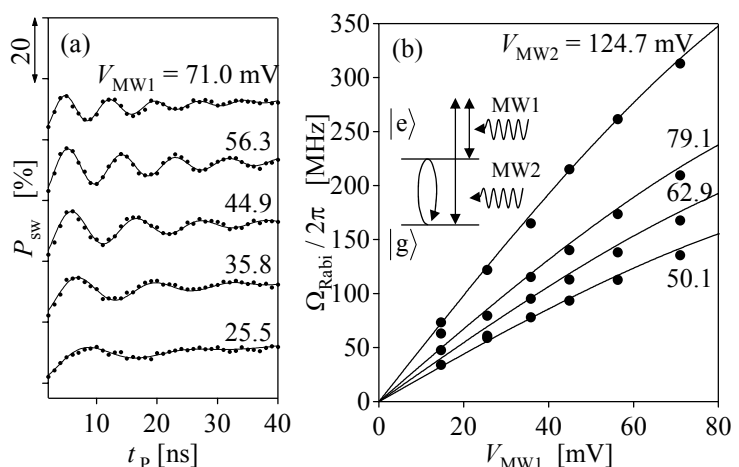
[1] S. Saito, et al., Phys. Rev. Lett. **93** (2004) 037001.[2] S. Saito, et al., Phys. Rev. Lett. **96** (2006) 107001.

図1 超伝導磁束量子ビットの電子顕微鏡写真

図2 (a)パラメトリック制御による磁束量子ビットのラビ振動
(b)ラビ振動数のマイクロ波強度依存性

超伝導アトムチップによる原子の捕捉

向井哲哉¹ Alexander Kasper¹ 清水富士夫²¹ 量子電子物性研究部² 電気通信大学/NTTリサーチプロフェッサ

中性原子は、量子化した内部状態や、原子の非個別性、原子間および原子光子間の相互作用を制御出来ること、環境からの影響が小さいことなど、量子演算のリソースとして優れた性質を持つ。特に現在有力視されているのは、1 個の原子の内部状態から適当な 2 つの状態を選び、1 つの量子ビットとする方法で、その実現には、原子の運動を制限するために、2 ないし 3 次元的に整列させた原子の配列を準備することが重要となる。

我々は光格子(3 次元)とアトムチップ(2 次元)の 2 つの方法で、量子演算の実現に取り組んでいる。初めに光格子について、我々は 2 つの独自の実験スキームを提案し研究を行っている。その 1 つは 2 種類の原子をそれぞれの光格子に捕捉して操作する「2 重光格子」[1]の方法であり、もう 1 つは、光と原子との相互作用のみによって全てのゲート演算を行う「共振器内光格子」の方法である。これらの方法を用いれば、1,000 量子ビット以上の数的拡張性を持った量子計算機が実現出来ると考えられる。

一方、NTTの得意とする微細加工技術を活用し、固体表面に微小な電線パターン(図1)を作製して、そこを流れる電流から発生する磁場ポテンシャルで原子を捕捉し、2 次元的に操作するアトムチップの方法も、重点的に研究している。特にアトムチップの方法は、光格子では実現出来ない性質、すなわち、個々のポテンシャルを独立に制御することが出来ることから、応用上の優位性があると考えられる。現在世界的には、アトムチップによる方法は、原子を固体近傍に近づけると、表面からの影響により、トラップ寿命が著しく短くなる問題があり、単一原子を捕捉出来るだけの急峻なポテンシャルを実現するには至っていない。この問題は、超伝導材料を用いることで、克服出来ると考えられることから、我々は、超伝導が出来る固体の低温技術と、Bose 凝縮も可能な極低温原子冷却技術とを融合させた装置を開発するに至った。この装置の完成により、我々のグループは、固体表面上の超伝導電流によって原子を捕捉することに、世界で初めて成功した。図2はその原子捕捉の観測結果であり、共鳴光に対する原子の吸収像を表している(濃淡が薄いほど原子密度が高い)。今後は超伝導により、表面の影響が抑えられていることを確認した後、表面近傍に、より近い位置で、急峻な閉じ込めポテンシャルを持つアトムチップの研究へと発展させる予定である。

[1] F. Shimizu, Jpn. J. Appl. Phys. **43** (2004) 8376.

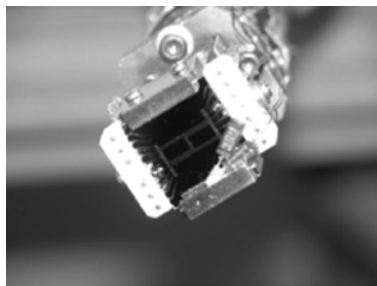


図1 MgB₂アトムチップ

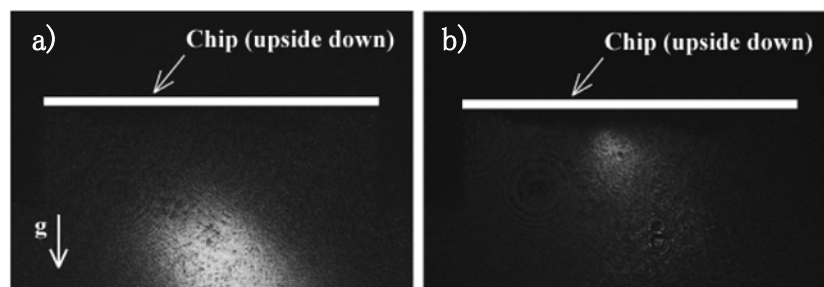


図2 チップ上のポテンシャルに移行前(a)と移行後(b)

局所ホール効果を使った磁壁速度の測定

関根佳明¹ 新田淳作^{2,3}¹量子電子物性研究部 ²東北大学大学院工学研究科 ³CREST-JST

磁性細線の磁化反転時における両端からの漏れ磁場の時間変化を、局所ホール効果により調べ、磁壁速度を 250 m/s と求めた。磁性材料は一般的にメモリ素子に使用されるが、磁壁の運動を制御することで論理素子が作製可能である。磁壁デバイスの作製には、磁壁の運動特性の把握が必要である。本研究では、磁壁の運動特性を調べるのに、局所ホール効果に注目し、本手法を使い磁壁の運動を捕捉が可能であることを確認した [1]。

磁性細線からは、図1(a)試料模式図の中の点線で示めすように、漏れ磁場が存在する。細線の磁化反転過程では、片端で磁壁が生成され、その磁壁が他端に向かって移動し、端に到達すると磁壁は消滅する。磁壁の生成と消滅により、漏れ磁場の向きは反転する。このため両端での漏れ磁場の反転の時間差は、磁壁が細線を移動する時間に対応する。図1(b)に試料の光学顕微鏡写真を示す。磁性細線直下に作製した局所ホールプローブにより、漏れ磁場を検出した。磁性細線は NiFe、ホールプローブには InGaAs の 2 次元電子ガス (2DEG) を用いている。実験では長さの異なる細線の試料を複数作製し、磁場は細線方向に印加した。図2(a)に磁化反転時における NiFe 細線両端でのホール電圧 (V_H) の時間依存性を示す。 V_{H1} と V_{H2} の変化には時間差があり、長い細線ではその時間差が大きいことが分かる。図2(b)に時間差 (Δt) の細線の長さ (L) 依存性を示す。時間差と長さは比例関係にあり、この傾きから磁壁速度を 250 m/s と求めた。本研究結果は、磁壁の運動を局所ホール効果による手法で正確に捕捉可能であることを確認し、本手法が、磁壁の運動特性を調べる有効な手法であることを示した。これは磁壁デバイスの作製につながる結果である。

[1] Y. Sekine and J. Nitta, in *Narrow Gap Semiconductors*, Inst. Phys. Conf. Ser. No 187, edited by J. Kono and J. Léotin (Taylor & Francis, New York, 2006), p. 461.

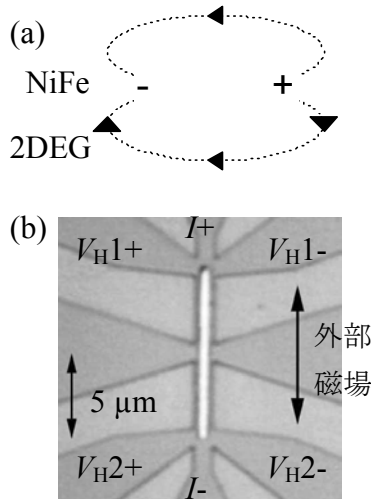


図1 試料の(a) 断面模式図と(b) 光学顕微鏡写真。NiFe の両端から漏れ磁場 (点線) を 2DEG のホールプローブで検出する。写真中央の光沢のある部分が NiFe 細線

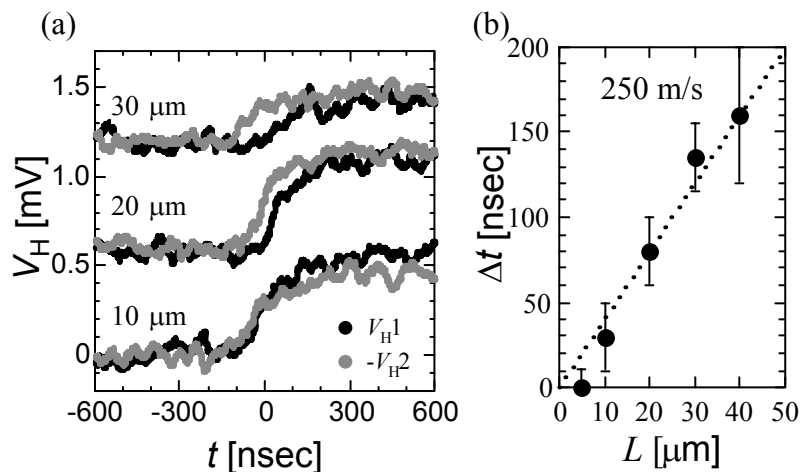


図2 (a) 磁化反転時のホール電圧の時間依存性。磁壁の生成と消滅時の漏れ磁場の向きの反転に対応して、 V_H が変化する。 V_{H1} と V_{H2} の変化に時間差があり、NiFe 細線の長さが長くなると時間差が大きくなる。(b) V_{H1} と V_{H2} の変化の時間差の長さ依存性。時間差と長さに比例関係があり、傾きから磁壁速度が 250 m/s と求まる

GaAs 量子井戸を用いた電子密度と電場の独立操作

山口真澄
量子電子物性研究部

電子密度と電界の独立な操作はゲートによって半導体量子ドット列による人工結晶を作るための重要なポイントである。半導体ヘテロ接合界面に形成される 2 次元電子系の電子密度はデバイスの表面もしくは裏面に設けたゲート電圧によって変化するが[1]、2 次元電子系は閉じ込め方向に有限の広がりを持つために電子は電界を感じるようになる。電気伝導特性などでは電子密度の変化による寄与のみが大きい、フォトルミネッセンス(PL)などの光学特性では電子密度とともにこの電界の効果が大きく寄与する。半導体量子井戸で表面と裏面の 2 つのゲートを用いれば、電子密度と電界をほぼ独立に制御することが期待される。

本研究では、挿入図に示すようなドナー層のない GaAs 量子井戸の中心付近にアクセプタ(Be)を δ ドープした試料に表面と裏面のゲートを用いてその電子密度と電界を操作し、PL の発光エネルギーの変化を測定した [2]。図中の○は表面ゲートを変えたときの発光エネルギーの変化である。図の右側には表面と裏面のゲート電圧を変化させたときの量子井戸のポテンシャル形状と電子密度をシミュレーションした結果を示している。(A) 表面と裏面のゲート電圧を大きく正に印加すると、量子井戸の両側に電子が誘起されて量子井戸中の電界は遮蔽される。このときは、ゲート電圧を多少変化させても発光エネルギーの変化が小さい。(B) 表面のゲート電圧を表面側の電子がなくなるまで小さくすると発光エネルギーは表面ゲート電圧に敏感に依存するようになる。(C) 更に表面ゲートを小さくすると量子井戸から 2 次元電子系はなくなる。図中の実線はシミュレーションによって求めた発光エネルギーの変化量であり、実験結果と良い一致を見ている。また、(B) 領域では電子密度を一定にして電界を独立に変化させることにも成功した。

[1] M. Yamaguchi, et al., Suf. Sci. **583** (2005) 94.

[2] M. Yamaguchi, et al., J. Appl. Phys. (to be published).

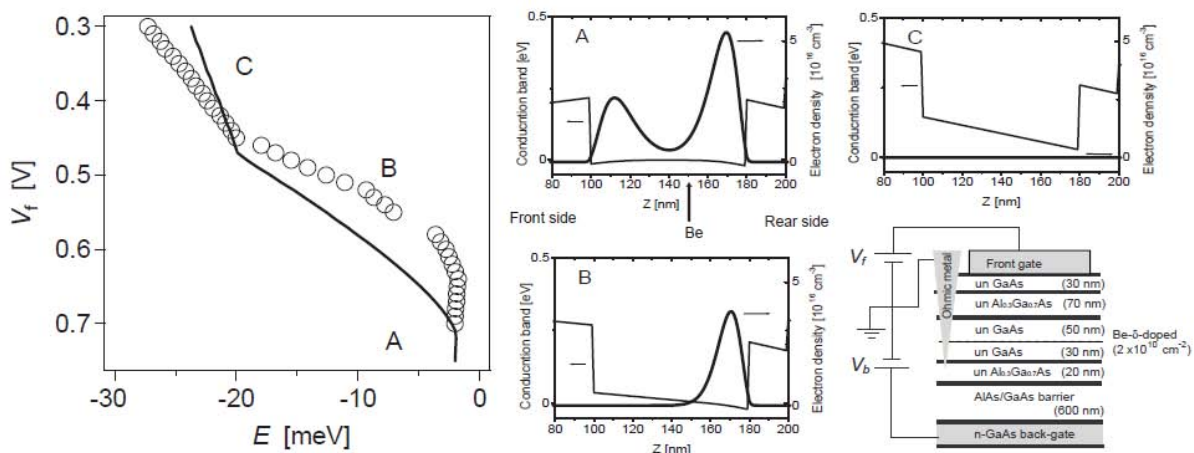


図1 発光エネルギーの測定結果とシミュレーションとの比較

周波数上方変換型光子検出器を用いた長距離、高速量子鍵配送

武居弘樹¹ 本庄利守¹ 井上恭²¹ 量子光物性研究部 ² 大阪大学/NTT リサーチプロフェッサー

差動位相シフト量子鍵配送(DPS-QKD)は、光子数分岐攻撃等の盗聴に対する耐性が高い方式として注目されている[1]。今回、周期分極反転ニオブ酸リチウム(PPLN)導波路中の周波数上方変換に基づく単一光子検出器(Up-conversion 検出器)を用いて DPS-QKD 実験を行い、鍵生成率および伝送距離を飛躍的に増大した[2]。

実験系を図 1(a)に示す。波長 1560 nm の連続光を強度変調器によりクロック周波数 1 GHz、半値幅 100 ps のパルス列に変調する。次に位相変調器を用いて各パルス位相を 0 または π でランダムに変調した後、光減衰器によりパルスあたりの平均光子数を 0.2 程度に設定し、伝送用光ファイバに入力する。ファイバから出力されたパルス列は PLC マツハツェンダ干渉計に入力される。干渉計の 2 出力ポートから出力された光子は、それぞれ Up-conversion 検出器により受信される。Up-conversion 検出器の構成を図 1(b)に示す。1.3 μm のポンプ光と合波された 1.5 μm 帯の光子は、PPLN 導波路中の和周波発生過程により 0.7 μm 帯の光子に変換される。変換された光子は、光フィルタ系により残留ポンプ光等を抑圧した後、Silicon avalanche photodiode (Si-APD)により検出される。Si-APD は非同期モード動作が可能であるため、本実験のような高速クロックのシステムに適用することにより、鍵生成率を大幅に向上できる。

実験結果を図 2 に示す。検出器の量子効率を 9%、暗計数率を 26 kHz(2 個の和)に設定した場合のファイバ伝送実験結果を□で表す。20 km のファイバ伝送時には 455 kbit/s の安全鍵生成率を達成した。また、30 km 以下の伝送距離で 1 Mbit/s のシフト鍵生成率を確認した。次に、信号対雑音比向上のため、検出器の量子効率、暗計数率をそれぞれ 2%、2.7 kHz に設定した。105 km のファイバ伝送を行い、209 bit/s の安全鍵生成率を確認した(図 2 ○)。△は[3]で報告された BB84 プロトコルを用いた安全鍵配送実験結果である。このように、従来報告に比べて、鍵生成率および配送距離を飛躍的に増大することができた。

今回の結果は、100 km 超の量子鍵配送システム実現のための重要な一歩である。

[1] K. Inoue et al., Phys. Rev. Lett. **89** (2002) 037902.

[2] H. Takesue et al., New J. Phys. **7** (2005) 232.

[3] C. Gobby et al., Electron Lett. **40** (2004) 25.

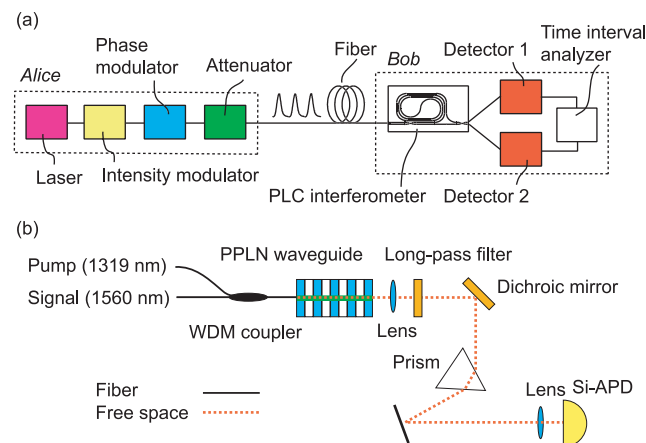


図1 実験系

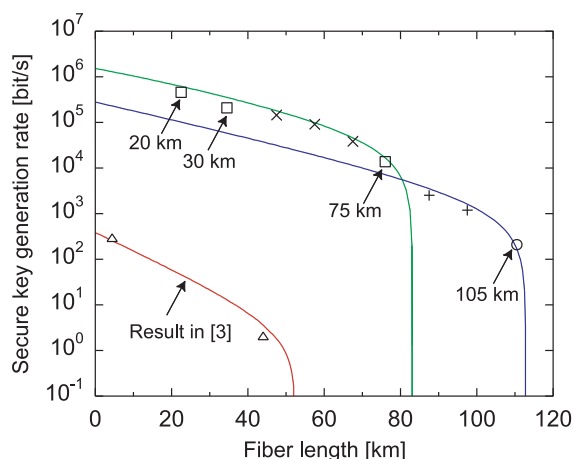


図2 安全鍵生成率

通信波長帯における energy-time もつれ光子対の発生

本庄利守¹ 武居弘樹¹ 井上恭²¹量子光物性研究部 ²大阪大学/NTT リサーチプロフェッサー

光ファイバを用いた量子通信において、通信波長帯でのもつれ光子対の発生技術は、不可欠な要素である[1, 2]。我々は、導波路型 PPLN を用いて energy-time もつれ光子対の発生を行い、PLC(planar lightwave circuit)による Mach-Zehnder 干渉計を用いて 2 光子干渉実験に成功した[3]。

図 1 に実験構成を示す。半導体レーザからの CW 光(波長 780nm)をポンプとして、導波路型 PPLN に入れた。PPLN において、自然放出パラメトリック下方変換によりもつれ光子対を発生させた。PPLN からの出力光を、ポンプ光の除去および帯域を制限のために、780nm 抑圧フィルターと 1.5 μm 帯狭帯域バンドパスフィルターを通過させた。その後、50:50 カプラにてシグナルとアイドラーを分離し、それぞれ光路差 20cm の PLC Mach-Zehnder 干渉計を通過させた。PLC Mach-Zehnder 干渉計の位相差は、干渉計の温度を制御することにより正確かつ安定に調整することが可能である。そして、それぞれの干渉計の片側の出力に設置した InGaAs による光子検出器を用いて、シグナル側の干渉計温度を一定にしたまま、アイドラー側の干渉計温度を変化させて、同時係数を測定した。

図 2 が実験結果である。△印が実験的に求めた各温度における同時係数である。実験を通して、各光子検出器のカウントレートは、1700cps 程度で一定であった。カウントレートが一定であるにもかかわらず、干渉計の温度変化に伴って、図 2 のような 2 光子干渉波形が観測された。光子検出器のゲートあたりの平均光子数 0.12 で実験を行い、明瞭度は 77.3%を得た。この結果は、光子対発生率のポアソン性、ロス、検出器の暗計数を考慮すると理論値とほぼ合致し、ノイズ光子発生のないもつれ光子対が発生できていることを確認できた。

[1] I. Marcikic et al., Phys. Rev. Lett. **82** (1999) 2594.[2] H. Takesue et al., Phys. Rev. A **72** (2005) 041804(R).

[3] T. Honjo et al., CLEO/QELS 2006, (2006) JTua5.

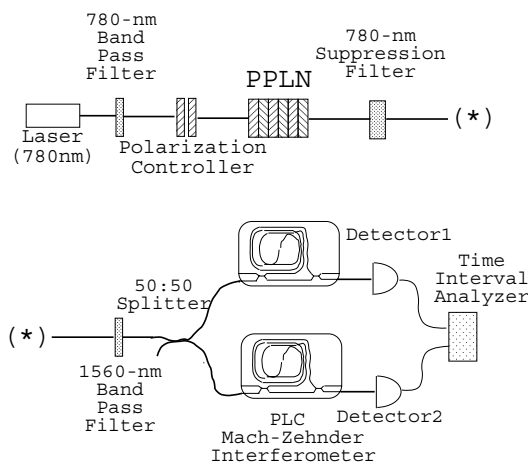


図1 実験系

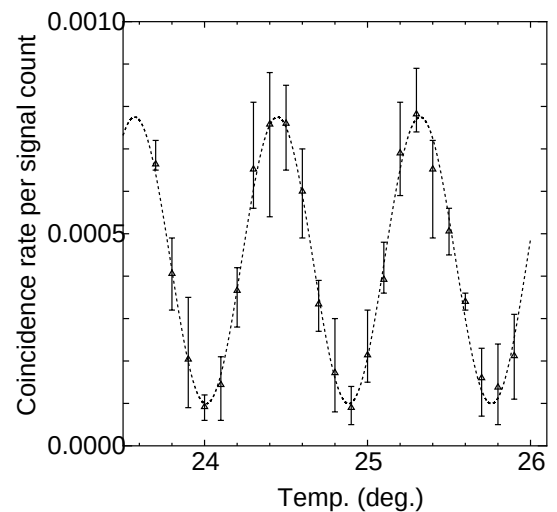


図2 2光子干渉測定結果

傾斜磁場を利用した単一スピンのコヒーレント制御

都倉康弘
量子光物性研究部

量子計算機の提案により固体環境での単一電子スピンのコヒーレントな操作に興味もたれている。電子の電荷に代わってスピンを量子ビットに利用する理由は、その長いコヒーレンス時間にある。単一電子スピン共鳴(SESr)は電子スピン操作に不可欠であるが半導体量子ドットでは未だ実現できていない。なぜなら 10GHz 程度の高周波磁場を局所的に低温(100mK)で印可しなければならないからである。通常の ESR のようにマイクロ波キャビティでは電子温度の上昇が問題となる。

我々は振動磁場の必要のない高い Q 値が実現可能な SESr の方法を提案した。高周波電圧は静的な傾斜磁場で量子ドット中の電子を揺さぶる。これは実効的に電子スピンに振動磁場を掛けたことと等価となる。不均一磁場中で有名な Stern-Gerlach 効果がスピンと軌道の自由度を結合させるのと類似の効果である。量子ドット中の空間的な電子の振動は軌道の混成により実現している。

我々は量子ビットのコヒーレンス時間を見積もり、単一量子ビット操作と二量子ビットによる制御 NOT 演算が可能である事を示した。この量子ビットはスピン量子ビットより操作が容易で、電荷量子ビットより高い Q 値を持つ。この概念は一般的であり様々な系、例えばカーボンナノチューブ、GaAs ドットや SiGe ドットに応用できる。またこの方法により単一電子の固有コヒーレンス時間を見積もることもできる。

[1] Y. Tokura et al., Phys. Rev. Lett. **96** (2006) 047202.

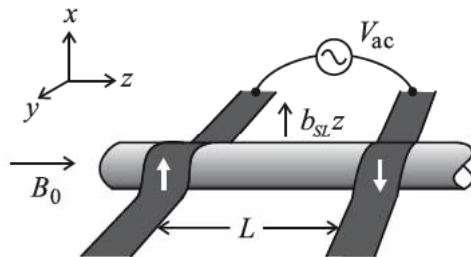
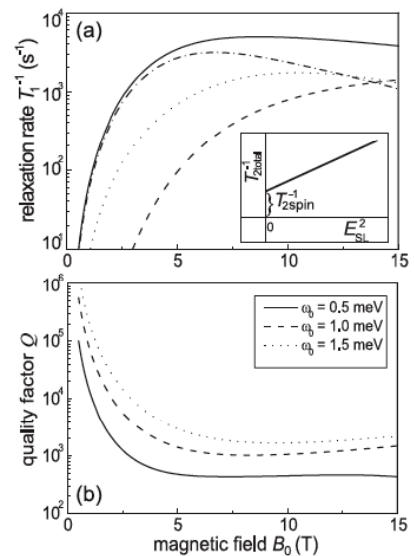


図1 モデル図。強磁性体ゲート電極(黒色)がドットの両端に配置され x 方向に対向して磁化して、傾斜磁場 b_{SL} を形成する。一様磁場 B_0 が z 方向である。ドット中のスピンは2つのゲート間に掛けられた振動電圧 V_{ac} で制御される

図2 (a) フォノン(変形ポテンシャル(点線)、縦(ドット)/横(一点破線)ピエゾ電気)散乱による GaAs 量子ドットの磁場 B_0 での緩和時間 $1/T_1$ 。実線は合計。(b) 単一量子ビット操作の Q 値の磁場 B_0 依存性



量子ドットにおける励起子・励起子分子を用いた光非線形

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、特徴のある物性の発現と、量子デバイス応用の期待から注目を集めている。量子ドットは、ナノメートルスケールの完全な閉じ込め構造であるため、励起子および励起子分子(励起子2個が結合した状態)が安定に存在する。この構造中では、励起子-励起子分子間のコヒーレントな相互作用が起これ、量子相関効果や Electromagnetically induced transparency (EIT) に類似した光非線形効果が期待できる。これは、現在の光デバイスのみならず、将来の量子情報処理に対しても非常に有用である。

我々は、InGaAs 量子ドットにおいて、単一ドットフォトルミネッセンス法(PLE)を用いて、強い光非線形現象を見出した。これは、孤立した量子ドットにおける励起子と励起子分子間のコヒーレントな相互作用が原因である[1、2]。

図1は、2種類の励起強度に対する、励起子(X)と励起子分子(XX)の PLE スペクトルである。これは、吸収スペクトルに相当する。低励起強度では、X、XXともピーク状のスペクトルとなっている。高励起強度では、XXのスペクトルは、通常の幅の広がったピーク状のスペクトルであるが、Xのスペクトルは、通常とは異なる窪み状のスペクトルを示している。XとXXのコヒーレントな相互作用が、このスペクトルの原因であると解釈でき、この現象は、EIT と極めて類似している。この現象を光非線形の観点から評価するため、ポンププローブ測定を行った。実験では、干渉計を用いて励起光を照射し、XとXXのPLを測定した。図2は、その結果であり、PLの非線形成分をポンプ光強度の関数として示している。図では、XXのPLは300 μ Wから飽和している。これに対し、XのPLは100 μ Wまでは増加するが、それ以上では減少している。この減少効果は、光非線形そのものであり、XとXXの間のコヒーレント効果の現れであると解釈できる。これらの結果は、量子ドットにおいて EIT に類似した光非線形効果が得られることを明瞭に示している。

今回の結果は、量子計算実現のステップとなると共に、新規光デバイス実現にもつながる成果である。

[1] H. Gotoh et al., Phys. Rev. **B71** (2005) 195334.

[2] H. Gotoh et al., Appl. Phys. Lett. **87** (2005) 102101.

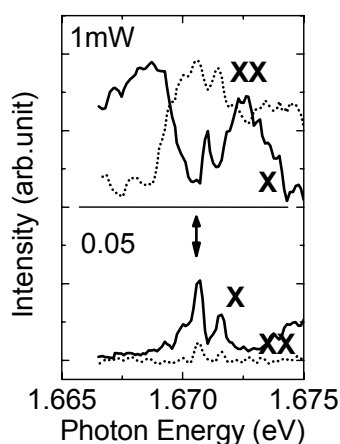


図1 2種類の励起強度に対する PLE スペクトル

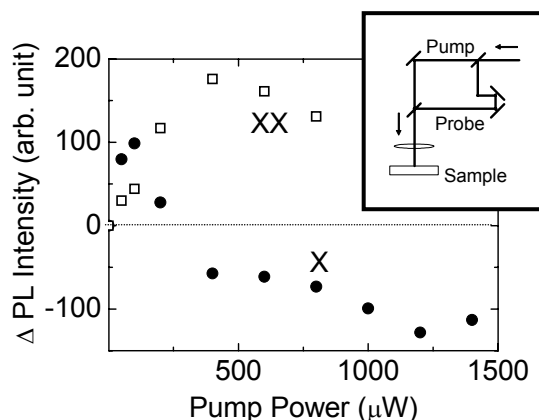


図2 非線形 PL 強度

逆 VLS 機構により形成されるナノホール

舘野功太 後藤秀樹 中野秀俊
量子光物性研究部

ナノデバイスに適したナノホール作製法として、高アスペクト比のアルミナのナノホールを形成する陽極酸化法や、フォトニック結晶などで用いられる電子ビームリソグラフィかつ反応性イオンエッチングによるトップダウン的なホール形成技術がある。ここでは新たに Au 微粒子を用いたボトムアップ的なナノホール形成技術を報告する。この手法は VLS (vapor-liquid-solid) 機構の逆過程によるものである。

VLS 機構はフリースタンディング型の半導体ナノワイヤの成長機構としてよく知られている。VLS 機構のポイントは 400-500 度付近の低い温度で液状の金属合金微粒子を触媒として用いるところにある。Au 微粒子を触媒として用いた GaAs ナノワイヤの場合、熱力学的にバランスの取れた気体-液体-固体の系で Ga と As は Au 微粒子中に同じ量を維持しようとする。そのため、Ga と As を供給すると金微粒子中は過飽和になり成長が起こる。逆 VLS 過程、つまりエッチング過程の概念はエッチングガスを供給することで Au 微粒子から Ga と As が除かれると Au 微粒子と基板の境界では Au 微粒子中の Ga と As の濃度を維持するため基板からの Ga と As の溶解込みが起こり、その結果先端の Au 微粒子からホールが形成されるというものである。我々は初めて GaAs と InP 基板において逆 VLS 機構によるナノホールを示すことができた[1]。

エッチングは減圧 (76 Torr) の MOVPE リアクタ内で行った。エッチングガスは四臭化炭素 (CBr_4) を用いた。V 族ガスとして AsH_3 と PH_3 を用い、エッチング温度まで供給した。Au を蒸着した GaAs と InP 基板を用いてエッチングを行った。InP サンプルはエッチング速度を小さくするため PH_3 をエッチング中に供給した。

ナノホールは $[111]\text{B}$ 方向に進行しやすいことが分かった。GaAs の場合、まっすぐなホールが $[011]$ 方向(図1)や $[211]\text{B}$ 方向に時折見られた。これは $\{111\}\text{B}$ ファセットがエッチングを妨げることによる。InP の場合、図2に見られるようにたくさんのまっすぐなホールが $[111]\text{B}$ 方向に見られた。どちらの材料でも表面を直接エッチングする過程も起こる。したがってナノホール形成に高い選択性を持つエッチング条件の最適化が必要である。このホール形成手法はいろいろな種類のナノデバイスへの応用が考えられる。また、ナノサイエンス、テクノロジーへの貢献が期待される。

[1] K. Tateno et al., Jpn. J. Appl. Phys. **44** (2005) L428.

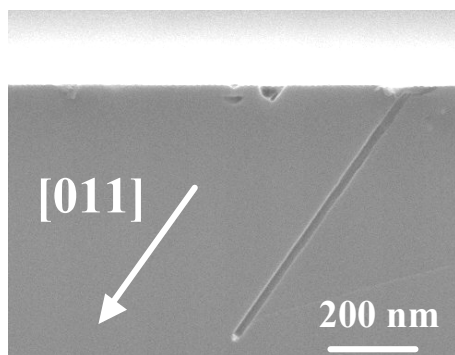


図1 GaAs (111)A 基板に形成された $[011]$ 方向ナノホールの断面 SEM 写真

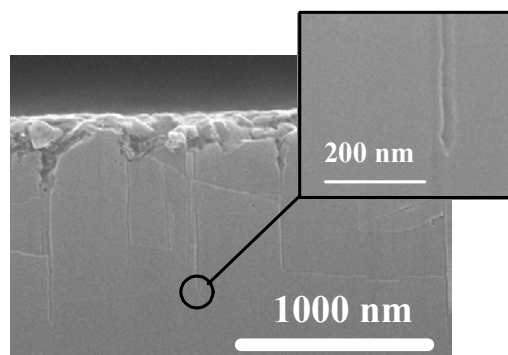


図2 InP (111)A 基板に形成された $[111]\text{B}$ 方向ナノホールの断面 SEM 写真

表面高調波のスペクトル干渉による極短レーザーパルスの キャリアエンベロープ位相計測

石澤淳 中野秀俊
量子光物性研究部

極短パルスレーザーにおける包絡線に対する光電界振動の位相はキャリアエンベロープ位相(CEP)と呼ばれる。極短パルスレーザーでは、CEP の値によって瞬時強度の尖頭値が大きく変化するため、光波と物質との相互作用、特に高次の非線形相互作用において大きな影響を及ぼすこととなる。そのため、極短光パルスを光非線形分光へ適用するときには、CEP 絶対値の計測ならびに制御が重要である。

従来、CEP 絶対値を計測するには、光電界によるイオン化や高次高調波発生[1]等の高強度レーザーパルスを原子や分子などに照射した場合に起こる高次の非線形光学現象を利用していた。これらの手法は、100 μJ 以上の増幅光パルス、真空容器及び特殊な計測装置等が必要となり、CEP 絶対値が計測可能なのは一部の研究所に限定される問題があった。

今回我々は、固体表面から同時に発生する第二高調波と第三高調波間の干渉を利用した CEP 直接計測方法を提案し、実証した。現在利用されている、パルスごとに生じる CEP 変動を計測する方法は、非線形光学結晶内伝搬に伴う未知の位相が加わるために CEP の絶対値は分からない。一方、固体表面から同時に発生する第二高調波と第三高調波はどちらも基本波から $\pi/2$ rad だけ位相シフトする。その結果、第二高調波と第三高調波間の干渉には未知の位相が含まれず、スペクトル干渉強度を測定することにより、CEP 絶対値を測定することができる。この方法は、従来の CEP 絶対値の計測法と比較して、2 桁程度低いレーザーエネルギーで、かつ、真空容器を用いずに、簡便な光学配置構成で測定できる利点がある。レーザーパルスを斜入射でガラス表面へ集光すると、その表面で偶数次と奇数次の高調波が発生する。このとき、極短パルスレーザーのスペクトル幅が広いと、第二高調波スペクトルの高周波成分と第三高調波スペクトルの低周波成分が重畳する(図 1)。我々は、重畳した領域のスペクトル強度を観測し、CEP に依存して周期的な変化をする干渉信号の計測に成功した(図 2)[2]。今後、この計測を使用して超短パルスレーザー増幅システムの CEP 絶対値を検出し、フィードバック回路を構成することにより、長時間 CEP 安定化された極短パルスレーザー増幅システムの構築を目指す。

[1] A. Baltuška, et al., Nature. **421** (2003) 611.

[2] A. Ishizawa and H. Nakano, Jpn. J. Appl. Phys. **45** (2006) 4087.

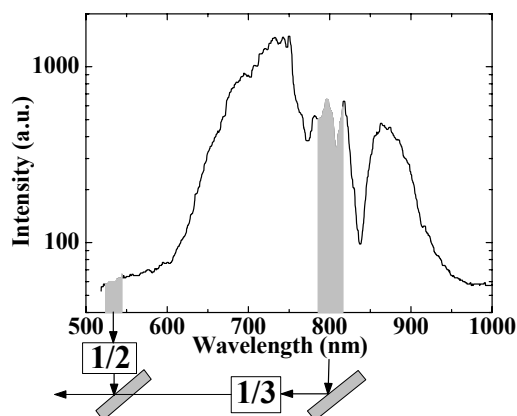


図1 極短レーザーパルスのスペクトル

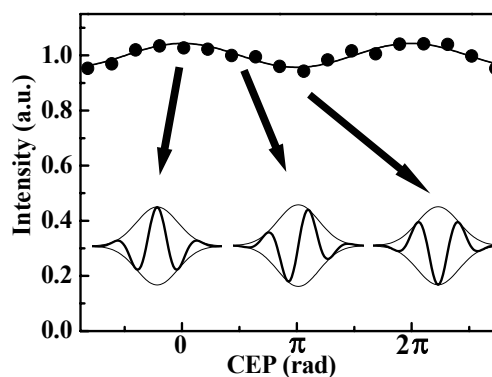


図2 干渉強度の CEP 依存性

線欠陥幅変化による超高Q値フォトニック結晶微小共振器

倉持栄一 田辺孝純 新家昭彦 納富雅也
量子光物性研究部

フォトニック結晶共振器による光スイッチ[1]や非線形デバイス[2]においてはQ値が高く、光閉込体積(V)が小さいほど、大きな特性増強効果が期待できる。増強効果を更に高めるため、また挿入損失を減らすべく導波路との結合を高めつつ必要な性能を確保するためにも、一層高いQ値の実現が期待されている。これまでフォトニック結晶(バンドギャップ)閉込による共振器で計算Q値を200万にまで高めてきたが[3]、これ以上の向上は困難であった。

新たな共振器実現手法として、原理上無損失の線欠陥モードとモードギャップ反射鏡からなるFabry-Perot共振器とを組み合わせた[3, 4]。共振器部分で線欠陥幅を広げ、広がっていない部分との境界にできるモードギャップを反射鏡とし緩やかに光を閉じ込めることで、フォトニック結晶反射鏡を用いる従来手法に対し面外放射損を大幅に低減できる。より緩やかな光閉込にするため、図1に示すシフト量を3段階で変えるテーパ構造を考案した。3次元有限差分時間領域法(FDTD)による計算で本構造のQ値が最高 10^8 に達し、その際のVが $1.7(\lambda/n)^3$ 程度と十分小さいことを明らかにした。本共振器を含む共鳴トンネルフィルタを電子線リソグラフィによりSiフォトニック結晶中に作製し[5]透過特性を測定したところ、Q値 1.0×10^6 に相当する線幅1.5pmの極めて狭い共鳴ピークが観察された。(図2)

本研究により我々はフォトニック結晶共振器として初めて理論Q値1億、実験Q値100万を達成した[6]。各種デバイス応用に十分であることは勿論、より高Q値が必要な光バッファや光遅延などフォトニック結晶の新たな応用につながる成果といえる。

[1] T. Tanabe et al., Opt. Lett. **30** (2005) 2575.

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

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

[4] E. Kuramochi et al., Appl. Phys. Lett. **88** (2006) 041112.

[5] E. Kuramochi et al., Phys. Rev. **B72** (2005) 161318.

[6] E. Kuramochi et al., LEOS2005, PD1.1 (2005).

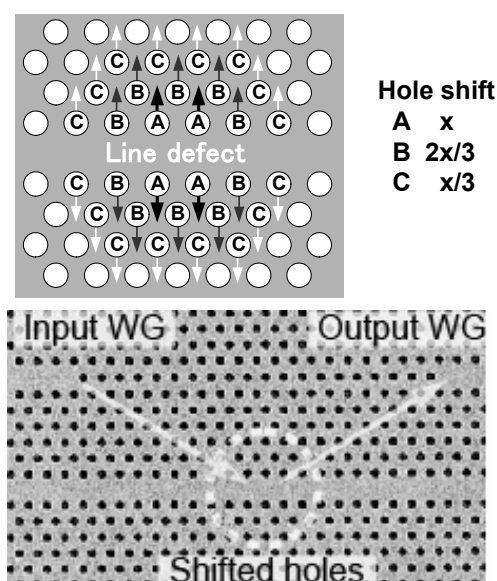


図1 3段階テーパシフト構造共振器構造とリソグラフィ後の電子顕微鏡像

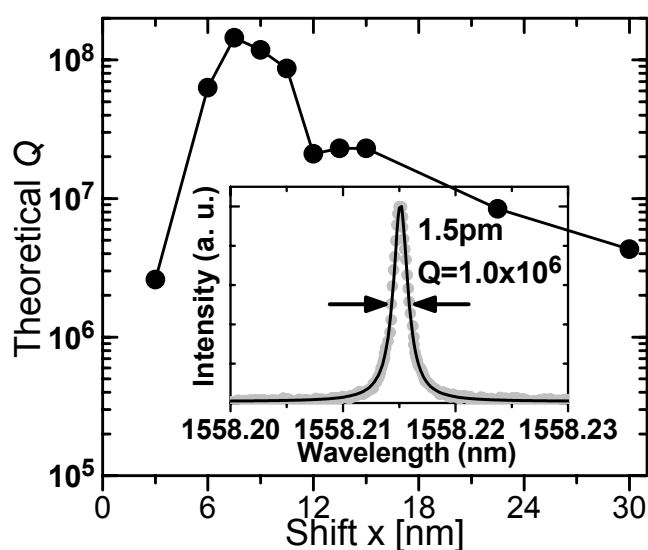


図2 図1の共振器の計算Q値と実験で得られた共鳴透過スペクトル

フォトニック結晶共振器を用いた全光フリップフロップ回路

新家昭彦 田辺孝純 倉持栄一 川西悟基 納富雅也
量子光物性研究部

全光フリップフロップ回路は、一時的に過去と現在の情報を記憶しそれらを演算処理するデジタル回路であり、将来の全光高速信号処理回路で全光再生機能を達成するために必要不可欠である。ここで求められる最も重要な機能の1つは、入力パルス列をシステムのクロックに同期させることである。しかし、これまでに提案された全光フリップフロップ回路は、小型化が難しく、動作速度を速くできないなどの問題があった。

この問題に打ち勝つため、我々は、光デバイスを波長程度まで小型化するためのプラットフォームとして注目されているフォトニック結晶(PhC)をベースとする光回路の検討を行っている。図1は三角格子空気穴2次元 PhC をベースとするフリップフロップ回路の構成図である[1]。その格子定数 a は 400nm、空気穴直径は $0.55a$ である。2つの共振器(C1、C2)は1つの共通の共鳴波長(λ_1)を有し、2つの異なる共鳴波長(C1、C2 に対しそれぞれ λ_1 、 λ_3)を持つ。導波路(WG1、WG2)は、 λ_1 と λ_3 の光は両方の導波路を通ることができるが、 λ_2 の光はWG1 だけを通るように設定されている。

ここで、NRZ 形式の入力データ(DATA:波長 $\lambda_2=1548\text{nm}$)がシステムの内部クロックからずれている状況を考える。入力データのクロック同期達成のため、2つの共振器が双安定動作をするように全ての光(λ_1 、 λ_2 、 λ_3)のパワーを 60mW に設定し、クロックに2種類の信号(CLOCK:波長 $\lambda_3=1463\text{nm}$ 、 $\overline{\text{CLOCK}}$:波長 $\lambda_1=1493\text{nm}$)を用いた。計算には、PhC の媒質としてAlGaAsを想定し、その非線形効果を考慮に入れた2次元FDTD法でシミュレーションを行った。

図2は我々のシステムのシミュレーション結果である。この図は、我々の回路が、システムのクロックに同期した理想データ(図中点線)と、クロック信号のAND信号を出力していることを示している。つまり、この回路は入力データをクロックに同期させ、理想的なデータをRZフォーマットで出力している。回路の応答速度は約 10ps であり、これは我々のシステムが50GHzクロックで動作できることを示している。

この結果は、全光デジタル信号処理の実現への第一歩である。

[1] A. Shinya, S. Mitsugi, T. Tanabe, M. Notomi, I. Yokohama, H. Takara, and S. Kawanishi, *Optics Express* **14** (2006) 1230.

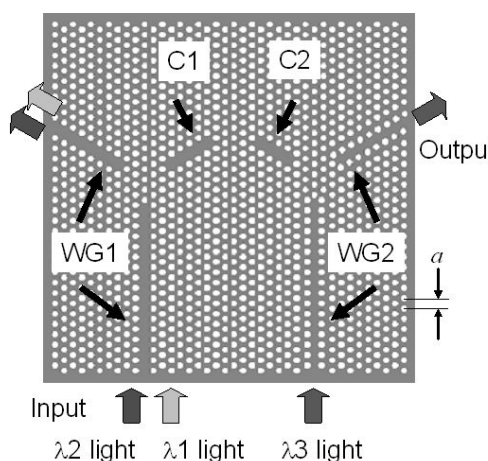


図1 フリップフロップ回路の構造図

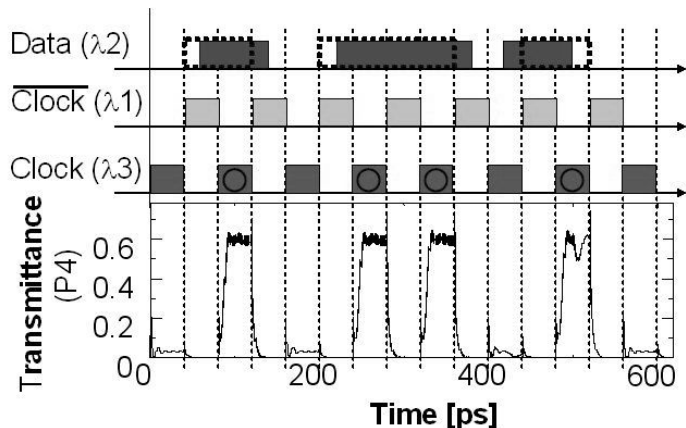


図2 システムのタイムチャート

共振器の動的チューニングによる断熱的波長変換

納富雅也
量子光物性研究部

光の波長は光波長多重通信など光技術のあらゆる側面で利用されている、光の最も重要なパラメータである。波長可変レーザ等により任意の波長を発生させることは難しいことではないが、いったん光が発生してしまうと、その後に波長を変えるのは実は簡単ではない。一般に特殊な結晶の中に生じる光誘起高次分極を用いた光非線形現象によって光の高調波を出す方法がとられているが、高次分極を用いるために大きな光強度を必要とする。我々は最近、超小型で長い光子寿命を持つ光共振器を用いると、全く異なる原理で線形に波長を変換させることが可能であることを理論的に見出した。

波長可変プロセスは次のとおりである。光共振器に光パルスを蓄積し、共振器の光子寿命よりも短い時間内に共振器の共振波長を動的に変化させると、断熱的パラメータ変化過程により蓄積された光の波長は、動的変化後の共振波長に追従して変換される。我々はこの現象を現実的に作製可能なシリコンフォトニック結晶ナノ共振器構造を仮定して、電磁界解析による数値実験で確認した。この現象は、線形現象であり、被変換光の強度に依存せず 100%の波長変換が実現可能である点が、従来の高次分極を使った非線形波長変換と異なる。むしろこの現象は、古典的な振動系におけるパラメータチューニングと等価な現象であり、分かりやすい例としては、ギターの弦を鳴らした後で、音の響きが消える前にペグを回して音程を変える工程と等価である。光の領域では従来光の伝播速度が速すぎ、減衰時間が短すぎるため、このような現象が考慮されてこなかったが、近年の高Q共振器の技術的進展により、実現可能となってきたのである。我々は、数値実験において、この波長変換過程においてエネルギーを振動数で割った量が保存していること確認しており、断熱的パラメータチューニング過程であることを確認している。

この系では単一光子でさえも 100%の効率で波長変換できるはずであり、今後この現象の特徴を実験的に実証していくことを予定している。

[1] M. Notomi and S. Mitsugi, Phys. Rev. A **73** (2006) 051803(R) .

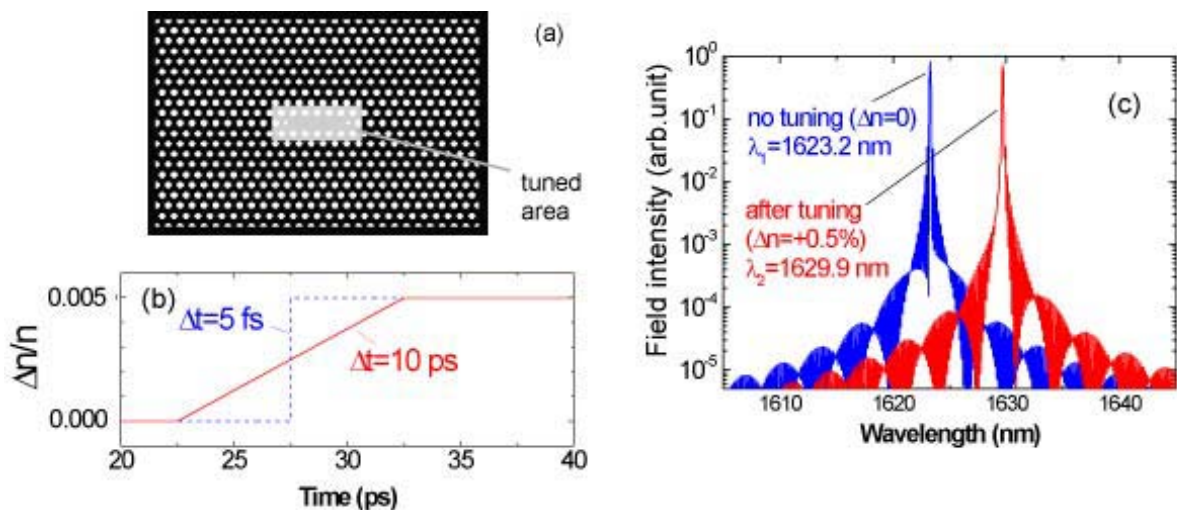


図1 (a) 計算に用いたフォトニック結晶共振器。(b) 計算で仮定した動的屈折率変化。(c) 動的変化なしの場合とありの場合の光パルスの波長スペクトル

Ⅱ．資料

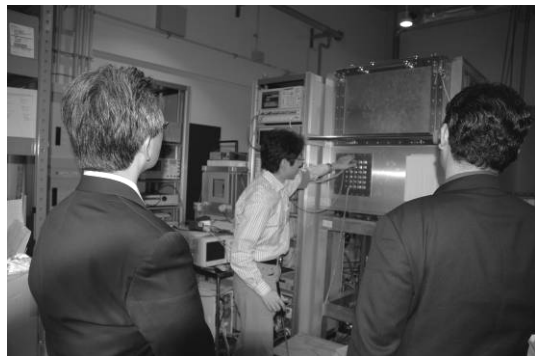
サイエンスプラザ 2005Fall

2005 年 10 月 28 日(金)に NTT 厚木研究開発センタにおいて、「サイエンスプラザ 2005Fall」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こと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、高柳所長からの開会の挨拶に引き続き、ショートプレゼンテーション形式で各展示ポスターの概要説明を行いました。午後には、物性科学基礎研究所の特別研究員 3 名によるシンポジウム講演会を行いました。演題は、「ダイヤモンド FET－高周波パワーデバイスとしての現状と展望」(嘉数誠特別研究員)、「マイクロ・ナノ機械と量子効果」(山口浩司特別研究員)、「単一電子のダイナミクス」(藤澤利正特別研究員)でした。いずれの講演会も盛況で、講演後には熱心な質疑応答が行われました。

ポスター展示では、27 件の最新の研究成果について紹介を行いました。研究の概要からそのオリジナリティやインパクト、今後の展望を詳しく説明するとともに、研究内容についてのかかり突っ込んだディスカッションも行われ、多くの有意義なご意見を頂きました。ビデオ上映では、代表的な各研究トピックスを短く分かりやすくまとめたプロモーションビデオおよび過去に主催した国際シンポジウムの様子を映した映像を流しました。毎年大変ご好評を頂いている研究設備を見学していただく「ラボツアー」については、今回は4つの見学項目についてそれぞれ 5 回実施し、希望された皆様に参加できるように配慮致しました。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、ご来場頂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 名を越える方々に参加いただき、おかげさまで持ちまして、盛況のうちに終了することができました。ご来場頂きました方々には、心より感謝いたします。今後も、ポスター展示、ラボツアー等で頂いたディスカッションや、アンケートに寄せられた様々なご意見にお答えできるように、先進的な研究に精力的に取り組んでいます。



第3回 NTT 物性科学基礎研究所スクール

NTT 物性科学基礎研究所では、物性物理学分野の若手研究者の育成と海外の若手研究者へのビジビリティ向上を目的として、2005 年 10 月 31 日から 11 月 4 日まで、NTT 厚木研究開発センタで、第 3 回 NTT 物性科学基礎研究所スクール(NTT-BRL スクール)を開催しました。今回のスクールでは、現在研究所が進めている量子情報処理の研究と関連の深い「量子系におけるデコヒーレンスとノイズ」をテーマに選び、7 名の海外の著名な大学教授を講師陣に迎え、17 ヶ国 34 名の出席者(主に大学院博士課程学生)が参加しました。

初日には、物性基礎研所長、研究部長、グループリーダーから、研究所の概要、研究内容の紹介がなされた後、Boris Altshuler 教授(米、コロンビア大)による「メゾスコピック系の理論」の入門編の講義がありました。2 日目には、Norman Birge 教授(米、ミシガン大)「金属細線における量子輸送と電子位相緩和」、Oleg Astafiev 博士(日本、NEC)「ジョセフソン電荷量子ビットにおけるデコヒーレンス」など最先端の実験研究に関する講義に続いて、Yuli Galperin 教授(ノルウェー オスロ大学)から「金属性伝導体とメゾスコピック素子におけるデコヒーレンス(理論)」の講義がなされました。1 日目には、研究所の研究設備や装置を見学してもらうために、ラボツアーを実施し、好評を得ました。また、午後の Leonid Levitov 教授(米、MIT)による「量子ノイズと電子計数統計」の講義に続いて、参加した学生や若手研究者によるポスターセッションが開催されました。参加学生が自分の大学での研究内容について発表をし、学生、講師の先生方、NTT の研究者との間で、活発な議論がなされました。残りの 2 日間では、更に Christian Glattli 教授(仏、ENS)「量子ショットノイズ」、Charles Marcus 教授(米、ハーバード大)「量子ドットのメゾスコピック物理」、Valerii Vinokur 教授(米、アルゴンヌ国立研究所)「量子ドットアレイにおける輸送」と最新の研究成果を交えた講義がなされ、最後に NTT 物性基礎研の高柳所長により「超伝導磁束量子ビットにおける読み出し」の講演が行われました。Farewell Party では、ポスターセッションで優れた発表を行った学生に贈られるベストポスター賞の発表などで大いに盛り上がりとともに、学生は連絡先を交換するなど親睦を深めました。NTT 物性基礎研は、今後も、このような交流の場を提供し、物理学分野の研究交流、人材育成への積極的な取り組みを継続していきます。



国際シンポジウム「メゾスコピック超伝導とスピントロニクス」MS+S2006

2006 年 2 月 27 日から 3 月 2 日にかけて、NTT 厚木研 R&D センターにおいて、国際シンポジウム「メゾスコピック超伝導とスピントロニクス」MS+S2006 が行われた。主催は NTT 物性基礎研究所と科学技術振興機構である。この会議も 4 回を数え、欧米のメゾスコピック物理の研究者に定評を与えられた感がある。今回は、46 の講演と約 80 のポスター発表があった。会議のテーマは、量子計算や量子情報処理技術の基礎技術として近年注目されてきている。

会議の初回からのテーマ「メゾスコピック超伝導」も、今回は学問的な興味のみならず応用上も重要になってきたという点で感慨深いものがある。Professor J. Martinis, Professor F. W. J. Hekking, Professor D. Esteve, Professor J. Clark, Professor C. J. P. M. Harmans, Dr. K. Semba, Dr. Y. Nakamura, Dr. Wallraff, and Professor A. Ustinov の錚々たる面々が彼らの超伝導量子ビットについての講演を行った。ここで挙げたメンバーだけで、現在実際に動く超伝導量子ビットを持っている世界の研究機関のほとんど全てを網羅している。なかでも今回、UCSB の J. Martinis のグループは、彼らの位相量子ビットを用いた 2 量子ビットの実験で量子トモグラフィの観測に成功するなど目を見張る結果を示した。イェール大は、電荷量子ビットと伝送線のエンタングルメントの実験を講演し、NTT 物性科学基礎研究所のグループも、磁束量子ビットと LC 共振器回路のエンタングルメントの操作に成功し、いわゆる「真空ラビ振動」の観測を報告していた。これら 2 つの成功は、巨視的量子状態のエンタングルメントを観測したことになり、学問的な意味での重要性が高い。

スピントロニクスの分野でも急速な進歩が続いている。ハーバード大の C. Marcus は 2 重量子ドットの電子スピンを使って、エンタングルメントの形成と検出に成功した。NTT 物性科学基礎研究所の佐々木は、量子細線を介して 2 つの量子ドットの電子間に働く RKKY 相互作用をゲート制御して見せた。また、半導体中のスピン・軌道相互作用を利用したスピン制御は、この会議の初期からの話題の 1 つである。UCSB の D. Awschalom は、GaAs、InGaAs の 2 次元電子系でスピン・ホール効果を光学的に観測することに成功した。東北大の新田は InGaAs でスピンの歳差運動をゲート制御し、東北大の大野は GaMnAs 系で磁壁が電流駆動される様子を観察した。

会議の中日、インスブルックの H. Haffner によって、束縛イオンを用いたエンタングルメント操作についての特別講演があった。会議の参加者はこの分野の専門家ではないが、驚くべき精緻なイオン制御の技術に目を見張った。

今回の参加者は約 200 名で、その 4 分の 1 が海外からの参加である。皆、一様に、現代の高度情報化社会と量子物理が密接な関係をもつ近未来の夢を見ながら帰途に着いたことと思われる。



社外表彰受賞者一覧

International Symposium on Photonic and Electromagnetic Crystal Structures (PECS-VI) Best Paper Award	倉持 栄一 納富 雅也 S. Hughes 吉良 剛 L. Ramunno 新家 昭彦 渡辺 俊文	「Optical Properties of Photonic Crystal Slab Components: Role of Disorder」	2005.06.24
応用物理学会 講演奨励賞	小栗 克弥	「ピコ秒軟 X 線パルスを用いたレーザ溶融 Si の時間分解 EXAFS 計測」	2005.09.7
紫綬褒章	山本 喜久	「量子光学研究功績」	2005.11.3
日本表面科学会 The Best Poster Prize ISSS-4(International Symposium on Surface Science and Nanotechnology)	内田 和之	「First-Principles Study of Field-Effect Doping in Nano-Scale Systems by the Enforced Fermi-Energy Difference Method」	2005.11.15
日本表面科学会 会誌賞	荻野 俊郎 本間 芳和 住友 弘二 尾身 博雄 David Bottomley Zhaohui Zhang	「表面・界面歪の制御によるナノ構造の自己組織化」 表面科学 Vol.25 No.1 42-48	2005.11.17

社内表彰受賞者一覧

NTT Technical Review 論文賞	平山 祥郎 高柳 英明 井上 恭 清水 薫 鎌田 英彦 藤澤 利正	Toward Quantum Information Technology	2005.12.14
先端技術総合研究所 所長表彰 研究開発賞	納富 雅也 倉持 栄一 新家 昭彦 田辺 孝純 山田 浩治	「フォトリソグラフィによる光微小素子 の実現」	2005.12.14
先端技術総合研究所 所長表彰 特許発明賞	熊倉 一英 廣木 正伸 牧本 俊樹 横山 春喜 小林 隆	「サファイアテンプレート基板上の ナイトライド成長」	2005.12.14
先端技術総合研究所 所長表彰 報道特別賞	本庄 利守 武居 弘樹 都倉 康弘 佐原 明夫 高橋 浩	「単一光子量子暗号」	2005.12.14
物性科学基礎研究 所長表彰 業績賞	鈴木 哲 高木 大輔 神崎 賢一 本間 芳和 小林 慶裕	「カーボンナノチューブの架橋構造 形成と低エネルギー電子線による 機能化」	2006.3.16
物性科学基礎研究 所長表彰 業績賞	Wenping Hu 中島 寛 檜村 吉晃 古川 一暁	「ナノ電極による分子特性評価とそ のデバイス化」	2006.3.16
物性科学基礎研究 所長表彰 業績賞	山崎 謙治 生津 英夫	「3次元電子ビーム露光技術の確 立」	2006.3.16

物性科学基礎研究 所長表彰 業績賞	小栗 克弥 岡野 泰彬 西川 正 中野 秀俊	「レーザ励起高輝度 X 線源による 超高速時間分解分光分析技術の 確立」	2006.3.16
物性科学基礎研究 所長表彰 論文賞	遊佐 剛 村木 康二	"Controlled multiple quantum coherences of nuclear spins in a nanometre-scale device" Nature Vol. 434, 1001 (2005)	2006.3.16
物性科学基礎研究 所長表彰 功労賞	藤澤 利正 鈴木 恭一 田村 浩之 熊谷 雅美	「ヘリウム液化機および回収系の管 理体制改善による支出の大幅低減 の達成」	2006.3.16

報道一覧

発表月日	新聞名 「見出し」
I. 共通	
8 月 16 日	日刊工業新聞 通信自由化 20 年 NTT 民営化の功罪 動き出した NTT 改革の行方
10 月 21 日	科学新聞 NTT 先端技術総合研究所 情報通信産業の可能へ向け ブロードバンドとユビタキスを融合
10 月 21 日	科学新聞 破壊的イノベーションに挑戦する
11 月 2 日	日刊工業新聞 秋の褒章 山本 喜久
II. 機能物質科学研究部	
4 月 11 日	日経産業新聞 MgB ₂ 接合で最高温度更新
8 月 1 日	日経産業新聞 シリコンナノ薄膜のひずみ解析
8 月 29 日	日経産業新聞 HEMT 用薄膜、鋳型で効率作製
10 月 21 日	科学新聞 大電力動作のダイヤモンド FET 1 ギガヘルツで 2.1 ワット/ミリ NTT 物性 科研が実現
3 月 13 日	日経産業新聞 生体物質を高分解能で観察
3 月 22 日	読売新聞 ナノ技術 人体に挑む

III. 量子電子物性研究部

- 4 月 21 日 日刊工業新聞
半導体で核スピンを精密制御 新個体量子計算機に道 NTT と JST
- 4 月 21 日 日経産業新聞
NTT と科技機構 基本動作を確認 量子計算機向け素子試作
- 5 月 2 日 朝日新聞
核磁気共鳴使い 半導体の新素子 NTT 物性研など開発
- 5 月 2 日 通信興業新聞
NTT-JST 量子コンピュータ用の核スピン制御に成功
- 5 月 9 日 日経産業新聞
MOSFET で「谷自由度」制御
- 7 月 18 日 産経新聞
電子を自在に制御 新しい領域を追究
- 9 月 1 日 日刊工業新聞
微小な機械歪み高感度検出 超電導の近接効果利用で実現
- 10 月 24 日 日刊工業新聞
NTT EB リソグラフィー 直径 60 マイクロメートルの地球儀 3 次元ナノ構造物作製

IV. 量子光物性研究部

- 4 月 26 日 日刊工業新聞
NTT ナノホールアレー新製法 ナノワイヤーを鋳型に 多様な材料で作製可能
- 6 月 15 日 日刊工業新聞
量子暗号通信 8X8 規模で実証 NTT 商用ネットで混在伝送
- 6 月 15 日 日経産業新聞
「量子暗号通信」実用化へ NTT 安保・企業通信に応用

- 6 月 15 日 日本経済新聞
量子暗号通信 NTT、実用化へ 既存の設備利用
- 6 月 15 日 フジサンケイビジネスアイ
盗聴不能な通信 NTT 実用化へ 光スイッチ経由で「量子暗号」配送
- 6 月 20 日 通信興業新聞
NTT「量子暗号」を商用へ 光スイッチで伝達配信
- 6 月 21 日 朝日新聞
量子暗号実用化「2 年後に可能」NTT
- 6 月 22 日 電波タイムズ
NTT が盗聴防止を実証
- 8 月 19 日 日本経済新聞(一面)
「量子暗号」実用化へ NTT など
- 8 月 19 日 日本経済新聞(十五面)
量子暗号実用化めど 情報漏洩の状況一変 企業、導入に強い関心
- 9 月 4 日 日本経済新聞
ネット時代に究極の暗号 光子に情報搭載 通信の遅さ克服
- 12 月 13 日 朝日新聞
量子暗号、実用化近づく 盗聴・解読不能で高速通信
- 1 月 1 日 日経産業新聞
フォトニクス結晶の光フィルター
- 3 月 31 日 日刊工業新聞
"量子もつれ"振動を観測 超電導回路と単一光子、集積化技術進展へ

報道(抜粋) (2005 年度)

I. 機能物質科学研究部

生物医学の進歩によって、生体の構造や機能をナノサイズ(1ナ・メートル、100万分の1ナ・メートル)でみるようになってきた。その知識と、現代の微細加工、組み立て技術とを融合させるのがナノバイオ。国の第3期科学技術基本計画(2006~10年度)でも「ナノテク・材料」は重点推進分野に掲げられ、先端のナノバイオは戦略重点項目に選ばれている。

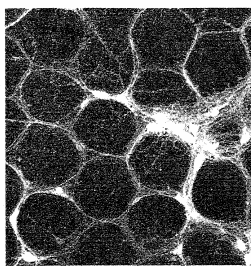
NTTは、英オックスフォード大学と共同でナノバイオ研究力を入れている。井上友二取締役(CTO・最高技術責任者)も「エレクトロニクスとバイオの相性は意外と良い。この基礎研究から新たな通信技術が生まれる可能性がある」と強調する。

同社の物性科学基礎研究所分子生体機能研究グループ(鳥光隆二グループリーダー)が取り組むのは、神経細胞を「配線」にした人工神経回路を作った。半導体製造の技術で、基板上に幅0.1ミリの回路を作り、そこに神経細胞を培養する。マウスの大脳皮質細胞だ

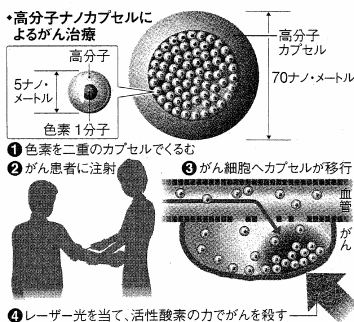
人工神経、人工感覚器、がん治療

極微の加工技術と、生物・医学研究を組み合わせたナノバイオが注目されている。副作用の少ないがん治療法開発などのほか、人工の視覚聴覚などの新たな通信技術の開発などが注目されている。(長谷部 耕一)

ナノの技術 人体に挑む



0.01ミリ幅の6角形の溝に神経回路を作る。黄色い部分は蛍光させた神経(NTT物性科学基礎研究所提供)



たとえば、食を膜状に包んだ人工細胞「ナノ膜」の開発にも取り組んでいる。同様の手法

と、3週間くらいで自由な形状の神経回路が形成できる。目標は脊髄を損傷した患者やパーキンソン病、アルツハイマー症患者の治療だ。

で、「ナノ鼻」や「ナノ耳」といった人工器官の研究も進めている。鳥光リーダーは人間の五感機能を拡張する「超五感」ミニメーションを構築させる新しい手段が得られるかも

研究拠点リーダーで先端工学系研究科の片岡一則教授や、同研究科研究科の西伸宏助手らは、ナノサイズの高分子カプセルを使い、副作用の少ないがん治療の研究をウズけている。

特殊な色素ががん患者に注射後、がん細胞にレーザー光を照射して、色素が光を吸収して活性酸素の力でがんを殺す治療法がある。だが患者が日光に当たると目覚めるような副作用の症状が出るため、約2週間、暗い部屋に入っている必要がある。

患部だけでなく、全身色素が回ってしまため、片岡教授らは色素カプセルに入れ、その直径を70ナ・メートルに制御した。

ポイントが、がん細胞の血管に100ナ・メートル以上の長さの管を100ナ・メートル以上の長さの管が閉じ開くこと。カプセルは血液を流れて行くが、すき間のない普通の血管からは取り込まれず、がん細胞にだけ蓄積されている。

1個のカプセルには60個の色素分子が詰まっており、集中的な活性酸素を放出するため、がんを殺す力も飛躍的に強くなった。

皮膚や骨髄の中にある細胞に骨を作るように促す遺伝子の骨の再生を促す実験にも成功した。西山助手はカプセルをカプセルに入れ、マウスの骨の再生を促す実験にも成功した。西山助手はカプセルをカプセルに入れ、マウスの骨の再生を促す実験にも成功した。

読売新聞 2006 年 3 月 22 日

シリコンナノ薄膜のひずみ解析

NTT物性科学基礎研究所は兵庫県立大学と共同で、シリコンナノ薄膜に存在する微小なひずみの分布を解析することに成功した。この解析結果に基づき、ひずみ分布のない均質なシリコンナノ薄膜を絶縁膜上に形成する技術を開発した。シリコンナノ薄膜はその膜厚を数ナ(ナは10億分の1)にまで小さくすると量子閉じ込め効果が発現することが知られており、同技術は量子効果を使ったナノデバイスを安定に動作させるために不可欠となりそうだ。

日経産業新聞 2005 年 8 月 1 日

生体物質を高分解能で観察

NTT物性科学基礎研究所と東京大学医科学研究所は共同で、細胞内の情報伝達に重要な受容体たんぱく質の1つであるIP3(イノシトール三リン酸)受容体を、生理的な条件下で原子間力顕微鏡(AFM)を用いて分子レベルの分解能で観察することに成功した。開発した手法を用いることで、生体内での重要な情報伝達物質の1つであるカルシウム濃度を制御する機能の発現と、それに伴うたんぱく質の構造変化を解明する手がかりが得られる。

日経産業新聞 2006 年 3 月 13 日

大電力動作のダイヤモンドFET

1ギガヘルツで2.1トワット／ミリ

NTT物性科研が実現

NTT先端技術総合研究所物性科学基礎研究所は、究極の半導体として期待されているダイヤモンドを用いて、GHz帯大電力動作するFET(電界効果トランジスタ)の開発に成功した。このダイヤモンドFETは、1GHz動作で最大出力電力が2.1W／mmに達している。

今回開発したダイヤモンドFETは、ダイヤモンドの電力増幅の特性を最大限に引き出した。従来のシリコンFETでは、出力電力が1W／mmに達するまで、2.1W／mmの出力電力を得た。

この値は、同研究所が、H2帯域の大電力電子デバイスとして、2年前に出した0.3W／mmという当時世界最高値のダイヤモンドFET出力に比べ6倍も高くなった。これは、ダイヤモンドFETの特性が、人工的に作製するダイヤモンド結晶の高品質化とデバイス技術が確立されたこと、また、高周波電力特性を持つダイヤモンドデバイスが実現したためである。

同研究所では、高純度の原料ガスを用いたダイヤモンド結晶の高品質化と、電子ビームエッチングによるサブミクロンオーダーの動作原理の解明を進めている。

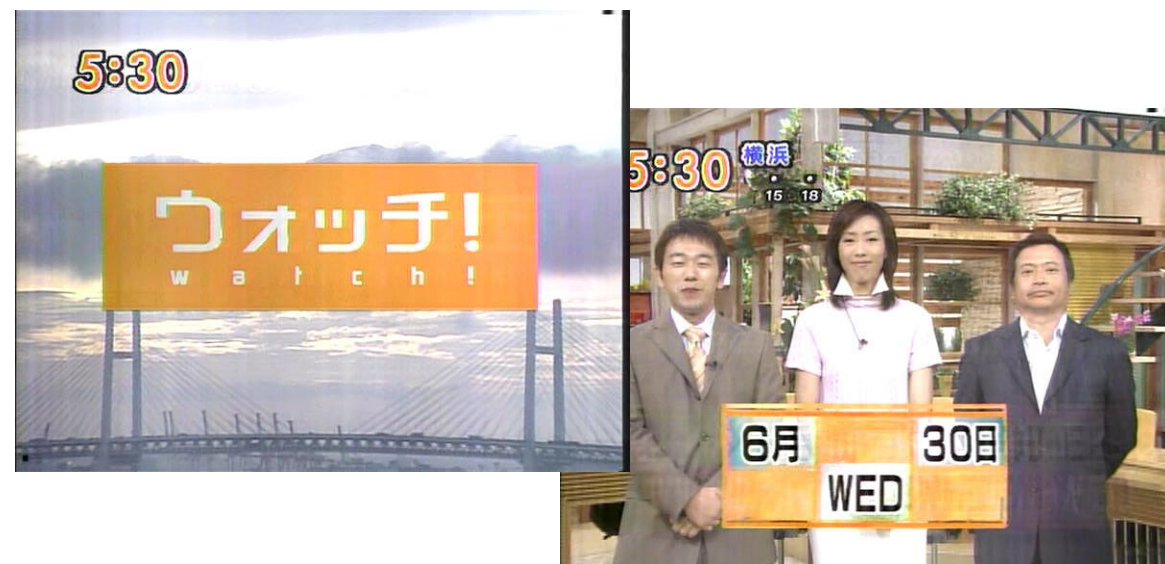
科学新聞 2005 年 10 月 21 日

報道(TV 放映) (2005 年)

よみうりテレビ、ナノ地球儀

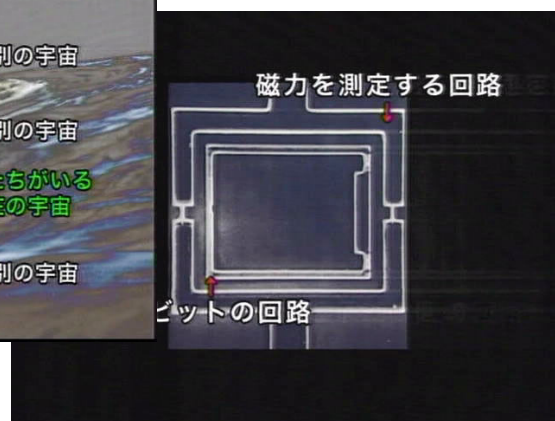
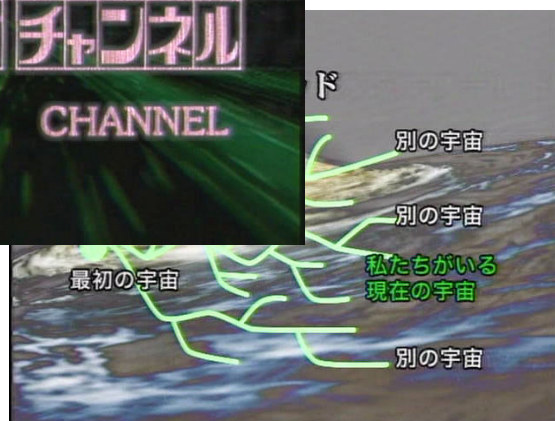


TBS テレビ、ナノ地球儀、2005 年 6 月 30 日

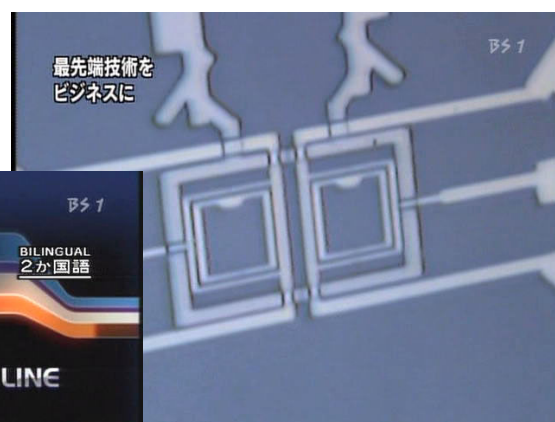




東京 MX テレビ、量子の不思議な世界、2005 年 2 月 13 日



NHK-BS ニュース、経済最前線



来訪者による講演一覧 (2005 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 25 日	Prof. Tom Lemberger	Ohio State University, USA 「Pairing symmetry of electron- and hole-doped cuprates from the magnetic penetration depth measurements」
7 月 21 日	Dr. Krishna G. Nath	INRS-EMT, Univ. of Quebec, Canada 「Supramolecule-Nanopatterning for Future Medical and Biological Application」
8 月 4 日	成塚重弥 教授	名城大学 「GaAs 基板上の GaAs ビーム誘起横方向エピタキシー」
9 月 29 日	Prof. Yung Joon Jung	Northeastern University, USA 「Tailoring Carbon Nanotube Structure and Building Nanotube based system」
1 月 17 日	表 和彦 博士	(株)リガク X 線研究所 「X 線小角散乱法によるナノ構造の研究」
1 月 23 日	Prof. Erhard Kohn	Universität Ulm, Germany 「Liquid Junctions to Wide Bandgap Semiconductors」

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 6 日	Prof. David Haviland	Kungliga Tekniska Högskolan, Sweden 「Spin Transport and Superconducting Nano-Circuits」
4 月 15 日	Dr. Stefan Fölsch	Paul-Drude-Institut, Germany 「Assembly and spectroscopy of atomic-scale surface structures by low-temperature STM: From monatomic chains to single-molecule/quantum wire contacts」

5 月 27 日	岸本哲夫 博士	PRESTO, JST, 東京大学 「Electric trapping of Neutral atoms and its on-chip application」
6 月 2 日	高須洋介 博士	京都大学 「Quantum Degenerate Gases of Ytterbium Atoms」
6 月 16 日	Ms. Irina Stefana Ionica	Institut de Microelectronique, France 「Coulomb Blockade and Field Effect for Silicon Nanostructures Fabricated by Atomic Force Microscope on Ultrathin SOI Substrates」
6 月 28 日	Prof. A. R. Hamilton	University of New South Wales, Australia 「Quantum Interference and Interaction Effects in 2D Quantum Wells and 1D Quantum Wires」
7 月 8 日	Dr. Tom Stace	University of Cambridge, UK 「Population inversion in driven quantum dots with an unstructured phonon bath」
7 月 15 日	Prof. Richard A. Kiehl	University of Minnesota, USA 「Information Processing by Assemblies of Molecules: Directed Self-Assembly, Nonlinear Behavior, Array Architectures」
7 月 28 日	Ms. Claire Marrache-Kikuchi	Centre de Spectrométrie Nucléaire et de Spectrométrie de Masse, France 「Dimensionality effects in NbSi thin films」
8 月 1 日	Prof. Rui-Rui Du	Rice University, USA 「New aspects of microwave-induced zero-resistance states in high-mobility 2DEG」
8 月 1 日	Dr. K.-J. Friedland	Paul-Drude-Institute, Germany 「Intrinsic planar Hall effect in Fe and Fe ₃ Si films on GaAs(001) and GaAs(113) substrates」
8 月 3 日	Prof. Daniel E. Prober	Yale University, USA 「Quantum Shot Noise of a Tunnel Junction and a Diffusive Wire: Third Moment and Driven Response」
8 月 9 日	Dr. Lieven Vandersypen	Delft University of Technology, Netherlands 「Single-shot read-out, relaxation and decoherence of single spins in GaAs quantum dots」
9 月 6 日	Prof. Andrew Briggs	University of Oxford, UK 「Carbon nanomaterials for quantum information processing」
9 月 28 日	Dr. Guy Austing	National Research Council Canada, Canada 「Recent research topics on vertical quantum dot structures and carbon nanotubes」

9 月 30 日	Dr. Adam Micolich	University of New South Wales, Australia 「Fractal Conductance Fluctuations in Semiconductor Billiards and Superconductivity in Metal-mixed Ion-implanted Polymer Films」
10 月 7 日	Prof. Jonathan Finley	Walter Schottky Institut, Germany 「Semiconductor quantum dots, molecules and their coupling to light」
10 月 24 日	赤松大輔 氏	東京工業大学 「光凍結手法による真空スクイーズド状態の保存にむけて」
10 月 26 日	Prof. Amnon Aharony	Tel Aviv University, Israel 「Old and new results on phase measurements in Aharonov-Bohm interferometers」
10 月 26 日	Prof. Ora Entin-Wohlman	Tel Aviv University, Israel 「Spin-Hall effect of localized electrons」
11 月 7 日	Dr. Alexandre Blais	Yale University, USA 「Quantum optics and quantum information processing with superconducting circuits」
11 月 22 日	Prof. Giuseppe Iannaccone	Universita' di Pisa, Italy 「Modeling of Nanoelectronic Devices as a Strategic Tool in Semiconductor Technology」
12 月 19 日	内海裕洋 博士	理化学研究所 「Full Counting Statistics in Quantum Dots」
1 月 12 日	Dr. Pawel Hawrylak	National Research Council Canada, Canada 「Electronic Correlations in Quantum Degenerate Systems」
1 月 16 日	塚越一仁 博士	理化学研究所 「ナノスケール微細加工とナノ物質伝導」
1 月 23 日	Dr. Masaya Kataoka	University of Cambridge, UK 「Charge Transport using Surface Acoustic Wave」
2 月 15 日	中原幹夫 教授	近畿大学 「Artificial generation and suppression of decoherence in NMR quantum computer」
2 月 16 日	Prof. Mats Jonson	Chalmers/Goteborg University 「Mechanically assisted single electronics」
2 月 17 日	Prof. Eleanor E.B. Campbell	Gothenburg University, Sweden 「Taming Carbon Nanotubes for Use as Nanoelectronics and NEMS Devices」
2 月 20 日	Dr. Andrew Watt	Oxford University, UK 「Spin Active Fullerene Superlattices」

2 月 22 日	Prof. Christopher Bäuerle	Centre de Recherches sur les Très Basses Températures, France 「Dimensional crossover in quantum networks: from macroscopic to mesoscopic」
2 月 22 日	黒谷雄司 氏	東京工業大学 「回路を用いた量子測定の実験 [1]」
3 月 20 日	Prof. Wilfred G. van der Wiel	Universiteit Twente, Netherlands 「NanoElectronics: More than Moore」

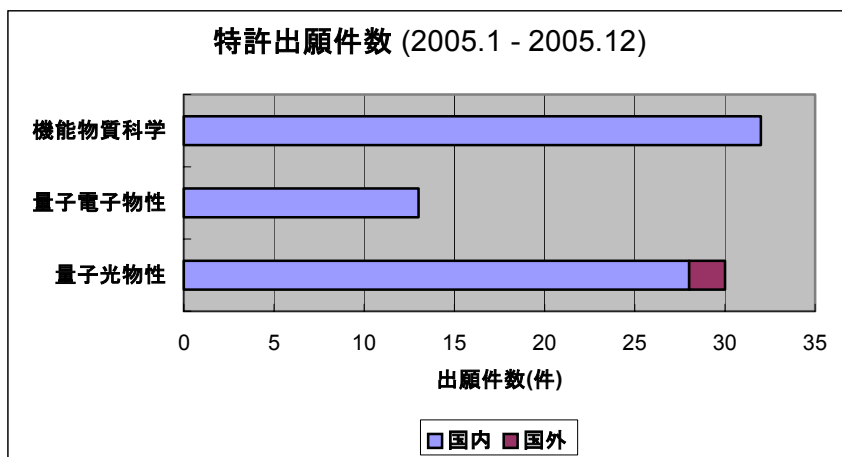
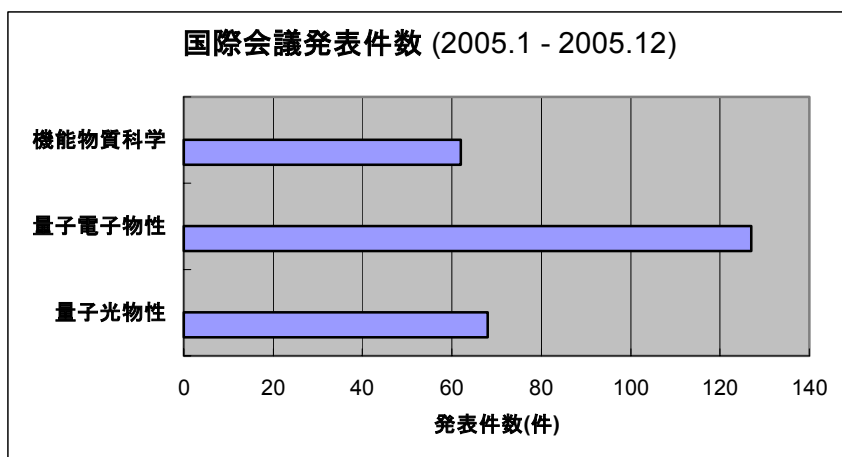
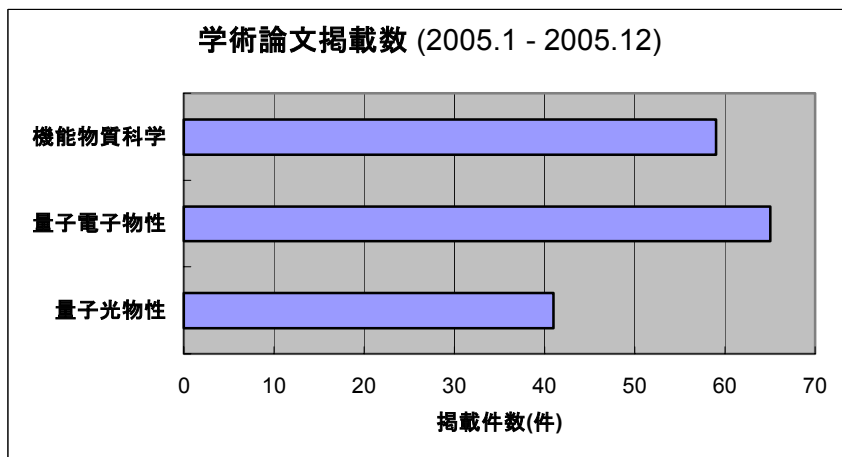
Ⅲ. 量子光物性関連

講演日	講演者	講演者所属 「講演タイトル」
4 月 21 日	川口由紀 博士	東京工業大学 「アルカリ原子 BEC 中における量子数 4 を持つ た渦の分裂過程」
4 月 27 日	川畑史郎 博士	Nanotechnology Research Institute AIST 「Macroscopic Quantum Tunneling in High-Tc Superconductor Josephson Junctions: Theory and Experiment」
7 月 27 日	Mr. Wouter Wetzels	Delft University of Technology, Netherlands 「Non-collinear single electron spin-valve transistors」
8 月 10 日	Dr. Ulrich Zuelick	Massey University, New Zealand 「Spin interferometry and entanglement generation with Rashba spin splitting」
9 月 1 日	Dr. David Poulin	the University of Queensland, Australia 「Robust quantum key distribution: Putting quantum error correction theory to work on small systems」
11 月 11 日	Mr. Brig Elliott	BBN Technologies, USA 「Introduction of BBN and BBNs Quantum Network test bed」
12 月 8 日	Dr. Alessandro Pioda	Eidgenössische Technische Hochschule Zürich, Switzerland 「Local spectroscopy on quantum dots」
12 月 22 日	Dr. Parisa Fallahi	Harvard University, USA 「Coulomb Blockade Imaging of electrons in Few-Electron Quantum Dots」

- | | | |
|----------|------------------------|---|
| 1 月 6 日 | Prof. Shun Lien Chuang | University of Illinois, USA
「Slow Light Using Quantum Devices」 |
| 1 月 19 日 | Prof. Yong-Hang Zhang | Arizona State University, USA
「Electroluminescence refrigeration in Semiconductors」 |
| 2 月 16 日 | 畑中耕治 博士 | 東北大学
「高強度レーザーと液体の相互作用:水溶液を用いたフェムト秒レーザー誘起パルスX線発生を中心に」 |
| 3 月 3 日 | Prof. Vlatko Vedral | University of Leeds, UK
「Entanglement in the Solid State」 |
| 3 月 16 日 | 泉田 渉 博士 | 東北大学
「Phonon-assisted tunneling in interacting suspended single wall carbon nanotubes」 |

学術論文掲載数、国際会議発表件数および出願特許件数 (2005 年)

2005 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 165 件、国際会議の発表件数は 257 件です。また出願特許数は 75 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
Japanese Journal of Applied Physics	1.171	34
Applied Physics Letter	4.049	18
Physical Review B	2.962	14
Physical Review Letter	7.035	11
Physical Review A	2.589	9
Journal of Applied Physics	2.171	6
Physica E	0.93	5
Optics Letter	3.395	4
Surface Science	2.063	4
Physica C	1.192	4
Optics Express	3.219	3
Journal of the Physical Society of Japan	1.903	3
Molecular Cell	16.835	1
Journal of the American Chemical Society	6.516	2
The Journal of Biological Chemistry	6.482	1
Nano Letters	6.144	1

*IF2003: インパクトファクター 2003 (出版, 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 2.79 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.(Conferences)	件数
International Conference on Nanoelectronics, Nanostructures and Carrier Interactions (NNCI2005)	32
IQEC and CLEO-PR	21
International Conference on Solid State Devices and Materials (SSDM)	16
Electronic Properties of Two-Dimensional Systems and Modulated Semiconductor Structures (EP2DS)	12
CLEO/QELS	9
Annual APS Meeting	9
International Symposium on Surface Science and Nanotechnology	8
International Conference on Low Temperature Physics	7
International Conference on Nitride Semiconductors (ICNS)	5
International Symposium on Superconductivity	5
LEOS	5
Seventh International Conference on New Phenomena in Mesoscopic Structures / Fifth International Conference on Surfaces and Interfaces of Mesoscopic Devices (NPMS-7 / SIMD-5)	5
International Conference on Defects in Semiconductors	4
International Conference on Si Epitaxy and Heterostructures	4
Silicon nanoelectronics workshop	4
International School and Conference on Semiconductor Spintronics and Quantum Information Technology	4
Materials Research Society meetings (MRS)	3
International Symposium on Compound Semiconductors (ISCS)	2
ACS National Meeting	1
International Conference on Electron, Ion, Photon Beam Technology and Nanofabrication (EIPBN)	1
Gordon Research Conference	2
International Workshop of Photonic and Electromagnetic Crystal Structures (PECS)	1

国際会議招待講演一覧 (2005)

I. 機能物質科学関連

- (1) T. Matsuoka, H. Okamoto, M. Nakao, and, T. Makimoto, "Temperature Dependence of Optical Bandgap of Wurtzite InN", Air Force Office of Scientific Research (AFOSR) Indium Nitride Workshop, Hawaii, USA (Jan. 2005).
- (2) K. Torimitsu, "Effect of magnesium on neural activities and its analysis using micro-electrode array-based measurement", 9th Gordon Research Conference on Magnesium in Biochemical Processes and Medicine, Gordon Research Conference, Ventura, USA (Feb. 2005).
- (3) H. Omi and Y. Homma, "Stiffness of step bunches on Si(111)", Crystalization and electrocrystalization: Fundamentals and applications (CEFA), Varna, Bulgaria (Mar. 2005).
- (4) K. Torimitsu, "Information processing in neuron and molecular function", 3rd Sweden/Japan Workshop on Nanobiotechnology, Lund, Sweden (Mar. 2005).
- (5) A. Shimada and K. Torimitsu, "Nano-Bio Science: Neuronal Functions and Nano-Bio Devices", The 20th UK-Japan High Technology Industry Forum, LIFE SCIENCES, Kyoto, Japan (May 2005).
- (6) K. Torimitsu, N. Kasai, A. Shimada, Y. Furukawa, C. Han, T. Nyberg, "Functional analysis of neuron and its application to nanobio device", Workshop on Neural Networks: Measurement and Adaptive Properties, Newcastle, UK (May 2005).
- (7) N. Kasai, C. Han, A. Shimada, T. Nyberg, K. Torimitsu, "Multichannel electrochemical measurement for neurotransmitter distribution in a rat hippocampal slice", Workshop on Neural Networks: Measurement and Adaptive Properties, Newcastle, UK (May 2005).
- (8) T. Nyberg, N. Kasai, A. Shimada, Y. Furukawa, K. Torimitsu, "Conducting polymer electrodes for interfacing to neural networks", Workshop on Neural Networks: Measurement and Adaptive Properties, Newcastle, UK (May 2005).
- (9) T. Makimoto and K. Kumakura, "Npn-type Nitride Heterojunction Bipolar Transistor", 3rd International Conference on Materials for Advanced Technologies (ICMAT-2005), J-6-IN13, Singapore (Jul. 2005).
- (10) K. Torimitsu, Y. Furukawa, N. Kasai, A. Shimada, Distinguished Lecturer, International

Conference on Composites/Nano Engineering, ICCE/12, Tenerife, Spain (Aug. 2005).

- (11) H. Sato, M. Naito, and A. Tsukada, "Difference in T_c for La-214 strained thin films grown by molecular beam epitaxy: assessment on the factors determining T_c ", 18th International Symposium on Superconductivity (ISS2005), PC-12-INV, Tsukuba, Japan (Oct. 2005).
- (12) M. Kasu, K. Ueda, H. Ye, Y. Yamauchi, S. Sasaki, and T. Makimoto, "Diamond field-effect transistors for RF power application", 1st International Diamond Conference, D-1, Barcelona, Spain (Oct. 2005).
- (13) K. Torimitsu, K. Furukawa, H. Nakashima, Y. Kashimura, N. Kasai, A. Shimada and Y. Furukawa, "Neural Functions and Nanobio-interface", ナノテクノロジー地域連携に関する日英シンポジウム, Sapporo, Japan (Oct. 2005).

II. 量子電子物性関連

- (1) N. M. Zimmerman, A. Fujiwara, Y. Ono, H. Inokawa, Y. Takahashi, and E. Hourdakis, "The physics of Coulomb blockade in tunable barrier Si wires", International Conference on Nanoelectronics, Nanostructures, and Carrier Interaction (NNCI2005), Atsugi, Japan (Jan. 2005).
- (2) T. Fujisawa, "Dynamics of single-electron charge and spin in semiconductor quantum dots", Nanometer-Scale Quantum Physics(nanoPhys'05), Tokyo, Japan (Jan. 2005).
- (3) K. Semba, "Coherent control of superconducting flux qubits", 10th International Vortex Workshop, TIFR-Mumbai, India (Jan. 2005).
- (4) H. Takayanagi, "Control and detection of electron and hole states in double-gated quantum wells", 2005 RCIQE International Seminar for 21C COE Program, Hokkaido, Japan (Feb. 2005).
- (5) H. Takayanagi, "Advances in Science and Technology for Quantum Computing", 3rd International Symposium on Nanotechnology (JAPAN NANO 2005), Tokyo, Japan (Feb. 2005).
- (6) H. Yamaguchi, S. Miyashita, and Y. Hirayama, "Low-dimensional Micro/Nanomechanical Systems", The International Conference on Nanotechnology: Science and Application (Nano Tech Insight 2005), Luxor, Egypt (Feb. 2005).
- (7) Y. Hirayama, "Coherent control in semiconductor nanostructures", JSPS Japan-Germany Colloquium, Dresden, Germany (Feb. 2005).

- (8) Y. Ono, A. Fujiwara, Y. Takahashi, and H. Inokawa (invited), "Silicon single-electron pump and turnstile; Interplay with crystalline imperfection", Material Research Society Spring Meeting (2005 MRS Spring meeting), San Francisco, USA (Mar. 2005).
- (9) G. Yusa, K. Muraki, K. Takashina, T. Saku, K. Hashimoto, and Y. Hirayama "Self-sustaining resistance oscillations: Electron-nuclear spin coupling in mesoscopic quantum Hall devices", The American Physical Society Meeting, Los Angeles, USA (Mar. 2005).
- (10) T. Fujisawa, "Dynamics of single-electron charge and spin in semiconductor quantum dots", ESF-JSPS Frontier Science Conference Series (Quantum Information and Quantum Physics), Shonan, Japan. (Mar. 2005).
- (11) G. Yusa, K. Muraki, K. Takashina, T. Saku, K. Hashimoto, and Y. Hirayama "Self-sustaining resistance oscillations: Electron-nuclear spin coupling in mesoscopic quantum Hall devices", The American Physical Society, Los Angeles, USA (Mar. 2005).
- (12) H. Takayanagi, "Readout of flux qubits", Workshop "Physics of Superconducting Phase shift Devices", Ischia, Italy (Apr. 2005).
- (13) H. Takayanagi, "Japanese Policy", NSIT(Forward look in nanosciences and the long-term evolution of information technology), Paris, France (Apr. 2005).
- (14) M. Uematsu, H. Kageshima, S. Fukatsu, K. M. Itoh, and K. Shiraishi, "Enhanced Si and B Diffusion in Semiconductor-Grade SiO₂ and the Effect of Strain on Diffusion", The Fourth International Conference on Silicon Epitaxy and Heterostructures (ICSI-4), Awaji, Japan (May 2005).
- (15) Y. Takahashi, Y. Ono, A. Fujiwara, K. Nishiguchi, and H. Inokawa, "Silicon-based single-electron devices", Fourth International Conference on Silicon Epitaxy and Heterostructures (ICSI-4), Awaji Island, Japan (May 2005).
- (16) S. Nomura, M. Yamaguchi, T. Akazaki, H. Tamura, H. Takayanagi and Y. Hirayama, "Electron-Hole complexes in a back-gated quantum well in the fractional quantum Hall regime", 351-WE-Heraeus-Seaminar, Electron-Exciton Interaction in Semiconductor Nanostructure, Bad Honnef, Germany (May 2005).
- (17) H. Takayanagi, "Nanotechnology Research Activities at NTT BRL", Conference on nanotechnology and new materials (NANOMAT), Trondheim, Norway (June 2005)
- (18) H. Takayanagi, "Readout of flux qubits (Beijing)", "Recent progress in mesoscopic

- superconductivity"(Nanjing), 5th ICQS (International Center for Quantum Structures) Annual Workshop, Beijing & Nanjing, China (June 2005).
- (19) Y. Hirayama, "Quantum information technology", Spin and Qubits 2005, Copenhagen, Denmark (June, 2005).
- (20) T. Fujisawa, "Counting statistics of single-electron transport" Spin&Qubit-2005, Copenhagen, Denmark (June 2005)
- (21) T. Hayashi, "Decoherence and energy relaxation in a double quantum dot", RIKEN International Nanoscience and Technology Conference, Nagano, Japan (June 2005).
- (22) K. Takashina, Y. Ono, A. Fujiwara, Y. Takahashi and Y. Hirayama, "Control of valley and spatial subbands in double-gate SOI MOSFETs", Asia-Pacific Workshop on Fundamental and Application of Advanced Semiconductor Devices (AWAD 2005), Seoul, Korea (June 2005).
- (23) H. Tanaka, "Superconducting flux qubits", Spin and Qubit 2005, Symposium at the Niels Bohr Institute, Copenhagen, Denmark (June 2005).
- (24) M. Uematsu, "Self-diffusion and impurity diffusion in silicon dioxide", 1st International Conference on Diffusion in Solids and Liquids (DSL-2005), Aveiro, Portugal (July 2005).
- (25) H. Yamaguchi, "InAs/GaAs (111)A Heterostructures", 3rd Vacuum and Surface Sciences Conference of Asia and Australia (VASSCAA-3), Singapore (July 2005).
- (26) S. Hosoi, K. Nakajima, M. Suzuki, K. Kimura, Y. Shimizu¹, S. Fukatsu, K. M. Itoh, M. Uematsu, H. Kageshima, and K. Shiraishi, "Oxidation of Si(001) studied by high-resolution RBS in combination with stable isotope tracing", The 17th International Conference on Ion-Surface Interactions (ISI-2005), Zvenigorod, Russia (Aug. 2005).
- (27) Y. Hirayama, G. Yusa and K. Muraki, "Coherent control of nuclear spins in a mesoscopic fractional-quantum-Hall device", Awaji-island, Japan (Aug. 2005).
- (28) H. Takayanagi, "Readout of flux qubits", ESF Research Conferences - Fundamental Problems of Mesoscopic Physics, Entanglement and Coherence in Nanoelectronics-, Maratea, Italy (Sep. 2005).
- (29) H. Takayanagi, "Readout of superconducting flux qubits", VORTEX IV (VORTEX MATTER IN NANOSTRUCTURED SUPERCONDUCTORS), Crete, Greece (Sep. 2005).

- (30) Y. Hirayama, "Qubits and nuclear spin polarization", 32nd Int. Symp. on Compound Semiconductors (ISCS2005), Rust, Germany (Sep. 2005).
- (31) H. Nakano, "Superconducting qubits and their interaction", in International Symposium "Quantum computing 2005 Algorithms, Physical Realizations and Beyond", Higashi-Osaka, Japan (Sep. 2005).
- (32) H. Takayanagi, "A Flux Qubit coupled with an external LC-Cavity", 2005 Deutschland in Japan -Tokyo Workshop Frontier Sciences-, Tokyo, Japan (Oct. 2005).
- (33) H. Inokawa, Y. Ono, A. Fujiwara, K. Nishiguchi, and Y. Takahashi, "Single-Electron Devices and Circuits Based on MOS Processes", 2005 Tera-level NanoDevices (TND) Technical Forum, Seoul, Korea (Oct. 2005).
- (34) Y. Ono, A. Fujiwara, Y. Takahashi, and H. Inokawa, "Single-electron manipulation Interplay with crystalline imperfection", 2nd International Symposium on Point Defect and Nonstoichiometry (ISPN-2), Kaoshiung, TaiwanSession (Oct. 2005).
- (35) G. Yusa, K. Muraki, K. Takashina, K. Hashimoto, and Y. Hirayama, "Controlled multiple quantum coherences of nuclear spins in a nanometer-scale Device", 50th Magnetism and Magnetic Materials Conference (MMM2005), San Jose, USA (Oct. 2005).
- (36) G. Yusa, K. Muraki, K. Takashina, K. Hashimoto, and Y. Hirayama, "Controlled multiple quantum coherences of nuclear spins in a nanometer-scale Device", 50th Magnetism and Magnetic Materials Conference, San Jose, USA (Oct. 2005).
- (37) H. Tamura, "RKKY interaction and Kondo effect in double quantum-dot devices", International Workshop on Spins and Quantum Transport, Sendai, Japan (Oct. 2005).
- (38) Y. Ono, "Single-electron manipulation in silicon; Towards single-dopant electronics", 7th International Conference on New Phenomena in Mesoscopic Structures and 5th International Conference on Surfaces and Interfaces of Mesoscopic Devices (NPMS-7/SIMD-5), Maui, USA (Nov. 2005).
- (39) H. Yamaguchi, "Micro/Nanomechanical Quantum Electron Transport", Second Joint International Conference on New Phenomena in Mesoscopic Systemsand Surfaces and Interfaces of Mesoscopic Devices (NPMS7/SIMD5), Maui, USA (Nov. 2005).
- (40) Y. Ono, A. Fujiwara, Y. Takahashi, and H. Inokawa, "Single-electron transfer in silicon", International Workshop on the Physics semiconductor devices (IWPSD 2005), Delhi, India (Dec. 2005).

- (41) T. Fujisawa, "Counting statistics of single-electron transport through quantum dots", International Semiconductor Device Research Symposium (ISDRS2005), Washinton DC, USA (Dec. 2005).

III. 量子光物性関連

- (1) H. Nakano, K. Oguri, and T. Nishikawa, "Time-resolved measurements using ultrafast soft x-ray sources based on femtosecond laser", International Symposium on Atoms, Molecules, and Clusters in Intense Laser Fields 2 (ISAMCILS2), Tokyo, Japan (Jan. 2005).
- (2) M. Notomi, A. Shinya, E. Kuramochi, S. Mitsugi, T. Tanabe, "PBG Resonator-Waveguide Coupled Systems for Optical Integration", SPIE Photonics West 2005, San Jose, USA (Jan. 2005).
- (3) A. Shinya, S. Mitsugi, E. Kuramochi, T. Tanabe, G. Kim, G. Kira, S. Kondo, K. Yamada, T. Watanabe, T. Tsuchizawa, and M. Notomi, "Ultrasmall resonant tunneling/dropping devices in 2D photonic crystal slabs", SPIE Photonics West 2005, San Jose, USA (Jan. 2005).
- (4) H. Nakano, K. Oguri, and T. Nishikawa, "High-order harmonic pulse characterization by femtosecond ionization dynamics of singly charged ions from rare gas", The First Asian Workshop on Generation and Applications of High-Order Harmonics, Daejeon, Korea (Feb. 2005).
- (5) H. Gotoh and H. Kamada, "Exciton and Biexciton Coherent Optical Properties in Semiconductor Nanostructures", The 1st International Symposium on Nanovision Science, Hamamatsu, Japan (Feb. 2005).
- (6) H. Nakano, K. Oguri, and T. Nishikawa, "Picosecond time-resolved XAFS measurements using femtosecond laser-produced plasma soft x-rays", COAST Symposium on Laser Based Ultrashort VUV and X-ray Sources and Their Applications, Tokyo, Japan (Mar. 2005).
- (7) Y. Tokura, "Scattering and manipulation of electron spins in one dimensional structures", 2nd International Workshop on Spin-FET Based Quantum Information Processing (Spin_FET-QIP), Julich, Germany (Mar. 2005).
- (8) A. Yokoo, "Nanoimprint technology and organic material", Third International Conference on Molecular Electronics and Bioelectronics (M&BE3), Tokyo, Japan (Mar. 2005).

- (9) M. Notomi, "Dynamic Nonlinear Control of Resonator-Waveguide Coupled System in Photonic Crystal Slabs", CIPS Annual Meeting 2005, Cambridge, USA (May 2005).
- (10) T. Tawara, "InGaN Cavity Polaritons", The Fifth International Conference on the Physics of Light Matter Coupling in Nanostructures," (PLMCN5), Glasgow, Scotland (June 2005).
- (11) M. Notomi, T. Tanabe, A. Shinya, E. Kuramochi, S. Mitsugi, "Dynamic Nonlinear Control of Photonic Crystal Resonator-Waveguide Coupled System", International Symposium on Photonic Electromagnetic Structures (PECS-VI), Crete, Greece (June 2005).
- (12) M. Notomi, T. Tanabe, A. Shinya, E. Kuramochi, S. Mitsugi, "Dynamic Nonlinear Control of Resonator-Waveguide Coupled System in Photonic Crystal Slabs", CLEO Pacific Rim 2005, Tokyo, Japan (July 2005).
- (13) M. Notomi, H. Suzuki, T. Tamamura, K. Edagawa, "Organic Photonic Quasicrystal lasers: lasing action due to quasiperiodicity", SPIE Optics & Photonics 2005, San Diego, USA (July 2005).
- (14) M. Yamashita and M. W. Jack, "Decoherence of spin-one bosonic atoms via linear loss", International Laser Physics Workshop (LPHYS'05), Kyoto, Japan (July 2005).
- (15) H. Nakano, K. Oguri, and T. Nishikawa, "Picosecond time-resolved XAFS measurements of optically excited silicon by using femtosecond-laser-plasma soft x-rays", 14th International Laser Physics Workshop (LPHYS'05), Kyoto, Japan (July 2005).
- (16) A. Yokoo, "Photonic crystal with organic functional material", The 5th International Symposium on Advanced Organic Photonics (ISAOP-5), Jena, Germany (Oct. 2005).
- (17) M. Notomi, A. Shinya, E. Kuramochi, S. Mitsugi, T. Tanabe, M. Morita, "Dynamic Nonlinear Control of Resonator-Waveguide Coupled Systems in Photonic Crystals", The 18th annual meeting of the IEEE Lasers and Electro-Optics Society (LEOS 2005), Sydney, Australia (Oct. 2005).
- (18) A. Shinya, S. Mitsugi, T. Tanabe, K. Kuramochi, S. Kondo, M. Notomi, I. Yokohama, H. Takara, S. Kawanishi, "All-Optical Digital Circuits using Coupled Resonator-Waveguide System in 2D Photonic Crystal Slab", The 18th annual meeting of the IEEE Lasers and Electro-Optics Society (LEOS2005), Sydney, Australia (Oct. 2005).
- (19) Y. Tokura, "Electron spin resonance and two qubit operation in a slanting Zeeman field", International Argonne Fall Workshop on Nanophysics V: Nanoscale Superconductivity

and Magnetism, Argonne, USA (Nov. 2005).

- (20) M. Notomi, A. Shinya, E. Kuramochi, S. Mitsugi, T. Tanabe, M. Morita, "Dynamic Nonlinear Control of Resonator-Waveguide Coupled Systems in Photonic Crystals," Workshop on Photonic Crystals and Nano-Photonics, Taipei, Taiwan (Nov. 2005).
- (21) H. Nakano, K. Oguri, and T. Nishikawa, "Picosecond time-resolved XAFS measurements using femtosecond laser-produced plasma soft x-rays", 2005 International Chemical Congress of Pacific Basin Society (PACIFICHEM 2005), Honolulu, USA (Dec. 2005).

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 and T. Makimoto, "BGaN micro-islands as novel buffers for GaN hetero-epitaxy",
Jpn. J. Appl. Phys. Part 2 - Lett. Express Lett. **44** (50-52), L1506-L1508 (2005).
2. T. Akasaka, H. Gotoh, H. Nakano, and T. Makimoto, "Blue-purplish InGaN quantum wells with shallow depth of exciton localization",
Appl. Phys. Lett. **86** (19), 191902 (2005).
3. M. Kasu, K. Ueda, H. Ye, Y. Yamauchi, S. Sasaki, and T. Makimoto, "2W/mm output power density at 1 GHz for diamond FETs",
Electron. Lett. **41** (22), 1249-1250 (2005).
4. K. Kumakura and T. Makimoto, "High-voltage operation with high current gain of pnp AlGaIn/GaN heterojunction bipolar transistors with thin n-type GaN base",
Appl. Phys. Lett. **86** (2), 023506 (2005).
5. K. Kumakura, T. Makimoto, N. Kobayashi, T. Hashizume, T. Fukui, and H. Hasegawa, "Minority carrier diffusion length in GaN- Dislocation density and doping concentration dependence", Appl. Phys. Lett. **86** (5), 052105 (2005).
6. K. Kumakura, Y. Yamauchi, and T. Makimoto, "High power operation of Pnp AlGaIn/GaN heterojunction bipolar transistors", Phys. Stat. Sol. (c), **2** (7), 2589-2592 (2005).
7. J. Kurian, H. Sato, T. Makimoto, and M. Naito, "Silver-assisted growth of $\text{NdBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ thin films: An approach for the growth of superior quality ceramic oxide films",
Appl. Phys. Lett. **87** (2), 022501 (2005).
8. J. Kurian and M. Naito, "MBE growth of large area RE-123 superconductor thin films for microwave applications",
IEEE Trans. Appl. Supercond. **15** (2), 2966-2969 (2005).
9. H. S. Lee, H. J. Kim, H. J. Kim, M. H. Jung, Y. Jo, S. I. Lee, A. Tsukada, and M. Naito, "Three-dimensional superconductivity of the structurally two-dimensional superconductor $\text{La}_{1.87}\text{Y}_{0.13}\text{CuO}_4$: study of an angle-dependent critical current density",

- Supercond. Sci. Technol. **18** (7), 944-947 (2005).
10. N. Maeda, T. Makimura, T. Maruyama, C. X. Wang, M. Hiroki, H. Yokoyama, T. Makimoto, T. Kobayashi, and T. Enoki, "DC and RF characteristics in $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Si}_3\text{N}_4$ insulated-gate AlGaIn/GaN heterostructure field-effect transistors", Jpn. J. Appl. Phys. Part 2 - Lett. Express Lett. **44** (20-23), L646-L648 (2005).
 11. N. Maeda, T. Makimura, C. X. Wang, M. Hiroki, T. Makimoto, T. Kobayashi, and T. Enoki, " $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Si}_3\text{N}_4$ Insulated Gate Channel-doped AlGaIn/GaN Heterostructure Field-Effect Transistors with Regrown Ohmic Structure: Low Gate Leakage Current with High Transconductance", Jpn. J. Appl. Phys. Part 1 – Regul. Pap. Short Notes Rev. Pap. **44** (4B), 2747-2750 (2005).
 12. N. Maeda, C. X. Wang, T. Enoki, T. Makimoto, and T. Tawara, "High drain current density and reduced gate leakage current in channel-doped AlGaIn/GaN heterostructure field-effect transistors with $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Si}_3\text{N}_4$ gate insulator", Appl. Phys. Lett., **87** (7), 073504 (2005).
 13. T. Makimoto, Y. Yamauchi, T. Kido, K. Kumakura, Y. Taniyasu, M. Kasu, and N. Matsumoto, "Strained Thick p-InGaIn Layers for GaIn/InGaIn Heterojunction Bipolar Transistors on Sapphire Substrates", Jpn. J. Appl. Phys. Part 1 – Regul. Pap. Short Notes Rev. Pap. **44** (4B), 2722-2725 (2005).
 14. T. Matsuoka, "Progress in nitride semiconductors from GaIn to InN - MOVPE growth and characteristics", Superlattices Microstruct. **37** (1), 19-32 (2005).
 15. T. Mitate, S. Mizuno, H. Takahata, R. Kakegawa, T. Matsuoka, and N. Kuwano, "InN polarity determination by convergent-beam electron diffraction", Appl. Phys. Lett. **86** (13), 134103 (2005).
 16. A. Nishikawa, K. Kumakura, T. Akasaka, and T. Makimoto, "Current-voltage characteristics of p-InGaIn/n-GaIn vertical conducting diodes on $\text{n}^+\text{-SiC}$ substrates", Appl. Phys. Lett. **87** (23), 233505 (2005).
 17. M. Noda, A. Tsukada, H. Yamamoto, and M. Naito, "Origin of superconducting carriers in "non-doped" $\text{T}'\text{-(La,RE)}(2)\text{CuO}_4$ (RE = Sm, Eu, Gd, Tb, Lu, and Y) prepared by molecular beam epitaxy", Physica C **426**, 220-224 (2005).
 18. H. Oyanagi, N. L. Saini, A. Tsukada, and M. Naito, "Lattice anomalies in $(\text{La,Sr})_2\text{CuO}_4$ under epitaxial strain probed by polarized X-ray absorption spectroscopy", J. Supercond. **18** (5-6), 731-735 (2005).

19. H. Sato and J. Kurian, "Superconducting bandpass filters on thin films of $\text{NdBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$ ",
Physica C **426**, 1616-1621 (2005).
20. A. Tsukada, H. Yamamoto, and M. Naito, "Ce doping in T- La_2CuO_4 films: Broken electron-hole symmetry for high-T-c superconductivity",
Physica C **426**, 454-458 (2005).
21. A. Tsukada, M. Noda, H. Yamamoto, and M. Naito, "Role of impurity oxygen in superconductivity of "non-doped" T'-(La, RE)(2) CuO_4 ",
Physica C **426**, 459-463 (2005).
22. A. Tsukada, Y. Krockenberger, M. Noda, H. Yamamoto, D. Manske, L. Alff, and M. Naito, "New class of T'-structure cuprate superconductors",
Solid State Commun. **133** (7), 427-431 (2005).
23. K. Ueda, S. Saito, K. Semba, T. Makimoto, and M. Naito, "All-MgB₂ Josephson tunnel junctions", Appl. Phys. Lett. **86** (17), 172502 (2005).
24. C. X. Wang, N. Maeda, M. Hiroki, T. Tawara, T. Makimoto, T. Kobayashi, and T. Enoki, "Comparison of AlGa_N/Ga_N insulated gate heterostructure field-effect transistors with ultrathin Al₂O₃/Si₃N₄ bilayer and Si₃N₄ single layer",
Jpn. J. Appl. Phys. Part 1 - Regul. Pap. Short Notes Rev. Pap. **44** (4B), 2735-2738 (2005).
25. H. T. Ye, H. X. Yan, and R. B. Jackman, "Dielectric properties of single crystal diamond",
Semicond. Sci. Technol. **20** (3), 296-298 (2005).

低次元構造研究グループ

1. P. Finnie, Y. Homma, and J. Lefebvre, "Band-gap shift transition in the photoluminescence of single-walled carbon nanotubes",
Phys. Rev. Lett. **94** (24), 247401 (2005).
2. S. Fujikawa, T. Kawamura, S. Bhunia, Y. Watanabe, K. Tokushima, Y. Tsusaka, Y. Kagoshima, and J. I. Matsui, "Real-time observation of fractional-order x-ray reflection profiles of InP(001) during step-flow growth",
Jpn. J. Appl. Phys. Part 2 - Lett. Express Lett. **44** (1-7), L144-L146 (2005).
3. H. Hibino, Y. Watanabe, C. W. Hu, and I. S. T. Tsong, "Thermal decay of superheated 7 x 7 islands and supercooled "1 x 1" vacancy islands on Si(111) ",
Phys. Rev. B **72** (24), 245424 (2005).

4. H. Hibino and Y. Watanabe, "Arrangement of Au-Si alloy islands at atomic steps", *Surf. Sci.* **588** (1-3), L233-L238 (2005).
5. H. Hibino and Y. Watanabe, "Growth of twinned epitaxial layers on Si(111)root 3x root 3-B studied by low-energy electron microscopy", *Jpn. J. Appl. Phys. Part 1 - Regul. Pap. Short Notes Rev. Pap.* **44** (1A), 358-364 (2005).
6. Y. Homma, D. Takagi, S. Suzuki, K. Kanzaki, and Y. Kobayashi, "Electron-microscopic imaging of single-walled carbon nanotubes grown on silicon and silicon oxide substrates", *J. Electron Microsc.* **54**, I3-I7 (2005).
7. Y. Homma, "Summary of ISO/TC 201 standard: X ISO 17560: 2002 - Surface chemical analysis - Secondary ion mass spectrometry - Method for depth profiling of boron in silicon", *Surf. Interface Anal.* **37** (1), 90-91 (2005).
8. G. H. Jeong, S. Suzuki, Y. Kobayashi, A. Yamazaki, H. Yoshimura, and Y. Homma, "Effect of nanoparticle density on narrow diameter distribution of carbon nanotubes and particle evolution during chemical vapor deposition growth", *J. Appl. Phys.* **98** (12), 124311 (2005).
9. G. H. Jeong, A. Yamazaki, S. Suzuki, H. Yoshimura, Y. Kobayashi, and Y. Homma, "Cobalt-filled apoferritin for suspended single-walled carbon nanotube growth with narrow diameter distribution", *J. Am. Chem. Soc.* **127** (23), 8238-8239 (2005).
10. A. Kaneko, Y. Homma, H. Hibino, and T. Ogino, "Ultrahigh vacuum scanning electron microscope system combined with wide-movable scanning tunneling microscope", *Rev. Sci. Instrum.* **76** (8), 083709 (2005).
11. T. Kawamura, S. Bhunia, Y. Watanabe, S. Fujikawa, J. Matsui, Y. Kagoshima, and Y. Tsusaka, "High-resolution x-ray diffraction analysis of epitaxially grown indium phosphide nanowires", *J. Appl. Phys.* **97** (8), 084318 (2005).
12. T. Matsumoto, Y. Homma, and Y. Kobayashi, "Bridging growth of single-walled carbon nanotubes on nanostructures by low-pressure hot-filament chemical vapor deposition", *Jpn. J. Appl. Phys. Part 1 - Regul. Pap. Brief Commun. Rev. Pap.* **44** (10), 7709-7712 (2005).
13. H. Omi and Y. Homma, "Self-ordering on vicinal Si(111) during molecular beam

- epitaxy",
Phys. Rev. B **72** (19), 195322 (2005).
14. H. Omi, Y. Homma, V. Tonchev, and A. Pimpinelli, "New types of unstable step-flow growth on Si(111)-(7 x 7) during molecular beam epitaxy: Scaling and universality", Phys. Rev. Lett. **95** (21), 216101 (2005).
 15. H. Omi, T. Kawamura, S. Fujikawa, Y. Tsusaka, Y. Kagoshima, and J. Matsui, "In-plane strain distribution in the surface region of thin silicon overlayers on insulator", Appl. Phys. Lett. **86** (26), 263112 (2005).
 16. V. Peano, M. Thorwart, A. Kasper, and R. Egger, "Nanoscale atomic waveguides with suspended carbon nanotubes", Appl. Phys. B-Lasers Opt. **81** (8), 1075-1080 (2005).
 17. S. Suzuki and Y. Kobayashi, "Conductivity decrease in carbon nanotubes caused by low-acceleration-voltage electron irradiation", Jpn. J. Appl. Phys. Part 2 - Lett. Express Lett. **44** (46-49), L1498-L1501 (2005).
 18. S. Suzuki, Y. Watanabe, Y. Homma, S. Y. Fukuba, A. Locatelli, and S. Heun, "Photoemission electron microscopy of individual single-walled carbon nanotubes", J. Electron Spectrosc. Relat. Phenom. **144**, 357-360 (2005).
 19. S. Suzuki, H. Yamamoto, F. Maeda, Y. Watanabe, K. Yamada, and T. Kiyokura, "Beamline for angle-resolved photoemission spectroscopy at low-temperature constructed at NTT Atsugi R&D Center", J. Electron Spectrosc. Relat. Phenom. **144**, 1109-1112 (2005).
 20. S. Suzuki, D. Takagi, Y. Homma, and Y. Kobayashi, "Selective removal of carbon nanotubes utilizing low-acceleration-voltage electron irradiation damage", Jpn. J. Appl. Phys. Part 2 - Lett. Express Lett. **44** (1-7), L133-L135 (2005).
 21. D. Takagi, Y. Homma, S. Suzuki, and Y. Kobayashi, "Vertical growth of individual single-walled carbon nanotubes on silicon and SiO₂ substrates", Jpn. J. Appl. Phys. Part 1 - Regul. Pap. Short Notes Rev. Pap. **44** (4A), 1564-1568 (2005).
 22. A. Vijayaraghavan, K. Kanzaki, S. Suzuki, Y. Kobayashi, H. Inokawa, Y. Ono, S. Kar, and P. M. Ajayan, "Metal-semiconductor transition in single-walled carbon nanotubes induced by low-energy electron irradiation", Nano Lett. **5** (8), 1575-1579 (2005).
 23. T. Yamazaki, S. Ohmi, S. Morita, H. Ohri, J. Murota, M. Sakuraba, H. Omi, and T. Sakai, "Separation by bonding Si islands (SBSI) for advanced CMOS LSI

applications",
IEICE Trans. Electron. **E88C** (4), 656-661 (2005).

24. T. Yamazaki, S. Ohmi, S. Morita, H. Ohri, J. Murota, M. Sakuraba, H. Omi, Y. Takahashi, and T. Sakai, "Separation by bonding Si islands (SBST) for LSI applications",
Mater. Sci. Semicond. Process **8** (1-3), 59-63 (2005).

分子生体機能研究グループ

1. I. Bosanac, H. Yamazaki, T. Matsu-ura, T. Michikawa, K. Mikoshiba, and M. Ikura, "Crystal structure of the ligand binding suppressor domain of type 1 inositol 1,4,5-trisphosphate receptor",
Mol. Cell **17** (2), 193-203 (2005).
2. A. Fontes, K. Ajito, A. A. R. Neves, W. L. Moreira, A. A. de Thomaz, L. C. Barbosa, A. M. de Paula, and C. L. Cesar, "Raman, hyper-Raman, hyper-Rayleigh, two-photon luminescence and morphology-dependent resonance modes in a single optical tweezers system",
Phys. Rev. E **72** (1), 012903 (2005).
3. C. X. Han, N. Kasai, and K. Torimitsu, "Apoptosis induced by bicuculline involves the P/Q-type voltage-dependent calcium channel in rat hippocampal slice cultures",
Epilepsia **46**, 11-11 (2005).
4. C. X. Han, N. Kasai, and K. Torimitsu, "CA2: the most vulnerable sector to bicuculline exposure in rat hippocampal slice cultures",
Neuroreport **16** (4), 333-336 (2005).
5. W. P. Hu, H. Nakashima, K. Furukawa, Y. Kashimura, K. Ajito, Y. Q. Liu, D. B. Zhu, and K. Torimitsu, "A self-assembled nano optical switch and transistor based on a rigid conjugated polymer, thioacetyl-end-functionalized poly(para-phenylene ethynylene) ",
J. Am. Chem. Soc. **127** (9), 2804-2805 (2005).
6. M. Iwai, Y. Tateishi, M. Hattori, A. Mizutani, T. Nakamura, A. Futatsugi, T. Inoue, T. Furuichi, T. Michikawa, and K. Mikoshiba, "Molecular cloning of mouse type 2 and type 3 inositol 1,4,5-trisphosphate receptors and identification of a novel type 2 receptor splice variant",
J. Biol. Chem. **280** (11), 10305-10317 (2005).
7. N. Kasai, C. X. Han, and K. Torimitsu, "Hydrogen peroxide distribution and neuronal cell death in a rat hippocampal slice",
Sens. Actuator B-Chem. **108** (1-2), 746-750 (2005).

8. H. Nakashima, K. Furukawa, K. Ajito, Y. Kashimura, and K. Torimitsu, "Selective chemisorption of end-functionalized conjugated polymer on macro- and nanoscale-surfaces",
Langmuir **21** (2), 511-515 (2005).
9. Z. H. Zhang, K. Sumitomo, and F. Lin, "Observation of B segregation on Si(113) by scanning tunneling microscopy",
Ultramicroscopy **105** (1-4), 16-21 (2005).
10. Z. H. Zhang and K. Sumitomo, "Boronizing structures of Si(113) surfaces",
Surf. Sci. **576** (1-3), 83-88 (2005).

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, M. Uematsu, and T. Ito, "Theoretical investigation of oxygen diffusion in compressively strained high-density alpha-quartz",
Jpn. J. Appl. Phys. Part 1 - Regul. Pap. Brief Commun. Rev. Pap. **44** (10), 7427-7429 (2005).
2. T. Akiyama and H. Kageshima, "Reaction mechanisms of oxygen at SiO₂/Si(100) interface",
Surf. Sci. **576** (1-3), L65-L70 (2005).
3. Z. A. Burhanudin, R. Nuryadi, Y. Ishikawa, M. Tabe, and Y. Ono, "Thermally-induced formation of Si wire array on an ultrathin (111) silicon-on-insulator substrate",
Appl. Phys. Lett. **87** (12), 121905 (2005).
4. N. Clement and H. Inokawa, "Foundry metal-oxide-semiconductor field-effect-transistor electrometer for single-electron detection",
Jpn. J. Appl. Phys. Part 1 - Regul. Pap. Brief Commun. Rev. Pap. **44** (7A), 4855-4858 (2005).
5. Y. Ono, K. Nishiguchi, H. Inokawa, S. Horiguchi, and Y. Takahashi, "Charge-state control of phosphorus donors in silicon-on-insulator metal-oxide-semiconductor field-effect transistor",
Jpn. J. Appl. Phys. Part 1 - Regul. Pap. Short Notes Rev. Pap. **44** (4B), 2588-2591 (2005).
6. Y. Ono, A. Fujiwara, K. Nishiguchi, H. Inokawa, and Y. Takahashi, "Manipulation and detection of single electrons for future information processing",
J. Appl. Phys. **97** (3), 031101 (2005).

7. M. Tsuda, H. Arai, M. Takahashi, H. Ohtsuka, Y. Sakurai, K. Sumitomo, and H. Kageshima, "Electrode performance of layered $\text{LiNi}_{0.5}\text{Ti}_{0.5}\text{O}_2$ prepared by ion exchange",
J. Power Sources **144** (1), 183-190 (2005).
8. K. Uchida, H. Kageshima, and H. Inokawa, "Charge-injection effects in a single 4,4 "-terphenyldithiol molecule",
Jpn. J. Appl. Phys. Part 1 - Regul. Pap. Brief Commun. Rev. Pap. **44** (12), 8759-8763 (2005).
9. M. Uematsu, H. Kageshima, and K. Shiraishi, "Effect of nitrogen on diffusion in silicon oxynitride",
Jpn. J. Appl. Phys. Part 1 - Regul. Pap. Brief Commun. Rev. Pap. **44** (11), 7756-7759 (2005).
10. M. Uematsu, "Self-diffusion and impurity diffusion in silicon dioxide",
J. Phase Equilib. Diffus. **26** (5), 547-554 (2005).
11. M. Uematsu, "Unified simulation of diffusion in silicon and silicon dioxide", in *Diffusion In Materials: Dimat 2004, Pt 1 and 2*, Defect And Diffusion Forum Vol. 237-240 (Trans Tech Publications Ltd, Zurich-Uetikon, 2005), pp. 38-49.

ナノ加工研究グループ

1. Y. Furukawa, K. Hoshina, K. Yamanouchi, and H. Nakano, "Ejection of triatomic hydrogen molecular ion from methanol in intense laser fields",
Chem. Phys. Lett. **414** (1-3), 117-121 (2005).
2. M. Nagase, K. Nakamatsu, S. Matsui, and H. Namatsu, "Carbon multiprobes with nanosprings integrated on Si cantilever using focused-ion-beam technology",
Jpn. J. Appl. Phys. Part 1 - Regul. Pap. Brief Commun. Rev. Pap. **44** (7B), 5409-5412 (2005).
3. K. Nakamatsu, M. Nagase, J. Y. Igaki, H. Namatsu, and S. Matsui, "Mechanical characteristics and its annealing effect of diamondlike-carbon nanosprings fabricated by focused-ion-beam chemical vapor deposition",
J. Vac. Sci. Technol. B **23** (6), 2801-2805 (2005).
4. K. Nakamatsu, M. Nagase, H. Namatsu, and S. Matsui, "Mechanical characteristics of diamond-like-carbon nanosprings fabricated by focused-ion-beam chemical vapor deposition",
Jpn. J. Appl. Phys. Part 2 - Lett. Express Lett. **44** (37-41), L1228-L1230 (2005).
5. K. Nakamatsu, K. Watanabe, K. Tone, H. Namatsu, and S. Matsui, "Nanoimprint and

- nanocontact technologies using hydrogen silsesquioxane",
J. Vac. Sci. Technol. B **23** (2), 507-512 (2005).
6. H. Namatsu and M. Sato, "Supercritical improvement of resist patterns by introducing functional molecules",
Jpn. J. Appl. Phys. Part 2 - Lett. Express Lett. **44** (1-7), L227-L229 (2005).
7. K. Nishiguchi, O. Crauste, H. Namatsu, S. Horiguchi, Y. Ono, A. Fujiwara, Y. Takahashi, and H. Inokawa, "Back-gate effect on Coulomb blockade in silicon-on-insulator trench wires",
Jpn. J. Appl. Phys. Part 1 - Regul. Pap. Brief Commun. Rev. Pap. **44** (10), 7717-7719 (2005).
8. Y. Ohminami, S. Suzuki, N. Matsudaira, T. Nomura, W. J. Chun, K. Ijima, M. Nakamura, K. Mukasa, M. Nagase, and K. Asakura, "Preparation and characterization of a microfabricated oxide-on-oxide catalyst of α - $\text{Sb}_2\text{O}_4/\text{VSbO}_4$ ",
Bull. Chem. Soc. Jpn. **78** (3), 435-442 (2005).
9. H. Okamoto, T. Yamada, H. Miyazaki, T. Nakanishi, K. Takeda, K. Usui, I. Obataya, H. Mihara, H. Azebara, W. Mizutani, K. Hashimoto, H. Yamaguchi, and Y. Hirayama, "Difference in self-assembling morphology of peptide nanorings",
Jpn. J. Appl. Phys. Part 1 - Regul. Pap. Brief Commun. Rev. Pap. **44** (11), 8240-8248 (2005).
10. H. Okamoto, T. Akazaki, M. Ueki, and H. Yamaguchi, "Strongly enhanced sensitivity of piezoresistive cantilevers by utilizing the superconducting proximity effect",
Jpn. J. Appl. Phys. Part 2 - Lett. Express Lett. **44** (28-32), L893-L895 (2005).
11. T. Sakata, H. Ishii, Y. Okabe, M. Nagase, T. Kamei, K. Kudou, M. Yano, and K. Machida, "Anti-sticking effect of organic dielectric formed by electrodeposition in microelectromechanical-system structures",
Jpn. J. Appl. Phys. Part 1 - Regul. Pap. Brief Commun. Rev. Pap. **44** (7B), 5732-5735 (2005).
12. T. Shimura, K. Yasutake, M. Umeno, and M. Nagase, "X-ray diffraction measurements of internal strain in Si nanowires fabricated using a self-limiting oxidation process",
Appl. Phys. Lett. **86** (7), 071903 (2005).
13. H. Yamaguchi, A. K. Das, A. Ney, T. Hesjedal, C. Pampuch, D. M. Schaadt, and R. Koch, "From ferro- to antiferromagnetism via exchange-striction of $\text{MnAs/GaAs}(001)$ ",
Europhys. Lett. **72** (3), 479-485 (2005).
14. H. Yamaguchi, S. Miyashita, and Y. Hirayama, "Force/displacement detection using quantum effects in $\text{InAs/Al}_{0.5}\text{Ga}_{0.5}\text{Sb}$ two-dimensional electron systems", in

Compound Semiconductors 2004, Proceedings, Institute Of Physics Conference Series Vol. 184 (Iop Publishing Ltd, Bristol, 2005), pp. 187-192.

15. H. Yamaguchi, Y. Hirayama, S. Miyashita, and S. Ishihara, "Force/displacement detection using quantum transport in InAs/AlGaSb two-dimensional heterostructures", *Appl. Phys. Lett.* **86** (5), 052106 (2005).
16. T. Yamaguchi and H. Namatsu, "Graphoepitaxy of diblock copolymer on micropatterned substrates", *J. Photopolym Sci. Technol.* **18** (3), 421-423 (2005).

量子固体物性研究グループ

1. D. G. Austing, R. J. A. Hill, A. Patane, P. C. Main, M. Henini, L. Eaves, and S. Tarucha, "Transport properties of gated sub-micron mesas incorporating InAs self-assembled quantum dots that conduct near zero bias", *Physica E* **26** (1-4), 482-485 (2005).
2. W. R. Clarke, A. P. Micolich, A. R. Hamilton, M. Y. Simmons, K. Muraki, and Y. Hirayama, "Fabrication and characterization of a 2D hole system in a novel (311)A GaAsSISFET", *Microelectron. J.* **36** (3-6), 327-330 (2005).
3. N. Goel, J. Graham, J. C. Keay, K. Suzuki, S. Miyashita, M. B. Santos, and Y. Hirayama, "Ballistic transport in InSb mesoscopic structures", *Physica E* **26** (1-4), 455-459 (2005).
4. K. Hashimoto, K. Muraki, N. Kumada, T. Saku, and Y. Hirayama, "Effects of inversion asymmetry on electron-nuclear spin coupling in semiconductor heterostructures: Possible role of spin-orbit interactions", *Phys. Rev. Lett.* **94** (14), 146601 (2005).
5. H. Ishizaki, T. Akiyama, K. Nakamura, K. Shiraishi, A. Taguchi, and T. Ito, "Theoretical investigation of phase transition on GaAs(001)-c(4 x 4) surface", *Appl. Surf. Sci.* **244** (1-4), 186-189 (2005).
6. T. Ito, K. Asano, T. Akiyama, K. Nakamura, K. Shiraishi, and A. Taguchi, "An ab initio-based approach to Ga adatom migration on GaAs(111)A-(001) non-planar surfaces", *Appl. Surf. Sci.* **244** (1-4), 178-181 (2005).
7. K. Iwata, M. Morino, M. Suzuki, A. Fukuda, A. Sawada, Z. F. Ezawa, N. Kumada, and Y. Hirayama, "Anisotropic magnetotransport around the $\nu=1$ bilayer quantum Hall state",

- J. Phys. Chem. Solids **66** (8-9), 1556-1559 (2005).
8. N. Kumada, K. Muraki, K. Hashimoto, and Y. Hirayama, "Spin degree of freedom in the $\nu=1$ bilayer electron system investigated by nuclear spin relaxation", Phys. Rev. Lett. **94** (9), 096802 (2005).
9. H. W. Liu, T. Fujisawa, T. Hayashi, and Y. Hirayama, "Pauli spin blockade in cotunneling transport through a double quantum dot", Phys. Rev. B **72** (16), 161305 (2005).
10. K. Onomitsu, H. Fukui, T. Maeda, Y. Hirayama, and Y. Horikoshi, "Spatially separated Mn and Be doping for high hole concentration in GaMnAs by using MEE", J. Cryst. Growth **278** (1-4), 699-703 (2005).
11. S. Sasaki, T. Fujisawa, T. Hayashi, and Y. Hirayama, "Electrical pump-and-probe study of spin singlet-triplet relaxation in a quantum dot", Phys. Rev. Lett. **95** (5), 056803 (2005).
12. S. Sasaki and S. Tarucha, "The Kondo effect enhanced by state degeneracy", J. Phys. Soc. Jpn. **74** (1), 88-94 (2005).
13. A. Taguchi, "First-principles investigations of Ga and As adsorption properties on a GaAs(110) surface", in *Compound Semiconductors 2004, Proceedings*, Institute Of Physics Conference Series Vol. 184 (Iop Publishing Ltd, Bristol, 2005), pp. 345-348.
14. A. Taguchi, "First-principles investigations of surface reconstructions of an InAs(111)B surface", J. Cryst. Growth **278** (1-4), 468-472 (2005).
15. A. Taguchi, H. Kageshima, and K. Wada, "First-principles investigations of nitrogen-doping effects on defect aggregation processes in Czochralski Si", J. Appl. Phys. **97** (5), 053514 (2005).
16. A. Taguchi and K. Shiraishi, "Surface reconstructions and stabilizing mechanism of the GaAs(311)A surface", Phys. Rev. B **71** (3), 035349 (2005).
17. D. Terasawa, S. Kozumi, A. Fukuda, A. Sawada, Z. F. Ezawa, N. Kumada, and Y. Hirayama, "Pseudospin domain of $\nu=1$ double-layer quantum Hall state near commensurate-incommensurate transition", J. Phys. Chem. Solids **66** (8-9), 1560-1562 (2005).
18. G. Yusa, K. Hashimoto, K. Muraki, T. Saku, and Y. Hirayama, "Resistance oscillations by electron-nuclear spin coupling in microscopic quantum Hall devices", Jpn. J. Appl. Phys. Part 1 - Regul. Pap. Short Notes Rev. Pap. **44** (4B), 2669-2671

(2005).

19. G. Yusa, K. Muraki, K. Takashina, K. Hashimoto, and Y. Hirayama, "Controlled multiple quantum coherences of nuclear spins in a nanometre-scale device", *Nature* **434** (7036), 1001-1005 (2005).

超伝導量子物理研究グループ

1. P. Bertet, I. Chiorescu, G. Burkard, K. Semba, Cjpm Harmans, D. P. DiVincenzo, and J. E. Mooij, "Dephasing of a superconducting qubit induced by photon noise", *Phys. Rev. Lett.* **95** (25), 257002 (2005).
2. B. Chesca, M. Seifried, T. Dahm, N. Schopohl, D. Koelle, R. Kleiner, and A. Tsukada, "Observation of Andreev bound states in bicrystal grain-boundary Josephson junctions of the electron-doped superconductor $\text{La}_{2-x}\text{Ce}_x\text{CuO}_{4-y}$ ", *Phys. Rev. B* **71** (10), 104504 (2005).
3. T. Kutsuzawa, H. Tanaka, S. Saito, H. Nakano, K. Semba, and H. Takayanagi, "Coherent control of a flux qubit by phase-shifted resonant microwave pulses", *Appl. Phys. Lett.* **87** (7), 073501 (2005).

スピントロニクス研究グループ

1. T. Akazaki, H. Nakano, J. Nitta, and H. Takayanagi, "Observation of enhanced thermal noise due to multiple Andreev reflection in ballistic InGaAs-based superconducting weak links", *Appl. Phys. Lett.* **86** (13), 132505 (2005).
2. Y. Asari, K. Takeda, and H. Tamura, "New shell structures and their ground electronic states in spherical quantum dots (II) under magnetic field", *Jpn. J. Appl. Phys. Part 1 - Regul. Pap. Short Notes Rev. Pap.* **44** (4A), 2043-2052 (2005).
3. T. Bauch, E. Hurfeld, V. M. Krasnov, R. Delsing, H. Takayanagi, and T. Akazaki, "Correlated quantization of supercurrent and conductance in a superconducting quantum point contact", *Phys. Rev. B* **71** (17), 174502 (2005).
4. B. R. Choi, A. E. Hansen, T. Kontos, C. Hoffmann, S. Oberholzer, W. Belzig, C. Schonenberger, T. Akazaki, and H. Takayanagi, "Shot-noise and conductance measurements of transparent superconductor/two-dimensional electron gas junctions", *Phys. Rev. B* **72** (2), 024501 (2005).

5. M. Kawamura, H. Yaguchi, N. Kikugawa, Y. Maeno, and H. Takayanagi, "Tunneling properties at the interface between superconducting Sr_2RuO_4 and a Ru microinclusion",
J. Phys. Soc. Jpn. **74** (2), 531-534 (2005).
6. V. M. Krasnov, T. Bauch, S. Intiso, E. Hurfeld, T. Akazaki, H. Takayanagi, and P. Delsing, "Collapse of thermal activation in moderately damped Josephson junctions",
Phys. Rev. Lett. **95** (15), 157002 (2005).
7. Y. P. Lin, T. Koga, and J. Nitta, "Effect of an $\text{InP}/\text{In}_{0.53}\text{Ga}_{0.47}\text{As}$ interface on spin-orbit interaction in $\text{In}_{0.52}\text{Al}_{0.48}\text{As}/\text{In}_{0.53}\text{Ga}_{0.47}\text{As}$ heterostructures",
Phys. Rev. B **71** (4), 045328 (2005).
8. F. E. Meijer, A. F. Morpurgo, T. M. Klapwijk, and J. Nitta, "Universal spin-induced time reversal symmetry breaking in two-dimensional electron gases with Rashba spin-orbit interaction",
Phys. Rev. Lett. **94** (18), 186805 (2005).
9. A. K. M. Newaz, W. Song, E. E. Mendez, Y. Lin, and J. Nitta, "Shot-noise characteristics of triple-barrier resonant-tunneling diodes",
Phys. Rev. B **71** (19), 195303 (2005).
10. J. Nitta and M. Steiner, "Magnetization properties of microstructured NiFe rings investigated using semiconductor/ferromagnet hybrid structures",
J. Supercond. **18** (3), 331-334 (2005).
11. J. Nitta and M. Steiner, "Semiconductor/ferromagnet hybrid devices to probe magnetisation states in microstructured NiFe rings",
IEE Proc.-Circuit Device Syst. **152** (4), 297-300 (2005).
12. J. Ohe, M. Yamamoto, T. Ohtsuki, and J. Nitta, "Mesoscopic Stern-Gerlach spin filter by nonuniform spin-orbit interaction",
Phys. Rev. B **72** (4), 041308 (2005).
13. A. Richter, K. Matsuda, T. Akazaki, T. Saku, H. Tamura, Y. Hirayama, and H. Takayanagi, "Transport properties of a lateral semiconductor quantum dot defined by a single connected metallic front-gate",
Physica E **25** (4), 472-478 (2005).
14. H. Tamura and L. Glazman, "Tunable Kondo screening in a quantum dot device",
Phys. Rev. B **72** (12), 121308 (2005).
15. M. Yamaguchi, S. Nomura, D. Sato, T. Akazaki, H. Tamura, and H. Takayanagi, "Photoluminescence measurements in Be-delta-doped back-gated quantum well",
Surf. Sci. **583** (1), 94-99 (2005).

16. M. Yamamoto, J. Ohea, T. Ohtsuki, J. Nitta, and B. Kramer, "Spin-polarization in a 3-terminal conductor induced by Rashba spin-orbit coupling", Physica E **29** (3-4), 490-494 (2005).

量子光物性研究部

量子光制御研究グループ

1. E. Diamanti, H. Takesue, T. Honjo, K. Inoue, and Y. Yamamoto, "Performance of various quantum-key-distribution systems using 1.55- μ m up-conversion single-photon detectors", Phys. Rev. A **72** (5), 052311 (2005).
2. T. Honjo and K. Inoue, "Plug & play quantum key distribution using modulation sidebands for shifting frequency", Jpn. J. Appl. Phys. Part 1 - Regul. Pap. Brief Commun. Rev. Pap. **44** (9A), 6550-6552 (2005).
3. K. Inoue and T. Honjo, "Robustness of differential-phase-shift quantum key distribution against photon-number-splitting attack", Phys. Rev. A **71** (4), 042305 (2005).
4. K. Inoue, "Quantum key distribution using a series of quantum correlated photon pairs", Phys. Rev. A **71** (3), 032301 (2005).
5. A. Ishizawa and H. Nakano, "Fluctuation of the carrier-envelope phase of a few-cycle laser pulse from a chirped-pulse amplification system with the gas pressure in a hollow fiber", Jpn. J. Appl. Phys. Part 1 - Regul. Pap. Brief Commun. Rev. Pap. **44** (8), 6039-6041 (2005).
6. Y. Katagiri, H. Takesue, and E. Hashimoto, "Wavelength-scanning optical bandpass filters based on optomechanics for optical-frequency sweepers", IEEE Trans. Ind. Electron. **52** (4), 992-1004 (2005).
7. T. Kubo and Y. Tokura, "Electron transport in magnetic-field-induced quasi-one-dimensional electron systems in semiconductor nanowhiskers", Physica E **29** (3-4), 525-529 (2005).
8. T. Kubo and Y. Tokura, "Many-body effects on tunneling of electrons in magnetic-field-induced quasi-one-dimensional electron systems in semiconductor nanowhiskers",

- J. Phys. Soc. Jpn. **74** (2), 519-522 (2005).
9. M. W. Jack and M. Yamashita, "Maximal entanglement of two spinor Bose-Einstein condensates",
Phys. Rev. A **71** (3), 033619 (2005).
 10. M. W. Jack and M. Yamashita, "Bose-Hubbard model with attractive interactions",
Phys. Rev. A **71** (2), 023610 (2005).
 11. C. Langrock, E. Diamanti, R. V. Roussev, Y. Yamamoto, M. M. Fejer, and H. Takesue, "Highly efficient single-photon detection at communication wavelengths by use of upconversion in reverse-proton-exchanged periodically poled LiNbO₃ waveguides",
Opt. Lett. **30** (13), 1725-1727 (2005).
 12. K. Maruyama, F. Morikoshi, and V. Vedral, "Thermodynamical detection of entanglement by Maxwell's demons",
Phys. Rev. A **71** (1), 012108 (2005).
 13. H. Oberst, Y. Tashiro, K. Shimizu, and F. Shimizu, "Quantum reflection of H* on silicon",
Phys. Rev. A **71** (5), 052901 (2005).
 14. H. Oberst, D. Kouznetsov, K. Shimizu, J. Fujita, and F. Shimizu, "Fresnel diffraction mirror for an atomic wave",
Phys. Rev. Lett. **94** (1), 013203 (2005).
 15. H. Takesue, E. Diamanti, T. Honjo, C. Langrock, M. M. Fejer, K. Inoue, and Y. Yamamoto, "Differential phase shift quantum key distribution experiment over 105km fibre",
New J. Phys. **7**, 232 (2005).
 16. H. Takesue and K. Inoue, "Generation of 1.5- μ m band time-bin entanglement using spontaneous fiber four-wave mixing and planar light-wave circuit interferometers",
Phys. Rev. A **72** (4), 041804 (2005).
 17. H. Takesue and K. Inoue, "1.5- μ m band quantum-correlated photon pair generation in dispersion-shifted fiber: suppression of noise photons by cooling fiber",
Opt. Express **13** (20), 7832-7839 (2005).
 18. H. Takesue, K. Inoue, O. Tadanaga, Y. Nishida, and M. I. Asobe, "Generation of pulsed polarization-entangled photon pairs in a 1.55- μ m band with a periodically poled lithium niobate waveguide and an orthogonal polarization delay circuit",
Opt. Lett. **30** (3), 293-295 (2005).

19. Y. Tokunaga, T. Yamamoto, M. Koashi, and N. Imoto, "Simple experimental scheme of preparing a four-photon entangled state for the teleportation-based realization of a linear optical controlled-NOT gate",
Phys. Rev. A **71** (3), 030301 (2005).
20. B. Y. Zhang, G. S. Solomon, M. Pelton, J. Plant, C. Santori, J. Vuckovic, and Y. Yamamoto, "Fabrication of InAs quantum dots in AlAs/GaAs DBR pillar microcavities for single photon sources",
J. Appl. Phys. **97** (7), 073507 (2005).

量子光デバイス研究グループ

1. N. I. Cade, H. Gotoh, H. Kamada, T. Tawara, T. Sogawa, H. Nakano, and H. Okamoto, "Charged exciton emission at 1.3 μm from single InAs quantum dots grown by metalorganic chemical vapor deposition",
Appl. Phys. Lett. **87** (17), 172101 (2005).
2. H. Gotoh, T. Akasaka, T. Tawara, Y. Kobayashi, T. Makimoto, and H. Nakano, "Efficient observation of narrow isolated photoluminescence spectra from spatially localized excitons in InGaN quantum wells",
Jpn. J. Appl. Phys. Part 2 - Lett. Express Lett. **44** (42-45), L1381-L1384 (2005).
3. H. Gotoh, H. Kamada, H. Nakano, T. Saitoh, H. Ando, and J. Temmyo, "Optical nonlinearity induced by exciton-biexciton coherent effects in InGaAs quantum dots",
Appl. Phys. Lett. **87** (10), 102101 (2005).
4. H. Gotoh, H. Kamada, T. Saitoh, H. Ando, and J. Temmyo, "Exciton absorption properties of coherently coupled exciton-biexciton systems in quantum dots",
Phys. Rev. B **71** (19), 195334 (2005).
5. T. Hattori, T. Yogi, Y. Hama, N. Watanabe, and R. Yano, "Chirp control of free carrier injection in GaAs using femtosecond optical pulses",
Jpn. J. Appl. Phys. Part 1 - Regul. Pap. Brief Commun. Rev. Pap. **44** (8), 6101-6104 (2005).
6. S. Hughes, "Modified spontaneous emission and qubit entanglement from dipole-coupled quantum dots in a photonic crystal nanocavity",
Phys. Rev. Lett. **94** (22), 227402 (2005).
7. S. Hughes, "Quantum emission dynamics from a single quantum dot in a planar photonic crystal nanocavity",
Opt. Lett. **30** (11), 1393-1395 (2005).
8. S. Hughes, L. Ramunno, J. F. Young, and J. E. Sipe, "Extrinsic optical scattering loss

- in photonic crystal waveguides: Role of fabrication disorder and photon group velocity",
Phys. Rev. Lett. **94** (3), 033903 (2005).
9. A. Nakamura, J. Ishihara, S. Shigemori, K. Yamamoto, T. Aoki, H. Gotoh, and J. Temmyo, "Zn_{1-x}Cd_xO/ZnO heterostructures for visible light emitting devices",
Jpn. J. Appl. Phys. Part 2 - Lett. Express Lett. **44** (1-7), L4-L6 (2005).
 10. K. Oguri, Y. Okano, T. Nishikawa, and H. Nakano, "Transient observation of extended x-ray absorption fine structure in laser-melted Si by using femtosecond laser-produced-plasma soft x-ray",
Appl. Phys. Lett. **87** (1), 011503 (2005).
 11. K. Tateno, H. Gotoh, and H. Nakano, "Nanoholes formed by Au particles digging into GaAs and InP substrates by reverse vapor-liquid-solid mechanism",
Jpn. J. Appl. Phys. Part 2 - Lett. Express Lett. **44** (50-52), L1553-L1555 (2005).
 12. K. Tateno, H. Gotoh, and Y. Watanabe, "Nanoholes in InP and C-60 layers on GaAs substrates by using AlGaAs nanowire templates",
Jpn. J. Appl. Phys. Part 2 - Lett. Express Lett. **44** (12-15), L428-L431 (2005).
 13. R. Yano and H. Gotoh, "Tunable terahertz electromagnetic wave generation using birefringent crystal and grating pair",
Jpn. J. Appl. Phys. Part 1 - Regul. Pap. Brief Commun. Rev. Pap. **44** (12), 8470-8473 (2005).
 14. R. Yano, H. Gotoh, Y. Hirayama, S. Miyashita, Y. Kadoya, and T. Hattori, "Terahertz wave detection performance of photoconductive antennas: Role of antenna structure and gate pulse intensity",
J. Appl. Phys. **97** (10), 103103 (2005).

フォトニックナノ構造研究グループ

1. E. Kuramochi, M. Notomi, S. Hughes, A. Shinya, T. Watanabe, and L. Ramunno, "Disorder-induced scattering loss of line-defect waveguides in photonic crystal slabs",
Phys. Rev. B **72** (16), 161318(R) (2005).
2. M. Notomi, A. Shinya, S. Mitsugi, G. Kira, E. Kuramochi, and T. Tanabe, "Optical bistable switching action of Si high-Q photonic-crystal nanocavities",
Opt. Express **13** (7), 2678-2687 (2005).
3. A. Shinya, S. Mitsugi, E. Kuramochi, and M. Notomi, "Ultrasmall multi-channel resonant-tunneling filter using mode gap of width-tuned photonic-crystal waveguide",
Opt. Express **13** (11), 4202-4209 (2005).

4. T. Tanabe, M. Notomi, S. Mitsugi, A. Shinya, and E. Kuramochi, "All-optical switches on a silicon chip realized using photonic crystal nanocavities", Appl. Phys. Lett. **87** (15), 151112 (2005).
5. T. Tanabe, M. Notomi, S. Mitsugi, A. Shinya, and E. Kuramochi, "Fast bistable all-optical switch and memory on a silicon photonic crystal on-chip", Opt. Lett. **30** (19), 2575-2577 (2005).
6. H. Taniyama, M. Notomi, and Y. Yoshikuni, "Propagation characteristics of one-dimensional photonic crystal slab waveguides and radiation loss", Phys. Rev. B **71** (15), 153103 (2005).
7. A. Yokoo and S. Sasaki, "Oxidation patterning of GaAs by nanoelectrode lithography", Jpn. J. Appl. Phys. Part 1 - Regul. Pap. Short Notes Rev. Pap. **44** (2), 1119-1122 (2005).

和文論文一覧

機能物質科学研究所

1. 牧本俊樹、熊倉一英、「ナイトライド系結晶成長技術とヘテロ接合バイポーラトランジスタへの応用」、[招待論文] 電子情報通信学会 論文誌C Vol. J88-C, No.7, p. 467 (2005).
2. 牧本俊樹、「新しい窒化物半導体デバイス」、NTT技術ジャーナル 2005年3 月号 p.58 (2005).
3. 熊倉一英、牧本俊樹、「高温・高出力動作Pnp AlGaIn/GaN HBT s」、電子情報通信学会技術報告ED2005-128、p.47 (2005).
4. 嘉数誠「ダイヤモンド・マイクロ波帯パワーデバイスの現状と展望」、平成 17 年電気学会全国大会シンポジウム、第 2 分冊、2-S8、(2005).
5. 谷保芳孝、嘉数誠、牧本俊樹、「AlNおよび高Al組成AlGaInの n 型伝導性制御」、日本学術振興会ワイドギャップ半導体光・電子デバイス第162委員会第45回研究会資料、p.14 (2005).
6. 尾身博雄、住友弘二、荻野俊郎、「Si表面におけるナノ構造の自己形成制御」、固体物理、第40巻、第7号 p. 485 (2005).
7. 川村朋晃、S. Bhunia、藤川誠司、渡辺義夫、「X線回折法による半導体ナノワイヤーの評価」、日本放射光学会誌、第18巻、第3号、p.192 (2005).
8. 前田文彦、日比野浩樹、鈴木哲、渡辺義夫、郭方准、「ナノチューブ成長用触媒金属のSi清浄表面および酸化膜表面における反応過程のSPELEEMによる研究」、Nanotechnology in SPring-8 文部科学省 ナノテクノロジー総合支援プロジェクトSPring-8研究成果報告書 Vol.5 2004年B、p.113 (2005).
9. 鳥光慶一 「神経細胞をベースにしたナノバイオデバイス作製の取り組み」、Bioテクノロジージャーナル、Vol.5、p.165 (2005).
10. 古川一暁、「半導体高分子単鎖のサイエンスとナノテクノロジー」、高分子鎖 1 本のサイエンス「みる・はかる」、p.179 (2005).
11. 鳥光慶一、平山祥郎、「ナノテクノロジー」イミダス2006年度版 (2005年11月出版)

量子電子物性研究部

1. 内田和之、影島博之、「NTT物性科学基礎研 単電子デバイス特性の理論計算で解明」、日経ナノビジネス、No. 25 (2005).
2. 藤原聡、「NTT物性科学基礎研、高精度、高速の新型単一電子素子を開発」、日経ナノビジネス、No. 14 (2005).
3. 山口 徹、「レジストLERの原因と改善」、最新レジスト材料ハンドブック、p.198 (2005).
4. 山崎謙治、「世界最小の地球儀 — ナノ・グローブ —」日本機械学会誌 第108巻、第9号、p. 696 (2005).
5. 平山祥郎、鳥光慶一、「ナノテクノロジー」イミダス2006年度版(2005年11月出版) p.858.
6. 樽茶清悟、佐々木智、Wilfred van der Wiel、「量子ドットの近藤効果」、日本物理学会誌、第60巻、第2号、p.110 (2005).
7. 藤澤利正、「単一電子ダイナミクスの探求」 学術月報 Vol. 58, No. 5, p. 48 (2005).
8. 蟹澤 聖、山口浩司、平山祥郎、「InAs積層欠陥0次元構造の電子状態の低温STS評価」、応用物理、第74巻、第3号、p.349 (2005).
9. 蟹澤 聖、「ナノをはかる・ナノをつくる(6) 電子波でナノをはかる」、NEW DIAMOND、第21巻、第2号、p.40 (2005).
10. 田村浩之、「量子ドット中の電子スピンを電氣的に制御」、日経ナノビジネス No.13、p.10 (2005).

量子光物性研究部

1. 森越文明、「エンタングルメントと熱力学的構造」、数理科学、第43巻 第2号 p.42 (2005).
2. 都倉康弘、「量子暗号研究開発の現状」、月刊JADI、日本防衛装備工業会、703号、p.1 (2005).
3. 都倉康弘、「量子暗号を光スイッチ経由で配送に成功-安全な光ファイバネッ

- トワーク実現に向けて-」、電子情報通信学会誌、10月号、p.840 (2005).
4. 井上恭、「量子暗号通信技術」、平成16年度「光技術動向調査委員会」報告書、光技術振興協会、p.155 (2005).
 5. 井上恭、「単一光子光源とその応用」、O Plus E、新技術コミュニケーションズ、27巻、6号、p.650 (2005).
 6. 井上恭、「光通信における量子暗号技術」、光学、日本光学会、34巻12号、p.654 (2005).
 7. 横尾 篤、「直接ナノプリント・ナノ電極リソグラフィ」（「ナノプリントの開発と応用」、第2章）、シーエムシー出版 (2005) .
 8. 横尾 篤、納富 雅也、「微細構造作製と機能性材料」、化学工業、第56巻、第9号、p49 (2005).
 9. 横尾 篤、「微細構造をつくる・つかう」、未来材料、第5巻、第11号、p13 (2005).
 10. 横尾 篤、「有機機能性光学材料とカタチの関係」、応用物理学会 有機分子・バイオエレクトロニクス分科会会誌、第16巻、第4号、p. 224 (2005).
 11. 納富雅也、「フォトニック結晶と負の屈折」、応用物理、第74巻、第2号、p. 173 (2005).
 12. 納富雅也、「フォトニック結晶の機能化について」（「フォトニック結晶技術の新展開」、第28章）、シーエムシー出版 (2005).
 13. 納富雅也、「共振器・導波路結合系によるプレーナ光回路と光論理処理」（「フォトニック結晶技術の新展開」、第29章）、シーエムシー出版 (2005).

編集 “NTT 物性科学基礎研究所の研究活動”編集委員会

尾身 博雄

佐藤 寿志

横尾 篤

古川 一暁

蟹澤 聖

田中 弘隆

発行 日本電信電話株式会社(NTT)

物性科学基礎研究所

企画担当

〒243-0198 神奈川県厚木市森の里若宮 3-1

電話: (046) 240-3312

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

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