

NTT 物性科学基礎研究所の研究活動

平成 15(2003)年度

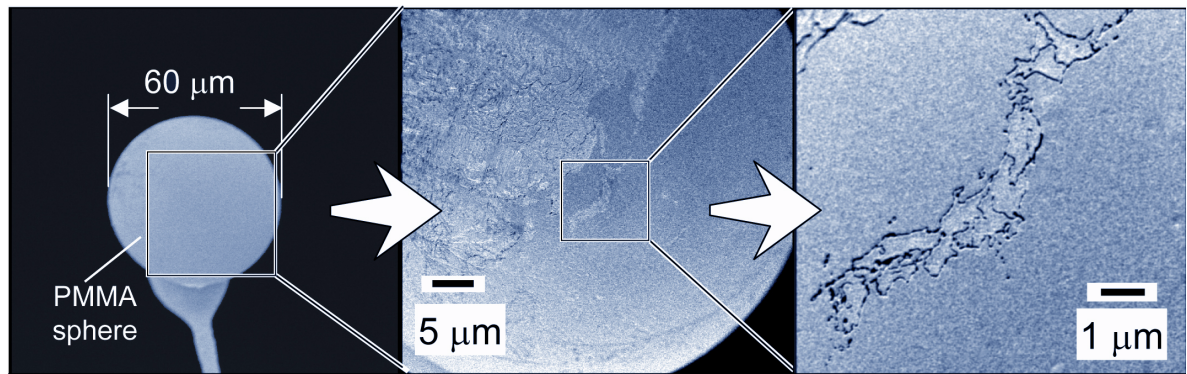
Volume 14

2004 年 6 月

日本電信電話株式会社
物性科学基礎研究所

NTT Basic Research Laboratories

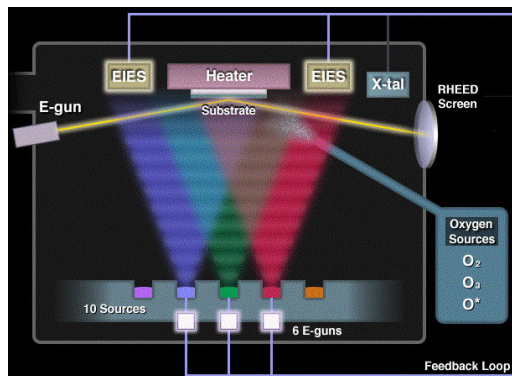
<http://www.brl.ntt.co.jp>



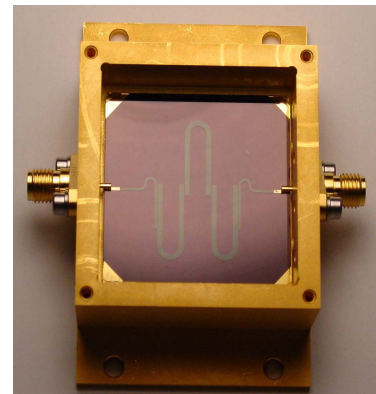
作製した地球儀の走査型電子顕微鏡写真

電子ビームを用いた世界最小の地球儀(ナノグローブ)の作製

電子ビームリソグラフィを用いた3次元ナノ加工技術を実現し、そのデモンストレーションとして世界最小の地球儀を作製しました。球状の試料を回転させ、電子ビームで地図のパターンを描きました。最小線幅は約10nmで、地球上の2kmに相当します。従来の、光やX線を用いた3次元加工法に比べ、一気に数十倍の解像度の向上ができました。(19 ページ)



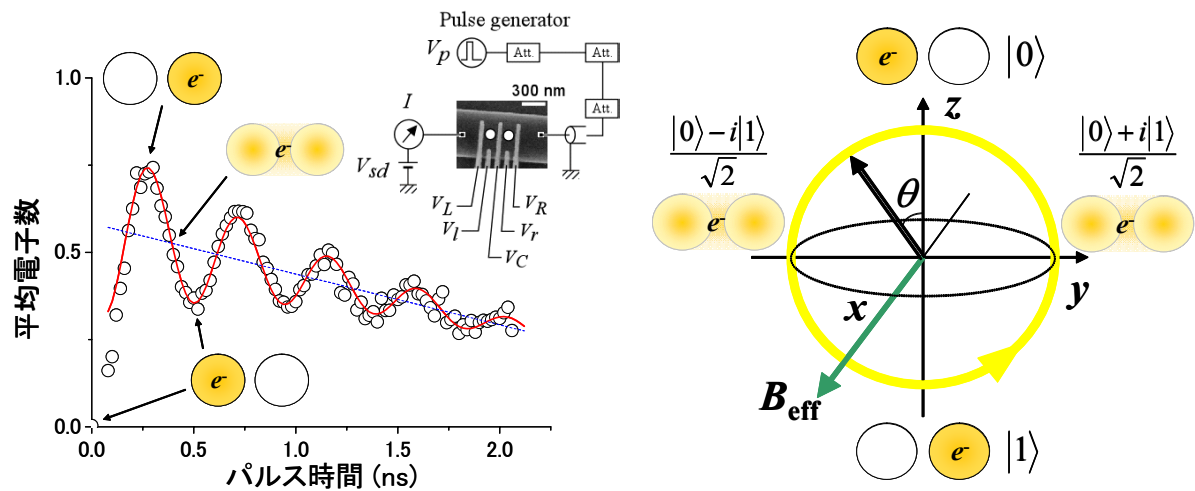
NTT 独自開発高温超伝導酸化物 MBE 装置



超伝導バンドパスフィルタ

無線通信用高温超伝導フィルタ

超伝導マイクロ波デバイスを用いることで、高い選択性を持つ高感度で低消費電力の将来の無線通信システムが実現できます。今回、広く用いられている超伝導体 $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$ に比べ、超伝導転移温度や表面抵抗などの様々な性質が優れた高温超伝導酸化物 $\text{NdBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$ について、世界で初めてマイクロ波バンドパスフィルタを作製しました。フィルタの作製には、NTT 独自の高温超伝導酸化物の分子線エピタキシ薄膜成長技術によって得られた高品質薄膜を用いています。この新しいフィルタの性能を向上することにより、超伝導フィルタの無線システム送信部への応用が実現して、システム的大幅な小型化と省電力化がもたらされると期待されます。

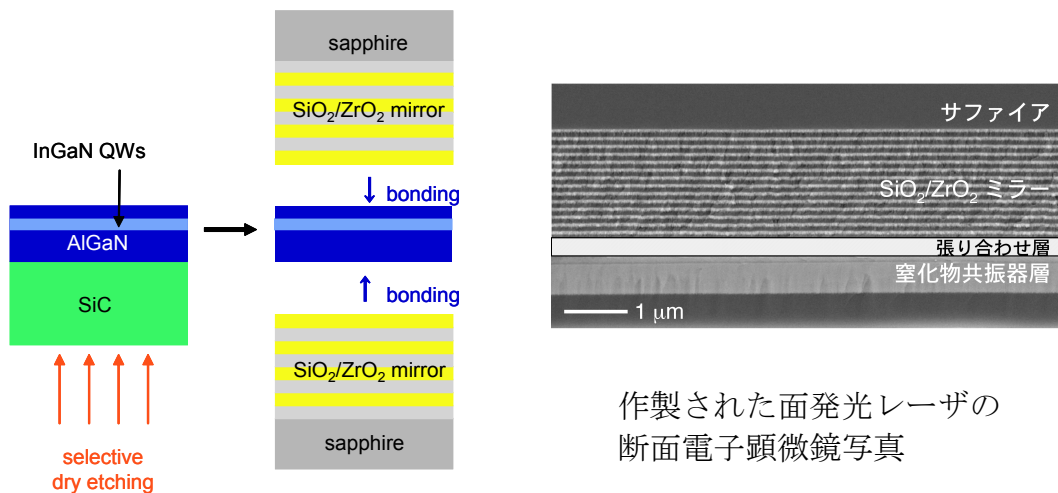


コヒーレント電荷振動（挿入図は回路の概念図）

ブロッホ球（回転ゲート操作）

半導体電荷量子ビット

半導体二重量子ドット中のコヒーレント電荷振動を電圧パルスによって励起し、電流測定によって観測することに成功した。これは電荷量子ビットに対する回転ゲート操作に対応する。ブロッホ球を用いた表現では擬スピンの有効磁場を中心に球上を回転していることになる。（28 ページ）



窒化物面発光レーザの作製手順

作製された面発光レーザの
断面電子顕微鏡写真

窒化物半導体面発光レーザ

これまでの窒化物半導体の面発光レーザ構造では、窒化物で構成されるミラー層の大きな格子不整合が共振器層の結晶品質を劣化させていました。窒化物共振器層と、それとは別に用意した酸化物ミラー層を張り合わせ、発光層の結晶品質の高い窒化物面発光レーザの作製及び室温発振に成功しました。（33 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。

1998 年に基礎研究所が物性科学基礎研究所とコミュニケーション科学基礎研究所に分かれて後、物性基礎研は、文字通りハード面での基礎研究を担ってきました。そのミッションは、(1)速度／容量／サイズなどネットワーク技術の壁を越える新原理・新コンセプトの創出と(2)5～20 年後を見据えた、将来のビジネスにつながる基礎技術の開拓です。その代表格が、量子情報処理とナノバイオです。

量子情報処理研究の中核を成すのは、量子コンピュータと量子暗号です。物性基礎研では、集積性の有利さから固体素子による量子ビット研究を遂行しており、世界の研究の一翼を担っ

た成果を挙げています。さらに、単一光子 を用いた量子暗号研究を強力に推進しています。一方ナノバイオ研究は、神経科学、バイオ分子科学そしてナノテクノロジーを融合した形で推進しています。例えば分子と蛋白とのハイブリッド構造は、新しいデバイスを予感させます。

このような強化項目を前面に押し立てる一方で、低次元電子系における量子相関、1 個 1 個のスピンを情報担体とするシステム、さらに量子ドットを building block とした物質設計、カーボンナノチューブにおける電気特性、超伝導と結びつけた MEMS など、探索的研究も展開しています。このような探索的研究を行うにあたっては、将来の新しい技術の核となるかどうかを判断する必要があり、研究担当者とマネージャーとの日常のコミュニケーションが重要な役割を果たします。

物性基礎研では、このような将来の芽を育てる探索的研究を遂行する一方で、革新的な技術の研究も平行して行っています。例えば我々は、高品質のダイヤモンド薄膜を成長する技術開発を通して、ダイヤモンドトランジスタを 80GHz で動作させることに成功しています。その他、超低消費電力デバイスである単電子トランジスタ、能動的な光回路としてのフォトニック結晶、ワイドギャップ半導体による光デバイスなどのコア技術を展開しており、これらはネットワークの壁を超える革新技術として位置づけています。

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

共同研究は物性基礎研からの情報発信という役目も果たしていますが、その他、物

性基礎研では、国際シンポジウム、サマースクール、そして International Advisory Board Meeting 等の開催を通して、広く世界に情報発信し、開かれた研究所としての使命を果たしています。

本冊子は、2003 年度の成果と研究活動についてご紹介しております。この小冊子をご覧ください、国内外の研究交流促進の一助となれば幸いです。

2004 年 6 月

高柳 英明

高柳 英明

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

目次

ページ

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

I. 研究紹介

◆ デバイス物理の研究概要	17
◆ 酸化膜中のシリコン拡散に与える界面の効果	
◆ 電子ビームを用いた世界最小の地球儀(ナノグローブ)の作製	
◆ ナノ四探針プローブシステム	
◆ 半導体ナノワイヤ結晶	
◆ 機能物質科学の研究概要	22
◆ 導電性高分子への電荷注入・輸送過程のナノ構造依存性	
◆ ランタン銅酸化物におけるホンドープ新超伝導体の発見	
◆ 超伝導磁束量子ビットにおける多光子吸収過程	
◆ 微小磁性体リングの磁化特性制御	
◆ 量子電子物性の研究概要	27
◆ 半導体電荷量子ビット	
◆ ダイヤモンドMESFETのマイクロ波動作	
◆ 窒化物半導体ヘテロ接合バイポーラトランジスタの高出力特性	
◆ 量子光学・光物性の研究概要	31
◆ 差動位相シフト量子鍵配送	
◆ 窒化物半導体面発光レーザ	
◆ ペンローズ格子フォトニック準結晶レーザ	

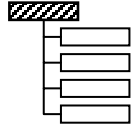
II. 資料

◆ 「メゾスコピック超伝導とスピントロニクス」国際シンポジウム ～ 量子コンピューテーションの実現を目指して ～	35
◆ 国際シンポジウム「機能性半導体ナノシステム」(FSNS2003)	36
◆ サイエンスプラザ 2003	37
◆ 表彰受賞者一覧	38
◆ 報道一覧	40
◆ 報道(抜粋)	44
◆ 来訪者による講演一覧	48
◆ 学術論文掲載数、国際会議発表件数および出願特許数	52
◆ 国際会議招待講演一覧	54

物性科学基礎研究所 所員一覧

2004 年 3 月 31 日現在
(*は年度途中までの在籍者)

物性科学基礎研究所

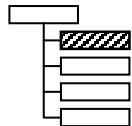


所長

高柳英明

石原 直(2003 年 6 月まで)

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

小林康之

研推担当主任研究員

原田裕一

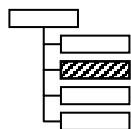
NTT R&D フェロー

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

NTTリサーチ・プロフェッサー

井元信之(総合研究大学院大学)
上田正仁(東京工業大学)
樽茶清悟(東京大学)
清水富士夫(電気通信大学)
山本喜久(スタンフォード大学、U.S.A)

先端デバイス研究部



部長 **高橋庸夫**

補佐 住友弘二

唐沢 毅

Siナノデバイス研究G

グループリーダー

高橋庸夫

猪川 洋
小野行徳
寺前裕之

堀口誠二*
藤原 聡
西口克彦

植松真司
影島博之
Clement, Nicolas

ナノ加工研究G

グループリーダー

生津英夫

永瀬雅夫
山口 徹

山崎謙治

林 順三

表面構造制御研究G

グループリーダー

本間芳和

小林慶裕
日比野浩樹

渡辺義夫
川村朋晃

Kuniyil, Prabhakaran

鈴木 哲

神崎賢一

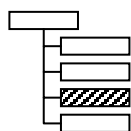
Bhunia, Satyaban*

前田文彦

尾身博雄

登倉明雄

機能物質科学研究部



部長 **森田雅夫**

補佐 井桁和浩

分子生体機能研究G

グループリーダー

鳥光慶一

江幡啓介

味戸克裕

檜村吉晃

Han, Chunxi

神保泰彦*

河西奈保子

中島 寛

Hu Wenping*

古川一暁

島田明佳

後藤東一郎

超伝導薄膜研究G

グループリーダー

森田雅夫

山本秀樹

狩元慎一

束田昭雄

内藤方夫*

柴田浩行

植田研二

佐藤寿志

Kurian, Jose

超伝導量子物理研究G

グループリーダー

仙場浩一

松田 梓

田村浩之

齊藤志郎

Eichler, Taro

赤崎達志

向井哲哉

Richter, Andreas*

Kasper, Alexander

中ノ勇人

田中弘隆

山口真澄

スピントロニクス研究G

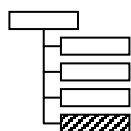
グループリーダー

新田淳作

関根佳明

Lin, Yiping

量子物性研究部



部長 **平山祥郎**

補佐 熊谷雅美

量子電子物性研究G

グループリーダー

平山祥郎

山口浩司
蟹沢 聖
鈴木恭一
遊佐 剛

藤澤利正
佐々木智
林 稔晶
Houlet, Lionel

村木康二
田口明仁
熊田倫雄
高品 圭

ワイドギャップ半導体研究G

グループリーダー

牧本俊樹

嘉数 誠
山内喜晴
谷保芳孝

松岡隆志
赤坂哲也
Wang, Chengxin*

西田敏夫*
熊倉一英

量子光制御研究G

グループリーダー

都倉康弘

井上 恭
武居弘樹
板倉 利文*
Jack, Michael Wong*

清水 薫
森越文明
Hong, Tao*

山下 眞
本庄利守
川口 晃

超高速光物理研究G

グループリーダー

中野秀俊

西川 正
石澤 淳

矢野隆治
尾崎恒之*

小栗克弥

光デバイス物理研究G

グループリーダー

フォトニックナノ構造研究G

グループリーダー

齊藤 正

寒川哲臣*

俵 毅彦

鎌田英彦

久津輪武史

後藤秀樹

Hughes, Stephen

平山祥郎

納富雅也

谷山秀昭

三木 聡

横尾 篤

舘野功太

Ryu, Han-Youl*

倉持栄一

新家昭彦

伊藤 哲

特別研究員



山口浩司

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



藤澤利正

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



納富雅也

昭和63年東京大学大学院工学系研究科物理工学専攻修士課程修了。同年日本電信電話(株)入社、NTT 光エレクトロニクス研究所光素子研究部勤務。平成7年から8年リンシェーピング大学(スウェーデン)客員研究員。平成11年より NTT 物性科学基礎研究所。現在同所量子物性研究部フォトニックナノ構造研究グループに所属。入社以来一貫して人工ナノ構造による物質の光学物性制御及びデバイス応用の研究を行う。半導体量子細線、半導体量子箱の研究を経て、現在フォトニック結晶の研究に従事。平成 14 年より東京工業大学連携客員講座助教授。工学博士(東京大学)。日本応用物理学会、米国物理学会会員。



牧本俊樹

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

アドバイザーボード（2003 年度）

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

招聘教授／客員研究員（2003 年度）

氏名	所属 期間
古賀 貴亮	科学技術振興機構(JST) さきがけ December 2001 – March 2004
Prof. Thierry Martin	Université de la Méditerranée, France April – May 2003
Dr. Michael Thorwart	Delft University of Technology, The Netherlands June – July 2003
Prof. Emilio Mendez	State University of New York at Stony Brook, U.S.A. June – August 2003
Dr. Vesselin Tonchev	Institute of Physical Chemistry, Bulgarian Academy of Sciences, Bulgaria July – September 2003
Prof. Rosario Fazio	Scuola Normale Superiore, Italy October – November 2003
矢口 宏	京都大学大学院 理学研究科 December 2003 – November 2004
Dr. Tobias Nyberg	東京大学 医科学研究所 January – December 2004
Dr. Jan Johansson	科学技術振興機構(JST) CREST February 2004 – January 2005
Prof. Wu Peiheng	南京大学, China February – March 2004
Prof. Tord Claeson	Chalmers University of Technology, Sweden February – April 2004
Dr. Giuseppe Falci	Università di Catania, Italy February – March 2004

Prof. David Haviland

KTH – The Royal Institute of Technology, Sweden
February – March 2004

Prof. Frank Hekking

Joseph Fourier University, France
February – March 2004

海外研修生 (2003 年度)

氏名	所属(期間)
Frank Deppe	Technische Universität München, Germany (May 2002 – May 2005)
Oliver Regenfelder	Technische Universität Graz, Austria (Sep. 2002 – Aug. 2003)
Yoshiharu Krockenberger	Technische Universität München, Germany (Nov. 2002 – Jun. 2003)
Marcus Steiner	Universität Hamburg, Germany (Jan. 2003 – Jun. 2003)
Sung Woo Jung	Pohang University of Science and Technology, Korea (Jan. 2003 – Jan. 2004)
Sandrine Buhours	INSA (Institut National des Sciences Appliquées), France (Feb. 2003 – Jun. 2003)
Antonio Ballestrazzi	Università degli Studi di Modena e Reggio Emilia, Italy (Mar. 2003 – May 2003)
Nicolas Gaillard	Ecole Nationale Supérieure de Physique de Grenoble, France (Mar. 2003 – Jul. 2003)
Sang-jin Kim	Chungbuk National University, Korea (Mar. 2003 – Mar. 2004)
Sreejeesh S.G.	L.B.S. College of Engineering, India (May 2003 – Oct. 2003)
Jennifer Chan	University of British Columbia, Canada (Jun. 2003 – Dec. 2003)

Jeff Liu	Simon Fraser University, Canada (Jun. 2003 – Apr. 2004)
Joyce Yat-Ling Wong	University of Toronto, Canada (Jul. 2003 – Jun. 2004)
Gael Robert	ESPCI (École Supérieure de Physique et de Chimie Industrielles), France (Jul. 2003 – Dec. 2003)
Elise Laffosse	INSA (Institut National des Sciences Appliquées), France (Jul. 2003 – Sep. 2003)
Niti Goel	University of Oklahoma, U.S.A. (Jul. 2003 – Aug. 2003)
Guk-Hyun Kim	KAIST (Korea Advanced Institute of Science and Technology), Korea (Aug. 2003 – May 2004)
Nicolas Thillozen	Aachen University of Technology (RWTH) / Research Center Jülich, Germany (Nov. 2003 – Apr. 2004)
Christopher Schierholz	Universität Hamburg, Germany (Jan. 2004 – Jul. 2004)
Julien Duvernay	INSA (Institut National des Sciences Appliquées), France (Feb. 2004 – Sep. 2004)

国内実習生（2003 年度）

氏名	所属(期間)
安積麻美	東海大学 (H15.6～H16.3)
天羽真一	東京大学大学院 (H15.4～H16.3)
雨宮智宏	東京大学 (H15.7～H15.8)
五十嵐悠一	東京大学大学院 (H15.4～H16.3)
石原大志	電気通信大学 (H15.4～H16.3)
岩井泰章	東京大学大学院 (H15.4～H16.3)
内山泰宏	明治大学 (H15.4～H16.3)
大下美雪	豊橋技術科学大学 (H16.1～H16.2)
大野圭司	東京大学 助手 (H15.4～H16.3)
岡野泰彬	東京工業大学大学院 (H16.2～H16.3)
岡本 創	早稲田大学 助手 (H15.4～H16.3)
柏 正博	湘南工科大学大学院 (H15.4～H16.3)
川口 晃	大阪大学大学院 研究生 (H15.4～H15.5)
川田善之	東京工業大学大学院 (H15.7～H15.8)
北川広野	東京理科大学 (H15.11～H16.3)
木戸崇敏	湘南工科大学大学院 (H15.4～H16.3)
吉良 剛	東京工業大学大学院 (H15.6～H16.3)
沓澤竜弥	東京理科大学 (H15.4～H16.3)
小寺哲夫	東京大学大学院 (H15.4～H16.3)
小林尚文	明治大学大学院 (H15.4～H16.3)
近藤真吾	東海大学 (H15.4～H16.3)
齋藤誠司	湘南工科大学 (H15.7～H16.3)

佐藤大輔	筑波大学大学院 (H15.4～H16.3)
清水督史	東京大学大学院 (H15.4～H16.3)
杉尾嘉宏	東京大学大学院 (H15.4～H16.3)
高木大輔	明治大学大学院 (H15.4～H16.3)
高橋明雄	東京大学大学院 (H15.4～H16.3)
高橋良幸	北海道大学大学院 (H15.7～H15.8)
武末出美	青山学院大学 助手 (H15.4～H15.12)
俵谷和典	北海道大学大学院 (H16.3)
西 義史	東京大学大学院 (H15.4～H16.3)
西永慈郎	早稲田大学大学院 (H15.4～H16.3)
沼田愛彦	東京大学大学院 (H15.4～H16.3)
野田真澄	東京理科大学大学院 (H15.11～H16.3)
深津茂人	慶應義塾大学大学院 (H15.4～H16.3)
福場伸哉	明治大学 (H15.4～H16.3)
藤川誠司	姫路工業大学大学院 (H15.7～H15.8)
船ヶ山直樹	豊橋技術科学大学 (H16.1～H16.2)
古川裕介	東京大学大学院 (H16.2～H16.3)
堀越宗一	電気通信大学大学院 (H15.6～H16.3)
本田元就	東京大学大学院 (H15.4～H16.3)
松本哲憲	東京理科大学 (H15.4～H16.3)
水林 潤	青山学院大学 (H15.9～H15.12)
宮臺信一郎	青山学院大学大学院 (H15.5～H15.12)
毛利拓也	東京理科大学大学院 (H15.4～H16.3)
森田隆介	電気通信大学 (H15.4～H16.3)
藪内 真	慶應義塾大学大学院 (H15.10～H16.3)
山口晋平	東京大学大学院 (H15.4～H16.3)

山 寄 明	明治大学 (H15.4～H16.3)
山本倫久	東京大学大学院 (H15.4～H16.3)
横山朝夫	横浜国立大学大学院 (H15.4～H16.3)
横山弘泰	東京大学大学院 (H15.4～H16.3)

I . 研究紹介

デバイス物理の研究概要

高橋庸夫

先端デバイス研究部

ナノテクノロジーが叫ばれ、情報通信は新たな展開を見せております。これまでの発展を支えてきたのは微細加工を基盤としたシリコン LSI 技術ですが、サイズはナノメートル台に入っており、高集積化による消費電力の増加が重要な問題となっています。パソコンや携帯電話の普及により、低電力化が重要になり、新たな原理に基づいたデバイスと作製手法の開拓が望まれています。先端デバイス研究部では、電子 1 個を操ることを可能とする究極の省電力デバイスである単電子デバイス、またこれを実現するためのナノメートルの精度を有する微細加工技術、表面の超構造を基に原子レベルで制御された構造を作り上げる技術や、新たなナノ構造体としてカーボンナノチューブなどの新たな材料の研究を進めました。

Si ナノデバイス研究グループでは、Si の単電子デバイスとその回路応用、さらにこれを実現するプロセスなどの研究を行っています。これまでの集積回路は、トランジスタを単純なスイッチとして用いてきましたが、単電子デバイスは、入力ゲートをたくさん取り付け可能な点や、電子の数を 1 個の単位で可変なことから多進数(多値)を用いることが可能なことなど、これまでのデバイスとは大きく異なった高い機能を持っています。これらの機能を活かした応用として、多値を用いた効率的な演算回路の提案と、単電子の問題とされてきた動作速度が遅い点を払拭する結果を示しました。また、電子 1 個を転送し、検出するデバイスを実現し、多値のメモリをも実証し、室温での単電子検出にも成功しました。また、作製プロセスとして重要な熱酸化や拡散現象などについて、原子レベルでの理論解析を行い、反応の機構解明を実験と理論の両面から進め、高い精度での予測を可能にしました。

ナノ加工研究グループでは、電子ビームリソグラフィをベースにナノレベルの加工技術と、ナノ構造評価技術の研究を展開しています。パターン揺らぎを最小に押さえるレジスト・プロセス技術や、超臨界乾燥等のナノレベルパターン形成技術とその構造評価技術を用いて、高温動作の単電子デバイスの作製と構造評価を実現してきました。これと並行して、さらなる高精度なナノパターン形成に向けて、レジストプロセスの原理に立ち戻っての検討や改良を重ね、ナノレベルのパターン形成の基礎検討を行った。さらに、このナノスケールの加工技術を3次元構造形成技術へと発展させ、3次元構造では最高の解像度を誇る世界最小の地球儀やナノプローブを実現するなど、ナノテクノロジーの新たな展開を示しました。

表面構造制御研究グループでは、いわゆる自己組織化を利用したナノ構造形成とその集積化を目指して、広範な研究を行っています。Si 表面の原子配列を基に、ナノ構造を実現する目的で、表面の原子ステップの制御機構の実験的、理論的研究や、そのリアルタイムでの観察を低速電子顕微鏡を用いて実現しました。また、カーボンナノチューブに関しては、その成長の低温化を目指して新たな成長法を開拓し、またナノチューブの直径を制御する手法の開発を行いました。また、ナノメートルサイズの細い単層ナノチューブの観察、評価手法として、電子線や光などを用いた手法を確立し、放射光を用いた評価法として、カーボンナノチューブばかりでなく、Ge ナノチューブなどの物性評価をも可能にしました。さらに、金を用いた、InP などの半導体ナノワイヤの形成などを実現し、その成長制御機構や結晶品質などを明確にしました。

本年度の先端デバイス研究部の代表的な成果の一部を、次の4ページに示します。

酸化膜中のシリコン拡散に与える界面の効果

植松真司 影島博之 高橋庸夫
先端デバイス研究部

デバイスのサイズがナノメートルのオーダーとなり、デバイス中の主要部分が他の材料との界面近くにくる場合が多くなっている。したがって、これまでは無視していた界面の影響をきちんと考慮しなければ、デバイス製作プロセスの設計、最適化ができなくなっている。特に、ナノサイズへの微細化が最も進んでいるシリコン(Si)デバイスにおいては、シリコン酸化膜(SiO_2)の膜厚が1ナノメートル(nm)と極薄となり、Si/ SiO_2 界面からの影響がますます重大となっている。今回我々は、Si 同位体を用いて、 SiO_2 中の物質移動において最も重要な Si 自己拡散に及ぼす Si/ SiO_2 界面の影響について調べた。

質量数 28Si(^{28}Si) 同位体の純度を 99.9%まで高めた Si 基板を熱酸化し、さまざまな膜厚をもつ 28 同位体 Si 酸化膜($^{28}\text{SiO}_2$)を用意した。この試料に ^{30}Si 原子をイオン注入した後、1150~1250°Cでアニールを行い、 ^{30}Si 原子をマーカーにして Si 自己拡散を調べた。図 1 に示すように、 SiO_2 膜厚が薄いほど、すなわち、Si/ SiO_2 界面からの距離が小さいほど、Si 自己拡散が大きいことを見出した[1]。この現象について、Si/ SiO_2 界面で $\text{Si} + \text{SiO}_2 \rightarrow 2\text{SiO}$ の反応によって生成した SiO 分子が、 SiO_2 中を拡散して ^{30}Si の存在する領域まで到達して ^{30}Si 原子拡散(Si 自己拡散)を促進するために、界面に近いほど Si 自己拡散が促進されると考えた(図2)。このモデルを格子位置(s)にいる ^{30}Si と格子間位置(i)を拡散してきた ^{28}SiO が置き換わる反応式: $^{30}\text{Si}(\text{s}) + ^{28}\text{SiO}(\text{i}) \rightleftharpoons ^{28}\text{Si}(\text{s}) + ^{30}\text{SiO}(\text{i})$ で表し、拡散方程式を数値的に解くことで ^{30}Si 原子の実験プロファイルを再現することができた(図1のシミュレーション)[2]。

さらには、このシミュレーションから、SiO 分子の拡散が遅いために界面からの SiO 濃度が時間とともにゆっくりと増加し、Si 自己拡散が時間とともに速くなると予測した。そして、実験によりこの時間依存性を確認することでモデルの正しさを実証した。この研究により、Si/ SiO_2 界面が熱プロセス中において活性であり、界面付近の現象に影響を及ぼすことを明らかにした。例えば、1100°C、10 秒のアニールでは、今回の結果から得られた SiO の拡散距離は 0.4nm であり、 SiO_2 膜厚が 1nm 以下では、界面の影響が無視できなくなると予測される。

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

[2] M. Uematsu et al., Appl. Phys. Lett. **84** (2004) 876.

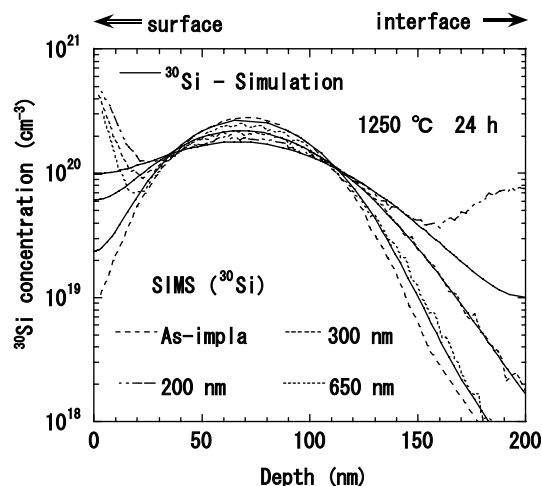


図 1 $^{28}\text{SiO}_2$ 中 ^{30}Si 拡散の $^{28}\text{SiO}_2$ 膜厚依存性

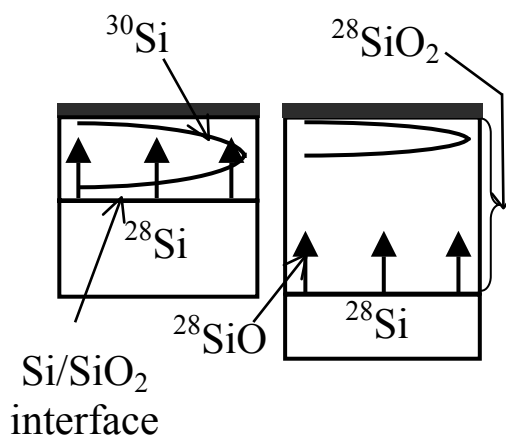


図 2 モデル

電子ビームを用いた世界最小の地球儀(ナノグローブ)の作製

山崎謙治 生津英夫
先端デバイス研究部

世界最小の10nmの解像度で試料を3次元加工できる電子ビーム(EB)リソグラフィシステムを開発した。これを用いた3次元のパターン形成・加工技術のデモンストレーションとして、球体試料にEBで世界地図を描画することにより世界最小の地球儀(ナノグローブ)を作製した。広範な産業の糧として期待されているナノテクノロジーの分野で、様々な応用へと展開できる基盤技術になりうる。

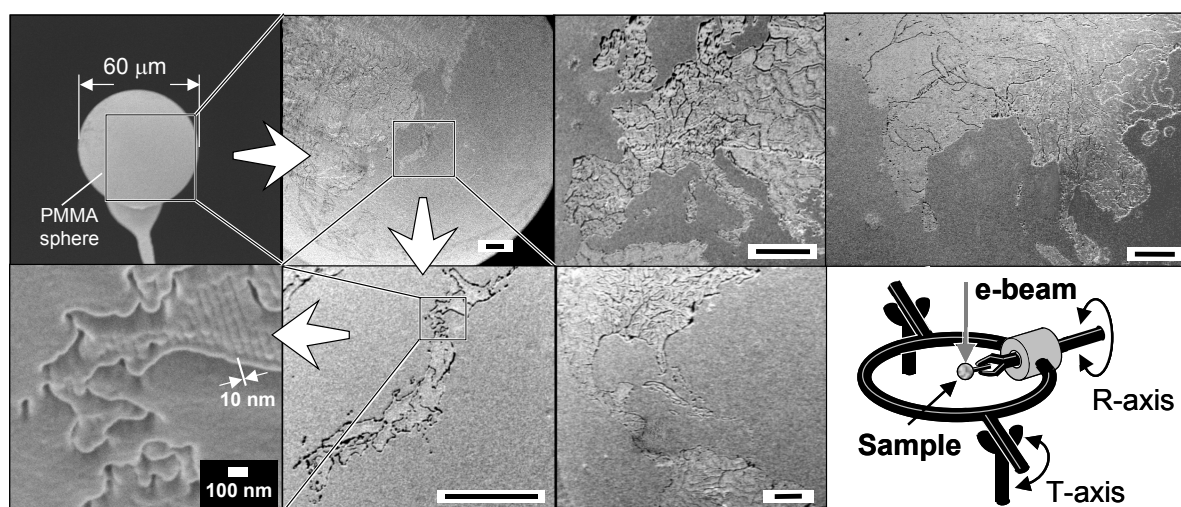
EBリソグラフィはこれまで、LSIなどを作製するための2次元パターン形成技術として研究・開発が進められてきた。一方、ナノテクノロジーへの応用が期待できる3次元構造物を加工するためには、従来の方法は解像度や加工速度が不十分だった。つまり、光やX線を用いた方法では、ミクロン級の解像度しか得られず、イオンビーム等を用いた材料堆積の方法では、加工速度が遅すぎた。

今回我々が新たに開発した3次元加工技術では、EBナノリソグラフィ装置に試料を2軸で回転駆動するシステムを組み込むことで、3次元試料の任意の表面にEBによる描画ができる[1]。EBは光等と比べ、解像度が高いだけでなく、焦点深度が深いという特徴があり、3次元的な描画を行う際に有用となる。更に、描画位置を3次元的に決定する技術を新たに開発することで、3次元ナノ加工・パターン形成が可能となった[2]。

本技術のデモンストレーションとして、ポリメチルメタクリレート(PMMA)レジスト製の球を用いて、ナノグローブを作製した。最小パターン寸法は10nmであり、光等を用いる方法と比べ桁違いに解像度が向上できている。全世界地図の描画時間は約2分であり、複雑な構造が高速に形成できる手法であることを実証している。新規のナノ電子デバイス・光デバイスだけでなく、ナノテクノロジーの広範な分野への応用が期待できる。

[1] K. Yamazaki and H. Namatsu, Microelectron. Eng., *in printing*.

[2] K. Yamazaki and H. Namatsu, Proc. IEEE MEMS 2004, 609.



地球儀の走査型電子顕微鏡写真(スケールバーは3μm)

試料回転駆動の模式図

ナノ四探針プローブシステム

永瀬雅夫
先端デバイス研究部

ナノ領域の各種の物性計測用のツールとして、ナノ加工技術を応用した走査プローブ顕微鏡(SPM)用のナノ機能プローブの開発を行っている。これまでの SPM プローブは1つのカンチレバー上に1つの先端がある単純な構造がほとんどであった。先端部に機能デバイスが搭載されていればナノツールとして有用であると考えられるが、従来のプローブ作製技術では、複合化が困難であった。我々は、集束イオンビーム(FIB)技術等の微細加工技術を駆使して、プローブ上への機能デバイスの各種の集積化法を検討している。本稿では2種類のナノプローブシステムを紹介する。

ナノデバイス用薄膜や CNT 等の導電性材料のナノ領域での電気特性を計測するにはナノオーダの電極間隔を有する四探針プローブが必要であるが、これまでミクロンオーダ以下の微細化は成されていない。我々はまず、FIB による直接加工法によりナノオーダの電極間隔を得ることを試みた。幅 $40\mu\text{m}$ の Si カンチレバー先端に白金電極を形成し、さらに 4本の Al 配線を接続した SPM プローブを Si プロセス技術で作製した。先端の白金電極を FIB で直接加工して4つの部分に分割することにより、図1に示すようなピッチ 500nm、電極間隔 300nm の四探針プローブを得ることができた[1]。さらに電極間隔を微細化することを目的に、電子線露光技術を用いて Silicon-on-insulator 基板上にピッチ 60nm、電極間隔 40nm の Si 電極を作製した(図2(a))。このナノ四探針デバイスを FIB で切り出し、4本の Al 配線をあらかじめ形成してある Si カンチレバー上に移送した。その後、FIB による直接 W 堆積により電極を形成し、カンチレバー上の Al 電極と Si 電極を電氣的に接続した。その結果、図2(b)に示すような、ナノプローブシステムの構築に成功した[2]。これらの微細加工技術はマイクロデバイス上へのナノデバイスの集積化に有効であり、ナノの世界とマクロな世界の架け橋となることを示せた。

今後、プローブ間隔をより微細化することによりナノデバイス開発や1分子計測といった分野で有用な計測技術を確立することを目指す。

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

[2] M. Nagase and H. Namatsu, Jpn. J. Appl. Phys. **43** (2004), to be published.

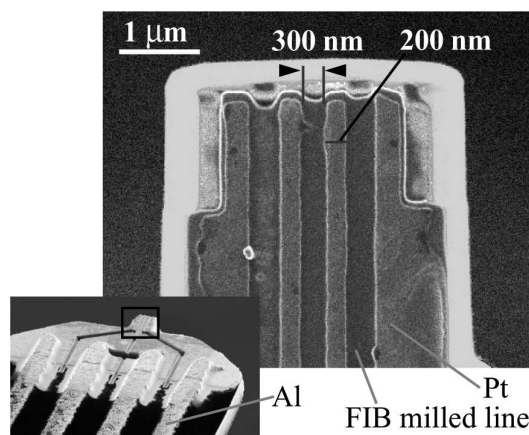


図1 FIB 直接加工ナノ四探針プローブ

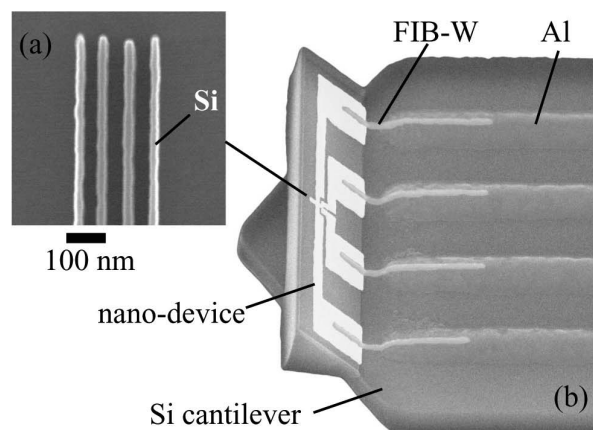


図2 FIB アセンブリナノ四探針プローブ

半導体ナノワイヤ結晶

渡辺義夫 Satyaban Bhunia 川村朋晃
先端デバイス研究部

次世代のナノデバイスの開発に向けて、国内外を問わず研究開発が活発に行われている。ナノデバイス作製には、半導体材料を微細化する所謂トップダウン技術と原子や分子から組み上げていくボトムアップ技術に大別され、これまで量子井戸構造、量子ワイヤ構造、量子ドット構造が両技術を上手に使い分けることで作製されている。このうち量子ワイヤ構造については一次元的な形状であることからワイヤ軸が基板に垂直な構造と基板に平行な構造があり、ワイヤ軸が基板に垂直な構造の作製には微細加工技術であるエッチングでワイヤが作製されていた。そのため微細加工技術の性能で決まる加工寸法がワイヤ径のサイズを決めていた。今回我々は、金の超微粒子から成るナノ触媒を用いることで有機金属気相成長法により、基板表面に対して正確に垂直配向した InP ナノワイヤ結晶を高密度に成長させることに成功した。ワイヤ径の寸法バラツキは極めて少なく、その平均直径は約 20 nm であり、また、ワイヤ軸の方向に対して直径の変化はほとんどなく、均一な径をもつナノワイヤ結晶が再現性よく形成される(図1)。ナノワイヤ結晶の光学特性も良好で室温での発光特性がバルク結晶の発光波長に比べて短波長化しており、ワイヤ径の方向にキャリアが束縛される量子閉じ込め効果の計算結果とよく一致することから、一次元性のワイヤ結晶であることを実証している[1]。また、ナノ触媒のサイズに対応して制御性よくナノワイヤ結晶の径が決まることから、所望のワイヤ径をもつ結晶を容易に作製することができる。既に異なる基板材料の表面に対してもナノワイヤ結晶が正確に垂直に配向して成長すること(図2)、ナノ触媒の配列制御により位置制御されたナノワイヤ結晶が成長することを確認している[2, 3]。

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

[2] Y. Watanabe, et al., Proceedings of the Twelfth International Workshop on the Physics of Semiconductor Devices (IWPSD-2003), Chennai India, December 2003.

[3] Y. Watanabe, et al., Proceedings of Fifth International Workshop on Epitaxial Semiconductors on Patterned Substrates and Novel Index Surfaces (ESPS-NIS), Stuttgart Germany, October 2003.

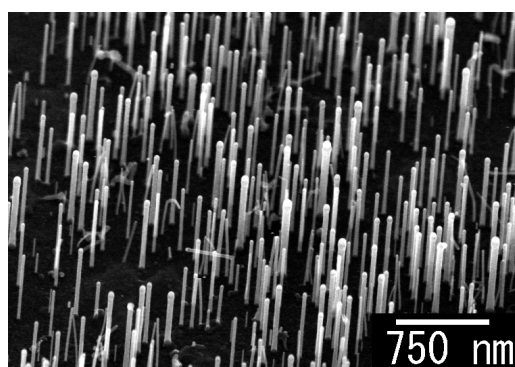


図1 InP 基板上に成長した InP ナノワイヤ結晶の電子顕微鏡像

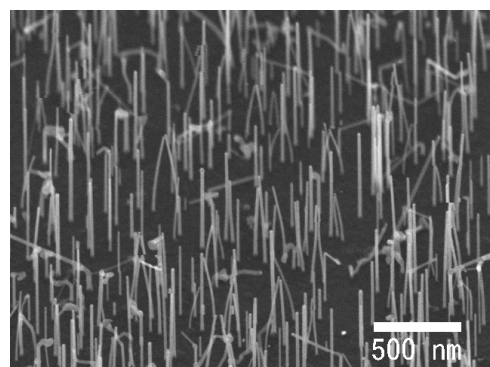


図2 GaP 基板上に成長した InP ナノワイヤ結晶の電子顕微鏡像

機能物質科学の研究概要

森田雅夫

機能物質科学研究部

我々は、原子や分子の配列や結合を高度に制御することにより、これまでにない新物質を創り出し、その物質の量子現象など新しい物性を利用した新機能の発現を目指しています。この目的のため、4つの研究グループが、半導体などの無機物質から神経伝達物質などの有機物質にいたるまで、それぞれ異なった観点から研究を進めています。各グループは、独自の微細加工技術や精密測定技術を通じて互いに有機的に連携されています。これによって、互いの研究領域や手段が融合し、情報流通社会における技術革新をもたらす機能物質の研究が可能となります。

分子生体機能研究グループ

ナノバイオをキーワードに、単分子レベルの操作技術を利用した今までにない有機・生体分子デバイスの創出を進め、神経機能を土台とした新しい情報処理機構を開拓しています。

超伝導体薄膜研究グループ

分子線エピタキシ(MBE)成長技術を用いて、最高品質の高温超伝導材料を合成し超伝導の発現機構の解明を目指しています。また、超伝導体薄膜を利用した携帯電話の基地局用フィルタの研究も進めています。

超伝導量子物理研究グループ

集積化と長いコヒーレント時間が両立できる超伝導磁束量子ビットによる量子計算機の研究を行っています。量子ビットの実験的検証とともに、量子ドット構造により新機能が設計できる事を提案しています。

スピントロニクス研究グループ

電子は、電荷とスピンという2つの異なる性質を持っていますが、これまでのデバイスでは、電荷しか使われていませんでした。そこで、電子スピンによる情報処理という新しい分野を開拓するために、スピンを電氣的に制御する方法を確立し、これを用いた機能デバイスの実現を目指しています。

今年度の代表的な成果を、次ページ以降に4つ掲載します。最初のトピックは、有機ポリマへの電荷注入と電荷輸送特性に関して、電極との結合状態で注入機構が異なることを明らかにしました。

超伝導薄膜の研究では、これまで絶縁体と考えられていたノンドープのランタン銅酸化物が超伝導体であることを発見しました。

3番目のトピックは超伝導磁束量子ビットにおいて、外部磁場の増加に伴い量子ビットの状態が $|0\rangle$ から $|1\rangle$ へ変化する際に、多光子吸収を示す共鳴ピークとディップが観測されました。この結果から、コヒーレンス時間が 5ns であることがわかりました。

最後はスピントロニクスに関連して磁性の話です。微小磁性体リングでは、磁束の閉ループ状態を形成し、漏れ磁場のない状態が安定となることが予測されています。局所ホール素子により高感度で磁化過程を観測することによって、これを確認することができました。

導電性高分子への電荷注入・輸送過程のナノ構造依存性

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

有機分子は、近年、電子材料として注目され、フレキシブルディスプレイや薄膜トランジスタ応用をめざした研究開発が盛んである。一方、単一分子あるいは少数分子で構成される分子スケールデバイスは、集積化の面で有利であるだけでなく、その電荷輸送特性に分子の個性が発揮された新奇な現象の発現が期待できる。本研究では、金電極から導電性高分子への電荷注入・輸送過程を、スケールの異なるデバイスを用いて観測した。有機分子のナノ構造変化が、電荷注入・輸送過程に与える影響について報告する[1]。

図1にデバイス構造を示す。100 nm の間隙を有するナノギャップ電極および、比較のために従来型の薄膜デバイスであるサンドイッチ電極(膜厚 100 nm、電極面積 4 mm²)を採用した。有機分子には剛直な π 共役系高分子として知られるポリパラフェニレンエチニレンの誘導体(TA-PPE、図1)を用いた[2]。

両デバイスにおいては、電圧—電流特性の温度依存性に顕著な相違が見られた。サンドイッチデバイスではよく知られたアレニウス型の温度依存性が確認された一方で、ナノギャップデバイスでは温度依存性はわずかに認められる程度であった。さらにこのナノギャップデバイスを TA-PPE の良溶媒であるテトラヒドロフランの蒸気中に長時間暴露した後は、電圧—電流特性の温度依存性はほぼ消滅した(図2)。これは、良溶媒雰囲気下ではナノギャップ内の TA-PPE が流動性をもち、そのナノ構造が変化を生じたことで説明できる。とくに、TA-PPE 末端と金電極との結合の増加は、Au-S 結合を介した PPE へのトンネル機構による電荷注入を優位にさせた。

本研究の結果から、分子スケールデバイスにおいては、用いた分子の構造だけでなくその形態がデバイス動作に影響することが示された。今後、分子の形態制御を含めたデバイス作製技術を検討していく。

[1] W. P. Hu, et al., *Phy. Rev. B* (accepted).

[2] H. Nakashima, et al., *Polym. Prepr.* **44**(1) (2003) 482.

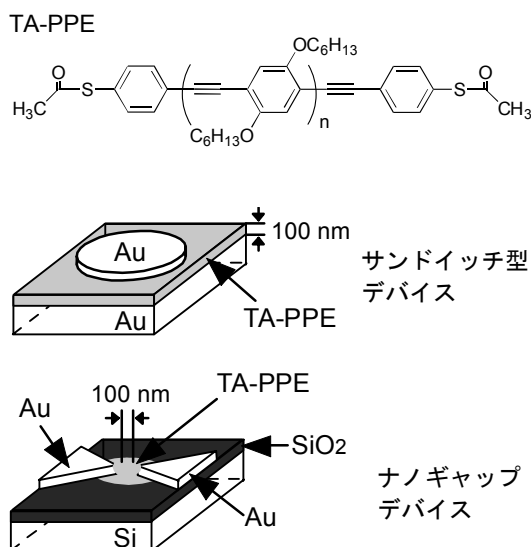


図1 TA-PPE の分子構造とデバイス構造

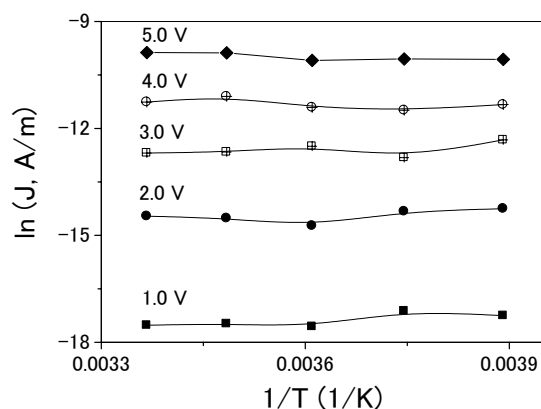


図2 ナノギャップデバイスの電圧—電流特性の温度依存性

ランタン銅酸化物におけるノンドープ新超伝導体の発見

東田昭雄 山本秀樹 内藤方夫*

機能物質科学研究部

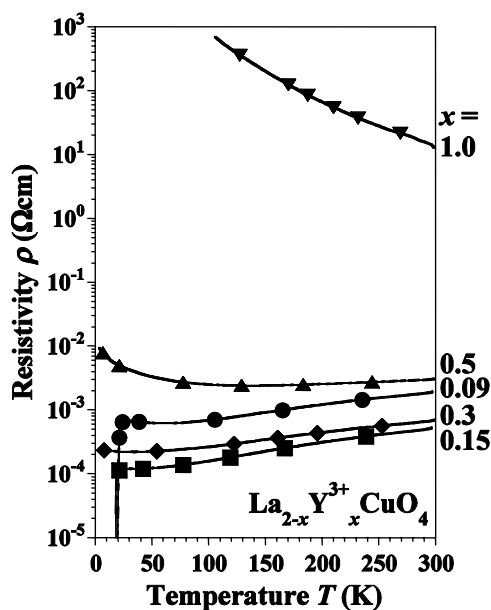
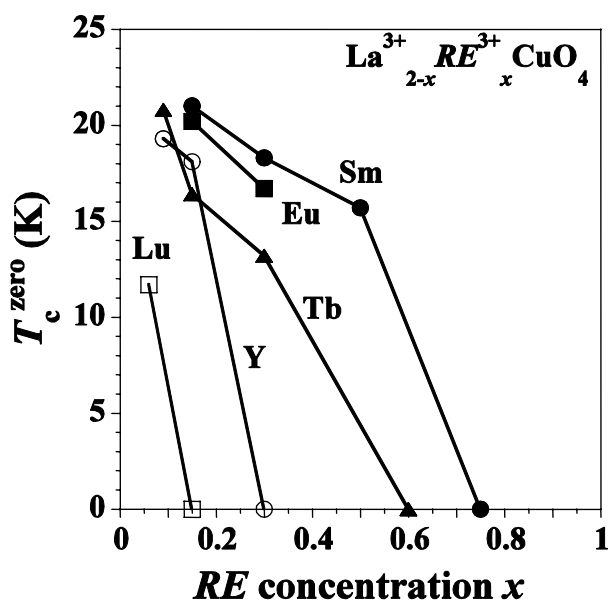
*現在 東京農工大学工学部

銅酸化物高温超伝導は、モットーハバード絶縁体である Cu^{2+} の母物質に正孔または電子をドーピングすることで発現すると考えられている。 La_2CuO_4 は、ベドノルツ・ミュラーが最初に発見した高温超伝導体 $(\text{La}, \text{Ba})_2\text{CuO}_4$ で知られるように、バルク合成では $\text{Cu}-\text{O}$ が八面体6配位した K_2NiF_4 構造(略称 T 構造)をとるが、薄膜低温合成では $\text{Cu}-\text{O}$ が平面4配位した Nd_2CuO_4 構造(略称 T' 構造)も安定化することができる[1]。T' 構造を持つ 214 型電子ドーピング系超伝導体の母物質 T'- La_2CuO_4 は、3価の La の一部を 4 価の Ce で置換することで電子キャリアを注入し、超伝導が発現することが知られている。

これに対し我々は、薄膜試料の T'- La_2CuO_4 で、3価の La の一部をイオン半径の小さな 3 価の希土類元素 (RE) で置換することで、超伝導が発現することを発見した[2]。T'- $\text{La}_{2-x}\text{RE}_x\text{CuO}_4$ ($\text{RE}^{3+} = \text{Sm}^{3+}, \text{Eu}^{3+}, \text{Gd}^{3+}, \text{Tb}^{3+}, \text{Lu}^{3+}, \text{Y}^{3+}$) と表記される新超伝導体は、La 及び RE が共に3価であるため、元素置換によるドーピングはないにもかかわらず、 $T_c \sim 21$ K を有する。図1に $\text{La}_{2-x}\text{Y}_x\text{CuO}_4$ の抵抗率の温度依存性を示す。Y 組成の少ない試料($x \sim 0.09, 0.15$)で約 20 K の超伝導転移を示している。図2は T_c の RE 置換量(x)依存性であり、Y 以外にも多くの希土類元素で超伝導が発現することを確認した。超伝導キャリアの起源については、二つのシナリオが考えられる。(1)酸素欠損による電子キャリアドーピング、(2)T' 型の超伝導母物質はモット絶縁体ではなく本質的にキャリアを持つバンド金属。現在、キャリアの起源については調査中である。もし(2)が正しいとすれば、これまでの高温超伝導機構を理解するための出発点とされてきた「ドーピングされたモット絶縁体」という描像に重大な疑問を呈することになる。

[1] A. Tsukada, et al., Phys. Rev. B **66** (2002) 184545.

[2] A. Tsukada, et al., Physica C, in press.

図1 $\text{La}_{2-x}\text{Y}_x\text{CuO}_4$ の抵抗率図2 T_c の RE 組成依存性

超伝導磁束量子ビットにおける多光子吸収過程

齊藤志郎 M. Thorwart¹ 田中弘隆 中ノ勇人 仙場浩一 上田正仁² 高柳英明
 機能物質科学研究部 デュッセルドルフ大学¹
 NTTリサーチプロフェッサー・東京工業大学大学院理工学研究科²

現在実現されているいくつかの固体量子ビットの中で、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。この量子ビットは、3つのジョセフソン接合を含む超伝導ループから構成され(図1)、ループを流れる右回り $|0\rangle$ と左回り $|1\rangle$ の超伝導電流が、量子ビットの2状態に対応する。超伝導電流にはマクロな数のクーパ対のコヒーレントな運動が関与しており、この系は巨視的重ね合わせ状態を実現できる系としても注目されている。本研究では、巨視的重ね合わせ状態間の多光子吸収過程を初めて観測し、その定量的な解析から量子ビットのコヒーレンス時間を見積もることに成功した[1]。

図2(a)に、量子ビットのエネルギー準位の磁場依存性を示す。ここで、 Φ_{qubit} は量子ビットのループを貫く磁束、 $\Phi_0 (= h/2e)$ は磁束量子である。図中の矢印の長さは、光子(量子ビットに印加するマイクロ波)のエネルギー(9.1GHz)に対応しており、特定の磁場で起こる共鳴励起を模式的に表している。また、 $\Phi_{\text{qubit}}/\Phi_0 = 1.5$ に見られる0.56GHzのエネルギーギャップは、この系が $|0\rangle$ と $|1\rangle$ という巨視的量子状態の重ね合わせ状態にあることを示している。

量子ビットの読み出しには、超伝導量子干渉計(dc-SQUID)を用いる(図1)。量子ビットの超伝導電流が作り出す磁束の向きに応じて、dc-SQUIDのスイッチング電流がわずかに変化する。この変化 dI_{sw} を磁場に対してプロットしたものが、図2(b)である。磁場の増加とともに、量子ビットの状態が $|0\rangle$ から $|1\rangle$ へと変化していく様子が分かる。さらに、図2(a)から予想される磁場の位置に、多光子吸収を示す共鳴ピークとディップが見られる。このディップの半値半幅のマイクロ波強度依存性は、ブロッホ方程式と dressed atom 描像から導かれる理論式で定量的に説明でき(図3)、その結果5nsという量子ビットのコヒーレンス時間を得た。この値は、マイクロ波パルスを用いた別の実験から得られたコヒーレンス時間とも整合する。

[1] S. Saito, et al., cond-mat/0403425.

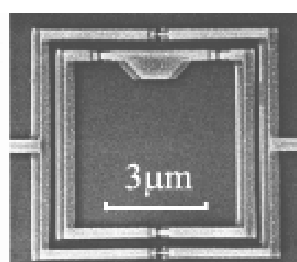


図1 超伝導磁束量子ビット(内側のループ)と読み出し用の dc-SQUID(外側のループ)

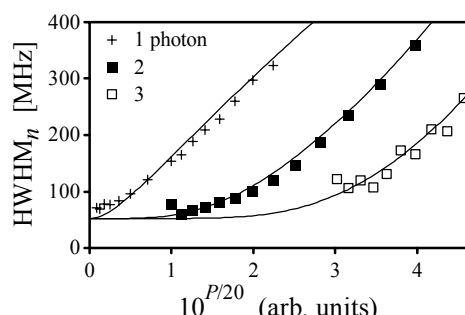


図3 共鳴ディップの半値半幅(HWHM)のマイクロ波強度(P)依存性。実線は理論

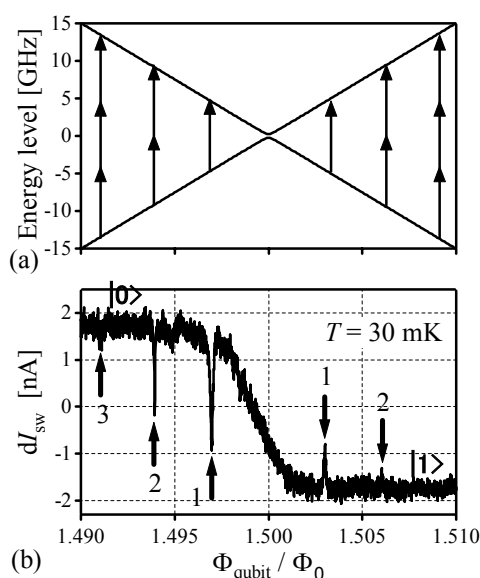


図2 (a) 量子ビットのエネルギー準位
 (b) 量子ビット読み出しの磁場依存性

微小磁性体リングの磁化特性制御

マルカス スタイナー 新田淳作
機能物質科学研究部

磁性体がミクロンサイズになると、高感度な磁化測定装置をもちいても1個の磁性体の磁化過程を測定するのが困難であることから、これまで数千個の微小磁性体列を作製し、平均的な磁化特性が測定されてきた。我々は、磁性体からの漏れ磁場を半導体のホール抵抗によって検出する局所ホール素子により、微小磁性体の磁化過程を感度良く測定できることを確認した[1]。磁性体微小リング構造では、磁束の閉ループ(ボルテックス)状態を形成し、漏れ磁場のない状態が安定となることが予測されており、超高密度不揮発性磁気メモリ(MRAM)に適した構造として注目されている。そこで、局所ホール素子を用いて、単一磁性体微小リングの磁化過程を調べた結果、磁化過程がリングの内径に強く依存することを見出した。

図1挿入図は、局所ホール素子の電子顕微鏡写真を示す。写真の十字の部分に二次元電子ガス(2DEG)半導体ホール素子に対応し、磁性体リングは NiFe を用いて作製した。また、漏れ磁場を感度よく検出するため、リングをホール素子の十字部分近傍に配置した。磁場は 2DEG に平行に印加し、外部磁場によるホール抵抗の変化は無視できる状態で、磁性体からの漏れ磁場によって生じるホール抵抗を測定した。図1は、ホール抵抗測定の結果を示す。磁性体リングの直径は $2.0\ \mu\text{m}$ に固定し、リング内径を大きくにつれ、ブロードなヒステリシスから急峻な飛びを有する二段の磁化ヒステリシス特性へと系統的に変化する様子が観測された[2]。図2は、内径 $0.4\ \mu\text{m}$ のリングで測定した局所ホール抵抗と数値解析の結果を比較したものである。磁性体リング構造の磁化過程を数値解析した結果と測定したホール抵抗ヒステリシスは、良い一致を示し、ホール抵抗の形状は磁化過程を再現しているものと考えられる。また、数値解析との比較により磁性体リングでは、低磁場でホール抵抗が磁場依存性を示さないプラトー領域で磁束の閉ループ状態が安定に形成されていることが確認された。これらの実験結果は、ボルテックス状態へと転移する磁場をリングの内径により制御できることを示している。

[1] J. Nitta, et al. Jpn. J. Appl. Phys. **41** (2002) 2497.

[2] M. Steiner and J. Nitta, Appl. Phys. Lett. **84** (2004) 939.

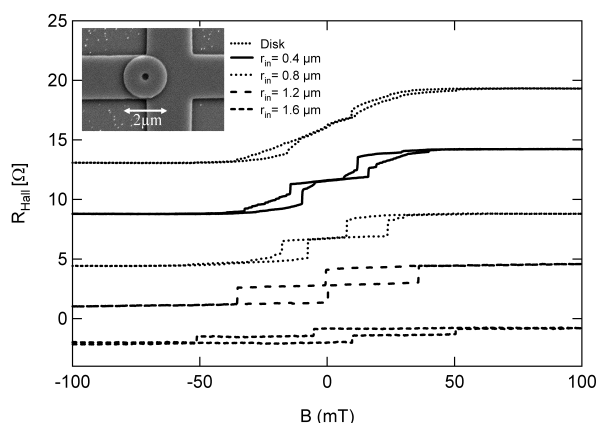


図1 ホール抵抗のリング内径依存性

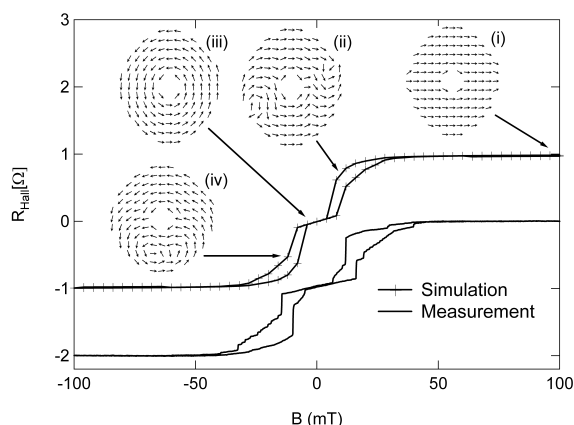


図2 ホール抵抗と数値解析との比較

量子電子物性の研究概要

平山祥郎
量子物性研究部

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

量子電子物性研究グループ

- (1) 半導体ヘテロ構造中のキャリア相関の研究(高移動度半導体二層二次元系のキャリア相関、伝導電子と核スピンの相関)
- (2) 量子ドット半導体構造における量子電子状態制御の研究(スピン/電子状態制御、キャリアダイナミクス、固体量子計算機に向けた基本特性の解明)
- (3) 半導体ナノメカニクスの研究(構造作製と物性評価)
- (4) 低温 STM による電子状態のナノスケール直接観測

ワイドギャップ半導体研究グループ

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

本研究分野の本年度の代表的な研究成果を次ページ以降に掲載しています。

量子ドット系に関しては電気的なポンプ・プローブ法を結合ドットにおける単一電子のコヒーレント操作に応用し、半導体電荷量子ビットの1量子ビット動作(ブロッホ球上での任意の制御)に成功しました。これは全電気型半導体量子コンピュータの実現に向けた第一歩です。

強磁場中では二次元電子系は分数量子ホール効果状態を示します。この状態では特定の条件で異なる電子スピン状態がエネルギー的に縮退します。このような条件で、電子スピン・核スピンの相関が生じ、この相関が電子スピン状態に極めて敏感であることを見出しました。また、メゾスコピックスケールでの核スピン偏極の制御も実現しました。

高品質ダイヤモンド薄膜を用いて、ダイヤモンド電界効果トランジスタ(FET) をウルム大学と共同で作製しました。ダイヤモンドFETの中では世界最高の遮断周波数を得ることに成功するとともに、ミリ波帯域(30~300 GHz)でも電力増幅が可能であることを世界で初めて実証しました。

ベース再成長技術を駆使して、電流利得が高く、良好な特性を示す窒化物半導体ヘテロ接合バイポーラトランジスタ(HBT)の作製にも成功しました。直流で 230,000 W/cm² という高出力特性を示し、窒化物半導体 HBT の高出力動作を実証しました。

半導体電荷量子ビット

林 稔晶 藤澤利正
量子物性研究部

超高速量子並列計算が期待されている量子コンピュータの実現には、固体素子による量子情報素子の開発が重要である。近年の微細加工技術により、固体素子中に人工的に制御可能な量子二準位系(量子コンピュータの基本素子である量子ビット)を作成することが可能になってきた。我々は、全電氣的な制御が可能な半導体量子ドットにおける電荷および電子スピンを用いた量子ビットにより、量子コンピュータの実現を目指している。

ここで述べる半導体電荷量子ビットは、2個の量子ドット(二重量子ドット)で構成され、電子1個がいずれか一方の量子ドットを占有する2つの状態を量子二準位系とするもので、外部電圧により量子ゲート操作に必要な全てのパラメータを制御できる特徴がある。我々は、GaAs/AlGaAs ヘテロ構造から作製した横型二重量子ドット(図 1)を用い、コヒーレント電荷振動の観測に成功した[1]。高速電圧パルスを送電極に印加し、二重量子ドットのポテンシャルを急激に変化することにより、「量子ビットの初期化」、「コヒーレント制御」、「読み出し」の一連の動作を行うことができる。図 2 は、20 mK の極低温において、右側量子ドットに電子が存在する確率にほぼ対応する平均電子数を電流測定から調べたもので、印加した矩形パルスの時間に対して振動する様子が観測される。これは、量子ビットの回転ゲートの動作を示しており、たとえば半周期に対応する矩形パルスは反転(NOT)ゲートとして機能する。また、ゲート電圧により量子ドット間の結合を変化することにより、振動の周期を制御することも可能である。さらに、電荷量子ビットの位相シフトゲート操作の実現にも成功しており、これらの組み合わせによって、1量子ビットの状態を任意に制御できることを示している[2]。本結果は半導体量子ドットを用いた量子コンピュータ実現に向けての第一歩であり、今後は二量子ビットの動作を目標に研究を進める。

[1] T. Hayashi et al., Phys. Rev. Lett. **91** (2003) 226804.

[2] T. Fujisawa et al., Physica E, in press.

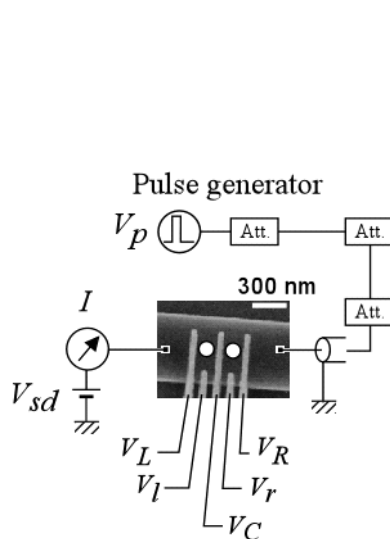


図 1 試料の SEM 写真と回路の概念図

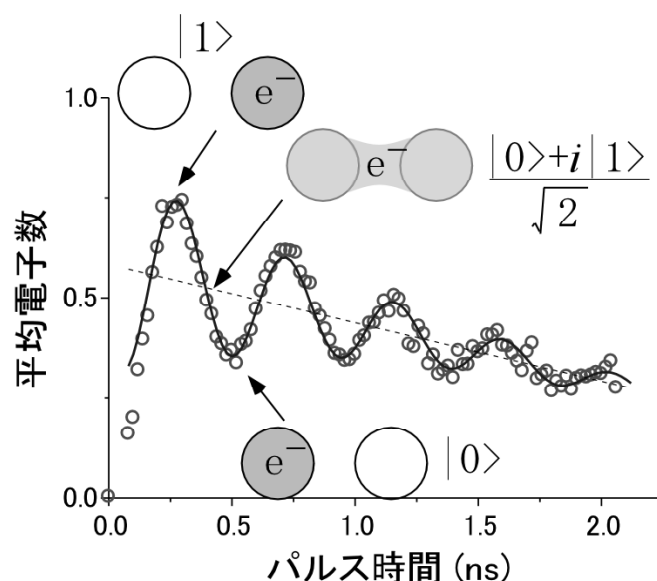


図 2 平均電子数のパルス時間依存性

ダイヤモンドMESFETのマイクロ波動作

嘉数 誠

量子物性研究部

通信情報量が急速に大容量化する現在、より高周波で動作可能な高出力の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を有し、大電力動作時の放熱性に最も優れている。またダイヤモンドは破壊電界強度が高いため、高電圧動作が可能である。これらの性質は、高出力デバイスとして重要である。それに加えて、移動度やドリフト速度が高いので、高周波、高速動作が可能である。実際、物理定数から計算される、高周波・高出力デバイスとしての性能指数では、ダイヤモンドに及ぶ半導体は存在しないため、「究極の半導体」と呼んでも過言ではない。にもかかわらず、これまで高品質のダイヤモンド薄膜を得ることは非常に困難であった。それは、結晶成長中に、結晶欠陥が容易に形成し、高濃度の不純物が取り込まれるためである。

我々は、結晶欠陥や不純物を低減させて、高品質ダイヤモンド薄膜結晶を成長する技術を開発した[1]。次に、それによって結晶成長した薄膜を用いて、ドイツ・ウルム大学と共同で、図1のような、ダイヤモンド電界効果トランジスタ(FET)を作製した[2]。FETでは、水素終端によって表面近傍に擬二次元正孔チャンネルが形成されている。また電子ビーム露光とセルフ・アライン技術によって0.2ミクロン長の短ゲート電極を形成した。 $|h_{21}|^2$ 、最大有能電力利得(MAG)、最大単方向電力利得(U)の周波数特性(図2)から得られた遷移周波数(f_T)、最高発振周波数(f_{MAX} (MAG))、 f_{MAX} (U)は各々25GHz、63GHz、81GHz になった。これはダイヤモンドでは最高であることは言うまでもなく、ダイヤモンドFETがミリ波帯域で電力増幅可能であることを初めて示した。

ダイヤモンドFETは、1GHz、A級動作での電力特性で、広い入力電力レンジにわたって14dBの線形電力利得を示し、最大出力電力は0.35W/mmになった。この最大出力電力は、パワーデバイス構造を最適化することで、原理的に1桁ほど上げることができる。また3GHzで測定した雑音特性では、0.72 dBの最小雑音指数を示した。この値は、同じゲート長のSi MOSFETより優れており、p-GaAs HEMT、n-GaN HEMTと比べても遜色がない。このことはダイヤモンドFETがマイクロ波送信デバイスだけでなく受信デバイスとしても有望であることを意味する。

[1] M. Kasu, M. Kubovic, et al., Diamond and Related Materials **13** (2004) 226.

[2] M. Kubovic, M. Kasu, et al., to be published in Diamond and Related Materials (2004).

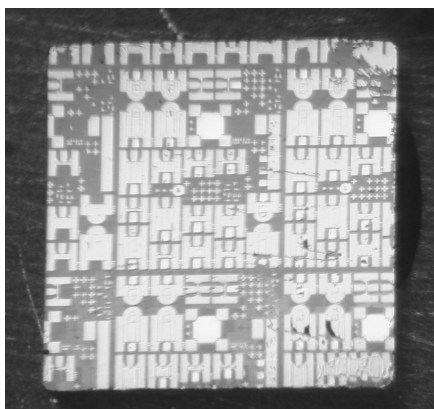


図1 ダイヤモンドFET全体像

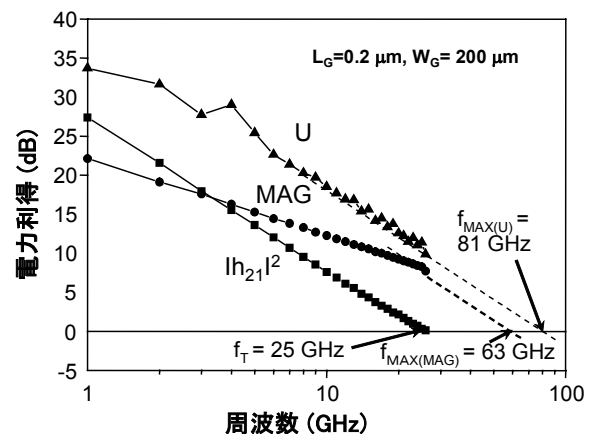


図2 電力利得の周波数特性

窒化物半導体ヘテロ接合バイポーラトランジスタの高出力特性

牧本俊樹 山内喜晴 熊倉一英
量子物性研究部

Si や GaAs などの従来の半導体に比べて、窒化物半導体は大きなバンドギャップを持っているため、高い電圧を印加しても壊れない。一方、ヘテロ接合バイポーラトランジスタ (HBT) の特徴は、大電流動作が可能な点である。これらのことから、窒化物半導体を使って作製した HBT は極めて高い出力を発揮することが期待できる。しかしながら、従来の窒化物半導体 HBT には、電流利得が低く、コレクタ電流が流れ始める電圧 (オフセット電圧) が高い、という二つの大きな問題点があった。このため、窒化物半導体 HBT の高出力特性は理論的に予想されていたものの、実証されていなかった。

我々のグループでは、窒化物半導体 HBT として、GaN/InGaN HBT の研究開発を行ってきた。この GaN/InGaN HBT の特徴は、p 型 GaN に比べて抵抗の低い p 型 InGaN をベース層に用いており[1]、高い降伏電圧を得るためにダブルヘテロ構造を採用している[2]、ことである。そして、外部ベース層に p 型 InGaN を選択成長する方法を開発することによって、従来よりも電流利得を 100 倍に、オフセット電圧を 1/10 以下にすることに成功し、窒化物半導体 HBT における二つの問題点を解決した[3]。今回は、窒化物半導体 HBT に期待される出力特性に関して研究を進めた。

HBT のベース・コレクタ接合は逆バイアスで使用され、ベース・コレクタ間ダイオードの逆方向降伏電圧が高いほど出力が高くなる。図1は、ベース・コレクタ間ダイオードの電流－電圧 (I-V) 特性を示している。バンドギャップの大きな GaN をコレクタに用いたために、-50V でもリーク電流が少ないことが確認できた。一方、HBT の出力はエミッタ接地 I-V 特性におけるコレクタ電流にも依存する。図2はエミッタ面積とコレクタ電流の最大値の関係を示している。コレクタ電流はエミッタ面積に比例して増加することがわかる。逆方向降伏電圧はエミッタ面積に依存しないことから、図2は HBT の出力がエミッタ面積に比例して増加することを示している。現在のところ、エミッタ面積が $90\ \mu\text{m} \times 50\ \mu\text{m}$ の HBT に対して、エミッタ接地 I-V 特性における直流出力は 10W を超えている。そして、出力密度は 1cm^2 当たり 270,000 W にも達し、窒化物半導体 HBT の高出力特性を初めて実証することに成功した[4]。

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

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

[3] T. Makimoto et al., Appl. Phys. Lett. **83** (2003) 1035.

[4] T. Makimoto et al., Appl. Phys. Lett. **84** (2004) 1964.

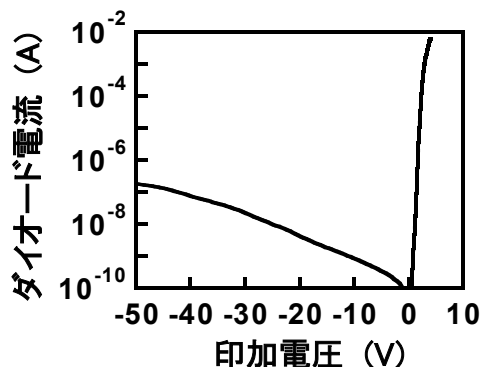


図1 ベース・コレクタ間ダイオードの I-V 特性

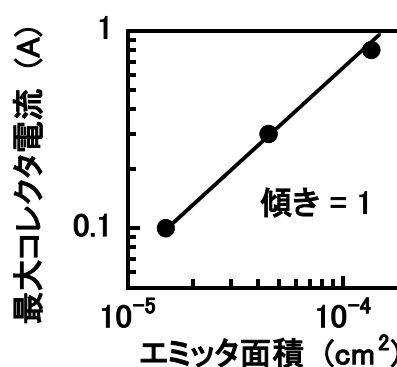


図2 エミッタ面積とコレクタ電流の最大値の関係

量子光学・光物性の研究概要

平山祥郎
量子物性研究部

光通信技術や光情報処理技術に大きなブレークスルーをもたらす革新的基盤技術の提案、ならびに、量子光学・光物性分野における学術的貢献を目指して研究を進めています。

量子光制御研究グループ

- (1) 量子暗号/計算/プロトコルに向けた実験的、理論的な研究
- (2) 量子輸送理論と電子/スピンのエンタングルメントの研究

超高速光物理研究グループ

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

光デバイス物理研究グループ

- (1) 量子ドット、細線の励起子、スピン状態のコヒーレント制御の研究
- (2) 窒化物半導体の光物性とデバイス応用の研究
- (3) 単一/エンタングル光子の発生と検出の研究

フォトニックナノ構造研究グループ

- (1) 二次元フォトニック結晶光回路の研究(超低損失導波路、共振器、フィルター)
- (2) フォトニックナノ構造と物質系の相互作用の研究(負の屈折現象、群速度分散、フォトニック準結晶レーザ)
- (3) ナノプリントリソグラフィの研究

本研究分野の本年度の代表的な研究成果を次ページ以降に掲載しています。

量子暗号に関しては量子ドットを用いた単一光子源により長距離の量子鍵配送実験に成功しました。また、安定で高速な動作が期待される、差動位相シフト量子鍵配送と呼ばれる新しい量子暗号方式を提案、実証しました。

レーザプラズマX線のターゲットとしてカーボンナノチューブを利用することにより、水の窓領域におけるピコ秒X線パルス発生効率を一桁近く向上させることに成功しました。また、光電界電離過程を利用したフェムト秒軟X線パルス波形のサンプリング計測を実現しました。

ウェハボンディング技術を用い GaN 量子井戸と酸化物分布ブラッグ反射鏡(DBR)を結合した構造を作製し、垂直共振器型面発光レーザ(VCSEL)動作を実現しました。また、TAO(通信・放送機構)との共同で単一/エンタングル光子発生、検出に向けた新しいプロジェクトをスタートしました。

SOI 基板を用いたフォトニック結晶の研究において、超小型高 Q 共振器と導波路を結合した共鳴トンネルフィルターを実現し、導波路の低損失化が進捗しました。また、周期性を持たないフォトニック準結晶によるレーザ発振を世界で初めて実現し、その発振が特異な準周期性に起因することを明らかにしました。

差動位相シフト量子鍵配送

井上 恭
量子物性研究部

量子力学の原理により、いかなる盗聴法に対しても安全性が保証された秘密鍵を2者に供給する量子暗号の研究が進められている。これまでいくつかの方式が提案されてきたが、それぞれに、ファイバ伝送に不適、安定動作が困難、高速化が困難、などの難点があった。本研究では、高速・安定動作が可能な新しい量子暗号方式を提案し、その基本動作実験を行った。

図1に新提案方式(差動位相シフト量子鍵配送)の構成を示す。送信者は、 $\{0, \pi\}$ でランダム位相変調されたコヒーレントパルス列を、平均 0.1 光子/パルスのパワーで送出する。受信者は、受信パルス列を1ビット遅延干渉計透過後に光子検出する。この時、2連続パルスの位相差が0なら DET1が、 π なら DET2が、光子を検出する。ただし、受信レベルは 0.1 光子/パルスなので、光子を検出するのは平均 10 パルスに1回(検出時刻は確率的)である。光子の送受信後、受信者は光子検出時刻を送信者に伝える。送信者は自分の変調データからその検出時刻にどちらの検出器が光子を検出したかを知る。そこで、DET1による光子検出を「0」、DET2による光子検出を「1」とすれば、送受信者は同じビット列を得る。この際、送受信者間で交わされるのは時刻情報のみでビット情報は外部には漏れないので、これを秘密鍵とすることができる。本方式は単純な位相変調と受動干渉計とで構成されており、導波路回路の適用等により安定動作が可能である。

以上の原理によるシステムの基本実験を行った。0.8 μm 半導体レーザからの光を位相変調し、空間系による干渉計透過後に光子検出したところ、図2の結果が得られた。所望の送受信相関が得られており、基本動作が確認された。

[1] K. Inoue, E. Waks, and Y. Yamamoto, Phys. Rev. Lett. **89** (2002) 037902.

[2] K. Inoue, E. Waks, and Y. Yamamoto, Phys. Rev. A **68** (2003) 022317.

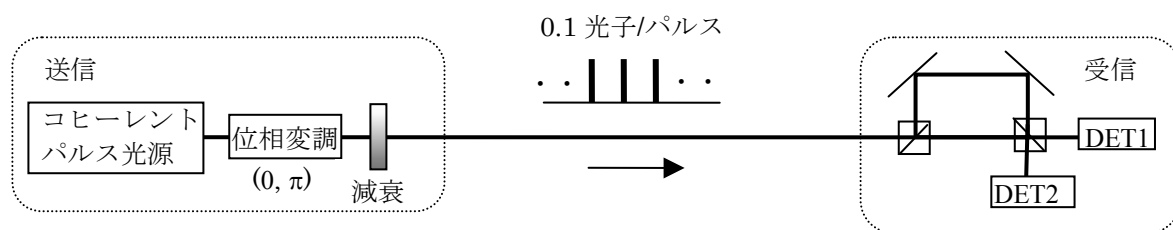


図1 基本構成

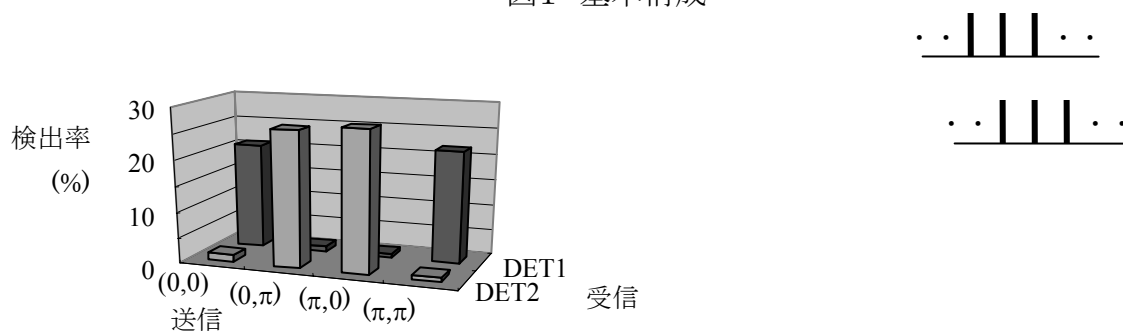


図2 実験結果

窒化物半導体面発光レーザ

俵 毅彦 後藤秀樹 赤坂哲也 小林直樹 齊藤 正
量子物性研究部

窒化物半導体量子井戸を用いた発光デバイスが近年盛んに研究されている。しかし GaAs 系半導体に比べ窒化物半導体は空気との屈折率差が小さく、その界面での反射率は 18% 程度と小さい。これが発光デバイスとしての動作電流の増大を引き起こす原因となっている[1]。レーザの場合、発振閾値を減少させる一つの方法として垂直共振器型面発光レーザ (VCSEL) 構造の利用がある。共振器サイズを発光波長程度まで小さくすることで自然放出確率の制御が可能となり、発振閾値の減少につながる。

通常 VCSEL 構造は、同種の半導体膜で構成される共振器層 (発光層を含む) と分布ブラッグ反射鏡 (DBR) からなり、一貫した結晶成長で作製される。しかし窒化物半導体で高反射率 DBR を構成する場合、DBR の各層間に生じる大きな格子不整合のため、共振器層にクラックや表面荒れが生じることが問題となっていた。

今回我々は、InGaN 量子井戸を含む窒化物共振器層を SiC 基板上に成長し、光損失となる SiC 基板を選択的に除去、その後酸化化合物からなる DBR 層を張り合わせた。これによりクラックや表面荒れのない共振器構造が実現した (図 1)。この作製された VCSEL 構造の InGaN 発光層の発光波長 400nm 近傍での共振波長帯域は 1nm 以下であり、光損失の少ない高精度な共振器が実現されていることが分かった。また作製された窒化物半導体 VCSEL 構造における発光スペクトルの光励起強度依存性を室温で測定した (図 2)。このとき発光強度変化に明瞭な非線形な特性が観測され、これは VCSEL がレーザ発振していることを示している。さらにこの発振特性より自然放出結合係数 (発光のレーザ発振への寄与の割合) は 0.01 程度と、通常の横共振器型レーザの 1000 倍もの高効率化が実現されていることも分かった[2]。

このような構造では、共振器層の結晶品質を保ったまま DBR の反射率や反射帯域を自由に選択できるという利点がある。また窒化物半導体は GaAs 系半導体に比べ励起子振動子強度や束縛エネルギーが大きく、このような高品質共振器を用いることで室温での強い励起子-光子結合状態の形成が今後期待される。

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

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

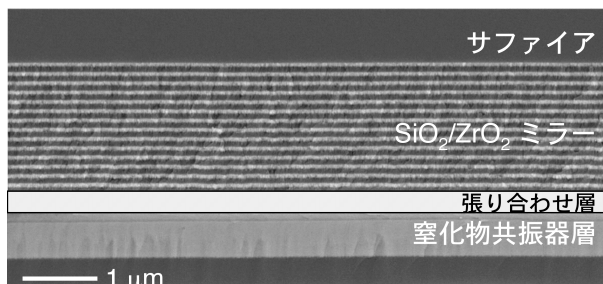


図 1 InGaN VCSEL の断面電子顕微鏡像

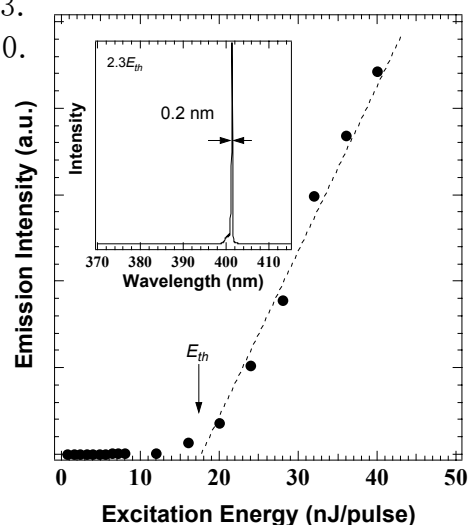


図 2 光励起発振特性

ペンローズ格子フォトニック準結晶レーザー

納富雅也¹ 鈴木博之² 玉村敏昭³ 枝川圭一⁴

量子物性研究部¹ フォトニクス研² NTT エレクトロニクス³ 東京大学⁴

結晶は周期性を持つ、即ち並進対称性を持つことが最大の特徴である。ところが並進対称性を持たないが、明確な長距離秩序を持ち、回転対称性を持つ準周期構造と呼ばれる構造(準結晶)が存在することが知られている。準結晶中ではバンドギャップ、状態密度といった概念は結晶と同じように有効だが、バンド、ブロッホの定理、ブリルアンゾーンといった概念は使えない。一方、屈折率の周期構造であるフォトニック結晶に利得を導入すると、フォトニックバンド端の定在波状態により帰還が生じ、外部鏡不要なレーザー発振が実現することが知られている。それでは周期性を持たない屈折率の準周期構造(フォトニック準結晶)に利得を導入すると何が起こるのであろう。コヒーレントなレーザー発振は可能なのであろうか？

我々は以上のような背景の元に有機色素を用いて利得を持つフォトニック準結晶試料(即ちフォトニック準結晶レーザー)を世界で初めて作製した[1]。作製した構造は代表的な準周期格子の一つであるペンローズ格子であり、周期構造では許されない10回対称性を持っている(図1左)。窒素レーザーの光励起により、我々は特異な10回対称性の出射スポットを示すレーザー発振を観測した(図1右)。発振波長と出射スポット形状は、ペンローズ格子の格子定数に敏感に依存しており、レーザー発振が準周期性に起因することを示している。また出射像が明確なスポット形状を示していることから、レーザー発振が準結晶中に広がった非局在モードによるコヒーレントな発振であることが明らかである。

準結晶ではバンド構造が定義できないために、通常のフォトニック結晶のバンド理論による解析は不可能であるが、我々はペンローズ格子の特異な逆格子像(図2)を用いて、観測した発振波長および複雑なスポット像の詳細を定量的に説明できることを明らかにした。準結晶の逆格子像は通常結晶とは大きく異なり、還元可能なブリルアンゾーンが存在しないため、非常にバラエティに富んでいる。この逆格子空間の特異性が、フォトニック準結晶のレーザー発振の大きな特徴である。周期結晶を用いたレーザーではその発振動作は周期性による様々な制約を受けているが、準結晶レーザーではそのような制約からフリーな発振が可能なことを示している。

[1] M. Notomi, H. Suzuki, T. Tamamura, K. Edagawa, Phys. Rev. Lett. **92** (2004) 123906.

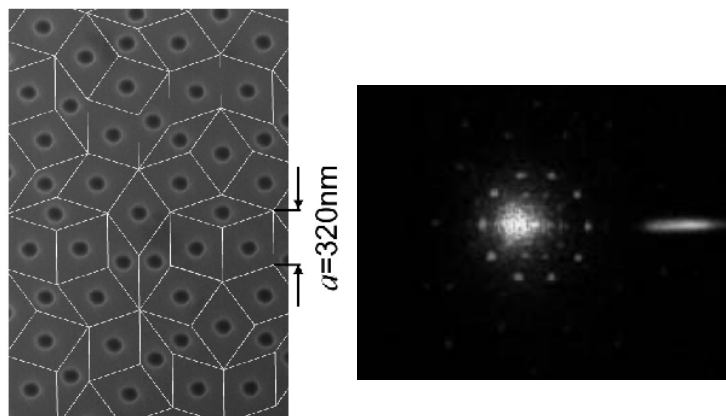


図1 作製したペンローズ格子準結晶レーザーの電子顕微鏡像(左)発振状態での出射スポット像(右)

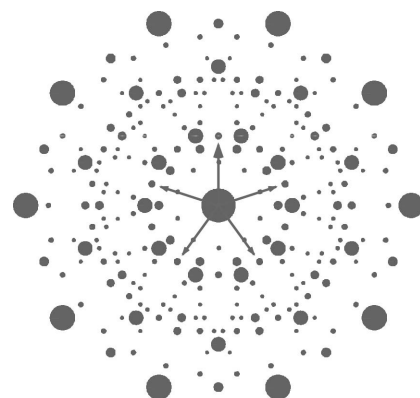


図2 作製したペンローズ格子準結晶の逆格子像(計算)

Ⅱ．資料

「メゾスコピック超伝導とスピントロニクス」国際シンポジウム

～ 量子コンピューテーションの実現を目指して ～

2004 年 3 月 1 日から 4 日までの 4 日間、NTT 厚木研究開発センター講堂において、「メゾスコピック超伝導とスピントロニクス」国際シンポジウム (MS+S2004) が、NTT 物性科学基礎研究所、NTT コミュニケーション科学基礎研究所、科学技術振興機構 (JST) 戦略的基礎研究推進事業 (CREST)、新機能素子研究開発協会 (FED) の共催で開催されました。

メゾスコピック領域での超伝導現象やスピン自由度の コヒーレント制御に関する分野は、拡張可能な量子コンピューター等の夢の技術への応用の可能性を孕んでおり、近年研究が活発化してきています。今回のシンポジウムは、『量子コンピューテーション』をキーワードにこれらの分野の研究をより推進するために NTT 物性科学基礎研究所 と NTT コミュニケーション科学基礎研究所 が中心となり企画されたもので、国内外の著名な研究者が一堂に会し、最新の研究成果について活発な意見交換を行うことを目的として開催されました。2000 年に第 1 回目が開催されて以来、2 年毎に厚木で開催されており、今回が第 3 回目になります。

1 日は、高柳英明・NTT R&D フェロー・物性科学基礎研究所長の歓迎・開会の挨拶のあと、John Martinis 博士 (米国標準技術院・NIST フェロー) がジョセフソン量子ビットに関するプレナリー講演を行いました。引き続き、(蘭) デルフト工科大 J. E. Mooij 教授の超伝導磁束量子ビットのコヒーレント制御に関する講演をはじめ 11 件の口頭講演があり、SOR 施設と量子ビット研究関連施設を巡るラボツアーの後、夕方から 45 件のポスター発表がありました。

2 日は、Seth Lloyd (MIT 教授) の刺激的な講義形式の講演を含む量子情報理論と量子アルゴリズム関連の 5 件の口頭講演とスピントロニクスに関する 5 件の口頭講演があり、NTT 物性基礎研からは、世界初となる電子スピンのゲート電圧制御の実験結果の発表および、半導体量子ドット磁石の提案がありました。夕方からは 40 件のポスター発表がありました。

3 日は、スピン関連のメゾスコピック物理に関する 6 件の口頭講演が行われた後、午後は、箱根・芦ノ湖方面へのエクスカーションおよび御殿場においてバンケットが開催されました。

4 日は、超伝導量子ビットに関する 14 件の口頭講演があり、(瑞) チャルマース大、(日) NTT 物性基礎研、(米) カンサス大、(加) D-Wave Systems、(仏) CNRS グルノーブル、(日) NEC 基礎研究所、(仏) CEA-Saclay 研究所からメゾスコピック超伝導を用いた量子ビットに関する量子振動およびコヒーレント制御に関する研究成果が次々と紹介されました。

参加者は、203 名 [内訳: 大学企業関係者 133 名 (国外 52 名、国内 81 名)、NTT 関係者 70 名] を数え、参加者からは質の高い講演、発表、議論を十分に楽しむことができ、とても有意義だったとのコメントが寄せられました。



国際シンポジウム「機能性半導体ナノシステム」(FSNS2003)

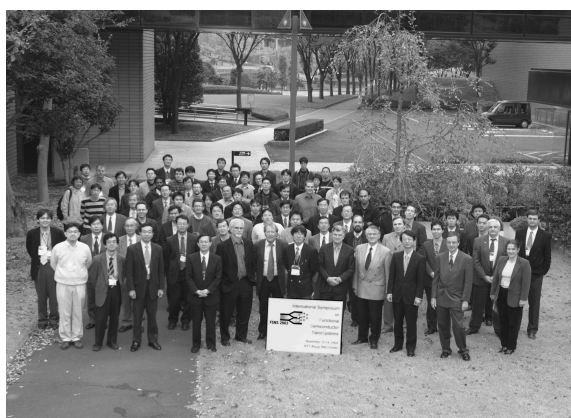
国際シンポジウム機能性半導体ナノシステム(International Symposium on Functional Semiconductor Nanosystems: FSNS2003)が 2003 年 11 月 12 日～14 日に NTT 厚木R&D センタにおいて、新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)、科学技術振興機構(JST)、NTT物性科学基礎研究所の共催で行われました。

半導体をベースとしたナノスケールの超微細な構造は、近年非常に多くの注目を集め、関連する分野は拡大の一途をたどっています。特にナノチューブ、ナノワイヤ、分子などを複合化することにより、機械的、弾性的、磁氣的に従来にない特性をもつ全く新規な構造を創り出し、さらにそれらを有機的に結合させて機能する構造をシステムとして創造する「ナノシステム」の研究が進められています。このようなナノシステムは、半導体に基づいた従来の構造では得られない全く新しい機能が期待できます。

本会議は、研究者が材料や部品、システムというそれぞれの専門分野に閉じずに、国際会議という場を提供して一堂に会して、このようなナノシステムという切り口で分野を横断して最新の成果について議論することを目的としています。そしてこの議論の結果、それぞれの専門分野における最先端の成果がナノシステムとして融合・昇華することを期待しました。スコープは、機能性半導体ナノシステムについての成長、プロセスなどの作製に関する内容から光学的、電氣的、弾性的、構造的、機械的についての特性評価、そしてそれらを基にした応用にまで渡り、半導体からカーボンナノチューブ、有機物質にいたる広範囲な物質が研究対象です。

会議は、NTT 物性科学基礎研究所の高柳所長による会議開催挨拶ではじまり、2日目に基調講演として Max-Planck 研究所の von Klitzing 教授によって二次元電子系に高周波を加えた場合の特徴的な量子輸送現象についてレビューが行われました。この他、17 件の招待講演をはじめ、一般投稿による 10 件の口頭発表と 43 件のポスター発表があり、「ナノ構造における輸送現象とメカニカル研究」、「カーボンナノチューブ応用技術の進歩」、「ナノ構造の自己組織化形成と評価」に関して総計 71 件の発表がありました。

参加者数は 164 名で、国内外の企業や大学などの研究機関から多数の参加をいただきました。3日間にわたる会期中では、活発に議論が展開され、優れた研究成果に対して異なる分野の専門家との示唆に富んだ議論が繰り広げられました。この分野をリードする NTT 物性科学基礎研究所を中心として本会議のような場を提供することによってナノサイエンスの議論を促し、テクノロジーへの展開を加速するものと期待しています。



サイエンスプラザ 2003

2003 年 8 月 22 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 2003」を開催しました。本サイエンスプラザは、「ナノサイエンスが拓く量子の世界」と題して、最新の研究成果について、NTT 内外の方々に紹介するとともに、ディスカッションを通して様々なご意見をいただく事を目的として実施しました。

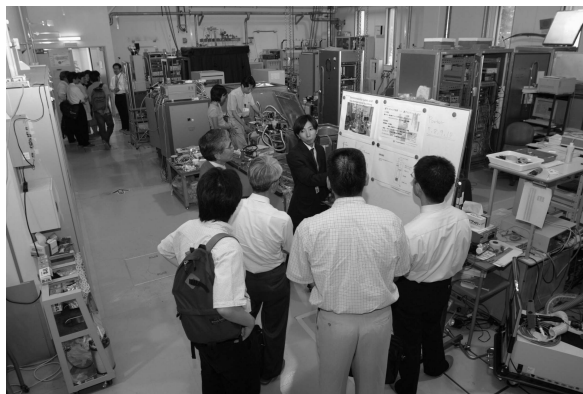
今回のサイエンスプラザでは、先端デバイス・機能物質化学・量子物性各分野の研究成果の中から、「シリコン単電子デバイスとその応用」「ナノバイオサイエンスー神経機能とナノ技術の融合に向けてー」「光技術を変える新しい材料ーフォトニック結晶」の 3 件を選んで、シンポジウム講演としてその背景から将来展望までの概要を説明しました。新しい試みとして、外部から講師を迎えて特別講演会も開催しました。国際的な生物物理学者であるとともに、国の科学技術振興政策立案・策定の面でも活躍中の黒田玲子先生(東京大学大学院・総合文化研究科教授)に、「カイロモルフォロジー」と題して、分子の形態のキラリティ(左右性)の認識や創製についての講演をしていただきました。

ポスター展示では、最新の研究成果 31 件を紹介し、数多くの有意義なコメントをいただき、また活発なディスカッションとなりました。ビデオ上映では、代表的なトピックスや主催した国際シンポジウムの様子を映像で紹介しました。研究設備を見学していただく「ラボツアー」を 6 件行い、クリーンルームをはじめ研究の現場を直接見ていただくとともに、そこで行っている研究の概要を説明しました。全ての講演・展示・公開を終えた後、夕刻からは社内食堂にて「懇親会」を行い、ご来場いただいた方々と親交を深めながら有意義なディスカッションの場となりました。

大学等研究機関・一般企業・NTT グループの方々など、2002 年に開催したサイエンスプラザを上回る 300 名近い方々に参加いただきました。おかげさまで持ちまして、盛況のうちに終了する事が出来ました。ご来場いただきました方々には、心より感謝いたします。



シンポジウム講演



ラボツアー

社外表彰受賞者一覧

超伝導科学技術賞	高柳英明	「超伝導コヒーレンス制御による デバイス概念の提起と実証」	2003.6.24
JJAP 論文賞	藤原 聡 高橋庸夫	「 Mechanism of Single-Charge Detection Using Electron-Hole System in Si-Wire Transistors」	2003.8.30
第5回サー・マーティン・ ウッド賞	藤澤利正	「量子ドットの単一電子ダイナミク スの研究」	2003.11.26

社内表彰受賞者一覧

先端技術総合研究所 所長表彰 研究開発賞	井上 恭	「単一光子光源を使った量子暗号」	2003.12.17
先端技術総合研究所 所長表彰 報道特別賞	嘉数 誠	「ダイヤモンド半導体」	2003.12.17
物性科学基礎研究所 所長表彰 業績賞	猪川 洋	「単電子多値論理デバイスに関する先駆的研究」	2004.3.22
物性科学基礎研究所 所長表彰 業績賞	古賀貴亮 関根佳明 新田淳作	「ゲートを用いた半導体中のスピン制御」	2004.3.22
物性科学基礎研究所 所長表彰 業績賞	嘉数 誠	「高周波ダイヤモンド FET の研究」	2004.3.22
物性科学基礎研究所 所長表彰 功労賞	井桁和浩 原田裕一	ヘリウム液化装置の更改	2004.3.22
物性科学基礎研究所 所長表彰 論文賞	林 稔晶	“Coherent Manipulation of Electronic States in a Double Quantum Dot” Phys. Rev. Lett. Vol. 91, 226804 (2003)	2004.3.22
物性科学基礎研究所 所長表彰 論文賞	牧本俊樹	“High current gain (> 2000) of GaN/InGaN double heterojunction bipolar transistor using base regrowth of p-InGaN” Appl. Phys. Lett. Vol. 83, 1035 (2003)	2004.3.22

報道一覧

発表月日	新聞名 「見出し」
I. 共通	
6 月 18 日	日経産業新聞 技術がひらく／日本企業再生／次代への種まき全国で
10 月 7 日	日経産業新聞 基礎技術開発／NTT 存在感
10 月 8 日	日経産業新聞 NTT の実力 2／国境越え人材囲い込み
II. デバイス物理	
4 月 21 日	日経産業新聞 LSI 配線にナノチューブ／自己形成の特性に着目
4 月 23 日	日経産業新聞 期待膨らむ 微小炭素材料－中－／ナノチューブ／構造次第で金属的 特性も／作り分けの技術模索
1 月 28 日	朝日新聞 プロジェクト ナノチューブ／導電性は銅線の 1 千倍に
2 月 3 日	日本経済新聞 髪の毛の太さより小さく／ナノテクで地球儀／NTT が作製
2 月 3 日	日刊工業新聞 3 次元ナノ加工技術開発／NTT／電子線露光を使用
2 月 3 日	日経産業新聞 直径 6/100 ミリ／見えますか／世界最小の地球儀／NTT、電子素子に 生かす
2 月 3 日	讀賣新聞 世界最小の地球儀／60 ミクロン

- 2 月 4 日 日本工業新聞
世界最小の地球儀／NTT／電子ビーム技術を応用
- 2 月 10 日 日本物流新聞
ナノテクで世界最小の地球儀／髪の毛の太さより小さい／NTT が電子ビームリソグラフィを開発

Ⅲ. 機能物質科学

- 4 月 12 日 朝日新聞
「重ね合わせ」で暗号を一発解読／見えた！量子コンピューターの可能性
- 5 月 19 日 日本経済新聞
バイオとナノテク／融合分野を共同研究／NTT と東大医科研／脳機能まねた回路など
- 6 月 6 日 日刊工業新聞
未踏科学技術協会／第 7 回超伝導科学技術賞
- 9 月 5 日 日経産業新聞
青学大・NTT 研・科技事業団／ナノチューブで超電導現象確認／量子計算機開発に道
- 10 月 7 日 日経産業新聞
NTT の実力 1／主導権奪回へ基礎重視
- 11 月 5 日 日経産業新聞
無線通信電波振り分け／NTT が高温超電導薄膜
- 1 月 23 日 日刊工業新聞
記憶・学習メカニズム解明へ／ナノテクで人工的な神経回路網開発／NTT 物性科学基礎研究所／神経細胞の変化を計測／医療用デバイスにも応用
- 3 月 1 日 日経産業新聞
導電性ポリマーの末端を加工

Ⅳ. 量子電子物性

- 6 月 16 日 日経産業新聞
窒化物系トランジスタを改善

- 7 月 23 日 日刊工業新聞
定説を覆す／窒化インジウム／89 年に論争の端緒も
- 8 月 12 日 日経産業新聞
量子コンピューター／基本素子に半導体使用／NTT など／回路の拡大容易に
- 8 月 21 日 日本経済新聞
人工ダイヤ使いトランジスタ／NTT など開発
- 8 月 21 日 日経産業新聞
ダイヤのトランジスタ／最高周波で動作／NTT と独の大学
- 8 月 21 日 日本工業新聞
ダイヤモンド半導体素子／最高の周波数と出力／NTT と独大実現
- 8 月 21 日 日刊工業新聞
世界最高の周波数特性／次世代向けダイヤ半導体／NTT, 作製に成功
- 8 月 25 日 電波タイムズ
世界初ミリ波増幅を確認／ダイヤモンド半導体素子開発
- 8 月 25 日 通信興業新聞
NTT 物性科学基礎研「ダイヤ半導体」に目処／3 年後には実用段階へ
- 8 月 27 日 毎日新聞
ダイヤモンドで半導体／NTT が試作成功／世界最高の周波数・出力
- 10 月 24 日 日刊工業新聞
サー・マーティン・ウッド賞／NTT の藤沢氏が受賞／量子ドットの研究評価
- 12 月 18 日 日本工業新聞
2003 年度サー・マーティン・ウッド賞に NTT の藤澤利正氏
- 3 月 22 日 日経産業新聞
窒化物使った面発光レーザー

V. 量子光学・光物性

- 7 月 7 日 日経産業新聞
高反射率のレーザーミラー

- 7 月 30 日 日経産業新聞
シリコン基板／微細な穴 大量に形成／NTT 物性研／光スイッチ量産に
道
- 3 月 24 日 朝日新聞
フォトニクス結晶／光閉じ込め操作自在／回路の高速化・小型化狙う

都合により画像を掲載しておりません

都合により画像を掲載しておりません

都合により画像を掲載しておりません

都合により画像を掲載しておりません

来訪者による講演一覧 (2003 年度)

I. デバイス物理関連

講演日	講演者	講演者所属 「講演タイトル」
5 月 19 日	Prof. F. Rosei	Universite du Quebec, Canada 「Organic Molecules on a Metal Surface: Fundamentals and Applications」
5 月 29 日	増田 茂 助教授	東京大学 「Local electronic states at a solid surface and chemical reactions studied by metastable atom electron spectroscopy」
6 月 16 日	渡辺正裕 助教授	東京工業大学 「弗化物系超ヘテロ・ナノ結晶の創製と光・電子新機能デバイスへの応用」
7 月 15 日	Dr. V. Tonchev	Bulgarian Academy of Science, Bulgaria 「Models of Step Bunching: “Classical” and New Results」
9 月 9 日	Prof. S. Stoyanov	Institute of Physical Chemistry, Bulgaria 「Electromigration induced bunching of steps – a key to understanding the processes at the Si crystal surface」
9 月 19 日	Dr. V. Tonchev	Bulgarian Academy of Science, Bulgaria 「Step Bunching on Vicinal Crystal Surfaces: From Models to Experiments and Back」

II. 機能物質科学関連

講演日	講演者	講演者所属 「講演タイトル」
4 月 9 日	Prof. T. Martin	Universite de la Mediterranee, France 「Bell inequalities and entanglement in normal-superconductor junctions and in carbon nanotubes」 「Electron spin teleportation with a quantum dot array」

7 月 3 日	Dr. M. Thorwart	Delft University of Technology, Netherlands 「Decoherence in superconducting flux qubits coupled to a SQUID detector」
7 月 22 日	Prof. J. Kono	Rice University, USA 「Ultrafast Optical Control of Band Structure and Ferromagnetism in Semiconductors」
7 月 23 日	Dr. M. Thorwart	Delft University of Technology, Netherlands 「Multi-photon transitions in superconducting flux qubits」
7 月 25 日	Dr. M. C. Geisler	Max-Planck-Institute for Physics, Germany 「Experimental Evidence for a Landau Level Coupling Induced Rearrangement of the Hofstadter Butterfly」
7 月 30 日	Prof. E. Mendez	State University of New York at Stony Brook, USA 「An Overview of Recent Research in Stony Brook's Quantum Structure Group」
11 月 18 日	Prof. J. E. Mooij	Delft University of Technology, Netherlands 「Measurements on Flux Qubits」
12 月 22 日	Prof. S.-IK Lee	Pohang University of Science and Technology, Korea 「Is electron doped infinite layer superconductivity similar to hole doped cuprate superconductivity?」
2 月 25 日	Prof. G. Falci	Universit� di Catania, Italy 「Interaction of Josephson qubits with strong QED cavity modes:dynamical entanglement transfer and navigation」
2 月 26 日	Prof. W. Peiheng	Nanjing University, China 「Intrinsic Josephson Junctions in High Temperature Superconductors and their Possible Electronic Applications」
3 月 8 日	Prof. A.D. Zaikin	Forschungszentrum Karlsruhe, Germany 「Transport of interacting electrons in metallic quantum dots and diffusive wires」
3 月 10 日	Dr. F. Pistolesi	LPMMC-CNRS Grenoble, France 「Energy dependence of current noise in superconducting/normal metal structures」
3 月 15 日	Prof. D. B. Haviland	The Royal Institute of Technology, Sweden 「Quantum Josephson Junctions at KTH」
3 月 15 日	Prof. F. W. J. Hekking	LPMMC-CNRS Grenoble, France 「Coherent oscillations in a current-biased dc-SQUID」

Ⅲ. 量子電子物性関連

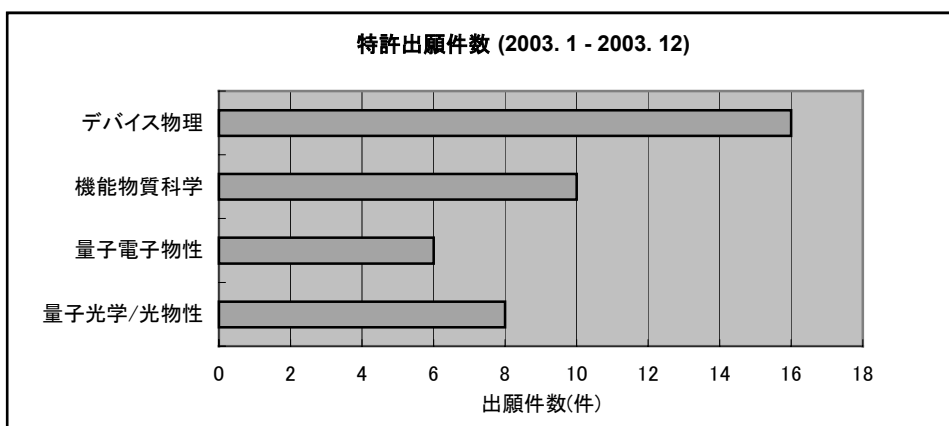
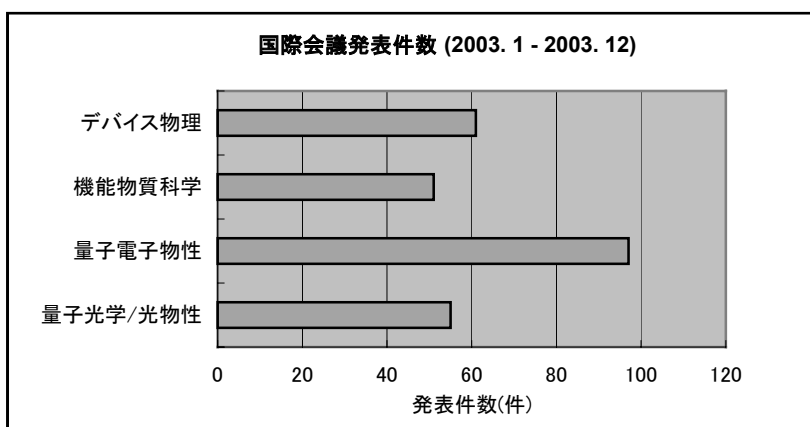
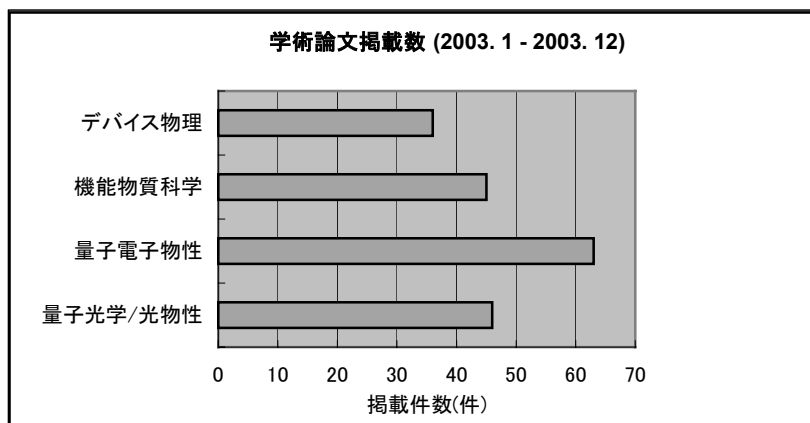
講演日	講演者	講演者所属 「講演タイトル」
6 月 4 日	Prof. V. P.-Solorzano	University of Stuttgart, Germany 「Comparison of the material properties of GaInN structures grown with ammonia and DMHy as nitrogen precursors」
6 月 4 日	Prof. F. Habel	University of Ulm, Germany 「Determination of dislocation density in epitaxially grown GaN using an HCl etching process」
7 月 23 日	Mr. Y. Kato	University of California, Santa Barbara, USA 「Gigahertz electron spin manipulation using G-tensor modulation resonance」
7 月 24 日	Dr. T. D. Mishima	University of Oklahoma, USA 「TEM Study of InSb Reconstructed Surfaces/Quantum Wells and InGaAs Quantum Dots & SDR Study of Si/SiO ₂ Interface Defects」
11 月 18 日	Prof. P. Lindelof	University of Copenhagen, Denmark 「Electronic Transport through Carbon Nanotubes」
11 月 26 日	Prof. C. Manfredotti	University of Torino, Italy 「Blue light sensitization of CVD diamond detectors」
11 月 27 日	Prof. R. Nicholas	University of Oxford, UK 「Quantum box superlattice transport in InAs/GaSb superlattices」 「Optical properties of carbon nanotubes」
3 月 9 日	Prof. E. Munoz	University Politecnica de Madrid, Spain 「Photodetectors and HEMT devices based on nitrides」
3 月 25 日	Dr. D. J. Reilly	University of New South Wales, Australia 「The 0.7 Conductance Feature above the Kondo Temperature」 「Phosphorus in Silicon Quantum Computation」
3 月 25 日	Dr. A. Denisenko Dr. E. Kohn	University of Ulm, Germany 「Theoretical study of a projected RF-performance of sub- μm lateral field emitting structures based on carbon nanotubes」

IV. 量子光学・光物性関連

講演日	講演者	講演者所属 「講演タイトル」
4 月 25 日	小野円佳 氏	東京大学 「一次元強相関係における巨大非線形光学応答」
7 月 10 日	Dr. T. Yamashita	Georgia Institute of Technology, USA 「Active and Emissive Photonic Crystal Nano-Architectures」
7 月 14 日	山内 薫 教授	東京大学 「強レーザー光子場における分子制御」
8 月 19 日	Prof. J. H. Wolter	Eindhoven University of Technology, Netherlands 「Photonic Integration: Challenges for Material Research」
10 月 21 日	Prof. J. Limpouch	Czech Technical University in Prague, Czech Republic 「Simulations of femtosecond K-alpha emission from short-pulse laser-target interactions」
11 月 14 日	光永正治 教授	熊本大学 「Quantum Interference Effects: Principles and Applications」
12 月 12 日	Prof. J. Zi	Fudan University, China 「Liquid surface waves and negative refraction」
1 月 19 日	Prof. R. Morandotti	Universite du Quebec, Canada 「Optical discrete solitons」
3 月 16 日	Prof. M. Kristensen	Technical University of Denmark, Denmark 「Planar PBG Pipes at COM」

学術論文掲載数、国際会議発表件数および出願特許数 (2003 年)

2003 年に国内外の学術論文誌(英文)に掲載された学術論文の件数は、物性科学基礎研究所全体で 190 件, 国際会議の発表件数(2003 年)は 264 件です。また出願特許数は 40 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	(IF2002)*	件数
Nature	(30.432)	2

学術論文誌

雑誌名	(IF2002)*	件数
Japanese Journal of Applied Physics	(1.280)	20
Applied Physics Letters	(4.207)	14
Physical Review B	(3.327)	14
Journal of Applied Physics	(2.281)	8
Physica E	(1.107)	8
Physical Review A	(2.986)	7
Physical Review Letters	(7.323)	5
Surface Science	(2.140)	4
Macromolecules	(3.751)	2
Review of Modern Physics	(23.672)	1
Account of Chemical Research	(15.901)	1
Advanced Materials	(6.801)	1
Nano Letters	(5.033)	1

* IF2002 : インパクトファクター 2002(出典、Journal Citation Reports, 2002)

研究所全体では、1論文あたりの平均インパクトファクターは 2.87 です。

国際会議の主な発表先と発表件数は以下の通りです。

国際会議名	件数
International Symposium on Functional Semiconductor Nanosystems (FSNS 2003)	22
Carrier Interactions and Spintronics in Nanostructures (CISN 2003)	15
7th International Conference on Atomically Controlled Surface and Interfaces and Nanostructures (ACSIN-7)	13
5th International Conference on Nitride Semiconductors (ICNS-5)	11
The 15th International Conference on Electronic Properties of Two-Dimensional System (EP2DS-15)	9
2003 Material Research Society Meeting	8
The 2003 International Conference on Solid State Devices and Materials	6
The 16th International Symposium on Superconductivity (ISS)	5
Conference on Laser and Electro-Optics/Quantum Electronics and Laser Science Conference	4
The 5th Laser Cooling Workshop	4

国際会議招待講演一覧 (2003 年)

I . デバイス物理関連

- (1) Y. Takahashi, Y. Ono, S. Fujiwara, and H. Inokawa, “Development of silicon single-electron devices”, The 4th International Symposium on Nanostructures and Mesoscopic Systems (NanoMES2003), Tempe, USA (Feb. 2003).
- (2) Y. Homma, “In situ observations using ultrahigh vacuum scanning electron microscopy”, Microscopy and Microanalysis, San Antonio, USA (Aug. 2003).
- (3) Y. Homma, “Self-assembled nanotube networks for nano-device applications”, 4th International Symposium on Atomic Level Characterizations for New Materials and Devices (ALC’03), Hawaii, USA (Oct 2003).
- (4) S. Suzuki, Y. Watanabe, Y. Homma, T. Ogino, S. Heun, L. Gregoratti, A. Brinov, B. Kaulich, and M. Kiakinova, “Photoemission spectromicroscopy and spectroscopy of carbon nanotubes”, AVS international Symposium, Baltimore, USA (Nov 2003).
- (5) Y. Takahashi, S. Fujiwara, and S. Horiguchi, “Silicon nano-wire and quantized conductance”, International workshop on smart interconnects, Atami, Japan (Nov. 2003).
- (6) H. Hibino, Y. Homma, C.-W. Hu, M. Uwaha, T. Ogino, and I. S. T. Tsong, “Structural and morphological changes on surface with multiple phases studied by low-energy electron microscopy”, 7th International Conference on Atomically Controlled Surfaces, Interfaces and Nanostructures (ACSIN-7), Nara, Japan (Nov. 2003).
- (7) Y. Takahashi, Y. Ono, S. Fujiwara, K. Nishiguchi, and H. Inokawa, “Silicon single-electron devices operating with MOSFETs”, Sixth International Conference on New Phenomena, Maui, USA. (Dec. 2003).
- (8) Y. Watanabe, S. Suzuki, Y. Homma, and T. Ogino, “Spectromicroscopy of carbon nanotubes”, 2nd Int. Conf. on Materials for Advanced Technology, Singapore (Dec. 2003).
- (9) Y. Takahashi, Y. Ono, S. Fujiwara, K. Nishiguchi, and H. Inokawa, “Silicon nano-devices and single-electron devices”, 2003 International Semiconductor Device Research Symposium (ISDRS2003), Washington D.C., USA (Dec. 2003).
- (10) Y. Homma, “Suspended carbon nanotube architectures: growth control and optical properties”, 12th International Conference on Advanced Materials and Devices 2003, Jeju island, Korea (Dec. 2003).
- (11) Y. Watanabe, B. Satyaban, T. Kawamura, S. Fujikawa, and N. Yamamoto, “Growth and Characterization of Vertically Aligned InP Nanowires on Semiconductor

Substrates”, 12th Int. Workshop the Physics of Semicond. Dev., Chennai, India (Dec. 2003).

- (12) Y. Watanabe, “InP nanowire growth on semiconducting materials by metal organic vapor phase epitaxy”, Int. Conference on Nano Science and Technology, Kalkata, India (Dec. 2003).

Ⅱ. 機能物質科学関連

- (1) H. Takayanagi, S. Saito, H. Tanaka, and H. Nakano, “Readout of the qubit state with a SQUID”, First International International Conference on Nanoelectronics Ferromagnetism in quantum-dot-array systems, Lancaster, UK (Jan. 2003).
- (2) H. Takayanagi, S. Saito, H. Tanaka, and H. Nakano, “Readout of the qubit state with a dc-SQUID”, Int. Symp. On Advanced Physical Fields 8, Tsukuba, Japan (Jan. 2003).
- (3) J. Nitta, “Rashba spin-orbit interaction and spin-interference in nano-structures”, International Workshop “Coherence in Nanosystems” Spin-related transport in semiconductors, Soul, Korea (Feb. 2003).
- (4) Y. Jimbo, “Plasticity in cultured neuronal network”, Int. Workshop on “Biology and Physics at Interfaces”, Julich, Germany (May 2003).
- (5) K. Torimitsu, “Nanobioscience-molecular device and neural functions”, Workshop on nanotechnology and postgenomics, New Castle, UK (Jun. 2003).
- (6) K. Torimitsu, “On Bio and Nano Technology”, International Conference on Composites Engineering, ICCE/10, New Orleans, USA (Jul. 2003).
- (7) A. Matsuda, “Inhomogeneity in the electronic state of Bi-2212 – from the insulating to superconducting state –”, Self Organized Strongly Correlated Electron Systems, Santorini, Greece (Aug. 2003).
- (8) K. Ajito, “Nanometer-scale Raman Spectroscopy of Neurons”, Microscopy and Microanalysis 2003, Quebec Convention Center, San Antonio, USA (Aug. 2003).
- (9) K. Semba, “Single Shot Readout of the Flux-Qubit”, Hot Topics in Quantum Statistical Physics: q-Thermodynamics, q-Decoherence and q-Motors, Leiden University, Holland (Aug. 2003).
- (10) J. Nitta and T. Koga, “Gate Control of Electron Spin in Semiconductor Nanostructure”, Photonics and Spintronics in Semiconductor Nanostructures toward Quantum Information Processing, Kyoto, Japan (Nov. 2003).
- (11) H. Takayanagi, “Single-shot measurement of the qubit state with a dc-SQUID”, The 9th Japan-US Joint seminar Quantum Correlations and Coherence, Yatsugatake, Japan (Sep. 2003).

- (12) M. Naito, “Search for new high- T_c superconductors by molecular beam epitaxy”, The 8th IUMRS International Conference on Advanced Materials (IUMRS-ICAM2003), Yokohama, Japan (Oct. 2003).
- (13) M. Naito, “Large-area RE-123 thin films for microwave applications”, The 16th International Symposium on Superconductivity (ISS2003), Tsukuba, Japan (Oct. 2003).
- (14) K. Totimitsu, “Neural Functions and Nano-Bio Device”, Sweden-Japan Workshop on Bionanotechnology, Kyoto, Japan (Nov. 2003).
- (15) M. Naito, “ MgB_2 thin films”, Program committee of The European Network For Superconductivity, Spain (Nov. 2003).

Ⅲ. 量子電子物性関連

- (1) K. Kanisawa, Y. Tokura, H. Yamaguchi, and Y. Hirayama, “Direct probing of local-density-of-states in semiconductor nanostructures”, Photonics West, San Jose, USA (Jan. 2003).
- (2) K. Kanisawa, Y. Tokura, H. Yamaguchi, and Y. Hirayama, “Scanning tunneling spectroscopy study of zero-dimensional structures at the InAs surface”, 30th Conf. on Phys. and Chem. of Semicond. Interfaces (PCSI-30), Salt Lake City, USA (Jan. 2003).
- (3) H. Yamaguchi, S. Miyashita, and Y. Hirayama “Fabrication and Characterization of InAs-based Electromechanical Systems”, 2003 RCIQE International Seminar on Quantum Nanoelectronics for Meme-Media-Based Information Technologies, Sapporo, Japan (Feb. 2003).
- (4) T. Fujisawa, “Single electron dynamics in quantum dots”, Sweden-Japan Nanotechnology Colloquium, Lund, Sweden (Mar. 2003).
- (5) T. Makimoto, K. Kumakura, and N. Kobayashi, “nnp-Type Nitride Heterojunction Bipolar Transistors”, 2003 Asia-Pacific Workshop on Fundamental and Application of Advanced Semiconductor Devices (AWAD2003), Busan, Korea (Jun. 2003).
- (6) M. Kasu and N. Kobayashi, “Influence of epitaxy on the surface conduction of diamond film”, 2003 European Materials Research Society Spring Meeting (E-MRS2003), Strasbourg, France (Jun. 2003).
- (7) Y. Hirayama, “Quantum Hall Effects at Landau Level Crossings”, Int. Symp. on Quantum Hall Effects: Past, Present, and Future, Stuttgart, Germany (Jul. 2003).
- (8) T. Fujisawa, “Single electron dynamics in quantum dots”, The 11th International Conference on Modulated Semiconductor Structures (MSS11), Nara, Japan (Jul. 2003).

- (9) T. Nishida, T. Ban, and N. Kobayashi, “Nitride UV emitters”, 30th Int. Symp. Compound Semicond. (ISCS2003), San Diego, USA (Aug. 2003).
- (10) Y. Hirayama, “Electronic States and Their Control in Semiconductor Quantum Dots”, Trends in Nanotechnology (TNT2003), Salamanca, Spain (Sep. 2003).
- (11) T. Matsuoka, H. Takahata, T. Mitate, S. Mizuno, and T. Makimoto, “Polarity of GaN grown on a several substrates by MOVPE”, 8th Wide-Bandgap III-Nitride Workshop, Richmond, USA (Sep. 2003).
- (12) T. Matsuoka and H. Okamoto, “MOVPE Growth of InN and its Band-Gap Energy”, 8th Wide-Bandgap III-Nitride Workshop, Richmond, USA (Sep. 2003).
- (13) T. Matsuoka, H. Okamoto, M. Nakao, H. Harima, H. Takahata, T. Mitate, S. Mizuno, Y. Uchiyama, and T. Makimoto: “MOVPE Growth of Wurtzite InN and its Optical Characteristics”, 2003 Int. Conf. on Solid State Devices and Materials (SSDM2003), Tokyo, Japan (Sep. 2003).
- (14) H. Yamaguchi, K. Kanisawa, S. Miyashita, and Y. Hirayama, “InAs/GaAs(111)A Heteroepitaxial System”, 5th International Workshop on Epitaxial Semiconductors on Patterned Substrates and Novel Index Surfaces (ESPS-NIS2003), Stuttgart, Germany (Oct. 2003).
- (15) T. Fujisawa, “Coherent charge oscillations in a semiconductor double quantum dot”, Int. Workshop on Correlation, Decoherence and Spin Effects in Simple and Complex Quantum Dot Systems, Bad Honnef, Germany (Oct. 2003).
- (16) T. Nishida, “GaN-free Transparent Structure for Ultraviolet Light Emitting Diodes”, Phys. of Light-Matter Coupling in Nanostructures (PLMCN3), Sicily, Italy (Oct. 2003).
- (17) Y. Hirayama and T. Fujisawa, “Carrier Dynamics and Coherent Oscillation in Quantum Dots”, 6th Int. Conf. New Phenomena in Mesoscopic Structures and The 4th Int. Conf. Surface and Interfaces in Mesoscopic Devices (NPMS-6/SIMD-4), Hawaii (Nov. 2003).
- (18) T. Matsuoka, H. Okamoto, M. Nakao, H. Takahata, T. Mitate, S. Mizuno, Y. Uchiyama, H. Harima, and T. Makimoto, “MOVPE Growth of Wurtzite InN and Experimental Consideration of its Optical Characteristics”, ONR Indium Nitride Workshop (ONR), Fremantle, Australia (Nov. 2003).
- (19) T. Fujisawa, “Dynamics of single-electron charge and spin in semiconductor quantum dots”, Int. Conf. Quantum Information (ICQI), Kyoto, Japan (Dec. 2003).
- (20) T. Fujisawa, “Dynamics of single electron charge and spin in semiconductor quantum dots” Solid State Quantum Information Processing Conference, Amsterdam, The Netherland (Dec. 2003).

IV. 量子光学・光物性関連

- (1) H. Kamada, H. Gotoh, H. Ando, T. Takagahara, and J. Temmyo, “Quantum gate operation of exciton qubits in semiconductor quantum dots”, Photonics West 2003, San Jose, USA (Jan. 2003).
- (2) A. Shinya, M. Notomi, E. Kuramochi, T. Shoji, T. Watanabe, T. Tsuchizawa, K. Yamada, and H. Morita, “Functional Components in SOI Photonic Crystal Slabs”, SPIE Photonics West, Optoelectronics 2003, San Jose, USA (Jan. 2003).
- (3) H. Kamada, H. Gotoh, H. Ando, and T. Takagahara, “Quantum dot exciton Rabi oscillation and quantum gate operation”, 8th Int. Symp. on Advanced Physical Fields, (APF8), Tsukuba, Japan (Jan. 2003).
- (4) H. Kamada, “Quantum Computation with Quantum Dot Excitons”, Int. Conf. on Non-equilibrium Carrier Dynamics in Semicond., Modena, Italy (Jul. 2003).
- (5) H. Kamada, “Quantum Computation with Quantum Dot Excitons”, FST2003, Chiba, Japan (Jul. 2003).
- (6) M. Yamashita, “Dynamics of evaporative cooling and growth of a Bose-Einstein condensate”, 12th International Laser Physics Workshop Hamburg, Germany (Aug. 2003).
- (7) Y. Tokura, “Spin Structures in Quantum Dot System”, Workshop on Computational Approaches Towards the Electronic Properties of Quantum Dots, Chicago, USA (Sep. 2003).
- (8) H. Nakano, T. Nishikawa, and K. Oguri, “Time-resolved absorption spectroscopy using ultrashort soft x-ray pulse from femtosecond laser-produced plasma”, 9th Conference on Laser Optics (LO2003), St. Petersburg, Russia (Sep. 2003).
- (9) H. Nakano, T. Nishikawa, K. Oguri, and N. Uesugi, “Femtosecond laser plasma x-ray for time-resolved spectroscopy”, 7th International Conference on Optics (ROMOPTO2003), Constantza, Romania (Sep. 2003).
- (10) H. Nakano, “Time-resolved absorption spectroscopy using ultrashort soft x-ray pulses generated by femtosecond laser pulse”, International Symposium on Ultrafast Intense Laser Science 2: Technology, Trends, Propagation and Interaction (ISUILS2), Quebec, Canada (Sep. 2003).
- (11) M. Notomi, “Photonic-Band-Gap Waveguides and Resonators”, Intl. Photonics Technol. Conf. 2003 (IPTC2003), Seoul, Korea (Sep. 2003).
- (12) M. Notomi, “Photonic-Band-Gap Waveguides and Resonators”, Annual Meeting of IEEE Lasers and Electro-Optics Society (LEOS2003), Tucson, USA (Oct. 2003).
- (13) M. Notomi, “Lasing action in organic photonic crystal and quasicrystal”, The 5th

Pacific Rim Conf. on Lasers and Electro-Optics CLEO/Pacific Rim2003), Taipei, Taiwan (Dec. 2003).

編集 “NTT 物性科学基礎研究所の研究活動”編集委員会

住友弘二

尾身博雄

佐藤寿志

矢野隆治

発行 日本電信電話株式会社(NTT)

物性科学基礎研究所

企画担当

〒243-0198 神奈川県厚木市森の里若宮 3-1

電話: (046) 240-3312

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

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