

NTT 物性科学基礎研究所の研究活動

平成 12(2000)年度

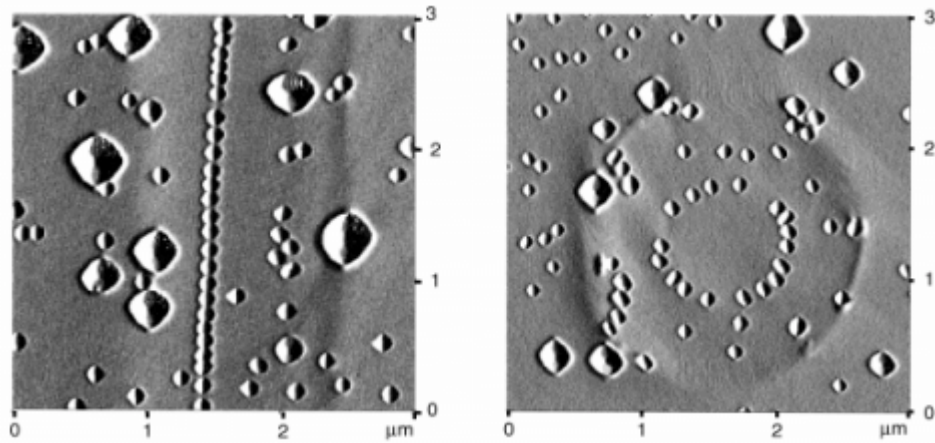
Volume 11

2001 年 8 月

日本電信電話株式会社

物性科学基礎研究所

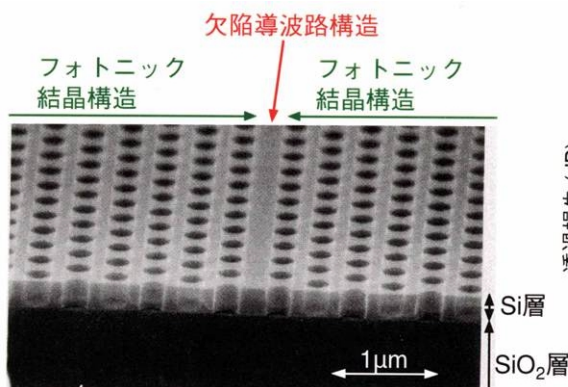
NTT Basic Research Laboratories



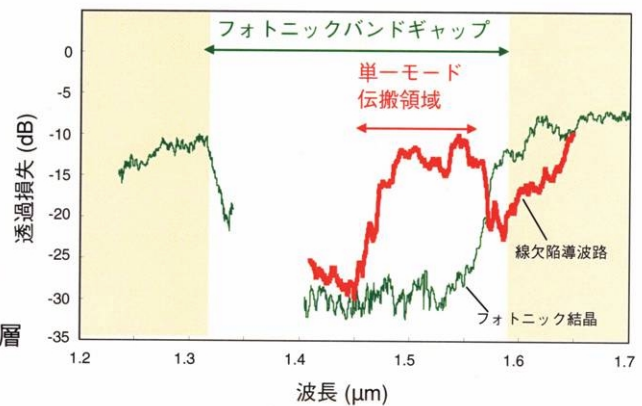
原子間力顕微鏡像

歪みを制御した半導体表面

シリコンウエハーの表面近傍に埋め込みシリコン酸化物を形成し、その酸化物がウエハー表面に誘起する歪み分布を利用して、サイズ、配列が人為的に制御されたゲルマニウムのナノ構造を自己組織的に形成することに世界で初めて成功しました。(13 ページ)



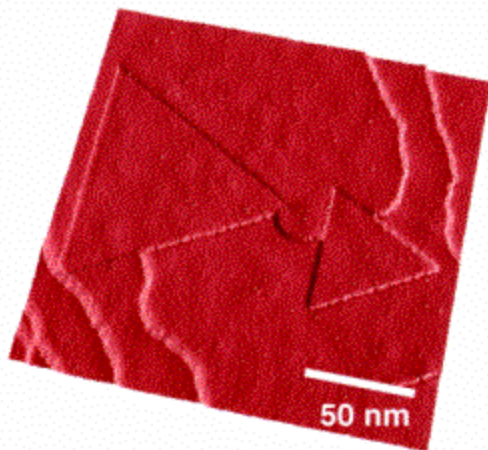
幅変化型線欠陥導波路構造 SEM 写真



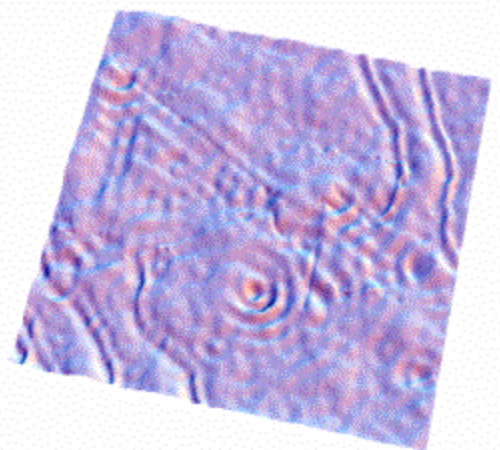
透過スペクトル

2次元フォトニック結晶の作製

異なる屈折率媒質の多次元周期構造であるフォトニック結晶は、光を高度に制御できることから、将来の超小型光集積回路への応用が期待されています。我々は、SOI (Silicon On Insulator) 構造に着目し、基本構造である2次元フォトニック結晶構造と線欠陥導波路構造について、世界に先駆けて良好な特性を得ることに成功しています。(19 ページ)



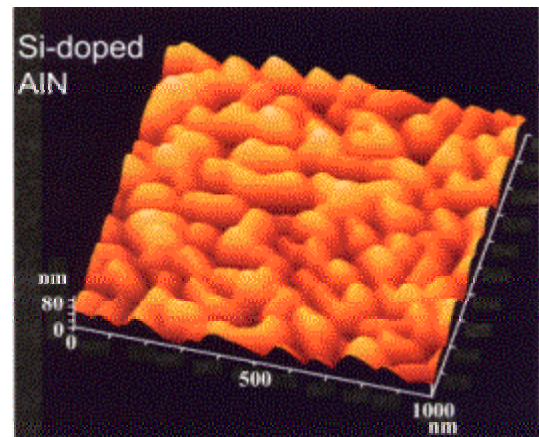
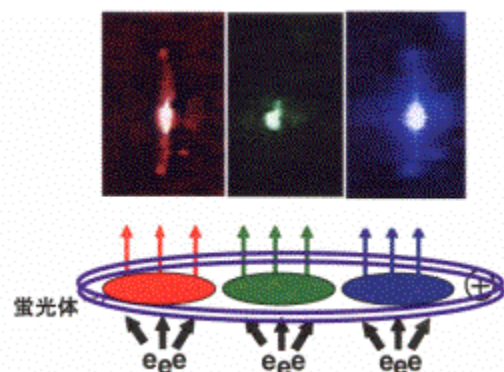
表面段差のSTM像



局所状態密度像
(フリーデル振動)

2次元電子系におけるフリーデル振動の観察

最先端の微細加工技術によって作製されるナノメータースケールの半導体素子では、電子は「粒子」とであるとともに「波」としての性質を持ちます。我々は独自の結晶成長技術により作製した半導体極薄膜表面において、走査型トンネル顕微鏡（STM）により2次元電子の「波」としての振る舞いを直接観察することに初めて成功しました。点欠陥の近傍、ならびに正三角形のナノ構造の内部に電子波の干渉によって生じる波動パターンが、局所状態密度像において明瞭に観察されます。
(22ページ)



窒化アルミニウムからの高効率フィールドエミッション

負の電子親和力を持つ窒化アルミニウムに高濃度Siドーピングを施すと、フィールドエミッションが高効率に起こることがわかりました。ディスプレイの原理実験では、三原色で実用レベルの輝度を得ることができました。
(23ページ)

はじめに



NTT 物性科学基礎研究所は、革新技術のフロンティア開拓と世界的に評価される学術成果の創出を通じて10～20年後に花開く新技術の種を創出することをミッションとしております。そこで、将来のNTTグループ競争力の源泉となり、ひいては21世紀IT社会の基盤となりうる革新的技術の創出をめざしてハードウェアの基礎研究の分野で新しい概念や知見の追求をおこなっております。最近になって米国で国家戦略として取り上げられたことをきっかけにしてナノテクノロジーが注目を浴びていますが、何年も前から組織的にこの分野の研究を推進してきてきました私共にとっても、より強い期待を集めているということで大きな励みとなっております。

研究の推進にあたって、革新的テーマをさらにナノサイエンス・テクノロジーの分野に先鋭化し、

速度・容量・消費電力・サイズ・安全性などの壁をブレイクスルーすることを目標に量子情報処理、究極の電子デバイス、光集積回路、人工的新材料の創出などの分野への展開を進めております。先鋭的研究を効果的に進めるため、外部に対するオープン化の推進と積極的な外部人材の活用などの施策を進めました。オープン化の一貫として、最新の研究成果を広く紹介するサイエンスプラザ2001の開催、国際会議「メゾスコピックキャリア関連シンポジウム」の共催を行い、各研究グループによる情報発信を進めた物性科学基礎研究所のウェブコンテンツの充実を図りました。一方、積極的な外部人材の活用を進めるために、外部研究員滞在型共同研究の推進や、積極的な流動研究員の採用を進めています。また、本年2月には外部の見識ある方々でアドバイザリーボードを組織し、当研究所のアクティビティの外部評価を行い、多くのアドバイスを得て研究所の改革に取り組んでいます。

本冊子では、「NTT物性科学基礎研究所の活動報告 (Volume 11)」として、この2000年度1年間の最新成果と研究活動を紹介しております。この小冊子が、国内外の研究者との交流の一助になり、相互の理解がいつそう深まることを念じております。

2001年8月

石原直

石原 直

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

目次

ページ

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

I. 研究紹介

◆デバイス物理の研究概要	10
◆シリコン電荷結合素子における素電荷操作	
◆無機レジストを使ったサブ 10nm 電子ビームリソグラフィ	
◆歪みを制御した半導体表面	
◆有機金属ガス気相成長における InP 表面超構造の観察	
◆機能物質科学の研究概要	15
◆神経活動のリアルタイム計測	
◆電子ドープ高温超伝導体の分子線エピタキシー合成	
◆量子ドット超格子における新物質設計	
◆2次元フォトニック結晶の作製	
◆量子電子物性の研究概要	20
◆量子ドットにおける新しい近藤効果	
◆2次元電子系におけるフリーデル振動の観察	
◆窒化アルミニウムによる高効率フィールドエミッション	
◆量子光学・光物性研究概要	24
◆ファイバ光パラメトリック増幅	
◆ナノ構造ターゲットによるフェムト秒レーザプラズマX線の高効率発生	
◆単一量子ドット中励起子の Rabi 振動の観測	

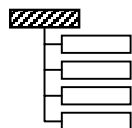
II. 資料

◆「メゾスコピック キャリア相関」国際シンポジウム	28
◆アドバイザリーボード	29
◆サイエンスプラザ2001	30
◆表彰受賞者一覧	31
◆報道一覧	33
◆報道(抜粋)	36
◆来訪者による講演一覧	40
◆学術論文掲載件数	45
◆国際学会発表件数	46
◆国際会議招待講演一覧	47

物性科学基礎研究所 所員一覧

2001 年 3 月 31 日現在
(*は年度途中までの在籍者)

物性科学基礎研究所



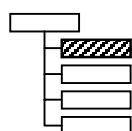
所長

石原 直

主席研究員

村瀬克実

企画担当



企画担当部長

森田雅夫

総括担当課長

寒川哲臣

研推担当主任研究員

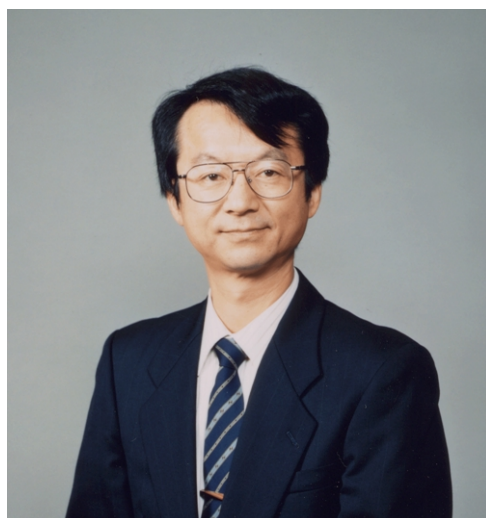
前田文彦

NTT R&D フェロー

山本喜久(スタンフォード大学、USA)
高柳英明(物質部 部長)

NTTリサーチ・プロフェッサー

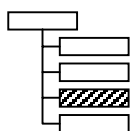
井元信之(総合研究大学院大学)
樽茶清悟(東京大学)



唐沢 毅

*Finnie, Paul
Lin, Feng

機能物質科学研究部



部長 高柳英明

補佐 柴田浩行

分子生体機能研究G

グループリーダー

鳥光慶一

藤木道也

鈴木康夫

河西奈保子

*Koe, Julian R.

江幡啓介

古川一暁

檜村吉晃

Tang, Hongzhi

神保泰彦

味戸克裕

中島 寛

超伝導体薄膜研究G

グループリーダー

内藤方夫

佐藤寿志

植田研二

狩元慎一

山本秀樹

超伝導量子物理研究G

グループリーダー

高柳英明

松田 梓

赤崎達志

原田裕一

田村浩之

木村 敬

*Shaikhaidarov, Rais

松田健一

新田淳作

中ノ勇人

渡辺孝夫

田中弘隆

古賀貴亮

*Sekar, Chinnathambi

仙場浩一

畠中憲之

*杉田 敏

関根佳明

齊藤志郎

極微細構造素材研究G

グループリーダー

横浜 至

須佐信彦

納富雅也

新家昭彦

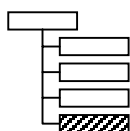
天明二郎

倉持栄一

*石井哲好

横尾 篤

量子物性研究部



部長 向井孝彰

補佐 田口明仁

量子電子物性研究G

グループリーダー

平山祥郎

椿 光太郎

佐久 規

Austing, David Guy

佐々木智

都倉康弘

藤澤利正

鈴木恭一

山口浩司

村木康二

蟹沢 聖

林 稔晶

ワイドギャップ半導体研究G

グループリーダー

小林直樹

牧本俊樹

安藤精後

西田敏夫

赤坂哲也

嘉数 誠

小林康之

前田就彦

熊倉一英

松岡隆志

斎藤久夫

山内喜晴

廣木正伸

量子光制御研究G

グループリーダー

向井孝彰

井上 恭

向井哲哉

清水 薫

森越文明

山下 眞

超高速光物理研究G

グループリーダー

中野秀俊

*Junnakar, Mahesh R.

矢野隆治

Lin, Jingquan

小栗克弥

西川 正

尾崎恒之

光デバイス物理研究G

グループリーダー

齊藤 正

鎌田英彦

*Chavez-Pirson, Arturo

Wang, Hailong

熊谷雅美

野嶋俊司

後藤秀樹

特別研究員



平山祥郎

昭和 53 年東京大学工学部電子工学科卒業。昭和 58 年同大学院工学系研究科電子工学専攻博士課程修了(工学博士)。同年日本電信電話公社(現在 NTT)に入社。以来、集束イオンビームによる半導体微細構造の作製、半導体メゾスコピック構造の輸送特性、高移動度半導体のバルスティック伝導特性、半導体薄膜構造・ナノ構造の輸送特性の研究に従事。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 グループリーダー。平成 2～3 年マックスプランク固体研究所(ドイツ、シュトゥットガルト)客員研究員。

平成 10 年から NEDO 国際共同研究チーム(NTDP-98)研究代表者、平成 11 年から CREST 関連エレクトロニクス研究プロジェクト研究代表者。Japanese Journal of Applied Physics 編集委員。応用物理学会、日本物理学会、IEEE 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、走査型トンネル顕微鏡を用いたナノ構造選択成長に従事。現在は、窒化物半導体結晶成長および窒化物半導体デバイスに関する研究に従事。平成 5 年工学博士(東京大学)。平成 5～6 年カリフォルニア大学(アメリカ、サンタバーバラ)にて客員研究員。現在、NTT 物性科学基礎研究所量子物性研究部ワイドギャップ半導体研究グループ 主幹研究員。応用物理学会、MRS 会員。

アドバイザリボード（2000 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	Professor Paul-Drude-Institut für Festkörperelektronik Germany
Dr. Michel H. Devoret	Director of Research Quantronics Group SPEC, CEA-Saclay, France
Dr. Christos Flytzanis	Professor Physics of Condensed Matter Laboratory Ecole Normale Supérieure, France
Dr. Chung L. Tang	Professor School of Electrical Engineering Cornell University, USA

招聘教授・研究員（2000 年度）

氏名	機関 期間
Prof. Klaus-J. Friedland	Paul-Drude-Institut für Festkörperelektronik, Germany March – April, 2000
Prof. Anatoly F. Volkov	Institute of Radioengineering and Electronics of the Russian Academy of Sciences, Russia March – April, 2000
Prof. Zhaohui Zhang	Peking University, P.R. China April, 2000 – February, 2001
Prof. Michael B. Santos	University of Oklahoma, USA August – December, 2000
Prof. Joseph Imry	Weizman Institute of Science, Israel August – September, 2000
Prof. Yshai Avishai	Ben-Gurion University, Israel September – October, 2000
Prof. Thomas Schäpers	Institut für Schichten und Grenzflächen Forschungszentrum Jülich, German October, 2000 – February, 2001
Prof. Alexander Khaetskii	Institute of Microelectronics Technology of the USSR Academy of Sciences, Russia September – November, 2000
Prof. Stoyan Stoyanov	Institute of Physical Chemistry, Bulgarian Academy of Science, Bulgaria November, 2000 – January, 2001

海外研修生（2000 年度）

氏名	所属（期間）
Matthew Butcher	University of Nottingham, England (Feb. 00 – May 00)
Sabrina Kohler	Institut National Des Sciences Appliquées, France (Mar. 00 – Aug. 00)
Wilfred van der Wiel	Delft University of Technology, The Netherlands (May 00 – Aug. 00)
Barbara Ressel	Charles University, Italy (May 00 – Jun. 00)
Enjalbert Fabrice	Ecole Nationale Supérieure de Physique de Grenoble (ENSPG), France (Jun. 00 – Sep. 00)
Federico Rosei	University of Rome, Italy (July 00 – Sep. 00)
Marlies Comelia Goorden	Delft University of Technology, The Netherlands (Aug. 00 – Nov. 00)
Remi Dreyfus	Ecole Supérieure de Physique et de Chimie Industrielles de la ville de Paris (ESPCI), France (July 00 – Dec. 00)
Claire Akiko Kikuchi	Ecole Supérieure de Physique et de Chimie Industrielles de la ville de Paris (ESPCI), France (Aug. 00 – Dec. 00)
Tine Greibe	Technical University of Denmark, Denmark (Sep. 00 – Mar. 01)
Soren Jensen	Technical University of Denmark, Denmark (Sep. 00 – Mar. 01)
Hubert Heesche	Delft University of Technology, The Netherlands (Sep. 00 – Jan. 01)
Antoine Brehier	University of Paris-Orsay, France (Sep. 00 – Dec. 00)
Jeroen Elzerman	Delft University of Technology, The Netherlands (Feb. 01)
Wilfred van der Wiel	Delft University of Technology, The Netherlands (Feb. 01 – Mar. 01)
Ronald Hanson	Delft University of Technology, The Netherlands (Feb. 01 – Apr. 01)
Jean Delmas	Institut National Des Sciences Appliquées, France (Mar. 01 – Aug. 01)
Elise Laffosse	Institut National Des Sciences Appliquées, France (Mar. 01 – Aug. 01)

国内実習生（2000 年度）

氏名	所属（期間）
青木和也	東京理科大学大学院 (H12.4～H13.3)
浅山徹哉	東京大学大学院 (H12.4～H13.3)
浅利祐介	早稲田大学大学院 (H12.7～H13.3)
天羽真一	東京大学大学院 (H12.4～H13.3)
市川大造	湘南工科大学 (H12.5～H13.3)
川畑達郎	東海大学大学院 (H12.4～H13.3)
河原塚篤	早稲田大学大学院 (H12.4～H13.3)
北村吉隆	東京大学大学院 (H12.4～H13.3)
木村智影	湘南工科大学 (H12.12～H13.2)
佐々布宏之	成蹊大学大学院 (H12.4～H13.3)
佐藤祐喜	北陸先端科学技術大学院大学 (H13.1～H13.3)
束田昭雄	東京理科大学大学院 (H12.4～H13.3)
寺井飛鳥	東海大学大学院 (H12.4～H13.3)
中村徳亨	早稲田大学大学院 (H12.4～H13.3)
西 義史	東京大学大学院 (H12.4～H13.3)
萩原恵美	東海大学 (H12.4～H13.3)
林 孝記	東京理科大学大学院 (H12.4～H13.3)
深井紀子	湘南工科大学 (H12.5～H13.3)
藤井武則	東京理科大学大学院 (H12.4～H13.3)
本田元就	東京大学大学院 (H12.4～H13.3)
山下隆之	東海大学 (H12.4～H13.3)
山本倫久	東京大学大学院 (H12.4～H13.3)
和田征大	早稲田大学大学院 (H12.4～H13.3)

I . 研究紹介

デバイス物理の研究概要

荻野俊郎

先端デバイス研究部

情報技術における革新の鍵は、半導体デバイス的高速化、低消費電力化、高集積化です。そこで主役を演ずるのはシリコン集積デバイスですが、その究極の技術は、「単電子動作デバイス・単原子制御プロセス」です。先端デバイス研究部では、単電子制御の目標に向けて、電子1個で動作するデバイス、電子(正孔)1個を転送するデバイス、そうしたデバイスの作製に必要な微細加工技術と超高精度プロセス制御技術、等の研究を進めました。また、原子レベルの構造から微細構造をウェーハスケールで集積化するという新しいプロセスコンセプトを提案し、その実現に向けて表面構造制御の研究を進めました。こうした研究を進めるに当たって必要なデバイス構造・材料評価技術についても、新たな開拓を行いました。

単電子デバイスは、電子1個で動作するデバイスであり、消費電力を極限まで低減できます。すでに、単電子トランジスタを用いて論理回路の最も基本となるインバータを実現していますが、今期、単電子加算回路を試作し、その論理動作を確認しました。単電子デバイスの新たな可能性を示すものとして、単正孔転送デバイスを考案し、その動作を実証しました。このデバイスは、電子と正孔を空間的に分離し、正孔の転送を電子により検出するもので、新しい動作原理に基づく独創的なデバイスです。また、単電子デバイスを応用した多値メモリを提案しました。こうしたデバイス開発と並行して、透視走査型電子顕微鏡によるデバイス内部構造の評価、単電子動作の機構解明、等の研究を進めました。

シリコンデバイス作製の最も重要なプロセスは、熱酸化による酸化膜形成です。酸化過程の原子レベルでの解明を基礎に、シリコン酸化の統一理論を打ち立て、さまざまな条件下での酸化膜形成が説明できることを示しました。

ナノ加工技術においては、電子ビームリソグラフィによる極微細パターンの形成技術とレジストプロセスの高精度化とを進めました。ナノスケールでのデバイス作製には、パターン揺らぎの少ないリソグラフィ技術が不可欠です。パターンラフネス発生の機構を明らかにし、揺らぎの極めて少ないレジスト材料を開発しました。

集積デバイス製造の現在の基本技術は、マスクから転写されたレジストパターンに基づく微細加工です。これに対して、近年、原子スケールの構造からナノスケールのデバイス構造を組み立てる、いわゆる「ボトムアッププロセス」が注目されるようになりました。この場合、表面の原子構造制御が主役を演じます。このプロセスの実現に向け、シリコン表面の原子ステップと再配列ドメインのダイナミクス、自己組織化ナノ構造の配列制御において重要となる基板表面歪み分布のデザイン、Si上のGeナノワイヤ成長機構の解明、等の研究を進めました。表面ナノ構造の機能化の一貫として、鉄酸化物ナノ粒子を用いた新たなナノ構造形成手法の開拓を行いました。近年、新しいナノ材料として注目を集めるカーボンナノチューブの研究を開始しました。今期は、気相成長によるナノチューブ形成と、電子分光による電子状態評価とを行いました。表面構造評価技術においては、放射光を用いた気相中での新たな原子構造解析手法を確立し、水素中でのInP表面再配列の解明に適用しました。

シリコン電荷結合素子における素電荷操作

藤原 聡 高橋庸夫
先端デバイス研究部

単電子トンネル素子は、超低消費電力素子としての観点から盛んに研究が行われている。電子1個の操作は、いわゆる単電子ポンプで実現できるが、多重トンネル接合が必要なため素子構造が複雑となり、作製が容易ではない。そのため、Si では単電子転送操作は実現されていなかった。今回我々は、作製が容易でより高集積化に適した素子として、単電子電荷結合素子(CCD)を提案・作製し、温度 25K での単正孔の転送操作に成功した[1]。単正孔の位置の検出には、Si ナノ構造における電子正孔共存系を利用するという新たな手法を用いた。

図1(a)に、素子の平面 SEM 像を示す。素子は、SOI 基板上に作製された2個の Si 細線 MOSFET(ゲート長 90nm)のアレイである。Si 細線は、T字型形状をしており、それぞれの端子がn型の電極につながってる。このため、2個の MOSFET それぞれを流れる電子電流を、別々に測定することが可能となる。図1(b)に、2個の MOSFET 間での単正孔の転送とその電子電流による検出を模式的に示した。光照射により生成された正孔の保持と転送は、ポリ Si ゲートに負電圧を加えて正孔を引き寄せるといった通常の CCD 動作で行う。一方、単正孔の検出には、直径 15-20nm の Si 細線内に電界を加え、保持正孔とそれをセンスする電子電流を空間的に上下に分離する(図1(c))。電子電流は、すぐに正孔と再結合することなく、正孔の個数を反映した電流レベルで流れるため、正孔の個数(n_h)を正確に知ることができる。図2に、MOSFET 間での単正孔転送動作と、その検出動作を数回繰り返した実験結果を示す。電子電流が交互に高い値を示しており、同一の単正孔を転送操作できている。

[1] A. Fujiwara and Y. Takahashi, Nature **410** (2001) 560.

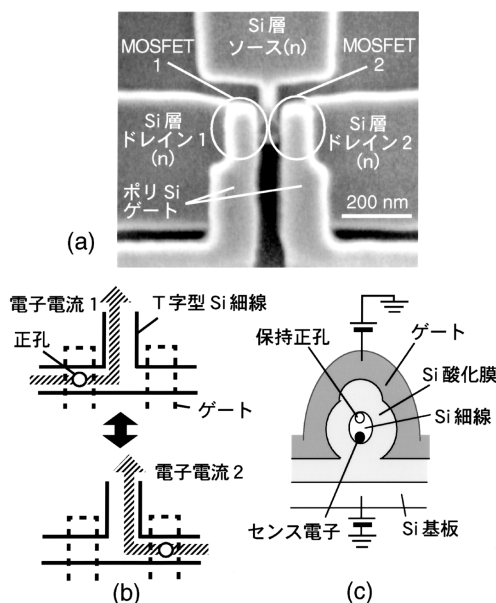


図1 (a) 素子の平面 SEM 像
(b) 単正孔転送とその検出の模式図
(c) Si 細線の断面模式図

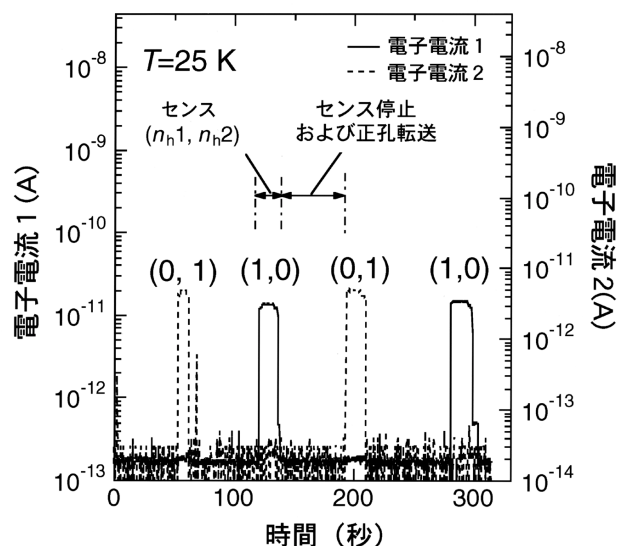


図2 単正孔の転送操作

無機レジストを使ったサブ 10nm 電子ビームリソグラフィ

山崎謙治 M. S. M. Saifullah* 山口 徹 生津英夫
先端デバイス研究部

単電子デバイスを始めとする高機能デバイスを高温で動作させるためには、10nm 以下のパターンを形成する必要がある。このような微細なパターンを形成するために、電子ビーム(EB)用高解像レジストとして、無機レジストがいろいろなグループで検討されてきた。しかし、EB に対する感度が著しく低く、高機能デバイスへ応用された例はない。

我々は、この欠点を解決する高解像無機レジストを開発した[1]。このレジストは、 β ジケトンで化学修飾された金属アルコキシドからなるキレート化合物である。EB 照射でジケトン切断することにより、アルコキシドが自発的に架橋するため、ネガレジストとなる。EB 照射で反応させる部分が無機成分ではなく、有機成分のジケトン部分であるため、従来の無機レジストの 100 倍以上の感度を有する。また、レジスト中には数 nm 以下の微細構造しかないため、nm オーダの微細パターンの形成が可能であり、小さいエッジラフネスが得られる。更に、ドライエッチングに対する耐性や選択性が、有機レジストに比べ高くなっている。

我々は、高性能 EB リソグラフィシステムを用いて、このレジストを評価した。このシステムは、加速電圧 100kV で高い安定性があり、例えば、ビーム位置のドリフトは 2nm/10min 以下、ステージ動作時の描画位置の誤差は 500 回のステージ動作前後で 1-2nm が得られている[2]。

図1は、このシステムで描画したレジストパターンの SEM 像で、8nm の線幅が偏向フィールド中心で得られている。320 μ m 角のフィールドの境界でも約 10nm 幅の細線を形成することができた。パターンの再現性やエッジラフネスは良く、フィールド内での線幅の違いはビーム径の広がりに対応している。これらの結果は、この無機レジストが EB による蓄積エネルギーを正確に反映した、高精度なサブ 10nm パターンを形成できることを実証している。

[1] M. S. M. Saifullah et al., Jpn. J. Appl. Phys. **38** (1999) 7052.

[2] K. Yamazaki et al., Proc. SPIE. **3997** (2000) 458.

*現所属:Engineering Faculty, Cambridge Univ., U.K.

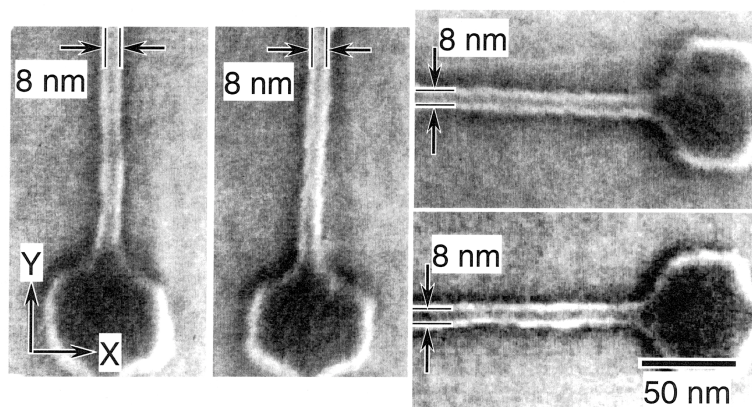


図1 8nm 幅の無機レジスト細線パターンの SEM 像。x,y 方向とも再現性良く、またエッジラフネスの小さい細線が形成できている。

歪みを制御した半導体表面

尾身博雄 David Bottomley 荻野俊郎
先端デバイス研究部

シリコン半導体技術の将来を展望しつつ、我々はウエハースケールで平坦なシリコン表面上で歪みを人工的に制御する手法を提案し、その有用性をナノ構造形成において初めて実証した。最近、自己組織的なナノ構造形成は光リソグラフィ法のサイズ限界の制約を受けない点で魅力的な技術として注目を集めている。しかし、シリコン基板上に自己組織化するゲルマニウムおよびシリコンゲルマニウムはナノスケールの構造を容易に形成できる利点はあるが、局所的な位置制御が困難であるという本質的な問題を抱えている。結果として、自己組織化をデバイス作製の基本プロセスとして用いるのは、現状の技術のままだでは困難である。

そこで我々は、ナノ構造形成の位置制御を実現するために、シリコンウエハー表面の歪み分布を制御する方法を確立した。すなわち、シリコンウエハー上に成長させたシリコン酸化膜の成長層を光リソグラフィ法で任意のパターンに加工してから、ウエハー表面に酸素イオン注入する。その後、その試料を 1325℃ でアニールし、化学エッチングで残された成長層をすべて除去する。このプロセスによりパターン領域のみにシリコン酸化物を埋め込むことができる。シリコン酸化物の体積はシリコンの約 2 倍に相当するので、埋め込まれたシリコン酸化物はシリコン基板内部に歪み場を誘起し、シリコン基板の表面では歪みの分布が現れる。この様にして形成した埋め込みシリコン酸化物は少なくとも 1325℃ まで安定なので、この歪み分布をもつ表面上でさらに作製プロセスを継続することができる。

実際に、このようにして歪み分布を制御した Si(001) 基板上に超高真空中でゲルマニウムを成長させることにより、位置とサイズが十分に制御された 3 次元島を自己組織化することができた(図1)。ゲルマニウムは 2 次元ぬれ層の上に欠陥のない 3 次元島を形成しながら成長し、この成長形態は系の表面エネルギーと歪みエネルギーの和を減少させることにより起こる。ゲルマニウムの島はライン状のイオン注入領域ではサイズが揃いしかも一列に(図 1(a))、ホール状のイオン注入領域では円状に成長する(図 1(b))。

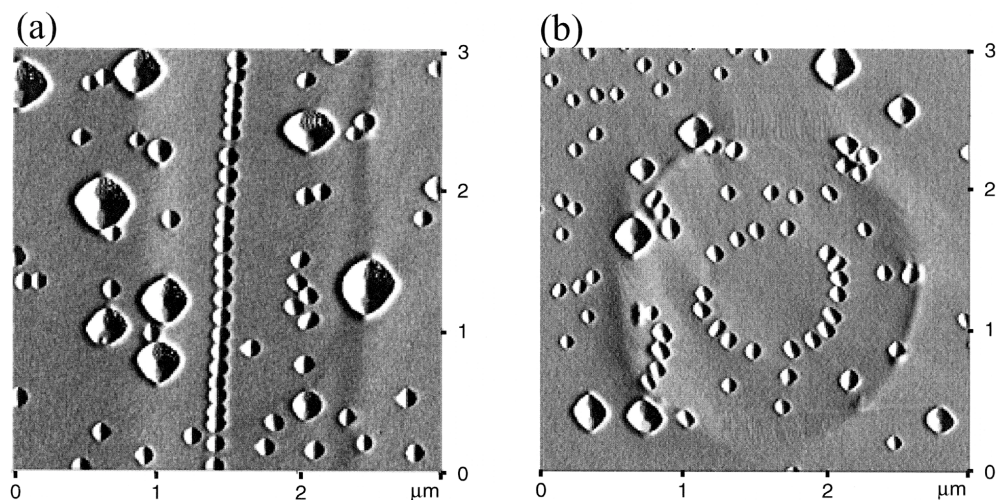


図1 700nm 幅ライン状イオン注入領域上(a)、および 2 μ m 径ホール状イオン注入領域上(b)に成長したゲルマニウム島配列の原子間力顕微鏡像

有機金属ガス気相成長における InP 表面超構造の観察

川村朋晃 渡辺義夫
先端デバイス研究部

有機金属ガスを用いた半導体デバイス作製プロセスにおいて、その成長条件と表面構造の関係を把握することは良質な結晶成長を行う上で重要であるが、気相成長の場合 RHEED、LEED 等電子線を用いた手法を適用することが困難であり、また従来用いられてきた RDS(Reflectance Difference Spectroscopy)や SPA(Surface Photoabsorption)等の光学的手法では原子レベルの表面構造を直接明らかにすることは容易ではなかった。一方X線は透過能が高く真空中のみならずガス雰囲気中でも容易に適用することができるという利点がある。またX線の場合電子線と比較すると物質との相互作用が弱いので、高強度のX線源を必要とするという問題はあるが、測定データの定量的解析が容易となる。そこでX線回折計と結晶成長チャンバーを組み合わせた in situ X線回折計を作製し[1]、SPRing8 放射光施設において MOCVD 成長雰囲気における InP 結晶の表面構造の解析を行った。

InP はV族元素であるPの蒸気圧が高いことから通常の MBE 法では良質な結晶成長が難しくその表面構造は明確ではなかった。そこで TMI および TBP を原料ガスとして用い、InP(001)基板上にホモエピタキシャル薄膜を作製し、水素雰囲気中で表面の超構造の測定を行った。図1に逆空間における Bragg 反射X線の強度分布を示す。図中の●は観測された Bragg 反射点、○は基板結晶による Bragg 反射により観測できなかった点、×は Bragg 反射が観測されなかった点を示す。また●の大きさは各反射点における相対的なX線強度を示す。図中より明らかに InP(001)の表面構造は(2×1)であることが分かる。この結果は従来の STM の結果と異なっているが、STM 測定の場合試料作製後真空中に移送して測定しているのに対し、本測定では結晶成長雰囲気中で測定しているために違いが出ていることを示唆している。また(1/2 m), (3/2 m)格子点において一部の Bragg 反射が欠損しているがこれは図2に示すように[-110]方向に最表面の P ダイマーのみならず二層目の In 原子の変位によって説明することができる。

[1] T. Kawamura et al., J. Cryst. Growth **221** (2000) 106.

[2] T. Kawamura et al., Appl. Phys. Lett. **77** (2000) 996.

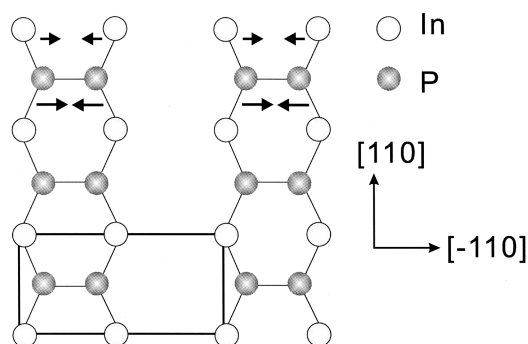
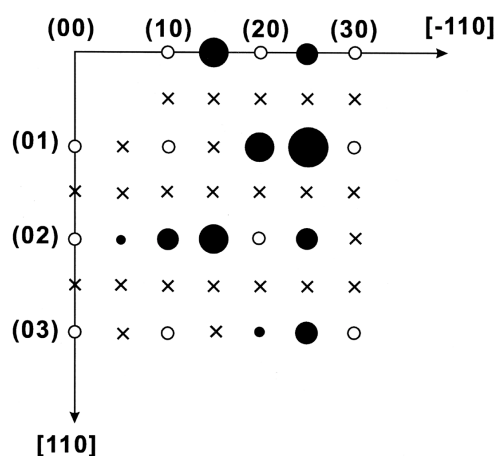


図1 逆空間における Bragg 反射強度分布 図2 InP(001)表面における(2×1)構造モデル

機能物質科学の研究概要

高柳英明
機能物質科学研究部

我々は、原子や分子の配列や結合を制御して、天然には存在しない新しい物質を創り出そうとしています。そして、この新物質を用いた新しい概念の創出や新機能の発現を目指しています。この目的のため、本研究部は以下の4つのグループが、それぞれ異なった観点から研究を進めています。各グループは、無機物質から有機物質に至る広範囲な物質群をカバーするだけでなく、独自の微細加工技術や精密測定技術を通じて互いに有機的に連携されています。

分子生体機能研究グループ

単分子レベルでの操作技術を利用して今までにない有機・生体分子を創出すると共に、神経機能を土台とした新しい情報処理機構を開拓する。

超伝導体薄膜研究グループ

MBE 成長技術を利用して、新しい高温超伝導体材料を合成する。

超伝導量子物理研究グループ

量子コンピュータの基礎である量子ビット動作の実現、および、量子ドット列を用いた新機能の発現を目指す。

極微細構造素材研究グループ

フォトニック結晶作製技術を用いて、光回路、部品の超小型・新機能化・大規模集積化を実現する。

今年度の代表的な成果を、次ページ以降に4つ掲載しています。最初のトピックは、大脳皮質における代表的な神経伝達物質であるグルタミン酸のリアルタイム計測に関するものです。独自のアレイ型の電気化学センサを作製することによって、大脳皮質における神経伝達のリアルタイム多点計測が可能となりました。この研究は、脳における複雑な情報処理機構を解明するための有効な手段と考えられます。

分子線エピタキシー法 (MBE 法) を用いて、電子をキャリアとする高温超伝導体の高品質単結晶薄膜の合成に成功しました。大多数の高温超伝導体はホールをキャリアとしており、電子をキャリアに持つ物質は2例しか発見されていません。今回合成した物質の転移温度は約40Kですが、MBE法の特徴である低温合成を生かせば、より高い転移温度を持った電子ドープ型超伝導体を作製できる可能性があります。

3番目のトピックは量子ドット超格子を用いた強磁性発現の理論提案です。0.1 μm 程度の幅を持った InAs 量子細線ネットワークは、平坦バンド構造を持ちます。このバンドの電子濃度を増減することによって、強磁性のスイッチオン・オフが可能となります。

最後のトピックは2次元フォトニック結晶における単一モード光伝播に関するものです。屈折率の異なる媒質が周期配列した構造を持ったフォトニック結晶は、次世代の光デバイスへの応用が期待されています。今回、SOI (Silicon on Insulator) 基板上に線欠陥構造を持った2次元フォトニック結晶を提案・作製し、線欠陥構造が単一モード導波路となることを実証しました。

神経活動のリアルタイム計測

河西奈保子 神保泰彦 鳥光慶一
機能物質科学研究部

脳では、神経細胞を含めた様々な細胞が複雑に絡み合った回路を形成して活動しながら、大量の情報を効率良く伝達・蓄積・処理している。その複雑な活動を理解し活用してゆくためには、脳における二次元あるいは三次元の、高精度かつ高空間分解能な情報をリアルタイムに得る必要がある。しかし、現在、そのような情報を得る手段はごく限られている。当グループでは、アレイ型電極を用いた複数の神経細胞の電気活動の同時計測、神経細胞内の特定のイオンの分布のイメージング等により、単一あるいは複数の神経細胞における活動状態を画像化する試みを進めている。

また細胞間の情報伝達を担う神経伝達物質も、記憶の機構の解明等のために非常に関心を集めている。しかし、これまで神経伝達物質の受容体の分布は計測されているものの、神経伝達物質そのものの分布を測定する手段はなく、受容体の活動レベルや動的变化に関する知見は全くなかった。我々は、大脳皮質、特に海馬における代表的な興奮性神経伝達物質であるグルタミン酸に着目し、海馬における分布をリアルタイムに計測し、その挙動を可視化することを目指して研究を続けている。

本研究では、アレイ型の電気化学グルタミン酸センサを作製し、刺激によりラット海馬から放出されるグルタミン酸のリアルタイム多点計測に成功した[1]。グルタミン酸センサは、グルタミン酸酸化酵素と電子移動メディエータ、ペルオキシダーゼをアレイ型電極(各サイズ $50 \times 50 \mu\text{m}^2$)上に修飾して作製した。その上にラットの海馬切片を固定し、アレイ中の複数のセンサにおけるグルタミン酸濃度を計測したところ、薬物刺激により受容体の活性化に起因するグルタミン酸の濃度上昇が認められた(図1)。このことは、受容体の分布や活動レベルが海馬内の領域によって異なることを示している。この結果から、本手法はグルタミン酸のリアルタイム分布計測に有効な手段であることが分かった。今後は分布の画像化を進める予定である。

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

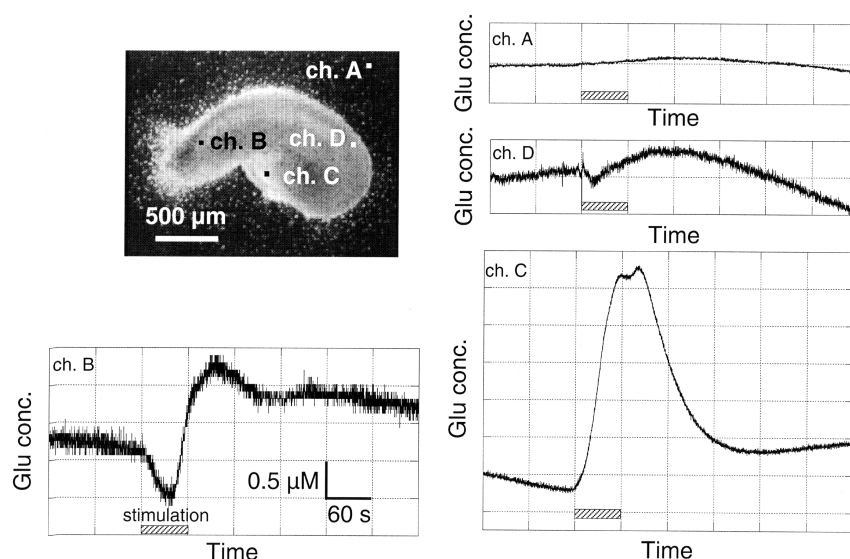


図1 海馬切片の各位置におけるグルタミン酸濃度の経時変化

電子ドーピング高温超伝導体の分子線エピタキシー合成

狩元慎一 内藤方夫
機能物質科学研究部

電子ドーピング高温超伝導体は、ホールドーピング高温超伝導体に比べ、発見されている物質群が極端に少なく、得られている超伝導臨界温度 (T_c) もホール系での 135K に対し、40K 程度と低い。なぜ T_c が低いのか？ホールドーピング高温超伝導体と超伝導発現機構は違うのか？といった基本的な問題を明らかにする上で、電子ドーピング高温超伝導体の高品質単結晶薄膜の作製及び新材料探索は重要である。分子線エピタキシー法 (MBE 法) は、低温合成やエピタキシー効果によりバルク合成では不可能な非平衡相の合成を可能にする。本手法を用いて、バルク合成では困難な、以下 2 種類の電子ドーピング高温超伝導体の高品質単結晶薄膜合成に成功した [1,2]。以下に、それぞれの物質の特徴と意義を述べる。

(1) (Sr, La)CuO₂ ($T_c \sim 40$ K)

高温超伝導体の中で最も単純な構造 (超伝導を担う CuO₂ 面と (Sr, La) が交互に積層した構造: 無限層構造、図 1(a)) を持つために、超伝導発現機構を研究するには格好の物質である。しかしながら、高温・高圧相 (1000°C、5 万気圧) であるために、通常の常圧合成では合成できない。したがって、単結晶はできておらず、基本的な物性すら調べられていない。本研究では、特殊な基板 (KTaO₃) を用いたエピタキシー効果により高品質単結晶薄膜の合成に成功した。図 1(b) に今回得られた薄膜の電気抵抗率—温度特性を示す。高圧合成バルク多結晶試料に比べ、金属的な特性と 3 桁低い電気抵抗率が得られた。

(2) T'-(La, Ce)₂CuO₄ ($T_c \sim 30$ K)

電子ドーピング系として最初に発見された T' 構造を持つ高温超伝導体は、化学式 (Ln, Ce)₂CuO₄ で表される一群の物質群である。通常バルク合成では、希土類元素 (Ln) として、Pr, Nd, Sm, Eu, Gd が取られ、 T_c の最高値は (Pr, Ce)₂CuO₄ と (Nd, Ce)₂CuO₄ の 25K である。一方、MBE 法では合成温度を $\sim 600^\circ\text{C}$ 程度まで低温化できるために、Ln=La とした T'-(La, Ce)₂CuO₄ の単結晶薄膜の作製が可能となる。 T_c は、この物質群中最高 30K を示し、かつ、一群の物質の T_c から「希土類のイオン半径が大きいほど、 T_c が高い」と明瞭な傾向を見ることができる。本傾向は、高 T_c 材料開発の 1 つの指針を与える。

[1] S. Karimoto et al., submitted to Appl. Phys. Lett.

[2] M. Naito and M. Hepp, Jpn. J. Appl. Phys. **39** (2000) L485.

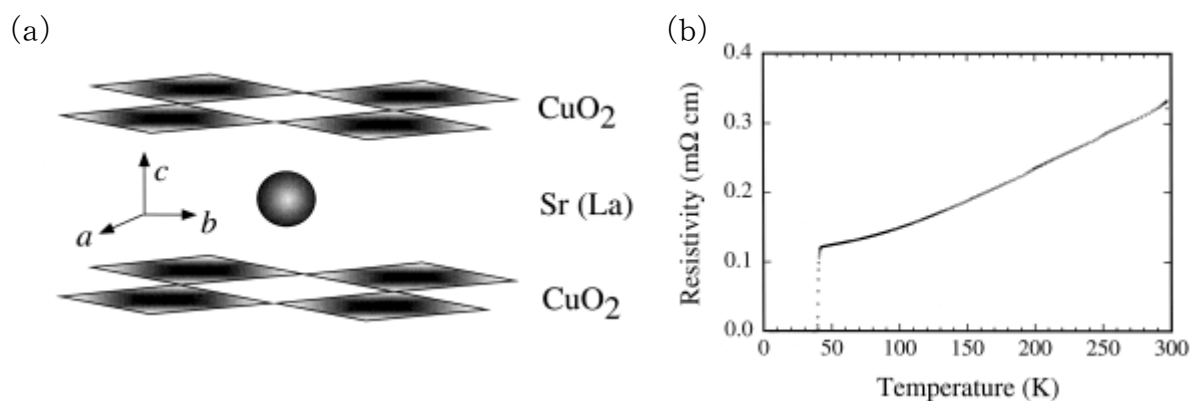


図1 (a) 無限層構造と (b) (Sr, La)CuO₂ 薄膜の電気抵抗率—温度特性

量子ドット超格子における新物質設計

田村浩之 高柳英明
機能物質科学研究部

半導体量子ドットを格子状に並べてドット間を電子が移動できるようにした系を量子ドット超格子と呼ぶ。一つのドットを人工原子と見なすと、量子ドット超格子はいわば人工結晶とも言える。半導体ドットを用いて人工結晶を作ることには様々な利点がある。まず格子構造が自由に設計できるので、自然界に存在しないような格子構造も作ることが出来る。また半導体においては電子濃度を変えられるので、電子物性を自在に制御できる。これらの利点のために、通常の物質結晶が受けてきた様々な制約にとらわれることなく、意図した物性が発現するように物質設計を行うことが可能となる。我々はこれまでに、ある特定の格子構造を持った量子ドット超格子が強磁性を発現し、それが実験的に観測可能であることを提案してきた[1]。

最近我々は、図1のような量子細線ネットワークを設計すると実効的に量子ドット超格子が形成され、そこで強磁性が発現することを示した[2]。局所スピン密度汎関数(LSDA)法を用いた電子状態計算を行うと、我々が設計した $0.104\ \mu\text{m}$ 幅の InAs 量子細線は実効的に平坦バンドを持つカゴメ格子を形成し、その平坦バンドに電子が半分詰まったときに強磁性が基底状態となる(図2)。この強磁性は電子濃度を増減することによって自在にスイッチオン・オフが出来ることも示した。

このようなドット超格子のアイデアを拡張すれば、強磁性の他にも様々な電子物性が期待できる。近い将来半導体ナノテクノロジーの進歩によって、超伝導をはじめとするさらに興味深い現象が観測できることが期待される。

[1] H. Tamura, K. Shiraishi, and H. Takayanagi, Jpn. J. Appl. Phys. **39** (2000) L241.

[2] K. Shiraishi, H. Tamura, and H. Takayanagi, Appl. Phys. Lett. **78** (2001) 3702.

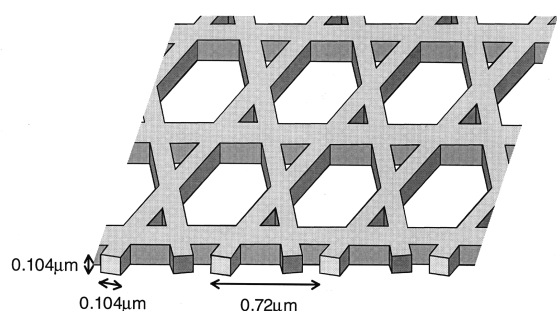


図1 実効的にカゴメ格子を形成する量子細線ネットワーク。細線の交差点にドットが形成される。細線は InAs でバリア領域が $\text{In}_{0.72}\text{Ga}_{0.28}\text{As}$ からなり、バリアの高さは 0.21eV とした。

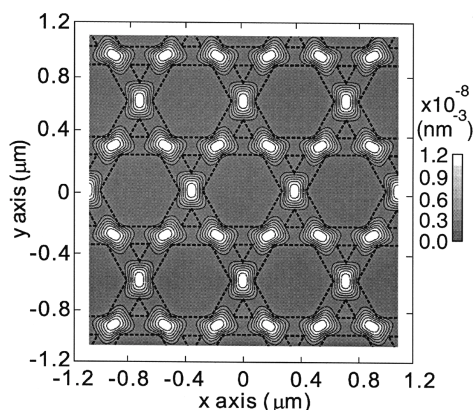


図2 LSDA 法で計算したスピン密度分布。細線の交差点部分で強磁性が発現している様子が分かる。

2次元フォトニック結晶の作製

納富雅也 新家昭彦 横浜 至
機能物質科学研究部

異なる屈折率媒質が多次元周期的に配列された人工構造であるフォトニック結晶は、光の伝搬を高度に制御可能であることから、超小型光集積回路等の次世代の光デバイスへの応用が期待され、理論検討から微細加工技術を用いた作製へと研究が進展してきている。我々は、将来の大規模集積化をにらんで、SOI (Silicon On Insulator)構造に着目し、通信エネルギー研究所の協力を得て、2次元フォトニック結晶の設計、作製に取り組んでいる。

まず、基本となる2次元フォトニック結晶構造を、設計・作製し、特性を評価した。厚さ200nmのSi層に400nm周期で垂直孔を三角格子状に作製した。垂直方向には、Si層とSiO₂層ならびに空気層の屈折率差で光をSi層に閉込め、面内方向には、屈折率の異なるSi部分と空気部分(垂直孔)が周期的に配列する2次元フォトニック結晶構造となっている。測定の結果、フォトニック結晶の特徴であるフォトニックバンドギャップ(光の絶縁体として機能)が、光通信波長帯に明瞭に形成されており、SOI構造で良好な2次元フォトニック結晶が作製できることを明確にした[1]。さらに、光配線構造として重要な線欠陥構造について検討した。我々はSOI構造に適した構造として、フォトニック結晶構造領域にはさまれた線欠陥構造の幅を通常より狭めた幅変化型線欠陥構造を提案・作製した(図1)。透過スペクトル(図2)の測定の結果、良好な単一モード光伝搬に世界に先駆けて成功した[2]。

今回、超小型光集積回路の基本要素であるフォトニック結晶構造と線欠陥構造をSOI構造を用いて実現した。SOI構造2次元フォトニック結晶は超小型集積回路に適した構造と言え、今後のデバイス構造作製などへの展開が期待できる。

[1] I. Yokohama et al., OECC 2000 (2000) 11B2-4.

[2] M. Notomi et al., Electron. Lett. **37** (2001) 293.

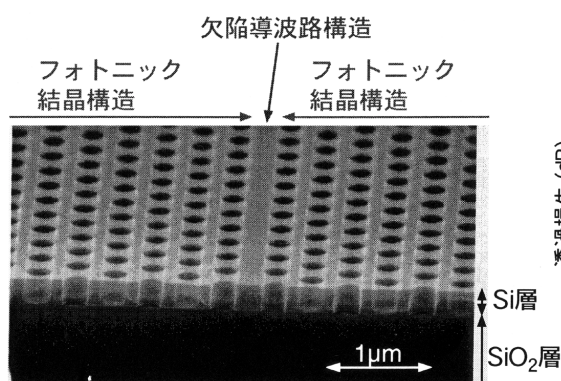


図1 幅変化型線欠陥導波路構造 SEM 写真

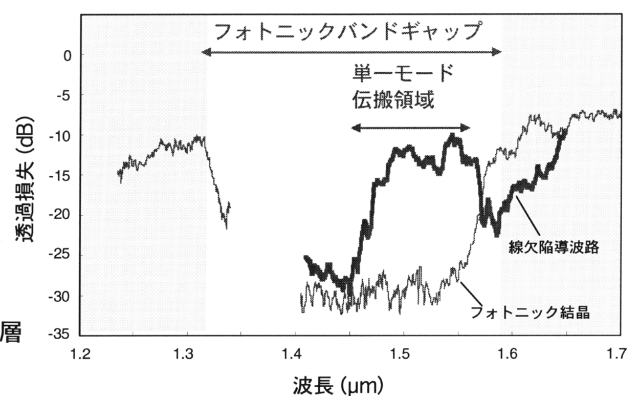


図2 透過スペクトル

量子電子物性の研究概要

向井孝彰
量子物性研究部

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

量子電子物性研究グループ

- (1) 低次元半導体ヘテロ構造中のキャリア相関の研究(高移動度半導体中二次元電子、正孔の輸送特性、二層二次元系(電子・電子ならびに電子・正孔近接系)のキャリア相関解明、伝導電子と核スピンの相関の解明)
- (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(縦型ならびに横型量子ドット(人工原子・人工分子)の電子状態解明、量子ドットのスピン制御、量子ドットのキャリアダイナミクス、人工分子を用いた量子計算機構成法の基本特性解明)
- (3) 半導体ナノメカニカルシステムの研究(構造作製と物性評価)、ナノプローブ技術(低温 STM による電子状態のナノスケール直接観測)

ワイドギャップ半導体研究グループ

- (1) GaN 結晶成長技術の研究(低欠陥 GaN 有機金属気相成長機構ならびにファセット形状制御成長機構の解明、p型高濃度ドーピング技術、デバイス作製加工技術の確立)
- (2) GaN 半導体デバイス物理の研究(量子井戸構造 GaN の光物性・電子物性の解明と耐環境・高温動作電子デバイスの実現、短波長域発光ダイオード・半導体レーザの実現)
- (3) AlN 冷陰極材料の電界発光の研究(Si 不純物高濃度化による低閾値化、電流密度の増大)

本研究分野の本年度の代表的な研究成果3つを次ページ以降に掲載しています。電子スピンの相関現象である近藤効果を、制御性の良い半導体微小量子ドット(人工原子)で実験し、ユニタリー極限と呼ばれる理論限界の伝導度を実現すると共に、偶数個の電子が関与する新奇な近藤効果の存在を実証しました。これは、半導体中での電子スピン相関を制御してデバイスへ応用する「量子相関エレクトロニクス」への道を拓く学術的な成果です。

極低温で動作する走査型トンネル顕微鏡を用いて、半導体極薄膜中に形成された2次元電子の「波」としての振る舞いを、ナノメートルスケールで直接観測することに初めて成功しました。これは、従来の最表面に束縛された電子波動の観察と異なり、半導体中で電気伝導を担う2次元伝導電子に対する波動性の直接観測であることが特徴であり、半導体デバイスの微細化が進展する中で、今後、ますます重要になる実験手法と位置付けられます。

窒化物ワイドギャップ半導体の電子・発光デバイスに続く新たな応用に繋がる電子物性として、高品質な窒化アルミニウム半導体中に Si 不純物を高濃度に添加した新規材料で、高効率なフィールドエミッション(FE)特性を実現しました。その最大エミッション電流密度は、これまで最高値を示したダイヤモンドのそれを凌駕しており、FE ディスプレイ等への応用にも期待が持てる研究成果です。

量子ドットにおける新しい近藤効果

藤澤利正 佐々木智
量子物性研究部

電子を半導体微小領域に閉じこめた量子ドットでは、電子は量子力学的二重性(粒子性と波動性)を示し、量子ドット中の電子の個数を正確に制御できるとともに、波動性によって離散的なエネルギー状態が形成される。また、量子ドットでは電子スピンに起因する多くの現象が観測されている。このような量子ドットの電子状態が通常の原子のものと類似していることから、量子ドットは人工原子とも呼ばれている。量子ドットでは、単一の電子スピンを制御できることから、量子コンピュータなどの量子情報処理を実現する素子(量子ビット)への応用が期待されている。量子ビット間の相関を操る量子ゲートの可能性を探るためにも、電子スピンの相関現象である近藤効果の研究が注目されている。

量子ドットの近藤効果は、量子ドット中の電子スピンと、量子ドット近傍にある電極の電子スピンとの相互作用によって引き起こされる量子力学的な協同トンネル現象である。クーロンブロッケードによって電流が抑制されている場合でも、量子ドット中に電子スピンがあると、電極の電子スピンとペアを作ることによってトンネル電流が流れる。通常は、量子ドットの電子数が偶数の場合は全スピン=0、奇数の場合は全スピン=1/2 なので、奇数の場合にのみ近藤効果が現れる。低温極限では、伝導度はユニタリー極限と呼ばれる $2e^2/h$ まで上昇し、量子的な近藤効果によって古典的なクーロンブロッケードは消失する(図1(a))。我々は、制御性の高い微小量子ドットによってユニタリー極限を実現するとともに、電子波干渉実験によって近藤効果によって流れる電子の可干渉性を検証することに成功した[1]。さらに、量子ドットの磁場制御によって特殊なスピン縮退状態での新奇な近藤効果を見い出した。ここでは、図1(b)のように電子数が偶数であっても、一重項状態と三重項状態が縮退した場合に量子ドットのとりえるスピン状態の数が増えるため、より顕著な近藤効果が現れている[2]。これらの結果は、量子ドットが優れた電子スピン相関の制御性を有することを示している。

本研究は、デルフト工科大 L.P.Kouwenhoven 教授、東京大学(ERATO,NTT)樽茶清悟教授らとの共同研究である。

[1] W. G. van der Wiel et al., Science **289** (2000) 2105.

[2] S. Sasaki et al., Nature **405** (2000) 764.

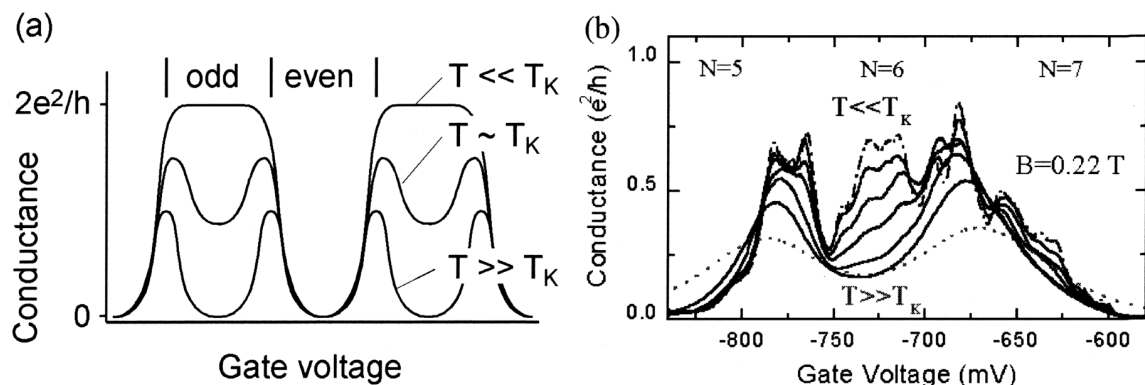


図1 (a)量子ドットの伝導度の温度依存性(概念図)、(b)一重項と三重項が縮退した場合、電子数が偶数($N=6$)でも近藤効果が観測される。

2次元電子系におけるフリーデル振動の観察

蟹沢 聖 山口浩司 平山祥郎
量子物性研究部

半導体微細構造を用いて作製される光・電子素子は、現在の IT 技術の発展を基盤技術として支えてきた立役者の一人である。これらの半導体デバイスにおける信号処理の仕組みでは、デバイス中の電流すなわち素子を流れる「粒子」としての電子の数を、外部信号により制御することをその動作原理としてきた。しかしながら量子力学によって示されているように、最先端の微細加工技術によって作製されるナノメートルスケールの半導体素子では、電子は「粒子」であるとともに「波」としての性質を持つ。昨今では、この電子の「波」としての性質を利用した素子が数多く提案され、実用に至っている。このような背景のもと、我々は表面の凹凸がわずか百分の1ナノメートル程度と極めて平坦かつ良好な電気伝導を示すインジウム砒素 (InAs) 表面を独自の結晶成長技術により形成し、半導体極薄膜中に形成された2次元電子の「波」としての振る舞いを、低温 STM を用いた観察によりナノメートルスケールで直接視覚化することに初めて成功した[1,2]。

図は貫通転位とよばれる欠陥の周辺において観察された電子波 (フリーデル振動) である。池に投げ込まれた石が作り出す波紋と同様に、欠陥が電子波を散乱することによって形成される同心円状のパターンが明瞭に観察される。量子力学によって示されているように、この波の周期は電子の持つ運動エネルギーと密接な関係があり、高いエネルギーを持つ電子ほど波の周期は短くなる。図から明らかなように、異なるエネルギーに対する観察結果は、まさにこの波長とエネルギーの関係を正確に再現している。この関係の詳細な解析により InAs 中における電子の質量 (有効質量) が実験的に求まるが、観察により得られた電子の質量は他の実験により報告されている値と正確に一致し、ここで見られている波紋が半導体中で電気伝導を担っている2次元伝導電子によるものであることが強く示唆される。

[1] H. Yamaguchi et al., Jpn. J. Appl. Phys. **38** (1999) 635.

[2] K. Kanisawa et al., Phys. Rev. Lett. **86** (2001) 3384.

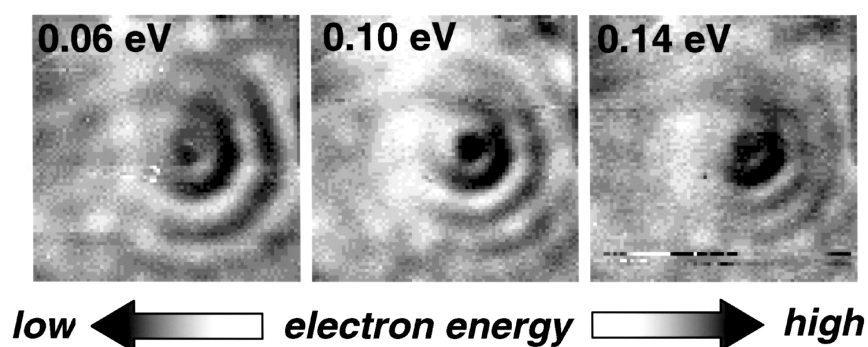


図1 局所状態密度像として観察されたフリーデル振動。コントラストの濃淡は電子の存在確率におおよそ比例する。各図左上にフェルミ準位を基準とした電子エネルギーを示す。

窒化アルミニウムによる高効率フィールドエミッション

嘉数 誠 小林直樹
量子物性研究部

窒化アルミニウム (AlN) 半導体は、負の電子親和力を有することが報告されている。このため、AlN はフィールドエミッションに大変有利であると予想される。フィールドエミッションが実現すると、テレビ画面の動画性、色彩の美しさを保ちつつ、薄型、省電力の特徴をもつフィールドエミッションディスプレイや高周波増幅に有望な微細真空管素子を実現する。これまでの AlN はアンドープである上、結晶品質が十分でなかったため、電流密度はダイヤモンド等に及ばなかった。

我々は、AlN 結晶と面内 (a 軸) で格子整合し、熱膨張率が等しいシリコンカーバイド (SiC) を基板として選び、さらに 1100°C という高温で MOVPE 成長することにより、(0002) X 線ロッキングカーブ半値幅で 100 秒を切る最高品質の AlN 結晶を得ることができた。また、AlN 中の Si ドーピング濃度を増加すると、フィールドエミッションに必要な電界強度が減少することを見出した (図1)。そのメカニズムを図2で説明する。第一の理由は、ドーピングした Si が電子の供給源になり、さらにバルクから表面に電子が伝導するための経路になることである。第二の理由は Si 濃度の増加に従い、ナノメートルスケールで先端が鋭く尖ったリッジ (畝) 構造が自然形成され (口絵参照)、フィールドエミッションに必要なエネルギー障壁が約 2 eV 低下することである。最大のフィールドエミッション電流密度は、ダイヤモンドの約 2 倍の 66 mA/cm² に達した。またフィールドエミッションディスプレイの基礎実験を行い、フィールドエミッションで放出された電子で蛍光体を励起し、三原色の発光を観察した (口絵参照)。その輝度は 1200cd/m² で実用レベルにある。

[1] M. Kasu and N. Kobayashi, Appl. Phys. Lett. **76** (2000) 2910.

[2] M. Kasu and N. Kobayashi, Appl. Phys. Lett. **78** (2001) 1835.

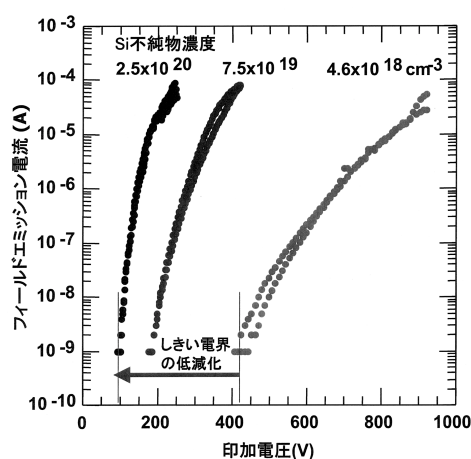


図1 フィールドエミッション特性の Si ドーピング濃度依存性

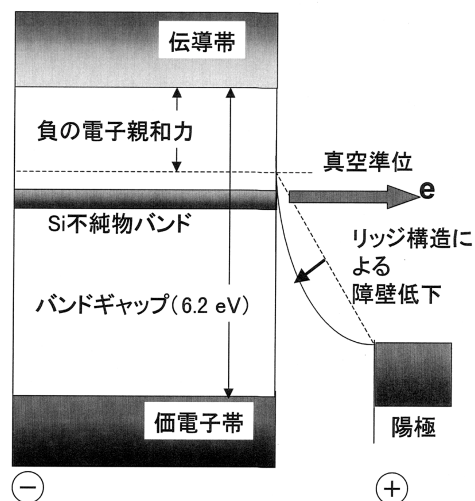


図2 高効率フィールドエミッションのメカニズム

量子光学・光物性の研究概要

向井孝彰
量子物性研究部

光通信技術や光情報処理技術に大きなブレークスルーをもたらす革新的基盤技術の提案、ならびに、量子光学・光物性分野における学術的貢献を目指して研究を進めています。本研究分野は量子光制御研究グループ、超高速光物理研究グループ、光デバイス物理研究グループにより進められています。各研究グループの研究項目とその研究内容を下記に示します。

量子光制御研究グループ

- (1) 量子通信・量子情報処理の研究(量子暗号法の提案と実験的検証、量子プロトコル、量子エンタングルメント、量子コンピューティングの理論的検討)
- (2) 原子波制御の研究(アルカリ金属原子のボーズ・アインシュタイン凝縮、レーザによる物質の新しい量子状態制御法の理論と実験)

超高速光物理研究グループ

- (1) 超短光パルス誘起プラズマからの高輝度軟X線発生と応用の研究(超短パルス軟X線光源の実現、小型軟X線レーザの実現、軟X線波形計測法、軟X線発生機構の解明、短パルス軟X線による時間分解分光実験)
- (2) 超短光パルス誘起 THz電磁波発生とその応用

光デバイス物理研究グループ

- (1) 量子ドットの励起子およびスピンの量子操作の研究(零次元励起子のラビ振動観測とコヒーレント制御、量子ディスク中励起子、励起子分子の吸収・発光過程の実験的解明、低次元半導体中のスピン輸送特性解明)
- (2) 窒化物半導体の光物性とデバイス応用の研究(窒化物半導体量子井戸からの吸収・発光特性評価、ピエゾ効果、励起子効果の解明、光伝導型受光素子の特性解明)
- (3) ナノスケール加工技術とフォトニック効果の研究(低損傷ドライエッチング技術の窒化物半導体ナノスケール加工への展開、フォトニック結晶構造の設計と作製)

本研究分野の本年度の代表的な研究成果3つを次ページ以降に掲載しています。ファイバ光パラメトリック増幅における強い利得飽和特性を用いて、光雑音抑圧や光リミッタ動作を実証し、超高速で動作する利得付き光機能回路への応用を示しました。このファイバ光パラメトリック過程は、量子通信で利用価値の高いエンタングル光子対の生成に適しています。

フェムト秒レーザプラズマ誘起のX線パルス発生において、通常の平面ターゲットに替えてナノ構造配列ターゲットを用いることにより、高密度のプラズマを大きな相互作用体積にわたって生成することに成功し、生成されるX線パルス幅を短く保ちながら、X線への変換効率を大幅に向上させたものです。

単一の InGaAs 量子ドット中励起子の励起準位に共鳴する光を照射した時間領域とスペクトル領域の実験で、励起子二準位系が 40ps 以上の長い位相緩和時間を持つと共に、これが強い励起光に駆動された際に生じるコヒーレントな分布振動(Rabi 振動)を明瞭に観測しました。この実験結果は、量子ドット励起子を基本素子とする光量子コンピュータの可能性に道を拓くものです。

ファイバ光パラメトリック増幅

井上 恭 向井孝彰
量子物性研究部

量子相関のある2つの光子対(エンタングル光子対)は、観測するまでは状態が未確定であるが、一方の光子の状態が測定により確定すれば、他方の光子の状態が一意に決定される、という特異な性質を有している。これを利用すると、光の量子的性質に基づく通信(例えば量子暗号通信)が可能となる。これまでエンタングル光子対を発生する方法としては、2次の光非線形効果によるパラメトリック下方変換が広く利用されているが、ファイバ通信系へ適用するには、(1)発生波長が短波長帯($<1\mu\text{m}$)に限られる、(2)バルク結晶を用いるためファイバへの結合効率が悪い、などの難点があった。

我々は、ファイバ通信系に適したエンタングル光子対の発生を念頭におき、ファイバ内の光パラメトリック増幅過程について研究している。光ファイバにポンプ光を入力すると、四光子混合過程により、ポンプ光の両側の波長帯にシグナル光とアイドラー光が発生する(図1)[1]。この2つの光子はエンタングル光子対としての性質を備えている。発生波長はファイバ通信に適した $1.5\mu\text{m}$ 帯であり、また発生光はそのままファイバ伝送系に適用可能である。

現在、ポンプ光とともに信号光をファイバに入力した光パラメトリック増幅器としての特性を調べている。これまでに、(1)入力信号光パワーの増加につれ出力信号光パワーはピークに達しその後減少に転じる、という通常の光増幅器では現れない特異な飽和特性の実証/理論計算(図2)[1]、(2)出力ピーク付近の動作領域(図2矢印)における光雑音抑圧効果/低雑音性の検証、(3)スペクトルホールバーニングの観測/機構解明、(4)光リミッタへの適用実験[2,3]を行い、超高速で動作する利得付き光機能回路へ応用可能な事を示してきた。今後、これらの結果を踏まえ、通信波長帯におけるエンタングル光子対の発生を目指す。

[1] K. Inoue and T. Mukai, Opt. Lett. **26** (2001) 10.

[2] K. Inoue, Electron. Lett. **36** (2000) 1016.

[3] K. Inoue, IEEE Photon. Technol. Lett. **13** (2001) 338.

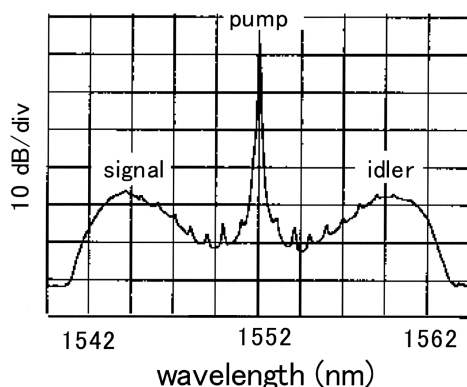


図1 ファイバ出力スペクトル
(ポンプ光のみ入力時)

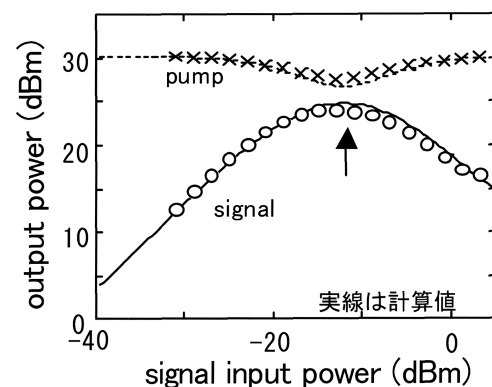


図2 パラメトリック増幅器
の出力特性

ナノ構造配列ターゲットによるフェムト秒レーザプラズマ X 線の高効率発生

西川 正 中野秀俊
量子物性研究部

超短パルスレーザ生成プラズマからの X 線発生法は、X 線短パルスを得る手段として有望視されているが、ターゲット表面での高密度プラズマの形成によりレーザ光のターゲットとの相互作用深さが 50 nm 程度の表皮厚内に制限され、大きな変換効率が得られないという問題があった。この問題を克服する為に、2 連のレーザパルスを用い、プリパルスで生成したプラズマが膨張してその密度が下がったところでメインパルスを照射してプラズマを効率的に加熱する事で、X 線への変換効率を高める手法が開発された。しかし、低いプラズマ密度はその冷却速度の低下をもたらし、得られる X 線パルス幅が単一パルス励起時の 5 ps から 100 ps 程度に広がる問題が残った。本研究では、表面に表皮厚スケールのナノ構造配列を形成したターゲットを用いて、レーザ光の相互作用深さを $20\ \mu\text{m}$ 程度に迄拡大し、形成されるプラズマの密度は高く保ったままその容積を増大することで、短い X 線パルス幅を保ちつつ、X 線領域への変換効率を大幅に向上できる事を明らかにした。

実験には2種類のナノ構造配列ターゲットを用いた。一つ目はアルミ板の陽極酸化に伴う自己組織化現象を利用して作製した、面に垂直で孔径及び配列が規則的に揃ったナノホール配列アルミナターゲットである[1]。ナノホールの孔径は 90 nm でピッチは 100 nm であった。二つ目は、ナノホール配列アルミナのホール内に電解メッキで金を充填したのちアルミナ部分を溶解除去することで作製した金のナノシリンダー配列ターゲット(図1)である[2]。シリンダーの直径は 80 nm で高さは $9\ \mu\text{m}$ 及び $18\ \mu\text{m}$ であった。

これらのターゲットにパルス幅 100 fs のレーザ光をピーク集光強度 $1.5 \times 10^{16}\ \text{W}/\text{cm}^2$ で照射し、得られる軟 X 線強度スペクトルを観測した(図2)。生成されるプラズマ容積の増大により、5-20 nm の軟 X 線領域において従来の平面ターゲットに比べて 50~10 倍の時間積分軟 X 線発生量の増強を得ることができた。一方、高い局所密度のプラズマは急速に冷却され、X 線パルス幅の広がり現象が抑えられるため、平面ターゲットで 2 連パルスを用いたレーザ生成プラズマ X 線の増強手法や、既存の放射光施設で得られるものより狭い、17ps 以下のパルス幅を持つ X 線が得られ、パルスピーク強度も 5~7 倍に増強できた。

[1] T. Nishikawa et al., Appl. Phys. Lett. **75** (1999) 4079.

[2] T. Nishikawa et al., International Conference on X-ray Lasers 2000.

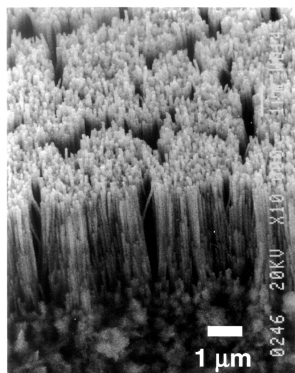


図1 金のナノシリンダー配列ターゲットの側面からの SEM 像

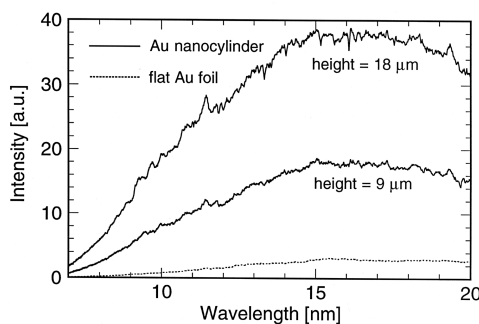


図2 金のナノシリンダー配列ターゲット(実線)及び金箔ターゲット(点線)からの時間積分軟 X 線スペクトル

単一量子ドット中励起子の Rabi 振動

鎌田英彦 後藤秀樹
量子物性研究部

2準位系が強い電磁波に曝された時に生ずるコヒーレントな分布振動、則ち Rabi 振動は物質と光のコヒーレントな相互作用のうち最も基本的な現象であり、光量子コンピュータ動作の拠り所である。半導体量子ドット中の励起子では、状態の完全な離散化によるフォノン散乱の抑制により長い位相緩和時間が達成されることから、励起子を基本要素として Rabi 振動を利用する量子状態操作の実現が期待出来る。

Rabi 振動の観測を目的として、単一 InGaAs 量子ドット励起子の励起準位をひとつ選び、この準位に共鳴する強い光で励起した際の励起子 2 準位系の振る舞いを調べた。第1の実験では、下準位への自然放出光のピークが励起光の電界に比例したエネルギー分裂を示すことを見いだした[1]。この分裂は分布振動の周波数に対応する。第2の時間領域での実験では、時間差を有する光パルス対が作る励起子分極間の干渉フリンジの包絡線に Rabi 振動を反映するうねりを観測した[2]。励起光の強度が弱い場合、第1のパルスで媒質に転写・誘起された分極振動が、長いコヒーレンス寿命によって光パルス終了後も持続するため、第2のパルスが作る分極との干渉振動は約 40ps 以上の間観測される (図1 (a), (b))。一方、光パルスの強度が十分に強い場合には、物質分極の振動に加えて入射光で誘起される分布振動 (Rabi 振動) が重畳するため、干渉フリンジには Rabi 振動周波数が混入し (図1 (d)), 同時に包絡線には Rabi 振動による周期の長い振動が現れる (図1 (c))。この振動周期は光電界強度に反比例して短くなり、Rabi 振動に起因するものであると確認した。これらの結果は量子ドット励起子を基本要素とする量子ビット回転ゲート操作の実現の可能性を示唆している。

[1] H. Kamada et al., ICPS25, Osaka, (2000) H169.

[2] H. Kamada et al., CLEO Pacific Rim 2001, Chiba, (2001) ThG4-3.

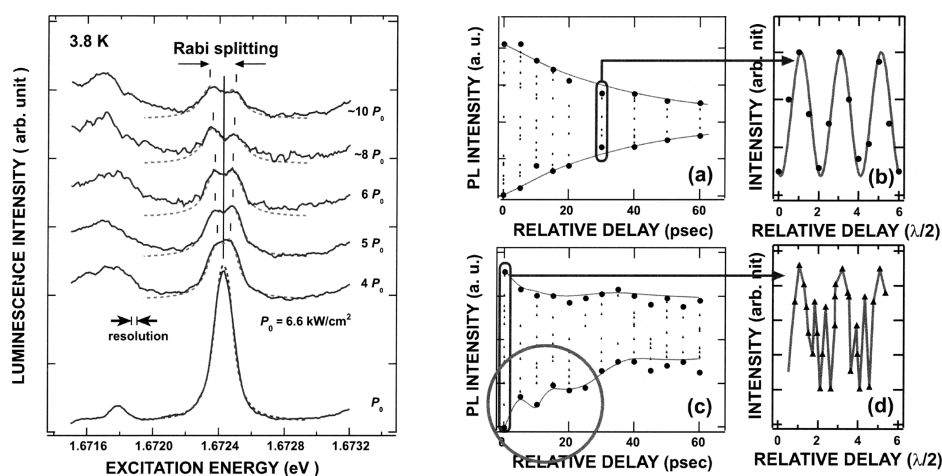


図1 励起強度の増大によって分裂する励起子発光(左図)。励起子分極の干渉(右図); (a) 低励起時の包絡線と(b)干渉フリンジ、(c)強励起時の包絡線振動と(d)干渉フリンジ。

Ⅱ. 資 料

「メゾスコピック キャリア関連」国際シンポジウム

2001 年 2 月 13、14 の両日、NTT 厚木研究開発センターにおいて国際シンポジウム「メゾスコピック系のキャリア関連(CIM2001)」が新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)、科学技術振興事業団戦略的基礎研究推進事業(CREST-JST)、NTT 物性科学基礎研究所の共催で開催されました。

薄膜構造やナノ構造におけるキャリア関連は、量子コンピュータやキャリア超流動など今までのデバイスとは全く異なる原理で動作するデバイスに結びつく可能性があり大きな期待が持たれています。この国際シンポジウムは従来の半導体工学、超伝導体工学、半導体物理などの枠組みを離れて、キャリア関連という新しいキーワードでサイエンスからテクノロジーまでの広い分野を議論することを試みたもので、同分野をリードする NTT 物性科学基礎研究所が中心になり、国内外の著名な研究者が一堂に会し、最新の成果について活発な意見交換を行いました。

オーラルセッションは招待講演者と CREST、NEDO 共同研究チームの主な構成メンバーによる 19 件の講演で構成されました。量子ホール効果の発見者で 1985 年ノーベル物理学賞受賞者である Prof. K. von Klitzing (マックスプランク研究所)による薄膜、ナノ半導体構造のキャリア関連の研究に関するプレナリー講演に続き、電子二層系、電子・正孔近接系、薄膜構造におけるキャリア関連、電子スピン、核スピンに関する理論、実験両面での講演があり、キャリア関連を研究するのに理想的な系として二層系がクローズアップされました。また、量子ドットのキャリア関連としてスピントロニクスや近藤効果について最近の話題が紹介され、キャリア関連に向けた構造作成技術、ナノプローブによる測定技術の講演が行われました。最後にキャリア関連研究の大きな目標のひとつである固体量子計算に向けたアプローチについて討論されました。ポスターセッションは一般から投稿された 46 件から構成され、口頭発表に対応して、ナノ構造の作製、量子ホール効果、二層系のキャリア関連、量子ドットの近藤効果、半導体における電子スピン制御、量子計算機の実現に向けた提案など、レベルの高い発表が多く見られました。参加者は 142 名(内 NTT 外 97 名)を数え、参加者からは、充実した内容に賞賛の声が寄せられました。



Klaus von Klitzing博士によるプレナリー講演(中央)、石原NTT物性科学基礎研究所長による挨拶(左)、オーラルセッションの会議風景(右)。

アドバイザリーボード

2001 年 2 月 15 日、16 日の2日間の日程で物性科学基礎研究所の外部評価委員会である「アドバイザリーボード」を開催しました。アドバイザリーボードは今回が第1回目で、外部評価委員による客観的な評価を行う初めての試みです。(1)外部評価の導入による客観的かつ時代に即応した適切な研究計画・成果評価の実施、(2)ボードメンバーを通じての国際的・効果的な情報発信、(3)ボードメンバーが所属する研究機関との組織的な研究連携体制の強化、ということを目적으로して実施しました。

初日には、物性科学基礎研究所の概要と主な研究内容について各研究部長、グループリーダーが説明して主に研究戦略と進捗状況を把握、その後所内の研究施設を案内して研究現場の見学を行いました。2日目は、評価会議で初日の情報を基にしてボードメンバーのみで議論を行い、物性科学基礎研究所の運営に対する忌憚のない講評をいただいた後に意見交換を行いました。

講評では、研究環境は国際水準以上で、よく設備が整備されており、全般に高い研究水準であると高く評価されましたが、シニア研究者の転出により弱体化している研究分野があると指摘も受けました。また、マネジメントについては、提言が主でしたが、技術の継承のためにテクニカルエンジニアが必要であること、若い人材の継続的確保が重要であり火急の課題であること及び研究所内のグループ同士の競争と協調によってより活性化する必要があるなど厳しいながら建設的な助言が多数ありました。

初めてのアドバイザリーボードということで準備は大変でしたが、研究所の水準に対して客観的な評価が得られるとともに、今後の指針となりうる助言も多数得られ、大変貴重な機会となりました。運営については、ボードメンバーから大変好評だった一方で、セレクトした内容ではなく研究所の実態全てを見せて欲しい、そのためには今回のような日程では短すぎるとのコメントがありました。また、頻度については毎年でも良いとのコメントを受けて、当初考えていた開催間隔を縮め、次回開催を1年半後とすることに決定しました。



NTT

NTT Basic Research Labs.

Advisory Board Meeting

ボードメンバー	所属	専門分野
Prof. Claeson	Chalmers UT	超伝導素子
Prof. Devoret	CEA Saclay	メソスコピック物理
Prof. Flytzanis	Ecole Normal	非線形光学
Prof. Mooij	Delft UT	量子コンピュータ
Prof. Ploog	P.D. Inst.	半導体ナノ構造
Prof. Tang	Cornell U	量子光学
Prof. von Klitzing	MPI	量子物理

U. von Klitzing
C. Devoret
P. Devoret

February 15, 2001

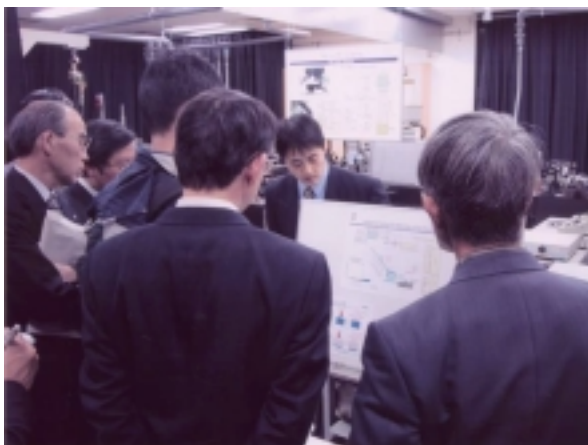
Ch. Flytzanis
S. E. Tang
S. E. Tang

サイエンスプラザ2001

物性科学基礎研究所の研究施設と日頃の研究成果を所外の方々に公開する「サイエンスプラザ 2001」は、2001 年 2 月 13 日(火)、14 日(水)の両日、NTT 厚木研究開発センター内で行われました。他の研究所の公開と同時に開催した昨年度と異なり、今回は物性科学基礎研究所単独の開催でしたが、「メゾスコピック系におけるキャリア相関に関する国際シンポジウム」(International Symposium on Carrier Interactions in Mesoscopic Systems, CIM)が当センターで同時開催され、同シンポジウムでの石原直物性科学基礎研究所所長の開会挨拶およびノーベル物理学賞受賞者 K. von Klitzing 博士の基調講演については、サイエンスプラザの参加者に自由にご聴講いただきました。

今回のサイエンスプラザではその他、研究者自らが自身の研究の紹介をする「ポスター展示」、研究施設を見学していただく「ラボツアー」、物性科学基礎研究所で過去に開催された国際シンポジウムの記録映像を紹介する「ビデオ上映」、ご参加いただいた方々と研究所員の親交を深める「懇親会」を企画しました。ポスター展示では、Materials と Physics の両分野にわたる計 41 項目の最新の研究成果の紹介を行い、ご来場いただいた方々と研究者が直接研究について議論させていただきました。「ラボツアー」では、極低温技術、X線のレーザー光線を作る、分子線エピタキシーによる高温超伝導体合成、クリーンルーム見学、ペタメディアツアー、の計 5 項目について、実際に研究施設や研究成果を見学していただきました。「ビデオ上映」では、メゾスコピック超伝導—国際シンポジウムから開かれる展望、新たな潮流—実験が解き明かす量子論の謎、の 2 編についてご視聴いただき、我々の研究の一端を映像を通して紹介させていただきました。

開催場所である当センターまで都心から 2 時間近くかかるにもかかわらず、おかげさまで二日間で約 200 名もの参加者を得ることができました。中には札幌や仙台、名古屋、京都、大阪、高知など、遠方よりわざわざご来場いただいた方もいらっしゃいました。同時開催の CIM から数多くの方にご参加いただき、ラボツアーについて希望者のあまりもの多さに当初予定以外に何回もツアーを増発させていただくなど、おかげさまで大変盛況のうちに終了いたしました。本サイエンスプラザを通じて、今後の研究のヒントや物性科学基礎研究に対する継続的な取り組みへの暖かい励ましも数多く頂戴することができました。ご来場いただいた方には、この場を借りまして、改めて厚く御礼申し上げます。



社外表彰受賞者一覧

応用物理学会講演 奨励賞	熊倉一英	「高ホール濃度 Mg ドープ InGaN および InGaN/GaN 超格子の 実現」	2000.9.3
応用物理学会論文賞 JJAP 論文賞	影島博之 白石賢二 植松真司	「Universal Theory of Si Oxidation Rate and Importance of Interfacial Si Emission」	2000.9.4
エレクトロニクスレター 論文賞 (電子情報通信学会)	花泉 修* 桜井康樹* 相澤芳三* 川上彰二郎* 倉持栄一 奥 哲 *東北大	「3次元フォトニック結晶への ⅢⅤ族化合物半導体活性層の 埋め込み」	2000.10.2
松尾学術賞 (財団法人松尾学術 振興財団)	山本喜久	「光量子物理学の基礎的な研究」	2000.10.8
ISPA AWARD (Internet International Symposium on Silicon -Containing Polymers and Applications)	中島 寛	「Switchable Induced Circular Dichroism of Chiral Aggregates of Poly(alkylalkoxyphenylsilane) Bearing Remote Chiral Groups」	2001.2.23
Poster Award (First International Conference on Molecular Electronics and Bioelectronics)	古川一暁	「End-Grafted Polysilane —Approach for Single Polymer Science and Electronics」	2001.3.7

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	日比野浩樹 小野行徳 本間芳和 高橋庸夫 藤原聡	「単原子制御・単電子動作集積技術 の先駆的研究」	2000.12.19
物性科学基礎研究所所長表彰 業績賞	川村朋晃 渡辺義夫 内海裕一 上井邦彦	「斜入射 X 線回折法による気相成長 中表面の構造解析手法の確立」	2001.3.26
物性科学基礎研究所所長表彰 業績賞	柴田浩行	「光による高温超伝導体のジョセフソ ンプラズマ観測」	2001.3.26
物性科学基礎研究所所長表彰 業績賞	蟹沢 聖 山口浩司 平山祥郎	「半導体中低次元電子の電子波の 直接観察」	2001.3.26
物性科学基礎研究所所長表彰 業績賞	嘉数 誠 小林直樹	「窒化アルミニウムによる高効率フィ ールドエミッション」	2001.3.26
物性科学基礎研究所所長表彰 論文賞	佐々木智	「Kondo Effect in an Integer-Spin Quantum Dot」 Nature 405 (2000) 764.	2001.3.26
物性科学基礎研究所所長表彰 論文賞	田村浩之	「Ferromagnetism in Semiconductor Dot Array」 Jpn. J. Appl. Phys. 39 (2000) L241.	2001.3.26

報道一覧

発表月日	新聞名 「見出し」
I. デバイス物理	
6 月 1 日	日刊工業新聞 シリコン表面の相転移／成長機構を解明／微細半導体に応用期待
6 月 1 日	日経産業新聞 シリコンの相転移観測／日米の研究チーム／電子顕微鏡を使い成功
6 月 1 日	日本工業新聞 シリコン結晶表面／相転移を実時間観察／NTTと米国立研／自己組織化を発見
6 月 2 日	日経産業新聞 原子レベルで観察／半導体の結晶成長／放射光を利用
12 月 16 日	日本経済新聞 単一電子素子で開発競争／初の常温作動／基本の計算も／パソコン超える携帯電話も
3 月 30 日	日本工業新聞 電子を1個単位で操作／NTT 研究所が初／高性能集積回路開発に期待
3 月 30 日	日本経済新聞 NTT／単電子素子／消費電力 10 万分の 1／次世代 LSI 向けに
3 月 30 日	日刊工業新聞 NTT 物性研／電子 1 個自在に転送／新概念の単電子 CCD 実証
II. 機能物質科学	
5 月 12 日	日経産業新聞 細胞の情報伝達可視化／ネットへ応用目指す
5 月 26 日	日経産業新聞 ポリシラン／高分子を基板に接続／高集積回路実現へ
6 月 19 日	日本経済新聞 ナノ単位の加工へ／超微細な金型作製／NTT など

- 8 月 4 日 日刊工業新聞
今年度国際共同研究助成／新規 7 チームに授与／NEDO
- 10 月 19 日 日経産業新聞
ポリチオフェン／LED の材料に／NTT 確認、実用化目めざす
- 2 月 11 日 日本経済新聞
NTT・NEC、共同研究／量子コンピューター／計算速度、スーパーコンの
1 億倍
- 2 月 28 日 日経産業新聞
変革探る NTT／事業化優先"基礎"揺らす
- 3 月 1 日 日経産業新聞
変革探る NTT／ノーベル賞狙う 4 人／研究開発能力をアピール
- 3 月 16 日 日本経済新聞
日本発の高温超電導物質／米が研究の主導権／国内勢は慎重姿勢

Ⅲ. 量子電子物性

- 6 月 15 日 日刊工業新聞
NTT など研究チーム／新型の近藤効果発見／半導体量子ドット／偶数ス
ピンで強く
- 6 月 15 日 日経産業新聞
NTT など／高い温度で「近藤効果」／偶数個の電子で実現
- 7 月 5 日 朝日新聞
低温世界の「近藤効果」に再び脚光／ナノテク進歩で電子回路応用に道
- 7 月 8 日 日本経済新聞
次世代平面 TV のディスプレイ新素材／NTT、視野広く省電力／携帯端
末に応用可能
- 9 月 22 日 日経産業新聞
NTT など／量子箱で「近藤効果」／量子計算機の素子に
- 10 月 16 日 日刊工業新聞
この人にノーベル賞を／このテーマで 1 分間

IV. 量子光学・光物性

- 6 月 19 日 日本経済新聞
光通信の速度 1000 万倍に／「量子情報通信」開発へ／郵政省官民で
- 1 月 1 日 日経産業新聞
量子技術の将来／山本喜久氏に聞く／光・電子技術の主流に／研究は
欧米勢が先行

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 (2000 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」
4 月 13 日	竹田精治 教授	大阪大学 「シリコン・ナノストラクチャの新作成ルートと酸化」
5 月 10 日	Dr. Neil Zimmerman	National Institute of Standards and Technology, USA 「Long-term charge offset and glassy dynamics in SET transistors」
5 月 18 日	Prof. Ernst Bauer	Arizona State University, USA 「SPELEEM」
6 月 29 日	Dr. Stefan Heun	Sincrotrone Trieste ELETTRA, Italy 「Nanospectroscopy on InAs nanocrystals」
7 月 13 日	Dr. Matthew. P. Halsall	University of Manchester, UK 「Si-Ge self assembled quantum dots」
8 月 25 日	Prof. Pulickel M. Ajayan	Rensselaer Polytechnic Institute, USA 「Growth and structure of carbon nanotubes」
9 月 18 日	Dr. C. N. McKinty	University of Surrey, Guildford. UK 「Investigating the use of sputtered β -FeSi ₂ for solar cell applications」
11 月 1 日	Prof. Robert L. White	Stanford University, USA 「A review of the research at the Stanford Center for Research on information storage materials」
1 月 17 日	Prof. Otto Zhou	University of North Carolina, USA 「Growth and application of carbon nanotube」
1 月 19 日	Dr. Stefano Fontana	Sincrotrone Trieste ELETTRA, Italy 「The spectromicroscope of Elettra」
1 月 19 日	富江敏尚 博士	電子技術総合研究所 「Photoelectron micro-spectroscopy with a laser-plasma X-ray source」
1 月 24 日	Dr. Dean Collins	The Advanced Research and Development Activity, USA 「Details of ARDA's program in quantum information science」
1 月 24 日	Dr. Keith Schwab	The Laboratory for Physical Science, USA 「Quantum computing research at the laboratory for physical sciences」

1 月 31 日	Prof. Stoyan S. Stoyanov	Institute of Physical Chemistry, Bulgarian Academy of Sciences, Bulgaria 「A shape of the steps at the surface of Si crystal with SiO ₂ inclusions」
3 月 5 日	森江 隆 教授	広島大学 「脳の視覚系を模擬した画像認識用集積システム」
3 月 27 日	Prof. K. P. Jain	Indian Institute of Technology, Delhi, India 「Raman and photoluminescence spectroscopy of silicon nanostructures」

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 5 日	荒川泰彦 教授	東京大学 「半導体ナノ構造の結晶成長、光物性、デバイスへの展開」
4 月 24 日	草部浩一 教授	新潟大学 「特異な状態密度に基づく強相関効果の発現 ～from the flatband ferromagnetism to the excitonic ferromagnetism～」
5 月 19 日	本多謙介 氏	東京大学 「表面構造化ダイヤモンド電極の作製とその電気化学的応用」
6 月 29 日	Prof. Yang Yang	University of California, Los Angeles, USA 「Polymer morphology formation and influence to polymer-based LED device performance」
7 月 21 日	Dr. Jonathan Selinger	Naval Research Laboratory, USA 「Theory of chiral order in polymers and lipid microstructures」
7 月 27 日	Dr. Rajeshwar P. Sharma	University of Maryland, USA 「Ion channeling studies in high-T _c cuprates and CMR manganites-Direct experimental evidence of electronic phase separation」
8 月 17 日	Prof. Yehoshua Levinson	Weizmann Institute, Israel 「Dephasing in quantum dots due to capacitive coupling with point contacts」
8 月 29 日	Prof. Yasutomo J. Uemura	Columbia University, USA 「Condensation and phase separation of high-T _c superconductors inferred from the superfluid

		density]
9 月 4 日	Prof. Yoseph Imry	Weizmann Institute, Israel 「The observability of quantum-and shot-noise and low-temperature "decoherence"」
9 月 8 日	Dr. Mark Johnson	Naval Research Laboratory, USA 「pin injection and detection in a ferromagnetic metal / 2DEG structure」
9 月 11 日	Dr. Andrei Filip	University of Groningen, The Netherlands 「Direct experimental comparison between the electrical spin injection in a semiconductor and in a metal」
10 月 6 日	Dr. Toru Matsuyama & Dr. Andreas Richter	Hamburg University, Germany 「Spin-orbit interaction in InAs 2DEG and spin-injection experiment」
10 月 19 日	Dr. Lambert Alff	University of Cologne, Germany 「Pairing symmetry and pseudogap in hole-doped and electron-doped high-Tc cuprates」
11 月 24 日	菅 滋正 教授	大阪大学 「強相関係の高エネルギー高分解能光電子分光についてーバルクと表面電子状態の分離」
12 月 5 日	韓 春錫 博士	慶應義塾大学 「ラットにおける大脳新皮質及び海馬の免疫組織化学的研究」
12 月 25 日	Prof. P. Ganguly	National Chemical Laboratory, India 「Resistivity and metal-insulator transition: The interpretation of resistivity values in complex oxides」
1 月 18 日	Prof. Emilio E. Mendez	State University of New York at Stony Brook, USA 「The uniqueness of the InAs-GaSb heterojunction, and its practical consequences」
1 月 18 日	Dr. Gerald Bastard	Laboratoire de Physique, Ecole Normale Supérieure, France 「Polaron levels and energy relaxation in InAs quantum dots」
1 月 19 日	中西 毅 博士	デルフト工科大学 「カーボンナノチューブの電気伝導」
3 月 8 日	Prof. Christian Schoenenberger	University of Basel, Switzerland 「Electrical and mechanical properties of carbon nanotubes」
3 月 15 日	村越 敬 教授	大阪大学 「光による金属ナノ構造制御と機能発現」
3 月 16 日	Prof. Wei Yao Liang	Cavendish Laboratory, University of Cambridge, UK

3 月 22 日 小山内実 博士

「The fascination of high Tc superconductivity」
東京医科歯科大学
「シナプス伝達とカルシウムイオン」

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 13 日	Mr. Stuart Midgley	The University of Western Australia, Australia 「Quantum waveguide theory」
7 月 24 日	Prof. Leo Kouwenhoven	Delft University of Technology, The Netherlands 「The Kondo effect in quantum dots」
8 月 18 日	Prof. Yoon-Ha Jeong	Pohang University of Science and Technology (POSTECH), Korea 「Design considerations for SET integrated circuits: Power and manufacturability」
8 月 28 日	Prof. Ramasamy Dhanasekaran	Anna University, Chennai, India 「Thermodynamics and nucleation studies of AlGa _N /Ga _N , InGa _N /Ga _N and AlIn _N /Ga _N heterosturctures」
9 月 1 日	Prof. Klaus H. Ploog	Paul-Drude-Institute, Germany 「Heteroepitaxy of highly mismatched systems and role of coincidence lattice」
9 月 8 日	Mr. Maarten R. Wegewijs	Delft University of Technology, The Netherlands 「Coherent transport of strongly correlated electrons through three coherently coupled quantum dots」
9 月 8 日	Dr. Martin N. Wybourne	Dartmouth College, USA 「Single electron transport in metal nanoparticle decorated biopolymers」
9 月 14 日	Prof. Uri Sivan	Technion-Israel Institute of Technology, Haifa, Israel 「Self assembly of nanometer scale electronics by biotechnology」
10 月 10 日	Prof. Alexander Khaetskii	Institute of Microelectronics Technology, Russian Academy of Sciences, Russia 「Spin relaxation in semiconductor quantum dot」
10 月 10 日	Prof. Yshai Avishai	Ben-Gurion University of the Negev, Beer-Sheva, Israel

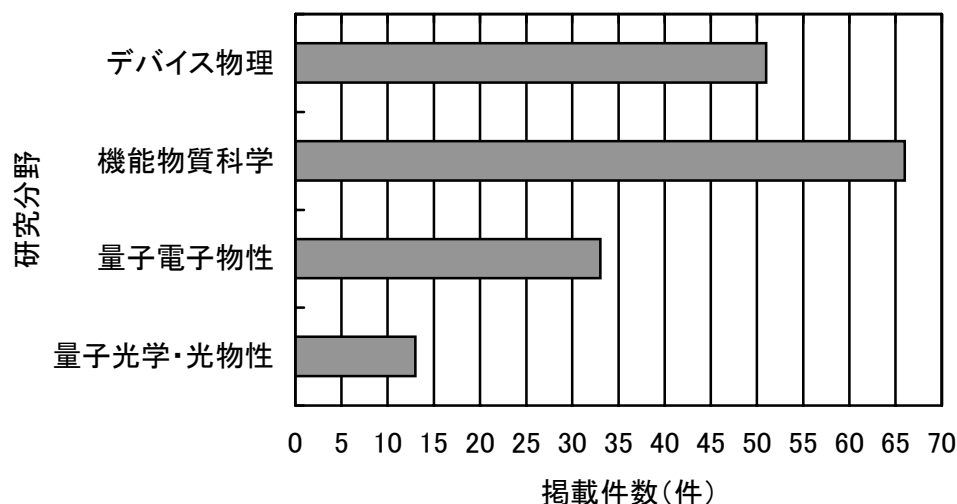
		「Kondo tunneling through real and artificial molecules」
10 月 11 日	Prof. Gerhard Abstreiter	Technical University of Munich, Germany 「Superlattice and quantum wire transistors fabricated by cleaved edge overgrowth」
11 月 1 日	Prof. Gerrit E. W. Bauer	Delft University of Technology, The Netherlands 「Semiclassical theory of mesoscopic magnetoelectronics」
11 月 7 日	Dr. Haiyan An	Hokkaido University 「Spatial positioning control and optical properties of self-assembled InAs quantum dots on GaAs pyramids」

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」
7 月 14 日	Dr. Peter Kuerz	Carl Zeiss, Germany 「Optics for extreme ultraviolet lithography」
7 月 28 日	Prof. Shun-Lien Chuang	University of Illinois at Urbana-Champaign, USA 「Strained quantum-well lasers: from static to high-speed modulation properties with injection locking」
10 月 4 日	Prof. Gareth Parry	Imperial College, UK 「Semiconductor optical micro-cavities for LEDs, lasers, modulators and detectors」
10 月 10 日	Dr. Tao Hong	Science University of Tokyo in Yamaguchi 「Sound dark solitons in Bose-Einstein condensates」
12 月 21 日	Dr. H. T. Grahn	Paul-Drude-Institute, Germany 「Spontaneous current oscillations and chaos in weakly coupled superlattices」
2 月 23 日	Prof. Zhigang Zhang	Tianjin University, China 「Pulse stretcher phase calculation and its application in chirped pulse amplifications」

学術論文掲載数（2000 年度）

2000 年度に国内外の学術論文誌（英文）に掲載された学術論文の件数は、物性科学基礎研究所全体で 163 件です。研究分野別の掲載件数は以下の通りです。



主な掲載先と掲載件数は以下の通りです。

総合科学雑誌

雑誌名	(IF99)*	件数
Nature	(29.491)	3
Science	(24.595)	1

学術論文誌

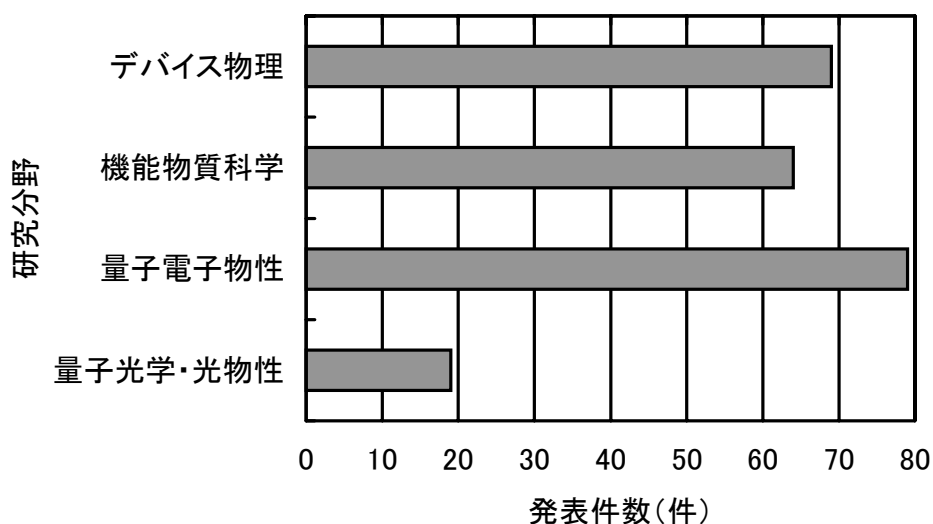
雑誌名	(IF99)*	件数
Japanese Journal of Applied Physics	(1.411)	31
Physical Review B	(3.008)	18
Applied Physics Letters	(4.184)	15
Physical Review Letters	(6.095)	7
Journal of Applied Physics	(2.275)	5
Applied Surface Science	(1.195)	5
Journal of the Physical Society of Japan	(2.083)	4
Journal of American Chemical Society	(5.537)	3
Physical Review A	(2.639)	3
Macromolecules	(3.534)	2
IEEE Electron Device Letters	(3.018)	2
Advanced Materials	(5.415)	1
Analytical Chemistry	(4.555)	1
Optics Letters	(3.537)	1

* IF99 : インパクトファクター 1999(出典、Journal Citation Reports, 1999)

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 2.96 です。

国際学会発表件数（2000 年度）

2000 年度に国際学会で発表を行った件数は、物性科学基礎研究所全体で 231 件です。研究分野別の発表件数は以下の通りです。



主な発表先と発表件数は以下の通りです。

国際会議名	件数
International Symposium on Carrier Interaction in Mesoscopic Systems 2001	22
25th International Conference on the Physics of Semiconductor	19
2000 Fall Meeting of Materials Research Society	9
2001 Spring Meeting of American Physical Society	9
2000 International Workshop on Nitride Semiconductors	8
The 2000 International Chemical Congress of Pacific Basin Societies	6
14th International Conference on High Magnetic Fields in Semiconductors	6
47th International Symposium of the American Vacuum Society	5
4th International Workshop on Quantum Functional Devices	4
10th International Conference of Metal Organic Vapor Phase Epitaxy	4
The 7th International Workshop on Femtosecond Technology	4
13th International Conference on Crystal Growth	3
12th International Symposium on Chirality 2000	3
2000 International Electron Device Meeting	2

国際会議招待講演一覧 (2000 年度)

I. デバイス物理関連

- (1) H. Hibino and T. Ogino, “Si twinning superlattice: Growth of new single crystal Si”, US-Japan seminar on Mesoscopic Phenomena on Surfaces, Park city, USA (April, 2000).
- (2) Y. Takahashi, A. Fujiwara, Y. Ono, and K. Murase, “Silicon single-electron devices and their applications”, The 30th IEEE International Symposium on Multiple-Valued Logic (ISMVL), Portland, USA (May, 2000).
- (3) T. Ogino, Y. Homma, Y. Kobayashi, H. Hibino, P. Kuniyil, K. Sumitomo, H. Omi, D. Bottomley, and Zhaohui Zhang, “Control of atomic structures on Si surfaces for wafer-scale nanointegration”, International Symposium on Advanced Science and Technology of Si Materials, Kona, USA (November, 2000).
- (4) T. Ogino, Y. Homma, Y. Kobayashi, H. Hibino, P. Kuniyil, K. Sumitomo, H. Omi, D. Bottomley, and Zhaohui Zhang, “Control of Si surface for quantum-dot network devices”, 4th International Workshop on Quantum Functional devices (QFD2000), Kanazawa, Japan (November, 2000).
- (5) T. Ogino, Y. Homma, Y. Kobayashi, H. Hibino, P. Kuniyil, K. Sumitomo, H. Omi, and Zhaohui Zhang, “Bottom-up approach for nanointegration”, Nanoarchitectonics using Suprainteraction (NASI1), Tsukuba, Japan (November, 2000).
- (6) Y. Watanabe, S. Suzuki, F. Maeda, and T. Kiyokura, “Synchrotron radiation photoelectron spectroscopy of nanostructures”, 1st. International Workshop on Nano-scale Spectroscopy, Trieste, Italy (December, 2000).
- (7) T. Ito, K. Shiraishi, and A. Taguchi, “Quantum mechanical approach for understanding the growth process of semiconductors,” The 2000 International Chemical Congress of Pacific Basin Societies (Pacifichem2000), Honolulu, USA (December, 2000).
- (8) Y. Takahashi, Y. Ono, A. Fujiwara, and K. Murase, “Advanced technologies for Si-based single-electron tunneling devices”, International Symposium on Formation, Physics and Device Application of Quantum Dot Structures (QDS2000), Sapporo, Japan (September, 2000).
- (9) K. Shiraishi, H. Kageshima, and S. Uematsu, “Microscopic mechanism of Si oxidation”, 25th International Conference on the Physics of Semiconductors, Osaka, Japan (September, 2000).

- (10) Y. Homma, “Surface imaging by ultrahigh vacuum scanning electron microscopy”, 2nd LEEM/PEEM Workshop, Paris, France (September, 2000).
- (11) Y. Takahashi, A. Fujiwara, Y. Ono, S. Horiguchi, K. Shiraishi, M. Nagase, K. Murase, “Advanced techniques for silicon single-electron devices”, International Conference on Experimental Implementation of Quantum Computation (IQC01), Sydney, Australia (January, 2001).
- (12) P. Kuniyil and T. Ogino, “Fabrication of functional nanostructures on silicon through chemical bond manipulation”, Science and Technology of Nanostructured Materials, Institute of Physics, Puri, India (January, 2001).
- (13) T. Ogino, Y. Homma, Y. Kobayashi, H. Hibino, P. Kuniyil, K. Sumitomo, H. Omi, D. Bottomley, and Zhaohui Zhang, “Si surface design for nanostructure self-assembly”, Symposium on Surface Science, 2001 (3S’01), Furano, Japan (January, 2001).
- (14) H. Hibino and T. Ogino, “Growth of Si twinning superlattice”, Lawrence Symposium on Critical Issues in Exptitaxy, Scottsdale, USA (January, 2001).
- (15) K. Shiraishi, N. Oyama, K. Okajima, N. Miyagishima, K. Takeda, H. Yamaguchi, T. Ito, and T. Ohno, “Plastic versus elastic strain relaxation in heteroepitaxy of InAs/GaAs(110)”, Ringberg Workshop, Rottach-Egern, Germany (February, 2001).
- (16) Y. Takahashi, A. Fujiwara, Y. Ono, S. Horiguchi, K. Shiraishi, M. Nagase, and K. Murase, “Silicon single-electron transistor”, 2001 March Meeting of the American Physical Society, Seattle, USA (March, 2001).
- (17) T. Ogino, Y. Homma, Y. Kobayashi, H. Hibino, P. Kuniyil, K. Sumitomo, D. Bottomley, and Zhaohui Zhang, “Self-assembly process for quantum structures on Si wafers”, 6th International Symposium on Advanced Physics Field-Growth of Well-Defined Nanostructures (APF-6), Tsukuba, Japan (March, 2001).
- (18) H. Hibino and T. Ogino, “Epitaxial growth of Si twinnig superlattice”, 6th International Symposium on Advanced Physics Field-Growth of Well-Defined Nanostructures (APF-6), Tsukuba, Japan (March, 2001).

Ⅱ．機能物質科学関連

- (1) M. Naito, S. Karimoto, and H. Yamamoto, “New superconducting lead cuprates prepared by molecular beam epitaxy”, The 4th Conference on Superconducting and Related Oxides: Physics and Nanoengineering, Orland, USA (April, 2000).

- (2) H. Sato, A. Tsukada, M. Naito, and A. Matsuda, “La-214 thin films under epitaxial strain”, 2000 International Workshop on Superconductivity (ISTEC), Matsue, Japan (June, 2000).
- (3) M. Notomi, “Light propagation control in photonic crystals”, International Workshop on Femtosecond Technology (FST2000), Tsukuba, Japan (June, 2000).
- (4) K. Ajito and K. Torimitsu, “Spectroscopy of organic and biological single particles on nanometer and micrometer scales using a near-infrared laser Raman trapping system”, The 2000 Meeting of the International Union of Microbeam Analysis Societies (IUMAS2000), Hawaii, USA (July, 2000).
- (5) H. Shibata, “Double Josephson plasma in $\text{SmLa}_{1-x}\text{Sr}_x\text{CuO}_{4-d}$ single crystal”, 2nd International Symposium of Intrinsic Josephson Effects and Plasma Oscillations in High-Tc Superconductors (Plasma2000), Sendai, Japan (August, 2000).
- (6) H. Sato, M. Naito, A. Tsukada, S. Karimoto, and A. Matsuda, “Influence of substrates on epitaxial thin films of high-temperature superconductors”, 2nd International Symposium of Intrinsic Josephson Effects and Plasma Oscillations in High-Tc Superconductors (Plasma2000), Sendai, Japan (August, 2000).
- (7) T. Suemitsu, T. Ishii, and Y. Ishii, “Gate and recess engineering for ultrahigh-speed InP-based HEMTs”, 2000 Topical Workshop on Heterostructure Microelectronics Information System Applications (TWHM'00), Kyoto, Japan (August, 2000).
- (8) J. Nitta, C. M. Hu, A. Jensen, J. B. Hansen, and H. Takayanagi, “Spin injection and detection experiment with multiple NiFe/InAs/NiFe junctions”, The International Conference on the Physics and Application of Spin-related Phenomena in Semiconductors (PASPS 2000), Sendai, Japan (September, 2000).
- (9) M. Fujiki, “Experimental test for a left-right asymmetry of helical polymers”, International Symposium on Chirality (Chirality2000), Shamonix, France (September, 2000).
- (10) T. Watanabe, T. Fujii, and A. Matsuda, “Growth of $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{10+\delta}$ single crystals by I-TSFZ method”, 6th International Workshop on Chemical Designing and Processing of High-Tc Superconductors (Chem-HTSC-VI), Tokyo, Japan (October, 2000).
- (11) Y. Y. Suzuki, “Ribbon polymers and polymers at surfaces”, Soft Condensed Matter: Physical and Biological Aspects, Canberra, Australia (October, 2000).
- (12) H. Tamura, K. Shiraishi, T. Kimura, and H. Takayanagi, “Artificial crystals designed in semiconductor dot arrays”, 4th International Workshop on Quantum Functional

Devices (QFD2000), Kanazawa, Japan (November, 2000).

- (13) T. Ishii, A. Yokoo, T. Tamamura, and K. Shigeharam, “Fulleren nanocomposite resist for nanolithography”, The 2000 Fall Meeting of the Material Research Society (MRS2000 Fall Meeting), Boston, USA (November, 2000).
- (14) Yokoo, M. Nakao, H. Masuda, and T. Tamamura, “Direct nanoprinting technology and its application of nanostructure fabrication”, IEEE Lasers and Electro-Optics Society 2000 Annual Meeting (LEOS 2000), Rio Grande, Puerto Rico (November, 2000).
- (15) J. Temmyo, H. Kamada, H. Ando, and T. Tamamura, “Semiconductor nanostructures via self-organization for a two-level system”, The 10th Seoul International Symposium on the Physics of Semiconductors and Applications-2000 (ISPSA-2000), Cheju Island, Korea (November, 2000).
- (16) H. Takayanagi, H. Tamura, and K. Shiraishi, “Artificial crystals in semiconductor quantum-dot array”, COE International Symposium, Shonan, Japan (December, 2000).
- (17) H. Takayanagi, H. Tamura, K. Shiraishi, and T. Kimura, “Design of a semiconductor ferromagnet in artificial crystals”, XXXVIth Rencontres de Moriond, Les Arcs, France (January, 2001).
- (18) M. Notomi, “Negative refractive optics in photonic crystals”, Photonics West 2001, San Jose, USA (January, 2001).
- (19) H. Nakashima, M. Fujiki, K. Torimitsu, and M. Motonaga, “Switchable induced circular dichroism of chiral aggregates of poly (alkylalkoxyphenylsilane) bearing remote chiral groups”, International Symposium on Silicon-Containing Polymers and Applications (ISPA), Ebina, Japan (February, 2001).

Ⅲ. 量子電子物性関連

- (1) N. Maeda, T. Saitoh, K. Tsubaki, T. Nishida, and N. Kobayashi, “Two-dimensional electron gas transport properties in AlGa_N/Ga_N single- and double-heterostructure field-effect transistors”, European Materials Research Society Spring Meeting (E-MRS2000 Spring Meeting), Strasbourg, France (May and June, 2000).
- (2) Y. Hirayama, “Carrier interaction in semiconductors: toward quantum computing”, International Workshop on Spintronics and Quantum Computing, Tokyo, Japan (September, 2000).
- (3) T. Fujisawa, “Energy relaxation processes in quantum dots”, The 4th International

Conference on High Magnetic Fields in Semiconductors (SemiMag-2000), Matsue, Japan (September, 2000).

- (4) K. Kanisawa, M. J. Butcher, H. Yamaguchi, and Y. Hirayama, “Imaging of Friedel oscillations at epitaxially grown InAs(111)A surfaces using scanning tunneling microscopy”, 25th International Conference on the Physics and Semiconductors (ICPS25), Osaka, Japan (October, 2000).
- (5) D. G. Austing, Y. Tokura, H. Tamura, S. Sasaki, S. Amaha, K. Ono, and S. Tarucha, “Vertical quantum dot artificial molecules”, International Workshop on Artificial Atoms and Related Finite Fermion and Boson Systems, Trento, Italy (October, 2000).
- (6) T. Matsuoka, “Impact on InGaAlN growth of substrate and polarity effects”, Next Generation mm-Wave Solid State Power: Materials, Devices & Systems Workshop, South Padre Island, USA (October, 2000).
- (7) T. Fujisawa, “Transient current spectroscopy of quantum dots”, International Symposium on Quantum Functional Devices, Kanazawa, Japan (November, 2000).
- (8) T. Makimoto, K. Kumakura, and N. Kobayashi, “p-InGaN/GaN heterojunction diodes and their application to heterojunction bipolar transistors”, Materials Research Society 2000 Fall Meeting (MRS2000 Fall Meeting), Boston, USA (November and December, 2000).
- (9) Y. Hirayama, K. Kanisawa, and T. Fujisawa, “Temporal and spatial characterization of semiconductor quantum dots”, 1st International Conference on Experimental Implementation of Quantum Computation (IQC01), Sydney, Australia (January, 2001).
- (10) T. Fujisawa, “Time-dependent tunneling spectroscopy of single and double quantum dot in the Coulomb blockade regime”, 2001 International Seminar on Advanced Semiconductor Device and Circuits, Sapporo, Japan (January and February, 2001).
- (11) M. Kasu and N. Kobayashi, “MOVPE growth and large field emission of heavily Si-doped AlN”, 6th Japan-Taiwan seminar of science and technology, Chiba, Japan (February, 2001).
- (12) Y. Hirayama, K. Muraki, A. Kawaharazuka, K. Hashimoto, and T. Saku, “Backgated layers and nano structures”, Advanced Research Workshop on Semiconductor Nanostructures (ARW2001), Queenstown, Australia (February, 2001).
- (13) D. G. Austing, T. Tokura, S. Tarucha, P. Matagne, and J. P. Leburton, “Addition energy spectrum of a quantum dot disk up to third shell”, Advanced Research Workshop on Semiconductor Nanostructures (ARW2001), Queenstown, Australia (February, 2001).

IV. 量子光学・光物性関連

- (1) H. Nakano, T. Nishikawa, N. Uesugi, J. Limpouch, and A. A. Andreev, “Femtosecond laser-produced plasma as x-ray sources”, XXVI European Conference on Laser Interaction with Matter (ICXRL 2000), Prague, Czechoslovakia (June, 2000).
- (2) H. Nakano, P. Lu, T. Nishikawa, and N. Uesugi, “X-ray short pulse generation from femtosecond laser-produced plasma and its application in pump-probe spectroscopy”, 10th Conference on Laser Optics (LO’ 2000), St. Petersburg, Russia (June, 2000).
- (3) T. Nishikawa, H. Nakano, and N. Uesugi, “Efficient generation of ultrashort x-ray pulses from femtosecond laser-produced plasma toward time-resolved x-ray spectroscopy”, The 7th International Workshop on Femtosecond Technology (FST2000), Makuhari, Japan (June, 2000).
- (4) N. Uesugi, H. Nakano, T. Nishikawa, and P. Lu, “Efficient soft x-ray generation from femtosecond-laser-produced plasma and its application to time resolved spectroscopy”, 7th International Conference on X-ray Lasers (ICSRL 2000), Saint-Malo, France (July, 2000).
- (5) H. Nakano, T. Nishikawa, and N. Uesugi, “Efficient soft x-ray pulse generation from femtosecond-laser-produced plasma and its application to time-resolved spectroscopy”, 6th Conference on Optics (ROMOPTO2000), Bucharest, Rumania (September, 2000).

編集 “NTT 物性科学基礎研究所の研究活動”編集委員会

猪川 洋

古川一暁

前田就彦

影島博之

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