

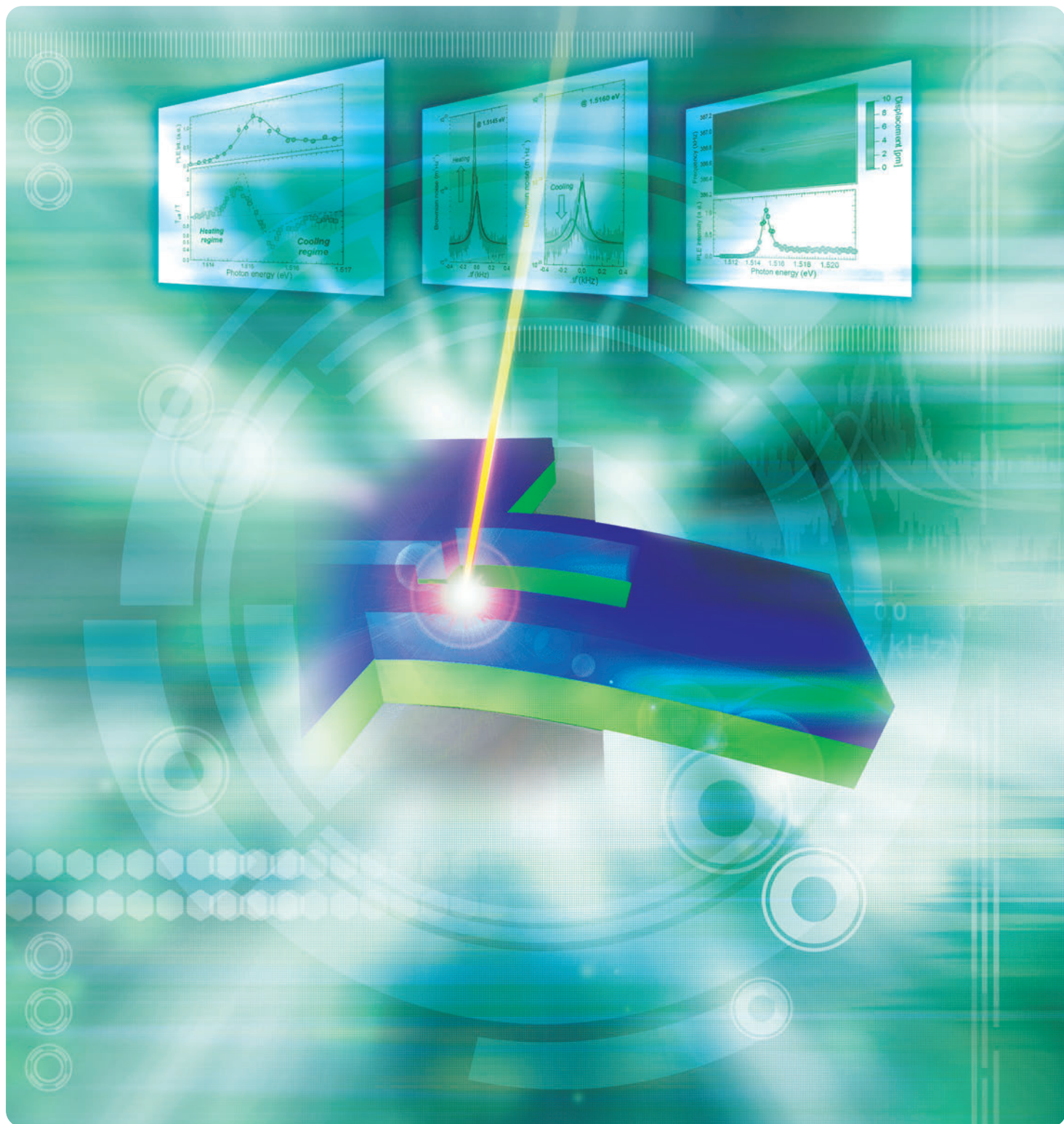
NTT物性科学 基礎研究所の 研究活動

Research Activities in NTT Basic Research Laboratories

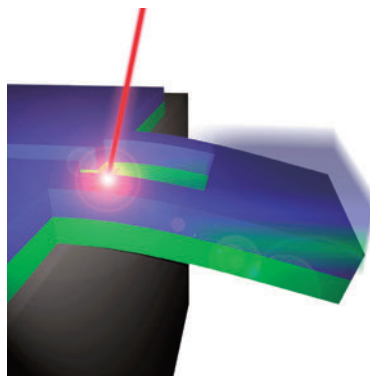
平成27(2015)年度

VOL.

26

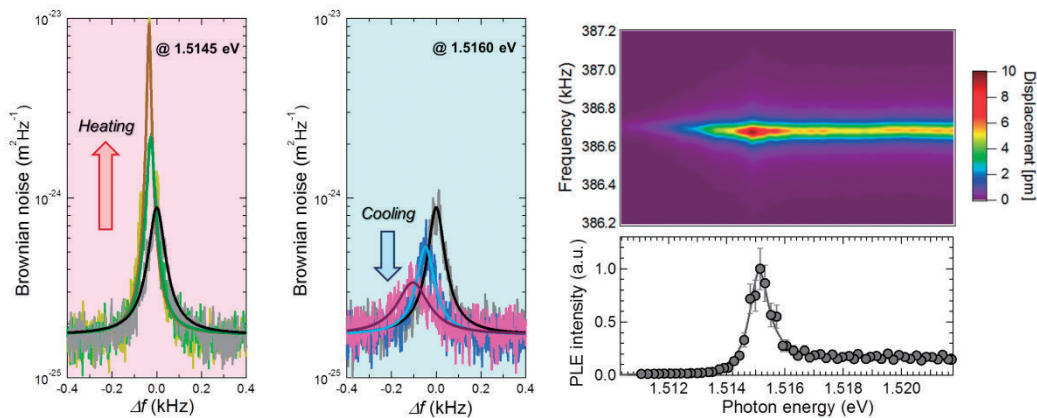


表紙：励起子遷移を用いたオプトメカニクス



表紙中央図。

AlGaAs/GaAs カンチレバーではレーザー照射により電子-正孔対が誘起されるが、内部電界により電子と正孔は空間的に分離し、GaAs (下層: 緑色) に圧電的な圧縮応力が生じる。この応力により曲げ効果が発生するため、これを用いてカンチレバーを駆動することができる。また、その駆動効率は光吸収量に敏感であるため、振動変位を介した高感度なスペクトロスコピーが実現する。光照射により発生する応力は照射のタイミングに対して遅延して作用するため、レーザを連続的に照射した際にはカンチレバーの振動に対してフィードバック効果が生じる。この効果を用いてカンチレバーの振動増幅や、熱ノイズの抑制が可能となる。



表紙上部の中央図と右図 (上部左図は32ページを参照)。

上部中央図: 連続光の照射による熱振動の増幅 (左) と低減 (右)。照射エネルギーを励起子吸収エネルギー (1.5152 eV) からわずかに離調することにより正または負のフィードバック効果が得られる。
上部右図: 強度変調したレーザ光を照射した際のカンチレバーの周波数応答における照射エネルギー依存性 (上) とフォトルミネッセンス励起 (PLE) スペクトル (下)。PLE 強度が最大となる励起子吸収エネルギー付近でカンチレバーの光駆動効率が最大となる。

ごあいさつ



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まして、誠にありがとうございます。

NTT物性科学基礎研究所では、10～20年後を見据え、速度・容量・サイズ・エネルギーなどの点で、従来のネットワーク技術の壁を越えるような新原理・新概念を創出することを目指して基礎研究を行っています。そして、この新原理・新概念を創出する過程で見出した有望技術を新しい産業の種とすることにより、中長期的なNTT事業への貢献を行っています。これらのミッションを達成するため、物理、化学、生物、数学、電気電子、情報、医学などを専門とする幅広い分野の研究者が、機能物質科学、量子電子物性、量子光物性に関する研究分野で研究を進めています。

研究を進める上では、NTTグループ内での研究協力はもちろんのこと、日本、米国、欧州、アジアの大学や研究機関と幅広く共同研究を行うことにより、『世界に開かれた研究所』としての役割を果たしています。我々は、若手研究者の育成も研究所としてのミッションの1つと考え、世界中から一流教授・研究者を講師としてお招きして『BRLスクール』を隔年で開催しております。2015年11月には、“Nano and Optics”をテーマとしたスクールを当厚木R&Dセンター内において実施し、世界11カ国の大学・研究機関から30名の博士課程の学生、若手研究者が参加しました。この活動が、若手研究者にとって研究活動への大きな刺激となり、将来の研究者育成に貢献できることを期待しております。また、スクールと並行して開催した、ナノスケール構造における物理と応用に関する国際シンポジウム『ISNTT2015』にも、多数の海外からの参加者を含め総勢200名近い第一線で活躍する研究者が集結し活発な討議が行われました。

以上のような活動を通じて、NTT事業への貢献のみならず、学術的貢献も積極的に推進してゆく所存でございます。今後とも一層のご指導・ご鞭撻を賜りますようお願い申し上げます。

2016年7月

寒川 哲臣

NTT物性科学基礎研究所
所長 寒川 哲臣

目次

◆ 表紙	
励起子遷移を用いたオプトメカニクス	
◆ ごあいさつ	
◆ 組織図	1
◆ 所員一覧	2

I 研究紹介

◇ 各研究部の研究概要	18
-------------	----

機能物質科学研究部の研究紹介

◆ <i>c</i> -BN 薄膜のイオンビームアシスト MBE 成長におけるイオン照射効果	20
◆ III 族原料流量変調エピタキシにより成長したヒルロックフリー窒素極性 GaN(000 $\bar{1}$) 薄膜	21
◆ エッジマグネトプラズモンの寿命問題の解決	22
◆ グラフェンへの歪み印加—グラフェンの歪みエンジニアリングに向けて	23
◆ 通信波長帯光学利得材料の開発：Er-Sc シリケート	24
◆ As-grown Pr ₂ CuO ₄ 超伝導薄膜の合成	25
◆ オンチップ型酸化グラフェンアプタセンサ：2 本鎖 DNA スペーサを用いた高感度化	26
◆ 走査型イオンコンダクタンス顕微鏡によるアポトーシス初期過程の神経細胞のライブイメージング	27
◆ ナノピラーアレイ上の神経細胞成長	28

量子電子物性研究部の研究紹介

◆ MoS ₂ /SiO ₂ /Si ヘテロ構造で構成されたトンネル・ダイオード ～ MoS ₂ のバンドギャップ構造の分析～	29
◆ シリコン可変障壁ポンプによる高速単正孔転送	30
◆ 単電子フィードバック制御によるシリコンナノトランジスタ中の熱ゆらぎの抑制	31
◆ 半導体ヘテロ構造における励起子遷移を用いたオプトメカニクス	32
◆ 光照射を用いた室温における機械振動モード間の結合制御	33
◆ 不安定系との結合による量子ビットのコヒーレンス時間の改善	34
◆ 超伝導フラックス量子ビットにおける量子ゼノン効果の観測	35
◆ 電子スピン集団に直接結合した SQUID 磁束計による電子スピン共鳴	36
◆ 量子ホール効果領域におけるグラフェン <i>p-n</i> 接合のショットノイズ測定	37

◆ ゲート制御によるInAs/GaSbヘテロ構造の半金属-トポロジカル絶縁体転移	38
◆ エピタキシャルグラフェンにおけるランダウ準位の非局在状態幅測定	39

量子光物性研究部の研究紹介

◆ コヒーレントラマンビート分光による Y_2SiO_5 結晶中の $^{167}Er^{3+}$ イオンの超微細構造サブ準位間の位相緩和特性の解明	40
◆ 相互位相変調を用いた決定論的な単一光子波長変換	41
◆ 光円錐におけるエンタングルメントの類似構造	42
◆ 全光都市間量子鍵配送	43
◆ 不完全な光源を用いた量子鍵配送の有限長効果を取り入れた安全性解析	44
◆ ファノ共鳴下における p 型シリコンのフォノン緩和定数の決定	45
◆ コリニアな $2f$ - $3f$ 自己参照干渉計によるエルビウムドープファイバレーザの周波数安定化	46
◆ 永久スピンらせん状態を用いた電子スピンの長距離輸送	47
◆ 埋め込み量子井戸フォトニック結晶レーザの無閾値動作	48
◆ ナノワットレベルで動作する波長サイズ全光ナノ共振器メモリ	49
◆ ナノ共振器の双安定動作を用いた全光パケットスイッチ	50

ナノフォトニクスセンタの研究紹介

◆ SiO_x スポットサイズ変換器を集積したオンSiメンブレン分布反射型レーザ	51
◆ Si基板上にMOVPE成長したGaAs/Ge構造の熱サイクルアニールによる転位低減	52

II 資料

◇ 第7回NTT物性科学基礎研究所スクール	54
◇ 国際シンポジウムISNTT2015	55
◇ BRLセミナー 講演一覧	56
◇ 表彰受賞者一覧	58
◇ 報道一覧	60
◇ 学術論文掲載件数と主な掲載先	62
◇ 国際会議発表件数と主な発表先	63
◇ 特許出願件数	63
◇ 学術論文出版一覧	64
◇ 国際会議招待講演一覧	71

組織図

2016年3月31日付



所員一覧

2016年3月31日付

(*は年度途中までの在籍者)

物性科学基礎研究所

所長 寒川哲臣

量子・ナノデバイス研究統括担当



上席特別研究員 山口浩司

医療・運動生理学研究統括担当



上席特別研究員 塚田信吾

企画担当



企画担当 主幹研究員	後藤秀樹
	山本秀樹*
総括担当 主幹研究員	谷保芳孝
研推担当 主幹研究員	齊藤志郎
研推担当 主任研究員	山口真澄

NTT リサーチプロフェッサー

都倉康弘	筑波大学
日比野浩樹	関西学院大学



部長 山本秀樹
 補佐 上野祐子
 古川一暁*

薄膜材料研究グループ

グループリーダー 熊倉一英
 佐藤寿志 赤坂哲也
 舘野功太 廣木正伸
 平間一行 江端一晃
 西中淳一

低次元構造研究グループ

グループリーダー 山本秀樹
 鈴木 哲 尾身博雄
 佐々木健一 小野満恒二
 Krockenberger, Yoshiharu 狩元慎一
 関根佳明 高村真琴
 Wang, Shengnan 小川友以
 Najjar, Adel* 大伴真名歩
 池田 愛

分子生体機能研究グループ

グループリーダー 中島 寛
 住友弘二 塚田信吾
 上野祐子 古川一暁
 河西奈保子 檜村吉晃
 田中あや 後藤東一郎
 大嶋 梓 手島哲彦

量子電子物性研究部



部長 藤原 聡
補佐 太田 剛
林 稔晶*
唐沢 毅

ナノデバイス研究グループ

グループリーダー 藤原 聡
山口 徹 林 稔晶
西口克彦 田中弘隆
登坂仁一郎 山端元音
知田健作 Clement, Nicolas

複合ナノ構造物理研究グループ

グループリーダー 山口浩司
Mahboob, Imran 岡本 創
角柳孝輔 松崎雄一郎
畑中大樹 樋田 啓
太田竜一

量子固体物性研究グループ

グループリーダー 村木康二
蟹澤 聖 佐々木智
田村浩之 鈴木恭一
太田 剛 熊田倫雄
高瀬恵子 入江 宏
秋保貴史 Rhone, Trevor David*
Couedo, Francois

量子光物性研究部



部長 後藤秀樹
補佐 山下 眞
井桁和浩

量子光制御研究グループ

グループリーダー 清水 薫
武居弘樹 山下 眞
向井哲哉 森越文明
稲葉謙介 松田信幸
稲垣卓弘 野田数人

理論量子物理研究グループ

グループリーダー Munro, William John
玉木 潔 東 浩司
Knee, George* Furrer, Fabian
Bäumel, Stefan

量子光デバイス研究グループ

グループリーダー 後藤秀樹
俵 毅彦 小栗克弥
石澤 淳 Zhang, Guoqiang
眞田治樹 加藤景子
増子拓紀 日達研一
今井弘光 国橋要司

フォトニックナノ構造研究グループ

グループリーダー 納富雅也
新家昭彦 横尾 篤
倉持栄一 角倉久史
谷山秀昭 野崎謙悟
滝口雅人 小野真証
高田健太 Smith, Devin
Tian, Feng Sergent, Sylvain
北 翔太

ナノフォトニクスセンタ



センタ長 納富雅也

フォトニックナノ構造研究チーム

新家昭彦	横尾 篤
倉持栄一	角倉久史
谷山秀昭	野崎謙悟
滝口雅人	小野真証
高田健太	尾身博雄
俵 毅彦	松田信幸
館野功太	Zhang, Guoqiang

ナノ構造集積機能デバイス研究チーム

松尾慎治	山田浩治
碓塚孝明	長谷部浩一
武田浩司	西 英隆
岡崎功太	開 達郎
中尾 亮	藤井拓郎

上席特別研究員



納富 雅也

昭和63年東京大学大学院工学系研究科物理工学専攻修士課程修了。同年、日本電信電話株式会社に入社。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およびデバイス応用の研究を行う。量子細線、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。工学博士（東京大学）。NTT光エレクトロニクス研究所勤務。平成7～8年リンシェピング大学（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勤務。平成13年より特別研究員、平成22年より上席特別研究員。同年、文部科学省国立大学法人評価委員。東京工業大学理学部物理学科連携客員教授を兼任。現在、ナノフォトニクスセンタ長／量子光物性研究部、フォトニックナノ構造研究グループリーダー。2006/2007 IEEE/LEOS Distinguished Lecturer Award、平成20年度学術振興会賞、平成20年度日本学士院学術奨励賞、平成22年度文部科学大臣表彰科学技術賞（研究部門）の各賞を受賞。平成25年 IEEE Fellow。平成27年よりJST-CREST代表研究者を務める。応用物理学会、APS、IEEE、OSA 会員。



山口 浩司

昭和59年大阪大学理学部物理学科卒業。昭和61年同大学院理学研究科物理学専攻博士前期課程修了。同年、日本電信電話株式会社に入社。入社以来、電子線回折、走査型トンネル顕微鏡などの手法により、化合物半導体の表面物性を実験的に解明する研究に従事。約10年前より半導体ヘテロ接合構造を用いた微小機械素子の研究に取り組んでいる。平成5年工学博士。平成14年より特別研究員。平成23年より上席特別研究員。平成7～8年ロンドン大学インペリアルカレッジ（イギリス）客員研究員。平成15年 Paul Drude 研究所（ドイツ）客員研究員。平成18年より東北大学理学部客員教授。平成20～21年度応用物理学会理事・常務理事。平成23年国際マイクロプロセス・ナノテクノロジー国際会議（MNC）組織委員長をはじめ、これまで40以上の学会・国際会議委員を務める。現在、量子・ナノデバイス研究統括担当／量子電子物性研究部、複合ナノ構造物理研究グループリーダー。平成元年度、平成16年度、平成22年度応用物理学会論文賞、MNC2008 Outstanding Paper Award、SSDM2011 Paper Award、平成23年度井上學術賞、平成25年度文部科学大臣表彰の各賞を受賞。平成23年 Institute of Physics (IOP) Fellowship（イギリス）、平成25年応用物理学会フェローシップ。応用物理学会、日本物理学会、IOP、アメリカ物理学会、IEEE 会員。



村木 康二

平成元年東京大学工学部物理工学科卒業。平成6年同大学院工学系研究科物理工学専攻博士課程修了。同年、日本電信電話株式会社に入社、NTT基礎研究所勤務。平成11年よりNTT物性科学基礎研究所。入社以来、高移動度半導体ヘテロ構造の結晶成長とその量子電子物性の研究に従事。平成21年より特別研究員。平成25年より上席特別研究員。平成13～14年マックスプランク研究所シュトゥットガルト（ドイツ）客員研究員。平成22年、平成28年半導体強磁場国際会議プログラム委員長、平成27年二次元電子国際会議組織委員会副議長などを務める。平成20～27年科学技術振興機構戦略的創造研究推進事業ERATO核スピンエレクトロニクスプロジェクト物理研究・結晶成長グループリーダー。現在、量子電子物性研究部、量子固体物性研究グループリーダー。日本物理学会、応用物理学会会員。



塚田 信吾

平成2年富山医科薬科大学（現・富山大学）医学部卒業。同年、4月医師免許取得。平成15年医学博士（筑波大学）。平成15～17年カリフォルニア大学サンディエゴ校（アメリカ）客員研究員。平成22年より日本電信電話株式会社NTT物性科学基礎研究所、リサーチスペシャリスト。平成25年、同社に入社。入社以来一貫して、脳神経細胞の情報伝達に関する機構解明・活動制御の研究に従事、導電性高分子・繊維複合素材を核にしたウェアラブル型・埋め込み型生体電極の研究を行う。平成26年より上席特別研究員。現在、機能物質科学研究部、分子生体機能研究グループ主幹研究員。Society for Neuroscience、日本生理学会、応用物理学会、日本神経科学会、日本循環器学会、日本整形外科学会会員。



藤原 聡

平成元年東京大学工学部物理工学科卒業。平成6年同大学院工学系研究科物理工学専攻博士課程修了。同年、日本電信電話株式会社に入社、LSI研究所勤務。平成8年にNTT基礎研究所、平成11年よりNTT物性科学基礎研究所。入社以来、シリコンナノ構造の物性制御とそのデバイス応用、単電子デバイスの研究に従事。平成19年より特別研究員。平成27年より上席特別研究員。

平成15～16年アメリカ国立標準技術研究所（アメリカ）客員研究員。平成22～23年に応用物理学会理事、平成25年に北海道大学客員教授。現在、量子電子物性研究部長／量子電子物性研究部、ナノデバイス研究グループリーダー。平成10年国際固体素子・材料コンファレンスSSDM'98 Young Researcher Award、平成11年SSDM'99 Paper Award、平成15年、18年、ならびに25年日本応用物理学会JJAP論文賞、平成18年文部科学大臣表彰若手科学者賞の各賞を受賞。平成22～25年度に内閣府／日本学術振興会の最先端・次世代研究開発支援プログラム（NEXT）研究代表者。応用物理学会、IEEEシニア会員。

特別研究員



熊田 倫雄

平成10年東北大学理学部物理学専攻卒業。平成15年同大学院理学研究科物理学専攻博士課程修了。同年、日本電信電話株式会社に入社、NTT物性科学基礎研究所勤務。入社以来、半導体ヘテロ構造における量子電子物性の研究に従事。平成22年より特別研究員。平成25～26年サクレ原子力庁センター（フランス）客員研究員。現在、量子電子物性研究部、量子固体物性研究グループ主任研究員。

平成20年日本物理学会若手奨励賞受賞、平成24年文部科学大臣表彰若手科学者賞の各賞を受賞。日本物理学会会員。



西口 克彦

平成10年東京工業大学工学部電子物理工学科卒業。平成14年同大学大学院理工学研究科電子物理工学専攻博士課程終了。同年、日本電信電話株式会社に入社、NTT物性科学基礎研究所勤務。入社以来、低消費電力化・新機能化を目指したナノ構造のシリコン・デバイスの研究に従事。平成23年より特別研究員。平成20年9月フランス国立科学研究センター（フランス）客員研究員。

平成24～25年デルフト工科大学（オランダ）客員研究員。現在、量子電子物性研究部、ナノデバイス研究グループ主任研究員。平成12年応用物理学会講演奨励賞、International Conference on Physics of Semiconductors 2000、IUAP Young Author Best Paper Award、Materials Research Society 2000 Fall Meeting, Graduate Student Award Silver、平成25年応用物理学会優秀論文賞、平成25年度科学技術分野の文部科学大臣表彰若手科学者賞の各賞を受賞。応用物理学会会員。



齊藤 志郎

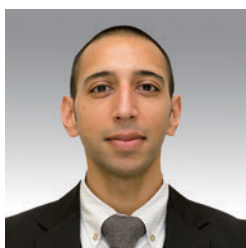
平成7年東京大学工学部物理工学科卒業。平成12年同大学院工学系研究科物理工学専攻博士課程修了。同年、日本電信電話株式会社NTT物性科学基礎研究所、リサーチアソシエイト。平成15年、同社入社、超伝導量子物理研究グループ勤務。入社以来、超伝導を用いた量子情報処理を目指し、超伝導磁束量子ビットの研究に従事。平成24年より特別研究員。平成17～18年デルフト工科大学（オランダ）客員研究員。平成24年5月より東京理科大学客員准教授。現在、量子電子物性研究部、複合ナノ構造物理研究グループ主幹研究員。平成16年応用物理学会講演奨励賞を受賞。日本物理学会、応用物理学会会員。

平成24年5月より東京理科大学客員准教授。現在、量子電子物性研究部、複合ナノ構造物理研究グループ主幹研究員。平成16年応用物理学会講演奨励賞を受賞。日本物理学会、応用物理学会会員。



武居 弘樹

平成6年大阪大学基礎工学部電気工学科卒業。平成8年同大学院基礎工学研究科物理系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、NTTアクセス網研究所（現アクセスサービスシステム研究所）に勤務し、波長多重アクセスネットワークなどの研究に従事。平成14年博士（工学）（大阪大学）。平成15年よりNTT物性科学基礎研究所。以来、光通信波長帯における量子通信、および非線形光学技術を用いた新しい計算機の研究に取り組んでいる。平成25年より特別研究員。平成16～17年スタンフォード大学客員研究員。平成26年アメリカ国立標準技術研究所（アメリカ）客員研究員。現在、量子光物性研究部、量子光制御研究グループ主幹研究員。平成20年ITU-T Kaleidoscope Academic Conference: Innovations in NGN - Future Network and Services, Best Paper Award (2nd place)、平成22年度科学技術分野の文部科学大臣表彰若手科学者賞の各賞を受賞。IEEE、応用物理学会会員。



Imran Mahboob

平成13年シェフィールド大学（イギリス）にて理論物理学修士課程を修了。窒化物半導体の電子物性に関する研究にて平成16年ワーウィック大学（イギリス）物理学博士課程を修了。平成17年日本電信電話株式会社NTT物性科学基礎研究所、リサーチアソシエイト。平成20年よりリサーチスペシャリスト。平成24年、同社に入社。入社以来、デジタル信号処理への応用と非線形ダイナミクスの探索に向けた電気機械共振器の研究に従事。平成25年より特別研究員。現在、量子電子物性研究部、複合ナノ構造物理研究グループ主任研究員。平成13年Clarke Prize in Physics、平成15年Physics of Semiconductors and Interfaces ConferenceにてYoung Scientist Awardの各賞を受賞。アメリカ物理学会会員。



眞田 治樹

平成17年東北大学大学院工学研究科電子工学専攻博士後期課程修了。同年、日本電信電話株式会社に入社、NTT物性科学基礎研究所に勤務。入社以来、半導体低次元構造における光・スピン物性、およびその量子情報応用に関する研究に従事。平成26年より特別研究員。平成27年よりチャルマース工科大学（スウェーデン）客員研究員。現在、量子光物性研究部、量子光デバイス研究グループ主任研究員。平成17年応用物理学会講演奨励賞、平成22年SSDM Paper Award、平成26年度東北大学電気通信研究所第4回RIEC Awardの各賞を受賞。応用物理学会会員。



Yoshiharu KROCKENBERGER

平成14年ミュンヘン工科大学（ドイツ）より超伝導体のトンネル分光の研究においてDiploma（修士号に相当）を取得。その後、マックスプランク固体物理学研究所シュツットガルト（ドイツ）にて強相関電子系である遷移金属酸化物の研究に従事し、平成18年ダルムシュタット工科大学（ドイツ）にて同研究により博士号を取得。同年、独立行政法人産業技術総合研究所強相関電子技術研究センター、リサーチサイエンティスト。平成20年、独立行政法人理化学研究所交差相関物性科学研究グループ、リサーチサイエンティスト。平成22年、日本電信電話株式会社に入社、NTT物性科学基礎研究所に勤務。入社以来、新超伝導物質および強相関電子系における競合秩序の研究に従事。平成26年より特別研究員。現在、機能物質科学研究部、低次元構造研究グループ主任研究員。平成25年応用物理学会超伝導分科会研究奨励賞、平成28年第20回超伝導科学技術賞の各賞を受賞。アメリカ物理学会会員、日本MRS会員、応用物理学会会員。



熊倉 一英

平成5年北海道大学工学部電気工学科卒業。平成10年同大学大学院工学研究科電子情報工学専攻博士後期課程修了。同年、日本電信電話株式会社に入社、NTT基礎研究所勤務。平成11年よりNTT物性科学基礎研究所。入社以来、窒化物半導体の結晶成長、物性、デバイス応用に関する研究に従事。平成27年より特別研究員。平成19～20年ポールドルーデ研究所（ドイツ）客員研究員。現在、機能物質科学研究部、薄膜材料研究グループリーダー。第8回（2000年春季）応用物理学会応用物理学会講演奨励賞を受賞。応用物理学会会員。



William J. MUNRO

平成元年ワイカト大学（ニュージーランド）理学部化学学科卒業、平成7年同学物理学博士課程を修了。平成9～12年クィーンズランド大学（オーストラリア）主任研究員、平成12～22年ヒューレット・パッカード研究所ブリストル（イギリス）勤務、平成22年日本電信電話株式会社NTT物性科学基礎研究所、リサーチスペシャリスト。平成26年、同社に入社。入社以来、量子理論の基礎概念から、量子情報処理およびその実用化に至るまでの様々な量子物理学分野の研究に従事。平成27年より特別研究員。平成18～27年国立情報学研究所、平成21～27年リーズ大学（イギリス）、平成24～27年クィーンズランド大学（オーストラリア）にて客員教授。現在、量子光物性研究部、理論量子物理研究グループリーダー。平成21年Institute of Physics (IOP) Fellowship（イギリス）、平成25年アメリカ物理学会フェロー、米国光学会フェローの各賞を受賞。The International Society for Optical Engineering (SPIE) 会員。

アドバイザーボード

氏名	所属
Prof. Gerhard Abstreiter	Walter Schottky Institute, Technische Universität München, Germany
Prof. John Clarke	University of California, Berkeley, U.S.A.
Prof. Evelyn Hu	Harvard University, U.S.A.
Prof. Mats Jonson	University of Gothenburg, Sweden
Prof. Sir Peter Knight	Imperial College London, U.K.
Prof. Anthony J. Leggett	University of Illinois at Urbana-Champaign, U.S.A.
Prof. Allan H. MacDonald	The University of Texas at Austin, U.S.A.
Prof. Andreas Offenhäusser	Forschungszentrum Jülich, Germany
Prof. Halina Rubinsztein-Dunlop	The University of Queensland, Australia
Prof. Klaus von Klitzing	Max Planck Institute for Solid State Research, Germany

海外研修生

氏名	所属	期間
Hadrien Duprez	École Polytechnique de Montréal, Canada	2014.5 ~ 2015.4
Sophia Chan	University of Edinburgh, U.K.	2014.6 ~ 2015.6
Aleksandra Krajewska	University of Edinburgh, U.K.	2014.7 ~ 2015.6
Todt Clemens	Technical University Dresden, Germany	2014.9 ~ 2015.8
Aleix Llenas	Polytechnic University of Catalonia Barcelona Tech, Spain	2014.9 ~ 2015.8
Dorota Kowalczyk	Gdansk University of Technology, Poland	2014.9 ~ 2015.8
Silviu Dinulescu	University Politehnica of Bucharest, Romania	2014.9 ~ 2015.8
Akie Watanabe	The University of British Columbia, Canada	2015.1 ~ 2015.8
Mats Powlowski	Corcordia University, Canada	2015.1 ~ 2015.7
Joo Whan Yoo	McGill University, Canada	2015.5 ~ 2016.3
Ziyan Xu	The University of British Columbia, Canada	2015.5 ~ 2015.12
Andrew David Browning	The University of British Columbia, Canada	2015.5 ~
Samarth Desai	Padue University, U.S.A.	2015.5 ~ 2015.7
Samuele Grandi	Imperial College London, U.K.	2015.7 ~ 2015.10
Nathaniel Walmsley	University of Bath, U.K.	2015.7 ~ 2015.12
Victoria Hamilton	University of Bath, U.K.	2015.7 ~ 2015.12
Corentin Deprez	ESPCI ParisTech (École supérieure de physique et de chimie industrielles de la ville de Paris), France	2015.7 ~ 2015.12

Marius Villiers	ESPCI ParisTech (École supérieure de physique et de chimie industrielles de la ville de Paris), France	2015.7 ~ 2015.12
Tom Darras	ESPCI ParisTech (École supérieure de physique et de chimie industrielles de la ville de Paris), France	2015.7 ~ 2015.12
Mathieu Durand	ESPCI ParisTech (École supérieure de physique et de chimie industrielles de la ville de Paris), France	2015.7 ~ 2015.12
Isabel Gonzalvez	University of Edinburgh, U.K.	2015.9 ~
Monika Theresa Schied	Ulm University, Germany	2015.9 ~
Veronika Zagar	University of Ljubljana, Slovenia	2015.9 ~
Carla Maria Palomares Garcia	Carlos III University of Madrid, Spain	2015.9 ~
Giacomo Mariani	Politecnico di Milano, Italy	2015.9 ~
Dominika Urszula Gnatek	Jagiellonian University, Poland	2015.9 ~
Jun Ki Kim	Georgia Institute of Technology, U.S.A.	2015.9 ~
Javier Cambiasso	Imperial College London, U.K.	2016.1 ~

国内実習生

氏名	所属	期間
堀尾真史	東京大学	2015.4.1 ~ 2016.3.31
吉成正人	東京理科大学	2015.4.1 ~ 2016.3.31
生頼拓也	東京理科大学	2015.4.1 ~ 2016.3.31
田中 亨	早稲田大学	2015.4.1 ~ 2016.3.31
遠藤 傑	慶應義塾大学	2015.4.1 ~ 2016.3.31
芦川耶真登	東北大学	2015.4.1 ~ 2016.3.31
大杉廉人	東北大学	2015.4.1 ~ 2016.3.31
後藤貴大	東京電機大学	2015.4.1 ~ 2016.3.31
原 一鳳	東京電機大学	2015.4.1 ~ 2016.3.31
下條 優	東京電機大学	2015.4.1 ~ 2016.3.31
長谷川祐哉	東京電機大学	2015.4.1 ~ 2016.3.31
常川雅人	東京工業大学	2015.4.1 ~ 2016.3.31
生田拓也	大阪大学	2015.4.5 ~ 2015.12.26
千葉 永	東京工業大学	2015.4.1 ~ 2016.3.31
澤石 諒	東北工業大学	2015.5.20 ~ 2015.12.25
義積大輔	徳島大学	2015.8.17 ~ 2015.9.11
富永隆宏	北海道大学	2015.8.10 ~ 2015.9.4
小川達也	弘前大学	2015.8.9 ~ 2015.9.29
金澤直輝	豊橋技術科学大学	2015.9.1 ~ 2016.3.31
中 章圭	長岡科学技術大学	2015.10.9 ~ 2016.2.12
中村絃人	電気通信大学	2015.10.1 ~ 2016.3.31
山口純平	北海道大学	2015.11.2 ~ 2016.3.23
濱田裕紀	東京大学	2015.11.4 ~ 2015.12.25
石井俊太郎	東京大学	2015.12.14 ~ 2016.3.31
斎藤 駿	豊橋技術科学大学	2016.1.8 ~ 2016.2.25
Thomas Tiong	豊橋技術科学大学	2016.1.8 ~ 2016.2.25
Xinwei Liu	東京工業大学	2016.1.18 ~ 2016.3.31



I. 研究紹介

各研究部の研究概要

機能物質科学研究部

山本秀樹

機能物質科学研究部（物質部）では、原子・分子レベルで物質の構造を制御することにより、新しい物質や機能を創造し、物質科学分野における学術貢献を行うとともに、情報通信技術に大きな変革を与えることを目指しています。

この目標に向かって、3つの研究グループが、広範囲な物質を対象として研究を進めています。その範囲は、GaAsやGaNをはじめとする化合物半導体から、グラフェンなどの二次元構造物質、酸化物高温超伝導体、さらには、神経細胞などの生体物質に至り、高品質薄膜成長技術や物質の構造と物性を精密に測定する技術をベースに最先端の研究を推進しています。

この1年では、窒化物半導体窒素極性や準安定相の薄膜の高品質化、これまで必須であった成長後の熱処理を必要としない超伝導薄膜を実現したほか、グラフェンへの歪の印加と制御に成功し歪エンジニアリングの道を拓きました。また、東レ株式会社と共同開発した機能素材“hitoe[®]”を活用し、医療・リハビリ、スポーツ、作業安全管理や極限状態など、様々な場面での身心の生体信号計測の実証実験に成功しました。

量子電子物性研究部

藤原 聡

量子電子物性研究部（物性部）では、半導体、超伝導体、あるいは異種材料ハイブリッド系の新規物性を開拓し、将来のICT社会に大きな変革をもたらす固体デバイスの創出を目指しています。高品質薄膜結晶の成長技術やナノメートルスケールの微細加工技術などベースとなる「ものづくり」技術を軸として、単電子、メカニクス、量子、電子相関、スピンなどの新しい自由度に基づく物性の探索を行い、それらを利用した低消費電力デバイス、量子情報処理デバイス、高感度センサなどの革新・極限デバイスの開発に挑戦しています。

今年度は、半導体中の励起子遷移を用いたオプトメカニクスの実現、グラフェン p - n 接合を用いた電子ビームスプリッター動作に成功しました。また、 $\text{MoS}_2/\text{SiO}_2/\text{Si}$ ヘテロ構造を用いたトンネルダイオードの動作、単電子フィードバック制御による電子数熱ゆらぎの抑制、半導体ヘテロ構造における半金属-トポロジカル絶縁体転移のゲート制御など新奇デバイスやその物性制御の実験を推進するとともに、量子ハイブリッド系を利用したダイヤモンド中電子スピンの長寿命化の理論検討などを進めました。

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

量光部のグループでは、半導体量子ドットやナノワイヤなどのナノ構造における光物性研究、極微弱な光の量子状態制御と量子情報への応用、高強度極短パルス光による新物性探索、超音波やフォトニック結晶を応用した光物性制御などの研究がおこなわれています。

この1年で、量子情報通信に関する成果として、通信の担い手である単一光子の波長変換に関する新しい手法を構築しました。また、量子暗号の通信距離を2倍に延ばす新方式を提案し、誤り率の監視の必要のない、簡便な量子暗号システムの実験にも成功しました。この他に、スピントロニクス分野の成果として半導体中で電子スピンの長距離の移動を実現し、スピン演算素子の実現に向けて進展が見られました。

ナノフォトニクスセンタ(NPC)は、ナノフォトニクス技術を駆使して、様々な機能をもつ光デバイスを大量・高密度に集積する大規模光集積技術の確立、および光情報処理の消費エネルギーの極限的な低減を目指す革新研究を行うために、2012年4月に設立され、現在、物性科学基礎研究所および先端集積デバイス研究所の中でナノフォトニクスに関わる研究チームにより構成されています。

本年は、ナノフォトニクス集積技術の成果として、フォトニック結晶共振器を用いて光メモリの消費電力を従来記録より一桁以上の削減に成功、半導体ナノワイヤとシリコンフォトニック結晶を組み合わせた構造でレーザー発振を達成、フォトニック結晶ナノ共振器による無閾値レーザー発振の実証に成功し、スポットサイズ変換器を有するシリコン基板上薄膜型分布帰還レーザーの発振、といった成果がありました。

c-BN 薄膜のイオンビームアシスト MBE 成長におけるイオン照射効果

平間一行 谷保芳孝 山本秀樹 熊倉一英
機能物質科学研究部

立方晶窒化ホウ素(c-BN)は大きなバンドギャップエネルギー(6.3 eV)を有するため、他の窒化物半導体とのヘテロ接合による高耐圧電子デバイスや紫外発光デバイスへの応用が期待される。BNでは sp^2 結合の六方晶構造(h-BN)が安定相で、準安定相である sp^3 結合のc-BNの成長は一般に困難であるが、我々は、ボロンの供給と同時に、加速した Ar^+ と N_2^+ を成長表面に照射することで、ダイヤモンド上にc-BN薄膜をMBE成長できることを報告してきた[1]。本研究では成長機構の解明やデバイス応用を行う上で重要な指針となるc-BNの成長相図を作成し、BNの結晶構造を Ar^+ /ホウ素比(F_{Ar^+}/F_B)によって制御できることを明らかにした。

BN薄膜は、MBE装置を用いて、格子整合性の良いダイヤモンド(001)基板上($\Delta a/a=1.3\%$)に成長した。ホウ素はEB加熱により供給し、窒素源として窒素ラジカル(N^*)を供給した。イオンの供給量がc-BN形成に及ぼす影響を明確にするため、成長中に照射するイオン種を Ar^+ のみとした。V/III比(窒素/ホウ素比(F_{N^*}/F_B))は >1 とした。成長温度は $920^\circ C$ である。

図1は、 Ar^+ 照射を行わずに成長したBN薄膜と、 Ar^+ 照射($F_{Ar^+}/F_B>1$)を行いながら成長したBN薄膜の赤外(IR)吸収スペクトルである。 Ar^+ 照射を行わない場合、 sp^2 結合に由来する吸収ピークのみが観察され、熱力学的に安定な sp^2 結合のBN薄膜が成長する。一方、 Ar^+ 照射を行いながら成長した場合、 sp^3 結合の吸収ピークのみが観察され、 sp^3 結合のc-BN薄膜が成長する。図2は、このc-BN薄膜の断面TEM観察像と制限視野電子線回折(SAED)像であり、成長初期からc-BN(001)薄膜がエピタキシャル成長していることがわかる。

図3は、 Ar^+ とホウ素の供給量を変化させてBN薄膜をc-BN(001)テンプレート上に再成長した際の成長相図である。c-BN薄膜がエピタキシャル成長した条件はすべて $F_{Ar^+}/F_B>1$ であり、 $F_{Ar^+}/F_B<1$ の条件では、c-BNテンプレート上であっても乱れた層状構造をもつ sp^2 結合の乱層BN(t-BN)が成長する。 F_{N^*} は図3に示したすべての成長条件で一定としており、V/III比(F_{N^*}/F_B) >1 である。したがって、V/III比 >1 であればBN薄膜の成長相はV/III比には依存せず、 F_{Ar^+}/F_B によって決まる。図3の成長相図とこれまでに明らかになっているc-BN薄膜の成長条件[1]から、c-BN薄膜のエピタキシャル成長には、V/III比 >1 かつ成長温度 $>750^\circ C$ であることに加えて、 $F_{Ar^+}/F_B>1$ とする必要があることがわかった。

本研究は科研費の援助を受けて行われた。

[1] K. Hirama et al., Appl. Phys. Lett. **104**, 092113 (2014).

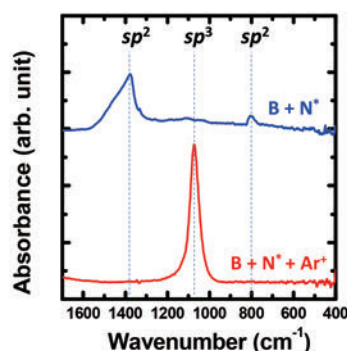


図1 BN薄膜のFT-IR吸収スペクトル。

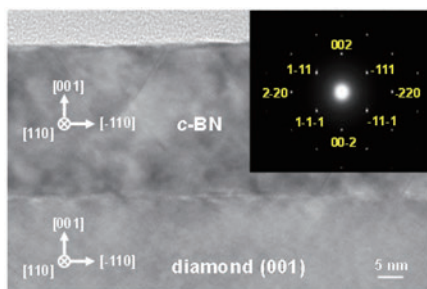


図2 c-BN(001)薄膜の断面TEM像とSAED像。

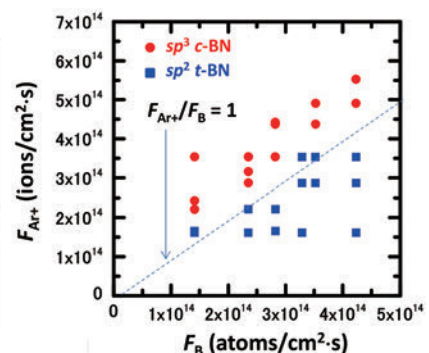


図3 イオンビームアシストMBE成長におけるBN薄膜の成長相図。

III族原料流量変調エピタキシにより成長した ヒルロックフリー窒素極性 GaN(000 $\bar{1}$) 薄膜

Chia-Hung Lin 赤坂哲也 山本秀樹
機能物質科学研究部

窒化物半導体の窒素極性(000 $\bar{1}$)面では、結晶表面からの窒素原子の再脱離が起きにくい。そのため、特に窒素脱離が問題であるInNやInGaNの結晶性向上が期待できる。ところが、窒素極性(000 $\bar{1}$)面成長では、表面にヒルロックが多数形成されて平坦性が悪いのが大きな問題となっている。本報告では、III族原料の流量を周期的に変調するIII族原料流量変調エピタキシ(III族原料FME)を用いて、ヒルロックフリー GaN(000 $\bar{1}$)薄膜が成長できることを報告する[1]。

III族原料FMEでは、原料ガスのNH₃は連続的に供給する一方、III族原料のトリメチルガリウム、または、トリエチルガリウムの流量を変調する。すなわち、大流量のIII族原料(21 $\mu\text{mol}/\text{min}$)を1秒間、および、小流量のIII族原料(10 $\mu\text{mol}/\text{min}$)をt秒間(t: 0~10)、交互に供給した。小流量のIII族原料供給中には、Gaの成長表面への吸着と再脱離がバランスしており、GaNの成長もエッチングも起こらず、Gaの表面拡散のみが促進される[1]。この交互供給を900サイクル繰り返し、約450 nmの厚さのGaN(000 $\bar{1}$)薄膜を成長した。

GaN(000 $\bar{1}$)薄膜の光学顕微鏡写真を図1に示す。連続成長の場合、数個のヒルロックがあるが[図1(a)]、III族原料FMEではヒルロックが全く見られず[図1(b)]、10 mm \times 5 mmのサンプル全体にわたってもヒルロックフリーであった。ヒルロック密度の小流量供給時間tに対する依存性を図2に示す。t=1sでもヒルロックは大幅に減少しており、t \geq 5sでほぼヒルロックフリーとなった。ここで、断面透過型電子顕微鏡の観察等からヒルロックの中心にはらせん転位が存在することが分かった。すなわち、通常の連続的な成長では、ヒルロックはらせん転位を起源とする渦巻き状の螺旋成長により大きく発達していく。一方、III族原料FMEでは、小流量のIII族原料を供給する間にGaの表面拡散が促進されるので、ヒルロックを発達させる螺旋成長よりも平坦な表面を形成するステップフロー成長が支配的になる結果、ヒルロック形成が抑制されるものと考えられる。

[1] C. H. Lin, T. Akasaka, and H. Yamamoto, Jpn. J. Appl. Phys. **55**, 04EJ01 (2016).

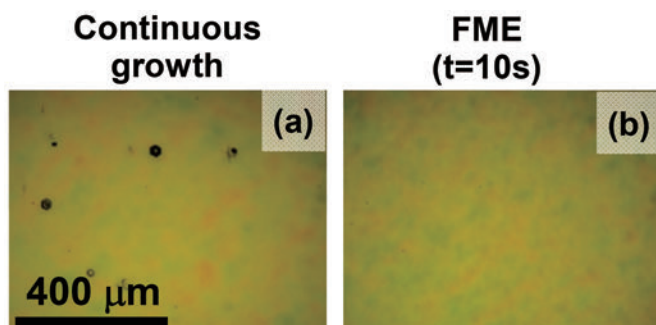


図1 窒素極性 GaN(000 $\bar{1}$) 薄膜表面の光学顕微鏡写真。
(a)連続成長および(b)III族原料FME (t=10s)。

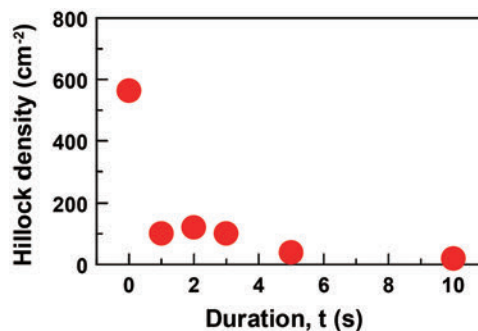


図2 ヒルロック密度の小流量供給時間tに対する依存性。

エッジマグネトプラズモンの寿命問題の解決

佐々木健一¹ 村上修一² 都倉康弘^{3,4}

¹機能物質科学研究部 ²東京工業大学 ³量子光物性研究部

⁴筑波大学

二次元電子系を磁場中におくと、そのエッジ（境界）にエネルギーギャップのないエッジマグネトプラズモン(EMP)が現れる。これは、エッジに沿って一方向に伝搬する、電子と電磁場が結合した励起状態である。80年代から研究されている古いテーマであるが、近年グラフェンなどの新奇な二次元電子系の登場により、そこでの振る舞いが改めて注目されている[1]。本研究では既存の理論をさらに発展させる新しいアイデアを提案した。

EMPの理論は、Volkovらにより大きく発展した[2]。この理論では、EMPの局在長や伝搬速度などの物理量が寿命の関数として求まるが、肝心の寿命が決まらないという問題があった。我々は、この問題が動的磁場の成分が無視されていたことに由来することを示し、その効果を取り入れて解析を行うことで初めて寿命を決定し、実験[1]と誤差範囲での一致(図1)をみたので報告した[3]。

問題を解決する際に、従来の手法を適用することは困難であった。動的磁場を含めると解くべき方程式が数学者にすら解法が知られていないものになってしまうためである。そこで我々は、問題を複雑にしているエッジを取り除いた仮想的な周期系を考察し、そこに奇妙なプラズモンの状態があることを見だし利用した。この状態は振動数が純虚数の、緩和するだけの状態であり、その寿命は正確に計算できた。周期的な系にエッジの存在を摂動的に加えると、振動数に実部が生じ、EMPを再現するので、過減衰する奇妙な状態は、EMPの対応物である。興味深いことに、寿命に関するエッジの補正は無視できた。本研究は、従来見過ごされてきたEMPの磁氣的側面についての知見を得ることができるだけでなく、奇妙な状態の存在を用いた新しい物性予測を可能にする点でも重要である。

[1] H. Yan et al., Nano Lett. **12**, 3766 (2012).

[2] V. A. Volkov and S. A. Mikhailov, Sov. Phys. JETP **67**, 1639 (1988).

[3] K. Sasaki, S. Murakami, Y. Tokura, and H. Yamamoto, Phys. Rev. B **93**, 125402 (2016).

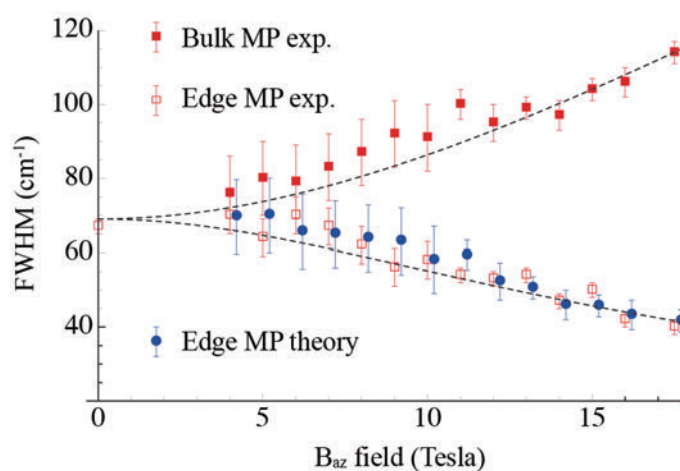


図1 EMPの寿命の実験結果(Edge MP exp.)は理論結果(Edge MP theory)と一致する。EMPの寿命は電子寿命(Bulk MP exp.)よりも強磁場で長く(スペクトル幅が細く)なる。大まかな傾向を点線で示した。

グラフェンへの歪み印加 – グラフェンの歪みエンジニアリングに向けて

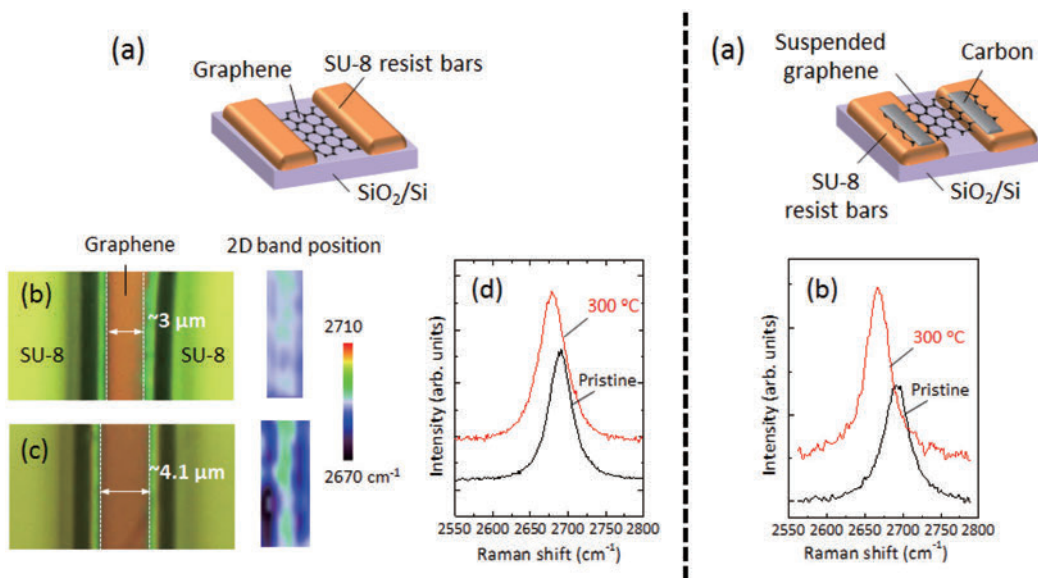
高村真琴¹ 日比野浩樹^{1,2} 山本秀樹¹

¹機能物質科学研究部 ²関西学院大学

グラフェンの電子物性を歪みにより制御する、“歪みエンジニアリング”が理論提案され、グラフェン電子デバイスへの応用が期待されている。しかし実際に歪みを制御するのは容易ではない。我々は、SU-8レジストの熱収縮を利用することでグラフェンへの引張り歪みの印加と制御が可能であることを提案し、ラマン分光測定よりそれを実証した[1]。

SU-8レジストは、300℃以上で酸素や水素の解離が起き、10～20%収縮する。この現象を利用してグラフェンへの引張り歪み印加が可能である。さらに、サンプルの構造を工夫することで、歪みのデザインが可能になる。たとえば、基板に転写したグラフェンに対してはレジスト近傍への局所的な引張り歪みの印加が可能である。基板上のグラフェンの端部にレジストバーを配置したサンプル[図1(a)]を加熱すると、SU-8の収縮によりレジスト間のギャップが広がり[図1(b)、(c)]、グラフェンのラマンピークが低波数側にシフトする。これはグラフェンに引張り歪みが印加されたことを示している。ピーク位置の分布[図1(c)]とそのシフト量[図1(d)]から、レジスト端から1～2 μmの範囲のグラフェンにのみ約0.2%の引張り歪みが印加されていることが明らかになった。また、レジストバー間にグラフェンを架橋させたサンプル[図2(a)]では、約3倍の大きさの引張り歪みが全体に印加されている[図2(b)]。これは、グラフェンと基板の相互作用がなくなるためである。本方法を用いることで、グラフェンの電子物性制御が歪み印加により可能になると期待される。

[1] M. Takamura et al., Proc. 15th IEEE Int. Conf. on Nanotechnology, Rome, Italy, **33** (2015).



(左) 図1 (a) SiO₂/Si基板上のグラフェン模式図。(b) 加熱前と(c) 300℃で加熱後のグラフェンの光学顕微鏡像とラマンピーク位置のマッピング。(d) 加熱前後のラマンスペクトル。
(右) 図2 (a) 架橋グラフェン模式図。(b) 加熱前後のラマンスペクトル。シフト量は図1(c)の約3倍。

通信波長帯光学利得材料の開発：Er-Sc シリケート

Adel Najar¹ 尾身博雄^{1,3} 俵 毅彦^{2,3}

¹機能物質科学研究部 ²量子光物性研究部 ³NTT ナノフォトニクスセンタ

光インターコネクションの実現には高効率で信頼性の高いデバイス、たとえば光源、変調器、増幅器、スイッチ、検出器などが必要となる。特に、Si基板上でオンチップ光源を実現するためにはSi系の光学利得結晶材料の開発が不可欠である。

私たちは、通信波長帯の波長 1.5 μm で発光する Er^{3+} イオンを添加させる母結晶として一般によく知られている従来型の Y シリケート結晶に替えて、 Er^{3+} イオンからの特異な光学特性が期待できる新しい母結晶として Sc シリケート結晶に注目し、ナノスケールの積層成長技術と高温熱処理を組み合わせることにより、 SiO_2/Si 基板上に Er-Sc シリケート膜を形成することに挑戦した (図 1 左)。

成長した Er-Sc シリケート膜のフォトルミネッセンス (PL) 測定から、① 900 から 1100°C の熱処理で発光波長が 1528 nm の $\text{Er}_x\text{Sc}_{2-x}\text{SiO}_5$ 膜が形成されること、② それ以上の熱処理温度で発光波長が 1537 nm の $\text{Er}_x\text{Sc}_{2-x}\text{Si}_2\text{O}_7$ 膜が形成されること、③ $\text{Er}_x\text{Sc}_{2-x}\text{Si}_2\text{O}_7$ 膜の PL 強度は $\text{Er}_x\text{Sc}_{2-x}\text{SiO}_5$ 膜のものよりも約 5 倍強いこと、④ PL 励起 (PLE) と PL 測定 (図 1 中と右) から $\text{Er}_x\text{Sc}_{2-x}\text{Si}_2\text{O}_7$ 膜での Er^{3+} イオンのエネルギーレベルが決定できること、⑤ $\text{Er}_x\text{Sc}_{2-x}\text{Si}_2\text{O}_7$ 膜からの PL スペクトルピークの半値幅は温度の上昇に伴い 1.1 から 2.3 nm へ変化することがわかった。

なお、この Er^{3+} イオンの PL ピークの狭線幅の起因は、Sc シリケート結晶の Sc^{3+} イオンは小さなイオン半径 (0.745 Å) をもつため、その Sc 格子サイトを Er^{3+} イオンが置換した場合には Er^{3+} イオンはその周りにある Sc^{3+} イオンからの強い結晶場の影響を受け、 Er^{3+} イオンのエネルギーレベルが明瞭に分裂したためと考えることができる。今後は、 $\text{Er}_x\text{Sc}_{2-x}\text{Si}_2\text{O}_7$ 膜の導波路型光増幅器構造を作製し、高効率な光学利得結晶としての可能性を探索していく予定である。

[1] A. Najar, H. Omi, and T. Tawara, Opt. Express **23**, 7021 (2015).

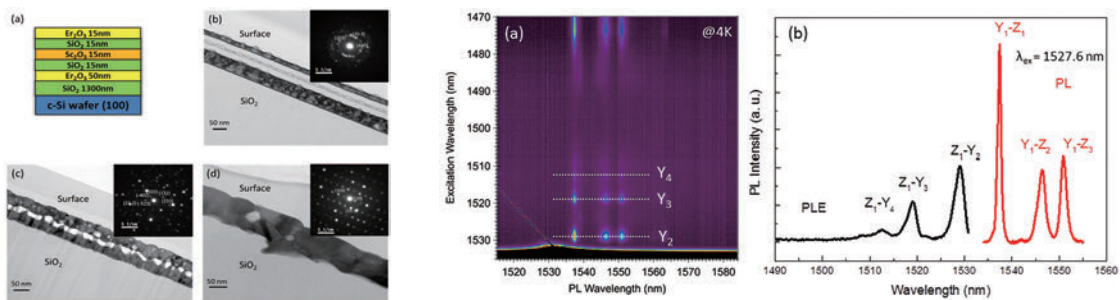


図 1 (左) 作製した試料の膜構造。(中) 1250°C の熱処理で作製した試料からの PL 励起のカラーマップ。(右) 4K で測定した PL 励起と PL スペクトル。

As-grown Pr₂CuO₄ 超伝導薄膜の合成

Yoshiharu Krockenberger¹ 堀尾眞史^{1,2} 池田 愛¹ 入江 宏³ 藤森 淳² 山本秀樹¹

¹機能物質科学研究部 ²東京大学 ³量子電子物性研究部

電子ドーピング銅酸化物高温超伝導体の母物質 Pr₂CuO₄(PCO)は、モット絶縁体で電子ドーピングをすることで超伝導が発現すると考えられてきた。一方で、電子ドーピング銅酸化物は、酸素が銅の周りに平面四配位した CuO₂ 面の銅の上下頂点位置に不純物酸素を取り込みやすく、それによって超伝導特性が著しく劣化することが知られている。したがって、電子ドーピング銅酸化物の超伝導発現には、不純物酸素を取り除くためのアニールが必須である。これまで、我々は精密アニールにより、ノンドープの母物質でさえ超伝導が発現することを報告してきた [1]。一方で、*ex situ*での複雑なアニールプロセスを必要とするため、物性測定には不向きである。そこで、アニールを必要とせずに母物質の超伝導が得られる成長条件の検討を行った。

本研究では、分子線エピタキシ法により格子不整合が無視できる(110)GdScO₃基板上にPCO薄膜をコヒーレントに成長した。このようなコヒーレント成長では、成長温度の高温化が可能のため、実効的に成長中の酸化力を緩和することが可能となる。我々は、成長温度、酸化条件、ならびに基板を系統的に変え最適な組み合わせを検討した。その結果を図1に示す。赤丸で示す条件、つまり(110)GdScO₃基板上に高温でコヒーレント成長したPCO薄膜のみがas-grown状態で超伝導を示した。図2には、そのPCO薄膜の抵抗率の温度依存性を示す。高温域では抵抗率は温度とともに減少する金属的なふるまいを示し、27 Kで超伝導転移が観測された。さらに、CuO₂面に対し垂直に磁場を印加した場合のCuO₂面内の抵抗率の温度依存性も併せて示している [2]。本研究では、成長条件を最適化することで、PCO薄膜を*in situ*で超伝導化できることを示した。これにより、電子ドーピング系銅酸化物の物性測定において、これまでボトルネックとなっていた表面のコンタミネーションを避けることができるため、角度高分解光電子分光などの電子状態の測定において非常に有効である。

[1] Y. Krockenberger et al., Sci. Rep. **3**, 2235 (2013).

[2] Y. Krockenberger, M. Horio, H. Irie, A. Fujimori, and H. Yamamoto, Appl. Phys. Express **8**, 053101 (2015).

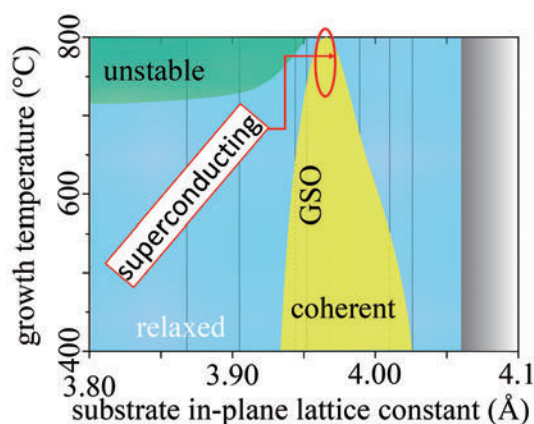


図1 種々の基板上に成長したPCO薄膜の成長条件。

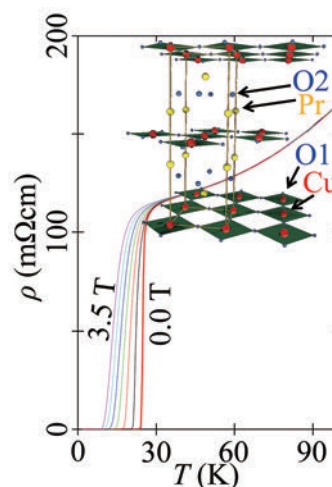


図2 As-grown PCO薄膜の抵抗率の温度依存性。

オンチップ型酸化グラフェンアプタセンサ： 2本鎖DNAスペーサを用いた高感度化

上野祐子 古川一暁
機能物質科学研究部

グラフェンおよび酸化グラフェン(GO)の表面では、表面に近接した分子との相互作用に応じたエネルギー移動反応が生じる。この反応を、生体分子の反応と巧みに組み合わせることで、生体分子の選択的な吸着などの現象を可視化可能である。私たちは、グラフェン/GO表面をアプタマという特殊なDNAで機能化した表面(生体分子インターフェース)を用いて、タンパク質を選択的かつ高感度に検出する蛍光検出型のアプタセンサを実現した[1]。さらに、グラフェン/GOを表面に固定化するという特長を活かすことで、マイクロ流路を搭載したオンチップ型アプタセンサへの展開をはかり、複数タンパク質の同時検出や定量検出など、分析化学的に意義高い応用が可能となった[2]。

アプタマの最も魅力的な特徴は、その分子認識機能を損なうことなく、自由自在な分子設計による機能化が可能という点である。そこで、グラフェン/GOへの蛍光分子の発光エネルギーの移動(蛍光共鳴エネルギー移動、FRET)の効率が蛍光色素とグラフェンとの距離に依存して大きく変化することを利用して、アプタセンサの感度を飛躍的に向上させるプローブ分子の戦略的な設計を行った。アプタマ配列と蛍光色素の間に1本鎖DNAをスペーサとして導入した分子プローブ①[3]およびアプタマ配列とグラフェン/GO表面の間に2本鎖DNAをスペーサとして導入した分子プローブ②を設計した[図1(左)] [4]。①、②のどちらにおいても、スペーサ長に応じてセンサの高感度化がはかれることを見出した[図1(右)]。設計した分子プローブのうち、最も高感度化効果が高かったプローブを用いて、*in vivo*凝固反応中の濃度レベル(1 nM)のトロンビン検出限界を達成した[3]。

[1] K. Furukawa et al., *J. Mater. Chem. B*, **1**, 1119 (2013).

[2] Y. Ueno et al., *Anal. Chim. Acta*, **866**, 1 (2015): Featured on cover.

[3] Y. Ueno et al., *Chem. Commun.*, **49**, 10346 (2013): Featured on cover.

[4] Y. Ueno et al., *Anal. Sci.*, **31**, 875 (2015): Hot Article Award.

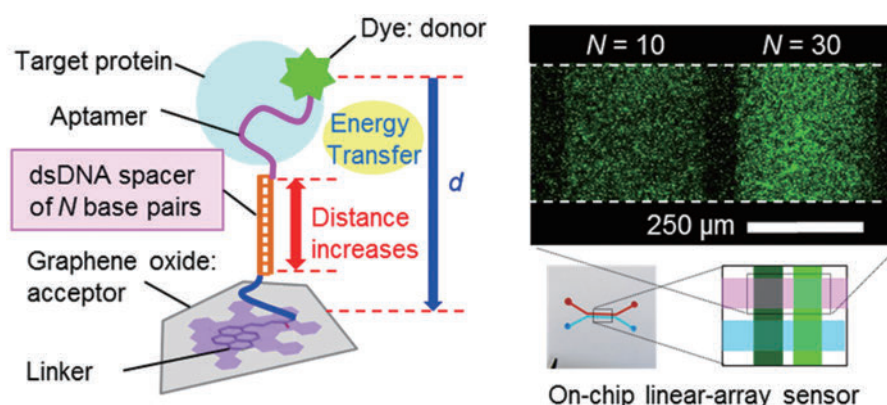


図1 (左) 分子プローブ②の構成と(右) スペーサ長さによる高感度化効果の定量比較。

走査型イオンコンダクタンス顕微鏡によるアポトーシス初期過程の神経細胞のライブイメージング

田中あや 住友弘二 中島 寛
機能物質科学研究部

神経細胞が成長しネットワークを形成する過程で特有の形態変化を示すことが知られており、生きた細胞の経時的な形態変化を観察することは神経機能の理解に重要である。本研究では、神経ネットワーク形成過程において、ネットワークを構成する細胞数調整の役割を果たすアポトーシス（プログラム細胞死の一種）に注目し、アポトーシス初期過程の1細胞レベルの形態変化を走査型イオンコンダクタンス顕微鏡（SICM）により観察することに成功した[1]。

実験には、ラットの大脳皮質から取り出した初代神経細胞をガラス基板上で培養し、培養8～10日後にSICMによる形態観察を行った。アポトーシス誘導試薬であるスタウロスポリン(STS)を観察溶液に添加し、20分毎にイメージングを行うことでアポトーシスによる神経細胞の形態変化を観察した。

SICMによる観察を行った結果、STS添加後、180分後に明瞭な球状突起物が観察された[図1(a)白矢印]。これらの構造は、アポトーシス初期過程で形成されるブレブと呼ばれる構造であると考えられる。形態観察結果をもとに、STS添加前の細胞体積に対する相対的な体積変化を検討した結果[図1(b)]、STS添加後60～120分で細胞体積の減少が起こり、その後再び上昇することが示された。以上から、アポトーシス初期過程では、最初に細胞収縮が起こり、その後ブレブ形成が起こる、という一連の形態変化を明らかにした。今後は、蛍光顕微鏡と組合せることで、生きた神経細胞の分子レベルの変化を同時に観察し、神経細胞の機能変化に伴う形態との相関性を解明することを目指す。

[1] A. Tanaka, R. Tanaka, N. Kasai, S. Tsukada, T. Okajima, and K. Sumitomo, J. Struct. Biol. **191**, 32 (2015).

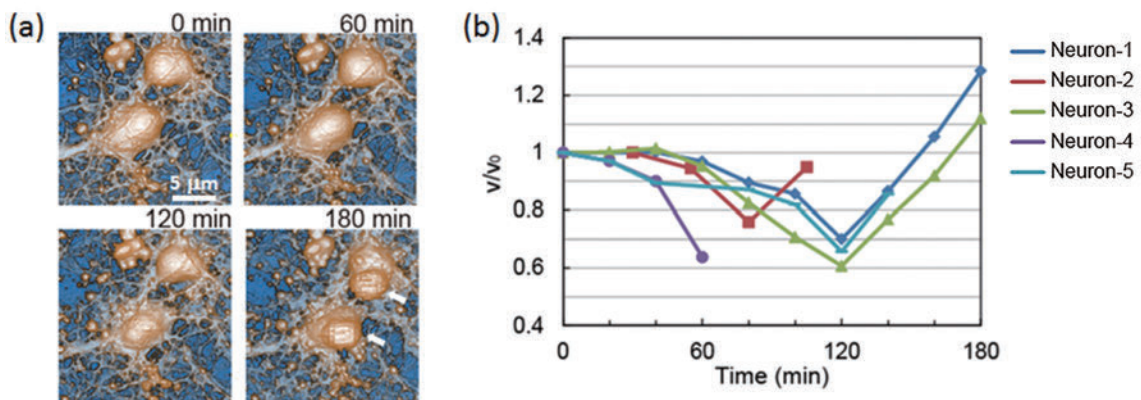


図1 SICMによるアポトーシス初期過程での神経細胞の形態観察結果。(a)STS添加後の神経細胞の形態像、(b)神経細胞の相対的な体積変化 (v_0 はSTS添加前の細胞体積、 v は各時間での細胞体積)。

ナノピラーアレイ上の神経細胞成長

河西奈保子 住友弘二
機能物質科学研究部

神経細胞のIn vitroにおける培養は、細胞間情報伝達機構の解明や神経回路の工学応用等を目的にして広く行われている。我々は、神経細胞との人工的なシナプスを形成するデバイスの実現をめざし、様々な基板上で神経細胞の培養を行っている。一方、近年微細加工技術の発展からナノ構造物上を用いた神経細胞のガイダンスも精力的に行われている。本研究では、神経細胞を成長させるための足場としてシリコン(a-Si)および金(Au)のナノピラーアレイを作製し、神経細胞の成長方向の制御するための基礎的な検討を行った[1]。

EBリソグラフィにより石英基板にa-SiおよびAuのナノピラーアレイ(ピラー直径:100 または 500 nm、高さ:500 nm)を作製した。その上にラットの大脳皮質由来の神経細胞を7日間、5%CO₂、飽和水蒸気下で培養した。試料の観察には走査型電子顕微鏡または共焦点レーザー顕微鏡を用いた。

基板上に培養した神経細胞の神経突起は、a-Siピラー上に良好に成長することを確認した(図1)。神経突起の太さは直径500 nmのピラー上のほうが直径100 nmのピラー上よりも太く、神経突起とピラーとの接着面積が骨格系タンパク質の発現に影響し神経突起の太さが変化することを示唆した。また、神経細胞はAuピラー基板上ではランダムに成長するのに比べa-Siピラーではピラーパターンに比較的沿って成長した[図2(A)]。さらに、神経突起の先端の位置は、Auと比較するとa-Siでは有意に多くの神経突起がピラー上に存在し、ピラー材料によって異なる親和性を示した[図2(B)]。これは神経細胞の断面観察から細胞体がAu上に良好な接着を示さなかった結果[2]と一致した。これらの結果は、ピラー材料を最適化することで神経ガイダンスに適した環境を提供できる可能性を示すものである。

本研究の一部は科研費15H03541の助成を受けて行われた。

[1] N. Kasai, R. Lu, R. Filip, T. Goto, A. Tanaka, and K. Sumitomo, *Electrochemistry*, **84**, 296-298 (2016).

[2] T. Goto, N. Kasai, R. Lu, R. Filip, and K. Sumitomo, *J. Nanosci. Nanotechnol.* **16**, 3383 (2016).

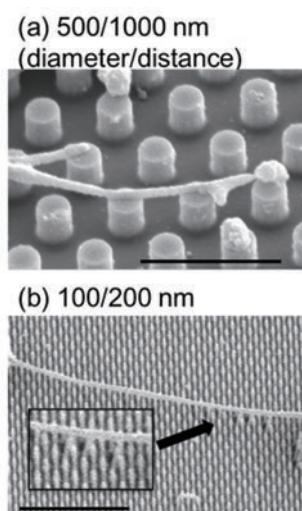


図1 異なるパターンのa-Siピラー上に成長した神経突起。スケール:2 μm。

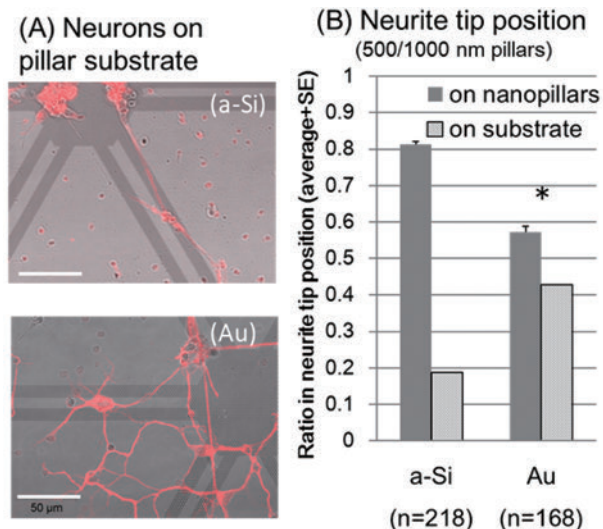


図2 a-SiおよびAuピラー上に成長した神経細胞(A)と神経突起の先端位置(B)。スケール:50 μm。

MoS₂/SiO₂/Si ヘテロ構造で構成されたトンネル・ダイオード ～ MoS₂ のバンドギャップ構造の分析～

西口克彦¹ Andres Castellanos-Gomez² 山口浩司¹ 藤原 聡¹ Herre van der Zant² Gary Steele²

¹量子電子物性研究部 ²Delft University of Technology

多くの電子回路を構成するSiトランジスタは、微細化によって性能が向上してきた。さらにサイズが数十～数nmまで小さくなると、新たな機能をもつことも可能となり、これまで我々は単一電子を操る素子[1]や、高感度センサ[2]、発光素子[3]を実現してきた。しかし、いくら微細化が進んでもSiがもつ特性を大きく変えることはできないことから、性能には自ずと限界が生じる。翻って他の材料を見ると、グラフェンや二次元層状物質などが次世代材料として注目を浴びている。しかし、作製技術などの観点から、現段階では発展途上の材料と言える。そこで我々は、Siと二次元層状物質を組み合わせることによって、それぞれの特徴を生かした素子の実現を目指している。今回は、二次元層状物質の一つである二硫化モリブデンMoS₂とSiを組み合わせたトンネル・ダイオードを紹介する[4]。

トンネル・ダイオードはSiトランジスタをベースとしており、ゲート電極に数層で構成されたMoS₂を用いる(図1)。このMoS₂は、粘着テープと透明ポリマーを用いた劈開法によって薄層化したもので、Si上部に転写する。SiおよびMoS₂は、それぞれ*p*型と*n*型のトランジスタ特性を示し、またSiとMoS₂の間にはゲート酸化膜SiO₂があるため、*p*/絶縁層/*n*ヘテロ接合が構成される(図2)。SiO₂は6nmと薄いため、SiとMoS₂の間に電圧を印可するとトンネル電流が流れ、負性微分抵抗を示すピーク構造が確認できた(図3)。これは高濃度にドーパされた*p-n*接合トンネル・ダイオードに類似したトンネル現象が起きていると考えている。また、4つの電流ピークが現れており、今回用いたMoS₂が膜厚の異なる4つの領域をもつことに起因している。ピークが現れる電圧は、膜厚で変化するMoS₂のエネルギー・バンド構造の情報を含んでおり、今回ヘテロ接合のバンド構造の導出に成功した。他の材料に対しても当該素子構造を用いることで、様々な環境でバンド構造の情報が得られるだけでなく、新たな素子の実現が期待できる。

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

[2] K. Nishiguchi et al., Jpn. J. Appl. Phys. **47**, 8305 (2008).

[3] J. Noborisaka, K. Nishiguchi, and A. Fujiwara, Sci. Rep. **4**, 6940 (2014).

[4] K. Nishiguchi et al., Appl. Phys. Lett. **107**, 053101 (2015).

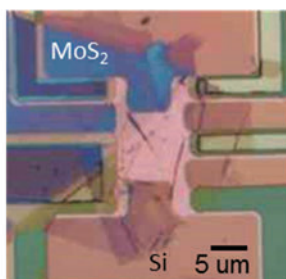


図1 素子の写真。

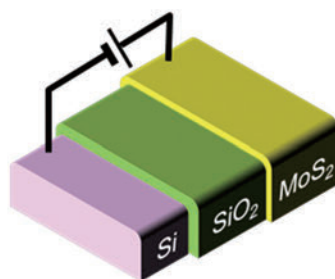


図2 素子の概念図

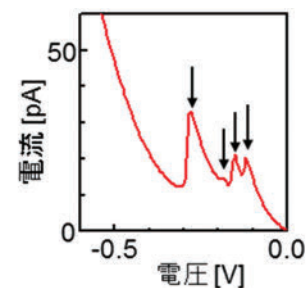


図3 トンネル電流特性。

シリコン可変障壁ポンプによる高速単正孔転送

山端元音 唐沢毅 藤原聡
量子電子物性研究部

単電子ポンプはクロック信号に同期して単電子を転送する素子であり、低消費電力素子、電流標準、単光子源などへの応用が期待されている。特に、電流標準応用においては高精度・高速動作が必要であるが、実用的な性能（エラー率 10^{-8} 以下、GHz動作）を満たす素子是实现されていない。可変障壁ポンプはGHz動作の単電子転送が可能であり[1]、有望な素子である。その精度を決める1つの要因として、電荷の有効質量が挙げられる。有効質量が重い正孔（電荷： e ）を利用すると精度向上が期待されるが、これまで、高速単正孔転送の報告は無い。今回、シリコン可変障壁ポンプを用いた高速単正孔転送を達成した[2]。

図1(a)に素子の概略図を示す。Si細線上に2層ゲートをもつ構造であり、SとDを p 型に高濃度ドープした。上層ゲートUGに負電圧 V_{UG} を印加しSi細線中に正孔を生成し、下層ゲートG1とG2への正電圧印加により正孔ポテンシャル障壁を形成する。これにより、G1-G2間のSi細線部が単正孔島となる。さらに、G1への高周波信号（周波数： f ）印加で、正孔をSからDに転送する[図1(b)]。G1直下の障壁が低い際、島に正孔が注入される。容量結合により障壁上昇と伴に島ポテンシャルも上昇するため、正孔はS側にエスケープするが、障壁上昇率がエスケープ率よりも十分大きい場合、正孔は島に非平衡状態で捕獲される。捕獲された正孔はD側に放出される。本素子の島は微細なもので、単正孔付加エネルギー E_{add} が熱揺らぎよりも十分大きい。この場合、島に2個正孔が存在時のエスケープ率が1個存在時よりも十分大きくなり、単正孔を島に捕獲可能である。1周期に正孔を n 個転送すると、電流値は nef となる。 n は V_{UG} により島ポテンシャルを変化させることで調整できる。

図1(c)に1 GHzでの電流測定結果（赤丸）を示す。 V_{UG} を負側に増加させることで、電流プラトーを観測した。非平衡正孔捕獲の理論モデルによるフィット（青線）もデータと良く一致し、非平衡正孔転送が生じていることが示された。このフィットから17 Kでは転送エラー率が 10^{-3} 程度であることが分かった。理論的には、9 K程度になると 10^{-8} レベルの転送精度が期待される。本成果は正確な単正孔操作とその計量標準応用へ向けた重要な進展である。

[1] A. Fujiwara, K. Nishiguchi, and Y. Ono, Appl. Phys. Lett. **92**, 042102 (2008).

[2] G. Yamahata, T. Karasawa, and A. Fujiwara, Appl. Phys. Lett. **106**, 023112 (2015).

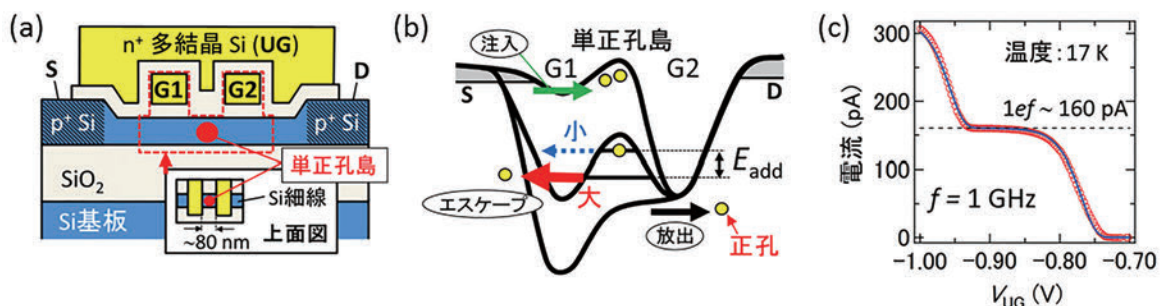


図1 (a)素子の概略図。(b)正孔ポテンシャル図と単正孔転送機構。(c)高速単正孔転送のデータとフィット。

単電子フィードバック制御によるシリコンナノトランジスタ中の熱ゆらぎの抑制

知田健作 西口克彦 山端元音 田中弘隆 藤原 聡
量子電子物性研究部

フィードバック制御は制御対象を測定し、その結果をもとに出力を制御し、所望の状態を実現する制御手法である。たとえば、エアコンは部屋の温度を測定し、その結果をもとに出力を制御し、部屋の温度を一定に保っている。もしエアコンが部屋の温度を正しく測定できなければ、部屋の温度を一定に保つことはできない。

本研究では、単電子を検出できるシリコンナノトランジスタを用いて単電子を制御対象としたフィードバック制御を行った。シリコンナノトランジスタは電子浴、単電子箱、検出器によって構成され(図1)、検出器電流 I_d を測定することで、電子箱内電子数 n を電子1個の精度で測定できる。単電子は電子浴と単電子箱の間を熱によって絶えずランダムに運動(熱ゆらぎ)しており、 n は図2(a)に示すように、ある値($n=0$)を中心にランダムに増減する[1]。測定された n の値をもとに、電子浴電位 V_{res} を制御し n を一定の値に保つこと、すなわち、熱による n のゆらぎを抑制することを試みた。 n が所望の数よりも多いときは V_{res} を正に変調して電子を供給し難く、所望の数よりも少ないときは V_{res} を負に変調して電子を供給し易くした。その結果、フィードバック制御を行っていない場合[図2(a)]に比べて、熱による n のゆらぎを約60%低減(n の分散 σ の大きさを1.5から0.5に低減)することに成功した[図2(b)] [2]。本研究で実現された単電子のフィードバック制御は、単電子ポンプのエラー訂正や電子デバイス中でのマクスウェルの悪魔の実現[3]などへの要素技術として応用できる。

本研究の一部は最先端・次世代研究開発支援プログラムの助成を受けて行われた。

[1] K. Nishiguchi, Y. Ono, and A. Fujiwara, *Nanotechnology* **25**, 275201 (2014).

[2] K. Chida et al., *Appl. Phys. Lett.* **107**, 073110 (2015).

[3] J. V. Koski et al., *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* **38**, 13786 (2014); *Phys. Rev. Lett.* **115**, 260602 (2015).

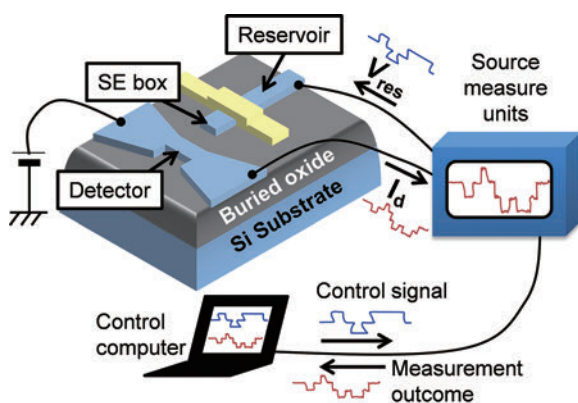


図1 単電子フィードバック制御実験の模式図。検出器電流 I_d を用いて単電子箱内電子数 n を求め、 n に基づいて電子浴電位 V_{res} をフィードバック制御する。

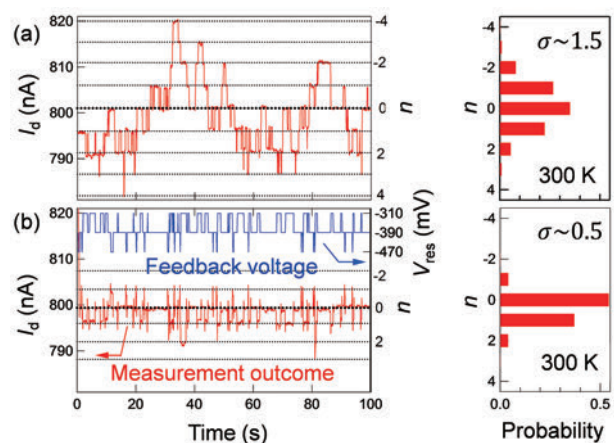


図2 フィードバック制御による熱ゆらぎの抑制。(a) フィードバック制御なしのときに観測される熱ゆらぎ。(b) フィードバック制御によって抑制された熱ゆらぎ。

半導体ヘテロ構造における励起子遷移を用いたオプトメカニクス

岡本 創¹ 渡邊敬之^{1,2} 太田竜一¹ 小野満恒二³ 後藤秀樹⁴ 寒川哲臣⁴ 山口浩司^{1,2}
¹量子電子物性研究部 ²東北大学 ³機能物質科学研究部 ⁴量子光物性研究部

昨今、光キャビティと機械共振器の結合系を取り扱うオプトメカニクスが注目されている[1]。キャビティにより生み出される放射圧や熱応力を用いて、振動の増幅や熱ゆらぎの低減（振動モード冷却）など、機械共振器の制御が可能となることが報告されている。しかしながら、従来手法は高品質キャビティの作製や光機械結合の調整など、取り扱いの上で高度な技術を要するのが難点である。また、細線化ファイバによるアクセスが必要なため、とりわけ共振器アレイなど集積メカニカル素子への適用には不向きとされる。これに対して、我々は半導体ヘテロ構造における励起子遷移を用いた、フリーアクセス可能な機械共振器の振動制御手法を提案、実証した[2]。化合物半導体中で光励起された電子と正孔により生み出される圧電応力を用いることにより、キャビティ不要で簡便なオプトメカニクスを可能とした。

本研究ではAlGaAsとGaAsの2層構造からなる片持ち梁を用いた [図1(a)]。この梁では光励起により生じる電子-正孔対が内部電場により分離し [図1(b)]、長手方向に沿って圧電応力（圧縮）が生み出される。この応力はGaAs層に生じるため、梁が下向きにたわむ効果を与える [図1(a)]。この効果は光吸収量に依存し、変形ポテンシャルを介して歪みにも影響を受ける。よって、歪みによる吸収変化が顕著となる励起子吸収近傍では梁の変位に依存した圧電応力が得られる。これが光照射に対して遅延して作用するため、梁の振動に対して自己帰還が働く。帰還の符号と利得は吸収スペクトルの勾配に依存するため [図1(c)]、励起子吸収からの僅かな離調により、振動増幅とモード冷却の双方が達成される [図1(d)、(e)]。

[1] M. Aspelmeyer, T. J. Kippenberg, and F. Marquardt, Rev. Mod. Phys. **86**, 1391 (2014).

[2] H. Okamoto et al., Nature Commun. **6**, 8478 (2015).

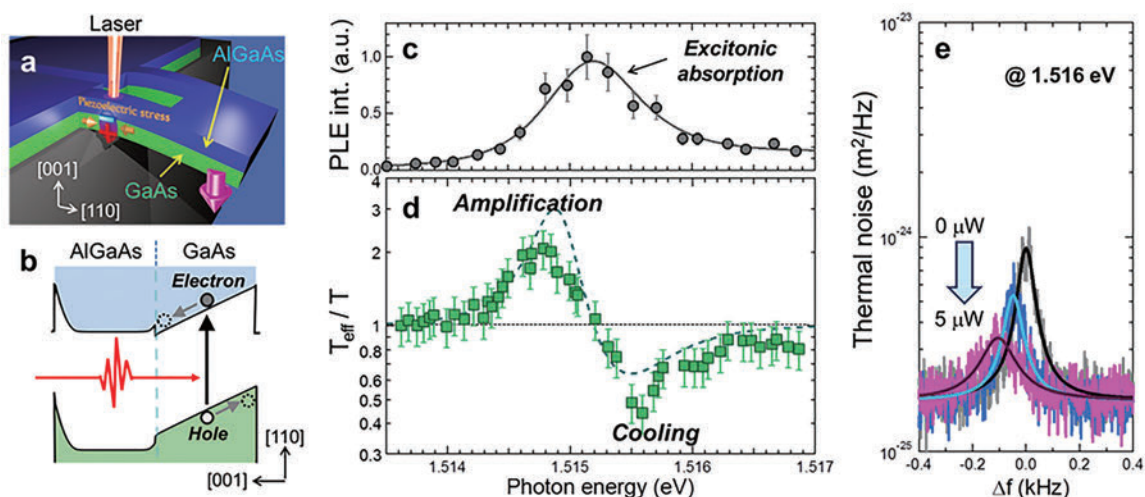


図1 (a) 片持ち梁と圧電効果の模式図。(b) 梁のエネルギーバンドと電子と正孔の分離の様子。(c) 励起子吸収近傍の発光励起スペクトル。(d) モード温度(T_{eff})の励起エネルギー依存性(縦軸は素子温度 $T=9.2$ Kで規格化、レーザー強度は $1.19 \mu\text{W}$)。点線はPLEスペクトルの勾配に依存した理論曲線。(e) 励起エネルギー 1.516 eV における熱ノイズスペクトルのレーザー強度依存性。

光照射を用いた室温における機械振動モード間の結合制御

太田竜一¹ 岡本 創¹ Rudolf Hey² Klaus-Juergen Friedland² 山口浩司¹

¹量子電子物性研究部 ²Paul-Drude-Institut für Festkörperelektronik

多数の連結された機械振動子は複数の機械振動モードを有しており、これら振動モード間での振動転送を制御することで機械論理回路や音響メタ材料が実現すると期待されている。振動転送の制御にはモード間の結合制御が必要であり、特にモード間の結合係数が各モードの減衰定数を上回る強結合状態では、系の応答速度が減衰定数ではなく結合係数により支配されるため高速な振動転送制御が可能となる[1]。我々はこれまでに圧電効果を用いた電気的手法により低温環境下で2つの機械振動子における強結合状態の創出とその結合制御に成功していた。しかし、これまでの電気的手法ではモード間の結合係数が十分に大きくなく、その利用範囲は減衰定数が大きく低下する低温環境に限られていた。今回、我々は光照射による熱膨張効果を用いることで結合係数が既存手法に比べ飛躍的に大きくなることを見出し、その結果、室温において2つの振動モード間での強結合状態とその結合制御に成功した[2]。

図1(a)に2つの振動子の顕微鏡像、図1(b)にその振動モードを示す。本構造はGaAsとAlAsの超格子構造を含む半導体薄膜基板に形成されており、対称・反対称の2つの振動モードを有している。本素子に波長780 nmのレーザ光を照射するとGaAs層で光吸収による熱膨張が起こり、その結果内部応力が生じる。このレーザ光の強度を振動モード間の差周波で変調することにより2つの振動モード間で内部応力を介した動的な結合が生まれる。図1(c)に振動スペクトルのレーザ光変調周波数依存性、図1(d)にレーザ光変調振幅依存性を示す。変調周波数がモード間の差周波となる付近で振動スペクトルに明瞭なモード分裂が観測された。結合係数はレーザの変調振幅を変えることで制御可能であり、最大値として2.57 kHzが得られた。この値は室温における2つの振動モードの減衰定数(2.14 kHzと1.59 kHz)を超えており、振動モード間の強結合状態が室温において達成された。

本研究は科研費の援助を受けて行われた。

[1] H. Okamoto et al., Appl. Phys. Lett. **105**, 083114 (2014).

[2] R. Ohta et al., Appl. Phys. Lett. **107**, 091906 (2015).

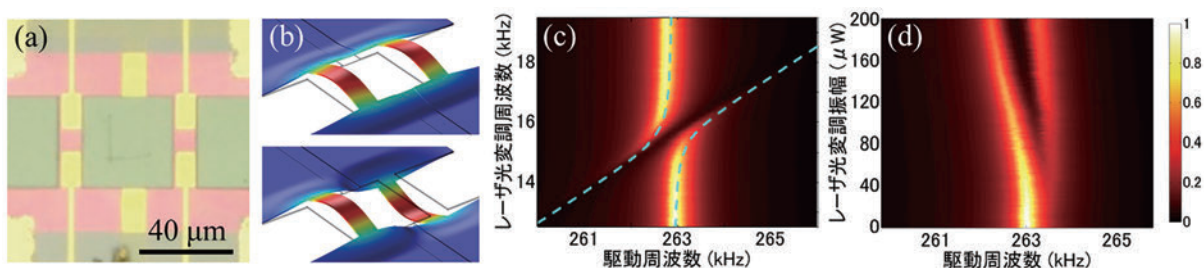


図1 (a) 2つの機械振動子の顕微鏡像。(b) 有限要素法で得られた結合モードの模式図。上側は対称モード、下側は反対称モードを示す。(c) 振動スペクトルのレーザ光変調周波数依存性。点線は結合振動子モデルから求まる振動モードのピーク周波数を示す。(d) 振動スペクトルのレーザ光変調振幅依存性。

不安定系との結合による量子ビットのコヒーレンス時間の改善

松崎雄一郎¹ Xiaobo Zhu^{1,*} 角柳孝輔¹ 樋田 啓¹ 下岡孝明²
水落憲和² 根本香絵³ 仙場浩一⁴ William J. Munro⁵ 山口浩司¹ 齊藤志郎¹
¹量子電子物性研究部 ²大阪大学
³国立情報学研究所 ⁴情報通信研究機構 ⁵量子光物性研究部

ダイヤモンドの単一の窒素空孔(NV)中心は、量子メモリや高感度センサなどの応用が期待されているが[1]、磁場ノイズによりコヒーレンス時間が短くなることが知られている。

我々は、よりコヒーレンス時間の短い超伝導磁束量子ビットと結合させることで、NV中心のコヒーレンス時間を一桁近く改善できるという現象を理論的に見出した[2]。NV中心の励起状態は、磁束量子ビットと結合が可能なブライト状態と、そのような結合ができないダーク状態の2つがエネルギー的に縮退している。そのため、NV中心単独では、低周波の磁場ノイズにより励起状態間のランダムな遷移が起きてしまい、コヒーレンス時間が短くなる。しかし磁束量子ビットと結合すると、この2つの励起状態の縮退が解ける。その結果、エネルギーギャップのために、低周波の磁場ノイズによる励起状態間の遷移が抑制されて、ダーク状態のコヒーレンス時間が改善される。具体的には、100 μs のコヒーレンス時間を持つNV中心に、10 μs のコヒーレンス時間を持つ超伝導磁束量子ビットを、10 kHz程度の強度で結合させることで、ダーク状態のコヒーレンス時間は950 μs となる(図1)。この成果は、NV中心を用いた量子情報実現への全く新しいアプローチを与えるものである。

現所属: * 中国科学院

[1] C. Degen, Nature Nanotech. **3**, 643 (2008).

[2] Y. Matsuzaki et al, Phys. Rev. Lett. **114**, 120501 (2015).

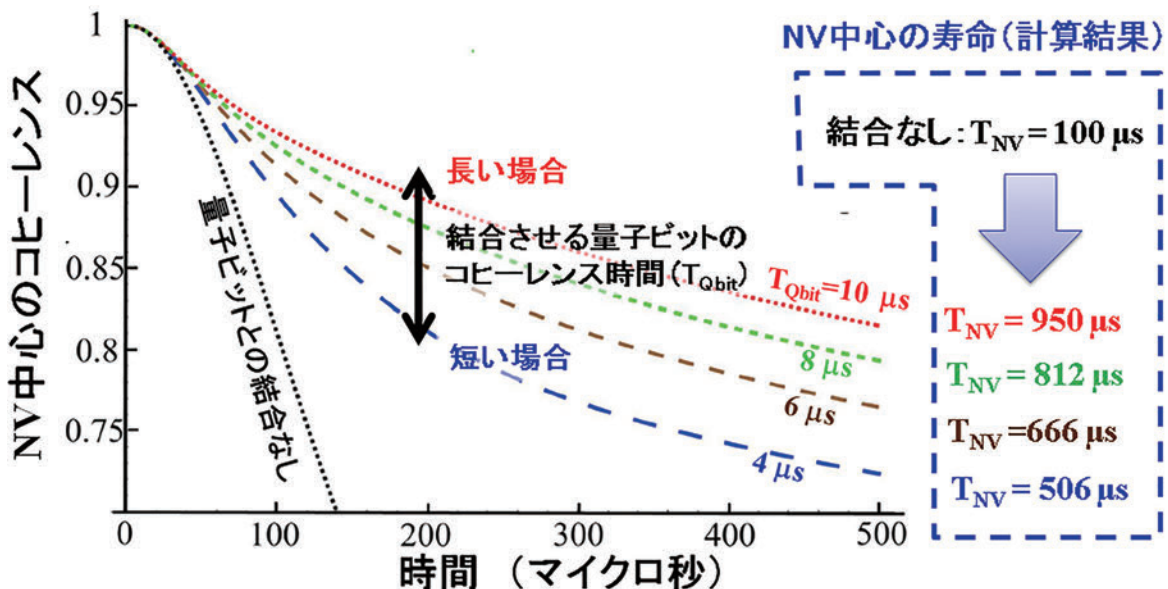


図1 NV中心のデコヒーレンスを数値計算により解析した。横軸は時間を、縦軸は量子状態のコヒーレンスを示している。超伝導磁束量子ビットと結合することで、NV中心のコヒーレンス時間が一桁程度改善される。

超伝導フラックス量子ビットにおける量子ゼノン効果の観測

角柳孝輔¹ 馬場達也^{1,2} 松崎雄一郎¹ 中ノ勇人¹ 齊藤志郎¹ 仙場浩一^{1,3}

¹量子電子物性研究部 ²東京理科大 ³情報通信研究機構

量子系を理想的に測定すると、その状態は確率的にエネルギー固有状態に射影される。状態が固有状態に近いほど、測定によってその固有状態に射影される確率は高くなる。そのため、固有状態からわずかに時間発展した状態を測定すると、ほとんど1の確率で元の状態に射影される。これは、量子系においては頻繁に測定することで時間発展を凍結できることを意味しており、その状態の保持時間は測定頻度に依存する。この現象はゼノンのパラドックスのアナロジーから量子ゼノン効果と呼ばれており、物理現象として興味深いだけでなく量子測定系の評価やデコヒーレンスに強いサブスペースの実現などへの応用が期待されている。

超伝導フラックス量子ビットは複数のジョセフソン接合を含む超伝導ループで構成されており、特定のバイアス磁場下で数GHz程度のエネルギー差をもつ量子二準位系と見なすことができる。我々はこの量子ビットに共鳴マイクロ波を照射しラビ振動を起こしながら、繰り返し測定パルスを照射することでラビ振動を止めることを試みた。量子ビットの測定には量子非破壊測定が可能なジョセフソン分岐読み出しを用いた。

図1(a)に読み出しパルスの強度を変えて、射影が起きた場合と起きなかった場合での量子ビットの測定確率をプロットした。射影が起きない場合には励起状態と基底状態の間のラビ振動による時間発展が見られるが、射影が起きた場合にはラビ振動は凍結され励起状態を保つ様子が観測された。図1(b)に、測定の繰り返し時間を変えた場合の結果をプロットした。測定の繰り返し時間が短いほど状態の保持時間が長いことがわかる。この結果は量子ゼノン効果のモデルでよく説明できる。このようにして我々は世界で初めて、超伝導量子ビットへの繰り返し射影測定による量子ゼノン効果を実証した[1]。

[1] K. Kakuyanagi et al., New J. Phys. **17**, 063035 (2015).

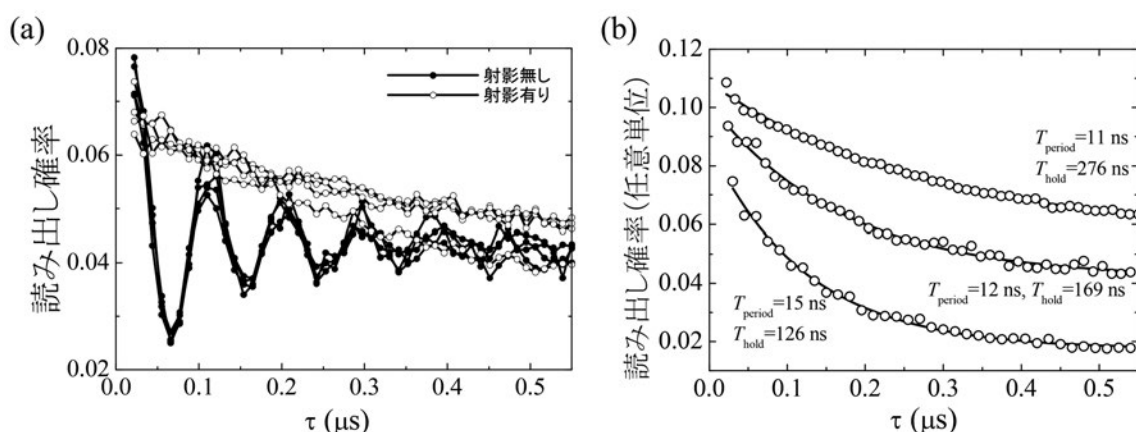


図1 (a)射影パルスの有無と量子ビットの時間発展。(b)繰り返し時間を変えた際の保持時間の変化。

電子スピン集団に直接結合した SQUID 磁束計による電子スピン共鳴

樋田 啓¹ 松崎雄一郎¹ 角柳孝輔¹ Xiaobo Zhu^{1,*}

William J. Munro² 根本香絵³ 山口浩司¹ 齊藤志郎¹

¹量子電子物性研究部 ²量子光物性研究部 ³国立情報学研究所

電子スピン共鳴(EPR)や核磁気共鳴等の磁気共鳴は、材料の分析から医療応用に至るまで幅広い分野で使われる技術である。市販のEPR分光装置では、検出には 10^{13} 個程度の電子スピンが必要で、空間分解能も0.1 mm程度に制限されるが、より高い感度と空間分解能をもつEPR分光の手法があれば、量子情報処理等への応用可能性も広がる。

我々は、超伝導量子干渉素子(SQUID)による磁束計と電子スピン集団を含む試料を直接貼り合わせ結合することにより[図1(a)、(b)]、電子スピン偏極の検出ならびにEPR分光を行った[1]。SQUIDの臨界電流は、ループを貫く磁束により変化するが、その変化が急峻な点を動作点とし、試料の磁化の変化による臨界電流の変化を測定した。

電子スピン偏極検出の実験は試料に印加する面内磁場と温度を変えることで行った。図1(c)に Y_2SiO_5 結晶中エルビウム不純物の測定結果を示す。磁場が大きな領域では電子スピンの熱ゆらぎがZeemanエネルギーにより抑制され、電子スピン偏極率が上昇・飽和することが見て取れる。EPR分光の実験は、試料に印加する面内磁場を固定し照射するマイクロ波の周波数を掃引することで行った。図1(d)に窒素不純物(P1中心)を多く含むIb型ダイヤモンドの測定結果を示す。印加磁場に比例して共鳴周波数が線形に増大するという、通常のEPR分光で得られるものと同様の結果が確認できた。さらに、 ^{14}N との超微細相互作用を反映して、93 MHz程度分裂した2本の直線も得られた。

この手法で検出可能な電子スピン数は 10^6 個程度であり、市販のEPR分光装置より7桁程度小さい。この値は、超伝導磁束量子ビットの利用でさらに3桁程度の改善が見込まれ、低温ESRでは最小の検出スピン数を報告する文献[2]と同程度の感度が期待される。また、検出体積は 10^{-10} cm^3 (0.1 pL)程度であり、文献[2]に比べて2桁小さな値を達成した。

本研究はNICT、新学術領域研究および科研費の援助を受けて行われた。

現所属: * 中国科学院

[1] H. Toida et al., Appl. Phys. Lett. **108**, 052601 (2016).

[2] A. Bienfait et al., Nature Nanotech. **11**, 253–257 (2016).

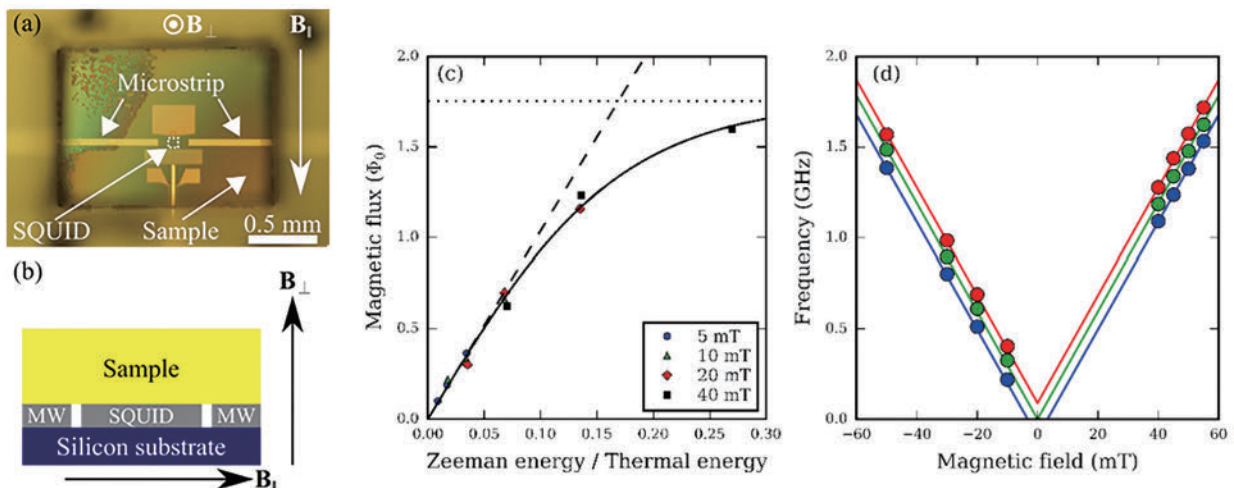


図1 (a)試料の光学顕微鏡写真、(b)試料の概略図、(c)電子スピン偏極検出の結果、(d)ESR分光の結果。

量子ホール効果領域におけるグラフェン p - n 接合のショットノイズ測定

熊田倫雄¹ Francois D. Parmentier³ 日比野浩樹² D. Christian Glattli³ Preden Roulleau³

¹量子電子物性研究部 ²機能物質科学研究部 ³CEA Saclay

グラフェンに垂直磁場を加えることにより現れる量子ホール状態では、電流は試料端に沿って流れる。この電流チャンネルはエッジチャンネルと呼ばれ、その伝搬方向は電荷キャリアが電子か正孔かで逆になる。グラフェンでは p 領域と n 領域の間に空乏層がない特殊な p - n 接合が形成されるが、ここでは電子と正孔のエッジチャンネルの混合が起こる [図 1(a)]。本研究では、ショット雑音測定により、この混合のメカニズムを調べ、グラフェン p - n 接合が電子のビームスプリッタとして動作することを示した [1]。

SiC 上に成長されたグラフェンを用い、4 K で実験を行った。 p - n 接合はグラフェンの半分を覆った表面ゲートに電圧を印加することによって形成される。バイアスを加えた電子と正孔のエッジチャンネルを p - n 接合中で混合させ、さらに p - n 接合の出口で分岐させることによって発生するショット雑音を測定する。バイアスを加えたチャンネルの混合により p - n 接合中のエネルギー分布は非平衡となるが、ショット雑音の大きさはこのエネルギー分布を反映する。今回の実験で、ショット雑音の大きさが p - n 接合を長くしていくに従い小さくなっていく様子が観測された [図 1(b)] が、これはエネルギー分布が熱平衡状態へと徐々に緩和していることを示している。 p - n 接合の長さが緩和長 (16 μm) より十分短いとき、 p - n 接合に入射された電荷キャリアはエネルギーを失うことなく、その出口で電子または正孔のエッジチャンネルにランダムに分配されることになる。その結果、グラフェン p - n 接合は電荷のビームスプリッタとして動作すると考えられ、それを複数組み合わせることにより電子の量子光学研究が可能になると期待される。

[1] N. Kumada, F. D. Parmentier, H. Hibino, D. C. Glattli, and P. Roulleau, Nature Commun. 6, 8068 (2015).

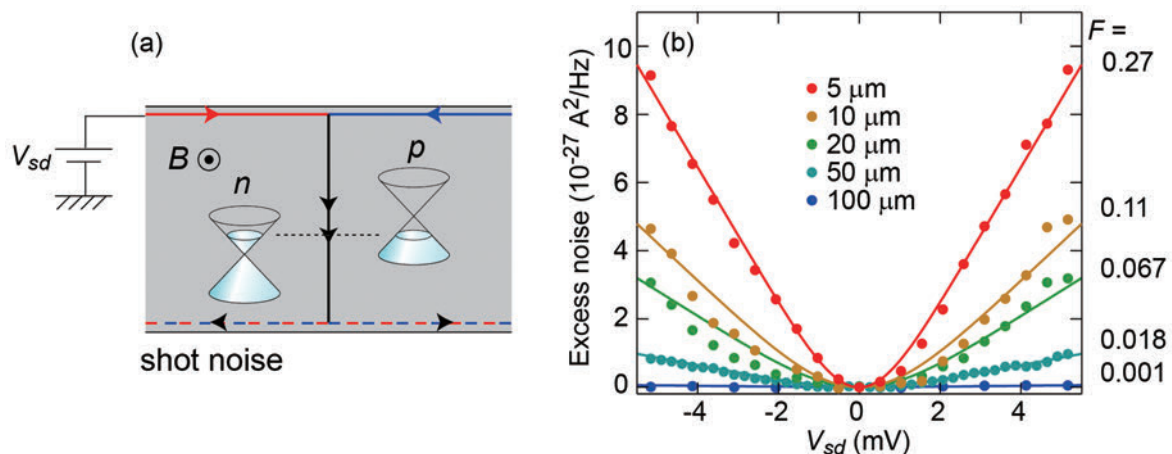


図1 (a)グラフェン p - n 接合におけるエッジチャンネルの混合と分岐。(b) p - n 接合の長さが異なる試料で測定したショット雑音のバイアス依存性。

ゲート制御による InAs/GaSb ヘテロ構造の半金属-トポジカル絶縁体転移

鈴木恭一¹ 小野満恒二² 原田裕一³ 村木康二¹

¹量子電子物性研究部 ²機能物質科学研究部 ³九州大学

トポジカル絶縁体(TI)は従来の物質の分類に当てはめることのできない新しい物質の形態である。その内部は絶縁体であるが、外界の絶縁状態とはトポロジーが異なり、必然的にTI内部と外界の境界に伝導チャンネルが現れる。この伝導チャンネルは散乱の抑制された特異な伝導を示すことが予測され、新しい物性の発現が期待されている。特に、二次元TIは無散逸な伝導が予測されることから、省電力デバイスとしても期待されている。

これまで我々は、一般的な半導体であるInAsとGaSbを用いてそのヘテロ接合により人工的に二次元TIを実現している[1]。今回我々は、このInAs/GaSbヘテロ接合構造の基板側と表面側両方にゲート電極を付け、外的な電圧制御による半金属-TIの転移を実現した[2]。これまで知られていたTIの性質に新たな機能が加わりTIの応用が促進される。

図1はInAs/GaSbヘテロ接合構造のエネルギーバンドプロフィールで、InAsの伝導帯とGaSbの価電子帯が界面をトンネリングすることで混成し、外界とはトポロジーの異なるエネルギーギャップを形成する。伝導帯と価電子帯のエネルギー的な重複は基板側と表面側のゲート電圧で制御される。基板側のゲート電圧を高くするとポテンシャルの傾きが増し、エネルギー重複が小さくなる方向に働く。エネルギー重複が大きい場合はGaSbの価電子帯の異方性が強く現れ図2(a)のエネルギー分散関係で示したように半金属となり、エネルギー重複が小さい場合は図2(b)で示したようにTIとなる。

本研究は科研費(No. 26287068)の援助を受けて行われた。

[1] K. Suzuki, Y. Harada, K. Onomitsu, and K. Muraki, Phys. Rev. B **87**, 235311 (2013).

[2] K. Suzuki, Y. Harada, K. Onomitsu, and K. Muraki, Phys. Rev. B **91**, 245309 (2015).

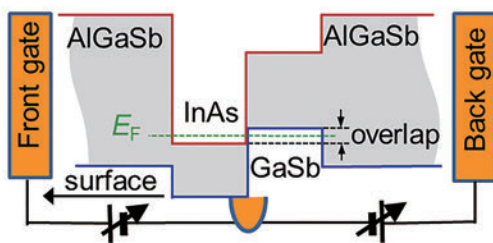


図1 InAs/GaSbヘテロ接合構造のエネルギーバンドプロフィール。

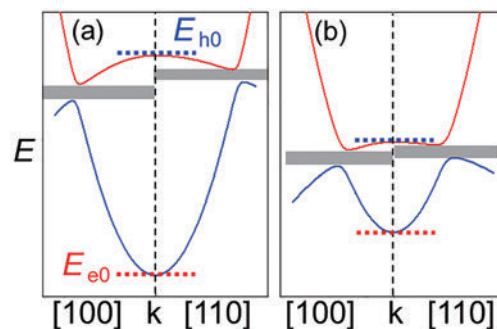


図2 エネルギー分散関係。(a)伝導帯と価電子帯のエネルギー重複が大きい場合は半金属、(b)小さい場合はトポジカル絶縁体となる。

エピタキシャルグラフェンにおけるランダウ準位の非局在状態幅測定

高瀬恵子¹ 日比野浩樹² 村木康二¹

¹量子電子物性研究部 ²機能物質科学研究部

グラフェンのゼロエネルギー・ランダウ準位では、グラフェンの副格子の対称性に起因するカイラル対称性のためにエネルギー幅が disorder の種類に依存し、ripple のような特徴的なホッピングを引き起こす乱れのもとではエネルギー幅が非常に小さくなると理論的に予言されている。我々は、以前に SiC 上グラフェンの素子中の界面準位密度を利用してグラフェンのランダウ準位のエネルギー分光が行えることを報告した [1]。本研究では、その方法を用いてグラフェンのゼロエネルギー・ランダウ準位の非局在状態のエネルギー幅を求め、活性化エネルギーから求めたグラフェンのエネルギー幅と比較した。また、温度依存性から量子ホール状態のスケーリング則に対応する指数を求めた [2]。

図 1(a) は、グラフェンの縦抵抗のゲート電圧および磁場依存性である。グラフェン素子のゲート絶縁膜および SiC との界面に存在する界面準位 [図 1(b)] のために、縦抵抗ピークの軌跡はグラフェンの非等間隔なランダウ準位を反映して放物線状になる。この関係性を利用してグラフェンの N 次ランダウ準位の非局在状態のエネルギー幅 ΔE_N を求めることが可能となり [1]、その温度依存性を示すと図 1(c)、(d) のようになる。ゼロエネルギー・ランダウ準位 ($N = 0$) と次のランダウ準位 ($N = 1$) の非局在状態のエネルギー幅 ΔE_0 , ΔE_1 が同程度であり、ともに温度のべき乗に比例しているのがわかる。このとき、 $\Delta E_N \propto T^\eta$ における指数 η は $N = 0$ で $0.30 \sim 0.31$, $N = 1$ で $0.32 \sim 0.35$ であり、一般的に報告されている量子ホールプラトー転移の指数と匹敵する値となった。また、 $N = 0$, 1 ランダウ準位におけるエネルギー幅を活性化エネルギー測定により求めると、 $N = 1$ ランダウ準位に対してはよい一致を示すが、 $N = 0$ ランダウ準位では、界面準位エネルギー分光で求めた値よりも 30 meV 程度大きい値となった。

このように二種類の異なるエネルギー幅測定を系統的に行うことにより、我々の素子では、特徴的なホッピングを起こす ripple のような乱れよりもランダムな disorder が顕著であることが分かった。

本研究の一部は科研費の援助を受けて行われた。

[1] K. Takase, S. Tanabe, S. Sasaki, H. Hibino, and K. Muraki, Phys. Rev. B **86**, 165435 (2012).

[2] K. Takase, H. Hibino, and K. Muraki, Phys. Rev. B **92**, 125407 (2015).

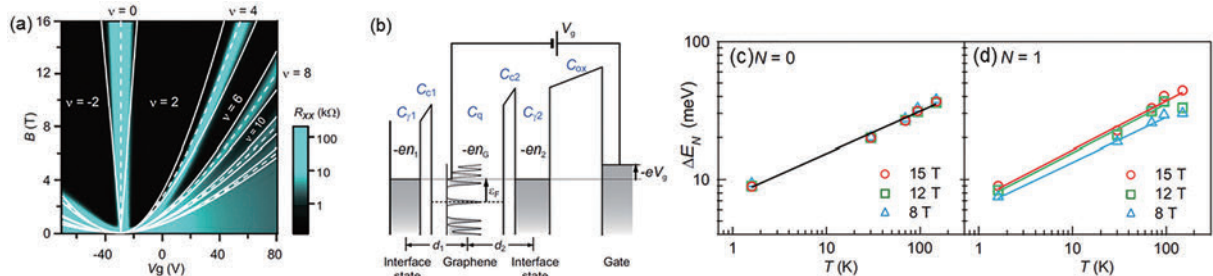


図 1 (a) 縦抵抗のゲート電圧 (V_g) および磁場 (B) 依存性。 (b) 界面準位を含んだグラフェンのエネルギーダイアグラム。 $N = 0$ ランダウ準位 (c) と $N = 1$ ランダウ準位 (d) における ΔE_N の温度依存性。

コヒーレントラマンビート分光による Y_2SiO_5 結晶中の $^{167}\text{Er}^{3+}$ イオンの超微細構造サブ準位間の位相緩和特性の解明

清水 薫 橋本大佑
量子光物性研究部

原子やイオンが有する準安定な Λ 型 3 準位系では、電磁波誘起透明化 (EIT) やコヒーレントポピュレーショントラッピング (CPT) のように、3 準位間のコヒーレンス形成に基づく量子状態の光制御が可能である。これらは、光と物質との間での量子情報の置き換えの手段、つまり量子メモリの実現手段としても興味をもたれてきた。 Y_2SiO_5 結晶中に希薄ドープされた Pr^{3+} 等の希土類イオンは、クライオスタット温度 (<4 K) まで冷却すれば、固体中でも準安定な Λ 型 3 準位系を提供しうる。一方、 $\text{Er}^{3+}:\text{Y}_2\text{SiO}_5$ は光通信波長である 1.55 μm 帯に光学遷移を有し関心は高かったが、適切な Λ 型 3 準位系が同定されたのは最近である [1]。ここでは存在比 23% の $^{167}\text{Er}^{3+}$ 同位体の超微細構造サブ準位群の中から基底 2 準位が選択される。サブ準位の寿命 t_1 は 1.5 K で 100 ms 程度であるが、メモリ寿命を左右する位相緩和時間 t_2 は、測定の困難さゆえ不明であり、さらなる研究の進展を阻んでいた。

通常、 t_2 の値はラマンフォトンエコーや光補助スピンエコーにより測定できるが、そのためには光学遷移の位相コヒーレンス T_2 か、サブ準位寿命 t_1 がある程度長いことが必要である。 $\text{Er}^{3+}:\text{Y}_2\text{SiO}_5$ では平均電子磁気モーメントが有限で、磁気的な揺らぎに敏感なため、上記の条件を充たせない。一方、コヒーレントラマンビートの過程は、 T_2 や t_1 の制約を受けないが、光パルス幅を T_2 以下にすることでスペクトルが広がるため、サブ準位の不均一広がりに伴う減衰と、サブレベル位相緩和に起因する減衰とを区別するのが一般には難しい。

今回、我々は濃度の違う $\text{Er}^{3+}:\text{Y}_2\text{SiO}_5$ 結晶に対して、コヒーレントラマンビート分光信号 (図 1) の減衰レートを注意深く比較することにより、初めて t_2 の値を明らかにできた [2]。温度 2.3 K のとき、 Er^{3+} イオン濃度が 0.005 at% (図 2) および 0.001 at% の場合、 t_2 の値は 12 μs および 50 μs であった。これらは予想より長く、同位体や濃度の制御により 200 μs 以上に延ばすことも可能である。これより、光遷移に共鳴する制御光を強くし、ラビ周波数を 2~3 MHz にすれば、EIT や CPT は充分に実現可能であることが示唆された。

- [1] E. Baldit et al., Phys. Rev. B **81**, 144303 (2010).
[2] D. Hashimoto and K. Shimizu, J. Lumin. **171**, 183 (2016).

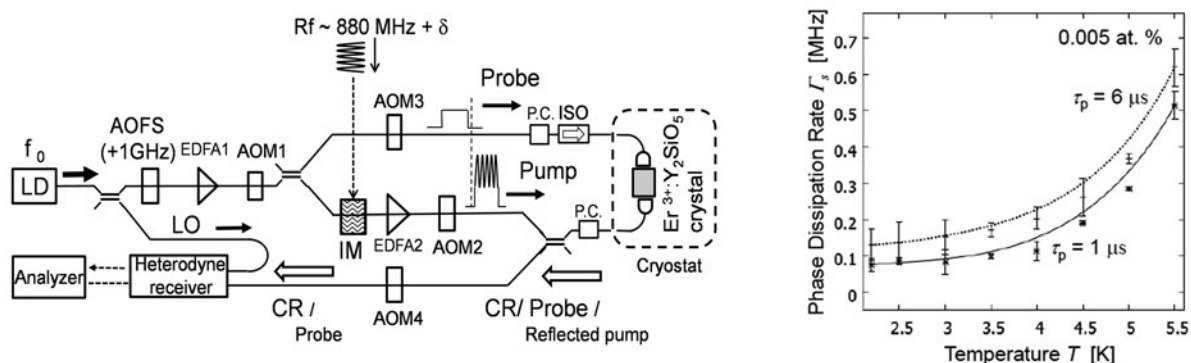


図 1 (左) コヒーレントラマンビート分光の測定系。図 2 (右) サブ準位位相緩和レート ($1/t_2$) の温度依存性。

相互位相変調を用いた決定論的な単一光子波長変換

松田信幸

量子光物性研究部

単一光子の波長（周波数、色）の変換は、場面ごとに光子波長の切り替えが必要な量子ネットワークの構築に向けた要素技術である。特に量子通信レートの低下を防ぐためには光子損失を伴わない波長変換技術が必要となる。今回、非線形光学効果の1つである相互位相変調(XPM)を用い、常に損失の生じない波長変換手法を構築した[1]。

本手法の模式図を図1(a)に示す。XPMにより、光波（制御光）の強度に比例した媒質の屈折率変化を通じ、他の光波（信号光）の位相シフトが生じる。位相シフトが動的に生じるとき、信号光の波長（瞬時周波数）が変化する。このような波の位相の動的制御による周波数変換は、音波のドップラー効果やラジオ波のFM(PM)変調などに類似する。XPMは制御光強度の大小に関わらず必ず生じる現象のため、信号光として単一光子を用いることで、光子損失のない波長変換が容易に可能となる。

実験では、制御光が発生する雑音光子を抑制しつつも大きな波長変換量を得ることのできる分散特性を有するフォトニック結晶ファイバ(PCF)を非線形媒質として用い、通信波長帯において3.2 nm (0.4 THz)程度の波長変化を単一光子に付与することに成功した。波長変換に伴う光子損失は実際に観測されなかった。これはXPM過程そのものが無損失であることに加え、XPM以外の損失要因であるPCFの石英コアにおける非線形吸収が、実験波長帯において無視できるほど小さいこと[2]に起因する。さらに本手法を応用し、2光子の間の波長の相関[図1(b)]や量子もつれといった量子的な性質の変換に成功した。また、波長の異なる2光子の波長を揃え、光子間の非古典的な干渉を回復させることにも成功した。これら一連の結果は、本手法が通信に加え、計測や計算[3]を含む広範な光量子情報技術へ応用可能であることを示している。

本研究は科研費の援助を受けて行われた。

[1] N. Matsuda, Sci. Adv. **2**, e1501223 (2016).

[2] N. Matsuda et al., Nature Photon. **3**, 95 (2009).

[3] J. Carolan et al., Science **349**, 711 (2015).

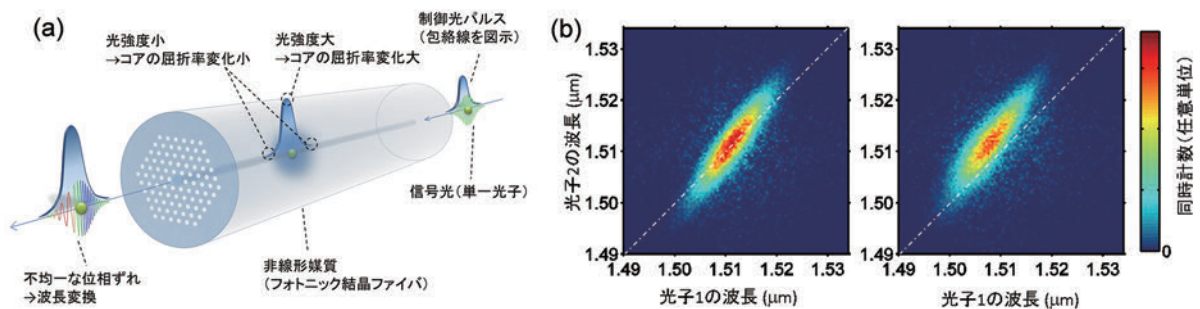


図1 (a)波長変換の模式図。(b)2光子周波数相関の変換。(左)変換前。(右)光子1に波長シフトを付与した結果、2光子の相関スペクトル全体をシフトさせることに成功した。

光円錐におけるエンタングルメントの類似構造

森越文明
量子光物性研究部

相対論的時空においては光円錐の概念が本質的となり、いかなるものも光より速く動くことはできないため、その軌跡は光円錐内に留まることになる。本研究では、古典的な相対論的時空における光円錐の構造に、量子論におけるエンタングルメントと類似の構造があることを見出した。(以下、光速を1とする単位系を用いる。)

光円錐には、図1に示すように未来錐と過去錐が存在するが、時刻 $t = \pm 1$ における断面は、それぞれ三次元空間における単位球となる。(図1は空間二次元のため、断面は二次元空間の単位円となっている。) それぞれの単位球を、量子情報理論でキュービットを表す際に用いるブロッホ球と同一視すると、未来と過去に一つずつ仮想のキュービットが対応することになる。等速で運動する粒子の世界線を考えると、粒子の四次元時空における運動方向はブロッホ球面もしくは球内の点で表される。つまり、光速で動く粒子の運動方向は球面上(円上)の点に対応し、光より遅い粒子の運動は球内(円内)の点で表される。

この対応を、粒子の世界線と、2キュービット間のエンタングルした状態との対応と見ることができ、それによると、光速の粒子には分離可能状態が、静止粒子には最大にエンタングルした状態が、そして光より遅い粒子には部分的にエンタングルした状態が対応する。さらに、そのエンタングルメントをコンカレンスと呼ばれる量で測ると、コンカレンス E と粒子の速度 v の間に、

$$E = \sqrt{1 - v^2}$$

という関係が成り立つ[1]。これにより、相対論において動いている時計の遅れなどを表す因子 $\sqrt{1 - v^2}$ を、量子情報理論におけるエンタングルメントの概念を用いて理解する道が拓かれたことになる。

[1] F. Morikoshi, Prog. Theor. Exp. Phys. 123A04 (2015).

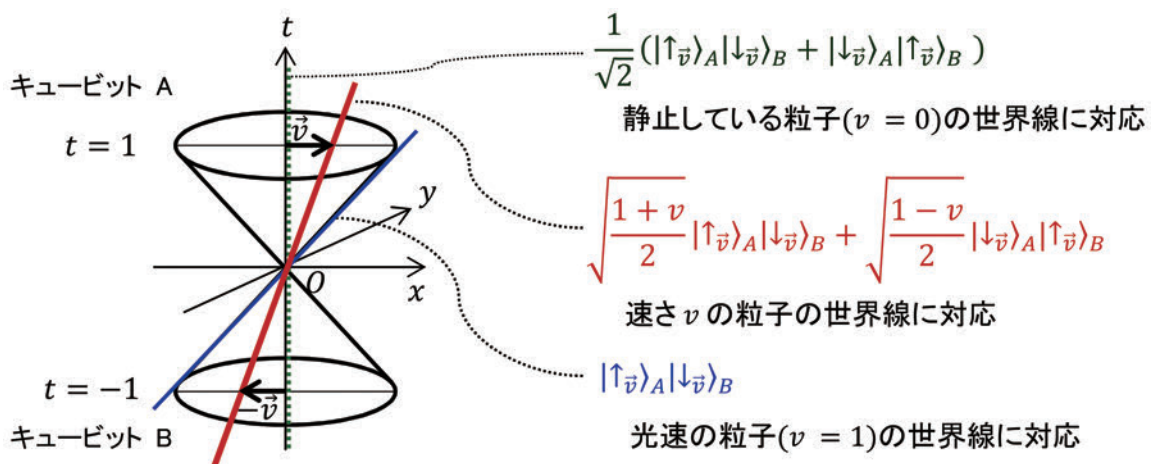


図1 光円錐における世界線とエンタングルメントの対応 (空間二次元の場合)。

全光都市間量子鍵配送

東浩司 玉木 潔 William J. Munro
量子光物性研究部

物理法則により、究極的に安全な通信を可能にする量子鍵配送(QKD)は、ファイバを通じた送受信者間での光子の直接伝送に基づき、100 km程度の通信距離であれば海外では製品化され、日本でも東京QKDネットワークに象徴されるように試験運用の段階にある。したがって、既存方式によって、市内間(100 km程度)の拠点を量子暗号で結ぶことは現在でも実現可能といえる。しかし、ファイバ中の光損失により、400 km程度が既存方式の通信距離の限界だとされており、この通信圏外にあるQKDネットワーク同士を結ぶためには、「量子中継」が必要とされてきた。量子中継は、任意の通信距離に対して効率的なQKDを可能にする。しかしながら、量子中継は互いにファイバで結ばれた多数の中継ノードを利用し、各々の中継ノードは、現状では高難度な物質量子メモリや量子誤り訂正符号を必要としている。これらの要請は、量子中継から通信距離限界をなくすためには必須だが、たとえば主要都市(1000 km程度)を結ぶ目的には、量子中継は技術要求が高すぎる可能性があった。

本研究では、量子中継で必要とされる物質量子メモリや量子誤り訂正符号を一切用いず、光デバイスのみに基づく中間ノードたったひとつで、通信速度を落とすことなく、QKDの通信距離を2倍にする新方式「全光都市間量子鍵配送」(図1)を提唱した[1]。本方式は、800 km以下の通信距離であれば、(原子集団に基づく)量子中継よりも効率的に機能し得ることが示されており、400 km程度が限界だった既存のQKDの通信圏を、800 km程度まで拡大することを可能にする(図2)。また、本方式は、「全光量子中継」[2]同様、物質量子メモリを用いないため、(a)通信距離に依らず、光デバイスの動作速度と同程度の通信速度を誇り、(b)原理検証段階にある物質と光のインターフェースを必要とせず、さらには(c)原理的には常温で動作する。したがって、本方式は、800 km圏内にある主要都市間を結ぶ、費用対効果の優れたQKDバックボーンリンクとして機能する可能性がある。また本方式が、全光量子中継と組み合わせられれば、高速かつ費用対効果に優れた、光デバイスのみに基づく「全光量子暗号ネットワーク」の地球規模での実現がシームレスなものになる。

[1] K. Azuma, K. Tamaki, and W. J. Munro, Nature Commun. 6, 10171 (2015).

[2] K. Azuma, K. Tamaki, and H.-K. Lo, Nature Commun. 6, 6787 (2015).

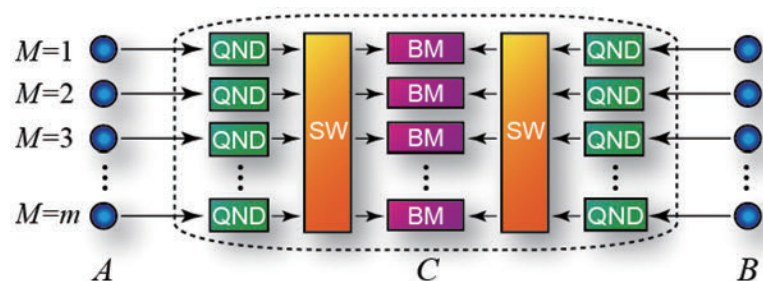


図1 全光都市間量子鍵配送。中間点Cは、送受信者ABから受け取った光パルスに量子非破壊(QND)測定を施し、光スイッチ(SW)を用いて到着した光子のみを対とし、それらにベル測定(BM)を施す。



図2 全光都市間量子鍵配送によって拡大可能な通信圏。

不完全な光源を用いた量子鍵配送の有限長効果を取り入れた安全性解析

水谷明博¹ Marcos Curty² Charles Ci Wen Lim³ 井元信之¹ 玉木 潔⁴

¹大阪大学 ²ヴィーゴ大学

³ジュネーブ大学 ⁴量子光物性研究部

パスワードやクレジットカードなどの重要な情報を通信で送る際には、暗号化が必須である。多くの暗号化の方法の中で、任意の盗聴に対して安全であることが証明されているのは、ワンタイムパッドと呼ばれる方法だけである。ワンタイムパッドは、暗号鍵と呼ばれるランダムなビット列を必要とするが、もしこの暗号鍵が盗聴者に漏れていないなら、ワンタイムパッドは安全である。したがって、暗号鍵の安全な配布が重要であるが、量子鍵配送は、盗聴者が如何なる盗聴を行っても安全な鍵共有ができる方法として多くの注目を集めている。ただ、このような高い安全性を確保するためには、送受信者が用いる量子暗号装置が、安全性理論によって与えられる条件を満たす必要がある。残念なことに既存の安全性理論によると、これらの条件は実際の装置が満たすのが非常に困難なものが多い。実際の量子暗号装置の安全性を保証するためには、条件を緩和した安全性理論を構築する必要がある。

以前我々は[1]において、実際の位相変調器は厳密に所定の位相変調を施すことができない、という不完全性を安全性理論に取り入れたが、この理論では、解析を簡単にするために送信者が送るパルス数を無限としていた。今回我々はこの理論を送信パルス数が有限の場合に拡張し、実際の装置へ適用可能な理論にした[2]。下の図1は安全性解析の結果の一例であり、横軸は送受信者間の距離であり、縦軸は1パルス当たり暗号鍵が生成できる割合（暗号鍵生成率）を表す。実線は位相変調器にずれが一切ない場合を表し、破線は8.42°のずれがある場合を表す。さらに、色はパルス数を表しており、右から無限、 10^{12} 、 10^{11} 、 10^{10} 、 10^9 の場合をそれぞれ表す。実線と破線では、暗号鍵生成率に殆ど差はないので、位相変調器のずれの影響はほぼ無視できることを示している。さらに、量子鍵配送装置は、1 GHz以上のクロックで動作するものが多いことを考えると、これらの結果は量子鍵配送装置で安全な暗号鍵が生成できることを示す。本研究は量子鍵配送装置の実際の安全性保障のための大きな一歩である。

本研究の一部はNICTの援助を受けて行われた。

[1] K. Tamaki et al., Phys. Rev. A **90**, 052314 (2014).

[2] A. Mizutani et al., New J. Phys. **17**, 093011 (2015).

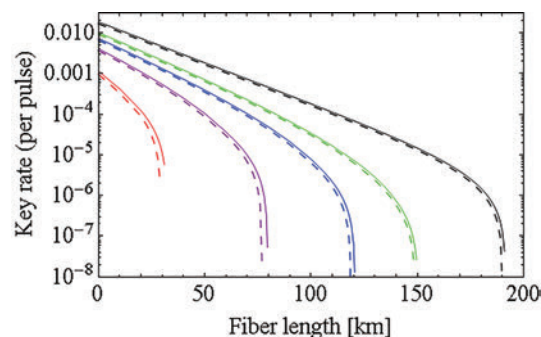


図1 通信距離 vs 1パルス当たりの暗号鍵生成率。

ファノ共鳴下における p 型シリコンのフォノン緩和定数の決定

加藤景子 小栗克弥 眞田治樹 俵毅彦 寒川哲臣 後藤秀樹
量子光物性研究部

電子デバイスの微細化が進むにつれ、デバイス内部で発生した熱がデバイスの性能向上を阻害するようになってきている。このため、さらなるデバイスの高性能化に向けては熱の制御が必要であり、熱の輸送を司る光学フォノンの緩和過程を解明するために緩和定数を決定することが重要である。従来、光学フォノンの緩和定数はラマン分光によって決定されていたが、不純物が添加された場合、特に p -type Si では、ファノ共鳴によってフォノンの緩和定数を決定することが困難であることが知られている [1]。そこで本研究では時間分解分光計測によりファノ共鳴下の p -type Si のフォノンの緩和定数を決定した [2]。

パルス幅 10 fs、中心波長 780 nm の Ti:sapphire レーザを光源とし、 p -type Si において時間分解反射率測定 [図 1(a)] を行った。また、同サンプルに対し、連続レーザー光 (波長 780 nm) を用いてラマン分光計測を行ったところ、ファノ共鳴による非対称なスペクトルが観測された [図 1(a) 挿入図]。時間分解分光計測とラマン分光計測によって得られたフォノンの緩和定数 (以下、 Γ_{cp} ならびに Γ_{Raman} とする) を比較すると [図 1(b)]、 Γ_{cp} の温度依存性は非調和緩和モデル [3] に従ったが、 Γ_{Raman} は異なることがわかった。 Γ_{Raman} は、ファノ共鳴によってスペクトルが広がるため [1]、非調和緩和モデルからずれたと考えられる。一方、スペクトルの広がりを生み出す連続状態の緩和過程とフォノンの緩和過程とは、それぞれの寿命に大きな違いがあるため [4]、時間分解分光計測では両者を分別して観測できる。よって、時間分解分光計測で得られたフォノンの寿命はファノ共鳴の影響を受けないため、 Γ_{cp} の温度依存性は非調和緩和モデルに従ったと考える。本研究により、ファノ共鳴下におけるフォノンの緩和定数の決定において、時間分解分光計測が有効であることが示された。

[1] F. Cerdeira, T. A. Fjeldly, and M. Cardona, Phys. Rev. B **8**, 4734 (1973).

[2] K. Kato, K. Oguri, H. Sanada, T. Tawara, T. Sogawa, and H. Gotoh, AIP Advances **5**, 097152 (2015).

[3] T. R. Hart, R. L. Aggarwal, and B. Lax, Phys. Rev. B **1**, 638 (1970).

[4] C. Ott et al., Science **340**, 716 (2013).

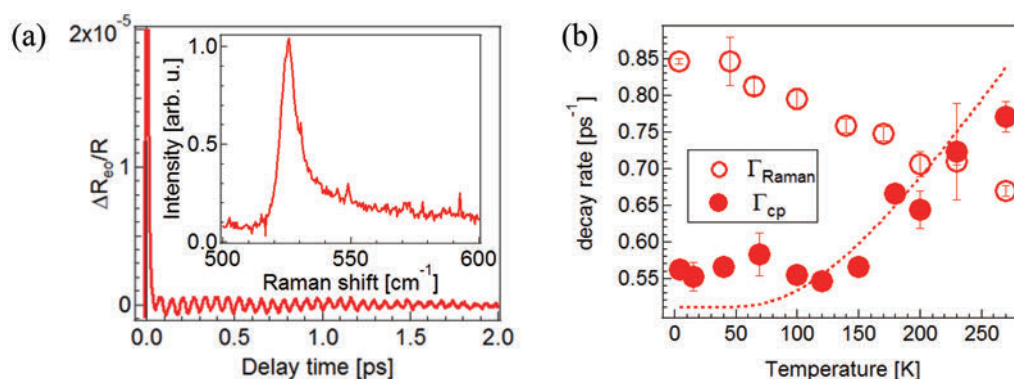


図1 (a) p -type Si の過渡反射率。挿入図は p -type Si のラマンスペクトル。(b) フォノンの緩和定数の温度依存性。白丸はラマン計測、黒丸は時間分解計測による結果を示す。点線は非調和モデルによるフィット結果。

コリニアな $2f$ - $3f$ 自己参照干渉計によるエルビウムドープ ファイバレーザの周波数安定化

日達研一¹ 石澤 淳¹ 忠永 修² 西川 正³ 増子拓紀¹ 寒川哲臣¹ 後藤秀樹¹

¹量子光物性研究部 ²NTT先端集積デバイス研究所 ³東京電機大学

光周波数コムのカリヤエンベロープオフセット(CEO)周波数安定化は、精密分光などにとって重要である。周波数安定化のためには、周波数帯域を広げたスーパーコンティニューム(SC)光の生成が必要である。 $2f$ - $3f$ 自己参照干渉計(SRI)は、 $2/3$ オクターブ帯域のSC光しか広がらない光コムでのCEO周波数安定化に用いられる。このような光コムでの周波数安定化のために、私たちはデュアルピッチの(DP-)周期的分極反転ニオブ酸リチウム(PPLN)リッジ導波路を用いたコリニアな $2f$ - $3f$ SRIを構築した[1]。

DP-PPLNリッジ導波路は、600 nm付近に2倍波・3倍波を生成するような擬似位相整合条件を満たす2種類の異なるピッチ長(Λ_1 , Λ_2)をもつ[図1(a)]。導波路の前段領域ではSC光成分1800 nmの2倍波(900 nm)が発生し、後段領域では2倍波(900 nm)とSC光成分1800 nmの和周波により3倍波(600 nm)が発生する。さらに、導波路後段領域ではSC光成分1230 nmの2倍波(615 nm)も発生する。615 nm付近の2倍波と600 nm付近の3倍波が波長領域でオーバーラップするとCEOビート信号を検出することができる。図1(b)は、CEOビート信号である。CEOビート信号のSN比は100 kHz分解能帯域幅で52 dBであった。これは、 $2f$ - $3f$ SRIにおいて最大のSN比である。

さらに、CEO周波数の不確かさを評価するために、周波数安定化のためのin-loop干渉計と、実際のCEO周波数の不確かさをモニターするout-of-loop干渉計を作製し、アラン分散を測定した。実験の結果、両者のアラン分散は1秒積算で 7×10^{-15} (= 1.4 Hz)であった[図1(c)]。さらに、ブレッドボード上にポンプを置いたときの影響を調べた。その結果、振動を与えたにも関わらず、両者のアラン分散はほとんど変化しないことがわかった。これらのことは、今回のコリニアな $2f$ - $3f$ SRIを用いれば、外部環境の影響をほとんど受けずにCEO周波数を安定化できることを示している。

本研究は科研費の援助を受けて行われた。

[1] K. Hitachi et al., Appl. Phys. Lett. **106**, 231106 (2015).

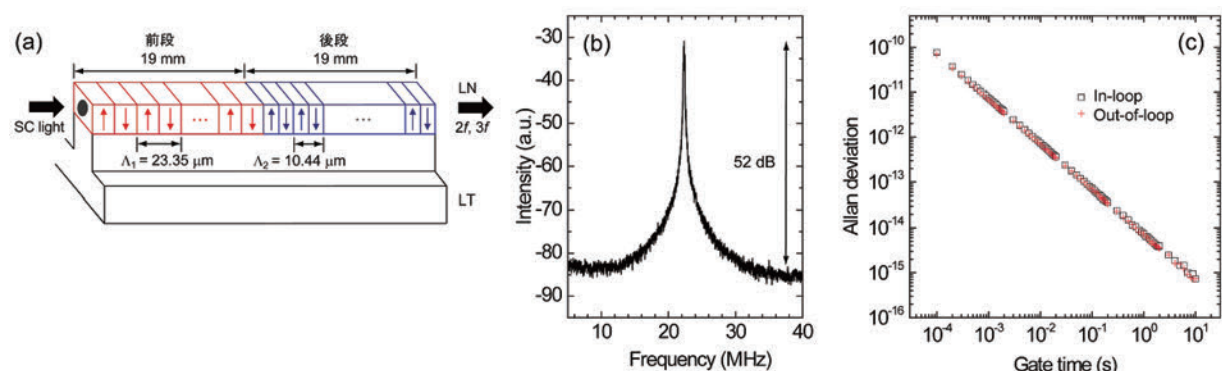


図1 (a)デュアルピッチPPLN導波路。(b)CEOビート信号。(c)CEO周波数のアラン分散。

永久スピンらせん状態を用いた電子スピンの長距離輸送

国橋要司¹ 眞田治樹¹ 後藤秀樹¹ 小野満恒二²

¹量子光物性研究部 ²機能物質科学研究部

半導体中の電子スピンは電界効果型スピントランジスタや固体量子計算機の量子ゲートなどの次世代の論理デバイスへの応用が期待されている。電子スピンを固体素子中で活用するためには、電界によるスピンの長距離輸送と歳差運動の制御技術とを確立する必要がある。このスピンの電気による制御にはスピン軌道相互作用に起因する有効磁場の利用が有効である。しかし、この有効磁場の向きは電子スピンの運動量に依存して変化するため、電子のランダムな散乱によってスピン緩和が促進され、電子の長距離輸送が困難になる。近年、III-V族半導体ヘテロ構造中では起源の異なる2種類のスピン軌道相互作用を等しくすることで、有効磁場の方向が電子の運動量に依存しなくなり、スピン緩和が強く抑制される永久スピンらせん(Persistent Spin Helix: PSH)状態の存在が報告されている。本研究では、GaAs量子井戸中においてPSH状態を実現することで、ドリフト運動する電子スピンの輸送距離が増大することを実証した[1]。

試料は井戸幅25 nmの $\text{Al}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{As}/\text{GaAs}/\text{Al}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{As}$ 単一量子井戸構造を用いた。エピウェハを半透明Auゲート電極付きの十字型のメサ構造にプロセスし(図1挿入図)、温度8 Kにおける電子スピンの空間分布をポンプ・プローブ法による空間分解カー回転測定によって決定した。図1にPSH状態において拡散およびドリフト運動する電子スピンの空間プロファイルを示す。面内電界を印加することによって、100 μm 以上にわたる電子スピンのドリフト輸送が観測された。また、ゲート電圧の印加によって有効磁場の強さを変化させると、それに伴ってドリフトスピンの歳差運動周期も変化することが明らかになった[図2(a)]。スピンの減衰距離 l_s (電子スピンの濃度が $1/e$ に減衰するまでの距離)のゲート電圧依存性を評価した結果、PSH状態近傍において、電子スピンの輸送距離が最も長くなった[図2(b)]。この結果は、スピンドリフト拡散モデルに基づくシミュレーション結果ともよく一致しており、PSH状態によるスピン緩和の抑制効果がスピン輸送距離の増大に寄与することを示している。本研究において実証されたPSH状態を用いた電子スピンの長距離輸送およびドリフトスピンの電気による制御は、今後の電子スピンのデバイス応用に対する重要な知見を与える。

[1] Y. Kunihashi, H. Sanada, H. Gotoh, K. Onomitsu, M. Kohda, J. Nitta, and T. Sogawa, Nature Commun. 7, 10722 (2016).

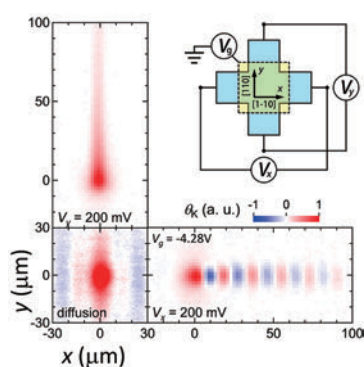


図1 拡散およびドリフト運動する電子スピンの空間分布。挿入図は試料の概略図。

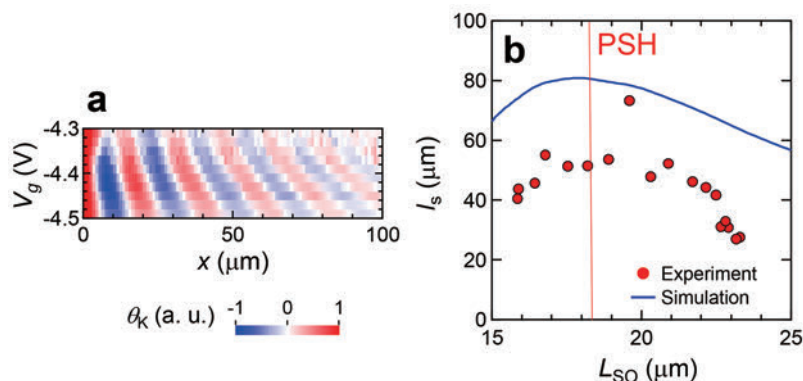


図2 (a)[1-10]方向にドリフトするスピンの空間分布のゲート電圧依存性。(b)スピン減衰距離 l_s のスピン回転長 L_{SO} 依存性。 L_{SO} はドリフトスピンの1回転するまでの距離でゲート電圧に反比例する。

埋め込み量子井戸フォトニック結晶レーザの無閾値動作

滝口雅人^{1,2} 谷山秀昭^{1,2} 角倉久史^{1,2} Muhammad Danang Birowosuto^{1,2}

倉持栄一^{1,2} 新家昭彦^{1,2} 佐藤具就^{1,3} 武田浩司^{1,3} 松尾慎治^{1,3} 納富雅也^{1,2}

¹ NTT ナノフォトニクスセンタ ² 量子光物性研究部 ³ NTT 先端集積デバイス研究所

フォトニック結晶(PhC)共振器は非常に小さなモード体積と高いQ値をもち、高速に変調できるレーザやLEDに応用できるため、チップ内光ネットワークにおける有望な光源の候補になっている。そこで我々は、PhCの内部に量子井戸(MQW)を埋め込んだ高速で高効率な発光素子の研究を行ってきた[図1(a)]。一般的なMQW-PhC素子は、活性層が基板面内全体にあり、キャリア拡散やPhCの穴界面での表面再結合の影響が避けられないが、埋め込みMQWは、活性層が共振器内部にのみ存在し、キャリアの閉じ込めが強く、非発光表面再結合を非常に小さくできる。したがってこの素子を用いれば、非常に鮮明な自然放出光制御が可能となる[1]。このような素子は、自然放出係数(β)を限りなく1に近づけることができ、極限的に高効率である無閾値レーザ動作を可能にする。

本研究では[2]、異なる格子定数の素子を用いて共振周波数をシフトさせ、ゲインと共振波長の離調を変えながらレーザの β や理論的に予測されている無閾値動作に関して評価を行った。図1(b)は共鳴近傍条件(1428 nm)と離調を取った時の(1415 nm)のL-Lプロット、発光寿命の結果である。図のように、L-Lや誘導放出による発光高速化を確認し、レーザ発振の転移を確かめた。これらの結果から、離調が少ない時は明瞭に自然放出光結合定数が大きくなり($\beta = 0.9$)、無閾値動作することが確認できた。図1(c)のように理論値ともよく一致する。

[1] M. Takiguchi et al., Appl. Phys. Lett. **103**, 091113 (2013).

[2] M. Takiguchi et al., Opt. Express **24**, 3441 (2016).

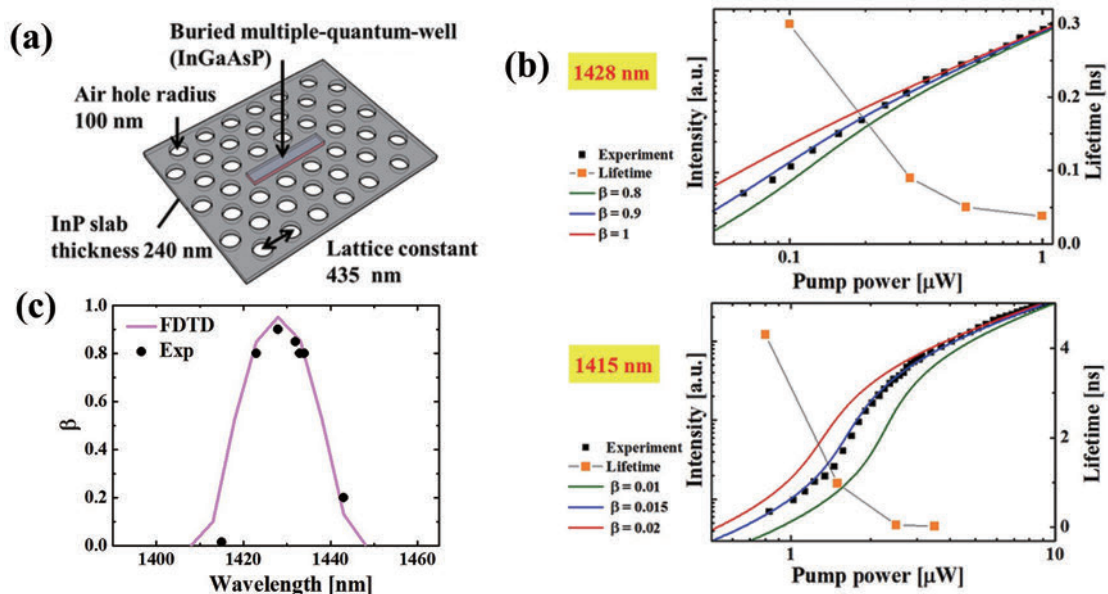


図1 (a)埋め込み量子井戸レーザの概念図。(b)LL特性。(c) β の離調依存性と理論値との比較。

ナノワットレベルで動作する波長サイズ全光ナノ共振器メモリ

倉持栄一^{1,2} 野崎謙悟^{1,2} 新家昭彦^{1,2} 谷山秀昭^{1,2} 武田浩司^{1,3} 佐藤具就¹ 松尾慎治^{1,3}
納富雅也^{1,2}

¹NTT ナノフォトニクスセンタ ²量子光物性研究部 ³NTT 先端集積デバイス研究所

ナノフォトニクスセンタでは超低消費電力大規模集積ナノフォトニクスチップの開発を進めている。キーデバイスである光メモリは一定のビット容量を必要とするため特に低消費電力化する必要がある。我々は波長サイズのフォトニック結晶(Photonic Crystal, PhC)に埋込ヘテロ(Buried Heterostructure, BH)を組み合わせることわずか 30 nW (30×10^{-9} W)の低動作パワーを達成済みである[1]。今回よりコンパクトなL3共振器とBHを組み合わせ多穴変調により高Q値化したナノ共振器光メモリ[2][図1(a)]を用い2ポートフィルタ素子[図1(b)]を構成することでさらに一桁の動作パワー低減を達成した[3]。本共振器はBH有り/無しの場合においてそれぞれ最高4.5万/21万の共振器Q値を示し、後者はInP系ナノ共振器における最高値であった。Q値4.2万および1.3万を示す多穴変調BH-L3共振器(L3M1, L3M3)において図1(c)に示す双安定全光メモリ動作を行い、既報のBH共振器メモリ(MG1)[1]の動作と比較した[図1(d)]。MG1と同等のQ値を有するL3M3では共振器モード体積(V)の減少に応じ、メモリ動作パワーが10 nWまで低減された。Q値が高いL3M1では従来比1/13となる2.3 nWのしきい動作パワーで図1(e)に示す良好な“1”/“0”スイッチングコントラストで全光メモリ動作が確認された。同じきい値に相当する共振器内平均光子数はわずか0.1である。本研究は超低消費電力PhC集積回路にむけた着実な前進であり、基礎研究およびデバイス応用における多穴変調で高Q値化したL型共振器の有用性を示したものである。

- [1] K. Nozaki et al., Nat. Photon. **6**, 248 (2012).
[2] E. Kuramochi et al., Nat. Photon. **8**, 474 (2014).
[3] E. Kuramochi et al., Appl. Phys. Lett. **107**, 221101 (2015).

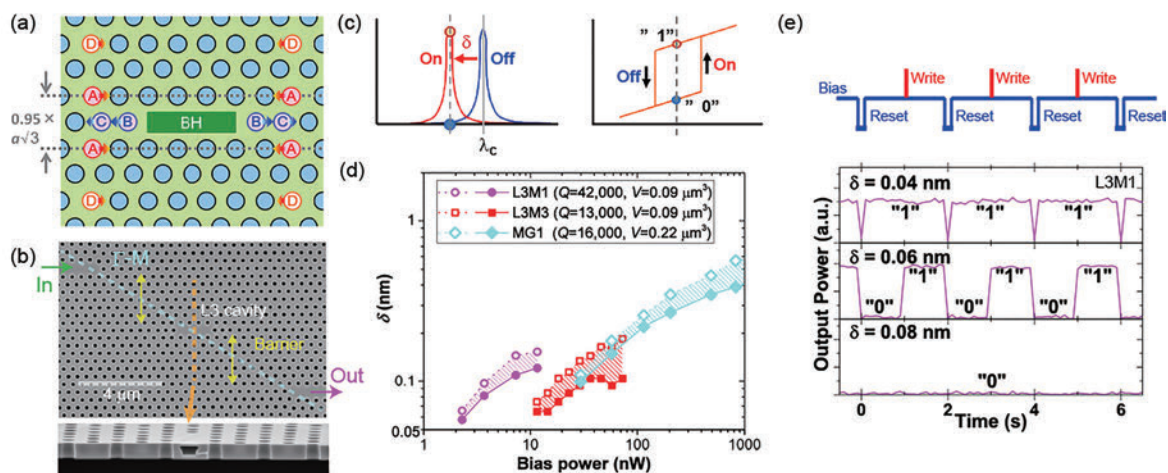


図1 (a)多穴変調BH-L3設計 [格子定数(a): 426 nm、穴A-Dのシフト量 $0.09a$ 、 $0.35a$ 、 $0.175a$ 、 $0.045a$ 、BHはInGaAsP]。 (b)BH-L3光メモリの電子顕微鏡像。 (c)双安定メモリ動作説明図。 (d)光メモリ動作バイアスパワーとdetuning量 δ の関係。 (e)L3M1における動作パワー 2.3 nWにおける光メモリ動作波形。

ナノ共振器の双安定動作を用いた全光パケットスイッチ

野崎謙悟^{1,2} Amedee Lacraz² 新家昭彦^{1,2} 松尾慎治^{1,3} 佐藤具就^{1,3} 武田浩司^{1,3}
倉持栄一^{1,2} 納富雅也^{1,2}

¹NTT ナノフォトンクスセンタ ²量子光物性研究部 ³NTT先端集積デバイス研究所

超小型の半導体光共振器では、非常に低パワーの光入力に対して非線形屈折率変化が現れるため、光スイッチや光メモリといった機能的なナノフォトンクス素子として利用できる。我々は、InPフォトンクス結晶(PhC)導波路中に微小なInGaAsP層を局所的に埋め込んだナノ構造 [図1(a)] を利用して、光とキャリアを強く閉じ込める光ナノ共振器を作製した。これにより、nWレベルの低パワー光入力でもキャリア非線形効果による光双安定現象が現れ [図1(b)]、光パルスの入射によってオン/オフの2状態を切り替えるメモリ素子として動作する。本研究ではさらに、これを光パケットのスイッチ素子としても利用できることを実証した [1]。

双安定状態を切り替えるための書き込み光パルス (100 ps幅, 13 fJ)、バイアス光 (0.8 μW)、リセットパルス (50 ns幅) に加えて、光パケットデータ (10 Gbit/s, 1 ns長, NRZ信号) を素子に入力した [図1(c)]。その結果、バイアス光出力により双安定状態の切り替えが確認できるとともに、これに対応して、光パケットデータのゲート動作が実現されていることがわかる [図1(d)]。さらに、1×2ポート出力型の構成も可能であり [図2(a)]、上記と同様に光双安定状態を切り替えることで光パケットデータの出力ポートをスイッチングする動作も実現した [図2(b)]。このように低パワー動作可能な全光パケットスイッチは、光-電気信号変換が不要な高速光ルーティングチップの実現に向けて有望な素子と考えられる。

[1] K. Nozaki, A. Lacraz, A. Shinya, S. Matsuo, T. Sato, K. Takeda, E. Kuramochi, and M. Notomi, Opt. Express 23, 30379 (2015).

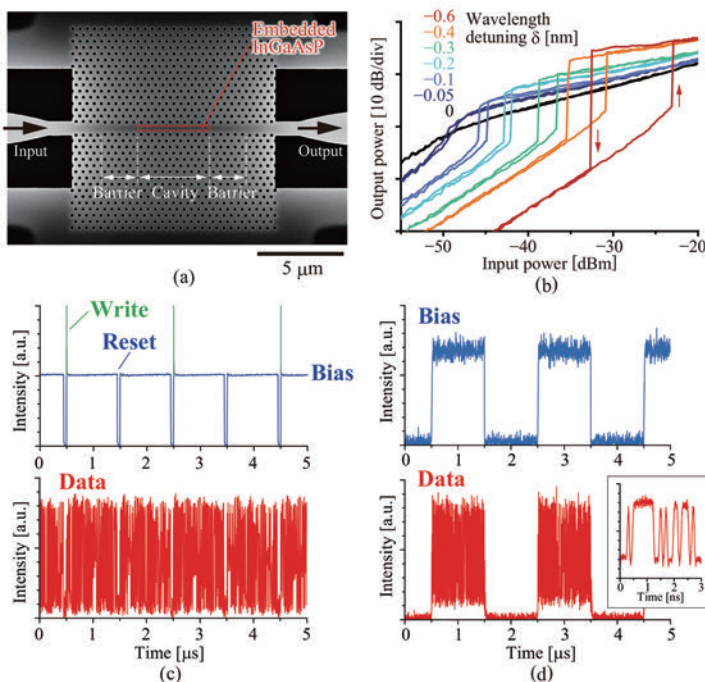


図1 (a)フォトンクス結晶ナノ共振器。(b)光入出力特性における双安定ヒステリシス。(c)光入力波形。(d)光パケットのゲートスイッチ動作における光出力波形。

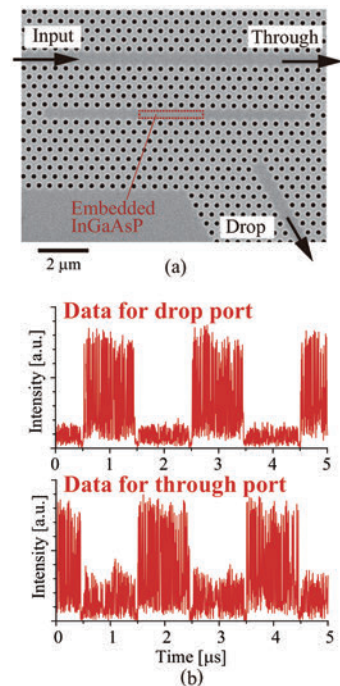


図2 (a)1×2光出力型のナノ共振器構成。(b)ポート切替スイッチ動作における光出力波形。

SiO_x スポットサイズ変換器を集積したオン Si メンブレン分布反射型レーザ

西 英隆^{1,2} 藤井拓郎^{1,2} 武田浩司^{1,2} 長谷部浩一^{1,2}

碓塚孝明^{1,2} 土澤 泰^{1,2} 山本 剛² 松尾慎治^{1,2}

¹NTT ナノフォトニクスセンタ ²NTT 先端集積デバイス研究所

我々は Si 基板上の小型・低消費電力レーザ技術の開発を進めており、これまでにオン Si メンブレン Distributed-Feedback (DFB) レーザを作製し、世界最小動作エネルギーコストである 171 fJ/bit を実現している [1]。一方、Si フォトニクス技術では低損失ファイバ結合を可能にするため、Si テーパと低比屈折率差 (低 Δ) SiO_x 導波路から構成されるスポットサイズ変換器 (Spot-size Converter, SSC) を開発してきた [2]。今回、分布反射型 (Distributed-Reflector, DR) レーザ構造の導入によるさらなる低エネルギーコスト化、および SiO_x-SSC の集積を実現した。

図 1(a) に作製したデバイス構造を、図 1(b) に上面顕微鏡像を示す。レーザ部は、結合係数 1500 cm⁻¹ を有する InP (厚さ 250 nm) 埋込み DFB 活性領域 (InGaAsP 系 6QW、厚さ 150 nm、長さ 50 μ m、幅 0.8 μ m)、後方の高反射率 Distributed Bragg Reflector (DBR) 領域、および出力 InP 細線導波路から構成される DR レーザとなっており、短共振器化による高変調効率化および片側出射化が可能となる。出力 InP 細線導波路は横方向テーパ状に形成され、SSC を介して $\Delta \approx 3\%$ の SiO_x 導波路と接続される。

図 1(c) に作製したメンブレン DR レーザの電流-光出力 (I - L) 特性を示す。SiO_x 導波路出口前方に設置した PD によって受光した場合、SiO_x 導波路端面での反射によって大きなキックが観測されたが、SiO_x 導波路と高 NA ファイバ (モード径 4.1 μ m) との直接接続によって受光した場合、端面反射が抑制され良好な I - L 特性が得られた。閾値電流は 0.6 mA、最大出力は約 0.7 mW であった。ファイバ結合損失は 2.7 dB が得られ、従来に比べて損失を約 6 dB 改善した。また、図 1(d)、(e) に 25.8 Gbps NRZ 信号による直接変調時のアイパターンを示す。バイアス電流 (I_b) が 2.5 mA の際に、エネルギーコスト 132 fJ/bit を達成した。

[1] S. Matsuo et al., J. Lightwave Technol. **33**, 1217 (2015).

[2] T. Tsuchizawa et al., J. Sel. Top. Quantum Electron. **17**, 516 (2011).

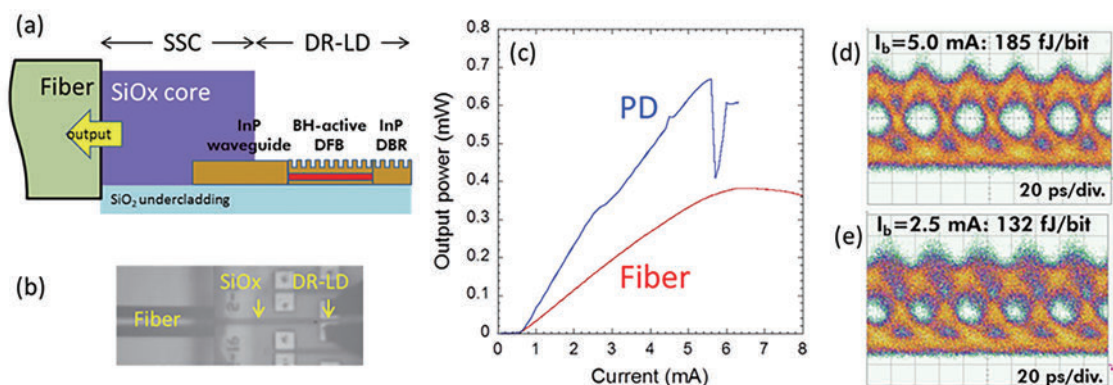


図 1 (a) SiO_x-SSC 集積型メンブレン DR レーザの断面構造。(b) 作製したデバイスの上面顕微鏡像。(c) I - L 特性。(d) (e) $I_b = 5.0$ mA、2.5 mA 時の 25.8 Gbps-NRZ 信号直接変調アイパターン。

Si 基板上に MOVPE 成長した GaAs/Ge 構造の 熱サイクルアニールによる転位低減

中尾 亮^{1,2} 荒井昌和^{1,2} 山本 剛² 松尾慎治^{1,2}

¹NTT ナノフォトニクスセンタ ²NTT 先端集積デバイス研究所

Si 基板上に III-V 族化合物半導体を直接成長により形成することは、30 年に渡り研究され続けている。近年は、III-V 族材料である GaAs と Si 基板の間に GaAs と格子定数が近い Ge バッファ層を導入し、GaAs 層の結晶性を向上させる研究が進められている[1]。Ge バッファ層を作製する手法として、モノゲルマン(GeH₄)を用いて気相成長するものが広く用いられているが、GeH₄は分解爆発性の材料であり III-V 族材料の成長装置に適合しない問題があった[2]。我々は GeH₄ に変えて、有機金属材料であるイソブチルゲルマン(iso-butyl germane, IBGe)を使用し、GaAs 成長と同じ有機金属気相成長(Metal-Organic Vapor Phase Epitaxy, MOVPE)装置にて Ge バッファ層および GaAs 層の一括成長を行った。図 1(a)にこの試料の断面透過電子顕微鏡(Transmission Electron Microscopy, TEM)像を示す。GaAs 層と Ge バッファの間には、界面にて発生したと考えられる転位が形成されており、これが成長層表面へ伸びている様子が観察された。この試料に対し、成長後に熱サイクルアニール(Thermal Cycle Annealing, TCA)を施すと、界面での転位が低減し、成長表面への転位の貫通が抑制されていることがわかる[3]。また、これらの試料上部に InGaAs/GaAs からなる多重量子井戸(Multiple Quantum Well, MQW)を成長し、この MQW からのフォトルミネッセンス(Photoluminescence, PL)を測定した(図 2)。PL 強度は、TCA を施すことによって 3 倍程度に増強されることが判明した。一方で、同様の MQW を GaAs 基板上に作製したものに対して発光強度は 11% 程度であるため、さらなる結晶性の向上が求められる。これらの技術により結晶性がデバイス作製品質となれば、半導体レーザをはじめとする半導体光デバイスを Si 基板上に直接集積することが可能となる。

[1] A. Lee et al., Opt. Express **20**, 22181 (2012).

[2] M. E. Groenert et al., J. Appl. Phys. **93**, 362 (2003).

[3] R. Nakao et al., in Electronic Materials Symposium **34**, Th-2-3 (2015).

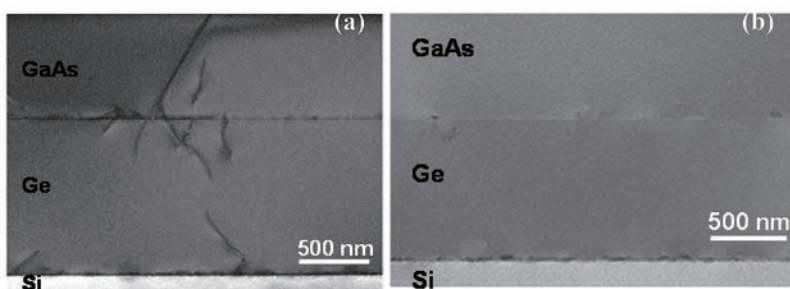


図1 断面 TEM 像。(a)成長後および(b)TCA 後。

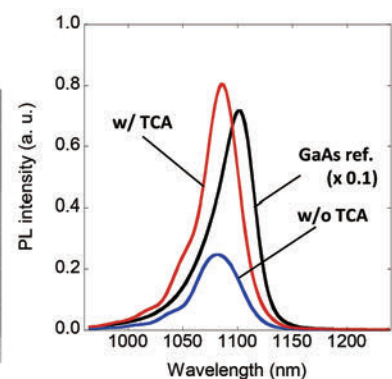


図2 MQW からの PL スペクトル。

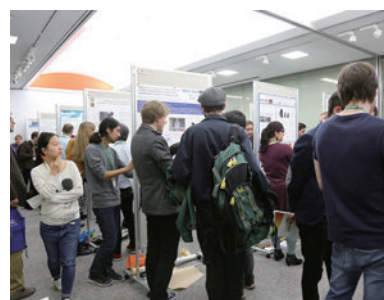
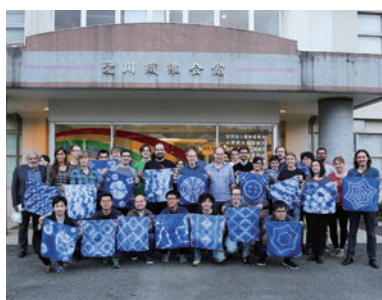
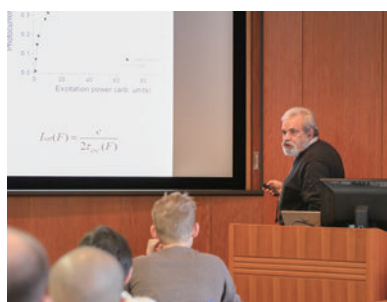


II. 資料

第7回 NTT 物性科学基礎研究所スクール

NTT 物性科学基礎研究所（物性研）では、物性研究分野の若手研究者の育成と、海外の若手研究者へのビジビリティの向上を目的として、2015年11月15日から11月17日まで、NTT厚木研究開発センタにて、第7回NTT物性科学基礎研究所スクール（NTT-BRLスクール）を開催しました。7回目となるNTT-BRLスクールでは、現在、物性研が精力的に研究を進めている「Nano and Optics」をテーマに、海外の著名な大学・研究機関の教授を招き、11ヶ国30名の学生（主に大学院博士課程学生）が参加しました。

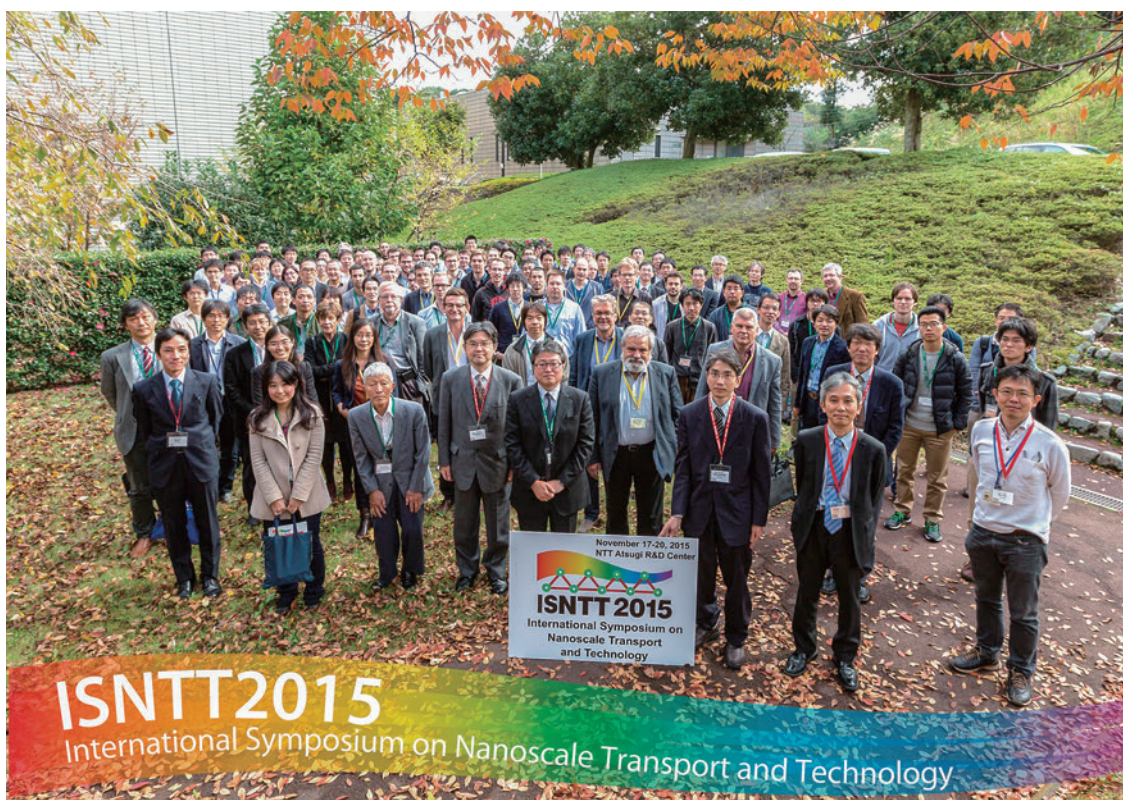
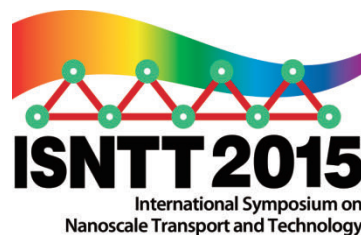
初日には、Gerhard Abstreiter 教授 (Walter Schottky Institute, Technische Universität München) による「半導体ヘテロ、ナノ、量子構造の物理と革新技術」に関する講義がありました。Abstreiter 教授の講義では、半導体の基礎から、低次元構造の物理、作製技術、デバイス応用まで幅広く、ご紹介いただきました。また、寒川哲臣物性研所長による物性研の概要説明、物性研若手研究者が研究設備を説明するラボツアーを実施し、物性研の最近の成果を紹介しました。2日目には、荒川泰彦教授（東京大学）からは、「量子ドットフォトンicsの進展」の講義に加えて、国際光学委員会会長として「国際光年」についてご紹介いただきました。また、物性研の研究者による講義も実施し、納富雅也上席特別研究員は「ナノフォトンics」について、William J. Munro 特別研究員は「量子情報」について講義を行いました。2日目の午後には、厚木研究開発センタから近い愛川町に藍染体験に出かけました。参加者は、日本の伝統的な文化に触れられて大変満足な様子でした。3日目午前には、Tobias Kippenberg 教授 (École Polytechnique Fédérale de Lausanne) から「オプトメカニクス」に関する講義がありました。午後には、物性研が主催する国際会議 ISNTT 2015 にスクール学生も参加し、夕刻には合同ポスターセッションを開催しました。学生が各自の大学での研究内容について発表し、学生同士、講師の先生方、NTT研究者との間で、活発な議論がなされました。NTT-BRL スクールと ISNTT との合同懇親会では、ポスターセッションで優れた発表を行った学生に贈られるベストポスター賞の発表などで大いに盛り上がり、世界各国の研究者との親睦を深めました。NTT 物性研は、今後もこのような交流の場を提供し、材料・ナノ・量子分野の研究交流、人材育成への積極的な取り組みを継続していきます。



国際シンポジウム ISNTT2015

NTT物性科学基礎研究所（物性研）は、2015年11月17日から20日まで、NTT厚木研究開発センターにおいて国際シンポジウム「ナノスケールの輸送と技術」International Symposium on Nanoscale Transport and Technology 2015 (ISNTT2015)を開催しました。世界15か国から179名の研究者が参集し、量子・ナノデバイス、量子物理に関する活発な議論がなされました。物性研では、ナノテクノロジーを駆使することにより、半導体、超伝導体、新材料の電子物性・光物性の探索とそのデバイス応用を推進しています。それぞれの研究分野の交流を深め、様々な融合型デバイスや新しいアイデアの創出を促進することを目的に、2009年よりISNTTを隔年で開催しています。ナノ構造の配列をイメージしたロゴを採用した今回のシンポジウムは、藤原聡（量子物性研究部長）、山口浩司（複合ナノ構造物理研究グループリーダー）、村木康二（量子固体物性研究グループリーダー）を共同議長とし、世界の第一線で活躍する研究者を招聘しました。

17日、18日、20日のそれぞれの冒頭の基調講演として、Gerhard Abstreiter教授(Walter Schottky Institute, Technische Universität München)が半導体ナノワイヤの応用について、Christian Glattli教授(CEA Saclay)が半導体を用いた電子量子光学の最先端の実験について、Per Delsing教授(Chalmers University of Technology)がハイブリッド超伝導量子デバイスについて講演を行いました。また、4日間にわたる計13の口頭発表セッションにおいては、ナノデバイス、ナノフォトニクス、電子量子光学、ナノメカニクス、非平衡電子輸送、トポロジカル電子状態、スピントロニクス、単電子デバイス、半導体・量伝導量子ビットなどの最先端の分野において世界レベルで活躍する17名の招待講演を含む46件の口頭発表がなされました。また、17日、18日のポスターセッションは、前回に引き続き、NTT-BRLスクールとのジョイントで開催され、計56件の発表が行われました。参加者は、シニア、若手、学生と幅広く、世代を超えた研究交流の場となり、様々な連携や人的交流につながる機会としても好評を得ることが出来ました。



BRLセミナー 講演一覧

講演日	講演者名 (所属)	講演タイトル
4月20日	桂川真幸 教授 (電気通信大学)	離散的なコヒーレントスペクトル群からなる光学過程の魅力的な特性
5月12日	Dr. Erik Gauger (Heriot-Watt University, U.K.)	Superabsorption, dark-state protection and optical ratchets: Harnessing collective effects for enhanced light absorption with coupled nanostructures
6月5日	鈴木俊法 教授 (京都大学)	真空紫外・X線極短パルスを用いた化学反応の研究
6月19日	関 優也 氏 (東京工業大学)	量子アニーリングの問題点とその解決に向けた試み
6月29日	岡嶋孝治 教授 (北海道大学)	細胞の物理学：プローブ顕微鏡による細胞力学物性計測
7月3日	Mr. Ryan Hamerly (Stanford University, U.S.A.)	Theory of Coherent Ising Machine: Pulse-shape Dynamics in Synchronously Pumped Optical Parametric Oscillators
7月14日	Prof. John Clarke (University of California, Berkeley, U.S.A.)	The Flux Qubit Revisited: Enhanced T1 and T2
7月23日	Dr. Richard J. E. Taylor (University of Sheffield, U.K.)	Coherently Coupled 2D Photonic Crystal Surface Emitting Laser Arrays
7月23日	Dr. Stefan Heun (The National Enterprise for nanoscience and nanoTechnology, Italy)	2D Materials Research Activities at the NEST lab in Pisa, Italy
7月23日	Dr. Alberto Hernández-Mínguez (Paul Drude Institute for Solid State Electronics, Germany)	High-frequency surface acoustic waves on gated graphene
7月23日	Dr. Francois D. Parmentier (CEA Saclay, France)	Quantum Limit of Heat Flow Across a Single Electronic Channel
7月24日	Mr. Robinjeet Singh (Louisiana State University, U.S.A.)	Quantum Back-action Limited Optomechanical Cavity Using Microresonator: Towards Calibration of Quantum Noises for LIGO
7月28日	神谷厚輝 博士 (公益財団法人神奈川科学技術アカデミー)	ボトムアップ手法による人工細胞システムの構築
7月31日	Prof. Reinhold Koch (Johannes Kepler University, Austria)	Radio-Frequency Scanning Tunneling Spectroscopy for Single-Molecule Spin Resonance

8月 3日	田嶋俊之 博士 (大阪大学)	局所操作による多光子エンタングルメントの 拡張、融合、変換と固体常磁性中心を用いた 量子情報処理
8月 3日	Dr. Andrey A. Shevyrin (Rzhanov Institute of Semiconductor Physics, Russia)	Suspended nanostructures with two- dimensional electron gas: electron transport and electromechanical effects
8月 3日	Dr. Stefan Fölsch (Paul Drude Institute for Solid State Electronics, Germany)	Controlling the charge state and conductance of a single molecule by electrostatic gating
8月 7日	Dr. Hans Hübl (Walther-Meißner-Institute, Germany)	Hybrid Systems—Coupling spins, strings, and superconducting resonators
8月 7日	Dr. Aleksey Andreev (Hitachi Cambridge Laboratory, U.K.)	Modelling of Si quantum bits and light emission in Si/Ge
8月24日	宮部俊吾 博士 (理化学研究所)	Ultrafast probing of photoexcited molecular dynamics; an investigation towards molecular control
9月25日	塚本史郎 教授 (阿南工業高等専門学校) 日比野浩樹 教授 (関西学院大学)	原子スケールのグラフェン研究最前線
9月25日	Dr. JT Janssen (T. J. B. M. Janssen) (National Physical Laboratory, U.K.)	Quantum Electrical Metrology with Graphene
10月22日	Dr. Benjamin Piot (Grenoble High Magnetic Field Laboratory, France)	Low dimensional electronic systems in high magnetic fields: Recent experiments
10月22日	Prof. Dominik Zumbuhl (University of Basel, Switzerland)	Breaking the mK barrier in Nanoelectronics
12月16日	Dr. Michael J. Burek (Harvard University, U.S.A.)	Free-standing nanomechanical and nanophotonic structures in single-crystal diamond
12月18日	Dr. Michal Karpinski (University of Oxford, U.K.)	Electro-optic spectral manipulation of pulsed quantum light
2月 4日	赤塚友哉 特別研究員 (理化学研究所)	光格子時計の高精度化と光ファイバリンクによる 時計周波数伝送
3月22日	伊藤友樹 氏 (東北大学)	Si ULSIプラットフォーム混載発光素子に向けた カーボン媒介による自己組織化Ge量子ドットの 形成

社外表彰受賞者一覧

表彰名	受賞者名	受賞題目	年月日
第62回応用物理学会 春季学術講演会 ポスター賞	手島哲彦 塚田信吾 河西奈保子 佐々木智 田中あや 中島 寛 住友弘二	接着性細胞ハンドリングのための 導電性シルクゲル薄膜	2015.4.1
第45回織研合織賞 ニューフロンティア 部門賞	日本電信電話株式会社 東レ株式会社	機能素材「hitoe [®] 」の開発	2015.4.24
Analytical Sciences Hot Article Award	上野祐子 古川一暁 Andrew Tin 日比野浩樹	On-chip FRET Graphene Oxide Aptasensor: Quantitative Evaluation of Enhanced Sensitivity by Aptamer with a Double-stranded DNA Spacer	2015.9.10
応用物理学会 論文奨励賞	畑中大樹	Mechanical random access memory in a phonon circuit	2015.9.13
MNC 2014 Award for Most Impressive Presentation	畑中大樹 Imran Mahboob 小野満恒二 山口浩司	All-Mechanical Bistable Memory In A Phonon Waveguide	2015.11.11
MNC 2014 Award for Most Impressive Poster	山崎謙治 山口浩司	Renovation of Three-Dimensional Electron Beam Lithography System for Improvement of Positioning Accuracy and Reduction of Turnaround Time	2015.11.11
第35回表面科学学術 講演会 講演奨励賞 (新進研究者部門)	大伴真名歩 関根佳明 日比野浩樹 山本秀樹	高配向ボトムアップ・グラフェンナノ リボンのエッチングフリー転写	2016.2.8
第20回超伝導 科学技術賞	山本秀樹 Yoshiharu Krockenberger 内藤方夫	ノンドープ銅酸化物超伝導体の発見 とその物性に関する先駆的研究	2016.3.3
応用物理学会 シリコン テクノロジー分科会 研究奨励賞	登坂仁一郎	Electric tuning of direct-indirect optical transitions in silicon	2016.3.21
電気化学会 女性躍進賞	河西奈保子	生体情報の検出と制御のための 新規バイオインタフェースの構築	2016.3.30

社内表彰受賞者一覧

表彰名	受賞者名	受賞題目	年月日
先端技術総合研究所 所長表彰 研究開発賞	村木康二 鈴木恭一 熊田倫雄 小野満恒二	半導体ヘテロ構造による非自明な 電子状態の実現	2015.12.17
先端技術総合研究所 所長表彰 研究開発賞	野崎謙悟 倉持栄一 新家昭彦 松尾慎治 納富雅也	超低消費電力・多ビットフォトニッ ク結晶光RAMの研究開発	2015.12.17
物性科学基礎研究所 所長表彰 業績賞	熊田倫雄 日比野弘樹 佐々木健一	グラフェンにおける電子励起・緩和 ダイナミクスの先駆的研究	2016.3.25
物性科学基礎研究所 所長表彰 業績賞	東 浩司 玉木 潔 William J. Munro	量子中継および量子暗号に関する 新概念の提唱	2016.3.25
物性科学基礎研究所 所長表彰 論文賞	平間一行 谷保芳孝 狩元慎一 Yoshiharu Krockenberger 山本秀樹	"Single-crystal cubic boron nitride thin films grown by ion-beam- assisted molecular beam epitaxy" Applied Physics Letters 104 , 092113 (2014).	2016.3.25
物性科学基礎研究所 所長表彰 論文賞	岡本 創 太田竜一 小野満恒二 後藤秀樹 山口浩司	"Cavity-less on-chip optomechanics using excitonic transitions in semiconductor heterostructures" Nature Communications 6 , 8478 (2015).	2016.3.25
物性科学基礎研究所 所長表彰 環境貢献論 文賞	野崎謙吾 新家昭彦 谷山秀昭 納富雅也	"Sub-femtojoule all-optical switching using a photonic-crystal nanocavity" Nature Photonics 4 , 477 (2010).	2016.3.25
物性科学基礎研究所 所長表彰 功労賞	山口真澄 木村聡貴	スポーツ脳科学実験棟の施設整備 への貢献	2016.3.25
物性科学基礎研究所 所長表彰 奨励賞	田中あや	神経細胞および人工細胞の機能と 構造制御に関する研究	2016.3.25
物性科学基礎研究所 所長表彰 奨励賞	松崎雄一郎	超伝導ハイブリッド量子系に関する 理論研究の推進	2016.3.25
物性科学基礎研究所 所長表彰 特別賞	上島弘史 伊藤博之 山口真澄	物性研でのセキュアなネットワーク 環境構築	2016.3.25

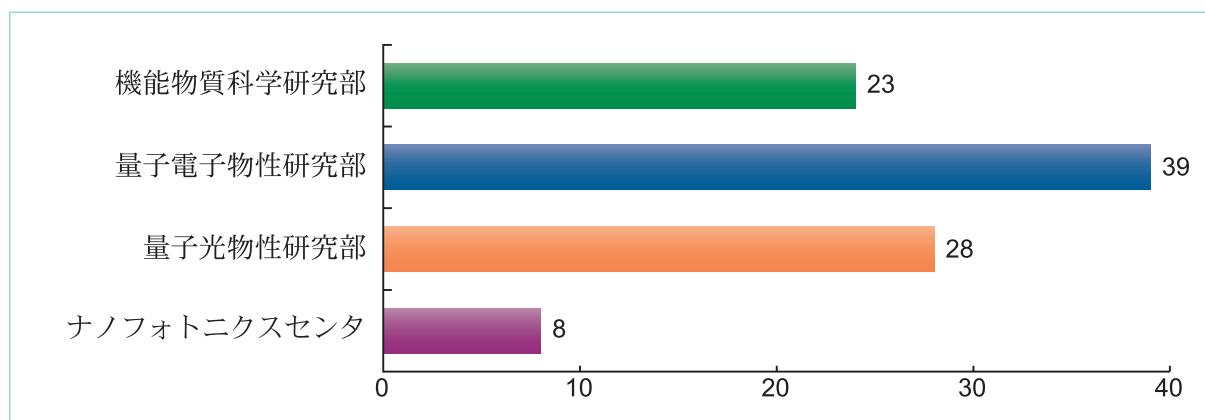
報道一覧

掲載月日	掲載紙	見出し
4月16日	日刊工業新聞	量子インターネット実現に一步 光だけで長距離通信 NTTなど新理論
4月20日	日経産業新聞	暗号通信 構築しやすく NTTなど 記憶素子 不要に
4月20日	電経新聞	NTT 全光量子中継方式を理論的に提唱 トロント大学と共同で新たな発見、未来像に光
4月24日	科学新聞	NTT、トロント大 全光量子中継方式を理論提唱 光送受信装置のみで長距離通信 物質量子メモリ必須説を否定
4月30日	日刊工業新聞	未来照らす光技術 今年「国際光年」、国連が制定 長距離通信 可能性秘める光子
5月19日	日刊工業新聞	NTT 量子暗号最長記録更新 340km 鍵配送実験に成功 検出器高性能化、雑音100分の1
6月3日	日経産業新聞	分子検出、冷却の負担減 産総研など 必要電力25分の1に
7月2日	日経産業新聞	量子暗号通信、8月から実証実験 国内勢、実用化急ぐ 東芝など最初の顧客探し
7月10日	日刊工業新聞	量子情報処理 多彩に NTTなど 再構成可能な光集積回路開発
7月15日	日経産業新聞	光回路 数秒で1000通り NTTなど 電流で光子の通路変更
7月20日	通信興業新聞	NTTが共同研究 新しい光集積回路を実現 多彩な光量子実験に適用
9月7日	日刊工業新聞	NTTなど原理実証 「ビームスプリッター」動作
9月14日	通信興業新聞	電子の量子光学研究が加速 NTTが成功 ビームスプリッタ動作を実証
9月15日	日経産業新聞	単一電子、2方向に伝搬 NTTなど グラフェン活用 量子回路の素子に
9月15日	日刊工業新聞	伝送の誤り率監視不要 NTT 東大 量子暗号実験に成功
9月16日	日経産業新聞	新量子暗号の実証成功 NTTと東大 盗聴自体を防止

9月28日	通信興業新聞	世界初、誤り率監視が不要 NTTと東大の共同研究グループ 従来の方式とは異なった 量子暗号実験に成功
10月7日	日刊工業新聞	北大など生成法 半導体スピン効率最大化 密度1万倍以上に
10月20日	日経産業新聞	NTTなど 質量センサー、高感度に
10月20日	日刊工業新聞	メカニカル振動子の熱ノイズ レーザー照射で半減 NTTなど 冷却法開発
10月26日	通信工業新聞	NTT レーザ光照射だけで冷却 メカニカル振動子 熱ノイズ低減の新技术
11月13日	科学新聞	NTTと東北大の研究チーム 光照射だけでメカニカル振動子の熱ノイズを低減 レーザ冷却手法開発実証
12月17日	日刊工業新聞	量子暗号通信 「全光」で距離2倍 NTT「800km圏都市間」実現へ
12月18日	日経産業新聞	NTT、通信距離2倍 傍受が困難な量子暗号
1月11日	通信興業新聞	NTT 通信距離2倍に拡大 量子暗号の新方式提唱
1月15日	科学新聞	NTTチームが新方式提唱 主要都市間で量子暗号通信実現の可能性 高難度な量子中継なしで通信距離2倍
2月25日	日経産業新聞	NTT、特殊DNA分子使うチップ 特定のたんぱく質簡単に量測定 病気の指標、素早く
3月9日	日刊工業新聞	電子スピン 長距離輸送に成功 NTT 東北大 演算素子の実現に貢献
3月14日	日経産業新聞	電子スピン 電場で制御 NTTなど 演算用の半導体に
3月28日	日経産業新聞	光の粒の波長変換 NTT「量子暗号通信」実現に道
3月28日	日刊工業新聞	損失なく光子波長変換 NTTが新手法 光ファイバー制御
4月4日	通信工業新聞	NTT 単一光子 波長変換で新手法 量子情報ネットワーク実現向け
4月8日	科学新聞	「量子情報通信に必須」単一光子波長変換 NTTが新手法実証 光ファイバで無損失に制御

学術論文掲載件数と主な掲載先

2015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98件です。また、以下に研究組織別の件数、主な掲載先と件数を記します。

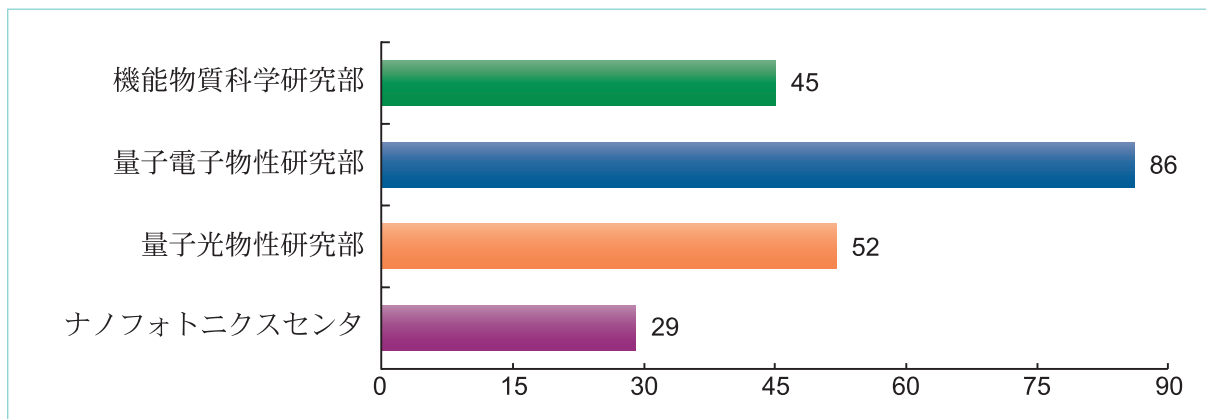


雑誌名	IF2014	件数
Physical Review A	2.808	10
Applied Physics Letters	3.302	9
Physical Review B	3.736	7
Japanese Journal of Applied Physics	1.127	7
Nature Communications	11.470	6
Physical Review Letters	7.512	5
New Journal of Physics	3.558	5
IEEE Journal of Selected Topics in Quantum Electronics	2.828	4
Applied Physics Express	2.365	4
Optics Express	3.488	3
Journal of Applied Physics	2.183	3
Physical Review Applied	—	3
Nano Letters	13.592	2
ACS Nano	12.881	2
Scientific Reports	5.578	2
Journal of Crystal Growth	1.698	2
Journal of Physical Society of Japan	1.585	2
AIP Advances	1.524	2
Science	33.611	1
Nature Photonics	32.386	1
Nature Physics	20.147	1
Chemistry of Materials	8.354	1
Nanotechnology	3.821	1
Science Advances	—	1
Optica	—	1

*IF2014：インパクトファクター 2014 研究所全体では、1論文あたりの平均IFは4.847です。

国際会議発表件数と主な発表先

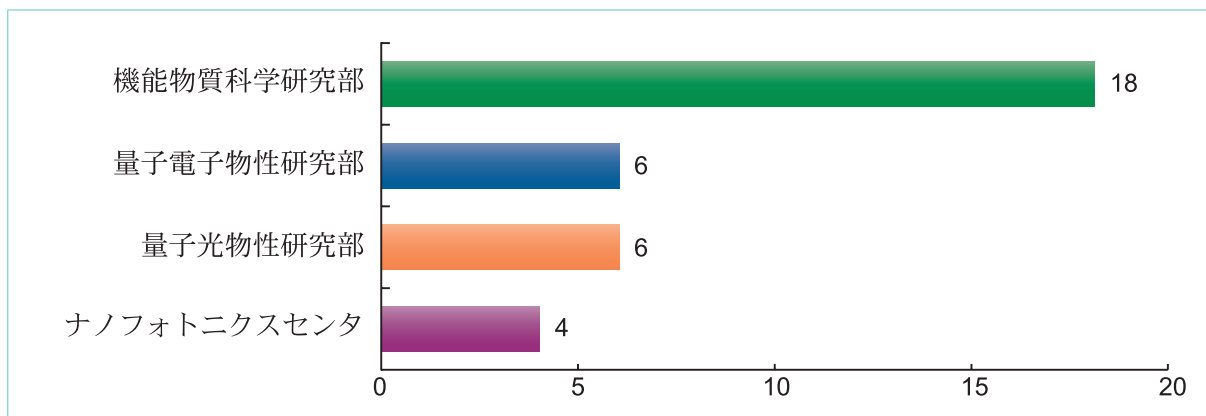
2015年度に国際会議の発表件数は物性科学基礎研究所全体で212件です。また、以下に研究組織別の件数、主な発表先と発表件数を記します。



国際会議名	件数
21st International Conference on Electronic Properties of Two-Dimensional Systems / 17th International Conference on Modulated Semiconductor Structures (Joint Conference EP2DS-21/MSS17)	26
International Symposium on Nanoscale Transport and Technology (ISNTT2015)	25
The Conference on Lasers and Electro-Optics (CLEO/QELS 2015)	13
2015 International Conference on Solid State Devices and Materials (SSDM 2015)	8
APS March Meeting 2016	7
5th International Conference on Quantum Cryptography (QCrypt2015)	6
28th International Microprocesses and Nanotechnology Conference (MNC 2015)	5
International Workshop : Quantum Nanostructures and Electron-Nuclear Spin Interactions	4
Silicon Quantum Electronics Workshop 2015	4

特許出願件数

2015年度に出願した特許の件数は物性科学基礎研究所全体で34件です。また、以下に研究組織別の件数を記します。



学術論文出版一覧

- H. Ago, Y. Ohta, H. Hibino, D. Yoshimura, R. Takizawa, Y. Uchida, M. Tsuji, T. Okajima, H. Mitani, and S. Mizuno, "Growth Dynamics of Single-layer Graphene on Epitaxial Cu Surfaces", *Chem. Mat.* **27**, 5377-5385 (2015).
- H. Akazawa and Y. Ueno, "Control of Surface Wettability of Hydroxyapatite Thin Films by Way of Crystal Imperfections", *Appl. Phys. Express* **8**, 107001 (2015).
- R. Asaoka, H. Tsuchiura, M. Yamashita, and Y. Toga, "Dynamical Instability in the S=1 Bose-Hubbard Model", *Phys. Rev. A* **93**, 013628 (2016).
- K. Azuma, K. Tamaki, and W. J. Munro, "All-photonic Intercity Quantum Key Distribution", *Nat. Commun.* **6**, 10171 (2015).
- K. Azuma, K. Tamaki, and H. K. Lo, "All-photonic Quantum Repeaters", *Nat. Commun.* **6**, 6787 (2015).
- H. Cai, Y. Matsuzaki, K. Kakuyanagi, H. Toida, X. Zhu, N. Mizuochi, K. Nemoto, K. Semba, W. J. Munro, S. Saito, and H. Yamaguchi, "Analysis of the Spectroscopy of a Hybrid System Composed of a Superconducting Flux Qubit and Diamond NV Centers", *J. Phys.: Condes. Matter* **27**, 345702 (2015).
- P. A. Carles, K. Nishiguchi, and A. Fujiwara, "Deviation from the Law of Energy Equipartition in a Small Dynamic-random-access Memory", *Jpn. J. Appl. Phys.* **54**, 06FG03 (2015).
- J. Carolan, C. Harrold, C. Sparrow, E. Martin-Lopez, N. J. Russell, J. W. Silverstone, P. J. Shadbolt, N. Matsuda, M. Oguma, M. Itoh, G. D. Marshall, M. G. Thompson, J. C. F. Matthews, T. Hashimoto, J. L. O'Brien, and A. Laing, "Universal Linear Optics", *Science* **349**, 711-716 (2015).
- J. C. H. Chen, Y. Sato, R. Kosaka, M. Hashisaka, K. Muraki, and T. Fujisawa, "Enhanced Electron-phonon Coupling for a Semiconductor Charge Qubit in a Surface Phonon Cavity", *Sci. Rep.* **5**, 15176 (2015).
- K. Chida, K. Nishiguchi, G. Yamahata, H. Tanaka, and A. Fujiwara, "Thermal-noise Suppression in Nano-scale Si Field-effect Transistors by Feedback Control Based on Single-electron Detection", *Appl. Phys. Lett.* **107**, 073110 (2015).
- S. Endo, Y. Matsuzaki, W. J. Munro, T. Koike, and S. Saito, "Spin Amplification in an Inhomogeneous System", *J. Phys. Soc. Jpn.* **84**, 103001 (2015).
- R. Forbes, Y. Kashimura, and K. Sumitomo, "Hermetically Sealed Microwell with a Lipid Bilayer Created Using a Self-assembled Monolayer", *Appl. Phys. Express* **8**, 117201 (2015).
- T. Fujii, T. Sato, K. Takeda, K. Hasebe, T. Kakitsuka, and S. Matsuo, "Epitaxial Growth of InP to Bury Directly Bonded Thin Active Layer on SiO₂/Si Substrate for Fabricating Distributed Feedback Lasers on Silicon", *IET Optoelectron.* **9**, 151-157 (2015).
- M. Godonoga, T. Y. Lin, A. Oshima, K. Sumitomo, M. S. L. Tang, Y. W. Cheung, A. B. Kinghorn, R. M. Dirkwager, C. S. Zhou, A. Kuzuya, J. A. Tanner, and J. G. Heddle, "A DNA Aptamer Recognising a Malaria Protein Biomarker Can Function as Part of a DNA Origami Assembly", *Sci. Rep.* **6**, 21266 (2016).
- T. Goto, N. Kasai, R. Lu, R. Filip, and K. Sumitomo, "Scanning Electron Microscopy Observation of Interface Between Single Neurons, and Conductive Surfaces", *J. Nanosci. Nanotechnol.* **16**, 3383-3387 (2016).

- (16) J. Govenius, Y. Matsuzaki, I. G. Savenko, and M. Mottonen, "Parity Measurement of Remote Qubits Using Dispersive Coupling and Photodetection", *Phys. Rev. A* **92**, 042305 (2015).
- (17) D. Hashimoto and K. Shimizu, "Coherent Raman Beat Analysis of the Hyperfine Sublevel Coherence Properties of $^{167}\text{Er}^{3+}$ Ions Doped in an Y_2SiO_5 Crystal", *J. Lumines.* **171**, 183-190 (2016).
- (18) D. Hatanaka, A. Dodel, I. Mahboob, K. Onomitsu, and H. Yamaguchi, "Phonon Propagation Dynamics in Band-engineered One Dimensional Phononic Crystal Waveguides", *New J. Phys.* **17**, 113032 (2015).
- (19) M. Hattori, H. Ikenoue, D. Nakamura, F. Kazuaki, M. Takamura, H. Hibino, and T. Okada, "Direct Growth of Graphene on SiC(0001) by KrF-excimer-laser Irradiation", *Appl. Phys. Lett.* **108**, 093107 (2016).
- (20) M. Hiroki, K. Kumakura, and H. Yamamoto, "Enhancement of Performance of AlGaIn/GaN High-electron-mobility Transistors by Transfer from Sapphire to a Copper Plate", *Jpn. J. Appl. Phys.* **55**, 05FH07 (2016).
- (21) K. Hitachi, A. Ishizawa, O. Tadanaga, T. Nishikawa, H. Mashiko, T. Sogawa, and H. Gotoh, "Frequency Stabilization of an Er-doped Fiber Laser with a Collinear 2f-to-3f Self-referencing Interferometer", *Appl. Phys. Lett.* **106**, 231106 (2015).
- (22) M. Hori, M. Uematsu, A. Fujiwara, and Y. Ono, "Electrical Activation and Electron Spin Resonance Measurements of Arsenic Implanted in Silicon", *Appl. Phys. Lett.* **106**, 142105 (2015).
- (23) A. Iagallo, S. Tanabe, S. Roddaro, M. Takamura, Y. Sekine, H. Hibino, V. Miseikis, C. Coletti, V. Piazza, F. Beltram, and S. Heun, "Bilayer-induced Asymmetric Quantum Hall Effect in Epitaxial Graphene", *Semicond. Sci. Technol.* **30**, 055007 (2015).
- (24) T. Ikuta and H. Takesue, "Enhanced Violation of the Collins-Gisin-Linden-Massar-Popescu Inequality with Optimized Time-bin-entangled Ququarts", *Phys. Rev. A* **93**, 022307 (2016).
- (25) D. Imanaka, S. Sharmin, M. Hashisaka, K. Muraki, and T. Fujisawa, "Exchange-induced Spin Blockade in a Two-electron Double Quantum Dot", *Phys. Rev. Lett.* **115**, 176802 (2015).
- (26) M. Jo, T. Uchida, A. Tsurumaki-Fukuchi, M. Arita, A. Fujiwara, Y. Ono, K. Nishiguchi, H. Inokawa, and Y. Takahashi, "Fabrication and Single-electron-transfer Operation of a Triple-dot Single-electron Transistor", *J. Appl. Phys.* **118**, 214305 (2015).
- (27) K. Kakuyanagi, T. Baba, Y. Matsuzaki, H. Nakano, S. Saito, and K. Semba, "Observation of Quantum Zeno Effect in a Superconducting Flux Qubit", *New J. Phys.* **17**, 063035 (2015).
- (28) M. Kasu, K. Hiramata, K. Harada, and T. Oishi, "Study on Capacitance-voltage Characteristics of Diamond Field-effect Transistors with NO_2 Hole Doping and Al_2O_3 Gate Insulator Layer", *Jpn. J. Appl. Phys.* **55**, 041301 (2016).
- (29) K. Kato, K. Oguri, H. Sanada, T. Tawara, T. Sogawa, and H. Gotoh, "Determination of Phonon Decay Rate in P-Type Silicon Under Fano Resonance by Measurement of Coherent Phonons", *AIP Adv.* **5**, 097152 (2015).
- (30) K. Kato, F. Furrer, and M. Muraio, "Information-Theoretical Analysis of Topological Entanglement Entropy and Multipartite Correlations", *Phys. Rev. A* **93**, 022317 (2016).
- (31) G. C. Knee and W. J. Munro, "Optimal Trotterization in Universal Quantum Simulators Under Faulty Control", *Phys. Rev. A* **91**, 052327 (2015).

-
- (32) G. C. Knee and W. J. Munro, "Fisher Information Versus Signal-to-noise Ratio for a Split Detector", *Phys. Rev. A* **92**, 012130 (2015).
-
- (33) Y. Kobayashi, S. Sasaki, S. Mori, H. Hibino, Z. Liu, K. Watanabe, T. Taniguchi, K. Suenaga, Y. Maniwa, and Y. Miyata, "Growth and Optical Properties of High-quality Monolayer WS₂ on Graphite", *ACS Nano* **9**, 4056-4063 (2015).
-
- (34) Y. Kondo, Y. Matsuzaki, K. Matsushima, and J. G. Filgueiras, "Using the Quantum Zeno Effect for Suppression of Decoherence", *New J. Phys.* **18**, 013033 (2016).
-
- (35) Y. Krockenberger, M. Horio, H. Irie, A. Fujimori, and H. Yamamoto, "As-grown Superconducting Pr₂CuO₄ Under Thermodynamic Constraints", *Appl. Phys. Express* **8**, 053101 (2015).
-
- (36) N. Kumada, F. D. Parmentier, H. Hibino, D. C. Glatzli, and P. Roulleau, "Shot Noise Generated by Graphene P-N Junctions in the Quantum Hall Effect Regime", *Nat. Commun.* **6**, 8068 (2015).
-
- (37) Y. Kunihashi, H. Sanada, H. Gotoh, K. Onomitsu, M. Kohda, J. Nitta, and T. Sogawa, "Drift Transport of Helical Spin Coherence with Tailored Spin-orbit Interactions", *Nat. Commun.* **7**, 10722 (2016).
-
- (38) E. Kuramochi, K. Nozaki, A. Shinya, H. Taniyama, K. Takeda, T. Sato, S. Matsuo, and M. Notomi, "Ultralow Bias Power All-optical Photonic Crystal Memory Realized with Systematically Tuned L3 Nanocavity", *Appl. Phys. Lett.* **107**, 221101 (2015).
-
- (39) C.H. Lin, T. Akasaka, and H. Yamamoto, "N-Face GaN(000-1) Films with Hillock-free Smooth Surfaces Grown by Group-III-source Flow-rate Modulation Epitaxy", *Jpn. J. Appl. Phys.* **55**, 04EJ01 (2016).
-
- (40) I. Mahboob, N. Perrissin, K. Nishiguchi, D. Hatanaka, Y. Okazaki, A. Fujiwara, and H. Yamaguchi, "Dispersive and Dissipative Coupling in a Micromechanical Resonator Embedded with a Nanomechanical Resonator", *Nano Lett.* **15**, 2312-2317 (2015).
-
- (41) T. Makimoto, K. Kumakura, M. Maeda, H. Yamamoto, and Y. Horikoshi, "A New AlON Buffer Layer for RF-MBE Growth of AlN on a Sapphire Substrate", *J. Cryst. Growth* **425**, 138-140 (2015).
-
- (42) S. Mamyouda, H. Ito, Y. Shibata, S. Kashiwaya, M. Yamaguchi, T. Akazaki, H. Tamura, Y. Ootuka, and S. Nomura, "Circularly Polarized Near-field Optical Mapping of Spin-resolved Quantum Hall Chiral Edge States", *Nano Lett.* **15**, 2417-2421 (2015).
-
- (43) J. Martinez-Blanco, C. Nacci, S. C. Erwin, K. Kanisawa, E. Locane, M. Thomas, F. von Oppen, P. W. Brouwer, and S. Folsch, "Gating a Single-molecule Transistor with Individual Atoms", *Nat. Phys.* **11**, 640-644 (2015).
-
- (44) J. Martinez-Blanco, S. C. Erwin, K. Kanisawa, and S. Folsch, "Energy Splitting of Image States Induced by the Surface Potential Corrugation of InAs(111) A", *Phys. Rev. B* **92**, 115444 (2015).
-
- (45) N. Matsuda, "Deterministic Reshaping of Single Photon Spectra Using Cross-phase Modulation", *Sci. Adv.* **2**, e1501223 (2016).
-
- (46) Y. Matsuzaki and H. Tanaka, "Quantum Zeno Effect in an Unstable System with NMR", *J. Phys. Soc. Jpn.* **85**, 014001 (2016).
-
- (47) Y. Matsuzaki, X. Zhu, K. Kakuyanagi, H. Toida, T. Shimooka, N. Mizuochi, K. Nemoto, K. Semba, W. J. Munro, H. Yamaguchi, and S. Saito, "Improving the Lifetime of the Nitrogen-vacancy-center Ensemble Coupled with a Superconducting Flux Qubit by Applying Magnetic Fields", *Phys. Rev. A* **91**, 042329 (2015).
-

-
- (48) Y. Matsuzaki, X. Zhu, K. Kakuyanagi, H. Toida, T. Shimo-Oka, N. Mizuochi, K. Nemoto, K. Semba, W. J. Munro, H. Yamaguchi, and S. Saito, "Improving the Coherence Time of a Quantum System Via a Coupling to a Short-lived System", *Phys. Rev. Lett.* **114**, 120501 (2015).
-
- (49) A. Mizutani, N. Imoto, and K. Tamaki, "Robustness of the Round-Robin Differential-phase-shift Quantum-key-distribution Protocol Against Source Flaws", *Phys. Rev. A* **92**, 060303 (2015).
-
- (50) A. Mizutani, M. Curty, C. C. W. Lim, N. Imoto, and K. Tamaki, "Finite-key Security Analysis of Quantum Key Distribution with Imperfect Light Sources", *New J. Phys.* **17**, 093011 (2015).
-
- (51) F. Morikoshi, "An Entanglement Analogue in Light Cones", *Prog. Theor. Exp. Phys.* 123A04 (2015).
-
- (52) S. S. Mou, H. Irie, Y. Asano, K. Akahane, H. Nakajima, H. Kumano, M. Sasaki, A. Murayama, and I. Suemune, "Time-resolved Measurements of Cooper-pair Radiative Recombination in InAs Quantum Dots", *J. Appl. Phys.* **118**, 073102 (2015).
-
- (53) S. S. Mou, H. Irie, Y. Asano, K. Akahane, H. Nakajima, H. Kumano, M. Sasaki, A. Murayama, and I. Suemune, "Optical Observation of Superconducting Density of States in Luminescence Spectra of InAs Quantum Dots", *Phys. Rev. B* **92**, 035308 (2015).
-
- (54) W. J. Munro, K. Azuma, K. Tamaki, and K. Nemoto, "Inside Quantum Repeaters", *IEEE J. Sel. Top. Quantum Electron.* **21**, 6400813 (2015).
-
- (55) M. Naito, K. Uehara, R. Takeda, Y. Taniyasu, and H. Yamamoto, "Growth of Iron Nitride Thin Films by Molecular Beam Epitaxy", *J. Cryst. Growth* **415**, 36-40 (2015).
-
- (56) M. Naito, Y. Krockenberger, A. Ikeda, and H. Yamamoto, "Reassessment of the Electronic State, Magnetism, and Superconductivity in High-Tc cuprates with the Nd_2CuO_4 structure", *Physica C* **523**, 28 (2016).
-
- (57) R. Nakao, M. Arai, W. Kobayashi, T. Yamamoto, and S. Matsuo, "1.3- μm InGaAs MQW Metamorphic Laser Diode Fabricated With Lattice Relaxation Control Based on In Situ Curvature Measurement", *IEEE J. Sel. Top. Quantum Electron.* **21**, 1501407 (2015).
-
- (58) R. Namiki and K. Azuma, "Quantum Benchmark Via an Uncertainty Product of Canonical Variables", *Phys. Rev. Lett.* **114**, 140503 (2015).
-
- (59) H. Nishi, K. Takeda, T. Tsuchizawa, T. Fujii, S. Matsuo, K. Yamada, and T. Yamamoto, "Monolithic Integration of InP Wire and SiO_x Waveguides on Si Platform", *IEEE Photonics J.* **7**, 4900308 (2015).
-
- (60) K. Nishiguchi, A. Castellanos-Gomez, H. Yamaguchi, A. Fujiwara, H. S. J. van der Zant, and G. A. Steele, "Observing the Semiconducting Band-gap Alignment of MoS_2 Layers of Different Atomic Thicknesses Using a $\text{MoS}_2/\text{SiO}_2/\text{Si}$ Heterojunction Tunnel Diode", *Appl. Phys. Lett.* **107**, 053101 (2015).
-
- (61) K. Noda, K. Inaba, and M. Yamashita, "Magnetism in the Three-Dimensional Layered Lieb Lattice: Enhanced Transition Temperature via Flat-band and Van Hove Singularities", *Phys. Rev. A* **91**, 063610 (2015).
-
- (62) S. Nomura, S. Mamyouda, H. Ito, Y. Shibata, T. Ohira, L. Yoshikawa, Y. Ootuka, S. Kashiwaya, M. Yamaguchi, H. Tamura, and T. Akazaki, "Circularly Polarized Near-field Scanning Optical Microscope for Investigations of Edge States of a Two-dimensional Electron System", *Appl. Phys. A-Mater. Sci. Process.* **121**, 1341-1345 (2015).
-

-
- (63) K. Nozaki, A. Lacraz, A. Shinya, S. Matsuo, T. Sato, K. Takeda, E. Kuramochi, and M. Notomi, "All-optical Switching for 10-Gb/s Packet Data by Using an Ultralow-power Optical Bistability of Photonic-crystal Nanocavities", *Opt. Express* **23**, 30379-30392 (2015).
-
- (64) R. Ohsugi, Y. Kunihashi, H. Sanada, M. Kohda, H. Gotoh, T. Sogawa, and J. Nitta, "Bias Dependence of Spin Injection/transport Properties of a Perpendicularly magnetized FePt/MgO/GaAs Structure", *Appl. Phys. Express* **9**, 043002 (2016).
-
- (65) R. Ohta, H. Okamoto, R. Hey, K. J. Friedland, and H. Yamaguchi, "Optically Induced Strong Intermodal Coupling in Mechanical Resonators at Room Temperature", *Appl. Phys. Lett.* **107**, 091906 (2015).
-
- (66) H. Okamoto, T. Watanabe, R. Ohta, K. Onomitsu, H. Gotoh, T. Sogawa, and H. Yamaguchi, "Cavity-less On-chip Optomechanics Using Excitonic Transitions in Semiconductor Heterostructures", *Nat. Commun.* **6**, 8478 (2015).
-
- (67) Y. Pan, J. S. Yang, S. C. Erwin, K. Kanisawa, and S. Folsch, "Reconfigurable Quantum-dot Molecules Created by Atom Manipulation", *Phys. Rev. Lett.* **115**, 076803 (2015).
-
- (68) V. T. Renard, B. A. Piot, X. Waintal, G. Fleury, D. Cooper, Y. Niida, D. Tregurtha, A. Fujiwara, Y. Hirayama, and K. Takashina, "Valley Polarization Assisted Spin Polarization in Two Dimensions", *Nat. Commun.* **6**, 7230 (2015).
-
- (69) T. D. Rhone, L. Tiemann, and K. Muraki, "NMR Probing of Spin and Charge Order near Odd-integer Filling in the Second Landau Level", *Phys. Rev. B* **92**, 041301 (2015).
-
- (70) S. Sasaki, K. Tateno, G. Q. Zhang, H. Pigot, Y. Harada, S. Saito, A. Fujiwara, T. Sogawa, and K. Muraki, "Self-aligned Gate-all-around InAs/InP Core-shell Nanowire Field-effect Transistors", *Jpn. J. Appl. Phys.* **54**, 04DN04 (2015).
-
- (71) K. Sasaki, S. Murakami, and Y. Tokura, "Determination of Intrinsic Lifetime of Edge Magnetoplasmons", *Phys. Rev. B* **93**, 125402 (2016).
-
- (72) T. Sato, K. Takeda, A. Shinya, M. Notomi, K. Hasebe, T. Kakitsuka, and S. Matsuo, "Photonic Crystal Lasers for Chip-to-chip and On-chip Optical Interconnects", *IEEE J. Sel. Top. Quantum Electron.* **21**, 4900410 (2015).
-
- (73) T. Satoh, Y. Matsuzaki, K. Kakuyanagi, W. J. Munro, K. Semba, H. Yamaguchi, and S. Saito, "Scalable Quantum Computation Architecture Using Always-on Ising Interactions Via Quantum Feedforward", *Phys. Rev. A* **91**, 052329 (2015).
-
- (74) B. Scharfenberger, H. Kosaka, W. J. Munro, and K. Nemoto, "Absorption-based Quantum Communication with NV Centres", *New J. Phys.* **17**, 103012 (2015).
-
- (75) R. Shaikhaidarov, V. N. Antonov, A. Casey, A. Kalaboukhov, S. Kubatkin, Y. Harada, K. Onomitsu, A. Tzalenchuk, and A. Sobolev, "Detection of Coherent Terahertz Radiation from a High-temperature Superconductor Josephson Junction by a Semiconductor Quantum-dot Detector", *Phys. Rev. Appl.* **5**, 024010 (2016).
-
- (76) H. Shibata, K. Shimizu, H. Takesue, and Y. Tokura, "Ultimate Low System Dark-count Rate for Superconducting Nanowire Single-photon Detector", *Opt. Lett.* **40**, 3428-3431 (2015).
-
- (77) K. Shimizu and Y. Tokura, "Identifying a Correlated Spin Fluctuation in an Entangled Spin Chain Subject to a Quantum Phase Transition", *Phys. Rev. E* **92**, 062143 (2015).
-

-
- (78) S. Souma, A. Sawada, H. Chen, Y. Sekine, M. Eto, and T. Koga, "Spin Blocker Using the Interband Rashba Effect in Symmetric Double Quantum Wells", *Phys. Rev. Appl.* **4**, 034010 (2015).
-
- (79) H. Sumikura, E. Kuramochi, H. Taniyama, and M. Notomi, "Enhanced Electron-hole Droplet Emission from Surface-oxidized Silicon Photonic Crystal Nanocavities", *Opt. Express* **24**, 1072-1081 (2016).
-
- (80) K. Suzuki, Y. Harada, K. Onomitsu, and K. Muraki, "Gate-controlled Semimetal-topological Insulator Transition in an InAs/GaSb Heterostructure", *Phys. Rev. B* **91**, 245309 (2015).
-
- (81) S. Suzuki and H. Hibino, "Large Optical Anisotropy for Terahertz Light of Stacked Graphene Ribbons with Slight Asymmetry", *J. Appl. Phys.* **117**, 174302 (2015).
-
- (82) S. Suzuki, M. Takamura, and H. Yamamoto, "Transmission, Reflection, and Absorption Spectroscopy of Graphene Microribbons in the Terahertz Region", *Jpn. J. Appl. Phys.* **55**, 06GF08 (2016).
-
- (83) K. Takase, H. Hibino, and K. Muraki, "Probing the Extended-state Width of Disorder-broadened Landau Levels in Epitaxial Graphene", *Phys. Rev. B* **92**, 125407 (2015).
-
- (84) H. Takesue, S. D. Dyer, M. J. Stevens, V. Verma, R. P. Mirin, and S. W. Nam, "Quantum Teleportation over 100 km of Fiber Using Highly Efficient Superconducting Nanowire Single-photon Detectors", *Optica* **2**, 832-835 (2015).
-
- (85) H. Takesue, T. Sasaki, K. Tamaki, and M. Koashi, "Experimental Quantum Key Distribution without Monitoring Signal Disturbance", *Nat. Photonics* **9**, 827-831 (2015).
-
- (86) H. Takesue, E. Diamanti, R. Thew, and Z. L. Yuan, "Introduction to the Issue on Quantum Communication and Cryptography", *IEEE J. Sel. Top. Quantum Electron.* **21**, 0200402 (2015).
-
- (87) M. Takiguchi, H. Taniyama, H. Sumikura, M. D. Birowosuto, E. Kuramochi, A. Shinya, T. Sato, K. Takeda, S. Matsuo, and M. Notomi, "Systematic Study of Thresholdless Oscillation in High-beta Buried Multiple-quantum-well Photonic Crystal Nanocavity Lasers", *Opt. Express* **24**, 3441-3450 (2016).
-
- (88) T. Tanaka, P. Knott, Y. Matsuzaki, S. Dooley, H. Yamaguchi, W. J. Munro, and S. Saito, "Proposed Robust Entanglement-based Magnetic Field Sensor Beyond the Standard Quantum Limit", *Phys. Rev. Lett.* **115**, 170801 (2015).
-
- (89) A. Tanaka, R. Tanaka, N. Kasai, S. Tsukada, T. Okajima, and K. Sumitomo, "Time-lapse Imaging of Morphological Changes in a Single Neuron During the Early Stages of Apoptosis Using Scanning Ion Conductance Microscopy", *J. Struct. Biol.* **191**, 32-38 (2015).
-
- (90) A. Tanaka, H. Nakashima, Y. Kashimura, and K. Sumitomo, "Electrostatically Induced Planar Lipid Membrane Formation on a Cationic Hydrogel Array by the Fusion of Small Negatively Charged Unilamellar Vesicles", *Colloid Surf. A-Physicochem. Eng. Asp.* **477**, 63-69 (2015).
-
- (91) H. Toida, Y. Matsuzaki, K. Kakuyanagi, X. Zhu, W. J. Munro, K. Nemoto, H. Yamaguchi, and S. Saito, "Electron Paramagnetic Resonance Spectroscopy Using a Direct Current-SQUID Magnetometer Directly Coupled to an Electron Spin Ensemble", *Appl. Phys. Lett.* **108**, 052601 (2016).
-
- (92) T. Uchida, M. Jo, A. Tsurumaki-Fukuchi, M. Arita, A. Fujiwara, and Y. Takahashi, "Fabrication and Evaluation of Series-triple Quantum Dots by Thermal Oxidation of Silicon Nanowire", *AIP Adv.* **5**, 117144 (2015).
-

-
- (93) Y. Ueno, K. Furukawa, A. Tin, and H. Hibino, "On-chip FRET Graphene Oxide Aptasensor: Quantitative Evaluation of Enhanced Sensitivity by Aptamer with a Double-stranded DNA Spacer", *Anal. Sci.* **31**, 875-879 (2015).
-
- (94) S. Wang, Y. Sekine, S. Suzuki, F. Maeda, and H. Hibino, "Photocurrent Generation of a Single-gate Graphene P-N Junction Fabricated by Interfacial Modification", *Nanotechnology* **26**, 385203 (2015).
-
- (95) K. Washio, R. Nakazawa, M. Hashisaka, K. Muraki, Y. Tokura, and T. Fujisawa, "Long-lived Binary Tunneling Spectrum in the Quantum Hall Tomonaga-Luttinger Liquid", *Phys. Rev. B* **93**, 075304 (2016).
-
- (96) K. Yamazaki and H. Yamaguchi, "Renovation of Three-dimensional Electron Beam Lithography for Improvement of Positioning Accuracy and Reduction of Turnaround Time", *Jpn. J. Appl. Phys.* **54**, 06FD02 (2015).
-
- (97) N. Zen, H. Shibata, Y. Mawatari, M. Koike, and M. Ohkubo, "Biomolecular Ion Detection Using High-temperature Superconducting MgB₂ Strips", *Appl. Phys. Lett.* **106**, 222601 (2015).
-
- (98) G. Zhang, C. Rainville, A. Salmon, M. Takiguchi, K. Tateno, and H. Gotoh, "Bridging the Gap between the Nanometer-scale Bottom-up and Micrometer-scale Top-down Approaches for Site-defined InP/InAs Nanowires", *ACS Nano* **9**, 10580-10589 (2015).
-

国際会議招待講演一覧

I. 機能物質科学研究部

- (1) H. Hibino, S. Wang, C. M. Orofeo, and S. Suzuki, "Synthesis and Functionalization of Two-Dimensional Materials: Graphene, Hexagonal Boron Nitride, and Transition Metal Dichalcogenides", The 22nd International Workshop on Active-Matrix Flatpanel Displays and Devices -TFT Technologies and FPD Materials- (AM-FPD '15), Kyoto, Japan (July 2015).
- (2) Y. Ueno and K. Furukawa, "On-Chip Graphene FRET Biosensor for Protein Detection", The Fifteenth International Symposium on Electroanalytical Chemistry (15th ISEAC), Changchun, China (Aug. 2015).
- (3) Y. Taniyasu, "Progress in AIN-Based Deep UV Emitters and Lasers", 2015 IEEE Photonics Conference (IPC), Reston, U.S.A. (Oct. 2015).
- (4) K. Furukawa, "Controlling Self-Spreading of Lipid Bilayer on Patterned Surface", Tethered Membrane 2015 Conference (TethMem 2015), Singapore, Singapore (Nov. 2015).
- (5) Y. Ueno, K. Furukawa, T. Teshima, M. Takamura, and H. Hibino, "Fabrication of Patterned Graphene Electrode by a Transfer Process Assisted by a Parylene Thin Film", The International Chemical Congress of Pacific Basin Societies 2015 (Pacifichem 2015), Honolulu, U.S.A. (Dec. 2015).
- (6) N. Kasai and K. Sumitomo, "Neuronal Guidance Using Nanopillars", 9th International Symposium on Nanomedicine (ISNM 2015), Tsu, Japan (Dec. 2015).
- (7) Y. Krockenberger, N. Breznay, N. Nair, H. Irie, R. McDonald, J. Analytis, and H. Yamamoto, "Snatching the Cuprates' Fermi Pockets", International USMM & CMSI Workshop: Frontiers of Materials and Correlated Electron Science-from Bulk to Thin Films and Interfaces, Tokyo, Japan (Jan. 2016).

II. 量子電子物性研究部

- (1) A. Fujiwara, "Silicon Single-Electron Devices for Ultimate Electronics", DC & Quantum Metrology Meeting, Bern, Switzerland (May 2015).
- (2) I. Mahboob and H. Yamaguchi, "An Electromechanical Van der Pol Resonator", 3rd International Conference on Phononic Crystals/Metamaterials, Phonon Transport and Phonon Coupling (Phononics 2015), Paris, France (May 2015).
- (3) K. Muraki, "Probing and Controlling Disorder Effects for the Studies of Fractional Quantum Hall effects", Quantum transport on 2D systems Session Workshop II (W2), Luchon, France (May 2015).
- (4) K. Nishiguchi, "What happens in a Small Transistor with Single-Electron Resolution?", The 5th International Symposium on Organic and Inorganic Electronic Materials and Related Nanotechnologies (EM-NANO 2015), Niigata, Japan (June 2015).
- (5) J. Noborisaka, K. Nishiguchi, and A. Fujiwara, "Gate Tuning of Direct Optical Transitions in Silicon", 2015 Asia-Pacific Workshop on Fundamentals and Applications of Advanced Semiconductor Devices, Jeju, Korea (June 2015).
- (6) N. Clement, G. Larrieu, K. Nishiguchi, and A. Fujiwara, "Ultra-Low Noise Nanoscale Transistors for Metrology of Noise, Energy Harvesting and Biosensing Applications", International Conference on Noise and Fluctuation (ICNF), Xi'an, China (June 2015).

-
- (7) D. Hatanaka, I. Mahboob, K. Onomitsu, and H. Yamaguchi, "Phononic Crystal Waveguides with Dynamic Control", 19th International Conference on Electron Dynamics in Semiconductors, Optoelectronics and Nanostructures (EDISON-19), Salamanca, Spain (June 2015).
-
- (8) A. Fujiwara, G. Yamahata, J. Noborisaka, and K. Nishiguchi, "Nanoscale Silicon MOSFET for Metrology and Valleytronics Applications", 2015 UK-Japan Si Nano2 Symposium, Southampton, U.K. (July 2015).
-
- (9) I. Mahboob, H. Okamoto, and H. Yamaguchi, "Correlated Phonon Pair Generation in an Electromechanical Resonator", 17th International Conference on Modulated Semiconductor Structures (MSS-17), Sendai, Japan (July 2015).
-
- (10) S. Foelsch, J. Martinez-Blanco, J. Yang, K. Kanisawa, and S. C. Erwin, "Quantum Dots with Single-Atom Precision", 17th International Conference on Modulated Semiconductor Structures (MSS-17), Sendai, Japan (July 2015).
-
- (11) Y. Matsuzaki, "Quantum Sensing Basics", Diamond Quantum Sensing Workshop 2015, Takamatsu, Japan (Aug. 2015).
-
- (12) H. Yamaguchi, D. Hatanaka, I. Mahboob, and H. Okamoto, "III-V Semiconductor Micro/Nanomechanical Resonators", 5th International Workshop on Epitaxial Growth and Fundamental Properties of Semiconductor Nanostructures (SemiconNano 2015), Hsinchu, Taiwan (Sep. 2015).
-
- (13) A. Fujiwara, G. Yamahata, and K. Nishiguchi, "Gigahertz Single-Electron Pump Towards a Representation of the New Ampere", 2015 International Conference on Solid State Devices and Materials, Sapporo, Japan (Sep. 2015).
-
- (14) I. Mahboob and H. Yamaguchi, "Phonon Dynamics in Electromechanical Resonators", 2015 IEEE International Ultrasonics Symposium (2015 IUS), Taipei, Taiwan (Oct. 2015).
-
- (15) H. Yamaguchi, D. Hatanaka, I. Mahboob, and H. Okamoto, "Phonon Confinement, Transport, and Piezoelectric Manipulation in Semiconductor Micromechanical Structures", Material Research Society (MRS) 2015 Fall meeting, Boston, U.S.A. (Nov. 2015).
-
- (16) K. Muraki, T. D. Rhone, K. Yonaga, and N. Shibata, "NMR Probing of Charge-Density-Wave States in the Third Landau Level", International Workshop on Emergent Phenomena in Quantum Hall Systems, Mumbai, India (Jan. 2016).
-
- (17) H. Yamaguchi, "Mechanical Systems Hybridized with Semiconductor Quantum Structures", Gordon Research Conference (GRC) - Mechanical Systems in the Quantum Regime -, Ventura, U.S.A. (Mar. 2016).
-

Ⅲ. 量子光物性研究部

-
- (1) W. J. Munro and K. Nemoto, "Quantum Repeaters: From the First Generation to the Third?", 1st Workshop on Quantum Repeaters and Quantum Networks, Pacific Grove, U.S.A. (May 2015).
-
- (2) K. Oguri, H. Mashiko, T. Yamaguchi, K. Kato, A. Suda, and H. Gotoh "Dynamical Core-Level Spectroscopy Based on Attosecond High-Order Harmonic Pulse Sources", The 6th Shanghai-Tokyo Advanced Research Symposium on Ultrafast Intense Laser Science(STAR6), Hangzhou, China (May 2015).
-
- (3) H. Takesue, T. Inagaki, K. Inoue, and Y. Yamamoto, "Time-Division-Multiplexed Degenerate Optical Parametric Oscillator for Coherent Ising machine", IEEE Photonics Society Summer Topical Meeting on Nonlinear-Optical Signal Processing (NOSP), Nassau, Bahamas (July 2015).
-

-
- (4) K. Oguri, T. Tsunoi, K. Kato, H. Nakano, T. Nishikawa, K. Tateno, T. Sogawa, and H. Gotoh, "High-Order Harmonic Source Based Femtosecond Core-Levelphotoelectron Spectroscopy for Carrier Transport Dynamics on Semiconductor Surface", The International Conference on Advanced Laser Technologies (ALT 15), Faro, Portugal (Sep. 2015).
-
- (5) H. Sanada, Y. Kunihashi, H. Gotoh, K. Onomitsu, M. Kohda, J. Nitta, and T. Sogawa, "Transport of Electron Spin Coherence in Persistent Spin Helix Condition", 12th Sweden-Japan QNANO Workshop, Hindas, Sweden (Sep. 2015).
-
- (6) K. Azuma, "All-Photonic Quantum Internet", Physical Science Symposium-2015-Boston, Boston, U.S.A. (Sep. 2015).
-
- (7) K. Tamaki, "Security of Quantum Key Distribution with Imperfect Light Sources", Physical Science Symposium-2015-Boston, Boston, U.S.A. (Sep. 2015).
-
- (8) K. Tamaki, "Security of Quantum Key Distribution with Imperfect Light Sources", 3rd the European Telecommunications Standards Institute/Institute for Quantum Computing Workshop on Quantum-Safe Cryptography (ETSI/IQC), Seoul, Korea (Oct. 2015).
-
- (9) Y. Kunihashi, H. Sanada, H. Gotoh, K. Onomitsu, and T. Sogawa, "Electrical Control of Drifting Spin Coherence", International Workshop : Quantum Nanostructures and Electron-Nuclear Spin Interactions, Sendai, Japan (Oct. 2015).
-
- (10) H. Mashiko, K. Oguri, T. Yamaguchi, A. Suda, and H. Gotoh, "Characterizing Ultrafast Dipole Dynamics with Isolated Attosecond Pulse", Sino-German Symposium on Attosecond Photonics 2015 (SGSAP-2015), Shanghai, China (Nov. 2015).
-
- (11) H. Takesue, "Towards Large Scale Coherent Ising Machine", US-Japan Workshop; New-Generation Computers: Quantum Annealing and Coherent Computing, Stanford, U.S.A. (Dec. 2015).
-
- (12) W. J. Munro, Y. Matsuzaki, K. Kakuyanagi, K. Nemoto, and S. Saito, "Hybridization, a Nice Tool for Quantum Engineering", ARC Centre of Excellence for Engineered Quantum Systems Annual Workshop 2015 (EQuS), Benowa QLD, Australia (Dec. 2015).
-
- (13) W. J. Munro, Y. Matsuzaki, S. Dooley, E. Yukawa, K. Kakuyanagi, H. Toida, K. Semba, H. Yamaguchi, K. Nemoto, and S. Saito, "Quantum Engineering Using Hybridization: When $1+1 > 2$ ", RIKEN Center for Emergent Matter Science International Symposium on Dynamics in Artificial Quantum Systems (DAQS 2016), Tokyo, Japan (Jan. 2016).
-
- (14) W. J. Munro, K. Azuma and K. Nemoto, "Towards Quantum Networking for QKD", UK-Japan Quantum Technology Workshop, Tokyo, Japan (Mar. 2016).
-
- (15) N. Matsuda, "Spectral Engineering of Single Photon Wave Packets Using Cross Phase Modulation", Spectral and Spatial Engineering of Quantum Light (SSEQL), Warsaw, Poland (Mar. 2016).
-

IV. ナノフォトニクスセンタ

-
- (1) E. Kuramochi and M. Notomi, "All-Optical Memories on a Photonic Crystal Chip", SPIE Optics + Optoelectronics 2015, Praha, Czech (Apr. 2015).
-
- (2) M. Notomi, A. Yokoo, M. D. Birowosuto, M. Takiguchi, K. Tateno, G. Zhang, and E. Kuramochi, "Hybrid Nanophotonics Systems Combined with Functional Nanomaterials", The 20th Opto Electronics and Communications Conference (OECC), Shanghai, China (June 2015).
-

-
- (3) S. Matsuo, K. Takeda, T. Fujii, and T. Satou, "Photonic Crystal Lasers on Si ", The European Conference on Lasers and Electro-Optics (CLEO 2015), Munchen, Germany (June 2015).
-
- (4) S. Matsuo, T. Fujii, and K. Takeda, "Low-Operating-Energy Membrane-Buried Heterostructure Lasers on SiO₂/Si Substrate", The 20th Opto Electronics and Communications Conference (OECC), Shanghai, China (June 2015).
-
- (5) A. Shinya and M. Notomi, "Nanophotonics Technology Toward Optical Logic Circuits", 15th International Forum on MPSoC for Software-defined Hardware, Ventura, U.S.A. (July 2015).
-
- (6) M. Notomi, A. Yokoo, M. D. Birowosuto, M. Takiguchi, K. Tateno, G. Zhang, and E. Kuramochi, "III-V Nanowire-Induced Nanocavity in Si Photonic Crystals", 17th International Conference on Modulated Semiconductor Structures (MSS-17), Sendai, Japan (July 2015).
-
- (7) S. Matsuo, T. Fujii, K. Takeda, H. Nishi, K. Hasebe, and T. Kakitsuka, "On-Silicon Integration of Compact and Energy-Efficient DFB Laser with 40-Gbit/s Direct Modulation", 2015 IEEE International Conference on Group IV Photonics (IEEE), Vancouver, Canada (Aug. 2015).
-
- (8) M. Notomi, "Ultralow-Power Integrated Photonic Crystal Devices", European Conference on Optical Communication (ECOC), Valencia, Spain (Sep. 2015).
-
- (9) S. Matsuo, T. Fujii, and K. Takeda, "Directly Modulated Membrane Lasers on Si ", The 76th JSAP Autumn Meeting, 2015, Nagoya, Japan (Sep. 2015).
-
- (10) A. Yokoo, "Nano-Fabrication for Photonic Crystal Functional Device - a Route for Functional Photonic Integration -", International Symposium on Frontier Applied Physics 2015, Bandung, Indonesia (Oct. 2015).
-
- (11) K. Nozaki, S. Matsuo, T. Fujii, K. Takeda, E. Kuramochi, and M. Notomi, "Photonic Crystal Photodetector-Modulator Integration for Ultra-Compact Wavelength Converter", 2015 IEEE Photonics Conference (IPC), Reston, U.S.A. (Oct. 2015).
-
- (12) M. Notomi, A. Yokoo, M. D. Birowosuto, M. Takiguchi, M. Ono, K. Tateno, G. Zhang, and E. Kuramochi, "Hybrid Nanophotonics Systems Based on Sub-Wavelength Nanowires", NANOWIRES 2015, Barcelona, Spain (Oct. 2015).
-
- (13) K. Takeda, T. Fujii, A. Shinya, E. Kuramochi, M. Notomi, K. Hasebe, T. Kakitsuka, and S. Matsuo, "Photonic-Crystal Lasers on Silicon for Chip-Scale Optical Interconnects", SPIE Photonics West 2015, San Francisco, U.S.A. (Feb. 2016).
-
- (14) A. Shinya, K. Nozaki, E. Kuramochi, K. Takeda, T. Kakitsuka, H. Taniyama, T. Fujii, K. Hasebe, S. Matsuo, and M. Notomi, "Integrated Nanophotonics for fJ/Bit on-Chip Optical Communications", Design, Automation and Test in Europe (DATE), Dresden, Germany (Mar. 2016).
-
- (15) M. Notomi, "Enhanced Light-Matter Coupling in Nanoemitters and Nanolasers in Nanophotonic Systems", Physics of Light-Matter Coupling in Nanostructures (PLMCN 17), Nara, Japan (Mar. 2016).
-
- (16) S. Matsuo, "Ultra-Low Threshold Semiconductor Lasers", Optical Fiber Communication Conference and Exhibition 2015 (OFC), Anaheim, U.S.A. (Mar. 2016).
-

編集 “NTT 物性科学基礎研究所の研究活動” 編集委員会

発行 日本電信電話株式会社
NTT 物性科学基礎研究所
〒 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/