

NTT物性科学 基礎研究所の 研究活動

Research Activities in NTT Basic Research Laboratories

平成28(2016)年度

VOL.

27

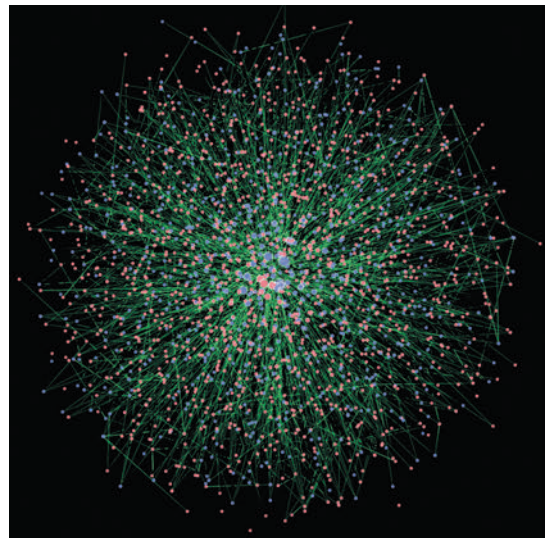
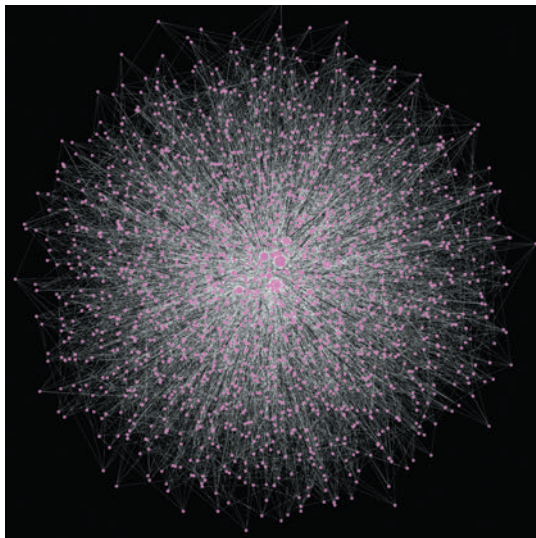


日本電信電話株式会社 NTT物性科学基礎研究所

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

表紙：組合せ最適化問題を解くコヒーレントイジングマシン

難解な組合せ最適化問題を高速に解くための手法として、物理系に実装されたイジングモデルの最低エネルギー状態探索を介して組合せ最適化問題の解を求めるイジングマシンの研究が行われている。今回、2048個の縮退光パラメトリック発振器のネットワークを用いて、大規模なイジングモデルを模擬するコヒーレントイジングマシンが実現し、2000頂点の複雑なグラフ構造での組合せ最適化問題に対して高精度な近似解を高速に求めることに成功した。(40ページ)



(左) スケールフリー型のグラフ問題 (G39) の構造。2000 頂点の間に合計 11778 本の辺が張られている。
(右) コヒーレントイジングマシンで得られた MAX-CUT 問題 (グラフ G39) の近似解。MAX-CUT 問題では、赤色と青色の頂点間にまたがる緑色の辺の総数が最大になるように、各頂点の色を塗り分ける。コヒーレントイジングマシンでは、赤色と青色の頂点がそれぞれイジングモデルにおける上向きと下向きのスピン状態に対応している。

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。また、研究所の一般公開である『サイエンスプラザ』、若手研究者育成のための『BRLスクール』、そして国際シンポジウム『ISNTT』などのイベントも定期的に開催しております。

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。

2017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	
組合せ最適化問題を解くコヒーレントイジングマシン	
◆ 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	20
-------------	----

機能物質科学研究部の研究紹介

◆ 流量変調エピタキシンによる無極性 m 面 AlN ホモエピタキシャル層の表面形態制御	22
◆ 基板転写技術による AlGaIn/GaN 高電子移動度トランジスタの放熱性の向上	23
◆ 自然酸化膜つき銅表面上でのミリメートルスケール単結晶グラフェンの 大気圧 CVD 合成	24
◆ カーボンナノチューブ偏光スイッチの理論	25
◆ シュブニコフ・ド・ハース量子振動が明らかにした $\text{Pr}_{1.86}\text{Ce}_{0.14}\text{CuO}_{4\pm\delta}$ 超伝導薄膜のフェルミ面の再構成	26
◆ 導電性シルクフィルム電極を用いた接着性細胞の操作と電気刺激	27
◆ 脂質二分子膜形成を促進するハイドロゲルアレイ基板の構築	28
◆ グラフェン表面に構築したバイオインターフェースを用いたタンパク質検出	29

量子電子物性研究部の研究紹介

◆ 世界最高精度をもつギガヘルツ高速単電子転送	30
◆ 多層グラフェン/ SiO_2/Si ヘテロ構造で構成された平面型電子放出素子	31
◆ 超伝導磁束量子ビットを用いた巨視的実在性問題の実験的検証	32
◆ 4300 個の超伝導量子ビットと超伝導共振器のコヒーレントな結合	33
◆ フォノンによるイジングモデルのシミュレーション	34
◆ 強く結合した Λ 型マイクロメカニカルシステム	35
◆ 歪みヘテロ構造による量子スピンホール絶縁体のバンドエンジニアリング	36
◆ 超伝導体を近接させたバリステック 2 次元電子系における準粒子のコヒーレント伝導	37
◆ 電解質ゲートに起因する不純物散乱のグラフェン伝導による評価	38

量子光物性研究部の研究紹介

◆ 光格子中のボース粒子に対する分光解析	39
◆ 組合せ最適化問題を解くコヒーレントイジングマシン	40
◆ 高次元 Time-bin 量子状態のトモグラフィ	41
◆ 量子インターネットの基本的な伝送速度-伝送損失トレードオフ	42
◆ マイクロ波フォトニクスにおけるスペクトルホールバーニングを用いたハイブリッド量子力学	43
◆ 電気光学変調器ベース光周波数コムを用いた低雑音ミリ波発生	44
◆ アト秒時間で振動する GaN 半導体電子系のペタヘルツ光学動作	45
◆ 自己形成法を用いた、ナノメートル領域のボトムアップ法とマイクロメートル領域のトップダウン法との架橋技術の構築	46

ナノフォトニクスセンタの研究紹介

◆ ディープサブ波長プラズモニク導波路への高効率モード変換の実現	47
◆ サブ波長ナノワイヤ誘起シリコンフォトニック結晶レーザ	48
◆ 低容量ナノ受光器による高効率な光-電圧変換	49
◆ シリコンプラットフォーム上の超伝導単一光子検出器	50
◆ シリコン細線上に集積した LEAP レーザ	51

Ⅱ 資料

◇ 第9回アドバイザリボード	54
◇ サイエンスプラザ 2016	55
◇ 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	63
◇ 国際会議発表件数と主な発表先	64
◇ 特許出願件数	64
◇ 学術論文出版一覧	65
◇ 国際会議招待講演一覧	72

組織図

2017年3月31日付



所員一覧

2017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 主席研究員	後藤秀樹
総括担当 主幹研究員	谷保芳孝
研推担当 主幹研究員	西口克彦
研推担当 主幹研究員	齊藤志郎*
研推担当 主任研究員	熊田倫雄

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

機能物質科学研究部



部長 山本秀樹
補佐 上野祐子
佐藤寿志

薄膜材料研究グループ

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

低次元構造研究グループ

グループリーダー 熊倉一英
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
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
塚田信吾 上野祐子
河西奈保子 檜村吉晃
田中あや 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
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
田中弘隆 登坂仁一郎
山端元音 知田健作
大杉廉人 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
齊藤志郎 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
Budoyo, Rangga

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
鈴木恭一 太田 剛
高瀬恵子 入江 宏
秋保貴史 Couedo, Francois *
Tu, Ngoc Han

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 田村浩之
本庄利守 稲葉謙介
森越文明 松田信幸
稲垣卓弘 生田拓也
Lo, Hsin-Pin

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
Furrer, Fabian* Bäuml, Stefan
Zhang, Yanbao

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 赤塚友哉
日達研一 今井弘光
国橋要司 田中祐輔

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
野崎謙悟 谷山秀昭
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	福田 浩
土澤 泰	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年度井上学術賞、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。



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28年より上席特別研究員。平成18年より国立情報学研究所、平成21年よりリード大学（イギリス）、平成24年より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。

特別研究員



熊田 倫雄

平成10年東北大学理学部物理学学科卒業。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、2次元系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、IEEE会員。



齊藤 志郎

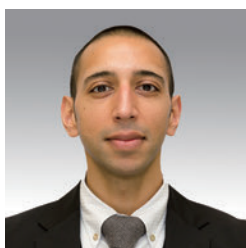
平成7年東京大学工学部物理工学科卒業。平成12年同大学院工学系研究科物理工学専攻博士課程修了。同年、日本電信電話株式会社NTT物性科学基礎研究所、リサーチアソシエイト。平成15年、同社入社、超伝導量子物理研究グループ勤務。入社以来、超伝導を用いた量子情報処理を目指し、超伝導磁束量子ビットの研究に従事。平成24年より特別研究員。平成17～18年デルフト工科大学(オランダ)客員研究員。平成24年5月より東京理科大学客員准教授。現在、量子電子物性研究部、複合ナノ構造物理研究グループ主幹研究員。平成16年応用物理学会講演奨励賞を受賞。日本物理学会、応用物理学会会員。



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、電気機械共振器の非線形ダイナミクスの研究に従事し、

メカニカルメモリや論理演算、パラメトリック周波数変換やモード結合、全機械的フォノンレージングやフォノンの2モードスクイーミングなど、さまざまな新技術の実証に世界で初めて成功している。平成29年以降は、量子技術への応用を目指したマイクロ波量子光学の研究に着手している。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、平成28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。



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。現在、窒化物半導体や2次元層状物質を用いた高効率エネルギー変換素子に関する研究に従事。平成27年より特別研究員。平成19～20年ポールドルード研究所（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、低次元構造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。

**野崎 謙悟**

平成19年横浜国立大学大学院工学府物理情報工学専攻博士後期課程修了。
平成20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。
平成24年よりナノフォトニクスセンタ兼務。入社以来、フォトニック結晶による
低消費電力光半導体デバイスに関する研究に従事。平成28年より特別研究員。
現在、量子光物性研究部、フォトニックナノ構造研究グループ主任研究員。平

成24年 Photonics in Switching 2012 Best Paper Award、平成26年電子情報通信学会レーザ量子エレクトロニクス研究会奨励賞、平成28年 OECC/PS 2016 Best Paper Awardの各賞を受賞。応用物理学会会員。

アドバイザーボード

氏名	所属
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
Andrew Browning	The University of British Columbia, Canada	2015.5 ~ 2016.4
Jun Ki Kim	Georgia Institute of Technology, U.S.A.	2015.9 ~ 2016.4
Isabel Gonzalvez	University of Edinburgh, U.K.	2015.9 ~ 2016.8
Monika Schied	Ulm University, Germany	2016.1 ~ 2016.8
Veronika Zagar	University of Ljubljana, Slovenia	2016.1 ~ 2016.8
Carla Garcia	Carlos III University of Madrid, Spain	2016.1 ~ 2016.8
Giacomo Mariani	Politecnico di Milano, Italy	2016.1 ~ 2016.8
Dominika Gnatek	Jagiellonian University, Poland	2016.1 ~ 2016.8
Javier Cambiasso	Imperial College London, U.K.	2016.1 ~ 2016.4
Paul Brasseur	Ecole Centrale de Paris, France	2016.5 ~ 2016.11
Caleb John	University of Calgary, Canada	2016.5 ~
Alice Dearle	University of Edinburgh, U.K.	2016.7 ~
Calum Henderson	University of Edinburgh, U.K.	2016.7 ~
Harry Parke	University of Bath, U.K.	2016.7 ~ 2016.12
Romain Monsarrat	ESPCI Paris Tech (École supérieure de physique et de chimie industrielles de la ville de Paris), France	2016.7 ~ 2016.12
Ruben Ohana	ESPCI Paris Tech (École supérieure de physique et de chimie industrielles de la ville de Paris), France	2016.7 ~ 2016.12
Vincent Vinel	ESPCI Paris Tech (École supérieure de physique et de chimie industrielles de la ville de Paris), France	2016.7 ~ 2016.12
Alexandre Gourmelon	ESPCI Paris Tech (École supérieure de physique et de chimie industrielles de la ville de Paris), France	2016.7 ~ 2016.12

Paul Renault	ESPCI Paris Tech (École supérieure de physique et de chimie industrielles de la ville de Paris), France	2016.7 ~ 2016.12
Elizabeth Brockman	University of Victoria, Canada	2016.9 ~
Luca Rigovacca	Imperial College London, U.K.	2016.9 ~ 2016.11
David Wood	Imperial College London, U.K.	2016.9 ~ 2016.11
Dino Ibrahimagic	Lund University, Sweden	2017.1 ~
Fabian Böhm	Technische Universität Berlin, Germany	2017.1 ~
Mark IJspeert	Delft University of Technology, The Netherlands	2017.1 ~
Tiffany Tsu	University of British Columbia, Canada	2017.1 ~
Thuong Phan	Georgia Institute of Technology, U.S.A.	2017.1 ~
Tommy Boykin II	University of Central Florida, U.S.A.	2017.1 ~
Anthony Hayes	University of Leeds, U.K.	2017.2 ~

国内実習生

氏名	所属	期間
堀尾真史	東京大学	2016.4.1 ~ 2017.3.31
生頼拓也	東京理科大学	2016.4.1 ~ 2017.3.31
黒子めぐみ	東北大学	2016.4.1 ~ 2017.3.31
中村絃人	電気通信大学	2016.4.1 ~ 2017.3.31
原 一鳳	東京電機大学	2016.4.1 ~ 2017.3.31
谷口 豪	東京電機大学	2016.4.1 ~ 2017.3.31
長谷川祐哉	東京電機大学	2016.4.1 ~ 2017.3.31
千葉 永	東京工業大学	2016.4.1 ~ 2017.3.31
畑 雅則	東京工業大学	2016.4.1 ~ 2017.3.31
遠藤 傑	慶應義塾大学	2016.4.15 ~ 2017.3.31
増田裕行	横浜国立大学	2016.4.25 ~ 2017.3.31
千菅雄太	横浜国立大学	2016.4.25 ~ 2017.3.31
池町拓也	東京大学	2016.6.1 ~ 2017.3.31
中川原圭太	東北大学	2016.7.4 ~ 2016.9.30
林 寛	京都大学	2016.8.1 ~ 2016.8.26
富田 航	東北大学	2016.8.1 ~ 2017.3.31
浅井里奈	九州大学	2016.8.3 ~ 2016.9.2
谷口嘉昭	徳島大学	2016.8.4 ~ 2016.9.1
伊藤友樹	東北大学	2016.8.15 ~ 2016.9.9
小川達也	弘前大学	2016.9.12 ~ 2017.1.31
齋藤隆仁	東北大学	2016.9.19 ~ 2016.11.25
鈴木義史	東北工業大学	2016.10.14 ~ 2017.3.15
七尾美子	東京農工大学	2016.11.1 ~ 2017.3.31
今井健太	豊橋技術科学大学	2017.1.10 ~ 2017.2.23
當銘賢人	東京理科大学	2017.2.1 ~ 2017.3.31
高橋 陸	北海道大学	2017.2.20 ~ 2017.2.27
養田大騎	東京工業大学	2017.2.24 ~ 2017.3.31



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2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、理論的なアプローチも取り入れて最先端の研究を推進しています。

この1年では、特性の良い深紫外発光素子作製の基礎技術となる無極性面AlNヘテロエピタキシャル層の表面形態の制御、面内で数ミリメートルのサイズを持つグラフェン単結晶の作製、高温超伝導体薄膜では初の量子振動の観測などを実現しました。また、導電性を有し、生体適合性が高いシルクゲル薄膜を創製し、その上で細胞のマニピュレーションや細胞への電気刺激を行う新たな手法を開拓しました。さらに、東レグループとの協業により、機能素材hitoe[®]を用いた電極・リード線の一般医療機器登録を達成し、医療分野での実用化へ歩みを進めました。

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、そして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、シリコンナノトランジスタを用いた世界最高精度を持つギガヘルツ高速単電子転送、超伝導磁束量子ビットを用いた巨視的非実在性問題の実験的検証に成功しました。また、電気機械共振器の擬イジング結合、超伝導量子ビット集団と超伝導共振器のコヒーレント結合など新しい機能につながる結合物理系の探索を進めるとともに、二次元トポロジカル絶縁体の特性向上へ向けた歪みヘテロ構造の最適化、グラフェンを用いた電子エミッタや液体ゲートトランジスタの動作など新規材料の研究で進展がありました。

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行われています。

この1年で、量子コンピュータに関する成果として、光ファイバと位相感応増幅器で構成したレーザ共振器を用いた新しい計算技術を実現させました。これは、量子ニューラルネットワークと呼ばれ、Max-cutという組合せ問題の解を探索し、従来の計算機より50倍以上の高速化を確認しました。また、アト秒領域の光技術を用いて、半導体中では最も高速の1 PHz以上の電子振動の観測に成功しました。この他に、高精度光コム技術をマイクロ波発生装置に応用することによって、市販のマイクロ波の雑音抑制が可能であることを示しました。

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、様々な機能を持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及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、抵抗を集積した超低キャパシタンスのナノ光受光器を用いて超高効率の光電変換を実証しました。また、深サブ波長プラズモニクス導波路に有効に光を導くモード変換器の実現、ナノワイヤシリコンフォトニック結晶レーザの高速変調動作に成功しました。さらに、シリコン導波路に結合した超伝導単一光子検出器、シリコン導波路に結合したフォトニック結晶レーザを実現することにも成功しました。

流量変調エピタキシによる無極性 m 面 AlN ホモエピタキシャル層の表面形態制御

西中淳一 谷保芳孝 赤坂哲也 熊倉一英
機能物質科学研究部

深紫外発光デバイスの材料として注目されているAlGa N は、無極性面上に成長することで、従来の極性面上と比較して内部量子効率や光取り出し効率を向上させることができる[1]。近年では高品質の m 面AlNバルク基板を利用できるようになったが、その基板上に平坦なAlNホモエピタキシャル層を成長するためには、通常より高温で付着原子のマイグレーションを促進する必要がある[2]。一方、流量変調エピタキシ(FME)は原料の供給量を変調することでマイグレーションを促進する手法である[3]。本研究では m 面AlNのホモエピタキシャル成長においてFMEが表面形態に与える効果を調べた。

有機金属気相成長法により m 面AlNバルク基板上にホモエピタキシャル成長を行った。原料にはトリメチルアルミニウム(TMA)とアンモニア(NH_3)を用い、供給方法は連続供給、TMA間欠供給(III-FME)、 NH_3 間欠供給(V-FME)、交互供給(A-FME)の4通りとした。

例として、連続供給、V-FME、A-FMEで成長した m 面AlNホモエピタキシャル層の原子間力顕微鏡像を図1に示す。原料の流量は同一であるが、供給シーケンスによって1サイクルの平均V/III比が異なる。平均V/III比が大きいほど a ステップが現れやすく[図1(a)]、平均V/III比が小さいほど $+c$ ステップが現れやすい傾向にあった[図1(c)]。この違いはステップ端における未結合手の異方性に起因すると考えられる。適切な条件を選ぶことで図1(b)のようにきわめて平坦な表面を得られた。また、同一の平均V/III比で比較すると、V-FMEやA-FMEでは $+c$ ステップがバンチングしやすいことから、 NH_3 を間欠供給することで付着原子のマイグレーションが促進されることが示唆された。このように、原料供給方法や平均V/III比の違いによって表面形態を制御できることがわかった。

本研究の一部はJSPS科研費JP25246022の助成を受けたものである。

[1] R. Banal et al., Appl. Phys. Lett. **105**, 053104 (2014).

[2] I. Bryan et al., J. Appl. Phys. **116**, 133517 (2014).

[3] T. Akasaka et al., Appl. Phys. Lett. **90**, 121919 (2007).

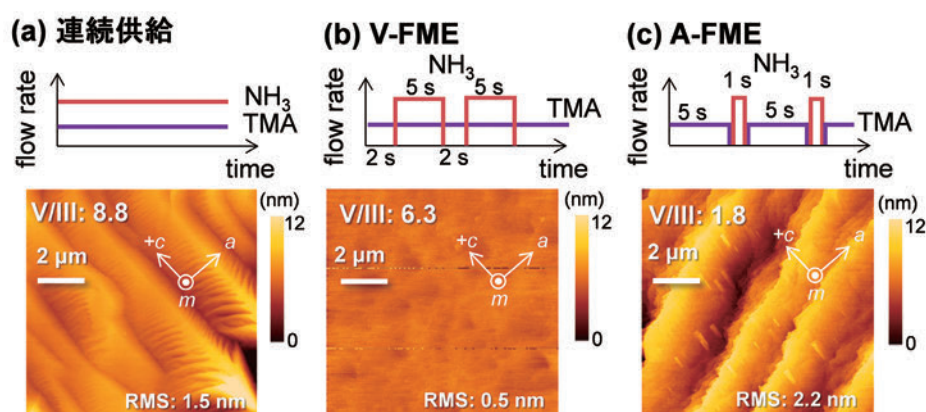


図1 原料の供給シーケンスと m 面AlNホモエピタキシャル層のAFM像。(a) 連続供給 (平均V/III比: 8.8)、(b) V-FME (平均V/III比: 6.3)、(c) A-FME (平均V/III比: 1.8)。

基板転写技術による AlGaIn/GaN 高電子移動度トランジスタの放熱性の向上

廣木正伸 熊倉一英 山本秀樹

機能物質科学研究部

窒化物半導体材料は、その高い絶縁破壊電界から高出力デバイスとしての応用が期待されている。しかし、大電流動作時には発熱によって出力が低下する、いわゆる自己発熱効果が生じる。そのため、高い動作出力を得るためには放熱特性を向上させる必要がある。我々は、六方晶窒化ホウ素(h-BN)を用いた窒化物半導体薄膜のエピタキシャルリフトオフ技術[1]を用いて、AlGaIn/GaN 高電子移動度トランジスタ(HEMT)を高放熱性基板に転写することでデバイスの温度上昇を抑制した[2]。今回、Au-Au 熱圧着により転写することで、AlGaIn/GaN HEMTの動作電流の大幅な増加と放熱性の向上を確認した[3]。

図1に、基板から剥離前および銅板へ転写後のAlGaIn/GaN HEMTの I - V 特性を示す。剥離前のデバイスでは、顕著な負性抵抗、すなわちドレイン電圧の増加に伴うドレイン電流の減少がみられる。一方、転写後のHEMTにおいては、このような電流減少が抑えられている。さらに、転写後において最大ドレイン電流が0.72 から0.91 A/mmへと大幅に増加し、最大相互コンダクタンスも110から140 mS/mmへと増加した。これは、転写後において2次元電子ガス濃度が増加したことを示している。ラマン分光測定において、転写前後でGaNの E_2 のピークが約 -1.3 cm^{-1} シフトすることがわかった。サファイア基板からの剥離により内部圧縮応力が減少することを示している。この応力減少で2次元電子ガス濃度が上昇したと考えられる。

図2に、顕微ラマン分光によるデバイス動作中のHEMTのチャネル中の温度分布を示す。転写後のHEMTでは出力を0.3から1.5 Wに増加した場合、チャネル温度は50から150℃へと上昇した。一方、転写前においては、出力0.7 Wで240℃まで温度が上昇した。これらの結果は、h-BNを用いたエピタキシャルリフトオフ・転写技術が、窒化物半導体デバイスの放熱性改善および出力特性の向上に有効であることを示している。

[1] Y. Kobayashi et al., Nature **483**, 223 (2012).

[2] M. Hiroki et al., Appl. Phys. Lett. **105**, 193509 (2014).

[3] M. Hiroki et al., Jpn. J. Appl. Phys. **55**, 05FH07 (2016).

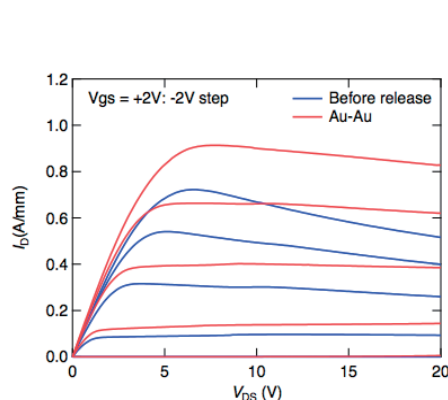


図1 剥離前および転写後の AlGaIn/GaN HEMTの I - V 特性

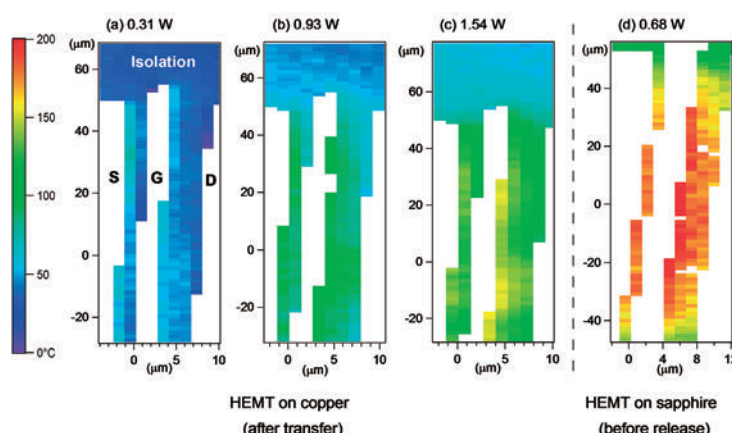


図2 AlGaIn/GaN HEMTのデバイス動作時の温度分布

自然酸化膜つき銅表面上でのミリメートルスケール単結晶グラフェンの 大気圧 CVD 合成

Shengnan Wang 日比野浩樹 鈴木 哲 山本秀樹
機能物質科学研究部

ボトムアップ手法で形成されたグラフェン膜は形成過程で導入された様々な種類の構造欠陥を常に含まれている。たとえば、化学気相成長法 (CVD) で合成された 1 mm^2 のグラフェンには一般に数千の単結晶ドメインとセンチメートル長のドメイン境界が含まれている[1]。格子欠陥とともに、これらのドメイン境界はグラフェンの電気的および機械的特性を劣化させる要素と考えられている。このためドメイン境界が無い大面積単結晶グラフェンの合成は、ナノエレクトロニクスやその関連分野における応用にとって非常に重要である。

今回我々は、簡便な大気圧 CVD 法により市販の銅箔上に数ミリメートルスケールの単結晶グラフェンを合成することに成功した[2]。成長前に水素を流さず銅箔をアニールすることにより、銅表面の自然酸化膜を保持したまま表面を平坦化した。酸化膜により銅箔表面の触媒作用が抑えられ、グラフェン成長の核形成密度を小さくすることができる。アニール時間の最適化により核形成密度 12 cm^{-2} を達成することができた。また、銅箔を担持体の上に保持したとき、銅箔の表面（解放されている面）と裏面（担持体と接する面）で異なるグラフェンの成長が観測された。表面と裏面の化学反応ダイナミクスの相違により、図1に示すように裏面でより大きなグラフェン島が形成された。研磨した石英板上に保持された銅箔の裏面で、約 3 mm 大のグラフェン島が約 $25\text{ }\mu\text{m}/\text{min}$ の成長速度で形成された。これらの六角形の単層グラフェン単結晶ドメインから室温で約 $4900\text{ cm}^2/\text{Vs}$ の電界効果移動度が観測された。

[1] S. Wang et al., *Nanoscale* **6**, 13838 (2014).

[2] S. Wang et al., *Chem. Mater.* **28**, 4893 (2016).

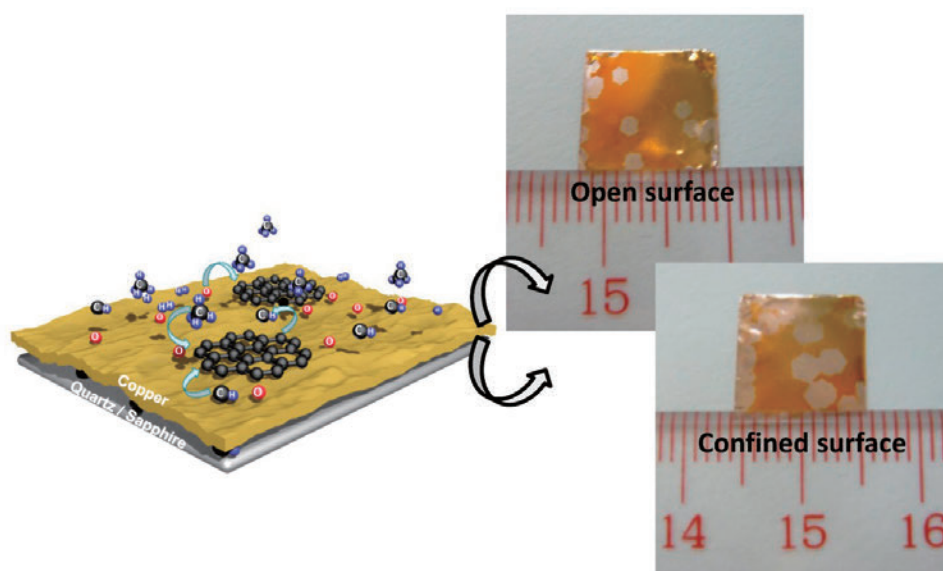


図1 (左) 担持体に置かれた銅箔上の単結晶グラフェン成長の模式図。(右) 表面と裏面の顕微鏡像。グラフェンを可視化するため、グラフェンのない部分を酸化して着色している。

カーボンナノチューブ偏光スイッチの理論

佐々木健一

機能物質科学研究部

光の偏光は、物質の表面における光の反射や透過に見られる多様性の起源として極めてなじみの深いものである。一方、偏光は質量ゼロのゲージ粒子（フォトン）が内包する深遠なスピン（ヘリシティ）の自由度であり、自然法則に関する多くの新しい知見が偏光を用いて獲得されてきた[1]。そこで、もし偏光の2自由度を電氣的に切り替える偏光スイッチがあれば有益である。

我々は、カーボンナノチューブ(CNT)が透過する偏光方向が電荷ドーピングによって変わるという新奇な現象を予測した[2]。CNTは、軸に並行な偏光を吸収するが、垂直偏光は透過する[図1(左)]。これは、ドーピングしていないCNTの良く知られた性質であり、配向したCNTがポラロイド偏光子として機能することを可能にしている[3]。CNTを電荷ドーピングすると、この偏光依存性が反転する。すなわちドーピングしたCNTは平行偏光を透過し、垂直偏光を吸収ようになる[図1(右)]。通常、偏光子の透過する偏光方向を変えるには偏光子そのものを回転する必要があるが、このドーピング依存性の理論によれば、空間的な回転をとまなうことなく、CNT偏光子は透過偏光が90度反転する、すなわち電氣的な偏光スイッチとして機能すると期待できる。

最先端の光伝送技術において、偏光2自由度は、伝える情報量を倍増するために活用されている。直交する偏光に、映像や音声のように異なる情報を転写して伝搬させる。CNTの偏光スイッチは、極めて小さくて薄いポラロイドフィルタのように、光伝送用に高度に微細化された構造の中での情報操作に活用できるだろう。

- [1] B. H. Billings, Ed., Selected Papers on Applications of Polarized Light (2012); W. K. Wootters and W. H. Zurek, Nature **299**, 802 (1982).
[2] K. Sasaki, S. Murakami, and H. Yamamoto, Appl. Phys. Lett. **93**, 125402 (2016).
[3] S. Shoji et al., Phys. Rev. B **77**, 153407 (2008).

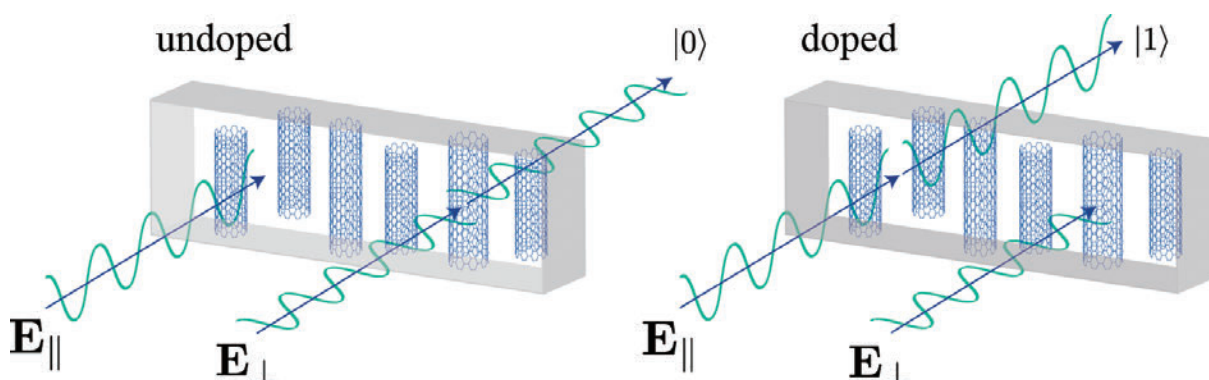


図1 (左) ドーピングしていないCNTは軸に垂直な偏光のみを透過する。(右) 電荷ドーピングしたCNTは軸に平行な偏光のみを透過する。ドーピングにより透過する光の偏光が90度回転するので、配向したCNTは偏光スイッチとして機能する。

シュブニコフ・ド・ハース量子振動が明らかにした $\text{Pr}_{1.86}\text{Ce}_{0.14}\text{CuO}_{4\pm\delta}$ 超伝導薄膜のフェルミ面の再構成

Yoshiharu Krockenberger¹ 池田 愛¹ 入江 宏² 山本秀樹¹ Nicholas P. Breznay³

Ian M. Hayes³ Ross McDonald⁴ James G. Analytis³

¹機能物質科学研究部 ²量子電子物性研究部 ³University of California, Berkeley

⁴NHML, Los Alamos National Laboratory

銅酸化物高温超伝導体の超伝導相と、それと競合／共存する他の秩序相とを統一的に理解することはまだ未解決の課題である。その解決に向け、ホールドープ超伝導体 $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{6.5}$ 純良試料における磁気量子振動(Quantum Oscillations, QO)の初観測[1]以降、QOの研究を通してフェルミ面のトポロジーとそのキャリアドーピングによる変化を直接調べる努力がなされてきた。本研究では、電子ドーピング銅酸化物超伝導体 $\text{Pr}_{2-x}\text{Ce}_x\text{CuO}_4$ ($x = 0.14$) (PCCO)でのQOの観測と、フェルミ面のトポロジーおよび伝導電子の有効質量の決定に取り組んだ[2]。試料中の電子の平均自由行程を最大化するため、測定には、MBE法を用いて SrTiO_3 基板上に成長したPCCO薄膜をアニール処理した超高品位試料を用いた[3]。測定の結果、92 Tまでの超高磁場でシュブニコフ・ド・ハース振動QOが観測され[図1(A)]、PCCOが小さなポケット構造のフェルミ面(255 T)をもつことと、そこでの準粒子有効質量が $m^* = 0.43m_e$ と軽いことがわかった。さらに、平均フェルミ速度($v_F = 2.4 \times 10^5$ m/s)も直接決定できた。一方、2 Kでのホール伝導度(0.9×10^{-9} $\Omega\text{m/T}$)から、放物線型単一バンドを仮定して見積もられる電子のキャリア密度は、 CuO_2 面 1 枚当たり0.66となる[図1(B)]。フェルミ面の再構成を示唆する小さいフェルミポケット[図1(C)]は、元素置換を行っていない Pr_2CuO_4 薄膜でも観測されており[4]、平面四配位 Cuを有する電子ドーピング銅酸化物超伝導体に普遍的な特徴であると考えられる。

[1] D. LeBoeuf et al., Nature **450**, 533 (2007).

[2] N. P. Breznay et al., Phys. Rev. B **94**, 104514 (2016).

[3] A. Ikeda, H. Irie, H. Yamamoto, and Y. Krockenberger, J. Mater. Res. **31**, 3522 (2016).

[4] N. P. Breznay et al., arXiv:1510.04268 (2015).

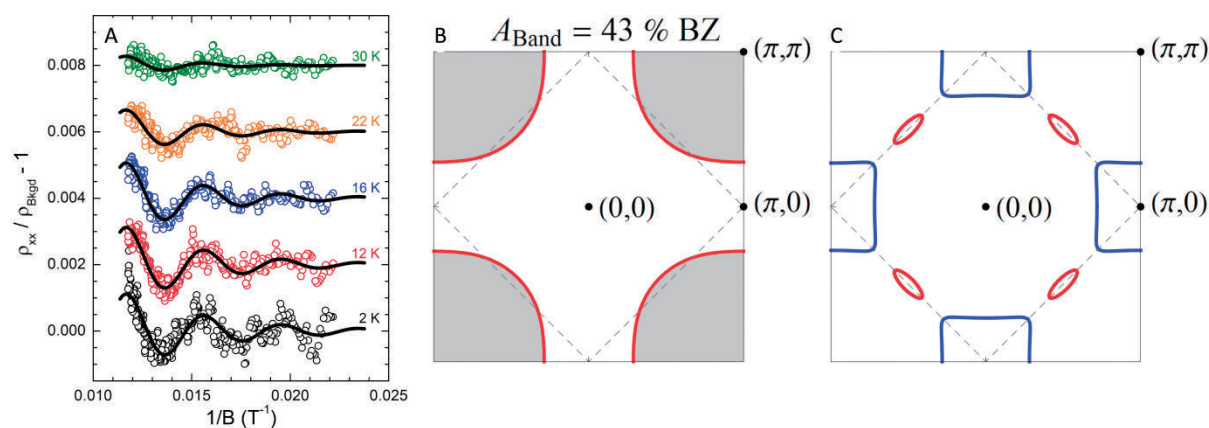


図1 (A) PCCO超伝導薄膜の磁気抵抗。2-30 Kの温度で磁場は92 Tまで掃引した。(B) ホール効果測定および(C) QOから見積もられた2次元フェルミ面(赤線)(それぞれ、ブリルアンゾーンの43、0.97%に当たる)。

導電性シルクフィルム電極を用いた接着性細胞の操作と電気刺激

手島哲彦 中島 寛 塚田信吾
機能物質科学研究部

細胞膜表面で発生する活動電位は、様々な生体組織の生理機能に関与している。従来、細胞由来の電位測定や電気的な刺激は、微小電極(MEAs)やトランジスタ型センサを用いて行われてきた。しかし、細胞を基板に無作為に播種するという特徴上、細胞の接着位置や形状を制御できず、目的の細胞の計測が困難であるという課題があった。そこで本研究では、接着性細胞を細胞の形状を維持したまま目的の場所に運び、電位測定や電気刺激を行う可動性のパレット型電極を提案した。本電極は、シルクフィブロイン(SF)と導電性高分子PEDOT:PSS[1]の2種類の親水性の高い高分子溶液を組み合わせることで作製し、透明性及び生体適合性を有し、細胞の牽引力に負けない高い堅牢性をもつ。

パレット型電極は、SFとPEDOT:PSSを等量混合した溶液を回転塗布し、ゲル化処理を加えた後、リソグラフィ技術により任意の形状に加工することで作製した[図1(a)] [2]。本電極は可視光・紫外光領域の両方において90%以上の透過性を有するため、様々な顕微鏡を用いて観察が可能となる。また本電極は100 MPaという高い弾性係数を有し、同体積のPEDOT:PSSのみから成る薄膜と比較して500倍以上の高い導電性を示すことがわかった。FT-IRによって1535、1630 cm^{-1} にピークが検出されたことから、SF中に β シート構造が多く存在し、このタンパク質の構造が高い堅牢性と導電性を付与したと考えられる。

SFとPEDOT:PSSから成るパレット型電極は生体親和性が極めて高いため、細胞がこの電極表面に自発的に接着化する傾向を示した[図1(b)]。我々は、任意のパターンの電極を作製することで、細胞の形状を保持した状態で細胞操作や電気刺激を行った。本薄膜は高い導電性を有するため、薄膜中に電極を刺入し電圧を印加することで、薄膜上の細胞に直接接触することなく電気刺激が可能である。実際に電位依存性カルシウムイオンチャンネルを強制発現した細胞に電気刺激を行い、選択的な細胞内カルシウム濃度上昇の誘導に成功した[図1(c)]。本電極は細胞毒性がなく、長期培養時に導電性の変化が少なく安定であるため、生体組織内埋込み電極などのバイオインターフェースへの応用が期待される。

[1] S. Tsukada et al., PLoS One 7, e33689 (2012).

[2] T. Teshima et al., Adv. Funct. Mater. 26, 8185 (2016).

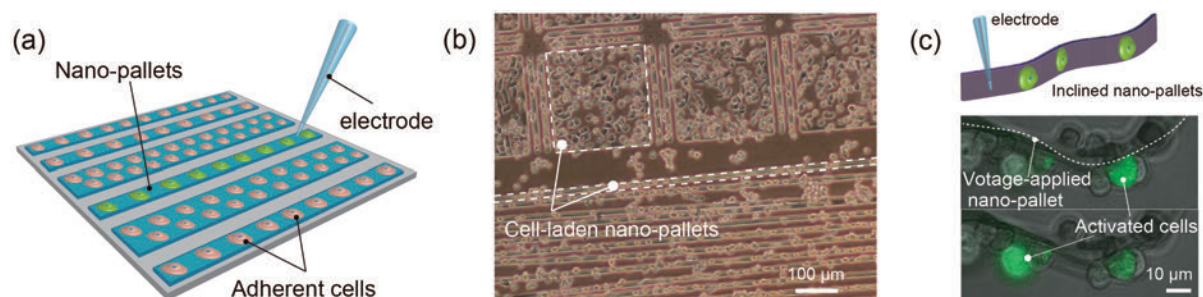


図1 (a) パレット型電極を介した細胞への電気刺激の概念図。(b) 細胞が接着したパレット型電極の位相差顕微鏡像。(c) 電気刺激による細胞のカルシウムチャンネルの活性。

脂質二分子膜形成を促進するハイドロゲルアレイ基板の構築

田中あや 檜村吉晃 中島 寛
機能物質科学研究部

膜タンパク質は細胞膜中で細胞内外の情報伝達に重要な役割を果たしている。そのため、創薬スクリーニングや高感度センサなどへのバイオデバイス応用が期待されている。これまでに我々は、擬似的な細胞膜として、マイクロホールの開口径よりもサイズの大きな巨大脂質膜ベシクルを用いた架橋脂質膜アレイの作製[1]、および、ハイドロゲルを支持体とすることで脂質膜を安定に保持可能であることを報告してきた[2]。本研究では、正電荷を有するハイドロゲルをマイクロホール基板にアレイ化し、マイクロホールの開口径よりサイズが小さい負電荷を有する微小ベシクル(SUV)を用いることで、静電相互作用による平面脂質膜の形成に成功したので報告する(図1)[3]。

実験には、電子ビームリソグラフィおよびシリコンの選択的エッチングによりマイクロホール(直径1, 2, 4, 8 μm , 深さ1 μm)を有する酸化膜付きのシリコン基板を用いた。この基板上に光重合開始剤および蛍光プローブとしてカルセインを含むカチオン性ハイドロゲル前駆体溶液を滴下し、基板の半分に光照射することでハイドロゲルを作製した。マイクロホール外のハイドロゲルを除去した後、基板上にローダミンが修飾された脂質分子を含む負電荷SUV溶液を添加し、蛍光観察を行った(図2)。

蛍光顕微鏡による観察の結果、光照射したエリアでのみカルセインの蛍光が観察されたことから、マイクロホール内に封入されたハイドロゲルのアレイ化が可能なが示された[図2(a)]。この基板上にSUV溶液を添加したところ、ハイドロゲルを含むマイクロホール上でのみローダミンの蛍光が観察された[図2(b)]。ハイドロゲルが支持することによって、ホール径より小さなSUVを用いてもマイクロホール開口部で平面脂質膜を形成し、ハイドロゲルとSUVの静電相互作用によって脂質膜形成が促進したと考えられる。膜タンパク質の再構成や細胞抽出により調製されたプロテオリポソームは直径が1 μm であることが多く、基板上での架橋膜形成が困難であった。ハイドロゲルを支持体とすることで、プロテオリポソームのベシクル融合による膜タンパク質アレイの構築が期待される。

[1] K. Sumitomo et al., Biosens. Bioelectron. **31**, 445 (2012).

[2] A. Tanaka et al., Appl. Phys. Express **7**, 017001 (2014).

[3] A. Tanaka et al., Colloids Surf. A **477**, 63 (2015).

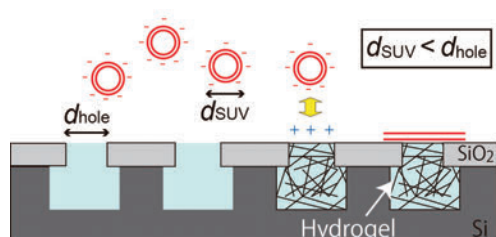


図1 ハイドロゲル基板上へのベシクル溶液添加の模式図

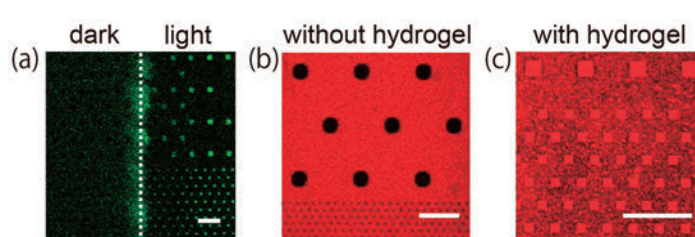


図2 (a) 基板の半面のみ光照射を行ったハイドロゲル基板。(b) 光未照射および(c) 照射エリア基板上でのベシクル融合による平面脂質膜形成。スケールバー: 20 μm

グラフェン表面に構築したバイオインターフェースを用いたタンパク質検出

上野祐子¹ 古川一暁²

¹機能物質科学研究部 ²明星大学

グラフェンの表面に、分子認識機能場として動作する2次元バイオインターフェースを構築し、これがガンマーカなどの生体内で重要なタンパク質を、選択的かつ高感度に検出するバイオセンサとして動作することを確認した。従来は、水溶液中に分散した酸化グラフェン(GO)が、タンパク質検出の分子認識機能場として盛んに用いられてきた。これに対し、本研究で実現した固体表面の2次元バイオインターフェースにおいては、GOだけでなく、水に分散しないグラフェンも分子認識機能場として利用可能である[図1(左)]。この特徴によってマイクロ流路デバイスとの融合が可能となり、定量的な比較や、アレイ化による多種類タンパク質の同時分析などに成功している[1]。

バイオセンサの応答信号の定量的な比較のため、グラフェンとGOとを同一基板の表面(SiO_2)上に固定し、蛍光標識したアプタマ(分子認識機能をもつDNA)を表面に修飾した。アプタマには、PSA(前立腺がんマーカタンパク質)と選択的に結合するものを用いた。PSAを含む溶液を導入すると($33 \mu\text{g/mL}$ @ $t = 100 \text{ s}$)、グラフェンおよびGO表面で蛍光が観測され、純粋を導入しながら段階的に濃度を希釈すると、蛍光強度もこれに応じて弱くなった($20, 14, 11, 9 \mu\text{g/mL}$ @ $t = 300 \text{ s}, 400 \text{ s}, 500 \text{ s}, 600 \text{ s}$) [図1(右)]。以上から、グラフェンとGOのいずれの表面も、バイオセンサとして機能し、PSAの検出に成功したことが示された。PSA添加前の暗状態の平均値とPSA添加後の蛍光強度の最大値との差分で、グラフェンとGOとの応答強度を比較すると、グラフェンが3倍以上の値を示した[2]。このことから、発光型バイオインターフェースを構築するプラットフォームとして、グラフェンがより優れていることが明らかになった。

本研究はJSPS 科研費 JP26286018 の助成を受けたものである。

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

[2] K. Furukawa, Y. Ueno et al., ACS Sens. **1**, 710 (2016).

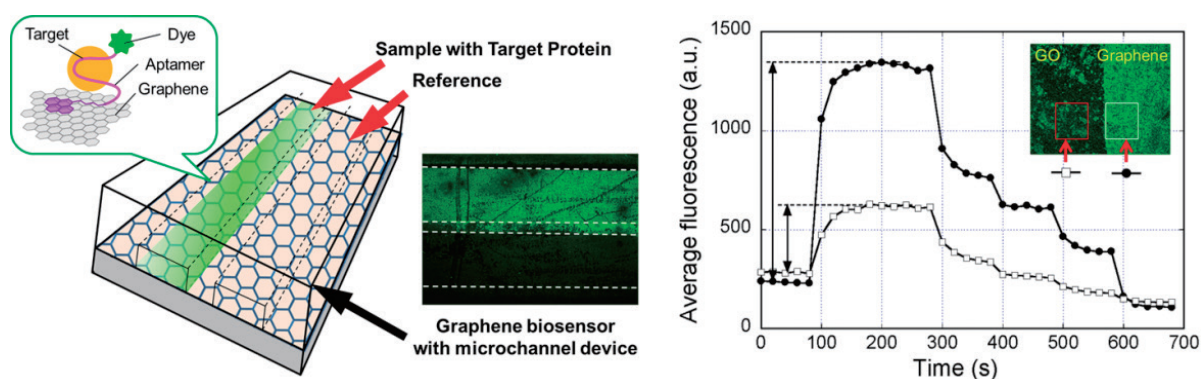


図1 (左) グラフェンアプタセンサの概念図。(右) グラフェンとGOのPSA検出信号の定量比較。

世界最高精度をもつギガヘルツ高速単電子転送

山端元音¹ Stephen P. Giblin² 片岡真哉² 唐沢 毅¹ 藤原 聡¹

¹量子電子物性研究部 ²National Physical Laboratory

単電子ポンプはクロック制御により電子を1つずつ転送する素子であり、クロック周波数を f とすると、正確な出力電流 ef (e : 電気素量) を生成できる。この正確な電流は電流の物差しに対応する電流標準への応用が期待される。これまで、多くの単電子転送の報告があるが、1 GHz以上の高速動作における高精度化が困難であった。今回、我々はシリコントランジスタを利用した単電子ポンプ[1]から生成した電流を1次標準で精密に校正した高精度測定系で測定し、1 GHz動作で 9.2×10^{-7} 以下の極めて低い転送エラー率を実証した[2]。

図1(a)に素子の概略図を示す。この素子は10 nmオーダーのシリコン細線上に2層のゲート電極をもつ構造をもつ。まず、上層ゲートにDC電圧を印加し、シリコン細線に電荷を誘起する。下層ゲートG1に高周波クロック電圧を、下層ゲートG2にDC電圧(V_{G2})を印加することで、単電子をソースからG1-G2間の島に捕獲し、その後ドレインへ放出する。生成された転送電流を高精度電流測定系[図1(b)]で測定した。ジョセフソン電圧標準と量子ホール抵抗標準による校正により、測定系の測定不確かさを 8.8×10^{-7} と極めて小さくすることが可能となる。

図1(c)に1 GHz動作時の ef からの差分の割合を示す(横軸は V_{G2})。測定の標準不確かさが 9.2×10^{-7} なのに対し、電流プラトー内での測定値の平均値は ef から -6.4×10^{-7} (ef で規格化した値)しかずれていないことから、標準不確かさの範囲で測定結果は ef に一致したと言える。また、電流プラトーは 9.2×10^{-7} のレベルで平坦である。これらの結果は、転送エラー率が 9.2×10^{-7} 以下であることを示しており、GHz領域での世界最高精度である。さらに、2 GHz動作では 3×10^{-6} 程度の転送エラー率であることもわかり、微細構造をもつ本素子はGHzの壁を打ち破る高速動作に適した素子であることが実証された。今後はさらなる高精度動作実証へ向け測定系と素子の最適化を行い、高精度電流標準実現を目指す。

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

[2] G. Yamahata et al., Appl. Phys. Lett. **109**, 013101 (2016).

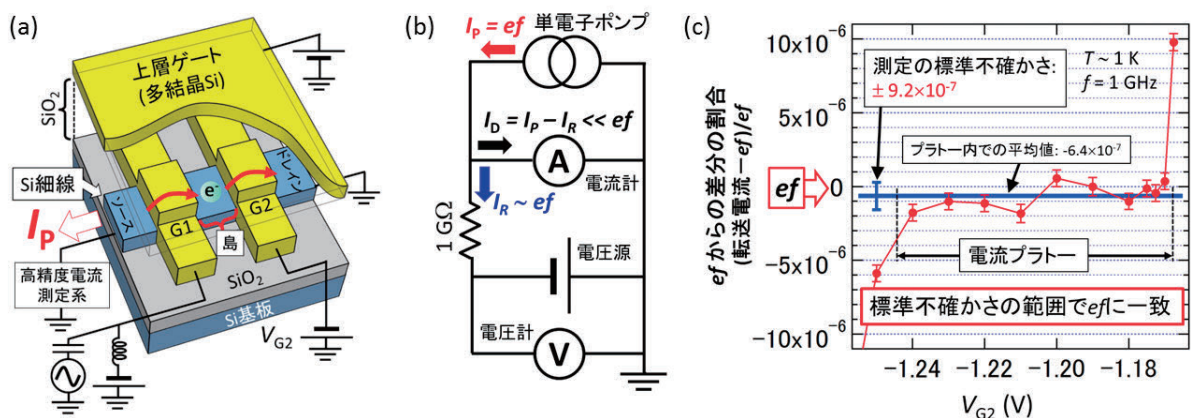


図1 (a) 単電子ポンプの概略図。(b) 高精度電流測定系: 1 GΩ標準抵抗と電圧計を1次標準で校正した。電圧設定により $I_R \sim ef$ とすると $I_D \ll ef$ となり、 I_D の測定不確かさは無視できる。(c) 1 GHzでの高精度電流測定。

多層グラフェン /SiO₂/Si ヘテロ構造で構成された平面型電子放出素子

西口克彦¹ 義積大輔² 関根佳明³ 古川一暁³ 藤原 聡¹ 永瀬雅夫²

¹量子電子物性研究部 ²徳島大学 ³機能物質科学研究部

電子を放出する電子発生装置は、電子顕微鏡や電子線露光装置、材料改質、真空計など幅広い分野で使われている。電子の発生源は、熱電子を放出する電流加熱フィラメントが主流で、コーン型の電極に電界を印加して電子を放出するSpindt型素子[1]も研究が行われている。それぞれ、優れた特徴をもつが、いずれも高電圧や高真空環境が必要なためシステムも複雑で、また電子は放射状に広がるなどの問題があった。今回、これらの問題を解決する多層グラフェンを用いた平面型電子放出素子を作製した[2]。

図1に電子放出素子の概念図と断面図を示す。素子は、*n*型Si、薄膜SiO₂ (~6 nm)、多層グラフェン (~10 nm)のヘテロ構造で構成される。図2に示すように多層グラフェンに電圧 V_{graphene} を印加すると、Si中の電子がSiO₂をトンネルし、多層グラフェンに達する。このとき、多層グラフェンの仕事関数 (~5 eV)よりも大きなエネルギーをもつ電子は、多層グラフェン表面から真空中に放出され、電圧(100 V)が印加されたアノードにアノード電流 I_{anode} として流れ込む。一方、多層グラフェン中のエネルギーが小さい電子は真空中に放出されずグラフェンに電流 I_{graphene} として流れ込む。図3に、電子放出特性を示す。 V_{graphene} を増加させると多層グラフェンへのトンネル電流 I_{graphene} が流れる。 V_{graphene} が多層グラフェンの仕事関数よりも大きくなると、電子がグラフェン表面から放出されアノードに流れ込み I_{anode} が観測される。電子放出の効率(= $I_{\text{anode}}/I_{\text{graphene}}$)は0.3%で、我々がこれまで行った多結晶Siを用いた報告よりも4桁改善した[3]。これは多層グラフェンが薄く電子の散乱が少ないことから、電子が高いエネルギーを保持できるためで、多層グラフェンを1原子層まで薄くすれば、さらなる改善が期待できる(~1%)。一方、多層グラフェン平面方向の伝導度は、電子放出特性に影響しないことから、結晶欠陥が発生しやすい化学気相成長による大面積グラフェンを利用した大面積電子放出も実現できる。さらに、低い駆動電圧・低真空環境(~50 Pa)でグラフェン表面に垂直な方向に電子を放出するため、システムの簡素化が可能であるだけでなく、電子線露光、材料改質、水の電気分解など様々な利用が期待できる。また、このようなヘテロ構造を用いるとエネルギーの高い電子をグラフェンに注入できることから、電子放出以外にもテラヘルツ波発生やエネルギーバンド構造分析など、新たな応用の開拓にも繋がると考えている。

[1] C. A. Spindt, J. Appl. Phys. **39**, 3504 (1968).

[2] K. Nishiguchi et al., Appl. Phys. Express **9**, 105101 (2016).

[3] K. Nishiguchi et al., Jpn. J. Appl. Phys. **47**, 5106 (2008).

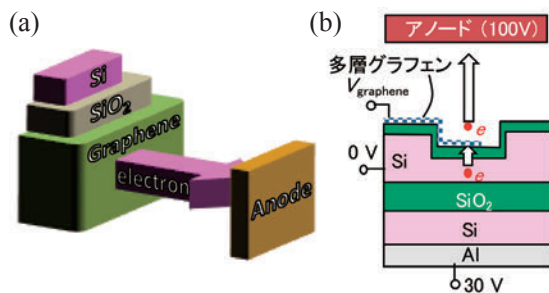


図1 電子放出素子の(a) 概念図と(b) 断面図。

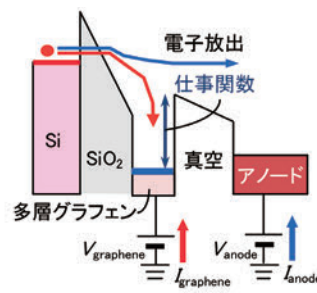


図2 エネルギーバンド図

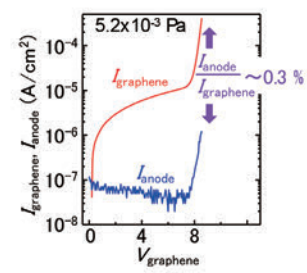


図3 電子放出特性

超伝導磁束量子ビットを用いた巨視的実在性問題の実験的検証

角柳孝輔¹ George C. Knee² Mao-Chuang Yeh³ 松崎雄一郎¹ 樋田 啓¹ 山口浩司¹

齊藤志郎¹ Anthony J. Leggett³ William J. Munro²

¹量子電子物性研究部 ²量子光物性研究部 ³University of Illinois

我々の暮らす巨視的世界では観測されたものは観測以前から状態が確定しているという「実在性」が成り立っていると考えられている。一方で、量子力学に従う微視的な世界では量子重ね合わせ状態が現れる。この量子重ね合わせでは観測によってはじめて状態が確定することから、微視的世界では「非実在性」が現れると考えられている。巨視的な系も量子力学に従う微視的な系から成り立っているが、巨視的な系でも「非実在性」が現れるかどうかは量子力学の黎明期からの問題であった。

超伝導磁束量子ビットは複数のジョセフソン接合と超伝導ループから成る回路であり、その非線形性のために2準位系と見なせる系である。この2つの状態はそれぞれ巨視的な数の電荷の流れである電流の右回りと左回りの状態に対応する。我々はこの超伝導磁束量子ビットを用いて電流状態での実在性の破れを示すことを試みた。

実在性が成り立つ際には Leggett-Garg 不等式と呼ばれる条件が満たされることが理論的に知られている。もし超伝導磁束量子ビットでは実在性が成り立っているのであれば量子重ね合わせ状態は実現しておらず、観測前に状態が確定している。そのため、観測は状態を変化させない。一方で、量子重ね合わせ状態が実現しているならば、観測による固有状態への射影が起こり、状態は観測に依存する。量子重ね合わせが実現していた場合に観測の有無により終状態に違いが現れる測定を行い、その差を調べた。この方法は Leggett-Garg 不等式と数学的に等価な条件を調べることに対応し、高精度な実験が可能な方法である。この方法で非実在性を示すには、観測が射影以外の外乱を生み出さないことを示す必要があるので、そのような外乱の大きさを定量的に評価する実験も行った。

実験の結果、超伝導磁束量子ビットで重ね合わせ状態と考えられる状態を用意したのちの観測の有無による状態の違いは、観測の外乱による差を大きく超える [図 1(a)] ことを示すことに成功した [1]。これは巨視的な電流状態でも量子重ね合わせ [図 1(b)] が現れ観測により電流の向きが確定することを意味している。

本研究の一部は JSPS 科研費 JP15H05870 と JP15H05867 の助成を受けたものである。

[1] G. C. Knee, K. Kakuyanagi, M-C. Yeh, Y. Matsuzaki, H. Toida, H. Yamaguchi, S. Saito, A. J. Leggett, and W. J. Munro, Nature Commun. 7, 13253 (2016).

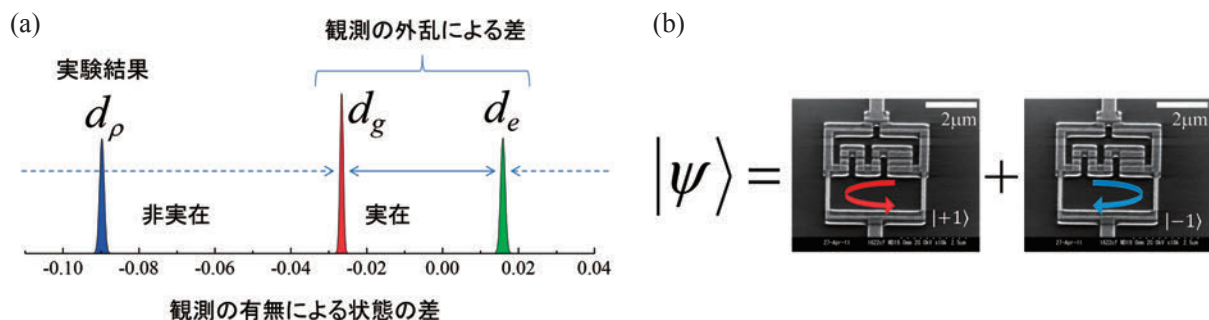


図1 (a) 観測の有無の差の実験結果。(b) 電流状態の量子重ね合わせ。

4300 個の超伝導量子ビットと超伝導共振器のコヒーレントな結合

角柳孝輔¹ 松崎雄一郎¹ Corentin Deprez¹ 樋田 啓¹

仙場浩一² 山口浩司¹ William J. Munro³ 齊藤志郎¹

¹量子電子物性研究部 ²情報通信研究機構 ³量子光物性研究部

超伝導マイクロ波共振器と2準位系集団の結合系は、量子情報処理実現のための有力な素子として考えられている。このようなハイブリッド素子を作製するために、従来の研究では原子中の電子スピンを用いることが多かった[1]。しかし天然の原子を用いると設計の自由度が小さく、パラメータの調整が難しいことが課題であった。これに対し、近年になり、回路設計の自由度が高い人工原子である「超伝導量子ビット」の集団をマイクロ波共振器に結合させるアプローチが注目を集めている。実際に8個の超伝導磁束量子ビットがマイクロ波共振器とコヒーレントに結合した例が報告されている[2]。そこで私たちは、4300個の超伝導磁束量子ビットをマイクロ波共振器の近傍に作製して実験を行った結果[3]、250 MHz程度の大きな周波数シフトが透過分光測定において観測された(図1)。理論解析を行った結果、この周波数シフトは、数千個の超伝導磁束量子ビットとマイクロ波共振器のコヒーレントな結合に由来することが示せた。我々の素子では、単一の超伝導磁束量子ビットとマイクロ波共振器の結合定数は、不均一広がり線の線幅よりも2桁程度小さい。しかし、集団の超伝導磁束量子ビットが協調的に振る舞うことで、不均一広がり線の線幅と同程度になるまで結合定数が増強されている。数千個という、これほど大きな数の超伝導量子ビットがマイクロ波共振器と結合した例は報告されておらず、量子情報実現のための重要な成果だといえる。

本研究はJSPS 科研費JP15K17732とJP25220601、MEXT 科研費JP15H05869とJP15H05870の助成を受けたものである。

[1] Z.-L. Xiang, et al., Rev. Mod. Phys. **85**, 2, 623 (2013).

[2] P. Macha et al., Nature Commun. **5**, 5146 (2014).

[3] K. Kakuyanagi et al., Phys. Rev. Lett. **117**, 210503 (2015).

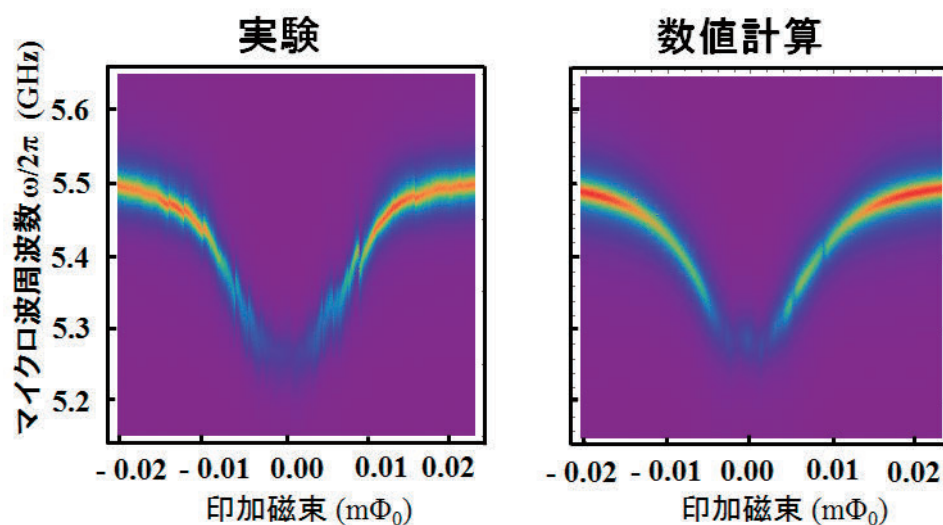


図1 超伝導磁束量子ビット集団の結合した共振器の透過分光測定。(左) 実験結果。(右) 数値計算結果。

フォノンによるイジングモデルのシミュレーション

Imran Mahboob 山口浩司

量子電子物性研究部

原子やイオン、光子や電子などの物理系による計算手法の重要性が高まりつつある[1]。本研究では新しい物理系として圧電電気機械共振器におけるフォノンを用いることを提案する[2]。具体的には、結合機械共振器 [図 1(a)] の対称・反対称モードにおけるパラメトリック振動の2つの位相状態を1/2 スピンに対応させる [図 1(c)、(d)]。ふたつのモード間の相互作用を非縮退パラメトリック増幅により導入することによりスピン間の相関を作り出す [図 1(b)]。これによりイジングスピン間の強磁性・反強磁性相互作用を自在に制御することが可能である。これらの結果はイジングモデルを電気機械システムによりシミュレーションできることを示しており、さらなる多重化により、これまでのコンピュータを凌駕する高速の演算の可能性が期待される[3]。

本研究の一部はJSPS 科研費 JP15H05869の助成を受けたものである。

[1] I. Buluta and F. Nori, Science **326**, 108 (2009).

[2] I. Mahboob et al., New J. Phys. **18**, 083009 (2016).

[3] I. Mahboob et al., Sci. Adv. **2**, e1600236 (2016).

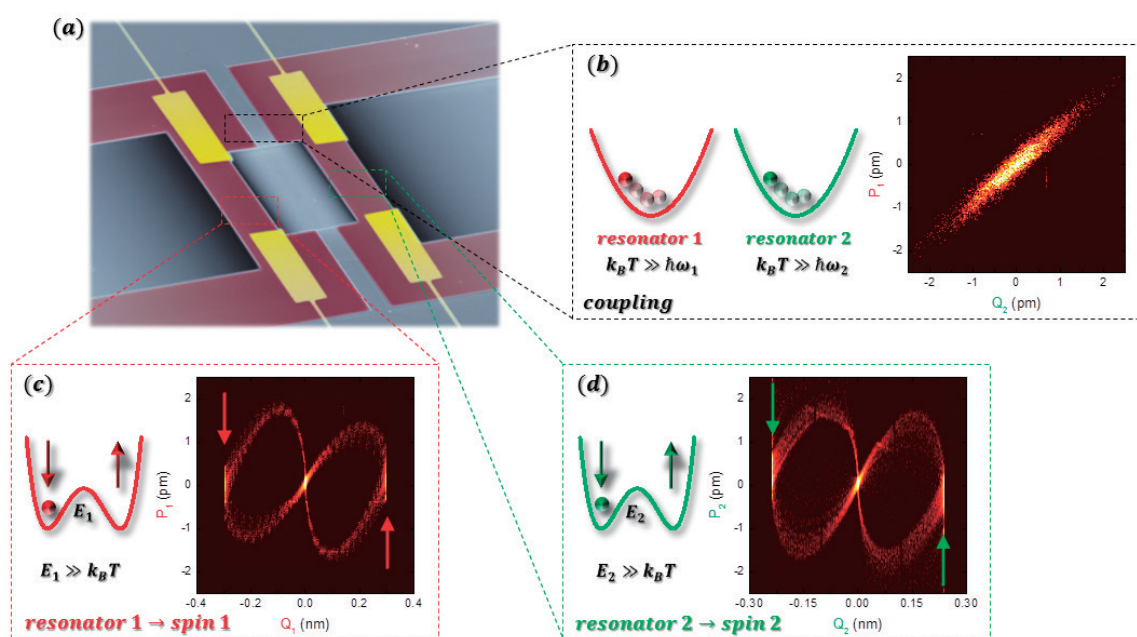


図1 (a) 実験に用いた素子の電子顕微鏡写真。2つの梁の対称ならびに反対称振動を2つの1/2 スピンとして用いる。(b) 2つのモードの熱振動が、非縮退パラメトリック増幅により相関している状態の概念図。 P_i ならびに Q_i は、 i 番目の振動モード ($i = 1, 2$) の正弦ならびに余弦成分を示す。 P_1 と Q_2 の間の強い相関が確認される。(c) および (d) それぞれの振動モードを縮退パラメトリック励振したときの振動状態の概念図。パラメトリック励振により2重井戸型ポテンシャルが形成され、この2つの状態が上向きならびに下向きスピンに対応する。それぞれの右図は、パラメトリック励振を行ったときの振動の位相状態の変化を示す。ポテンシャルの山が熱エネルギー $k_B T$ より大きくなった段階で、スピン状態は固定される。

強く結合したΛ型マイクロメカニカルシステム

岡本 創 山口浩司
量子電子物性研究部

半導体の微小な機械共振器を用いた音量子（フォノン）の転送操作は、超低消費電力な記憶・論理演算素子など、フォノンをもとにしたデバイス応用へつながる技術として注目される[1,2]。このフォノン操作には、隣接する機械共振器間に強結合—すなわちフォノンの散逸レートを上回る結合レート—を生み出す必要があり、応力変調を用いたパラメトリック結合はチップ上でこれを実現する有効な手法となる[1,3]。其々の機械共振器（振動モード）の差周波で共振器の内部応力を変調することにより、周波数の異なる機械共振器を強く結合させることが可能である。我々はこれまでに、GaAsの圧電効果や熱膨張効果を用いて2つの機械共振器の強結合とそのオンオフ制御に成功しているが[1,3]、3つ以上の機械共振器アレイ系では実現できていない。今回我々は、電界により誘起される誘電的な応力変調を用いて、3つのSiN機械共振器の強結合を実現したので報告する[4]。

素子は中央に位置するSiN両持ち梁（梁M）が電極含有SiN梁（梁L,R）によって挟まれた構造を有する[図1(a)]。梁Mは梁L,Rよりも振動モード周波数が高いため、図1(b)に示す様なΛ型の3準位系が形成される。これらの3準位(f_M, f_L, f_R)は左右電極間への電界印加により誘電力を受けて周波数シフトする。つまり直流電界により3つの梁は互いに引き合うが、梁MとL(R)の周波数が異なる為、このままでは強結合は達成されない。この周波数差を相殺する為、2つのモードの差周波($\Delta_{L(R)} = f_M - f_{L(R)}$)で電界を変調すると、梁MとL(R)はパラメトリックに強結合し、各々の準位は2つに分裂する。いま梁Mと梁L,Rを結合させる2つの変調トーン(Δ_L, Δ_R)を同時に入力すると、其々の準位は3つに分裂する。このうち梁Mの準位の1つは暗状態となり、振動振幅は観測されない[図1(b)]。これは3つの梁の破壊的干渉によるものであり、強く結合したΛ型メカニカルシステムが形成されていることを示している。

本研究はスイス連邦工科大学ローザンヌ校との共同研究によるものであり、その一部はMEXT科研費JP15H05869とJP15K2127の助成を受けたものである。

- [1] H. Okamoto et al., Nature Phys. **9**, 480 (2013).
[2] T. Faust et al., Nature Phys. **9**, 485 (2013).
[3] R. Ohta et al., Appl. Phys. Lett. **107**, 091906 (2015).
[4] H. Okamoto et al., Appl. Phys. Lett. **108**, 153105 (2016).

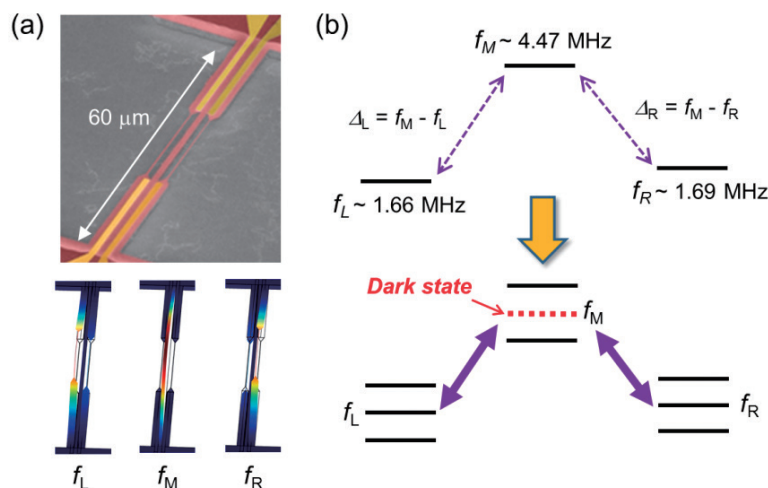


図1 (a) 素子の電子顕微鏡像と有限要素法計算による3つの梁の振動モード形状。顕微鏡像における赤色部分はSiN（100 nm厚）、黄色はAu電極（45 nm厚）に相当。(b) 3つの梁で形成されたΛ型3準位系。梁Mと梁L、Rのモード差周波(Δ_L, Δ_R)を同時に入力すると3つの梁はパラメトリックに強結合し、準位が3つに分裂する。このうち梁Mの状態の1つは暗状態となる。

歪みヘテロ構造による量子スピンホール絶縁体のバンドエンジニアリング

秋保貴史¹ François Couëdo¹ 入江 宏¹ 鈴木恭一¹ 小野満恒二² 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

量子スピンホール絶縁体(quantum spin Hall insulator, QSHI)はバンド反転によって、バルクが絶縁で、エッジにスピン偏極した無散逸な伝導が生じる。このエッジ状態はトポロジカル量子計算に向けた新奇準粒子探索やスピントロニクスデバイスなど、基礎・応用研究の両方から注目されている。InAs/GaSb 量子井戸は電界制御により通常の絶縁体相からQSHI相へ遷移可能という長所をもち、実験的にQSHIとなることが報告されている。しかしながら、QSHI相ではバルク抵抗が低く、エッジ状態の明確な同定が困難であるという短所をもつ。そこで我々は新たなQSHIの候補となるInAs/InGaSb歪み量子井戸を提案し、歪みがQSHI相のエネルギーギャップを増大し、優れたバルク絶縁性が得られることを実証した[1]。

層構造は層厚 t (8.5~10.9 nm)のInAs層と5.9 nmのIn_{0.25}Ga_{0.75}Sb層をAlSb障壁層で挟んだ構造であり、MBEによって成長した。InGaSb層に加わる圧縮歪みは、重い正孔と軽い正孔の分裂を増大させ、QSHI相におけるエネルギー分散関係に影響を及ぼす。

縦抵抗 R_{xx} の磁場(B)依存性[図1(a)]のフーリエ解析から電子(n_e)・正孔(n_h)密度を個々に見積もった。その結果、高密度の電子・正孔共存が確認でき、深くバンド反転していることがわかった。 n_e と n_h のゲート電圧(V_{FG})依存性[図1(a)挿入図]から電荷中性点($n_e = n_h$)におけるキャリア密度(n_{cross})を $3.6 \times 10^{15} \text{ m}^{-2}$ と見積もった。この値はバンド反転の定量的な指標を与える。また、電子・正孔共存領域での線形フィッティングはバンド反転の正しい評価を可能にする。

バルク絶縁性を反映する電荷中性点における R_{xx} ピーク値は、InAs層を薄くすると増加し、最大889 k Ω (抵抗率 $10h/e^2$)まで増大した[図1(b)]。また、すべての試料において抵抗ピーク値は同程度の n_{cross} をもつInAs/GaSb量子井戸と比べて2桁高かった。これらの結果から深いバンド反転領域において、高いバルク抵抗をもつInAs/InGaSb歪み量子井戸はエッジ伝導を調べるのに有望であることがわかった。

本研究はJSPS 科研費JP15H05854とJP26287068の助成を受けたものである。

[1] T. Akiho et al., Appl. Phys. Lett. **109**, 192105 (2016).

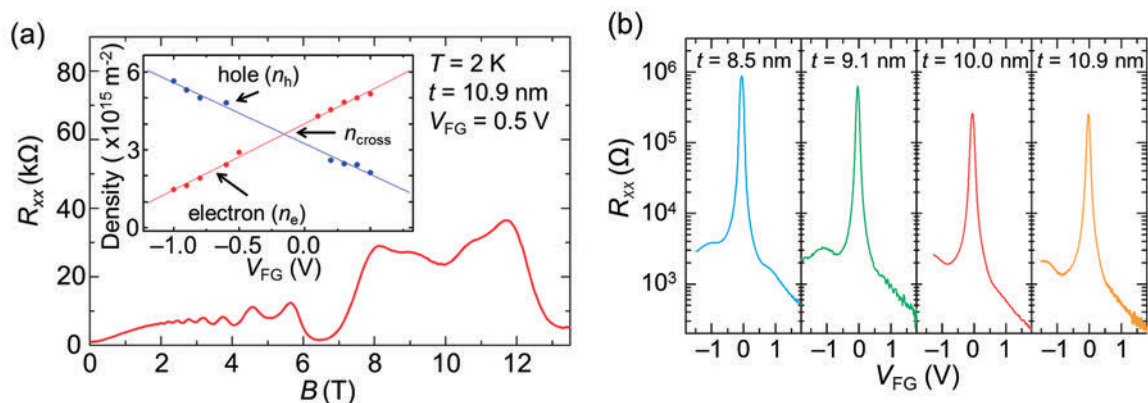


図1 (a) R_{xx} の磁場依存性。(挿入図) n_e と n_h の V_{FG} 依存性。(b) 異なるInAs層厚をもつ試料の R_{xx} ピーク。

超伝導体を近接させたバリスティック 2次元電子系における 準粒子のコヒーレント伝導

入江 宏¹ Clemens Todt¹ 熊田倫雄¹ 原田裕一¹ 杉山弘樹² 赤崎達志¹ 村木康二¹

¹量子電子物性研究部 ²NTT先端集積デバイス研究所

近年、半導体における超伝導近接効果を利用した新奇量子相の探索[1]や新機能素子の開発[2]が精力的に行われている。超伝導体と半導体の界面では、アンドレーエフ反射によって生成されたボグリュエフ準粒子が電荷輸送を担っており、その制御および検出技術の重要性が高まっている。本研究では、超伝導体に近接した高移動度2次元電子ガス(2DEG)における準粒子の輸送特性を調べた[3]。試料は超伝導Nb電極と $\text{In}_{0.75}\text{Ga}_{0.25}\text{As}$ -2DEGの接合であり、Nb/InGaAs界面の直近に量子ポイントコンタクト(QPC)をもつ[図1(a)]。試料サイズに比べ平均自由行程が十分長いため、準粒子はバリスティックに伝搬すると考えてよい。QPCを通してNb/InGaAs界面に入射した電子は、アンドレーエフ反射によって自身の時間反転粒子である準粒子正孔となり、入射前に辿った軌道を正確に引き返しQPCに帰ってくる。このとき、QPCの透過率が高ければ、準粒子正孔がQPCを透過するため微分電気伝導度は増大する。我々の実験では、透過率 T_{QPC} が1の場合に単一チャンネルあたりの伝導度が量子化値 e^2/h を超えることが確認された[図1(b)]。一方、QPCの透過率が十分低い場合、準粒子はQPCとNb界面の間に閉じ込められ、アンドレーエフ束縛状態(ABS)と呼ばれる量子準位を形成する。また、透過率の低いQPCは、トンネルプローブとしてABSの検出にも用いることができる。図1(c)に $T_{\text{QPC}} = 0.2$ における微分伝導度スペクトルを示す。ABSへの共鳴トンネルを反映して、超伝導ギャップ内に一对のピーク構造が観測される。ピーク位置は $0.29\Delta_0$ (Δ_0 : Nbの超伝導ギャップ)であり、バリスティック接合の理論モデル[4]と良い一致を示した。以上の結果は、超伝導体と結合したバリスティックな2DEGにおいて、準粒子がコヒーレンスを保ちながらアンドレーエフ反射していることを示している。

- [1] V. Mourik et al., Science **336**, 1003 (2012).
[2] T. W. Larsen et al., Phys. Rev. Lett. **115**, 127001 (2015).
[3] H. Irie et al., Phys. Rev. B **94**, 155305 (2016).
[4] P. G. de Gennes and D. Saint-James, Phys. Lett. **4**, 151 (1963).

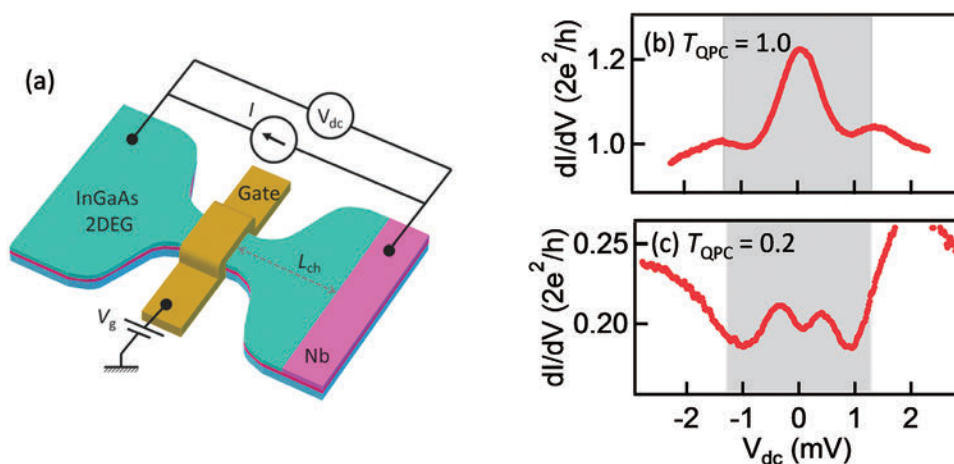


図1 (a) 試料構造。QPC-Nb電極間距離 L_{ch} は220 nm。(b,c) QPCの透過率が(b) 1および(c) 0.2の場合に得られる微分電気伝導度スペクトル。網掛け部分はNbの超伝導ギャップ(1.3 meV)を表している。

電解質ゲートに起因する不純物散乱のグラフェン伝導による評価

熊田倫雄¹ Andrew Browning¹ 関根佳明² 入江 宏¹ 村木康二¹ 山本秀樹²

¹量子電子物性研究部 ²機能物質科学研究部

電解質ゲート構造は、その大きな静電容量、柔軟性等の利点により、多くの材料に対して用いられている。しかし、その構造に由来した不純物の増加などの欠点はほとんど評価されていない。本研究では、グラフェンにイオン液体を適用し、電気伝導測定により不純物散乱の影響を評価した[1]。

SiC上に成長されたグラフェンをHall bar形状に加工した試料を用いた。電解質ゲートを用いた試料と、通常の金属ゲートを用いた試料の結果を比較することにより、イオン液体が電気伝導度に与える影響を調べた。イオン液体としてEMIM-TFSIを用い、グラフェンとCr/Auゲートを覆うように塗布した[図1(a)]。温度4 Kにおいて、電荷中性点を含む広いキャリア密度領域で実験した結果、通常の金属ゲートを用いた試料と比べて、電解質ゲートを用いた試料では移動度が大きく減少することがわかった。伝導度はキャリア密度に対して比例しており[図1(b)]、これは荷電不純物による散乱が支配的であることを示している。その傾きから求められた荷電不純物密度は、グラフェンから距離1 nmに分布していると仮定した場合に $6 \times 10^{12} \text{ cm}^{-2}$ であり、これにより低温での移動度は $3 \times 10^3 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ に制限される[図1(c)]。また、室温ではフォノン散乱の影響で移動度の最大値は $2 \times 10^3 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ 程度となることを示した。電解質ゲート構造に由来する不純物の量は、適用される材料に依存するものではなく、我々の結果は、こういった用途に電解質ゲートが適しているかを判断するために重要な情報を与える。

[1] A. Browning et al., Appl. Phys. Express 9, 065102 (2016).

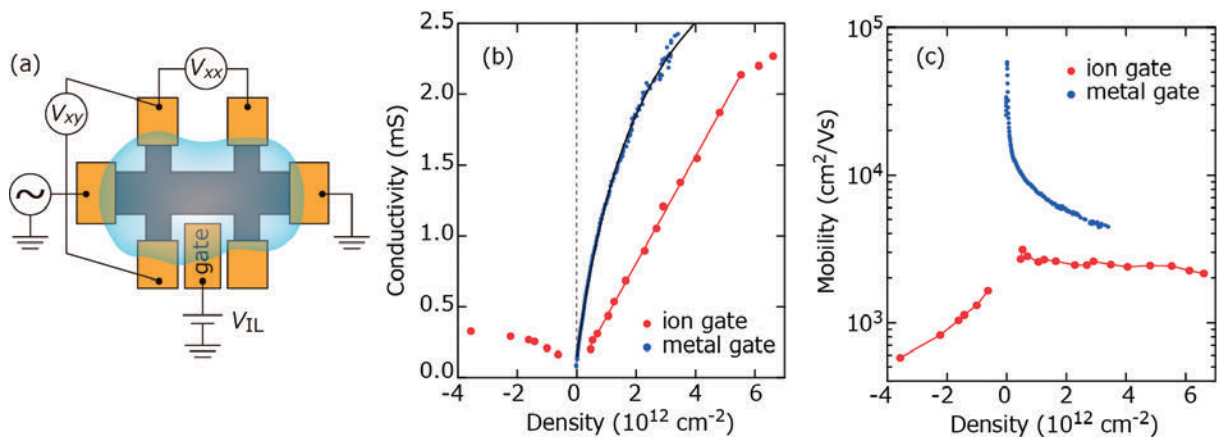


図1 (a) 試料構造。灰色がグラフェン、水色がイオン液体。(b)および(c) 金属ゲート試料（青丸）とイオンゲート試料（赤丸）における伝導度と移動度のキャリア密度依存性。

光格子中のボース粒子に対する分光解析

稲葉謙介 山下 眞
量子光物性研究部

光格子中の冷却原子気体は、その制御性の高さから固体物理などの量子多体問題に対する量子シミュレータとして期待されている。実際に、格子の深さを調節しパラメータを自在に調整することで、ボソンが示す超流動 - モット絶縁体相転移など、さまざまな量子相転移が観測されている[1]。従来、量子相転移の同定は、タイム・オブ・フライト法を用いた超流動相のコヒーレンス測定[1]のように、特定の量子相が出現しているシグナルとその消失を観測する事で行われてきた。そのため、両相にまたがる系統的な測定はあまり行われておらず、相転移近傍の詳細についてもこれまでほとんど議論されていなかった。

我々は、京都大学と連携して、光格子中のボース原子気体を高精度に分光する実験手法[2]、および、その理論的な解析手法[3]を確立した。我々は、この分光法を用いて、光格子中のボソンのスペクトルを浅い格子から深い格子まで系統的に解析し、理論・実験で得られたスペクトルを詳細に比較した(図1)。その結果、局在的な量子状態(モット状態)と遍歴的な量子状態(超流動状態)が共存する領域があることをはじめて実証した[2]。このような共存の傾向をはっきり見ることのできる高精度の手法はこれまでになかった。また、この手法は、他の量子相転移の精密測定にも応用が期待できる一般的な手法である。

本研究の一部はJST、CREST (JPMJCR08F5)およびJSPS 科研費JP25287104の支援を受けたものである。

[1] I. Bloch, J. Dalibard, and W. Zwerger, Rev. Mod. Phys. **80**, 885 (2008).

[2] S. Kato, K. Inaba et al., Nature Commun. **7**, 11341 (2016).

[3] K. Inaba, and M. Yamashita, Phys. Rev. A **93**, 043608 (2016).

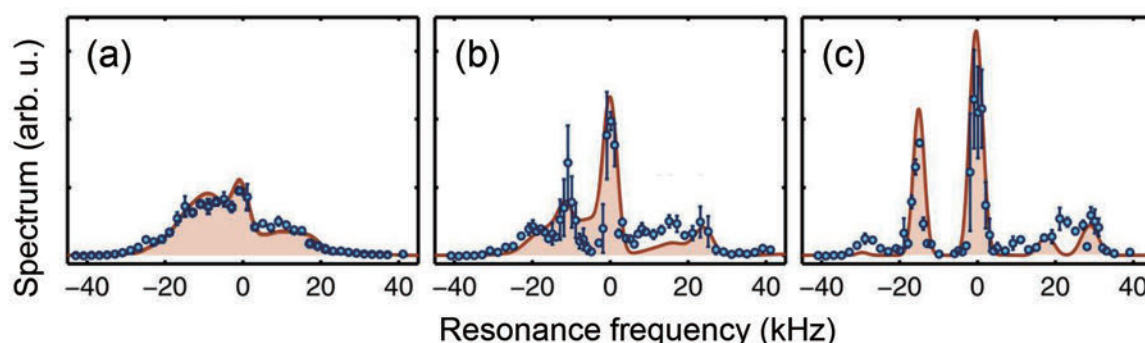


図1 光格子中のボソンのスペクトル[2]。それぞれ、(a)浅い、(b)中間的な、(c)深い光格子中のスペクトルに対応する。青い丸印は実験、オレンジの実線は理論解析によって得られたもので、両者は良く一致する。浅い格子上では、超流動の特徴を示す広がったスペクトルが、深い格子ではモット絶縁体を特徴づける狭い離散的なスペクトルが見られる。中間領域では、超流動とモット絶縁体の共存を反映して、両者の特徴がみられる。

組合せ最適化問題を解くコヒーレントイジングマシン

稲垣卓弘 稲葉謙介 本庄利守 武居弘樹
量子光物性研究部

組合せ最適化問題をイジングモデルの最低エネルギー状態探索問題に置き換えることで、最適解を探索することを目指すイジングマシンの研究が行われている。我々のコヒーレントイジングマシンは、縮退光パラメトリック発振器(DOPO)がとりうる2種類の発振状態をイジングモデルを構成するスピン状態に見立てて計算を行う。コヒーレントイジングマシンで複雑な組合せ最適化問題を解くためには、多数のDOPOを用意し、任意の2つのDOPO間に光結合を導入しなければならない。そこでまず我々は、全長1 kmの長距離光ファイバリング共振器を構築し、時間領域で多重化することで、10000を超える数のDOPOを一括発生させることに成功した[1,2]。次に、この光ファイバリング共振器内に時間遅延光干渉計を挿入することで隣接するDOPO間に光結合を導入し、1次元イジングモデルの極低温下での強磁性・反強磁性的な振る舞いを観測し、いずれの場合もドメイン構造の形成を確認した。

さらに複雑な光結合をDOPO間に導入するため、我々は測定・フィードバック法と呼ばれる手法をコヒーレントイジングマシンに実装した[図1(左)]。この手法では、光ファイバリング共振器内を周回するDOPOの光パルスの振幅をモニタし、電子演算によって個々の光パルスに対する光結合の合計値を算出し、その結果を用いて外部注入する光パルスを振幅変調して共振器にフィードバックすることによって、疑似的に任意のDOPO間に光結合を導入できる。この測定・演算・フィードバックのサイクルを、DOPOが光ファイバリング共振器を周回する度に実行することで、複雑なネットワーク構造のイジングモデルを模擬できる。我々はこの手法によって、2048個のDOPO間に任意の光結合を導入可能なコヒーレントイジングマシンを実現し、MAXCUT問題と呼ばれる組合せ最適化問題に対する高精度な解の探索に成功した。2000頂点、200万辺の複雑なグラフ問題でベンチマーク実験を行った結果、既存のデジタルコンピュータに対して約50倍の計算時間の高速化が確認された[図1(右)] [3]。

本研究は、革新的研究開発推進プログラム(ImPACT)の支援を受けたものである。

[1] T. Inagaki et al., Nature Photon. **10**, 415 (2016).

[2] H. Takesue et al., Opt. Lett. **41**, 4273 (2016).

[3] T. Inagaki et al., Science **354**, 603 (2016).

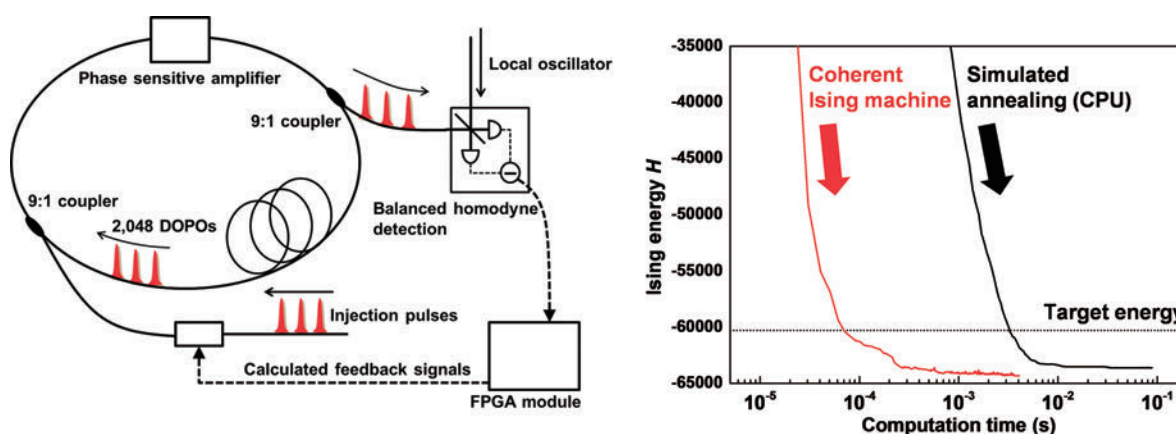


図1 (左) コヒーレントイジングマシンの実験図。(右) MAXCUT問題のベンチマーク実験結果。

高次元 Time-bin 量子状態のトモグラフィ

生田拓也 武居弘樹
量子光物性研究部

量子情報処理の高度化のため、用いる量子状態の高次元化の研究が近年活発に行われている。高次元量子状態は互いに直交する状態を複数取ることができるため、1つの粒子が伝達できる情報量を増加させることが可能となる。光子のTime-bin 量子状態はファイバ伝送中の状態劣化が小さいため量子通信で広く用いられているが、状態を構成する時間スロットを増やすだけで容易に高次元化ができるという利点も有する。生成された状態や伝搬後の劣化を評価するには、量子状態を完全に特徴づける量子状態トモグラフィ (QST) [1,2] が重要である。しかしながら、これまで高次元Time-bin 量子状態に対するQSTは知られていなかった。今回、我々はカスケード接続した遅延マッハツェンダ干渉計を用いて、測定の設定アップ数がTime-bin 量子状態の次元数に比例するQSTを提案し、4次元Time-bin 量子もつれ状態に対するQSTを行った[3]。

図1に提案したQSTの実装方法を示す。高次元Time-bin 量子状態では情報が光子の時間位置、および複数の時間位置間での相対位相にエンコードされる。図1中の干渉計を通った光子に対して単一光子検出を行うと、エンコードされた状態と干渉計の設定アップに依存した特定の干渉パターンを示す。干渉計の設定アップを変えながら干渉パターンの変化を測定することで時間位置と相対位相の情報を得ることができ、高次元Time-bin 量子状態の再構成が可能となる。

我々は、周期的分極反転ニオブ酸リチウム導波路中での自発パラメトリック下方変換を用いて4次元Time-bin 量子もつれを生成し、上記のQSTを行った。QSTにより得られた状態は、フィデリティ95.0%の純粋4次元Time-bin 量子もつれに近い状態を示した(図2) [3]。提案手法を用いることで、4次元Time-bin 量子もつれの次元16に対し、それに等しい16種の干渉計の設定アップ数でQSTが可能となり、高次元Time-bin 量子状態に対する効率的なQST装置の実装を確認した。

- [1] D. F. V. James et al., Phys. Rev. A **64**, 052312 (2001).
- [2] R. T. Thew et al., Phys. Rev. A **66**, 012303 (2002).
- [3] T. Ikuta and H. Takesue, New J. Phys. **19**, 013039 (2017).

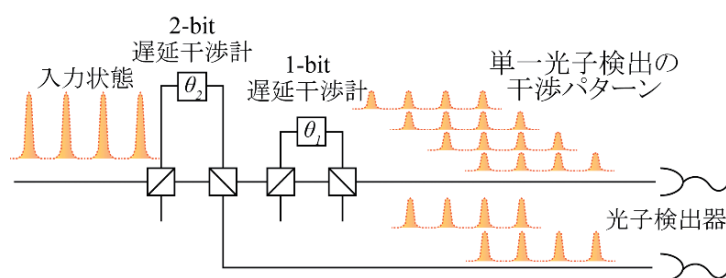


図1 カスケード接続した遅延マッハツェンダ干渉計によるQST。

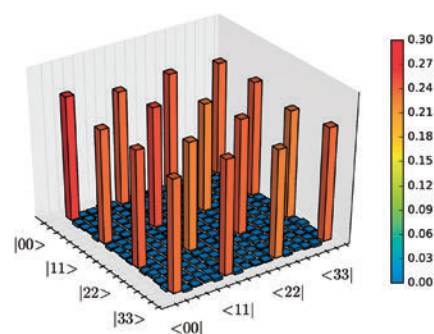


図2 再構成した状態密度演算子の実部。

量子インターネットの基本的な伝送速度 - 伝送損失トレードオフ

東 浩司¹ 水谷明博² Hoi-Kwong Lo³

¹量子光物性研究部 ²大阪大学 ³University of Toronto

量子インターネットは、量子多体系の時間発展のシミュレーションや、地球上の任意のクライアントへ、量子テレポーテーションや量子鍵配送などの量子通信を提供することを約束する。量子インターネットの最も基本的な機能は、ネットワーク上の任意の2地点間 [図 1(a) の A や B] に量子もつれ、あるいは (秘匿通信用の) 秘密鍵を効率的に提供することにある。

本研究で私たちは、このような任意の量子インターネットプロトコル [図 1(b)] に対し、ネットワーク上の通信路の特性だけで決まる一般的な理論限界を導出した [1]。この理論限界は、単一通信路の秘匿通信容量や量子通信容量の上界である Takeoka-Guha-Wilde (TGW) 限界 [2] を一般化することで得られた。したがって、本理論限界は TGW 限界の「任意の通信路に対して評価可能」という特性を引き継ぎ、量子ネットワークがどのような通信路で構成されていようとも評価できる。実際、私たちはこの特性を利用し、光ファイバで構成される線形ネットワーク上で動作する量子通信方式がもち得る伝送速度と、ネットワークの伝送損失の間に存在するトレードオフ関係を導いた。このトレードオフ関係は、既知の都市間量子鍵配送方式や量子中継方式がもつそれと遜色ないことが明らかとなった。言い換えれば、この事実は、これらの都市間量子鍵配送方式や量子中継方式には、効率という観点において、もはや本質的な改善の余地がないことを意味する。また、本理論限界の別の適用例として、私たちはその理論限界を、最も有名な量子中継方式の1つ、Duan-Lukin-Cirac-Zoller (DLCZ) 型方式 [3] に対して適用した。結果として、DLCZ 型方式が理論通り効率的に機能するためには、その方式で利用される物質量子メモリは最低 0.1 ms 以上のコヒーレンス時間 (T_2) をもつ必要があることが明らかになった。量子インターネットに対し、実用的かつ一般的な限界を与える私たちの結果は、将来の量子インターネットの潜在能力の理解を可能にする。

[1] K. Azuma, A. Mizutani and H.-K. Lo, Nature Commun. 7, 13523 (2016).

[2] M. Takeoka, M. Guha and M. M. Wilde, Nature Commun. 5, 5245 (2014).

[3] N. Sangouard et al., Rev. Mod. Phys. 83, 33 (2011).

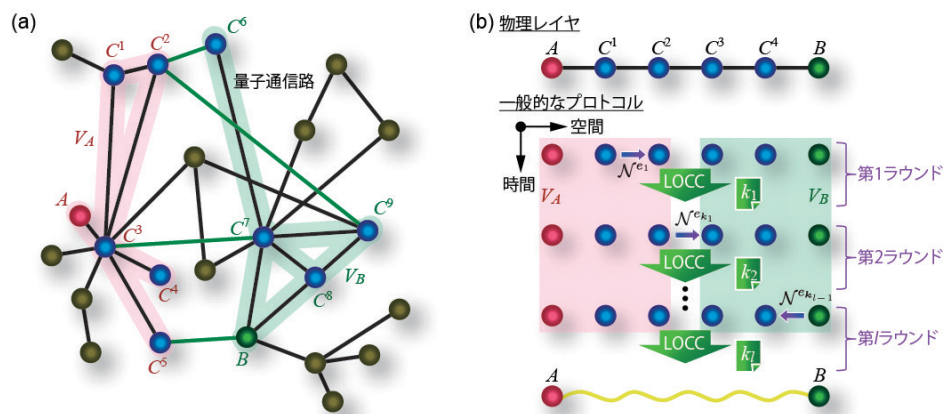


図1 (a) 量子ネットワーク。 (b) 一般的な量子インターネットプロトコル。プロトコルでは量子通信路、ノードにおける局所操作 (LO) と古典通信 (CC) を自由に組み合わせることができる。

マイクロ波フォトンクスにおけるスペクトルホールバーニングを用いたハイブリッド量子力学

Stefan Putz¹ Andreas Angerer¹ Dmitry O. Krimer¹ Ralph Glattauer¹
William J. Munro² Stefan Rotter¹ Jorg Schmiedmayer¹ Johannes Majer¹
¹TU Wien ²量子光物性研究部

不均一なアンサンブル中の光学場を用いたスペクトルホールバーニングは、これまでに確立された技術であり、材料の吸収スペクトル中で選択的に消去することを可能にするものである [1]。これらのスペクトルホールは、光化学における分光から、フォトンクスにおける遅い光 (Slow light)、また光学的な固体状態の周波数コム生成によるデジタルおよび量子情報の記憶に至るまで、様々な用途に使用されてきた。同様に、マイクロ波長帯のフォトンクスにおいても、電子スピンのアンサンブルを有するハイブリッド固体素子は、将来の大容量量子メモリ [2] へ向けた汎用性の高い構成要素と考えられている。しかしながら、その動作能力においては、光学系と比較するとまだかなり遅れているのが現状である。そこで我々は、回路 QED (Quantum Electrodynamics) システムにおける電子スピンアンサンブルのもつ可能性を実証するために、マイクロ波領域において共振器を用いたスペクトルホールバーニングを実現する。ダイヤモンド中の NV センタからなる電子スピンアンサンブルと超伝導マイクロ波共振器とが強く結合するハイブリッド系で、アンサンブルのもつマイクロ波の吸収スペクトルを選択的に消去し、ハイブリッド系に長寿命のダーク状態を作り出すことを可能にする。

アンサンブル中の不均一な広がり、メモリ時間に限界を与える重要な課題の一つであり、本研究では、このアンサンブルの不均一な広がりを排除する方法を示す。コヒーレンス時間は、不均一性にとまう自由誘導減衰のレートおよび共振器の減衰レートに比較して著しく改善されている。したがって、我々のハイブリッド量子システムは、個々のサブコンポーネントがもつ性質よりも優れた性能を発揮する技術を約束するものである。我々のアプローチは「デコヒーレンスフリー」状態を選択的に準備でき、この可能性をさらに実証するために、複数の長寿命ダーク状態をエンジニアリングする [3]。これは、固体のマイクロ波周波数コムへ向けた重要なステップとなる。我々の技術はホールバーニングが光学波長帯でもつ様々な利点を、マイクロ波長帯で実現することを可能にするもので、たとえば、長寿命量子メモリ、スピンスクイズ状態の生成、光とマイクロ波間の量子状態変換、および新奇メタマテリアルなど多くの新しい可能性を切り開くものである。我々のアプローチはまた、スピン同士の双極子相互作用が重要となる高密度スピンアンサンブルや多体量子現象に対して、直接的にアプローチできる新しい共振器 QED 実験の道を拓くものである。

- [1] W. E. Moerner, Persistent Spectral Hole-Burning: Science and Applications (Springer Science & Business Media, 2012).
[2] J. Nunn et al., Phys. Rev. Lett. **101**, 40 260502 (2008).
[3] S. Putz et al., Nature Photon. **11**, 3639 (2016).

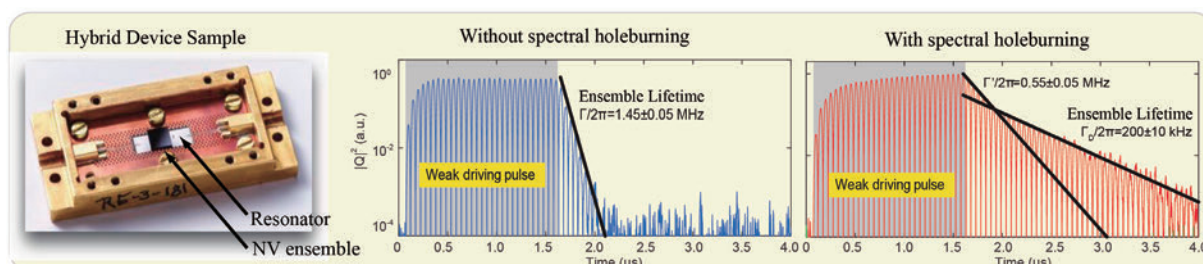


図1 (左) 超伝導共振器とNV-電子スピンアンサンブルからなるハイブリッドシステムのイメージ。
(中) スペクトルホールバーニングのない弱い駆動パルスに対するキャビティ応答。
(右) スペクトルホールバーニング後の弱い駆動パルスに対するキャビティ応答。

電気光学変調器ベース光周波数コムを用いた低雑音ミリ波発生

石澤 淳¹ 日達研一¹ 西川 正² 後藤貴大² 寒川哲臣¹ 後藤秀樹¹

¹量子光物性研究部 ²東京電機大学

我々は、将来の時刻・周波数同期技術の精度を向上するため、光周波数基準からマイクロ波やミリ波へと高精度に周波数変換する技術を探索している。今まで、線スペクトルが等しい間隔で並んだレーザ光源であり、光の物差しにもなる光周波数コムに注目し、25 GHz周波数間隔の電気光学変調器ベース光周波数コム（EOMコム）を開発してきた。EOMコムは広いモード周波数間隔という利点があり、大容量通信や天文分野に有用なツールである。その一方で、中心波長から離れるに従って、雑音が増幅され、各線スペクトルの幅が広がるという問題点があった。

本研究では、このEOMコムの“問題点”に注目し、高感度な「雑音検出器」として用い、従来よりも低雑音な周波数可変マイクロ波・ミリ波を発生させることに成功すると共に、上記のEOMコムの問題点も克服した[1]。具体的には、光周波数コムと、スペクトル幅が狭く雑音が低い参照レーザ（基準レーザ）との干渉によって光周波数コムのスペクトル上で増幅された雑音情報を電気信号に変換することでマイクロ波・ミリ波発生装置の雑音を高感度に検出する。その信号を用いて、マイクロ波・ミリ波発生装置の雑音を低減する[図1(a)]。EOMコムのスペクトル幅はマイクロ波・ミリ波発生装置の雑音を反映しており、中心波長から離れるにしたがって雑音が大きくなるために中心波長から大きく離れたスペクトルを利用すると、マイクロ波・ミリ波発生装置の雑音をより大きく低減できる。25 GHz信号の中心周波数から1 kHzオフセット周波数の雑音は、-110 dBc/Hzにまで低減できた[図1(b)]。これは、市販で最も低雑音級のマイクロ波・ミリ波発生装置よりも雑音を100分の1まで低減できたことになる。同時に参照に用いた線スペクトル幅まで雑音低減したことを意味し、EOMコムの問題点も解消した。また、本技術の汎用性を示すために、低雑音化されたマイクロ波・ミリ波発生装置の発振周波数の可変範囲の拡大を図り、6~72 GHzの帯域で連続可変することにも成功した。

[1] A. Ishizawa et al., Sci. Rep. 6, 24621 (2016).

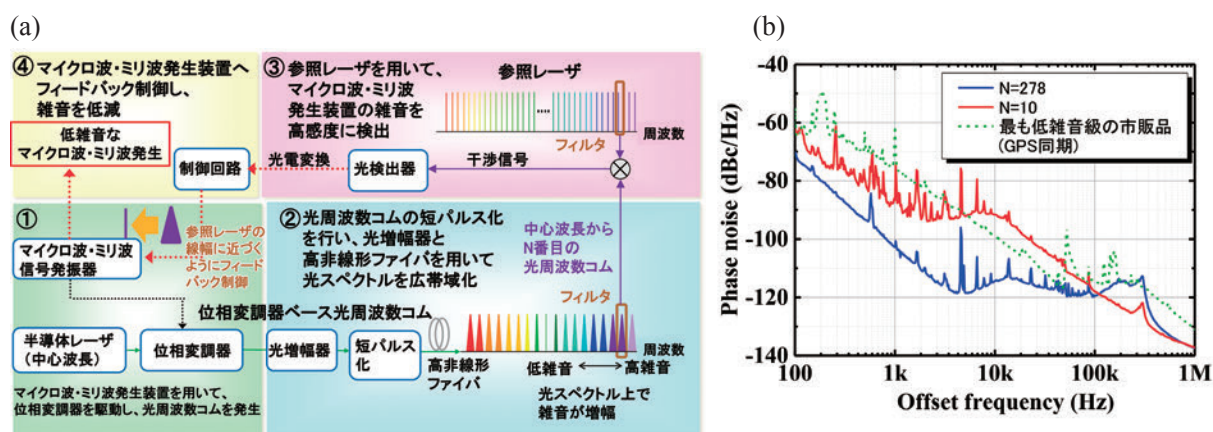


図1 (a) マイクロ波・ミリ波発生装置の雑音低減の原理。(b) 25 GHzミリ波信号の雑音低減。

アト秒時間で振動する GaN 半導体電子系のペタヘルツ光学動作

増子拓紀 小栗克哉 後藤秀樹

量子光物性研究部

現在の応答デバイスの信号処理速度は、半導体中における物理応答特性に寄与し、その動作周波数は1テラヘルツ(10^{12} Hz: THz)に達する。さらなる高周波のペタヘルツ(10^{15} Hz: PHz)応答を実現するためには、現在のラジオ周波数帯のマイクロ波動作から、光周波数帯での光源を用いた動作へと移行することを検討している。本研究では、アト秒(10^{-18} 秒: as) パルスを用いた時間分解計測により、窒化ガリウム(GaN)半導体電子系が作るPHz周波数を伴う光学応答現象の観測に成功した[1]。

図1(a)に実験概要を示す。GaN半導体[0001] (厚さ: 102 nm、バンドギャップ: 3.4 eV) に対し、真空紫外アト秒パルス (パルス幅: 660 as、スペクトル帯域: 17~24 eV[2]) と近赤外フェムト秒 (10^{-15} 秒: fs) パルス (パルス幅: 7 fs、中心光子エネルギー: 1.6 eV、集光強度: 1×10^{10} W/cm²) を用いた過渡吸収分光計測を行った。図1(b)は、近赤外パルスにより変化する相対吸光度(ΔOD)を示す。近赤外パルスの3光子励起により、電子は価電子帯から伝導帯へと遷移され、超高速の電子振動を誘起する。図1(c)が示す様に、この振動周期は860 asに達し、相当する周波数は1.16 PHzである。これは、過去に固体媒質において観測された振動現象の中で最高の周波数を持ち、超高周波応答デバイスの実現を示唆している。

本研究はJSPS 科研費 JP16H05987とJP16H02120の助成を受けたものである。

[1] H. Mashiko et al., Nature Phys. **12**, 741 (2016) : Featured on cover.

[2] H. Mashiko et al., Nature Commun. **5**, 5599 (2014) .

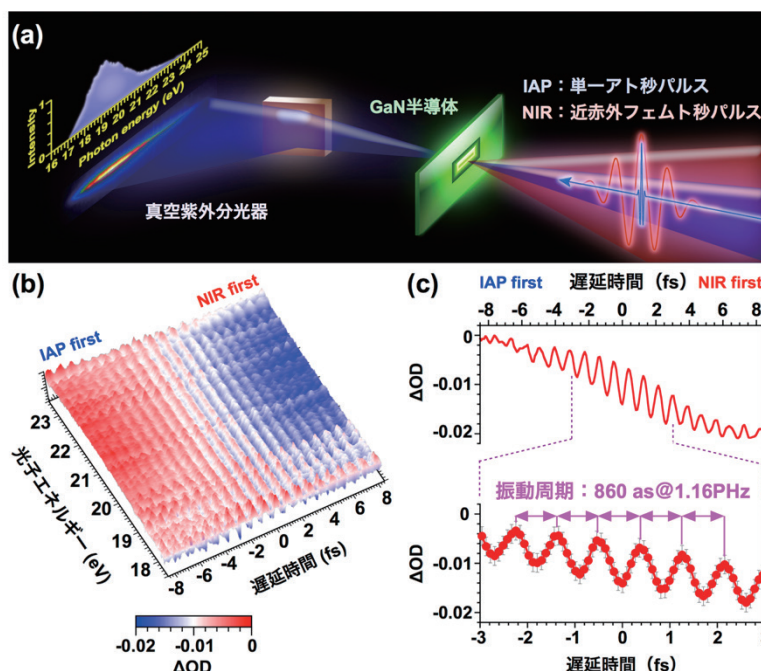


図1 GaN半導体におけるPHz光学動作。(a) 過渡吸収分光実験の概要図。

(b) 計測された相対吸光度 (ΔOD)。 (c) ラインプロファイル [(b) の光子エネルギー軸を積分]。

自己形成法を用いた、ナノメートル領域のボトムアップ法とマイクロメートル領域のトップダウン法との架橋技術の構築

Guoqiang Zhang^{1,2} 後藤秀樹¹

¹量子光物性研究部 ²NTT ナノフォトニクスセンタ

マイクロエレクトロニクスの分野においては、部品やデバイスの小型化と低コスト化が望まれており、今後のその要求が高まることが予測される[1]。小型化に対応する加工技術として、電子ビームリソグラフィや、極端紫外リソグラフィ技術が確立されたが、コストの面では問題がある。従来の光学フォトリソグラフィは低コストであるものの、小型化の要求には応えられない。この問題を解決する方法として、自己形成法で作製するナノワイヤを用いた、新しいナノ構造作製技術を考案し、実証した。

ナノワイヤを用いたデバイス作製のためには、ナノワイヤの位置制御が必要である。ナノワイヤは、ナノスケールのサイズであり、通常のフォトリソグラフィ技術を用いることはできない。我々は、自己形成法を用いて、ナノメートル領域のボトムアップ法とマイクロメートル領域のトップダウン法との架橋技術を構築した[2]。これは、フォトリソグラフィで形成したマイクロメータスケールのパターンを用いて、ナノワイヤの位置を制御する手法である。この手法では、マイクロメートルスケールの開口部をもったSiO₂をInP基板上に形成し、ナノメータスケールのインジウム微粒子の位置を開口部の中に制御する[図1(左)]。これは、基板温度と開口部のピッチサイズの最適化によって実現される。この微粒子を用いてInP/InAsヘテロナノワイヤアレイを成長させることに成功した。厚さの異なるInAsを形成して、量子閉じ込め効果による発光波長の制御も可能にした[図1(右)]。この新しい架橋技術はナノ構造作製法として大きく発展し、応用に向けて広く普及することが期待される。

本研究はJSPS 科研費 JP15H05735とJP16H03821の助成を受けたものである。

[1] G. A. Brown et al., Mater. Today **7**, 20 (2004).

[2] G. Zhang et al., ACS Nano **9**, 10580 (2015).

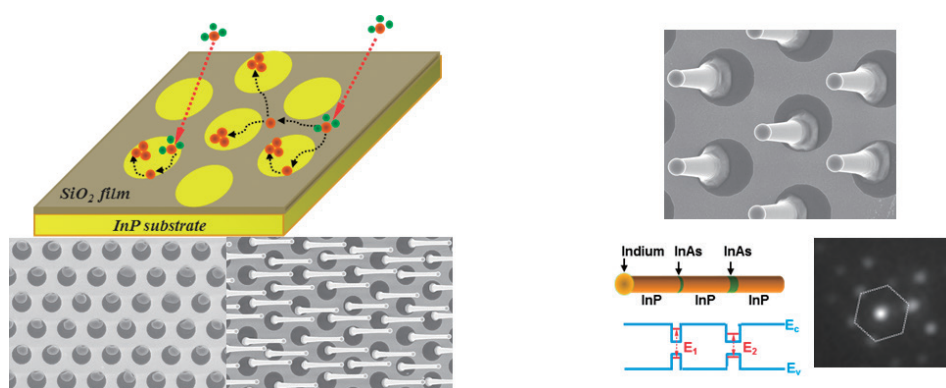


図1 (左) SiO₂/InP 基板表面上の吸収、分解、表面拡散、および微粒子形成の模式図。配列されたインジウム微粒子およびInP ナノワイヤのSEM 像。(右) 2つのInAs 量子ディスクをもつInP ナノワイヤのSEM 像。InP/InAs ナノワイヤのバンド図および配列されたInAs 量子ディスクからの発光空間像。

ディープサブ波長プラズモニック導波路への高効率モード変換の実現

小野真証^{1,2} 谷山秀昭^{1,2} Hao Xu^{1,2} 常川雅人^{2,3} 倉持栄一^{1,2}

野崎謙悟^{1,2} 納富雅也^{1,2,3}

¹NTT ナノフォトニクスセンタ ²量子光物性研究部 ³東京工業大学

プラズモニック導波路は光の波長よりもはるかに小さな伝搬モードを光回路内で活用することを可能にする。特に、ディープサブ波長サイズの導波路においては、ナノワイヤや2次元層状物質のようなナノ物質と光が効率的に相互作用することができ、超小型・超高速な光デバイス等の実現が期待される。一方で、プラズモニック導波路における伝搬損失は大きく、長距離伝搬は低損失な誘電体導波路に担わせる必要がある。しかし、両者における伝搬モードは大きく異なるサイズと形状をもつため、高効率なモード変換は容易ではなかった。そのため、これまで試みられたモード変換器では厚み方向のサイズは殆ど不変であった。本研究では、Si細線導波路(コアサイズ: $400 \times 200 \text{ nm}^2$)と金属-絶縁体-金属(MIM)構造のプラズモニック導波路(コアサイズ: $50 \times 20 \text{ nm}^2$)との間で、 -1.7 dB という高効率モード変換に成功した[1]。導波路厚を 200 nm から 20 nm に縮小できており、大幅なサイズ縮小比向上に成功している。また、MIM導波路のコアサイズは $(\lambda/n)^2/2000$ (λ : 波長, n : 屈折率) に達する。

我々のモード変換器は、横方向の2次元テーパ構造によって構成されており、Siと金薄膜の間に微小エアギャップを有している[図1(a)]。図1の(b)と(c)に、数値計算によって得られた伝搬の様子を示す($\lambda = 1.55 \text{ }\mu\text{m}$)。Si細線導波路における伝搬モードのサイドローブが金薄膜に引き寄せられ、大きく厚みの異なるMIM導波路に結合されている。我々は、構造パラメータの異なる変換器で結合効率を見積もり、テーパ長の最適化だけでなく、微小ギャップの導入が大きく結合効率を向上させることを見出した。これにより、作製困難な3次元テーパ構造を導入することなく、横・厚み方向のモード縮小を伴う高効率3次元モード変換が可能となった。作製したモード変換器における結合効率は、ギャップ幅 40 nm 、テーパ長 600 nm で -1.7 dB という高い値であり、計算結果(-1.4 dB)とも良い一致を示した。本成果により、ディープサブ波長サイズのプラットフォームが光回路内に導入されることが期待される。

本研究はJSPS 科研費 JP15H05735 の助成を受けたものである。

[1] M. Ono et al., Optica **3**, 999 (2016).

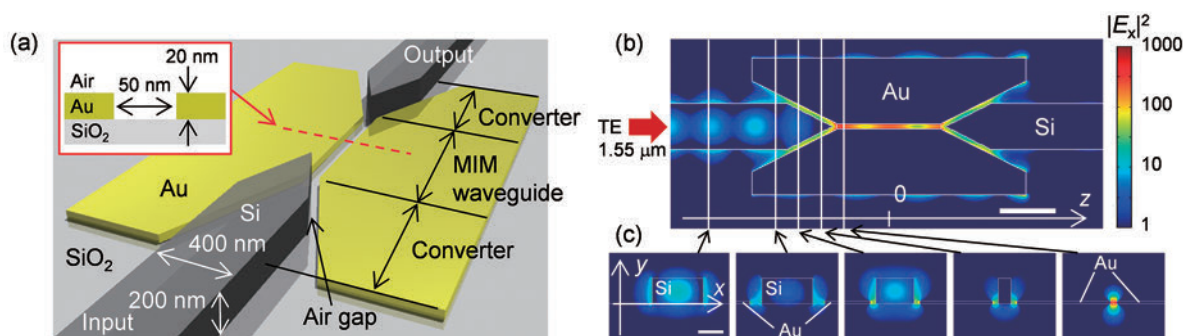


図1 (a) モード変換器の概略図。(b) 電界分布の上面図(ギャップ幅 40 nm 、テーパ長 400 nm 、 $y = 10 \text{ nm}$)。スケールバー: 500 nm 。(c) 電界分布の側面図。スケールバー: 200 nm 。

サブ波長ナノワイヤ誘起シリコンフォトニック結晶レーザ

滝口雅人^{1,2} 横尾 篤^{1,2} 野崎謙悟^{1,2} M. Danang Birowosuto^{1,2}

館野功太^{1,3} 章 国強^{1,2} 倉持栄一^{1,2} 新家昭彦^{1,2} 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 ³機能物質科学研究部

ナノワイヤ(NW)レーザは可視領域で研究が行われてきたが、通信波長帯では利得が小さいため実現が難しかった。我々は原子間力顕微鏡を用いて[1]、シリコンフォトニック結晶中にサブ波長サイズのInAsP/InP NWを配置したフォトニック結晶共振器を作製し[図1(a)]、世界で初めて通信波長帯でNWのレーザ発振に成功した[2,3]。本研究は将来、シリコン光回路内にナノレーザを作る手法として期待できる。

今回用いたNWは、レーザ発振に必要な利得を得るために、結晶品質を向上させることで、偏光特性を共振器モードに一致させ、活性層体積を大きく増やした(量子井戸100層)。NW長は2.5 μm 、直径114 nmで、発光は、1330 nmの通信波長帯である。図1の(b)と(c)は、CWレーザ励起の4 Kでのマイクロフォトルミネッセンス測定系によるレーザ発振前後のスペクトルと光入出力特性である。図から、レーザ発振の兆候を示すキंकが確認できる。さらに光子統計性を調べ、連続発振を確認した[図1(d)] [3]。また、本素子の特徴はNWを動かし発振波長を制御できることである[図1(e)] [2]。次に動特性を調べた。励起光を疑似ランダムパターンに変調し、素子からの出力信号を超伝導単一光子検出器と時間相関単一光子計数モジュールを用いて測定した。通常、素子直上からの測定では、結合効率が悪く、変調信号の測定は難しいが、本手法は超高感度測定を可能にする。得られた変調信号を解析しアイ開口も確認した。NWレーザで10 Gbit/sの直接変調動作を初めて実証した[図1(f)] [3]。

[1] M. D. Birowosuto et al., Nature Mater. **13**, 279 (2014).

[2] A. Yokoo, M. Takiguchi et al., ACS Photonics **4**, 355 (2017).

[3] M. Takiguchi et al., APL Photonics **2**, 046106 (2017).

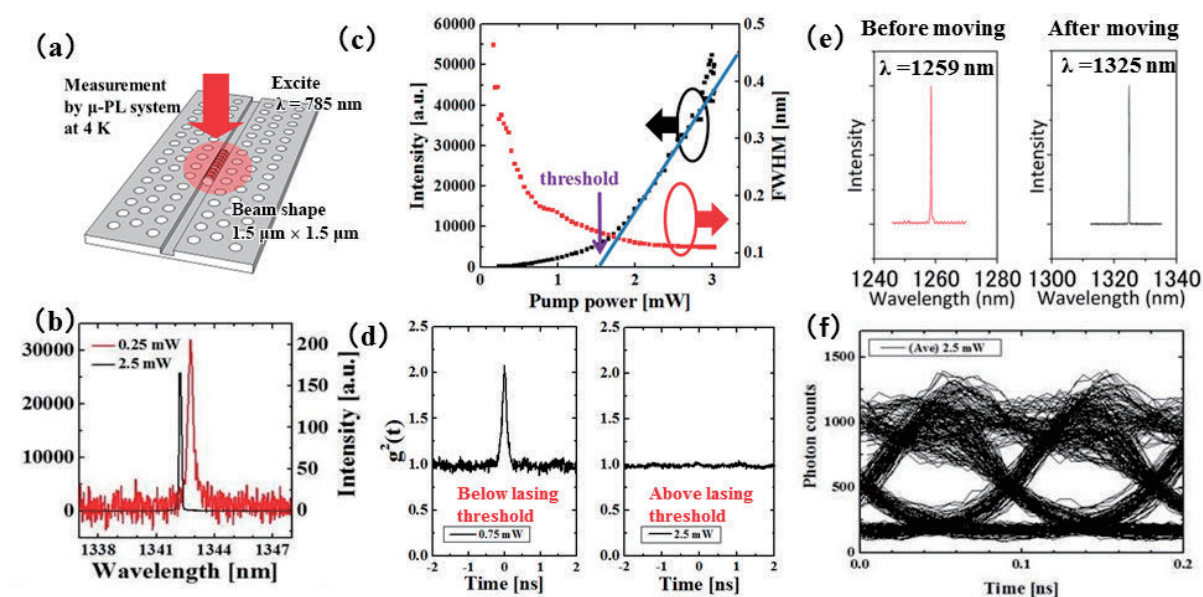


図1 (a) 概念図。 (b) 発振前後のスペクトル。 (c) 入出力特性。 (d) 光子相関測定。

(e) 波長制御。 (f) アイ開口。

低容量ナノ受光器による高効率な光 - 電圧変換

野崎謙悟^{1,2} 松尾慎治^{1,3} 藤井拓郎^{1,3} 武田浩司^{1,3} 小野真証^{1,2}

倉持栄一^{1,2} 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

オンチップ光処理に向けた光ディテクタ(PD)には、高密度集積が可能な低消費エネルギーと微小サイズが要求される。通常のPDは後段に電圧増幅を必要とするため消費エネルギーが高いが、もし極めて小さい静電容量(C)のPDが実現できれば、高い負荷抵抗の接続のみで高い光 - 電圧変換効率を可能にする光受信回路が期待される。我々はフォトニック結晶(PhC)導波路に微小なInGaAs吸収層を埋め込む技術によって、理論容量が0.6 fFと低い小型のPDを実現した [図1(a)] [1]。長さ1.7 μm と短いながらも1 A/Wの高い光感度と40 Gbit/sの高速応答が可能である。本研究では、このPhC導波路PDと負荷抵抗を接続し、光 - 電圧変換を評価する回路を構成した [図1(b)]。電気光学(EO)プローブ法を用いて発生電圧を測定した結果、増幅器集積型と同等以上である最大4 kV/Wの高い光 - 電圧変換効率を得られた [図1(c)]。動作帯域は、EOプローブ測定に必要なストリップラインの寄生容量のために数Gbit/sに制限されたが、PDの理論容量を考えると40 Gbit/s動作も可能と推定された。これらの結果は、低容量PDにより増幅器不要な低消費エネルギー光受信が実現できることを示唆しており、チップ上での光ネットワークをはじめとする光電融合光処理に向けて重要な要素技術となることが期待される。

本研究の一部はJST、CREST (JPMJCR15N4) の支援を受けたものである。

[1] K. Nozaki et al., Optica **3**, 483 (2016).

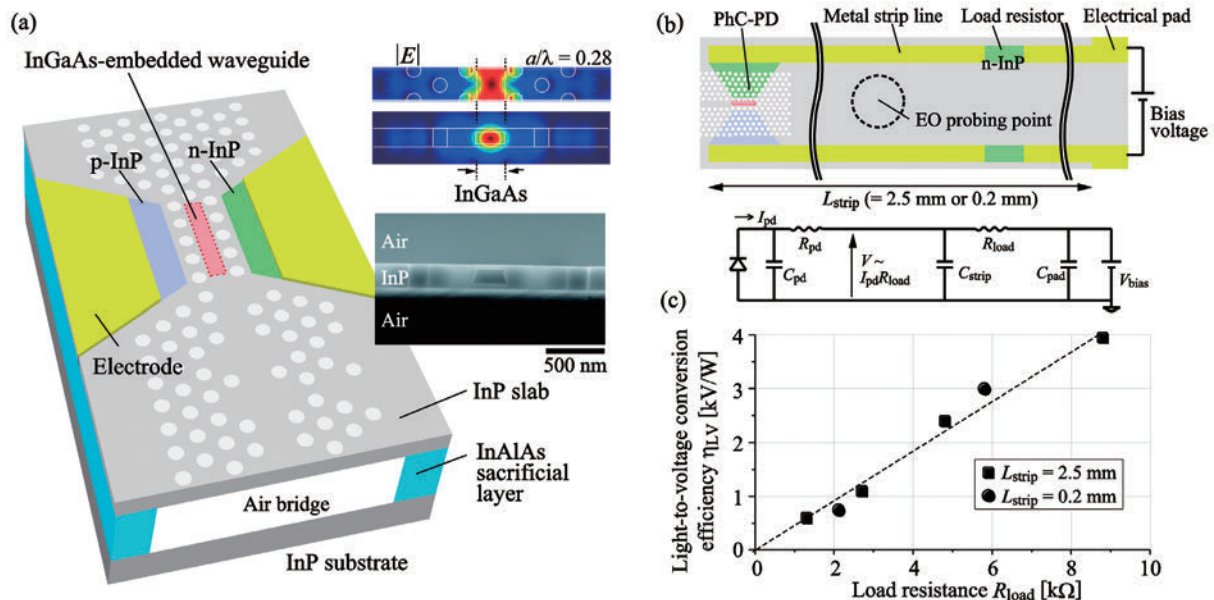


図1 (a) フォトニック結晶導波路型PDの構造。挿入図は、計算された光電界分布(上)と断面SEM写真(下)。(b) 負荷抵抗集積型PDの構成と等価回路。(c) 負荷抵抗に対する光 - 電圧変換効率の測定結果。

シリコンプラットフォーム上の超伝導単一光子検出器

開 達郎^{1,2} 土澤 泰^{1,2} 柴田浩行³ 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 ³北見工業大学

量子光学システムは将来のコンピュータや通信に革新をもたらすことが期待されている。特に、シリコン(Si)フォトニクス技術を用いて作製される量子光学システムは、飛躍的に小型、低コストとなることから注目されている。しかし、従来の単一光子検出器であるSi avalanche photodiodeはSi光回路で用いられる近赤外光子を検出することができないため、Si上に単一光子検出器を集積することが課題となる。この課題に対して、Si導波路結合型superconducting-nanowire single-photon detector (SNSPD)が注目されている[1]。SNSPDの特長は近赤外光子を低ノイズ、低ジッタで検出することができる点である。先行研究では、Si上SNSPD素子が報告されているが、導波路—ファイバ間の大きな結合損失により、システム検出効率は数%程度と低い[2]。そこで本研究では、Si導波路とファイバ間の結合損失を低減するスポットサイズ変換器を集積した高効率SNSPDを報告する。

図1(a)にSi上SNSPDの概略図を示す。400 nm幅のSi細線導波路上に窒化ニオブ(NbN)膜細線が形成され、Si導波路を伝搬する光子はエバネッセント結合によりNbN細線に吸収される。本素子の特長は、ファイバのモードフィールド径と整合する3- μm 径石英系(SiO_2)コアとSi細線導波路間を逆テーパSiにより接続するスポットサイズ変換器である。キーとなるプロセス技術は200℃以下の低温 SiO_2 膜成膜技術である。これにより、Si上に形成されたNbN膜に熱ダメージを与えることなくスポットサイズ変換器を集積することが可能となる[3]。図1(b)に作製した素子のシステム検出効率とバイアス電流の関係を示す。ファイバ結合効率は1.9 dB/facet、システム検出効率はバイアス電流8.0 μA において約32%であり、従来の10倍以上の効率が得られた。On-chip detection efficiencyは90%以上であり、低温プロセスによるNbN膜の劣化がないことが確認できた。これらの結果は、Si-NbN- SiO_2 モノリシック集積技術が将来の量子光学回路集積のキー技術となることを示す。

[1] J. P. Sprengers et al., Appl. Phys. Lett. **99**, 181110 (2011).

[2] O. Kahl et al., Sci. Rep. **5**, 10941 (2015).

[3] T. Hiraki et. al., Proc. in Frontiers in Optics, FW5F.3 (2016).

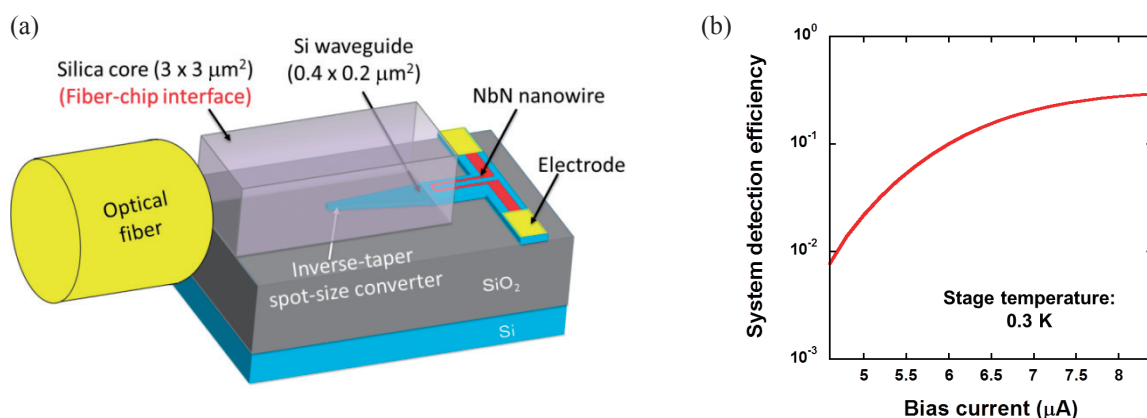


図1 (a) Si上SNSPDの概略図。(b) システム検出効率の測定結果。

シリコン細線上に集積した LEAP レーザ

武田浩司^{1,2} 藤井拓郎^{1,2} 新家昭彦^{1,3} 土澤 泰^{1,2} 西 英隆^{1,2}

倉持栄一^{1,3} 納富雅也^{1,3} 碓塚孝明^{1,2} 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 ³量子光物性研究部

データセンタや高機能コンピュータにおいて、データ通信がその性能のボトルネックとなりつつある。そこで高速・大容量の光インターコネクトをこれまでより短距離の領域にも適用する試みが進められている[1]。短距離光インターコネクトはチャネル数が多いため、低エネルギーで動作する素子を高密度で配置する必要がある[2]。そこで、我々はこの要求を満たすため、低しきい値電流で動作可能なフォトリソニック結晶(PhC)レーザをSi導波路と集積した素子を作製し、室温連続発振を得ることに成功した。

素子は以下の手順で作製した。InP基板上にInGaAsエッチストップ層と、InGaAsP多重量子井戸を結晶成長した。その上にプラズマCVD法でSiO₂を成膜した。別途Si導波路加工を済ませたSOIウエハを用意し、InPと酸素プラズマアシスト法を用いてウエハ接合した。InP基板を除去した後に、エッチングと再成長によって埋め込み活性層を形成した。その後、イオン注入と熱拡散によって n 、 p のドーピングを行い、電子線リソグラフィとドライエッチングでPhC穴を形成した。最後に素子上面に電極を形成した。作製した素子の模式図を図1(a)に示す。微小な活性層が埋め込まれた構造から、我々は本素子を波長サイズ埋込活性層PhC (LEAP)レーザと呼んでいる。

作製した素子に電流を注入し、光出力および印加電圧を測定した(L - I - V 特性)。その測定結果を図1(b)に示す。我々は初めてSi細線上のLEAPレーザの室温連続発振を実現し、しきい値電流は42 μ Aであった。最大光出力は先球ファイバにおいて0.72 μ W (結合損を含む) が得られた。発振時の素子の赤外線画像を図1(b)に合わせて示す。素子からの光がSi導波路を導波していることを確認した。我々はこのSi細線結合LEAPレーザの室温連続発振実現は、短距離光インターコネクトに向けた重要な一歩と考えている。

[1] A. Benner, Proc. OFC Tutorial (2012).

[2] Y. Arakawa et al., Com. Mag. IEEE **51**, 72 (2013).

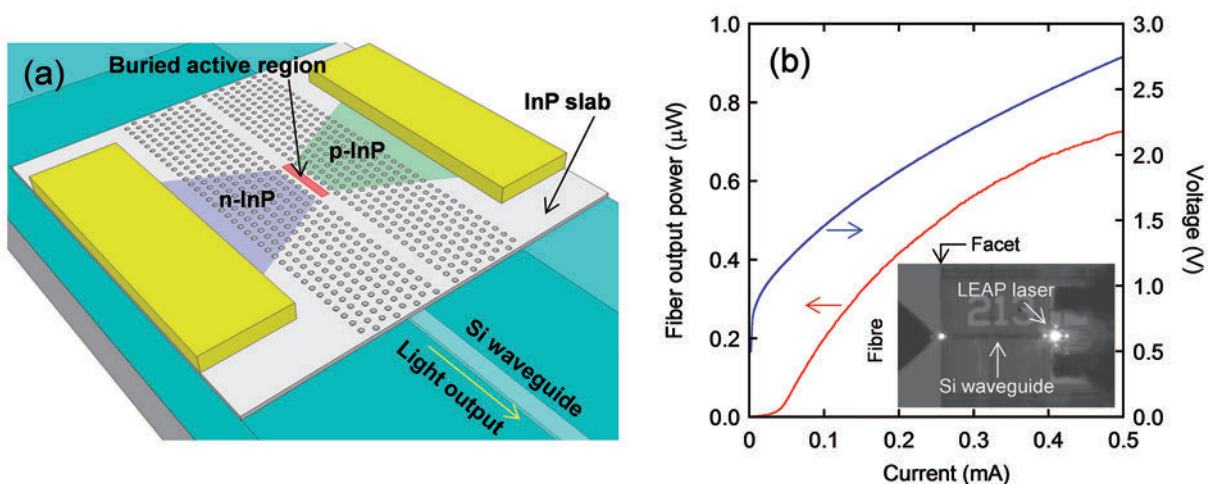


図1 (a) Si細線上LEAPレーザの模式図。(b) L - I - V 特性および発振時の赤外線写真。



Ⅱ. 資料

第9回 アドバイザリボード

2017年1月30日と31日の2日間、物性科学基礎研究所アドバイザリボードを開催しました。このボードは、外部の著名研究者に研究成果ならびに研究計画を客観的に評価していただき、今後の研究マネジメントに反映させるために設置しています。2001年の最初の会議以降、約2年ごとに会議を開催し、今回で第9回目となります。

今回の会議では、ボードメンバのうち、5名のメンバに参加いただきました。参加メンバからは研究成果ならびに研究マネジメントに関して、貴重な提案と助言をいただきました。世界トップクラスのグローバルな研究拠点として、引き続き、質の高い研究成果を創出し、世界に向けてタイムリーに発信することが重要であるとのコメントをいただきました。また、人的リソースの拡充、安定的な研究予算の確保、内外のコラボレーションの更なる推進など、いくつかの改善点をご指摘いただきました。これらの提言を、今後の研究所運営に活用していきたいと考えています。

今回のボードでも、若手研究者との食事会やポスターセッションを開催し、研究所メンバとボードメンバとの意見交換の場を設けました。ボードメンバは、研究所メンバの研究に対する日ごろの姿勢を直接感じることができ、また研究所メンバは著名な先生方の研究に対する取り組み方を知ることができ、大変好評でした。NTT幹部との意見交換会は、内外の研究状況を鑑みた研究所運営について議論する大変貴重な機会となりました。次回開催は2年後を予定しております。



Board members	Affiliation	Research field
Prof. John Clarke	Univ. California, Berkeley	Superconductor physics
Prof. Evelyn Hu	Harvard Univ.	Nanodevice
Prof. Mats Jonson	Univ. Gothenburg	Condensed matter
Prof. Sir Peter Knight	Imperial College London	Quantum optics
Prof. Anthony J. Leggett	Univ. Illinois	Quantum physics
Prof. Allan H. MacDonald	Univ. Texas	Condensed matter
Prof. Andreas Offenhäusser	Forschungszentrum Jülich	Nano-bio electronics
Prof. Halina Rubinsztein-Dunlop	Univ. Queensland	Quantum electronics
Prof. Klaus von Klitzing	Max-Planck-Inst.	Semiconductor physics

サイエンスプラザ 2016

2016年11月23日(水)にNTT厚木研究開発センタにおいて、“未来への扉を開くフロンティアサイエンス”と題した物性科学基礎研究所の公開イベント「サイエンスプラザ2016」を開催いたしました。本イベントは、研究所の最新の研究成果について内外の方々に広く紹介するとともに、御来場の皆様との有意義な議論の場とすることを目的としており、デバイスイノベーションセンタ、先端集積デバイス研究所、コミュニケーション科学基礎研究所との共催です。

講堂において行われた講演会の午前の部では、寒川哲臣 物性科学基礎研究所所長による開会の挨拶、研究企画部長による各研究所概要の説明に続き、藤原聡 上席特別研究員による「ナノデバイスをういた極限エレクトロニクス」と題したシンポジウム講演を行いました。午後の部では、天野浩先生(名古屋大学教授)に「世界を照らすLED」と題した特別講演を行って頂きました。午前、午後の部ともに講演会会場は全て埋まり大盛況でした。また、毎回大変好評のラボツアーは、できるだけ多くの方に参加して頂けるよう10コースで各2回実施いたしました。ラボツアーと並行して行われたポスター展示では、共同研究実施機関からの13件を含めて計52件の最新の研究成果を紹介しました。研究の概要から、そのオリジナリティやインパクト、今後の展望を詳しく説明し、研究内容についてかなり突っ込んだ議論も行われました。全ての講演・展示・公開を終えた後、夕刻からは社内食堂にて懇親会を行いました。ご来場頂いた方々と親交を深めるとともに、研究内容についての議論も引き続き行われました。

今回、大学等研究機関・一般企業・NTTグループ等から198名の方々にご参加頂き、お陰様を持ちまして、盛況のうちに終了する事が出来ました。ご来場頂きました方々には、心より感謝申し上げます。ポスター展示、ラボツアーの際やアンケートでお寄せ頂きました様々なご意見は、次回のサイエンスプラザに活用させていただきます。



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26日	Prof. Peter Smith (University of Southampton, U.K.)	Integrated photonic circuits for quantum information processing
6月22日	Prof. Jacob. M. Taylor (National Institute of Standards and Technology, U.S.A.)	Solving quantum information challenges with light
6月22日	高橋 陸 氏 (北海道大学)	ハイドロゲル-生体適合材料のさらなる応用に向けて
6月24日	Dr. Zhechao Wang (Ghent University-IMEC, Belgium)	Monolithic integration of III-V semiconductor lasers on Si
7月4日	Dr. Rakchanok Rungsawang (Imagine Optic, France)	Wavefront sensing, adaptive optics for microscopy and optical metrology
7月4日	Prof. Henning Riechert (Paul Drude Institut for Solid State Electronics, Germany)	III-nitride nanowires — understanding MBE growth and pathways towards true nanostructures
7月19日	Dr. David Elkouss (Delft University of Technology, The Netherlands)	Benchmarking quantum channels for private communications
8月9日	Dr. Erika Kawakami (Delft University of Technology, The Netherlands)	All-electrical universal control of electron spin qubits in Si/SiGe quantum dots
8月9日	Dr. Fabien Lafont (Weizmann Institute, Israel)	New paradigm for edge reconstruction of hole-conjugate fractional states
9月9日	川勝英樹 教授 (東京大学) Dr. Eric Leclerc (東京大学)	Introduction of the international Lab LIMMS at Tokyo University and Development of microfluidic devices for hepatic induced pluripotent stem cell differentiation
9月26日	Prof. Christian A. Nijhuis (National University of Singapore, Singapore)	Mechanisms of charge transport and light-matter interactions across (bio) molecular tunnel junctions
10月3日	大塚 岳 博士 (群馬大学) Dr. Vladimír Chalupický (富士通株式会社) Dr. Norbert Požá (金沢大学)	Mathematical aspects of crystal growth: recent topics on growth dynamics

10月11日	大矢 忍 准教授 (東京大学) 竹嶋健人 氏 (東京大学)	強磁性エピタキシャル単結晶ヘテロ構造を生かしたスピントロニクス
10月18日	Dr. Yuxi Fu (理化学研究所)	Recent progress on high-energy ultrafast laser systems in RIKEN
10月27日	斎木敏治 教授 (慶応義塾大学)	ナノ光学と流体工学とバイオの接点：センシングから知能実装へ
11月1日	根岸良太 助教 (大阪大学)	酸化グラフェンからの高結晶性グラフェン薄膜の製造技術とバイオセンサー応用
11月15日	Dr. Stefan Fölsch (Paul Drude Institut for Solid State Electronics, Germany)	Artificial lattices created by electrostatic gating of surface state electrons
12月15日	樋口卓也 博士 (Friedrich-Alexander University of Erlangen-Nürnberg, Germany)	光電場によるグラフェン中の電流制御
12月16日	西森秀稔 教授 (東京工業大学)	量子アニーリングの進展
12月26日	Mr. Cheng Wang (Harvard University, U.S.A.)	Lithium niobate nonlinear nanophotonics
1月25日	Dr. Pooya Ronagh (1Qbit, Canada)	Global optimization of quadratic functions
3月2日	Dr. Frank Deppe (Walther-Meißner-Institut, Germany)	Continuous-variable propagating quantum microwaves
3月9日	Dr. Sébastien Gleyzes (Laboratoire Kastler Brossel, France)	A sensitive electrometer based on a Rydberg atom in a Schrödinger-cat state

社 外 表 彰 受 賞 者 一 覧

表彰名	受賞者名	受賞題目	年月日
応用物理学会 春季学術講演会 ポスター賞	小野真証 谷山秀昭 常川雅人 倉持栄一 野崎謙悟 納富雅也	$\lambda^2/2000$ 断面積スロット導波路への 高効率モード変換の実現	2016.4.1
文部科学大臣表彰 若手科学者賞	眞田治樹	半導体量子構造における電子スピン 操作に関する研究	2016.4.20
OECC/PS 2016 Best Paper Award	野崎謙吾 松尾慎治 藤井拓郎 武田浩司 小野真証 Abdul Shakoor 倉持栄一 納富雅也	Sub-fF-capacitance photonic-crystal photodetector towards fJ/bit on-chip receiver	2016.7.6
応用物理学会 フェロー表彰	寒川哲臣	弾性表面波を用いた半導体量子構造 における光・スピン機能制御	2016.9.13
応用物理学会 論文奨励賞	Pierre-Alix Carles	DRAMのスケーリングによるエネル ギー等分配則の破れ	2016.9.13
日本化学会 コロイドおよび界面化学 部会 若手口頭講演賞	手島哲彦 中島 寛 上野祐子 佐々木智 塚田信吾	高分子薄膜の自己組立て技術を用い た細胞の内包化と操作技術の確立	2016.11.10
IOP Publishing Outstanding Reviewer Award 2016	William J. Munro	Outstanding Reviewer for New Journal of Physics in 2016	2017.2.3
応用物理学会 講演奨励賞	黒子めぐみ	フォノン結晶導波路における フォノン伝搬波の非線形分散効果	2017.3.14
応用物理学会 講演奨励賞	生田拓也	高次元 Time-bin 量子もつれに対する 量子状態トモグラフィの実装	2017.3.14

社内表彰受賞者一覧

表彰名	受賞者名	受賞題目	年月日
日本電信電話株式会社 社長表彰 発明考案表彰	武居弘樹 稲垣卓弘 稲葉謙介 本庄利守 梅木毅伺	組合せ最適化問題を解くコヒーレント イジングマシンの実現	2016.10.24
先端技術総合研究所 所長表彰 研究開発賞	Imran Mahboob 畑中大樹 岡本 創 山口浩司	非線形フォノンクス素子の提案と実証	2016.12.12
物性科学基礎研究所 所長表彰 業績賞	塚田信吾 小笠原隆行 倉沢 央 山口真澄 河西奈保子 中島 寛	hitoe [®] 精密計測ウェア・システムの 創製・実証および実用化	2017.3.27
物性科学基礎研究所 所長表彰 業績賞	角柳孝輔 George Knee 松崎雄一郎 樋田 啓 William J. Munro 齊藤志郎	超伝導回路を用いた量子力学における原 理実証実験の推進	2017.3.27
物性科学基礎研究所 所長表彰 業績賞	増子拓紀 加藤景子 小栗克弥	アト秒光パルス技術による超高速光 物理の開拓	2017.3.27
物性科学基礎研究所 所長表彰 論文賞	Shengnan Wang 日比野浩樹 鈴木 哲 山本秀樹	"Atmospheric Pressure Chemical Vapor Deposition Growth of Millimeter-Scale Single-Crystalline Graphene on the Copper Surface with a Native Oxide Layer" Chemistry of Materials 28 , 4893 (2016).	2017.3.27
物性科学基礎研究所 所長表彰 論文賞	稲垣卓弘 本庄利守 梅木毅伺 圓佛晃次 忠永 修 竹ノ内弘和 武居弘樹	"A coherent Ising machine for 2000-node optimization problems" Science 354 , 603 (2016).	2017.3.27
物性科学基礎研究所 所長表彰 環境貢献論文賞	西口克彦 藤原 聡	"Single-electron counting statistics of shot noise in nanowire Si metal-oxide- semiconductor field-effect transistors" Applied Physics Letters 98 , 193502 (2011).	2017.3.27
物性科学基礎研究所 所長表彰 奨励賞	国橋要司	スピン軌道相互作用を用いた半導体中の 電子スピン運動の制御	2017.3.27

報道一覧

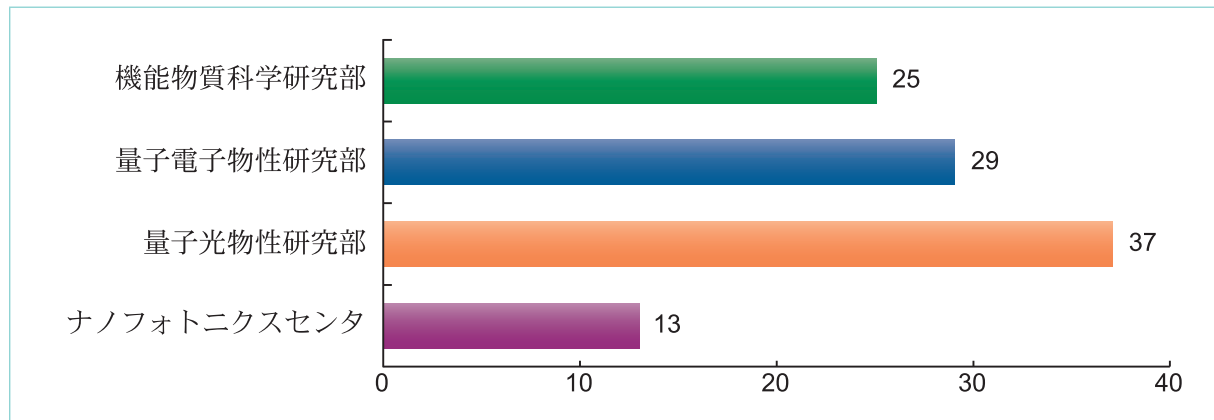
掲載月日	掲載紙	見出し
4月12日	日刊工業新聞	NTT実証 微細振動 高感度検出 機械振動子に量子ドット組み込み
4月13日	日刊工業新聞	窒化ガリウム半導体 電子運動 初観測 NTT 東京理科大 ペタヘルツ波利用
4月18日	通信興業新聞	NTTと東京理科大 「アト秒」の極短時間で振動 電子運動観測に初成功
4月19日	日刊工業新聞	大規模な人工スピン群 NTTなど 光共振器で生成
4月21日	日経産業新聞	極微の動き 素子で検出 NTT 演算速度向上に期待
4月25日	通信興業新聞	NTTが生成 光による大規模人工スピン群 難問解くコンピュータ実現に道
5月18日	日刊工業新聞	低雑音マイクロ波発生装置 NTTなど 光物差し採用、小型化
5月23日	日経産業新聞	光のクシで通信速度7倍 NTTと東京電機大 無線データ伝送
6月1日	日経産業新聞	電子の動き 直接観察挑む NTT・東大「不可能を可能に」 高速光シャッター+電子顕微鏡
7月6日	日経産業新聞	NTT電流の新しい物差しに 電子の移動、1個ずつ制御
7月6日	日刊工業新聞	ギガ領域で最高精度 シリコン単電子転送素子 NTTなど 電流再定義へ一歩
7月26日	日経産業新聞	IoT時代の新型コンピューター 物理現象から最適解探る レーザーで効率化 ▲NTT 日立▼ 既存半導体つなぐ
8月号	Number	[これからのスポーツを考える] 世界チャンピオン 井上尚弥が見た 先進テクノロジーとスポーツの未来。
9月20日	日刊工業新聞	研究所 探訪 次世代ビジネスを育む NTT・物性科学基礎研究所 常識破る新原理 見いだす
9月22日	日刊工業新聞	機能素材を実証
9月27日	日本経済新聞	スマート衣料で医療参入 東レとNTT、病院に販売 心電図測定が可能

9月29日	日経産業新聞	東レとNTT、着る医療機器
9月30日	日経産業新聞 第2部	新繊維 生活より快適 スマート衣料 東レ 生体情報で健康管理 帝人 人の動きロボに伝達
10月12日	日刊工業新聞	人工原子に光子絡み付く 情通機構など発見 安定な分子状態に
10月17日	通信興業新聞	NTTが共同研究 人工原子と光子の相互作用から 安定的な分子状態発見
10月17日	電経新聞	原子と光の相互作用に新たに領域が存在 NICT NTTらと発見、量子技術への応用に道
10月21日	日刊工業新聞	NTTと情報研 新原理の量子計算機開発 「最適化問題」速度50倍 脳を模倣し相転移で来年にも利用解放
10月24日	日本経済新聞	新原理のコンピューター NTT・国立情報研など開発
10月28日	科学新聞	現行コンピューターを凌駕 量子ニューラルネット開発 ImPACTプログラムで成果 光使って組み合わせ最適化問題解く
10月28日	科学新聞	長年の原子物理問題に答え提供 NICT、NTTなど 光子と人工原子による安定な分子状態を発見
10月31日	通信興業新聞	NTT 新しい量子計算原理 ニューラルネットワークを開発
11月 7日	日刊工業新聞	超電導電流に「非実在性」 NTTなど 量子力学 巨視的世界にも適用
11月 9日	日経産業新聞	電子多い電流で量子効果 NTTなど コンピューター実現性に期待
11月25日	日経産業新聞	トポロジカル絶縁体 「表面だけ導電」に熱い視線
12月 5日	日刊工業新聞	量子メモリー 光通信で書き込み読み出し 情通機構など
1月号	毎日新聞 月刊なるほドリ	健康に 環境に ここまで役立つ驚きの新素材
1月16日	朝日新聞	カイシャの進化 NTT 着る端末 コラボから光
2月 7日	毎日新聞	リハビリ効果 着て検証 藤田保健衛生大 ベスト型センサー実用化目指す

2月 7日	朝日新聞	着るだけで心拍数測れます リハビリ・見守りに 藤田保健衛生大など実験
2月 7日	中日新聞	着るだけで心拍数計測 藤田保健大など 効果的リハビリへ実験
2月 7日	中部経済新聞	着るだけで活動データ取得 藤田保健衛生大など 効果的リハビリへ実験
2月 7日	日本経済新聞	生体情報取得できる繊維 藤田保健大 リハビリ向け実証実験
2月 7日	日刊工業新聞	ウェア型センサー「ヒトエ」 藤田保健衛生大など リハビリの有効性検証
2月 7日	石油化学新聞	東レ、医療機関でウェアラブル生体センサの実証実験 藤田保健衛生大やNTTなど、3年内の実用化へ
2月 7日	日刊ケミカルニュース	東レ、ウェアラブル生体センサ、医療機関で初の実証実験
2月 7日	繊維ニュース	東レ「ヒトエ」 リハビリ分野へ実証実験 今日から藤田保健衛生大で
2月 7日	繊研新聞	リハビリに「ヒトエ」活用 東レ、藤田保健衛生大などが実証実験 患者の生体情報を24時間取得
2月 7日	日経産業新聞	IoT服でリハビリ 心拍数測る「ヒトエ」活用 ドコモ実験
3月14日	日刊工業新聞	電荷・スピン信号計測 東工大など技術 融合素子実現に一步
3月20日	通信興業新聞	電荷・スピンの波形計測 次世代エレクトロニクス素子創出へ NTT 東工大と共同研究
3月24日	科学新聞	東工大とNTT 電荷とスピン 両信号の波形計測 スピン分解オシロスコープを実現

学術論文掲載件数と主な掲載先

2016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104件です。以下に研究組織別の件数、主な掲載先と件数を記します。

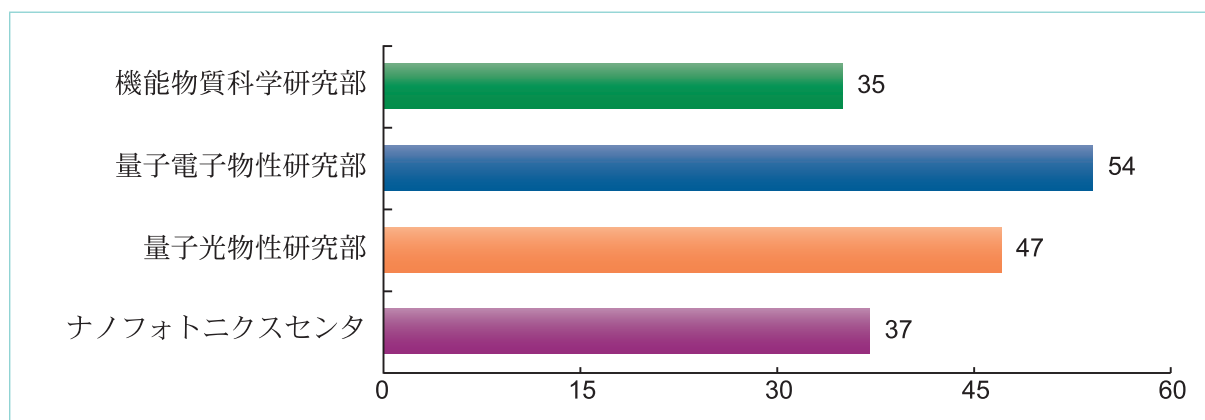


雑誌名	IF2015	件数
Physical Review A	2.765	10
Physical Review B	3.718	8
Applied Physics Express	2.265	8
Applied Physics Letters	3.142	7
Nature Communications	11.329	6
Scientific Reports	5.228	5
New Journal of Physics	3.570	5
Japanese Journal of Applied Physics	1.122	5
Optics Express	3.148	4
Science	34.661	3
Optica	5.205	3
Nature Photonics	31.167	2
Nature Physics	18.791	2
Chemistry of Materials	9.407	2
Physical Review Letters	7.645	2
Optics Letters	3.040	2
Journal of the Physical Society of Japan	1.559	2
APL Photonics	—	2
Advanced Functional Materials	11.382	1
Nanoscale	7.760	1
ACS Photonics	5.404	1
Journal of Materials Chemistry C	5.066	1
Nanophotonics	4.333	1
Science Advances	—	1

*IF2015：インパクトファクター 2015 研究所全体では、1論文あたりの平均IFは5.568です。

国際会議発表件数と主な発表先

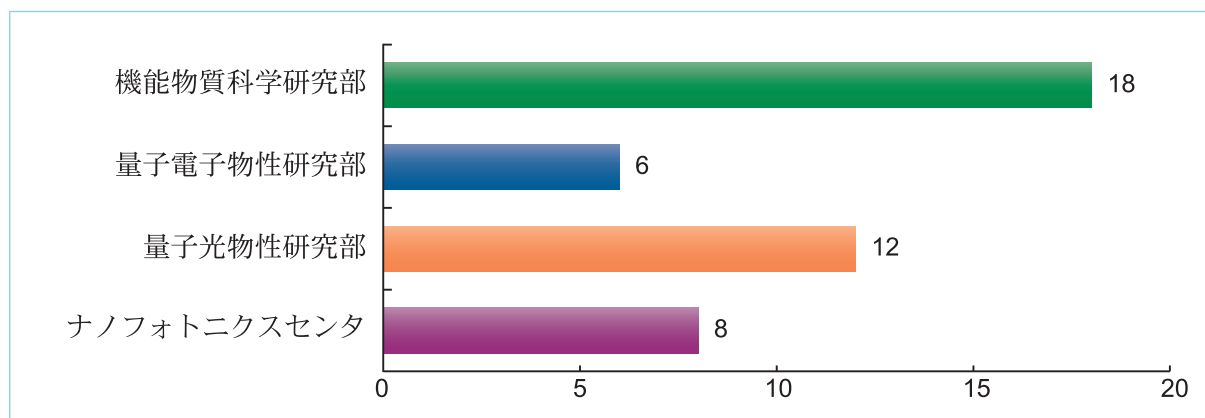
2016年度に国際会議の発表件数は物性科学基礎研究所全体で173件です。以下に研究組織別の件数、主な発表先と発表件数を記します。



国際会議名	件数
The 2016 Compound Semiconductor Week (CSW2016) : The 43rd International Symposium on Compound Semiconductors / The 28th International Conference on Indium Phosphide and Related Materials	10
The 22nd International Conference on High Magnetic Fields in Semiconductor Physics (HMF-22)	9
Conference on Lasers and Electro-Optics (CLEO2016)	9
33rd International Conference on the Physics of Semiconductors (ICPS2016)	7
International Conference on Quantum Communication, Measurement and Computing (QCMC2016)	6
Joint Center for Quantum Information and Computer Science (QuICS2016)	6
2016 International Conferences on Solid State Devices and Materials (SSDM2016)	5
The 11th SPSJ International Polymer Conference (IPC2016)	5

特許出願件数

2016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44件です。以下に研究組織別の件数を記します。



- (1) T. Akasaka, C. H. Lin, H. Yamamoto, and K. Kumakura, "Surface Supersaturation in Flow-rate Modulation Epitaxy of GaN", *J. Cryst. Growth*. **468**, 821 (2017).

- (2) T. Akiho, F. Couedo, H. Irie, K. Suzuki, K. Onomitsu, and K. Muraki, "Engineering Quantum Spin Hall Insulators by Strained-layer Heterostructures", *Appl. Phys. Lett.* **109**, 192105 (2016).

- (3) K. Azuma, A. Mizutani, and H. K. Lo, "Fundamental Rate-loss Trade-off for the Quantum Internet", *Nature Commun.* **7**, 13523 (2016).

- (4) S. Bevilacqua, E. Novoselov, S. Cherednichenko, H. Shibata, and Y. Tokura, "Wideband MgB₂ Hot-electron Bolometer Mixers: IF Impedance Characterisation and Modeling", *IEEE Trans. Appl. Supercond.* **26**, 2300105 (2016).

- (5) M. D. Birowosuto, M. Takiguchi, A. Olivier, L. Y. Tobing, E. Kuramochi, A. Yokoo, W. Hong, and M. Notomi, "Temperature-dependent Spontaneous Emission of PbS Quantum Dots inside Photonic Nanostructures at Telecommunication Wavelength", *Opt. Commun.* **383**, 555 (2017).

- (6) N. P. Breznay, I. M. Hayes, B. J. Ramshaw, R. D. McDonald, Y. Krockenberger, A. Ikeda, H. Irie, H. Yamamoto, and J. G. Analytis, "Shubnikov-de Haas Quantum Oscillations Reveal a Reconstructed Fermi Surface Near Optimal Doping in a Thin Film of the Cuprate Superconductor Pr_{1.86}Ce_{0.14}CuO_{4±δ}", *Phys. Rev. B* **94**, 104514 (2016).

- (7) A. Browning, N. Kumada, Y. Sekine, H. Irie, K. Muraki, and H. Yamamoto, "Evaluation of Disorder Introduced by Electrolyte Gating through Transport Measurements in Graphene", *Appl. Phys. Express* **9**, 065102 (2016).

- (8) R. J. Collins, R. Amiri, M. Fujiwara, T. Honjo, K. Shimizu, K. Tamaki, M. Takeoka, E. Andersson, G. S. Buller, and M. Sasaki, "Experimental Transmission of Quantum Digital Signatures over 90 km of Installed Optical Fiber Using a Differential Phase Shift Quantum Key Distribution System", *Opt. Lett.* **41**, 4883 (2016).

- (9) F. Couedo, H. Irie, K. Suzuki, K. Onomitsu, and K. Muraki, "Single-edge Transport in an InAs/GaSb Quantum Spin Hall Insulator", *Phys. Rev. B* **94**, 035301 (2016).

- (10) S. Dooley, W. J. Munro, and K. Nemoto, "Quantum Metrology Including State Preparation and Readout Times", *Phys. Rev. A* **94**, 052320 (2016).

- (11) S. Dooley, E. Yukawa, Y. Matsuzaki, G. C. Knee, W. J. Munro, and K. Nemoto, "A Hybrid-systems Approach to Spin Squeezing Using a Highly Dissipative Ancillary System", *New J. Phys.* **18**, 053011 (2016).

- (12) S. N. A. Duffus, K. N. Bjergstrom, V. M. Dwyer, J. H. Samson, T. P. Spiller, A. M. Zagorskin, W. J. Munro, K. Nemoto, and M. J. Everitt, "Some Implications of Superconducting Quantum Interference to the Application of Master Equations in Engineering Quantum Technologies", *Phys. Rev. B* **94**, 064518 (2016).

- (13) K. Furukawa, Y. Ueno, M. Takamura, and H. Hibino, "Graphene FRET Aptasensor", *ACS Sens.* **1**, 710 (2016).

-
- (14) 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 (2016).
-
- (15) R. Hamerly, K. Inaba, T. Inagaki, H. Takesue, Y. Yamamoto, and H. Mabuchi, "Topological Defect Formation in 1D and 2D Spin Chains Realized by Network of Optical Parametric Oscillators", *Int. J. Mod. Phys. B* **30**, 1630014 (2016).
-
- (16) K. Hirama, Y. Taniyasu, S. Karimoto, H. Yamamoto and K. Kumakura, "Heteroepitaxial Growth of Single-domain Cubic Boron Nitride Films", *Appl. Phys. Express* **10**, 035501 (2017).
-
- (17) H. Hibino, S. Wang, C. M. Orofeo, and H. Kageshima, "Growth and Low-energy Electron Microscopy Characterizations of Graphene and Hexagonal Boron Nitride", *Prog. Cryst. Growth Charact. Mater.* **62**, 155 (2016).
-
- (18) 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).
-
- (19) A. Ikeda, H. Irie, H. Yamamoto, and Y. Krockenberger, "Clean Superconductivity in Electron Doped $\text{Pr}_{2-x}\text{Ce}_x\text{CuO}_{4+\delta}$ Thin Films Hetero-epitaxially Grown on SrTiO_3 by Reactive Molecular Beam Epitaxy", *J. Mater. Res.* **31**, 3522 (2016).
-
- (20) A. Ikeda, H. Irie, H. Yamamoto, and Y. Krockenberger, "Incommensurate Defect-driven Electron Correlations in $\text{Pr}_{1.85}\text{Ce}_{0.15}\text{CuO}_{4+\delta}$ ", *Phys. Rev. B* **94**, 054513 (2016).
-
- (21) A. Ikeda, Y. Krockenberger, H. Irie, M. Naito, and H. Yamamoto, "Direct Observation of Infinite NiO_2 Planes in LaNiO_2 Films", *Appl. Phys. Express* **9**, 061101 (2016).
-
- (22) R. Ikuta, T. Kobayashi, K. Matsuki, S. Miki, T. Yamashita, H. Terai, T. Yamamoto, M. Koashi, T. Mukai, and N. Imoto, "Heralded Single Excitation of Atomic Ensemble via Solid-state-based Telecom Photon Detection", *Optica* **3**, 1279 (2016).
-
- (23) T. Ikuta and H. Takesue, "Implementation of Quantum State Tomography for Time-bin Qudits", *New J. Phys.* **19**, 013039 (2017).
-
- (24) K. Inaba and M. Yamashita, "Theoretical Analysis of the Spectroscopy of Atomic Bose-Hubbard Systems", *Phys. Rev. A* **93**, 043608 (2016).
-
- (25) T. Inagaki, Y. Haribara, K. Igarashi, T. Sonobe, S. Tamate, T. Honjo, A. Marandi, P. L. McMahon, T. Umeki, K. Enbutsu, O. Tadanaga, H. Takenouchi, K. Aihara, K. Kawarabayashi, K. Inoue, S. Utsunomiya, and H. Takesue, "A Coherent Ising Machine for 2000-Node Optimization Problems", *Science* **354**, 603 (2016).
-
- (26) T. Inagaki, K. Inaba, R. Hamerly, K. Inoue, Y. Yamamoto, and H. Takesue, "Large-scale Ising Spin Network Based on Degenerate Optical Parametric Oscillators", *Nature Photon.* **10**, 415 (2016).
-
- (27) H. Irie, C. Todt, N. Kumada, Y. Harada, H. Sugiyama, T. Akazaki, and K. Muraki, "Andreev Reflection and Bound State Formation in a Ballistic Two-dimensional Electron Gas Probed by a Quantum Point Contact", *Phys. Rev. B* **94**, 155305 (2016).
-
- (28) A. Ishizawa, T. Nishikawa, T. Goto, K. Hitachi, T. Sogawa, and H. Gotoh, "Ultralow-phase-noise Millimetre-wave Signal Generator Assisted with an Electro-optics-modulator-based Optical Frequency Comb", *Sci. Rep.* **6**, 24621 (2016).
-

- (29) K. Kakuyanagi, Y. Matsuzaki, T. Baba, H. Nakano, S. Saito, and K. Semba, "Characterization and Control of Measurement-induced Dephasing on Superconducting Flux Qubit with a Josephson Bifurcation Amplifier", *J. Phys. Soc. Jpn.* **85**, 104801 (2016).
- (30) K. Kakuyanagi, Y. Matsuzaki, C. Deprez, H. Toida, K. Semba, H. Yamaguchi, W. J. Munro, and S. Saito, "Observation of Collective Coupling Between an Engineered Ensemble of Macroscopic Artificial Atoms and a Superconducting Resonator", *Phys. Rev. Lett.* **117**, 210503 (2016).
- (31) N. Kasai, "Nano-biointerfaces for Detection and Control of Biological Information", *Electrochemistry* **84**, 688 (2016).
- (32) N. Kasai, R. Lu, R. Filip, T. Goto, A. Tanaka, and K. Sumitomo, "Neuronal Growth on a-Si and Au Nanopillars", *Electrochemistry* **84**, 296 (2016).
- (33) M. Kasu, K. Hiram, K. Harada, and T. Oishi, "Study on Capacitance-voltage Characteristics of Diamond Field-effect Transistors with NO₂ Hole Doping and Al₂O₃ Gate Insulator Layer", *Jpn. J. Appl. Phys.* **55**, 041301 (2016).
- (34) S. Kato, K. Inaba, S. Sugawa, K. Shibata, R. Yamamoto, M. Yamashita, and Y. Takahashi, "Laser Spectroscopic Probing of Coexisting Superfluid and Insulating States of an Atomic Bose-Hubbard System", *Nature Commun.* **7**, 11341 (2016).
- (35) G. Kato and K. Tamaki, "Security of Six-state Quantum Key Distribution Protocol with Threshold Detectors", *Sci. Rep.* **6**, 30044 (2016).
- (36) S. Kita, K. Takata, M. Ono, K. Nozaki, E. Kuramochi, K. Takeda, and M. Notomi, "Coherent Control of High Efficiency Metasurface Beam Deflector with a Back Partial Reflector", *APL Photonics* **2**, 046104 (2017).
- (37) G. C. Knee, K. Kakuyanagi, M. C. Yeh, Y. Matsuzaki, H. Toida, H. Yamaguchi, S. Saito, A. J. Leggett, and W. J. Munro, "A Strict Experimental Test of Macroscopic Realism in a Superconducting Flux Qubit", *Nature Commun.* **7**, 13253 (2016).
- (38) P. A. Knott, W. J. Munro, and J. A. Dunningham, "Correspondence: Enhancing a Phase Measurement by Sequentially Probing a Solid-state System", *Nature Commun.* **7**, 11520 (2016).
- (39) R. Kou, Y. Hori, T. Tsuchizawa, K. Warabi, Y. Kobayashi, Y. Harada, H. Hibino, T. Yamamoto, H. Nakajima, and K. Yamada, "Ultra-fine Metal Gate Operated Graphene Optical Intensity Modulator", *Appl. Phys. Lett.* **109**, 251101 (2016).
- (40) E. Kuramochi, "Manipulating and Trapping Light with Photonic Crystals from Fundamental Studies to Practical Applications", *J. Mater. Chem. C* **4**, 11032 (2016).
- (41) N. Lambert, K. Debnath, A. F. Kockum, G. C. Knee, W. J. Munro, and F. Nori, "Leggett-Garg Inequality Violations with a Large Ensemble of Qubits", *Phys. Rev. A* **94**, 012105 (2016).
- (42) N. Lambert, Y. Matsuzaki, K. Kakuyanagi, N. Ishida, S. Saito, and F. Nori, "Superradiance with an Ensemble of Superconducting Flux Qubits", *Phys. Rev. B* **94**, 224510 (2016).
- (43) C. H. Lin, T. Akasaka, and H. Yamamoto, "N-Face GaN(000 $\bar{1}$) Films with Hillock-free Smooth Surfaces Grown by Group-III-source Flow-rate Modulation Epitaxy", *Jpn. J. Appl. Phys.* **55**, 04EJ01 (2016).
- (44) I. Mahboob, R. Dupuy, K. Nishiguchi, A. Fujiwara, and H. Yamaguchi, "Hopf and Period-doubling Bifurcations in an Electromechanical Resonator", *Appl. Phys. Lett.* **109**, 073101 (2016).

-
- (45) I. Mahboob, H. Okamoto, and H. Yamaguchi, "An Electromechanical Ising Hamiltonian", *Sci. Adv.* **2**, E1600236 (2016).
-
- (46) I. Mahboob, H. Okamoto, and H. Yamaguchi, "Enhanced Visibility of Two-mode Thermal Squeezed States via Degenerate Parametric Amplification and Resonance", *New J. Phys.* **18**, 083009 (2016).
-
- (47) I. Mahboob, M. Villiers, K. Nishiguchi, D. Hatanaka, A. Fujiwara, and H. Yamaguchi, "A Correlated Electromechanical System", *New J. Phys.* **19**, 033026 (2017).
-
- (48) H. Mashiko, K. Oguri, T. Yamaguchi, A. Suda, and H. Gotoh, "Petahertz Optical Drive with Wide-bandgap Semiconductor", *Nature Phys.* **12**, 741 (2016).
-
- (49) N. Matsuda and H. Takesue, "Generation and Manipulation of Entangled Photons on Silicon Chips", *Nanophotonics* **5**, 440 (2016).
-
- (50) Y. Matsuzaki, H. Morishita, T. Shimooka, T. Tashima, K. Kakuyanagi, K. Semba, W. J. Munro, H. Yamaguchi, N. Mizuochi, and S. Saito, "Optically Detected Magnetic Resonance of High-density Ensemble of NV Centers in Diamond", *J. Phys. : Condens. Matter* **28**, 275302 (2016).
-
- (51) Y. Matsuzaki, T. Shimo-Oka, H. Tanaka, Y. Tokura, K. Semba, and N. Mizuochi, "Hybrid Quantum Magnetic-field Sensor with an Electron Spin and a Nuclear Spin in Diamond", *Phys. Rev. A* **94**, 052330 (2016).
-
- (52) Y. Matsuzaki and S. Benjamin, "Magnetic-field Sensing with Quantum Error Detection under the Effect of Energy Relaxation", *Phys. Rev. A* **95**, 032303 (2017).
-
- (53) P. L. McMahon, A. Marandi, Y. Haribara, R. Hamerly, C. Langrock, S. Tamate, T. Inagaki, H. Takesue, S. Utsunomiya, K. Aihara, R. L. Byer, M. M. Fejer, H. Mabuchi, and Y. Yamamoto, "A Fully Programmable 100-spin Coherent Ising Machine with All-to-all Connections", *Science* **354**, 614 (2016).
-
- (54) A. Morinaga, M. Murakami, K. Nakamura, and H. Imai, "Scalar Aharonov-Bohm Phase in Ramsey Atom Interferometry under Time-varying Potential", *Atoms* **4**, 23 (2016).
-
- (55) D. Morita, T. Kubo, Y. Tokura, and M. Yamashita, "Spin-1 Quantum Walks", *Phys. Rev. A* **93**, 063625 (2016).
-
- (56) W. J. Munro and K. Nemoto, "Optical Circulators Reach the Quantum Level", *Science* **354**, 1532 (2016).
-
- (57) Y. Nagamatsu, A. Mizutani, R. Ikuta, T. Yamamoto, N. Imoto, and K. Tamaki, "Security of Quantum Key Distribution with Light Sources that are Not Independently and Identically Distributed", *Phys. Rev. A* **93**, 042325 (2016).
-
- (58) M. Naito, Y. Krockenberger, A. Ikeda, and H. Yamamoto, "Reassessment of the Electronic State, Magnetism, and Superconductivity in High- T_c Cuprates with the Nd_2CuO_4 Structure", *Physica C* **523**, 28 (2016).
-
- (59) K. Nemoto, M. Trupke, S. J. Devitt, B. Scharfenberger, K. Buczak, J. Schmiedmayer, and W. J. Munro, "Photonic Quantum Networks Formed from NV-centers", *Sci Rep.* **6**, 26284 (2016).
-
- (60) H. Nishi, T. Fujii, K. Takeda, K. Hasebe, T. Kakitsuka, T. Tsuchizawa, T. Yamamoto, K. Yamada, and S. Matsuo, "Membrane Distributed-reflector Laser Integrated with SiO_x -based Spot-Size Converter on Si Substrate", *Opt. Express* **24**, 18346 (2016).
-
- (61) K. Nishiguchi, D. Yoshizumi, Y. Sekine, K. Furukawa, A. Fujiwara, and M. Nagase, "Planar Cold Cathode Based on a Multilayer-graphene/ SiO_2 /Si Heterodevice", *Appl. Phys. Express* **9**, 105101 (2016).
-

- (62) J. Nishinaka, Y. Taniyasu, T. Akasaka, and K. Kumakura, "Surface Morphology Control of Nonpolar M-plane AlN Homoepitaxial Layers by Flow-rate Modulation Epitaxy", *Phys. Status Solidi B* **254**, 1600545 (2017).
- (63) M. Y. Niu, F. H. Xu, J. H. Shapiro, and F. Furrer, "Finite-key Analysis for Time-energy High-dimensional Quantum Key Distribution", *Phys. Rev. A* **94**, 052323 (2016).
- (64) K. Nozaki, S. Matsuo, T. Fujii, K. Takeda, M. Ono, A. Shakoor, E. Kuramochi, and M. Notomi, "Photonic-crystal Nano-photodetector with Ultrasmall Capacitance for On-chip Light-to-voltage Conversion without an Amplifier", *Optica* **3**, 483 (2016).
- (65) 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).
- (66) R. Ohta, H. Okamoto, and H. Yamaguchi, "Feedback Control of Multiple Mechanical Modes in Coupled Micromechanical Resonators", *Appl. Phys. Lett.* **110**, 053106 (2017).
- (67) R. Ohta, Y. Ueno, and K. Ajito, "Raman Spectroscopy of Pharmaceutical Cocrystals in Nanosized Pores of Mesoporous Silica", *Anal. Sci.* **33**, 47 (2017).
- (68) M. Ohtomo, Y. Sekine, S. N. Wang, H. Hibino, and H. Yamamoto, "Etchant-free Graphene Transfer Using Facile Intercalation of Alkanethiol Self-assembled Molecules at Graphene/metal Interfaces", *Nanoscale* **8**, 11503 (2016).
- (69) H. Okamoto, R. Schilling, H. Schutz, V. Sudhir, D. J. Wilson, H. Yamaguchi, and T. J. Kippenberg, "A Strongly Coupled Λ -type Micromechanical System", *Appl. Phys. Lett.* **108**, 153105 (2016).
- (70) Y. Okazaki, I. Mahboob, K. Onomitsu, S. Sasaki, and H. Yamaguchi, "Gate-controlled Electromechanical Backaction Induced by a Quantum Dot", *Nature Commun.* **7**, 11132 (2016).
- (71) M. Ono, E. Kuramochi, G. Q. Zhang, H. Sumikura, Y. Harada, D. Cox, and M. Notomi, "Nanowire-nanoantenna Coupled System Fabricated by Nanomanipulation", *Opt. Express* **24**, 8647 (2016).
- (72) M. Ono, H. Taniyama, H. Xu, M. Tsunekawa, E. Kuramochi, K. Nozaki, and M. Notomi, "Deep-subwavelength Plasmonic Mode Converter with Large Size Reduction for Si-wire Waveguide", *Optica* **3**, 999 (2016).
- (73) K. Onomitsu, A. Krajewska, R. A. E. Neufeld, F. Maeda, K. Kumakura, and H. Yamamoto, "Epitaxial Growth of Monolayer MoSe₂ on GaAs", *Appl. Phys. Express* **9**, 115501 (2016).
- (74) F. D. Parmentier, T. Cazimajou, Y. Sekine, H. Hibino, H. Irie, D. C. Glatli, N. Kumada, and P. Roulleau, "Quantum Hall Effect in Epitaxial Graphene with Permanent Magnets", *Sci. Rep.* **6**, 38393 (2016).
- (75) N. L. Piparo, M. Razavi, and W. J. Munro, "Measurement-device-independent Quantum Key Distribution with Nitrogen Vacancy Centers in Diamond", *Phys. Rev. A* **95**, 022338 (2017).
- (76) S. Punniyakoti, R. Sivakumarasamy, F. Vaurette, P. Joseph, K. Nishiguchi, A. Fujiwara, and N. Clement, "Hydrogen Silsesquioxane-based Nanofluidics", *Adv. Mater. Interf.* 1601155 (2017).
- (77) S. Putz, A. Angerer, D. O. Krimer, R. Glattauer, W. J. Munro, S. Rotter, J. Schmiedmayer, and J. Majer, "Spectral Hole Burning and Its Application in Microwave Photonics", *Nature Photon.* **11**, 36 (2017).
- (78) K. Sasaki, S. Murakami, and H. Yamamoto, "Theory of Intraband Plasmons in Doped Carbon Nanotubes: Rolled Surface-Plasmons of Graphene", *Appl. Phys. Lett.* **108**, 163109 (2016).

-
- (79) S. Sergent, M. Takiguchi, H. Taniyama, A. Shinya, E. Kuramochi, and M. Notomi, "Design of Nanowire-Induced Nanocavities in Grooved 1D and 2D SiN Photonic Crystals for the Ultra-Violet and Visible Ranges", *Opt. Express* **24**, 26792 (2016).
-
- (80) A. Srinivasan, K. L. Hudson, D. Miserev, L. A. Yeoh, O. Kloch, K. Muraki, Y. Hirayama, O. P. Sushkov, and A. R. Hamilton, "Electrical Control of the Sign of the g Factor in a GaAs Hole Quantum Point Contact", *Phys. Rev. B* **94**, 041406 (2016).
-
- (81) H. Sumikura, E. Kuramochi, H. Taniyama, and M. Notomi, "Purcell Enhancement of Fast-dephasing Spontaneous Emission from Electron-hole Droplets in High-Q Silicon Photonic Crystal Nanocavities", *Phys. Rev. B* **94**, 195314 (2016).
-
- (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) M. Taguchi, S. Nakajima, T. Kubo, and Y. Tokura, "Quantum Adiabatic Pumping by Modulating Tunnel Phase in Quantum Dots", *J. Phys. Soc. Jpn.* **85**, 084704 (2016).
-
- (84) M. Takamura, H. Hibino, and H. Yamamoto, "Applying Strain into Graphene by SU-8 Resist Shrinkage", *J. Phys. D-Appl. Phys.* **49**, 285303 (2016).
-
- (85) M. Takamura, H. Okamoto, K. Furukawa, H. Yamaguchi, and H. Hibino, "Energy Dissipation in Graphene Mechanical Resonators with and without Free Edges", *Micromachines* **7**, 158 (2016).
-
- (86) Y. Takesaki, K. Kawahara, H. Hibino, S. Okada, M. Tsuji, and H. Ago, "Highly Uniform Bilayer Graphene on Epitaxial Cu-Ni(111) Alloy", *Chem. Mat.* **28**, 4583 (2016).
-
- (87) H. Takesue and T. Inagaki, "10 GHz Clock Time-multiplexed Degenerate Optical Parametric Oscillators for a Photonic Ising Spin Network", *Opt. Lett.* **41**, 4273 (2016).
-
- (88) M. Takiguchi, A. Yokoo, K. Nozaki, M. D. Birowosuto, K. Tateno, G. Zhang, E. Kuramochi, A. Shinya, and M. Notomi, "Continuous-wave Operation and 10-Gb/s Direct Modulation of InAsP/InP Sub-wavelength Nanowire Laser on Silicon Photonic Crystal", *APL Photonics* **2**, 046106 (2017).
-
- (89) K. Tamaki, M. Curty, and M. Lucamarini, "Decoy-State Quantum Key Distribution with a Leaky Source", *New J. Phys.* **18**, 065008 (2016).
-
- (90) T. Tawara, Y. Kawakami, H. Omi, R. Kaji, S. Adachi, and H. Gotoh, "Mechanism of Concentration Quenching in Epitaxial $(\text{Er}_x\text{Sc}_{1-x})_2\text{O}_3$ Thin Layers", *Opt. Mat. Express* **7**, 1097 (2017).
-
- (91) T. Tawara, G. Mariani, K. Shimizu, H. Omi, S. Adachi, and H. Gotoh, "Effect of Isotopic Purification on Spectral-hole Narrowing in $^{167}\text{Er}^{3+}$ Hyperfine Transitions", *Appl. Phys. Express* **10**, 042801 (2017).
-
- (92) T. Teshima, H. Nakashima, N. Kasai, S. Sasaki, A. Tanaka, S. Tsukada, and K. Sumitomo, "Mobile Silk Fibroin Electrode for Manipulation and Electrical Stimulation of Adherent Cells", *Adv. Funct. Mater.* **26**, 8185 (2016).
-
- (93) A. M. D. Thomasen, T. Mukai, and T. Byrnes, "Ultrafast Coherent Control of Spinor Bose-Einstein Condensates Using Stimulated Raman Adiabatic Passage", *Phys. Rev. A* **94**, 053636 (2016).
-
- (94) F. Tian, H. Sumikura, E. Kuramochi, H. Taniyama, M. Takiguchi, and M. Notomi, "Optomechanical Oscillator Pumped and Probed by Optically Two Isolated Photonic Crystal Cavity Systems", *Opt. Express* **24**, 28039 (2016).
-

-
- (95) T. Tilma, M. J. Everitt, J. H. Samson, W. J. Munro, and K. Nemoto, "Wigner Functions for Arbitrary Quantum Systems", *Phys. Rev. Lett.* **117**, 180401 (2016).
-
- (96) J. Trasobares, D. Vuillaume, D. Theron, and N. Clement, "A 17 GHz Molecular Rectifier", *Nature Commun.* **7**, 12850 (2016).
-
- (97) T. Uchida, M. Jo, A. Tsurumaki-Fukuchi, M. Arita, A. Fujiwara, and Y. Takahashi, "Capacitance Evaluation of Compact Silicon Triple Quantum Dots by Simultaneous Gate Voltage Sweeping", *J. Appl. Phys.* **120**, 234502 (2016).
-
- (98) M. Villiers, I. Mahboob, K. Nishiguchi, D. Hatanaka, A. Fujiwara, and H. Yamaguchi, "An Electromechanical Displacement Transducer", *Appl. Phys. Express* **9**, 086701 (2016).
-
- (99) S. N. Wang, H. Hibino, S. Suzuki, and H. Yamamoto, "Atmospheric Pressure Chemical Vapor Deposition Growth of Millimeter-scale Single-crystalline Graphene on the Copper Surface with a Native Oxide Layer", *Chem. Mat.* **28**, 4893 (2016).
-
- (100) T. Watanabe, M. Hori, T. Tsuchiya, A. Fujiwara, and Y. Ono, "Time-domain Charge Pumping on Silicon-on-insulator MOS Devices", *Jpn. J. Appl. Phys.* **56**, 011303 (2017).
-
- (101) G. Yamahata, S. P. Giblin, M. Kataoka, T. Karasawa, and A. Fujiwara, "Gigahertz Single-electron Pumping in Silicon with an Accuracy Better than 9.2 Parts in 10^7 ", *Appl. Phys. Lett.* **109**, 013101 (2016).
-
- (102) G. Yamahata, S. P. Giblin, M. Kataoka, T. Karasawa, and A. Fujiwara, "High-accuracy Current Generation in the Nanoampere Regime from a Silicon Single-trap Electron Pump", *Sci. Rep.* **7**, 45137 (2017).
-
- (103) A. Yokoo, M. Takiguchi, M. D. Birowosuto, K. Tateno, G. Zhang, E. Kuramochi, A. Shinya, H. Taniyama, and M. Notomi, "Subwavelength Nanowire Lasers on a Silicon Photonic Crystal Operating at Telecom Wavelengths", *ACS Photonics* **4**, 355 (2017).
-
- (104) F. Yoshihara, T. Fuse, S. Ashhab, K. Kakuyanagi, S. Saito, and K. Semba, "Superconducting Qubit-oscillator Circuit beyond the Ultrastrong-coupling Regime", *Nature Phys.* **13**, 44 (2017).
-

国際会議招待講演一覧

I. 機能物質科学研究部

- (1) M. Hiroki, K. Kumakura, and H. Yamamoto, "Improvement in Thermal Resistance of Substrate-transferred GaN-HEMT Using Layered h-BN", 7th International Symposium on Control of Semiconductor Interfaces (ISCSI-VII), Nagoya, Japan (June 2016).
- (2) H. Hibino, "Structural analysis of heterostructures of 2D materials by low-energy electron microscopy and diffraction," 18th International Conference on Crystal Growth and Epitaxy (ICCGE-18), Nagoya, Aichi, Japan (Aug. 2016).
- (3) Y. Ueno and K. Furukawa, "On-chip FRET Aptasensor Built on the Graphene-biomolecular-interface", RSC Tokyo International Conference 2016, Chiba, Japan (Sep. 2016).
- (4) H. Hibino, "Structural analysis of 2D materials and heterostructures using low-energy electron microscopy and diffraction," 7th International Symposium on Practical Surface Analysis (PSA-16), Daejeon, South Korea (Oct. 2016).
- (5) Y. Ueno and K. Furukawa, "On-chip FRET Aptasensor Built on the Graphene-biomolecular-interface", 29th International Microprocesses and Nanotechnology Conferences (NMC), Kyoto, Japan (Nov. 2016).
- (6) H. Omi and T. Tawara, "Molecular Beam Epitaxy of $\text{Er}_x\text{Sc}_{2-x}\text{O}_3$ on Si(111) and Optical Properties of the Films", 2016 Materials Research Society Fall Meeting (MRS Meeting), Boston, U.S.A. (Nov. 2016).

II. 量子電子物性研究部

- (1) K. Muraki, "NMR Probing of Density-modulated Phases in the Third Landau Level", Recent Developments in 2D systems, Okinawa, Japan (Apr. 2016).
- (2) M. Hashisaka, N. Hiyama, T. Akiho, K. Muraki, and T. Fujisawa, "Time-domain Observation of Spin- and Charge-wave Packet Separation in Chiral One-dimensional channels", EMN Optoelectronics Meeting 2016, Phuket, Thailand (Apr. 2016).
- (3) H. Yamaguchi, I. Mahboob, H. Okamoto, and D. Hatanaka, "Phonon Confinement, Transport, and Piezoelectric Manipulation in Nonlinear Electromechanical Resonators", The 11th Annual IEEE International Conference on Nano/Micro Engineered and Molecular Systems (IEEE-NEMS 2016), Sendai, Japan (Apr. 2016).
- (4) H. Yamaguchi, D. Hatanaka, Y. Okazaki, and I. Mahboob, "Piezoelectric Phonon Manipulation in Electromechanical Resonators and Waveguides", SPICE Workshop: Quantum Acoustics - Surface Acoustic Waves meets Solid State Qubits, Mainz, Germany (May 2016).
- (5) Y. Sato, J. C. H. Chen, R. Kosaka, M. Hashisaka, K. Muraki and T. Fujisawa, "Enhanced Transition Between Charge States and Spin States of a Double Quantum Dot in a Surface Acoustic Wave Cavity", Quantum Acoustics, Mainz, Germany (May 2016).
- (6) H. Okamoto, T. Watanabe, R. Ohta, K. Onomitsu, H. Gotoh, T. Sogawa, and H. Yamaguchi, "Excitonic Optomechanics in a GaAs System", Frontiers in Quantum Materials & Devices Workshop 2016, Saitama, Japan (June 2016).

-
- (7) S. Sasaki, "InAs/InP Core-shell Nanowire Transistors with Outstanding Device Performance", The 28th International Conference on Indium Phosphide and Related Materials (IPRM2016), Toyama, Japan (June 2016).
-
- (8) H. Yamaguchi, I. Mahboob, and H. Okamoto, "Multi-mode Nonlinear Electromechanics", OPTO-And Electro-mechanical Technologies 2016 (OET2016), Monte Verita, Switzerland (July 2016).
-
- (9) A. Fujiwara, G. Yamahata, K. Nishiguchi, S. P. Giblin, and S. Kataoka, "Gigahertz Single-electron Pump for Quantum Current Standard", 33rd International Conference on the Physics of Semiconductors (ICPS), Beijing, China (July 2016).
-
- (10) D. Hatanaka, I. Mahboob, K. Onomitsu, and H. Yamaguchi, "An Electromechanical Phononic Crystal", 20th International Vacuum Congress (IVC-20), Busan, Korea (Aug. 2016).
-
- (11) K. Muraki, "Engineering a Quantum Spin Hall Insulator with InAs/GaSb Type-II Quantum Wells", Topological Material Science TopoMat Meeting 2016, Stuttgart, Germany (Sep. 2016).
-
- (12) K. Muraki, "Engineering a Two-dimensional Topological Insulator with III-V Semiconductor Heterostructures", International Symposium on Revolutionary Atomic-layer Materials, Sendai, Japan (Oct. 2016).
-
- (13) H. Yamaguchi, "Mechanical Resonators Hybridized with Semiconductor Quantum Structures", German-Japanese Meeting on the Science of Hybrid Quantum Systems, Berlin, Germany (Nov. 2016).
-
- (14) N. Clement and A. Fujiwara, "10-nm-scale Nanotechnology: from Nanoarrays to 0D Nanotransistor Biosensors", The 18th Takayanagi Kenjiro Memorial Symposium, Shizuoka, Japan (Nov. 2016).
-
- (15) S. Saito, "Superconducting Quantum Circuits and Electron Spin Ensembles", 6th Atom Chip Workshop, Pangkil Island, Indonesia (Dec. 2016).
-
- (16) H. Yamaguchi, I. Mahboob, H. Okamoto, and D. Hatanaka, "Parametric Coupling and Correlated Fluctuation in Multimode Electromechanical Resonators", Frontiers of Nanomechanical Systems (FNS2017), La Thuile, Italy (Feb. 2017).
-
- (17) K. Muraki, "Engineering Quantum Spin Hall Insulators with InAs/(In,Ga)Sb Quantum Wells: A Status Report", International School on Topological Science and Topological Matters, Kyoto, Japan (Feb. 2017).
-
- (18) K. Kakuyanagi, G. Knee, M. C. Yeh, Y. Matsuzaki, H. Toida, H. Yamaguchi, S. Saito, A. J. Leggett, and W. J. Munro, "Violation of Macroscopic Realism by Using a Superconducting Flux Qubit", Interdisciplinary Workshop on Quantum Device (IWQD 2017), Tokyo, Japan (Mar. 2017).
-
- (19) S. Saito, "Collective Coupling in Hybrid Superconducting Circuits", APS March Meeting 2017, New Orleans, U.S.A. (Mar. 2017).
-

Ⅲ. 量子光物性研究部

-
- (1) H. Sanada, Y. Kunihashi, H. Gotoh, K. Onomitsu, M. Kohda, J. Nitta, P. V. Santos, and T. Sogawa "Acoustic Transport and Manipulation of Electron Spins in Semiconductors", SPICE Workshop: Quantum Acoustics – Surface Acoustic Waves meets Solid State Qubits, Mainz, Germany (May 2016).
-
- (2) K. Oguri, H. Mashiko, T. Yamaguchi, A. Suda, and H. Gotoh, "Observation of Petahertz Electronic Oscillation Based on Attosecond Spectroscopy", Shanghai-Tokyo Advanced Research Symposium on Ultrafast Intense Laser Science (STAR7), Kanagawa, Japan (May 2016).
-

-
- (3) H. Takesue, T. Sasaki, K. Tamaki, and M. Koashi, "Round-robin Differential Phase Shift Quantum Key Distribution Experiment", Trustworthy Quantum Information 2016, Shanghai, China (June 2016).
-
- (4) K. Azuma, "All-photonic Measurement-device-independent Quantum Repeaters", Trustworthy Quantum Information 2016, Shanghai, China (June 2016).
-
- (5) W. J. Munro, "Quantum @ NTT", International Conference on Quantum Communication, Measurement and Computing (QCMC 2016), Singapore, Singapore (July 2016).
-
- (6) W. J. Munro, K. Azuma, and K. Tamaki, "Intercity Quantum Networking without Repeaters", SPIE 2016 Optics+Photonics, San Diego, U.S.A. (Aug. 2016).
-
- (7) W. J. Munro, "Quantum Communication for Tomorrow", Photonics Conference (IPC2016), Hawaii, U.S.A. (Oct. 2016).
-
- (8) K. Oguri, H. Mashiko, T. Yamaguchi, A. Suda, and H. Gotoh, "Light-induced Electron Dynamics in Semiconductor from Femtosecond to Attosecond Regime", International Symposium on Ultrafast Intense Laser Science (ISUILS15), Cassis, France (Oct. 2016).
-
- (9) N. Matsuda, "Spectral and Spatial Manipulation of Single Photons Using Optical Waveguides", The 3rd UK-Japan Quantum Technology Workshop, Tokyo, Japan (Oct. 2016).
-
- (10) K. Azuma, "Theory of the Quantum Internet", Quantum Science Symposium Europe-2016, Cambridge, U.K. (Nov. 2016).
-
- (11) K. Oguri, H. Mashiko, T. Yamaguchi, A. Suda, and H. Gotoh, "Petahertz Electronic Response in Semiconductor", The 9th Asian Symposium on Intense Laser Science (ASILS 9), Ninh Binh, Vietnam (Nov. 2016).
-
- (12) G. Zhang and H. Gotoh, "InP/InAs Heterostructure Nanowires Grown by Indium-particle-assisted Vapor-liquid-solid Mode", 31st DGKK Workshop: Epitaxy of III/V Semiconductor, Duisburg, Germany (Dec. 2016).
-
- (13) W. J. Munro, "Quantum Communication: A primer", Mini-School on Quantum Information Science, Taipei, Taiwan (Dec. 2016).
-
- (14) W. J. Munro, "Quantum Hybridization: Why One Plus One is Now Greater than Two", 8th International Workshop on Solid State Quantum Computing, Taipei, Taiwan (Dec. 2016).
-
- (15) W. J. Munro, "New Century Engineering Using the Age Old Principles of Quantum Mechanics", Conference on 90 Years of Quantum Mechanics (QM90), Singapore, Singapore (Jan. 2017).
-
- (16) H. Takesue, T. Inagaki, K. Inaba, R. Hamerly, K. Inoue, and Y. Yamamoto, "Large-scale Artificial Spin Network Based on Time-multiplexed Degenerate Optical Parametric Oscillators for Coherent Ising Machine", SPIE Photonics West 2017, San Francisco, U.S.A. (Jan. 2017).
-
- (17) N. Matsuda, "Spectral and Spatial Manipulation of Single Photons", The JSAP Workshop on Quantum Information and Related Fields, Tokyo, Japan (Mar. 2017).
-
- (18) K. Oguri, H. Mashiko, and H. Gotoh, "Petahertz Semiconductor Drive Characterized by Isolated Attosecond Pulse", The 8th Asian Workshop on Generation and Application of Coherent XUV and X-ray Radiation (8th AWCXR), Hsinchu, Taiwan (Mar. 2017).
-

- (1) M. Notomi, "Nanomaterial-nanophotonics Hybrid Systems for Novel Photonic Platform", SPIE Photonics Europe 2016, Brussel, Belgium (Apr. 2016).

- (2) K. Takeda, T. Fujii, A. Shinya, E. Kuramochi, M. Notomi, K. Hasebe, T. Kakitsuka, and S. Matsuo, "Electrically Driven Nanocavity Lasers on Silicon with Photonic-crystal Cavity and Ultrasmall Buried Heterostructure", International Nanotechnology Conference & Expo (Nanotech 2016), Baltimore, U.S.A. (Apr. 2016).

- (3) M. Notomi, "Hybrid Nanophotonics-nanomaterial Platforms with III/V Semiconductor Nanowires on Si", 5th International Conference on Smart and Multifunctional Materials Structures & Systems (CIMTEC 2016), Perugia, Italy (June 2016).

- (4) S. Matsuo, K. Takeda, and T. Fujii, "Heterogeneously Integrated Photonic Crystal Laser on Si", 2016 - the Premier International Laser and Electro-Optics Event (CLEO/QELS), San Jose, U.S.A. (June 2016).

- (5) R. Nakao, M. Arai, T. Kobayashi, T. Kakitsuka, T. Yamamoto, and S. Matsuo, "Epitaxial Growth on Lattice-mismatched Substrate for High-performance Lasers", The 43rd International Symposium on Compound Semiconductors (ISCS), Toyama, Japan (June 2016).

- (6) M. Notomi, "Integrated Nanophotonics for Optical Computation in a Chip", 18th International Conference on Transparent Optical Networks (ICTON 2016), Torento, Italy (July 2016).

- (7) A. Shinya, "Nanophotonics for Low-latency Optical Passgate Logic Circuits", 16th International Forum on MPSoC for Software-defined Hardware (MP SOC), Nara, Japan (July 2016).

- (8) S. Matsuo, K. Takeda, T. Fujii, H. Nishi, and T. Kakitsuka, "Directly Modulated Membrane DFB Lasers and Photonic Crystal Lasers", 2016 IEEE Photonics Society Summer Topical Meeting Series (SUM), Newport Beach, U.S.A. (July 2016).

- (9) M. Notomi, "Impact of Capacitance and Latency on Integrated Nanophotonics", The 12th International Symposium on Photonic and Electromagnetic Crystal Structures (PECS-XII), York, U.K. (July 2016).

- (10) S. Matsuo, K. Takeda, T. Fujii, H. Nishi, and T. Kakitsuka, "Membrane DFB and Photonic Crystal Lasers on Si", The 25th International Semiconductor Laser Conference (ISLC2016), Kobe, Japan (Sep. 2016).

- (11) S. Matsuo, "Applications of Photonic Crystal and Heterogeneous Integration to Ultra-low-energy Lasers for Optical Interconnects and Datacenter Networks", 42nd European Conference and Exhibition on Optical Communication (ECOC), Dusseldorf, Germany (Sep. 2016).

- (12) S. Matsuo, K. Takeda, and T. Fujii, "Directly Modulated Photonic Crystal Lasers for Extremely Short Optical Links", 2016 IEEE Photonics Conference (IPC), Hawaii, U.S.A. (Oct. 2016).

- (13) H. Nishi, T. Tsuchizawa, T. Kakitsuka, K. Hasebe, K. Takeda, T. Hiraki, T. Fujii, T. Yamamoto, and S. Matsuo, "SiOxNy Back-end Photonics Platform for Si-Ge-InP Integration", Pacific Rim Meeting on Electrochemical and Solid-State Science (PRiME 2016), Hawaii, U.S.A. (Oct. 2016).

- (14) M. Notomi, "Hybrid Nanoemitterd with Nanomaterials and Nanophotonic Platforms", Workshop on Coherence and Quantum Phenomena in Small and Single-Photon Sources (CohQuantSSPhS), Nice, France (Oct. 2016).

- (15) A. Ishihara, A. Shinya, K. Inoue, K. Nozaki, and M. Notomi, "An Integrated Optical Parallel Adder as a First Step Towards Light Speed Data Processing", 13th International SoC Design Conference (ISOCC 2016), Jeju, Korea (Oct. 2016).

-
- (16) T. Kakitsuka, T. Fujii, K. Takeda, H. Nishi, and S. Matsuo, "III-V Membrane Lasers on Silicon for Datacom and Computercom Applications", Photonics 2017 (in IEEE Symposium on HPCA), Austin, U.S.A. (Feb. 2017).
-
- (17) S. Matsuo, "High-performance Lasers on InP-SOI Platform", The Future of Optical Networking and Communication (OFC), Los Angeles, U.S.A. (Mar. 2017).
-
- (18) A. Ishihara, A. Shinya, K. Inoue, K. Nozaki and M. Notomi, "An Optical Parallel Adder towards Light Speed Data Processing", Design, Automation and Test in Europe (DATE 2017), Lausanne, Switzerland (Mar. 2017).
-

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/