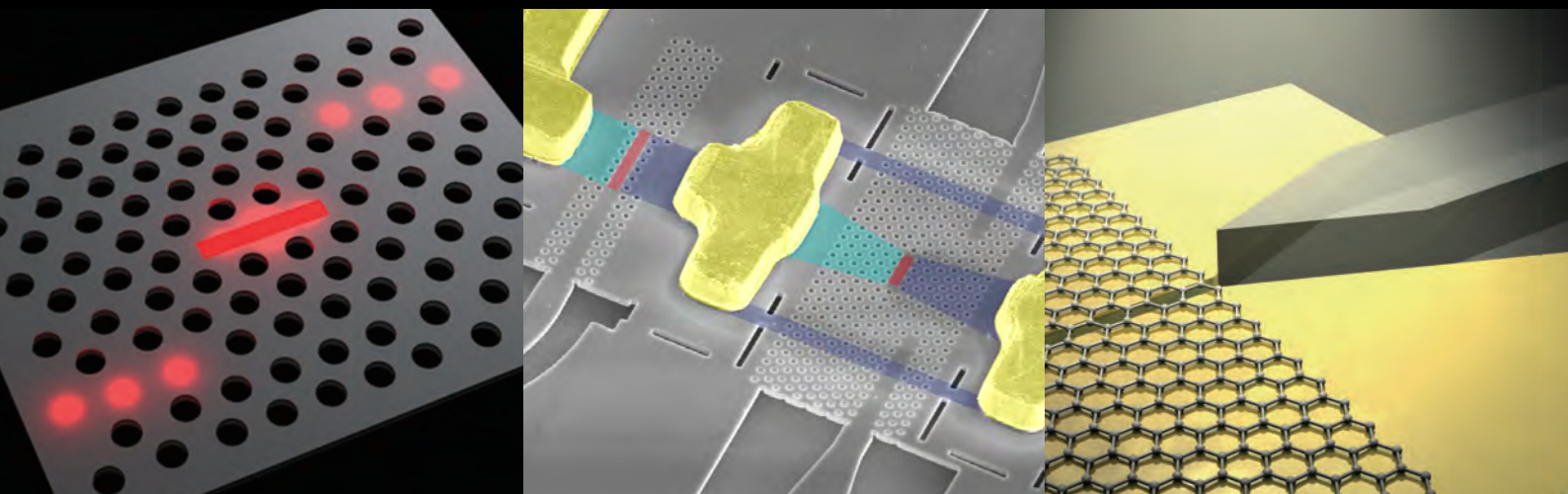


NTT 物性科学基礎研究所

Annual Report 2021



NTT BASIC  
RESEARCH LABORATORIES

## ごあいさつ

Message from the Director

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超えるような新原理・新概念を創出することを目的と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な技術を新しい産業の種とすることにより、中長期的なNTT事業への貢献を果たしています。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、多元マテリアル創造科学、フロンティア機能物性、量子科学イノベーションに関する研究分野で日々研究に取り組んでいます。

研究を進める上では、NTT内での研究協力はもちろんのこと、世界各国の大学や研究機関とも幅広く共同研究を行い、「世界に開かれた研究所」としての役割を果たしています。その一環として、これまで「ISNTT」や「NTT-BRLスクール」など、世界中から集まる参加者とNTT研究者との間の緊密な交流を促して参りましたが、コロナウイルスにより集合型イベントの開催が難しい状況であったため、2021年は残念ながら「NTT-BRLスクール」の開催は断念しました。しかし、「ISNTT」はオンラインにて開催する事ができ、国内外の著名な先生方や学生の方に数多くご参加いただきました。また当研究所のアドバイザーボードの先生方ともオンラインにて研究報告を行い意見交流いたしました。このようにウィズコロナ期間においても、ネットワークを駆使した新しい情報発信やイベントの開催に積極的に取り組む事により、皆さまのご意見やご批判を頂けるように努めております。

これらの活動を通じまして、NTT事業のみならず、学術的な貢献も果たしてゆく所存でございますので、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。



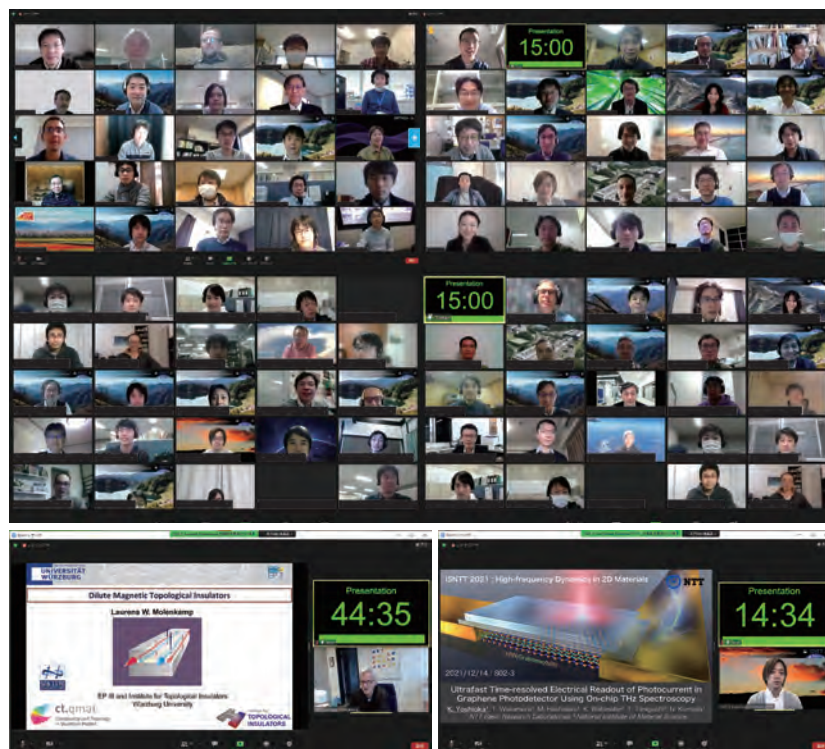
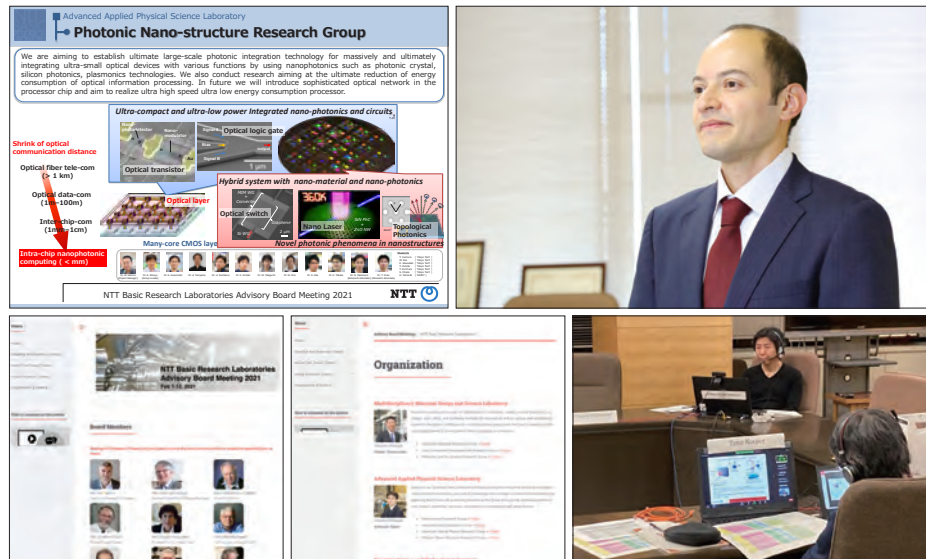
NTT物性科学基礎研究所

所長

後藤 秀樹

## Advisory Board

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「アドバイザリボード」を設置しています。隔年で開催されているこのボードミーティングで頂いた提案や助言は、研究マネジメントや実際の研究に反映されています。第11回ボードミーティングはコロナウイルスの世界的な感染拡大のためオンラインで2021年2月に開催し、最新の研究成果をご報告するとともに、パンデミック下での研究所運営について貴重なご意見を頂きました。



## ISNTT

International Symposium on Novel materials and quantum Technologies

新しいアイデアの創出と研究の推進を目的に、国際シンポジウム「ISNTT」を隔年で開催しています。2021年はコロナ情勢を踏まえオンライン開催となりましたが、より広い分野間での交流を目指し、対象分野を物質科学、物性物理、量子科学に拡大して開催しました。

Pablo Jarillo-Herrero 教授 (MIT)、平山祥郎教授 (東北大学)、香取秀俊教授 (東京大学/理化学研究所)、Laurens W. Molenkamp 教授 (Würzburg University) による特別基調講演、17件の招待講演を含めた53件の口頭発表と84件のポスター発表が行われ、関連する分野における最新の研究成果について議論しました。前回までは200名前後の参加者でしたが、今回は20カ国346名の参加登録者がありました。

## NTT-BRL School

NTT物性科学基礎研究所を広く知っていただくとともに、若手研究者が大きく育つ機会を提供するため、主に博士課程の学生を対象とした「NTT-BRLスクール」を隔年で開催しておりましたが、2017年から同時開催しておりましたISNTTが2021年はオンライン開催となったこともあり、世界各国から学生を研究所にお招きすることは断念せざるを得ませんでした。

### 表紙モチーフについて

#### ナノフォトニクス

フォトニック結晶やプラズモンを利用することで光の波長と同程度～深サブ波長の大きさの構造中で光を制御することが可能です。こうしたナノフォトニクス技術を利用することで、我々はこれまでに高速かつ超低エネルギーで動作する光トランジスタや光共振器等の開発をしており、将来的には高密度に集積化された高度な光情報処理チップの実現を目指しています。

## 組織図

Organization

## NTT 物性科学基礎研究所

所長 後藤 秀樹



## 企画担当

部長 熊倉 一英



## 多元マテリアル創造科学研究部

部長 山本 秀樹

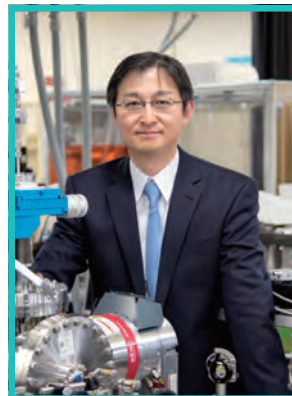


→ P5

- 薄膜材料研究グループ
- 低次元構造研究グループ
- 分子生体機能研究グループ

## フロンティア機能物性研究部

部長 小栗 克弥



→ P7

- ナノデバイス研究グループ
- ナノメカニクス研究グループ
- 量子光デバイス研究グループ
- フォトニックナノ構造研究グループ

## 量子科学イノベーション研究部

部長 武居 弘樹



→ P9

- 量子光制御研究グループ
- 理論量子物理研究グループ
- 超伝導量子回路研究グループ
- 量子固体物性研究グループ

## NTT 物性科学基礎研究所 現在員数 2021年12月31日付

- 研究員(外国人研究員)…95名(12名)
- リサーチアソシエイト・リサーチスペシャリスト…9名
- 共同研究協力者…8名 ● 海外研修生…1名\*
- 一般実習生…15名\*
- 客員研究員…1名\*

\*…2021年1月～12月累計

## アドバイザーボード Advisory Board



Chalmers University of Technology, Sweden  
**Prof. Per Delsing**



Max-Planck-Institut für Festkörperforschung,  
Germany  
**Prof. Klaus von Klitzing**



University of Illinois at Urbana-Champaign,  
U.S.A.  
**Prof. Sir Anthony J. Leggett**



Imperial College London, U.K.  
**Prof. Sir Peter Knight**



Laboratoire Kastler Brossel,  
Sorbonne Université, Ecole Normale  
Supérieure, CNRS, France  
**Prof. Elisabeth Jacobino**



The University of Texas at Austin, U.S.A.  
**Prof. Allan H. MacDonald**



Forschungszentrum Jülich, Germany  
**Prof. Andreas Offenhäusser**



CEA Saclay, France  
**Prof. Christian Glattli**



University of Twente, The Netherlands  
**Prof. Dave H.A. Blank**

### ナノフォトニクスセンタ

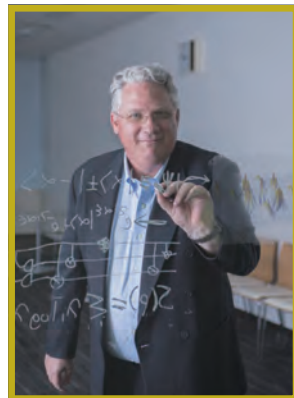
センタ長 **納富雅也**



→ P11

### 理論量子物理研究センタ

センタ長 **William John Munro**



→ P11

### バイオメディカル情報科学研究センタ

センタ長 **中島 寛**



→ P11

### リサーチプロフェッサ

Research Professors

Director, Medical & Health Informatics  
Laboratories (MEI Lab), NTT Research, Inc.

**友池 仁暢**

東北大学 教授

**森田 雅夫**

Director, Physics & Informatics  
Laboratories (PHI Lab), NTT Research, Inc.

**山本 喜久**

富山大学 教授

**玉木 潔**

## → Multidisciplinary Materials Design and Science Laboratory

# 多元マテリアル創造科学研究部

## 研究部概要

### Overview

多元マテリアル創造科学研究部では、様々な内部自由度(格子・電荷・スピン・軌道等)を持つ新物質・新材料を、分類法・次元・スケール・合成手法の枠を超えて多元的にデザイン・創造して学術貢献を行うとともに、情報通信技術を変革する種の創出を目指して、広範な物質を対象に研究を進めています。その範囲は、半導体、超伝導体、磁性体、トポロジカル物質、さらには導電性高分子や生体物質などのソフトマテリアルに至り、高品質薄膜成長技術や、物質の構造と物性とを精密に測定する技術をベースに、理論や、データ科学(インフォマティクス)の手法も取り入れて最先端の研究を推進しています。

## グループ・研究テーマ

### Group Introduction

#### 薄膜材料研究グループ

##### 「新奇半導体デバイス」

深紫外～近赤外発光デバイス、高効率エネルギー変換デバイス、超高出力電子デバイス、光・電気・磁気複合新機能デバイスの創製

#### 低次元構造研究グループ

##### 「2次元原子層物質」

次世代エレクトロニクスに向けた究極に薄い機能性原子層物質の創製

##### 「多元酸化物薄膜」

従来のコンセプトを変える超伝導物質・磁性物質の創製

#### 分子生体機能研究グループ

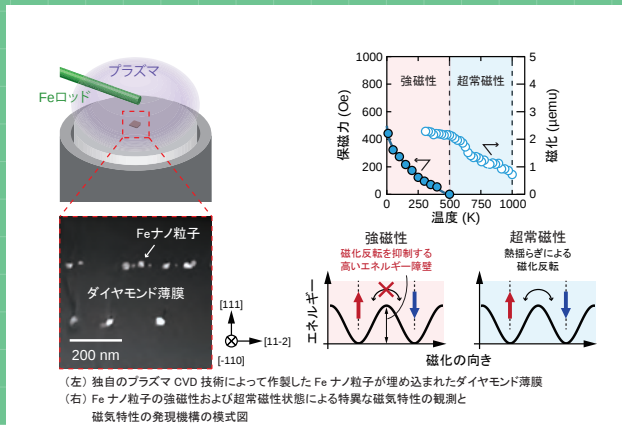
##### 「生体適合性電極材料」

深層生体情報を計測する生体電極素材の開発と応用

##### 「バイオデバイス」

生体分子や細胞、ソフトマテリアルを活用した生体機能模倣デバイスの創製

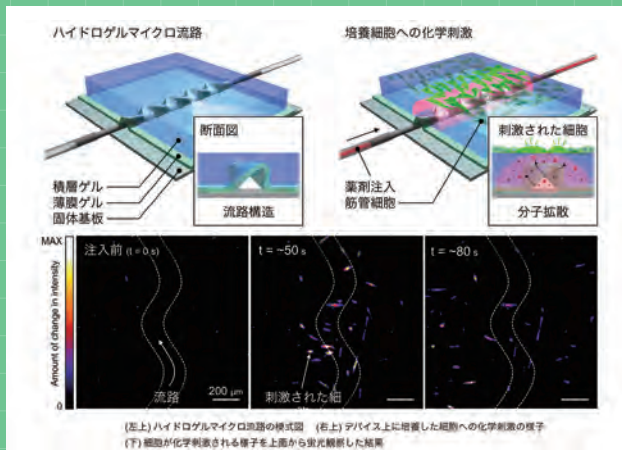
多元ソース分子線エビタキシー装置: 複合酸化物・窒化物の高品質薄膜を成膜できるほか、新奇超伝導体・磁性体などの探索にも活用されています。



### ダイヤモンド薄膜中に埋め込まれた Fe ナノ粒子の磁気特性

新しい情報担体であるスピン(磁石の性質)を利用したトランジスタは、その不揮発性を特長とした超低消費電力素子として期待されています。ダイヤモンドは半導体として有望な物質であるだけでなく、スピン輸送特性が室温以上でも特に優れていると予測されているため、我々はダイヤモンドのスピンロニクス応用を進めています。本研究では、磁石の性質をもつ Fe ナノ粒子が埋め込まれたダイヤモンド薄膜の作製と Fe ナノ粒子に特有の磁気特性の観測に成功し、その磁気特性の発現機構を明らかにしました。実用的なスピン素子実現への道が拓かれる大きな一歩となる成果です。

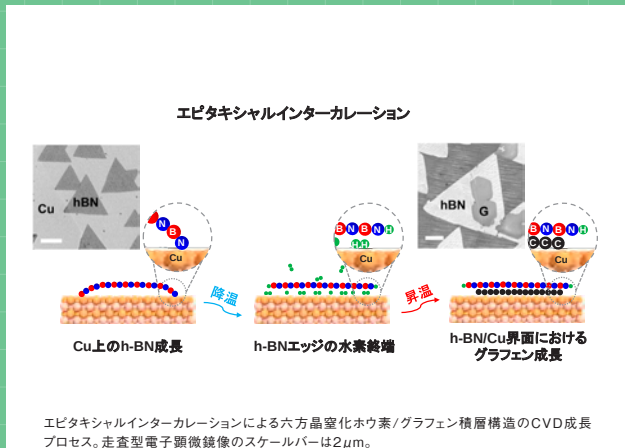
M. Kawano, K. Hiram, and K. Kumakura, International Conference on New Diamond and Nano Carbons 2020/2021.



### 生体内環境の再現に向けた オンチップ型ハイドロゲル流路の創製

生体組織に類似した構造・性質の足場を生体外で再現する技術は、高度な細胞機能を発現・評価する上で重要です。我々は、高い生体適合性・物質透過性を示すハイドロゲルを用いて、血管などの間質を模した流路構造をオンチップで作製する手法を見出しました。加えて、積層したゲル上で細胞を培養し流路内へ薬剤を注入することで、分子拡散を通じた細胞への局所的な化学刺激に成功しました。本成果は、生体内の環境を再現し、精細な細胞動態を探る基盤技術として発展が期待されます。

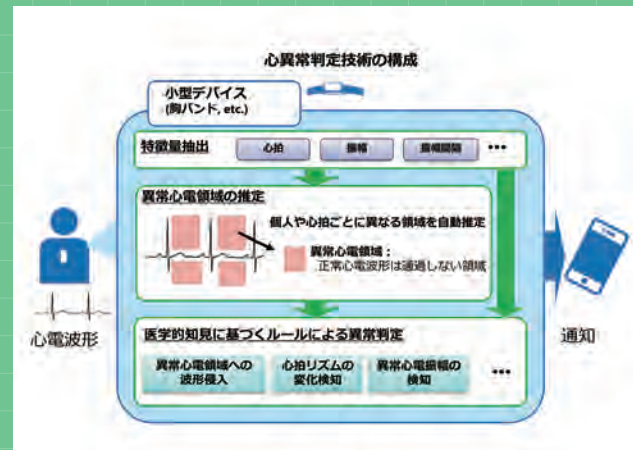
R. Takahashi, H. Miyazaki, A. Tanaka, and M. Yamaguchi, Lab Chip 21, 1307-1317 (2021).



### エピタキシャルインターカレーションによる 六方晶窒化ホウ素/グラフェン縦型ヘテロ構造の高品質化

2次元物質は、厚みが原子1層分と極限的に薄い場合でも多種多様な機能を発現できることから、次世代ナノデバイス材料として期待されていますが、デバイス応用に向けては、異なる2次元物質を積層したヘテロ積層構造の高品質化・大面積化が課題です。本研究では、2次元物質の界面を結晶成長の場とする新コンセプト「エピタキシャルインターカレーション」を提案し、大面積合成が可能な化学気相成長法(CVD)と組み合わせることで、積層角が一致する高品質な六方晶窒化ホウ素(h-BN)/グラフェン積層構造を作製しました。この新手法で作製したグラフェンは高いキャリア移動度を示すため、「エピタキシャルインターカレーション」は、2次元物質デバイスの実用化に資する基盤技術として期待されます。

S. Wang, J. Crowther, H. Kageshima, H. Hibino, and Y. Taniyasu, ACS Nano 15, 14384 (2021).



### ウェアラブルデバイスで動作する 心異常判定技術を開発

機能性素材 hitoe® を活用して深刻な心異常を早期に検出するため、ウェアラブルデバイス内部で動作する心異常判定アルゴリズムを開発しました。生体電極の浮きや体動ノイズに起因する心異常の誤検知も抑制します。リハビリテーション支援ロボット利用者の心異常検知手段として、グループ会社に本技術を提供しました。今後、より多くの心疾患の検出や、潜在的な心疾患リスク状態の可視化など、日常生活を支える新しいサービス実現に向けた研究開発を進めていきます。

## フロンティア機能物性研究部

### 研究部概要

#### Overview

フロンティア機能物性研究部は、テクノロジードリブンな高度知的社会に新しい長期的価値をもたらす情報処理基盤技術・機能デバイスの創出を掲げ、ナノエレクトロニクス、ナノメカニクス、ナノフォトニクス、スピントロニクス、量子エレクトロニクスの最先端領域をカバーする研究グループが結集し発足しました。我々は、高度な微細加工技術、測定技術、光波制御技術を駆使して、物性物理学のフロンティアを開拓し、サイズ、消費エネルギー、検出感度、制御精度、動作速度などの限界を打破する量子物性の革新的機能の創出を追求します。

### グループ・研究テーマ

#### Group Introduction

##### ナノデバイス研究グループ

「単電子デバイスによる極限エレクトロニクス」

電子1個の転送・検出による高精度・高感度・低消費電力デバイス

「新機能ナノデバイス」

シリコンやハイブリッド材料系を用いた新機能デバイス

##### ナノメカニクス研究グループ

「半導体オプト・エレクトロメカニクス」

機械的機能を持つ半導体構造による新機能素子

「フォノン操作技術」

人工構造を用いた音響波の伝搬制御

##### 量子光デバイス研究グループ

「超高速・超高精度光制御技術」

高度に制御された光による超高速物性解明と光周波数基準の構築

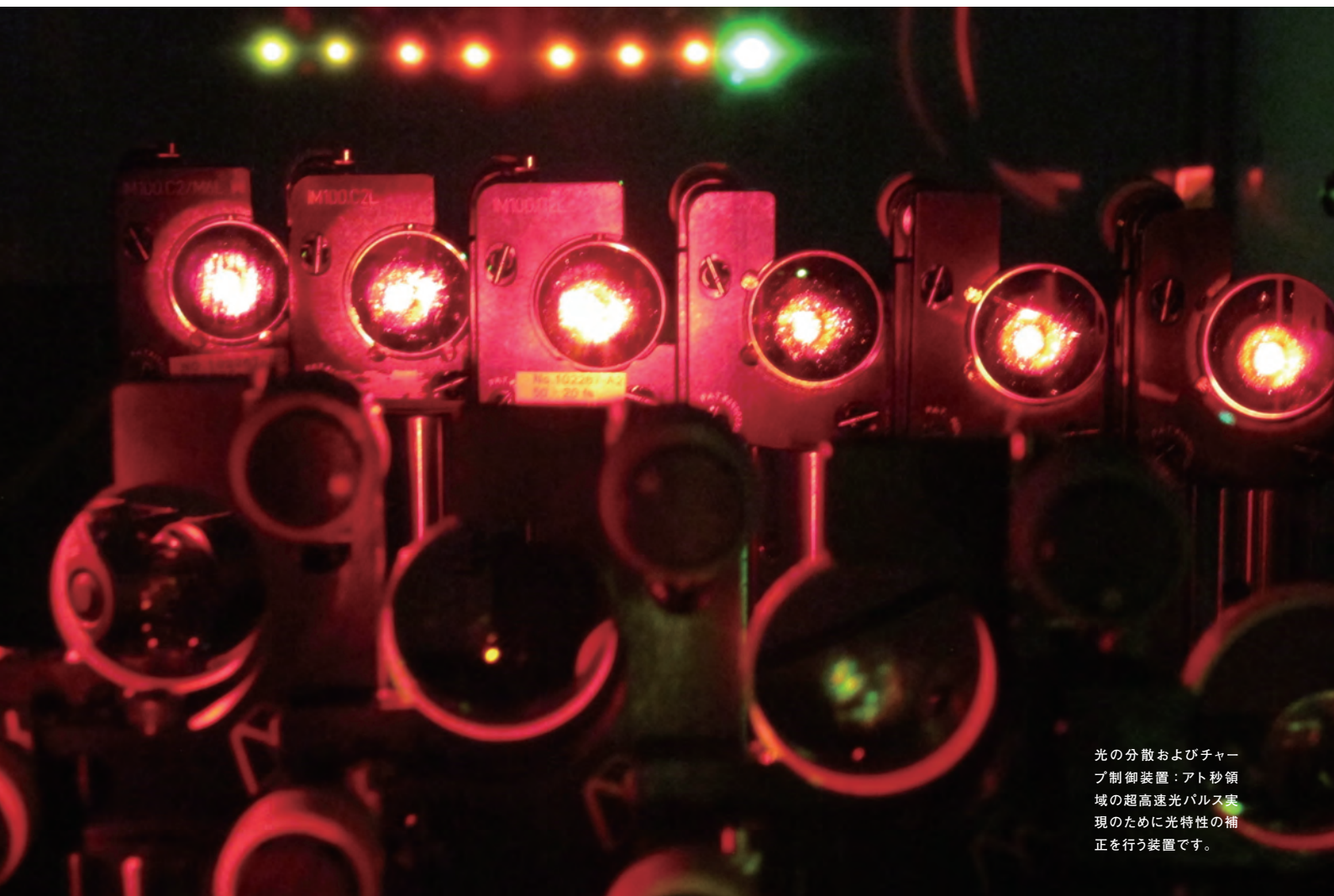
「光活性固体の物性のナノスケール評価」

半導体ナノ構造・希土類系での光子・励起子・スピンの振る舞いの探求

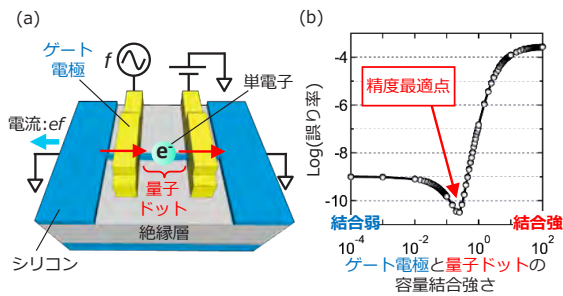
##### フォトニックナノ構造研究グループ

「ナノフォトニクスを駆使した光集積技術」

超小型・超低エネルギー光素子・回路の実現、新奇光機能の創出



光の分散およびチャープ制御装置：アト秒領域の超高速光パルス実現のために光特性の補正を行う装置です。

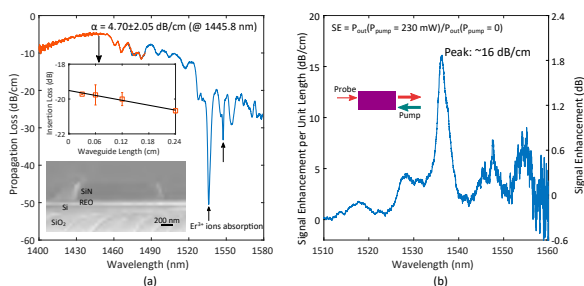


(a) シリコン単電子転送素子の概略図。ゲートに印加する高周波信号(周波数 $f$ )で電子を1つずつ転送 (b) 転送誤り率の容量結合強さ依存性

### 単電子転送エラー率最小化の指針を発見

量子ドットを介した単電子転送は正確な電流を生成できる技術であり、電流の物差しに対応する量子電流標準応用が期待されます。その応用に向け、単電子転送の誤り率が十分低い必要があります。今回、理論計算により、シリコン単電子転送素子(図a)での転送メカニズムを詳細に検討し、ゲート電極と量子ドットの容量結合が中間的な領域で転送誤り率が最小となる精度最適点が存在することを発見しました(図b)。中間領域の構造を持つ素子作製を行うことで、超高精度な単電子転送実現が期待できます。

G. Yamahata, N. Johnson, and A. Fujiwara, Phys. Rev. B 103, 245306 (2021).

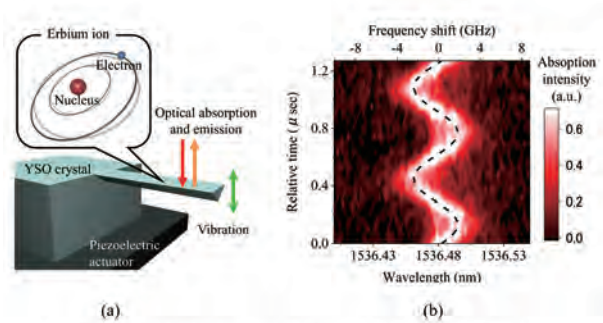


(a) 希土類酸化薄膜導波路の伝搬損失スペクトル  
(b) 希土類酸化薄膜導波路の信号増強スペクトル

### 低損失希土類酸化薄膜導波路 及び光信号増強の実現

シリコン基板上にエピタキシャル成長される単結晶希土類酸化薄膜は、シリコンベースのアクティブフォトニックデバイスおよび量子光デバイスに非常に有望な材料です。BIC(Bound States in the Continuum)に基づいて低損失導波路構造を提案および実現し、通信帯領域において大きな光信号増強を実証することに成功しました。この結果は、シリコン基板上での高性能集積化光増幅器やレーザーの実現に向けた重要なステップであると共に、オンチップ量子メモリ有望なプラットフォームとして期待できます。

X. Xu, T. Inaba, T. Tsuchizawa, A. Ishizawa, H. Sanada, T. Tawara, H. Omi, K. Oguri, and H. Gotoh, Opt. Express 29, 41132 (2021).

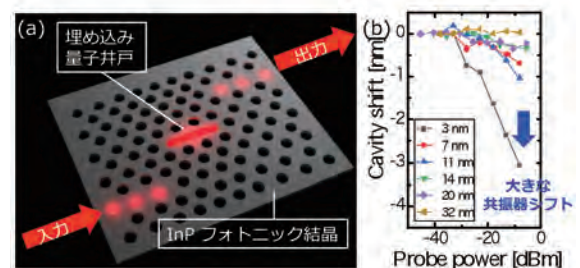


(a) 希土類添加結晶からなるオプトメカニカル素子の概略図  
(b) 振動歪を用いた希土類発光中心の動的制御

### 光のエネルギー損失が極めて小さい オプトメカニカル素子の実現

オプトメカニカル素子は発光デバイスなどの光学素子に機械自由度を付加した機能素子として近年注目されています。これまでオプトメカニカル素子には微細加工が容易な半導体材料が用いられてきましたが、私たちは半導体よりも優れた光学特性を有する希土類添加結晶を用いることにより、従来よりも光のエネルギー損失が桁違いに小さなオプトメカニカル素子を創出することに成功しました。微小な振動を利用した光増幅器など、超小型かつ低損失な光素子の創出につながる成果として期待されます。

R. Ohta, L. Herpin, V. M. Bastidas, T. Tawara, H. Yamaguchi, and H. Okamoto, Phys. Rev. Lett. 126, 047404 (2021).



(a) 埋め込み量子井戸フォトニック結晶共振器の概念図  
(b) 励起強度に対する波長シフトの離調依存性

### 埋め込み量子井戸フォトニック結晶による 励起子非線形効果

埋め込み量子井戸は励起子と呼ばれる準粒子を強く閉じ込めることができる構造です。我々は、光閉じ込めの強いフォトニック結晶ナノ共振器にこの埋め込み量子井戸を導入することで、励起子と光の相互作用を強め、非常に大きな非線形屈折率変化を誘起することに成功しました。本技術を利用すれば超低パワーで動作する光スイッチなどが実現可能であり、将来の高性能な光演算プロセッサへの貢献が期待されます。

M. Takiguchi, K. Nozaki, H. Sumikura, N. Takemura, T. Fujii, E. Kuramochi, A. Shinya, S. Matsuo, and M. Notomi, Appl. Phys. Lett., 118, 111101 (2021), Editors' Pick

## Quantum Science and Technology Laboratory

# 量子科学イノベーション研究部

## 研究部概要

### Overview

量子科学イノベーション研究部は、量子科学分野に学術的に貢献すると同時に、量子技術を用いて従来の情報処理の限界を打破する新概念、技術を創出することをミッションとしています。量子情報処理理論と、光、半導体、超伝導デバイスなどが示す様々な量子力学的な効果の研究を基盤とし、これらを用いて量子通信、量子センシング、光発振器に基づく非ノイマン型計算機、さらには超伝導量子回路やトポロジカル量子現象を用いた量子計算機などの実現を目指して研究開発を行っています。

## グループ・研究テーマ

### Group Introduction

#### 量子光制御研究グループ

##### 「量子光通信」

光の量子状態制御と新しい通信への応用

##### 「量子光学技術を用いた非ノイマン型コンピューティング」

相互作用する光発振器群による新しい計算機の創出

#### 理論量子物理研究グループ

##### 「量子情報科学の理論的研究」

量子コンピュータ、量子通信、量子ネットワーク、量子計測に関する理論体系の構築

#### 超伝導量子回路研究グループ

##### 「超伝導量子回路」

超伝導素子による量子状態の制御

##### 「極限量子計測技術」

量子力学の原理を用いた物理量の超高感度計測

#### 量子固体物性研究グループ

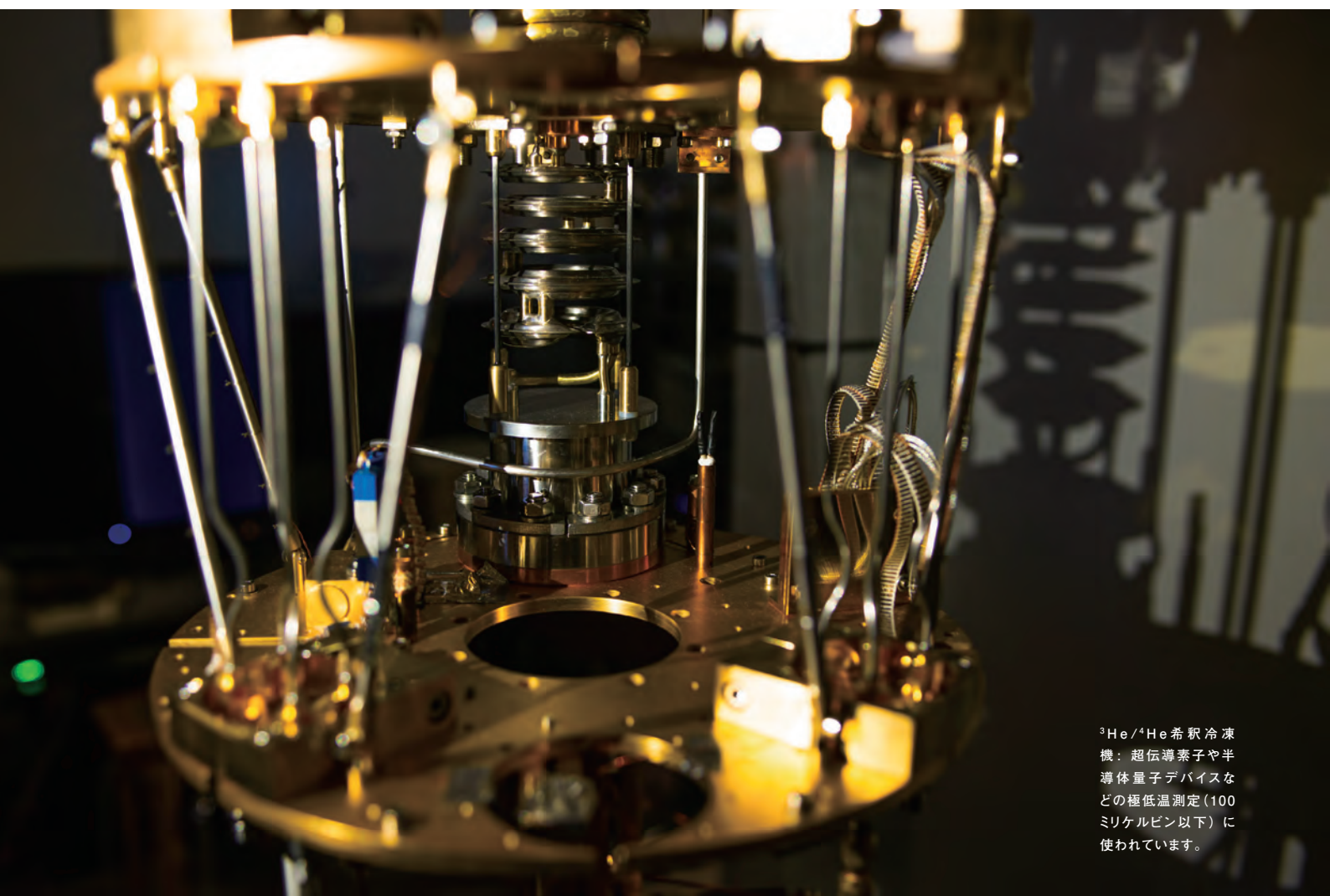
##### 「半導体および2次元物質の

##### ヘテロ・ナノ構造における量子伝導」

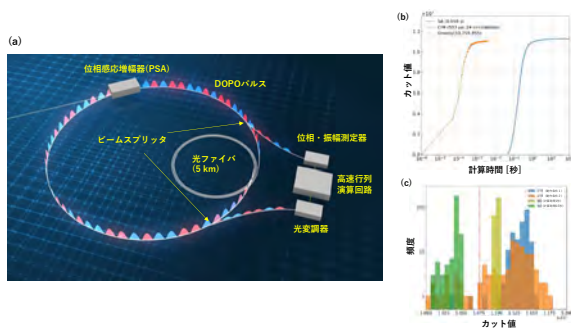
量子デバイスにおける非従来型の電荷・スピン輸送現象

##### 「量子デバイスにおける高速キャリアダイナミクス」

電子のコヒーレントな運動による情報処理



$^3\text{He}/^4\text{He}$ 希釈冷凍機：超伝導素子や半導体量子デバイスなどの極低温測定（100ミリケルビン以下）に使われています。

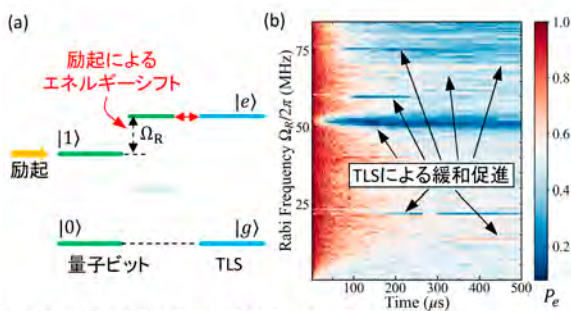


(a) CIMの概念図 (b) 計算時間の評価結果 (c) 解精度の評価結果

### 100,000 スピン コヒーレントイジングマシン

コヒーレントイジングマシン(CIM)は、縮退光パラメトリック発振器(DQPO)のネットワークを用いて組合せ最適化問題を解く新しい計算機です。今回、世界最大規模となる10万個のDQPOネットワークからなる超大規模CIMを実現しました。10万要素の全結合グラフの最大カット問題において、焼きなまし法(SA)に比べて約1000倍の速さで同じ精度の解を得ることに成功しました。また、DQPOを発振閾値付近で動作させた際には、SAと比較して、高い解精度を維持しつつ様々なスピン状態を幅広く取ることも確認できました。

T. Honjo, T. Sonobe, K. Inaba, T. Inagaki, T. Ikuta, Y. Yamada, T. Kazama, K. Enbutsu, T. Umeji, R. Kasahara, K. Kawarabayashi, and H. Takesue, *Sci. Adv.* 7, abh0952 (2021).

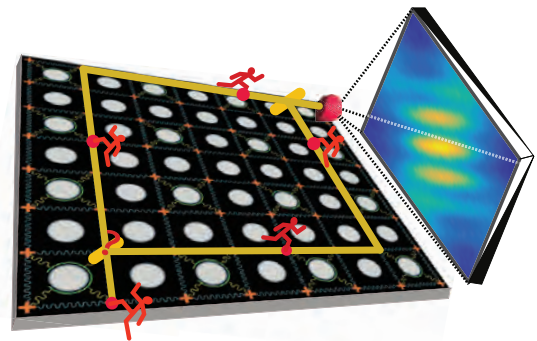


(a) 量子ビットと2準位(TLS)欠陥のエネルギー準位  
(b) 量子ビットの強励起をもちいたTLS欠陥の検出

### 超伝導量子ビットによる高周波数欠陥の検出

超伝導量子ビットにデコヒーレンスを引き起こす2準位系(TLS)欠陥は未解明な点が多く、様々な研究が行われています。我々は、従来法では検出できない、量子ビットと非共鳴高周波数TLS欠陥を検出する新しい分光法を見出しました。量子ビットを強く励起すると、TLS欠陥との間に動的な結合が生じ、量子ビットの緩和が促進されます。この緩和を調べることでTLS欠陥の特性が理解され、量子ビット作製技術にフィードバックすることにより、さらなる超伝導量子ビットのコヒーレンス向上が期待できます。

L. V. Abdurakhimov, I. Mahboob, H. Toida, K. Kakuyunagi, Y. Matsuzaki, and S. Saito, *APS March Meeting 2021*, abstract J28.00002 (2021).

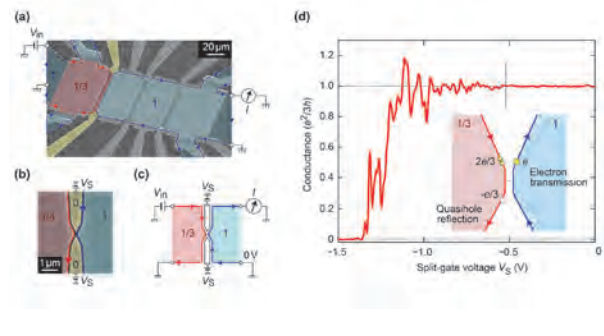


マッハ=ツェンダー干渉計における2つの量子ウォーカーの干渉パターン

### 2次元プログラマブル62量子ビット超伝導プロセッサによる量子ウォーク

量子ウォークはこれまでに世界的な注目を集めてきており、光の実装からイオントラップといった様々なプラットフォームで実現されています。しかしながら、多粒子の量子ウォークをプログラマブルなデバイスに実装することは、技術的にチャレンジングな課題として残されていました。本研究では、62個の量子ビットが動作する8×8四方のプログラマブルな超伝導量子ビットアレイを設計・作製しました。この設計では、量子ウォーカーの役割を担う励起子を複数作り出すことができます。今回、高精度のシグナルと2つの粒子による量子ウォークを実現することで、情報の伝播速度を測定することや、2粒子によるマッハ=ツェンダー干渉計を実証しました。2次元量子ウォークの実証は、量子探索やユニバーサル量子計算における量子優位性をもつ将来的なアプリケーションへ向けた超伝導デバイスの可能性を示すものです。

M. Gong, *et al.*, *Science* 372, 948 (2021).



(a) 試料の電子顕微鏡写真 (b) 微小接合部の拡大図 (c) 測定系の概念図  
(d) 微小接合の伝導度  $I/V_{in}$  の  $V_S$  依存性の測定結果。1を超える伝導度はアンドレーエフ反射による透過電流の増大を示す  
(挿入図) 微小接合で生じる分数電荷準粒子のアンドレーエフ反射の模式図

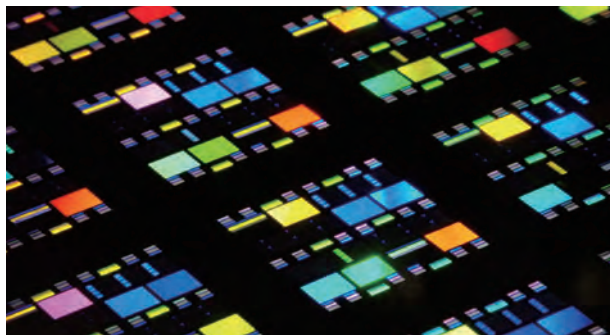
### 分数電荷準粒子のアンドレーエフ反射

高品質半導体で発現する分数量子ホール(FQH)系では、分数電荷(例えば $e/3$ )を持つ準粒子が電流を運びます。分数電荷準粒子がFQH系と整数量子ホール系の界面に入射する際、電子が透過し、分数電荷の正孔が反射される現象を観測しました。これは常伝導体と超伝導体の界面でクーバー対が透過し、正孔が反射されるアンドレーエフ反射と類似の現象で、超伝導体以外におけるアンドレーエフ型反射の初めての観測例です。本成果は、分数電荷準粒子を用いた量子情報デバイス実現に向けて重要な知見を与えます。

M. Hashisaka, T. Jonckheere, T. Akiho, S. Sasaki, J. Rech, T. Martin, and K. Muraki, *Nat. Commun.* 12, 2794 (2021).

## → Nanophotonics Center

## ナノフォトニクスセンタ



## センタ概要

## Overview

ナノフォトニクスセンタは、ナノフォトニクス技術を駆使して、様々な機能をもつ光デバイスを大量・高密度に集積する大規模光集積技術の確立、および光情報処理の消費エネルギーの極限的な低減を目指す革新研究を行うために、2012年4月に設立されました。

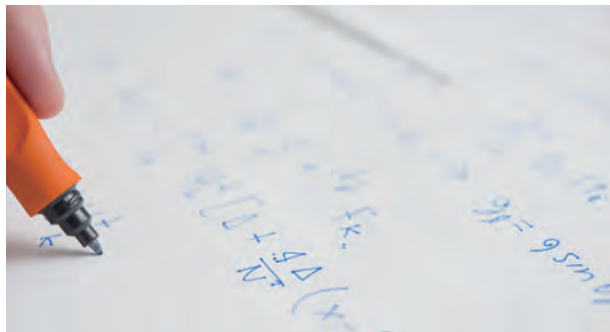
フロンティア機能物性研究部フォトニックナノ構造研究グループのメンバを中心に、物性科学基礎研究所および先端集積デバイス研究所の中でナノフォトニクス研究に関わるメンバにより構成されています。

## 研究テーマ

- フォトニック結晶、プラズモニクスによる極限的相互作用増強の探求
- ナノ光スイッチ、ナノレーザなど超小型・超低消費エネルギー光子子の追求
- ナノマテリアルとナノフォトニクスの結合による新しい光のプラットフォーム
- ナノフォトニクスを用いた光電融合演算技術

## → Research Center for Theoretical Quantum Physics

## 理論量子物理研究センタ



## センタ概要

## Overview

物質や光の原子レベルでの現象を説明する量子力学は、前世紀大変な成功を収めました。その直感に反する原理は、私たちの世界における「実在」についての理解を変えるとともに、技術革新をもたらしてきました。いまや量子力学は私たちのデジタル社会の根幹を支えています。量子力学が指し示す世界とは一体何なのか。またその原理が可能とする技術的進歩は何なのか。これらの疑問の全容ははまだ解明されずにいます。2017年に設立された理論量子物理研究センタでは、これら最先端研究の遂行を目指し、NTT研究所の垣根を超えた、様々な分野（物理学、計算科学、数学や化学など）の研究者が集められています。

## 研究テーマ

- 量子力学の基礎 ● 量子物質
- 量子アルゴリズムと計算複雑性 ● 量子通信、量子シミュレーション、量子コンピュータ
- 量子計測、量子センシング ● 原子、分子、光学物理

## → Bio-Medical Informatics Research Center

## バイオメディカル情報科学研究センタ



## センタ概要

## Overview

バイオメディカル情報科学研究センタ(BMC)は、ICTやAIを活用したデータ駆動型医療の創造を目標に、関連研究所が連携した組織として2019年7月に発足しました。BMCは、医療・健診・ゲノム情報や行動情報のAI分析、日常生活でのリアルタイムバイオモニタリング、生体模倣ナノデバイスや生体適合新素材などの基礎・応用研究に取り組みます。さらに、医療機関のパートナーやグローバル研究開発拠点であるNTT Research Inc. 生体情報処理研究所などと協力し、医療健康分野のコ・イノベーションを推進します。

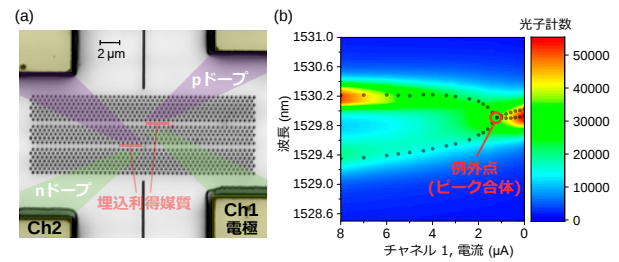
## 研究テーマ

- 個人医療データのAI分析による個別化医療(プレジジョンメディシン)
- AI-テレ聴診器やhitoe®心電計測を活用した心臓モデリングとリハビリ活動支援
- 非侵襲血糖センサや深部体温センサによる生活習慣病マネジメント
- 生体機能を補完するインプラント素材や人工神経ネットワーク創製

### 結合フォトニック結晶レーザを用いた例外点における発光観測

例外点とは、利得や損失といったエネルギーが保存しない過程の影響により起こる、複数の固有状態の特異な縮退を指します。我々は、電流制御が可能なフォトニック結晶レーザ2つの結合系を作製し、各レーザの吸収損失に差をつけることで、例外点における自然放出の観測に初めて成功しました。その結果、例外点に特有のスペクトル狭窄及び発光増強を実証することができました。本成果は、ナノフォトニクスにおける新たな光制御技術の可能性を拓くものです。

K. Takata, K. Nozaki, E. Kuramochi, S. Matsuo, K. Takeda, T. Fujii, S. Kita, A. Shinya, and M. Notomi, *Optica* 8, 184-192 (2021).

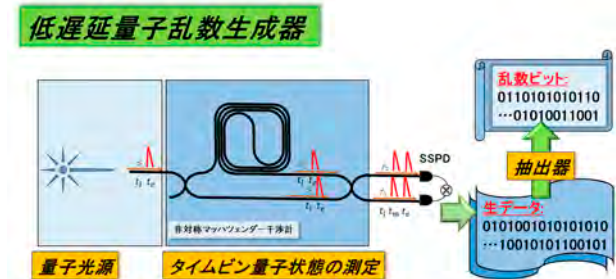


(a) 電流注入結合フォトニック結晶レーザの顕微鏡像（グレースケール）及び構成図（色付き）  
(b) 素子自然放出スペクトルのカラープロット。チャンネル2（図(a)左）への電流を100  $\mu$ Aに固定した時のチャンネル1（同図右）電流依存性を示す。黒点：実験結果の解析により推定された固有モード波長。

### シンプルで低遅延リアルタイム認証可能量子乱数生成器

私たちの日常生活で使われるアプリケーションの多くでは、乱数が多用されています。乱数は重要なリソースなのですが、真正乱数の発生は現実的にはそう容易なことではありません。一方で、量子力学に従う系への測定を通して、真正乱数を発生できることが知られており、量子乱数生成と呼ばれています。従来の生成法では、乱数が必要になった時点から、実際に乱数列が届けられるまでの間の待ち時間が長いという問題を抱えていました。私たちは、光のタイムビンを用いた状態を測定することで、低遅延でかつリアルタイム検証可能な乱数生成を実現しました。量子力学で許される任意の攻撃下においても、0.12秒ごとに8192ビットの認証可能な乱数列を生成します。この乱数生成器は、高セキュリティで高速かつ連続動作する量子乱数ビーコンの実現に有用です。

Y. Zhang, H.-P. Lo, A. Mink, T. Ikuta, T. Honjo, H. Takesue, and W. J. Munro, *Nat. Commun.* 12, 1056 (2021).

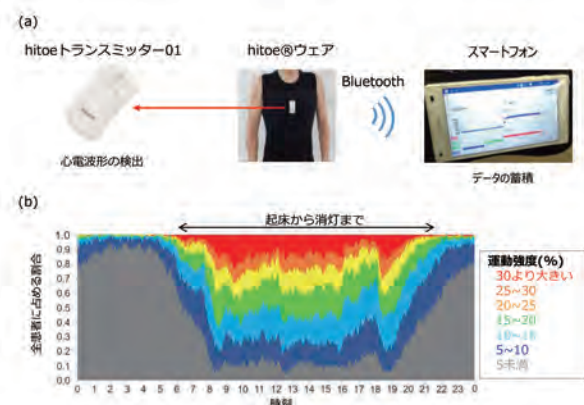


タイムビン型量子乱数発生器の模式図

### 脳卒中リハビリ入院患者の活動量モニタリング

脳卒中の回復には、通常割り当てる療法士との訓練に加え、自主トレなどを通じた活動量の確保が推奨されます。しかし片麻痺症状は様々であり、個人の適切な活動量把握には新たな支援技術が必要です。我々は、機能性素材hitoe®を用いたウェアラブルシステムを大学病院に構築し、入院患者をモニタリングする臨床研究を進めています。本システムではアンサンブル平均という手法の応用により、活動の日日変動の影響を抑えつつ、従来法より有意な欠測補間に成功し、運動強度と呼ばれる活動量指標を精緻に可視化しました。

T. Ogasawara, M. Mukaino, Y. Otaka, H. Matsuura, A. Aoshima, T. Suzuki, H. Togo, H. Nakashima, M. Yamaguchi, S. Tsukada, and E. Saitoh, *J. Med. Biol. Eng.* 41, 322-330 (2021).



(a) モニタリングシステム  
(b) 24時間における運動強度の推移（脳卒中患者63名）

## NTTフェロー

NTT Fellow

Shingo Tsukada

塚田 信吾

医学・情報科学研究統括



研究テーマ

先端医療材料を用いた  
生体情報の取得・機構解析

「NTTフェロー」は、世界的に認められる研究業績を挙げた社員の中で、NTTとして必要不可欠な分野の研究テーマに対し今後も高い成果が期待できる研究者に与えられる称号であり、重要分野の革新的な研究を推進していく使命を担っています。「特別研究員」は社内外からとりわけ優秀な研究者として認められている革新研究者であり、その中でも極めて優秀な研究者が「上席特別研究員」です。共に、NTTグループにとって長期的に重要と判断される研究分野において、革新研究／先導的な技術開発を牽引する使命を担っています。

2021年12月31日付

## 上席特別研究員

Senior Distinguished Researcher

Masaya Notomi

納富 雅也

ナノフォトニクスセンタ長



研究テーマ

フォトニックナノ構造による光波制御

Hiroshi Yamaguchi

山口 浩司

量子・ナノデバイス研究統括



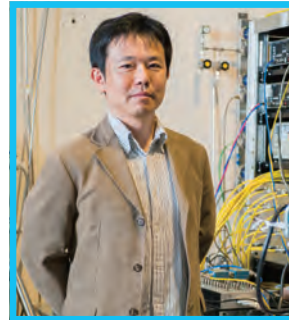
研究テーマ

半導体ナノメカニクス

Koji Muraki

村木 康二

量子科学イノベーション研究部長



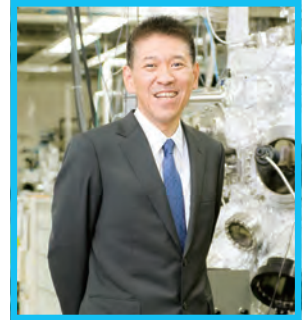
研究テーマ

低次元半導体構造の量子電子物性

Hideki Yamamoto

山本 秀樹

多元マテリアル創造科学研究部長



研究テーマ

薄膜合成法による新奇超伝導及び  
磁性物質の創製と物性解明

Akira Fujiwara

藤原 聡

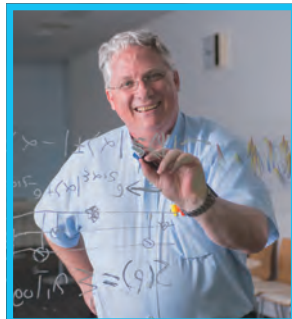
半導体ナノ構造を用いた  
極限エレクトロニクス

研究テーマ

半導体ナノ構造を用いた  
極限エレクトロニクス

William John Munro

理論量子物理研究センタ長



研究テーマ

量子情報技術の創出

Hiroki Takesue

武居 弘樹

量子科学イノベーション研究部長



研究テーマ

光通信波長帯における量子通信実験  
コヒーレントイジングマシン

Shiro Saito

齊藤 志郎

超伝導量子回路研究グループリーダー



研究テーマ

超伝導量子回路を用いた  
量子情報技術の研究

## 特別研究員

Distinguished Researcher

Norio Kumada

熊田 倫雄

Katsuhiko Nishiguchi

西口 克彦

Haruki Sanada

眞田 治樹

Imran Mahboob

Kengo Nozaki

野崎 謙悟

Koji Azuma

東 浩司

Takahiro Inagaki

稲垣 卓弘

Hajime Okamoto

岡本 創

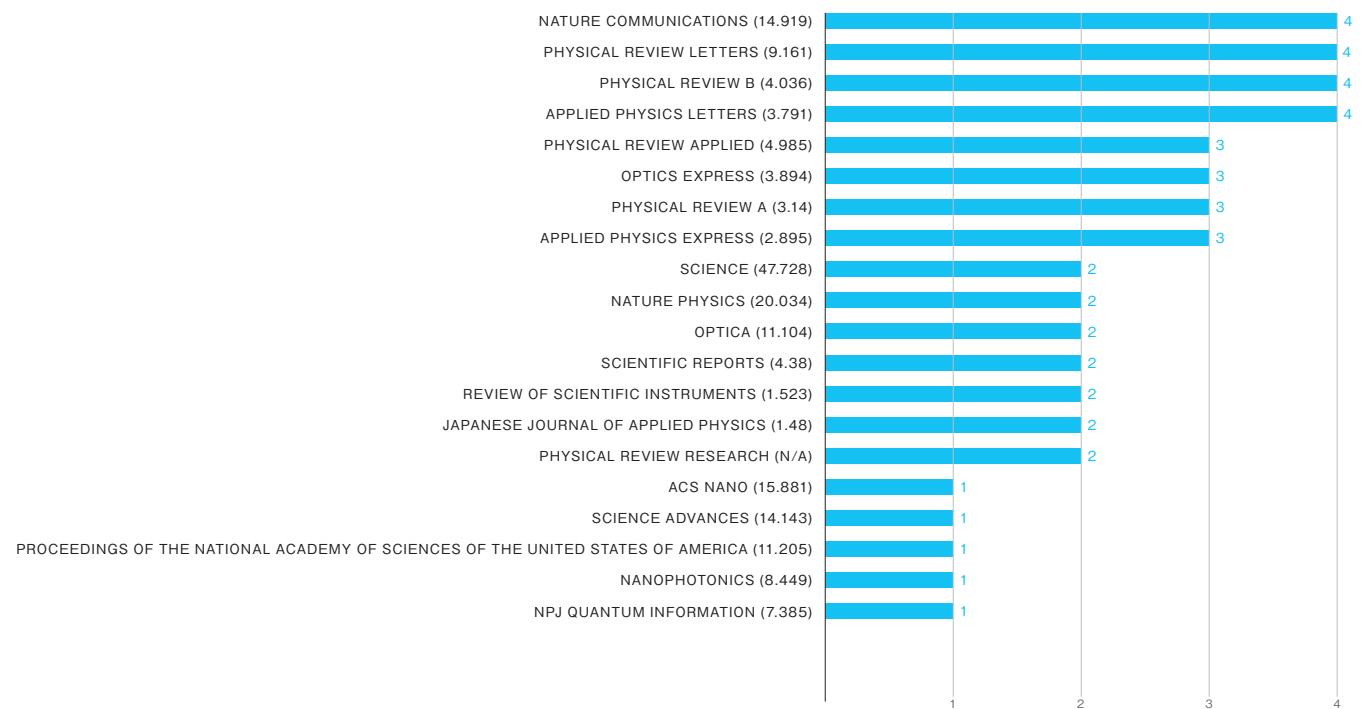
Gento Yamahata

山端 元音

## 学術論文掲載件数と主な掲載先

Publication List

( )内数字…インパクトファクター2020  
2021年に掲載された学術論文の件数は、NTT物性科学基礎研究所全体で67件です。  
(1論文あたりの平均IF = 7.122)



## 国際会議発表件数

Presentations

156件(うち招待講演33件)

## 特許出願件数

Patents

55件

## 社外表彰受賞者一覧

Awards

令和3年度科学技術分野の文部科学大臣表彰 若手科学者賞

シリコン量子ドットを用いた高精度単電子制御の研究 山端 元音

## APSIPA Industrial Distinguished Leader

Nanofiber-Electroconductive Textile "hitoe" for ECG Monitoring and Cardiac Pacemaker Electrodes 塚田 信吾

## 電子情報通信学会 第82回功績賞

納富 雅也

## 応用物理学会 第11回女性研究者研究業績・人材育成賞(小舘香椎子賞)研究業績部門(若手)

大面積グラフェンを用いた新機能デバイスに関する研究 高村 真琴

## American Physical Society Outstanding Referee

William John Munro

高田 健太

## 電子情報通信学会 論文賞

Methods for Reducing Power and Area and BDD-based Optical Light Circuits 松尾 亮祐、塩見 準、石原 亨、小野寺 秀俊、新家 昭彦、納富 雅也

## 応用物理学会 第12回超伝導分科会研究奨励賞

Electron Paramagnetic Resonance Spectroscopy Using a Single Artificial Atom Communications Physics 2, March 2019, 33 樋田 啓

## 応用物理学会 講演奨励賞

MBE法により作製した新規高温超伝導体 $(\text{CaCuO}_2)_n/(\text{Ca}_2\text{Fe}_2\text{O}_5)_m$ 人工超格子 池田 愛

## 応用物理学会 講演奨励賞

グラフェン自己組立て電極による三次元神経ネットワークの成熟評価 酒井 洸児

## 応用物理学会 講演奨励賞

強磁性ペロブスカイト酸化物 $\text{SrRuO}_3$ 高品質薄膜中でのワイルフェルミオンを示す量子伝導現象 瀧口 耕介

## 化学とマイクロ・ナノシステム学会 ビジュアルムービー賞

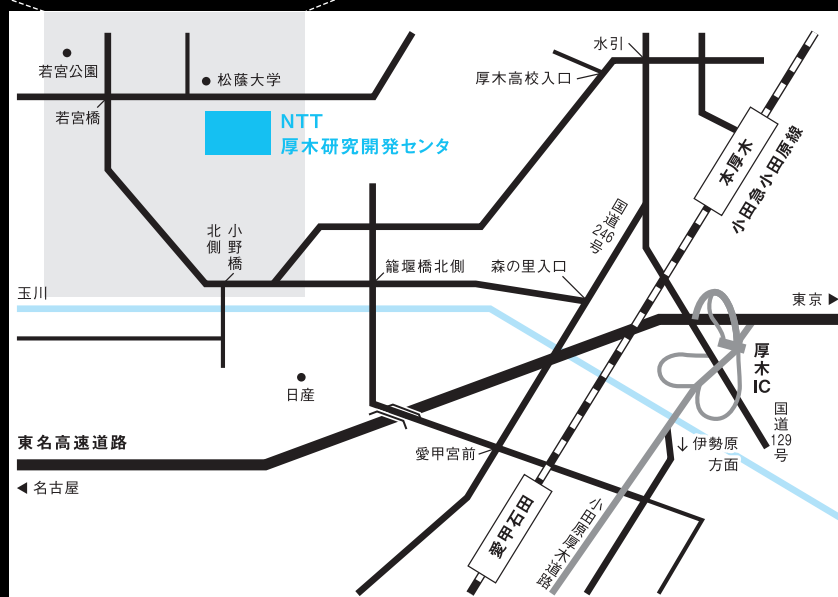
オンチップゲル薄膜流路を用いた血管様組織の構築 高橋 陸

# 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

TEL 046-240-3312 MAIL brl-info@hco.ntt.co.jp

<https://www.rd.ntt/brl/>



## アクセス

### 電車・バスをご利用の場合

小田急線「愛甲石田」駅下車(新宿より急行にて約1時間)

北口4番バス乗り場(約20分)

「愛17森の里」「愛18松蔭大学」「愛19・21日産先進技術開発センター」行きにて「通信研究所前」下車

小田急線「本厚木」駅下車(新宿より急行にて約1時間)

東口・厚木バスセンター9番乗り場(約30分)

「厚44(赤羽根・高松山経由)森の里行き」または、

「厚45(船子・森の里青山経由)森の里行き」にて「通信研究所前」下車

### タクシーをご利用の場合

小田急線「愛甲石田」駅から約15分(1,500円程度)

または、小田急線「本厚木」駅から約20分(2,500円程度)

### 自動車をご利用の場合

東名高速道路「厚木IC」より約20分(約5km)