

N.10
2019/2

ハイブリッド量子ニュース

新学術領域ハイブリッド量子科学 ニュースレター

Scientific Research on Innovative Areas
Science of Hybrid Quantum Systems
Newsletter

HQ Interview

比類なきダイヤモンド

About HQ Project

☐ OISTワークショップ報告

Research Highlights

- ☐ 完全位相制御テラヘルツ近接場による超高速ナノ空間電子操作
ーより速くより微細にー
- ☐ テラヘルツ電磁波で1分子の超高速の動きをとらえた

Hot Topics

- ☐ 単層カーボンナノチューブの熱伝導率精密計測
- ☐ カーボンナノチューブにおけるトポロジカル物性
- ☐ メカニカル振動子による核スピン制御
- ☐ 若手NVセンター研究会(第6回若手研究会)

Science of Hybrid
Quantum Systems





野村晋太郎
第二期公募研究
筑波大学

水落憲和
フォトングループ研究分担者
京都大学

清水麻希
フォノングループ連携研究者
東京理科大学

比類なきダイヤモンド

「永遠の輝き」と謳われ、宝石の王座に輝くダイヤモンド——この材料は、科学的に見ても多くの特筆すべき性質を持っていることが知られています。今回は、ダイヤモンドが有する高い科学的な価値と、量子情報への展開という大きな可能性に魅せられた3名の研究者に、新学術領域のグループや参加形態の違いを越えてお集まりいただきました。フォトングループ研究分担者の水落憲和京都大学教授、フォノングループ連携研究者の清水麻希東京理科大学助教、第2期公募研究の野村晋太郎筑波大学准教授の3名です。近年発展が目覚ましいこの分野におけるそれぞれの研究の狙い、最近の研究動向などについてご紹介いただきます。



ダイヤモンドは 科学的にどんな材料ですか？

水落(フォトン班)：基本的にダイヤモンドは、歪みのない美しい結晶構造を持っていて、天然で最も硬い物質だという特徴がありますね。それから、われわれが実験に使うのは合成ダイヤモンドなので、不純物を取り除いたり、核スピンを除いたりというように、望むように物質をデザインすることができます。またシリコンなど、量子物理の他の材料と比べて、エネルギーのバンドギャップが大きく、非常に安定しています。

われわれはダイヤモンドの中にある、その欠陥構造であるNVセンターを用いますが、量子情報的な観点からダイヤモンドNVセンターを見ると——もちろん、いろんな表現のしかたがあると思うんですけども——やはり物質特性として非常に優れているところがいくつもある。まず電子スピンの特性がすごくいいんですね。スピンの持つコヒーレンス時間が非常に長くて、しかも室温で実現できます。それから電子スピンは、光ととても相性よく相互作用することができるので、スピンを1つ1つ操作・検出できます。核スピンや超伝導キュービットなどの量子的な性質を持つものとも関わられるので、さまざまなハイブリッドを構成する要になっていると言えます。

清水(フォノン班)：NVセンターは可視光で読み取れる、しかも室温で読み取れる……これはほんとうにすごい特徴だと思います。

水落：そうですね。科学的価値としても、ダイヤモンドは究極の材料という表現がふさわしいのではないかと私は考えています。この物質が持ついろいろな特性を見た時に、

一番いい性能を持っている。そこで歴史的にも、長い間究極の材料と言われ、製造するのも難しかったということだと思うのですが、最近は合成ダイヤモンドの世界が非常に進歩しています。

ダイヤモンドの合成方法には2種類あり、1つは高温高压をかけて、地中でダイヤモンドが生成される過程を人工的に再現し、炭素からダイヤモンドを作る「高温高压合成(HPHT)法」、もうひとつは、炭素をプラズマ状態に変化させ、基板上に炭素原子を蒸着させる「化学気相蒸着(CVD)法」です。いずれも1950年頃に確立した合成方法で、中でも高温高压合成法は、数年前まで、それほど大きなものは作れないし、また技術的にも飽和していると思われていました。ところが最近になってまた発展し、宝石として価値があるような大きなダイヤモンドが商業用に作られるようになってきているんです。われわれは普段板状のものしか取り扱わないのですが、ごろっとしたダイヤモンドが作れるようになってきたというのは、最近驚いたことの1つです。(笑)



NVセンターの使い道は 情報処理だけですか？

水落：NVセンターはその優れた特徴を活かして、量子情報素子だけでなく、磁場などの超高空間分解・超高感度センサー、バイオマーカー等への応用が期待されています。今や化学、物理、生物にわたる幅広い分野において注目されている研究開発になってきました。特にNVセンターがセンサーとして感度がよいということで、NVセンターを用いた量子センシング技術は最近非常に関心が集まり、研究者コミュニティも広がっており、中でもバイオへの応用がたいへん盛んです。

この研究にはいくつか方向性があるのですが、生きた細胞の中にある温度、磁気、電界といったいくつかのパラメータをかつてない高感度・高精細でセンシングしようというのが主な狙いで、われわれはまず温度に注目しています。そこで研究室に生命科学の研究者を迎え、共同研究と並行して、生きた細胞を取り扱うような実験室づくりを今一緒に進めています。

野村(公募研究)：これまでの物理の研究室と比べると大きな変化ですね。

水落：はい。しかも、NVセンターを使うことによって高感度がデモできたというだけではなく、生命科学という観点からみて意義のある研究が求められています。ではそのためにどういうセンシングをしたらいいのかが、実際の共同研



究によって今見えてきつつあるという状況です。また、世界的にもこういった研究が多くの研究室で取り組まれているフェーズにあって、その中におそらく将来キラーアプリになるような重要な研究がまだまだあると考えています。ぜひそういったものに取り組んでいきたいですね。一方、量子ハイブリッドという点では、やはり理論を基に、コヒーレンス時間の長時間化を進めるなど、ダイヤモンドの安定した量子状態を用いたさまざまな量子ビットとのハイブリッドをいろいろと進めています。



新学術に参加されてよかったことは？

清水：私は研究室の本間教授が参加されたのをきっかけに、新学術領域ハイブリッド量子科学に参加しました。本間研究室はカーボンナノチューブの研究室なので、私も以前からカーボンナノチューブを研究しています。その一方で2014年頃からNVセンターも扱っており、NVセンターとカーボンナノチューブを組み合わせるといろいろと面白いことがありそうだと思っていたので、よいタイミングで参加できたと思っています。

特に期待しているのはNVセンターによる高感度センサーと、カーボンナノチューブの組み合わせで、NVセンターの感度のよさを活かして、カーボンナノチューブの微小な構造を詳しく測れる可能性があります。NVセンターのセンシングでは、特に温度を測ることに興味を持っていて、カーボンナノチューブだけでなく、いろいろな物理現象に展開できるように思います。またNVセンターは3次元構造、カーボンナノチューブは1～2次元の構造を持ちますが、これら



の間のエネルギー移動がどうなっているのかも興味深いと思います。このような展開も視野に入れつつ、現在、ダイヤモンドの電荷状態の制御に取り組んでいます。



公募研究へ応募された動機は？

野村：量子ホール状態は非常に不思議な現象で、トポロジカルな状態ができていることによって、まるでリアス式海岸のような複雑な状態に沿って電子が流れているように見える中に、長い距離コヒーレンスが保たれています。特に注目すべきなのが量子ホール状態中のスピンの状態で、スピンと光の相互作用によって、実際にそこに立っているスピンがどうなっているのか、自分の目で見たいというのが、率直な研究の動機です。

量子ホール状態においてアップスピン・ダウンスピンの状態が縞状にできることは、1990年代に理論が確立されており、実験的にも間接的には確認されてはいるものの、可視化した例はありませんでした。ダイヤモンドのNVセンターは硬くて安定した構造の中にあり、物質の表面からも距離を置くことができるなどの点で、自分の得たい空間分解能に合ったセンサーを設計することができます。実際に作ってみたところ、その安定性が高いことがわかったので応募しました。

清水：具体的にはどのくらいのスケールですか？

野村：2つあって、1つは10～100ナノメートル、もう1つは数百ナノ～数ミクロンのスケールです。したがって10ナノからミクロンスケールの空間解像度性能が要求されています。そしてこのスケールを、うまくNVセンターが満たしているのです。

ただし、これらは量子限界を破るものではありません。将来的にもしも量子限界を破ったら、たとえば化合物の原子1つ1つの立体配置までわかる……といったことも可能ですから、まさに究極的なターゲットと言えますね。現在NVセンターのメインターゲットであるバイオ応用にも極めて



本質的なソリューションを提供するものになるでしょう。始めてまだ5年ですが、その間のNVセンターの進歩は目覚ましいので、実現の可能性は非常に高いと考えています。



最近のトピックがあればご紹介ください

清水: NVのセンサーの高感度化、それからNVに今後どんな展開が可能か、できることを増やしていくことなどが課題です。

水落: 感度はまだまだ伸びると思いますね。たとえば材料の浅いところにあるNVセンターは、そうでないものに比べて、表面付近から来るノイズのために特性が悪いことが知られています。この原因は磁気ノイズだと考えられていたのですが、最近電界の効果であることがわかるなど、関心が集まっています。過去に大きな投資があったシリコンなどの材料に比べると、ダイヤモンドは基礎的なところにもまだまだ可能性があり、ノビしろのある領域だと期待しています。

野村: 新しいアイデアがないと進まない研究なので、新学術領域の勉強会にも出席して、自分の研究に活かしていければと考えています。特に理論は10年は先を走っているの、新学術領域を通じて最先端の理論家が何を問題としているかを少しでも知り、今後1年、集中的にやりたいと考えています。

清水: ハイブリッド量子科学でよかったと思うことの1つは、NVセンターだけでなく、たくさんの情報が集まっている



ことです。また若手委員会でも活動していますが、年々活発になっており、次世代を担ういろんな分野の研究者と知り合えたことも収穫でした。

水落: 振り返るとこの5年、量子コンピュータには本当に目覚ましい発展がありました。そんな状況にあってハイブリッドをしようと提案した本プロジェクトは、先見性があったと思うし、今まさに非常に重要な領域になったと実感します。ぜひこのプロジェクトを継承して、ハイブリッドからネットワークの段階へ進んでいくことが重要だと思います。

取材・文：池谷瑠絵(情報・システム研究機構)



新領域の活動から

OISTワークショップ報告

2019年1月8日に国際ワークショップ International Workshop on Hybrid Quantum Systems(HQS)が沖縄県恩納村にて開催されました。2016年11月のベルリン、2017年9月の蔵王、および2018年10月のパリに引き続き、今回は4回目の国際会議開催となります。場所は沖縄科学技術大学院大学(Okinawa Institute of Science and Technology Graduate University: OIST)で、OISTと「ハイブリッド量子科学」プロジェクトの共同開催という形で企画されました。参加者数は63名でした。

最初に2件の海外からの招待講演が行われました。一つ目の講演はフィンランドのAalto大学の Mika A. Silanpää氏の超伝導回路と機械共振器の量子ハイブリッド素子に関する報告でした。超伝導回路により構成されたマイクロ波の共振器は、超低損失のマイクロ波フォンのキャビティとして用いることができることが知られており、これと機械共振器を結合させることにより、マイクロ波フォトンと機械共振器に閉じ込められたフォノンの量子力学的な重ね合わせ状態やもつれ状態を実現できます。講演で

は、この手法を発展させ、二つの機械共振器とマイクロ波回路を組み合わせ、それらの非線形効果を用いることにより、異なる機械共振器中のフォノンに対するもつれ状態を実現した実験についての紹介がありました。

二番目の講演は、米国コロラド大(Boulder)のPeter Burns氏による光・電気・機械結合共振器に関する報告でした。超伝導回路を用いたマイクロ波キャビティにより量子力学的な状態を制御できることは広く知られていますが、その量子状態を外部に取り出し伝送するには、室温でも量子性が得られる光学領域のフォトンに変換する必要があります。しかし超伝導回路は光の照射により超伝導状態が容易に壊れてしまうため、その変換は容易ではありませんでした。Burns氏は、SiN薄膜により作製した機械共振器を用いて6GHzのマイクロ波フォトンを一且1.47 MHzのフォノンに変換した後281.8THzの光学領域フォトンへ再度変換し、feed-forwardの手法を駆使することにより47%という高い変換効率を得ることに成功した実験結果について報告しました。

2件の招待講演の後、OISTならびに新学術プロジ



シンポジウム参加者の集合写真

エクトの代表的な研究に関する招待講演が行われました。OISTからはJason Ball氏のマイクロ波フォトンと光学領域フォトンダイヤモンドNVセンタを用いて変換する実験、Fabian Pauly氏による分子接合を介した熱伝導に関する理論研究、Tridib Ray氏の冷却原子とフォトンの相互作用に関する研究、Denis Konstantinov氏による液体ヘリウム表面に形成された二次元電子系の実験に関する4つの講演が行われました。また新学術プロジェクトからは、阪大山本氏からのフォトンとフォノンを用いた量子ネットワークに関する研究、理研の大野氏からSi量子ビットの深い準位を用いた量子ビットに関する研究、東北大の橋本氏から操作ゲート顕微鏡を用いた量子ホール状態の実空間観測、東大の平川氏からフラーレン分子に閉じ込められた原子の振動状態の検出に関する実験、さらには早稲田大の青木氏からナノファイバーを用いて原子状態を結合させる実験に関する5つの講演が行われました。これらはいずれも量子ハイブリッド研究の最先端の成果が報告されたものです。講演後、ポスター会場においてポスター講演も行われました。16件のポスター

発表が行われ、オールラウンド講演に関する議論も含めて大変活発な議論が行われ、今後のハイブリッド量子科学プロジェクトの進展に有益な情報交換がなされました。

国際ワークショップも今回で4回目を迎え、国内外の研究者間の新たな交流を生み出しています。これをきっかけとした共同研究も始まっており、本新学術領域では引き続き同様なワークショップを企画する予定です。

NTT物性科学基礎研究所 上席特別研究員 山口浩司



招待講演者のMika A. Sillanpää氏

第7回若手研究会報告

異分野の研究者との議論は、自身の研究に新たな発展性を持たせるきっかけになるため、特に若手研究者にとっては重要です。そこで、若手研究会では“参加者の議論”を中心にした企画にも積極的に挑戦しています。第7回目となる今回は、沖縄科学技術大学院大学にて二日間の日程で研究講演会とグループディスカッションを行いました。講演では、安東秀先生、山原弘靖先生、久保結丸先生に、そ

れぞれスピン流、スピングラス、超伝導量子ビットに関わる物理と、研究への展開についてお話いただきました。本領域の研究分野の根幹を支える物理現象について基本に立ち返って学ぶ、非常に良い機会になったと思います。グループディスカッションでは、量子力学的現象、量子コンピューターなどに関連する難解な問題を議論していただきましたが、ペンをとって真剣に考え、熱く議論する参加者の姿勢が印象的でした。最後の意見発表会では、入念な調査に基づいた素晴らしい発表が行われました。聴講者からも面白い視点の発言があちこちで生まれ、全員で一体となって問題解決に取り組む意識が芽生えたように感じました。同時に、参加者から研究会自体の感想をいただき企画内容の改善すべき点も見えてきました。今後はいただいた意見に真摯に対応し、人材交流に更に力を入れ、参加者がより大きな収穫を得られる会にしていきたいと思います。

東北大学 助教 富松 透



研究成果から

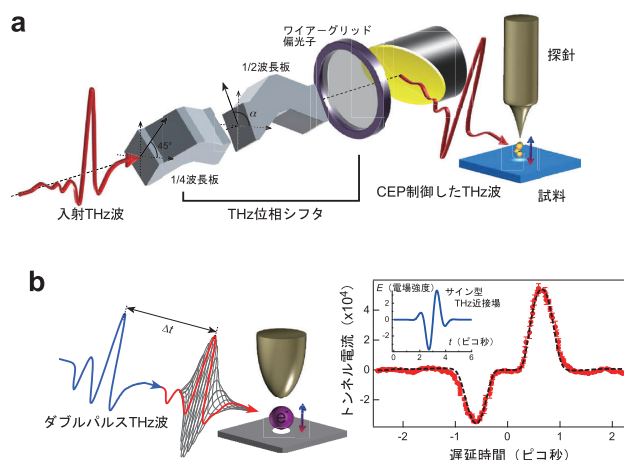
完全位相制御テラヘルツ近接場による
超高速ナノ空間電子操作

—より速くより微細に—

現代の情報技術は電子制御の「高速化」と「微細化」の推進により発展してきました。よく知られた経験則であるムーアの法則によれば、コンピュータの性能は1年半で2倍に向上します。しかしながら、従来技術の延長には限界があり、高度情報化社会を支える電子制御技術の発展に陰りが見えはじめています。近年、電子制御を飛躍的に高速化させる次世代の手法として、超短パルスレーザーや単一サイクルのテラヘルツ (THz) 波のキャリア・エンベロープ位相（以降、CEP；光・THz波中の振動電場の位相）を積極的に利用することが提案され、光・THz電場の振動周期よりもさらに短い究極の時間スケール（サブサイクル）で電子を操ることが可能となってきました。当研究グループも、NTT物性科学基礎研究所との共同研究により、固体薄膜において多光子過程に伴う世界最高速の多重ペタヘルツ電子分極 (667–383 アト秒) を時間分解計測しました。また、CEPを制御した高強度THz波と走査型トンネル顕微鏡 (STM) を組み合わせた THz-STMを開発し、回折限界を超えた超微細領域で電子をコヒーレントに自在に操作できることを実証し

てきました。このナノ計測技術によれば、STMの探針増強により、入射したTHz波の電場強度は10万倍にも増強されます。増強して得られた電場強度（～160 MV/cm）は世界最大であり、単一サイクルの巨大電場が探針・試料間のポテンシャル障壁をサブピコ秒という極短時間で瞬間的に変調するため、～数万個という驚くほど多くの電子をナノ空間で所望の方向に流すことができます。

一方、トンネル接合におけるTHz近接場の波形は、これまで盲目的に、THz遠方場と同じであると仮定されてきました。しかしながら、遠方場と近接場のCEPが一般的に一致しないことは近接場顕微鏡分野では既知の事実であり、THz-STMにおいてもTHz近接場をその場 (*in situ*) 観測し、所望のTHz近接場を創り出す処方箋の構築が強く望まれています。そこで私たちは、図aの概念図にあるように、広帯域THz位相シフタをTHz-STMに組み込み、CEPを $0 \sim 2\pi$ と連続的に調整することにより、はじめてTHz近接場波形のその場観察を可能にし、更には探針形状に依らずに任意の単一サイクルTHz近接場を創り出すことに成功しました。そして、実験結果と有限統合シミュレーションを比較することにより、THz近接場波形が探針におけるマクロスコピックな電子の集団運動によって決定されることを突き止めました。また、時間間隔を調整したダブルパルスのTHz近接場を用いて、フェムト秒の精度でタイミングや方向を制御した電流バーストを探針・試料間に創り出せることを実証しました（図b）。これらの成果は、超高速かつ微細空間での電子制御技術に新たなプラットフォームを提供するものであり、次世代超高速ナノエレクトロニクス開発や強光子場物理の学問分野に新風を吹き込むものと期待されます。



図：(a) 位相制御THz-STMの概略図。(b) ダブルパルスTHz近接場による超高速電流バースト生成。

横浜国立大学 教授 武田 淳

K. Yoshioka, I. Katayama, Y. Arashida, A. Ban, Y. Kawada, K. Konishi, H. Takahashi, and J. Takeda, "Tailoring single-cycle near-field in a tunnel junction with carrier-envelope phase-controlled terahertz electric fields", *Nano Lett.* **18**, 5198-5204 (2018).
DOI: 10.1021/acs.nanolett.8b02161

テラヘルツ電磁波で 1分子の超高速の動きをとらえた

テラヘルツ電磁波は、さまざまな分子の振動周波数と整合し、分子の構造や機能などを調べるのに適しています。しかし、テラヘルツ電磁波の波長が100マイクロメートル程度と非常に長いため、これまでは電磁波の回折限界のために、直径数ミリメートル程度の領域の中にある非常に多数の分子の「平均的な情報」しか得ることができませんでした。

今回、東京大学生産技術研究所の我々のグループは、物質材料研究機構の濱田幾太郎博士（現在：大阪大学）と共同で、長波長のテラヘルツ電磁波で1分子を観測する技術を開発し、超高速の分子振動の観測に成功しました。

光（一般的には電磁波）をレンズや鏡を用いて集光するとき、その最小ビーム径はおおよそ電磁波の波長を下回ることはできない「回折限界」という制約があります。このため波長が100マイクロメートル程度のテラヘルツ電磁波をレンズや鏡で集光しても、波長の10万分の1（約1ナノメートル）程度しかない1分子からの信号を得ることは不可能です。

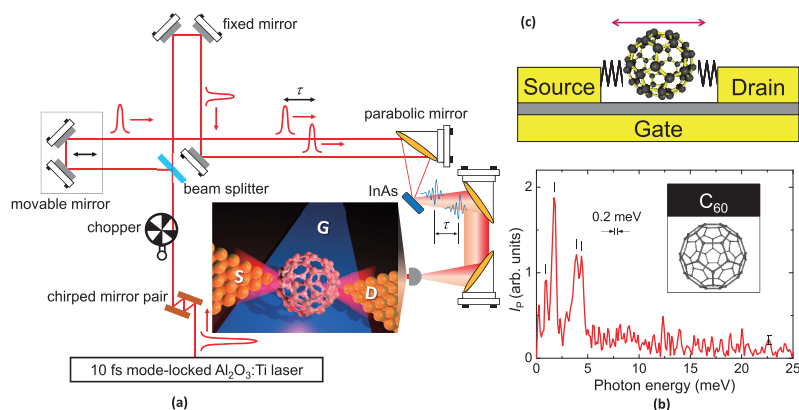
本研究チームはこれまでに、金属電極に1ナノメートル程度の隙間を設け（ナノギャップ電極）、その隙間に1分子を捕えた「単一分子トランジスタ構造」を精密に作製する技術を開発してきました。本研究の特徴的な点は、このナノギャップ電極をテラヘルツ電磁波に対するアンテナとして用いることにより、1分子に効率よくテラヘルツ電磁波を集光することができた点です。また1分子からの極微弱なテラヘルツ信号を、分子を経由して流れる電流の変化として読み出すことができるところも極めて有効です。

この単一分子トランジスタ構造を用

いて1個の C_{60} （フラーレン）分子をテラヘルツ電磁波で観測したところ、ピコ秒（ 10^{-12} 秒）程度の時間スケールで C_{60} 分子が超高速に振動している様子を検出することができました。このようなテラヘルツ計測は、原子レベルの超微細加工技術とフェムト秒レーザを用いた超高速時間領域テラヘルツ測定技術の両方がそろって初めて可能となったものです。また C_{60} 分子に電子を1個注入することにより、振動周波数がわずかに変化する様子も観測されました。このような電子1個がもたらす分子振動数のわずかな変化も観測できるようになったのは、単一分子トランジスタ構造を用いて、分子の中の電子数や電位（静電ポテンシャル）を精密に制御できるようになったからです。

1分子のテラヘルツ計測が可能になったことにより、遺伝子やタンパク質の分子レベルの構造や機能の解析、分子レベルの情報に基づいた医薬品の開発など、物理、化学、生物学、薬学などの基礎から応用に関わる広い分野に大きな発展をもたらすと期待されます。

東京大学生産技術研究所 教授 平川一彦



図：(a)ナノギャップ電極で単一 C_{60} 分子を捕獲した単一分子トランジスタ構造と時間分解テラヘルツ分光測定システム。(b)観測された C_{60} 分子の振動スペクトル。(c)金電極上の C_{60} 分子の重心運動の模式図。

RESEARCH

単層カーボンナノチューブの熱伝導率精密計測

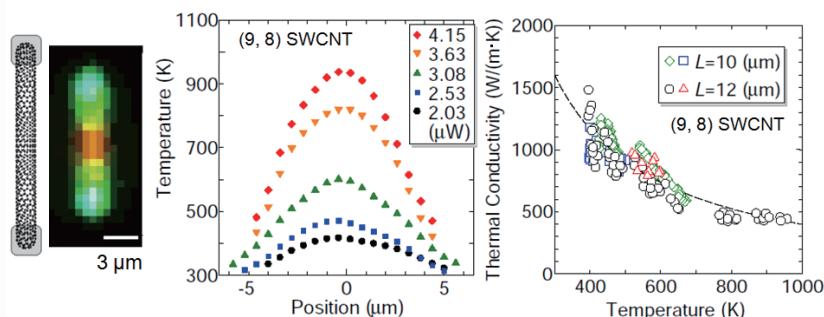
蛍光分光イメージングによる単層カーボンナノチューブ(SWCNT)の熱伝導率計測法を開発し、構造を精密に決定したSWCNTの熱伝導率の温度依存性を明らかにしました。

単層カーボンナノチューブ(SWCNT)は直径1nm程度のナノサイズの物質で、理論的には高い熱伝導率を持つことが予測されています。しかし、単一SWCNTの熱伝導特性は未だ明らかにはなっていません。SWCNTの構造の指標であるカイラリティが特定された試料を用いた研究は少なく、真に1本であるのが明確でなかったのが現状です。

我々は蛍光及びラマン分光法を用いてカイラリティや結晶性を精密に評価した単一架橋SWCNTに対して、非接触・非破壊に熱伝導率測定を行いました[1]。本測定法は、蛍光スペクトルのピーク位置の温度依存性を利用して、1本のSWCNTの軸に沿ったレーザ加熱時の温度分布を分光イメージングに

より取得し、これから熱伝導率を導出する方法です。350Kから1000Kまでの広い範囲で熱伝導率の温度依存性を導出することができ、その温度依存性は1次の3フォノン散乱過程(温度の逆数に比例)で良く表現できることがわかりました。今回得られた熱伝導率は、4本の同一カイラリティのSWCNTで一致し、信頼性の高いものと言えます。

東京理科大学 教授 本間芳和



カイラリティが(9, 8)のSWCNTに対し蛍光発光波長の温度依存性を利用して、1本のSWCNTの軸に沿ったレーザ照射(2.03~4.15μW)時の温度分布を分光イメージングにより取得し、これから熱伝導率を導出しました。長さLの異なる4本の(9, 8)SWCNTのデータが一致しています。

[1] K. Yoshino, T. Kato, Y. Saito, J. Shitaba, T. Hanashima, K. Nagano, S. Chiashi, and Y. Homma, ACS Omega, 3, 4352-4356 (2018).

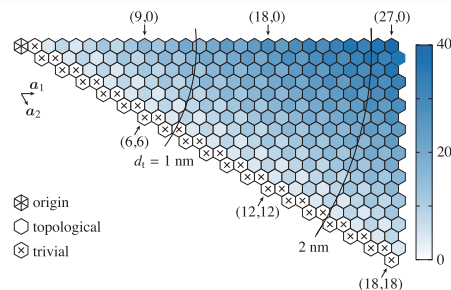
RESEARCH

カーボンナノチューブにおけるトポロジカル物性

カーボンナノチューブ(CNT)は良く知られた物質ですが、意外にもトポロジカル絶縁体(TI)になります。一般にTIでは、バルクの電子状態がトポロジ数で特徴付けられます。それが真空のトポロジと異なるとき、真空からバルク内部まで電子状態を連続的に変形することができないため、表面で一度バンドギャップが閉じます。それが表面の金属状態に対応し(バルク・エッジ対応)、量子スピンホール効果やマヨラナ粒子等の特異な物性を示します。

CNTはA・Bサイトの副格子構造を持つ擬1次元系です。その種類は、円周方向を表すカイラル・ベクトルによって指定され、半導体か金属になります。金属型であっても、有限曲率等によって小さなバンドギャップが開きます。このような系はBDI(磁場中ではAIII)クラスのTIに分類され、トポロジ数(巻き付き数)は整数値を取ります。我々は、すべてのCNTのトポロジ数を求め、ほとんどのCNTがTIになることを示しました[1]。その場合、バルク・エッジ対応によってCNTの端に局在した状態が現れますが、それはCNTを量子ドットに用いたクーロン振動の実験によって観測可能です。

慶應義塾大学 教授 江藤幹雄



CNTの種類を左上のサイトを始点とするカイラル・ベクトル(円周方向)で示し、そのときの端状態の数をカラースケールで表す。

[1] R. Okuyama, W. Izumida, and M. Eto, arXiv:1812.06399 (Phys. Rev. B, in press).

RESEARCH

メカニカル振動子による核スピン制御

原子核の自転運動に相当する核スピンは、磁場中に置かれると固有の歳差運動をします。この歳差運動は核磁気共鳴法において広く利用されていますが、最近では量子情報を記録する量子メモリや磁場に敏感である性質を利用した磁場センサなど、量子技術においても注目されています。今回、核磁気共鳴の周波数が固体中のひずみに対して敏感に変化するという性質を利用し、微細なメカニカル振動子を用いて核スピンを制御することに成功しました。作製した振動子は両もち梁と呼ばれる構造を有し、圧電半導体であるGaAsとAlGaAsの接合構造を微細加工することにより作製しました。圧電効果を用いてこの構造を電氣的に振動させることにより、梁構造の根元の部分に周期的なひずみを発生させ、その領域の核スピンの振る舞いを変化させることができます。実験では、周期ひずみによる磁気共鳴周波数の変調に成功した他、梁構造の振動周波数だけずれたところに共鳴ピークが現れるサイドバンド共鳴と呼ばれる新しい核磁気共鳴現象の観測に成功しました。観測した実験結果は理論計算の結果とよく一致していることから、振動子によって発生させたひずみによる効果であることが実証されました。

NTT物性科学基礎研究所 首席特別研究員
山口浩司

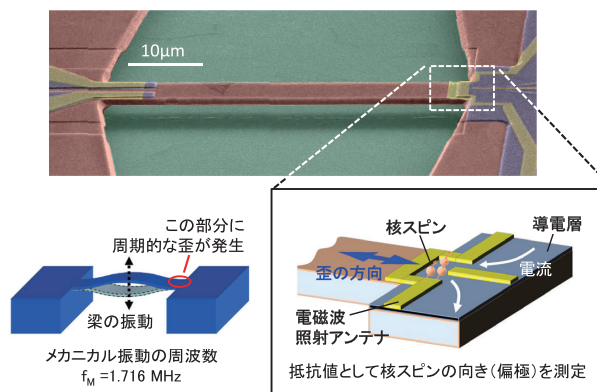


図:核スピン制御を実証した半導体メカニカル素子

Yuma Okazaki, Imran Mahboob, Koji Onomitsu, Satoshi Sasaki, Shuji Nakamura, Nobu-Hisa Kaneko, and Hiroshi Yamaguchi, Nature Commun. 9, 2993 (2018)

EVENT

若手NVセンター研究会(第6回若手研究会)

ダイヤモンド中の窒素空孔センター(NVセンター)は量子情報や磁気等のセンシングの分野で非常に注目されています。ハイブリッド量子科学でもNVセンターを扱う研究室が増えてきています。また、偶然にも若手委員でもNV関連の研究をしている人が多かったのですが委員同士でもお互いどのような研究をしているかはあまりよく知りませんでした。そこで若手が気楽に集まって一緒に勉強するという趣旨で2018年10月26日、東京理科大学にて若手NVセンター研究会(第6回若手研究会)を開催する運びとなりました。

初めにNTTの松崎さんによる「量子センサの基礎」というタイトルの3時間にわたる勉強会を行いました。弱磁場計測の際のマイクロ波パルスのスキームの違いにより、感度の差がでることを参加者が実際に鉛筆を動かして計算し、普段おさなりのになりがちな基礎の部分を押さ直しました。その後、参加者が持参したポスターで研究紹介を行い、活発な議論が行われました。参加者は15名と少なかった分、皆が顔見知りになり、密な議論ができる会となったと思います。ハイブリッド量子科学では他分野の融合が行われていますが、まず、同分野で知識を深めるというのも大前提であり、このような気楽に参加できる会・基礎について勉強する会を今後も開催していきたいと考えています。

東京理科大学 助教 清水麻希



説明する松崎さんと講演会をきいている人々

トリクルダウン：最近の論文誌事情

東京大学生産技術研究所 教授 平川一彦

このエッセーを書いている今はちょうど、プロ野球の各チームがキャンプインして、4月からのシーズンに備える時期です。毎年シーズンオフに選手のいろんな異動があります。自分の能力を試してみたいという気持ちから、日本のプロ野球界から飛び出し、米国のメジャーリーグに行く選手が増えてきたことは、よくご存じのことと思います。ここで底流に流れているのは、自分を「世界標準の土俵」に置いて、自分の実力がどれほど通用するのかを確かめたいという純粋な気持ちです。この気持ちを止めることは誰にもできません。

ここで、はてな？と思うのが、誰がどのようにして、どこが「世界標準の土俵」であると決めているのでしょうか。野球の世界では、選手本人の感覚として、どこが強いのかはなんとなくわかっているの、少なくとも今現在は野球の発祥の地である米国のメジャーリーグが「世界標準の土俵」であると言うのは、多分許されることでしょう。

同じような現象が、我々研究者のコミュニティでも起きています。できるだけ読者の多い論文誌に自分の論文を投稿し、その反響を見てみたいと思うのは、誰しも同じでしょう。しかし、この傾向に異常な拍車をかけるような事態が次々と発生し、私は最近の傾向に大きな危惧を覚えています。

どの論文誌が自分の勝負の場所かを、研究者自身が何となく（アナログ的に）考えていたのが、約20年ぐらい前まででした。その後、論文誌にimpact factor (IF) というデジタル的な指標が導入され、論文誌が格付けされてしまいました。ご存じのように、IFは、その論文誌の論文が2年間に引用される平均の回数ですので、短期間に多く読まれる流行の分野が珍重されます。このIFの登場により、これまで研究者自身が自分の中に持っていた価値基準のようなものが、第三者により数値化され、それ

が研究者の採用や評価にまで使われるという想像を超えた状況が生まれてきました。若手研究者が次のステップに進むときにも、できるだけIFの高い論文誌の論文をそろえたいと思って、四苦八苦しています。

その影響で、できるだけIFが高い論文誌に論文を通すために、まずは手が届く最難関の論文誌からスタートし、それが落ちたら、その次の論文誌に、さらにその次…と言うように、論文投稿から出版まで非常に長い時間がかかるようになってしまいました。またそれを助長するように、出版社も最難関から落ちたものを拾う姉妹誌を新規に創刊し、さながらピラミッド状に積まれたシャンペングラスの最上部にシャンペンが注がれ、あふれたものが下のグラスをどんどん満たしていく「トリクルダウン」のようです。また、このトリクルダウンのせいで、論文誌の重要な指標であるはずの「速報性」が全く意味を失って、IFの高い論文誌に出るまで、論文が漂流するという状況も生まれています。この風潮は明らかに異常事態と言えるでしょう。さらに、論文投稿先の一極集中がおき、その反動として多くの優良な論文誌が苦しんでいることも付け加えたいと思います。

以前、応用物理学会の欧文論文誌の編集委員長を仰せつかっていたとき、先輩の先生方から、「Physical Review Letters (PRL) 誌も、創刊当時はヨーロッパの図書館で見向きもされず、書庫の隅に縄で縛られたまま積まれていたんです。今、PRL誌が広く読まれるようになったのは、米国の物理学者のコミュニティが自分たちの論文誌をいいものにしようと努力した結果なんです。」と言われたことを思い出します。最初に書いたように、世界の舞台で自分の力を試してみたいという気持ちは決して止められませんが、せめてデジタルな数字を見ないようにして、自分のアナログ的な感性に従ってみてはどうでしょう。

「新学術領域」事務局からのお知らせ

□ハイブリッド量子科学セミナー：
じっくり議論シリーズ2
日程：2019年5月（予定）
会場：国立情報学研究所（予定）

異分野間で密に議論して理解を深め合い、ハイブリッド量子科学を深化させることを目的として開始した議論重視のセミナー、じっくり議論シリーズの第2回を開催します。テーマは量子誤り訂正を予定しています。

□NII OPEN HOUSE 2019
日程：2019年5月31日（金）～6月1日（土）
会場：学術総合センター

東京都千代田区の学術総合センターにて開催されるNII OPEN HOUSE 2019では、最近のハイブリッド量子科学における研究成果をご紹介します。

□Canada-Japan Workshop on Hybrid Quantum Systems
日程：2019年6月26日（水）～27日（木）
会場：University of Ottawa

国際共同研究先の一つであるUniversity of Ottawaにて合同ワークショップを開催します。国内外からそれぞれ約10名の研究者が集い、研究発表について議論を深める予定です。

Science of Hybrid
Quantum Systems

<http://quant-trans.org/hybridqs/>

