



NTT物性科学基礎研究所 量子電子物性研究部

役割も目的もハイブリッドしよう。

今回は神奈川県厚木市にあるNTT物性科学基礎研究所を訪ね、齊藤 志郎特別研究員、角柳孝輔主任研究員、松崎雄一郎研究主任、および 樋田啓研究員に、座談会形式で研究の狙いや最近の成果についてお話いただきました。松崎氏は理論班の研究分担者を務めており、また齊藤氏、角柳氏の2名は電荷・スピン班の連携研究者としてハイブリッド量子科学の研究プロジェクトに参画しています。若手4人のみなさんは物理を基礎としながらも、長年超伝導量子ビットのハイブリッドに取り組んできた齊藤氏、角柳氏、理論を担当する松崎氏、学際的な関心を持ち学生時代からハイブリッドに親しんできたという樋田氏と、まさに"ハイブリッド"な顔ぶれです。今回は特に、超伝導量子ビット関連の進展についてお聞きしました。



超伝導量子ビットのハイブリッドの特徴は?

齊藤:私はNTT物性科学基礎研究所で超伝導量子ビットの研究が始まったころからこの研究に携わってきました。超伝導は抵抗値が0であるため、回路に電流を流すと、一方向に流れる状態をずっと保つことができます。これは量子情報にとっては大きな利点で、右回り/左回りの量子状態を1量子ビットとして扱うことで、量子計算へつながります。しかし超伝導を使った量子ビットは人工的に作られた構造なので、電子スピンや核スピンのような天然に存在する物理系と比べると、どうしても状態を維持できる「コヒーレンス時間」が短いという問題がありました。

一方、自由に設計できる超伝導量子ビットは、なんといっても操作性・拡張性に非常に優れています。そこで寿命の面では天然の材料を活かし、他の系と相互作用したり配線したりするのには超伝導量子ビットを用いて、"いいとこ取り"のハイブリッド系を考えました。まずはダイヤモンド中の複合欠陥である「NVセンター」が持つ電子スピンと、超伝導量子ビットを組み合わせ、その間で量子状態を保つことに成功しました。

この他、NVセンターと超伝導量子ビットに光を組み合わせた、3つのハイブリッドも有望であると考えています。量子情報を取り扱うために超伝導量子ビット、情報を保持する量子メモリーとしてダイヤモンド中の電子スピンを使います。電子スピンと光は実は相性がよいため、電子スピンを介して――つまり、トランスデューサとして使うことにより――超伝導量子ビット、電子スピン、光の間で量子情報をやり取りします。超伝導量子ビットが扱うのは周波数の低いマイクロ波ですが、電子ス

ピンを介することにより光に転写できるため、情報を光通信のネットワークに乗せることが可能になります。なお超伝導量子ビットにはいくつか種類がありますが、われわれは中でも磁束量子ビットを使っており、電流が作る磁場と電子スピンが相互作用しやすいのが特徴です。



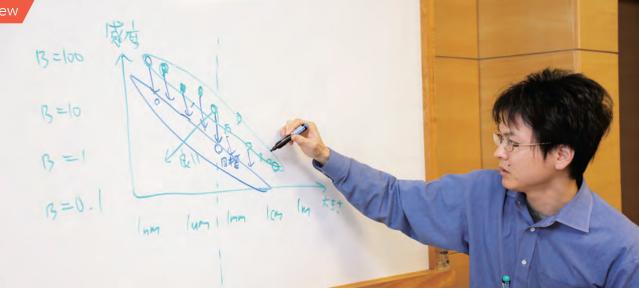


実験の目標は量子コンピュータですか?

樋田:私は超高感度センサーへの応用に取り組んでいます。齊藤さんの実験とちょうど逆に、超伝導回路をセンサーとして使って、電子スピンを検出しようというのが私の実験です。実験に使う素子や構成もほぼ同じで、超伝導回路にダイヤモンドなどのスピンを含む試料を近づけることにより、どういうスピンがいくつあり、したがってどういう原子がどこにいるかということを全部調べられるようなセンサーとして使うことができます。スピンは材料の性質を表すため、スピン検出によって材料を知ることができるわけです。

私は学生のときから、当時の専門だった半導体と、超 伝導のハイブリッドに取り組んでいましたが、研究所に 入って初めてスピンを扱うようになりました。これまで のスピン検出の実験は、たくさんのスピンを大きな箱の 中に用意しておいて測るやり方が主流でしたが、超伝導 回路はスピンとの結合がすごく強いため、数十ミクロン 立方程度の試料さえあれば、中にあるスピンを調べられ るようになりつつあります。現在、1,000個以下ぐらい のスピンを読み込むのに成功しています。







理論家はどのように貢献しているのでしょうか?

松崎:僕は学生時代から「シュレディンガーの猫(重ね 合わせ)」状態を量子コンピュータだけでなくセンシン グにも使えないかということにずっと興味を持っていま した。重ね合わせ状態を使った量子センサーは、原理的 に非常に高い感度を持つものの、非常にノイズに弱いと いう問題が知られています。そこで学生時代に、ノイズが あっても重ね合わせ状態を守り、古典限界を超えた超高感 度のセンサーを実現できるプロトコルを提案しました。た だしこれは抽象的な理論であって、ノイズのみに対しての 解決策を示すものであり、また実現方法についても、どう いうデバイスのどんな状態をどう操作すればいいのかは示 されていません。そこでこの宿題に研究所に入ってから取 り組みました。その解決策の1つが樋田さんの実験されてい るような超伝導回路と電子スピン集団を使うこと、そして2つ めが、マイクロ波光子と超伝導量子ビットの結合系を使うア イデアで、これは近年角柳さんと共同研究をしています。



量子的な振る舞いはミクロな世界のものでは?

角柳:今、実際に扱っているデバイスの一つは、超伝導量子ビットを4,300個並べたものです。量子ビット集団



は0.2ミリ平方ぐらいのサイズなので、肉眼でも小さな点ぐらいのものがあると認めることができます。この量子ビット集団をコヒーレントに結合させることに成功しました。これは、重ね合わせ状態ではないのですが、数では世界最大のデバイスであり、将来は量子センサーとして働く可能性があります。

このような例を含めて、超伝導量子ビットには様々な応用の可能性があります。その他にも、たとえば量子力学の基礎に関わるような実験も可能になってきます。われわれが暮らしている世界の中には、猫の重ね合わせ状態は現れていませんよね? 電子1個なら量子力学のルールに従うけれども、もし1,000個以上の大きさになったら従わないのならば、1,000量子ビット以上の量子コンピュータはできないということになります――もちろん、われわれはみんなできると思っているわけですけれども(笑)。では量子力学の限界はどこまでなのか、これを確かめる一例として、毎秒1兆個の電子が流れる電流において量子重ね合わせが実際に成り立っているのかどうかを、超伝導量子ビットを使って調べるといった実験も行っています。



「のび代」が期待できそうな課題はありますか?

齊藤:私の実験では、超伝導磁束量子ビットと電子スピンを相互作用させるために、たくさんの電子スピンを用いて結合を強くする手法を使っているのですが、われわれが量子メモリーに対して期待するような長いコヒーレンス時間を保てないことがわかりました。電子スピン1つなら寿命が長いのですが、集団だとスピン間の相互作用を起こしてしまうことなどが原因で、状態が壊れてしまうのです。そこで濃度を落とすなどして電子スピンの



質を向上させ、量子メモリーとして使えるような寿命の 実現を目指しています。

樋田:私の場合は、現在センサーは電子スピン1,000個程度の感度ですが、10個、1個とどんどん少なくしても測れるように感度を上げていく方向が考えられます。もう1つは方法に関わることで、今は測定したい試料の上にひとつのセンサーを置いて感知させているのですが、センシングする量子ビットをたくさん作って碁盤目状に並べ、1つのカメラのように使って、この上に試料をぺたっと置いて測定する、という新しい応用を考えています。こうすればパシャっと1回測定することによって、どこにどういう原子がいるかという分布マップが一度に取得できるのではないかと期待しています。

松崎:これまで材料をハイブリッドするという取り組みを行ってきたわけですけれども、これからのハイブリッドとして僕は「コンセプトのハイブリッド」に興味を持っています。たとえば量子コンピュータではすごく頻繁にエラーが起こるので、誤り訂正というやり方でどんどん直しながら計算しようという手法があるのですけれども、実はこれが量子センサーに使えることが発見されて、最近注目を集めています。これは、センサーと量子計算の垣根がだんだん低くなり、統合していく様子が見え始めているものと言えるでしょう。

われわれの研究所でも、4,300個の超伝導量子ビット

を量子センサーに使うということと、量子計算に使うこととを、これまではやはり切り離して考えることが多かったのですが、両方同時に実現したらどんな世界が拓けるかということを、実験とともに理論で詰めていきたいと思います。たとえば4,300個の一部をセンサーとして使って材料を読み取り、その後読み取った情報を高速で量子計算することで、高効率な情報処理を実現する……といった展開が考えられます。このようなコンセプトのハイブリッド化、特に量子センサーと量子計算を行き来するハイブリッド化で、先駆けとなるような研究ができればと考えています。

角柳:4,300個の量子ビットの集団をコヒーレントに結合させることには成功しているのですけれども、超伝導量子ビットは人工的に作ったものなので1つ1つにまだまだばらつきがあります。この欠点を克服してばらつきを抑えたり、もしくは量子ビット1つずつの相互作用をもっと大きくしてばらつきが目立たないようにしたりして、筋のいいデバイスに育てていく必要があります。このような新しい量子ビットの集団が可能になれば、重ね合わせ状態にある全体で1つの寿命の長い量子ビットとして量子センサーに使ったり、数多くの量子ビットの集まりとして量子計算を行ったりというように、可能性がいっそう拓けてきますね。

取材・文:池谷瑠絵(情報・システム研究機構)

研究成果から

量子テレポーテーション転写に成功 ~光子の量子状態をダイヤモンドに保存、量子通信に新展開~

横浜国立大学大学院工学研究院の小坂英男教授と Stuttgart大学(ドイツ)のグループは、量子通信に 用いる光子を量子メモリーとなるダイヤモンド中に量 子テレポーテーションの原理で転写して長時間保存 する新原理の実証に、世界で初めて成功しました。

今回の成功は、核子と量子もつれ状態にある電子に光子を吸収させるだけで、直接作用しない核子に光子の量子状態を転写し、長時間保存可能なことを示す画期的な発見です。今回得られた結果は、量子中継の基本原理である量子テレポーテーションを極めて単純な原理で実現し、光子の量子状態を直接は届かない遥か遠方に高速かつ確実に再生かつ長時間保存できることを示唆するもので、物理法則で絶対的な安全性が保証された量子通信網の飛躍的長距離化・高信頼化に道を開くものと期待されます。

量子テレポーテーションにはあらかじめ原子内に量子

もつれを用意する必要があります。これには物質に内在する量子もつれを利用します。原子を構成する電子と核子のスピンは超微細相互作用という量子もつれを導く力でつながっています。我々はマイクロ波やラジオ波でこの量子もつれを純粋化することから始めました。次にこの量子もつれを種とし、先の論文(Hideo Kosaka, et. al., Phys. Rev. Lett., 114, 053603 (2015))で実証した吸収による量子もつれ検出の応用で光子の量子状態を核子に転写することに成功しました。

今回実証に成功した光子から核子への量子テレポーテーション転写の動作原理を図に示します。あらかじめ電子と核子を量子もつれ状態に準備しておきます。本実験ではこれをマイクロ波やラジオ波の照射で実現しています。その後、光子を電子に衝突(吸収)させます。その際に、光子と電子が特定の量子もつれ状態にあることを検出した際に、光子の量子状態が核子に転写されます。

横浜国立大学 教授 小坂英男

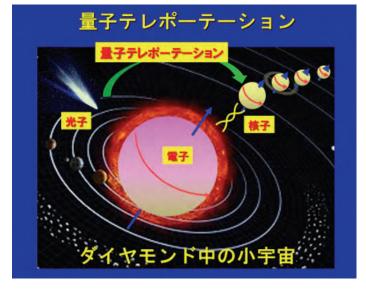


図:ダイヤモンド内の量子もつれを利用した量子テレポーテーション。あらかじめ電子と核子を量子もつれ状態とし、その後に衝突した光子が電子を特定の軌道に励起した際、光子の量子状態は瞬時に核子に転写される。

掲載論す

Sen Yang, Ya Wang, Thai Hien Tran, S. Ali Momenzadeh, M. Markham, D. J.Twitchen, Rainer Stohr, Philipp Neumann, Hideo Kosaka, and Jorg Wrachtrup

"High fidelity transfer and storage of photon states in a single nuclear spin" Nature Photonics (2016), (doi:10.1038/nphoton.2016.103).

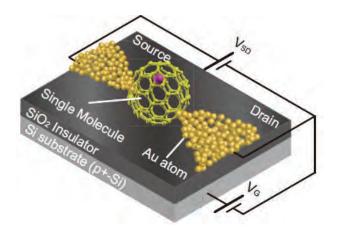
ニュースリリース:http://www.ynu.ac.jp/hus/koho/16102/detail.html

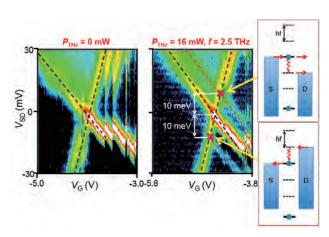
分子スケールの電子伝導と テラヘルツダイナミクス

我々は、電子を0次元的に完全に閉じ込めることができる単一分子を活性層とする極限ナノトランジスタについて、テラヘルツ(THz)電磁波を用いて量子伝導の解明と制御、応用に関する研究を行っています。一般に、THz電磁波の波長は100μm程度あり、1nm以下の単一分子とは相互作用が極めて小さいという問題があります。我々は、単一分子トランジスタ構造のソース・ドレイン電極をTHzアンテナとして用いることにより、回折限界を10万倍も越えて、THz電磁波と単一C60フラーレン分子を強く相互作用させることに成功しました。

右図に単一C60分子を活性層とするトランジスタのクーロン安定化ダイアグラムを示します。この試料に波長119μmのレーザ光を照射したところ、通常の量子準位を経由したトンネル伝導に加えて、その上下に光子エネルギー10meVの整数倍だけ離れたところに新しい伝導チャネルが形成されることを見いだしました[1]。これは、分子内の量子準位が強いTHz電界に揺さぶられて、フォトンサイドバンことは、ナノギャップ電極を用いることにより電磁波の電界を10万倍も増強できることを示しています。

東京大学生産技術研究所 教授 平川一彦





図は、単一分子とテラヘルツ電磁波の相互作用。左図は、単一分子トランジスタ構造。右図は、テラヘルツ電磁波を照射しないとき(左)と照射したとき(右)の単一C60分子トランジスタのクーロン安定化ダイアグラム。

[1] K. Yoshida, K. Shibata, and K. Hirakawa, Phys. Rev. Lett. 115, 138302 (2015).

RESEARCH

フォノニクスによるフォノン制御技術の開拓

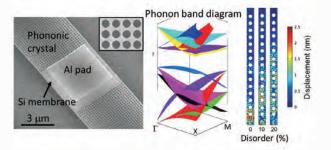
フォノングループでは、結晶格子および機械構造の振動を制御する技術を開拓し、フォノンを介した異なる物理系間での量子状態相互変換や固体系のフォノン場・輸送制御の実現を目指した研究を進めています。

東京大学生産技術研究所の野村研究室では、最も微細加工技術が進展しているシリコンを材料に用いて、フォノニック結晶とよばれるフォノンに対する人工周期ナノ構造を形成することで、フォノンの状態密度制御と伝搬制御を行っています。

電子が結晶格子の周期ポテンシャルを感じてバンドを形成して輸送特性が決定されるように、フォノニック結晶では人工周期構造うまく設計してフォノンの輸送特性や状態密度を制御することが可能です[1]。固体には必ずフォノンが存在するため、フォノニクスによるフォノン

制御技術の開拓は、ハイブリッド量子科学を含む広範な研究分野に恩恵をもたらすと期待されます。 これまでに、フォノニック結晶中のフォノン輸送シミュレータを開発し、フォノニクスを使うと「穴をあけると熱が通りや すくなる」というような直観に反する物理が可能になることなどを理論的に示してきました[2]。フォトングループの平川 教授と連携し、実現にむけた実験を開始しています。また、フォノンのもつ波動性に基づいた熱伝導制御に世界で初めて 成功するなど、フォノニクス分野のフロンティアを開拓しています。フォノンを主役として用いるほかにも、固体ハイブリッ

ド量子系に要請される温度条件を緩和するなど、アシスト的な役割も期待できます。フォノニクスはまだ開拓が始まったばかりの若い分野ですが、その取り組みは着実に関心を集めてきており[3]、今世紀の重要な科学分野に成長するのではないかと期待して研究を進めています。東京大学生産技術研究所 准教授 野村 政宏



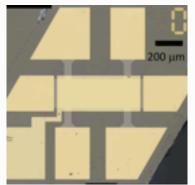
[1] R. Anufriev and M. Nomura, "Reduction of thermal conductance in two-dimensional phononic crystals by coherent phonon scattering," Phys. Rev. B 93 045410 (2016).

[2] R. Anufriev and M. Nomura, "Thermal conductance boost in phononic crystal nanostructures," Phys. Rev. B. 91, 245417 (2015).

[3] 図解:応用物理学会の未来予測, 応用物理 vol. 84, no. 8, P. 727 (2015).

トポロジカル絶縁体の量子伝導

我々の研究グループでは、電子スピンと軌道運動の相互作用を用いた量子エレクトロニクスの構築を目的として研究をおこなっています。スピンー軌道相互作用が支配的な効果を示す材料として、3次元トポロジカル絶縁体と呼ばれる物質群に着目し、その電気伝導特性に関する研究に取り組んでいます。3次元トポロジカル絶縁体は、試料内部のバルク部分は絶縁体であるにも関わらず、試料表面にグラフェンのような線形分散関係を持つ表面状態が現れるのが特徴です。このため、表面電子の相対論的効果に起因する新しい電磁気現象が期待されています。3次元トポロジカル絶縁体として知られている具体的な物質には、Sb₂Te₃やBi₂Se₃があります。図1は分子線エピタキシー法により成長したCrドープ(Bi,Sb)₂Te₃薄膜をホールバー形状に加工した試料の写真です。この試料では、磁性元素であるCrと電子の間の交換相互作用によって表面状態にもエネル



ギーギャップが開き、ホール抵抗値がh/e²に量子化される量子異常ホール効果(図2)が観測されます。ゼロ磁場でもホール抵抗が高い精度で量子化するため、抵抗標準として応用できる可能性があります。抵抗標準の実現を目指し、デバイス構造や膜構造を工夫することによって、量子異常ホール効果の安定性を高めることを試みています。

理化学研究所 専任研究員 川村 稔

図1:Crドープ3次元トポロジカ ル絶縁体薄膜を用いて作製し たホールバー型試料の写真。

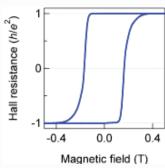


図2:磁性トポロジカル絶縁体におけるホール抵抗の量子化現象。

半導体ダイオードにおける零次元状態を介した 共鳴ツェナートンネル

RESEARCH

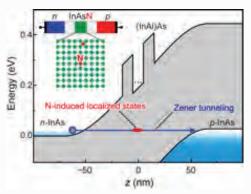
我々は、量子輸送シミュレーションを中心に、理論的な研究を行なっています。最近、英国ノッティンガム大学のパタネ教授、イーブス教授のグループと共同研究を行い、半導体共鳴トンネルダイオードにおいて、禁止帯内に存在する零次元状態の磁気トンネル分光測定に成功しました[1]。

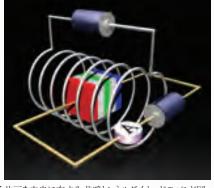
省電力トンネルトランジスタの実現に向けて、ツェナートンネルの理解が望まれています。また、禁止帯内に存在する局在準位を介したツェナートンネルを利用した量子情報処理デバイスも提案されています。我々は、磁気トンネル分光法を用いて共鳴トンネルダイオードにおける局在状態を調べました。磁気トンネル分光法は、固体内の局在準位に捉えられた電子の波動関数振幅を測定する手法です。

窒素原子を含む狭い禁止帯幅の半導体(In(AsN))を中央に有する、エサキダイオード型の共鳴トンネルダイオード(図1)の 電流電圧特性を測定しました。そして、その低バイアス領域に、窒素原子に起因する局在準位によるピーク構造を観測しました。 さらに、トンネル電流に垂直に磁場を印加すると(図2)、ピーク電流が磁場とともに減少する様子を観測しました(図3の丸印)。

ピーク電流の磁場依存性は、局在状態の波動関数振幅のフーリエ変換像に対応します。図3の実線に、幅3.6nmのガウス型波動関数のフーリエ変換像を実線でプロットしました。良く一致することから、局在状態が放物線型のポテンシャルによって閉じ込められているとすると、閉じ込め幅は3.6nm程度であることが分かります。ただし、今回の測定では、印加磁場の最大値が小さく、クーロンポテンシャル型の閉じ込めを仮定しても、同様の一致が得られました。すなわち、強く閉じ込められていることは分かりましたが、閉じ込めポテンシャルの形状に関しては、実験的には決定できませんでした。今後、印加磁場の範囲を広げることにより決定できると期待されます。

大阪大学 教授 森 伸也





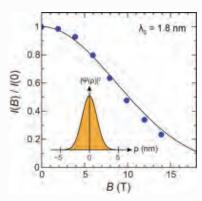


図1(左):窒素原子を含む狭い禁止帯幅の半導体(In(AsN))量子井戸を中央に有する,共鳴トンネルダイオードのバンド図図2(中):磁気トンネル分光測定の概念図トンネル電流に磁場を垂直に印加し、トンネル電流の磁場依存性を測定する。図3(右):トンネル電流の磁場依存性の測定値(丸印)、実線は、幅3.6 nmのガウス型波動関数のフーリエ変換像

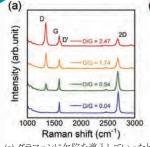
[1] D. M. Di Paola, M. Kesaria, O. Makarovsky, A. Velichko, L. Eaves, N. Mori, A. Krier, and A. Patané, "Resonant Zener tunnelling via zero-dimensional states in a narrow gap diode," Scientific Reports, Vol. 6, pp. 32039 (1-8), 2016.

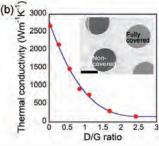
RESEARCH

構造欠陥による単層グラフェンのフォノン制御とその応用

我々はこれまで、ナノカーボン材料の熱伝導は主にフォノンが担っていることに着目し、構造制御による 熱伝導のコントロールを行ってきました[1,2]。このような熱伝導制御の試みは、熱マネジメント材料への応 用に向け、特に熱電変換デバイスの効率を向上させる上で、非常に重要な知見を与えると期待しています。 図はグラフェン内に人為的に構造欠陥を導入したときの、グラフェンのラマンスペクトルと熱伝導率の変化

を表しています。酸素プラズマによりグラフェン内の欠陥量を増加させると、欠陥に起因するDバンドのピー クが徐々に増加していくことが分かります。さらにグラフェンを架橋構造にして熱伝導率を測定すると、欠陥を





導入していないグラフェンでは熱伝導率がおよそ2,670W/mKだったのに対し、欠陥を導入したグラフェン (DバンドとGバンドの強度比 $I_D/I_G\approx 2.4$)では熱伝導率は150W/mKになりました。またこのときの欠陥密度はおよそ炭素原子1000個中、1個が欠損している状態であると見積もられました。これらの結果は、構造欠陥が効果的にフォノン伝導を抑制し、グラフェン内の熱伝導率を低下させることを示しています[3]。

大阪府立大学 准教授 有江 隆之

(a) グラフェンに欠陥を導入していったときのラマンスペクトルの変化。

(b) 欠陥を導入したときのグラフェンの熱伝導率変化。挿入図は熱伝導率測定に用いた架橋グラフェンの電子顕微鏡写真。スケールバーは2µm。

- [1] Y. Anno, K. Takei, S. Akita, and T. Arie, Phys. Status Solidi RRL 8, 692 (2014).
- [2] Y. Anno, K. Takei, S. Akita, and T. Arie, Adv. Electron. Mater. 1, 1500175 (2015).
- [3] Y. Anno, Y. Imakita, K. Takei, S. Akita, and T. Arie, submitted.

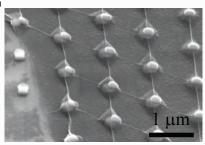
RESEARCH

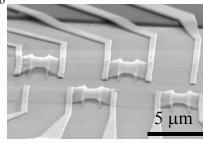
グラフェンのひずみ効果の解明と電気伝導の制御

グラフェンは炭素原子が蜂の巣格子状に並んだ2次元結晶です。グラフェンは様々な面白い性質を持つことが知られていますが、我々はそのうちのひとつであるひずみ効果についての研究を進めています。グラフェンには、格子ひずみがあると伝導電子はベクトルポテンシャルを感じるという不思議な性質があります。その結果、ひずみの大きさや向きが空間的に変化していると、電子はあたかも磁場中にあるかのような運動をします。ひずみの空間変化をうまくコントロールすることで、高性能のグラフェントランジスタが実現できたり、様々な面白い現象が現れるとの理論予測がされています。

我々はこれまで、グラフェンに制御性良くひずみを導入する手法をいろいろと開発してきました。図a、bにその例を示します。図aでは、グラフェンと基板の間にレジストでできた周期ナノ構造を挟み込むこ

とで、グラフェンに周期的なひずみを導入しています[1]。図bでは、宙吊りになったグラフェンを両端から引っ張





グラフェンへのひずみ導入 (a) 周期ひずみ、(b)1軸ひずみ

って1軸ひずみを導入しています。ここでは、宙吊りグラフェンの幅を変化させることで、ひずみを空間的に変化させています。最近、ひずみを用いて、本来金属的なグラフェンを半導体化することに成功しました。今後は、高性能トランジスタの実現や新奇物理現象の開拓を目指します。

筑波大学 准教授 神田 晶申

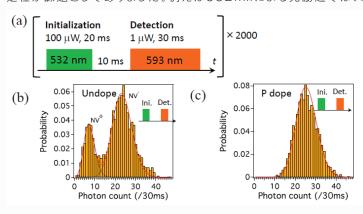
[1] H. Tomori et al., Appl. Phys. Express 4, 075102 (2011).

NV中心における単一スピン・光子・電荷の電気的制御

ダイヤモンド中のNV中心は、量子情報や磁気等の高感度センサ等の幅広い分野において非常に注目されています。我々のグループでは、それらへの応用を見据え、スピン、単一光子発生、電荷状態の電気的制御などに注目して研究を行ってきました。この観点は、スピン・光子・電荷間の量子インターフェースとしての役割を、NV中心を用いた量子情報素子が担えるのではないかという点からも重要と考えています。

RESEARCH

電荷制御に関しては、量子情報やセンサへの応用を見据えた際、負に帯電したNV-電荷状態の光照射中の不安定性が課題としてありました。例えば532nmによる光励起では、NV-と中性のNV(NV⁰)の割合は7:3になることが知ら



れていました。我々はこの課題に対し、リンドープダイヤモンドを用いることにより、電荷状態の安定化(NV⁻とNV°の割合≒10:0)に成功しました[1]。図には、電荷の非破壊シングルショット測定により明らかにしたNV⁻とNV°の割合を示しています。

スピン制御に関しては、振動電場/磁場を用いたダイヤモンド中単一核スピンの高速位相制御の理論提案を行いました[2]。長寿命量子ビットの高速制御は量子情報処理の実現に向け、重要です。原理的には超微細相互作用定数を超えた速度(>>1/165ns)での核スピン位相ゲート速度が可能であることを示しました。

京都大学 化学研究所 教授 水落 憲和

図:電荷の非破壊シングルショット測定による電荷状態測定。(a) パルス系列。(b) アンドープダイヤモンドにおける結果で532 nmによる光励起でNV-とNV®の割合は7:3。(c) リンドープダイヤモンドにおける結果で532 nmによる光励起でNV-とNV®の割合は10:0を実現。

[1] Y. Doi, T. Fukui, H. Kato, T. Makino, S. Yamasaki, T. Tashima, H. Morishita, S. Miwa, F. Jelezko, Y. Suzuki, N. Mizuochi, "Pure negatively charged state of NV center in n-type diamond", Phys. Rev. B, 93, 081203 (R), 2016.

[2] T. Shimo-Oka, Y. Tokura, Y. Suzuki, N. Mizuochi, "Fast Phase-manipulation of the Single Nuclear Spin in Solids by Rotating Fields" Phys. Rev. A. accepted.

「ナノカーボン構造の作り方・その極意と応用」

勉強会を開催しました

カーボン系ナノ構造は、その優れた電気的・機械的特性により、有望なハイブリッド量子構造のひとつであるといえます。基礎的な話から研究の最前線までをカバーし、今後、班を横断する研究展開を期待してフォノン班と電荷・スピン班を中心とした勉強会を東京大学生産技術研究所にて開催しました。企画されたNTTの山口氏と理研の石橋先生の発案で、泥臭い現場の話をするという勉強会ならではの趣向で行われ、

30名を超える研究者や学生が参加しました。

FVFNT

理科大の本間先生から、「単層カーボンナノチューブの 架橋構造の形成技術」、理研の石橋先生から、「多層カーボンナノチューブを利用した量子ドット形成技術」、大阪府立大学の有江先生から、「ハイブリッドグラフェンデバイス に向けた同位体の配置技術」に関する話題が提供されました。学会発表には出てこない(出せない?)話や経験則を交えた講演は大いに盛り上がり、活発な議論が行われました。新学術領域研究では、今後もざつくばらんに裏話から最先端の研究成果が聞ける機会を設け、この学際的な分野を活性化していく予定です。

東京大学生産技術研究所 准教授 野村 政宏



勉強会の様子

「ハイブリッド量子科学」セミナー

-半導体ナノ構造による量子物性の制御と応用―

EVENT



半導体ナノ構造は、ハイブリッド量子科学の一翼を 担う重要な存在です。2016年12月7日、新学術領域の 中でも半導体ナノ構造を取り扱う3名の研究者を講演者に迎え、 「半導体ナノ構造による量子物性の制御と応用」と題したハイブ リッド量子科学セミナーを慶應義塾大学にて開催いたしました。セ ミナーでは、情報通信研究機構赤羽主任研究員から化合物半導 体量子ドットの高度な作製技術について、慶應義塾大学早瀬准教 授から半導体量子ドットを用いた量子制御と量子技術応用につい て、東京大学生産技術研究所野村准教授から近年注目されてい

るフォノニック結晶の作製技術と熱伝導制御について、非常に興味深いご講演をしていただきました。いずれのご講演も、基礎知識から丁寧に説明していただき、他分野間でもお互いの理解を深めることができました。セミナーには、学生から教員、研究者に至る多くの聴衆にお集まりいただき、たいへん盛況のうちに終了いたしました。セミナー後は、引き続き研究ディスカッションが盛り上がり、その結果新しい共同研究を開始するに至りました。このようなセミナーは、ヒトとヒト、モノとモノをハイブリッドにつなげ、新しい研究の種を見つける絶好の場です。今後も定期的にセミナーを開催していきたいと思います。

慶應義塾大学 准教授 早瀬潤子

科学とネーミング

東北大学 教授 平山祥郎

私たちの領域名「ハイブリッド量子科学」もひとつのネーミングである。科学は事実がものをいう世界で、名前の付け方など関係ないと思う人も多いと思うが、ネーミングについていろいろな面白い話がある。

一つ目は日本が誇るHEMT。これは皆さんご存知のように変調ドープ構造で実現された素晴らしいデバイスで、世界的にはその構造からMODFET(Modulation-Doped FET)と呼ばれていた。最初にF社がHEMT(High-Electron-Mobility Transistor)と言い出した時には、確かに移動度は速いが構造を考えるとMODFETでしょうと思ったが、舌を噛みそうなMODFETとスパッと言えるHEMTで、現在ではHEMTが定着している。もう一つ、面白い議論があった。量子箱か量子ドットかである。ドットは点だから、体積のある構造はドットではないでしょうという話があった。しかし、箱(ボックス)は四角いイメージがあり、現在はほぼ100%量子ドットになっている。

ネーミングがかもし出すイメージも重要である。私がNTTで低次元構造の研究をスタートしたころ、研究計画に「低次元系の……」という名前を付けたら、上の方からお前は低次元な研究をするのか、イメージが悪いと言われた。仕方なく「多次元閉じ込め構造の……」とした

が、これは如何にも堅苦しい。今から考えると「量子閉じ込め……」と洒落ておけばよかったと思う。低次元は 当時の上司の心配をよそに、そんなに悪いイメージでは なさそうで、今もよく見かける。

ナノテクノロジーのナノは物理や数学の定義を超えて、イメージが広がっている。インドの大手自動車メーカーであるタタ自動車は自社の小型車に「ナノ」という名前を付けた。どう考えてもメートルサイズである。その他にもP社のナノイーシリーズやナノの付く化粧品など「ナノ」=「小さくて素晴らしいもの」のイメージが社会に定着している。このようにネーミングを見ると本当に面白い。科学的な素晴らしさがあり、それとネーミングの妙が一致すると大きな広がりを見せる。

私たちの新学術領域では、社会に好感が持たれているナノテクノロジーをベースにハイブリッド量子系を実現しようとしている。ハイブリッドも某自動車メーカーの世界的な頑張りで、最近は石巻線や小海線を走る気動車の側面にも大きくハイブリッドと書かれており、かなり良いイメージが世に出ている。「ハイブリッド量子」がどこまで広がりを見せるか、領域のみんなと頑張りたい。

Light-Matter Interactions in Cavity & Circuit QED Systems in the Light of Quantum Technology - IWQD 2017 - 日時: 2017年3月6日(月)~8日(水)

会場:国立情報学研究所(NII)

国際ワークショップIWQDは、数理物理から量子光学に亘る異なる領域の研究者達が、「量子デバイスの実現とその制御」 に関する最新の成果を持ち寄り、議論することを目指す会議です。今回は、超伝導人工原子(量子ビット)を用いた実験で明らかとなった、 非常に強い量子的結合状態の存在やその数理、および、ジョセフソン非線形共振回路に生じる量子状態の研究などに焦点をあてます。

