

量子機能創製研究

国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構

量子技術基盤研究部門研究企画部 農学博士 松橋信平

(高崎量子応用研究所勤務)

量子技術は、通常の常識では説明できない量子の振るまいを利用して、通信、計算、センシングなどで高い性能を実現します。今回は、たかさき研が量子機能創製研究として進める量子マテリアル・量子デバイスの開発を紹介します。

NVセンター型量子ビット
ダイヤモンドで超高感度センシング

ダイヤモンドは宝石や工業材料として使われていますが、量子技術においては量子ビット*を作る材料(量子マテリアル)になります。たかさき研では、ダイヤモンドに量子ビットを作る研究を行っています。

炭素原子(C)だけでできたダイヤモンドの結晶に窒素原子(N)をイオンビームとして注入すると、窒素原子の隣に炭素原子がない(空孔(Vacancy))NVセンターを作ることができます。

NVセンターには、電子スピン(量子である電子の自転により生じる磁石の性質)があり、量子ビットとして使うことができます。NVセンターの量子ビットは、磁場や温度などの周辺環境の変化に極めて敏感に反応しま

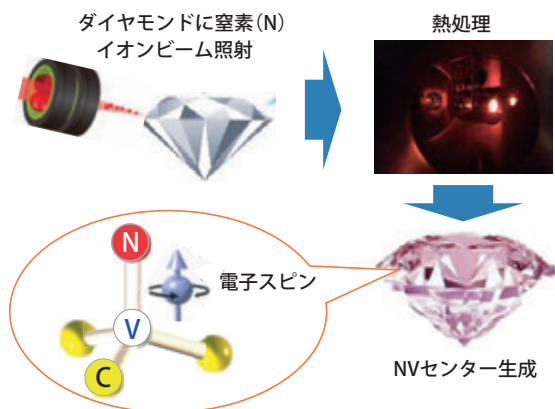


図1: NVセンターの製造法概略

す。その情報は、室温でも長時間保持され、マイクロ波や光を使った操作で精密に読み出すことができます。

たかさき研は、NVセンターを極超微細・超高感度な量子センサー(量子デバイス)として、生きた細胞内の温度やpHなどの計測に適用する研究を当機構の量子生命科学研究所や大学などとの連携により進めています。

量子センサーは、単一の量子ビット(NVセンター)でも使えますが、量子計算を行うためには、量子ビットが相互に影響する位置に密集した「多量子ビット」が必要です。そこで、アミノ酸のように複数個の窒素原子を構造内に持つ分子を、1個の原子(イオン)と同様に制御して照射する技術を使って多量子ビットを作る研究を進めています。

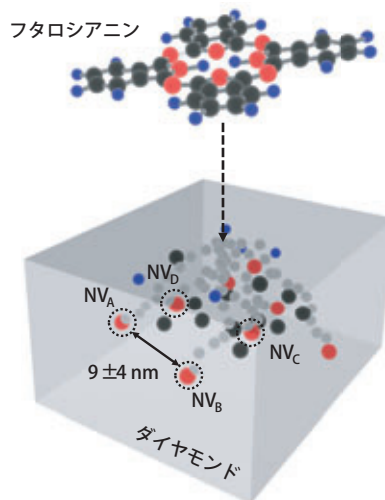


図2: 多量子ビットの生成(イメージ図)。

窒素原子8個を持つ顔料のフタロシアニンをダイヤモンドに照射し、複数のNVセンターを相互に影響する位置に密集して形成させる。

※量子ビット: 従来のコンピュータのビットに相当します。「重ね合わせ」と「量子もつれ」の性質を併せ持つ素子を使って「0」と「1」を表現し、「0」と「1」両方の情報を同時に持つことができます。n個のビットが一つのn桁の値しか持てないのに対し、n個の量子ビットは同時に2のn乗個の値を持つことができます。

イオントラップ型量子ビット イオンを電場で捕獲しレーザーで冷やす

イオントラップ型の量子ビットは、真空中でイオン化させた原子を電氣的な力で捕獲(イオントラップ)し、複数のイオンを一直線に並べたものです。イオンはレーザーで冷却しますが、イオントラップ自体を冷却する必要はありません。量子ビットの状態は安定しており、情報を長く保持することができます。レーザーを使った量子ビットの状態観測を高精度で行える、といった特徴は、量子計算への応用で大きな利点となります。

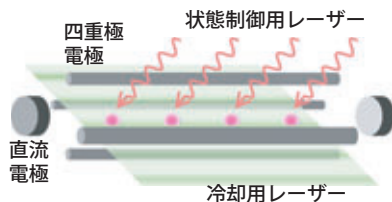


図3: イオントラップ型量子ビットの概念図。4本の電極(四重極電極)にける高周波電圧と、この断面に直交する直流電圧でイオン(●)を捕獲する。さらにレーザーでイオンを数 μ Kまで冷却・静止させて量子ビットを作る。イオンの量子状態制御は状態制御用のレーザーにより行う。情報の読み出しはイオンからの蛍光の検出により行う。

イオントラップ型の量子ビットは、イオン(元素)で特徴が異なります。たかさき研では、可視光レーザーで冷却と状態制御ができ、他のどの元素よりも高い演算精度が期待できるBa(バリウム)-133で量子ビットを作る研究を進めています。その先の展開として、モジュール化した複数のイオントラップを光ファイバーでつなぎ量子ビットの数を増やすための研究も計画しています。

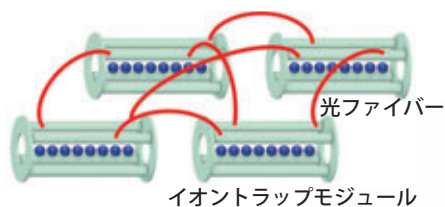


図4: イオントラップ型量子ビットを連結して大規模化するイメージ

超高速・超省エネ情報通信処理 超スマート社会実現の隠れたカギ

超スマート社会(Society 5.0)では、情

報通信の絶対量が莫大に増えます。そこには、量子技術の基本単位となる個々のデバイスから大規模な社会インフラに至るまで、情報処理の超高速化と電力消費の極小化(超省エネ化)が高い壁として立ちはだかります。

超省エネ化には、現在のエレクトロニクスで電力消費の原因となっている、「電子が動くことと電子を保持することを使わない、新しい原理による新技術」が必要です。たかさき研は、電子スピンを自在に操作できる材料の開発に取り組んでいます。具体的には、電子が持つスピンの向きを制御して活用するスピントロニクスと光(フォトン)を使う最先端技術であるフォトンクスを融合した「スピントロニクス」という新しい技術を提唱し、グラフェンという炭素原子(C)だけでできたシートと、ホイスラー合金という強磁性を示す合金を積層させた「グラフェン/ホイスラー合金積層材料」の可能性を探っています。

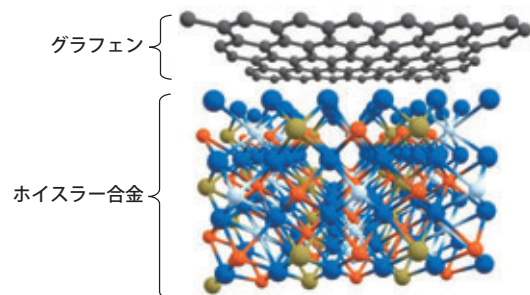


図5: グラフェン/ホイスラー合金積層材料の模式図

この積層材料は、グラフェンが持つシリコンの100倍以上のスピンの伝達能力と、ホイスラー合金が持つスピンの向きを完全に揃えられる能力の“良いところ取り”ができることが分かってきました。積層材料の優れた特性をさらに高めることで、超省エネ化が見えてくると期待しています。

たかさき研が進める、量子材料や量子デバイスの開発では、当機構の関西光量子科学研究所の極めて短い時間幅のパルス状レーザーを用いた超高速での電流やスピン制御技術の開発、放射光による量子デバイスの評価を一体的に行い、国の量子技術基盤拠点として、未来社会へのイノベーション創出、新産業創出を推進します。