

ダイヤモンドと超伝導量子ビットを直接組み合わせたハイブリッド系の量子状態制御に世界で初めて成功

NTTと国立大学法人大阪大学、大学共同利用機関法人情報・システム研究機構 国立情報学研究所 (NII) は、超伝導人工原子 (超伝導量子ビット) とダイヤモンド結晶中のスピン集団 (窒素不純物と空孔とからなるNV中心) を組み合わせたハイブリッド系をつくり、エネルギー量子1個を交換する量子もつれ振動をコヒーレントに制御することに世界で初めて成功しました。

これは、超伝導量子ビットの重ね合わせ状態をダイヤモンド結晶中のNVスピン集団へ保存した後に再び読み出せることを意味しており、量子通信や量子情報処理に欠くことのできない、任意の量子状態を保存可能な量子メモリの実現にとって、ダイヤモンドが極めて有望な候補であることを実証したものです。

■研究の成果

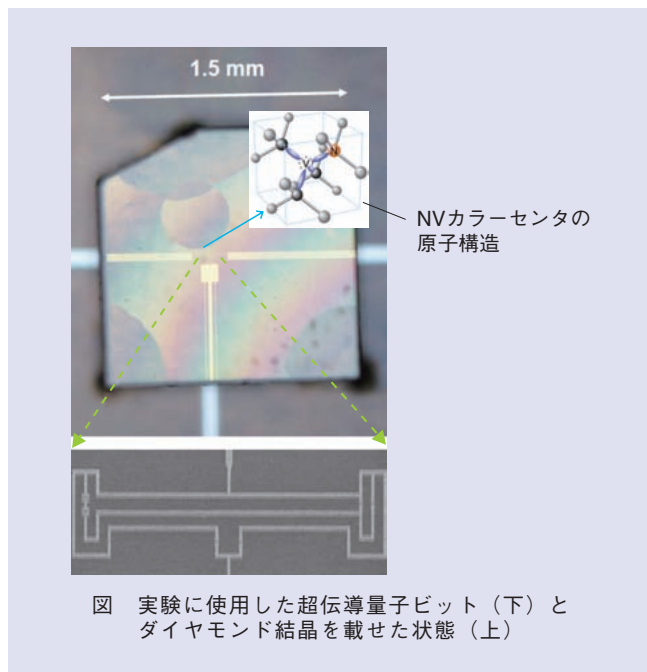
ダイヤモンド結晶中の窒素不純物と空孔がつくるNV中心の約3千万個のスピン集団と超伝導量子ビットを組み合わせてハイブリッド系の量子状態をつくり、2つの異なる巨視的な物質間に量子もつれ状態を生成することに世界で初めて成功しました。

今回の研究成果を応用することにより、操作性に優れる反面非常に壊れやすい超伝導量子ビットの量子状態を、NV中心ダイヤモンドのスピン状態に保存することが可能になります (図)。長時間安定した量子メモリは、超伝導量子ビットで高速「量子プロセッサ」をつくる要の技術の1つであるため、今回の結果は量子情報処理の実現へ向けた道を拓くものです。

また、超伝導量子ビットとスピン集団のハイブリッド系を用いた量子もつれ生成の成功により、これまでマイクロ波長帯と光学通信波長帯間での量子的な情報のやり取りは不可能でしたが、波長の大きく離れた光信号間で量子的な情報のやり取りの橋渡しを行う量子ネットワークの基本素子開発へ大きな一歩を踏み出した重要な成果であると考えられます。

■今後の展開

今回の研究成果を発展させることにより、ダイヤモンド中のスピンを量子メモリとし、超伝導量子ビットを量子演算用素子としたハイブリッド型の量子プロセッサへの応用や、波



長の大きく離れた光信号間で量子的な情報のやり取りの橋渡しを行う量子周波数変換素子の研究開発を進めます。

これらの素子は、より遠距離まで到達可能な量子ネットワーク実現の要となる素子であり、その実現に向けた研究開発に取り組みます。

■参考文献

- (1) X. Zhu, S. Saito, A. Kemp, K. Kakuyanagi, S. Karimoto, H. Nakano, W. J. Munro, Y. Tokura, M. S. Everitt, K. Nemoto, M. Kasu, N. Mizuochi, and K. Semba: "Coherent coupling of a superconducting flux qubit to an electron spin ensemble in diamond," Nature, Vol.478, pp.221-224, 2011.

◆問い合わせ先

NTT先端技術総合研究所

広報担当

TEL 046-240-5157

E-mail a-info@lab.ntt.co.jp

URL http://www.ntt.co.jp/sclab/index_j.html

自分たちにしかできないことをする

研究者 紹介

仙場 浩一

NTT物性科学基礎研究所
量子電子物性研究部 超伝導量子物理研究グループ

本研究のきっかけは、2008年の暮にイタリアのピサで開催された国際会議にまで遡ります。招待講演を終えた私に、ハーバード大学M. LukinグループのJ. Taylor氏がやって来て、「君たちの実験は非常に興味深い。ほかは、どこも共振器を使った回路-QEDを行っているが、原子や分子のスピンとの強結合には、flux-qubitのような集中定数回路が遙かに有利のはずだ」というのです。それから、何度か情報をやり取りした後、ハーバード大学とニールス・ボーア研究所のSørensenグループとの共同提案として、flux-qubitとダイヤモンドのNV中心スピンとの量子結合に関する実験提案がPhysical Review Letters (PRL) 誌に掲載されました。

当時、各種超伝導量子ビットのコヒーレンス時間は、徐々に改善されていましたが、N個の量子ビットが関与したシステム全体の量子コヒーレンスは、 $1/N$ に減ってしまうので、量子メモリのようなブレイクスルーが、今後どうしても必要になると考えていました。

私たちのグループでは、3年がかりでポストクのXiaobo Zhu氏が他の量子系と素早く共鳴できる、トンネルギャップ可変型のflux-qubitをつくることにやっと成功したところでした。私は、背中を押されたような気がして、彼らの提案を実現してみたいと思い、ダイヤモンドのNV中心とflux-qubitを結合させる実験を開始しました。ところが、純粋なダイヤモンドの結晶を使いN原子をイオン注入し、NV中心をつくらうとしてもうまくいかず、時間ばかり経ちました。そんなとき、山本喜久先生が中心となって推進されている量子情報処理プロジェクトFIRSTの全体会議で、日本のNVダイヤモンドの第一人者である大阪大学の水落憲和氏とじっくり話し合う機会を得ました。単一のNV中心の分光技術を持つ水落氏の協力が得られた後は、所望のNVダイヤモンド試料をつくるのに時間はかかりませんでした。東日本大震災と日本全体を巻き込んだその後の混乱で、当然ながら研究はしばらくできませんでした。このような、一種の極限状況で「自分たちは何をすべきか？何ができるのだろうか？」と自問しました。自分なりに出した答えは、現地にボランティアに行くことではなく、「研究のプロとして、今、自分たちにしかできないことをやり、震災後も日本は大丈夫だということを示すべきではないか」でした。2011年の桜が咲くころには、主要なデータは取り終え、固体量子ビットと直接結合した量子メモリの原理実験であると主張できる物理的理解も得られていました。グループの総力を挙げて、1カ月以内で大至急論文を書き上げ、5月末にはNatureへ投稿を済ませました。

先日、発案者の1人Sørensen氏から祝福のメールが届きました。後から聞いた話では、たった数カ月の差で、この分野を率いてきたフランスのライバルグループの投稿は掲載拒否されたとの知らせを聞き、もし、立場が逆だったらと考えると冷や汗ものです。いまさらながらに最前線の研究における、スピードとタイミングの大切さを再認識しました。今後は、量子メモリの質を向上するとともに、量子中継にも使える素子の開発へ向けて、研究を進めていきたいと思えます。



斜塔からピサ市街を望む。背景は大聖堂（ドゥオモ）