

【電子・情報通信分野】

仮訳

光ファイバーが超伝導量子コンピューター性能を強化（米国）

2021年3月24日

巨大な処理能力の超伝導量子コンピューター構築の秘訣は、従来の通信技術、光ファイバーであるかもしれない。

米国立標準技術研究所（NIST）の物理学者たちは、金属配線の代わりに光ファイバーを利用して超伝導量子ビット（q ビット）を測定・制御し、わずか数千ではなく数百万 q ビットの量子コンピューター実現に道を開いた。本実証については、3月25日発行の「Nature」誌に掲載されている。

超伝導回路は、安全性が高く大量生産が容易なため、量子コンピューター開発における先導的技術だ。しかし、これらの回路は極低温での作動が必要なため、室温の電子機器へ配線するスキームは複雑であり、q ビットが過熱しがちである。あらゆる問題の解決が可能なユニバーサル量子コンピューターには、数百万 q ビットが必要となる。金属配線による従来の超低温希釈冷凍機のクライオスタットで扱えるのは、最大でも僅か数千 q ビットに留まる。

情報通信ネットワークを支える光ファイバーでは、熱伝導なく高容量の光信号を伝送する、ガラスやプラスチックのコアを備えている。しかし、超伝導量子コンピューターでは情報の記憶や処理に、マイクロ波パルスを利用する。そのため、光をマイクロ波に正確に変換する必要がある。

NIST の研究者らは、この課題の解決に、光ファイバーを他のいくつかの標準的なコンポーネントと組み合わせ、単一粒子、つまりフォトンレベルで光を変換、伝達、測定し、



NIST の物理学者らは、図中のクライオスタット内部に示したような14の金属配線の代わりに、光ファイバー(図中白矢印)を利用して超伝導量子ビット(q ビット)を測定し、制御した。光ファイバーを利用することで、わずか数千ではなく、数百万 q ビットの量子コンピューター実現が見込まれる。クレジット: F. Lecocq/NIST

マイクロ波への容易な変換を可能にした。同システムは金属配線と同様に機能し、壊れやすい q ビットの量子状態を維持した。

「この進歩は、非常に重要な課題解決に、フォトニクスと超伝導量子ビットという二つの全く異なる技術を組み合わせているので、大きなインパクトがあると思います。」と、NIST の物理学者 John Teufel 氏は言う。「また、光ファイバーは、従来のケーブルよりはるかに少ない容量で、はるかに多くのデータを伝送できます。」

研究者は通常、室温下でマイクロ波パルスを生成し、同軸金属ケーブルを通じて極低温に維持された超伝導 q ビットに供給する。NIST の新しい設定では、金属の代わりに光ファイバーを通じて極低温光検出器に伝送した光信号を、マイクロ波に変換し、q ビットに供給する。実験的な比較目的で、マイクロ波をフォトニックリンクまたは従来の同軸ケーブルを通じて、q ビットに送ることができる。

光ファイバー実験で使用した「トランズモン」q ビットは、3D レザーバまたはキャビティに埋め込まれたジョセフソン接合と呼ばれるデバイスだ。この接合は絶縁体で隔てた 2 つの超伝導金属から構成される。電流は、特定の条件下で接合部を横断し、前後に振動することがある。特定のマイクロ波周波数を適用すると、q ビットを低エネルギー状態と励起状態(デジタルコンピューティングの 1 または 0)間で駆動できる。これらの状態は、接合を横切って「トンネル」した、束縛状態にある相反性の電子対であるクーパー対の数に基づいている。

NIST の研究チームは、フォトニックリンクを使用してマイクロ波パルスを生成し、q ビットの量子状態を測定または制御する、2 種類の実験を行った。この方法は、マイクロ波がキャビティ内で自由に前後に振動する共振周波数が、q ビットの状態に依存すること、また、q ビットが状態を切り替える頻度は、キャビティ内のフォトン数に依存すること、という 2 つの関連性に基づいている。

研究者たちはまず、マイクロ波発振器を使って実験を始めた。電気光学変調器と呼ばれる装置でマイクロ波をより高い光周波数に変換し、q ビットの量子状態を制御した。これらの光信号は、室温から 4 ケルビン(マイナス 269° C またはマイナス 452° F)を経て光ファイバーを移動し、さらに 20 ミリケルビン(1/1000 ケルビン)まで下がり、高速の半導体光検出器に到達、光信号はマイクロ波に再び変換され、量子回路に伝送された。

これらの実験では、望ましい量子状態にするために、固有振動周波数で q ビットに信号を送った。適切なレーザー出力があるとき、q ビットはその基底状態と励起状態の間で振動した。

研究者たちは、q ビットの量子状態の測定に、変調器、光ファイバー、光検出器を通じて、特定のエネルギーレベルで赤外線を放射し、キャビティの共振周波数を測定した。

研究者たちはまず、レーザー出力を抑えた q ビットの振動を起点とし、次にフォトニックリンクで微弱なマイクロ波パルスをキャビティに伝送した。キャビティの周波数は、従来の同軸ケーブルによるものと同等の忠実度 98%で q ビットの状態を正確に提示した。

研究者たちは、光ファイバー内の光が q ビットとの間で信号を伝送し、各ファイバーが q ビットとの間で数千の信号を伝送できる量子プロセッサを構想している。

翻訳：NEDO（担当 技術戦略研究センター）

出典：本資料は、米国国立標準技術研究所 (NIST)の以下の記事を翻訳したものである。
“Optical Fiber Could Boost Power of Superconducting Quantum Computers”
(<https://www.nist.gov/news-events/news/2021/03/optical-fiber-could-boost-power-superconducting-quantum-computers>)