

【電子・情報通信分野】

仮訳

## 未来の大規模な量子コンピューターを実現する微細なデバイス (米国)

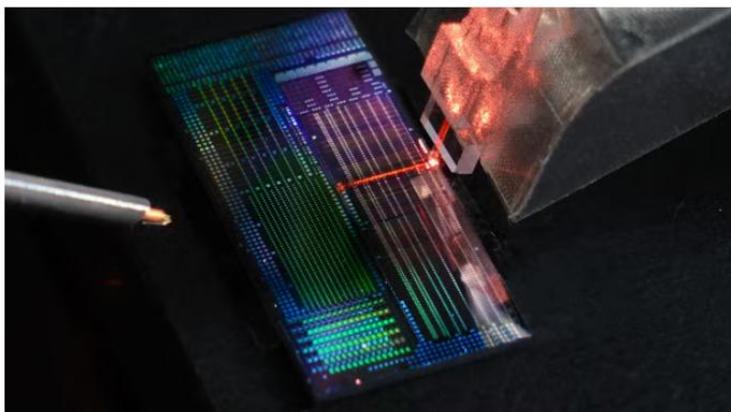
2025年12月11日

著者: [Charles Ferrer](#)

量子コンピューティングに大きな進展をもたらす、人間の毛髪の直径の約100分の1という微細なデバイスが新たに開発された。

### [Nature Communications](#)

に掲載されたこの画期的な光位相変調器は、量子情報の基本単位である数千、あるいは数百万もの量子ビットの操作に必要なレーザーの効率的な制御を可能にし、はるかに大規模な量子コンピューターの実現に貢献する可能性がある。



光ファイバーアレイからのレーザー光を受ける本研究で開発されたオプティカルチップ(画像提供: Jake Freedman)

この新デバイスの重要な点は、特別に設計された複雑な製造方法ではなく、コンピューター、携帯電話、自動車や家電製品、トースターをも含む、電気で動くあらゆる製品で既に使用されているプロセッサを作るものと同様のスケーラブルな製造技術を用いて開発されたことである。

この研究を率いる [Department of Electrical, Computer & Energy Engineering](#) の博士課程に在籍する Jake Freedman 氏、Quantum Engineering の Karl Gustafson Endowed Chair である Matt Eichenfield 教授、本論文の共同筆頭著者の Nils Otterstrom 氏を含むサンディア国立研究所(SNL)の共同研究者らが開発したこの新デバイスは、小型で高性能であることに加え、実用的かつ低コストでの量産が可能である。

この新デバイスは、毎秒数十億回振動するマイクロ波周波数の振動を用い、驚異的な精度でレーザー光を操作する。

この超高速振動により、レーザービームの位相を直接制御することができ、同チップによる高安定かつ高効率の新たなレーザー周波数の生成を可能にする。これらのことはすべて、量子コンピューティング、量子センシングおよび量子ネットワーク技術の構築に不可欠なものである。

### 量子コンピューターが精密な光周波数制御に依存する理由

量子コンピューティングにおける先進的なアプローチには、個々の原子に情報を記憶するトラップイオンシステムとトラップ中性原子システムがある。

これらの量子ビットの操作は、精密なレーザービームを用いて個々の原子に「話かけ」をし、計算実行の指示を与える。

各レーザーの周波数は、10億分の1パーセント以内、あるいはさらに高い精度で調整する必要がある。

「周波数が非常に正確に異なるレーザーのコピーの新たな作成は、原子やイオンをベースにした量子コンピューターを扱う上で最も重要なツールの一つです」と **Freedman** 氏は説明する。「しかし、これをより大きな規模で行うには、新たな周波数を効率的に生成する技術が必要です」。

現在、こうした周波数のシフトは、大量のマイクロ波電力を消費する大型の卓上装置を用いて行われている。

現在の装置は、研究室での小規模な実験や量子ビット数の少ない量子コンピューターには適しているが、将来の量子コンピューターに必要な数万、数十万もの光チャネルの規模には合わせるできない。

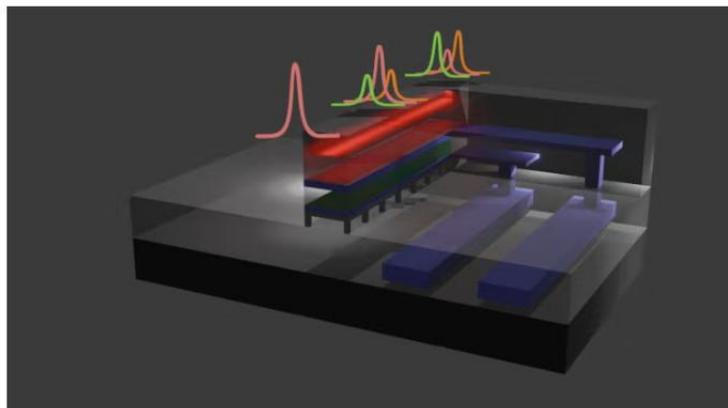
「光学テーブルがぎっしり詰まった倉庫で、10万個もの大型の電気光学変調器を使って量子コンピューターを構築するようなことは考えられません」と **Eichenfield** 教授は言う。「手作業による組み立てが不要で長い光路を持たせられる、よりスケラブルな製造方法が必要です。ついでにこれらのすべてを数個の微細なマイクロチップに収め、発熱量を100分の1に抑えることができれば、実現の可能性ははるかに高まります」。

新デバイスは、市販の多くの変調器の約 80 分の 1 のマイクロ波電力消費で、効率的な位相変調を通じて新たな光周波数を生成することができる。

電力消費量の削減により発熱が低減され、1 つのチップ上でも多くのチャンネルを近接して配置することが可能となる。

これらのことは、量子計算を実行するための原子による複雑な動作を制御する、パワフルでスケラブルなシステムへとチップを転換する。

### 世界で最もスケラブルな製造技術を用いて作製



本研究の最も重要な点の一つは、高度なマイクロエレクトロニクスを製造する施設と同じ「ファブ」、つまりファウンドリーで新デバイスが製造されたことである。

量子コンピューティングに不可欠な光導波路、圧電アクチュエータと金属経路層を含む新デバイスの 3D 画像  
(画像提供: Jake Freedman)

「CMOS 製造技術は、人類がこれまでに発明した中で最もスケラブルな技術です」と Eichenfield 教授氏は言う。

「携帯電話やコンピューターに搭載されているマイクロチップには、数十億個もの同じトランジスタが搭載されています。CMOS 製造技術を用いることで、将来的には数千、あるいは数百万もの同一の光子デバイスが製造できるようになります。まさにこれが量子コンピューティングに必要なものなのです」。

Otterstrom 氏によると、これまでは高価で消費電力が多かった変調器デバイスを、より効率化・小型化できたという。

「私たちは、真空管からの脱却に成功した『トランジスタ革命』を光学の分野で実現するような、スケラブルな光集積技術を推し進めているのです」と Otterstrom 氏は言う。

研究チームは現在、周波数生成、フィルタリングとパルスカービングを同一チップ上に全て統合した集積光子回路を開発しており、完全に実用的なチップの実現へと前進

している。

今後は量子コンピューティング企業と協力し、これらのチップを最先端のトラップイオンやトラップ原子量子コンピューターで試験を実施する予定である。

「この新デバイスは、パズルの最後のピースの一つです」と Freedman 氏は言う。「私たちは、非常に多くの量子ビットを制御できる、真にスケーラブルなフォトニックプラットフォームの実現に近づいているのです」。

本研究は、米国エネルギー省(DOE)の National Quantum Initiative Science Research Center、[Quantum System Accelerator](#) プログラムを通じて支援された。

訳：NEDO（担当 イノベーション戦略センター）

出典：本資料は、米国・コロラド大学ボルダー校の記事 “Tiny new device could enable giant future quantum computers” (<https://www.colorado.edu/ecee/tiny-new-device-could-enable-giant-future-quantum-computers>) を翻訳したものである。

(Reprinted with permission of the University of Colorado Boulder)