



Tokyo Tech

Press Release

2022 年 10 月 3 日

東京工業大学

極低温で動作する光変調器の高速動作に成功

－量子コンピュータや超伝導マイクロプロセッサ活用に欠かせない
極低温から室温への高速信号伝送に期待－

【要点】

- 電流によって駆動する磁気光学変調器を開発し、極低温で高速の光通信を実現
- シリコンフォトリソグラフィを使った、汎用性の高い光集積回路を利用
- 量子コンピュータや超伝導マイクロプロセッサといった次世代技術のポテンシャルを最大限に生かす、高速なデータ伝送に期待

【概要】

東京工業大学 科学技術創成研究院 未来産業技術研究所の庄司雄哉准教授、工学院 電気電子系の高村陽太助教、水本哲弥名誉教授と、カリフォルニア大学サンタバーバラ校 電気・コンピュータ工学専攻のパオロ・ピントス（Paolo Pintus）研究員、ジョン・バウアーズ（John Bowers）教授、レイセオン BBN テクノロジーズ社のレオナルド・ランザニ（Leonardo Ranzani）研究員らの共同研究チームは、**磁気光学効果**（用語 1）を活用して、極低温環境で動作する**光変調器**（用語 2）を開発し、高速データ通信に成功した。

高度な処理能力により、次世代技術として注目を浴びる**量子コンピュータ**（用語 3）や**超伝導マイクロプロセッサ**（用語 4）は、絶対零度（-273.15℃）にきわめて近い極低温下でのみ動作する。そのため、コンピュータなどから金属配線を通じて電気信号を取り出す従来のデータ伝送方法では、配線から伝わる熱が妨げになって伝送スピードが落ちるといった問題が生じていた。

光変調器は、コンピュータなどから送られる電気信号を、大容量・高速データ伝送に適した**光通信**（用語 5）で送るための光信号に変換するデバイスである。本研究で開発したものは磁気光学効果を活用した「磁気光学変調器」で、これまでのような電圧駆動型ではなく電流で駆動するため、**超伝導回路**（用語 6）との接続性がよく、極低温環境においても高効率で動作し、2 Gbit/s での信号伝送にも成功した。さらに、この光変調器は光通信で多用される波長 1,550 nm の光で動作し、**シリコンフォトリソグラフィ**（用語 7）を使った光集積回路に搭載されているため、汎用性にも優れている。本技術を用いることで、熱を伝えにくい**光ファイバ**（用語 8）を介した高速なデータの伝送が可能になり、次世代コンピュータなどの実用化に大きく貢献するものと期待される。

本研究成果は、科学雑誌「*Nature Electronics*」に 2022 年 9 月 5 日付でオンライン掲載された。

●研究の背景

情報を光の信号に変え、光ファイバケーブルなどを伝送路として通信を行う光通信（光ファイバー通信）は、電気信号を銅ケーブルなどを通して送る従来の通信に比べ、大量のデータを一度に、素早く伝送できるため、現在、長距離・大容量データ通信の主流となっている。そして近年では、スーパーコンピュータやデータセンターにおける処理容量の増大に向け、これまで銅など金属配線でのデータ送信が行われてきたケーブルチップ間やボード間といった短距離通信に対しても、光通信の応用ニーズが高まってきている。

例えば最先端技術として期待を集める量子コンピュータや超伝導マイクロプロセッサなどを使うと、通常のコンピュータでは膨大な時間がかかるような問題を短時間で高速に計算できる。しかしこれらの機器は絶対零度（-273.15℃）にきわめて近い極低温下でのみ動作するものも多く、非常に繊細でもあり、既存の室温システムとの接続ではいくつかの障害が発生してしまっていた。

そのひとつが、量子コンピュータなどにより極低温下で計算したデータの取り出しである。現状のシステムでは、コンピュータが計算した電気信号によるデータを金属配線によって取り出しているが、金属配線から熱が伝わってしまうため、信号を取り出せる速度が限られ、それがボトルネックとなってコンピュータ本来の性能を十分に生かせなくなっていた。

この問題の解決策として、石英ガラス製で熱の伝導を小さく抑えながら、従来の 1,000 倍以上の高速伝送が期待できる光ファイバを経由したデータ信号の取り出しが期待されているが、それには量子コンピュータから取り出される電気信号を光通信を行うための光信号に変換でき、なおかつ極低温の環境でも効率よく駆動できる光変調器が必須とされていた。そこで本共同研究チームでは、極低温環境と室温環境との間で高速な信号のやり取りを可能とする、磁気光学効果を活用した光変調器の開発に取り組んだ。

●研究の手法と成果

本共同研究チームが開発した光変調器は、電気信号が発生させた**誘導磁界**（用語 9）が、**磁気光学ガーネット**（用語 10）の光学特性を変化させるという「磁気光学効果」を利用した、「磁気光学変調器」である。

磁気光学変調器の構造は（図 1）の通りで、光の通り道となるシリコン光導波路を挟む形で、**マイクロリング共振器**（用語 11）（灰色）と磁気光学ガーネット（緑色）が接合されている。金で形成したコイル（黄色）に、電気信号（電流）が流れると、マイクロリング共振器がその上にある磁気光学ガーネットと作用し、シリコン光導波路を通る光の強度が磁気光学効果によって変化させられることによって、光信号が生成される。

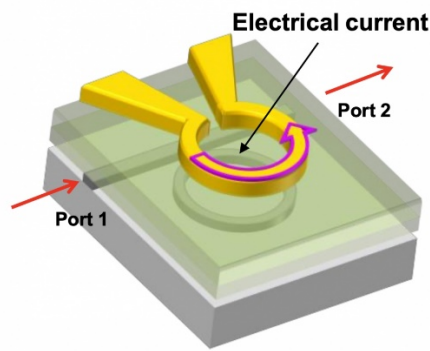


図1 磁気光学変調器：シリコン光導波路とマイクロリング共振器上（灰色）に磁気光学ガーネット層（緑色）を接合し、金で形成したコイル（黄色）に電流を流すことで磁界を発生し駆動する。

この光信号生成の仕組みを、より概念的に示したのが（図2）のイメージ図である。

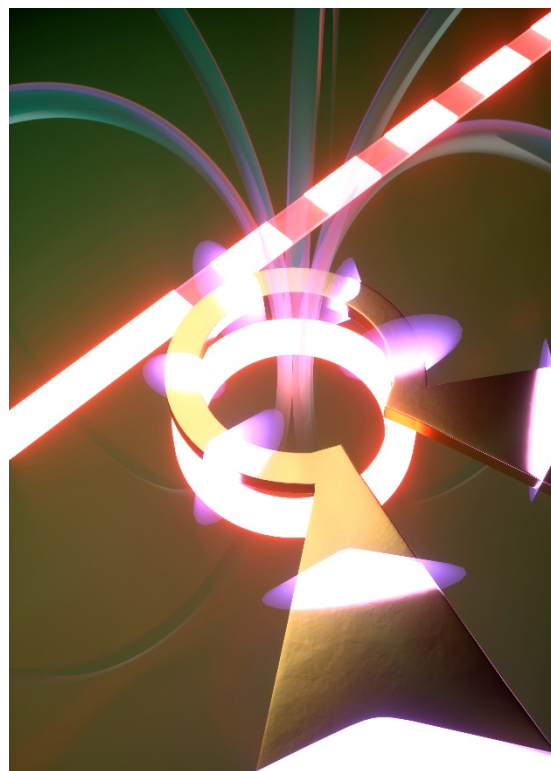


図2 磁気光学効果を用いた光信号変調動作のイメージ図

電気信号（紫色）が金属コイルに流れることで磁界（薄い緑色）が発生する。この磁界が光導波路上の磁気光学ガーネットに作用して光の屈折率に変化をもたらし、左側から入力した光の強さが変化して光信号が生成される。

従来の光変調器は、**コンデンサ**（用語12）のような構造を用い、電圧によって駆動するため高い抵抗を持っており、極低温で超伝導状態となった抵抗のない電気配線とは整合性が低かった。しかし、本研究で開発した磁気光学変調器は電流で駆動するため、抵抗が

低く、超伝導回路との接続性も良い。

さらに、この光変調器は光通信でよく用いられる波長 1,550 nm の光で動作し、シリコンフォトニクスを使った光集積回路に搭載されているため、汎用性にも優れた構造となっており、測定では 2 Gbit/s（1 秒間に 2 億ビットのデータ）の信号伝送に成功した。

●社会的インパクト

量子コンピュータや超伝導マイクロプロセッサといった技術は、近年急速な発展を見せており、その分、取り扱う計算データ量も非常に大きくなっている。しかしいくら量子コンピュータなどが高速な計算を実現しても、データの出し入れ速度が遅ければそのパフォーマンスを十分に得ることができない。本研究の成果は、量子コンピュータのような極低温を用いた次世代計算機の実用化に向け、重要な基幹技術の一つとなると考えられる。

●今後の展開

本研究では、2 Gbit/s での信号伝送に成功している。今後は磁気光学ガーネットに代えて新たな材料を用いることで、極低温下でのさらなる高効率動作が可能な光変調器の開発を目指す。

●付記

東工大とカリフォルニア大学の研究グループは、長年にわたって磁気光学デバイスに関する共同研究を行ってきた。本研究は、カリフォルニア大学の研究グループを中心として実施され、同グループはプロジェクト構想の立案からデバイスの設計、製作、評価を行なった。また、東工大では磁気光学ガーネットの作製、極低温下での磁気特性評価を実施し、レイセオン BBN テクノロジーズ社では極低温下でのデバイス測定を担当した。

（参考）カリフォルニア大学サンタバーバラ校のニュースページ

<https://www.news.ucsb.edu/2022/020711/magneto-optic-modulator>

【用語説明】

- (1) **磁気光学効果**: 物質の磁化の向きや強さに応じて、その物質中を透過する光の感じる屈折率や吸収率が変化する現象。
- (2) **光変調器**: 電気信号を光信号に変換するデバイス。電気信号によって光の強度や位相などを変化させ、光信号の生成を行う。
- (3) **量子コンピュータ**: 重ね合わせや量子もつれと言った量子力学的な現象を用いて高速演算を行い、従来のコンピュータでは現実的な時間や規模の制約により解けなかった問題を解くことが期待されるコンピュータ。
- (4) **超伝導マイクロプロセッサ**: 超伝導回路を利用した、微小なエネルギーで動作可能な、低消費エネルギー論理回路からなるマイクロプロセッサ。
- (5) **光通信**: 光によって情報を伝送する通信方式。一般に、半導体レーザなどを光源と

した光信号による情報を、光ファイバケーブルを通して送る通信方式を指す。電気信号を銅などの電線を通して送る従来の電気通信に比べ、損失が少ないため伝達距離が長く、高速大容量のデータ通信に向く。

- (6) **超伝導回路**：特定の金属を非常に低い温度まで冷却すると抵抗がゼロになるという超伝導の仕組みを利用した電気回路。
- (7) **シリコンフォトニクス**：半導体産業で利用される微細加工技術を用いてシリコン基板上に発光素子や受光器、光変調器といった素子を集積する技術。
- (8) **光ファイバ**：光の全反射を利用して光を閉じ込めて伝送することができるケーブル。主に透明な石英ガラスやプラスチックなどから成る。電気信号よりも高速の光パルスを送ることができるため、従来の銅線ケーブルと比較して 1000 倍以上の高速伝送が期待でき、大容量通信用のケーブルとして広く利用されている。
- (9) **誘導磁界**：アンペールの法則にしたがって、電流の流れる向きに対して右ネジの回る向きに発生する磁界。
- (10) **磁気光学ガーネット**：鉄などの磁性金属を含んだ酸化物結晶で、ガーネット構造と呼ばれる結晶構造をもつ。
- (11) **マイクロリング共振器**：10～100 万分の 1 メートルという小さなサイズのリング状の光導波路を用いて、特定の条件で光が共振現象を起こして光強度が変化する現象を利用した光回路。
- (12) **コンデンサ**：電気を通さない絶縁体を、電気を通す二つの導体で挟み、その導体間に加えた電圧によって電子を蓄えたり放出したりする回路素子。

【論文情報】

掲載誌：*Nature Electronics*

論文タイトル：An integrated magneto-optic modulator for cryogenic applications

著者：Paolo Pintus, Leonardo Ranzani, Sergio Pinna, Duanni Huang, Martin V. Gustafsson, Fotini Karinou, Giovanni Andrea Casula, Yuya Shoji, Yota Takamura, Tetsuya Mizumoto, Mohammad Soltani & John E. Bowers

DOI：10.1038/s41928-022-00823-w

【問い合わせ先】

東京工業大学 科学技術創成研究院 未来産業技術研究所 准教授

庄司雄哉

Email: shoji@ee.e.titech.ac.jp

TEL: 03-5734-2578 FAX: 03-5734-2578

【取材申し込み先】

東京工業大学 総務部 広報課

Email: media@jim.titech.ac.jp

TEL: 03-5734-2975 FAX: 03-5734-3661