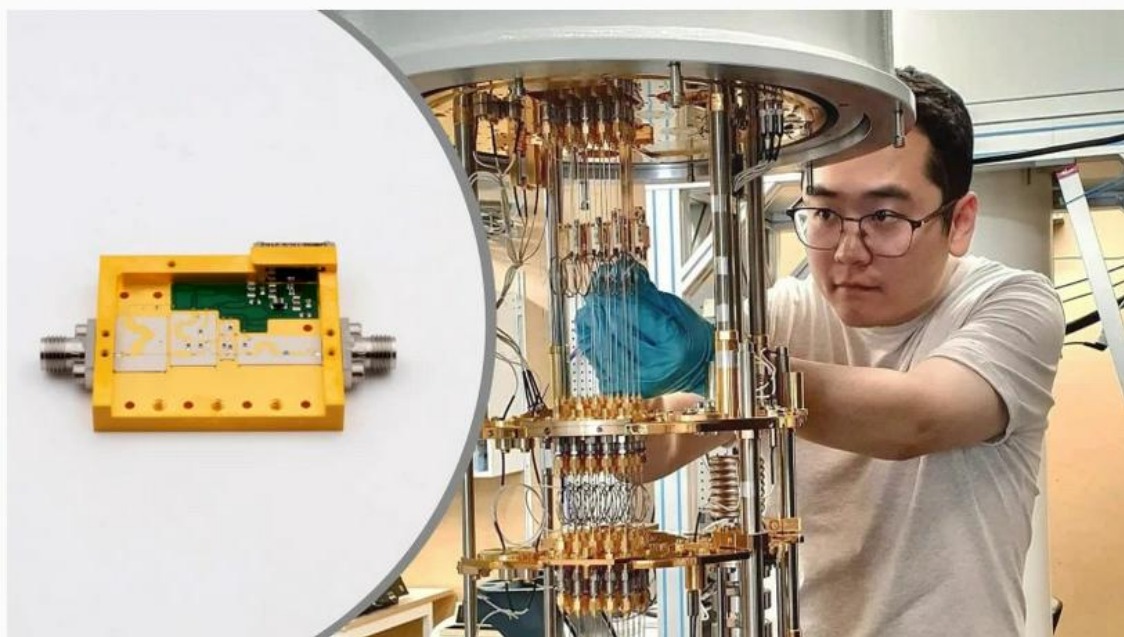


【電子・情報通信分野】

仮訳

未来の量子コンピューターの量子ビット数を増やすスマートな増幅器 (スウェーデン)

2025 年 6 月 25 日



量子コンピューターは非常に複雑な問題を解決し、複数の重要技術を根本的に変革する可能性を秘めている。その計算能力を最大限に活用するには、量子ビットの信号を読み取り、増幅するための増幅器が必要だが、増幅器は情報の解釈に不可欠である一方で、熱を発生させ、高感度な量子ビットのデコヒーレンスを引き起こす。現在、スウェーデンのチャルマース工科大学の研究者らは、消費電力が現在入手可能な最高クラスの増幅器の僅か 1/10 のスマートな増幅器(左)を開発した。この画期的な技術は、より多くの高性能量子ビットの実現を目指す将来の量子コンピューターの規模拡大において重要な役割を果たす可能性がある。

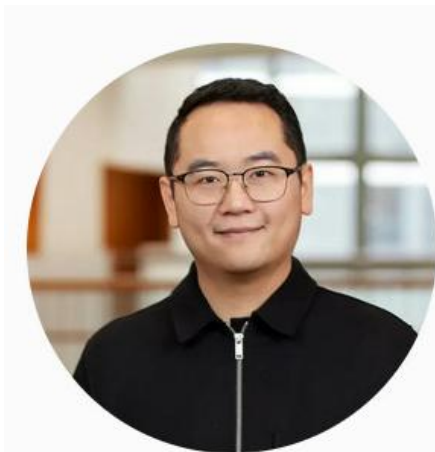
(右)チャルマース工科大学にある量子コンピューターのクライオスタットに増幅器を設置する同研究の論文の著者の一人である Yin Zeng 氏。写真:チャルマース工科大学 | Yin Zeng | Maurizio Toselli

量子コンピューターは、極めて複雑な問題を解決し、医薬品の開発、暗号化、AI や物流といった分野に新たな可能性をもたらす可能性がある。スウェーデン・チャルマース工科大学の研究者らは、量子ビットからの情報の読み取り時にのみ作動する、高効率な増幅器を開発した。このスマートな設計は、消費電力を現在入手可能な最高クラスの増幅器の僅か 1/10 に抑える。これにより量子ビットのデコヒーレンスが低減され、量子ビット数が大幅に増加して性能の向上した、より強力な量子コンピューターの基盤を構築する。

従来のコンピューターの構成要素であるビットは、1 または 0 の値しか持たない。一方、量子コンピューターの一般的な構成要素である量子ビットは、1 と 0 の両方の値を持つ状態と、その間の全ての状態を任意の組み合わせで同時に持つ状態が可能であるため、20 量子ビットの量子コンピューターでは、100 万以上の異なる状態を同時に表現することができる。重ね合わせと呼ばれるこの現象は、量子コンピューターが今日の従来のスーパーコンピューターの能力を超えて、極めて複雑な問題を解くことのできる主な理由の一つである。

増幅器は不可欠だが、デコヒーレンスを引き起こす

量子コンピューターの計算能力を活用するには、量子ビットを測定し、解釈可能な情報に変換する必要がある。このプロセスでは、これらの微弱な信号を正確に検出・読み取るために、極めて高感度のマイクロ波増幅器が必要である。しかし、量子情報の読み取りは非常に繊細な作業であり、僅かな温度変化、ノイズや電磁干渉でさえ、量子ビットの完全性、つまりその量子状態を失わせ、情報を利用できなくする可能性がある。増幅器は熱という形で出力を生成するため、デコヒーレンスも引き起こす。そのため、この分野の研究者はより効率的な量子ビット増幅器の開発に常に取り組んでいる。そして今回、チャルマース工科大学の研究者らが新しい高効率増幅器を開発し、重要な一步を踏み出している。



「これは、トランジスタを用いて現在構築できる最も高感度の増幅器です。その性能を損なうことなく、消費電力を現在の最高クラスの増幅器の僅か 10 分の 1 にまで低減することに成功しました。この画期的な進展により、将来的には量子ビットのより正確な読み出しが可能となることを期待し、そうなると信じています」と、チャルマース大学 Terahertz and Millimeter Wave Technology Laboratory の博士課程に在籍し、[IEEE Transactions on Microwave Theory and](#)

[Techniques](#) 誌に掲載された本研究の論文の筆頭著者である Yin Zeng 氏は説明する。

量子コンピューターのスケールアップに向けた重要なブレークスルー

今回の成果は、量子コンピューターを大規模化し、現在よりもはるかに多くの量子ビットを利用する上で重要な意味を持つ可能性がある。チャルマース工科大学は、国立

研究プログラムである [Wallenberg Centre for Quantum Technology](#) を通じ、長年にわたってこの分野に積極的に取り組んできた。量子ビットの数が増えるにつれ、コンピュータの計算能力と、極めて複雑な計算の処理能力も向上する。しかし、量子システムの大規模化には増幅器の台数増加も伴うため、全体的な消費電力が増量し、量子ビットのデコヒーレンスにつながる可能性がある。

「本研究は、量子ビット増幅器から発生する熱が大きな制限要因となる、将来の量子コンピュータの大規模化に対する解決策を提示しています」と、チャルマース工科大学のマイクロ波電子工学教授であり、Yin Zeng 氏の主任指導教官である Jan Grahn 教授は言う。

必要な時だけ作動

他の低ノイズ増幅器とは異なり、チャルマース工科大学の研究者らが開発した新しい増幅器はパルス駆動型である。つまり、常にオン状態にあるのではなく、量子ビットの増幅に必要な時だけ作動するようになっている。



「これは、性能に影響を与えず、最先端の技術と比較して大幅に消費電力を削減した、パルス駆動による量子読み出し用の低ノイズ半導体増幅器を初めての実証するものです」と Jan Grahn 教授は説明する。

量子情報はパルスで伝送されるため、重要な課題の一つは、増幅器が量子ビットの読み出しに追いつくのに十分な速さで確実に作動することであった。研究チームは、増幅器の動作を改善するアル

ゴリズムを用いたスマート増幅器を設計することでこの問題に対処した。このアプローチの検証のため、パルス駆動型低雑音マイクロ波増幅器の雑音と増幅を測定する新技術も開発した。

「遺伝的プログラミングを用いて増幅器のスマートな制御を可能にしました。その結果、増幅器は入力される量子ビットパルスに対して僅か 35 ナノ秒という、超高速で応答するようになりました」と Yin Zeng 氏は説明する。

研究に関する詳細情報:

IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques に掲載された論文”[Pulsed HEMT LNA Operation for Qubit Readout](#)”を参照のこと。

本論文の著者は、チャルマース工科大学マイクロテクノロジー・ナノサイエンス学部 Terahertz and Millimeter Wave Technology Laboratory に所属する Yin Zeng 氏と Jan Grahn 教授、そして Low Noise Factory AB に所属する Jorgen Stenarson 氏と Peter Sobis 氏。

この増幅器は、チャルマース工科大学 Kollberg 研究所とスウェーデン・ヨーテボリの Low Noise Factory AB で開発された。

本研究プロジェクトは、[Chalmers Centre for Wireless Infrastructure Technology \(WiTECH\)](#) と Vinnova プログラムである Smarter electronic systems の資金提供を受けた。

訳：NEDO（担当 イノベーション戦略センター）

出典：本資料は、スウェーデン・チャルマース工科大学の記事 “Smart amplifier enabler for more qubits in future quantum computers”

(<https://www.chalmers.se/en/current/news/mc2-smart-amplifier-enabler-for-more-qubits-in-future-quantum-computers/>) を翻訳したものである。

(Reprinted with permission of Chalmers University of Technology)