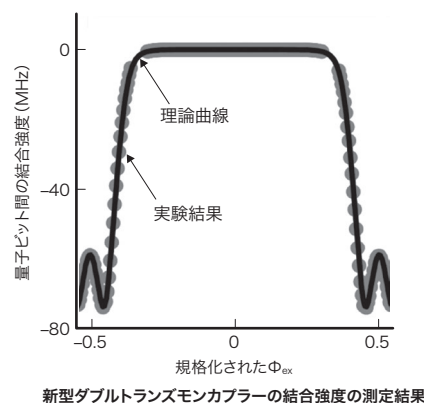
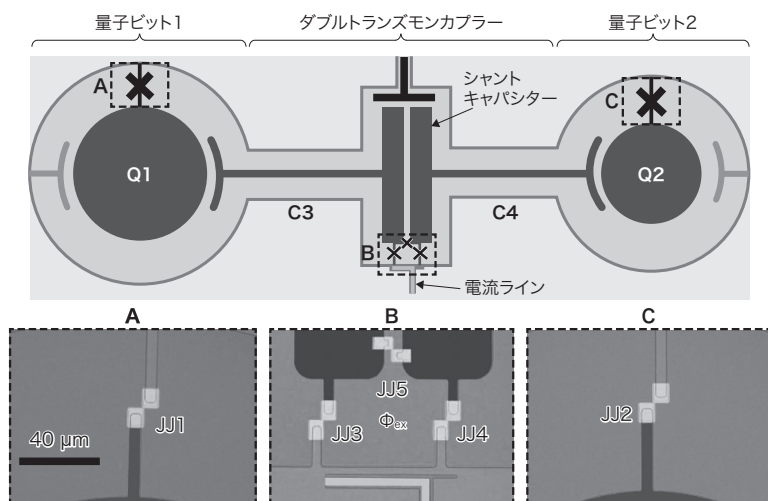


超伝導量子コンピューターの性能向上を可能にする 可変結合器ダブルトランズモンカプラー

Double-Transmon Coupler: Tunable Coupler for Higher-Performance Superconducting Quantum Computers

特集



新型ダブルトランズモンカプラーの回路図と製作したチップ

Q1, Q2: トランズモン量子ビット C3, C4: カプラーを構成するトランズモン × (JJ1~JJ5): ジョセフソン接合 Φ_{ex} : ループ内の外部磁束
*Li, R. et al. 「Capacitively shunted double-transmon coupler realizing bias-free idling and a high-fidelity CZ gate」³を基に作成

シラントキャパシターを導入した新型ダブルトランズモンカプラーのチップと結合強度の測定結果

Optical microscope images of capacitively shunted double-transmon coupler cell and comparison of its theoretical and measured coupling strengths

近年、超伝導方式の量子コンピューターでは、量子ビット間の結合をオン／オフできる可変結合器(カプラー)が利用されており、これによって高い性能を達成している。しかし、トランズモンと呼ばれる構造を一つ有する従来のカプラーは、エラー抑制に望ましい、周波数が大きく異なる量子ビットに対して、結合を十分にオフにすることが難しかった。

そこで東芝は、2022年、このような量子ビットに対しても結合をオフにできる独自のダブルトランズモンカプラーを提案した⁽¹⁾。また、当社は、2024年、特定国立研究開発法人 理化学研究所(以下、理研と略記)と協力し、ダブルトランズモンカプラーを実験的に実現することに成功した⁽²⁾。更に、カプラー内の二つのトランズモンの間にシラントキャパシターを導入することで、従来、結合をオフにするために必要だった直流磁束バイアス(約0.3 磁束量子)を不要にできる新型を考案し、誤差要因や熱負荷の増加を抑える工夫をした。新型ダブルトランズモンカプラーを実験的に実現した結果、二つの量子ビットの結合強度に関して、理論予測どおりの特性が得られることが確認でき、新型ダブルトランズモンカプラーでも世界トップレベル^(注1)となる99.89 %のゲート忠実度^(注2)を達成

した⁽³⁾。

この実験の成果は、理研の中村泰信チームとの共同研究で得られたものである。また、この成果の一部は、文部科学省 光・量子飛躍フラッグシッププログラム(Q-LEAP)「超伝導量子コンピュータの研究開発(研究代表者: 中村泰信)(Grant No.JPMXS0118068682)」による助成を受けて得られた。

文献

- (1) Goto, H. Double-Transmon Coupler: Fast Two-Qubit Gate with No Residual Coupling for Highly Detuned Superconducting Qubits. *Physical Review Applied*. 2022, **18**, 034038.
- (2) Li, R. et al. Realization of High-Fidelity CZ Gate Based on a Double-Transmon Coupler. *Physical Review X*. 2024, **14**, 041050.
- (3) Li, R. et al. Capacitively shunted double-transmon coupler realizing bias-free idling and a high-fidelity CZ gate. *Physical Review Applied*. 2025, **23**, 064069.

(注1) 2025年3月6日現在、当社調べ。

(注2) 実際のゲート操作がどれだけ理想に近いかを表す標準的な性能指標。

後藤 隼人 GOTO Hayato

総合研究所 マテリアルズ&フロンティア研究センター