

スケーラブル量子ビット制御に向けた断熱超伝導マイクロ波回路 Adiabatic Superconducting Microwave Circuits for Scalable Qubit Control

竹内 尚輝

Naoki Takeuchi

東北大学大学院工学研究科

概要

大規模超伝導量子コンピュータの実現には、超低消費電力で動作する量子ビット制御回路が必要になると考えられる。これは、超伝導量子ビットが動作する希釈冷凍機内の 10 mK 環境では、室温から極低温下に信号を送送するためのケーブル数や、極低温を維持するための冷却能力 ($\sim 10 \mu\text{W}$) が著しく制限されるためである。そこで、極低温下で低電力動作が可能な超伝導ロジックを用いた量子ビット制御回路の研究開発が、日米を中心に進められている。超伝導ロジックには様々な方式があるが、我々はとりわけエネルギー効率の優れた断熱磁束量子パラメトロン (AQFP) を用いた制御回路の開発を行っている。AQFP は、80 年代に提案された磁束量子パラメトロンを発展させた低電力デバイスであり、高速かつ超低電力な動作 (5 GHz において接合当たり数 pW 程度) が可能である。また、AQFP はマイクロ波によって駆動される回路方式であるため、量子ビット制御に必要なマイクロ波技術と本質的に親和性が高い。本講演では、AQFP の動作原理、ならびに AQFP とマイクロ波技術を融合させた制御回路である AQFP-multiplexed qubit controller (AQFP-mux QC) について述べる。本回路は、AQFP の非線形性を利用することで、極めて小さな消費電力 ($\sim 100 \text{ pW per qubit}$) で量子制御用マイクロ波信号を極低温下で生成する。また、マイクロ波多重化技術により、数本の室温／極低温間ケーブルで多数の量子ビットを制御できる。これらの特徴により、従来は困難であった 10 mK 環境における量子ビットと制御回路の高集積化、ひいては大規模超伝導量子計算が可能になると考えられる。

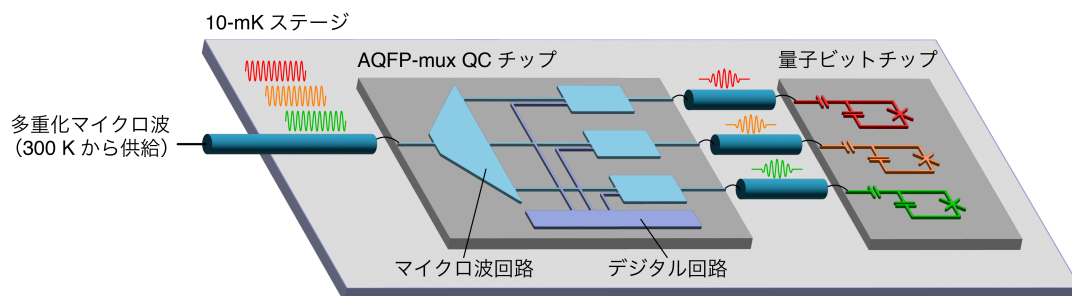


図 AQFP-mux QC の概念図

[N. Takeuchi *et al.*, npj Quantum Inf. 10, 53 (2024)]

Abstract

Ultralow-power qubit controllers are the key to scaling superconducting quantum computers. We have been developing cryogenic qubit controllers based on adiabatic quantum-flux-parametron (AQFP) circuits, which operate at GHz frequencies with extremely low power dissipation. This talk introduces the operating principle of AQFP circuits and our AQFP-multiplexed qubit controller (AQFP-mux QC), which generates microwave control signals at approximately 100 pW per qubit and employs microwave multiplexing to control multiple qubits with only a few 300 K-to-10 mK cables.