

超伝導量子回路から見たマイクロ波回路

Microwave Circuit Design from the Perspective of Superconducting Quantum Circuits

向井 寛人^{†‡}Hiroto MUKAI^{†‡}

† 東京大学 工学系研究科物理工学専攻 ‡ 理化学研究所 量子コンピュータ研究センター

概要

超伝導量子ビットは、電気回路に現れる量子状態を情報の担い手として利用する量子ビットであり、その制御、読み出し、量子ビット間の結合にはマイクロ波技術が広く用いられている。共振、結合、損失といったマイクロ波回路で馴染みのある考え方は、超伝導量子回路においても基本的な役割を果たしている。一方で、量子状態を保持・制御・測定するためには、回路だけでなく、制御や測定、熱や雑音を含めた系全体に対して、従来とは異なる要求や考慮すべき点が生じる。また、マイクロ波も古典的な信号だけでなく、量子化された電磁場として扱う。(左図)

本講演では、まず固体量子ビットの中での超伝導量子ビットの位置づけと基本的な構成を紹介する。超伝導量子回路では、Josephson 接合を回路に組み込むことで、電気回路に現れる量子性を個々の量子準位として観測・制御できるようにしている。その上で、量子状態を保つ、動かす、読み出す、さらに複数の量子ビットを相互作用させるといった基本操作が、マイクロ波回路やマイクロ波信号とどのように結びついているのかを説明する。その中で、従来の高周波・マイクロ波回路と共通する考え方と、量子状態や量子化されたマイクロ波を扱うことで新たに求められる考え方や条件を整理する。(右図)

さらに、量子ビット数を増やす際に生じる配線、クロストーク、冷却、信号分配などの課題にも触れる。これらを通して、超伝導量子回路という分野から、マイクロ波回路がどのように見えているのかを紹介する。

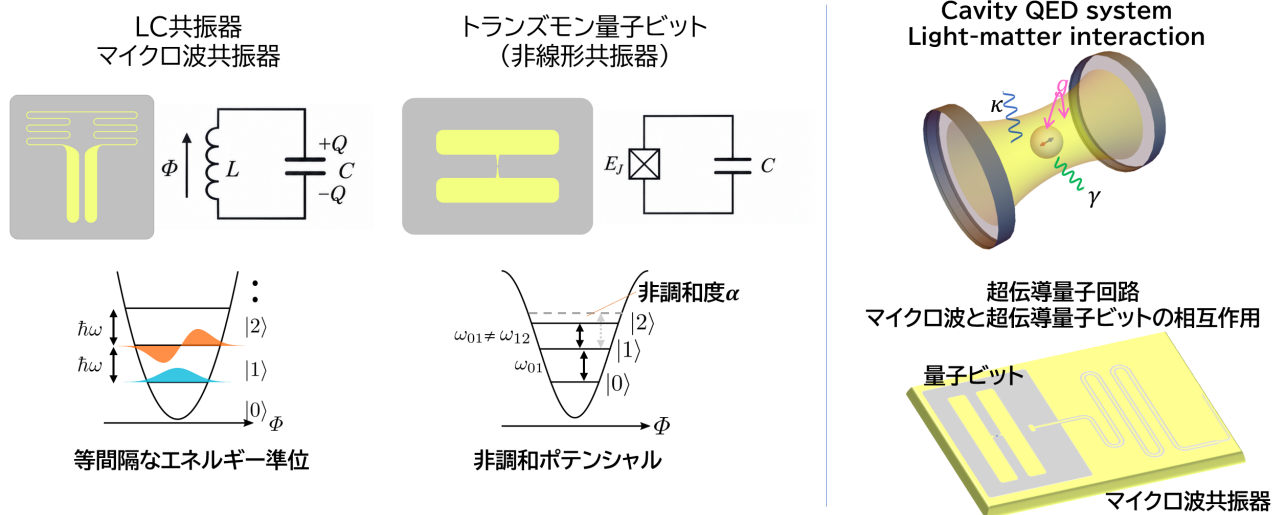


図 左 : LC 共振器とトランズモンの量子化 右 : Cavity QED - マイクロ波光子と超伝導量子ビットの結合系

Abstract

Superconducting qubits use quantum states in electrical circuits as information carriers, while microwave techniques play a central role in their control, readout, and coupling. This tutorial introduces how Josephson junctions enable quantum states in electrical circuits to be observed and controlled, and discusses concepts shared with conventional microwave circuits as well as additional considerations required in the quantum regime. Microwaves as quantized electromagnetic fields and practical challenges in scaling up superconducting quantum circuits are also discussed.