

超伝導量子ビットの集積化とコヒーレンス

Integration and coherence of superconducting quantum bits

理研¹ ◯阿部 英介¹

RIKEN¹ ◯Eisuke Abe¹

E-mail: eisuke.abe@riken.jp

光子、捕捉イオン、リュードベリ原子、半導体量子ドット、超伝導ジョセフソン接合など複数の物理系で、量子ビット数の拡大が近年急速に進んだことで、量子コンピュータ開発は世界的な潮流となっている。さらには、従来量子技術とは縁のなかった研究者が、量子コンピュータをクラウド経由で実際に動かすことが可能となり、量子コンピュータの中長期的な可能性を多角的に検討・検証する恰好のプラットフォームとなっている。

シリコン中の電子スピンを用いる方式と超伝導量子回路を用いる方式は、固体素子に期待される集積性の点から特に注目され、大学・研究機関のみならず、Intel、IBM、Google といった巨大企業も開発に参入し、大きな牽引力となっている[1]。スピン量子ビット(量子ドットおよび欠陥)と比較したとき、超伝導量子ビットでは緩和時間 T_1 , T_2 の短さがネックとなってきた。超伝導量子ビットにデコヒーレンスを引き起こす主要因は、回路を構成する超伝導体(アルミニウムや窒化物系材料)や、基板(シリコンやサファイヤ)との界面、酸化膜(ジョセフソン接合部や表面)に存在する「欠陥二準位系(two-level system, TLS)」に起因する誘電損失(すなわち TLS によるマイクロ波吸収)と考えられている。TLS 対策としての回路デザインの改善や新規材料探索は、20 年以上に渡り重要な研究テーマとなっている。ごく最近では 100 量子ビット超の集積チップ全体に渡る T_1 (T_2) の中央値が 300 μ s (150 μ s)を超える例も出てきており[2]、コヒーレンスの改善は着実に進んでいる。その一方、集積チップを用いて初めて観測可能となるデコヒーレンス源の存在も明らかになってきた。チップ全体に渡って形成される電磁場モードや、宇宙線(宇宙空間から降り注ぐ高エネルギーのガンマ線や X 線)がチップを直撃することによる準粒子励起などがそれである。

本講演では、理化学研究所量子コンピュータ研究センターが開発を進めている数 10～数 100 量子ビット規模の超伝導量子コンピュータシステムを紹介するとともに[3]、超伝導量子ビットのデコヒーレンスについての現状の理解と、その評価方法、対策について概観する。

[1] 応用物理 **86**, 453 (2017) 阿部、伊藤 “固体量子情報デバイスの現状と将来展望 万能デジタル量子コンピュータの実現に向けて”

[2] https://quantum-computing.ibm.com/services/resources?tab=systems&system=ibm_sherbrooke

[3] 精密工学会誌 **85**, 1048 (2019) 阿部、玉手 “超伝導量子ビット技術”