

量子状態の高度な制御に基づく革新的量子技術基盤の創出
平成 28 年度採択研究代表者

H28 年度 実績報告書

蔡 兆申

東京理科大学理学部第一部
教授

超伝導人工原子を使った光子ベースの量子情報処理

§ 1. 研究実施体制

(1) 研究代表者グループ

- ① 研究代表者： 蔡 兆申（学校法人東京理科大学・理学部第一部物理学科、教授）
- ② 研究項目
 - ・超伝導量子回路

(2) 共同研究グループ(1)

- ① 主たる共同研究者： NORI FRANCO(ノリ フランコ)（国立研究開発法人理化学研究所創発物性科学研究センター 量子情報エレクトロニクス部門量子凝縮物性研究グループ、グループディレクター）
- ② 研究項目
 - ・量子情報理論

(3) 共同研究グループ(2)

- ① 主たる共同研究者： 日高 睦夫（国立研究開発法人産業技術総合研究所 ナノエレクトロニクス研究部門 超伝導分光エレクトロニクスグループ、招聘研究員）
- ② 研究項目
 - ・超伝導集積化プロセス

(4) 共同研究グループ(3)

① 主たる共同研究者： 寒川 誠二（国立大学法人東北大学 流体科学研究所・未到エネルギー研究センター グリーンナノテクノロジー研究分野、教授）

② 研究項目

・超低損傷プロセス

§ 2. 研究実施の概要

本提案の主要な回路方式として、光子のクラスター状態量子計算の研究を進めた。これは光子を量子情報の単位とする新規なスケーラブル万量子計算機であり、決定論的な回路である。この回路では超伝導量子ビットにより共振器へ、あるタイミングでエンタングルした単光子を注入することにより、空間と時間領域でトポロジカルなクラスター状態を作ることが可能となる。

光子のクラスター状態を生成する鍵となるデバイスは、オンデマンドで単一光子の生成が可能な超伝導単光子源である。この回路で生成される光子は、超伝導量子ビットのエネルギー帯域であるマイクロ波領域のものである。クラスター状態量子情報処理を行う場合、単光子生成精度はさらに高めなくてはならない。今年度は、回路構成がより簡単である電荷型量子ビット(トランズモン)を使った単光子源を作成し約 85%と比較的高い単光子生成効率が観測した。

光子のクラスター状態を作り出すために、単光子源から光子を保持する共振器に光子を注入する必要がある。このたび超伝導共振器と結合した単光子源を作成し、その特性を調べた。この実験では、真空誘起型の Aulter-Townes 分裂を新規に観測した。この量子化された Aulter-Townes 分裂の観測は、単一人工原子では初めてである。

量子情報理論グループでは、光子を介在する超伝導量子回路の動作に関連した研究を進展させている。これまでに CREST プログラムに謝辞を入れた論文を 11 編、専門誌に掲載した。その中で、離散した単一光子を連続的に出力することが可能な回路の提案も行った。この回路では、入力光子に対し、顕著な光子ブロッケードが発生し、その結果出力として離散した単光子が連続して生成される。

超伝導量子ビットに用いる超伝導体として Nb を検討するために、成膜装置や基板の違いによる Nb 膜の臨界温度 T_c および室温と 10K での残留抵抗比 RRR の測定を行った。その結果、 T_c は装置や基板によってそう大きな違いは見られなかったが、Nb 膜質を表していると考えられる RRR には大きな違いがみられた。特に m 面サファイア基板上に成膜した Nb 膜では高い RRR が得られた。来年度以降に Nb を材料とした超伝導共振器を作製するために参考となるデータが得られた。

東北大で開発され半導体加工で実績のある中性ビームエッチング法の量子ビット集積回路プロセスへの適用を検討するために、超伝導共振器を用いた通常反応性イオンエッチングとの比較実験を計画している。この準備として、産総研に設置されている中性ビームエッチング装置を用いて Nb 系材料をエッチングするための準備を行うとともに、実験に用いる Nb 超伝導共振器の設計を行った。