

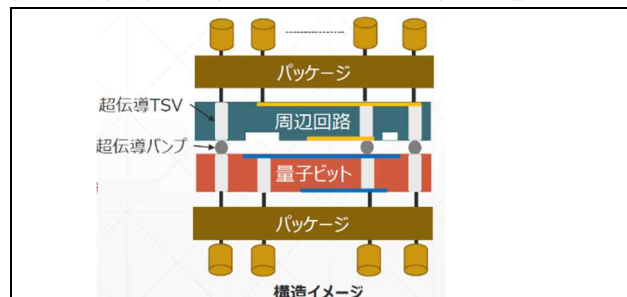
量子ビット集積ハードウェアシステムの研究開発

2022年度までの進捗状況

1. 概要

現在の超伝導量子ビット回路の典型的なセットアップでは、極低温に置かれた量子ビットチップと室温で動作するマイクロ波エレクトロニクスが、量子ビット一つ当たり1本以上の同軸ケーブルにより配線されています。しかし冷凍機のスペースや冷却能力の限界から、この方法では量子ビット数万個以上のスケールアップに対応できません。本研究開発テーマでは、この問題を解決するために、大容量、高冷却能力の希釈冷凍機やコネクタレスの高密度配線といった量子チップ周辺ハードウェア技術を開発し、集積化に向けた配線のボトルネックを打破することを目指しています。

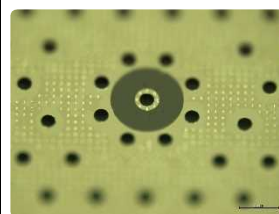
この開発においては、如何にして量子ビット近傍で制御・信号処理を行い、異なる温度ステージ間の配線を削減出来るかが鍵になります。そのために、量子ビットの制御・読み出しを行う信号処理回路と量子ビットチップがハイブリッド集積された“縦方向の集積化”量子ビットモジュールの開発を行っています。また希釈冷凍機については、量子ビットチップが置かれる 10mK ステージはもとより、クライオエレクトロニクスを置く可能性のある高温ステージも含めて、冷凍機の全体システムとしての最適化を行います。



2. 2022年度までの成果

① 透過型実装構造の開発

縦方向に積み重ねた構造の電気接続として垂直透過型実装モジュール実装構造の実現を目指し、設計・試作と評価実験を進めています。具体的には、基板貫通電極(TSV)を用いた基板内同軸構造の作成技術、基板間接続用微小インジウム半田バンプ作成技術、基板上下面の接続技術として超伝導電極作成技術を進めています。まず、積層の評価用チップを試作し、これを3枚6層(量子ビット基板、読み出し基板、上部配線基板を想定)積層するフリップチップ実装技術を開発しました。引き続きこのような積層チップによる垂直透過型実装モジュールを収納する垂直入出力パッケージの設計・製作と磁気遮蔽の製作を行いました。また、低温電気特性を評価するため、冷凍機と電気特性計測装置を導入しました。



垂直透過型モジュール用
評価チップ



冷凍機に取り付けた
モジュール用パッケージ

② 高出力型希釈冷凍機的设计

量子コンピュータのスケールアップに対応するため、希釈冷凍機におけるミリケルビン[補足1]領域での、冷凍能力の高出力化が求められています。2022年度は前年度の実績をベースに、高出力化の実現に向け、重要部品となる熱

交換器の効率向上に向けた取組みを行い、冷凍能力向上が期待できる結果が得られました。



試作中の希釈冷凍機

[補足1]ケルビン(Kelvin)は絶対零度(-273.15℃)をゼロとした温度の単位。mK(ミリケルビン)はその1/1000。超伝導量子ビットの動作には約10mK(-273.14℃)の極低温が必要となるため、希釈冷凍機が使用されます。

3. 今後の展開

透過型実装構造については、試作した垂直透過型実装モジュールの評価環境を整え、伝送損失や共振器特性などの高周波電気特性評価実験を進めます。

希釈冷凍機に関して、誤り耐性型汎用量子コンピュータ実現のためには、冷却能力のさらなる高出力化と、各温度ステージでの冷却能力の最適化が課題となっています。これまで達成した0.97mW@100mKの冷却能力を、さらに、1.3mWへと能力向上する研究開発を行います。