

4-1. 高性能イオントラップ作製・評価技術の確立

2023年度までの進捗状況

1. 概要

光接続イオントラップ量子コンピュータ用トラップモジュールを実現するには、量子光接続、マイクロ波量子操作、フォノン量子符号化等の新奇技術実装を可能とするイオントラップの開発が必須になります。本研究開発テーマでは、これらの機能を実装可能とするイオントラップを製作し評価する技術を確認します。開発したイオントラップの評価は製作・評価グループが Ca^+ (カルシウムイオン) を用いて実施するとともに、 Yb^+ (イッテルビウムイオン) を用いた評価、 Ba^+ (バリウムイオン) を用いた評価を二つのグループが並行して行い、それぞれの用途に応じた評価実験で得られた知見を研究開発に反映させる開発体制を確認します。

2. 2023年度までの成果

イオンの束縛に優れ、光接続に用いるミラーの影響を軽減する立体型イオントラップと、ジャンクション等の機能を埋め込むのに適した平面型イオントラップについて、同時に開発を進めています。

立体型イオントラップでは熱伝導に優れた窒化アルミ (AlN) 基板を貼り合わせた構造のトラップに、ローパスフィルタ、温度センサ、rf 給電用リボン等のトラップ動作に必要な実装用部品をアセンブルした試作品が完成し (図 1)、プロジェクト内でのトラップ供給を開始することができました。平面型イオントラップではプロジェクト内外への供給に向けたトラップチップの交換が真空中配線無し可能なプラグアンドプレイ対応トラップ真空パッケージの開発を進め、トラップ駆動電気系も含めた試作品を完成しました (図 2)。トラップ動作に必要な真空度や電気的特性の評価実験が完了し、プロジェクト内での供給を開始することが

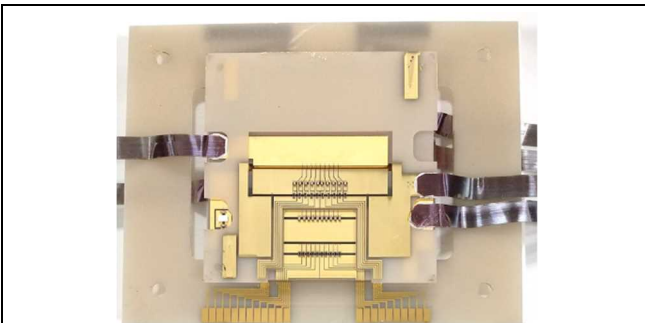


図 1. ローパスフィルタ、温度センサ等のトラップ駆動用部品のアセンブルが完了した立体型イオントラップ

できました。また、供給するトラップチップは国内企業による供給が可能となりました。

立体型トラップ Yb^+ 評価チームでは、昨年までに冷却に成功した $^{174}\text{Yb}^+$ に加え、量子計算に用いられる $^{171}\text{Yb}^+$ を冷却し、 $^2\text{S}_{1/2} \rightarrow ^2\text{D}_{3/2}$ 時計遷移の単一イオン分光に成功しました (図 3)。

Ba^+ 平面型トラップ評価チームでは、既存の線形トラップを用いたシステムでの予備実験を進め、 Ba^+ がほぼ確実に捕獲されていることを確認しました。ここではトラップに捕

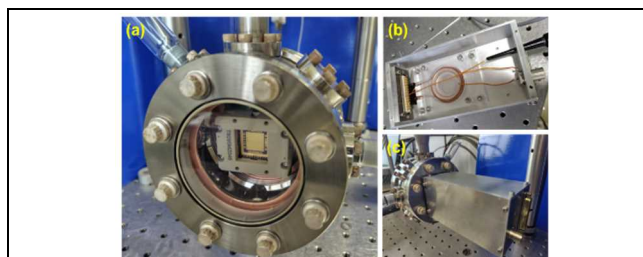


図 2. トラップチップのプラグアンドプレイに対応した真空パッケージ。右上: rf 共鳴回路、左下: 電気回路 box

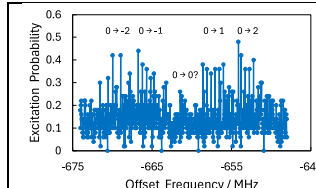


図 3 単一 $^{171}\text{Yb}^+$ 時計遷移のゼーマン成分

獲されたイオンをトラップの軸方向に射出し、イオン検出器で検出されるまでの飛行時間を測定、この飛行時間とトラップの各種パラメータ (幾何学的形状および寸法、RF 周波数および振幅、DC 電圧) に対する依存性からイオン種の特定を行いました (図 4)。一方で、評価する予定の平面型イオントラップの実装を完了しました。今後、評価のための準備の一環として真空系及び電気系のテストを行います。

3. 今後の展開

作製・評価グループが Ca^+ を用いて立体型、平面型イオントラップの評価、性能改善を行い、プロジェクト内に供給するとともに、国内企業との協力により、プロジェクト内外への供給に適した真空パッケージの開発を進めます。 Yb^+ 立体型トラップ評価システム構築では、量子ビット実現に必要なサイドバンド冷却法を実装するとともに、立体型トラップ装置を動作させ評価を進めていきます。 Ba^+ 平面型トラップ評価システム構築では、トラップ寿命、加熱レート等の平面型トラップ特性評価を実施する予定です。プロジェクト内グループ、国内企業の協力により、光接続イオントラップ量子コンピュータ用モジュールを実現するトラップの製作・評価技術の確立を目指します。

図 4 トラップパラメータに対する依存性