

研究開発テーマ名

イオントラップの量子光接続に関する研究開発

2022年度までの進捗状況

1. 概要

イオントラップを用いた大規模量子コンピュータ実現のため、本テーマでは複数のイオントラップを光子を介して相互に接続する量子光接続の手法を迫ります。核となるのは微小光共振器と線形イオントラップを統合したイオントラップデバイスの開発です。微小光共振器はイオンと光子の結合のために、線形イオントラップは複数のイオンを一直線上に捕獲するために必要です（下図参照）。これらを単一のデバイスで同時に実現して初めて量子光接続が可能となります。

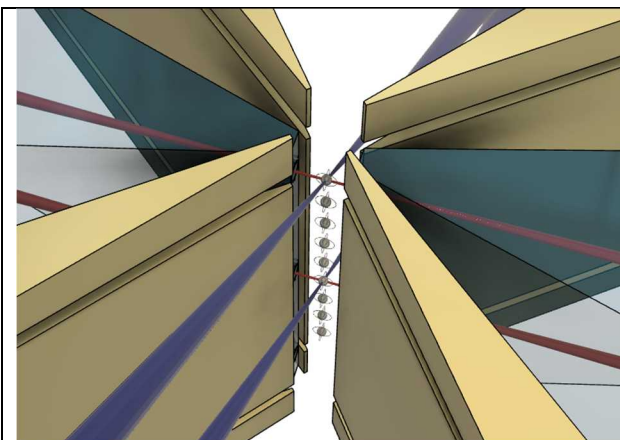


図1. 微小共振器一体型線形イオントラップの模式図

その他にも、バリウムイオンを用いたイオン・光子結合の増強、低温環境下での量子光接続、半導体ミラーの開発などのテーマを探求し、量子光接続のさらなる向上に挑んでいきます。

2. 2022年度までの成果

微小光共振器一体型イオントラップ実現のため、三次元線形イオントラップを選択的レーザーエッチング（SLE）という手法を用いて作製しました。SLEはレーザーを使った3Dプリンティングというべき技術で、SLEを使えば任意の三次元構造をガラスから切り出すことが可能です。このようにして作成したガラスの構造体の表面に金属を蒸着させることで電極を作り、イオントラップが完成しました（図2）。

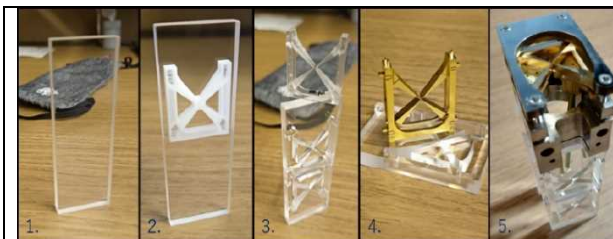


図2. SLE法によるイオントラップの作製

このようにして作製したイオントラップを用いて、超高真空中でイオンの捕獲・レーザー冷却に成功しました（図3）。

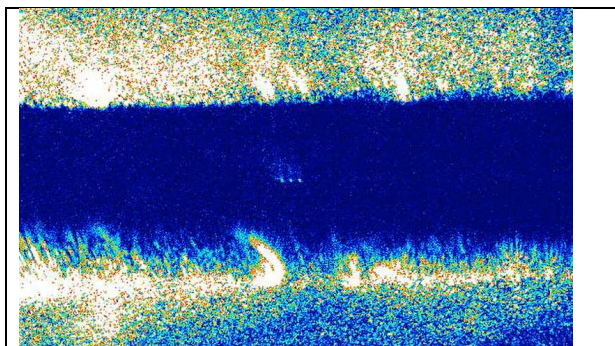


図3. SLE法で作製したイオントラップでイオンが捕獲されている様子

バリウムイオンを用いた実験のために、バリウムイオンの遷移波長である493nm用の高反射ミラーの特性を評価しました。紫外から可視領域の高反射ミラーに対して、真空中で反射率が劣化する現象が報告されています。私たちは493nm用のミラーで光共振器を作り、真空中でのフィネスを長期間測定することで、そのような劣化が起こらないことを確かめました。

私たちは半導体ミラーを用いたイオンと光子の量子インターフェースの開発も行っています。半導体を用いることでミラー表面に浮遊電荷が堆積することを避ける効果が期待できます。半導体多層膜を用いたDistributed Bragg Reflector (DBR)上にパターン化された金属電極を形成し、イオントラップとする手法を確立しました（図4）。



図4 半導体DBR上に形成されたトラップ電極

3. 今後の展開

今後は、イオントラップに実際に微小共振器を組み込み、単一イオンと光共振器の結合を目指します。

研究開発テーマ名

超低振動クライオシステムおよび超伝導回路イオントラップの開発

2022年度までの進捗状況

1. 概要

イオントラップ量子コンピュータは、均一な量子ビットを環境から孤立して準備し、世界で最も高い精度で制御された量子コンピュータです。しかしながら、少ないイオン数で効率的に誤り耐性操作を実現するには、さらなる高精度制御を実現しなければなりません。そのため、本テーマでは、クライオイオントラップ技術とさらにその応用として超伝導マイクロ波回路を用いた超伝導回路イオントラップの開発を行います。極低温下でのイオントラップは、電気ノイズや真空度の改善により高性能イオントラップの舞台として研究がなされてきました。さらに超伝導マイクロ波回路技術を取り入れることで、低消費電力・高精度動作を両立する高性能イオントラップシステムを構築します。

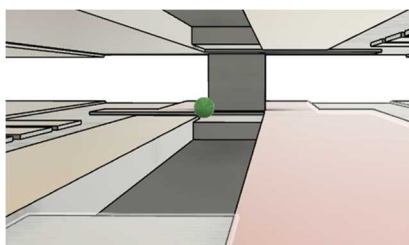


図1. 微細加工超伝導回路を使ったイオントラップ図

2. 2022年度までの成果

①クライオイオントラップに必要な基盤技術の開発

クライオイオントラップに必要な基盤技術のため、まずは低振動型の冷凍機を開発しました。振動は、冷凍機の内外に置かれたミラーで構築した光干渉計を用いて、光学テーブルとの相対振動で100 nm以下と評価されました。これはイオントラップを構築するには十分な性能です。また、

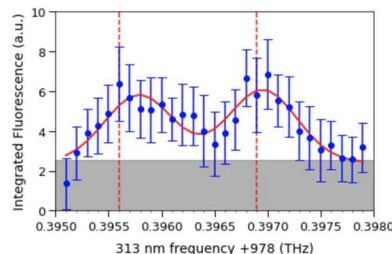


図2. 酸化ベリリウム原子源によるイオンスペクトル
複数の輻射シールド窓を持つ冷凍機内のイオンを外部から顕微するための顕微システムを開発しました。

②レーザーアブレーションによる安定原子源の開発

低温環境では、レーザーアブレーションと呼ばれる手法による低加熱の原子源が利用されています。しかし、レーザーアブレーションでは安定した原子フラックスを実現することが難しいという課題がありました。そこで、他の原子種で実績のある誘電体を用いたアブレーションに着目し、ナノ秒紫外レーザーと酸化ベリリウムを用いたベリリウムの安定原子源を作製しました。図2にはこの原子源によって生成されたベリリウムイオンのスペクトルを示します。

③イオン制御用超伝導回路の開発

トラップイオンの量子ビットをマイクロ波で制御するための小型超伝導回路を開発しました。低消費電力で大きな

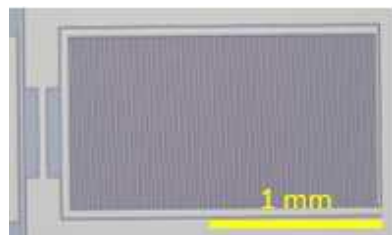


図3. 低インピーダンス小型超伝導マイクロ波回路

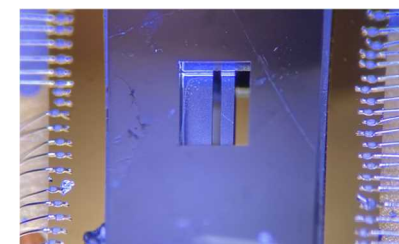


図4. フリップチップ実装された回路

- マイクロ波磁場を実現するため、
- ・大きな静電容量を持つ低インピーダンス共振器
 - ・トラップ電極に集積化できる低フットプリント
 - ・4-6 Kでの高いQ値

を合わせ持つニオブ製櫛型超伝導回路を図3に示します。さらにマイクロ波印加による特性の評価から、超伝導表面の波磁場が性能を律速していることを明らかにしました。

④フリップチップ実装技術の開発

超伝導回路はシリコン基板上に2次元に集積化されています。2次元回路でイオンへの強い閉じ込めと強いマイクロ波磁場を実現するため、フリップチップと呼ばれる方法による3次元実装を用います。そのための基板加工技術や組み立て技術を開発しました。図4ではフリップチップ実装された超伝導回路を示します。

3. 今後の展開

今後は、クライオイオントラップの実現と、またこれまで開発した各技術を統合し、実際に超伝導回路イオントラップの実現を目指して研究を進めます。超伝導回路で大きな磁場勾配をイオンに印加することで、レーザーを用いない超高精度な量子状態制御が実現します。さらに、他テーマで開発されているイオントラップ光接続技術との融合をはかり、その実装上の課題を洗い出し、克服していきます。

研究開発テーマ名

振動自由度を用いた量子誤り訂正符号実装のための研究開発

2022年度までの進捗状況

1. 概要

量子コンピュータを用いて有用な計算を行うためには、誤り訂正された論理量子ビットおよびその間の演算を実現することが鍵となります。多準位を擁するイオンの振動モードは、論理量子ビット実現のための有力な候補です。誘導ラマン散乱を用いて、集団振動フォノンモード間ビームスプリッター相互作用を実現し、それによりフォノンモード間量子もつれを実現することは、論理量子ビット間演算実現のための重要なステップであると考えられます。このような複数モードに対する量子もつれ操作とスキューズド状態を用いれば連続量クラスター状態を生成することが可能になります。さらにボソニック符号をイオンの振動状態として準備し、上記のビームスプリッター相互作用を活用すれば複数モードにまたがる符号状態のゲート操作が実装できます。

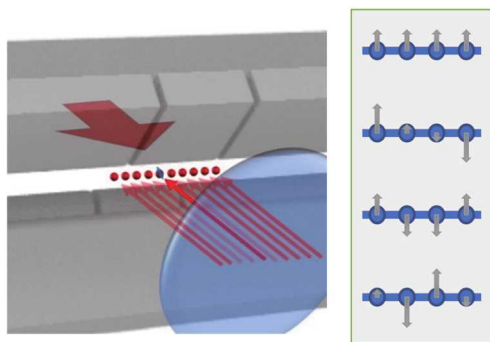


図1 (左) 対向するレーザービームによる動径振動モードの励起、(右) イオン配列の動径方向の集団振動モード。

2. 2022年度までの成果

誤り訂正に用いることのできる状態を振動モードにおいて生成することにむけて、熱浴エンジニアリングによる振動スキューズド状態生成実験を行いました(図2,3)。図2はスキューズングパラメータ $r=0.00$ 、つまり全くスキューズしていない場合(振動基底状態)に対するブルーサイドバンドラビ振動の結果であり、減衰振動のかたちを示しています。いっぽう、図3はスキューズングパラメータ $r=0.86$ の場合の実験結果であり、スキューズド状態に対するブルーサイドバンドラビ振動の特徴を反映する結果が得られました。

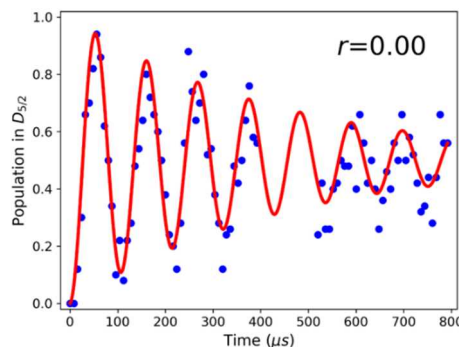


図2 スキューズド状態生成実験の結果。スキューズングパラメータ $r=0.00$ の場合のブルーサイドバンドラビ振動測定結果。

これについて、さらに高い忠実度を得るためには、振動状態コヒーレンスの改善が必要と考えられます。また、これまでに振動モード間ビームスプリッター相互作用を実現していますが、その忠実度改善のためにも、同様に振動状態コヒーレンスの改善が必要と考えられます。今回、それにむけて振動状態コヒーレンスの評価を行ったところ、振動

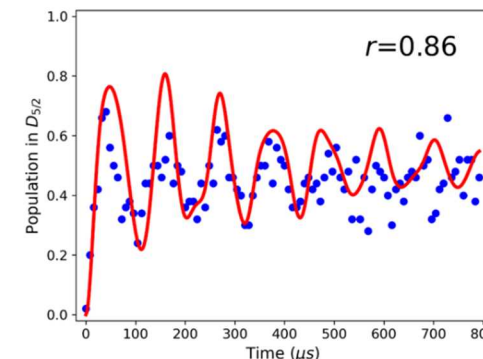


図3 スキューズド状態生成実験の結果。スキューズングパラメータ $r=0.86$ の場合のブルーサイドバンドラビ振動測定結果。

状態ラムゼイ干渉の減衰時間として 1.5 ms という値が得られました。今後、これを一桁程度改善することが必要と考えられますが、そのための方策として、動径方向についてはトラップ用交流電圧振幅安定化の精度を改善すること、重心振動モード以外のモードを使用すること、さらに軸方向振動モードを用いることが考えられ、現在これらについて準備を進めています。

3. 今後の展開

複数振動モード間に準備したスキューズド状態を、ビームスプリッター相互作用によって混合することにより、EPR (Einstein-Podolsky-Rosen) 型量子もつれ状態を実現することを目指します。また、単一の振動モードに対して、ボソニック符号により、単一量子ビットを符号化するとともに、複数の振動モードに符号状態を準備して、モード間にビームスプリッター相互作用を印加することにより、特に複数モードにまたがるボソニック符号に対する量子ゲート操作を実現することを目指します。

研究開発テーマ名

高性能イオントラップ作製・評価技術の確立

2022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。並行して、上記技術を基本とした汎用イオントラップを製作し、当研究プロジェクトには直接参画しないグループを含めた国内のイオントラップコミュニティに対してそれらを配布し、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. 2022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試作に成功しました。電極を精査したところ、イオンが正対する基盤側壁の電極に短絡部分が一定頻度で生じていることが分かりました。新しい手法の導入を含めた作製プロセスの改善に成功し、基盤側壁の品質改善を実現することができ(図 1)、プロジェクト内でのトラップ供給に目途が付きました。平面型イオントラップでは昨年度までに加工性に優れたシリコン基板系トラップの作製と動作検証を終了し、プロジェクト内外への供給に向けたトラップパッケージの開発に着手しました。国内プロジェクトと国内企業の協力により、

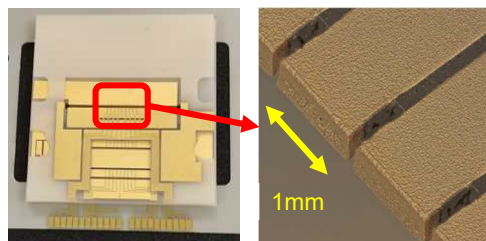


図 1.改善した電極作製技術による立体型イオントラップ

真空内での個別配線作業を一切必要しないトップ基板のプラグアンドプレイに対応した真空パッケージの試作に成功しました(図 2)。真空、電気的特性の評価で良好な結果が得られ、プロジェクト内外へのトラップ供給に目途が付きました。

これまで、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⁺を用いて実施してきましたが、製作評価サイクル確立を加速するため、2022 年度には二つのチームが新たに加わりました。Yb⁺立体型トラップ評価チームでは、従来型 rf トラップを用いて光領域でのラム・ディック領域

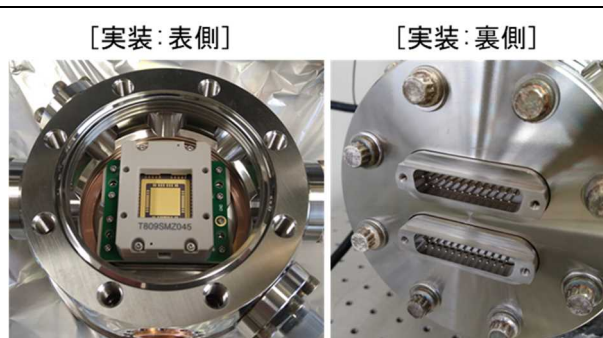


図 2 トラップチップのプラグアンドプレイに対応した真空パッケージ試作品

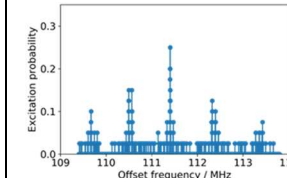


図 3 単一 ¹⁷⁴Yb⁺ の時計遷移励起スペクトル

閉じ込めにあと 1 mK に迫る 2 mK 程度まで、単一 ¹⁷⁴Yb⁺ を再現性よく冷却する技術を確認しました(図

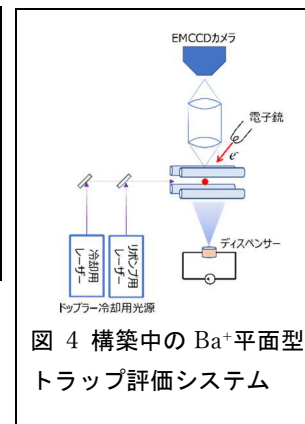


図 4 構築中の Ba⁺平面型トラップ評価システム

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るとともに(図 4)、光イオン化により Ba⁺を生成するためのレーザーの開発に成功しました。

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に用いる ¹⁷¹Yb⁺ のレーザー冷却とサイドバンド冷却法を実装するとともに、¹⁷⁴Yb⁺ による立体型トラップの評価を行います。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。

研究開発テーマ名

イオントラップ量子コンピュータのクラウド化基盤技術

2022年度までの進捗状況

1. 概要

イオントラップ量子コンピュータのクラウド化に必須となる自動化技術、遠隔操作技術の実装を行い、小規模な量子計算機を教育機関等で遠隔的に利用できる環境を構築します。そのために、イオンの基本的な制御技術の信頼性を大幅に高め、実験における一連の操作（イオンのロード、レーザー冷却、ゲート操作等）をすべて遠隔実行可能にします。さらに、既存のイオン内部状態量子ビットを用いて比較的少数個（10個オーダー）の量子計算機を実現し、これを遠隔から操作可能な状態で提供できる環境を整備します。また、クラウド化されたイオントラップ量子コンピュータの性能を向上させる基盤技術開発として、イオントラップモジュールを統合するためのイオンの輸送実験、量子ビット数拡張のための2次元的なイオン配列実験を行います。

2. 2022年度までの成果

クラウド化されたイオントラップ量子コンピュータのために、イオントラップ装置の立ち上げを行いました。レーザー冷却に用いるイオントラップ装置については、機械加工3次元リニアトラップ、原子オープン等を真空チャンバーにインストールしたうえで（図1）、真空装置全体のベークを行うとともに、光学テーブルに冷却用光学系、光学部品を配置しました（図2）。また、冷却用半導体レーザー光源（935 nm）の周波数安定化を行いました。周波数安定化の基準として、光周波数コム発生器を用い、光波長計を用いて評価することで、40 hの運転で変動が1.6 MHzに収ま

っていることがわかりました。これにより、24時間を超えるようなクラウドコンピューティングにおける運用にも耐える連続運用時間・安定度が確認できたといえます。また、誘導ラマン励起用光学系

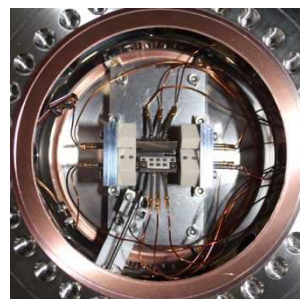


図1 機械加工3次元リニアトラップを真空チャンバーにインストールしたところ。

の設計・設置を行うとともに、誘導ラマン遷移を用いて安定に量子ビット制御を行うために必要なピコ秒パルスレーザーの繰り返し周波数安定化を行い、1 GHz 付近のビート信号に対して位相ロックを行うことに成功しました。今後パルスレーザーを改造し、超微細構造間隔（13 GHz 程度）に対応するビート信号に位相ロックを行うということにむけて、開発を進めています。

イオンの輸送技術開発では、図3(a)のような複数のトラップ領域もつ平面型イオントラップを用いて実験を行ってい

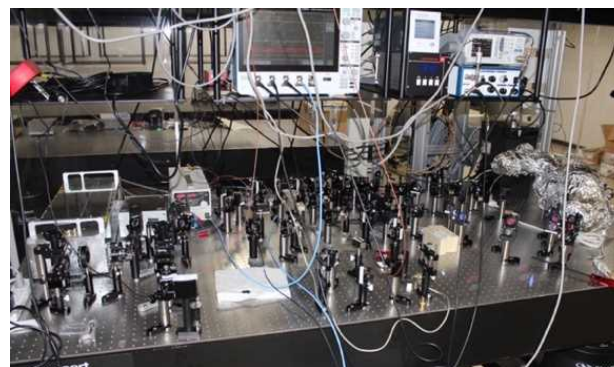


図2 冷却・誘導ラマン励起用光学

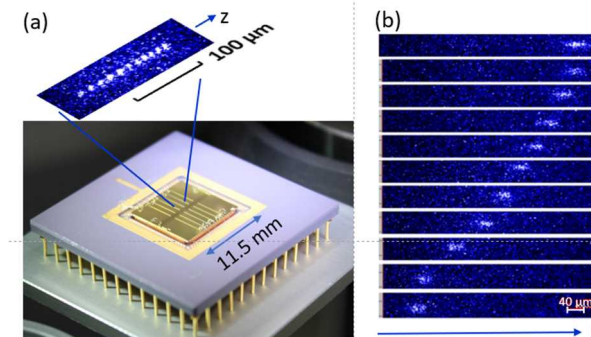


図3 (a)平面型トラップ電極と電極表面から約200 μmの高さに捕獲されたカルシウムイオンの画像。(b)電極に印加する電圧を変化させてイオン輸送を実現。

ます。各電極に印加する電圧を変化させてイオンが捕獲されるトラップポテンシャルを操作します。ポテンシャルの形状を維持しながら捕獲位置を移動させるために、どのような電圧をかければよいかを最適化問題を解く手法を適用して求めました。図3(b)はイオン輸送実験の一例です。イオンの加熱を抑えるため始点、終点付近ではそれぞれ徐々に加速、減速を行っています。

3. 今後の展開

量子ゲートを実現し、その精度を向上するとともに、比較的単純なアルゴリズムを実装し、量子ゲート・アルゴリズム実験を運用できるようにします。また、遠隔からの運用のテストを行います。さらに多くのアルゴリズムを試験実行するとともに、それらについて遠隔からの実行を実現します。イオンの輸送は複数のモジュールから成る量子コンピュータの計算所用時間にかかわる重要な問題です。これまでに開発した輸送技術をもとに、今後は高速化を進めていきます。

研究開発テーマ名

イオントラップのための集積化光回路に関する研究開発

2022年度までの進捗状況

1. 概要

イオントラップ量子技術には通常、多数のレーザー光が用いられます。従来は多数の光学素子を堅牢な除振台の上に精密に並べて固定し自由空間の光回路を構築していましたが、本テーマではこの光回路を小さなチップ上の微細な光素子からなる光回路で置き換え、光回路がイオントラップと一体化した「光回路一体型イオントラップ」の実現を目指しています。この研究の推進によりイオントラップ量子ノードの大幅な小型化と安定化が期待でき、光接続された多数のイオントラップ量子ノードを量産・実装するための技術的ハードルがはるかに易しくなります。

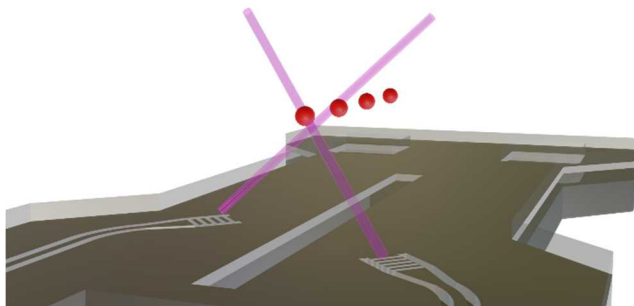


図1. 光回路一体型イオントラップの概念図

2. 2022年度までの成果

九州大学ではイオントラップに多種のイオンポンプ用レーザーを導入するための集積光回路を開発しています。波長は可視から近赤外域にわたっており、広帯域性と光集積性を兼ね備えたシリコン系素子を作製しました。また、入

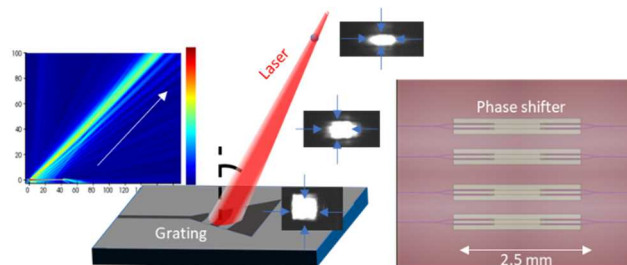


図2. 光回路素子（光出射素子、光変調器）の開発

射するレーザーの光波制御もチップ上で行うため、集積性が高く小型の位相変調器の作製も進めています。最終的に東京大学で進めているイオントラップデバイス内に実装することを計画しています。

また、東京大学のグループでは実際に九州大学において設計・作製された光出射素子を組み込む手法の開発や実際に光回路一体型イオントラップを実証するためのイオントラップ実験系の構築を行いました。レーザー光源の調達から実験系の設計、組み立て、自由空間光でのテストのため

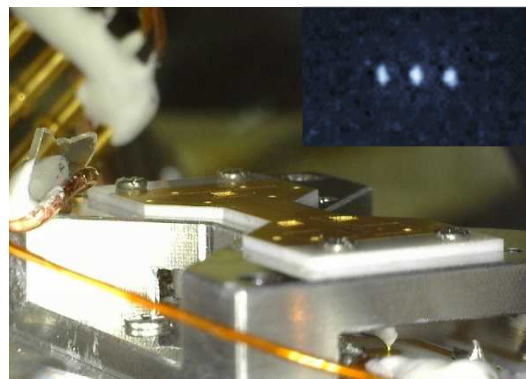


図3. 構築されたイオントラップ系

の光学系の構築までを完了して、現在イオントラップのテスト中です。また、捕獲されたイオンのうち一つだけを個別にレーザー照射するための光出射素子の設計も進め、その試作と評価も進めています。

また、イオントラップに用いる光源の全ファイバー化という観点で、原子発生に用いるレーザーアブレーション系のファイバー化と真空環境でのテストにも成功し、国際学術誌に論文を投稿しました。

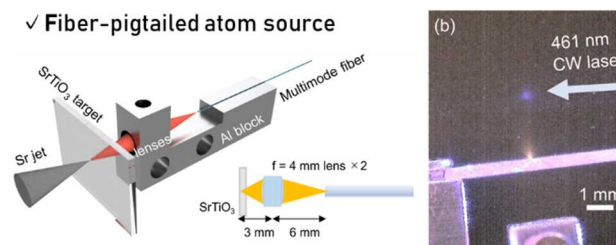


図4. 光ファイバーによる原子発生

3. 今後の展開

今後はこれまでに設計、評価した光出射素子を実際にイオントラップに組み込んだ光回路一体型イオントラップの実現に向け、設計・試作・評価・組み込み等のプロセスを進めていきます。この実現によってさまざまな光回路素子をイオントラップに組み込んでテストするためのテストベッドができますので、光出射素子だけでなく例えば光変調器などのより高機能な光素子の一体化へと進み、イオントラップ量子技術とフォトニクスの融合した新分野の最先端へチャレンジし、量子ノードの小型化を飛躍的に進めることができます。また、宙に浮かんだ原子ひとつひとつを時空間的に狙い打つという新奇な目的のために、フォトニクスの方にも新たな分野が芽生えるのではないかと期待しています。

研究開発テーマ名

ジャンクショントラップを用いた捕獲イオンの配列技術

2022年度までの進捗状況

1. 概要

量子情報処理で利用されている2次元、3次元の微細加工イオントラップについて、世界の研究開発状況を概観しました。多数のイオンを取り扱うためには2次元イオントラップが優れている一方で、量子状態の伝送に光を用いる場合には、トラップごとのイオン数を少なくすることができ、大がかりな輸送も必要なくなります。また、イオンから光を伝送するに当たっては、イオンの捕獲位置をしっかりと確定させ、ファイバと高効率で結合させることが非常に重要となります。そのためには、イオンのトラップポテンシャルの深い3次元トラップが望ましいと考えられます。そこで、本研究では、3次元トラップに対して、協同冷却を念頭において、異元素イオン (Ca および Sr) を同時に捕獲・配列できるような3次元微細加工電極によるトラップ装置の開発を進めています。

2. 2022年度までの成果

本研究課題で必要となるイオントラップ装置の微細電極設計にあたり、数値計算を行うことができる電場解析ソフトの精査を行い、使用するソフトウェアを選定しました。そのソフトを用いて、製作可能な微細電極技術を踏まえて、ジャンクション電極の具体的な形状を検討しました。

電場数値解析に必要なソフトウェアの精査を行いました。具体的には、交流電場においてイオン軌道を計算可能な3つのソフトウェアにおいて、3次元イオントラップを作成し、その使い勝手を確認しました。

そのうち、ソフトウェアCは有限要素法をベースとした汎用の統合シミュレーションソフトウェアであり、高周波RFに対応しており、微細な構造を持つ部分とそうでない

部分と異なるメッシュサイズを設定することができるため、微細加工電極の計算にも適していることを確認できました。

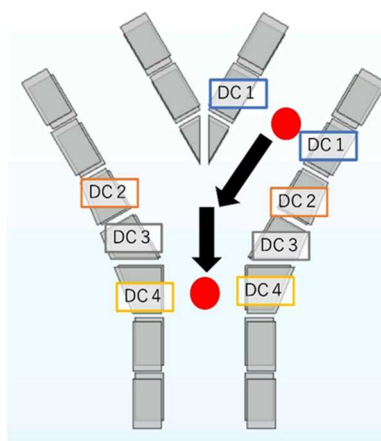


図1：ジャンクション3次元微細加工トラップにおけるイオン輸送モデル

また同ソフトウェアを用いて微細加工イオントラップシミュレーションの先行研究などでも行われているため、様々な例を参考に計算モデルを構築できることも期待できることが確認できました。以上より、高周波RFに対応しており、微細構造を持つモデルでも計算時間が長くないことに注目し、本研究ではソフトウェアCを使用することとしました。

図1に示すような二股に分かれたジャンクション部分をイオンが移動できるような電極配置と印加電圧について、数値解析による定量的な評価を行いました。電極配置とジャンクション部の角度を変えて、図1のジャンクション部のDC1の赤丸からDC4の赤丸までイオンを輸送いたしまし

た。そのイオン軌道の結果の一例を図2に示します。

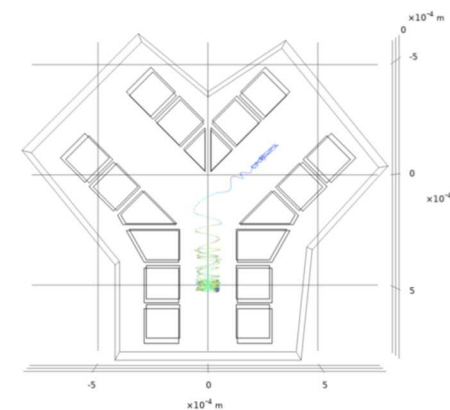


図2：ジャンクション部の輸送におけるイオン軌道

このように、ジャンクション部の角度に応じてイオンの輸送が可能となるようなDC電圧設定の時間的変化を設定することができるようになりました。

捕獲イオンとしては、CaとSrイオンを対象として、その捕獲・操作を行うために必要となる実験装置の立ち上げにむけて、真空系、電場駆動系、観測系、光学系、レーザー光源系などの準備を行いました。

3. 今後の展開

3次元微細加工電極のプロトタイプを製作し、まずはCaイオンについて、イオンの捕獲・レーザー冷却による観測を目指します。イオンの観測が可能になれば、DC電極を変化させることでイオン輸送に取り組みます。これとあわせて異元素であるSrイオンを対象とした捕獲・観測を行うことで、複数元素の同時捕獲・観測およびジャンクションを用いて任意の順番でのイオン配置を目指します。

研究開発テーマ名

イオンと原子の量子インターフェースの開発

2022年度までの進捗状況

1. 概要

イオントラップを用いた大規模な量子コンピューティングにおいては、量子ビット数の拡張を行うために独立したトラップモジュール間を接続することが重要となります。そのためにはイオンを異なる量子系と結合させる技術確立する必要があります。本研究テーマでは単一イオンと中性原子のハイブリッドトラップを開発し、イオン・原子間の量子インターフェースの開発を行います。中性原子はイオントラップデバイスや光共振器との高い親和性を示すため、トラップモジュール間のつなぎ役として活用することが可能となります。それにより、より効率的なイオン量子ビット数の拡張が行えるものと期待されます。

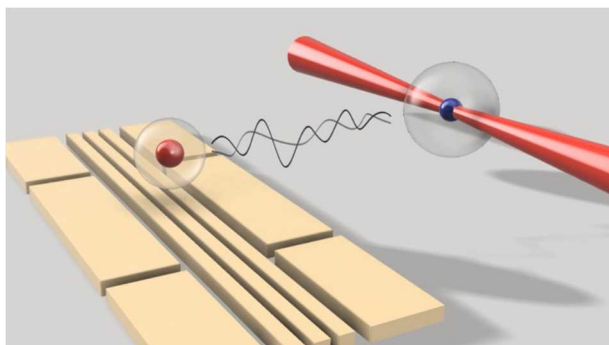


図1. イオンと原子の量子インターフェース

2. 2022年度までの成果

イオンと中性原子の同時捕獲のためのトラップ装置の設

計と開発を行いました。まずは研究で用いるストロンチウムイオン捕獲のための三次元型線形イオントラップを作製し、超高真空装置中に実装しました。このトラップ装置を用いることで単一イオンを微小な空間領域に強く閉じ込めることができ、さらにレーザー冷却を施すことで振動基底状態にまで冷却することが可能になります。これはイオンの内部・外部振動状態の量子制御を行う上で重要なステップとなります。

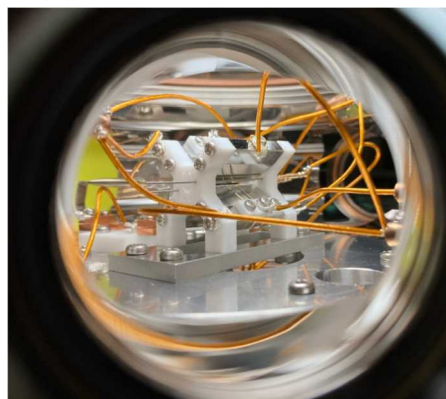


図2. 作製された線形イオントラップ装置

これと並行して、中性原子（ストロンチウム原子）の捕獲と冷却のための真空装置の設計を進めました。原子のトラッピングでは、原子オーブンにて気化した中性原子がゼーマン減速器にて予備的にレーザー冷却されます。その後、原子トラップチャンバーに到達した低速の原子は磁気光学トラップ（磁場とレーザー光による閉じ込め/冷却を行う装置）においてミリケルビンオーダー以下の極低温領域にまで冷却することができます。本研究テーマでは原子やイオンをレーザー励起によりリドベルグ状態へと準備すること

でイオン・原子間の量子インターフェーシングを行います。今回の設計ではリドベルグ状態へと励起された原子を高効率で検出するためのイオン化電極とマイクロチャンネルプレートを組み込みました。これらの電極はトラップ中心付近での余剰電場の補正にも利用することができ、外部電場に敏感なりドベルグ原子を安定的にトラップすることが可能となります。現在は準備されたトラップ装置とレーザー冷却のための光源システムを用いて、イオンや原子のトラッピング実験に取り組んでいます。

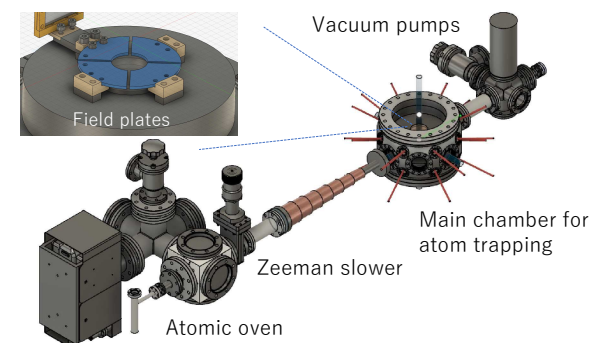


図3. 原子トラップ真空装置の設計

3. 今後の展開

これまでに実装されたイオントラップ装置を用いて単一イオンを捕獲し、レーザー冷却によりミリケルビン温度領域への冷却を行います。また、設計された原子トラップ装置を実装することで、極低温でのイオンと原子のハイブリッドトラッピングを目指します。そのようにしてトラップされたイオンや原子をリドベルグ状態へとレーザー励起することでブロック効果の検証を行います。これらの研究開発課題はイオン・原子混合系といったハイブリッド量子システムにおける量子インターフェース実現へと発展することが期待されます。