

「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29年度採択研究代表者

H29 年度 実績報告書

田中 歌子

大阪大学大学院基礎工学研究科
講師

オンチップ・イオントラップによる量子システム集積化

§ 1. 研究実施体制

(1) 大阪大学グループ

- ① 研究代表者: 田中 歌子 (大阪大学 大学院 基礎工学研究科、講師)
- ② 研究項目
 - ・オンチップ・イオントラップによる新奇量子システムの実現

(2) NICT 小金井グループ

- ① 主たる共同研究者: 関根 徳彦 (情報通信研究機構 未来 ICT 研究所フロンティア創造総合研究室、研究マネージャー)
- ② 研究項目
 - ・高性能オンチップ・イオントラップデバイスの研究開発

(3) NICT 神戸グループ

- ① 主たる共同研究者: 早坂 和弘 (情報通信研究機構 未来 ICT 研究所量子 ICT 先端開発センター、研究マネージャー)
- ② 研究項目
 - ・オンチップ・イオントラップによる小型光クロックの研究開発

§ 2. 研究実施の概要

イオントラップは気体原子イオンを電場の力で空中に長時間捕獲する技術で、周囲の影響を受けにくい理想的な孤立量子系が実現可能なことから、量子状態の高度な操作や計測に利用されてきた。しかし一般にこれらの装置は大がかりであることが応用範囲を狭めていた。また金属加工で作製されるトラップ電極では加工精度に限界があり、実現できる量子系は極めて限られていた。本プロジェクトでは、イオントラップ電極に微細加工技術を取り入れることでオンチップ化し、(1)集積化した量子システムの可搬型光クロックへの応用、(2)微細加工電極がつくる特殊なトラップポテンシャルによる新奇量子システムの実装、(3)高性能なトラップデバイス作製のための研究開発を行っている。

光クロック開発では、複数個のカルシウムイオン($^{40}\text{Ca}^+$)を用いて信号の S/N 比を向上させることで、これまで光クロックに必須であった大がかりな光共振器を不要にして可搬化を図る。そのためには複数のイオンが全て同じ時計遷移周波数をもつように同一の条件下になければならないが、これは従来型トラップでは不可能であった。平成 29 年度に新たに設計したオンチップ・イオントラップは集積化に適しており、且つ、複数個イオンを同一条件にできるものである。NICT 小金井グループがデバイスを作製し(図1)、NICT 神戸グループにて新規実験系の立ち上げと、光クロック動作に必要な複数の光源の可搬化を進めた。

新奇量子システム実装として、大阪大学グループでは等間隔に配置されたイオン列の実験を行った。従来の2次関数型のポテンシャルではトラップポテンシャルとイオン間のクーロン相互作用が釣り合うイオンの位置は図2(a)のように不等間隔になる。等間隔に配列するためのポテンシャルを導出し、12 対の微細電極を持つオンチップ・イオントラップで電圧を精密に制御することによって所望のポテンシャルを生成した。実際の実験系では浮遊電場が存在するが、それも含めてイオンの位置での電場を計測する方法を確立し、印加電圧にフィードバックをかけることで図2(b)に示すように等間隔性を向上させることに成功した。

デバイス開発においては、NICT 小金井グループが作製技術の研究開発に加えて、トラップ電極に最適な材質や形状の探索を行っている。平成 29 年度は基板材質や電極間隔を変えたサンプルの耐圧評価を行った。また構造の異なるトラップ電極を作製し、大阪大学グループでイオン捕獲時間を計測することによって、電極構造による性能の違いを定量的に評価できるようになった。

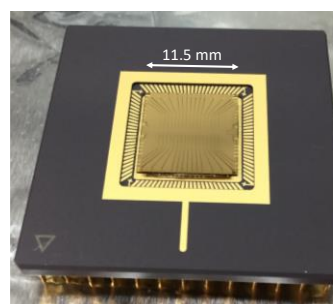


図1 光クロック用オンチップ・イオントラップ。

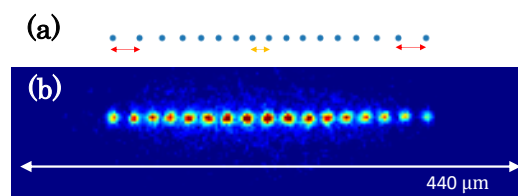


図2 (a) 数値計算で求めた 17 個のイオンを従来の 2 次関数型ポテンシャル中に捕獲した場合の $^{40}\text{Ca}^+$ イオンの配置。中央の間隔が狭く、両端にいくほど広がっている。(b) 実験で得られた等間隔配列用ポテンシャル中の 17 個の $^{40}\text{Ca}^+$ イオン列。オンチップ・イオントラップの 12 対の微細電極の制御により等間隔性が向上している。