

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. 研究成果の概要

本プロジェクトでは、気体原子イオンを電場の力で空中に長時間捕獲する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を基盤にした可搬型光クロックの開発、(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。

光クロックを可搬型にするためには多くの技術の研究開発を要する。これまで原子イオンによる光クロックは単一イオンを用いる方式が行われてきたが、本プロジェクトでは複数個のイオンを用いて信号強度を増強し、クロック動作のためのフィードバックサイクルの高速化により装置の構成要素を減らすことで小型化を図っている。イオンの複数個化を妨げていたのは遷移周波数シフトのばらつきだが、我々はイオンを等間隔に配置する電場がこのばらつきを解消する魔法トラップ電場となることを発見し、この電場を生成するオンチップ・イオントラップ電極を開発してきた。加えて、フィードバックサイクルの高速化のために、イオン蛍光像撮像ソフトウェアの高速化、結像光学系の高立体角化、時計レーザーの高出力化を実施した。従来型イオントラップをエミュレータとして実装したところ、フィードバックサイクル時間が目標とする 50ms に極めて近い 58ms まで短縮され、エミュレータから光クロックに移行するための準備が整ってきている。

イオンの等間隔な配置は光クロックのみならず、超放射観測や多体系の量子シミュレーションなど新奇量子システムとして多数個イオンを用いる応用に重要である。我々は 13 対の微細矩形電極をもつオンチップ・イオントラップと、イオンの位置情報から

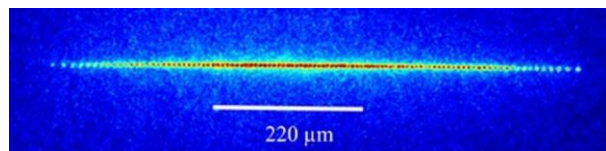


図1 13 対の微細矩形電極から成るオンチップ・イオントラップで捕獲され 1 列に配列した 100 個のカルシウムイオン。

電場を補正するシステムを駆使して、これまでの約 2 倍の 35 個のイオンについて等間隔性の向上を確認した。さらに個数を拡張し、100 個のイオン配列にも成功した(図1)。通常のトラップ電場

では、このオーダーの個数のイオンはジグザグ配列になってしまい種々の応用に適用できない。このような1列配列はオンチップ・イオントラップで精密に制御したトラップ電場だからこそ可能になったものである。

デバイス作製においては、将来の光学素子との集積化も見据えた高耐電圧性と加工性に優れた材料のための基板張り合わせ技術、電極表面の平坦性の改善、イオン生成方法改良のための原子ビーム導入穴付きトラップ作製技術などの開発を実施し、オンチップ・イオントラップ高性能化のための技術開発が進んできている。

【代表的な原著論文】

なし

§ 2. 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