

室温電子Paulトラップのためのフリップチップ型トラップ電極の開発

Development of Flip-Chip Trap Electrodes for a Room-Temperature Paul Trap

M22海自10

派遣先 カリフォルニア大学バークレー校Häffner研究室
(アメリカ合衆国・バークレー)

期 間 2023年1月12日～2023年3月12日 (59日間)

申請者 東京大学 大学院総合文化研究科 広域科学専攻

博士後期課程2年 重 藤 真 人

海外における研究活動状況

研究目的

電子トラップは近年勃興したばかりの研究分野であるが、イオントラップよりも高精度・高速な量子制御ができると見込まれ、量子コンピュータ実現のための有力な物理系となる可能性を秘めている。本研究では、世界で初めて電子のPaulトラップを成し遂げたH. Häffner氏のもとで電子トラップの技術を学び、新しいトラップ電極のアイデアについて議論および研究することを目的とした。

海外における研究活動報告

イオントラップ(本稿ではPaulトラップを指す)は、振動電磁場を用いて荷電粒子を真空中に捕獲する技術であり、環境からのノイズの影響が小さいため量子力学的な性質が顕著な系となる。この性質を用いて、イオントラップは物理定数の精密測定や量子状態の制御・測定等の基礎研究で重要な成果を挙げてきた。近年では、その量子状態の寿命の長さと制御性の高さから、量子コンピュータへの応用が期待されている。イオントラップは数ある量子ビットのなかで最高精度を誇るが、ある程度深い

量子回路を実行して非自明で意味のある計算結果を得るためには、制御精度の更なる向上が必須である。

そこでイオンの代わりとして、質量が4桁程度も小さな電子をトラップすることで、量子制御の時間短縮や精度向上を目指すというアイデアが提出された。このような電子トラップと呼ばれる研究分野は、最近勃興したばかりの若い分野である。イオントラップよりも研究が遅れた原因としては、2桁程度大きな周波数の振動電場を用いるために技術的な困難が伴うことが挙げられよう。そのようななかで、H. Häffner氏は間違いなく分野の第一人者であり、3層型のトラップを用いて、世界初の室温電子Paulトラップの成功というブレイクスルーを成し遂げた人物である。

本研究で申請者は、H. Häffner氏の研究室にて電子トラップの研究課題に取り組んだ。当初は3層型のトラップを2層のフリップチップ型のものに発展させるという課題に取り組む予定であった。しかし、当時研究室内では、3層型のトラップで捕獲した電子の寿命が以前の実験時と比べて3桁以上短くなってしまっている、という問題が発生していた。そこで申請者は、H. Häffner研究室の電子トラップに対する理解

を深めると同時に自らの電子トラップ研究への知見が得られると考え、この問題の解決にポスドクのN. Yadav氏と共同して取り組んだ。

申請者たちはトラップチップが設置されている真空チャンバーを開けない範囲内で、実験系のあらゆる箇所を点検した。具体的には、電子生成のための光学系の変更やレーザーの調整、新しく用意したプリント基板やDACへの交換、全体的な電気回路系の配線等の見直しなどを行った。これらを行っただけでも捕獲電子の寿命は短いままであり、ときおり寿命に変化がみられたときにも再現性が得られなかった。真空チャンバー外の電気回路や真空度が原因である可能性は低いということは分かったものの、真空チャンバーを開けてトラップチップ等を確認しないと結論は出せないという結論を得た時点で、滞在期間が終了した。原因究明に至らなかったことは残念であったが、実験系全体に変更を加えながら考察するという経験を通して、電子トラップの実験系を深く理解できたことが大きな成果だと考えている。また、N. Yadav氏と英語で議論しながら実験を進

めたことも貴重な経験となった。氏の実験結果を真摯に分析したうえで次の実験方針を決める姿勢には、多くを学ばせてもらった。

アメリカの大学で過ごした際に感じたことも簡単に書き記しておきたい。カリフォルニア大学バークレー校では、毎週金曜日に物理を学ぶ大学院生やポスドクの集いがあり、そこではビールを片手に闊達な議論やフレンドリーな交流があった。こうした研究室や学年を超えたつながりを生むような環境が整えられているように感じた。また、学部生の授業でも最新の論文を読む機会を与えられ、優秀な学生は学部3年から研究室で研究に励んでいた。以上の点は申請者の日本での経験と大きく異なっており、カルチャーショックを受けた。カリフォルニアの土地柄のせいもあるかもしれないが、とにかく研究に対する活気を感じる日々であり、申請者にとってもよい刺激となった。

最後に、本研究を進めるにあたってご援助いただきました村田学術振興財団に深く感謝申し上げます。