

革新的光科学技術を駆使した最先端科学の創出
2021 年度採択研究代表者

2022 年度
年次報告書

本田 洋介

高エネルギー加速器研究機構 加速器研究施設
准教授

レーザー冷却極低温電子源による超精密ビーム制御

研究成果の概要

レーザー冷却の技術を用いて原子ガスを極低温に冷却し、そこからレーザーによる電離で電子を発生させる電子源の開発を行なっている。初期運動量が極めて小さな状態で電子ビームを発生できる為、原理的には質の良い電子源が実現できる。本研究はテラヘルツ光による高精度電子操作技術の実証を目標としているが、テラヘルツ加速器の小さな開口に入力するには、本電子源による質の良いビームが重要である。また、この技術の出口として掲げた高速高分解能の電子顕微鏡へと繋がる重要なステップである。さらに、従来の面生成の電子源では制御できなかった、発生体積の制御が原理的には可能になるため、新しい応用が拓かれる可能性もある。

レーザー冷却には光周波数が原子の共鳴準位にたいして精密に調整された単一周波数レーザーが必要である。前年度には Rb 原子のレーザー冷却用の波長 780nm の外部共振器型ダイオードレーザー発振器およびその増幅器を設計製作した。本年度は Rb 原子の飽和分光の信号を得て、その光周波数を共鳴準位にたいして精密に制御するシステムを構成した。とくに、デジタル回路の技術を取り入れ、変調移行法による制御信号を復調し発振器の周波数を制御するピエゾ素子へフィードバック制御するシステムを構成し、簡便に目的の光周波数への安定化が実現できるようになった。

電子源実機的设计に先立って、Magneto-Optical Trap (MOT)によるレーザー冷却の試験を行った。ガラス製真空容器にディスペンサ型 Rb 源を取り付けた超高真空環境の試験装置を立ち上げた。自作の冷却レーザーを用いて、MOT に必要なレーザーのスポットサイズおよび経路、そして偏光を確立し、アンチヘルムホルツ磁場を導入し、Rb ガスを生成して実験を行なった。チェンバ中央部にトラップされた Rb 原子からの発光のスポットがモニター用の CCD カメラで観測され、MOT が実現できていることが確かめられた。自作のシステムによる MOT 技術が確立した。

電離レーザーには、とくに余剰エネルギー無く電子を生成できるように波長 480nm 付近で波長可変のレーザーが必要である。チタンサファイアレーザーの再生増幅システムと OPA システムを備えたレーザー装置を入手し、これをレーザー冷却と同時に使用できるようにレーザー実験室を新たに整備した。並行して、電離時の電子の運動を古典的にトラッキングするシミュレーションを行い、余剰エネルギーと電子温度との関係などの考察も行なった。

電子源実機のための専用真空チェンバの設計を行なった。MOT で必要とされる 3 次元 6 方向からの冷却レーザーおよびリポンプレーザーと電離レーザーの入力ポートそしてモニター他に使用するポートを備えたうえ、電子加速のための高電圧電極構造およびトラップ用のソレノイドコイルと組み合わせた機械設計を行なった。このとき、電子源としての電子ビームの発生方向とレーザーの配置パターンはいくつかの選択肢が考えられるが、機械配置的な条件と同時にビームトラッキングのシミュレーションで、MOT のソレノイドコイルの磁場のビームへの影響を確認し、実機の構成を決定した。