

新たな光機能や光物性の発現・利活用を基軸とする
次世代フォトニクスの基盤技術
平成 28 年度採択研究代表者

H28 年度 実績報告書

上妻 幹旺

国立大学法人東京工業大学 理学院
教授

ポケットサイズレーザー冷却システムの開発

§ 1. 研究実施体制

(1) 研究代表者グループ

① 研究代表者: 上妻 幹旺
(国立大学法人 東京工業大学 理学院 物理学系、教授)

② 研究項目

- ・原子レーザー冷却システムのポケットサイズ化
- ・ポケットサイズに適した重力測定技術の確立
- ・ナノ粒子を用いた高感度傾斜計の開発
- ・実用性を有するポケットサイズレーザー冷却システムの構築

(2) 主たる共同研究者グループ

① 主たる共同研究者: 福原 武
(国立研究開発法人 理化学研究所 創発物性科学研究センター、ユニットリーダー)

② 研究項目

- ・ポケットサイズに適した重力測定技術の確立
- ・実用性を有するポケットサイズレーザー冷却システムの構築

§ 2. 研究実施の概要

本研究の目的は、電源駆動の真空ポンプを使用せずに、年のオーダーにわたって超高真空状態を維持できる「機能性セル」を開発し、原子、ナノ粒子に対してポケットサイズのレーザー冷却システムを構築することにある。原子レーザー冷却システムについては、 $10^{-8}g$ の精度を有する絶対重力計を、ナノ粒子のレーザー冷却システムについては、 $10^{-10}rad$ の感度を有する傾斜計を実装する。これらのシステムを利用することで、「火山活動の観測」、「重力異常測定による海底資源探索」、「大規模地震の前兆現象である地盤傾斜の評価」など、持続可能な社会や国民の安全・安心に向けた様々な応用を実現することが期待できる。

平成 28 年度、研究代表者グループは、5 年にわたる CREST 研究を円滑に進めるために $50m^2$ の実験室を 2 部屋用意し、弱磁性光学除振台 2 台を設置した。共同研究者グループもまた、 $36m^2$ の実験室を 1 部屋用意するとともに光学除振台 1 台を設置した。

無電源でありながら $10^{-9} \sim 10^{-8}Torr$ の超高真空を長期間にわたって維持することを目的として、我々は非蒸発型ゲッター材 (NEG) と特殊な真空構造とを併用した「機能性セル」を特許出願している。今年度、研究代表者グループは、機能性セルの作成に必要な各種データの取得を目的として、大きさ 数 10L の特殊な真空槽を作成した。外部から印加する気体の種類や圧力を自在に制御しつつ、真空槽内部で磁気光学トラップを行うことで、それらの影響を定量的に評価できる仕組みとなっている。

磁気光学トラップを行うためには、冷却用、及びリパンプ用の 2 つの光源が必要となる。本 CREST 研究の最終段階では、真空装置、光源の全てをポケットサイズに収めることとなるが、初年度はその手始めとして、ファイバーベースの小型光源を開発することにした。本研究ではアルカリ原子の一種である Rb を対象として実験を行うが、その共鳴波長である 780nm において、線幅 $\sim 100kHz$ 、出力 $> 1W$ 、そして冷却・リパンプの 2 周波数を含む光源を作成することができた。1cm 程度の管体に半導体レーザーと回折格子とが収められた Micron Laser (Micro tunable external cavity laser) を種光源として起用することで、基本的には除振台がなくとも機能するシステムとなっている。

我々が特許出願をした超高感度傾斜計は、ドーナツ型の強度分布を有するラゲールガウスビームで捕捉された単一のナノ粒子を利用する。今年度はまず、ナノ粒子を用いた傾斜計の原理実証を行う際に必要となる特殊な真空槽の作成を行った。ナノ粒子実験では、予めナノ粒子を分散させたエタノールを大気中に噴霧しレーザーでトラップした後、系全体を真空引きするというを行う。「大気中でのトラップ」と「真空引き」とを頻繁に繰り返す実験を効率的に行うため、真空開閉が容易で、かつ内部で光学アライメントを自由に行える特殊な真空槽を作成した。また実験に必要な波長 $1.5\mu m$ のラゲールガウスビーム (LG ビーム) を、光共振器とモード変換器とを利用して生成し、出力 $350mW$ を得た。元々は次年度 (平成 29 年度) に計画していた実験ではあるが、得られたラゲールガウスビームを用いて、直径 $100nm$ 程度の単一 SiO_2 ナノ粒子を捕捉することに世界で初めて成功した。

ポケットサイズのレーザー冷却システムの場合、系の容積が限られるため、集められる原子数が従来の実験に比べ 1 桁ないし 2 桁減少することが予想される。従来の実験は、集めた冷却原子気体の中から十分に冷えた集団を選択し、原子干渉実験に利用していた。ポケットサイズ系の場合、

原子数が制限されるため、初期温度を十分に下げて集めた原子集団を無駄なく利用することが干渉計の感度を維持する上で肝要となる。こうした理由から、今年度、主たる共同研究者グループは、原子冷却や原子干渉計の最適化を行う上で必要な真空槽、ならびに光源の準備を行った。本グループの場合、光源のミニチュア化は要求されないため、従来手法を用いて Rb 共鳴周波数に安定化された出力 $> 100\text{mW}$ の光源を準備した。