

2023 年度年次報告書
物質と情報の量子協奏
2023 年度採択研究代表者

レ ハクホウトウ

産業技術総合研究所 製造技術研究部門
主任研究員

メタオプティクスを用いた単一冷却原子アレイ生成制御

研究成果の概要

本年度では、単一冷却原子アレイ生成に係る各要素技術開発において、提案した設計案の初期検討と課題抽出に取り組んだ。具体的には、対象となったセシウム(Cs)原子の吸収波長に合わせて、800 - 1000 nm 波長帯に優れた性能を持つメタオプティクス(メタ表面)の材料として、単結晶シリコン(Si)と化学気相成長法による水素化 Si を開発した。そして、数値計算によるメタ表面構造の設計法と製造プロセスフローを確立し、Cs 原子の磁気光学トラップ(MOT)及び双極子トラップ(ODT)用のメタ表面の 1 次試作を作製した。特に MOT には、径 cm の大面積メタ表面試料が必要であるが、繰り返し複製できない 10 億個以上の単位構造が含まれたこのようなメタ表面の設計試作のための独自の工夫とノウハウを見出した。試作した2種類の Si メタ表面の特性評価を行ったところ、設計通りの光学特性が得られた。

メタ表面を用いた ODT に関しては、メタ構造から成る位相ホログラム(メタホログラム)の設計試作とメタホログラムを用いた ODT 用の集光スポットアレイの実証に成功した。提案したメタホログラムは空間光位相変調器等を用いた従来手法と比べ、位相操作できる構造のサイズが 1/20 に小さくなったため、レンズを必要とせず、平行光の入射光を直接に回折させ、集光スポットアレイを形成できる特徴がある。所望の集光パターンに対して、反復型位相最適化法を用いて、メタホログラム上のメタ構造の配列を設計した。試作した試料に円偏光の平行光を入射したところ、設計した焦点面において、近似的ガウス分布の集光スポットアレイの形成が確認できた。特に生成像には 0 次透過光が見られず、従来方法では課題であった 0 次項の漏れ光の抑制にも成功した。このように、本手法は単一冷却原子を配列するための高精度な光ピンセットアレイの生成と入射光の高効率利用の面において優れていると言える。