

課題番号 : F-20-KT-0057  
利用形態 : 技術代行  
利用課題名(日本語) : 光トラップ中における単一原子の高分解能顕微鏡観測  
Program Title (English) : High-resolution observation of single atoms in an optical trap  
利用者名(日本語) : 武井宣幸  
Username (English) : Nobuyuki Takei  
所属名(日本語) : 京都大学大学院理学研究科物理学・宇宙物理学専攻  
Affiliation (English) : Department of Physics, Graduate School of Science, Kyoto University  
キーワード/Keyword : リソグラフィ・露光・描画装置、ナノ開口、光ピンセットアレイ、フォトニクス

## 1. 概要(Summary)

私たちは最新のレーザー技術を駆使し、原子と光の相互作用を制御する研究を行っている。光で作られた周期ポテンシャル(光格子)の中にナノケルビン温度まで冷却され量子縮退した原子気体をトラップし、そこで発現する様々な物性現象を調べたり、光ピンセットアレイ中にトラップした多数の単一原子について、その量子状態や原子間相互作用を精密に制御する実験を行っている。これらの研究は量子シミュレータや量子コンピュータといった最先端の量子技術開発へ繋がると期待される。

これらの研究において、光格子や光ピンセットアレイの各サイトを空間分解し、個々の単一原子を観測できれば、量子状態のより精密な観測・制御が可能となる。トラップ中の原子間距離は光の回折限界程度であり、高い空間分解能を有する顕微鏡技術が必要である。今回、100nm サイズのナノ開口を作成し、そこから抜けてくる光を原子からの蛍光などの点光源と見なし、私たちの顕微鏡システムの性能評価を行う計画である。

## 2. 実験(Experimental)

### 【利用した主な装置】

高速高精度電子ビーム描画装置、ウェハスピン洗浄装置、ドライエッチング装置、真空蒸着装置 2

### 【実験方法】

円形石英基板(直径 10mm・厚さ 1mm)の中心付近 50 $\mu$ m 角領域に、直径 100nm 程度のナノ開口を 2.5 $\mu$ m ピッチで正方格子状に作成する。そのため、まず、石英基板上に電子ビーム用レジストで直径 100nm 程度の円柱パターンを作製し、この上に厚さ 130nm 程度のアルミニウム膜を蒸着する。その後リフトオフにてレジストパターンを除去することによって、アルミニウム膜に上記の配列構造を持ったナノ開口アレイが形成される。

私たちの顕微鏡システムに使用する対物レンズは、NA が 0.6、作動距離 20.25mm という設計の元に特別に製作したものである。高分解能測定を行うためには、特に NA の評価が重要となる。上述のように、ナノ開口アレイから漏れてきた光を、この対物レンズによって観測した。実際の実験では真空窓越しに真空中の原子を観測するため、この真空窓に対して焦点補正が必要となる。そのため、ナノ開口アレイと対物レンズの間に、真空窓材と同じ材質・厚みの焦点補正用ガラスプレートを設置した。そして、対物レンズで集光した光を約 25 倍の倍率で CCD カメラ上に結像し、評価を行った。

## 3. 結果と考察(Results and Discussion)

ナノ開口を点光源とみなせば、CCD カメラ上で結像される光の強度分布は、Point Spread Function (PSF) で表される。測定した CCD のピクセル値分布を PSF でフィッティングすることで NA を算出することができ、平均として NA=0.56 という値を得た。この値は設計値 0.6 よりも小さいが、その原因は対物レンズが大きな NA を持つため、その設置に高い位置精度が要求されるためであると考えられる。しかしながら、NA=0.56 のとき、波長 532nm の場合の空間分解能は約 580nm であり、主に使用する光ピンセットの空間スケールが 1 $\mu$ m 程度であることを考慮すると、十分な NA と分解能が保証されたと考えて良い。

## 4. その他・特記事項(Others)

なし。

## 5. 論文・学会発表(Publication/Presentation)

なし。

## 6. 関連特許(Patent)

なし。