



Title	原子光学的手法を用いたナノ構造形成に関する研究
Author(s)	岡本, 憲二
Citation	大阪大学, 2000, 博士論文
Version Type	
URL	<a href="https://hdl.handle.net/11094/42359">https://hdl.handle.net/11094/42359</a>
rights	
Note	著者からインターネット公開の許諾が得られていないため、論文の要旨のみを公開しています。全文のご利用をご希望の場合は、 <a href="https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed">https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed</a> 大阪大学の博士論文について

*The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA*

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

氏名	岡本 憲二
博士の専攻分野の名称	博士(工学)
学位記番号	第15614号
学位授与年月日	平成12年5月24日
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当 工学研究科応用物理学専攻
学位論文名	原子光学的手法を用いたナノ構造形成に関する研究
論文審査委員	(主査) 教授 河田 聰  (副査) 教授 伊東 一良 教授 萩行 正憲 教授 石井 博昭 助教授 朝日 剛

### 論文内容の要旨

本論文は、原子光学的手法を用いたナノメートル・サイズの構造体形成技術の提案、装置の開発と実験、および構造体評価のための数値解析についてまとめたものであり、本論6章および総括から構成されている。

第1章では、光との相互作用によって原子に作用する散乱力および勾配力について、それぞれ原理を述べている。

第2章では、勾配力を用いたナノ構造形成法の原理および装置開発について述べている。超高真空チャンバー内で熱蒸発させた原子ビームをレーザー冷却技術によってコリメートし、任意に与える光強度分布によって勾配力をはたらかせることによって、原子ナノ構造体を基板上に形成する。

第3章では、対向した2光束で形成される定在波が生じる勾配力によって形成される構造体を解析的に明らかにしている。解析では原子を古典的な粒子とみなし、光の勾配力によって形成されるポテンシャル分布の中をクロム原子が運動方程式にしたがって運動するものと仮定して、その軌道を計算している。この軌道計算を多數の原子に対して行い、堆積によって形成される構造を示している。ナノ構造体は、定在波の周期であり光の半波長に相当する213nmの周期を有し、幅が光の回折限界よりもはるかに微小な約50nmの構造体が形成されることを示している。また、光強度、光の周波数の原子共鳴からの離調量、原子ビームの角度広がりなどのパラメータに対する構造体の依存性についても調べ、微細な構造を形成するために必要な条件に関する知見を得ている。

第4章では、解析手法を3次元に拡張し、3次元的に分布する光強度分布によって形成されるナノ構造体に関しても解析を可能にしている。具体的には、直交する2組の対向ビームによって形成される2次元的な定在波を仮定した解析を行っている。この場合、周期的な格子状の点構造または線構造が得られるという結果を得ている。

第5章では、第1種第1位のベッセル関数( $J_1$ )のプロファイルをもつビームを勾配力を与える3次元光強度分布として用いることで、原子をポテンシャル内に閉じ込めながらガイドする方法を提案している。この提案する系について数値解析をおこなった結果、原子を数mm以上にわたってガイドしながら100nm以下の局所領域に閉じ込めることにより、点構造を形成できることを明らかにしている。

第6章では、光の波長以下の開口径を有する微小開口によって形成されるエバネッセント場が微小粒子上に生成する放射圧を解析している。解析には有限差分時間領域法を用い、解析結果から、近接場によって微小粒子の捕捉が可能であることを示している。

総括では、本研究で得られた成果を総括し、本論文の結論としている。

## 論文審査の結果の要旨

近年、基礎物性分野において発展の目覚ましい原子光学において、工業的な応用を目指した研究も重要性を増しつつある。本論文では、レーザー冷却技術や勾配力等、光子との相互作用により原子に作用する力学的效果の微細構造作製への応用の可能性に着目し、ナノ構造体形成法について提案、装置開発および数値解析による評価を行った成果がまとめられている。主な成果を要約すると以下の通りである。

- (1) 光と原子との相互作用により、光強度分布に従ったパターンを原子堆積によって基板上に直接的に形成する原理について述べられている。また、真空装置および狭線幅発振周波数をもつ半導体レーザーを用いたナノ構造体形成のための装置開発について述べられている。
- (2) 対向した2光束干渉による定在波の光強度分布によって形成される周期的な堆積構造を、原子の軌道追跡計算によって求めている。この解析によって、レーザー光の強度や離調幅、基板の深さ方向の位置などの実験パラメータに対する、堆積構造体の依存性に関して新たな知見を得ている。特に、構造の微細化には原子ビームを構成する原子の速度均一性が重要であることを見出している。
- (3) ベッセル・ビームを用いて原子ビームを集束する手法について、輪帯照明またはアキシコン・プリズムを用いて実現する系を提案し、数値解析によってその手法の妥当性を示している。ベッセル・ビームがもつ長焦点深度の光強度分布を利用することにより、原子ビームを微小な領域に閉じ込め、それにより集束することが可能となる。原子ビームの集束は、任意形状形成のために必要とされる技術であり、その実現は微細構造形成手法として大きな意義がある。
- (4) 近接場光を用いて誘電体微粒子を捕捉する手法の可能性について検討している。光の波長以下のサイズの微小開口によって形成されるエバネッセント場が、誘電体微粒子に与える放射圧を数値解析によって求め、重力や熱運動の力との比較から粒子の捕捉が可能であるという結論を得ている。この結果は、波長以下のサイズの微粒子を捕捉できる手法として、新たな知見を与えるものである。

以上のように、本論文では原子光学の手法を用いた微細構造形成手法に関して実験および解析をおこなっており、その特性や問題点について検証し、また新たな手法を提案している。本論文で得られた成果は、光を利用したファブリケーションの新たな手法に関して新たな知見を与えており、原子光学に寄与するところが大きい。よって、本論文は博士論文として価値あるものと認める。