Osaka University Knowledge Archive

| | |
|---|---|
| Title | Theory of Mechanical Interaction between Nano Object and Electronic Resonant Light |
| Author(s) | 飯田, 琢也 |
| Citation | 大阪大学, 2004, 博士論文 |
| Version Type | |
| URL | https://hdl.handle.net/11094/45936 |
| 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">大阪大学の博士論文について</a>をご参照ください。 |

*Osaka University Knowledge Archive : OUKA*

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

Osaka University

【17】

| | |
|---|---|
| 氏　　名 | 飯　田　琢　也（いい だ たく や） |
| 博士の専攻分野の名称 | 博　士（理　学） |
| 学　位　記　番　号 | 第　１９０４１　号 |
| 学位授与年月日 | 平成 16 年 9 月 30 日 |
| 学位授与の要件 | 学位規則第４条第１項該当<br>基礎工学研究科物理系専攻 |
| 学　位　論　文　名 | Theory of Mechanical Interaction between Nano Object and Electronic Resonant Light<br>（ナノ物質と電子的共鳴光の力学的相互作用の理論） |
| 論文審査委員 | （主査）<br>教　授　伊藤　　正<br>（副査）<br>教　授　菅　　滋正　　教　授　三宅　和正　　教　授　小川　哲生<br>助教授　石原　　一 |

## 論文内容の要旨

光マニピュレーションとは光が物質に及ぼす力（輻射力）によって微小物質の空間的配置や運動を制御する技術である。現在、μmサイズの物質や原子系においてはこの技術を用いた基礎・応用研究が盛んに行われている。しかしながら、その中間領域であり近年注目を集めているナノ物質に関する議論はほとんどなかった。通常、物質のサイズが光の波長よりも小さくなると誘起分極は小さくなる。このため輻射力も極めて微弱となり、ナノ物質の光操作は容易ではなくなる。一方、光が電子的励起準位に共鳴すれば一般に誘起分極は増大し、輻射力も増強される。さらに電子系を閉じ込めたナノ物質においては結晶全体に渡って量子状態がコヒーレンスを保つ条件が存在し、サイズ変化に伴い多彩な光学的性質の変化が生じる。このことに着目し、「ナノ物質と電子的共鳴光の力学的相互作用」の微視的応答理論に基づく研究を行い、

①ミクロな物質からマクロな物質まで取り扱える輻射力の理論的手法の確立及び各サイズ領域における力の性質に対する統一的理解の獲得

②単一のナノサイズ物質中の量子力学的構造が輻射力に及ぼす影響の解明及び、ナノ物質の光マニピュレーションにおける有利な条件の発見

③任意形状のナノ物質に共鳴光が及ぼす力を計算する手法の開発及び、その手法を用いた複数のナノ物質が存在する場合に微粒子間に誘起される力学的相互作用の性質の解明

に成功した。

本論文における結果は〈A〉高品質の量子ドットのサイズ・形状選別やそれらを配列した新奇な光学デバイスの作製〈B〉ナノ微粒子中の量子状態に依存する光誘起力学的相互作用による自由空間に配置されたナノ微粒子の集団運動の制御〈C〉光誘起力学的相互作用を利用して量子ナノ構造体中に励起されるモードを観測する新奇な走査型顕微分光手法の開発など、個々のナノ物質の量子力学的個性を利用するナノテクノロジーの新分野の開拓へとつながると期待される。

## 論文審査の結果の要旨

輻射が及ぼす力学的相互作用を利用して微小物質を操作する技術は、μmオーダー物質を対象としたいわゆるレーザーピンセットや、原子系を対象としたレーザークーリングに見られるように分野を跨る重要な技術として発展してきている。一方で、ナノ系の光学的性質の研究もまた一大分野を形成しているが、これら両者を結びつける研究はこれまでほとんどなく、物質と輻射の力学的相互作用の研究は、マクロと原子の間にある領域が空白となっていた。本研究ではナノ微粒子の量子力学的内部構造を適切に取り入れて光との力学的相互作用を計算し、ナノ領域での力の発生機構やこの領域に特有の現象を明らかにした。

具体的には単一ナノ微粒子に閉じ込められた励起子準位にレーザーが共鳴する条件を考察し、励起子共鳴を用いた場合には用いない場合に比べて条件によっては4、5桁の力の増大が得られること、輻射圧のスペクトルが個々の微粒子の量子力学的な個性を反映して著しいサイズ依存性を持つことなどを明らかにし、このサイズ領域特有の新しいタイプの光マニピュレーションが可能であることを示した。また、原子からマクロなサイズまで適用できる力の解析的表式を導き、これまでサイズ領域毎に異なる理論的枠組みによって議論されていた輻射圧を共通の枠組みに基づいて理解することができた。さらに任意形状のナノ微粒子に対して力が計算できる手法を開発し、これよって電子的共鳴光の存在下で微粒子間に誘起される力の性質を解明し、引力・斥力が入射レーザーの偏光によってスイッチされるなどの興味深い現象を明らかにした。

以上のように、ナノ微粒子と光の力学的相互作用の機構を初めて明らかにし、ナノ微粒子の量子力学的性質を積極的に利用した新しいタイプの光マニピュレーションを提案した本論文は、基礎的に重要な知見を与えたのみならず、応用的にもこれまで発想されなかったユニークな技術に結びつく可能性を秘めており、博士（理学）の学位論文として価値のあるものと認める。