



Title	中性原子ビーム操作技術と単色原子ビームの生成に関する研究
Author(s)	大参, 宏昌
Citation	大阪大学, 2001, 博士論文
Version Type	
URL	https://hdl.handle.net/11094/42366
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、大阪大学の博士論文についてをご参照ください。

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

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

The University of Osaka

氏 名	大 参 宏 昌
博士の専攻分野の名称	博 士 (工 学)
学 位 記 番 号	第 1 6 2 8 9 号
学 位 授 与 年 月 日	平 成 13 年 3 月 23 日
学 位 授 与 の 要 件	学位規則第4条第1項該当 工学研究科精密科学専攻
学 位 論 文 名	中性原子ビーム操作技術と単色原子ビームの生成に関する研究
論 文 審 査 委 員	(主査) 教 授 芳 井 熊 安
	(副査) 教 授 森 田 瑞 穂 教 授 片 岡 俊 彦 教 授 青 野 正 和 教 授 森 勇 藏 教 授 広 瀬 喜 久 治 教 授 梅 野 正 隆 助教授 安 武 潔

論 文 内 容 の 要 旨

本論文は、原子遷移に共鳴したレーザー光による散乱力、あるいは強力な磁場勾配による力を用いて、中性原子の運動状態の完全な制御方法を確立することを目的として行われたもので、全6章から構成されている。

第1章では、中性原子の運動状態制御に関する歴史的な背景を概説し、本研究の位置づけ、意義および目的を明示している。

第2章では、本研究全般に亘って用いた装置の説明を行った後、原子の運動状態の操作に用いるレーザー周波数の安定化に関する研究結果を述べている。まずLi原子の絶対共鳴周波数の周波数標準を策定するため、Li原子の飽和吸収に関する知見を得ている。さらにFM分光によって得られた絶対周波数標準を用いてレーザー周波数の安定化を行い、任意の離調を周波数標準に与える方法を検討している。

第3章では、用いるレーザー強度の増幅を目的とし、高輝度半導体レーザーを用いて、注入同期により色素レーザーの外部で光増幅を行う手法を新たに開発している。本研究で開発した色素レーザーの増幅法は、従来法と比較して、レーザー光の質を維持しながら、消費エネルギーが1/12500に抑えられ、コストが1/3となり、得られる増幅出力は2倍以上であることを明らかにしている。さらに注入同期により2波長同時増幅を行い、半導体レーザーからの2波長発生を確認し、注入同期レーザーが弱結合状態にあることを明らかにしている。また結合調による高次周波数の発生を確認している。

第4章では、Li原子ビームに対して初めてレーザーコリメーション法を適用し、その最適化を行っている。その結果、Li原子ビームの横方向速度分布を自然幅以内に抑え、位置および運動量の空間密度を共に3.2倍に増加させることに成功している。また、偏光状態の違いによってLi分圧増倍度のレーザー強度依存性が異なることを見出し、レート方程式を用いて準位間の原子分布を解析することにより、冷却遷移から逸脱する原子（光ポンピング）が原因であることを明らかにしている。

第5章では、中性原子ビームの単色化、および内部状態制御を目的とし、原理上もっとも高分解能が期待でき、かつ光を用いない単色化法として、四重極型磁気回路を用いた中性原子速度分光器を新たに開発し、その特性を評価している。その結果、1000m/sのLi原子ビームに対し、0.1%の分解能が容易に得られることを明らかにしている。

第6章では、本研究で得られた成果を総括している。

論文審査の結果の要旨

ULSI デバイスの微細化の傾向は、今後もより一層強まると考えられ、これに伴って、従来の荷電粒子を用いた方法では任意の微細形状を精度良く作製することが困難となってきた。このような背景から、電荷を持たない中性原子の運動を荷電粒子のように非接触で制御する技術への注目度は高まりをみせている。しかし、電荷をもたない中性原子の運動を制御することは、現在でも非常に困難である。本論文は、光の放射圧と静磁場による力を利用した中性原子の運動状態の完全制御、とりわけ速度ベクトルが完全に揃った単色原子ビームの生成手法の開発を目的として行われた研究をまとめたものである。本研究で得られた成果を要約すると、以下のとおりである。

(1)高輝度半導体レーザーを用いて、注入同期により色素レーザーの外部で光増幅を行う手法を新たに開発している。

本研究で開発した色素レーザーの増幅法は、従来用いられている Ar^+ レーザーの高出力化による方法と比較して、消費エネルギーが $1/12500$ に抑えられ、コストが $1/3$ となり、得られる増幅出力は 2 倍以上であり、その有効性を実証している。

(2)2 波長同時注入によって、2 波長同時増幅を試みている。その結果、半導体レーザーからの増幅光に 2 モード発振が観測され、半導体レーザーは各モードの光と弱結合状態にあること、および 2 波長各々の増幅光強度は、注入した各波長のレーザー強度に依存しており、それぞれの波長の強度を独立に制御できることを明らかにしている。また 2 モード注入同期半導体レーザーからのスペクトルにおいて、結合調に起因した注入光と異なる周波数の光の存在を確認している。

(3)Li 原子ビームに対して初めてレーザーコリメーション法を適用し、これによって Li 原子ビームの横方向速度分布を $\pm 5 \text{ m/s}$ 以内に抑え、位置および運動量の空間密度を共に 3.2 倍に増加させることに成功している。

(4)中性 Li 原子ビームのレーザーコリメーションを行う際、偏光状態の違いによって Li 分圧増倍度のレーザー強度依存性が異なることを見出し、レート方程式を用いて準位間の原子分布を解析することにより、その原因を検討している。その結果、Li 原子励起状態の超微細構造の狭さ、およびレーザーの円偏光度の不完全性に依存して、冷却遷移から逸脱する原子が多数生ずることが原因であることを明らかにしている。

(5)原理上もっとも高分解能が期待でき、かつ光を用いない単色化法として、新たに四重極型磁気回路を用いた原子速度分光器を開発し、その性能を評価している。その結果、ドップラーシフト量から求められる Li 原子の速度分布と、開発した速度分光器によって得られる速度分布の形状は一致し、開発した磁気回路が速度分光器として有効であることを明らかにしている。

(6)原子ビーム分光装置の分解能について検討した結果、原理的にはいくらでも高分解能化が可能であるが、現実的にコンパクトな配置で、 1000 m/s の Li 原子ビームに対し、0.1% の分解能が容易に得られることを明らかにしている。

以上のように、本論文では中性原子の運動状態制御のため、新規技術の開発を行い、開発した技術の有効性を実証するとともに、中性原子ビームを操作するために必要な基礎的知見を与えている。本研究で示した知見、および技術は、特定の原子にとどまらずほぼ全ての原子に適用可能であり、これらの成果は、精密科学、特に微細加工、材料設計を中心とする生産加工学に貢献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。