



Title	レーザー光による原子ビームの運動制御と計測法の高精度化に関する研究
Author(s)	大向, 隆三
Citation	大阪大学, 2002, 博士論文
Version Type	
URL	https://hdl.handle.net/11094/43560
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	おおむかいりゅうぞう 大 向 隆 三
博士の専攻分野の名称	博 士 (工 学)
学 位 記 番 号	第 1 7 1 0 7 号
学 位 授 与 年 月 日	平 成 14 年 3 月 25 日
学 位 授 与 の 要 件	学位規則第4条第1項該当 基礎工学研究科物理系専攻
学 位 論 文 名	レーザー光による原子ビームの運動制御と計測法の高精度化に関する研究
論 文 審 査 委 員	(主査) 教 授 占 部 伸 二 (副査) 教 授 山 本 錠 彦 教 授 小 林 哲 郎

論 文 内 容 の 要 旨

近年の周波数可変で狭スペクトルなレーザー光源の開発により、レーザー光で原子の運動を制御することが可能となった。この技術は幅広い応用が提案されており、その実現に向けて従来の性能を超えた原子運動制御法の確立が求められている。本論文は、レーザー光を使って今までに無かった原子線の速度及び空間制御法を開発するとともに、得られた原子線を原子源として高精度な原子ビームの運動制御を達成した研究成果をまとめたものである。

まず第1章で、光による原子運動制御の研究に関して歴史的背景と現状について述べたあと、既存技術が直面する課題を指摘する。続いて第2章で、第3章以降の内容を理解する上で不可欠な理論的背景について概略を記す。

第3章では、広帯域スペクトル光源を用いた原子線の速度制御について記述する。ここではモード同期チタンサファイアレーザーと外部共振器を用いた高効率波長変換を組み合わせ、高強度な原子運動制御用紫外広帯域スペクトル光源の開発に成功した。また、光二重共鳴を利用した高精度同位体選別速度計測法も考案した。上記光源を使ってイッテルビウム (Yb) 熱原子線の速度分布圧縮を達成し、速度可変なモノベロシティビームを発生させた。

第4章では、原子線の速度と空間の両面にわたる同時制御スキームとして1次元磁気光学トラップをベースにした原子ガイドスキームを新たに提案する。実際にルビジウム (Rb) 原子線を対象に実験を行った結果、指向性の高い高密度同位体選別ガイドビームの発生に成功した。このガイドビームは偏向角の調節によって所望の速度分布幅を持つ速度選別原子源として利用可能である。さらに、本スキームで原子線を空間走査 (ステアリング) することに初めて成功した。

第5章で原子チャネルリングにおいて原子源として使用する原子線の速度分布幅を狭めるほど、高精度なチャネルリングが達成される事実を実験によって初めて明らかにし、その高分解能化を実現した。実験結果から、ルビジウム (Rb) のチャネルリングパターン線幅は熱原子線 (速度分布幅で270m/s) を原子源としたとき約100nmであったが、原子源の速度分布幅を50m/sまで抑制した結果、チャネルリング線幅は57nmまで狭窄化できることが示された。これらの研究成果は光による高分解能な原子描画 (原子リソグラフィ) への応用が期待される。

論 文 審 査 の 結 果 の 要 旨

近年、波長可変で周波数安定度の高いレーザー光源の開発や原子分光技術等の進展によってレーザー光を使って原子やイオンの運動を制御することが可能になってきた。本論文はレーザー光を使って原子線の速度分布の制御や空間の位置・分布の制御を行う方法についての新たな提案及び実験的な実証を行った結果をまとめたものである。主な内容は以下の三点にまとめられる。

第一の研究は、広帯域光源を用いた原子線の速度分布の圧縮、制御、及び速度分布の計測法に関する研究である。筆者等はモード同期チタンサファイアレーザーと外部共振器を用いた高効率波長変換法により高出力の紫外域のコヒーレント光源を開発した。これを用いてイッテルビウム原子線の速度分布圧縮および単一速度化に成功している。また二重共鳴法を用いることにより原子線中の同位体を選別して速度分布を計測する方法を考案し、高精度に速度分布を計測している。これにより各種の原子線制御のための基礎技術を確立している。

第二の研究はレーザー光による原子線の速度及び空間分布の同時制御に関する研究であり、1次元磁気光学トラップを用いた原子ガイドの提案およびその実験研究を行っている。この原子ガイドは原子線の速度分布の制御と原子線のコリメートを同時に行い指向性の高い均一速度ビームを発生することが可能であり、従来にない特徴を持っている。筆者等はシミュレーションにより原子ガイドの設計を行うとともにルビジウム原子線を使って速度分布が狭く指向性の高い原子線の発生に成功している。また、磁気光学トラップの磁場を制御することにより実時間で原子ビームを空間走査することに初めて成功している。これは磁気光学トラップを原子ガイドに導入した結果であり、注目される成果である。

第三の研究は上に開発した原子ガイドを用いた高精度原子チャネルリングに関する研究である。原子線を光の定在波中に通すと光の圧力によって原子をチャネルリングすることが可能で原子描画などへの応用が期待されている。これまで原子線の速度分布や原子線の広がりがこのチャネルリングの精度を制限していた。筆者等は上に開発した原子ガイドを用いることにより従来の原子源では約100nmであったチャネルパターン幅が57nmまで狭窄化できることを実験的に示した。これらの成果は光を用いた高分解能な原子描画など今後の発展が大いに期待できる。

博士（工学）の学位論文として価値のあるものと認める。