

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	高効率冷却原子ビーム生成のための低損失エバネッセント光ファネルの開発
Title(English)	
著者(和文)	佐川研太
Author(English)	Kenta Sagawa
出典(和文)	学位:博士(工学), 学位授与機関:東京工業大学, 報告番号:甲第10003号, 授与年月日:2015年9月25日, 学位の種別:課程博士, 審査員:伊藤 治彦,宗片 比呂夫,梶川 浩太郎,渡辺 正裕,宮本 智之, 小林 潔
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第10003号, Conferred date:2015/9/25, Degree Type:Course doctor, Examiner:,,,,,
学位種別(和文)	博士論文
Category(English)	Doctoral Thesis
種別(和文)	審査の要旨
Type(English)	Exam Summary

論文審査の要旨及び審査員

報告番号	甲第		号	学位申請者氏名		佐川 研太	
論文審査 審査員		氏 名		職 名		氏 名	職 名
	主査	伊藤 治彦		准教授	審査員	宮本 智之	准教授
	審査員	宗片 比呂夫		教授		小林 潔	山梨大学教授
		梶川 浩太郎		教授			
		渡辺 正裕		准教授			

論文審査の要旨（2000 字程度）

本論文は、「高効率冷却原子ビーム生成のための低損失エバネッセント光ファネルシステムの開発」と題し、全 8 章で構成されている。

第 1 章「序論」では、原子を用いた量子機能デバイスやスピン機能デバイスの開発のために高密度冷却原子ビームが有用であり、その生成には既存の手法に比してエバネッセント光ファネルが優れていることを述べている。一方、現状のエバネッセント光ファネルで得られている冷却原子ビームのフラックス強度では不十分であると指摘している。エバネッセント光を励起する中空光ビーム内に閉じ込めることによって出射される冷却原子の長距離誘導を行うこと、表面プラズモン共鳴および中空光ビームの結合効率改善によってエバネッセント光を増強し高フラックス強度化を図ること、さらには近接場光を用いた局所選択的二段階光イオン化によってフラックス強度の高精度計測を実現することを本研究の目的としている。

第 2 章「原子と光の相互作用」では、冷却原子を生成する磁気光学トラップの原理を述べ、エバネッセント光が及ぼす双極子斥力による反射と光強度勾配冷却に基づくレーザー冷却原子の高密度化過程を説明している。また、マクスウェル-ボルツマン分布に従う原子集団のランダムな自然放出を伴う光学遷移を取り扱うモンテカルロシミュレーションによって磁気光学トラップ解放後から出射されるまでの原子の軌跡を求めファネルから出射される冷却原子ビームのフラックス強度を評価する手続きについて述べている。

第 3 章「エバネッセント光ファネル」では、レーザー冷却 Rb 原子を用いた実証実験について述べ、飛行時間法によるアンサンブル温度の評価、共鳴蛍光強度計測による磁気光学トラップからの供給原子数およびファネルから出射される冷却原子ビームのフラックス強度の評価を行っている。特に、ファネル内部へのリーク光を抑制するとともにファネル出射後の原子損失を防ぐ中空光ビームによってエバネッセント光を励起すると、冷却原子ビームのフラックス強度が増加することを明らかにしている。

第 4 章「中空光ビームによる原子誘導」では、レーザー冷却 Rb 原子の閉じ込め実験について述べている。原子の共鳴周波数よりも光の周波数が僅かに高いとき、双極子斥力による原子反射と Λ 型ドレス原子多重 3 準位間遷移に起因する光強度勾配冷却との協同効果によって原子の中空光ビーム内閉じ込めが起こることを説明し、原子誘導効率を評価してファネルから出射される冷却原子ビームのコリメートが可能であることを示している。

第 5 章「表面プラズモン増強エバネッセント光ファネル」では、表面プラズモン共鳴に適する中空光ビームの偏光とファネルの形状について検討している。Rb 原子実験に用いる波長 780nm のレーザー光照射によって金薄膜をコートしたガラス基板上に生じるエバネッセント光の強度を走査近接場光学顕微鏡 (SNOM) を用いて測定し、全反射の場合に比べ表面プラズモン共鳴下では p 偏光のとき 14 倍に円偏光のとき 7 倍に増強されることを明らかにしている。また、円錐、四角錐、三角錐の 3 形状についてフラックス強度を数値評価し、円錐形状ファネルにおいて円偏光で表面プラズモン共鳴を起こす場合が最適であることを示している。

第 6 章「ファネル-中空光ビームカプラー」では、エバネッセント光を効率よく誘起しかつファネル内部へのリーク光を抑制する付加構造について述べている。リーク光によって原子損失が起こることを数値計算によって明らかにし、最適な中空光ビームの内径がファネルの原子出射開口径より大きいことを見出している。その結果をもとにカプラー構造を設計し円錐形状ファネルと一体化したオプティクスの 3D プリント造形を行い、バフ研磨後の表面精度及び SNOM によるエバネッセント光の計測から作製したオプティクスの実用性を立証している。

第 7 章「高効率原子検出器」では、出射原子の個数計測を直接行うためのナノスリットデバイスについて述べている。集束イオンビームを用いて凹型スリットを作製し、Rb 原子の二段階光イオン化に用いる波長 476.5nm の Ar⁺レーザー光の全反射によってスリット上に誘起した近接場光を SNOM で測定し検出効率を評価している。

第 8 章「結論」では、本研究で得られた成果について総括し、エバネッセント光ファネルによって 1 原子/nm²・s のフラックス強度を有する超高密度冷却原子ビームを生成する可能性について論じている。

以上を要するに、本論文は、中空光ビーム励起及び表面プラズモン共鳴によってエバネッセント光ファネルから出射される冷却原子ビームのフラックス強度が増強されることを実験と数値シミュレーションから実証したものであり、工学上ならびに工業上寄与するところが大きい。よって、本論文は博士（工学）の学位論文として価値あるものと認められる。

注意：「論文審査の要旨及び審査員」は、東工大リサーチリポジトリ(T2R2)にてインターネット公表されますので、公表可能な範囲の内容で作成してください。