T2R2 東京科学大学 リサーチリポジトリ
Science Tokyo Research Repository

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)	論文要旨
Type(English)	Summary

Powered by T2R2 (Science Tokyo Research Repository)

（博士課程）
Doctoral Program

論 文 要 旨

THESIS SUMMARY

専攻： Department of	物理電子システム創造　専攻	申請学位（専攻分野）： Academic Degree Requested	博士 Doctor of　（　工学　）
学生氏名： Student's Name	佐川　研太	指導教員（主）： Academic Advisor(main)	伊藤治彦
		指導教員（副）： Academic Advisor(sub)	

要旨（和文 2000 字程度）
Thesis Summary（approx.2000 Japanese Characters ）

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の開発」と題し，全 8 章で構成している．

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が，一方で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ことを示した．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伝送を行うこと，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が本研究の目的である．

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と，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について説明した．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ることで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が可能となった．

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た．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た．

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た．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 型ドレスド原子 3 準位多様体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，原子伝送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た．

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た．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 倍に増強されていることを確かめた．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が分かった．

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た．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た．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 プリンタ造形を行い，バフ研磨後の表面精度を評価し，実用性について評価した．

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た．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た．

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/nm^2・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た．

備考：論文要旨は、和文 2000 字と英文 300 語を 1 部ずつ提出するか、もしくは英文 800 語を 1 部提出してください。
Note：Thesis Summary should be submitted in either a copy of 2000 Japanese Characters and 300 Words (English) or 1copy of 800 Words (English).

注意：論文要旨は、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。
Attention: Thesis Summary will be published on Tokyo Tech Research Repository Website (T2R2).

（博士課程）
Doctoral Program

論 文 要 旨

THESIS SUMMARY

専攻： Department of	物理電子システム創造　専攻	申請学位（専攻分野）： Academic Degree Requested	博士 Doctor of　（　工学　）
学生氏名： Student's Name	佐川　研太	指導教員（主）： Academic Advisor(main)	伊藤治彦
		指導教員（副）： Academic Advisor(sub)	

要旨（英文 300 語程度）
Thesis Summary（approx.300 English Words ）

In this study, to provide ultra high-density cold atoms, we develop an atomic funnel that generates a cold atomic beam from laser-cooled atoms. The atoms are reflected and concentrated by evanescent light field that is generated by total internal reflection of an incident light beam on the surface of funnel shape optics. The repulsive dipole force atoms feel from light field depends on the intensity of the evanescent light. To increase the flux intensity of the atomic beam, it is promising that we reduce the loss of funneling atoms and enhance the evanescent light intensity.

We demonstrate that the atomic funnel with hollow light beam obtains higher flux intensity. Using hollow light beam, evanescent light is generated with less stray light and the outputted atoms are efficiently confined in same time. As a result, the loss of atoms is reduced and the flux intensity is improved. Then, we enhance the evanescent light field by surface-plasmon resonance. When a 780nm incident light enters into a glass-gold interface from the glass side and fulfills the resonance condition, the light intensity rises 14-fold for p-polarization and 7-fold for circular polarization compared to the case without the surface plasmon resonance. We evaluate the flux intensity of a resultant Rb atomic beam for three funnel shapes of a cone, a quadrangular pyramid, and a triangular pyramid. Monte Carlo simulations show that the conical funnel yields the highest flux intensity for circular polarization. A prototype conical funnel is fabricated with a 3D printer. Next, we fabricate a nano-slit atom detector that aims to evaluate flux intensity of the atomic beam with high sensitive two-step photoionization detection. Nanometric near field lights generated on the nano-slit enables ultrahigh spatial resolution detection. We measure the near-field light intensity with a scanning near-field optical microscope and evaluate detection efficiency and spatial resolution.

備考 ： 論文要旨は、和文 2000 字と英文 300 語を 1 部ずつ提出するか、もしくは英文 800 語を 1 部提出してください。
Note : Thesis Summary should be submitted in either a copy of 2000 Japanese Characters and 300 Words (English) or 1copy of 800 Words (English).

注意：論文要旨は、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。
Attention: Thesis Summary will be published on Tokyo Tech Research Repository Website (T2R2).