

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	
Title(English)	Cold Ytterbium Atomic Beam with Sub-Recoil Momentum Width
著者(和文)	細谷俊之
Author(English)	Toshiyuki Hosoya
出典(和文)	学位:博士(理学), 学位授与機関:東京工業大学, 報告番号:甲第12304号, 授与年月日:2023年3月26日, 学位の種別:課程博士, 審査員:上妻 幹旺,藤澤 利正,佐藤 琢哉,西田 祐介,相川 清隆
Citation(English)	Degree:Doctor (Science), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第12304号, Conferred date:2023/3/26, 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

(博士課程)

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	細谷 俊之	
論文審査 審査員		氏名	職名	氏名	職名
	主査	上妻 幹旺	教授	相川 清隆	准教授
	審査員	藤澤 利正	教授		
		佐藤 琢哉	教授		
西田 祐介		准教授			

論文審査の要旨 (2000 字程度)

1991 年に、中性原子が量子的な波として振舞うことを利用した原子波干渉実験が実現された。電子や中性子とは異なり原子は内部構造を有するため、内部自由度を介した重心運動の制御も可能であり、この特質を活かすことで周波数標準、微細構造定数の決定、慣性センサーの実装など、多岐にわたる応用研究が進んでいる。研究の黎明期においては、単純なエネルギー準位を有するアルカリ原子に対し光誘導ラマン遷移を誘起することで、干渉計の構築に必要な分波、反射、合波が実現されていた。近年になり、環境磁場の影響を排除することを目的として、スピンをもたないアルカリ土類様原子に対しブラッグ回折を誘起し、干渉計を構築する研究が注目されるようになってきた。局所重力測定や重力勾配測定においては、既にアルカリ土類様原子の一つである Sr を用いた実験が報告されており、環境磁場に対する耐性の高さが実験的に確認されている。

こうした背景の中、本論文は、アルカリ土類様原子のブラッグ回折型原子波干渉により、超精密な角速度測定を実現するための基礎研究を主題としている。精密な角速度測定は、非 GPS 航法の精度向上、地球の極運動・自転速度の観測、一般相対論の検証(測地効果や慣性の引きずり効果)を行う上で重要な技術となる。原子波干渉計の角速度測定におけるショットノイズ限界感度は原子の速度に比例し、原子フラックスの平方根に反比例し、ブラッグ回折時に原子に与えられる反跳運動量に反比例する。そのため低速で高フラックスな原子ビームに対し高次ブラッグ回折を誘起することが、高感度なジャイロスコープを実装する上で重要となる。

論文は「Cold ytterbium atomic beam with sub-recoil transverse momentum width」と題し、全 5 章から構成されている。第 1 章「Introduction」では、原子波干渉計を用いた加速度・角速度の精密測定に関する先行研究について記載するとともに、アルカリ土類様原子を用いた角速度の精密測定を行う上で、1. 低速、2. 高フラックス、3. 横方向運動量幅が光子反跳運動量以下、の連続原子ビームを生成し、さらに、4. 高次のブラッグ回折を誘起する必要があることを述べている。

第 2 章「Atom interferometer based on Bragg diffraction」では、ブラッグ回折に関する理論的な取り扱いを紹介している。さらに本研究で構築する Yb を用いた冷却原子ビームに対し、ブラッグ回折型原子波干渉計を組んだ場合に予想される感度の見積もりを行い、他のジャイロスコープとの比較をしている。

第 3 章「High-flux cold ytterbium atomic beam using transverse cooling with intercombination transition」では、双極子許容遷移(1S_0 - 1P_1)で生成した高フラックスな冷却 Yb 原子ビームに対し

で、異重項間遷移 ($^1S_0-^3P_1$) を用いた横方向冷却を行うことで運動量幅を光子反跳運動量の数倍まで狭窄化した実験結果について述べている。具体的には、進行方向速度 22-30 m/s の範囲で、光子反跳運動量の 5.7 倍未満の運動量幅と 6.5×10^8 atoms/s 以上の原子フラックスを得たことについて記載している。

第 4 章「Momentum filtering and high-order Bragg diffraction」では、Yb 原子が有する超狭線幅光学遷移 ($^1S_0-^3P_2$) を用いて冷却原子ビームの横方向運動量幅をフィルタリングし、光子反跳運動量幅未満の冷却原子ビームを実現する新しい手法を提案するとともに、当該手法を用いて得られた実験結果について述べている。具体的には、フィルタリング後の冷却原子ビームの横方向運動量幅が $0.2\hbar k$ (k はブラッグ回折に用いるレーザーの波数) であること、またほぼ 100% の効率で元の冷却原子ビームに含まれる前記運動量幅の原子を取り出せたことを記載している。さらに生成した冷却原子ビームに対して最大 10 次のブラッグ回折を観測し、想定している原子波干渉計に適応可能な原子ビームであることを述べている。

第 5 章「Conclusion」では、本研究の実験結果を端的にまとめ、低速 Yb 原子ビームを用いた角速度の精密測定に向けた今後の展望について記載している。

このように学位申請者は、アルカリ土類様原子を用いたブラッグ回折型原子波干渉ジャイロスコープを実現する上で心臓部となる冷却 Yb 原子ビーム源について、「双極子許容遷移を用いた 2 次元冷却」、「異重項間光学遷移を用いた 2 次元冷却」、「超狭線幅光学遷移を用いた運動量フィルタリング」を組み合わせるといった独自の手法により、所望の性能を実現することに世界で初めて成功している。最大 10 次のブラッグ回折の実証にも成功しており、これらの成果から想定される角速度測定のショットノイズ限界感度が、現状最高性能を有する巨大ジャイロスコープの性能を超える可能性が十分にあることも示している。新規性の高い研究が数多くなされており、また実験技術、実験データ解析能力、理論的考察力、その全てにおいて卓越した能力をもっているといえ、博士(理学)の学位に十分値するものと考えられる。

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。