

学 位 審 査 報 告 書

(ふ り が な) 氏 名	おかのまさゆき 岡野 真之
学位 (専攻分野)	博 士 (理 学)
学 位 記 番 号	理 博 第 号
学位授与の日付	平成 年 月 日
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当
研 究 科 ・ 専 攻	理学研究科 物理学・宇宙物理学専攻
(学位論文題目) Simultaneous Magneto-Optical Trapping of Lithium and Ytterbium Atoms: Towards Production of Ultracold Polar Molecules (超低温極性分子生成に向けたリチウムおよびイッテルビウム原子の同時磁気光学トラップ)	
論 文 調 査 委 員	(主査) 高橋義朗 教授 川上則雄 教授 松田祐司 教授

理 学 研 究 科

京都大学	博士（理学）	氏名	岡野真之
論文題目	Simultaneous Magneto-Optical Trapping of Lithium and Ytterbium Atoms :Towards Production of Ultracold Polar Molecules (超低温極性分子生成に向けたリチウムおよびイッテルビウム原子の同時磁気光学トラップ)		
(論文内容の要旨)			
近年、中性原子のレーザー冷却技術が開発され、マイクロケルビン台の極低温の原子集団を用意することが可能になり、物性、量子情報、原子時計、その他様々な研究に用いられている。さらに、蒸発冷却とよばれる方法により、ナノケルビン台まで冷却することが可能になり、ボース・アインシュタイン凝縮体やフェルミ縮退などの量子気体が生成され、その物性研究が盛んに研究されている。さらに極最近になって、原子と違い異方的かつ長距離に及ぶ相互作用をする極性分子が注目されるようになった。本論文は、リチウム原子とイッテルビウム原子の組み合わせからなる極性分子に着目し、電子スピンと電気双極子モーメントの両方を持つ超低温極性分子リチウム・イッテルビウム生成に向けて実験系を立ち上げ、原子源の開発、真空槽の設計と構築、各種レーザー冷却用の光源系開発を行い、世界で初めて両原子種を同時に磁気光学トラップにより捕獲および冷却し、原子数と温度を評価することに成功したことを報告するものである。 2つのアルカリ原子からなる極性分子の研究について現在盛んに研究が行われているが、アルカリ2原子分子の基底状態はスピン一重項であり、電子スピンの自由度はない。本研究では、アルカリ2原子分子ではなく、アルカリ原子であるリチウム原子と2電子系でアルカリ土類的な電子構造をもつイッテルビウム原子の組み合わせからなる極性分子に着目した。この組み合わせの分子の基底状態は電子スピンの自由度があり、電子スピンと電気双極子モーメントの両方を持つことになり、格子スピン系の量子シミュレーションなど様々な重要な応用が期待されている。それぞれの原子を超低温に冷却したのちに、ラマン遷移により分子の振動基底状態に遷移させることにより、超低温極性分子を実現することが可能であり、それぞれの原子を超低温に冷却することが最初の重要なステップである。 本研究では、まず、リチウムとイッテルビウムが共存する新たな特殊原子源の開発を行った。さらに、高電場を印加可能で、かつ生成したどのような分子もトラップ可能な炭酸ガスレーザーを光トラップ光源として入射可能な特殊なガラスセルを配置した真空槽の設計と構築を行なった。さらに、リチウム原子の光学遷移に共鳴したゼーマン減速用光源と磁気光学トラップ用光源としての高安定色素レーザーの立ち上げ、プローブ用光源としての外部共振器型半導体レーザーの開発、および、イッテルビウム原子の一重項遷移に共鳴したゼーマン減速用光源として外部共振器型半導体レーザー・半導体増幅器・共鳴型第2次高調波発生器システムの開発、プローブ用光源としての高安定外部共振器型半導体レーザーの開発を行った。これらを組み合わせることにより、世界で初めて両原子種を同時に磁気光学トラップにより捕獲および冷却することに成功した。また、両原子数を同時に捕獲する際にそれぞれの原子の近共鳴光による大きなロスが観測されなかったことから、リチウム・イッテルビウム原子間の光誘起非弾性衝突レートが比較的小さいことを明らかにした。さらに、本研究では、将来の超低温極性分子リチウム・イッテルビウム生成に向けて、3次元光格子の導入による分子クラスター状態生成の抑制、1ミクロン付近の波長を持った光トラップの有効性、など、重要な考察を行った。			

(続紙 2)

(論文審査の結果の要旨)

近年、中性原子に対してレーザー冷却や蒸発冷却の技術が開発され、ナノケルビン台まで中性原子を冷却することが可能になり、その結果、ボース・アインシュタイン凝縮体やフェルミ縮退などの量子気体が生成され、その物性研究が盛んに研究されている。極最近になって、原子と違い異方的かつ長距離に及ぶ相互作用をする極性分子が注目されるようになってきている。申請者は、現在盛んに研究が行われている2つのアルカリ原子からなる極性分子ではなく、リチウム原子とイッテルビウム原子の組み合わせからなる極性分子に着目した。アルカリ原子であるリチウム原子と2電子系でアルカリ土類的な電子構造をもつイッテルビウム原子の組み合わせからなる極性分子では、その分子基底状態は電子スピンの自由度があり、したがって、電子スピンと電気双極子モーメントの両方を持つことになる。申請者は、この電子スピンと電気双極子モーメントの両方を持つ超低温極性分子リチウム・イッテルビウム生成に向けて実験系を立ち上げ、原子源の開発、真空槽の設計と構築、各種レーザー冷却用の光源系開発を行い、世界で初めて両原子種を同時に磁気光学トラップにより捕獲および冷却し、原子数と温度を評価することに成功した。それぞれの原子を超低温に冷却したのちに、ラマン遷移により分子の振動基底状態に遷移させることにより、超低温極性分子を実現することが可能であり、それぞれの原子を超低温に冷却することが最初の重要なステップで、申請者は世界に先駆けてこれを達成した。

申請者は、まず、リチウムとイッテルビウムが共存する新たな特殊原子源の開発を行った。さらに、高電場を印加可能で、かつ生成したどのような分子もトラップ可能な炭酸ガスレーザーを光トラップ光源として入射可能な特殊なガラスセルを配置した真空槽の設計と構築を行なった。さらに、リチウム原子の光学遷移に共鳴したゼーマン減速用光源と磁気光学トラップ用光源としての671nmの波長域での高安定な色素レーザー光源の立ち上げ、プローブ用光源としての671nmの外部共振器型半導体レーザーの開発、および、イッテルビウム原子の一重項遷移に共鳴した399nmのゼーマン減速用光源として外部共振器型半導体レーザー・半導体増幅器・共鳴型第2次高調波発生器システムの開発、399nmのプローブ用光源としての高安定外部共振器型半導体レーザーの開発を行った。これらを組み合わせることにより、世界で初めて両原子種を同時に磁気光学トラップにより捕獲および冷却することに成功した。また、両原子数を同時に捕獲する際にそれぞれの原子の近共鳴光による大きなロスが観測されなかったことから、リチウム・イッテルビウム原子間の光誘起非弾性衝突レートが比較的小さいことを明らかにした。さらに、申請者は、将来の超低温極性分子リチウム・イッテルビウム生成に向けて、3次元光格子の導入による分子クラスター状態生成の抑制、1ミクロン付近の波長を持った光トラップの有効性、など、重要な考察を行った。

以上のように、申請者の研究によって、格子スピン系の量子シミュレーションなど様々な重要な応用が期待されている超低温イッテルビウム・リチウム極性分子実現への道が切り開かれた。これらの研究は、世界に先駆けたもので、すでに学術雑誌や国内・国際会議などを通して、国の内外を問わず脚光を浴びている。これらの研究は、今後、光・原子・分子物理学、量子情報処理、量子エレクトロニクス、など、多くの研究分野への貢献も多大であり、高く評価できる。

よって、本論文は博士(理学)の学位論文として価値あるものと認める。また、平成21年12月24日、論文内容とそれに関連した事項について口頭試問を行った。その結果、合格と認めた。

要旨公開可能日： 年 月 日以降