

研究種目：基盤研究（A）

研究期間：2006～2009

課題番号：18204035

研究課題名（和文） 量子縮退イッテルビウム原子気体の物理：多様性の新展開

研究課題名（英文） Physics of Quantum Degenerate Ytterbium Atomic Gases:  
new stage of diversity

研究代表者

高橋 義朗（TAKAHASHI YOSHIRO）

京都大学・大学院理学研究科・教授

研究者番号：40226907

研究分野：数物系科学

科研費の分科・細目：物理学 原子・分子・量子エレクトロニクス

キーワード：レーザー冷却、ボース・アインシュタイン凝縮、フェルミ縮退、光格子、混合気体、超流動、モット絶縁体

### 1. 研究計画の概要

これまで主に研究の対象とされてきたアルカリ原子系と大きく異なる、ユニークな特徴のある原子系として、イッテルビウム（Yb）原子に着目し、Yb 原子のユニークな特徴を最大限に生かした全く新しい量子縮退系の実現と、その新たな可能性を探る研究を本格的に行おうというものである。特に、BEC やフェルミ縮退の混合、異核分子の BEC やフェルミ縮退、軌道角運動量をもった準安定状態 BEC やフェルミ縮退、を対象として、「多成分混合多様量子縮退系の実現とその特異な物性解明」を研究目的とする。

### 2. 研究の進捗状況

まず、混合量子気体として、 $^{174}\text{Yb}$ （ボソン）と  $^{173}\text{Yb}$ （フェルミオン）の混合系を生成することに成功した。この系を用いて、BEC の 4 重極振動を観測してフェルミオンの影響を調べた。また、 $^{174}\text{Yb}$ （ボソン）と  $^{176}\text{Yb}$ （ボソン）の混合系を生成することに成功した。特に、 $^{176}\text{Yb}$  は引力相互作用する系であり、興味深い原子数ロスの振舞いが観測された。また、 $^{173}\text{Yb}$  原子  $^{171}\text{Yb}$  原子の同時フェルミ縮退の混合、を実現することができた。特に、それぞれの原子にスピン自由度が存在し、様々な応用が考えられる。

さらに、これまでに開発した準安定励起状態  $3P_2$  への直接励起用光源を用いて、基底状態  $1S_0$  から、軌道角運動量をもった準安定状態  $3P_2$  へ直接励起することにより、BEC を  $3P_2$  状態に励起することに成功した。

また、 $^{173}\text{Yb}$  原子のフェルミ縮退と  $^{174}\text{Yb}$

原子のボース凝縮体からなるフェルミオン分子を 2 光子光会合法により生成することに成功し、その生成効率を詳しく調べた。

さらに、大きな電気双極子モーメントをもった極性分子  $\text{LiYb}$  の生成を目指し、Li および Yb 原子の同時レーザー冷却に成功した。

また、いくつかの Yb 量子気体を 3 次元光格子に導入することに成功した。まず、 $^{174}\text{Yb}$  原子を 3 次元光格子に導入して、光強度を調節することにより、干渉パターンを観測することで、超流動・モット絶縁体転移を観測することに成功した。モット状態を示す干渉パターンも消失は、単なる熱的なデコヒーレンス等によるものではなく、再び光格子ポテンシャルを低くすると、系全体として再び位相コヒーレンスが速やかに復活して、再び干渉パターンが観測されることを確認した。また、フェルミ・ボースの混合気体も 3 次元光格子に導入することに成功した。斥力相互作用するフェルミ・ボース混合気体の場合は、ボース気体の超流動性はフェルミオンの存在によってあまり影響を受けないことが確認された。これは相分離の可能性を示唆する結果であり、別に行った光会合の測定結果とも一致した。

### 3. 現在までの達成度

当初の計画以上に進展している。

理由：当初計画した多成分混合多様量子縮退系についておおむね実現できただけでなく、それを光格子系へ導入して、その強相関の振舞いを調べることに成功したり、 $\text{YbLi}$  のような特異な極性分子の生成に向けても大きく

進展することができたので、さらなる研究の展開が可能になったため。

#### 4 . 今後の研究の推進方策

基本的には、当初の計画通りに進めていくが、研究の予想以上の進展に伴い、光格子や、極性分子、さらには、高分解能レーザー分光などの、新たな可能性にも研究を展開していく。

#### 5 . 代表的な研究成果

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

##### (1) [雑誌論文](計5件)

A. Yamaguchi, S. Uetake, D. Hashimoto, J.M. Doyle, Y. Takahashi “ Inelastic Collisions in Optically Trapped Ultracold Metastable Ytterbium ” Phys. Rev. Lett 101, 233002-1-4(2008) , 査読有

T. Takano, M. Fuyama, R. Namiki, and Y. Takahashi “ Spin squeezing of a cold atomic ensemble with the nuclear spin of one-half ” Phys.Rev.Lett 102, 033601-1-4 (2009) , 査読有

K. Enomoto, K. Kasa, M. Kitagawa, and Y. Takahashi, “ Optical Feshbach Resonance Using the Intercombination Transition ”, Phys. Rev. Lett 101, 203201-1-4(2009) , 査読有

T. Fukuhara, S. Sugawa, Y. Takasu, and Y. Takahashi, “ All-Optical Formation of Quantum Degenerate Mixtures ” , Phys. Rev. A 79, 021601(R)1-4 (2009) , 査読有

T.Fukuhara, S. Sugawa, M.Sugimoto, S.Taie, and Y.Takahashi, “ Mott insulator of ultracold alkaline-earth-metal-like atoms ” Phys. Rev. A 79, 041604(R)1-4(2009) , 査読有