

光格子中のイッテルビウム原子の高感度その場発光イメージング

レーザー冷却によって実現された極低温中性原子気体研究において、いかに原子を観測するかは重要な課題である。特に、極低温原子の高感度観測は、少数個もしくは単一の原子からなる基礎的な量子系の研究に、大きな役割を果たしてきた。

しかし、冷却原子の高感度観測は、容易には実現しない。冷却原子の観測においては、原子をプローブするために用いる光が原子に対して加熱を引き起こしてしまい、観測中に原子が移動する、あるいは、トラップポテンシャルから逃げてしまう、という難点があるからである。これまで、単一中性原子が観測可能な高感度イメージングは、対向するレーザーによるレーザー冷却（光モラセス（糖蜜）と呼ばれる）を利用した発光イメージングと、深いトラップポテンシャルとの組み合わせによって、アルカリ原子についてのみ実現されてきた。

一方で、冷却原子研究において、アルカリ原子以外の原子についての興味も最近高まっている。その1つにアルカリ土類様原子であるイッテルビウム（Yb）原子があげられる。Yb は、5種のボソン安定同位体と2種のフェルミオン安定同位体とを持ち、多様な興味深い異種粒子混合系（ボソン-フェルミ混合系、フェルミ-フェルミ混合系）を作り出すことができる。また、基底状態である 1S_0 状態と 3P_0 状態もしくは 3P_2 状態との間に超狭線幅光学遷移（自然幅約 10 mHz）を持ち、この光学遷移を用いて原子のエネルギー状態の高精度測定が可能であるという点も魅力的である。

最近、京都大学大学院理学研究科の研究グループは、Yb 原子の波長 556nm の狭線幅光学遷移（自然幅 180 kHz）による冷却用の光モラセスと波長 399nm の強い光学遷移による高空間分解プローブ用の光モラセスとを同時に適用する“2重光モラセス”によって、格子間隔 266nm の2次元光格子中（光により作られた空間的に周期的なポテンシャル）の ^{174}Yb を、単一原子観測可能な感度でその場イメージングすることに成功した。この成果は、日本物理学会が発行する英文誌 Journal of the Physical Society of Japan (JPSJ)の 2014 年 1 月号に掲載された。

研究グループは、Yb 原子のボソン同位体である ^{174}Yb の量子気体を生成し、2次元光格子内に導入した（図1）。そして、これに対し、2重光モラセスビームを照射することで、光格子中の原子のその場発光イメージングを行った。1つの重要な結果として、周期約 6 μm をもつ発光パターンが観測された（図2）。これは、波長 556 nm のモラセス光が作る定在波のピッチ 278 nm が原子同

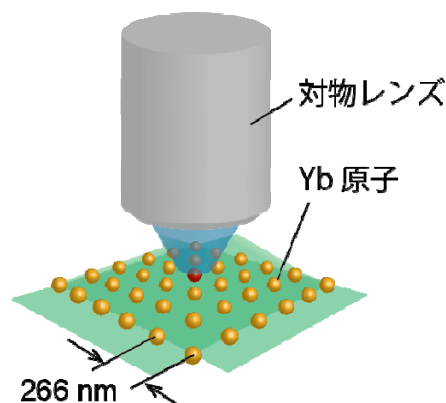


図1. 光格子中の Yb 原子の高感度その場イメージングの原理図

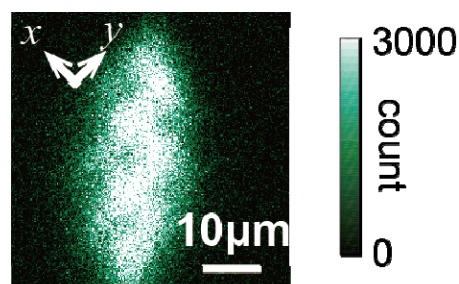


図2. 2次元光格子中の ^{174}Yb 原子からの蛍光（波長 556 nm）のモアレパターン

士の間隔(266 nm)と異なるために生じる、各格子点でのモラセス光強度の空間変調パターン（いわゆるモアレパターン）であった。モアレパターンの出現は、波長 556 nm の狭線幅光学遷移によるドップラー冷却（ドップラー限界温度 $4.4 \mu\text{K}$ ）によって、原子温度が光格子深さ（各軸あたり $\sim k_B \times 100 \mu\text{K}$, k_B : ボルツマン定数）に比べ低く保たれていた結果、イメージングの間、原子が各格子点付近に局在していたことを示唆している。さらに、適切に調整された 2 重光モラセスを用いることで、高感度その場発光イメージングが実現された。2 重光モラセス中の原子の寿命 460 ms に比べて十分短い（したがって、イメージング中の原子の移動およびロスが実質的に無視できる）露光時間 50ms の間に観測された波長 399 nm の蛍光量（1 原子あたり 40 光子）は、単一原子検出に十分なものであった。

以上の成果は、上述のような特長を持つイッテルビウムの量子気体系、特に、光格子中の強相関量子気体研究に新たな可能性を開くものである。また、この結果は、固体との対応性の観点から注目を集めているフェルミオン光格子系研究での個別フェルミオン原子の観測、さらには多様な量子気体混合系のこれまでにない観点からの研究にもつながるものであり、研究の今後のさらなる進展が期待される。

原論文

[High-Sensitivity *in situ* Fluorescence Imaging of Ytterbium Atoms in a 2D Optical Lattice with Dual Optical Molasses](#)

[Kosuke Shibata, Ryuta Yamamoto, and Yoshiro Takahashi: J. Phys. Soc. Jpn. **83** \(2014\) 014301](#)

問合せ先：柴田康介（京都大学大学院理学研究科）

高橋義朗（京都大学大学院理学研究科）