

O-7

## ハイブリッドトラップによる $^{87}\text{Rb}$ 原子気体のボース・アインシュタイン凝縮体の生成 Generation of Bose-Einstein condensates of $^{87}\text{Rb}$ atomic gas with a hybrid trap

○吉原孝久<sup>1</sup> 柴山均<sup>2</sup> 桑本剛<sup>3</sup>\*Takahisa Yoshihara<sup>1</sup>, Hitoshi Shibayama<sup>2</sup>, Takeshi Kuwamoto<sup>3</sup>

**Abstract:** We generated of Bose-Einstein condensates in hybrid trap, which is a combined atom trap with a magnetic and an optical potential. The coil currents for the magnetic potential could be lowered to 12 A, which was 12-A lower than usual generation of condensates with magnetic potential alone.

### 1. はじめに

ボース・アインシュタイン凝縮とは、巨視的な数の粒子が最低エネルギー準位に落ち込む現象である。凝縮したすべての粒子は同一の量子状態にあり、1つの巨視的な波動関数で記述することが出来る。1995年にJILAのグループが $^{87}\text{Rb}$ 原子気体のボース・アインシュタイン凝縮体(以下BECと略す)の生成に成功した。我々の研究室でも2008年に $^{87}\text{Rb}$ によるBECの生成に成功している。

今回我々は、ハイブリッドトラップ[1]を用いたBECの生成を行った。ハイブリッドトラップとは、磁気ポテンシャルと光ポテンシャルを同時に用いて原子集団を捕獲および冷却し、BECを生成する方法である(ただし、本研究での光ポテンシャルは単独で原子を捕獲できるほど強くはない)。ハイブリッドトラップでは、光ポテンシャルが磁気トラップによるポテンシャルを補助するので、磁気トラップコイルに流す電流を減らすことができる。これにより、コイルに発生するジュール熱が下がり熱的なポテンシャルの変動を抑制できるため、より安定にBECを生成できる。

### 2. ハイブリッドトラップ

$^{87}\text{Rb}$ 原子集団を捕獲する磁気ポテンシャルを形成するために、我々は一組の四重極コイルとIoffeコイルで構成されるQUIC磁気トラップ[2]を使用している(Fig.1参照)。トラップの磁場極小点付近に調和振動子型ポテンシャルが形成され原子集団が捕獲される。

光ポテンシャルは、原子遷移の共鳴周波数から離調をとったレーザー光によって形成される。原子は離調を正にとると正の、負にとると負のポテンシャルを感じる。磁気ポテンシャルの補助ポテンシャルを簡便に得るために、我々はRb原子の主要な遷移(遷移波長:780 nm および795 nm)から負に離調した波長1064 nmのYVO<sub>4</sub>レーザーを光源として用いた。

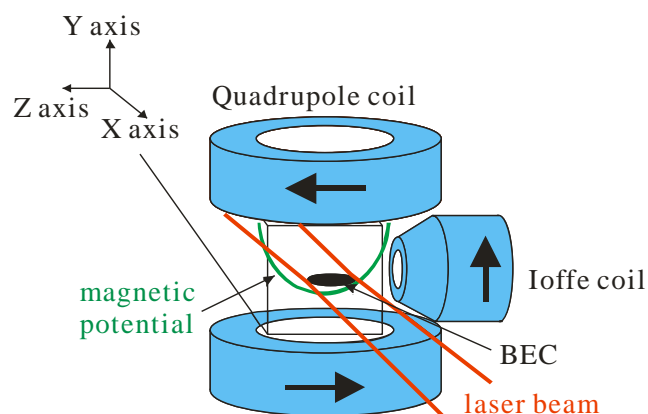


Fig.1 Schematic diagram of the QUIC trap. Arrows on coils indicate the direction of the electric currents.

### 3. 実験

#### (1) 磁気トラップ中でのBEC生成可能な磁気トラップコイル電流値の調査

通常我々は、四重極コイル電流24.00 A、Ioffeコイル電流28.00 Aで磁気トラップ単独でのBEC生成を行っている。予備実験として、BECが生成できる最小のコイル電流値を調査した。四重極コイル電流15.00 A(Ioffe電流:17.72 A)ではBECが生成できたが、13.00 A(Ioffe電流15.41 A)では生成できなかった。そこで、四重極コイル電流13.00 Aでハイブリッドトラップを行ないBEC生成実験を試みた。

#### (2) 光ポテンシャルの形成

光ポテンシャルを形成するために、レーザーをファイバーに通してガウシアンビームを作り、各種レンズで平行ビーム化したあと、焦点距離1000 nmのアクロマートレンズで集光シビュポートを介して真空チャンバーに入射した。入射前のレーザーパワーは293.6 mWであった。焦点でのウエスト直径は152 μm、光ポ

1. 日大・院(前)・量子 2. 日大・院(後)・量子 3. 日大・教員・量科研

テンシャルの深さは  $3.9 \mu\text{K}$  と見積もられた。

### (3) ハイブリッドトラップ中での BEC の生成

レーザー冷却により予備冷却された原子集団を磁気トラップへ導入すると同時に光ポテンシャルビームを照射した(Fig.1 参照). その後ラジオ波照射による蒸発冷却を行い BEC を生成した.

## 4. 実験結果

BEC が生成されていることを確認するために、ハイブリッドトラップ中で原子集団を蒸発冷却したあとトラップを瞬時に切り原子集団を BEC を 20 ms 間自由落下させ吸収イメージングを行った(Fig3). BEC が生成された場合、自由落下中の原子集団はトラップのポテンシャル形状を反映して、BEC に特有の膨張を行う。Fig.3 に見られる原子集団の非等方的な形状は BEC の特徴を示しており、これにより BEC が生成されたことを確認できた。

今回ハイブリッドトラップを行った結果、四重極コイルの電流値を 12.00 A, Ioffe コイルの電流値を 14.24 A まで下げた状態で BEC を生成することができた。この時の蒸発冷却のラジオ波最終周波数は 560 kHz であり、最大凝縮原子数は  $1.1 \times 10^5$  個であった。Fig.4 は、四重極コイル電流を 12, 13, 14 A と変えたときの磁気トラップ単独およびハイブリッドトラップでの BEC 生成における、トラップ中原子集団のイメージング画像である。磁気トラップ単独での場合は水平方向への原子集団の広がりが大きい、ハイブリッドトラップ中ではこれが大きく抑制されている。これにより、光ポテンシャルが磁気ポテンシャルの補助として有効に働いていることが分かる。

## 5. まとめと今後の課題

磁気および光ポテンシャルを組み合わせたハイブリッドトラップによる BEC の生成を試みた。磁気トラップ単独では不可能な磁気トラップコイル電流値での BEC 生成に成功した。BEC 原子数は、(より高い電流値での) 磁気トラップにのみを用いた BEC 生成と遜色ないものであった。今回はレーザーを 1 方向からのみ入射したが、今後は 2 方向からレーザービームを入射し交差させる交差型光トラップを導入し、更なる BEC 原子数増大を試む予定である。

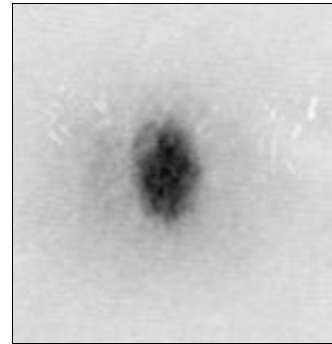


Fig.3 Absorption image of BEC generated in hybrid trap with the quadrupole current of 12 A, taken after 20-ms ballistic expansion.

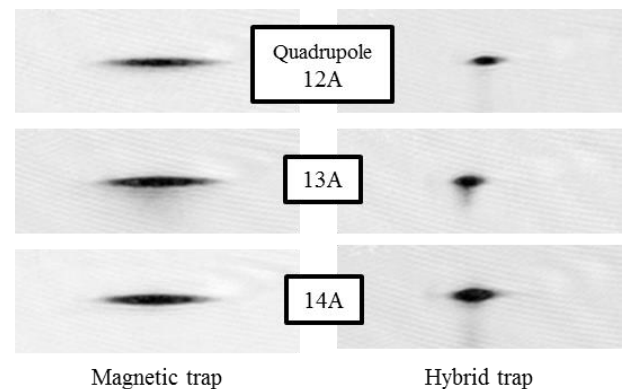


Fig.4 Images of atom clouds taken after evaporative cooling at various quadrupole currents in the cases of the magnetic-trap (left) and the hybrid-trap (right) BEC generation.

## 参考文献

- [1] M. Zaiser, J. Hartwig, D. Schlippert, U. Velte, N. Winter, V. Lebedev, W. Ertmer, and E. M. Rasel, Phys. Rev. A **83**, 035601 (2011)
- [2] Tilman Esslinger, Immanuel Bloch, and Theodor W. Hänsch, Phys. Rev. A **58**, R2664 (1998)