

O-6

コンパクトな  $^{87}\text{Rb}$  原子ボース・アインシュタイン凝縮体生成システム構築のためのレーザー冷却装置の開発Developments of a laser cooling apparatus of  $^{87}\text{Rb}$  atoms for a compact Bose-Einstein condensate generation system○江口真未<sup>1</sup>, 桑本剛<sup>2</sup>\*Mami Eguchi<sup>1</sup>, Takeshi Kuwamoto<sup>2</sup>

Abstract: We are building a simple and compact experimental system for generating the Bose-Einstein condensates of  $^{87}\text{Rb}$  atoms. As the development process, we report the constructed vacuum and optical systems for laser cooling of  $^{87}\text{Rb}$  atoms.

## 1. はじめに

レーザー冷却とは、レーザー光を用いて気体分子の温度を絶対零度近くまで冷却する方法であり、ボース・アインシュタイン凝縮 (Bose-Einstein Condensation: BEC) の前段階[1]や量子情報技術[2]に応用されている。本研究ではレーザー冷却の一種であるドップラー冷却、特にレーザー光と磁場を組み合わせ原子の冷却と捕獲を同時に行う、磁気光学トラップ (Magneto-optical Trap: 以下 MOT) [3]を開発した。MOT はレーザー光とアンチヘルムホルツコイルによってできる四重極磁場で実現される。また、ボース・アインシュタイン凝縮体生成の第一段階であり、非常に重要な技術である。

我々の研究室では、2008 年に QUIC (Quadrupole Ioffe Configuration) 型の磁気トラップ中で  $^{87}\text{Rb}$  原子の BEC 生成に成功している。しかしながら、この BEC 生成の実験系は大きく複雑なものである。本研究では、BEC 生成に向けたよりシンプルかつコンパクトな  $^{87}\text{Rb}$  MOT 装置の開発を行ったので報告する。

## 2. 実験装置

## 2-1. 真空系

Fig.1 に真空系の概要を示す。真空系は、主容器となる電解研磨したステンレス製金属チャンバー、ベーキング時にターボ分子ポンプを接続する超高真空用メタルバルブ、超高真空をつくるためのイオンポンプ (排気速度: 20 l/s)、ガラスセル (この内部で  $^{87}\text{Rb}$  の MOT を行う)、真空を測定するためのヌードゲージ、 $^{87}\text{Rb}$  原子源であるディスペンサーから構成される。Rb ディスペンサーはクロム酸ルビジウムと還元剤の混合物をステンレス容器に封入したもので、電流を流すことによって温度を上昇させ、還元反応を起こすことで Rb 原子のみを放出させる。

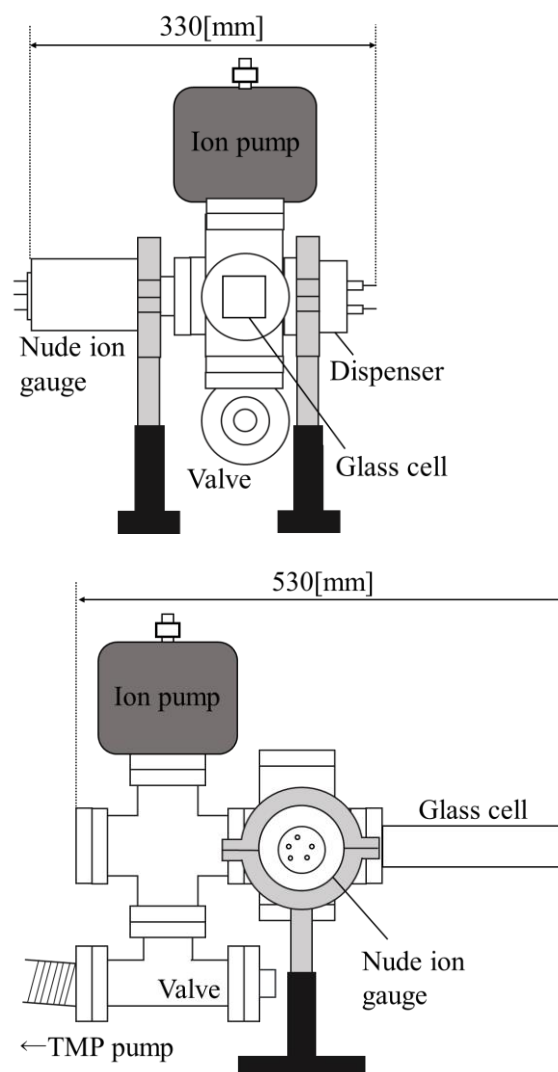


Figure 1. Two directional view of vacuum system.

真空系を組み立て後、まずターボ分子ポンプで真空系全体の真空引きをしリークチェックを行った。その後より低い真空度を得るために、真空系内面に付着した水分子などを加熱によって取り除く“ベーキング”を行った。今回目標温度は 200°C に設定し、約 1 週間のベーキングを 5 回行った。ベーキング終了後、十分に

温度が下がってからイオンポンプのスイッチを入れた。バルブを開けた状態では  $7.5 \times 10^{-11}$  [Torr], バルブを閉めた状態では  $1.1 \times 10^{-10}$  [Torr] の最高到達真空度を得ることができた。これは MOT 生成には十分な高真空である。

### 2-2. 光学系

MOT は閉じた 2 準位間の遷移を利用する。Rb の主要な光学遷移には D1 線(遷移波長 795nm)と D2 線(同 780nm)の 2 つが存在し、通常レーザー冷却には遷移強度の強い D2 線を使う。Fig.2 に  $^{87}\text{Rb}$  原子の D2 線の超微細構造とレーザー冷却に関する遷移を示す。本研究では  $F=2 \rightarrow F'=3$  の遷移を MOT 遷移として使用する。しかしわずかながら  $F'=2$  準位へ励起される確率があり、冷却機構に寄与しない  $F=1$  準位への脱励起過程が存在する。そのため  $F=1 \rightarrow F'=2$  遷移に周波数を合わせたリポンプ光を照射し、MOT を有効に働かせる。

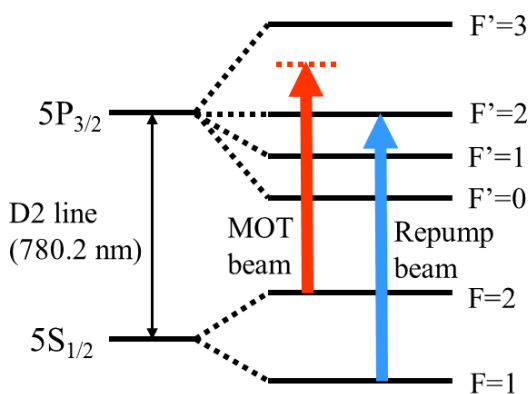


Figure 2. Hyperfine structure of  $^{87}\text{Rb}$ .

Fig.3 に光学系の概要を示す。緑色の点線が MOT 光の系、黄色の点線がリポンプ光の系である。MOT 光用のレーザー (MOT レーザー) は Sacher Lasertechnik 社の主発振器出力増幅レーザー(TEC-420-0780-1000), リポンプ光用のレーザーは手作りの外部共振器型半導体レーザーを用いている。

MOT をするためには 2 台のレーザーの周波数変動を 1 MHz 程度以内に抑制する必要がある。ドップラー効果を排除する飽和吸収分光法を元にした 2 つの方法 (MOT レーザーは偏光分光法, リポンプレーザーは半導体レーザーへの注入電流を変調する方法) によってこれを行った。偏光分光法は、スピン偏極した原子に直線偏光したレーザー光を入射したとき、レーザー光の偏光がレーザー光周波数と原子遷移共鳴周波数との差に依存して回転する現象 (光誘起複屈折効果[4]) を利用して制御信号を得る方法である。一方注入電流を

変調する方法は、半導体レーザーへの注入電流を 1kHz で変調し、ロックインアンプによる検波を経て制御信号を得る。得られた制御信号をそれぞれのレーザーのコントローラーにフィードバックして 2 台のレーザーの発振周波数をロックした。制御信号の時間変動から、2 台とも MOT に必要な 1 MHz 以下の周波数変動に制御されていると考えられる。

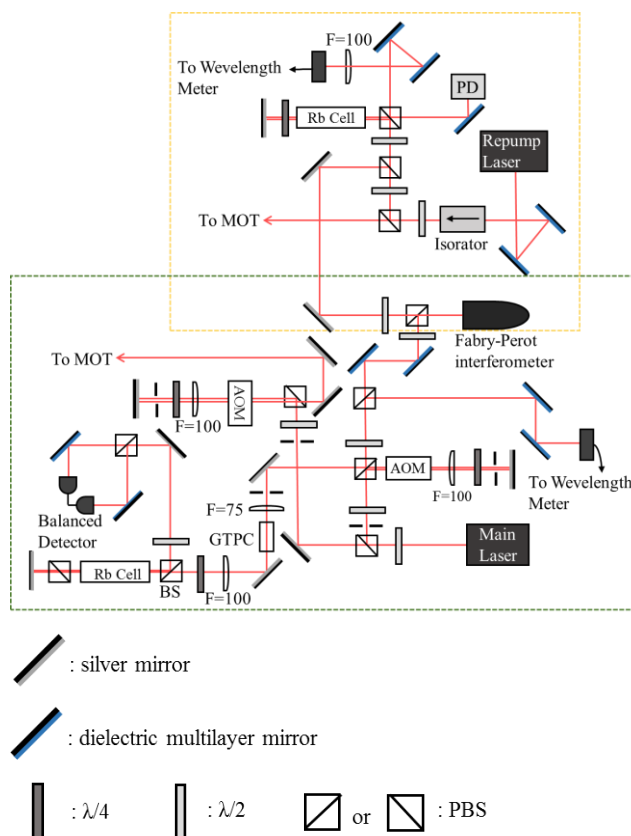


Figure 3. Optical setup. yellow square: repump beam system, green square: MOT beam system.

### 3. まとめと今後の課題

$^{87}\text{Rb}$  を用いた MOT の装置を作成した。この系で MOT 行うと同時に、より多くの  $^{87}\text{Rb}$  原子を MOT 中で冷却・捕獲することを目指していく。

### 4. 参考文献

[1] M. H. Anderson, J. R. Ensher, M. R. Matthews, C. E. Wieman, and E. A. Cornell, *Science* **269**, 198 (1995).  
 [2] T. Hecht, Master's thesis Technische Universität München 2004.  
 [3] E. L. Raab, M. Prentiss, Alex Cable, Steven Chu, and D. E. Pritchard, *Phys. Rev. Lett.* **59**, 2631 (1987).  
 [4] Y. Yoshikawa et al., *Applied Optics* **42**, 6645 (2003).