

## [目的]

準安定状態アルゴン原子を用いて、磁気光学トラップ (MOT) を生成することを目的とする。

## [方法]

### ・MOT 生成

Ar 原子を放電により基底状態→準安定状態に励起する。この際、液体窒素により Ar 原子の最確速度を下げる。

1. Zeeman 同調法により Ar 原子を減速させる。
2. 四重極磁場と 4 本レーザーにより Ar 原子を捕捉する。

右図が実験装置の概略である。

Zeeman コイルで減速された Ar 原子を trap chamber 内で捕捉する。Ar ガス流入前の真空度は、  
source chamber  $6.6 \times 10^{-7}$  Torr  
trap chamber  $3.8 \times 10^{-9}$  Torr  
である。

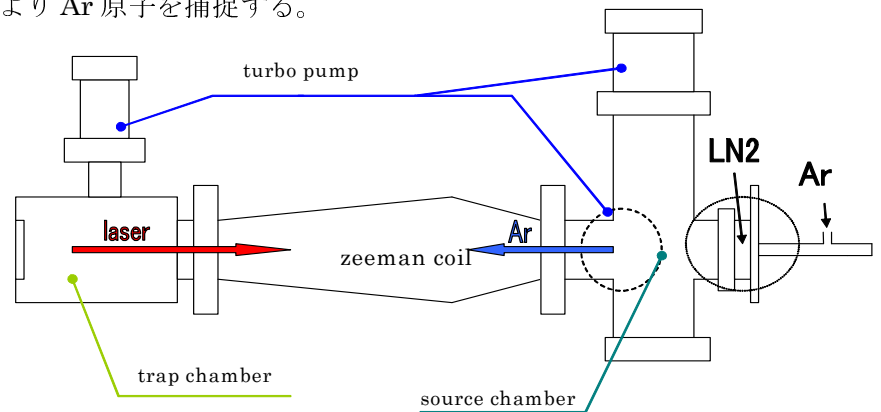


図 1 MOT 装置概略

### ・磁気光学トラップ (MOT)

MOT を行うには反ヘルムホルツコイルにより四重極磁場を作り、磁場の中心に向かって、負に離調した円偏光を互いに直行する 3 方向の両側から当てる。対向するレーザーは逆向きの円偏光とする。右図はレーザーの進行方向に対しての偏光状態を示してある。磁場 0 の中心から外れた原子は磁場により、ゼーマン分裂を起こす。

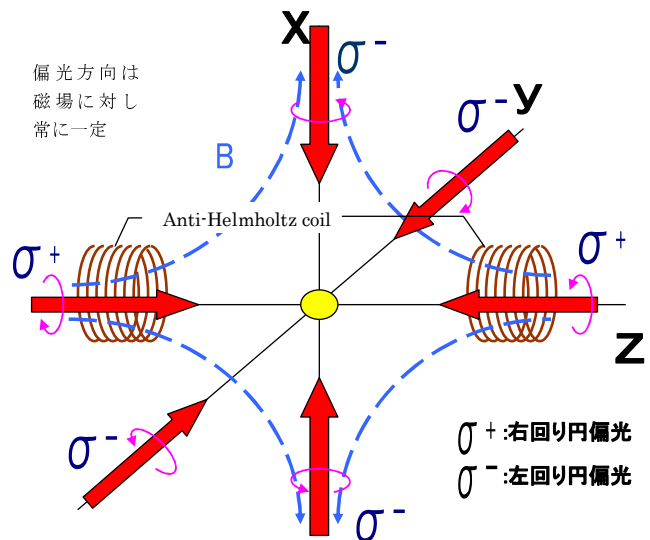


図 2 磁気光学トラップ

右回り円偏光  $\sigma_+$  は  $m = +1$  への遷移を誘導し、左回り円偏光  $\sigma_-$  は  $m = -1$  への遷移を誘導する。原子が中心から外れた際に、中心方向に向かうレーザーをより吸収するように偏光を調整することで、常に中心方向へ受ける復元力が得られる。例えば右図で、Ar 原子が Z の正方向にずれた場合、磁気量子数  $m = -1$  の周波数が、レーザー周波数に近づくので、左回り円偏光を Z の正方向から入射することで、原点に向かう力が得られる。この復元力によりアルゴン原子をトラップすることが可能である。

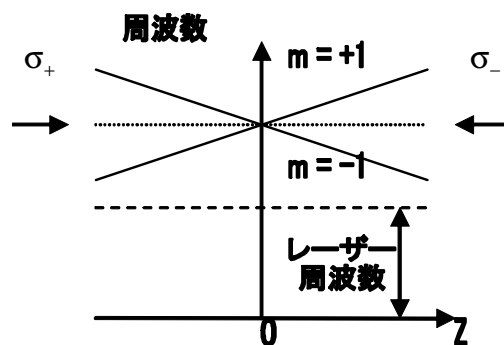


図3 zeeman 分裂による共鳴周波数変化

本実験では4本レーザーを用いて MOT を試みる。

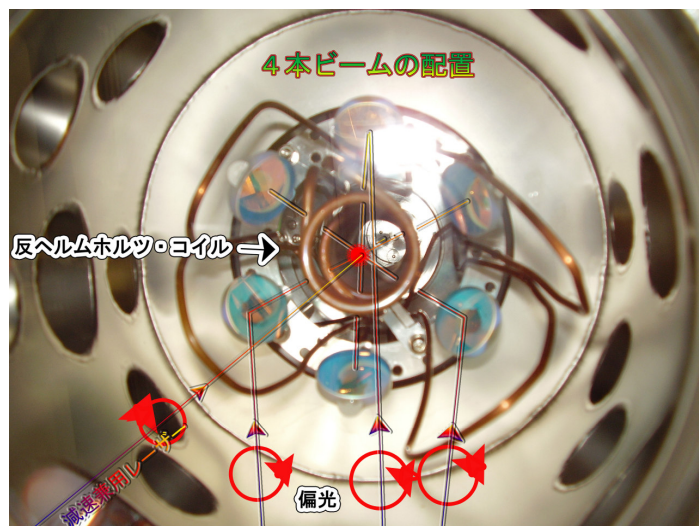
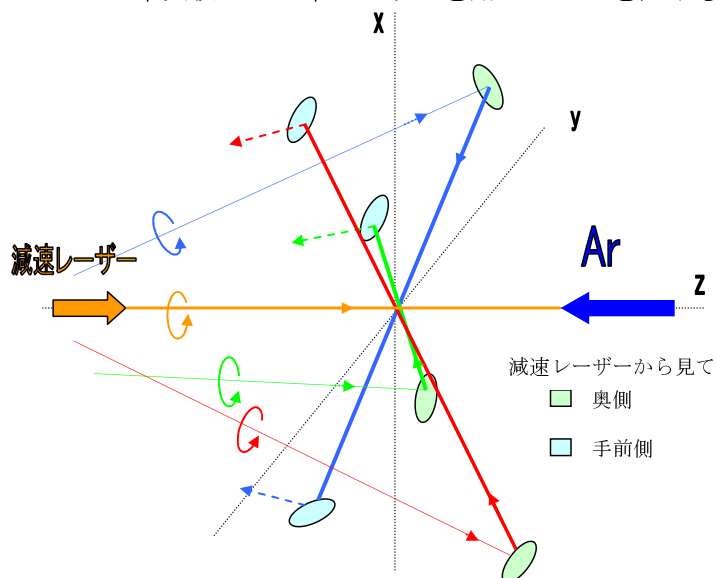


図4 4本レーザーによるトラップ概略 (左) 装置 (右)

4本レーザーを用いる利点として、6本レーザーでは、対向するレーザー光に対し、戻り光を防ぐために各々にアイソレーターが必要になるが、4本レーザーではその必要がない、という点である。Ar 原子ビームに対向して、減速兼トラップレーザーを入射し、別の3本のトラップレーザーを奥側の3回対称配置のミラーに当て、トラップの中心に通し、ミラーで反射させ、チャンバーの外に出す。

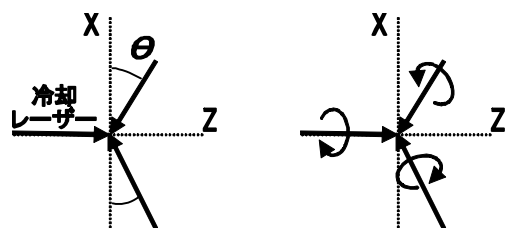


図5 4本レーザー パワー (左) 偏光 (右)

4本レーザーのパワーをすべて等しくし、同じ向きの円偏光にすることにより、6本レーザーと同様の原理で MOT を行うことができる。

図5では、x, z成分について示した。ミラーはx軸に対し $\theta$ を $\theta \approx 19^\circ$ 傾けて配置してある。この $\theta$ は、 $\cos\theta=1/3$ の値である。このことにより、3つの直行した成分に分けて考えた際に、対向するレーザーのパワーは等しくなり、互いに逆向きの円偏光を得ることが出来る。

### [実験]

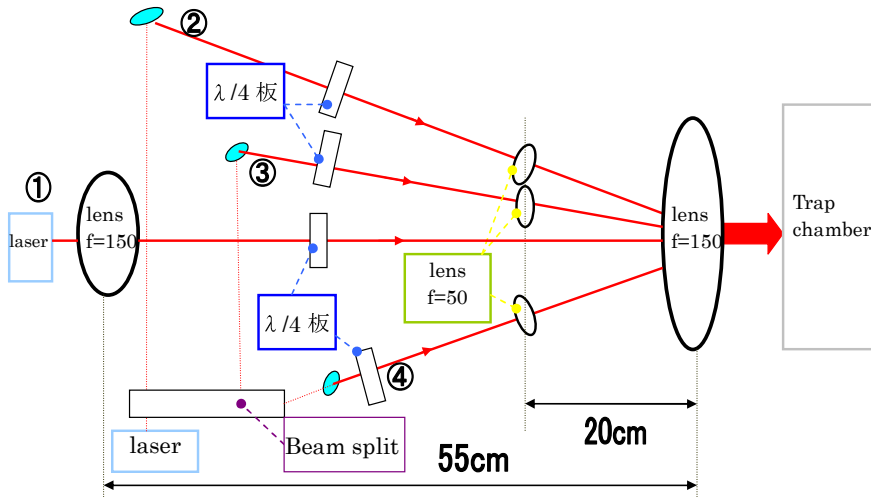


図6 光学系

Trap chamber に入射するレーザー光は、1/4 波長板を通し、直線偏光→円偏光とする。レンズにより、ビーム径を約3倍に拡大し、コリメイトさせチャンバーに入射する。減速兼トラップレーザーは光ファイバーを用いている。トラップレーザーは、1/2 波長板と PBS を用いて3本に分けている。

### ・ 偏光状態の測定

Trap chamber に入射する4本のレーザーに対し、polarizerを通し、フォトダイオードで電圧を測定することにより、偏光状態を測定した。レーザーはチョッパーを通すことにより、信号を直流→交流に変え、飽和しないように透過率5%のフィルタを通す。

図7のグラフは外枠の数字は polarizer の角度を示し、同心円はPDの出力の大きさを示す。測定点が円状に並ぶと円偏光であることが示される。減速兼トラップ(1), (2)は光ファイバー使用時、(3)は直接入射時のものである。光ファイバーを使用すると、偏光状態が安定せず、円偏光を維持することが困難であるが、ビーム径が綺麗な円となり、均一なパワー密度が得られることなどの利点がある。

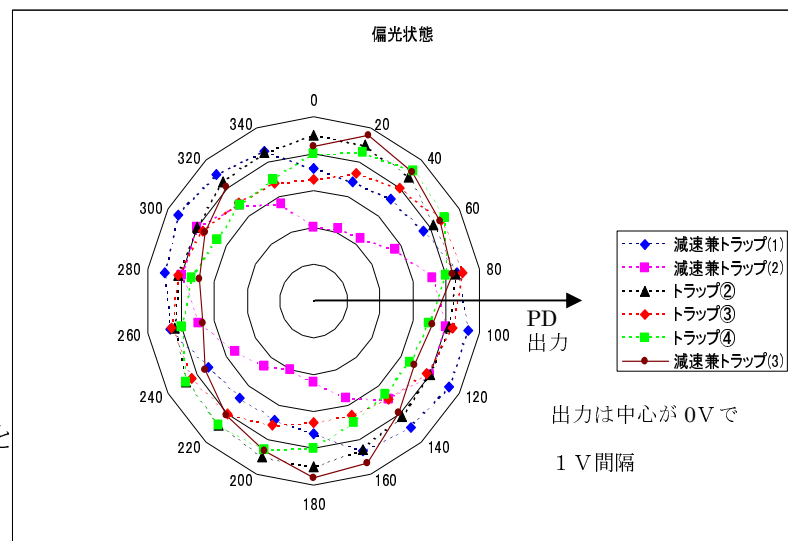
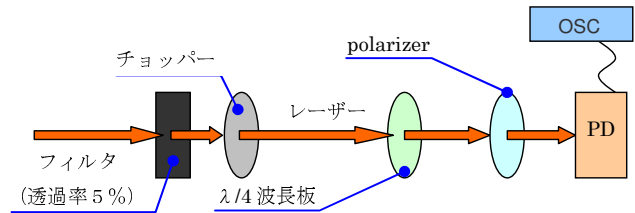


図7 偏光状態

完全な円偏光が得られない原因は、1/4 波長板に入射する前のレーザーが完全な直線偏光でないことに起因する。これは、光を反射させる際に高さを変えると、偏光状態が変わってしまうことによる。

改善策としては、各レーザーに対し、PBS を用いて1つの成分を取り出すことにより直線偏光を実現し、その後に 1/4 波長板に通し円偏光を得る。しかしながら、この方法では用いる光学素子が多くなるために、配置が難しくなることに加え、レーザーのパワーを若干捨てなければならないというデメリットがある。

・ trap chamber 入射時のレーザーの諸特性 表 1

	パワー (mW)	ビーム直径 (mm)	パワー密度 (mW/cm <sup>2</sup> )	円成分 比	円成分パワー密度 (mW/cm <sup>2</sup> )
減速兼 トラップ①	23	18	9.1	0.73	6.6
トラップ②	24	16	11.9	0.88	10.4
トラップ③	22	16	10.9	0.73	8.0
トラップ④	22	16	10.9	0.72	7.8

Ar の飽和パワー

$$I_{\text{sat}} = \frac{2\pi hc}{\lambda^3 \tau_s} = 8.6(\text{mW}/\text{cm}^2)$$

h: プランク定数

λ: 波長 = 811.754nm

τ<sub>s</sub>: 励起状態寿命 = 27ns

表 1 は各レーザー光の諸特性である。減速兼トラップ①は図 7 の減速兼トラップ (1) に対応する。円成分比は、図 7 の [最小電圧 / 最大電圧] である。

純粋な円成分でのパワー密度はトラップ②のレーザー以外は飽和パワー未満であった。理想的なパワー密度は飽和パワーの数倍であることを考慮すると、パワーがかなり不足していることがわかる。また、ビーム直径も 20mm 前後まで拡大することが理想である。

## [結果・課題]

MOT の生成を観測することはできなかった。ビーム直径がやや拡大不足であること、レーザー光のパワー不足は改善しなければならない。

具体的には、さらに 1 台のレーザーを製作することにより、パワー不足を解消し、加えてビームスプリッターで分ける光の本数が 3 本 → 2 本となることから、より偏光状態が安定することが期待できる。