

796nm 外部共振器半導体レーザーの製作

量子・物質工学科 清水研究室

0713030 河野 暉

1 目的

我々の研究室では準安定状態 Ar^* 原子の透過型回折格子による回折パターンから、固体表面と Ar^* の相互作用ポテンシャル係数を求める研究を行っている。磁気光学トラップ(MOT)した原子をMOT鉛直下方に置いた回折格子に落下させ、さらに下方に設置したMCPにより、通過、回折した原子の二次元位置検出を行い、回折パターンを観測する。現在、約1時間信号を加算することによって回折パターンが得られているが、測定時間を短縮することが望ましい。ゆえに、本研究は観測される原子数の増加を目的とし、新たに半導体レーザーを製作し近共鳴光による Ar^* のガイド実験を行う。

2 方法

図1はトラップチャンバー内の観測方法、図2はArのエネルギー準位図の一部である。現在のレーザー冷却トラップから原子回折パターンの観測までの手順は、まず放電管によって準安定状態に励起されたAr原子を、811.754nmレーザーによってトラップする。トラップチャンバー上方からAr原子トラップに912.547nmのレーザーを照射し、準安定状態にある原子は第二励起状態の $J=1$ の状態へ遷移する。原子は自然放出によって第一励起状態まで落ち、その中の準位の $J=0$ の状態の原子を観測に用いている。 $J=0$ の状態の原子は磁場やトラップ光の影響を受けないので原子回折実験の原子源として適している。

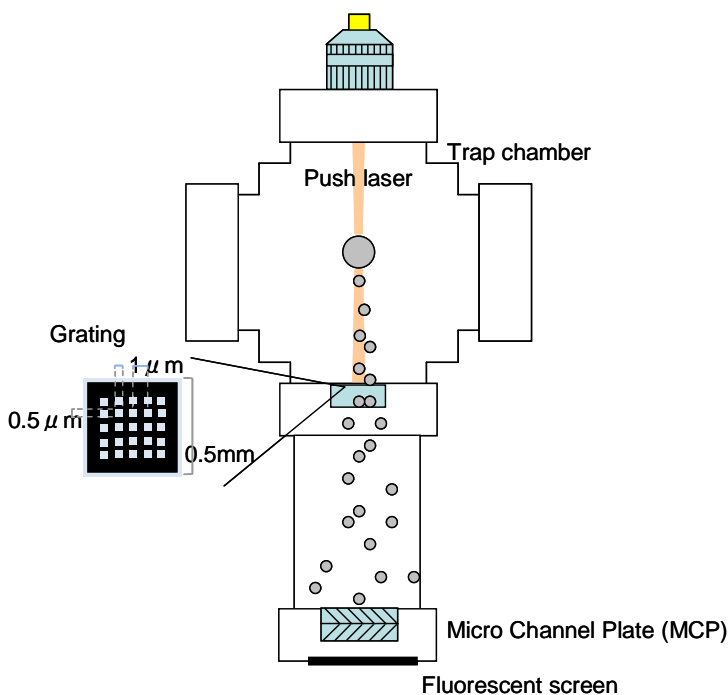


図1 原子回折実験装置

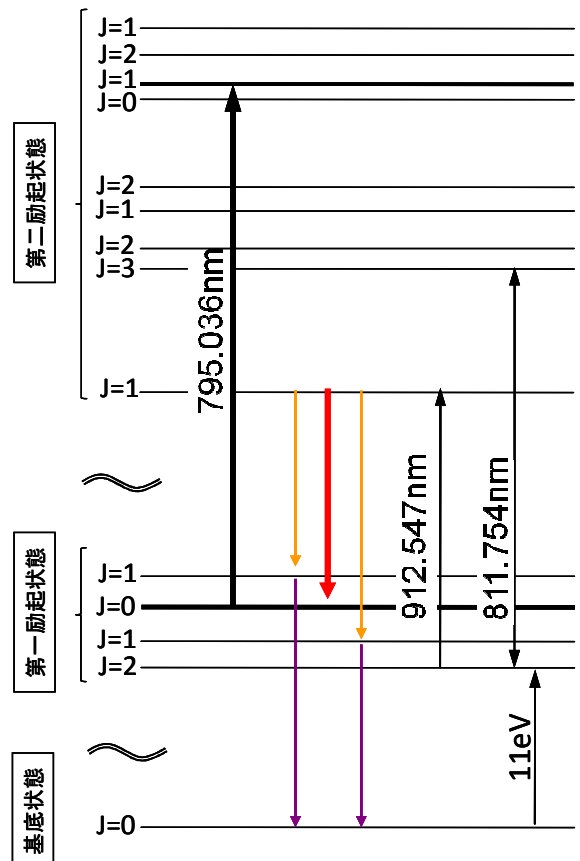


図2 Ar エネルギー準位

2.1 光双極子力

回折格子にあたる $J=0$ の原子の原子数を増加させるために光双極子力を利用する。光双極子力とは、光の強度勾配によって原子に及ぼす力のことである。原子の共鳴周波数 ω_0 から δ 離調されたレーザーを原子に照射することによるポテンシャルは、

$$U_{dip}(\vec{r}) = -\frac{3\pi c^2 \Gamma}{2\omega_0^3 \delta} I(\vec{r}) \quad (1)$$

とあらわされる。ここで Γ は上準位の寿命の逆数で、 $I(\vec{r})$ は光の強度である。

離調 δ が負の場合を赤方離調といい、原子は光軸にむかう力をうけ、正の場合は青方離調といい原子は遠ざかる力を受ける。今回の実験では赤方離調を利用する。

図2にある795.036nmの共鳴周波数から δ 離調されたレーザーを、912.547nmプッシュレーザーと重ねてAr原子トラップに照射することによって、光双極子力を利用し、原子が自由落下する際の横の速度の広がりを抑え、回折格子に入射する原子数の増加を試みる。

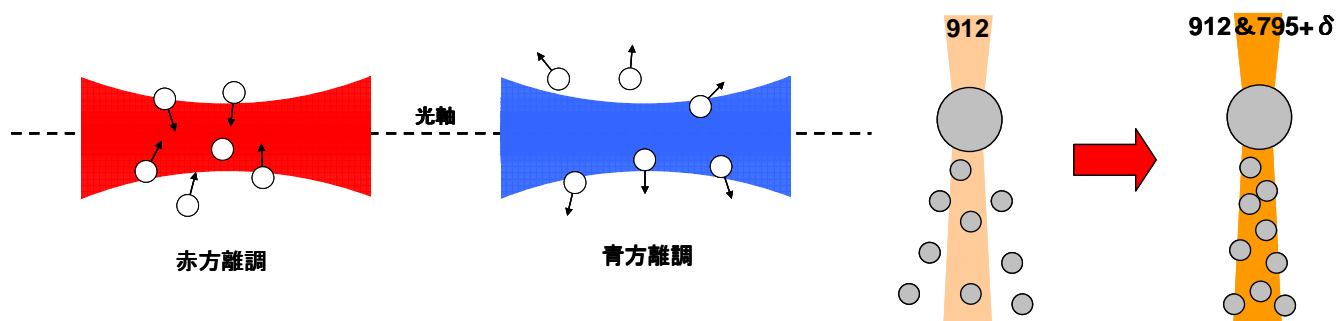


図3 離調による原子の振る舞い

2.2 外部共振器半導体レーザー

2.1で述べたように、現在の実験系に新たに半導体レーザーを導入する必要がある。今回は、近共鳴である波長796nm付近で発振する波長可変型外部共振器半導体レーザーの製作を目標とした。

図4は実際に製作した半導体レーザーの上方からの写真である。図のように今回はリトロー配置型をとっており、これは回折格子からの一次光をLD素子に戻して、回折格子とLDの間で共振器を組んでいる。

ここで θ は

$$\lambda = 2d \sin \theta \quad (2)$$

で与えられ、 d は回折格子定数である。

今回は $\lambda = 796\text{nm}$ にするために $d = 1/1800\text{mm}$ の回折格子を用いて $\theta = 45.7^\circ$ に角度を調整した。回折格子は紫外用で、波長750nmから850nmの間で回折効率12%程度のもを使用し、LD素子の温度コントロールは白金測温抵抗とペルチエを使用したOMRON E5CN C2Tで行った。

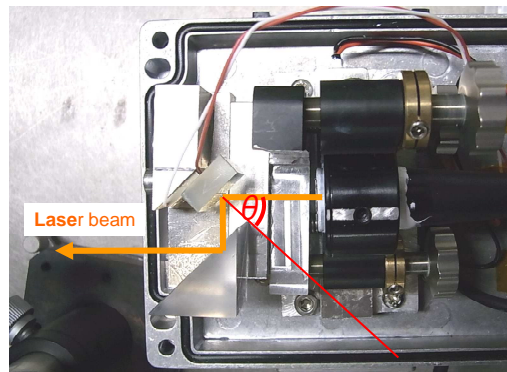
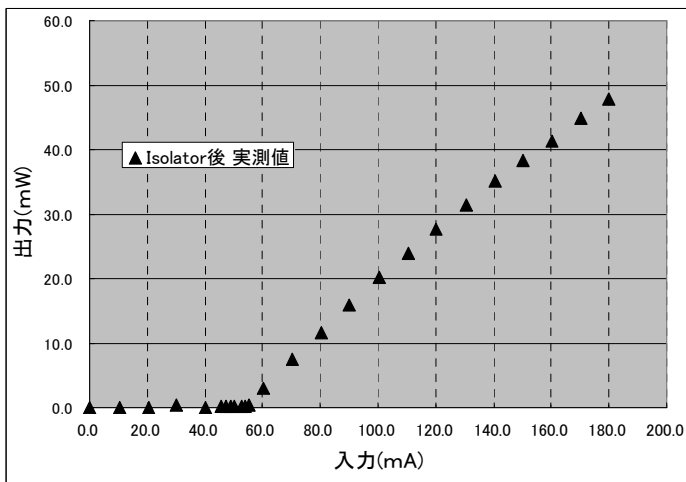


図4 リトロー配置外部共振器半導体レーザー

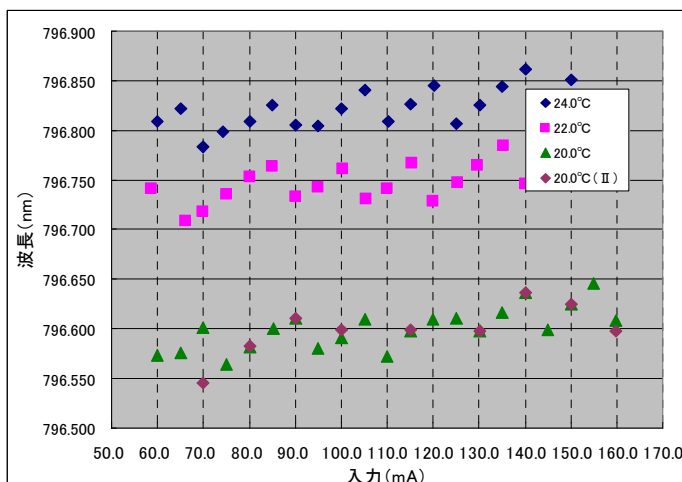
3 実験

3.1 半導体レーザー

まず、半導体レーザーの特性の確認を行った。結果はグラフ1,2である。LD素子は発振波長によってレーザー出力が変わってくるが、おおむねグラフ1のような最高50mW付近の出力が得られることがわかった。グラフ2は発振波長の温度および入力電流特性である。このように、LD素子は温度と入力電流による影響で波長変化を起こす。



グラフ1 電流出力特性



グラフ2 発振波長の温度および入力電流特性

3.2 飽和吸収測定

つぎに795.036nmの共鳴波長のAr飽和吸収測定を行った。回折格子についているPZTに三角波をかけ、回折格子の角度を変化させることにより、半導体レーザーの発振周波数を掃引した。図5は飽和吸収波形である。この場合は600MHz程度の掃引で約50MHzの吸収波形が得られ、その中心が共鳴波長である。

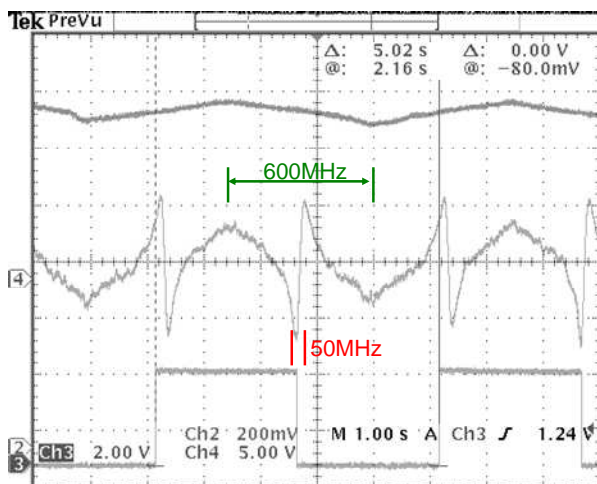


図5 Ar原子飽和吸収波形

3.3 796nm半導体レーザーのトラップチャンバーへの導入

図6は光学系である。実際に製作した796nm半導体レーザーを、912.547nmプッシュレーザーと同一のシングルモードファイバーに入れ、トラップチャンバーに導入し、原子数の変化の観測を行った。

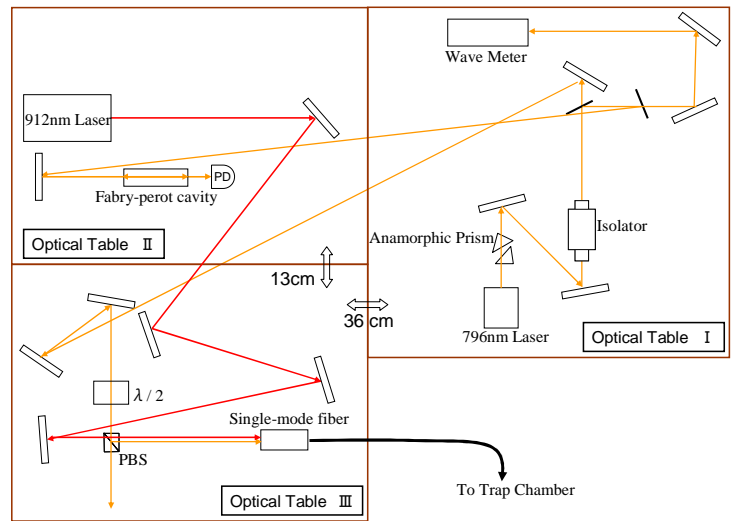


図6 光学系

4 結果と考察

今回の結果であるが、現状Ar原子の回折格子にあたる原子数の増加は見られていない。この理由として、原子の光吸収レートが高いことが予想される。光吸収レートの式は

$$\Gamma_{scat}(\vec{r}) = \frac{3\pi c^2}{2\hbar\omega_0^3} \left(\frac{\Gamma}{\delta}\right)^2 I(\vec{r}) \quad (3)$$

であらわされる。ビーム径 $\phi = 0.15mm$ としたとき、式(1)および(3)の計算結果は表1のようにになる。現状としては、ポテンシャルは十分深いのだが、光吸収レートが大きいことが原因だと考えられる。

表1 各離調と光強度におけるポテンシャル・吸収レートの計算式

δ [Hz]	P [mW]	I [mW/cm ²]	U_{dip} [J]	T [K]	v [m/s]	$\Gamma_{scat}(\vec{r})$
1G	10	5.7×10^4	-6.3×10^{-25}	-31m	-2.5	2.1×10^8
100G	10	5.7×10^4	-6.3×10^{-27}	-306 μ	-0.25	2.1×10^4
1T	10	5.7×10^4	-6.3×10^{-28}	-30 μ	-0.0079	2.1×10^2
1G	30	1.7×10^5	-1.9×10^{-24}	-92m	-4.4	6.3×10^8
100G	30	1.7×10^5	-1.9×10^{-26}	-920 μ	-0.44	6.3×10^4
1T	30	1.7×10^5	-1.9×10^{-27}	-92 μ	-0.14	6.3×10^2
2T	30	1.7×10^5	-9.5×10^{-28}	-46 μ	-0.098	1.6×10^2

5 まとめと今後の課題

実験と計算結果から、現状では光パワーが不足していることが問題としてあげられる。光パワーをあげるために、スレイブレーザーを新たに製作し、波長は可変であるので、今後は離調 δ と光パワーの最適化をはかり、原子数増加につなげたい。