

# ルビジウム・カリウム同時トラップ用

## レーザー光源の開発

量子・物資工学科 0213060 玉木嘉人

### <背景・目的>

我々の研究室ではカリウム40のフェルミ縮退を目指した研究を行っている。フェルミ縮退とは原子間衝突がない理想的な系で、フェルミ縮退を用いることで例えば精度のよい原子干渉計ができるようになる。フェルミ縮退生成にはまず予備冷却としてルビジウム87とカリウム40での磁気光学トラップ (MOT) を行う。これで $150 \mu\text{K}$ まで冷却できる。しかし、フェルミ縮退を生成するには数百 nK まで冷却する必要があるので、我々の研究室では共同冷却という方法を用いてルビジウム87とカリウム40を衝突させてさらに $1 \mu\text{K}$ まで冷却し、フェルミ縮退生成を目指す。

そこで、フェルミ縮退生成にむけて、ルビジウム・カリウム同時トラップを行う。その為の準備としてルビジウム・カリウム同時トラップ用レーザーの開発とルビジウム87での磁気光学トラップの実験を行うことを目的とする。

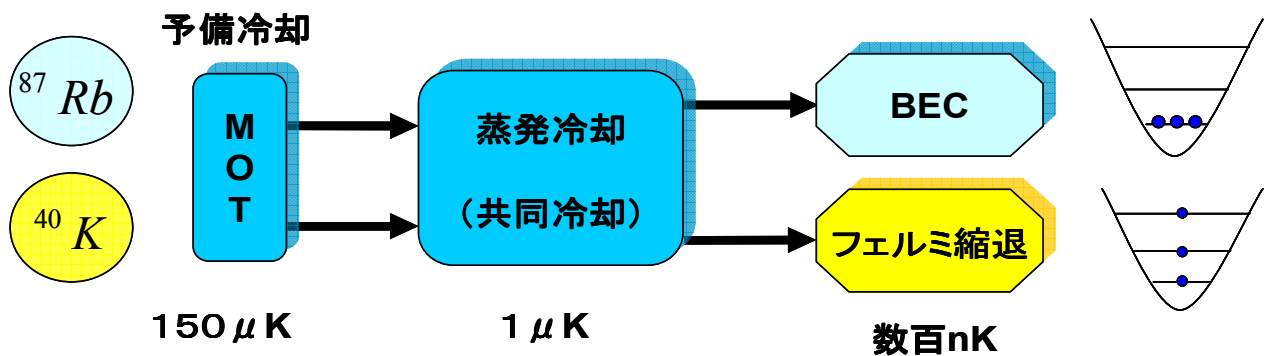


図1：フェルミ縮退生成過程

### <磁気光学トラップ (MOT) の原理>

一組のアンチヘルムホルツコイルが作る四重極磁場の中心に向かって Cooling 遷移の周波数のレーザー光を6方向から入れると原子はレーザーから散乱力を受けてレーザーの交点に冷却される。簡単のために図2右のように1次元で考える (2順位系：基底状態のスピン0、励起状態のスピン1とする)。磁場の向きに量子化軸をとり、量子化軸に対して左回りの円偏光を $\sigma^-$ とする。磁場により原子の共鳴周波数 $\omega_0$ は原点から離れるに従って大きくゼーマンシフトする。原点から右側では $\sigma^-$ の光が偏光による遷移選択則から磁気副順位 $m_f = -1$ に遷移してレーザーの周波数 $\omega_1$ が共鳴周波数 $\omega_0$ に近づき、より原子に吸収さ

れる。左側でも同様なことがおこり、結果として原子は共鳴に近づいたレーザー光によって散乱力をうけ原点にトラップされる。またレーザー光は負に離調されているので冷却もされる。

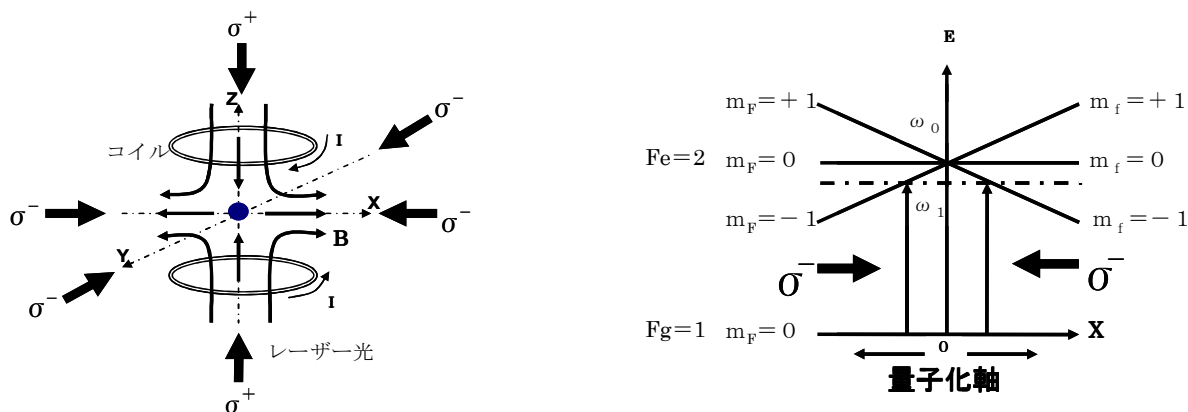


図 2 : MOT 原理図

<開発したレーザーシステム>

ルビジウム・カリウム同時トラップでルビジウム87とカリウム40を使うメリットの1つに2つの波長が非常に近いことがある ( $^{87}\text{Rb}$  : 780.247nm、 $^{40}\text{K}$  : 766.702nm)。そこでどちらの波長にも対応する右図のようなレーザーシステムを開発した。LD とグレーティングは Littrow 配置となっており、波長選択は温度、電流、グレーティングの角度を変えることでほしい波長を得る。

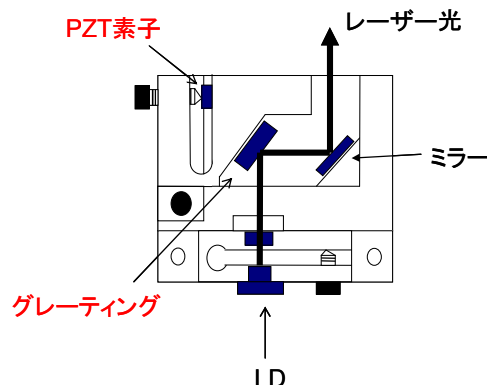
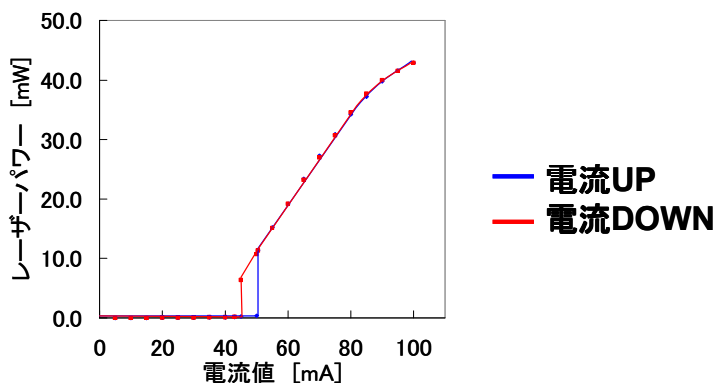


図 3 : レーザーシステム

このレーザーシステムで電流値を変えていったときのレーザーパワーを計測した (グラフ 1)。閾値付近でヒステリシスを形成しているために閾値付近では波長が一定にならず不安定であったが、実験をするときの電流値 100mA ほどでは波長は安定で、 $^{87}\text{Rb}$  の Cooling の飽和吸収線もはっきり見えたので実験をする上では問題ないことがわかった。



グラフ 1 : レーザーパワー

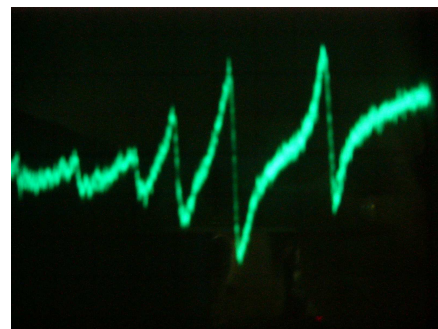


図 4 :  $^{87}\text{Rb}$  の Cooling の飽和吸収線

<ルビジウム87での磁気光学トラップ (MOT) >

開発したレーザースystemを用いてルビジウム87でのMOTを行った。結果、以下のようにトラップできた。

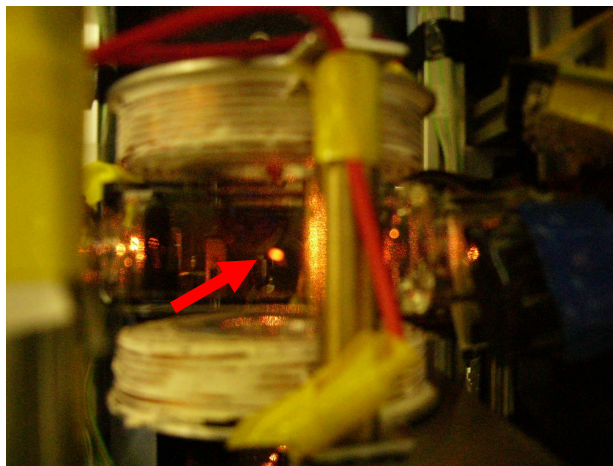
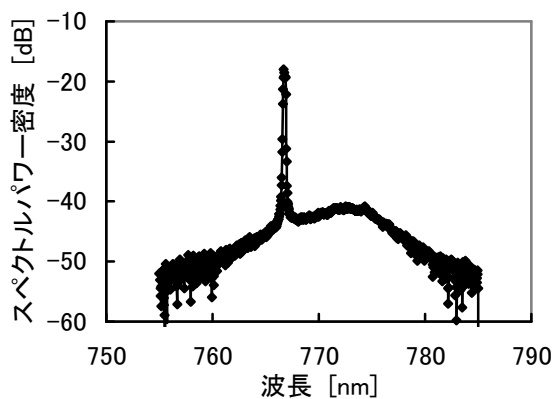


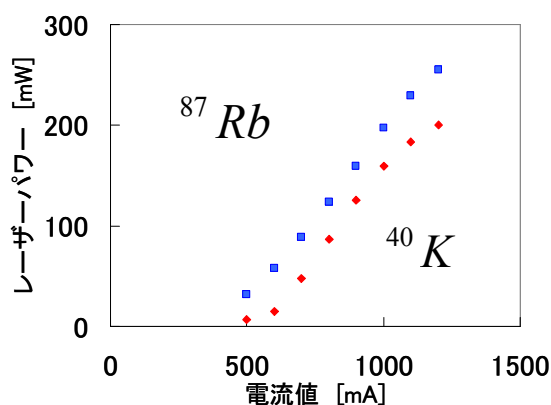
図5 : MOT 中のルビジウム87

<ルビジウム用半導体光アンプでのレーザー光の増幅 I >

ルビジウム・カリウム同時トラップに向けてルビジウム87用半導体光アンプを使ってカリウム40用レーザー光の増幅を行った。グラフ2は半導体光アンプ後のレーザーの出力光スペクトラムである (入射パワー: 18mW、半導体光アンプの電流値: 1200mA)。これより入射光 (766nm) が増幅されていることがわかる。入射パワー18mWに対して最大で約200mWまで増幅することができた。ルビジウム87に比べてカリウム40の増幅が小さい理由としてこの半導体光アンプの帯域から少しずれていることがあげられる。しかし、カリウムの飽和強度は  $1.78[\text{mW}/\text{cm}^2]$  で現在の光学系で考えると必要なパワーは200mWとなり、カリウム40でのMOTのCooling光として使えるだけのパワーが得られた。



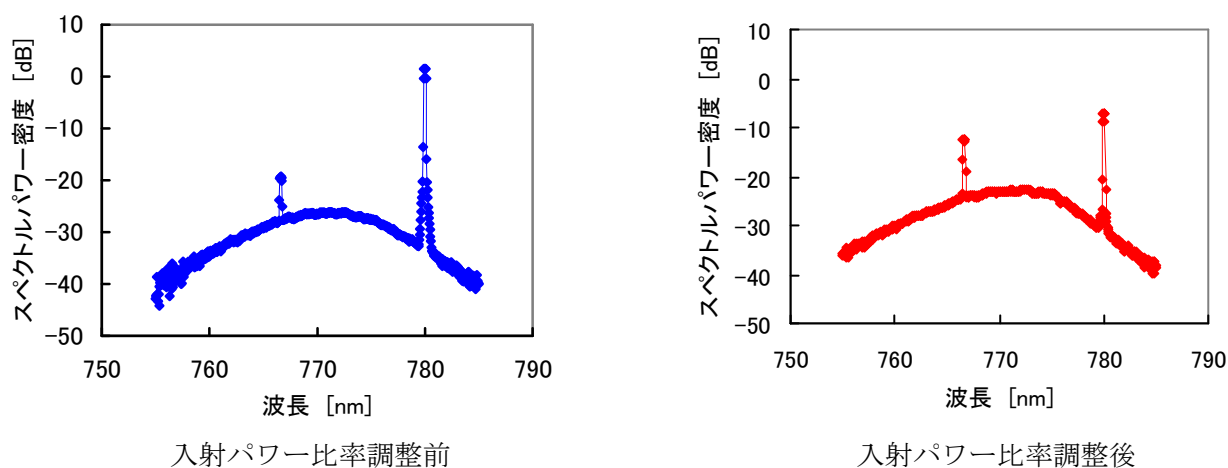
グラフ2: レーザーの出力光スペクトラム



グラフ3: 増幅後のレーザーパワー

## <ルビジウム用半導体光アンプでのレーザー光の増幅 II >

次にルビジウム87用(780nm)、カリウム40用(766nm)の2つのレーザー光を重ね合わせて同時に増幅させた。重ね合わせるにはBSを用いた。2つの入射パワーはどちらも10mWにあわせてあり、半導体光アンプには1200mA流している。増幅の結果、グラフ4左のようなスペクトラムになり、カリウム40用レーザー光(766nm)はほとんど増幅されなかった。実験で使うためにはどちらも等しく増幅され、かつ十分なパワーがほしい。そこで入射パワーの比率を変え、ルビジウム87用レーザー光のパワーを抑えた結果、グラフ4右のようになった。入射パワーの比率を変える前に比べてどちらも増幅されたといえる。しかし、得られたパワーはほしいパワーの1/4のあわせて最大100mWしか得られなかった。この結果、現行の方法ではBSでのパワーロスが大きい為に十分なパワーが得られないことが分かった。



グラフ4：レーザーの出力光スペクトラム

## <まとめ・今後の展望>

- ・ルビジウム87でのMOTができたので今後はMOTの最適化と評価をしていく。
- ・カリウム40用レーザー光(766nm)の増幅ではMOTをするのに十分なパワーが得られたので、カリウム40でのMOTを試みる。
- ・ルビジウム87用レーザー光(780nm)とカリウム40用レーザー光(766nm)の増幅ではどちらも増幅されたものの、得られたパワーはほしいパワーの1/4の100mWだったので違う方法を用いて増幅し、ルビジウム・カリウム同時トラップを目指す。