

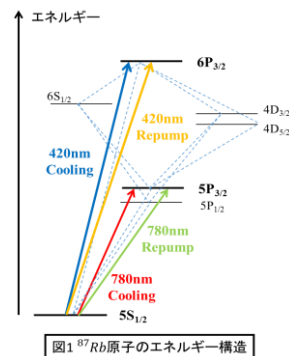
5S – 6P遷移のリポンプ光を用いた⁸⁷Rb原子の青色 MOT の評価

先進理工学科 応用物理工学コース 岸本研究室

1213041 沖山 慶太

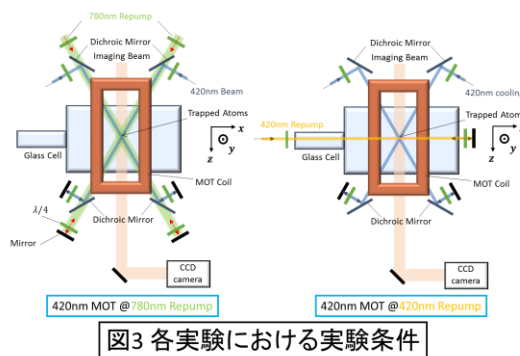
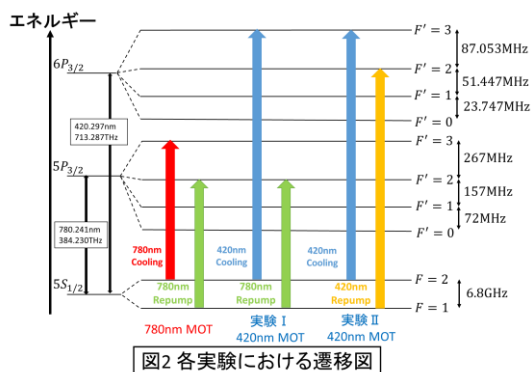
1. 研究概要

本研究室では先行研究で⁸⁷Rb原子の $5S_{1/2} - 6P_{3/2}$ 遷移に対して420nmの波長のLaserを用いたMOT(420nm MOT)に成功している[1]。この遷移は従来の遷移($5S_{1/2} - 5P_{3/2}$)でのMOT(780nm MOT)に比べて遷移の自然幅が1/4程度と狭くドップラー冷却限界温度も $34\mu\text{K}$ となる。加えて開いた遷移であり、様々な準位を経て緩和するため、光の再吸収を抑え原子数密度の向上が期待される。先行研究における420nm MOTでのRepump光は、 $5S_{1/2} - 5P_{3/2}$ 遷移を用いており、極低温・高密度な状態を実現できている。しかし、常に安定的な実験条件を得るに至っていなかったため、まず、安定化に向けて不安定性の要因の究明を行った。また、420nm MOTでは中間準位を介して緩和するため高い確率で冷却サイクルから外れた $5S_{1/2}, F = 1$ に落ちることから、Repump光の冷却効果への影響が大きくなることが推察される。従って本研究の目的は、420nm MOTの安定化を行い【実験I】、 $5S_{1/2} - 6P_{3/2}$ 遷移のRepump光を用いた場合の420nm MOTの冷却効果を検証する【実験II】ことにある。



2. 原理と実験方法

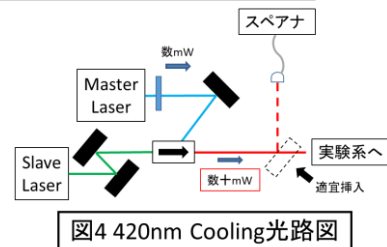
780nm MOTで予備冷却を行ったうえで、420nm MOTをMOTの条件（互いに逆向きの円偏光を対向させる、 $F \rightarrow F' = F + 1$ で遷移させる）に合わせこみレーザー冷却を行っている。図2として、各実験における780nm, 420nm MOTの遷移図を示し、図3として、780nm Repump光を用いた場合の420nm MOTと420nm Repump光を用いた場合の420nm MOTの実験条件を示す。



3. 実験 I 780nm Repump を用いた 420nm MOT の安定化

3.1 420nm MOT に用いる 420nm Cooling 光源

我々の実験系では420nm MOTに用いる420nm Cooling光源を、図4に示す様にMaster LaserをSlave Laserに光注入同期することにより準備している。



3.2 光強度及び、注入同期成分強度の Slave Current 依存性

Master Laser を Slave Laser に注入同期した結果、注入同期成分強度（Slave の Master に追従する量）が大きくなり、Slave Laser の Current 掃引時の光強度が増加する結果が確認された。また、光強度が極大値を取る Slave Current 値近傍で、注入同期成分強度が最も大きくなることが確認された。それぞれの実験結果を図 5、図 6 として示す。以上の結果より、今後の測定において光強度が極大値を取る Slave Current 値に設定し実験を行う方針を定めた。

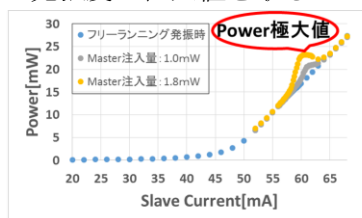


図5 光強度のSlave Current依存性

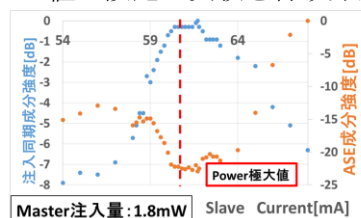


図6 注入同期成分強度のSlave Current依存性

3.3 注入同期成分強度の Slave Laser に注入する Master 注入量依存性

Slave Current 値を 3.2 で定めた条件に設定し、スペクトルの Master 注入量依存性をスペクトルアナライザを用いて測定した結果を図 7 として示す。



図7 スペクトルのMaster注入量依存性

図 7 より、Master を注入することにより注入同期されたモードが発生すること及び、Master 注入量を大きくするにつれ ASE 成分強度が小さくなり、注入同期成分強度が大きくなることが確認できた。各 Master 注入量における ASE 成分強度、注入同期成分強度の結果を図 8 として示す。

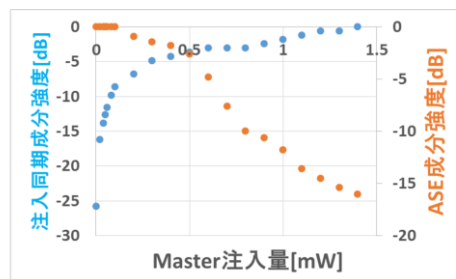


図8 注入同期成分強度のMaster注入量依存性

3.4 420nm MOT 冷却の Master 注入量依存性

MOT チャンバー前での 420nm Cooling の光強度を $I = 0.34 \text{ mW/cm}^2$ に固定し、420nm MOT 冷却の Master 注入量依存性を図 9 として示す。Master 注入量を大きくし注入同期成分強度が増加することで、低温度で安定 & 測定誤差が小さくなる結果が確認された。しかし、420nm Cooling の光強度を $I = 0.54 \text{ mW/cm}^2$ に固定した場合は、Master 注入量を 0.6mW まで下げても温度上昇がみられないことから、420nm MOT の冷却効果は注入同期成分強度と total power の兼合で決まると推察した。

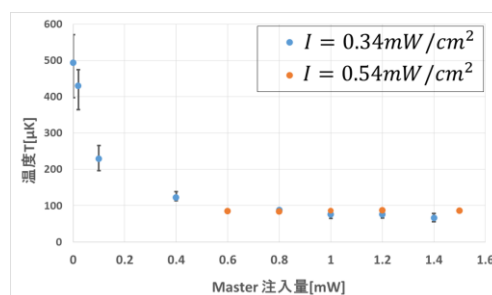


図9 420nm MOT冷却のMaster注入量依存性

4. 実験Ⅱ 水平方向に1次元的に入射した420nm Repumpを用いた420nm MOT

4.1 420nm MOT 冷却効果の420nm Repump 入射側λ/4波長板角度依存性

420nm Repumpの励起準位からの離調を正及び、負離調に設定。TOF time:10msにおける水平方向の原子雲のサイズの偏光依存性を図10として示す。図10にて、離調の正負でpeak値に90°差が見られることから、磁気光学トラップの原理に基づく様な偏光依存性が確認された。

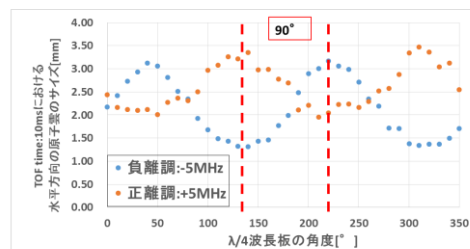


図10 TOF time:10msにおける水平方向の原子雲のサイズの偏光依存性

次に、図10において各離調で最も原子雲のサイズが小さい値を取る角度（正離調：130°、負離調：220°）近傍での偏光依存性を図11としてまとめた。

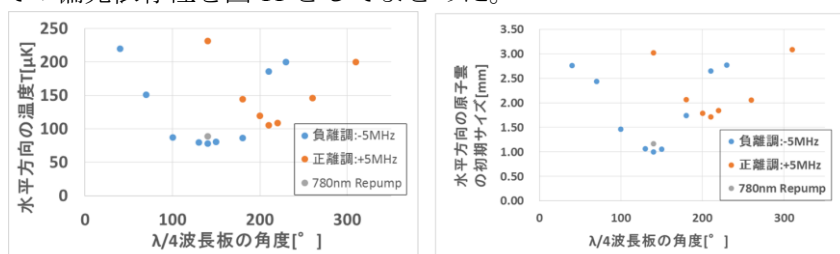


図11 冷却効果の偏光依存性

図11より、図10にて原子雲の大きさが極小値を取る偏光において最も低温度、高密度化する結果が確認でき、ドップラー冷却の原理から正離調時に比べ、負離調時に冷却効果が大きい旨が確認された。また、780nm Repumpを用いた420nm MOTの冷却効果と比べると、420nm Repumpを用いた場合の方が、420nm Repumpの入射方向である水平方向で低温度、高密度化できる傾向が見られたが、大きな差ではないため、今後更なる検証が必要である。

4.2 420nm MOT 冷却効果の420nm Repump 離調依存性

420nm MOT 冷却効果の420nm Repumpの励起準位からの離調依存性を図12として示す。

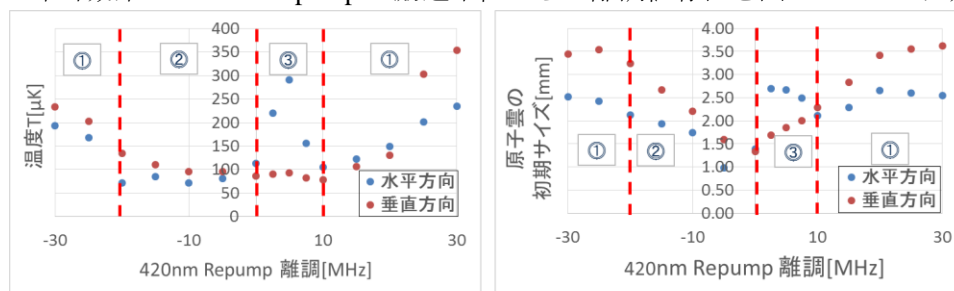


図12 冷却効果の離調依存性

図12より、

- ①の領域：共鳴周波数からの離調が大きく pumping の作用が Cooling 光の冷却サイクルに間に合わないことによる相対的な加熱。
- ②の領域：MOTの冷却が効いている状態。垂直方向の原子雲の初期サイズが離調0MHzで最適値を取るのpumpingの作用が最も働き420nm Cooling光による冷却が最も働いた結果と推察した。

③の領域：正離調になり MOT による冷却効果が小さくなったことによる相対的な加熱 & 共鳴周波数からの離調が大きくなる程、励起準位から基底準位に中間準位を介さずに自然放出した光子の再吸収レートを小さくなることによる加熱要因（反跳）の抑制の兼合。以上、各離調での冷却効果依存性が確認され、離調-5MHz 時に水平方向の原子雲の初期サイズが最も小さい値を取っていることから、離調-5MHz 近傍に冷却効果の最適値があると推察した。

4.3 420nm MOT 冷却効果の 420nm Repump 強度依存性確認

420nm Repump を用いた 420nm MOT 冷却効果の 420nm Repump 強度依存性を図 13 として示す。

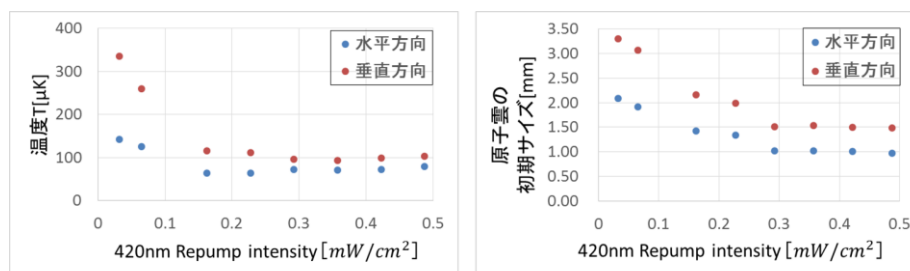


図13 冷却効果の強度依存性

図 13 より、

垂直方向：420nm Cooling の作用が効いている強度（約 0.3 mW/cm^2 ）以上ではほぼ一定の冷却効果を維持する結果が確認された。

水平方向：共鳴周波数からの離調を大きくした際と同様、低強度にする程、励起準位から基底準位に直接自然放出した光子の再吸収レートを下がることによる冷却効果が確認された。垂直方向、水平方向共に、低強度では pumping の作用が弱くなったことにより 420nm Cooling の冷却効果が小さくなることによる相対的な加熱傾向が見られた。

5. まとめと今後の展望

5.1 実験 I 780nm Repump を用いた 420nm MOT の安定化

420nm MOT の安定化は Master Laser を注入する Slave Laser の条件が重要と確認された。本実験より、注入同期成分強度と total power の兼合で 420nm MOT 冷却効果が決まると推察した。注入同期する Master 注入量を大きくし注入同期成分強度の増加によって更なる低温化が見込むことができる。

5.2 実験 II 水平方向に 1 次元的に入射した 420nm Repump を用いた 420nm MOT

420nm Repump を用いた 420nm MOT において、冷却効果の 420nm Repump の偏光、離調、強度依存性が確認された。420nm Repump の偏光を合わせ、負離調に設定することで 780nm Repump を用いた 420nm MOT の冷却効果に比べ、420nm Repump を用いた場合の方が、420nm Repump の入射方向である水平方向に関して低温度、高密度化できる傾向が見られた。しかし、大きな差ではないため、420nm Repump の離調最適化、420nm cooling の強度を下げる、420nm Repump を 3 次元的に入射するなどして、今後更なる検証が必要である。

6. 参考文献

[1]. 吉野 悠太 9aAW-1 日本物理学会秋季大会(2014)