

周波数オフセットロックレーザーの開発

量子物質工学科 中川研究室 鈴木勇輝

1. 背景

本研究室では、全光学的手法による BEC 生成を目指している。しかし、その生成過程のうち冷却原子を光双極子トラップへ移行時に多くのトラップ原子を失ってしまっていることが問題となっている。そこで最近の発表で MOT cooling 光を右図のように -120MHz 程度共鳴周波数から離調・掃引させたところ移行効率が向上した、という報告が

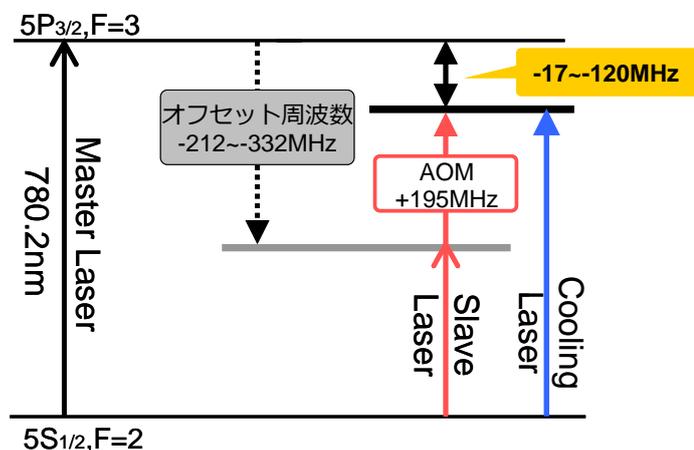


図 1 ^{87}Rb 準位

あったためこの実験機構を採用し、実現することを目標とした。しかし、現在用いている AOM による離調・掃引は 60MHz 程度が限界であるため、VCO (voltage controlled oscillator) を用いたオフセットロックでより広い範囲にシフト可能なレーザーの開発を目的とする。

2. 目的

必要となるオフセットロックレーザーの性能は以下の通り。

- ・レーザー周波数を 40ms の間に 100MHz 離調、掃引可能
- ・周波数揺らぎが 1MHz 以下

3. 原理

3.1 オフセットロック周波数

実験で図 1 に示すように $|5P_{3/2}, F=3\rangle$ から $-212\sim-332\text{MHz}$ にオフセット周波数で離調する。この出力を AOM で $+195\text{MHz}$ シフトさせて Cooling 光として使用する。VCO に入力する電圧を PC 制御で連続的に変化させることで出力周波数を共鳴周波数の離調・掃引を $-17\sim-120\text{MHz}$ まで可変することが可能になる。

3.2 Delay line

Delay line を通した信号 $\cos(\omega t)$ と通さない信号 $\cos\{\omega(t+\tau)\}$ をミキサーで掛け合わせると次のような式で表すことができる。

$$\begin{aligned}
& \cos(\omega t) \times \cos\{\omega(t + \tau)\} \\
&= \frac{1}{2} [\cos\{\omega t + \omega(t + \tau)\} + \cos\{\omega t - \omega(t + \tau)\}] \\
&= \frac{1}{2} [\cos(2\omega t + \tau) + \cos(\omega\tau)]
\end{aligned}$$

$\cos(2\omega t + \tau)$ 成分の信号はローパスフィルタによってカットされるため、最終的に出力される信号は $\cos(\omega\tau)$ となる。この信号は τ が Delay line の長さに依存しておりほぼ変化しないため、この干渉信号は周波数に依存した誤差信号になっているといえる。ゼロクロスポイントがロックする周波数となる。

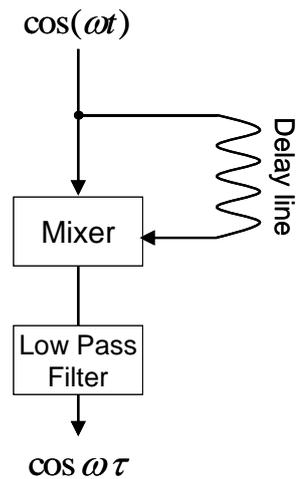


図 2 Delay line

4. 装置

図 3 のように実験系を構築した。まず、Master Laser を ^{87}Rb の $|5S_{1/2}, F=2\rangle \rightarrow |5P_{3/2}, F=3\rangle$ 遷移に同期した。これを基準として、Slave Laser の周波数差を表すビート信号をフォトディテクターで検出する。この信号を VCO とミキサーを用いて重ね合わせ、 $\Delta\omega = |\omega_1 - \omega_2|$, $\omega_1 + \omega_2$ を得る。この後のローパスフィルタで $\omega_1 + \omega_2$ 周波数成分はカットされ、 $|\omega_1 - \omega_2|$ が残る。次に、信号をスプリッターで分離し、一方を Delay line に通しもう一方と再び重ね合わせる。この Delay line により生じる時間遅延 τ の影響で得られる干渉信号は $\cos(\Delta\omega\tau)$ となる。この干渉信号は周波数に依存した誤差信号になっている。実際に測定して得られた誤差信号が図 4 である。ただし、干渉信号のゼロクロスポイントは遅延 τ に応じてずれ、この系では 74MHz のずれであった。この周波数は固定のため、オフセット周波数は VCO の出力周波数 ω_2 を変えることで制御する。こうして得られた誤差信号を Slave laser にフィードバックしてオフセットロックをかける。

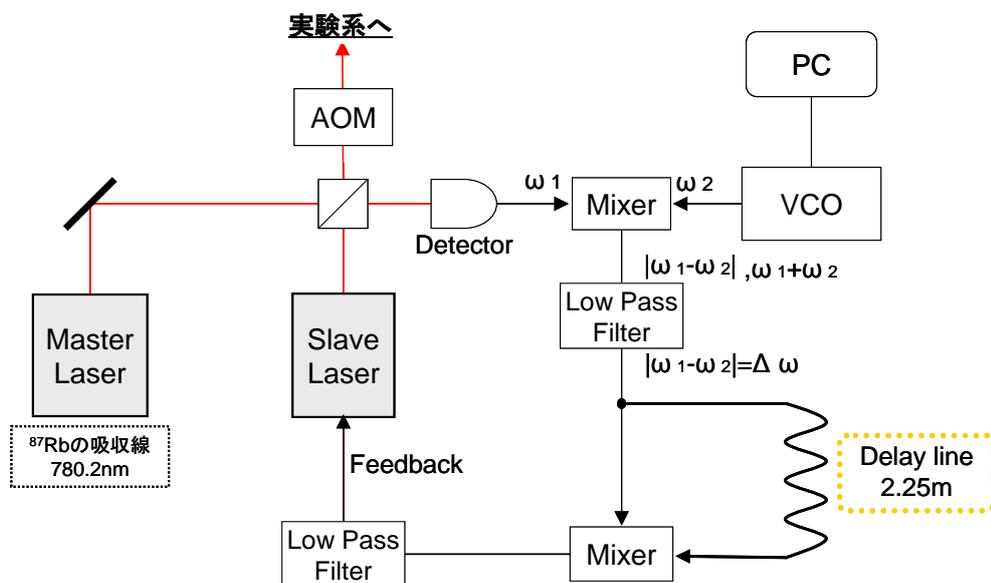


図 3 オフセットロック装置

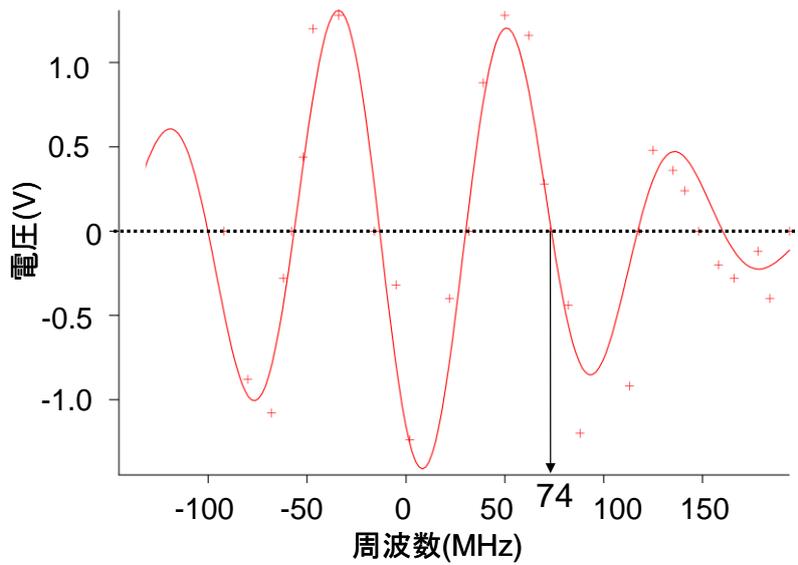


図4 誤差信号

5. 結果

上記の装置を用いてオフセットロックをかけることに成功した。次に、その性能評価を行う。

5.1 安定度評価

平均化時間を 1s, 10s, 100s, 1000s でアラン分散を算出した (図 5)。要求されていた周波数揺らぎ 1MHz は達成されているが、図からわかるように、平均化時間が長くなっていくにつれて不安定になっていることが分かる。これは VCO の加熱によるものと考えており、今後もっと長い平均化時間で計測した上で対策をとっていきたい。

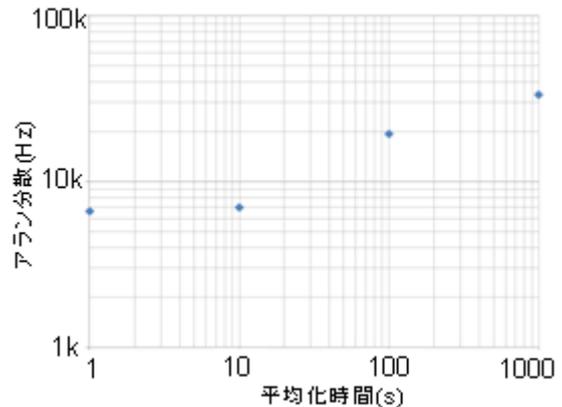


図5 周波数揺らぎ

5.2 応答速度評価

右図でピンクのグラフが VCO 入力信号で、青いグラフが出力信号である。出力信号は Master と Slave レーザーの中心ビート信号の周波数である。VCO へ 4V 差の階段信号を入力してほぼ最大の応答速度を評価し、これが要求の $2.5 \times 10^3 \text{MHz}$ を満たしているかどうか評価を行った。右図から応答速度を算出したところ、 $4.0 \times 10^5 \text{MHz}$ となり十分な応答速度をもったオフセットロックレーザーを作成することができた。

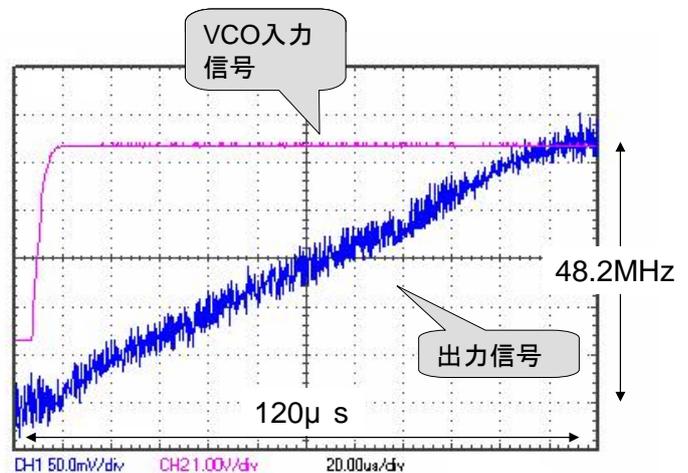


図6 VCO 応答速度

6. まとめと今後

- ・周波数を 100MHz 程度可変なレーザーを製作できた。
- ・レーザーの揺らぎを 1MHz 以下にできた。
- ・応答速度は 2.5×10^3 MHz/s より十分早い。

今後は、

- ・安定度評価をより長時間にわたって行いたい。
- ・安定度ドリフトの原因の解明と対策

7. 参考文献

- [1] U. Schunemann, H. Engler, R. Grimm, M. Weidemüller, and M. Zielonkowski: "Simple scheme for tunable frequency offset locking of two lasers", Rev. Sci. Instrum, Vol. 70, No. 1, January 1999
- [2] K J Arnold, M D Barrett "All-optical Bose-Einstein condensation in a 1.06 μm dipole trap" arXiv:1101.1140v1, Jan 2011