

レーザー冷却用半導体レーザーの製作 ()

半導体レーザーの周波数安定化

電子物性工学科 笠島 誉功

1.はじめに

レーザー冷却用半導体レーザー()において製作したシステムは、電流と温度を一定にすることにより、670,962nm の波長をシングルモードで発振させることに成功した。しかしこの状態のままでは、時間が経つにつれて少しずつ周波数はシフトしてしまい、当然のことながら線幅も大きい。ところが、本研究室で行っているレーザー冷却に用いるプローブ光としては、周波数安定度が約1MHz 以下のレーザー光が望まれる。

よって本研究では、製作した半導体レーザーシステムを、 ${}^7\text{Li}$ 原子のレーザー冷却に用いるプローブ光として使用することができるように周波数を安定化させることを目的とする。安定化させる周波数としては、 $2^2\text{S}_{1/2}$ の $F=2$ から $2^2\text{P}_{3/2}$ の $F=3$ への遷移線である、670,962nm に安定化させることを目指した。(図1)

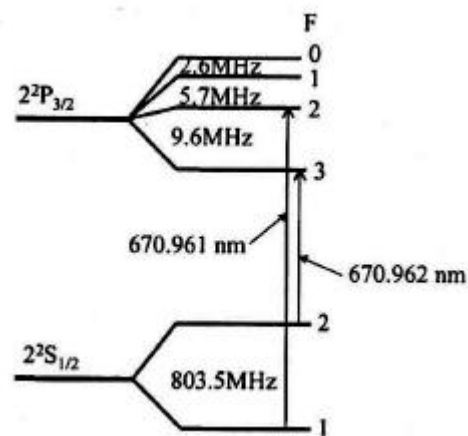


図1 Li のエネルギー遷移図

2.概要

2.1 安定化の原理

レーザーの周波数を安定化させるには、まずレーザー光を Li セルの中に通すことで飽和吸収信号を検出し、それをもとに誤差信号を取り出して、その信号を制御回路に入れる。そうすることによって、回路が P Z T (圧電素子) に加える電圧をコントロールし、半導体レーザーの共振器長が調整されて周波数が安定化される。

2.2 方法

飽和吸収信号を用いて誤差信号を取り出す方法としては、Li セルにコイルを巻いて、そのコイルに交流電流を流すことによって吸収線に変調をかける方法が望ましく、本研究においてもこの方法を用いようとしたのだが、変調コイルの調子が悪くて上手く変調がかからなかったために、誤差信号を得ることができなかった。そこで、別の方法である半導体レーザーに注入する電流に変調をかける方法を用いることにした。この方法だと、半導体レーザーの発振周波数自体が変調しているのであまり良い方法とは言えないが、プローブ光として使用するという目的を考えると、この変調の大きさが 1MHz 以下であればあまり影響を与えないものと考えてよい。図2に、今回の装置の概略図を示す。

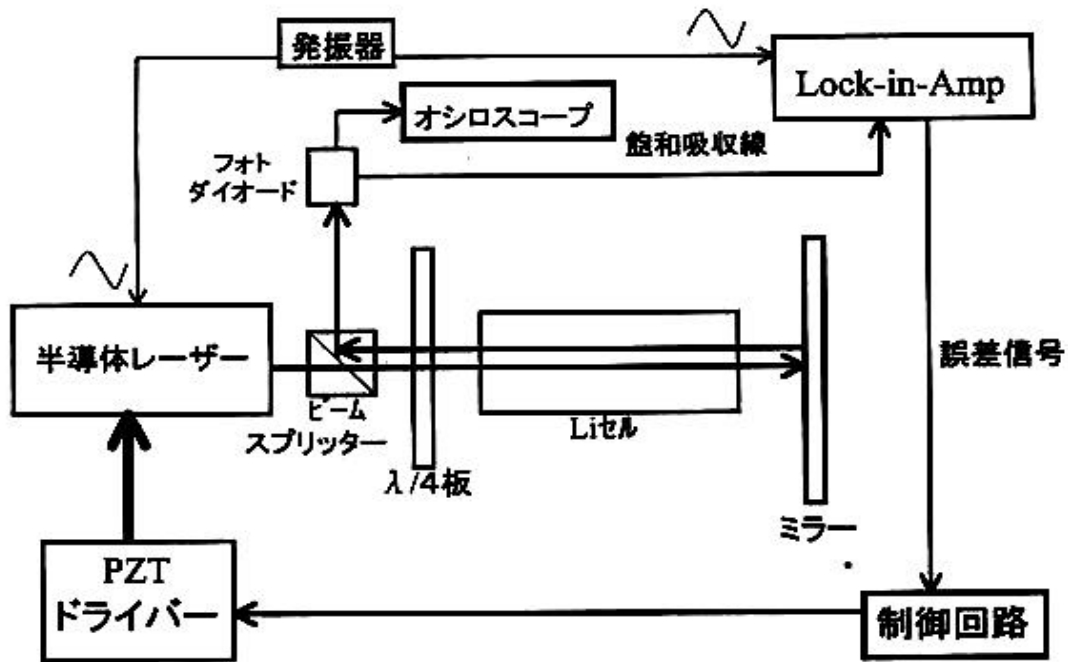


図2 周波数安定化装置の概略図

まず半導体レーザーから出たレーザー光は、 $\lambda/4$ 板を通してLiセルの中を通り、ミラーによって反射されて再びセルの中を通過してから $\lambda/4$ 板を通り、ビームスプリッターによって上に反射されてフォトダイオードでモニタされ、飽和吸収信号を得る。さらに、半導体レーザーの注入電流に変調を加え、飽和吸収信号と変調信号を同時にLock-in-Amplifierに入力することによって、誤差信号(微分波形)が取り出される。この信号を図3に示す制御回路に入れることで、PZTにかかる電圧が変化して共振器長は調整され、周波数は安定する。

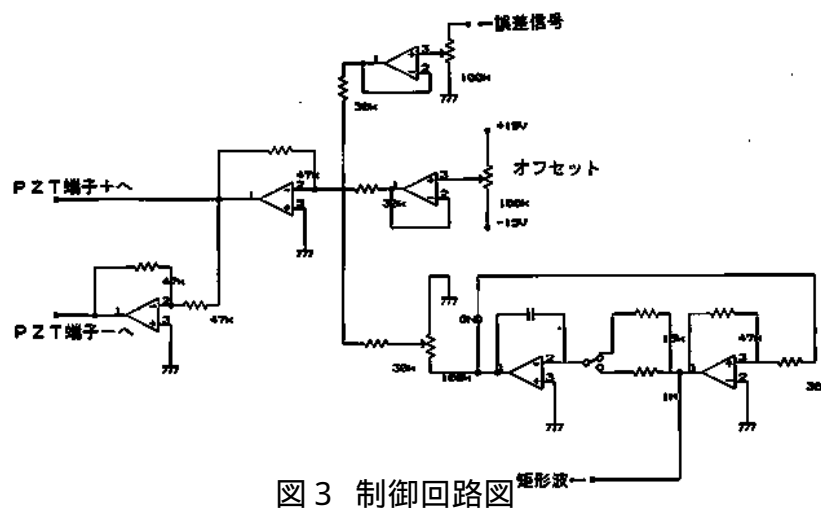


図3 制御回路図

3. 結果・考察

3.1 飽和吸収線

図4は、本実験で得られた飽和吸収曲線を示す。

横軸は周波数、縦軸は光の吸収強度を表しており、下にいくほど吸収が強いことを表す。曲線中で、吸収が局所的に弱い個所が2カ所見られる。このうちの左側の方が、本実験で安定化させる目的としている 670,962nm-(A)の遷移線で、もう一つの方がそれに近い 670,961nm-(B)の遷移線である。この2点間の周波数差は、図1から約 800MHz である。また、この2点の midpoint 付近に最も吸収が強いところがあるが、これは cross resonance と呼ばれる点で、(A),(B)の遷移が π 型の配置をしていることから起こる。

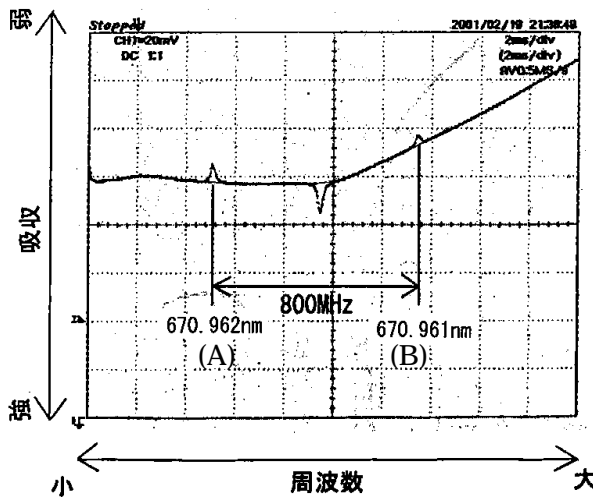


図4 飽和吸収曲線

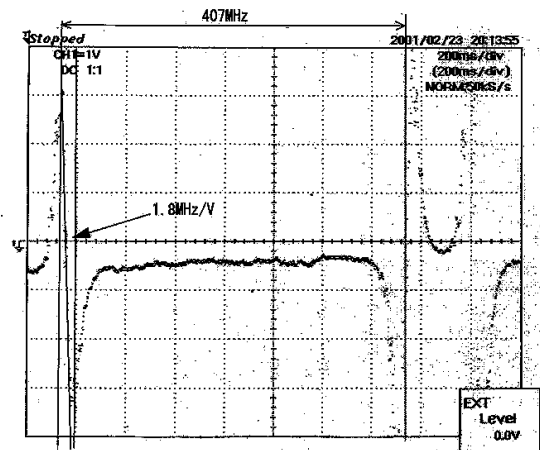


図5 安定化前の微分信号

3.2 安定化する前の微分信号（誤差信号）

図5は、まだ安定化する前に Lock-in-Amplifier によって出力された微分信号（誤差信号）である。左側に見える右下がりの波形が 670,962nm に当たるもので、右側に見えるのが cross resonance である。図1から、この波形の中心間の距離が 407MHz と見積もることによって、この微分波形の傾きの逆数を計算すると 1,8MHz/V となる。

3.3 安定化した後の誤差信号

図6は安定化に成功した後の誤差信号を示す。

波形の縦方向の幅が約70mVであることと、図5で求めた傾きを用いることによって、本実験で安定化させた半導体レーザーの安定度を求めると、

$0,07[\text{V}] \times 1.8[\text{MHz}/\text{V}] \quad 0.13[\text{MHz}]$
となる。

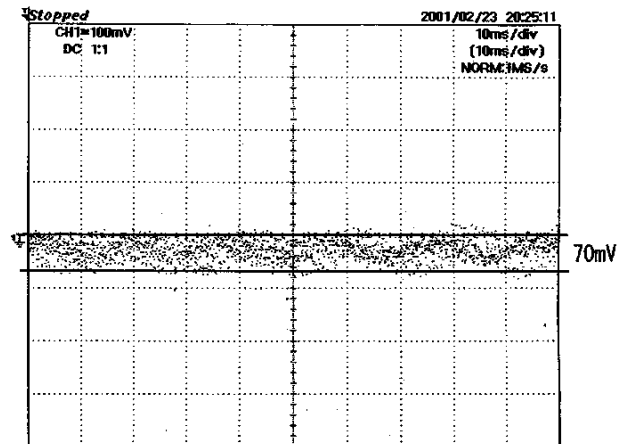


図6 安定化後の誤差信号

4.まとめ

市販の部品を用いて670nm領域の半導体レーザーを製作し、シングルモードで発振させた。そしてその周波数を、約130kHzの安定度で安定化させることに成功した。

5.今後の展望

今回の実験では、半導体レーザーの注入電流に変調をかけて周波数の安定化に成功したが、やはり変調コイルによる安定化の方が望まれるので、コイルを新しく巻き直して正常に動作するようになった後に今度は、変調コイルを用いる方法によって周波数の安定化をしない。

変調コイルによって安定化が完了した後は、原子のレーザー冷却にも用いることができるように増幅するか、又は注入同期法によって大出力にする。