

半導体レーザーの周波数安定化の研究

電子物性工学科 鈴木宗美

1,実験目的

本研究室では、 Li^7 原子のレーザー冷却を行っておりその内のクーリング光である $2^2\text{S}_{1/2}$, $F=2$ から $2^2\text{P}_{3/2}$, $F=3$ への遷移線に半導体レーザーの周波数を(波長 670.962nm) 1 MHz 以内に安定化させることを目的とした。

2,自然幅とドップラー幅

半導体レーザーの周波数を 1 MHz 以内に安定化するには自然幅に近い吸収波形が必要です。熱運動している Li 原子のドップラー幅は温度を 500K とすると 2.2GHz になる。

図 1 の Li 原子のエネルギー準位図に示すように、下の準位の超微細構造分裂 803MHz がドップラー幅に埋もれてしまい観測が不可能なことがわかる。しかし下の $F=2$, $F=1$ からの遷移を分解したいので、飽和分光法を使いドップラーフリーで超微細構造による自然幅 6.2 MHz に近い飽和吸収波形を検出します。

^7Li のエネルギー準位図

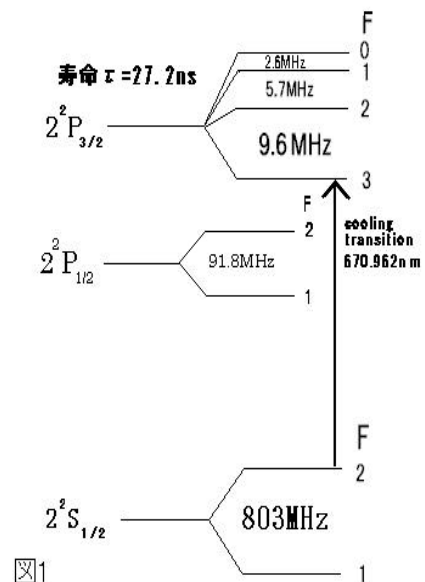
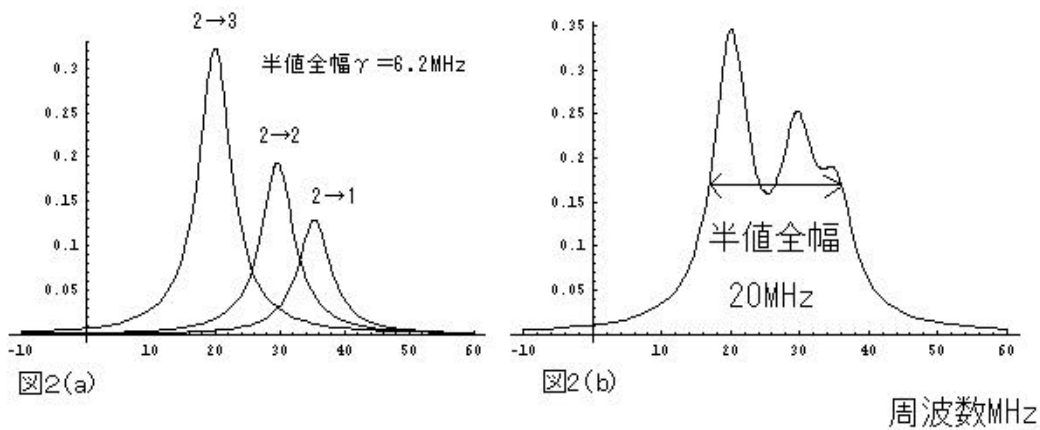


図1

3,飽和波形の半値全幅の理論値

$I=3/2, F=J+I=3$ より $2^2\text{P}_{3/2}$ の準位が 4 つに分かれているため飽和波形は 3 ピークに分かれているはずですが、準位の間隔が自然幅と同じぐらいなので実際には 1 つのピークしか検出されません。それぞれのピークをローレンツ型の関数としてグラフを書くと図 2 の (a) になります。図 2 (b) は、3 つのピークを足し合わせたもので半値全幅が 20MHz になりました。これが飽和波形の半値全幅の理論値になる。



4, 実験

4.1 電流変調による分光法

半導体レーザーから出たレーザー光は、 $\lambda/4$ 板を通りまずポンプ光としてLiセルを通り、ミラーで反射されプローブ光として再びLiセルを通り、 $\lambda/4$ 板を通り偏光ビームスプリッターにより反射されフォトダイオードで飽和吸収信号として検出される。半導体レーザーの注入電流に変調をかけることによりロックインアンプを用いて微分波形を取り出します。エラーシグナルを図3に示す加算回路でScan controlからの信号に加えgratingの角度を調整するPZT圧電素子にフィードバックをかけ周波数を安定化します。

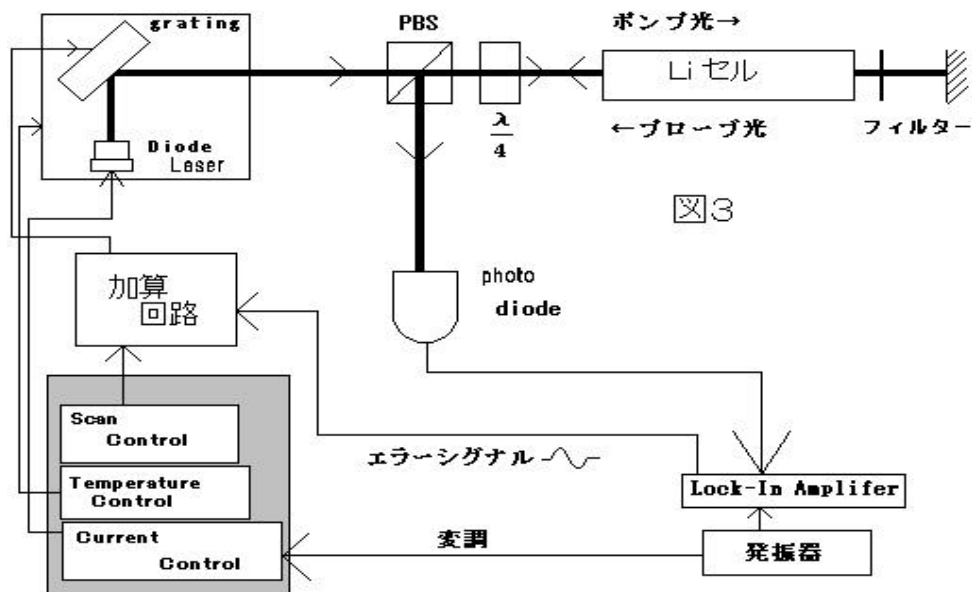
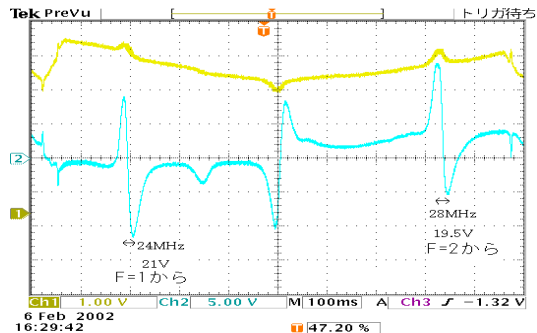


図4に実験で得られた飽和吸収波形(黄)とロックインアンプからのエラーシグナル(青)を示す。クーリングにはF=2からの遷移を用いているので右の波形を用いて周波数を安定化した。



大 ← 周波数 → 小 図4

図5の中央から右側が周波数を安定化したときのロックインアンプからの波形である。ロックをかけると出力電圧は約80mV以内になり周波数で110kHz以内に周波数を安定化されていることがわかった。

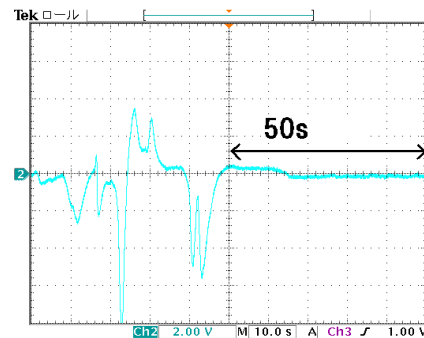


図5

19 Feb 2002
19:51:06

4.2 偏光分光法 (下図参照)

レーザー光に変調をかけずにエラーシグナルを得る方法として偏光分光法の実験を行なった。半導体レーザーから出たレーザー光は、 $\lambda/4$ を通り+ポンプ光となりLiセルを通りこのときポンプ光によりLi原子はスピン偏極する。そこにミラーで反射しポライザーにより直線偏光となった(直線偏光は $++$ と考えられる) $++$ プローブ光が再び入射する。スピン偏極したLi原子は $-$ 光を吸収するが $+$ 光は吸収しないことを利用して偏光ビームスプリッターで分けて引き算回路に入れてエラーシグナルを取り出した。

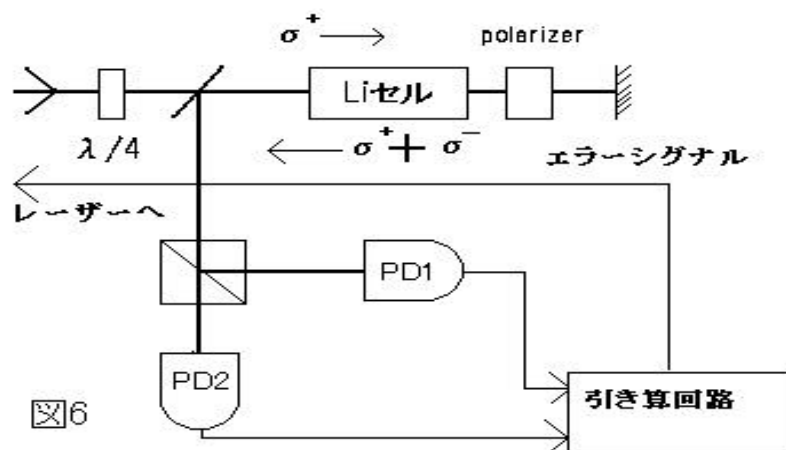


図6

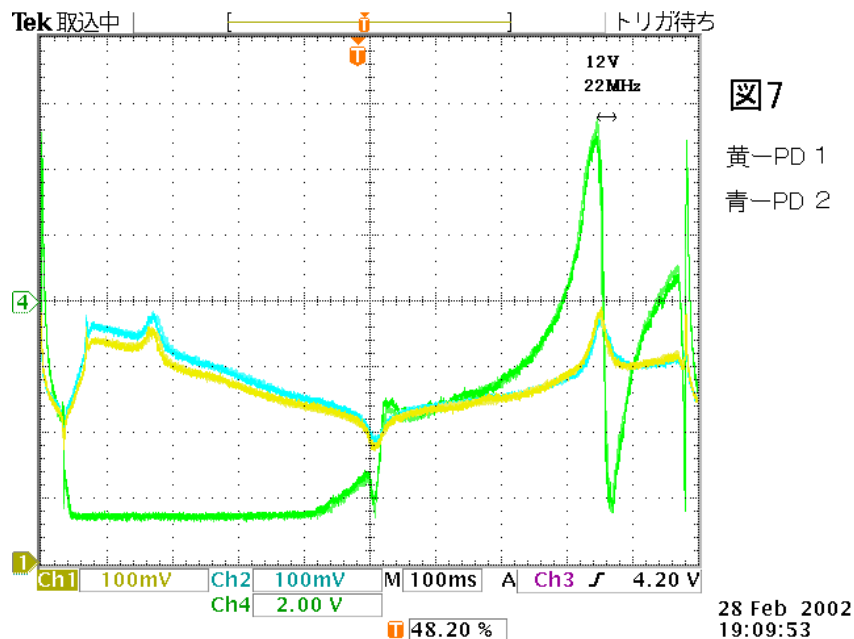


図7

黄—PD 1
青—PD 2

図7の緑の波形は偏光分光法によりえられたエラーシグナルである。エラーシグナルの幅は、理論値では20MHzであり電流変調の時は28MHzあり、偏光分光法の時は、22MHzであることから、電流変調によりエラーシグナルの幅が広がっていたことがわかった。更に偏光分光法でも理論値よりも2MHz広がっているが、これはLiセルの窓にLiが付着しないようにArガスを50mtorr入れているため幅が広がったと考えられる。

5,まとめと今後の予定

今回は、半導体レーザーに電流変調をかけて飽和吸収からエラーシグナルを作り出して周波数をロックすることに成功しました、更に偏光分光法によりエラーシグナルを出すことは出来ましたがノイズが大きいためレーザー周波数を1MHz以内に安定化することは出来ませんでした、そのためノイズを消す回路を作製し半導体レーザーに電流変調をかけることなく、周波数を安定化しようと思います。