

半導体レーザーの製作と安定化 その1

量子物質工学科 清水和子研究室 畑瀬 宏

1 背景

我々の研究室では図1に示すようにAr*と固体表面の相互作用を研究する予定である。図2に示す冷却遷移を用いてAr*をトラップし、714.9[nm]の光を入れて一旦 $3P^5(2P_{1/2})4P[1^{1/2}]^0_1$ 準位に上げると $3P^5(2P_{1/2})4S[1/2]^0_0$ 準位に多くの原子が落ちる。この準位の原子はトラップされないで重力により落下して固体表面とファンデルワールス相互作用が起き $3P^5(2P_{1/2})4S[1/2]^0_0$
 $3P^5(2P_{1/2})4S[1^{1/2}]^0_2$ に遷移することを確認する。このことを利用して後々原子ビームの生成などに利用できる研究である。

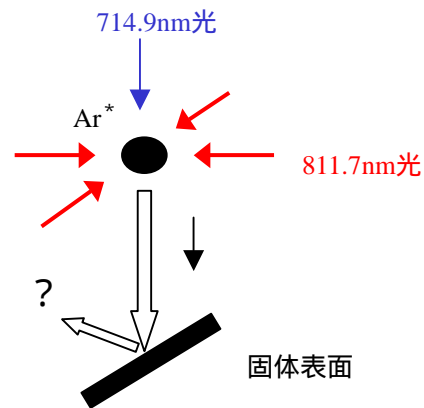


図1 Ar*と固体表面の相互作用

2 目的

Ar*原子源として磁気光学トラップ(MOT)で原子をトラップ・冷却する。そのためにAr*原子の冷却遷移波長である811.754[nm]の光を発振する外部共振器型半導体レーザーを製作し、Ar*原子の自然幅5.9[MHz]を考慮してレーザー周波数を1~2[MHz]程度に安定化させることを目指す。

3 製作

3-1 製作の概要

- ・ 図3は外部共振器型半導体レーザーの装置概略図である。
- ・ 周波数選択性をもたせるため回折格子からの一次光をLDに戻すリトロ配置をとる。
- ・ 回折格子とLDとの角度を調節するためミラマウントを用い、さらにPZT(圧電素子)で微調できるようにPZTコントローラを製作する。
- ・ 温度制御のため温度コントローラを製作する。

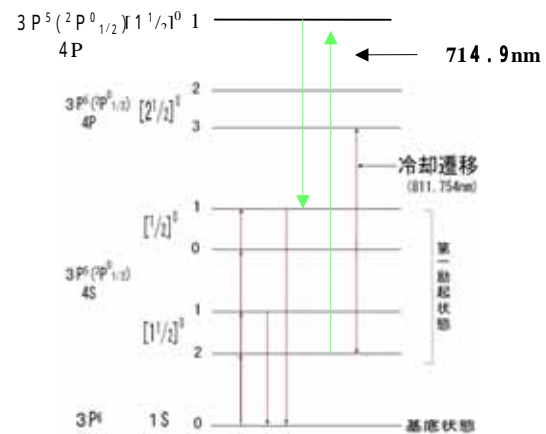


図2 Ar*のエネルギー準位図

3 - 2 外部共振器型半導体レーザーの特性

まず製作した外部共振器型半導体レーザーを電流を変化させて室温 25 で出力特性を測定した結果を図 4 に示す。波長の温度依存性を注入電流 100[mA]で測定すると図 5 に示すようになり 26~27 で冷却遷移波長である 811.754[nm]が発振した。温度を 26 に固定して波長の電流依存性を測定したところ図 6 に示すように 103 [mA]付近で 811.754[nm]の光が発振した。811.754[nm]の光は得られたが安定性が低い(数十[MHz])ので偏光分光法を用いて安定化を行なった。

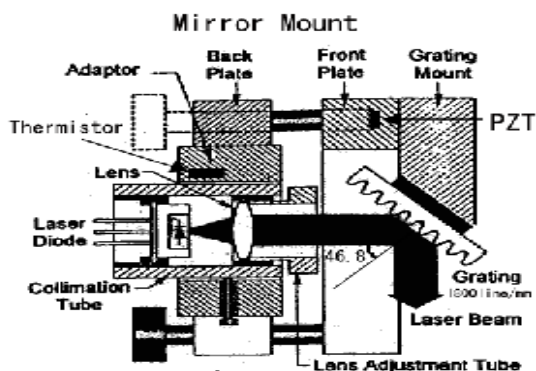


図 3 装置概略図

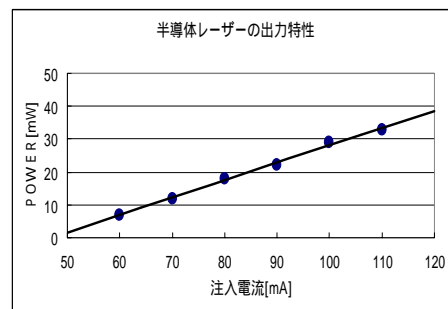


図 4 LD の出力特性

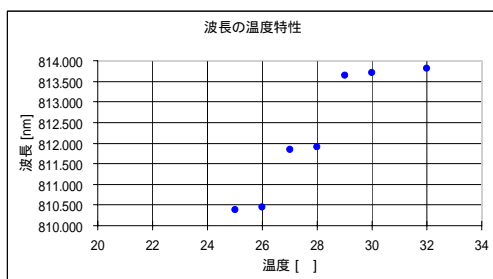


図 5 LD の温度特性

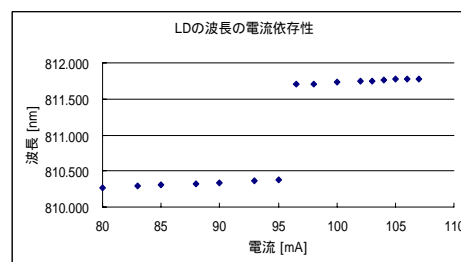


図 6 LD の電流特性

4 安定化

4 - 1 方法

レーザー周波数の安定化に用いられる基準は原子の共鳴信号である。室温の Ar 原子ドップラー幅は 363[MHz]で共鳴線の自然幅は 5.9[MHz]であり共鳴線がドップラー幅に埋もれている。よって原子に飽和させるほどの強い光(ポンプ光)を照射し、対向方向から弱い光(プローブ光)を当ててその透過光強度から原子の共鳴周波数を自然幅程度の分解能で測定することができる飽和吸収分光法の原理を利用した偏光分光法を用いた。

偏光分光法とはスピン偏極した原子に光を入射したとき、その光の偏光の向きによって異なる屈折率を示すことを利用する方法である。スピン偏極を起こすには $+$ (or $-$) の

光を入射すると選択則により $m=1$ (or -1) の準位に励起されることを利用している。例えば図7のような2準位系を考える。 $+$ の光が入射すると選択則により $m=-1/2$ から $m=1/2$ だけに励起されて自然放出により $m=1/2$ か $m=-1/2$ の準位に落ちてくる。よって $+$ の光を入射し続ければ片方のスピン状態に偏らせることができる。このようにスピン偏極した原子は $+$ の光は吸収せず $-$ の光だけ吸収するようになる。スピン偏極したことにより $+$ の光と $-$ の光の屈折率 n^+ と n^- に違いが生じる。 $+$ の光の吸収がないため屈折率 n^+ の変化はないが、 $-$ の光は吸収により屈折率 n^- に分散が生じる。 n^- の分散は図8のように共鳴周波数の前後で正負が反転しているため、誤差信号として周波数安定化に利用できる。

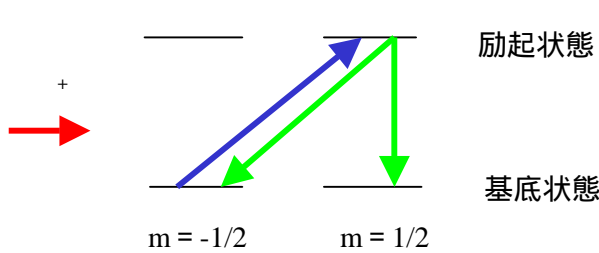


図7 スピン偏極

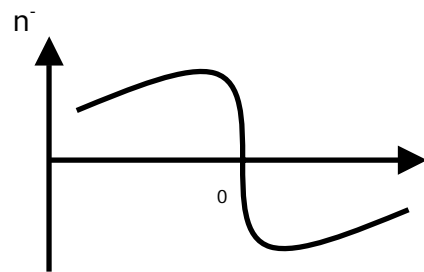


図8 屈折率の分散

4 - 2 実験

この屈折率の分散を誤差信号として取り出すために図9のような光学系を組んで安定化を試みた。ポンプ光として $+$ の円偏光をアルゴン放電セルに入射させスピン偏極を起こさせ、プローブ光として直線偏光 ($++$ $-$) を入射する。アルゴン放電セル内の原子はスピン偏極しているため $-$ の光は屈折率の分散が生じているので光の偏光方向が $-$ だけ傾けられる。この傾けられた直線偏光の光は偏光ビームスプリッターによりP偏光とS偏光に分けられそれぞれの光の強度をPDで検出する。この2つの光の強度差によりスピン偏極によって生じた光の傾き $-$ がわかり屈折率の分散から誤差信号としてPZTコントローラーにフィードバックさせて周波数安定化を図ることが出来る。

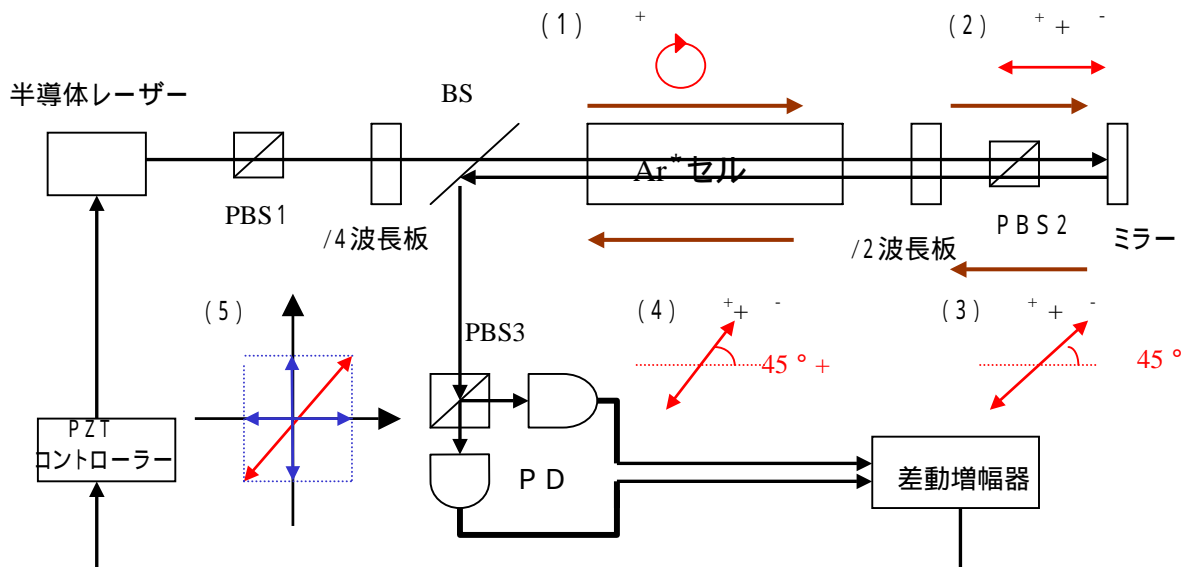


図9 実験配置図

実際にピエゾに電圧をかけ周波数を掃引して差動増幅器の出力から得られた誤差信号は図 10 のようになった。誤差信号の幅は 58.4 [MHz] で高さは 11 [V] であった。これらの値から誤差信号の傾きの逆数は 5.3 [MHz/V] である。この値を用いる事により誤差信号の電圧を周波数に変換する事ができる。

得られた誤差信号を PZT コントローラーにフィードバックさせてレーザーの周波数安定化をしたものが図 11 である。図の真ん中から誤差信号のフィードバックを始めている。図からわかるとおり、レーザーの安定度が誤差信号のフィードバックをかける前では 12.5 [MHz] 程度であったがフィードバック後では 3.7 [MHz] 程度に安定化した。

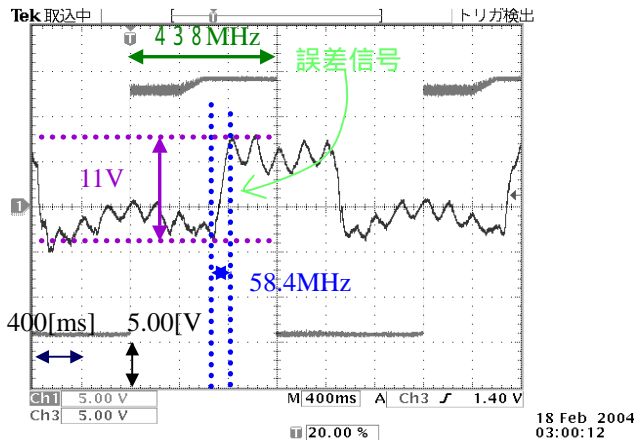


図 10 得られた誤差信号

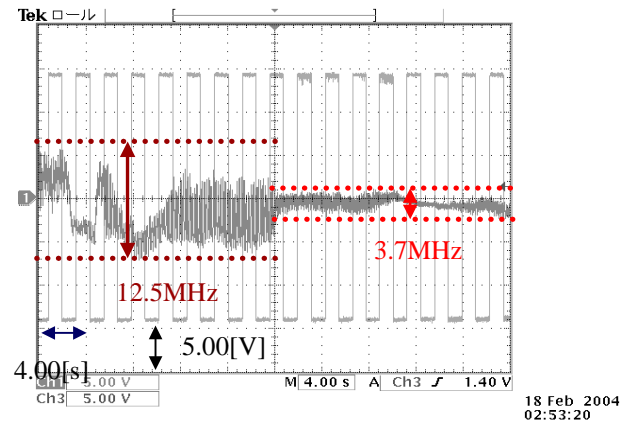


図 11 フィードバック後の誤差信号

5 まとめ

冷却遷移波長 811.754 nm の光をシングルモードで発振する外部共振器型半導体レーザーを製作した。

偏光分光法を用いてレーザー周波数を 3 ~ 4 MHz に安定化させた。

しかし目標値まで安定化させることができなかったので今後原因を究明し、改良していきたい。

実際に製作した外部共振器型半導体レーザーは以下に示す。



LD : SHARP LT017MD
 Grating : 反射型 1800lines/mm
 Mirror Mount : Newport U100 - P
 PZT : THORLABS AE0203D04
 Collimation Lens & Tube : THORLABS LT220P - B
 温度コントローラ : WAVELENGTH HTC - 1500
 Thermistor : SEMITEC 103AT2
 Case : 防塵・防水アルミダイカスト(160 × 160mm)