

# 準安定状態アルゴン原子のレーザー冷却・トラップの研究

## その3 半導体レーザーの周波数安定化

量子・物質工学科 清水研究室

宮脇 優

### 1. 目的

本実験では、準安定状態アルゴン原子を冷却・トラップするために半導体レーザーを使用する。

レーザー冷却では、高い周波数安定度をもったレーザーが必要であるため、半導体レーザーを準安定状態アルゴン原子の冷却遷移波長 811.754nm でシングルモード発振させ、レーザー周波数を 1~2MHz の安定度にするを目的とする。

### 2. 実験方法

周波数の安定化は原子の共鳴線を基準に行う。準安定状態アルゴン原子の励起状態の寿命から計算される自然幅は 5.9MHz、温度 300K での熱運動によるドップラー幅は約 360MHz であり、共鳴線の自然幅はドップラー幅に埋もれてしまっている。このドップラー幅を除いて鋭いスペクトル線を得るために飽和吸収分光法を使用し、変調分光法で自然幅程度のエラーシグナルを得て、レーザーシステムのピエゾ素子 (PZT) へフィードバックをかけることで周波数の安定化を行う。

放電ガラスセル内のアルゴンガスを放電によって準安定状態へ励起し、その放電セルにレーザー光を入射させ、光路が完全に重なるようにミラーで反射してその反射光をフォトダイオード (PD) で検出する。

#### 2-1. 変調分光法

放電セルにコイルを巻き、発振器からアルゴン原子に変調をかける。PD で検出された信号を Lock-in Amp. に入力し、ホールバーニングの微分波形を得て、その信号をエラーシグナルとしてレーザーシステムにフィードバックをかける。

### 3. 実験装置

#### 3-1. 半導体レーザー

Laser Diode (LD) は Collimation Tube 内に入っている。Collimation Tube を固定した Mirror Mount を薄いアルミの板に固定した。LD の温度コントロールには Peltier を 2 つ使用し、温度測定用の Thermistor は Collimation Tube を固定している円筒にあけた穴に入れ固定した (Fig.1)。

レーザー光は、Collimation Lens を調節することで、約 7m の距離間で光が集光、拡大しないように平行光にした。

この状態で LD に電流を流し、レーザー波長の電流依存性を調べた (Fig.2)。

LD の注入電流標準値は 110mA である。Fig.2 からわかる通り、注入電流 90mA でモードホップが起こり、過大な注入電流による LD の破壊を防ぐため注入電流を増加できないので、Free run では冷却遷移波長で発振させることができないとわかった。

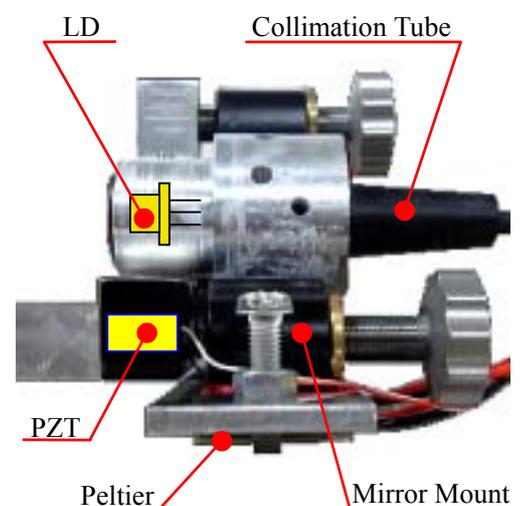


Fig.1 半導体レーザー側面

### 3-2 . 外部共振器

Mirror Mount に Grating を付けて共振器を組んだ。レーザーに周波数選択性をもたせるために、Grating からの一次光を LD に戻し、LD と Grating で共振器を組む Littrow 配置をとっている ( Fig.3 )。レーザー光の入射角  $\theta$  と波長  $\lambda$  の関係は

$$\lambda = 2d \sin \theta$$

$$\lambda = 811.754 [\text{nm}], d = 1/1800 [\text{mm/lines}]$$

上式より、Grating の設置角は  $46.9^\circ$  となる。

Grating の角度は横方向微調整ネジ、微調整ネジと Mirror Mount の間に挟んだ PZT を使用して調節する。冷却遷移波長付近の波長が現れるように、横方向微調整ネジを回して最適な角度に調整した。また、LD と Grating の面平行度は縦方向微調整ネジで調節する。平行度の良い所では、レーザーの発振閾値が小さくなるので最適な角度に調整した。

この状態で LD に電流を流し、レーザー波長の電流依存性を調べた ( Fig.4 )。LD の温度は、昨年度までの研究から 27 付近で冷却遷移波長が得られることがわかっていたので、温度と注入電流を同時に変化させることで最適温度が 26.0 であることがわかった。

Fig.4 の測定範囲内でモードホップが 4 回起こり、さらに時間と共にモードホップの起こる電流値も変化することがわかった。

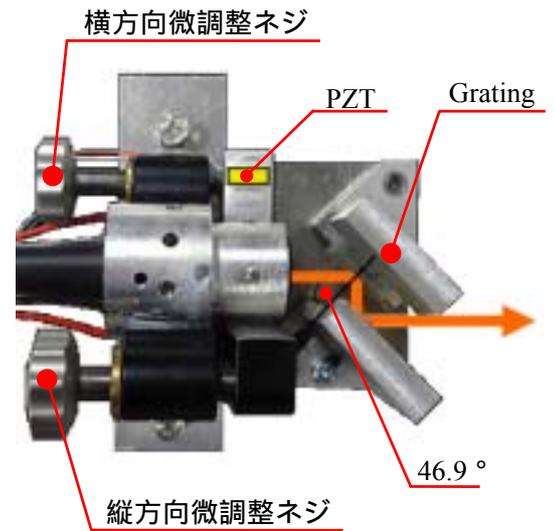


Fig.3 外部共振器上面図

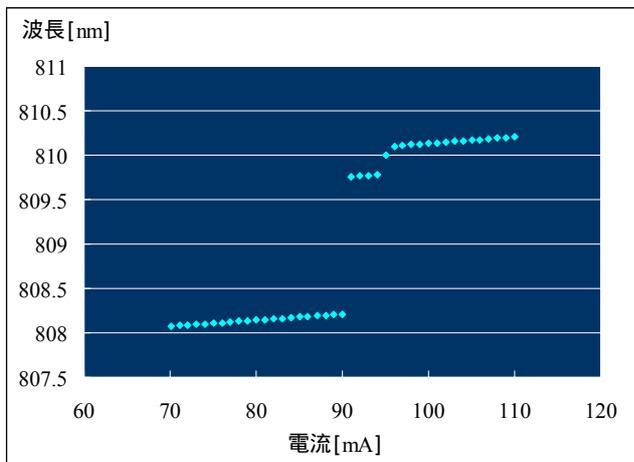


Fig.2 Free run レーザー波長の電流依存性

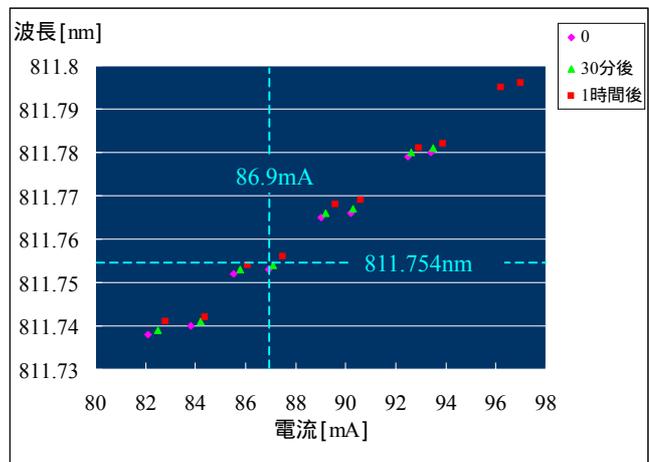


Fig.4 26.0 におけるレーザー波長の電流依存性

### 3-3 . 発振器・コイル

変調をかける発振器とコイルを作製した。発振器は、正弦波信号を増幅器を通して出力できるように作製した。本実験では、電圧 3.6V、周波数 11.2kHz を発振させた。コイルは、放電管のくびれ約 1.8cm の部分に銅線を 10 層で約 570 回巻いた ( Fig.5 )。銅線の太さは 0.3mm、使用した銅線長さは約 16m でその電気抵抗は  $3.88\Omega$  である。



Fig.5 放電セルとコイル

### 3-4 . 装置配置

実験装置は Fig.6 のように配置した。

LD を出たレーザー光は、Anamorphic Prism で丸くされ Isolator を通って 2 つの Beam Splitter ( BS ) によって波長計と Fabry-Perot 共振器へそれぞれ入射される。透過光はミラーで反射され、偏光ビームスプリッター ( PBS )、 $\lambda/4$  板、放電セルを通り、ミラーによって光路が完全に重なるように反射されて PBS まで戻り、フォトダイオード ( PD ) でレーザー光の信号を検出した。放電セルの Ar 原子には発振器より変調をかけた。発振器、PD からの信号を Lock-in Amp. へ入力し、得られた出力をエラーシグナルとして制御回路を通してレーザーシステムの PZT へフィードバックをかけ、周波数安定化をした。

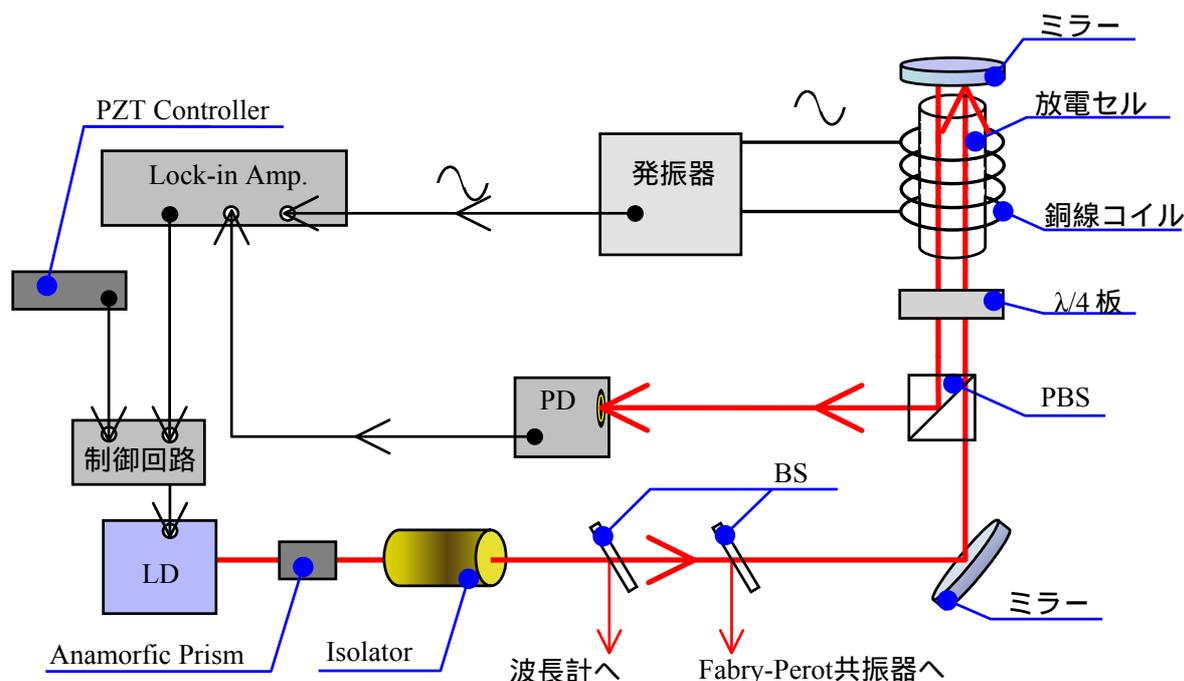


Fig.6 実験装置配置図

### 4 . 結果

オシロスコープで観察された信号は Fig.7 のようになった。緑色の波形がエラーシグナル、ピンクの波形がホールバーニング、黄色の波形が Fabry-Perot 共振器からの出力信号を表し、黄色の波形の間隔は Fabry-Perot 共振器の Free Spectral Range である 1.9GHz となっている。この値からエラーシグナルの幅を見積もると、64MHz となり、その高さは 7.8V である。従って、エラーシグナルの傾きは 0.12V/MHz でその逆数は 8.2MHz/V である。この値を用いて、周波数ロック後のエラーシグナルの電圧を周波数に変換できる。

また、ホールバーニングのくぼみには Ar ガスの圧力広がり重なっていると考えられる。圧力広がりには 1Torr で約 10MHz であり、放電セル内には約 2Torr の Ar ガスが入っているため、約 20MHz の圧力広がり重なっていると考えられる。しかし、くぼみの線幅は 64MHz ととても広く、その原因としては変調電圧や注入パワーなど様々な要因が考えられる。

周波数ロックの状態をオシロスコープで観察したのが Fig.8 である。エラーシグナルの傾きの逆数 8.2MHz/V より 1Division が 1.6MHz に対応し、緑色の波形のエラーシグナルの振幅は、約 1.2MHz となった。これによりレーザー周波数が 1MHz 程度に安定化されていることがわかった。

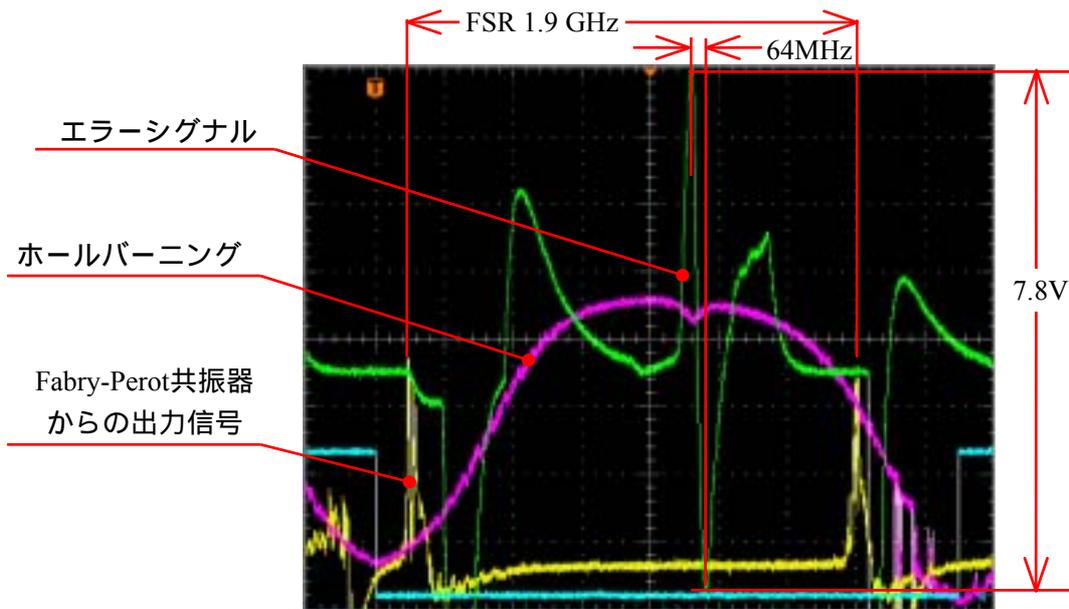


Fig.7 ホールバーニングとエラーシグナル

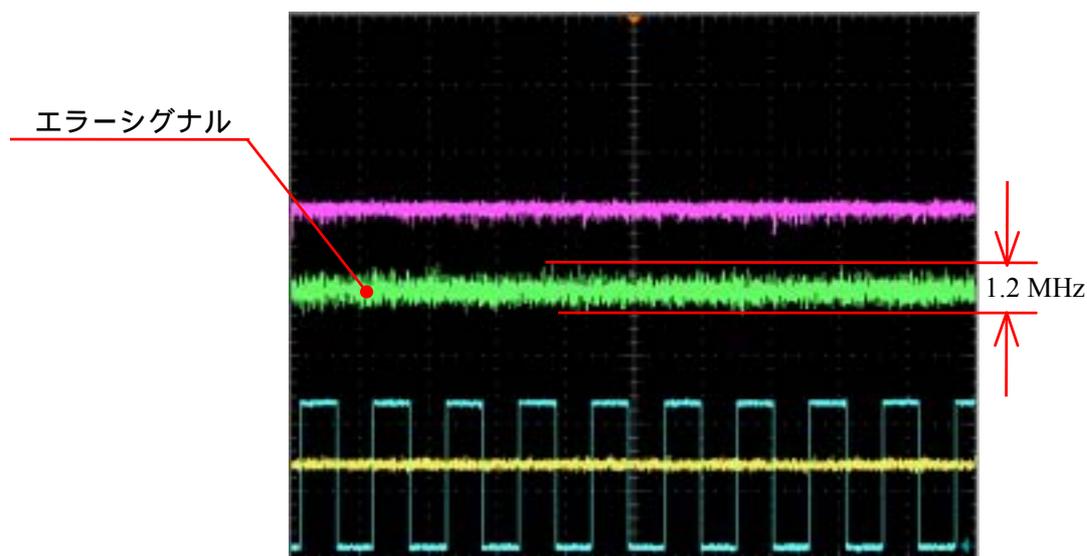


Fig.8 周波数ロック後の波形

## 5. まとめ

電流、温度、Grating 角を調節することで、準安定状態アルゴン原子の冷却遷移波長 811.754nm で半導体レーザーをシングルモード発振させることができた。また、レーザー周波数を、変調分光法を用いて、約 10 分間 1MHz 程度の安定度で安定化することができた。

## 6. 今後の課題

レーザー周波数の温度コントロールをさらに向上させ、振動等に強いレーザーシステムを作製する必要がある。そして、周波数安定を数時間単位で安定化できるように、安定化装置に改良を加えていかなければならない。共鳴から離調した状態でも周波数安定化をしなくてはならない。

また、レーザー冷却をするためには現在のレーザー強度 (約 20mW) を 50mW 程度まで増幅し、さらに注入同期などを用いて 100mW 程度まで出力を増幅させる必要がある。