

# 850nm 領域の半導体レーザーの安定化

電子物性工学科 白田研究室

9714026 大島 裕貴

## 1. 背景と目的

固体水素は、孤立分子の量子性と固体の高密度性を併せ持った量子固体である。我々の研究室の研究テーマの一つに固体水素の分光学的研究があり、その一つにコヒーレントラマン分光がある。今までの研究で、そのスペクトル幅が数 MHz 以下であることがわかっているが、これが本当にスペクトル幅であるのか、システムの装置幅であるのかは判別できない。この装置は、パンプ光として発振波長 1319nm の LD 励起 YAG レーザー(MISER)を、プローブ光として発振波長 852nm の外部共振器半導体レーザーシステム(ECLD)を用いている。MISER の周波数揺らぎは 200kHz/sec 以下、ECLD の周波数揺らぎは約 1MHz/sec であることより、装置幅の原因は、ほとんど ECLD の周波数揺らぎにあるものと考えられる。そのため、ECLD をより安定化させ、周波数揺らぎを抑えることが求められる。そこで本研究では、ECLD の周波数揺らぎを最低でも数十～数百 kHz 程度まで抑えることを目的とする。

## 2. 外部共振器半導体レーザーシステム

外部共振器半導体レーザーシステムについて図 1 に示す。

リトロ型に配置されたホログラフィックグレーティングにて、0 次光を出力として取り出し、1 次光を半導体レーザーにフィードバックすることにより外部共振器を構成している。共振器長とフィードバックされる周波数がマッチしたとき、発振周波数の線幅を狭窄化し、周波数揺らぎを抑えることができる。

ピエゾにかける電圧を変えてグレーティングの傾きを変えることにより、フィードバックされる周波数が変化するため、発振周波数を掃引することができる。ただし、外部共振器の共振器長もまた変化するため、共振器長と戻り光の周波数がマッチせず、モードホッピングが起こることは避けられない。また、半導体レーザーチップの特性として、レーザーチップの温度を制御したり、駆動電流を変化させることによっても発振周波数を掃引することができる。

今回使用したシステムの主な特性は、スペクトル線幅は数百 kHz、ピエゾ電圧を変化させたときの周波数連続掃引可能範囲は 2～3GHz、出力は 30～40mW、周波数揺らぎ:は 1MHz/sec 程度となっている。

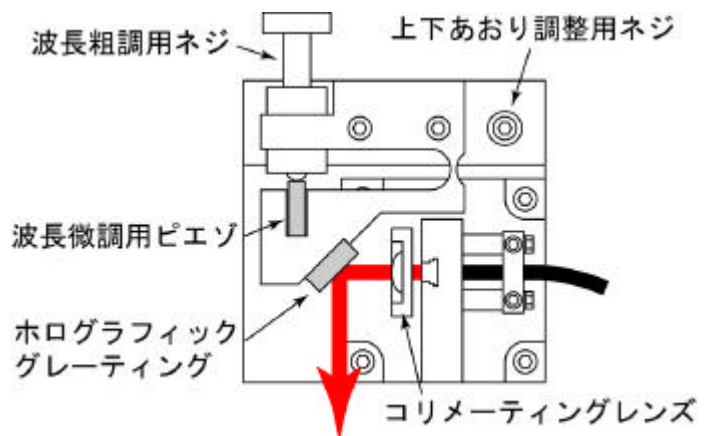


図 1 . 外部共振器半導体レーザーシステム

### 3. Pound-Drever-Hall 法

本研究では ECLD を安定化させる方法として、Pound-Drever-Hall 法(以下 PDH 法)と呼ばれる方法を用いる。

PDH 法とは、電気光学位相変調器(EOM)にて変調をかけて側波帯を発生させたレーザー光を、安定かつ高フィネスの光共振器に入射し、その共振情報を側波帯との光ヘテロダイン法にて検出する。その情報(エラーシグナル)をレーザーにフィードバックすることにより、発振周波数を光共振器の共振周波数にロックして安定化させる方法である。また、この方法は、レーザーの発振周波数に依存せずに安定化させられるという特長があるため、 piezoアクチュエータを用いて連続的に共振器長を変えることにより、発振周波数の連続掃引も可能となる。

今回作製したシステムの概略図を図 2 に示す。初めに  $f=1000$  のレンズを挿入することにより、ビーム径を光共振器にマッチさせている。ECLD は、戻り光の影響を受けやすいので、アイソレータにて戻り光を防いでいる。電気光学位相変調器(EOM)にて 10MHz の位相変調をかけたレーザー光を光共振器に入射し、その共振情報をダブルバランスドミキサ(DBM)にてヘテロダイン検出する。サーボ回路にてそれを制御し、ECLD の駆動電流ドライバおよび piezoドライバへフィードバックしている。

今回使用した光共振器の図と写真を図 3 に示す。ミラーは平面ミラーと凹面ミラーを組み合わせてある。凹面ミラーの曲率半径は 1m であり、反射率は共に 99.8% である。スペーサーはクリアセラム製で、幅は 20cm である。従って、FSR=750MHz、ミラーの反射率より計算したフィネス=1500、モードマッチビーム径=0.7mm となる。アルミダイカスト製のケースに収めることにより外部の音などの影響を軽減し、また、ケースは滑り止め用のゴムをはさんで置いてあり、ネジ止めしないことにより、光学台からの振動を抑えている。これらにより、共振器の安定性が保たれている。

サーボ回路の回路図を図 4 に示す。初めに、Low pass filter にて、高周波成分を落とし、OP アンプにて反転増幅する。この時にオフセット調節ができるようになっており、その信号をモニターできるようになっている。そして、この信号を積分したものを、ECLD の piezo および駆動電流へとフィードバックする。

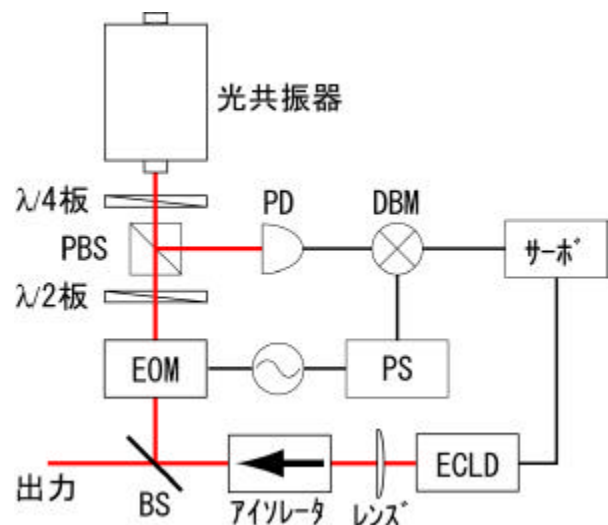


図 2 . PDH 法概略図

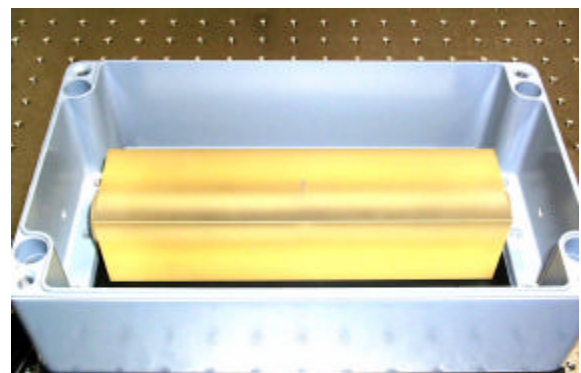
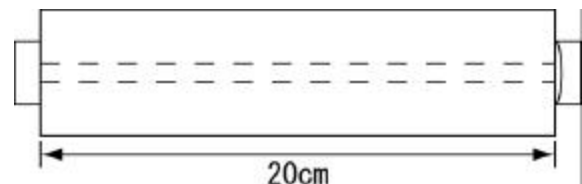


図 3 . 光共振器

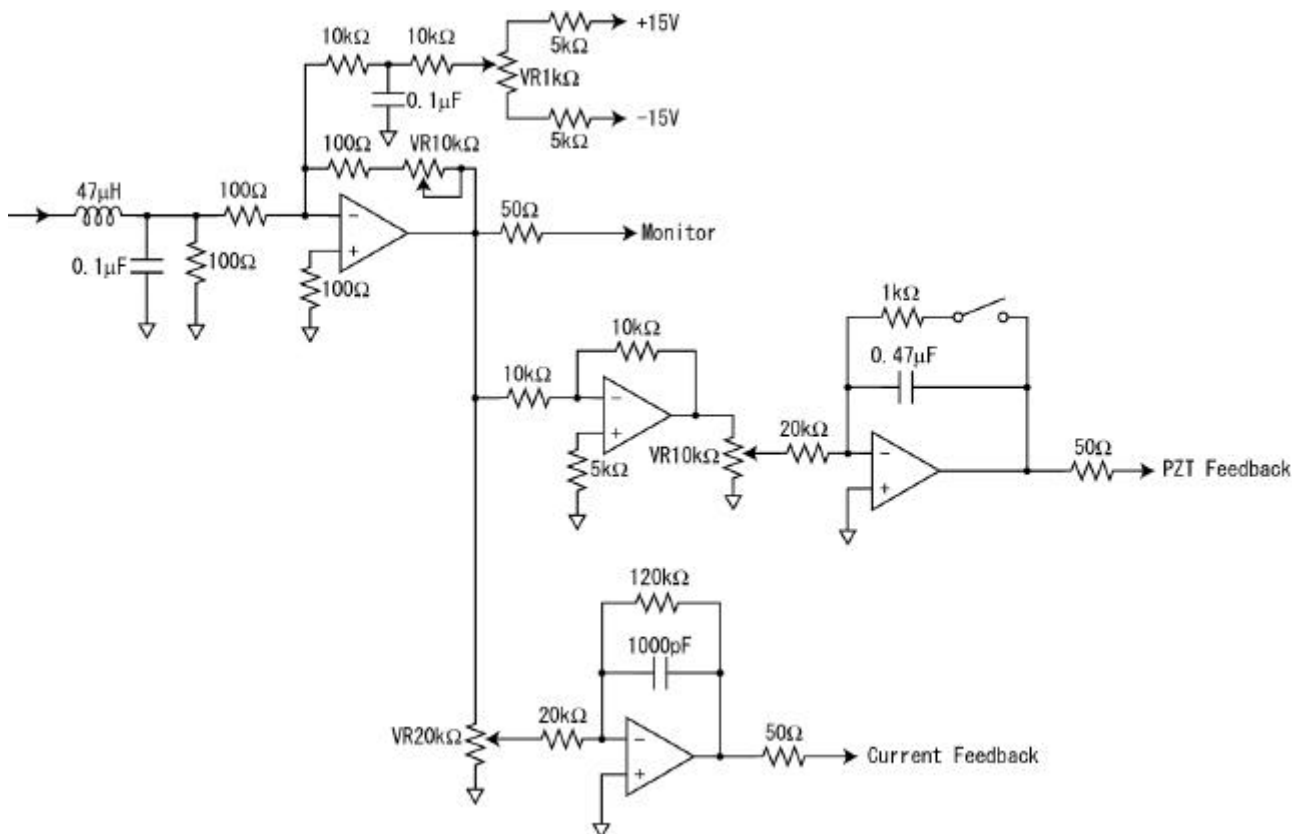


図 4 . サーボ回路図

#### 4. エラーシグナル

ECLD の Piezo を掃引して発振周波数を掃引したときの、光共振器の透過光強度およびエラーシグナルを図 5 に示す。上は透過光強度であり、半値全幅 FWHM=0.9MHz である。従って、フィネス=830 であり、計算値の半分程度であった。下はエラーシグナルであり、ロックをかけるべき中央急勾配部分の振れ幅=400mV、幅=2MHz である。また、中央の歪みは、戻り光の影響であると思われる。

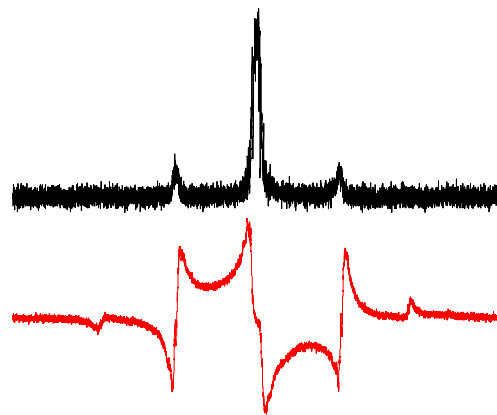


図 5 . 透過光強度とエラーシグナル

#### 5. 周波数揺らぎの見積もり

実際にフィードバックを戻して、ロックをかけたときの周波数揺らぎを見積もった。

上で測定した、急勾配部分の触れ幅と幅の関係が線形であるとするれば、ロックをかけているときのエラーシグナルの強度を調べることで、周波数揺らぎを見積もることができる。

ロックをかけているときのエラーシグナルをスペクトラムアナライザーにて周波数分解したデータを図 6 に示す。横軸はエラーシグナルの周波数成分、縦軸はその周波数成分の強度より見積もった周波数揺らぎである。これより、10kHz 以下の成分においては、周波数揺らぎは 10kHz 程度以下に抑えられており、特に 3~10kHz 成分においては 1kHz 程度まで抑えられていることが分かる。低周波側で周波数揺らぎが抑えきれていないのは、外部の音を拾ってしまっている可能性が考えら

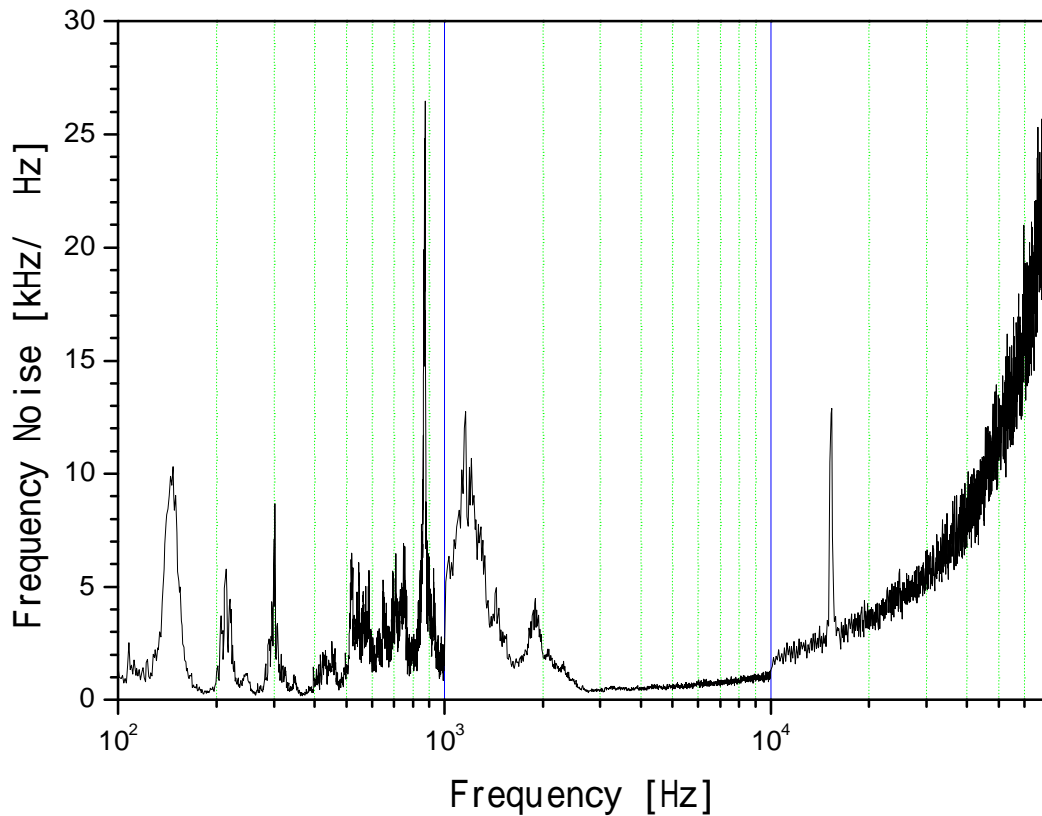


図6. 周波数揺らぎの見積もり

れる。また、高周波側で急激に周波数揺らぎが増加するのは、サーボ回路の帯域幅の制限により、フィードバックを戻せていないためと考えられる。いずれの場合も、サーボ回路を改良することにより、改善することが可能である。

## 6. まとめと今後の課題

結果をまとめると、

- ・ ~3kHz 成分の周波数揺らぎ：~10kHz
- ・ 3kHz~10kHz 成分の周波数揺らぎ：~1kHz

10kHz 以上の成分になると、このシステムの帯域外と考えられる。しかし、測定速度が 10kHz 以下の測定をする場合、このシステムは十分有効であることがわかった。コヒーレントラマン分光にも利用可能である。

今後の課題として、

- ・ 安定度の定量的な評価
- ・ 低周波成分の安定化
- ・ 高周波成分の安定化

等が考えられる。

応用としては、

- ・ ピエゾを用いた共振器長可変のシステムの作製
- ・ LD 以外のレーザー(MISER、Ti:Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> レーザー等)のロック
- ・ コヒーレントブリルアン分光への応用
- ・ ドロップレット共振器へのレーザー周波数のロック

等が考えられる。