

# 外部共振器型半導体レーザーの製作 その1

## ～ 準安定状態 Ar 原子冷却用レーザーの製作 ～

量子物質工学科 清水(和)研究室 福原 隆

### 1. 背景

我々の実験室では原子干渉計の研究を行っている。原子干渉計の有用性は

- 冷却技術の進歩により原子の波長を光と同じオーダーにすることが可能となった。磁気光学トラップ(MOT)により原子を1mKまで冷却したとき、原子速度は数十 cm/s となり、これを原子源として干渉計に自由落下させたとき、干渉計内では数 m/s の速度になる。光の干渉計と比較すると速度による相互作用時間の比から、感度が約  $10^8$  倍となる。
- 原子には質量があり重力に関係する効果(加速度・回転運動)を精密に測定できる。などが挙げられる。今回、我々は原子干渉計の原子源としてAr\*原子を用いることにした。Ar\*原子を用いる利点としては以下のものが挙げられる。
- 原子は準安定状態なので、マイクロチャンネルプレート(MCP)で信号を検出できる。したがって検知のための共鳴光など、他に光を使わず検出できるので、測定におけるノイズを減らせる。
- 希ガスの不活性の性質により、真空容器・放電セル・検知器などの実験装置に気体が付着しない。
- 小型で安定な半導体レーザーで冷却遷移波長が実現できる。

### 2. 目的

Ar\*を原子源とした原子干渉計開発のためMOTにより原子を冷却・トラップする必要がある。右図1はAr\*のエネルギー準位図である。図の冷却遷移を用いて原子を冷却する。冷却用光源として、シングルモード、冷却遷移波長811.754nm付近で発振する外部共振器型半導体レーザーの製作を行う。またレーザー安定化のための温度コントローラ・PZTコントローラの製作を行う。

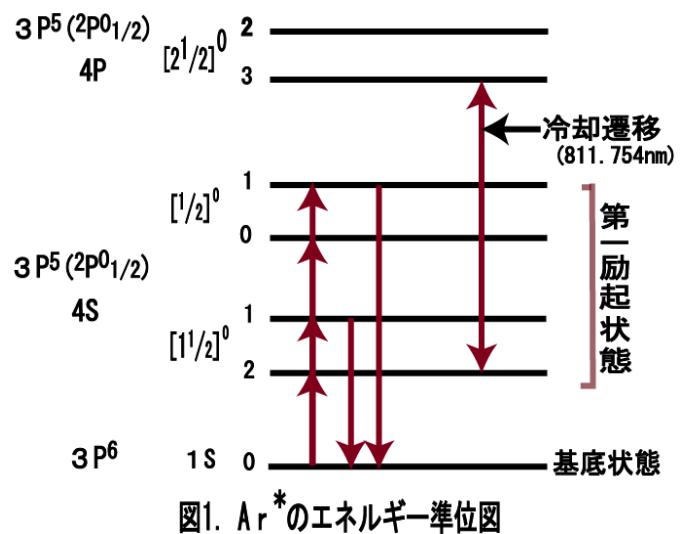


図1. Ar\*のエネルギー準位図

### 3. 製作

#### 3-1 装置の概略

LDは SHARP LT017MD( $\lambda = 810[\text{nm}]$ 、 $P = 50[\text{mW}]$ )、回折格子は反射型 1800[lines/mm]、PZTは THORLABS 社の AE0203D04、ミラーマウントは Newport 社の U100-P、コリメーションチューブ&レンズは THORLABS 社の LT 220P-B、ケースは防塵・防水アルミダイカスト、コリメーションチューブ用ホルダ、グレーティングマウント、ミラーマウントを加工。温度コントローラは WAVELENGTH 社の HTC-1500 を用い、Thermistor で温度検出をし、Peltier にフィードバックをかけて温度制御をした。

#### 3-2 外部共振器

右図2は、外部共振器の部分である。レーザーに周波数選択性を持たせるため、回折格子からの一次光をLDに戻し、LDと回折格子で共振器を組むリトロ配置をとっている。安定した発振のためには、LDの光の出口に一次回折光が正確に戻っていることが重要である。LDからのビームの入射角と、グレーティングからの一次光の出射角を共に $\theta$ とすると、発振波長 $\lambda$ とグレーティング角 $\theta$ の関係は次の式で表される。

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

$d$ は格子定数である。発振波長が $\lambda = 811.754[\text{nm}]$ 、格子定数が $d = 1/1800[\text{mm}/\text{lines}]$ なので、回折格子の設置角は $\theta = 46.8^\circ$ になる。グレーティング角の微調整には、横方向の微調整ネジ、微調整ネジとミラー

マウントの間に挟んだPZTを使用して調節する。また、LDとグレーティングとの面の平行度の調節は、しきい値より少し高い定電流値で縦方向の微調整ネジを用いて行った。平行度の良いところでは、レーザー出力が増加していることをオシロスコープで確認でき、最適な角度がわかった。gold-coated-mirror は、レーザーの出射方向が常に同じ方向になるように回折格子に対して平行に設置してある。

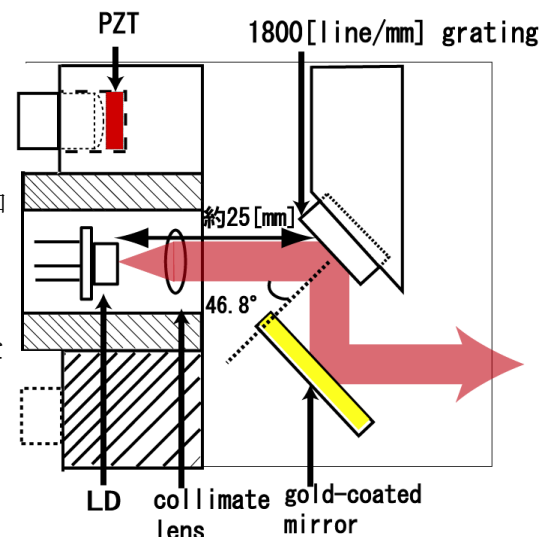


図2. 外部共振器型半導体レーザーの上面図

#### 3-3 温度制御

図3は、製作した外部共振器型半導体レーザーを側面から見た図である。コリメーションチューブを固定している円筒に穴を空けThermistorを入れてある。Thermistor には定電流が流れており、

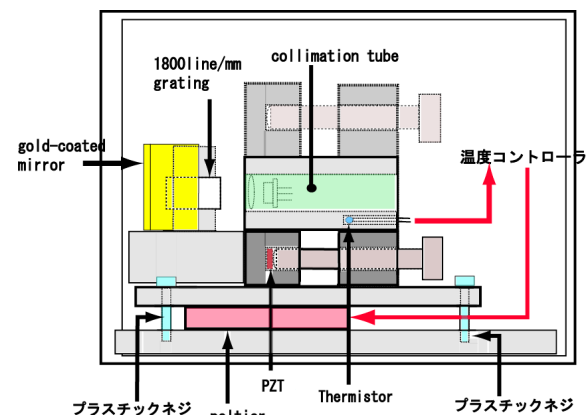


図3. 外部共振器型半導体レーザーの側面図

温度変化によるThermistorの抵抗値変化を電圧変化として温度コントローラでモニタし、そのときの電圧値とサーミスタの温度・電圧値特性からLD温度を見積もることができる。LDの温度は、ベースマウントとミラーマウントの間に挟んだPeltierで制御し、一定に保つ。ベースマウント・Peltier・ミラーマウントの間には熱の伝達を効率よく行うため熱伝導グリースが塗ってある。ベースマウント・ミラーマウント間での熱の伝達を防ぐため、固定にプラスチックネジを使っている。

### 3-4 ビームコリメート

LDはコリメートレンズと共にコリメーションチューブに入っている(図4)。コリメートレンズの調整は焦点方向のみで、専用のスパナレンチを用いて、ビームを平行光にする。

コリメートは、図4のようにビームを集光させないように、さらに広がらないように、ミラーで反射し、スクリーンAから10m離れたスクリーンBまでいくようコリメートレンズを調整、更にここでのビームの縦横比がスクリーンAとスクリーンBで、目で見て同じ位になるように調節した。

以上のようなシステムで、外部共振器型半導体レーザーを製作した。

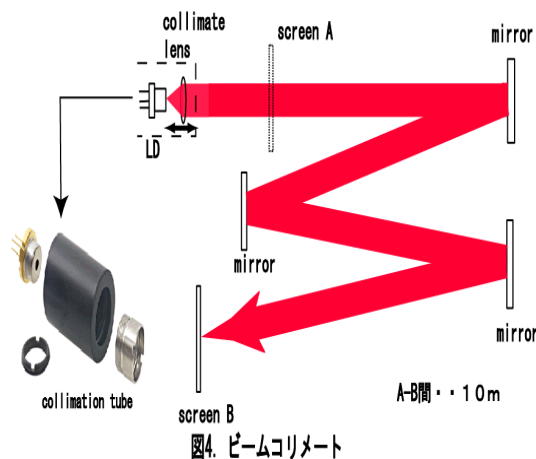


図4. ビームコリメート

## 4. 結果

製作した外部共振器型半導体レーザーの波長変化条件は以下の通りである。

- ・ 注入電流値の変化 (電流⇒大・・・波長⇒長)
- ・ LD温度の変化 (温度⇒高・・・波長⇒長)
- ・ グレーティング角の変化

(図5は製作した外部共振器型半導体レーザーの写真)

図6はLD発振波長の温度依存性である。冷却遷移波長のあたりでモードホップが起こって

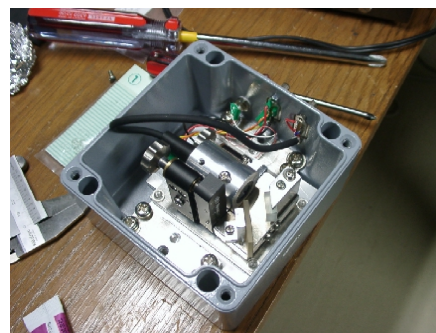


図5. 製作した外部共振器型半導体レーザー

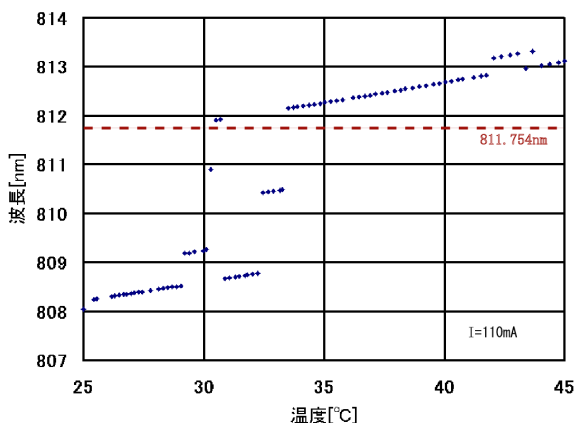


図6. LD発振波長の温度依存性

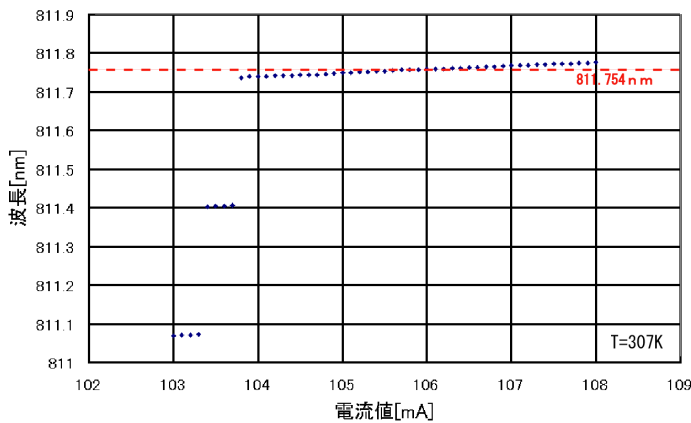


図7. 発振波長の注入電流値依存性

いることがわかる。その調整は、まず温度を変化させながら冷却遷移波長に最も近いモードを発振させ、ミラーマウントの微調ネジでグレーティング角を調整する。さらに注入電流値や、微妙な温度調節、PZTによるグレーティング角の微調整で冷却遷移波長を発振させることができた。図7は冷却遷移波長付近でのLD発振波長の電流値依存性である。

図8はFSR=1.9GHzのファブリーペローエタロンにレーザービームを入れ透過光をオシロスコープで見たときのもので、シングルモード発振していることがわかる。またPZTコントローラでLDの発振周波数を掃引したとき最大掃引周波数は1.5GHzであった。

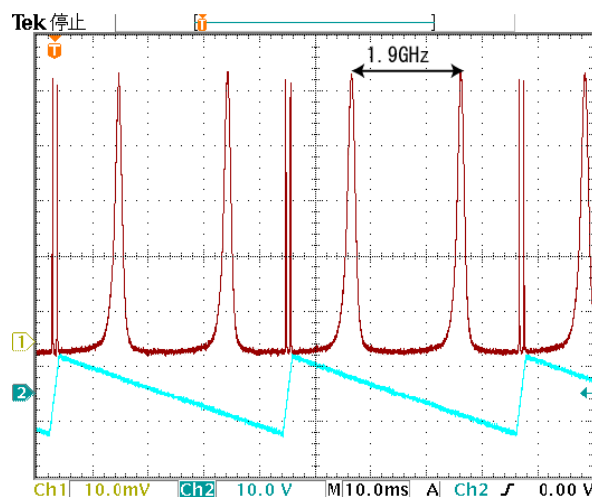


図8. モードの確認

## 5. まとめ

最大掃引周波数1.5GHz、波長選択性のある、シングルモード発振の外部共振器型半導体レーザーを製作、冷却遷移波長で発振させることができた。発振波長は、温度、注入電流、グレーティング角、で調整する。また光学台の微弱な振動でも影響を受けてしまうので、使用時には光学台に衝撃を与えないよう注意する必要がある。発振周波数安定度1~2MHz実現のため、飽和吸収・偏光分光法でさらなる安定化を図る必要がある。