

レーザー冷却用半導体レーザーの製作(I)

半導体レーザーの製作と単一モード発振

電子物性工学科 片岡 恵太

1. はじめに

冷却Li原子のためのプローブ光として、波長670nmの半導体レーザー(LD)、ミラーマウントなど、主に市販のコンポーネントを用い、単一周波数で発振する安価でコンパクトな線幅の狭い、半導体レーザーシステムを製作する。現在、半導体レーザーにより多くの原子が冷却されている。本研究室では色素レーザーが冷却、トラップに用いられているが、これを半導体レーザーで行えることは、扱いやすさ、価格の面などにおいて非常に有利であるといえる。本研究では、Liの原子遷移線670.962nm付近(±0.001nm程度)、線幅約1MHz以下で単一モード発振させることを目的に行った。

2. システム

2-1 装置の概略

LDには、Sanyo DL3149-056(λ=660~685nm, P=5mW)、ミラーマウントには、Newport U100-P, UPA-PA1、コリメーションチューブとレンズは、THORLABS LT110P5-B、グレーティングには反射型の1800lines/mm(12.7×12.7mm)を用いた。それぞれ図1のように配置する。ミラーマウントには簡単な加工が必要である。(図2)

レーザーに周波数選択性をもたせるために、グレーティングからの一次光をLDに戻すリトロ配置をとり、グレーティング-LD間に、拡張された共振器を組む。これは線幅を減少させる役割も同時に果たす。LDから出たビームの入射角と、グレーティングからの一次光の出射角を等しくθとすると、出力ビームの波長λとθの関係は次のように表される。

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

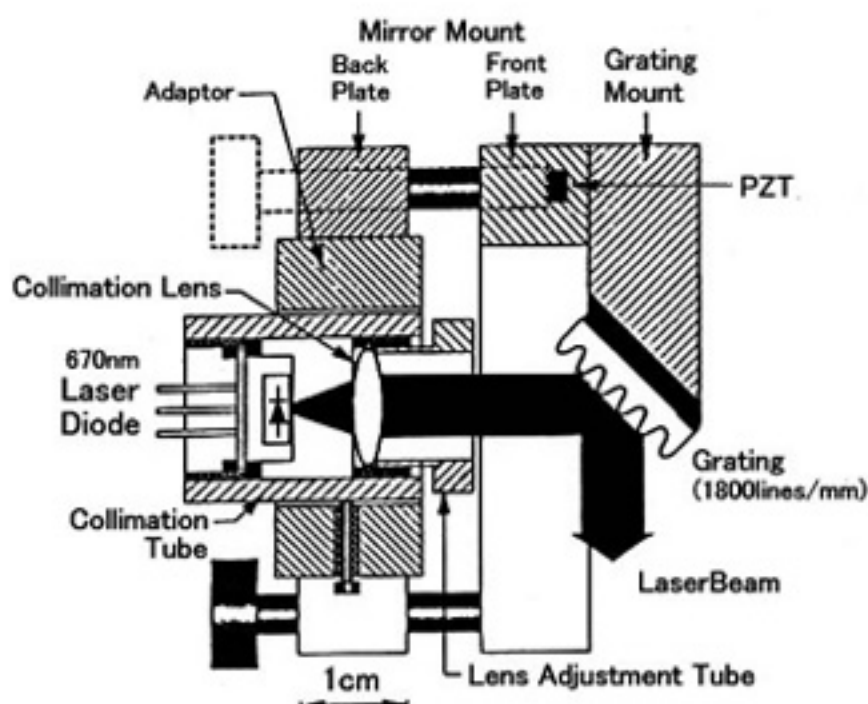


図1. 装置概略図

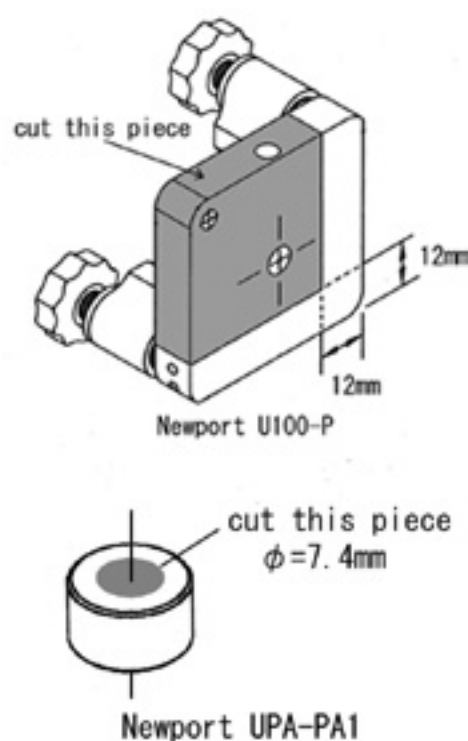


図2. ミラーマウントの加工

dは格子定数である。 $\lambda=670\text{nm}$ であるとする、 θ は 37.1° となり、グレーティングの設置角がきまる。これに近い角度になるようにグレーティング用のマウントを製作し、ミラーマウントに設置する。

piezoelectric transducer (PZT)は、ミラーマウントと微調整用ネジの間に挟みこんである。共振器長とグレーティング角の微調整には、ミラーマウントに取り付けられた微調整用ネジ (THORLABS HPS-80) とPZTを使用して調整する。共振器長は20mm程度となった。

2-3 コリメーティング

使用したLDは、最大で 40° の角度の広がりをもって光を発振するので、コリメーティングレンズを用いて、コリメートする必要がある。2-1で述べたように、市販のコリメーションチューブとレンズを使用している、焦点方向のみ調整を行えばよい。専用のスパナレンチ (THORLABS SPW301) を用いて、LDとコリメーティングレンズの距離を調節する。LDから5~10mの距離に焦点がくるようにした。

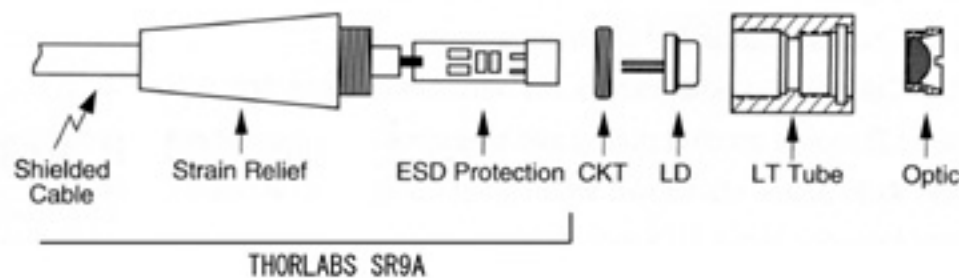
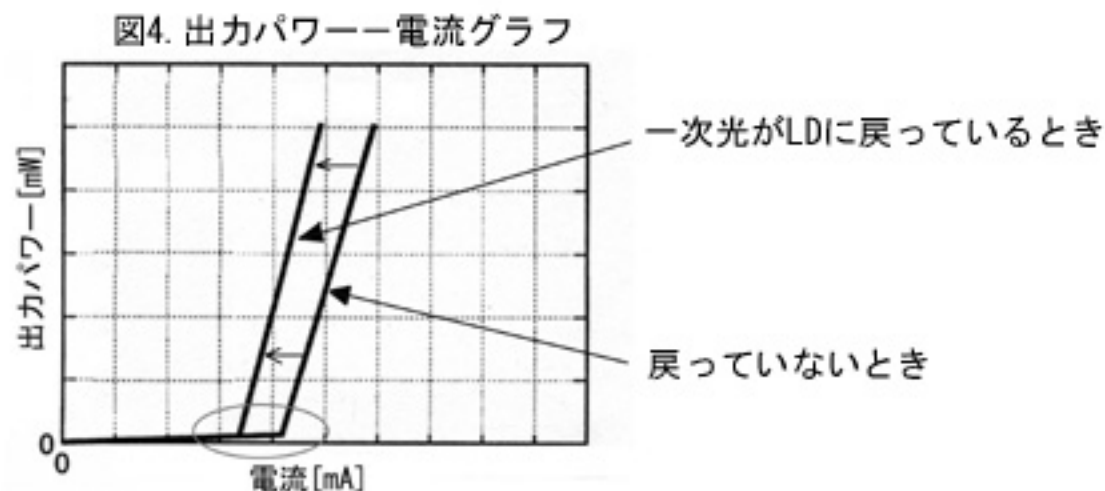


図3. コリメーションチューブ

2-3 グレーティング角の調整

一次光が、LDに戻るように、グレーティングの角度を微調整する必要がある。そのためにLDからの出力パワーが図4のように、LDの温度に対応した、ある電流値を超えると立ち上がってくる出力特性を利用した。グレーティングからの一次光がLDに戻っているときは、戻っていないときに比べて少ない電流での立ち上がりとなり、出力特性のグラフが左へずれる。電流をふり、オシロスコープでこの出力の立ち上がり点を見ながら、微調整用ネジを使ってグレーティング角の調整を行った。



2-4 LDの温度制御

LDからの光の波長は一般的に温度変化に対して非常に敏感であるため、LDの温度を一定に保つことが重要となる。このシステムでは、冷却用にpeltier thermoelectric cooler (TEC) (33.4W, 30mm×30mm) をベースプレートとミラーマウント間に、シリコン

グリースを塗って挟んだ。温度センサーとして抵抗測温体をミラーマウントに装着する。装着には熱伝導性を高めるため、放熱用のシリコン充填剤を用いて隙間を埋めた。それぞれを温度調節器 (OMRON E5CK-CR1) に接続する。(図5)
 外気からの影響を考え、プラスチックの外蓋でミラーマウント全体を覆った。

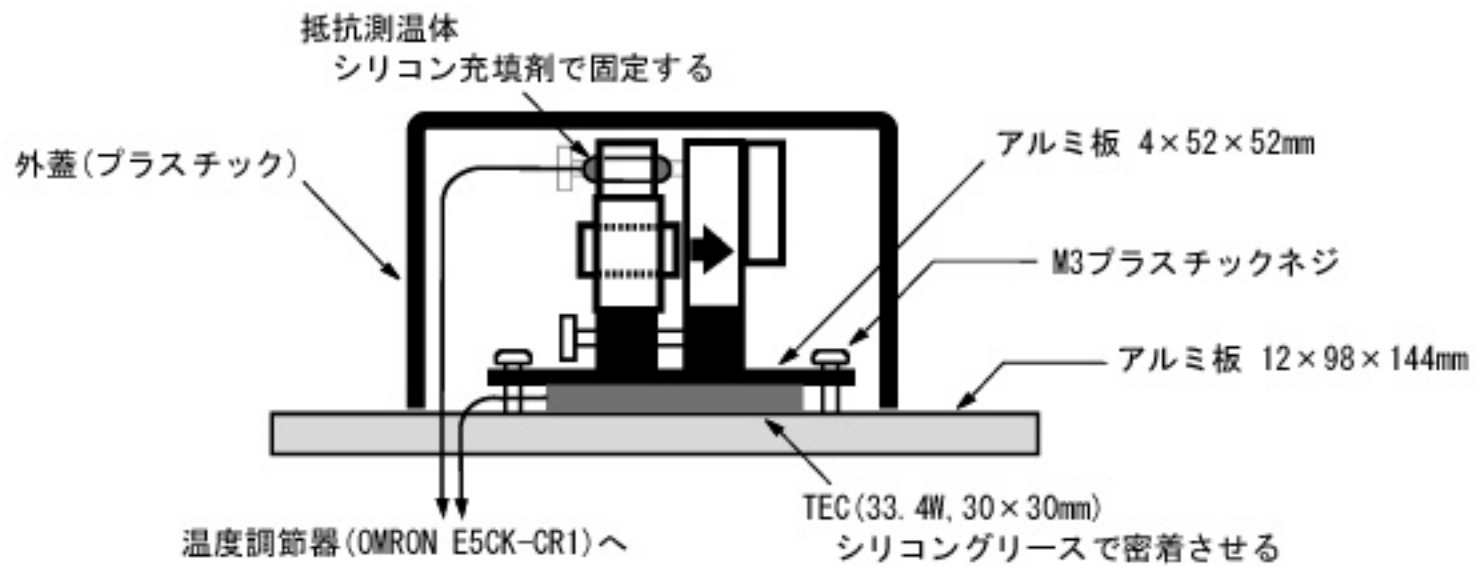


図5 温度制御のための装置概略図

3. レーザーの評価

この半導体レーザーは、次の4つのパラメータを変化させることで、波長を変化させることができる。

- : 電流—————電流を上げると波長は長くなる
- : 温度—————温度を上げると波長は長くなる
- : 共振器長————共振器長を長くすると波長は長くなる
- : グレーティング角

この4つのパラメータを調整してLiの原子遷移線670.962nm付近で発振するようにする。それぞれのパラメータに対する発振波長の変位は、非常に敏感であるといえる。図6は電流変化に対して波長を測定したグラフであり、図7は温度変化に対して波長を測定したグラフである。

図6. 電流変化に対する波長の測定

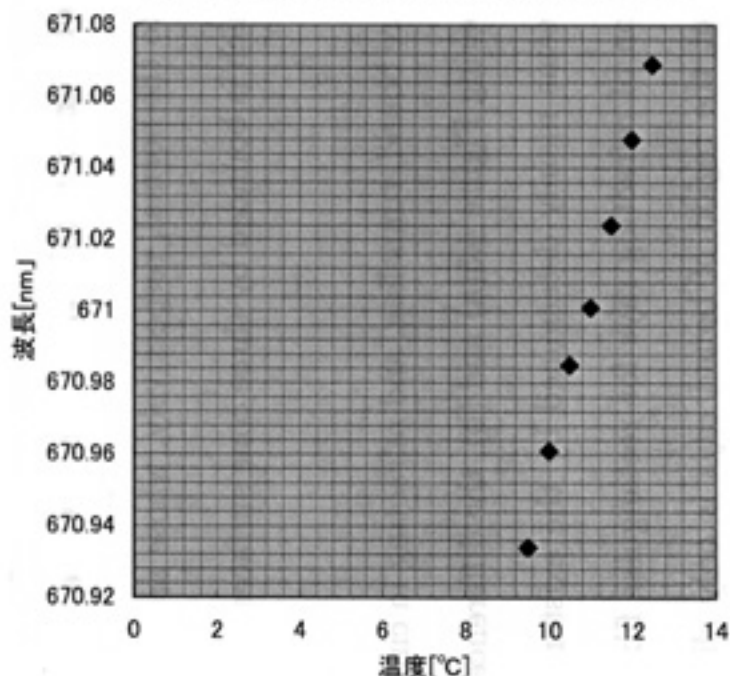


図7. 温度変化に対する波長の測定

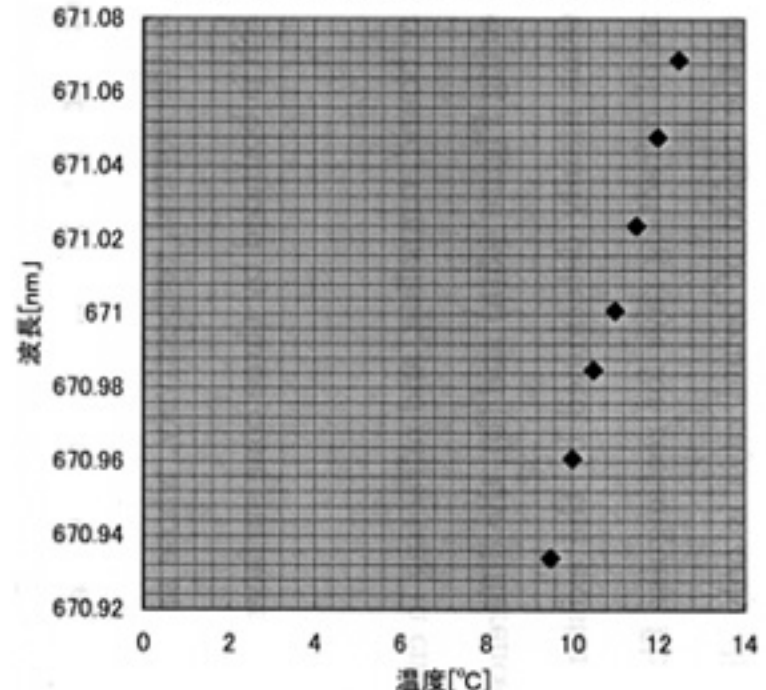


図8は電流変化に対して出力パワーを測定したグラフである。5mWのLDを使用している。トランプをするために、出力は50mw以上必要であることを考えると、まだまだ出力が小さいことが分かる。

増幅や注入同期法などによって大出力にすることが必要であろう。

図9はファブリーペロー・エタロンを用いて、発振された光がシングルモードになっているかどうかを確認したものである。シングルモードで発振していることが確認できた。この図から線幅を見積もると、約44MHzであった。線幅が小さくなるようにエタロンへ光を入れると、その時戻り光の影響が大きくなり光が不安定になってしまう。そのため、この測定では意図的にアライメントを崩してある。従って実際には線幅はもっと小さいのではないかと考えられる。正確な測定にはアイソレータを使用して戻り光を取り除くことが必要である。

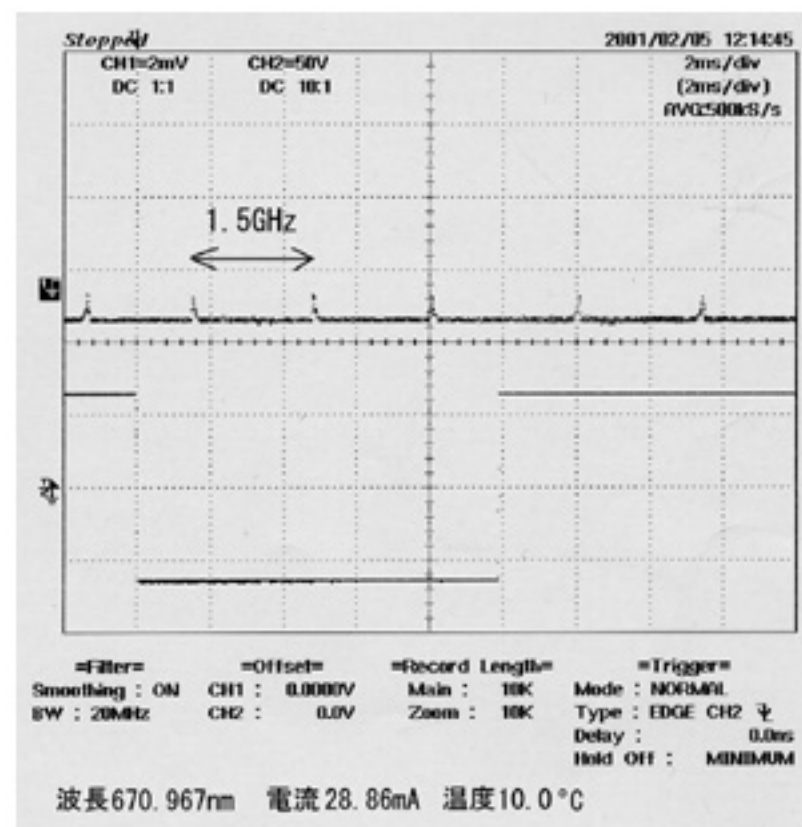
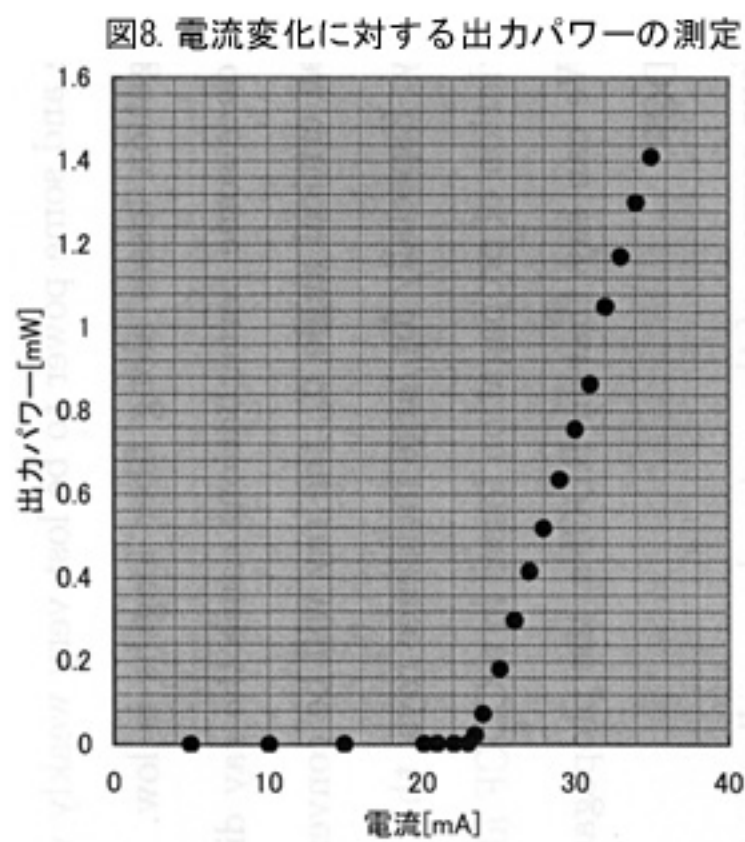


図9. シングルモードの確認

4. まとめ

製作した半導体レーザーの出力光は、電流温度共振器長、グレーティング角に対して非常に敏感であり、このシステムのみではまだまだ不安定であるといえる。さらに周波数の安定化を行うことが必要である。また出力パワーについても、増幅または注入同期法を用いて50mW以上の大出力にしたい。正確な線幅の測定については、戻り光の影響を考慮しアイソレータを用いる必要がある。

参考文献: A. S. Arnold, J. S. Wilson and M. G. Boshier, Rev. Sci. Instrum. 69, 3 (1997)