

Rb の飽和吸収分光法を用いた半導体レーザーの

発振周波数安定度の改善

○\*\*中野 健司 \*\*前原 進也 \*\*太田 悠一

\*佐藤 孝 \*大河 正志 \*丸山 武男 \*\*\*坪川 恒也

\*新潟大学工学部 \*\*新潟大学大学院自然科学研究科 \*\*\*国立天文台水沢観測センター

1.はじめに

半導体レーザーは小型、軽量、安価で取り扱いが容易であり、多くの分野で用いられている。しかし、その発振周波数は雰囲気温度や注入電流によって容易に変化するため、周波数の安定度が重要であるような応用には発振周波数の安定化が必要とされている。

そこで、半導体レーザーの発振周波数の安定化には、半導体レーザーの発振周波数に微小な変調を加えることで発振周波数と外部周波数基準との差を求め、その差から制御信号を得て、その信号を注入電流にフィードバックすることで安定化する方法が多く用いられている。本研究室では、周波数基準として Rb 原子の吸収線やファブリ・ペローエタロンを用いている。原子の吸収線は固有のスペクトルであるため絶対的に安定であるが、任意の周波数を選ぶ事は困難である。エタロンは様々な周波数で安定化することが可能であるが、雰囲気温度の影響により透過光スペクトルが変動する。

今回、半導体レーザーの発振周波数を Rb 原子の飽和吸収分光法を用いた吸収線に安定化させる際に、上記の微小変調の変調周波数の最適化による安定度の改善が得られたので報告する。

2.飽和吸収分光法

ある一定の周波数で吸収セルを透過する入射光の強度  $P$  を大きくした場合、はじめは光の吸収量の増加分  $\Delta P$  が入射光強度  $P$  に比例するが、遷移する準位間の原子分布数の差が小さくなるにつれて  $\Delta P$  が  $P$  に比例しなくなり、ついに一定値に行き着く。この吸収の飽和は均一広がり範囲内でのみ起こるため、原子が熱運動していても不均一広がりには行き渡らない。図 1 に示すように吸収の飽和を起こさせる光を飽和光、観測用の光をプローブ光と呼ぶ。プローブ光を図 1 に示す方向から入射させると、飽和光とプローブ光がドップラー効果によりそれぞれ反対方向に動く原子を励起する。しかし、原子がそれぞれの光の進行方向に対して静止している場合は、飽和光がプローブ光よりも強いために吸収の飽和が起こり、プローブ光による原子の励起が起こらない。よって、このときのプローブ光を

観測すれば、ドップラー広がりのないスペクトルを得ることができ、より高精度な周波数基準となる。

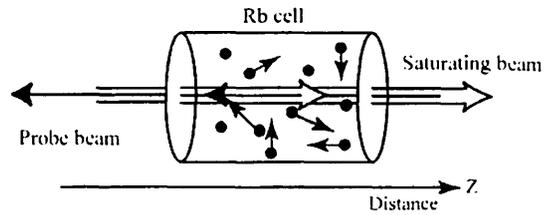


図 1 飽和吸収分光法

3.直接変調時における安定化の原理

本研究では、安定化の方法として直接変調方式を用いる。レーザーダイオード (LD) の注入電流に微小な正弦波状の変調を加え、その出力光を Rb セルまたはエタロンを透過させる。そして、受光された Rb およびエタロンからの透過光強度信号をロックインアンプに入力し、LD に印加された微小な正弦波を参照信号として、これらを同期検波することにより、図 2 に示すような一次微分波形を得る。

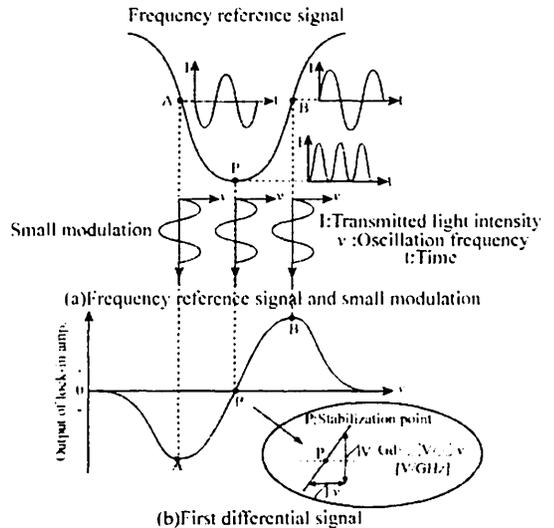


図 2 同期検波

この一次微分波形において、吸収線の谷、及び透過光スペクトルの山は零点に変換される。この零点を境に出力の正負が反転するので、この点からの周波数の変動を誤差信号として取り出すことができる。この誤差信号を制御信号として LD にフィードバックすることで零点を安定化点として、安定化を行う。この制御信号の零点での傾きを周波数弁別利得  $G_d$  と呼び、

$$G_d = \Delta V / \Delta \nu \quad (V/\text{GHz})$$

と表わす。この傾きが大きい程、高い安定度が期待できる。

#### 4.実験方法

図3に光学系、図4に実験系を示す。LD1,2 の注入電流には正弦波状の微小変調を加えて発振させる。この微小変調の周波数を変調周波数とし、微小変調による LD の周波数変動は約 10MHz に抑えている。LD1,2 から放出されたレーザー光は  $\lambda/4$  板によって楕円偏光となり、PBS によってそれぞれの偏光方向に分けられる。PBS で分けられたレーザー光の一方はミラーによって反射され飽和光として Rb セルを透過する。もう一方のレーザー光はミラーによって反射されプローブ光として Rb セルを透過し、APD1,2 で受光される。APD1,2 の出力信号をロックインアンプで同期検波することで誤差信号を得る。この誤差信号を LD の駆動電流源にフィードバックすることにより LD1,2 の安定化を行う。また LD には温度コントローラにより温度変動が 1/100°C 以下になるような制御が施されている。

このようにして安定化された LD1,2 のレーザー光を BS で2つに分け、2つのレーザー光(LD1,LD2)の光軸を合わせ、APD3 で受光するとそれらの周波数の差はビート信号となり、周波数カウンタでビート周波数として測定する。検出されたビート周波数をコンピュータに取り込み、アラン分散の平方根を計算することにより安定度の評価を行う。<sup>(1)</sup>

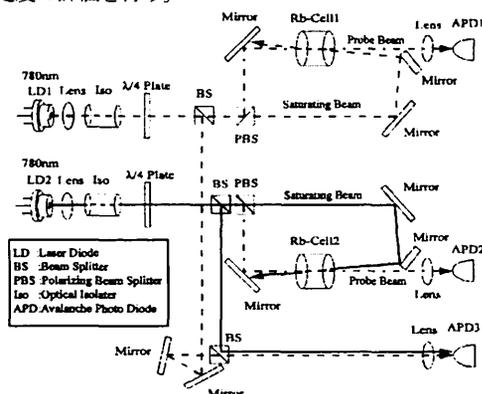


図3 光学系

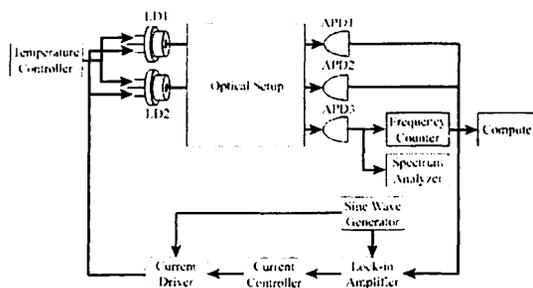


図4 実験系

これらの系を用いた安定化を、変調周波数をこれまで用いてきた 770Hz から変化させて行い、変調周波数  $f_m$  の違いによる安定度の影響を検討する。

#### 5.実験結果

実験結果を図5に示す。 $f_m$  が 7.77kHz の時に最も良い安定度が得られている。ただし、 $f_m$  が 2kHz 以降はロックインアンプの時定数を 0.03s から 0.01s にしている。

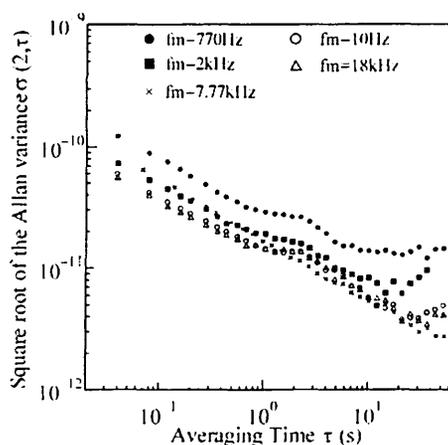


図5 実験結果

#### 6.まとめ

半導体レーザーの発振周波数を Rb 原子の飽和吸収分光法を用いた吸収線に安定化した際の安定度を、半導体レーザーの発振周波数に加える微小変調の変調周波数を 7.77kHz にすることで改善することができた。

これは、 $f_m=7.77\text{kHz}$  の時に制御系の SN 比や応答速度が改善されたためと考えられる。

#### 参考文献

- (1) Y. Kurosaki et al. : "Frequency stabilization of a semiconductor laser using the spectrum of a Fabry-Perot etalon controlled by the Rb absorption line". Proc. SPIE vol. 5710, pp. 73-82 (2005)