

K 8 Rb 吸収線のファラデー効果を用いた半導体レーザーの 発振周波数長期安定化への検討

澤村 明彦 二文字 俊哉 伊藤 伸一 小林寛道* 佐藤 孝* 大河 正志* 丸山 武男*
 新潟大学大学院自然科学研究科 *新潟大学工学部
 〒950-2181 新潟県新潟市五十嵐2の町 8050
 E-mail:tsato@eng.niigata-u.ac.jp

1. はじめに

半導体レーザーは他のレーザーと比較する時、小型・軽量・高発光効率・長寿命・安価などの多くの利点を持ち、利用分野を広げていると言える。しかしその発振時の周波数揺らぎは大きく、発振スペクトル幅は広く、コヒーレント光源としての性能には問題がある。そこで我々は半導体レーザーのコヒーレント光源としての応用を更に広げるべく、発振スペクトル幅を広げることなく発振周波数を安定化するために、ファラデー効果を用いて Rb 原子の吸収線に変調を加える方法を研究してきた。これまでこの方法に我々が開発した PEAK 方式[1]を適用し、周波数安定度の向上に取り組んできたが、今回は周波数安定化光源としてのさらなる応用を考える上で長期安定化への検討を行った。

2. PEAK 方式

図1に PEAK 方式の光学系を示す。LD1 で発振されたレーザー光をレンズによりコリメートした後、直線偏光板 LP1 を通り直線偏光の光とする。このレーザー光は光の進行方向に直流磁界が印加されている Rb セルを通過し、BS2 で2つに分けられる。ここで分けられたレーザー光はそれぞれ受光側から見て時計回りに 45° ($+45^\circ$ とする)と、反時計回りに 45° (-45° とする)傾けた LP2 と LP3 を通過し、レンズで集光して APD1, 2 で受光される。BS1 での反射光は、上記と同様の光学系で独立に安定化した LD2 の光と合わせて APD3 で受光されビート信号を検出して周波数安定度の評価に用いられる。

図2に実験系を示し安定化の方法について説明する。Rb セルには直流磁界のほか交流磁界を印加することで透過光強度信号に微小変調を加えている。この変調されたレーザー光を APD で検出しロックインアンプにより同期検波することで、外部周波数基準からの周波数差を与える誤差信号が得られる。

この信号に比例・積分制御を施し、レーザーの駆動電流源にフィードバックすることで周波数の安定化を行う。この時レーザー本体の温度の変動は $\pm 1/100^\circ\text{C}$ 以下に抑えられている。また、安定度の評価は APD3 で得られたビート信号を周波数カウンターで測定し、アラン分散の平方根を計算することにより行う。

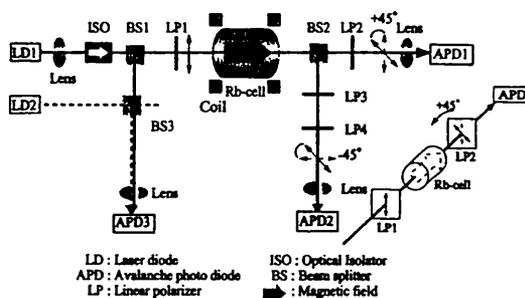


Fig.1 Optical setup of the PEAK method.

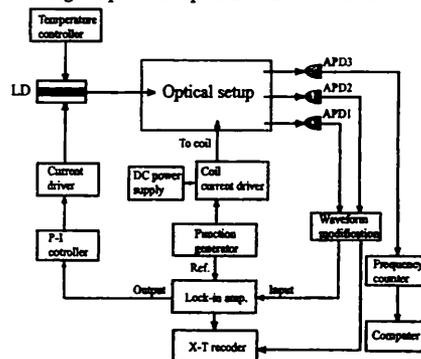
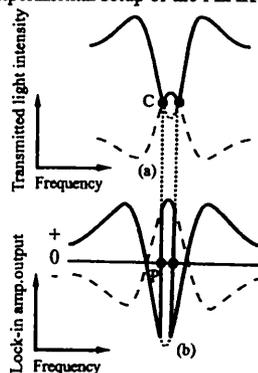


Fig.2 Experimental setup of the PEAK method.



C: Cross points.
 P: Stabilization points.
 Fig.3 Principle of the PEAK method.
 (a) Transmitted light intensity.
 (b) Lock-in amp. output.

ここで PEAK 方式について説明する。図 3 のように APD1, 2 で得られた 2 つの透過光強度信号から出力の大きい方の信号だけを取り出し、ロックインアンプで同期検波することで安定化点における接線の傾きを理論上無限大にする方式を PEAK 方式という。このときの傾きを周波数弁別利得 G_D といひ、 $G_D = \Delta V / \Delta \nu$ [V/GHz] で表される。この値が大きい程、微小な周波数の変化に対して大きな信号が得られるため、安定度の向上が期待できる。

3. 長期安定化についての検討

PEAK 方式で 8 時間安定化を行った際の、雰囲気温度と Rb セルの温度を測定したグラフとビート信号のグラフをそれぞれ図 4, 5 に示す。これら 2 つの図は、雰囲気温度の変化が Rb セルの温度変動を呼び起こし、Rb の吸収量が増減してしまうために、図 3 の重ね合わせの点 C の位置がずれて周波数基準となる安定化点が移動してしまい、その結果ビート信号が図 5 のように変動していると説明される。そこで長期に渡って安定化する際には Rb セルの温度変動を抑制する必要がある。また Rb セルの温度変動は雰囲気温度の変化に追随している。よって Rb セルを恒温槽内に置いて雰囲気温度変化の影響を抑制することで安定化点の変動が小さくなり安定度が向上するのではないかと考え、長時間安定化を試みた。Rb セルを恒温槽内に置いた時と恒温槽の無い場合を比較するため、同時期の同時刻から同時時間の安定度を評価し、比較検討した。

4. 実験結果

図 6 に恒温槽を用いた時の雰囲気温度と Rb セルの温度を測定したグラフを、図 7 にその時のビート信号を、図 8 に恒温槽の無い場合と恒温槽を用いた時の安定度を示す。図 6 より恒温槽を用いることで雰囲気温度の変化の影響を抑制しているのかわかる。ビート信号の変動幅が恒温槽を使用しなかった場合と比較して約 25 [MHz] 狭くなり、さらに恒温槽を用いた際安定度が向上した。

5. まとめ

Rb 吸収線のファラデー効果を用いて半導体レーザーの周波数安定化に PEAK 方式を適用する場合、Rb セルの温度変動を抑えることが長期安定化に対して有効であることがわかった。現在 Rb セルの温度変動自体が起こりにくい、雰囲気温度の変動そのものが少ない環境で安定化を行い、長期安定度の向上に向けて実験中である。

謝辞

本研究の一部は文部省科学研究費の援助により行われた。

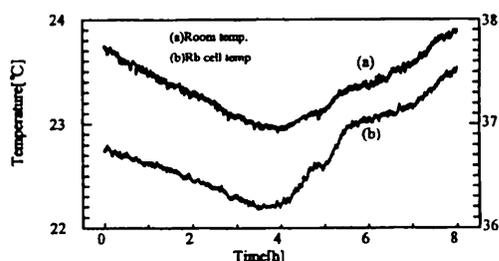


Fig. 4

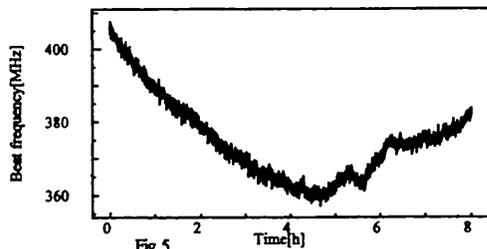


Fig. 5

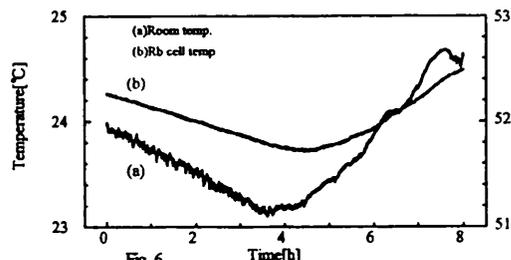


Fig. 6

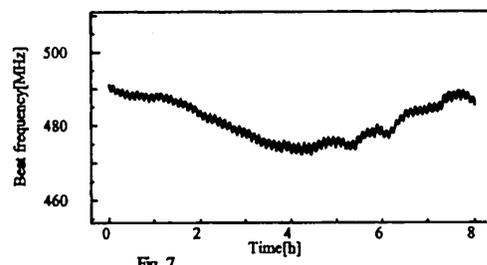


Fig. 7

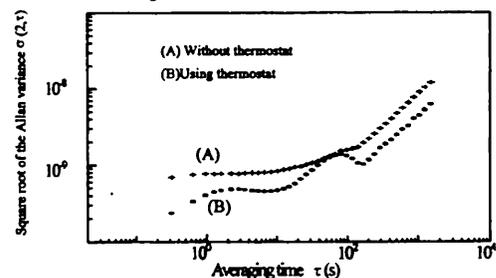


Fig. 8

参考文献

- [1]伊藤 伸一, 二文字 俊哉, 嵯峨 孝, 澤村 明彦, 佐藤 孝, 大河 正志, 丸山 武男, 「Rb 原子のファラデー効果を用いた半導体レーザーの発振周波数安定化法の改善」, 信学技法, LQE2002-47, 2000-06.