

K 5 Rb 吸収線の磁気光学効果を用いた半導体レーザーの周波数安定化 ～磁界変調における変調幅の検討と安定度の評価～

嵯峨 孝 二文字俊哉 加藤 京 大澤康暁 佐藤 孝* 大河正志 丸山武男* 榛葉 實**
新潟大学大学院自然科学研究科 *新潟大学工学部電気電子工学科 **東京電機大学工学部

1. まえがき

半導体レーザーをコヒーレント光通信の光源として用いる場合、発振周波数の安定化が必要となる。安定化の方法としては半導体レーザーの注入電流に変調を加える直接変調方式が一般的である。これに対して、我々は外部基準周波数として Rb 原子の吸収線に変調を加える間接変調方式により発振周波数の安定化を行ってきた。この方法を用いることにより、レーザーの発振スペクトル幅を広げることなく安定化することができる。ここでは、磁気光学効果の一つであるファラデー効果を用いて安定化を行った。⁽¹⁾

制御信号を得るために同期検波を行っているが、この際 Rb セルには直流磁界以外に微小変調として交流磁界を加えている。本実験はこの変調幅を従来よりも広げ、それに対する制御信号と周波数安定度の関係を調べ、検討を行う。

2. 安定化の原理

図 1 にファラデー効果による安定化の原理を示す。磁界 $H_1, H_2 (H_1 < H_2)$ が印加されている Rb セル内を直線偏光のレーザー光が透過した場合、ファラデー効果により偏光面が回転する。この偏光面の回転を直線偏光板の透過特性を利用して光強度に変換し、観測すると(a)のようになる。そこで(b)の大きさ $(H_1 + H_2)/2$ の直流磁界に振幅 $(H_1 - H_2)/2$ の交流磁界を重畳し変調を加えると、各点における透過光強度は(c)のように変化する。この信号をロックインアンプで同期検波すると(d)のようなロックインアンプ出力が得られる。安定化点は磁界の変動によって回転角が変動しない位置 B 点とし、ロックインアンプ出力でのこの点は零交差点となる。なお、この点における接線の傾きを周波数弁別利得 G_d と呼び、この傾きが大きい程、レーザーの周波数と安定化点との周波数差に対して大きな信号が得られる。このため、 G_d が大きいほど高い安定度が得られることが期待できる。

3. 実験方法

図 2 に光学系を示す。半導体レーザー(LD1,2)で発振したレーザー光は、それぞれレンズによりコリメートされた後、直線偏光板(LP)を通り直線偏光の光となる。そして直流磁界を進行方向に平行に印加した Rb セルを透過した後、手前の LP とのなす角を受光面から見て右回りに 45° 傾けた LP を通り、アバランシェフォトダイオード(APD1,2)でそれぞれ受光される。この 45° というのは偏光面の変化を光強度に変換す

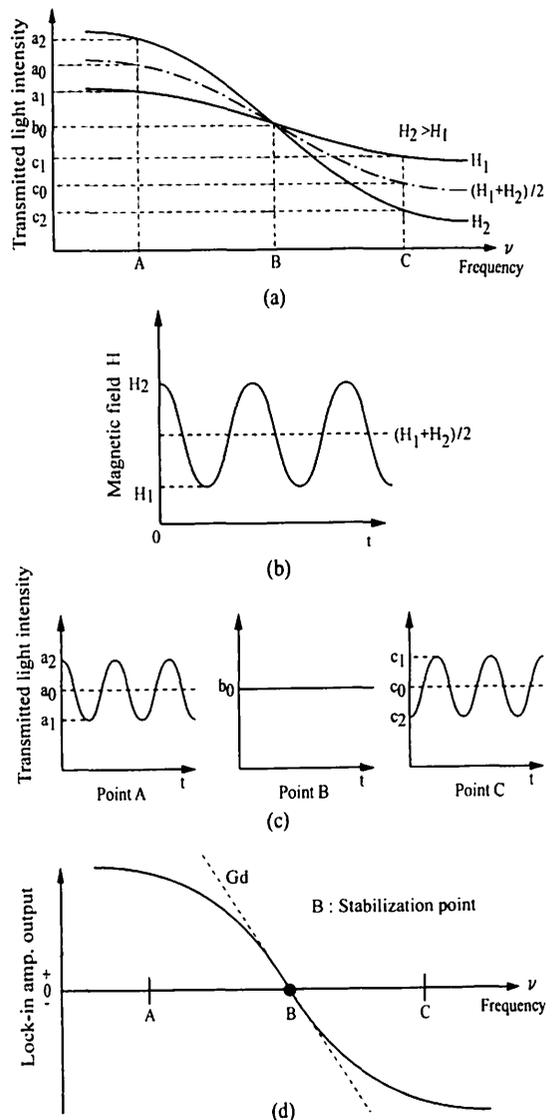


Fig.1 Principle of magnetic modulation method by Faraday effect

- (a) Faraday effect
- (b) Modulation
- (c) Transmitted light intensity
- (d) Synchronous detection

る時の感度が最大の位置である。ビームスプリッタ(BS)で分けられた光は、LD1と同様に独立に安定化したLD2との光軸を合わせAPD3で受光し、ビート信号を得る。

図3に実験系を示す。Rbセルには直流磁界の他に交流磁界を加えて、観測するレーザー光の周波数に対応する光強度に変調を加えている。この変調された光をAPDで検出し、ロックインアンプで同期検波することで、外部周波数基準とレーザーの発振周波数の差を与える制御信号が得られる。この信号に比例・積分制御を施し、レーザーの注入電流にフィードバックすることで周波数の安定化を行う。なお、レーザー本体の温度変動は1/100℃以下に抑えている。

APD3で得られた信号は、周波数カウンタでビート周波数を測定し、検出された結果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。

コイル1,2にはそれぞれ直流磁界 60×10^{-4} [T], 70×10^{-4} [T]を加える。さらに交流磁界を、2つのコイルに対して同時に 15×10^{-4} [T]から 45×10^{-4} [T]まで変化させて実験を行う。

4. 実験結果

図4に実験で得られた周波数安定度を示す。平均化時間が0.1(sec)付近では、変調幅を広げるに従い安定度も向上している。この原因として、ロックインアンプ出力における制御信号のS/Nの改善が考えられる。しかし、10(sec)付近では逆の傾向が見られる。この原因としては磁界の揺らぎ、Rbセル内の温度変動による安定化点の変動が考えられる。

5. まとめ

磁界変調幅を変化させることにより安定度に反映されることが確認できた。今回の実験では 30×10^{-4} [T]が最も安定度が良く安定化に最適だと言える。今後は再現性の改善が期待されるもう一つの光学系^[2]を用いて実験を行い、この変調幅の最適性を確認する予定である。

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。

参考文献

[1]陸川均,佐藤孝,仲川昌宏,榛葉實,「Rb原子のファラデー効果を用いた半導体レーザーの周波数安定化」信学論,Vol.J76-C-1,No.5,pp.176-183,1991.
 [2]二文字俊哉,加藤京,東亮一,佐藤孝,大河正志,丸山武男,榛葉實,「Rb原子のD₂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安定化法の改善」信学技法,LQE2000-11,2000-05.

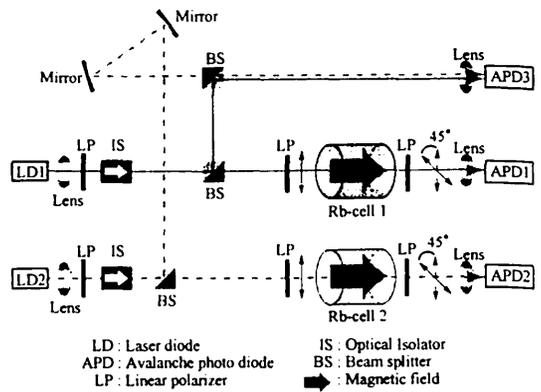


Fig.2 Optical setup.

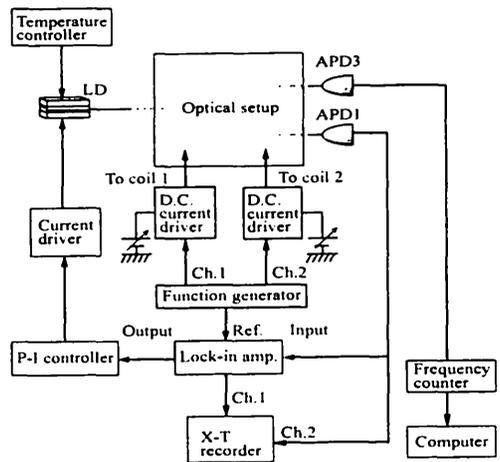


Fig.3 Experimental setup.

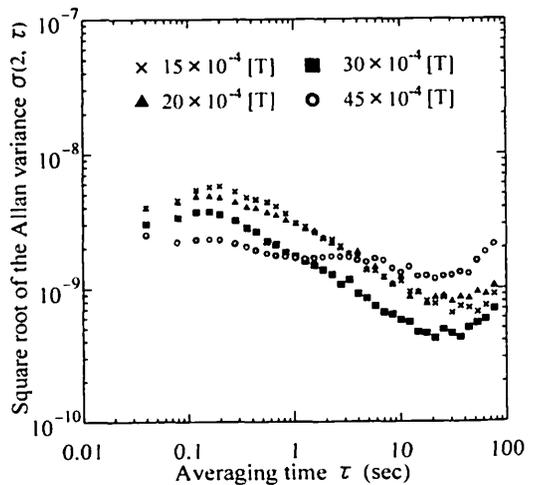


Fig.4 Frequency stabilities.