

## K6 Rb 吸収線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 ～新しい PEAK 方式によるシステムの改善～

伊藤 伸一<sup>1</sup> 二文字 俊哉<sup>1</sup> 嵯峨 孝<sup>1</sup> 澤村 明彦<sup>1</sup>  
佐藤 孝<sup>1</sup> 大河 正志<sup>1</sup> 丸山 武男<sup>1</sup> 榛葉 實<sup>1</sup>

新潟大学工学部電気電子工学科<sup>1</sup> 新潟大学大学院自然科学研究科<sup>1</sup> 東京電機大学工学部<sup>1</sup>

### 1. まえがき

半導体レーザーは小型、安価、低電流・低電圧動作、直接変調可能など、他のレーザーにはない多くの利点がある。その発振周波数安定化の方法として直接半導体レーザーの注入電流に微小変調を加えることで制御信号を得る方式が一般的であるが、発振スペクトル幅が広がってしまう欠点がある。そこで我々は間接変調方式として Rb 吸収線(780.02nm)の磁気光学効果(ファラデー効果)を用い、発振スペクトル幅を広げることのない発振周波数の安定化に取り組んできた<sup>(1)</sup>。

本研究室では2つの透過光強度信号を重ね合わせ、電氣的に信号が切り替わる点を作り出して、理論上無限大の周波数弁別利得を持つ制御信号を得る。PEAK方式という独自の方式を使い安定度の向上に成功したが、これまでの方法に比べ制御信号の再現性が低い、制御信号の特性が複雑であるなどの欠点があった。今回これらの問題点を解決するための新たなシステムの実験と考察を行う。

### 2. PEAK 方式

PEAK方式の光学系を図1に示す。Rbセルにそれぞれ直流磁界を印加しておく。直線偏光にしたレーザー光を Rb セルに入射すると直流磁界の違いから透過光強度は図2(a)のように異なった波形を示す。このうち出力の大きい信号だけを取り出し同期検波すると図2(b)のように制御信号に飛びが生じる。従って理論上無限大の周波数弁別利得を得ることができる。周波数弁別利得とはロックインアンプ出力の安定化点における接線の傾きであり、この値が大きい程、フィードバック系の利得が上がり安定度が向上する。PEAK方式では2つの信号の重ね合わせによって信号を作り出しているため、僅かな重ね方の違いが波形を大きく変化させることになる。このため毎回同じ波形を得ることが困難であり、制御信号の再現性が低いという欠点がある。この方法を便宜上、"PEAK(OLD)"と表記する。

### 3. 新しい PEAK 方式

PEAK(OLD)方式は再現性が低いという欠点があった。そこで再現性を高めるために新しい方法による PEAK 方式を考案した。この方法を便宜上、"PEAK(NEW)"と表記する。

PEAK(NEW)の光学系を図1を用いて説明する。この場合、Rbセルの後ろの直線偏光板の向きを受光面から見て時計回りに LP2 が +45°、LP1 が -45° に設定する。このように直線偏光板の向きを反対にしておくと図2(c)のように透過光強度の変化が逆になり、図2(d)のように正負逆転したロックインアンプ出力が得られる。この信号に PEAK 方式を適用すると PEAK(OLD)に比べ信号の重ね方による波形の

変化が少なく、再現性の優れた制御信号を得ることができる。

### 4. 実験方法

PEAK(OLD)方式の実験方法を光学系(図1)を用いて説明する。半導体レーザー LD1 からのレーザー光はレンズによりコリメートされた後、ビームスプリッタ BS1 により2つの光に分けられる。BS1 での透過光は BS2 でさらに2つに分けられ直線偏光板 LP により直線偏光となった後、直流磁界  $80 \times 10^{-4}$  [T] をかけられた Rb セル1を透過し、+45° 傾けた LP を通り APD1 で受光される。BS2 での反射光は直流磁界  $40 \times 10^{-4}$  [T] をかけられた Rb セル2を透過し APD2 で受光される。Rb セルには微小変調のため  $15 \times 10^{-4}$  [T<sub>r-p</sub>] の交流磁界を重ねている。また、LD2 に

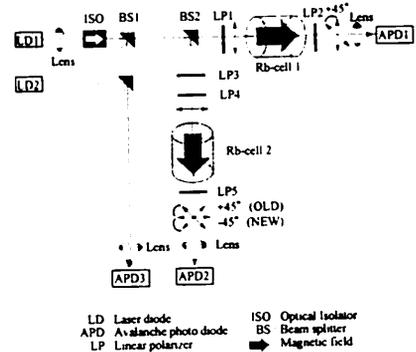


Fig.1 Optical setup of the PEAK method.

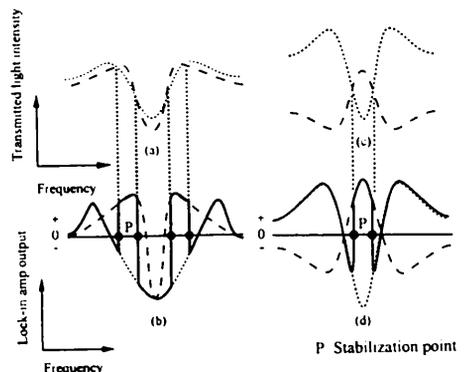


Fig.2 Principle of PEAK method.

- (a) Transmitted light intensity(NEW)
- (b) Lock-in amp. output(NEW)
- (c) Transmitted light intensity(OLD)
- (d) Lock-in amp. output(OLD)

においても同様の系を独立に組んであり、APD3 でそれぞれの光軸を合わせて受光し、安定度を評価するために用いるビート信号を観測する。

PEAK(NEW)方式(図 1)の説明をする。基本的にPEAK(OLD)方式と同様である。相違点はRbセル2に印加している直流磁界が  $80 \times 10^{-4}$  [T]であることと Rb セル 2 の後ろの直線偏光板(LP5)の向きが  $-45^\circ$  であることである。

実験系を図3に示し、安定化の方法について説明する。発振されたレーザ光はRbセル通過時、ファラデー効果により変調を加えられた後 APD1, APD2 で得られた信号のうち出力の大きい方の信号を識別回路により取り出し、ロックインアンプにより同期検波することで誤差信号を得る。この誤差信号に比例・積分制御を施し、レーザ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。なお、レーザ本体の温度変動は  $\pm 1/100^\circ\text{C}$  以下に抑えている。

安定度の評価はAPD3 で得られた信号の周波数を周波数カウンタで測定し、アラン分散の平方根を計算することで行う。

### 5. 実験結果

PEAK(OLD)方式で得られたロックインアンプ出力を図4に、PEAK(NEW)方式で得られたロックインアンプ出力を図5に示す。PEAK(NEW)方式ではPEAK(OLD)方式よりも安定化点において上下に大きな出力がある安定化点が容易に得られた。

それぞれの周波数安定度を図6に示す。PEAK(NEW)方式の安定度がPEAK(OLD)に比べ、全体的によくなっている。PEAK(OLD)では信号の重ね合わせ方に対するロックインアンプ出力波形の変化が大きく、長時間たつと安定化点の移動が大きいと考えられたが、PEAK(NEW)では波形の変化が小さく安定化点において上下に大きな出力があるため、全体的に安定度が向上したと考えられる。

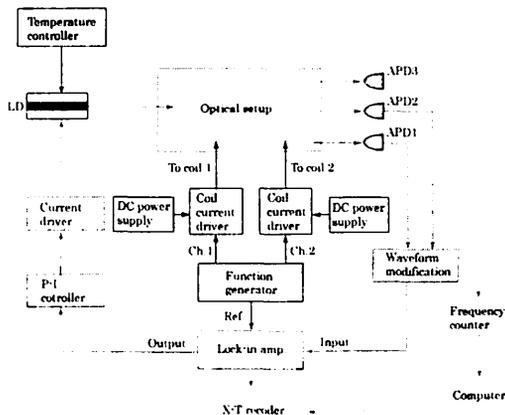


Fig.3 Experimental setup of the PEAK method.

### 6. まとめ

これまで PEAK 方式の問題点であった制御信号の再現性を向上させるため新しい PEAK 方式を考案し実験を行った。その結果、制御信号の再現性が向上し、全体的に高い周波数安定度を得ることができた。

### 謝辞

本研究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, 榎葉實, 「Rb 原子のファラデー効果を用いた半導体レーザの周波数安定化」, 信学論, Vol. J74-C-I, No. 5, pp. 176-183, 1991.

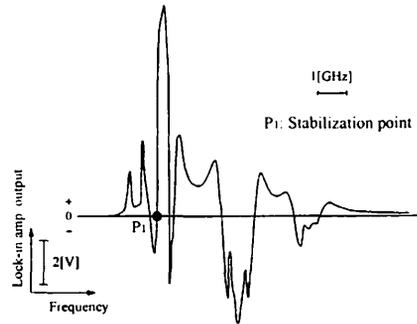


Fig.4 Lock-in amp. output of the PEAK(OLD) method.

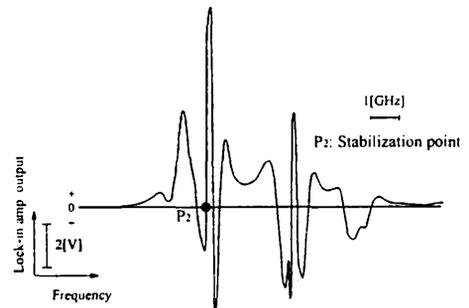


Fig.5 Lock-in amp. output of the PEAK(NEW) method.

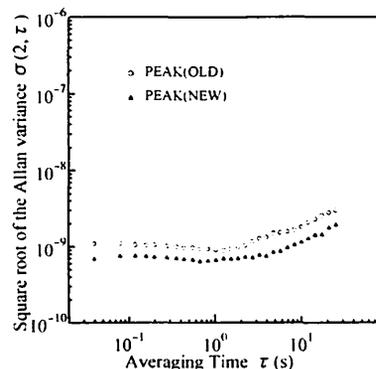


Fig.6 Frequency stabilities.