

## K3 エタロンとRb吸収線を用いた半導体レーザーの発振周波数安定化システムの構築

相羽 努<sup>\*</sup>      大澤 康暁<sup>\*</sup>      佐藤 孝<sup>††</sup>  
 大河 正志<sup>††</sup>      丸山 武男<sup>††</sup>      榛葉 實<sup>†††</sup>

新潟大学自然科学研究科<sup>\*</sup>新潟大学工学部電気電子工学科<sup>\*</sup>東京電機大学工学部<sup>††</sup>

## 1. まえがき

半導体レーザーを用いたコヒーレント光通信を行うためには、発振周波数の高安定化が必要である。

我々は、Rb-D<sub>2</sub>吸収線(780.02nm)を周波数基準として用い、半導体レーザーの発振周波数の安定化を行っている。原子の吸収線を用いた周波数安定化は非常に高い安定度が実現できるが、安定化点が吸収線の周波数に限定されてしまう。そのため任意の周波数に安定化するのが困難である。また、広く研究されているRb-D<sub>2</sub>吸収線は780nmの波長で存在するため、現在の光通信網で主に使用されている1.5 $\mu$ m帯半導体レーザーの周波数安定化にそのまま適用することはできない。半導体レーザーの周波数安定化の方法には他に、様々な波長帯で周波数基準として用いることが可能であるフアブリ・ペロー共振器を用いる方法がある。しかし、エタロンは雰囲気温度等の周囲環境の変化により、そのスペクトルのピーク周波数が変動してしまうために周波数基準としては不安定な要素を持つ。

そこで本研究では、吸収線とエタロンの特徴を組み合わせ、広帯域で高安定な周波数基準を構築することを目的とした基礎的な実験を行ったので報告する。

## 2. Rb吸収線とエタロンを用いた安定化

図1に考案したスペクトル安定化の概念図を示す。それにはまず、Rb-D<sub>2</sub>線のような基準となる周波数に半導体レーザーの周波数を安定化する。次にエタロンの周波数と同じになるようにエタロンの角度を制御する。安定化されたエタロンのスペクトルは他の波長帯でも安定しているものと考えられる。そのうちの1つのスペクトルのピーク値に異なった波長帯の半導体レーザーを安定化する。このようにして現在の光通信システムスペクトルのピーク値が、安定化された半導体レーザーに合う波長帯で、半導体レーザーの周波数安定化が可能となる。

実験ではエタロンにピエゾ素子を取り付け、素子の収縮を利用して入射光に対するエタロンの角度を制御し、エタロンのスペクトルを制御した。今回はエタロンのスペクトルの安定度を評価するための実験を行った。安定度は基準とするレーザーの周波数との差であるビート信号を用いて評価している。

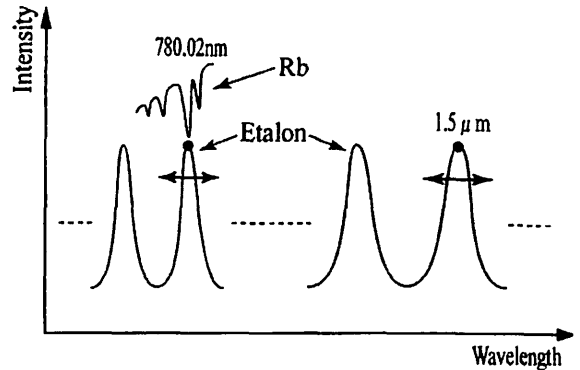


図1 2つの周波数基準

## 3. 実験方法

図2に実験の光学系を示す。半導体レーザー(LD1)から放出された光を図2においてエタロン直前のビームスプリッター(BS)で二つに分ける。そして、一方の光はエタロンを透過した後にアバランシェフォトダイオード(APD1)で受光し、LD1の制御に用いる。もう一方の光は、Rb-cell-1を透過しAPD3で受光する。検出された信号を、エタロンに取り付けたピエゾ素子にフィードバックし、エタロンの角度を制御するために用いる。こうして得られた2つの信号から、Rbの吸収線とエタロンのスペクトルのピーク値が重なるような角度にエタロンを制御することができる。

LD2の光はRb-cell-2を透過した後、APD2で受光する。この制御信号をLD2にフィードバックし、LD2はRb-D<sub>2</sub>線を基準として安定化される。

各々のレーザーには微小な正弦波状の信号が印加されている。この信号を参照信号としてロックインアンプに入力し、同期検波することにより一次微分波形が得られる。この一次微分信号はそれぞれの周波数基準の中心周波数でゼロ点となり、その付近で正負が反転するので、周波数のずれを正負の誤差信号として取り出すことができる。この信号を用いて比例・積分制御を半導体レーザーに施すことで発振周波数の安定化が行える。制御信号のゼロ点付近での傾きを周波数分別利得と呼び、基本単位を[V/GHz]とする。この傾きが大きい程、良い安定度が期待できる。また、エタロンを制御する信号もAPD3の出力から同様の方法で取り出し、ピエゾ素子にフィードバックを行う。レーザーには1/100℃以下

1/100℃以下の温度制御を施してある。

次に LD2 とエタロンの安定化に用いている Rb 吸収線に PEAK 方式を施し安定化を行う。図3に PEAK 方式の原理を示す。PEAK 方式とは、FSK 変調を施し広がった吸収波形のうち、強度の強い部分のみを包絡線検波で取り出すことでより良い安定化のための制御信号を得る方法である。PEAK 方式を用いて安定化するため、APD2 と APD3 で検出した信号を PEAK 回路に通し、ロックインアンプに入力する。

LD1 と LD2 の光は光軸を十分に一致させた後 APD4 で受光され、ビート信号として観測する。信号は周波数カウンタで計測し、コンピュータに取り込む。

#### 4. 実験結果

安定化の結果のアラン分散を図4に示す。このグラフは、値が低いほど安定度は良い事を示す。

●は LD1 を Rb-D<sub>2</sub> 吸収線に周波数基準として安定化させたときグラフである。□はエタロンをピエゾ素子による角度制御を行い、Rb 吸収線と一致するように制御を施したエタロンを周波数基準として LD1 を安定化させたものである。○はエタロンに制御を加えずに安定化の制御信号としたものである。△は PEAK 方式を用いてエタロンを制御した場合の安定度である。

エタロンに制御を施していない安定度よりも、制御を施した場合の方が安定している。この結果からエタロン制御の系が働いていることがわかる。またエタロンの制御に用いている Rb 吸収線に PEAK 方式を用いることで、さらにエタロンの安定度が向上させることができた。

#### 5. まとめ

コヒーレント光通信を想定し、波長 1.5μm で安定度が良く、取り扱いが比較的容易な周波数基準を検討した。エタロンのスペクトルを原子の吸収線にロックすることで、目的に合う周波数基準が出来ないかを考え、エタロンを制御する安定化の系を構築し、無制御状態と比較して安定度を改善することに成功した。今後は制御されたエタロンを用いて他の波長帯のレーザの安定化を検討している。

謝辞

この研究の一部は文部省科学研究費の援助によって行われた。

#### 文 献

- [1] 渡部博道 東秀樹 中野博之 佐藤孝 大河正志 丸山武男 榛葉實 “直接 FSK 変調時の半導体レーザの周波数安定化 - 変調方式と安定度の評価 -”, 電学論 (C), Vol. 117-C, No. 8, pp. 1119-1126, 1997.
- [2] 坂巻秀幸 田代大輔 榛葉實 佐藤孝 “エタロン対を用いた半導体レーザの周波数安定化法”, 信学論 (C), Vol. J 80-C-1, No. 6, pp. 300-301, 1997.

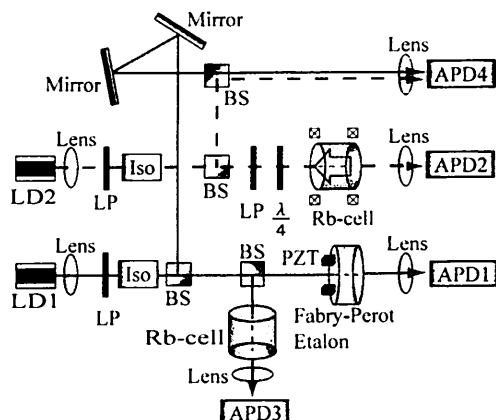


図2 光学系

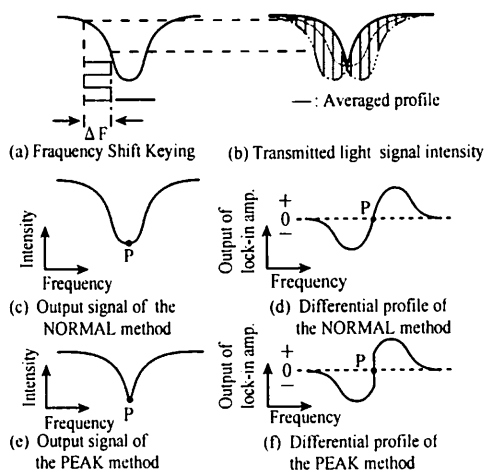


図3 PEAK方式の原理

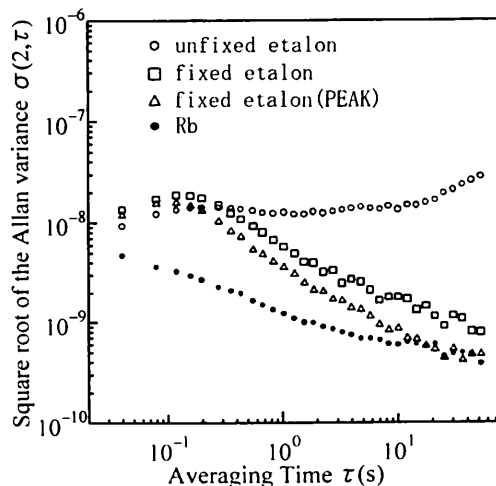


図4 実験結果