

## K4 エタロンを用いた1.5 $\mu\text{m}$ 帯半導体レーザーの発振周波数安定化

佐々木 岳 相羽 努 長谷部 圭紀\* 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.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な応用では、発振周波数の安定化が必要とされている。そこで本研究ではコヒーレント光通信への応用を想定し、その光源となる半導体レーザーの発振周波数の安定化を行っている。これまで我々は広帯域かつ高安定な周波数基準の構築を考え、高安定なRb原子のD<sub>2</sub>吸収線(780.02nm)を用いて、ファブリ・ペローエタロンの透過光スペクトルを780.02nm付近に安定化し、これに直接変調を施した780nm帯半導体レーザーの発振周波数の安定化をするという実験を行ってきた。しかし、現在の光通信においては、780nm帯の半導体レーザーは光ファイバ内における減衰が大きいため用いられていない。一般には減衰の少ない1.5 $\mu\text{m}$ 帯の半導体レーザーが用いられている。そこで我々は今後、今まで構築してきたシステムを用いて1.5 $\mu\text{m}$ 帯の半導体レーザーの発振周波数安定化を行っていく予定である。

### 2.外部周波数基準

エタロンの透過光スペクトルは雰囲気温度の変化等により、その共振器長が変化してしまうことで共振周波数、すなわち透過光スペクトルが変動してしまうという欠点を持っている。エタロンの透過光スペクトルは、反射膜の反射率、媒体の屈折率、エタロンの厚さ等により半値幅や隣接するピークの周波数間隔が異なってくるといった特性を持つ。また、Rb等原子の吸収線は固有のスペクトルであるため絶対的な安定度を持つ反面、任意の周波数を選ぶことは困難である。従って、1.5 $\mu\text{m}$ 帯半導体レーザーの発振周波数安定化にそのまま応用することはできない。しかし、エタロンの透過光スペクトルはエタロン板の透過光に対する角度を変えることで、スペクトルのピーク周波数をシフトさせることが可能である。本研究ではこれを利用することで広帯域な周波数基準の構築を図ってきた。

### 3.Rb-D<sub>2</sub>吸収線とエタロンを用いた安定化の構想

我々はRb-D<sub>2</sub>吸収線および、780nm帯と1.5 $\mu\text{m}$ 帯のエタロンを組み合わせた1.5 $\mu\text{m}$ 帯半導体レーザーの発振周波数の安定化システムを検討中である。その概念図を図1に示す。今まで我々がやってきたRb-D<sub>2</sub>吸収線と780nm帯のエタロンを用いた安定化の系を利用する。この系の780nm帯のエタロン板に1.5 $\mu\text{m}$ 帯のエタロン板を組み合わせて用いる方法を考案した。まず、780nm帯のエタロンの透過光スペクトル

をRb吸収線に安定化することで、これに組み合わせられた1.5 $\mu\text{m}$ 帯のエタロンの透過光スペクトルも安定すると考えられる。この安定化された1.5 $\mu\text{m}$ 帯の透過光スペクトルに1.5 $\mu\text{m}$ 帯の半導体レーザーの発振周波数を安定化する。今回は、このシステムに用いる1.5 $\mu\text{m}$ 帯のエタロンを用いて、半導体レーザーの発振周波数をエタロンの透過光スペクトルのピークに安定化する実験を行ったので報告する。

### 4.直接変調時における半導体レーザーの安定化の原理

アバランシェフォトダイオード(APD)で受光されたエタロンからの基準信号をロックインアンプに入力し、レーザー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一次微分波形が得られる。この一次微分波形における零点を安定化点とし、その付近で正負が反転するので安定化点からの周波数の変動を正負の誤差信号として取り出すことができる。この誤差信号を半導体レーザーの注入電流にフィードバックして安定化を行う。また、制御信号のゼロ点での傾きを周波数弁別利得G<sub>d</sub>[V/GHz]とする。この傾きが大きい程、高い安定度が期待できる。

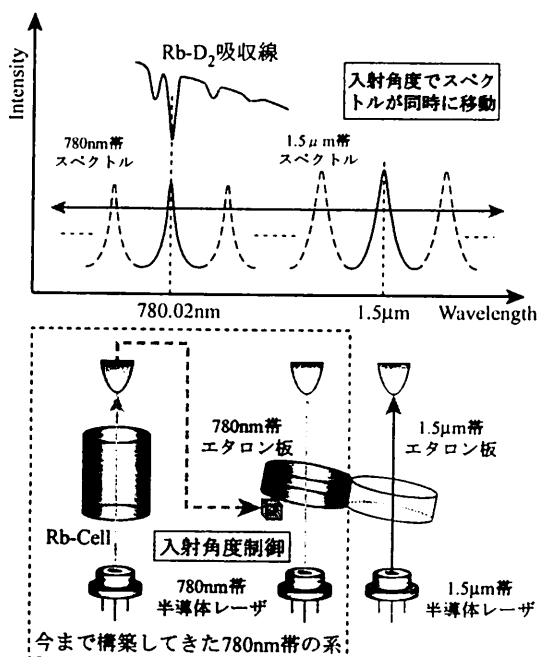


図1:Rb-D<sub>2</sub>吸収線とエタロンを用いた安定化の概念図

### 5.実験方法

図2に本実験の実験系を、図3に光学系を示す。注入電流には正弦波状の微小変調を加え、半導体レーザを共振させる。半導体レーザ(LD)から出たレーザ光をエタロン(Et; Fabry-Perot etalon)に透過させ、アバランシェフォトダイオード(APD; Avalanche photo diode)で受光する。この信号をロックインアンプ(Lock-in amplifier)で同期検波することで一次微分波形、すなわち誤差信号を得る。この誤差信号を駆動電流源にフィードバックすることにより安定化を行う。Et<sub>1,2</sub>を透過し、APD<sub>1,2</sub>で得られた信号は、それぞれLD<sub>1,2</sub>の安定化に用いられる。観測された透過光波形、一次微分波形をX-Tレコーダ1,2でそれぞれ記録する。また、温度コントローラにより、半導体レーザの温度変動が1/100℃以下になるような温度制御が施されている。

安定化されたLD<sub>1,2</sub>のレーザ光をそれぞれBSで2つに分けてAPD<sub>3</sub>で受光する。APD<sub>3</sub>において、2つのレーザ光(LD<sub>1,2</sub>)は光軸を合わせ、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。検出された結果をコンピュータに取り込み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った。

### 6.実験結果

図4に本実験の実験結果を示す。縦軸はラン分散の平方根 $\sigma$ を示し、グラフの下に行くほど安定度が良いことを示す。横軸は平均化時間を示す。●がエタロンによる1.5 $\mu\text{m}$ 帯半導体レーザの安定化の結果である。半導体レーザの安定度、すなわちエタロンの透過光スペクトルの安定度は $10^{-8}$ オーダーにあり、約2MHz程度の変動があると言える。この他、○は安定化を行わないFree Runningで、時間の経過に伴って発振周波数は変動してしまう。また、△がRb-D<sub>2</sub>吸収線を用いた780nm帯半導体レーザの安定化の結果で、安定度は $10^{-9}$ オーダーにあり約1.5MHz程度の変動となっている。

### 7.考察および今後の課題

Rbによる安定度と比較すると、かなりの差がある。しかし、この結果はエタロンのみによる安定化であるから、今後はRb吸収線を組み合わせて780nm、1.5 $\mu\text{m}$ のエタロンを安定化し、1.5 $\mu\text{m}$ 帯半導体レーザを安定化することで△に近づけることができる。さらには、780nm帯半導体レーザの発振周波数安定化で我々がやってきたPEAK方式を施し、より高い安定度を得る必要がある。

#### 参考文献

- (1)坂巻秀幸, 田代大輔, 榎葉實, 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.
- (2)渡部博道, 東秀樹, 中野博之, 佐藤孝, 大河正志, 丸山武男, 榎葉實, “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 pp1119-1126, 1997.

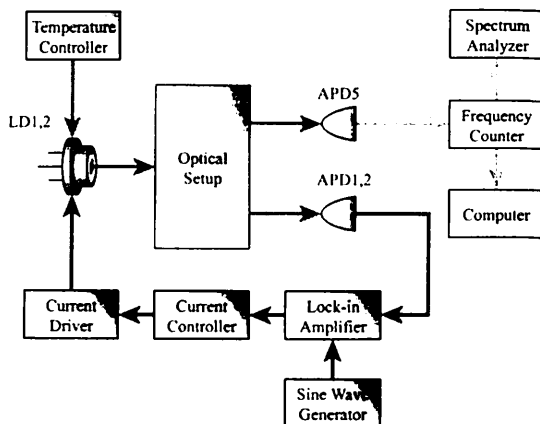


図2: 実験系

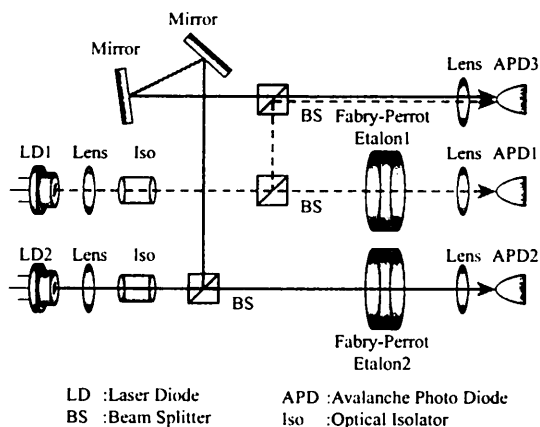


図3: 光学系

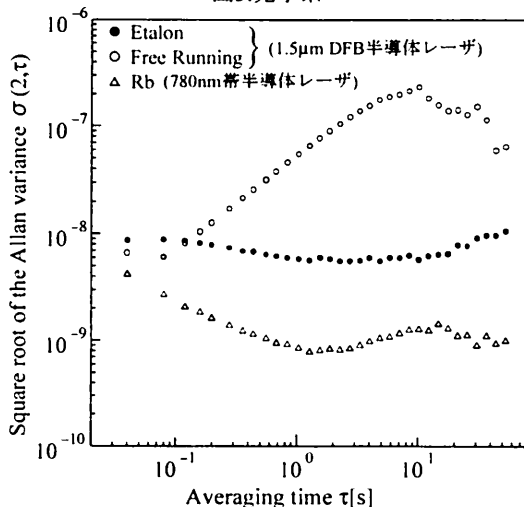


図4: 実験結果