

K7 半導体レーザーの内在的二次高調波を用いた波長安定化への検討 ～発振周波数変動の光フィードバックによる抑制～

○芳賀佑介 関健雄 ハフィザ ビンディ ハード* 大澤康暁 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 新潟大学工学部電気電子工学科*

1.はじめに

本研究室では、 $0.8\mu\text{m}$ 付近に強い共鳴吸収スペクトルを持つ Rb 原子の D_2 吸収線(780.02nm)を外部波長基準として用いて、 780nm 帯半導体レーザーの発振波長の安定化を行ってきた。しかし、半導体レーザーを光通信に用いる場合、光ファイバ内で最も損失の少ない $1.5\mu\text{m}$ 帯が適している為、 $1.5\mu\text{m}$ 帯の波長安定化が必要である。

本研究では、波長 $1.56\mu\text{m}$ の半導体レーザーに僅かに内在する二次高調波(SHG : Second harmonic generation)が 780nm 付近にあることから、この SHG 出力を Rb- D_2 吸収線を用いた発振波長の安定化に適用させる事で、 $1.56\mu\text{m}$ 半導体レーザーの波長安定化を行う事を考えている。しかし、SHG 出力は基本波出力の $10^{-8}\sim 10^{-9}$ 倍と極めて小さい。そこで、SHG 出力が基本波出力の 2 乗に比例して増加する事を利用して、光フィードバック法により基本波を増大させ、SHG 出力の増大を試みている。⁽¹⁾また、光フィードバック法には基本波スペクトルを狭窄化する効果もあり、光 Frequency Shift Keying(FSK)通信にも応用可能である。

2.これまでの経緯

これまで $1.5\mu\text{m}$ 帯のファブリ・ペロー(FP)レーザーと DFB(Distributed Feedback)レーザーにおいて、外部共振器にミラーを用いた光フィードバック系を 1 つ使用した時の SHG 出力と基本波スペクトルを観測してきた。その結果 FP レーザと DFB レーザが共に、光フィードバックにより SHG 出力が増大し、基本波スペクトルが変化する事を確認してきた。

しかし光フィードバック法は、戻り光量や温度変動による共振器長の変化等が原因で、その特性が大きく変わるので安定な動作を実現する事は困難である。そこで、光フィードバック系を 2 つ用いる事で光フィードバックがより安定に実現されたという報告⁽²⁾に基づき、我々の研究においても 2 つの光フィードバック系を用いる事で、SHG 出力が更に増大し再現性が高まると考えた。そこで、DFB レーザに比べ比較的単純な共振器構造を持つ FP レーザを用いて実験を行い、光フィードバック系を 2 つ使用した時の SHG 出力の増大、そして基本波スペクトルにおいては、モード数の減少は実現出来なかったが、特定モードにパワーが集中するという結果が得られた。⁽³⁾その時の実験系、SHG 出力、基本波スペクトルをそれぞれ Fig.1、2、3 に示す。

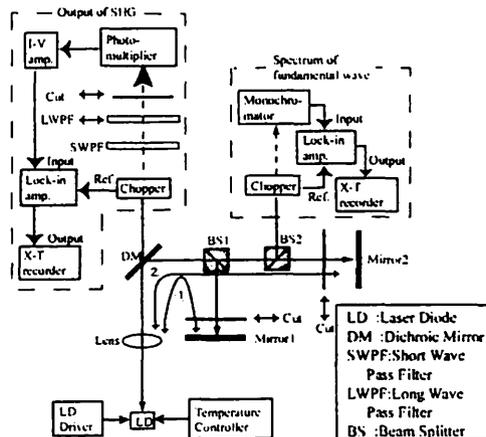


Fig.1 Experimental setup

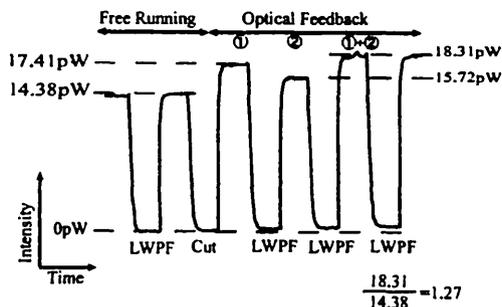


Fig.2 Output of SHG (FP laser)

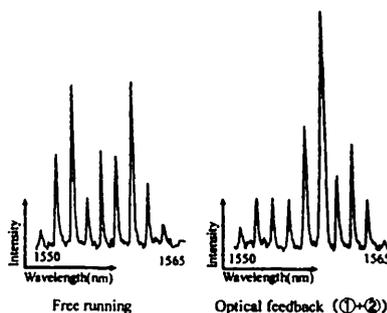


Fig.3 Spectrum of fundamental wave (FP laser)

3. 今回の実験

今回は 780nm 帯 FP レーザにおいて、外部共振器にミラーと回折格子を用いたそれぞれの場合において光フィードバック系を施した時のビート信号の観測を行った。

3.1 実験方法

実験系を Fig.4 に示す。LD は駆動電流を一定とし、温度変動が $\pm 0.01^{\circ}\text{C}$ 以下となるようにする。

レーザ光をレンズで平行光にし、LD1 のレーザ光は BS1 を用いて観測光とフィードバック光に分け、光フィードバック①を施す。光フィードバックの ON, OFF はミラーの前の Cut 板で行う。観測光は、BS2 を用いて APD(Avalanche Photo Diode)に入射させる。LD2 は、ビート信号観測の為の参照用レーザであり、BS3 を用いて LD1 と同様に観測光とフィードバック光に分け、光フィードバック②を施し、Mirror を用いて BS2~APD 間で LD1 の光軸と一致させ、ビート信号をスペクトラムアナライザで確認する。

3.2 実験結果

観測したビート信号を Fig.5 に示す。(a)は LD1、LD2 共に Free running 状態である時を示し、(b)、(c)・(c)'は光フィードバックを施し、それぞれ(b)はミラー、(c)・(c)'は回折格子を外部共振器として用いた時で、(c)'では横軸を拡大してある。

(b)の場合、ビート信号は Free running 時(a)の 1/10 に抑えられて、発振周波数変動幅が約 20MHz 程度になっている事が分かる。

(c)・(c)'の場合も同様に考えると、(a)の 1/100 に抑えられ、発振周波数はおよそ 2MHz となる結果が得られた。

4. まとめと今後の課題

今回の実験から、発振周波数変動が光フィードバックにより抑制されることが確認できた。

これは、外部共振器を構成する事で、内部モードが外部モードに引き込まれ、発振周波数の選択性が高められた事によるものだと考えられる。

また、Fig.5(b)と (c)・(c)'を比較する事で、波長依存性のある回折格子を外部共振器として用いた方が、ミラーを用いた場合より発振周波数変動を抑制できる事が確認できた。

今後はより効果的な光フィードバック系を求め、外部共振器を回折格子にし、ピエゾ素子を用いてこれを自動調節する等、光学系やミラーの設定法などを工夫し実験を進めていきたい。そして、1.56 μm 半導体レーザの SHG 出力増大へと繋げていきたいと考えている。

謝辞

本研究の一部は内田エネルギー科学振興財団の援助により行われた。

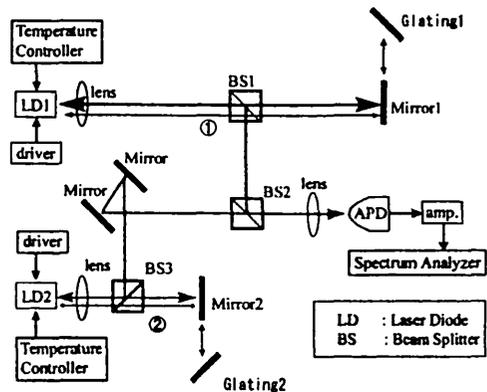


Fig.4 Experimental setup

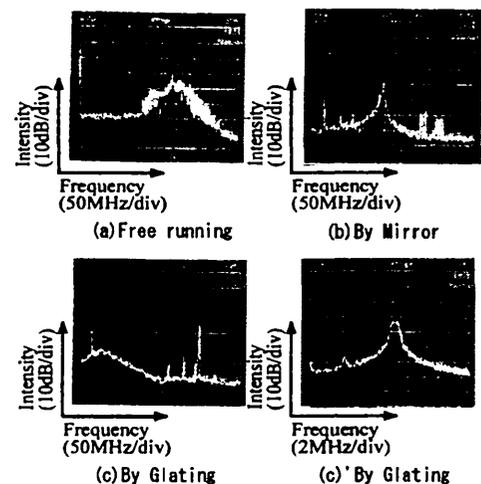


Fig.5 Beat Signal

参考文献

- (1)丸山慎也, 岡崎正, 佐藤孝, 丸山武男, 榛葉實:「半導体レーザの光フィードバック時における基本波と内生的二時高調波」信学技報 LQE-98-120(1999-01)
- (2)F. Rogister, D. W. Sukow, P. Megret, O. Deparis, A. Gavrielides and M. Blondel, "All-optical technique for stabilization of an external cavity laser diode: Numerical and experimental demonstrations", SPIE conference on Physics and Simulation of Optoelectronic Devices VIII, [3944-58]
- (3) M. Sakai, T. Ichiba, T. Seki, Y. Ohsawa, T. Sato, M. Ohkawa, T. Maruyama, M. Shimba: Increase of the inner second harmonic light of 1.5 μm semiconductor lasers: Effect of two optical feedback loops", Frequency Standards and Metrology, [635-637]