装置と技術

ペルチェ素子を用いた半導体レーザの温度制御装置

山 口 静 夫・鈴 木 正 夫

東京工芸大学工学部電子工学科 厚木市飯山(〒243-02)

(1983年7月12日受理)

Temperature Controller for a Semiconductor Laser by Use of a Peltier Element

Shizuo YAMAGUCHI and Masao SUZUKI

Department of Electronic Engineering, Tokyo Institute of Polytechnics Iiyama 1583, Atsugi 243-02

(Received July 12, 1983)

1. は じ め に

近年半導体レーザの進歩はめざましく、 $0.78\sim 1.3\mu\text{m}$ の近赤外の波長範囲においては単一縦モードで発振し、 10 mW 程度の出力を持ちかつ 10^5 時間の寿命を有する安定度の良い半導体レーザが容易に入手できるようになった。またGaAs半導体レーザは、室温領域で使用できるので光通信をはじめ種々の光計測装置にも利用されるようになった。

可視領域から近赤外領域においては、従来から可変波長光源としてダイレーザ等が使用されているが半導体レーザはこの種レーザに比較して、

- (1) 励起用レーザや共振器等の複雑な光学系を必要とせず、小型でしかも高効率である。
- (2) 直接変調がかけられ電子的に波長掃引ができる。
- (3) スペクトル線幅は数MHz⁽¹⁻³⁾と狭い。

等の特長を有している。しかしながら半導体レーザは動作温度や注入電流の変化に対して、 $20\sim 30\text{ GHz}/^\circ\text{C}$ 、 $1\sim 4\text{ GHz}/\text{mA}$ の割合で周波数^(4,5)が、また $5\sim 30\mu\text{W}/^\circ\text{C}$ 、 $30\sim 70\mu\text{W}/\text{mA}$ の割合で出力⁽⁶⁾がそれぞれ変化する。このため半導体レーザを高分解能分光^(7,8)や精密光計測^(9,10)等の光源として応用する際には、動作温度や注入電流を

安定度良く一定に保つ必要がある。このためペルチェ素子を用いて温度制御することが一般に行なわれているが^(11,12)、温度制御域は室温付近で行なわれるものが多い。市販されているGaAs半導体レーザは、 $-40^\circ\text{C}\sim +50^\circ\text{C}$ の範囲で動作させることができるので温度可変範囲を広くとると、 $100\text{ \AA}$ を越える広帯域波長掃引が可能となる。そこで我々は高分解能分光を目的とし、 $-40^\circ\text{C}\sim +30^\circ\text{C}$ の範囲を温度掃引できる安定度の高い半導体レーザ温度制御装置^(13,14)を試作した。

しかしこの温度制御装置は、ペルチェ素子の放熱側を恒温槽より供給される冷媒により一定温度に保つ構造上の制約のため

- (1) 装置が大型となること。
- (2) 温度の応答が室温付近で悪くなること。
- (3) 室温以上で使用する時、恒温槽の温度を再び設定する必要があること。

等不十分な点があった。そこでヒートシンクのかわりに放熱フィンを用い、これを強制空冷し小型化をはかった。ペルチェ素子には温度センサからの信号に応じて正逆両方向の電流を流せるようにし、温度応答性を向上させ、室温以上の領域でも安定度良く温度掃引のできるよう温度制御装置に改良を加えた。

Fig. 1. Sectional view of the vacuum cell for a semiconductor laser.

2. 装置の概要

本装置はレーザを収めた真空容器と温度制御装置から構成されているがこれについて以下述べる。

2.1 真空容器

Fig. 1に真空容器の断面図を示す。半導体レーザは銅ブロック上にマウントされ、これに近接して Clite Semiconductor 社のシリコン温度センサ STQ-5000200が取り付けられている*。銅ブロックにはペルチェ素子を接触させ、ペルチェ素子の一方を直径50 mm、長さ40 mmの円柱形の銅ブロックに接触させる。円柱形の銅ブロックには150 mm×120 mm×20 mmの冷却フィンが取り付けられており、これを風量1600 l/minの日本ブロウ社製 EP114-25のファンで強制空冷し室温に保っている。ペルチェ素子は Melcor 社の CP1.4-71-06 を用いている。半導体レーザ及びペルチェ素子を直径100 mmの円筒形の容器に収めこれを0.01 Torrの真空度に保つ。真空容器の中で用いているネジは熱伝導度の小さいことが要求されるのでプラスチック製としている。半導体レー

ザの出射ビームは直径5.5 mm、焦点距離4.2 mmのつレンズを用いてビーム径1 mmφの平行光束にし、石英の窓からとり出している。光軸の調整を容易にするためステージに載せ、上下の振りと回転を持たせてある。

2.2 温度制御器

ペルチェ素子の放熱側に冷却フィンを取り付け、これを室温(25°C)に保ち最大許容電流6 Aを流すと吸熱側の温度は-30°Cとなった。次に逆方向に6 Aの電流を流すと80°Cとなった。すなわち-6 A~+6 Aの範囲で駆動電流を制御すると-30°C~+80°Cの温度可変域を得ることができる。しかし半導体レーザの動作温度の上限(+50°C)を考慮し、温度制御範囲を-30°C~+50°Cとした。温度安定度は必要とする半導体レーザの周波数安定度から決まるのだが、長期安定度(60分)を±5 m°C、短期安定度(3秒)を±1 m°Cと見積ると周波数の長期安定度数100 MHz、短期安定度数10 MHzを期待できる。Fig. 2(a)に比例制御方式を用いた温度制御器の回路図を示す。すなわちOP1, 2により増幅した温度センサの出力とOP5より得られる温度設定基準電圧をOP3で比較し、この差信号に比例した出力でホトカブラを駆動する。設定電圧より温度出力が高ければこれに比例した電流が T_{R1} に流れ正の制御信号(冷却)が得られ、逆に

* シリコン温度センサは10 mm×2.5 mm×0.2 mmのリン青銅を板バネとして用い銅ブロックに固定してある。

示す。OP 10 と OP 9 の間にある 2 個のダイオードは、ペルチェ素子の許容電流が $\pm 6\text{ A}$ なのでこれを越える信号に対してはリミタとして働きペルチェ素子の焼損をさける。制御信号と電流検出抵抗 R_{ref} に生じる電圧を OP 8 で比較し、ペルチェ素子を定電流動作させるのだが正の制御信号 (冷却) に対してはダーリントン接続した Tr_6 , Tr_7 , Tr_8 が ON となりペルチェ素子には半導体レーザを冷却する方向に電流が流れる。一方負の制御信号 (加温) に対しては Tr_3 , Tr_4 , Tr_5 が ON となり逆方向に電流が流れるのでヒートシンク側から半導体レーザに熱が移動し加温されることになる。スイッチ S_1 は電源 ON-OFF 時にペルチェ素子に流れる異常電流を防ぐためのもので、電源 ON-OFF 時にはこれを閉じパワートランジスタを保護している。この定電流回路のリップルノイズは負荷電流 $\pm 6\text{ A}$ の時数 $\text{mA}_{\text{p-p}}$ 以下であった。

3. 実験結果

3.1 温度掃引

温度制御装置の応答速度を知るため $-20^\circ\text{C} \sim +50^\circ\text{C}$ の範囲で温度設定電圧をステップ状に変化させ、温度を 10°C づつ上げ次いで下降させた時の応答時間を調べた。この時半導体レーザは銅ブロック上にマウントしておいたが、レーザには注入電流を流さないで行った。その結果を Fig. 3 に示す。カーブ (a) は $+50^\circ\text{C}$ から -20°C に温度を下げた時の応答を示し、 $+50^\circ\text{C}$ から 0°C まで下げるのに 1 分程度の応答が、 -10°C から -20°C の変化に対しては 1 分 30 秒の応答になっている。これはペルチェ素子の吸熱側と放熱側の温度差が 50°C に近くなり

Fig. 3. Response time of the temperature controller. The temperature was decreased along the path (a) and it was increased along the path (b).

Fig. 4. Recorder traces of the temperature stability.

そのため熱効率が低下したためと思われる。カーブ (b) に -20°C から $+50^\circ\text{C}$ に温度を上げた時の応答が示してある。 $10^\circ\text{C}/6\text{ s}$ の傾きで直線性が得られたのはペルチェ素子に加熱動作を行なわせたためである。従って Fig. 3 から $-10^\circ\text{C} \sim +50^\circ\text{C}$ の範囲で $20^\circ\text{C}/\text{min}$ の温度掃引ができることがわかる。

3.2 温度安定度

$+50^\circ\text{C} \sim -25^\circ\text{C}$ の範囲で 25°C おきに温度を設定し、温度センサの出力変化を記録¹⁸⁾して温度安定度を測定した。この結果を Fig. 4 に示す。この温度範囲で短期安定度 (3 秒) は $\pm 2\text{ m}^\circ\text{C}$ の範囲に入っている。一方長期安定度 (60 分) は $50^\circ\text{C} \sim 0^\circ\text{C}$ までは $5\text{ m}^\circ\text{C}$ 以下の良い安定度を示しているが、 -25°C では $15\text{ m}^\circ\text{C}$ に悪化している。これはペルチェ素子の吸熱側と放熱側の温度差が 50°C 程度となるので熱効率が低下し、そのため周囲温度のドリフトによる影響を受けるものと思われる。

3.3 周波数及び出力の安定度

上記温度掃引特性や温度安定度がレーザ光の周波数掃引及び掃引時の周波数安定度、フリーランニング時の周波数安定度等に及ぼす影響を調べた。

Fig. 5. Observed first derivative signal of the $4s_{11}-4p_{12}$ transition of Ar I at 8006.1566 Å. (a). A recorder trace of the laser power transmitted through a grating spectrometer having a slit-width of 1 Å. (b). A first derivative signal observed by sweeping the operation temperature for a fixed injection current at 89.6 mA. (c). A first derivative signal observed by sweeping the injection current at the temperature of 24.3°C. The frequency markers with a spacing of 5 or 1 GHz are the fringe signals of a Fabry-Perot etalon spaced by 3 or 15 cm, respectively.

日立製半導体レーザ HL 7801 E を注入電流 89.6 mA で動作させ、これに 1 kHz, 0.1 mA_{p-p} の正弦波を重畳し波源変調を行ない、レーザ光を Ar ガス封入のホロカソードランプに照射した。ホロカソードランプは 120 V, 1.8 mA で動作させ、この放電電流の変化を位相敏感検波増幅器で検出する通常の光ガルバノ分光法¹⁴⁻¹⁶⁾によった。動作温度を 22.5°C から 26.5°C まで掃引して得ら

Fig. 6. Recorder traces showing the fluctuations and drifts of the laser frequency and the output power.

れた Ar I の $4s_{11}-4p_{12}$ ^{*17)} にもとづく光ガルバノスペクトルを Fig. 5 に示す。Fig. 5 (a) は 8006 Å に固定した日本分光製回折格子分光器 CT-25 A の通過スペクトルで、(b) は光ガルバノ信号の 200 mV_{p-p} の振幅を持つ 1 次微分曲線である。5 GHz の自由スペクトル域を持つファブリペロー干渉計の波長マーカーより 50 GHz の掃引が直線性良く行なわれていることがわかる。次に温度を 24.3°C に保ちレーザの注入電流を 88 mA~91 mA の範囲で電流掃引し、高分解能分光を行ない Fig. 5 (c) の結果を得た。ピークとピークの間隔 1 GHz と 200 mV_{p-p} の振幅が変化しないことにより、温度掃引時の周波数安定度も電流掃引時のものと比較しほぼ同程度のものと見積ることができる。Fig. 5 (c) に示す 1 次微分曲線の変曲点にレーザの発振波長を設定^{4,5)} し、レーザの周波数変動により生じるロックイン増幅器の出力変動を時間軸記録計に記録した。さらにレーザ光の一部を浜松ホトニクス社製光電子増倍管 R 666 で受光し、1 mW の基準出力レベルとこれを比較検出する方法⁶⁾ でレーザ出力の変動を記録した。この結果を Fig. 6 に示す。Fig. 6 (a) から周波数変動は、短期的には 50 MHz 程度、長期的には 250 MHz 程度である。使用した半導体レーザ駆動用定電流電源の安定度は 50 μA/hr なので、この影響と Fig. 4 で示された温度安定度のトレースから見積ることができる周波数安定度の両者を考慮すると、Fig. 6 (a) で示された周波数変動にほぼ一致する。Fig. 6 (b) から出力変

* $\lambda_{\text{air}} = 8006.1566 \text{ Å}$

動は、短期的には数 μW 、長期的には 60 分で $5 \mu\text{W}$ 程度である。この変動はレーザ出力の 0.5% に相当し、レーザ駆動用定電流電源のドリフトによる影響と考えられる。

4. ま と め

高分解能分光をはじめとするいわゆる周波数純度を必要とする光源に半導体レーザを応用する際には、安定度の良い温度制御装置が必要となる。

本研究で試作した空冷型の温度制御装置は、 $0^\circ\text{C} \sim 50^\circ\text{C}$ の範囲では $\pm 5 \text{ m}^\circ\text{C}$ 以下、 $0^\circ\text{C} \sim -25^\circ\text{C}$ の範囲では $\pm 10 \text{ m}^\circ\text{C}$ の温度安定度を有している。また $-10^\circ\text{C} \sim +50^\circ\text{C}$ の範囲では $20^\circ\text{C}/\text{min}$ の速い温度掃引を行なうことができる。

常温付近での半導体レーザの周波数安定度は、光ガバナンスペクトルの 1 次微分曲線の周波数弁別特性から、 250 MHz/hr と見積ることができた。さらに出力安定度は $5 \mu\text{W/hr}$ であった。

この温度制御装置は半導体レーザを高分解能分光や光計測の光源として用いる場合に有効であるばかりでなく、半導体レーザを開発する上で必要な各種のパラメータを広い温度範囲で精度良くかつ迅速に測定する際にも有効に使用できる。

文 献

- 1) T. Takakura, K. Iga, and T. Tako: Jpn. J. Appl. Phys. **19**, L725 (1980).
- 2) T. Okoshi, K. Kikuchi and A. Nakayama: Electron. Lett. **16**, 630 (1980).
- 3) Y. Yamamoto, T. Mukai and S. Saito: Electron. Lett. **17**, 327 (1981).
- 4) S. Yamaguchi and M. Suzuki: Appl. Phys. Lett. **41**, 597 (1982).
- 5) S. Yamaguchi and M. Suzuki: Appl. Phys. Lett. **41**, 1034 (1982).
- 6) S. Yamaguchi and M. Suzuki, to be published in IEEE J. Quantum Electron. Oct. (1983).
- 7) *High-Resolution Laser Spectroscopy*, Topics in Appl. Phys. Vol. **13**, ed. K. Shimoda (Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York, 1976).
- 8) R. T. Ku, E. D. Hinkley and J. O. Sample: Appl. Opt. **14**, 854 (1975).
- 9) F. Bien, M. Camac, H. J. Caulfield and S. Ezekiel: Appl. Opt. **20**, 400 (1981).
- 10) A. Olson and C. L. Tang: Appl. Opt. **20**, 3503 (1981).
- 11) H. Tsuchida, S. Sanpei, M. Ohtsu and T. Tako: Jpn. J. Appl. Phys. **19**, L721 (1980).
- 12) T. Yabuzaki, A. Ibaragi, H. Hori, M. Kitano and T. Ogawa: Jpn. J. Appl. Phys. **20**, L 451 (1981).
- 13) 山口静夫, 鈴木正夫: 分光研究 **31**, 256 (1982).
- 14) 山口静夫, 鈴木正夫: 分光研究 **31**, 242 (1982).
- 15) R. B. Green, R. A. Keller, G. G. Luther, P. K. Schenk and J. C. Travis: Appl. Phys. Lett. **29**, 727 (1976).
- 16) J. E. M. Goldsmith and J. E. Lawler: Contemp. Phys. **22**, 235 (1981).
- 17) *American Institute of Physics Handbook*, 3rd Ed. ed. D. E. Gray (Mc Graw-Hill, 1972) p. 7-64.