



| | |
|------------------|---|
| Title | レーザダイオード恒温化の一手法 |
| Author(s) | 吉田, 静男; Yoshida, Shizuo |
| Citation | 北海道大學工学部研究報告, 141, 201-207 |
| Issue Date | 1988-07-29 |
| Doc URL | https://hdl.handle.net/2115/42109 |
| Type | departmental bulletin paper |
| File Information | 141_201-208.pdf |



レーザダイオード恒温化の一手法

吉田 静 男

(昭和63年3月31日受理)

A method for fixing laser diode temperatures

Shizuo YOSHIDA

(Received March 31, 1988)

Abstract

A newly developed LD (laser diode) temperature fixing method is described. In contrast to the presently used Peltier element, the LD is maintained at a higher temperature than the ambient temperature. The electric forward current is monitored for changes due to ambient temperature fluctuations. The current through a fine metal wire is adjusted to maintain the LD temperature.

Tests showed the LD temperature changes 0.0091°C for each one-degree C change in the temperature of the surroundings, which compares quite well with the Peltier element.

In addition, by using this method, it is possible to avoid longitudinal mode hopping and to control the LD temperature within a more confined space than now possible with the Peltier element.

1. 序 文

半導体レーザは、一般に、ダイオードとして電流励起されるためレーザダイオードとも呼ばれ、今日では単に LD という省略記号を用いて表現されることが多い。LD の実用化は1970年に $0.8\ \mu\text{m}$ 帯波長の連続動作可能な Ga Al As レーザが開発されたこと、及び、1976年に $1\ \mu\text{m}$ 帯波長の Ga In As P レーザが開発されたことが契機になっている。¹⁾その後、今日までのわずかな期間のうちに LD はレーザプリンターやメモリディスク等の光情報処理と長距離・大容量通信や波長分割多重伝送等の光源としてその地歩を確立しつつある。²⁾しかし、LD はその本来の開発目的に加えて早くも多くの分野で光学系の光源として使用されようとしている。一例として流体計測の分野に注目すれば、LD をフィールド計測用のレーザドップラー流速計 (LDV) の光源として利用するという試みがある。³⁾LDV を実験室規模の流れ計測に使用するのであればガスレーザでも良いわけであるが、フィールドで機敏に移動しつつ流速を測定するための LDV の光源としてはきわめて狭い光学系空間で利用でき、しかも小容量バッテリーの使用を可能にするようなものでなければならぬ。従って、これらの問題を解決し得る LD がフィールド用 LDV の光源として、い

ち早く、導入されようとしている現況は、むしろ、自然の成行きであるといえよう。しかし、現状では実用上支障となる幾かの問題点がある。まず光出力をあまり大きくできないという点が挙げ得るが、そのことよりも、周囲温度の影響を受け易いことが大きな問題である。以下、その内容について、具体的に記述してみよう。今、閾電流を I_{th} とおくと、室温から 80°C (電流発振を継続し得る上限の温度に近い) 程度までの周囲温度のもとでは次の関係が成立する。

$$I_{th} \propto \exp(T_i/T_a)$$

ここに T_i はレーザ結晶内の発振領域 (活性層ともいう) の温度 [$^{\circ}\text{K}$]、 T_a は特性温度 [$^{\circ}\text{K}$] で、周囲温度の変化によって若干変化する。すなわち、周囲温度が上昇し、 T_i も上昇すると I_{th} がほぼ指数関数的に上昇し、しだいに電流発振の限界に近づいてゆく、又、この特性のために I_{th} の上昇によってレーザ結晶に流れる順電流も増加させなければ光出力が低下し、単一縦モード発振が干渉を測定原理とするような光学系の光源としては適さないマルチモード発振に遷移してしまう。いまひとつ、周囲温度が変化するときモードホップ (縦モードの跳躍、あるいは、波長の不連続的变化) が発生するという問題がある。この問題は T_i の変化によりバンドギャップが変化し、主発振モードが不連続的に変わることに基づいているが、モードホップ時のノイズ発生が信号処理に際して大きな障害になる可能性がある。モードホップはファブリペロ (FP) 型の LD に特有のもので、最近では回折を利用した、モードホップを防ぎ得る分布帰還型 LD (DFB) も開発されている。しかし、現在のところ製作上の困難さから $1\ \mu\text{m}$ 帯波長の LD が製造されているのみで光出力も $6\ \text{mW}$ 以下と小さく、非常に高価である。又、モードホップが生じないといっても周囲温度が大幅に変化すると最大利得波長が回析格子波長からずれるといった問題や FD 型同様に、屈折率変化による $1\sim 2\ \text{\AA}/^{\circ}\text{C}$ の波長変化は防ぎ得ないといった問題もある。従って、未だ、フィールド計測用 LDV がそうであるように、FP 型 LD を使用せざるを得ない例が大半であると考えられる。

FP 型 LD に関する上記の問題は現在のところペルティエ素子を用いて解決がはかられている。しかし、付属部分が大きすぎることと消費電力が著しく大きいためにフィールド計測用 LDV 等ではこの方法が利用できない状況にある。本報で示す恒温化法は従来のペルティエ素子を用いる手法とは原理的に異なっており、非常に簡便である。又、上記のような用途に対しても応用が可能であり、恒温化精度も従来の手法と比較して劣らない。

2. LD 恒温化の原理

はじめに、ペルティエ素子を用いた従来の恒温化法について記述しておく。その構造は Fig. 1 に示すとおり吸熱側は LD に、発熱側は表面積の大きいフィンに接している。フィンはペルティエ素子からの発熱を促進させる上に必要で、大きい程放熱効率が増す。ペルティエ素子には温度セ

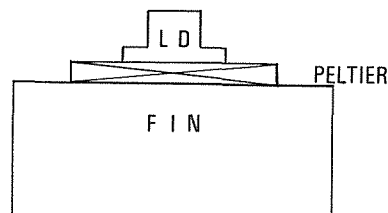


Fig. 1

ンサーが取付けられており、その温度センサーの精度（約 0.1°C ）内で恒温化される。ただ、密着の度合が悪かったり、フィンが小さいときには、たとえ、ペルティエ素子が上記の精度でコントロールされたとしても LD 自体の恒温化精度は低下する。又、周囲温度が低くなるとペルティエ素子の設定温度もそれ以下に保つ必要があり消費電力は非常に大きなものとせざるを得ない。この他、より本質的な問題もある。それは、レーザー結晶温度 T_L 、あるいは、それと密接な関係にある順電流 I_f をモニターしていないという点である。すなわち、 T_L とペルティエ素子の温度とが完全に一致しているという保証は無い。又、かりに 0.1°C の精度で T_L が恒温化できたとしても、LD に取付ける付属物の容積が非常に大きく、消費電力もきわめて大きいことから、フィールド用 LDV のような例にはこの方法を採用できない。

本報で示す恒温化法は少なくとも上記の問題を解決し得る。その原理は「APC 回路（自動光出力制御回路）を作動させた上でレーザー結晶に流れる順電流 I_f を直接モニターし、それが周囲温度の変化によって変わらないように LD を加熱又は冷却する」というものである。この場合、発熱体としては細い抵抗線を使用すればよく、LD に取付ける容積はきわめて小さくでき、消費電力も従来の方法に比べて桁違いに小さくできる。さらに、LD の製造段階でレーザー結晶の近くに抵抗体を設置できれば急激な周囲温度の変化にも対処できる可能性がある。このように発熱体を使用する場合の問題点は従来のペルティエ素子を用いる方法とは逆に設定温度が周囲温度を常に上まわっている必要があるということであろう。すなわち、電流発振限界を越えない周囲温度のもとでのみ採用できる方法といえる。周囲温度が非常に高い場合には逆に吸熱体を LD に取付けると良いが、現状ではペルティエ素子以外に適当な素子が見当たらない。このペルティエ素子を使用する場合であっても、従来の方法で恒温化するよりは本報に示す方法を採用することによって直接 T_L の恒温化が可能となり、安定した縦モードの光出力を得ることが可能となろう。

3. LD 恒温化回路

Fig. 2 は恒温化回路のブロック図である。同図には破線で囲んだ発熱（又は吸熱）体への電流制

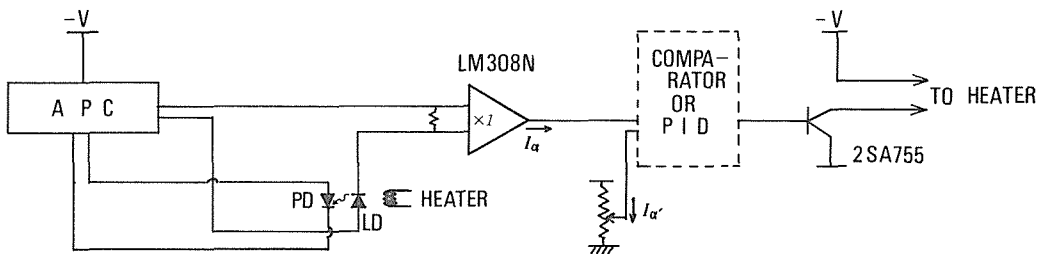


Fig. 2

御回路の他に、発熱（又は吸熱）体を取付けた LD や APC 回路との関連も示されている。回路の中で破線部は PID 制御回路とするのが理想であるが、簡易に済ませたいときにはコンパレータ（LM308N）を用いれば良いであろう。なお、発熱体として抵抗線を用い、さらにコンパレータ

ーを使用する場合には $I_a < I_a'$ で抵抗線への電流を ON, $I_a > I_a'$ で OFF, ペルティエ素子を使用する場合にはその逆の動作となるよう回路を組立てれば良い。なお, I_a は差動増幅器の出力電流, I_a' は設定電流である。

4. 発熱体として抵抗線を用いた恒温化回路の特性

前節に示した恒温化回路はフォトダイオードを内蔵した大半の LD に対して有効と思われる。そこで, 出力 3 mW の Ga Al As レーザ (三菱 ML 4402) と発熱体として 0.05mm のアドバンス線 (約 200Ω) を採用した簡易な回路 (コンパレータ使用) について, その恒温化特性をのべてみる。Fig. 3 は光出力のみを一定に保つための APC 回路, Fig. 4 は LD への抵抗線の取付け状況, Fig. 5 は LD を防水真鍮カプセルの中に設置した様子を示す。なお, LD は熱伝導率の小さいプラスチック製の支持パイプに組み込まれており, 直接真鍮カプセルとは接していない。又, LD の

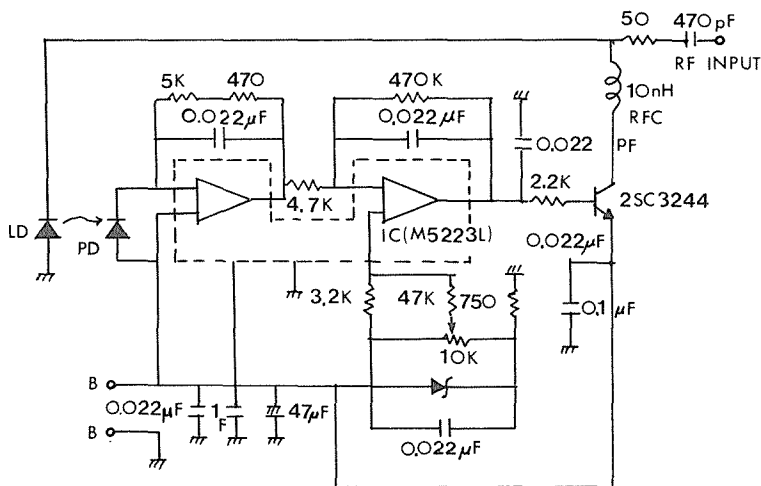


Fig. 3

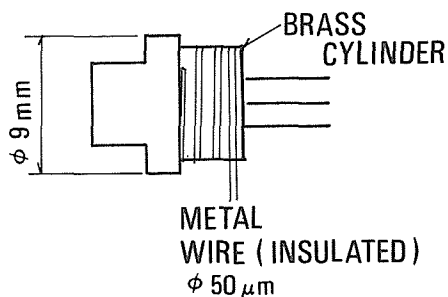


Fig. 4

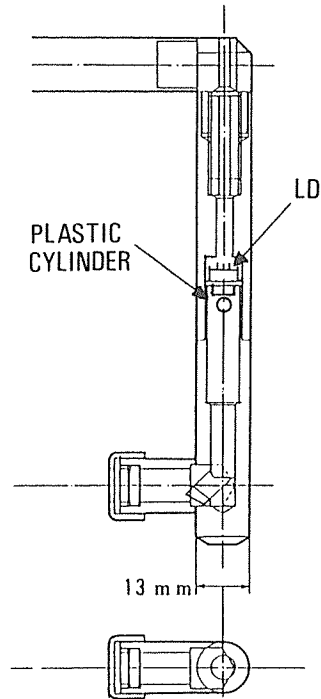


Fig. 5

ケース温度は光学系の中水使用も考慮して防水カプセルを流水中に置くことにより設定した。

使用した LD の順電流 I_f と光出力の関係は閾電流 I_{th} 以上の領域でほぼ比例関係にある。しかし、 I_f はケース温度（厳密にはレーザー結晶温度 T_i ）の変化に伴ない著しく変化する。そこで、通常は LD 内蔵のフォトダイオードと APC 回路を用いて I_f を制御し、ほぼ、温度によらない光出力を得ている。まず、恒温化回路を動作させずに防水カプセルを流水中に挿入し、 I_f 対周囲温度（厳密にはカプセル表面の流水の温度）を求めると Fig. 6 を得る。このときの光出力については検出されていないが、三菱のテスト結果では 20°C のケース温度変化に対して 0.1% 程度である。従って、この温度特性については考慮しないことにする。Fig. 6 の結果からは I_f の周囲温度に対する変化率として $0.373\text{mA}/^\circ\text{C}$ を得る。この結果は空气中でテストした三菱独自の測定結果とも、ほぼ、一致し周囲温度とケース温度は、概略、一致していたと推定される。ところで、このテストでは APC 回路が動作しているので上記の I_f の変化は、ほぼ、 T_i の変化に対応するといえる。たとえば、 I_f が $\Delta I_f \text{ mA}$ 変化すると $(\Delta I_f / 0.373)^\circ\text{C}$ だけケース温度（厳密には T_i ）が変化したことになる。一方、恒温化回路を動作させ、同様の実験を行なうと Fig. 7 の結果を得る。なお、テストの温度領域では抵抗線に流れた電流は非常に小さく、最大で 50mA であった。Fig. 7 から I_f の周囲温度に対する変化率を求めると $0.0034\text{mA}/^\circ\text{C}$ を得る。この結果に Fig. 6 の結果を適用すると、周囲温度が 1°C 変化するとき LD のケース温度はわずか 0.0091°C 変化するといえる。この恒温化の精度は、Fig. 2 破線部を PID 制御回路で置換することにより、さらに、向上させ得るが、上記の簡易な回路であっても、広い温度領域にわたってモードホッピングを防止でき、縦モード変化も

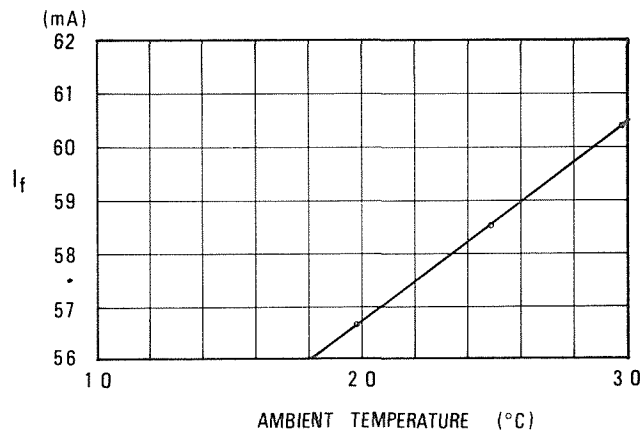


Fig. 6

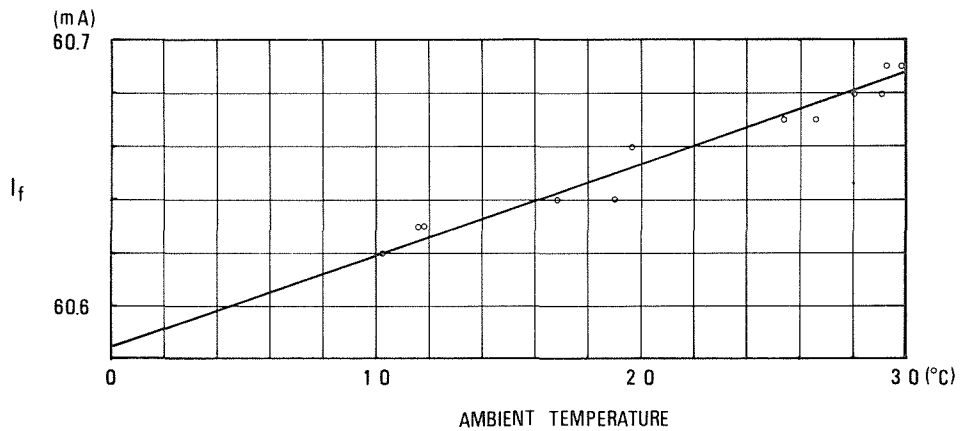


Fig. 7

0.009~0.018 $\text{Å}/^\circ\text{C}$ 程度におさえることが可能である。又、周囲温度が変化しない場合でも最高0.1 $^\circ\text{C}$ の精度にとどまる従来のペルティエ素子を用いた恒温化法と比較しても劣らない。

5. 結 語

APC回路を動作させた状態でレーザ結晶への順電流をモニターし、その値が変化しないように発熱（又は吸熱）体でケース温度を変化させることによりLDの温度を恒温化させる方法を示した。又、一例として抵抗線を発熱体としコンパレータを使用した簡易な回路特性を作り、その特性を調べた。その結果、周囲温度が1 $^\circ\text{C}$ 変化してもLDの温度変化を0.0091 $^\circ\text{C}$ におさえ得ることが明らかになった。この恒温化精度をもってすれば広い範囲にわたる周囲温度の変化に対するモードホップの除去が可能である。又、発熱体として抵抗線を用いる場合にはLDに取付ける付属部はきわめて小さい容量で済むため、フィールド計測用LDA等の狭い光学系空間でのLDの恒温

化も実現できる。なお、本報ではコンパレータを使用した回路についてのみテストしたが、この部分をPID制御回路で置換したりLDの結晶近くに抵抗体を設置できれば、より高精度で温度制御ができ、かなり急激な温度変化にも対処できる可能性がある。さらに、消費電力が問題とならない実験室等でペルティエ素子を使用して恒温化をはかり得る場合でも、本報で示した手法と組み合わせることにより、従来以上に恒温化の精度を高め得る。

謝 辞

本研究の遂行にあたっては北海道大学工学部田中敬一教授から有益な御助言と御激励を頂いた。記して感謝したい。

参 考 文 献

- 1) 末松安晴：光デバイス（昭61年），p. 186，コロナ社
- 2) 末松安晴（監修）：光ファイバ応用技術集成（昭61年），日経技術図書，p. 775
- 3) Yoshida, S. and Yagi, S.: J. of Hydrosience and Hydraulic Eng., 5 (1987), 1, p. 49~55