

最近の技術から

固体レーザー励起用高出力半導体レーザー

小久保吉裕・池田 健志

三菱電機(株)光・マイクロ波デバイス研究所 〒664 伊丹市瑞原 4-1

1. ま え が き

近年、医療用あるいは計測用として使われてきた YAG レーザーの励起光源に、従来のフラッシュランプに代り半導体レーザー (laser diode 以下 LD と略す) が使用されるようになってきた。これは、LD が、フラッシュランプに比べ長寿命でメンテナンスフリーの点が歓迎されたためである。本報告では、この固体レーザー励起用の LD を取り上げ、主として筆者らが行った研究の結果および現在得られている特性について述べる。

2. LD に要求される特性

固体レーザー励起用であることから、LD の光出力が大きいだけでなく LD の発振波長が固体レーザーの吸収波長帯に合致していなければならない、YAG 励起の場合 $808\text{ nm} \pm 2\text{ nm}$ 程度が要求される。この波長帯では、LD の材料としては AlGaAs 系が一般的に用いられている。

そのほかには、他の LD と同様に、電気・光変換効率が高いほうが好ましく、遠視野像が狭いほうが利用しやすい。しかし、今のところ遠視野像は必ずしも単峰であることは要求されていない。

3. 高出力化の方法

光出力を増加させるには、(1)光密度を上げないで高出力化するために活性領域の拡大、(2)自己発熱によるしきい値上昇を避けるために高効率化による発熱低減、(3)窓領域形成による端面破壊レベルの向上¹⁾、などがある。(3)は効果は大きい、出力光の光学的特性やしきい値・効率にも影響を及ぼし、現状では制御性があまり良くないため、以下では(1)および(2)を重点的に述べる。

(1) 活性領域の拡大については、通常のレーザーを多数並べたアレイ型²⁾と活性層幅を広げた幅広型 (broad area) が一般的である。幅広型の原型は歴史が古いが、液相で結晶成長が行われていた頃は薄い結晶膜の層厚の

均一性が悪く、活性層の一部のみで発光するいわゆるフィラメンテーションが起きやすかったため、高出力化はアレイ型が主流であった。このアレイ型では、光出力がたとえば室温・CW で $55\text{ W}^{2)}$ という報告もある。しかし、発光部の密度が小さく (文献 2) では 20%) LD 全体の面積が広くなり、固体レーザー励起用としてはサイドポンプ向きである。小型・高効率のエンドポンプ用としては、光出力が 1 W 程度でも集光の点で光密度が大きい LD が望まれてきた。近年、MBE や MO-CVD などの結晶成長技術の進歩により、数十 nm オーダーの薄膜の成長の均一性が著しく向上し、これにより単位面積当りの高出力化が期待できる幅広型が再び脚光を浴びるようになってきた³⁾。

(2) 高効率化のためには、活性層に量子井戸構造を採用することがよく行われており、井戸層の数により SQW (single quantum well), DQW (double quantum well), などと呼ばれる。井戸層の数が多くなればなるほど一般に利得は増すが、井戸層厚の制御やキャリア注入密度を均一にすることが難しくなるので、幅広型には制御性の良い SQW が使用されることが多い。

4. 今回の LD の試作結果

量子井戸の層厚は、薄くすると層厚を均一にするのが難しく厚くすると量子効果が弱まるため、 $50\sim 200\text{ \AA}$ 程度が一般的である。また、活性層幅は広いほうが光出力の点で有利であるが、レンズでの集光が難しかったり、フィラメンテーションが起きるため $50\sim 200\text{ }\mu\text{m}$ 程度が普通である。

筆者らは、活性幅を $150\text{ }\mu\text{m}$ に設定し、MO-CVD により 800°C で結晶成長した。この LD 構造を図 1 に示す。まず最初に井戸層に GaAs を用い、厚さは約 60 \AA 、SCH 層は片側約 600 \AA の構造にした。井戸層に GaAs を用いた理由は、井戸層厚のみで発振波長を決定するためである。計算では、 808 nm 付近の発振波長を得るには井戸層厚が 40 \AA 程度になるはずであったが、試作の結果約 60 \AA で所望の波長が得られた。この原因は、

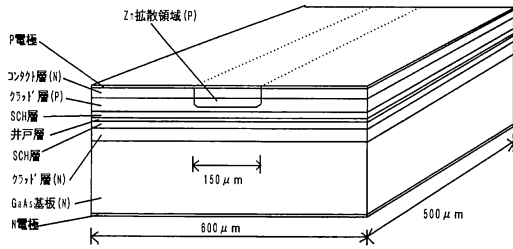


図 1 幅広型 LD の構造

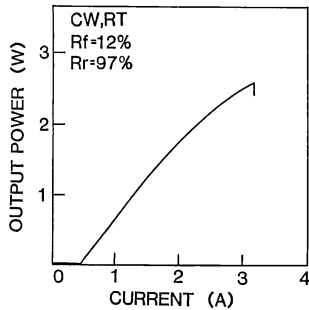


図 2 光出力-電流特性

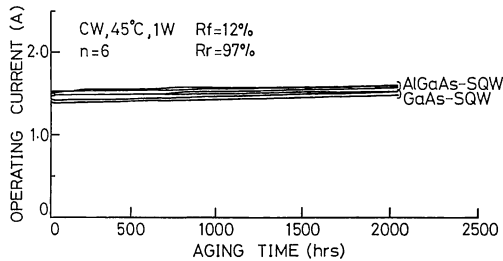


図 3 通電試験状況

SCH 層を挟んでいるクラッド層のドーパントである Zn が井戸層まで到達して、井戸層を部分的に無秩序化し、等価的に井戸層が薄くなったためと思われる。電流狭窄は再現性が良く簡便な Zn の固相拡散を用いて p 型ストライプを形成することにより行った。固相拡散は、結晶成長温度より低い 660°C で行った。

試作した LD は、放熱のために無酸素銅のステムに Cu/W のサブマウントを介してジャンクションダウン (発光部をサブマウントとの距離が近い側にして) で組み立てた。特性測定の結果、光出力については動作電流 3.4 A 時に 2.9 W 得られた。YAG の吸収波長に合った LD の中で、150 μm の活性幅でこの光出力は世界トップレベルである。しかし、井戸層が 60 Å と薄いので、わずかに原子層のゆらぎで波長が数 nm も変化し、

制御性があまり良くない。現状の結晶成長装置を用いるという制限の下に波長に対する制御性を向上させるため、井戸層を AlGaAs にし厚さを 150 Å にして波長が ~808 nm になるようにした⁴⁾。この結果、波長に対する均一性が著しく向上した。この AlGaAs 井戸層タイプの光出力-電流特性を図 2 に示す。動作電流 3.2 A 時に、2.6 W の光出力が得られており、1 W 時の電気-光変換効率は 40% 以上である。

遠視野像については、活性層に直交方向は良く知られた誘電体導波路の伝搬モードから得られる計算値に比較的一致しており (半値全幅 ~30°), SCH 層の設計により変化させることが可能である。また、平行方向はマルチモードのため現在制御は不可能であり、今回の試作では ~8° の近辺に分布していた。縦モードも測定の結果はマルチで、半値全幅が 1~2 nm 程度の広がりを持っていた。

最後に、LD の通電試験を行った。この結果を図 3 に示す。雰囲気温度は 45°C で光出力は 1 W である。2000 時間を経過しているが、顕著な動作電流の増加は見られない。25°C での推定寿命は 8000 時間以上にのぼる。

5. む す び

固体レーザー (YAG) 励起 (エンドポンプ) 用としてワット級の幅広型 (活性幅 150 μm) LD を試作した。量子井戸構造の採用や設計の最適化により、光出力は 2.6 W 得られ、また、信頼性、波長の制御性のいずれもほぼ満足のいく結果が得られた。この幅広型 LD を YAG レーザーに適用することでいっそうの小型・高効率化に貢献できるものと思われる。

文 献

- 1) K. Hamada, H. Naito, M. Kume, M. Yuri and H. Shimizu: "High-power GaAlAs single-element lasers with nonabsorbing mirror," Proc. SPIE, **1219** (1990) 117.
- 2) M. Sakamoto, D.F. Welch, G. Endriz, D.R. Scifres and W. Streifer: "76 W cw monolithic laser diode arrays," Appl. Phys. Lett., **54** (1989) 2299.
- 3) たとえば、光技術応用プロジェクトの開発報告書, LD 励起小形高出力固体レーザー (光産業技術振興会, 1989).
- 4) Y. Nagai, K. Shigihara, A. Takami, S. Karakida, Y. Kokubo, H. Matsubara and W. Susaki: "High-power operation of AlGaAs SQW-SCH broad-area laser diodes for Nd: YAG laser pumping," Tech. Dig., OEC '90, 11C2-5 (1990).

(1990年12月3日受理)