レーザー解説

超 高 出 力 半 導 体 レ ー ザ ー

山中弘文*・岩本浩治*・本田和生*
真峯隆義*・小島千秋*

(1990年6月13日 受理)

Super High Power Semiconductor Laser

Hirofumi YAMANAKA*, Kouji IWAMOTO*, Kazuo HONDA*,
Takayosi MAMINE* and Chiaki KOJIMA*

(Received June 13, 1990)

The structure and the performance of super high power semiconductor lasers are reviewed. In 1987 1W laser which had a single broad area stripe with a 200 μm width was introduced for applications such as solid-state laser pumping, medical instrument and machining in industry. Since then, especially for solid-state laser pumping, various packages have been designed. For instance the package with a built-in TE cooler is used to raise pumping efficiency and the fiber module is used for mainly side pumping of laser rods. Also possibilities in getting much higher optical power have been pursued. One method is the broadening of stripe and the other is array; these methods respectively enabled the stable 3W and 10W laser.

Key Words: High power semiconductor laser, Broad area stripe, Array, Solid-state laser pumping

1. はじめに

半導体レーザーは、他のレーザーと比較して小型軽量、低消費電力、高効率、低価格、長寿命といったいくつかの優れた特徴を有していることから、CD、VD、レーザープリンター、光ディスクなどの光学機器に広く用いられている。これらのレーザーの光出力は、いずれも3～40mW程度であるが、近年、高出力化を目指した研究開発が活発に進められ¹⁾、当社においても1987年に100mWから1Wまでのレーザーを商品化した²⁾。主な用途は固体レーザー励起

や医療、光加工といった光エネルギー関連があげられるが、特に固体レーザーの励起光源としては、従来のフラッシュランプやアークランプと比べて

- 1) 小型、低電圧
- 2) 集光が容易
- 3) 光-光変換効率が高い
- 4) 低消費電力
- 5) 高信頼性

等の利点を有しており、注目を浴びている。以下に具体的な構造と特性を示す。

*ソニー厚木TEC、半導体事業本部、化合物半導体事業部(〒243 厚木市旭町4-14-1)

*Compound Semiconductor Division, Semiconductor Group, SONY Corporation (4-14-1 Asahi-cho, Atsugi-si, Kanagawa 243)

2. 構造と特性

ここに紹介する半導体レーザーは量産に適したMOCVD法により作られたものであり、光出力の違いにより、発光面積やチップサイズに差があるものの基本的にはCD用に用いられているものと同様のDH (Doble Hetero) 構造を有した利得ガイド型のレーザーである。しかしながら基本構造は同じであるものの高出力を得るために、いくつかの点で工夫が加えられている。例えば発光領域の光密度を減少させレーザー端

Fig. 1 Schematic view of a super high power laser diode.

Fig. 2 Plot of light power vs. current. The insert shows the spectrum of a 1W laser.

面の結晶学的損傷(COD)を抑えるために、活性層厚の薄層化に加え、Fig. 1のように発光領域の幅Wを広げる手法が取られている。したがって均一に発光させるためには、大面積にわたって薄く均一なエピタキシー膜を形成できることが、製造上必要不可欠となる。また光出力の利用効率を高めるためにレーザーの共振器端面には誘電体多層膜を使ったフロント反射率15%、リア反射率95%の非対称コートがほどこされている。さらには共振器長を長くして、熱抵抗及び動作電流密度を減少させ高出力デバイスとしての最適化をはかっている。

ブロードエリア半導体レーザーの電流-光出力特性は、設計当初予想されていた以上に良好であった。これは、ストライプ幅が数十 μm 以上になると、レーザー発振開始時より高次モードが存在するため、より高次のモード発現に伴う電流-光出力特性への寄与、すなわちキックが顕著でなくなるためと考えられる。Fig. 2にストライプ幅200 μm 、共振器長350 μm の1Wレーザーの電流-光出力特性を示す。しきい値電流密度0.8KA/cm²、微分効率は1.0W/Aとなっており、1W出力時の消費電力3.3W(電圧2.2V、電流1.5A)より、電気-光変換効率で30%という高い値が得られている。1.5W付近での光出力の非直線性は、ジュール発熱による飽和現象によるものと推察される。またCODレベルは約1.8Wであるが、1 μsec 以下のパルス駆動のもとでは、さらに向上することが、実験により確かめられている。

Fig. 3に接合面に平行な近視野像を示す。形状は、高次モードの影響により台形に近く、一方強度のばらつきは、わずかな凹凸が認められる程度にとどまっている。

Fig. 4に遠視野像を示す。接合面に垂直な方向は、屈折率ガイドであるためCD用と同様の単峰形状を呈する。一方、平行な方向は、双峰で中央にはディップが見られるが、これは高次モード及びストライプ内の温度分布に起因すると考えている。半導体レーザーはアークランプやフラッシュランプと異なり、発光点サイズが

Fig. 3 Nearfield pattern of a 1W laser

Fig. 4 Farfield pattern of a 1W laser.

1 mm以下と小さく、かつ指向性が高いことからレンズ等の光学系で光を絞ることが容易であったが、高い励起光密度を得ることができる。

スペクトルは、他の基本モードで発振する利得ガイド型レーザー同様多モードであり、しかも線幅が広く、Fig. 2のようにスーパーモードと呼ばれるような個々の縦モードが、分離できない状態もしばしば見られる。このような形状は基本的には空間分布と高次横モードのインコヒーレントな足し合わせで説明がつくものと考えている。半値幅は2～3 nmで固体レーザーの吸収帯よりはるかに小さく、したがって励起エネルギーのロスが少ない。このような特性を有するブロードエリア半導体レーザーで固体レーザーを励起する場合、より変換効率を上げるためには発振波長の吸収帯への合わせ込みが重要である。すなわちレーザーの発振波長は

Fig. 5 Schematic view of a 1W laser package with a built-in TE cooler.

エピタキシーの際の活性層のアルミ組成で決まっており、 ± 5 nm以下の制御性を有するが、固体レーザーを効率良く励起するためには波長を ± 0.5 nmの範囲内で制御することが好ましい。そこでFig. 5に示すTEクーラーを内蔵したパッケージを商品化した。レーザーの発振波長が、 0.25 nm/degの割合で変わるとすると、TEクーラーの温度制御により 10°C で約 2.5 nm波長をシフトさせることができる。

3. 最近の動向

次に最近開発した3 Wレーザーについて触れる。パッケージは1 W同様、TEクーラーが内蔵されたタイプで固体レーザー励起に適している。ストライプ幅は $600\ \mu\text{m}$ でその他の作製条件は、1 Wレーザーと全く同一である。したがって特性もFig. 6, 7に見られるように1 Wレーザーの延長と考えられ実際、微分効率、しきい値電流密度、FFP、スペクトルともに差異は認められなかった。ライフに関しては、Fig. 8に示すように実働で1000H以上安定で、MTTFは活性層温度が上昇する分1 Wレーザーより不利となるが、少なくとも5000H以上は見込まれる。

以上述べてきたように、発光領域を広げることによりW級の光出力を有する半導体レーザーを作ることが可能となったが、ストライプ幅が広がるにつれて、内部で発生する熱の全てを取り除くことが難しくなり、従って接合部温度を

Fig. 6 Plot of light power vs. current. The insert shows the spectrum of a 3W laser.

Fig. 7 Farfield pattern of a 3W laser.

Fig. 8 Reliability data for a 3W laser.

Fig. 9 schematic view of an array laser and a fiber module.

下げるためには、光パワー密度を下げる必要が生じてくる。

このような理由である光出力レベル以上の固体レーザー励起は、高い励起光密度を必要とする端面励起からスラブ型固体レーザーの側面励起に移行すると思われる。スラブ型レーザーの励起方法には、大別すると光ファイバーと結合した個々の半導体レーザーを複数個使って励起する方法³⁾と、半導体レーザーアレーによる方法⁴⁾とがある。これらの要求のためにFig. 9に示すファイバー着脱式のモジュール並びに水冷式のアレー用パッケージを開発した。

ファイバーモジュールにおける半導体レーザーと光ファイバーとの間の結合効率は、発光点サイズとファイバーの径により異なるが、例えば200 μm 幅の発光領域を有する1Wレーザーと400 μm ファイバーとの組合せでは、85%以上の値が得られている。

アレーレーザーに関しては、ストライプ幅200 μm のレーザーを18個集積した長さ18mmのFig. 9(a)の構造のバーで、最大30Wの出力が得られている (Fig.10)。しかしながら個々のレーザーの光出力には、ばらつきがあり、信頼性を考慮して今のところ10Wを定格と考えている。

Fig.10 Light power vs. current for an array laser.

Fig.11 Spectrum and wavelength distribution of an array laser.

レーザーアレーを固体レーザーの側面励起に用いる場合に重要なことは、アレーを構成する個々の半導体レーザーの波長分布であるが、Fig.11の実験結果によれば、 ± 2 nmの範囲に入っており、十分励起光源としての役割を果たすものと考えている。残された問題としては、アレーを構成する個々のレーザーの歩留及びしきい値や微分効率などのばらつきを考慮してデバイスとしての実力を見極めることが大切である。

4. 結 論

固体レーザー励起用光源として100mWから3Wまでのブロードエリアレーザー並びにこれらの個別半導体レーザーを集積化した10W級アレーレーザーについて紹介した。今現在、半導体レーザー励起固体レーザーのシステムコストに占めるこれらの割合は、決して小さいとは言えないが、今後の我々半導体レーザーメーカーの努力次第で、この問題は解決できるものと考えている。また、さらなる高出力化に向けてもチャレンジしていく所存であり、半導体励起固体レーザーの新たな市場の開拓を切に望みたい。

参 考 文 献

- 1) D. F. Welch, B. Chan, W. Streifer and D. R. Scifres: Electron. Lett 24 (1988) 113.
- 2) 真峯, 本田, 米山, 小島: レーザー研究, 16 (1988) 128.
- 3) S. Watanabe, S. Kudo, T. Yamane and K. Wasio: CLEO '89 (1989) PD 8.
- 4) M. Arrind, D. Martin and R. Osterhage: SPIE 1040 (1989) 123.