レーザーオリジナル

非吸収ミラー構造高出力半導体レーザー

条 雅博*・内藤浩樹*・太田一成*・清水裕一*

(1990年6月19日 受理)

High-Power Laser Diodes with Nonabsorbing Mirrors

Masahiro KUME*, Hiroki NAITO*, Issey OHTA* and Hirokazu SHIMIZU*

(Received June 19, 1990)

We succeeded in the phase locked operation of a 5 -element GaAlAs diode laser array emitting 0.6W CW. The diodes use nonabsorbing mirrors (NAM's) for the suppression of catastrophic optical damage (COD) and a buried twin ridge substrate (BTRS) structure for the injection current confinement and for the stabilization of a transverse mode.

Key Words: BTRS laser, NAM-BTRS laser, Phase locked laser array.

1. はじめに

半導体レーザー (LD) はYAG等の固体レーザーの励起光源として優れており、近年のLDの高出力化に伴い、LD励起固体レーザーの開発が活発化している。

単一ストライプの半導体レーザーでは、その光出力の上限が端面の光損傷 (COD) によって決定されるという問題があった。CODが起こる原因は、端面においてレーザー光が吸収され、発熱・溶融に至ることであり、端面部に非吸収ミラー (NAM) を導入することにより、CODの起こらないLDが実現されている^{1,2)}。NAMレーザーでは光出力は素子の熱飽和によって制限されるので、放熱の良いヒートシンクを用いて熱抵抗を下げる、ストライプ幅を広げたりアレイ化してレーザー発振領域を広げることに

り、従来のCODレベルによって制限される光密度 (数MW/cm²) 以上の光出力を得ることが出来る。

我々は単一ストライプのNAM型BTRSレーザーをアレイ化することにより³⁾、更に光出力を増大することが出来、CODが起こらないために光出力を熱飽和が起こるまで増大させても素子が破壊されないLDを得ることが出来たので、以下に素子構造と諸特性について述べる。

2. 素子構造

Fig. 1にNAM-BTRSレーザーアレイの素子構造図を示す。端面部 (NAM領域) には活性層がなく、レーザー光はガイド層を導波して端面より出射する。ガイド層のAlAs混晶比は活性層より大きいので、端面近傍で光吸収が起こらずCODが生じない。電流はブロック層に設け

* 松下電子工業株式会社電子総合研究所 (〒569 高槻市幸町1-1)

* Electronics Research Laboratory, Matsushita Electronics Corporation (1-1 Saiwaicho, Takatsuki, Osaka 569)

Fig. 1 Schematic drawing of NAM-BTRS laser array.

た5つのストライプ溝より活性層に注入され、NAM領域及びストライプ溝以外の部分はブロック層により阻止される。ストライプ幅は6 μm 、ストライプ間隔は10 μm 、共振器長は250 μm でNAM領域は両端面に25 μm ずつ設けられている。

素子は2回の液相成長(LPE)によりバッファ層まで成長し、NAM領域をガイド層までエッチングした後、MOCVDで埋め込んで作製する。共振器端面には出射側(前面)は Al_2O_3 、後方端面(後面)には Al_2O_3 と Si の多層膜コーティングを施すことにより、反射率を各々4%と96%にし、接合側を下にしてマウントする。

3. 素子設計

活性層を伝搬するレーザー光を最小の損失でNAM領域のガイド層に結合させるために、各層の層厚を設計しなければならない²⁾。また最大光出力、信頼性の観点から端面反射率、共振器長等の最適化が必要である。ここではまず、最大の光出力を得るための端面反射率を考える。NAMレーザーの最大光出力は熱飽和で決まるので、電流-光出力($I-L$)特性のシミュレーションを行なった。接合温度 T_j は周囲温

度 T_a とジュール熱で与えられ、

$$T_j = T_a + (I \cdot V - P) \cdot R_{th} \quad (1)$$

となる。 R_{th} は熱抵抗であり、光出力は

$$P = \eta(T_j) \cdot [I - I_{th}(T_j)], \quad (2)$$

で与えられる。 I_{th} 、 η はそれぞれしきい電流と微分効率である。後面の反射率を96%とした時の前面の反射率に対するしきい電流、微分効率の計算結果⁴⁾をそれぞれFig. 2とFig. 3に示す。これより前面反射率を低くすると微分効率は良くなるが、しきい電流は増大していくことが分かる。従って前面反射率には最適値が存在する。熱飽和する時の最大光出力を計算した結果がFig. 4である。熱抵抗をパラメータとしており、熱抵抗の低減が重要であることと、 $R_{th} < 20\text{K/W}$ では最適前面反射率が $R_f \sim 4\%$ となることが分かる。

次に熱抵抗について考える。接合を下にしてマウントする場合、熱伝導の悪いn-クラッド層とn-閉じ込め層の層厚が問題となる。Fig. 5に熱抵抗の計算結果を示す。横軸は活性層から電極までの距離に相当し(バッファ層とコンタクト層は薄く、熱伝導率はクラッド層よりも良

Fig. 2 Threshold current as a function of front facet reflectivity.

Fig. 3 Slope efficiency as a function of front facet reflectivity.

い), 銅のヒートシンクを用いた場合 $1\mu\text{m}$ のクラッド層厚で熱抵抗が約 20K/W となることがわかる。従って Fig. 4 より CW の最大光出力として 0.6W が得られると予想される。

4. 素子特性

NAM-BTRS レーザアレイの I-L 特性を Fig. 6 に示す。図中で non-NAM とあるのは NAM 領域を持たない素子の I-L 特性で, CW では 0.4W 以下の光出力で COD を起こしている。NAM 領域を持つ素子では COD が起こらず, 0.6W で光出力が熱飽和を起こしている。この

Fig. 4 Maximum output powers as a function of front facet reflectivity.

Fig. 5 Thermal resistances as a function of cladding layer thickness.

光出力は Fig. 4 より予想される結果とよく一致している。即ち NAM レーザでは光出力を制限している要因は素子の温度上昇によるしきい電流の上昇と微分効率の低下にあると言える。パルス幅 $100\mu\text{s}$ のパルス動作では発熱が減少するため, 0.9W まで光出力が増大している。またパルス幅を 100ns まで狭くして, 3W 以上の光出力でも COD が起こらないことが確認された。

Fig. 6 Light-current characteristics of NAM-BTRS laser array.

Fig. 7 Near field pattern of NAM-BTRS laser array.

Fig. 7 に光出力100mW時の近視野像の強度分布 (NFP), Fig. 8 に光出力100, 200, 500mW時の遠視野像の強度分布 (FFP) を示す。NFPより5個のストライプが均一に発光していることが分かる。各ストライプの光の位相は相互に 180° ずれた反対称モード⁵⁾で発振しており、その結果FFPは双峰性となりほぼ回折限界に近い半値幅となっている。この場合フェイズシフター⁶⁾を設けることにより、単峰性のFFPを得ることは可能であると思われる。アレイレーザーにおいて単峰性のFFPを得る他の方法

Fig. 8 Far field patterns of NAM-BTRS laser array.

として、外部からレーザー光を注入して基本モードに同期させることが行なわれており、1 Wに達する光出力が得られている⁷⁾。

5. まとめ

NAM構造を導入してCODを抑制した単ストライプBTRSレーザーのアレイ化を行い、5本のストライプレーザーでCW0.6Wの光出力と位相同期発振を得た。固体レーザーの励起用光源として有用であると考えられる。

参考文献

- 1) H.Naito et al.:IEEE J.Quantum Electron. QE-25 (1989) 1495.
- 2) 衆他:レーザー学会研究会報告, RTM-88-24 (1988) P.1.
- 3) 内藤他:秋季応用物理学会講演会, 28P-ZG-5 (1989).
- 4) M.Kume et al.:IEEE J.Quantum Electron. QE-23 (1987) 898.
- 5) J.K.Butler et al.:Appl. Phys. Lett. 44 (1984) 293.
- 6) J.R.Heidel et al.:IEEE J.Quantum Electron. QE-22 (1986) 749.
- 7) L.Goldberg et al.:Appl. Phys. Lett. 53 (1988) 1900.