

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第5355276号
(P5355276)

(45) 発行日 平成25年11月27日(2013.11.27)

(24) 登録日 平成25年9月6日(2013.9.6)

(51) Int.Cl.

F 1

H01S 5/183 (2006.01)
H01S 5/343 (2006.01)H01S 5/183
H01S 5/343

請求項の数 5 (全 13 頁)

(21) 出願番号 特願2009-175352 (P2009-175352)
 (22) 出願日 平成21年7月28日 (2009.7.28)
 (65) 公開番号 特開2011-29493 (P2011-29493A)
 (43) 公開日 平成23年2月10日 (2011.2.10)
 審査請求日 平成24年7月23日 (2012.7.23)

(73) 特許権者 000001007
 キヤノン株式会社
 東京都大田区下丸子3丁目30番2号
 (74) 代理人 100105289
 弁理士 長尾 達也
 (72) 発明者 竹内 哲也
 東京都大田区下丸子3丁目30番2号 キ
 ャノン株式会社内
 (72) 発明者 関口 芳信
 東京都大田区下丸子3丁目30番2号 キ
 ャノン株式会社内
 審査官 杉山 輝和

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】面発光レーザ

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

面発光レーザであって、
 第1の半導体多層膜反射鏡と、
 前記第1の半導体多層膜反射鏡と対向して配置された第2の半導体多層膜反射鏡と、
 前記第1の半導体多層膜反射鏡と前記第2の半導体多層膜反射鏡との間に設けられ、少なくとも第1の活性層と第2の活性層とを有する利得領域と、
 前記第1の活性層および前記第2の活性層に注入される電流を狭窄する電流狭窄層と、
 前記第1の活性層と前記第2の活性層との間に設けられ、p型またはn型にドーピングされている半導体層からなるスペーサ層と、を有し、

前記第1の活性層は、前記第2の活性層よりも小さい体積を備え、
 前記電流狭窄層に対して前記第2の活性層よりも近い位置に配置されていることを特徴とする面発光レーザ。

【請求項 2】

前記第1の活性層は、前記第2の活性層よりも少ない井戸数を備えることを特徴とする請求項1に記載の面発光レーザ。

【請求項 3】

前記第1の活性層は、前記第2の活性層よりも狭い井戸幅を備えることを特徴とする請求項1に記載の面発光レーザ。

【請求項 4】

10

20

前記第1の活性層は、前記第2の活性層よりも広いバリア幅を備えることを特徴とする請求項1に記載の面発光レーザ。

【請求項5】

前記半導体層が、AlGaInPからなり、前記第1の活性層は、前記第2の活性層よりも多いIn組成を備えることを特徴とする請求項1に記載の面発光レーザ。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、面発光レーザ素子に関し、特に電流狭窄層と複数の活性層をもつ面発光レーザに関するものである。

10

【背景技術】

【0002】

面発光レーザ素子（特に垂直共振器型の面発光レーザを、VCSELという。）は、半導体基板の厚さ方向に垂直な方向に光を取り出すことができると共に、二次元アレイ化が比較的実現し易いと言われている。

二次元アレイ化した場合、出射されるマルチビームにより並列処理が可能となるため、高密度化及び高速化を意図して、様々な産業上の応用が期待されている。例えば、電子写真プリンタの露光光源として面発光レーザアレイを用いると、マルチビームによる印字工程の並列処理により、印刷速度の高速化が可能となる。このような電子写真における印刷工程においては、感光ドラムを露光するために必要な光量だけでなく、感光ドラム上に安定かつ微小なレーザスポットの形成が必要となる。

20

したがって、レーザ特性としては、必要な光量を満たす高出力動作と、単峰性ビーム形状での単一横モード動作という量と質の両方がレーザビームに要求される。

【0003】

一般的に、面発光レーザでは共振器長（1～2μm程度）にくらべ、活性層の厚さが非常に薄い（0.1μm以下）ため構造的に高出力動作が得られにくい。そこで、共振器内に活性層を複数個配置する手法、例えば、光定在波の腹の位置に活性層を周期的に配置する周期利得構造（periodic gain structure: PGS）が必要に応じて採用されている。

これにより、光閉じ込め係数が増大し、出力の増大が見込まれる。

30

しかしながら、このPGS構造では原理的にp-i-n接合においてi層が厚くなってしまう。

さらに、正孔の移動度が電子に比べ小さいことも由来して、i層内縦方向に電子と正孔の分布が生じてしまい、期待した程にはその効果が得られていなかった。このようなことから、特許文献1のようにp-n接合を面内方向に形成することで周期利得構造のように複数の活性層が存在する場合であっても各々の活性層に、等しいキャリア注入が可能となる手法が提案されている。

また、電流狭窄構造を形成し、必要な領域に絞って電流を注入することで、高効率、高出力を得ることができる面発光レーザが実現されている。

この方法では、Al組成の高い、例えばAl組成98%のAlGaAs層を多層膜反射鏡内に設ける。

40

そして、それを高温水蒸気雰囲気中で選択酸化することで、例えば10μm以下の開口径を持つ電流狭窄構造を形成し、必要な領域のみに効率的に電流を注入するようにされる。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0004】

【特許文献1】特開2001-94209号公報（第8頁、第2図）

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

50

ところで、上記した従来例の電流狭窄構造を構成したものにおいては、高効率・高出力の観点からは好ましいが、ビーム形状制御のための横モード制御の観点からは必ずしも好ましくない。

面内方向のキャリア分布に着目すると、電流狭窄構造の開口端部において電流がより集中し、開口部および活性層では凹型の電流密度になり易い。

ここで、単峰性ビーム、すなわち凸型の光分布形状が必要とされる場合には、その凹型電流密度分布と凸型光分布との結合効率が悪い。

そのため、単峰性ビームを実現する0次光モードへの利得（電流の寄与）は実効的に低く、光出力が制限されてしまうという課題があった。

【0006】

10

本発明は、上記課題に鑑み、ビーム形状を制御することができ、高効率、高出力化が可能となる面発光レーザの提供を目的とするものである。

【課題を解決するための手段】

【0007】

本発明は、つぎのように構成した面発光レーザを提供するものである。

本発明の面発光レーザは、

面発光レーザであって、

第1の半導体多層膜反射鏡と、

前記第1の半導体多層膜反射鏡と対向して配置された第2の半導体多層膜反射鏡と、

前記第1の半導体多層膜反射鏡と前記第2の半導体多層膜反射鏡との間に設けられ、少なくとも第1の活性層と第2の活性層とを有する利得領域と、

20

前記第1の活性層および前記第2の活性層に注入される電流を狭窄する電流狭窄層と、

前記第1の活性層と前記第2の活性層との間に設けられ、p型またはn型にドーピングされている半導体層からなるスペーサ層と、を有し、

前記第1の活性層は、前記第2の活性層よりも小さい体積を備え、

前記電流狭窄層に対して前記第2の活性層よりも近い位置に配置されていることを特徴とする。

【発明の効果】

【0008】

本発明によれば、ビーム形状を制御することができ、高効率、高出力を得ることができ面発光レーザを実現することができる。

30

【図面の簡単な説明】

【0009】

【図1】本発明の実施例1における面発光レーザの構造を説明する図である。

【図2】本発明の実施例形態における複数の活性層を持つ面発光レーザの従来例を含む計算例を説明する図である。

【図3】本発明の実施例形態における複数の活性層をもつ面発光レーザの各活性層での電流密度分布を説明する図である。

【図4】本発明の実施例形態における面発光レーザの0次および1次光モード分布を説明する図である。

40

【図5】本発明の実施例1における様々な活性層構造の場合の活性層での面内電流密度の中央部と端部の値を示す図である。

【図6】本発明の実施例1における様々な活性層構造の場合の面内モード利得の中央部と端部の値の比を示す図である。

【図7】本発明の実施例2における面発光レーザの構造を説明する図である。

【図8】本発明の実施例3における面発光レーザの構造を説明する図である。

【発明を実施するための形態】

【0010】

つぎに、本発明の実施形態における対向して配置された第1の半導体多層膜反射鏡と第2の半導体多層膜反射鏡との間に、複数の活性層を有する利得領域と、電流を狭窄する電

50

流狭窄層と、を有する面発光レーザについて説明する。

本発明者らは、複数の活性層を備えたものにおいて、高効率、高出力化を達成するため、鋭意検討した結果、電流の狭窄によって生じる活性層の面内方向の電流密度分布の違いに応じた、異なる活性層構造とすることで、これらが達成可能となることを見出した。

その際、つぎのような計算を行った。

電流狭窄構造をもち、さらに利得領域として複数の活性層を併せ持つ面発光レーザにおいて、それぞれの活性層における面内方向電流密度分布の算出を行った。計算のための構造として、図2に示すような面発光レーザを用いた。

図2(a)には、pn接合も兼ねる半導体多層膜反射鏡104、118内に二つの多重量子井戸構造108、204を含み、また、図2(b)には、それらが共振器内の光強度分布の腹122に配置される、いわゆる周期利得構造のものが示されている。
10

酸化狭窄層116はp型半導体層による多層膜反射鏡内118に配置され、そこで電流狭窄され活性層に電流が注入される。

【0011】

この図2に示す構造において、酸化狭窄層開口径が6μmであり、活性層の多重量子井戸として両方とも4重量子井戸を用いた従来例の場合について計算した。

酸化狭窄層に近い第1の活性層204における電流密度の面内分布を図3(a)に、酸化狭窄層から遠い第2の活性層108における電流密度の面内分布を図3(b)に示す。

ここで、縦軸は電流密度(A/cm²)を、横軸は酸化狭窄径中心からの距離を示す。

この結果から、複数の活性層が存在する場合、電流狭窄層に近い第1の活性層204では、電流狭窄開口端部周辺(中心から2~3μmあたり)に電流が集中する影響が依然として残り、凹型の電流密度分布になっている。
20

一方、酸化狭窄層から遠い第2の活性層108では、端部に電流集中する影響が十分薄れ、凸型の電流密度分布になることがわかった。

【0012】

これは、電流が拡散する効果に加え、酸化狭窄層に近い第1の活性層において酸化狭窄開口端部での電流消費量が多いために、酸化狭窄層から遠い第2の活性層では開口中央部での電流消費量が相対的に大きくなるためと考えられる。

【0013】

ここで、光モードを考えてみると、図4(a)に示すように、1次モードでは凹型の光分布であり、図4(b)に示すように0次モードでは凸型の光分布である。
30

図4において、縦軸は規格化した光強度であり、横軸は図3と同じく酸化狭窄径中心からの距離を示す。

例として、0次モードでのシングルモード動作を得ようとすると、0次光モード分布と電流密度分布の形状が似通っている、つまり結合効率が高いものが望まれる。

上記の計算結果を考慮すると、酸化狭窄層から遠い第2の活性層108の電流密度分布(図3(b))は、0次光モード(図4(b))との結合が高くなる。

一方、酸化狭窄層に近い第1の活性層204の電流密度分布(図3(a))では、0次光モードとの結合が低く、ここでは望ましくない1次光モード(図4(a))との結合が高くなってしまう。
40

【0014】

以上の計算結果から、例えば、0次モードでのシングルモード出力を大きくするためには、つぎのように構成すれば良いことが分かる。

すなわち、より凸型の電流密度分布を持つ、酸化狭窄層から遠い第2の活性層からのモード利得への寄与を、酸化狭窄層に近い第1の活性層に比べて、相対的に大きくする。例えば、酸化狭窄層から遠い第2の活性層の井戸数を、酸化狭窄層に近い第1の活性層の井戸数より多くすれば良い。

また、これとは逆に、例えば、1次モードでのシングルモード出力を大きくするためには、つぎのように構成すれば良いことが分かる。

すなわち、1次光モードとの結合係数の高い凹型の電流密度分布をもつ酸化狭窄層に近い
50

活性層の井戸数を、それより遠い活性層の井戸数よりも多い井戸数とすれば良い。これらにより、電流狭窄構造と複数の活性層を持つ面発光レーザにおいて、その電流狭窄によって生じる電流密度分布に応じた複数の異なる活性層構造により、所望の特性を有する面発光レーザを見出した。

【0015】

上記従来例の周期利得構造のものでは、特許文献1のように同じ構造の活性層が配置されて構成されている。

この構造では、出射（縦）方向の光分布と活性層との結合効率、いわゆる光閉じ込め係数を極力高めてレーザ特性（主に光出力）の向上が図られるだけである。したがって、このような同じ構造の活性層が配置されている従来例のものでは、0次モードでのシングルモード出力を大きくしたり、1次モードでのシングルモード出力を大きくするというように、所望の特性を得るための制御ができない。これに対して、本発明では、電流狭窄によって生じる電流密度分布に応じた複数の異なる活性層構造とすることにより、酸化狭窄構造によって生じる面内方向の電流密度分布、すなわち面内方向の実効的な活性領域と光分布を考慮した最適な構造とすることができます。10

【実施例】

【0016】

以下に、本発明の実施例について説明する。

【実施例1】

実施例1では、図1を用いて0次光モードでのシングルモード動作を得る面発光レーザの構造について説明する。20

図1(a)に、680nmで発振する赤色面発光レーザに適用した具体的な構造を示す。n-GaAs基板102上に下部半導体多層膜反射鏡（第2の半導体多層膜反射鏡）としてn-AlAs/A1GaAs多層膜反射鏡104が存在する。

その上に、n-AlGaInPスペーサ層106、GaInP/A1GaInP四重量子井戸108（第2の活性層）が存在する。

そして、その上にp-AlGaInP中間スペーサ層110、GaInP/A1GaInP一重量子井戸112（第1の活性層）、p-AlGaInPスペーサ層114が存在する。

さらに、その上に上部半導体多層膜反射鏡（第1の半導体多層膜反射鏡）としてp-AlGaAs/A1GaAs多層膜反射鏡118が存在し、その一部はA1GaAs酸化狭窄層116となっている。30

最後はp-GaAsコンタクト層120で終端される。この図では簡単のため、素子動作のために必要な電極や、層間絶縁膜を記載していないが、実際には形成する必要がある。

【0017】

n-GaAs基板102は、四元材料であるAlGaInPのドーピング効率や自然超格子の影響を考慮して10°オフ基板がよく用いられる。必要に応じて、5~15°オフ基板を用いてもよい。

【0018】

n-AlAs/A1_{0.5}Ga_{0.5}As多層膜反射鏡104は適切な反射特性を得るために、各々の層厚が共振波長である680nmの1/4波長の光学的厚さに相当する膜厚が用いられる。ペア数は60ペアである。40

また、良好な電気伝導性を得るために、AlAsとAlGaAsのヘテロ界面での障壁の影響を極力減らすため、10~20nm厚の組成傾斜層を用いてもよい。

n型電導性を得るために、Si、Ge、Seなどがドーパントとして用いられ、その不純物濃度は $5 \times 10^{17} \sim 5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ になるように制御される。

ここでは、多層膜反射鏡の熱抵抗を小さくすることを優先して低屈折率層にAlAsを用いたが、酸化狭窄の際に酸化されやすいという問題もある。

このため、この多層膜反射鏡の上部、すなわち活性層に近い領域の数ペアをAlAsではなく、より酸化されにくいAl_{0.9}Ga_{0.1}Asを用いてもよい。50

【0019】

$p\text{-Al}_{0.9}\text{Ga}_{0.1}\text{As}/\text{Al}_{0.5}\text{Ga}_{0.5}\text{As}$ 多層膜反射鏡118も同様に1/4波長の光学的厚さに相当する膜厚が用いられる。ペア数は34ペアである。電気的特性を考慮して、組成傾斜層を用いてもよい。

p 型電導性を得るために、 C 、 Zn 、 Mg などがドーパントとして用いられる。その不純物濃度は、 $5 \times 10^{17} \sim 5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-2}$ になるように制御される。

AlGaAs 酸化狭窄層116は、 Al 組成が98%、層厚30nmである。水蒸気雰囲気中で400℃に昇温することでメサ側壁の酸化層端面から選択酸化を行い、 AlGaAs を AlO などの酸化物に変性させて絶縁層にさせる。

選択酸化されずに残った開口部が6um径になるように酸化距離を時間で制御する。
酸化されない開口部は AlGaAs のままで電気伝導性が残るため、電流狭窄が可能になる。
この層の開口部においても p 型電導性を得るために、 AlGaAs 酸化狭窄層は C 、 Zn 、 Mg などを $5 \times 10^{17} \sim 5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-2}$ にドーピングする。必要に応じて組成傾斜層を設けてもよい。

【0020】

上下の多層膜反射鏡104、118に挟まれた共振器内の各スペーサ層は四元材料である AlGaNp を使用する。

p 側スペーサ層114には、 $\text{Al}_{0.35}\text{Ga}_{0.15}\text{In}_{0.5}\text{P}$ 層を用いる。可能な限り電子のオーバーフローを低減するために、バンドギャップが最大になる $\text{Al}_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{P}$ を用いてもよい。

ドーパントは Mg 、 Zn などを用いて、不純物濃度が $7 \times 10^{17} \sim 2 \times 10^{18} \text{ cm}^{-2}$ になるようにする。

n 側スペーサ層106は $\text{Al}_{0.35}\text{Ga}_{0.15}\text{In}_{0.5}\text{P}$ を用いる。ドーパントは Si 、 Se などを用いて、その不純物濃度が $1 \times 10^{17} \sim 1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-2}$ になるようにする。

中間スペーサ層110は、ここでは p 型導電性をもつように Mg 、 Zn などを $1 \times 10^{17} \sim 1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-2}$ になるようにドープする。

Mg はメモリー効果の影響により、この中間スペーサ層上に形成する活性層への意図しないドーピングに繋がる可能性もあり、必要に応じてアンドープであってもよい。

【0021】

これら三つのスペーサ層は図1(a)が示すように活性層108、112が光強度分布の腹122に配置されるように、また多層膜反射鏡間の共振器の光学的厚さが1/2の整数倍になるようにその層厚が各自調整される。

低抵抗な p 側コンタクトを得るために、最表面層は C 、 Zn などを $1 \times 10^{19} \sim 1 \times 10^{20} \text{ cm}^{-2}$ までドーピングした $p\text{-GaAs}$ コンタクト層120を20nm設ける。

二つの活性層として、 $\text{GaInP}/\text{Al}_{0.25}\text{Ga}_{0.25}\text{In}_{0.5}\text{P}$ 一重量子井戸112と $\text{GaInP}/\text{Al}_{0.25}\text{Ga}_{0.25}\text{In}_{0.5}\text{P}$ 四重量子井戸108が設けられる。

どちらの活性層も発光ピークは共振波長の680nmよりも短い660nmに設定される。

すなわち、この例では、 GaInP 井戸層のIn組成と井戸幅は同じに設定される。このように発光ピーク波長を共振波長より短くしてデチューニング量を設けることで、温度特性のより優れた素子が形成できる。

【0022】

図3の計算結果から、0次モードでのシングルモード出力を大きくするためには、より凸型の電流密度分布を持つ、酸化狭窄層から遠い第2の活性層からのモード利得への寄与を、酸化狭窄層に近い第1の活性層に比べて、相対的に大きくすれば良い。

そのために、例えば、第1の活性層体積を第2の活性層体積に比べ減らせばよい。

そうすれば、縦方向の結合効率(光閉じ込め係数)が変化し、具体的には、第1の活性層の光閉じ込め係数、すなわちモード利得が低下する。

一方、第2の活性層の光閉じ込め係数、すなわちモード利得が増大し、結果、0次光モード発振がより得られ易い状況となる。

10

20

30

40

50

ここでは、酸化狭窄層に近い活性層に光閉じ込め係数が小さくなる一重量子井戸 112 を、酸化狭窄層から遠い活性層に光閉じ込め係数が大きくなる四重量子井戸 108 を用いる。図 1 (b) に活性層周辺の詳細図を示す。

この図は伝導帯のエネルギー準位を示しており、右方向が高エネルギー側を示す。縦方向は各々の層の位置を示し、下側が基板側であり、図 1 (a) と対応する向きになっている。

【0023】

上記に示すような半導体量子井戸構造における井戸数の異なる活性層を複数有する構造の効果を示す一例として、酸化狭窄層から遠い活性層（図 1 では 108 に相当）の井戸数を 4 に固定する。

そして、酸化狭窄層に近い活性層（図 1 では 112 に相当）の井戸数を 4 個（サンプル 1：図 2 の従来例の場合）、2 個（サンプル 2）、1 個（サンプル 3）と変化させる。

その場合の面内電流密度分布における酸化狭窄開口部中心の値（左側：黒棒）と、端部（中心から 3 μm、右側：白棒）の値を、図 5 (a)、(b) に示す。

図 5 (a) は酸化狭窄層に近い第 1 の活性層の電流密度であり、図 5 (b) は酸化狭窄層から遠い第 2 の活性層の電流密度である。

この図からわかるように、井戸数を変化させることで各活性層への電流配分を制御することができ、所望の面内電流密度をもつ活性層への電流注入量を増大させることができる。

【0024】

さらに、レーザ特性へのより直接的な効果を見るために、図 6 を示す。

この図 6 は、図 5 (a) (b) のふたつの活性層における電流密度分布の合計から算出できるモード利得（光閉じ込め係数を考慮）の開口部中心の値と端部の値の比である。

この比が大きいほど、0 次光モードでのシングルモード発振には好ましい。

この図 6 からも、酸化狭窄層に近い第一の活性層の井戸数を、酸化狭窄層から遠い第二の活性層にくらべ相対的に減らすことで、その比は増大し、すなわち、より凸型の面内方向モード利得分布を達成し、0 次光モードのシングルモード発振が得られ易くなることがわかる。

【0025】

本実施例のポイントは、酸化狭窄層に近い凹型の電流密度分布をもつ活性層の井戸数を少なくし、酸化狭窄層から遠い凸型の電流密度分布をもつ活性層の井戸数を多くすることである。

上記例だけでなく、例えば、酸化狭窄層に近い活性層の井戸数を 1 ~ 3 にし、酸化狭窄層から遠い活性層の井戸数を 3 ~ 5 などにして遠い活性層の光閉じ込め係数を相対的に大きくすることが重要である。

このように井戸数に意図的に差を設けることで、より好ましい面内電流密度分布を持つ活性層からの利得の寄与を大きくして所望の光モードでの光出力の増大を達成することが可能となる。

ところで、光閉じ込め係数を変えるには、実効的な活性層体積を変えるようにすればよい。

ここでは量子井戸活性層を用いているため、井戸数を変えたが、その他の方法として、井戸幅、バリア幅を変えて、実効的な活性層体積を変えても良い。

つまり、0 次光モードでのシングルモード動作が目的であれば、第 1 の活性層と比較して、酸化狭窄層から遠い第 2 の活性層の井戸幅を広くする、あるいはバリア幅を狭くするようにしてよい。

【0026】

さらにモード利得への寄与を制御するために、各活性層への電流注入量の積極的な制御を行うことも効果がある。

具体的には、中間スペーサ層に意図的にドーピングを行う。

上記サンプル 3 の場合で、中間スペーサ層に p 型（サンプル 4：図 1 に示す第 1 の実施例

10

20

30

40

50

の場合)あるいはn型(サンプル5)にドーピングした場合も図5および図6に示す。

ドーピング量は各々MgとSiが $5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ である。

これらの図が示すように、この例では、中間スペーサ層をp型ドーピングすることで、より凸型のモード利得分布にすることができる、あるいはn型ドーピングすることでより凹型のモード利得分布にことができる。

これは、もともとp-n接合間にあるi層中に、新たにp層やn層を設けると、新たに設けたそのドーピング層と、それと逆の極性のドーピングが行われていた層の間に優先的にp-n接合が形成される。

そして、その間に存在する活性層への電流注入をより強調させることができるために、と考えられる。

以上のように、中間スペーサ層に適切なドーピングを施すことで、さらに面内方向のモード利得分布を望ましい形状に制御することも可能になる。

【0027】

[実施例2]

実施例2では、図7を用いて、1次モードでのシングルモード動作を得るために面発光レーザの構造について説明する。

図7(a)、(b)に680nmで発振する赤色面発光レーザに適用した具体的な構造を示す。

ここでは、実施例1における図1(a)、(b)との差異を中心に説明する。実施例1では0次モードにおけるシングルモード動作が目的であったが、本実施例では1次光モードのシングルモード動作を得るために、実施例1とは反対の方針となる。

すなわち、図7(b)に示すように、酸化狭窄層に近い活性層をGaInP/A1GaInP四重量子井戸606((第1の活性層))とし、酸化狭窄層に遠い活性層を一重量子井戸602(第2の活性層)とする。

これにより、1次光モードとの結合係数の高い凹型の電流密度分布をもつ酸化狭窄層に近い活性層の井戸数を増やすことで、光閉じ込め係数を積極的に増大させている。

【0028】

さらに、中間スペーサ層604をn型にドーピングすることで、より凹型の電流密度分布を強調させて1次モードでのシングルモード動作を可能にする。

ここでは、井戸数について変化させた例であるが、各々の活性層の構造を変える考え方とは、実施例1に示した場合と同じであり、所望の面内電流密度分布をもつ活性層からの寄与をより大きくするような構造を用いるようにすることが重要である。

【0029】

[実施例3]

3実施例では、図8を用い、0次光モードのシングルモード動作を得つつ、さらに、全駆動電流領域において高効率な面発光レーザの構造について説明する。一般に、電流が注入されて素子温度が上昇すると、共振波長と発光ピーク波長が長波長側にシフトする。

このとき、共振波長は0.05nm/程度であるのに対し、発光ピーク波長は0.3nm/程度とより大きくシフトする。ゆえに、素子温度や環境温度が上昇すると、両者の波長が相対的にずれ、もはや発光ピーク波長と共振波長が一致しなくなる。

その結果、利得の低下を引き起こし、発振特性が劣化する。ゆえに、通常は発光ピーク波長を共振波長よりも10~20nm程度短波長側にシフトさせておく(デチューニング)。

これにより、高い環境温度や高電流注入時の温度上昇による発光ピーク波長のシフトに対応している。

しかしながら、これは一方で環境温度が低い時や、電流注入が少ない時にはしきい値が上昇し、効率が低下することを意味する。

本発明によれば、より広い駆動電流領域においてより高効率な素子が実現可能となる。

【0030】

図8(a)、(b)に680nmで発振する赤色面発光レーザに適用した具体的な構造

10

20

30

40

50

を示す。

ここでは、図1(a)、(b)との差異を説明する。

図8(b)に示すように、酸化狭窄層に近い第1の活性層をGaInP/Al_{0.25}Ga_{0.25}In_{0.5}P一重量子井戸706とし、酸化狭窄層から遠い第2の活性層をGaInP/Al_{0.25}Ga_{0.25}In_{0.5}P四重量子井戸702とする。

ここで、井戸層であるGaInPのIn組成を調整する。

これにより、GaInP/Al_{0.25}Ga_{0.25}In_{0.5}P一重量子井戸706の発光ピーク波長を675nmに、GaInP/Al_{0.25}Ga_{0.25}In_{0.5}P四重量子井戸702の発光ピーク波長を655nmにする。

具体的には、一重量子井戸706(第1の活性層)の675nmを実現するために、In組成を多めにしてバンドギャップを狭めている。10

また、四重量子井戸702(第2の活性層)の655nmを達成するために、In組成を少なめにしてバンドギャップを広げている。

共振波長は680nmであるから、一重量子井戸706ではデチューニング量は5nmであり、四重量子井戸では25nmになる。また、中間スペーサ層はここではアンドープにしてある。

【0031】

この素子に電流を注入した際の動作について説明する。しきい値直後の電流注入量においては、電流注入量が少ないために自己発熱は少なく、温度上昇が少ない。

この状況では発光ピーク波長の波長シフトが少ないために、発光ピーク波長が675nmである一重量子井戸706からの発光が共振波長である680nmとより一致し、その寄与が支配的になる。20

この場合、電流密度分布は凹型ではあるものの、しきい値直後の低電流注入領域では、1次光モードにおける回折損がもともと0次光モードにおける回折損より大きいために、凹型であってもシングルモード動作が実現される。

【0032】

一方、電流をさらに注入し、数mA程度(電流密度では10数kA/cm²)になると、自己発熱による温度上昇で発光波長のピークが長波長側へ大きくシフトするようになる。

このような場合では、もともと655nmに発光ピークをもつ四重量子井戸702からの発光が共振波長とより一致し始め、その寄与が大きくなる。30

この活性層では面内方向電流密度は凸型の分布を持つため、電流注入量が増えた場合であっても引き続き0次モードでのシングルモード動作が可能となる。

しかも、高電流注入領域の温度上昇により整合するデチューニング量を設けているため、効率の低下が少ない。

このように幅広い電流注入量に応じた各々の温度上昇に整合した複数のデチューニング量を持つ活性層構造を設けることで、全電流領域で効率の高い面発光レーザが得られる。

【0033】

ここでは、デチューニング量として低電流領域のための少ないデチューニング量として5nm、高電流領域のためのデチューニング量として25nmとしたが、電流注入による発熱量に応じて対応させればよい。40

具体的には、少ないデチューニング量として0~10nm、大きいデチューニング量として20~30nmが有効である。

本実施例では、波長を変える方法としてIn組成を変化させたが、井戸幅を変えて波長を制御してもよい。

この場合、光閉じ込め係数もその井戸幅によって変化するため、井戸数の調整も含めて所望の値になるように調整すればよい。

【0034】

以上、活性層の数が二つの場合について述べたが、三つ以上の場合においても同様の考え方方が拡張できる。50

すなわち、上述したように電流狭窄層に近い活性層と遠い活性層の面内方向電流密度分布の違いを積極的に利用して所望の素子特性の向上に繋がるように活性層構造を変えるようすればよい。

また、上記例では AlGaInP 活性層を用いた赤色面発光レーザについて説明したが、本発明の考え方は、波長や半導体層の材料に依存せず適用できるものである。

例えば、より長波長側で発光する InGaAsP 、 InGaAs 、 AlGaAs 、さらにより短波長側で発光する ZnCdSe 、 InGaN 、 AlGaN といった活性層をもつ面発光レーザにも適用できる。

また、上記例では単素子の場合のみを説明したが、それら単素子を比較的容易に二次元アレイ化することに面発光レーザの利点があり、応用上大きな効果を発する。

したがって、本発明を用いた素子により二次元アレイ化を行い、多チャンネル化する等により、さらに有効な利用を図ることができる。

【符号の説明】

【0035】

102 : n - GaAs 基板

104 : n - AlAs / AlGaAs 多層膜反射鏡

106 : n - AlGaInP スペーサ層

108 : GaInP / AlGaInP 四重量子井戸

110 : p - AlGaInP 中間スペーサ層

112 : GaInP / AlGaInP 一重量子井戸

114 : p - AlGaInP スペーサ層

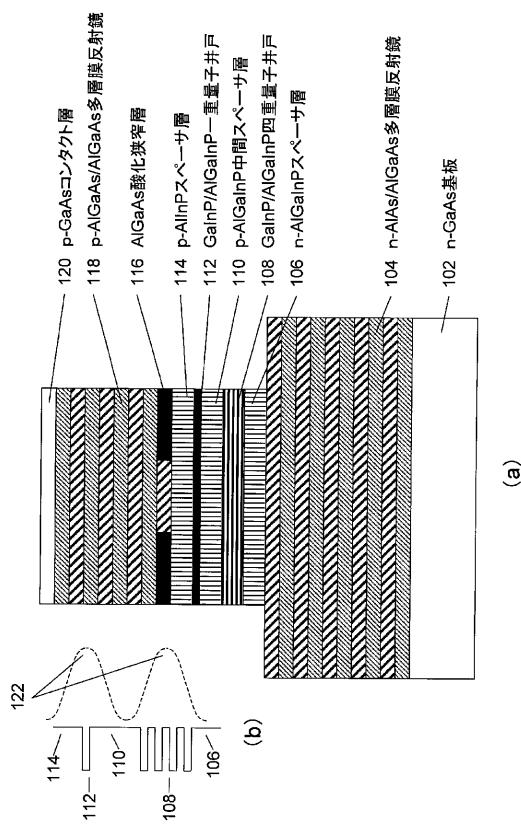
116 : AlGaAs 酸化狭窄層

118 : p - AlGaAs / AlGaAs 多層膜反射鏡

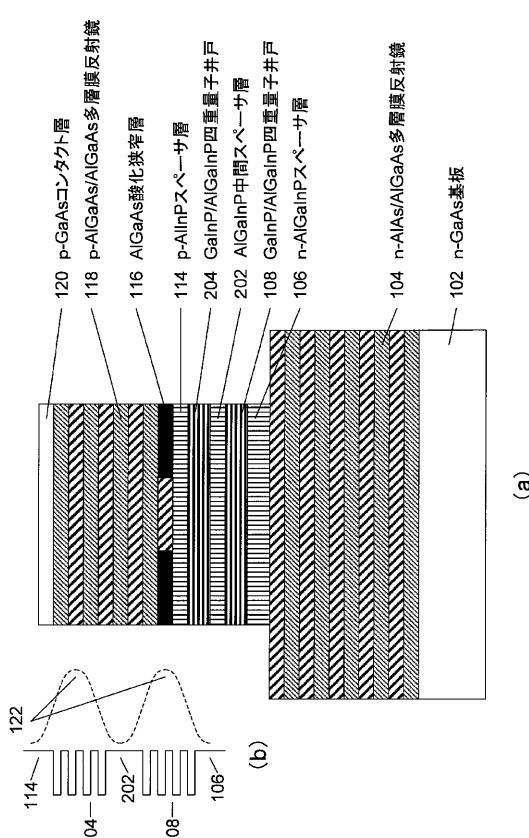
120 : p - GaAs コンタクト層

122 : 共振器内光強度分布の腹

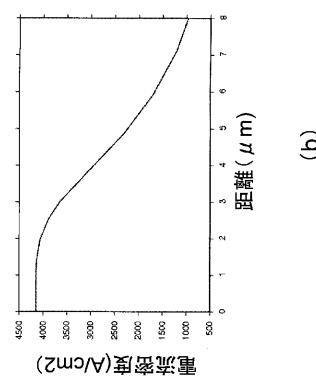
【図1】



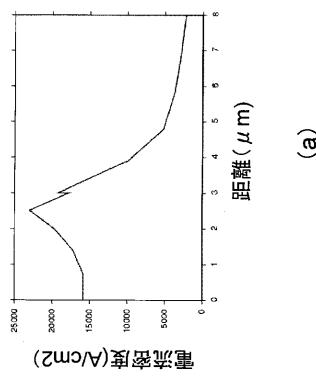
【図2】



【図3】

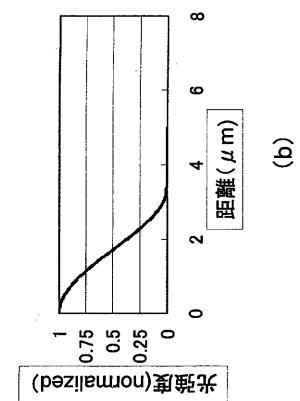


(b)

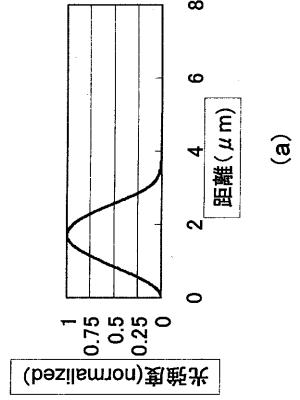


(a)

【図4】

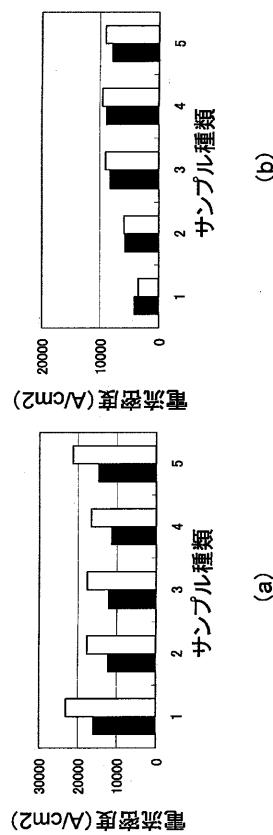


(b)



(a)

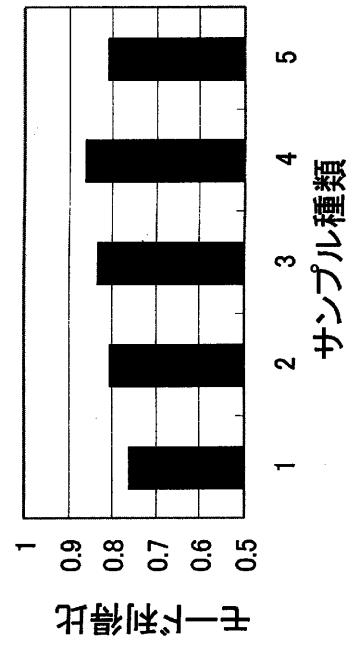
【図5】



(b)

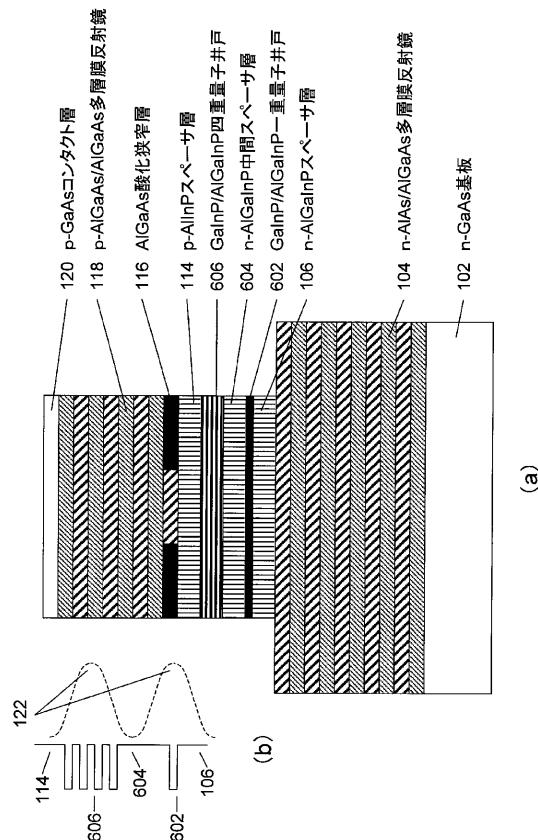
(a)

【図6】

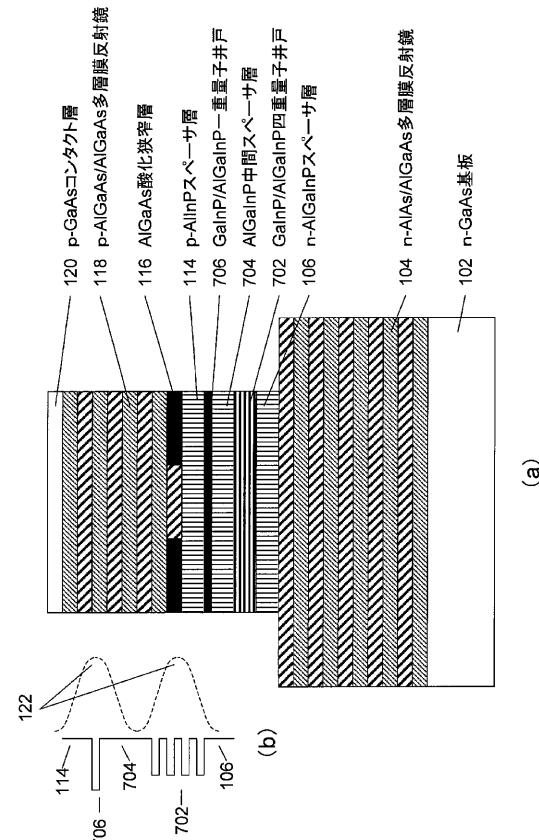


電流密度比

【図7】



【図8】



フロントページの続き

(56)参考文献 特開2008-227469(JP,A)
特開2000-299492(JP,A)
特開2004-146833(JP,A)
特開2000-174328(JP,A)
特開2007-273741(JP,A)
特開平08-213701(JP,A)
特開平07-245449(JP,A)
特開2004-103754(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H01S5/00-5/50