(19)日本国特許庁(JP)　(12)特　許　公　報(B2)　(11)特許番号
特許第3697903号
(P3697903)
(45)発行日　平成17年9月21日(2005.9.21)　(24)登録日　平成17年7月15日(2005.7.15)

(51)Int.Cl.[7]　F I
H01S　5/30　H01S　5/30

請求項の数 18　(全 26 頁)

(21)出願番号　特願平10-190701
(22)出願日　平成10年7月6日(1998.7.6)
(65)公開番号　特開2000-22271(P2000-22271A)
(43)公開日　平成12年1月21日(2000.1.21)
審査請求日　平成14年11月7日(2002.11.7)

(73)特許権者　000005496
富士ゼロックス株式会社
東京都港区赤坂二丁目１７番２２号
(74)代理人　100079049
弁理士　中島　淳
(74)代理人　100084995
弁理士　加藤　和詳
(74)代理人　100085279
弁理士　西元　勝一
(74)代理人　100099025
弁理士　福田　浩志
(72)発明者　中山　秀生
神奈川県足柄上郡中井町境４３０　グリーンテクなかい　富士ゼロックス株式会社内

最終頁に続く

(54)【発明の名称】面発光レーザおよび面発光レーザアレイ

(57)【特許請求の範囲】

【請求項１】

活性層とこの活性層の両側にそれぞれ積層したスペーサ層とからなる活性層領域と、該活性層領域のレーザ光出射側に積層された第１反射層と、前記活性層領域の前記レーザ光出射側とは異なる側に積層された第２反射層と、を備えてなる面発光レーザにおいて、

前記活性層領域で発生した基本横モードで発振するレーザ光の出射中心の周辺部であって、前記第１反射層のレーザ光出射側の少なくとも高次横モードのレーザ光が入射される位置に積層され、前記高次横モードのレーザ光を前記第１反射層の側に反射する第１調整層と、

前記第１反射層と前記第１調整層との間に積層され、前記第１反射層と前記第１調整層とで反射されたレーザ光が入射される透光性の第２調整層と、

を設け、

前記第１反射層、前記第１調整層、及び前記第２調整層により副次的な共振器を形成し、前記第２調整層の光学的膜厚を制御して、前記周辺部におけるレーザ光の発振波長に対する反射率を低下させ、前記高次横モードでの発振を抑制することを特徴とする面発光レーザ。

【請求項２】

活性層とこの活性層の両側にそれぞれ積層したスペーサ層とからなる活性層領域と、該活性層領域のレーザ光出射側に積層された第１反射層と、前記活性層領域の前記レーザ光出射側とは異なる側に積層された第２反射層と、を備えてなる面発光レーザにおいて、

前記活性層領域で発生した基本横モードで発振するレーザ光の出射中心の周辺部であって、前記第１反射層のスペーサ層側の少なくとも高次横モードのレーザ光が入射される位置に挿入され、前記高次横モードのレーザ光をスペーサ層の側に反射する第１調整層と、
前記第１反射層と前記第１調整層との間に積層され、前記第１反射層と前記第１調整層とで反射されたレーザ光が入射される透光性の第２調整層と、
を設け、
前記第１反射層、前記第１調整層、及び前記第２調整層により副次的な共振器を形成し、前記第２調整層の光学的膜厚を制御して、前記周辺部におけるレーザ光の発振波長に対する反射率を低下させ、前記高次横モードでの発振を抑制することを特徴とする面発光レーザ。

【請求項３】
前記第２調整層の光学的膜厚を、前記副次的な共振器の共振波長が前記基本横モードで発振するレーザ光の発振波長とほぼ等しくなるように制御したことを特徴とする請求項１または２記載の面発光レーザ。

【請求項４】
前記第２調整層の光学的膜厚は、レーザ発振波長の１．５５／４倍～１．６２／４倍であることを特徴とする請求項１乃至３のいずれか１項記載の面発光レーザ。

【請求項５】
前記第２調整層は、前記第１反射層と前記第１調整層との間で多重反射による干渉を発生させて、前記周辺部におけるレーザ光の発振波長に対する反射率を低下させることを特徴とする請求項１乃至４のいずれか１項記載の面発光レーザ。

【請求項６】
前記第２調整層は、前記第１反射層と前記第１調整層とで反射されたレーザ光の位相を変化させ、前記周辺部におけるレーザ光の発振波長を前記出射中心におけるレーザ光の発振波長とは異なるものにして、前記周辺部におけるレーザ光の発振波長に対する実効屈折率を低下させることを特徴とする請求項１乃至５のいずれか１項記載の面発光レーザ。

【請求項７】
前記第２調整層の光学的膜厚を、前記副次的な共振器の共振波長が前記基本横モードで発振するレーザ光の発振波長より短波長となるように制御したことを特徴とする請求項１または２記載の面発光レーザ。

【請求項８】
前記第２調整層の光学的膜厚がレーザ光の出射中心に位置する部分とその周辺部に位置する部分とで異なり、レーザ光の出射中心におけるレーザ光の発振波長に対する反射率を高くしたことを特徴とする請求項１乃至７のいずれか１項記載の面発光レーザ。

【請求項９】
前記第２調整層におけるレーザ光の出射中心に位置する部分の少なくとも一部に、レーザ光の出射中心におけるレーザ光の発振波長に対する反射率を高くする反射特性補正層を設けたことを特徴とする請求項１乃至８のいずれか１項記載の面発光レーザ。

【請求項１０】
前記第２調整層は、１種類または２種類以上の材料または組成からなることを特徴とする請求項１乃至９のいずれか１項記載の面発光レーザ。

【請求項１１】
前記第１調整層は、１種類または２種類以上の材料または組成からなることを特徴とする請求項１乃至１０のいずれか１項記載の面発光レーザ。

【請求項１２】
前記第１調整層は、金属で構成され、一方の電極を兼用することを特徴とする請求項１乃至１１のいずれか１項記載の面発光レーザ。

【請求項１３】
前記第１調整層は、半導体多層膜で構成されたことを特徴とする請求項１乃至１２のいずれか１項記載の面発光レーザ。

【請求項１４】
前記第１調整層は、誘電体多層膜で構成されたことを特徴とする請求項１乃至１３のいずれか１項記載の面発光レーザ。
【請求項１５】
電流狭窄構造がポスト型であることを特徴とする請求項１乃至１４のいずれか１項記載の面発光レーザ。
【請求項１６】
電流狭窄構造が選択酸化型であることを特徴とする請求項１乃至１５のいずれか１項記載の面発光レーザ。
【請求項１７】
電流狭窄構造がプロトン打ち込み型であることを特徴とする請求項１乃至１６のいずれか１項記載の面発光レーザ。
【請求項１８】
請求項１乃至１７のいずれか１項記載の面発光レーザを複数個アレイ状に配列してなることを特徴とする面発光レーザアレイ。
【発明の詳細な説明】
【０００１】
【発明の属する技術分野】
本発明は、面発光レーザおよび面発光レーザアレイに関するものであり、特に、高輝度基本横モード光出力を有する垂直共振器型面発光レーザおよび面発光レーザアレイに関するものである。
【０００２】
【従来の技術】
垂直共振器型面発光レーザ（Ｖｅｒｔｉｃａｌ Ｃａｖｉｔｙ Ｓｕｒｆａｃｅ Ｅｍｉｔｔｉｎｇ Ｌａｓｅｒ、以下「ＶＣＳＥＬ」ともいう。）は、端面発光型レーザに比べて、製造コストが低いこと、製造の歩留まりが高いこと、２次元アレイ化が容易なこと、などの多くの利点を有していることから、近年、多くの用途に使用することが検討されている。
例えば、Ｋｅｎｉｃｈｉ Ｉｇａ, Ｆｕｍｉｏ Ｋｏｙａｍａ ａｎｄ Ｓｕｓｕｍｕ Ｋｉｎｏｓｈｉｔａ, ”Ｓｕｒｆａｃｅ Ｅｍｉｔｔｉｎｇ Ｓｅｍｉｃｏｎｄｕｃｔｏｒ Ｌａｓｅｒｓ”, ＩＥＥＥ Ｊｏｕｒｎａｌ ｏｆ Ｑｕａｎｔｕｍ Ｅｌｅｃｒｏｎｉｃｓ, １９８８, ２４, ｐｐ. １８４５－１８５５には、ＶＣＳＥＬの構造、レーザ特性、用途等が説明されている。現在においては、そのレーザ特性は大きく改善され、光通信などの分野では、実用化に至っている。
しかし、従来のＶＣＳＥＬは、基本横モード光出力がいまだ小さく、せいぜい２～３ｍＷ程度であり、そのため用途が限定されている。ＶＣＳＥＬの基本横モード光出力が増大して、例えば５ｍＷ以上となれば、レーザビームプリンタ等の画像書き込み装置や、光磁気ディスク装置等にも、ＶＣＳＥＬを使用することが可能となる。
【０００３】
ＶＣＳＥＬの基本横モード光出力を大きくするための技術としては、例えば、Ｒ．Ａ．Ｍｏｒｇａｎ ｅｔ ａｌ．, ”Ｔｒａｎｓｖｅｒｓｅ Ｍｏｄｅ Ｃｏｎｔｒｏｌ ｏｆ Ｖｅｒｔｉｃａｌ－Ｃａｖｉｔｙ Ｔｏｐ－Ｓｕｒｆａｃｅ－Ｅｍｉｔｔｉｎｇ Ｌａｓｅｒｓ”, ＩＥＥＥ Ｐｈｏｔｏｎｉｃｓ Ｔｅｃｈｎｏｌｏｇｙ Ｌｅｔｔｅｒｓ, ４, ｐｐ. ３７４－３７７, １９９３に記載されているように、レーザ光の出射領域の口径を適正化することにより基本横モード光出力を増加させるＶＣＳＥＬ構造が知られている。
【０００４】
このＶＣＳＥＬ構造は、一般的なプロトンインプラ型といわれるものであって、図１６に示すように、図示しないｎ型ＧａＡｓ基板上に、ＡｌＡｓと$Al_{0.16}Ga_{0.84}As$を２８．５周期積層して、キャリア濃度が$3\times10^{18}cm^{-3}$の下部ｎ型ＤＢＲ（Ｄｉｓｔｒｉｂ

ｕｔｅｄ　Ｂｒａｇｇ　Ｒｅｆｌｅｃｔｏｒ）層１６１を設けている。この下部ｎ型ＤＢＲ層１６１上には、量子井戸構造を持つ活性層とスペーサー層を含むアンドープ活性層領域１６２を設けている。この活性層領域１６２上には、$Al_{0.58}Ga_{0.42}As$を界面に挟むＡｌＡｓと$Al_{0.16}Ga_{0.84}As$を２０周期積層して、キャリア濃度が$3\times10^{18}cm^{-3}$～$2\times10^{19}cm^{-3}$の上部ｐ型ＤＢＲ層１６３を設けている。さらに、上部ｐ型ＤＢＲ層１６３の上部には、レーザ光の出射領域１６６の口径Ｗが所定の値となるように開口させたｐ側電極１６４を設けている。上部ｐ型ＤＢＲ層１６３の周辺部には、活性層への電流注入領域を限定するために、プロトン打ち込みにより形成した高抵抗領域１６５を設けている。

なお、図示しない基板の下部には、図示しないｎ側電極を設けている。

【０００５】

以上のような構造のＶＣＳＥＬにおいては、電流注入領域の大きさ（径ｇ）と出射領域１６６の口径Ｗを適正化させることにより、基本横モード光出力を増加させることができるとしている。しかし、その基本横モード光出力の最大値はいまだ１．５ｍＷにすぎず、このような小出力では光磁気ディスク装置等の用途に好適に使用することは困難である。

【０００６】

これに対して、特開平１０－５６２３３号には、高輝度基本横モード光出力を有するＶＣＳＥＬが提案されている。この提案では、基本横モード光出力の高出力化を、基本横モード以外に副次的に発生する高次横モードのレーザ発振条件を選択的に抑制することにより実現している。すなわち、ＶＣＳＥＬにおける基本横モード発振は光導波路の中心（光軸に近接して）に生じ、高次横モード発振は光軸から離間した遠隔の位置において生じることから、光軸からの離間距離が増大するに従って共振器の光学損失を漸進的に増大させ、それによって注入電流値を増やしながら多モード発振への移行を抑え、基本横モード光出力の増加を可能にしている。

【０００７】

具体的に説明すると、このＶＣＳＥＬは、図１７に示すように、導電型半導体基板１７１と、下部ＤＢＲ層１７２と、下部ＤＢＲ層１７２とは逆の伝導モードを有する上部ＤＢＲ層１７４と、下部ＤＢＲ層１７２と上部ＤＢＲ層１７４の間に挟まれた活性層領域１７３と、イオン打ち込み等により形成した低反射率ゾーン１７５と、損失決定素子１７６と、電極１７７及び１７８とにより構成され、光軸１７９に沿ってレーザ光が出射される。

損失決定素子１７６は、光軸１７９と直交する方向において光軸１７９からの距離が増大するのに従って共振器の光学損失を漸進的に増大させるために、凹状の形状に加工されている。この凹状の形状の損失決定素子１７６は、共振器のレーザ光を屈折する作用と、共振器のレーザ光を側方に拡散させるか、または焦点をずらす作用の両方を有する。

【０００８】

したがって、この損失決定素子１７６により、光軸１７９と直交する方向における光軸１７９からの距離が増大するのに従って屈折損失が増大し、共振器の光学損失が大きくなる。一方、このＶＣＳＥＬにおける基本横モード発振は光軸１７９に近接して生じ、高次横モード発振は光軸１７９から離間した遠隔の位置において生じる。

その結果、高次横モードに関して共振器の光学損失が増大し、高次横モードのレーザ発振の開始に必要とされるしきい値電流密度が増大し、最大基本横モード光出力が大幅に増大することになる。

【０００９】

【発明が解決しようとする課題】

以上のように、特開平１０－５６２３３号に開示された技術によれば、原理的には基本横モードの高出力化が可能となる。しかし、同時に、基本横モード特性にも悪影響を与えること、所定の形状の損失決定素子１７６を安定に形成することが著しく困難であること、等の問題を有している。

【００１０】

すなわち、特開平１０－５６２３３号に開示された技術では、上述したように、ＶＣＳＥ

Ｌにおける基本横モード発振は光導波路の中心（光軸に近接して）に生じ、高次横モード発振は光軸から離間した遠隔の位置において生じることを利用して、共振器の反射率をその中央から周辺に向かうに従って漸進的に減少させ、すなわち、光学損失を漸進的に増大させ、そのことによって高次横モードのレーザ発振を抑制している。

【００１１】

一方、伊賀健一、小山二三夫著“面発光レーザ”（オーム社、１９９０）にも説明されているように、ＶＣＳＥＬは、一般に、活性領域が小さいため、共振器には高い反射率が必要とされる。実際に、現在研究されているＶＣＳＥＬの共振器は、９９％以上の反射率を有している。逆に、共振器の反射率が低いと、しきい値電流密度が上がり、レーザ発振が起こりにくくなる。

【００１２】

ところが、特開平１０－５６２３３号に開示された技術では、光軸１７９から少しでも離間した位置では、共振器の反射率が低下する構造となっており、高次横モードのレーザ発振を抑制するのみならず、基本横モードのレーザ発振も同時に抑制され、結果的には、十分な高輝度基本横モード光出力を得ることができない問題がある。

【００１３】

また、特開平１０－５６２３３号に開示された技術では、損失決定素子１７６は、図１７に示したように凹状の形状とするか、または凸状の形状とすることにより、湾曲した表面を有することを特徴としている。したがって、損失決定素子１７６の形状を作製する方法は重要であって、特開平１０－５６２３３号には詳細に説明されている。

【００１４】

その一例を簡単に説明すると、図１８（ａ）に示すように、湾曲表面を形成しようとする層１８１の表面にフォトレジスト１８２を塗布する。次に、図１８（ｂ）に示すように、通常の露光、現像、ベーク工程を用いて円筒形フォトレジスト柱１８３を形成する。このフォトレジスト柱１８３を、約５～２０分にわたって、約２５０～３００℃の温度で加熱すると、図１８（ｃ）に示すように、凸状の湾曲面を有する形状の層１８４に変形する。この層１８４を室温に戻した後も、その凸状の湾曲面の形状を安定に保持している。

次に、上方から反応性イオンエッチング（ＲＩＥ）を用いて、ドライエッチングを施すと、層１８４がエッチングマスクとして作用して、その形状を反映する結果、図１８（ｄ）に示すように、凸状の湾曲面を有する構造１８５が形成される。

【００１５】

以上、凸状の湾曲面を有する構造を形成する方法について説明したが、層１８１上の中央部ではなくて、その周辺部にフォトレジスト柱１８３を設けるようにすれば、層１８１上の中央部に凹状の湾曲面を有する構造を形成することができる。

【００１６】

しかし、エッチングマスクとして作用する層１８４の形状は、所定の位置において所定の湾曲面を有することが必要とされるが、この湾曲面がいつも同じになるように、再現性よく、また、位置依存性なく、形成することは，現在のエッチング技術によっても相当に困難である。特に、ＶＣＳＥＬ素子を多数設けて二次元アレイ化するような場合には、この問題が顕著となる。

さらに、所定の湾曲面を有する形状と所定の膜厚を有する損失決定素子１７６を形成するために、ＲＩＥ工程においてエッチングマスクとして作用する層１８４の消失時点または消失後において、適切な位置でエッチングを終了することは著しく困難である。

また、ＶＣＳＥＬ素子を多数設けて二次元アレイ化するような場合には、同一基板上、または異なる基板上において、フォトレジスト柱１８３と損失決定素子１７６を構成している材料間でエッチング選択比を高精度に制御することは非常に困難であり、そのため、各ＶＣＳＥＬ素子間で損失決定素子１７６の反射率特性を揃えることはきわめて困難である。

【００１７】

以上のように、損失決定素子１７６の形状や膜厚を、同一基板上の各ＶＣＳＥＬ素子間で

、または異なる基板上の各ＶＣＳＥＬ素子間で、あるいはプロセスのロットが異なる各ＶＣＳＥＬ素子間で、バラツキをなくすこと、あるいはバラツキを小さくすることは、きわめて困難である。

【００１８】

一方、損失決定素子１７６の凹状の湾曲面の形状を利用して、光軸１７９から離間するに従って共振器の光学損失を漸進的に増大させ、それによって注入電流値を増大させて、高次横モードのレーザ発振への移行を抑制し、基本横モードのレーザ発振を可能としているので、損失決定素子１７６の凹状の湾曲面の形状が異なれば、高次横モードのレーザ発振へ移行するＶＣＳＥＬの光出力値、すなわち、基本横モードの最大光出力値が異なってくる。その結果、同一基板上の各ＶＣＳＥＬ素子間で、または異なる基板上の各ＶＣＳＥＬ素子間で、あるいはプロセスのロットが異なる各ＶＣＳＥＬ素子間で、各ＶＣＳＥＬ素子の基本横モードの最大光出力値が異なることとなり、高輝度基本横モード光出力が要求される用途に対しては、特開平１０－５６２３３号に開示された技術を工業的に利用することは困難である。

【００１９】

そこで、本発明の目的は、位置バラツキが小さく、かつ、再現性よく、しかも、容易に作製することができる高輝度基本横モード光出力を有する面発光レーザおよび面発光レーザアレイを提供することにある。

【００２０】

【課題を解決するための手段】

本発明者等は、鋭意検討した結果、下記の手段により上記課題が解決できることを見出し本発明を完成するに至った。

すなわち、本発明の面発光レーザの一例は、活性層とこの活性層の両側にそれぞれ積層したスペーサ層とからなる活性層領域と、該活性層領域のレーザ光出射側に積層された第１反射層と、前記活性層領域の前記レーザ光出射側とは異なる側に積層された第２反射層と、を備えてなる面発光レーザにおいて、前記活性層領域で発生した基本横モードで発振するレーザ光の出射中心の周辺部であって、前記第１反射層のレーザ光出射側の少なくとも高次横モードのレーザ光が入射される位置に積層され、前記高次横モードのレーザ光を前記第１反射層の側に反射する第１調整層と、前記第１反射層と前記第１調整層との間に積層され、前記第１反射層と前記第１調整層とで反射されたレーザ光が入射される透光性の第２調整層と、を設け、前記第１反射層、前記第１調整層、及び前記第２調整層により副次的な共振器を形成し、前記第２調整層の光学的膜厚を制御して、前記周辺部におけるレーザ光の発振波長に対する反射率を低下させ、前記高次横モードでの発振を抑制することを特徴とする。

【００２１】

第２調整層は、第１反射層と第１調整層とで反射されたレーザ光の位相を変化させ、位相変化後のレーザ光と入射したレーザ光との合成波を減衰させることにより、レーザ光の出射中心の周辺部におけるレーザ光の発振波長に対する反射率を低下させる透光性の第２調整層とすることができる。

また、第２調整層は、第１反射層と第１調整層との間で多重反射による干渉を発生させて、レーザ光の出射中心の周辺部におけるレーザ光の発振波長に対する反射率を低下させる透光性の第２調整層としてもよい。

【００２２】

第２調整層は、第１反射層と第１調整層とで反射されたレーザ光の位相を変化させ、レーザ光の出射中心の周辺部におけるレーザ光の発振波長をレーザ光の出射中心におけるレーザ光の発振波長とは異なるものにして、レーザ光の出射中心の周辺部におけるレーザ光の発振波長に対する実効屈折率を低下させる透光性の第２調整層とすることができる。

また、第２調整層は、第１反射層と第１調整層との間で多重反射による干渉を発生させて、レーザ光の出射中心の周辺部におけるレーザ光の発振波長に対する実効屈折率を低下させる透光性の第２調整層とすることができる。

また、第２調整層は、副次的な共振器の共振波長をレーザ光の発振波長よりも短波長側にシフトさせると共に、レーザ光の出射中心の周辺部におけるレーザ光の発振波長に対する実効屈折率を低下させる透光性の第２調整層としてもよい。

【００２３】

本発明の面発光レーザの他の一例は、活性層とこの活性層の両側にそれぞれ積層したスペーサ層とからなる活性層領域と、該活性層領域のレーザ光出射側に積層された第１反射層と、前記活性層領域の前記レーザ光出射側とは異なる側に積層された第２反射層と、を備えてなる面発光レーザにおいて、前記活性層領域で発生した基本横モードで発振するレーザ光の出射中心の周辺部であって、前記第１反射層のスペーサ層側の少なくとも高次横モードのレーザ光が入射される位置に挿入され、前記高次横モードのレーザ光をスペーサ層の側に反射する第１調整層と、前記第１反射層と前記第１調整層との間に積層され、前記第１反射層と前記第１調整層とで反射されたレーザ光が入射される透光性の第２調整層と、を設け、前記第１反射層、前記第１調整層、及び前記第２調整層により副次的な共振器を形成し、前記第２調整層の光学的膜厚を制御して、前記周辺部におけるレーザ光の発振波長に対する反射率を低下させ、前記高次横モードでの発振を抑制することを特徴とする。

【００２４】

第２調整層は、上記と同様に、レーザ光の出射中心の周辺部におけるレーザ光の発振波長に対する実効屈折率を低下させる透光性の第２調整層とすることができる。

【００２５】

また、本発明の面発光レーザアレイは、本発明の面発光レーザを複数個アレイ状に配列してなることを特徴とする。

【００２６】

以上のような構成の面発光レーザによれば、基本横モードのレーザ発振の特性を損なうことなく、副次的に発生する高次横モードのレーザ発振を選択的に抑制することができ、基本横モード光出力を高めることができる。さらには、レーザ共振器におけるレーザ光の出射中心の周辺部の実効屈折率が出射中心の実効屈折率よりも低くなるので、レーザ共振器に屈折率導波路構造を形成することができ、基本横モードのレーザ発振を効率的に生じさせることができる。構造的にも、再現性が高く、容易な工程により面発光レーザを作製することができ、高輝度基本横モード光出力が得られる面発光レーザを高い歩留まりで、かつ、安価に提供することができる。

【００２７】

【発明の実施の形態】

まず、本発明の原理を簡単に説明する。

図１（ａ）は、本発明に係る垂直共振器型面発光レーザ（ＶＣＳＥＬ）の構造を簡略化して示した断面図である。このＶＣＳＥＬは、活性層とこの活性層の両側に積層した上部スペーサ層および下部スペーサ層とからなる活性層領域１１と、活性層領域１１の上部スペーサ層に積層した上部反射層１２と、活性層領域１１の下部スペーサ層に積層した下部反射層１３と、上部反射層１２におけるレーザ光の出射中心の周辺部に第１調整層１４と第２調整層１５とを設けて構成した副次的な共振器とにより構成されている。また、図１においては、第１調整層１４が透光性を有していないため、レーザ光の出射領域は第１調整層１４で囲まれた領域と一致している。

なお、本明細書においては、説明の便宜上、レーザ光が出射する側を上部、その反対側を下部とする。ただし，上部および下部は相対的なものであり、これに限定されることはない。

【００２８】

この副次的な共振器は、上部反射層１２と、第１調整層１４と、これらの間に挟まれた透光性の第２調整層１５とにより構成され、活性層領域で発生したレーザ光が第２調整層１５を通過して第１調整層１４で反射され、次に第１調整層１４に対向する上部反射層１２で再度反射されて第２調整層１５に入射するように構成される。このとき、上部反射層１

２と第１調整層１４との間で多重反射が生じ、上部反射層１２と第１調整層１４との間で反射されたレーザ光は第２調整層１５に入射することで位相が変化し、位相変化後のレーザ光と入射したレーザ光とが互いに干渉して、その合成波を減衰させ、反射率が低下すると考えられる。また、位相の変化によりレーザ光の出射領域とその周辺部とで発振波長が変化する場合には、光閉じ込め効果が生じるものと考えられる。
第２調整層１５の光学的膜厚（材料の誘電率で光速を補正したときの膜厚）を制御することにより副次的な共振器において共振する波長を基本横モードで発振するレーザ光の発振波長（例えば７８０ｎｍ）に等しくすると、レーザ光の発振波長付近における副次的な共振器の反射率が減少し、その結果、レーザ光の出射領域の周辺部におけるレーザ共振器の反射率が局所的に低下することとなる。

【００２９】
このようにレーザ光の出射領域の周辺部におけるレーザ共振器の反射率が低下すると、図１（ｂ）において破線で示すように、基本横モードでレーザ発振する光の強度が周辺部において小さくなり、また、図１（ｃ）において破線で示すように、高次横モードでレーザ発振する光の強度が周辺部において小さくなる。その結果、基本横モードでレーザ発振する光は出射領域に集中するようになるのに対し、高次横モードでレーザ発振する光は周辺部に集中するようになるため、上部反射層１２で反射されるたびごとに、高次横モードでレーザ発振する光の強度は、基本横モードでレーザ発振する光の強度に比べて低くなる。

【００３０】
このため、高次横モードでレーザ発振するために必要とされる光の強度を得るためには、副次的な共振器を設けていない従来のＶＣＳＥＬよりも、大きな電流を活性層に注入することが必要となる。このことは、高次横モードのレーザ発振のしきい値が従来よりも高くなったことを意味し、従来のＶＣＳＥＬよりも活性層への注入電流を大きくしても、高次横モードのレーザ発振を十分に抑制することができ、その結果、従来よりも注入電流を大きくしても、基本横モードのみでレーザ発振させることが可能となり、基本横モードのレーザ光の出力が高く、高輝度の面発光レーザを得ることができる。
なお、図１（ｂ）および（ｃ）において、実線は、それぞれ副次的な共振器を設けない場合の基本横モードでレーザ発振する光の強度および高次横モードでレーザ発振する光の強度を表す。

【００３１】
ただし、副次的な共振器において共振する波長はレーザ光の発振波長に必ずしも一致していることは必要ではなく、高次横モードでのレーザ発振を十分に抑制でき、かつ、基本横モードでのレーザ発振を過度に抑制しないような程度で、レーザ光の出射中心の周辺部におけるレーザ共振器の反射率が低下すればよい。

【００３２】
また、第２調整層１５の光学的膜厚を制御して、副次的な共振器において共振する波長をレーザ光の発振波長（例えば７８０ｎｍ）よりも短波長側にシフトさせると、レーザ光の出射領域における実効屈折率に対して、その周辺部における実効屈折率を小さくすることができ、これにより、屈折率導波構造を形成することも可能である。

【００３３】
すなわち、Ｈａｄｌｅｙにより開示されているように（Ｏｐｔｉｃｓ　Ｌｅｔｔｅｒｓ　Ｖｏｌ．２０，ｐｐ．１４８３－１４８５（１９９７）．）、レーザ共振器の共振波長がシフトすることにより、レーザ共振器を構成する媒質の屈折率が実効的に変化することが知られている。それによると、レーザ共振器の共振波長の変化Δλとレーザ共振器を構成する媒質の実効屈折率変化Δｎの関係は、$\Delta\lambda/\lambda_0 \quad \Delta n/n_0$ となる。ただし、λ_0 はレーザ共振器の共振波長、n_0 は共振器を構成する媒質の平均屈折率を表す。

【００３４】
上述したような副次的な共振器を有するレーザ共振器においては、図２に示すように、第１調整層１４および第２調整層１５が存在しない領域、すなわち、レーザ光の出射領域における共振波長を λ_0 とすると、第１調整層１４および第２調整層１５が存在する領域、

すなわち、レーザ光の出射中心の周辺部における共振波長はλ_0からλ_1にシフトする。

【００３５】

このように共振波長が領域ごとに異なるものとなると、上記の関係式から、レーザ共振器の実効屈折率も、レーザ光の出射領域とその周辺部において異なるものとなり、第１調整層１４および第２調整層１５が存在しない領域ではn_0、第１調整層１４および第２調整層１５が存在する領域ではn_1となる。このように、第２調整層１５の光学的膜厚を制御することにより、共振波長が領域ごとに異なるものとなり、その結果、領域ごとの実効屈折率をコントロールすることが可能となる。

【００３６】

このような特性を利用して、レーザ光の出射領域の実効屈折率に対して、その周辺部の実効屈折率が小さくなるように第２調整層１５の光学的膜厚を選定することにより、屈折率導波路構造を形成することができる。

さらには、屈折率導波路の基本横モードおよび高次横モードの光電場の分布条件、ならびに出射領域とその周辺部の反射率差も考慮して、第２調整層１５の光学的膜厚を選定することにより、基本横モードレーザ発振特性の良好な屈折率導波路構造を形成することができる。

なお、ここまでは出射領域に対してその周辺部の実効屈折率を小さくする場合を示したが、その逆に周辺部の実効屈折率を高くして屈折率反導波路構造を形成するようにしてもよい。ただし、周辺部の反射率と実効屈折率とをともに出射領域よりも小さくする方が好ましい特性が得られる。すなわち、出射領域とその周辺部の実効屈折率を、副次的な共振器を設けることで異ならせ、光閉じ込め構造を形成することが可能となる。

【００３７】

なお，以上において、第１調整層１４を金属などの導電性材料により構成して、これを電極として兼用することもでき、この場合には、層構成を簡略化することができる。

ここまでは、レーザ光の出射領域が第１調整層に囲まれた領域と一致する場合を説明したが、第１調整層がある程度の透光性を有している場合には、レーザ光が第１調整層に一部から出射する場合もあるが、この場合も第１調整層のある部分では反射率の低下や、実効屈折率の変化が生じるので、基本横モードでのレーザ発振が発生する。すなわち、本発明の作用は、第１調整層が、レーザ光の出射中心（レーザビーム強度分布が最大となる箇所）の周辺部で、活性層領域で発生したレーザ光が出力光としてレーザ素子の外部に出射する前に、このレーザ光を受ける位置に配置されることで奏される。

また、第１調整層は基本横モードでレーザ発振するように配置され、出射中心を除くように、出射中心の全周囲にわたって設けても、複数に分割して構成しても良い。ただし、活性層領域で発生したレーザ光を効率的に反射するためには、レーザの出射方向から見て、活性層へのレーザ駆動電流が注入される領域に重なるように、少なくとも一部が配置された方がよい。

また、第２調整層は、反射層および第１調整層が反射して入射したレーザ光が互いに干渉しあう程度に透光性を有すればよい。

【００３８】

〔第１の実施の形態〕

図３は、本発明の第１の実施の形態に係る垂直共振器型面発光レーザ（ＶＣＳＥＬ）の断面図である。

このＶＣＳＥＬは、活性層とこの活性層の両側に積層した上部スペーサ層および下部スペーサ層とからなる活性層領域１１と、この活性層領域１１の上部スペーサ層に積層した上部反射層１２と、活性層領域１１の下部スペーサ層に積層した下部反射層１３と、上部反射層１２におけるレーザ光の出射中心の周辺部に第１調整層１４と第２調整層１５とを設けて構成した副次的な共振器とにより構成されている。

【００３９】

活性層領域１１は、アンドープ$Al_{0.5}Ga_{0.5}As$からなる下部スペーサー層と、アンドープ量子井戸活性層（膜厚９０ｎｍの$Al_{0.11}Ga_{0.89}As$量子井戸層３層と膜厚５０

ｎｍの$Al_{0.3}Ga_{0.7}As$障壁層４層とで構成されている）と、アンドープの$Al_{0.5}Ga_{0.5}As$上部スペーサー層とで構成され、この活性層領域１１の光学的膜厚が媒質内波長（例えば、７８０ｎｍ）となる。

【００４０】

上部反射層１２は、$Al_{0.9}Ga_{0.1}As$と$Al_{0.3}Ga_{0.7}As$とをそれぞれの光学的膜厚がレーザ発振波長（例えば、７８０ｎｍ）に対して１／４波長となるように交互に２０周期積層して構成したＤＢＲ（多重ブラッグ回折鏡）からなる。

【００４１】

第２調整層１５は、上部反射層１２の全面、すなわち、レーザ光の出射中心およびその周辺部の全面に積層した、光学的膜厚がレーザ発振波長（例えば、７８０ｎｍ）に対して１．５５／４～１．６２／４倍、好ましくは１．６／４倍の$Al_{0.3}Ga_{0.7}As$からなる。

【００４２】

第１調整層１４は、第２調整層１５上におけるレーザ光の出射中心の周辺部に積層した膜厚２００ｎｍの金により構成されている。ここで、第１調整層１４の膜厚を２００ｎｍとしたが、１００ｎｍ程度以上の膜厚があれば、高次横モードの発振を抑制する効果が十分に得られる。

【００４３】

下部反射層１３は、$Al_{0.9}Ga_{0.1}As$と$Al_{0.3}Ga_{0.7}As$とをそれぞれの光学的膜厚がレーザ発振波長（例えば、７８０ｎｍ）に対して１／４波長となるように交互に４０．５周期積層して構成したＤＢＲ（多重ブラッグ回折鏡）からなる。なお、下部反射層１３は、図示しないバッファ層を介して図示しない基板上に積層されている。

【００４４】

この例の副次的な共振器は、上部反射層１２と、第１調整層１４と、これらの間に挟まれた第２調整層１５とにより構成され、上部反射層１２と第１調整層１４との間で多重反射によりレーザ光の位相を変化させて、光波の干渉を発生させて、レーザ光の出射中心の周辺部における反射率を低下させるものである。

【００４５】

図４は、第２調整層１５の光学的膜厚とレーザ発振波長７８０ｎｍにおける振幅反射率との関係を示すグラフである。図４中の実線は、第２調整層１５の光学的膜厚を変化させたときの、第１調整層１４および第２調整層１５が存在するレーザ光の出射中心の周辺部におけるレーザ発振波長７８０ｎｍにおける振幅反射率の変化を示すものである。図４の実線から分かるように、第２調整層１５の光学的膜厚が約１．６×１／４波長の時に、振幅反射率は約０．３８５と最小となる。

【００４６】

一方、図４中の破線は、第１調整層１４を設けないほかは，図３と同様に構成したＶＣＳＥＬにおいて、第２調整層１５の光学的膜厚を変化させたときの、第２調整層１５が存在するレーザ光の出射中心の周辺部におけるレーザ発振波長７８０ｎｍにおける振幅反射率の変化を示すものである。図４の破線から分かるように、第２調整層１５の光学的膜厚が約１．６×１／４波長の時にも、振幅反射率は約０．９９２と高い状態を維持する。

【００４７】

図５は、第２調整層１５の光学的膜厚が約１．６×１／４波長の時における強度反射スペクトルを示すグラフである。図５（ａ）は、第１調整層１４を設けた場合の強度反射スペクトルであり、図５（ｂ）は、第１調整層１４を設けなかった場合の強度反射スペクトルである。

図５（ａ）に示すように、第１調整層１４および第２調整層１５が存在するレーザ光の出射中心の周辺部における上部反射層１２の反射スペクトルには、副次的な共振器による反射率および／または実効屈折率の低下効果によりレーザ発振波長７８０ｎｍ付近に反射率の落ち込みが現れる。

一方、図５（ｂ）に示すように、第１調整層１４を設けなかった場合には、第２調整層１

５が存在するレーザ光の出射中心の周辺部における上部反射層１２の反射スペクトルには、レーザ発振波長７８０ｎｍ付近に反射率の落ち込みは生ぜず、依然として反射率の高い状態を維持している。

【００４８】

このような特性を利用すれば、第２調整層１５を上部反射層１２の全面（出射中心およびその周辺部の全面）に積層し、さらに第２調整層１５の周辺部に第１調整層１４を積層する構成とすることが可能となり、第２調整層１５を上部反射層１２の周辺部のみに形成する場合に比較して，製作工程が簡便となる利益が得られる。

【００４９】

また、第２調整層１５の光学的膜厚を制御して、副次的な共振器において共振する波長をレーザ光の発振波長（例えば、７８０ｎｍ）よりも短波長側にシフトさせるか、または、レーザ光の出射中心において共振する波長を長波長側にシフトさせることにより、レーザ光の出射中心における実効屈折率に対して、その周辺部における実効屈折率を小さくすることができ、これにより、屈折率導波構造を形成することが可能となる。

【００５０】

さらには、屈折率導波路の基本横モードおよび高次横モードの光電場の分布条件、ならびに出射中心とその周辺部の反射率差も考慮して、第２調整層１５の光学的膜厚を選定することにより、基本横モードレーザ発振特性の良好な屈折率導波路構造を形成することができる。

【００５１】

〔第２の実施の形態〕

図６（ａ）および（ｂ）は、それぞれ本発明の第２の実施の形態に係る垂直共振器型面発光レーザ（ＶＣＳＥＬ）の断面図である。

図６（ａ）は、図３に示したＶＣＳＥＬにおいて、上部反射層１２に積層した第２調整層１５のうちレーザ光の出射中心上に位置する部分を除去した形態としたほかは、同様の構成である。

図６（ｂ）は、図３に示したＶＣＳＥＬにおいて、第２調整層１５におけるレーザ光の出射中心上に、さらに、レーザ光の発振波長（例えば、７８０ｎｍ）に対する反射率を高めるための反射特性補正層１６を積層したほかは、同様の構成である。反射特性補正層１６は、例えば、二酸化珪素などの誘電体などから構成することができる。

図６（ａ）および（ｂ）に示した構成例は、いずれも、レーザ光の出射中心における反射率が高くなるように反射特性を改善するものである。

【００５２】

図７は、上部反射層１２の強度反射スペクトルを示すグラフである。図７中の実線は、図６（ａ）および（ｂ）の構成例において第１調整層１４および第２調整層１５を設けなかった場合の上部反射層１２の強度反射スペクトルを示し、図７中の破線は、図６（ｂ）の構成例において第１調整層１４および反射特性補正層１６を設けなかった場合の上部反射層１２の強度反射スペクトルを示す、図５（ｂ）と同様のスペクトル図である。また、図７のグラフの内部には、レーザ光の発振波長が７８０ｎｍ付近における強度反射スペクトルを拡大して示してある。

【００５３】

図７から分かるように、レーザ光の発振波長７８０ｎｍ付近における上部反射層１２の強度反射率は、第２調整層１５を積層しなかった場合の方が、第２調整層１５を積層した場合よりも高くなる。このことは、第２調整層１５が上部反射層１２の反射特性を低下させていることを意味している。

【００５４】

したがって、図６（ａ）に示すように、第２調整層１５におけるレーザ光の出射中心上の部分を除去する構成とすれば、レーザ光の出射中心における上部反射層１２の反射率をより高くすることができる。

また、図６（ｂ）に示すように、第２調整層１５におけるレーザ光の出射中心上の部分に

さらに反射特性補正層１６を積層することにより、レーザ光の出射中心における上部反射層１２の反射率をより高くすることができる。

【００５５】

また、第２調整層１５の光学的膜厚を制御して、副次的な共振器において共振する波長をレーザ光の発振波長（例えば、７８０ｎｍ）よりも短波長側にシフトさせるか、または、レーザ光の出射中心において共振する波長を長波長側にシフトさせることにより、レーザ光の出射中心における実効屈折率に対して、その周辺部における実効屈折率を小さくすることができ、これにより、屈折率導波構造を形成することが可能となる。

【００５６】

さらには、屈折率導波路の基本横モードおよび高次横モードの光電場の分布条件、ならびに出射中心とその周辺部の反射率差も考慮して、第２調整層１５の光学的膜厚を選定することにより、基本横モードレーザ発振特性の良好な屈折率導波路構造を形成することができる。

【００５７】

〔第３の実施の形態〕

図８は、本発明の第３の実施の形態に係る垂直共振器型面発光レーザ（ＶＣＳＥＬ）の断面図である。

この例は、図３に示したＶＣＳＥＬにおいて、第２調整層１５を均一の組成とせずに複数の層からなる構成とし、第１調整層１４を電極として兼用するようにしたほかは、同様の構成である。

第１調整層１４は、膜厚２００ｎｍの金により形成し、これをＶＣＳＥＬに電流を注入するための一方の電極として兼用する。

第２調整層１５は、電極として兼用する第１調整層１４と半導体層との電気的な接合を良好にするための膜厚２０ｎｍのＧａＡｓコンタクト層１５Ａと、光学的膜厚がレーザ発振波長（７８０ｎｍ）に対して約０．４４×１／４波長の$Al_{0.3}Ga_{0.7}As$層１５Ｂと、光学的膜厚がレーザ発振波長（７８０ｎｍ）に対して１／４波長の$Al_{0.9}Ga_{0.1}As$層１５Ｃとの３つの層により構成されている。

【００５８】

このように、第２調整層１５を、コンタクト層１５Ａと、$Al_{0.3}Ga_{0.7}As$層１５Ｂと、$Al_{0.9}Ga_{0.1}As$層１５Ｃの複数の組成からなる構成とすることにより、電極を兼用する第１調整層１４との電気的な接合を十分にとりながら、レーザ光の発振波長７８０ｎｍにおける振幅反射率は、レーザ光の出射中心の周辺部で約０．７０５、出射中心で約０．９９３となり、高輝度基本横モードのレーザ出力を得ることができる。

【００５９】

以上のように、第２調整層１５の構成は、単一の材料からなる構成に限られず、高次横モードのレーザ発振を適切に抑制できるような副次的な共振器を構成できるものであれば、複数の材料からなる多層構成とすることもできる。

【００６０】

また、第２調整層１５の光学的膜厚を制御して、副次的な共振器において共振する波長をレーザ光の発振波長（例えば、７８０ｎｍ）よりも短波長側にシフトさせるか、または、レーザ光の出射中心において共振する波長を長波長側にシフトさせることにより、レーザ光の出射中心における実効屈折率に対して、その周辺部における実効屈折率を小さくすることができ、これにより、屈折率導波構造を形成することが可能となる。

【００６１】

さらには、屈折率導波路の基本横モードおよび高次横モードの光電場の分布条件、ならびに出射中心とその周辺部の反射率差も考慮して、第２調整層１５の光学的膜厚を選定することにより、基本横モードレーザ発振特性の良好な屈折率導波路構造を形成することができる。

【００６２】

〔第４の実施の形態〕

詳細は後述するが、本発明においては、上部ＤＢＲ層中のレーザ光の出射中心の周辺部の一部に、光学的膜厚が媒質内波長の１／４となる第２調整層を挿入し、この第２調整層と、活性層領域のスペーサ層との間に、第１調整層を設ける構成としてもよい。
このような構成によっても、上部ＤＢＲ層中の第２調整層と、活性層領域のスペーサ層との間に位置する第１調整層とにより、その部分におけるレーザ共振器の反射率および／または実効屈折率を低下させることができる。
ただし、第２調整層を活性層領域のスペーサー層の直上に挿入した場合には、その部分におけるレーザ共振器の反射率および／または実効屈折率を低下させる効果が十分には得られない。
また、第１調整層を上部ＤＢＲ層の一部を兼用する構成としてもよい。

【００６３】
〔第５の実施の形態〕
詳細は後述するが、本発明においては、ＶＣＳＥＬの複数を同一基板上にまたは異なる基板上に配置して、ＶＣＳＥＬアレイを構成してもよい。

【００６４】
以上、本発明の実施の形態を説明したが、本発明を実施するに際しては、第２調整層１５を構成する材料としては、特に限定されず、例えば、第２調整層１５が活性層に電流を注入する通路となる構成を採用するときは，導電性材料を用いればよく、第２調整層１５が活性層に電流を注入する通路とならない構成を採用するときは、半導体や誘電体を用いればよい。
また、第１調整層１４を構成する材料についても、特に限定されず、例えば、電極を兼用するときは、金などの導電性材料を用いればよく、電極を兼用しないときは、半導体や誘電体を用いることができる。また、単一の材料からなる構成であってもよいし、複数の材料からなる多層構成であってもよい。
また、反射特性補正層１６を構成する材料についても、二酸化珪素などの誘電体に限定されることはなく、他の誘電体や半導体や金属で構成してもよい。

【００６５】
【実施例】
以下、本発明の実施例について説明する。

【００６６】
〔実施例１〕
この実施例１は、図３に示した第１の実施の形態に対応するものである。
図９（ａ）に示すように、有機金属気相成長（ＭＯＣＶＤ）法により、ｎ型ＧａＡｓ基板９１上に、キャリア濃度が$1\times10^{18}cm^{-3}$で膜厚が０．２μｍ程度のｎ型ＧａＡｓバッファ層９２を積層する。

【００６７】
このバッファ層９２上に、ＭＯＣＶＤ法により、$Al_{0.9}Ga_{0.1}As$と$Al_{0.3}Ga_{0.7}As$とをそれぞれの光学的膜厚が媒質内波長の１／４となるように交互に４０．５周期積層して、キャリア濃度が$1\times10^{18}cm^{-3}$で総膜厚が約４μｍの下部ｎ型ＤＢＲ層９３を設ける。

【００６８】
この下部ｎ型ＤＢＲ層９３上に、ＭＯＣＶＤ法により、アンドープ下部$Al_{0.5}Ga_{0.5}As$スペーサー層と、アンドープ量子井戸活性層（膜厚９０ｎｍの$Al_{0.11}Ga_{0.89}As$量子井戸層３層と、膜厚５０ｎｍの$Al_{0.3}Ga_{0.7}As$障壁層４層とで構成されている）と、アンドープ上部$Al_{0.5}Ga_{0.5}As$スペーサー層とにより構成された光学的膜厚が媒質内波長となる活性層領域９４を設ける。

【００６９】
この活性層領域９４上に、ＭＯＣＶＤ法により、$Al_{0.9}Ga_{0.1}As$と$Al_{0.3}Ga_{0.7}As$とをそれぞれの光学的膜厚が媒質内波長の１／４となるように交互に２０周期積層して、キャリア濃度が$1\times10^{18}cm^{-3}$で総膜厚が約２μｍの上部ｐ型ＤＢＲ層９５を設

ける。

【００７０】

この上部ｐ型ＤＢＲ層９５上に、ＭＯＣＶＤ法により、キャリア濃度が$1\times10^{18}cm^{-3}$で光学的膜厚が媒質内波長の１．５５／４～１．６２／４倍、好ましくは１．６／４倍のｐ型$Al_{0.3}Ga_{0.7}As$第２調整層９６を積層する。

【００７１】

ここで、図示しないが、キャリア濃度が$1\times10^{19}cm^{-3}$で光学的膜厚が１０ｎｍ程度のｐ型ＧａＡｓコンタクト層を最上部に積層してもよい。

また、詳しくは述べないが、ＤＢＲ層９３および９５の電気的抵抗を下げるために、$Al_{0.9}Ga_{0.1}As$と$Al_{0.3}Ga_{0.7}As$との界面に、ＡｌＡｓ組成を９０％から３０％に段階的に変化させた光学的膜厚が９ｎｍ程度の領域を設けてもよい。

【００７２】

ここで、ＭＯＣＶＤ法による成膜においては、原料ガスとしては、トリメチルガリウム、トリメチルアルミニウム、アルシンを用い、ドーパント材料としては、ｐ型用にシクロペンタジニウムマグネシウム、ｎ型用にシランを用い、膜成長時の基板温度は７５０℃とし、原料ガスを順次変化させ、連続して成膜を行った。

【００７３】

続いて、図９（ｂ）に示すように、フォトリソグラフィーにより結晶成長層上にレジストマスクＲを形成し、四塩化炭素をエッチングガスとして用いた反応性イオンエッチングにより、下部ｎ型ＤＢＲ層９３の途中までエッチングし、径が１０～３０μｍ程度の円柱もしくは角柱からなるポストＳを形成し、これにより電流狭窄部を形成している。

【００７４】

レジストＲを除去した後、図９（ｃ）に示すように、プラズマＣＶＤ装置を用いて、第２調整層９６上にＳｉＮ層９７を蒸着した後、通常のフォトリソグラフィー工程とバッファードふっ酸を用いたＳｉＮのエッチングにより、ポストＳの上部に位置するＳｉＮ層９７を剥離する。

【００７５】

その後、図９（ｄ）に示すように、フォトリソグラフィー工程を用いて、ポストＳの上部中央部にレジストパターンＴを形成し、その上方からＥＢ蒸着機を用いて、ｐ側電極を兼用する第１調整層を構成することとなるＴｉとＡｕをそれぞれ１０ｎｍ、２００ｎｍの厚さで蒸着する。

【００７６】

最後に、アセトンを用いて、レジストパターンＴをその上部に蒸着されたＴｉおよびＡｕとともに剥離して、図９（ｅ）に示すように、ｐ側電極を兼用する第１調整層９８が第２調整層９６におけるレーザ光の出射中心の周辺部に積層された構造のＶＣＳＥＬを得る。

【００７７】

このＶＣＳＥＬにおいて、ｐ側電極を兼用する第２調整層９６が存在しない領域、すなわち、レジストパターンＴが存在していた領域であるポストＳの中央部からレーザ光が出射されるが、この出射領域の口径は３～２０μｍ程度が好ましい。

なお、基板９１の裏面には、図示しないｎ側電極としてＡｕＧｅが蒸着されている。

【００７８】

以上のようにして作製したＶＣＳＥＬのおいては、ポストＳの中央部のレーザ光の出射中心の直下における共振器反射率は約９９．５％と高く、また、ｐ側電極を兼用する第１調整層９８の直下における共振器反射率は、図４に示した結果と同様に低くなり、高次横モードのレーザ発振を適切に抑制することができた。その結果、従来の技術では基本横モードのレーザ発振を得るためにはレーザ光の出射領域の口径は５μｍ以下とすることが必要とされたが、本発明によれば、出射領域の口径を５μｍ以上としても、基本横モードのレーザ発振が可能となり、高輝度基本横モード光出力を得ることができる。

【００７９】

この実施例１に係るＶＣＳＥＬの基本横モードのレーザ発振および高次横モードのレーザ

発振と、図１７に示した従来のＶＣＳＥＬの基本横モードのレーザ発振および高次横モードのレーザ発振を調べたところ、図１０に示す結果が得られた。すなわち、活性層への注入電流を増加させた場合に、実施例１に係るＶＣＳＥＬおよび従来のＶＣＳＥＬともに、高次横モードのレーザ発振は抑制され、基本横モードだけが発振するが、実施例１のＶＣＳＥＬに比べて、従来のＶＣＳＥＬでは、基本横モードのレーザ発振を開始する電流のしきい値および効率がともに低下していることが分かる。

【００８０】

この実施例１では、第２調整層９６は、$Al_{0.3}Ga_{0.7}As$を用いて構成したが、第１調整層９８の直下におけるレーザ共振器の反射率および／または実効屈折率を低下させることができる材料であれば、他の材料を用いて構成することもできる。ただし、この実施例１のように、第２調整層９６が注入電流の通路を構成する場合には、導電型材料であって、電流の注入が容易な材料を用いるのが好ましい。

【００８１】

また、この実施例１では、下部ｎ型ＤＢＲ層９３の途中までエッチングしてポストＳを形成しているが、上部$Al_{0.5}Ga_{0.5}As$スペーサー層あるいはそれより上方でエッチングを停止してポストＳを形成してもよいし、また、基板９１の直上までエッチングしてポストＳを形成してもよい。

【００８２】

また、この実施例１では、活性層の材料としてＡｌＧａＡｓを用いたが、ＧａＡｓまたはＩｎＧａＡｓを用いて近赤外用のＶＣＳＥＬを構成することもできるし、また、ＩｎＧａＰまたはＡｌＧａＩｎＰを用いて赤色用のＶＣＳＥＬを構成することもできる。さらには、ＧａＮ系やＺｎＳｅ系等を用いて青色または紫外線用のＶＣＳＥＬや、ＩｎＧａＡｓＰ系等を用いて１．３～１．５μｍ帯用のＶＣＳＥＬも構成することができる。

【００８３】

また、ＤＢＲ層９３および９５の材料としては、半導体材料に限定されることはなく、種々の電流注入方式を選択することにより、絶縁膜を用いることもできる。ＤＢＲ層９３および９５の材料として絶縁膜を用いる場合には、第２調整層９６の材料としても、半導体よりは絶縁膜を用いるのが好ましい。

【００８４】

〔実施例２〕

この実施例２は、図６（ａ）に示した第２の実施の形態に対応するものである。

図１１に示すように、ＭＯＣＶＤ法により、ｎ型ＧａＡｓ基板９１上に、キャリア濃度が$1\times10^{18}cm^{-3}$で膜厚が０．２μｍ程度のｎ型ＧａＡｓバッファ層９２を積層する。

【００８５】

このバッファ層９２上に、ＭＯＣＶＤ法により、$Al_{0.9}Ga_{0.1}As$と$Al_{0.3}Ga_{0.7}As$とをそれぞれの光学的膜厚が媒質内波長の１／４となるように交互に４０．５周期積層して、キャリア濃度が$1\times10^{18}cm^{-3}$で総膜厚が約４μｍの下部ｎ型ＤＢＲ層９３を設ける。

【００８６】

この下部ｎ型ＤＢＲ層９３上に、ＭＯＣＶＤ法により、アンドープ下部$Al_{0.5}Ga_{0.5}As$スペーサー層と、アンドープ量子井戸活性層（膜厚９０ｎｍの$Al_{0.11}Ga_{0.89}As$量子井戸層３層と、膜厚５０ｎｍの$Al_{0.3}Ga_{0.1}As$障壁層４層とで構成されている）と、アンドープ上部$Al_{0.5}Ga_{0.5}As$スペーサー層とで構成された光学的膜厚が媒質内波長となる活性層領域９４を設ける。

【００８７】

この活性層領域９４上に、ＭＯＣＶＤ法により、キャリア濃度が$1\times10^{18}cm^{-3}$で光学的膜厚が媒質内波長の１／４となるｐ型ＡｌＡｓ層９９を設ける。

このｐ型ＡｌＡｓ層９９上に、$Al_{0.9}Ga_{0.1}As$と$Al_{0.3}Ga_{07}As$とをそれぞれの光学的膜厚が媒質内波長の１／４となるように交互に１９．５周期積層して、キャリア濃度が$1\times10^{18}cm^{-3}$で総膜厚が約２μｍの上部ｐ型ＤＢＲ層９５を設ける。

【００８８】
この上部ｐ型ＤＢＲ層９５上に、ＭＯＣＶＤ法により、キャリア濃度が$1\times10^{18}cm^{-3}$で光学的膜厚が媒質内波長の１．５５／４～１．６２／４倍、好ましくは１．６／４倍のｐ型$In_{0.5}Ga_{0.5}P$第２調整層９６を設ける。
【００８９】
ここで、図示しないが、キャリア濃度が$1\times10^{19}cm^{-3}$で光学的膜厚が１０ｎｍ程度のｐ型ＧａＡｓコンタクト層を最上部に積層してもよい。
また、詳しくは述べないが、ＤＢＲ層９３および９５の電気的抵抗を下げるために、$Al_{0.9}Ga_{0.1}As$と$Al_{0.3}Ga_{0.1}As$との界面に、ＡｌＡｓ組成を９０％から３０％に段階的に変化させた光学的膜厚が９ｎｍ程度の領域を設けてもよい。
【００９０】
ここで、ＭＯＣＶＤ法による成膜においては、原料ガスとしては、トリメチルガリウム、トリメチルアルミニウム、トリメチルインジウム、アルシン、フォスフィンを用い、ドーパント材料としては、ｐ型用にシクロペンタジニウムマグネシウム、ｎ型用にシランを用い、膜成長時の基板温度は７５０℃とし、真空を破ることなく、原料ガスを順次変化させ、連続して成膜を行った。
【００９１】
次に、実施例１と同様にして、径が約３０μｍの円柱状または角錐状のポストＳを形成する。その後、約４００℃の炉中で水蒸気によりＡｌＡｓ層９９だけを側方から酸化して高抵抗化させ、これにより電流狭窄部を形成している。この時、非酸化領域が活性層への電流注入領域となるが、その径は約３～２０μｍである。
【００９２】
次に、実施例１と同様にして、ＳｉＮ層（絶縁膜）９７、ｐ側電極を兼用する第１調整層９８を設ける。その後、通常のフォトリソグラフィー工程と、燐酸・塩酸・水で構成されたエッチャントによるウエットエッチングにより、$In_{0.5}Ga_{0.5}P$第２調整層９６のうちポストＳの上部中央部に位置する部分を削除して、図１１に示したように、レーザ光の出射中心の周辺部においてｐ側電極を兼用する第１調整層９８および第２調整層９６が積層された構造のＶＣＳＥＬを得る。
【００９３】
この実施例２に係るＶＣＳＥＬは、第２の実施の形態でも説明したように、高次横モードのレーザ発振を抑制し、高輝度基本横モードのレーザ発振を得ることができる。
【００９４】
また、この実施例２では、第２調整層９６のうちポストＳの上部中央部における部分を削除しているが、第２の実施の形態でも説明したように、削除する代わりに、ポストＳの上部中央部における第２調整層９６上に反射特性補正層を積層しても、同様の効果を得ることができる。
【００９５】
また、この実施例２では、第２調整層９６の材料として、選択エッチングが容易にできる$In_{0.5}Ga_{0.5}P$層を用いたが、実施例１と同様に、レーザ光の出射中心の周辺部におけるレーザ共振器の反射率および／または実効屈折率を低下させることができるものであれば、他の材料を用いることもできる。
【００９６】
また、この実施例２においても、実施例１と同様に、活性層の材料としてＡｌＧａＡｓを用いたが、ＧａＡｓまたはＩｎＧａＡｓを用いて近赤外用のＶＣＳＥＬを構成することもできるし、また、ＩｎＧａＰまたはＡｌＧａＩｎＰを用いて赤色用のＶＣＳＥＬを構成することもできる。さらには、ＧａＮ系やＺｎＳｅ系等を用いて青色または紫外線用のＶＣＳＥＬや、ＩｎＧａＡｓＰ系等を用いて１．３～１．５μｍ帯用のＶＣＳＥＬも構成することができる。
【００９７】
〔実施例３〕

この実施例３は、図８に示した第３の実施の形態に対応するものである。
図１２に示すように、上部ＤＢＲ層９５上には、３層から構成された第２調整層９６が設けられている。すなわち、この第２調整層９６は、上部ＤＢＲ層９５上に設けたキャリア濃度が$1\times10^{18}cm^{-3}$で光学的膜厚が媒質内波長の１／４となるｐ型$Al_{0.9}Ga_{0.1}As$層９６Ｃと、この層９６Ｃ上に設けたキャリア濃度が$1\times10^{18}cm^{-3}$で光学的膜厚が媒質内波長の０．４４×１／４倍となるｐ型$Al_{0.3}Ga_{0.7}As$層９６Ｂと、この層９６Ｂ上に設けたキャリア濃度が$1\times10^{19}cm^{-3}$で光学的膜厚が２０ｎｍのｐ型ＧａＡｓコンタクト層９６Ａとからなる。

【００９８】
また、この実施例３では、実施例１のようなポストＳを形成せずに、上部ＤＢＲ層９５の側部にプロトンを打ち込んで高抵抗領域１００を形成し、これにより電流狭窄部を形成している。

【００９９】
また、第２調整層９６上の周辺部には、実施例１と同様にして、ＴｉとＡｕとを蒸着してｐ側電極を兼用する第１調整層９８を設けている。この第１調整層９８の中央部開口がレーザ光の出射領域となる。

【０１００】
レーザ光の出射領域の中心と、プロトンを打ち込んで形成した電流狭窄部の中心は、レーザ光の光軸にできるだけ一致することが望ましい。
なお、その他の構成は、実施例１と同様であり、その説明は省略する。

【０１０１】
以上のようにして作製したＶＣＳＥＬのおいては、中央部のレーザ光の出射中心の直下における共振器反射率は約９９．５％と高く、また、ｐ側電極を兼用する第１調整層９８の直下における共振器反射率は約７０％と低くなり、高次横モードのレーザ発振を適切に抑制することができた。

【０１０２】
なお、実施例２と同様に、レーザ光の出射中心に位置する第２調整層９６の部分をエッチングにより除去するようにしてもよい。また、エッチングにより除去する代わりに、第２の実施の形態でも説明したように、中央部における第２調整層９６上に反射特性補正層を積層してもよい。
また、この実施例３においても、実施例１と同様に、活性層の材料としてＡｌＧａＡｓを用いたが、ＧａＡｓまたはＩｎＧａＡｓを用いて近赤外用のＶＣＳＥＬを構成することもできるし、また、ＩｎＧａＰまたはＡｌＧａＩｎＰを用いて赤色用のＶＣＳＥＬを構成することもできる。さらには、ＧａＮ系やＺｎＳｅ系等を用いて青色または紫外線用のＶＣＳＥＬや、ＩｎＧａＡｓＰ系等を用いて１．３～１．５μｍ帯用のＶＣＳＥＬも構成することができる。

【０１０３】
〔実施例４〕
図１３に示すように、ｎ型ＧａＡｓ基板９１上に、ＭＯＣＶＤ法により、キャリア濃度が$1\times10^{18}cm^{-3}$で膜厚が０．２μｍ程度のｎ型ＧａＡｓバッファ層９２を積層する。

【０１０４】
このバッファ層９２上に、ＭＯＣＶＤ法により、$Al_{0.9}Ga_{0.1}As$と$Al_{0.3}Ga_{0.7}As$とをそれぞれの光学的膜厚が媒質内波長の１／４となるように交互に４０．５周期積層して、キャリア濃度が$1\times10^{18}cm^{-3}$で総膜厚が約４μｍの下部ｎ型ＤＢＲ層９３を設ける。

【０１０５】
この下部ｎ型ＤＢＲ層９３上に、ＭＯＣＶＤ法により、アンドープ下部$Al_{0.5}Ga_{0.5}As$スペーサー層と、アンドープ量子井戸活性層（膜厚９０ｎｍの$Al_{0.11}Ga_{0.89}As$量子井戸層３層と、膜厚５０ｎｍの$Al_{0.3}Ga_{0.7}As$障壁層４層とで構成されている）と、アンドープ上部$Al_{0.5}Ga_{0.5}As$スペーサー層とにより構成された膜厚が媒質

内波長となる活性層領域９４を設ける。

【０１０６】

この活性層領域９４上に、ＭＯＣＶＤ法により、$Al_{0.9}Ga_{0.1}As$と$Al_{0.3}Ga_{0.7}As$とをそれぞれの光学的膜厚が媒質内波長の１／４となるように交互に２０周期積層して、キャリア濃度が$1\times10^{18}cm^{-3}$で総膜厚が約２μｍの上部ｐ型ＤＢＲ層９５を設ける。

【０１０７】

この上部ｐ型ＤＢＲ層９５中の周辺部の一部には、アンドープで光学的膜厚が媒質内波長の１／４となる$Al_{0.3}Ga_{0.7}As$第２調整層９６が挿入されている。この$Al_{0.3}Ga_{0.7}As$第２調整層９６は、その下の上部ｐ型ＤＢＲ層９５の一部である$Al_{0.9}Ga_{0.1}As$と$Al_{0.3}Ga_{0.7}As$が交互に５周期積層されている位置に設けられている。

【０１０８】

この実施例４では、この５周期積層された$Al_{0.9}Ga_{0.1}As$と$Al_{0.3}Ga_{0.7}As$層が、第２調整層９６と活性層領域９４のアンドープ上部$Al_{0.5}Ga_{0.5}As$スペーサー層との間に位置されることによって、第１調整層９８の機能を発揮する。すなわち、この５周期積層された$Al_{0.9}Ga_{0.1}As$と$Al_{0.3}Ga_{0.7}As$層（第１調整層９８）とその直上に位置される第２調整層９６とＤＢＲ層９５とにより、その部分におけるレーザ共振器の反射率および実効屈折率が低下することとなる。

【０１０９】

なお、第２調整層９６を活性層領域９４のアンドープ上部$Al_{0.5}Ga_{0.5}As$スペーサー層の直上に挿入した場合には、その部分におけるレーザ共振器の反射率および実効屈折率を低下させる効果が十分には得られない。

【０１１０】

ここで、図示しないが、キャリア濃度が$1\times10^{19}cm^{-3}$で膜厚が１０ｎｍ程度のｐ型ＧａＡｓコンタクト層を最上部に積層してもよい。

また、詳しくは述べないが、ＤＢＲ層９３および９５の電気的抵抗を下げるために、$Al_{0.9}Ga_{0.1}As$と$Al_{0.3}Ga_{0.7}As$との界面に、ＡｌＡｓ組成を９０％から３０％に段階的に変化させた膜厚が９ｎｍ程度の領域を設けてもよい。

【０１１１】

この実施例４においても、実施例１と同様に、下部ｎ型ＤＢＲ層９３の途中までエッチングし、径が１０～３０μｍ程度の円柱もしくは角柱からなるポストＳを形成し、これにより電流狭窄部を形成している。

ポストＳの周辺とポストＳの底部には、ＳｉＮ層９７が蒸着されている。

また、ポストＳの上部には、ＴｉとＡｕがそれぞれ１０ｎｍ、３００ｎｍの厚さで蒸着されてｐ側電極１０１が形成され、その中央部は除去されている。

基板９１の裏面には、図示しないが、ｎ側電極としてＡｕＧｅが蒸着されている。ｐ側電極１０１の存在しない部分、すなわち、ポストＳの中央部のレーザ光の出射領域からレーザー光が出射されるが、この出射領域の口径は３～２０μｍぐらいが好ましい。

【０１１２】

この実施例４では、ｐ型ＤＢＲ層９５中に挿入された$Al_{0.3}Ga_{0.7}As$第２調整層９６と、第１調整層として機能する第２調整層９６の直下にある５周期積層された$Al_{0.9}Ga_{0.1}As$と$Al_{0.3}Ga_{0.7}As$とが形成されていることにより、ポストＳの中央部のレーザ光の出射中心の直下における共振器反射率は約９９．５％と高く、また、第２調整層９６の直下における共振器反射率は、図４に示した結果と同様に低くなり、高次横モードのレーザ発振を適切に抑制することができた。

【０１１３】

この実施例４では、第２調整層９６は、$Al_{0.3}Ga_{0.7}As$を用いて構成したが、第２調整層９６の直下におけるレーザ共振器の反射率および／または実効屈折率を低下させることができる材料であれば、他の材料を用いて構成することもできる。また、第２調整層９６として、アンドープ層を用いたが、ｎ型またはｐ型層を用いることもできる。アンド

ープ層またはｎ型層を用いた場合には、第２調整層９６自体が、電流狭窄機能をも発揮する利点が得られる。
第１調整層９８についても、実施例１等と同様に、他の材料を用いて構成することもできる。
【０１１４】
また、この実施例４では、下部ｎ型ＤＢＲ層９３の途中までエッチングしてポストＳを形成しているが、上部$Al_{0.5}Ga_{0.5}As$スペーサー層あるいはそれより上方でエッチングを停止してポストＳを形成してもよいし、また、基板９１の直上までエッチングしてポストＳを形成してもよい。
【０１１５】
また、この実施例４では、活性層の材料としてＡｌＧａＡｓを用いたが、ＧａＡｓまたはＩｎＧａＡｓを用いて近赤外用のＶＣＳＥＬを構成することもできるし、また、ＩｎＧａＰまたはＡｌＧａＩｎＰを用いて赤色用のＶＣＳＥＬを構成することもできる。さらには、ＧａＮ系やＺｎＳｅ系等を用いて青色または紫外線用のＶＣＳＥＬや、ＩｎＧａＡｓＰ系等を用いて１．３～１．５μm帯用のＶＣＳＥＬも構成することができる。
【０１１６】
また、ＤＢＲ層９３および９５の材料としては、半導体材料に限定されることはなく、種々の電流注入方式を選択することにより、絶縁膜を用いることもできる。ＤＢＲ層９３および９５の材料として絶縁膜を用いる場合には、第２調整層９６の材料としても、半導体よりは絶縁膜を用いるのが好ましい。
【０１１７】
また、この実施例４では、ｐ型ＤＢＲ層９５の上面が平坦な例を示したが、再成長技術を用いて第２調整層９６を設けた場合などは、図１４に示すように、その分だけｐ型ＤＢＲ９５の上面に凹凸が発生することもあるが、この場合でも同様の効果を得ることができる。
【０１１８】
〔実施例５〕
実施例５は、図１５に示すように、実施例１で示した構造と同一の構造のＶＣＳＥＬ素子１５０を同一基板上に複数個配置して、ＶＣＳＥＬアレイを構成したものである。
この実施例５においては、各ＶＣＳＥＬ素子１５０を互いに電気的に分離するために、ＶＣＳＥＬ素子１５０間に溝１５１を設けている。図１５においては一方向の断面だけを示しているが、奥行き方向においても溝１５１により電気的に分離されている。
【０１１９】
なお、この実施例５においては、電気的な分離手段として溝１５１を利用しているが、イオン打ち込みにより高抵抗領域を設ける方法などの他の手段を利用することもできる。
【０１２０】
また、ＶＣＳＥＬアレイを構成する各ＶＣＳＥＬ素子１５０としては、実施例１に示したポスト型のものを用いているが、実施例２の選択酸化型や、実施例３のイオン注入型のものを用いることもできる。
【０１２１】
また、ＶＣＳＥＬアレイの配置方法は、２次元のみならず、１次元でも差し支えない。各ＶＣＳＥＬ素子１５０の駆動は、独立駆動型でもよいし、マトリックス駆動型でもよく、さらには、同時駆動型でもよい。
【０１２２】
各ＶＣＳＥＬ素子１５０の作製においては、面内均一性に優れた成膜手段を用いているため、ＶＣＳＥＬアレイが大規模となっても、各ＶＣＳＥＬ素子１５０間の特性バラツキは非常に小さくなる利点を有している。
【０１２３】
以上の実施例においては、第１の実施の形態とポスト型ＶＣＳＥＬとを組み合わせたものを実施例１とし、第２の実施の形態と電流狭窄構造としてＡｌＡｓ選択酸化型ＶＣＳＥＬ

とを組み合わせたものを実施例２とし、第３の実施の形態と電流狭窄構造としてプロトンインプラ型ＶＣＳＥＬとを組み合わせたものを実施例３としたが、これらの組み合わせに限定されることはなく、組み合わせを適宜変更しても、本発明の目的を達成することができる。

【０１２４】

【発明の効果】

以上説明したように、本発明によれば、高輝度基本横モード光出力を有するＶＣＳＥＬおよびＶＣＳＥＬアレイを再現性よく、高い歩留りで、かつ、安価に製造することができる。したがって、プリンタ装置、光磁気ディスク装置等、高輝度基本横モード光出力が要求される用途にも、本発明に係るＶＣＳＥＬおよびＶＣＳＥＬアレイを十分に利用することができる。

【図面の簡単な説明】

【図１】（ａ）は、本発明に係るＶＣＳＥＬの構造を簡略化して示す断面図、（ｂ）は基本横モードでレーザ発振するときの光強度分布を示すグラフ、（ｃ）は高次横モードでレーザ発振するときの光強度分布を示すグラフである。

【図２】本発明に係るＶＣＳＥＬであって、屈折率導波路構造を有するものの断面図である。

【図３】本発明の第１の実施の形態に係るＶＣＳＥＬの断面図である。

【図４】第２調整層の光学的膜厚とレーザ発振波長７８０ｎｍにおける振幅反射率との関係を示すグラフである。

【図５】第２調整層の光学的膜厚が約１．６×１／４波長の時における強度反射スペクトルを示すグラフであり、（ａ）が本発明の実施の形態に係るものであり、（ｂ）が第１調整層を設けない場合のものである。

【図６】（ａ）および（ｂ）は、それぞれ本発明の第２の実施の形態に係るＶＣＳＥＬの断面図である。

【図７】上部反射層の強度反射スペクトルを示すグラフである。

【図８】本発明の第３の実施の形態に係るＶＣＳＥＬの断面図である。

【図９】（ａ）から（ｅ）は、本発明の実施例１に係るＶＣＳＥＬの製造工程を順番に示す断面図である。

【図１０】本発明の実施例１に係るＶＣＳＥＬおよび従来のＶＣＳＥＬにおける光出力と注入電流との関係を示すグラフである。

【図１１】本発明の実施例２に係るＶＣＳＥＬの断面図である。

【図１２】本発明の実施例３に係るＶＣＳＥＬの断面図である。

【図１３】本発明の実施例４に係るＶＣＳＥＬの断面図である。

【図１４】本発明の実施例４に係るＶＣＳＥＬの断面図である。

【図１５】本発明の実施例５に係るＶＣＳＥＬアレイの断面図である。

【図１６】従来のプロトンインプラ型のＶＣＳＥＬの断面図である。

【図１７】凹状の形状の損失決定素子を有する従来のＶＣＳＥＬの断面図である。

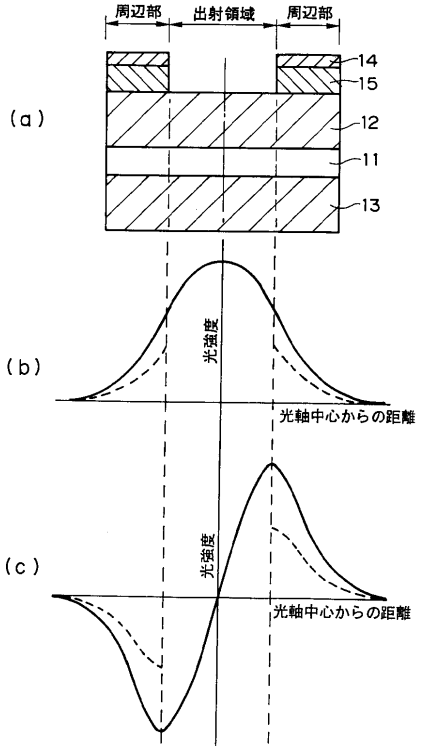
【図１８】損失決定素子を有する従来のＶＣＳＥＬにおける損失決定素子の製造工程を順番に示す断面図である。

【符号の説明】

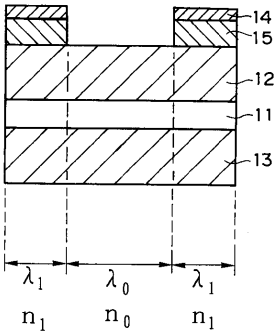
１１　活性層領域
１２　上部反射層
１３　下部反射層
１４　第１調整層
１５　第２調整層
１６　反射特性補正層
９１　ｎ型ＧａＡｓ基板
９２　ｎ型ＧａＡｓバッファ層
９３　下部ｎ型ＤＢＲ層

９４　活性層領域
９５　上部ｐ型ＤＢＲ層
９６　第２調整層
９７　ＳｉＮ層
９８　第１調整層
Ｓ　　ポスト
Ｒ　　レジスト
Ｔ　　レジストパターン
９９　ｐ型ＡｌＡｓ層
１００　高抵抗領域
１０１　ｐ側電極
１５０　ＶＣＳＥＬ
１５１　溝
１６１　下部ｎ型ＤＢＲ層
１６２　活性層領域
１６３　上部ｐ型ＤＢＲ層
１６４　ｐ側電極
１６５　高抵抗領域
１６６　出射領域
１７１　導電型半導体基板
１７２　下部ＤＢＲ層
１７３　活性層領域
１７４　上部ＤＢＲ層
１７５　低反射率ゾーン
１７６　損失決定素子
１７７、１７８　電極
１７９　光軸
１８１　湾曲表面を形成しようとする層
１８２　フォトレジスト
１８３　円筒形フォトレジスト柱
１８４　凸状の湾曲面を有する形状の層
１８５　凸状の湾曲面を有する構造

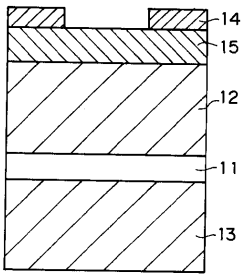
【図１】


周辺部
出射領域
周辺部
14
15
12
11
13
(a)
(b)
光強度
光軸中心からの距離
(c)
光強度
光軸中心からの距離

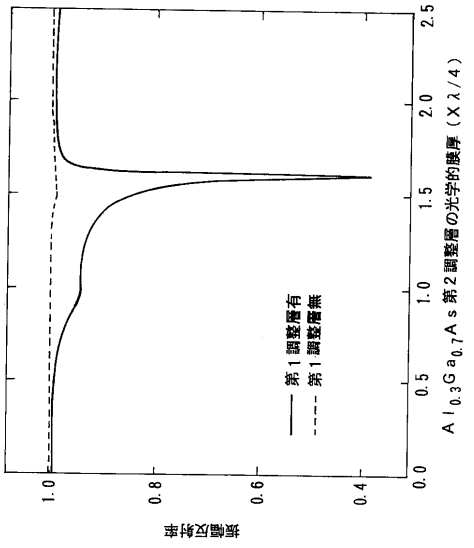
【図２】


14
15
12
11
13
λ1
λ0
λ1
n1
n0
n1

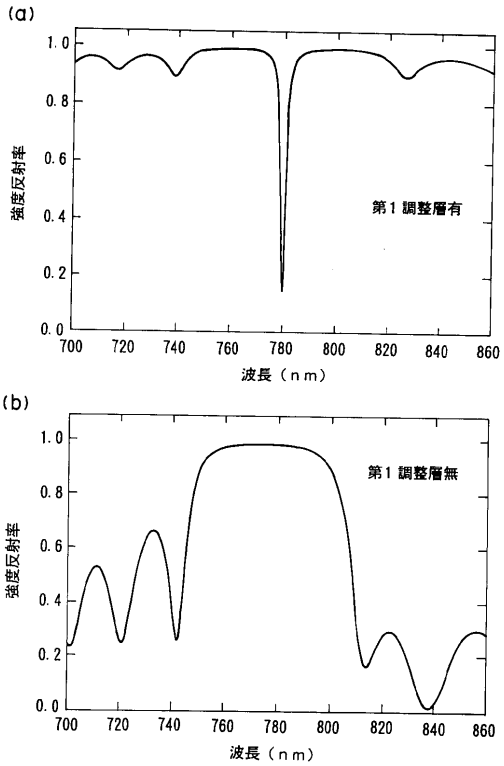
【図３】


14
15
12
11
13

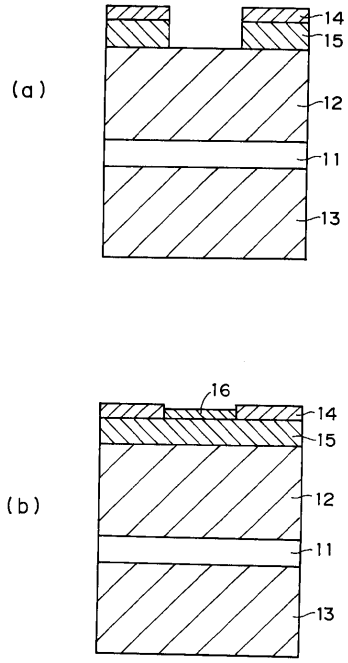
【図４】


0.0
0.5
1.0
1.5
2.0
2.5
Al0.3Ga0.7As 第2調整層の光学的膜厚（Xλ/4）
第1調整層有
第1調整層無
1.0
0.8
0.6
0.4
振幅反射率

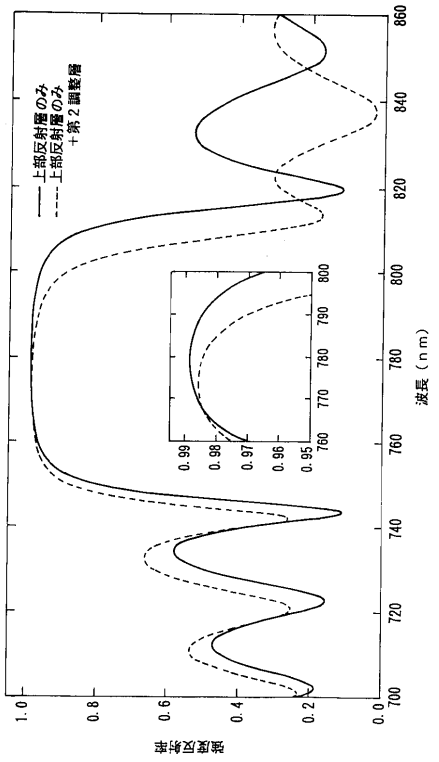
【図５】


(a)
強度反射率
第１調整層有
波長（ｎｍ）
(b)
強度反射率
第１調整層無
波長（ｎｍ）

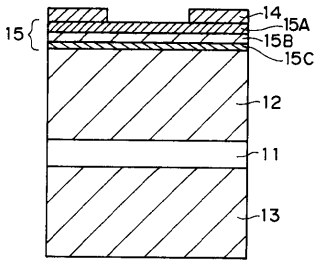
【図６】


(a)
14
15
12
11
13
(b)
16
14
15
12
11
13

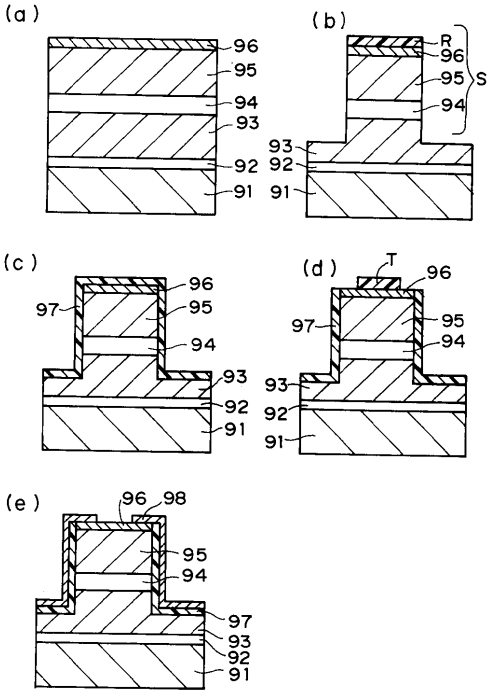
【図７】


上部反射層のみ
上部反射層のみ＋第２調整層
強度反射率
波長（ｎｍ）

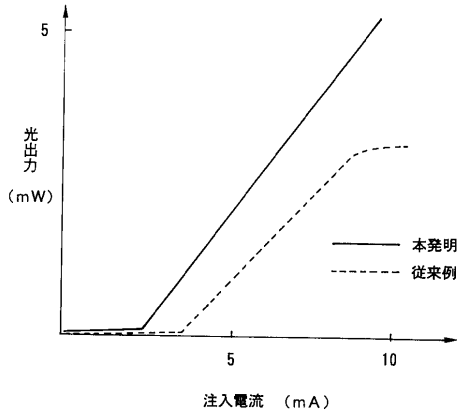
【図８】


15
14
15A
15B
15C
12
11
13

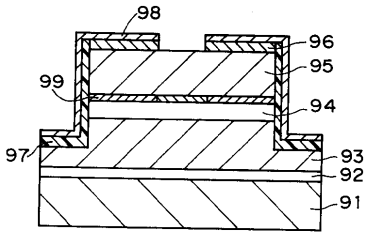
【図９】



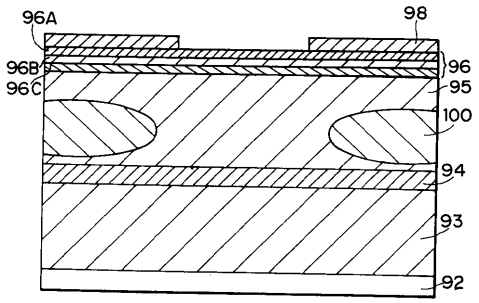
【図１０】



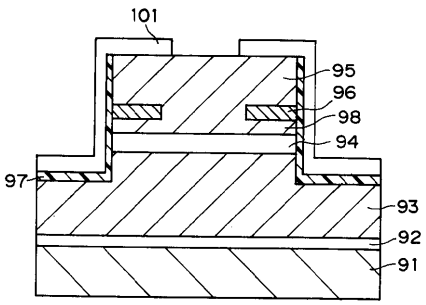
【図１１】



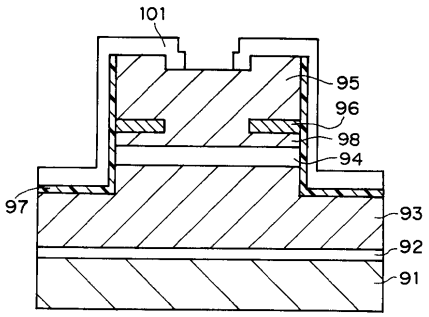
【図１２】



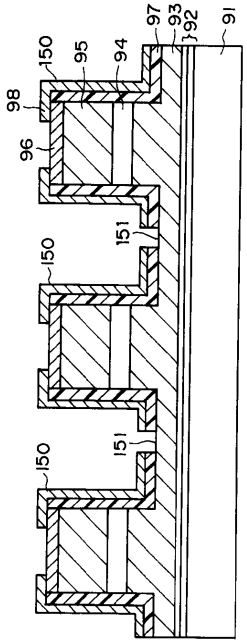
【図１３】



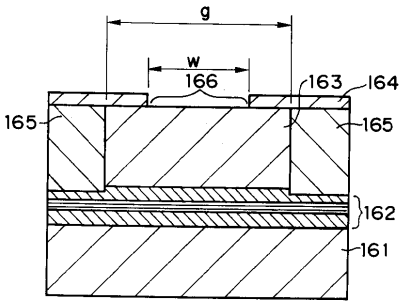
【図１４】



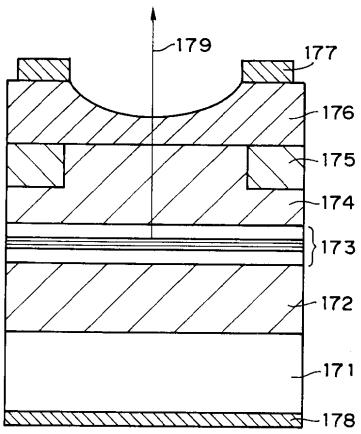
【図１５】



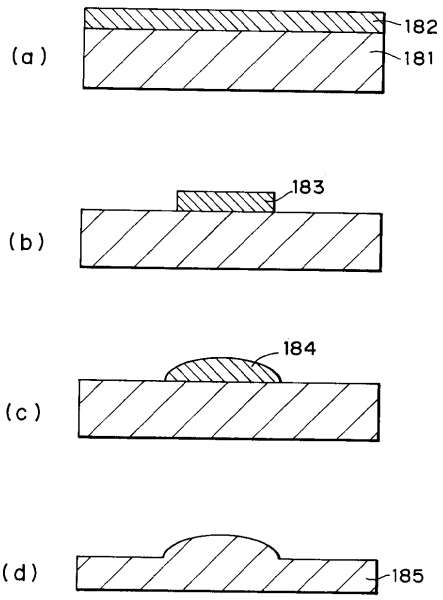
【図１６】



【図１７】



【図１８】



フロントページの続き

(72)発明者　坂本　朗
神奈川県足柄上郡中井町境４３０　グリーンテクなかい　富士ゼロックス株式会社内
(72)発明者　中村　毅
神奈川県足柄上郡中井町境４３０　グリーンテクなかい　富士ゼロックス株式会社内
(72)発明者　小山　二三夫
神奈川県横浜市緑区長津田４２５９番地　東京工業大学内

審査官　土屋　知久

(56)参考文献　特開平６－１８１３６４（ＪＰ，Ａ）

(58)調査した分野(Int.Cl.[7]，ＤＢ名)
H01S　5/00 - 5/50