

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第5455919号
(P5455919)

(45) 発行日 平成26年3月26日(2014.3.26)

(24) 登録日 平成26年1月17日(2014.1.17)

(51) Int.Cl. F I
H O 1 S 5/20 (2006.01) H O 1 S 5/20 6 1 0

請求項の数 12 (全 22 頁)

(21) 出願番号	特願2010-535204 (P2010-535204)	(73) 特許権者	599133716 オスラム オプト セミコンダクターズ ゲゼルシャフト ミット ベシュレンクテ ル ハフツング Osram Opto Semicond uctors GmbH ドイツ連邦共和国、93055 レーゲ ン スブルグ、ライプニッツシュトラッセ 4 Leibnizstrasse 4, D -93055 Regensburg, Germany
(86) (22) 出願日	平成20年10月24日(2008.10.24)	(74) 代理人	100061815 弁理士 矢野 敏雄
(65) 公表番号	特表2011-505069 (P2011-505069A)	(74) 代理人	100099483 弁理士 久野 琢也
(43) 公表日	平成23年2月17日(2011.2.17)		
(86) 国際出願番号	PCT/DE2008/001734		
(87) 国際公開番号	W02009/067969		
(87) 国際公開日	平成21年6月4日(2009.6.4)		
審査請求日	平成23年9月30日(2011.9.30)		
(31) 優先権主張番号	102007057773.9		
(32) 優先日	平成19年11月30日(2007.11.30)		
(33) 優先権主張国	ドイツ(DE)		
(31) 優先権主張番号	102007061458.8		
(32) 優先日	平成19年12月20日(2007.12.20)		
(33) 優先権主張国	ドイツ(DE)		

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 発光素子の製造方法および発光素子

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

半導体層列を備えた半導体ボディ(2)を有する発光素子(1)を製造するための方法において、

a) 前記発光素子(1)の主放射軸に対して垂直に延びる方向において近接場(101, 201)のフィールド経過を設定するステップ、但し、前記近接場は輝度分布(300)を有し、該輝度分布(300)には輝度経過曲線の下方に広がる最大面積(301)を有する矩形が対応付けられており、該最大面積(301)を有する矩形は前記近接場の前記輝度経過曲線の下側の総面積の少なくとも60%を占める、

b) 設定された前記近接場から、前記方向に沿って前記発光素子(1)に関する屈折率プロフィール(111, 211, 511)を計算するステップ、

c) 前記発光素子(1)が少なくとも部分的に事前に決定された前記屈折率プロフィール(111, 211, 511)を有する、前記発光素子(1)に関する構造を求めるステップ、

d) 事前に決定された前記構造に従い前記発光素子(1)を構成するステップであって、ビームを形成するために設けられている活性領域(21)を有し、且つ、少なくとも部分的に化合物半導体材料を含有する半導体層を有する前記半導体層列を備えた前記半導体ボディ(2)を析出し、前記屈折率プロフィール(111, 211, 511)を、前記半導体ボディ(2)の前記半導体層列の析出方向に沿った、化合物半導体材料の組成の変更によって調整するステップ

10

20

を有することを特徴とする、発光素子(1)を製造するための方法。

【請求項2】

前記近接場(101, 201)の所定のフィールド経過に関して以下の比例関係が成り立つ：

$$E_N(Z) \sim \exp[-(z/d)]$$

但し、 n は2より大きい偶数であり、 d は前記近接場(101, 201)の所定のフィールド経過の幅に関する尺度であり、前記主放射軸は z 軸の0点を通り延在している、請求項1記載の方法。

【請求項3】

前記近接場のフィールド経過を、前記発光素子(1)の主放射軸に対して垂直に延びる別の方向に沿って設定し、

前記ステップb)において、前記主放射軸に対して垂直に、且つ、前記屈折率プロフィール(111, 211)に対して垂直に別の屈折率プロフィール(511)を求め、

前記ステップc)において、前記発光素子(1)が事前に決定された前記別の屈折率プロフィール(511)を有する、前記発光素子(1)に関する構造を求める、請求項1または2項記載の方法。

【請求項4】

発光素子において、

ビームを形成するために設けられている活性領域(21)を有し、該活性領域(21)は主放射軸を有し、且つ該主放射軸に対して垂直に屈折率プロフィール(111, 211)を有し、

前記発光素子は半導体層列を備えた半導体ボディ(2)を有し、前記半導体層列はフィールド成形層(22)を有し、該フィールド成形層(22)は前記活性領域の両側に配置されており、

前記屈折率プロフィールは前記半導体ボディの半導体層列の主延在方向に対して垂直に延びており、

前記屈折率プロフィールは前記フィールド成形層(22)によって形成されており、

前記屈折率プロフィール(111, 211, 511)は部分的に、偶数の指数を有する多項式からの平方根に従って成形されており、

前記多項式は式

$$A + B * z^m - C * z^n$$

を有し、但し、 A , B および C は正の係数であり、 m および n は偶数の正の数であり、

$m > n$ であり、

前記屈折率プロフィール(111, 211)は前記主放射軸から出発して該主放射軸の少なくとも一方の側において、該主放射軸からの間隔が大きくなるに連れ最大値(24)に向かって上昇し、

前記屈折率は前記主放射軸からの間隔が大きくなるに連れ、前記最大値(24)から前記主放射軸の領域における屈折率よりも低い値へと低下し、前記屈折率プロフィール(111, 211, 511)は前記最大値(24)から出発して前記主放射軸に向かう方向においては、前記主放射軸から離れる方向よりも緩慢に低下することを特徴とする、発光素子。

【請求項5】

前記発光素子はエッジ発光型の半導体レーザ素子として実施されており、電子および正孔は前記活性領域においてビームを放射しながら再結合する、請求項4に記載の発光素子。

【請求項6】

前記屈折率プロフィールは、前記主放射軸の両側において、主放射軸からの間隔が大きくなるに連れ最大値に向かって上昇する、請求項4または5記載の発光素子。

【請求項7】

前記屈折率プロフィールは、前記主放射軸から出発して、連続的に最大値に向かって上

10

20

30

40

50

昇する、請求項 4 から 6 までのいずれか 1 項記載の発光素子。

【請求項 8】

前記近接場は輝度分布 (300) を有し、該輝度分布 (300) には輝度経過曲線の下方に広がる最大面積 (301) を有する矩形が対応付けられており、該最大面積 (301) を有する矩形は前記近接場の前記輝度経過曲線の下の総面積の少なくとも 50% を占める、請求項 4 から 7 までのいずれか 1 項記載の発光素子。

【請求項 9】

前記近接場は輝度分布 (300) を有し、該輝度分布 (300) には輝度経過曲線の下方に広がる最大面積 (301) を有する矩形が対応付けられており、該最大面積 (301) を有する矩形は前記近接場の前記輝度経過曲線の下の総面積の少なくとも 60% を占める、請求項 4 から 7 までのいずれか 1 項記載の発光素子。

10

【請求項 10】

別の屈折率プロフィール (511) が、前記半導体ボディ (2) の半導体層列の主延在面に沿って延びる横断方向において、孔 (4) を用いて形成されている、請求項 4 から 9 までのいずれか 1 項記載の発光素子。

【請求項 11】

ビームを形成するために設けられている別の活性領域 (27) を有し、前記活性領域 (21) において形成されたビームおよび前記別の活性領域 (27) において形成されたビームは共通の横光学モードを有する、請求項 4 から 10 までのいずれか 1 項記載の発光素子。

20

【請求項 12】

前記別の活性領域 (27) は前記屈折率プロフィール (111, 211) に関して、前記主放射軸と該屈折率プロフィール (111, 211) の最大値 (24) の位置との間に配置されている、請求項 11 記載の発光素子。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、発光素子の製造方法ならびに発光素子に関する。

【0002】

エッジ発光型の半導体レーザにおいては、出力結合ファセット側から放射されるビームが殊にこのファセットを損傷させる可能性がある。半導体レーザを破損させるその種の損傷は「(ミラーの) 光学損傷 (COD; Catastrophic Optical Damage)」とも称される。ファセットの領域における最大輝度が高くなればなるほど、その種の損傷の危険が高まる。

30

【0003】

本発明の課題は、高出力においてもミラーの損傷の危険が低減されている固体レーザを製造する方法を提供することである。さらに、その種のレーザが提供されるべきである。

【0004】

この課題は、独立請求項に記載されている方法ないし発光素子によって解決される。有利な実施形態および発展形態は従属請求項に記載されている。

40

【0005】

1 つの実施形態によれば、発光素子を製造する方法において、近接場のフィールド経過が素子の主放射軸に対して垂直に延びる方向に設定される。近接場のフィールド経過から、この方向に沿って屈折率プロフィールが求められる。殊にこの屈折率プロフィールが計算される。素子に関して構造が求められ、その結果、素子は事前に決定された屈折率プロフィールを有する。素子は事前に決定された構造に従い形成される。

【0006】

すなわち、素子の屈折率プロフィールは所期のように近接場の所定のフィールド経過に適合されて形成される。換言すれば、所定の近接場から屈折率プロフィールが以下のように計算される。すなわち、この屈折率プロフィールを有するように形成された構成素子が

50

近接場の所定のフィールド経過を有するか、素子がこの所定のフィールド経過に近似する少なくとも1つの実際のフィールド経過を有するように計算される。殊に、高い均一性を有する近接場のフィールド経過を達成することができる。光学的な総出力が同じである場合には、フィールド経過の均一性が高くなればなるほど、共振器境界面において生じる局所的な最大光学フィールド密度を一層低くすることができる。つまり、破壊的なミラー損傷に起因する素子の破損の危険を低減することができる。

【0007】

近接場とは、発光素子においてビームを生成するために設けられている活性領域と相互作用する、および/または、主として放射方向において、形成されるビームの真空波長の領域、殊に真空波長以下の領域にある活性領域からの間隔を空けて放射されるビームのフィールド分布と解される。素子の共振器境界面、例えば半導体レーザのファセットにおけるフィールド分布も考慮することができる。

10

【0008】

有利な実施形態においては、屈折率プロファイルが近接場からの以下の比例関係を用いて決定される：

$$n \sim [(n_{eff}^2 k^2 E_N(z) - E_N''(z)) / (k^2 E_N(z))]^{1/2}$$

ここで、 z 軸は素子の主放射軸に対して垂直に延在している。主放射軸は z 軸の 0 点を通過して延在している。 $E_N(z)$ は近接場の電磁場であり、 $E_N''(z)$ はその 2 次導関数であり、 k は電磁ビームの波長ベクトルであり、 n_{eff} は実効屈折率である。

【0009】

20

別の有利な実施形態においては、近接場の所定のフィールド分布に関して以下の比例関係が成り立つ：

$$E_N(z) \sim \exp[-(z/d)^m]$$

ここで、 m は 2 より大きい偶数であり、 d は近接場の所定のフィールド分布の幅に関する尺度である。この関数はトップハット (TopHat) 関数とも称される。 $m = 2$ が与えられることになるガウス関数に比べて、トップハット関数はより急峻な側縁を特徴とし、この側縁は指数 m が大きくなればなるほど急峻な勾配を有するようになる。さらにトップハット関数は、 $z = 0$ 付近の比較的大きい指数 m を有する $z < d$ の領域においては一層強く生じるプラトー状の経過を有する。

【0010】

30

有利な実施形態においては、発光素子が半導体層列を備えた半導体ボディを有し、この半導体層列はさらに有利にはビームを形成するために設けられている活性領域を有する。半導体層列を備えた半導体ボディは有利にはエピタキシャルに、例えば MBE または MOVPE により析出される。

【0011】

有利な実施形態においては、活性領域の少なくとも一方の側に配置されているフィールド成形層を素子が有する。殊に、屈折率プロファイルをフィールド成形層によって形成することができる。

【0012】

さらに有利には、屈折率プロファイルは少なくとも部分的に、半導体層列を備えた半導体ボディ内に延在する。

40

【0013】

別の有利な実施形態においては、屈折率プロファイルが適切な材料組成により垂直方向に沿って、すなわち半導体ボディの半導体層列についての析出方向に沿って形成される。

【0014】

有利には、半導体層列の半導体層は少なくとも部分的に、三元、四元または五元の化合物半導体を含む。この種の化合物半導体において、材料の屈折率を材料組成により簡単に調整することができる。すなわち異なる屈折率を有する半導体層を析出することによって、事前に求められた屈折率を有する半導体ボディを形成することができる。半導体層内の屈折率は必ずしも一定である必要はない。例えば、半導体層の屈折率は勾配を有して

50

いてもよく、また段階的に増大または低減してもよい。

【0015】

択一的に、屈折率プロファイルは横断方向に沿った、すなわち半導体ボディの半導体層の主延在面に延びる方向に沿った素子、殊に半導体ボディの構造化により形成することができる。このようにして、近接場を横断方向において成形することができる。屈折率プロファイルは有利には主放射軸に対して垂直に延在する。

【0016】

構造化を例えば孔によって形成することができる。これらの孔を半導体ボディ内に延在させることができる。

【0017】

別の有利な実施形態においては、近接場のフィールド経過が素子の主放射軸に対して垂直に延びる別の方向に沿って設定される。すなわち、近接場を相互に斜めであるか相互に垂直である軸に沿って設定することができる。この別の方向に沿った近接場の所定のフィールド経過に基づき、主放射軸に対して垂直に、また屈折率プロファイルに対して斜めまたは垂直に別の屈折率プロファイルを求めることができる。この場合、屈折率プロファイルは第1の軸に対して平行に延在し、別の屈折率プロファイルは第2の軸に対して平行に延在する。続いて、素子が事前に決定された別の屈折率プロファイルを有するように素子の構造を求めることができる。

【0018】

別の屈折率プロファイルも同様に、屈折率プロファイルと関連させて説明した式に従い、所定の近接場から計算することができる。

【0019】

求められた別の屈折率プロファイルを殊に半導体ボディの構造化により、横断方向において、また主放射軸に対して垂直に延びる方向において変更することができる。

【0020】

有利な実施形態においては、屈折率プロファイルが半導体ボディの半導体層列についての析出方向に沿った適切な材料組成により形成され、また別の屈折率プロファイルが素子内、殊に半導体ボディ内の孔により形成される。殊に、孔をフィールド成形層内に延在させることができる。つまり、近接場をフィールド成形層により垂直方向に沿って、また孔によって横断方向に沿って成形することができる。

【0021】

孔を半導体層列を有する半導体ボディの材料の除去により、例えば機械的および/または化学的に、例えば湿式エッチングまたは乾式エッチングにより形成することができる。

【0022】

孔を続けて少なくとも部分的に、この孔が形成されている材料よりも高い屈折率または低い屈折率を有する材料によって充填することができる。

【0023】

充填を例えばエピタキシャル成長によって行うことができる。エピタキシャル充填材料の材料組成を介して、屈折率を広範な限界において変更することができる。

【0024】

択一的または付加的に、孔を蒸着またはスパッタリングによって充填することもできる。この場合、エピタキシャル成長の付加的なプロセスを省略することができる。例えば、充填材料は誘電性の材料、例えば酸化物、窒化物または酸窒化物を含有することができる。

【0025】

実施形態によれば、ビームを形成するために設けられている活性領域を備えた発光素子は主放射軸を有し、またこの主放射軸に対して垂直に屈折率プロファイルを有する。屈折率プロファイルは、この屈折率プロファイルに基づいて素子の動作時に形成されるビームの近接場のフィールド分布がガウス形状のフィールド分布よりも高い均一性を有するように実施されている。

10

20

30

40

50

【 0 0 2 6 】

比較的高い均一性は屈折率プロファイルの所期のような形成によって、結果として生じる近接場が所定の均一な近接場に相当するか、少なくとも近似するようにして達成される。これによって、殊に主放射軸に対して垂直に延び、例えばミラー面および/またはビーム通過面として使用することができる共振器境界面におけるビーム密度を殊に均一に形成することができる。換言すれば、共振器境界面に生じるビーム総出力をより良好に共振器境界面にわたり分散させることができる。すなわち、生じる最大の局所的なビーム出力密度を同一のビーム総出力において低減させることができる。その結果、殊に最大ビーム出力密度の箇所において生じる可能性がある、ビームに起因する共振器境界面の損傷の危険を低減することができる。

10

【 0 0 2 7 】

殊に、生じる最大ビーム出力密度を、ビームが入射する面積を拡大する必要なく低減することができる。面積の拡大に起因する高い閾値電流および高い直列抵抗を、殊に拡大された導波体を備えたレーザとは異なり、低減することができる。拡大された導波体を備えたその種のレーザはLOC (large optical cavity) レーザまたはSLOC (superlarge optical cavity) レーザとも称される。比較的高次の横光学モードが不所望に頻繁に発生することも、このレーザに比べて簡単に回避することができ、また少なくとも低減することができる。単一モードの動作も簡単になる。

【 0 0 2 8 】

有利な実施形態においては、屈折率プロファイルが主放射軸から出発して主放射軸の少なくとも一方の側、有利には両側において、主放射軸からの間隔が大きくなるに連れ少なくとも局所的な最大値に向かって上昇する。近接場のフィールド成形を殊に効果的に行うことができる。最大値は局所的または包括的な最大値である。

20

【 0 0 2 9 】

別の実施形態によれば、ビームを生成するために設けられている活性領域を備えた発光素子は主放射軸を有し、また主放射軸に対して垂直に屈折率プロファイルを有する。屈折率プロファイルは主放射軸から出発して少なくとも主放射軸の一方の側において、主放射軸からの間隔が大きくなるに連れ最大値に向かって上昇する。

【 0 0 3 0 】

この種の素子においては、放射されるビームは近接場において殊に均一なフィールド分布を有することができる。

30

【 0 0 3 1 】

別の実施形態の有利な構成においては、屈折率プロファイルは、この屈折率プロファイルに基づいて素子の動作時に形成されるビームの近接場のフィールド分布がガウス形状のフィールド分布よりも高い均一性を有するように実施されている。ビーム通過面における光学的な最大出力密度を低減することができる。

【 0 0 3 2 】

均一な近接場とは、特定の領域において可能な限り一定の輝度分布を有しており、さらには所定の閾値を下回らない近接場であると解される。ビーム通下面にわたるビーム総出力の分布が均一になればなるほど、光学的な最大ビーム密度を同一の任意のビーム総出力において、また同一の任意の通下面の大きさにおいて一層低減することができる。

40

【 0 0 3 3 】

近接場の均一性に関する尺度として、殊に近接場の輝度経過の曲線の下に広がる最大面積を有する矩形の面積を使用することができる。この場合、近接場は主放射軸との間隔 z の関数としての発光素子から放射されるビームの輝度である。ガウス状のフィールド分布を有する近接場の場合、最大矩形面積は48.4%である。

【 0 0 3 4 】

近接場が殊に放射通過面の位置においてガウス状のフィールド分布よりも高い均一性を有する発光素子は殊に高出力、有利には100mW以上に殊に適している。

【 0 0 3 5 】

50

有利な実施形態においては、近接場の輝度経過の曲線の下に広がる最大面積を有する矩形は、近接場の輝度経過の曲線の下に広がる総面積の少なくとも50%、殊に有利には少なくとも60%、最も有利には少なくとも65%を占める。面積が大きくなればなるほど、局所的に発生する最大出力密度を同一の光学的な総出力において一層小さくすることができる。輝度経過は屈折率プロフィールに平行に延びる方向に沿った近接場の経過である。

【0036】

別の有利な実施形態において、屈折率は主放射軸からの間隔が大きくなるに連れ、最大値から主放射軸の領域における屈折率よりも小さい値へと低下する。

【0037】

有利な実施形態においては、屈折率プロフィールは主放射軸について対称的、または少なくとも十分に対称的に形成されている。所定の経過に応じた近接場の成形を簡単に達成することができる。

10

【0038】

有利な実施形態においては、屈折率プロフィールが最大値から出発して主放射軸に向かう方向においては、主放射軸から離れる方向よりも緩慢に低下する。

【0039】

さらに有利には、屈折率プロフィールは少なくとも部分的に、偶数の指数（但し、0も偶数と見なされる）を有する多項式からの平方根に従い成形されている。殊に多項式は式 $A + B * z^2 - C * z^4$ を有し、ここでA、BおよびCは正の係数であり、 z は偶数の正の数である（但し、 $z > 0$ ）。その種の多項式の経過は値Aから出発して間隔 z が大きくなるに連れ先ず連続的に最大値へと上昇し、続いて比較的大きく下降する。

20

【0040】

指数 n のトップハット関数に従い成形された近接場経過に関して、上記の多項式からの平方根は屈折率プロフィールに関する解析的な解を表すので、以下の関係が得られる。

$$n(z) = (A + B * z^2 - C * z^4)^{1/2}$$

【0041】

例えば、 $n = 4$ のトップハット関数により多項式の指数 $n = 2$ および $n = 6$ が得られ、他方では $n = 8$ のトップハット関数により指数 $n = 6$ および $n = 14$ が得られる。

【0042】

係数Aは実効屈折率の平方、すなわち n_{eff}^2 から求めることができる。係数BおよびCを式

$$B = (n_{eff}^2 - n_{eff}^2) / [k_{eff}^2 d^2] \quad \text{および}$$

$$C = n_{eff}^4 / [k_{eff}^2 d^2]$$

により決定することができる。実効波数 k_{eff} は伝播するビームの真空波長 λ_0 と式 $k_{eff} = 2\pi n_{eff} / \lambda_0$ により関連付けられている。

30

【0043】

殊に、屈折率プロフィールは有利には、光学的なモードのフィールドが横断方向において顕著な重畳部を有している範囲において前述の経過と一致する。光学的なモードの末端部がさらに延在している領域においては屈折率をそれとは異なるように形成することもできる。

40

【0044】

本明細書の範囲において、屈折率プロフィールとは、電磁ビームフィールドの成形に関して重要なスケールでの屈折率の基本経過であると解される。殊に半導体レーザにおいては、接している層とは異なる屈折率を有する薄い層はフィールド成形に実質的に影響を及ぼさず、したがって屈折率プロフィールに関して考慮する必要はない。この意味における薄い層は、キャリアの量子化効果を生じさせることができるほどに薄い半導体レーザの活性領域の量子層である。その種の量子層の厚さは大抵の場合20nmを下回る。

【0045】

したがって、1つまたは複数の量子層を備えた活性領域が一定の材料組成を有する導波

50

体内に埋め込まれている半導体レーザは、量子層の屈折率が導波体の境界を成す材料の屈折率とは異なる場合でも導波体内に一定の屈折率プロフィールを有する半導体レーザと見なされる。

【0046】

導波体の領域において一定の屈折率プロフィールを有するその種の半導体レーザは、 $\sin^2(z)$ または $\cos^2(z)$ に比例する経過を有する合成近接場を有する。間に導波体が延在している被覆層へと延びる近接場の末端部と共に、ガウス状のフィールド分布に十分相当する経過が生じる。さらに、指数的に減少する近接場が活性領域の相互に間隔を空ける量子井戸によっても生じる可能性がある。その種の半導体レーザでは近接場の均一性が比較的低いことに基づき破壊的なミラー損傷の危険が高まっている。

10

【0047】

有利な実施形態においては、屈折率プロフィールがフィールド成形層によって形成されており、これらのフィールド成形層は活性領域の少なくとも一方の側、有利には活性領域の両側に配置されている。さらに有利には、屈折率プロフィールの最大値はフィールド成形層内に形成されている。

【0048】

有利な実施形態においては、活性領域が被覆層間に配置されている。被覆層は有利には、主放射軸の領域における屈折率よりも低い屈折率を有する。

【0049】

さらに有利には、フィールド成形層が被覆層の間に配置されている。フィールド成形層の屈折率は好適には少なくとも部分的に被覆層の屈折率よりも高い。つまり、活性領域において形成されたビームの横断方向の拡張を被覆層間の領域に少なくとも十分に限定することができる。

20

【0050】

有利な実施形態においては、素子が半導体層列を備えた半導体ボディを有する。活性領域は有利には半導体ボディ内に形成されている。さらに、フィールド成形層も少なくとも部分的に半導体ボディ内に形成することができる。さらに被覆層を半導体ボディ内に集積することができるか、完全に、または部分的に半導体ボディ外に配置することができる。

【0051】

有利には、屈折率プロフィールを完全に、または少なくとも部分的に半導体ボディ内に形成することができる。近接場のフィールド成形を少なくとも十分に半導体ボディ内で行うことができる。

30

【0052】

実施形態の1つのヴァリエーションにおいては、屈折率プロフィールが半導体ボディの半導体層の主放射方向に対して垂直に延在している。すなわち、屈折率プロフィールは半導体ボディの半導体層の析出方向に沿って延びている。

【0053】

別の有利な実施形態においては、フィールド成形層がそれぞれ1つの化合物半導体材料を含有している。さらに有利には、屈折率プロフィールが化合物半導体材料の組成の変更により調整されている。すなわち、屈折率と材料組成の関係に基づき、求められた屈折率プロフィールから、そのために必要とされるプロフィールを材料組成に関して決定することができる。この材料成分の相対的な変更は主放射軸付近の領域と最大値付近の領域との間において、有利には1%~40%、殊に有利には5%~15%である。

40

【0054】

別の有利な実施形態においては、屈折率プロフィールの最大値がフィールド成形層の内の1つにおいて形成されている。近接場のフィールド成形が簡単になる。

【0055】

実施形態の1つの別のヴァリエーションにおいては、屈折率プロフィールが半導体ボディの半導体層の主延在面内に延在している。つまり、動作時に形成されるビームの近接場を横断方向において所期のように成形することができる。

50

【0056】

横断方向に延びるその種の屈折率プロファイルを例えば孔によって形成することができる。これらの孔を半導体ボディ内に延在させることができる。

【0057】

有利な実施形態においては、発光素子が主放射軸に対して垂直に、また屈折率プロファイルに対して垂直に別の屈折率プロファイルを有する。この別の屈折率プロファイルにより、第2の空間方向に沿った、殊に半導体ボディ内の近接場のフィールド分布の所期の成形を達成することができる。共振器境界面、例えばビーム通過面にわたるビーム総出力の面状の均一な分布が簡単になる。これによって光学的なミラー損傷の危険が十分に低減される。

10

【0058】

別の屈折率プロファイルは、屈折率プロファイルと関連させて挙げた特徴の内の少なくとも1つを有する。

【0059】

別の有利な実施形態においては、屈折率プロファイルが半導体ボディの半導体層の主延在方向に対して垂直に延び、また別の屈折率プロファイルは孔によって形成されている。

【0060】

孔は有利には半導体ボディ内、殊に成形層内に延在している。さらに孔を活性領域の主延在面に平行に延びる半導体ボディの表面からこの半導体ボディへと延在させることができる。

20

【0061】

孔によって、主放射軸に平行に発振するビームに関して、この方向に沿った平均屈折率を調整することができる。

【0062】

有利な実施形態においては、孔が少なくとも部分的に充填材料によって充填されている。充填材料は孔が形成されている材料、例えば孔に接している半導体材料よりも低い屈折率を有することができる。半導体材料の屈折率と比較すると、平均屈折率を孔によって所期のように変更することができ、殊に、局所的に低下させることができる。

【0063】

択一的に、充填材料は孔が形成されている材料、例えば孔に接している半導体材料よりも高い屈折率を有することができる。半導体材料の屈折率と比較すると、平均屈折率を孔によって所期のように変更することができ、殊に、局所的に増加させることができる。

30

【0064】

孔を活性領域の一方の側にのみ、または活性領域の両側に形成することができる。有利には、活性領域に孔は設けられていない。活性領域内での効果的なビーム形成をより良好に達成することができる。

【0065】

別の有利な実施形態においては、素子がビームの形成のために設けられている別の活性領域を有する。つまり素子から放射されるビーム総出力を高めることができる。

【0066】

活性領域と別の活性領域との間にトンネル領域を形成することができる。このトンネル領域を用いて、活性領域および別の活性領域を相互に電氣的に直列に接続することができる。トンネル領域は有利には2つの半導体層によって形成されており、これらの半導体層はそれぞれ相互に反対の符号で高ドープに実施することができる。有利には、ドープ濃度はそれぞれ少なくとも 10^{18} cm^{-3} 、殊に有利には少なくとも 10^{19} cm^{-3} である。

40

【0067】

活性領域において形成されたビームと別の活性領域において形成されたビームは1つの共通の横光学モードを有することができる。すなわちこのビーム成分をコヒーレントに結合することができる。

【0068】

50

実施形態のヴァリエーションにおいては、別の活性領域が屈折率プロフィールに関して主放射軸と屈折率プロフィールの最大値の位置との間に配置されている。つまり共通の横モードの成形が簡単になる。

【0069】

実施形態の択一的なヴァリエーションにおいては、屈折率プロフィールの最大値の位置が活性領域と別の活性領域との間に配置されている。活性領域と別の活性領域との間に別の被覆層を配置することができる。別の被覆層の厚さによって光学的な結合の強度を調整することができる。トンネル領域を別の被覆層内に形成することができる。活性領域において形成されたビームのトンネル領域内での吸収を十分に低減することができる。

【0070】

この場合、有利には別の活性領域に別の主放射軸が対応付けられており、主放射軸とは反対側の面における屈折率プロフィールは別の主放射軸から出発して、この別の主放射軸からの間隔が大きくなるに連れ別の最大値に向かって上昇する。

【0071】

別の主放射軸に関係する屈折率プロフィールの経過は、主放射軸に関係する屈折率プロフィールの経過と関連させて説明した特徴の内の少なくとも1つを有する。

【0072】

さらに、別の活性領域には別のフィールド成形層を対応付けることができる。活性領域に対応付けられているフィールド成形層と、別の活性領域に対応付けられている別のフィールド成形層とを同様に構成することができる。これとは異なり、フィールド成形層および別のフィールド成形層を相互に異なるように構成することができ、殊に活性領域ないし別の活性領域に適合させることができる。ここで、活性領域および別の活性領域は異なる波長のビームを放射するために設けることもできる。

【0073】

活性領域および/またはフィールド成形層は有利には化合物半導体材料、殊に有利にはIII-V族化合物半導体材料、殊に材料の組み合わせ(AlInGa)(AsPNSb)、すなわち周期表の第3族に由来する前述の元素の内の少なくとも1つと、周期表の第5族に由来する前述の元素の内の少なくとも1つとの組み合わせを含有する。材料を殊に $Al_xIn_yGa_{1-x-y}As$ 、 $Al_xIn_yGa_{1-x-y}P$ 、 $Al_xIn_yGa_{1-x-y}N$ および $Al_xIn_yGa_{1-x-y}Sb$ (但し、それぞれ $0 < x < 1$ 、 $0 < y < 1$ 且つ $x + y < 1$)からなるグループから選択することができる。これらの材料により、紫外線から可視光にわたり赤外線にまで及ぶスペクトル領域のビームを所期のように形成することができる。

【0074】

近接場を均一化し、それによって共振器表面の光学的な損傷の危険を低減するための屈折率プロフィールの前述の構成は基本的に全てのコヒーレントなエミッタに適用することができる。

【0075】

有利には発光素子がエッジ発光型の半導体レーザ素子として実施されている。エッジ発光型の半導体レーザ素子においては、主放射軸が半導体ボディの半導体層の主延在面に平行に延びる。

【0076】

面発光型の半導体レーザ素子、例えばVCSEL(vertical cavity surface emitting laser)、VECSEL(vertical external cavity surface emitting laser)またはディスクレーザ(disk laser)として発光素子を実施することも考えられる。面発光型の半導体レーザ素子においては、素子の主放射方向が半導体ボディの半導体層の主延在面に垂直に延びる。

【0077】

上述の方法は発光素子の製造に殊に適している。したがって発光素子と関連させて説明した特徴は方法に対しても利用することができ、またその逆も当てはまる。

【0078】

10

20

30

40

50

さらなる特徴、有利な実施形態および有効性は図面と関連させた以下の実施例の説明より明らかになる。

【図面の簡単な説明】

【0079】

【図1A】発光素子を製造するための方法についての第1の実施例の中間ステップに関する所定の近接場のフィールド分布 $E(z)$ を示す。

【図1B】発光素子を製造するための方法についての第1の実施例の中間ステップに関する屈折率プロファイル $n(z)$ を示す。

【図1C】発光素子を製造するための方法についての第1の実施例の中間ステップに関する材料組成のプロファイルを示す。

【図1D】発光素子を製造するための方法についての第1の実施例の中間ステップに関する発光素子の概略的な断面図を示す。

【図2A】発光素子を製造するための方法についての第1の実施例の中間ステップに関する所定の近接場のフィールド分布 $E(z)$ を示す。

【図2B】発光素子を製造するための方法についての第1の実施例の中間ステップに関する屈折率プロファイル $n(z)$ を示す。

【図2C】発光素子を製造するための方法についての第1の実施例の中間ステップに関する材料組成のプロファイルを示す。

【図2D】発光素子を製造するための方法についての第1の実施例の中間ステップに関する発光素子の概略的な断面図を示す。

【図2E】発光素子を製造するための方法についての第1の実施例の中間ステップに関する屈折率および材料組成の所属の経過を表の形態で表したものである。

【図3A】主放射方向との間隔 z の関数としての第2の実施例によるオプトエレクトロニクス素子に関する近接場の輝度分布 I を示す。

【図3B】主放射方向との間隔 z の関数としてのガウス状の分布による近接場の輝度分布 I を示す。

【図4A】図4Bに示す発光素子に関する屈折率プロファイルの定性的な経過を示す。

【図4B】第3の実施例による発光素子の断面図を示す。

【図5A】発光素子の第4の実施例の概略的な平面図および所属の定性的な屈折率プロファイルを示す。

【図5B】発光素子の第5の実施例の概略的な平面図および所属の定性的な屈折率プロファイルを示す。

【0080】

同一、同種の素子また同様に作用する素子には図面において同一の参照番号が付されている。

【0081】

これらの図面はそれぞれ概略的に示されたものに過ぎず、したがって必ずしも縮尺通りに示されたものではない。むしろ、比較的小さい構成素子、また殊に層厚は分かりやすくするために誇張して大きく示されている。

【0082】

図1Aは、発光素子の主放射軸からの間隔 z の関数としての、発光素子に設定された所定の近接場のフィールド分布 E の経過を示す。すなわち、 z 軸は発光素子が動作時にビームを放射する方向に対して垂直に延びている。近接場はこの実施例において $n = 4$ のトップハット関数の経過を有する。

【0083】

すなわち、ガウス状の分布に比べて、この所定のフィールド分布は均一性がより高い点において優れている。

【0084】

所定の近接場経過から、この所定の近接場経過を生じさせる屈折率プロファイルを計算することができる。

10

20

30

40

50

【 0 0 8 5 】

図 1 に示されている、 $n = 4$ のトップハット関数に関して、屈折率プロファイル $n(z)$ を解析的に決定することができ、パラメータ A 、 B および C は上記の値を有している次式が得られる：

$$n(z) = (A + B * z^2 - C * z^6)^{1/2}$$

相応の経過は図 1 B に示されている。

【 0 0 8 6 】

主放射軸から出発して屈折率プロファイルは差し当たり連続的に増大し、主放射軸の両側においてそれぞれ最大値 2.4 へと上昇する。続いて、屈折率プロファイルは比較的大きく減少し、主放射軸の領域における屈折率プロファイルに関する値を下回る値を取る。

10

【 0 0 8 7 】

そのようにして求められた屈折率経過を材料組成の経過に換算することができる。この換算は素子に関してその都度予定されている材料に依存する。

【 0 0 8 8 】

図 1 C においては、 $Al_xGa_{1-x}As$ を基礎とする半導体層列に関するアルミニウム含有量 x の経過が例示的に示されている。すなわち、図 1 C に応じて形成されたアルミニウム含有量に関するプロファイルを用いて、図 1 B に示した屈折率プロファイルを変更することができる。 $Al_xGa_{1-x}As$ では、アルミニウム含有量 x の増加と共に屈折率は低下する。相応に、アルミニウム含有量は屈折率に関する最大値の個所において最小値を有する。

20

【 0 0 8 9 】

材料組成の相対的な変化は主放射軸付近の領域と最大値付近の領域との間において、有利には 1% ~ 4%、殊に有利には 5% ~ 15% である。つまり、発光素子の電気的な特性は材料組成の変更では取るに足らない程度の影響しか受けない。

【 0 0 9 0 】

素子に関してそのようにして求められた構造に基づき素子を形成することができる。

【 0 0 9 1 】

図 1 A に示されている近接場のフィールド経過のように、近接場は実際のところ、主放射軸付近で $-2 \mu m \sim +2 \mu m$ の範囲において 0 とは異なる値を有する。換言すれば、この領域外のフィールド強度は無視することができる。したがって製造すべき発光素子においては、この領域においてのみ屈折率プロファイル、したがってそこから算出される材料組成の経過を変更すれば十分である。比較的大きい z の値に関して、近接場の輝度は算出される屈折率プロファイルの可能な限り正確に再現できない程低い。

30

【 0 0 9 2 】

図 1 D には、この種の発光素子 1 の概略的な断面図が示されている。発光素子は半導体層列を備えた半導体ボディ 2 を有する。半導体層列は半導体ボディを形成し、また有利にはエピタキシャルに例えば MOVPE または MBE により製造されている。半導体ボディ 2 の半導体層列は支持体 2.9 上に配置されている。支持体 2.9 として、半導体ボディの半導体層列が析出された成長基板が考えられる。これとは異なり、支持体は成長基板とは異なるものでもよい。この場合、支持体は成長基板に課される高い要求、殊に結晶純度に関する要求を満たしている必要はなく、むしろ支持体を他の特性に関して、例えば熱伝性または導電性および/または機械的な安定性に関して選択することができる。

40

【 0 0 9 3 】

半導体ボディは活性領域 2.1 を有し、この活性領域 2.1 は半導体ボディの動作時に有利にはコヒーレントなビームを形成するために設けられている。活性領域の両側にはそれぞれ 1 つのコンタクト層 3.1 ないし別のコンタクト層 3.2 が配置されている。これらのコンタクト層は有利には半導体ボディ 2 の外部との電気的な接触接続のために使用される。コンタクト層は有利には金属性であり、例えば Au, Ti, Pt, Al または Ag を含有することができる。発光素子の動作時にキャリアを 2 つの異なる側からコンタクト層 3.1 および 3.2 を介して活性領域に注入することができ、キャリアはこの活性領域においてビー

50

ムを放射しながら再結合する。

【0094】

活性領域21の両側にはそれぞれ1つのフィールド成形層22が配置されている。フィールド成形層22の活性領域側とは反対側には被覆層26がそれぞれ配置されている。被覆層は有利には、フィールド成形層22の屈折率よりも低い屈折率をそれぞれ有している。

【0095】

被覆層は例えば約1000nmの厚さを有することができ、またそれぞれ $Al_xGa_{1-x}As$ （但し、有利には $x=0.40$ 、殊に有利には $x=0.55$ ）を含有することができ、さらにアルミニウム含有量の値は $x=0.75$ であってもよい。被覆層26のアルミニウム含有量は有利には、主放射軸の領域におけるフィールド成形層22のアルミニウム含有量よりも高い。

10

【0096】

半導体ボディ内で励起されるビームの大部分を垂直方向において、すなわち半導体層の主延在面に対して垂直な方向において被覆層26間の領域に限定することができる。

【0097】

図示されている実施例とは異なり、被覆層を完全にまたは少なくとも部分的に半導体ボディの外側に配置することもできる。例えば、被覆層を半導体ボディ2上に析出されている誘電層によって形成することができる。

【0098】

さらに半導体ボディ2は、横断方向において、すなわち半導体ボディ2の半導体層の主延在方向に沿う方向において半導体ボディ2を境界付ける側面20を有する。半導体ボディ2の側面20の内の少なくとも1つは発光素子1の動作時に形成されるコヒーレントなビームを出力結合するために設けられており、したがってビーム通過面として使用される。この場合、発光素子1はエッジ発光型の半導体レーザ素子として実施されている。

20

【0099】

側面20を例えば化学的に、例えば湿式エッチングまたは乾式エッチングによって、または機械的に割るか折ることによって作製することができる。

【0100】

活性領域21に関しては基本的に、電磁ビームを形成することができる全ての半導体材料が適している。

30

【0101】

有利には、発光素子1、殊に活性領域21および/またはフィールド成形層22がIII-V族化合物半導体材料、殊に材料の組み合わせ($AlInGa$)($AsPNSb$)から成るIII-V族化合物半導体材料を含有する。化合物半導体材料は、周期表の第3族に由来する前述の元素の内の少なくとも1つと、周期表の第5族に由来する前述の元素の内の少なくとも1つを含有する。

【0102】

III-V族半導体材料は、紫外線スペクトル領域($Al_xIn_yGa_{1-x-y}N$)から、可視スペクトル領域($Al_xIn_yGa_{1-x-y}N$ 、殊に青色から緑色の放射に対して、または $Al_xIn_yGa_{1-x-y}P$ 、殊に黄色から赤色の放射に対して)にわたり赤外線スペクトル領域($Al_xIn_yGa_{1-x-y}As$ 、 $Al_xIn_yGa_{1-x-y}Sb$)までのスペクトル領域におけるビームの形成に殊に適している。ここではそれぞれ、 $0 < x < 1$ 、 $0 < y < 1$ および $x + y < 1$ 、殊に $x = 1$ 、 $y = 1$ 、 $x = 0$ および/または $y = 0$ が適用される。殊に上記の材料系からのIII-V半導体材料により、ビーム形成の際に有利には高い内部量子効率を達成することができる。

40

【0103】

活性領域21は有利には量子構造を含む。量子構造は1つの量子層または2つ以上の量子層を有することができる。

【0104】

50

本願明細書の範囲において量子構造の概念には、キャリアの閉じ込め（「confinement」）によってそのエネルギー状態が量子化されるあらゆる構造を含む。殊に量子構造の概念には量子の次元に関する規定は含まれない。したがって量子構造には、例えば、量子箱、量子細線、量子点およびこれらの構造のあらゆる組み合わせが含まれる。

【0105】

近赤外線、例えば1 μm の放射波長での放射に関して、例えば、10 nmの厚さを有し、 $\text{In}_{0.14}\text{Ga}_{0.86}\text{As}$ を基礎とする量子層を備えた活性領域が適している。殊に、層厚および/またはインジウム含有量の変更によって、活性領域において形成されるビームのピーク波長を調整することができる。

【0106】

好適には、活性領域の一方の側においてこの活性領域21に接している半導体層はn型にドーピングされており、活性領域の他方の側においてこの活性領域21に接している半導体層はp型にドーピングされている。例えば、活性領域21と支持体29との間に配置されている半導体層をn型にドーピングし、活性領域の支持体29側とは反対側に配置されている半導体層をp型にドーピングすることができる。キャリア、すなわち電子と正孔を簡単に活性領域21の両側から注入し、活性領域21においてビームを放射しながら再結合させることができる。

【0107】

支持体29は好適には導電性である。半導体材料、例えばGaAs, Ge, SiまたはGaPを基礎とする支持体では、支持体が好適には、この支持体29と活性領域21との間に配置されている半導体層22, 26と同じ導電型にドーピングされている。

【0108】

これとは異なり、支持体が導電性に構成されていなくてもよい。この場合、別のコンタクト層32が好適には支持体29の活性領域21と対向する側に配置されている。

【0109】

主放射軸は必ずしも活性領域を通して延びている必要はない。活性領域21を屈折率プロファイルの経過に非対称的に、すなわち位置z=0に配置することができる。

【0110】

対称的な配置により、主放射軸の領域において光学的なビーム出力の最大値が生じることを特徴とする奇数次の光学モードと活性領域との比較的大きい重畳部が生じる。この重畳部が大きくなればなるほど、いわゆる閉じ込め係数（confinement factor）が大きくなる。

【0111】

対称的な配置構成によって、偶数モードの抑制が簡単になる。つまり、1次の横モードのみが励起される単一モードの動作を簡単に達成することができる。つまり、上述したように非常に均一な経過を示す1次のモードの近接場とあまり均一でないモードの重畳を回避することができるか、少なくとも低減することができる。

【0112】

活性領域21の非対称的な配置構成においても光学的な基本モードでの動作を達成することができる。

【0113】

高次モードの抑制を被覆層26および/またはフィールド成形層22の外部領域の高ドーピングによって十分に支援することができる。何故ならば、低次のモードに比べて高次のモードは主放射軸からかなり離れた領域とのより大きい重畳部を有するからである。そのようにして生じた損失はこの不所望な高次のモードの励起に関して比較的高い閾値を生じさせる。

【0114】

この実施例において説明した方法によって、屈折率プロファイル111は半導体ボディ2の半導体層列の材料組成が析出方向に沿って、すなわち半導体ボディ2の半導体層の主延在方向に対して垂直に適切に変更されることによって達成される。そのようにして調整

10

20

30

40

50

された屈折率プロファイル 1 1 1 により近接場は所期のように成形される。つまり、側面 2 0 の領域において高い均一性を有する近接場を生じさせることができる。つまり、活性領域において形成されるビームの総出力が同一である場合、側面に生じる光学的な出力密度を低減することができる。したがって、素子を破壊しかねない側面の損傷の危険は低減される。

【 0 1 1 5 】

フィールド成形層 2 2 に関しては、化合物半導体材料の組成の変更により屈折率を調整することができる化合物半導体材料が殊に適している。

【 0 1 1 6 】

このようにして、放射されるビームが近接場においてガウス状の近接場を有する素子よりも高い均一性を有する発光素子を製造することができる。

10

【 0 1 1 7 】

主放射軸との間隔の関数である近接場の輝度経過曲線の下に広がる最大面積を有する矩形は、近接場の輝度経過曲線の下に総面積の有利には少なくとも 5 0 %、殊に有利には少なくとも 6 0 %、最も有利には少なくとも 6 5 % を占める。

【 0 1 1 8 】

この種の発光素子は高出力、例えば 1 0 0 mW 以上、有利には 1 W 以上のレーザとして殊に適している。

【 0 1 1 9 】

発光素子 1 を製造するための方法に関する別の実施例を図 2 A ~ 図 2 E に基づき説明する。この第 2 の実施例は実質的に図 1 A ~ 図 1 D と関連させて説明した第 1 の実施例に対応する。第 1 の実施例とは異なり、近接場 2 0 1 の所定のフィールド分布は $n = 8$ のトップハット関数によって与えられている。図 1 A に示した経過に比べて、フィールド分布はより均一化されている。z = 0 付近のプラトー状の経過特性はより大きく生じている。側縁ではフィールド分布がさらに急速に低下している。

20

【 0 1 2 0 】

図 2 A に示されている近接場 2 0 1 のフィールド経過に関して、ここでもまた、近接場のこの所定の経過を達成することができる屈折率プロファイル 2 1 1 を求めることができる。解析的な解は次式によって得られる：

$$n(z) = (A + B * z^6 - C * z^{14})^{1/2}$$

30

但し、係数 A , B および C は上記の値を取る。

【 0 1 2 1 】

屈折率プロファイル 2 1 1 はここでもまた、屈折率が主放射軸から出発して両側に向かってそれぞれ最大値 2 4 へと上昇する経過を示す。最大値から比較的大きい z 値に向かって屈折率は図 1 B に示したプロファイルよりもさらに大きく減少する。

【 0 1 2 2 】

図 1 B および図 1 C と関連させて説明したように、屈折率プロファイルから所望の材料系においてこの屈折プロファイルのために必要とされる材料組成を求めることができる。材料系 $Al_xGa_{1-x}As$ に関して得られたアルミニウム含有量 x が図 2 C に示されている。屈折率プロファイルの最大値にはここでもまた、アルミニウム含有量の最小値にそれぞれ対応する。

40

【 0 1 2 3 】

図 2 D に示されている発光素子 1 の構造は、図 1 D と関連させて説明した発光素子の構造に実質的に対応する。この素子は殊に、半導体層列の析出方向に沿ったアルミニウム含有量、殊にフィールド成形層 2 2 の領域におけるアルミニウム含有量の屈折率プロファイルおよび所属のプロファイルによって区別される。

【 0 1 2 4 】

フィールド成形層 2 2 の縁部領域においてより大きく生じる最大値を有する上記の屈折率プロファイルにより、より良好な均一性を特徴とする近接場を素子 1 の動作時に達成することができる。側面 2 0 において生じる光学的な最大出力密度は、ビームの総出力が同

50

一である場合に十分に低減させることができる。つまり、破壊的なミラー損傷の危険は一層低減される。

【0125】

フィールド成形層22に関する屈折率 n およびアルミニウム含有量 x の経過が図2Eに表の形態で示されている。主放射軸の位置、すなわち $z = 0$ の位置に活性領域21が配置されている。 $\text{In}_{0.14}\text{Ga}_{0.86}\text{As}$ を基礎とし、10nmの厚さを有する量子層は約3.60の屈折率を有する。しかしながら、薄い層厚に基づき、この量子層は近接場のフィールド分布にとって決定的な屈折率経過に影響を及ぼさない、もしくは無視できる程度の影響しか及ぼさない。したがってこの表において活性領域21の量子層は考慮されていない。

10

【0126】

$z = 0$ から出発して、屈折率は両方向においてそれぞれ最大値へと上昇し、この最大値には $z = \pm 1.75$ において到達し、また約3.38である。これは、主放射軸付近の中央領域における22%のAl含有量が $z = \pm 1.75$ において19%に低減されることによって行われる。続けて、屈折率は $z = \pm 2.3 \mu\text{m}$ で3.05の値に低下し、これは $x = 75\%$ のアルミニウム含有量に相当する。量子層に続く被覆層は有利には、最大でフィールド成形層の縁部における屈折率と同程度の屈折率、この実施例ではすなわち最大で3.05の屈折率を有する。したがってアルミニウム含有量は有利には少なくとも75%であり、100%までの値を取ることができる。

【0127】

図2A～図2Eと関連させて説明した素子の主放射軸までの間隔 z （任意の単位）の関数としての近接場の輝度経過が図3Aに示されている。輝度経過300は約 ± 15 の領域においてプラトー状の経過を示しており、この経過において輝度は実質的に変化しない。破線301は、輝度経過300の下方に広がる最大面積を有する矩形の外縁を形成する。矩形は輝度曲線100の下方に形成される面積の68.8%を覆う。

20

【0128】

比較のために、図3Bにはガウス状の輝度分布310に関する相応の経過が示されている。この場合、最大面積311の矩形の面積は輝度曲線310によって形成される面積の約48.4%である。したがって、図3Aに示された近接場の輝度プロフィールはガウス状の輝度分布よりも著しく高い均一性を有する。

30

【0129】

図4Bには、発光素子の第3の実施例の概略的な断面図が示されている。所属の屈折率プロフィール411は図4Aに示されている。

【0130】

この第3の実施例は実質的に図1Dと関連させて説明した第1の実施例に対応する。図1Dに示した実施例とは異なり、この発光素子は活性領域21の他に別の活性領域27を有する。活性領域および別の活性領域は上下に配置されている。別の活性領域によって素子から放射される光学的なビームの総出力を高めることができる。

【0131】

活性領域21と別の活性領域27との間にトンネル領域28が形成されている。トンネル領域28は別の活性領域27および活性領域21を電氣的に直列に接続するために設けられている。有利には、トンネル領域はトンネル層281、282を有し、これら2つの層は殊に有利には高ドーピングされている。有利には、ドーピング濃度はそれぞれ少なくとも 10^{18}cm^{-3} 、殊に有利には少なくとも 10^{19}cm^{-3} である。

40

【0132】

トンネル層281、282はさらに有利には相互に異なる導電型を有する。つまり、一方のトンネル層はn型にドーピングされており、他方のトンネル層はp型にドーピングされている。

【0133】

さらに、活性領域21と別の活性領域27との間に別の被覆層260が形成されている

50

。この別の被覆層 260 を実質的に被覆層 26 と同様に実施することができる。被覆層の厚さを介して活性領域 21 と別の活性領域 27 との間隔を調整することができる。

【0134】

トンネル領域 28 は有利には別の被覆層 260 に埋め込まれている。この場合、トンネル領域 28 のトンネル層はドーパントを除き、別の被覆層 260 と同一の材料組成を有することができる。被覆層の領域においては屈折率が低いことに基づき近接場の輝度は比較的低い。動作時に形成されるビームのトンネル領域 28 の高ドープされた層による吸収を十分に低減することができる。

【0135】

別の活性領域 27 は別のフィールド成形層 23 間に配置されている。活性領域 21 と別の活性領域 27 はこの実施例において同様に実施されている。

10

【0136】

さらに、フィールド成形層 22 と別のフィールド成形層 23 が同様に実施されている。すなわち別の活性領域によって、主放射軸に平行に別の主放射軸が延びている。別の主放射軸から屈折率は両方向において別の最大値 25 に向かってそれぞれ上昇し、間隔が大きくなると急激に低下する。屈折率プロファイルはフィールド成形層 22 ないし別のフィールド成形層 23 の領域において、図 1B と関連させて説明した屈折率と同様にそれぞれ実施されている。これとは異なり、屈折率プロファイルがこの領域の一方または両方において別の経過、殊に図 2B に示した経過を有していてもよい。

【0137】

20

別の被覆層 260 によって活性領域 21 および別の活性領域 27 は相互に隔てられている。すなわち、活性領域 21 および別の活性領域 27 は相互に十分に独立してコヒーレントなビームを形成することができる。活性領域 21 において形成されたビームと別の活性領域 27 において形成されたビームの結合度は別の被覆層の厚さを介して調整される。別の被覆層の厚さが薄くなればなるほど、これら 2 つの活性領域のコヒーレントな結合は強まる。つまり、被覆層が比較的薄い場合には、活性領域 21 と別の活性領域 27 をコヒーレントに結合することができる。すなわち、活性領域において形成されたビームと別の活性領域において形成されるビームは 1 つの共通の横光学モードを有する。

【0138】

図示されている実施例とは異なり、活性領域および別の活性領域を屈折率プロファイルの 2 つの隣接する最大値の間に配置することができる。この場合、活性領域と別の活性領域との間の別の被覆層を省略することもできる。

30

【0139】

図 5A および図 5B には、発光素子の第 4 の実施例および第 5 の実施例がそれぞれ概略的な平面図で示されている。さらに、これら 2 つの実施例に関して定性的な所属の屈折率プロファイルの経過が示されている。すなわち、これらの屈折率プロファイルは前述の実施例とは異なり横断方向に延びている。

【0140】

付加的に、半導体ボディは垂直方向においても、上記のように垂直方向において表された近接場を均一化することができる屈折率プロファイルを有することができる。半導体層列を備えた半導体ボディ 2 の垂直構造を例えば、それぞれ所属の屈折率プロファイルを有する図 1D、2D または 4B と関連させて説明した実施例と同様に実施することができる。

40

【0141】

半導体ボディ 2 は孔 4 を有し、この孔 4 は側面 20 に対して垂直に延びる表面の側から半導体ボディの内部へと延在している。この場合、半導体ボディの表面は活性領域に平行に延びている。孔はこの表面から活性領域 21 の方向に向かって延在している。有利には、孔は活性領域を通過せずに延在している。つまり、活性領域におけるビームの効果的な形成が簡単になる。これらの孔を活性領域の一方の側から、または両側から活性領域の方向へと延在させることができる。

50

【 0 1 4 2 】

孔 4 は有利には、横断方向において、すなわち主放射軸に対して垂直に、また半導体ボディの半導体層列の析出方向に対して垂直に屈折率プロファイルが生じるように構成および配置されており、この屈折率プロファイルによって横断方向に設定される近接場が生じる。

【 0 1 4 3 】

図 1 D , 2 D または 4 B と関連させて説明した実施例と同様に実施することができる、横断方向における屈折率プロファイルと関連して、近接場を相互に垂直な 2 つの軸に関して所定の経過に応じて成形することができる。殊に、これら 2 つの方向に沿って高い均一性を有する近接場を形成することができる。側面 2 0 を通過するビームを殊に均一に分散させることができる。これにより側面において生じる光学的な最大出力密度を低減させることができる。つまり、破壊的なミラー損傷の危険はさらに低減される。

10

【 0 1 4 4 】

半導体ボディ 2 内には例えば同様の孔 4 が形成されており、主放射軸に平行な平均実効屈折率は素子の製造時に孔の厚さによって調整することができる。

【 0 1 4 5 】

図 5 A に示されている実施例によれば、孔が充填材料 4 0 によって充填されており、この充填材料 4 0 は孔の周囲の材料よりも高い屈折率を有する。孔の密度が高くなればなるほど、主放射軸から所定の間隔を空けた、この主放射軸に平行な平均屈折率は一層高くなる。このようにして、横断方向においては例えば別の屈折率プロファイル 5 1 1 を調整することができ、この別の屈折率プロファイル 5 1 1 では主放射軸から出発して最大値 2 4 0 へと上昇し、続けて降下する。別の屈折率プロファイルを定性的な経過に関して、図 1 B および 2 B と関連させて説明した屈折率経過と同様に実施することができる。

20

【 0 1 4 6 】

孔の充填を例えば、この孔のエピタキシャル成長によって行うことができる。例えば、孔を $Al_xGa_{1-x}As$ 半導体層では、Al 含有量が比較的少なく、したがって比較的高い屈折率を有する $Al_xGa_{1-x}As$ 材料でもって充填することができる。

【 0 1 4 7 】

孔に関して種々の幾何学的な形状が好適である。例えば、孔は円形、楕円および多角形、殊に矩形の基本形状を有することができる。殊に主放射軸に平行に延在することができる溝状の孔も使用することができる。

30

【 0 1 4 8 】

横断方向においては、半導体ボディの両側に縁部層 6 が配置されている。好適には、縁部層の屈折率は半導体ボディの屈折率よりも小さい。縁部層 6 は有利には誘電性材料、殊に充填材料 6 と関連させて説明した誘電性材料の内の 1 つを含有する。択一的に、縁部層を省略することもできる。

【 0 1 4 9 】

別の屈折率プロファイルを使用することによって、相互に垂直に延びる 2 つの軸に沿った近接場のフィールド分布が所定の殊に均一な経過に対応するか、少なくとも近似するように発光素子を実施することができる。生じるビーム総出力が高い場合であっても、破壊的なミラー損傷の危険を十分に低減させることができる。

40

【 0 1 5 0 】

図 5 B に概略的に示されている第 5 の実施例は実質的に図 5 A と関連させて説明した第 4 の実施例に対応する。殊に、孔 4 は第 4 の実施例と同様に、主放射軸に平行な平均屈折率を変更するために設けられている。しかしながら第 4 の実施例とは異なり、孔は充填されていないか、接している半導体材料よりも低い屈折率を有する充填材料によって少なくとも部分的に充填されている。平均屈折率を所期のように低減させることができる。この場合、孔の密度が高くなればなるほど、この平均屈折率は一層低くなる。すなわち、主放射軸付近の孔によって平均屈折率を所期のように低減することができるので、図 5 A と関連させて説明したように、ここでもまた屈折率プロファイルに関する最大値 2 4 0 が生じ

50

る。

【 0 1 5 1 】

殊に、半導体ボディ 2 の材料よりも低い屈折率を有する充填材料を蒸着またはスパッタリングによって被着させることができる。例えば、充填材料として誘電性材料、殊に酸化物、例えば酸化ケイ素、酸化チタン、窒化物、例えば窒化ケイ素、または酸窒化物、例えば酸窒化ケイ素が適している。この場合、充填材料を同時に半導体ボディのためのパッシベーション層として使用することができる。

【 0 1 5 2 】

択一的に、比較的低い屈折率を有する半導体材料もエピタキシャル成長により充填材料として析出することができる。

10

【 0 1 5 3 】

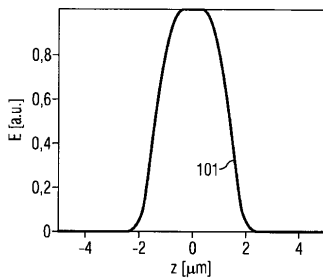
本願は、ドイツ連邦共和国特許出願第10 2007 057 773.9号および同第10 2007 061 458.8号の優先権を主張するものであり、その開示内容は参照により本願に取り入れられる。

【 0 1 5 4 】

本発明は実施例に基づいたこれまでの説明によって限定されるものではない。むしろ本発明は、あらゆる新規の特徴ならびにそれらの特徴のあらゆる組み合わせを含むものであり、これには殊に特許請求の範囲に記載した特徴の組み合わせ各々が含まれ、このことはそのような組み合わせ自体が特許請求の範囲あるいは実施例に明示的には記載されていないにしても当てはまる。

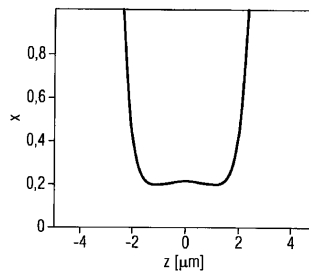
【 図 1 A 】

FIG 1A



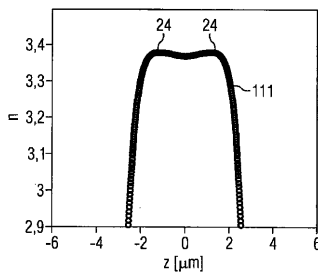
【 図 1 C 】

FIG 1C



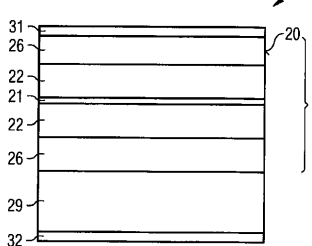
【 図 1 B 】

FIG 1B



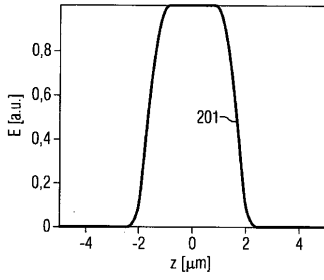
【 図 1 D 】

FIG 1D



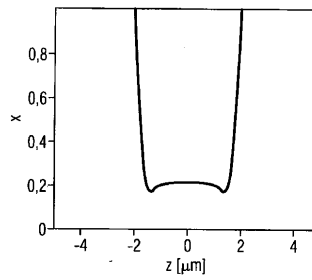
【 2 A 】

FIG 2A



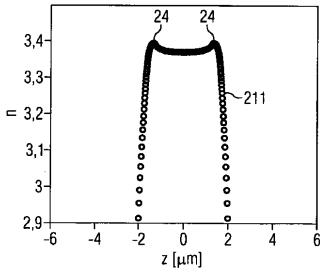
【 2 C 】

FIG 2C



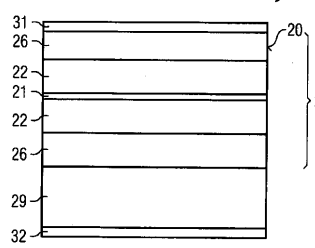
【 2 B 】

FIG 2B



【 2 D 】

FIG 2D



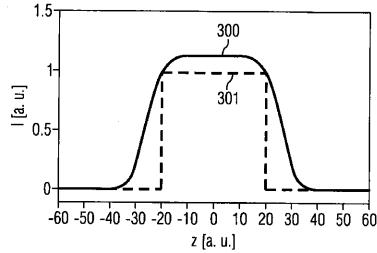
【 2 E 】

FIG 2E

z [μm]	n	X [%]	z [μm]	n	X [%]
-2.3	3.05	75	0.05	3.37	22
-2.25	3.16	57	0.1	3.37	22
-2.2	3.23	45	0.15	3.37	22
-2.15	3.28	36	0.2	3.37	22
-2.1	3.32	30	0.25	3.37	22
-2.05	3.35	26	0.3	3.37	22
-2	3.36	23	0.35	3.37	22
-1.95	3.37	21	0.4	3.37	22
-1.9	3.38	20	0.45	3.37	22
-1.85	3.38	20	0.5	3.37	22
-1.8	3.38	19	0.55	3.37	22
-1.75	3.38	19	0.6	3.37	22
-1.7	3.38	19	0.65	3.37	22
-1.65	3.38	20	0.7	3.37	22
-1.6	3.38	20	0.75	3.37	22
-1.55	3.38	20	0.8	3.37	22
-1.5	3.38	20	0.85	3.37	22
-1.45	3.38	21	0.9	3.37	22
-1.4	3.38	21	0.95	3.37	22
-1.35	3.37	21	1	3.37	22
-1.3	3.37	21	1.05	3.37	21
-1.25	3.37	21	1.1	3.37	21
-1.2	3.37	21	1.15	3.37	21
-1.15	3.37	21	1.2	3.37	21
-1.1	3.37	21	1.25	3.37	21
-1.05	3.37	22	1.3	3.37	21
-1	3.37	22	1.35	3.37	21
-0.95	3.37	22	1.4	3.38	21
-0.9	3.37	22	1.45	3.38	21
-0.85	3.37	22	1.5	3.38	20
-0.8	3.37	22	1.55	3.38	20
-0.75	3.37	22	1.6	3.38	20
-0.7	3.37	22	1.65	3.38	20
-0.65	3.37	22	1.7	3.38	19
-0.6	3.37	22	1.75	3.38	19
-0.55	3.37	22	1.8	3.38	19
-0.5	3.37	22	1.85	3.38	20
-0.45	3.37	22	1.9	3.38	20
-0.4	3.37	22	1.95	3.37	21
-0.35	3.37	22	2	3.36	23
-0.3	3.37	22	2.05	3.35	26
-0.25	3.37	22	2.1	3.32	30
-0.2	3.37	22	2.15	3.28	36
-0.15	3.37	22	2.2	3.23	45
-0.1	3.37	22	2.25	3.16	57
-0.05	3.37	22	2.3	3.05	75
0	3.37	22			

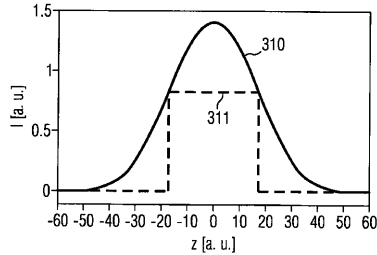
【 3 A 】

FIG 3A



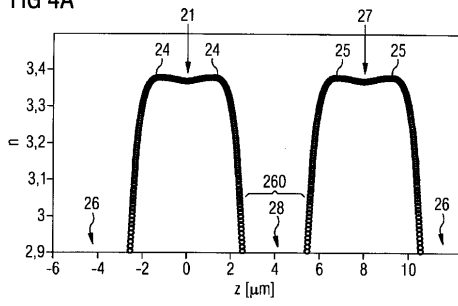
【 3 B 】

FIG 3B



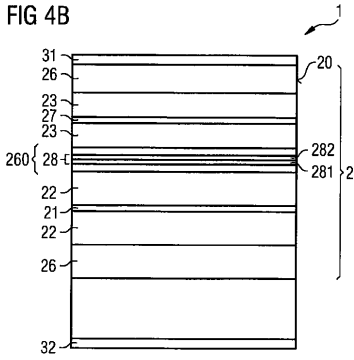
【 図 4 A 】

FIG 4A



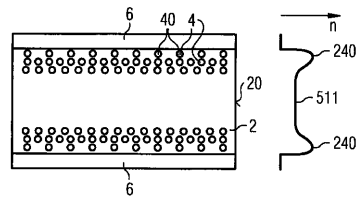
【 図 4 B 】

FIG 4B



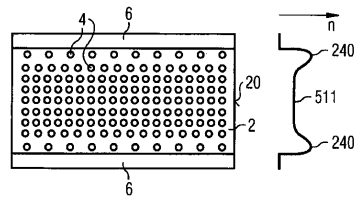
【 図 5 A 】

FIG 5A



【 図 5 B 】

FIG 5B



フロントページの続き

- (74)代理人 100112793
弁理士 高橋 佳大
- (74)代理人 100128679
弁理士 星 公弘
- (74)代理人 100135633
弁理士 二宮 浩康
- (74)代理人 100114890
弁理士 アインゼル・フェリックス＝ラインハルト
- (72)発明者 ペーター ブリック
ドイツ連邦共和国 レーゲンスブルク ツィーゲツドルファー シュトラーセ 4
- (72)発明者 ウーヴェ シュトラウス
ドイツ連邦共和国 パート アップバッハ エーリヒ - ケストナー - シュトラーセ 32

審査官 日夏 貴史

- (56)参考文献 特開昭64 - 080088 (JP, A)
特開2000 - 151018 (JP, A)
特開平08 - 279647 (JP, A)
特開平11 - 330540 (JP, A)
特開2006 - 270028 (JP, A)
特開2009 - 088425 (JP, A)
特開平9 - 232692 (JP, A)
米国特許出願公開第2004 / 0013147 (US, A1)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H01S 5 / 00 - 5 / 50