

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第5367420号
(P5367420)

(45) 発行日 平成25年12月11日(2013.12.11)

(24) 登録日 平成25年9月20日(2013.9.20)

(51) Int.Cl. F I
H O I S 5/323 (2006.01) H O I S 5/323 6 1 0

請求項の数 10 (全 15 頁)

(21) 出願番号	特願2009-59766 (P2009-59766)	(73) 特許権者	000005290
(22) 出願日	平成21年3月12日 (2009.3.12)		古河電気工業株式会社
(65) 公開番号	特開2010-212611 (P2010-212611A)		東京都千代田区丸の内2丁目2番3号
(43) 公開日	平成22年9月24日 (2010.9.24)	(74) 代理人	100123674
審査請求日	平成24年1月9日 (2012.1.9)		弁理士 松下 亮
		(72) 発明者	品川 達志
			東京都千代田区丸の内2丁目2番3号 古河電気工業株式会社内
		(72) 発明者	石井 宏辰
			東京都千代田区丸の内2丁目2番3号 古河電気工業株式会社内
		(72) 発明者	柏川 秋彦
			東京都千代田区丸の内2丁目2番3号 古河電気工業株式会社内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 半導体レーザー素子

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

六方晶系ウルツ鉱型単結晶からなる基板と、

前記基板の m 面 (1 _ 1 0 0) 又は該 m 面から微傾斜した面上に形成された In を含む窒化物半導体からなる活性層を含む半導体層と、を備え

前記活性層は、 a 面 (1 1 _ 2 0) 面にレーザー端面が形成され、かつ、前記基板に対する c 軸方向の歪み量が、 a 軸方向の歪み量に比べて大きく、また InGa_nN であり、インジウム (In) の組成比が、20%以上、60%以下であり、さらに a 軸方向の歪 a / a および c 軸方向の歪 c / c がともに正の圧縮歪であることを特徴とする半導体レーザー素子。

10

【請求項 2】

前記半導体層は、

窒化ガリウムインジウム [In_xGa_{1-x}N (0 < x < 1)] からなる活性層と、

前記活性層又は前記基板の少なくとも一方に格子整合され、前記活性層を挟んで積層された上部クラッド層および下部クラッド層と、前記上部クラッド層上に形成されたコンタクト層と、を備えたことを特徴とする請求項 1 に記載の半導体レーザー素子。

【請求項 3】

前記基板が酸化物からなることを特徴とする請求項 1 または 2 に記載の半導体レーザー素子。

【請求項 4】

20

前記基板が、 $Zn_{1-a-b-c}Mg_aBe_bCd_cO$ ($0 < a < 1$, $0 < b < 1$, $0 < c < 1$, $a+b+c < 1$) からなることを特徴とする請求項 3 に記載の半導体レーザ素子。

【請求項 5】

前記基板が、 $Al_{1-y-z}Ga_yIn_zN$ ($0 < y < 1$, $0 < z < 1$, $y+z < 1$) からなることを特徴とする請求項 1 または 2 に記載の半導体レーザ素子。

【請求項 6】

前記基板と前記活性層との間に、前記基板と擬似格子整合した $Zn_{1-a-b-c}Mg_aBe_bCd_cO$ ($0 < a < 1$, $0 < b < 1$, $0 < c < 1$, $a+b+c < 1$) からなる擬似格子整合層が形成されていることを特徴とする請求項 1 乃至 5 のいずれか 1 項に記載の半導体レーザ素子。

10

【請求項 7】

前記晶基板と前記活性層との間に、前記基板と擬似格子整合した $Al_{1-y-z}Ga_yIn_zN$ ($0 < y < 1$, $0 < z < 1$, $y+z < 1$) からなる擬似格子整合層が形成されていることを特徴とする請求項 1 乃至 5 のいずれか 1 項に記載の半導体レーザ素子。

【請求項 8】

前記擬似格子整合層は、1 ML 以上、前記基板に対して臨界膜厚以下の膜厚を有することを特徴とする請求項 6 または 7 に記載の半導体レーザ素子。

【請求項 9】

前記擬似格子整合層は、膜厚が 1 ML 以上、基板に対して臨界膜厚以下の、 GaN および InN からなる超格子層からなることを特徴とする請求項 7 に記載した半導体レーザ素子。

20

【請求項 10】

前記活性層は、発光波長が 480nm 以上、650nm 以下であることを特徴とする請求項 1 乃至請求項 9 のいずれか 1 項に記載の半導体レーザ素子。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、半導体レーザ素子、特に発光波長が 480nm 以上、650nm 以下の緑色帯で発振する半導体レーザ素子に関する。

【背景技術】

30

【0002】

従来、青紫色レーザダイオード (LD) や青色 LD では、c 面 GaN 基板 (GaN 基板の c 面) 上に $InGaN$ 活性層が形成されている。このようなレーザダイオードでは、c 面上に作製した $InGaN$ 活性層の In 組成を増加させると、ピエゾ電界効果により数 MV/cm の非常に大きな電界が生じるために電子と正孔が空間的に分離されて発光再結合の遷移確率が低下する問題点がある。そこで、最近、c 面以外の面方位を有する GaN 基板を用いることにより、ピエゾ電界を抑制でき、発光効率を増大させようと試みられている。その一例として、例えば、非特許文献 1 に記載された半導体レーザダイオードがある。この半導体レーザダイオードでは、m 面 GaN 基板上に $InGaN$ 活性層が形成されている。

40

【先行技術文献】

【特許文献】

【0003】

【非特許文献 1】Japanese Journal of Applied Physics Vol. 46, No. 9, 2007, pp. L187-L189

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

しかしながら、上記非特許文献 1 に記載された半導体レーザダイオードでは、 GaN 基板に対して $InGaN$ 活性層材料の a 軸、c 軸の格子定数がそれぞれ、3.3%、3.0

50

%と大きいことにより、c軸ストライプ(レーザ端面がc面)の方がa軸ストライプ(レーザ端面がa面)よりも発振しやすい。つまり、GaN基板上のInGaN活性層にかかる歪(圧縮歪)は、a軸方向の方がc軸方向よりも大きい(表1参照)。より大きな歪がかかる方向の偏波(TE偏光)でレーザ発振することが知られているため、上記非特許文献1に記載された半導体レーザダイオードでは、レーザ端面(共振器端面)をc面にせざるを得ない。ところで、c面は、低指数面ではあるが、電荷中性面でないため、へき開によってレーザ端面を形成するのが難しく、歩留まりが悪いという問題があった。

【0005】

【表1】

	InN	In _{0.3} GaN	GaN	歪み(%)
a(Å)	3.54	3.2943	3.189	3.30
c(Å)	5.705	5.341	5.185	3.01
c/a	1.612	1.621	1.626	

10

【0006】

本発明は、このような従来の問題点に鑑みて為されたもので、その目的は、発光効率が高く、へき開でレーザ端面を綺麗にかつ容易に形成でき、歩留まりが向上し、更に高信頼性な半導体発光素子を提供することにある。

【課題を解決するための手段】

20

【0007】

本発明者らは、緑色帯等、長波長の可視域で発光する半導体レーザダイオードなどの半導体発光素子において、ピエゾ電界を抑制し、発光効率を増大させることと歩留まりの向上との両立を図るべく、鋭意研究を行った。その結果、Inを含む窒化物半導体例えばInGaNからなる活性層に対して、c軸よりもa軸方向(図1の矢印40で示すX2方向)に大きな歪みがかかるような格子定数を有する六方晶系ウルツ鉱型単結晶からなる基板を用いることが適していることを見出した。

この発明は上述した知見に基づきなされたものである。

【0008】

上記課題を解決するために、本発明の第1の態様に係る半導体発光素子は、六方晶系ウルツ鉱型単結晶からなる基板と、前記基板のm面(1 $\bar{1}$ 00)又は該m面から微傾斜した面上に形成されたInを含む窒化物半導体からなる活性層を含む半導体層と、を備え、前記活性層は、a面(11 $\bar{2}$ 0)面にレーザ端面が形成され、かつ、前記基板に対するc軸方向の歪み量が、a軸方向の歪み量に比べて大きいことを特徴とする。

30

【0009】

この構成によれば、Inを含む窒化物半導体で構成された活性層が、六方晶系ウルツ鉱型単結晶基板のm面(1 $\bar{1}$ 00)又は該m面から微傾斜した面上に形成されているので、ピエゾ電界を抑制でき、発光効率を増大させることができる。また、六方晶系ウルツ鉱型単結晶基板のm面(1 $\bar{1}$ 00)又は該m面から微傾斜した面上に形成されInを含む窒化物半導体で構成された活性層には、a軸方向よりもc軸方向により大きな圧縮歪みが印加されるので、活性層により大きな歪がかかるc軸と平行な方向の偏波(TE偏光)でレーザ発振し易くなる。この場合、レーザ端面(共振器端面)はa面(11 $\bar{2}$ 0)に形成されており、a面(11 $\bar{2}$ 0)は低指数面でかつ電荷中性面であるので、へき開でレーザ端面を綺麗にかつ容易に形成することができ、歩留まりが向上する。このように、ピエゾ電界を抑制でき、発光効率を増大させることと歩留まりの向上との両立を図ることができる。

40

【0010】

本発明の他の態様に係る半導体発光素子は、前記半導体層は、窒化ガリウムインジウム[In_xGa_{1-x}N(0<x<1)]からなる活性層と、前記活性層又は前記基板の少なくとも一方に格子整合され、前記活性層を挟んで積層された上部クラッド層および下部クラ

50

ッド層と、前記上部クラッド層上に形成されたコンタクト層と、を備えたことを特徴とする。

【0011】

本発明の他の態様に係る半導体発光素子は、前記基板が酸化物からなることを特徴とする。

【0012】

本発明の他の態様に係る半導体発光素子は、前記基板が、 $Zn_{1-a-b-c}Mg_aBe_bCd_cO$ ($0 < a < 1$ 、 $0 < b < 1$ 、 $0 < c < 1$ 、 $a+b+c < 1$) からなることを特徴とする。

【0013】

本発明の他の態様に係る半導体発光素子は、前記基板が、 $Al_{1-y-z}Ga_yIn_zN$ ($0 < y < 1$ 、 $0 < z < 1$ 、 $y+z < 1$) からなることを特徴とする。 10

【0014】

本発明の他の態様に係る半導体発光素子は、前記基板と前記活性層との間に、前記基板と擬似格子整合した $Zn_{1-a-b-c}Mg_aBe_bCd_cO$ ($0 < a < 1$ 、 $0 < b < 1$ 、 $0 < c < 1$ 、 $a+b+c < 1$) からなる擬似格子整合層が形成されていることを特徴とする。

【0015】

本発明の他の態様に係る半導体発光素子は、前記晶基板と前記活性層との間に、前記基板と擬似格子整合した $Al_{1-y-z}Ga_yIn_zN$ ($0 < y < 1$ 、 $0 < z < 1$ 、 $y+z < 1$) からなる擬似格子整合層が形成されていることを特徴とする。 20

【0016】

本発明の他の態様に係る半導体発光素子は、前記擬似格子整合層は、1ML以上、前記基板に対して臨界膜厚以下の膜厚を有することを特徴とする。

【0017】

本発明の他の態様に係る半導体発光素子は、前記擬似格子整合層は、膜厚が1ML以上、基板に対して臨界膜厚以下の、 GaN および InN からなる超格子層からなることを特徴とする。

【0018】

本発明の他の態様に係る半導体発光素子は、前記活性層は、発光波長が480nm以上、650nm以下であることを特徴とする。この構成により、発光効率が高くかつ歩留まりの高い青色より長波長の可視光の発光が可能な半導体レーザダイオードなどの半導体発光素子を実現できる。 30

【0019】

本発明の他の態様に係る半導体発光素子は、前記活性層は、 $InGaN$ であり、インジウム(In)の組成比が、20%以上、60%以下であることを特徴とする。

【0020】

本発明の他の態様に係る半導体発光素子は、前記活性層において、インジウム(In)の組成比は、発光波長が480nm以上、650nm以下となるように設定されていることを特徴とする。

【0021】

本発明の他の態様に係る半導体発光素子は、前記インジウム(In)の組成比は、20%以上、60%以下とされていることを特徴とする。 40

【0022】

本発明の他の態様に係る半導体発光素子は、前記活性層と前記クラッド層との間に光ガイド層を有していることを特徴とする。

【発明の効果】

【0023】

本発明によれば、発光効率が高く、かつ、へき開でレーザ端面を綺麗にかつ容易に形成することができる半導体レーザ素子を実現することができる。

【図面の簡単な説明】

【0024】

- 【図1】本発明に係る半導体レーザダイオードの基本構成を示す斜視図。
 【図2】ZnO単結晶の面方位を表すユニットセル図。
 【図3】m面ZnO単結晶基板上InGaN活性層の歪みを示す図。
 【図4】可視域におけるZnMgO及びZnCdOの最適組成領域を示す図。
 【図5】第1の実施形態に係る半導体レーザダイオードの概略構成を示す断面図。
 【図6】第2の実施形態に係る半導体レーザダイオードの概略構成を示す断面図。
 【図7】第3の実施形態に係る半導体レーザダイオードの概略構成を示す断面図。
 【図8】各実施形態に係る半導体レーザダイオードの共振器端面を示す説明図。
 【発明を実施するための形態】

【0025】

10

以下、本発明を具体化した実施の形態を図面に基づいて説明する。

図1は、本発明の第1の実施形態に係る半導体レーザダイオード10の基本構成を示している。この半導体レーザダイオード10は、六方晶系ウルツ鉱型単結晶である基板12と、基板12のm面(1 $\bar{1}$ 00)上に形成されたInGaNからなる活性層15とを備えている。また、図2は、基板の単位格子におけるm面(1 $\bar{1}$ 00)、a面(11 $\bar{2}$ 0)およびc面(0001)を示している。

【0026】

この半導体レーザダイオード10では、m面基板12上にInGaNからなる活性層15が形成されているので、ピエゾ電界を抑制でき、発光効率を増大させることができる。また、下記の表2で示すように、基板12上の活性層15にかかる歪(圧縮歪)は、c軸方向の方がa軸方向よりも大きい。歪が導入された活性層を有する半導体レーザでは、より大きな歪がかかる方向(c軸方向)の偏波(TE偏光)でレーザ光41がレーザ発振することが知られており、半導体レーザダイオード10では、a軸方向の方がc軸方向よりも発振しやすい。そこで、半導体レーザダイオード10では、レーザ端面10a、10bはa面(11 $\bar{2}$ 0)に形成されている。また、a面は、低指数面でかつ電荷中性面であるため、へき開でレーザ端面を綺麗に形成することができる。

20

【0027】

【表2】

	In _{0.3} GaN	ZnO	歪み(%)
a(Å)	3.2943	3.2407	1.65
c(Å)	5.341	5.1955	2.80
c/a	1.621	1.603	

30

【0028】

図3は、六方晶系ウルツ鉱型単結晶である基板12とInGaNからなる活性層15の格子定数の関係を示している。図3に示すように、基板12とInGaN活性層15とでは、c軸方向の格子定数差 c/c_s がa軸方向の格子定数差 a/a_s に比べて大きい。ここで、 $c = c_a - c_s$ 、 $a = a_a - a_s$ である。

40

【0029】

図4は、InGaNからなる活性層15に対する、六方晶系ウルツ鉱型単結晶であるZnMgOとZnCdOの最適な混晶組成領域を示している。横軸は中心がZnOであり、中心から右方向にMg組成が増加し、右端がMgOを示している。また、中心から左方向にCd組成が増加し、左端がCdOを示している。縦軸は下端がGaNであり、上方向に向かうにつれてIn組成が増していき、上端でInNを示している。

【0030】

図4中の線a, bは、活性層15の組成として、In組成が20から60%の領域を示している。図4中の線c, dは、ZnMgO及びZnCdOが六方晶ウルツ鉱型結晶構造となるMg及びCd組成は50%以下の領域を示している。

50

上記の線 a ~ d に囲まれた領域のうち、c 軸方向の格子定数差 c/c が a 軸方向の格子定数差 a/a に比べて大きい領域は、ZnMgO では Mg 組成が 0 から 50%、ZnCdO では Cd 組成が 0 から 100% になる（境界は図 4 中の線 e, f に示す）。

【0031】

また、図 4 中の線 g, h は、c 軸方向の格子定数差 c/c 及び a 軸方向の格子定数差 a/a が正になる、すなわち圧縮歪みが生じる領域を示している。これらの境界線 a から h で囲まれた領域における ZnMgO、ZnCdO からなる基板、及び InGaN からなる活性層を用いることにより、a 軸方向に比べて c 軸方向の圧縮歪みが大きくなり、c 軸方向に平行な方向での偏波にてレーザ発振が生じやすくなる。

【0032】

更に、信頼性を向上させるためには、c 軸方向の歪みが 4% の境界線である、ZnMgO では線 i、ZnCdO では線 j によりそれぞれ限定され、更に 3% の境界線である、ZnMgO では線 k、ZnCdO では線 l によりそれぞれ限定され、更に 2% の境界線である、ZnMgO では線 m、ZnCdO では線 n にそれぞれ限定された領域で囲まれた領域の ZnMgO 及び ZnCdO 基板を用いることにより、InGaN 活性層 15 にかかる歪みの大きさを小さくできるので、より高信頼性な a 面をレーザ端面とした半導体レーザを実現することができる。

【0033】

図 5 は、本発明の第 1 の実施形態に係る半導体レーザダイオード 10A の概略構成を示している。

この半導体レーザダイオード 10A は、図 5 に示すように、基板 12 と、この基板 12 の m 面 (1-100) 上に順に形成された擬似格子整合層 13、n 型の下部クラッド層 14、InGaN からなる活性層 15、及び p 型の上部クラッド層 16 を備えている。また、半導体レーザダイオード 10A は、上記の構成に加え、下部クラッド層 14 の下に形成された n 型の下部コンタクト層 17A、上部クラッド層 16 の上に形成された p 型の上部コンタクト層 17B、及び活性層 15 を挟むように形成された n 型の下部光ガイド層 21A、及び p 型の上部光ガイド層 21B を備えている。さらに、半導体レーザダイオード 10A は、下部コンタクト層 17A に形成された下部電極 11 と、半導体層の表面に形成されたパッシベーション膜 18 と、上部コンタクト層 17B 上に形成された上部電極 19 とを備えている。

【0034】

この半導体レーザダイオード 10A では、基板 12 の m 面 (1-100) 上に積層された半導体層によって緑色域等の長波長の可視域で発光する半導体レーザダイオードが形成される。

【0035】

また、基板 12 と活性層 15 との間に形成される擬似格子整合層 13 は、膜厚が 1ML (分子層) 以上、基板 12 に対して臨界膜厚以下の GaN、又は InGaN からなる層である。

【0036】

ここにいう「臨界膜厚」は、下地の基板 12 に対して、その上にどれだけの膜厚の層を成長できるかを計算により求めたものである。例えば基板を ZnO とした場合、GaN からなる擬似格子整合層 13 の臨界膜厚は、最大で約 20nm 程度である。なお、この臨界膜厚は、上に InGaN 系活性層 15 等を形成するので、擬似格子整合層 13 上に形成する層も考慮すると、GaN からなる擬似格子整合層 13 の臨界膜厚は 50nm 程度まで厚くすることが可能である。このように、GaN からなる擬似格子整合層 13 の臨界膜厚は、1ML 以上、50nm 以下の範囲内に設定可能であり、好ましくは、1ML 以上、約 20nm 以下の範囲内に設定される。

【0037】

下部クラッド層 14 は、活性層 15、基板 12 の少なくとも一方に格子整合された格子整合系クラッド層である。下部クラッド層 14 は、活性層 15 又は基板 12 の少なくとも

10

20

30

40

50

一方に格子整合する AlGaInN を、擬似格子整合層 13 上に成長して形成される。

また、下部光ガイド層 21A は、下部クラッド層 14 上に InGaN 結晶を成長させて形成されている。

ここで、擬似格子整合層 13、下部クラッド層 14、下部光ガイド層 21A は、それぞれ n 型不純物、例えばシリコン (Si) がドーピングされ、n 型の導電層となっている。

【0038】

活性層 15 は、下部光ガイド層 21A 上に窒化ガリウムインジウム [$\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ ($0 < x < 1$)] を成長させることによって形成されている。この InGaN からなる活性層 15 において、インジウム (In) の組成比は、発光波長が 480 nm 以上となるように設定されている。具体的には、この活性層 15 は、緑色域での発光波長を有する In 組成 (In の組成比が 20% 以上) の InGaN で構成されている。本例では、活性層における In の組成比が 30% 程度になっている。

10

【0039】

上部光ガイド層 21B は、活性層 15 上に InGaN 結晶を成長させて形成されている。

【0040】

上部クラッド層 16 は、活性層 15 又は基板 12 の少なくとも一方に格子整合する AlGaInN を、上部光ガイド層 21B 上に成長して形成される。

【0041】

そして、上部コンタクト層 17B は、上部クラッド層 16 上に形成されている。

20

ここで、上部光ガイド層 21B、上部クラッド層 16、上部コンタクト層 17B は、p 型不純物、例えばマグネシウム (Mg) がドーピングされ、p 型の導電層となっている。

【0042】

図 6 は、本発明の第 2 の実施形態に係る半導体レーザダイオードの概略構成を示している。

図 6 に示すように、この半導体レーザダイオード 10B は、n 型の ZnMgO 基板 12A と、この ZnMgO 基板 12A の m 面 ($1\bar{1}00$) 上に順に形成された n 型の擬似格子整合層 13、n 型の下部クラッド層 14、n 型の上部光ガイド層 21A、活性層 15、p 型の上部光ガイド層 21B、p 型の上部クラッド層 16 及び p 型のコンタクト層 17 を備えている。さらに、半導体レーザダイオード 10A は、基板 12A の裏面側に形成された下部電極 11A と、半導体層の表面に形成されたパッシベーション膜 18 と、コンタクト層 17 上に形成された上部電極 19 とを備えている。

30

【0043】

ZnMgO 基板 12A の Mg 組成は、 InGaN からなる活性層 15 の In 組成によって適宜設定することができる。例えば、In 組成が 30% の InGaN からなる活性層を有する場合、Mg 組成が 10% から 40% 程度の ZnMgO 基板を用いることにより、c 軸に平行な方向の偏波で発振する、すなわち a 面 ($11\bar{2}0$) をレーザ端面とする半導体レーザダイオードを実現できる。

【0044】

図 7 は、本発明の第 3 の実施形態に係る半導体レーザダイオードの概略構成を示している。

40

この半導体レーザダイオード 10C は、図 7 に示すように、n 型の基板 12B と、基板 12B の m 面 ($1\bar{1}00$) 上に、順に形成された n 型の擬似格子整合層 13、n 型の下部クラッド層 14、n 型の下部光ガイド層 21A、 InGaN からなる活性層 15、p 型の上部光ガイド層 21B、p 型の上部クラッド層 16 及びコンタクト層 17 と、を備えている。さらに、半導体レーザダイオード 10C は、基板 12B の裏面側に形成された下部電極 11A と、半導体層の表面にパッシベーション膜 18 と、コンタクト層 17 上に形成された上部電極 19 と、を備えている。

ここで、基板 12B は、 ZnO 単結晶からなる基板 12 上に ZnCdO 層 42 を積層した複合基板である。

50

【 0 0 4 5 】

Z n C d O 層 4 2 の C d 組成は、活性層 1 5 の I n 組成によって適宜設定することができる。例えば、I n 組成が 3 0 % の I n G a N からなる活性層 1 5 を有する場合、C d 組成は 0 % から 1 2 % 程度の Z n C d O 基板を用いることにより、活性層 1 5 の歪みを制御して、c 軸に平行な方向の偏波で発振する、すなわち a 面 (1 1 $\bar{2}$ 0) をレーザ端面とする半導体レーザダイオードを実現できる。

【 0 0 4 6 】

図 8 は、上記各実施形態に係る半導体レーザ素子の端面構造を示す模式的な上面図である。

図 8 に示すように、活性層 1 5 の両端面は、光出射側端面 3 1 と光反射側端面 3 2 とを有する共振器構造となっており、レーザ端面である光出射側端面 3 1 と光反射側端面 3 2 はそれぞれ a 面 (1 1 $\bar{2}$ 0) に形成されている。共振器端面のうちの光出射側端面 3 1 には、窒化ガリウムよりも低い屈折率を有する 2 層以上の低反射膜 3 3 が、光出射側端面 3 1 の屈折率が徐々に低くなるように形成されている。また、共振器端面のうちの光反射側端面 3 2 には、低屈折率層と高屈折率層とを交互に積層した誘電体多層膜からなる高反射膜 3 4 が形成されている。

【 0 0 4 7 】

次に、上記構成を有する半導体レーザダイオード 1 0 A を製造する方法について説明する。

なお、本実施形態では、緑色域等の長波長の可視域で発光する半導体レーザダイオード用の上記エピタキシャルウェハを、以下の工程により、R F M B E 法を用いて基板 1 2 の m 面 (1 $\bar{1}$ 0 0) 上に形成する。

(工程 1) まず、Z n O からなる基板 1 2 を用意し、表面処理を行う。この表面処理として、以下に説明する表面平坦化処理、表面清浄化処理、及び表面改質処理を行う。

【 0 0 4 8 】

(工程 1 a) 表面平坦化処理では、まず、C M P (機械化学研磨) 処理を行い、この後、基板の m 面 (1 $\bar{1}$ 0 0) (以下、「表面」ともいう。) に対して大気中で熱処理を行い、ステップ・テラス構造を形成する。この際には、基板 1 2 を酸化ジルコニアや酸化亜鉛などの無機材質平板で挟んだ状態で行うのが好ましい。熱処理条件は、温度 1 0 0 0 ~ 1 3 0 0 で 1 ~ 5 時間行うのが好ましい。この表面平坦化処理後、基板 1 2 の裏面に高融点金属であるモリブデン (M o) 等をスパッタ、E B 法等により蒸着した後、成長チャンパーに導入する。基板を保持するために、モリブデン (M o) ホルダーを用いる場合は、基板 1 2 の裏面にインジウム等の金属を溶かしてモリブデンホルダーに固定しても良い。

【 0 0 4 9 】

(工程 1 b) 次に、表面清浄化処理では、成長チャンパー内で、大気圧下または減圧下でサーマルクリーニング処理を行う。具体的には、真空中、7 0 0 ~ 7 5 0 の温度で基板を 5 ~ 6 0 分加熱し、有機物などを除去する。このような処理を行うことにより、基板表面を R H E E D 測定したとき、シャープなストリークパターンが観測されるようになる。

【 0 0 5 0 】

あるいは、サーマルクリーニング処理条件として酸素雰囲気中又は酸素プラズマ照射中で高温熱処理を施すことにより、基板 1 2 の洗浄と、基板 1 2 の表面再構成を行うことができる。

【 0 0 5 1 】

(工程 1 c) 次に、表面改質処理では、基板 1 2 上に窒化物である G a N からなる擬似格子整合層 1 3 を形成する前段階として、窒化処理を行う。具体的には、基板温度を 5 0 0 で、窒素プラズマガンによって 3 0 ~ 6 0 分間、窒素ラジカルを供給し、基板 1 2 の表面の酸素を窒素で置換する。

(工程 1 a) から (工程 1 c) は、大気に暴露することなく、真空搬送可能な装置で一貫して行うことが好ましい。また、(工程 1 a) から (工程 1 c) を必ずしも全て行う必

10

20

30

40

50

要はない。

【0052】

(工程2)次に、低温で、InとGaの少なくともひとつと窒素ラジカル(N)を基板表面に同時に供給することにより、基板12のm面(1__100)上にGaN、又はInGaN結晶を成長させて擬似格子整合層13を形成する。ここでは、擬似格子整合層13は、GaNとする。

【0053】

GaNの成長温度を低温で行うのは、基板12とGaNとの界面反応を抑制するためである。ここで、GaNを4ML成長した後にInNを1ML成長したり、InNを1ML成長した後にGaNを4ML成長したり、或いは、GaN層とInN層を交互に積層させた層(超格子層)を成長して、擬似格子整合層13を形成しても良い。

10

【0054】

ZnOとGaNとの格子定数差はa軸で1.8%程度、ZnOとInNとの格子定数差はa軸でそれぞれ8.8%程度存在するが、擬似格子整合層13をGaNとInGaNの複合層とする場合、GaN層とInN層の合計の膜厚を、GaN層とInN層の平均組成をとったInGaNの臨界膜厚以下にすることにより、ZnOの格子定数を維持させることができる。ここで、擬似格子整合層13にシリコン(Si)をドーピングすることにより、n型導電性を有する擬似格子整合層13が形成される。

【0055】

(工程3)次に、750より低い成長温度、例えば600で、所望のセル温度に設定した原料であるIn、Ga及びAlをNと一緒に基板表面に供給させることにより、活性層15又は基板12の少なくとも一方に格子整合するAlGaInNを成長して下部クラッド層14を形成する。この際に、シリコン(Si)をドーピングすることにより、下部クラッド層14をn型導電性にする事ができる。

20

【0056】

このように、本実施形態では、下部クラッド層14は、窒化アルミニウムガリウムインジウム $[Al_{1-x-y}Ga_xIn_yN]$ ($0 < x < 1$ 、 $0 < y < 1$ 、 $x + y < 1$)である。なお、下部クラッド層14を、窒化アルミニウムガリウムインジウムに代えて、酸化亜鉛マグネシウムベリリウムカドミウム $[Zn_{1-a-b-c}Mg_aBe_bCd_cO]$ ($0 < a < 1$ 、 $0 < b < 1$ 、 $0 < c < 1$ 、 $a + b + c < 1$)、或いは酸化亜鉛で構成してもよい。

30

【0057】

(工程4)次に、750より低い成長温度、例えば600で、所望のセル温度に設定した原料であるIn、Ga及びNを供給することによりInGaN結晶を成長させて、下部クラッド層14上に下部光ガイド層21Aを形成する。この際に、InGaN層のIn組成は下部クラッド層14と活性層15のIn組成の間にする事により良好なInGaN結晶を成長することができる。また、この際にInGaNからなる下部光ガイド層21Aにシリコン(Si)を供給することにより、下部光ガイド層21Aをn型導電性にする。

【0058】

(工程5)次に、750より低い成長温度、例えば600で、所望のIn/Ga比(V/III比)になるようにセル温度の設定を変更して(もしくは、複数のセルを有していれば、あらかじめ設定しておいたInとGaセルに切り替えて)、In、Ga、およびNと一緒に基板表面へ供給することにより、緑色域での発光波長を有するIn組成(30%程度)のInGaNからなる活性層15を形成する。

40

【0059】

(工程6)次に、750より低い成長温度、例えば600で、再び活性層15と上部クラッド層16のIn組成の間のIn組成のInGaNからなる上部光ガイド層21Bを活性層15上に形成する。この際に、所望のIn/Ga比、V/III比になるようにセル温度の設定を変更して(もしくは、複数のセルを有していれば、あらかじめ設定しておいたInとGaセルに切り替えて)、In、Ga、およびNと一緒に基板表面へ供給して

50

InGa_Nからなる上部光ガイド層21Bを形成する。この際、InGa_Nにマグネシウム(Mg)をドーピングすることにより上部光ガイド層21Bをp型導電性にする。

【0060】

(工程7)次に、750より低い成長温度、例えば600のまま、所望のセル温度に設定した原料であるIn、Ga及びAlをNと一緒に基板上に供給させることにより、活性層15又は、基板12の少なくとも一方(或いは、基板及びInGa_Nからなる光ガイド層)に格子整合するAlGaInNを成長して、上部クラッド層16を形成する。この際に、マグネシウム(Mg)をドーピングすることにより、上部クラッド層21Bをp型導電性にする。

【0061】

(工程8)最後に、最適なセル温度に設定したGa、Inと一緒にNを基板上に供給することにより上部コンタクト層17Bを形成する。この際にMgを同時に供給することにより、p型導電性にする。

【0062】

なお、上記工程において、p型ドーパントとして、マグネシウム(Mg)に代えて、ベリリウム(Be)を用いてもよく、また、MgとSiの両方をドーピングするコドーパなどの方法を用いてもよい。

【0063】

また、活性層等の半導体層を成長した後に、成長チャンバー内もしくは真空中から取り出した後、高温で熱処理を施す(Mgの活性化熱処理)ことにより、Mgをドーピングした層をp型導電性にしても良いが、この工程は必ずしも行う必要はない。

【0064】

以上の工程は、ZnO基板以外の、ZnMgO、ZnCdOからなる基板、又はInGa_N等、その他の六方晶系ウルツ鉱型単結晶からなる基板についても同様に実施する。また、以上の工程は、RFMBE法を用いて形成しているが、アンモニア(NH₃)をN源として利用するGSMBE法やMOCVD法を用いて形成しても良い。

次に、このようにして製造されたエピタキシャルウェハを用いて、半導体レーザダイオードを作製する手順を説明する。

【0065】

(工程9)上記の工程で形成された半導体層に、フォトリソグラフィーおよびドライエッチング等を行うことによりリッジ構造を形成する。

リッジ構造は、半導体レーザダイオードの構造の一種で、光導波路での光の損失を小さくできる実屈折率導波路構造を実現できる。

【0066】

(工程10)次に、半導体層の表面全体にパッシベーション膜18を形成する。

パッシベーション膜18は、保護層として機能し、SiO₂、ZrO₂等の誘電体をPCVD(Plasma Chemical Vapor Deposition)法により堆積させて形成する。

【0067】

(工程11)次に、上部コンタクト層17Bに上部電極19を形成する。

具体的には、フォトリソグラフィーにより電極パターンを形成し、上部コンタクト層上のパッシベーション膜を除去した後、抵抗加熱、EB(電子ビーム)或いはスパッタ法により電極金属を蒸着させた後、シンタリング(焼結)処理により、例えば、Ni/Au或いはPd/Pt/Au電極をp型の上部電極19として形成する。

【0068】

(工程12)次に、上述した緑色域等の長波長の可視域レーザダイオード用のエピタキシャルウェハの裏面側に下部電極11を形成する。

【0069】

具体的には、フォトリソグラフィーにより電極パターンを形成し、下部コンタクト層17A上のパッシベーション膜18を除去した後、抵抗加熱、EB(電子ビーム)或いはスパッタ法により電極金属を蒸着させた後、シンタリング(焼結)処理により、例えば、T

10

20

30

40

50

i / A l 或いは T i / P t / A u 電極を n 型下部電極 1 1 として形成する。なお、下部電極 1 1 を形成する前に、基板 1 2 を C M P (機械化学研磨) 処理により薄くしておくのが好ましい。

【 0 0 7 0 】

(工程 1 3) 次に、半導体レーザダイオードのレーザ端面 (共振器端面) である光出射側端面 3 1 と光反射側端面 3 2 を、a 面をへき開することによって形成する。

【 0 0 7 1 】

(工程 1 4) 次に、形成された共振器端面の光出射側端面 3 1 に低反射膜 3 3、光反射側端面 3 2 に高反射膜 3 4 をそれぞれ形成する。これにより、緑色域等の長波長の可視域で発光する半導体レーザダイオードの製造が完了する。

10

【 0 0 7 2 】

以上のように構成された一実施形態によれば、以下の作用効果を奏する。

(1) I n G a N からなる活性層 1 5 が、基板 1 2 の m 面 (1 _ 1 0 0) 上に形成されているので、ピエゾ電界を抑制でき、発光効率を増大させることができる。また、ピエゾ電界を抑制することにより、電流注入の際の波長シフトが生じにくい。

基板 1 2 の m 面 (1 _ 1 0 0) 上に形成された I n G a N 系活性層 1 5 には、a 軸方向よりも c 軸方向により大きな圧縮歪みが印加される。これにより、活性層 1 5 により大きな歪がかかる c 軸と平行な方向の偏光 (T E 偏光) でレーザ発振し易くなる。

(2) レーザ端面 (共振器端面) である光出射側端面 3 1 と光反射側端面 3 2 は a 面 (1 1 _ 2 0) に形成されており、a 面 (1 1 _ 2 0) は低指数面でかつ電荷中性面であるので、へき開で光出射側端面 3 1 と光反射側端面 3 2 を綺麗にかつ容易に形成することができる。

20

【 0 0 7 3 】

(3) 基板 1 2 と活性層 1 5 との間に擬似格子整合層 1 3 が形成されているので、基板 1 2 と活性層 1 5 の間に窒化物/酸化物の急峻な界面が得られ、I n G a N からなる活性層 1 5 の良好な結晶が得られる。その結果、発光効率が高く、信頼性の高い半導体レーザダイオードを得ることができる。

【 0 0 7 4 】

(4) 擬似格子整合層 1 3 を、膜厚が 1 M L 以上、基板 1 2 に対して臨界膜厚以下の G a N で構成することにより、下地の基板 1 2 の格子定数を維持させたまま、上部に基板 1 2 と格子整合した I n G a N からなる活性層 1 5 を成長させることにより、良好な結晶性を有する活性層が得られる。

30

【 0 0 7 5 】

(5) 基板 1 2 が n 型導電性を有するので、基板 1 2 の裏面に下部電極を形成することで、縦型デバイスの半導体レーザダイオードを構成することができる。つまり、基板 1 2 の表面側から裏面側へ電流が流せるようになり、縦型デバイス (縦方向注入型デバイス) の半導体レーザダイオードを実現できる。

(6) I n G a N からなる活性層 1 5 において、インジウム (I n) の組成比は、発光波長が 4 8 0 n m 以上となるように設定されている。具体的には、この活性層 1 5 は、緑色域での発光波長を有する I n 組成 (I n の組成比が 3 0 % 程度) の I n G a N 層で構成されているので、青色より長波長の可視光 (例えば緑色) の発光が可能な半導体レーザダイオードを実現できる。

40

【 0 0 7 6 】

なお、この発明は以下のように変更して具体化することもできる。

上記実施形態において、光ガイド層の無い構成の半導体レーザダイオードなどの半導体発光素子にも本発明は適用可能である。つまり、本発明は、Z n O 単結晶からなる基板と、この基板の上に順に形成された擬似格子整合層、下部クラッド層、活性層、上部クラッド層及びコンタクト層と、を備えた半導体レーザダイオードなどの半導体発光素子に広く適用可能である。

【 0 0 7 7 】

50

上記実施形態において、基板、擬似格子整合層、下部クラッド層、光ガイド層及び下部電極にそれぞれp型導電性を持たせ、光ガイド層、上部クラッド層及びコンタクト層にそれぞれn型導電性を持たせた半導体レーザダイオードにも本発明は適用可能である。

【0078】

上記実施形態では、エピタキシャルウェハを、基板12のm面(1__100)上に形成しているが、基板12の面方位を、m面(1__100)から微傾斜した面にしても良い。

上記実施形態では、エピタキシャルウェハを、基板12のm面(1__100)上に形成しているが、基板12の上にZnO、ZnMgO、又はZnCdOをエピタキシャル成長した上に形成しても良い。

上記実施形態では、半導体レーザダイオードとして構成した半導体発光素子について説明したが、pn接合部を有する発光ダイオード(LED)などの半導体発光素子にも本発明は適用可能である。

10

【0079】

上記実施形態では、活性層15はInGaNで構成されているが、活性層15をAlGaInNなどの他のIII-V族窒化物系化合物半導体、つまりInを含む窒化物半導体で構成した半導体発光素子にも本発明は適用可能である。

【0080】

上記実施形態において、InGaNからなる活性層15を量子井戸構造にした構成にも本発明は適用可能である。

【0081】

20

上記実施形態において、活性層15をAlGaInNで構成した場合にも、基板12の格子定数はInGaNと同様にAlGaInNにも近い(格子整合する)ので、活性層のInの組成を高くしても、相分離が抑制される。これにより、Inの組成を高くしても均一なIn組成を有するAlGaInN活性層が得られるので、青色から赤色までの可視光領域、特に青色よりも長波長の可視光(例えば緑色)で発光する半導体発光素子を実現できる。

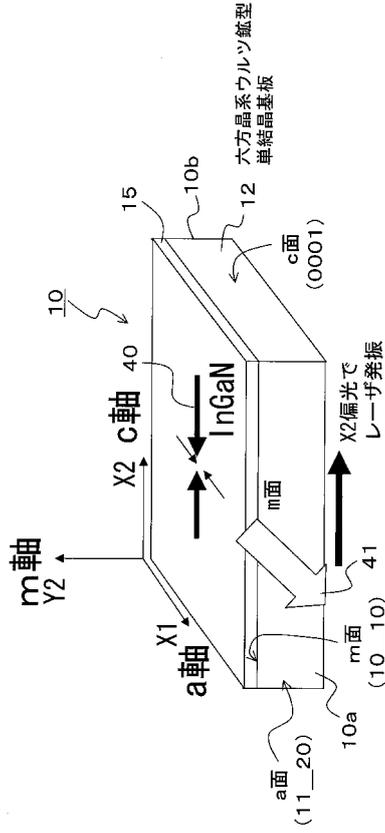
【符号の説明】

【0082】

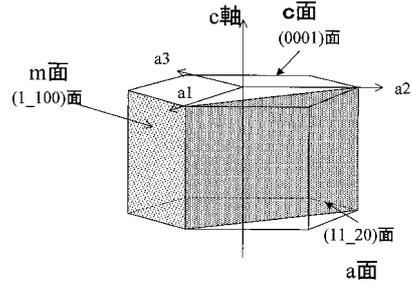
10A, 10B, 10C...半導体発光素子としての半導体レーザダイオード、11...下部電極、12...基板、12A...ZnMgO基板、12B...ZnCdO基板、13...擬似格子整合層、14...下部クラッド層、15...活性層、16...上部クラッド層、17...コンタクト層、18...パッシベーション膜、19...上部電極、21A...下部光ガイド層、21B...上部光ガイド層。

30

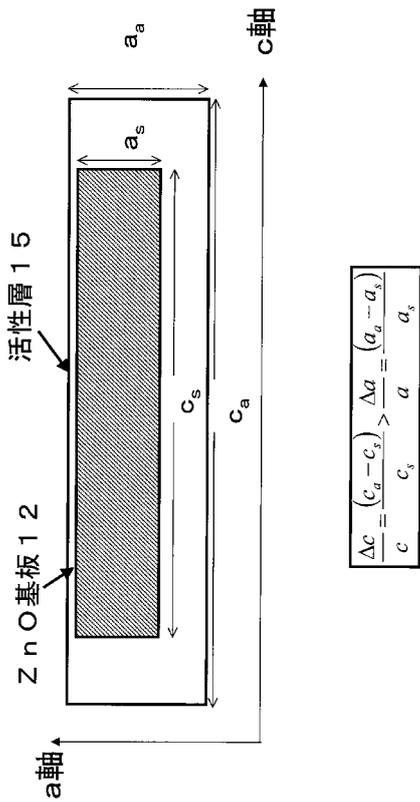
【 図 1 】



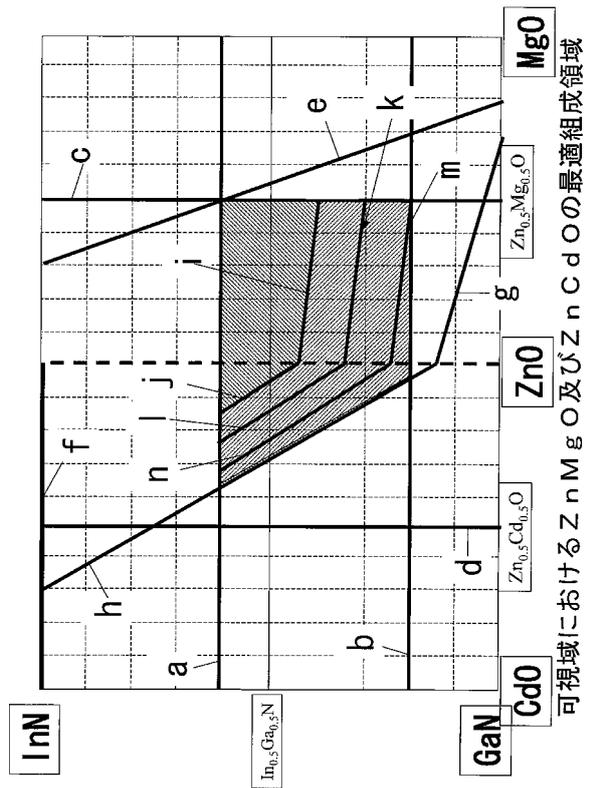
【 図 2 】



【 図 3 】



【 図 4 】



可視域におけるZnMgO及びZnCdOの最適組成領域

フロントページの続き

審査官 芝沼 隆太

- (56)参考文献 特開平9 - 116225 (JP, A)
特開2008 - 198653 (JP, A)
特開平10 - 74980 (JP, A)
特開2008 - 66550 (JP, A)
特開2009 - 32985 (JP, A)
特開2002 - 280307 (JP, A)
特開2009 - 123969 (JP, A)
小林篤 他, ZnO基板から面内に異方的歪みを受けたm面InGaNの光学特性, 第70回応用物理学会学術講演会講演予稿集, 日本, 2009年 9月 8日, 第1分冊, p.358

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