

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第5854419号
(P5854419)

(45) 発行日 平成28年2月9日(2016.2.9)

(24) 登録日 平成27年12月18日(2015.12.18)

(51) Int.Cl. F I
H O 1 L 33/08 (2010.01) H O 1 L 33/00 1 2 0

請求項の数 8 (全 18 頁)

(21) 出願番号	特願2011-60133 (P2011-60133)	(73) 特許権者	304020177
(22) 出願日	平成23年3月18日 (2011.3.18)		国立大学法人山口大学
(65) 公開番号	特開2012-195529 (P2012-195529A)		山口県山口市吉田 1 6 7 7 - 1
(43) 公開日	平成24年10月11日 (2012.10.11)	(74) 代理人	110001427
審査請求日	平成26年3月7日 (2014.3.7)		特許業務法人前田特許事務所
		(74) 代理人	100077931
			弁理士 前田 弘
		(74) 代理人	100110939
			弁理士 竹内 宏
		(74) 代理人	100110940
			弁理士 嶋田 高久
		(74) 代理人	100113262
			弁理士 竹内 祐二
		(74) 代理人	100115059
			弁理士 今江 克実

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 多波長発光素子及びその製造方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

主面が無極性面又は半極性面である半導体層の上に発光波長が異なる第 1 及び第 2 発光領域が構成された多波長発光素子であって、

上記第 1 発光領域では、上記主面が無極性面又は半極性面である半導体層の上に配置された第 1 半導体下地層と、その上に積層された第 1 半導体発光層と、が設けられ、

上記第 2 発光領域では、上記第 1 半導体下地層の上に配置された該第 1 半導体下地層と同一の構成元素で且つ元素組成比が異なる半導体で形成された第 2 半導体下地層と、その上に積層された第 2 半導体発光層と、が設けられており、

上記第 1 半導体下地層及び上記第 1 半導体発光層、並びに上記第 2 半導体下地層及び上記第 2 半導体発光層のそれぞれは、半導体がエピタキシャル結晶成長して形成されていることにより、上記主面が無極性面又は半極性面である半導体層の主面と同一の結晶面を主面とし、

上記第 1 発光領域では、上記主面が無極性面又は半極性面である半導体層の直上に上記第 1 半導体下地層が積層されていると共に、該第 1 半導体下地層の直上に上記第 1 半導体発光層が積層され、

上記第 2 発光領域では、上記第 1 半導体下地層の直上に積層された上記第 1 半導体発光層の直上に上記第 2 半導体下地層が積層されていると共に、その直上に上記第 2 半導体発光層が積層されている多波長発光素子。

【請求項 2】

10

20

請求項 1 に記載された多波長発光素子において、

上記主面が無極性面又は半極性面である半導体層がアンドープの半導体層である多波長発光素子。

【請求項 3】

請求項 1 又は 2 に記載された多波長発光素子において、

上記第 1 及び第 2 半導体下地層にはドーパントがドーブされている一方、上記第 1 及び第 2 半導体発光層にはドーパントがドーブされていない多波長発光素子。

【請求項 4】

主面が無極性面又は半極性面であるアンドープの半導体層の上に発光波長が異なる第 1 及び第 2 発光領域が構成された多波長発光素子であって、

上記第 1 発光領域では、上記主面が無極性面又は半極性面である半導体層の上に配置された第 1 半導体下地層と、その上に積層された第 1 半導体発光層と、が設けられ、

上記第 2 発光領域では、上記第 1 半導体下地層の上に配置された該第 1 半導体下地層と同一の構成元素で且つ元素組成比が異なる半導体で形成された第 2 半導体下地層と、その上に積層された第 2 半導体発光層と、が設けられており、

上記第 1 半導体下地層及び上記第 1 半導体発光層、並びに上記第 2 半導体下地層及び上記第 2 半導体発光層のそれぞれは、半導体がエピタキシャル結晶成長して形成されていることにより、上記主面が無極性面又は半極性面である半導体層の主面と同一の結晶面を主面とし、

上記第 1 発光領域では、上記主面が無極性面又は半極性面である半導体層の直上に上記第 1 半導体下地層が積層されていると共に、該第 1 半導体下地層の直上に上記第 1 半導体発光層が積層され、

上記第 2 発光領域では、上記第 1 半導体下地層の直上に上記第 2 半導体下地層が積層されていると共に、その直上に上記第 2 半導体発光層が積層されており、

上記第 1 及び第 2 半導体下地層にはドーパントがドーブされている一方、上記第 1 及び第 2 半導体発光層にはドーパントがドーブされていない多波長発光素子。

【請求項 5】

請求項 1 乃至 4 のいずれかに記載された多波長発光素子において、

上記第 1 及び第 2 半導体発光層は、相互に同一の構成元素で且つ元素組成比が異なる半導体で形成されている多波長発光素子。

【請求項 6】

請求項 1 乃至 5 のいずれかに記載された多波長発光素子において、

上記主面が無極性面又は半極性面である半導体層の上に上記第 1 及び第 2 発光領域とは発光波長が異なる第 3 発光領域が構成され、

上記第 3 発光領域では、上記第 1 及び第 2 半導体下地層の上に配置された該第 1 及び第 2 半導体下地層と同一の構成元素で且つ元素組成比が異なる半導体で形成された第 3 半導体下地層と、その上に積層された第 3 半導体発光層と、が設けられており、

上記第 3 半導体下地層及び上記第 3 半導体発光層のそれぞれは、半導体がエピタキシャル結晶成長して形成されていることにより、上記主面が無極性面又は半極性面である半導体層の主面と同一の結晶面を主面とする多波長発光素子。

【請求項 7】

請求項 1 乃至 6 のいずれかに記載された多波長発光素子において、

上記第 1 半導体下地層及び上記第 1 半導体発光層、並びに上記第 2 半導体下地層及び上記第 2 半導体発光層が InGa_nN で形成されている多波長発光素子。

【請求項 8】

請求項 4 に記載された多波長発光素子の製造方法において、

主面が無極性面又は半極性面である半導体層の上に第 1 半導体下地層を形成し、その上に、該第 1 半導体下地層と同一の構成元素で且つ元素組成比が異なる半導体で第 2 半導体下地層を、該第 1 半導体下地層の一部が露出した状態に形成した後、露出した第 1 半導体下地層の一部の上及び第 2 半導体下地層の上にそれぞれ第 1 及び第 2 半導体発光層を

10

20

30

40

50

同時に形成し、

上記第1半導体下地層及び上記第1半導体発光層、並びに上記第2半導体下地層及び上記第2半導体発光層のそれぞれを、半導体をエピタキシャル結晶成長させて形成することにより、上記主面が無極性面又は半極性面である半導体層の主面と同一の結晶面を主面とする多波長発光素子の製造方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は多波長発光素子及びその製造方法に関する。

10

【背景技術】

【0002】

発光波長が相互に異なる複数の半導体発光層を同一基板上に形成した多波長発光素子が種々提案されている。

【0003】

例えば、特許文献1には、同一基板上に、GaP系、AlGaAs系、またはAlGaInP系化合物半導体からなる発光ダイオード部を少なくとも1個積層し、その発光ダイオード部上に、GaN系化合物半導体からなる発光ダイオード部を1個以上積層した多波長発光素子が開示されている。

【0004】

20

特許文献2には、1つの基板材料上に少なくとも2種類以上の半導体発光素子を形成し、各々の半導体発光素子上に、それぞれの素子の発光波長に反応する蛍光体を複数種類塗布し、各々の半導体発光素子を同時に発光させることにより、広範囲の発光波長を有する可視光を発光する多波長発光装置が開示されている。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0005】

【特許文献1】特開平9-55538号公報

【特許文献2】特開2008-71805号公報

【発明の概要】

30

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

本発明の課題は、従来にない新規な多波長発光素子及びその製造方法を提供することである。

【課題を解決するための手段】

【0007】

本発明の多波長発光素子は、主面が無極性面又は半極性面である半導体層の上に発光波長が異なる第1及び第2発光領域が構成されたものであって、

上記第1発光領域では、上記主面が無極性面又は半極性面である半導体層の上に配置された第1半導体下地層と、その上に積層された第1半導体発光層と、が設けられ、

40

上記第2発光領域では、上記第1半導体下地層の上に配置された該第1半導体下地層と同一の構成元素で且つ元素組成比が異なる半導体で形成された第2半導体下地層と、その上に積層された第2半導体発光層と、が設けられており、

上記第1半導体下地層及び上記第1半導体発光層、並びに上記第2半導体下地層及び上記第2半導体発光層のそれぞれは、半導体がエピタキシャル結晶成長して形成されていることにより、上記主面が無極性面又は半極性面である半導体層の主面と同一の結晶面を主面とし、

上記第1発光領域では、上記主面が無極性面又は半極性面である半導体層の直上に上記第1半導体下地層が積層されていると共に、該第1半導体下地層の直上に上記第1半導体発光層が積層され、

50

上記第2発光領域では、上記第1半導体下地層の直上に積層された上記第1半導体発光層の直上に上記第2半導体下地層が積層されていると共に、その直上に上記第2半導体発光層が積層されている。

【0008】

本発明の別の多波長発光素子は、主面が無極性面又は半極性面であるアンドープの半導体層の上に発光波長が異なる第1及び第2発光領域が構成されたものであって、

上記第1発光領域では、上記主面が無極性面又は半極性面である半導体層の上に配置された第1半導体下地層と、その上に積層された第1半導体発光層と、が設けられ、

上記第2発光領域では、上記第1半導体下地層の上に配置された該第1半導体下地層と同一の構成元素で且つ元素組成比が異なる半導体で形成された第2半導体下地層と、その上に積層された第2半導体発光層と、が設けられており、

上記第1半導体下地層及び上記第1半導体発光層、並びに上記第2半導体下地層及び上記第2半導体発光層のそれぞれは、半導体がエピタキシャル結晶成長して形成されていることにより、上記主面が無極性面又は半極性面である半導体層の主面と同一の結晶面を主面とし、

上記第1発光領域では、上記主面が無極性面又は半極性面である半導体層の直上に上記第1半導体下地層が積層されていると共に、該第1半導体下地層の直上に上記第1半導体発光層が積層され、

上記第2発光領域では、上記第1半導体下地層の直上に上記第2半導体下地層が積層されていると共に、その直上に上記第2半導体発光層が積層されており、

上記第1及び第2半導体下地層にはドーパントがドーブされている一方、上記第1及び第2半導体発光層にはドーパントがドーブされていない。

【発明の効果】

【0009】

本発明は、第1発光領域において、第1半導体下地層の上に第1半導体発光層が積層されて設けられ、第2発光領域において、第1半導体下地層の上に配置された第1半導体下地層と同一の構成元素で且つ元素組成比が異なる半導体で形成された第2半導体下地層の上に第2半導体発光層が積層されて設けられた構成を有する従来にない新規な多波長発光素子である。

【図面の簡単な説明】

【0010】

【図1】実施形態1に係る多波長発光素子の断面図である。

【図2】(a)及び(b)は、実施形態1に係る多波長発光素子の製造方法の第1説明図である。

【図3】実施形態1に係る多波長発光素子の製造方法の第2説明図である。

【図4】(a)～(c)は、実施形態1に係る多波長発光素子の製造方法の第3説明図である。

【図5】(a)～(c)は、実施形態1に係る多波長発光素子の製造方法の第4説明図である。

【図6】(a)～(c)は、実施形態1に係る多波長発光素子の製造方法の第5説明図である。

【図7】実施形態1に係る多波長発光素子の製造方法の第6説明図である。

【図8】実施形態2に係る多波長発光素子の断面図である。

【図9】(a)～(c)は、実施形態2に係る多波長発光素子の製造方法の説明図である。

【図10】実施形態3に係る多波長発光素子の断面図である。

【図11】(a)～(c)は、実施形態3に係る多波長発光素子の製造方法の説明図である。

【発明を実施するための形態】

【0011】

以下、実施形態について図面に基づいて説明する。

【0012】

[実施形態1]

(多波長発光素子)

図1は実施形態1に係る多波長発光素子10を示す。

【0013】

<基板>

実施形態1に係る多波長発光素子10はベースとなる基板11を備えている。

【0014】

基板11としては、例えば、サファイア基板、SiC基板等が挙げられる。これらのうち汎用性の観点からAl₂O₃のコランダム構造の単結晶基板であるサファイア基板が好ましい。

10

【0015】

基板11の主面(基板11の厚さ方向を法線方向とし、それに直交する面)は、法線方向がa軸であるa面<{11-20}面>、法線方向がc軸であるc面<{0001}面>、及び法線方向がm軸であるm面<{1-100}面>のいずれであってもよく、また、r面<{1-102}面>、n面<{11-23}面>等の他の結晶面であってもよい。さらに、基板11の主面は、a軸等が主面の法線方向に対して所定の角度(例えば45°や60°、あるいは数度以内の微小角)傾斜したミスカット面であってもよい。つまり、基板11はミスカット基板であってもよい。なお、a面、c面、及びm面は面方位が相互に直交する。

20

【0016】

基板11は、表面に結晶成長面12を有している。基板11の結晶成長面12は、基板11の主面であってもよく、また、図1に示すように、基板11に形成された凹溝11aの側面であってもよい。凹溝11aは、側面を有せば、コの字溝であってもよく、V字溝であってもよく、台形溝であってもよい。凹溝11aは、例えば、溝開口幅が0.5~10μm、溝深さが0.75~100μm、及び溝側面の主面に対してなす角度が70~120°である。凹溝11aは、1本だけが形成されていてもよく、また、複数本が相互に間隔をおいて並行に延びるように形成されていてもよい。後者の場合、溝間隔は例えば1~100μmである。なお、結晶成長面12は、その他の凹部の側面や凸部乃至突条の側面で構成されていてもよい。

30

【0017】

<u-半導体層>

実施形態1に係る多波長発光素子10は、基板11上に積層されるように設けられたu-半導体層13を備えている。このu-半導体層13は、結晶成長面12を起点として、アンドープの半導体が結晶成長して形成されたものである。

【0018】

u-半導体層13を形成する半導体としては、例えば、InGaN、AlGaN等が挙げられる。u-半導体層13の厚さは例えば2~20μmである。

【0019】

u-半導体層13の主面は、a面<{11-20}面>、c面<{0001}面>、及びm面<{1-100}面>のいずれであってもよく、また、r面<{1-102}面>や(20-21)、(11-22)、(1-101)等の他の結晶面であってもよい。さらに、u-半導体層13の主面は、a軸等が主面の法線方向に対して所定の角度(例えば45°や60°、あるいは数度以内の微小角)傾斜した面であってもよい。u-半導体層13の主面は、厚さ方向の分極を防止する観点からは、a面<{11-20}面>やm面<{1-100}面>の無極性面又は(20-21)、(11-22)、(1-101)面等の半極性面であることが好ましい。

40

【0020】

なお、基板11とu-半導体層13との間には、厚さが20~30nm程度の低温パッ

50

ファ層が設けられていてもよい。

【0021】

< n型半導体層、半導体発光層、及びp型半導体層 >

実施形態1に係る多波長発光素子10は、u-半導体層13の上に積層されるように設けられた第1n型半導体層141(第1半導体下地層)、第1n型半導体層141の表面の一部分を露出させて、第1n型半導体層141の上に積層されるように設けられた第1半導体発光層151、及び第1半導体発光層151の上に積層されるように設けられた第1p型半導体層161を備えている。第1n型半導体層141は、u-半導体層13の主面を起点として、n型ドーパントがドーブされた半導体がエピタキシャル結晶成長して形成されたものである。第1半導体発光層151は、第1n型半導体層141の主面を起点として半導体がエピタキシャル結晶成長して形成されたものである。第1p型半導体層161は、第1半導体発光層151の主面を起点として、p型ドーパントがドーブされた半導体がエピタキシャル結晶成長して形成されたものである。従って、第1n型半導体層141、第1半導体発光層151、及び第1p型半導体層161は、u-半導体層13の主面と同一の結晶面を主面とする。

10

【0022】

実施形態1に係る多波長発光素子10は、第1p型半導体層161の表面の一部分を除いて、第1p型半導体層161の上に積層されるように設けられた第2n型半導体層142(第2半導体下地層)、第2n型半導体層142の表面の一部分を露出させて、第2n型半導体層142の上に積層されるように設けられた第2半導体発光層152、及び第2半導体発光層152の上に積層されるように設けられた第2p型半導体層162を備えている。第2n型半導体層142は、第1p型半導体層161の主面を起点として、n型ドーパントがドーブされた半導体がエピタキシャル結晶成長して形成されたものである。第2半導体発光層152は、第2n型半導体層142の主面を起点として半導体がエピタキシャル結晶成長して形成されたものである。第2p型半導体層162は、第2半導体発光層152の主面を起点として、p型ドーパントがドーブされた半導体がエピタキシャル結晶成長して形成されたものである。従って、第2n型半導体層142、第2半導体発光層152、及び第2p型半導体層162は、第1p型半導体層161、よって、u-半導体層13の主面と同一の結晶面を主面とする。

20

【0023】

実施形態1に係る多波長発光素子10は、第2p型半導体層162の表面の一部分を除いて、第2p型半導体層162の上に積層されるように設けられた第3n型半導体層143(第3半導体下地層)、第3n型半導体層143の表面の一部分を露出させて、第3n型半導体層143の上に積層されるように設けられた第3半導体発光層153、及び第3半導体発光層153の上に積層されるように設けられた第3p型半導体層163を備えている。第3n型半導体層143は、第2p型半導体層162の主面を起点として、n型ドーパントがドーブされた半導体がエピタキシャル結晶成長して形成されたものである。第3半導体発光層153は、第3n型半導体層143の主面を起点として半導体がエピタキシャル結晶成長して形成されたものである。第3p型半導体層163は、第3半導体発光層153の主面を起点として、p型ドーパントがドーブされた半導体がエピタキシャル結晶成長して形成されたものである。従って、第3n型半導体層143、第3半導体発光層153、及び第3p型半導体層163は、第2p型半導体層162、よって、u-半導体層13の主面と同一の結晶面を主面とする。

30

40

【0024】

そして、実施形態1に係る多波長発光素子10では、第1p型半導体層161の露出部分が第1発光領域A1、第2p型半導体層162の露出部分が第2発光領域A2、及び第3p型半導体層163の積層部分が第3発光領域A3にそれぞれ構成されている。

【0025】

- 第1～第3n型半導体層 -

第1～第3n型半導体層141～143は、同一の構成元素の半導体で形成されている

50

。第1～第3 n型半導体層141～143を形成する半導体としては、例えば、InGaN、AlGaN等が挙げられる。

【0026】

第1～第3 n型半導体層141～143を形成する半導体は、同一の構成元素を有するが、元素組成比が相互に異なっている。具体例としては、例えば、第1 n型半導体層141が $\text{In}_{0.05}\text{GaN}$ 、第2 n型半導体層142が $\text{In}_{0.2}\text{GaN}$ 、及び第3 n型半導体層143が $\text{In}_{0.3}\text{GaN}$ でそれぞれ形成された構成が挙げられる。

【0027】

第1～第3 n型半導体層141～143に含まれるn型ドーパントとしては、例えば、Si、Ge等が挙げられる。n型ドーパントの濃度は例えば $1.0 \times 10^{17} \sim 2.0 \times 10^{17} / \text{cm}^3$ である。

10

【0028】

第1～第3 n型半導体層141～143は、単一層で構成されていてもよく、また、n型ドーパントの種類や濃度の異なる複数の層で構成されていてもよい。第1～第3 n型半導体層141～143の厚さは例えば2～10 μm である。

【0029】

これらの第1～第3 n型半導体層141～143は、後述の第1～第3半導体発光層151～153の下地層を構成するものであり、例えばInGaN/GaN超格子構造などのように欠陥の伝搬及び発生を防ぐ構造を有していてもよい。

【0030】

20

- 第1～第3半導体発光層 -

第1～第3半導体発光層151～153は、相互に同一の構成元素で且つ元素組成比が異なる半導体で形成されていてもよく、また、相互に異なる構成元素の半導体で形成されていてもよい。第1～第3半導体発光層151～153は、相互に同一の構成元素の半導体で形成され、層厚が異なってもよい。これにより、第1～第3半導体発光層151～153は、発光波長が相互に異なるように構成されている。第1～第3半導体発光層151～153を形成する半導体としては、例えば、InGaN、AlGaN等が挙げられる。

【0031】

第1～第3半導体発光層151～153が相互に元素組成比が異なるInGaNで形成されている場合、第1半導体発光層151を形成するInGaNよりも第2半導体発光層152を形成するInGaNの方がInN混晶比が高く、また、第2半導体発光層152を形成するInGaNよりも第3半導体発光層153を形成するInGaNの方がInN混晶比がさらに高いことが好ましい。ここで、InGaNの発光波長は、InN混晶比に依存し、InN混晶比が高いほど発光波長は長波長となる。従って、第1半導体発光層151のみを含む第1発光領域A1、第1及び第2半導体発光層151、152を含む第2発光領域A2、並びに第1～第3半導体発光層151～153を含む第3発光領域A3は相互に発光波長が異なり、しかも、この順に全体を平均したInN混晶比が高くなるので、発光波長もこの順に長くなる。

30

【0032】

40

第1～第3半導体発光層151～153は、単一層で構成されていてもよく、また、井戸層と障壁層とが交互に積層された多重量子井戸層構造を有していてもよい。第1～第3半導体発光層151～153の厚さは例えば3～100 nmである。

【0033】

なお、第1～第3発光領域A1～A3は、例えば、R(赤)、G(緑)、及びB(青)の光を発光するようにそれぞれ構成されていてもよい。これによりワンチップの白色発光素子(白色LED)を構成することができる。

【0034】

- 第1～第3 p型半導体層 -

第1～第3 p型半導体層161～163は、相互に同一の構成元素の半導体で形成され

50

ていてもよく、また、相互に異なる構成元素の半導体で形成されていてもよい。前者の場合、第1～第3 p型半導体層161～163を形成する半導体は同一の元素組成比を有していてもよい。第1～第3 p型半導体層161～163を形成する半導体としては、例えば、InGa_N、AlGa_N等が挙げられる。

【0035】

第1～第3 p型半導体層161～163に含まれるp型ドーパントとしては、例えば、Mg、Cd等が挙げられる。ホール効果測定で測定される自由正孔濃度は例えば $2.0 \times 10^{17} \sim 1.0 \times 10^{17} / \text{cm}^3$ である。

【0036】

第1～第3 p型半導体層161～163は、単一層で構成されていてもよく、また、p型ドーパントの種類や濃度の異なる複数の層で構成されていてもよい。第1～第3 p型半導体層161～163の厚さは例えば50～200 nmである。

10

【0037】

<n型電極及びp型電極>

実施形態1に係る多波長発光素子10は、第1～第3 n型半導体層141～143に電氣的に接続するようにそれぞれ設けられた第1～第3 n型電極171～173、及び第1～第3 p型半導体層161～163に電氣的に接続するようにそれぞれ設けられた第1～第3 p型電極181～183を備えている。

【0038】

第1～第3 n型電極171～173の構成電極材料としては、例えば、Ti/Al、Ti/Al/Mo/Au、Hf/Au等の積層構造、或いは合金等が挙げられる。第1～第3 n型電極171～173の厚さは例えばTi/Al(10 nm/500 nm)である。

20

【0039】

第1～第3 p型電極181～183としては、例えば、Pd/Pt/Au、Ni/Au、Pd/Mo/Au等の積層構造、或いは合金等、又はITO(酸化インジウム錫)などの酸化物系透明導電材料が挙げられる。なお、第1～第3 p型電極181～183の上にはワイヤーボンディング用のパッド電極が必要であり、多くの場合は第1～第3 n型電極171～173と同じ材料系が用いられる。第1～第3 p型電極181～183の厚さは例えばITOの場合10～200 nmである。

【0040】

30

(多波長発光素子の製造方法)

実施形態1に係る多波長発光素子10の製造方法について図2～7に基づいて説明する。以下の実施形態1に係る多波長発光素子10の製造方法では、ウエハ11'(基板11)上に形成した凹溝11aの側面から結晶成長させたu-半導体層13としてのu-InGa_N層、第1 n型半導体層141としてのSiをドーブした第1 n型InGa_N層、第1半導体発光層151としての第1 InGa_N層、及び第1 p型半導体層161としてのMgをドーブした第1 p型InGa_N層の各半導体層を順に形成し、次いで、第2 n型半導体層142としてのSiをドーブした第2 n型InGa_N層、第2半導体発光層152としての第2 InGa_N層、及び第2 p型半導体層162としてのMgをドーブした第2 p型InGa_N層の各半導体層を順に形成し、続いて、第3 n型半導体層143としてのSiをドーブした第3 n型InGa_N層、第3半導体発光層153としての第3 InGa_N層、及び第3 p型半導体層163としてのMgをドーブした第3 p型InGa_N層の各半導体層を順に形成し、そして、第1～第3 n型半導体層141～143並びに第1及び第2 p型半導体層161、162のそれぞれが露出するようにエッチングを行った後、第1～第3 n型半導体層141～143及び第1～第3 p型半導体層161～163の上に、それぞれ第1～第3 n型電極171～173及び第1～第3 p型電極181～183を形成するものを例とする。

40

【0041】

<ウエハ(基板)準備工程>

ウエハ11'の各多波長発光素子10の形成領域において、図2(a)に示すように、

50

凹溝形成予定部分だけが開口部となるようにフォトリソスト 20 のパターンニングを形成し、図 2 (b) に示すように、フォトリソスト 20 をエッチングレジストとしてエッチングすることにより、ウエハ 11' の表面に凹溝 11 a を形成した後、フォトリソスト 20 を除去する。

【 0042 】

このとき、ウエハ 11' の各多波長発光素子 10 の形成領域には、表面に結晶成長面 12 を構成する凹溝 11 a の側面が露出する。

【 0043 】

< 半導体層形成工程 >

以下の各半導体層の形成方法としては、有機金属気相成長法 (Metal Organic Vapor Phase Epitaxy : MOVPE)、分子線エピタキシ法 (Molecular Beam Epitaxy : MBE)、ハイドライド気相成長法 (Hydride Vapor Phase Epitaxy : HVPE) 等が挙げられ、これらのうち有機金属気相成長法が最も一般的である。以下では、有機金属気相成長法を利用した各半導体層の形成方法について説明する。

【 0044 】

各半導体層の形成に用いる MOVPE 装置は、各々、電子制御される、ウエハ搬送系、ウエハ加熱系、ガス供給系、及びガス排気系で構成されている。ウエハ加熱系は、熱電対及び抵抗加熱ヒータ、その上に設けられた炭素製或いは SiC 製のサセプタで構成されている。そして、MOVPE 装置は、ウエハ加熱系において、搬送される石英トレイのサセプタの上にセットされたウエハ 11' 上に反応ガスにより半導体層を結晶成長させるように構成されている。

【 0045 】

- u-半導体層形成工程 -

上記 MOVPE 装置を用い、表面に凹溝 11 a を形成加工したウエハ 11' を、表面が上向きになるように石英トレイ上にセットした後、ウエハ 11' を 1050 ~ 1150 に加熱すると共に反応容器内の圧力を 10 k ~ 100 kPa とし、また、反応容器内に設置したフローチャンネル内にキャリアガスとして H₂ を流通させ、その状態を数分間保持することによりウエハ 11' をサーマルクリーニングする。

【 0046 】

次いで、ウエハ 11' の温度を 900 ~ 1150 とすると共に反応容器内の圧力を 10 k ~ 100 kPa とし、また、反応容器内にキャリアガス H₂ を 10 L / min 程度の流量で流通させながら、そこに反応ガスとして、V 族元素供給源 (NH₃)、III 族元素供給源 1 (TMG)、及び III 族元素供給源 2 (TMI) を、それぞれの供給流量が 0.1 ~ 5 L / min、5 ~ 15 μmol / min、及び 2 ~ 30 μmol / min 流す。

【 0047 】

このとき、図 3 に示すように、結晶成長条件の選択により、結晶成長面 12 である凹溝 11 a の側面を起点として、アンドープの InGaN が基板 11 の上に積層されるように結晶成長して u-半導体層 13 が形成される。

【 0048 】

なお、u-半導体層 13 を形成する前に低温バッファ層を形成する場合には、ウエハ 11' の温度を 400 ~ 500 とし、GaN を結晶成長させればよい。

【 0049 】

- 第 1 n 型半導体層形成工程 -

反応容器内の圧力を 10 k ~ 100 kPa とし、また、反応容器内にキャリアガス H₂ を所定流量で流通させながら、そこに反応ガスとして、V 族元素供給源 (NH₃)、III 族元素供給源 1 (TMG)、V 族元素供給源 (NH₃)、III 族元素供給源 1 (TMG)、及び III 族元素供給源 2 (TMI)、並びに n 型ドーピング元素供給源 (SiH₄) を、それぞれ適量の供給流量で流す。

【 0050 】

このとき、図 4 (a) に示すように、結晶成長条件の選択により、u-半導体層 13 の

10

20

30

40

50

主面を起点として、 n 型ドーパントである Si がドーブされた $InGaN$ が u -半導体層13の上に積層されるようにエピタキシャル結晶成長して第1 n 型半導体層141が形成される。

【0051】

- 第1半導体発光層形成工程 -

ウエハ11'の温度を800程度とすると共に反応容器内の圧力を10k~100kPaとし、また、反応容器内にキャリアガス N_2 を5~15L/minの流量で流通させながら、そこに反応ガスとして、 V 族元素供給源(NH_3)、 III 族元素供給源1(TMG)、及び III 族元素供給源2(TMI)を、それぞれの供給流量が0.1~5L/min、5~15 μ mol/min、及び2~30 μ mol/min流す。

10

【0052】

このとき、図4(b)に示すように、結晶成長条件の選択により、第1 n 型半導体層141の主面を起点として、 $InGaN$ が第1 n 型半導体層141の上に積層されるようにエピタキシャル結晶成長して第1半導体発光層151が形成される。

【0053】

- 第1 p 型半導体層の形成工程 -

ウエハ11'の温度を1000~1100とすると共に反応容器内の圧力を10k~100kPaとし、また、反応容器内にキャリアガスの H_2 を所定流量で流通させながら、そこに反応ガスとして、 V 族元素供給源(NH_3)、 III 族元素供給源1(TMG)、 V 族元素供給源(NH_3)、 III 族元素供給源1(TMG)、及び III 族元素供給源2(TMI)、並びに p 型ドーピング元素供給源(Cp_2Mg)を、それぞれ適量の供給流量で流す。

20

【0054】

このとき、図4(c)に示すように、結晶成長条件の選択により、第1半導体発光層151の主面を起点として、 p 型ドーパントである Mg がドーブされた $InGaN$ が第1半導体発光層151の上に積層されるように結晶成長して第1 p 型半導体層161が形成される。

【0055】

- 第2 n 型半導体層形成工程 -

反応ガスの供給流量を変更することを除いて第1 n 型半導体層形成工程と同様の操作を行う。

30

【0056】

このとき、図5(a)に示すように、結晶成長条件の選択により、第1 p 型半導体層161の主面を起点として、第1 n 型半導体層141と同一の構成元素で且つ元素組成比が異なる $InGaN$ が第1 p 型半導体層161の上に積層されるようにエピタキシャル結晶成長して第2 n 型半導体層142が形成される。なお、 InN 混晶比は、TMIのモル流量/(TMGのモル流量+TMIのモル流量)と成長温度によって決定されることから、第1 n 型半導体層141よりも InN 混晶比を高めるためには、第1 n 型半導体層形成工程よりも III 族元素供給源2(TMI)の供給流量を増やすことが好ましい。

40

【0057】

- 第2半導体発光層形成工程 -

第1半導体発光層形成工程と同様の操作を行う。

【0058】

このとき、図5(b)に示すように、結晶成長条件の選択により、第2 n 型半導体層142の主面を起点として、第1半導体発光層151とは元素組成比が異なる半導体で形成された、及び/又は、第1半導体発光層151とは層厚が異なる $InGaN$ が第1 n 型半導体層141の上に積層されるようにエピタキシャル結晶成長して第2半導体発光層152が形成される。

【0059】

- 第2 p 型半導体層の形成工程 -

50

第1 p型半導体層形成工程と同様の操作を行う。

【0060】

このとき、図5(c)に示すように、結晶成長条件の選択により、第2半導体発光層152の主面を起点として、p型ドーパントであるMgがドーブされたInGaNが第2半導体発光層152の上に積層されるようにエピタキシャル結晶成長して第2 p型半導体層162が形成される。

【0061】

- 第3 n型半導体層形成工程 -

反応ガスの供給流量を変更することを除いて第1及び第2 n型半導体層形成工程と同様の操作を行う。

10

【0062】

このとき、図6(a)に示すように、結晶成長条件の選択により、第2 p型半導体層162の主面を起点として、第1及び第2 n型半導体層141, 142と同一の構成元素で且つ元素組成比が異なるInGaNが第2 p型半導体層162の上に積層されるようにエピタキシャル結晶成長して第3 n型半導体層143が形成される。なお、InN混晶比は、TMIのモル流量/(TMGのモル流量+TMIのモル流量)と成長温度によって決定されることから、第1及び第2 n型半導体層141, 142よりもInN混晶比を高めるためには、第1及び第2 n型半導体層形成工程よりもIII族元素供給源2(TMI)の供給流量を増やすことが好ましい。

【0063】

- 第3半導体発光層形成工程 -

第1及び第2半導体発光層形成工程と同様の操作を行う。

20

【0064】

このとき、図6(b)に示すように、結晶成長条件の選択により、第3 n型半導体層143の主面を起点として、第1及び第2半導体発光層151, 152とは元素組成比が異なる半導体で形成された、及び/又は、第1及び第2半導体発光層151, 152とは層厚が異なるInGaNが第3 n型半導体層143の上に積層されるようにエピタキシャル結晶成長して第3半導体発光層153が形成される。

【0065】

- 第3 p型半導体層の形成工程 -

第1及び第2 p型半導体層形成工程と同様の操作を行う。

30

【0066】

このとき、図6(c)に示すように、結晶成長条件の選択により、第3半導体発光層153の主面を起点として、p型ドーパントであるMgがドーブされたInGaNが第3半導体発光層153の上に積層されるようにエピタキシャル結晶成長して第3 p型半導体層163が形成される。

【0067】

< 電極形成及び劈開工程 >

図7に示すように、第1～第3 n型半導体層141～143並びに第1及び第2 p型半導体層161, 162のそれぞれが露出するように反応性イオンエッチングし、露出した第1～第3 n型半導体層141～143並びに第1～第3 p型半導体層161～163の上に、真空蒸着、スパッタリング、CVD (Chemical Vapor Deposition) 等の方法により、それぞれ第1～第3 n型電極171～173及び第1～第3 p型電極181～183を形成する。なお、第1 n型半導体層141、第1半導体発光層151、及び第1 p型半導体層161からなり第1 p型半導体層161が露出した部分が第1発光領域A1、第1及び第2 n型半導体層141, 142、第1及び第2半導体発光層151, 152、並びに第1及び第2 p型半導体層161, 162からなり第2 p型半導体層162が露出した部分が第2発光領域A2、また、第1～第3 n型半導体層141～143、第1～第3半導体発光層151～153、並びに第1～第3 p型半導体層161～163からなり第3 p型半導体層163が露出した部分が第3発光領域A3にそれぞれ構成される。

40

50

【 0 0 6 8 】

そして、ウエハ 1 1 ' を劈開することにより個々に分断し、実施形態 1 に係る多波長発光素子 1 0 が製造される。

【 0 0 6 9 】

[実施形態 2]

(多波長発光素子)

図 8 は実施形態 2 に係る多波長発光素子 1 0 を示す。なお、実施形態 1 と同一名称の部分は実施形態 1 と同一符号で示す。

【 0 0 7 0 】

実施形態 2 に係る多波長発光素子 1 0 は、u-半導体層 1 3 の上に積層されるように設けられた第 1 n 型半導体層 1 4 1 (第 1 半導体下地層)、第 1 n 型半導体層 1 4 1 の表面の一部分を露出させて、第 1 n 型半導体層 1 4 1 の上に積層されるように設けられた第 1 半導体発光層 1 5 1、第 1 半導体発光層 1 5 1 の表面の一部分を除いて、第 1 半導体発光層 1 5 1 の上に積層されるように設けられた第 2 n 型半導体層 1 4 2 (第 2 半導体下地層)、第 2 n 型半導体層 1 4 2 の表面の一部分を露出させて、第 2 n 型半導体層 1 4 2 の上に積層されるように設けられた第 2 半導体発光層 1 5 2、第 2 半導体発光層 1 5 2 の表面の一部分を除いて、第 2 半導体発光層 1 5 2 の上に積層されるように設けられた第 3 n 型半導体層 1 4 3 (第 3 半導体下地層)、及び第 3 n 型半導体層 1 4 3 の表面の一部分を露出させて、第 3 n 型半導体層 1 4 3 の上に積層されるように設けられた第 3 半導体発光層 1 5 3 を備えている。第 1 n 型半導体層 1 4 1 は、u-半導体層 1 3 の主面を起点として、n 型ドーパントがドーブされた半導体がエピタキシャル結晶成長して形成されたものである。第 1 半導体発光層 1 5 1 は、第 1 n 型半導体層 1 4 1 の主面を起点として半導体がエピタキシャル結晶成長して形成されたものである。第 2 n 型半導体層 1 4 2 は、第 1 半導体発光層 1 5 1 の主面を起点として、n 型ドーパントがドーブされた半導体がエピタキシャル結晶成長して形成されたものである。第 2 半導体発光層 1 5 2 は、第 2 n 型半導体層 1 4 2 の主面を起点として半導体がエピタキシャル結晶成長して形成されたものである。第 3 n 型半導体層 1 4 3 は、第 2 半導体発光層 1 5 2 の主面を起点として、n 型ドーパントがドーブされた半導体がエピタキシャル結晶成長して形成されたものである。第 3 半導体発光層 1 5 3 は、第 3 n 型半導体層 1 4 3 の主面を起点として半導体がエピタキシャル結晶成長して形成されたものである。第 1 ~ 第 3 n 型半導体層 1 4 1 ~ 1 4 3 を形成する半導体は、同一の構成元素を有するが、元素組成比が相互に異なっている。なお、第 1 ~ 第 3 n 型半導体層 1 4 1 ~ 1 4 3 は、第 1 ~ 第 3 半導体発光層 1 5 1 ~ 1 5 3 の下地層を構成するものであり、例えば InGa_nN/GaN 超格子構造などのように欠陥の伝搬及び発生を防ぐ構造を有していてもよい。

【 0 0 7 1 】

実施形態 2 に係る多波長発光素子 1 0 は、第 1 半導体発光層 1 5 1 の第 2 n 型半導体層 1 4 2 が積層されていない部分、第 2 半導体発光層 1 5 2 の第 3 n 型半導体層 1 4 3 が積層されていない部分、及び第 3 半導体発光層 1 5 3 の上に積層されるように設けられた第 1 ~ 第 3 p 型半導体層 1 6 1 ~ 1 6 3 を備えている。第 1 ~ 第 3 p 型半導体層 1 6 1 ~ 1 6 3 は、それぞれ第 1 ~ 第 3 半導体発光層 1 5 1 ~ 1 5 3 の主面を起点として半導体がエピタキシャル結晶成長して形成されたものである。

【 0 0 7 2 】

実施形態 2 に係る多波長発光素子 1 0 は、第 1 ~ 第 3 n 型半導体層 1 4 1 ~ 1 4 3 に電氣的に接続するようにそれぞれ設けられた第 1 ~ 第 3 n 型電極 1 7 1 ~ 1 7 3、及び第 1 ~ 第 3 p 型半導体層 1 6 1 ~ 1 6 3 に電氣的に接続するようにそれぞれ設けられた第 1 ~ 第 3 p 型電極 1 8 1 ~ 1 8 3 を備えている。

【 0 0 7 3 】

実施形態 2 に係る多波長発光素子 1 0 では、第 1 p 型電極 1 8 1 が設けられた第 1 p 型半導体層 1 6 1 の露出部分が第 1 発光領域 A 1、第 2 p 型電極 1 8 2 が設けられた第 2 p 型半導体層 1 6 2 の露出部分が第 2 発光領域 A 2、及び第 3 p 型電極 1 8 3 が設けられた

10

20

30

40

50

第3 p型半導体層163の積層部分が第3発光領域A3にそれぞれ構成されている。

【0074】

各層の詳細構成及びその他の構成は実施形態1と同一である。

【0075】

(多波長発光素子の製造方法)

実施形態2に係る多波長発光素子10の製造方法では、図9(a)に示すように、ウエハ11'(基板11)上に形成した凹溝11aの側面から結晶成長させたu-半導体層13としてのu-InGa_N層、第1n型半導体層141としてのSiをドープした第1n型InGa_N層、第1半導体発光層151としての第1InGa_N層、第2n型半導体層142としてのSiをドープした第2n型InGa_N層、第2半導体発光層152としての第2InGa_N層、第3n型半導体層143としてのSiをドープした第3n型InGa_N層、及び第3半導体発光層153としての第3InGa_N層を順に形成し、次いで、図9(b)に示すように、第1~第3n型半導体層141~143並びに第1及び第2半導体発光層151, 152のそれぞれが露出するようにエッチングを行った後、図9(c)に示すように、第1~第3半導体発光層151~153の露出部分にそれぞれ第1~第3p型InGa_N層を同時に形成し、さらに、第1~第3n型半導体層141~143の露出部分及び第1~第3p型半導体層161~163の上に、それぞれ第1~第3n型電極171~173及び第1~第3p型電極181~183を形成する。

10

【0076】

各工程の詳細は実施形態1と同一である。

20

【0077】

[実施形態3]

(多波長発光素子)

図10は実施形態3に係る多波長発光素子10を示す。なお、実施形態1と同一名称の部分は実施形態1と同一符号で示す。

【0078】

実施形態3に係る多波長発光素子10は、u-半導体層13の上に積層されるように設けられた第1n型半導体層141(第1半導体下地層)、第1n型半導体層141の表面の一部分を露出させると共に表面の他の一部分を除いて、第1n型半導体層141の上に積層されるように設けられた第2n型半導体層142(第2半導体下地層)、及び第2n型半導体層142の表面の一部分を露出させると共に表面の他の一部分を除いて、第2n型半導体層142の上に積層されるように設けられた第3n型半導体層143(第3半導体下地層)を備えている。第1n型半導体層141は、u-半導体層13の主面を起点として、n型ドーパントがドープされた半導体がエピタキシャル結晶成長して形成されたものである。第2n型半導体層142は、第1n型半導体層141の主面を起点として、n型ドーパントがドープされた半導体がエピタキシャル結晶成長して形成されたものである。第3n型半導体層143は、第2n型半導体層142の主面を起点として、n型ドーパントがドープされた半導体がエピタキシャル結晶成長して形成されたものである。第1~第3n型半導体層141~143を形成する半導体は、同一の構成元素を有するが、元素組成比が相互に異なっている。なお、第1~第3n型半導体層141~143は、第1~第3半導体発光層151~153の下地層を構成するものであり、例えばInGa_N/Ga_N超格子構造などのように欠陥の伝搬及び発生を防ぐ構造を有していてもよい。

30

40

【0079】

実施形態3に係る多波長発光素子10は、第1n型半導体層141の第2n型半導体層142が積層されていない他の一部分、第2n型半導体層142の第3n型半導体層143が積層されていない他の一部分、及び第3n型半導体発光層の上に積層されるように設けられた第1~第3半導体発光層151~153を備えている。第1~第3半導体発光層151~153は、それぞれ第1~第3n型半導体層141~143の主面を起点として半導体エピタキシャル結晶成長して形成されたものである。また、実施形態3に係る多波長発光素子10は、第1~第3半導体発光層151~153の上に積層されるように設

50

けられた第1～第3 p型半導体層161～163を備えている。第1～第3 p型半導体層161～163は、それぞれ第1～第3半導体発光層151～153の主面を起点として半導体がエピタキシャル結晶成長して形成されたものである。

【0080】

実施形態2に係る多波長発光素子10は、第1～第3 n型半導体層141～143に電氣的に接続するようにそれぞれ設けられた第1～第3 n型電極171～173、及び第1～第3 p型半導体層161～163に電氣的に接続するようにそれぞれ設けられた第1～第3 p型電極181～183を備えている。

【0081】

実施形態3に係る多波長発光素子10は、第1 p型電極181が設けられた第1 p型半導体層161の露出部分が第1発光領域A1、第2 p型電極182が設けられた第2 p型半導体層162の露出部分が第2発光領域A2、及び第3 p型電極183が設けられた第3 p型半導体層163の積層部分が第3発光領域A3にそれぞれ構成されている。

【0082】

各層の詳細構成及びその他の構成は実施形態1と同一である。

【0083】

(多波長発光素子の製造方法)

実施形態3に係る多波長発光素子10の製造方法では、図11(a)に示すように、ウエハ11'(基板11)上に形成した凹溝11aの側面から結晶成長させたu-半導体層13としてのu-InGaN層、第1 n型半導体層141としてのSiをドープした第1 n型InGaN層、第2 n型半導体層142としてのSiをドープした第2 n型InGaN層、及び第3 n型半導体層143としてのSiをドープした第3 n型InGaN層を順に形成し、次いで、図11(b)に示すように、第1及び第2 n型半導体層141、142のそれぞれが露出するようにエッチングを行った後、図11(c)に示すように、第1～第3 n型半導体層141～143の露出部分にそれぞれ第1～第3半導体発光層151～153を同時に形成する。ここで、第1～第3 n型半導体層143を形成する半導体は、同一の構成元素を有するが、元素組成比が相互に異なっていることから、第1～第3半導体発光層151～153は、同一の構成元素で且つ相互に元素組成比が異なる半導体で形成され、及び/又は、同一の構成元素により相互に層厚が異なって形成される。その後、第1～第3半導体発光層151～153の上にそれぞれ第1～第3 p型半導体層161～163を同時に形成し、さらに、第1～第3 n型半導体層141～143の露出部分及び第1～第3 p型半導体層161～163の上にそれぞれ第1～第3 n型電極171～173及び第1～第3 p型電極181～183を形成する。

【0084】

各工程の詳細は実施形態1と同一である。

【0085】

[その他の実施形態]

上記実施形態では、第1～第3発光領域A1～A3を有する多波長発光素子10としたが、特にこれに限定されるものではなく、3つよりも多くの発光領域を有するものであってもよい。

【産業上の利用可能性】

【0086】

本発明は多波長発光素子及びその製造方法について有用である。

【符号の説明】

【0087】

- 10 多波長発光素子
- 11 基板
- 11a 凹溝
- 11' ウエハ
- 12 結晶成長面

10

20

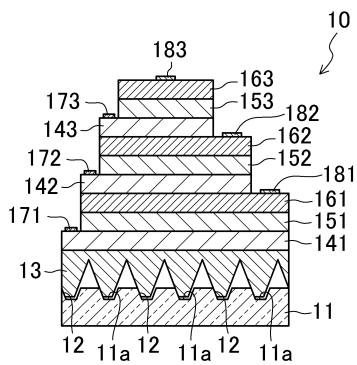
30

40

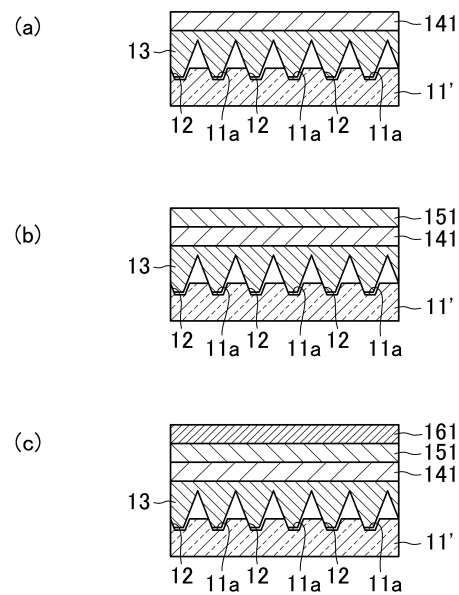
50

- 13 u-半導体層
- 141 ~ 143 第1 ~ 第3 n型半導体層 (第1 ~ 第3 半導体下地層)
- 151 ~ 153 第1 ~ 第3 半導体発光層
- 161 ~ 163 第1 ~ 第3 p型半導体層
- 171 ~ 173 第1 ~ 第3 n型電極
- 181 ~ 183 第1 ~ 第3 p型電極
- 20 フォトレジスト
- A1 ~ A3 第1 ~ 第3 発光領域

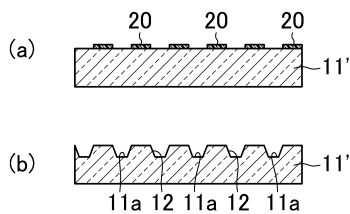
【図1】



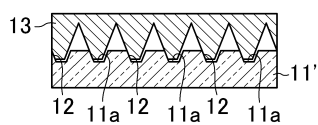
【図4】



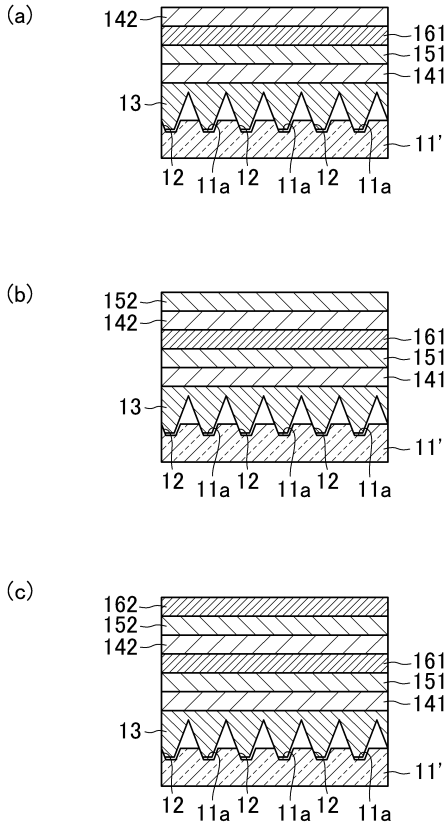
【図2】



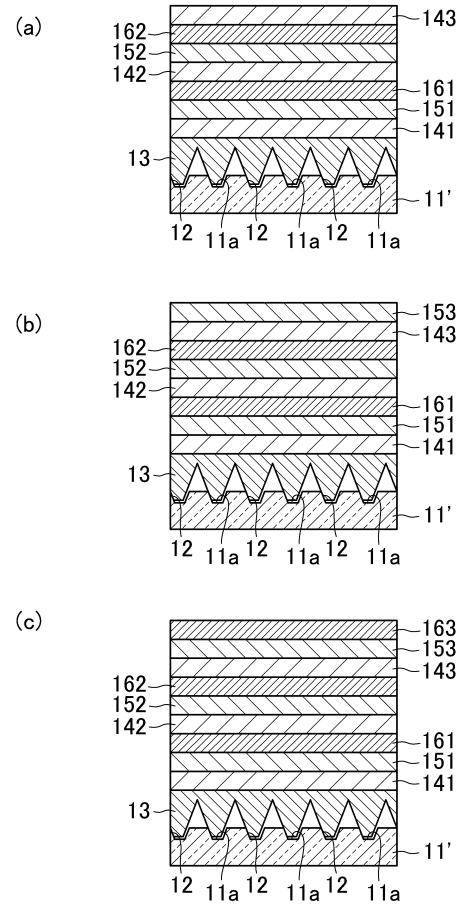
【図3】



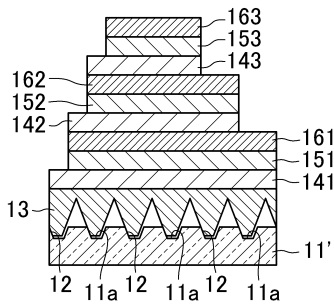
【 図 5 】



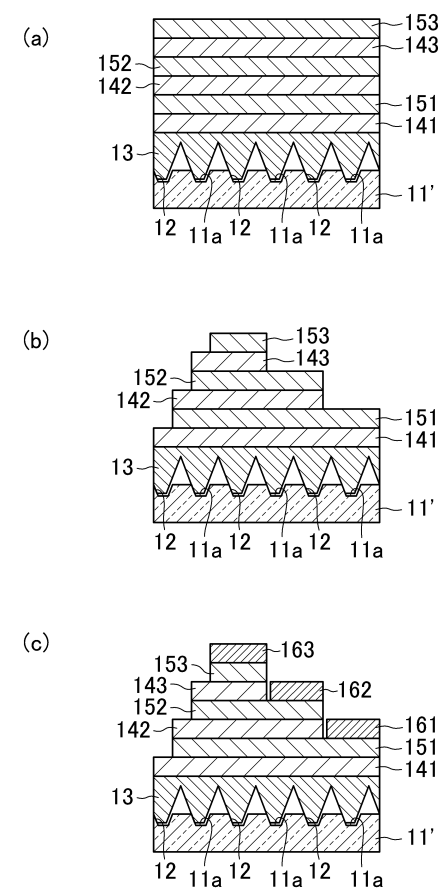
【 図 6 】



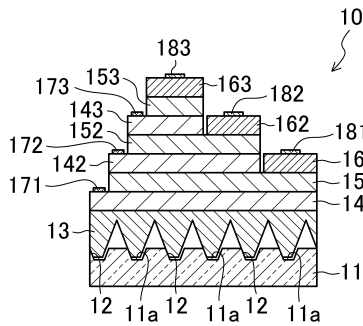
【 図 7 】



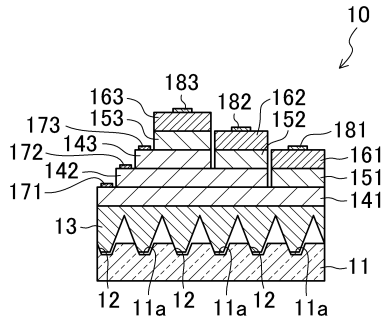
【 図 9 】



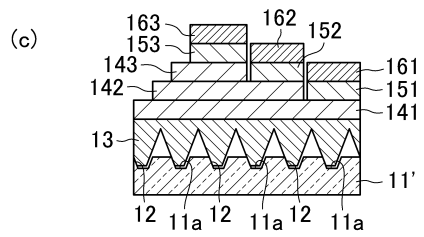
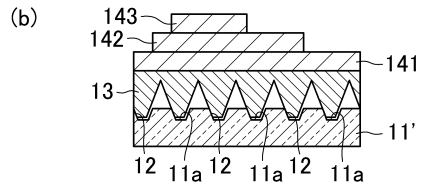
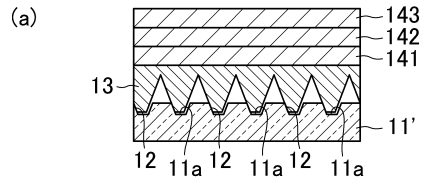
【 図 8 】



【図 10】



【図 11】



フロントページの続き

- (74)代理人 100117581
弁理士 二宮 克也
- (74)代理人 100117710
弁理士 原田 智雄
- (74)代理人 100124671
弁理士 関 啓
- (74)代理人 100131060
弁理士 杉浦 靖也
- (74)代理人 100131200
弁理士 河部 大輔
- (74)代理人 100131901
弁理士 長谷川 雅典
- (74)代理人 100132012
弁理士 岩下 嗣也
- (74)代理人 100141276
弁理士 福本 康二
- (74)代理人 100143409
弁理士 前田 亮
- (74)代理人 100157093
弁理士 間脇 八蔵
- (74)代理人 100163186
弁理士 松永 裕吉
- (74)代理人 100163197
弁理士 川北 憲司
- (74)代理人 100163588
弁理士 岡澤 祥平
- (72)発明者 只友 一行
山口県宇部市常盤台 2 - 1 6 - 1 国立大学法人山口大学工学部内
- (72)発明者 岡田 成仁
山口県宇部市常盤台 2 - 1 6 - 1 国立大学法人山口大学工学部内

審査官 金高 敏康

- (56)参考文献 特開平 1 1 - 0 7 4 5 6 6 (J P , A)
特開 2 0 0 8 - 0 5 3 5 9 3 (J P , A)
特開平 1 1 - 2 3 3 8 2 7 (J P , A)
特開平 1 1 - 3 3 0 5 5 2 (J P , A)
特開 2 0 0 3 - 1 5 8 2 9 6 (J P , A)
国際公開第 2 0 0 7 / 0 0 1 0 9 8 (W O , A 1)
特開 2 0 0 9 - 1 5 2 2 9 7 (J P , A)

(58)調査した分野(Int.Cl. , DB名)

H 0 1 L 3 3 / 0 0 - 3 3 / 6 4
J S T P l u s (J D r e a m I I I)
J S T 7 5 8 0 (J D r e a m I I I)