

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2005-340765  
(P2005-340765A)

(43) 公開日 平成17年12月8日(2005.12.8)

(51) Int.Cl.<sup>7</sup>  
H01L 33/00

F I  
H01L 33/00

テーマコード(参考)  
5FO41

審査請求 未請求 請求項の数 17 O L (全 15 頁)

(21) 出願番号 特願2005-25433 (P2005-25433)  
(22) 出願日 平成17年2月1日(2005.2.1)  
(31) 優先権主張番号 特願2004-136265 (P2004-136265)  
(32) 優先日 平成16年4月30日(2004.4.30)  
(33) 優先権主張国 日本国(JP)

(71) 出願人 000002130  
住友電気工業株式会社  
大阪府大阪市中央区北浜四丁目5番33号  
(74) 代理人 100088155  
弁理士 長谷川 芳樹  
(74) 代理人 100092657  
弁理士 寺崎 史朗  
(74) 代理人 100110582  
弁理士 柴田 昌聰  
(72) 発明者 上松 康二  
兵庫県伊丹市昆陽北一丁目1番1号 住友  
電気工業株式会社伊丹製作所内  
(72) 発明者 中幡 英章  
兵庫県伊丹市昆陽北一丁目1番1号 住友  
電気工業株式会社伊丹製作所内  
最終頁に続く

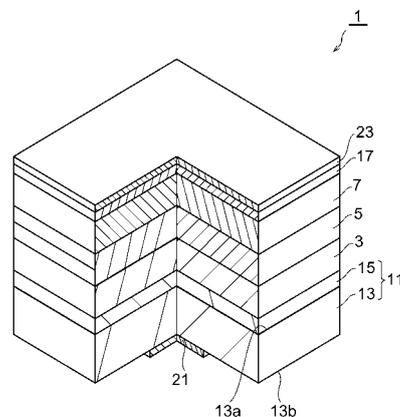
(54) 【発明の名称】 半導体発光素子

(57) 【要約】

【課題】 活性層における自然発生電界が低減され、高輝度化が可能な半導体発光素子を提供する。

【解決手段】 半導体発光素子1は、n型クラッド層3と、n型クラッド層3上に設けられたp型クラッド層7と、n型クラッド層3とp型クラッド層7との間に設けられており、窒化物からなる活性層5とを備え、n型クラッド層3と活性層5との界面に直交する軸と活性層5におけるc軸とのなす角度、及び活性層5とp型クラッド層7との界面に直交する軸と活性層5におけるc軸とのなす角度が、それぞれゼロより大きいことを特徴とする。

【選択図】 図1



## 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

六方晶系化合物からなる第 1 導電型半導体層と、  
六方晶系化合物からなり前記第 1 導電型半導体層上に設けられた第 2 導電型半導体層と

、  
前記第 1 導電型半導体層と第 2 導電型半導体層との間に設けられており、六方晶系化合物からなる活性層と

を備え、

前記活性層の前記第 1 導電型半導体層側の界面に直交する軸、及び前記活性層の前記第 2 導電型半導体層側の界面に直交する軸のそれぞれと前記活性層における c 軸とのなす角度が、ゼロより大きいことを特徴とする、半導体発光素子。

10

## 【請求項 2】

六方晶系化合物からなり主面を有する基板と、

六方晶系化合物からなり前記基板の前記主面上にエピタキシャル成長された第 1 導電型半導体層と、

前記第 1 導電型半導体層上にエピタキシャル成長され、六方晶系化合物からなる活性層と、

六方晶系化合物からなり前記活性層上にエピタキシャル成長された第 2 導電型半導体層と

を備え、

前記基板の前記主面に直交する軸と前記基板の c 軸とのなす角度がゼロより大きいことを特徴とする、半導体発光素子。

20

## 【請求項 3】

前記基板の前記主面が、該基板の  $\{10-10\}$  面、 $\{11-24\}$  面、及び  $\{11-20\}$  面のうち何れかの面を含むことを特徴とする、請求項 2 に記載の半導体発光素子。

## 【請求項 4】

前記基板の裏面上に設けられ、前記基板とオーミック接触された第 1 の電極と、

前記第 2 導電型半導体層上に設けられ、前記第 2 導電型半導体層とオーミック接触された第 2 の電極と

をさらに備えることを特徴とする、請求項 2 または 3 に記載の半導体発光素子。

30

## 【請求項 5】

前記第 1 導電型半導体層、前記第 2 導電型半導体層、及び前記活性層の前記六方晶系化合物が、II 族原子及び VI 族原子を含むことを特徴とする、請求項 1 ~ 4 のいずれか一項に記載の半導体発光素子。

## 【請求項 6】

前記 II 族原子が亜鉛原子であることを特徴とする、請求項 5 に記載の半導体発光素子。

## 【請求項 7】

前記六方晶系化合物が ZnO 系化合物であることを特徴とする、請求項 5 に記載の半導体発光素子。

## 【請求項 8】

前記第 1 導電型半導体層、前記第 2 導電型半導体層、及び前記活性層の前記六方晶系化合物が III 族原子及び V 族原子を含むことを特徴とする、請求項 1 ~ 4 のいずれか一項に記載の半導体発光素子。

40

## 【請求項 9】

前記 V 族原子が窒素原子であることを特徴とする、請求項 8 に記載の半導体発光素子。

## 【請求項 10】

前記六方晶系化合物が GaN 系化合物であることを特徴とする、請求項 8 に記載の半導体発光素子。

## 【請求項 11】

第 1 導電型窒化物半導体層と、

50

前記第1導電型窒化物半導体層上に設けられた第2導電型窒化物半導体層と、  
前記第1導電型窒化物半導体層と第2導電型窒化物半導体層との間に設けられており、  
窒化物からなる活性層と  
を備え、

前記活性層の前記第1導電型窒化物半導体層側の界面に直交する軸、及び前記活性層の  
前記第2導電型窒化物半導体層側の界面に直交する軸のそれぞれと前記活性層におけるc  
軸とのなす角度が、ゼロより大きいことを特徴とする、半導体発光素子。

【請求項12】

III族窒化物からなり主面を有する窒化物基板と、

前記窒化物基板の前記主面上にエピタキシャル成長された第1導電型窒化物半導体層と 10

、  
前記第1導電型窒化物半導体層上にエピタキシャル成長され、窒化物からなる活性層と

、  
前記活性層上にエピタキシャル成長された第2導電型窒化物半導体層と

を備え、

前記窒化物基板の前記主面に直交する軸と前記窒化物基板のc軸とのなす角度がゼロより  
大きいことを特徴とする、半導体発光素子。

【請求項13】

前記窒化物基板の前記主面が、該窒化物基板の{10-10}面、{11-24}面、  
及び{11-20}面のうち何れかの面を含むことを特徴とする、請求項12に記載の半 20  
導体発光素子。

【請求項14】

前記窒化物基板の裏面上に設けられ、前記窒化物基板とオーミック接触された第1の電  
極と、

前記第2導電型窒化物半導体層上に設けられ、前記第2導電型窒化物半導体層とオーミ  
ック接触された第2の電極と

をさらに備えることを特徴とする、請求項12または13に記載の半導体発光素子。

【請求項15】

前記窒化物基板の前記主面における転位密度が $1 \times 10^8 \text{ cm}^{-2}$ 以下であることを特徴  
とする、請求項12～14のいずれか一項に記載の半導体発光素子。 30

【請求項16】

前記活性層が、井戸層と、該井戸層を挟んで該井戸層に電位障壁を提供するバリア層と  
を含む量子井戸構造を有し、前記井戸層の厚さが3nmよりも大きいことを特徴とする、  
請求項11～15のいずれか一項に記載の半導体発光素子。

【請求項17】

前記井戸層が、 $\text{Al}_x\text{In}_y\text{Ga}_{(1-x-y)}\text{N}$  ( $0 < x < 1, 0 < y < 1$ ) からな  
ることを特徴とする、請求項16に記載の半導体発光素子。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、半導体発光素子に関するものである。 40

【背景技術】

【0002】

近年、青色発光ダイオード(LED)や紫外LEDといった比較的短波長の半導体発光  
素子が盛んに開発されている。このような半導体発光素子では、比較的バンドギャップが  
大きいInGaNやAlGaNといったIII-V族化合物、或いはZnOといったII-VI族  
化合物が好適に用いられている。このような半導体発光素子の一例としては、AlGaN  
を含むn型クラッド層と、同じくAlGaNを含むp型クラッド層との間に、InGaN  
を含む活性層が配置されたものがある。また、他の一例としては、MgZnOを含むn型  
クラッド層と、同じくMgZnOを含むp型クラッド層との間に、ZnOを含む活性層が 50

配置されたものがある。

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0003】

InGa<sub>n</sub>NなどのIII-V族化合物やZnOなどのII-VI族化合物からなる結晶は、六方晶を構成する場合が多い。このような六方晶系化合物からなる活性層を有する半導体発光素子では、活性層のヘテロ界面においてピエゾ電界といった自然発生電界が生じることが知られている。この自然発生電界が大きいほど、活性層における電子と正孔との波動関数の重なり部分が狭くなり、電子と正孔との再結合確率が低下する。従って、自然発生電界が大きくなるほど、発光効率が低下することとなる。自然発生電界は活性層が厚くなるほど大きくなるので、自然発生電界による発光効率の低下を抑えるために活性層（特に、量子井戸構造における井戸層）の厚さが制限され、半導体発光素子の高輝度化を阻む一因となっていた。

10

【0004】

本発明は、上記の問題点を鑑みてなされたものであり、活性層における自然発生電界が低減され、高輝度化が可能な半導体発光素子を提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0005】

上記した課題を解決するために、本発明による半導体発光素子は、六方晶系化合物からなる第1導電型半導体層と、六方晶系化合物からなり第1導電型半導体層上に設けられた第2導電型半導体層と、第1導電型半導体層と第2導電型半導体層との間に設けられており、六方晶系化合物からなる活性層とを備え、活性層の第1導電型半導体層側の界面に直交する軸、及び活性層の第2導電型半導体層側の界面に直交する軸のそれぞれと活性層におけるc軸とのなす角度が、ゼロより大きいことを特徴とする。

20

【0006】

また、本発明による半導体発光素子は、第1導電型窒化物半導体層と、第1導電型窒化物半導体層上に設けられた第2導電型窒化物半導体層と、第1導電型窒化物半導体層と第2導電型窒化物半導体層との間に設けられており、窒化物からなる活性層とを備え、活性層の第1導電型窒化物半導体層側の界面に直交する軸、及び活性層の第2導電型窒化物半導体層側の界面に直交する軸のそれぞれと活性層におけるc軸とのなす角度が、ゼロより

30

【0007】

活性層が窒化物半導体などの六方晶系化合物からなる場合、活性層を挟む2つの界面に直交する軸と活性層におけるc軸とが一致するとき（すなわち、活性層がc面上に成長したとき）に、活性層において発生する自然発生電界が最も大きくなる。上記したいずれかの半導体発光素子によれば、活性層の第1導電型半導体層（または第1導電型窒化物半導体層）側の界面に直交する軸、及び活性層の第2導電型半導体層（または第2導電型窒化物半導体層）側の界面に直交する軸のそれぞれと活性層におけるc軸とのなす角度が、ゼロより大きい（すなわち、活性層を挟む2つの界面がc面とは異なる）ことによって、活性層における自然発生電界を低減することができる。これによって、活性層において電子と正孔との波動関数の重なり部分が広くなり、再結合確率が高まるので、活性層をより厚くでき、さらなる高輝度化が可能になる。

40

【0008】

また、本発明による半導体発光素子は、六方晶系化合物からなり主面を有する基板と、六方晶系化合物からなり基板の主面上にエピタキシャル成長された第1導電型半導体層と、第1導電型半導体層上にエピタキシャル成長され、六方晶系化合物からなる活性層と、六方晶系化合物からなり活性層上にエピタキシャル成長された第2導電型半導体層とを備え、基板の主面に直交する軸と基板のc軸とのなす角度がゼロより大きいことを特徴とする。

【0009】

50

また、本発明による半導体発光素子は、III族窒化物からなり主面を有する窒化物基板と、窒化物基板の主面上にエピタキシャル成長された第1導電型窒化物半導体層と、第1導電型窒化物半導体層上にエピタキシャル成長され、窒化物からなる活性層と、活性層上にエピタキシャル成長された第2導電型窒化物半導体層とを備え、窒化物基板の主面に直交する軸と窒化物基板のc軸とのなす角度がゼロより大きいことを特徴とする。

【0010】

上記したいずれかの半導体発光素子によれば、基板（または窒化物基板）の主面に直交する軸と基板（窒化物基板）のc軸とのなす角度がゼロより大きい（すなわち、基板（窒化物基板）の主面がc面とは異なる）ことによって、この主面上にエピタキシャル成長される活性層の2つの界面がc面とは異なるので、活性層における自然発生電界を低減することができる。これによって、活性層をより厚くでき、さらなる高輝度化が可能になる。

10

【0011】

また、半導体発光素子は、基板（または窒化物基板）の主面が、該基板（窒化物基板）の{10-10}面、{11-24}面、及び{11-20}面のうち何れかの面を含むことを特徴としてもよい。これによって、活性層の2つの界面がこれらのうち何れかの面を含むこととなり、活性層における自然発生電界を効果的に低減することができる。なお、ここでいう{10-10}面、{11-24}面、及び{11-20}面は、それぞれ等価な面の集合を意味する。例えば、{10-10}面には、(10-10)面、(01-10)面、(-1100)面、(-1010)面、(0-110)面、及び(1-100)面が含まれるものとする。

20

【0012】

また、半導体発光素子は、基板（または窒化物基板）の裏面上に設けられ、基板（窒化物基板）とオーミック接触された第1の電極と、第2導電型半導体層（または第2導電型窒化物半導体層）上に設けられ、第2導電型半導体層（第2導電型窒化物半導体層）とオーミック接触された第2の電極とをさらに備えることを特徴としてもよい。このように、半導体発光素子の両面に電極が設けられることによって、活性層へ電子及び正孔を効率よく注入できるので、半導体発光素子をさらに高輝度化できる。

【0013】

また、半導体発光素子は、第1導電型半導体層、第2導電型半導体層、及び活性層の六方晶系化合物が、II族原子及びVI族原子を含むことを特徴としてもよい。II族原子及びVI族原子を含むII-VI族化合物結晶は六方晶を構成するので、活性層の第1導電型半導体層側の界面に直交する軸、及び活性層の第2導電型半導体層側の界面に直交する軸のそれぞれと活性層におけるc軸とのなす角度がゼロより大きいことにより、活性層における自然発生電界を効果的に低減することができる。この場合、半導体発光素子は、II族原子が亜鉛原子であることを特徴としてもよく、或いは六方晶系化合物がZnO系化合物であることを特徴としてもよい。

30

【0014】

また、半導体発光素子は、第1導電型半導体層、第2導電型半導体層、及び活性層の六方晶系化合物がIII族原子及びV族原子を含むことを特徴としてもよい。III族原子及びV族原子を含むIII-V族化合物結晶は六方晶を構成するので、活性層の第1導電型半導体層側の界面に直交する軸、及び活性層の第2導電型半導体層側の界面に直交する軸のそれぞれと活性層におけるc軸とのなす角度がゼロより大きいことにより、活性層における自然発生電界を効果的に低減することができる。この場合、半導体発光素子は、V族原子が窒素原子であることを特徴としてもよく、或いは六方晶系化合物がGaN系化合物であることを特徴としてもよい。

40

【0015】

また、半導体発光素子は、窒化物基板の主面における転位密度が $1 \times 10^8 \text{ cm}^{-2}$ 以下であることを特徴としてもよい。このように、主面における転位密度が比較的小さな窒化物基板を半導体発光素子が備えることによって、第1導電型窒化物半導体層を貫通して活性層に達する転位の密度が低く抑えられ、発光効率をさらに高めることができる。

50

## 【0016】

また、半導体発光素子は、活性層が、井戸層と、該井戸層を挟んで該井戸層に電位障壁を提供するバリア層とを含む量子井戸構造を有し、井戸層の厚さが3 nmよりも大きいことを特徴としてもよい。従来、上述した自然発生電界によって、量子井戸構造における井戸層の厚さは3 nm以下に制限されていた。これに対し、上記各半導体発光素子によれば、井戸層における自然発生電界を低減できるので、井戸層を従来よりも厚くすることが可能となる。

## 【0017】

また、半導体発光素子は、井戸層が、 $Al_x In_y Ga_{(1-x-y)}N$  ( $0 < X < 1$ ,  $0 < Y < 1$ ) からなることを特徴としてもよい。このように、井戸層がインジウム (In) を組成に含む場合には、Inの組成比が大きいほど自然発生電界が顕著になる。これに対し、上記各半導体発光素子によれば、井戸層における自然発生電界を低減できるので、 $Al_x In_y Ga_{(1-x-y)}N$  ( $0 < X < 1$ ,  $0 < Y < 1$ ) からなる井戸層を備える半導体発光素子であっても高輝度化が可能となる。

10

## 【発明の効果】

## 【0018】

本発明による半導体発光素子によれば、活性層における自然発生電界が低減され、高輝度化が可能となる。

## 【発明を実施するための最良の形態】

## 【0019】

以下、添付図面を参照しながら本発明による半導体発光素子の実施の形態を詳細に説明する。なお、図面の説明において同一の要素には同一の符号を付し、重複する説明を省略する。

20

## 【0020】

図1は、本実施の形態に係る半導体発光素子を示す図面である。図1に示された半導体発光素子は、発光ダイオードといった面発光素子に好適な構造である。

## 【0021】

図1を参照すると、半導体発光素子1は、支持基体11と、n型クラッド層3と、活性層5と、p型クラッド層7と、p型コンタクト層17と、カソード電極21と、アノード電極23とを備える。

30

## 【0022】

支持基体11は、基板13と、該基板13の主面13a上にエピタキシャル成長されたn型バッファ層15とを含んで構成される。基板13の主面13a上には、n型バッファ層15を介して、n型クラッド層3、活性層5、p型クラッド層7、及びp型コンタクト層17が順次積層されている。基板13は、III族原子及びV族原子を含むIII-V族化合物や、II族原子及びVI族原子を含むII-VI族化合物といった六方晶系化合物を含んで構成されている。具体的には、基板13として、例えばV族原子として窒素原子(N)を含むIII族窒化物(例えば窒化ガリウム(GaN)系化合物や窒化アルミニウム(AlN)系化合物)からなる窒化物基板や、或いはII族原子として亜鉛原子(Zn)を含む化合物(例えば酸化亜鉛(ZnO)系化合物)からなる基板を用いることができる。

40

## 【0023】

基板13は、例えば厚さ300 μm以上、平面寸法10 mm × 10 mm以上といった矩形の板状を呈している。また、基板13は、例えばシリコン(Si)といったn型ドーパントが添加されることによりn型の導電性を有する。基板13における好適なn型ドーパント濃度は、例えば $1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 以上 $1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 以下である。また、基板13は、活性層5において発生した光が該基板13を好適に透過するように、波長450 nm以上750 nm以下の光に対する吸収係数が $2 \text{ cm}^{-1}$ 以上 $100 \text{ cm}^{-1}$ 以下であることが好ましい。

## 【0024】

ここで、図2(A)は、本実施形態における基板13を示す斜視図である。また、図2

50

(B)は、図2(A)に示す基板13における結晶方位を説明するための図である。本実施形態における基板13の主面13aは、該主面13aの少なくとも一部に垂直な軸Aと基板13の単位格子におけるc軸方向(すなわち $\langle 0001 \rangle$ 方向)とのなす角がゼロより大きくなるように形成されている。特に、主面13aは、軸Aが、図2(B)に示すように基板13の単位格子における $\langle 10-10 \rangle$ 方向に沿うように形成されていることが好ましい。換言すれば、基板13の主面13aの少なくとも一部は、基板13の単位格子における $\{10-10\}$ 面(図2(B)の面31)を含むことが好ましい。なお、ここで、「 $\{10-10\}$ 面を含んでいる」とは、主面13aの少なくとも一部が $\{10-10\}$ 面と厳密に一致している場合に限られるものではなく、例えば主面13aの少なくとも一部と $\{10-10\}$ 面とのなす角の絶対値が $10^\circ$ 以下であれば、主面13aの少なくとも一部が $\{10-10\}$ 面と厳密に一致している場合とほぼ同等の作用効果を得ることができる。

10

#### 【0025】

或いは、主面13aは、基板13の単位格子における $\langle 11-24 \rangle$ 方向や $\langle 11-20 \rangle$ 方向に軸Aが沿うように形成されることが好ましい。換言すれば、基板13の主面13aの少なくとも一部は、基板13の単位格子における $\{11-24\}$ 面や $\{11-20\}$ 面を含むことが好ましい。

#### 【0026】

また、図2(B)に示した基板13の単位格子は、c軸方向(すなわち $[0001]$ 方向)の寸法が $5.1851 \pm 0.0005$ の範囲内であり、 $a_1$ 軸( $[2-1-10]$ 方向)、もしくは $a_2$ 軸( $[-12-10]$ 方向)、 $a_3$ 軸( $[-1-120]$ 方向)の寸法が $3.1891 \pm 0.0005$ の範囲内であることが好ましい。或いは、基板13の主面13aにおける単位面積( $1\text{mm} \times 1\text{mm}$ )をX線回折法によって測定したX線ロックアップカーブのピーク半値幅(Full Width Half Maximum、FWHM)が、 $1000 [a_r c s e c]$ 以下であることが好ましい。基板13が上記いずれかの特徴を備えれば、基板13の結晶性が良好であるといえる。また、このような基板13は、後述する製造方法によって好適に実現される。

20

#### 【0027】

また、基板13がIII族窒化物からなる窒化物基板である場合、基板13の主面13aにおける転位密度は、 $1 \times 10^8 \text{cm}^{-2}$ 以下といった比較的小さな値であることが好ましい。このような基板13もまた、後述する製造方法によって好適に実現される。このように、基板13の主面13aにおける転位密度を比較的小さく抑えることにより、非発光中心として働き活性層5に形成される貫通転位の密度を低減できる。

30

#### 【0028】

n型バッファ層15は、基板13と同じ材料、すなわちSiといったn型ドーパントが添加された、III族原子及びV族原子を含むIII-V族化合物や、II族原子及びVI族原子を含むII-VI族化合物といった六方晶系化合物を含んで構成されている。

#### 【0029】

再び図1を参照する。n型クラッド層3は、本実施形態における第1導電型半導体層であり、III族原子及びV族原子を含むIII-V族化合物や、II族原子及びVI族原子を含むII-VI族化合物といった六方晶系化合物半導体を含んで構成されている。具体的には、n型クラッド層3は、例えばV族原子として窒素原子(N)を含むIII族窒化物(例えば $\text{Al}_{x_1}\text{Ga}_{1-x_1}\text{N}$ ( $0 < x_1 < 1$ )などのGaN系化合物)からなる第1導電型窒化物半導体層であってもよく、或いはII族原子として亜鉛原子(Zn)を含む化合物(例えば $\text{Mg}_{y_1}\text{Zn}_{1-y_1}\text{O}$ ( $0 < y_1 < 1$ )などのZnO系化合物)からなる半導体層であってもよい。n型クラッド層3には、例えばシリコンといったn型ドーパントが添加されている。n型クラッド層3は、支持基体11上すなわちn型バッファ層15上にエピタキシャル成長されてなる。

40

#### 【0030】

活性層5は、半導体発光素子1における発光領域である。活性層5は、III族原子及びV

50

族原子を含むIII-V族化合物や、II族原子及びVI族原子を含むII-VI族化合物といった六方晶系化合物を含んで構成されている。具体的には、活性層5は、例えばV族原子として窒素原子(N)を含むIII族窒化物(例えば $Al_xIn_yGa_{(1-x-y)}N$ ( $0 < x < 1, 0 < y < 1$ )などのGaN系化合物)や、或いはII族原子として亜鉛原子(Zn)を含む化合物(例えばZnOなどのZnO系化合物)からなる。活性層5は、n型クラッド層3上にエピタキシャル成長されてなる。

#### 【0031】

p型クラッド層7及びp型コンタクト層17は、本実施形態における第2導電型半導体層であり、III族原子及びV族原子を含むIII-V族化合物や、II族原子及びVI族原子を含むII-VI族化合物といった六方晶系化合物半導体を含んで構成されている。具体的には、p型クラッド層7は、例えばV族原子として窒素原子(N)を含むIII族窒化物(例えば $Al_{x_2}Ga_{1-x_2}N$ ( $0 < x_2 < 1$ )などのGaN系化合物)からなる第2導電型窒化物半導体層であってもよく、或いはII族原子として亜鉛原子(Zn)を含む化合物(例えば $Mg_{y_2}Zn_{1-y_2}O$ ( $0 < y_2 < 1$ )などのZnO系化合物)からなる半導体層であってもよい。p型クラッド層7がIII-V族化合物を含む場合、p型クラッド層7にはp型ドーパントとして例えばマグネシウム(Mg)が添加されている。また、p型クラッド層7がII-VI族化合物を含む場合、p型クラッド層7にはp型ドーパントとして例えば窒素(N)が添加されている。p型クラッド層7は、活性層5上にエピタキシャル成長されてなる。すなわち、活性層5は、n型クラッド層3とp型クラッド層7との間に設けられている。

10

20

#### 【0032】

n型クラッド層3は活性層5に電子を供給し、p型クラッド層7は活性層5に正孔を供給する。また、活性層5がAlInGaNやZnOを含み、n型クラッド層3及びp型クラッド層7がそれぞれAlGaNやMgZnOからなることによって、n型クラッド層3及びp型クラッド層7の電位障壁(バンドギャップ)が活性層5の電位障壁よりも高くなっている。従って、活性層5に供給されたキャリア(電子および正孔)が、n型クラッド層3及びp型クラッド層7の働きによって活性層5内部に閉じ込められ、活性層5における再結合が促進されて光が効率よく発生する。

#### 【0033】

ここで、n型バッファ層15、n型クラッド層3、活性層5、及びp型クラッド層7は、それぞれ基板13の主面13a上に順にエピタキシャル成長されて成るので、活性層5のn型クラッド層3側の界面、及び活性層5のp型クラッド層7側の界面の面方位は、それぞれ主面13aの面方位が反映される。すなわち、活性層5のn型クラッド層3側の界面に垂直な軸、及び活性層5のp型クラッド層7側の界面に垂直な軸のそれぞれと活性層5のc軸方向とのなす角度は、ゼロより大きくなる。例えば、主面13aの少なくとも一部が{10-10}面を含む場合、活性層5を挟む2つの界面も{10-10}面を含むこととなる。なお、活性層5を挟む2つの界面は、主面13aと同様に、活性層5における{10-10}面、{11-24}面、及び{11-20}面のうちいずれかの面を含むことが好ましい。

30

#### 【0034】

p型コンタクト層17は、p型クラッド層7とアノード電極23とを電氣的に接続するための層であり、p型ドーパントが添加された六方晶系化合物半導体からなる。例えば、本実施形態ではp型コンタクト層17は、マグネシウムがドーパされた窒化ガリウムなどの窒化物半導体や、或いは窒素がドーパされた酸化亜鉛などのZnO系化合物半導体からなる。p型コンタクト層17は、p型クラッド層7上に形成されている。

40

#### 【0035】

カソード電極21は、本実施形態における第1の電極である。カソード電極21は、基板13の裏面13b上に設けられている。本実施形態では、カソード電極21は基板13の裏面13bの一部分(略中央部分)上に設けられている。カソード電極21は、例えばTi/Al/Auといった金属が順次積層されてなり、基板13の裏面13bとの間にオ

50

ーミック接触が実現されている。

【0036】

アノード電極23は、本実施形態における第2の電極である。アノード電極23は、p型コンタクト層17上に設けられている。本実施形態では、アノード電極23は、p型コンタクト層17上の全面にわたって設けられている。アノード電極23は、例えばNi/Au/Al/Auといった金属が順次積層されてなり、p型コンタクト層17との間にオーミック接触が実現されている。また、アノード電極23は、活性層5において発生した光を反射する機能も有している。

【0037】

ここで、図3は、本実施形態における活性層5をさらに詳細に説明するための、半導体発光素子1の側面断面図である。図3に示すように、活性層5は、一または複数の井戸層（例えば井戸層25a~25c）および複数のバリア層（例えばバリア層27a~27d）を有している。本実施形態では、井戸層25a~25cそれぞれの厚さtが3nmよりも大きくなるように、井戸層25a~25cが形成されている。

10

【0038】

また、井戸層25a~25cおよびバリア層27a~27dは交互に積層されており、活性層5において量子井戸構造を構成している。活性層5がIII族窒化物からなる場合、井戸層25a~25cは、例えば $Al_x In_y Ga_{(1-x-y)} N(0 < X < 1, 0 < Y < 1)$ からなり、バリア層27a~27dは、例えば $Al_x In_y Ga_{(1-x-y)} N(0 < X < 1, 0 < Y < 1)$ からなる。量子井戸構造は、バリア層27a~27dのバンドギャップが井戸層25a~25cのバンドギャップよりも大きくなるように構成され、従ってバリア層27a~27dは井戸層25a~25cに対する電位障壁を提供する。なお、本実施形態における活性層5は多重量子井戸(MQW)構造を有するが、単一量子井戸(SQW)構造であってもよい。

20

【0039】

また、井戸層25a~25c及びバリア層27a~27dは、それぞれ交互にエピタキシャル成長されて成るので、井戸層25a~25cとバリア層27a~27dとの界面の面方位は、それぞれ基板13の主面13aの面方位が反映される。すなわち、井戸層25a~25cとバリア層27a~27dとの界面に垂直な軸と、井戸層25a~25c及びバリア層27a~27dのc軸方向とのなす角度は、ゼロより大きくなる。井戸層25a~25cとバリア層27a~27dとの界面は、主面13aと同様に、{10-10}面、{11-24}面、及び{11-20}面のうちいずれかの面を含むことが好ましい。

30

【0040】

なお、半導体発光素子1では、比較的大きな輝度を得るために、活性層5の厚さ方向と交差する断面の面積は $0.1 \text{ mm}^2$ 以上あることが好ましい。また、発光効率を高く維持するために、活性層5の上記断面面積のうちキャリアが注入されて発光領域となる面積の割合が90%以上であることが好ましい。

【0041】

以上の構成を有する半導体発光素子1の動作は以下のとおりである。アノード電極23とカソード電極21との間に駆動電圧が印加されると、電子及び正孔が活性層5内の井戸層25a~25cに集中する。そして、井戸層25a~25c内において電子と正孔が再結合することにより光が発生する。活性層5において発生した光のうち、アノード電極23へ向かった光はアノード電極23において反射する。そして、光は、基板13の裏面13bから半導体発光素子1の外部へ出射される。

40

【0042】

ここで、以上に説明した本実施形態の半導体発光素子1の製造方法について説明する。図4(A)~図4(C)は、本実施形態の基板13(図2(A)参照)を製造する方法を説明するための断面図である。また、図5(A)~図5(C)は、基板13を用いて半導体発光素子1を製造する方法を説明するための断面図である。なお、以下の説明では基板13が窒化ガリウム(GaN)からなる場合について説明するが、基板13が窒化アルミ

50

ニウム (AlN) からなる場合も以下と同様の方法によって製造可能である。

【0043】

まず、図4(A)に示すように、{111}面を主面41aとするGaAsウェハ41を用意する。そして、以下に説明するエピタキシャルラテラルオーバーグロース (Epitaxial Lateral Overgrowth: ELO) と呼ばれる方法によってGaAsウェハ41の主面41a上にGaNを成長させる。ELOでは、まず、GaAsウェハ41の主面41a上に窓付きマスク43を形成する。この窓付きマスク43の材料としては、その材料の上にGaNが直接に成長しないようなものを用いるとよい。

【0044】

続いて、図4(B)に示すように、GaAsウェハ41の主面41a上に、窓付きマスク43の窓を通してGaNをエピタキシャル成長させることにより、GaNインゴット45を形成する。このとき、GaNはc軸方向に成長する。また、このとき、GaAsとGaNとの格子不整合に起因する結晶欠陥 (転位など) が発生するが、GaNはGaAsウェハ41の直上に成長した後、窓付きマスク43上を主面41aに沿った方向に成長するので、結晶欠陥も同様の方向に成長する。そして、結晶欠陥は、主面41aに沿った方向に成長したGaN同士がぶつかる位置に集まり、面状欠陥となる。このように、GaN内部において分散して発生する結晶欠陥がELOによって面状欠陥に集約されることにより、例えば転位密度が  $1 \times 10^8 \text{ cm}^{-2}$  以下といった低転位密度のGaNインゴット45を好適に得ることができる。

【0045】

続いて、GaNインゴット45からGaNウェハ47を切り出す。このとき、例えばGaNウェハ47の主面47aがGaNインゴット45のc軸方向と平行になるように切り出すことによって、{10-10}面または{11-20}面を主面47aに含むGaNウェハ47を好適に得ることができる (図4(C))。或いは、例えばGaNウェハ49の主面49aがGaNインゴット45のc軸方向と斜めに交差するように切り出すことによって、{11-24}面を主面49aに含むGaNウェハ49を好適に得ることができる。なお、以下の説明では、{10-10}面を主面47aに含むGaNウェハ47を切り出した場合について説明する。

【0046】

続いて、図5(A)に示すように、GaNウェハ47の主面47a上にn型バッファ層51、n型クラッド層53、活性層55、p型クラッド層57、及びp型コンタクト層59を順にエピタキシャル成長させる。これらの材料は、それぞれ上述したn型バッファ層15、n型クラッド層3、活性層5、p型クラッド層7、及びp型コンタクト層17の材料と同じである。続いて、図5(B)に示すように、p型コンタクト層59上にアノード電極61を蒸着等により形成する。また、GaNウェハ47の裏面47b上に所定パターンのマスクを施し、カソード電極材料を蒸着させた後にマスクを除去することにより、複数のカソード電極21を形成する。

【0047】

続いて、GaNウェハ47及び各層を厚さ方向に切断することによって、図5(C)に示すように、GaNからなる基板13、n型バッファ層15、n型クラッド層3、活性層5、p型クラッド層7、p型コンタクト層17、アノード電極23、及びカソード電極21を備える半導体発光素子1が完成する。

【0048】

なお、基板13が酸化亜鉛 (ZnO) からなる場合には、インゴット成長方法が窒化ガリウムとは異なるが、インゴットから基板を切り出す工程以降の上記製造方法と同様の方法によって半導体発光素子1を製造できる。この場合、まず、導電性酸化亜鉛 (ZnO) 結晶からZnOウェハを切り出す。このとき、例えばZnOウェハの主面がZnO結晶のc軸方向と平行になるように切り出すことによって、{10-10}面または{11-20}面を主面に含むZnOウェハを得ることができる。或いは、例えばZnOウェハの主面がZnO結晶のc軸方向と斜めに交差するように切り出すことによって、{11-24

}面を主面を含むZnOウェハを得ることができる。

【0049】

続いて、例えば分子線エピタキシャル(MBE)法を用い、n型のZnOからなるn型バッファ層及びn型のMgZnOからなるn型クラッド層をZnOウェハ上にそれぞれ10nm~1000nmの厚さに順次成長させ、その上にアンドープのZnOからなる活性層を1nm~10nmの厚さに成長させ、その上にp型のMgZnOからなるp型バッファ層及びp型のZnOからなるp型コンタクト層をそれぞれ10nm~1000nmの厚さに順次成長させる。そして、ZnOウェハの裏面上及びp型コンタクト層上にそれぞれオーミック電極を形成し、ZnOウェハ及びZnOウェハ上の各層を厚さ方向に切断することによって、半導体発光素子が完成する。

10

【0050】

以上に説明した本実施形態による半導体発光素子1の効果について説明する。通常、III族窒化物半導体やZnO系半導体を製造する際には、基板のc面上に活性層などの半導体層を成長させることが多い。これは、III族窒化物やZnO系化合物をc軸方向に成長させたほうが、結晶表面の平坦性やフォトルミネッセンス(PL)特性にとって好ましいとされているためである。

【0051】

しかしながら、活性層を挟む2つの界面(ヘテロ界面)に直交する軸と活性層におけるc軸とが一致するとき(すなわち、活性層がc面上に成長したとき)に、活性層のヘテロ界面において発生するピエゾ電界といった自然発生電界が最も大きくなる。本実施形態による半導体発光素子1では、活性層5のn型クラッド層3側の界面に直交する軸、及び活性層5のp型クラッド層7側の界面に直交する軸のそれぞれと活性層5におけるc軸とのなす角度が、ゼロより大きくなるように(すなわち、活性層5を挟む2つのヘテロ界面がc面とは異なるように)活性層5が形成されている。これによって、活性層5における自然発生電界を低減することができる。そして、活性層5において電子と正孔との波動関数の重なり部分が広くなり、再結合確率が高まるので、活性層5を従来よりも厚くすることが可能となり、半導体発光素子を高輝度化することができる。

20

【0052】

また、本実施形態による半導体発光素子1では、基板13の主面13aに直交する軸A(図2(A)及び図2(B)参照)と基板13のc軸とのなす角度がゼロより大きくなるように(すなわち、基板13の主面13aがc面とは異なるように)主面13aが形成されている。これによって、主面13a上にエピタキシャル成長される活性層5の2つのヘテロ界面がc面とは異なるので、活性層5における自然発生電界を低減することができる。また、活性層5を従来よりも厚くすることが可能となり、半導体発光素子を高輝度化することができる。

30

【0053】

また、本発明者らは、c軸方向を成長方向としてII-VI族化合物結晶を成長させるよりも、他の成長方向でII-VI族化合物結晶を成長させたほうが良好な半導体特性が得られることを見出した。ここで、図6は、{0001}面、{10-10}面、及び{11-24}面のそれぞれにMgZnO結晶を成長させたときの、MgZnO結晶中の残留電子濃度(ノンドープの場合)及びp型キャリア濃度(窒素ドープの場合)を示す図表である。図6に示すように、{0001}面にMgZnO結晶を成長させた場合(すなわちc軸方向を成長方向としてZnO結晶を成長させた場合)、アンドープ時の残留電子濃度が $5 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ と大きく、また、窒素ドープ時のp型キャリア濃度が測定不能、すなわちp型の導電性を示していないことがわかる。これに対し、{10-10}面にMgZnO結晶を成長させた場合、アンドープ時の残留電子濃度が $8 \times 10^{14} \text{ cm}^{-3}$ と小さくなり、窒素ドープ時のp型キャリア濃度を $5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ といった大きな値にできる。同様に、{11-24}面にMgZnO結晶を成長させた場合、アンドープ時の残留電子濃度が $2 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ と小さくなり、窒素ドープ時のp型キャリア濃度を $3 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ といった大きな値にできる。

40

50

## 【0054】

このように、c軸から傾斜した方向を成長方向としてMgZnO結晶を成長させることにより、所望の不純物濃度を実現でき、良好な半導体特性が得られる。これは、c軸方向を成長方向としてMgZnO結晶を成長させた場合、結晶内部における亜鉛(Zn)と酸素(O)とのバランスが乱れ易く、結晶欠陥が多く生じて電氣的に不安定になるためと考えられる。本実施形態の半導体発光素子1によれば、基板13の主面13aに垂直な軸と基板13のc軸方向とのなす角がゼロより大きくなるように主面13aが形成されているので、その上に成長するp型半導体層(p型クラッド層7及びp型コンタクト層17)の不純物濃度を所望の値に容易に制御できる。なお、MgZnO結晶にカドミウム原子(Cd)を混入させることにより、MgZnO結晶の結晶性を更に良くすることができる。

10

## 【0055】

また、本実施形態のように、基板13の主面13aは、基板13の{10-10}面、{11-24}面、及び{11-20}面のうち何れかの面を含むことが好ましい。これによって、活性層5の2つのヘテロ界面がこれらのうち何れかの面を含むこととなり、活性層5における自然発生電界を効果的に低減することができる。

## 【0056】

また、本実施形態のように、基板13の裏面13b上にカソード電極21が、p型コンタクト層17上にアノード電極23が、それぞれ設けられることが好ましい。このように、半導体発光素子1の両面に電極が設けられることによって、活性層5へ電子及び正孔を効率よく注入できるので、半導体発光素子1をさらに高輝度化できる。

20

## 【0057】

また、本実施形態のように、基板13の主面13aにおける転位密度は $1 \times 10^8 \text{ cm}^{-2}$ 以下であることが好ましい。このように、基板13の主面13aにおける転位密度が比較的小さいことによって、n型バッファ層15及びn型クラッド層3を貫通して活性層5に達する転位の密度が低く抑えられ、発光効率をさらに高めることができる。

## 【0058】

また、本実施形態のように、活性層5は、井戸層25a~25cと、井戸層25a~25cを挟んで井戸層25a~25cに電位障壁を提供するバリア層27a~27dとを含む量子井戸構造を有し、井戸層25a~25cの厚さが3nmよりも大きいことが好ましい。従来、量子井戸構造における井戸層のヘテロ界面に生じる自然発生電界によって、井戸層の厚さは3nm以下に制限されていた。本実施形態による半導体発光素子1によれば、上述したように井戸層25a~25cにおける自然発生電界を低減できるので、井戸層25a~25cを従来よりも厚く(3nmよりも厚く)することが可能となる。

30

## 【0059】

また、本実施形態のように、井戸層25a~25cは、 $\text{Al}_x\text{In}_y\text{Ga}_{(1-x-y)}$ 、 $\text{N}(0 < x < 1, 0 < y < 1)$ からなってもよい。井戸層25a~25cがインジウム(In)を組成に含む場合にはInの組成比が大きいほど自然発生電界が顕著になるが、本実施形態による半導体発光素子1では井戸層25a~25cにおける自然発生電界を低減できるので、井戸層25a~25cがInを組成に含む場合であっても高輝度化が可能となる。

40

## 【0060】

また、本実施形態のように、n型クラッド層3、活性層5、及びp型クラッド層7の六方晶系化合物は、II族原子及びVI族原子を含んでもよく、或いはIII族原子及びV族原子を含んでもよい。II族原子及びVI族原子を含むII-VI族化合物結晶やIII族原子及びV族原子を含むIII-V族化合物結晶はそれぞれ六方晶を構成するので、活性層5のn型クラッド層3側の界面に直交する軸、及び活性層5のp型クラッド層7側の界面に直交する軸のそれぞれと活性層5におけるc軸とのなす角度がゼロより大きいことにより、活性層5における自然発生電界を効果的に低減することができる。

## 【0061】

本発明による半導体発光素子は、上述した実施形態に限られるものではなく、他にも様

50

々な変形が可能である。例えば、上記実施形態では、半導体発光素子として発光ダイオードといった面発光半導体素子を説明しているが、本発明はレーザダイオードに対しても適用することができる。

【図面の簡単な説明】

【0062】

【図1】図1は、実施の形態に係る半導体発光素子を示す図面である。

【図2】図2(A)は、実施形態における基板を示す斜視図である。図2(B)は、図2(A)に示す基板における結晶方位を説明するための図である。

【図3】図3は、実施形態における活性層をさらに詳細に説明するための、半導体発光素子の側面断面図である。

【図4】図4(A)~図4(C)は、実施形態の基板を製造する方法を説明するための断面図である。

【図5】図5(A)~図5(C)は、基板を用いて半導体発光素子を製造する方法を説明するための断面図である。

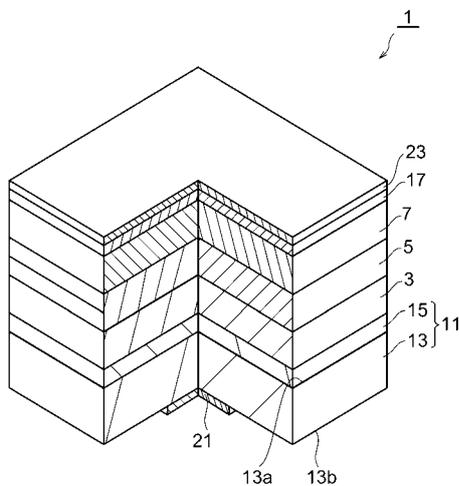
【図6】図6は、{0001}面、{10-10}面、及び{11-24}面のそれぞれにMgZnO結晶を成長させたときの、MgZnO結晶中の残留電子濃度(ノンドープの場合)及びp型キャリア濃度(窒素ドープの場合)を示す図表である。

【符号の説明】

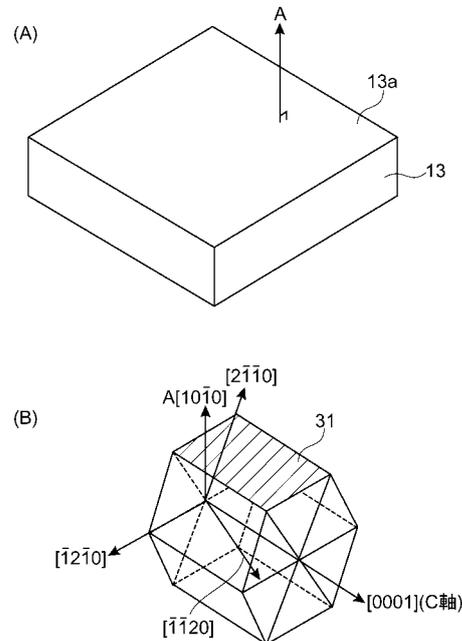
【0063】

1...半導体発光素子、3...n型クラッド層、5...活性層、7...p型クラッド層、11...支持基体、13...基板、13a...主面、13b...裏面、15...n型バッファ層、17...p型コンタクト層、21...カソード電極、23...アノード電極、25a~25c...井戸層、27a~27d...バリア層。

【図1】



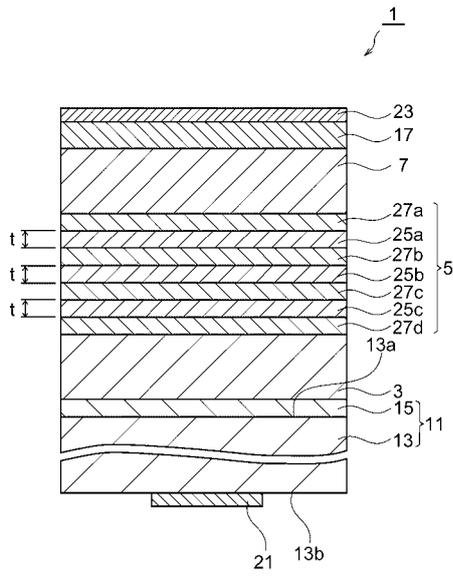
【図2】



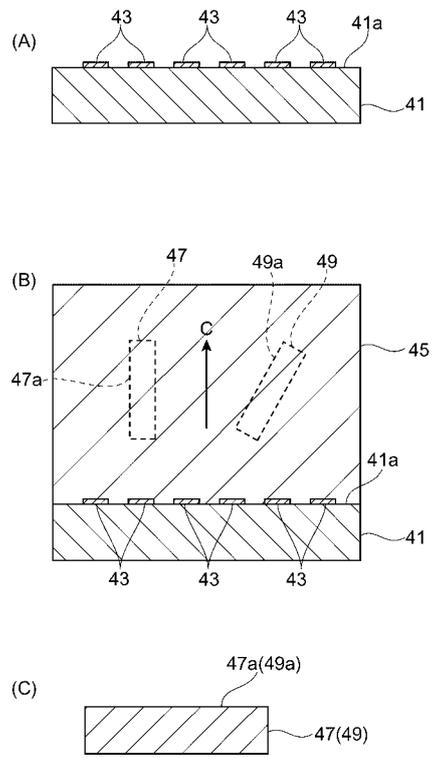
10

20

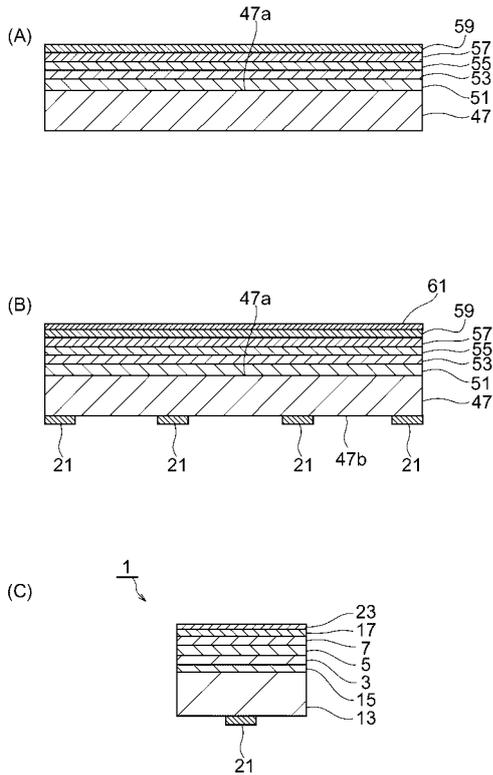
【 図 3 】



【 図 4 】



【 図 5 】



【 図 6 】

	アンドープ時の残留電子濃度 (cm <sup>-3</sup> )	窒素ドープ時のp型キャリア濃度 (cm <sup>-3</sup> )
MgZnO結晶を{0001}面上に成長	5 × 10 <sup>16</sup>	測定不能
MgZnO結晶を{10-10}面上に成長	8 × 10 <sup>14</sup>	5 × 10 <sup>17</sup>
MgZnO結晶を{11-24}面上に成長	2 × 10 <sup>15</sup>	3 × 10 <sup>17</sup>

---

フロントページの続き

(72)発明者 奥井 学

兵庫県伊丹市昆陽北一丁目1番1号 住友電気工業株式会社伊丹製作所内

(72)発明者 上野 昌紀

兵庫県伊丹市昆陽北一丁目1番1号 住友電気工業株式会社伊丹製作所内

(72)発明者 弘田 龍

兵庫県伊丹市昆陽北一丁目1番1号 住友電気工業株式会社伊丹製作所内

Fターム(参考) 5F041 AA04 CA04 CA05 CA12 CA23 CA34 CA41 CA57 CA66 CA67  
CA92