

(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2018-50063
(P2018-50063A)

(43) 公開日 平成30年3月29日(2018.3.29)

(51) Int. Cl.	F I	テーマコード (参考)
HO 1 L 33/32 (2010.01)	HO 1 L 33/32	4 G 0 7 7
HO 1 L 33/16 (2010.01)	HO 1 L 33/16	5 F 2 4 1
HO 1 L 33/06 (2010.01)	HO 1 L 33/06	
HO 1 L 33/12 (2010.01)	HO 1 L 33/12	
C 3 O B 29/38 (2006.01)	C 3 O B 29/38	

D
審査請求 有 請求項の数 6 O L (全 16 頁)

(21) 出願番号 特願2017-213025 (P2017-213025)
 (22) 出願日 平成29年11月2日 (2017.11.2)
 (62) 分割の表示 特願2013-84041 (P2013-84041)
 の分割
 原出願日 平成25年4月12日 (2013.4.12)

(71) 出願人 000116024
 ローム株式会社
 京都府京都市右京区西院溝崎町2 1 番地
 (74) 代理人 110002310
 特許業務法人あい特許事務所
 (72) 発明者 堤 一陽
 京都市右京区西院溝崎町2 1 番地 ローム
 株式会社内
 (72) 発明者 千田 和彦
 京都市右京区西院溝崎町2 1 番地 ローム
 株式会社内
 (72) 発明者 岡本 國美
 京都市右京区西院溝崎町2 1 番地 ローム
 株式会社内

最終頁に続く

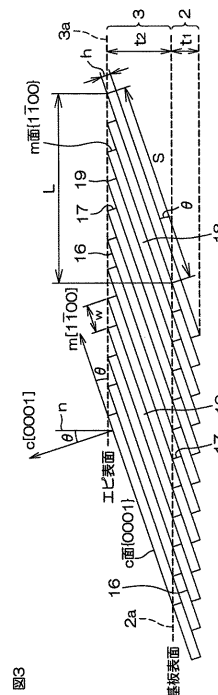
(54) 【発明の名称】 半導体発光素子

(57) 【要約】 (修正有)

【課題】 ピーク発光波長が500nm以上の光を発生する発光層における結晶品質を向上させることができる半導体発光素子を提供する。

【解決手段】 ピーク発光波長が500nm以上の光を発生し、 $In_xGa_{1-x}N$ ($x=0.18\sim0.23$) 層を有する発光層を含むIII族窒化物半導体層3を備える発光ダイオードにおいて、III族窒化物半導体層の表面(成長面)3aを、c面{0001}に対してm軸[1-100]のオフ方向に 0.3° 以上のオフ角で傾斜した面とする。

【選択図】 図3



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

III族窒化物半導体からなり、少なくともn型層と、p型層と、前記n型層および前記p型層で挟まれた発光層とを有する積層構造のIII族窒化物半導体層を備え、前記発光層は、ピーク発光波長が500nm以上の光を発生するものであり、 $In_xGa_{1-x}N$ ($x = 0.18 \sim 0.30$)層を有し、前記III族窒化物半導体層の成長面が、c面に対して 0.3° 以上のオフ角で傾斜した面である、半導体発光素子。

【請求項 2】

前記III族窒化物半導体層の前記成長面は、c面に対して少なくともm軸方向に 0.3° 以上のオフ角で傾斜した面である、請求項1に記載の半導体発光素子。

10

【請求項 3】

c面に対する前記III族窒化物半導体層の前記成長面のa軸方向のオフ角が 0° である、請求項1または2に記載の半導体発光素子。

【請求項 4】

前記半導体発光素子は、c面に対して 0.3° 以上のオフ角で傾斜した主面を有する六方晶系の基板をさらに含み、

前記III族窒化物半導体層は、前記基板の前記主面上に結晶成長された層である、請求項1～3のいずれか一項に記載の半導体発光素子。

【請求項 5】

前記基板がサファイア基板である、請求項4に記載の半導体発光素子。

20

【請求項 6】

前記III族窒化物半導体層の前記成長面のオフ角が 0.35° 以上である、請求項1～5のいずれか一項に記載の半導体発光素子。

【請求項 7】

前記発光層は、 $InGa$ Nからなる量子井戸層と、 GaN からなるバリア層とを交互に所定周期で積層した多重量子井戸構造を有している、請求項1～6のいずれか一項に記載の半導体発光素子。

【請求項 8】

前記半導体発光素子は、前記発光層の下地層として、 $InGa$ N層と GaN 層とを交互に所定周期で積層した超格子構造を有する中間バッファ層をさらに含む、請求項1～7のいずれか一項に記載の半導体発光素子。

30

【請求項 9】

前記発光層は、ピーク発光波長が500nm～550nmの範囲の光を発生するものである、請求項1～8のいずれか一項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、III族窒化物半導体を用いた半導体発光素子（発光ダイオード、レーザダイオード等）に関する。

40

【背景技術】

【0002】

従来、n型層およびp型層で挟まれた発光層（活性層）を有するIII族窒化物半導体発光素子において、窒化物半導体層の結晶品質を向上させる目的で、窒化物半導体層を支持する基板にオフ角を設けることが知られている。

たとえば、特許文献1には、m面に対して少なくともa軸方向にオフ角を有する基板上に、窒化物半導体層、n型 $AlInGa$ N層、活性層、p型 $AlInGa$ Nからなるキャリアブロック層、p型 $AlInGa$ Nおよびp型 $AlInGa$ Nからなるp型コンタクト層をこの順に配置することが開示されている。

【先行技術文献】

50

【特許文献】

【0003】

【特許文献1】特開2012-49337号公報

【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、基板の主面の面方位およびオフ角は、その上に結晶成長される窒化物半導体層の組成によって最適値が変動するものである。そのため、たとえば、ピーク発光波長が500nm以上の発光層を、特許文献1に記載の基板上に結晶成長させても、その結晶品質を向上させることは困難である。また、ピーク発光波長が500nm以上の光を発生する発光層の結晶品質を改善する手法は、未だ確立されているとは言えない。

10

【0005】

そこで、本発明の目的は、ピーク発光波長が500nm以上の光を発生する発光層における結晶品質を向上させることができる半導体発光素子を提供することである。

また、本発明の他の目的は、前記発光層の結晶品質の向上によって、発光効率を向上させることができる半導体発光素子を提供することである。

【課題を解決するための手段】

【0006】

上記の目的を達成するための請求項1に記載の発明は、III族窒化物半導体からなり、少なくともn型層と、p型層と、前記n型層および前記p型層で挟まれた発光層とを有する積層構造のIII族窒化物半導体層を備え、前記発光層は、ピーク発光波長が500nm以上の光を発生するものであり、 $In_xGa_{1-x}N$ ($x = 0.18 \sim 0.30$) 層を有し、前記III族窒化物半導体層の成長面が、c面に対して 0.3° 以上のオフ角で傾斜した面である、半導体発光素子である。

20

【0007】

この構成によれば、III族窒化物半導体層の成長面がc面に対して 0.3° 以上のオフ角で傾斜しているため、III族窒化物半導体層の成長時、 $In_xGa_{1-x}N$ ($x = 0.18 \sim 0.23$) を良好な結晶品質で成長させることができる。これにより、当該 $In_xGa_{1-x}N$ ($x = 0.18 \sim 0.23$) 層を有する発光層の結晶品質を向上させることができる。その結果、半導体発光素子の発光効率を向上させることができる。

30

【0008】

請求項2に記載の発明のように、前記III族窒化物半導体層の前記成長面は、c面に対して少なくともm軸方向に 0.3° 以上のオフ角で傾斜した面であることが好ましい。また、請求項3に記載の発明のように、c面に対する前記III族窒化物半導体層の前記成長面のa軸方向のオフ角は、 0° であることが好ましい。

請求項4に記載の発明は、前記半導体発光素子は、c面に対して 0.3° 以上のオフ角で傾斜した主面を有する六方晶系の基板をさらに含み、前記III族窒化物半導体層は、前記基板の前記主面上に結晶成長された層である、請求項1～3のいずれか一項に記載の半導体発光素子である。

【0009】

40

この構成によれば、基板の主面がc面に対して 0.3° 以上のオフ角で傾斜しているため、この上に、c面に対して 0.3° 以上のオフ角で傾斜した成長面を有するIII族窒化物半導体層を、簡単に結晶成長させることができる。

請求項5に記載の発明は、前記基板がサファイア基板である、請求項4に記載の半導体発光素子である。

【0010】

この構成によれば、サファイア基板上に、発光効率の向上した発光層を有するIII族窒化物半導体層を形成することができる。また、特別な基板を用いる必要がなく、安価なサファイア基板で済むので、製造コストを低減することもできる。

請求項6に記載の発明は、前記III族窒化物半導体層の前記成長面のオフ角が 0.35

50

° 以上である、請求項 1 ~ 5 のいずれか一項に記載の半導体発光素子である。

【0011】

この構成によれば、半導体発光素子の発光効率を一層向上させることができる。

請求項 7 に記載の発明のように、前記発光層は、InGa_nN からなる量子井戸層と、Ga_nN からなるバリア層とを交互に所定周期で積層した多重量子井戸構造を有していることが好ましい。

請求項 8 に記載の発明は、前記半導体発光素子は、前記発光層の下地層として、InGa_nN 層と Ga_nN 層とを交互に所定周期で積層した超格子構造を有する中間バッファ層をさらに含む、請求項 1 ~ 7 のいずれか一項に記載の半導体発光素子である。

【0012】

この構成によれば、n 型層または p 型層の側から発光層を結晶成長させる際、発光層の成長に先立って中間バッファ層を成長させることによって、発光層の成長開始時の格子サイズの変化を緩やかにすることができる。そのため、応力緩和層への格子欠陥の導入を低減することができる。

請求項 9 に記載の発明は、前記発光層は、ピーク発光波長が 500 nm ~ 550 nm の範囲の光を発生するものである、請求項 1 ~ 6 のいずれか一項に記載の半導体発光素子である。

【0013】

この構成によれば、緑色の光を効率よく発生する発光層を有する半導体発光素子を提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【0014】

【図 1】図 1 は、本発明の一実施形態に係る発光ダイオードの構造を説明するための模式的な断面図である。

【図 2】図 2 は、サファイアの結晶構造のユニットセルを表した模式図である。

【図 3】図 3 は、図 1 のサファイア基板および III 族窒化物半導体層の要部拡大図である。

【図 4】図 4 は、前記 III 族窒化物半導体層を構成する各層を成長させるための処理装置の構成を説明するための模式図である。

【図 5】図 5 は、サファイア単結晶ウエハの EL 強度とオフ角との関係（主波長 525 nm）を示すグラフである。

【図 6】図 6 は、サファイア単結晶ウエハの裏面出力とオフ角との関係（主波長 525 nm）を示すグラフである。

【図 7】図 7 は、サファイア単結晶ウエハの裏面出力とオフ角との関係（主波長 470 nm）を示すグラフである。

【発明を実施するための形態】

【0015】

以下では、本発明の実施の形態を、添付図面を参照して詳細に説明する。

図 1 は、本発明の一実施形態に係る発光ダイオードの構造を説明するための模式的な断面図である。

本発明の半導体発光素子の一例としての発光ダイオード 1 は、サファイア基板 2 上に、III 族窒化物半導体積層構造をなす III 族窒化物半導体層 3 を成長させて構成された素子本体を有している。

【0016】

III 族窒化物半導体層 3 は、サファイア基板 2 側から順に、本発明の n 型層の一例としての n 型低温 Ga_nN バッファ層 3 1 および n 型 Ga_nN コンタクト層 3 2、中間バッファ層 3 3、発光層 3 4、ならびに、本発明の p 型層の一例としての p 型 AlGa_nN 電子阻止層 3 5 および p 型 Ga_nN コンタクト層 3 6 を積層した積層構造を有している。III 族窒化物半導体層 3 には、断面がほぼ矩形となるように p 型 Ga_nN コンタクト層 3 6 から n 型 Ga_nN コンタクト層 3 2 が露出する深さまで選択的に除去（たとえば、エッチング）すること

10

20

30

40

50

によって凹部 4 が形成されている。そして、n 型 GaN コンタクト層 3 2 は、III 族窒化物半導体層 3 の片側から、サファイア基板 2 の表面に沿う横方向に引き出された引き出し部 5 を有している。

【0017】

p 型 GaN コンタクト層 3 6 層の表面には、p 型電極（アノード電極）6 が接合されており、n 型 GaN コンタクト層 3 2 の引き出し部 5 には、n 型電極（カソード電極）7 が接合されている。こうして、発光ダイオード構造が形成されている。

サファイア基板 2 は、支持基板（配線基板）8 に接合されている。支持基板 8 の表面には、配線 9, 10 が形成されている。そして、p 型電極 6 と配線 9 とがボンディングワイヤ 11 で接続されており、n 型電極 7 と配線 10 とがボンディングワイヤ 12 で接続されている。さらに、図示は省略するが、発光ダイオード 1 の構造と、ボンディングワイヤ 11, 12 とが、エポキシ樹脂等の透明樹脂によって封止されることにより、発光ダイオード 1 のパッケージ（ダイオードパッケージ）が構成されている。

10

【0018】

n 型低温 GaN バッファ層 3 1 は、たとえば、400 ~ 700 のウエハ温度で結晶成長されたアンドープ（ドーパントがドーピングされていない）GaN 層からなる。層厚は、数十 nm とすることが好ましい。

n 型 GaN コンタクト層 3 2 は、たとえば、シリコンを n 型ドーパントとして添加した n 型 GaN 層からなる。層厚は 3 μm 以上、具体的には、3 μm ~ 7 μm とすることが好ましい。シリコンのドーピング濃度は、たとえば、 $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 程度とされる。

20

【0019】

中間バッファ層 3 3 は、たとえば、シリコンをドーピングした InGa_zN 層（たとえば 4 nm 厚程度）と GaN 層（たとえば 2 nm 厚程度）とを交互に所定周期（たとえば 5 周期程度）積層した超格子構造を有している。この実施形態では、InGa_zN 層が In_zGa_{1-z}N（ $z = 0.01 \sim 0.05$ ）で示される層であり、GaN 層は、In を全く含んでいない層である。なお、GaN 層は、中間バッファ層 3 3 の InGa_zN 層の In 組成比率（ z ）よりも小さい範囲で、若干の In を含んでいてもよい。

【0020】

発光層 3 4 は、ピーク発光波長が 500 nm 以上の光を発生するものであり、好ましくは、ピーク発光波長が 500 nm ~ 550 nm の範囲の光を発生する。ここでピーク発光波長とは、発光層 3 4 から放出される光のうち、最も強度の高い光（メインピーク）の波長のことを指し、放出された光のスペクトル分布のピーク値に対応する波長である。したがって、当該スペクトル分布において、最大ピークの他にノイズレベルのピークが現れていても、ノイズレベルのピーク発光波長は、この実施形態における「ピーク発光波長」に含まれるものではない。

30

【0021】

発光層 3 4 は、たとえば、シリコンをドーピングした InGa_xN 層 1 4（量子井戸層：たとえば 3 nm 厚程度）と GaN 層 1 3（バリア層：たとえば 14 nm 厚程度）とを交互に所定周期（たとえば 8 周期（8 ペア）程度）積層した多重量子井戸（MQW: Multiple Quantum Well）構造を有している。この実施形態では、InGa_xN 層 1 4 が In_xGa_{1-x}N（ $x = 0.18 \sim 0.23$ ）で示される層であり、GaN 層 1 3 が、In を全く含んでいない層である。なお、InGa_xN 層 1 4 における In 組成比率（ x ）は、この実施形態では 0.18（18%）~ 0.23（23%）としているが、0.18（18%）~ 0.30（30%）であってもよい。この実施形態では、複数の InGa_xN 層 1 4 は、III 族窒化物半導体層 3 の積層方向において、一定の In 組成比率（ x ）を有している。たとえば、8 つの InGa_xN 層 1 4 の In 組成比率（ x ）は、すべて 0.2（20%）となってもよい。また、発光層 3 4 の全体の厚さ（総厚さ）は、たとえば、60 nm ~ 150 nm である。

40

【0022】

なお、複数の InGa_xN 層 1 4 は、III 族窒化物半導体層 3 の積層方向において In 組

50

成比率 (x) が変化する順序で積層されていてもよい。たとえば、サファイア基板 2 から遠いほど In 組成比率 (x) が大きくなる順序、または小さくなる順序で積層されていてもよい。

さらに発光層 3 4 は、InGa_xN_{1-x}層 1 4 および GaN 層 1 3 からなる多重量子井戸構造と、p 型 AlGa_xN 電子阻止層 3 5 との間に、GaN ファイナルバリア層 1 5 (たとえば 10 nm 厚程度) を有している。GaN ファイナルバリア層 1 5 は、たとえば、アンドープ (ドーパントがドーピングされていない) GaN 層からなる。

【0023】

p 型 AlGa_xN 電子阻止層 3 5 は、たとえば、p 型ドーパントとしてのマグネシウムを添加した AlGa_xN 層からなる。層厚は 3 nm 以上、具体的には、5 nm ~ 30 nm とすることが好ましい。マグネシウムのドーピング濃度は、たとえば、 $3 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 程度とされる。

p 型 GaN コンタクト層 3 6 は、たとえば、p 型ドーパントとしてのマグネシウムを高濃度に添加した GaN 層からなる。層厚は 0.1 μm 以上、具体的には、0.2 μm ~ 0.5 μm とすることが好ましい。マグネシウムのドーピング濃度は、たとえば、 10^{20} cm^{-3} 程度とされる。p 型 GaN コンタクト層 3 6 の表面は III 族窒化物半導体層 3 の表面 3 a をなし、この表面 3 a は鏡面となっている。この表面 3 a は、発光層 3 4 で発生した光が取り出される光取り出し側表面である。

【0024】

p 型電極 6 および n 型電極 7 は、たとえば、Ti 層と Al 層とから構成される膜である。なお、p 型電極 6 と p 型 GaN コンタクト層 3 6 との間には、III 族窒化物半導体層 3 の表面 3 a のほぼ全域に、アノードコンタクトのための透明電極が形成されていてもよい。このような透明電極は、たとえば、Ni 層と Au 層とから構成される透明な薄い金属層、ZnO 層等で構成することができる。

【0025】

サファイア基板 2 は、極性面 (この実施形態では c 面) を主面 2 a とするサファイア単結晶からなる基板である。具体的には、サファイア基板 2 の主面 2 a は、極性面の面方位から 0.3° 以上のオフ角、より好ましくは、m 軸方向に 0.3° 以上、さらに好ましくは、m 軸方向に 0.3° ~ 0.5° のオフ角を有する面である。したがって、サファイア基板 2 上に結晶成長させられた III 族窒化物半導体層 3 の成長主面 (表面 3 a) は、サファイア基板 2 の主面 2 a と同じ面、すなわち、極性面 (この実施形態では c 面) となっている。また、サファイア基板 2 の厚さは、600 μm 以上、具体的には、650 μm ~ 1000 μm とすることが好ましい。なお、発光ダイオード 1 においては、サファイア基板 2 に代えて、たとえば、GaN 基板、ZnO 基板、AlN 基板、SiC 基板等の六方晶系の基板を使用することができる。

【0026】

図 2 は、サファイアの結晶構造のユニットセルを表した模式図である。図 3 は、図 1 のサファイア基板および III 族窒化物半導体層の要部拡大図である。

図 2 に示すように、サファイア単結晶の結晶構造は、六方晶系で近似することができ、1 つのアルミニウム (Al) 原子に対して 4 つの酸素 (O) 原子が結合している。4 つの酸素原子は、アルミニウム原子を中央に配置した正四面体の 4 つの頂点に位置している。これらの 4 つの酸素原子は、1 つのアルミニウム原子が酸素原子に対して +c 軸 [0001] 方向に位置し、他の 3 つの酸素原子がアルミニウム原子に対して -c 軸 [000-1] 側に位置している。このような構造のために、サファイア単結晶では、分極方向が c 軸に沿っている。

【0027】

c 軸は六角柱の軸方向に沿い、この c 軸を法線とする面 (六角柱の頂面) が c 面 {0001} である。c 面に平行な 2 つの面でサファイア単結晶を劈開すると、+c 軸側の面 (+c 面) はアルミニウム原子が並んだ結晶面となり、-c 軸側の面 (-c 面) は酸素原子が並んだ結晶面となる。そのため、c 面は、+c 軸側と -c 軸側とで異なる性質を示すの

10

20

30

40

50

で、極性面(Polar Plane)と呼ばれる。

【0028】

また、+c軸に垂直であり、かつ+c面の真上から見た場合において六角柱の互いに隣り合わない頂点を通る方向がそれぞれ、a1軸[1000]、a2軸[0100]およびa3軸[0010]である。

一方、六角柱の側面がそれぞれm面{1010}であり、隣り合わない一对の稜線を通る面がa面{1120}である。これらは、c面に対して直角な結晶面であり、分極方向に対して直交しているため、極性のない平面、すなわち、非極性面(Nonpolar Plane)である。また、m面に垂直な方向が、m軸[1-100]である。

【0029】

さらに、c面に対して傾斜している(平行でもなく直角でもない)結晶面は、分極方向に対して斜めに交差しているため、若干の極性のある平面、すなわち、半極性面(Semipolar Plane)である。半極性面の具体例は、図2の右側に示すように、{10-11}面、(10-13)面などの面である。

そして、サファイア基板2の主面2aは、前述したように、c面{0001}に対してm軸[1-100]方向に0.3°以上のオフ角で傾斜した面となっている。また、c面{0001}に対するサファイア基板2の主面2aのa1軸[1000]、a2軸[0100]およびa3軸[0010]方向のオフ角は、0°となっている。

【0030】

図3に示すように、サファイア基板2の主面2aは、その法線nの方向がc軸[0001]軸方向と一致しておらず、c面{0001}に対してm軸[1-100]のオフ方向に0.3°以上のオフ角で傾斜している。オフ方向とは、図2に示すように、c軸[0001]に対するサファイア基板2の法線nの傾斜する方向を指し、c軸[0001]から法線nをc面{0001}に投影(射影)したベクトルの向きで示されるものである。すなわち、この実施形態では、法線nの投影ベクトルの向きが、m軸[1-100]に一致している。

【0031】

これにより、サファイア基板2は、c面{0001}から構成される平坦なテラス面16と、主面2aがc面{0001}に対して傾斜すること(オフ角)により生じるテラス面16の段差部分とから形成され、段差部分はm軸[1-100]に垂直なm面{1010}であるステップ面17を有している。段差部分の高さ(ステップ高さh)は、1つのアルミニウム原子の上に酸素原子が結合したAl-Oペアのレイヤ18(bi layer)に相当する。

【0032】

各レイヤ18のステップ面17は、m軸[1-100]軸方向にテラス面16の幅wを保ちながら、規則的に並ぶことになる。また、ステップ面17のステップエッジとなるステップライン19は、m軸[1-100]方向と垂直の関係を保ちながら(言い換えれば、m軸[1-100]方向と平行の関係を保ちながら)、テラス面16の幅wを取りながら平行に並ぶようになる。

【0033】

そして、III族窒化物半導体層3は、サファイア基板2のテラス面16およびステップ面17を保ちながら、各レイヤ18がm軸[1-100]方向に沿って横方向に結晶成長することにより形成されている。各レイヤ18の成長方向の幅(ステップ成長幅S)は、III族窒化物半導体層3の厚さ t_2 を用いて、 t_2 / \sin で表すことができる。また、III族窒化物半導体層3の表面3a(エピ成長表面)での、各レイヤ18の成長方向の幅(ステップ進行幅L)は、 t_2 / \tan で表すことができる。また、ステップ成長幅Sは、ステップ進行幅Lに近似できる。角度の単位がラジアンであれば、 t_2 / \sin t_2 / \tan となる。ステップ成長幅Sは、III族窒化物半導体層3の厚さ t_2 に応じて厚くなる。

【0034】

10

20

30

40

50

図4は、III族窒化物半導体層3を構成する各層を成長させるための処理装置の構成を説明するための模式図である。

図4に示すように、処理装置の処理室20内に、ヒータ21を内蔵したサセプタ22が配置されている。サセプタ22は、回転軸23に結合されており、この回転軸23は、処理室20外に配置された回転駆動機構24によって回転されるようになっている。これにより、サセプタ22に処理対象のウエハ25を保持させることにより、処理室20内でウエハ25を所定温度に昇温することができ、かつ、回転させることができる。ウエハ25は、前述のサファイア基板2を構成するサファイア単結晶ウエハである。

【0035】

処理室20には、排気配管26が接続されている。排気配管26はロータリポンプ等の排気設備に接続されている。これにより、処理室20内の圧力は、1/10気圧～常圧力（好ましくは1/5気圧程度）とされ、処理室20内の雰囲気は常時排気されている。

一方、処理室20には、サセプタ22に保持されたウエハ25の表面に向けて原料ガスを供給するための原料ガス供給路40が導入されている。この原料ガス供給路40には、窒素原料ガスとしてのアンモニアを供給する窒素原料配管41と、ガリウム原料ガスとしてのトリメチルガリウム（TMG）を供給するガリウム原料配管42と、アルミニウム原料ガスとしてのトリメチルアルミニウム（TMAI）を供給するアルミニウム原料配管43と、インジウム原料ガスとしてのトリメチルインジウム（TMI n）を供給するインジウム原料配管44と、マグネシウム原料ガスとしてのエチルシクロペンタジエニルマグネシウム（Et Cp₂Mg）を供給するマグネシウム原料配管45と、シリコンの原料ガスとしてのシラン（SiH₄）を供給するシリコン原料配管46とが接続されている。これらの原料配管41～46には、それぞれバルブ51～56が介装されている。各原料ガスは、いずれも水素もしくは窒素またはこれらの両方からなるキャリアガスとともに供給されるようになっている。

【0036】

そして、サファイア基板2上にIII族窒化物半導体層3を結晶成長させるには、c面{0001}を主面とするサファイア単結晶ウエハをウエハ25としてサセプタ22に保持させる。この状態で、バルブ52～56は閉じておき、窒素原料バルブ51を開いて、処理室20内に、キャリアガスおよびアンモニアガス（窒素原料ガス）が供給される。さらに、ヒータ21への通電が行われ、ウエハ温度（基板温度）が1000～1100（たとえば、1050程度）まで昇温される。これにより、ウエハ25の表面の荒れを生じさせることなく、III族窒化物半導体が成長できるようになる。

【0037】

次に、ウエハ温度が400～700となるように設定した後、窒素原料バルブ51およびガリウム原料バルブ52が開かれる。これにより、原料ガス供給路40から、キャリアガスとともに、アンモニアおよびトリメチルガリウムが供給される。その結果、ウエハ25の表面に、アンドープのGaN層からなる低温GaNバッファ層31が成長する。

次に、ウエハ温度が1000～1100に達するまで待機した後、窒素原料バルブ51、ガリウム原料バルブ52およびシリコン原料バルブ56が開かれる。これにより、原料ガス供給路40から、キャリアガスとともに、アンモニア、トリメチルガリウムおよびシランが供給される。その結果、ウエハ25の表面に、シリコンがドーパされたGaN層からなるn型GaNコンタクト層32が成長する。

【0038】

次の工程は、中間バッファ層33の形成工程である。具体的には、アルミニウム原料バルブ53およびシリコン原料バルブ56が閉じられ、超格子構造の成長が行われる。超格子構造の成長は、窒素原料バルブ51、ガリウム原料バルブ52およびインジウム原料バルブ54を開いてアンモニア、トリメチルガリウムおよびトリメチルインジウムをウエハ25へと供給することによりInGaN層を成長させる工程と、インジウム原料バルブ54を閉じ、窒素原料バルブ51およびガリウム原料バルブ52を開いてアンモニアおよびトリメチルガリウムをウエハ25へと供給することにより、アンドープのGaN層を成長

させる工程とを交互に実行することによって行うことができる。たとえば、GaN層を始めに形成し、その上にInGaN層を形成する。これを5回に渡って繰り返し行う。中間バッファ層33の形成時には、ウエハ25の温度は、たとえば、740 ~ 850（たとえば780程度）とされることが好ましい。

【0039】

次の工程は、発光層34の形成工程である。発光層34の工程も中間バッファ層33と同様に、アルミニウム原料バルブ53およびシリコン原料バルブ56が閉じられ、多重量子井戸構造の成長が行われる。多重量子井戸構造の成長は、窒素原料バルブ51、ガリウム原料バルブ52およびインジウム原料バルブ54を開いてアンモニア、トリメチルガリウムおよびトリメチルインジウムをウエハ25へと供給することによりInGaN層14を成長させる工程と、インジウム原料バルブ54を閉じ、窒素原料バルブ51およびガリウム原料バルブ52を開いてアンモニアおよびトリメチルガリウムをウエハ25へと供給することにより、アンドープのGaN層13を成長させる工程とを交互に実行することによって行うことができる。たとえば、GaN層13を始めに形成し、その上にInGaN層14を形成する。これを8回に渡って繰り返し行った後、最後に、InGaN層14上にGaNファイナルバリア層15が形成される。発光層34の形成時には、ウエハ25の温度は、たとえば、700 ~ 800とされることが好ましい。

【0040】

次に、p型AlGaN電子阻止層35が形成される。すなわち、窒素原料バルブ51、ガリウム原料バルブ52、アルミニウム原料バルブ53およびマグネシウム原料バルブ55が開かれ、他のバルブ54, 56が閉じられる。これにより、ウエハ25に向けて、アンモニア、トリメチルガリウム、トリメチルアルミニウムおよびエチルシクロペンタジエニルマグネシウムが供給され、マグネシウムがドープされたAlGaN層からなるp型AlGaN電子阻止層35が形成されることになる。このp型AlGaN電子阻止層35の形成時には、ウエハ25の温度は、1000 ~ 1100（たとえば1000）とされることが好ましい。

【0041】

次に、p型GaNコンタクト層36が形成される。すなわち、窒素原料バルブ51、ガリウム原料バルブ52およびマグネシウム原料バルブ55が開かれ、他のバルブ53, 54, 56が閉じられる。これにより、ウエハ25に向けて、アンモニア、トリメチルガリウムおよびエチルシクロペンタジエニルマグネシウムが供給され、マグネシウムがドープされたGaN層からなるp型GaNコンタクト層36が形成されることになる。p型GaNコンタクト層36の形成時には、ウエハ25の温度は、1000 ~ 1100（たとえば1000）とされることが好ましい。

【0042】

こうして、ウエハ25上にIII族窒化物半導体層3が成長させられると、このウエハ25は、エッチング装置に移され、たとえばプラズマエッチングによって、図1に示すように、n型GaNコンタクト層32を露出させるための凹部4が形成される。凹部4は、中間バッファ層33、発光層34、p型AlGaN電子阻止層35およびp型GaNコンタクト層36を島状に取り囲むように形成されてもよく、これにより、中間バッファ層33、発光層34、p型AlGaN電子阻止層35およびp型GaNコンタクト層36をメサ形に整形するものであってもよい。

【0043】

次に、抵抗加熱または電子線ビームによる金属蒸着装置によって、p型電極6およびn型電極7が形成される。これにより、図1に示す発光ダイオード1構造を得ることができる。

このようなウエハプロセスの後に、ウエハ25の劈開によって個別素子が切り出され、この個別素子は、ダイボンディングおよびワイヤボンディングによってリード電極に接続された後、エポキシ樹脂等の透明樹脂中に封止される。こうして、発光ダイオード1のパッケージが作製される。

10

20

30

40

50

【0044】

以上のように、発光ダイオード1によれば、図3に示すように、III族窒化物半導体層3の成長面3aが、c面{0001}に対してm軸[1-100]方向に0.3°以上のオフ角で傾斜している。これにより、III族窒化物半導体層3のテラス面16の幅wを、In原子のマイグレーション距離に適した大きさにすることができる。そのため、発光層34の成長時、 $In_xGa_{1-x}N$ ($x = 0.18 \sim 0.23$)中のIn原子を、III族窒化物半導体を構成する結晶格子(六方晶格子)において最適なサイトに配置することができる。その結果、発光層34を良好な結晶品質で成長させることができるので、発光ダイオード1の発光効率を向上させることができる。

【0045】

また、この実施形態によれば、サファイア基板2上に、前述のように発光効率の向上した発光層34を有するIII族窒化物半導体層3を形成することができる。特別な基板を用いる必要がなく、安価なサファイア基板で済むので、製造コストを低減することもできる。

10

また、この実施形態では、発光層34の下地層として、 $In_zGa_{1-z}N$ ($z = 0.01 \sim 0.05$)で示されるInGaN層を有する中間バッファ層33が形成されている。そのため、サファイア基板2上に発光層34を結晶成長させる際、発光層34の成長に先立って中間バッファ層33を成長させることによって、発光層34の成長開始時の格子サイズの変化を緩やかにすることができる。そのため、発光層34への格子欠陥の導入を低減することができる。

20

【0046】

以上、本発明の一実施形態について説明したが、本発明はさらに他の形態で実施することもできる。

たとえば、前述の実施形態では、III族窒化物半導体層3の表面3a(成長面)のオフ角が、c面{0001}に対してm軸[1-100]方向に0.3°以上である場合を例としてとりあげたが、オフ角は、たとえば、c面{0001}に対してa1軸[1000]、a2軸[0100]またはa3軸[0010]方向に0.3°以上であってもよい。

【0047】

また、前述の実施形態では、発光ダイオードに本発明が適用された例について説明したが、窒化物半導体レーザ素子のような他の形態の発光素子に対しても本発明を適用することができる。

30

その他、特許請求の範囲に記載された事項の範囲で種々の設計変更を施すことが可能である。

【実施例】

【0048】

次に、以下の実施例を行うことによって、本発明に係る発光ダイオードの効果を確認した。

(1) 緑色発光ダイオードにおける発光効率の向上効果

まず、主面2aのオフ角がそれぞれ、c面{0001}に対してm軸[1-100]方向に0.25°、0.35となるようにサファイア単結晶ウエハ25を切り出した。そして、各サファイア単結晶ウエハ25の主面2a上に、前述の実施形態に倣ってIII族窒化物半導体層3を形成した。これにより得られたものをサンプル1とした。

40

【0049】

一方、サンプル1とは異なる環境(温度、装置等)において、オフ角が図5に示す大きさとなるようにサファイア単結晶ウエハ25を切り出し、このサファイア単結晶ウエハ25を用いて得られたサンプルをサンプル2~4とした。

そして、これらサンプル1~4の裏面出力を、裏面プローバ(緑色光:主波長515nm)を用いて測定した。結果を図5に示す。図5では、オフ角0.35°のサンプル1の裏面出力を基準値1.00とし、他のサンプルの裏面出力については、当該基準値に対す

50

る相対値で示している。

【0050】

図5によれば、サンプル1～4共に、サファイアオフ角が 0.3° 以上の範囲であれば、発光層34で緑色の光（ピーク発光波長が 500nm 以上）を発生させる場合に、裏面出力を向上できることがわかった。なお、サンプル1のオフ角 0.25° のものとサンプル3のオフ角 0.65° のものとを比較すると、後者のオフ角 0.65° の裏面出力が劣っているが、この差はサファイア単結晶ウエハを作製するときの環境の違いによる誤差であると考えられる。

(2) 緑色発光ダイオードと青色発光ダイオードとの発光効率の比較

主面2aのオフ角がそれぞれ、c面 $\{0001\}$ に対してm軸 $[1-100]$ 方向に 0.25° 、 0.35° となるようにサファイア単結晶ウエハ25を切り出した。そして、各サファイア単結晶ウエハ25の主面2a上に、前述の実施形態に倣ってIII族窒化物半導体層3を形成した。これにより得られたものをサンプル5とした。

【0051】

一方、サンプル5とは異なる環境（温度、装置等）において、オフ角が 0.25° 、 0.35° となるようにサファイア単結晶ウエハ25を切り出し、このサファイア単結晶ウエハ25を用いて得られたサンプルをサンプル6とした。

そして、これらサンプル5,6の裏面出力を、裏面プローバ（緑色光：主波長 525nm 、青色光：主波長 470nm ）を用いて測定した。結果を図6および図7に示す。図6,7では、オフ角 0.25° のサンプル5の裏面出力を基準値 1.0 とし、他のサンプルの裏面出力については、当該基準値に対する相対値で示している。

【0052】

緑色光の結果を示す図6によれば、サンプル5,6共に、サファイアオフ角を 0.25° から 0.35° にすることによって、裏面出力を向上できることがわかった。一方、青色光の結果を示す図7によれば、サンプル5,6共に、サファイアオフ角を 0.25° から 0.35° としても、裏面出力の向上は見られず、むしろ若干の低下が見られた。

つまり、図6および図7により、サファイア単結晶ウエハ25の主面2aのオフ角をc面 $\{0001\}$ に対して 0.3° 以上とすることによって得られる効果は、ピーク発光波長が 500nm 以上の緑色の光の波長域に限られ、青色の光の波長域（ $440\text{nm} \sim 470\text{nm}$ ）では、際立った特性変化を期待できないことがわかった。

【符号の説明】

【0053】

- 1 発光ダイオード
- 2 サファイア基版
- 3 III族窒化物半導体層
 - 13 GaN層
 - 14 InGaN層
 - 31 n型低温GaNバッファ層
 - 32 n型GaNコンタクト層
 - 33 中間バッファ層
 - 34 発光層
 - 35 p型AlGaN電子阻止層
 - 36 p型GaNコンタクト層

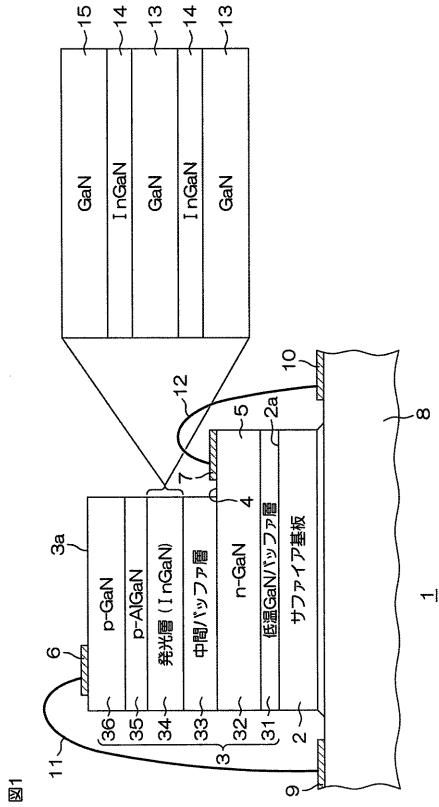
10

20

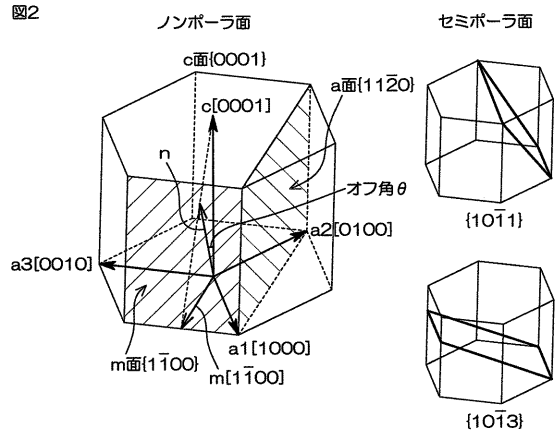
30

40

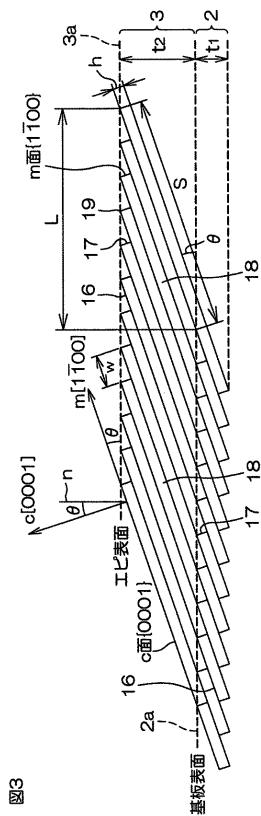
【 図 1 】



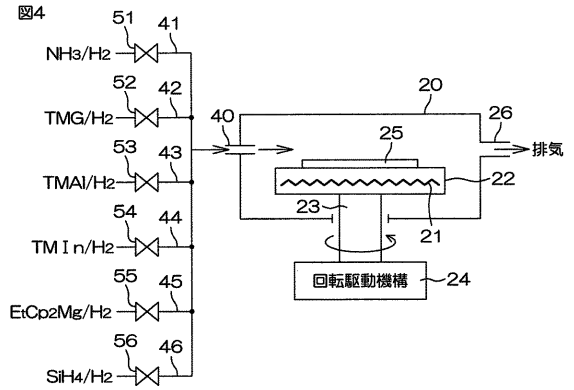
【 図 2 】



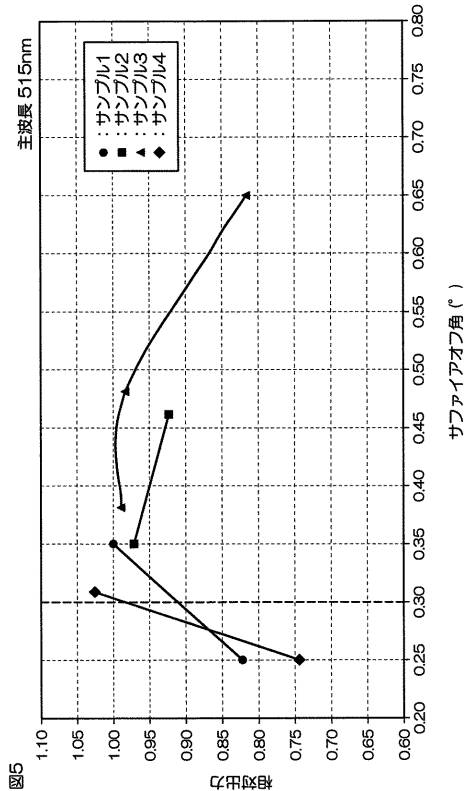
【 図 3 】



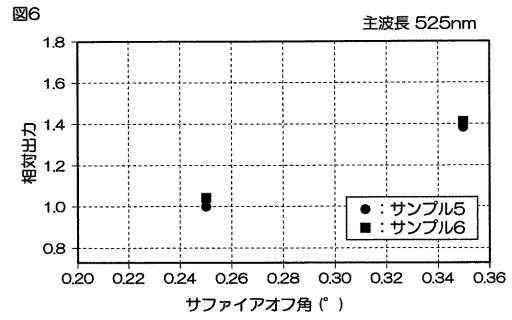
【 図 4 】



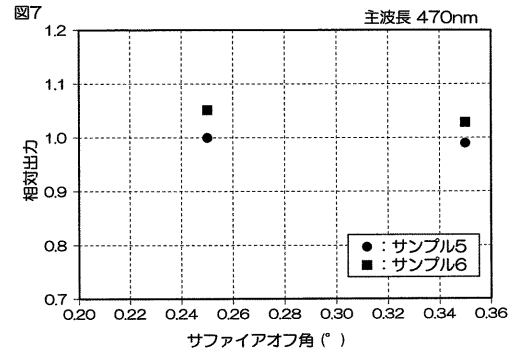
【 図 5 】



【 図 6 】



【 図 7 】



【 手続補正書 】

【 提出日 】 平成29年12月4日 (2017.12.4)

【 手続補正 1 】

【 補正対象書類名 】 特許請求の範囲

【 補正対象項目名 】 全文

【 補正方法 】 変更

【 補正の内容 】

【 特許請求の範囲 】

【 請求項 1 】

c 面に対して m 軸方向に 0 . 3 ° 以上のオフ角、 a 軸方向に 0 ° のオフ角で傾斜した主面を有する六方晶系の基板と、

前記基板の前記主面上に形成された III 族窒化物半導体からなり、少なくとも n 型層と、 p 型層と、前記 n 型層および前記 p 型層で挟まれた発光層とを有する積層構造の III 族窒化物半導体層を備え、

前記発光層は、ピーク発光波長が 5 0 0 n m 以上の光を発生するものであり、 I n x G a 1 - x N (x = 0 . 1 8 ~ 0 . 3 0) 層を有し、

前記発光層の下地層として、 I n G a N 層と G a N 層とを交互に所定周期で積層した超格子構造を有する中間バッファ層を含み、

前記 III 族窒化物半導体層の主面が、 c 面に対して m 軸方向に 0 . 3 ° 以上のオフ角、 a 軸方向に 0 ° のオフ角で傾斜した面である、半導体発光素子。

【 請求項 2 】

前記 III 族窒化物半導体層は、前記基板の前記主面上に結晶成長された層である、請求項 1 に記載の半導体発光素子。

【 請求項 3 】

前記基板がサファイア基板である、請求項 1 または 2 に記載の半導体発光素子。

【請求項 4】

前記III族窒化物半導体層の前記主面のオフ角が 0.35° 以上である、請求項1~3のいずれか一項に記載の半導体発光素子。

【請求項 5】

前記発光層は、InGaNからなる量子井戸層と、GaNからなるバリア層とを交互に所定周期で積層した多重量子井戸構造を有している、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】

前記発光層は、ピーク発光波長が $500\text{nm} \sim 550\text{nm}$ の範囲の光を発生するものである、請求項1~5のいずれか一項に記載の半導体発光素子。

10

【手続補正 2】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0006

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0006】

上記の目的を達成するための請求項1に記載の発明は、c面に対してm軸方向に 0.3° 以上のオフ角、a軸方向に 0° のオフ角で傾斜した主面を有する六方晶系の基板と、前記基板の前記主面上に形成されたIII族窒化物半導体からなり、少なくともn型層と、p型層と、前記n型層および前記p型層で挟まれた発光層とを有する積層構造のIII族窒化物半導体層を備え、前記発光層は、ピーク発光波長が 500nm 以上の光を発生するものであり、 $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ ($x = 0.18 \sim 0.30$)層を有し、前記発光層の下地層として、InGaN層とGaN層とを交互に所定周期で積層した超格子構造を有する中間バッファ層を含み、前記III族窒化物半導体層の主面が、c面に対してm軸方向に 0.3° 以上のオフ角、a軸方向に 0° のオフ角で傾斜した面である、半導体発光素子である。

20

【手続補正 3】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0007

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0007】

この構成によれば、III族窒化物半導体層の主面がc面に対してm軸方向に 0.3° 以上のオフ角、a軸方向に 0° のオフ角で傾斜しているため、III族窒化物半導体層の成長時、 $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ ($x = 0.18 \sim 0.23$)を良好な結晶品質で成長させることができる。これにより、当該 $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ ($x = 0.18 \sim 0.23$)層を有する発光層の結晶品質を向上させることができる。その結果、半導体発光素子の発光効率を向上させることができる。

30

また、この構成によれば、n型層またはp型層の側から発光層を結晶成長させる際、発光層の成長に先立って中間バッファ層を成長させることによって、発光層の成長開始時の格子サイズの変化を緩やかにすることができる。そのため、発光層への格子欠陥の導入を低減することができる。

40

【手続補正 4】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0008

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0008】

請求項2に記載の発明は、前記III族窒化物半導体層は、前記基板の前記主面上に結晶成長された層である、請求項1に記載の半導体発光素子である。

【手続補正 5】

50

【補正対象書類名】明細書
 【補正対象項目名】0009
 【補正方法】変更
 【補正の内容】
 【0009】

請求項3に記載の発明は、前記基板がサファイア基板である、請求項1または2に記載の半導体発光素子である。

【手続補正6】
 【補正対象書類名】明細書
 【補正対象項目名】0010
 【補正方法】変更
 【補正の内容】
 【0010】

この構成によれば、サファイア基板上に、発光効率の向上した発光層を有するIII族窒化物半導体層を形成することができる。また、特別な基板を用いる必要がなく、安価なサファイア基板で済むので、製造コストを低減することもできる。

請求項4に記載の発明は、前記III族窒化物半導体層の前記主面のオフ角が 0.35° 以上である、請求項1~3のいずれか一項に記載の半導体発光素子である。

【手続補正7】
 【補正対象書類名】明細書
 【補正対象項目名】0011
 【補正方法】変更
 【補正の内容】
 【0011】

この構成によれば、半導体発光素子の発光効率を一層向上させることができる。

請求項5に記載の発明のように、前記発光層は、InGaNからなる量子井戸層と、GaNからなるバリア層とを交互に所定周期で積層した多重量子井戸構造を有していることが好ましい。

【手続補正8】
 【補正対象書類名】明細書
 【補正対象項目名】0012
 【補正方法】変更
 【補正の内容】
 【0012】

請求項6に記載の発明は、前記発光層は、ピーク発光波長が $500\text{nm} \sim 550\text{nm}$ の範囲の光を発生するものである、請求項1~5のいずれか一項に記載の半導体発光素子である。

10

20

30

フロントページの続き

(72)発明者 中西 康夫

京都市右京区西院溝崎町2 1 番地 ローム株式会社内

Fターム(参考) 4G077 AA03 AB02 BE15 ED06 EF04 HA02

5F241 AA03 AA11 CA04 CA05 CA12 CA22 CA23 CA40 CA49 CA57

CA65 CA74 CA76 CA88 CA92 CB11 CB36