

(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2010-272593

(P2010-272593A)

(43) 公開日 平成22年12月2日(2010.12.2)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
HO1S 5/20 (2006.01)	HO1S 5/20 610	5FO41
HO1S 5/343 (2006.01)	HO1S 5/343 610	5FO45
HO1L 33/32 (2010.01)	HO1L 33/00 186	5F173
HO1L 21/205 (2006.01)	HO1L 21/205	

審査請求 未請求 請求項の数 4 O L (全 15 頁)

(21) 出願番号 特願2009-121319 (P2009-121319)  
 (22) 出願日 平成21年5月19日 (2009.5.19)

(71) 出願人 000236436  
 浜松ホトニクス株式会社  
 静岡県浜松市東区市野町1126番地の1  
 (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 100124291  
 弁理士 石田 悟  
 (72) 発明者 吉田 治正  
 静岡県浜松市東区市野町1126番地の1  
 浜松ホトニクス株式会社内  
 (72) 発明者 桑原 正和  
 静岡県浜松市東区市野町1126番地の1  
 浜松ホトニクス株式会社内  
 最終頁に続く

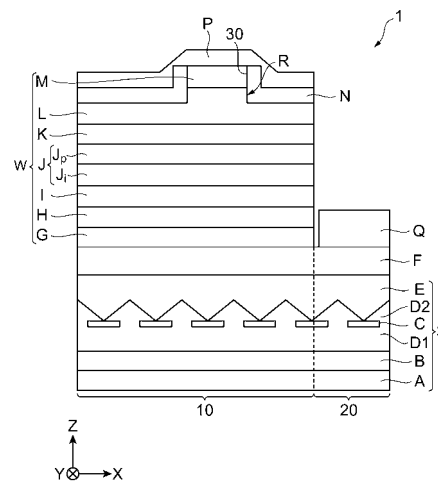
(54) 【発明の名称】 窒化物半導体発光素子及びその製造方法

(57) 【要約】

【課題】 活性層からクラッド層への電子のオーバーフローを十分に抑制可能な窒化物半導体発光素子及びその製造方法を提供することをその目的とする。

【解決手段】 窒化物半導体発光素子1は、活性層Iと、活性層Iの一方側に設けられたp型クラッド層Lと、p型クラッド層Lと活性層Iとの間に設けられたp型電子ブロック層Kと、活性層Iとp型電子ブロック層Kとの間に設けられた第2ガイド層Jとを備え、活性層I、p型クラッド層L、p型電子ブロック層K、及び第2ガイド層JがIII族窒化物系半導体を含み、ガイド層Jのうちp型電子ブロック層K側に位置する部分は、p型不純物を含むと共にp型電子ブロック層Kとがヘテロ接合を形成する。

【選択図】 図1



## 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

活性層と、  
 前記活性層の一方側に設けられた p 型クラッド層と、  
 前記 p 型クラッド層と前記活性層との間に設けられた p 型電子ブロック層と、  
 前記活性層と前記 p 型電子ブロック層との間に設けられたガイド層とを備え、  
 前記活性層、前記 p 型クラッド層、前記 p 型電子ブロック層、及び前記ガイド層が III 族窒化物系半導体を含み、  
 前記ガイド層のうち前記 p 型電子ブロック層側に位置する部分が、p 型不純物を含むと共に前記 p 型電子ブロック層とヘテロ接合を形成する窒化物半導体発光素子。

10

## 【請求項 2】

前記ガイド層のうち前記活性層側に位置する部分には、p 型不純物が意図的には添加されていない請求項 1 に記載の窒化物半導体発光素子。

## 【請求項 3】

前記 p 型クラッド層上に設けられた p 型コンタクト層と、  
 前記活性層の他方側に設けられた n 型コンタクト層と、  
 を更に備える請求項 1 又は請求項 2 に記載の窒化物半導体発光素子。

## 【請求項 4】

基板上にガイド層を形成する工程と、  
 前記ガイド層上に p 型電子ブロック層を形成する工程と、  
 前記 p 型電子ブロック層上に p 型クラッド層を形成する工程と、  
 を備え、  
 前記ガイド層、前記 p 型電子ブロック層、及び前記 p 型クラッド層が III 族窒化物系半導体を含み、  
 前記ガイド層形成工程において、初期段階では p 型不純物を供給せずに結晶成長を行い、且つ最終段階では p 型不純物を供給しつつ結晶成長を行い、  
 前記 p 型電子ブロック層と前記ガイド層形成工程において前記 p 型不純物を供給しつつ結晶成長した部分とがヘテロ接合を形成する窒化物半導体発光素子の製造方法。

20

## 【発明の詳細な説明】

## 【技術分野】

30

## 【0001】

本発明は、窒化物半導体発光素子及びその製造方法に関する。

## 【背景技術】

## 【0002】

III 族窒化物系半導体 ( GaN、AlN、InN 又はそれらの混晶 ) を用いた半導体レーザーダイオード ( LD ) や発光ダイオード ( LED ) において、その特性及び信頼性向上のためには活性層からクラッド層への電子のオーバーフローを抑制することが重要となる。活性層からクラッド層への電子のオーバーフローを抑制する一方法としては、活性層上のガイド層とクラッド層との間に相対的に大きなバンドギャップの電子ブロック層を設ける方法が用いられる。しかし、III 族窒化物系半導体では、ガイド層と電子ブロック層との境界においてピエゾ分極および自発分極に起因する大きな内部電界が生じ、電子に対するバリア、すなわち電子ブロック層による障壁の実効的な高さが得られない。

40

## 【0003】

この問題を解消するために、引用文献 1 に記載の発明では、ガイド層と電子ブロック層との間に AlGaInN からなる中間層が設けられている。

## 【0004】

引用文献 1 に記載の発明では、AlGaInN からなる中間層を設けることで、電子ブロック層と中間層との界面における格子不整合を緩和し、電子ブロック層による障壁の高さの低下を抑制する。

## 【先行技術文献】

50

## 【特許文献】

【0005】

【特許文献1】特開2007-142038号公報

## 【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

しかしながら、AlGaInNの中間層内部では電子ブロック層による障壁の高さを低下する自発分極が生じて、電子ブロック層による障壁の高さの低下を十分に抑制することができない。よって、活性層からクラッド層への電子のオーバーフローを十分に抑制することができない。

10

【0007】

本発明は、上記問題点を解消するためになされたものであり、活性層からクラッド層への電子のオーバーフローを十分に抑制可能な窒化物半導体発光素子及びその製造方法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】

【0008】

本発明に係る窒化物半導体発光素子は、活性層と、活性層の一方側に設けられたp型クラッド層と、p型クラッド層と活性層との間に設けられたp型電子ブロック層と、活性層とp型電子ブロック層との間に設けられたガイド層とを備え、活性層、p型クラッド層、p型電子ブロック層、及びガイド層がIII族窒化物系半導体を含み、ガイド層のうちp型電子ブロック層側に位置する部分が、p型不純物を含むと共にp型電子ブロック層とヘテロ接合を形成する。

20

【0009】

本発明に係る窒化物半導体発光素子では、ガイド層のうちp型電子ブロック層側に位置する部分が、p型不純物を含むと共にp型電子ブロック層とヘテロ接合を形成する。この構成により、ガイド層及びp型電子ブロック層においてピエゾ分極及び自発分極が合成された内部電界を緩和することができる。それ故、ガイド層とp型電子ブロック層とのヘテロ界面に生じるピエゾ分極だけではなく、ガイド層及びp型電子ブロック層の結晶中の自発分極に起因するp型電子ブロック層による障壁の高さの低下も抑制することができる。よって、活性層からp型クラッド層への電子のオーバーフローを十分に抑制することができる。

30

【0010】

また、ガイド層のうち活性層側に位置する部分には、p型不純物が意図的には添加されていないことが好適である。これにより、活性層側のガイド層における不純物準位による光の吸収を回避できる。また、活性層へのp型不純物の拡散を抑制することができるので、p型不純物による活性層内での結晶欠陥の発生が抑制される。その結果、発光特性の低下が抑制される。

【0011】

また、本発明の窒化物半導体発光素子は、p型クラッド層上に設けられたp型コンタクト層と、活性層の他方側に設けられたn型コンタクト層と、を更に備えることが好適である。これにより、それぞれの上に設けられる電極層との接触抵抗を低下させることができるため、バイアス電圧を効果的に印加することができる。

40

【0012】

本発明に係る窒化物半導体発光素子の製造方法は、基板上にガイド層を形成する工程と、ガイド層上にp型電子ブロック層を形成する工程と、p型電子ブロック層上にp型クラッド層を形成する工程と、を備え、ガイド層、p型電子ブロック層、及びp型クラッド層がIII族窒化物系半導体を含み、ガイド層形成工程において、初期段階ではp型不純物を供給せずに結晶成長を行い、最終段階ではp型不純物を供給しつつ結晶成長を行い、p型電子ブロック層とガイド層形成工程においてp型不純物を供給しつつ結晶成長した部分とがヘテロ接合を形成する。

50

## 【 0 0 1 3 】

本発明に係る窒化物半導体発光素子の製造方法では、ガイド層形成工程において、初期段階ではp型不純物を供給せずに結晶成長を行い、且つ最終段階ではp型不純物を供給しつつ結晶成長を行う。また、ガイド層形成工程においてp型不純物を供給しつつ結晶成長した部分とp型電子ブロック層とがヘテロ接合を形成する。そのため、活性層からクラッド層への電子のオーバーフローを十分に抑制することが可能な窒化物半導体発光素子を容易に製造することができる。

## 【 発明の効果 】

## 【 0 0 1 4 】

本発明の窒化物半導体発光素子は、活性層からクラッド層への電子のオーバーフローを十分に抑制することができ、本発明の製造方法は活性層からクラッド層への電子のオーバーフローを十分に抑制可能な窒化物半導体発光素子を容易に製造することができる。

10

## 【 図面の簡単な説明 】

## 【 0 0 1 5 】

【 図 1 】 第 1 実施形態に係る窒化物半導体発光素子の断面図である。

【 図 2 】 第 1 実施形態に係る窒化物半導体発光素子を製造する工程を示す図である。

【 図 3 】 第 1 実施形態に係る窒化物半導体発光素子を製造する工程を示す図である。

【 図 4 】 第 1 実施形態に係る窒化物半導体発光素子を製造する工程を示す図である。

【 図 5 】 従来 of 窒化物半導体発光素子の断面図である。

【 図 6 】 第 1 実施形態に係る窒化物半導体発光素子の効果を説明するための図である。

20

【 図 7 】 第 1 実施形態に係る窒化物半導体発光素子の効果を説明するための図である。

【 図 8 】 p 型不純物のドーピング濃度と発光効率との関係を説明するための図表である。

【 図 9 】 第 2 実施形態に係る窒化物半導体発光素子を示す断面図である。

【 図 1 0 】 第 2 実施形態に係る窒化物半導体発光素子の変形例を示す断面図である。

【 図 1 1 】 第 2 実施形態に係る窒化物半導体発光素子及びその変形例の効果を説明するための図である。

## 【 発明を実施するための形態 】

## 【 0 0 1 6 】

以下、実施の形態に係る窒化物半導体発光素子及びその製造方法について説明する。なお、同一要素には同一符号を用いることとし、重複する説明は省略する。

30

## 【 0 0 1 7 】

なお、以下の実施形態では、結晶を成長させる方法として有機金属気相成長 ( M O C V D ) 法が用いられるが、本発明はこれに限定されず、分子線成長 ( M B E ) 法、ハイドライド気相成長 ( H V P E ) 法等、その他の成長方法を用いてもよい。

## 【 0 0 1 8 】

また、以下の実施形態では、窒素原料ガスとしてアンモニア (  $NH_3$  ) を含むガスが、III族原料ガスとしてトリメチルガリウム ( T M G ) やトリメチルアルミニウム ( T M A ) を含むガスが、n型ドーピング原料ガスとしてシラン (  $SiH_4$  ) を含むガスが、p型ドーピング原料ガスとしてジシクロペンタジエニルマグネシウム (  $Cp_2Mg$  ) を含むガスが用いられるが、本発明はこれに限定されない。以下、詳説する。

40

## 【 0 0 1 9 】

( 第 1 実施形態 )

図 1 は、第 1 実施形態に係る窒化物半導体発光素子 1 の断面図である。第 1 実施形態に係る窒化物半導体発光素子 1 は、例えば半導体レーザである。三次元直交座標系 X , Y , Z を設定すると、基板の厚み方向が Z 軸に一致し、基板の幅方向が X 軸に一致し、X 軸及び Z 軸の双方に垂直な紙面の奥行き方向が Y 軸に一致している。

## 【 0 0 2 0 】

窒化物半導体発光素子 1 は、下地基板 3、n型コンタクト層 F、半導体メサ部 W、電極層 P、及び電極層 Q を備える。

## 【 0 0 2 1 】

50

下地基板 3 は、第 1 領域 10 及び第 2 領域 20 を含む主面を有する基板 A と、基板 A の第 1 領域 10 及び第 2 領域 20 の上に順番に Z 軸の正方向に沿って積層された緩衝層 B、下地層 D1、結晶成長制限部 C、凹凸層 D2 及び平坦化層 E とからなり、これらの材料の一例は以下の通りである。

- ・平坦化層 E :  $Al_{0.2}Ga_{0.8}N$
- ・凹凸層 D2 : GaN
- ・結晶成長制限部 C :  $SiO_2$
- ・下地層 D1 : GaN
- ・緩衝層 B : GaN
- ・基板 A : サファイア

10

#### 【0022】

結晶成長制限部 C は、絶縁性のストライプマスクからなり、各ストライプは Y 軸方向に延びており、X 軸方向に沿って離間して並んでいる。また、凹凸層 D2 は、XZ 断面内において、その露出表面が三角波形状をしており、三角波の谷の直下に結晶成長制限部 C のストライプが位置する。また、本例の凹凸層 D2 は、Y 軸を中心軸とする複数の三角柱形状の部分をもっている。平坦化層 E は、凹凸層 D2 における多角形構造を埋め込むように設けられており、上面が平坦化されている。

#### 【0023】

第 1 及び第 2 の領域 10, 20 の平坦化層 E 上には、n 型コンタクト層 F が設けられている。第 1 領域 10 の n 型コンタクト層 F の上には、順次に積層されて層 G, H, I, J, K, L 及び M からなる半導体メサ部 W が設けられている。n 型コンタクト層 F と、半導体メサ部 W を構成する層 G, H, I, J, K, L 及び M の材料との一例は以下の通りである。

20

- ・p 型コンタクト層 M :  $Al_{0.2}Ga_{0.8}N$
- ・p 型クラッド層 L :  $Al_{0.2}Ga_{0.8}N$
- ・p 型電子ブロック層 K :  $Al_{0.5}Ga_{0.5}N$
- ・第 2 ガイド層 J :  $Al_{0.1}Ga_{0.9}N$
- ・活性層 I : GaN 井戸層 / AlGaIn 障壁層
- ・第 1 ガイド層 H :  $Al_{0.1}Ga_{0.9}N$
- ・n 型クラッド層 G :  $Al_{0.2}Ga_{0.8}N$
- ・n 型コンタクト層 F :  $Al_{0.2}Ga_{0.8}N$

30

#### 【0024】

なお、第 1 ガイド層 H は、アンドープ層である。第 2 ガイド層 J は、活性層 I 側のアンドープの下部層  $J_i$  と p 型不純物が添加された p 型電子ブロック層 K 側の上部層  $J_p$  とを有する。上部層  $J_p$  及び p 型電子ブロック層 K は互いに組成が異なりヘテロ接合を形成する。上部層  $J_p$  のエネルギーバンドギャップは 3.66 eV、すなわち約 3.7 eV であり、p 型電子ブロック層 K のエネルギーバンドギャップは 4.67 eV、すなわち約 4.7 eV である。

#### 【0025】

p 型クラッド層 L 及び p 型コンタクト層 M はリッジ構造 R を構成している。リッジ構造 R 上には、リッジ構造 R の頂部に開口 30 を有する絶縁体層 N が設けられている。リッジ構造 R 及び絶縁体層 N 上には電極層 P が設けられており、電極層 P は絶縁体層 N の開口 30 を介して露出している p 型コンタクト層 M と接している。また、第 2 領域 20 の n 型コンタクト層 F 上には、半導体メサ部 W と離間して電極層 Q が設けられている。

40

#### 【0026】

図 2 ~ 図 4 を参照しながら、本実施の形態に係る窒化物半導体発光素子 1 の製造方法について説明する。図 2 ~ 図 4 は、本実施形態に係る窒化物半導体発光素子 1 の製造方法の各工程を模式的に示す図である。窒化物半導体発光素子 1 を製造するために、例えば下記各工程を順に行う。

#### 【0027】

50

### 工程(1)第1 GaN層成長工程

サファイア基板(基板A)を、MOCVDによる結晶成長可能な空間(MOCVD室)に導入して固定し、MOCVD室内を水素雰囲気にする。次に、基板Aに対して1050で5分間の熱処理を行い、基板Aの表面を清浄化する。このように適切な条件で熱処理を行うことで、基板Aの表面の汚染物質が取り除かれると共に表面の平面度が向上する。

#### 【0028】

次に、基板Aの温度を475まで降温し、トリメチルガリウム(TMG)を含むIII族原料ガス、及びアンモニア(NH<sub>3</sub>)を含む窒素原料ガス等を供給して、図2に示されているように、基板Aの第1及び第2の領域上に膜厚が25nmのGaN層(緩衝層B)を成長させる。そして、1075まで昇温し、トリメチルガリウムを含むIII族原料ガス、及びアンモニアを含む窒素原料ガス等を供給して、緩衝層B上に膜厚が緩衝層Bより厚い2.5μmのGaN層(下地層D1)を成長させる。

10

#### 【0029】

### 工程(2) SiO<sub>2</sub>ストライプのマスク形成

工程(1)で得られた基板をMOCVD室から取り出し、プラズマCVDなどによる成膜が可能な空間(プラズマCVD室)に導入して固定する。次に、下地層D1上に、膜厚が約300nmのSiO<sub>2</sub>膜を堆積させる。次に、通常のフォトリソグラフィ技術及びエッチング技術によりSiO<sub>2</sub>膜を加工して、幅3μmでピッチ6μmのSiO<sub>2</sub>のストライプ(結晶成長制限部C)を形成する。また、ストライプの方向は、GaN[1-100]方向とする。

20

#### 【0030】

### 工程(3) GaN層ファセット形成

次に、工程(2)で得られた基板を、再度、MOCVD成長室に導入し、下地層D1の形成時と同様の原料ガスによって、三角波断面、すなわち傾斜状ファセット構造を有するGaN層(凹凸層D2)を形成する。具体的には、成長圧力の範囲を76~760 Torr(1.0×10<sup>4</sup>~1.0×10<sup>5</sup> Pa)、基板温度を850~1000の範囲に設定し、各ガス流量を制御することにより、傾斜状ファセット構造を形成する。凹凸層D2を構成するGaN結晶は、結晶成長制限部Cのストライプの間の緩衝層Bが露出した部分から成長を始め、ストライプ上には横方向(X軸方向)に屈曲して成長を続けて、ストライプの幅方向中央部で互いに合体する。そして、結晶成長制限部Cのストライプ間の中央部の厚み方向(Z軸方向)の成長速度が大きいので、断面略三角形の傾斜状ファセットになる。

30

#### 【0031】

### 工程(4) 平坦化層Eの成長工程

工程(3)で得られた基板を1125まで昇温し、膜厚が6.9μmのAl<sub>0.2</sub>Ga<sub>0.8</sub>N層(平坦化層E)を成長させる。これにより、凹凸層D2の傾斜状ファセット構造が埋め込まれ、基板の表面が平坦化された窒化物半導体の下地基板3が得られる。なお、この膜厚は、平坦な基板上に成長させた場合の膜厚に換算した値である。また、成長圧力は54 Torr(7.2×10<sup>3</sup> Pa)とした。

#### 【0032】

### 工程(5) デバイス層成長工程

次に、上述した工程(1)~(4)を経て得られた窒化物半導体の下地基板3上に、Siをドーブした不純物濃度が約3×10<sup>18</sup> cm<sup>-3</sup>のn型のAl<sub>0.2</sub>Ga<sub>0.8</sub>N層(n型コンタクト層F)を2.8μm、同じく不純物濃度が約4×10<sup>18</sup> cm<sup>-3</sup>のn型のAl<sub>0.2</sub>Ga<sub>0.8</sub>N層(n型クラッド層G1)を600nm、ノンドープのAl<sub>0.1</sub>Ga<sub>0.9</sub>N層(第1ガイド層H1)を120nm、そしてGaNとAlGaNからなる量子井戸構造(活性層I1)を成長する。続いて、第2ガイド層J1を120nm成長するが、100nmまではノンドープとしてAl<sub>0.1</sub>Ga<sub>0.9</sub>N層(下部層J<sub>i1</sub>)を成長し、第2ガイド層Jの最終の20nm部分においてMgをドーブしつつ、不純物濃度が約5×10<sup>19</sup> cm<sup>-3</sup>のp型のAlGaN層(上部層J<sub>p1</sub>)となるように20nm成

40

50

長する。なお、下部層  $J_{i1}$  の厚さは、上部層  $J_{p1}$  の厚さより厚いことが好ましい。これにより、活性層 I で発光した光が第 2 ガイド層 J を伝播する過程において、上部層  $J_p$  の不純物準位による光吸収の悪影響を抑制することが出来る。

#### 【0033】

さらに、上部層  $J_{p1}$  とはヘテロ界面を形成するように不純物濃度が約  $5 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$  の p 型の  $\text{Al}_{0.5} \text{Ga}_{0.5} \text{N}$  層 (p 型電子ブロック層 K1) を 20 nm 成長し、同じく不純物濃度が約  $5 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$  の p 型の  $\text{Al}_{0.2} \text{Ga}_{0.8} \text{N}$  層 (p 型クラッド層 L1) を 500 nm、不純物濃度が約  $1 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$  の p 型の GaN 層 (p 型コンタクト層 M1) を 25 nm、順に成長する。

#### 【0034】

工程 (6) デバイス構造加工工程 (半導体メサ部形成)

次に、p 型コンタクト層 M1 までを成長させた基板を MOCVD 室から取り出し、続いて、プラズマ CVD などにより、p 型コンタクト層 M1 の全面にわたって厚さが約 300 nm の  $\text{SiO}_2$  膜を堆積させる。その後、この  $\text{SiO}_2$  膜上に対して通常のフォトリソグラフィ技術及びエッチング技術により、半導体メサ部 W の形状に対応したエッチングマスク 5 を形成する。このエッチングマスク 5 は、第 1 領域 10 の p 型コンタクト層 M1 上に所定の幅で事後的に光導波路方向となる Y 軸方向に沿って延びた形状になっている。

#### 【0035】

次に、このエッチングマスク 5 をマスクとして、第 2 領域 20 の n 型コンタクト層 F が露出するまで、塩素 ( $\text{Cl}_2$ ) ガスなどによるドライエッチングを行う。このエッチングにより、エッチングマスク 5 で覆われていない p 型コンタクト層 M1 ~ n 型クラッド層 G1 の部分が除去されるので、第 1 領域 10 の n 型クラッド層 G ~ p 型電子ブロック層 K、p 型クラッド層 L2 及び p 型コンタクト層 M2 からなる半導体メサ部 W1 が形成される (図 3 参照)。その後、エッチングによりエッチングマスク 5 を除去する。

#### 【0036】

工程 (7) デバイス構造加工工程 (リッジ構造形成)

次に、同様にプラズマ CVD 法などにより、基板全面上に厚さが約 300 nm の  $\text{SiO}_2$  膜を再度堆積させる。その後、エッチングマスク 5 の形成の場合と同様な手順で、 $\text{SiO}_2$  膜上に対して通常のフォトリソグラフィ技術及びエッチング技術により、p 型コンタクト層 M2 の中央領域上にエッチングマスク 7 を形成する。エッチングマスク 7 は、Y 軸方向に沿って所定の幅で p 型コンタクト層 M2 の中央部を覆う形状になっている。次に、このエッチングマスク 7 をマスクとして、図 4 に示されているように p 型クラッド層 L2 の途中まで塩素 ( $\text{Cl}_2$ ) ガスなどを用いてドライエッチングを行い、p 型コンタクト層 M 及び p 型クラッド層 L からなるリッジ構造 R を形成する。その後、エッチングによりエッチングマスク 7 を除去する。

#### 【0037】

工程 (8) デバイス構造加工工程 (電極形成)

続いて、再びプラズマ CVD などによって、工程 (7) 後に得られた基板全面に厚さが約 300 nm の  $\text{SiO}_2$  膜を堆積させる。第 2 領域 20 のこの  $\text{SiO}_2$  膜の上にフォトリソグラフィ法により電極層 Q の形成領域を除いた領域を覆う所定形状のレジストパターンを形成する。その後、このレジストパターンをマスクとし、 $\text{SiO}_2$  膜をエッチングし、電極層 Q の形成領域に開口を形成する。次に、下地基板 3 上面の全体上に例えば真空蒸着法などにより、チタン (Ti) 膜およびアルミニウム (Al) 膜を順次形成する。引き続き、有機溶剤などによりレジストパターンをその上に形成された Ti 膜および Al 膜とともに剥離除去する。これによって  $\text{SiO}_2$  膜の開口を通じて第 2 領域 20 の n 型コンタクト層 F に接触した電極層 Q が形成される。さらに、同様なプロセスで、リッジ構造 R の頂部の  $\text{SiO}_2$  膜を除去し、p 型コンタクト層 M を露出させた後、電極層 Q と同様な手順で、p 型コンタクト層 M と電氣的に接続していると共にニッケル (Ni) と金 (Au) との積層体からなる電極層 P を形成する。

#### 【0038】

10

20

30

40

50

### 工程(9) デバイス構造加工工程(共振面形成)

次に、へき開や、塩素( $\text{Cl}_2$ )ガスなどによるドライエッチングなどによって窒化物半導体発光素子1の共振器構造を形成する。ここで、共振器長は例えば $500\mu\text{m}$ などが適当である。その後、必要に応じて共振器の各端面に端面コーティングを施してもよい。このとき、例えば、フロント側の端面反射率は例えば20%、リア側の端面反射率は例えば98%などである。以上の工程により、GaN系半導体からなる本実施形態の窒化物半導体発光素子1が形成される。

#### 【0039】

以下、本実施形態に係る窒化物半導体発光素子1の効果を図5及び図6(a), (b)及び図7(a), (b)を用いて従来の窒化物半導体発光素子100と比較して説明する。図5は、比較の対象となる従来の窒化物半導体発光素子100の断面図である。窒化物半導体発光素子100は、第2ガイド層Jが窒化物半導体発光素子1の上部層 $J_p$ に相当するものを有しておらず、厚さ $120\text{nm}$ 全体が下部層 $J_i$ のようにアンドープである点において窒化物半導体発光素子1と相違する。その他の構成は、比較を容易にするために、窒化物半導体発光素子1と同等である。

10

#### 【0040】

図6(a)及び(b)はそれぞれ、窒化物半導体発光素子100及び窒化物半導体発光素子1の第2ガイド層J、p型電子ブロック層K及びp型クラッド層Lにおける伝導帯の下端のエネルギー準位 $E_c$ を示す。図6(a)に示されるように、p型電子ブロック層K側に上部層 $J_p$ を有しない窒化物半導体発光素子100の場合には、第2ガイド層Jに対してp型電子ブロック層Kによる障壁の高さ $s$ が $160\text{meV}$ となっている。

20

#### 【0041】

一方、図6(b)に示されるように、p型電子ブロック層K側に上部層 $J_p$ を有する第2ガイド層Jを備える窒化物半導体発光素子1の場合には、第2ガイド層Jに対してp型電子ブロック層Kによる障壁の高さ $s$ が $230\text{meV}$ となっており、窒化物半導体発光素子100の場合と比較して高くなっていることが分かる。図7(a)、(b)はそれぞれ窒化物半導体発光素子100及び窒化物半導体発光素子1において、ほぼ同程度の発光が生ずるようにバイアス電圧を加えた場合の、電子の電流密度(実線)とホール電流密度(点線)の各層における分布を示した図である。

#### 【0042】

図7(a)に示されているように、上部層 $J_p$ を有しない窒化物半導体発光素子100の場合において、電極層Qから注入された電子は、活性層Iの領域においてホールと再結合することで発光のために消費される。しかし、活性層I以降の第2ガイド層J、p型電子ブロック層K及びp型クラッド層Lにおいても高い電子電流密度となっている。すなわち、注入された電子の一部は、発光に寄与しないまま通過し無駄に消費されていることがわかる。これは、窒化物半導体発光素子100の場合には、p型電子ブロック層による障壁の高さ $s$ が低下してしまっp型電子ブロック層Kがバリア層として十分に機能できず、それ故に活性層Iからp型クラッド層Lへ向かう電子のオーバーフロー現象が顕著に生じることを示す。

30

#### 【0043】

一方、図7(b)に示されるように、上部層 $J_p$ を有する第2ガイド層Jを備える窒化物半導体発光素子1の場合には、活性層Iにおける発光のための減少の後には、第2ガイド層J及びp型電子ブロック層Kにおける電子電流密度は小さな値を示している。これは、窒化物半導体発光素子1の場合には、上部層 $J_p$ によりピエゾ分極及び自発分極が抑制されてp型電子ブロック層による障壁の高さ $s$ の低下が抑制されることに伴い、p型電子ブロック層Kがバリア層として十分に機能し、それ故に活性層Iからp型クラッド層Lへ向かう電子のオーバーフローが十分に抑制されることを示す。このことによって、窒化物半導体発光素子1では、窒化物半導体発光素子100に比べて同量の発光を生ずるのに必要な注入電流が少なくて済むこととなる。

40

#### 【0044】

50



本実施形態に係る窒化物半導体発光素子 1 では、第 2 ガイド層 J が p 型電子ブロック層 K 側に p 型不純物が添加された上部層  $J_p$  を有し、上部層  $J_p$  と p 型電子ブロック層 K とがヘテロ接合を形成する。上部層  $J_p$  への Mg ドーピングによって生じたキャリアは、上部層  $J_p$  及び p 型電子ブロック層 K においてピエゾ分極及び自発分極が合成された内部電界を緩和させる。それ故、上部層  $J_p$  と p 型電子ブロック層 K とのヘテロ界面に生じるピエゾ分極だけではなく、上部層  $J_p$  の結晶中の自発分極に起因する p 型電子ブロック層 K の障壁の高さ  $s$  の低下も抑制することができる。よって、活性層 I から p 型クラッド層 L への電子のオーバーフローを十分に抑制することができる。また、十分な電子のオーバーフローの抑制に伴い、窒化物半導体発光素子 1 の発振閾値を改善することができる。なお、従来の窒化物半導体発光素子 100 及び窒化物半導体発光素子 1 は、ブロック層 K においては相違しておらず、ブロック層 K における自発分極はどちらの場合も同じである。

10

## 【0045】

また、p 型電子ブロック層 K 側の下部層  $J_i$  には、p 型不純物が意図的には添加されていない。これにより、第 2 ガイド層 J (具体的には、下部層  $J_i$ ) における不純物準位による光の吸収を回避できる。更に、活性層 I への p 型不純物の拡散を抑制することができる。そのため、活性層 I に、拡散してきた p 型不純物による活性層 I 内での結晶欠陥の発生が抑制される。その結果、発光特性の低下が抑制される。

## 【0046】

本実施形態に係る窒化物半導体発光素子 1 の製造方法では、ガイド層形成工程において、初期段階では p 型不純物を供給せずに結晶成長を行って下部層  $J_i$  を形成し、最終段階では p 型不純物を供給しつつ上部層  $J_p$  を形成する。また、上部層  $J_p$  と p 型電子ブロック層 K とがヘテロ接合を形成する。そのため、活性層 I から p 型クラッド層 L への電子のオーバーフローを十分に抑制することが可能な窒化物半導体発光素子 1 を容易に製造することができる。

20

## 【0047】

図 8 は、下部層  $J_i$ 、上部層  $J_p$  及び p 型電子ブロック層 K の p 型不純物 (Mg) のドーピング濃度と発光に消費される電流の割合を示す発光効率との関係を説明するための図表である。下部層  $J_i$  には p 型不純物がドーピングをしていない場合において、上部層  $J_p$  及び p 型電子ブロック層 K の Mg のドーピング濃度が  $5.9 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$  である場合には発光効率が 22% である。上部層  $J_p$  及び p 型電子ブロック層 K の Mg のドーピング濃度を共に  $5.9 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 、 $5.9 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$  に高くするとそれぞれの場合において発光効率が 54% 及び 66% となり、ドーピング濃度に比例して発光効率が高くなる傾向にあることが分かる。

30

## 【0048】

しかし、上部層  $J_p$  を  $5.9 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$  に維持して p 型電子ブロック層 K の濃度のみを  $5.9 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$  に高くしても発光効率は 55% で変化は少ない。また、第 2 ガイド層 J が上部層  $J_p$  を有しない窒化物半導体発光素子 100 の場合には、p 型電子ブロック層 K が  $5.9 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$  の場合、発光効率が 18% に過ぎないことが分かる。また、上部層  $J_p$  のみならず下部層  $J_i$  にも Mg がドーピングされている場合において、下部層  $J_i$ 、上部層  $J_p$  及び p 型電子ブロック層 K が  $5.9 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$  である場合には、発行効率が 54% で非常に高い。この発光効率の値は、上述した下部層  $J_i$  に p 型不純物がドーピングされておらず、上部層  $J_p$  及び p 型電子ブロック層 K の Mg のドーピング濃度を共に  $5.9 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$  であった場合と同じである。しかし、この場合には、第 2 ガイド層 J が p 型であるため、第 2 ガイド層 J において光吸収が多くなり実効的に効率が悪くなるため望ましくない。このように、本実施形態に係る窒化物半導体発光素子 1 によれば、上部層  $J_p$  の p 型不純物の濃度を適切に調節することで電子のオーバーフローが十分に抑制され、窒化物半導体発光素子 1 の発光効率が改善される。

40

## 【0049】

(第 2 実施形態)

50

次に、本発明の第2実施形態について説明する。図9は、第2実施形態に係る窒化物半導体発光素子1Aを示す断図面である。窒化物半導体発光素子1Aは、単一層のp型電子ブロック層Kに替えて、組成が互いに異なると共にp型電子ブロック層Kの厚さの1/4である4つのp型電子ブロック層 $K_a \sim K_d$ を備える点において窒化物半導体発光素子1と相違する。その他の構成は、窒化物半導体発光素子1と同等である。p型電子ブロック層 $K_a \sim K_d$ の材料の一例は以下の通りである。

- ・ p型電子ブロック層 $K_a$  :  $Al_{0.5}Ga_{0.5}N$
- ・ p型電子ブロック層 $K_b$  :  $Al_{0.425}Ga_{0.575}N$
- ・ p型電子ブロック層 $K_c$  :  $Al_{0.35}Ga_{0.65}N$
- ・ p型電子ブロック層 $K_d$  :  $Al_{0.275}Ga_{0.725}N$

10

#### 【0050】

図10は、第2実施形態に係る窒化物半導体発光素子1Aの変形例を示す図面である。図9に示すように、本変形例に係る窒化物半導体発光素子1Bは、基板A、緩衝層B、下地層D1、結晶成長制限部C、凹凸層D2及び平坦化層Eからなる下地基板3に替えて、AlN基板3Aを備えている点において窒化物半導体発光素子1B相違する。その他の構成は、窒化物半導体発光素子1Bと同等である。

#### 【0051】

図11(a)は、窒化物半導体発光素子1A及びその変形例の窒化物半導体発光素子1Bの第2ガイド層J、p型電子ブロック層 $K_a \sim K_d$ 及びp型クラッド層Lにおける伝導帯の下端のエネルギー準位 $E_c$ を示す。図11(b)は、窒化物半導体発光素子1A及び窒化物半導体発光素子1Bの第2ガイド層J、p型電子ブロック層 $K_a \sim K_d$ 及びp型クラッド層Lの付近における電子の電流密度(実線)及びホールの電流密度(点線)を示す。

20

#### 【0052】

図11(a)に示されているように、p型電子ブロック層 $K_a \sim K_d$ を備える窒化物半導体発光素子1A及び1Bの場合には、第2ガイド層Jに対してp型電子ブロック層 $K_a \sim K_d$ による障壁の高さ $s$ が330meVとなっており、窒化物半導体発光素子1の場合と比較して障壁の高さ $s$ が更に高くなっていることが分かる。また、図11(b)に示されているように、ホールの電流密度に関しては、窒化物半導体発光素子1A及び1Bの場合においても窒化物半導体発光素子1の場合と大きな差が見られない。一方、電子の電流密度に関しては、p型電子ブロック層 $K_a \sim K_d$ を備える窒化物半導体発光素子1A及び1Bの場合には、活性層I、第2ガイド層J及びp型電子ブロック層Kにおいて更に大きな電子の電流密度の減少が見られる。これは、窒化物半導体発光素子1A及び1Bの場合には、p型電子ブロック層 $K_a \sim K_d$ による障壁の高さ $s$ の低下が更に抑制されてp型電子ブロック層 $K_a \sim K_d$ がバリア層としてより十分に機能し、それ故に活性層Iからp型クラッド層Lへ向かう電子のオーバーフローがより十分に抑制されることを示す。

30

#### 【0053】

以上、本発明の好適な実施形態について説明してきたが、本実施形態は本発明の要旨を逸脱しない範囲で様々な変更が可能である。具体的には、本実施形態では、下地層DはGaNからなり、層E, F, G, H, I, J, K, L及びMはAlGaNからなるとしたが、それぞれAlGaNからなるとしてもよい。いずれかの層にAlGaNを用いる場合には、Inの組成はおおむね10%程度が限度であり、それ以上のIn組成も可能ではある。

40

#### 【0054】

また、基板Aは、サファイアからなる基板であるが、AlN基板であってもよい。上述した実施形態において、緩衝層BはGaNからなるものであるが同様な効果が得られるのであれば、AlN等からなるものであってもよい。エッチングマスク5及び7は、SiO<sub>2</sub>からなるものであるが、他の材料のパターニングされたものであってもよい。また、結晶成長制限部Cのストライプの方向は、GaN[1-100]方向であるが別の結晶方向に沿っているものであってもよい。また、本実施形態では、素子構造の結晶成長をn側

50

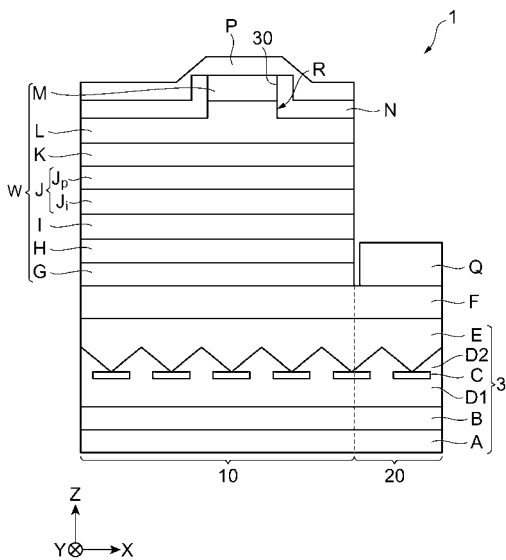
から p 側に向かって順次に行ったが、p 側から始めて同様な構造を上下反対に形成しても良い。

【符号の説明】

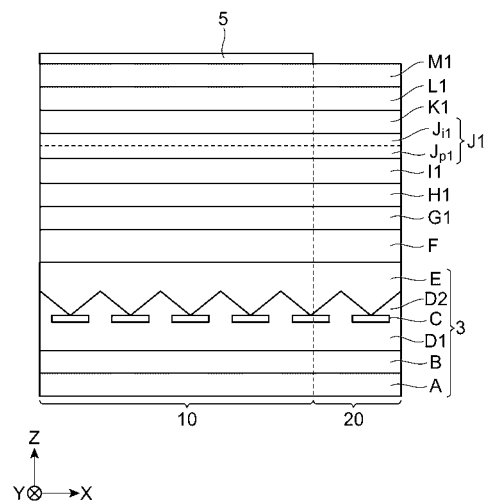
【0055】

1 ... 窒化物半導体発光素子、I ... 活性層、L ... p型クラッド層、K ... p型電子ブロック層、J ... 第2ガイド層、J<sub>i</sub> ... 下部層、J<sub>p</sub> ... 上部層。

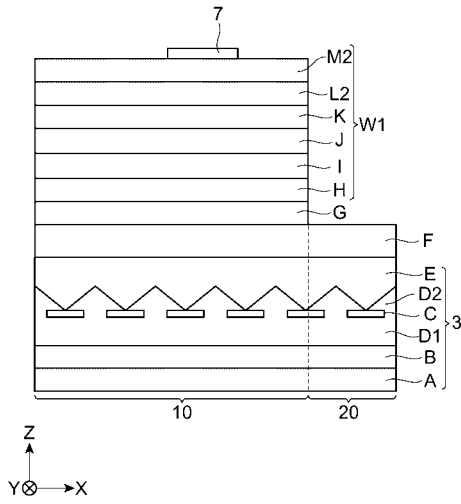
【図1】



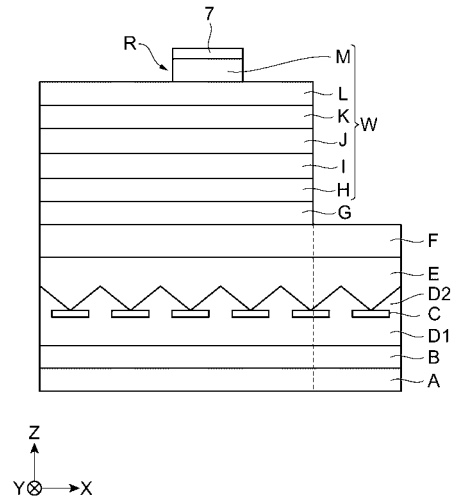
【図2】



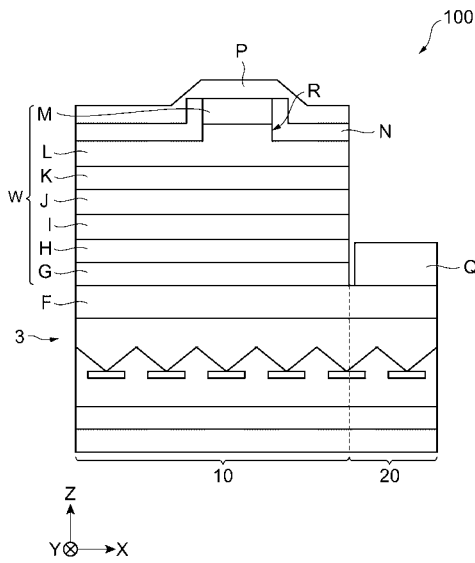
【 図 3 】



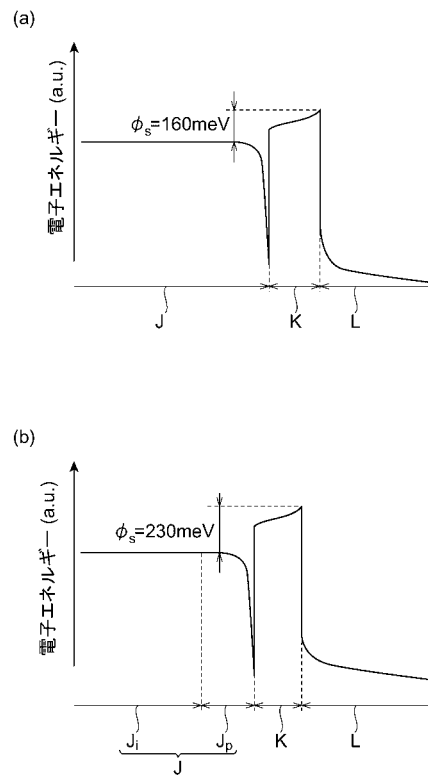
【 図 4 】



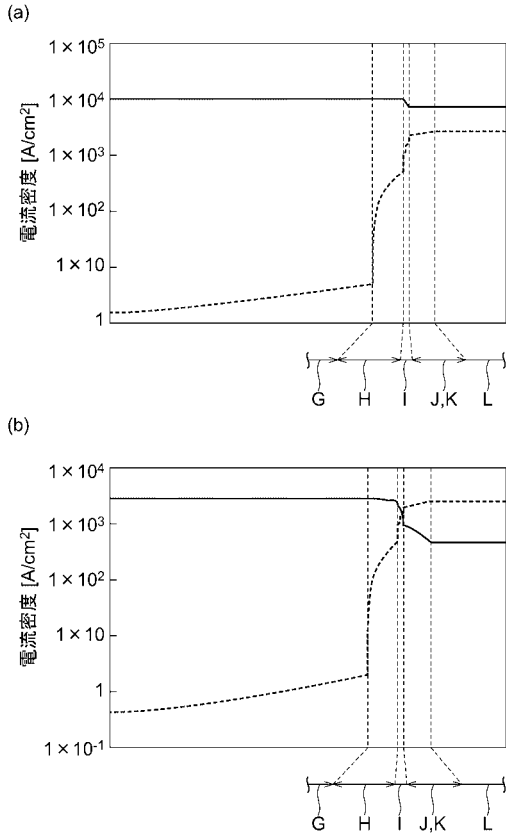
【 図 5 】



【 図 6 】



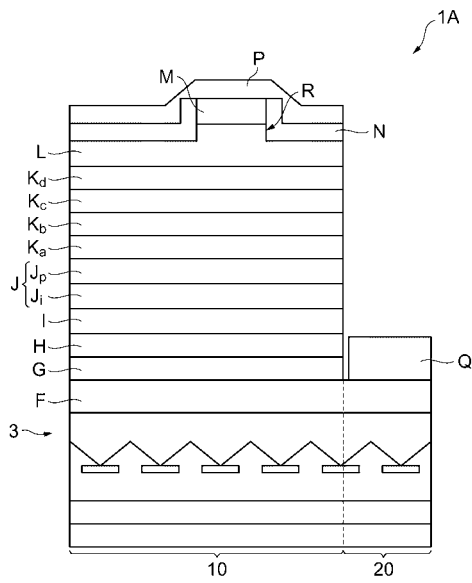
【 図 7 】



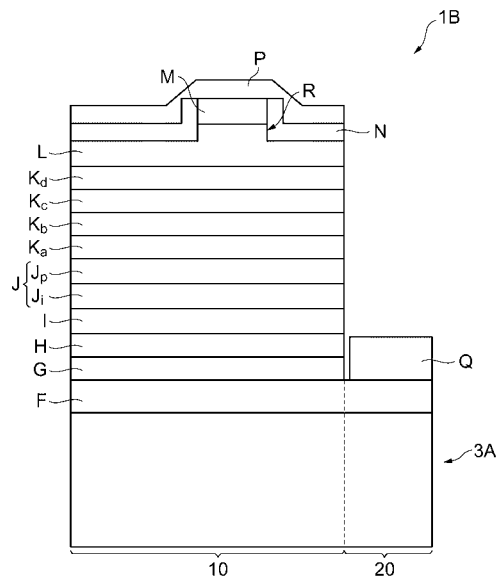
【 図 8 】

J		K	発光効率
$J_i$	$J_p$		
—	$5.9 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$	$5.9 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$	22%
—	$5.9 \times 10^{19} \text{cm}^{-3}$	$5.9 \times 10^{19} \text{cm}^{-3}$	54%
—	$5.9 \times 10^{19} \text{cm}^{-3}$	$5.9 \times 10^{20} \text{cm}^{-3}$	55%
—	$5.9 \times 10^{20} \text{cm}^{-3}$	$5.9 \times 10^{20} \text{cm}^{-3}$	66%
—	—	$5.9 \times 10^{19} \text{cm}^{-3}$	18%
$5.9 \times 10^{19} \text{cm}^{-3}$	$5.9 \times 10^{19} \text{cm}^{-3}$	$5.9 \times 10^{19} \text{cm}^{-3}$	54%

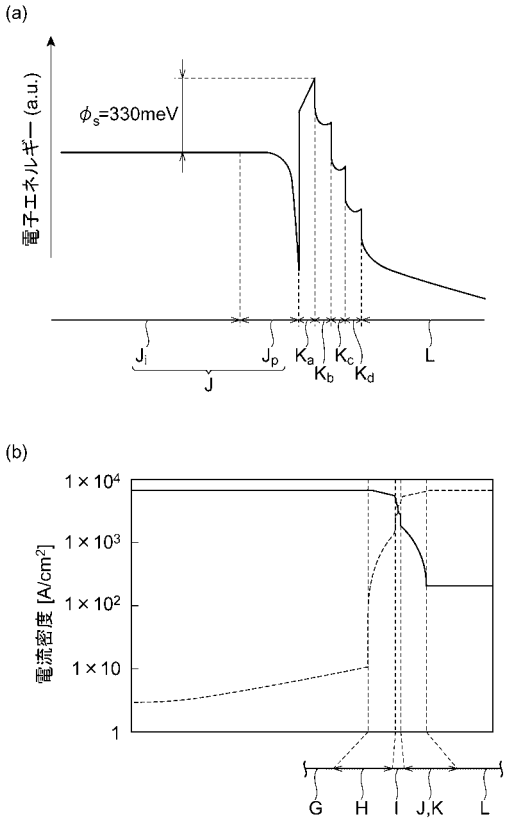
【 図 9 】



【 図 10 】



【 図 1 1 】



---

フロントページの続き

(72)発明者 山下 陽滋

静岡県浜松市東区市野町1 1 2 6 番地の1 浜松ホトニクス株式会社内

Fターム(参考) 5F041 CA04 CA14 CA40 CA58 CA65 CA74 CB05

5F045 AA04 AB17 AC08 AC12 AF04 BB16 CA10 CA12 DA57

5F173 AA08 AF58 AG17 AH22 AP06 AP19 AP33 AP56 AR25