

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第3955367号  
(P3955367)

(45) 発行日 平成19年8月8日(2007.8.8)

(24) 登録日 平成19年5月11日(2007.5.11)

(51) Int. Cl.		F I	
HO 1 L 33/00 (2006.01)		HO 1 L 33/00	C
HO 1 L 31/10 (2006.01)		HO 1 L 31/10	A
HO 1 S 5/343 (2006.01)		HO 1 S 5/343	6 1 0

請求項の数 7 (全 10 頁)

(21) 出願番号	特願平9-265311	(73) 特許権者	500507009
(22) 出願日	平成9年9月30日(1997.9.30)		フィリップス ルミレッズ ライティング
(65) 公開番号	特開平11-112029		カンパニー リミテッド ライアビリテ
(43) 公開日	平成11年4月23日(1999.4.23)		ィ カンパニー
審査請求日	平成16年9月30日(2004.9.30)		アメリカ合衆国 カリフォルニア州 95
			131 サン ホセ ウェスト トリンブ
			ル ロード 370
		(74) 代理人	100059959
			弁理士 中村 稔
		(74) 代理人	100067013
			弁理士 大塚 文昭
		(74) 代理人	100082005
			弁理士 熊倉 禎男
		(74) 代理人	100065189
			弁理士 穴戸 嘉一

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 光半導体素子およびその製造方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

III族-窒化物発光層を含む発光半導体素子を製造する方法であって、  
前記III族-窒化物発光層内のピエゾ電界の電界強度を制御するよう当該前記III族-窒化物発光層の面方位を選択するステップと、

ウルツ鉱型結晶構造を有する前記III族-窒化物を前記選択された面方位で成長させるステップとを備え、

前記選択された面方位が、前記ウルツ鉱型結晶構造の{0001}方向から少なくとも10°傾いていることを特徴とする方法。

【請求項 2】

さらに、前記発光層内の電界の大きさを減少させるよう、前記面方位を選択するステップを備える、請求項1に記載の方法。

【請求項 3】

さらに、ウルツ鉱型結晶構造を有する前記発光層を、ウルツ鉱型結晶構造の{0001}方向から前記傾いた面で成長させるステップであって、前記面の傾きを、30°から50°の間、80°から100°の間、そして130°から150°の間の角度から選択するものである、請求項1に記載の方法。

【請求項 4】

III族-窒化物発光層を含む発光半導体素子を製造する方法であって、  
前記III族-窒化物発光層内の自発的な電界強度を制御するよう当該前記III族-窒化物発

光層の面方位を選択するステップと、

ウルツ鉱型結晶構造を有する前記III族-窒化物を前記選択された面方位で成長させるステップとを備え、

前記選択された面方位が、前記ウルツ鉱型結晶構造の{0001}方向から少なくとも10°傾いていることを特徴とする方法。

【請求項5】

さらに、前記発光層内の電界の大きさを減少させるよう、前記面方位を選択するステップを備える、請求項4に記載の方法。

【請求項6】

III族-窒化物発光層を含む発光半導体素子を製造する方法であって、

前記III族-窒化物発光層内のピエゾ電界と自発的な電界を合成した電界の大きさを減少させるよう、当該前記III族-窒化物発光層の面方位を選択するステップと、

ウルツ鉱型結晶構造を有する前記III族-窒化物を前記選択された面方位で成長させるステップとを備え、

前記選択された面方位が、前記ウルツ鉱型結晶構造の{0001}方向から少なくとも10°傾いていることを特徴とする方法。

【請求項7】

さらに、ウルツ鉱型結晶構造を有する前記発光層を、ウルツ鉱型結晶構造の{0001}方向から前記傾いた面で成長させるステップであって、前記面の傾きを、80°から100°の間の角度から選択するものである、請求項6に記載の方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

本明細書において、発光素子と受光半導体素子とを総称して光半導体素子あるいは光半導体装置と呼ぶ。光半導体素子に付いて適用される条件は特に断らないときは発光素子と受光半導体素子の双方に適用できるものとする。

また、本明細書では、慣行として数字に「上バー」を付して表記される結晶構造の指数を該数字に負号：「-」を前置して表記することとする。

さらに、「面方位sの面Sを該面方位sの方向に成長させる」ことを単に「面Sを成長させる」と記載することにする。面Sを成長面ともいう。

【0002】

【産業上の利用分野】

本発明は光半導体装置に関し、特にGaN系半導体を用いて組立られる発光素子と受光半導体素子の効率を改善するための構造に関する。

【0003】

【従来の技術】

最近半導体発光素子や受光半導体素子の高効率化がより一層求められている。特に、B, Al, Ga, In等のIII族元素と窒素の化合物であるBN, AlN, GaN, InN等、およびそれらの混晶半導体（以下GaN系半導体と総称する）を用いたGaN系光半導体素子においては焦眉の課題である。

【0004】

GaN系光半導体素子にはGaInN/GaN 歪量子井戸あるいはGaInN/GaInN 歪量子井戸を発光層として用いた青・緑色LED（発光ダイオード）や短波長LD（レーザダイオード）がある。

またGaN系半導体を用いた短波長受光半導体素子への期待も大きい。

そして、通常GaN系結晶の(0001)面を成長させて組立てたGaN系半導体歪層、例えばGa<sub>0.9</sub>In<sub>0.1</sub>N歪層において約1MV/cmという非常に大きなピエゾ電界が発生することが分かっている。（T.Takeuchi et al., Jpn. J. Phys. Vol.36(1997) pp.L382-L385参照）。

【0005】

一般に量子井戸内部に電界が存在すると、電界が大きくなるに従い、量子井戸層のエネルギー帯は大きく傾く。すると電子、正孔の波動関数の形状は互い違いに偏り、両波動関数の重なり積分は小さくなる。言い換えると、発光効率もしくは吸収効率が下がるという光

10

20

30

40

50

学的特性の大きな変化（量子閉じこめシュタルク効果）が起こる（D.A.B.Miller et al., Phys.Rev.Lett. 53(1984)2173.参照）。

【0006】

したがって、GaN系半導体歪量子井戸においてはピエゾ電界が上記の現象（量子閉じこめシュタルク効果）を引き起こし、光学的特性がもともと大きく変化していると考えられた。しかしながら、このピエゾ電界を制御する方法が不明で、それぞれの素子に適した光学的特性を得ることは困難であった。

【0007】

一方、c面内に等方的歪を導入しても光学利得は増加しないが、(1-100)面を成長させたGa

10

【0008】

【発明が解決しようとする課題】

従って、本発明の目的は結晶成長の面方位を制御して高効率を有するGaN系半導体素子の構造とその製造方法を与えることにある。

【0009】

【課題を解決するための手段】

上記課題を達成するため本発明のGaN系半導体素子は歪量子井戸層のピエゾ電界ができ

20

【0010】

【実施例】

発明者等はGaN系半導体の成長面方位を変えてピエゾ電界を調べ、その歪量子井戸層内に発生するピエゾ電界が変化することを知り、成長面方位によってピエゾ電界を制御するこ

30

図1に示すウルツ鉱型GaN(WZ-GaN)系半導体の結晶構造10を参照して以下にその原理を説明する。図1の一点鎖線11に沿って面方位を[0001]方向すなわちc軸方向から[2-1-10]方向を通して[000-1]方向まで傾けた場合に、これらの面方位の面をGa<sub>0.9</sub>In<sub>0.1</sub>N歪量子井戸層内に発生するピエゾ電界は図2のグラフに示すように変化する。

【0011】

図2の横軸は注目面の面方位が[0001]方向となす角を示し、0°が[0001]方向を、180°が[000-1]方向を示す。縦軸はピエゾ電界の大きさを表わし、[0001]方向あるいは[000-1]方向において発生するピエゾ電界が最大となることが分る。一方、[0001]方向と約40°、90°または約140°をなす方向では歪層内においてもピエゾ電界が全く発生しないことが判

40

【0012】

したがって、例えば量子井戸組立においてピエゾ電界が発生しない低指数面としては、[0001]方向と90°をなすものとして、{2-1-10}(A面)、{0-110}(M面)などが、約40°、140°をなすものとして{2-1-14}、{01-12}(R面)などが挙げられる。また、これらの面に等

50

価なすべての面についても同様の結果となる。

$Ga_{0.9}In_{0.1}N$ 歪量子井戸層の組成比によりピエゾ電界の大きさは変化するが変化の様相はほとんど同じである。特にピエゾ電界が0になる[0001]方向から測った面方位 $90^\circ$ は組成比によらず、他の二つの面方位も $40^\circ$ や $140^\circ$ から高々 $5^\circ$ 変化するにすぎない。

#### 【0013】

WZ-GaN系半導体の歪量子井戸層の場合と同様にGaN上に成長させた閃亜鉛鉱型GaN(ZB-GaN)系半導体層： $Ga_{0.9}In_{0.1}N$ 歪量子井戸層の場合を調べると以下のとおりであった。まず、ZB-GaN系半導体の結晶構造20を図3に示す。上記と同様に動径 $r$ が[001]方向からの俯角(傾き)と[001]方向の回りの方位角を有する球座標表示を採用する。図3には、方位角を一定とし、俯角を変える動径 $r$ の第1、第2の経路が一点鎖線21,22で示されている。10

第1の経路21を通る動径 $r$ の方向を成長面の方位とする歪量子井戸層内のピエゾ電界の動径の俯角に対する変化は図4に示すとおりである。図4には、動径が[001]方向( $=0^\circ$ )から[111]方向( $=54.7^\circ$ )、[110]方向( $=90^\circ$ )、[11-1]方向( $=125.3^\circ$ )を通過して[00-1]( $=180^\circ$ )に至る $=45^\circ$ の範囲がプロットしてある。縦軸はピエゾ電界の大きさ $E(\ )$ を表わし、[111]方向( $\theta$ が約 $55^\circ$ )あるいは[11-1]方向( $\theta$ が約 $125^\circ$ )において発生するピエゾ電界が最大となる。

#### 【0014】

一方、図5には[001]( $=0^\circ$ )方向から出発し[011]( $=45^\circ$ )方向、[010]( $=90^\circ$ )方向、[01-1]( $=135^\circ$ )方向をとおり[00-1]( $=180^\circ$ )方向に至る $=90^\circ$ の経路(第2の経路)の傾き(俯角)を成長面の面方位とする $Ga_{0.9}In_{0.1}N$ 歪量子井戸層のピエゾ電界がプロットしてある。この経路ではどの角の値においてもピエゾ電界が全く発生しない。従って、ZB-GaN系半導体の歪量子井戸層の結晶では{001}面や{011}面をはじめとして、経路2上の角を面方位とする面およびその等価面を成長面とする歪量子井戸層はピエゾ電界をほとんど発生しない。また等価な面を有する歪量子井戸層は同じピエゾ電界を有する。20

上記の知見に基づき発光素子と受光半導体素子を作成する方法に付いてのべる。まずWZ-GaN系半導体を使用する実施例について延べ、次いでZB-GaN系半導体を使用する実施例について簡単に補足する。

#### 【0015】

##### 1 発光素子の作成

発光素子においては、発光強度をたかめるためには波動関数の重なり積分をできるだけ大きくしてやればよい。そのためには発光層である量子井戸層内のピエゾ電界はできるだけ小さいほうがよい。重なり積分はピエゾ電界によっており、図6にピエゾ電界に対する重なり積分の大きさを示す。図2の場合と同じ組成の量子井戸層でその幅を3nmとした場合(A)、および6nmとした場合(B)が示してある。しかし、通常作製される素子のほとんどは[0001]方向を成長面方位としているため、ピエゾ電界が最大となり、発光強度が最低になる素子構造を持っていることが判明した。そこで、発明者等は発生するピエゾ電界がより小さな面を成長面方位として選択して発光素子を組立てることとした。それらの面のうちピエゾ電界が殆ど発生しない面である[0001]方向と約 $40^\circ$ 、 $90^\circ$ あるいは約 $140^\circ$ をなす方位を持つ面({2-1-10}、{0-110}、{2-1-14}、{01-12}面など)を成長面に選んで発光強度の大幅な増大を達成することが特に望ましい。40

#### 【0016】

図7は、本発明の好適実施例の一つである発光素子30の簡略構造を示す。結晶成長方位を除けば、堆積される各層の組成は従来の発光素子の場合と同様である。

発光素子30の組立では、まずサファイア、SiC、GaN等の基板31にn型GaNコンタクト層33、n型AlGaNクラッド層34、多重歪量子井戸層35、p型AlGaNクラッド層36、p型GaNコンタクト層37を順次堆積して形成する。その後n型GaNコンタクト層33とp型GaNコンタクト層37とのそれぞれには、それぞれの電極となるn電極38とp電極39とが形成されている。

多重歪量子井戸層35はGaInN/GaN多重歪量子井戸層あるいはGaInN/GaInN多重歪量子井戸層 50

が普通に用いられる。

#### 【0017】

本実施例において、上記各層がピエゾ電界を殆ど発生しないように{2-1-10}面を成長させて形成する場合は、基板31の成長面はサファイア基板のとき{01-12}面、SiC基板とき{2-1-10}面などが用いられる。特にSiC基板では{2-1-10}基板が良好であった。この場合基板31の他の層は{2-1-10}面を成長させる。

本実施例の発光素子の性能Aと、(0001)面を成長させて組立てた従来素子の性能Bとを図8に対比して示す。

{01-10}面を成長させて歪量子井戸を形成する場合は、基板31の成長面はサファイアやSiCでは{01-10}面を選択するのがよい。

図8には歪量子井戸の量子井戸幅に対する重なり積分 $\langle F_h(x)F_e(x) \rangle^2$ の値を各素子につきプロットしてある。ここで $F_h(x)$ 、 $F_e(x)$ はそれぞれ面の成長方向 $x$ の関数として表わした正孔と電子の波動関数である。図8から本実施例の素子は従来素子に比べ、少なくとも約2倍の重なり積分の値を有し、発光強度も略2倍に増大できることがわかる。

#### 【0018】

素子構造の別の例としては本願出願人による特許出願：特願平09-5339号の明細書に開示された端面発光型窒化物半導体レーザとすることもできる。該端面発光型窒化物半導体レーザは、サファイア基板にGa<sub>0.5</sub>N<sub>0.5</sub>バッファ層を堆積しその上にn型Ga<sub>0.5</sub>N<sub>0.5</sub>コンタクト層、n型AlGa<sub>0.5</sub>N<sub>0.5</sub>クラッド層、Ga<sub>0.5</sub>N<sub>0.5</sub>光導波路層、InGa<sub>0.5</sub>N<sub>0.5</sub>多重量子井戸層、p型Ga<sub>0.5</sub>N<sub>0.5</sub>光導波路層、p型AlGa<sub>0.5</sub>N<sub>0.5</sub>クラッド層、p型Ga<sub>0.5</sub>N<sub>0.5</sub>コンタクト層を順次堆積して形成したものである。n型Ga<sub>0.5</sub>N<sub>0.5</sub>コンタクト層とp型Ga<sub>0.5</sub>N<sub>0.5</sub>コンタクト層とのそれぞれには、それぞれの電極となるn電極とp電極とが形成されている。

#### 【0019】

##### 2 受光半導体素子の作成

従来多く考えられた{0001}面を成長させて組立てる素子は、ピエゾ電界が大きく、重なり積分が小さな歪量子井戸を有する。無入力では大きなピエゾ電界によりエネルギー帯が大きく傾いているが、入射光により量子井戸の伝導度が大きくなり、傾いていたエネルギー帯が次第にその傾きを減じ重なり積分の値は大きくなり吸収が増加する。それにしたがって吸収端は短波長側に遷移して波長範囲が狭くなる。

すなわち入射光の増加により効率(光電変換率)が増加する。

#### 【0020】

一方、本発明の素子のようにピエゾ電界が無いが小さな歪量子井戸を用いる構成では、ピエゾ電界の変化の影響がほとんど無く、入射光の増加に伴う効率の増加や波長範囲の低下は起こらない。吸収すなわち受光半導体素子の効率も電子および正孔の波動関数の重なり比例するので、図8から明らかなように、受光半導体素子の効率を高めるためには{0001}面とは別の面を選ぶ事が有利となるわけである。

素子の成長方法は発光素子の場合と同様であるが、一般に発光素子に比べ入射光の吸収をよくするため歪量子井戸の井戸幅広めにとる。

自己の発光した光の受光を同一素子でおこなう場合は、用途に応じた最適井戸幅が選べよう。

#### 【0021】

##### 3 第2の実施例について

現時点の製造技術の恩恵を十分に受けるために、歪量子井戸を除く部分は{0001}面を成長させ、専ら発光、吸収に係わる部分のみを所望の面方位とする製造方法で組立てた本発明の第2の実施例の光半導体素子50の断面を図9に示す。まず、従来技術によりSiC、Ga<sub>0.5</sub>N<sub>0.5</sub>等の基板51上にn型Ga<sub>0.5</sub>N<sub>0.5</sub>コンタクト層53、n型AlGa<sub>0.5</sub>N<sub>0.5</sub>クラッド層54を{0001}面方向に成長させ、その後、選択成長あるいは選択エッチングにより{2-1-14}面や{01-12}面を形成する。その後再結晶成長により今形成された面方位を持つGaInN/GaNあるいはGaInN/GaInN多重歪量子井戸層55を形成する。

#### 【0022】

10

20

30

40

50

ついで、さらに残りのp型AlGaInクラッド層56、p型GaInNクラッド層57を順次堆積して形成する。p型AlGaInクラッド層56、p型GaInNクラッド層57は井戸層55の面方位から{0001}面方位方向に結晶構造を変えて成長し、所定厚さの層となる。n型GaInNクラッド層53とp型GaInNクラッド層57とのそれぞれには、それぞれの電極となるn電極58とp電極59とが形成される。GaInN多重歪量子井戸層55の両側の成長面55A, 55Bが{01-12}面や{2-1-14}面となっている。p型AlGaInクラッド層56とp型GaInNクラッド層57は成長面を平坦にして次のプロセスを容易にするため数 $\mu\text{m}$ 厚にするのがよい。

また前記従来例と同様に基板51にAlNバッファ層52等を成長させるのがより好ましい。

【0023】

#### 4 ZB-GaN系光半導体素子

上記説明ではWZ-GaN系光半導体素子について述べたが、ZB-GaN系光半導体素子についても同じ技術思想が用いられる。ここでは図4に示すような成長面とピエゾ電界の関係を考慮して成長面の方位が選択される。現在{001}面を成長させたZB-GaN系光半導体層が結晶品質も良くピエゾ電界もほとんど発生しないので歪量子井戸層の成長面として好まし選択である。

【0024】

上記いずれの実施例でも、歪量子井戸層をピエゾ電界が略0になる面方位に成長させるとしているが、結晶成長方法や他の回路との整合を考えたときは必ずしもピエゾ電界が0となる面方位を選ばずに、他の条件との兼ね合いでよりピエゾ電界の小さな面方位を選択するのが実際的なこともある。

また、AlN等のGaInNとは異なる化合物半導体に基づく素子の場合も、結晶構造の型が同じであればピエゾ電界の面方位依存性はほとんど同じであり(ピエゾ電界が0となる面方位傾きは高々 $10^\circ$ 程度の変化である)、前記実施例の説明で開示した技術思想を用いて当業者は容易に光半導体素子を製造できよう。

第2の実施例では歪量子井戸層の上下の層は同じ面方位の面を成長させたが、互いに異なる面方位の面を成長させることもできる。現在{0001}面の成長が容易であり、上記実施例では{0001}面が双方の成長面として採用された。

【0025】

#### 【発明の効果】

本発明の光半導体素子は効率が高く発光素子の小電力化、長素子寿命化が可能となる。また受光半導体素子を含む装置のが雑音指数の低減が可能となる。

また動作中の波長範囲の変動が少ないので素子設計および該素子を用いた回路の設計が容易となる。

#### 【図面の簡単な説明】

【図1】WZ-GaN系半導体の結晶構造を示す図である。

【図2】WZ-GaN系半導体量子井戸の成長面方位に対する量子井戸に発生するピエゾ電界の大きさの変化を示すグラフである。

【図3】ZB-GaN系半導体の結晶構造を示す図である。

【図4】ZB-GaN系半導体量子井戸の成長面方位の第1の経路に対する量子井戸に発生するピエゾ電界の大きさの変化を示すグラフである。

【図5】ZB-GaN系半導体量子井戸の成長面方位の第2の経路に対する量子井戸に発生するピエゾ電界の大きさの変化を示すグラフである。

【図6】量子井戸に発生するピエゾ電界に対する重なり積分の値を示すグラフである。

【図7】本発明の一実施例の光半導体素子の断面図である。

【図8】本発明の光半導体素子と従来技術による半導体素子における量子井戸での波動関数の重なり積分を井戸幅の関数としてプロットしたグラフである。

【図9】本発明の第2の実施例の光半導体素子の断面図である。

#### 【符号の説明】

10 WZ-GaN系半導体素子の結晶構造

20 ZB-GaN系半導体素子の結晶構造

10

20

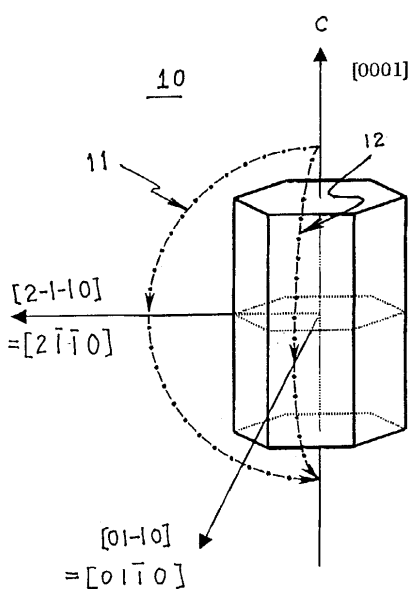
30

40

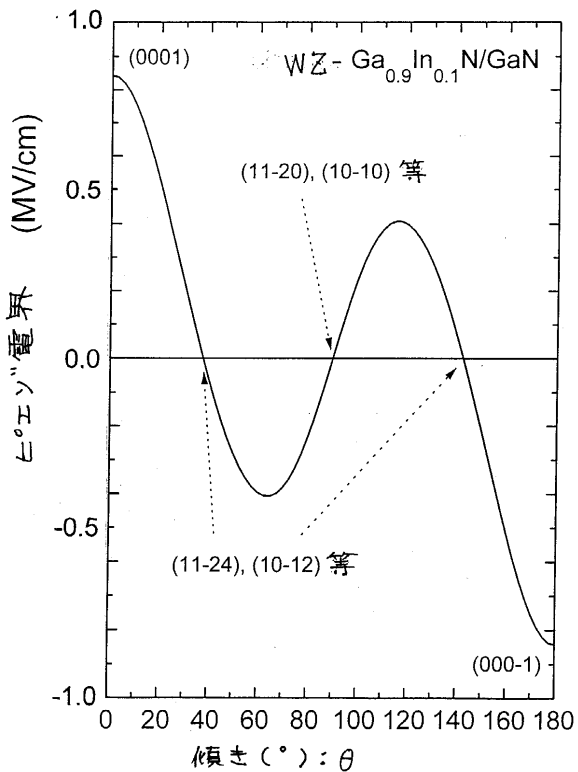
50

- 30、 50 光半導体素子
- 31、 51 基板
- 52 AINバッファ層
- 33、 53 n型GaNコンタクト層
- 34、 54 n型AlGaNクラッド層
- 35、 55 歪量子井戸層
- 36、 56 p型AlGaNクラッド層
- 37、 57 p型GaNコンタクト層
- 38、 58 n電極
- 39、 59 p電極
- 55A、 55B GaInN多重歪量子井戸層55の両側の成長面

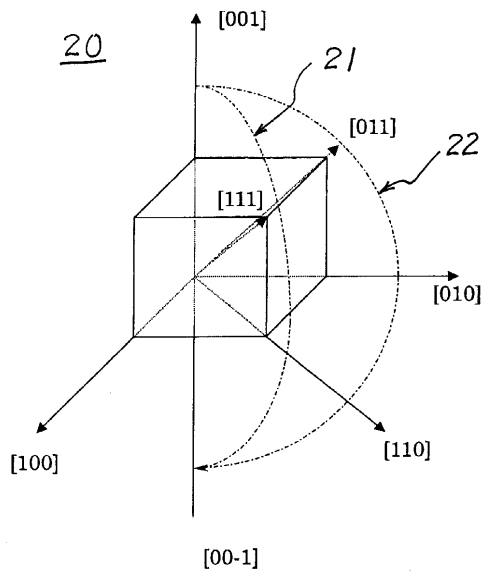
【 図 1 】



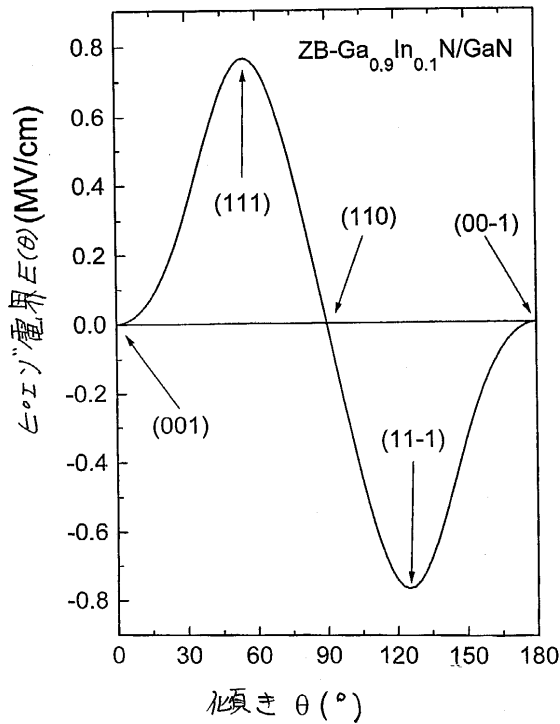
【 図 2 】



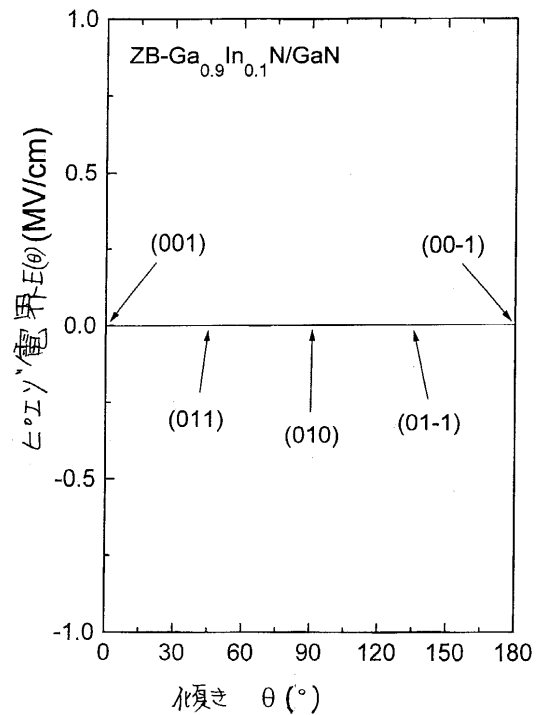
【 図 3 】



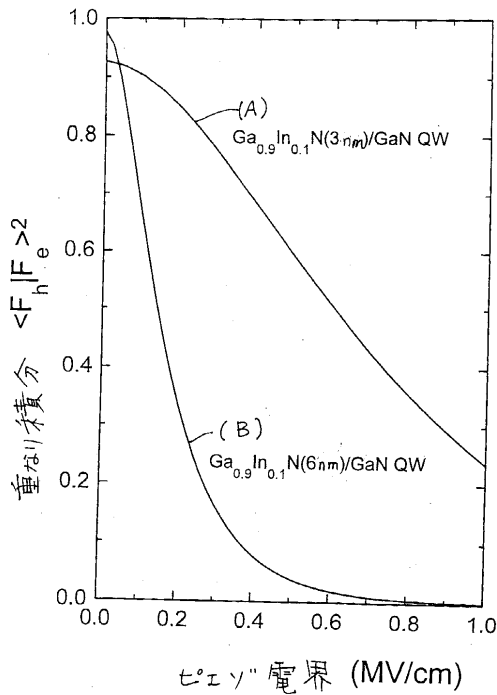
【 図 4 】



【 図 5 】

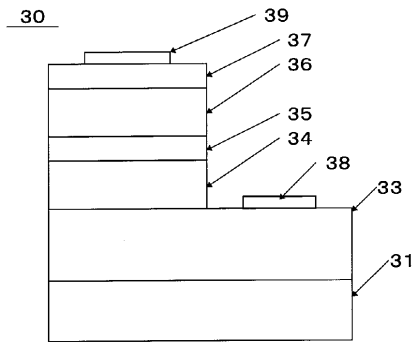


【 図 6 】

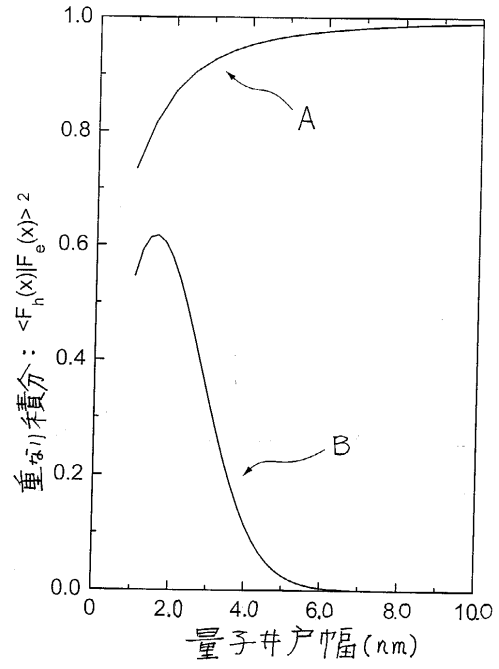




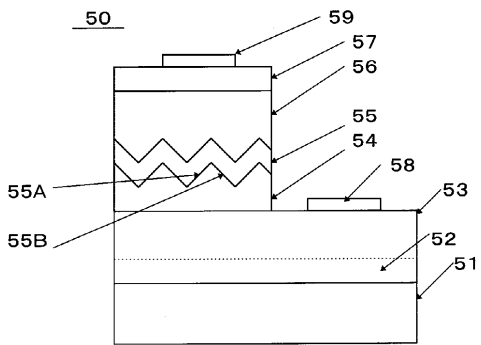
【 図 7 】



【 図 8 】



【 図 9 】



---

フロントページの続き

- (74)代理人 100096194  
弁理士 竹内 英人
- (74)代理人 100074228  
弁理士 今城 俊夫
- (74)代理人 100084009  
弁理士 小川 信夫
- (74)代理人 100082821  
弁理士 村社 厚夫
- (74)代理人 100086771  
弁理士 西島 孝喜
- (74)代理人 100084663  
弁理士 箱田 篤
- (72)発明者 竹内 哲也  
神奈川県川崎市高津区坂戸3丁目2番2号 ヒューレット・パッカードラボラトリーズジャパンイ  
ンク内
- (72)発明者 山田 範秀  
神奈川県川崎市高津区坂戸3丁目2番2号 ヒューレット・パッカードラボラトリーズジャパンイ  
ンク内
- (72)発明者 天野 浩  
愛知県名古屋市名東区山の手2丁目104番
- (72)発明者 赤 崎 勇  
愛知県名古屋市西区浄心1丁目1番 38-805号

審査官 居島 一仁

- (56)参考文献 欧州特許出願公開第00743727(E P, A1)  
特開平07-235728(J P, A)

- (58)調査した分野(Int.Cl., DB名)  
H01S5/00-5/50  
H01L33/00