

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第4005275号
(P4005275)

(45) 発行日 平成19年11月7日(2007.11.7)

(24) 登録日 平成19年8月31日(2007.8.31)

(51) Int. Cl. F I
H O 1 L 33/00 (2006.01) H O 1 L 33/00 C

請求項の数 6 (全 18 頁)

(21) 出願番号	特願平11-233001	(73) 特許権者	000226057
(22) 出願日	平成11年8月19日(1999.8.19)		日亜化学工業株式会社
(65) 公開番号	特開2001-60719(P2001-60719A)		徳島県阿南市上中町岡491番地100
(43) 公開日	平成13年3月6日(2001.3.6)	(74) 代理人	100058479
審査請求日	平成14年3月25日(2002.3.25)		弁理士 鈴江 武彦
審査番号	不服2005-1580(P2005-1580/J1)	(74) 代理人	100091351
審査請求日	平成17年1月28日(2005.1.28)		弁理士 河野 哲
		(74) 代理人	100088683
			弁理士 中村 誠
		(74) 代理人	100084618
			弁理士 村松 貞男
		(74) 代理人	100092196
			弁理士 橋本 良郎

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 窒化物半導体素子

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

表面に部分的にストライプ状の凹凸が窒化物半導体のM面に平行方向に形成された第1の窒化物半導体層と、

前記第1の窒化物半導体層上に窒化物半導体の横方向成長を用いて形成され、前記凹凸の凸部上部および凹部内部から成長した第2の窒化物半導体層と、

前記第2の窒化物半導体層上に窒化物半導体からなる複数の層が積層成長され、発光ピーク波長が380nm以下となる活性層を含む素子構造

とを具備することを特徴とする窒化物半導体素子。

【請求項2】

前記第2の窒化物半導体層は、転位密度が $10^6 / \text{cm}^2$ 以下であることを特徴とする請求項1記載の窒化物半導体素子。

【請求項3】

前記活性層は、 $\text{In}_f \text{Ga}_{1-f} \text{N}$ ($0 < f < 0.1$)を用いてなることを特徴とする請求項1または2記載の窒化物半導体素子。

【請求項4】

前記第1の窒化物半導体層の凹凸は、凹部の側面が底面に対して垂直形状、または逆メサ形状、または順メサ形状となるように形成されていることを特徴とする請求項1記載の窒化物半導体素子。

【請求項5】

10

20

前記第1の窒化物半導体層は、窒化物半導体と異なる材料よりなる異種基板上、あるいは、異種基板上に形成されたバッファ層上に成長させたものであり、前記第1の窒化物半導体層の凹凸は、凹部の側面が前記異種基板に達していることを特徴とする請求項1記載の窒化物半導体素子。

【請求項6】

前記活性層は、前記第1の窒化物半導体層の凹凸の凹部の上方で該凹部の中心部を避けた部分に対応して位置していることを特徴とする請求項1記載の窒化物半導体素子。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、発光ダイオード(LED)、レーザダイオード(LD)、太陽電池、光センサーなどの発光素子、受光素子に使用される窒化物半導体素子($In_xAl_yGa_{1-x-y}N$ 、 $0 < x < 1$ 、 $0 < y < 1$ 、 $x+y < 1$)に関し、特に、発光ピーク波長が380nm以下の紫外領域に発光する窒化物半導体素子に関する。

【0002】

【従来の技術】

近年、紫外LEDが実用レベルとなっている。例えば、応用物理、第68巻、第2号(1999)、p152~p155には、サファイア基板上に、GaNバッファ層、n型GaNコンタクト層、n型AlGaNクラッド層、アンドープInGaNの活性層(In組成はほとんどゼロ)、p型AlGaNクラッド層、p型GaNコンタクト層が積層されてなる窒化物半導体素子が記載されている。

この紫外LEDは、発光ピーク波長が371nmの場合には、発光出力が5mWとなるものである。

【0003】

【発明が解決しようとする課題】

しかしながら、紫外LEDの応用の幅を広げるために、さらに短波長化にすることが望まれるが、発光ピーク波長を371nmより短波長にすると発光出力が急激に低くなる。この理由は定かではないが、Inの非常に少ない又はInのない状態では、活性層の発光効率が極端に低下するためと考えられる。

紫外LED、特に371nmより短波長の発光ピーク波長を有するLEDの発光効率を向上させることができれば、励起光源をはじめとして多くの応用が可能となる。

【0004】

そこで、本発明の目的は、発光効率の高い発光出力の良好な、発光ピーク波長が380nm以下の紫外領域に発光する窒化物半導体素子を提供することである。

【0005】

【課題を解決するための手段】

本発明の窒化物半導体素子は、表面に部分的にストライプ状の凹凸が窒化物半導体のM面に平行方向に形成された第1の窒化物半導体層と、前記第1の窒化物半導体層上に窒化物半導体の横方向成長を用いて形成され、前記凹凸の凸部上部および凹部内部から成長した第2の窒化物半導体層と、前記第2の窒化物半導体層上に窒化物半導体からなる複数の層が積層成長され、発光ピーク波長が380nm以下となる活性層を含む素子構造とを具備することを特徴とする。

【0006】

つまり、本発明は、基板として、転位密度が $10^6/cm^2$ 以下の窒化物半導体基板上に、素子構造を形成することにより、良好な発光効率を有する発光ピーク波長が380nm以下の窒化物半導体素子を提供することができる。

【0007】

従来公知の青色や緑色のLEDは、発光効率が高く既に商品化されている。この青色及び緑色のLEDは、格子定数が異なるサファイア基板上に成長されており、格子定数不一致による多くの貫通転位が存在するにもかかわらず良好な発光効率を有している。

10

20

30

40

50

一方、紫外LEDは、青色及び緑色のLEDと同様に、サファイア基板に成長されているが、前記したように発光効率が悪いために発光出力が低く、特に371nmより短波長では極端に発光出力が低下する。

【0008】

このような発光効率の相違について、本発明者は種々検討の結果、活性層のIn組成比により、発光のメカニズムに大きな違いがあるのではないかと考えた。この発光メカニズムの相違は、前記応用物理、第68巻、第2号に記載されている、青色LEDでは順方向電流が増加するにつれてブルーシフトするが、紫外LEDでは順方向電流の増加に従いレッドシフトすることからも推測される。また、サファイア基板との格子定数不一致による貫通転位の部分では、活性層に注入されたキャリアが非発光再結合し、発光に参与しなくなる。

10

青色や緑色LEDの場合には、恐らく、活性層でIn組成不均一が生じ、Inが多く含まれる部分のバンドギャップエネルギーが小さくなってポテンシャルの谷が形成され、この谷に、活性層に注入されたキャリアが良好に閉じ込められ、そして、ポテンシャルの谷に閉じ込められたキャリアは、良好に発光再結合するために、高発光効率を有するのではないかと考えられる。

これに対して、紫外LEDの場合には、活性層のIn含有量が非常に小さいため、In組成不均一で生じるポテンシャルの谷が浅く、さらにポテンシャルの谷の密度が小さいなどの理由で、活性層に注入されたキャリアを閉じ込めておく効果が小さく、その結果、活性層に注入されたキャリアの一部が拡散により非発光再結合中心へ到達し非発光再結合するために発光効率が悪くなると考えられる。

20

【0009】

そこで、本発明者は、以上のように、活性層での発光効率の低下の原因が、貫通転位による非発光再結合中心の形成によるためではないかという考察をもとに、非発光再結合中心となる貫通転位の少ない窒化物半導体を基板として用いることにより、キャリアが良好に発光再結合して発光効率を向上させることを達成している。

本発明は、発光ピーク波長が380nm以下のLEDの場合に、発光効率が極端に低下すると言った問題点を、転位密度の極めて少ないかほとんど転位のない窒化物半導体を基板とすることで、発光効率を向上させることができるものである。

また、本発明において、転位密度の測定方法は、透過型電子顕微鏡による観察(TEM法)である。このTEM法により、転位密度が $10^6 / \text{cm}^2$ 以下となる窒化物半導体基板を用いると発光効率を良好に向上させることができる。転位密度が $10^6 / \text{cm}^2$ 以下とは、転位密度がほとんどゼロか、転位が存在しない状態を示す。

30

【0010】

また、本発明において、基板となる転位密度が $10^6 / \text{cm}^2$ 以下の窒化物半導体が、窒化物半導体と異なる材料よりなる異種基板又は窒化物半導体基板上に、窒化物半導体の横方向の成長を利用して成長(ELOG成長: epitaxially laterally overgrown GaN 成長)させたものであると、転位密度を良好に低減させることができ、貫通転位部分での非発光再結合を防止し発光効率を向上させる点で好ましい。

【0011】

40

【発明の実施の形態】

本発明の窒化物半導体素子は、少なくとも発光ピーク波長が380nm以下であって、且つ、転位密度が $10^6 / \text{cm}^2$ 以下の窒化物半導体基板上に成長されてなるものであれば特に限定されない。具体的な好ましい素子としては、例えば図1に示される素子を挙げることができる。

図1は、本発明の一実施の形態である窒化物半導体素子を示す模式的断面図である。

図1に示す窒化物半導体素子は、転位密度が $10^6 / \text{cm}^2$ 以下のGaN基板1上に、バッファ層、 $\text{Al}_a \text{Ga}_{1-a} \text{N}$ ($0 < a < 0.1$) を含んでなるn型コンタクト層3、 $\text{Al}_e \text{Ga}_{1-e} \text{N}$ ($0 < e < 0.3$) を含んでなるn型クラッド層4、 $\text{In}_f \text{Ga}_{1-f} \text{N}$ ($0 < f < 0.1$) の活性層5、 $\text{Al}_d \text{Ga}_{1-d} \text{N}$ ($0 < d < 0.4$) を含んでなるp型ク

50

ラッド層 6、 $Al_b Ga_{1-b} N$ ($0 < b < 0.1$) を含んでなる p 型コンタクト層 7 を積層成長させてなり、発光ピーク波長が 380 nm 以下である。そして、n 型コンタクト層 3 には n 電極が、p 型コンタクト層 7 には p 電極がそれぞれ形成されている。

【0012】

以下に、素子構造を形成するための転位密度が $10^6 / \text{cm}^2$ 以下の窒化物半導体基板について説明する。

[窒化物半導体基板 1]

本発明において、素子構造を形成するための窒化物半導体基板 1 としては、転位密度が $10^6 / \text{cm}^2$ 以下である GaN からなる窒化物半導体が挙げられる。

転位密度が $10^6 / \text{cm}^2$ 以下となる GaN の成長方法としては、特に限定されず、少なくとも転位密度が少なくなるような成長方法であればよい。例えば好ましくは、窒化物半導体の縦方向の成長を少なくとも部分的に一時的止めて、横方向の成長を利用して転位を抑制することのできる成長方法 (ELOG 成長) をあげることができる。

10

【0013】

例えば ELOG 成長の具体例としては、窒化物半導体と異なる材料からなる異種基板上に、窒化物半導体が成長しないかまたは成長しにくい材料からなる保護膜を部分的に形成し、その上から窒化物半導体を成長させることにより、保護膜が形成されていない部分から窒化物半導体が成長し、成長を続けることにより保護膜上に向かって横方向に成長することにより厚膜の窒化物半導体 (ELOG 基板) が得られる成長方法が挙げられる。このような成長方法としては、例えば特願平 10 - 275826 号、特願平 10 - 119377 号、特願平 10 - 146431 号、特願平 11 - 37826 号、各明細書に記載の方法が挙げられる。

20

【0014】

また、その他の ELOG 成長の具体例としては、保護膜を用いない方法であり、窒化物半導体と異なる材料からなる異種基板上に成長させた窒化物半導体上に、凹凸を形成し、この上から再び窒化物半導体を成長させてなる窒化物半導体 (ELOG 基板) が得られる成長方法が挙げられる。また、保護膜を用いず、窒化物半導体の表面を部分的に改質して窒化物半導体の横方向の成長を意図的に行わせる方法が挙げられる。このような成長方法としては、例えば特願平 11 - 378227 号、特願平 11 - 168079 号、特願平 11 - 142400 号、各明細書に記載の方法が挙げられる。

30

【0015】

また更に、上記のような ELOG 成長等により得られた窒化物半導体を基板とし、この窒化物半導体上に、上記に示したような保護膜を用いて行う又は凹凸を形成する等の ELOG 成長を繰り返して転位を良好に低減される窒化物半導体を得る成長方法が挙げられる。このような成長方法としては、例えば特願平 11 - 80288 号明細書に記載の方法が挙げられる。

【0016】

上記した ELOG 成長として好ましくは保護膜を用いないで成長させる方法、及び窒化物半導体上に ELOG 成長させる方法である。このような方法で行うと転位の低減の点で好ましく、さらには転位の低減された ELOG 基板上に素子構造を形成すると、しきい値電流密度の低減及び寿命特性の向上の点で好ましい。

40

上記に挙げた ELOG 成長方法についての詳細は、上記列記した各号明細書の記載の通りであるが、好ましい一例を以下に示す。しかし、本発明はこれに限定されない。

【0017】

以下に、本発明に用いることのできる好ましい ELOG 成長の一実施の形態を図 2 を用いて説明する。

図 2 (a - 1 ~ a - 4) は、窒化物半導体の成長方法の一実施の形態を段階的に示した模式図である。

まず、図 2 (a - 1) の第 1 の工程において、異種基板 41 上に第 1 の窒化物半導体 42 を成長させ、図 2 (a - 2) の第 2 の工程において、第 1 の窒化物半導体 42 に凹凸を形

50

成し、続いて図2(a-3)の第3の工程において、凹凸の形成された第1の窒化物半導体42上に、常圧以上の圧力条件下で、第2の窒化物半導体43を成長させる。

【0018】

以下に上記各工程ごとに図2を用いて更に詳細に説明する。

(第1の工程)

図2(a-1)は異種基板41上に、第1の窒化物半導体42を成長させる第1の工程を行った模式的段面図である。

この第1の工程において、用いることのできる異種基板41としては、例えば、C面、R面、及びA面のいずれかを主面とするサファイア、スピネル($MgAl_2O_4$)のような絶縁性基板、SiC(6H、4H、3Cを含む)、ZnS、ZnO、GaAs、Si、及び窒化物半導体と格子整合する酸化物基板等、従来知られている窒化物半導体と異なる基板材料を用いることができる。好ましい異種基板としては、サファイア、スピネルが挙げられる。

10

異種基板としてサファイアを用いる場合、サファイアの主面をどの面にするかにより、凹凸を形成した時の凸部上部と凹部側面の窒化物半導体の面方位が特定される傾向があり、その面方位によって、窒化物半導体の成長速度がやや異なることから、凹部側面に成長し易い面方位がくるように主面を選択してもよい。

【0019】

また、第1の工程において、異種基板41上に第1の窒化物半導体42を成長させる前に、異種基板41上にバッファ層(図示されていない)を形成してもよい。バッファ層としては、AlN、GaN、AlGaN、InGaN等が用いられる。バッファ層は、900以下300以上の温度で、膜厚0.5 μ m~10オングストロームで成長される。このように異種基板1上にバッファ層を900以下の温度で形成すると、異種基板41と第1の窒化物半導体42との格子定数不正を緩和し、第1の窒化物半導体42の結晶欠陥が少なくなる傾向にある。

20

【0020】

第1の工程において、異種基板41上に形成される第1の窒化物半導体42としては、アンドープ(不純物をドーピングしない状態、undope)のGaN、Si、Ge、及びS等のn型不純物をドーピングしたGaNを用いることができる。

第1の窒化物半導体42は、高温、具体的には約900より高温~1100、好ましくは1050で異種基板41上に成長される。このような温度で成長させると、第1の窒化物半導体42は単結晶となる。第1の窒化物半導体42の膜厚は特に限定しないが、凹部内部での縦方向の成長を抑えて、横方向の成長が促進できるように、凹凸の形状を調整することが可能な膜厚であることが好ましく、少なくとも500オングストローム以上、好ましくは5 μ m以上、より好ましくは10 μ m以上の膜厚で形成する。

30

【0021】

(第2の工程)

次に、図2(a-2)は異種基板41上に第1の窒化物半導体42を成長させた後、第1の窒化物半導体42に部分的に凹凸を形成して、凹部側面に第1の窒化物半導体42を露出させてなる模式的断面図である。

40

【0022】

第2の工程において、部分的に凹凸を形成するとは、少なくとも凹部側面に第1の窒化物半導体42が露出されるように、第1の窒化物半導体42の表面から異種基板41方向に窪みを形成してあればよく、第1の窒化物半導体42にいずれの形状で凹凸を設けてもよく、例えば、ランダムな窪み、ストライプ状、碁盤目状、ドット状に形成できる。好ましい形状としては、ストライプ状であり、この形状とすると、異常成長が少なく、より平坦に埋まり好ましい。

第1の窒化物半導体42に部分的に設けられた凹凸は、第1の窒化物半導体42の途中まで、異種基板に達する深さまで、又は異種基板に達する深さまでエッチングしエッチング深さが500~3000オングストローム(好ましくは1000~2000オングストロ

50

ーム)となる深さまでの形状で形成され、好ましくは異種基板が露出する程度の深さ、又は異種基板を上記の深さで削った形状であり、より好ましくは、異種基板を上記の深さで削った形状が好ましい。

【0023】

凹凸の形状は、凹部側面の長さや、凸部上部の幅と凹部底部の幅などは、特に限定されないが、少なくとも凹部内での縦方向の成長が抑制され、凹部開口部から厚膜に成長する第2の窒化物半導体43が凹部側面から横方向に成長したものとなるように調整されていることが好ましい。

凹凸の形状をストライプ状とする場合、ストライプの形状として特に限定されないが、例えばストライプ幅(凸部上部の幅)を1~20 μm 、好ましくは1~10 μm であり、ストライプ間隔(凹部底部の幅)を10~40 μm 、好ましくは15~35 μm であるものを形成することができる。このようなストライプ形状を有していると、転位の低減と面状態を良好にする点で好ましい。

10

凹部開口部から成長する第2の窒化物半導体43の部分を多くするには、凹部底部の幅を広くし、凸部上部の幅を狭くすることで可能となり、このようにすると転位の低減された部分を多くすることができる。凹部底部の幅を広くした場合には、凹部の深さを深めにするのが、凹部底部から成長する可能性のある縦方向の成長を防止するのに好ましい。

【0024】

第2の工程で凹凸を設ける方法としては、第1の窒化物半導体42を一部分取り除くことができる方法であればいずれの方法でもよく、例えばエッチング、ダイシング等が挙げられる。

20

エッチングにより、第1の窒化物半導体42に部分的(選択的)に凹凸を形成する場合は、フォトリソグラフィ技術における種々の形状のマスクパターンを用いて、ストライプ状、碁盤目状等のフォトマスクを作製し、レジストパターンを第1の窒化物半導体2に形成してエッチングすることにより形成できる。フォトマスクは、エッチングして凹凸を形成後に除去される。

また、ダイシングで行う場合は、例えば、ストライプ状や碁盤目状に形成できる。

【0025】

第2の工程において窒化物半導体をエッチングする方法には、ウエットエッチング、ドライエッチング等の方法があり、平滑な面を形成するには、好ましくはドライエッチングを用いる。ドライエッチングには、例えば反応性イオンエッチング(RIE)、反応性イオンビームエッチング(RIBE)、電子サイクロトロンエッチング(ECR)、イオンビームエッチング等の装置があり、いずれもエッチングガスを適宜選択することにより、窒化物半導体をエッチングしてできる。例えば、本出願人が先に出願した特開平8-17803号公報記載の窒化物半導体の具体的なエッチング手段を用いることができる。

30

また、エッチングによって凹凸を形成する場合、エッチング面(凹部側面)が、図2(a-2)に示すように異種基板に対して端面がほぼ垂直となる形状、又は順メサ形状や逆メサ形状でもよく、あるいは階段状になるように形成された形状等がある。好ましくは転位の低減や面状態の良好性などの点から、垂直、逆メサ、順メサであり、より好ましくは垂直である。

40

【0026】

また、第2の工程において、凹凸の形状をストライプ状とする場合に、ストライプを、図5(b)に示すように、オリフラ面を例えばサファイアのA面とし、このオリフラ面の垂直軸に対して左右どちらかに、 $\theta = 0.1^\circ \sim 1^\circ$ 、好ましくは $\theta = 0.1^\circ \sim 0.5^\circ$ ずらして形成すると、成長面がより平坦な良好な結晶が得られ好ましい。ちなみに、図5(b)の θ が 0° の場合は、表面が平坦にならない場合があり、このような状態の成長面に素子構造を形成すると、素子特性の低下が生じ易くなる傾向が見られる。表面が平坦であると歩留まりの向上の点でも好ましい。

【0027】

(第3の工程)

50

次に、図2(a-3)は、エッチングにより凹凸を有する第1の窒化物半導体42上に、常圧以上の加圧条件下で、第2の窒化物半導体43を成長させる第3の工程を行った模式的断面図である。

第2の窒化物半導体43としては、前記第1の窒化物半導体42と同様のものを用いることができる。第2の窒化物半導体43の成長温度は、第1の窒化物半導体42を成長させる場合と同様であり、このような温度で成長させる第2の窒化物半導体43は単結晶となる。

また、第2の窒化物半導体43を成長させる際に、不純物(例えばSi、Ge、Sn、Be、Zn、Mn、Cr、及びMg等)をドーピングして成長させる、または窒化物半導体の原料となるIII族とV族の成分のモル比(III/Vのモル比)を調整して成長させる等により、横方向の成長を縦方向の成長に比べて促進させ転位を低減させる点で好ましく、さらに第2の窒化物半導体43の表面の面状態を良好にする点で好ましい。

【0028】

上記の常圧以上の加圧条件とは、常圧(意図的に圧力を加えない状態の圧力)から、装置などを調整し意図的に圧力を加えて加圧条件にした状態で反応を行うことである。具体的な圧力としては、常圧以上の圧力であれば特に限定されないが、好ましくは常圧(ほぼ1気圧)~2.5気圧であり、好ましい圧力としては、常圧~1.5気圧である。このような圧力の条件下で第2の窒化物半導体を成長させると、第2の窒化物半導体の表面の面状態を良好にする点で好ましい。

【0029】

また、第3の工程において、凹部内部では凹部の側面から横方向に成長するものと、凹部底部から縦方向に成長するものがあると思われるが、成長し続ける過程で、凹部側面から成長した第2の窒化物半導体同士が接合し、凹部底部からの成長を抑制する。その結果、凹部開口部から成長した第2の窒化物半導体には転位がほとんど見られない。凹部底部からの縦方向の成長は、凹部側面からの横方向の成長に比べ、成長速度が遅いと思われる。また、凹部底部の表面が、サファイアなどの異種基板であると、凹部底部からの第2の窒化物半導体の成長が抑制され、凹部側面からの第2の窒化物半導体の成長が良好となり、転位の低減の点で好ましい。

【0030】

一方、凸部上部から成長した第2の窒化物半導体部分には、凹部開口部から成長するものに比べてやや多めの転位が見られるが、凸部上部に縦方向に成長を始める窒化物半導体も、縦方向に成長する速度よりも、凹部開口部に向かって横方向に成長する傾向があり、凹凸を形成しないで縦方向に成長させた場合に比べれば転位が低減する。また、本発明の第2及び第3の工程を繰り返すことで、凸部上部の転位をなくすることができる。また、凸部上部と凹部内部から成長した第2の窒化物半導体は、成長の過程で接合し、図2(a-4)のようになる。

【0031】

更に、第3の工程において、第2の窒化物半導体を成長させる際に、圧力を常圧以上の加圧条件に調整することにより、第2の窒化物半導体の表面が異常成長の少ない平坦な良好な面状態となる。

【0032】

また、本発明において、第2及び第3の工程を繰り返す場合、図2(b-1)に示すように、第1の窒化物半導体に形成した凹部上部に凸部が、第1の窒化物半導体に形成した凸部上部に凹部が、それぞれ位置するように第2の窒化物半導体に部分的に凹凸を形成する。そして凹凸を形成された第2の窒化物半導体上に第3の窒化物半導体4を成長させる。第3の窒化物半導体4は、全体的に転位の少ない窒化物半導体となり好ましい。第3の窒化物半導体としては第2の窒化物半導体と同様のものを成長させる。

また、第2及び第3の工程を繰り返す場合、第2の窒化物半導体の膜厚を、繰り返さない場合に比べて、やや薄く成長させ、第2の窒化物半導体に形成される凹部底部がサファイアなどの異種基板面となるように第2の窒化物半導体をエッチングすると、転位のより少

10

20

30

40

50

ない面状態の良好な第3の窒化物半導体が得られ好ましい。

【0033】

また、第2の窒化物半導体43は、この上に素子構造となる窒化物半導体を成長させるための基板となるが、素子構造を形成するには異種基板を予め除去してから行う場合と、異種基板等を残して行う場合がある。また、素子構造を形成した後で異種基板を除去する場合もある。

異種基板等を除去する場合の第2の窒化物半導体5の膜厚は、50 μm 以上、好ましくは100 μm 以上、好ましくは500 μm 以下である。この範囲であると異種基板及び保護膜等を研磨除去しても、第2の窒化物半導体43が割れにくくハンドリングが容易となり好ましい。

10

【0034】

また異種基板等を残して行う場合の第2の窒化物半導体43の膜厚は、特に限定されないが、100 μm 以下、好ましくは50 μm 以下、より好ましくは20 μm 以下である。この範囲であると異種基板と窒化物半導体の熱膨張係数差によるウエハの反りが防止でき、更に素子基板となる第2の窒化物半導体45の上に素子構造となる窒化物半導体を良好に成長させることができる。

【0035】

本発明の窒化物半導体の成長方法において、第1の窒化物半導体42、及び第2の窒化物半導体43を成長させる方法としては、特に限定されないが、MOVPE（有機金属気相成長法）、HVPE（ハライド気相成長法）、MBE（分子線エピタキシー法）、MOCVD（有機金属化学気相成長法）等、窒化物半導体を成長させるのに知られている全ての方法を適用できる。好ましい成長方法としては、膜厚が100 μm 以下ではMOCVD法を用いると成長速度をコントロールし易い。また膜厚が100 μm 以下ではHVPEでは成長速度が速くてコントロールが難しい。

20

【0036】

また本発明において、第2の窒化物半導体43上には、素子構造となる窒化物半導体を形成することができるので、明細書内において第2の窒化物半導体を素子基板又は窒化物半導体基板と言う場合がある。

【0037】

また第1の工程における前記異種基板となる材料の主面をオフアングルさせた基板、さらにステップ状にオフアングルさせた基板を用いたほうが好ましい。オフアングルさせた基板を用いると、表面に3次元成長が見られず、ステップ成長があらわれ表面が平坦になり易い。更にステップ状にオフアングルされているサファイア基板のステップに沿う方向（段差方向）が、サファイアのA面に対して垂直に形成されていると、窒化物半導体のステップ面がレーザの共振器方向と一致し、レーザ光が表面粗さにより乱反射されることが少なくなり好ましい。

30

【0038】

更に好ましい異種基板としては、(0001)面[C面]を主面とするサファイア、(112-0)面[A面]を主面とするサファイア、又は(111)面を主面とするスピネルである。ここで異種基板が、(0001)面[C面]を主面とするサファイアであるとき、前記第1の窒化物半導体等に形成される凹凸のストライプ形状が、そのサファイアの(112-0)面[A面]に対して垂直なストライプ形状を有していること[窒化物半導体の(101-0)[M面]に平行方向にストライプを形成すること]が好ましく、また、オフアングルのオフ角（図7に示す）は0.1°~0.5°、好ましくは0.1°~0.2°が好ましい。また(112-0)面[A面]を主面とするサファイアであるとき、前記凹凸のストライプ形状はそのサファイアの(11-02)面[R面]に対して垂直なストライプ形状を有していることが好ましく、また(111)面を主面とするスピネルであるとき、前記凹凸のストライプ形状はそのスピネルの(110)面に対して垂直なストライプ形状を有していることが好ましい。

40

ここでは、凹凸がストライプ形状の場合について記載したが、本発明においてサファイア

50

のA面及びR面、スピネルの(110)面に窒化物半導体が横方向に成長し易いので、これらの面に第1の窒化物半導体の端面が形成されるように第1の窒化物半導体2に段差を形成するために保護膜の形成を考慮することが好ましい。

【0039】

本発明に用いられる異種基板について図を用いて更に詳細に説明する。図3はサファイアの結晶構造を示すユニットセル図である。

まず本発明の方法において、C面を主面とするサファイアを用い、凹凸はサファイアA面に対して垂直なストライプ形状とする場合について説明する。例えば、図5(a)は主面側のサファイア基板の平面図である。この図はサファイアC面を主面とし、オリエンテーションフラット(オリフラ)面をA面としている。

この図に示すように凹凸のストライプをA面に対して垂直方向で、互いに平行なストライプを形成する。図5(a)に示すように、サファイアC面上に窒化物半導体を選択成長させた場合、窒化物半導体は面内ではA面に対して平行な方向で成長しやすく、垂直な方向では成長しにくい傾向にある。従ってA面に対して垂直な方向でストライプを設けると、ストライプとストライプの間の窒化物半導体がつながって成長しやすくなり、図2に示したような結晶成長が容易に可能となると考えられるが詳細は定かではない。さらに、前記したように図5(b)のように、わずかにずらすと面状態が良好となり好ましい。

【0040】

次に、A面を主面とするサファイア基板を用いた場合、上記C面を主面とする場合と同様に、例えばオリフラ面をR面とすると、R面に対して垂直方向に、互いに平行なストライプを形成することにより、ストライプ幅方向に対して窒化物半導体が成長しやすい傾向にあるため、結晶欠陥の少ない窒化物半導体層を成長させることができる。

【0041】

また次に、スピネル($MgAl_2O_4$)に対しても、窒化物半導体の成長は異方性があり、窒化物半導体の成長面を(111)面とし、オリフラ面を(110)面とすると、窒化物半導体は(110)面に対して平行方向に成長しやすい傾向がある。従って、(110)面に対して垂直方向にストライプを形成すると窒化物半導体層と隣接する窒化物半導体同士が保護膜の上部でつながって、結晶欠陥の少ない結晶を成長できる。なおスピネルは四方晶であるため特に図示していない。

【0042】

また、以下に、オフアングルされたサファイア基板のステップに沿う方向が、サファイア基板のA面に対して垂直に形成されてなる場合について図4を用いて説明する。

ステップ状にオフアングルしたサファイアなどの異種基板は、図4に示すようにほぼ水平なテラス部分Aと、段差部分Bとを有している。テラス部分Aの表面凹凸は少なく、ほぼ規則正しく形成されている。このようなオフ角を有するステップ状部分は、基板全体にわたって連続して形成されていることが望ましいが、特に部分的に形成されていてもよい。なおオフ角とは、図4に示すように、複数の段差の底部を結んだ直線と、最上層のステップの水平面との角度を示すものとする。

また異種基板はオフ角が $0.1^\circ \sim 0.5^\circ$ 、好ましくは $0.1^\circ \sim 0.2^\circ$ である。オフ角を上記範囲とすると、第1の窒化物半導体42表面は細かな筋状のモフォロジーとなり、エピタキシャル成長表面(第2の窒化物半導体43表面)は波状のモフォロジーとなり、この基板を用いて得られる窒化物半導体素子は平滑で、特性も長寿命、高効率、高出力、歩留まりの向上したものが得られる。

【0043】

またさらに、上記のELOG成長等により得られた窒化物半導体基板上に更にELOG成長を行って得られる窒化物半導体を素子構造の基板とすると、転位の低減及び反りの低減などが良好となり、本発明の効果を得るのに好ましい。この好ましい一実施の形態としては、特願平11-80288号明細書に記載されている内容が挙げられる。

例えば好ましい一例として、上記の図2に示された工程により得られた第2の窒化物半導体43上に更に、例えばHVPEなどによって厚膜、例えば $80 \sim 500 \mu m$ の第3の窒

10

20

30

40

50

化物半導体を成長させ、その後、異種基板などを除去して第3の窒化物半導体のみとし、この第3の窒化物半導体の異種基板除去面とは反対の面上に、HVPE等により第4の窒化物半導体を成長させる。第4の窒化物半導体の膜厚は、第3の窒化物半導体の膜厚と、第4の窒化物半導体の膜厚の合計が、例えば好ましくは400~80 μ m程度の膜厚となるように調整される。

このような第3及び第4の窒化物半導体からなる窒化物半導体上にELOG成長を繰り返すと転位が良好に低減された窒化物半導体基板を得ることができ、本発明の効果を得るのに好ましい。

【0044】

上記のような、転位の少ない窒化物半導体を基板とし、この基板上に素子構造を形成すれば結晶性の良好な素子が得られ、発光効率の向上の点で好ましい。さらにしきい値電流密度の低減及び寿命特性の向上の点でも好ましい。

【0045】

以下に、図1に示される素子構造について説明する。しかし、本発明は、発光ピーク波長が380nmとなるような活性層を有する素子構造であれば特に限定されない。

【0046】

[n型コンタクト層3]

本発明において、n型コンタクト層3としては、少なくとも $Al_aGa_{1-a}N$ ($0 < a < 0.5$ 、好ましくは $0 < a < 0.5$ 、より好ましくは $0.01 < a < 0.05$)を含んでなる窒化物半導体層である。n型コンタクト層がAlを含み更にAl組成比が上記範囲であると、自己吸収の防止と共に、結晶性とオーミック接触の点で好ましい。

更に前記n型コンタクト層3は、n型不純物を $1 \times 10^{17} \sim 1 \times 10^{19} / \text{cm}^3$ 、好ましくは $1 \times 10^{18} \sim 1 \times 10^{19} / \text{cm}^3$ の濃度で含有していると、オーミック接触の維持、クラック発生の防止、結晶性の維持の点で好ましい。このようにn型コンタクト層を構成するAl組成比とn型不純物濃度を組み合わせると、自己吸収を防止できると共に、オーミック接触やクラック防止の点で好ましい。

n型不純物としては、特に限定されないが、例えば、Si、Ge等が挙げられ、好ましくはSiである。

n型コンタクト層3の膜厚は、特に限定されないが、 $0.1 \sim 20 \mu\text{m}$ が好ましく、より好ましくは $1 \sim 10 \mu\text{m}$ である。膜厚がこの範囲であると、界面付近(例えばn型クラッド層との界面付近)の結晶性(下地として)と抵抗率の低下の点で好ましい。

【0047】

[n型クラッド層4]

本発明において、n型クラッド層4としては、活性層5のバンドギャップエネルギーより大きくなる組成であり、活性層5へのキャリアの閉じ込めが可能であれば特に限定されないが、好ましい組成としては、 $Al_eGa_{1-e}N$ ($0 < e < 0.3$ 、好ましくは $0.1 < e < 0.2$)のものが挙げられる。n型クラッド層が、このようなAlGa_eNからなると、活性層へのキャリアの閉じ込めの点で好ましい。

n型クラッド層の膜厚は、特に限定されないが、好ましくは $0.01 \sim 0.1 \mu\text{m}$ であり、より好ましくは $0.03 \sim 0.06 \mu\text{m}$ である。

n型クラッド層のn型不純物濃度は、特に限定されないが、好ましくは $1 \times 10^{17} \sim 1 \times 10^{20} / \text{cm}^3$ であり、より好ましくは $1 \times 10^{18} \sim 1 \times 10^{19} / \text{cm}^3$ である。不純物濃度がこの範囲であると、抵抗率及び結晶性の点で好ましい。

【0048】

n型クラッド層は、上記のような単一層の他に、多層膜層(超格子構造を含む)とすることもできる。多層膜層の場合は、上記の $Al_eGa_{1-e}N$ と、それよりバンドギャップエネルギーの小さい窒化物半導体層とからなる多層膜層であればよいが、例えばバンドギャップエネルギーの小さい層としては、 $In_hGa_{1-h}N$ ($0 < h < 1$)、 $Al_jGa_{1-j}N$ ($0 < j < 1$ 、 $e > j$)が挙げられる。多層膜層を形成する各層の膜厚は、特に限定されないが、超格子構造の場合は、一層の膜厚が100オングストローム以下、好ましくは70オ

10

20

30

40

50

ングストローム以下、より好ましくは10～40オングストロームと、超格子構造を形成しない単一層の場合は、上記の組成からなる層とすることができる。

また、n型クラッド層がバンドギャップエネルギーの大きい層と、バンドギャップエネルギーの小さい層からなる多層膜層である場合、バンドギャップエネルギーの大きい層及び小さい層の少なくともいずれか一方にn型不純物をドーピングさせてもよい。また、バンドギャップエネルギーの大きい層及び小さい層の両方にドーピングする場合は、ドーピング量は同一でも異なってもよい。

【0049】

[活性層5]

本発明において、活性層5としては、発光ピーク波長が380nm以下、好ましくは発光ピーク波長が370nm以下となるような組成の窒化物半導体が挙げられる。好ましくは $In_fGa_{1-f}N$ ($0 < f < 0.1$)の窒化物半導体が挙げられる。活性層のIn組成比は、発光ピーク波長が短波長となるに従いIn組成比を小さくしていくが、In組成比はほとんどゼロに近く、また波長によってはゼロでもよい。

活性層の膜厚としては、特に限定されないが、量子効果の得られる程度の膜厚が挙げられ、例えば好ましくは0.001～0.01 μm であり、より好ましくは0.003～0.007 μm である。膜厚が上記範囲であると発光出力の点で好ましい。

また、活性層は、上記のような単一量子井戸構造の他に、上記 $In_fGa_{1-f}N$ を井戸層として、この井戸層よりバンドギャップエネルギーが大きい組成からなる障壁層とからなる多重量子井戸構造としてもよい。

また、活性層には、不純物をドーピングしてもよい。

【0050】

また、活性層のIn組成比の調整としては、発光ピーク波長が380nm以下となるIn組成比であれば特に限定されず、具体的な値としては、例えば下記の理論値の計算式から求められる値を近似的な値として挙げるることができる。しかし、実際に発光させて得られる波長は、量子井戸構造をとる量子準位が形成されるため、波長のエネルギー(E)が $InGa$ Nのバンドギャップエネルギー(E_g)よりも大きくなり、図7に示すように計算式などから求められる発光波長より、短波長側へシフトする傾向がある。

【0051】

[理論値の計算式]

$$E_g = (1 -) 3.40 + 1.95 - B (1 -)$$

$$\text{波長 (nm)} = 1240 / E_g$$

E_g : $InGa$ N井戸層のバンドギャップエネルギー
: Inの組成比

3.40 (eV): GaN のバンドギャップエネルギー

1.95 (eV): InN のバンドギャップエネルギー

B: ボーイングパラメータを示し、1～6 eVとする。このようにボーイングパラメータが変動するのは、最近の研究では、SIMS分析などから、従来は結晶に歪みがないと仮定して1 eVとされていたが、In組成比の割合や膜厚が薄い場合等により歪みの生じる程度が異なり、1 eV以上となることが明らかとなってきたためである。

【0052】

上記のように井戸層のSIMS分析などから求められる具体的なIn組成比から考えられる発振波長と、実際に発振させたときの発振波長とは、やや相違があるものの、実際の発振波長が所望する波長となるように調整される。

【0053】

[p型クラッド層6]

本発明において、p型クラッド層6としては、活性層5のバンドギャップエネルギーより大きくなる組成であり、活性層5へのキャリアの閉じ込めができるものであれば特に限定されないが、好ましくは、 $Al_dGa_{1-d}N$ ($0 < d < 0.4$ 、好ましくは $0.15 < d < 0.3$)のものが挙げられる。p型クラッド層が、このような $AlGa$ Nからなると、活

10

20

30

40

50

性層へのキャリアの閉じ込めの点で好ましい。

p型クラッド層の膜厚は、特に限定されないが、好ましくは $0.01 \sim 0.15 \mu\text{m}$ であり、より好ましくは $0.04 \sim 0.08 \mu\text{m}$ である。

p型クラッド層のp型不純物濃度は、特に限定されないが、好ましくは $1 \times 10^{18} \sim 1 \times 10^{21} / \text{cm}^3$ であり、より好ましくは $1 \times 10^{19} \sim 1 \times 10^{20} / \text{cm}^3$ である。p型不純物濃度が上記範囲であると、結晶性を低下させることなくバルク抵抗を低下させる点で好ましい。

【0054】

p型クラッド層は、上記のような単一層の他に、多層膜層（超格子構造を含む）とすることもできる。多層膜層の場合は、上記の $\text{Al}_d\text{Ga}_{1-d}\text{N}$ と、それよりバンドギャップエネルギーの小さい窒化物半導体層とからなる多層膜層であればよいが、例えばバンドギャップエネルギーの小さい層としては、n型クラッド層の場合と同様に、 $\text{In}_h\text{Ga}_{1-h}\text{N}$ ($0 < h < 1$)、 $\text{Al}_j\text{Ga}_{1-j}\text{N}$ ($0 < j < 1$, $e > j$)が挙げられる。多層膜層を形成する各層の膜厚は、特に限定されないが、超格子構造の場合は、一層の膜厚が100オングストローム以下、好ましくは70オングストローム以下、より好ましくは10～40オングストロームと、超格子構造を形成しない単一層の場合は、上記の組成からなる層とすることができる。

また、p型クラッド層がバンドギャップエネルギーの大きい層と、バンドギャップエネルギーの小さい層からなる多層膜層である場合、バンドギャップエネルギーの大きい層及び小さい層の少なくともいずれか一方にp型不純物をドーピングさせてもよい。また、バンドギャップエネルギーの大きい層及び小さい層の両方にドーピングする場合は、ドーピング量は同一でも異なってもよい。

【0055】

[p型コンタクト層7]

本発明において、p型コンタクト層7としては、少なくとも $\text{Al}_b\text{Ga}_{1-b}\text{N}$ ($0 < b < 0.5$ 、好ましくは $0 < b < 0.1$ 、より好ましくは $0.01 < b < 0.05$)を含んでなる窒化物半導体層である。p型コンタクト層がAlを含んでなるさらにAl組成比が上記範囲であると、n型コンタクト層の場合と同様に自己吸収の防止と共に、結晶性とオーミック接触の点で好ましい。

更に、前記p型コンタクト層7は、p型不純物を $1 \times 10^{18} \sim 1 \times 10^{21} / \text{cm}^3$ 、好ましくは $5 \times 10^{19} \sim 5 \times 10^{20} / \text{cm}^3$ の濃度で含有していると、オーミック接触、クラック発生の防止、結晶性、バルク抵抗の点で好ましい。このようにp型コンタクト層を構成するAl組成比とn型不純物濃度を組み合わせると、自己吸収を防止できると共に、オーミック接触やクラック防止の点で好ましい。

p型不純物としては、特に限定されないが、例えば好ましくはMgが挙げられる。

p型コンタクト層7の膜厚は、特に限定されないが、 $0.03 \sim 0.5 \mu\text{m}$ が好ましく、より好ましくは $0.1 \sim 0.15 \mu\text{m}$ である。膜厚がこの範囲であると、理由は定かでないが、光の取り出し効率及び発光出力の点で好ましい。

【0056】

また、本発明において、p電極及びn電極は、種々のものを用いることができ、公知の電極材料等から適宜選択して用いる。電極としての具体例は、後述の実施例に記載されているものが挙げられる。

【0057】

また、本発明の素子は、p側層をp型化して低抵抗とするために、アニーリング処理を行っている。アニーリング処理としては、特許第2540791号に記載されているように、気相成長法により、p型不純物がドーピングされた窒化ガリウム系化合物半導体を成長させた後、実質的に水素を含まない雰囲気中、400以上の温度で熱処理を行い、p型不純物がドーピングされた窒化ガリウム系化合物半導体から水素を出すことによりp型にする方法が挙げられる。

【0058】

10

20

30

40

50

【実施例】

以下に、本発明の一実施の形態である実施例を挙げて本発明を更に詳細に説明する。しかし、本発明はこれに限定されない。

また発明の詳細な説明に記載したように、In組成比の理論値の計算式の値と、量子井戸構造をとる量子準位の形成による短波長へのシフトなどによる実際の発振波長とは異なるために、実施例の活性層のIn組成比は近似的な値である。

【0059】

[実施例1]

実施例1として、図1に示される本発明の一実施の形態である窒化物半導体発光素子を作製する。

【0060】

異種基板41として、図4に示すようにステップ状にオフアングルされたC面を主面とし、オフアングル角 $= 0.15^\circ$ 、ステップ段差およそ200 μm 、テラス幅Wおよそ800 μm であり、オリフラ面をA面とし、ステップがA面に垂直であるサファイア基板を用意する。

このサファイア基板を反応容器内にセットし、温度を510 $^\circ\text{C}$ にして、キャリアガスに水素、原料ガスにアンモニアとTMG(トリメチルガリウム)とを用い、サファイア基板上にGa_{0.9}Nよりなる低温成長のバッファ層(図示されていない)を200 μm の膜厚で成長させる。

バッファ層成長後、TMGのみ止めて、温度を1050 $^\circ\text{C}$ まで上昇させ、1050 $^\circ\text{C}$ にな

ったら、原料ガスにTMG、アンモニアを用い、アンドープのGa_{0.9}Nからなる第1の窒化物半導体層42を2 μm の膜厚で成長させる。次に、第1の窒化物半導体層42を積層したウェーハ上にストライプ状のフォトリソを形成し、スパッタ装置によりストライプ幅(凸部の上部になる部分)5 μm 、ストライプ間隔(凹部底部となる部分)10 μm にパターニングされたSiO₂膜を形成し、続いて、RIE装置によりSiO₂膜の形成されていない部分の第1の窒化物半導体層42を全てエッチングし更にサファイアを1200 μm の深さまでエッチングして凹凸を形成することにより、凹部側面に第1の窒化物半導体層42を露出させる。凹凸を形成後に、凸部上部のSiO₂膜を除去する。なおストライプ方向は、図5(b)に示すように、オリフラ面に対して0.3 $^\circ$ ずらして形成する。

次に、反応容器にセットし、常圧で、原料ガスにTMG、アンモニアを用い、アンドープのGa_{0.9}Nよりなる第2の窒化物半導体層43を15 μm の膜厚で成長させ窒化物半導体基板1とする。

得られた窒化物半導体を窒化物半導体基板1として以下の素子構造を積層成長させる(図2)。

得られた窒化物半導体基板1の表面の転位をTEM法により観測すると、凹部上部には転位がほとんど見られなく、凸部上部にはやや多めの転位が観測された。この窒化物半導体基板上1に、下記の各層を成長させる。

【0061】

(n型コンタクト層3)

次に、得られた窒化物半導体基板1上に、1050 $^\circ\text{C}$ でTMG、TMA(トリメチルアルミニウム)、アンモニア、シラン(SiH₄)を用い、Siを $5 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ ドープしたn型Al_{0.04}Ga_{0.96}Nよりなるn型コンタクト層3を4 μm の膜厚で成長させる。

【0062】

(n型クラッド層4)

次に1050 $^\circ\text{C}$ でTMG、TMA、アンモニア、シランを用い、Siを $5 \times 10^{17} / \text{cm}^3$ ドープしたn型Al_{0.18}Ga_{0.82}Nよりなるn型クラッド層4を400 μm の膜厚で形成する。

【0063】

(活性層5)

10

20

30

40

50

次に窒素雰囲気中、700 でTM I、TM G、アンモニアを用い、アンドープIn Ga Nよりなる活性層を550 Åの膜厚で成長させる。In組成比は、測定不可能な程度に微量（ほとんどゼロ又はゼロ）である。

【0064】

（p型クラッド層6）

次に水素雰囲気中、1050 でTM G、TMA、アンモニア、 Cp_2Mg （シクロペンタジエニルマグネシウム）を用い、Mgを $1 \times 10^{20} / cm^3$ ドープした $Al_{0.2}Ga_{0.8}N$ よりなるp型クラッド層6を600 Åの膜厚で成長させる。

【0065】

（p型コンタクト層7）

続いて、TM G、TMA、アンモニア、 Cp_2Mg で、Mgを $1 \times 10^{20} / cm^3$ ドープした $Al_{0.04}Ga_{0.96}N$ よりなるp型コンタクト層7を0.12 μmの膜厚で成長させる。

【0066】

成長終了後、窒素雰囲気中、ウェーハを反応容器内において、700 でアニーリングを行い、p型層をさらに低抵抗化した後、ウェーハを反応容器から取り出し、最上層のp型コンタクト層7の表面に所定の形状のマスクを形成し、RIE（反応性イオンエッチング）装置でp型コンタクト層側からエッチングを行い、図1に示すようにn型コンタクト層3の表面を露出させる。

【0067】

エッチング後、最上層にあるp型コンタクト層7のほぼ全面に膜厚200 ÅのNiとAuを含む透光性のp電極8と、そのp電極8の上にボンディング用のAuよりなるpパッド電極10を0.2 μmの膜厚で形成する。一方エッチングにより露出させたn型コンタクト層3の表面にはWとAlを含むn電極9を形成する。最後にp電極8の表面を保護するために SiO_2 よりなる絶縁膜を形成した後、ウェーハをスクライブにより分離して350 μm角のLED素子とする。

但し、LEDは、発光する活性層が窒化物半導体基板1の転位のほとんどない凹部の上部に位置し、更に凹部の中心部分を避け、例えば図1のような位置になるように作製される

【0068】

このLED素子は順方向電圧10 mAにおいて、発光ピーク波長が371 nmを示し、Vfは3.5 V、出力は2.0 mWである。実施例1のLEDの発光効率は、5.7%となる。また、このデータを図6に としてプロットする。

【0069】

[実施例2]

実施例1において、発光ピーク波長が、360 nm、377 nmとなるように活性層のIn組成比を調節する他は同様にしてLEDを作製する。

得られたLEDの発光効率は、発光ピーク波長が360 nmの場合は0.59%、発光ピーク波長が377 nmの場合は5.85%となる。また、これらのデータを図6に としてプロットする。

【0070】

[比較例1]

実施例1において、発光ピーク波長が470 nm、520 nmとなるように活性層のIn組成比を調整する他は同様にしてLEDを作製する。得られたLEDの発光効率はそれぞれ6.0%、3.0%となる。また、これらのデータを図6に としてプロットする。

【0071】

[比較例2]

更に実施例1において、窒化物半導体基板1の代わりに、サファイア基板を用い、さらにサファイア基板上に、550 でGaNからなるバッファ層を300 Å成長させ、このバッファ層上に、実施例1と同様のコンタクト層などの複数層からなる素子構造を成長させる他は同様にして、LEDを作製する。但し、活性層のIn組成比を調整して、発光ピーク波長が360 nm、371 nm、377 nm、470 nm、520 nm

10

20

30

40

50

となる比較のLEDを作製する。得られた比較のLEDの各発光効率は、それぞれ0.25%、4.8%、5.1%、6.0%、3.0%となる。これらのデータを図6にとしてプロットする。

【0072】

(実施例と比較例のLEDの発光効率の比較)

図6は、窒化物半導体基板を用いてなるLEDの発光ピーク波長の変化による発光効率の値[]と、サファイア基板を用いてなるLEDの発光ピーク波長の変化による発光効率の値[]とをプロットしたグラフである。

以下には、図6に示されている上記の実施例及び比較例で得られた値[波長と発光効率のデータ]を一覧表にまとめる。

【0073】

【表1】

波長 (nm)	発光効率 (%)	
	窒化物半導体基板	サファイア基板
360	0.59	0.25
371	5.70	4.80
377	5.85	5.10
470	6.00	6.00
520	3.00	3.00

【0074】

図6を用いて、基板の相違と、発光ピーク波長の相違による発光効率の変化について以下に考察する。

まず、発光ピーク波長が470nm及び520nmの場合には、窒化物半導体基板を用いてなるLED[]：比較例1]と、サファイア基板を用いてなるLED[]：比較例2]とは、同じ発光効率を有する。そして、これらのLEDは、発光ピーク波長が470nmから380nmに向かって変化すると、発光効率が緩やかに低下する。このような緩やかな低下は、サファイア基板を用いたLED[]に比べて、転位の少ない窒化物半導体基板を用いたLED[]の方が低下の割合が小さい。このことは、窒化物半導体基板を用いたLED[]の方が高い発光効率を維持し易いことを示している。

さらに、発光ピーク波長が380nm以下となると両者とも、発光効率が急激に低下する傾向を示す。

【0075】

しかし、サファイア基板を用いてなるLED[]：比較例]に比べて、窒化物半導体基板を用いてなるLED[]：実施例]は、発光効率が高い。例えば、発光ピーク波長が360nmの場合には、窒化物半導体基板を用いてなるLEDの方が、サファイア基板を用いてなるものに対して、2.36倍もの発光効率を示す。

【0076】

以上のように、紫外領域の発光を示す紫外LEDの場合には、特に転位密度の少ない窒化物半導体基板を用いると、発光効率が良い向上する。そして、発光効率が向上することで、発光出力の向上も達成することができる。

【0077】

【発明の効果】

10

20

30

40

50

本発明は、発光ピーク波長が380nm以下の紫外領域に発光する窒化物半導体素子を、非常に転位密度の少ない窒化物半導体基板上に成長させることにより、発光効率を良好に向上させることができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】図1は、本発明の一実施の形態であるLEDの模式的断面図である。

【図2】図2は、本発明で用いることのできるELOG成長の一実施の形態の各工程の構造を示す模式的断面図である。

【図3】図3は、サファイアの面方位を示すユニットセル図である。

【図4】図4は、オフアングルした異種基板の部分的な形状を示す模式的断面図である。

【図5】図5は、凹凸のストライプ方向を説明するための基板主面側の平面図である。

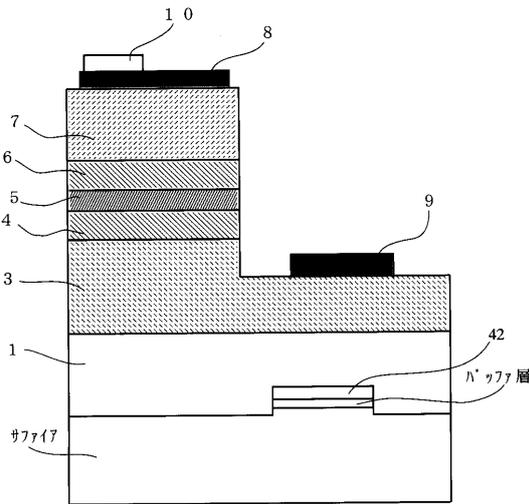
【図6】図6は、実施例及び比較例のLEDの発光効率と波長の関係を示すグラフである。

【図7】図7は、活性層の井戸層のバンドギャップエネルギー（ E_g ）と、量子準位の形成による発振波長のエネルギー（ E ）とを示した模式的断面図である。

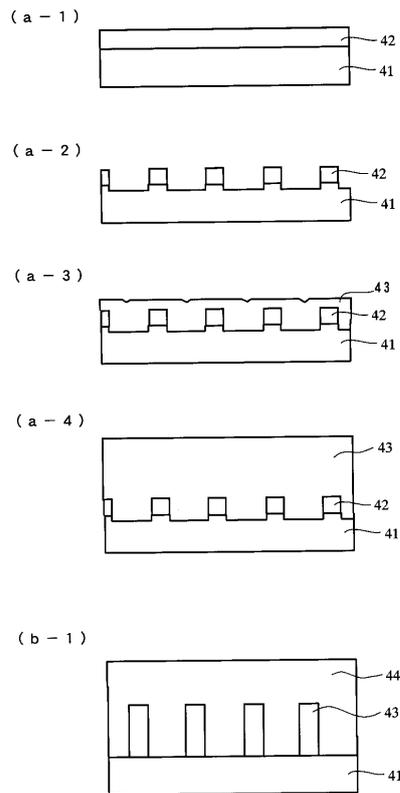
【符号の説明】

- 1・・・基板
- 2・・・バッファ層
- 3・・・n型コンタクト層
- 4・・・n型クラッド層
- 5・・・活性層
- 6・・・p型クラッド層
- 7・・・p型コンタクト層
- 8・・・p電極
- 9・・・n電極
- 10・・・パッド電極

【図1】



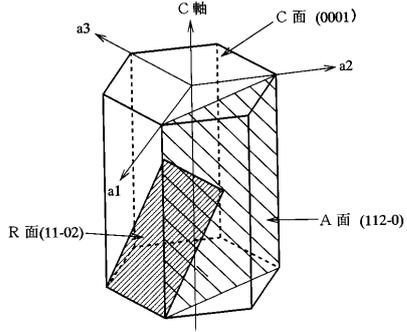
【図2】



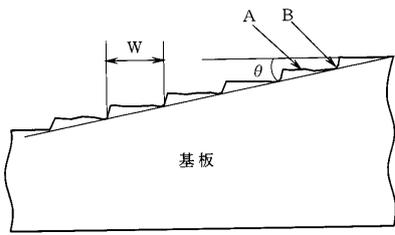
10

20

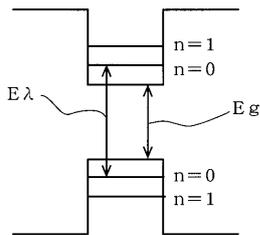
【図3】



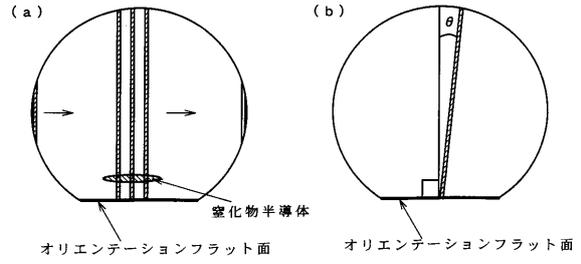
【図4】



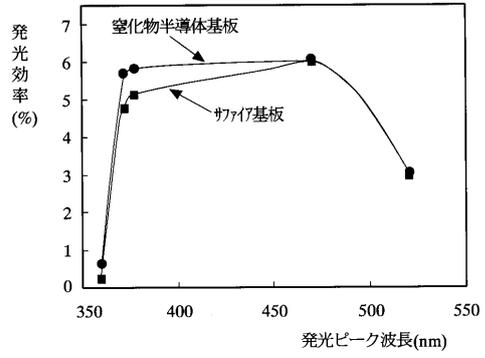
【図7】



【図5】



【図6】



フロントページの続き

(72)発明者 向井 孝志

徳島県阿南市上中町岡491番地100 日亜化学工業株式会社内

合議体

審判長 稲積 義登

審判官 吉田 禎治

審判官 山村 浩

(56)参考文献 国際公開第99/30373(WO,A1)

国際公開第98/47170(WO,A1)

特開平11-224969(JP,A)

特開平11-191659(JP,A)

特開平8-64791(JP,A)

欧州特許出願公開第505093(EP,A2)

(58)調査した分野(Int.Cl.,DB名)

H01S 5/00-5/50, H01L33/00