

(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2009-123718
(P2009-123718A)

(43) 公開日 平成21年6月4日(2009.6.4)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
HO 1 L 33/00 (2006.01)	HO 1 L 33/00 C	5 F O 4 1
HO 1 L 21/205 (2006.01)	HO 1 L 21/205	5 F O 4 5

審査請求 未請求 請求項の数 17 O L (全 27 頁)

(21) 出願番号	特願2007-286691 (P2007-286691)	(71) 出願人	000002004 昭和電工株式会社 東京都港区芝大門1丁目13番9号
(22) 出願日	平成19年11月2日(2007.11.2)	(74) 代理人	100064908 弁理士 志賀 正武
(31) 優先権主張番号	特願2007-6790 (P2007-6790)	(74) 代理人	100108578 弁理士 高橋 詔男
(32) 優先日	平成19年1月16日(2007.1.16)	(74) 代理人	100089037 弁理士 渡邊 隆
(33) 優先権主張国	日本国(JP)	(74) 代理人	100094400 弁理士 鈴木 三義
(31) 優先権主張番号	特願2007-184456 (P2007-184456)	(74) 代理人	100107836 弁理士 西 和哉
(32) 優先日	平成19年7月13日(2007.7.13)	(74) 代理人	100108453 弁理士 村山 靖彦
(33) 優先権主張国	日本国(JP)		
(31) 優先権主張番号	特願2007-274458 (P2007-274458)		
(32) 優先日	平成19年10月22日(2007.10.22)		
(33) 優先権主張国	日本国(JP)		

最終頁に続く

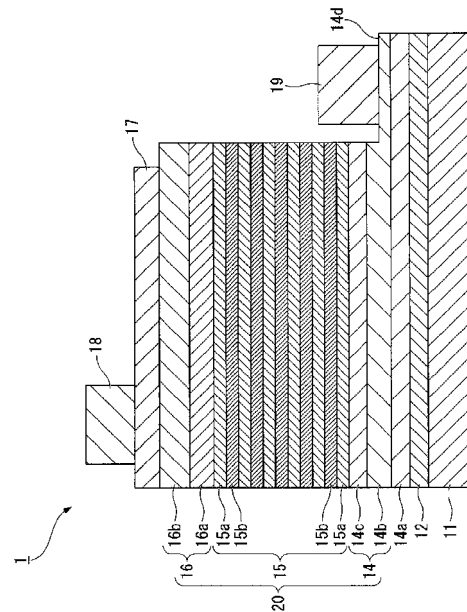
(54) 【発明の名称】 III族窒化物化合物半導体素子及びその製造方法、III族窒化物化合物半導体発光素子及びその製造方法、並びにランプ

(57) 【要約】

【課題】半導体層中の貫通転位が少なく、優れた発光特性の得られるIII族窒化物化合物半導体発光素子を提供する。

【解決手段】基板11と、基板11上に設けられた中間層12と、中間層12上に設けられ、(0002)面のロッキングカーブ半価幅が100arcsec以下であり、かつ(1010)面のロッキングカーブ半価幅が300arcsec以下である下地層14aとを備えてなるIII族窒化物化合物半導体素子とする。

【選択図】図3



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

基板と、
前記基板上に設けられた中間層と、
前記中間層上に設けられ、(0002)面のロックンクカーブ半価幅が100 arc sec以下であり、かつ(10 10)面のロックンクカーブ半価幅が300 arc sec以下である下地層とを備えてなることを特徴とするIII族窒化物化合物半導体素子。

【請求項 2】

前記(0002)面のロックンクカーブ半価幅が50 arc sec以下であり、かつ前記(10 10)面のロックンクカーブ半価幅が250 arc sec以下であることを特徴とする請求項1に記載のIII族窒化物化合物半導体素子。

10

【請求項 3】

前記基板が、サファイアであることを特徴とする請求項1または請求項2に記載のIII族窒化物化合物半導体素子。

【請求項 4】

前記中間層が、前記サファイア基板のc面上に形成されていることを特徴とする請求項3に記載のIII族窒化物化合物半導体素子。

【請求項 5】

前記中間層が、 $Al_xGa_{1-x}N$ (0 < x < 1) からなることを特徴とする請求項1~4のいずれかに記載のIII族窒化物化合物半導体素子。

20

【請求項 6】

前記中間層が、AlNからなることを特徴とする請求項1~5のいずれかに記載のIII族窒化物化合物半導体素子。

【請求項 7】

前記下地層が、AlGaNからなることを特徴とする請求項1~6のいずれかに記載のIII族窒化物化合物半導体素子。

【請求項 8】

前記下地層が、GaNからなることを特徴とする請求項1~6のいずれかに記載のIII族窒化物化合物半導体素子。

【請求項 9】

請求項1~8のいずれかに記載のIII族窒化物化合物半導体素子に備えられる下地層の上に、n型半導体層、発光層及びp型半導体層が順次積層されてなる半導体層が形成されていることを特徴とするIII族窒化物化合物半導体発光素子。

30

【請求項 10】

前記n型半導体層にn型クラッド層が備えられているとともに、前記p型半導体層にはp型クラッド層が備えられており、前記n型クラッド層及び/又は前記p型クラッド層が、少なくとも超格子構造を含むことを特徴とする請求項9に記載のIII族窒化物化合物半導体発光素子。

【請求項 11】

請求項1~8のいずれかに記載のIII族窒化物化合物半導体素子の製造方法であって

40

、
前記中間層をスパッタ法で形成することを特徴とするIII族窒化物化合物半導体素子の製造方法。

【請求項 12】

前記下地層をMOCVD法で形成することを特徴とする請求項11に記載のIII族窒化物化合物半導体素子の製造方法。

【請求項 13】

請求項1~8のいずれかに記載のIII族窒化物化合物半導体素子に備えられる下地層の上に、n型半導体層、発光層及びp型半導体層を順次積層することによって半導体層を形成するIII族窒化物化合物半導体発光素子の製造方法であって、

50

前記中間層をスパッタ法で形成することを特徴とする I I I 族窒化物化合物半導体発光素子の製造方法

【請求項 1 4】

前記下地層を M O C V D 法で形成することを特徴とする請求項 1 3 に記載の I I I 族窒化物化合物半導体発光素子の製造方法。

【請求項 1 5】

請求項 1 1 又は 1 2 に記載の製造方法によって得られる I I I 族窒化物化合物半導体素子。

【請求項 1 6】

請求項 1 3 又は 1 4 に記載の製造方法によって得られる I I I 族窒化物化合物半導体発光素子。 10

【請求項 1 7】

請求項 9、請求項 1 0、請求項 1 6 のいずれかに記載の I I I 族窒化物化合物半導体発光素子が用いられてなることを特徴とするランプ。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0 0 0 1】

本発明は、発光ダイオード (L E D)、レーザダイオード (L D)、電子デバイス等に、好適に用いられる I I I 族窒化物化合物半導体素子及びその製造方法、I I I 族窒化物化合物半導体発光素子及びその製造方法、及び I I I 族窒化物化合物半導体発光素子を用いたランプに関する。 20

【背景技術】

【0 0 0 2】

I I I 族窒化物化合物半導体は、例えば発光素子とした場合に、発光スペクトルが紫外から赤色の広範囲にわたる直接遷移型の半導体であり、発光ダイオード (L E D) やレーザダイオード (L D) などの発光素子に應用されている。このような発光素子は、従来の照明関連の素子に比べて発光効率が高いので、消費エネルギーが小さくて済む。また、このような発光素子は、寿命が長いなどのメリットもあり、市場が急速に拡大している。

【0 0 0 3】

通常、I I I 族窒化物化合物半導体は、サファイア基板の上に形成されている。しかし、サファイア基板上に I I I 族窒化物化合物半導体を形成すると、サファイアと I I I 族窒化物化合物半導体との格子定数のミスフィットにより転位が発生して、素子特性に悪影響を来たすという問題がある。ミスフィットによって発生する転位は、半導体層を縦方向 (基板面に垂直方向) に貫通する貫通転位である。発光素子の半導体層中における貫通転位では、電子が散乱して、電子の移動度 (モビリティ) が低くなったり、リーク電流が発生するなどの現象が起きる。このため、発光素子の半導体層中の貫通転位は、発光素子の発光効率を低下させて、発光強度を低下させる。 30

【0 0 0 4】

ミスフィットを抑制するために、従来から、基板上に中間層を介して I I I 族窒化物化合物半導体を成長させている (例えば、特許文献 1、特許文献 2 参照)。中間層は、I I I 族窒化物化合物半導体と同じ組成の G a N や同じウルツ構造の A l N などを、有機金属気相成長法 (M O C V D 法) で成膜してなるものである。 40

【特許文献 1】特許 3 0 2 6 0 8 7 号公報

【特許文献 2】特開平 4 - 2 9 7 0 2 3 号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0 0 0 5】

しかしながら、基板上に中間層を介して I I I 族窒化物化合物半導体を成長させた場合であっても、半導体層中の貫通転位を十分に防止することはできず、より一層、貫通転位の少ない半導体層が要求されている。 50

【 0 0 0 6 】

本発明は上記課題に鑑みてなされたものであり、半導体層中の貫通転位が少なく、優れた発光特性の得られるⅢⅢⅢ族窒化物化合物半導体発光素子を提供することを目的とする。

また、半導体層中の貫通転位が少なく、優れた発光特性を有するⅢⅢⅢ族窒化物化合物半導体発光素子の製造方法を提供することを目的とする。

さらに、上記のⅢⅢⅢ族窒化物化合物半導体発光素子を用いたランプ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】

【 0 0 0 7 】

本発明者等は、上記問題を解決するために鋭意検討を重ね、貫通転位と発光素子の発光特性との関係を調べた。

半導体層中の貫通転位を検出する方法としては、透過電子顕微鏡（TEM）を使って試料の断面を観察する方法が考えられる。しかし、TEMによる観察で得られる貫通転位の評価結果は、ある限られた範囲に存在する貫通転位の評価結果であるので、半導体層全体を代表した結果になっているかが問題となる。また、TEMで貫通転位を観察するためには、試料を加工する必要があるため、観察に用いた試料は素子として使えない。このため、貫通転位の評価結果と素子の特性とを正確に関連付けることができないという問題がある。

【 0 0 0 8 】

そこで、本発明者等は、半導体層中の貫通転位を検出する方法として、非破壊で貫通転位を評価する方法を用いることを検討した。

図1は、発光素子の半導体層を構成するⅢⅢⅢ族窒化物化合物半導体の結晶の貫通転位を説明するための図であり、基板面に垂直方向から見た概略模式図である。図1において、符号41はⅢⅢⅢ族窒化物化合物半導体の結晶を示している。ⅢⅢⅢ族窒化物化合物半導体の結晶41は、図1に示すように、最密充填結晶構造を有しており、基板上に六角柱が垂直に成長された構造をしている。ここで、例えば、ⅢⅢⅢ族窒化物化合物半導体の結晶41である六角柱の平面内での配置が、同じ向きで揃っていると隙間はできないが、図1に示すように、向きが少しでも違っていると六角柱と六角柱の間に隙間42が発生する。この隙間42は、結晶41の配向度合いを示すものであって、貫通転位に相当すると考えられる。

【 0 0 0 9 】

結晶の配向度合いを評価する方法の一つとして、X線を使って測定するロックンクカーブ法がある。

図2は、発光素子の半導体層を構成するⅢⅢⅢ族窒化物化合物半導体の（10 10）面のロックンクカーブ半価幅と、発光素子のリーク電流との関係を示したグラフである。ロックンクカーブ法で検出される半価幅は、図1に示す六角柱の結晶41間の隙間42の量に対応するので、図2に示すように、ロックンクカーブ法で検出される半価幅が小さいほど、六角柱の結晶41間の隙間が少なく、良好に配向していることになる。この結果、デバイスとしたときのリーク電流が小さくなるなどの効果を得ることができる。

【 0 0 1 0 】

そこで、本発明者等は、ロックンクカーブ法で検出される半価幅と発光素子の特性との関係について鋭意研究を重ね、発光素子の半導体層の半価幅を所定の範囲とすることで、半導体層中の貫通転位が少なく、良好な発光特性の得られる発光素子を提供できることを見出し、本発明を想到した。

即ち、本発明は以下に関する。

【 0 0 1 1 】

[1] 基板と、前記基板上に設けられた中間層と、前記中間層上に設けられ、（00 02）面のロックンクカーブ半価幅が100 arc sec以下であり、かつ（10 10）面のロックンクカーブ半価幅が300 arc sec以下である下地層とを備えてなるこ

10

20

30

40

50

とを特徴とする I I I 族窒化物化合物半導体素子。

[2] 前記 (0 0 0 2) 面のロッキングカーブ半価幅が 50 arcs sec 以下であり、かつ前記 (1 0 1 0) 面のロッキングカーブ半価幅が 250 arcs sec 以下であることを特徴とする [1] に記載の I I I 族窒化物化合物半導体素子。

[3] 前記基板が、サファイアであることを特徴とする [1] または [2] に記載の I I I 族窒化物化合物半導体素子。

[4] 前記中間層が、前記サファイア基板の c 面上に形成されていることを特徴とする [3] に記載の I I I 族窒化物化合物半導体素子。

[5] 前記中間層が、 $A l_x G a_{1-x} N (0 < x < 1)$ からなることを特徴とする [1] ~ [4] のいずれかに記載の I I I 族窒化物化合物半導体素子。

10

[6] 前記中間層が、A l N からなることを特徴とする [1] ~ [5] のいずれかに記載の I I I 族窒化物化合物半導体素子。

[7] 前記下地層が、A l G a N からなることを特徴とする [1] ~ [6] のいずれかに記載の I I I 族窒化物化合物半導体素子。

[8] 前記下地層が、G a N からなることを特徴とする [1] ~ [6] のいずれかに記載の I I I 族窒化物化合物半導体素子。

【 0 0 1 2 】

[9] [1] ~ [8] のいずれかに記載の I I I 族窒化物化合物半導体素子に備えられる下地層の上に、n 型半導体層、発光層及び p 型半導体層が順次積層されてなる半導体層が形成されていることを特徴とする I I I 族窒化物化合物半導体発光素子。

20

[1 0] 前記 n 型半導体層に n 型クラッド層が備えられているとともに、前記 p 型半導体層には p 型クラッド層が備えられており、前記 n 型クラッド層及び / 又は前記 p 型クラッド層が、少なくとも超格子構造を含むことを特徴とする [9] に記載の I I I 族窒化物化合物半導体発光素子。

【 0 0 1 3 】

また、本発明者等は、貫通転位の生成機構に着目し、中間層が均一性に優れたものであると、下地層中の貫通転位を少なくすることができることから、基板と下地層との間に介在させる中間層の優れた均一性の得られる方法について検討した。その結果、スパッタ法で形成された中間層は、M O C V D 法で形成された中間層と比較して、膜厚が薄くても面内均一性に優れたものとなることを見出し、基板と下地層との間に介在させる中間層をスパッタ法で形成されたものとするので、下地層中の貫通転位を少なくすることができる本発明を想到した。

30

【 0 0 1 4 】

[1 1] [1] ~ [8] のいずれかに記載の I I I 族窒化物化合物半導体素子の製造方法であって、前記中間層をスパッタ法で形成することを特徴とする I I I 族窒化物化合物半導体素子の製造方法。

[1 2] 前記下地層を M O C V D 法で形成することを特徴とする [1 1] に記載の I I I 族窒化物化合物半導体素子の製造方法。

[1 3] [1] ~ [8] のいずれかに記載の I I I 族窒化物化合物半導体素子に備えられる下地層の上に、n 型半導体層、発光層及び p 型半導体層を順次積層することによって半導体層を形成する I I I 族窒化物化合物半導体発光素子の製造方法であって、前記中間層をスパッタ法で形成することを特徴とする I I I 族窒化物化合物半導体発光素子の製造方法

40

[1 4] 前記下地層を M O C V D 法で形成することを特徴とする [1 3] に記載の I I I 族窒化物化合物半導体発光素子の製造方法。

【 0 0 1 5 】

[1 5] [1 1] 又は [1 2] に記載の製造方法によって得られる I I I 族窒化物化合物半導体素子。

[1 6] [1 3] 又は [1 4] に記載の製造方法によって得られる I I I 族窒化物化合物半導体発光素子。

50

[17] 請求項 9、請求項 10、請求項 16 の何れか 1 項に記載の III 族窒化物化合物半導体発光素子が用いられてなることを特徴とするランプ。

【発明の効果】

【0016】

本発明の III 族窒化物化合物半導体発光素子は、基板上に設けられた中間層上に設けられ、(0002)面のロックンクカーブ半価幅が 100 arcsec 以下であり、かつ(10 10)面のロックンクカーブ半価幅が 300 arcsec 以下である下地層を備えているので、半導体層中の貫通転位が少なく、優れた発光特性が得られる。

【0017】

また、本発明の III 族窒化物化合物半導体発光素子の製造方法によれば、中間層をスパッタ法で形成するので、均一な中間層を形成することができ、中間層上に容易に(0002)面のロックンクカーブ半価幅が 100 arcsec 以下であり、かつ(10 10)面のロックンクカーブ半価幅が 300 arcsec 以下である下地層を形成することができる。したがって、本発明の III 族窒化物化合物半導体発光素子の製造方法によれば、半導体層中の貫通転位が少なく、優れた発光特性を有する本発明の III 族窒化物化合物半導体発光素子を容易に提供できる。

さらに、本発明においては、n型クラッド層及び/又はp型クラッド層を超格子構造を含んだ層構成にすることで、出力が格段に向上し、電気特性の優れた発光素子とすることができる。

【0018】

さらに、本発明のランプは、本発明の III 族窒化物化合物半導体発光素子を用いたものであるもので、優れた発光特性を備えたものとなる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0019】

以下、本発明に係る III 族窒化物化合物半導体素子及びその製造方法、III 族窒化物化合物半導体発光素子及びその製造方法、並びにランプの一実施形態について、図面を適宜参照して説明する。

【0020】

[III 族窒化物化合物半導体発光素子]

図 3 は、本発明に係る III 族窒化物化合物半導体発光素子(III 族窒化物化合物半導体素子：以下、発光素子と略称することがある)の一例を、模式的に示した概略断面図である。また、図 4 は、図 3 に示す III 族窒化物化合物半導体発光素子の平面構造を示す概略図である。

本実施形態の発光素子は、図 3 に示すように、一面電極型のものであり、基板 11 上に、中間層 12 と、III 族元素として Ga を含有する III 族窒化物化合物半導体からなる半導体層 20 とが形成されているものである。半導体層 20 は、図 3 に示すように、n型半導体層 14、発光層 15 及び p型半導体層 16 の各層がこの順で積層されてなるものである。

【0021】

[発光素子の積層構造]

< 基板 >

本実施形態の発光素子 1 において、基板 11 に用いることができる材料としては、III 族窒化物化合物半導体結晶が表面にエピタキシャル成長される基板材料であれば、特に限定されず、各種材料を選択して用いることができる。例えば、サファイア、SiC、シリコン、酸化亜鉛、酸化マグネシウム、酸化マンガン、酸化ジルコニウム、酸化マンガン亜鉛鉄、酸化マグネシウムアルミニウム、ホウ化ジルコニウム、酸化ガリウム、酸化インジウム、酸化リチウムガリウム、酸化リチウムアルミニウム、酸化ネオジウムガリウム、酸化ランタンストロンチウムアルミニウムタンタル、酸化ストロンチウムチタン、酸化チタン、ハフニウム、タングステン、モリブデン等が挙げられる。

【0022】

10

20

30

40

50

また、上記基板材料の中でも特に、サファイアを用いることが好ましく、サファイア基板のc面上に中間層12が形成されていることが望ましい。

【0023】

なお、上記基板材料の内、高温でアンモニアに接触することで化学的な変性を引き起こすことが知られている酸化物基板や金属基板等を用い、アンモニアを使用せずに中間層12を成膜するとともに、アンモニアを使用する方法で後述のn型半導体層14を構成する下地層を成膜した場合には、詳細を後述する中間層12がコート層としても作用するので、基板11の化学的な変質を防ぐ点で効果的である。

また、一般的に、スパッタ法は基板11の温度を低く抑えることが可能なので、高温で分解してしまう性質を持つ材料からなる基板11を用いた場合でも、基板11にダメージを与えることなく基板上への各層の成膜が可能である。

【0024】

<中間層>

本実施形態の発光素子1においては、基板11上に、六方晶系の結晶構造を持つ中間層12が成膜されている。

中間層12をなすIII族窒化物半導体の結晶は、多結晶の $Al_xGa_{1-x}N$ ($0 < x < 1$) からなるものが好ましく、単結晶の $Al_xGa_{1-x}N$ ($0 < x < 1$) のものがより好ましい。

III族窒化物半導体の結晶は、成長条件を制御することにより、上方向だけでなく、面内方向にも成長して単結晶構造を形成する。このため、中間層12の成膜条件を制御することにより、単結晶構造のIII族窒化物半導体の結晶からなる中間層12とすることができる。

このような単結晶構造を有する中間層12を基板11上に成膜した場合、中間層12のバッファ機能が有効に作用するため、その上に成膜されたIII族窒化物半導体は良好な配向性及び結晶性を有する結晶膜となる。

【0025】

また、中間層12をなすIII族窒化物半導体の結晶は、成膜条件をコントロールすることにより、六角柱を基本とした集合組織からなる柱状結晶(多結晶)とすることも可能である。なお、ここでの集合組織からなる柱状結晶とは、隣接する結晶粒との間に結晶粒界を形成して隔てられており、それ自体は縦断面形状として柱状になっている結晶のことをいう。

【0026】

中間層12は、基板11を高温における化学反応から守る目的や、基板11の材料と半導体層20との格子定数の違いを緩和する目的、あるいは、結晶成長のための核発生を促すための層として形成される。

中間層12の材料としては、Gaを含むIII族窒化物化合物を用いることが好ましく、特に、 $Al_xGa_{1-x}N$ 層 ($0 < x < 1$ 、好ましくは $0.5 < x < 1$ 、さらに好ましくは $0.9 < x < 1$) から構成されることがより好ましい。また、中間層12に用いる材料として、AlNを用いることも好ましい。

【0027】

また、中間層12は、基板11の表面11aの少なくとも60%以上、好ましくは80%以上を覆っている必要があり、90%以上を覆うように形成されていることが好ましい。また、中間層12は、表面11aの100%、即ち、基板11の表面11a上を隙間無く覆うように形成されていることが最も好ましい。

中間層12が基板11の表面11aを覆う領域が小さくなると、基板11が大きく露出した状態となる。このような場合、中間層12上に成膜される下地層14aと基板11上に直接成膜される下地層14aとの格子定数が異なるものとなり、均一な結晶とならず、ヒロックやピットを生じてしまう恐れがある。

【0028】

また、中間層12は、基板11の表面11aに加え、側面を覆うようにして形成されて

10

20

30

40

50

いても良く、さらに、基板 11 の裏面を覆うようにして形成しても良い。

【0029】

<半導体層>

図 3 に示すように、半導体層 20 は、n 型半導体層 14、発光層 15 及び p 型半導体層 16 を備えている。

「n 型半導体層」

n 型半導体層 14 は、中間層 12 上に積層され、下地層 14a と、n 型コンタクト層 14b と、n 型クラッド層 14c とから構成されている。下地層 14a は、(0002)面のロッキングカーブ半価幅が 100 arcs sec 以下であり、かつ(10 10)面のロッキングカーブ半価幅が 300 arcs sec 以下のものである。また、下地層 14a は、前記(0002)面のロッキングカーブ半価幅が 50 arcs sec 以下であり、かつ前記(10 10)面のロッキングカーブ半価幅が 250 arcs sec 以下であることが望ましい。なお、本発明において、「ロッキングカーブ半価幅」とは、X線回析のロッキングカーブ半価幅のことを意味する。また、本発明における「ロッキングカーブ半価幅」の測定には、X線発生装置として、出力が電圧 45 kV 、電流 40 mA であり、入射部光学系にモノクロメータとして Ge ハイブリッドモノクロメータ 2 回折装置が設けられ、X線管球からの発散ビームを単色平行ビームに変換したものをを用いた。一方、受光部光学系としては、分解能 12° のトリプルアクシスモジュールを用い、X線検出器としてはプロポーションナルカウンタを用いた。また、X線発生装置側には発散スリットとして $1/8''$ のものをを用い、X線ビーム径を縦 10 mm × 横 0.365 mm の大きさに絞った。

10

20

【0030】

なお、n 型コンタクト層は、下地層、及び / 又は、n 型クラッド層を兼ねることが可能であるが、下地層が、n 型コンタクト層、及び / 又は n 型クラッド層を兼ねることも可能である。

【0031】

(下地層)

本実施形態の n 型半導体層 14 の下地層 14a は、III 族窒化物化合物半導体からなり、III 族窒化物化合物半導体素子を構成する。下地層 14a の材料は、中間層 12 と同じであっても異なっても構わないが、Ga を含む III 族窒化物化合物、即ち GaN 系化合物半導体が転位のループ化が生じやすいため好ましく、 $\text{Al}_x \text{Ga}_{1-x} \text{N}$ 層 ($0 < x < 1$ 、好ましくは $0 < x < 0.5$ 、さらに好ましくは $0 < x < 0.1$) から構成されることがより好ましい。また、本発明者等が実験したところ、下地層 14a に用いる材料として、Ga を含む III 族窒化物、特に、AlGaIn が望ましく、GaN も好適であった。

30

【0032】

本実施形態において、下地層 14a の厚さについては特別な制限はないが、 $0.1 \mu\text{m}$ から $20 \mu\text{m}$ の範囲とすることが好ましく、 $0.5 \mu\text{m}$ から $15 \mu\text{m}$ とすることがより好ましい。下地層 14a は、結晶界面が明瞭な柱状結晶の集合体である中間層 12 の結晶性をそのまま引き継がないように、マイグレーションによって転位をループ化させる必要があるが、下地層 14a の厚さが $0.5 \mu\text{m}$ 未満であると、転位のループ化が不十分となる場合がある。また、 $20 \mu\text{m}$ を越える下地層 14a の厚さとしても、機能には変化がなく、いたずらに製造時間を延ばすのみである。

40

【0033】

下地層 14a には、必要に応じて、n 型不純物を $1 \times 10^{17} \sim 1 \times 10^{19} / \text{cm}^3$ の範囲内であればドーピングしても良いが、アンドーピング ($< 1 \times 10^{17} / \text{cm}^3$) とすることもでき、アンドーピングの方が良好な結晶性の維持という点で好ましい。

例えば、基板 11 が導電性を有する場合には、下地層 14a にドーパントをドーピングして導電性とすることにより、発光素子 1 の上下に電極を形成することができる。一方、基板 11 として絶縁性の材料を用いる場合には、発光素子 1 の同じ面に正極及び負極の各電極が設けられたチップ構造をとることになるので、基板 11 直上の層はドーピングしない結晶と

50

した方が、結晶性が良好となることから好ましい。

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

【0034】

III族窒化物化合物半導体からなる下地層14aの上には、半導体積層構造が積層された構成とすることができる。例えば、発光素子のための半導体積層構造を形成する場合、Si、Ge、Sn等のn型ドーパントをドーブしたn型導電性の層や、マグネシウム等のp型ドーパントをドーブしたp型導電性の層等を積層して形成することができる。また、材料としては、発光層等にはInGaNを用いることができ、クラッド層等にはAlGaNを用いることができる。このように、下地層14a上に、さらに機能を持たせたIII族窒化物半導体結晶層を形成することにより、発光ダイオードやレーザダイオード、あるいは電子デバイス等の作製に用いられる、半導体積層構造を有するウェーハを作製することができる。

10

【0035】

(n型コンタクト層)

n型コンタクト層14bは、III族窒化物化合物半導体からなる。n型コンタクト層14bは、下地層14aと同様に $Al_xGa_{1-x}N$ 層($0 < x < 1$ 、好ましくは $0 < x < 0.5$ 、さらに好ましくは $0 < x < 0.1$)から構成されることが好ましい。

また、n型コンタクト層14bには、n型不純物がドーブされていることが好ましく、n型不純物を $1 \times 10^{17} \sim 1 \times 10^{19} / \text{cm}^3$ 、好ましくは $1 \times 10^{18} \sim 1 \times 10^{19} / \text{cm}^3$ の濃度で含有すると、負極との良好なオーミック接触の維持、クラック発生の抑制、良好な結晶性の維持の点で好ましい。n型不純物としては、特に限定されないが、例えば、Si、GeおよびSn等が挙げられ、好ましくはSiおよびGeである。

20

【0036】

なお、下地層14a及びn型コンタクト層14bを構成する窒化ガリウム系化合物半導体は同一組成であることが好ましく、これらの合計の膜厚を $0.1 \sim 20 \mu\text{m}$ 、好ましくは $0.5 \sim 15 \mu\text{m}$ 、さらに好ましくは $1 \sim 12 \mu\text{m}$ の範囲に設定することが好ましい。膜厚がこの範囲であると、半導体の結晶性が良好に維持される。

【0037】

(n型クラッド層)

n型コンタクト層14bと発光層15との間には、n型クラッド層14cを設けることが好ましい。n型クラッド層14cを設けることにより、活性層(発光層15)への電子供給、格子定数差の緩和、などの効果を持たせることができる。

n型クラッド層14cは、AlGaN、GaN、GaInN等により成膜することが可能である。また、これらの構造のヘテロ接合や複数回積層した超格子構造としてもよい。n型クラッド層14cをGaInNとする場合には、発光層15のGaInNのバンドギャップよりも大きくすることが望ましいことは言うまでもない。

30

【0038】

n型クラッド層14cのn型ドーブ濃度は $1 \times 10^{17} \sim 1 \times 10^{20} / \text{cm}^3$ の範囲が好ましく、より好ましくは $1 \times 10^{18} \sim 1 \times 10^{19} / \text{cm}^3$ の範囲である。ドーブ濃度がこの範囲であると、良好な結晶性の維持および発光素子の動作電圧低減の点で好ましい。

40

【0039】

なお、n型クラッド層14cを、超格子構造を含む層とする場合には、詳細な図示を省略するが、100オングストローム以下の膜厚を有したIII族窒化物化合物半導体からなるn側第1層と、該n側第1層と組成が異なるとともに100オングストローム以下の膜厚を有したIII族窒化物化合物半導体からなるn側第2層とが積層された構造を含むものであっても良い。また、n型クラッド層14cは、n側第1層とn側第2層とが交互に繰返し積層された構造を含んだものであってもよい。また、好ましくは、前記n側第1層又はn側第2層の何れかが、活性層(発光層15)に接する構成とすれば良い。

50

【0040】

上述のようなn側第1層及びn側第2層は、例えばAlを含むAlGa_nN系（単にAlGa_nNと記載することがある）、Inを含むGaIn_nN系（単にGaIn_nNと記載することがある）、Ga_nNの組成とすることができる。また、n側第1層及びn側第2層は、GaIn_nN/Ga_nNの交互構造、AlGa_nN/Ga_nNの交互構造、GaIn_nN/AlGa_nNの交互構造、組成の異なるGaIn_nN/GaIn_nNの交互構造（本発明における“組成の異なる”との説明は、各元素組成比が異なることを指し、以下同様である）、組成の異なるAlGa_nN/AlGa_nNの交互構造であってもよい。本発明においては、n側第1層及びn側第2層は、GaIn_nN/Ga_nNの交互構造又は組成の異なるGaIn_nN/GaIn_nNであることが好ましい。

10

【0041】

上記n側第1層及びn側第2層の超格子層は、それぞれ60オングストローム以下であることが好ましく、それぞれ40オングストローム以下であることがより好ましく、それぞれ10オングストローム～40オングストロームの範囲であることが最も好ましい。超格子層を形成するn側第1層とn側第2層の膜厚が100オングストローム超だと、結晶欠陥が入りやすく好ましくない。

【0042】

上記n側第1層及びn側第2層は、それぞれドーブした構造であってもよく、また、ドーブ構造/未ドーブ構造の組み合わせであってもよい。ドーブされる不純物としては、上記材料組成に対して従来公知のものを、何ら制限無く適用できる。例えば、n型クラッド層として、GaIn_nN/Ga_nNの交互構造又は組成の異なるGaIn_nN/GaIn_nNの交互構造のものをを用いた場合には、不純物としてSiが好適である。また、上述のようなn側超格子多層膜は、GaIn_nNやAlGa_nN、Ga_nNで代表される組成が同じであっても、ドーピングを適宜ON、OFFしながら作製してもよい。

20

【0043】

< 発光層 >

発光層15は、n型半導体層14上に積層されるとともにp型半導体層16がその上に積層される層である。発光層は多重量子井戸構造、単一井戸構造、バルク構造、などを採ることができる。本実施形態において、発光層15は、図3に示すように、窒化ガリウム系化合物半導体からなる障壁層15aと、インジウムを含有する窒化ガリウム系化合物半導体からなる井戸層15bとが交互に繰り返して積層され、且つ、n型半導体層14側及びp型半導体層16側に障壁層15aが配されている。図3に示す例では、発光層15は、6層の障壁層15aと5層の井戸層15bとが交互に繰り返して積層され、発光層15の最上層及び最下層に障壁層15aが配され、各障壁層15a間に井戸層15bが配される多重量子井戸構成とされている。

30

【0044】

障壁層15aとしては、例えば、井戸層15bよりもバンドギャップエネルギーが大きいAl_cGa_{1-c}N（0 < c < 0.3）等の窒化ガリウム系化合物半導体を、好適に用いることができる。

また、井戸層15bには、インジウムを含有する窒化ガリウム系化合物半導体として、例えば、Ga_{1-s}In_sN（0 < s < 0.4）等の窒化ガリウムインジウムを用いることができる。

40

【0045】

< p型半導体層 >

p型半導体層16は、p型クラッド層16a及びp型コンタクト層16bから構成されている。なお、p型コンタクト層がp型クラッド層を兼ねる構成であってもよい。

【0046】

(p型クラッド層)

p型クラッド層16aとしては、発光層15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、発光層15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

50

いが、好ましくは、 $Al_dGa_{1-d}N$ ($0 < d \leq 0.4$ 、好ましくは $0.1 \leq d \leq 0.3$) のものが挙げられる。p型クラッド層16aが、このような $AlGaN$ からなると、発光層15へのキャリアの閉じ込めの点で好ましい。

【0047】

p型クラッド層16aのp型ドーパ濃度は、 $1 \times 10^{18} \sim 1 \times 10^{21} / cm^3$ が好ましく、より好ましくは $1 \times 10^{19} \sim 1 \times 10^{20} / cm^3$ である。p型ドーパ濃度が上記範囲であると、結晶性を低下させることなく良好なp型結晶が得られる。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型クラッド層16aは、複数回積層した超格子構造としてもよい。

【0048】

なお、p型クラッド層16aを、超格子構造を含む層とする場合には、詳細な図示を省略するが、100オングストローム以下の膜厚を有したIII族窒化物化合物半導体からなるp側第1層と、該p側第1層と組成が異なるとともに100オングストローム以下の膜厚を有したIII族窒化物化合物半導体からなるp側第2層とが積層された構造を含むものであっても良い。また、p側第1層とp側第2層とが交互に繰返し積層された構造を含んだものであっても良い。

10

【0049】

上述のようなp側第1層及びp側第2層は、それぞれ組成の異なる、例えば、 $AlGaN$ 、 GaN 又は GaN の内の何れの組成であっても良い、また、 $GaN/AlGaN$ の交互構造、 $AlGaN/GaN$ の交互構造、又は $GaN/AlGaN$ の交互構造であってても良い。本発明においては、p側第1層及びp側第2層は、 $AlGaN/AlGaN$ 又は $AlGaN/GaN$ の交互構造であることが好ましい。

20

【0050】

上記p側第1層及びp側第2層の超格子層は、それぞれ60オングストローム以下であることが好ましく、それぞれ40オングストローム以下であることがより好ましく、それぞれ10オングストローム～40オングストロームの範囲であることが最も好ましい。超格子層を形成するp側第1層とp側第2層の膜厚が100オングストローム超だと、結晶欠陥等を多く含む層となり、好ましくない。

【0051】

上記p側第1層及びp側第2層は、それぞれドーパした構造であっても良く、また、ドーパ構造/未ドーパ構造の組み合わせであっても良い。ドーパされる不純物としては、上記材料組成に対して従来公知のものを、何ら制限無く適用できる。例えば、p型クラッド層として、 $AlGaN/GaN$ の交互構造又は組成の異なる $AlGaN/AlGaN$ の交互構造のものをを用いた場合には、不純物としてMgが好適である。また、上述のようなp側超格子多層膜は、 GaN や $AlGaN$ 、 GaN で代表される組成が同じであっても、ドーピングを適宜ON、OFFしながら作製してもよい。

30

【0052】

(p型コンタクト層)

p型コンタクト層16bは、少なくとも $Al_eGa_{1-e}N$ ($0 \leq e < 0.5$ 、好ましくは $0 \leq e \leq 0.2$ 、より好ましくは $0 \leq e \leq 0.1$) を含んでなる窒化ガリウム系化合物半導体層である。Al組成が上記範囲であると、良好な結晶性の維持およびpオーミック電極(後述の透光性電極17を参照)との良好なオーミック接触の点で好ましい。

40

【0053】

また、p型コンタクト層16bは、p型ドーパントを $1 \times 10^{18} \sim 1 \times 10^{21} / cm^3$ の範囲の濃度で含有していると、良好なオーミック接触の維持、クラック発生の防止、良好な結晶性の維持の点で好ましく、より好ましくは $5 \times 10^{19} \sim 5 \times 10^{20} / cm^3$ の範囲である。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。

【0054】

なお、本発明の発光素子1を構成する半導体層20は、上述した実施形態のものに限定

50

されるものではない。

例えば、本発明を構成する半導体層の材料としては、上記のもの他、例えば一般式 $Al_x Ga_y In_z N_{1-A} M_A$ ($0 < x < 1$ 、 $0 < y < 1$ 、 $0 < z < 1$ で且つ、 $x + y + z = 1$ 。記号Mは窒素(N)とは別の第V族元素を表し、 $0 < A < 1$ である。) で表わされる窒化ガリウム系化合物半導体が知られており、本発明においても、それら周知の窒化ガリウム系化合物半導体を何ら制限なく用いることができる。

また、III族元素としてGaを含有するIII族窒化物化合物半導体は、Al、GaおよびIn以外に他のIII族元素を含有することができ、必要に応じてGe、Si、Mg、Ca、Zn、Be、P、As及びB等の元素を含有することもできる。さらに、意図的に添加した元素に限らず、成膜条件等に依存して必然的に含まれる不純物、並びに原料、反応管材質に含まれる微量不純物を含む場合もある。

10

【0055】

<透光性正極>

透光性正極17は、p型半導体層16上に形成された透光性を有する電極である。

透光性正極17の材質としては、特に限定されず、ITO($In_2O_3 - SnO_2$)、AZO($ZnO - Al_2O_3$)、IZO($In_2O_3 - ZnO$)、GZO($ZnO - Ga_2O_3$)等の材料を用いることができる。また、透光性正極17としては、従来公知の構造を含めて如何なる構造のものも何ら制限なく用いることができる。

また、透光性正極17は、p型半導体層16上の全面を覆うように形成しても構わないし、隙間を開けて格子状や樹形状に形成しても良い。

20

【0056】

<正極ボンディングパッド>

正極ボンディングパッド18は、図4に示すように透光性正極17上に形成された略円形の電極である。

正極ボンディングパッド18の材料としては、Au、Al、NiおよびCu等を用いた各種構造が周知であり、これら周知の材料、構造のものを何ら制限無く用いることができる。

正極ボンディングパッド18の厚さは、100~1000nmの範囲内であることが好ましい。また、ボンディングパッドの特性上、厚さが大きい方が、ボンダビリティーが高くなるため、正極ボンディングパッド18の厚さは300nm以上とすることがより好ましい。さらに、製造コストの観点から500nm以下とすることが好ましい。

30

【0057】

<負極>

負極19は、半導体層20を構成するn型半導体層14のn型コンタクト層14bに接するものである。このため、負極19は、図3および図4に示すように、p型半導体層16、発光層15、及びn型半導体層14の一部を除去してn型コンタクト層14bを露出させてなる露出領域14dの上に略円形状に形成されている。

負極19の材料としては、各種組成および構造の負極が周知であり、これら周知の負極を何ら制限無く用いることができる。

40

【0058】

[発光素子の製造方法]

図3に示す発光素子1を製造するには、まず、基板11上に半導体層20の形成された図5に示す積層半導体10を形成する。図5に示す積層半導体10を形成するには、まず、基板11を用意する。基板11は、前処理を施してから使用することが望ましい。

例えば、シリコンからなる基板11を用いる場合には、よく知られたRCA洗浄方法などの湿式の方法を行って、表面を水素終端させておく方法を用いることができる。このことにより、成膜プロセスが安定する。

【0059】

また、スパッタ装置のチャンバ内に基板11を配置し、中間層12を形成する前にスパッタするなどの方法によって前処理を行ってもよい。具体的には、チャンバ内において、

50

基板 1 1 を Ar や N₂ のプラズマ中に曝す事によって表面を洗浄する前処理を行なうことができる。Ar ガスや N₂ ガスなどのプラズマを基板 1 1 の表面に作用させることで、基板 1 1 表面に付着した有機物や酸化物を除去することができる。この場合、ターゲットにパワーを印加せずに、基板 1 1 とチャンバとの間に電圧を印加すれば、プラズマ粒子が効率的に基板 1 1 に作用する。

【0060】

基板 1 1 に前処理を行なった後、基板 1 1 上に、スパッタ法によって、図 5 に示す中間層 1 2 を成膜する。

中間層 1 2 の成膜方法としては、III 族窒化物化合物半導体の結晶成長方法として一般に知られる方法をなんら問題なく利用することができ、例えば、MOCVD 法、MBE 法（分子線エピタキシー法）、スパッタ法および HVPE 法（ハイドライド気相成長法）などを用いることができる。

中間層 1 2 上に形成される n 型半導体層 1 4 の配向は、中間層 1 2 の状態による影響が大きい。これまで結晶性の高い中間層 1 2 を得るためには MOCVD 法が望ましいとされてきた。しかし、MOCVD 法は基板 1 1 上で分解した原料から生成した金属を積み上げる方法であり、最初に核が形成され、次いで核の周囲に結晶が成長し、次第に成膜されてゆくの、中間層 1 2 のように薄い膜を形成する場合には、均一性が不十分となる場合がある。これに対してスパッタ法は、薄い膜を形成する場合でも均一な膜が生成でき、量産にも適しているため、好ましい。単結晶構造を有する中間層 1 2 や、適切な構造を有する柱状結晶（多結晶）構造を有する中間層 1 2 を容易に形成できる。

【0061】

中間層 1 2 をスパッタ法によって形成する場合、DC スパッタ法ではターゲット表面のチャージアップを招き、成膜速度が安定しない可能性が高いので、パルス DC にするか、RF（高周波）スパッタ法とすることが望ましい。また、スパッタ法では、磁場内にプラズマを閉じ込めることによって効率をあげる方法が一般的に実用されており、均一な膜厚を得る方法として、マグネットの位置をターゲット内で移動させることが望ましい。具体的な運動の方法は、装置により選択することができ、揺動させたり、回転運動させたりすることができる。このような操作により、単結晶構造を有する中間層 1 2 または適切な密度で結晶界面の明瞭な柱状結晶を有する中間層 1 2 を成膜することができる。

【0062】

中間層 1 2 をスパッタ法によって形成する場合、成膜時の基板温度は、300 ~ 800 であることが望ましい。上記範囲未満の温度では、中間層 1 2 によって基板 1 1 の全面を覆うことができず、基板 1 1 面が露出することがある。また、上記範囲を超える温度では、金属原料のマイグレーションが活発となり、結晶界面の明瞭な柱状結晶を有する中間層 1 2 を形成し難くなるため好ましくない。また、上記範囲を超える温度では、結晶の成長速度が極端に小さくなるため、単結晶構造を有する中間層 1 2 を形成し難くなるため好ましくない。

【0063】

また、中間層 1 2 をスパッタ法によって形成する場合、チャンバ内の圧力を 0.3 Pa 以上とすることが望ましい。上記範囲未満の圧力では、窒素の存在量が少なくなり、スパッタされた金属が窒化物とならずに付着する場合がある。また、チャンバ内の圧力の上限は特に定めるものではないが、プラズマを発生させることができる程度の低圧が必要なこととは言ってもない。

【0064】

また、チャンバ内の窒素原料と不活性ガスの流量に対する窒素流量の比には望ましい範囲があり、窒素流量比が低過ぎる場合には、スパッタ金属が金属のまま付着する恐れがあるし、高過ぎる場合には、不活性ガスの量が少なく、スパッタ速度が低下してしまう。

単結晶構造を有する中間層 1 2 を形成する場合、チャンバ内の窒素原料と不活性ガスの流量に対する窒素流量の比を、窒素原料が 50% ~ 100%、望ましくは 75% となるようにすることが望ましい。

10

20

30

40

50

また、柱状結晶（多結晶）有する中間層 1 2 を形成する場合、チャンバ内の窒素原料と不活性ガスの流量に対する窒素流量の比を、窒素原料が 1 % ~ 5 0 %、望ましくは 2 5 % となるようにすることが望ましい。

ここで、本技術に用いる窒素原料としては、一般に知られている化合物をなんら問題なく用いることができる。窒素ガスを窒素原料として用いた場合、装置が簡便で済む代わりに、高い反応速度は得られない。しかし、窒素を電界や熱などにより分解してから装置に導入することで、アンモニアには劣るが利用可能な程度の成膜速度を得ることができる。したがって、装置コストとの兼ね合いを考えると、窒素が最も好適な窒素原料である。

【 0 0 6 5 】

中間層 1 2 をスパッタ法によって形成する場合、成膜時の基板温度、チャンバ内の圧力、チャンバ内の窒素と不活性ガスの流量に対する窒素流量の比を、上記範囲とすることにより、単結晶構造を有する中間層 1 2 または結晶界面が明瞭で柱状結晶を望ましい密度で含む中間層 1 2 を成膜することができる。

このように中間層 1 2 をスパッタ法によって形成することで、単結晶構造または結晶面の揃った柱状結晶層からなる面内均一性の良好な中間層 1 2 を形成することができ、面内均一性の良好な中間層 1 2 上に結晶配向性の高い n 型半導体層 1 4 をエピ成長させることができる。

例えば、中間層 1 2 の上に M O C V D 法で G a N 系化合物半導体を形成することで、中間層 1 2 を構成する単結晶構造または結晶面の揃った柱状結晶層を成長核として、転位密度の小さい結晶成長が実現される。

【 0 0 6 6 】

その後、中間層 1 2 の成膜された基板 1 1 上に、図 5 に示すように下地層 1 4 a を形成する。

中間層 1 2 の成膜後、下地層 1 4 a を成膜する前のアニールは特段に必要ではない。ただし、下地層 1 4 a を M O C V D 法、M B E 法および H V P E 法などの気相化学成膜方法で実施する場合には、一般に、成膜を伴わない昇温過程と温度の安定化過程を経る。これらの過程において、V 族の原料ガスを流通することが多いので、結果としてアニールの効果を生じている可能性はある。しかし、これは特段にアニールの効果を利用するものではなく、一般的な公知の技術である。

【 0 0 6 7 】

また、その際に流通するキャリアガスは、一般的なものを問題なく使用することができる。つまり M O C V D など気相化学成膜方法で広く用いられる水素や窒素を用いてよい。しかし、化学的に比較的活性な水素中での昇温は結晶性や結晶表面の平坦性を損なう恐れがあり、長時間行わないほうが良い。

【 0 0 6 8 】

下地層 1 4 a を積層する手法は、上記のような転位のループ化を生じさせることができる結晶成長手法であればよく、特に限定されないが、M O C V D 法、M B E 法および H V P E 法は、マイグレーションによって転位をループ化させることができるため、良好な結晶性の膜を成膜することができ、好適である。中でも、M O C V D 法は、最も結晶性の良い膜を得ることができるので、好ましい。

【 0 0 6 9 】

下地層 1 4 a を M O C V D 法で成膜する場合の基板温度は、8 0 0 以上であることが望ましい。基板温度が高いと、原子のマイグレーションを生じやすく、転位のループ化が容易に進行するからである。更に望ましくは 9 0 0 以上、特に望ましくは 1 0 0 0 以上である。また、下地層 1 4 a を成膜するときの基板温度は、結晶の分解する温度よりも低温とされることは言うまでもなく、1 2 0 0 以上の温度は、下地層 1 4 a の成長温度としては適合しない。

【 0 0 7 0 】

また、下地層 1 4 a は、スパッタ法を用いて成膜することもできる。下地層 1 4 a をスパッタ法によって成膜する場合、M O C V D 法や M B E 法に比較して装置を簡便に作るこ

10

20

30

40

50

とができ、好ましい。

【0071】

下地層14aをスパッタ法で成膜する場合、例えば、スパッタ装置のチャンバ内にアルゴン及び窒素ガスを導入した後、基板11の温度を昇温させ、基板11側に高周波バイアスを印加するとともに、金属Gaからなるスパッタターゲット側にパワーを印加し、チャンバ内の圧力を所定の圧力に保ちながら、基板11上に下地層14aを成膜することができる。

【0072】

スパッタ法としては、RF（高周波）スパッタ法、又はDCスパッタ法を用いることにより、スパッタターゲットに対してパワーを印加することが好ましい。

10

【0073】

また、下地層14aをスパッタ法によって成膜する場合、窒化物原料をリアクタ内に流通させるリアクティブスパッタ法によって成膜する方法とすることが、反応を制御することで結晶性を良好に保つことができ、その良好な結晶性を安定に再現することができる点でより好ましい。

リアクティブスパッタ法を用いた場合には、成膜レートを容易にコントロールできることから、RFスパッタ法を用いることがより好ましい。DCスパッタ法では、リアクティブスパッタ法を用いる場合、DCで電場を連続してかけた状態にするとスパッタターゲットがチャージアップしてしまい、成膜レートを高くすることが困難になるため、パルスのバイアスを与えるパルス式DCスパッタ法とすることが好ましい。

20

また、スパッタ法で半導体層を成膜する際、スパッタターゲットに対し、磁場を回転させるか、又は磁場を揺動させることが好ましい。特に、RFスパッタを用いた場合、均一な膜厚を得る方法として、マグネットの位置をスパッタターゲット内で移動させつつ成膜することが好ましい。

【0074】

本実施形態では、窒素(N_2)とアルゴン(Ar)の流量に対する N_2 流量の比が20%以上90%以下の範囲であることが好ましい。この範囲を下回る N_2 流量比だと、スパッタ金属が金属のまま基板に付着してしまう。また、上記範囲を上回る流量比だと、Arの量が少な過ぎるためにスパッタレートが低下してしまう。

また、本実施形態では、スパッタ装置のチャンバ内におけるガス中の N_2 濃度を高くし、さらに、重量の大きな気体であるArを上記流量比で混合している。チャンバ内のガスが N_2 のみの場合だと、金属ターゲットを叩く力が弱いために、成膜レートが制限されてしまう。本実施形態では、重量の大きなArと上記流量比で混合することにより、成膜レートを向上させるとともに、基板11上におけるマイグレーションを活発にすることができる。

30

【0075】

本実施形態で用いる窒素原料としては、上述した N_2 ガスのほか、一般に知られている窒素化合物を何ら制限されることなく用いることができるが、アンモニアや N_2 ガスは取り扱いが簡単であるとともに、比較的安価で入手可能であることから好ましい。窒素ガスは、電界や熱等によって分解してから装置に導入する方法とすれば、アンモニアよりは低いものの工業生産的に利用可能な程度の成膜速度を得ることができるため、装置コストとの兼ね合いを考えると、 N_2 ガスが最も好適な窒素源である。

40

【0076】

本実施形態の製造方法では、下地層14aを成膜する際、チャンバ内の圧力を10Pa以下とすることが好ましく、5Pa以下とすることがより好ましく、1Pa以下とすることが最も好ましい。チャンバ内の圧力が上記範囲であれば、結晶性の良好な下地層14aを高効率で成膜することができる。チャンバ内の圧力が10Paを超えると、結晶性の良好な下地層14aが得られなくなる虞がある。

また、スパッタ法で下地層14aを成膜する際のチャンバ内の圧力は、0.3Pa以上であることが好ましい。チャンバ内の圧力を0.3Pa未満とすると、窒素の存在量が小

50

さくなり過ぎ、スパッタされた金属が窒化物とまらない状態で基板 11 上に付着する虞がある。

【0077】

下地層 14 a をスパッタで成膜する際の基板 11 の温度は、400 ~ 1300 の範囲とすることが好ましい。下地層 14 a を成膜する際の基板 11 の温度を高くすることによって原子のマイグレーションが生じやすくなり、転位のループ化が容易に進行する。また、下地層 14 a を成膜する際の基板 11 の温度は、結晶の分解する温度よりも低温である必要があるため、1300 未満とすることが好ましい。

本実施形態の製造方法では、スパッタ法による下地層 14 a 成膜時の基板 11 の温度を上記範囲とすることにより、基板 11 に到達した反応種（金属ターゲットから取り出された金属）の結晶表面での運動を活性化することができ、結晶性の良い下地層 14 a が得られる。

10

【0078】

また、スパッタ法によって下地層 14 a を成膜する際の成膜速度は 0.1 ~ 10 nm / sec の範囲とすることが好ましい。成膜レートが 0.1 nm / s 未満だと、成膜プロセスが長時間となってしまう、工業生産的に無駄が大きくなる。また、成膜レートが 10 nm / s を超えると、良好な膜を得ることが困難となる。

【0079】

なお、スパッタ法を用いて下地層 14 a を成膜することで、MOCVD 法に比べ、成膜レートを高くすることができ、成膜（製造）時間を短縮することが可能となる。また、製造時間が短縮されることにより、スパッタ装置内のチャンバ内に不純物が入り込むのを最小限に抑制することができ、高品質な下地層 14 a を成膜できる。

20

【0080】

その後、下地層 14 a の成膜された基板 11 上に、図 5 に示すように n 型コンタクト層 14 b、n 型クラッド層 14 c、障壁層 15 a と井戸層 15 b とからなる発光層 15、p 型半導体層 16 の p 型クラッド層 16 a および p 型コンタクト層 16 b を、結晶性の良好な層の形成可能な MOCVD（有機金属化学気相成長法）法で成膜する。

【0081】

MOCVD 法では、キャリアガスとして水素（ H_2 ）または窒素（ N_2 ）、III 族原料である Ga 源としてトリメチルガリウム（TMG）またはトリエチルガリウム（TEG）、Al 源としてトリメチルアルミニウム（TMA）またはトリエチルアルミニウム（TEA）、In 源としてトリメチルインジウム（TMI）またはトリエチルインジウム（TEI）、V 族原料である N 源としてアンモニア、ヒドラジンなどが用いられる。

30

【0082】

また、ドーパント元素の n 型不純物には、Si 原料としてモノシラン（ SiH_4 ）またはジシラン（ Si_2H_6 ）を、Ge 原料としてゲルマンガス（ GeH_4 ）や、テトラメチルゲルマニウム（ $(CH_3)_4Ge$ ）やテトラエチルゲルマニウム（ $(C_2H_5)_4Ge$ ）等の有機ゲルマニウム化合物を利用できる。

ドーパント元素の p 型不純物には、Mg 原料として例えばビスシクロペンタジエニルマグネシウム（ Cp_2Mg ）またはビスエチルシクロペンタジエニルマグネシウム（ $EtCp_2Mg$ ）を用いることができる。

40

【0083】

このようにして得られた図 5 に示す積層半導体 10 の p 型コンタクト層 16 b 上に、フォトリソグラフィ法を用いて透光性正極 17 および正極ボンディングパッド 18 を順次形成する。

次いで、透光性正極 17 および正極ボンディングパッド 18 の形成された積層半導体 10 をドライエッチングすることにより、n 型コンタクト層 14 b 上の露出領域 14 d を露出させる。

その後、露出領域 14 d 上に、フォトリソグラフィ法を用いて負極 19 を形成することにより、図 3 および図 4 に示す発光素子 1 が得られる。

50

【0084】

本実施形態の発光素子1は、基板11上に設けられた中間層12上に設けられ、(0002)面のロッキングカーブ半価幅が100arcsec以下であり、かつ(1010)面のロッキングカーブ半価幅が300arcsec以下である下地層14aを備えているので、下地層14a中の貫通転位が少なく、優れた発光特性が得られる。

【0085】

また、本実施形態の発光素子1の製造方法によれば、中間層12をスパッタ法で形成するので、薄くても均一な中間層12を形成することができ、中間層12上に容易に(0002)面のロッキングカーブ半価幅が100arcsec以下であり、かつ(1010)面のロッキングカーブ半価幅が300arcsec以下である下地層14aを形成することができる。したがって、本発明の発光素子1の製造方法によれば、半導体層20中の貫通転位が少なく、優れた発光特性を有する発光素子1を容易に提供できる。

10

また、本実施形態の発光素子1は、貫通転位の少ない下地層14a上にn型半導体層14のn型コンタクト層14bとn型クラッド層14cと、発光層15、p型半導体層16を順に形成したものである。発光層15およびp型半導体層16中の貫通転位も少ないものとなり、半導体層20中の貫通転位が少なく、優れた発光特性を有するものとなる。

【0086】

なお、本発明の発光素子1の製造方法は、上述した例に限定されるものではなく、半導体層20の成膜は、スパッタ法、MOCVD法(有機金属化学気相成長法)、HVPE法(ハライド気相成長法)、MBE法(分子線エピタキシー法)等、半導体層を成長させることのできる如何なる方法とを組み合わせてもよい。

20

【0087】

また、本発明のIII族窒化物化合物半導体素子は、上述の発光素子の他、レーザ素子や受光素子等の光電気変換素子、又は、HBTやHEMT等の電子デバイスなどに用いることができる。これらの半導体素子は、各種構造のものが多数知られており、本発明に係るIII族窒化物化合物半導体発光素子の構造は、これら周知の素子構造を含めて何ら制限されない。

【0088】

[ランプ]

30

本発明のランプは、本発明の発光素子が用いられてなるものである。

本発明のランプとしては、例えば、本発明の発光素子と蛍光体とを組み合わせるものを挙げることができる。発光素子と蛍光体とを組み合わせたランプは、当業者周知の手段によって当業者周知の構成とすることができる。また、従来より、発光素子と蛍光体とを組み合わせることによって発光色を変える技術が知られており、本発明のランプにおいてもこのような技術を何ら制限されることなく採用することが可能である。

【0089】

例えば、ランプに用いる蛍光体を適正に選定することにより、発光素子より長波長の発光を得ることも可能となり、また、発光素子自体の発光波長と蛍光体によって変換された波長とを混ぜることにより、白色発光を呈するランプとすることもできる。

40

【0090】

図6は、本発明に係るIII族窒化物化合物半導体発光素子を用いて構成したランプの一例を模式的に示した概略図である。図6に示すランプ3は、砲弾型のものであり、図3に示す発光素子1が用いられている。図6に示すように、発光素子1の正極ボンディングパッド(図3に示す符号18参照)がワイヤー33で2本のフレーム31、32の内一方(図6ではフレーム31)に接着され、発光素子1の負極(図4に示す符号19参照)がワイヤー34で他方のフレーム32に接合されることにより、発光素子1が実装されている。また、発光素子1の周辺は、透明な樹脂からなるモールド35で封止されている。

【0091】

本発明のランプは、本発明の発光素子1が用いられてなるものである。優れた発光

50

特性を備えたものとなる。

また、本発明のランプは、一般用途の砲弾型、携帯のバックライト用途のサイドビュー型、表示器に用いられるトップビュー型等いかなる用途にも用いることができる。

【実施例】

【0092】

次に、本発明を、実施例および比較例を示してより詳細に説明するが、本発明はこれらの実施例にのみ限定されるものではない。

【0093】

[実施例1]

サファイア基板のc面上に、中間層としてRFスパッタ法を用いてAlNからなる層を形成し、その上に下地層としてMOCVD法を用いてGaNからなる層を形成した。

【0094】

(中間層の形成)

C面サファイア基板をスパッタ装置に導入し、チャンバ内で基板を500℃まで加熱し、窒素ガスを15sccmの流量で導入した。その後、チャンバ内の圧力を1Paに保持して、基板側に500Wの高周波バイアスを印加し、窒素プラズマに晒すことで、基板表面を洗浄した。

続いて、アルゴンと窒素ガスを導入し、基板温度を500℃とした。その後2000Wの高周波パワーをターゲット側に印加し、炉内の圧力を0.5Paに保ち、アルゴンガスを5sccm、窒素ガスを15sccm流通させた条件(ガス全体に対する窒素の比は75%)で、サファイア基板のc面上にAlN層の成膜を開始した。そして、0.08nm/sの成長速度で単結晶構造を有する厚み50nmのAlN層を成膜後、プラズマを立てるのを止め、基板温度を低下させた。

【0095】

なお、中間層の形成には、スパッタ装置として、高周波式の電源を持ち、ターゲット内でマグネットの位置を動かす機構を有するものを用い、ターゲットとして、金属Alターゲットを用いた。そして、ターゲット内のマグネットは、基板洗浄の際も成膜の際も揺動させておいた。

【0096】

(下地層の形成)

スパッタ装置から取り出したAlNの成膜された基板を、MOCVD炉に導入し、以下に示す方法によりGaN層の成膜を行った。

まず、MOCVD炉内に配置された加熱用のカーボン製サセプタ上に基板を載置し、MOCVD炉内に窒素ガスを流通した後、ヒータを作動させて基板温度を1150℃に昇温させた。その後、温度が安定したのを確認し、MOCVD炉内へのアンモニアの流通を開始した。続いて、トリメチルガリウム(TMGa)の蒸気を含む水素をMOCVD炉内へ供給し、基板上へのGaN層の成膜を開始した。この時、V族元素/III族元素比が6000となるように調節した。約1時間に亘ってアンドープで2μmの膜厚のGaN層の成長を行った後、原料のMOCVD炉への供給を終了して成長を停止した。その後、ヒータへの通電を停止して、基板の温度を室温まで降温した。取り出した基板は無色透明のミラー状を呈した。

【0097】

[実施例2]

実施例2においては、基板表面を洗浄する際の条件と中間層を成膜する条件以外は、実施例1と同様にして、基板上に中間層および下地層を形成した。

【0098】

(中間層の形成)

C面サファイア基板をスパッタ装置に導入し、チャンバ内で基板を750℃まで加熱し、窒素ガスを15sccmの流量で導入した。その後、チャンバ内の圧力を0.08Paに保持して、基板側に500Wの高周波バイアスを印加し、窒素プラズマに晒すことで、

10

20

30

40

50

基板表面を洗浄した。

続いて、アルゴンと窒素ガスを導入し、基板温度を500℃まで低下させた。その後2000Wの高周波パワーをターゲット側に印加し、炉内の圧力を0.5Paに保ち、アルゴンガスを15sccm、窒素ガスを5sccm流通させた条件(ガス全体に対する窒素の比は25%)で、サファイア基板のc面上にAlN層の成膜を開始した。そして、0.08nm/sの成長速度で柱状結晶の集合体(多結晶)からなる厚み50nmのAlN層を成膜後、プラズマを立てるのを止め、基板温度を低下させた。

【0099】

その後、実施例1と同様にして、下地層の成膜を行った。MOCVD炉内から取り出した基板は無色透明のミラー状を呈した。

【0100】

[比較例]

実施例1と同様のサファイア基板のc面上に、中間層としてMOCVD法を用いてAlNからなる層を形成し、その上に実施例1と同様にして、実施例1と同様の下地層を形成した。

【0101】

(中間層および下地層の形成)

MOCVD炉内に配置された加熱用のカーボン製サセプタ上にC面サファイア基板を載置し、MOCVD炉内に窒素ガスを流通した後、ヒータを作動させて基板温度を1150℃に昇温させた。その後、温度が安定したのを確認し、MOCVD炉内にトリメチルアルミニウム(TMA)の蒸気を含む水素を供給して、基板上へのAlNの付着を開始した。そして、約10分に亘りAlNの成長を行った後、実施例1と同様にしてGaN層の成長を行った。取り出した基板は無色透明のミラー状を呈した。

【0102】

そして、基板上に実施例1および実施例2の中間層および下地層の形成された20個の試験体と、基板上に比較例の中間層および下地層の形成された40個の試験体とを用意し、それぞれGaN層のロッキングカーブ半価幅を測定した。ロッキングカーブ半価幅の測定は(0002)面と(10-10)面とについて行った。

【0103】

X線源としては、CuK α 線を使い、発散角が0.01°の入射光を使ってスペクトリス社製PANalytical X'pert Pro MRD装置を使って測定した。

また、(0002)面のロッキングカーブ測定は(0002)面に相当するピークを見つけた後、 2θ を最適化し、その後、Psiを調整してピーク強度が最大になる方向でのロッキングカーブ測定を行なうことによって行なった。このようにロッキングカーブ測定を行なうことにより、基板の装置への取り付け方や基板に対する配向方向が被測定試料によって違うことによる誤差を補正し、実施例1および実施例2と、比較例との間でのロッキングカーブ半価幅の比較を可能とした。

【0104】

(10-10)面のロッキングカーブ測定は、X線が全反射する条件で面内を透過するX線を用いて行った。具体的には水平に置いた被測定試料に対して垂直方向に発散するX線源を水平方向から入射すると一部が全反射するので、そのX線を利用した。また、検出器を(10-10)面相当の 2θ 位置に固定してスキャンを行った。そして、六回対称のピークが測定され、最大強度を示すピーク位置に光学系を固定した後、 2θ 及びPsiを最適化して、ロッキングカーブ測定を行った。

【0105】

実施例1および実施例2、比較例のGaN下地層のロッキングカーブ半価幅を測定した結果、実施例1および実施例2のGaN層の(0002)面のロッキングカーブ半価幅は40arcsec程度であり、(10-10)面の半価幅は220~250arcsecの範囲であった。

これに対し、比較例のGaN層の(0002)面のロッキングカーブ半価幅は200a

10

20

30

40

50

arcsec程度であり、(10-10)面の半価幅は400~500arcsecの範囲であった。

【0106】

実施例1および実施例2と、比較例とのGaN層のロッキングカーブ半価幅の結果の差は、MOCVD法で成膜した中間層に比べてスパッタ法で成膜したAlN層の方が、面内均一性に優れているため、AlN層上に成長させたGaN層の配向性が良くなったためと考えられる。

【0107】

[実施例3]

次に、実施例3として、図3及び図4(図5の積層半導体10も参照)に示すような発光素子1を作成し、図6に示すような、発光素子1が用いられてなるランプ3(発光ダイオード:LED)を作成した。

10

本例においては、まず、サファイアからなる基板11のc面上に、中間層12としてRFスパッタ法を用いてAlNからなる単結晶の層を形成したものの上に、下地層14aとして、MOCVD法を用いて、GaN(III族窒化物化合物半導体)からなる層を以下の方法で形成した後、各層を積層した。

【0108】

『中間層の形成』

まず、表面を鏡面研磨した直径2インチの(0001)c面サファイアからなる基板11を、チャンバ中へ導入した。この際、高周波式のスパッタ装置を用い、ターゲットとしては、金属Alからなるものを用いた。

20

そして、チャンバ内で基板11を500℃まで加熱し、窒素ガスを導入した後、基板11側に高周波バイアスを印加し、窒素プラズマに晒すことによって基板11表面を洗浄した。

【0109】

次いで、基板11の温度はそのままに、スパッタ装置内にアルゴン及び窒素ガスを導入した。そして、高周波バイアスを金属Alターゲット側に印加し、炉内の圧力を0.5Paに保ち、Arガスを5sccm、窒素ガスを15sccm流通させた条件下で、サファイアからなる基板11上に、AlNからなる単結晶の中間層12を成膜した。そして、予め測定した成膜速度に従い、規定した時間の処理により、40nmのAlN(中間層12)を成膜後、プラズマ動作を停止し、基板11の温度を低下させた。

30

【0110】

そして、基板11上に形成した中間層12のX線ロッキングカーブ(XRC)を、X線測定装置(スペクトリス社製、型番:X'pert Pro MRD)を用いて測定した。この測定は、CuK α 線X線発生源を光源として用いて行なった。この結果、中間層12のXRC半値幅は0.1°と優れた特性を示しており、中間層12が良好に配向していることが確認できた。

【0111】

『下地層の形成』

次いで、AlN(中間層12)が成膜された基板11を、スパッタ装置内から取り出してMOCVD装置内に搬送し、中間層12上に、以下の手順でGaNからなる下地層14aを成膜した。

40

まず、当該基板11を反応炉(MOCVD装置)内に導入した。次いで、反応炉内に窒素ガスを流通させた後、ヒータを作動させて、基板温度を室温から500℃に昇温した。そして、基板の温度を500℃に保ったまま、NH₃ガスおよび窒素ガスを流通させて、気相成長反応炉内の圧力を95kPaとした。続いて、基板温度を1000℃まで昇温させ、基板の表面をサーマルクリーニング(thermal cleaning)した。なお、サーマルクリーニングの終了後も、気相成長反応炉内への窒素ガスの供給を継続させた。

【0112】

50

その後、アンモニアガスの流通を続けながら、水素雰囲気中で基板の温度を1100に昇温させるとともに、反応炉内の圧力を40kPaとした。基板温度が1100で安定するのを確認した後、トリメチルガリウム(TMG)の、気相成長反応炉内への供給を開始し、中間層12上に下地層14aを構成するIII族窒化物化合物半導体(GaN)を成膜する工程を開始した。このようにしてGaNを成長させた後、TMGの配管のバルブを切り替え、原料の反応炉への供給を終了してGaNの成長を停止した。

以上の工程により、基板11上に成膜された単結晶組織のAlNからなる中間層12の上に、アンドープで8μmの膜厚のGaNからなる下地層14aを成膜した。

【0113】

『n型コンタクト層の形成』

下地層14aの形成に引き続き、同じMOCVD装置によってGaNからなるn型コンタクト層14bの初期層を形成した。この際、n型コンタクト層14bにはSiをドーブした。結晶成長は、Siのドーパント原料としてSiH₄を流通させた以外は、下地層と同じ条件によって行った。

【0114】

以上説明したような工程により、表面に逆スパッタを施したサファイアからなる基板11上に、単結晶組織を持つAlNの中間層12を形成し、その上にアンドープで8μmの膜厚のGaN層(n型下地層14a)と、 $5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ のキャリア濃度を持つ2μmのSiドーブGaN層(n型コンタクト層14bをなす初期層)を形成した。成膜後に装置内から取り出した基板は無色透明であり、GaN層(ここではn型コンタクト層14bの初期層)の表面は鏡面であった。

【0115】

上述のようにして形成したSiドーブGaN層のX線ロックアップカーブ(XRC)を、X線測定装置(スペクトリス社製、型番:X'pert Pro MRD)を用いて測定した。この測定は、Cu線X線発生源を光源として用い、対称面である(0002)面と非対称面である(10-10)面で行った。一般的に、III族窒化物化合物半導体の場合、(0002)面のXRCスペクトル半値幅は結晶の平坦性(モザイシティ)の指標となり、(10-10)面のXRCスペクトル半値幅は転位密度(ツイスト)の指標となる。この測定の結果、本発明の製造方法で作製したSiドーブGaN層(n型コンタクト層)は、(0002)面の測定では半値幅46arcsec、(10-10)面では220arcsecを示した。

【0116】

『n型クラッド層及び発光層の形成』

上記手順で作製したn型コンタクト層14b上に、MOCVD法により、n型クラッド層14c及び発光層15を積層した。

【0117】

『n型クラッド層14cの形成』

上記手順でn型コンタクト層14bを成長させた基板をMOCVD装置に導入した後、アンモニアを流通させながら、キャリアガスを窒素として、基板温度を760へ低下させた。

この際、炉内の温度の変更を待つ間に、SiH₄の供給量を設定した。流通させるSiH₄の量については事前に計算を行い、Siドーブ層の電子濃度が $4 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ となるように調整した。アンモニアはそのままの流量で炉内へ供給し続けた。

【0118】

次いで、アンモニアをチャンバ内に流通させながら、SiH₄ガスと、バブリングによって発生させたTMI及びTEGの蒸気を炉内へ流通させ、Ga_{0.99}In_{0.01}Nからなる層を1.7nm、GaNからなる層を1.7nmで各々成膜した。このような成膜処理を19サイクル繰り返した後、最後に、Ga_{0.99}In_{0.01}Nからなる層を1.7nmで再度、成長させた。また、この工程処理を行なっている間は、SiH₄の流通を継続した。これにより、SiドーブのGa_{0.99}In_{0.01}NとGaNの超格子

10

20

30

40

50

構造からなる n 型クラッド層 14c を形成した。

【0119】

『発光層の形成』

発光層 15 は、Ga_{0.92}In_{0.08}N からなる障壁層 15a と、Ga_{0.92}In_{0.08}N からなる井戸層 15b とから構成され、多重量子井戸構造を有する。この発光層 15 の形成にあたっては、Si ドープの GaInN と GaN の超格子構造からなる n 型クラッド層 14c 上に、まず、障壁層 15a を形成し、この障壁層 15a 上に、In_{0.2}Ga_{0.8}N からなる井戸層 15b を形成した。本例では、このような積層手順を 6 回繰り返した後、6 番目に積層した井戸層 15b 上に、7 番目の障壁層 15a を形成し、多重量子井戸構造を有する発光層 15 の両側に障壁層 15a を配した構造とした（なお、図 3 及び図 5 においては、障壁層 15a を 6 層、井戸層 15b を 5 層とした例を示している）。

10

【0120】

まず、基板温度は 760 のままで TEGa と SiH₄ の炉内への供給を開始し、所定の時間 Si をドープした GaN からなる初期障壁層を 0.8 nm 形成し、TEGa と SiH₄ の供給を停止した。その後、サセプタの温度を 920 に昇温した。そして、TEGa と SiH₄ の炉内への供給を再開し、基板温度 920 のままで、さらに、1.7 nm の中間障壁層の成長を行った後、TEGa と SiH₄ の炉内供給を停止した。続いて、サセプタ温度を 760 に下げ、TEGa と SiH₄ の供給を開始し、さらに、3.5 nm の最終障壁層の成長を行った後、再び TEGa と SiH₄ の供給を停止して、GaN 障壁層の成長を終了した。上述のような 3 段階の成膜処理により、初期障壁層、中間障壁層及び最終障壁層の 3 層からなり、総膜厚が 6 nm の Si ドープ GaN 障壁層（障壁層 15a）を形成した。SiH₄ の量は、Si 濃度が $1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ になるように調整した。

20

【0121】

上記 GaN 障壁層（障壁層 15a）の成長終了後、TEGa と TMIn を炉内へ供給して井戸層の成膜処理を行ない、3 nm の膜厚を成す Ga_{0.92}In_{0.08}N 層（井戸層 15b）を形成した。

そして、Ga_{0.92}In_{0.08}N からなる井戸層 15b の成長終了後、TEGa の供給量の設定を変更した。引き続き、TEGa および SiH₄ の供給を再開し、2 層目の障壁層 15a の形成を行なった。

30

【0122】

上述のような手順を 6 回繰り返すことにより、6 層の Si ドープ GaN からなる障壁層 15a と、6 層の Ga_{0.92}In_{0.08}N からなる井戸層 15b を形成した。

【0123】

そして、6 層目の Ga_{0.92}In_{0.08}N からなる井戸層 15b を形成した後、引き続き 7 層目の障壁層の形成を行った。7 層目の障壁層の形成処理においては、まず、SiH₄ の供給を停止し、アンドープ GaN からなる初期障壁層を形成した後、TEGa の炉内への供給を続けたままで基板温度を 920 に昇温し、この基板温度 920 にて規定の時間で中間障壁層の成長を行なった後、TEGa の炉内への供給を停止した。続いて、基板温度を 760 に下げ、TEGa の供給を開始し、最終障壁層の成長を行った後、再び TEGa の供給を停止し、GaN 障壁層の成長を終了した。これにより、初期障壁層、中間障壁層及び最終障壁層の 3 層からなり、総膜厚が 4 nm のアンドープ GaN からなる障壁層を形成した（図 3 における発光層 15 の内、最上層の障壁層 15a を参照）。

40

【0124】

以上の手順にて、厚さが不均一な井戸層（図 3 における n 型半導体層 14 側から 1 ~ 5 層目の井戸層 15b）と、厚さが均一な井戸層（図 3 における n 型半導体層 14 側から 6 層目の井戸層 15b を参照）を含んだ多重量子井戸構造の発光層 15 を形成した。

【0125】

『p 型半導体層の形成』

上述の各工程に引き続き、同じ MOCVD 装置を用いて、4 層のノンドープの Al_{0.1}

50

$\text{Al}_{0.06}\text{Ga}_{0.94}\text{N}$ と3層のMgをドーブしたGaNよりなる超格子構造を持つp型クラッド層16aを成膜し、更に、その上に膜厚が200nmのMgドーブGaNからなるp型コンタクト層16bを成膜し、p型半導体層16とした。

【0126】

まず、 NH_3 ガスを供給しながら基板温度を975℃へ昇温した後、この温度でキャリアガスを窒素から水素に切り替えた。続いて、基板温度を1050℃に変更した。そして、炉内へTMGaとTMAlを供給することにより、ノンドープの $\text{Al}_{0.06}\text{Ga}_{0.94}\text{N}$ からなる層2.5nmを成膜した。引き続き、インターバルを取らずに、TMAlのバルブを閉じて Cp_2Mg のバルブを開け、MgをドーブしたGaNの層を2.5nm成膜した。

10

以上のような操作を3回繰り返し、最後にアンドープ $\text{Al}_{0.06}\text{Ga}_{0.94}\text{N}$ の層を形成することにより、超格子構造よりなるp型クラッド層16aを形成した。

【0127】

その後、 Cp_2Mg とTMGaのみを炉内へ供給して、200nmのp型GaNよりなるp型コンタクト層16bを形成した。

【0128】

上述のようにして作製したLED用のエピタキシャルウェーハは、c面を有するサファイアからなる基板11上に、単結晶構造を有するAlN層(中間層12)を形成した後、基板11側から順に、8μmのアンドープGaN層(下地層14a)、 $5 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ の電子濃度を持つ2μmのSiドーブGaN初期層と200nmのSiドーブGaN再成長層とからなるn型コンタクト層14b、 $4 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ のSi濃度を有し、20層の1.7nmの $\text{Ga}_{0.99}\text{In}_{0.01}\text{N}$ と19層の1.7nmのGaNからなる超格子構造を有するクラッド層(n型クラッド層14c)、GaN障壁層に始まってGaN障壁層に終わり、層厚が6nmとされた6層のSiドーブのGaN障壁層(障壁層15a)と、層厚が3nmとされた6層のノンドープの $\text{Ga}_{0.92}\text{In}_{0.08}\text{N}$ 井戸層(井戸層15b)と、ノンドープのGaNからなる最終障壁層を備える最上位障壁層(図4における発光層15の内、最上層の障壁層15aを参照)からなる多重量子井戸構造(発光層15)、膜厚が2.5nmのノンドープ $\text{Al}_{0.06}\text{Ga}_{0.94}\text{N}$ からなる4つの層と、膜厚が2.5nmのMgドーブ $\text{Al}_{0.01}\text{Ga}_{0.99}\text{N}$ からなり超格子構造を有する3つの層から構成されるp型クラッド層16a、及び、膜厚が200nmのMgドーブGaNからなるp型コンタクト層16bから構成されるp型半導体層106を積層した構造を有する。

20

30

【0129】

[実施例4]

上記実施例3で説明したような発光層15を形成する工程において、7層の障壁層15aの内、最後に形成する障壁層についてはノンドープとした点を除き、実施例3と同様の操作手順により、n型半導体層14、発光層15、p型半導体層16が順次積層されてなる、LED用のエピタキシャルウェーハを製造した(なお、図3及び図5においては、障壁層15aを6層、井戸層15bを5層とした例を示している)。

【0130】

[実施例5]

上記実施例3及び実施例4で説明したような、発光層15上にp型半導体層16を形成する工程を以下に説明するような手順とした点を除き、実施例3と同様の操作手順により、LED用のエピタキシャルウェーハを製造した。

40

本例では、発光層15の上に、該発光層15の形成に用いたものと同じMOVPE装置を用いて、4層のノンドープの $\text{Al}_{0.06}\text{Ga}_{0.94}\text{N}$ と3層のMgをドーブした $\text{Al}_{0.01}\text{Ga}_{0.99}\text{N}$ よりなる超格子構造を持つp型クラッド層16aを、TMGa、TMAl及び Cp_2Mg の供給量を適宜調整して成膜し、更に、その上に膜厚が200nmのMgドーブGaNからなるp型コンタクト層16bを成膜し、p型半導体層16とした。

50

【 0 1 3 1 】

[実施例 6]

次いで、上記各実施例の方法で得られたLED用のエピタキシャルウェーハを用いて、LEDを作製した。

すなわち、例えば、上記エピタキシャルウェーハのMgドープGaN層(p型コンタクト層16b)の表面に、公知のフォトリソグラフィ技術によってIZOからなる透光性正極17を形成し、その上に、クロム、チタン及び金を順に積層した構造を有する正極ボンディングパッド18(p電極ボンディングパッド)を形成し、p側電極とした。さらに、ウェーハに対してドライエッチングを施し、n型コンタクト層14bのn側電極(負極)を形成する領域を露出させ、この露出領域14dにCr、Ti及びAuの3層が順に積層されてなる負極19(n側電極)を形成した。このような手順により、ウェーハ上に、図3及び図4に示すような形状を有する各電極を形成した。

10

【 0 1 3 2 】

そして、上述の手順でp側及びn側の各電極が形成されたウェーハについて、サファイアからなる基板11の裏面を研削及び研磨してミラー状の面とした。そして、このウェーハを350µm角の正方形のチップに切断し、図3及び図4に示すような発光素子1とした。そして、各電極が上になるようにリードフレーム上に配置し、金線でリードフレームへ結線して発光ダイオード(LED)とした(図6のランプ3を参照)。上述のようにして作製した発光ダイオードのp側およびn側の電極間に順方向電流を流したところ、電流20mAにおける順方向電圧は3.1Vであった。また、p側の透光性正極17を通して発光状態を観察したところ、発光波長は460nmであり、発光出力は20mWを示した。このような発光ダイオードの特性は、作製したウェーハのほぼ全面から作製された発光ダイオードについて、ばらつきなく得られた。

20

【 産業上の利用可能性 】

【 0 1 3 3 】

本発明で得られるIII族窒化物化合物半導体発光素子は、良好な結晶性を持つIII族窒化物化合物半導体層を有し、優れた発光特性を有する。従って、優れた発光特性を有する発光ダイオード、レーザダイオード、或いは電子デバイス等の半導体素子を作製することが可能となる。

30

【 図面の簡単な説明 】

【 0 1 3 4 】

【 図 1 】 図 1 は、発光素子の半導体層を構成するIII族窒化物化合物半導体の結晶の貫通転位を説明するための図であり、基板面に垂直方向から見た概略模式図である。

【 図 2 】 図 2 は、発光素子の半導体層を構成するIII族窒化物化合物半導体の(1010)面のロッキングカーブ半価幅と、発光素子のリーク電流との関係を示したグラフである。

【 図 3 】 図 3 は、本発明に係るIII族窒化物化合物半導体発光素子の一例を模式的に示した概略断面図である。

【 図 4 】 図 4 は、図 3 に示すIII族窒化物化合物半導体発光素子の平面構造を示す概略図である。

40

【 図 5 】 図 5 は、図 3 に示すIII族窒化物化合物半導体発光素子の製造方法を説明するための図であり、積層半導体を模式的に示した概略断面図である。

【 図 6 】 図 6 は、本発明に係るIII族窒化物化合物半導体発光素子を用いて構成したランプの一例を模式的に示した概略図である。

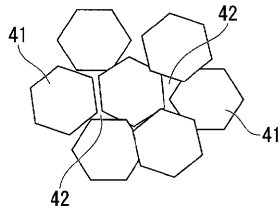
【 符号の説明 】

【 0 1 3 5 】

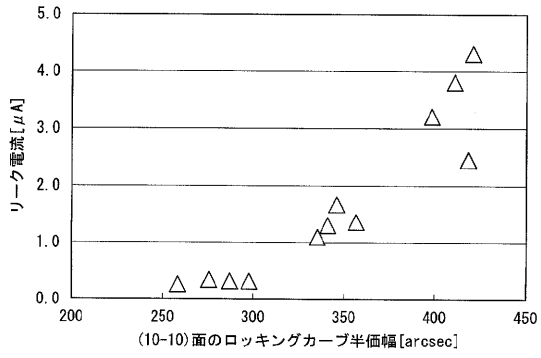
1...III族窒化物化合物半導体発光素子(III族窒化物化合物半導体素子、発光素子)、3...ランプ、10...積層半導体、11...基板、11a...表面、12...中間層、14...n型半導体層、14c...n型クラッド層、14a...下地層、15...発光層、16...p型半導体層、16a...p型クラッド層、17...透光性正極、20...半導体層

50

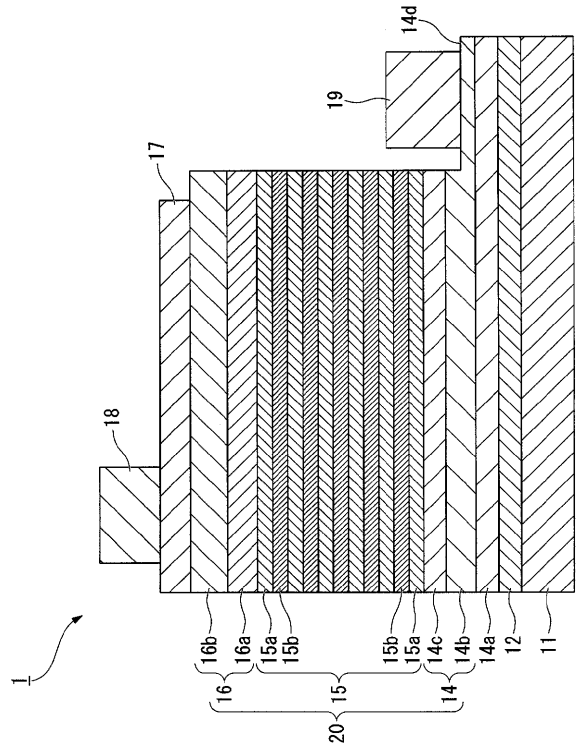
【 図 1 】



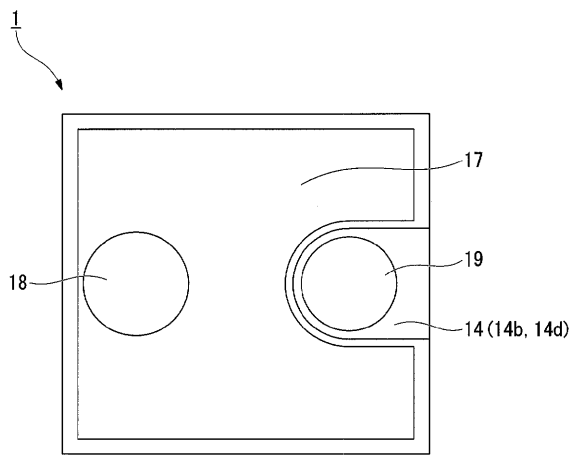
【 図 2 】



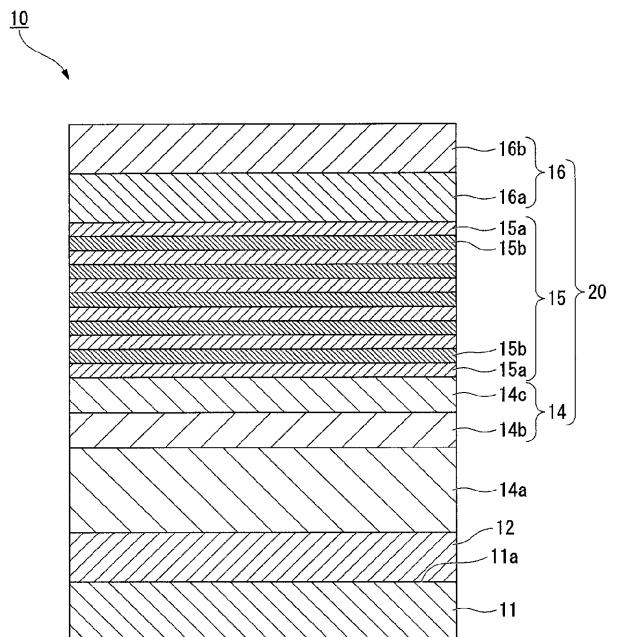
【 図 3 】



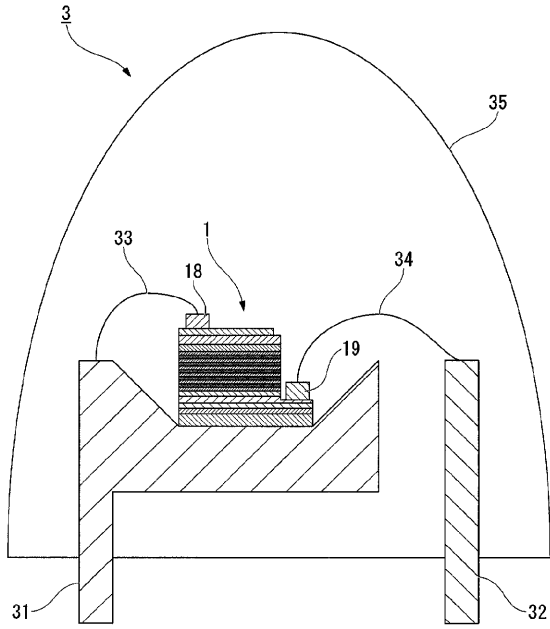
【 図 4 】



【 図 5 】



【 図 6 】



フロントページの続き

(72)発明者 加治 巨章

千葉県市原市八幡海岸通り5 - 1 昭和電工株式会社内

(72)発明者 横山 泰典

千葉県市原市八幡海岸通り5 - 1 昭和電工株式会社内

(72)発明者 酒井 浩光

千葉県市原市八幡海岸通り5 - 1 昭和電工株式会社内

Fターム(参考) 5F041 AA40 CA04 CA05 CA12 CA23 CA40 CA65 CA67 CA88 DA16

DA43 DB01

5F045 AA04 AA19 AB14 AF04 AF09 DA53 DA67