

(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2007-149779

(P2007-149779A)

(43) 公開日 平成19年6月14日(2007.6.14)

(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 FO 4 1
HO 1 L 21/205 (2006.01)	HO 1 L 21/205	5 FO 4 5

審査請求 未請求 請求項の数 25 O L (全 34 頁)

(21) 出願番号	特願2005-339246 (P2005-339246)	(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17年11月24日(2005.11.24)	(74) 代理人	100099759 弁理士 青木 篤
		(74) 代理人	100077517 弁理士 石田 敬
		(74) 代理人	100087413 弁理士 古賀 哲次
		(74) 代理人	100111903 弁理士 永坂 友康
		(74) 代理人	100082898 弁理士 西山 雅也

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 窒化ガリウム系化合物半導体積層物の製造方法

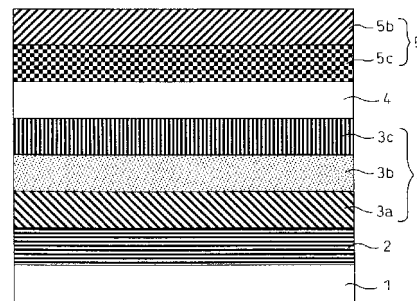
(57) 【要約】

【課題】 駆動電圧が低く、また、良好な発光出力を有し、且つ、時間的な発光出力の変化が少ない窒化ガリウム系化合物半導体発光素子の製造に有用な窒化ガリウム系化合物半導体積層物の製造方法を提供すること。

【解決手段】 基板上にn型半導体層、発光層およびp型半導体層を有し、発光層がn型半導体層とp型半導体層に挟まれて配置されており、該発光層が交互に井戸層と障壁層で積層された多重量子構造であり、かつ該井戸層の少なくとも一つは厚さが不均一である窒化ガリウム系化合物半導体積層物を製造する際に、該障壁層の成長速度を10 /分未満で行なうことを特徴とする窒化ガリウム系化合物半導体積層物の製造方法。

【選択図】 図1

図1



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

基板上に n 型半導体層、発光層および p 型半導体層を有し、発光層が n 型半導体層と p 型半導体層に挟まれて配置されており、該発光層が交互に井戸層と障壁層で積層された多重量子構造であり、かつ該井戸層の少なくとも一つは厚さが不均一である窒化ガリウム系化合物半導体積層物を製造する際に、該障壁層の成長速度を 10 / 分未満で行なうことを特徴とする窒化ガリウム系化合物半導体積層物の製造方法。

【請求項 2】

p 型半導体層に最も近い井戸層は厚さが均一である請求項 1 に記載の窒化ガリウム系化合物半導体積層物の製造方法。

10

【請求項 3】

n 型層に最も近い井戸層は厚さが均一である請求項 1 または 2 に記載の窒化ガリウム系化合物半導体積層物の製造方法。

【請求項 4】

均一な厚さ井戸層の膜厚が 1.8 ~ 5 nm である請求項 1 ~ 3 のいずれか一項に記載の窒化ガリウム系化合物半導体積層物の製造方法。

【請求項 5】

不均一な厚さの井戸層の、薄膜部の膜厚が 2.7 nm 以下である請求項 1 ~ 4 のいずれか一項に記載の窒化ガリウム系化合物半導体積層物の製造方法。

【請求項 6】

多重量子井戸構造が 3 ~ 10 回積層された構造である請求項 1 ~ 5 のいずれか一項に記載の窒化ガリウム系化合物半導体積層物の製造方法。

20

【請求項 7】

障壁層が GaN、AlGaN および井戸層を形成する InGaN よりも In 比率の小さい InGaN から選ばれた窒化ガリウム系化合物半導体である請求項 1 ~ 6 のいずれか一項に記載の窒化ガリウム系化合物半導体積層物の製造方法。

【請求項 8】

障壁層が GaN である請求項 7 に記載の窒化ガリウム系化合物半導体積層物の製造方法。

【請求項 9】

障壁層がドーパントを含む請求項 1 ~ 8 のいずれか一項に記載の窒化ガリウム系化合物半導体積層物の製造方法。

30

【請求項 10】

ドーパントが、C、Si、Ge、Sn、Pb、O、S、Se、Te、Po、Be、Mg、Ca、Sr、Ba、Ra の群から選ばれた少なくとも 1 種類である請求項 9 に記載の窒化ガリウム系化合物半導体積層物の製造方法。

【請求項 11】

ドーパントの濃度が $1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ から $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ である請求項 9 または 10 に記載の窒化ガリウム系化合物半導体積層物の製造方法。

【請求項 12】

障壁層の膜厚が 7 nm ~ 50 nm である請求項 1 ~ 11 のいずれか一項に記載の窒化ガリウム系化合物半導体積層物の製造方法。

40

【請求項 13】

障壁層の膜厚が 14 nm 以上である請求項 12 に記載の窒化ガリウム系化合物半導体積層物の製造方法。

【請求項 14】

井戸層が In を含む請求項 1 ~ 13 のいずれか一項に記載の窒化ガリウム系化合物半導体積層物の製造方法。

【請求項 15】

障壁層の少なくとも基板側の表面に In を含まない薄層が存在する請求項 14 に記載の

50

窒化ガリウム系化合物半導体積層物の製造方法。

【請求項 16】

障壁層の成長を複数の成長温度で行なう請求項 1 ~ 15 のいずれか一項に記載の窒化ガリウム系化合物半導体積層物の製造方法。

【請求項 17】

井戸層形成後、該井戸層の一部を分解または昇華させることによって、厚さが不均一な井戸層を形成することを特徴とする、請求項 1 ~ 16 のいずれか一項に記載の窒化ガリウム系化合物半導体積層物の製造方法。

【請求項 18】

井戸層を形成する際の基板温度 T_1 および井戸層の一部を分解または昇華させる際の基板温度 T_2 が $T_1 < T_2$ である請求項 17 に記載の窒化ガリウム系化合物半導体積層物の製造方法。

10

【請求項 19】

井戸層の一部の分解または昇華を、窒素源を含みかつ III 族金属源を含まない雰囲気で行なう請求項 17 または 18 に記載の窒化ガリウム系化合物半導体積層物の製造方法。

【請求項 20】

井戸層の一部の分解または昇華を、障壁層の形成工程で行なう請求項 17 ~ 19 のいずれか一項に記載の窒化ガリウム系化合物半導体積層物の製造方法。

【請求項 21】

請求項 1 ~ 20 のいずれか一項に記載の製造方法により製造された窒化ガリウム系化合物半導体積層物。

20

【請求項 22】

請求項 21 に記載の窒化ガリウム系化合物半導体積層物の n 型半導体層に負極を、p 型半導体層に正極をそれぞれ設けた窒化ガリウム系化合物半導体発光素子。

【請求項 23】

請求項 22 に記載の窒化ガリウム系化合物半導体発光素子を用いてなるランプ。

【請求項 24】

請求項 23 に記載のランプが組み込まれている電子機器。

【請求項 25】

請求項 24 に記載の電子機器が組み込まれている機械装置。

30

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、高出力の青色、緑色、あるいは紫外領域の光を発する発光素子の製造に有用な窒化ガリウム系化合物半導体積層物の製造方法に関する。

【背景技術】

【0002】

近年、短波長の光を発光する発光素子用の半導体材料として、窒化物半導体材料が注目を集めている。一般に窒化物半導体は、サファイア単結晶を始めとする種々の酸化物結晶、炭化珪素単結晶および III - V 族化合物半導体単結晶等を基板として、その上に有機金属気相化学反応法 (MOCVD 法) や分子線エピタキシー法 (MBE 法) あるいは水素化物気相エピタキシー法 (HVPE 法) 等によって積層される。

40

【0003】

現在、工業レベルで最も広く採用されている結晶成長方法は、基板としてサファイアや SiC、GaN、AlN 等を用い、その上に有機金属気相化学反応法 (MOCVD 法) を用いて作製する方法で、前述の基板を設置した反応管内に III 族の有機金属化合物と V 族の原料ガスを用い、温度 700 ~ 1200 程度の領域で n 型層、発光層および p 型層を成長させる。各半導体層の成長後、基板もしくは n 型層に負極を形成し、p 型層に正極を形成することによって発光素子を得ることが出来る。

50

【0004】

従来の発光層は、発光波長を調整するために組成を調整したInGaInを用い、これをInGaInよりバンドギャップの高い層で挟むダブルヘテロ構造や、量子井戸効果を使う多重量子井戸構造が使われている。

【0005】

多重量子井戸構造の発光層を有する窒化ガリウム系化合物半導体発光素子において、井戸層の膜厚を2~3nmとすると、良好な出力が得られる。しかし、駆動電圧が高いという問題点があった。反対に、井戸層の膜厚を2nm以下などとすると、駆動電圧は低下するが、良好な出力、即ち高効率発光が得られない。

【0006】

米国特許出願公開US2003/0160229A1号明細書では、多重量子井戸構造の発光層を有する窒化ガリウム系化合物半導体発光素子において、高効率発光を得るために活性層の井戸層に膜厚のばらつきを持たせた構造を提案している。

10

【0007】

また、特許第3660446号公報にも井戸層の膜厚が不均一な量子井戸構造の窒化物半導体発光素子が開示されている。この公報では、量子井戸構造の活性層において、井戸層の下側に非常に薄く膜厚の面内分布、結晶性の面内分布のある窒化物半導体層もしくはメタル層を設けてその上に井戸層を成長させることで、井戸層が選択成長され活性層が量子ドットになり、発光効率が大幅に向上し、信頼性の高い窒化物半導体素子を実現できるとしている。さらにこの公報では、井戸層の下に積む層の膜厚を変化させることで井戸層の膜質を変えて、素子信頼を向上させている。

20

【0008】

しかし、多重量子井戸構造の発光層を有する窒化ガリウム系化合物半導体発光素子において、井戸層の膜厚を不均一にした場合、発光強度が経時的に劣化するという不具合のあることが本発明者らの研究により判明した。

【0009】

【特許文献1】米国特許出願公開US2003/0160229A1号明細書

【特許文献2】特許第3660446号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

30

【0010】

本発明の目的は、駆動電圧が低く、また、良好な発光出力を有し、且つ、時間的な発光出力の変化が少ない窒化ガリウム系化合物半導体発光素子の製造に有用な窒化ガリウム系化合物半導体積層物の製造方法を提供することである。

【課題を解決するための手段】

【0011】

本発明は、以下の発明を提供する。

(1) 基板上にn型半導体層、発光層およびp型半導体層を有し、発光層がn型半導体層とp型半導体層に挟まれて配置されており、該発光層が交互に井戸層と障壁層で積層された多重量子構造であり、かつ該井戸層の少なくとも一つは厚さが不均一である窒化ガリウム系化合物半導体積層物を製造する際に、該障壁層の成長速度を10 /分未満で行なうことを特徴とする窒化ガリウム系化合物半導体積層物の製造方法。

40

【0012】

(2) p型半導体層に最も近い井戸層は厚さが均一である上記1項に記載の窒化ガリウム系化合物半導体積層物の製造方法。

【0013】

(3) n型層に最も近い井戸層は厚さが均一である上記1または2項に記載の窒化ガリウム系化合物半導体積層物の製造方法。

【0014】

(4) 均一な厚さ井戸層の膜厚が1.8~5nmである上記1~3項のいずれか一項に

50

記載の窒化ガリウム系化合物半導体積層物の製造方法。

【0015】

(5) 不均一な厚さの井戸層の、薄膜部の膜厚が2.7nm以下である上記1~4項のいずれか一項に記載の窒化ガリウム系化合物半導体積層物の製造方法。

【0016】

(6) 多重量子井戸構造が3~10回積層された構造である上記1~5項のいずれか一項に記載の窒化ガリウム系化合物半導体積層物の製造方法。

【0017】

(7) 障壁層がGaN、AlGaNおよび井戸層を形成するInGaNよりもIn比率の小さいInGaNから選ばれた窒化ガリウム系化合物半導体である上記1~6項のいずれか一項に記載の窒化ガリウム系化合物半導体積層物の製造方法。

10

【0018】

(8) 障壁層がGaNである上記7項に記載の窒化ガリウム系化合物半導体積層物の製造方法。

【0019】

(9) 障壁層がドーパントを含む上記1~8項のいずれか一項に記載の窒化ガリウム系化合物半導体積層物の製造方法。

【0020】

(10) ドーパントが、C、Si、Ge、Sn、Pb、O、S、Se、Te、Po、Be、Mg、Ca、Sr、Ba、Raの群から選ばれた少なくとも1種類である上記9項に記載の窒化ガリウム系化合物半導体積層物の製造方法。

20

【0021】

(11) ドーパントの濃度が $1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ から $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ である上記9または10項に記載の窒化ガリウム系化合物半導体積層物の製造方法。

【0022】

(12) 障壁層の膜厚が7nm~50nmである上記1~11項のいずれか一項に記載の窒化ガリウム系化合物半導体積層物の製造方法。

【0023】

(13) 障壁層の膜厚が14nm以上である上記12項に記載の窒化ガリウム系化合物半導体積層物の製造方法。

30

【0024】

(14) 井戸層がInを含む上記1~13項のいずれか一項に記載の窒化ガリウム系化合物半導体積層物の製造方法。

【0025】

(15) 障壁層の少なくとも基板側の表面にInを含まない薄層が存在する上記14項に記載の窒化ガリウム系化合物半導体積層物の製造方法。

【0026】

(16) 障壁層の成長を複数の成長温度で行なう上記1~15項のいずれか一項に記載の窒化ガリウム系化合物半導体積層物の製造方法。

【0027】

(17) 井戸層形成後、該井戸層の一部を分解または昇華させることによって、厚さが不均一な井戸層を形成することを特徴とする、上記1~16項のいずれか一項に記載の窒化ガリウム系化合物半導体積層物の製造方法。

40

【0028】

(18) 井戸層を形成する際の基板温度 T_1 および井戸層の一部を分解または昇華させる際の基板温度 T_2 が $T_1 < T_2$ である上記17項に記載の窒化ガリウム系化合物半導体積層物の製造方法。

【0029】

(19) 井戸層の一部の分解または昇華を、窒素源を含みかつIII族金属源を含まない雰囲気下で行なう上記17または18項に記載の窒化ガリウム系化合物半導体積層物の

50

製造方法。

【0030】

(20) 井戸層の一部の分解または昇華を、障壁層の形成工程で行なう上記17～19項のいずれか一項に記載の窒化ガリウム系化合物半導体積層物の製造方法。

【0031】

(21) 上記1～20項のいずれか一項に記載の製造方法により製造された窒化ガリウム系化合物半導体積層物。

【0032】

(22) 上記21項に記載の窒化ガリウム系化合物半導体積層物のn型半導体層に負極を、p型半導体層に正極をそれぞれ設けた窒化ガリウム系化合物半導体発光素子。

10

【0033】

(23) 上記22項に記載の窒化ガリウム系化合物半導体発光素子を用いてなるランプ。

(24) 上記23項に記載のランプが組み込まれている電子機器。

(25) 上記24項に記載の電子機器が組み込まれている機械装置。

【発明の効果】

【0034】

本発明によれば、膜厚の不均一な井戸層を少なくとも1層含んだ多重量子井戸構造の発光層を有する窒化ガリウム系化合物半導体発光素子を製造する際に、障壁層の成長速度を特定の範囲に制御することにより、半導体の結晶性に優れ、駆動電圧が低く、発光強度が高く、さらに時間的な発光強度の低下割合が少ない窒化ガリウム系化合物半導体発光素子を製造することができる。

20

【発明を実施するための最良の形態】

【0035】

窒化ガリウム系化合物半導体積層物のn型半導体層、発光層およびp型半導体層を構成する窒化ガリウム系化合物半導体として、一般式 $Al_x In_y Ga_{1-x-y} N$ ($0 < x < 1$, $0 < y < 1$, $0 < x + y < 1$) で表わされる各種組成の半導体が周知であり、本発明におけるn型半導体層、発光層およびp型半導体層を構成する窒化ガリウム系化合物半導体としても、一般式 $Al_x In_y Ga_{1-x-y} N$ ($0 < x < 1$, $0 < y < 1$, $0 < x + y < 1$) で表わされる各種組成の半導体を何ら制限なく用いることができる。

30

【0036】

基板には、サファイア、SiCなどを用いることができるほか、GaP、GaAs、Si、ZnO、GaNなど従来公知の基板を何ら制限なく用いることができる。

【0037】

GaN基板を除いて、原理的には窒化ガリウム系化合物とは格子整合しないこれらの基板上に窒化ガリウム系化合物半導体を積層するために、特許第3026087号公報や特開平4-297023号公報に開示されている低温バッファ法や特開2003-243302号公報などに開示されているSP (Seeding Process) 法と呼ばれる格子不整合結晶エピタキシャル成長技術を用いることができる。特に、GaN系結晶を作製することが可能な程度の高温でAlN結晶膜を作製するSP法は、生産性の向上などの観点で優れた格子不整合結晶エピタキシャル成長技術である。

40

【0038】

低温バッファやSP法などの格子不整合結晶エピタキシャル成長技術を用いた場合、その上に積層する下地としての窒化ガリウム系化合物半導体は、アンドープかもしくは $5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 程度の低ドープのGaNであることが望ましい。下地層の膜厚は、1～20 μm であることが望ましく、5～15 μm であることが更に好適である。

【0039】

本発明において発光層を形成する多重量子井戸構造の井戸層には厚さが不均一な井戸層が少なくとも1層存在している。本発明における「厚さが均一」とは、膜厚がどこにおいても平均膜厚の $\pm 10\%$ 以内に入っていることをいう。 $\pm 7\%$ 以内に入っていることが好

50

ましい。「厚さが不均一」とは、膜厚が平均膜厚の $\pm 10\%$ 以内に入っていない部分があることをいう。「平均膜厚」とは、その最大膜厚と最小膜厚を算術平均した膜厚をいう。厚さが不均一な井戸層において、平均膜厚よりも厚い部分を「厚膜部」といい、薄い部分を「薄膜部」という。

【0040】

各井戸層の膜厚が均一であるか不均一であるかの判定および測定は、窒化ガリウム系化合物半導体の断面TEM写真によってできる。例えば、200,000倍から2,000,000倍の断面TEM写真で観察すると、各井戸層の膜厚変化を測定することができる。図4から図11は実施例1によって作製したチップの倍率1,000,000倍の断面TEM写真である。倍率を考慮してその膜厚を算出することができる。各図の横に付した表に、各井戸層のその図における最大膜厚と最小膜厚が記載されている。これら8つの図を総合して求めた各井戸層の最大膜厚と最小膜厚から、各井戸層が厚さの均一な井戸層か不均一な井戸層か判断できる。最大膜厚と最小膜厚を算術平均して求めた平均膜厚よりも厚い部分が厚膜部であり薄い部分が薄膜部である。図中、Aが厚膜部であり、Bが薄膜部である。各井戸層の最大膜厚と最小膜厚は、断面TEM写真を複数個所、例えば隣り合わせから20 μm の間隔で少なくとも8箇所観察して求める。

10

【0041】

発光層を形成する多重量子井戸構造中のすべての井戸層において厚さが不均一である場合、全ての井戸層において厚さが均一である場合に比較して、駆動電圧は低下するが、発光出力も低下するか同等である。ところが、全ての井戸層の厚さを不均一にせずに、井戸層の一部を均一な厚さにすると、その理由はよく分からないが、駆動電圧が低下し発光出力が増大する。特に、p型半導体層またはn型半導体層に最も近い井戸層の厚さが均一である場合に、発光出力の増大効果が大きい。p型半導体層に最も近い井戸層とn型半導体層に最も近い井戸層の両者の膜厚が均一である場合、発光出力の増大効果は最大となるが、駆動電圧の増加を招く。従って、厚さが均一な井戸層は、p型半導体層に最も近い井戸層とn型層に最も近い井戸層の両者を含んでもよいが、どちらか一方を含むことが好ましい。厚さが均一な井戸層として、p型半導体層に最も近い井戸層を含むことが特に好ましい。

20

【0042】

厚さの均一な井戸層の数が増大すると、駆動電圧が上昇する。従って、厚さの均一な井戸層の数としては、1以上で、井戸層全体の数の60%以下が好ましい。井戸層全体の数の40%以下がさらに好ましい。

30

【0043】

厚さが均一な井戸層の厚さは1.8~5nmが好ましい。この範囲以外の厚さにすると、発光出力の低下を招く。更に好ましくは、2.0~3.5nmの領域である。

厚さが不均一な井戸層の厚膜部の厚みは、1.8から5nm程度であることが好ましい。厚膜部を、この範囲以外の厚みにすると、発光出力の低下を招く。更に好ましくは、2.3~3.5nmの領域が好適である。また、厚膜部の幅は10~5000nmであることが好ましい、更に、20nm~1000nmが好適である。

【0044】

厚膜部の比率は井戸層全体に対して30%~90%であることが好ましく、駆動電圧の低減と出力の増大の両方を実現できる。更に好ましくは、60%~90%である。この厚膜部および薄膜部の比率も、断面TEM写真から求めた幅の測定値に基づいて算出できる。

40

【0045】

薄膜部の幅は、1~200nmが好ましい。さらに好ましくは5~150nmが好適である。

この厚膜部の最大膜厚と薄膜部の最小膜厚の差は1~3nm程度が好ましい。薄膜部の膜厚としては1.0~2.7nmが好ましい。

【0046】

50

薄膜部は膜厚が0である領域、即ち井戸層が全くない領域を含んでもよいが、発光出力低下の原因になるので、その領域は少ない方がよい。井戸層全体に対して30%以下が好ましく、20%以下がさらに好ましく、10%以下だと特に好ましい。この比率は断面TEM写真における幅の測定値に基づいて算出できる。

【0047】

厚さが不均一な井戸層は、井戸層を所定の厚さで成長させた後、その一部を分解または昇華させることによって形成することが好ましい。Inを含む窒化ガリウム系化合物半導体は分解または昇華し易いので好ましい。また、Inを含む窒化ガリウム系化合物半導体は、青色の波長領域の発光を強い強度で発光することができる。

【0048】

Inを含むIII族金属源および窒素源を供給しつつ、Inを含む窒化ガリウム系化合物半導体を所定の厚さまで成長させた後、III族金属源の供給を停止した状態で、基板温度をそのまま維持または昇温させることによって、その一部を分解または昇華させることができる。キャリアガスは窒素が好ましい。

【0049】

障壁層は、GaNやAlGaNのほか、井戸層を構成するInGaNよりもIn比率の小さいInGaN層で形成することもできる。中でも、GaNが好適である。本発明において、障壁層の少なくとも一部は、井戸層の成長よりも高い基板温度で成長させることが好ましい。高温で成長した障壁層の存在により、発光素子のエージングによる逆耐圧特性の劣化を防ぐことができる。

【0050】

障壁層の成長は、成長温度の異なる複数のステップで構成することもできる。例えば、厚膜部と薄膜部からなる井戸層上に成長温度T2で障壁層Aを所定の膜厚で積層した後、成長温度をT3に上昇して更に障壁層Bを積層してもよい。その後成長温度をT4に低下させて障壁層Cをさらに積層することもできる。T3よりも低い温度で積層させた障壁層Cが存在すると、エージングによる特性の劣化などを抑える効果をさらに付与することができて、より好適である。障壁層Cの成長温度は障壁層Aの成長温度と同じであってもよく、さらに井戸層の成長温度T1と同じであってもよい。比較的低温で成長させた障壁層Aがないと井戸層にダメージが起こり、発光出力が低下する場合がある。

【0051】

井戸層を成長させる温度T1、障壁層Bを成長する温度T3の関係は、 $T1 < T3$ であることが好ましく、井戸層の成長後、T1からT3への昇温の過程で、窒素を含むキャリアガスと窒素源の供給は続けながら、III族原料の供給を停止する工程を含むことで、井戸層に厚膜部と薄膜部を効果的に形成することができる。この際、キャリアガスの変更などは必要ない。キャリアガスを水素に切り替えることは、発光の波長を短波長化させる。波長の変化の程度は安定的に制御することが難しいため、製品の生産性を低下させる。

【0052】

井戸層の成長温度T1は600 ~ 850 の範囲が好ましい。T1がこの範囲より低いと発光出力の変化率が大きくなり、また高いと、InGaN井戸層のIn組成が低下し発光波長が短波長化する。更に好ましくは、700 ~ 750 の範囲である。

【0053】

障壁層Bの成長温度T3は850 ~ 1000 の範囲が好ましい。T3がこの範囲より低いと発光出力の変化率が大きくなり、高いと、駆動電圧が上昇する。更に好ましくは890 から930 の範囲である。

【0054】

T1からT3への昇温速度は、1 ~ 200 /分程度が望ましい。更に望ましくは、5 ~ 150 /分程度である。また、T1からT3への昇温に要する時間は30秒から10分程度が望ましい。更に望ましくは、1分から5分程度である。

【0055】

障壁層は組成の異なる複数の層が積層された構造でもよい。井戸層がInを含む窒化ガ

10

20

30

40

50

リウム系化合物半導体である場合、障壁層の少なくとも基板側の井戸層と接する表面には In を含まない薄層を設けることが好ましい。この薄層を設けることにより、井戸層中の In の分解昇華を抑制し、発光波長の安定制御が可能になり、好適である。この薄層は、井戸層の成長温度と同程度の基板温度で設けられることが好ましい。

【0056】

障壁層にはドーパントをドーブすると、駆動電圧が低下するので好ましい。ドーパントとしては、C、Si、Ge、Sn、Pb、O、S、Se、Te、Po、Be、Mg、Ca、Sr、Ba、Raなどが挙げられる。中でもSiやGeが好ましく、Siがもっとも好ましい。

【0057】

ドーパントの濃度は、 $5 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3} \sim 1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 程度が好適である。 $5 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ 未満では駆動電圧の低下効果が減少する。 $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ を超えると逆方向電圧特性が悪くなる傾向がある。更に好ましく $1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3} \sim 5 \times 10^{17}$ である。

10

【0058】

障壁層の膜厚は、7 nm以上であることが好ましく、さらに好ましくは14 nm以上である。障壁層の膜厚が薄いと、井戸層における厚膜部と薄膜部の厚さの差を埋めきれず、井戸層における厚膜部および薄膜部の形成を阻害し、発光効率の低下やエージング特性の低下を引き起こす。また、膜厚が厚すぎると、駆動電圧の上昇や発光効率の低下を引き起こす。このため、障壁層の膜厚は50 nm以下であることが好ましい。

【0059】

障壁層の成長速度は、厚さの不均一な井戸層が少なくとも1層存在する場合には、発光出力の経時劣化を防ぐ上で重要である。障壁層の成長速度は、10 /分未満であることが好ましく、さらに好ましくは7 /分以下であり、よりさらに好ましくは5 /分以下である。10 /分以上であると、厚膜および薄膜部を持つ井戸層上に平坦で結晶性の良い障壁層を成長することが出来ず、発光出力の経時劣化が増大する（即ち、発光出力の変化率が大きくなる）。成長速度が遅すぎると生産性の低下を招くので、1 /分以上が好ましい。なお、障壁層が複数の層から構成される場合は、平均成長速度が上記値を満足するように制御すればよい。

20

【0060】

多重量子井戸構造における積層の回数は3回から10回程度が好ましく、3回から6回程度がさらに好ましい。井戸層および障壁層において、組成および構造を変化させても良い。

30

【0061】

p型半導体層は通常0.01 ~ 1 μmの厚さで、発光層に接しているp型クラッド層と正極を形成するためのp型コンタクト層からなる。p型コンタクト層はp型クラッド層を兼ねることができる。p型クラッド層は、GaN、AlGaNなどを用いて形成し、p型ドーパントとしてMgをドーブする。電子のオーバーフローを防ぐため、発光層の材料よりも大きなバンドギャップを有する材料で形成することが望ましい。また、効率的に発光層にキャリアを注入できるように、高キャリア濃度の層として形成することが望ましい。

【0062】

p型クラッド層に関しても、組成や格子定数の異なる層を、交互に複数回積層して形成しても良い。その際、積層する層によって組成のほか、ドーパントの量や膜厚などを変化させても良い。

40

【0063】

p型コンタクト層は、GaN、AlGaN、InGaNなどを用いることができ、不純物としてMgをドーブする。Mgをドーブした窒化ガリウム系化合物半導体は、通常反応炉から取り出したままでは高抵抗であるが、アニール処理、電子線照射処理、マイクロ波照射処理など、活性化の処理を施すことでp型伝導性を示すとされている。

【0064】

p型半導体層の成長温度は900 ~ 1050 の範囲が好ましい。この範囲よりも高

50

くすると発光出力の変化率が大きくなる。また、この範囲よりも低くすると発光出力が低下する。更に好ましくは960 ~ 1000 の範囲である。

【0065】

また、p型コンタクト層としてp型不純物をドーパした燐化ホウ素を用いることもできる。p型不純物をドーパした燐化ホウ素は、上記のようなp型化のための処理を一切行わなくてもp型導電性を示す。

【0066】

n型半導体層は通常1 ~ 10 μm 、好ましくは2 ~ 5 μm 程度の厚さで、負極を形成するためのn型コンタクト層と発光層よりもバンドギャップが大きく発光層に接しているn型クラッド層からなる。n型コンタクト層はn型クラッド層を兼ねてもよい。n型コンタクト層としてはSiまたはGeを高濃度にドーパすることが好ましい。これらのドーパントをドーパして形成したn型半導体層は、キャリア濃度が $5 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ から $2 \times 10^{19} \text{cm}^{-3}$ 程度に調整されていることが好適である。

10

【0067】

n型クラッド層は、AlGa_N、Ga_N、InGa_Nなどで形成することが可能であるが、InGa_Nとする場合には発光層のInGa_Nのバンドギャップよりも大きい組成とすることが望ましいことは言うまでもない。n型クラッド層のキャリア濃度は、n型コンタクト層と同じでもよいし、大きくても小さくてもよい。その上に形成される発光層の結晶性をよくするために、成長速度、成長温度、成長圧力、ドーパ量などの成長条件を適宜調節して、平坦性の高い表面とすることが好ましい。

20

【0068】

またn型クラッド層は、組成や格子定数の異なる層を、交互に複数回積層して形成しても良い。その際、積層する層によって組成のほか、ドーパントの量や膜厚などを変化させても良い。

【0069】

n型半導体層を成長させる際の成長温度は、組成によって異なるが、一般に800 ~ 1200 が好ましく、さらに好ましくは1000 ~ 1200 の範囲に調整する。しかし、例えばn型クラッド層としてInを含む場合には、この範囲よりもさらに低い温度が好ましい。

【0070】

これらのn型半導体層、発光層およびp型半導体層を構成する窒化ガリウム系化合物半導体の成長方法は特に限定されず、MBE、MOCVD、HVPEなどの周知の方法を周知の条件で用いることができる。中でも、MOCVD法が好ましい。

30

【0071】

原料には、窒素源としてアンモニア、ヒドラジン、アジ化物などを用いることができる。また、III族有機金属としてトリメチルガリウム(TMGa)、トリエチルガリウム(TEGa)、トリメチルインジウム(TMI_n)、トリメチルアルミニウム(TMAI)などを用いることができる。また、ドーパント源としてシラン、ジシラン、ゲルマン、有機ゲルマニウム原料、ビスシクロペンタジエニルマグネシウム(Cp₂Mg)などを用いることができる。キャリアガスには窒素および水素を使用できる。

40

【0072】

負極は、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なく用いることができる。nコンタクト層と接する負極用のコンタクト材料としては、Al、Ti、Ni、Auなどのほか、Cr、W、Vなどを用いることができる。負極全体を多層構造としてボンディング性を付与することができる。

【0073】

正極も、各種組成および構造の正極が周知であり、これら周知の正極を何ら制限なく用いることができる。

【0074】

透光性の正極材料としては、Pt、Pd、Au、Cr、Ni、Cu、Coなどを含んで

50

もよい。また、その一部が酸化されている構造とすることで、透光性が向上することが知られている。フリップチップ型の素子を形成する場合、反射型の正極材料としては、上記の材料の他に、Rh、Ag、Alなどを用いることができる。

【0075】

これらの正極は、スパッタリングや真空蒸着などの方法で形成することができる。特にスパッタリングを用いると、スパッタリングの条件を適切に制御することで、電極膜を形成した後にアニール処理を施さなくともオーミック接触を得ることができ、好適である。

【0076】

発光素子の構造としては、反射型の正極を備えたフリップチップ型の素子としてもよいし、透光性の正極や格子型、楕型の正極を備えたフェイスアップ型の素子としてもよい。

10

【0077】

本発明における厚膜部と薄膜部を有する井戸層では、厚膜部から薄膜部に変わる境界領域で、材料の異なる井戸層と障壁層との界面が基板面に対して斜めになるので、基板面に対して垂直方向への光の取出し量が増大し、特に、反射電極を備えたフリップチップ型の素子構造とすることにより、発光強度が一層増大する。

【0078】

本発明の窒化ガリウム系化合物半導体積層物から製造した窒化ガリウム系化合物半導体発光素子は、例えば当業界周知の手段により透明カバーを設けてランプにすることができる。また、本発明の窒化ガリウム系化合物半導体発光素子と蛍光体を有するカバーとを組み合わせて白色のランプを作製することもできる。

20

【0079】

また、本発明の窒化ガリウム系化合物半導体発光素子から作製したランプは駆動電圧が低く、発光出力が高いので、この技術によって作製したランプを組み込んだ携帯電話、ディスプレイ、パネル類などの電子機器や、その電子機器を組み込んだ自動車、コンピュータ、ゲーム機、などの機械装置類は、低電力での駆動が可能となり、高い特性を実現することが可能である。特に、携帯電話、ゲーム機、玩具、自動車部品などの、バッテリー駆動させる機器類において、省電力の効果を発揮する。

【実施例】

【0080】

次に、本発明を実施例によりさらに詳細に説明するが、本発明はこれらの実施例にのみ

30

限定されるものではない。

【0081】

(実施例1)

図1は本実施例で作製した半導体発光素子用の窒化ガリウム系化合物半導体積層物の断面を示した模式図である(但し、発光層の井戸層と障壁層は簡略化している)。図1に示すとおり、c面を有するサファイアからなる基板(1)上に、格子不整合結晶のエピタキシャル成長方法によってAlNからなるSP層(2)を積層し、その上に基板側から順に、厚さ8 μ mのアンドープGaNからなる下地層(3a)、約 $1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ の電子濃度を持つ厚さ2 μ mの高GeドープGaNからなるn型コンタクト層(3b)および $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ の電子濃度を持つ厚さ20nmの $\text{In}_{0.02}\text{Ga}_{0.98}\text{N}$ からなるn型クラッド層(3c)から構成されるn型半導体層(3)、6層の厚さ15nmの $3 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ のSiをドープしたGaN障壁層と5層の厚さ3nmのノンドープの $\text{In}_{0.08}\text{Ga}_{0.92}\text{N}$ の薄層で構成される井戸層とを交互に積層させてなる多重量子井戸構造の発光層(4)、ならびに厚さ16nmのMgドープのp型 $\text{Al}_{0.05}\text{Ga}_{0.95}\text{N}$ からなるp型クラッド層(5c)および $8 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ の正孔濃度を持つ厚さ0.2 μ mのMgドープp型 $\text{Al}_{0.02}\text{Ga}_{0.98}\text{N}$ からなるp型コンタクト層(5b)から構成されるp型半導体層(5)を順に積層した構造である。

40

【0082】

上記の窒化ガリウム系化合物半導体積層物の作製は、MOCVD法を用いて以下の手順で行った。

50

【0083】

まず、サファイア基板を、誘導加熱式ヒータでカーボン製のサセプタを加熱する形式の多数枚の基板を処理できるステンレス製の反応炉の中に導入した。サセプタは、それ自体が回転する機構を持ち、基板を自転させる機構を持つ。サファイア基板(1)は、窒素ガス置換されたグローブボックスの中で、加熱用のカーボン製サセプタ上に載置した。試料を導入後、窒素ガスを流通して反応炉内をパージした。

【0084】

窒素ガスを8分間に渡って流通した後、誘導加熱式ヒータを作動させ、10分をかけて基板温度を600に昇温し、同時に炉内の圧力を15kPa(150mbar)とした。基板温度を600に保ったまま、水素ガスと窒素ガスを流通させながら2分間放置して、基板表面のサーマルクリーニングを行なった。

【0085】

サーマルクリーニングの終了後、窒素キャリアガスのバルブを閉とし、反応炉内へのガスの供給を水素のみとした。

【0086】

キャリアガスの切り替え後、基板の温度を1150に昇温させた。1150で温度が安定したのを確認した後、TMAlの配管のバルブを切り替え、TMAlの蒸気を含む気体を反応炉内へ供給して、これを反応炉の内壁に着いた付着物の分解により生じるN原子と反応させて、サファイア基板上にAlNを付着させる処理を開始した。

【0087】

7分30秒間の処理の後、TMAlの配管のバルブを切り替え、TMAlの蒸気を含む気体を反応炉内へ供給を停止した。そのままの状態に4分待機し、炉内に残ったTMAl蒸気が完全に排出されるのを待った。続いて、アンモニアガスの配管のバルブを切り替え、炉内にアンモニアガスの供給を開始した。

【0088】

4分の後、アンモニアの流通を続けながら、サセプタの温度を1040に降温し、炉内圧力を40kPa(400mbar)とした。サセプタ温度の降温中、TMGaの配管の流量調整器の流量を調節した。

【0089】

基板温度が1040になったのを確認した後、温度の安定を待ち、その後TMGaのバルブを切り替えてTMGaの炉内への供給を開始し、アンドープのGaNの成長を開始し、約4時間に渡って上記のGaN層の成長を行った。

このようにして、約8 μ mの膜厚を有するアンドープGaN下地層(3a)を形成した。

【0090】

更に、このアンドープGaN下地層上に高Geドープのn型GaNコンタクト層(3b)を成長させた。アンドープGaN下地層の成長後、TMGaの炉内への供給を停止し、その後1分間で基板温度を1080に昇温させ、3分間保持し温度を安定化させた。その間、テトラメチルゲルマニウム(TMGe)流通量を調節した。流通させる量は事前に検討しており、GeドープGaNコンタクト層の電子濃度が約 $2 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 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。

【0091】

3分間の温度安定化の後、厚さ10nmのGeドープn型GaNと厚さ10nmのアンドープGaNとの薄膜をこの順序で交互に100周期成長させ、約2 μ mのn型GaNコンタクト層を成長させた。GeドープGaNはTMGaとTMGeを炉内に供給することで作製し、アンドープGaN層はTMGaを供給することで作製した。これにより、平均キャリア濃度約 $1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ のn型コンタクト層(3b)を形成した。

【0092】

最後のアンドープGaN層を成長させた後、TMGaのバルブを切り替えて、TMGaの炉内への供給を停止した。アンモニアはそのまま流通させながら、バルブを切り替えて

10

20

30

40

50

キャリアガスを水素から窒素へ切り替えた。その後、基板の温度を1080 から720 へ低下させた。

【0093】

炉内の温度の変更を待つ間に、SiH₄の供給量を変更した。流通させる量は事前に検討しており、SiドープInGa_{0.98}Nクラッド層(3c)の電子濃度が $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 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。

【0094】

その後、炉内の状態が安定するのを待って、TMInとTEGaとSiH₄のバルブを同時に切り替え、これらの原料の炉内への供給を開始した。所定の時間だけ供給を継続し、20nmの膜厚を有するSiドープIn_{0.02}Ga_{0.98}Nからなるn型クラッド層(3b)を形成した。 10

【0095】

その後、図2に示すような基板温度プロファイルにて、井戸層と障壁層からなる多重量子井戸構造の発光層(4)と、p型AlGa_{0.98}Nクラッド層(5c)とp型AlGa_{0.98}Nコンタクト層(5b)の形成を行なった。基板温度720 で、井戸層、障壁層Aおよび障壁層Cを形成し、基板温度920 で障壁層Bを形成し、基板温度1000 でp型AlGa_{0.98}Nクラッド層とp型AlGa_{0.98}Nコンタクト層を形成した。本実施例では、p型AlGa_{0.98}Nクラッド層とp型AlGa_{0.98}Nコンタクト層の成長温度は同一としたが、それぞれ異なる成長温度でもかまわない。

【0096】

SiドープIn_{0.02}Ga_{0.98}Nクラッド層を形成した後、TMIn、TEGaおよびSiH₄のバルブを切り替え、これらの原料の供給を停止した。原料供給を停止した後、TEGaおよびSiH₄の供給量の設定を変更した。流通させる量は事前に検討しており、SiドープGa_{0.98}N障壁層の成長速度が3 /分となるように、またSiドープGa_{0.98}N障壁層の電子濃度が $3 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ となるように調整した。SiドープGa_{0.98}N障壁層の形成を下記の如く行った。

【0097】

基板温度は720 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Ga_{0.98}Nからなる薄層の障壁層Aを形成し、TEGaとSiH₄の供給を停止した。その後、成長を中断した状態でサセプタの温度を920 に昇温した。温度が安定したのち、基板温度や炉内の圧力、アンモニアガスおよびキャリアガスの流量や種類はそのまま、TEGaとSiH₄のバルブを切り替えてTEGaとSiH₄の炉内への供給を再開し、そのまま基板温度920 にて、規定の時間の障壁層Bの成長を行った。障壁層Bを成長後、TEGaとSiH₄の炉内供給を停止した。続いてサセプタ温度を720 に下げ、TEGaとSiH₄の供給を開始し、障壁層Cの成長を行った後、再びバルブを切り替えてTEGaとSiH₄の供給を停止してGa_{0.98}N障壁層の成長を終了した。これにより、A、BおよびCからなる3層構造の障壁層で総膜厚が15nmのSiドープGa_{0.98}N障壁層を形成した。 30

【0098】

Ga_{0.98}N障壁層の成長終了後、30秒間に渡ってTEGaとSiH₄の供給を停止し、TEGaの供給量の設定を事前に検討した流量に変更した後、基板温度や炉内の圧力、アンモニアガスおよびキャリアガスの流量や種類はそのまま、TEGaとTMInのバルブを切り替えてTEGaとTMInの炉内への供給を行ない、井戸層の形成を行なった。あらかじめ決めた時間の間TEGaとTMInの供給を行なった後、再びバルブを切り替えてTEGaとTMInの供給を停止してIn_{0.08}Ga_{0.92}N井戸層の成長を終了した。この時点では、3nmの膜厚を成すIn_{0.08}Ga_{0.92}N層が形成された。In_{0.08}Ga_{0.92}N井戸層の成長終了後、TEGaの供給量の設定を変更した。引き続いて、TEGaおよびSiH₄の供給を再開し、2層目の障壁層の形成に入った。 40

【0099】

このような手順を5回繰り返し、5層のSiドープGa_{0.98}N障壁層と5層のIn_{0.08}Ga_{0.92}N 50

0.92 N 井戸層を形成した。これらの井戸層、障壁層の作製工程では、720 にて障壁層 A を形成した後、障壁層 B を形成するため 920 へ昇温する工程では III 族原料の供給を停止することによって半導体層の成長を中断した。

【0100】

5 層目の In_{0.08}Ga_{0.92}N 井戸層を形成した後、引き続いて 6 層目の障壁層の形成に入った。6 層目の障壁層の形成においては、SiH₄ の供給を再開し、Si ドープ GaN からなる薄層の障壁層 A を形成した後、TEGa と SiH₄ の炉内への供給を続けたまま、基板温度を 920 に昇温し、そのまま基板温度 920 にて規定の時間障壁層 B の成長を行なった。障壁層 B を成長後、TEGa と SiH₄ の炉内供給を停止した。続いて基板温度を 720 に下げ、TEGa と SiH₄ の供給を開始し、障壁層 C の成長を行った後、再びバルブを切り替えて TEGa と SiH₄ の供給を停止して GaN 障壁層の成長を終了した。これにより、A、B および C からなる 3 層構造の障壁層で総膜厚が 15 nm の Si ドープ GaN 障壁層を形成した。

10

【0101】

以上の手順にて、厚さが不均一な井戸層 (1 ~ 4 層目) と厚さが均一な井戸層 (5 層目) を含んだ多重量子井戸構造の発光層 (4) を形成した。

この Si ドープ GaN 障壁層で終了する発光層 (4) 上に、Mg ドープの p 型 Al_{0.05}Ga_{0.95}N クラッド層 (5c) を形成した。

【0102】

TEGa と SiH₄ の供給を停止して、Si ドープ GaN 障壁層の成長が終了した後、基板の温度を 1000 へ昇温し、キャリアガスの種類を水素に切り替え、炉内の圧力を 15 kPa (150 mbar) に変更した。炉内の圧力が安定するのを待って、TMGa と TMAI と Cp₂Mg のバルブを切り替え、これらの原料の炉内への供給を開始した。その後、約 3 分間に渡って成長を行ったあと、TEGa と TMAI の供給を停止し、Mg ドープの p 型 Al_{0.05}Ga_{0.95}N クラッド層の成長を停止した。これにより、16 nm の膜厚を有する Mg ドープの p 型 Al_{0.05}Ga_{0.95}N クラッド層を形成した。

20

【0103】

この Mg ドープの p 型 Al_{0.05}Ga_{0.95}N クラッド層上に、Mg ドープの p 型 Al_{0.02}Ga_{0.98}N コンタクト層 (5b) を形成した。

【0104】

TMGa と TMAI と Cp₂Mg の供給を停止して、Mg ドープの Al_{0.05}Ga_{0.95}N クラッド層の成長が終了した後、炉内の圧力を 20 kPa (200 mbar) に変更した。炉内の圧力が安定するのを待って、TMGa と TMAI と Cp₂Mg のバルブを切り替え、これらの原料の炉内への供給を開始した。Cp₂Mg を流通させる量は事前に検討しており、Mg ドープ p 型 Al_{0.02}Ga_{0.98}N コンタクト層の正孔濃度が $8 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ となるように調整した。その後、約 12 分間に渡って成長を行ったあと、TMGa と TMAI と Cp₂Mg の供給を停止し、Mg ドープ p 型 Al_{0.02}Ga_{0.98}N コンタクト層の成長を停止した。これにより、約 0.2 μm の膜厚を成す Mg ドープ p 型 Al_{0.02}Ga_{0.98}N コンタクト層 (5b) を形成させた。

30

【0105】

Mg ドープ p 型 Al_{0.02}Ga_{0.98}N コンタクト層の成長を終了した後、誘導加熱式ヒータへの通電を停止して、基板の温度を室温まで 20 分をかけて降温した。降温中は、反応炉内の雰囲気窒素のみから構成した。その後、基板温度が室温まで降温したのを確認して、作製した窒化ガリウム系化合物半導体積層物を大気中に取り出した。

40

【0106】

以上のような手順により、半導体発光素子用の窒化ガリウム系化合物半導体積層物を作製した。ここで Mg ドープ p 型 Al_{0.02}Ga_{0.98}N コンタクト層は、p 型キャリアを活性化するためのアニール処理を行なわなくても p 型を示した。

【0107】

次いで、上記の窒化ガリウム系化合物半導体積層物を用いて半導体発光素子の一種であ

50

る発光ダイオードを作製した。

【0108】

作製した窒化ガリウム系化合物半導体積層物のp型AlGaInコンタクト層の表面上に、当業界周知の方法によって、コンタクト層側から順にAuおよびNiOを積層した透明電極からなる正極(10)とその上に順にTi、Au、AlおよびAuを積層した正極ボンディングパッド(11)を形成した。

【0109】

更にその後窒化ガリウム系化合物半導体積層物にドライエッチングを行ない、高Geドープのn-GaNコンタクト層の負極形成部分(15)を露出させ、露出した部分にコンタクト層側から順にTiおよびAlを積層して負極(16)を作製した。これらの作業により、図3に示すような形状を持つ電極を作製した。

10

【0110】

このようにして正極および負極を形成した窒化ガリウム系化合物半導体積層物について、サファイア基板の裏面を研削、研磨してミラー状の面とした。その後、該窒化ガリウム系化合物半導体積層物を300 μ m角の正方形のチップに切断しチップとした。更にそのチップをリードフレーム上に載置し、金線でリードフレームへ結線して発光ダイオードとした。

【0111】

上記のようにして作製した発光ダイオードの正極および負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(駆動電圧)は3.3Vであった。また、発光波長は460nmであり、発光出力は5.5mWを示した。このような発光ダイオードの特性は、作製した窒化ガリウム系化合物半導体積層物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

【0112】

この発光素子に順方向で30mAの電流を流し、スタート時および100時間後に発光出力を測定するエージングテストを行ない、スタート時と100時間後の発光出力の劣化率を比較したところ、出力の劣化率は5%と良好であった。

【0113】

また、電流30mAにて100時間の通電を行った前後において、電流10 μ Aにおける逆方向電圧を測定し、比較したところ、逆方向電圧の変化率は0%であった。

30

【0114】

また、得られたチップの一つについて断面TEMにて倍率1000,000倍で観察した写真の一例が図4から図11である。観察は、ある断面について20 μ m間隔で配置した8部位で行なった。井戸層の番号は窒化物半導体積層構造の表面側(半導体側)から数えた番号順に1から5としている。すなわち、井戸層1はp型層側、井戸層5はn型層側に位置する。図中、Aは厚膜部であり、Bは薄膜部である。また図4から図11にはその部位における各井戸層の最大膜厚と最小膜厚を各部位ごとに表にして記載してある。

【0115】

図4から図11に示された8つの部位を総合して、各井戸層の最大膜厚、最小膜厚、平均膜厚および最大膜厚ならびに最小膜厚の平均値からの差の割合を求めた結果を表1に示す。

40

【0116】

【表 1】

表 1

井戸層	最大膜厚 (nm)	最小膜厚 (nm)	平均膜厚 (nm)	差の割合
1	3.1	2.8	2.95	±5.1%
2	3.2	1.8	2.50	±28.0%
3	3.1	1.9	2.50	±24.0%
4	3.1	1.6	2.35	±31.9%
5	3.2	1.7	2.45	±30.6%

10

【0117】

表 1 から、井戸層 1 は膜厚の範囲が平均膜厚から $\pm 5.1\%$ であり、 10% 以内であるから本発明における厚さが均一の井戸層であることが分かる。また、井戸層 2 ~ 5 は膜厚の範囲が平均膜厚からそれぞれ $\pm 28.0\%$ 、 $\pm 24.0\%$ 、 $\pm 31.9\%$ および $\pm 20.6\%$ であり、全て 10% を超えており、本発明における厚さが不均一の井戸層であることが分かる。井戸層 2 ~ 5 において、それぞれの平均膜厚よりも厚い部分が厚膜部であり、薄い部分が薄膜部である。

【0118】

図 4 ~ 図 11 から障壁層は約 15 nm の膜厚であった。障壁層は井戸層の薄膜部と厚膜部との膜厚の差を完全に埋めていた。

20

【0119】

図 12 から図 19 は、図 4 から図 11 における部位の近傍を倍率 $200,000$ 倍に変更して観察した TEM 写真である。全ての図において、井戸層 1 は均一な厚さであることが分かる。

【0120】

これらの TEM 写真において、井戸層 2 から 5 の厚膜部の幅および薄膜部の幅を測定し、その分布を評価した。なお、各井戸層における厚膜部および薄膜部の判定は、図 4 ~ 図 11 から求めた上記の各井戸層の平均厚さに基づいて行なった。その結果を表 2 に示す。例えば、図 12 の TEM 写真における井戸層 2 では、TEM 写真の視野の左側から厚膜部が幅 250 nm あり、続いて薄膜部が 60 nm の幅にわたっており、続いて厚膜部が 105 nm あり、続いて薄膜部が 35 nm あり、続いて厚膜部が 75 nm あったが、表中に厚膜部 (250 nm) - 薄膜部 (60 nm) - 厚膜部 (105 nm) - 薄膜部 (35 nm) - 厚膜部 (75 nm) と記入されている。

30

【0121】

【表 2】

表 2

TEM写真	井戸層	厚膜部および薄膜部の分布	バラツキ	
			薄膜部	厚膜部
図12	2	厚膜部(250nm) - 薄膜部(60nm) - 厚膜部(105nm) - 薄膜部(35nm) - 厚膜部(75nm)	35nm~60nm	75nm~250nm
	3	厚膜部(260nm) - 薄膜部(45nm) - 厚膜部(220nm)	45nm	220nm~260nm
	4	厚膜部(160nm) - 薄膜部(100nm) - 厚膜部(220nm)	100nm	160nm~220nm
	5	厚膜部(260nm) - 薄膜部(70nm) - 厚膜部(120nm)	70nm	120nm~260nm
			厚膜部(410nm) - 薄膜部(35nm) - 厚膜部(50nm) - 薄膜部(30nm)	30nm~35nm
図13	2	厚膜部(470nm) - 薄膜部(30nm)	30nm	470nm
	3	厚膜部(185nm) - 薄膜部(40nm) - 厚膜部(235nm) - 薄膜部(80nm)	40nm~80nm	185nm~235nm
	4	厚膜部(145nm) - 薄膜部(50nm) - 厚膜部(245nm) - 薄膜部(40nm)	40nm~50nm	145nm~245nm
	5	厚膜部(270nm) - 薄膜部(65nm) - 厚膜部(20nm) - 薄膜部(55nm)	55nm~65nm	20nm~270nm
			厚膜部(320nm) - 薄膜部(80nm) - 厚膜部(70nm) - 薄膜部(50nm)	50nm~80nm
図14	2	厚膜部(270nm) - 薄膜部(90nm) - 厚膜部(120nm) - 薄膜部(30nm)	30nm~90nm	120nm~270nm
	3	厚膜部(310nm) - 薄膜部(40nm) - 厚膜部(200nm)	40nm	200nm~310nm
	4	厚膜部(190nm) - 薄膜部(60nm) - 厚膜部(120nm) - 薄膜部(60nm) - 厚膜部(75nm)	60nm	75nm~190nm
	5	厚膜部(320nm) - 薄膜部(40nm) - 厚膜部(60nm) - 薄膜部(60nm)	40nm~60nm	60nm~320nm
			厚膜部(60nm) - 厚膜部(90nm) - 厚膜部(140nm) - 薄膜部(55nm)	55nm~90nm
図15	2	厚膜部(300nm) - 薄膜部(45nm) - 厚膜部(65nm) - 薄膜部(60nm)	45nm~60nm	65nm~300nm
	3	厚膜部(450nm) - 薄膜部(50nm) - 厚膜部(40nm) - 薄膜部(35nm)	35nm~50nm	40nm~450nm
	4	厚膜部(580nm) - 薄膜部(70nm)	70nm	580nm
	5	厚膜部(520nm) - 薄膜部(55nm)	55nm	520nm
			厚膜部(540nm) - 薄膜部(55nm)	55nm
図16	2	厚膜部(40nm) - 厚膜部(250nm) - 薄膜部(100nm) - 厚膜部(130nm) - 厚膜部(60nm)	40nm~100nm	130nm~250nm
	3	厚膜部(500nm) - 薄膜部(75nm)	75nm	500nm
	4	厚膜部(580nm)	—	580nm
	5	厚膜部(600nm)	—	600nm
			厚膜部(65nm) - 厚膜部(45nm) - 厚膜部(30nm) - 厚膜部(320nm) - 薄膜部(100nm)	30nm~100nm
図17	2	厚膜部(330nm) - 厚膜部(50nm) - 厚膜部(180nm)	50nm	180nm~330nm
	3	厚膜部(60nm) - 厚膜部(100nm) - 厚膜部(300nm) - 厚膜部(50nm)	50nm~100nm	60nm~300nm
	4	厚膜部(40nm) - 厚膜部(330nm) - 厚膜部(60nm)	40nm~60nm	330nm
	5	厚膜部(80nm) - 厚膜部(95nm) - 厚膜部(140nm) - 厚膜部(70nm)	70nm~95nm	95nm~140nm
			厚膜部(130nm) - 厚膜部(60nm) - 厚膜部(250nm) - 厚膜部(100nm)	60nm~100nm
図18	2	厚膜部(70nm) - 厚膜部(275nm) - 厚膜部(90nm) - 厚膜部(100nm) - 厚膜部(40nm)	40nm~90nm	100nm~275nm
	3	厚膜部(100nm) - 厚膜部(85nm) - 厚膜部(35nm) - 厚膜部(105nm) - 厚膜部(60nm)	35nm~100nm	85nm~105nm
	4	厚膜部(100nm) - 厚膜部(85nm) - 厚膜部(35nm) - 厚膜部(105nm) - 厚膜部(60nm)	35nm~100nm	85nm~105nm
	5	厚膜部(100nm) - 厚膜部(85nm) - 厚膜部(35nm) - 厚膜部(105nm) - 厚膜部(60nm)	35nm~100nm	85nm~105nm
			厚膜部(100nm) - 厚膜部(85nm) - 厚膜部(35nm) - 厚膜部(105nm) - 厚膜部(60nm)	35nm~100nm

10

20

30

40

【 0 1 2 2 】

この表から、各井戸層の薄膜部および厚膜部の幅の分布状態を求めると、薄膜部は井戸層2が30~100nm、井戸層3が30nm~100nm、井戸層4が30nm~100nm、井戸層5が35~100nmであつた。また、厚膜部は井戸層2が20~450

50

nm、井戸層3が60nm~580nm、井戸層4が60nm~580nm、井戸層5が65~600nmであった。

【0123】

(実施例2)

SiドープGaN障壁層AおよびBの成長速度を3 /分、SiドープGaN障壁層Cの成長速度が7 /分となるように、TEGaの供給量を変更したことを除いて、実施例1と同様にIII族窒化物半導体発光素子を作製した。

【0124】

得られた発光素子を実施例1と同様に評価したところ、順方向電流を20mAとした際の順方向電圧は3.3Vであった。また、20mAの順方向電流を流した際の出射される青色帯発光の中心波長は460nmであった。また、一般的な積分球を使用して測定される発光の強度は、5.5mWを示した。このような発光ダイオードの特性は、作製した窒化ガリウム系化合物半導体積層物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。 10

【0125】

この発光素子に順方向で30mAの電流を流し、スタート時および100時間後に発光出力を測定するエージングテストを行ない、スタート時と100時間後の発光出力の劣化率を比較したところ、出力の劣化率は6%であった。

【0126】

また、電流30mAにて100時間の通電を行った前後において、電流10μAにおける逆方向電圧を測定し、比較したところ、逆方向電圧の変化率は0%であった。 20

【0127】

(比較例)

SiドープGaN障壁層(A、BおよびC)の成長速度が12 /分となるように、TEGaの供給量を変更したことを除いて、実施例1と同様にIII族窒化物半導体発光素子を作製した。

【0128】

得られた発光素子を実施例1と同様に評価したところ、順方向電流を20mAとした際の順方向電圧は3.3Vであった。また、20mAの順方向電流を流した際の出射される青色帯発光の中心波長は460nmであった。また、一般的な積分球を使用して測定される発光の強度は、5.5mWを示した。このような発光ダイオードの特性は、作製した窒化ガリウム系化合物半導体積層物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。 30

【0129】

この発光素子に順方向で30mAの電流を流し、スタート時および100時間後に発光出力を測定するエージングテストを行ない、スタート時と100時間後の発光出力の劣化率を比較したところ、出力の劣化率は15%であった。

【0130】

また、電流30mAにて100時間の通電を行った前後において、電流10μAにおける逆方向電圧を測定し、比較したところ、逆方向電圧の変化率は0%であった。 40

【産業上の利用可能性】

【0131】

本発明の製造方法により製造された窒化ガリウム系化合物半導体積層物を用いて得られる発光素子は、低い駆動電圧と高い発光出力を有し、また発光出力の時間的な変化率が少ないので、例えばランプ等として、その産業上の利用価値は非常に大きい。

【図面の簡単な説明】

【0132】

【図1】実施例および比較例で作製した窒化ガリウム系化合物半導体積層物の断面を示した模式図である。

【図2】実施例および比較例における窒化ガリウム系化合物半導体の成長温度プロファイ 50

ルを示した模式図である。

【図 3】実施例および比較例で作製した発光ダイオードの電極構造を示した模式図である。

【図 4】実施例 1 で作製した窒化ガリウム系化合物半導体積層物の断面 T E M 写真の一例である。

【図 5】実施例 1 で作製した窒化ガリウム系化合物半導体積層物の断面 T E M 写真の別の一例である。

【図 6】実施例 1 で作製した窒化ガリウム系化合物半導体積層物の断面 T E M 写真の別の一例である。

【図 7】実施例 1 で作製した窒化ガリウム系化合物半導体積層物の断面 T E M 写真の別の一例である。 10

【図 8】実施例 1 で作製した窒化ガリウム系化合物半導体積層物の断面 T E M 写真の別の一例である。

【図 9】実施例 1 で作製した窒化ガリウム系化合物半導体積層物の断面 T E M 写真の別の一例である。

【図 10】実施例 1 で作製した窒化ガリウム系化合物半導体積層物の断面 T E M 写真の別の一例である。

【図 11】実施例 1 で作製した窒化ガリウム系化合物半導体積層物の断面 T E M 写真の別の一例である。

【図 12】実施例 1 で作製した窒化ガリウム系化合物半導体積層物の断面 T E M 写真の別の一例である。 20

【図 13】実施例 1 で作製した窒化ガリウム系化合物半導体積層物の断面 T E M 写真の別の一例である。

【図 14】実施例 1 で作製した窒化ガリウム系化合物半導体積層物の断面 T E M 写真の別の一例である。

【図 15】実施例 1 で作製した窒化ガリウム系化合物半導体積層物の断面 T E M 写真の別の一例である。

【図 16】実施例 1 で作製した窒化ガリウム系化合物半導体積層物の断面 T E M 写真の別の一例である。

【図 17】実施例 1 で作製した窒化ガリウム系化合物半導体積層物の断面 T E M 写真の別の一例である。 30

【図 18】実施例 1 で作製した窒化ガリウム系化合物半導体積層物の断面 T E M 写真の別の一例である。

【図 19】実施例 1 で作製した窒化ガリウム系化合物半導体積層物の断面 T E M 写真の別の一例である。

【符号の説明】

【 0 1 3 3 】

- 1 基板
- 2 S P 層
- 3 n 型半導体層
- 3 a 下地層
- 3 b n 型コンタクト層
- 3 c n 型クラッド層
- 4 発光層
- 5 p 型半導体層
- 5 b p 型コンタクト層
- 5 c p 型クラッド層
- 1 0 正極
- 1 1 正極ボンディングパッド
- 1 5 n 型コンタクト層露出面

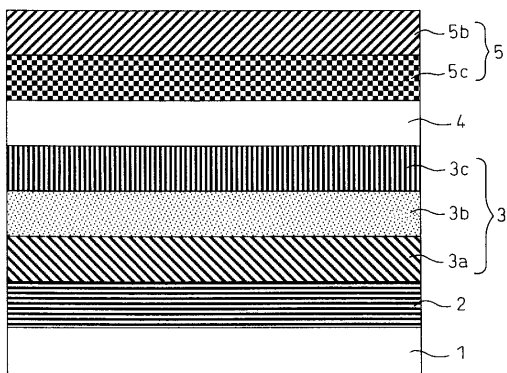
40

50

1 6 負極

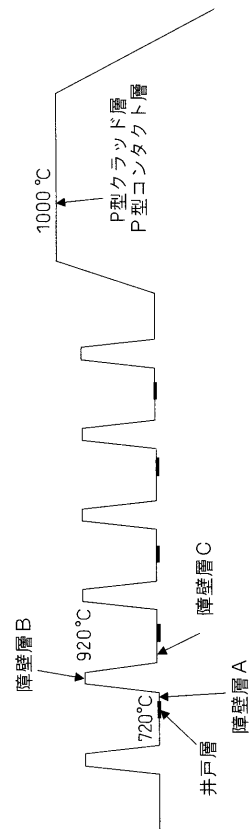
【 図 1 】

図1



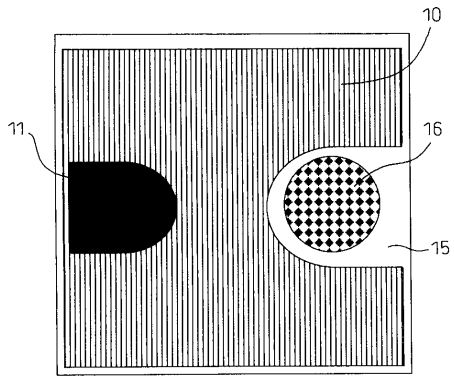
【 図 2 】

図2



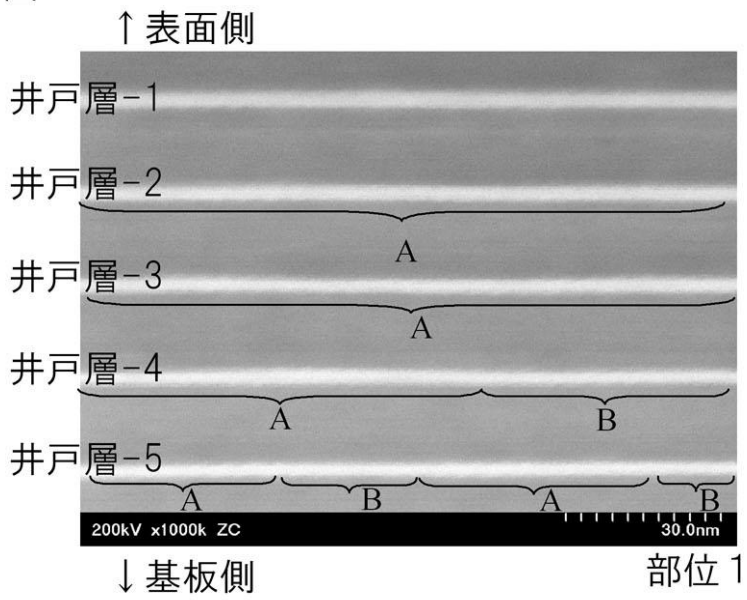
【 図 3 】

図3



【 図 4 】

図 4

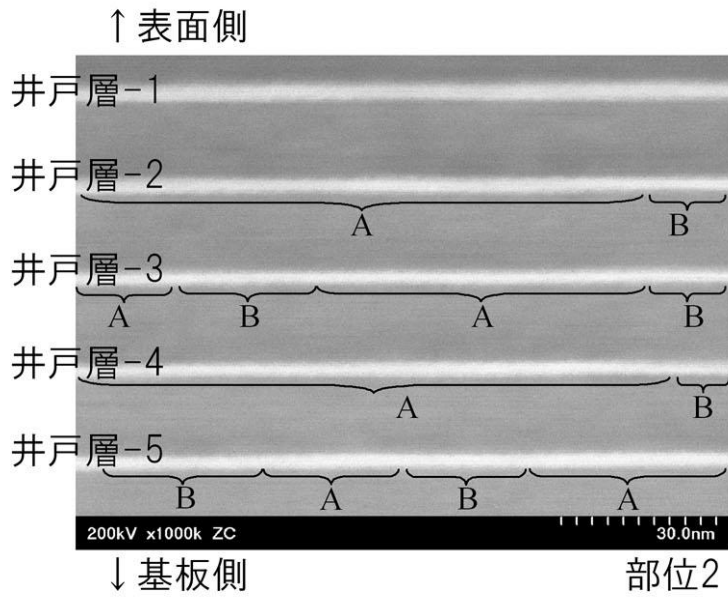


(nm)

井戸層	最大膜厚	最小膜厚
1	3.0	2.8
2	3.1	2.5
3	3.1	2.5
4	3.1	2.2
5	3.0	2.3

【 図 5 】

図 5

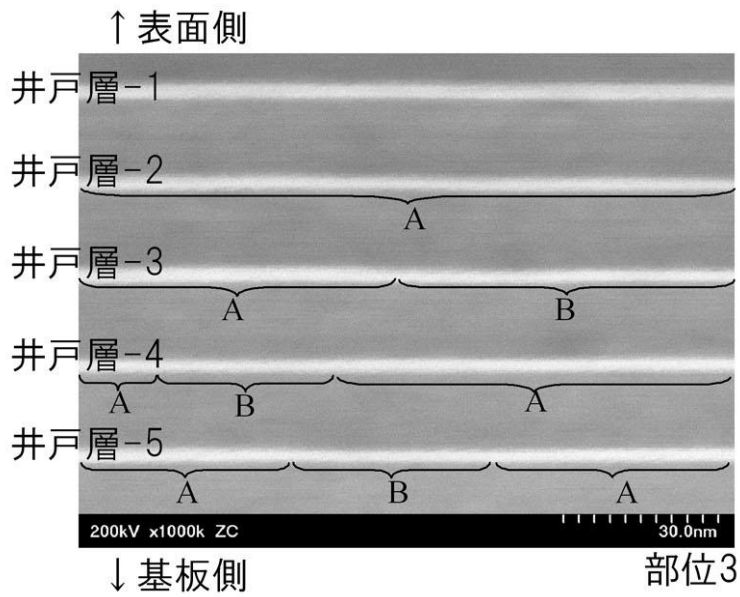


(nm)

井戸層	最大膜厚	最小膜厚
1	3.0	2.9
2	3.1	2.2
3	2.8	2.1
4	3.1	2.2
5	3.2	2.1

【 図 6 】

図 6

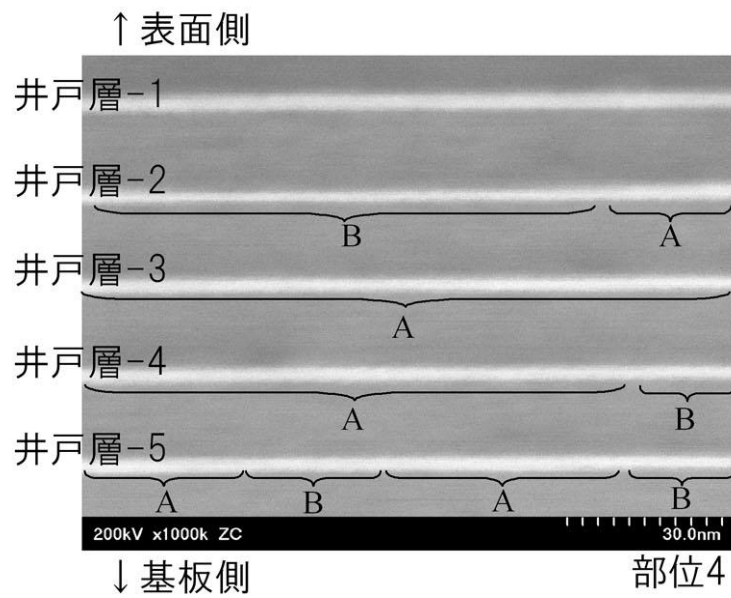


(nm)

井戸層	最大膜厚	最小膜厚
1	3.0	2.8
2	3.1	2.5
3	3.0	1.9
4	2.8	2.2
5	3.0	2.0

【图 7】

图 7

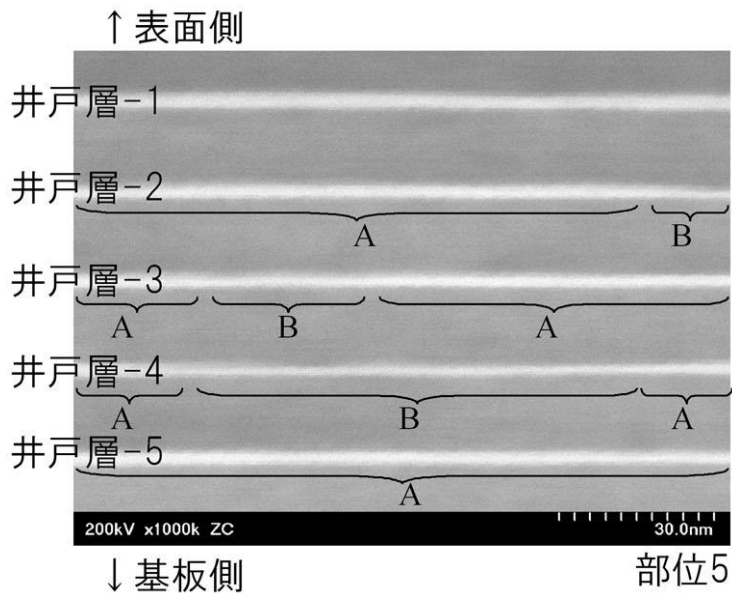


(nm)

井戸層	最大膜厚	最小膜厚
1	3.0	2.8
2	3.2	1.8
3	3.0	2.5
4	2.8	2.3
5	3.0	1.7

【 図 8 】

図 8

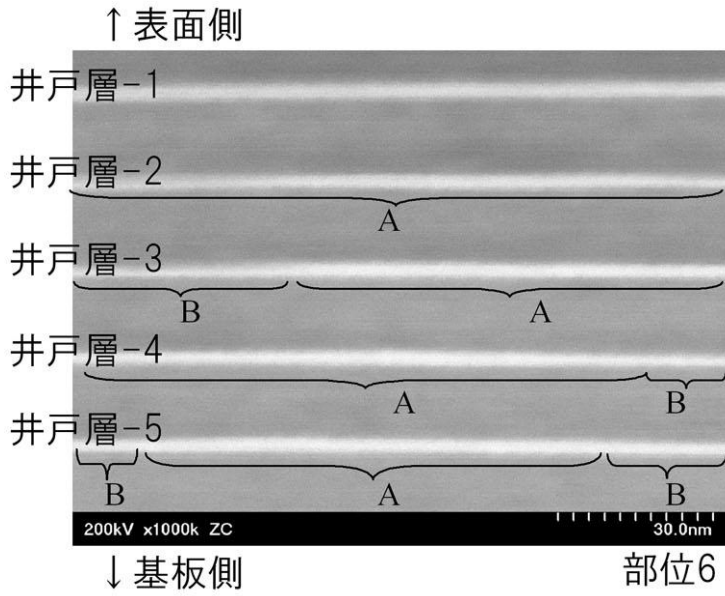


(nm)

井戸層	最大膜厚	最小膜厚
1	3.1	2.8
2	2.7	2.0
3	2.9	2.1
4	2.8	1.6
5	2.9	2.5

【图 9】

图 9

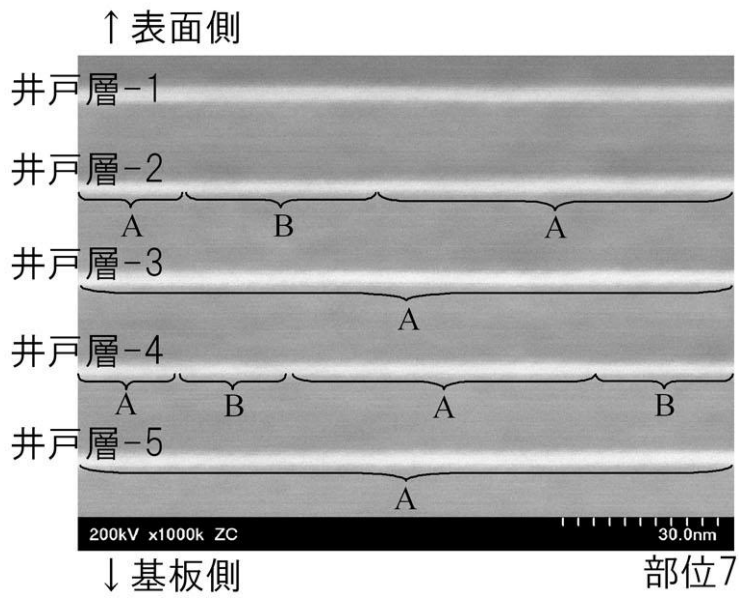


(nm)

井戸層	最大膜厚	最小膜厚
1	3.0	2.8
2	3.2	2.5
3	3.1	1.9
4	3.0	2.2
5	2.9	1.9

【図10】

図10

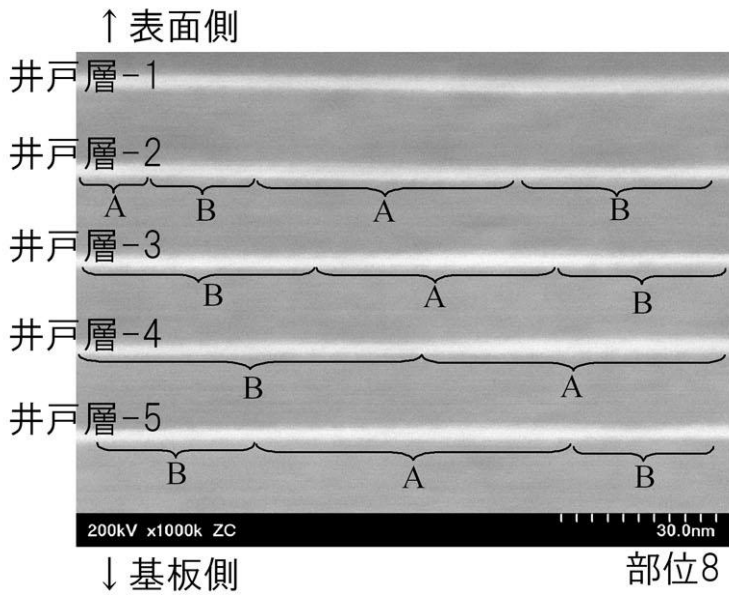


(nm)

井戸層	最大膜厚	最小膜厚
1	3.1	2.9
2	2.8	1.9
3	2.9	2.5
4	2.9	2.2
5	3.2	2.5

【图 1 1】

图 1 1

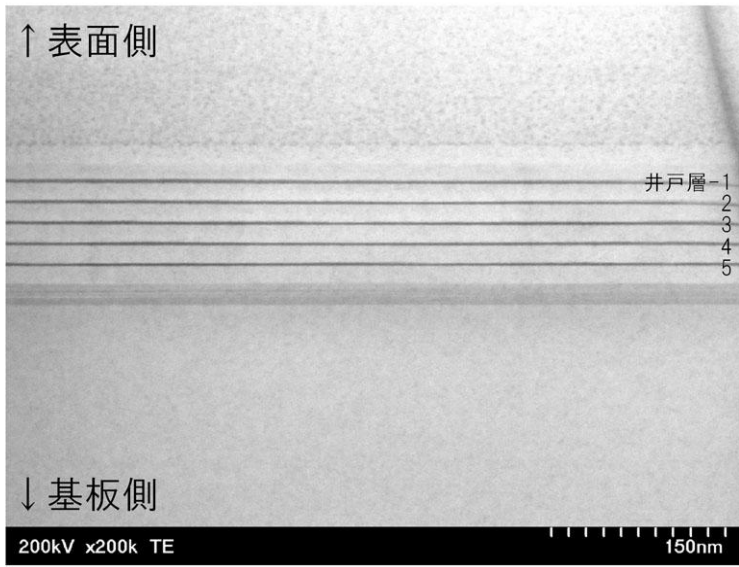


(nm)

井戸層	最大膜厚	最小膜厚
1	3.1	2.9
2	3.1	2.0
3	3.1	1.9
4	3.0	2.1
5	3.1	2.0

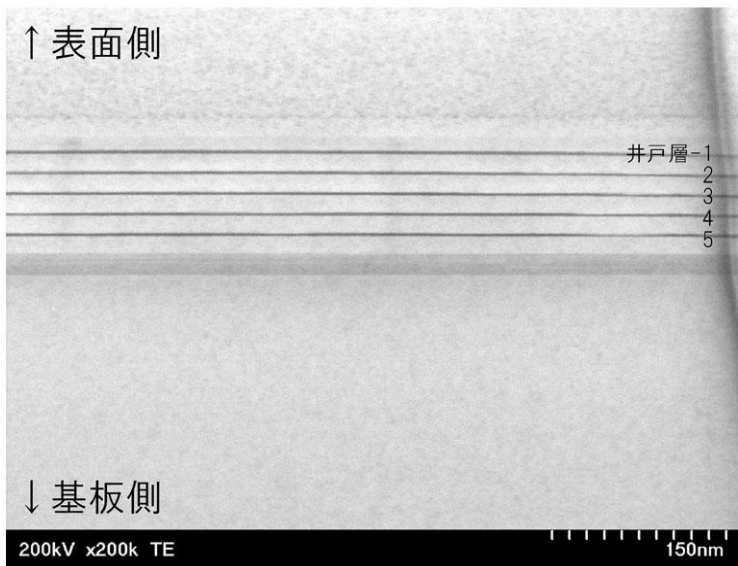
【図 1 2】

図 1 2



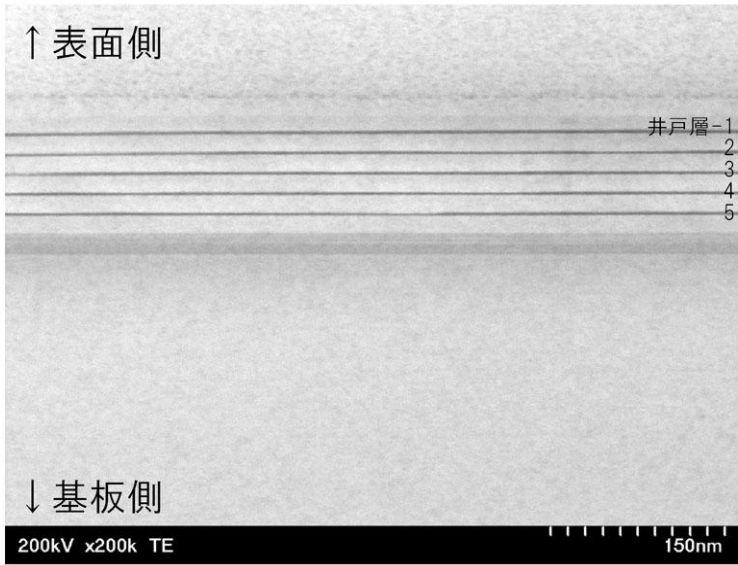
【図 1 3】

図 1 3



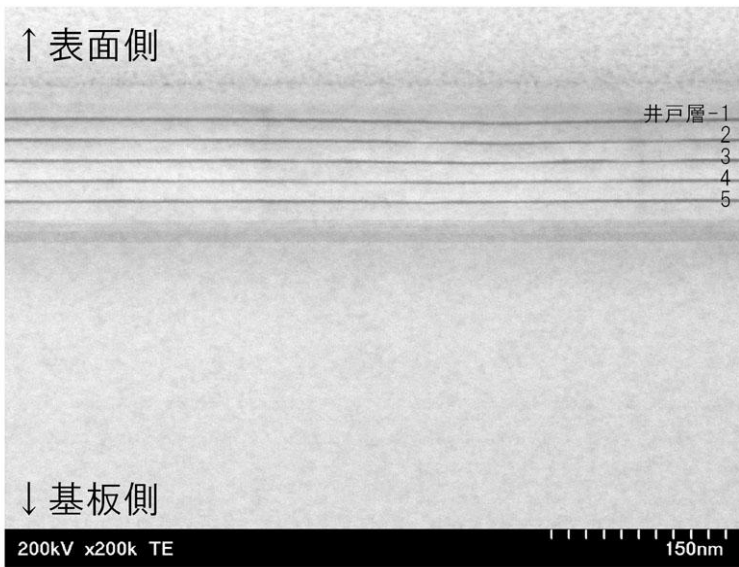
【図 1 4】

図 1 4



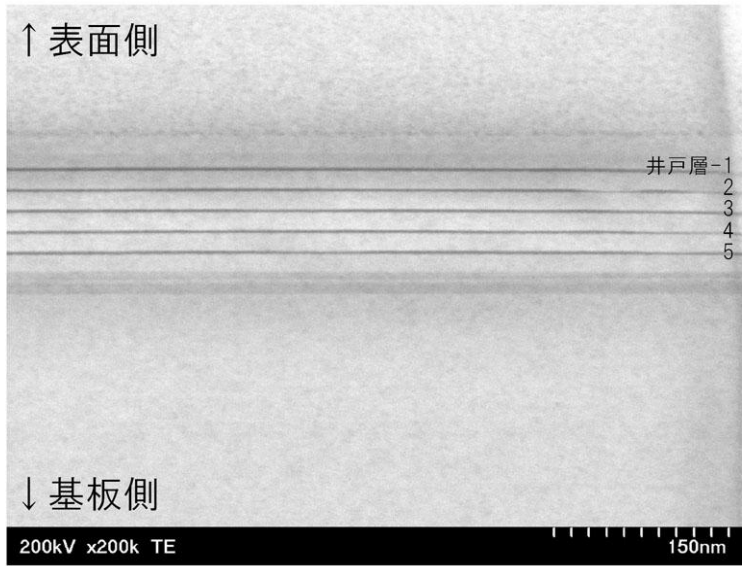
【図 1 5】

図 1 5



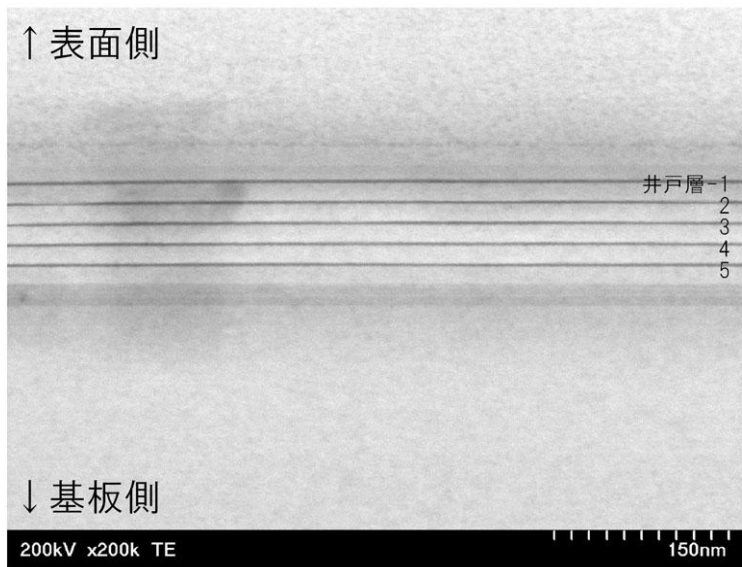
【図 1 6】

図 1 6



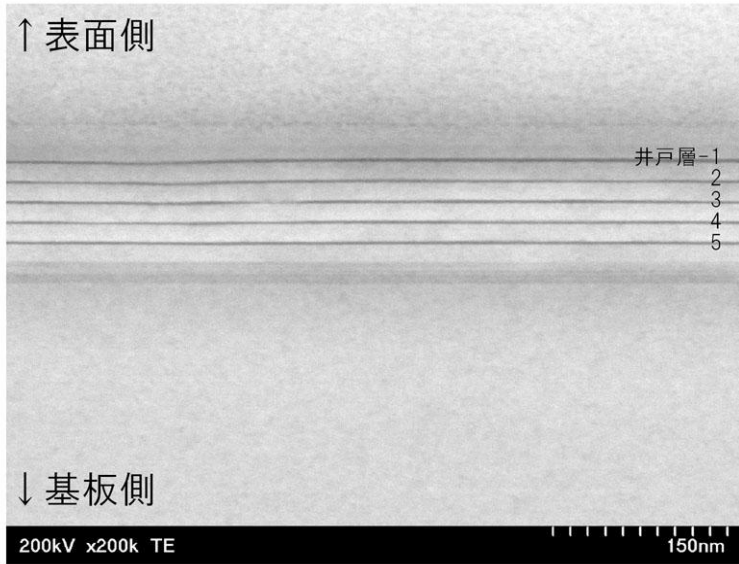
【図 1 7】

図 1 7



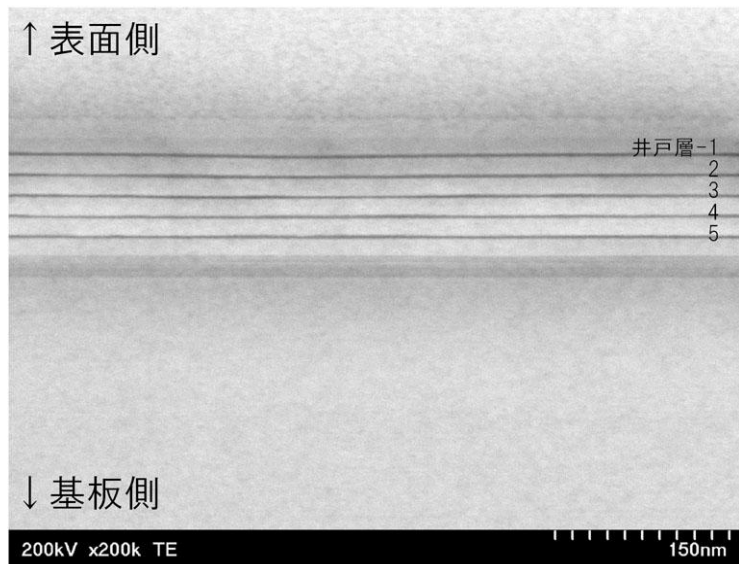
【図 18】

図 18



【図 19】

図 19



フロントページの続き

(72)発明者 武田 仁志

千葉県市原市八幡海岸通5 - 1 昭和電工株式会社内

(72)発明者 佐藤 壽朗

千葉県市原市八幡海岸通5 - 1 昭和電工株式会社内

Fターム(参考) 5F041 AA24 AA44 CA05 CA40 CA46 CA65 CA73

5F045 AA04 AB09 AB14 AB17 AC08 AC09 AC12 AD10 AD14 AD15

AF04 AF09 CA09 DA53 DA55 EB15