

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第6436694号  
(P6436694)

(45) 発行日 平成30年12月12日(2018.12.12)

(24) 登録日 平成30年11月22日(2018.11.22)

(51) Int.Cl.		F I			
<b>C 3 O B</b>	<b>29/38</b>	<b>(2006.01)</b>	<b>C 3 O B</b>	<b>29/38</b>	<b>D</b>
<b>H O 1 L</b>	<b>33/32</b>	<b>(2010.01)</b>	<b>H O 1 L</b>	<b>33/32</b>	
<b>H O 1 L</b>	<b>33/22</b>	<b>(2010.01)</b>	<b>H O 1 L</b>	<b>33/22</b>	
<b>H O 1 L</b>	<b>21/205</b>	<b>(2006.01)</b>	<b>H O 1 L</b>	<b>21/205</b>	
<b>C 2 3 C</b>	<b>16/34</b>	<b>(2006.01)</b>	<b>C 2 3 C</b>	<b>16/34</b>	

請求項の数 5 (全 18 頁)

(21) 出願番号 特願2014-188710 (P2014-188710)  
 (22) 出願日 平成26年9月17日 (2014.9.17)  
 (65) 公開番号 特開2016-60659 (P2016-60659A)  
 (43) 公開日 平成28年4月25日 (2016.4.25)  
 審査請求日 平成29年8月3日 (2017.8.3)

(73) 特許権者 000002093  
 住友化学株式会社  
 東京都中央区新川二丁目27番1号  
 (74) 代理人 100145872  
 弁理士 福岡 昌浩  
 (74) 代理人 100174540  
 弁理士 阿部 廣美  
 (74) 代理人 100187632  
 弁理士 橋高 英郎  
 (74) 代理人 100187643  
 弁理士 白鳥 昌宏  
 (72) 発明者 藤倉 序章  
 東京都港区芝浦一丁目2番1号 日立金属  
 株式会社内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 窒化物半導体テンプレートの製造方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

円錐状又は角錐状の凸部が表面に格子状に配置されて形成されたサファイア基板上に、前記凸部の頂上幅以下で且つ10nm以上330nm以下の厚さにバッファ層を成長させて形成する工程と、

前記バッファ層上に窒化物半導体層を成長させて形成する工程と、を有することを特徴とする窒化物半導体テンプレートの製造方法。

【請求項2】

前記バッファ層を形成する工程では、

前記バッファ層として、GaN層又はAlN層を600以下の温度で成長させることを特徴とする請求項1に記載の窒化物半導体テンプレートの製造方法。

10

【請求項3】

前記バッファ層を形成する工程では、

前記バッファ層として、AlN層を1000以上の温度で成長させることを特徴とする請求項1に記載の窒化物半導体テンプレートの製造方法。

【請求項4】

前記窒化物半導体層を形成する工程では、

前記窒化物半導体層として、GaN層、AlGaN層、InAlGaN層のいずれかを成長させて形成する

ことを特徴とする請求項1ないし3のいずれかに記載の窒化物半導体テンプレートの製造

20

方法。

【請求項5】

前記バッファ層及び前記窒化物半導体層は、HVPE法又はMOVPE法によって成長されることを特徴とする請求項1ないし4のいずれかに記載の窒化物半導体テンプレートの製造方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、窒化物半導体テンプレートの製造方法に関する。

10

【背景技術】

【0002】

例えば発光ダイオード(LED)等の窒化物半導体発光素子(以下、単に「発光素子」とも言う。)は、窒化物半導体テンプレート上に、発光素子構造として、例えば窒化ガリウム(GaN)等からなるn型半導体層、発光層、p型半導体層を順次成長させて形成されている。窒化物半導体テンプレートは、例えばサファイア基板の上に、バッファ層、窒化物半導体層を順次成長させることで形成されている。このような発光素子では、発光層で生じた光をどれだけ効率よく取り出せるかが重要な課題となっている。すなわち、発光素子の光取り出し効率(発光出力)を向上させることが重要となっている。

【0003】

20

そこで、発光素子の光取り出し効率を向上させるため、基板の上面に、円錐状や多角形錐状等の凸部を形成する凹凸加工を施したPSS基板(Patterned Sapphire Substrate)が提案されている(例えば特許文献1参照)。そして、PSS基板の上に所定厚さのバッファ層を成長させて形成し、バッファ層上にGaN層等の窒化物半導体層を表面が平坦になるまで成長させて形成することで、窒化物半導体テンプレートが形成されている。このような凹凸加工が施されたPSS基板が用いられた窒化物半導体テンプレート上に、発光層等を成長させて形成された発光素子は、発光素子の内部への光の閉じ込めを低減でき、発光素子の光取り出し効率を向上させることができる。

【0004】

また、窒化物半導体テンプレートの基板として、このような凹凸加工が施されたPSS基板が用いられると、基板上に例えばGaN層等の窒化物半導体層を成長させる際、窒化物半導体層の成長の初期段階において、窒化物半導体層の島状成長が促進されることで、窒化物半導体層の結晶中での転位同士の会合を増加させることができ、転位の消滅を増加させることができる。従って、凹凸加工が施されていない平坦なサファイア基板(以下では、平坦基板とも言う。)を用いた場合と比較して、結晶中の転位が少ない窒化物半導体層を形成することができる。すなわち、凹凸加工が施されたサファイア基板が用いられると、窒化物半導体層の結晶性を向上させることができる。

30

【先行技術文献】

【特許文献】

【0005】

40

【特許文献1】特開2002-280611号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

しかしながら、窒化物半導体テンプレートの基板として凹凸加工が施されたサファイア基板が用いられると、平坦基板が用いられた場合と比べて、デバイス動作の障害となる表面ピットが発生しやすくなる場合があった。

【0007】

すなわち、サファイア基板の円錐状等の凸部の頂上付近では、凸部の他の箇所と比べて曲率半径が小さい。このため、凸部の頂上や頂上付近には、多数の原子ステップが存在す

50

る。凸部が形成された基板上にバッファ層を成長させる際、バッファ層の成長の初期段階においては、基板の凸部の頂上や頂上付近に成長されたバッファ層に多数の原子ステップが残留する。このため、バッファ層の成長が進んでバッファ層の表面が平滑になる（原子ステップがない結晶面となる）までは、凸部の頂上や頂上付近でのバッファ層の成長速度が、他の箇所よりも速くなる傾向にある。従って、バッファ層の成長が進んでバッファ層が厚くなるにつれて、例えば図6に示すように、バッファ層61は、サファイア基板の凸部62の頂上で尖ったような形状に形成されてしまう場合があった。バッファ層61が凸部62の頂上で尖ったような形状に形成されると、凸部62の頂上付近では、表面エネルギーが増大し、バッファ層61の成長条件に変調がきたされる。このため、凸部62の頂上付近では、バッファ層61に極性の反転したインバージョンドメイン（ID：Inversion Domain）63が発生し易くなる。バッファ層61にID63が存在すると、バッファ層61上に窒化物半導体層64が成長された場合、バッファ層61のID63上に成長された窒化物半導体層64にもID65が発生する。N極性のID65の成長速度は、IDのないIII族極性（Ga極性など）の窒化物半導体層64の成長速度よりも遅く、ID65上方にピット67が発生する。従って、窒化物半導体層64を厚く成長させても、窒化物半導体層64の表面上、すなわち窒化物半導体テンプレート66の表面上に、ピット67が残留してしまう。

10

**【0008】**

そこで、本発明は、上記課題を解決し、表面ピットの発生を抑制できる窒化物半導体テンプレートの製造方法を提供することを目的とする。

20

**【課題を解決するための手段】****【0009】**

上記課題を解決するために、本発明は次のように構成されている。

本発明の第1の態様によれば、円錐状又は角錐状の凸部が表面に格子状に配置されて形成されたサファイア基板上に、前記凸部の頂上幅以下で且つ10nm以上330nm以下の厚さにバッファ層を成長させて形成する工程と、前記バッファ層上に窒化物半導体層を成長させて形成する工程と、を有する窒化物半導体テンプレートの製造方法が提供される。

**【0010】**

本発明の第2の態様によれば、前記バッファ層を形成する工程では、前記バッファ層として、GaN層又はAlN層を600以下の温度で成長させる第1の態様の窒化物半導体テンプレートの製造方法が提供される。

30

**【0011】**

本発明の第3の態様によれば、前記バッファ層を形成する工程では、前記バッファ層として、AlN層を1000以上の温度で成長させる第1の態様の窒化物半導体テンプレートの製造方法が提供される。

**【0012】**

本発明の第4の態様によれば、前記窒化物半導体層を形成する工程では、前記窒化物半導体層として、GaN層、AlGaN層、InAlGaN層のいずれかを成長させて形成する第1ないし第3の態様のいずれかの窒化物半導体テンプレートの製造方法が提供される。

40

**【0013】**

本発明の第5の態様によれば、前記バッファ層及び前記窒化物半導体層は、HVPE法又はMOVPE法によって成長される第1ないし第4の態様のいずれかの窒化物半導体テンプレートの製造方法が提供される。

**【発明の効果】****【0014】**

本発明にかかる窒化物半導体テンプレートの製造方法によれば、表面ピットの発生を抑制できる。

**【図面の簡単な説明】**

50

【 0 0 1 5 】

【 図 1 】 本 発 明 の 一 実 施 形 態 に 係 る 窒 化 物 半 導 体 テ ン プ レ ー ト の 断 面 概 略 図 で 有 る 。

【 図 2 】 本 発 明 の 一 実 施 形 態 に 係 る サ フ ァ イ ア 基 板 上 に 形 成 さ れ た 凸 部 の 頂 上 幅 の 算 出 方 法 を 示 す 概 略 図 で 有 る 。

【 図 3 】 本 発 明 の 一 実 施 形 態 に 係 る サ フ ァ イ ア 基 板 上 に 形 成 さ れ た 凸 部 の 形 状 を A F M 測 定 に よ り 測 定 す る 様 子 を 示 す 概 略 図 で 有 る 。

【 図 4 】 本 発 明 の 一 実 施 形 態 で 好 適 に 用 い ら れ る ハ イ ド ラ イ ド 気 相 成 長 装 置 の 概 略 構 成 図 で 有 る 。

【 図 5 】 本 発 明 の 一 実 施 形 態 に 係 る 発 光 素 子 の 断 面 概 略 図 で 有 る 。

【 図 6 】 従 来 の 窒 化 物 半 導 体 テ ン プ レ ー ト の 一 部 を 拡 大 し て 示 す 断 面 概 略 図 で 有 る 。

10

【 図 7 】 従 来 の A F M 測 定 に よ る 凸 部 の 形 状 の 測 定 方 法 を 示 す 概 略 図 で 有 る 。

【 発 明 を 実 施 す る た め の 形 態 】

【 0 0 1 6 】

以 下 に、 本 発 明 の 一 実 施 形 態 に か か る 窒 化 物 半 導 体 テ ン プ レ ー ト 及 び こ の 窒 化 物 半 導 体 テ ン プ レ ー ト を 用 い た 半 導 体 発 光 素 子 に つ い て 説 明 す る 。

【 0 0 1 7 】

( 1 ) 窒 化 物 半 導 体 テ ン プ レ ー ト

ま ず、 本 実 施 形 態 に か か る 窒 化 物 半 導 体 テ ン プ レ ー ト に つ い て、 主 に 図 1 及 び 図 2 を 参 照 し な が ら 説 明 す る 。

【 0 0 1 8 】

20

図 1 に 示 す よ う に、 本 実 施 形 態 に か か る 窒 化 物 半 導 体 テ ン プ レ ー ト 1 0 は、 サ フ ァ イ ア 基 板 1 1 上 に、 バ ッ フ ァ 層 1 2 と、 窒 化 物 半 導 体 層 1 3 と を 順 次 成 長 さ せ て 構 成 さ れ て い る 。

【 0 0 1 9 】

サ フ ァ イ ア 基 板 1 1 は、 窒 化 物 半 導 体 を 成 長 さ せ る 成 長 面 と な る、 そ の 表 面 ( 主 面 ) 1 1 a に は、 図 1 及 び 図 2 に 示 す よ う に、 円 錐 状 又 は 角 錐 状 ( 三 角 錐 状、 四 角 錐 状、 六 角 錐 状 な ど ) の 凸 部 1 4 が 形 成 さ れ て い る。 凸 部 1 4 は、 サ フ ァ イ ア 基 板 1 1 の 表 面 1 1 a に 格 子 状 ( 三 角 格 子 状、 正 方 格 子 状 な ど ) に 配 置 さ れ て 形 成 さ れ て い る。 サ フ ァ イ ア 基 板 1 1 の 表 面 1 1 a は、 C 面 と す る の が 好 ま し い。 凸 部 1 4 は、 例 え ば、 平 坦 な サ フ ァ イ ア 基 板 の 表 面 に フ ォ ト リ ソ グ ラ フ ィ 及 び ド ラ イ エ ッ チ ン グ に よ り 形 成 さ れ る 。

30

【 0 0 2 0 】

凸 部 1 4 は、 図 2 に 示 す よ う に、 表 面 1 1 a か ら 凸 部 1 4 頂 上 ま で の 高 さ  $h$  を  $0.3 \mu\text{m}$  以 上  $3 \mu\text{m}$  以 下、 凸 部 1 4 底 部 の 幅  $D$  を  $0.3 \mu\text{m}$  以 上  $4 \mu\text{m}$  以 下、 隣 接 す る 凸 部 1 4 の 底 部 間 の 距 離  $S$  を  $0.1 \mu\text{m}$  以 上  $2 \mu\text{m}$  以 下、 隣 接 す る 凸 部 1 4、 1 4 間 の ピ ッ チ  $P$  を  $0.4 \mu\text{m}$  以 上  $6 \mu\text{m}$  以 下 と す る の が 好 ま し い。 ま た、 円 錐 状 又 は 角 錐 状 の 凸 部 1 4 の 頂 上 幅  $w$  は  $0.01 \mu\text{m}$  以 上  $0.33 \mu\text{m}$  以 下 と す る の が 好 ま し い 。

【 0 0 2 1 】

凸 部 1 4 が 形 成 さ れ た サ フ ァ イ ア 基 板 1 1 と し て、 市 販 の P S S 基 板 ( P a t t e r n e d S a p p h i r e S u b s t r a t e ) を 用 い て も よ い。 ま た、 サ フ ァ イ ア 基 板 1 1 は、 上 面 視 に て 略 円 形 の 円 形 基 板 で も、 あ る い は 矩 形 基 板 な ど で も よ い 。

40

【 0 0 2 2 】

こ の よ う に 円 錐 状 又 は 角 錐 状 の 凸 部 1 4 が 格 子 状 に 形 成 さ れ た サ フ ァ イ ア 基 板 1 1 を 用 い る こ と に よ り、 サ フ ァ イ ア 基 板 1 1 上 に 窒 化 物 半 導 体 層 1 3 を 成 長 さ せ る 際 に、 窒 化 物 半 導 体 層 1 3 の 島 状 成 長 を 促 進 で き、 窒 化 物 半 導 体 層 1 3 の 結 晶 中 で の 転 位 同 士 の 会 合 に よ る 消 滅 を 増 加 さ せ る こ と が で き、 窒 化 物 半 導 体 層 1 3 の 低 転 位 化 が 図 れ る。 ま た、 窒 化 物 半 導 体 テ ン プ レ ー ト 1 0 を 用 い て 青 色 発 光 ダ イ オ ー ド ( 青 色 L E D ) 等 の 発 光 素 子 が 形 成 さ れ た 場 合、 発 光 素 子 の 光 取 り 出 し 効 率 を 向 上 さ せ る こ と が で き る 。

【 0 0 2 3 】

凸 部 1 4 が 設 け ら れ た サ フ ァ イ ア 基 板 1 1 上 に は、 バ ッ フ ァ 層 1 2 と し て、 例 え ば 窒 化 ガ リ ウ ム ( G a N ) 層、 窒 化 ア ル ミ ニ ウ ム ( A l N ) 層 等 が 例 え ば  $600$  以 下 の 低 温 の

50

成長温度で成長されて形成されている。バッファ層 12 は、例えば 1000 以上の高温の成長温度で成長させた AlN 層等であってもよい。

【0024】

バッファ層 12 は、凸部 14 の頂上幅  $w$  以下で、且つ 10 nm 以上 330 nm 以下の厚さに形成されている。凸部 14 の頂上幅  $w$  は、凸部 14 の頂部の曲率半径に関連・関係した長さであり、凸部 14 の頂部の上方に次第に成長していくバッファ層 12 の形状を規定するものである。バッファ層 12 の厚さとしては、凸部 14 の頂部の上方におけるバッファ層 12 の厚さ、あるいは凸部 14 が形成されていないサファイア基板 11 の表面 11a 上におけるバッファ層 12 の厚さとするのがよい。

【0025】

また、上記箇所などの実際のバッファ層 12 の厚さの測定・管理が難しい場合には、次に示す簡易な方法で、バッファ層 12 の厚さの形成・管理を行うようにしてもよい。すなわち、凸部 14 が形成されていない平坦なサファイア基板（以下では、「平坦基板」とも言う。）上に形成したバッファ層（以下では、「平坦バッファ層」とも言う。）の厚さが、凸部 14 の頂上幅  $w$  以下で、10 nm 以上 330 nm 以下となる成長条件（例えば所定のガスの供給流量及び成長時間等）を求め、この成長条件と同一の成長条件で本実施形態の凸部 14 が形成されたサファイア基板 11 上にバッファ層 12 を成長させて形成する。この場合、平坦なサファイア基板上に成長する平坦バッファ層と、凸部 14 が形成されたサファイア基板 11 上に成長するバッファ層 12 との成長速度の違いを考慮して、上記成長条件を調整するようにしてもよい。

【0026】

バッファ層 12 を上記の厚さとすることにより、窒化物半導体層 13 の表面ピットの発生を抑制でき、結晶性を向上させることができる。すなわち、バッファ層 12 の厚さを凸部 14 の頂上幅  $w$  以下とすることにより、あるいは平坦バッファ層の厚さが凸部 14 の頂上幅  $w$  以下となるような成長条件の下で、バッファ層 12 が成長されて形成されることにより、バッファ層 12 が、凸部 14 の頂上部で他の箇所よりも厚く形成され、バッファ層 12 が凸部 14 の頂上部で尖ったような形状に形成されてしまうことを抑制できる。これにより、凸部 14 の頂上や頂上付近に位置する箇所で、バッファ層 12 にインバージョンドメイン（ID）が発生することを抑制できる。従って、凸部 14 の頂上や頂上付近の上方の窒化物半導体層 13 に ID が発生することを抑制できる。その結果、デバイス動作の障害となる窒化物半導体テンプレート 10 の表面、すなわち窒化物半導体層 13 の表面にピットが発生することを抑制できる。

【0027】

バッファ層 12 が、10 nm 未満の厚さに形成され、あるいは平坦バッファ層の厚さが 10 nm 未満となるような成長条件の下で成長されて形成されると、バッファ層 12 によるサファイア基板 11 表面の被覆率が低くなるため、表面ピットの発生を抑制する効果が見られなくなる。一方、バッファ層 12 の厚さが凸部 14 の頂上幅  $w$  以下であっても、バッファ層 12 が 330 nm を超える厚さに形成され、あるいは平坦バッファ層の厚さが 330 nm を超えるような成長条件の下で成長されて形成されると、バッファ層 12 自体の結晶品質が低下するため、バッファ層 12 の ID の発生を抑制できず、窒化物半導体テンプレート 10 の表面ピットの発生を抑制できない。従って、バッファ層 12 の厚さは、10 nm 以上 330 nm 以下の厚さとする。

【0028】

ここで、凸部 14 の頂上幅  $w$  は、次のように定義した。すなわち、図 2 に示すように、測定されたサファイア基板 11 表面の凸部 14 の外形線（凸部 14 の頂点を含む縦断面の輪郭線）16 における凸部 14 の高さ  $h$  の半分の位置（ $h/2$ ）の点での 2 つの接線  $L_1$ 、 $L_2$ （接線  $L_1$ 、 $L_2$  は点  $T_3$  で交わる）と、凸部 14 の外形線 16 の頂点  $T_0$  と接し、サファイア基板 11 の凸部 14 が形成されていない表面 11a と平行である平行線  $L_3$  とにより形成される三角形  $T_1 T_2 T_3$  の底辺  $T_1 T_2$  の長さを凸部 14 の頂上幅  $w$  と定義した。

10

20

30

40

50

## 【0029】

図3に示すように、凸部14の外形線16の測定は、原子間力顕微鏡(AFM)により、先鋭化した探針15を用い、探針15を凸部14に沿って移動させることで行われる。凸部14の形状(外形線16)の測定は、例えば、一の凸部14上の複数箇所て探針15の先端の位置情報を読み取り、各情報をそれぞれプロットして行う。凸部14の外形線16の測定には、探針15として、例えば、エッチングにより先端の曲率半径を10nm程度と先鋭化したシリコン製の探針や、直径が1nm程度であるカーボンナノチューブにより形成された探針を用いるとよい。これにより、サファイア基板11上に形成された凸部14の曲率半径(凸部14の頂上幅 $w$ )が小さい場合であっても、凸部14の頂上部(先端)の外形を精密に測定できる。

10

## 【0030】

これに対し、従来のAFM測定やSEM(走査型電子顕微鏡)測定では、nmレベルでの検出が困難な場合があるため、凸部14の頂上部の外形を精密に測定できない場合があった。例えばAFM測定では、探針の先端の曲率半径が通常数100nmであることが多い。このため、図7に示すように、AFM測定では、例えば曲率半径が数100nm程度かそれ以下である凸部14の頂上部を測定しようとする、図7に実線で示す実際の凸部14の外形よりも大きな、図7に一点鎖線で示すような探針15'の先端形状を反映した外形線16'が観察されてしまう。また、SEM測定では、そもそもサファイア基板11の凸部14の頂上を通る断面を得るのが困難である。

20

## 【0031】

図1に示すように、バッファ層12上には、所定厚さ(例えば4 $\mu$ m)の窒化物半導体層13が成長されて形成されている。すなわち、窒化物半導体層13は、その表面が平坦になるまでバッファ層12上に成長されている。窒化物半導体層13として、例えば、窒化ガリウム(GaN)層、窒化ガリウムアルミニウム(AlGaN)層、窒化インジウムアルミニウムガリウム(InAlGaN)層等を成長させるとよい。

## 【0032】

バッファ層12及び窒化物半導体層13は、気相成長法によってサファイア基板11上に成長されて形成されるとよい。気相成長法としては、例えば、ハイドライド気相成長(HVPE:Hydride Vapor Phase Epitaxy)法、有機金属気相成長(MOVPE:Metal-Organic Vapor Phase Epitaxy)法がある。あるいは、分子線エピタキシ(MBE:Molecular Beam Epitaxy)法を用いることができる。特に、HVPE法はサファイア基板11上に結晶を成長させる成長速度が速いため、HVPE法が用いられると、窒化物半導体テンプレート10の製造時間を短くすることができる。従って、製造コストを低減できる。

30

## 【0033】

ここで、サファイア基板11上にバッファ層12及び窒化物半導体層13を成長させて形成するハイドライド気相成長装置(HVPE装置)30について図4を用いて説明する。図4は、HVPE装置30の概略構成図を示す。

## 【0034】

図4に示すように、HVPE装置30は、例えば石英等により構成される反応炉31を備えている。反応炉31の外周には、反応炉31内を加熱する第1ヒータ32及び第2ヒータ33が設けられている。主に第1ヒータ32によって加熱される反応炉31内の領域は原料部34として機能し、主に第2ヒータ33によって加熱される反応炉31内の領域は成長部35として機能する。原料部34は、第1ヒータ32によって例えば600~900に加熱され、後述する反応ガスとガリウム(Ga)又はアルミニウム(Al)とを反応させて原料ガスを生成する空間である。また、成長部35は、第2ヒータ33によって例えば500~1200に加熱され、後述する第1のIII族原料ガス供給管40又は第2のIII族原料ガス供給管41から反応炉31内に供給されるIII族原料ガスと、後述するV族原料ガス供給管39から反応炉31内に供給されるV族原料ガスとを反応させ、サファイア基板11上に例えば窒化物半導体層13としてのGaN層を成長させる空間

40

50

である。なお、第2ヒータ33による加熱温度が成長温度となる。

【0035】

反応炉31内の成長部35には、反応炉31内でサファイア基板11を支持する基板支持部としてのサセプタ36が設けられている。サファイア基板11は、成長面がガス供給口に対向するようにサセプタ36上に支持されている。サセプタ36は、例えばカーボンによって構成されており、表面が炭化シリコン(SiC)で覆われている。サセプタ36には、例えば高純度の石英で形成される回転軸37が設けられている。回転軸37が回転されることによって、サセプタ36と共にサファイア基板11が所定の速度(例えば3r/min~100r/min)で回転するように構成されている。

【0036】

反応炉31には、ドーピングガス供給管38、V族原料ガス供給管39、第1のIII族原料ガス供給管40、第2のIII族原料ガス供給管41がそれぞれ設置されている。ドーピングガス供給管38、V族原料ガス供給管39、第1のIII族原料ガス供給管40、第2のIII族原料ガス供給管41はそれぞれ、例えば高純度の石英で形成されると共に、反応炉31へのガスの供給・停止を行う弁(図示せず)がそれぞれ設けられている。

【0037】

ドーピングガス供給管38の上流側には、ドーピングガス供給源(図示せず)が接続されている。ドーピングガス供給管38からは、ドーピングガスとして、例えば窒素(N<sub>2</sub>)ガス、水素(H<sub>2</sub>)ガス、又はN<sub>2</sub>ガスとH<sub>2</sub>ガスとの混合ガス等によって所定濃度(例えば100ppm)に希釈されたジクロロシラン(SiH<sub>2</sub>Cl<sub>2</sub>)ガスが反応炉31内の成長部35に供給される。Siドーピング原料ガスとしては、この他、例えば、SiHCl<sub>3</sub>ガス、SiH<sub>3</sub>Clガス、SiCl<sub>4</sub>ガスを用いてもよい。

【0038】

なお、ドーピングを行わない場合、ドーピングガス供給管38からは、例えばH<sub>2</sub>ガスや、N<sub>2</sub>ガス、又はH<sub>2</sub>ガスとN<sub>2</sub>ガスとの混合ガスを反応炉31内に供給してもよい。また、ドーピングガス供給管38からは、サファイア基板11に例えば窒化物半導体層13を成長させた後、反応炉31内に付着した付着物等の除去を行うクリーニングガスとして、例えばHClガスや、H<sub>2</sub>ガス、N<sub>2</sub>ガス等を反応炉31内に供給してもよい。

【0039】

V族原料ガス供給管39の上流側には、V族原料ガス供給源(図示せず)が接続されている。V族原料ガス供給管39からは、V族原料ガスとして例えばアンモニア(NH<sub>3</sub>)ガス等が反応炉31内の成長部35に供給される。

【0040】

V族原料ガス供給管39からは、例えばV族原料ガスと併行して、キャリアガスとしての例えばH<sub>2</sub>ガス、N<sub>2</sub>ガス、あるいはこれらの混合ガスを供給してもよい。なお、V族原料ガス供給管39からは、キャリアガスのみを反応炉31内に供給してもよい。

【0041】

第1のIII族原料ガス供給管40の反応炉31内の原料部34には、Ga(融液)が貯留されるGaタンク42が設置されると共に、第1のIII族原料ガス供給管40の上流側には反応ガス供給源(図示せず)が接続されている。Gaタンク42は、例えば高純度の石英で形成されているとよい。第1のIII族原料ガス供給管40からは、まず、反応ガスとして例えば塩化水素(HCl)ガスがGaタンク42内に供給される。反応ガスがGaタンク42内に供給されることで、III族原料ガスであるGaClガスが生成される。そして、第1のIII族原料ガス供給管40から、反応炉31内の成長部35へGaClガスが供給される。

【0042】

なお、第1のIII族原料ガス供給管40からは、III族原料ガスと併行して、キャリアガスとしての例えばH<sub>2</sub>ガス、N<sub>2</sub>ガス、あるいはこれらの混合ガスを供給してもよい。

【0043】

第2のIII族原料ガス供給管41の反応炉31内の原料部34には、Al(固体)が収

10

20

30

40

50

容されるA1タンク43が設置されると共に、第2のIII族原料ガス供給管41の上流側には反応ガス供給源(図示せず)が接続されている。A1タンク43は、例えば高純度の石英で形成されているとよい。第2のIII族原料ガス供給管41からは、まず、反応ガスとして例えばHClガスがA1タンク43内に供給される。反応ガスがA1タンク43内に供給されることで、III族原料ガスであるAlCl<sub>3</sub>ガスが生成される。そして、第2のIII族原料ガス供給管41から、反応炉31内の成長部35へAlCl<sub>3</sub>ガスが供給される。

【0044】

なお、第2のIII族原料ガス供給管41からは、III族原料ガスと併行して、キャリアガスとしての例えばH<sub>2</sub>ガス、N<sub>2</sub>ガス、あるいはこれらの混合ガスを供給してもよい。

【0045】

反応炉31の成長部35の下流側には、排気管44が接続されている。排気管44は、反応炉31内のガスを反応炉31外へ排出するように構成されている。

【0046】

このようなHVPE装置30を用いることで、サファイア基板11上にバッファ層12や窒化物半導体層13をハイドライド気相成長させて形成することができる。これにより、窒化物半導体の成長速度を上げることができる。

【0047】

(2) 窒化物半導体テンプレートの製造方法

次に、本発明の一実施形態に係る上述の窒化物半導体テンプレート10の製造方法について説明する。なお、本実施形態では、例えば図4に示すHVPE装置30を用いて窒化物半導体テンプレート10を製造する場合について説明する。

【0048】

(凸部形成工程)

本実施形態に係る窒化物半導体テンプレート10の製造方法では、まず、例えば表面が平坦なサファイア基板11を準備する。そして、サファイア基板11に凹凸加工を施して、バッファ層12が成長されるサファイア基板11の成長面となる表面に所定の凸部14を格子状に配置させて形成する。

【0049】

凸部14は、例えば、フォトリソグラフィ及びドライエッチングにより形成される。すなわち、まず、サファイア基板11の表面にフォトレジストパターンを形成する。一例として、鏡面研磨されたC面サファイア基板の表面の全面に、フォトレジストを塗布した後、フォトリソグラフィによってパターン露光、現像を行い、表面上に円柱状のフォトレジストが格子状に配置されたフォトレジストパターンを形成する。次に、上記のフォトレジストパターンが形成されたサファイア基板11を、ホットプレートを用いてバークし、フォトレジストを加熱する。このバーク工程では、フォトレジスト中の余分な有機溶剤が蒸発すると共に、円柱状であったフォトレジストは、半球状のフォトレジストに変化する。次に、半球状のフォトレジストが形成されたサファイア基板11の表面をドライエッチングする。ドライエッチング工程は、一例として、プラズマエッチング装置を用い、プラズマエッチング装置の反応室内にサファイア基板11を設置し、反応室内に塩素を含む反応性ガスを供給し、反応室内に生成される反応性ガスプラズマを利用して、サファイア基板11の表面をドライエッチングする。このドライエッチングにより、サファイア基板11の表面には、円錐状の凸部14が格子状に配置して形成される。フォトリソグラフィ及びドライエッチングの条件、例えばエッチング時間を変えることで、サファイア基板11上に形成される凸部14の曲率半径ないし頂上幅wを変更することができる。

【0050】

(凸部の頂上幅算出工程)

凸部形成工程が終了したら、凸部14の外形をAFM測定し、凸部14の外形の測定結果から凸部14の頂上幅wを算出(測定)する。

【0051】

すなわち、まず、図3に示すように、先端の曲率半径が小さい探針15を用い、少なく

10

20

30

40

50

とも一の凸部14に沿って探針15を移動させる。そして、凸部14上の複数個所で探針15の位置情報を読み取ってプロットすることで、凸部14の頂上を含む断面の外形(外形線16)を測定する。探針15として、例えば、エッチングにより先端の曲率半径を10nm程度と先鋭化した探針や、直径が1nm程度であるカーボンナノチューブにより形成された探針を用いるとよい。これにより、サファイア基板11上に形成された凸部14の曲率半径が小さい場合であっても、凸部14の頂上部(先端)の形状を精密に測定できる。

#### 【0052】

凸部14の外形(外形線16)を測定したら、図2に示すように、測定した外形(外形線16)から凸部14の高さ $h$ を求める。そして、凸部14の高さ $h$ の半分の位置( $h/2$ )を接点とする2本の接線 $L_1$ ,  $L_2$ を求め、2本の接線 $L_1$ ,  $L_2$ の交点 $T_3$ を求める。次いで、凸部14の外形線16の頂点 $T_0$ を検出し、頂点 $T_0$ と接し、サファイア基板11の凸部14が形成されていない表面11aと平行である平行線 $L_3$ を求める。そして、2本の接線 $L_1$ ,  $L_2$ と平行線 $L_3$ とにより形成される三角形 $T_1T_2T_3$ の底辺 $T_1T_2$ の長さを求める。この底辺 $T_1T_2$ の長さを凸部14の頂上幅 $w$ とする。

#### 【0053】

(基板搬入工程)

凸部の頂上幅算出工程が終了したら、凸部14を形成したサファイア基板11を反応炉31内に搬入し、サセプタ36上に載置する。

#### 【0054】

(バッファ層形成工程)

凸部14を形成したサファイア基板11の面上に、バッファ層12として、上述の凸部の頂上幅算出工程で算出した凸部14の頂上幅 $w$ 以下で、10nm以上330nm以下である厚さのAlN層を成長させて形成する。このとき、凸部14が形成されていない平坦なサファイア基板11上に形成した場合の平坦バッファ層の厚さが凸部14の頂上幅 $w$ 以下で、10nm以上330nm以下となるような成長条件で、バッファ層12を成長させて形成してもよい。

#### 【0055】

これにより、バッファ層12が、凸部14の頂上部で他の箇所よりも厚く形成され、バッファ層12が凸部14の頂上部で尖ったような形状に形成されることを抑制できる。従って、凸部14の頂上や頂上付近に位置する箇所の上方で、バッファ層12にインバージョンドメイン(ID)が発生することを抑制できる。これにより、凸部14の頂上や頂上付近の上方で、窒化物半導体層13にIDが発生することを抑制でき、その結果、窒化物半導体層13の表面、すなわち窒化物半導体テンプレート10の表面にピットが発生することを抑制できる。

#### 【0056】

すなわち、まず、第2ヒータ33によってサファイア基板11を所定の温度(例えば600以下、または1000以上)に加熱するとともに、第1ヒータ32によって反応炉31の原料部34を加熱する。サファイア基板11が所定の温度に達するとともに、反応炉31の原料部34が所定の温度に達したら、排気管44から排気しつつ、第2のIII族原料ガス供給管41内へ反応ガスであるHClガスの供給を開始し、Alタンク43内へHClガスを供給し、AlClガスの生成を開始する。そして、第2のIII族原料ガス供給管41から、AlClガスを反応炉31内に供給する。反応炉31内へのAlClガスの供給と併行して、V族原料ガス供給管39からV族原料ガスとしてNH<sub>3</sub>ガスを反応炉31内に供給する。このとき、第2のIII族原料ガス供給管41、V族原料ガス供給管39に、キャリアガスとして例えばH<sub>2</sub>ガス、N<sub>2</sub>ガスを流すとよい。そして、反応炉31内の成長部35でIII族原料ガスであるAlClガスと、V族原料ガスであるNH<sub>3</sub>ガスを反応させて、サファイア基板11上に所定の厚さのバッファ層12としてのAlN層を成長させて形成する。バッファ層12としてのAlN層の厚さが所定の厚さに達したら、反応炉31内へのAlClガス及びNH<sub>3</sub>ガスの供給を停止する。なお、第1ヒータ

10

20

30

40

50

3 2 及び第 2 ヒータ 3 3 による反応炉 3 1 内の加熱は継続したままとする。

【 0 0 5 7 】

( 窒化物半導体層形成工程 )

バッファ層形成工程が終了したら、バッファ層 1 2 としての A l N 層上に、窒化物半導体層 1 3 として所定の厚さ ( 例えば 4 μ m 以上 5 0 μ m 以下 ) の G a N 層を成長させて形成する。

【 0 0 5 8 】

すなわち、排気管 4 4 から排気しつつ、第 1 の III 族原料ガス供給管 4 0 内へ反応ガスである H C l ガスの供給を開始し、G a タンク 4 2 内へ H C l ガスを供給し、III 族原料ガスである G a C l ガスの生成を開始する。そして、第 1 の III 族原料ガス供給管 4 0 から、G a C l ガスを反応炉 3 1 内に供給する。反応炉 3 1 内への G a C l ガスの供給と併行して、V 族原料ガス供給管 3 9 から V 族原料ガスとしての N H <sub>3</sub> ガスを反応炉 3 1 内に供給する。このとき、第 1 の III 族原料ガス供給管 4 0、V 族原料ガス供給管 3 9 に、キャリアガスとして例えば H<sub>2</sub> ガス、N<sub>2</sub> ガスを流すとよい。そして、反応炉 3 1 内の成長部 3 5 で III 族原料ガスである G a C l ガスと、V 族原料ガスである N H <sub>3</sub> ガスとを反応させて、サファイア基板 1 1 上に、窒化物半導体層 1 3 として、添加物を添加 ( ドープ ) しないアンドープ層である所定の厚さの G a N 層を成長させて形成する。G a N 層の厚さが所定の厚さに達したら、反応炉 3 1 内への G a C l ガスの供給を停止する。

【 0 0 5 9 】

なお、反応炉 3 1 内への G a C l ガスの供給及び N H <sub>3</sub> ガスの供給と併行して、ドーピングガス供給管 3 8 から、ドーピングガスとして例えば S i H<sub>2</sub> C l<sub>2</sub> ガスを窒素 ( N<sub>2</sub> ) ガス等で希釈したガスを供給してもよい。すなわち、反応炉 3 1 内の成長部 3 5 で III 族原料ガスである G a C l ガスと、V 族原料ガスである N H <sub>3</sub> ガスとを反応させつつ、不純物として S i を添加 ( ドーピング ) してもよい。この場合、窒化物半導体層 1 3 として S i ドープの n 型 G a N 層が形成される。n 型 G a N 層の厚さが所定の厚さに達したら、反応炉 3 1 内への G a C l ガス及びドーピングガスの供給を停止する。

【 0 0 6 0 】

( パージ工程 )

反応炉 3 1 内への G a C l ガスの供給を停止した後、第 1 の III 族原料ガス供給管 4 0、第 2 の III 族原料ガス供給管 4 1 の少なくともいずれかから、例えば N<sub>2</sub> ガス等の不活性ガスの供給を開始する。これにより、反応炉 3 1 内を N<sub>2</sub> ガスによりパージし、反応炉 3 1 内に残留している残留ガスや反応生成物を除去する。また、反応炉 3 1 内への不活性ガス及び N H <sub>3</sub> ガスの供給を継続したまま、第 1 ヒータ 3 2 及び第 2 ヒータ 3 3 による反応炉 3 1 内の加熱を停止し、反応炉 3 1 内及びサファイア基板 1 1 を降温させる。反応炉 3 1 内の温度が、サファイア基板 1 1 上に形成した G a N 層が再蒸発しない温度 ( 例えば 5 0 0 程度 ) まで降温したら、反応炉 3 1 内への不活性ガスの供給を継続したまま、N H <sub>3</sub> ガスの供給を停止する。そして、反応炉 3 1 内が室温付近まで降温したら、反応炉 3 1 内への不活性ガスの供給を停止する。

【 0 0 6 1 】

( 基板搬出工程 )

パージ工程が終了したら、サセプタ 3 6 からサファイア基板 1 1 を取り外し、サファイア基板 1 1 を反応炉 3 1 外へ搬出して、本実施形態に係る窒化物半導体テンプレート 1 0 の製造工程を終了する。

【 0 0 6 2 】

( 3 ) 発光素子

次に、上述の窒化物半導体テンプレート 1 0 を用いた発光素子 5 0 について、主に図 5 を用いて説明する。図 5 は、本実施形態にかかる発光素子 5 0 の断面概略図である。

【 0 0 6 3 】

図 5 に示すように、発光素子 5 0 は、窒化物半導体テンプレート 1 0 上に発光部を備えて構成されている。すなわち、発光素子 5 0 は、窒化物半導体テンプレート 1 0 上に、発

10

20

30

40

50

光部として、n型半導体層51と、発光層52と、p型半導体層53とがこの順に順次成長されて形成されている。

【0064】

n型半導体層51として、例えばn型GaN層が成長されて形成されている。n型半導体層51は、所定のn型不純物を所定濃度含んでいるとよい。n型不純物としては、例えばシリコン(Si)、セレン(Se)、テルル(Te)等を用いることができる。n型半導体層51の厚さは、例えば0.2μm以上15μm以下程度であるとよい。

【0065】

発光層52は、バリア層と井戸層とからなる多重量子井戸(MQW: Multiple Quantum Well)層で構成されているとよい。すなわち、発光層52は、例えばInGaN層を井戸層とし、この井戸層よりもバンドギャップの大きい例えばGaN層をバリア層とし、井戸層とバリア層とを1層ずつ交互に積層した多重量子井戸(MQW)構造を有するとよい。なお、発光層52は、単一量子井戸(SQW)構造としていてもよい。また、発光層52は、不純物の添加を行わないアンドープの化合物半導体で構成されているとよい。発光層52の厚さは、数100nm程度であるとよい。

10

【0066】

p型半導体層53として、例えばp型AlGaN層やp型GaN層が、発光層52上に成長されて形成されている。なお、p型半導体層53として、例えばp型AlGaN層とp型GaN層とが、発光層52の側から順に成長されて形成されていてもよい。p型半導体層53は、それぞれ所定のp型不純物を所定濃度含む。p型不純物としては、例えばマグネシウム(Mg)、亜鉛(Zn)、炭素(C)等を用いることができる。p型半導体層53の厚さは、例えば200nm以上500nm以下であるとよい。

20

【0067】

なお、n型半導体層51、発光層52、p型半導体層53の成長方法としては、種々の気相成長法を用いることができる。例えば、有機金属化合物気相成長法(MOVPE法)、分子線エピタキシ法(MBE法)、ハイドライド気相成長法(HVPE法)を用いることができる。この中でも、MOVPE法が用いられると、より結晶性の良いものが得られる。

【0068】

p型半導体層53の表面上には、第1電極54が設けられている。第1電極54は、p型半導体層53側から順に、例えばニッケル(Ni)層、金(Au)層が積層されて構成されているとよい。

30

【0069】

第1電極54上には、電極パッド55が形成されている。電極パッド55は、第1電極54より小さく形成されている。電極パッド55は、第1電極54と略同一形状に形成されていてもよい。電極パッド55は、第1電極54側から順に、例えばチタン(Ti)層、Au層が積層されて構成されているとよい。電極パッド55は、例えばワイヤボンディング用電極パッドとして構成されている。

【0070】

発光部には、窒化物半導体テンプレート10の表面、すなわち窒化物半導体層13を露出させる露出領域56が形成されている。露出領域56には、第2電極57が設けられている。第2電極57は、n型の窒化物半導体層13側から順に、例えばTi層、アルミニウム(Al)層が積層されて構成されているとよい。第2電極57は、例えばダイボンディング用電極として構成されている。

40

【0071】

(4) 発光素子の製造方法

次に、本実施形態に係る発光素子の製造方法について説明する。

【0072】

(発光部形成工程)

窒化物半導体テンプレート10上に、発光部を成長させて形成する。すなわち、まず、

50

窒化物半導体層 1 3 の表面上に、n 型半導体層 5 1 として例えば n 型 GaN 層を、次いで n 型半導体層 5 1 上に、発光層 5 2 として、井戸層の InGaIn 層とバリア層の GaN 層とから成る MQW 層を、そして、発光層 5 2 上に、発光層 5 2 の側から、p 型半導体層 5 3 として例えば p 型 AlGaIn 層と p 型 GaN 層とを順に、例えば MOVPE 法により成長させて形成する。

【0073】

(露出領域形成工程)

次に、窒化物半導体テンプレート 1 0 上に形成した発光部に、窒化物半導体テンプレート 1 0 (窒化物半導体層 1 3) を露出させる露出領域 5 6 を形成する。すなわち、例えば、発光部の上面、すなわち p 型半導体層 5 3 の上面の所定位置に、レジストパターンを形成する。続いて、レジストパターンをマスクとして、p 型半導体層 5 3、発光層 5 2 及び n 型半導体層 5 1 をエッチング(例えば RIE (Reactive Ion Etching)) により部分的に除去する。なお、p 型半導体層 5 3、発光層 5 2 及び n 型半導体層 5 1 のエッチングは、同時に行ってもよく、別々に行ってもよい。これにより、発光部の所定位置に、窒化物半導体テンプレート 1 0 が露出された露出領域 5 6 が形成される。また、例えば図 5 に示すように、露出領域 5 6 は、p 型半導体層 5 3、発光層 5 2 及び n 型半導体層 5 1 に加えて、窒化物半導体テンプレート 1 0 が備える窒化物半導体層 1 3 の所定位置にもエッチングを行い、所定深さの凹部を設けてもよい。

10

【0074】

(第 1 電極形成工程)

次に、p 型半導体層 5 3 の上面の一部に、第 1 電極 5 4 を形成する。具体的には、例えばフォトリソグラフィ法を用いて所定形状のレジストパターンを p 型半導体層 5 3 上に形成する。続いて、真空蒸着法やスパッタ法等により、例えば Ni、Au をこの順に蒸着した後、リフトオフ法によりレジストパターンを除去する。これにより、所定形状の第 1 電極 5 4 が p 型半導体層 5 3 の上面の一部に形成される。

20

【0075】

続いて、例えばフォトリソグラフィ法及び真空蒸着法やスパッタ法等を用いたリフトオフ法により、第 1 電極 5 4 上に、例えば Ti と Au とをこの順に蒸着して、電極パッド 5 5 を形成する。

【0076】

(第 2 電極形成工程)

次に、露出領域 5 6 から露出する窒化物半導体テンプレート 1 0 (すなわち窒化物半導体層 1 3) 上の一部に、第 2 電極 5 7 を形成する。具体的には、例えばフォトリソグラフィ法を用いて所定形状のレジストパターンを露出領域 5 6 から露出する窒化物半導体層 1 3 上に形成する。続いて、真空蒸着法やスパッタ法等により、例えば Ti、Al をこの順に蒸着した後、リフトオフ法によりレジストパターンを除去する。これにより、所定形状の第 2 電極 5 6 が、露出領域 5 6 から露出する窒化物半導体層 1 3 上の一部に形成される。

30

【0077】

その後、チップ化等を行うことにより、本実施形態に係る発光素子 5 0 が得られる。

40

【0078】

(5) 本実施形態にかかる効果

本実施形態によれば、以下に示す 1 つまたは複数の効果を奏する。

【0079】

本実施形態によれば、窒化物半導体テンプレート 1 0 は、円錐状又は角錐状の凸部 1 4 が表面に格子状に配置されて形成されたサファイア基板 1 1 と、バッファ層 1 2 と、窒化物半導体層 1 3 とを備えている。バッファ層 1 2 は、凸部 1 4 の頂上幅  $w$  以下で、且つ 10 nm 以上 330 nm 以下の厚さに形成されている。あるいは、バッファ層 1 2 は、平坦バッファ層の厚さが凸部 1 4 の頂上幅  $w$  以下となるような成長条件の下で成長されて形成されている。これにより、窒化物半導体テンプレート 1 0 の窒化物半導体層 1 3 の ID 及

50

び表面ピットの発生を抑制できる。

【0080】

バッファ層12が凸部14の頂上幅 $w$ 以下の厚さに形成されている、あるいは平坦バッファ層の厚さが凸部14の頂上幅 $w$ 以下の厚さとなるような成長条件の下でバッファ層12が成長されて形成されていると、バッファ層12が凸部14の頂上部で先が尖ったような形状に形成されることを回避できる。これにより、凸部14の頂上や頂上付近に位置する箇所の上方の窒化物半導体層13にIDが発生することを抑制でき、表面ピットの発生を抑制できる。

【0081】

また、バッファ層12が10nm以上330nm以下の厚さに形成される、あるいはバッファ層12が平坦バッファ層の厚さが10nm以上330nm以下となるような成長条件の下で成長されて形成されることで、バッファ層12の被覆率の低下や結晶品質の低下を抑制でき、IDや表面ピットの発生を抑制する効果が得られる。

【0082】

(他の実施形態)

以上、本発明の一実施形態を具体的に説明したが、本発明は上述の実施形態に限定されるものではなく、その要旨を逸脱しない範囲で種々変更可能である。

【0083】

上述の実施形態では、HVPE法によりサファイア基板11上にバッファ層12と窒化物半導体層13とを順次成長させて窒化物半導体テンプレート10を形成したが、これに限定されるものではない。この他、MOVPE法によりサファイア基板11上にバッファ層12と窒化物半導体層13とを成長させてもよい。これにより、バッファ層12、窒化物半導体層13の結晶性をより向上させることができる。

【実施例】

【0084】

次に、本発明の実施例について説明するが、本発明はこれらの実施例に限定されるものではない。

【0085】

(試料の作製)

本実施例では、厚さが900 $\mu$ m、直径が100mm(4インチ)の鏡面研磨されたC面サファイア基板の表面に、フォトリソグラフィ及びドライエッチングにより、円錐状の凸部14を三角格子状に配置させて形成した。フォトリソグラフィ及びドライエッチングの条件を変えることにより、凸部14の形状、大きさを調整した。また、特にドライエッチングのエッチング時間を変えることで、凸部14の頂上幅 $w$ を調整し、凸部14の頂上幅 $w$ が5nm~870nmの範囲の種々のサファイア基板11を作製した。

【0086】

次に、図4に示すHVPE装置30を用いて、種々の頂上幅 $w$ を有する上記サファイア基板11上に、平坦バッファ層の厚さが2nm~600nmとなるような成長条件で、AlNのバッファ層12を形成した。平坦バッファ層の厚さとは、凸部14が形成されていない平坦なサファイア基板に形成したバッファ層の厚さである。そして、AlNのバッファ層12上に所定厚さ(4 $\mu$ m)のGaNの窒化物半導体層13を成長させて形成し、種々の窒化物半導体テンプレート10を作製した。

【0087】

すなわち、まず、サセプタ36上にサファイア基板11を載置する。そして、回転軸37を回転させて、サセプタ36の回転を開始する。続いて、ドーピングガス供給管38、V族原料ガス供給管39、第1のIII族原料ガス供給管40、又は第2のIII族原料ガス供給管41のいずれかから、3smlの水素( $H_2$ )ガスと7smlの窒素( $N_2$ )ガスとの混合ガスを反応炉31内に供給しつつ、第1ヒータ32によって、反応炉31内の原料部34を約850に加熱し、第2ヒータ33によって、サファイア基板11(反応炉31内の成長部35)を約1000に加熱し、10分間保持した。このとき、反応炉31

10

20

30

40

50

内の圧力は常圧（１気圧）とした。

【００８８】

サファイア基板１１の温度が所定の温度（例えば１０００）に達したら、第２のIII族原料ガス供給管４１から、５０sccmの塩化水素（HCl）ガスをAlタンク４３内に供給し、III族原料ガスであるAlCl<sub>3</sub>ガスを生成した。そして、AlCl<sub>3</sub>ガスを反応炉３１内に供給した。なお、第２のIII族原料ガス供給管４１には、HClガスと共に、キャリアガスとして、２slmのH<sub>2</sub>ガスと、１slmのN<sub>2</sub>ガスを流した。第２のIII族原料ガス供給管４１から反応炉３１内へのAlCl<sub>3</sub>ガスの供給と併行して、V族原料ガス供給管３９から、V族原料ガスとして、５０sccmのアンモニア（NH<sub>3</sub>）ガスを反応炉３１内へ供給した。なお、V族原料ガス供給管３９には、NH<sub>3</sub>ガスと共に、キャリアガスとして、１slmのH<sub>2</sub>ガスを流した。そして、反応炉３１内の成長部３５でIII族原料ガスであるAlCl<sub>3</sub>ガスと、V族原料ガスであるNH<sub>3</sub>ガスを反応させて、サファイア基板１１上にAlN層を成長させる。なお、AlN層の成長時間は、１秒～３０秒とした。これにより、平坦バッファ層の厚さが２nm～６００nmとなる成長条件下、サファイア基板１１上に種々の厚さを有するAlNのバッファ層１２を成長させて形成した。

10

【００８９】

続いて、バッファ層１２としてのAlN層上に、GaNの窒化物半導体層１３を成長させて形成した。第１のIII族原料ガス供給管４０から、５０sccmのHClガスをGaタンク４２内に供給し、III族原料ガスであるGaCl<sub>3</sub>ガスを生成した。そして、GaCl<sub>3</sub>ガスを反応炉３１内に供給した。なお、第１のIII族原料ガス供給管４０には、HClガスと共に、キャリアガスとして、２slmのH<sub>2</sub>ガスと、１slmのN<sub>2</sub>ガスを流した。第１のIII族原料ガス供給管４０から反応炉３１内へのGaCl<sub>3</sub>ガスの供給と併行して、V族原料ガス供給管３９から、V族原料ガスとして、２slmのアンモニア（NH<sub>3</sub>）ガスを反応炉３１内へ供給した。なお、V族原料ガス供給管３９には、NH<sub>3</sub>ガスと共に、キャリアガスとして、１slmのH<sub>2</sub>ガスを流した。そして、反応炉３１内の成長部３５でIII族原料ガスであるGaCl<sub>3</sub>ガスと、V族原料ガスであるNH<sub>3</sub>ガスを反応させて、AlN層上に窒化物半導体層１３として所定厚さ（４μm）のGaN層を成長させた。なお、GaN層の成長時間は６分間とした。

20

【００９０】

その後、第１ヒータ３２及び第２ヒータ３３による反応炉３１内の加熱を停止する。そして、例えばV族原料ガス供給管３９から、２slmのNH<sub>3</sub>ガスと８slmのN<sub>2</sub>ガスを反応炉３１内へ供給しつつ、サファイア基板１１の温度を室温付近まで冷却して、種々の窒化物半導体テンプレート１０を作製した。これを各種試料とした。

30

【００９１】

すなわち、表１に示すように、各種試料を、凸部１４の頂上幅wと平坦バッファ層の厚さを種々に変更して作製した。

【００９２】

（試料の評価）

これらの各種試料について、表面ピットが発生しているか否かを評価した。そして、任意の１０mm四方の領域内で確認できたピットの数０個である試料を「○」、任意の１０mm四方の領域内で確認できたピットの数１～２個である試料を「△」、任意の１０mm四方の領域内で確認できたピットの数３個以上である試料を「×」とし、各試料の評価結果を表１に示す。

40

【００９３】

【表 1】

		平坦バッファ層の厚さ (nm)														
		2	4	10	45	65	105	120	144	150	180	200	330	430	520	600
凸部の頂上幅 (nm)	5	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
	10	x	x	○	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
	45	x	x	○	○	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
	72	x	x	○	◎	○	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
	120	x	x	○	◎	◎	○	○	x	x	x	x	x	x	x	x
	150	x	x	○	◎	◎	◎	◎	○	x	x	x	x	x	x	x
	168	x	x	○	○	◎	◎	◎	○	○	x	x	x	x	x	x
	211	x	x	○	○	◎	◎	◎	◎	◎	○	○	x	x	x	x
	346	x	x	○	○	○	○	○	○	◎	◎	◎	○	x	x	x
	520	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
	870	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x

10

## 【0094】

表 1 から、凸部 1 4 が形成されたサファイア基板 1 1 上に、平坦基板に形成する平坦バッファ層の厚さが凸部 1 4 の頂上幅  $w$  以下で、且つ 10 nm 以上 330 nm 以下の成長条件の下で、バッファ層 1 2 が成長されて形成された試料である窒化物半導体テンプレート 1 0 は、表面ピットの発生が抑制されていることを確認した。

## 【0095】

また、上述のように作製した各種試料である窒化物半導体テンプレート 1 0 上に発光部を形成して、種々の LED を作製した。そして、種々の LED に 20 mA の電流を通电して LED の発光出力を測定して評価した。その結果、表面ピットの発生が抑制された窒化物半導体テンプレート、すなわち表 1 中の評価が「 $\circ$ 」及び「 $\otimes$ 」である窒化物半導体テンプレートを用いて作製した LED の発光出力は、MOVPE 法により形成した LED の発光出力と同程度であった。すなわち、HVPE 法によりサファイア基板 1 1 上にバッファ層 1 2 と窒化物半導体層 1 3 とを成長させて形成した窒化物半導体テンプレート 1 0 を用いて作製した LED であっても、MOVPE 法により作製した LED と同程度の発光出力を得られることを確認した。なお、MOVPE 法により作製した LED とは、MOVPE 法によりサファイア基板 1 1 上にバッファ層 1 2 と窒化物半導体層 1 3 とを成長させて形成した窒化物半導体テンプレート 1 0 を作製した後、連続して窒化物半導体テンプレート 1 0 上に発光部を形成して作製した LED である。これに対し、表面ピットが発生していた窒化物半導体テンプレート、すなわち表 1 中の評価が「 $\times$ 」である窒化物半導体テンプレートを用いて作製した LED の発光出力は、MOVPE 法により作製した LED の発光出力の半分以下となることを確認した。

20

30

## 【0096】

また、HVPE 法により作製した窒化物半導体テンプレート 1 0 を用いて作製した各種 LED、及び MOVPE 法により作製した LED についてそれぞれ、発光出力の低下率を算出して評価した。すなわち、各種 LED 及び MOVPE 法により作製した LED についてそれぞれ、60 mA の電流を通电し、通电開始時の発光出力と、1000 時間通电後の発光出力とを測定し、1000 時間通电後の発光出力の低下率を算出した。その結果、表 1 中の評価が「 $\circ$ 」であった窒化物半導体テンプレート 1 0 を用いて作製した LED の発光出力の低下率は約 10% であり、MOVPE 法により作製した LED の発光出力の低下率と同程度であることを確認した。また、表 1 中の評価が「 $\otimes$ 」であった窒化物半導体テンプレート 1 0 を用いて作製した LED の発光出力の低下率は 5% 以下であり、MOVPE 法により作製した LED の発光出力の低下率よりも低いことを確認した。

40

## 【符号の説明】

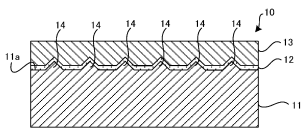
## 【0097】

- 1 0 窒化物半導体テンプレート
- 1 1 サファイア基板
- 1 1 a サファイア基板の表面

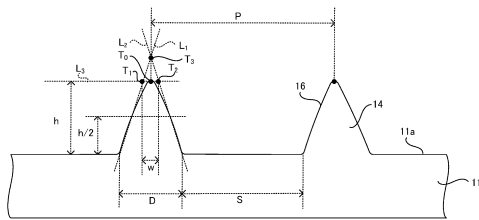
50

- 1 3 窒化物半導体層
- 1 4 凸部
- w 凸部の頂上幅

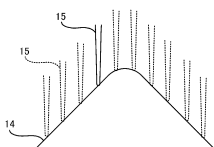
【図1】



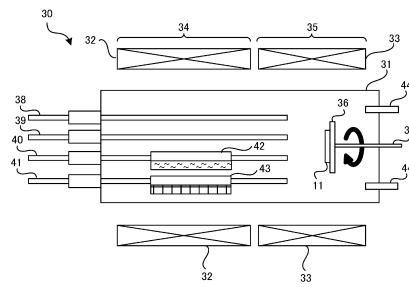
【図2】



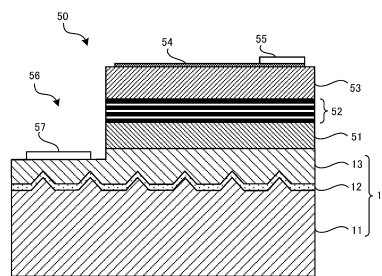
【図3】



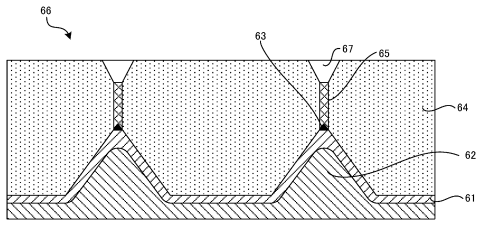
【図4】



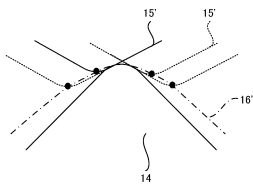
【図5】



【図 6】



【図 7】



---

フロントページの続き

審査官 村岡 一磨

- (56)参考文献 特開2012-244092(JP,A)  
特開2010-161354(JP,A)  
特開2012-104564(JP,A)  
特開2012-244091(JP,A)  
特開2008-177528(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

C30B 1/00-35/00  
C23C 16/00-16/56  
H01L 21/205  
H01L 33/22  
H01L 33/32