

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第6232853号
(P6232853)

(45) 発行日 平成29年11月22日 (2017.11.22)

(24) 登録日 平成29年11月2日 (2017.11.2)

(51) Int. Cl.	F I
H O 1 L 21/02 (2006.01)	H O 1 L 21/02 B
H O 1 L 27/12 (2006.01)	H O 1 L 27/12 B
H O 1 L 21/20 (2006.01)	H O 1 L 21/20
H O 1 L 29/20 (2006.01)	H O 1 L 29/20
H O 1 L 21/338 (2006.01)	H O 1 L 29/80 H

請求項の数 16 (全 43 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号	特願2013-179839 (P2013-179839)	(73) 特許権者	000002130
(22) 出願日	平成25年8月30日 (2013.8.30)		住友電気工業株式会社
(65) 公開番号	特開2014-131001 (P2014-131001A)		大阪府大阪市中央区北浜四丁目5番33号
(43) 公開日	平成26年7月10日 (2014.7.10)	(74) 代理人	110001195
審査請求日	平成28年4月22日 (2016.4.22)		特許業務法人深見特許事務所
(31) 優先権主張番号	特願2012-226777 (P2012-226777)	(72) 発明者	石橋 恵二
(32) 優先日	平成24年10月12日 (2012.10.12)		兵庫県伊丹市昆陽北一丁目1番1号 住友
(33) 優先権主張国	日本国 (JP)		電気工業株式会社 伊丹製作所内
(31) 優先権主張番号	特願2012-263090 (P2012-263090)	(72) 発明者	八郷 昭広
(32) 優先日	平成24年11月30日 (2012.11.30)		兵庫県伊丹市昆陽北一丁目1番1号 住友
(33) 優先権主張国	日本国 (JP)		電気工業株式会社 伊丹製作所内
		(72) 発明者	廣村 友紀
			兵庫県伊丹市昆陽北一丁目1番1号 住友
			電気工業株式会社 伊丹製作所内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 I I I 族窒化物複合基板およびその製造方法、積層 I I I 族窒化物複合基板、ならびに I I I 族窒化物半導体デバイスおよびその製造方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

I I I 族窒化物と化学組成が異なる異組成基板である支持基板と、厚さが $10\mu\text{m}$ 以上 $250\mu\text{m}$ 以下の I I I 族窒化物膜と、が貼り合わされた直径が 75mm 以上の I I I 族窒化物複合基板であって、

前記 I I I 族窒化物膜の厚さの平均値 m_t に対する厚さの標準偏差 s_t の比 s_t / m_t が 0.001 以上 0.2 以下であり、前記 I I I 族窒化物膜の主面の所定の面方位の面に対するオフ角の絶対値の平均値 m_o に対するオフ角の絶対値の標準偏差 s_o の比 s_o / m_o が 0.005 以上 0.6 以下である、I I I 族窒化物複合基板。

【請求項 2】

I I I 族窒化物と化学組成が異なる異組成基板である支持基板と、厚さが $10\mu\text{m}$ 以上 $200\mu\text{m}$ 以下の I I I 族窒化物膜と、が貼り合わされた直径が 75mm 以上の I I I 族窒化物複合基板であって、

前記 I I I 族窒化物膜の厚さの平均値 m_t に対する厚さの標準偏差 s_t の比 s_t / m_t が 0.001 以上 0.2 以下であり、前記 I I I 族窒化物膜の主面の所定の面方位の面に対するオフ角の絶対値の平均値 m_o に対するオフ角の絶対値の標準偏差 s_o の比 s_o / m_o が 0.005 以上 0.6 以下である、I I I 族窒化物複合基板。

【請求項 3】

前記 I I I 族窒化物複合基板の前記 I I I 族窒化物膜側の主面における反りが $50\mu\text{m}$ 以下であり、前記 I I I 族窒化物複合基板の全体厚さ分布が $30\mu\text{m}$ 以下である請求項 1

10

20

または請求項 2 に記載の I I I 族窒化物複合基板。

【請求項 4】

前記支持基板の熱膨張係数 α_s に対する前記 I I I 族窒化物膜の熱膨張係数 α_{III-N} の比 $\alpha_{III-N} / \alpha_s$ が 0.75 以上 1.25 以下であり、前記支持基板の厚さ t_s に対する前記 I I I 族窒化物膜の厚さ t_{III-N} の比 t_{III-N} / t_s が 0.02 以上 1 以下である請求項 1 ~ 請求項 3 のいずれか 1 項に記載の I I I 族窒化物複合基板。

【請求項 5】

前記 I I I 族窒化物膜の主面における不純物金属原子が 3×10^{12} 原子 / cm^2 以下である請求項 1 ~ 請求項 4 のいずれか 1 項に記載の I I I 族窒化物複合基板。

【請求項 6】

前記 I I I 族窒化物膜の主面の二乗平均平方根粗さが 3 nm 以下である請求項 1 ~ 請求項 5 のいずれか 1 項に記載の I I I 族窒化物複合基板。

【請求項 7】

前記支持基板の主面の二乗平均平方根粗さが 12 nm 以下である請求項 1 ~ 請求項 6 のいずれか 1 項に記載の I I I 族窒化物複合基板。

【請求項 8】

直径が 100 mm 以上である請求項 1 ~ 請求項 7 のいずれか 1 項に記載の I I I 族窒化物複合基板。

【請求項 9】

直径が 125 mm 以上 300 mm 以下である請求項 1 ~ 請求項 8 のいずれか 1 項に記載の I I I 族窒化物複合基板。

【請求項 10】

前記 I I I 族窒化物膜の主面は、その二乗平均平方根粗さの平均値 m_{III-N} が 0.1 nm 以上 2 nm 以下であり、その二乗平均平方根粗さの標準偏差 s_{III-N} が 0.4 nm 以下であり、

前記支持基板の主面は、その二乗平均平方根粗さの平均値 m_s が 0.3 nm 以上 10 nm 以下であり、その二乗平均平方根粗さの標準偏差 s_s が 3 nm 以下である請求項 1 ~ 請求項 9 のいずれか 1 項に記載の I I I 族窒化物複合基板。

【請求項 11】

請求項 1 または請求項 2 に記載の I I I 族窒化物複合基板と、前記 I I I 族窒化物複合基板の前記 I I I 族窒化物膜上に配置されている少なくとも 1 層の I I I 族窒化物層と、を含む積層 I I I 族窒化物複合基板。

【請求項 12】

請求項 1 または請求項 2 に記載の I I I 族窒化物複合基板中の前記 I I I 族窒化物膜と、前記 I I I 族窒化物膜上に配置されている少なくとも 1 層の I I I 族窒化物層と、を含む I I I 族窒化物半導体デバイス。

【請求項 13】

請求項 1 または請求項 2 に記載の I I I 族窒化物複合基板の製造方法であって、

前記支持基板と、I I I 族窒化物膜ドナー基板と、を貼り合わせることにより、直径が 75 mm 以上の接合基板を形成する工程と、

前記接合基板の前記 I I I 族窒化物膜ドナー基板の貼り合わせ主面から内部に所定の距離に位置する面で前記 I I I 族窒化物膜ドナー基板を切断することにより、前記 I I I 族窒化物複合基板を形成する工程と、を含む I I I 族窒化物複合基板の製造方法。

【請求項 14】

請求項 1 または請求項 2 に記載の I I I 族窒化物複合基板の製造方法であって、

前記支持基板と、I I I 族窒化物膜ドナー基板と、を貼り合わせることにより、直径が 75 mm 以上の接合基板を形成する工程と、

前記接合基板の前記 I I I 族窒化物膜ドナー基板の貼り合わせ主面と反対側の主面から研削、研磨およびエッチングの少なくともいずれかを行なうことにより、前記 I I I 族窒化物複合基板を形成する工程と、を含む I I I 族窒化物複合基板の製造方法。

10

20

30

40

50

【請求項 15】

請求項 1 または請求項 2 に記載の III 族窒化物複合基板を準備する工程と、

前記 III 族窒化物複合基板の前記 III 族窒化物膜上に、少なくとも 1 層の III 族窒化物層を成長させる工程と、を含む III 族窒化物半導体デバイスの製造方法。

【請求項 16】

前記 III 族窒化物層上にさらにデバイス支持基板を貼り合わせる工程と、前記 III 族窒化物複合基板から前記支持基板を除去する工程と、をさらに含む請求項 15 に記載の III 族窒化物半導体デバイスの製造方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

10

【0001】

本発明は、III 族窒化物複合基板およびその製造方法、積層 III 族窒化物複合基板、ならびに III 族窒化物半導体デバイスおよびその製造方法に関する。

【背景技術】

【0002】

GaN などの III 族窒化物は、優れた半導体特性を有していることから、半導体デバイスに好適に用いられている。

【0003】

たとえば、特開 2009-126722 号公報（特許文献 1）は、半導体デバイス用基板として、直径が 25 mm 以上 160 mm 以下で厚さが 100 μm 以上 1000 μm 以下の自立 III 族窒化物基板、具体的な実施例として直径が 100 mm で厚さが 400 μm の自立 GaN 基板を開示する。

20

【0004】

また、特開 2008-010766 号公報（特許文献 2）は、半導体デバイスを製造するための基板として、GaN と化学組成の異なる異種基板と、異種基板に貼り合わされている 0.1 μm 以上 100 μm 以下の厚さの GaN 薄膜と、を含む GaN 薄膜貼り合わせ基板、具体的な実施例としてサファイア基板と厚さが 0.1 μm または 100 μm の GaN 薄膜とを貼り合わされている直径が 50.8 mm の GaN 薄膜貼り合わせ基板を開示する。

【0005】

30

また、特開 2010-182936 号公報（特許文献 3）は、半導体デバイス用基板として、支持基板と、窒化物半導体層と、支持基板と窒化物半導体層との間に設けられた接合層とを備える複合基板、具体的な実施例としてサファイア基板と GaN 層と両者間に圧着により形成される接合層で接合された GaN 層の厚さが 5 μm ~ 220 μm で直径が 50.8 mm の複合基板を開示する。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0006】

【特許文献 1】特開 2009-126722 号公報

【特許文献 2】特開 2008-010766 号公報

【特許文献 3】特開 2010-182936 号公報

40

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0007】

特開 2009-126722 号公報（特許公報 1）に開示される自立 III 族窒化物基板は、製造コストが高いため非常に高価であり、また、割れやすいため口径の拡大化、厚さの低減化が困難という問題があった。

【0008】

特開 2008-010766 号公報（特許公報 2）に開示される GaN 薄膜の厚さが 0.1 μm である GaN 薄膜貼り合わせ基板は、GaN 薄膜の形成のためにイオン注入を行

50

なっているが、イオン注入により、GaN薄膜の結晶の品質が低下するという問題があった。また、形成する半導体デバイスの特性を高くする観点からGaN薄膜の厚さを10 μ m以上にすることが好ましいが、GaN薄膜の厚さを大きくすると、イオン注入されるイオンの主面からの深さのバラツキが大きくなり、得られるGaN薄膜貼り合わせ基板のGaN薄膜の厚さのバラツキが大きくなるという問題があった。

【0009】

また、特開2008-010766号公報（特許文献2）に開示されるGaN薄膜の厚さが100 μ mのGaN薄膜貼り合わせ基板、および特開2010-182936号公報（特許文献3）に開示されるGaN層の厚さが5 μ m～220 μ mの複合基板は、いずれも直径が50.8mm程度であり、直径を大きくするとGaN薄膜またはGaN層の厚さの主面内分布が大きくなるという問題があった。

10

【0010】

なお、サファイア基板などのようなIII族窒化物基板と化学組成が異なり熱膨張係数が異なる異種基板上に、厚さの厚いIII族窒化物膜を成長させると大きな反りが発生し、また割れが発生するという問題があった。

【0011】

本発明は、上記の問題を解決して、コストが低く大口径で膜厚が大きく膜厚の分布が小さく結晶品質の高いIII族窒化物膜を有するIII族窒化物複合基板およびその製造方法、積層III族窒化物複合基板、ならびにIII族窒化物半導体デバイスおよびそ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】

【0012】

本発明は、ある局面に従えば、III族窒化物と化学組成が異なる異組成基板である支持基板と、厚さが10 μ m以上250 μ m以下のIII族窒化物膜と、が貼り合わされた直径が75mm以上のIII族窒化物複合基板であって、III族窒化物膜の厚さの平均値 m_t に対する厚さの標準偏差 s_t の比 s_t/m_t が0.001以上0.2以下であり、III族窒化物膜の主面の所定の面方位の面に対するオフ角の絶対値の平均値 m_o に対するオフ角の絶対値の標準偏差 s_o の比 s_o/m_o が0.005以上0.6以下である、III族窒化物複合基板である。ここで、III族窒化物膜の厚さを10 μ m以上200 μ m以下とできる。

30

【0013】

本発明は、別の局面に従えば、上記局面に従うIII族窒化物複合基板と、III族窒化物複合基板のIII族窒化物膜上に配置されている少なくとも1層のIII族窒化物層と、を含む積層III族窒化物複合基板である。

【0014】

本発明は、さらに別の局面に従えば、上記局面に従うIII族窒化物複合基板中のIII族窒化物膜と、III族窒化物膜上に配置されている少なくとも1層のIII族窒化物層と、を含むIII族窒化物半導体デバイスである。

【0015】

本発明は、さらに別の局面に従えば、上記局面に従うIII族窒化物複合基板の製造方法であって、上記支持基板と、III族窒化物膜ドナー基板と、を貼り合わせることにより、直径が75mm以上の接合基板を形成する工程と、接合基板のIII族窒化物膜ドナー基板の貼り合わせ主面から内部に所定の距離に位置する面でIII族窒化物膜ドナー基板を切断することにより、上記III族窒化物複合基板を形成する工程と、を含むIII族窒化物複合基板の製造方法である。

40

【0016】

本発明は、さらに別の局面に従えば、上記局面に従うIII族窒化物複合基板の製造方法であって、上記支持基板と、III族窒化物膜ドナー基板と、を貼り合わせることにより、直径が75mm以上の接合基板を形成する工程と、接合基板のIII族窒化物膜ドナー基板の貼り合わせ主面と反対側の主面から研削、研磨およびエッチングの少なくともい

50

ずれかを行なうことにより、ⅢⅢⅢ族窒化物複合基板を形成する工程と、を含むⅢⅢⅢ族窒化物複合基板の製造方法である。

【0017】

本発明は、さらに別の局面に従えば、上記局面に従うⅢⅢⅢ族窒化物複合基板を準備する工程と、ⅢⅢⅢ族窒化物複合基板のⅢⅢⅢ族窒化物膜上に、少なくとも1層のⅢⅢⅢ族窒化物層を成長させる工程と、を含むⅢⅢⅢ族窒化物半導体デバイスの製造方法である。

【発明の効果】

【0018】

本発明によれば、コストが低く大口径で膜厚が大きく膜厚の分布が小さく結晶品質の高いⅢⅢⅢ族窒化物膜を有するⅢⅢⅢ族窒化物複合基板およびその製造方法、積層ⅢⅢⅢ族窒化物複合基板、ならびにⅢⅢⅢ族窒化物半導体デバイスおよびその製造方法を提供できる。

10

【図面の簡単な説明】

【0019】

【図1】本発明にかかるⅢⅢⅢ族窒化物複合基板のある例を示す概略断面図である。

【図2】ⅢⅢⅢ族窒化物複合基板における物性値の測定点を示す概略平面図である。

【図3】本発明にかかる積層ⅢⅢⅢ族窒化物複合基板のある例を示す概略断面図である。

【図4】本発明にかかるⅢⅢⅢ族窒化物半導体デバイスのある例を示す概略断面図である。

。

【図5】本発明にかかるⅢⅢⅢ族窒化物半導体デバイスの別の例を示す概略断面図である

20

。

【図6】本発明にかかるⅢⅢⅢ族窒化物複合基板の製造方法のある例を示す概略断面図である。

【図7】本発明にかかるⅢⅢⅢ族窒化物複合基板の製造方法の別の例を示す概略断面図である。

【図8】本発明にかかるⅢⅢⅢ族窒化物複合基板の製造方法のさらに別の例を示す概略断面図である。

【図9】本発明にかかるⅢⅢⅢ族窒化物半導体デバイスの製造方法のある例を示す概略断面図である。

【図10】イオン注入法を用いるⅢⅢⅢ族窒化物複合基板の製造方法のある例を示す概略断面図である。

30

【発明を実施するための形態】

【0020】

<本願発明の実施形態の説明>

本発明のある実施形態であるⅢⅢⅢ族窒化物複合基板1は、支持基板11と、厚さが10 μm 以上250 μm 以下のⅢⅢⅢ族窒化物膜13と、が貼り合わされた直径が75mm以上のⅢⅢⅢ族窒化物複合基板1であって、ⅢⅢⅢ族窒化物膜13の厚さの平均値 m_t に対する厚さの標準偏差 s_t の比 s_t/m_t が0.001以上0.2以下であり、ⅢⅢⅢ族窒化物膜13の主面の所定の面方位の面に対するオフ角の絶対値の平均値 m_o に対するオフ角の絶対値の標準偏差 s_o の比 s_o/m_o が0.005以上0.6以下である。本実施形態のⅢⅢⅢ族窒化物複合基板1は、その上に大口径で結晶品質の高い少なくとも1層のⅢⅢⅢ族窒化物層20を成長させることができるため、特性の高いⅢⅢⅢ族窒化物半導体デバイスを歩留よく形成することができる。

40

【0021】

本発明のかかる実施形態のⅢⅢⅢ族窒化物複合基板1において、ⅢⅢⅢ族窒化物膜を10 μm 以上200 μm 以下とすることができる。これにより、その上に大口径で結晶品質の高い少なくとも1層のⅢⅢⅢ族窒化物層20を成長させることができるため、特性の高いⅢⅢⅢ族窒化物半導体デバイスを歩留よく形成することができる。

【0022】

本発明のかかる実施形態のⅢⅢⅢ族窒化物複合基板1において、ⅢⅢⅢ族窒化物複合基

50

板 1 の I I I 族窒化物膜 1 3 側の主面における反りを $50\ \mu\text{m}$ 以下とし、I I I 族窒化物複合基板の全体厚さ分布 (T T V と同じ。以下同じ。) が $30\ \mu\text{m}$ 以下とすることができる。これにより、形成する半導体デバイスの歩留を高くすることができる。

【0023】

本発明のかかる実施形態の I I I 族窒化物複合基板 1 において、支持基板 1 1 の熱膨張係数 α_s に対する I I I 族窒化物膜 1 3 の熱膨張係数 α_{III-N} の比 $\alpha_{III-N} / \alpha_s$ を 0.75 以上 1.25 以下とし、支持基板 1 1 の厚さ t_s に対する I I I 族窒化物膜 1 3 の厚さ t_{III-N} の比 t_{III-N} / t_s を 0.02 以上 1 以下とすることができる。これにより、I I I 族窒化物複合基板 1 およびその上に成長させる I I I 族窒化物膜 1 3 の反りおよび割れを低減することができる。

10

【0024】

本発明のかかる実施形態の I I I 族窒化物複合基板 1 において、I I I 族窒化物膜 1 3 の主面における不純物金属原子を 3×10^{12} 原子 / cm^2 以下とすることができる。これにより、I I I 族窒化物膜 1 3 上に成長させる I I I 族窒化物層 2 0 の結晶品質を高め、形成する半導体デバイスの特性を高くすることができる。

【0025】

本発明のかかる実施形態の I I I 族窒化物複合基板 1 において、I I I 族窒化物膜 1 3 の主面の二乗平均平方根粗さ (R M S と同じ。) を $3\ \text{nm}$ 以下とすることができる。これにより、I I I 族窒化物膜 1 3 上に成長させる I I I 族窒化物層 2 0 の結晶品質を高め、形成する半導体デバイスの特性を高くすることができる。

20

【0026】

本発明のかかる実施形態の I I I 族窒化物複合基板 1 において、支持基板 1 1 の主面の R M S を $12\ \text{nm}$ 以下とすることができる。これにより、I I I 族窒化物膜 1 3 上に成長させる I I I 族窒化物層 2 0 の結晶品質を高め、形成する半導体デバイスの特性を高くすることができる。

【0027】

本発明のかかる実施形態の I I I 族窒化物複合基板 1 において、I I I 族窒化物複合基板 1 の直径を $100\ \text{mm}$ 以上とすること、さらに、 $125\ \text{mm}$ 以上 $300\ \text{mm}$ 以下とすることができる。これにより、大口径の I I I 族窒化物複合基板 1 および I I I 族窒化物半導体デバイス 4 が得られる。

30

【0028】

本発明のかかる実施形態の I I I 族窒化物複合基板 1 において、I I I 族窒化物膜 1 3 の主面は、その R M S の平均値 m_{III-N} を $0.1\ \text{nm}$ 以上 $2\ \text{nm}$ 以下とし、その R M S の標準偏差 s_{III-N} を $0.4\ \text{nm}$ 以下とし、支持基板 1 1 の主面は、その R M S の平均値 m_s を $0.3\ \text{nm}$ 以上 $10\ \text{nm}$ 以下とし、その R M S の標準偏差 s_s を $3\ \text{nm}$ 以下とすることができる。これにより、I I I 族窒化物膜 1 3 上に成長させる I I I 族窒化物層 2 0 の結晶品質を高め、形成する半導体デバイスの特性を高くすることができる。

【0029】

本発明の別の実施形態である積層 I I I 族窒化物複合基板 2 は、上記実施形態の I I I 族窒化物複合基板 1 と、I I I 族窒化物複合基板 1 の I I I 族窒化物膜 1 3 上に配置されている少なくとも 1 層の I I I 族窒化物層 2 0 と、を含む。本実施形態の積層 I I I 族窒化物複合基板 2 は、結晶品質の高い I I I 族窒化物層 2 0 を含むため、高特性の半導体デバイスを形成することができる。

40

【0030】

本発明のさらに別の実施形態である I I I 族窒化物半導体デバイス 4 は、上記実施形態の I I I 族窒化物複合基板 1 中の I I I 族窒化物膜 1 3 と、I I I 族窒化物膜 1 3 上に配置されている少なくとも 1 層の I I I 族窒化物層 2 0 と、を含む。本実施形態の I I I 族窒化物半導体デバイス 4 は高特性である。

【0031】

本発明のさらに別の実施形態である I I I 族窒化物複合基板 1 の製造方法は、上記実施

50

形態のⅡⅡⅡ族窒化物複合基板１の製造方法であって、支持基板１１と、ⅡⅡⅡ族窒化物膜ドナー基板１３Ｄと、を貼り合わせるることにより、直径が７５ｍｍ以上の接合基板１Ｌ，１ＬＳを形成する工程と、接合基板１Ｌ，１ＬＳのⅡⅡⅡ族窒化物膜ドナー基板１３Ｄの貼り合わせ主面から内部に所定の距離に位置する面でⅡⅡⅡ族窒化物膜ドナー基板１３Ｄを切断することにより、上記ⅡⅡⅡ族窒化物複合基板１を形成する工程と、を含む。本実施形態のⅡⅡⅡ族窒化物複合基板１の製造方法は、結晶品質の高いⅡⅡⅡ族窒化物膜１３を有するⅡⅡⅡ族窒化物複合基板１を効率よく製造することができる。

【００３２】

本発明のさらに別の実施形態であるⅡⅡⅡ族窒化物複合基板１の製造方法は、上記実施形態のⅡⅡⅡ族窒化物複合基板１の製造方法であって、支持基板１１と、ⅡⅡⅡ族窒化物膜ドナー基板１３Ｄと、を貼り合わせるることにより、直径が７５ｍｍ以上の接合基板１Ｌを形成する工程と、接合基板１ＬのⅡⅡⅡ族窒化物膜ドナー基板１３Ｄの貼り合わせ主面と反対側の主面から研削、研磨およびエッチングの少なくともいずれかを行なうことにより、ⅡⅡⅡ族窒化物複合基板１を形成する工程と、を含む。本実施形態のⅡⅡⅡ族窒化物複合基板１の製造方法は、結晶品質の高いⅡⅡⅡ族窒化物膜１３を有するⅡⅡⅡ族窒化物複合基板１を効率よく製造することができる。

10

【００３３】

本発明のさらに別の実施形態であるⅡⅡⅡ族窒化物半導体デバイス４の製造方法は、上記実施形態のⅡⅡⅡ族窒化物複合基板１を準備する工程と、ⅡⅡⅡ族窒化物複合基板１のⅡⅡⅡ族窒化物膜１３上に、少なくとも１層のⅡⅡⅡ族窒化物層２０を成長させる工程と、を含む。本実施形態のⅡⅡⅡ族窒化物半導体デバイス４の製造方法は、高特性のⅡⅡⅡ族窒化物半導体デバイス４を歩留よく製造できる。

20

【００３４】

本発明のかかる実施形態のⅡⅡⅡ族窒化物半導体デバイス４の製造方法は、ⅡⅡⅡ族窒化物層２０上にさらにデバイス支持基板４０を貼り合わせる工程と、ⅡⅡⅡ族窒化物複合基板１から支持基板１１を除去する工程と、をさらに含むことができる。これにより、デバイス支持基板４０により支持された機械的強度が高く高特性のⅡⅡⅡ族窒化物半導体デバイス４を歩留よく製造できる。

【００３５】

< 本願発明の実施形態の詳細 >

30

[実施形態１：ⅡⅡⅡ族窒化物複合基板]

図１を参照して、本発明の一実施形態であるⅡⅡⅡ族窒化物複合基板１は、支持基板１１と、厚さが１０μｍ以上２５０μｍ以下のⅡⅡⅡ族窒化物膜１３と、が貼り合わされた直径が７５ｍｍ以上のⅡⅡⅡ族窒化物複合基板１であって、ⅡⅡⅡ族窒化物膜１３の厚さの平均値 m_t に対する厚さの標準偏差 s_t の比 s_t/m_t が０．００１以上０．２以下であり、ⅡⅡⅡ族窒化物膜１３の主面の所定の面方位の面に対するオフ角の絶対値の平均値 m_o に対するオフ角の絶対値の標準偏差 s_o の比 s_o/m_o が０．００５以上０．６以下である。

【００３６】

本実施形態のⅡⅡⅡ族窒化物複合基板１は、その直径が７５ｍｍ以上であり、その支持基板１１上に貼り合わされたⅡⅡⅡ族窒化物膜１３が、その厚さが１０μｍ以上２５０μｍ以下で、厚さの平均値 m_t に対する厚さの標準偏差 s_t の比 s_t/m_t が０．００１以上０．２以下で、その主面の所定の面方位の面に対するオフ角の絶対値の平均値 m_o に対するオフ角の絶対値の標準偏差 s_o の比 s_o/m_o が０．００５以上０．６以下であることにより、ⅡⅡⅡ族窒化物膜１３上に、大口径で結晶品質の高い少なくとも１層のⅡⅡⅡ族窒化物層を成長させることができるため、特性の高いⅡⅡⅡ族窒化物半導体デバイスを歩留まりよく得ることができる。

40

【００３７】

本実施形態のⅡⅡⅡ族窒化物複合基板１において、支持基板１１とⅡⅡⅡ族窒化物膜１３との貼り合わせ形態は、特に制限はないが、貼り合わせによる接合強度を高めるために

50

、接合膜 12 を介在させることが好ましい。

【0038】

(III 族窒化物複合基板の直径)

III 族窒化物複合基板 1 の直径は、1 枚の複合基板から半導体デバイスのチップの取れ数を多くする観点から、75 mm 以上であり、100 mm 以上が好ましく、125 mm 以上がより好ましく、150 mm 以上がさらに好ましい。また、III 族窒化物複合基板 1 の直径は、複合基板の反りを低減し半導体デバイスの歩留を高くする観点から、300 mm 以下が好ましく、200 mm 以下がより好ましい。

【0039】

(III 族窒化物複合基板の III 族窒化物膜側の反り)

III 族窒化物複合基板 1 の III 族窒化物膜 13 側の反りは、形成する半導体デバイスの歩留を高くする観点から、50 μm 以下が好ましく、30 μm 以下がより好ましく、20 μm 以下がさらに好ましい。ここで、III 族窒化物複合基板 1 の III 族窒化物膜 13 側の反りとは、III 族窒化物膜 13 の主面内の任意の各点との距離の二乗の和が最小となる最小二乗平面に対して、一方側に最も大きく離れた上記主面上の点との距離および他方側に最も大きく離れた上記主面上の点との距離の和として算出される値をいい、光干渉式の平坦度測定装置、レーザー変位計などにより測定される。

【0040】

(III 族窒化物複合基板の TTV)

III 族窒化物複合基板 1 の TTV (Total Thickness Variation; 全体厚さ分布をいう。また、GBIR (Global Backside Ideal Range) などの平坦度ともいう。) は、形成する半導体デバイスの歩留を高くする観点から、30 μm 以下が好ましく、20 μm 以下がより好ましく、10 μm 以下がさらに好ましい。ここで、III 族窒化物複合基板 1 の TTV とは、III 族窒化物複合基板 1 の裏面である支持基板 11 の主面を基準面として、厚さ方向に測定した III 族窒化物複合基板 1 の表面 (おもてめん) である III 族窒化物膜 13 の主面の全面における最大値と最小値との差をいい、III 族窒化物複合基板 1 の裏面である支持基板 11 の主面を基準面として基準面として平坦に矯正した状態で III 族窒化物複合基板 1 の表面 (おもてめん) である III 族窒化物膜 13 の主面の高低差が光干渉式の平坦度測定装置、レーザー変位計などにより測定される。

【0041】

(III 族窒化物複合基板における支持基板と III 族窒化物膜との関係)

支持基板の熱膨張係数 α_s に対する III 族窒化物膜の熱膨張係数 α_{III-N} の比 $\alpha_{III-N} / \alpha_s$ は、III 族窒化物複合基板 1 およびその III 族窒化物膜 13 上に成長させる III 族窒化物層の反りおよび割れを低減する観点から、0.75 以上 1.25 以下が好ましく、0.8 以上 1.2 以下がより好ましく、0.9 以上 1.1 以下がさらに好ましく、0.95 以上 1.05 以下が特に好ましい。

【0042】

また、支持基板の厚さ t_s に対する III 族窒化物膜の厚さ t_{III-N} の比 t_{III-N} / t_s は、III 族窒化物複合基板 1 およびその III 族窒化物膜 13 上に成長させる III 族窒化物層の反りおよび割れを低減する観点から、0.02 以上 1 以下が好ましく、0.06 以上 0.7 以下がより好ましく、0.15 以上 0.5 以下がさらに好ましく、0.2 以上 0.4 以下が特に好ましい。

【0043】

(支持基板)

支持基板 11 は、III 族窒化物膜 13 を支持できるものであれば特に制限はないが、高価な III 族窒化物の使用量を低減してコストを低減する観点から、III 族窒化物と化学組成が異なる異組成基板であることが好ましい。さらに、上記のように、支持基板 11 の熱膨張係数 α_s に対する III 族窒化物膜 13 の熱膨張係数 α_{III-N} の比 $\alpha_{III-N} / \alpha_s$ が 0.75 以上 1.25 以下であることが好ましい観点から、支持基板 11 は、ムライト ($3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \sim 2\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$)、ムライト - YSZ (イットリア安定

10

20

30

40

50

化ジルコニア)、スピネル($MgAl_2O_4$)、 $Al_2O_3-SiO_2$ 系複合酸化物の焼結体、およびこれらに酸化物、炭酸塩などを添加した焼結体により形成される基板、モリブデン(Mo)基板、タングステン(W)基板などが好ましい。ここで、酸化物、炭酸塩に含まれる元素は、Ca、Mg、Sr、Ba、Al、Sc、Y、Ce、Pr、Si、Ti、Zr、V、Nb、Ta、Cr、Mn、Fe、Co、Ni、Cu、Znなどが好適に挙げられる。

【0044】

なお、III族窒化物複合基板1における支持基板11の主面のRMS(Root Mean Square roughness; 二乗平均平方根粗さ)は、III族窒化物複合基板1のIII族窒化物膜13上に成長させるIII族窒化物層の結晶品質を高くする観点から、12nm以下が好ましく、6nm以下がより好ましく、2nm以下がさらに好ましい。ここで、支持基板11の主面のRMSは、III族窒化物膜13を貼り合わせる前に支持基板11の両主面を研磨したり、III族窒化物膜13を貼り合わせた後に、貼り合わせていない主面を研磨することにより、調整することができる。ここで、支持基板11の主面のRMSは、支持基板11の主面の各点から基準平面を算出し、基準平面からの各点までの距離の二乗の平均の正の平方根の値をいい、AFM(原子間力顕微鏡)、光干渉式粗さ計、触針式粗さ計などにより測定される。

【0045】

支持基板11の主面は、そのRMSの平均値 m_s が0.3nm以上10nm以下であり、そのRMSの標準偏差 s_s が3nm以下であることが好ましい。支持基板11の主面について、そのRMSの平均値 m_s を10nm以下とし、そのRMSの標準偏差 s_s を3nm以下とすることにより、III族窒化物膜13の主面の全面に結晶品質の高いIII族窒化物層を成長させることができるため、高い歩留で半導体デバイスが得られる。支持基板11の主面のRMSの平均値 m_s を0.3nmより小さくするためには、高度な表面研磨が必要になり、コストが大幅に増加する。これらの観点から、支持基板11の主面のRMSの平均値 m_s は、0.3nm以上5nm以下がより好ましく、0.3nm以上2nm以下がさらに好ましい。また、支持基板11の主面のRMSの標準偏差 s_s は、2nm以下がより好ましく、1nm以下がさらに好ましい。

【0046】

ここで、支持基板11の主面のRMSの平均値 m_s および標準偏差 s_s は、それぞれ、図2に示す支持基板11の主面上の13点の測定点において測定したRMSから算出した平均値および標準偏差である。図2に示す支持基板11の主面上の13点の測定点Pは、支持基板11の直径の大小にかかわらず、1つの中心点 P_c と、その中心点 P_c から互いに直角な4方向上でかつ外縁から5mm内側にある4つの外側点 P_o と、1つの中心点 P_c と4つの外側点 P_o との中間に位置する4つの点および4つの外側点の互いの中間に位置する4つの点をあわせた8つの中間点 P_m とで構成される。ここでいう標準偏差とは、不偏分散の正の平方根を意味する。

【0047】

(接合膜)

接合膜12は、支持基板11とIII族窒化物膜13とを接合できるものであれば特に制限はないが、支持基板11とIII族窒化物膜13との接合性が高い観点から、 SiO_2 膜、 Si_3N_4 膜、 TiO_2 膜、 Ga_2O_3 膜などが好ましい。

【0048】

(III族窒化物膜)

III族窒化物膜13は、III族窒化物で形成される膜であり、GaN膜、AlN膜などの $In_xAl_yGa_{1-x-y}N$ 膜($0 < x < 1$ 、 $0 < y < 1$ 、 $x + y < 1$)などが挙げられる。

【0049】

III族窒化物膜13の厚さは、高特性のIII族窒化物半導体デバイスを形成する観点から、10 μm 以上であり、30 μm 以上が好ましく、50 μm 以上がより好ましく、100 μm 以上がさらに好ましい。また、III族窒化物膜13の厚さは、高価なIII族

10

20

30

40

50

族窒化物の使用量を低減する観点から、 $250\text{ }\mu\text{m}$ 以下であり、 $200\text{ }\mu\text{m}$ 以下が好ましく、 $170\text{ }\mu\text{m}$ 以下がより好ましく、 $150\text{ }\mu\text{m}$ 以下がさらに好ましい。

【0050】

III族窒化物膜13の厚さの平均値 m_t に対する厚さの標準偏差 s_t の比 s_t/m_t は、 0.001 以上 0.2 以下であり、 0.001 以上 0.15 以下が好ましく、 0.002 以上 0.1 以下がより好ましく、 0.01 以上 0.05 以下がさらに好ましい。比 s_t/m_t を 0.001 より小さくするためには、高度に厚さを制御するための切断および研磨が必要となるため、コストが増大する。比 s_t/m_t が 0.2 より大きくなると、膜厚の均一性が低下するため、得られる半導体デバイスの特性が低下する。

【0051】

III族窒化物膜13の主面の所定の面方位の面に対するオフ角の絶対値の平均値 m_o に対するオフ角の絶対値の標準偏差 s_o の比 s_o/m_o は、 0.005 以上 0.6 以下であり、 0.005 以上 0.5 以下が好ましく、 0.008 以上 0.4 以下がより好ましく、 0.05 以上 0.2 以下がさらに好ましい。比 s_o/m_o を 0.005 より小さくするためには、高度にオフ角を制御するための切断および研磨が必要となるため、コストが増大する。比 s_o/m_o が 0.6 より大きくなるとIII族窒化物膜13上に成長させるIII族窒化物層のモフォロジーが低下した部分が主面の面内に生じ、また主面への不純物取り込みの面内分布が大きくなるため、得られる半導体デバイスの歩留まりが低下する。

【0052】

III族窒化物膜13の結晶構造は、良好な特性の半導体デバイスが得られる観点から、ウルツ鉱型構造が好ましい。III族窒化物膜13の主面が最も近似する上記の所定の面方位は、所望の半導体デバイスに適したものであれば制限はなく、 $\{0001\}$ 、 $\{10-10\}$ 、 $\{11-20\}$ 、 $\{21-30\}$ 、 $\{20-21\}$ 、 $\{10-11\}$ 、 $\{11-22\}$ 、 $\{22-43\}$ 、およびこれらのそれぞれの面方位から 15° 以下でオフした面方位でもよい。また、これらのそれぞれの面方位の面の裏面の面方位およびかかる裏面の面方位から 15° 以下でオフした面方位でもよい。すなわち、III族窒化物膜13は、極性面、非極性面、および半極性面のいずれであってもよい。また、III族窒化物膜13の主面は、大口径化が容易な観点から $\{0001\}$ 面およびその裏面が好ましく、得られる発光デバイスのブルーシフトを抑制する観点から $\{10-10\}$ 面、 $\{20-21\}$ 面およびそれらの裏面が好ましい。

【0053】

ここで、III族窒化物膜13の厚さの平均値 m_t 、厚さの標準偏差 s_t 、オフ角の絶対値の平均値 m_o 、およびオフ角の絶対値の標準偏差 s_o は、それぞれ、図2に示すIII族窒化物膜13の主面上の13点の測定点において測定した厚さおよびオフ角から算出した平均値および標準偏差である。図2に示すIII族窒化物膜13の主面上の13点の測定点Pは、III族窒化物膜の直径の大小にかかわらず、1つの中心点 P_c と、その中心点 P_c から互いに直角な4方向上でかつ外縁から 5 mm 内側にある4つの外側点 P_o と、1つの中心点 P_c と4つの外側点 P_o との中間に位置する4つの点および4つの外側点の互いの中間に位置する4つの点をあわせた8つの中間点 P_m とで構成される。ここでいう標準偏差とは、不偏分散の正の平方根を意味する。

【0054】

III族窒化物膜13の主面における不純物金属原子は、III族窒化物膜13上に成長させるIII族窒化物層の結晶品質を高め、形成する半導体デバイスの特性を高くする観点から、 3×10^{12} 原子/ cm^2 以下が好ましく、 4×10^{11} 原子/ cm^2 以下がより好ましく、 1×10^{11} 原子/ cm^2 以下がさらに好ましい。また、III族窒化物膜13の表面におけるその他の不純物は、III族窒化物膜13上に成長させるIII族窒化物層の結晶品質を高め、形成する半導体デバイスの特性を高くする観点から、C1原子が 2×10^{14} 原子/ cm^2 以下が好ましく、Si原子が 9×10^{13} 原子/ cm^2 以下が好ましい。

【0055】

III族窒化物膜13の主面のRMSは、III族窒化物膜13上に成長させるIII

10

20

30

40

50

族窒化物層の結晶品質を高くする観点から、3 nm以下が好ましく、2 nm以下がより好ましく、1 nm以下がさらに好ましい。

【0056】

III族窒化物膜13の主面は、そのRMSの平均値 m_{III-N} が0.1 nm以上2 nm以下であり、そのRMSの標準偏差 s_{III-N} が0.4 nm以下であることが好ましい。III族窒化物膜13の主面について、そのRMSの平均値 m_{III-N} を2 nm以下とし、そのRMSの標準偏差 s_{III-N} を0.4 nm以下とすることにより、III族窒化物膜13の主面の全面に結晶品質の高いIII族窒化物層を成長させることができるため、高い歩留で半導体デバイスが得られる。III族窒化物膜13の主面のRMSの平均値 m_{III-N} を0.1 nmより小さくするためには、高度な表面研磨が必要になり、コストが大幅に増加する。これらの観点から、III族窒化物膜13の主面のRMSの平均値 m_{III-N} は、0.1 nm以上1.5 nm以下がより好ましく、0.2 nm以上1 nm以下がさらに好ましい。また、III族窒化物膜13の主面のRMSの標準偏差 s_{III-N} は、0.3 nm以下がより好ましく、0.2 nm以下がさらに好ましい。

【0057】

ここで、III族窒化物膜13の主面のRMSの平均値 m_{III-N} および標準偏差 s_{III-N} は、それぞれ、図2に示すIII族窒化物膜13の主面上の13点の測定点において測定したRMSから算出した平均値および標準偏差であり、上述のとおりである。また、III族窒化物膜13については、その転位密度は $1 \times 10^8 \text{ cm}^{-2}$ 以下がよく、キャリア濃度は $1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 以上がよい。

【0058】

[実施形態2：積層III族窒化物複合基板]

図3を参照して、本発明の別の実施形態である積層III族窒化物複合基板2は、実施形態1のIII族窒化物複合基板1と、III族窒化物複合基板1のIII族窒化物膜13上に配置されている少なくとも1層のIII族窒化物層20と、を含む。

【0059】

本実施形態の積層III族窒化物複合基板2は、結晶品質が高く厚さ分布およびオフ角分布が小さいIII族窒化物膜13上に成長することにより配置されているIII族窒化物層20も結晶品質が高いことから、高特性の半導体デバイスを歩留よく作製することができる。

【0060】

本実施形態の積層III族窒化物複合基板2において、III族窒化物膜13上に配置されているIII族窒化物層20は、作製する半導体デバイスの種類に応じて異なる。半導体デバイスとして発光デバイスを作製する場合は、III族窒化物層20は、たとえば、n-GaN層21、n-In_{0.05}Ga_{0.95}N層22、多重量子井戸構造を有する活性層23、p-Al_{0.09}Ga_{0.91}N層24、およびp-GaN層25で構成することができる。半導体デバイスとして電子デバイスの1例であるHEMT（高電子移動度トランジスタ）を作製する場合は、III族窒化物層は、たとえば、GaN層、Al_{0.2}Ga_{0.8}N層で構成することができる。半導体デバイスとして電子デバイスの別の例であるSBD（ショットキーバリアダイオード）を作製する場合は、III族窒化物層は、たとえば、n⁺-GaN層（キャリア濃度がたとえば $2 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ ）、n⁻-GaN層（キャリア濃度がたとえば $5 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ ）で構成することができる。

【0061】

[実施形態3：III族窒化物半導体デバイス]

図4および図5を参照して、本発明のさらに別の実施形態であるIII族窒化物半導体デバイス4は、実施形態1のIII族窒化物複合基板中のIII族窒化物膜13と、III族窒化物膜13上に配置されている少なくとも1層のIII族窒化物層20と、を含む。

【0062】

本実施形態のIII族窒化物半導体デバイス4は、結晶品質が高く厚さ分布およびオフ

10

20

30

40

50

角分布が小さいⅢⅢⅢ族窒化物膜１３と、その上に成長することにより配置されている結晶品質が高いⅢⅢⅢ族窒化物層２０と、を含んでいるため、高い特性を有する。

【００６３】

ⅢⅢⅢ族窒化物半導体デバイス４のⅢⅢⅢ族窒化物層２０は、ⅢⅢⅢ族窒化物半導体デバイス４の種類に応じて異なる。図４を参照して、ⅢⅢⅢ族窒化物半導体デバイス４が発光デバイスの場合は、ⅢⅢⅢ族窒化物層２０は、たとえば、 n - GaN 層２１、 n - $\text{In}_{0.05}\text{Ga}_{0.95}\text{N}$ 層２２、多重量子井戸構造を有する活性層２３、 p - $\text{Al}_{0.09}\text{Ga}_{0.91}\text{N}$ 層２４、および p - GaN 層２５で構成することができる。図５を参照して、ⅢⅢⅢ族窒化物半導体デバイス４が電子デバイスの１例であるＨＥＭＴの場合は、ⅢⅢⅢ族窒化物層２０は、たとえば、 GaN 層２６、 $\text{Al}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{N}$ 層２７で構成することができる。半導体デバイスとして電子デバイスの別の例であるＳＢＤを作製する場合は、ⅢⅢⅢ族窒化物層は、たとえば、 n^+ - GaN 層（キャリア濃度がたとえば $2 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ ）、 n^- - GaN 層（キャリア濃度がたとえば $5 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ ）で構成することができる。

【００６４】

ⅢⅢⅢ族窒化物半導体デバイス４は、ⅢⅢⅢ族窒化物層２０を支持するための支持基板１１およびデバイス支持基板４０の少なくともひとつをさらに含むことが好ましい。ここで、デバイス支持基板４０の形状は、平板形状に限らず、ⅢⅢⅢ族窒化物膜１３およびⅢⅢⅢ族窒化物層２０を支持してⅢⅢⅢ族窒化物半導体デバイス４を形成することができるものである限り、任意の形状をとることができる。

【００６５】

〔実施形態４：ⅢⅢⅢ族窒化物複合基板の製造方法〕

図６および図７を参照して、本発明のさらに別の実施形態であるⅢⅢⅢ族窒化物複合基板の製造方法は、実施形態１のⅢⅢⅢ族窒化物複合基板１の製造方法であって、支持基板１１と、ⅢⅢⅢ族窒化物膜ドナー基板１３Ｄと、を貼り合わせることにより、直径が７５ｍｍ以上の接合基板１Ｌ、１ＬＳを形成する工程（図６（Ａ）～（Ｃ）、図７（Ａ）～（Ｃ））と、接合基板１Ｌ、１ＬＳのⅢⅢⅢ族窒化物膜ドナー基板１３Ｄの貼り合わせ主面から内部に所定の距離に位置する面でⅢⅢⅢ族窒化物膜ドナー基板１３Ｄを切断することにより、ⅢⅢⅢ族窒化物複合基板１を形成する工程（図６（Ｄ）、図７（Ｄ））と、を含む。

【００６６】

本実施形態のⅢⅢⅢ族窒化物複合基板の製造方法によれば、コストが低く大口径で膜厚が大きく結晶品質の高いⅢⅢⅢ族窒化物膜を有するⅢⅢⅢ族窒化物複合基板１を効率よく製造することができる。

【００６７】

ここで、ⅢⅢⅢ族窒化物複合基板１を形成する工程において、ⅢⅢⅢ族窒化物膜ドナー基板１３Ｄを切断する際のⅢⅢⅢ族窒化物膜ドナー基板１３Ｄの貼り合わせ主面から内部に所定の距離に位置する面における所定の距離は、製造の目的とするⅢⅢⅢ族窒化物複合基板１のⅢⅢⅢ族窒化物膜１３の厚さに応じて決められる。

【００６８】

また、ⅢⅢⅢ族窒化物複合基板１を形成する工程において、ⅢⅢⅢ族窒化物膜ドナー基板１３Ｄを切断してⅢⅢⅢ族窒化物膜１３を形成した後に、ⅢⅢⅢ族窒化物膜１３の貼り合わせ主面と反対側の主面から、研削、研磨およびエッチングの少なくともいずれかを行なうことにより、ⅢⅢⅢ族窒化物膜１３の厚さを低減することができる。特に、ⅢⅢⅢ族窒化物膜ドナー基板１３Ｄの切断により形成されるⅢⅢⅢ族窒化物膜１３の厚さ分布およびオフ角分布を低減する観点から、切断により得られたⅢⅢⅢ族窒化物複合基板１のⅢⅢⅢ族窒化物膜１３の主面を研磨することが好ましい。研磨方法は、ⅢⅢⅢ族窒化物膜１３の厚さ分布およびオフ角分布を低減する観点から、ＣＭＰ（化学機械的研磨）、化学的研磨などによる精密研磨が好ましい。

【００６９】

上記の観点から、ⅢⅢⅢ族窒化物膜ドナー基板１３Ｄを切断する際のⅢⅢⅢ族窒化物膜

10

20

30

40

50

ドナー基板 13D の貼り合わせ主面から内部に所定の距離に位置する面における所定の距離は、製造の目的とする III 族窒化物複合基板 1 の III 族窒化物膜 13 の厚さに研磨代（けんましり）の厚さを加えた距離とすることが好ましい。

【0070】

本実施形態の III 族窒化物複合基板 1 の製造方法において、接合基板 1L, 1LS の III 族窒化物膜ドナー基板 13D の貼り合わせ主面から内部に所定の距離に位置する面で III 族窒化物膜ドナー基板 13D を切断して III 族窒化物膜 13 を形成し、好ましくは III 族窒化物膜 13 の貼り合わせ主面と反対側の主面から、研削、研磨およびエッチングの少なくともいずれかを行なうことにより、膜厚を減少させて調整して、10 μm 以上 250 μm 以下の所望の厚さの III 族窒化物膜 13 を含む III 族窒化物複合基板 1 が得られる。

10

【0071】

なお、本実施形態の III 族窒化物複合基板 1 の製造方法においては、III 族窒化物複合基板を形成する工程において III 族窒化物膜ドナー基板を切断するため、製造の際の作業性および効率を向上させる観点から、用いられる III 族窒化物膜ドナー基板 13D の厚さは、500 μm より大きいことが好ましく、1 mm 以上がより好ましく、2 mm 以上がさらに好ましい。

【0072】

（接合基板の形成工程）

図 6 (A) ~ (C) および図 7 (A) ~ (C) を参照して、接合基板 1L, 1LS を形成する工程は、支持基板 11 の主面上に接合膜 12a を形成するサブ工程（図 6 (A)、図 7 (A)）と、III 族窒化物膜ドナー基板 13D の主面上に接合膜 12b を形成するサブ工程（図 6 (B)、図 7 (B)）と、支持基板 11 に形成された接合膜 12a と III 族窒化物膜ドナー基板 13D に形成された接合膜 12b とを貼り合わせるサブ工程（図 6 (C)、図 7 (C)）と、を含む。

20

【0073】

図 6 (A) および図 7 (A) を参照して、支持基板 11 の主面上に接合膜 12a を形成するサブ工程において、接合膜 12a は、後述する接合膜 12b と一体化して接合膜 12 を形成するものであり、接合膜 12 と同じ材料で形成される。また、接合膜 12a を形成する方法は、その接合膜 12a の形成に適している限り特に制限はないが、品質のよい接合膜 12a を効率的に形成する観点から、スパッタ法、CVD（化学気相堆積）法、PLD（パルスレーザ堆積）法、MBE（分子線成長）法、電子線蒸着法などが好ましい。接合膜の品質を高くするとともに成膜速度を高めるから、特に CVD が好ましい。ここで、CVD のうち、低温で成膜できかつ成膜速度が高い観点から P-CVD（プラズマ - 化学気相堆積）法、PE-CVD（プラズマ援用 - 化学気相堆積）法などがさらに好ましく、膜質を高めかつ大量製造が容易な観点から LP-CVD（減圧 - 化学気相堆積）法などがさらに好ましい。

30

【0074】

さらに、接合強度を向上させるために、接合膜 12a, 12b の形成後、接合させる前にアニールすることができる。かかるアニールにより、接合膜 12a, 12b から脱ガスさせて、接合膜 12a, 12b を緻密化させることができる。

40

【0075】

さらに、接合膜 12a は、支持基板 11 と III 族窒化物膜ドナー基板 13D との接合強度を高める観点から、その主面を鏡面（たとえば、RMS が 0.3 nm 以下の鏡面）に研磨することが好ましい。接合膜 12a の主面を研磨する方法は、特に制限はなく、たとえば CMP（化学機械的研磨）などが用いられる。接合強度を高める観点から、接合膜の清浄度を向上させるために CMP 後に砥粒を含まない液での無砥粒ポリッシングを実施することができる。砥粒の除去効果を高めるため、KOH、TMAH（水酸化テトラメチルアンモニウム）などのアルカリ、HCl、HNO₃、H₂SO₄などの酸による無砥粒ポリッシングを実施することができる。また、接合強度を高める観点から、接合膜の清浄度を向上

50

させるために、スポンジ、ブラシなどを用いたスクラブ洗浄を実施することができる。また、二流体洗浄、メガソニック洗浄、超音波洗浄なども、好適に実施することができる。

【0076】

図6(B)および図7(B)を参照して、III族窒化物膜ドナー基板13Dの主面上に接合膜12bを形成するサブ工程において、III族窒化物膜ドナー基板13Dは、後サブ工程における分離によりIII族窒化物膜13を提供するドナー基板である。かかるIII族窒化物膜ドナー基板13Dを準備する方法は、特に制限はないが、結晶性のよいIII族窒化物膜ドナー基板13Dを得る観点から、HVPE(ハイドライド気相成長)法、MOVPE(有機金属気相成長)法、MBE(分子線成長)法、昇華法などの気相法、フラックス法、高窒素圧溶液法、アモノサーマル法などの液相法などが好適である。こうして準備されるIII族窒化物膜ドナー基板13Dは、特に制限はないが、結晶性のよいIII族窒化物膜13を提供する観点から、提供すべきIII族窒化物膜13と同程度の結晶性を有していることが好ましく、具体的には、III族窒化物膜ドナー基板13Dの主面の所定の面方位の面に対するオフ角の絶対値の平均値 m_0 に対するオフ角の絶対値の標準偏差 s_0 の比 s_0/m_0 が0.005以上0.6以下であることが好ましい。

【0077】

接合膜12bを形成する材料および方法ならびにその主面の研磨は、上記の接合膜12aを形成する材料および方法ならびにその主面の研磨とそれぞれ同様である。

【0078】

図6(C)および図7(C)を参照して、支持基板11に形成された接合膜12aとIII族窒化物膜ドナー基板13Dに形成された接合膜12bとを貼り合わせるサブ工程において、その貼り合わせ方法は、特に制限はなく、貼り合わせ面を洗浄しそのまま貼り合わせた後600~1200程度に昇温して接合する直接接合法、貼り合わせ面を洗浄しプラズマやイオンなどで活性化処理した後に室温(たとえば25)~400程度の低温雰囲気下で接合する表面活性化接合法、貼り合わせ面を薬液と純水で洗浄処理した後、0.1MPa~10MPa程度の圧力を掛けて接合する高圧接合法、貼り合わせ面を薬液と純水で洗浄処理した後、 10^{-6} Pa~ 10^{-3} Pa程度の高真空雰囲気下で接合する超高真空接合法、などが好適である。上記のいずれの接合法においてもそれらの接合後に600~1200程度に昇温することによりさらに接合強度を高めることができる。特に、表面活性化接合法、高圧接合法、および超高真空接合法においては、それらの接合後に600~1200程度に昇温することによる接合強度を高める効果が大きい。

【0079】

上記の貼り合わせにより、接合膜12aと接合膜12bとが接合により一体化して接合膜12が形成され、支持基板11とIII族窒化物膜ドナー基板13Dとが接合膜12を介在させて接合されて、接合基板1L, 1LSが形成される。

【0080】

上記のように、接合膜12a, 12bの貼り合わせ面を貼り合わせ前に活性化することにより接合強度を高めることができる。貼り合わせ面の活性化は、特に制限はないが、活性化効果が高い観点から、プラズマ処理、イオン処理、薬液による化学処理、洗浄処理、CMP処理などにより行なうことが好ましい。

【0081】

(III族窒化物複合基板の形成工程)

図6(D)および図7(D)を参照して、III族窒化物複合基板1を形成する工程において、接合基板1L, 1LSのIII族窒化物膜ドナー基板13Dの貼り合わせ主面から内部に所定の距離に位置する面でIII族窒化物膜ドナー基板13Dを切断することにより、支持基板11に接合膜12を介在させて接合したIII族窒化物膜13と、残りのIII族窒化物膜ドナー基板13Drと、に分離して、支持基板11とIII族窒化物膜13とが接合膜12を介在させて貼り合わされたIII族窒化物複合基板1が形成される。

【0082】

10

20

30

40

50

Ⅲ族窒化物膜ドナー基板 13D を切断する方法は、特に制限はなく、ワイヤーソー、ブレードソー、レーザ加工、放電加工、ウォータージェットなどの方法が挙げられる。ワイヤーソーでは、同時に多数枚に切断できるため、切断コストを低減するとともに、単位時間当たりの処理能力を高めることができる。

【0083】

Ⅲ族窒化物膜ドナー基板 13D をワイヤーソーで切断する場合、大口径のⅢ族窒化物膜ドナー基板 13D を平坦に切断するためには固定砥粒ワイヤーを用いることが好ましく、切断代（せつだんしろ）を低減するためには細線ワイヤーを用いることが好ましい。切断代を低減するためには遊離砥粒方式が好ましい。また、Ⅲ族窒化物膜ドナー基板 13D をワイヤーソーで切断する際には、切断抵抗によるワイヤーの曲がりを低減して厚さの精度および平坦性を高めるために、ワイヤーの張力を増加し、線速を増加させることが好ましい。そのためには、高剛性のワイヤーソー装置が好ましい。

10

【0084】

また、切断抵抗を低減して厚さの精度および平坦性を高めるために、ワイヤーを揺動させ、それに同期してⅢ族窒化物膜ドナー基板 13D を振動させることが好ましい。具体的には、Ⅲ族窒化物膜ドナー基板 13D の切断の進行方向に対して垂直またはそれに近い角度にワイヤーソーが位置しているときはⅢ族窒化物膜ドナー基板 13D が切断の進行方向に動き、Ⅲ族窒化物膜ドナー基板 13D の切断の進行方向に対して垂直から遠い角度にワイヤーソーが位置しているときはⅢ族窒化物膜ドナー基板 13D が切断の進行方向と反対方向に動くことにより、切断抵抗を低減することができる。

20

【0085】

なお、GaN などのⅢ族窒化物は、サファイアおよび SiC などに比べて脆くて割れ易いため、サファイアおよび SiC と同様の切断方法では良好に切断することができない。Ⅲ族窒化物の切断においてはその切断抵抗をさらに低減することが必要である。切断抵抗を低減して厚さの精度および平坦性を高めるためには、スライス用加工液の粘度 η (Pa・s)、加工液の流量 Q (m³/s)、ワイヤー線速度 V (m/s)、最大切断長さ L (m)、切断速度 P (m/s)、および同時切断数 n を用いて、 $(\eta \times Q \times V) / (L \times P \times n)$ で表される抵抗係数 R (N) が、適切な範囲にあること、具体的には 4000 以上 5000 以下であることが好ましい。

【0086】

30

また、Ⅲ族窒化物膜ドナー基板 13D は、放電加工により切断することができる。放電加工では、Ⅲ族窒化物膜ドナー基板 13D とツール電極（たとえば、ワイヤー電極、棒電極、形状電極など）との間に放電を発生させ、その放電による局所的熱によってⅢ族窒化物膜ドナー基板 13D を部分的に除去して加工する。Ⅲ族窒化物材料は硬度が高く靱性が低いため、機械加工ではクラックや割れが生じやすい。そのため、機械加工では、切断速度の増加に制約があり、単位時間当たりの処理能力に制約がある。これに対して、放電加工では、局所発熱により除去するため、高硬度低靱性のⅢ族窒化物材料でも高速度で切断することができる。また、通常のワイヤーソーを用いる機械加工とは異なり、放電加工では細線を用いて切断することができるためカーフロスを低減することができる。放電加工では、高価なⅢ族窒化物材料のロスを低減して低コスト化できる。さらに、放電加工においては、ダイヤモンド砥粒が不要であり、低コスト化できる。

40

【0087】

放電加工のツール電極は、ワイヤー電極が好ましい。ワイヤー電極に用いられるワイヤーは、導電性であれば特に制約はなく、タングステン線、モリブデン線、真鍮線、真鍮コート鋼線（芯部が鋼、コート部が真鍮）、亜鉛コート真鍮線（芯部が真鍮、コート部が亜鉛）、真鍮および亜鉛コート鋼線（芯部が鋼、内コート部が真鍮、外コート部が亜鉛）を用いることができる。ここで、真鍮の銅 (Cu) と亜鉛 (Zn) との質量比 Cu : Zn は、56 : 44 ~ 80 : 20 が好ましい。ワイヤーは、鉄、スズ、鉛および/または他の金属を含有してもよい。ワイヤー線径（ワイヤー全体の線径をいう、以下同じ）は、カーフロスを低減する観点から、200 μm 以下が好ましく、100 μm 以下がより好ましく、

50

80 μm 以下がさらに好ましい。また、ワイヤー線径は、III族窒化物膜ドナー基板13Dを切断する際のワイヤーの振れを抑制して切断面の厚み分布を低減する観点から、50 μm 以上が好ましく、70 μm 以上がより好ましい。

【0088】

放電加工により効率よく切断する観点から、III族窒化物膜ドナー基板13Dの抵抗率は $1 \times 10^{-2} \Omega \text{cm}$ 以下が好ましい。III族窒化物膜ドナー基板13Dは、その抵抗率の低減のため、酸素、ケイ素がドーピングされていることが好ましい。III族窒化物膜ドナー基板13Dは、複数のドーパントを用いて抵抗率を低減することができる。たとえば、ファセット成長部およびC面成長部が混在するIII族窒化物膜ドナー基板13Dにおいては、ファセット成長部に酸素、C面成長部にケイ素をドーピングすることができる。

10

【0089】

III族窒化物膜ドナー基板13Dを切断することにより形成されたIII族窒化物複合基板1のIII族窒化物膜13の主面を研磨により平滑化することができる。切断により厚さの薄いIII族窒化物複合基板1を作製する際には、加工ダメージにより反りが生じる。作製するIII族窒化物複合基板1の反りを抑制するために、接合基板1Lの支持基板11を加工ホルダに貼り付けて固定した状態で、III族窒化物膜ドナー基板13Dを切断することができる。反りが生じたIII族窒化物膜ドナー基板13Dを含む接合基板1Lを加工ホルダに貼りつけて加工した場合には、反りに対応した厚み分布、オフ角分布が生じる。厚さが厚く反りの生じないIII族窒化物膜ドナー基板13Dを含む接合基板1Lを加工ホルダに固定することにより、切断後に形成されるIII族窒化物複合基板1の反りを抑制することができる。そのため、研磨後のIII族窒化物複合基板1の厚さ分布およびオフ角分布を低減することができる。かかる観点から、III族窒化物膜ドナー基板13Dの厚さは、2mm以上が好ましく、4mm以上がより好ましく、6mm以上がさらに好ましい。

20

【0090】

切断により得られたIII族窒化物複合基板1は、そのIII族窒化物膜13および支持基板11の主面を研磨することにより、所望の厚さおよびオフ角ならびにそれらの均一性を得ることができる。具体的には、研磨時の研磨装置へのIII族窒化物複合基板1の貼付には、吸着固定、バックパッドによる固定を行うことができる。また、保持プレートへIII族窒化物複合基板1を貼り付けた後に研磨装置に貼り付けることもできる。真空チャック、エアバッグ加圧、重りなどの機械的加圧により、傾きを抑制し、反りを矯正して貼り付けることができる。III族窒化物複合基板1を吸着固定することもできる。III族窒化物複合基板1を研磨装置に均一に貼り付けることで、研磨後の厚さ分布、オフ角分布を低減することができる。

30

【0091】

上記のように、本実施形態のIII族窒化物複合基板の製造方法においては、III族窒化物複合基板1のIII族窒化物膜13の厚さ分布およびオフ角分布を低減するとともにIII族窒化物膜13の切断によるダメージ層を除去して結晶品質を高く維持し、主面を平滑化する観点から、切断により得られたIII族窒化物複合基板1のIII族窒化物膜13の主面を研磨することが好ましい。

40

【0092】

このため、本実施形態のIII族窒化物複合基板の製造方法において、接合基板1L、1LSのIII族窒化物膜ドナー基板13Dを切断する面であるIII族窒化物膜ドナー基板13Dの貼り合わせ主面から内部に所定の距離に位置する面における所定の距離とは、製造の目的とするIII族窒化物複合基板1のIII族窒化物膜13の厚さに研磨代(けんましる)の厚さを加えた距離とすることが好ましい。ここで、研磨代は、特に制限はないが、厚さ分布およびオフ角分布を低減しかつダメージ層を除去する観点から、10 μm 以上が好ましく、20 μm 以上がより好ましく、30 μm 以上がさらに好ましい。また、研磨代は、III族窒化物膜ドナー基板13Dの材料口スを低減する観点から、100

50

μm 以下が好ましく、 $80\mu\text{m}$ 以下がより好ましく、 $60\mu\text{m}$ 以下がさらに好ましい。

【0093】

また、図6(D)および(B)ならびに図7(D)および(B)を参照して、残りのIII族窒化物膜ドナー基板13Drは、その主面を研磨することにより、繰り返し用いることができる。

【0094】

(支持体付III族窒化物膜ドナー基板の利用)

図7(B)~(D)を参照して、III族窒化物膜ドナー基板13DにIII族窒化物膜ドナー基板支持体15が貼り合わされた支持体付III族窒化物膜ドナー基板5Dを用いて、上記と同様にして、III族窒化物複合基板1を製造することができる。支持体付III族窒化物膜ドナー基板5Dは、III族窒化物膜ドナー基板支持体15によりIII族窒化物膜ドナー基板13Dが支持されているため、III族窒化物膜ドナー基板13Dが自立できない程度に薄くなっても、繰り返し用いることができる。

10

【0095】

支持体付III族窒化物膜ドナー基板5Dにおいて、III族窒化物膜ドナー基板支持体15とIII族窒化物膜ドナー基板13Dとの貼り合わせ形態は、特に制限はないが、貼り合わせによる接合強度を高めるために接合膜14を介在させることが好ましい。また、III族窒化物膜ドナー基板支持体15は、特に制限はないが、支持強度が高くまた割れおよび反りの発生を防止する観点から、支持基板11と同様の物性の材料で形成されていることが好ましい。接合膜14は、特に制限はないが、III族窒化物膜ドナー基板支持体15とIII族窒化物膜ドナー基板13Dとの接合性が高い観点から、 SiO_2 膜、 Si_3N_4 膜、 TiO_2 膜、 Ga_2O_3 膜などが好ましい。

20

【0096】

[実施形態5: III族窒化物複合基板の別の製造方法]

図8を参照して、本発明のさらに別の実施形態であるIII族窒化物複合基板の製造方法は、実施形態1のIII族窒化物複合基板1の製造方法であって、支持基板11と、III族窒化物膜ドナー基板13Dと、を貼り合わせることににより、直径が 75mm 以上の接合基板1Lを形成する工程(図8(A)~(C))と、接合基板1LのIII族窒化物膜ドナー基板13Dの貼り合わせ主面と反対側の主面から研削、研磨およびエッチングの少なくともいずれかを行なうことにより、III族窒化物複合基板1を形成する工程(図8(D))と、を含む。

30

【0097】

本実施形態のIII族窒化物複合基板の製造方法によれば、コストが低く大口径で膜厚が大きく結晶品質の高いIII族窒化物膜を有するIII族窒化物複合基板1を効率よく製造することができる。

【0098】

本実施形態のIII族窒化物複合基板1の製造方法において、III族窒化物膜ドナー基板13Dの貼り合わせ主面と反対側の主面から研削、研磨およびエッチングの少なくともいずれかを行なうことにより、膜厚を減少させて調整して、 $10\mu\text{m}$ 以上 $250\mu\text{m}$ 以下の所望の厚さのIII族窒化物膜13を含むIII族窒化物複合基板1が得られる。

40

【0099】

なお、本実施形態のIII族窒化物複合基板1の製造方法においては、III族窒化物複合基板を形成する工程においてIII族窒化物膜ドナー基板の貼り合わせ主面と反対側の主面から研削、研磨およびエッチングの少なくともいずれかを行なうため、III族窒化物膜ドナー基板13Dの材料ロス低減の観点から、用いられるIII族窒化物膜ドナー基板13Dの厚さは、 $500\mu\text{m}$ 以下が好ましく、 $400\mu\text{m}$ 以下がより好ましい。

【0100】

(接合基板の形成工程)

図8(A)~(C)を参照して、接合基板1Lを形成する工程は、実施形態4のIII族窒化物複合基板の製造方法と同様に、支持基板11の主面上に接合膜12aを形成する

50

サブ工程（図 8（A））と、ⅡⅡⅡ族窒化物膜ドナー基板 13D の主面上に接合膜 12b を形成するサブ工程（図 8（B））と、支持基板 11 に形成された接合膜 12a とⅡⅡⅡ族窒化物膜ドナー基板 13D に形成された接合膜 12b とを貼り合わせるサブ工程（図 8（C））と、を含む。

【0101】

ここで、図 8（A）に示す支持基板 11 の主面上に接合膜 12a を形成するサブ工程は図 6（A）に示す支持基板 11 の主面上に接合膜 12a を形成するサブ工程と同様である。図 8（B）に示すⅡⅡⅡ族窒化物膜ドナー基板 13D の主面上に接合膜 12b を形成するサブ工程は図 6（B）に示すⅡⅡⅡ族窒化物膜ドナー基板 13D の主面上に接合膜 12b を形成するサブ工程と同様である。図 8（C）に示す支持基板 11 に形成された接合膜 12a とⅡⅡⅡ族窒化物膜ドナー基板 13D に形成された接合膜 12b とを貼り合わせるサブ工程は図 6（C）に示す支持基板 11 に形成された接合膜 12a とⅡⅡⅡ族窒化物膜ドナー基板 13D に形成された接合膜 12b とを貼り合わせるサブ工程と同様である。このため、それらの説明は繰り返さない。

【0102】

（ⅡⅡⅡ族窒化物複合基板の形成工程）

図 8（D）を参照して、ⅡⅡⅡ族窒化物複合基板 1 を形成する工程において、接合基板 1L のⅡⅡⅡ族窒化物膜ドナー基板 13D の貼り合わせ主面と反対側の主面から研削、研磨およびエッチングの少なくともいずれかを行なうことにより、ⅡⅡⅡ族窒化物膜ドナー基板 13D からその厚さが減少したⅡⅡⅡ族窒化物膜 13 が形成されて、支持基板 11 とⅡⅡⅡ族窒化物膜 13 とが接合膜 12 を介在させて貼り合わされたⅡⅡⅡ族窒化物複合基板 1 が形成される。

【0103】

ⅡⅡⅡ族窒化物膜ドナー基板 13D を研削する方法は、特に制限はなく、砥石および砥粒のいずれかを用いた研削などが挙げられる。ⅡⅡⅡ族窒化物膜ドナー基板 13D を研磨する方法は、特に制限はなく、機械的研磨などの粗研磨、CMP、化学的研磨などの精密研磨などが挙げられる。ⅡⅡⅡ族窒化物膜ドナー基板 13D をエッチングする方法は、特に制限はなく、薬液を用いたウェットエッチング、RIE（反応性イオンエッチング）などのドライエッチングなどが挙げられる。

【0104】

また、形成されるⅡⅡⅡ族窒化物膜 13 の厚さ分布およびオフ角分布を低減する観点から、研削およびエッチングの少なくともいずれかにより得られたⅡⅡⅡ族窒化物複合基板 1 のⅡⅡⅡ族窒化物膜 13 の主面を研磨することが好ましい。研削、研磨およびエッチングの少なくともいずれかによる厚さの減少量は、厚さ分布およびオフ角分布を低減しかつダメージ層を除去する観点から、10 μm 以上が好ましく、20 μm 以上がより好ましく、30 μm 以上がさらに好ましい。また、研削、研磨およびエッチングの少なくともいずれかによる厚さの減少量は、ⅡⅡⅡ族窒化物膜ドナー基板 13D の材料ロス低減する観点から、100 μm 以下が好ましく、80 μm 以下がより好ましく、60 μm 以下がさらに好ましい。

【0105】

〔実施形態 6：ⅡⅡⅡ族窒化物半導体デバイスの製造方法〕

図 9 を参照して、本発明のさらに別の実施形態であるⅡⅡⅡ族窒化物半導体デバイスの製造方法は、実施形態 1 のⅡⅡⅡ族窒化物複合基板 1 を準備する工程と、ⅡⅡⅡ族窒化物複合基板 1 のⅡⅡⅡ族窒化物膜 13 上に、少なくとも 1 層のⅡⅡⅡ族窒化物層 20 を成長させる工程（図 9（A））と、を含む。本実施形態のⅡⅡⅡ族窒化物半導体デバイスの製造方法により、高特性のⅡⅡⅡ族窒化物半導体デバイスを歩留よく製造できる。

【0106】

本実施形態のⅡⅡⅡ族窒化物半導体デバイスの製造方法において、ⅡⅡⅡ族窒化物層 20 上にさらにデバイス支持基板 40 を貼り合わせる工程（図 9（B））と、ⅡⅡⅡ族窒化物複合基板 1 から支持基板 11 を除去する工程（図 9（C））と、をさらに含むことがで

きる。これらの工程を加えることにより、デバイス支持基板 40 により支持された機械的強度が強く高特性の III 族窒化物半導体デバイスを歩留よく製造できる。

【0107】

本実施形態の III 族窒化物半導体デバイスの製造方法は、具体的には、以下の工程により、行なうことができる。

【0108】

(III 族窒化物層の成長工程)

図 9 (A) を参照して、III 族窒化物複合基板 1 の III 族窒化物膜 13 上に、少なくとも 1 層の III 族窒化物層 20 を成長させる工程において、III 族窒化物層 20 を成長させる方法は、結晶品質の高い III 族窒化物層 20 をエピタキシャル成長させる観点から、MOVPE 法、MBE 法、HVPE 法、昇華法などの気相法、フラックス法などの液相法などが好適であり、特に MOVPE 法が好適である。

10

【0109】

III 族窒化物層 20 の構成は、III 族窒化物半導体デバイス 4 の種類に応じて異なる。III 族窒化物半導体デバイス 4 が発光デバイスの場合は、III 族窒化物層 20 は、たとえば、III 族窒化物膜 13 上に、 n -Ga_{0.95}N_{0.05}層 21、 n -In_{0.05}Ga_{0.95}N_{0.95}層 22、多重量子井戸構造を有する活性層 23、 p -Al_{0.09}Ga_{0.91}N_{0.91}層 24、および p -Ga_{0.95}N_{0.05}層 25 を順に成長させることにより構成することができる。

【0110】

上記のようにして、III 族窒化物複合基板 1 の III 族窒化物膜 13 上に、少なくとも 1 層の III 族窒化物層 20 を成長させることにより、積層 III 族窒化物複合基板 2 が得られる。

20

【0111】

(デバイス支持基板の貼り合わせ工程)

図 9 (B) を参照して、III 族窒化物層 20 上にさらにデバイス支持基板 40 を貼り合わせる工程は、積層 III 族窒化物複合基板 2 の III 族窒化物層 20 上に、第 1 電極 30 およびパッド電極 33 を形成するとともに、デバイス支持基板 40 上にパッド電極 43 および接合金属膜 44 を形成し、パッド電極 33 に接合金属膜 44 を貼り合わせるにより行なう。かかる工程により、積層基板 3 が得られる。デバイス支持基板 40 には、Si 基板、CuW 基板などが用いられる。

30

【0112】

(支持基板の除去工程)

図 9 (C) を参照して、III 族窒化物複合基板 1 から支持基板 11 を除去する工程は、積層基板 3 から、III 族窒化物複合基板 1 の支持基板を 11 を除去することにより行なう。III 族窒化物複合基板 1 において支持基板 11 と III 族窒化物膜 13 との間に接合膜 12 が介在している場合には、接合膜 12 をも除去することができる。支持基板 11 および接合膜 12 の除去方法は、特に制限はなく、研削、エッチングなどが好適に用いられる。たとえば、硬度、強度、および耐摩耗性が低く削られ易い材料で形成される支持基板 11 は、製造コストを低減する観点から、研削および研磨の少なくともいずれかにより除去することができる。また、酸、アルカリなどの薬液に溶解する材料で形成される支持基板 11 は、製造コストが低い観点から薬液でエッチングして除去することができる。なお、支持基板 11 の除去が容易な観点から、支持基板 11 は、サファイア、SiC、III 族窒化物 (たとえば GaN) などの単結晶材料で形成されている支持基板に比べて、セラミックスなどの多結晶材料で形成されている支持基板の方が好ましい。

40

【0113】

(電極の形成工程)

図 9 (D) を参照して、積層基板 3 から支持基板 11 および接合膜 12 が除去されることにより露出した III 族窒化物膜 13 上に第 2 電極 50 を形成し、デバイス支持基板 40 上にデバイス支持基板電極 45 を形成する。

【実施例】

50

【 0 1 1 4 】

(実施例 A)

1 . I I I 族窒化物複合基板の作製

図 6 (A) を参照して、支持基板 1 1 として直径 7 5 m m のムライト基板を準備し、支持基板 1 1 の両主面をダイヤモンド砥粒と銅系定盤を用いた粗研磨、ダイヤモンド砥粒とスズ定盤を用いた中間研磨、不織布研磨パッドを用いた仕上げ研磨により R M S を 5 n m 以下に鏡面化した後、それらの主面の少なくともひとつの上に厚さ 8 0 0 n m の S i O₂ 膜を L P - C V D (減圧 - 化学気相堆積) 法により成長させ、平均粒径が 4 0 n m のコロイダルシリカ砥粒を含み p H が 1 0 のスラリーを用いた C M P により、主面の R M S が 0 . 3 n m 以下に平坦化された厚さ 4 0 0 n m の接合膜 1 2 a を形成した。C M P で用いた砥粒を除去するために、K O H 水溶液による無砥粒ポリッシング洗浄および純水による洗浄を行なった。

10

【 0 1 1 5 】

図 6 (B) を参照して、I I I 族窒化物膜ドナー基板 1 3 D として直径 7 5 m m で厚さ 8 m m の G a N 結晶体を準備し、I I I 族窒化物膜ドナー基板 1 3 D の貼り合わせ面を機械研磨および C M P により R M S を 2 n m 以下に鏡面化した後、その貼り合わせ面上に厚さ 8 0 0 n m の S i O₂ 膜を L P - C V D (減圧 - 化学気相堆積) 法により成長させ、平均粒径が 4 0 n m のコロイダルシリカ砥粒を含み p H が 1 0 のスラリーを用いた C M P により、主面が R M S で 0 . 3 n m 以下に平坦化された厚さ 5 0 0 n m の接合膜 1 2 b を形成した。C M P に用いた砥粒を除去するために、K O H 水溶液による無砥粒ポリッシング洗浄および純水による洗浄を行なった。ここで、I I I 族窒化物膜ドナー基板 1 3 D は、下地基板として G a A s 基板を用いて、H V P E 法により成長させたものであった。

20

【 0 1 1 6 】

図 6 (C) を参照して、接合膜 1 2 a と接合膜 1 2 b とを貼り合わせることににより、支持基板 1 1 と I I I 族窒化物膜 1 3 とを接合膜 1 2 を介在させて貼り合わせた接合基板 1 L を得た。貼り合わせ後に、接合基板 1 L を窒素ガス雰囲気中で 8 0 0 まで昇温することによりアニールして接合強度を高めた。

【 0 1 1 7 】

図 6 (D) を参照して、接合基板 1 L の I I I 族窒化物膜ドナー基板 1 3 D を接合膜 1 2 との貼り合わせ面から内部に 1 8 0 μ m の距離の深さに位置する面でワイヤーソーにより切断することにより、支持基板 1 1 と I I I 族窒化物膜 1 3 である G a N 膜とが接合膜 1 2 を介在させて貼り合わされた I I I 族窒化物複合基板 1 を得た。ワイヤーは、ダイヤモンド砥粒を電着した固定砥粒ワイヤーを用いた。切断抵抗を低減して厚さの精度および平坦性を高めるために、切断方式としてはワイヤーを揺動させ、それに同期して I I I 族窒化物膜ドナー基板 1 3 D を振動させる方式とした。ワイヤーソー切断の抵抗係数は、4 2 0 0 N とした。切断後に、I I I 族窒化物複合基板 1 の I I I 族窒化物膜 1 3 を機械研磨および C M P を行なった。I I I 族窒化物膜 1 3 の厚さ、オフ角の均一化のため、C M P での複合基板の装置への取り付けには、予備的に真空チャック吸着で基板形状を矯正した後に、装置に吸着固定する方式とした。

30

【 0 1 1 8 】

得られた I I I 族窒化物複合基板 1 について、I I I 族窒化物膜 1 3 の厚さの平均値 m_t に対する厚さの標準偏差 s_t の比 s_t / m_t および I I I 族窒化物膜の主面の (0 0 0 1) 面に対するオフ角の絶対値の平均値 m_o に対するオフ角の絶対値の標準偏差 s_o の比 s_o / m_o を表 1 に示した。ここで、厚さの平均値 m_t 、厚さの標準偏差 s_t 、オフ角の絶対値の平均値 m_o 、およびオフ角の絶対値の標準偏差 s_o は、図 2 に示す I I I 族窒化物膜 1 3 の主面上において、1 つの中心点 P_c と、その中心点 P_c から互いに直角な 4 方向上でかつ外縁から 5 m m 内側にある 4 つの外側点 P_o と、1 つの中心点 P_c と 4 つの外側点 P_o との中間に位置する 4 つの点および 4 つの外側点の互いの中間に位置する 4 つの点をあわせた 8 つの中間点 P_M とで構成される 1 3 点の測定点 P における I I I 族窒化物膜 1 3 の厚さおよびオフ角の絶対値から算出した。

40

50

【0119】

2. III族窒化物半導体デバイスの作製

図9(A)を参照して、III族窒化物複合基板1のIII族窒化物膜13上に、MOVPE法により、III族窒化物層20として、III族窒化物膜13上に、厚さ5 μ mのn-GaN層21、厚さ50nmのn-In_{0.05}Ga_{0.95}N層22、厚さ3nmのIn_{0.14}Ga_{0.86}N井戸層と厚さ15nmのGaN障壁層とで構成される3周期の多重量子井戸構造を有する活性層23、厚さ20nmのp-Al_{0.09}Ga_{0.91}N層24、および厚さ150nmのp-GaN層25を順にエピタキシャル成長させることにより、積層III族窒化物複合基板2を得た。その後、RTA(高速熱処理装置)によりアニールして活性化させた。

10

【0120】

図9(B)を参照して、積層III族窒化物複合基板2のIII族窒化物層20の最上層であるp-GaN層25上に、EB(電子線)蒸着法により、厚さ4nmのNi層および厚さ200nmのAu層を順次形成し、アニールにより合金化することにより第1電極30を形成した。第1電極30上に、EB蒸着法により、厚さ200nmのTi層、厚さ100nmのPt層、および厚さ1000nmのAu層を順次形成することによりパッド電極33を形成した。

【0121】

また、デバイス支持基板40としてCuW基板を準備し、デバイス支持基板40上に、EB蒸着法により、厚さ200nmのTi層、厚さ100nmのPt層、および厚さ1000nmのAu層を順次形成することによりパッド電極43を形成した。パッド電極43上に、接合金属膜44としてAuSnはんだ膜を形成した。

20

【0122】

次に、パッド電極33に接合金属膜44を貼り合わせることにより、積層基板3を得た。

【0123】

図9(C)を参照して、積層基板3から、III族窒化物複合基板1の支持基板11および接合膜12を、フッ化水素酸を用いて、エッチングにより除去した。

【0124】

図9(D)を参照して、積層基板3から支持基板11および接合膜12が除去されて露出したIII族窒化物膜13上に、EB蒸着法により、厚さ20nmのTi層、厚さ200nmのAl層、および厚さ300nmのAu層を順次形成し、アニールすることにより、第2電極50を形成した。また、デバイス支持基板40上に、EB蒸着法により、厚さ20nmのTi層、および厚さ300nmのAu層を順次形成し、アニールすることにより、デバイス支持基板電極45を形成した。こうして、III族窒化物半導体デバイス4が得られた。

30

【0125】

得られたIII族窒化物半導体デバイス4について、光出力を、積分球を用いて、注入電流4Aの条件で測定した。発光素子の光出力は、以下のように測定した。すなわち、積分球内に載置された発光素子に所定の電流を注入し、その発光素子から集光された光を受けるディテクタによって光出力を測定した。そして、光出力が2W以上の基準に適合したものを良品、適合しなかったものを不良品とし、良品を良品と不良品との合計で除したものの百分率を歩留率とした。III族窒化物半導体デバイスの歩留率を表1にまとめた。

40

【0126】

【表 1】

	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9
s_t/m_t	0.001	0.002	0.01	0.05	0.1	0.15	0.2	0.25	0.2
s_o/m_o	0.005	0.008	0.05	0.2	0.4	0.5	0.6	0.6	0.7
デバイス歩留率(%)	78	77	75	72	68	62	58	35	32

【0127】

表1を参照して、厚さ150 μ mのIII族窒化物膜を有する直径75mmのIII族窒化物複合基板であって、III族窒化物膜の厚さの平均値 m_t に対する厚さの標準偏差 s_t の比 s_t/m_t が0.001以上0.2以下であり、III族窒化物膜の主面の(0001)面に対するオフ角の絶対値の平均値 m_o に対するオフ角の絶対値の標準偏差 s_o の比 s_o/m_o が0.005以上0.6以下のIII族窒化物複合基板を用いて作製されたIII族窒化物半導体デバイスの歩留が高かった。なお、実施例A1においては、厚さ分布およびオフ角分布を低減するために、切断および研磨の際に高度な制御が必要となり、切断および研磨に長時間を要した。

【0128】

(実施例B)

図6および図8を参照して、支持基板11としてムライト-YSZ基板(基板全体に対してムライトが70質量%でYSZが30質量%であり、YSZに対して ZrO_2 が90モル%で Y_2O_3 が10モル%である)を用いて、表2に示すようにIII族窒化物膜の厚

10

20

30

40

50

さを変えた直径がそれぞれ 75 mm、100 mm、125 mm、および 150 mm の I I I 族窒化物複合基板 1 を作製したこと以外は、実施例 A と同様にして、I I I 族窒化物複合基板 1 および I I I 族窒化物半導体デバイス 4 を作製した。

【0129】

実施例 A と同様にして、I I I 族窒化物複合基板 1 について、I I I 族窒化物膜 13 の厚さの平均値 m_t に対する厚さの標準偏差 s_t の比 s_t / m_t および I I I 族窒化物膜の主面の (0001) 面に対するオフ角の絶対値の平均値 m_o に対するオフ角の絶対値の標準偏差 s_o の比 s_o / m_o を算出して、表 2 にまとめた。また、実施例 A と同様にして、I I I 族窒化物半導体デバイス 4 の歩留率を算出して、表 2 にまとめた。

【0130】

【表 2】

	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B9	B10	B11	B12	B13	B14
直径(mm)	75	75	75	75	75	100	100	100	100	125	150	150	75	100
III族窒化物膜の厚さ(μm)	10	30	100	170	200	10	110	170	200	110	120	160	250	250
比 s_t/m_t	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12
比 s_o/m_o	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
デバイス歩留率(%)	60	63	70	72	61	59	71	73	60	72	71	72	59	58

【0131】

表2を参照して、厚さ $10\mu\text{m} \sim 250\mu\text{m}$ のIII族窒化物膜を有する直径 $75\text{mm} \sim 150\text{mm}$ のIII族窒化物複合基板であって、III族窒化物膜の厚さの平均値 m_t に対する厚さの標準偏差 s_t の比 s_t/m_t が 0.001 以上 0.2 以下の 0.12 であり、III族窒化物膜の主面の (0001) 面に対するオフ角の絶対値の平均値 m_o に対す

10

20

30

40

50

るオフ角の絶対値の標準偏差 s_o の比 s_o / m_o が 0.005 以上 0.6 以下の 0.3 である I I I 族窒化物複合基板を用いて作製された I I I 族窒化物半導体デバイスの歩留が高かった。

【0132】

(実施例 C)

半導体デバイス用基板として、I I I 族窒化物自立基板（以下、F S 基板ともいう）、イオン注入法により作製された I I I 族窒化物複合基板（以下、B P 基板ともいう）、および本発明の実施形態 4 により作製された I I I 族窒化物複合基板（以下、B S 基板ともいう）を準備した。

【0133】

F S 基板は、所定の直径を有する G a N 結晶体をワイヤーソーで切断し研磨することにより表 3 に示す直径および厚さの基板とした。

【0134】

B P 基板は、図 10 (B) に示すように、I I I 族窒化物膜ドナー基板 1 3 D である所定の直径を有する G a N 結晶体にその主面から内部に所定の深さの位置に水素イオンを注入することによりイオン注入領域 1 3 i を形成した後、図 10 (C) に示すように、支持基板 1 1 と I I I 族窒化物膜ドナー基板 1 3 D のイオン注入領域 1 3 i 側とを接合膜 1 2 を介在させて貼り合わせた後、図 10 (D) に示すように、850 でアニールすることにより、I I I 族窒化物膜ドナー基板 1 3 D をそのイオン注入領域 1 3 i で分離することにより、表 3 に示す直径および I I I 族窒化物膜の厚さの基板とした。ここで、支持基板 1 1 としては、ムライト基板を用いた。

【0135】

B S 基板は、支持基板としてムライト基板を用いたこと以外は、実施例 B と同様にして、表 3 に示す直径および I I I 族窒化物膜の厚さの基板とした。

【0136】

上記の F S 基板、B P 基板、および B S 基板を用いたこと以外は、実施例 B と同様にして、I I I 族窒化物複合基板 1 および I I I 族窒化物半導体デバイス 4 を作製した。

【0137】

実施例 A と同様にして、I I I 族窒化物複合基板 1 について、I I I 族窒化物膜 1 3 の厚さの平均値 m_t に対する厚さの標準偏差 s_t の比 s_t / m_t および I I I 族窒化物膜の主面の (0 0 0 1) 面に対するオフ角の絶対値の平均値 m_o に対するオフ角の絶対値の標準偏差 s_o の比 s_o / m_o を算出して、表 3 にまとめた。また、実施例 A と同様にして、I I I 族窒化物半導体デバイス 4 の歩留率を算出して、表 3 にまとめた。

【0138】

10

20

30

【表 3】

	FS基板							BP基板			BS基板			
	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
直径(mm)	50	75	75	100	100	100	125	75	100	125	75	100	125	150
III 族窒化物膜の厚さ (μm)	250	200	400	250	450	450	500	0.5	0.5	0.5	150	150	150	150
反り(μm)	50	140	40	180	30	30	35	25	30	35	30	30	30	30
比 s_t/m_t	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.25	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16
比 s_o/m_o	0.42	0.42	0.42	0.42	0.42	0.65	0.42	0.42	0.42	0.42	0.42	0.42	0.42	0.42
デバイス歩留率(%)	54	割れ	55	割れ	58	19	57	0	0	0	66	65	67	68

【0139】

表3を参照して、直径50mm～125mmで厚さ200 μm ～500 μm のFS基板を用いて作製したIII族窒化物半導体デバイスは、直径が大きく厚さが小さいものは反りが大きくまた割れが発生しやすく、いずれも歩留率が60%に満たなかった。

【0140】

10

20

30

40

50

また、直径が7.5 mm ~ 12.5 mmでIII族窒化物膜の厚さが0.5 μmのBP基板を用いて作製したIII族窒化物半導体デバイスは、III族窒化物膜の厚さが小さいため、良好なデバイス特性が発現せず、歩留率が低下した。

【0141】

これらに対して、BS基板を用いて作製したIII族窒化物半導体デバイスは、歩留率が65%以上と高かった。

【0142】

(実施例D)

支持基板として $Al_2O_3-SiO_2$ 複合酸化物基板(基板全体に対して Al_2O_3 が85質量%で SiO_2 が15質量%である)を用いたこと以外は、実施例Bと同様の要領で作製した複数のIII族窒化物複合基板の反りおよびTTVを測定したところ、表4に示すとおりであった。ここで、III族窒化物複合基板の反りおよびTTVは、光干渉式のフラットネステスターにより測定した。

10

【0143】

これらのIII族窒化物複合基板を用いて、実施例Bと同様にして、III族窒化物半導体デバイスを作製した。

【0144】

III族窒化物複合基板について、III族窒化物膜の厚さの平均値 m_t に対する厚さの標準偏差 s_t の比 s_t/m_t およびIII族窒化物膜の主面の(0001)面に対するオフ角の絶対値の平均値 m_o に対するオフ角の絶対値の標準偏差 s_o の比 s_o/m_o 、ならびにIII族窒化物複合基板の反りおよびTTVを表4にまとめた。また、実施例Aと同様にして、III族窒化物半導体デバイス4の歩留率を算出して、表4にまとめた。

20

【0145】

【表 4】

	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	D9	D10	D11	D12	D13
直径(mm)	100	100	100	100	100	100	100	100	75	150	150	150	150
III 族窒化物膜の厚さ (μm)	110	110	110	110	110	110	110	110	130	120	120	120	120
反り(μm)	15	30	50	70	30	30	50	50	50	50	50	50	90
TTV(μm)	15	15	20	40	10	20	30	50	30	30	60	30	30
比 s_t/m_t	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08
比 s_o/m_o	0.36	0.36	0.36	0.36	0.36	0.36	0.36	0.36	0.36	0.36	0.36	0.36	0.36
デバイス歩留率(%)	75	68	63	55	74	67	60	57	61	61	58	60	57

【0146】

表 4 を参照して、III 族窒化物膜側の主面における反りが $50 \mu\text{m}$ 以下であり、TTV が $30 \mu\text{m}$ 以下である III 族窒化物複合基板を用いて作製した III 族窒化物半導体デバイスは、歩留率が高かった。

【0147】

(実施例 E)

支持基板の熱膨張係数 α_s に対する III 族窒化物膜の熱膨張係数 α_{III-N} の比 α_{III-N}

10

20

30

40

50

α_s が異なり、かつ、支持基板の厚さ t_s に対する I I I 族窒化物膜の厚さ t_{III-N} の比 t_{III-N} / t_s が異なる複数の I I I 族窒化物複合基板を用いたこと以外は、実施例 B と同様に、I I I 族窒化物半導体デバイスを作製した。ここで、上記の比を変化させるために、下地基板として厚さの異なるムライト基板、ムライト - Y S Z 基板、 $Al_2O_3 - SiO_2$ 複合酸化物基板を用いた。

【 0 1 4 8 】

支持基板の熱膨張係数 α_s に対する I I I 族窒化物膜の熱膨張係数 α_{III-N} の比 $\alpha_{III-N} / \alpha_s$ および支持基板の厚さ t_s に対する I I I 族窒化物膜の厚さ t_{III-N} の比 t_{III-N} / t_s 、ならびに I I I 族窒化物半導体デバイスの歩留率を表 5 にまとめた。

【 0 1 4 9 】

【表 5】

	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	E9	E10	E11
直径(mm)	75	75	75	75	75	100	100	100	100	150	150
支持基板の種類	ムライト	ムライト	ムライト	ムライト	ムライト	ムライト	ムライト -YSZ	Al ₂ O ₃ -SiO ₂	Al ₂ O ₃ -SiO ₂	ムライト	ムライト -YSZ
比 $\alpha_{III-N} / \alpha_S$	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1	1.25	0.75	1.2	1
比 t_{III-N} / t_S	0.02	0.1	0.25	0.6	1	0.3	0.3	0.3	0.3	0.2	0.2
デバイス歩留率(%)	62	65	70	66	64	71	75	65	62	68	72

【0150】

表5を参照して、支持基板の熱膨張係数 α_S に対するIII族窒化物膜の熱膨張係数 α_{III-N} の比 $\alpha_{III-N} / \alpha_S$ が0.75以上1.25以下であり、支持基板の厚さ t_S に対するIII族窒化物膜の厚さ t_{III-N} の比 t_{III-N} / t_S が0.02以上1以下であるIII族窒化物複合基板を用いて作製したIII族窒化物半導体デバイスの歩留率は高かった。

【0151】

(実施例F)

洗浄条件を調節することによって、III族窒化物膜の表面における不純物金属原子の

10

20

30

40

50

量を調整したこと以外は、実施例 B と同様にして、Ⅲ族窒化物複合基板およびⅢ族窒化物半導体デバイスを作製した。Ⅲ族窒化物複合基板の直径およびⅢ族窒化物膜の表面における不純物金属原子の量、ならびにⅢ族窒化物半導体デバイスの歩留率を表 6 にまとめた。ここで、Ⅲ族窒化物膜の表面における不純物金属原子の量は、TXRF（全反射蛍光 X 線）法により測定した。ここで、TXRF 法による測定は、タングステン（W）線源を用いて、 0.05° の入射角の条件で行なった。

【0152】

【表 6】

	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7
直径	75	75	75	75	100	100	150
不純物金属原子($\times 10^{10}$ 原子/ cm^2)	6	40	300	500	8	80	10
デバイス歩留率(%)	70	68	63	58	69	65	69

10

20

30

40

【0153】

表 6 を参照して、Ⅲ族窒化物膜の主面における不純物金属原子が 3×10^{12} 原子/ cm^2 以下であるⅢ族窒化物複合基板を用いた作製したⅢ族窒化物半導体デバイスの歩留率は高かった。

【0154】

（実施例 G）

支持基板としてムライト基板を用い、Ⅲ族窒化物膜ドナー基板として、ドーパント

50

としてOおよびSiが添加され、転位密度が $4 \times 10^6 \text{ cm}^{-2}$ でキャリア濃度が $2 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ である、転位集中領域のない均一なGaN結晶体を用いたこと以外は、実施例Bと同様にして、III族窒化物複合基板およびIII族窒化物半導体デバイスを作製した。ここで、研磨条件を調整することにより、III族窒化物膜および支持基板の主面の最大RMSを調整した。

【0155】

III族窒化物複合基板におけるIII族窒化物膜および支持基板の主面の最大RMS、ならびにIII族窒化物半導体デバイスの歩留率を表7にまとめた。

【0156】

【表 7】

	G1	G2	G3	G4	G5	G6	G7	G8	G9
III族窒化物膜の主面の最大RMS(nm)	0.5	1	3	5	1	1	1	1	3
支持基板の主面の最大RMS(nm)	1	1	1	1	2	6	12	18	12
デバイス歩留率(%)	68	64	58	52	65	63	57	53	55

10

20

30

40

【0157】

表7を参照して、III族窒化物膜の主面のRMSが3nm以下であり、支持基板の主面のRMSが12nm以下であるIII族窒化物複合基板を用いて作製したIII族窒化物半導体デバイスの歩留率は高かった。

【0158】

(実施例H)

50

支持基板として Al_2O_3 - SiO_2 複合酸化物基板（基板全体に対して Al_2O_3 が 82 質量%で SiO_2 が 18 質量%である）を用い、III 族窒化物膜ドナー基板として、ドーパントとして Fe が添加され比抵抗が $1 \times 10^7 \Omega \text{cm}$ である半絶縁性の GaN 結晶を用いたこと以外は、実施例 B と同様にして、III 族窒化物複合基板を作製した。ここで、研磨条件を調整することにより、III 族窒化物複合基板の III 族窒化物膜の主面の RMS の平均値 $m_{\text{III-N}}$ および標準偏差 $s_{\text{III-N}}$ 、ならびに支持基板の主面の RMS の平均値 m_s および標準偏差 s_s を調整した。

【0159】

さらに、図 5 を参照して、以下のようにして、III 族窒化物半導体デバイス 4 として、HEMT を作製した。

10

【0160】

まず、III 族窒化物複合基板 1 の III 族窒化物膜 13 上に、MOVPE 法により、III 族窒化物層 20 として、厚さ $1.5 \mu\text{m}$ の GaN 層 26、厚さ 30nm の $\text{Al}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{N}$ 層 27 を順にエピタキシャル成長させることにより、積層 III 族窒化物複合基板 2 を得た。

【0161】

次に、 $\text{Al}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{N}$ 層 27 上にフォトリソグラフィ、EB 蒸着、およびリフトオフによって、ソース電極 60 およびドレイン電極 70 を作製した。これらの電極には、厚さ 20nm の Ti 層、厚さ 100nm の Al 層、厚さ 20nm の Ti 層、および厚さ 300nm の Au 層を順次形成し、リフトオフした後、600 で 1 分間のアニールにより合金化した。

20

【0162】

次に、ソース電極 60 およびドレイン電極 70 の作製と同様の工程により、ゲート電極 80 を作製した。ゲート電極 80 の作製においては、厚さ 50nm Ni 層および厚さ 500nm の Au 層を順次形成した。ゲート長は $2 \mu\text{m}$ とした。

【0163】

こうして得られた III 族窒化物半導体デバイス 4 である HEMT は、III 族窒化物複合基板 1 の III 族窒化物膜 13 上に、少なくとも 1 層の III 族窒化物層 20 として GaN 層 26 および $\text{Al}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{N}$ 層 27 が形成され、 $\text{Al}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{N}$ 層 27 上にソース電極 60、ドレイン電極 70、およびゲート電極 80 が、お互いに分離され、かつ、ゲート電極 80 がソース電極 60 とドレイン電極 70 との間に位置するように、配置されていた。

30

【0164】

得られた HEMT のリークするゲート電流密度を検査した。具体的には、5 V のゲート電圧を与えたときに、リークしたゲート電流密度が $1 \times 10^{-6} \text{A/cm}^2$ 以下の基準に適合したものを良品、適合しなかったものを不良品とし、良品を良品と不良品の合計で除したものの百分率を歩留率とした。

【0165】

III 族窒化物複合基板における III 族窒化物膜の主面の RMS の平均値 $m_{\text{III-N}}$ および標準偏差 $s_{\text{III-N}}$ 、および支持基板の主面の RMS の平均値 m_s および標準偏差 s_s 、ならびに III 族窒化物半導体デバイスの歩留率を表 8 にまとめた。

40

【0166】

【表 8】

	H1	H2	H3	H4	H5	H6	H7	H8	H9	H10	H11	H12
III 族窒化物膜の主面のRMSの 平均値 $m_{III-N}(nm)$	0.1	0.5	1	2	3	2	2	2	2	2	2	2
III 族窒化物膜の主面のRMSの 標準偏差 $s_{III-N}(nm)$	0.03	0.1	0.2	0.4	0.4	0.5	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4
支持基板の主面のRMSの 平均値 $m_S(nm)$	2	2	2	2	2	2	0.3	2	5	10	13	10
支持基板の主面のRMSの 標準偏差 $s_S(nm)$	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.1	0.4	1.4	3	3	4
デバイス歩留率(%)	72	69	65	60	51	52	68	67	64	57	51	52

【0167】

表 8 を参照して、III 族窒化物膜の主面は、その RMS の平均値 m_{III-N} が 0.1 nm 以上 2 nm 以下でありその RMS の標準偏差 s_{III-N} が 0.4 nm 以下であり、支持基板の主面は、その RMS の平均値 m_S が 0.3 nm 以上 10 nm 以下であり、その RMS の標準偏差 s_S が 3 nm 以下である III 族窒化物複合基板を用いて作製した III 族窒化物半導体デバイスの歩留率は高かった。

10

20

30

40

50

【0168】

(実施例I)

1. III族窒化物複合基板の作製

図8(A)~(C)を参照して、支持基板11として直径100mmの $Al_2O_3-SiO_2$ 複合酸化物基板(基板全体に対して Al_2O_3 が88質量%で SiO_2 が12質量%である)を準備したこと、III族窒化物膜ドナー基板13Dとして直径100mmで厚さが400 μm のGa N 結晶基板を準備したこと、支持基板11およびIII族窒化物膜ドナー基板13Dのそれぞれの主面上にPE-CVD法により厚さ500nmの SiO_2 膜を成長させた後、平均粒径が20nmのコロイダルシリカを含みpHが9のスラリーを用いたCMPにより主面がRMS粗さで0.15nm以下に平坦化された厚さ250nmの接合膜12a, 12bを形成したこと、純水による洗浄として純水とPVA(ポリビニルアルコール)製スポンジとを用いたスクラブ洗浄を行なったこと、以外は実施例Aと同様にして接合基板1Lを得た。

10

【0169】

図8(D)を参照して、接合基板1LのIII族窒化物膜ドナー基板13Dの貼り合わせ主面と反対側の主面から研削および研磨を行なった。研削においては、平均粒径が25 μm ~35 μm のダイヤモンド砥粒を含むビトリファイド砥石を用いた。研磨においては、平均粒径が3 μm 、2 μm 、0.25 μm のダイヤモンド砥粒をそれぞれ含むスラリーを用いて段階的に機械研磨を実施した。かかる研磨は、厚み分布およびオフ角分布を低減するため、予備的に機械加圧で基板の反りを矯正した状態で保持プレートに貼り付けて実施した。研磨後にICP-RIE(誘導結合プラズマ-反応性イオンエッチング)法により発生させた塩素ガスプラズマによるドライエッチング処理を実施した。なお、実施例I8については、上記の研削の代わりに平均粒径が9 μm のダイヤモンド砥粒を用いた粗研磨を実施した。こうして、厚さが150 μm のIII族窒化物膜13を含むIII族窒化物複合基板1を得た。

20

【0170】

2. III族窒化物半導体デバイスの作製

図9を参照して、本実施例におけるIII族窒化物複合基板1を用いたこと、積層基板3からの支持基板11および接合膜12の除去を平均粒径が35 μm ~45 μm のダイヤモンド砥粒を含むビトリファイド砥石を用いた研削により実施したこと、特に実施例I9については平均粒径が15 μm のダイヤモンド砥粒を用いた研磨により実施したこと、かかる研削および/または研磨後に接合膜及び支持基板の残渣の除去のため、フッ化水素酸によるエッチング洗浄したこと以外は、実施例Aと同様にしてIII族窒化物半導体デバイス4を得た。

30

【0171】

実施例Aと同様にして、III族窒化物複合基板1について、III族窒化物膜13の厚さの平均値 m_t に対する厚さの標準偏差 s_t の比 s_t/m_t およびIII族窒化物膜の主面の(0001)面に対するオフ角の絶対値の平均値 m_o に対するオフ角の絶対値の標準偏差 s_o の比 s_o/m_o を算出して、表9にまとめた。また、実施例Aと同様にして、III族窒化物半導体デバイス4の歩留率を算出して、表9にまとめた。

40

【0172】

【表 9】

	I1	I2	I3	I4	I5	I6	I7	I8	I9
s_t/m_t	0.001	0.002	0.05	0.15	0.2	0.25	0.2	0.05	0.05
s_o/m_o	0.005	0.008	0.2	0.5	0.6	0.6	0.7	0.2	0.2
デバイス歩留率(%)	76	76	72	61	56	34	31	71	73

【0173】

表 9 を参照して、III 族窒化物膜の厚さの平均値 m_t に対する厚さの標準偏差 s_t の比 s_t/m_t が 0.001 以上 0.2 以下であり、III 族窒化物膜の主面の (0001) 面に対するオフ角の絶対値の平均値 m_o に対するオフ角の絶対値の標準偏差 s_o の比 s_o/m_o が 0.005 以上 0.6 以下である III 族窒化物複合基板を用いて作製された III 族窒化物半導体デバイスの歩留が高かった。なお、実施例 I1 においては、厚さ分布およびオフ角分布を低減するために、研削および研磨の際に高度な制御が必要となり、研削および研磨に長時間を要した。

【0174】

(実施例 J)

1. III 族窒化物複合基板の作製

図 6 (A) を参照して、支持基板 11 として直径 100 mm で厚さ 500 μm の Al_2O_3 - SiO_2 複合酸化物基板 (基板全体に対して Al_2O_3 が 78 質量% で SiO_2 が 22 質量% である) を準備し、支持基板 11 の両主面をダイヤモンド砥粒と銅系定盤を用いた

粗研磨、ダイヤモンド砥粒とスズ定盤を用いた中間研磨、不織布研磨パッドを用いた仕上げ研磨によりRMSを5nm以下に鏡面化した後、それらの主面の少なくともひとつの上に厚さ1000nmのSiO₂膜をAP-CVD（大気圧-化学気相堆積）法により成長させ、平均粒径が100nmのヒュームドシリカ砥粒を含みpHが10のスラリーを用いたCMPおよび平均粒径が30nmのコロイダルシリカ砥粒を含みpHが9のスラリーを用いたCMPにより、主面のRMSが0.15nm以下に平坦化された厚さ250nmの接合膜12aを形成した。CMPで用いた砥粒を除去するために、アンモニア水溶液およびPVA（ポリビニルアルコール）スポンジによるスクラブ洗浄および純水による洗浄を行なった。

【0175】

10

図6（B）を参照して、III族窒化物膜ドナー基板13Dとして直径100mmで厚さ7mmのGaN結晶体を準備し、III族窒化物膜ドナー基板13Dの貼り合わせ面を機械研磨およびCMPによりRMSを2nm以下に鏡面化した後、その貼り合わせ面上に厚さ1000nmのSiO₂膜をAP-CVD（大気圧-化学気相堆積）法により成長させ、平均粒径が100nmのヒュームドシリカ砥粒を含みpHが10のスラリーを用いたCMPおよび平均粒径が30nmのコロイダルシリカ砥粒を含みpHが9のスラリーを用いたCMPにより、主面のRMSが0.15nm以下に平坦化された厚さ250nmの接合膜12bを形成した。CMPで用いた砥粒を除去するために、アンモニア水溶液およびPVA（ポリビニルアルコール）スポンジによるスクラブ洗浄および純水による洗浄を行なった。ここで、III族窒化物膜ドナー基板13Dは、下地基板としてGaAs基板を用いて、HVPE法により成長させたGaN結晶体であった。このIII族窒化物膜ドナー基板13DたるGaN結晶体は、OおよびSiがドーピングされており、抵抗率が $5 \times 10^{-3} \Omega \text{cm}$ であった。

20

【0176】

図6（C）を参照して、接合膜12aと接合膜12bとを貼り合わせることににより、支持基板11とIII族窒化物膜13とを接合膜12を介在させて貼り合わせた接合基板1Lを得た。貼り合わせ後に、接合基板1Lを窒素ガス雰囲気中で800℃まで昇温することによりアニールして接合強度を高めた。

【0177】

図6（D）を参照して、接合基板1LのIII族窒化物膜ドナー基板13Dを接合膜12との貼り合わせ面から内部に150μmの距離の深さに位置する面でワイヤー電極を用いた放電加工により切断することにより、支持基板11とIII族窒化物膜13であるGaN膜とが接合膜12を介在させて貼り合わされたIII族窒化物複合基板1を得た。ワイヤー電極には、線径が100μmのワイヤーを用いた。ワイヤーは、実施例J1～J7においては真鍮コートピアノ線（芯部がピアノ線、コート部が真鍮（質量比Cu：Znが70：30））を用い、実施例J8においては真鍮および亜鉛コートピアノ線（芯部がピアノ線、内コート部が真鍮（質量比Cu：Znが70：30）、外コート部が亜鉛）、実施例J9においてはタングステン線を用いた。

30

【0178】

切断後の加工ダメージによる反り発生を抑制し、III族窒化物膜の厚さ、オフ角の均一化のため、切断前に接合基板1Lの支持基板11側を加工ホルダーに接着した。切断後に、III族窒化物複合基板1のIII族窒化物膜13の主面を、研削、機械研磨およびドライエッチングにより平滑化した。まず、平均粒径が25μm～35μmのダイヤモンド砥粒を含むビトリファイド砥石、および平均粒径が5μmのダイヤモンド砥粒を含むビトリファイド砥石を用いて研削を行なった。次に、平均粒径が2μmのダイヤモンド砥粒を含むスラリー、および平均粒径が0.5μmのダイヤモンド砥粒を含むスラリーをこの順に用いて、機械研磨を行なった。次に、ICP-RIE（誘導結合プラズマ-反応性イオンエッチング）装置を用いて塩素ガスプラズマによるドライエッチングを行なった。ICP-RIE後のIII族窒化物膜の厚さは110μmであった。

40

【0179】

50

上記のようにして得られたⅡⅡⅡ族窒化物複合基板１について、実施例Ａと同様にして、ⅡⅡⅡ族窒化物膜１３の厚さの平均値 m_t に対する厚さの標準偏差 s_t の比 s_t/m_t およびⅡⅡⅡ族窒化物膜の主面の（０００１）面に対するオフ角の絶対値の平均値 m_o に対するオフ角の絶対値の標準偏差 s_o の比 s_o/m_o を算出して、表１０にまとめた。

【０１８０】

２．ⅡⅡⅡ族窒化物半導体デバイスの作製

図９を参照して、図９（Ｃ）に示す積層基板３からの支持基板１１および接合膜１２の除去の際、支持基板１１および接合膜１２のフッ化水素酸を用いたエッチングの前に、研削により支持基板１１の厚さを５００μｍから１００μｍに低減したこと以外は、実施例Ａと同様にしてⅡⅡⅡ族窒化物半導体デバイス４を作製した。支持基板１１の研削は、平均粒径が３５μｍ～４５μｍのダイヤモンド砥粒を含むビトリファイド砥石を用いて行った。こうして得られたⅡⅡⅡ族窒化物半導体デバイス４について、実施例Ａと同様にして、その歩留率を算出して、表１０にまとめた。

【０１８１】

【表１０】

	J1	J2	J3	J4	J5	J6	J7	J8	J9
比 s_t/m_t	0.001	0.002	0.01	0.15	0.2	0.25	0.2	0.05	0.05
比 s_o/m_o	0.005	0.008	0.05	0.5	0.6	0.6	0.7	0.2	0.2
デバイス歩留率(%)	79	77	75	63	57	37	34	74	73

10

20

30

40

50

【 0 1 8 2 】

表 1 0 を参照して、厚さ $110\ \mu\text{m}$ の I I I 族窒化物膜を有する直径 $100\ \text{mm}$ の I I I 族窒化物複合基板であって、I I I 族窒化物膜の厚さの平均値 m_t に対する厚さの標準偏差 s_t の比 s_t / m_t が 0.001 以上 0.2 以下であり、I I I 族窒化物膜の主面の (0001) 面に対するオフ角の絶対値の平均値 m_o に対するオフ角の絶対値の標準偏差 s_o の比 s_o / m_o が 0.005 以上 0.6 以下の I I I 族窒化物複合基板を用いて作製された I I I 族窒化物半導体デバイスの歩留が高かった。なお、実施例 J 1 においては、厚さ分布およびオフ角分布を低減するために、切断および研磨の際に高度な制御が必要となり、切断および研磨に長時間を要した。

【 0 1 8 3 】

10

今回開示された実施形態および実施例はすべての点で例示であって制限的なものではないと考えられるべきである。本発明の範囲は、上記した説明でなくて特許請求の範囲によって示され、特許請求の範囲と均等の意味および範囲内のすべての変更が含まれることが意図される。

【符号の説明】

【 0 1 8 4 】

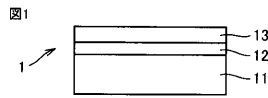
- 1 I I I 族窒化物複合基板
- 1 L , 1 L S 接合基板
- 2 積層 I I I 族窒化物複合基板
- 3 積層基板
- 4 I I I 族窒化物半導体デバイス
- 5 D , 5 D r 支持体付 I I I 族窒化物膜ドナー基板
- 1 1 支持基板
- 1 2 , 1 4 接合膜
- 1 3 I I I 族窒化物膜
- 1 3 D , 1 3 D r I I I 族窒化物膜ドナー基板
- 1 3 i イオン注入領域
- 1 5 I I I 族窒化物膜ドナー基板支持体
- 2 0 I I I 族窒化物層
- 2 1 n - G a N 層
- 2 2 n - I n _{0.05} G a _{0.95} N 層
- 2 3 活性層
- 2 4 p - A l _{0.09} G a _{0.91} N 層
- 2 5 p - G a N 層
- 2 6 G a N 層
- 2 7 A l _{0.2} G a _{0.8} N 層
- 3 0 第 1 電極
- 3 3 , 4 3 パッド電極
- 4 0 デバイス支持基板
- 4 4 接合金属膜
- 4 5 デバイス支持基板電極
- 5 0 第 2 電極
- 6 0 ソース電極
- 7 0 ドレイン電極
- 8 0 ゲート電極

20

30

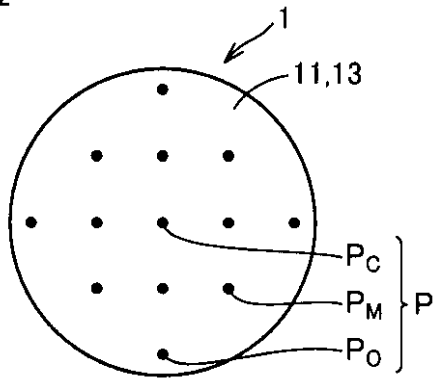
40

【図 1】

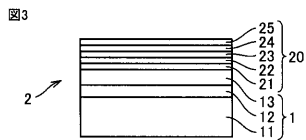


【図 2】

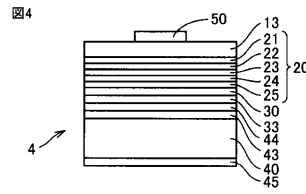
図2



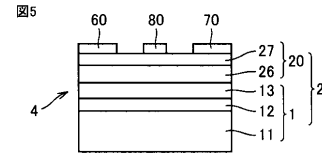
【図 3】



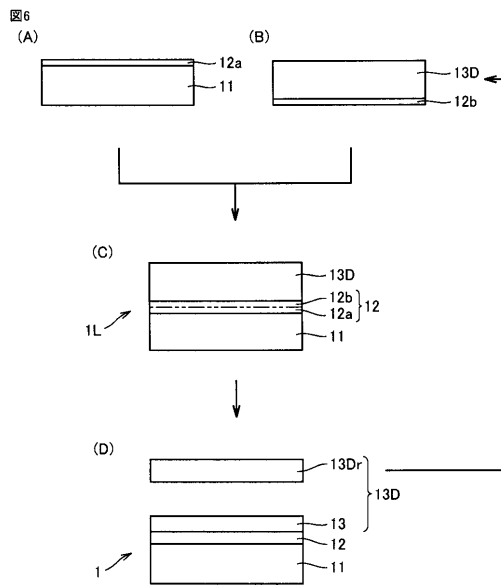
【図 4】



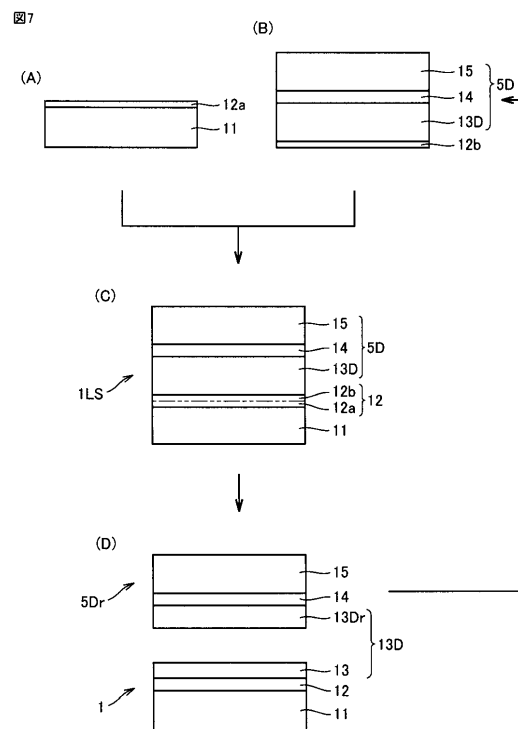
【図 5】



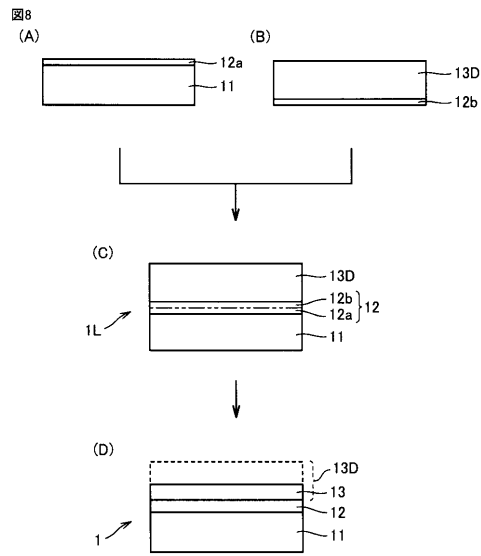
【図 6】



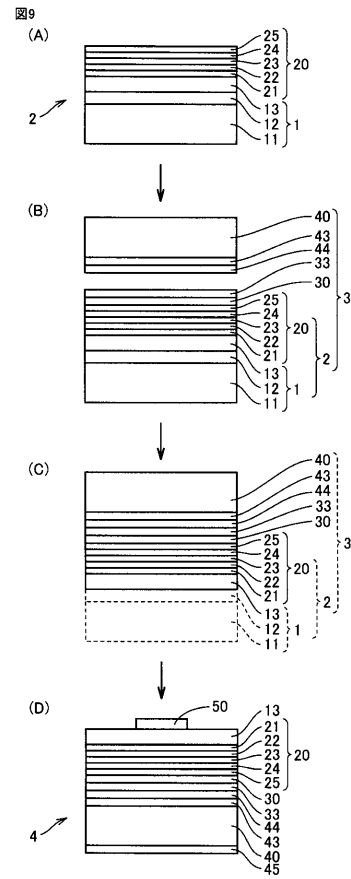
【図 7】



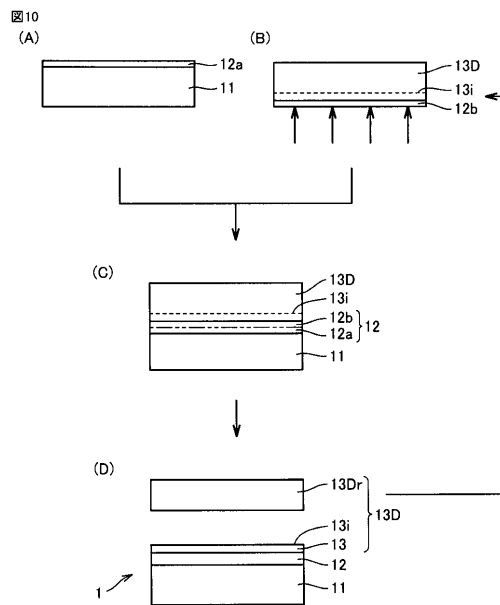
【図8】



【図9】



【図10】



フロントページの続き

(51)Int.Cl. F I
H 0 1 L 29/778 (2006.01) H 0 1 L 33/32
H 0 1 L 29/812 (2006.01)
H 0 1 L 33/32 (2010.01)

(72)発明者 松本 直樹
兵庫県伊丹市昆陽北一丁目1番1号 住友電気工業株式会社 伊丹製作所内
(72)発明者 中畑 成二
兵庫県伊丹市昆陽北一丁目1番1号 住友電気工業株式会社 伊丹製作所内
(72)発明者 中西 文毅
兵庫県伊丹市昆陽北一丁目1番1号 住友電気工業株式会社 伊丹製作所内
(72)発明者 善積 祐介
兵庫県伊丹市昆陽北一丁目1番1号 住友電気工業株式会社 伊丹製作所内
(72)発明者 三上 英則
兵庫県伊丹市昆陽北一丁目1番1号 住友電気工業株式会社 伊丹製作所内

審査官 小川 将之

(56)参考文献 特開2008-010766(JP,A)
特開2010-182936(JP,A)
特開2011-061084(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
H 0 1 L 21/02
H 0 1 L 21/20
H 0 1 L 21/338
H 0 1 L 27/12
H 0 1 L 29/20
H 0 1 L 29/778
H 0 1 L 29/812
H 0 1 L 33/32