

(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2014-157983

(P2014-157983A)

(43) 公開日 平成26年8月28日(2014.8.28)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
HO 1 L 21/02 (2006.01)	HO 1 L 21/02 B	5 F 1 4 1
HO 1 L 21/265 (2006.01)	HO 1 L 21/265 Q	5 F 1 5 2
HO 1 L 21/20 (2006.01)	HO 1 L 21/20	
HO 1 L 33/32 (2010.01)	HO 1 L 33/00 1 8 6	
HO 1 L 27/12 (2006.01)	HO 1 L 27/12 B	

審査請求 未請求 請求項の数 14 O L (全 42 頁)

(21) 出願番号 特願2013-29126 (P2013-29126)
 (22) 出願日 平成25年2月18日 (2013.2.18)

(71) 出願人 000002130
 住友電気工業株式会社
 大阪府大阪市中央区北浜四丁目5番33号
 (74) 代理人 110001195
 特許業務法人深見特許事務所
 (72) 発明者 石橋 恵二
 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
 Fターム(参考) 5F141 AA40 AA41 AA42 CA04 CA05
 CA40 CA63 CA64 CA65 CA66
 CA71 CA74 CA77
 5F152 LL03 LL05 LL07 LL09 LL10
 LL13 LM09 LP01 LP08 LP09
 MM02 MM05 MM08 MM16 NN03
 NN11 NN12 NN13 NN15 NN19
 NN22 NP12 NP13 NP14 NQ09

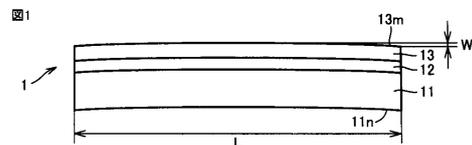
(54) 【発明の名称】 III族窒化物複合基板およびその製造方法、積層III族窒化物複合基板、ならびにIII族窒化物半導体デバイスおよびその製造方法

(57) 【要約】

【課題】半導体デバイスの製造の際のコストを低減し、コストが低く大口径で膜厚が薄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。

【解決手段】III族窒化物複合基板1は、支持基板11と、厚さが50nm以上10μm未満のIII族窒化物膜13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1であって、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 が0.01以上0.5以下であり、III族窒化物膜13の主面13m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。

【選択図】図1



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

支持基板と、厚さが 50 nm 以上 10 μm 未満の III 族窒化物膜と、が貼り合わされた直径が 75 mm 以上の III 族窒化物複合基板であって、

前記 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 0.01 以上 0.5 以下であり、前記 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。

【請求項 2】

前記 III 族窒化物膜側の主面の二乗平均平方根粗さの平均値 m_{III-N} が 0.4 nm 以上 10 nm 以下であり、前記 III 族窒化物膜側の主面の二乗平均平方根粗さの平均値 m_{III-N} に対する標準偏差 s_{III-N} の比 s_{III-N} / m_{III-N} が 0.008 以上 0.5 以下である請求項 1 に記載の III 族窒化物複合基板。

10

【請求項 3】

直径 D に対する前記 III 族窒化物膜側の主面の反り W の比 W / D が -7×10^{-4} 以上 8×10^{-4} 以下である請求項 1 または 2 に記載の III 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 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、前記支持基板の厚さ t_s に対する前記 III 族窒化物膜の厚さ t_{III-N} の比 t_{III-N} / t_s が 1×10^{-4} 以上 2×10^{-2} 以下である請求項 1 ~ 3 のいずれかに記載の III 族窒化物複合基板。

20

【請求項 5】

前記 III 族窒化物膜の主面における不純物金属原子が 1×10^{13} 原子 / cm^2 以下である請求項 1 ~ 4 のいずれかに記載の III 族窒化物複合基板。

【請求項 6】

前記支持基板の熱伝導率 κ_s が $3 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ 以上 $280 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ 以下である請求項 1 ~ 5 のいずれかに記載の III 族窒化物複合基板。

【請求項 7】

前記支持基板のヤング率 E_s が 150 GPa 以上 500 GPa 以下である請求項 1 ~ 6 のいずれかに記載の III 族窒化物複合基板。

30

【請求項 8】

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

【請求項 9】

請求項 1 に記載の III 族窒化物複合基板と、前記 III 族窒化物複合基板の前記 III 族窒化物膜側の主面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。

【請求項 10】

請求項 1 に記載の III 族窒化物複合基板中の前記 III 族窒化物膜と、前記 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。

40

【請求項 11】

請求項 1 に記載の III 族窒化物複合基板の製造方法であって、

前記支持基板の主面側に前記 III 族窒化物膜を配置することにより前記 III 族窒化物複合基板を形成する工程と、

前記 III 族窒化物複合基板を形成する工程の後に、前記 III 族窒化物複合基板の前記 III 族窒化物膜側の主面に研磨およびエッチングの少なくともひとつを行なうことにより、前記 III 族窒化物膜の厚さおよび前記 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を調整する工程と、を含む III 族窒化物複合基板の製造方法。

【請求項 12】

50

請求項 1 に記載の I I I 族窒化物複合基板を準備する工程と、
前記 I I I 族窒化物複合基板の前記 I I I 族窒化物膜側の主面上に、少なくとも 1 層の I I I 族窒化物層を成長させる工程と、を含む I I I 族窒化物半導体デバイスの製造方法。

【請求項 1 3】

前記 I I I 族窒化物層を成長させる工程の後に、前記 I I I 族窒化物複合基板から前記支持基板を除去する工程をさらに含む請求項 1 2 に記載の I I I 族窒化物半導体デバイスの製造方法。

【請求項 1 4】

前記 I I I 族窒化物層を成長させる工程の後、前記支持基板を除去する工程の前に、前記 I I I 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をさらに含む請求項 1 3 に記載の I I I 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】

【0001】

本発明は、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に関する。

【背景技術】

【0002】

G a N などの I I I 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。また、G a N などの I I I 族窒化物は、半導体デバイスの種類別、たとえば、発光デバイス、電子デバイスにおいて、S i、G a A s、S i C などとは異なる良好な材料特性を有するため、種々のデバイスに用いることができる。

【0003】

たとえば、特開 2 0 0 9 - 1 2 6 7 2 2 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 2 5 m m 以上 1 6 0 m m 以上で厚さが 1 0 0 μ m 以上 1 0 0 0 μ m 以下の自立 I I I 族窒化物基板、具体的な実施例として直径が 1 0 0 m m で厚さが 4 0 0 μ m の自立 G a N 基板を開示する。

【0004】

また、特開 2 0 0 8 - 0 1 0 7 6 6 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、G a N 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 μ m 以上 1 0 0 μ m 以下の厚さの G a N 薄膜と、を含む G a N 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 μ m または 1 0 0 μ m の G a N 薄膜とが貼り合わされている直径が 5 0 . 8 m m の G a N 薄膜貼り合わせ基板を開示する。

【0005】

また、特開 2 0 1 0 - 1 8 2 9 3 6 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 G a N 層とが両者間に圧着により形成される接合層で接合された G a N 層の厚さが 5 μ m ~ 2 2 0 μ m で直径が 5 0 . 8 m m 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 2 0 0 9 - 1 2 6 7 2 2 号公報

【特許文献 2】特開 2 0 0 8 - 0 1 0 7 6 6 号公報

【特許文献 3】特開 2 0 1 0 - 1 8 2 9 3 6 号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0007】

10

20

30

40

50

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。さらに、半導体デバイス形成の際に自立 III 族窒化物基板の厚さを低減する必要があり、自立 III 族窒化物基板の裏面（デバイス機能を発現させる III 族窒化物層を形成する主面と反対側の主面をいう。以下同じ。）の研削などの加工工程により製造コストが増加する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 $0.1 \mu\text{m}$ 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。特に、GaN 薄膜の厚さが $0.1 \mu\text{m}$ 程度と薄い GaN 薄膜貼り合わせ基板においては、GaN 薄膜の厚さの主面内における分布（すなわちバラツキ）が大きいという問題があった。さらに、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 $10 \mu\text{m}$ 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 薄膜複合基板の GaN 薄膜の厚さの主面内分布が大きくなるという問題があった。さらに GaN 薄膜複合基板を大口径化した際には、GaN 薄膜の厚さの主面内分布がさらに大きくなるという問題があった。

10

【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 $100 \mu\text{m}$ 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 $5 \mu\text{m} \sim 22 \mu\text{m}$ 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。

20

【0010】

このような GaN 薄膜または GaN 層の厚さの主面内分布の大きい GaN 薄膜貼り合わせ基板または複合基板は、その GaN 薄膜または GaN 層の主面上に結晶品質の高い半導体層を成長させることが難しく、得られる半導体デバイスの歩留を高めることが難しいという問題があった。

【0011】

本発明は、上記の問題を解決して、半導体デバイスの製造の際のコストを低減し、コストが低く大口径で膜厚が薄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。

30

【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、支持基板と、厚さが 50nm 以上 $10 \mu\text{m}$ 未満の 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 0.01 以上 0.5 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。

40

【0013】

本発明のかかる局面に従う III 族窒化物複合基板において、III 族窒化物膜側の主面の二乗平均平方根粗さの平均値 $m_{\text{III-N}}$ を 0.4nm 以上 10nm 以下とし、III 族窒化物膜側の主面の二乗平均平方根粗さの平均値 $m_{\text{III-N}}$ に対する標準偏差 $s_{\text{III-N}}$ の比 $s_{\text{III-N}} / m_{\text{III-N}}$ を 0.008 以上 0.5 以下とすることができる。また、直径 D に対する III 族窒化物膜側の主面の反り W の比 W / D を -7×10^{-4} 以上 8×10^{-4} 以下とすることができる。また、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 $\alpha_{\text{III-N}}$ の比 $\alpha_{\text{III-N}} / \alpha_s$ を 0.75 以上 1.25 以下とし、支持基板の厚さ t_s に対する

50

III族窒化物膜の厚さ t_{III-N} の比 t_{III-N}/t_s を 1×10^{-4} 以上 2×10^{-2} 以下とすることができる。また、III族窒化物膜の主面における不純物金属原子を 1×10^{13} 原子/cm²以下とすることができる。また、支持基板の熱伝導率 κ_s を $3 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ 以上 $280 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ 以下とすることができる。また、支持基板のヤング率 E_s を 150 GPa 以上 500 GPa 以下とすることができる。また、直径を 100 mm 以上とすることができる。

【0014】

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族窒化物膜側の主面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。

10

【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。

【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、支持基板の主面側にIII族窒化物膜を配置することによりIII族窒化物複合基板を形成する工程と、III族窒化物複合基板を形成する工程の後に、III族窒化物複合基板のIII族窒化物膜側の主面に研磨およびエッチングの少なくともひとつを行なうことにより、III族窒化物膜の厚さおよび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を調整する工程と、を含むIII族窒化物複合基板の製造方法である。

20

【0017】

本発明は、さらに別の局面に従えば、上記局面に従うIII族窒化物複合基板を準備する工程と、III族窒化物複合基板のIII族窒化物膜側の主面上に、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である。

【0018】

本発明にかかる局面に従うIII族窒化物半導体デバイスの製造方法は、III族窒化物層を成長させる工程の後に、III族窒化物複合基板から支持基板を除去する工程をさらに含むことができる。さらに、III族窒化物層を成長させる工程の後、支持基板を除去する工程の前に、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をさらに含むことができる。

30

【発明の効果】

【0019】

本発明によれば、半導体デバイスの製造の際のコストを低減し、コストが低く大口径で膜厚が薄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できる。

【図面の簡単な説明】

40

【0020】

【図1】本発明にかかるIII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】III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III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III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III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。

。

【図6】本発明にかかるIII族窒化物半導体デバイスのさらに別の例を示す概略断面図である。

50

【図 7】本発明にかかる I I I 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 8】本発明にかかる I I I 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 9】本発明にかかる I I I 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 10】本発明にかかる I I I 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 11】本発明にかかる I I I 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 12】本発明にかかる I I I 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。

【発明を実施するための形態】

【0021】

[実施形態 1：I I I 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 I I I 族窒化物複合基板 1 は、支持基板 11 と、厚さが 50 nm 以上 10 μ m 未満の I I I 族窒化物膜 13 と、が貼り合わされた直径が 75 mm 以上の I I I 族窒化物複合基板 1 であって、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 が 0.01 以上 0.5 以下であり、I I I 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。

【0022】

本実施形態の I I I 族窒化物複合基板 1 は、その直径が 75 mm 以上であり、その支持基板 11 上に貼り合わされた I I I 族窒化物膜 13 が、その厚さが 50 nm 以上 10 μ m 未満で、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 0.01 以上 0.5 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、I I I 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 I I I 族窒化物層を成長させることができるため、特性の高い I I I 族窒化物半導体デバイスを歩留よく得ることができる。

【0023】

I I I 族窒化物複合基板に関して、従来は、基板全体の厚さ分布である T T V (Total Thickness Variation。ウェハ平坦度の評価項目の 1 つである。基板の裏面を基準面として厚み方向に測定した高さの基板全面における最大値と最小値の差をいう。) および基板全体の形状である反りが重要物性値であると理解されていた。本願においては、さらに、I I I 族窒化物複合基板の I I I 族窒化物膜の厚さの分布 (具体的には、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) および 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分布 (具体的には、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) を上記の範囲内とすることにより、I I I 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 I I I 族窒化物層を成長させることができ、特性の高い I I I 族窒化物半導体デバイスを歩留よく得ることができることを見出したものである。

【0024】

なお、図 1 を参照して、I I I 族窒化物複合基板 1 において、支持基板 11 と I I I 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、接合膜 12 を介在させることが好ましい。

【0025】

(I I I 族窒化物複合基板の直径)

I I I 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

10

20

30

40

50

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。

【0026】

(III族窒化物膜の厚さ)

図1および図2を参照して、本実施形態のIII族窒化物複合基板1のIII族窒化物膜13の厚さは、50 nm以上10 μm未満である。ここで、III族窒化物膜13の厚さとは、図2に示すIII族窒化物膜13の主面13m上の13点の測定点において測定した厚さから算出した平均値を意味する。図2に示すIII族窒化物膜13の主面13m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 との間に位置する4つの点および4つの外側点の互いの間に位置する4つの点をあわせた8つの中間点 P_m とで構成される。III族窒化物膜13の厚さは、反射率分光法により測定することができる。

10

【0027】

III族窒化物膜13の厚さは、結晶品質の高いIII族窒化物層を成長させる観点から、50 nm以上が必要であり、80 nm以上が好ましく、100 nm以上がより好ましく、120 nm以上がさらに好ましく、150 nm以上が特に好ましく、III族窒化物複合基板1の材料コストを著しく抑制する観点から、10 μm未満が必要であり、5 μm以下が好ましく、1 μm以下がより好ましく、500 nm以下がさらに好ましく、250 nm以下が特に好ましい。

20

【0028】

(III族窒化物膜の厚さの平均値に対する厚さの標準偏差の比)

図1および図2を参照して、本実施形態のIII族窒化物複合基板1は、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 が0.01以上0.5以下である。比 s_t/m_t は、III族窒化物膜13の主面13m上に結晶品質が高いIII族窒化物層を成長させる観点から、0.5以下が必要であり、0.4以下が好ましく、0.3以下がより好ましく、0.2以下がさらに好ましい。また、比 s_t/m_t は、III族窒化物膜13の主面13mの表面処理コストを抑制する観点から、0.01以上が必要であり、0.02以上が好ましく、0.03以上がより好ましく、0.05以上がさらに好ましい。

30

【0029】

ここで、III族窒化物膜13の厚さの平均値 m_t および標準偏差 s_t は、それぞれ、図2に示すIII族窒化物膜13の主面13m上の13点の測定点において測定した厚さ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13m上の13点の測定点Pは、上記のとおり、1つの中心点 P_c と、4つの外側点 P_o と、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。

【0030】

III族窒化物膜の厚さが50 nm以上10 μm未満のIII族窒化物複合基板1において、比 s_t/m_t を0.01以上0.5以下とするためには、後述するようにIII族窒化物膜13の主面13mに特別な手順および条件で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が好適である。

40

【0031】

(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に対するオフ角の絶対値の標準偏差の比)

図1を参照して、本実施形態のIII族窒化物複合基板1は、III族窒化物膜13の主面13mの所定の面方位の面に対するオフ角(ずれ角)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。比 s_o/m_o

50

m_o は、III族窒化物膜13の主面13m上に結晶品質が高いIII族窒化物層を成長させる観点から、0.6以下が必要であり、0.5以下が好ましく、0.4以下がより好ましく、0.2以下がさらに好ましい。また、比 s_o/m_o は、III族窒化物膜13の主面13mの表面処理コストを抑制する観点から、0.005以上が必要であり、0.008以上が好ましく、0.02以上がより好ましい。

【0032】

ここで、III族窒化物膜13の主面13mのオフ角の平均値 m_o および標準偏差 s_o は、それぞれ図2に示すIII族窒化物膜13の主面13m上の13点の測定点において測定した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13m上の13点の測定点Pは、上記のとおり、1つの中心点 P_c と、4つの外側点 P_o と、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、上記のとおり、不偏分散の正の平方根を意味する。

10

【0033】

III族窒化物膜の厚さが50nm以上10 μ m未満のIII族窒化物複合基板1において、比 s_o/m_o を0.005以上0.6以下とするためには、後述するようにIII族窒化物膜13の主面13mに特別な手順および条件で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が好適である。

【0034】

(III族窒化物膜側の主面の二乗平均平方根粗さの平均値および平均値に対する標準偏差の比)

20

図1および図2を参照して、本実施形態のIII族窒化物複合基板1は、III族窒化物膜13側の主面13mの二乗平均平方根粗さの平均値 m_{III-N} が0.4nm以上10nm以下が好ましく、III族窒化物膜13側の主面13mの二乗平均平方根粗さの平均値 m_{III-N} に対する標準偏差 s_{III-N} の比 s_{III-N}/m_{III-N} が0.008以上0.5以下が好ましい。

【0035】

III族窒化物複合基板1の表面側であるIII族窒化物膜13側の主面13mについて、その上に結晶品質が高く均一なIII族窒化物層を成長させる観点から、その二乗平均平方根粗さの平均値 m_{III-N} は、10nm以下が好ましく、5nm以下がより好ましく、3nm以下がさらに好ましく、その二乗平均平方根粗さの平均値 m_{III-N} に対するその二乗平均平方根粗さの標準偏差 s_{III-N} の比 s_{III-N}/m_{III-N} は、0.5以下が好ましく、0.4以下がより好ましく、0.2以下がさらに好ましい。

30

【0036】

また、III族窒化物複合基板1の表面側であるIII族窒化物膜13側の主面13mについて、かかる主面13mの表面処理コストを抑制する観点から、その二乗平均平方根粗さの平均値 m_{III-N} は、0.4nm以上が好ましく、1nm以上がより好ましく、1.5nm以上がさらに好ましく、その二乗平均平方根粗さの平均値 m_{III-N} に対するその二乗平均平方根粗さの標準偏差 s_{III-N} の比 s_{III-N}/m_{III-N} は、0.008以上が好ましく、0.02以上がより好ましく、0.05以上がさらに好ましい。

【0037】

40

ここで、図2を参照して、III族窒化物複合基板1のIII族窒化物膜13側の主面13mの二乗平均平方根粗さの平均値 m_{III-N} および標準偏差 s_{III-N} は、それぞれ、III族窒化物膜13の主面13m上の13点の測定点Pにおいて測定した二乗平均平方根粗さ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13m上の13点の測定点Pは、上記のとおり、1つの中心点 P_c と、4つの外側点 P_o と、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、上記のとおり、不偏分散の正の平方根を意味する。

【0038】

また、図2に示すIII族窒化物膜13の主面13m上の13点の測定点Pにおいて測定した二乗平均平方根粗さとは、その測定点Pを中心とする85 μ m \times 85 μ m角の大き

50

さの測定領域内の各点から標準平面を算出し、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、レーザ顕微鏡、触針式粗さ計などにより測定される。

【0039】

なお、III族窒化物複合基板1のIII族窒化物膜13側の主面13mの二乗平均平方根粗さの平均値 m_{111-N} および標準偏差 s_{111-N} は、後述するように、III族窒化物膜13の主面13mを研磨およびエッチングの少なくともいずれかを行なう際の研磨条件および/またはエッチング条件によって調整することができる。

【0040】

（直径に対するIII族窒化物膜側の反りの比）

図1を参照して、本実施形態のIII族窒化物複合基板1については、直径Dに対するIII族窒化物膜13側の主面13mの反りWの比 W/D は、 -7×10^{-4} 以上 8×10^{-4} 以下が好ましく、 -4×10^{-4} 以上 5×10^{-4} 以下がより好ましく、 -2.5×10^{-4} 以上 3×10^{-4} 以下がさらに好ましく、 -1×10^{-4} 以上 1.5×10^{-4} 以下が特に好ましい。ここで、反りWおよび比 W/D の符号は、III族窒化物膜13側の主面13mが凸に反っているものを+（正）符号とし、III族窒化物膜13側の主面が凹に反っているものを-（負）符号とする。III族窒化物複合基板1の直径Dに対するIII族窒化物膜13側の主面13mの反りWの比 W/D が、好ましくは -7×10^{-4} 以上 8×10^{-4} 以下、より好ましくは -4×10^{-4} 以上 5×10^{-4} 以下、さらに好ましくは -2.5×10^{-4} 以上 3×10^{-4} 以下、特に好ましくは -1×10^{-4} 以上 1.5×10^{-4} 以下と小さいと、III族窒化物膜13の主面13m上に結晶品質の高いIII族窒化物層を成長させることができるため、特性の高いIII族窒化物半導体デバイスを歩留よく得ることができる。

10

20

【0041】

（支持基板の熱膨張係数に対するIII族窒化物膜の熱膨張係数の比）

図1を参照して、本実施形態のIII族窒化物複合基板1は、III族窒化物複合基板1およびそのIII族窒化物膜13の主面13m上に成長させるIII族窒化物層の反りおよび割れを抑制してIII族窒化物半導体デバイスの歩留を高める観点から、支持基板11の熱膨張係数 s_s に対するIII族窒化物膜13の熱膨張係数 s_{111-N} の比 s_{111-N}/s_s が0.75以上1.25以下が好ましく、0.85以上1.15以下がより好ましく、0.95以上1.05以下がさらに好ましい。ここで、支持基板11の熱膨張係数 s_s およびIII族窒化物膜13の熱膨張係数 s_{111-N} は、熱機械分析装置により測定することができる。

30

【0042】

（支持基板の厚さに対するIII族窒化物膜の厚さの比）

図1を参照して、本実施形態のIII族窒化物複合基板1は、III族窒化物複合基板1およびそのIII族窒化物膜13の主面13m上に成長させるIII族窒化物層の反りおよび割れを抑制してIII族窒化物半導体デバイスの歩留を高める観点から、支持基板11の厚さ t_s に対するIII族窒化物膜13の厚さ t_{111-N} の比 t_{111-N}/t_s が 1×10^{-4} 以上 2×10^{-2} 以下が好ましく、 2×10^{-4} 以上 2×10^{-3} 以下がより好ましく、 5×10^{-4} 以上 1×10^{-3} 以下がさらに好ましい。ここで、支持基板11の厚さ t_s およびIII族窒化物膜13の厚さ t_{111-N} は、光学顕微鏡および/またはSEM（走査型電子顕微鏡）による膜の断面の観察、反射率分光法、デジタルインジケータなどにより測定することができる。

40

【0043】

したがって、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抑制してIII族窒化物半導体デバイスの歩留を高める観点から、支持基板11の熱膨張係数 s_s に対するIII族窒化物膜13の熱膨張係数 s_{111-N} の比 s_{111-N}/s_s が0.75以上1.25以下かつ支持基板11の厚さ t_s に対するIII族窒化物膜の厚さ t_{111-N} の比 t_{111-N}/t_s が 1×10^{-4} 以上 2×10^{-2} 以

50

下が好ましく、比 t_{III-N}/t_s が 0.85 以上 1.15 以下かつ比 t_{III-N}/t_s が 2×10^{-4} 以上 2×10^{-3} 以下がより好ましく、比 t_{III-N}/t_s が 0.95 以上 1.05 以下かつ比 t_{III-N}/t_s が 5×10^{-4} 以上 1×10^{-3} 以下がさらに好ましい。

【0044】

(III族窒化物膜の主面における不純物金属原子)

図1および図2を参照して、本実施形態のIII族窒化物複合基板1は、III族窒化物膜13の主面13m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、III族窒化物膜13の主面13mにおける不純物金属原子が、 1×10^{13} 原子/cm²以下が好ましく、 3×10^{12} 原子/cm²以下がより好ましく、 1×10^{12} 原子/cm²以下がさらに好ましく、 1×10^{11} 原子/cm²以下が特に好ましい。ここで、III族窒化物膜13の主面13mにおける不純物金属原子の濃度は、TXRF(全反射蛍光X分析)法により測定することができる。

10

【0045】

ここで、III族窒化物複合基板1のIII族窒化物膜13の主面13mにおける不純物金属原子の濃度を低減するための洗浄方法は、特に制限はないが、支持基板11として、ムライト($3Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \sim 2Al_2O_3 \cdot SiO_2$)、ムライト-YSZ(イットリア安定化ジルコニア)、スピネル($MgAl_2O_4$)、 $Al_2O_3-SiO_2$ 系複合酸化物の焼結体などの基板を含む場合は、支持基板11からの金属原子の溶出を抑制した洗浄、たとえば、界面活性剤と純水とを用いたスクラブ洗浄、二流体洗浄もしくはメガソニック洗浄($500kHz \sim 5MHz$ のメガソニック帯域の周波数の超音波を用いた洗浄)、

20

【0046】

なお、III族窒化物膜13の主面13mにおける不純物金属原子以外の不純物は、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、Cl原子が 2×10^{14} 原子/cm²以下が好ましく、Si原子が 9×10^{13} 原子/cm²以下が好ましい。ここで、III族窒化物膜13の主面13mにおける不純物金属原子以外の不純物の濃度は、TXRF法により測定することができる。

30

【0047】

(支持基板の熱伝導率)

図1を参照して、本実施形態のIII族窒化物複合基板1は、支持基板11の熱伝導率 κ_s が $3W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$ 以上 $280W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$ 以下が好ましく、 $5W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$ 以上 $210W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$ 以下がより好ましく、 $10W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$ 以上 $120W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$ 以下がさらに好ましい。ここで、支持基板11の熱伝導率 κ_s は、レーザーフラッシュ法により測定することができる。熱伝導率 κ_s が好ましくは $3W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$ 以上、より好ましくは $5W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$ 以上、さらに好ましくは $10W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$ 以上である支持基板11を有するIII族窒化物複合基板1は、III族窒化物層を成長させる際に、III族窒化物複合基板1を支持するサセプタの主面からの熱を効率よくIII族窒化物複合基板1のIII族窒化物膜13の主面13mに伝えることができる。熱伝導率 κ_s が好ましくは $280W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$ 以下、より好ましくは $210W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$ 以下、さらに好ましくは $120W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$ 以下、特に好ましくは $50W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$ 以下である支持基板11を有するIII族窒化物複合基板1は、III族窒化物層を成長させる際にサセプタの主面からの熱をIII族窒化物複合基板1のIII族窒化物膜13の主面の全体に均一に伝えることができる。熱伝導率 κ_s が $280W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$ 以下の支持基板11は、熱伝導率 κ_s が約 $300W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$ のSiC基板を支持基板として用いる場合よりも、III族窒化物層を成長させる際にサセプタの主面からの熱をIII族窒化物複合基板1のIII族窒化物膜13の主面の全体に均一に伝えることができる。

40

【0048】

(支持基板のヤング率)

50

本実施形態のIII族窒化物複合基板1は、支持基板11のヤング率 E_s が150GPa以上500GPa以下が好ましく、200GPa以上350GPa以下がより好ましい。ここで、支持基板11のヤング率 E_s は、共振法により測定することができる。ヤング率 E_s が好ましくは150GPa以上、より好ましくは200GPa以上の支持基板11を有するIII族窒化物複合基板1は、その上にIII族窒化物層を成長させてIII族窒化物半導体デバイスを形成する際に、III族窒化物複合基板1および/またはIII族窒化物層に反りが発生するのを抑制することができる。ヤング率 E_s が好ましくは500GPa以下、より好ましくは350GPa以下の支持基板11を有するIII族窒化物複合基板1は、その上にIII族窒化物層を成長させてIII族窒化物半導体デバイスを形成する際に、III族窒化物複合基板1および/またはIII族窒化物層に割れおよび/またはクラックが発生するのを抑制することができる。

10

【0049】

(支持基板)

本実施形態のIII族窒化物複合基板1に含まれる支持基板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。

【0050】

本実施形態のIII族窒化物複合基板1は、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 α_{III-N}/α_s が0.75以上1.25以下であることが好ましい。また、支持基板11の熱伝導率 κ_s が $3\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ 以上 $280\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ 以下が好ましく、支持基板11のヤング率 E_s が150GPa以上500GPa以下が好ましい。

20

【0051】

支持基板11は、特に制限はないが、上記の特性の少なくともいずれかを満たすものが好ましく、たとえば、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(イットリア安定化ジルコニア)、スピネル(MgAl_2O_4)、 $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$ 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。

30

【0052】

支持基板11は、単結晶、多結晶、および非結晶のいずれを含んでいてもよいが、半導体デバイスの形成の際に、研削および/またはエッチングによる支持基板の除去が容易であり、反りおよび/または割れを抑制できる強度を維持できる観点から、多結晶を含むことが好ましい。

【0053】

(接合膜)

図1を参照して、本実施形態のIII族窒化物複合基板1に含まれ得る接合膜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。

40

【0054】

(III族窒化物膜)

図1を参照して、本実施形態の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 $\text{In}_x\text{Al}_y\text{Ga}_{1-x-y}\text{N}$ 膜($0 < x < 1$ 、 $0 < y < 1$ 、 $x + y < 1$)などが挙げられる。

【0055】

III族窒化物膜13の厚さは、上記のように、50nm以上が必要であり、80nm

50

以上が好ましく、100nm以上がより好ましく、120nm以上がさらに好ましく、150nm以上が特に好ましい。また、III族窒化物膜13の厚さは、上記のように、高価なIII族窒化物の使用量を著しく低減する観点から、10 μ m未満が必要であり、5 μ m以下が好ましく、1 μ m以下がより好ましく、500nm以下がさらに好ましく、250nm以下が特に好ましい。

【0056】

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(15°以下の角度でずらした)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。

10

【0057】

また、III族窒化物膜13は、半導体デバイスの抵抗を低減する観点からキャリア濃度が $1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 以上が好ましく、半導体デバイスのリーク電流を低減する観点から転位密度が $1 \times 10^8 \text{ cm}^{-2}$ 以下が好ましく、III族窒化物膜の結晶品質を高める観点からX線回折のロッキングカーブにおける回折ピークの半値幅が20arcsec以上150arcsec以下が好ましい。

20

【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側の主面13m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、III族窒化物膜の厚さの分布が小さく(具体的には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0.01以上0.5以下)、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分布が小さい(具体的には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)III族窒化物複合基板1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の高いIII族窒化物層20とを含むため、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。

30

【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側の主面13m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。図4を参照して、半導体デバイスとして電子デバイスの1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20は、たとえば、 n^+ -Ga_{0.2}N層28(キャリア濃度がたとえば $2 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$)、 n^- -Ga_{0.2}N層29(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。図5を参照して、半導体デバイスとして電子デバイスの別の例である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20は、たとえば、Ga_{0.2}N層26、Al_{0.2}Ga_{0.8}N層27で構成することができる。図6を参照して、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 -Ga_{0.05}N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.}

40

50

9₁N層24、およびp-GaN層25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～図6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、III族窒化物膜の厚さの分布が小さく（具体的にはIII族窒化物膜の厚さの平均値 m_1 に対する厚さの標準偏差 s_1 の比 s_1/m_1 が0.01以上0.5以下）、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分布が小さい（具体的には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_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）III族窒化物複合基板1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の高いIII族窒化物層20とを含むため、高い特性を有する。

【0063】

III族窒化物半導体デバイス4のIII族窒化物層20は、III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、III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SBDの場合は、III族窒化物層20は、たとえば、 n^+ -GaN層28（キャリア濃度がたとえば $2 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ ）、 n^- -GaN層29（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。図5を参照して、III族窒化物半導体デバイス4が電子デバイスの別の例であるHEMTの場合は、III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。図6を参照して、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、 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。電子デバイスのさらに別の例として、PND（PNダイオード）、トランジスタなどが挙げられる。なお、上記のIII族窒化物半導体デバイス4は、縦型であっても、横型であってもよい。

【0064】

図4～図6を参照して、III族窒化物半導体デバイス4は、III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、III族窒化物膜13およびIII族窒化物層20を支持してIII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】

なお、III族窒化物半導体デバイスは、図4または図6に示すIII族窒化物半導体デバイス4からIII族窒化物膜13を除去した構造とすることもできる。III族窒化物半導体デバイスは、III族窒化物膜13を除去した構造とすることにより、デバイス特性をより向上することができる。

【0066】

[実施形態4：III族窒化物複合基板の製造方法]

図7～図11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族窒化物複合基板の製造方法であって、支持基板11の主面11m側にIII族窒化物膜13を配置することによりIII族窒化物複合基板1を形成する工程と、III族窒化物複合基板1を形成する工程の後に、III族窒化物複合基板1のIII族窒化物膜13側の主面13mに研磨およびエッチングの少なくともひとつを行なうことにより、III族窒化物膜13の厚さおよびIII族窒化物膜13の主面13mの所定の面方位の面に対するオフ角を調整する工程と、を含む

本実施形態のIII族窒化物複合基板1の製造方法によれば、高い歩留でIII族窒化物半導体デバイスの製造が可能で、コストが低く大口径でIII族窒化物膜が薄く、II

10

20

30

40

50

I族窒化物膜13の厚さの分布およびIII族窒化物膜13の主面13mの所定の面方位の面に対するオフ角の分布が小さい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。

【0067】

{ III族窒化物複合基板の形成工程 }

本実施形態のIII族窒化物複合基板1の製造方法は、支持基板11の主面11m側にIII族窒化物膜13を配置することによりIII族窒化物複合基板1を形成する工程を含む。かかる工程において、支持基板11の主面11m側にIII族窒化物膜13を配置する方法は、特に制限はなく、以下の第1～第3の方法が挙げられる。

【0068】

第1の方法は、図7に示すように、支持基板11の主面11mに、下地基板130の主面130n上に成膜させたIII族窒化物膜13を貼り合わせた後、下地基板130を除去する方法である。第2の方法は、図8～図10に示すように、支持基板11の主面11mにIII族窒化物膜ドナー基板13Dを貼り合わせた後、そのIII族窒化物膜ドナー基板13Dを貼り合わせ面から所定の深さの面で分離することにより支持基板11の主面11m上にIII族窒化物膜13を形成する方法である。第3の方法は、図11に示すように、支持基板11の主面11mにIII族窒化物膜ドナー基板13Dを貼り合わせた後、そのIII族窒化物膜ドナー基板13Dを貼り合わせ面の反対側の主面13mから研削、研磨およびエッチングの少なくともいずれかにより厚さを減少させて調整することにより支持基板11の主面11m上にIII族窒化物膜13を形成する方法である。

【0069】

上記の第1の方法において、支持基板11にIII族窒化物膜13を貼り合わせる方法には、支持基板11の主面11mに接合膜12を介在させてIII族窒化物膜13の主面13nを貼り合わせる方法(図7を参照)などが挙げられる。また、上記の第2および第3の方法において、支持基板11にIII族窒化物膜ドナー基板13Dを貼り合わせる方法には、支持基板11の主面11mに接合膜12を介在させてIII族窒化物膜ドナー基板13Dの主面13nを貼り合わせる方法(図8～図11を参照)などが挙げられる。

【0070】

なお、図7～図11には、支持基板11に接合膜12aを形成するとともに、III族窒化物膜13またはIII族窒化物膜ドナー基板13Dに接合膜12bを形成し、それらを貼り合わせる方法が図示されているが、たとえば、支持基板11にのみ接合膜12を形成しておきIII族窒化物膜13またはIII族窒化物膜ドナー基板13Dと貼り合わせてもよいし、III族窒化物膜13またはIII族窒化物膜ドナー基板13Dにのみ接合膜12を形成しておき支持基板11と貼り合わせてもよい。

【0071】

(第1の方法)

図7を参照して、第1の方法によりIII族窒化物複合基板1を形成する工程は、特に制限はないが、効率的に複合基板を製造する観点から、支持基板11を準備するサブ工程(図7(A1))と、支持基板11の主面11m上に接合膜12aを形成するサブ工程(図7(A2))と、下地基板130の主面130n上にIII族窒化物膜13を形成する工程(図7(B1))と、下地基板130に形成されたIII族窒化物膜13の主面13n上に接合膜12bを形成するサブ工程(図7(B2))と、支持基板11に形成された接合膜12aの主面12amと下地基板130に形成されたIII族窒化物膜13に形成された接合膜12bの主面12bnとを貼り合わせて接合基板1Lを形成する工程(図5(C))と、接合基板1Lから下地基板130を除去する工程(図5(D))と、を含むことが好ましい。

【0072】

図7(A1)に示す、支持基板11を準備するサブ工程は、特に制限はなく、たとえば、金属元素Mを含む酸化物である MO_x (x は任意の正の実数)、Alを含む酸化物である Al_2O_3 、およびSiを含む酸化物である SiO_2 を所定のモル比で混合し焼結して得

10

20

30

40

50

られる焼結体を所定の大きさに切り出して得られる基板の主面を研磨することにより行なうことができる。

【0073】

図7(A2)に示す、支持基板11の主面11m上に接合膜12aを形成するサブ工程は、特に制限はないが、膜形成コストを抑制する観点から、スパッタ法、蒸着法、CVD(化学気相堆積)法などが好適に行なわれる。

【0074】

図7(B1)に示す、下地基板130の主面130n上にIII族窒化物膜13を形成するサブ工程は、特に制限はないが、結晶品質の高いIII族窒化物膜13を形成する観点から、MOCVD(有機金属化学気相堆積)法、スパッタ法、MBE(分子線エピタキシ)法、PLD(パルス・レーザ堆積)法、HVPE(ハイドライド気相エピタキシ)法、昇華法、フラックス法、高窒素圧溶液法などにより好適に行なうことができる。

10

【0075】

図7(B2)に示す、下地基板130に形成されたIII族窒化物膜13の主面13n上に接合膜12bを形成するサブ工程は、上記の支持基板11の主面11m上に接合膜12aを形成するサブ工程と同様にして行なわれる。

【0076】

図7(C)に示す、支持基板11に形成された接合膜12aの主面12amと下地基板130に形成されたIII族窒化物膜13に形成された接合膜12bの主面12bnとを貼り合わせて接合基板1Lを形成するサブ工程において、接合膜12aと接合膜12bとを貼り合わせる方法には、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。

20

30

【0077】

図7(D)に示す、接合基板1Lから下地基板130を除去する工程は、特に制限はないが、下地基板130を効率的に除去する観点から、下地基板130をフッ化水素酸などのエッチャントにより溶解させて除去する方法、下地基板130の露出している主面側から研削または研磨により除去する方法などが好適に行なわれる。ここで、下地基板130をフッ化水素酸などのエッチャントにより溶解させて除去する場合には、支持基板11を保護するための保護部材140を支持基板11の回りに形成することが好ましい。

【0078】

このようにして、支持基板11と、支持基板11の主面11m上に配置された接合膜12と、接合膜12の主面12m上に配置されたIII族窒化物膜13と、を含むIII族窒化物複合基板1が得られる。

40

【0079】

(第2の方法)

図8~10を参照して、第2の方法によりIII族窒化物複合基板1を形成する工程は、特に制限はないが、効率的に複合基板を製造する観点から、図8および図9に示す切断法あるいは図10に示すイオン注入法が好適に用いられる。以下、切断法、イオン注入法について説明する。

【0080】

(切断法)

図8および図9を参照して、切断法によりIII族窒化物複合基板1を形成する工程は

50

、特に制限はないが、効率的に複合基板を製造する観点から、支持基板 1 1 の主面 1 1 m 上に接合膜 1 2 a を形成するサブ工程（図 8（A）および図 9（A））と、I I I 族窒化物膜ドナー基板 1 3 D の主面 1 3 n 上に接合膜 1 2 b を形成するサブ工程（図 8（B）および図 9（B））と、支持基板 1 1 に形成された接合膜 1 2 a の主面 1 2 a m と I I I 族窒化物膜ドナー基板 1 3 D に形成された接合膜 1 2 b の主面 1 2 b n とを貼り合わせて接合基板 1 L , 1 L S を形成するサブ工程（図 8（C）および図 9（C））と、接合基板 1 L , 1 L S の I I I 族窒化物膜ドナー基板 1 3 D の貼り合わせ面である主面 1 3 n から内部に所定の深さに位置する面で I I I 族窒化物膜ドナー基板 1 3 D を切断するサブ工程（図 8（D）および図 9（D））と、を含むことが好ましい。

【0081】

ここで、I I 族窒化物膜ドナー基板 1 3 D とは、後工程において分離により I I I 族窒化物膜 1 3 を提供するドナー基板である。かかる I I I 族窒化物膜ドナー基板 1 3 D を形成する方法は、上記の第 1 の方法により複合基板を製造する方法における I I I 族窒化物膜 1 3 を形成する方法と同様である。また、接合膜 1 2 a , 1 2 b の形成方法は、第 1 の方法により複合基板を製造する方法における接合膜 1 2 a , 1 2 b の形成方法と同様である。また、支持基板 1 1 と I I I 族窒化物膜ドナー基板 1 3 D とを貼り合わせる方法は、上記の第 1 の方法により複合基板を製造する方法における支持基板 1 1 と I I I 族窒化物膜 1 3 とを貼り合わせる方法と同様である。

【0082】

また、I I I 族窒化物膜ドナー基板 1 3 D を切断するサブ工程において用いられる切断方法は、特に制限なく、ワイヤソー、ブレード、レーザ、放電加工、ウォータージェットなどが好適に用いられる。大口径を平坦にワイヤソーで切断するには、固定砥粒ワイヤが好ましい。切断代（せつだんしろ）を低減させるためには、細線ワイヤを用いた遊離砥粒方式が好ましい。スライス装置はワイヤが揺動し、同期してインゴットが上下動することが好ましい。切断抵抗を減少して高精度に切断することができる。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（単位：Pa・s）、加工液の流量 Q（単位：m³/s）、ワイヤ線速度 V（単位：m/s）、最大切断長さ L（単位：m）、切断速度 P（単位：m/s）、同時切断数 n を用いて、 $R = \frac{Q \times V}{L \times P \times n}$ の式で定義される抵抗係数 R（単位：N）が適切な範囲にあることが好ましい。R は 4000 N 以上 5000 N 以下であることが好ましい。

【0083】

このようにして、接合基板 1 L , 1 L S が I I I 族窒化物膜ドナー基板 1 3 D の貼り合わせ面である主面 1 3 n から内部に所定の深さに位置する面で分離して、支持基板 1 1 と、支持基板 1 1 の主面 1 1 m 上に配置された接合膜 1 2 と、接合膜 1 2 の主面 1 2 m 上に配置された I I I 族窒化物膜 1 3 と、を含む I I I 族窒化物複合基板 1 が得られる。

【0084】

（支持体付 I I I 族窒化物膜ドナー基板の利用）

図 9（B）～（D）を参照して、I I I 族窒化物膜ドナー基板 1 3 D に I I I 族窒化物膜ドナー基板支持体 1 5 が貼り合わされた支持体付 I I I 族窒化物膜ドナー基板 5 D を用いて、上記と同様にして、I I I 族窒化物複合基板 1 を製造することができる。支持体付 I I I 族窒化物膜ドナー基板 5 D は、I I I 族窒化物膜ドナー基板支持体 1 5 により I I I 族窒化物膜ドナー基板 1 3 D が支持されているため、I I I 族窒化物膜ドナー基板 1 3 D 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。

【0085】

支持体付 I I I 族窒化物膜ドナー基板 5 D において、I I I 族窒化物膜ドナー基板支持体 1 5 と I I I 族窒化物膜ドナー基板 1 3 D 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 1 4 を介在させることが好ましい。また、I I I 族窒化物膜ドナー基板支持体 1 5 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 1 1 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 1 4 は、特に制限はないが、I I I 族窒化物膜ドナー基板支

10

20

30

40

50

持体 15 と I I I 族窒化物膜ドナー基板 13 D 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。

【0086】

(イオン注入法)

図 10 を参照して、イオン注入法により I I I 族窒化物複合基板 1 を形成する工程は、特に制限はないが、効率的に複合基板を製造する観点から、支持基板 11 の主面 11 m 上に接合膜 12 a を形成するサブ工程 (図 10 (A)) と、I I I 族窒化物膜ドナー基板 13 D の主面 13 n 側からイオン I を注入することにより主面 13 n から内部に所定の深さの位置の面にイオン注入領域 13 i を形成するとともに主面 13 n 上に接合膜 12 b を形成するサブ工程 (図 10 (B)) と、支持基板 11 に形成された接合膜 12 a の主面 12 a m と I I I 族窒化物膜ドナー基板 13 D に形成された接合膜 12 b の主面 12 b n とを貼り合わせて接合基板 1 L を形成するサブ工程 (図 10 (C)) と、接合基板 1 L の I I I 族窒化物膜ドナー基板 13 D をそのイオン注入領域 13 i で分離するサブ工程 (図 10 (D)) と、を含むことが好ましい。

10

【0087】

ここで、I I I 族窒化物膜ドナー基板 13 D を形成する方法は、上記の第 1 の方法により複合基板を製造する方法における I I I 族窒化物膜 13 を形成する方法と同様である。また、接合膜 12 a, 12 b の形成方法は、第 1 の方法により複合基板を製造する方法における接合膜 12 a, 12 b の形成方法と同様である。また、支持基板 11 と I I I 族窒化物膜ドナー基板 13 D とを貼り合わせる方法は、上記の第 1 の方法により複合基板を製造する方法における支持基板 11 と I I I 族窒化物膜 13 とを貼り合わせる方法と同様である。

20

【0088】

I I I 族窒化物膜ドナー基板 13 D に注入されるイオン I は、特に制限はないが、主膜の品質の低下を抑制する観点およびイオン注入領域 13 i に注入されたイオン I のガス化温度を I I I 族窒化物膜 13 の分解温度より低くする観点から、質量の小さい原子のイオン、たとえば、水素イオン、ヘリウムイオンなどが好ましい。また、I I I 族窒化物膜ドナー基板 13 D をそのイオン注入領域 13 i で分離する方法は、イオン注入領域 13 i に注入されたイオン I をガス化させる方法であれば特に制限はない。たとえば、熱を加えたり、超音波を加えたりする方法などで、接合基板 1 L の I I I 族窒化物膜ドナー基板 13 D の貼り合わせ面である主面から所定の深さの位置に形成されているイオン注入領域 13 i に注入されているイオン I をガス化させて急激な体積膨張をさせることにより行なう。

30

【0089】

このようにして、接合基板 1 L が I I I 族窒化物膜ドナー基板 13 D の貼り合わせ面である主面 13 n から内部に所定の深さに位置する面で分離して、支持基板 11 と、支持基板 11 の主面 11 m 上に配置された接合膜 12 と、接合膜 12 の主面 12 m 上に配置された I I I 族窒化物膜 13 と、を含む I I I 族窒化物複合基板 1 が得られる。なお、上記イオン注入法においても、図 9 に示すような支持体付 I I I 族窒化物膜ドナー基板 5 D を利用することができる。

【0090】

(第 3 の方法)

図 11 を参照して、第 3 の方法により I I I 族窒化物複合基板 1 を形成する工程は、特に制限はないが、効率的に複合基板を製造する観点から、支持基板 11 の主面 11 m 上に接合膜 12 a を形成するサブ工程 (図 11 (A)) と、I I I 族窒化物膜ドナー基板 13 D の主面 13 n 上に接合膜 12 b を形成するサブ工程 (図 11 (B)) と、支持基板 11 に形成された接合膜 12 a の主面 12 a m と I I I 族窒化物膜ドナー基板 13 D に形成された接合膜 12 b の主面 12 b n とを貼り合わせて接合基板 1 L を形成するサブ工程 (図 11 (C)) と、接合基板 1 L の I I I 族窒化物膜ドナー基板 13 D の貼り合わせ面である主面 13 n と反対側の主面 13 m 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サブ工程 (図 11 (D)) と、を含むことが好ましい。

40

50

【0091】

ここで、III族窒化物膜ドナー基板13Dとは、後工程において、第2の方法における分離による以外にも研削、研磨およびエッチングの少なくともいずれかにより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を形成する方法は、上記の第1および第2の方法により複合基板を製造する方法におけるIII族窒化物膜13を形成する方法と同様である。また、接合膜12a, 12bの形成方法は、第1および第2の方法により複合基板を製造する方法における接合膜12a, 12bの形成方法と同様である。また、支持基板11とIII族窒化物膜ドナー基板13Dとを貼り合わせる方法は、上記の第1および第2の方法により複合基板を製造する方法における支持基板11とIII族窒化物膜13とを貼り合わせる方法と同様である。

10

【0092】

また、III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、砥石による研削(平面研削)、ショット・ブラストなどが挙げられる。III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、CMP(化学機械的研磨)などが挙げられる。III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、薬液による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。

【0093】

このようにして、支持基板11と、支持基板11の主面11m上に配置された接合膜12と、接合膜12の主面12m上に配置されたIII族窒化物膜13と、を含むIII族窒化物複合基板1が得られる。

20

【0094】

{III族窒化物複合基板のIII族窒化物膜の厚さおよび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調整工程}

本実施形態のIII族窒化物複合基板1の製造方法は、III族窒化物複合基板1を形成する工程の後に、III族窒化物複合基板1のIII族窒化物膜13側の主面13mに研磨およびエッチングの少なくともひとつを行なうことにより、III族窒化物膜13の厚さおよびIII族窒化物膜13の主面13mの所定の面方位の面に対するオフ角を調整する工程を含む。かかる工程により、III族窒化物複合基板1の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 を0.01以上0.5以下とし、III族窒化物膜13の主面13m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 を0.005以上0.6以下とすることができる。

30

【0095】

ここで、III族窒化物膜13の厚さの分布(具体的には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13の主面13mの所定の面方位の面に対するオフ角の分布(具体的にはIII族窒化物膜13の主面13m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)を上記の所定の範囲内に調整するためには、III族窒化物複合基板1のIII族窒化物膜13側の主面13mに研磨およびエッチングの少なくともひとつを複数段階で行なうことが好ましく、複数段階の研磨およびエッチングの内、最後の段階である仕上げ研磨および仕上げエッチング、最終から2番目の段階である仕上げ前研磨および仕上げ前エッチングの条件が特に重要である。

40

【0096】

エッチングは、III族窒化物膜13の厚さの制御が容易な観点から、ドライエッチング、特にRIE(反応性イオンエッチング)が好ましい。特にIII族窒化物膜13の厚さが5 μ m以下の薄い場合は、ドライエッチング、特にRIEが好ましい。

【0097】

仕上げ前研磨においては、研磨剤は水性よりも油性が好ましく、研磨剤の粘度は高い方が好ましく、砥粒径は小さい方が好ましく、定盤および研磨パッドは硬質である方が好ま

50

しい。研磨条件としては、低圧力、低周速が好ましい。また、研磨液の粘度（単位： $\text{mPa}\cdot\text{s}$ ）、流量 Q （単位： m^3/s ）、定盤の面積 S （単位： m^2 ）、研磨圧力 P （単位： kPa ）、周速 V （単位： m/s ）を用いて、 $FE = \quad \times Q \times V / S \times P$ の式で定義される作用係数 FE （単位： m^2/s ）を所定範囲、具体的には、 $4 \times 10^{-17} \text{m}^2/\text{s}$ 以上 $1 \times 10^{-16} \text{m}^2/\text{s}$ 以下とすることが好ましい。

【0098】

仕上げ研磨においては、研磨剤の粘度は高い方が好ましく、砥粒径は小さい方が好ましく、定盤および研磨パッドは硬質である方が好ましい。研磨条件としては、低圧力、低周速が好ましい。また、上記のようにして定義される作用係数 FE （単位： m^2/s ）を所定範囲、具体的には、 $4 \times 10^{-14} \text{m}^2/\text{s}$ 以上 $1 \times 10^{-13} \text{m}^2/\text{s}$ 以下とすることが好ましい。

10

【0099】

仕上げ前エッチングにおいては、エッチング速度増加、面内分布抑制、エッチング安定化のために、 Cl_2 、 BCl_3 などの塩素系ガス、 Ar 、 N_2 などの不活性ガスを用いるのが好ましい。これらのガスに H_2 を添加してもよい。エッチング条件は、高流量、高圧力、高電力の条件が好ましい。エッチングの面内分布抑制のためには、チャンバ内の圧力 P （単位： Pa ）、混合ガスの流量 Q （単位： sccm ）、チャンバ容積 V （単位： l （リットル））およびエッチング面積 S （単位： m^2 ）が、 $350 \leq PV/SQ \leq 500$ の関係を満たすことが好ましい。

【0100】

仕上げエッチングにおいては、エッチング速度増加、面内分布抑制、エッチング安定化、表面粗さ低減、ダメージ抑制のために、 Cl_2 、 BCl_3 などの塩素系ガスを用いるのが好ましい。これらのガスに H_2 を添加してもよい。条件は、低流量、低圧力、低電力の条件が好ましい。エッチングの面内分布抑制のためには、チャンバ内の圧力 P （単位： Pa ）、混合ガスの流量 Q （単位： sccm ）、チャンバ容積 V （単位： l （リットル））およびエッチング面積 S （単位： m^2 ）が、 $310 \leq PV/SQ \leq 380$ の関係を満たすことが好ましい。

20

【0101】

ここで、研磨とエッチングとの選択は、特に制限はなく、任意である。したがって、仕上げ前段階および仕上げ段階の処理方法の選択としては、仕上げ前研磨および仕上げ研磨、仕上げ前研磨および仕上げエッチング、仕上げ前エッチングおよび仕上げ研磨、および仕上げ前エッチングおよび仕上げエッチングのいずれも可能である。

30

【0102】

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 族窒化物複合基板1の III 族窒化物膜13側の主面13mの二乗平均平方根粗さの平均値 m_{111-N} および分布（具体的には平均値 m_{111-N} に対する二乗平均平方根粗さの標準偏差 s_{111-N} の比 s_{111-N}/m_{111-N} ）は、仕上げ研磨または仕上げエッチングの条件により制御することができる。

【0103】

III 族窒化物複合基板1の III 族窒化物膜13側の主面13mの二乗平均平方根粗さの平均値 m_{111-N} を小さくするためには、仕上げ研磨の場合は、研磨剤の粘度は高い方が好ましく、砥粒径は小さい方が好ましく、定盤および研磨パッドは軟質である方が好ましい。定盤および研磨パッドの表面形状は、スラッジ除去のための溝を形成した形状が好ましい。ここで、スラッジ除去のための溝とは、研磨界面のスラッジおよび/または凝集砥粒を排除して除去するために形成される、比較的幅が広くピッチの広い溝をいう。研磨条件としては、低圧力、低周速が好ましい。仕上げエッチングの場合は、 Cl_2 、 BCl_3 などの塩素系ガス、 H_2 を用いるのが好ましく、低流量、低圧力、低電力の条件が好ましい。

40

【0104】

III 族窒化物複合基板1の III 族窒化物膜13側の主面13mの二乗平均平方根粗

50

さの二乗平均平方根粗さの平均値 m_{111-N} に対する二乗平均平方根粗さの標準偏差 s_{111-N} の比 s_{111-N}/m_{111-N} は、研磨液の粘度（単位： $\text{mPa}\cdot\text{s}$ ）、流量 Q （単位： m^3/s ）、定盤の面積 S （単位： m^2 ）、研磨圧力 P （単位： kPa ）、周速 V （単位： m/s ）を用いて、 $FE = \frac{Q \times V}{S \times P}$ の式で定義される作用係数 FE （単位： m^2/s ）を所定範囲、具体的には、 $4 \times 10^{-14} \text{m}^2/\text{s}$ 以上 $1 \times 10^{-13} \text{m}^2/\text{s}$ 以下とすることが好ましく、定盤および研磨パッドの表面形状としては、研磨剤の均一化のための溝を形成した形状が好ましい。ここで、研磨剤の均一化のための溝とは、研磨剤を基板の中央部で均一に保持するために形成される、比較的幅が狭くピッチの狭い溝をいう。仕上げエッチングの場合は、チャンパ内の圧力 P （単位： Pa ）、混合ガスの流量 Q （単位： sccm ）およびチャンパ容積 V （単位： l （リットル））およびエッチング面積 S （単位： m^2 ）が、 $310 \leq PV/SQ \leq 380$ の関係を満たすことが好ましい。

10

【0105】

【実施形態5：III族窒化物半導体デバイスの製造方法】

図12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の製造方法は、実施形態1のIII族窒化物複合基板1を準備する工程（図12（A））と、III族窒化物複合基板1のIII族窒化物膜13側の主面13m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（図10（A））と、を含む。本実施形態のIII族窒化物半導体デバイスの製造方法は、III族窒化物層の成長の際にIII族窒化物膜13の主面13m内における厚さ分布およびオフ角分布が小さいIII族窒化物複合基板1の主面13m上にIII族窒化物層を成長させるため、高い歩留で高特性のIII族窒化物半導体デバイスを製造できる。

20

【0106】

本実施形態のIII族窒化物半導体デバイスの製造方法において、III族窒化物層20を成長させる工程（図12（A））の後に、III族窒化物複合基板1から支持基板11を除去する工程（図12（C））をさらに含むことができる。かかる工程により、多様な形態のIII族窒化物半導体デバイスを製造できる。

【0107】

さらに、本実施形態のIII族窒化物半導体デバイスの製造方法において、III族窒化物層を成長させる工程（図12（A））の後、支持基板を除去する工程（図12（C））の前に、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（図12（B））をさらに含むことができる。かかる工程により、高い歩留でデバイス支持基板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製造できる。

30

【0108】

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。

【0109】

（III族窒化物複合基板の準備工程）

図12（A）を参照して、III族窒化物複合基板1を準備する工程は、上記のIII族窒化物複合基板1の製造方法と同様である。

40

【0110】

（III族窒化物層の成長工程）

図12（A）を参照して、III族窒化物複合基板1のIII族窒化物膜13側の主面13m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。

【0111】

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SBD（ショットキーバリアダイオード）の場合

50

は、III族窒化物層20は、たとえば、III族窒化物複合基板1のIII族窒化物膜13の主面13m上に、 n^+ -Ga₂N層28（キャリア濃度がたとえば $2 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ ）および n^- -Ga₂N層29（キャリア濃度がたとえば $5 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ ）を順に成長させることにより構成することができる。

【0112】

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側の主面13m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。

【0113】

（デバイス支持基板の貼り合わせ工程）

図12（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、ショットキー電極となる第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を貼り合わせることにより行なう。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、Mo基板、CuW基板などが用いられる。

【0114】

（支持基板の除去工程）

図12（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Ga₂N）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。

【0115】

なお、III族窒化物自立基板を用いたIII族窒化物半導体デバイスの製造においては、デバイスの厚みを低減させるために、III族窒化物自立基板の裏面（III族窒化物層が形成されている主面と反対側の主面をいう。以下、同じ。）からの研削加工などが行われる。これに対して、III族窒化物複合基板を用いたIII族窒化物半導体デバイスの製造においては、デバイスの厚みを低減させるために、支持基板をエッチングや研削で除去することが容易なことから、III族窒化物半導体デバイスの製造コストを低減することができる。

【0116】

上記のように、支持基板11、さらには接合膜12を除去した際に、III族窒化物膜13を除去することができる。III族窒化物層20はIII族窒化物膜13に比べて結晶性の向上、転位密度の低減、キャリア濃度の調整が容易である。III族窒化物膜13を除去することにより、デバイス特性をより向上することができる。III族窒化物膜13の除去には、研磨、エッチングを用いることができる。除去厚みの制御が容易である観点から、ドライエッチングを用いることが好ましい。

【0117】

（電極の形成工程）

図12（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。

10

20

30

40

50

【0118】

このようにして、特性の高いIII族窒化物半導体デバイスを歩留よく製造できる。

【実施例】

【0119】

(実施例A)

1. III族窒化物複合基板の作製

図8(A)を参照して、支持基板11として直径75mmで厚さ400 μ mのムライト基板(基板全体に対してAl₂O₃が60モル%でSiO₂が40モル%である)を準備した。支持基板11は、その熱伝導率が3W \cdot m⁻¹ \cdot K⁻¹であり、そのヤング率が200GPaであった。支持基板11の両側の主面11m, 11nを、研磨剤としてダイヤモンドスラリーを用いて、銅系定盤により粗研磨、スズ定盤により仕上げ前研磨、不織布研磨パッドにより仕上げ研磨を行なった。

10

【0120】

次に、支持基板11の仕上げ研磨後の主面11m上に、厚さ800nmのSiO₂膜をPE-CVD(プラズマ援用-化学気相堆積)法により成長させ、窒素雰囲気中で800で1時間のアニールを行った後に、平均粒径40nmのコロイダルシリカ砥粒を含みpHが10のスラリーを用いたCMP(化学機械的研磨)により、主面12amが二乗平均平方根粗さで0.3nm以下に鏡面化された厚さ400nmの接合膜12aを形成した。次いで、CMPで用いたコロイダルシリカ砥粒を除去するために、KOH水溶液による無砥粒ポリッシング洗浄、純水によるポリッシング洗浄、および純水によるメガソニック洗浄(500kHz~5MHzのメガソニック帯域の周波数の超音波を用いた洗浄)を行なった。

20

【0121】

また、図8(B)を参照して、III族窒化物膜ドナー基板13Dとして直径75mmで厚さ8mmのGaN結晶を準備し、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により二乗平均平方根粗さを2nm以下に平坦化した後、その上に厚さ800nmのSiO₂膜をPE-CVD法により成長させ、窒素雰囲気中で800で1時間のアニールを行った後に、平均粒径が40nmのコロイダルシリカ砥粒を含みpHが10のスラリーを用いたCMPにより、主面が二乗平均平方根粗さで0.3nm以下に鏡面化された厚さ500nmの接合膜12bを形成した。次いで、CMPで用いたコロイダルシリカ砥粒を除去するために、KOH水溶液による無砥粒ポリッシング洗浄、純水によるポリッシング洗浄、および500kHz~5MHzのメガソニック帯域の周波数の超音波を用いた純水による超音波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ものであった。III族窒化物膜ドナー基板13Dは、その導電型がn型で、その転位密度が1 \times 10⁸cm⁻²で、そのキャリア濃度が1 \times 10¹⁷cm⁻³であった。

30

【0122】

次に、図8(C)を参照して、接合膜12aの主面12amと接合膜12bの主面12bnとを貼り合わせることにより、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。

40

【0123】

次に、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を接合膜12との貼り合わせ面から内部に40 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。ワイヤーは、ダイヤモンド砥粒を電着した線径120 μ mの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III族窒化物膜ドナー基板13D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、4200Nとした。切断後に、III族窒化物複合基板1のIII族

50

窒化物膜 13 を機械研磨および CMP を行なった。研磨剤としてダイヤモンドスラリーを用いて、銅系定盤により粗研磨、スズ定盤により仕上げ前研磨を実施した。さらに、pH 11 のコロイダルシリカスラリー（平均粒径 $80 \mu\text{m}$ のコロイダルシリカ砥粒を含む pH 11 のスラリー）と不織布研磨パッドにより仕上げ研磨を行なった。III 族窒化物膜の厚さの均一化のため、CMP 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。仕上げ前研磨は作用係数 FE が $4 \times 10^{-17} \text{m}^2/\text{s} \sim 1 \times 10^{-16} \text{m}^2/\text{s}$ の条件で行ない、仕上げ研磨は作用係数 FE が $4 \times 10^{-14} \text{m}^2/\text{s} \sim 1 \times 10^{-13} \text{m}^2/\text{s}$ の条件で行なった。仕上げ研磨後の III 族窒化物膜 13 の厚さは $0.3 \mu\text{m}$ であった。

【0124】

上記仕上げ研磨後の 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 13 の主面 13 m 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 を表 1 にまとめた。

【0125】

ここで、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 13 の主面 13 m 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、図 2 に示す III 族窒化物膜 13 側の主面 13 m 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 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 13 点の測定点 P における III 族窒化物膜 13 の厚さおよび III 族窒化物膜 13 の主面 13 m の所定の面方位の面に対するオフ角の絶対値からそれぞれ算出した。

【0126】

2. III 族窒化物半導体デバイスの作製

図 12 を参照して、III 族窒化物半導体デバイスとして SBD（ショットキーバリアダイオード）を作製した。

【0127】

まず、図 12 (A) を参照して、III 族窒化物複合基板 1 の III 族窒化物膜 13 側の主面 13 m 上に、MOVPE 法により、III 族窒化物層 20 として、厚さ $2 \mu\text{m}$ の n^+ -Ga_{0.5}N_{0.5} 層 28（キャリア濃度が $2 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ ）、厚さ $7 \mu\text{m}$ の n^- -Ga_{0.5}N_{0.5} 層 29（キャリア濃度が $5 \times 10^{15} \text{cm}^{-3}$ ）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。

【0128】

次に、図 12 (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 n^- -Ga_{0.5}N_{0.5} 層 29 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ショットキー電極である第 1 電極 30 を形成した。第 1 電極 30 の径は $200 \mu\text{m}$ とした。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。

【0129】

また、デバイス支持基板 40 として Mo 基板を準備し、デバイス支持基板 40 の一方の主面上に、接合金属膜 44 として AuSn はんだ膜を形成した。デバイス支持基板 40 の他方の主面上に、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デバイス支持基板電極 46 を形成した。

【0130】

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

10

20

30

40

50

。

【0131】

次に、図12(C)を参照して、積層基板3から支持基板11および接合膜12をエッチングにより除去した。エッチングにはフッ化水素酸を用いた。

【0132】

次に、図12(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、オーミック電極である第2電極50を形成した。こうして、III族窒化物半導体デバイス4としてSBDが得られた。

10

【0133】

得られたIII族窒化物半導体デバイス4であるSBDの歩留率は、以下のようにして算出した。すなわち、SBDについて逆方向の電流-電圧特性を測定し、そのSBDの耐圧が250V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、良品を表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。

【0134】

【表 1】

例	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11	A12	A13
比 s_t/m_t	0.01	0.02	0.05	0.1	0.2	0.35	0.5	0.7	0.5	0.01	0.5	0.7	0.01
比 s_o/m_o	0.005	0.008	0.05	0.2	0.4	0.5	0.6	0.6	0.7	0.6	0.005	0.005	0.7
デバイス歩留率 (%)	68	67	64	61	58	54	50	35	31	54	55	30	36

10

20

30

40

【0135】

表 1 を参照して、支持基板と、厚さ $0.3 \mu\text{m}$ (この値は 50 nm 以上 $10 \mu\text{m}$ 未満) の III 族窒化物膜と、を有する直径 75 mm (この値は 75 mm 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 0.01 以上 0.5 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。

【0136】

50

(実施例 B)

図 8、図 10 および図 12 を参照して、直径を 75 mm ~ 150 mm の間で変動させ、例 B 2 ~ 例 B 10 については、接合基板 1 L の III 族窒化物膜ドナー基板 13 D を接合膜 12 との貼り合わせ面から内部に 50 μm の距離の深さに位置する面でワイヤーソーにより切断し、研磨および ICP - RIE (誘導結合プラズマ - 反応性イオンエッチング) によりドライエッチングしたこと、例 B 1、例 B 11 および例 12 については、III 族窒化物膜ドナー基板 13 D に $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-2}$ のドーズ量で水素イオンを注入して貼り合わせた後、800 まで加熱することにより、III 族窒化物膜ドナー基板 13 D をイオン注入領域 13 i で分離し、さらに ICP - RIE によりドライエッチングしたこと、III 族窒化物膜 13 側の主面 13 m の仕上げ研磨の作用係数 FE を $5.0 \times 10^{-14} \text{ m}^2 / \text{s}$ としたこと、仕上げ研磨後の III 族窒化物膜 13 の厚さを 0.03 μm ~ 9.5 μm の間で変動させた III 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、III 族窒化物複合基板 1 および III 族窒化物半導体デバイス 4 を作製した。

10

【0137】

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 13 の主面 13 m 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 を算出して、表 2 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 2 にまとめた。

【0138】

20

【表 2】

例	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B9	B10	B11	B12
III族窒化物複合基板 の形成方法	イオン 注入	切断	イオン 注入	イオン 注入								
直径 D (mm)	75	75	75	75	75	75	75	100	100	150	100	75
III族窒化物膜の厚さ (μm)	0.03	0.05	0.08	0.11	0.25	1	9.5	0.05	0.2	0.15	0.2	0.11
比 s_t/m_t	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
比 s_o/m_o	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45
デバイス歩留率 (%)	0	63	65	70	71	72	72	62	70	68	63	64

10

20

30

40

【0139】

表 2 を参照して、厚さ $0.05 \mu\text{m} \sim 9.5 \mu\text{m}$ (すなわち 50 nm 以上 $10 \mu\text{m}$ 未満) の III 族窒化物膜を有する直径 $75 \text{ mm} \sim 150 \text{ mm}$ (すなわち 75 mm 以上) の III 族窒化物複合基板であって、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 が 0.3 (この値は 0.01 以上 0.5 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 0.45 (この値は 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。

50

【0140】

(実施例C)

半導体デバイス用基板として、III族窒化物自立基板、および、直径75mm~150mmで変動させたこと、III族窒化物膜13側の主面13mの仕上げ研磨の作用係数FEを $5.5 \times 10^{-14} \text{m}^2/\text{s}$ としたこと以外は実施例Aと同様にして作製されたIII族窒化物複合基板を準備した。III族窒化物自立基板は、所定の直径を有するGaN結晶体をワイヤソーで切断し研磨することにより表4に示す直径および厚さの基板とした。

【0141】

上記のIII族窒化物複合基板およびIII族窒化物自立基板を用いたこと以外は、実施例Aと同様にして、III族窒化物半導体デバイスを作製した。例C1~例C15ではIII族窒化物複合基板を用いてIII族窒化物半導体デバイスを作製し、例C16~例C18ではIII族窒化物自立基板を用いてIII族窒化物半導体デバイスを作製した。

10

【0142】

得られたIII族窒化物複合基板について、反りW、比W/D、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13の主面13m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 を算出して、表3および表4にまとめた。また、III族窒化物自立基板について、反りW、比W/D、そのIII族窒化物自立基板の厚さの平均値 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族窒化物自立基板の表面(おもてめん)側の主面13m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 を算出して、表4にまとめた。さらに、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3および表4にまとめた。

20

【0143】

【表 3】

例	複合基板								
	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9
直径D (mm)	100	100	100	100	100	100	100	100	100
III 族窒化物膜の厚さ (μm)	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12
反りW (μm)	-100	-70	-40	-25	15	30	50	80	100
比 W/D ($\times 10^{-4}$)	-10	-7	-4	-2.5	1.5	3.0	5	8	10
比 s_t/m_t	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4
比 s_o/m_o	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 (%)	59	64	66	68	70	69	67	64	58

【 0 1 4 4 】

10

20

30

【表 4】

例	複合基板						自立基板		
	C10	C11	C12	C13	C14	C15	C16	C17	C18
直径D (mm)	75	150	150	150	150	150	75	100	150
III族窒化物膜の厚さ (μm)	0.2	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18	250	250	320
反りW (μm)	15	-165	-105	-37.5	120	150	105	160	240
比W/D ($\times 10^{-4}$)	2	-11	-7	-2.5	8	10	14	16	16
比 s_t/m_t	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4
比 s_o/m_o	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 (%)	73	54	60	67	61	53	割れ	割れ	割れ

10

20

30

【0145】

表3および表4を参照して、III族窒化物半導体デバイス作製の際の基板としてIII族窒化物自立基板を用いた場合は、直径が大きく厚さが小さいと反りが大きくなり、割れが発生した。これに対して、III族窒化物半導体デバイス作製の際の基板としてIII族窒化物複合基板を用いた場合は、直径が大きくIII族窒化物膜の厚さが小さくても、割れは発生せず、高い歩留でIII族窒化物半導体デバイスが得られた。

40

【0146】

(実施例D)

図8および図12を参照して、支持基板11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78質量%で SiO_2 が22質量%である)を用いたこと、III族窒化物膜ドナー基板13DとしてIII族窒化物膜ドナー基板13DとしてO(酸素)原子およびSi(ケイ素)原子がドーピングされ転位集中領域がなく転位密度が $5 \times 10^6 \text{ cm}^{-2}$ で均一でありキャリア濃度が $2 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ の導電性が高いGaN基板を用いたこと、III族窒化物膜ドナー基板13Dの切断を放電ワイヤー加工で実施し

50

たこと、 III 族窒化物膜13側の主面13mの仕上げ研磨の作用係数 FE を $6.2 \times 10^{-14} \text{m}^2/\text{s}$ としたこと、仕上げ研磨後の III 族窒化物膜13の厚さを $0.15 \mu\text{m}$ としたこと以外は、実施例Aと同様にして、 III 族窒化物複合基板1および III 族窒化物半導体デバイス4を作製した。支持基板11は、熱伝導率が $4 \text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ で、ヤング率が 220GPa であった。

【0147】

実施例Aと同様にして、仕上げ研磨後の 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13の主面13m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 を算出して、表5にまとめた。

10

【0148】

また、仕上げ研磨後の III 族窒化物複合基板1について、 III 族窒化物膜13側の主面13mの二乗平均平方根粗さの平均値 $m_{\text{III-N}}$ 、および III 族窒化物膜13側の主面13mの二乗平均平方根粗さの平均値 $m_{\text{III-N}}$ に対する二乗平均平方根粗さの標準偏差 $s_{\text{III-N}}$ の比 $s_{\text{III-N}}/m_{\text{III-N}}$ を算出して、表5にまとめた。ここで、二乗平均平方根粗さの平均値 $m_{\text{III-N}}$ および二乗平均平方根粗さの平均値 $m_{\text{III-N}}$ に対する二乗平均平方根粗さの標準偏差 $s_{\text{III-N}}$ の比 $s_{\text{III-N}}/m_{\text{III-N}}$ は、図2に示す III 族窒化物膜13側の主面13m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つの点をあわせて8つの中間点 P_M とで構成される13点の測定点 P における III 族窒化物膜13側の主面13mの二乗平均平方根粗さから算出した。

20

【0149】

さらに、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5にまとめた。

【0150】

【表 5】

例	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	D9	D10	D11	D12	D13
m_{III-N} (nm)	0.4	1	1.5	2	3	5	10	0.4	10	15	15	10	9
比 s_{III-N}/m_{III-N}	0.008	0.02	0.05	0.1	0.2	0.4	0.5	0.5	0.008	0.5	0.008	0.7	0.8
比 s_t/m_t	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15
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
デバイス歩留率 (%)	72	72	68	65	62	58	55	63	57	49	50	52	52

10

20

30

40

50

【0151】

表5を参照して、厚さ0.15 μ m(この値は50nm以上10 μ m未満)のIII族窒化物膜を有する直径100mm(この値は75mm以上)のIII族窒化物複合基板であって、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 が0.15(この値は0.01以上0.5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_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 0.3 (この値は 0.005 以上 0.6 以下) であり、III 族窒化物膜側の主面の二乗平均平方根粗さの平均値 m_{111-N} が 0.4 nm 以上 10 nm 以下であり、III 族窒化物膜側の主面の二乗平均平方根粗さの平均値 m_{111-N} に対する標準偏差 s_{111-N} の比 s_{111-N}/m_{111-N} が 0.008 以上 0.5 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。

【0152】

(実施例 E)

図 8 および図 12 を参照して、支持基板 11 として、 Al_2O_3 と SiO_2 の化学組成比が異なる 2 種類の μ ライト基板と Al_2O_3 と SiO_2 の化学組成比が異なる 6 種類の $Al_2O_3-SiO_2$ 複合酸化物基板を用いたこと、III 族窒化物膜 13 側の主面 13m の仕上げ研磨の作用係数 FE を $4.5 \times 10^{-14} m^2/s$ としたこと、仕上げ研磨後における支持基板 11 の厚さ t_s に対する III 族窒化物膜 13 の厚さ t_{111-N} の比 t_{111-N}/t_s を $5 \times 10^{-5} \sim 3 \times 10^{-2}$ の間で変動させたこと、直径を 75 mm ~ 150 mm の間で変動させたこと以外は、実施例 A と同様にして、III 族窒化物複合基板 1 および III 族窒化物半導体デバイス 4 を作製した。

10

【0153】

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 13 の主面 13m 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 を算出して、表 6 および表 6 および表 7 にまとめた。さらに、支持基板 11 の熱膨張係数 α_s および III 族窒化物膜 13 の熱膨張係数 α_{111-N} を熱機械分析装置により測定し、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_{111-N} の比 α_{111-N}/α_s を算出して、結果を表 6 および表 7 にまとめた。さらに、支持基板 11 の厚さ t_s および III 族窒化物膜 13 の厚さ t_{111-N} を、それぞれデジタルインジケータおよび反射率分光法により測定し、支持基板 11 の厚さ t_s に対する III 族窒化物膜 13 の厚さ t_{111-N} の比 t_{111-N}/t_s を算出して、結果を表 6 および表 7 にまとめた。さらに、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 6 および表 7 にまとめた。

20

【0154】

30

【表 6】

例	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	E9
直径 D (mm)	75	75	75	75	75	75	75	100	100
支持基板の種類	μ71F								
比 α_{III-N}/α_s	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2
比 t_{III-N}/t_s ($\times 10^{-2}$)	0.005	0.01	0.02	0.1	0.2	2	3	0.03	0.05
比 s_t/m_t	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4
比 s_o/m_o	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
デバイス歩留率 (%)	48	55	57	60	59	57	51	58	59

【 0 1 5 5 】

10

20

30

40

【表 7】

例	E10	E11	E12	E13	E14	E15	E16	E17	E18
直径 D (mm)	100	100	100	100	100	100	100	150	150
支持基板の種類	Al ₂ O ₃ -SiO ₂				Δライト				
比 α_{III-N}/α_s	1.35	1.25	1.15	1	0.85	0.75	0.65	1.2	1
比 t_{III-N}/t_s ($\times 10^{-2}$)	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.025	0.025
比 s_t/m_t	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4
比 s_o/m_o	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
ハイパス残留率 (%)	47	56	62	70	61	58	49	57	68

10

20

30

40

【0156】

表 6 および表 7 を参照して、III 族窒化物複合基板であれば、支持基板 11 として化学組成がそれぞれ異なる Δライト基板、化学組成がそれぞれ異なる Al₂O₃-SiO₂ 複合酸化物基板のいずれかを有する III 族窒化物複合基板 1 を用いても、その III 族窒化物膜の厚さが 50 nm 以上 10 μm 未満とし、直径が 75 mm ~ 150 mm であり、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 が 0.4 (この値は 0.01 以上 0.5 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 。

50

が 0.5 (この値は 0.005 以上 0.6 以下) である III 族窒化物複合基板 1 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。また、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 以下である場合、支持基板 11 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 以下である場合に、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。

【0157】

(実施例 F)

図 8 および図 12 を参照して、支持基板 11 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 78 質量% で SiO_2 が 22 質量% であるを用いたこと、
III 族窒化物膜 13 側の主面 13m の仕上げ研磨の作用係数 FE を $8.2 \times 10^{-14} m^2 / s$ としたこと、直径を 75 mm ~ 150 mm の間で変動させた III 族窒化物複合基板 1 を作製したこと、得られた III 族窒化物複合基板 1 をさらに洗浄したこと以外は、実施例 A と同様にして、III 族窒化物複合基板 1 および III 族窒化物半導体デバイス 4 を作製した。ここで、支持基板 11 は、熱伝導率が $4 W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$ で、ヤング率が 220 GPa であった。また、洗浄方法は、界面活性剤と純水とを用いたスクラブ洗浄、純水を用いた二流体洗浄、および純水を用いたメガソニック洗浄を組み合わせることにより実施した。

10

【0158】

実施例 A と同様にして、III 族窒化物複合基板 1 について、支持基板 11 側の主面 11n の二乗平均平方根粗さの平均値 m_s を算出して、表 8 にまとめた。また、III 族窒化物複合基板 1 について、III 族窒化物膜 13 側の主面 13m における不純物金属原子の濃度を、TXRF (全反射蛍光 X 分析) 法により測定して、表 8 にまとめた。ここで、TXRF 法による測定は、W (タングステン) 線源を用いて、 0.05° の入射角で行なった。さらに、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 8 にまとめた。

20

【0159】

【表 8】

例	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8
直径 D (mm)	75	75	75	75	75	100	100	150
不純物金属原子濃度 ($\times 10^{10}$ 原子/cm ²)	10	100	300	1000	1800	80	100	10
比 s_t/m_t	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08
比 s_o/m_o	0.22	0.22	0.22	0.22	0.22	0.22	0.22	0.22
デバイス歩留率 (%)	68	65	62	57	51	65	63	64

10

20

30

【0160】

表 8 を参照して、厚さ $0.3 \mu\text{m}$ (この値は 50 nm 以上 $10 \mu\text{m}$ 未満) の III 族窒化物膜を有する直径 $75 \text{ mm} \sim 150 \text{ mm}$ であり、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 が 0.08 (この値は 0.01 以上 0.5 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 0.22 (この値は 0.005 以上 0.6 以下) であり、III 族窒化物膜側の主面における不純物金属原子の濃度が 1×10^{13} 原子/cm² 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。

40

【0161】

(実施例 G)

図 1.1 および図 1.2 を参照して、支持基板 1.1 として熱伝導率が $2 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} \sim 300 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ の間にある直径 75 mm の基板を用いたこと、直径 75 mm の III 族

50

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 13m から研削および研磨を行なって III 族窒化物膜 13 の厚さを $0.3 \mu\text{m}$ としたこと、III 族窒化物膜 13 側の主面 13m の仕上げ研磨の作用係数 FE を $8.8 \times 10^{-14} \text{m}^2/\text{s}$ としたこと以外は、実施例 A と同様にして、III 族窒化物複合基板 1 および III 族窒化物半導体デバイス 4 を作製した。ここで、支持基板 11 の熱伝導率は、酸化原料の配合比率、および焼成条件を調整することにより行った。また、III 族窒化物膜ドナー基板 13D の研削には、平均砥粒が $25 \mu\text{m} \sim 35 \mu\text{m}$ のダイヤモンド砥粒を含むビトリファイド砥粒を用いた。

【0162】

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 13 の主面 13m 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 を算出して、表 9 にまとめた。また、III 族窒化物複合基板 1 の支持基板の熱伝導率をレーザフラッシュ法により測定して表 9 にまとめた。さらに、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。

【0163】

【表 9】

例	G1	G2	G3	G4	G5	G6	G7	G8	G9
支持基板の熱伝導率	2	3	5	10	30	120	210	280	300
比 s_t/m_t	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12
比 s_o/m_o	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16
デバイス歩留率 (%)	50	57	62	66	67	64	61	54	48

10

20

30

【0164】

表 9 を参照して、厚さ $0.3 \mu\text{m}$ (この値は 50 nm 以上 $10 \mu\text{m}$ 未満) の III 族窒化物膜を有する直径 75 mm (この値は 75 mm 以上) の III 族窒化物複合基板であり、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 が 0.12 (この値は 0.01 以上 0.5 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 0.16 (この値は 0.005 以上 0.6 以下) であり、熱伝導率が $3 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ 以上 $280 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ 以下である支持基板を有する 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。

40

【0165】

今回開示された実施の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は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でのすべての変更が含まれることが意図される。

50

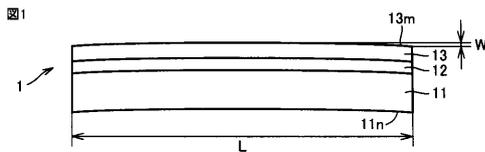
【符号の説明】

【0166】

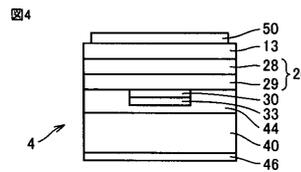
1 III族窒化物複合基板、1L, 1LS 接合基板、2 積層III族窒化物複合基板、3 積層基板、4 III族窒化物半導体デバイス、5D, 5Dr 支持体付III族窒化物膜ドナー基板、11 支持基板、11m, 11n, 12am, 12bn, 12m, 13m, 13n, 130n 主面、12, 14 接合膜、13 III族窒化物膜、13D, 13Dr III族窒化物膜ドナー基板、13i イオン注入領域、15 III族窒化物膜ドナー基板支持体、20 III族窒化物層、21 n-GaN層、22 n-In_{0.05}Ga_{0.95}N層、23 活性層、24 p-Al_{0.09}Ga_{0.91}N層、25 p-GaN層、26 GaN層、27 Al_{0.2}Ga_{0.8}N層、28 n⁺-GaN層、29 n⁻-GaN層、30 第1電極、33, 43 パッド電極、40 デバイス支持基板、44 接合金属膜、45, 46 デバイス支持基板電極、50 第2電極、60 ソース電極、70 ドレイン電極、80 ゲート電極、130 下地基板、140 保護部材。

10

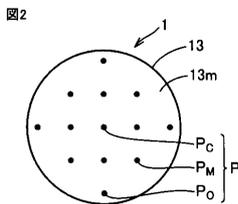
【図1】



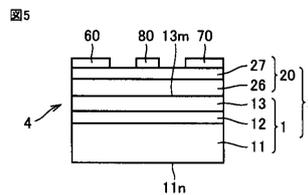
【図4】



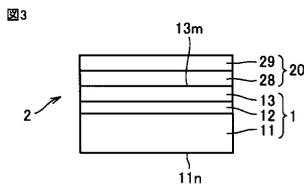
【図2】



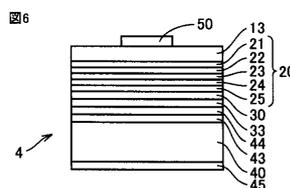
【図5】



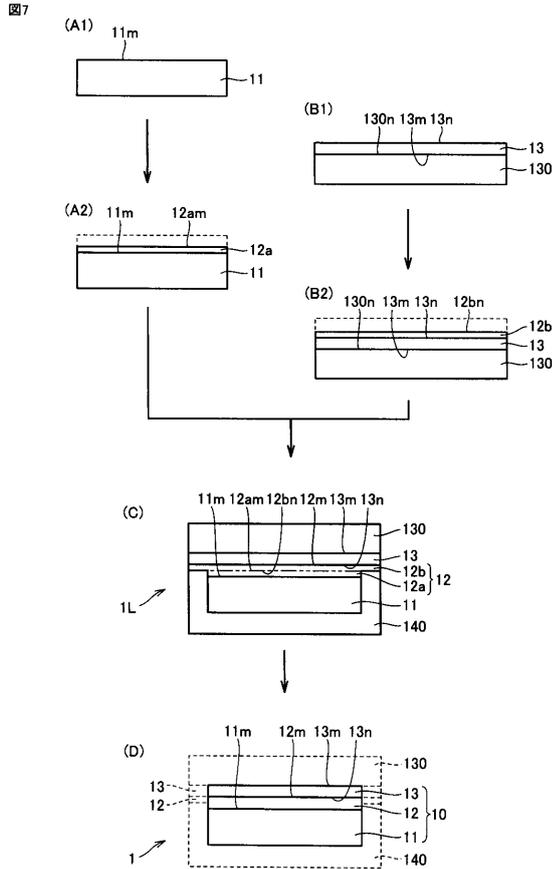
【図3】



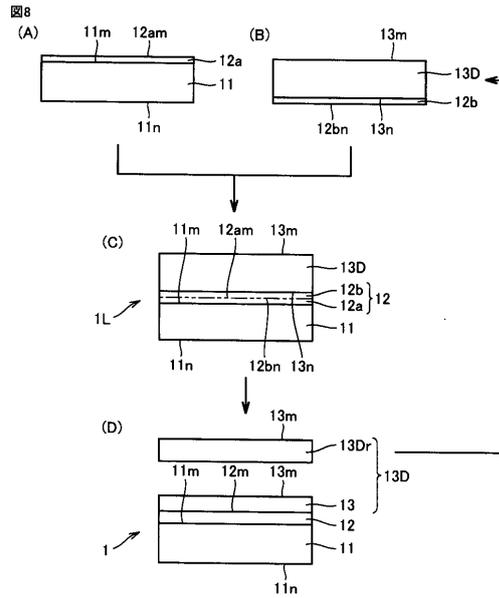
【図6】



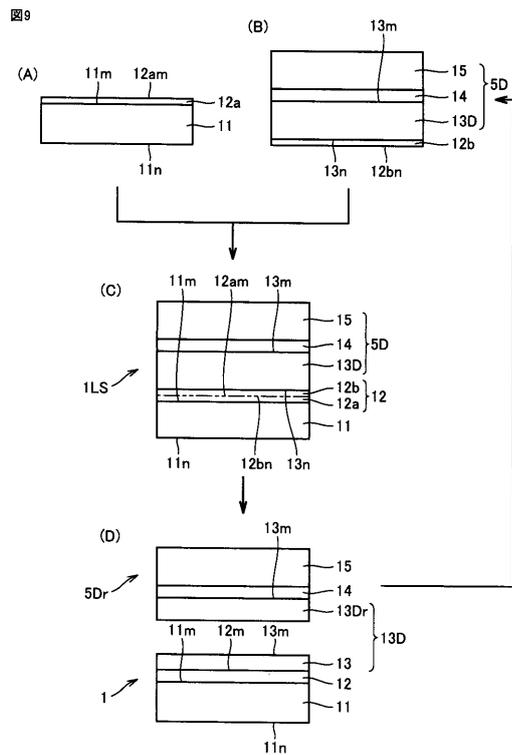
【 図 7 】



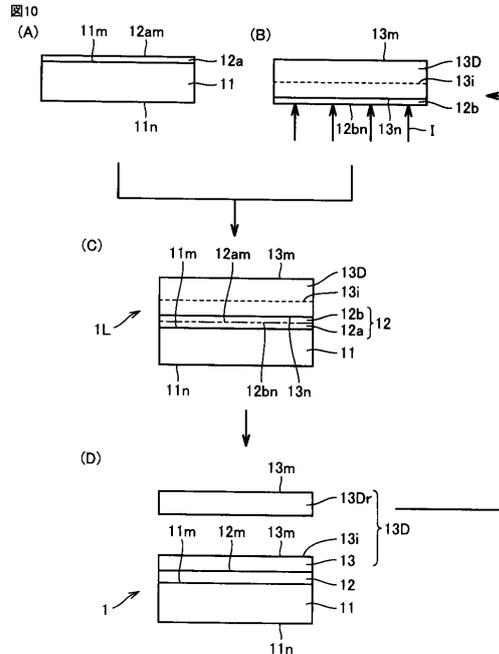
【 図 8 】



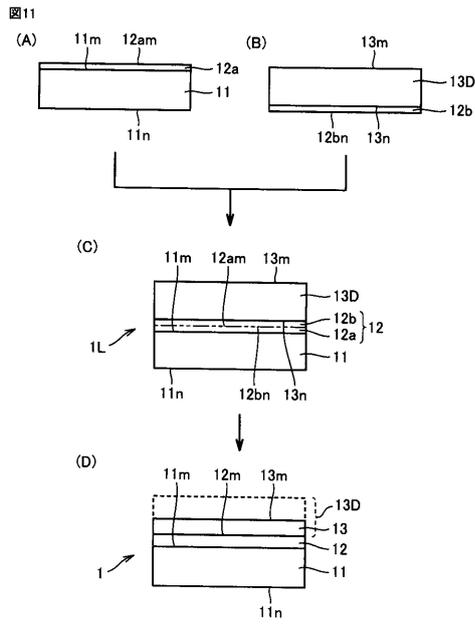
【 図 9 】



【 図 10 】



【 図 1 1 】



【 図 1 2 】

