

(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局

(43) 国際公開日
2014年4月17日(17.04.2014)



(10) 国際公開番号
WO 2014/057748 A1

- (51) 国際特許分類:
H01L 21/02 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2013/073805
- (22) 国際出願日: 2013年9月4日(04.09.2013)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:
特願 2012-226777 2012年10月12日(12.10.2012) JP
61/712,967 2012年10月12日(12.10.2012) US
特願 2012-263090 2012年11月30日(30.11.2012) JP
61/762,407 2013年2月8日(08.02.2013) US
特願 2013-029114 2013年2月18日(18.02.2013) JP
特願 2013-029115 2013年2月18日(18.02.2013) JP
特願 2013-029125 2013年2月18日(18.02.2013) JP
特願 2013-179839 2013年8月30日(30.08.2013) JP
- (71) 出願人: 住友電気工業株式会社 (SUMITOMO ELECTRIC INDUSTRIES, LTD.) [JP/JP]; 〒5410041 大阪府大阪市中央区北浜四丁目5番33号 Osaka (JP).
- (72) 発明者: 石橋 恵二 (ISHIBASHI, Keiji); 〒6640016 兵庫県伊丹市昆陽北一丁目1番1号 住友電気

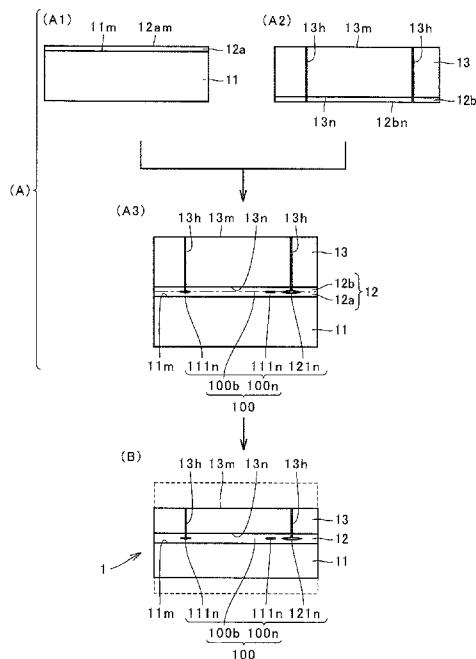
工業株式会社 伊丹製作所内 Hyogo (JP). 八郷 昭広 (HACHIGO, Akihiro); 〒6640016 兵庫県伊丹市昆陽北一丁目1番1号 住友電気工業株式会社 伊丹製作所内 Hyogo (JP). 廣村 友紀 (HIROMURA, Yuki); 〒6640016 兵庫県伊丹市昆陽北一丁目1番1号 住友電気工業株式会社 伊丹製作所内 Hyogo (JP). 松本 直樹 (MATSUMOTO, Naoki); 〒6640016 兵庫県伊丹市昆陽北一丁目1番1号 住友電気工業株式会社 伊丹製作所内 Hyogo (JP). 中畑 成二 (NAKAHATA, Seiji); 〒6640016 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 Hyogo (JP). 中西 文毅 (NAKANISHI, Fumitake); 〒6640016 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 Hyogo (JP). 柳澤 拓弥 (YANAGISAWA, Takuya); 〒6640016 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 Hyogo (JP). 上松 康二 (UEMATSU, Koji); 〒6640016 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 Hyogo (JP). 関 裕紀 (SEKI, Yuki); 〒6640016 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 Hyogo (JP). 山本 喜之 (YAMAMOTO, Yoshiyuki); 〒6640016 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

[続葉有]

(54) Title: GROUP III NITRIDE COMPOSITE SUBSTRATE, MANUFACTURING METHOD THEREFOR, AND GROUP III NITRIDE SEMICONDUCTOR DEVICE MANUFACTURING METHOD

(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、ならびに I I I 族窒化物半導体デバイスの製造方法

FIG.4



(57) Abstract: Provided is a group III nitride composite substrate which can be obtained at a high yield and has a low sheet resistance; also provided are a manufacturing method therefor, and a method for manufacturing a group III nitride semiconductor device using a group III nitride composite substrate. The group III nitride composite substrate (1) includes a group III nitride film (13), and a support substrate (11) formed of a material having a different chemical composition than the group III nitride film (13). The group III nitride film (13) is directly or indirectly joined to the support substrate (11). The group III nitride film (13) has a thickness of not less than 10 μm . The sheet resistance at the main surface (13m) on the group III nitride film (13) side is 200 Ω/sq or less. The method for manufacturing the group III nitride composite substrate (1) includes: a step wherein the group III nitride film (13) and the support substrate (11) are directly or indirectly bonded together; and a step wherein the thickness of the bonded group III nitride film (13) and/or the support substrate (11) is reduced.

(57) 要約: 高い歩留まりで得られるシート抵抗が低い I I I 族窒化物複合基板およびその製造方法、ならびに I I I 族窒化物半導体デバイスの製造方法を提供する。I I I 族窒化物複合基板 (1) は、I I I 族窒化物膜 (13) と、I I I 族窒化物膜 (13) と化学組成の異なる材料で形成されている支持基板 (11) とを含む。ここで、I I I 族窒化物膜 (13) は、支持基板 (11) に直接的または間接的な形態で接合されている。I I I 族窒化物膜 (13) の厚さは 10 μm 以上である。I I I 族窒化物膜 (13) 側の主面 (13m) におけるシート抵抗が 200 Ω/sq 以下である。I I I 族窒化物複合基板 (1)

の製造方法は、I I I 族窒化物膜 (13) と支持基板 (11) とを、直接的または間接的な形態で、貼り合わせる工程と、貼り合わされた I I I 族窒化物膜 (13) および支持基板の少なくとも 1 つの厚さを小さくする工程と、を含む。



社 伊丹製作所内 Hyogo (JP). 善積 祐介 (YOSHIZUMI, Yusuke); 〒6640016 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 Hyogo (JP). 三上 英則 (MIKAMI, Hidenori); 〒6640016 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 Hyogo (JP).

(74) 代理人: 特許業務法人深見特許事務所 (FUKAMI PATENT OFFICE, P.C.); 〒5300005 大阪府大阪市北区中之島二丁目2番7号 中之島セントラルタワー Osaka (JP).

(81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS,

LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

(84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーロパ (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:

— 国際調査報告 (条約第 21 条(3))

明 細 書

発明の名称：

Ⅲ族窒化物複合基板およびその製造方法、ならびにⅢ族窒化物半導体デバイスの製造方法

技術分野

[0001] 本発明は、Ⅲ族窒化物複合基板およびその製造方法、ならびにその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方法に関する。

背景技術

[0002] GaN、AlN、 $Al_xGa_{1-x}N$ ($0 < x < 1$) などのⅢ族窒化物半導体は、優れた半導体特性を有していることから、半導体デバイスの基板として好適である。このようなⅢ族窒化物半導体は高価であるため、半導体デバイスの製造コストを低減する観点から、半導体デバイスの基板として、シリコン基板などの支持基板上にGaN、AlNなどのⅢ族窒化物半導体の膜が形成された半導体基板が提案されている。

[0003] たとえば、特開2006-210660号公報（特許文献1）は、GaNあるいはAlNなどからなる第1の窒化物半導体基板の表面近傍にイオンを注入する工程と、その第1の窒化物半導体基板の表面側に第2の基板を重ね合わせる工程と、重ね合わせた上記2枚の基板を熱処理する工程と、イオン注入された層を境として上記第1の窒化物半導体基板の大部分を上記第2の基板から引き剥がす工程と、を含む半導体基板の製造方法を開示する。

先行技術文献

特許文献

[0004] 特許文献1：特開2006-210660号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0005] 特開 2006-210660 号公報（特許文献 1）に開示された半導体基板の製造方法により得られる半導体基板は、支持基板上に形成された窒化物半導体の膜厚が $2\mu\text{m}$ 程度と薄いために、そのシート抵抗が高くなるという問題点があり、また、イオン注入によるダメージにより部分的な高抵抗化により歩留まりが低下するという問題点があった。

[0006] 本発明は、上記問題点を解決して、高い歩留まりで得られるシート抵抗が低い III 族窒化物複合基板およびその製造方法、ならびに 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方法を提供することを目的とする。

課題を解決するための手段

[0007] 本発明のある局面に従う III 族窒化物複合基板は、III 族窒化物膜と、III 族窒化物膜と化学組成の異なる材料で形成されている支持基板と、を含む。ここで、III 族窒化物膜は、支持基板に直接的および間接的のいずれかの形態で接合されている。III 族窒化物膜の厚さは $10\mu\text{m}$ 以上であり、III 族窒化物膜側の主面におけるシート抵抗は $200\Omega/\text{sq}$ (ohms per square) 以下である。かかる III 族窒化物複合基板は、III 族窒化物膜の厚さが $10\mu\text{m}$ 以上であるため、III 族窒化物膜側の主面におけるシート抵抗を $200\Omega/\text{sq}$ 以下に低くすることができ、高い歩留まりで III 族窒化物半導体デバイスを製造することができる。

[0008] 本発明の上記局面に従う III 族窒化物複合基板において、III 族窒化物膜と支持基板との接合領域の面積を主面の面積の 70% 以上とし、III 族窒化物膜と支持基板との非接合領域は少なくとも 1 つの非接合部分領域を含み、非接合部分領域をその最大径が 20mm 未満の小型の非接合部分領域とすることができる。かかる III 族窒化物複合基板は、接合領域の面積が主面の面積の 70% 以上と大きく非接合領域を構成する非接合部分領域の最大径が 20mm 未満と小さいため、高い歩留まりで III 族窒化物半導体デバイスを製造することができる。

[0009] 本発明の上記局面に従う III 族窒化物複合基板において、III 族窒化

物膜と支持基板との非接合領域は少なくとも１つの非接合部分領域を含み、非接合部分領域を主面の外周に接していない内側の非接合部分領域とすることができる。かかるⅢ族窒化物複合基板は、非接合領域を構成する非接合部分領域が主面の外周に接していないため、高い歩留まりでⅢ族窒化物半導体デバイスを製造することができる。

[0010] 本発明の上記局面に従うⅢ族窒化物複合基板において、Ⅲ族窒化物膜は主面貫通孔を有し、主面貫通孔の面積を主面の面積の１０％以下とすることができる。かかるⅢ族窒化物複合基板は、Ⅲ族窒化物膜の主面貫通孔の面積が主面の面積の１０％以下であるため、高い歩留まりでⅢ族窒化物半導体デバイスを製造することができる。

[0011] 本発明の上記局面に従うⅢ族窒化物複合基板において、Ⅲ族窒化物膜と支持基板との接合界面に金属を含む不純物を含み、不純物の濃度を $1 \times 10^{10} \text{ cm}^{-2}$ 以上とすることができる。かかるⅢ族窒化物複合基板は、接合界面における金属を含む不純物の濃度が $1 \times 10^{10} \text{ cm}^{-2}$ 以上であるため、接合強度が高く、高い歩留まりでⅢ族窒化物半導体デバイスを製造することができる。

[0012] 本発明の上記局面に従うⅢ族窒化物複合基板において、Ⅲ族窒化物膜の熱膨張係数を支持基板の熱膨張係数に比べて０．７倍より大きく１．４倍より小さくすることができる。かかるⅢ族窒化物複合基板は、Ⅲ族窒化物膜の熱膨張係数が支持基板の熱膨張係数に比べて０．７倍より大きく１．４倍より小さいため、Ⅲ族窒化物半導体デバイスの製造の際の熱を加える工程において、反りおよび／またはクラックの発生を抑制することにより、高い歩留まりでⅢ族窒化物半導体デバイスを製造することができる。

[0013] 本発明の上記局面に従うⅢ族窒化物複合基板において、支持基板の破壊靱性を $1 \text{ MN m}^{-2/3}$ 以上とし、支持基板の厚さを $50 \mu\text{m}$ 以上とすることができる。かかるⅢ族窒化物複合基板は、機械的強度が高いため、高い歩留まりでⅢ族窒化物半導体デバイスを製造することができる。

[0014] 本発明の上記局面に従うⅡⅡⅡ族窒化物複合基板において、間接的な形態を、ⅡⅡⅡ族窒化物膜と支持基板との間に接合膜を介在させた形態とすることができる。かかるⅡⅡⅡ族窒化物複合基板は、ⅡⅡⅡ族窒化物膜と支持基板とが、それらの間に接合膜を介在させた形態で接合されているため、接合強度が高く、高い歩留まりでⅡⅡⅡ族窒化物半導体デバイスを製造することができる。

[0015] 本発明の別の局面に従うⅡⅡⅡ族窒化物複合基板の製造方法は、上記局面に従うⅡⅡⅡ族窒化物複合基板の製造方法であって、ⅡⅡⅡ族窒化物膜と支持基板とを、直接のおよび間接的のいずれかの形態で、貼り合わせる工程と、貼り合わされたⅡⅡⅡ族窒化物膜および支持基板の少なくとも1つの厚さを小さくする工程と、を含む。かかるⅡⅡⅡ族窒化物複合基板の製造方法は、上記の工程を備えることにより、高い歩留まりでシート抵抗の低いⅡⅡⅡ族窒化物複合基板を製造することができる。

[0016] 本発明のさらに別の局面に従うⅡⅡⅡ族窒化物半導体デバイスの製造方法は、上記局面に従うⅡⅡⅡ族窒化物複合基板を用いたⅡⅡⅡ族窒化物半導体デバイスの製造方法であって、ⅡⅡⅡ族窒化物複合基板を準備する工程と、ⅡⅡⅡ族窒化物複合基板のⅡⅡⅡ族窒化物膜側の主面上に少なくとも1層のⅡⅡⅡ族窒化物層を成長させる工程と、を含む。かかるⅡⅡⅡ族窒化物半導体デバイスの製造方法は、上記の工程を備えることにより、高い歩留まりでⅡⅡⅡ族窒化物半導体デバイスを製造することができる。

発明の効果

[0017] 本発明によれば、高い歩留まりで得られるシート抵抗が低いⅡⅡⅡ族窒化物複合基板およびその製造方法、ならびにⅡⅡⅡ族窒化物複合基板を用いたⅡⅡⅡ族窒化物半導体デバイスの製造方法を提供できる。

図面の簡単な説明

[0018] [図1]本発明にかかるⅡⅡⅡ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]本発明にかかるⅡⅡⅡ族窒化物複合基板の別の例を示す概略断面図であ

る。

[図3]本発明にかかるⅠⅠⅠ族窒化物複合基板における接合領域および非接合領域を示す概略平面図である。

[図4]本発明にかかるⅠⅠⅠ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5]本発明にかかるⅠⅠⅠ族窒化物半導体デバイスの製造方法により得られる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6]参考発明にかかる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7]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8]参考発明にかかる積層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9]参考発明にかかる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10]参考発明にかかる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11]参考発明にかかる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。

[図12]参考発明にかかるⅠⅠⅠ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13]参考発明にかかるⅠⅠⅠ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14]参考発明にかかるⅠⅠⅠ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15]参考発明にかかるⅠⅠⅠ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16]参考発明にかかるⅠⅠⅠ族窒化物半導体デバイスの製造方法の別の例

を示す概略断面図である。

[図17]イオン注入法を用いるⅢ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。

発明を実施するための形態

[0019] [実施形態1：Ⅲ族窒化物複合基板]

図1および図2を参照して、本発明のある実施形態であるⅢ族窒化物複合基板1は、Ⅲ族窒化物膜13と、Ⅲ族窒化物膜13と化学組成の異なる材料で形成されている支持基板11と、を含む。ここで、Ⅲ族窒化物膜13は、支持基板11に直接的および間接的のいずれかの形態で接合されている。Ⅲ族窒化物膜13の厚さは $10\mu\text{m}$ 以上である。Ⅲ族窒化物膜13側の主面13mにおけるシート抵抗は $200\Omega/\text{sq}$ 以下である。

[0020] 本実施形態のⅢ族窒化物複合基板1は、Ⅲ族窒化物膜13の厚さが $10\mu\text{m}$ 以上であるため、Ⅲ族窒化物膜13側の主面13mにおけるシート抵抗を $200\Omega/\text{sq}$ 以下に低くすることができ、高い歩留まりでⅢ族窒化物半導体デバイスを製造することができる。以下、詳細に説明する。

[0021] 本実施形態のⅢ族窒化物複合基板1は、Ⅲ族窒化物膜13と、Ⅲ族窒化物膜13と化学組成の異なる材料で形成されている支持基板11と、を含む。

[0022] (Ⅲ族窒化物膜)

Ⅲ族窒化物膜13とは、少なくとも1つのⅢ族元素と窒素との化合物である半導体で形成されている基板をいい、たとえば、GaN基板、AlN基板、 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ 基板 ($0 < x < 1$) などが挙げられる。かかるⅢ族窒化物膜13の製造方法は、特に制限はなく、気相法として、HVPE (ハイドライド気相成長) 法、昇華法などが挙げられ、液相法として、高窒素圧溶液法、フラックス法などが挙げられる。Ⅲ族窒化物膜13は、その上に結晶品質の高いⅢ族窒化物層を成長させる観点から、結晶である

ことが好ましく、単結晶であることがより好ましい。

[0023] また、Ⅲ族窒化物膜13は、そのシート抵抗を低くするために、導電性向上不純物をドーピングすることができる。かかる導電性向上不純物は、特に制限はないが、導電性向上の効果が高い観点から、O（酸素）原子、Si（ケイ素）原子などが好適である。

[0024] （支持基板）

支持基板11とは、Ⅲ族窒化物膜13を支持する基板をいい、Ⅲ族窒化物膜13と化学組成が異なる材料で形成される基板であれば特に制限はない。酸化物基板としては、サファイア基板およびその他の Al_2O_3 基板、ムライト基板およびその他の $Al_2O_3-SiO_2$ 系基板、スピネル基板およびその他の Al_2O_3-MgO 系基板、 $Al_2O_3-SiO_2-YSZ$ （イットリア安定化ジルコニア）系基板などが挙げられる。金属基板としてMo基板、W基板、Cu-W基板などが挙げられる。さらに、Si基板、SiC基板、グラファイト基板などが挙げられる。それらの他、Ⅲ族窒化物膜13がGaN膜であればGaNと化学組成が異なるⅢ族窒化物であるAlNなどで形成されている基板などが挙げられる。支持基板11は、結晶であっても非結晶であってもよく、結晶である場合には単結晶であっても多結晶であってもよい。

[0025] （Ⅲ族窒化物膜と支持基板との接合形態）

本実施形態のⅢ族窒化物複合基板1は、Ⅲ族窒化物膜13が、支持基板11に直接のおよび間接的のいずれかの形態で接合されている。

[0026] 図1を参照して、直接的な形態で接合されているとは、Ⅲ族窒化物膜13と支持基板11とが、その間に他のものを介在させることなく、直接的に接合されていることをいう。かかる直接的な接合形態においては、接合界面100は、互いに接合しているⅢ族窒化物膜13の主面13nと支持基板11の主面11mとで形成される面となる。

[0027] 図2を参照して、間接的な形態で接合されているとは、Ⅲ族窒化物膜13と支持基板11とが、その間に他のもの、たとえば接合膜12を介在さ

せて、間接的に接合されていることをいう。かかる間接的な接合形態においては、接合界面は、その貼り合わせ方法により、以下のように異なる。

[0028] 第1の貼り合わせ方法として、図2および図4に示すように、支持基板11の主面11m上に接合膜12aを形成するとともにIII族窒化物膜13の主面13n上に接合膜12bを形成した後、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、接合膜12aと接合膜12bとが一体化した接合膜12を形成する場合においては、接合界面100は、互いに接合している接合膜12の内部の接合膜12aの主面12amと接合膜12bの主面12bnとで形成される面となる。

[0029] 第2の貼り合わせ方法として、支持基板11の主面11m上に接合膜12を形成した後、接合膜12の主面とIII族窒化物膜13の主面13nとを貼り合わせる場合においては、接合界面100は、互いに接合している接合膜12の主面とIII族窒化物膜13の主面13nとで形成される面となる。

[0030] 第3の貼り合わせ方法として、III族窒化物膜13の主面13n上に接合膜12を形成した後、接合膜12の主面と支持基板11の主面11mとを貼り合わせる場合においては、接合界面100は、互いに接合している接合膜12の主面と支持基板11の主面11mとで形成される面となる。

[0031] (接合膜)

本実施形態のIII族窒化物複合基板1のIII族窒化物膜13と支持基板11との間に含まれ得る接合膜12は、III族窒化物膜13と支持基板11との接合強度を高くするものであれば特に制限はなく、 SiO_2 膜、 Si_3N_4 膜、 AlN 膜、 Al_2O_3 膜、 TiO_2 膜、 TiN 膜、 Ga_2O_3 膜、W膜、Mo膜、Au-Sn膜などが挙げられる。

[0032] 接合膜12の厚さは、特に制限はないが、III族窒化物膜13と支持基板11との接合強度を高める観点から、好ましくは $0.05\mu\text{m}$ 以上、より好ましくは $0.1\mu\text{m}$ 以上であり、接合膜12の面内均一性および平坦性を高める観点から、好ましくは $5\mu\text{m}$ 以下、より好ましくは $2\mu\text{m}$ 以下である。

。

[0033] (III族窒化物膜の厚さ)

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におけるシート抵抗を低くする観点から、III族窒化物膜13の厚さは、 $10\mu\text{m}$ 以上が必要であり、 $50\mu\text{m}$ 以上が好ましく、 $100\mu\text{m}$ 以上がより好ましい。また、III族窒化物複合基板1のコストを低減する観点から、III族窒化物膜13の厚さは、 $500\mu\text{m}$ 以下が好ましく、 $250\mu\text{m}$ 以下がより好ましい。

[0034] (III族窒化物膜側の主面におけるシート抵抗)

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のシート抵抗を低くすることにより得られるIII族窒化物半導体デバイスのデバイス特性（たとえば、発光デバイスの発光効率など）を高める観点から、III族窒化物膜13側の主面13mにおけるシート抵抗は、 $200\Omega/\text{sq}$ (ohms per square) 以下が必要であり、 $50\Omega/\text{sq}$ 以下が好ましく、 $10\Omega/\text{sq}$ 以下がより好ましい。

[0035] (III族窒化物膜と支持基板との接合領域およびIII族窒化物膜と支持基板との非接合領域)

図1～図3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が支持基板11に上述の接合界面100において貼り合わされている。本実施形態のIII族窒化物複合基板1においても、イオン注入法により作製されたIII族窒化物複合基板と同様に、支持基板11、III族窒化物膜13、および接合膜12、12a、12bの主面の面粗さ、III族窒化物膜13の主面貫通孔13h、ならびに貼り合わせの不均一さなどが存在する。このため、本実施形態のIII族窒化物複合基板1においても、接合界面100において、III族窒化物膜13と支持基板11とが直接的および間接的のいずれかで接合している接合領域100bと、III族窒化物膜13と支持基板11とが直接的および間接的のいずれにおいても接合していない非接合領域100nと、が存在する。

[0036] 本実施形態のⅠⅠⅠ族窒化物複合基板１の接合界面１００における接合領域１００ｂおよび非接合領域１００ｎの存在およびその位置、それらの大きさ、ならびにそれらの面積は、超音波顕微鏡、欠陥評価装置などにより測定することができる。

[0037] 本実施形態のⅠⅠⅠ族窒化物複合基板１の接合界面１００における非接合領域１００ｎは、少なくとも１つの非接合部分領域１１１ｎ，１１２ｎ，１２１ｎ，１２２ｎを含む。非接合部分領域１１１ｎ，１１２ｎ，１２１ｎ，１２２ｎは、その形状が不定形ではあるがほぼ円形状または楕円形状であるため、その最大径（最大直径）によりその大きさを評価する。非接合部分領域１１１ｎ，１１２ｎ，１２１ｎ，１２２ｎは、その大きさの観点から、その最大径が２０ｍｍ未満の小型の非接合部分領域１１１ｎ，１１２ｎと、その最大径が２０ｍｍ以上の大型の非接合部分領域１２１ｎ，１２２ｎと、に分類することができる。また、非接合部分領域１１１ｎ，１１２ｎ，１２１ｎ，１２２ｎは、その存在位置の観点から、その領域が主面１ｍの外周１ｒに接していない内側の非接合部分領域１１１ｎ，１２１ｎと、その領域が主面１ｍの外周１ｒに接している外側の非接合部分領域１１２ｎ，１２２ｎと、に分類することができる。

[0038] 本実施形態のⅠⅠⅠ族窒化物複合基板１は、高い歩留まりでⅠⅠⅠ族窒化物半導体デバイスを製造する観点から、ⅠⅠⅠ族窒化物膜１３と支持基板１１との接合領域１００ｂの面積が、主面１ｍの面積に対して、７０％以上であることが好ましく、８５％以上であることがより好ましい。ⅠⅠⅠ族窒化物膜１３と支持基板１１との接合領域１００ｂの面積が主面１ｍの面積の７０％未満となると、ⅠⅠⅠ族窒化物半導体デバイスを製造する工程においてⅠⅠⅠ族窒化物膜１３と支持基板１１とが分離しやすくなるため、ⅠⅠⅠ族窒化物半導体デバイスの歩留まりを高めることが困難となる。

[0039] 本実施形態のⅠⅠⅠ族窒化物複合基板１は、高い歩留まりでⅠⅠⅠ族窒化物半導体デバイスを製造する観点から、非接合部分領域は、その最大径が２０ｍｍ未満の小型の非接合部分領域１１１ｎ，１１２ｎであることが好まし

い。すなわち、図3において、非接合部分領域は、いずれも小型の非接合部分領域111n, 112nであることが好ましい。

[0040] また、本実施形態のIII族窒化物複合基板1は、高い歩留まりでIII族窒化物半導体デバイスを製造する観点から、非接合部分領域は、主面1mの外周1rに接していない内側の非接合部分領域111n, 121nであることが好ましい。すなわち、図3において、非接合部分領域は、いずれも内側の非接合部分領域111n, 121nであることが好ましい。外側の非接合部分領域112n, 122nが含まれるIII族窒化物複合基板1は、III族窒化物複合基板1を作製する工程中およびIII族窒化物複合基板1を用いてIII族窒化物半導体デバイスを製造する工程中に、汚染物質が接合界面100に入り込み、その汚染物質の洗浄除去が困難であるため、III族窒化物半導体デバイスの歩留まりを高めることが困難となる。また、外側の非接合部分領域112n, 122nが含まれるIII族窒化物複合基板1は、貼り合わされたIII族窒化物膜13および支持基板11の少なくとも1つの厚さを小さくする工程で、加工中に割れてしまうため、III族窒化物半導体デバイスの歩留まりを高めることが困難となる。

[0041] 本実施形態のIII族窒化物複合基板1は、高い歩留まりでIII族窒化物半導体デバイスを製造する観点から、非接合部分領域は、小型かつ内側の非接合部分領域111nであることがより好ましい。すなわち、図3において、非接合部分領域は、いずれも小型かつ内側の非接合部分領域111nであることがより好ましい。

[0042] (III族窒化物膜の主面貫通孔)

図1～図3を参照して、本実施形態のIII族窒化物複合基板1は、高い歩留まりでIII族窒化物半導体デバイスを製造する観点から、III族窒化物膜13の有する主面貫通孔13hの面積が、主面1m, 13mの面積に対して、10%以下であることが好ましく、5%以下であることがより好ましい。ここで、主面貫通孔13hとは、III族窒化物膜13の支持基板11と直接的または間接的に接合している側の主面と他の表面（具体的には別

の主面および側面)との間を貫通している孔をいう。

[0043] III族窒化物複合基板1のIII族窒化物膜13に主面貫通孔13hが存在すると、主面貫通孔13h上およびその近傍の領域に非接合領域100nが形成される。また、III族窒化物半導体デバイスを製造する工程において、III族窒化物半導体デバイスを洗浄する場合に、洗浄剤が主面貫通孔13hを経由して接合界面に侵入することにより、III族窒化物複合基板1の接合強度が低下する場合がある。主面貫通孔13hの面積が主面1mの面積の10%より大きくなると、非接合領域100nの面積が大きくなり、III族窒化物半導体デバイスの歩留まりを高めることが困難となる。

[0044] (接合界面における金属を含む不純物)

図1～図3を参照して、本実施形態のIII族窒化物複合基板1は、接合強度を高めることにより高い歩留まりでIII族窒化物半導体デバイスを製造する観点から、III族窒化物膜13と支持基板11との接合界面100に含まれる金属を含む不純物の濃度は、 $1 \times 10^{10} \text{ cm}^{-2}$ 以上であることが好ましく、 $1.5 \times 10^{10} \text{ cm}^{-2}$ 以上であることがより好ましい。金属を含む不純物は、特に制限はないが、接合強度を高める観点から、III族窒化物複合基板1が接合膜12として SiO_2 膜などの酸化物膜を含む場合は、Fe(鉄)、Ni(ニッケル)などのイオン化傾向がH(水素)より大きく酸化しやすい卑金属の酸化物が好ましい。

[0045] (III族窒化物膜の熱膨張係数と支持基板の熱膨張係数)

図1～図3を参照して、本実施形態のIII族窒化物複合基板1は、III族窒化物半導体デバイスの製造の際に反りおよび／またはクラックの発生を抑制することにより、高い歩留まりでIII族窒化物半導体デバイスを製造する観点から、III族窒化物膜13の熱膨張係数は、支持基板11の熱膨張係数に対して、0.7倍より大きく1.4倍より小さいことが好ましく、0.75倍以上1.25倍以下がより好ましい。

[0046] (支持基板の破壊靱性と厚さ)

図1～図3を参照して、本実施形態のIII族窒化物複合基板1は、III

I族窒化物半導体デバイスの製造の際に反りおよび／またはクラックの発生を抑制する観点から、支持基板の破壊靱性は、好ましくは $1\text{ MN m}^{-2/3}$ 以上であり、より好ましくは $1.5\text{ MN m}^{-2/3}$ 以上である。また、支持基板の厚さは、好ましくは $50\text{ }\mu\text{m}$ 以上であり、より好ましくは $100\text{ }\mu\text{m}$ 以上である。

[0047] [実施形態2：III族窒化物複合基板の製造方法]

図1、図2および図4を参照して、本発明の別の実施形態であるIII族窒化物複合基板1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、III族窒化物膜13と支持基板11とを、直接的および間接的のいずれかの形態で、貼り合わせる工程（図4（A））と、III族窒化物膜13および支持基板11の少なくとも1つの厚さを小さくする工程（図4（B））と、を含む。本実施形態のIII族窒化物複合基板1の製造方法は、上記の工程を備えることにより、高い歩留まりでシート抵抗の低いIII族窒化物複合基板を製造することができる。

[0048] （III族窒化物膜と支持基板とを貼り合わせる工程）

図1、図2および図4を参照して、本実施形態のIII族窒化物複合基板1の製造方法は、まず、III族窒化物膜13と支持基板11とを、直接的および間接的のいずれかの形態で、貼り合わせる工程を含む。ここで、III族窒化物膜13と支持基板11とを直接的な形態で貼り合わせるとは、III族窒化物膜13と支持基板11とを、その間に他のものを介在させることなく、直接貼り合わせることをいう。また、III族窒化物膜13と支持基板11とを間接的な形態で貼り合わせるとは、III族窒化物膜13と支持基板11とを、その間に他のもの、たとえば接合膜12を介在させて、間接的に貼り合わせることをいう。

[0049] III族窒化物膜13と支持基板11とを貼り合わせる方法は、直接的および間接的のいずれの貼り合わせ形態であっても、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 $600^{\circ}\text{C}\sim 1200^{\circ}\text{C}$ 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°C ） $\sim 400^{\circ}\text{C}$ 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、 $0.1\text{ MPa} \sim 10\text{ MPa}$ 程度の高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、 $10^{-6}\text{ Pa} \sim 10^{-3}\text{ Pa}$ 程度の高真空雰囲気下で接合する高真空接合法、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 $600^{\circ}\text{C} \sim 1200^{\circ}\text{C}$ 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、および高真空接合法においては、それらの接合後に $600^{\circ}\text{C} \sim 1200^{\circ}\text{C}$ 程度に昇温することによる接合強度を高める効果大きい。

[0050] III族窒化物膜13と支持基板11との貼り合わせにおいては、上記のように直接的および間接的のいずれの形態でも貼り合わせが可能であるが、接合強度を高くする観点から、図4(A)に示すように、III族窒化物膜13と支持基板11とを、その間に接合膜12を介在させて、間接的に貼り合わせることが好ましい。以下、詳細に説明する。

[0051] 図4(A)を参照して、III族窒化物膜13と支持基板11とをその間に接合膜12を介在させて間接的に貼り合わせる工程は、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4(A1))と、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4(A2))と、支持基板11の主面11m上に形成された接合膜12aとIII族窒化物膜13の主面13n上に形成された接合膜12bとを貼り合わせるサブ工程(図4(A3))と、を含む。これらのサブ工程により、互いに貼り合わされた接合膜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13とが、接合膜12を介在させて接合される。

[0052] 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も、支持基板11、III族窒化物膜13、および接合膜12、12a、12bの主面の面粗さ、III族窒化物膜13の主面貫通孔13h、ならびに貼り合わせの不均一さなどの存在により、接合界面100において、III族窒化物膜13と支持基板11とが直接的および間接的のいずれかで接合している接合領域

域 100b と、III 族窒化物膜 13 と支持基板 11 とが直接的および間接的のいずれにおいても接合していない非接合領域 100n と、が形成される。かかる接合領域 100b および非接合領域 100n については、上述のとおりである。

[0053] なお、接合膜 12a, 12b の形成方法は、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。また、接合膜 12a と接合膜 12b とを貼り合わせるにより、支持基板 11 と III 族窒化物膜 13 とを貼り合わせる方法は、特に制限はなく、上記したように、直接接合法、表面活性化接合法、高圧接合法、高真空接合法などが好適である。

[0054] （III 族窒化物膜および支持基板の少なくとも 1 つの基板の厚さを小さくする工程）

図 4（B）を参照して、本実施形態の III 族窒化物複合基板 1 の製造方法は、次いで、貼り合わされた III 族窒化物膜 13 および支持基板 11 の少なくとも 1 つの基板の厚さを小さくする工程と、を含む。ここで、III 族窒化物膜 13 および支持基板 11 の少なくとも 1 つの基板の厚さを小さくする方法は、特に制限はなく、厚さを小さくする基板を、主面に平行に切断する方法、主面を研削および／または研磨する方法、主面をエッチングする方法、レーザを用いた方法などが挙げられる。レーザを用いた方法とは、レーザビームの焦点が基板の主面から所定の深さに位置するようにしてレーザビームを照射する方法である。上記のレーザを用いた方法によれば、基板の主面から所定の深さの位置のレーザビームの焦点となった領域の化学組成が変化することにより、当該領域において基板を分離することができる。このようなレーザを用いた方法においては、基板の主面から所定の深さの位置の領域の化学組成を変化させ、上記領域以外の領域の化学組成を変化させない観点から、フェムト秒レーザ、ピコ秒レーザが好ましく用いられる。

[0055] [実施形態 3：III 族窒化物半導体デバイスの製造方法]

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の製造方法は、ⅠⅠⅠ族窒化物複合基板1を準備する工程と、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を成長させる工程と、を含む。本実施形態のⅠⅠⅠ族窒化物半導体デバイス4の製造方法は、上記の工程を備えることにより、高い歩留まりでⅠⅠⅠ族窒化物半導体デバイスを製造することができる。

[0056] (ⅠⅠⅠ族窒化物複合基板を準備する工程)

本実施形態のⅠⅠⅠ族窒化物半導体デバイス4の製造方法は、まず、ⅠⅠⅠ族窒化物複合基板1を準備する工程を含む。かかるⅠⅠⅠ族窒化物複合基板1を準備する工程は、実施形態2のⅠⅠⅠ族窒化物複合基板1の製造する方法における工程と同様である。

[0057] (ⅠⅠⅠ族窒化物層を成長させる工程)

本実施形態のⅠⅠⅠ族窒化物半導体デバイス4の製造方法は、次いで、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を成長させる工程を含む。

[0058] ⅠⅠⅠ族窒化物層20を成長させる方法は、特に制限はないが、結晶品質の高いⅠⅠⅠ族窒化物層20を成長させる観点から、気相法として、MOCVD（有機金属化学気相堆積）法、MBE（分子線成長）法、HVPE（ハイドライド気相成長）法、昇華法などが好適に挙げられ、液相法として、高窒素圧溶液法、フラックス法などが好適に挙げられる。

[0059] 成長させるⅠⅠⅠ族窒化物層20の構成は、ⅠⅠⅠ族窒化物半導体デバイスの種類および機能に応じて異なる。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族窒化物複合基板1のⅠⅠⅠ族窒化物膜13側の主面13m上に、ⅠⅠⅠ族窒化物層20として、第1導電型GaN層201、第1導電型 $Al_sGa_{1-s}N$ 層202（ここで、 s は $0 < s < 1$ ）、発光層203、第2導電型 $Al_tGa_{1-t}N$ 層204（ここで、 t は $0 < t < 1$ ）、および第2導電型GaN層205をこの順に成長させることができる。

[0060] 本実施形態のⅠⅠⅠ族窒化物半導体デバイス4の製造方法は、次いで、電

極（第1電極および第2電極）を形成する工程を含むことができる。III族窒化物層20の内、第2導電型GaN層204、発光層203、第1導電型 $Al_sGa_{1-s}N$ 層202、および第1導電型GaN層201のそれぞれの一部をメソエッチングにより除去して、第1導電型GaN層201の一部を露出させる。第1導電型GaN層201の露出した主面上に第1電極31を形成し、第2導電型GaN層の露出した主面上に第2電極を形成することができる。第1電極31および第2電極32の形成方法は、特に制限はなく、CVD（化学気相堆積）法、スパッタ法、蒸着法などが挙げられる。

[0061] 本発明の参考となるいくつかの参考発明として、参考発明I、参考発明II、および参考発明IIIについて、以下に説明する。

[0062] <参考発明I>

参考発明Iは、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に関する。

[0063] [参考発明Iに関する背景技術]

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。

[0064] たとえば、特開2009-126722号公報は、半導体デバイス用基板として、直径が25mm以上160mm以上で厚さが100 μ m以上1000 μ m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100mmで厚さが400 μ mの自立GaN基板を開示する。

[0065] また、特開2008-010766号公報は、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 μ m以上100 μ m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 μ mまたは100 μ mのGaN薄膜とを貼り合わされている直径が50.8mmのGaN薄膜貼り合わせ基板を開示する。

[0066] また、特開2010-182936号公報は、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Ga₂N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Ga₂N層の厚さが5 μ m～220 μ mで直径が50.8 mmの複合基板を開示する。

[0067] [参考発明Iが解決しようとする課題]

特開2009-126722号公報に開示される自立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。

[0068] 特開2008-010766号公報に開示されるGa₂N薄膜の厚さが0.1 μ mであるGa₂N薄膜貼り合わせ基板は、Ga₂N薄膜の形成のためにイオン注入を行なっているが、イオン注入により、Ga₂N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Ga₂N薄膜の厚さを10 μ m以上にすることが好ましいが、Ga₂N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Ga₂N薄膜複合基板のGa₂N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。

[0069] また、特開2008-010766号公報に開示されるGa₂N薄膜の厚さが100 μ mのGa₂N薄膜貼り合わせ基板、および特開2010-182936号公報に開示されるGa₂N層の厚さが5 μ m～22 μ mの複合基板は、いずれも直径が50.8 mm程度であり、直径を大きくするとGa₂N薄膜またはGa₂N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。

[0070] 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。

[0071] 参考発明I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。

[0072] [課題を解決するための手段]

参考発明Ⅰは、ある局面に従えば、支持基板と、厚さが $10\mu\text{m}$ 以上 $250\mu\text{m}$ 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。

[0073] 参考発明Ⅰのかかる局面に従うⅠⅠⅠ族窒化物複合基板において、ⅠⅠⅠ族窒化物複合基板のⅠⅠⅠ族窒化物膜側の主面における反りを $50\mu\text{m}$ 以下とし、ⅠⅠⅠ族窒化物複合基板の全体厚さ分布（TTVともいう。以下同じ。）を $30\mu\text{m}$ 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ⅠⅠⅠ族窒化物膜の厚さ $t_{\text{III-N}}$ の比 $t_{\text{III-N}}/t_s$ を 0.02 以上 1 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 3×10^{12} 原子/ cm^2 以下とすることができる。また、ⅠⅠⅠ族窒化物膜の主面の二乗平均平方根粗さを 3nm 以下とすることができる。また、支持基板の主面の二乗平均平方根粗さを 12nm 以下とすることができる。また、ⅠⅠⅠ族窒化物複合基板の直径を 100mm 以上とすること、さらに、 125mm 以上 300mm 以下とすることができる。また、ⅠⅠⅠ族窒化物膜の主面は、その二乗平均平方根粗さの平均値 $m_{\text{III-N}}$ を 0.1nm 以上 2nm 以下とし、その二乗平均平方根粗さの標準偏差 $s_{\text{III-N}}$ を 0.4nm 以下とし、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 を 0.3nm 以上 10nm 以下とし、その二乗平均平方根粗さの標準偏差 s_s を 3nm 以下とすることができる。

[0074] 参考発明Ⅰ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。

[0075] 参考発明Ⅰ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。

[0076] 参考発明Ⅰ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。

[0077] 参考発明Ⅰ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ずれかを行なうことにより、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。

[0078] 参考発明Ⅰ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。

[0079] 参考発明Ⅰのかかる局面に従うⅠⅠⅠ族窒化物半導体デバイスの製造方法は、ⅠⅠⅠ族窒化物層上にさらにデバイス支持基板を貼り合わせる工程と、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

ことができる。

[0080] [参考発明Ⅰの効果]

参考発明Ⅰ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。

[0081] [参考形態Ⅰ－１：ⅠⅠⅠ族窒化物複合基板]

図６を参照して、参考発明Ⅰのある参考形態であるⅠⅠⅠ族窒化物複合基板１は、支持基板１１と、厚さが $10\mu\text{m}$ 以上 $250\mu\text{m}$ 以下の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 0.001 以上 0.2 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。

[0082] 本参考形態のⅠⅠⅠ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ⅠⅠⅠ族窒化物膜１３が、その厚さが $10\mu\text{m}$ 以上 $250\mu\text{m}$ 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 以下であることにより、ⅠⅠⅠ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まりよく得ることができる。

[0083] 本参考形態の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。

[0084] (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、７５mm以上であり、１００mm以上が好ましく、１２５mm以上がより好ましく、１５０mm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、３００mm以下が好ましく、２００mm以下がより好ましい。

[0085] (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、５０μm以下が好ましく、３０μm以下がより好ましく、２０μm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１３m内の任意の各点との距離の二乗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、レーザ変位計などにより測定される。

[0086] (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をいう。平坦度の評価指標のひとつである。GBIR（Global Backside Ideal Range）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、３０μm以下が好ましく、２０μm以下がより好ましく、１０μm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１３m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、レーザ変位計などにより測定される。

[0087] (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 $\alpha_{\text{III-N}}$ の比 $\alpha_{\text{III-N}}/\alpha_s$ 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。

[0088] また、支持基板の厚さ t_s に対するⅠⅠⅠ族窒化物膜の厚さ $t_{\text{III-N}}$ の比 $t_{\text{III-N}}/t_s$ 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。

[0089] (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 $\alpha_{\text{III-N}}$ の比 $\alpha_{\text{III-N}}/\alpha_s$ 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($3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \sim 2\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$)、ムライトー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、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。

[0090] なお、ⅠⅠⅠ族窒化物複合基板１における支持基板１１の主面１１ｎの二

乗平均平方根粗さ（以下、RMSともいう。）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11nのRMSは、III族窒化物膜13を貼り合わせる前に研磨したり、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11nのRMSは、支持基板11の主面11n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。

[0091] 支持基板11の主面11n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11n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13m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11n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11n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11n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。

[0092] ここで、支持基板11の主面11nのRMSの平均値 m_s および標準偏差 s_s は、それぞれ、図7に示す支持基板11の主面11n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7に示す支持基板11の主面11n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_0 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。

[0093] (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。

[0094] (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 ($0 \leq x$ 、 $0 \leq y$ 、 $x + y \leq 1$) などが挙げられる。

[0095] 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、 $10\mu m$ 以上であり、 $30\mu m$ 以上が好ましく、 $50\mu m$ 以上がより好ましく、 $100\mu m$ 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族窒化物の使用量を低減する観点から、 $250\mu m$ 以下であり、 $200\mu m$ 以下が好ましく、 $170\mu m$ 以下が好ましく、 $150\mu m$ 以下がより好ましい。

[0096] 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。

[0097] 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 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

、 0.08 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 111 族窒化物膜 13 上に成長させる 111 族窒化物層のモフォロジーが低下した部分が面内に生じ、また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。

[0098] 111 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。 111 族窒化物膜 13 の主面 $13m$ 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、 111 族窒化物膜 13 の主面 $13m$ 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、 111 族窒化物膜 13 の主面 $13m$ 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。

[0099] ここで、 111 族窒化物膜 13 の厚さの平均値 m_t 、厚さの標準偏差 m_t 、オフ角の平均値 m_o 、およびオフ角の標準偏差 s_o は、それぞれ、図7に示す 111 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7に示す 111 族窒化物膜 13 の主面 $13m$ 上の 13 点の測定点 P は、 111 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。

[0100] III族窒化物膜13の主面13m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/cm²以下が好ましく、 4×10^{11} 原子/cm²以下がより好ましく、 1×10^{11} 原子/cm²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、C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。

[0101] III族窒化物膜13の主面13mのRMS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くする観点から、3nm以下が好ましく、2nm以下がより好ましく、1nm以下がさらに好ましい。

[0102] III族窒化物膜13の主面13mは、そのRMSの平均値 m_{III-N} が0.1nm以上2nm以下であり、そのRMSの標準偏差 s_{III-N} が0.4nm以下であることが好ましい。III族窒化物膜13の主面13mについて、そのRMSの平均値 m_{III-N} を2nm以下とし、そのRMSの標準偏差 s_{III-N} を0.4nm以下とすることにより、III族窒化物膜13の主面13m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13mのRMSの平均値 m_{III-N} を0.1nm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13mのRMSの平均値 m_{III-N} は、0.1nm以上1.5nm以下がより好ましく、0.2nm以上1nm以下がさらに好ましい。また、III族窒化物膜13の主面13mのRMSの標準偏差 s_{III-N} は、0.3nm以下がより好ましく、0.2nm以下がさらに好ましい。

[0103] ここで、III族窒化物膜13の主面13m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 7 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。

[0104] [参考形態 1-2：積層 III 族窒化物複合基板]

図 8 を参照して、参考発明 1 の別の参考形態である積層 III 族窒化物複合基板 2 は、参考形態 1-1 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。

[0105] 本参考形態の積層 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。

[0106] 本参考形態の積層 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。図 9 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、 $n\text{-Ga}_x\text{N}_{1-x}$ 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 $p\text{-Ga}_x\text{N}_{1-x}$ 層 25 で構成することができる。図 10 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 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、 $\text{Ga}_x\text{N}_{1-x}$ 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 11 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 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、 $n^+\text{-Ga}_x\text{N}_{1-x}$ 層 28（キャリア濃度がたとえば $2 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ ）、 $n^-\text{-Ga}_x\text{N}_{1-x}$ 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。

[0107] [参考形態 1-3 : III 族窒化物半導体デバイス]

図 9 および図 10 を参照して、参考形態 1 のさらに別の参考形態である III 族窒化物半導体デバイス 4 は、参考形態 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。

[0108] 本参考形態の 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角分布が小さい III 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 III 族窒化物層 20 と、を含んでいるため、高い特性を有する。

[0109] 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 9 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、 $n\text{-Ga}\text{N}$ 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 $p\text{-Ga}\text{N}$ 層 25 で構成することができる。図 10 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 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 11 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 SBD を作製する場合は、III 族窒化物層は、たとえば、 $n^+\text{-Ga}\text{N}$ 層 28 (キャリア濃度がたとえば $2 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$)、 $n^-\text{-Ga}\text{N}$ 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。

[0110] 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。

[0111] [参考形態 1-4 : III 族窒化物複合基板の製造方法]

図 1 2 および図 1 3 を参照して、参考発明 1 のさらに別の参考形態である 1 1 1 族窒化物複合基板の製造方法は、参考形態 1 - 1 の 1 1 1 族窒化物複合基板 1 の製造方法であって、支持基板 1 1 と、1 1 1 族窒化物膜ドナー基板 1 3 D と、を貼り合わせるることにより、直径が 7 5 m m 以上の接合基板 1 L, 1 L S を形成する工程（図 1 2 (A) ~ (C)、図 1 3 (A) ~ (C)）と、接合基板 1 L, 1 L S の 1 1 1 族窒化物膜ドナー基板 1 3 D 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 1 1 1 族窒化物膜ドナー基板 1 3 D を切断することにより、1 1 1 族窒化物複合基板 1 を形成する工程（図 1 2 (D)、図 1 3 (D)）と、を含む。

[0112] 本参考形態の 1 1 1 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 1 1 1 族窒化物膜を有する 1 1 1 族窒化物複合基板 1 を効率よく製造することができる。

[0113] ここで、1 1 1 族窒化物複合基板 1 を形成する工程において、1 1 1 族窒化物膜ドナー基板 1 3 D を切断する際の 1 1 1 族窒化物膜ドナー基板 1 3 D 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 1 1 1 族窒化物複合基板 1 の 1 1 1 族窒化物膜 1 3 の厚さに応じて決められる。

[0114] また、1 1 1 族窒化物複合基板 1 を形成する工程において、1 1 1 族窒化物膜ドナー基板 1 3 D を切断して 1 1 1 族窒化物膜 1 3 を形成した後に、1 1 1 族窒化物膜 1 3 の貼り合わせ主面 1 3 n と反対側の主面 1 3 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ことにより、1 1 1 族窒化物膜 1 3 の厚さを低減することができる。特に、1 1 1 族窒化物膜ドナー基板 1 3 D の切断により形成される 1 1 1 族窒化物膜 1 3 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 1 1 1 族窒化物複合基板 1 の 1 1 1 族窒化物膜 1 3 の主面を研磨することが好ましい。研磨方法は、1 1 族窒化物膜 1 3 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。

[0115] 上記の観点から、ⅠⅠⅠ族窒化物膜ドナー基板13Dを切断する際のⅠⅠⅠ族窒化物膜ドナー基板13Dの貼り合わせ主面13n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。

[0116] 本参考形態の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13n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13nと反対側の主面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を行なうことにより、膜厚を減少させて調整して、10μm以上250μm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。

[0117] なお、本参考形態の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、500μmより大きいことが好ましく、1mm以上がより好ましく、2mm以上がさらに好ましい。

[0118] （接合基板の形成工程）

図12（A）～（C）および図13（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11m上に接合膜12aを形成するサブ工程（図12（A）、図13（A））と、ⅠⅠⅠ族窒化物膜ドナー基板13Dの主面13n上に接合膜12bを形成するサブ工程（図12（B）、図13（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12（C）、図13（C））と、を含む。

[0119] 図12（A）および図13（A）を参照して、支持基板11の主面11m

上に接合膜 1 2 a を形成するサブ工程において、接合膜 1 2 a は、後述する接合膜 1 2 b と一体化して接合膜 1 2 を形成するものであり、接合膜 1 2 と同様の材料で形成される。また、接合膜 1 2 a を形成する方法は、その接合膜 1 2 a 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 1 2 a を効率的に形成する観点から、スパッタ法、C V D（化学気相堆積）法、P L D（パルスレーザ堆積）法、M B E（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 C V D が好ましい。ここで、C V D のうち、低温で成膜できかつ成膜速度が高い観点から P-C V D（プラズマ化学気相堆積）法、P E-C V D（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 L P-C V D（減圧化学気相堆積）法などがさらに好ましい。

[0120] さらに、接合強度を向上させるために、接合膜 1 2 a, 1 2 b 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 1 2 a, 1 2 b から脱ガスさせて、接合膜 1 2 a, 1 2 b を緻密化させることができる。

[0121] さらに、接合膜 1 2 a は、支持基板 1 1 と I I I 族窒化物膜ドナー基板 1 3 D との接合強度を高める観点から、その主面 1 2 a m を鏡面（たとえば、R M S が 0. 3 n m 以下の鏡面）に研磨することが好ましい。接合膜 1 2 a の主面 1 2 a m を研磨する方法は、特に制限はなく、たとえば C M P（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 C M P 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、K O H、T M A H（水酸化テトラメチルアンモニウム）などのアルカリ、H C l、H N O₃、H₂S O₄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。

[0122] 図12(B)および図13(B)を参照して、III族窒化物膜ドナー基板13Dの主面13n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 が0.005以上0.6以下であることが好ましい。

[0123] 接合膜12bを形成する材料および方法ならびにその主面12bn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12amの研磨とそれぞれ同様である。

[0124] 図12(C)および図13(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程度の高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。

[0125] 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。

[0126] 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。

[0127] (III族窒化物複合基板の形成工程)

図12(D)および図13(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13n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。

[0128] 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。

[0129] 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や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。

[0130] 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。

[0131] 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。

[0132] 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１３m、１１n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なうことができる。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。

[0133] 上記のように、本参考形態の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１３ｍを研磨することが好ましい。

[0134] このため、本参考形態の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１３ｎ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（けんましり）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、 $10\mu\text{m}$ 以上が好ましく、 $20\mu\text{m}$ 以上がより好ましく、 $30\mu\text{m}$ 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の材料ロスを低減する観点から、 $100\mu\text{m}$ 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。

[0135] また、図１２（Ｄ）および（Ｂ）ならびに図１３（Ｄ）および（Ｂ）を参照して、残りのⅠⅠⅠ族窒化物膜ドナー基板１３Ｄ_r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。

[0136] (支持体付ⅠⅠⅠ族窒化物膜ドナー基板の利用)

図13(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、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。

[0137] 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。

[0138] [参考形態Ⅰー5：ⅠⅠⅠ族窒化物複合基板の別の製造方法]

図14を参照して、参考発明Ⅰのさらに別の参考形態であるⅠⅠⅠ族窒化物複合基板の製造方法は、参考形態Ⅰー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より、直径が75mm以上の接合基板1Lを形成する工程(図14(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14(D))と、を含む。

[0139] 本参考形態の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。

[0140] 本参考形態の 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。

[0141] なお、本参考形態の 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 の材料ロスを低減する観点から、用いられる III 族窒化物膜ドナー基板 13D の厚さは、 $500\mu\text{m}$ 以下が好ましく、 $400\mu\text{m}$ 以下がより好ましい。

[0142] (接合基板の形成工程)

図 14 (A) ~ (C) を参照して、接合基板 1L を形成する工程は、参考形態 1-4 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 11m 上に接合膜 12a を形成するサブ工程 (図 14 (A)) と、III 族窒化物膜ドナー基板 13D の主面 13n 上に接合膜 12b を形成するサブ工程 (図 14 (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 14 (C)) と、を含む。

[0143] ここで、図 14 (A) 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図 12 (A) 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と同様である。図 14 (B) に示す III 族窒化物膜ドナー基板 13D の主面 13n 上に接合膜 12b を形成するサブ工程は図 12 (B) に示す III 族窒化物膜ドナー基板 13D の主面 13n 上に接合膜 12b を形成するサブ工程と同様である。図 14 (C) に示す支持基板 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は図 12 (C) に示す支

持基板 1 1 に形成された接合膜 1 2 a 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 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。

[0144] (I I I 族窒化物複合基板の形成工程)

図 1 4 (D) を参照して、 I I I 族窒化物複合基板 1 を形成する工程において、接合基板 1 L の I I I 族窒化物膜ドナー基板 1 3 D の貼り合わせ主面 1 3 n と反対側の主面 1 3 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ことにより、 I I I 族窒化物膜ドナー基板 1 3 D からその厚さが減少した I I I 族窒化物膜 1 3 が形成されて、支持基板 1 1 と I I I 族窒化物膜 1 3 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 が形成される。

[0145] I I I 族窒化物膜ドナー基板 1 3 D 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。 I I I 族窒化物膜ドナー基板 1 3 D 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。 I I I 族窒化物膜ドナー基板 1 3 D 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。

[0146] また、形成される I I I 族窒化物膜 1 3 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 I I I 族窒化物複合基板 1 の I I I 族窒化物膜 1 3 の主面 1 3 m 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、 $10\mu\text{m}$ 以上が好ましく、 $20\mu\text{m}$ 以上がより好ましく、 $30\mu\text{m}$ 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、 I I I 族窒化物膜ドナー基板 1 3 D の材料ロスを低減する観点から、 $100\mu\text{m}$ 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。

[0147] [参考形態 1-6 : III族窒化物半導体デバイスの製造方法]

図 15 を参照して、参考発明 1 のさらに別の参考形態である III族窒化物半導体デバイスの製造方法は、参考形態 1-1 の III族窒化物複合基板 1 を準備する工程と、 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（図 15 (A)）と、を含む。本参考形態の III族窒化物半導体デバイスの製造方法により、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。

[0148] 本参考形態の 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 上にさらにデバイス支持基板 40 を貼り合わせる工程（図 15 (B)）と、 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 15 (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。

[0149] 本参考形態の 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。

[0150] (III族窒化物層の成長工程)

図 15 (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。

[0151] 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には、 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 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 -Ga_{0.91}N 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。

[0152] 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。

[0153] (デバイス支持基板の貼り合わせ工程)

図１５（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。

[0154] (支持基板の除去工程)

図１５（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。

[0155] (電極の形成工程)

図１５（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。

[0156] <参考発明ⅠⅠ>

参考発明ⅠⅠは、半導体デバイスの製造の際のコストを低減し、高い歩留でⅢ族窒化物半導体デバイスの製造が可能な、コストが低く大口径でⅢ族窒化物膜が厚く、Ⅲ族窒化物層の成長の際に主面上における温度の分布が小さい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。

[0157] [参考発明ⅠⅠに関する背景技術]

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。また、GaNなどのⅢ族窒化物は、半導体デバイスの種別、たとえば、発光デバイス、電子デバイスにおいて、Si、GaAs、SiC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。

[0158] たとえば、特開2009-126722号公報は、半導体デバイス用基板として、直径が25mm以上160mm以上で厚さが100μm以上1000μm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100mmで厚さが400μmの自立GaN基板を開示する。

[0159] また、特開2008-010766号公報は、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0.1μm以上100μm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0.1μmまたは100μmのGaN薄膜とが貼り合わされている直径が50.8mmのGaN薄膜貼り合わせ基板を開示する。

[0160] また、特開2010-182936号公報は、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層とが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 $5\mu\text{m}\sim 220\mu\text{m}$ で直径が 50.8mm の複合基板を開示する。

[0161] [参考発明ⅠⅠが解決しようとする課題]

特開2009-126722号公報に開示される自立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。

[0162] 特開2008-010766号公報に開示される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 $10\mu\text{m}$ 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薄膜の厚さのバラツキが大きくなるという問題があった。

[0163] また、特開2008-010766号公報に開示されるGaN薄膜複合基板および特開2010-182936号公報に開示される複合基板は、いずれも支持基板上にⅠⅠⅠ族窒化物の膜または層が接合された複合基板であるため、特開2009-126722号公報に開示された自立ⅠⅠⅠ族窒化物基板に比べて、ⅠⅠⅠ族窒化物半導体デバイスを製造するために基板上にⅠⅠⅠ族窒化物層を成長させる際に基板の主面上における温度のバラツキが大きくなり易いため、基板の直径を大きくすると製造される半導体デバイスの歩留を高くすることが困難という問題があった。

[0164] 参考発明ⅠⅠ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、高い歩留でⅠⅠⅠ族窒化物半導体デバイスの製造が可能な、

コストが低く大口径でⅠⅠⅠ族窒化物膜が厚く、ⅠⅠⅠ族窒化物層の成長の際に主面上における温度の分布（すなわち、バラツキ、以下同じ。）が小さい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。

[0165] [課題を解決するための手段]

参考発明ⅠⅠは、ある局面に従えば、支持基板と、厚さが $10\mu\text{m}$ 以上 $250\mu\text{m}$ 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、支持基板側の主面の二乗平均平方根粗さの平均値 m_s が 0.3nm 以上 20nm 以下であり、支持基板側の主面の二乗平均平方根粗さの平均値 m_s に対する二乗平均平方根粗さの標準偏差 s_s の比 s_s/m_s が 0.005 以上 0.4 以下であるⅠⅠⅠ族窒化物複合基板である。

[0166] 参考発明ⅠⅠ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 0.15nm 以上 3nm 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 に対する支持基板側の主面の反り 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ⅠⅠⅠ族窒化物膜の厚さ $t_{\text{III-N}}$ の比 $t_{\text{III-N}}/t_s$ を 0.02 以上 1 以下とすることができる。また、支持基板の熱伝導率 λ_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 150GPa 以上 500GPa 以下とすることができる。また、直径を 100mm 以上とすることができる。さらに、直径を 125mm 以上 300mm 以下とすることができる。

[0167] 参考発明ⅠⅠ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。

[0168] 参考発明ⅠⅠ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。

[0169] 参考発明ⅠⅠ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、ⅠⅠⅠ族窒化物複合基板を形成する工程と、上記工程のいずれかひとつの工程の前、途中または後に、ⅠⅠⅠ族窒化物複合基板の支持基板側の主面を研磨することにより支持基板側の主面の二乗平均平方根粗さを調整する工程と、を含むⅠⅠⅠ族窒化物複合基板の製造方法である。

[0170] 参考発明ⅠⅠ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ずれかを行なうことにより、ⅠⅠⅠ族窒化物複合基板を形成する工程と、上記工程のいずれかひとつの工程の前、途中または後に、ⅠⅠⅠ族窒化物複合基板の支持基板側の主面を研磨することにより支持基板側の主面の二乗平均平方根粗さを調整する工程と、を含むⅠⅠⅠ族窒化物複合基板の製造方法である。

[0171] 参考発明ⅠⅠ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。

[0172] 参考発明ⅠⅠのかかる局面に従う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、ⅠⅠⅠ族窒化物層上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。

[0173] [参考発明ⅠⅠの効果]

参考発明ⅠⅠによれば、半導体デバイスの製造の際のコストを低減し、高い歩留でⅠⅠⅠ族窒化物半導体デバイスの製造が可能な、コストが低く大口径でⅠⅠⅠ族窒化物膜が厚く、ⅠⅠⅠ族窒化物層の成長の際に主面上における温度の分布が小さい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ができる。

[0174] [参考形態ⅠⅠー１：ⅠⅠⅠ族窒化物複合基板]

図６を参照して、参考発明ⅠⅠのある参考形態であるⅠⅠⅠ族窒化物複合基板１は、支持基板１１と、厚さが $10\mu\text{m}$ 以上 $250\mu\text{m}$ 以下の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、支持基板１１側の主面１１ｎの二乗平均平方根粗さ（以下、 RMS ともいう。）の平均値 m_s が 0.3nm 以上 20nm 以下であり、支持基板１１側の主面１１ｎの RMS の平均値 m_s に対する RMS の標準偏差 s_s の比 s_s/m_s が 0.005 以上 0.4 以下である。

[0175] 本参考形態のⅠⅠⅠ族窒化物複合基板１は、ⅠⅠⅠ族窒化物半導体デバイスを製造するためのⅠⅠⅠ族窒化物層の成長の際に主面上における温度の分布（すなわちバラツキ）が小さいため、結晶品質の高いⅠⅠⅠ族窒化物層を成長させることができ、このため高い歩留で高品質のⅠⅠⅠ族窒化物半導体デバイスを製造することができる。以下に、より詳しく説明する。

[0176] 図６および図８を参照して、本参考形態のⅠⅠⅠ族窒化物複合基板１は、支持基板１１上にⅠⅠⅠ族窒化物膜１３が貼り合わされた構造を有しており

、Ⅲ族窒化物半導体デバイスを製造する際に、昇温装置を備えるサセプタ（図示せず）の主面にⅢ族窒化物複合基板１の裏面側に相当する支持基板１１側の主面１１ｎが対向するように配置して、Ⅲ族窒化物複合基板１の表（おもて）面側に相当する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。

[0177] 本参考形態のⅢ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Ⅲ族窒化物膜１３の厚さが１０μｍ以上２５０μｍ以下であり、支持基板１１側の主面１１ｎのＲＭＳの平均値 m_s が０．３ｎｍ以上２０ｎｍ以下で、支持基板１１側の主面１１ｎのＲＭＳの平均値 m_s に対するＲＭＳの標準偏差 s_s の比 s_s/m_s が０．００５以上０．４以下であることから、昇温されたサセプタの主面から大口径のⅢ族窒化物複合基板１の裏面側であるＲＭＳの平均および分布が小さな支持基板１１側の主面１１ｎの全体に均一に熱が伝わるため、大口径のⅢ族窒化物複合基板１の全体が均一に加熱される。これにより、大口径の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上における温度の分布が小さく均一になることから、大口径のⅢ族窒化物複合基板１のⅢ族窒化物膜１３側の主面１３ｍ上に結晶品質が高く均一な大口径のⅢ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Ⅲ族窒化物半導体デバイスを歩留よく製造できる。

[0178] なお、図６を参照して、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とを貼り合わせる形態は、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。

[0179] （Ⅲ族窒化物膜の厚さ）

図６および図７を参照して、本参考形態のⅢ族窒化物複合基板１のⅢ族窒化物膜１３の厚さは、１０μｍ以上２５０μｍ以下である。ここで、Ⅲ族窒化物膜１３の厚さとは、図７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7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。

[0180] 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、 $10\mu\text{m}$ 以上が必要であり、 $30\mu\text{m}$ 以上が好ましく、 $80\mu\text{m}$ 以上がより好ましく、 $100\mu\text{m}$ 以上がさらに好ましく、ⅠⅠⅠ族窒化物複合基板1の材料コストを抑制する観点から、 $250\mu\text{m}$ 以下が必要であり、 $200\mu\text{m}$ 以下が好ましく、 $180\mu\text{m}$ 以下がより好ましく、 $130\mu\text{m}$ 以下がさらに好ましい。

[0181] (ⅠⅠⅠ族窒化物複合基板の直径)

図6を参照して、本参考形態のⅠⅠⅠ族窒化物複合基板1の直径は、 $75\mu\text{m}$ 以上である。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、 75mm 以上が必要であり、 100mm 以上が好ましく、 125mm 以上がより好ましく、 150mm 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、 300mm 以下が好ましく、 200mm 以下がより好ましい。

[0182] (支持基板側の主面のRMS)

図6および図7を参照して、本参考形態のⅠⅠⅠ族窒化物複合基板1は、支持基板11側の主面11nのRMSの平均値 m_s が 0.3nm 以上 20nm 以下であり、支持基板11側の主面11nのRMSの平均値 m_s に対するRMSの標準偏差 s_s の比 s_s/m_s が 0.005 以上 0.4 以下である。

[0183] ⅠⅠⅠ族窒化物複合基板1の裏面側である支持基板11側の主面11nについて、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R

MSの平均値 m_s は、20 nm以下が必要であり、10 nm以下が好ましく、5 nm以下がより好ましく、そのRMSの平均値 m_s に対するそのRMSの標準偏差 s_s の比 s_s/m_s は、0.4以下が必要であり、0.3以下が好ましく、0.2以下がより好ましい。

[0184] また、III族窒化物複合基板1の裏面側である支持基板11側の主面11nについて、かかる主面11nの表面処理コストを抑制する観点から、そのRMSの平均値 m_s は、0.3 nm以上が必要であり、0.5 nm以上が好ましく、1 nm以上がより好ましく、そのRMSの平均値 m_s に対するそのRMSの標準偏差 s_s の比 s_s/m_s は、0.005以上が必要であり、0.01以上が好ましく、0.05以上がより好ましい。

[0185] ここで、図7を参照して、III族窒化物複合基板1の支持基板11側の主面11nのRMSの平均値 m_s および標準偏差 s_s は、それぞれ、支持基板11の主面11n上の13点の測定点P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7に示す支持基板11の主面11n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 P_o 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。

[0186] また、図7に示す支持基板11の主面11n上の13点の測定点Pにおいて測定したRMSとは、その測定点Pを中心とする $85\ \mu\text{m} \times 85\ \mu\text{m}$ 角の大き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。

[0187] なお、III族窒化物複合基板1の支持基板11側の主面11nのRMSの平均値 m_s および標準偏差 s_s は、後述するように、支持基板11の主面11nを研磨する際の研磨剤、定盤、および研磨パッドの物性、定盤、および研

磨パッドの形状、ならびに研磨条件によって調整することができる。

[0188] (I I I 族窒化物膜側の主面の RMS)

図 6 および図 7 を参照して、本参考形態の I I I 族窒化物複合基板 1 は、
I I I 族窒化物膜 1 3 側の主面 1 3 m の RMS の平均値 m_{III-N} が 0. 1 5 n m
以上 3 n m 以下が好ましく、I I I 族窒化物膜 1 3 側の主面 1 3 m の RMS
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. 0 0 8 以上 0.
5 以下が好ましい。

[0189] I I I 族窒化物複合基板 1 の表面側である I I I 族窒化物膜 1 3 側の主面
1 3 m について、その上に結晶品質が高く均一な I I I 族窒化物層を成長さ
せる観点から、その RMS の平均値 m_{III-N} は、3 n m 以下が好ましく、2 n m
以下がより好ましく、1. 6 n m 以下がさらに好ましく、その RMS の平均
値 m_{III-N} に対するその RMS 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。

[0190] また、I I I 族窒化物複合基板 1 の表面側である I I I 族窒化物膜 1 3 側
の主面 1 3 m について、かかる主面 1 3 m の表面処理コストを抑制する観点
から、その RMS の平均値 m_{III-N} は、0. 1 5 n m 以上が好ましく、0. 4 n
m 以上がより好ましく、0. 8 n m 以上がさらに好ましく、その RMS の平
均値 m_{III-N} に対するその RMS の標準偏差 s_{III-N} の比 s_{III-N}/m_{III-N} は、0. 0 0
8 以上が好ましく、0. 0 2 以上がより好ましく、0. 0 5 以上がさらに好
ましい。

[0191] ここで、図 7 を参照して、I I I 族窒化物複合基板 1 の I I I 族窒化物膜
1 3 側の主面 1 3 m の RMS の平均値 m_{III-N} および標準偏差 s_{III-N} は、それぞれ
、I I I 族窒化物膜 1 3 の主面 1 3 m 上の 1 3 点の測定点 P 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 7 に示す I I I 族窒
化物膜 1 3 の主面 1 3 m 上の 1 3 点の測定点 P は、I I I 族窒化物膜 1 3 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 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 P_o 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。

[0192] また、図7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RMSとは、その測定点Pを中心とする $85\mu\text{m} \times 85\mu\text{m}$ 角の大き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。

[0193] 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RMSの平均値 m_{III-N} および標準偏差 s_{III-N} は、後述するように、III族窒化物膜13の主面13mを研磨する際の研磨剤、定盤、および研磨パッドの物性、定盤、および研磨パッドの形状、ならびに研磨条件によって調整することができる。

[0194] （直径に対する支持基板側の主面の反りの比）

図6を参照して、本参考形態のIII族窒化物複合基板1については、直径Dに対する支持基板11側の主面11n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、支持基板11側の主面11nが凹に反っているものを+（正）符号とし、支持基板11側の主面が凸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に対する支持基板11側の主面11n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族窒化物複合基板1のIII族窒化物膜13側の主面13m上にIII族窒化物層を成長させる際に、昇温されたサセプタの主面から大口径のIII族窒化物複合基板1の支持基板11側の主面11nの全体に均一に

熱が伝わるため、Ⅲ族窒化物複合基板 1 の全体が均一に加熱される。これにより、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 13 m 上における温度は分布が小さく均一になることから、Ⅲ族窒化物複合基板 1 のⅢ族窒化物膜 13 側の主面 13 m 上に結晶品質が高く均一な大口径の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製造できる。

[0195] (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 6 を参照して、本参考形態の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 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 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 α_s およびⅢ族窒化物膜 13 の熱膨張係数 α_{III-N} は、熱機械分析装置により測定することができる。

[0196] (支持基板の厚さに対するⅢ族窒化物膜の厚さの比)

図 6 を参照して、本参考形態の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 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_{III-N} の比 t_{III-N} / t_s が 0.02 以上 1 以下が好ましく、0.1 以上 0.6 以下がより好ましく、0.2 以上 0.4 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_{III-N} は、光学顕微鏡および／または SEM による膜の断面の観察、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。

[0197] 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 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_{III-N} の比 t_{III-N}/t_s が 0.02 以上 1 以下が好ましく、比 α_{III-N}/α_s が 0.85 以上 1.15 以下かつ比 t_{III-N}/t_s が 0.1 以上 0.6 以下がより好ましく、比 α_{III-N}/α_s が 0.95 以上 1.05 以下かつ比 t_{III-N}/t_s が 0.2 以上 0.4 以下がさらに好ましい。

[0198] (支持基板)

本参考形態の 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。

[0199] 本参考形態の 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。

[0200] 本参考形態の III 族窒化物複合基板 1 は、支持基板 11 の熱伝導率 λ_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、 $5\text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ 以上 $210\text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ 以下がより好ましく、 $10\text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ 以上 $120\text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ 以下がさらに好ましい。ここで、支持基板 11 の熱伝導率 λ_s は、レーザフラッシュ法により測定することができる。熱伝導率 λ_s が好ましくは $3\text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ 以上、より好ましくは $5\text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ 以上、さらに好ましくは $10\text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ 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 λ_s が好ましくは $280\text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ 以下、より好ましくは $210\text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ 以下、さらに好ましくは $120\text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ 以下、特に好ましくは $50\text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ 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 λ_s が $280\text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ 以下の支持基板１１は、熱伝導率 λ_s が約 $300\text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ 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。

[0201] 本参考形態のⅢ族窒化物複合基板１は、支持基板１１のヤング率 E_s が 150 GPa 以上 500 GPa 以下が好ましく、 200 GPa 以上 350 GPa 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 150 GPa 以上、より好ましくは 200 GPa 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 500 GPa 以下、より好ましくは 350 GPa 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。

[0202] 支持基板１１は、特に制限はないが、上記の観点から、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 $\alpha_{\text{III-N}}$ の比 $\alpha_{\text{III-N}}/\alpha_s$ が 0.75 以上 1.25 以下、支持基板１１の熱伝導率 λ_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、および支持基板１１のヤング率 E_s が 150 GPa 以上 500 GPa 以下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($3\text{ Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{ SiO}_2 \sim 2\text{ Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$)、ムライトー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、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。

[0203] 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、デバイス形成時に研削やエッチングでの除去が容易であり、反りや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。

[0204] (接合膜)

図6を参照して、本参考形態の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、SiO₂膜、Si₃N₄膜、TiO₂膜、Ga₂O₃膜などが好ましい。

[0205] (III族窒化物膜)

図6を参照して、本参考形態の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In_xAl_yGa_{1-x-y}N膜（0 ≤ x、0 ≤ y、x + y ≤ 1）などが挙げられる。

[0206] III族窒化物膜13の厚さは、上記のように、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以上が必要であり、30 μm以上が好ましく、80 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、上記のように、高価なIII族窒化物の使用量を低減する観点から、250 μm以下であり、200 μm以下が好ましく、180 μm以下がより好ましく、130 μm以下がさらに好ましい。

[0207] 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の主面13m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13m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。

[0208] III 族窒化物膜13の主面13m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、 1×10^{13} 原子/ cm^2 以下が好ましく、 3×10^{12} 原子/ cm^2 以下がより好ましく、 1×10^{12} 原子/ cm^2 以下がさらに好ましく、 1×10^{11} 原子/ cm^2 以下が特に好ましい。

[0209] 支持基板11として、ムライト（ $3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \sim 2\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$ ）、ムライトー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 III 族窒化物複合基板1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、界面活性剤および／または純水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（ $500\text{kHz} \sim 5\text{MHz}$ のメガソニック帯域の周波数の超音波を用いた洗浄）、ならびに低濃度の酸および／またはアルカリを用いた枚葉洗浄などの片面（この片面は III 族窒化物膜13の主面13mである）の洗浄などにより、 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ことが好ましい。また、支持基板側に保護膜を形成して金属原子の溶出を抑制することもできる。

[0210] また、 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、CⅢ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。Ⅲ族窒化物膜13の転位密度は、特に制限はないが、半導体デバイスのリーク電流を低減する観点から、 1×10^8 cm⁻²以下が好ましく、 1×10^7 cm⁻²以下がより好ましい。Ⅲ族窒化物膜13のキャリア濃度は、特に制限はないが、半導体デバイスの抵抗を低減する観点から、 1×10^{17} cm⁻³以上が好ましく、 1×10^{18} cm⁻³以上がより好ましい。

[0211] [参考形態Ⅰ－2：積層Ⅲ族窒化物複合基板]

図8を参照して、参考発明Ⅰの別の参考形態である積層Ⅲ族窒化物複合基板2は、参考形態Ⅰ－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。

[0212] 本参考形態の積層Ⅲ族窒化物複合基板2は、支持基板11側の主面11nのRMSの平均値 m_s および標準偏差 s_s が小さい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。

[0213] 本参考形態の積層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9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-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。図10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、GaN層26、Al_{0.2}Ga_{0.8}N層27で構成することができる。図11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^+-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。

[0214] [参考形態1-3：Ⅲ族窒化物半導体デバイス]

図9～図11を参照して、参考発明1のさらに別の参考形態であるⅢ族窒化物半導体デバイス4は、参考形態1-1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。

[0215] 本参考形態のⅢ族窒化物半導体デバイス4は、支持基板11側の主面11nのRMSの平均値 m_s および標準偏差 s_s が小さいⅢ族窒化物複合基板1中のⅢ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の高いⅢ族窒化物層20とを含むため、高い特性を有する。

[0216] 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9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、 $n-In_{0.05}Ga_{0.95}N$ 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。図10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HEMTの場合は、Ⅲ族窒化物層20は、たとえば、 GaN 層26、 $Al_{0.2}Ga_{0.8}N$ 層27で構成することができる。図11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。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、上記の半導体デバイスは、縦型であっても、横型であってもよい。

[0217] 図9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。

[0218] [参考形態11-4: III族窒化物複合基板の製造方法]

(参考形態11-4-1: III族窒化物複合基板のある製造方法)

図12および図13を参照して、参考発明11のさらに別の参考形態であるIII族窒化物複合基板の製造方法は、参考形態11-1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12(A)~(C)、図13(A)~(C))と、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、III族窒化物複合基板1を形成する工程(図12(D)、図13(D))と、上記工程のいずれかひとつの工程の前、途中または後に、III族窒化物複合基板1の支持基板11側の主面11nを研磨することにより支持基板11側の主面11nのRMSを調整する工程と、を含む。

[0219] 本参考形態の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な、コストが低く大口径でIII族窒化物膜が厚く、III族窒化物層の成長の際に主面上における温度の分布が小さい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。

[0220] ここで、III族窒化物複合基板1を形成する工程において、III族窒化物膜ドナー基板13Dを切断する際の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の厚さに応じて決められる。

[0221] また、ⅠⅠⅠ族窒化物複合基板 1 を形成する工程において、ⅠⅠⅠ族窒化物膜ドナー基板 1 3 D を切断してⅠⅠⅠ族窒化物膜 1 3 を形成した後に、ⅠⅠⅠ族窒化物膜 1 3 の貼り合わせ主面 1 3 n と反対側の主面 1 3 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ことにより、ⅠⅠⅠ族窒化物膜 1 3 の厚さを低減することができる。特に、ⅠⅠⅠ族窒化物膜ドナー基板 1 3 D の切断により形成されるⅠⅠⅠ族窒化物膜 1 3 の厚さの分布（すなわちバラツキ）を低減する観点から、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 1 3 の主面を研磨することが好ましい。研磨方法は、ⅠⅠ族窒化物膜 1 3 の厚さの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。

[0222] 上記の観点から、ⅠⅠⅠ族窒化物膜ドナー基板 1 3 D を切断する際のⅠⅠⅠ族窒化物膜ドナー基板 1 3 D の貼り合わせ主面 1 3 n 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 1 3 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。

[0223] 本参考形態のⅠⅠⅠ族窒化物複合基板 1 の製造方法において、接合基板 1 L、1 L S のⅠⅠⅠ族窒化物膜ドナー基板 1 3 D の貼り合わせ主面 1 3 n 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 1 3 D を切断してⅠⅠⅠ族窒化物膜 1 3 を形成し、好ましくはⅠⅠⅠ族窒化物膜 1 3 の貼り合わせ主面 1 3 n と反対側の主面 1 3 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ことにより、その厚さ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 1 3 を含むⅠⅠⅠ族窒化物複合基板 1 が得られる。

[0224] なお、本参考形態の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 1 3 D を切断する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 1 3 D の厚さは、 $500\mu\text{m}$ より大きいことが好ましく、 1mm 以上がより好ましく、 2mm 以上がさらに好ましい。

[0225] (接合基板の形成工程)

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

[0226] 図12(A)および図13(A)を参照して、支持基板11の主面11m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と同様の材料で形成される。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く、成膜速度がさらに高く生産性に優れる観点からAP-CVD(常圧化学気相堆積)法などがさらに好ましい。

[0227] 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。

[0228] 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1

3 Dとの接合強度を高める観点から、その主面 1 2 a m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 1 2 aの主面 1 2 a m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。

[0229] 図 1 2（B）および図 1 3（B）を参照して、III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において、III族窒化物膜ドナー基板 1 3 Dは、その後のサブ工程においてIII族窒化物膜 1 3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 1 3 Dを準備する方法は、特に制限はないが、結晶品質のよいIII族窒化物膜ドナー基板 1 3 D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 1 3 Dは、特に制限はないが、結晶品質のよいIII族窒化物膜 1 3を提供する観点から、提供すべきIII族窒化物膜 1 3と同程度の結晶品質を有していることが好ましい。

[0230] 接合膜 1 2 bを形成する材料および方法ならびにその主面 1 2 b nの研磨は、上記の接合膜 1 2 aを形成する材料および方法ならびにその主面 1 2 a mの研磨とそれぞれ同様である。

[0231] 図 1 2（C）および図 1 3（C）を参照して、支持基板 1 1の主面 1 1 m上に形成された接合膜 1 2 aの主面 1 2 a mとIII族窒化物膜ドナー基板

13Dの主面13n上に形成された接合膜12bの主面12bn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程度の高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大きい。

[0232] 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。

[0233] 上記のように、接合膜12a、12bの貼り合わせ面である主面12am、12bn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。貼り合わせ面である主面12am、12bn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。

[0234] （III族窒化物複合基板の形成工程）

図12（D）および図13（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の貼り合わせ面である主面13n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I

ⅠⅠ族窒化物膜ドナー基板 13D_r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。

[0235] 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。

[0236] 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や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。

[0237] 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。

[0238] なお、Ga₂N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 (単位: $\text{Pa} \cdot \text{s}$)、加工液の流量 Q (単位: m^3/s)、ワイヤー線速度 V (単位: m/s)、最大切断長さ L (単位: m)、切断速度 P (単位: m/s)、および同時切断数 n を用いて、 $R = (\eta \times Q \times V) / (L \times P \times n)$ で表される抵抗係数 R (単位: N) が、適切な範囲にあること、具体的には 4000N 以上 5000N 以下であることが好ましい。

[0239] 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、所望の厚さおよびそ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なうことができる。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、研磨後の厚さ分布を低減することができる。また、研磨定盤、パッドの形状に対応して貼り付け形状を制御することにより、研磨後の厚さの分布を低減することができる。

[0240] 上記のように、本参考形態の 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 13m を研磨することが好ましい。

[0241] このため、本参考形態の 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 13n 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 I I I 族窒化物膜 1 3 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、厚さ分布を低減しかつダメージ層を除去する観点から、 $10\mu\text{m}$ 以上が好ましく、 $20\mu\text{m}$ 以上がより好ましく、 $30\mu\text{m}$ 以上がさらに好ましい。また、研磨代は、I I I 族窒化物膜ドナー基板 1 3 D の材料ロスを低減する観点から、 $100\mu\text{m}$ 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。

[0242] また、図 1 2（D）および（B）ならびに図 1 3（D）および（B）を参照して、残りの I I I 族窒化物膜ドナー基板 1 3 D r 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。

[0243] （支持体付 I I I 族窒化物膜ドナー基板の利用）

図 1 3（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、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。

[0244] 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持体 1 5 と I I I 族窒化物膜ドナー基板 1 3 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。

[0245] （I I I 族窒化物複合基板の支持基板側の主面の二乗平均平方根粗さの調

整工程)

本参考形態のⅠⅠⅠ族窒化物複合基板１の製造方法は、上記工程のいずれかひとつの工程の前、途中または後に、ⅠⅠⅠ族窒化物複合基板１の支持基板１１側の主面１１ｎを研磨することにより支持基板１１側の主面１１ｎのＲＭＳを調整する工程を含む。かかるⅠⅠⅠ族窒化物複合基板１の支持基板１１側の主面１１ｎのＲＭＳを調整する工程により、支持基板１１側の主面１１ｎのＲＭＳの平均値 m_s を 0.3 nm 以上 20 nm 以下とし、支持基板１１側の主面１１ｎのＲＭＳの平均値 m_s に対するＲＭＳの標準偏差 s_s の比 s_s/m_s を 0.005 以上 0.4 以下とすることができる。

[0246] ここで、支持基板１１側の主面１１ｎのＲＭＳの平均値 m_s は、研磨剤の粘度、砥粒サイズと、定盤や研磨パッドの材質および表面形状、ならびに研磨条件により制御することができる。ＲＭＳの平均値 m_s を小さくするためには、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。

[0247] また、支持基板１１側の主面１１ｎのＲＭＳの平均値 m_s に対するＲＭＳの標準偏差 s_s の比 s_s/m_s の制御のためには、研磨液の粘度 η （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、 $FE = \eta \times Q \times V / S \times P$ 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、 4×10^{-17} 以上 1×10^{-16} 以下とすることが好ましい。また、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。

[0248] (ⅠⅠⅠ族窒化物複合基板のⅠⅠⅠ族窒化物膜側の主面のRMSの調整工程)

本参考形態のⅠⅠⅠ族窒化物複合基板1の製造方法は、ⅠⅠⅠ族窒化物複合基板を形成する工程の後、ⅠⅠⅠ族窒化物複合基板1のⅠⅠⅠ族窒化物膜13側の主面13mを研磨することによりⅠⅠⅠ族窒化物膜13側の主面13mのRMSを調整する工程を含むことが好ましい。かかるⅠⅠⅠ族窒化物複合基板1のⅠⅠⅠ族窒化物膜13側の主面13mのRMSを調整する工程により、ⅠⅠⅠ族窒化物膜13側の主面13mのRMSの平均値 m_{III-N} を0.15nm以上3nm以下とし、ⅠⅠⅠ族窒化物膜13側の主面13mのRMSの平均値 m_{III-N} に対するRMSの標準偏差 s_{III-N} の比 s_{III-N}/m_{III-N} を0.008以上0.5以下とすることができる。

[0249] ここで、ⅠⅠⅠ族窒化物膜13側の主面13mのRMSの平均値 m_s は、研磨剤の粘度、砥粒サイズと、定盤や研磨パッドの材質および表面形状、ならびに研磨条件により制御することができる。RMSの平均値 m_{III-N} を小さくするためには、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。研磨条件としては、低圧力、低周速が好ましい。

[0250] また、ⅠⅠⅠ族窒化物膜13側の主面13mのRMSの平均値 m_{III-N} に対するRMSの標準偏差 s_{III-N} の比 s_{III-N}/m_{III-N} は、研磨液の粘度 η (単位: mPa·s)、流量 Q (単位: m³/s)、定盤の面積 S (単位: m²)、研磨圧力 P (単位: kPa)、周速 V (単位: m/s)を用いて、 $FE = \eta \times Q \times V / S \times P$ の式で定義される作用係数 FE (単位: m²/s)を所定範囲、具体的には、 4×10^{-14} 以上 1×10^{-13} 以下とすることが好ましい。また、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。

[0251] (参考形態ⅠⅠ-4-2: ⅠⅠⅠ族窒化物複合基板の別の製造方法)

図14を参照して、参考発明11のさらに別の参考形態である111族窒化物複合基板の製造方法は、参考形態11-1の111族窒化物複合基板1の製造方法であって、支持基板11と、111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（図14（A）～（C））と、接合基板1Lの111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、111族窒化物複合基板1を形成する工程（図14（D））と、上記工程のいずれかひとつの工程の前、途中または後に、111族窒化物複合基板の支持基板側の主面を研磨することにより支持基板側の主面のRMSを調整する工程と、を含む。

[0252] 本参考形態の111族窒化物複合基板1の製造方法によれば、高い歩留で111族窒化物半導体デバイスの製造が可能な、コストが低く大口径で111族窒化物膜が厚く、111族窒化物層の成長の際に主面上における温度の分布が小さい111族窒化物複合基板1を効率よく製造することができる。

[0253] 本参考形態の111族窒化物複合基板1の製造方法において、111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、その厚さを減少させて調整して、10 μ m以上250 μ m以下の所望の厚さの111族窒化物膜13を含む111族窒化物複合基板1が得られる。

[0254] なお、本参考形態の111族窒化物複合基板1の製造方法においては、111族窒化物複合基板を形成する工程において111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、111族窒化物膜ドナー基板13Dの材料ロスを低減する観点から、用いられる111族窒化物膜ドナー基板13Dの厚さは、500 μ m以下が好ましく、400 μ m以下がより好ましい。

[0255] （接合基板の形成工程）

図14（A）～（C）を参照して、接合基板1Lを形成する工程は、参考形態4の111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

1 1 m上に接合膜 1 2 aを形成するサブ工程（図 1 4（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 1 4（B））と、支持基板 1 1の主面 1 1 m上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の主面 1 3 n上に形成された接合膜 1 2 bの主面 1 2 b nとを貼り合わせるサブ工程（図 1 4（C））と、を含む。

[0256] ここで、図 1 4（A）に示す支持基板 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は図 1 2（A）に示す支持基板 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と同様である。図 1 4（B）に示す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は図 1 2（B）に示す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と同様である。図 1 4（C）に示す支持基板 1 1の主面 1 1 m上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の主面 1 3 n上に形成された接合膜 1 2 bの主面 1 2 b nとを貼り合わせるサブ工程は図 1 2（C）に示す支持基板 1 1の主面 1 1 m上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の主面 1 3 n上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。

[0257] （I I I族窒化物複合基板の形成工程）

図 1 4（D）を参照して、I I I族窒化物複合基板 1を形成する工程において、接合基板 1 LのI I I族窒化物膜ドナー基板 1 3 Dの貼り合わせ主面 1 3 nと反対側の主面 1 3 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ことにより、I I I族窒化物膜ドナー基板 1 3 Dからその厚さが減少したI I I族窒化物膜 1 3が形成されて、支持基板 1 1とI I I族窒化物膜 1 3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が形成される。

[0258] I I I族窒化物膜ドナー基板 1 3 D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を用いた研削などが挙げられる。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。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。

[0259] また、形成されるIII族窒化物膜13の厚さの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III族窒化物複合基板1のIII族窒化物膜13の主面13m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、厚さの分布を低減しかつダメージ層を除去する観点から、 $10\mu\text{m}$ 以上が好ましく、 $20\mu\text{m}$ 以上がより好ましく、 $30\mu\text{m}$ 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、III族窒化物膜ドナー基板13Dの材料ロスを低減する観点から、 $100\mu\text{m}$ 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。

[0260] （III族窒化物複合基板の支持基板側の主面のRMSの調整工程）

本参考形態のIII族窒化物複合基板1の製造方法は、上記工程のいずれかひとつの工程の前、途中または後に、III族窒化物複合基板1の支持基板11側の主面11nを研磨することにより支持基板11側の主面11nのRMSを調整する工程を含む。かかるIII族窒化物複合基板1の支持基板11側の主面11nのRMSを調整する工程により、支持基板11側の主面11nのRMSの平均値 m_s を 0.3nm 以上 20nm 以下とし、支持基板11側の主面11nのRMSの平均値 m_s に対するRMSの標準偏差 s_s の比 s_s/m_s を 0.005 以上 0.4 以下とすることができる。

[0261] ここで、支持基板11側の主面11nのRMSの平均値 m_s および主面11nのRMSの平均値 m_s に対するRMSの標準偏差 s_s の比 s_s/m_s の制御については、参考形態1-4-1のIII族窒化物複合基板1の製造方法と同

様である。

[0262] (ⅠⅠⅠ族窒化物複合基板のⅠⅠⅠ族窒化物側の主面のRMSの調整工程)

本参考形態のⅠⅠⅠ族窒化物複合基板1の製造方法は、ⅠⅠⅠ族窒化物複合基板を形成する工程の後、ⅠⅠⅠ族窒化物複合基板1のⅠⅠⅠ族窒化物膜13側の主面13mを研磨することによりⅠⅠⅠ族窒化物膜13側の主面13mのRMSを調整する工程を含むことが好ましい。かかるⅠⅠⅠ族窒化物複合基板1のⅠⅠⅠ族窒化物膜13側の主面13mのRMSを調整する工程により、ⅠⅠⅠ族窒化物膜13側の主面13mのRMSの平均値 m_{III-N} を0.15nm以上3nm以下とし、ⅠⅠⅠ族窒化物膜13側の主面13mのRMSの平均値 m_{III-N} に対するRMSの標準偏差 s_{III-N} の比 s_{III-N}/m_{III-N} を0.008以上0.5以下とすることができる。

[0263] ここで、ⅠⅠⅠ族窒化物膜13側の主面13mのRMSの平均値 m_{III-N} および主面13mのRMSの平均値 m_{III-N} に対するRMSの標準偏差 s_{III-N} の比 s_{III-N}/m_{III-N} の制御については、参考形態ⅠⅠ-4-1のⅠⅠⅠ族窒化物複合基板1の製造方法と同様である。

[0264] [参考形態ⅠⅠ-5：ⅠⅠⅠ族窒化物半導体デバイスの製造方法]

図15を参照して、参考発明ⅠⅠのさらに別の参考形態であるⅠⅠⅠ族窒化物半導体デバイスの製造方法は、参考形態ⅠⅠ-1のⅠⅠⅠ族窒化物複合基板1を準備する工程と、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15(A))と、を含む。本参考形態の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主面13m上における温度の分布が小さい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。

[0265] 本参考形態の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15(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 15（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。

[0266] さらに、本参考形態の 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 15（A））の後、支持基板を除去する工程（図 15（C））の前に、III 族窒化物層 20 上にデバイス支持基板 40 を貼り合わせる工程（図 15（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。

[0267] 本参考形態の 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。

[0268] （III 族窒化物層の成長工程）

図 15（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、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。

[0269] 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 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 -Ga_{0.95}N 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。

[0270] 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 13 m 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。

[0271] （デバイス支持基板の貼り合わせ工程）

図15 (B) を参照して、Ⅲ族窒化物層20上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、Mo基板などが用いられる。

[0272] (支持基板の除去工程)

図15 (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、製造コストを低減する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。

[0273] 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。

[0274] (電極の形成工程)

図15(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。

[0275] <参考発明ⅠⅠⅠ>

参考発明ⅠⅠⅠは、安価に製造することができるとともに、大口径で好適な厚さを有し、かつ結晶品質の高い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に関する。

[0276] [参考発明ⅠⅠⅠに関する背景技術]

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。

[0277] たとえば、特開2009-126722号公報は、半導体デバイス用基板として、直径が25mm以上160mm以下で厚さが100μm以上1000μm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10mmで厚さが400μmの自立GaN基板を開示する。

[0278] また、特開2008-010766号公報は、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0.1μm以上100μm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0.1μmまたは100μmのGaN薄膜とを貼り合わせている直径が50.8mmのGaN薄膜貼り合わせ基板を開示する。

[0279] [参考発明ⅠⅠⅠが解決しようとする課題]

しかしながら、特開2009-126722号公報に開示される自立ⅠⅠⅠ族窒化物基板は非常に高価である。これは主に、ⅠⅠⅠ族窒化物は液相を

形成しないため、安価な製造方法である液相成長法を採用することができず、収率が低い気相成長法を採用せざるを得ないからである。また、Ⅲ族窒化物は、破壊靱性が低く、非常に割れやすい材料である。そのため、基板の大口径化が困難である。また、製造コストを抑えるため、基板の厚さを、たとえば、 $250\mu\text{m}$ 程度まで薄厚化すると、基板に反りが生じやすく、基板の上にエピタキシャル層を成長させる工程において、結晶品質が低下したり、基板剥離が発生したりするなどの場合があり、半導体デバイスの製造歩留まりを低下させるため、半導体デバイスの高付加価値化が困難であった。

[0280] これに対して、特開2008-010766号公報に示されるような貼り合わせ基板は、高価なⅢ族窒化物の使用量を低減できるため、半導体デバイスの製造コストを抑えることができる。

[0281] ところで、良好な半導体デバイス特性を得るとの観点からは、ベースとなるⅢ族窒化物膜の厚さは $10\mu\text{m}$ 以上であることが好ましい。しかしながら、特開2008-010766号公報に開示されるような従来の貼り合わせ基板では、Ⅲ族窒化物膜の厚さは $1\mu\text{m}$ 程度が限界であった。これは、特開2008-010766号公報に示されるような貼り合わせ基板では、異種基板とGaNバルク結晶を貼り合わせた後、イオン注入法によって、GaNバルク結晶を分割してGaN薄膜を形成するが、この方法にはイオンの注入深さに一定の制約があり、 $10\mu\text{m}$ 以上のⅢ族窒化物膜を得ようとした場合、イオンの注入深さにバラツキが生じ、その結果、Ⅲ族窒化物膜の厚さにもバラツキが生じるため、十分な品質を確保できないからである。すなわち、特開2008-010766号公報に開示されるような従来の貼り合わせ基板では、Ⅲ族窒化物膜の厚さを $10\mu\text{m}$ 以上とした場合、半導体デバイスの特性および半導体デバイスの製造歩留まりを十分なものとすることはできない。

[0282] また、特開2008-010766号公報に開示されるような従来の貼り合わせ基板において、イオン注入法ではなく、たとえば、ワイヤーソーなどを用いてⅢ族窒化物膜を切断、分離することにより、 $10\mu\text{m}$ 以上のⅢ

ⅠⅠ族窒化物膜を有する貼り合わせ基板を得ようとした場合には、基板に反りや割れなどが生じやすく、この場合にもⅠⅠⅠ族窒化物膜の上に良質なエピタキシャル層を成長させることは困難であった。

[0283] 以上のように、従来公知の技術によっては、ⅠⅠⅠ族窒化物膜が好適な厚さ範囲を有し、高価なⅠⅠⅠ族窒化物の使用量を削減しつつ、良好な半導体デバイス特性を得ることができる、ⅠⅠⅠ族窒化物複合基板を得ることは極めて困難であった。

[0284] 本発明は上記の課題を解決して、安価に製造することができるとともに、大口径で好適な厚さを有し、かつ結晶品質の高い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。

[0285] [課題を解決するための手段]

参考発明ⅠⅠⅠは、ある局面に従えば、支持基板と、厚さが $10\mu\text{m}$ 以上 $250\mu\text{m}$ 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、支持基板とⅠⅠⅠ族窒化物膜との間に介在して、支持基板とⅠⅠⅠ族窒化物膜とを接合する接合膜を備え、接合膜は、厚さ分布が 2% 以上 40% 以下である、ⅠⅠⅠ族窒化物複合基板である。

[0286] 参考発明ⅠⅠⅠは、別の局面に従えば、支持基板と、厚さが $10\mu\text{m}$ 以上 $250\mu\text{m}$ 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、支持基板とⅠⅠⅠ族窒化物膜との間に介在して、支持基板とⅠⅠⅠ族窒化物膜とを接合する接合膜を備え、支持基板とⅠⅠⅠ族窒化物膜とのせん断接合強度が 4MPa 以上 40MPa 以下であり、支持基板とⅠⅠⅠ族窒化物膜との接合面積率が 60% 以上 99% 以下である、ⅠⅠⅠ族窒化物複合基板である。

[0287] 参考発明ⅠⅠⅠのこれらの局面に従うⅠⅠⅠ族窒化物複合基板において、上記支持基板の熱膨張係数 α_s に対する上記ⅠⅠⅠ族窒化物膜の熱膨張係数 α_{11}

α_{I-N} の比 α_{III-N}/α_s を0.75以上1.25以下とし、上記支持基板の厚さ t_s に対する上記ⅠⅠⅠ族窒化物膜の厚さ 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。

[0288] また、上記支持基板の熱伝導率 λ_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。

[0289] また、上記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。

[0290] さらに、上記ⅠⅠⅠ族窒化物複合基板の直径を 125 mm 以上 300 mm 以下とすることができる。

[0291] 参考発明ⅠⅠⅠは、さらに別の局面に従えば、上記局面に従うⅠⅠⅠ族窒化物複合基板と、上記ⅠⅠⅠ族窒化物複合基板の上記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族窒化物複合基板である。

[0292] 参考発明ⅠⅠⅠ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上記ⅠⅠⅠ族窒化物膜と、上記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である。

[0293] 参考発明ⅠⅠⅠ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 75 mm 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、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。

[0294] 参考発明ⅠⅠⅠ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 75 mm 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ずれかを行なうことにより、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。

[0295] 参考発明ⅠⅠⅠは、さらに別の局面に従えば、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。

[0296] 参考発明ⅠⅠⅠのかかる局面に従うⅠⅠⅠ族窒化物半導体デバイスの製造方法は、上記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、上記ⅠⅠⅠ族窒化物複合基板から上記支持基板を除去する工程と、をさらに含むことができる。

[0297] [参考発明ⅠⅠⅠの効果]

参考発明ⅠⅠⅠによれば、安価に製造することができるとともに、大口径で好適な厚さを有し、かつ結晶品質の高い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ができる。

[0298] [参考形態ⅠⅠⅠ-1：ⅠⅠⅠ族窒化物複合基板]

図6を参照して、参考発明ⅠⅠⅠのある参考形態であるⅠⅠⅠ族窒化物複合基板1は、支持基板11と、厚さが10 μ m以上250 μ m以下のⅠⅠⅠ族窒化物膜13と、が貼り合わされた直径が75mm以上の基板である。ⅠⅠⅠ族窒化物複合基板1は、支持基板11とⅠⅠⅠ族窒化物膜13との間に介在して、支持基板11とⅠⅠⅠ族窒化物膜13とを接合する接合膜12を備えている。そして、接合膜12は、厚さ分布が2%以上40%以下であることを特徴とする。

[0299] また、本参考形態であるⅠⅠⅠ族窒化物複合基板1は、接合膜12によって、接合された支持基板11とⅠⅠⅠ族窒化物膜13とのせん断接合強度が4MPa以上40MPa以下であり、かつ支持基板11とⅠⅠⅠ族窒化物膜

13との接合面積率が60%以上99%以下であることを特徴とする。

[0300] 本参考形態は、従来の自立III族窒化物基板と異なり、III族窒化物膜13が支持基板11に接合された複合基板である。かかる構成を採用することにより、高価なIII族窒化物膜の厚さを低減することができ、半導体デバイスの低廉化を図ることができる。

[0301] さらに、本参考形態は、従来の貼り合わせ基板とも異なり、直径が75mm以上の大口径であり、III族窒化物膜13の厚さは10 μ m以上250 μ m以下である。これにより、本参考形態のIII族窒化物複合基板を用いて、極めて良好な半導体デバイス特性を得ることができる。

[0302] かかる構成は、接合膜12の厚さ分布が2%以上40%以下であること、または支持基板11とIII族窒化物膜13とのせん断接合強度が4MPa以上40MPa以下であり、かつ支持基板11とIII族窒化物膜13との接合面積率が60%以上99%以下であることにより実現できる。

[0303] 厚さ分布が特定の範囲に制御された接合膜12を備えることにより、直径が75mm以上の大口径基板において、III族窒化物膜13の厚さを、たとえば、ワイヤーソーなどで切断、分離することにより、10 μ m以上250 μ m以下とした場合であっても、III族窒化物膜13上にエピタキシャル層を形成する半導体デバイス工程において、基板を搭載するサセプタからの熱が膜内に均一に伝導されるため、良好な厚さ分布を有し、高い結晶品質を有するエピタキシャル層を得ることができ、以って、半導体デバイスの製造歩留まりをも高めることができる。

[0304] また、支持基板11とIII族窒化物膜13との接合強度および接合面積率を特定の範囲に制御することにより、接合膜にかかる応力が緩和され、反りの発生を抑制することができ、以って、半導体デバイスの製造歩留まりを高めることができる。

[0305] なお、本参考形態であるIII族窒化物複合基板1は、上記のような接合膜12の厚さ分布の特徴と、支持基板11とIII族窒化物膜13との接合強度および接合面積率の特徴と、の少なくとも一方を有することにより、半

導体デバイスの製造歩留まりを高めるとともに、半導体デバイスの特性を向上させることができる。そして、ⅠⅠⅠ族窒化物複合基板１が両方の特徴を併せ持つ場合には、それらの効果が相乗的に作用し、本発明の効果をより一層高めることができるため特に好ましい。

[0306] (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、７５mm以上であり、１００mm以上が好ましく、１２５mm以上がより好ましく、１５０mm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、３００mm以下が好ましく、２００mm以下がより好ましい。

[0307] 以下、本参考形態であるⅠⅠⅠ族窒化物複合基板１を構成する各部について説明する。

(接合膜)

本参考形態の接合膜１２は、支持基板１１の接合面およびⅠⅠⅠ族窒化物膜１３の接合面の凹凸を吸収、緩和して支持基板１１とⅠⅠⅠ族窒化物膜１３との接合強度を高める機能を有する。

[0308] 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されないが、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。接合膜１２の平均厚さは、特に制限されないが、たとえば、１００nm～４μm程度とすることができる。

[0309] (接合膜の厚さ分布)

本参考形態において、接合膜１２の厚さ分布は２％以上４０％以下である。ここで、「厚さ分布」とは、接合膜１２の厚みの均一性を示す指標であり、接合膜１２の主面の面内全域に亘って測定された厚さのうち、「厚さの最大値 $t_{\max}$ 」と「厚さの最小値 $t_{\min}$ 」とから次式により算出された値である。

[0310] 式：厚さ分布（％）＝ $\{ (t_{\max} - t_{\min}) / (t_{\max} + t_{\min}) \} \times 100$

ここで、接合膜の厚さの基準面は、たとえば、支持基板 11 の主面 11 m とすることができる。また、厚さの測定点は少なくとも 13 点とすることが好ましく、隣接する各測定点の間隔は略均等間隔であることが好ましい。

[0311] なお、接合膜の厚さは、従来公知の光干渉式膜厚計や段差計などにより測定することができる。また、該厚さは接合膜 12 の主面に対する垂直断面を走査型電子顕微鏡（SEM（Scanning Electron Microscope））などにより観察することによっても測定することができる。

[0312] かかる厚さ分布が 2 % 未満である場合には、エピタキシャル層を成長させる際に、基板を搭載するサセプタからの熱伝導が不均一となり、基板が凹状に反ることで中央部と外周部との温度差が大きくなり、良質なエピタキシャル層を成長させることができず、半導体デバイスの製造歩留まりが低下するとともに、半導体デバイスの特性が低下する。厚さ分布が 40 % を超える場合には、接合膜の薄い領域や接合膜が消失した領域（すなわち、未接合領域）が増加するため、この場合にも良質なエピタキシャル層を成長させることができず、半導体デバイスの製造歩留まりが低下する。したがって、本参考形態の接合膜の厚さ分布は、2 % 以上 40 % 以下である。接合膜 12 の厚さ分布が該範囲を占めることにより、エピタキシャル成長時に複合基板全体の温度分布が均一化され、高い結晶品質を有する良質なエピタキシャル層を成長させることができるという優れた効果を示す。かかる厚さ分布は、より好ましくは 5 % 以上 25 % 以下であり、さらに好ましくは 7 % 以上 16 % 以下である。厚さ分布が該範囲を占めることにより、さらに接合膜の厚みの均一性が高められ、III 族窒化物膜 13 の上に形成されるエピタキシャル層の結晶品質をより一層高いものとすることができる。

[0313] 接合膜の厚さ分布は、たとえば、接合膜の表面を化学機械的研磨（以下「CMP（chemical mechanical polishing）」とも記す）する際の条件を適宜調整することにより、所望の範囲に制御することができる。かかる条件としては、たとえば、研磨材の材質、研磨の線速度、研磨パッドの材質などを挙げることができる。

[0314] (せん断接合強度)

本参考形態において、接合膜 12 によって接合された支持基板 11 と III 族窒化物膜 13 とのせん断接合強度は 4 MPa 以上 40 MPa 以下である。せん断接合強度が該範囲を占めることにより、半導体デバイスの製造工程において、基板剥離が発生することなく、基板の反りも緩和されるため、半導体デバイスの製造歩留まりが顕著に向上する。かかるせん断接合強度は、より好ましくは 10 MPa 以上 30 MPa 以下である。この場合、基板の反りを緩和させる効果がより一層高まる傾向にあるため好適である。せん断接合強度が 4 MPa 未満の場合には、接合強度が十分ではなく、エピタキシャル成長時に、基板を搭載するサセプタからの熱伝導に起因する基板の変形により、基板剥離が発生し、半導体デバイスの製造歩留まりが低下する。せん断接合強度が 40 MPa を超える場合には、接合膜 12 に加わる応力が大きくなり、基板の反りが促進される傾向にあり、半導体デバイスの製造歩留まりが低下する。

[0315] 本参考形態において、かかるせん断接合強度は、ダイシェア試験機、引張試験機などを用いて、JIS K 6850「剛性被着材の引張せん断接着強さ試験方法」に準拠した方法によって測定することができる。すなわち、測定試料として矩形の複合基板（縦 6 mm × 横 8 mm）を準備し、支持基板側を下にして、該複合基板を試験機の試料ステージ上に平置きにして固定した後、幅 9 mm の試験ジグで III 族窒化物膜に、支持基板と III 族窒化物膜との接合面に対して平行方向（すなわち、せん断方向）に荷重を印加し、接合面が破壊される際の最大せん断荷重を測定する。そして、最大せん断荷重を接合面の面積（ $4.8 \times 10^{-5} \text{ m}^2$ ）で除すことにより、せん断接合強度を算出する。

[0316] 支持基板 11 と III 族窒化物膜 13 とのせん断接合強度を 4 MPa 以上 40 MPa 以下とする方法としては、たとえば、支持基板 11 と III 族窒化物膜 13 とを接合する前後にアニール処理する方法を好適に用いることができる。すなわち、支持基板 11 および III 族窒化物膜 13 それぞれの一

主表面に接合膜を形成した後、支持基板 11 と III 族窒化物膜 13 とをそれぞれアニール処理し、アニール処理後の支持基板 11 と III 族窒化物膜 13 とを、接合膜を介して接合した後、再度アニール処理を行なう方法が好適である。

[0317] かかるアニール処理の条件は、好ましくは窒素雰囲気下、400℃以上で1時間以上であり、より好ましくは窒素雰囲気下、600℃以上で1時間以上であり、特に好ましくは窒素雰囲気下、800℃以上1時間以上である。

[0318] ここで、接合膜の品質の観点から、アニール処理の温度条件は、1200℃以下であることが好ましく、処理時間は48時間以下であることが好ましい。

[0319] また、せん断接合強度は、接合膜の接合前における表面状態（すなわち、表面粗さ）によっても制御することができる。

[0320] （接合面積率）

本参考形態の III 族窒化物複合基板 1 は、上記のように、支持基板 11 と III 族窒化物膜 13 とのせん断接合強度が4MPa以上40MPa以下であるとともに、支持基板 11 と III 族窒化物膜 13 との接合面積率が60%以上99%以下であることを要する。このように、2つの観点から、支持基板 11 と III 族窒化物膜 13 との関係を規定したことにより、本参考形態の III 族窒化物複合基板 1 は、エピタキシャル成長時の基板の反りを顕著に低減し、平坦性が高く良質なエピタキシャル層を成長させることができる。また、これにより、半導体デバイスの製造工程において、基板剥離の発生頻度が極めて低く、半導体デバイスの製造歩留まりが高いという優れた効果を有する。接合面積率が60%未満である場合には、エピタキシャル成長工程および半導体デバイス製造工程において、基板剥離の発生頻度が高く、半導体デバイスの製造歩留まりが低下する。接合面積率が99%を超える場合には、接合膜 12 に加わる応力が大きくなり、基板に反りが生じやすくなるため、この場合にも半導体デバイスの製造歩留まりが低下する。

[0321] ここで、本参考形態において、「接合面積率」は、支持基板 11 と III

族窒化物膜 13 との接合面である接合膜 12 を超音波顕微鏡により観測した場合に、接合欠陥（ボイドあるいは剥離）として検出される面積の総和を、支持基板 11 の主面 11 m の面積で除した値に 100 を乗じた値である。かかる接合面積率は、より好ましくは 70% 以上 90% 以下であり、さらに好ましくは 80% 以上 86% 以下である。接合面積率が該範囲を占める場合には、接合膜 12 に加わる応力が大幅に緩和され、半導体デバイスの製造歩留まりをより一層高めることができる。

[0322] 接合面積率を 60% 以上 99% 以下とする方法としては、たとえば、接合膜 12 の表面を清浄化する方法を用いることができる。具体的には、接合膜 12 の表面の汚れを CMP により除去した後に、該表面をさらに水で超音波洗浄する方法を好適に用いることができる。また、より好ましい方法として、接合膜 12 の表面の汚れを CMP により除去した後に、水酸化カリウム（KOH）水溶液や水などの薬液を用いた無砥粒ポリシング洗浄によりさらに汚れを除去する方法を用いることもできる。また、たとえば、超音波洗浄と無砥粒ポリシング洗浄とを併用しても良い。

[0323] なお、接合面積率は、接合膜 12 の厚さ分布を 2% 以上 40% 以下とすることにより、より精細に制御することができる。すなわち、接合膜 12 の厚さ分布が 2% 以上 40% 以下であり、かつ接合面積率が 60% 以上 99% 以下であることが特に好ましい。

[0324] （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。支持基板 11 は透明であっても、不透明であっても良く、利用される半導体デバイスに応じて適宜選択することができる。

[0325] 支持基板 11 を構成する材料としては、従来公知のセラミックス材料、半導体材料、金属材料、多結晶材料、単結晶材料などを用いることができる。たとえば、窒化アルミニウム（AlN）、スピネル（MgAl₂O₄）、ムライ

ト ($3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \sim 2\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$)、アルミナ (Al_2O_3)、グラファイトなどの焼結体材料、 AlN 、サファイアなどの単結晶材料、モリブデン (Mo)、タングステン (W) などの金属材料、ならびに銅-タングステン (Cu-W) などの合金材料などを挙げることができる。

[0326] また、支持基板 11 は、エピタキシャル成長時などにおいて、アンモニアガスをはじめとする高温の腐食性ガスに曝されることもあるため、耐食性を有する基板であることが好ましい。したがって、たとえば、表面の耐食性を高めるため各種の表面保護コーティングなどが付されていても良い。

[0327] (支持基板の熱伝導率)

支持基板 11 の熱伝導率 λ_s は、 $3\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ 以上 $280\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ 以下が好ましく、 $5\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ 以上 $210\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ 以下がより好ましく、 $10\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ 以上 $120\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ 以下がさらに好ましい。ここで、支持基板 11 の熱伝導率 λ_s は、レーザフラッシュ法により測定することができる。熱伝導率 λ_s が好ましくは $3\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ 以上、より好ましくは $5\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ 以上、さらに好ましくは $10\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ 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 λ_s が好ましくは $280\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ 以下、より好ましくは $210\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ 以下、さらに好ましくは $120\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ 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 λ_s が $280\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ 以下の支持基板 11 は、熱伝導率 λ_s が約 $300\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ 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。なお、支持基板 11 の熱伝導率は、III 族窒化物膜 13 の熱伝導率と異なっても良い。

[0328] (支持基板の熱膨張係数)

支持基板 11 は、割れ難い基板であることが好ましい。そして、支持基板 11 の熱膨張係数は、III 族窒化物膜 13 の熱膨張係数と近似していることが好ましい。支持基板 11 がこのような性質を有することにより、III 族窒化物複合基板 1 が、エピタキシャル成長工程、半導体デバイス製造工程などで加熱されても、III 族窒化物複合基板 1 が割れ難くなるため好適である。

[0329] 具体的には、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 は、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。

[0330] (支持基板 11 の厚さ)

支持基板 11 の厚さ自体は特に制限されないが、加熱時に III 族窒化物膜 13 の反りや割れなどを抑制するという観点から、III 族窒化物膜 13 の厚さとの間で、次のような関係を満たすことが好ましい。すなわち、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_{III-N} の比 t_{III-N}/t_s は、0.02 以上 1 以下であることが好ましい。ここで、上記の熱膨張係数の比 α_{III-N}/α_s が 0.75 以上 1.25 以下であり、かつ厚さの比 t_{III-N}/t_s が 0.02 以上 1 以下であることにより、複合基板の製造工程、エピタキシャル成長工程、半導体デバイス製造工程などのあらゆる場面において、III 族窒化物膜 13 の反りや割れなどに起因する不良の発生を大幅に低減することができる。なお、厚さの比 t_{III-N}/t_s は、より好ましくは、0.07 以上 0.5 以下である。

[0331] (支持基板のヤング率)

支持基板 11 のヤング率 E_s は、III 族窒化物複合基板 1 が加熱された際の反りの発生を抑制するとの観点から、 E_s が 150 GPa 以上 500 GPa 以下であることが好ましい。 E_s が 150 GPa 未満であると加熱時に反りが発生しやすい傾向にあり、 E_s が 500 GPa を超えると加熱時に割れやクラ

ックが発生しやすい傾向にあるため好ましくない。ここで、 E_s のより好ましい範囲は、 200 GPa 以上 350 GPa 以下である。なお、支持基板11のヤング率は、III族窒化物膜13と異なっても良いが、同程度であることが好ましい。

[0332] 支持基板11を構成する材料のうち、III族窒化物膜13と熱膨張係数やヤング率が近い値である材料としては、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($\text{Mg Al}_2\text{O}_4$)、 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、窒化物、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)基板などを挙げることができる。ここで、酸化物、窒化物および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。

[0333] (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 $\text{In}_x\text{Al}_y\text{Ga}_{1-x-y}\text{N}$ 膜($0 \leq x$ 、 $0 \leq y$ 、 $x+y \leq 1$)などが挙げられる。

[0334] III族窒化物膜13の厚さは、 $10\text{ }\mu\text{m}$ 以上 $250\text{ }\mu\text{m}$ 以下である。厚さが $10\text{ }\mu\text{m}$ 未満の場合は、十分な半導体デバイス特性を得ることができない傾向にある。また、厚さが $250\text{ }\mu\text{m}$ を超えると、高価なIII族窒化物の使用量が増えるため、半導体デバイスの高付加価値化が困難となる。かかるIII族窒化物膜13の厚さは、半導体デバイス特性を高める観点から、好ましくは $30\text{ }\mu\text{m}$ 以上であり、より好ましくは $80\text{ }\mu\text{m}$ 以上であり、特に好ましくは $100\text{ }\mu\text{m}$ 以上である。また、該厚さは、半導体デバイスの高付加価値化の観点から、好ましくは $200\text{ }\mu\text{m}$ 以下であり、より好ましくは $180\text{ }\mu\text{m}$ 以下であり、特に好ましくは $130\text{ }\mu\text{m}$ 以下である。

[0335] 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、 $\{0001\}$ 、 $\{10\bar{1}0\}$ 、 $\{11\bar{2}0\}$ 、 $\{21\bar{3}0\}$ 、 $\{20\bar{2}1\}$ 、 $\{10\bar{1}1\}$ 、 $\{11\bar{2}2\}$ 、 $\{22\bar{4}3\}$ 、およびこれらのそれぞれの面方位から 15° 以下の角度でずらした(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の主面13m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13mは、大口径化が容易であるとの観点から $\{0001\}$ 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 $\{10\bar{1}0\}$ 面、 $\{20\bar{2}1\}$ 面およびそれらの裏面が好ましい。

[0336] Ⅲ族窒化物膜13の主面13m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、 1×10^{12} 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。支持基板11として、ムライト($3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \sim 2\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$)、ムライトー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Ⅲ族窒化物複合基板1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、メガソニック洗浄、低濃度の酸またはアルカリを用いた片面の枚葉洗浄などにより、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が低減されていることが好ましい。

[0337] また、Ⅲ族窒化物膜13の主面13m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、C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。

III族窒化物膜13の転位密度は、特に制限はないが、半導体デバイスのリーク電流低減化の観点から、 $1 \times 10^8 \text{cm}^{-2}$ 以下が好ましい。III族窒化物膜13のキャリア濃度は、特に制限はないが、半導体デバイスの低抵抗化の観点から、 $1 \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$ 以上が好ましい。

[0338] 以上に説明したIII族窒化物複合基板は以下のような製造方法によって製造することができる。すなわち、以下のような製造方法によって得られるIII族窒化物複合基板は、安価に製造することができるとともに、大口径で好適な厚さを有し、かつ結晶品質の高いIII族窒化物膜を有するIII族窒化物複合基板である。

[0339] [参考形態III-2：III族窒化物複合基板の製造方法]

以下、図12および図14を参照して、参考発明IIIの別の参考形態である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を配置する方法であれば特に制限はなく、次の第1および第2の方法が挙げられる。

[0340] 第1の方法は、図12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切断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。

[0341] 第2の方法は、図14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。

[0342] 上記の第1および第2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を貼り合わせる方法（図12および図14を参照）などが挙げられる。

[0343] なお、図 1 2 および図 1 4 には、支持基板 1 1 に接合膜 1 2 a を形成するとともに、Ⅲ族窒化物膜 1 3 に接合膜 1 2 b 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 1 1 のみ接合膜 1 2 を形成しておき、Ⅲ族窒化物膜 1 3 と貼り合わせても何ら差し支えない。

[0344] (第 1 の方法：切断法)

図 1 2 に示す、第 1 の方法により複合基板を製造する方法は、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 1 1 とⅢ族窒化物膜ドナー基板 1 3 D とを貼り合わせて接合基板 1 L を形成する工程と（図 1 2 (A) ～ (C) ）と、接合基板 1 L のⅢ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切断する工程（図 1 2 (D) ）と、を含むことが好ましい。

[0345] ここで、支持基板 1 1 は、特に制限されず、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得ることができる。

[0346] Ⅲ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Ⅲ族窒化物膜 1 3 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 1 3 D を形成する方法には、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を好適に用いることができる。

[0347] 図 1 2 (A) ～ (C) に示すように、支持基板 1 1 とⅢ族窒化物膜ドナー基板 1 3 D とを貼り合わせて接合基板 1 L を形成する工程は、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 1 2 (A) ）と、Ⅲ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 1 2 (B) ）と、支持基板 1 1 の主面 1 1 m 上に形成された接合膜 1 2 a とⅢ族窒化物膜ドナー基板 1 3 D の主面 1 3 n 上に形成

された接合膜 1 2 b とを貼り合わせるサブ工程（図 1 2（C））と、を含む。これらのサブ工程により、互いに貼り合わされた接合膜 1 2 a と接合膜 1 2 b とが接合により一体化して接合膜 1 2 が形成され、支持基板 1 1 と、I I I 族窒化物膜ドナー基板 1 3 D とが、接合膜 1 2 を介在させて接合されることにより、接合基板 1 L が形成される。

[0348] ここで、接合膜 1 2 a、1 2 b の形成方法は、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。また、接合膜 1 2 a と接合膜 1 2 b 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 程度の高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大きい。

[0349] 図 1 2（D）に示す、接合基板 1 L 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切断する工程は、接合基板 1 L 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 を切断することにより行なう。I I I 族窒化物膜ドナー基板 1 3 D を切断する方法は、特に制限なく、ワイヤーソー、内周刃、外周刃などが好適に用いられる。

[0350] 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 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切断して、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。

[0351] (第 2 の方法：研削、研磨およびエッチング法)

図 1 4 に示すように、第 2 の方法により複合基板を製造する方法は、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 1 1 と I I I 族窒化物膜ドナー基板 1 3 D とを貼り合わせて接合基板 1 L を形成する工程と (図 1 4 (A) ~ (C)) と、接合基板 1 L 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 と反対側の主面 1 3 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工程 (図 1 4 (D)) と、を含むことが好ましい。

[0352] 図 1 4 (A) ~ (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 とを貼り合わせて接合基板 1 L を形成する工程は、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 1 4 (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 1 4 (B)) と、支持基板 1 1 の主面 1 1 m 上に形成された接合膜 1 2 a と I I I 族窒化物膜ドナー基板 1 3 D の主面 1 3 n 上に形成された接合膜 1 2 b とを貼り合わせるサブ工程 (図 1 4 (C)) と、を含む。これらのサブ工程により、互いに貼り合わされた接合膜 1 2 a と接合膜 1 2 b とが接合により一体化して接合膜 1 2 が形成され、支持基板 1 1 と、I I I 族窒化物膜ドナー基板 1 3 D とが、接合膜 1 2 を介在させて接合されることにより、接合基板 1 L が形成される。

[0353] 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 の方法における I I I 族窒化物膜ドナー基板 1 3 D 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。

[0354] 図１４（Ｄ）に示すように、接合基板１ＬのⅠⅠⅠ族窒化物膜ドナー基板１３Ｄの貼り合わせ面である主面１３ｎと反対側の主面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を行なう工程により、ⅠⅠⅠ族窒化物膜ドナー基板１３Ｄの厚さを減少させて所望の厚さのⅠⅠⅠ族窒化物膜１３が形成されるため、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。

[0355] ここで、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、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。

[0356] 以上のようにして、ⅠⅠⅠ族窒化物複合基板１を製造することができる。以上のようにして製造されたⅠⅠⅠ族窒化物複合基板１は、その上に良質なエピタキシャル層を成長させることができるとともに、半導体デバイスの製造歩留まりを向上させるという優れた効果を有する。

[0357] [参考形態ⅠⅠⅠ－３：積層ⅠⅠⅠ族窒化物複合基板]

以下、図８を参照して、参考発明ⅠⅠⅠのさらに別の参考形態である積層ⅠⅠⅠ族窒化物複合基板２を説明する。

[0358] 積層ⅠⅠⅠ族窒化物複合基板２は、参考形態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。

[0359] このように、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、ⅠⅠⅠ族窒化物層２０が配置されることにより、ⅠⅠⅠ族窒化

物層 20 は良質なエピタキシャル層として成長することができる。

[0360] 本参考形態の積層 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 13 m 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 9 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、 $n\text{-Ga}\text{N}$ 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 $p\text{-Ga}\text{N}$ 層 25 で構成することができる。図 10 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 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 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 11 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 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、 $n^+\text{-Ga}\text{N}$ 層 28（キャリア濃度がたとえば $2 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ ）、 $n^-\text{-Ga}\text{N}$ 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。

[0361] [参考形態 III-4：III 族窒化物半導体デバイス]

以下、図 9 および図 10 を参照して、参考発明 III のさらに別の参考形態である III 族窒化物半導体デバイス 4 を説明する。

[0362] III 族窒化物半導体デバイス 4 は、参考形態 III-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。

[0363] このように、本参考形態の III 族窒化物半導体デバイス 4 は、厚さが $10 \mu\text{m}$ 以上 $250 \mu\text{m}$ の III 族窒化物膜 13 を含む 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極めて高い III 族窒化物層 20 とを含むため、高い半導体特性を有する。

[0364] 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 9 に示すように、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、 $n\text{-Ga}\text{N}$ 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 $p\text{-Ga}\text{N}$ 層25で構成することができる。図10に示すように、III族窒化物半導体デバイス4が電子デバイスの一例である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、 $\text{Al}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{N}$ 層27上に、ソース電極60、ドレイン電極70、ゲート電極80などを形成することができる。図11に示すように、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、III族窒化物層は、たとえば、 $n^+\text{-Ga}\text{N}$ 層28（キャリア濃度がたとえば $2 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ ）、 $n^-\text{-Ga}\text{N}$ 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。

[0365] また、図9および図10に示すように、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。

[0366] 以上に説明した参考形態のIII族窒化物半導体デバイスは以下のような製造方法によって製造することができる。すなわち、以下のような製造方法によって製造されるIII族窒化物半導体デバイスは、安価で好適な歩留まりで製造できるとともに、極めて高い半導体特性を有する半導体デバイスである。

[0367] [参考形態III-5：III族窒化物半導体デバイスの製造方法]

以下、図15を参照して、参考発明IIIのさらに別の参考形態であるIII族窒化物半導体デバイスの製造方法について説明する。

[0368] 本参考形態のIII族窒化物半導体デバイスの製造方法は、III族窒化物複合基板1を準備する工程と、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

長させる工程と、を含む。

[0369] ここで、ⅠⅠⅠ族窒化物複合基板 1 を準備する工程は、前述の参考形態ⅠⅠⅠ-2 として説明したⅠⅠⅠ族窒化物複合基板の製造方法と同様であるので、同じ説明は繰り返さない。以下、ⅠⅠⅠ族窒化物複合基板 1 を準備する工程以降の工程について説明する。

[0370] 本参考形態であるⅠⅠⅠ族窒化物半導体デバイスの製造方法は、図 15 に示すように、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、少なくとも 1 層のⅠⅠⅠ族窒化物層 20 を成長させる工程（図 15（A））を含む。本参考形態の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族窒化物複合基板 1 の主面 13 m 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。

[0371] 本参考形態の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 上にさらにデバイス支持基板 40 を貼り合わせる工程（図 15（B））と、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 15（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、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。以下、各工程を具体的に説明する。

[0372] （ⅠⅠⅠ族窒化物層の成長工程）

図 15（A）に示す、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、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。

[0373] 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、 $n\text{-Ga}\text{N}$ 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 $p\text{-Ga}\text{N}$ 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。

[0374] 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。

[0375] (デバイス支持基板の貼り合わせ工程)

図15(B)に示す、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。

[0376] (支持基板の除去工程)

図15(C)に示す、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11を除去することにより行なう。これにより、支持基板11とⅢ族窒化物膜13との間に介在している接合膜12も同時に除去することができる。

[0377] 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。

[0378] (電極の形成工程)

図15(D)に示す、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。

[0379] 以上のようにして、高い歩留で極めて良好な特性を有するIII族窒化物半導体デバイスを製造することができる。

実施例

[0380] 本発明にかかる実施例1～5および比較例1～2について以下に示す。

(実施例1)

1. III族窒化物複合基板の作製

(1) III族窒化物膜と支持基板との貼り合わせ

図4(A)を参照して、以下のようにして、III族窒化物膜13と支持基板11とを貼り合わせた。

[0381] 図4(A1)を参照して、支持基板11として、両主面が鏡面(JIS B0601に規定する算術平均粗さRaが1nm以下の平坦面をいう、以下同じ。)に研磨された直径10.0cmで厚さ500μmのムライト($\text{Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$)基板を3枚準備した。かかる支持基板11の主面11m上に、CVD法により、接合膜12aとして厚さ1μmの SiO_2 膜を形成した。

[0382] また、図4(A2)を参照して、III族窒化物膜13として、両主面が鏡面に研磨された直径10.0cmで厚さ400μmの3種類のGaN膜A～GaN膜Cを準備した。GaN膜Aには、導電性向上不純物を積極的にドーピングしなかった。GaN膜Bには、導電性向上不純物としてO(酸素)原子を $7 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ の濃度にドーピングした。GaN膜Cには、導電性向上不純物としてO(酸素)原子を $1.6 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ の濃度にドーピングした。

[0383] 上記のIII族窒化物膜13のN原子面に相当する(000-1)面であ

る主面 1 3 n 上に、CVD 法により、接合膜 1 2 a として厚さ 1 μ m の Si O₂ 膜を形成した。

[0384] 次に、図 4 (A 3) を参照して、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 および I I I 族窒化物膜 1 3 に形成された接合膜 1 2 b の主面 1 2 b n のそれぞれを鏡面に研磨した後、接合膜 1 2 a の主面 1 2 a m と接合膜 1 2 b の主面 1 2 b n とを貼り合わせ、N₂ガス（窒素ガス）雰囲気中 7 0 0 °C まで昇温させてアニールすることにより接合強度を高めた。

[0385] こうして貼り合わされた 3 種類の貼り合わせ基板のそれぞれを、ダイシングにより切断して、主面が 2 0 m m 角（2 0 m m × 2 0 m m の正方形をいう、以下同じ。）である 8 つの貼り合わせ基板片を作製した。

[0386] (2) I I I 族窒化物膜の厚さ調製

図 4 (B) を参照して、上記のようにして、3 種類の貼り合わせ基板のそれぞれについて得られた 8 つの貼り合わせ基板片の I I I 族窒化物膜 1 3 の厚さを、主面を研磨することにより、それぞれ、5 μ m、8 μ m、1 0 μ m、2 0 μ m、5 0 μ m、1 0 0 μ m、2 0 0 μ m および 5 0 0 μ m に調製して、8 つの I I I 族窒化物複合基板を得た。

[0387] 2. I I I 族窒化物複合基板の I I I 族窒化物膜側のシート抵抗の測定

上記のようにして得られた 3 種類の貼り合わせ基板から得られた 2 4 の I I I 族窒化物複合基板 1（3 種類の貼り合わせ基板のそれぞれの貼り合わせ基板について 8 つの I I I 族窒化物複合基板）の I I I 族窒化物膜 1 3 側の主面 1 3 m のシート抵抗を、四端子法により測定した。表 1 に結果をまとめた。

[0388]

[表1]

III 族窒化物膜		シート抵抗 (Ω/sq)
種類	厚さ(μm)	
GaN 膜 A	5	403.6
	8	250.8
	10	196.1
	20	101.6
	50	41.5
	100	19.8
	200	9.7
	500	3.8
GaN 膜 B	5	157.7
	8	101.3
	10	78.9
	20	39.2
	50	18.1
	100	7.4
	200	3.7
	500	1.3
GaN 膜 C	5	40.7
	8	24.5
	10	19.4
	20	9.7
	50	3.6
	100	1.7
	200	0.9
	500	0.3

[0389] 3. III 族窒化物半導体デバイスの作製

図5を参照して、III 族窒化物複合基板1のIII 族窒化物膜13のIII 族原子面に相当する(0001)面である主面13m上に、MOCVD法により、III 族窒化物層20として、第1導電型GaN層201である厚さ $5\mu\text{m}$ のn型GaN層、第1導電型 $\text{Al}_s\text{Ga}_{1-s}\text{N}$ 層202(ここで、 s は $0 < s < 1$)である厚さ $0.5\mu\text{m}$ のn型 $\text{Al}_{0.05}\text{Ga}_{0.95}\text{N}$ 層、発光層203である6周期の $\text{In}_{0.15}\text{Ga}_{0.85}\text{N}$ 層および $\text{In}_{0.01}\text{Ga}_{0.99}\text{N}$ 層からなる厚さ 100nm のMQW(多重量子井戸)構造層、第2導電型 $\text{Al}_t\text{Ga}_{1-t}\text{N}$ 層204(ここで、 t は $0 < t < 1$)である厚さ 20nm のp型 $\text{Al}_{0.20}\text{Ga}_{0.80}\text{N}$ 層、および第2導電型GaN層205である厚さ $0.15\mu\text{m}$ のp型GaN層

を、この順に成長させた。

[0390] 次に、第2導電型Ga_{1-t}N層205、第2導電型Al_tGa_{1-t}N層204、発光層203、および第1導電型Al_sGa_{1-s}N層202のそれぞれの一部をメサエッチングにより除去して、第1導電型Ga_{1-t}N層201の一部を露出させた。

[0391] 次に、第1導電型Ga_{1-t}N層201の露出した主面上に、電子ビーム蒸着法により、第1電極31としてn側電極を形成した。また、第2導電型Ga_{1-t}N層205の露出した主面上に、電子ビーム蒸着法により、第2電極32としてp側電極を形成した。このようにして、24のIII族窒化物半導体デバイスを作製した。

[0392] 対比III族窒化物半導体デバイスとして、両主面を鏡面に研磨した主面の大きさが20mm角で厚さ500μmで、導電性向上不純物としてO（酸素）原子を $1.6 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ の濃度にドーピングした、Ga_{1-t}N基板のIII族原子面たるGa原子面に相当する（0001）面である主面13m上に、上記と同様にして上記と同じ構成のIII族窒化物層20を有するIII族窒化物半導体デバイスを形成した。

[0393] 4. III族窒化物半導体デバイスの発光強度の測定

上記で得られた24のIII族窒化物半導体デバイスおよび対比III族窒化物半導体デバイスの発光強度として、III族窒化物半導体デバイスに80mAの電流を注入したときの発光スペクトルのピーク波長450nmにおける発光強度を、EL（エレクトロルミネッセンス）法により測定して、対比III族窒化物半導体デバイスの発光強度に対する上記24のIII族窒化物半導体デバイスのそれぞれの発光強度の比を相対発光強度として算出した。厚さ5μmのGa_{1-t}N膜Aを含むシート抵抗が403.6Ω/sqのIII族窒化物複合基板および厚さ8μmのGa_{1-t}N膜Aを含むシート抵抗が250.8Ω/sqのIII族窒化物複合基板を有する発光デバイスは、相対発光強度が0.01未満以下と低かったが、それ以外のIII族窒化物複合基板を有する発光デバイスは、相対発光強度が0.1以上に向上した。

[0394] (実施例2)

ⅠⅠⅠ族窒化物膜13として、導電性向上不純物としてO(酸素)原子を $7 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ の濃度にドーピングされ、両主面が鏡面に研磨された、直径2インチ(5.08cm)で厚さが500 μm のGaN膜を20枚準備した。

[0395] これらのGaN膜の内、10枚のGaN膜を研磨により厚さを200 μm まで薄くしたところ、10枚中7枚のGaN膜に割れおよび／またはクラックが発生した。

[0396] 残りの10枚のGaN膜については、実施例1と同様の手順で、直径が2インチ(5.08cm)で厚さが400 μm のムライト基板と貼り合わせた後、貼り合わせたGaN膜を研磨により厚さを200 μm まで薄くしたところ、10枚すべてのGaN膜において、割れおよび／またはクラックは見られなかった。

[0397] (実施例3)

ⅠⅠⅠ族窒化物膜13として、導電性向上不純物をドーピングされていない、両主面が鏡面に研磨された、直径2インチ(5.08cm)で厚さが500 μm のGaN膜を用いたこと、貼り合わせの際貼り合わせ面にウォーターマークを形成して接合領域の面積を変化させたこと以外は、実施例1と同様の手順で、6枚のⅠⅠⅠ族窒化物複合基板1を作製した。ここで、ウォーターマークとは、表面に洗浄汚染などによる不純物がある部分において、水分が乾燥するとき、不純物が凝集した状態で乾くために形成される乾きしみをいう。ウォーターマークは、その形成の対象とする面に、超純水ではなく、純度の低い水を付着させ、それを乾燥させることにより、純度の低い水をつけた部分に形成することができる。

[0398] 得られた6枚のⅠⅠⅠ族窒化物複合基板1について、接合領域100bの面積をレーザを用いた表面欠陥検査装置により測定したところ、それぞれ、主面1mの面積に対して、34%、57%、64%、70%、87%、95%であった。これらの内、接合領域100bの面積が主面1mの面積の70

%以上であるⅠⅠⅠ族窒化物複合基板１については、非接合領域１００ｎを構成する非接合部分領域はいずれも最大径が２０ｍｍ未満であった。また、接合領域１００ｂの面積が主面１ｍの面積の６４％以下であるⅠⅠⅠ族窒化物複合基板１については、非接合領域１００ｎを構成する非接合部分領域には最大径が２０ｍｍ以上のものがあつた。さらに、接合領域１００ｂの面積が主面１ｍの面積の６４％以下であるⅠⅠⅠ族窒化物複合基板１を７００℃まで加熱したところ、加熱中に、最大径が２０ｍｍ以上の非接合部分領域を起点として、ⅠⅠⅠ族窒化物膜１３が支持基板１１から剥がれた。

[0399] (実施例４)

ⅠⅠⅠ族窒化物膜１３として、導電性向上不純物をドーピングされていない、両主面が鏡面に研磨された、直径２インチ（５．０８ｃｍ）で厚さが５００μｍのＧａＮ膜を用いたこと、支持基板１１として、両主面が鏡面に研磨された、直径２インチ（５．０８ｃｍ）で厚さが５００μｍの多結晶Ｍｏ基板を用いたこと、貼り合わせの際に、貼り合わせ面を洗浄することにより非接合領域の発生を抑えたこと、および、貼り合わせ面に直径が１５ｍｍ程度のウォーターマークを形成することによりⅠⅠⅠ族窒化物複合基板の所定の位置に非接合領域を形成させたこと以外は、実施例１と同様の手順で、３枚のⅠⅠⅠ族窒化物複合基板１を作製した。

[0400] 得られた３枚のⅠⅠⅠ族窒化物複合基板１について、非接合領域の位置を超音波顕微鏡により測定したところ、１枚のⅠⅠⅠ族窒化物複合基板には主面の外周に接する最大径が１０ｍｍ程度の非接合部分領域を含む非接合領域が形成され、別の１枚のⅠⅠⅠ族窒化物複合基板には主面の外周に接しない最大径が１０ｍｍ程度の非接合部分領域のみを含む非接合領域が形成され、さらに別の１枚のⅠⅠⅠ族窒化物複合基板には非接合領域の面積が主面の面積の８３％であつた。

[0401] 得られた３枚のⅠⅠⅠ族窒化物複合基板を７００℃まで加熱したところ、加熱中に、主面の外周に接する最大径が１０ｍｍ程度の非接合部分領域を含む非接合領域が形成されたⅠⅠⅠ族窒化物複合基板が割れた。それ以外のⅠ

ⅠⅠ族窒化物複合基板は割れなかった。

[0402] (実施例5)

ⅠⅠⅠ族窒化物膜として、両主面が鏡面に研磨された、主面が20mm角で厚さが300 μ mのGaN膜を8枚準備した。8枚のGaN膜の2枚ずつに、直径50 μ m程度の主面貫通孔を、主面の面積に対して主面貫通孔の面積が、5%、10%、20%、および30%となるように形成した。

[0403] また、支持基板である主面が20mm角で厚さが400 μ mのサファイア基板の主面上に接合膜としてSiO₂膜を形成した基板を8枚準備した。その接合膜の主面を鏡面に研磨した後、4枚は37質量% HCl（塩酸）および30質量%のH₂O₂（過酸化水素）を含む水溶液で複数洗浄することにより、貼り合わせ面の金属を含む不純物を除去した。残りの4枚はIPA（イソプロピルアルコール）により洗浄を行なった。

[0404] 主面の面積に対して主面貫通孔の面積が、それぞれ5%、10%、20%、および30%である4枚のⅠⅠⅠ族窒化物膜と、接合膜の貼り合わせの面をHClおよびH₂O₂洗浄した4枚の支持基板とを、実施例1と同様の条件で、貼り合わせた。また、主面の面積に対して主面貫通孔の面積が、それぞれ5%、10%、20%、および30%である4枚のⅠⅠⅠ族窒化物膜と、接合膜の貼り合わせ面をIPA洗浄した4枚の支持基板とを、実施例1と同様の条件で、貼り合わせた。

[0405] 貼り合わせた後、以下のようにして引張試験を行なった。引張試験は10mm角の治具をエポキシ接着剤を介してⅠⅠⅠ族窒化物複合基板の表と裏に接着し、治具の両端を引っ張ることにより行なった。結果を表2にまとめた。表2において、エポキシ接着剤と治具の間で破断したものは、ⅠⅠⅠ族窒化物膜と接合膜との界面で剥離したものに比べて、接合強度が高いことを示す。

[0406]

[表2]

貼り合わせ面の洗淨方法	主面の面積に対する III 族窒化物膜の 主面貫通孔の面積(%)	引張試験における破壊部位および破壊形態
HCl および H ₂ O ₂ 洗淨	5	エポキシ接着剤と治具との界面で破断
	10	III 族窒化物基板と接合膜との界面で剥離
	20	III 族窒化物基板と接合膜との界面で剥離
	30	III 族窒化物基板と接合膜との界面で剥離
IPA 洗淨	5	エポキシ接着剤と治具との界面で破断
	10	エポキシ接着剤と治具との界面で破断
	20	III 族窒化物基板と接合膜との界面で剥離
	30	III 族窒化物基板と接合膜との界面で剥離

[0407] 表2を参照して、IPA洗淨を行なったものが、III族窒化物膜の主面貫通孔の面積が主面の面積の10%以下において、接合強度が高かった。また、HClおよびH₂O₂洗淨ならびにIPA洗淨を行なった接合膜の貼り合わせ面における金属を含む不純物の濃度を、TXRF（全反射蛍光X線）分析により測定した。HClおよびH₂O₂洗淨を行なったものは、Fe濃度およびNi濃度いずれも $1 \times 10^{10} \text{ cm}^{-2}$ 以下であった。IPA洗淨を行なったものは、Fe濃度が $5.7 \times 10^{11} \text{ cm}^{-2}$ で、Ni濃度が $1.5 \times 10^{11} \text{ cm}^{-2}$ であった。

[0408] （比較例1）

III族窒化物膜として、導電性向上不純物であるO（酸素）原子が $6 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ の濃度にドーピングされ、両主面が鏡面に研磨された、直径2インチ（5.08cm）で厚さが400μmのGaN膜を1枚準備した。かかるIII族窒化物膜のN原子面である主面に、当該主面から約0.7μmの深さの位置にH（水素）イオンを注入した。Hイオン注入は、加速電圧が100keVで、ドーズ量が $5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-2}$ で行なった。Hイオンを注入したIII族窒化物膜のHイオンが注入された側の主面と、直径が2インチ（5.08cm）で厚さが500μmのムライト基板とを、実施例1と同様の手順で貼り合わせてアニールすることにより、Hイオンが注入された部分でIII族窒化物膜を分離することにより、ムライト基板上に厚さが0.3μmのIII族窒化物膜を有するIII族窒化物複合基板を得た。得られたIII

Ⅰ族窒化物複合基板のシート抵抗は、 $1 \times 10^{10} \Omega / sq$ 以上であった。

[0409] (比較例 2)

支持基板として、両主面が鏡面に研磨された直径 2 インチ (5.08 cm) で厚さが $300 \mu m$ の Mo 基板を用いたこと、H イオンのドーズ量を $3.5 \times 10^{17} cm^{-2}$ としたこと以外は、比較例 1 と同様の手順で、Mo 基板上に厚さが $0.3 \mu m$ の III 族窒化物膜を有する III 族窒化物複合基板を得た。得られた III 族窒化物複合基板を、 N_2 ガス (窒素ガス) 雰囲気中 $800^\circ C$ で 3 時間さらに熱処理することにより、大部分の領域でシート抵抗が $6700 \Omega / sq$ まで低くなったが、一部の領域では $35000 \Omega / sq$ と高いままであった。

[0410] 参考発明 Ⅰ にかかる参考例 Ⅰ-A ~ 参考例 Ⅰ-Ⅰ について以下に示す。

(参考例 Ⅰ-A)

1. III 族窒化物複合基板の作製

図 12 (A) を参照して、支持基板 11 として直径 75 mm のムライト基板を準備し、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 (二乗平均平方根粗さ) を 5 nm 以下に鏡面化した後、その上に厚さ 800 nm の SiO_2 膜を LP-CVD (減圧-化学気相堆積) 法により成長させ、平均粒径が 40 nm 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、主面の RMS が 0.3 nm 以下に平坦化された厚さ 400 nm 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、KOH 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。

[0411] 図 12 (B) を参照して、III 族窒化物膜ドナー基板 13D として直径 75 mm で厚さ 8 mm 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 2 nm 以下に鏡面化した後、その上に厚さ 800 nm の SiO_2 膜を LP-CVD (減圧-化学気相堆積) 法により成長させ、平均粒径が 40 nm のコロイダルシリ

力砥粒を含み pH が 10 のスラリーを用いた CMP により、主面が RMS で 0.3 nm 以下に平坦化された厚さ 500 nm の接合膜 12b を形成した。CMP に用いた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ものであった。

[0412] 図 12 (C) を参照して、接合膜 12a と接合膜 12b とを貼り合わせるにより、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。

[0413] 図 12 (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 180 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、4200 N とした。切断後に、III 族窒化物複合基板 1 の III 族窒化物膜 13 を機械研磨および CMP を行なった。III 族窒化物膜 13 の厚さ、オフ角の均一化のため、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。

[0414] 得られた 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 (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 7 に示す III 族窒化物膜 13 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 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 13 点の測定点 P における III 族窒化物膜 13 の厚さおよびオフ角の絶対値から算出した。

[0415] 2. III 族窒化物半導体デバイスの作製

図 15 (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 $5 \mu\text{m}$ の $n\text{-GaIn}_{0.05}\text{Ga}_{0.95}\text{N}$ 層 21、厚さ 50 nm の $n\text{-In}_{0.14}\text{Ga}_{0.86}\text{N}$ 井戸層と厚さ 15 nm の GaIn 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 20 nm の $p\text{-Al}_{0.09}\text{Ga}_{0.91}\text{N}$ 層 24、および厚さ 150 nm の $p\text{-GaIn}$ 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。

[0416] 図 15 (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 $p\text{-GaIn}$ 層 25 上に、EB（電子線）蒸着法により、厚さ 4 nm の Ni 層および厚さ 200 nm 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 200 nm の Ti 層、厚さ 100 nm の Pt 層、および厚さ 1000 nm 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。

[0417] 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 200 nm の Ti 層、厚さ 100 nm の Pt 層、および厚さ 1000 nm 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 AuS

nはんだ膜を形成した。

[0418] 次に、パッド電極33に接合金属膜44を貼り合わせるにより、積層基板3を得た。

[0419] 図15(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。

[0420] 図15(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。

[0421] 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3にまとめた。

[0422] [表3]

参考例 I-A	I-A1	I-A2	I-A3	I-A4	I-A5	I-A6	I-A7	I-A8	I-A9
比 s_t/m_t	0.001	0.002	0.01	0.05	0.1	0.15	0.2	0.25	0.2
比 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

[0423] 表3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、参考例 I-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。

[0424] (参考例 I-B)

図 12 および図 15 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、直径がそれぞれ 75 mm、100 mm、125 mm、および 150 mm の III 族窒化物複合基板 1 を作製したこと以外は、参考例 I-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。

[0425] 参考例 I-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 2 にまとめた。また、参考例 I-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。

[0426] [表4]

参考例 I-B	I-B1	I-B2	I-B3	I-B4	I-B5	I-B6	I-B7	I-B8	I-B9	I-B10	I-B11	I-B12	I-B13	I-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

[0427] 表 4 を参照して、厚さ $10 \mu m \sim 250 \mu m$ の III 族窒化物膜を有する

直径75mm～150mm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。

[0428] (参考例Ⅰ-C)

半導体デバイス用基板として、Ⅲ族窒化物自立基板（以下、FS基板ともいう）、イオン注入法により作製されたⅢ族窒化物複合基板（以下、BP基板ともいう）、および本発明の参考形態Ⅰ-4により作製されたⅢ族窒化物複合基板（以下、BS基板ともいう）を準備した。

[0429] FS基板は、所定の直径を有するGaN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。

[0430] BP基板は、図17(B)に示すように、Ⅲ族窒化物膜ドナー基板13Dである所定の直径を有するGaN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13iを形成した後、図17(C)に示すように、支持基板11とⅢ族窒化物膜ドナー基板13Dのイオン注入領域13i側とを接合膜12を介在させて貼り合わせた後、図17(D)に示すように、850℃でアニールすることにより、Ⅲ族窒化物膜ドナー基板13Dをそのイオン注入領域13iで分離することにより、表5に示す直径およびⅢ族窒化物膜の厚さの基板とした。ここで、支持基板11としては、ムライト基板を用いた。

[0431] BS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、参考例Ⅰ-Bと同様にして、表3に示す直径およびⅢ族窒化物膜の厚さの基板とした。

[0432] 上記のFS基板、BP基板、およびBS基板を用いたこと以外は、参考例Ⅰ-B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。

[0433] 参考例Ⅰ-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5にまとめた。また、参考例Ⅰ-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。

[0434] [表5]

参考例 I-C	FS基板						BP基板				BS基板			
	I-C1	I-C2	I-C3	I-C4	I-C5	I-C6	I-C7	I-C8	I-C9	I-C10	I-C11	I-C12	I-C13	I-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

[0435] 表5を参照して、直径50mm～125mmで厚さ200 μ m～500 μ m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。

[0436] また、直径が75mm～125mmでIII族窒化物膜の厚さが0.5 μ m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。

[0437] 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。

[0438] (参考例I-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、参考例I-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6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。

[0439] これらのIII族窒化物複合基板を用いて、参考例I-Bと同様にして、III族窒化物半導体デバイスを作製した。

[0440] 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6にまとめた。また、参考例I-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にまとめた。

[0441]

[表6]

参考例 I-D	I-D1	I-D2	I-D3	I-D4	I-D5	I-D6	I-D7	I-D8	I-D9	I-D10	I-D11	I-D12	I-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

[0442] 表6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。

[0443] (参考例 I-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 $\alpha_{\text{III-N}}$ の比 $\alpha_{\text{III-N}}/\alpha_s$ が異なり、かつ、支持基板の厚さ t_s に対するIII族窒化物膜の厚さ $t_{\text{III-N}}$ の比 $t_{\text{III-N}}/t_s$ が異なる複数のIII族窒化物複合基板を用いたこと以外は、参考例 I-Bと同様にして、III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-YSZ基板、 Al_2O_3 - SiO_2 複合酸化物基板を用いた。

[0444] 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 $\alpha_{\text{III-N}}/\alpha_s$ および支持基板の厚さ t_s に対するIII族窒化物膜の厚さ $t_{\text{III-N}}$ の比 $t_{\text{III-N}}/t_s$ 、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。

[0445] [表7]

参考例 I-E	I-E1	I-E2	I-E3	I-E4	I-E5	I-E6	I-E7	I-E8	I-E9	I-E10	I-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_2O_3 - SiO_2	Al_2O_3 - SiO_2	ムライト	ムライト-YSZ
比 $\alpha_{\text{III-N}}/\alpha_s$	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1	1.25	0.75	1.2	1
比 $t_{\text{III-N}}/t_s$	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

[0446] 表7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 α_{III-N}/α_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。

[0447] (参考例I-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量を調整したこと以外は、参考例I-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8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。

[0448] [表8]

参考例 I-F	I-F1	I-F2	I-F3	I-F4	I-F5	I-F6	I-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

[0449] 表8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/cm²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。

[0450] (参考例I-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、ドーパントとしてOおよびSiが添加され、転位密度が 4×10^6 cm⁻²でキャリア濃度が 2×10^{18} 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、参考例I-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。

[0451] 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9にまとめた。

[0452] [表9]

参考例 I-G	I-G1	I-G2	I-G3	I-G4	I-G5	I-G6	I-G7	I-G8	I-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

[0453] 表9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。

[0454] (参考例 I-H)

支持基板として $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$ 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結晶体を用いたこと以外は、参考例 I-Bと同様に、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。

[0455] さらに、図10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。

[0456] 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。

[0457] 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。

[0458] 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50nmNi層および厚さ500nmのAu層を順次形成した。ゲート長は2μmとした。

[0459] 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Ga_{0.2}N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。

[0460] 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、5V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。

[0461] 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10にまとめた。

[0462]

[表10]

参考例 I-H	I-H1	I-H2	I-H3	I-H4	I-H5	I-H6	I-H7	I-H8	I-H9	I-H10	I-H11	I-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

[0463] 表10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0.1nm以上2nm以下でありそのRMSの標準偏差 s_{III-N} が0.4nm以下であり、支持基板の主面は、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。

[0464] (参考例I-I)

1. III族窒化物複合基板の作製

図14(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_{0.5}In_{0.5}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PECVD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、以外は参考例I-Aと同様にして接合基板1Lを得た。

[0465] 図14(D)を参照して、接合基板1LのIII族窒化物膜ドナー基板1

3 D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 $25\mu\text{m}$ ～ $35\mu\text{m}$ 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 $3\mu\text{m}$ 、 $2\mu\text{m}$ 、 $0.25\mu\text{m}$ 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、参考例1-18については、上記の研削の代わりに平均粒径が $9\mu\text{m}$ 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 $150\mu\text{m}$ のIII族窒化物膜13を含むIII族窒化物複合基板1を得た。

[0466] 2. III族窒化物半導体デバイスの作製

図15を参照して、本参考例における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 $35\mu\text{m}$ ～ $45\mu\text{m}$ 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、特に参考例1-19については平均粒径が $15\mu\text{m}$ 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、参考例1-Aと同様にしてIII族窒化物半導体デバイス4を得た。

[0467] 参考例1-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11にまとめた。また、参考例1-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11にまとめた。

[0468]

[表11]

参考例 I-I	I-I1	I-I2	I-I3	I-I4	I-I5	I-I6	I-I7	I-I8	I-I9
比 s_t/m_t	0.001	0.002	0.05	0.15	0.2	0.25	0.2	0.05	0.05
比 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

[0469] 表 1 1 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、参考例Ⅰー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。

[0470] 参考発明ⅠⅠにかかる参考例ⅠⅠーA～参考例ⅠⅠーHについて以下に示す。

(参考例ⅠⅠーA)

1. ⅠⅠⅠ族窒化物複合基板の作製

図 1 2 (A) を参照して、支持基板 1 1 として直径 75 mm で厚さ 300 μm の $\text{Al}_2\text{O}_3\text{--SiO}_2$ 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) を準備した。支持基板 1 1 は、その熱伝導率が $10\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ であり、そのヤング率が 250 GPa であった。支持基板 1 1 の両側の主面 1 1 m, 1 1 n 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、スズ定盤により中間研磨、格子溝を形成した不織布研磨パッドにより仕上げ研磨を行なった。仕上げ研磨においては、作用係数 FE が $4 \times 10^{-17} \text{m}^2/\text{s}$ 以上 $1 \times 10^{-16} \text{m}^2/\text{s}$ 以下の条件で研磨した。

[0471] 次に、支持基板 1 1 の仕上げ研磨後の主面 1 1 m 上に、厚さ 800 nm の SiO_2 膜を PECVD (プラズマ援用ー化学気相堆積) 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なった後に、平均粒径 4

0 nm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12aがRMS（二乗平均平方根粗さ）で0.3 nm以下に鏡面化された厚さ400 nm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シング洗浄、純水によるポリシング洗浄、および純水によるメガソニック洗浄（500 kHz～5 MHz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。

[0472] また、図12（B）を参照して、III族窒化物膜ドナー基板13Dとして直径75 mmで厚さ8 mm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2 nm以下に平坦化した後、その上に厚さ800 nmのSiO₂膜をPECVD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なった後に、平均粒径が40 nm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12bがRMSで0.3 nm以下に鏡面化された厚さ500 nm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シング洗浄、純水によるポリシング洗浄、および純水によるメガソニック洗浄（500 kHz～5 MHz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。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 $1 \times 10^8 \text{ cm}^{-2}$ で、そのキャリア濃度が 1×10^{17} であった。

[0473] 次に、図12（C）を参照して、接合膜12aの主面12aと接合膜12bの主面12bとを貼り合わせるにより、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。

[0474] 次に、図12（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 $150\ \mu\text{m}$ 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 $180\ \mu\text{m}$ 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、 4200 N とした。切断後に、III 族窒化物複合基板 1 の III 族窒化物膜 13 を機械研磨および CMP を行なった。III 族窒化物膜 13 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。

[0475] 次に、得られた III 族窒化物複合基板 1 の III 族窒化物膜 13 側の主面 13m 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、スズ定盤により中間研磨を実施した。さらに、研磨剤としてコロイダルシリカ砥粒を含む pH が 11 のスラリーを用いて不織布研磨パッドにより仕上げ研磨を行なった。仕上げ研磨においては、作用係数 FE が $6 \times 10^{-14}\text{ m}^2/\text{s}$ の条件で研磨した。仕上げ研磨後の III 族窒化物膜 13 の厚さは $110\ \mu\text{m}$ であった。

[0476] 上記仕上げ研磨後の 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 RMS の平均値 m_s 、支持基板 11 側の主面 11n の RMS の平均値 m_s に対する RMS の標準偏差 s_s の比 s_s/m_s を表 12 にまとめた。

[0477] ここで、RMS の平均値 m_s および RMS の平均値 m_s に対する RMS の標準偏差 s_s の比 s_s/m_s は、図 7 に示す支持基板 11 側の主面 11n 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 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 13 点の測定点 P における支持

基板 1 1 側の主面 1 1 n の RMS から算出した。

[0478] 2. III 族窒化物半導体デバイスの作製

図 1 5 (A) を参照して、III 族窒化物複合基板 1 の III 族窒化物膜 1 3 側の主面 1 3 m 上に、MOVPE 法により、III 族窒化物層 2 0 として、III 族窒化物膜 1 3 上に、厚さ $5\mu\text{m}$ の $n\text{-Ga}\text{N}$ 層 2 1、厚さ 50nm の $n\text{-In}_{0.05}\text{Ga}_{0.95}\text{N}$ 層 2 2、厚さ 3nm の $\text{In}_{0.14}\text{Ga}_{0.86}\text{N}$ 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 2 3、厚さ 20nm の $p\text{-Al}_{0.09}\text{Ga}_{0.91}\text{N}$ 層 2 4、および厚さ 150nm の $p\text{-Ga}\text{N}$ 層 2 5 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。

[0479] 図 1 5 (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 2 0 の最上層である $p\text{-Ga}\text{N}$ 層 2 5 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 3 0 を形成した。第 1 電極 3 0 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 3 3 を形成した。

[0480] また、デバイス支持基板 4 0 として CuW 基板を準備し、デバイス支持基板 4 0 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 4 3 を形成した。パッド電極 4 3 上に、接合金属膜 4 4 として AuSn はんだ膜を形成した。

[0481] 次に、パッド電極 3 3 に接合金属膜 4 4 を貼り合わせることにより、積層基板 3 を得た。

[0482] 図 1 5 (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 1 1 および接合膜 1 2 を、フッ化水素酸を用いて、エッチングにより除去した。

[0483] 図15(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が除去された露出した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。

[0484] 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12にまとめた。

[0485] [表12]

参考例 II-A	II-A1	II-A2	II-A3	II-A4	II-A5	II-A6	II-A7	II-A8	II-A9	II-A10	II-A11	II-A12	II-A13
$m_s(\text{nm})$	0.3	0.5	1	2	5	10	20	0.3	20	30	35	20	10
比 s_s/m_s	0.005	0.01	0.05	0.1	0.2	0.3	0.4	0.4	0.005	0.4	0.005	0.5	0.65
デバイス歩留率(%)	77	77	73	71	67	63	56	63	58	31	32	35	37

[0486] 表12を参照して、支持基板と、厚さ110 μm （この値は10 μm 以上250 μm 以下）のIII族窒化物膜と、を有する直径75mm（この値は75mm以上）のIII族窒化物複合基板であって、支持基板側の主面のRMSの平均値 m_s が0.3nm以上20nm以下であり、前記支持基板側の主面のRMSの平均値 m_s に対するRMSの標準偏差 s_s の比 s_s/m_s が0.005以上0.4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。

[0487] (参考例 I I - B)

図 1 2 および図 1 5 を参照して、支持基板 1 1 としてムライト-Y S Z 基板（基板全体に対してムライトが 7 0 質量%で Y S Z が 3 0 質量%であり、ムライトに対して Al_2O_3 が 6 0 モル%で SiO_2 が 4 0 モル%であり、Y S Z に対して ZrO_2 が 9 0 モル%で Y_2O_3 が 1 0 モル%である）を用いたこと、直径をそれぞれ 7 5 m m ~ 1 5 0 m m の間で変動させ、支持基板 1 1 側の主面 1 1 n の仕上げ研磨においては作用係数 $F E$ が $6.2 \times 10^{-17} \text{m}^2/\text{s}$ の条件で研磨したこと、仕上げ研磨後の I I I 族窒化物膜 1 3 の厚さをそれぞれ $10 \mu\text{m} \sim 250 \mu\text{m}$ の間で変動させた I I I 族窒化物複合基板 1 を作製したこと、以外は、参考例 I I - 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。支持基板 1 1 は、熱伝導率が $30 \text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ で、ヤング率が 150GPa であった。

[0488] 参考例 I I - A と同様にして、I I I 族窒化物複合基板 1 について、支持基板 1 1 側の主面 1 1 n の RMS の平均値 m_s 、支持基板 1 1 側の主面 1 1 n の RMS の平均値 m_s に対する RMS の標準偏差 s_s の比 s_s/m_s を算出して、表 1 3 にまとめた。また、参考例 I I - 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 1 3 にまとめた。

[0489] [表13]

参考例 II-B	II-B1	II-B2	II-B3	II-B4	II-B5	II-B6	II-B7	II-B8	II-B9	II-B10	II-B11	II-B12
直径 D(mm)	75	75	75	75	75	100	100	100	100	125	150	150
III 族窒化物膜の厚さ(μm)	10	30	100	200	250	10	110	180	250	120	130	250
$m_s(\text{nm})$	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
比 s_s/m_s	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23
デバイス歩留率(%)	58	62	69	72	65	59	74	73	66	75	74	62

[0490] 表 1 3 を参照して、厚さ $10 \mu\text{m} \sim 250 \mu\text{m}$ の I I I 族窒化物膜を有する直径 7 5 m m ~ 1 5 0 m m の I I I 族窒化物複合基板であって、支持基板側の主面の RMS の平均値 m_s が 6 n m （この値は 0.3 n m 以上 2 0 n m 以下）であり、支持基板側の主面の RMS の平均値 m_s に対する RMS の標準偏差 s_s の比 s_s/m_s が 0.23 （この値は 0.005 以上 0.4 以下）である I

ⅠⅠ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。

[0491] (参考例ⅠⅠーC)

半導体デバイス用基板として、ⅠⅠⅠ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ⅠⅠⅠ族窒化物複合基板（以下、B P基板ともいう）、および参考発明ⅠⅠの参考形態ⅠⅠー4により作製されたⅠⅠⅠ族窒化物複合基板（以下、B S基板ともいう）を準備した。

[0492] 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。

[0493] B P基板は、図17（B）に示すように、ⅠⅠⅠ族窒化物膜ドナー基板13Dである所定の直径を有するG a N結晶体にその主面13n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13iを形成した後、図17（C）に示すように、支持基板11とⅠⅠⅠ族窒化物膜ドナー基板13Dのイオン注入領域13i側とを接合膜12を介在させて貼り合わせた後、図17（D）に示すように、700℃でアニールすることにより、ⅠⅠⅠ族窒化物膜ドナー基板13Dをそのイオン注入領域13iで分離することにより、表14に示す直径およびⅠⅠⅠ族窒化物膜の厚さの基板とした。ここで、支持基板11としては、 $\text{Al}_2\text{O}_3\text{—SiO}_2$ 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。

[0494] B S基板は、支持基板として $\text{Al}_2\text{O}_3\text{—SiO}_2$ 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、参考例ⅠⅠーBと同様にして、表14に示す直径およびⅠⅠⅠ族窒化物膜の厚さの基板とした。

[0495] 上記のF S基板、B P基板、およびB S基板を用いたこと、支持基板11側の主面11nの仕上げ研磨においては作用係数F Eが $4.0 \times 10^{-17} \text{m}^2/\text{s}$ の条件で研磨したこと以外は、参考例ⅠⅠーB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。

[0496] 参考例Ⅱ－Ａと同様にして、Ⅲ族窒化物複合基板１であるＢＰ基板およびＢＳ基板について、反り W 、比 W/D 、支持基板１１側の主面１１ｎのＲＭＳの平均値 m_s 、支持基板１１側の主面１１ｎのＲＭＳの平均値 m_s に対するＲＭＳの標準偏差 s_s の比 s_s/m_s を算出して、表１４にまとめた。また、ＦＳ基板について、反り W 、比 W/D 、その裏面側の主面のＲＭＳの平均値 m_s 、裏面側の主面１１ｎのＲＭＳの平均値 m_s に対するＲＭＳの標準偏差 s_s の比 s_s/m_s を算出して、表１４にまとめた。さらに、参考例Ⅱ－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１４にまとめた。

[0497] [表14]

参考例Ⅱ－Ｃ	ＦＳ基板							ＢＰ基板			ＢＳ基板			
	Ⅱ－Ｃ１	Ⅱ－Ｃ２	Ⅱ－Ｃ３	Ⅱ－Ｃ４	Ⅱ－Ｃ５	Ⅱ－Ｃ６	Ⅱ－Ｃ７	Ⅱ－Ｃ８	Ⅱ－Ｃ９	Ⅱ－Ｃ１０	Ⅱ－Ｃ１１	Ⅱ－Ｃ１２	Ⅱ－Ｃ１３	Ⅱ－Ｃ１４
直径 D (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)	280	250	380	250	450	450	500	0.5	0.5	0.5	140	140	140	140
反り W (μm)	40	120	42	170	25	25	40	20	25	30	25	25	40	45
比 $W/D(\times 10^{-4})$	8	16	5.6	17	2.5	2.5	3.2	2.7	2.5	2.4	3.3	2.5	3.2	3
m_s (nm)	4	4	4	4	4	30	4	4	4	4	4	4	4	4
比 s_s/m_s	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.5	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15
デバイス歩留率(%)	52	割れ	54	割れ	56	18	52	0	0	0	72	73	70	69

[0498] 表１４を参照して、直径５０ｍｍ～１２５ｍｍで厚さ２５０ 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。

[0499] また、直径が７５ｍｍ～１２５ｍｍ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。

[0500] 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６９％以上と高かった。ＢＳ基板は、ＢＰ基板に比べてⅢ族窒化物膜が厚く十分に電流が広がること、ＢＰ基板とは異なりイオン注入によるⅢ族窒化物膜の結晶品質の低下がないことにより、良好な特性

が得られた。

[0501] (参考例 11-D)

図 12 および図 15 を参照して、支持基板 11 として $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$ 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）基板を用いたこと、直径をそれぞれ 75 mm ~ 150 mm の間で変動させ、接合膜 12 である SiO_2 膜を AP-CVD（常圧-化学気相堆積）法により成長させ、支持基板 11 側の主面 11n の仕上げ研磨においては作用係数 FE が $8.5 \times 10^{-17} \text{m}^2/\text{s}$ の条件で研磨したこと、仕上げ研磨後の 111 族窒化物膜 13 の厚さをそれぞれ $110 \mu\text{m} \sim 130 \mu\text{m}$ の間で変動させた 111 族窒化物複合基板 1 を作製したこと、以外は、参考例 11-A と同様に、111 族窒化物複合基板 1 および 111 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 $5 \text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ で、ヤング率が 230GPa であった。

[0502] 参考例 11-A と同様に、111 族窒化物複合基板 1 について、支持基板 11 側の主面 11n の RMS の平均値 m_s 、支持基板 11 側の主面 11n の RMS の平均値 m_s に対する RMS の標準偏差 s_s の比 s_s/m_s 、支持基板 11 側の主面 11n の反り W 、および直径 D に対する支持基板 11 側の主面 11n の反り W の比 W/D を算出して、表 15 にまとめた。また、参考例 11-A と同様に、111 族窒化物半導体デバイス 4 の歩留率を算出して、表 15 にまとめた。

[0503]

[表15]

参考例 II-D	II-D1	II-D2	II-D3	II-D4	II-D5	II-D6	II-D7	II-D8	II-D9	II-D10	II-D11	II-D12	II-D13	II-D14	II-D15	II-D16
直径 D(mm)	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	75	150	150	150	150	150
III 族窒化物膜の厚さ(μm)	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	130	120	120	120	120	120
比 $W/D(\times 10^{-4})$	-10	-7	-4	-2.5	-1	1.5	3	5	8	10	2	-11	-7	-2.5	8	10
$m_s(\text{nm})$	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
比 s_s/m_s	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
デバイス歩留率(%)	63	70	72	74	75	76	73	72	69	64	74	58	66	72	65	59

[0504] 表15を参照して、厚さ $110\mu\text{m}\sim 130\mu\text{m}$ （この値は $10\mu\text{m}$ 以上 $250\mu\text{m}$ 以下）のIII族窒化物膜を有する直径 $75\text{mm}\sim 150\text{mm}$ （この値は 75mm 以上）のIII族窒化物複合基板であって、支持基板側の主面のRMSの平均値 m_s が 3nm （この値は 0.3nm 以上 20nm 以下）であり、支持基板側の主面のRMSの平均値 m_s に対するRMSの標準偏差 s_s

の比 s_s/m_s が 0.1 (この値は 0.005 以上 0.4 以下) であり、直径 D に対する支持基板 11 側の主面 11n の反り W の比 W/D が -7×10^{-4} 以上 8×10^{-4} 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。

[0505] (参考例 I I - E)

図 12 および図 15 を参照して、支持基板 11 としてムライト基板 (ムライト基板全体に対して Al_2O_3 が 60 モル% で SiO_2 が 40 モル% である) を用いたこと、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、支持基板 11 側の主面 11n の仕上げ研磨においては作用係数 FE が $8.3 \times 10^{-17} \text{ m}^2/\text{s}$ の条件で研磨したこと、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たこと、III 族窒化物膜 13 側の主面 13m の仕上げ研磨の際に粒径が $20 \text{ nm} \sim 400 \text{ nm}$ のコロイダルシリカを含むスラリーを用いて作用係数 FE を 4×10^{-14} 以上 1×10^{-13} 以下としたこと、以外は、参考例 I I - 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 $3 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ で、ヤング率が 200 GPa であった。

[0506] 参考例 I I - 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、支持基板 11 側の主面 11n の RMS の平均値 m_s 、支持基板 11 側の主面 11n の RMS の平均値 m_s に対する RMS の標準偏差 s_s の比 s_s/m_s を算出して、表 16 にまとめた。

[0507] 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 RMS の平均値 m_{III-N} 、III 族窒化物膜 13 側の主面 13m の RMS の平均値 m_{III-N} に対する RMS の標準偏差 s_{III-N} の比 s_{III-N}/m_{III-N} を表 16 にまとめた。ここで、RMS の平均値 m_{III-N} および RMS の平均値 m_{III-N} に対する RMS の標準偏差 s_{III-N} の比 s_{III-N}/m_{III-N} は、図 7 に示す I

ⅠⅠ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側の主面１３ｍのＲＭＳから算出した。

[0508] さらに、参考例ⅠⅠ－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１６にまとめた。

[0509] [表16]

参考例Ⅱ－Ｅ	Ⅱ－Ｅ１	Ⅱ－Ｅ２	Ⅱ－Ｅ３	Ⅱ－Ｅ４	Ⅱ－Ｅ５	Ⅱ－Ｅ６	Ⅱ－Ｅ７	Ⅱ－Ｅ８	Ⅱ－Ｅ９	Ⅱ－Ｅ１０	Ⅱ－Ｅ１１	Ⅱ－Ｅ１２	Ⅱ－Ｅ１３
$m_{III-N}(nm)$	0.15	0.4	0.8	1	1.6	2	3	0.15	3	4	4.5	3	2.5
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
$m_s(nm)$	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
比 s_s/m_s	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
デバイス歩留率(%)	80	80	75	72	68	63	59	62	60	52	51	53	54

[0510] 表１６を参照して、厚さ１１０ μm （この値は１０ μm 以上２５０ μm 以下）のⅠⅠⅠ族窒化物膜を有する直径７５ｍｍ（この値は７５ｍｍ以上）のⅠⅠⅠ族窒化物複合基板であって、支持基板側の主面のＲＭＳの平均値 m_s が２ｎｍ（この値は０．３ｎｍ以上２０ｎｍ以下）であり、支持基板側の主面のＲＭＳの平均値 m_s に対するＲＭＳの標準偏差 s_s の比 s_s/m_s が０．１２（この値は０．００５以上０．４以下）であり、ⅠⅠⅠ族窒化物膜側の主面のＲＭＳの平均値 m_{III-N} が０．１５ｎｍ以上３ｎｍ以下であり、ⅠⅠⅠ族窒化物膜側の主面のＲＭＳ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。

[0511] （参考例ⅠⅠ－Ｆ）

１．ⅠⅠⅠ族窒化物複合基板の作製

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、ムライト基板（基板全体に対して Al_2O_3 が６０モル％で SiO_2 が４０モル％である）、ムライト－ＹＳＺ基板（基板全体に対してムライトが７０質量

%でY S Zが30質量%であり、ムライトに対して Al_2O_3 が60モル%で SiO_2 が40モル%であり、Y S Zに対して ZrO_2 が90モル%で Y_2O_3 が10モル%である)を用いたこと、III族窒化物膜ドナー基板13DとしてFe(鉄)原子をドーピングした電気抵抗率(比抵抗ともいう。)が $2 \times 10^5 \Omega \cdot cm$ の半絶縁性のGaN基板を用いたこと、III族窒化物膜ドナー基板の切断を遊離砥粒を用いたワイヤーソーで実施したこと、支持基板11側の主面11nの仕上げ研磨においては作用係数FEが $8.7 \times 10^{-17} m^2/s$ の条件で研磨したこと、直径をそれぞれ75mm~150mmの間で変動させたIII族窒化物複合基板を作製したこと以外は、参考例11-Aと同様にして、III族窒化物複合基板1を作製した。

[0512] 2. III族窒化物半導体デバイスの作製

図10を参照して、本参考例においては、III族窒化物半導体デバイス4として、HEMTを作製した。III族窒化物複合基板1のIII族窒化物膜13の主面13m上に、MOVPE法により、III族窒化物層20として、厚さ $1.5 \mu m$ のGaN層26、厚さ30nmの $Al_{0.2}Ga_{0.8}N$ 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。

[0513] 次に、 $Al_{0.2}Ga_{0.8}N$ 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を形成した。これらの電極の形成は、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分間アニールすることにより合金化することにより行なった。

[0514] 次に、ソース電極60およびドレイン電極70の形成と同様の工程により、ゲート電極80を形成した。ゲート電極80の形成は、厚さ50nmNi層および厚さ500nmのAu層を順次形成することにより行なった。ゲート長は $2 \mu m$ とした。

[0515] 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、I

Ⅱ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Al_{0.2}Ga_{0.8}N層２７が形成され、Al_{0.2}Ga_{0.8}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。

[0516] 参考例Ⅱ－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RMSの平均値 m_s 、支持基板１１側の主面１１ｎのRMSの平均値 m_s に対するRMSの標準偏差 s_s の比 s_s/m_s を算出して、表１７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_{III-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_{III-N} の比 α_{III-N}/α_s を算出して、結果を表１７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_{III-N} を、デジタルインジケータにより測定し、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_{III-N} の比 t_{III-N}/t_s を算出して、結果を表１７にまとめた。

[0517] また、以下のようにして、Ⅲ族窒化物半導体デバイス４の歩留率を算出した。すなわち、Ⅲ族窒化物半導体デバイス４であるHEMTに５Vのゲート電圧を与えたときに、そのHEMTから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。

[0518]

[表17]

参考例 II-F	II-F1	II-F2	II-F3	II-F4	II-F5	II-F6	II-F7	II-F8	II-F9	II-F10	II-F11	II-F12	II-F13	II-F14
直径 D(mm)	75	75	75	75	75	100	100	100	100	100	100	100	150	150
支持基板の種類	Al ₂ O ₃ -SiO ₂						ムライト-YSZ		Al ₂ O ₃ -SiO ₂		Al ₂ O ₃ -SiO ₂		ムライト	Al ₂ O ₃ -SiO ₂
比 α_{III-N}/α_s	1	1	1	1	1	1	1	1	1.25	0.9	0.75	1.2	1.2	1
比 t_{III-N}/t_s	0.02	0.1	0.3	0.6	1	0.4	0.4	1	0.4	0.4	0.4	0.3	0.2	0.2
m_s (nm)	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
比 s_s/m_s	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
デバイス歩留率(%)	62	65	75	66	64	76	72	63	63	70	62	64	63	69

[0519] 表17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Al₂O₃-SiO₂複合酸化物基板、ムライト基板、およびムライト-YSZ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110μm（この値は10μm～250μm）とし、直径が75mm～150mmであり、支持基板側の主面のRMSの平均値 m_s が1.5nm（この値は0.3nm以上20nm以下）であり、支持基板側の

主面のRMSの平均値 m_s に対するRMSの標準偏差 s_s の比 s_s/m_s が0.1
 (この値は0.005以上0.4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 α_{III-N}/α_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。

[0520] (参考例11-G)

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88質量%で SiO_2 が12質量%である)基板を用いたこと、研削および作用係数 FE が $5.9 \times 10^{-17} m^2/s$ の仕上げ研磨により支持基板11の厚さを $250 \mu m$ としたこと、直径をそれぞれ75mm~150mm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、参考例11-Aと同様にして、III族窒化物複合基板1を作製した。ここで、支持基板11は、熱伝導率が $15 W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$ で、ヤング率が270GPa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、塩酸またはTMAH(水酸化テトラメチルアンモニウム)と純水とを用いた二流体洗浄、ならびに塩酸またはTMAHと純水と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。

[0521] 2. III族窒化物半導体デバイスの作製

図11を参照して、本参考例においては、III族窒化物半導体デバイス4として、SBDを作製した。図6に示すIII族窒化物複合基板1のIII族窒化物膜13の主面13m上に、MOVPE法により、III族窒化物層20として、厚さ $2 \mu m$ の n^+-GaN 層28(キャリア濃度が $2 \times 10^{18} cm^{-3}$)、厚さ $7 \mu m$ の n^-GaN 層29(キャリア濃度が $5 \times 10^{15} cm^{-3}$)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

を得た。

[0522] 次に、 n^+ -GaN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。電極径は200 μ 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（図示せず）を形成した。

[0523] 積層III族窒化物複合基板から支持基板および接合膜を研削により除去した。研削には平均粒径が40 μ m～50 μ mのダイヤモンド砥粒を用いたビトリファイド砥石を用いた。

[0524] 図11を参照して、積層III族窒化物基板から支持基板および接合膜が除去された露出したIII族窒化物膜13の主面13n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、SBDとしてのIII族窒化物半導体デバイス4が得られた。

[0525] 参考例I-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RMSの平均値 m_s を算出して、表18にまとめた。さらに、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18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。

[0526] また、以下のようにして、III族窒化物半導体デバイス4の歩留率を算出した。すなわち、III族窒化物半導体デバイス4である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300V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18にまとめた。

[0527] [表18]

参考例 II-G	II-G1	II-G2	II-G3	II-G4	II-G5	II-G6	II-G7	II-G8
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	2000	8	100	10
m _s (nm)	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2
比 s _s /m _s	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
デバイス歩留率(%)	70	68	65	63	58	69	65	69

[0528] 表 18 を参照して、厚さ 110 μm 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って、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 3×10^{12} 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。

[0529] (参考例 I-H)

図 14 および図 15 を参照して、支持基板 11 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 110 μm としたこと、支持基板 11 側の主面 11n の仕上げ研磨においては作用係数 FE が $9.0 \times 10^{-17} \text{ m}^2/\text{s}$ の条件で研磨したこと、以外は、参考例 I-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、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。また、支持基板 11 の熱伝導率は、酸化物原料の配合比率、および焼成条件を調整することにより行なった。

[0530] 参考例 I-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 19 にまとめた。

[0531]

[表19]

参考例 II-H	II-H1	II-H2	II-H3	II-H4	II-H5	II-H6	II-H7	II-H8	II-H9
支持基板の熱伝導率 $\lambda_s(W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1})$	2	3	5	10	30	120	210	280	300
$m_s(nm)$	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
比 s_s/m_s	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08
デバイス歩留率(%)	55	63	65	67	67	66	64	61	55

[0532] 表19を参照して、厚さ110 μm （この値は10 μm 以上250 μm 以下）のIII族窒化物膜を有する直径75mm（この値は75mm以上）のIII族窒化物複合基板であって、熱伝導率が3 $W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$ 以上280 $W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$ 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。

[0533] 参考発明IIIにかかる参考例III-A～参考例III-Dについて以下に示す。

〔（1） III族窒化物複合基板の作製〕

（参考例III-A）

以下、図12を参照して、参考例に係るIII族窒化物複合基板を説明する。

[0534] まず、図12（A）に示すように、支持基板11として直径75mmで厚さ300 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85質量%であり、 SiO_2 が15質量%である複合酸化物基板）を準備した。この支持基板11は、熱伝導率が10 $W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$ であり、ヤング率が250GPaであった。

[0535] 次に、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、スズ系定盤により中間研磨、不織布研磨パッドにより仕上げ研磨を行なった。仕上げ研磨においては、作用係数FEが4 $\times 10^{-17}m^2/s$ 以上1 $\times 10^{-16}m^2/s$ 以下の条件で研磨した。

[0536] 次に、支持基板11の仕上げ研磨後の主面11m上に、厚さ800nmの SiO_2 膜をPE-CVD（プラズマ援用ー化学気相堆積）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なった。

[0537] 次に、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により、主面12aがRMS（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の際に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。

[0538] また、図12（B）に示すように、III族窒化物膜ドナー基板13Dとして直径75mmで厚さ8mmのGaN結晶体を準備した。次いで、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以下に平坦化し、その上に厚さ800nmのSiO₂膜をPECVD法により成長させ、窒素雰囲気中、800℃で1時間のアニール行なった。続いて、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12bがRMS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の際に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を行なった。

[0539] なお、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、n型の導電型であり、転移密度が $1 \times 10^8 \text{ cm}^{-2}$ であり、キャリア濃度が $1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ であった。

[0540] 次に、図12（C）に示すように、接合膜12aの主面12aと接合膜12bの主面12bとを貼り合わせることで、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。貼り合わせた後に、接合基板1Lを窒素雰囲気中で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。

[0541] 次に、図12(D)に示すように、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って、支持基板11とGa_{0.4}N薄膜である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を得た。

[0542] なお、ここで、ワイヤーとしては、ダイヤモンド砥粒を電着させた線径180 μ mの固定砥粒ワイヤーを用いた。また、切断抵抗を低減して厚さの精度および切断面の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を振動させる方式を採用した。そして、ワイヤーソー切断の抵抗係数は4200Nとした。

[0543] さらに、切断後には、III族窒化物複合基板1のIII族窒化物膜13に対して機械研磨およびCMPを行なった。このとき、研磨材としてはダイヤモンドスラリーを用いて、銅系定盤により粗研磨、スズ系定盤により中間研磨を実施した。さらに、pH11のコロイダルシリカスラリー（平均粒径60nmのコロイダルシリカ砥粒を含みpH11のスラリー）を用いて、不織布研磨パッドにより仕上げ研磨を行なった。なお、III族窒化物膜13の厚さの均一化のため、CMPにおける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によって基板形状を矯正した後に、該基板を装置に吸着固定する方式を採用した。また、仕上げ研磨の際の作用係数FEは7 $\times 10^{-14}$ m²/sとした。仕上げ研磨後のIII族窒化物膜13の厚さは110 μ mであった。

[0544] [(2) III族窒化物半導体デバイスの作製]

以下、図16を参照して、参考例に係るIII族窒化物半導体デバイスであるSBD（ショットキーバリアダイオード）を説明する。

[0545] まず、図16(A)に示すように、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、MOVPE法により、III族窒化物層20として、厚さ2 μ mのn⁺-Ga_{0.4}N層28（キャリア濃度が2 $\times 10^{18}$ cm⁻³）、厚さ7 μ mのn⁻-Ga_{0.4}N層29（キャリア濃度が5 $\times 10^{15}$ cm⁻³）を

、この順序で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。

[0546] 次に、図16(B)に示すように、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_{0.9}N層29上に、電子線蒸着法（以下、EB（Electron Beam）蒸着法とも記す）により、厚さ4nmのNi層と厚さ200nmのAu層とを順次形成し、アニールにより合金化することによってショットキー電極である第1電極30を形成した。なお、このとき、第1電極30の径は200 μ mとした。さらに、第1電極30上に、EB蒸着法により、厚さ200nmのTi層と、厚さ100nmのPt層と、厚さ1000nmのAu層とを順次形成することによりパッド電極33を形成した。

[0547] 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上にEB蒸着法により、厚さ200nmのTi層と、厚さ100nmのPt層と、厚さ1000nmのAu層とを順次形成することによりパッド電極43を形成した。そして、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。

[0548] 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。

[0549] 次に、図16(C)に示すように、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たエッチングにより除去した。

[0550] 次に、図16(D)に示すように、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って露出したⅠⅠⅠ族窒化物膜13上に、EB蒸着法により、厚さ20nmのTi層と、厚さ200nmのAl層と、厚さ300nmのAu層とを順次形成し、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。また、デバイス支持基板40上に、EB蒸着により、厚さ20nmのTi層と、厚さ300nmのAu層とを順次形成し、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、SBDであるIII族窒化物半導体デバイス4が得られた。

[0551] 以上のようにして得られたIII族窒化物半導体デバイス4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、耐電圧が250V以上の基準に適合したものを良品とし、適合しなかったものを不良品として、良品数を、良品数と不良品数との合計で除した値の百分率を歩留率とした。

[0552] 以上に説明した方法により、表1に示す厚さ分布を有する接合膜を含むIII族窒化物複合基板、および、それらを用いたIII族窒化物半導体デバイスを作製した。

[0553] これらのIII族窒化物複合基板は、支持基板と、厚さが110 μ m（すなわち、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（すなわち、75mm以上）の複合基板であった。

[0554] 接合膜の厚さ分布と、前述の方法により算出したIII族窒化物半導体デバイスの歩留率との関係を表20に示した。

[0555] [表20]

参考例 III-A	III-A1	III-A2	III-A3	III-A4	III-A5	III-A6	III-A7
接合膜の厚さ分布(%)	1	2	5	13	25	40	47
デバイス歩留率(%)	35	69	77	84	76	71	33

[0556] 表20より明らかなように、接合膜の厚さ分布が2%以上40%以下であるIII族窒化物複合基板を用いた半導体デバイス（III-A2～III-A6）は、かかる条件を満たさないIII族窒化物複合基板を用いた半導体デバイス（III-A1およびIII-A7）に比べて、歩留率が良好であった。

[0557] （参考例 III-B）

参考例 III-Aと同様にして、表21に示すせん断接合強度および接合面積率で、支持基板とIII族窒化物膜とが接合されたIII族窒化物複合基板、および、それらを用いたIII族窒化物半導体デバイスを作製した。

[0558] これらのIII族窒化物複合基板は、支持基板と、厚さが110 μ m（すなわち、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（すなわち、75mm以上）の複合基板である。

[0559] せん断接合強度および接合面積率と、前述の方法により算出したIII族窒化物半導体デバイスの歩留率との関係を表21に示す。

[0560] [表21]

参考例 III-B	III-B1	III-B2	III-B3	III-B4	III-B5	III-B6	III-B7	III-B8	III-B9
せん断接合強度(MPa)	2	4	4	10	30	33	40	40	60
接合面積率(%)	80	60	99	70	90	51	60	99	99
デバイス歩留率(%)	25	66	69	75	84	39	64	74	56

[0561] 表21より明らかなように、支持基板とIII族窒化物膜とのせん断接合強度が4MPa以上40MPa以下であり、支持基板とIII族窒化物膜との接合面積率が60%以上99%以下であるIII族窒化物複合基板を用いた半導体デバイス（III-B2～III-B5、III-B7およびIII-B8）は、かかる条件を満たさないIII族窒化物複合基板を用いた半導体デバイス（III-B1、III-B6およびIII-B9）に比べて、歩留率が良好であった。

[0562] （参考例III-C）

以下の（i）～（v）以外の条件は、参考例III-Aと同様にして、参考例III-Cに係るIII族窒化物複合基板、および、それらを用いたIII族窒化物半導体デバイスを作製した。

（i）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82質量%であり、 SiO_2 が18質量%である複合酸化物基板）、ムライト-YSZ、およびムライトから選択される複合酸化物基板を用いたこと

（ii）直径をそれぞれ75mm～150mmの間で変動させたこと

（iii）接合膜12をAP-CVD（常圧-化学気相堆積）法により成長させたこと

（iv）支持基板11側の主面11mの仕上げ研磨の際に作用係数FEが $8.5 \times 10^{-17} m^2/s$ 以上 $1 \times 10^{-16} m^2/s$ 以下の条件で研磨したこと

（v）仕上げ研磨後のIII族窒化物膜13の厚さをそれぞれ10μm～2

50 μm の間で変動させたこと

なお、参考例ⅠⅠⅠ-Cに係るⅠⅠⅠ族窒化物複合基板の接合膜の厚さ分布はすべて5%（すなわち、2%以上40%以下）とした。

[0563] 参考例ⅠⅠⅠ-Cに係るⅠⅠⅠ族窒化物複合基板の構成と、それらを用いたⅠⅠⅠ族半導体デバイスの歩留率との関係を表22に示す。

[0564] [表22]

参考例Ⅲ-C	Ⅲ-C1	Ⅲ-C2	Ⅲ-C3	Ⅲ-C4	Ⅲ-C5	Ⅲ-C6	Ⅲ-C7	Ⅲ-C8	Ⅲ-C9	Ⅲ-C10	Ⅲ-C11	Ⅲ-C12	Ⅲ-C13
直径(mm)	75	75	75	75	100	100	100	100	100	100	100	150	150
支持基板の 種類	Al ₂ O ₃ -SiO ₂				ムライト-YSZ				Al ₂ O ₃ -SiO ₂				Al ₂ O ₃ -SiO ₂
$\alpha_{\text{Ⅲ-N}}/\alpha_{\text{S}}(-)$	1	1	1	1	1	1	1	1.25	0.9	0.75	1.2	1.2	1
$t_{\text{Ⅲ-N}}/t_{\text{S}}(-)$	0.02	0.1	0.3	0.6	1	0.4	0.9	1	1	1	0.4	1	0.2
接合膜の 厚さ分布(%)	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
デバイス 歩留率(%)	62	70	72	69	69	76	65	68	75	67	60	55	69

[0565] 表 2 2 中、 $\alpha_{\text{III-N}}/\alpha_s$ は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 $\alpha_{\text{III-N}}$ の比を示し、 $t_{\text{III-N}}/t_s$ は支持基板の厚さ t_s に対するⅠⅠⅠ族窒化物膜の厚さ $t_{\text{III-N}}$ の比を示している。

[0566] 表 2 2 より明らかなように、支持基板と、厚さが $10\mu\text{m}$ 以上 $250\mu\text{m}$ 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り、接合膜の厚さ分布が 5% （すなわち、 2% 以上 40% 以下）であるⅠⅠⅠ族窒化物複合基板のうち、 $t_{\text{III-N}}/t_s$ が 0.02 以上 1 以下である複合基板を用いたⅠⅠⅠ族窒化物半導体デバイスは特に高い歩留率で製造することができた。

[0567] 上記に加えて、 $\alpha_{\text{III-N}}/\alpha_s$ が 0.75 以上 1.25 以下である複合基板には、割れが全く発生しておらず、歩留まりも良好であった。

[0568] （参考例ⅠⅠⅠ-D）

表 2 3 に示す熱伝導率 λ_s を有する支持基板を使用した以外は、参考例ⅠⅠⅠ-Aと同様にして、ⅠⅠⅠ族窒化物複合基板、および、それらを用いたⅠⅠⅠ族窒化物半導体デバイスを作製した。

[0569] 支持基板の熱伝導率 λ_s とⅠⅠⅠ族窒化物半導体デバイスの歩留率との関係を表 2 3 に示す。

[0570] [表23]

参考例Ⅲ-D	Ⅲ-D1	Ⅲ-D2	Ⅲ-D3	Ⅲ-D4	Ⅲ-D5	Ⅲ-D6	Ⅲ-D7	Ⅲ-D8	Ⅲ-D9
支持基板の熱伝導率 $\lambda_s(\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1})$	2	3	5	10	30	120	210	280	300
接合膜の厚さ分布(%)	5	5	5	5	5	5	5	5	5
デバイス歩留率(%)	55	63	65	67	67	66	64	61	55

[0571] 表 2 3 より明らかなように、支持基板と、厚さが $110\mu\text{m}$ （すなわち、 $10\mu\text{m}$ 以上 $250\mu\text{m}$ 以下）のⅠⅠⅠ族窒化物膜と、が貼り合わされた直径が 75mm （すなわち、 75mm 以上）のⅠⅠⅠ族窒化物複合基板であり、接合膜の厚さ分布が 5% （すなわち、 2% 以上 40% 以下）であるⅠⅠⅠ族窒化物複合基板のうち、熱伝導率 λ_s が $3\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ 以上 $280\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ 以下である複合基板を用いたⅠⅠⅠ族窒化物半導体デバイスは特に高い

歩留率で製造することができた。

[0572] 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請求の範囲によって示され、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。

符号の説明

[0573] 1 III族窒化物複合基板、1 L, 1 L S 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、5 D, 5 D r 支持体付 III 族窒化物膜ドナー基板、11 支持基板、11 m, 11 n, 12 a m, 12 b n, 13 m, 13 n 主面、12, 12 a, 12 b, 14 接合膜、13 III族窒化物膜、13 D, 13 D r III 族窒化物膜ドナー基板、13 h 主面貫通孔、13 i 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 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、100 接合界面、100 b 接合領域、100 n 非接合領域、111 n, 112 n, 121 n, 122 n 非接合部分領域、201 第1導電型GaN層、202 第1導電型Al_sGa_{1-s}N層、203 発光層、204 第2導電型Al_tGa_{1-t}N層、205 第2導電型GaN層。

請求の範囲

- [請求項1] ⅠⅠⅠ族窒化物膜と、前記ⅠⅠⅠ族窒化物膜と化学組成の異なる材料で形成されている支持基板と、を含み、
- 前記ⅠⅠⅠ族窒化物膜は、前記支持基板に直接的および間接的のいずれかの形態で接合され、
- 前記ⅠⅠⅠ族窒化物膜の厚さが $10\mu\text{m}$ 以上であり、
- 前記ⅠⅠⅠ族窒化物膜側の主面におけるシート抵抗が $200\Omega/\text{s}$
 q 以下であるⅠⅠⅠ族窒化物複合基板。
- [請求項2] 前記ⅠⅠⅠ族窒化物膜と前記支持基板との接合領域の面積が主面の面積の70%以上であり、
- 前記ⅠⅠⅠ族窒化物膜と前記支持基板との非接合領域は少なくとも1つの非接合部分領域を含み、前記非接合部分領域はその最大径が20mm未満の小型の非接合部分領域である請求項1に記載のⅠⅠⅠ族窒化物複合基板。
- [請求項3] 前記ⅠⅠⅠ族窒化物膜と前記支持基板との非接合領域は少なくとも1つの非接合部分領域を含み、前記非接合部分領域は主面の外周に接していない内側の非接合部分領域である請求項1に記載のⅠⅠⅠ族窒化物複合基板。
- [請求項4] 前記ⅠⅠⅠ族窒化物膜は主面貫通孔を有し、前記主面貫通孔の面積は主面の面積の10%以下である請求項1に記載のⅠⅠⅠ族窒化物複合基板。
- [請求項5] 前記ⅠⅠⅠ族窒化物膜と前記支持基板との接合界面に金属を含む不純物を含み、前記不純物の濃度が $1\times 10^{10}\text{cm}^{-2}$ 以上である請求項1に記載のⅠⅠⅠ族窒化物複合基板。
- [請求項6] 前記ⅠⅠⅠ族窒化物膜の熱膨張係数が前記支持基板の熱膨張係数に比べて0.7倍より大きく1.4倍より小さい請求項1に記載のⅠⅠⅠ族窒化物複合基板。
- [請求項7] 前記支持基板の破壊靱性が $1\text{MNm}^{-2/3}$ 以上であり、前記支持基板

の厚さが $50\ \mu\text{m}$ 以上である請求項 1 に記載の III 族窒化物複合基板。

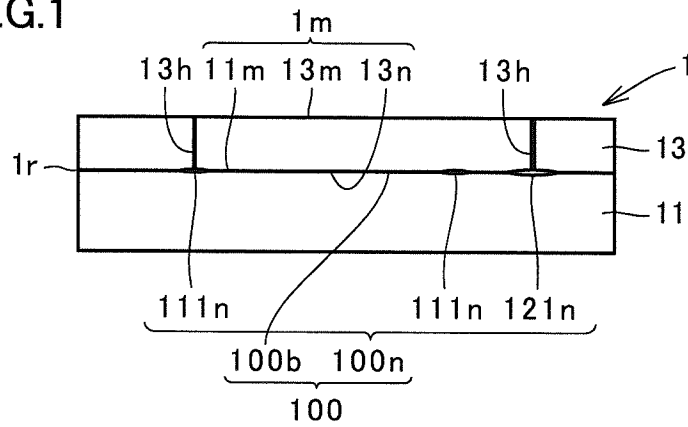
[請求項 8] 前記間接的な形態は、前記 III 族窒化物膜と前記支持基板との間に接合膜を介在させた形態である請求項 1 に記載の III 族窒化物複合基板。

[請求項 9] 請求項 1 に記載の III 族窒化物複合基板の製造方法であって、
前記 III 族窒化物膜と前記支持基板とを、直接のおよび間接的のいずれかの形態で、貼り合わせる工程と、
貼り合わされた前記 III 族窒化物膜および前記支持基板の少なくとも 1 つの厚さを小さくする工程と、を含む III 族窒化物複合基板の製造方法。

[請求項 10] 請求項 1 に記載の 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方法であって、
前記 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。

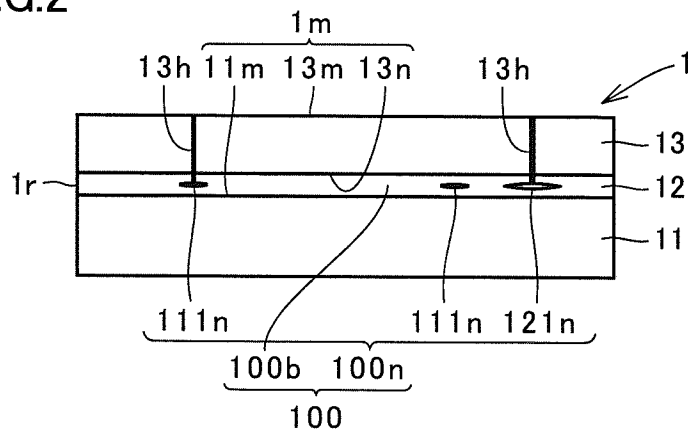
[図1]

FIG.1



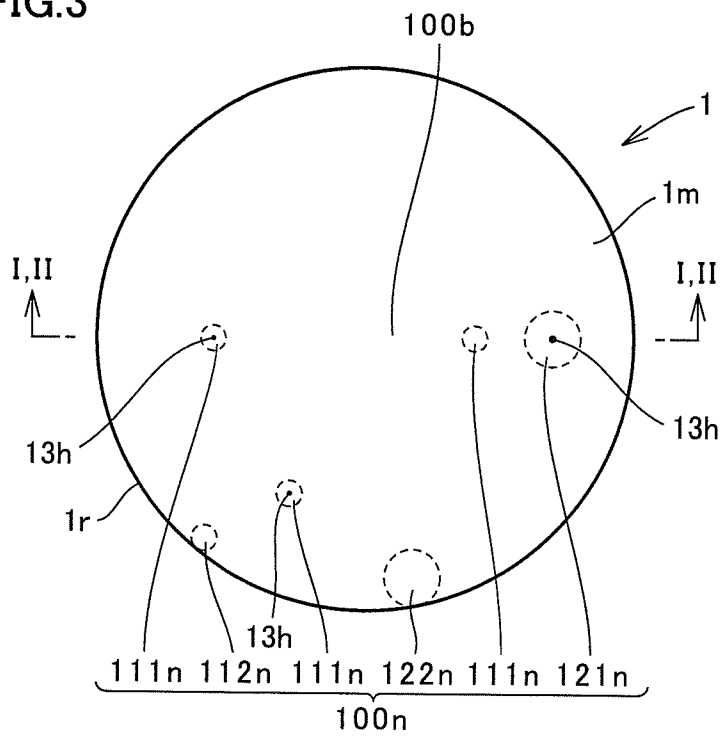
[図2]

FIG.2



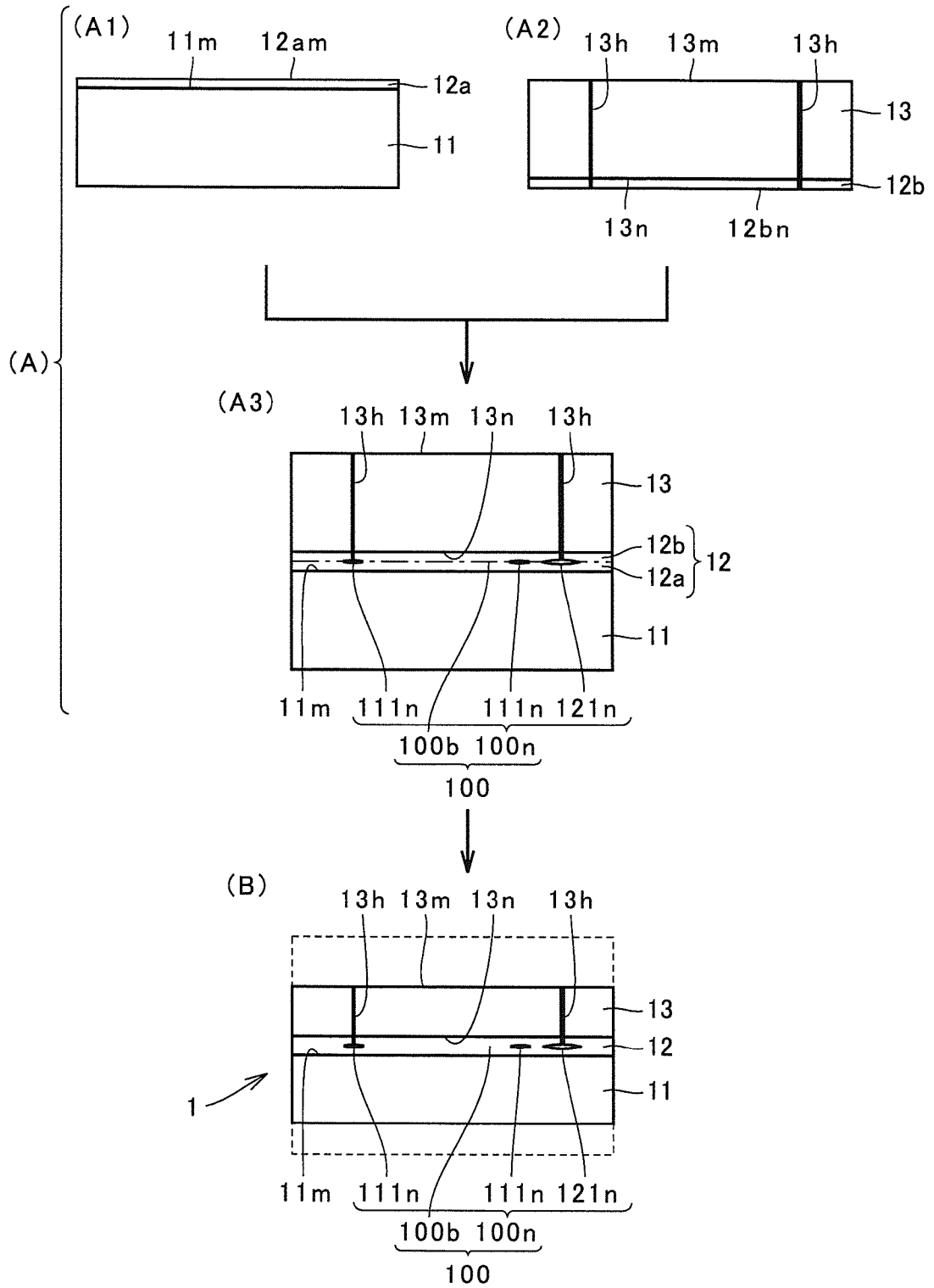
[図3]

FIG.3



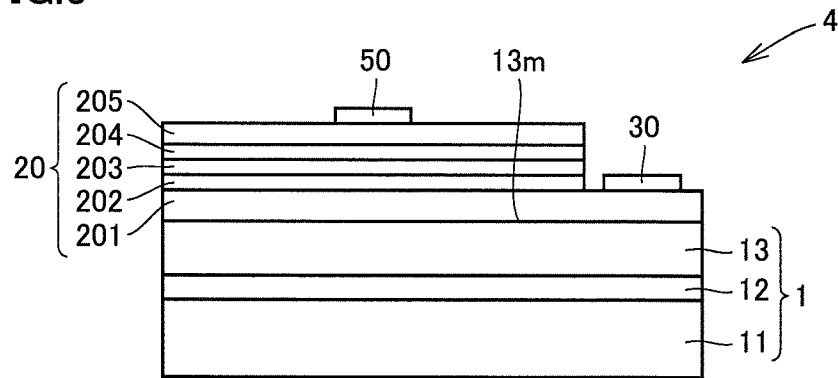
[図4]

FIG.4



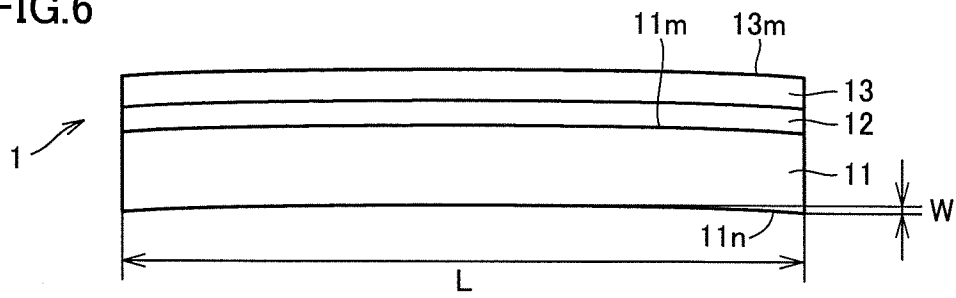
[図5]

FIG.5



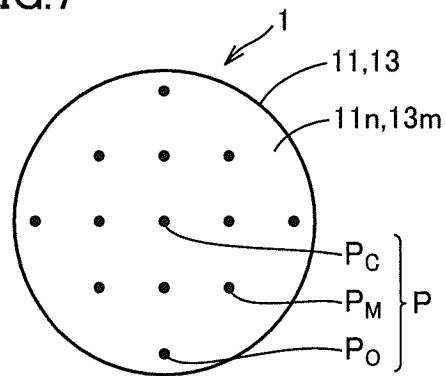
[図6]

FIG.6



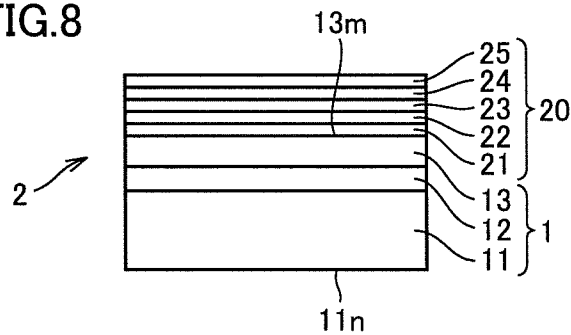
[図7]

FIG.7



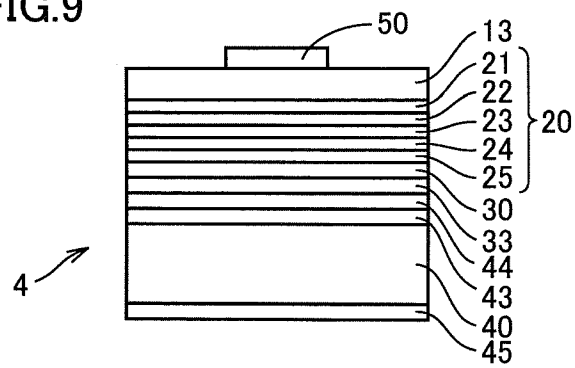
[図8]

FIG.8



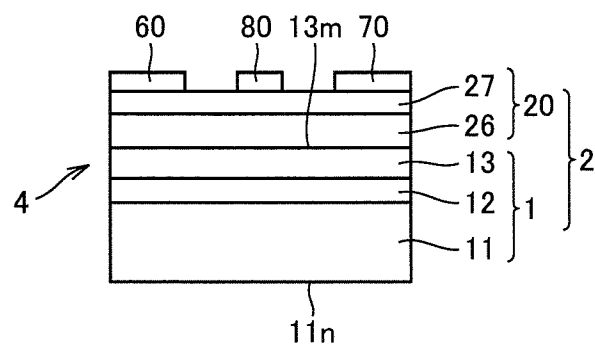
[図9]

FIG.9



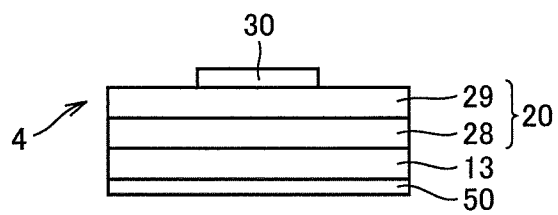
[図10]

FIG.10



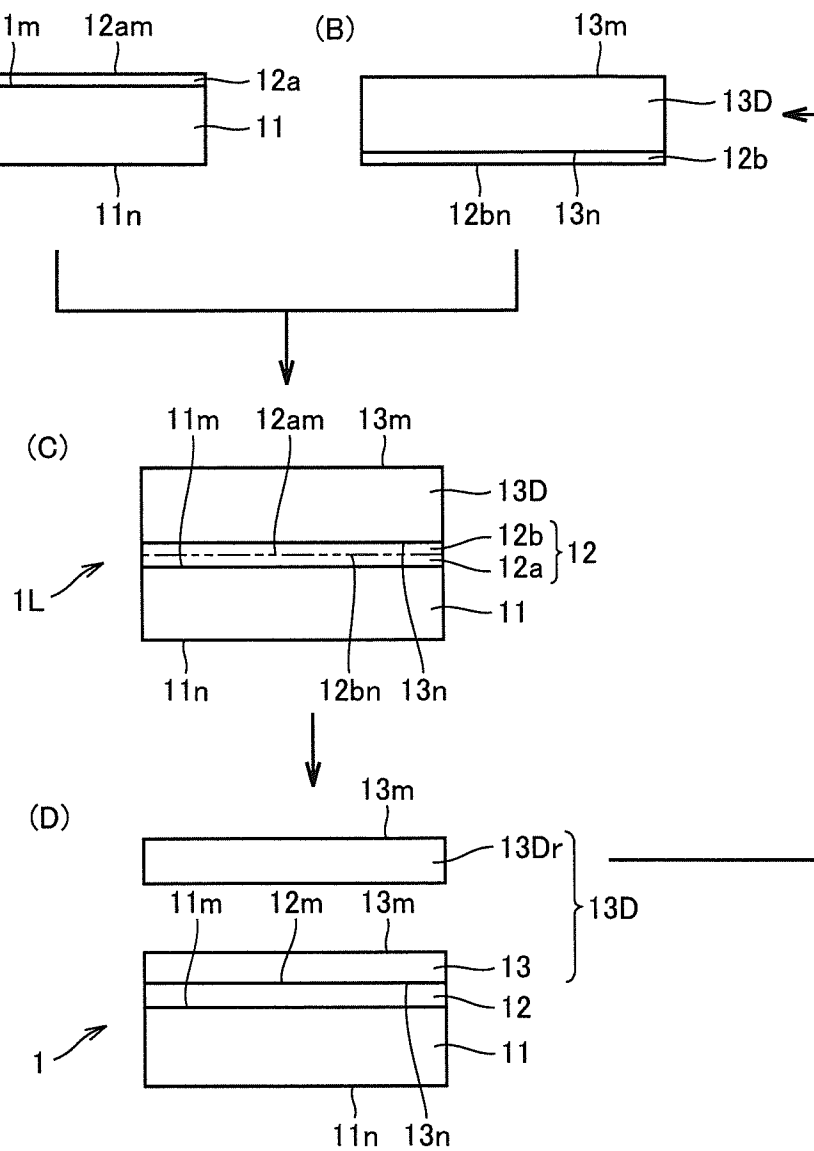
[図11]

FIG.11



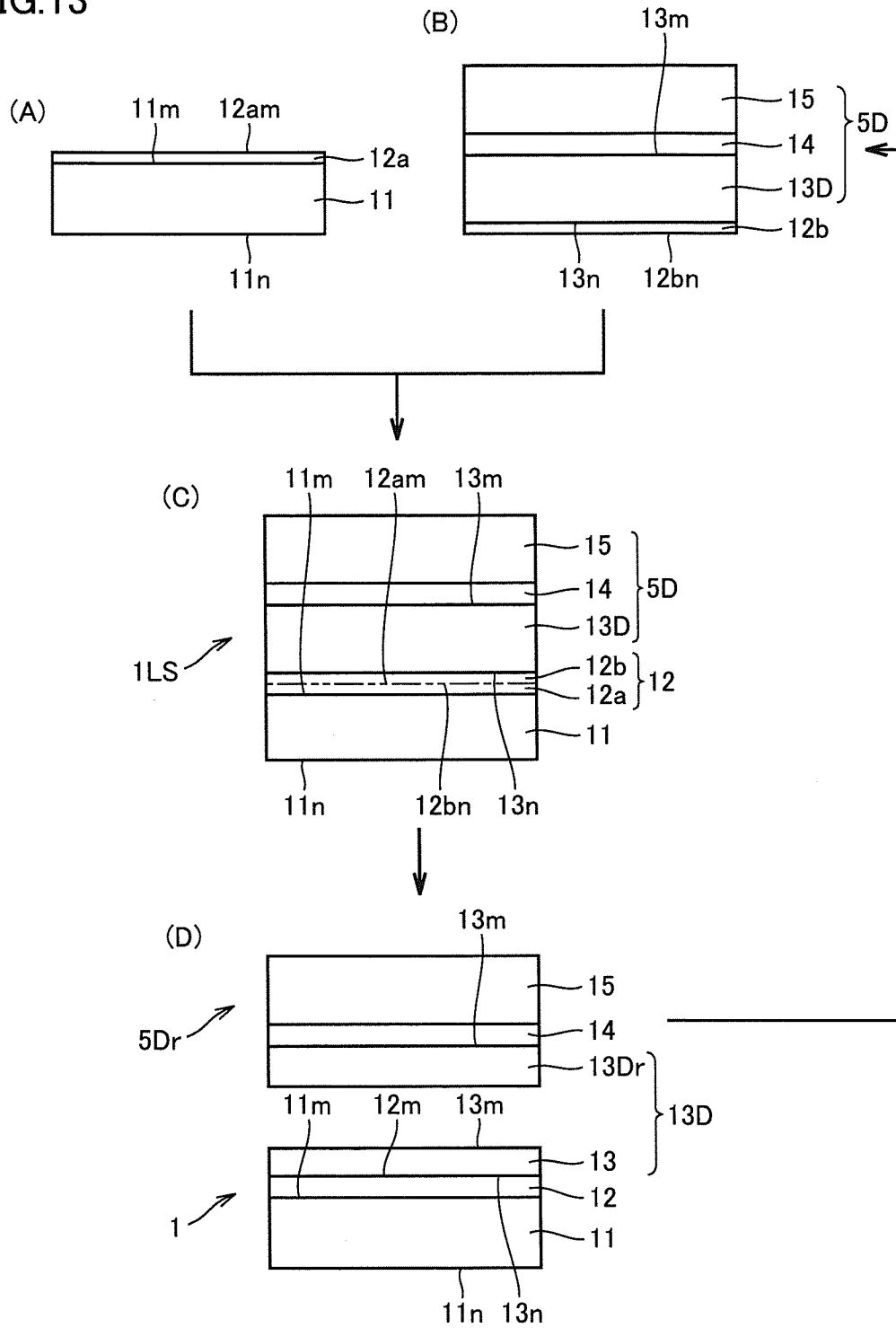
[図12]

FIG.12



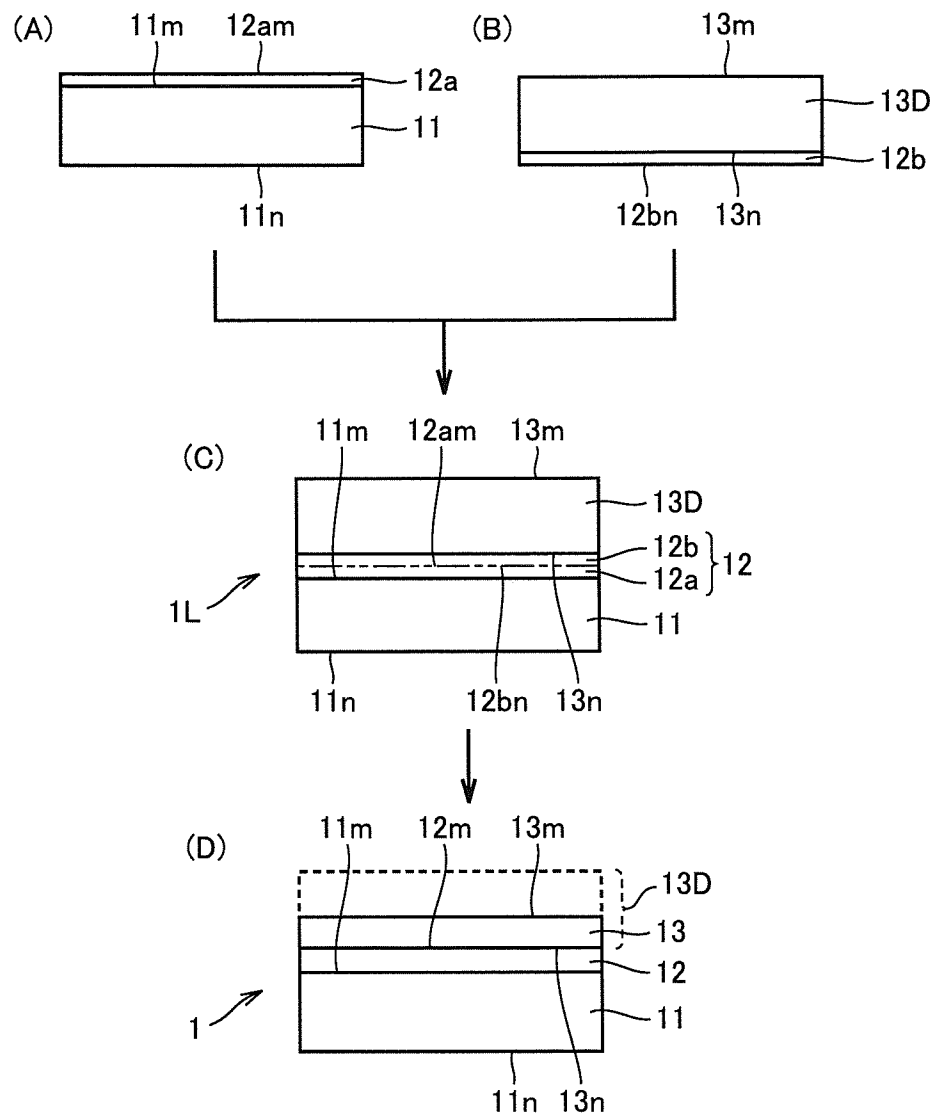
[図13]

FIG.13



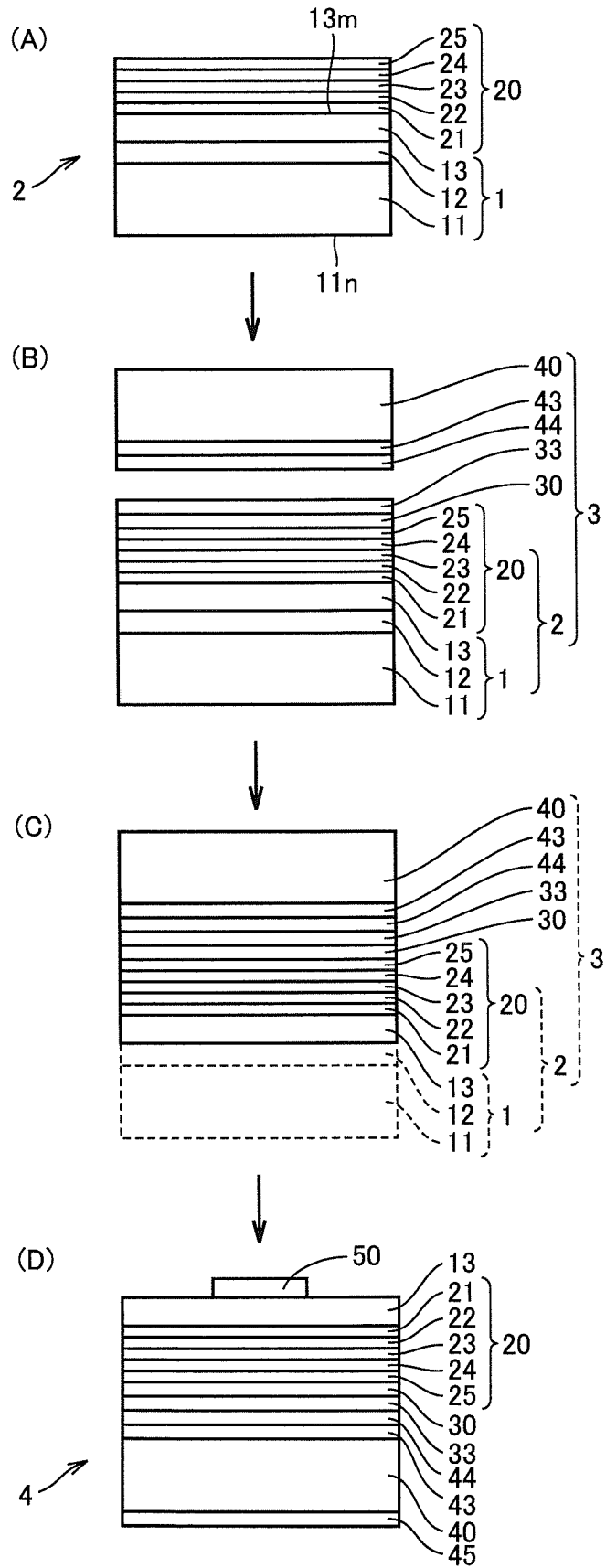
[図14]

FIG.14



[図15]

FIG.15



[図16]

FIG.16

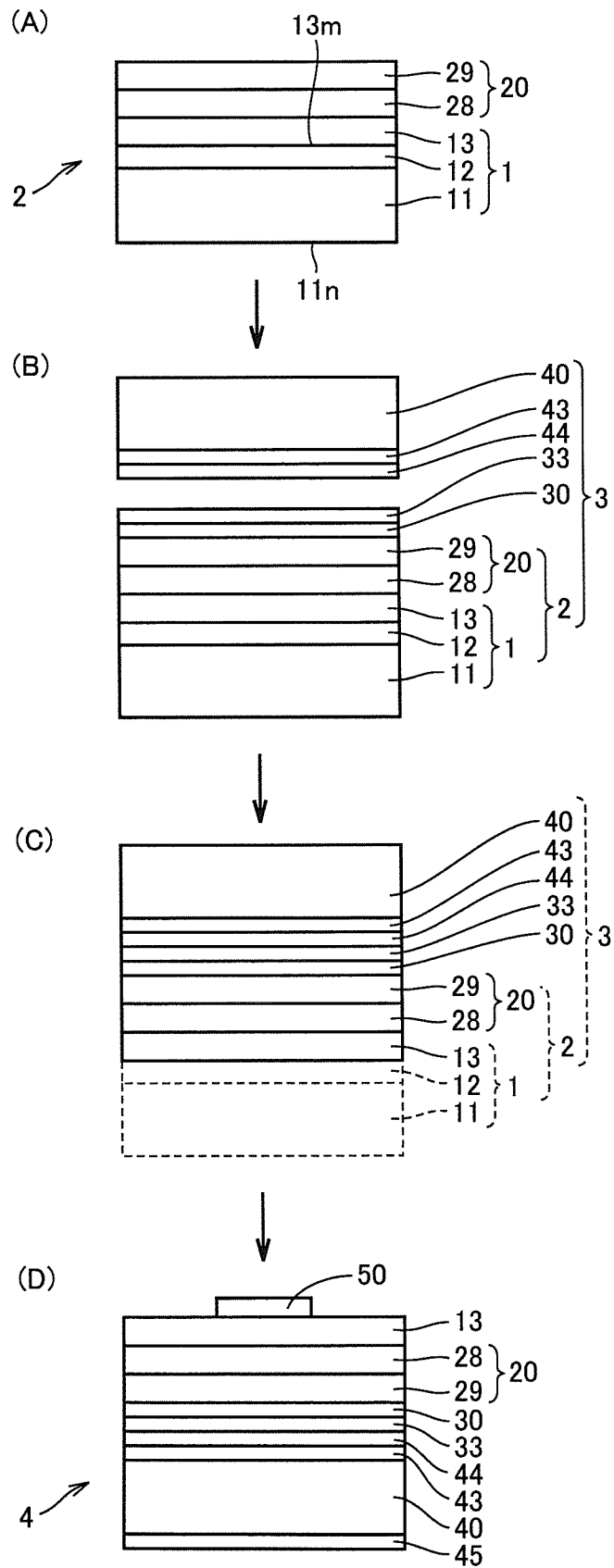
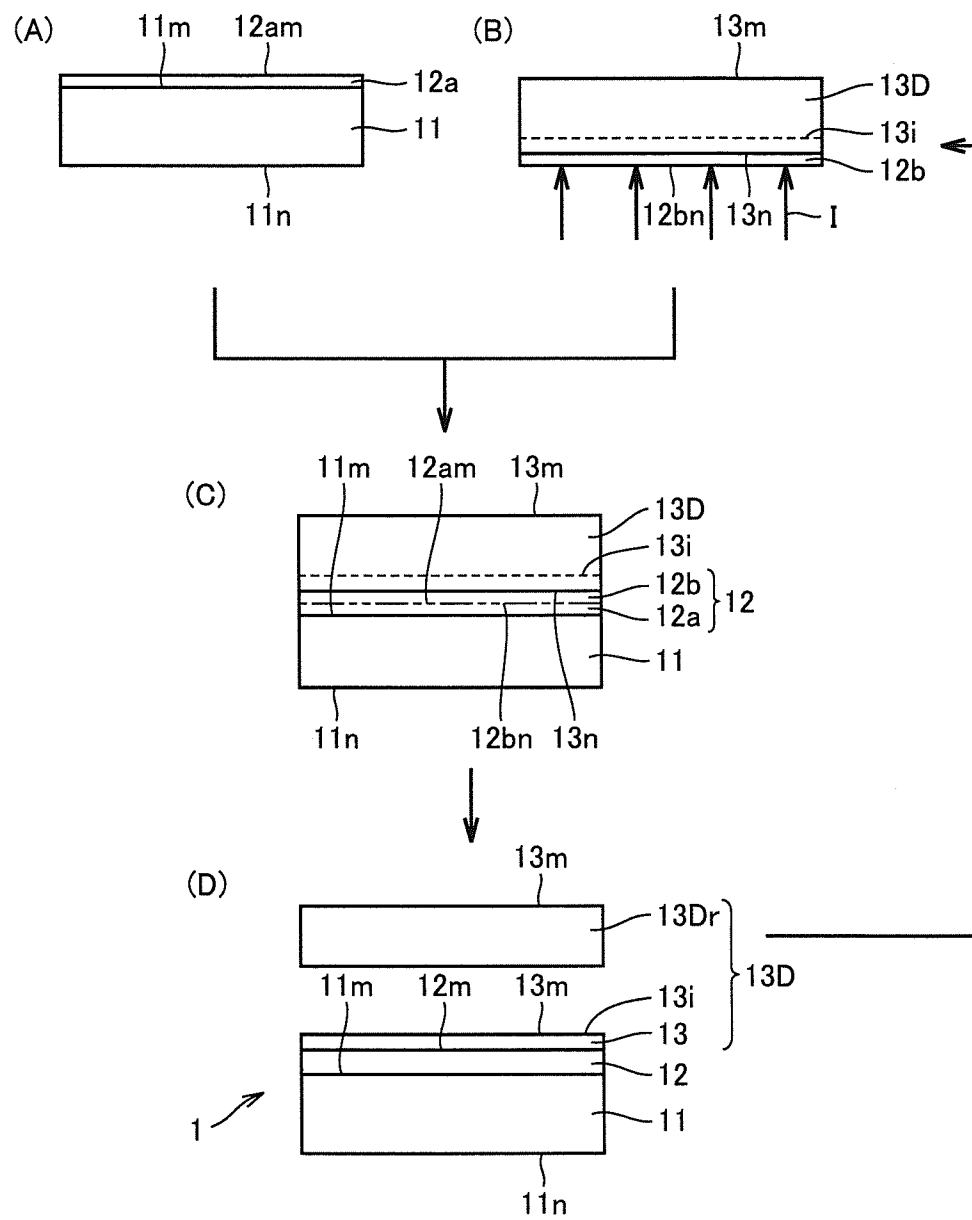


FIG.17



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2013/073805

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H01L21/02(2006.01) i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

H01L21/02

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2013
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2013	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2013

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	JP 2002-319545 A (Mitsubishi Cable Industries, Ltd.), 31 October 2002 (31.10.2002), paragraphs [0020] to [0043]; fig. 1 to 2 (Family: none)	1-10
A	JP 2008-166646 A (Covalent Materials Corp.), 17 July 2008 (17.07.2008), paragraphs [0022] to [0045]; fig. 1 (Family: none)	1-10

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search
03 December, 2013 (03.12.13)

Date of mailing of the international search report
17 December, 2013 (17.12.13)

Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（I P C））

Int.Cl. H01L21/02 (2006.01) i

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料（国際特許分類（I P C））

Int.Cl. H01L21/02

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	1 9 2 2 - 1 9 9 6 年
日本国公開実用新案公報	1 9 7 1 - 2 0 1 3 年
日本国実用新案登録公報	1 9 9 6 - 2 0 1 3 年
日本国登録実用新案公報	1 9 9 4 - 2 0 1 3 年

国際調査で使用した電子データベース（データベースの名称、調査に使用した用語）

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
X	JP 2002-319545 A（三菱電線工業株式会社）2002.10.31, 段落【0020】－【0043】, 第1-2 図(ファミリーなし)	1 - 1 0
A	JP 2008-166646 A（コバレントマテリアル株式会社）2008.07.17, 段落【0022】－【0045】, 第1 図（ファミリーなし）	1 - 1 0

☐ C 欄の続きにも文献が列挙されている。☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの

「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの

「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す）

「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献

「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの

「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの

「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの

「&」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

0 3 . 1 2 . 2 0 1 3

国際調査報告の発送日

1 7 . 1 2 . 2 0 1 3

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁（I S A / J P）

郵便番号 1 0 0 - 8 9 1 5

東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官（権限のある職員）

溝本 安展

電話番号 0 3 - 3 5 8 1 - 1 1 0 1 内線 3 5 1 6

5 F

9 4 7 3