(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
2015 年 5 月 21 日(21.05.2015)

WIPO | PCT

(10) 国際公開番号
WO 2015/072214 A1

(51) 国際特許分類:
H01L 21/02 (2006.01) *H01L 29/47* (2006.01)
H01L 21/20 (2006.01) *H01L 29/861* (2006.01)
H01L 21/329 (2006.01) *H01L 29/868* (2006.01)
H01L 27/12 (2006.01) *H01L 29/872* (2006.01)

(21) 国際出願番号: PCT/JP2014/073291

(22) 国際出願日: 2014 年 9 月 4 日(04.09.2014)

(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 2013-234993 2013 年 11 月 13 日(13.11.2013) 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: 木山 誠(KIYAMA, Makoto); 〒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). 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). 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).

(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, IR, IS, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, 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.

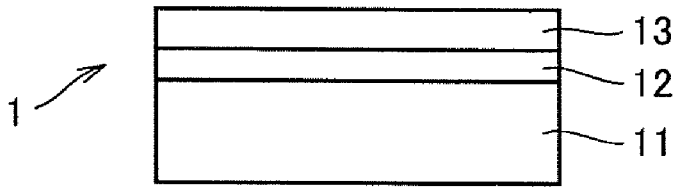
(84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK,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

[続葉有]

(54) **Title**: GROUP III-NITRIDE COMPOSITE SUBSTRATE AND MANUFACTURING METHOD FOR SAME, LAYERED GROUP III-NITRIDE COMPOSITE SUBSTRATE, AND GROUP III-NITRIDE SEMICONDUCTOR DEVICE AND MANUFACTURING METHOD FOR SAME

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

FIG.1



(57) **Abstract**: A group III-nitride composite substrate (1) is a group III-nitride composite substrate (1) in which a supporting substrate (11) of a thickness t_s which is 0.1 to 1 mm and a group III-nitride film (13) of a thickness t_f, which is thinner than the thickness t_s, and which is 0.01 to 0.25 mm are caused to adhere together and the diameter of which is greater than or equal to 75 mm, wherein the absolute value $|\Delta\alpha|$ of a thermal expansion coefficient difference $\Delta\alpha$, in which a thermal expansion coefficient α_s of the supporting substrate (11) has been subtracted from a thermal expansion coefficient α_f of the group III-nitride film (13), is less than or equal to 2.2×10^{-6} K^{-1}, and the Young's Modulus E_s and the thickness t_s of the supporting substrate (11), the Young's Modulus E_f and the thickness t_f of the group III-nitride film (13), and the thermal expansion coefficient difference $\Delta\alpha$ thereof satisfy the relationship: $t_s^2 / t_f \geq 6 E_f \cdot |\Delta\alpha| / E_s$. As a result, provided are: a group III-nitride composite substrate of low cost, having a large aperture, and of low distortion, comprising a group III-nitride film of significant film thickness and high crystal quality; and a group III-nitride semiconductor device manufactured using same.

(57) 要約:

[続葉有]

WO 2015/072214 A1

添付公開書類:

— 国際調査報告（条約第 21 条(3)）

ＩＩＩ族窒化物複合基板（１）は、厚さｔ$_s$が０．１ｍｍ以上１ｍｍ以下の支持基板（１１）と、厚さｔ$_s$に比べて薄い厚さｔ$_f$が０．０１ｍｍ以上０．２５ｍｍ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）の熱膨張係数α_fから支持基板（１１）の熱膨張係数α_sを引いた熱膨張係数差$\Delta\alpha$の絶対値｜$\Delta\alpha$｜が２．２×１０$^{-6}$Ｋ$^{-1}$以下であり、支持基板（１１）のヤング率Ｅ$_s$および厚さｔ$_s$、ＩＩＩ族窒化物膜（１３）のヤング率Ｅ$_f$および厚さｔ$_f$、および熱膨張係数差$\Delta\alpha$が、ｔ$_s^2$／ｔ$_f$≧６Ｅ$_f$・｜$\Delta\alpha$｜／Ｅ$_s$の関係を満たす。これにより、膜厚が大きく結晶品質の高いＩＩＩ族窒化物膜を有する低コストで大口径で歪みの低いＩＩＩ族窒化膜複合基板およびそれを用いて製造されるＩＩＩ族窒化物半導体デバイスが提供される。

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、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

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

背景技術

[0002] ＧａＮなどのＩＩＩ族窒化物は、優れた半導体特性を有していることから、半導体デバイスに好適に用いられている。

[0003] たとえば、特開２００９－１２６７２２号公報（特許文献１）は、半導体デバイス用基板として、直径が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１００ｍｍで厚さが４００μｍの自立ＧａＮ基板を開示する。

[0004] また、特開２００８－０１０７６６号公報（特許文献２）は、半導体デバイスを製造するための基板として、ＧａＮと化学組成の異なる異種基板と、異種基板に貼り合わされている０．１μｍ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。

[0005] また、特開２０１０－１８２９３６号公報（特許文献３）は、半導体デバイス用基板として、支持基板と、窒化物半導体層と、支持基板と窒化物半導体層との間に設けられた接合層とを備える複合基板、具体的な実施例としてサファイア基板とＧａＮ層と両者間に圧着により形成される接合層で接合されたＧａＮ層の厚さが５μｍ～２２０μｍで直径が５０．８ｍｍの複合基板を開示する。

先行技術文献

特許文献

[0006] 特許文献1：特開２００９－１２６７２２号公報

特許文献2：特開２００８－０１０７６６号公報

特許文献3：特開２０１０－１８２９３６号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0007] 特開２００９－１２６７２２号公報（特許文献１）に開示される自立ＩＩＩ族窒化物基板は、製造コストが高いため非常に高価であり、また、割れやすいため口径の拡大化、厚さの低減化が困難という問題があった。

[0008] 特開２００８－０１０７６６号公報（特許文献２）に開示されるＧａＮ薄膜の厚さが０．１μｍ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１０μｍ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。

[0009] また、特開２００８－０１０７６６号公報（特許文献２）に開示されるＧａＮ薄膜貼り合わせ基板、および特開２０１０－１８２９３６号公報（特許文献３）に開示される複合基板は、それぞれＧａＮと化学組成の異なる異種基板および支持基板として、ＧａＮ薄膜およびＧａＮ層と熱膨張係数およびヤング率が異なるサファイア基板などが用いられているため、ＧａＮ薄膜貼り合わせ基板のＧａＮ薄膜上にＧａＮ系半導体層を成長させる際および複合基板のＧａＮ層上にエピタキシャル層を成長させる際に、ＧａＮ薄膜貼り合わせ基板および複合基板に熱応力による歪みにより、結晶品質の高いＧａＮ系半導体層およびエピタキシャル層が得られず、高品質の半導体デバイスが

得られない場合が発生するという問題があった。

[0010] 本発明は、上記の問題を解決して、膜厚が大きく結晶品質の高いＩＩＩ族窒化物膜を有する低コストで大口径で歪みの低い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。

課題を解決するための手段

[0011] 本発明は、ある局面に従えば、厚さt_Sが０．１ｍｍ以上１ｍｍ以下の支持基板と、厚さt_sに比べて薄い厚さt_fが０．０１ｍｍ以上０．２５ｍｍ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る。かかる局面に従うＩＩＩ族窒化物複合基板は、ＩＩＩ族窒化物膜の熱膨張係数α_fから支持基板の熱膨張係数α_sを引いた熱膨張係数差$\Delta\alpha$の絶対値$|\Delta\alpha|$が２．２×１０$^{-6}$Ｋ$^{-1}$以下であり、支持基板のヤング率E_sおよび厚さt_s、ＩＩＩ族窒化物膜のヤング率E_fおよび厚さt_f、および熱膨張係数差$\Delta\alpha$が、次の式（１）

$$t_s^2 / t_f \geqq 6E_f \cdot |\Delta\alpha| / E_s \quad \cdots (1)$$

の関係を満たす。

[0012] 本発明は、別の局面に従えば、上記局面に従うＩＩＩ族窒化物複合基板と、ＩＩＩ族窒化物複合基板のＩＩＩ族窒化物膜上に配置されている少なくとも１層のＩＩＩ族窒化物層と、を含む積層ＩＩＩ族窒化物複合基板である。

[0013] 本発明は、さらに別の局面に従えば、上記局面に従う積層ＩＩＩ族窒化物複合基板中の少なくとも１層のＩＩＩ族窒化物層を含むＩＩＩ族窒化物半導体デバイスである。また、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た少なくとも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。

[0014] 本発明は、さらに別の局面に従えば、上記局面に従うＩＩＩ族窒化物複合基板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、を含むＩＩＩ族窒化物複合基板の製造方法である。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。

[0015] 本発明は、さらに別の局面に従えば、上記局面に従うＩＩＩ族窒化物複合基板を準備する工程と、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。

発明の効果

[0016] 本発明によれば、膜厚が大きく結晶品質の高いＩＩＩ族窒化物膜を有する低コストで大口径で歪みの低い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できる。

図面の簡単な説明

[0017] [図1]本発明にかかるＩＩＩ族窒化物複合基板のある例を示す概略断面図である。

[図2]本発明にかかる積層ＩＩＩ族窒化物複合基板のある例を示す概略断面図である。

[図3]本発明にかかる積層ＩＩＩ族窒化物複合基板の別の例を示す概略断面図である。

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

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

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

[図7]本発明にかかるＩＩＩ族窒化物半導体デバイスのさらに別の例を示す概略断面図である。

[図8]本発明にかかるＩＩＩ族窒化物半導体デバイスのさらに別の例を示す概略断面図である。

[図9]本発明にかかるＩＩＩ族窒化物半導体デバイスのさらに別の例を示す概略断面図である。

[図10]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11]本発明にかかる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12]本発明にかかる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13]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。

[図14]本発明にかかる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15]本発明にかかる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16]本発明にかかるＩＩＩ族窒化物半導体デバイスの製造方法のさらに別の例を示す概略断面図である。

[図17]本発明にかかるＩＩＩ族窒化物半導体デバイスの製造方法のさらに別の例を示す概略断面図である。

[図18]ＩＩＩ族窒化物複合基板の支持基板とＩＩＩ族窒化物膜との間の熱膨張係数差と、ＩＩＩ族窒化物複合基板のＩＩＩ族窒化物層の成長後の外観と

、の関係を示すグラフである。

[図19]ＩＩＩ族窒化物基板の支持基板とＩＩＩ族窒化物膜との間の熱膨張係数差およびヤング率比と、ＩＩＩ族窒化物基板の支持基板とＩＩＩ族窒化物膜との間の厚さ比と、ＩＩＩ族窒化物層のキャリア濃度の面内分布の均一性と、の関係を示すグラフである。

発明を実施するための形態

[0018] ＜本発明の実施形態の説明＞

本発明のある実施形態であるＩＩＩ族窒化物複合基板１は、厚さt_Sが０．１ｍｍ以上１ｍｍ以下の支持基板１１と、厚さt_sに比べて薄い厚さt_fが０．０１ｍｍ以上０．２５ｍｍ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である。かかる実施形態のＩＩＩ族窒化物複合基板１は、ＩＩＩ族窒化物膜１３の熱膨張係数α_fから支持基板１１の熱膨張係数α_sを引いた熱膨張係数差$\Delta\alpha$の絶対値$|\Delta\alpha|$が２．２×１０$^{-6}$Ｋ$^{-1}$以下であり、支持基板１１のヤング率E_sおよび厚さt_s、ＩＩＩ族窒化物膜１３のヤング率E_fおよび厚さt_f、および熱膨張係数差$\Delta\alpha$が、次の式（１）

$$t_s^2 / t_f \geqq 6 E_f \cdot |\Delta\alpha| / E_s \quad \cdots (1)$$

の関係を満たす。

[0019] 本実施形態のＩＩＩ族窒化物複合基板１は、支持基板１１とＩＩＩ族窒化物膜１３との間の熱膨張係数差$\Delta\alpha$の絶対値$|\Delta\alpha|$が２．２×１０$^{-6}$Ｋ$^{-1}$以下であり、かつ、支持基板１１のヤング率E_sおよび厚さt_s、ＩＩＩ族窒化物膜１３のヤング率E_fおよび厚さt_f、および熱膨張係数差$\Delta\alpha$が、上記の式（１）を満たすことから、その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２０を成長させて、特性の高いＩＩＩ族窒化物半導体デバイス４を歩留よく作製することができる。

[0020] 本発明の別の実施形態である積層ＩＩＩ族窒化物複合基板２は、上記実施形態の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。本実施形態の積層ＩＩＩ族窒化物複合基板２は、ＩＩＩ族窒化物膜１３上に配置されているＩＩＩ族窒化物層２０も結晶品質が高いことから、高特性のＩＩＩ族窒化物半導体デバイス４を歩留よく作製することができる。

[0021] 本発明のさらに別の実施形態であるＩＩＩ族窒化物半導体デバイス４は、上記実施形態の積層ＩＩＩ族窒化物複合基板２中の少なくとも１層のＩＩＩ族窒化物層２０を含む。本実施形態のＩＩＩ族窒化物半導体デバイス４は、結晶品質が高いＩＩＩ族窒化物層２０を含むことから、高い特性を有する。

[0022] 本発明のさらに別の実施形態であるＩＩＩ族窒化物半導体デバイス４は、上記実施形態のＩＩＩ族窒化物複合基板１中のＩＩＩ族窒化物膜１３と、ＩＩＩ族窒化物膜１３上に配置された少なくとも１層のＩＩＩ族窒化物層２０と、を含む。本実施形態のＩＩＩ族窒化物半導体デバイス４は、ＩＩＩ族窒化物膜１３上に配置された結晶品質が高いＩＩＩ族窒化物層２０を含むことから、高い特性を有する。

[0023] 本発明のかかる実施形態であるＩＩＩ族窒化物半導体デバイス４は、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できる。これにより、ＩＩＩ族窒化物半導体デバイス４の機械的強度が高く維持される。

[0024] 本発明のさらに別の実施形態であるＩＩＩ族窒化物複合基板１の製造方法は、上記実施形態の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，１ＬＳを形成する工程と、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、膜厚が大きく結晶品質の高いＩＩＩ族窒化物膜１３を有する大口径のＩＩＩ族窒化物複合基板１を低コストで効率よく製造することができる。

[0025] 本発明のさらに別の実施形態であるＩＩＩ族窒化物複合基板１の製造方法は、上記実施形態の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、膜厚が大きく結晶品質の高いＩＩＩ族窒化物膜１３を有する大口径のＩＩＩ族窒化物複合基板１を低コストで効率よく製造することができる。

[0026] 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、上記実施形態の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、高特性のＩＩＩ族窒化物半導体デバイス４を歩留よく製造できる。

[0027] 本発明のかかる実施形態のＩＩＩ族窒化物半導体デバイス４の製造方法は、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を除去する工程と、をさらに含むことができる。これにより、デバイス支持基板４０により支持された機械的強度が強く高特性のＩＩＩ族窒化物半導体デバイス４を歩留よく製造できる。

[0028] ＜本発明の実施形態の詳細＞

［実施形態１：ＩＩＩ族窒化物複合基板］

図１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、厚さt_sが０．１ｍｍ以上１ｍｍ以下の支持基板１１と、厚さt_sに比べて薄い厚さt_fが０．０１ｍｍ以上０．２５ｍｍ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である

。かかる実施形態のＩＩＩ族窒化物複合基板１は、ＩＩＩ族窒化物膜１３の熱膨張係数α_f（単位：×１０$^{-6}$Ｋ$^{-1}$）から支持基板１１の熱膨張係数α_s（単位：×１０$^{-6}$Ｋ$^{-1}$）を引いた熱膨張係数差Δαの絶対値｜Δα｜が２．２×１０$^{-6}$Ｋ$^{-1}$以下であり、支持基板１１のヤング率E_s（単位：ＧＰａ）および厚さt_s（単位：ｍｍ）、ＩＩＩ族窒化物膜１３のヤング率E_f（単位：ＧＰａ）および厚さt_f（単位：ｍｍ）、および熱膨張係数差Δα（単位：×１０$^{-6}$Ｋ$^{-1}$）が、次の式（１）

$$t_s^2 / t_f \geqq 6 E_f \cdot |\Delta\alpha| / E_s \quad \cdots (1)$$

の関係を満たす。

[0029] 本実施形態のＩＩＩ族窒化物複合基板１は、支持基板１１とＩＩＩ族窒化物膜１３との間の熱膨張係数差Δαの絶対値｜Δα｜が２．２×１０$^{-6}$Ｋ$^{-1}$以下であり、かつ、支持基板１１のヤング率E_sおよび厚さt_s、ＩＩＩ族窒化物膜１３のヤング率E_fおよび厚さt_f、および熱膨張係数差Δαとが、上記の式（１）を満たすことから、その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２０を成長させて、特性の高いＩＩＩ族窒化物半導体デバイス４を歩留よく作製することができる。

[0030] （ＩＩＩ族窒化物複合基板の形態）

本実施形態のＩＩＩ族窒化物複合基板１の形態は、特に制限はなく、支持基板１１とＩＩＩ族窒化物膜１３とを直接的に貼り合わせた形態であっても、支持基板１１とＩＩＩ族窒化物膜１３とをそれらの間に接合膜１２を介在させて間接的に貼り合わせた形態であってもよい。貼り合わせによる接合強度を高める観点から、支持基板１１とＩＩＩ族窒化物膜１３とをそれらの間に接合膜１２を介在させて間接的に貼り合わせた形態が好ましい。

[0031] また、本実施形態の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、３００ｍ

ｍ以下が好ましく、２００ｍｍ以下がより好ましい。

[0032] （支持基板の厚さ）

支持基板１１の厚さt_sは、ＩＩＩ族窒化物膜１３を支持する観点から、０．１ｍｍ以上であり、０．２ｍｍ以上が好ましく、０．４ｍｍ以上がより好ましい。また、支持基板１１の厚さt_sは、ハンドリング性が高くまたコストを低減する観点から、１ｍｍ以下であり、０．８ｍｍ以下が好ましく、０．７ｍｍ以下がより好ましい。

[0033] （ＩＩＩ族窒化物膜の厚さ）

ＩＩＩ族窒化物膜１３の厚さt_fは、その上に結晶品質の高いＩＩＩ族窒化物層を成長させることにより特性の高いＩＩＩ族窒化物半導体デバイスを歩留まりよく形成する観点から、０．０１ｍｍ以上であり、０．０２ｍｍ以上が好ましく、０．０５ｍｍ以上がより好ましい。また、高価なＩＩＩ族窒化物の使用量を低減することによりコストを低減する観点から、０．２５ｍｍ以下であり、０．１５ｍｍ以下が好ましく、０．１ｍｍ以下がより好ましい。

[0034] （支持基板とＩＩＩ族窒化物膜との間の熱膨張係数差）

ＩＩＩ族窒化物膜１３の熱膨張係数α_fから支持基板１１の熱膨張係数α_sを引いた熱膨張係数差$\Delta\alpha$の絶対値$|\Delta\alpha|$は、クラックおよび／または剥がれを発生させることなくＩＩＩ族窒化物膜１３上に結晶品質の高いＩＩＩ族窒化物層を成長させることにより特性の高いＩＩＩ族窒化物半導体デバイスを歩留まりよく形成する観点から、２．２×１０$^{-6}$Ｋ$^{-1}$以下であり、２．０×１０$^{-6}$Ｋ$^{-1}$以下が好ましく、１．５×１０$^{-6}$Ｋ$^{-1}$以下がより好ましい。

[0035] （支持基板とＩＩＩ族窒化物膜との間のヤング率、厚さおよび熱膨張係数差の関係）

支持基板１１のヤング率E_s（単位：ＧＰａ）および厚さt_s（単位：ｍｍ）、ＩＩＩ族窒化物膜１３のヤング率E_f（単位：ＧＰａ）および厚さt_f（単位：ｍｍ）、ならびに熱膨張係数差$\Delta\alpha$（単位：×１０$^{-6}$Ｋ$^{-1}$）は、クラックおよび／または剥がれを発生させることなくＩＩＩ族窒化物膜１３上に結晶品

質の高いＩＩＩ族窒化物層を成長させることにより特性の高いＩＩＩ族窒化物半導体デバイスを歩留まりよく形成する観点から、次の式（１）

$$t_s^2 / t_f \geqq 6 E_f \cdot |\Delta\alpha| / E_s \quad \cdots (1)$$

の関係を満たす。

[0036] 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族窒化物層を成長させる際に、ＩＩＩ族窒化物複合基板１の支持基板１１に貼り合わされたＩＩＩ族窒化物膜１３が受ける熱応力σ_T（単位：Ｐａ）は、ＩＩＩ族窒化物膜１３の熱膨張係数α_f（単位：$\times 10^{-6}K^{-1}$）から支持基板１１の熱膨張係数α_S（単位：$\times 10^{-6}K^{-1}$）を引いた熱膨張係数差$\Delta\alpha$（単位：$\times 10^{-6}K^{-1}$）により発生し、ＩＩＩ族窒化物膜１３の厚さt_f（単位：ｍｍ）が支持基板１１の厚さt_s（単位：ｍｍ）に比べて小さいと仮定すると、ＩＩＩ族窒化物膜１３のヤング率E_f（単位：ＧＰａ）、ポアソン比ν_f（単位：無次元）、ＩＩＩ族窒化物層の成長温度T_g（単位：℃）からＩＩＩ族窒化物複合基板１の形成温度T_b（単位：℃）を引いた温度差ΔＴ（単位：℃）、および上記熱膨張係数差$\Delta\alpha$を用いて、次の式（２）

$$\sigma_T = E_f \cdot |\Delta\alpha| \cdot \Delta T / (1-\nu_f) \quad \cdots (2)$$

で表わされる。

[0037] また、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族窒化物層を成長させる際のＩＩＩ族窒化物複合基板１の反りによる曲率半径Ｒ（単位：ｍ）は、支持基板のヤング率E_s（単位：ＧＰａ）および厚さt_s（単位：ｍｍ）、ＩＩＩ族窒化物膜の厚さt_f（単位：ｍｍ）ならびに熱応力σ_T（単位：Ｐａ）を用いて、Ｓｔｏｎｅｙの式から、次の式（３）

$$R = E_s / \{6(1-\nu_s)\sigma_T\} \cdot t_s^2 / t_f \quad \cdots (3)$$

で表わされる。

[0038] 式（２）を式（３）に代入することにより、次の式（４）

$$R = E_s / \{E_f \cdot |\Delta\alpha| \cdot \Delta T\} / \{6(1-\nu_s) / (1-\nu_f)\} \cdot t_s^2 / t_f \quad \cdots (4)$$

が得られる。ここで、Δα＞０の場合は、ＩＩＩ族窒化物層の成長温度での複合基板の変形方向が、ＩＩＩ族窒化物膜１３側に凸状になる。Δα＜０の場合は、ＩＩＩ族窒化物層の成長温度での複合基板の変形方向が、ＩＩＩ族窒化物膜１３側に凹状になる。かかる式（４）は、次式（５）

$$t_s^2/t_f=[R\Delta T(1-\nu_f)/6(1-\nu_s)]E_f\cdot|\Delta\alpha|/E_s \quad \cdots(5)$$

と変形される。かかる式（５）は、支持基板１１およびＩＩＩ族窒化物膜１３のヤング率および熱膨張係数差に関するパラメータである$E_f\cdot|\Delta\alpha|/E_s$（パラメータＸともいう。以下同じ。）に対して支持基板およびＩＩＩ族窒化物の厚さに関するパラメータであるt_s^2/t_f（パラメータＹともいう。以下同じ。）が所定の関係を有することを示している。

[0039] ここで、$E_f\cdot|\Delta\alpha|/E_s$（パラメータＸ）および$t_s^2/t_f$（パラメータＹ）に対して、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２０のキャリア濃度の主面に平行な面内における分布の均一性の良否を評価したところ、支持基板１１のヤング率E_sおよび厚さt_s、ＩＩＩ族窒化物膜１３のヤング率E_fおよび厚さt_f、および熱膨張係数差Δαが、次の式（１）

$$t_s^2/t_f\geqq 6E_f\cdot|\Delta\alpha|/E_s \quad \cdots(1)$$

の関係を満たすときに、ＩＩＩ族窒化物層２０のキャリア濃度の主面に平行な面内における分布の均一性がよいという結果が得られている。

[0040] （支持基板）

支持基板１１は、その厚さt_Sが０．１ｍｍ以上１ｍｍ以下であって、かつ、上記の式（１）の関係を満たすものであればとくに制限はないが、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、上記の観点から、たとえば、ムライト、ジルコニア、ムライト－ＹＳＺ（イットリア安定化ジルコニア）、サファイア、アルミナなど酸化物で形成されている酸化物基板、ケイ素（Ｓｉ）で形成されているケイ素基板、炭化ケイ

素（ＳｉＣ）で形成されている炭化ケイ素基板、モリブデン（Ｍｏ）、タングステン（W）、銅タングステン（ＣｕW）などで形成されている金属基板であることが好ましい。また、支持基板１１は、ＩＩＩ族窒化物複合基板１を含む縦型デバイスを製造する観点から、導電性支持基板であることが好ましく、たとえば、Ｍｏ基板、W基板などの金属基板が好ましい。

[0041] （ＩＩＩ族窒化物膜）

ＩＩＩ族窒化物膜１３は、その厚さt_fが０．０１ｍｍ以上０．２５ｍｍ以下であって、かつ、上記の式（１）の関係を満たすものであればとくに制限はなく、ＩＩＩ族窒化物で形成されているＩＩＩ族窒化物膜であれば、キャリア濃度を調節するためのドーパントが添加されていてもよい。

[0042] （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、酸化ケイ素（SiO_2）膜、窒化ケイ素（SiN_x）膜、酸化チタン（TiO_2）膜、酸化ガリウム（Ga_2O_3）膜などが好ましい。また、接合膜１２は、ＩＩＩ族窒化物複合基板１を含む縦型デバイスを製造する観点から、導電性接合膜であることが好ましく、たとえば、TiO_2膜、Ga_2O_3膜などが好ましい。

[0043] ［実施形態２：積層ＩＩＩ族窒化物複合基板］

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

[0044] 本実施形態の積層ＩＩＩ族窒化物複合基板２は、ＩＩＩ族窒化物膜１３上に配置されているＩＩＩ族窒化物層２０も結晶品質が高いことから、高特性のＩＩＩ族窒化物半導体デバイスを歩留よく作製することができる。

[0045] 本実施形態の積層ＩＩＩ族窒化物複合基板２において、ＩＩＩ族窒化物膜１３上に配置されているＩＩＩ族窒化物層２０の構成は、作製するＩＩＩ族

窒化物半導体デバイスの種類に応じて異なる。図２を参照して、ＩＩＩ族窒化物半導体デバイスとして電子デバイスのある例である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２０１（キャリア濃度がたとえば$2\times10^{18}cm^{-3}$）およびn^-－ＧａＮ層２０２（キャリア濃度がたとえば$1\times10^{16}cm^{-3}$）を含むことができる。図３を参照して、ＩＩＩ族窒化物半導体デバイスとして電子デバイスの別の例であるＰＮＤ（ｐｎ接合ダイオード）を作製する場合は、ＩＩＩ族窒化物層２０は、たとえば、n^+－ＧａＮ層２０３（キャリア濃度がたとえば$2\times10^{18}cm^{-3}$）、n^-－ＧａＮ層２０４（キャリア濃度がたとえば$1\times10^{16}cm^{-3}$）、p^-－ＧａＮ層２０５（Ｍｇ濃度がたとえば$5\times10^{17}cm^{-3}$）、およびp^+－ＧａＮ層２０６（Ｍｇ濃度がたとえば$1\times10^{20}cm^{-3}$）を含むことができる。

[0046] ［実施形態３：ＩＩＩ族窒化物半導体デバイス］

図２～図９を参照して、本発明のさらに別の実施形態であるＩＩＩ族窒化物半導体デバイス４は、実施形態２の積層ＩＩＩ族窒化物複合基板２中の少なくともＩＩＩ族窒化物層２０を含む。すなわち、本実施形態のＩＩＩ族窒化物半導体デバイス４は、第１のタイプとして少なくともＩＩＩ族窒化物層２０を含む。本実施形態のＩＩＩ族窒化物半導体デバイス４は、結晶品質が高いＩＩＩ族窒化物層２０を含むことから、高い特性を有する。

[0047] また、図１、図５、図６、図８および図９を参照して、本発明のさらに別の実施形態であるＩＩＩ族窒化物半導体デバイス４は、実施形態１のＩＩＩ族窒化物複合基板１中のＩＩＩ族窒化物膜１３と、ＩＩＩ族窒化物膜１３上に配置された少なくとも１層のＩＩＩ族窒化物層２０と、を含む。すなわち本実施形態のＩＩＩ族窒化物半導体デバイス４は、第２タイプとして、少なくとも、第１のタイプに含まれるＩＩＩ族窒化物層２０に加えてＩＩＩ族窒化物膜１３をも含む。本実施形態のＩＩＩ族窒化物半導体デバイス４は、ＩＩＩ族窒化物膜１３上に配置された結晶品質が高いＩＩＩ族窒化物層２０を含むことから、高い特性を有する。

[0048] また、図４～図９を参照して、上記の実施形態のＩＩＩ族窒化物半導体デバイス４は、上記の第１のタイプに含まれるＩＩＩ族窒化物層２０、または上記の第２のタイプに含まれるＩＩＩ族窒化物膜１３およびＩＩＩ族窒化物層２０に加えて、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。ＩＩＩ族窒化物半導体デバイス４は、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により、その機械的強度が高く維持される。ここで、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ＩＩＩ族窒化物半導体デバイス４には、図６および図９に示す支持基板１１をさらに含む第３のタイプと、図４、図５、図７および図８に示すデバイス支持基板４０をさらに含む第４のタイプとがある。

[0049] また、本実施形態のＩＩＩ族窒化物半導体デバイス４の構成は、ＩＩＩ族窒化物半導体デバイスの種類に応じて異なる。図４～図６を参照して、ＳＢＤ（ショットキーバリアダイオード）であるＩＩＩ族窒化物半導体デバイス４は、たとえば、第１のタイプとして、n^+－ＧａＮ層２０１（キャリア濃度がたとえば$2\times10^{18}cm^{-3}$）およびn^-－ＧａＮ層２０２（キャリア濃度がたとえば$1\times10^{16}cm^{-3}$）を含むＩＩＩ族窒化物層２０と、ＩＩＩ族窒化物層２０のn^-－ＧａＮ層２０２側に配置されるショットキー電極である第１電極３０と、ＩＩＩ族窒化物層２０のn^+－ＧａＮ層２０１側に配置されるオーミック電極である第２電極５０と、を含むことができる。

[0050] また、図７～図９を参照して、ＰＮＤ（ｐｎ接合ダイオード）であるＩＩＩ族窒化物半導体デバイス４は、たとえば、第１のタイプとして、n^+－ＧａＮ層２０３（キャリア濃度がたとえば$2\times10^{18}cm^{-3}$）、n^-－ＧａＮ層２０４（キャリア濃度がたとえば$1\times10^{16}cm^{-3}$）、p^-－ＧａＮ層２０５（Ｍｇ濃度がたとえば$5\times10^{17}cm^{-3}$）、およびp^+－ＧａＮ層２０６（Ｍｇ濃度がたとえば$1\times10^{20}cm^{-3}$）を含むＩＩＩ族窒化物層２０と、ＩＩＩ族窒化物層２０のp^+－ＧａＮ層２０６側に配置されるオーミック電極である第１電極３０と、ＩＩＩ族窒化物層２０のn^+－ＧａＮ層２０３側に配置されるオーミ

ック電極である第２電極５０と、を含むことができる。

[0051] また、図５、図６、図８および図９を参照して、上記の第１のタイプのＩＩＩ族窒化物半導体デバイス４にさらにＩＩＩ族窒化物膜１３を含む第２のタイプのＩＩＩ族窒化物半導体デバイス４において、ＩＩＩ族窒化物膜１３は、たとえば、ＩＩＩ族窒化物層２０の第２電極５０側に配置されている。

[0052] また、図６および図９を参照して、上記の第１のタイプまたは第２のタイプのＩＩＩ族窒化物半導体デバイス４にさらに支持基板１１を含む第３のタイプのＩＩＩ族窒化物半導体デバイス４において、支持基板１１は、たとえば、ＩＩＩ族窒化物層２０と第２電極５０との間に配置されている。ここで、支持基板１１は、実施形態１のＩＩＩ族窒化物複合基板１の支持基板１１に由来するものである。

[0053] また、図４、図５、図７および図８を参照して、上記第１のタイプまたは第２のタイプのＩＩＩ族窒化物半導体デバイス４にさらにデバイス支持基板４０を含む第４のタイプのＩＩＩ族窒化物半導体デバイス４において、デバイス支持基板４０は、たとえば、ＩＩＩ族窒化物層２０の第１電極３０側に配置されている。ここで、デバイス支持基板４０は、ＩＩＩ族窒化物層２０を支持するとともに導電性を有する観点から、Ｍｏ基板、W基板、ＣｕW基板などの金属基板、Ｓｉ基板などが好ましい。

[0054] ［実施形態４：ＩＩＩ族窒化物複合基板の製造方法］

｛実施形態４－１：ＩＩＩ族窒化物複合基板のある製造方法｝

図１０および図１１を参照して、本発明のさらに別の実施形態であるＩＩＩ族窒化物複合基板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、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，１ＬＳを形成する工程（図１０（Ａ）～（Ｃ）、図１１（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１０

（Ｄ）、図１１（Ｄ））と、を含む。

[0055] 本実施形態のＩＩＩ族窒化物複合基板１の製造方法は、膜厚が大きく結晶品質の高いＩＩＩ族窒化物膜１３を有する大口径のＩＩＩ族窒化物複合基板１を低コストで効率よく製造することができる。

[0056] 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。

[0057] 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１３Ｄを切断してＩＩＩ族窒化物膜１３を形成した後に、ＩＩＩ族窒化物膜１３の貼り合わせ主面と反対側の主面から、研削、研磨およびエッチングの少なくともいずれかを行なうことにより、ＩＩＩ族窒化物膜１３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１３Ｄの切断により形成されるＩＩＩ族窒化物膜１３のダメージ層を低減し主面を平坦化する観点から、切断により得られたＩＩＩ族窒化物複合基板１のＩＩＩ族窒化物膜１３の主面を研磨することが好ましい。研磨方法は、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。

[0058] 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（けんましろ）の厚さを加えた距離とすることが好ましい。

[0059] 本実施形態のＩＩＩ族窒化物複合基板１の製造方法において、接合基板１Ｌ，１ＬＳのＩＩＩ族窒化物膜ドナー基板１３Ｄの貼り合わせ主面から内部に所定の距離に位置する面でＩＩＩ族窒化物膜ドナー基板１３Ｄを切断してＩＩＩ族窒化物膜１３を形成し、好ましくはＩＩＩ族窒化物膜１３の貼り合

わせ主面と反対側の主面から、研削、研磨およびエッチングの少なくともいずれかを行なうことにより、膜厚を減少させて調整して、０．０１ｍｍ以上０．２５ｍｍ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。

[0060] なお、本実施形態のＩＩＩ族窒化物複合基板１の製造方法においては、ＩＩＩ族窒化物複合基板を形成する工程においてＩＩＩ族窒化物膜ドナー基板を切断するため、製造の際の作業性および効率を向上させる観点から、用いられるＩＩＩ族窒化物膜ドナー基板１３Ｄの厚さは、０．５ｍｍ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。

[0061] （接合基板の形成工程）

図１０（Ａ）～（Ｃ）および図１１（Ａ）～（Ｃ）を参照して、接合基板１Ｌ，１ＬＳを形成する工程は、支持基板１１の主面上に接合膜１２ａを形成するサブ工程（図１０（Ａ）、図１１（Ａ））と、ＩＩＩ族窒化物膜ドナー基板１３Ｄの主面上に接合膜１２ｂを形成するサブ工程（図１０（Ｂ）、図１１（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１０（Ｃ）、図１１（Ｃ））と、を含む。

[0062] 図１０（Ａ）および図１１（Ａ）を参照して、支持基板１１の主面上に接合膜１２ａを形成するサブ工程において、接合膜１２ａは、後述する接合膜１２ｂと一体化して接合膜１２を形成するものであり、接合膜１２と同じ材料で形成される。また、接合膜１２ａを形成する方法は、その接合膜１２ａの形成に適している限り特に制限はないが、品質のよい接合膜１２ａを効率的に形成する観点から、スパッタ法、ＣＶＤ（化学気相堆積）法、ＰＬＤ（パルスレーザ堆積）法、ＭＢＥ（分子線成長）法、電子線蒸着法などが好ましい。接合膜の品質を高くするとともに成膜速度を高めるから、特にＣＶＤが好ましい。ここで、ＣＶＤのうち、低温で成膜できかつ成膜速度が高い観点からＰ－ＣＶＤ（プラズマ－化学気相堆積）法などがさらに好ましく、膜

質を高めかつ大量製造が容易な観点からＬＰ－ＣＶＤ（減圧－化学気相堆積）法などがさらに好ましい。

[0063] 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。

[0064] さらに、接合膜１２ａは、支持基板１１とＩＩＩ族窒化物膜ドナー基板１３Ｄとの接合強度を高める観点から、その主面を鏡面（たとえば、ＲＭＳ（二乗平均平方根粗さ）が０．３ｎｍ以下の鏡面）に研磨することが好ましい。接合膜１２ａの主面を研磨する方法は、特に制限はなく、たとえばＣＭＰ（化学機械的研磨）などが用いられる。接合強度を高める観点から、接合膜の清浄度を向上させるためにＣＭＰ後に砥粒を含まない液での無砥粒ポリ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、ＨＣＩ、HNO_3、H_2SO_4などの酸による無砥粒ポリ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。

[0065] 図１０（Ｂ）および図１１（Ｂ）を参照して、ＩＩＩ族窒化物膜ドナー基板１３Ｄの主面上に接合膜１２ｂを形成するサブ工程において、ＩＩＩ族窒化物膜ドナー基板１３Ｄは、後サブ工程における分離によりＩＩＩ族窒化物膜１３を提供するドナー基板である。かかるＩＩＩ族窒化物膜ドナー基板１３Ｄを準備する方法は、特に制限はないが、結晶性のよいＩＩＩ族窒化物膜ドナー基板１３Ｄを得る観点から、ＨＶＰＥ（ハイドライド気相成長）法、ＭＯＶＰＥ（有機金属気相成長）法、ＭＢＥ（分子線成長）法、昇華法などの気相法、フラックス法、高窒素圧溶液法、アモノサーマル法などの液相法などが好適である。

[0066] 接合膜１２ｂを形成する材料および方法ならびにその主面の研磨は、上記の接合膜１２ａを形成する材料および方法ならびにその主面の研磨とそれぞれ同様である。

[0067] 図１０（Ｃ）および図１１（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。

[0068] 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。

[0069] 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。

[0070] （ＩＩＩ族窒化物複合基板の形成工程）

図１０（Ｄ）および図１１（Ｄ）を参照して、ＩＩＩ族窒化物複合基板１を形成する工程において、接合基板１Ｌ，１ＬＳのＩＩＩ族窒化物膜ドナー基板１３Ｄの貼り合わせ主面から内部に所定の距離に位置する面でＩＩＩ族窒化物膜ドナー基板１３Ｄを切断することにより、支持基板１１に接合膜１２を介在させて接合したＩＩＩ族窒化物膜１３と、残りのＩＩＩ族窒化物膜ドナー基板１３Ｄｒと、に分離して、支持基板１１とＩＩＩ族窒化物膜１３とが接合膜１２を介在させて貼り合わされたＩＩＩ族窒化物複合基板１が形成される。

[0071] 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。

[0072] ＩＩＩ族窒化物膜ドナー基板１３Ｄをワイヤーソーで切断する場合、大口径のＩＩＩ族窒化物膜ドナー基板１３Ｄを平坦に切断するためには固定砥粒ワイヤーを用いることが好ましく、切断代（せつだんしろ）を低減するためには細線ワイヤーを用いることが好ましい。切断代を低減するためには遊離砥粒方式が好ましい。また、ＩＩＩ族窒化物膜ドナー基板１３Ｄをワイヤーソーで切断する際には、切断抵抗によるワイヤーの曲がりを低減して厚さの精度および平坦性を高めるために、ワイヤーの張力を増加し、線速を増加させることが好ましい。そのためには、高剛性のワイヤーソー装置が好ましい。

[0073] 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。

[0074] 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（m^3／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、（η×Ｑ×Ｖ）／（Ｌ×Ｐ×ｎ）で表される抵抗係数ＲＣ（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。

[0075] 本実施形態のＩＩＩ族窒化物複合基板の製造方法においては、切断により形成されたＩＩＩ族窒化物膜１３のダメージ層を除去して結晶品質を高く維持し、主面を平滑化する観点から、切断により得られたＩＩＩ族窒化物複合基板１のＩＩＩ族窒化物膜１３の主面を研磨することが好ましい。

[0076] このため、本実施形態のＩＩＩ族窒化物複合基板の製造方法において、接合基板１Ｌ，１ＬＳのＩＩＩ族窒化物膜ドナー基板１３Ｄを切断する面であるＩＩＩ族窒化物膜ドナー基板１３Ｄの貼り合わせ主面から内部に所定の距離に位置する面における所定の距離とは、製造の目的とするＩＩＩ族窒化物複合基板１のＩＩＩ族窒化物膜１３の厚さに研磨代（けんましろ）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、ダメージ層を除去する観点から、０．０１ｍｍ以上が好ましく、０．０２ｍｍ以上がより好ましく、０．０３ｍｍ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、０．１ｍｍ以下が好ましく、０．０８ｍｍ以下がより好ましく、０．０６ｍｍ以下がさらに好ましい。

[0077] また、図１０（Ｄ）および（Ｂ）ならびに図１１（Ｄ）および（Ｂ）を参照して、残りのＩＩＩ族窒化物膜ドナー基板１３Ｄｒは、その主面を研磨することにより、繰り返し用いることができる。

[0078] （支持体付ＩＩＩ族窒化物膜ドナー基板の利用）

図１１（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１６Ｄを用いて、上記と同様にして、ＩＩＩ族窒化物複合基板１を製造することができる。支持体付ＩＩＩ族窒化物膜ドナー基板１６Ｄ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。

[0079] 支持体付ＩＩＩ族窒化物膜ドナー基板１６Ｄ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クラック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、SiN_x膜、TiO_2膜、Ga_2O_3膜などが好ましい。

[0080] {実施形態４－２：ＩＩＩ族窒化物複合基板の別の製造方法}

図１２を参照して、本発明のさらに別の実施形態であるＩＩＩ族窒化物複合基板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、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１２（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１２（Ｄ））と、を含む。

[0081] 本実施形態のＩＩＩ族窒化物複合基板１の製造方法によれば、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。

[0082] 本実施形態のＩＩＩ族窒化物複合基板１の製造方法において、ＩＩＩ族窒化物膜ドナー基板１３Ｄの貼り合わせ主面と反対側の主面から研削、研磨およびエッチングの少なくともいずれかを行なうことにより、膜厚を減少させて調整して、０．０１ｍｍ以上０．２５ｍｍ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。

[0083] なお、本実施形態のＩＩＩ族窒化物複合基板１の製造方法においては、ＩＩＩ族窒化物複合基板を形成する工程においてＩＩＩ族窒化物膜ドナー基板の貼り合わせ主面と反対側の主面から研削、研磨およびエッチングの少なくともいずれかを行なうため、ＩＩＩ族窒化物膜ドナー基板１３Ｄの材料ロス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、０．５ｍｍ以下が好ましく、０．４ｍｍ以下がより好ましい。

[0084] （接合基板の形成工程）

図１２（Ａ）～（Ｃ）を参照して、接合基板１Ｌを形成する工程は、実施形態４－１のＩＩＩ族窒化物複合基板１の製造方法と同様に、支持基板１１の主面上に接合膜１２ａを形成するサブ工程（図１２（Ａ））と、ＩＩＩ族窒化物膜ドナー基板１３Ｄの主面上に接合膜１２ｂを形成するサブ工程（図１２（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））と、を含む。

[0085] ここで、図１２（Ａ）に示す支持基板１１の主面上に接合膜１２ａを形成するサブ工程は、図１０（Ａ）に示す支持基板１１の主面上に接合膜１２ａを形成するサブ工程と同様である。図１２（Ｂ）に示すＩＩＩ族窒化物膜ドナー基板１３Ｄの主面上に接合膜１２ｂを形成するサブ工程は、図１０（Ｂ）に示すＩＩＩ族窒化物膜ドナー基板１３Ｄの主面上に接合膜１２ｂを形成するサブ工程と同様である。図１２（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１０（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と同様である。このため、それらの説明は繰り返さない。

[0086] （ＩＩＩ族窒化物複合基板の形成工程）

図１２（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族窒化物膜ドナー基板１３Ｄからその厚さが減少したＩＩＩ族窒化物膜１３が形成されて、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。

[0087] 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、砥石および砥粒のいずれか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。

[0088] また、形成されるＩＩＩ族窒化物膜１３の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、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、ダメージ層を除去する観点から、０．０１ｍｍ以上が好ましく、０．０２ｍｍ以上がより好ましく、０．０３ｍｍ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、０．１ｍｍ以下が好ましく、０．０８ｍｍ以下がより好ましく、０．０６ｍｍ以下がさらに好ましい。

[0089] ［実施形態５：ＩＩＩ族窒化物半導体デバイスの製造方法］

図１４～図１７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、実施形態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１４（Ａ）、図１５（Ａ）、図１６（Ａ）および図１７（Ａ））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。

[0090] 本実施形態のＩＩＩ族窒化物半導体デバイス４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１４（Ｃ）および図１６（Ｃ））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１４（Ｄ１）もしくは（Ｄ２）および図１６（Ｄ１）もしくは（Ｄ２））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。

[0091] 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、具体的には、以下の工程により、行なうことができる。

[0092] （ＩＩＩ族窒化物層の成長工程）

図１４（Ａ）、図１５（Ａ）、図１６（Ａ）および図１７（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。

[0093] 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。図１４および図１５を参照して、ＩＩＩ族窒化物半導体デバイス４がＳＢＤ（ショットキーバリアダイオード）の場合は、ＩＩＩ族窒

化物層２０は、たとえば、ＩＩＩ族窒化物膜１３上に、n^+－ＧａＮ層２０１（キャリア濃度がたとえば２×１０^{18}ｃｍ$^{-3}$）およびn^-－ＧａＮ層２０２（キャリア濃度がたとえば１×１０^{16}ｃｍ$^{-3}$）を順に成長させることにより構成することができる。

[0094] また、図１６および図１７を参照して、ＩＩＩ族窒化物半導体デバイス４がＰＮＤ（ｐｎ接合ダイオード）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^+－ＧａＮ層２０３（キャリア濃度がたとえば２×１０^{18}ｃｍ$^{-3}$）、n^-－ＧａＮ層２０４（キャリア濃度がたとえば１×１０^{16}ｃｍ$^{-3}$）、p^-－ＧａＮ層２０５（Ｍｇ濃度がたとえば５×１０^{17}ｃｍ$^{-3}$）、およびp^+－ＧａＮ層２０６（Ｍｇ濃度がたとえば１×１０^{20}ｃｍ$^{-3}$）を順に成長させることにより構成することができる。

[0095] 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。

[0096] {支持基板を含むＩＩＩ族窒化物半導体デバイスの製造の場合}

図１５および図１７を参照して、支持基板１１を含む第３のタイプのＩＩＩ族窒化物半導体デバイス４を製造する場合は、効率よく製造する観点から、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を成長させる工程と、以下の電極を製造する工程と、を含むことが好ましい。支持基板１１を含むＩＩＩ族窒化物半導体デバイス４を製造する場合は、デバイス支持基板を必要としないため、図１４および図１６に示すようなデバイス支持基板４０を貼り合わせる工程が含まれていなくてもよい。

[0097] （電極の形成工程）

図１５（Ｂ）を参照して、ＩＩＩ族窒化物半導体デバイス４としてＳＢＤを製造する場合は、たとえば、ＩＩＩ族窒化物層２０のn^-－ＧａＮ層２０２側に、開口部を有する絶縁膜３００と、第１電極３０としてショットキー電

極と、を形成するとともに、ＩＩＩ族窒化物層２０のｎ$^{+}$－ＧａＮ層２０２側の支持基板１１上に第２電極５０としてオーミック電極を形成する。また、図１７（Ｂ）を参照して、ＩＩＩ族窒化物半導体デバイス４としてＰＮＤを製造する場合は、たとえば、ＩＩＩ族窒化物層２０の一部にメサ部を形成し、ＩＩＩ族窒化物層２０のｐ$^{+}$－ＧａＮ層２０６側に第１電極３０としてオーミック電極を形成するとともに、ＩＩＩ族窒化物層２０のｎ$^{+}$－ＧａＮ層２０３側の支持基板１１上に第２電極５０としてオーミック電極を形成する。これらの電極の形成方法は、形成する電極の材料に適したものであれば特に制限はなく、真空蒸着法、スパッタ法などが用いられる。

[0098] {デバイス支持基板を含むＩＩＩ族窒化物半導体デバイスの製造の場合}

図１４および図１６を参照して、デバイス支持基板４０を含むＩＩＩ族窒化物半導体デバイス４を製造する場合は、効率よく製造する観点から、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１４（Ｂ）および（Ｃ）ならびに図１６（Ｂ）および（Ｃ））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１４（Ｄ１）および（Ｄ２）ならびに図１６（Ｄ１）および（Ｄ２））と、をさらに含むことが好ましい。

[0099] （デバイス支持基板の貼り合わせ工程）

図１４（Ｂ）および（Ｃ）を参照して、ＩＩＩ族窒化物半導体デバイス４としてＳＢＤを製造する場合、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上に開口部を有する絶縁膜３００を形成し、絶縁膜３００の一部および絶縁膜３００の開口部のＩＩＩ族窒化物層２０上に第１電極３０としてのショットキー電極を形成することにより電極付積層ＩＩＩ族窒化物複合基板２Ｅを形成した後、かかる電極付積層ＩＩＩ族窒化物複合基板２Ｅの第１電極３０が形成されていない絶縁膜３００および第１電極３０上にバリア膜３３０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、バリア膜３３０に接合金属膜４４を貼り

合わせることにより行なう。

[0100] 図１６（Ｂ）および（Ｃ）を参照して、ＩＩＩ族窒化物半導体デバイス４としてＰＮＤを製造する場合、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、ＩＩＩ族窒化物層２０の一部にメサ部を形成し、ＩＩＩ族窒化物層２０上に第１電極３０を形成することにより電極付積層ＩＩＩ族窒化物複合基板２Ｅを形成した後、かかる電極付積層ＩＩＩ族窒化物複合基板２Ｅの第１電極３０の一部およびＩＩＩ族窒化物層２０のメサ部の脚面上に絶縁膜３００を形成し、第１電極３０および絶縁膜３００上にバリア膜３３０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、バリア膜３３０に接合金属膜４４を貼り合わせることにより行なう。かかる上記のデバイス支持基板４０を貼り合わせる工程により、積層基板３が得られる。

[0101] （支持基板の除去工程）

図１４（Ｄ１）および図１６（Ｄ１）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。また、図１４（Ｄ２）および図１６（Ｄ２）を参照して、支持基板１１および接合膜１２に加えてＩＩＩ族窒化物膜１３をも除去することができる。ＩＩＩ族窒化物複合基板１のＩＩＩ族窒化物膜１３がダメージを受けている場合には、ダメージを受けたＩＩＩ族窒化物膜１３を除去することにより、特性の高いＩＩＩ族窒化物半導体デバイス４が得られる。

[0102] ここで、支持基板１１、接合膜１２および／またはＩＩＩ族窒化物膜１３の除去方法は、特に制限はなく、研削、研磨、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。

[0103] （電極の形成工程）

図１４（Ｅ１）および図１６（Ｅ１）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。または、図１４（Ｅ２）および図１６（Ｅ２）を参照して、積層基板３から支持基板１１、接合膜１２およびＩＩＩ族窒化物膜１３が除去されることにより露出したＩＩＩ族窒化物層２０上に第２電極５０を形成し、デバイス支持基板４０上にデバイス支持基板電極４５を形成する。

実施例

[0104] （実施例Ａ）

１．ＩＩＩ族窒化物複合基板の作製

図１０（Ａ）を参照して、表１の例Ａ１～例Ａ１２のそれぞれに示す材料で形成された直径７５ｍｍで厚さ０．５ｍｍの支持基板１１を準備した。各例における支持基板１１の材料は、例Ａ１が基板全体に対してAl_2O_3が６０モル％でSiO_2が４０モル％のムライトであり、例Ａ２がサファイアであり、例Ａ３がアルミナであり、例Ａ４がSiO_2ガラスであり、例Ａ５が基板全体に対してAl_2O_3が８５質量％でSiO_2が１５質量％のAl_2O_3－SiO_2複合酸化物であり、例Ａ６が基板全体に対してムライトが７０質量％でＹＳＺ（イットリア安定化ジルコニア）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、ＹＳＺに対してZrO_2が９０モル％でY_2O_3が１０モル％のムライト－ＹＳＺであり、例Ａ７がＳｉＣ

焼結体であり、例Ａ８がＳｉであり、例Ａ９がＳｉＣ単結晶であり、例Ａ１０がＡｌＮであり、例Ａ１１がSi_3N_4であり、例Ａ１２がZrO_2であった。

[0105] 準備した支持基板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５ｎｍ以下に鏡面化した後、その上に厚さ８００ｎｍ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４０ｎｍのコロイダルシルカ砥粒を含みｐＨが１０のスラリーを用いたＣＭＰ（化学機械的研磨）により、主面のＲＭＳが０．３ｎｍ以下に平坦化された厚さ４００ｎｍ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シング洗浄および純水による洗浄を行なった。

[0106] 図１０（Ｂ）を参照して、ＩＩＩ族窒化物膜ドナー基板１３Ｄとして直径７５ｍｍで厚さ８ｍｍのＧａＮ結晶体を準備し、ＩＩＩ族窒化物膜ドナー基板１３Ｄの貼り合わせ面を機械研磨およびＣＭＰによりＲＭＳを２ｎｍ以下に鏡面化した後、その上に厚さ８００ｎｍ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４０ｎｍのコロイダルシルカ砥粒を含みｐＨが１０のスラリーを用いたＣＭＰにより、主面がＲＭＳで０．３ｎｍ以下に平坦化された厚さ５００ｎｍ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。

[0107] 図１０（Ｃ）を参照して、接合膜１２ａと接合膜１２ｂとを貼り合わせることにより、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。

[0108] 図１０（Ｄ）を参照して、接合基板１ＬのＩＩＩ族窒化物膜ドナー基板１

３Ｄを接合膜１２との貼り合わせ面から内部に０．１５ｍｍ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、４２００Ｎ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におけるＩＩＩ族窒化物複合基板１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。こうして、厚さ０．５ｍｍの支持基板１１上に厚さ９００ｎｍの接合膜を介在させて厚さ０．０５ｍｍのＩＩＩ族窒化物膜１３が貼り合わされた直径７５ｍｍのＩＩＩ族窒化物複合基板１が得られた。

[0109] 得られたＩＩＩ族窒化物複合基板１について、支持基板１１の材料名、ヤング率E_s（単位：ＧＰａ）、熱膨張係数α_s（単位：×１０$^{-6}$Ｋ$^{-1}$）、熱伝導率（Ｗ・ｍ$^{-1}$・Ｋ$^{-1}$）および厚さt_s（単位：ｍｍ）、ＩＩＩ族窒化物膜１３の材料名、ヤング率E_f（単位：ＧＰａ）、熱膨張係数α_f（単位：×１０$^{-6}$Ｋ$^{-1}$）および厚さt_f（単位：ｍｍ）、ＩＩＩ族窒化物複合基板１における熱膨張係数α_fから熱膨張係数α_sを引いた熱膨張係数差Δα（単位：×１０$^{-6}$Ｋ$^{-1}$）、ヤング率E_sに対するヤング率E_fのヤング率比E_f/E_s（単位：無次元）および直径、パラメータＸとして$E_f \cdot |\Delta\alpha| / E_s$（単位：×１０$^{-6}$Ｋ$^{-1}$）、パラメータＹとして$t_s^2/t_f$（単位：ｍｍ）、ならびにパラメータＹ／Ｘを表１にまとめた。

[0110] ２．ＩＩＩ族窒化物層の成長

図２を参照して、ＩＩＩ族窒化物複合基板１のＩＩＩ族窒化物膜１３上に、ＭＯＶＰＥ法により、ＩＩＩ族窒化物層２０として、キャリアストップ層

であるキャリア濃度が２×１０^{18}ｃｍ$^{-3}$で厚さが１μｍのｎ$^{+}$－ＧａＮ層２０１、およびキャリアドリフト層であるキャリア濃度が１×１０^{16}ｃｍ$^{-3}$で厚さが５μｍのｎ$^{-}$－ＧａＮ層２０２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。ここで、ＩＩＩ族窒化物層２０の成長温度は１０５０℃であり、ＧａＮの原料としてＴＭＧ（トリメチルガリウム）およびNH_3を用い、Ｓｉドーパントの原料としてSiH_4を用いた。

[0111] ＩＩＩ族窒化物層２０のエピタキシャル成長後の積層ＩＩＩ族窒化物複合基板２の外観を観察した。結果を表１にまとめた。

[0112] 次に、例Ａ４以外のすべての例において、積層ＩＩＩ族窒化物複合基板２のＩＩＩ族窒化物層２０のキャリアドリフト層のキャリア濃度の主面に平行な面内の分布をＣＶ測定法により測定した。ＣＶ測定用パターンとして、フォトリソグラフィ、Ｎｉ／Ａｕ電極（Ｎｉ層の厚さが５０ｎｍでＡｕ層の厚さが３００ｎｍ）のＥＢ（電子線）蒸着、およびリフトオフにより、直径が０．２ｍｍのショットキー電極を正方格子点上に５ｍｍのピッチでキャリアドリフト層上の全面に形成した。ＣＶ測定は、５ｍｍピッチで十文字の点の内、外周から５ｍｍまでの点を除く２５点について、各点のキャリア濃度を測定し、面内の平均値と標準偏差を算出した。ここで、標準偏差は、不変分散の正の平方根を意味する。そして、面内の標準偏差が２．５×１０^{15}ｃｍ$^{-3}$以下のものを面内均一性が良とし、２．５×１０^{15}ｃｍ$^{-3}$より大きいものを面内均一性が不良とした。結果を表１にまとめた。

[0113]

[表1]

例			A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11	A12
支持基板	材料		ムライト	サファイア	アルミナ	SiO_2 ガラス	Al_2O_3 $-SiO_2$	ムライト -YSZ	SiC 焼結	Si	SiC 単晶	AlN	Si_3N_4	ZrO_2
	ヤング率 E_s (GPa)		200	470	360	70	250	150	440	185	450	320	440	200
	熱膨張係数 α_s ($\times 10^{-6}K^{-1}$)		5.1	7.0	7.2	0.5	6.2	5.8	3.7	2.6	4.2	4.6	2.8	10
	熱伝導率 ($W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$)		5	40	30	1.5	25	5	200	150	400	150	27	3
	厚さ t_s (mm)		0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
III 族窒化物膜	材料		GaN	GaN	GaN	GaN	GaN	GaN	GaN	GaN	GaN	GaN	GaN	GaN
	ヤング率 E_f (GPa)		150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
	熱膨張係数 α_f ($\times 10^{-6}K^{-1}$)		5.9	5.9	5.9	5.9	5.9	5.9	5.9	5.9	5.9	5.9	5.9	5.9
	厚さ t_f (mm)		0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
III 族窒化物複合基板	熱膨張係数差 $\Delta\alpha$		0.8	-1.1	-1.3	5.4	-0.3	0.1	2.2	3.3	1.7	1.3	3.1	-4.1
	ヤング率比 E_f/E_s		0.75	0.32	0.42	2.14	0.60	1.00	0.34	0.81	0.33	0.47	0.34	0.75
	直径 (mm)		75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75
	$E_f \cdot \lvert\Delta\alpha\rvert / E_s$ ($\times 10^{-6}K^{-1}$) [パラメータX]		0.600	0.351	0.542	11.571	0.180	0.100	0.750	2.676	0.567	0.609	1.057	3.075
	t_s^2/t_f (mm) [パラメータY]		5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0
	パラメータY/X		8.33	14.2	9.23	0.432	27.8	50.0	6.67	1.87	8.82	8.21	4.73	1.63
積層 III 族窒化物複合基板	外観評価		良	良	良	不良	良	良	良	不良	良	良	不良	不良
	キャリア濃度の面内平均値 ($\times 10^{15}cm^{-3}$)		8.7	9.2	9.2	8.7	9.1	8.9	9.3	9.1	9.2	9.2	8.9	9.1
	キャリア濃度の面内標準偏差 ($\times 10^{15}cm^{-3}$)		2.0	2.0	2.0	5.0	1.5	1.0	2.5	5.0	2.0	2.2	2.9	5.0
	キャリア濃度の面内均一性評価		良	良	良	-	良	良	良	不良	良	良	不良	不良

[0114] 表１を参照して、支持基板としてSiO_2ガラス基板を用いた例Ａ４においては、ＩＩＩ族窒化物複合基板のＩＩＩ族窒化物膜上にＩＩＩ族窒化物層を成長させた積層ＩＩＩ族窒化物複合基板のＩＩＩ族窒化物膜およびＩＩＩ族

窒化物層が支持基板から剥がれて外観が不良となった。また、支持基板としてＳｉ基板、Si_3N_4基板、およびZrO_2基板のいずれかを用いた例Ａ８、例Ａ１１および例Ａ１２においては、ＩＩＩ族窒化物膜およびＩＩＩ族窒化物層にクラックが発生し外観が不良となった。例Ａ１～例Ａ３、例Ａ５～例Ａ７、例Ａ９、および例Ａ１０においては、ＩＩＩ族窒化物膜およびＩＩＩ族窒化物層にクラックおよび剥がれがなく外観が良であった。

[0115] また、積層ＩＩＩ族窒化物複合基板のＩＩＩ族窒化物層のキャリアドリフト層のキャリア濃度の主面に平行な面内の均一性は、例Ａ８、例Ａ１１、例Ａ１２において不良であり、例Ａ１～例Ａ３、例Ａ５～例Ａ７、例Ａ９、および例Ａ１０において良であった。

[0116] 積層ＩＩＩ族窒化物複合基板の外観およびＩＩＩ族窒化物層のキャリアドリフト層のキャリア濃度の面内均一性が不良なものは支持基板とＩＩＩ族窒化物膜との間の熱膨張係数差Δαの絶対値が大きく、積層ＩＩＩ族窒化物複合基板の外観およびＩＩＩ族窒化物層のキャリアドリフト層のキャリア濃度の面内均一性が良なものは支持基板とＩＩＩ族窒化物膜との間の熱膨張係数差Δαの絶対値が小さいという傾向が見られた。なお、支持基板の材料種によって上記の傾向に大小が見られた。

[0117] （実施例Ｂ）

ＳｉＣ焼結体を材料とする支持基板を用いて、支持基板の厚さおよびＩＩＩ族窒化物膜の厚さが表２の例Ｂ１～例Ｂ７に示すように異なるＩＩＩ族窒化物複合基板を作製したこと以外は、実施例Ａと同様にして、ＩＩＩ族窒化物複合基板を作製し、ＩＩＩ族窒化物複合基板のＩＩＩ族窒化物膜上にＩＩＩ族窒化物層を成長させて積層ＩＩＩ族窒化物複合基板を作製した。また、得られた積層ＩＩＩ族窒化物複合基板の外観およびキャリア濃度の面内均一性を評価した。結果を表２にまとめた。

[0118]

[表2]

例		B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7
支持基板	材料	SiC焼結	SiC焼結	SiC焼結	SiC焼結	SiC焼結	SiC焼結	SiC焼結
	ヤング率 E_s (GPa)	440	440	440	440	440	440	440
	熱膨張係数 α_s ($\times 10^{-6}K^{-1}$)	3.7	3.7	3.7	3.7	3.7	3.7	3.7
	熱伝導率 ($W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$)	200	200	200	200	200	200	200
	厚さ t_s (mm)	0.5	0.4	0.3	0.5	1	1	1
III族窒化物膜	材料	GaN	GaN	GaN	GaN	GaN	GaN	GaN
	ヤング率 E_f (GPa)	150	150	150	150	150	150	150
	熱膨張係数 α_f ($\times 10^{-6}K^{-1}$)	5.9	5.9	5.9	5.9	5.9	5.9	5.9
	厚さ t_f (mm)	0.05	0.05	0.05	0.1	0.1	0.2	0.25
III族窒化物複合基板	熱膨張係数差 $\Delta\alpha$	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2
	ヤング率比 E_f/E_s	0.34	0.34	0.34	0.34	0.34	0.34	0.34
	直径 (mm)	75	75	75	75	75	75	75
	$E_f \cdot \lvert\Delta\alpha\rvert / E_s$ ($\times 10^{-6}K^{-1}$) [パラメータX]	0.750	0.750	0.750	0.750	0.750	0.750	0.750
	t_s^2/t_f (mm) [パラメータY]	5.0	3.2	1.8	2.5	10	5.0	4.0
	パラメータY/X	6.67	4.27	2.40	3.33	13.3	6.67	5.33
積層III族窒化物複合基板	外観評価	良	良	良	良	良	良	良
	キャリア濃度の面内平均値 ($\times 10^{15}cm^{-3}$)	8.7	9.2	9.2	9.2	9.2	9.2	9.2
	キャリア濃度の面内標準偏差 ($\times 10^{15}cm^{-3}$)	2.1	3.2	4.3	3.3	1.7	2.4	2.6
	キャリア濃度の面内均一性評価	良	不良	不良	不良	良	良	不良

[0119] 表２を参照して、例Ｂ１～例Ｂ７の全ての例において、積層ＩＩＩ族窒化物複合基板のＩＩＩ族窒化物膜およびＩＩＩ族窒化物層にクラックおよび剥がれがなく外観が良であった。また、積層ＩＩＩ族窒化物複合基板のＩＩＩ族窒化物層のキャリアドリフト層のキャリア濃度の主面に平行な面内の均一性は、支持基板の厚さが小さい例Ｂ２および例Ｂ３、ならびに、支持基板の厚さに対してＩＩＩ族窒化物膜の厚さが大きい例Ｂ４および例Ｂ７について

不良であり、支持基板の厚さが大きくＩＩＩ族窒化物膜の厚さが小さい例Ｂ１、ならびに、支持基板の厚さが大きい例Ｂ５～例Ｂ６について良であった。

[0120] （実施例Ｃ）

Ｓｉを材料とする支持基板を用いて、支持基板の厚さおよびＩＩＩ族窒化物膜の厚さが表３の例Ｃ１～例Ｃ５に示すように異なるＩＩＩ族窒化物複合基板を作製したこと以外は、実施例Ａと同様にして、ＩＩＩ族窒化物複合基板を作製し、ＩＩＩ族窒化物複合基板のＩＩＩ族窒化物膜上にＩＩＩ族窒化物層を成長させて積層ＩＩＩ族窒化物複合基板を作製した。また、得られた積層ＩＩＩ族窒化物複合基板の外観およびキャリア濃度の面内均一性を評価した。結果を表３にまとめた。

[0121] [表3]

例		C1	C2	C3	C4	C5
支持基板	材料	Si	Si	Si	Si	Si
	ヤング率 E_s (GPa)	185	185	185	185	185
	熱膨張係数 α_s ($\times 10^{-6}K^{-1}$)	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6
	熱伝導率 ($W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$)	150	150	150	150	150
	厚さ t_s (mm)	0.5	0.7	0.9	0.5	0.5
III族窒化物膜	材料	GaN	GaN	GaN	GaN	GaN
	ヤング率 E_f (GPa)	150	150	150	150	150
	熱膨張係数 α_f ($\times 10^{-6}K^{-1}$)	5.9	5.9	5.9	5.9	5.9
	厚さ t_f (mm)	0.05	0.05	0.05	0.02	0.01
III族窒化物複合基板	熱膨張係数差 $\Delta\alpha$	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3
	ヤング率比 E_f/E_s	0.81	0.81	0.81	0.81	0.81
	直径 (mm)	75	75	75	75	75
	$E_f \cdot \lvert \Delta\alpha \rvert / E_s$ ($\times 10^{-6}K^{-1}$) [パラメータX]	2.676	2.676	2.676	2.676	2.676
	t_s^2/t_f (mm) [パラメータY]	5.0	9.8	16	13	25
	パラメータY/X	1.87	3.66	5.98	4.86	9.34
積層III族窒化物複合基板	外観評価	不良	不良	不良	不良	不良
	キャリア濃度の面内平均値 ($\times 10^{15}cm^{-3}$)	9.0	8.8	8.7	9.2	9.1
	キャリア濃度の面内標準偏差 ($\times 10^{15}cm^{-3}$)	4.7	3.8	2.8	3.3	2.6
	キャリア濃度の面内均一性評価	不良	不良	不良	不良	不良

[0122] 表３を参照して、例Ｃ１～例Ｃ５の全ての例において、積層ＩＩＩ族窒化物複合基板のＩＩＩ族窒化物膜およびＩＩＩ族窒化物層にクラックが発生して外観が不良となった。これは、支持基板とＩＩＩ族窒化物膜との間の熱膨張係数差が大きかったためと考えられた。また、積層ＩＩＩ族窒化物複合基

板のＩＩＩ族窒化物層のキャリアドリフト層のキャリア濃度の主面に平行な面内の均一性は、例Ｃ１～例Ｃ５の全ての例において、外周部の上記クラックの発生部分においてキャリア濃度の異常分布が発生し、不良となった。

[0123] （実施例Ｄ）

基板全体に対してAl_2O_3が８５質量％でSiO_2が１５質量％のAl_2O_3－SiO_2複合酸化物を材料とする支持基板を用いて、支持基板の厚さ、ＩＩＩ族窒化物膜の厚さ、およびＩＩＩ族窒化物複合基板の直径が表４の例Ｄ１～例Ｄ１０に示すように異なるＩＩＩ族窒化物複合基板を作製したこと以外は、実施例Ａと同様にして、ＩＩＩ族窒化物複合基板を作製し、ＩＩＩ族窒化物複合基板のＩＩＩ族窒化物膜上にＩＩＩ族窒化物層を成長させて積層ＩＩＩ族窒化物複合基板を作製した。また、得られた積層ＩＩＩ族窒化物複合基板の外観およびキャリア濃度の面内均一性を評価した。結果を表４にまとめた。

[0124]

[表4]

例		D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	D9	D10
支持基板	材料	Al_2O_3 $-SiO_2$	Al_2O_3 $-SiO_2$	Al_2O_3 $-SiO_2$	Al_2O_3 $-SiO_2$	Al_2O_3 $-SiO_2$	Al_2O_3 $-SiO_2$	Al_2O_3 $-SiO_2$	Al_2O_3 $-SiO_2$	Al_2O_3 $-SiO_2$	Al_2O_3 $-SiO_2$
	ヤング率 E_s (GPa)	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250
	熱膨張係数 α_s ($\times 10^{-6}K^{-1}$)	6.2	6.2	6.2	6.2	6.2	6.2	6.2	6.2	6.2	6.2
	熱伝導率 ($W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$)	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
	厚さ t_s (mm)	0.5	0.7	0.2	0.5	0.5	0.3	0.5	0.5	0.5	0.5
III 族窒化物膜	材料	GaN	GaN	GaN	GaN	GaN	GaN	GaN	GaN	GaN	GaN
	ヤング率 E_f (GPa)	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
	熱膨張係数 α_f ($\times 10^{-6}K^{-1}$)	5.9	5.9	5.9	5.9	5.9	5.9	5.9	5.9	5.9	5.9
	厚さ t_f (mm)	0.05	0.05	0.05	0.1	0.25	0.25	0.05	0.25	0.05	0.25
III 族窒化物複合基板	熱膨張係数差 $\Delta\alpha$	−0.3	−0.3	−0.3	−0.3	−0.3	−0.3	−0.3	−0.3	−0.3	−0.3
	ヤング率比 E_f/E_s	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60
	直径 (mm)	75	75	75	75	75	75	100	100	150	150
	$E_f \cdot \lvert\Delta\alpha\rvert / E_s$ ($\times 10^{-6}K^{-1}$) [パラメータX]	0.180	0.180	0.180	0.180	0.180	0.180	0.180	0.180	0.180	0.180
	t_s^2/t_f (mm) [パラメータY]	5.0	9.8	0.8	2.5	1.0	0.36	5.0	1.0	5.0	1.0
	パラメータY/X	27.8	54.4	4.44	13.9	5.56	2.00	27.8	5.56	27.8	5.56
積層 III 族窒化物複合基板	外観評価	良	良	良	良	良	良	良	良	良	良
	キャリア濃度の面内平均値 ($\times 10^{15}cm^{-3}$)	9.2	9.0	9.3	9.1	9.0	9.2	9.1	9.0	9.0	9.1
	キャリア濃度の面内標準偏差 ($\times 10^{15}cm^{-3}$)	1.5	1.3	3.0	1.7	2.6	4.4	1.7	3.2	2.0	4.6
	キャリア濃度の面内均一性評価	良	良	不良	良	不良	不良	良	不良	良	不良

[0125] 表４を参照して、例Ｄ１～例Ｄ１０の全ての例において、積層ＩＩＩ族窒

化物複合基板のＩＩＩ族窒化物膜およびＩＩＩ族窒化物層にクラックおよび剥がれがなく外観が良であった。また、積層ＩＩＩ族窒化物複合基板のＩＩＩ族窒化物層のキャリアドリフト層のキャリア濃度の主面に平行な面内の均一性は、支持基板の厚さが小さい例Ｄ３、ならびに、ＩＩＩ族窒化物膜の厚さが大きい例Ｄ５、例Ｄ６、例Ｄ８、および例Ｄ１０について不良であり、支持基板の厚さが大きくＩＩＩ族窒化物膜の厚さが小さい例Ｄ１、例Ｄ２、例Ｄ４、Ｄ７および例Ｄ９について良であった。

[0126] （実施例Ｅ）

表５の例Ｅ１～例Ｅ１１のそれぞれに示す材料、直径および厚さの支持基板を準備した。各例における支持基板は、例Ｅ１、例Ｅ６および例Ｅ９が主面を鏡面仕上げ（ＲＭＳが１０ｎｍ以下）したＭｏ基板であり、例Ｅ２、例Ｅ７および例Ｅ１０が主面を鏡面仕上げ（ＲＭＳが１０ｎｍ以下）したW基板であり、例Ｅ３、例Ｅ８および例Ｅ１１が比抵抗１００μΩｃｍのZrB_2基板であり、例Ｅ４が比抵抗１ｍΩｃｍのＳｉ基板であり、例Ｅ５が比抵抗１０ｍΩｃｍのＳｉＣ基板であった。支持基板およびＩＩＩ族窒化物膜ドナー基板の両方の貼り合わせ主面にスパッタ法により、接合膜として比抵抗が１０ｍΩｃｍの高導電性のGa_2O_3膜を形成したこと以外は、実施例Ａと同様にして、ＩＩＩ族窒化物複合基板を作製し、ＩＩＩ族窒化物複合基板のＩＩＩ族窒化物膜上にＩＩＩ族窒化物層を成長させて積層ＩＩＩ族窒化物複合基板を作製した。また、得られた積層ＩＩＩ族窒化物複合基板の外観およびキャリア濃度の面内均一性を評価した。結果を表５にまとめた。

[0127]

[表5]

例		E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	E9	E10	E11
支持基板	材料	Mo	W	ZrB_2	Si	SiC	Mo	W	ZrB_2	Mo	W	ZrB_2
	ヤング率 E_s (GPa)	320	380	450	185	450	320	380	450	320	380	450
	熱膨張係数 α_s ($\times 10^{-6}K^{-1}$)	5.1	4.5	6.2	2.6	4.2	5.1	4.5	6.2	5.1	4.5	6.2
	熱伝導率 ($W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$)	140	170	57	150	400	140	170	57	140	170	57
	厚さ t_s (mm)	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.6	0.6	0.6	0.7	0.7	0.7
III 族窒化物膜	材料	GaN	GaN	GaN	GaN	GaN	GaN	GaN	GaN	GaN	GaN	GaN
	ヤング率 E_f (GPa)	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
	熱膨張係数 α_f ($\times 10^{-6}K^{-1}$)	5.9	5.9	5.9	5.9	5.9	5.9	5.9	5.9	5.9	5.9	5.9
	厚さ t_f (mm)	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
III 族窒化物複合基板	熱膨張係数差 $\Delta\alpha$	0.8	1.4	−0.3	3.3	1.7	0.8	1.4	−0.3	0.8	1.4	−0.3
	ヤング率比 E_f/E_s	0.47	0.39	0.33	0.81	0.33	0.47	0.39	0.33	0.47	0.39	0.33
	直径 (mm)	75	75	75	75	75	100	100	100	150	150	150
	$E_f \cdot \lvert\Delta\alpha\rvert / E_s$ ($\times 10^{-6}K^{-1}$) [パラメータX]	0.375	0.553	0.100	2676	0.567	0.375	0.553	0.100	0.375	0.553	0.100
	t_s^2/t_f (mm) [パラメータY]	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	7.2	7.2	7.2	9.8	9.8	9.8
	パラメータ Y/X	13.3	9.04	50.0	1.87	8.81	19.2	13.0	72.0	26.1	17.7	98.0
積層 III 族窒化物複合基板	外観評価	良	良	良	不良	良	良	良	良	良	良	良
	キャリア濃度の面内平均値 ($\times 10^{15}cm^{-3}$)	9.1	9.2	8.8	9.0	9.3	9.2	9.1	9.0	9.0	9.1	8.9
	キャリア濃度の面内標準偏差 ($\times 10^{15}cm^{-3}$)	1.5	1.8	1.0	4.3	2.2	1.9	2.3	1.4	2.0	2.4	1.5
	キャリア濃度の面内均一性評価	良	良	良	不良	良	良	良	良	良	良	良

[0128] 表５を参照して、支持基板とＩＩＩ族窒化物膜との間の熱膨張係数差Δαの絶対値が大きい例Ｅ４において、積層ＩＩＩ族窒化物複合基板のＩＩＩ族窒化物膜およびＩＩＩ族窒化物層にクラックが発生し外観が不良であった。支持基板とＩＩＩ族窒化物膜との間の熱膨張係数差Δαの絶対値が小さい例Ｅ１～例Ｅ３および例Ｅ５～例Ｅ１１において、積層ＩＩＩ族窒化物複合基板のＩＩＩ族窒化物膜およびＩＩＩ族窒化物層にクラックおよび剥がれがなく外観が良好であった。また、積層ＩＩＩ族窒化物複合基板のＩＩＩ族窒化物層のキャリアドリフト層のキャリア濃度の主面に平行な面内の均一性は、上記と同様に、例Ｅ４について不良であり、例Ｅ１～例Ｅ３および例Ｅ５～例Ｅ１１について良であった。ここで、支持基板の材料種によって上記の傾向に大小が見られた。

[0129] （実施例Ｆ）

支持基板として主面を鏡面仕上げ（ＲＭＳが１０ｎｍ以下）したＭｏ基板または主面を鏡面仕上げ（ＲＭＳが１０ｎｍ以下）したW基板を用いて、支持基板の厚さおよびＩＩＩ族窒化物膜の厚さが表６の例Ｆ１～例Ｆ１０に示すように異なる直径７５ｍｍのＩＩＩ族窒化物複合基板を作製したこと以外は、実施例Ｅと同様にして、ＩＩＩ族窒化物複合基板を作製し、ＩＩＩ族窒化物複合基板のＩＩＩ族窒化物膜上にＩＩＩ族窒化物層を成長させて積層ＩＩＩ族窒化物複合基板を作製した。また、得られた積層ＩＩＩ族窒化物複合基板の外観およびキャリア濃度の面内均一性を評価した。結果を表６にまとめた。

[0130]

[表6]

例		F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F9	F10
支持基板	材料	Mo	Mo	Mo	Mo	Mo	Mo	W	W	W	W
	ヤング率 E_s (GPa)	320	320	320	320	320	320	380	380	380	380
	熱膨張係数 α_s ($\times 10^{-6}K^{-1}$)	5.1	5.1	5.1	5.1	5.1	5.1	4.5	4.5	4.5	4.5
	熱伝導率 ($W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$)	140	140	140	140	140	140	170	170	170	170
	厚さ t_s (mm)	0.5	0.4	0.3	0.5	0.5	0.5	0.5	0.4	0.3	0.5
III族窒化物膜	材料	GaN	GaN	GaN	GaN	GaN	GaN	GaN	GaN	GaN	GaN
	ヤング率 E_f (GPa)	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
	熱膨張係数 α_f ($\times 10^{-6}K^{-1}$)	5.9	5.9	5.9	5.9	5.9	5.9	5.9	5.9	5.9	5.9
	厚さ t_f (mm)	0.05	0.05	0.05	0.1	0.15	0.2	0.05	0.05	0.05	0.1
III族窒化物複合基板	熱膨張係数差 $\Delta\alpha$	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	1.4	1.4	1.4	1.4
	ヤング率比 E_f/E_s	0.47	0.47	0.47	0.47	0.47	0.47	0.39	0.39	0.39	0.39
	直径 (mm)	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75
	$E_f \cdot \lvert\Delta\alpha\rvert / E_s$ ($\times 10^{-6}K^{-1}$) [パラメータX]	0.375	0.375	0.375	0.375	0.375	0.375	0.553	0.553	0.553	0.553
	t_s^2/t_f (mm) [パラメータY]	5.0	3.2	1.8	2.5	1.7	1.3	5.0	3.2	1.8	2.5
	パラメータY/X	13.3	8.53	4.80	6.67	4.53	3.47	9.04	5.79	3.25	4.52
積層III族窒化物複合基板	外観評価	良	良	良	良	良	良	良	良	良	良
	キャリア濃度の面内平均値 ($\times 10^{15}cm^{-3}$)	9.1	9.2	9.2	9.0	9.1	9.2	9.1	9.2	9.2	9.2
	キャリア濃度の面内標準偏差 ($\times 10^{15}cm^{-3}$)	1.5	1.8	3.0	2.4	2.8	3.3	2.2	2.6	3.3	2.8
	キャリア濃度の面内均一性評価	良	良	不良	良	不良	不良	良	不良	不良	不良

[0131] 表６を参照して、例Ｆ１～例Ｆ１０の全ての例において、積層ＩＩＩ族窒化物複合基板のＩＩＩ族窒化物膜およびＩＩＩ族窒化物層にクラックおよび

剥がれがなく外観が良であった。また、積層ＩＩＩ族窒化物複合基板のＩＩＩ族窒化物層のキャリアドリフト層のキャリア濃度の主面に平行な面内の均一性は、支持基板の厚さが小さい例Ｆ３、例Ｆ８および例Ｆ９、ならびに、ＩＩＩ族窒化物膜の厚さが大きい例Ｆ５および例Ｆ６について不良であり、支持基板の厚さが大きくＩＩＩ族窒化物膜の厚さが小さい例Ｆ１、例Ｆ２、例Ｆ４および例Ｆ７について良であった。ここで、支持基板の材料種によって上記の傾向に大小が見られた。

[0132] （実施例Ａ～実施例Ｆからの考察）

上記の実施例Ａ～実施例Ｆで示したように、支持基板の材料種および厚さならびにＩＩＩ族窒化物膜の厚さによって、ＩＩＩ族窒化物複合基板のＩＩＩ族窒化物膜上にＩＩＩ族窒化物層を成長させて形成した積層ＩＩＩ族窒化物複合基板の外観およびＩＩＩ族窒化物層のキャリア濃度の主面に平行な面内分布の均一性が変化する結果となった。

[0133] これらの結果から、上記の積層ＩＩＩ族窒化物複合基板の外観およびＩＩＩ族窒化物層のキャリア濃度の主面に平行な面内分布の均一性について、以下のように考察した。

[0134] １．積層ＩＩＩ族窒化物複合基板の外観について

積層ＩＩＩ族窒化物複合基板の外観、特に、積層ＩＩＩ族窒化物複合基板のＩＩＩ族窒化物層およびＩＩＩ族窒化物膜のクラックの発生および支持基板からの剥がれの有無に関して、ＩＩＩ族窒化物複合基板のＩＩＩ族窒化物膜上へのＩＩＩ族窒化物層のエピタキシャル成長の際にＩＩＩ族窒化物複合基板にかかる熱応力の観点から、以下のように考察した。

[0135] 上記実施例のＩＩＩ族窒化物複合基板は、支持基板とＩＩＩ族窒化物膜ドナー基板とを接合膜を介在させて貼り合わせた後、貼り合わせ強度を高めるため８００℃でアニールされた際に熱応力を受け、さらにＩＩＩ族窒化物複合基板のＩＩＩ族窒化物膜上に１０５０℃でＩＩＩ族窒化物層をエピタキシャル成長させた際にさらに大きな熱応力を受けたものであった。そして、一部の積層ＩＩＩ族窒化物複合基板においては、かかる熱応力によりＩＩＩ族

窒化物層およびＩＩＩ族窒化物膜にクラックおよび支持基板からの剥がれが発生したと考えられた。

[0136] かかる熱応力σ_T（単位：Ｐａ）は、ＩＩＩ族窒化物膜１３の熱膨張係数α_f（単位：×１０$^{-6}$Ｋ$^{-1}$）から支持基板１１の熱膨張係数α_S（単位：×１０$^{-6}$Ｋ$^{-1}$）を引いた熱膨張係数差Δα（単位：×１０$^{-6}$Ｋ$^{-1}$）により発生し、ＩＩＩ族窒化物膜１３の厚さt_f（単位：ｍｍ）が支持基板１１の厚さt_s（単位：ｍｍ）に比べて小さいと仮定して、ＩＩＩ族窒化物膜１３のヤング率E_f（単位：ＧＰａ）、ポアソン比ν_f（単位：無次元）、ＩＩＩ族窒化物層の成長温度T_g（単位：℃）からＩＩＩ族窒化物複合基板１の形成温度T_b（単位：℃）（具体的には、ＩＩＩ族窒化物複合基板の形成の際のアニール温度）を引いた温度差ΔＴ（単位：℃）、および上記熱膨張係数差Δαを用いて、次の式（２）

$$\sigma_T = E_f \cdot |\Delta\alpha \cdot |\Delta T / (1-\nu_f) \quad \cdots (2)$$

で表わされた。すなわち、支持基板とＩＩＩ族窒化物膜との間の熱膨張係数差Δαが熱応力σ_Tを決定する重要な因子であることがわかった。

[0137] そこで、上記実施例Ａ～実施例Ｆの各例について、上記熱膨張係数差Δαに対して積層ＩＩＩ族窒化物複合基板の外観の良否をプロットした。結果を図１８に示した。図１８から明らかなように、熱膨張係数差Δαの絶対値｜Δα｜が２．２×１０$^{-6}$Ｋ$^{-1}$以下の支持基板およびＩＩＩ族窒化物膜を含むＩＩＩ族窒化物複合基板を用いることにより、ＩＩＩ族窒化物層およびＩＩＩ族窒化物膜のクラックおよび支持基板からの剥がれが発生しないことがわかった。ここで、Δα＞０の場合は、ＩＩＩ族窒化物層の成長温度での複合基板の変形方向が、ＩＩＩ族窒化物膜１３側に凸状になった。Δα＜０の場合は、ＩＩＩ族窒化物層の成長温度での複合基板の変形方向が、ＩＩＩ族窒化物膜１３側に凹状になった。図１８の結果は、変形方向（すなわちΔαの正負）に依らず、Δαの絶対値｜Δα｜が２．２×１０$^{-6}$Ｋ$^{-1}$以下であれば、ＩＩＩ族窒化物層成長後にクラックや剥がれの発生しないことを示していた。

[0138] ２．ＩＩＩ族窒化物層のキャリア濃度の主面に平行な面内分布の均一性に

ついて

ＩＩＩ族窒化物層のキャリア濃度の主面に平行な面内分布の均一性は、支持基板の材料種および厚さならびにＩＩＩ族窒化物膜の厚さなどによって大きく変化した。また、ＩＩＩ族窒化物層のキャリア濃度の主面に平行な面内分布は、いずれの例においても同心円状に変化した。

[0139] このため、ＩＩＩ族窒化物層のキャリア濃度の主面に平行な面内分布は、ＩＩＩ族窒化物複合基板のＩＩＩ族窒化物膜上にＩＩＩ族窒化物層をエピタキシャル成長させる際のＩＩＩ族窒化物複合基板の反りによって生じたものと考えた。すなわち、ＩＩＩ族窒化物複合基板の反りに伴うＩＩＩ族窒化物膜の表面の温度分布およびガス流の乱れが、上記キャリア濃度の面内分布に影響を及ぼすものと考えた。

[0140] したがって、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際のＩＩＩ族窒化物複合基板１の反りによる曲率半径Ｒ（単位：ｍ）は、支持基板のヤング率E_s（単位：ＧＰａ）および厚さt_s（単位：ｍｍ）、ＩＩＩ族窒化物膜の厚さt_f（単位：ｍｍ）ならびに熱応力σ_T（単位：Ｐａ）を用いて、Ｓｔｏｎｅｙの式から、次の式（３）

$$R = E_s / \{6(1-\nu_s)\sigma_T\} \cdot t_s^2 / t_f \quad \cdots (3)$$

で表わされた。

[0141] 次に、式（２）を式（３）に代入することにより、次の式（４）

$$R = E_s / \{E_f \cdot |\Delta\alpha| \cdot \Delta T\} / \{6(1-\nu_s)/(1-\nu_f)\} \cdot t_s^2 / t_f \quad \cdots (4)$$

が得られた。かかる式（４）は、次式（５）

$$t_s^2 / t_f = [R\Delta T(1-\nu_f)/6(1-\nu_s)]\, E_f \cdot |\Delta\alpha| / E_s \quad \cdots (5)$$

と変形された。かかる式（５）は、支持基板およびＩＩＩ族窒化物膜のヤング率および熱膨張係数差に関するパラメータＸとしての$E_f \cdot |\Delta\alpha| / E_s$に対して支持基板およびＩＩＩ族窒化物の厚さに関するパラメータＹとしての

t_s^2/t_fが所定の関係を有することを示していた。

[0142] そこで、支持基板およびＩＩＩ族窒化物膜の材料特性（ヤング率および熱膨張係数）に関係する$E_f \cdot |\Delta\alpha| / E_s$（パラメータＸ）ならびに支持基板およびＩＩＩ族窒化物膜の厚さに関係するt_s^2/t_f（パラメータＹ）に対して、ＩＩＩ族窒化物層のキャリア濃度の主面に平行な面内分布の均一性の良否をプロットした。結果を図１９に示した。図１９において、キャリア濃度の面内標準偏差が２．５×$10^{15}$$cm^{-3}$以下のものをキャリア濃度の面内分布の均一性が良として○印をプロットし、キャリア濃度の面内標準偏差が２．５×$10^{15}$$cm^{-3}$より大きいものをキャリア濃度の面内分布の均一性が不良として×印をプロットした。

[0143] 図１９を参照して、$E_f \cdot |\Delta\alpha| / E_s$（パラメータＸ）と$t_s^2/t_f$（パラメータＹ）とが、

$$t_s^2/t_f \geqq 6E_f \cdot |\Delta\alpha| / E_s \quad \cdots (1)$$

の関係を満たすときに、ＩＩＩ族窒化物層２０のキャリア濃度の主面に平行な面内における分布の均一性がよいことがわかった。

[0144] ３．支持基板およびＩＩＩ族窒化物膜の厚さについて

支持基板の厚さt_sおよびＩＩＩ族窒化物膜の厚さt_fは、上記式（１）を満たすように設計することにより、ＩＩＩ族窒化物層のキャリア濃度の主面に平行な面内における分布の均一性がよくなることがわかった。

[0145] また、支持基板の厚さt_sは、ＩＩＩ族窒化物複合基板の機械的強度が高くハンドリング性がよい観点から０．１ｍｍ以上が適当であり、ＩＩＩ族窒化物複合基板のコストを低減しハンドリング性がよい観点から１ｍｍ以下が適当であることがわかった。

[0146] （実施例Ｇ）

本実施例は、図１４を参照して、デバイス支持基板４０を含むＩＩＩ族窒化物半導体デバイス４であるＳＢＤ（ショットキーバリアダイオード）を作製した実施例である。

[0147] １．ＩＩＩ族窒化物複合基板の作製

支持基板として基板全体に対してAl_2O_3が８５質量％でSiO_2が１５質量％のAl_2O_3－SiO_2複合酸化物基板を用いて、支持基板の厚さおよびＩＩＩ族窒化物複合基板の直径が表７の例Ｇ１～例Ｇ８に示すように異なるＩＩＩ族窒化物複合基板を作製したこと以外は、実施例Ａと同様にしてＩＩＩ族窒化物複合基板を作製した。

[0148] ２．ＩＩＩ族窒化物半導体デバイスの作製

図１４（Ａ）を参照して、実施例Ａと同様にして、ＩＩＩ族窒化物複合基板１のＩＩＩ族窒化物膜１３上に、ＩＩＩ族窒化物層２０として、キャリアストップ層であるキャリア濃度が$２\times１０^{18}cm^{-3}$で厚さが１μｍのn^+－ＧａＮ層２０１、およびキャリアドリフト層であるキャリア濃度が$１\times１０^{16}cm^{-3}$で厚さが５μｍのn^-－ＧａＮ層２０２を順にエピタキシャル成長された積層ＩＩＩ族窒化物複合基板２を作製した。

[0149] 得られた積層ＩＩＩ族窒化物複合基板の外観およびキャリア濃度の面内均一性を、実施例Ａと同様にして、評価した。例Ｇ１～例Ｇ８の全ての例において、積層ＩＩＩ族窒化物複合基板のＩＩＩ族窒化物膜およびＩＩＩ族窒化物層にクラックおよび剥がれがなく外観が良であり、キャリア濃度の面内均一性も良であった。結果を表７にまとめた。

[0150] 次に、図１４（Ｂ）を参照して、積層ＩＩＩ族窒化物複合基板２のＩＩＩ族窒化物層２０の最上層であるn^-－ＧａＮ層２０２上に、フィールドプレート用の絶縁膜３００として、プラズマＣＶＤ法により、SiH_4およびNH_3を原料として用いて、厚さ５００ｎｍのSiN_x膜を形成した。その後、ＲＴＡ（高速熱処理装置）を用いてN_2中６００℃で３分間熱処理した。次に、フォトリソグラフィで形成したレジストマスクを用いて、バッファードフッ酸（５０質量％のＨＦ（フッ化水素酸）水溶液と４０質量％のNH_4F（フッ化アンモニウム）水溶液とを１：５の体積比で混合したもの。以下同じ。）で１５分間エッチングし、レジストマスク開口部のSiN_x膜を除去することにより、フィールドプレートとして開口部を有する絶縁膜３００を形成した。ここで、絶縁膜３００の各開口部の平面形状は１ｍｍ角であった。上記のエッ

チング後、アセトンを用いてレジストを除去した。

[0151] 次に、フォトリソグラフィでレジストマスク（図示せず）を形成し、ＥＢ蒸着法により、厚さ５０ｎｍのＮｉ層および厚さ３００ｎｍのＡｕ層を形成し、アセトン中でリフトオフすることにより、第１電極３０としてパターン化されたショットキー電極を形成した。第１電極３０である各ショットキー電極の平面形状は１．１ｍｍ角であり、絶縁膜３００の開口部のｎ$^{-}$－ＧａＮ層２０２上および絶縁膜３００の開口部の周囲から絶縁膜３００側に５０μｍまでの範囲上において第１電極３０が配置されたフィールドプレート耐圧構造とした。

[0152] 次に、図１４（Ｃ）を参照して、第１電極３０および絶縁膜３００上の全面に、ＥＢ蒸着法により、バリア膜３３０として、厚さ５０ｎｍのＮｉ層、厚さ４００ｎｍのＰｔ層および厚さ１００ｎｍのＡｕ層を形成した。かかるバリア膜３３０は、この後のデバイス支持基板４０を貼り合わせる工程において、接合金属膜４４中の金属原子の拡散などによるショットキー特性の劣化を防止することができる。

[0153] 次に、デバイス支持基板４０上に、ＥＢ蒸着法により、オーミック電極となるパッド電極４３として、厚さ５０ｎｍのＮｉ層、厚さ４００ｎｍのＰｔ層および厚さ１００ｎｍのＡｕ層を形成した。さらに、パッド電極４３上に、抵抗加熱蒸着法により、接合金属膜４４として、厚さ５μｍのＡｕＳｎ膜（Ａｕが７０質量％でＳｎが３０質量％）を形成した。

[0154] ここで、デバイス支持基板４０としては、例Ｇ１および例Ｇ２においては、ヤング率が１８５ＧＰａ、熱膨張係数が２．６×１０$^{-6}$Ｋ$^{-1}$、熱伝導率が１５０Ｗ・ｍ$^{-1}$・Ｋ$^{-1}$、および比抵抗が１ｍΩｃｍのＳｉ基板を用いた。例Ｇ３および例Ｇ６においては、基板全体に対してＣｕが６質量％でＷが９４質量％で、ヤング率が３５０ＧＰａ、熱膨張係数が６．０×１０$^{-6}$Ｋ$^{-1}$、熱伝導率が１３０Ｗ・ｍ$^{-1}$・Ｋ$^{-1}$、および比抵抗が０．１μΩｃｍのＣｕＷ基板を用いた。例Ｇ４においては、基板全体に対してＣｕが６０体積％でダイヤモンドが４０体積％で、ヤング率が４１０ＧＰａ、熱膨張係数が６．０×１０$^{-6}$Ｋ$^{-1}$

、熱伝導率が５６０Ｗ・m^{-1}・K^{-1}、および比抵抗が５００μΩｃｍのＣｕ－ダイヤモンド基板を用いた。例Ｇ５においては、基板全体に対してＦｅが５４質量％でＮｉが２９質量％でＣｏが１７質量％で、ヤング率が１４０ＧＰａ、熱膨張係数が５．３×１０$^{-6}$$K^{-1}$、熱伝導率が１７Ｗ・$m^{-1}$・$K^{-1}$、および比抵抗が１００μΩｃｍのコバール（Ｋｏｖａｒ）基板を用いた。例Ｇ７においては、ヤング率が３２０ＧＰａ、熱膨張係数が５．１×１０$^{-6}$$K^{-1}$、熱伝導率が１４０Ｗ・$m^{-1}$・$K^{-1}$、および比抵抗が５．７μΩｃｍのＭｏ基板を用いた。例Ｇ８においては、ヤング率が３８０ＧＰａ、熱膨張係数が４．５×１０$^{-6}$$K^{-1}$、熱伝導率が１０Ｗ・$m^{-1}$・$K^{-1}$、および比抵抗が５．４μΩｃｍのＷ基板を用いた。

[0155] 次に、ウエハボンダを用いて、上記接合金属膜４４と上記バリア膜３３０とを接合させた。接合条件は、１Ｐａ未満の真空雰囲気中３００℃で１０分間とした。接合後、超音波顕微鏡により接合面の状態を観察した。例Ｇ１～例Ｇ８の全ての例において、ボイドの発生などの接合面不良は認められなかった。こうして、積層基板３が得られた。

[0156] 次に、図１４（Ｄ１）を参照して、平面研削機を用いて、積層基板３の支持基板１１をその露出している主面から研削して、厚さを５０μｍとした。次いで、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。その後、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を、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、Cl_2をエッチングガスとして用いて、その露出した主面から２００ｎｍの深さまでエッチングした。

[0157] 次に、図１４（Ｅ１）を参照して、ＩＩＩ族窒化物膜１３上に、ＥＢ蒸着法により、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層を順次形成することにより、第２電極５０であるオーミック電極を、第１電極３０であるオーミック電極の位置に合わせてリフトオフ法により平面形状が１．４ｍｍ角で形成した。また、

デバイス支持基板４０がＳｉ基板の場合、デバイス支持基板４０上に、ＥＢ蒸着法により、平面形状が１．４ｍｍ角で、厚さ１０ｎｍのＮｉ層、厚さ１０ｎｍのＰｔ層および厚さ１００ｎｍのＡｕ層を順次形成することにより、デバイス支持基板電極４５であるオーミック電極を形成した。

[0158] 次に、第１電極３０および第２電極５０などが形成されたＩＩＩ族窒化物半導体デバイス４を、ＲＴＡを用いて、N_2雰囲気中２５０℃で３分間アニールした。こうして、ＩＩＩ族窒化物半導体デバイス４が得られた。

[0159] 得られたＩＩＩ族窒化物半導体デバイス４を、以下のようにしてチップ化した。デバイス支持基板４０としてＳｉ基板を含むＩＩＩ族窒化物半導体デバイス４は、その第２電極５０側を下にしてＵＶ（紫外線）硬化性ダイシングテープに貼り付けて、ダイサーを用いて、上記電極のパターンに合わせて、平面形状が１．５ｍｍ角で、デバイス支持基板４０、ＩＩＩ族窒化物層２０およびＩＩＩ族窒化物膜１３をダイシングすることにより、チップ化した。

[0160] 各ＩＩＩ族窒化物半導体デバイスの主面上の外周部５ｍｍを除く全面から上記のチップ化により得られるＩＩＩ族窒化物半導体デバイスの全個数は、直径７５ｍｍの基板からは１５０個、直径１００ｍｍの基板からは３００個、直径１５０ｍｍの基板からは７００個であった。

[0161] 上記のようにして得られたチップ化されたＩＩＩ族窒化物半導体デバイスについて、プローバーを用いて、電流－電圧特性測定を行なった。順方向特性の指標は電流密度が５００Ａ／ｃｍ^{2}となるときの順方向電圧Ｖｆとし、逆方向特性の指標は電流密度が１×１０$^{-3}$Ａ／ｃｍ^{2}となるときの逆方向耐電圧Ｖｒとした。ここで、ＩＩＩ族窒化物半導体デバイスがＳＢＤの場合は、順方向電圧Ｖｆが１．５Ｖ以下でかつ逆方向耐電圧Ｖｒが５００Ｖ以上のＩＩＩ族窒化物半導体デバイスを良品とした。ＩＩＩ族窒化物半導体デバイスの全個数に対して、順方向電圧Ｖｆが１．５Ｖ以下となるＩＩＩ族窒化物半導体デバイスの個数の割合をＶｆ歩留といい、逆方向耐電圧Ｖｒが５００Ｖ以上となるＩＩＩ族窒化物半導体デバイスの個数の割合をＶｒ歩留という。得ら

れたチップ化されたＩＩＩ族窒化物半導体デバイスの特性値を表７にまとめた。

[0162] [表7]

例		G1	G2	G3	G4	G5	G6	G7	G8
支持基板	材料	Al_2O_3 -SiO_2	Al_2O_3 -SiO_2	Al_2O_3 -SiO_2	Al_2O_3 -SiO_2	Al_2O_3 -SiO_2	Al_2O_3 -SiO_2	Al_2O_3 -SiO_2	Al_2O_3 -SiO_2
	ヤング率 E_s (GPa)	250	250	250	250	250	250	250	250
	熱膨張係数 α_s ($\times 10^{-6}K^{-1}$)	6.2	6.2	6.2	6.2	6.2	6.2	6.2	6.2
	熱伝導率 ($W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$)	25	25	25	25	25	25	25	25
	厚さ t_s (mm)	0.5	0.6	0.6	0.6	0.6	0.7	0.7	0.7
III 族窒化物膜	材料	GaN	GaN	GaN	GaN	GaN	GaN	GaN	GaN
	ヤング率 E_f (GPa)	150	150	150	150	150	150	150	150
	熱膨張係数 α_f ($\times 10^{-6}K^{-1}$)	5.9	5.9	5.9	5.9	5.9	5.9	5.9	5.9
	厚さ t_f (mm)	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
III 族窒化物複合基板	熱膨張係数差 $\Delta\alpha$	-0.3	-0.3	-0.3	-0.3	-0.3	-0.3	-0.3	-0.3
	ヤング率比 E_f/E_s	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60
	直径 (mm)	75	100	100	100	100	150	150	150
	$E_f \cdot \lvert\Delta\alpha\rvert / E_s$ ($\times 10^{-6}K^{-1}$) [パラメータX]	0.180	0.180	0.180	0.180	0.180	0.180	0.180	0.180
	t_s^2/t_f (mm) [パラメータY]	5.0	7.2	7.2	7.2	7.2	9.8	9.8	9.8
	パラメータY/X	27.8	40.0	40.0	40.0	40.0	54.4	54.4	54.4
積層 III 族窒化物複合基板	外観評価	良	良	良	良	良	良	良	良
	キャリア濃度の面内平均値 ($\times 10^{15}cm^{-3}$)	9.1	9.2	9.0	9.1	9.0	9.1	9.0	9.2
	キャリア濃度の面内標準偏差 ($\times 10^{15}cm^{-3}$)	1.5	1.7	1.5	1.4	1.6	1.9	2.1	2.0
	キャリア濃度の面内均一性評価	良	良	良	良	良	良	良	良
デバイス支持基板	材料	Si	Si	CuW	Cu-ダイヤ	コバール	CuW	Mo	W
III 族窒化物半導体デバイス	III 族窒化物半導体デバイスの外観	良	不良	良	良	良	良	良	良
	Vr 歩留(%)[$1 \times 10^{-3}A/cm^2$ のとき 500V 以上]	68	30	63	65	63	61	60	60
	Vf 歩留(%)[$500A/cm^2$ のとき 1.5V 以下]	75	50	69	77	74	72	70	72

[0163] 表７を参照して、例Ｇ１および例Ｇ２に示すように、支持基板としてＳｉ基板を用いたＩＩＩ族窒化物半導体デバイスにおいては、直径が７５ｍｍの

ときはＶｆ歩留およびＶｒ歩留が６０％以上と高かったが、直径が１００ｍｍのときはデバイス支持基板との貼り合わせ後にデバイス支持基板からのＩＩＩ族窒化物層およびＩＩＩ族窒化物膜の一部剥離が発生してＶｆ歩留およびＶｒ歩留が５０％以下と低くなった。例Ｇ３～例Ｇ８に示すように、支持基板として、直径が１００ｍｍであるＣｕW基板、Ｃｕ－ダイヤモンド基板あるいはコバール（Ｋｏｖａｒ）基板、直径が１５０ｍｍであるＣｕW基板、Ｍｏ基板あるいはW基板を用いた場合は、デバイス支持基板へのＩＩＩ族窒化物層およびＩＩＩ族窒化物膜の貼り合わせは全面に亘って良好であり、Ｖｆ歩留およびＶｒ歩留が６０％以上と高かった。

[0164] （実施例Ｈ）

本実施例は、図１５を参照して、支持基板１１を含むＩＩＩ族窒化物半導体デバイス４であるＳＢＤを作製した実施例である。

[0165] １．ＩＩＩ族窒化物複合基板の作製

支持基板として主面を鏡面仕上げ（ＲＭＳが１０ｎｍ以下）したＭｏ基板またはW基板を用いて、支持基板の厚さおよびＩＩＩ族窒化物膜の厚さが表８の例Ｈ１～例Ｈ４および例Ｈ６～例Ｈ８に示すように異なる直径７５ｍｍのＩＩＩ族窒化物複合基板を作製したこと以外は、実施例Ｅと同様にして、ＩＩＩ族窒化物複合基板を作製した。

[0166] また、例Ｈ５については、図１３を参照して、支持基板１１として上記Ｍｏ基板を用いて、図１３（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１３（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１３（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で分離し、その分離面を研磨することにより、ＩＩＩ族窒化物膜１３の厚さが０．００５ｍｍのＩＩＩ族窒化物複合基板を作製した。

[0167] ２．ＩＩＩ族窒化物半導体デバイスの作製

図１５（Ａ）を参照して、実施例Ａと同様にして、ＩＩＩ族窒化物複合基板１のＩＩＩ族窒化物膜１３上に、ＩＩＩ族窒化物層２０として、キャリアストップ層であるキャリア濃度が２×１０^{18}ｃｍ$^{-3}$で厚さが１μｍのｎ$^{+}$－ＧａＮ層２０１、およびキャリアドリフト層であるキャリア濃度が１×１０^{16}ｃｍ$^{-3}$で厚さが５μｍのｎ$^{-}$－ＧａＮ層２０２を順にエピタキシャル成長された積層ＩＩＩ族窒化物複合基板２を作製した。

[0168] 得られた積層ＩＩＩ族窒化物複合基板の外観およびキャリア濃度の面内均一性を、実施例Ａと同様にして、評価した。例Ｈ１～例Ｈ８の全ての例において、積層ＩＩＩ族窒化物複合基板のＩＩＩ族窒化物膜およびＩＩＩ族窒化物層にクラックおよび剥がれがなく外観が良であった。キャリア濃度の面内均一性については、ＩＩＩ族窒化物膜の厚さが大きいまたは支持基板の厚さが小さい例Ｈ３、例Ｈ４、例Ｈ７および例Ｈ８では不良となり、それ以外の例Ｈ１、例Ｈ２、例Ｈ５および例Ｈ６では良となった。結果を表８にまとめた。

[0169] 次に、図１５（Ｂ）を参照して、実施例Ｇと同様にして、ＩＩＩ族窒化物層２０のｎ$^{-}$－ＧａＮ層２０２側に開口部を有する絶縁膜３００およびショットキー電極である第１電極を３０を順次形成することにより、ＩＩＩ族窒化物半導体デバイス４を作製した。なお、図１５（Ｂ）には、支持基板１１上にはオーミック電極である第２電極５０が形成されているが、本実施例において支持基板１１として用いられるＭｏ基板およびW基板はいずれもオーミック電極としても機能するため、支持基板１１に第２電極５０を設けなかった。

[0170] 次に、得られたＩＩＩ族窒化物半導体デバイスを、実施例Ｇと同様にして、チップ化した。各ＩＩＩ族窒化物半導体デバイスの主面上の外周部５ｍｍを除く全面から得られた１５０個のチップ化されたＩＩＩ族窒化物半導体デバイスについて、実施例Ｇと同様にして、Ｖｆ歩留およびＶｒ歩留を求めた。得られたチップ化されたＩＩＩ族窒化物半導体デバイスの特性値を表８に

まとめた。

[0171] [表8]

例		H1	H2	H3	H4	H5	H6	H7	H8
支持基板	材料	Mo	Mo	Mo	Mo	Mo	W	W	W
	ヤング率 E_s (GPa)	320	320	320	320	320	380	380	380
	熱膨張係数 α_s ($\times 10^{-6}K^{-1}$)	5.1	5.1	5.1	5.1	5.1	4.5	4.5	4.5
	熱伝導率 ($W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$)	140	140	140	140	140	170	170	170
	厚さ t_s (mm)	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.4	0.5
III族窒化物膜	材料	GaN	GaN	GaN	GaN	GaN	GaN	GaN	GaN
	ヤング率 E_f (GPa)	150	150	150	150	150	150	150	150
	熱膨張係数 α_f ($\times 10^{-6}K^{-1}$)	5.9	5.9	5.9	5.9	5.9	5.9	5.9	5.9
	厚さ t_f (mm)	0.05	0.1	0.15	0.2	0.0005	0.05	0.05	0.1
III族窒化物複合基板	熱膨張係数差 $\Delta\alpha$	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	1.4	1.4	1.4
	ヤング率比 E_f/E_s	0.47	0.47	0.47	0.47	0.47	0.39	0.39	0.39
	直径 (mm)	75	75	75	75	75	75	75	75
	$E_f \cdot \lvert\Delta\alpha\rvert / E_s$ ($\times 10^{-6}K^{-1}$) [パラメータX]	0.375	0.375	0.375	0.375	0.375	0.553	0.553	0.553
	t_s^2/t_f (mm) [パラメータX]	5.0	2.5	1.7	1.3	500	5.0	3.2	2.5
	パラメータY/X	13.3	6.67	4.53	3.47	1333	9.04	5.79	4.52
積層III族窒化物複合基板	外観評価	良	良	良	良	良	良	良	良
	キャリア濃度の面内平均値 ($\times 10^{15}cm^{-3}$)	8.8	9.0	9.2	9.1	8.8	9.0	9.2	9.2
	キャリア濃度の面内標準偏差 ($\times 10^{15}cm^{-3}$)	1.7	2.2	2.8	3.4	1.3	1.8	2.6	2.8
	キャリア濃度の面内均一性評価	良	良	不良	不良	良	良	不良	不良
III族窒化物半導体デバイス	III族窒化物半導体デバイスの外観	良	良	良	良	良	良	良	良
	Vr 歩留(%)[$1 \times 10^{-3}A/cm^2$ のとき 500V 以上]	65	53	48	44	0	58	49	50
	Vf 歩留(%)[$500A/cm^2$ のとき 1.5V 以下]	72	60	53	50	0	62	52	55

[0172] 表８を参照して、支持基板としてＭｏ基板を用いたＩＩＩ族窒化物半導体デバイスにおいては、例Ｈ１および例Ｈ２に示すように、ＩＩＩ族窒化物膜

の厚さがそれぞれ０．０５ｍｍおよび０．１ｍｍのとき、ＩＩＩ族窒化物層のキャリア濃度の面内均一性が良でありＶｆ歩留およびＶｒ歩留が高かったが、例Ｈ３および例Ｈ４に示すように、ＩＩＩ族窒化物膜の厚さがそれぞれ０．１５ｍｍおよび０．２ｍｍと大きいとき、ＩＩＩ族窒化物層のキャリア濃度の面内均一性が不良でありＶｆ歩留およびＶｒ歩留が低かった。

[0173] また、例Ｈ５に示すように、ＩＩＩ族窒化物膜の厚さが０．０００５ｍｍと極めて小さいとき、ＩＩＩ族窒化物層のキャリア濃度の面内均一性が良であったが、Ｖｆ歩留およびＶｒ歩留がいずれも０となった。これは、例Ｈ５のＩＩＩ族窒化物半導体デバイスのＩＩＩ族窒化物膜は、水素イオンの注入により、結晶品質が低下したとともに高抵抗層が形成されたためと考えられた。また、結晶品質が低下したＩＩＩ族窒化物膜上にエピタキシャル成長させたＩＩＩ族窒化物層の結晶品質が低下したためと考えられた。

[0174] また、支持基板としてW基板を用いたＩＩＩ族窒化物半導体デバイスにおいては、例Ｈ７および例Ｈ８に示すように、支持基板の厚さが０．４ｍｍと小さいときおよびＩＩＩ族窒化物膜の厚さが０．１ｍｍと厚いときＩＩＩ族窒化物層のキャリア濃度の面内均一性が不良でありＶｆ歩留およびＶｒ歩留が低かった。

[0175] （実施例Ｉ）

本実施例は、図１６を参照して、デバイス支持基板４０を含むＩＩＩ族窒化物半導体デバイス４であるＰＮＤ（ｐｎ接合ダイオード）を作製した実施例である。

[0176] １．ＩＩＩ族窒化物複合基板の作製

支持基板として基板全体に対してAl_2O_3が８５質量％でSiO_2が１５質量％のAl_2O_3－SiO_2複合酸化物基板を用いて、支持基板の厚さおよびＩＩＩ族窒化物複合基板の直径が表９の例Ｉ１、例Ｉ２および例Ｉ４に示すように異なるＩＩＩ族窒化物複合基板を作製したこと以外は、実施例Ａと同様にして、ＩＩＩ族窒化物複合基板を作製した。

[0177] また、例Ｉ３については、図１３を参照して、支持基板１１として上記Ａ

l_2O_3－ＳｉＯ$_2$複合酸化物基板を用いて、図１３（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１３（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１３（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で分離し、その分離面を研磨することにより、ＩＩＩ族窒化物膜１３の厚さが０．０００５ｍｍのＩＩＩ族窒化物複合基板１を作製した。

[0178] ２．ＩＩＩ族窒化物半導体デバイスの作製

図１６（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、キャリアストップ層であるキャリア濃度が２×１０^{18}ｃｍ$^{-3}$で厚さが１μｍのｎ$^{+}$－ＧａＮ層２０３、ｎ型キャリアドリフト層であるキャリア濃度が１×１０^{16}ｃｍ$^{-3}$で厚さが５μｍのｎ$^{-}$－ＧａＮ層２０４、ｐ型層であるＭｇ濃度が５×１０^{17}ｃｍ$^{-3}$で厚さが０．５μｍのｐ$^{-}$－ＧａＮ層２０５、およびオーミックコンタクト層であるＭｇ濃度が１×１０^{20}ｃｍ$^{-3}$で厚さが０．０５μｍのｐ$^{+}$－ＧａＮ層２０６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。

[0179] ここで、ＩＩＩ族窒化物層２０の成長温度は１０５０℃であり、ＧａＮの原料としてＴＭＧ（トリメチルガリウム）およびＮＨ$_3$を用い、Ｓｉドーパントの原料としてＳｉＨ$_4$を用い、Ｍｇドーパントの原料としてＣＰ$_2$Ｍｇ（シクロペンタジエニルマグネシウム）を用いた。

[0180] 次に、図１６（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上にフォトリソグラフィによりレジストマスク（図示せず）を形成し、ＲＩＥ（反応性イオンエッチング）によりメサエッチングを行った。メサ部の上底面のサイズは１．４ｍｍ角とし、メサ部の高さ（エッチングの深さ）は０．８μｍとした。次いで、フォトリソグラフィ、ＥＢ蒸着、

リフトオフにより、ＩＩＩ族窒化物層２０のｐ$^{+}$－ＧａＮ層２０６側に、平面形状が１．１ｍｍ角で、厚さ５０ｎｍのＮｉ層および厚さ１００ｎｍのＡｕ層を順次形成することにより、オーミック電極である第１電極３０を形成し、合金化熱処理をした。

[0181] 次に、図１６（Ｃ）を参照して、第１電極３０およびＩＩＩ族窒化物層２０の上に、プラズマＣＶＤ法により、絶縁膜３００としてＳｉN_x膜を形成した。次いで、フォトリソグラフィおよびバッファードフッ酸を用いて、第１電極３０上の絶縁膜３００を１．０ｍｍ角のサイズでエッチング除去することにより開口部を形成し、第１電極３０を露出させた。次いで、絶縁膜３００および露出した第１電極３０上に、ＥＢ蒸着法により、バリア膜３３０として、厚さ５０ｎｍのＮｉ層、厚さ４００ｎｍのＰｔ層および厚さ１００ｎｍのＡｕ層を順次形成した。かかるバリア膜３３０は、この後のデバイス支持基板４０を貼り合わせる工程において、接合金属膜４４中の金属原子の拡散などによる半導体デバイス特性の劣化を防止することができる。次いで、デバイス支持基板４０としてＣｕW基板を準備し、かかるデバイス支持基板４０上に、実施例Ｇと同様にして、パッド電極４３および接合金属膜４４を形成した。

[0182] 次に、実施例Ｇと同様にして、上記接合金属膜４４と上記バリア膜３３０とを接合させた。接合後、超音波顕微鏡により接合面の状態を観察した。例Ｉ１～例Ｉ４の全ての例において、ボイドの発生などの接合面不良は認められなかった。こうして、積層基板３が得られた。

[0183] 次に、図１６（Ｄ１）を参照して、実施例Ｇと同様にして、支持基板１１の一部を研削した後、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。その後、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を、実施例Ｇと同様にして、その露出した主面から２００ｎｍの深さまでエッチングした。

[0184] 次に、図１６（Ｅ１）を参照して、実施例Ｇと同様にして、ＩＩＩ族窒化

物膜１３上に平面形状が１．４ｍｍ角の第２電極５０を形成するとともに、デバイス支持基板４０上に平面形状が１．４ｍｍ角の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。

[0185] 次に、得られたＩＩＩ族窒化物半導体デバイス４を、実施例Ｇと同様にして、ダイシングにより、チップ化した。

[0186] 上記のようにして得られたチップ化されたＩＩＩ族窒化物半導体デバイスについて、以下の点以外は実施例Ｇと同様にして、Ｖｆ歩留およびＶｒ歩留を求めた。すなわち、ＩＩＩ族窒化物半導体デバイスがＰＮＤの場合は、順方向電圧Ｖｆが４Ｖ以下でかつ逆方向耐電圧Ｖｒが７００Ｖ以上のＩＩＩ族窒化物半導体デバイスを良品とした。ＩＩＩ族窒化物半導体デバイスの全個数に対して、順方向電圧Ｖｆが４Ｖ以下となるＩＩＩ族窒化物半導体デバイスの個数の割合をＶｆ歩留といい、逆方向耐電圧Ｖｒが７００Ｖ以上となるＩＩＩ族窒化物半導体デバイスの個数の割合をＶｒ歩留という。得られたチップ化されたＩＩＩ族窒化物半導体デバイスの特性値を表９にまとめた。

[0187]

[表9]

例		I1	I2	I3	I4
支持基板	材料	Al_2O_3 $-SiO_2$	Al_2O_3 $-SiO_2$	Al_2O_3- SiO_2	Al_2O_3 $-SiO_2$
	ヤング率 E_s (GPa)	250	250	250	250
	熱膨張係数 α_s ($\times 10^{-6}K^{-1}$)	6.2	6.2	6.2	6.2
	熱伝導率 ($W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$)	25	25	25	25
	厚さ t_s (mm)	0.5	0.6	0.6	0.7
III族窒化物膜	材料	GaN	GaN	GaN	GaN
	ヤング率 E_f (GPa)	150	150	150	150
	熱膨張係数 α_f ($\times 10^{-6}K^{-1}$)	5.9	5.9	5.9	5.9
	厚さ t_f (mm)	0.05	0.05	0.0005	0.05
III族窒化物複合基板	熱膨張係数差 $\Delta\alpha$	−0.3	−0.3	−0.3	−0.3
	ヤング率比 E_f/E_s	0.6	0.6	0.6	0.6
	直径 (mm)	75	100	100	150
	$E_f \cdot \lvert \Delta\alpha \rvert / E_s$ ($\times 10^{-6}K^{-1}$) [パラメータX]	0.180	0.180	0.180	0.180
	t_s^2/t_f (mm) [パラメータY]	5.0	7.2	720	9.8
	パラメータY/X	27.8	40.0	4000	54.4
積層III族窒化物複合基板	外観評価	良	良	良	良
	キャリア濃度の面内平均値 ($\times 10^{15}cm^{-3}$)	9.1	9.2	9.0	9.1
	キャリア濃度の面内標準偏差 ($\times 10^{15}cm^{-3}$)	1.5	1.7	1.5	1.4
	キャリア濃度の面内均一性評価	良	良	良	良
デバイス支持基板	材料	CuW	CuW	CuW	CuW
III族窒化物半導体デバイス	III族窒化物半導体デバイスの外観	良	良	良	良
	Vr歩留(%)[$1 \times 10^{-3}A/cm^2$のとき700V以上]	72	68	0	65
	Vf歩留(%)[$500A/cm^2$のとき4V以下]	75	70	55	71

[0188] 表９を参照して、例Ｉ１、例Ｉ２および例Ｉ４に示すように、支持基板の厚さがそれぞれ０．５ｍｍ、０．６ｍｍおよび０．７ｍｍ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、ＩＩＩ族窒化物層のキャリア濃度の面内均一性が良でありＶｆ歩留およびＶｒ歩留が高かった。

[0189] また、例Ｉ３に示すように、ＩＩＩ族窒化物膜の厚さが０．０００５ｍｍと極めて小さい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、ＩＩＩ族窒化物層のキャリア濃度の面内均一性が良であったが、Ｖｆ歩留およびＶｒ歩留が低くなった。これは、例Ｉ３のＩＩＩ族窒化物半導体デバイスのＩＩＩ族窒化物膜は、水素イオンの注入により、結晶品質が低下したとともに高抵抗層が形成されたためと考えられた。また、結

晶品質が低下したＩＩＩ族窒化物膜上にエピタキシャル成長させたＩＩＩ族窒化物層の結晶品質が低下したためと考えられた。

[0190] （実施例Ｊ）

本実施例は、図１７を参照して、支持基板１１を含むＩＩＩ族窒化物半導体デバイス４であるＰＮＤを作製した実施例である。

[0191] １．ＩＩＩ族窒化物複合基板の作製

支持基板としてＭｏ基板を用いて、支持基板の厚さおよびＩＩＩ族窒化物膜の厚さが表１０の例Ｊ１～例Ｊ４に示すように異なる直径７５ｍｍのＩＩＩ族窒化物複合基板を作製したこと以外は、実施例Ｅと同様にして、ＩＩＩ族窒化物複合基板を作製した。

[0192] また、例Ｊ５については、図１３を参照して、支持基板１１として上記Ｍｏ基板を用いて、実施例Ｈの例Ｈ５と同様にして、ＩＩＩ族窒化物膜１３の厚さが０．０００５ｍｍのＩＩＩ族窒化物複合基板１を作製した。

[0193] ２．ＩＩＩ族窒化物半導体デバイスの作製

図１７（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、実施例Ｉと同様にして、ＩＩＩ族窒化物層２０として、キャリアストップ層であるキャリア濃度が$２\times１０^{18}ｃｍ^{-3}$で厚さが１μｍの$ｎ^{+}$－ＧａＮ層２０３、ｎ型キャリアドリフト層であるキャリア濃度が$１\times１０^{16}ｃｍ^{-3}$で厚さが５μｍの$ｎ^{-}$－ＧａＮ層２０４、ｐ型層であるＭｇ濃度が$５\times１０^{17}ｃｍ^{-3}$で厚さが０．５μｍの$ｐ^{-}$－ＧａＮ層２０５、およびオーミックコンタクト層であるＭｇ濃度が$１\times１０^{20}ｃｍ^{-3}$で厚さが０．０５μｍの$ｐ^{+}$－ＧａＮ層２０６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。

[0194] 次に、図１７（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に、実施例Ｉと同様にして、メサエッチングを行った。メサ部の上底面のサイズは１．４ｍｍ角とし、メサ部の高さ（エッチング深さ）は０．８μｍとした。次いで、実施例Ｉと同様にして、ＩＩＩ族窒化物層２０の$ｐ^{+}$－ＧａＮ層２０６側に、平面形状が１．１ｍｍ角で、厚さ５０ｎｍの

Ｎｉ層および厚さ１００ｎｍのＡｕ層を順次形成することにより、オーミック電極である第１電極３０を形成し、合金化熱処理をした。こうして、ＩＩＩ族窒化物半導体デバイス４が得られた。

[0195] なお、図１７（Ｂ）において、支持基板１１上にはオーミック電極である第２電極５０が形成されているが、本実施例において支持基板１１として用いられるＭｏ基板はオーミック電極としても機能するため、支持基板１１に第２電極５０を設けなかった。

[0196] 得られたＩＩＩ族窒化物半導体デバイス４を、実施例Ｇと同様にして、チップ化した。各ＩＩＩ族窒化物半導体デバイスの主面上の外周部５ｍｍを除く全面から上記のチップ化により得られるＩＩＩ族窒化物半導体デバイスの全個数は、直径７５ｍｍの基板からは１５０個であった。

[0197] 上記のようにして得られたチップ化されたＩＩＩ族窒化物半導体デバイスについて、実施例Ｉと同様にして、Ｖｆ歩留およびＶｒ歩留を求めた。得られたチップ化されたＩＩＩ族窒化物半導体デバイスの特性値を表１０にまとめた。

[0198]

[表10]

例		J1	J2	J3	J4	J5
支持基板	材料	Mo	Mo	Mo	Mo	Mo
	ヤング率 E_s (GPa)	320	320	320	320	320
	熱膨張係数 α_s ($\times 10^{-6}K^{-1}$)	5.1	5.1	5.1	5.1	5.1
	熱伝導率 ($W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$)	140	140	140	140	140
	厚さ t_s (mm)	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
III族窒化物膜	材料	GaN	GaN	GaN	GaN	GaN
	ヤング率 E_f (GPa)	150	150	150	150	150
	熱膨張係数 α_f ($\times 10^{-6}K^{-1}$)	5.9	5.9	5.9	5.9	5.9
	厚さ t_f (mm)	0.05	0.1	0.15	0.2	0.0005
III族窒化物複合基板	熱膨張係数差 $\Delta\alpha$	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
	ヤング率比 E_f/E_s	0.47	0.47	0.47	0.47	0.47
	直径 (mm)	75	75	75	75	75
	$E_f \cdot \lvert\Delta\alpha\rvert / E_s$ ($\times 10^{-6}K^{-1}$) [パラメータX]	0.375	0.375	0.375	0.375	0.375
	t_s^2/t_f (mm) [パラメータY]	5.0	2.5	1.7	1.3	500
	パラメータY/X	13.3	6.67	4.53	3.47	1333
積層III族窒化物複合基板	外観評価	良	良	良	良	良
	キャリア濃度の面内平均値 ($\times 10^{15}cm^{-3}$)	8.8	9.0	9.2	9.1	8.8
	キャリア濃度の面内標準偏差 ($\times 10^{15}cm^{-3}$)	1.7	2.2	2.8	3.4	1.3
	キャリア濃度の面内均一性評価	良	良	不良	不良	良
III族窒化物半導体デバイス	III族窒化物半導体デバイスの外観	良	良	良	良	良
	Vr歩留(%)[$1\times10^{-3}A/cm^2$のとき700V以上]	70	66	49	44	0
	Vf歩留(%)[$500A/cm^2$のとき4V以下]	75	70	53	50	0

[0199] 表１０を参照して、支持基板としてＭｏ基板を用いたＩＩＩ族窒化物半導体デバイスにおいては、例Ｊ１および例Ｊ２に示すように、ＩＩＩ族窒化物膜の厚さがそれぞれ０．０５ｍｍおよび０．１ｍｍのとき、ＩＩＩ族窒化物層のキャリア濃度の面内均一性が良でありＶｆ歩留およびＶｒ歩留が高かったが、例Ｊ３および例Ｊ４に示すように、ＩＩＩ族窒化物膜の厚さがそれぞれ０．１５ｍｍおよび０．２ｍｍと大きいとき、ＩＩＩ族窒化物層のキャリア濃度の面内均一性が不良でありＶｆ歩留およびＶｒ歩留が低かった。

[0200] また、例Ｊ５に示すように、ＩＩＩ族窒化物膜の厚さが０．０００５ｍｍと極めて小さいとき、ＩＩＩ族窒化物層のキャリア濃度の面内均一性が良であったが、Ｖｆ歩留およびＶｒ歩留が低くなった。これは、例Ｊ５のＩＩＩ族窒化物半導体デバイスのＩＩＩ族窒化物膜は、水素イオンの注入により、結晶品質が低下したとともに高抵抗層が形成されたためと考えられた。また、結晶品質が低下したＩＩＩ族窒化物膜上にエピタキシャル成長させたＩＩＩ族窒化物層の結晶品質が低下したためと考えられた。

[0201] 今回開示された実施形態および実施例はすべての点で例示であって制限的なものではないと考えられるべきである。本発明の範囲は、上記した説明でなくて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

[0202] １ ＩＩＩ族窒化物複合基板、１Ｌ，１ＬＳ 接合基板、２ 積層ＩＩＩ族窒化物複合基板、２Ｅ 電極付積層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、１１ 支持基板、１２，１２ａ，１２ｂ，１４ 接合膜、１３ ＩＩＩ族窒化物膜、１３Ｄ，１３Ｄｒ ＩＩＩ族窒化物膜ドナー基板、１３ｉ イオン注入領域、１５ ＩＩＩ族窒化物膜ドナー基板支持体、１６Ｄ，１６Ｄｒ 支持体付ＩＩＩ族窒化物膜ドナー基板、２０ ＩＩＩ族窒化物層、３０ 第１電極、４０ デバイス支持基板、４３ パッド電極、４４ 接合金属膜、４５ デバイス支持基板電極、５０ 第２電極、２０１，２０３ n^+－ＧａＮ層、２０２，２０４ n^-－ＧａＮ層、２０５ p^-－ＧａＮ層、２０６ p^+－ＧａＮ層、３００ 絶縁膜、３３０ バリア膜。

請求の範囲

[請求項1] 厚さt_Sが０．１ｍｍ以上１ｍｍ以下の支持基板と、前記厚さt_sに比べて薄い厚さt_f
が０．０１ｍｍ以上０．２５ｍｍ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、
前記ＩＩＩ族窒化物膜の熱膨張係数α_fから前記支持基板の熱膨張係数α_sを引いた熱膨張係数差$\Delta\alpha$の絶対値$|\Delta\alpha|$が２．２×１０$^{-6}$Ｋ$^{-1}$以下であり、
前記支持基板のヤング率E_sおよび前記厚さt_s、前記ＩＩＩ族窒化物膜のヤング率E_f
および前記厚さt_f、および前記熱膨張係数差$\Delta\alpha$が、次の式（１）

$$t_s^2 / t_f \geqq 6 E_f \cdot |\Delta\alpha| / E_s \quad (1)$$

の関係を満たすＩＩＩ族窒化物複合基板。

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

[請求項3] 請求項２に記載の積層ＩＩＩ族窒化物複合基板中の少なくとも１層の前記ＩＩＩ族窒化物層を含むＩＩＩ族窒化物半導体デバイス。

[請求項4] 請求項１に記載のＩＩＩ族窒化物複合基板中の前記ＩＩＩ族窒化物膜と、前記ＩＩＩ族窒化物膜上に配置された少なくとも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。

[請求項5] 前記支持基板およびデバイス支持基板の少なくともひとつをさらに含む請求項３または請求項４に記載のＩＩＩ族窒化物半導体デバイス。

[請求項6] 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、
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、
前記接合基板の前記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前記ＩＩＩ族窒化物膜ドナー基板を切断することにより、前記ＩＩＩ族窒化物複合基板を形成する工程と、を含むＩＩＩ族窒化物複合基板の製造方法。

[請求項7] 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、

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、

前記接合基板の前記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、前記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。

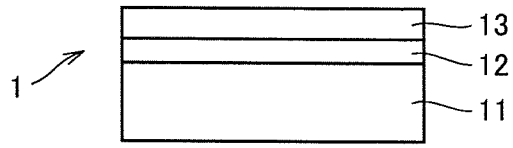
[請求項8] 請求項１に記載のＩＩＩ族窒化物複合基板を準備する工程と、

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

[請求項9] 前記ＩＩＩ族窒化物層上にさらにデバイス支持基板を貼り合わせる工程と、前記ＩＩＩ族窒化物複合基板から前記支持基板を除去する工程と、をさらに含む請求項８に記載のＩＩＩ族窒化物半導体デバイスの製造方法。

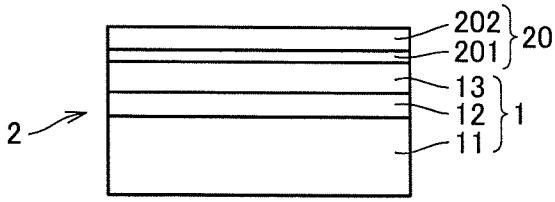
[図1]

FIG.1



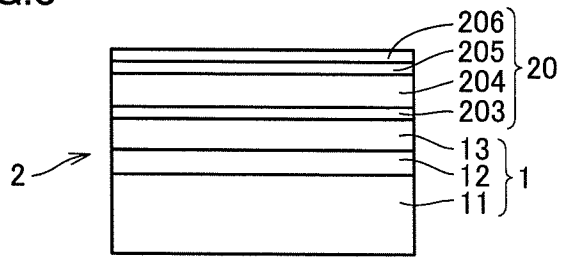
[図2]

FIG.2



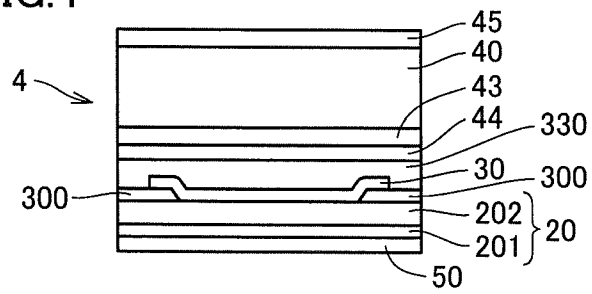
[図3]

FIG.3



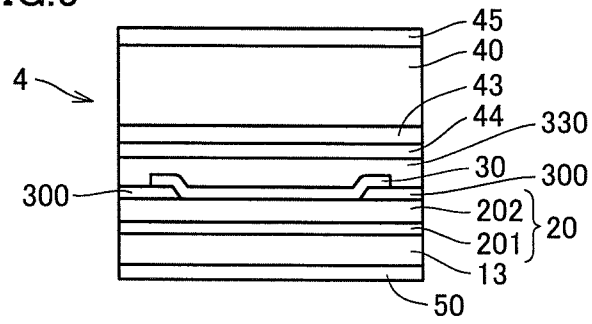
[図4]

FIG.4



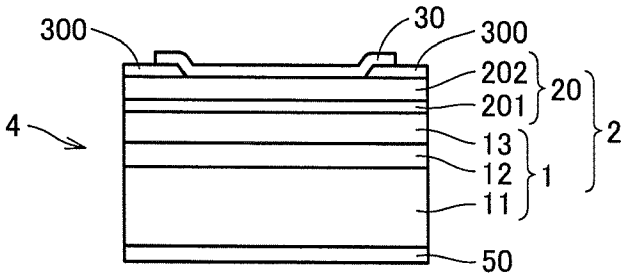
[図5]

FIG.5



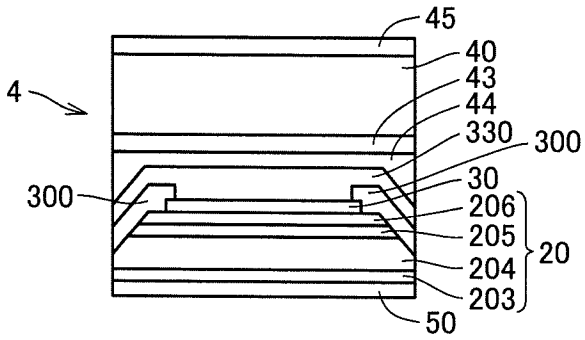
[図6]

FIG.6



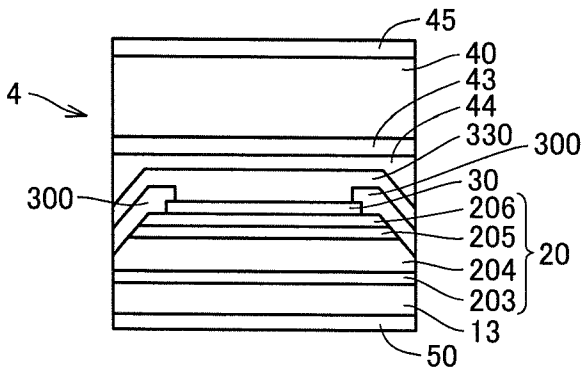
[図7]

FIG.7



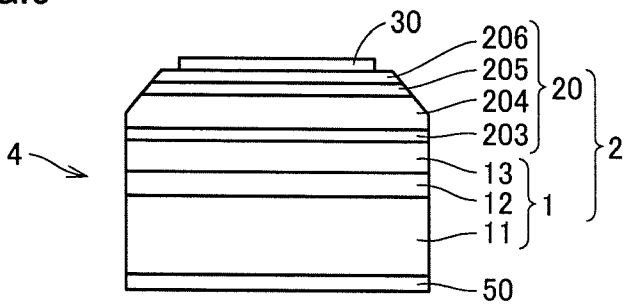
[図8]

FIG.8



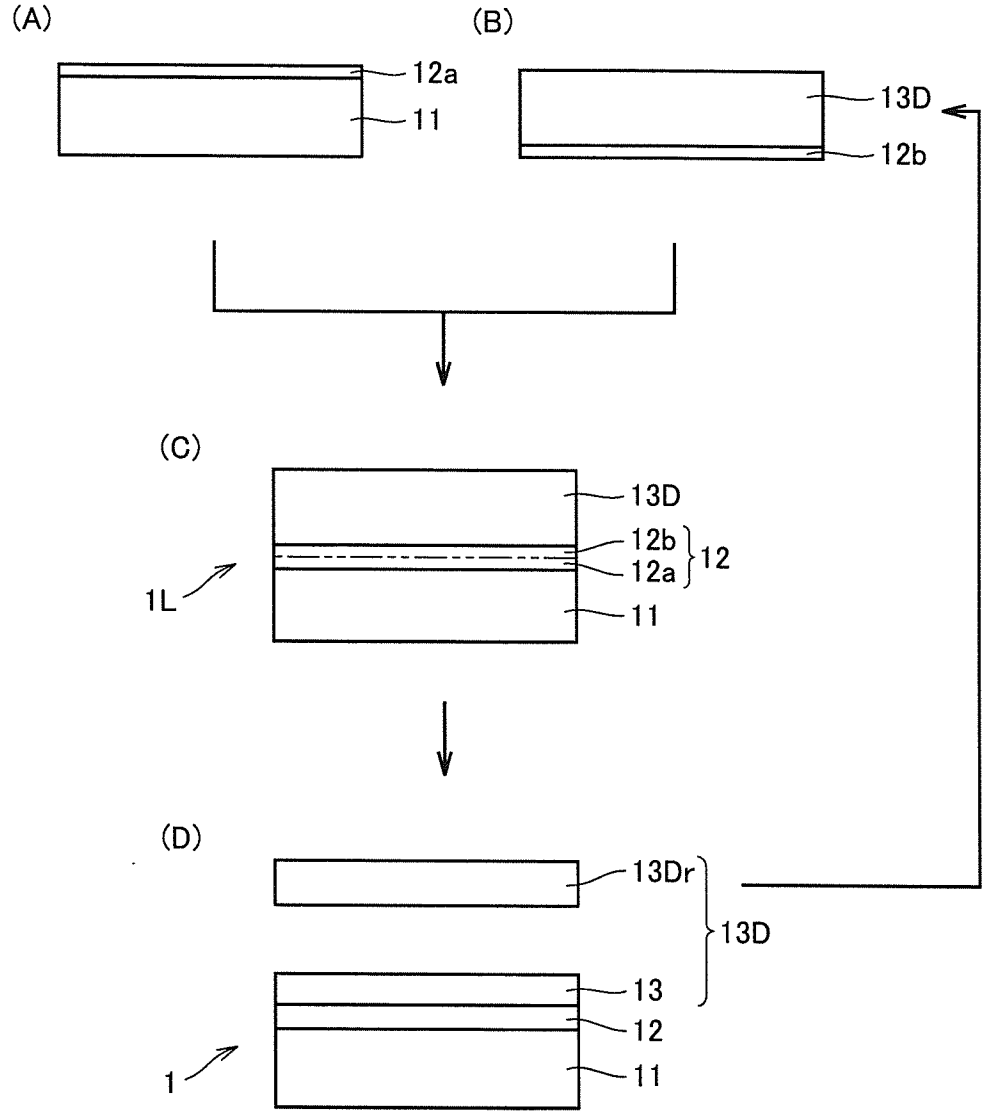
[図9]

FIG.9



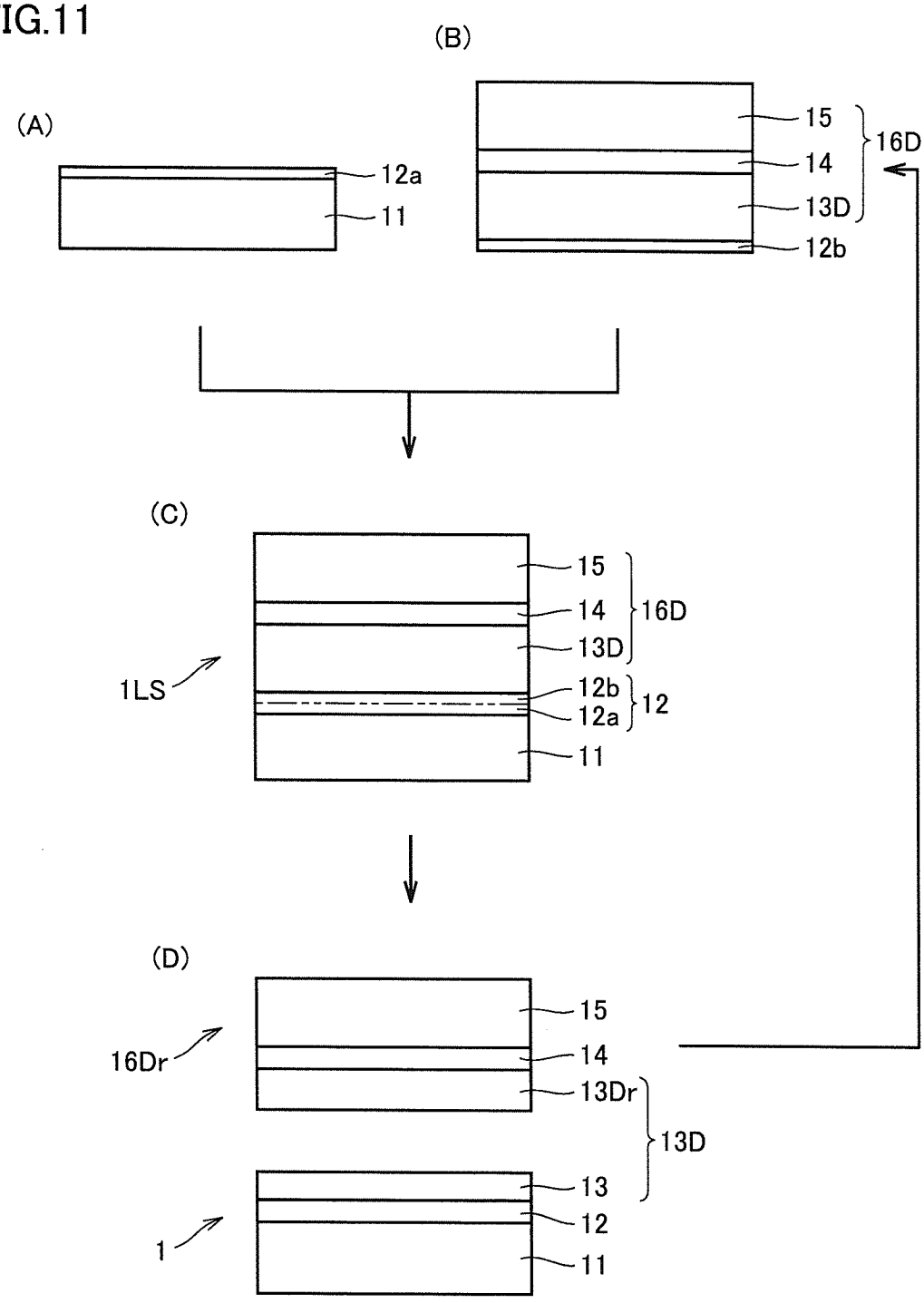
[図10]

FIG.10



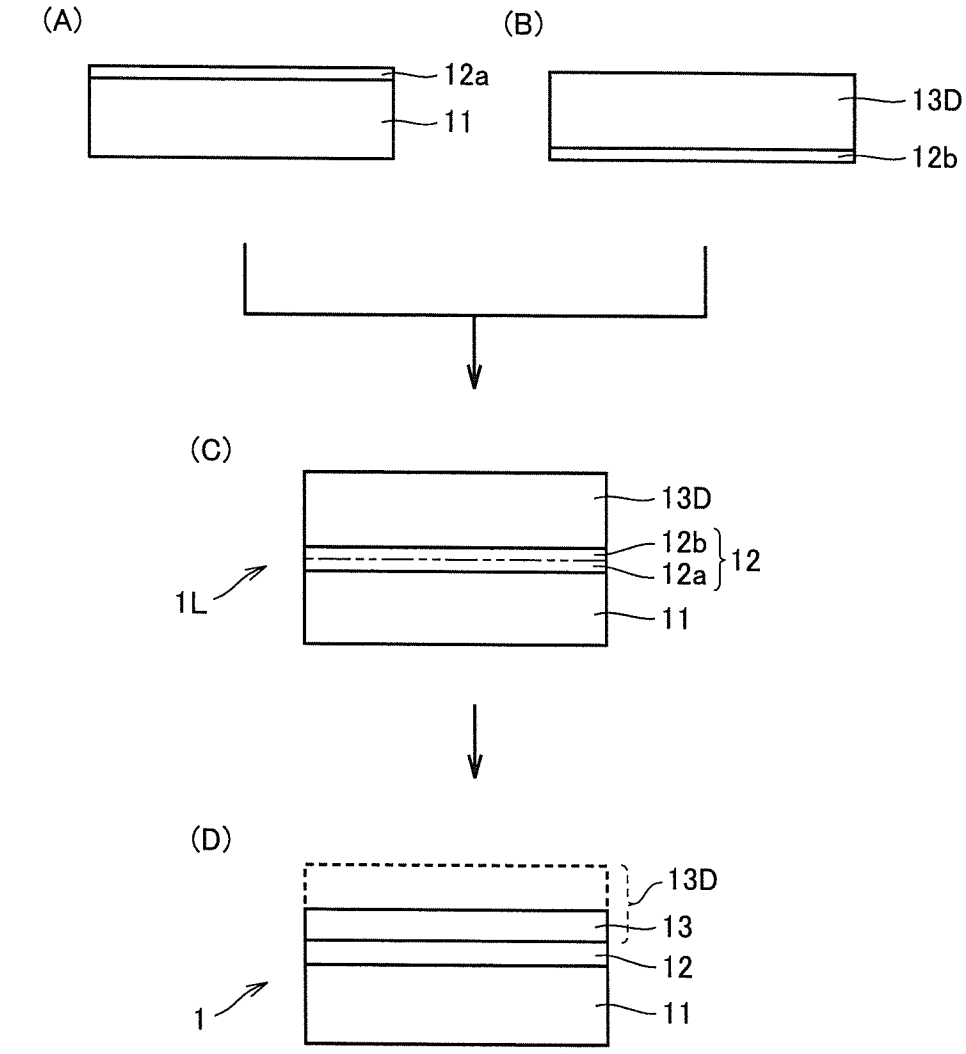
[図11]

FIG.11


(A)
12a
11
(B)
15
14
13D
16D
12b
(C)
15
14
16D
13D
1LS
12b
12a
12
11
(D)
16Dr
15
14
13Dr
13D
13
12
1
11

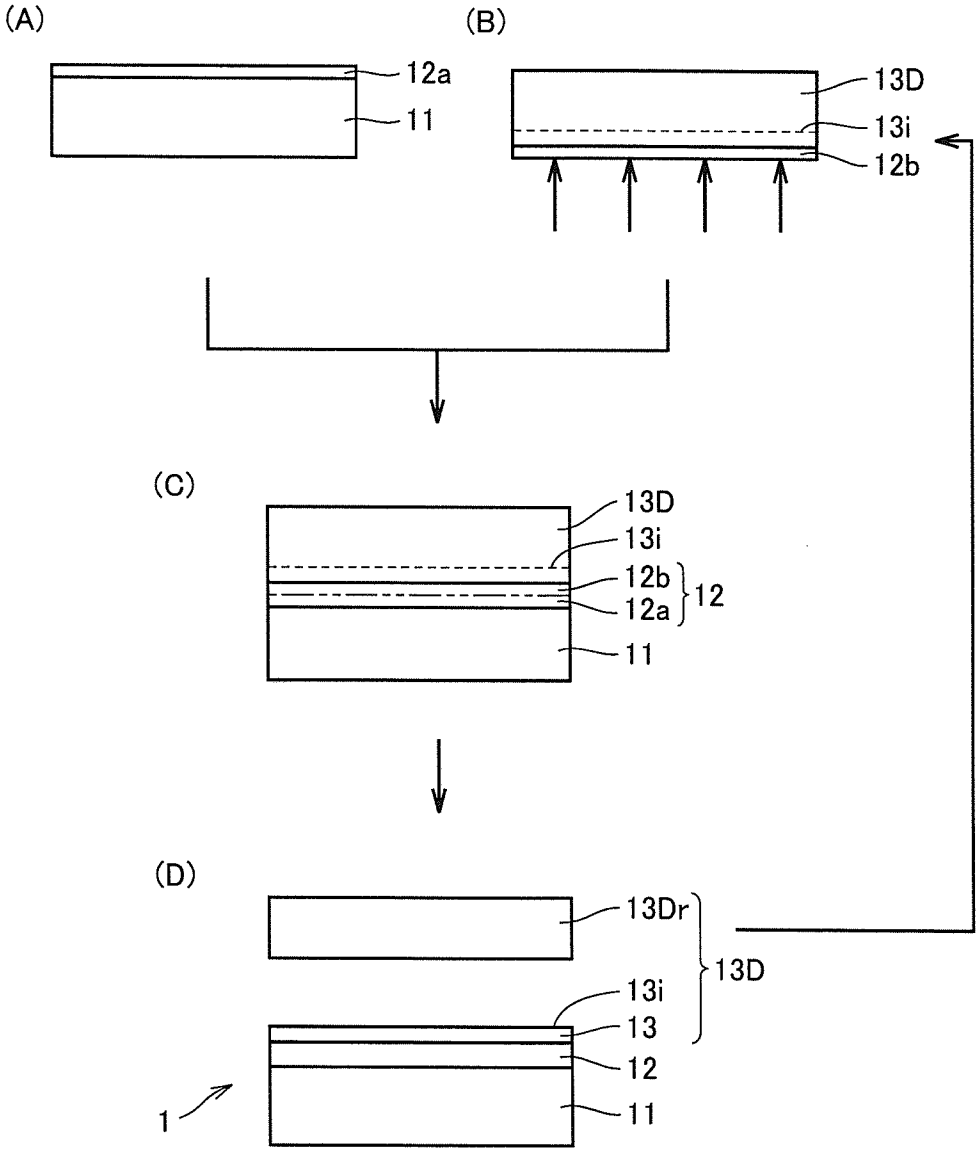
[図12]

FIG.12



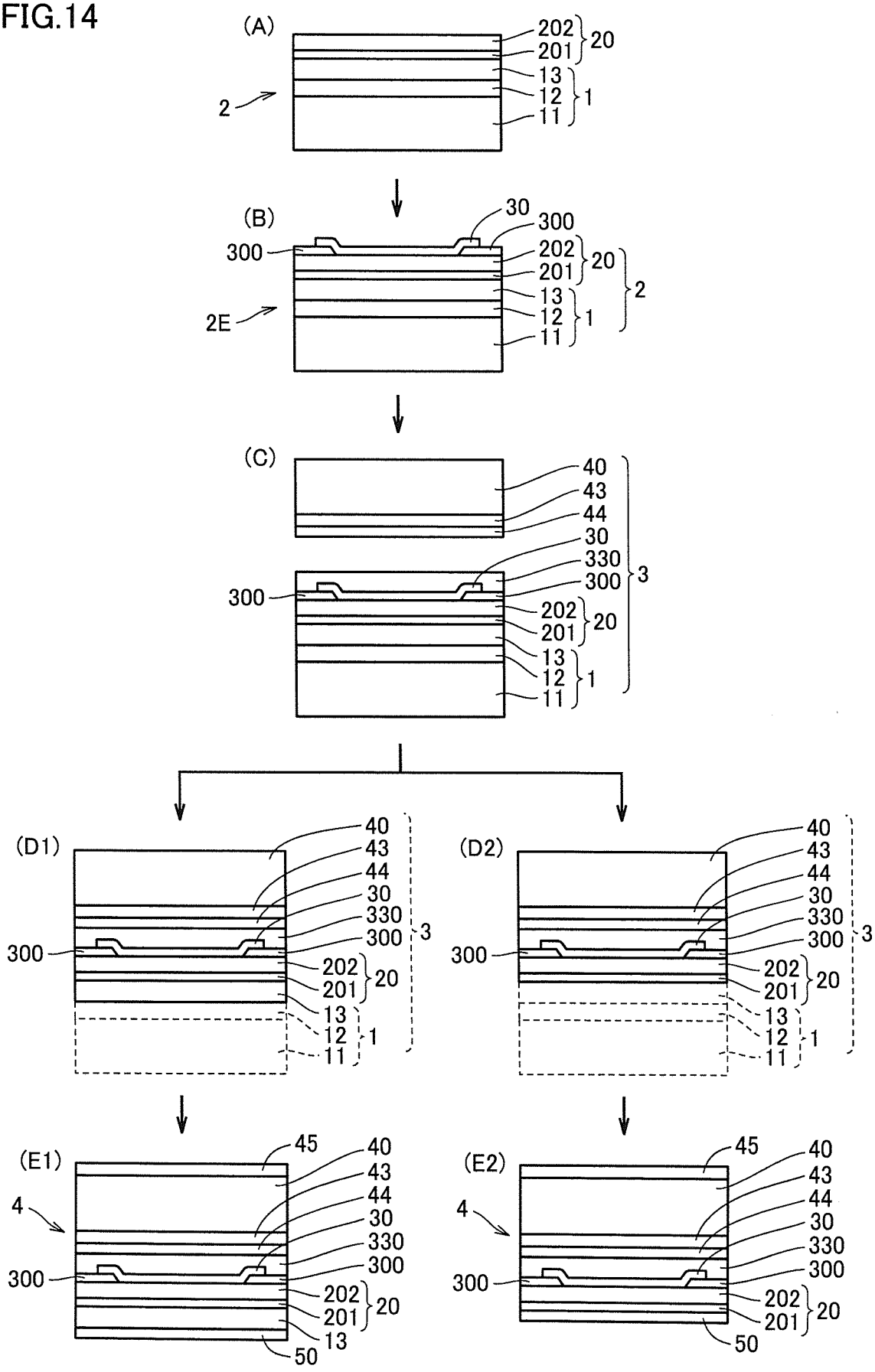
[図13]

FIG.13


(A)
12a
11
(B)
13D
13i
12b
(C)
13D
13i
12b
12a
12
11
(D)
13Dr
13D
13i
13
12
11
1

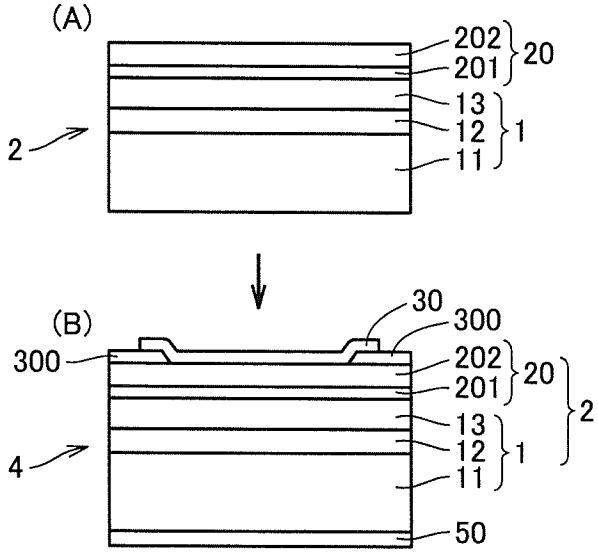
[図14]

FIG.14


(A)
2
202
201
20
13
12
11
1
(B)
30
300
300
2E
202
201
20
13
12
11
1
2
(C)
40
43
44
30
330
300
300
3
202
201
20
13
12
11
1
(D1)
(D2)
(E1)
(E2)
4
45
50

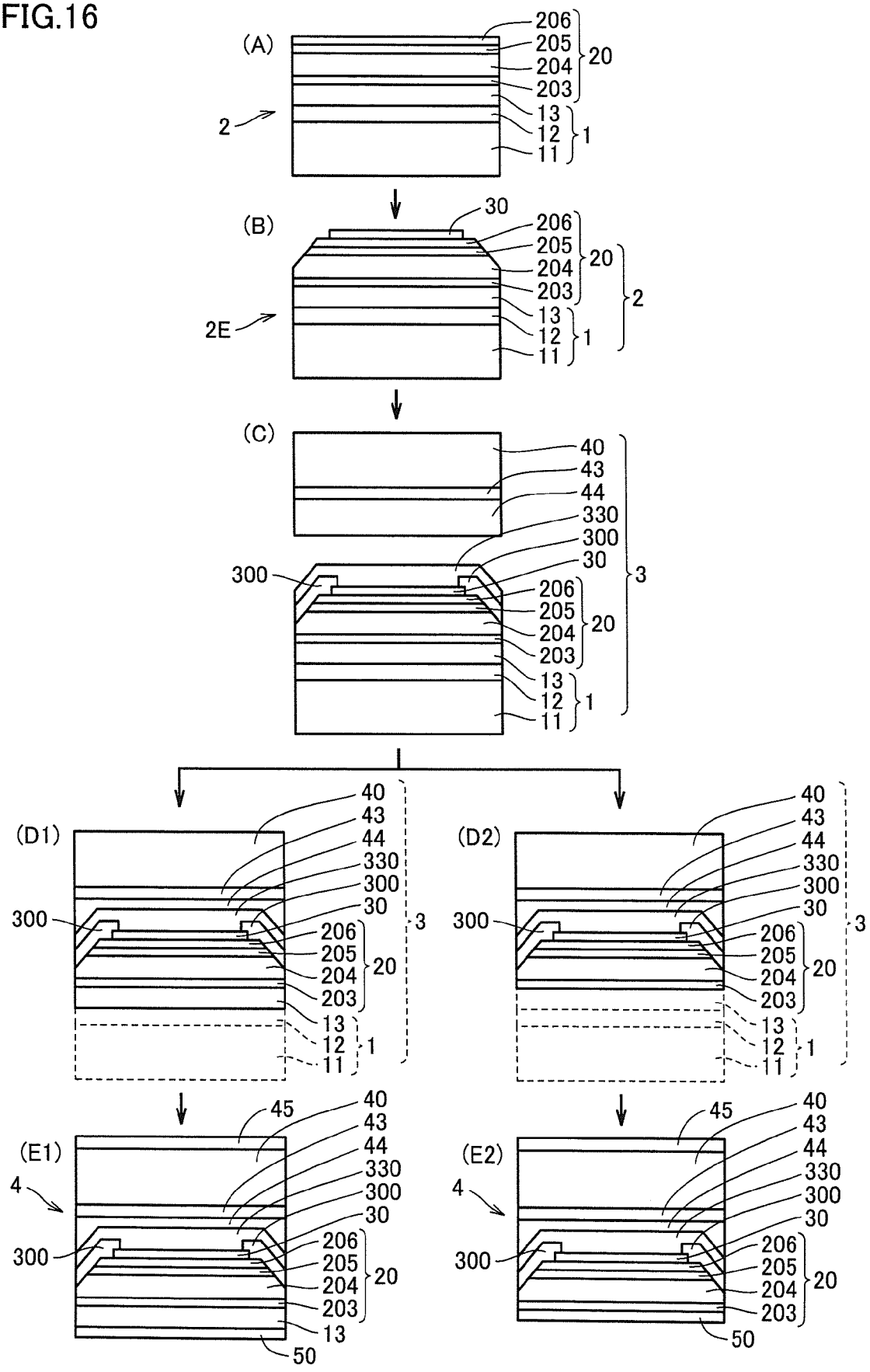
[図15]

FIG.15



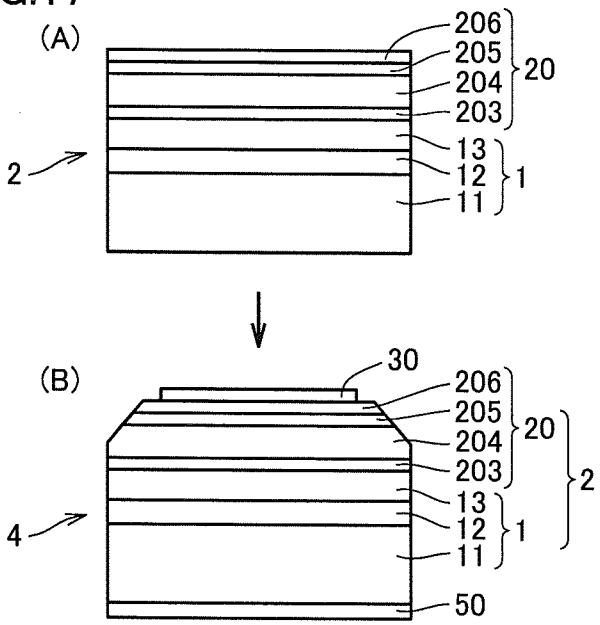
[図16]

FIG.16


(A)
206
205
204
203
20
13
12
11
1
2
(B)
30
206
205
204
203
20
13
12
11
1
2
2E
(C)
40
43
44
330
300
30
206
205
204
203
20
13
12
11
1
3
300
(D1)
(D2)
(E1)
(E2)
45
50
4

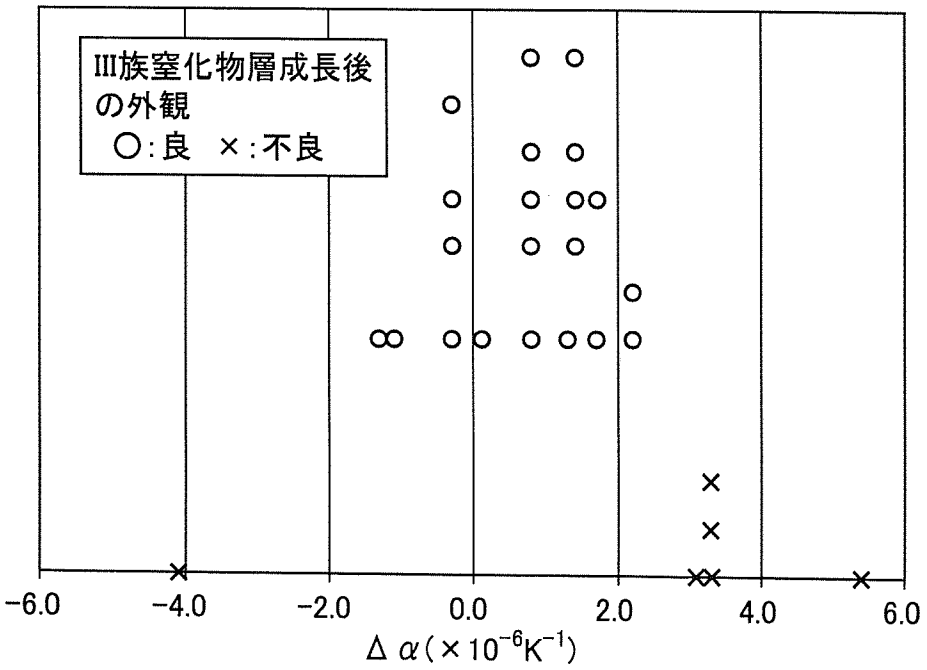
[図17]

FIG.17



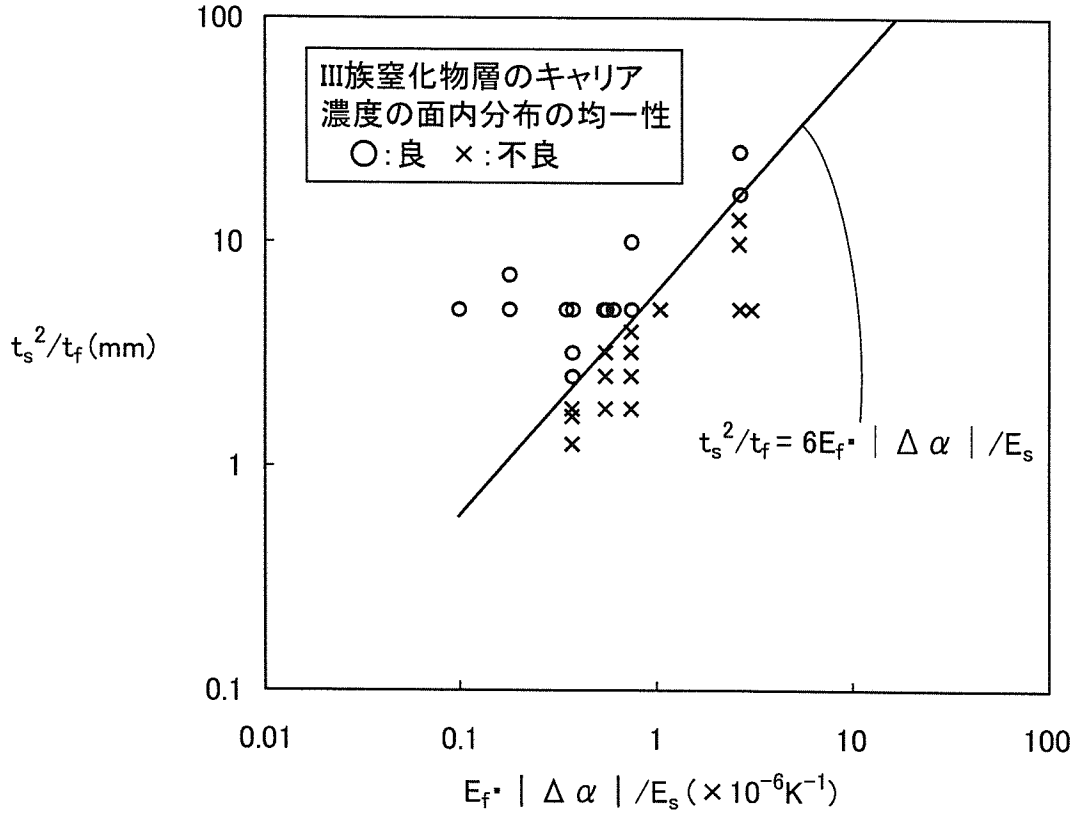
[図18]

FIG.18



[図19]

FIG.19


III族窒化物層のキャリア
濃度の面内分布の均一性
○:良 ×:不良
$t_s^2/t_f = 6E_f \cdot |\Delta\alpha|/E_s$
t_s^2/t_f (mm)
$E_f \cdot |\Delta\alpha|/E_s$ ($\times 10^{-6}K^{-1}$)
100
10
1
0.1
0.01
0.1
1
10
100

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2014/073291

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
H01L21/02(2006.01)i, *H01L21/20*(2006.01)i, *H01L21/329*(2006.01)i, *H01L27/12*(2006.01)i, *H01L29/47*(2006.01)i, *H01L29/861*(2006.01)i, *H01L29/868*(2006.01)i, *H01L29/872*(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, H01L21/20, H01L21/329, H01L27/12, H01L29/47, H01L29/861, H01L29/868, H01L29/872

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	1996-2014
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2014	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2014

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.
A	JP 2013-191861 A (Sumitomo Electric Industries, Ltd.), 26 September 2013 (26.09.2013), paragraphs [0020], [0023], [0029], [0031], [0045] to [0051], [0057] to [0059]; fig. 1, 3, 5 (Family: none)	1-9
A	JP 2002-134422 A (Matsushita Electric Industrial Co., Ltd.), 10 May 2002 (10.05.2002), paragraphs [0005] to [0009] (Family: none)	1-9

☐ 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	Date of mailing of the international search report
11 November, 2014 (11.11.14)	02 December, 2014 (02.12.14)
Name and mailing address of the ISA/ Japanese Patent Office Facsimile No.	Authorized officer Telephone No.

国際調査報告

国際出願番号　ＰＣＴ／ＪＰ２０１４／０７３２９１

Ａ．　発明の属する分野の分類（国際特許分類（ＩＰＣ））

Int.Cl.　H01L21/02(2006.01)i, H01L21/20(2006.01)i, H01L21/329(2006.01)i, H01L27/12(2006.01)i, H01L29/47(2006.01)i, H01L29/861(2006.01)i, H01L29/868(2006.01)i, H01L29/872(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（ＩＰＣ））

Int.Cl.　H01L21/02, H01L21/20, H01L21/329, H01L27/12, H01L29/47, H01L29/861, H01L29/868, H01L29/872

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	１９２２－１９９６年
日本国公開実用新案公報	１９７１－２０１４年
日本国実用新案登録公報	１９９６－２０１４年
日本国登録実用新案公報	１９９４－２０１４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
A	JP 2013-191861 A（住友電気工業株式会社）2013.09.26, 段落【００２０】、【００２３】、【００２９】、【００３１】、【００４５】～【００５１】、【００５７】～【００５９】、図１、図３、図５（ファミリーなし）	１－９
A	JP 2002-134422 A（松下電器産業株式会社）2002.05.10, 段落【０００５】～【０００９】（ファミリーなし）	１－９

☐　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	国際調査報告の発送日
１１．１１．２０１４	０２．１２．２０１４

国際調査機関の名称及びあて先
日本国特許庁（ＩＳＡ／ＪＰ）
郵便番号１００－８９１５
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）　５Ｏ　９１７２
堀江　義隆
電話番号　０３－３５８１－１１０１　内線　３５５９