

(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
2023年8月17日(17.08.2023)



(10) 国際公開番号

WO 2023/153154 A1

(51) 国際特許分類:

C30B 19/02 (2006.01) H01L 21/338 (2006.01)
C30B 29/38 (2006.01) H01L 29/778 (2006.01)
H01L 21/20 (2006.01) H01L 29/812 (2006.01)
H01L 21/205 (2006.01)

(21) 国際出願番号: PCT/JP2023/001299

(22) 国際出願日: 2023年1月18日(18.01.2023)

(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 2022-019868 2022年2月10日(10.02.2022) JP

(71) 出願人: 日本碍子株式会社(NGK INSULATORS, LTD.) [JP/JP]; 〒4678530 愛知県名古屋市瑞穂区須田町2番56号 Aichi (JP).

(72) 発明者: 野中 健太郎 (NONAKA Kentaro); 〒4678530 愛知県名古屋市瑞穂区須田町2番56号 日本碍子株式会社内 Aichi (JP). 前原 宗太(MAEHARA Sota); 〒4678530 愛知県名

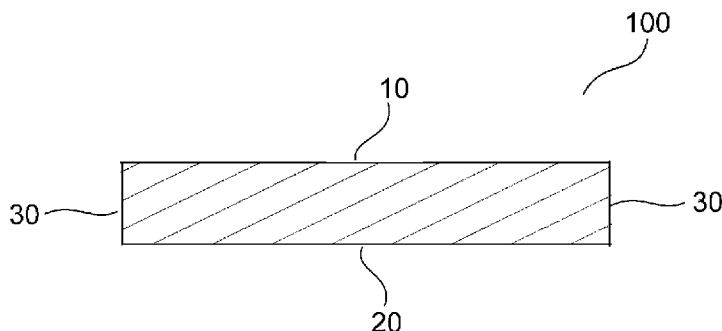
古屋市瑞穂区須田町2番56号 日本碍子株式会社内 Aichi (JP). 倉岡 義孝(KURAOKA Yoshitaka); 〒4678530 愛知県名古屋市瑞穂区須田町2番56号 日本碍子株式会社内 Aichi (JP). 今井 克宏(IMAI Katsuhiko); 〒4678530 愛知県名古屋市瑞穂区須田町2番56号 日本碍子株式会社内 Aichi (JP).

(74) 代理人: 粉井 孝文 (MOMII Takafumi); 〒5300004 大阪府大阪市北区堂島浜1丁目4番4号 アクア堂島東館7階 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, CV, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IQ, IR, IS, IT, JM, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH,

(54) Title: GROUP III ELEMENT NITRIDE SEMICONDUCTOR SUBSTRATE, EPITAXIAL SUBSTRATE, AND FUNCTIONAL ELEMENT

(54) 発明の名称: III族元素窒化物半導体基板、エピタキシャル基板および機能素子



(57) Abstract: Provided is a group III element nitride semiconductor substrate having a first surface and a second surface, and capable of suppressing variations in the characteristics of an element formed on the substrate. A group III element nitride semiconductor substrate according to an embodiment of the present invention has a first surface and a second surface, the minimum value of the in-plane resistivity of the first surface is at least $1 \times 10^7 \text{ cm}\Omega$, and the minimum value of the in-plane resistivity of the first surface is at least 0.01 times the maximum value of the in-plane resistivity of the first surface.

(57) 要約: 第一面と第二面とを備えるIII族元素窒化物半導体基板であって、該基板上に形成された素子の特性のバラツキを抑制できるIII族元素窒化物半導体基板が提供される。本発明の実施形態によるIII族元素窒化物半導体基板は、第一面と第二面とを備えるIII族元素窒化物半導体基板であって、該第一面の面内の比抵抗の最小値が $1 \times 10^7 \text{ cm}\Omega$ 以上であり、該第一面の面内の比抵抗の最小値が該第一面の面内の比抵抗の最大値の0.01倍以上である。

[続葉有]

WO 2023/153154 A1

PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG,
SK, SL, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ,
UA, UG, US, UZ, VC, VN, WS, 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, CV, 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, ME, 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:

一 国際調査報告(条約第21条(3))

明 細 書

発明の名称：

ⅠⅠⅠ族元素窒化物半導体基板、エピタキシャル基板および機能素子 技術分野

[0001] 本発明はⅠⅠⅠ族元素窒化物半導体基板に関する。より詳細には、表裏の関係にある主面と裏面とを備えるⅠⅠⅠ族元素窒化物半導体基板であって、該基板上に形成された素子の特性のバラツキを抑制できるⅠⅠⅠ族元素窒化物半導体基板に関する。

背景技術

[0002] 窒化物半導体は、直接遷移型の広いバンドギャップを有し、高い絶縁破壊電界、高い飽和電子速度を有することから、LEDやLDなどの発光デバイスや、高周波／ハイパワーの電子デバイス用半導体材料などに広く適用されている。

[0003] 窒化物電子デバイスの代表的な構造として、自立GaN基板上に、AlGaNを「障壁層」、GaNを「チャネル層」として積層形成した、高電子移動度トランジスタ（HEMT）構造が知られている。これは、窒化物材料特有の大きな分極効果（自発分極効果とpiezo分極効果）によりAlGaN／GaN積層界面に高濃度の2次元電子ガスが生成するという特徴を活かしたものである。

[0004] 窒化物電子デバイスは、一般的に、サファイア、SiC、Siといった、商業的に入手の容易な異種材料下地基板を用いて作製されている。しかしながら、これら異種材料基板上にヘテロエピタキシャル成長させたGaN膜中には、GaNと異種材料基板との間の格子定数や熱膨張係数の差異に起因して、多数の欠陥が発生してしまうという問題がある。

[0005] 一方、GaN基板上にGaN膜をホモエピタキシャル成長させた場合、上記の格子定数や熱膨張係数の差異に起因する欠陥は発生せず、GaN膜は良好な結晶性を示す。それゆえ、GaN基板上に窒化物HEMT構造を作製し

た場合、 $\text{AlGaIn}/\text{GaIn}$ 積層界面に存在する2次元電子ガスの移動度が向上するので、当該構造を用いて作製するHEMT素子（半導体素子）の特性向上が期待できる。

[0006] ところが、商業的に入手が可能である、ハイドライド気相成長法（HVPE法）にて作製されたGaIn基板は、一般的には、結晶内に取り込んだ酸素不純物のためn型の伝導型を呈する。導電性のGaIn基板は、HEMT素子を高電圧駆動した際に、ソースドレイン電極間のリーク電流経路となる。そのため、HEMT素子を作製するには、半絶縁性GaIn基板の採用が望ましい。

[0007] 半絶縁性GaIn基板を得るためには、深いアクセプター準位を形成する元素をGaIn結晶中にドーピングすることが有効である。

[0008] 半絶縁性自立GaIn基板として、ドーピング元素としてFe、Mn、Znなどを含む基板が報告されている（特許文献1－5）。しかし、これらの半絶縁性自立GaIn基板は、その上にHEMTを作製してGaIn-HEMTとした場合、一部のHEMT素子でリーク電流が増加して耐圧が低下するなどして、HEMT素子の特性にバラツキが見られることがあり、十分に高い特性のHEMT素子を提供するまでには至っていない。

先行技術文献

特許文献

[0009] 特許文献1：特開2006-24597号公報

特許文献2：特開2012-246195号公報

特許文献3：特開2016-000694号公報

特許文献4：特許第6705831号公報

特許文献5：特許第6737800号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0010] 本発明の課題は、第一面と第二面とを備えるIII族元素窒化物半導体基

板であって、該基板上に形成された素子の特性のバラツキを抑制できるⅢ族元素窒化物半導体基板を提供することにある。

課題を解決するための手段

[0011] [1] 本発明の実施形態によるⅢ族元素窒化物半導体基板は、第一面と第二面とを備えるⅢ族元素窒化物半導体基板である。該基板は、該第一面の面内の比抵抗の最小値が $1 \times 10^7 \Omega \cdot \text{cm}$ 以上であり、該第一面の面内の比抵抗の最小値が該第一面の面内の比抵抗の最大値の0.01倍以上である。

[2] 上記[1]において、上記比抵抗の測定は、測定間隔10mm以下で連続的に行われる。

[3] 上記[1]または[2]において、上記比抵抗の測定は、電気容量法による前記第一面の面内のマッピング測定によって行われる。

[4] 上記[1]から[3]のいずれかにおいて、上記Ⅲ族元素窒化物半導体基板は、ドーパントとしてZnを含む。

[5] 上記[1]から[4]のいずれかにおいて、上記Ⅲ族元素窒化物半導体基板中のSIMSによる酸素濃度は $2 \times 10^{16} \text{ atoms/cm}^3 \sim 6 \times 10^{16} \text{ atoms/cm}^3$ である。

[6] 上記[1]から[5]のいずれかにおいて、上記Ⅲ族元素窒化物半導体基板中にナノパイプを含まない。

[7] 上記[1]から[6]のいずれかにおいて、上記Ⅲ族元素窒化物半導体基板は、直径が75mm以上である。

[8] 本発明の別の局面においては、エピタキシャル基板が提供される。該エピタキシャル基板は、上記[1]から[7]のいずれかのⅢ族元素窒化物半導体基板の第一面上に、AlGaNおよびAlNから選ばれる少なくとも1種からなるバッファ層と、GaNからなるチャネル層と、InAlGaN、InAlN、およびAlGaNから選ばれる少なくとも1種からなる障壁層と、をこの順に備える。

[9] 本発明のさらに別の局面においては、機能素子が提供される。該機

能素子は、上記〔１〕から〔７〕のいずれかのⅢ族元素窒化物半導体基板の第一面上に、 AlGaIn および AlIn から選ばれる少なくとも１種からなるバッファ層と、 GaIn からなるチャネル層と、 InAlGaIn 、 InAlIn 、および AlGaIn から選ばれる少なくとも１種からなる障壁層と、をこの順に備える。

発明の効果

〔0012〕 本発明によれば、第一面と第二面とを備えるⅢ族元素窒化物半導体基板であって、該基板上に形成された素子の特性のバラツキを抑制できるⅢ族元素窒化物半導体基板を提供することができる。

図面の簡単な説明

〔0013〕〔図１〕本発明の実施形態によるⅢ族元素窒化物半導体基板の代表的な概略断面図である。

〔図２〕本発明の実施形態によるⅢ族元素窒化物半導体基板を第一面側から見た代表的な概略平面図である。

〔図３〕本発明の実施形態によるⅢ族元素窒化物半導体基板の製造方法を示す概略説明図である。

〔図４〕本発明の実施形態によるエピタキシャル基板を含んで構成されるHEMT素子の断面構造を示す概略断面図である。

〔図５〕比較例１で得られたウエハー（Ｃ１）の比抵抗のマッピング測定の結果を示すマッピングチャート図である。

〔図６〕比較例２で得られたウエハー（Ｃ２）の比抵抗のマッピング測定の結果を示すマッピングチャート図である。

〔図７〕比較例３で得られたウエハー（Ｃ３）の比抵抗のマッピング測定の結果を示すマッピングチャート図である。

〔図８〕実施例１で得られたウエハー（１）の比抵抗のマッピング測定の結果を示すマッピングチャート図である。

〔図９〕実施例２で得られたウエハー（２）の比抵抗のマッピング測定の結果を示すマッピングチャート図である。

[図10]実施例3で得られたウエハー（3）の比抵抗のマッピング測定の結果を示すマッピングチャート図である。

[図11]比較例1で得られたウエハー（C1）の比抵抗測定において低抵抗を示した領域を透過型電子顕微鏡で測定した観察図である。

発明を実施するための形態

[0014] 本明細書中で「重量」との表現がある場合は、重さを示すS I系単位として慣用されている「質量」と読み替えてもよい。

[0015] 《 I I I 族元素窒化物半導体基板 》

本発明の実施形態による I I I 族元素窒化物半導体基板は、代表的には、 I I I 族元素窒化物結晶からなる自立基板である。本明細書において、「自立基板」とは、取り扱う際に自重で変形または破損せず、固形物として取り扱うことのできる基板を意味する。自立基板は発光素子や電力制御素子等の各種半導体デバイスの基板として使用可能である。

[0016] 本発明の実施形態による I I I 族元素窒化物半導体基板は、代表的には、ウエハー状（略真円状）である。しかし、必要に応じて、それ以外の形状、例えば、矩形等の形状に加工してもよい。

[0017] 本発明の実施形態による I I I 族元素窒化物半導体基板のサイズ（直径）としては、本発明の実施形態による効果を損なわない範囲で、任意の適切なサイズを採用し得る。このようなサイズとしては、例えば、25 mm（約1インチ）、45～55 mm（約2インチ）、95～105 mm（約4インチ）、145～155 mm（約6インチ）、195～205 mm（約8インチ）、295～305 mm（約12インチ）等である。本発明の実施形態による I I I 族元素窒化物半導体基板のサイズ（直径）としては、好ましくは75 mm以上である。本発明の実施形態による I I I 族元素窒化物半導体基板が、このようにサイズ（直径）が大きい大口径の I I I 族元素窒化物半導体基板であると、本発明の実施形態による I I I 族元素窒化物半導体基板は、高周波／ハイパワーの電子デバイスへの適用が容易になり、特に、素子サイズが大きくなるような大電力を扱うデバイスへの適用が容易になる。

- [0018] 大口径のⅢ族元素窒化物半導体基板としては、具体的には、例えば、4インチウエハー、6インチウエハー、8インチウエハー、12インチウエハーなどが挙げられる。
- [0019] 本発明の実施形態によるⅢ族元素窒化物半導体基板は、その厚さ（厚さが一定でない場合は最大厚さ箇所の厚さ）が、好ましくは $100\mu\text{m}$ 以上であり、より好ましくは $300\mu\text{m}\sim 1000\mu\text{m}$ である。
- [0020] Ⅲ族元素窒化物としては、代表的には、窒化ガリウム（GaN）、窒化アルミニウム（AlN）、窒化インジウム（InN）またはこれらの混晶が挙げられる。これらは、1種のみであってもよいし、2種以上であってもよい。
- [0021] Ⅲ族元素窒化物は、具体的には、GaN、AlN、InN、 $\text{Ga}_x\text{Al}_{1-x}\text{N}$ （ $1>x>0$ ）、 $\text{Ga}_x\text{In}_{1-x}\text{N}$ （ $1>x>0$ ）、 $\text{Al}_x\text{In}_{1-x}\text{N}$ （ $1>x>0$ ）、 $\text{Ga}_x\text{Al}_y\text{In}_z\text{N}$ （ $1>x>0$ 、 $1>y>0$ 、 $x+y+z=1$ ）である。
- [0022] 本発明の実施形態による効果をより発現させ得る点で、Ⅲ族元素窒化物は、好ましくは、ドーピング元素としてFe、Mn、Znのいずれかでドーピングされている。抵抗値を高めやすく、面内分布をより小さくできる観点で、Znをドーピングことがより好ましい。また、Ⅲ族元素窒化物は、ドーピング成分以外の元素を含み得る。元素としては、例えば、水素（H）、酸素（O）、シリコン（Si）などが挙げられる。
- [0023] Ⅲ族元素窒化物半導体基板の面方位は、c面、m面、a面、およびc面、a面、m面それぞれから傾斜した特定の結晶面とすることができ、特に、c面とした際に本発明の実施形態による効果がより発現され得る。c面、a面、m面それぞれから傾斜した特定の結晶面としては、 $\{11-22\}$ 面や $\{20-21\}$ 面といった、いわゆる半極性面が例示できる。また、面方位としては、c面、c面、a面、m面あるいはこれらから傾斜した特定の結晶面に対して、垂直ないわゆるジャスト面だけでなく、 $\pm 5^\circ$ の範囲でのオフ角を含むことが許容される。

[0024] 本発明の実施形態によるⅢ族元素窒化物半導体基板は、第一面と第二面とを備えるⅢ族元素窒化物半導体基板である。第一面を主面、第二面を裏面としたとき、Ⅲ族元素窒化物半導体基板の面方位がc面であれば、主面は、代表的には、Ⅲ族元素極性面であり、裏面は、代表的には、窒素極性面である。しかしながら、主面を窒素極性面としてもよいし、裏面をⅢ族元素極性面としてもよい。主面上には、エピタキシャル結晶を成長させることができ、また、各種デバイスを作製することができる。裏面は、サセプタなどによって保持させて、本発明の実施形態によるⅢ族元素窒化物半導体基板を移送できる。

[0025] 本発明の実施形態によるⅢ族元素窒化物半導体基板の説明においては、第一面を主面、第二面を裏面として説明する。したがって、本明細書において、「主面」とあるものは「第一面」と読み替えてもよく、「第一面」とあるものは「主面」と読み替えてもよく、「裏面」とあるものは「第二面」と読み替えてもよく、「第二面」とあるものは「裏面」と読み替えてもよい。

[0026] 主面は、鏡面であっても非鏡面であってもよい。好ましくは、主面は鏡面である。

[0027] 主面は、デバイス層をエピタキシャル成長させて、作製するデバイスの特性が良好で、デバイス間のデバイス特性のバラツキの少ない半導体デバイスを得る観点からは、加工変質層が実質的に除去され、かつ、ミクロな領域での表面粗さが小さい面が好ましい。

[0028] 裏面は、鏡面であっても非鏡面であってもよい。

[0029] 鏡面とは、鏡面加工された表面であり、鏡面加工後に、光が反射して鏡面加工された表面上に物が映っていることを目視で確認することができるまで表面の粗さやうねりが低減されている状態の表面を指す。つまり、鏡面加工後の表面の粗さやうねりの大きさが、可視光の波長に対して十分無視できる程度にまで低減されている状態の表面である。鏡面加工されている表面上にはエピタキシャル結晶成長が十分可能である。

[0030] 鏡面加工の方法としては、本発明の実施形態による効果を損なわない範囲で、任意の適切な方法を採用し得る。このような方法としては、例えば、テープを用いた研磨装置、ダイヤモンド砥粒を用いたラッピング装置、コロイダルシリカ等のスラリーと不織布の研磨パッドとを用いたCMP（Chemical Mechanical Polish）装置などを、1つまたは組み合わせて用いて鏡面加工する方法などが挙げられる。加工後の表面に加工変質層が残る場合は、代表的には加工変質層を除去する。加工変質層を除去する方法としては、例えば、RIE（Reactive Ion Etching：反応性イオンエッチング）や薬液を用いて加工変質層を除去する方法、基板をアニールする方法、などが挙げられる。

[0031] 非鏡面とは、鏡面加工されていない表面であり、代表的には、粗面化処理によって得られる粗面が挙げられる。

[0032] 粗面化処理の方法としては、本発明の実施形態による効果を損なわない範囲で、任意の適切な方法を採用し得る。このような方法としては、例えば、砥石を用いた研削加工、レーザテクスチャ加工、各種薬液やガスを用いたエッチング処理、物理的あるいは化学的なコーティング処理、機械加工によるテクスチャリングなどが挙げられる。

[0033] 図1は、本発明の実施形態によるIII族元素窒化物半導体基板の代表的な概略断面図である。図1に示すように、本発明の実施形態によるIII族元素窒化物半導体基板100は、代表的には、主面（III族元素極性面）10と裏面（窒素極性面）20を有する。本発明の実施形態によるIII族元素窒化物半導体基板100は、側面30を有していてもよい。

[0034] 本発明の実施形態によるIII族元素窒化物半導体基板の端部は、本発明の実施形態による効果を損なわない範囲で、任意の適切な形態を採り得る。本発明の実施形態によるIII族元素窒化物半導体基板の端部は、例えば、主面側と裏面側が平坦面となるように面取りされた形状、主面側と裏面側がR状に面取りされた形状、端部の主面側だけが平坦面となるように面取りされている形状、端部の裏面側だけが平坦面となるように面取りされている形

状などが挙げられる。

[0035] 本発明の実施形態によるⅢ族元素窒化物半導体基板の端部が面取りされている場合、その面取りされた部分は、外周部の1周全部にわたって設けられていてよく、あるいは、外周部の一部のみに設けられていてもよい。この外周部は、代表的には、デバイスの形成を行わない領域である。

[0036] 図2に示すように、このような外周部は、全周にわたって外周端部12から主面10の内側方向に向かって幅D1の距離までの領域である。主面面取り部の幅D1は、外周端部12を起点とする距離であって、主面10の内側方向に向かって、該外周端部12における接線に対する法線方向の距離である。幅D1は一定であることが好ましい。

[0037] 幅D1は、本発明の実施形態による効果を損なわない範囲で、任意の適切な大きさを採用し得る。本発明の実施形態による効果をより発現させ得る点で、幅D1は、好ましくは5mm以下であり、より好ましくは4mm以下であり、さらに好ましくは3mm以下であり、特に好ましくは2mm以下であり、最も好ましくは1mm以下である。幅D1の下限值は、本発明の実施形態による効果をより発現させ得る点で、好ましくは0.3mm以上である。

[0038] 本発明の実施形態によるⅢ族元素窒化物半導体基板は、第一面の面内の比抵抗の最小値が $1 \times 10^7 \Omega \cdot \text{cm}$ 以上であり、好ましくは $1 \times 10^8 \Omega \cdot \text{cm}$ 以上であり、より好ましくは $1 \times 10^9 \Omega \cdot \text{cm}$ 以上であり、さらに好ましくは $1 \times 10^{10} \Omega \cdot \text{cm}$ 以上であり、特に好ましくは $1 \times 10^{11} \Omega \cdot \text{cm}$ 以上である。本発明の実施形態によるⅢ族元素窒化物半導体基板の第一面の面内の比抵抗の最小値が上記範囲内にあれば、該基板上に形成された素子の特性のバラツキを抑制し得る。

[0039] 本発明の実施形態によるⅢ族元素窒化物半導体基板は、第一面の面内の比抵抗の最小値が該第一面の面内の比抵抗の最大値の0.01倍以上であり、好ましくは0.01倍～1.0倍であり、より好ましくは0.1倍～1.0倍であり、さらに好ましくは0.5倍～1.0倍であり、特に好ましくは0.8倍～1.0倍である。本発明の実施形態によるⅢ族元素窒化物

半導体基板の第一面の面内の比抵抗の最小値の最大値に対する大きさを上記の範囲に調整すれば、該基板上に形成された素子の特性のバラツキを抑制し得る。

[0040] 本発明者らは、従来のGaN-HEMT素子の特性のバラツキの原因として、半絶縁性のGaN自立基板の品質の面内バラツキの可能性を考え、この半絶縁性のGaN自立基板の品質の面内バラツキに着目した。そして、特性の悪い素子が含まれた半絶縁性のGaN基板について詳細に調べた結果、該基板の電気抵抗率分布に問題があることが判明し、部分的に抵抗の低い領域があることが判明した。そこで、さらに検討を進めたところ、上記のように、第一面と第二面とを備える半絶縁性のGaN基板について、その第一面の面内の比抵抗の最小値を所定の範囲に調整し、かつ、該比抵抗の最小値の最大値に対する大きさを所定の範囲に調整して設計すれば、低抵抗領域の存在を抑制した半絶縁性のGaN基板を得ることができ、該基板上に形成された素子の特性のバラツキを抑制できることを見出した。

[0041] 上記比抵抗の測定における測定間隔は、好ましくは10mm以下であり、より好ましくは5mm以下であり、さらに好ましくは4mm以下であり、さらに好ましくは3mm以下であり、特に好ましくは2mm以下であり、とりわけ好ましくは1mm以下である。上記比抵抗の測定における測定間隔を上記範囲にすれば、本発明の実施形態によるIII族元素窒化物半導体基板上に形成された素子の特性のバラツキをより抑制し得る。言い換えれば、本発明の実施形態によるIII族元素窒化物半導体基板は、第一面の面内において、好ましくは10mm×10mmの任意の領域、より好ましくは5mm×5mmの任意の領域、さらに好ましくは4mm×4mmの任意の領域、さらに好ましくは3mm×3mmの任意の領域、特に好ましくは2mm×2mmの任意の領域、とりわけ好ましくは1mm×1mmの任意の領域の比抵抗の最小値が代表的には $1 \times 10^{-7} \Omega \cdot \text{cm}$ 以上であり、当該任意の領域の比抵抗の最小値が、代表的には当該任意の領域の比抵抗の最大値の0.01倍以上である。比抵抗の最小値、および、比抵抗の最小値と最大値との比は、それ

ぞれ、好ましくは上記のとおりである。

[0042] 上記比抵抗の測定は、本発明の実施形態による効果を損なわない範囲で、任意の適切な方法で測定し得る。このような比抵抗の測定方法としては、例えば、電気容量法、二端子法、二重リング電極法が挙げられる。

[0043] 二端子法および二重リング法は破壊測定であり、代表的には、基板を測定範囲に合わせた大きさに切断することで個片化し、表面および裏面に電極を形成した後に電流－電圧測定をすることで比抵抗を測定する。

[0044] 電気容量法は非破壊測定であり、代表的には、基板の裏面を導電性ステージに設置した状態でプローブにより基板の表面から非接触で高電圧を印加し、電気容量測定による電荷の過渡応答から比抵抗を測定する。この際、プローブまたはステージをXY方向に移動させることで基板の任意の点の測定が可能である。

[0045] 非接触式の比抵抗測定であること、および、基板面内の比抵抗分布を的確に把握できることから、本発明の実施形態による効果をより発現させ得る点で、上記比抵抗の測定は、好ましくは、電気容量法による第一面の面内のマッピング測定によって行われる。マッピング測定は、代表的には、プローブをXY方向に移動させて行う。

[0046] なお、非接触式の比抵抗測定として、渦電流法も挙げられるが、比抵抗の測定範囲が $10^{-3}\Omega\cdot\text{cm}\sim 10^2\Omega\cdot\text{cm}$ であり、半絶縁性のIII族元素窒化物半導体基板の測定には適していない。

[0047] 上記比抵抗の測定は、本発明の実施形態による効果をより発現させ得る点で、好ましくは、前述した、図2に示す外周部を除いて行う。

[0048] 本発明の実施形態によるIII族元素窒化物半導体基板は、その中のSIMSによる酸素濃度が、好ましくは $2\times 10^{16}\text{atoms}/\text{cm}^3\sim 6\times 10^{16}\text{atoms}/\text{cm}^3$ であり、より好ましくは $2\times 10^{16}\text{atoms}/\text{cm}^3\sim 5\times 10^{16}\text{atoms}/\text{cm}^3$ であり、さらに好ましくは $2\times 10^{16}\text{atoms}/\text{cm}^3\sim 4\times 10^{16}\text{atoms}/\text{cm}^3$ であり、特に好ましくは $2\times 10^{16}\text{atoms}/\text{cm}^3\sim 3\times 10^{16}\text{atoms}/\text{cm}^3$ である。本発明者ら

は、Ⅲ族元素窒化物半導体基板の中のSIMSによる酸素濃度を上記の所定範囲内に調整してバラツキを抑制してⅢ族元素窒化物半導体基板を設計すれば、低抵抗領域の存在をより抑制したⅢ族元素窒化物半導体基板を得ることができ、該基板上に形成された素子の特性のバラツキをより抑制できることを見出した。したがって、本発明の実施形態によるⅢ族元素窒化物半導体基板の中のSIMSによる酸素濃度が上記範囲内にあれば、該基板上に形成された素子の特性のバラツキをより抑制し得る。

[0049] 本発明の実施形態によるⅢ族元素窒化物半導体基板は、好ましくは、その中にナノパイプを含まない。本発明者らは、Ⅲ族元素窒化物半導体基板の中のナノパイプの存在を抑制するようにⅢ族元素窒化物半導体基板を設計すれば、低抵抗領域の存在をより抑制したⅢ族元素窒化物半導体基板を得ることができ、該基板上に形成された素子の特性のバラツキをより抑制できることを見出した。したがって、本発明の実施形態によるⅢ族元素窒化物半導体基板の中にナノパイプが含まれなければ、該基板上に形成された素子の特性のバラツキをより抑制し得る。Ⅲ族元素窒化物半導体基板の中にナノパイプが含まれると、本発明の実施形態による効果が発現されにくくなる。

[0050] 本発明の実施形態によるⅢ族元素窒化物半導体基板は、本発明の実施形態による効果を損なわない範囲で、任意の適切な方法で製造し得る。以下、本発明の実施形態による効果をより発現させる点で、本発明の実施形態によるⅢ族元素窒化物半導体基板の好ましい製造方法について説明する。

[0051] 本発明の実施形態によるⅢ族元素窒化物半導体基板の製造方法においては、代表的には、図3(a)に示すように、下地基板1の主面1a上に種結晶膜2を形成し、種結晶膜2のⅢ族元素極性面2a上にⅢ族元素窒化物層3を形成する。次いで、下地基板1から自立基板となるⅢ族元素窒化物層(種結晶膜2+Ⅲ族元素窒化物層3)を分離し、主面10'と裏面20'を有する自立基板100'を得る。

[0052] 下地基板の材質としては、本発明の実施形態による効果を損なわない範囲

で、任意の適切な材質を採用し得る。このような材質としては、例えば、サファイア、結晶配向性アルミナ、酸化ガリウム、 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ ($0 \leq x \leq 1$)、 GaAs 、 SiC などが挙げられる。

[0053] 種結晶膜の材質としては、本発明の実施形態による効果を損なわない範囲で、任意の適切な材質を採用し得る。このような材質としては、例えば、 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ ($0 \leq x \leq 1$) や $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ ($0 \leq x \leq 1$) が挙げられ、好ましくは、窒化ガリウムである。種結晶膜の材質としては、より好ましくは、蛍光顕微鏡観察により黄色発光効果が認められる窒化ガリウムである。黄色発光とは、バンドからバンドへの励起子遷移 (UV) に加えて、 $2.2 \sim 2.5 \text{ eV}$ の範囲に現れるピーク (黄色発光 (YL) または黄色帯 (YB)) である。

[0054] 種結晶膜の形成方法としては、本発明の実施形態による効果を損なわない範囲で、任意の適切な形成方法を採用し得る。このような形成方法としては、例えば、気相成長法が挙げられ、好ましくは、有機金属化学気相成長 (MOCVD: Metal-Organic Chemical Vapor Deposition) 法、ハイドライド気相成長 (HVPE) 法、パルス励起堆積 (PXD) 法、MBE法、昇華法が挙げられる。種結晶膜の形成方法としては、これらの中でも、MOCVD法がより好ましい。

[0055] MOCVD法による種結晶膜の形成は、例えば、 $450^\circ\text{C} \sim 550^\circ\text{C}$ にて低温成長緩衝層を $20 \text{ nm} \sim 50 \text{ nm}$ 堆積させた後に、 $1000^\circ\text{C} \sim 1200^\circ\text{C}$ にて厚さ $2 \mu\text{m} \sim 4 \mu\text{m}$ の膜を積層させることにより行うことが好ましい。

[0056] III族元素窒化物結晶層の育成方向としては、本発明の実施形態による効果を損なわない範囲で、任意の適切な育成方向を採用し得る。このような育成方向としては、例えば、ウルツ鉱構造のc面の法線方向、a面、m面それぞれの法線方向、c面、a面、m面それぞれから傾斜した面の法線方向が挙げられる。

[0057] III族元素窒化物結晶層の形成方法としては、種結晶膜の結晶方位に概

ね倣った結晶方位を有する形成方法であれば、本発明の実施形態による効果を損なわない範囲で、任意の適切な形成方法を採用し得る。このような形成方法としては、例えば、MOCVD法、HVPE法、PXD法、MBE法、昇華法等の気相成長法；Naフラックス法、アモノサーマル法、水熱法、ゾルゲル法等の液相成長法；粉末の固相成長を利用した粉末成長法；これらの組み合わせ；などが挙げられる。

[0058] III族元素窒化物結晶層の形成方法としてNaフラックス法を採用する場合は、特許第5244628号公報に記載の製造方法に準じ、適宜、本発明の実施形態による効果をより発現し得るように条件等を調整して、Naフラックス法を行うことが好ましい。

[0059] Naフラックス法によるIII族元素窒化物結晶層の形成は、代表的には、窒素雰囲気中で、育成容器としての坩堝に種結晶基板（下地基板＋種結晶膜）を配置し、さらに、その坩堝の中に、III族元素、金属Na、および、ドーパント（例えば、Fe、Mn、Znなど）を含む融液組成物を充填し、その坩堝に蓋をし、その蓋付き坩堝を外容器中に入れ、さらに、その外容器を耐圧容器に入れ、窒素雰囲気中で、好ましくは700℃～1000℃（より好ましくは800℃～900℃）、好ましくは1MPa～7MPa（好ましくは2MPa～6MPa）まで昇温加圧した後、温度および圧力を保持しつつ、回転することにより行うことが好ましい。

[0060] 本発明の実施形態による効果をより発現させ得る点で、ドーパントとしては、好ましくは、Fe、Mn、Znから選ばれる少なくとも1つを採用し、より好ましくは、Znを採用する。

[0061] 上記の坩堝としては、本発明の実施形態による効果を損なわない範囲で、Naフラックス法に用い得る任意の適切な坩堝を採用し得る。本発明の実施形態による効果をより発現させ得る点で、上記の坩堝としては、窒化アルミニウム（AlN）をコーティングしたアルミナ坩堝を採用することが好ましく、窒化アルミニウム（AlN）をコーティングした後に熱処理を行ったアルミナ坩堝を採用することがより好ましい。特に、窒化アルミニウム（Al

N) をコーティングした後に熱処理を行ったアルミナ坩堝を採用すると、熱処理により AlN 膜の緻密性が向上し、酸素などの不純物（コンタミネーション）の混入を高度に効果的に低減し得るので、例えば、ナノパイプの成長起点が生じにくくなり、本発明の実施形態による効果がより発現し得る。

[0062] 上記熱処理は、本発明の実施形態による効果を損なわない範囲で、任意の適切な方法で行い得る。上記熱処理は、本発明の実施形態による効果をより発現させ得る点で、例えば、窒素雰囲気下で、好ましくは $1500^{\circ}\text{C} \sim 1950^{\circ}\text{C}$ 、より好ましくは $1600^{\circ}\text{C} \sim 1850^{\circ}\text{C}$ の温度範囲にて、好ましくは 10 分～90 分、より好ましくは 20 分～60 分の時間熱処理を行う。

[0063] また、従来採用されている窒化アルミニウム（AlN）坩堝は大型化することが難しく、コストも高いという問題がある。一方、窒化アルミニウム（AlN）をコーティングしたアルミナ坩堝は大型化しやすいので、大口径の III 族元素窒化物半導体基板の製造に好適である。

[0064] 上記の坩堝の蓋としては、本発明の実施形態による効果を損なわない範囲で、Na フラックス法に用い得る任意の適切な坩堝の蓋を採用し得る。本発明の実施形態による効果をより発現させ得る点で、上記の坩堝の蓋としては、窒化アルミニウム（AlN）をコーティングしたアルミナ蓋を採用することが好ましい。窒化アルミニウム（AlN）をコーティングしたアルミナ蓋を採用することにより、酸素などの不純物（コンタミネーション）の混入を高度に効果的に低減し得るので、例えば、ナノパイプの成長起点が生じにくくなり、本発明の実施形態による効果がより発現し得る。

[0065] 上記の回転は、代表的には、回転台の上に載置して、中心軸周りに一定周期で回転させる。

[0066] 上記の回転は、種結晶基板上での III 族元素窒化物結晶層の結晶成長速度が、好ましくは $5\ \mu\text{m}/\text{h} \sim 25\ \mu\text{m}/\text{h}$ 、より好ましくは $10\ \mu\text{m}/\text{h} \sim 25\ \mu\text{m}/\text{h}$ となるように回転させる。種結晶基板上での III 族元素窒化物結晶層の結晶成長速度が $5\ \mu\text{m}/\text{h}$ を下回ると、結晶育成時間が過大となって、現実的に製造するのが困難になるおそれがある。結晶成長速度が 2

5 $\mu\text{m}/\text{h}$ を上回ると、インクルージョンの含有率が増加するおそれがある。

[0067] 上記の回転は、好ましくは、(i) 反転させることなく一方向に回転させるか、(i i) 一方向に1分間以上回転させたあと逆方向に1分間以上回転させるという反転操作を繰り返すか、(i i i) 一方向に5秒間以上回転させたあと0.1秒以上停止し、その後同じ方向に5秒間以上回転させるという間欠操作を繰り返すか、である。上記(i i)や(i i i)の場合、上記よりも短い周期で反転操作や間欠操作を繰り返すと、結晶成長速度が速くなり過ぎ、インクルージョンの含有率が増加してしまうおそれがある。

[0068] 上記の回転は、本発明の実施形態による効果をより発現させ得る点で、好ましくは、一定周期の時計回りと反時計回りで行う。

[0069] 次に、III族元素窒化物結晶層を下地基板から分離することによって、III族元素窒化物結晶層を含む自立基板を得ることができる。

[0070] III族元素窒化物結晶層を下地基板から分離する方法としては、本発明の実施形態による効果を損なわない範囲で任意の適切な方法を採用し得る。このような方法としては、例えば、III族元素窒化物結晶層を育成した後の降温工程において熱収縮差を使用してIII族元素窒化物結晶層を下地基板から自発分離させる方法、III族元素窒化物結晶層を下地基板からケミカルエッチングによって分離する方法、図3(a)に示すように、下地基板1の裏面1b側から矢印Aのようにレーザ光を照射し、III族元素窒化物結晶層を下地基板からレーザーリフトオフ法によって剥離する方法、III族元素窒化物結晶層を下地基板から研削によって剥離する方法、などが挙げられる。また、III族元素窒化物結晶層を、ワイヤソーなどを利用してスライスすることにより、III族元素窒化物結晶層を含む自立基板を得てもよい。

[0071] このようにしてNaフラックス法により得られたIII族元素窒化物結晶層は、砥石等で研削して板面を平坦にした後、ダイヤモンド砥粒を用いたラップ加工等により板面を平滑化することが好ましい。

- [0072] 次いで、自立基板の外周部を研削加工することにより、所望の直径の円形状に整える。
- [0073] 自立基板のサイズとしては、例えば、25 mm（約1インチ）、45～55 mm（約2インチ）、95～105 mm（約4インチ）、145～155 mm（約6インチ）、195～205 mm（約8インチ）、295～305 mm（約12インチ）等である。自立基板のサイズ（直径）としては、好ましくは75 mm以上である。自立基板が、このようにサイズ（直径）が大きい大口径を有すると、高周波／ハイパワーの電子デバイスへの適用が容易になり、特に、素子サイズが大きくなるような大電力を扱うデバイスへの適用が容易になる。
- [0074] 大口径のIII族元素窒化物半導体基板としては、具体的には、例えば、4インチウエハー、6インチウエハー、8インチウエハー、12インチウエハーなどが挙げられる。
- [0075] 次いで、研削、ラップ、研磨加工などにより主面および／または裏面を除去加工することによって、所望の厚さに薄板化および平坦化し、自立基板を得る。
- [0076] 自立基板の厚さ（厚さが一定でない場合は最大厚さ箇所の厚さ）は、好ましくは100 μm 以上であり、より好ましくは300 μm ～1000 μm である。
- [0077] 必要に応じて、研削加工により、自立基板外周エッジの面取りをし、最終的に、本発明の実施形態によるIII族元素窒化物半導体基板100を得る。
- [0078] 得られるIII族元素窒化物半導体基板100は、その主面（III族元素極性面）10上に結晶をエピタキシャル成長させることができ、図3（c）に示すように機能層4を成膜し、機能素子5を得る。20は裏面（窒素極性面）である。
- [0079] 得られるIII族元素窒化物半導体基板上に成長させるエピタキシャル結晶としては、窒化ガリウム、窒化アルミニウム、窒化インジウムまたはこれ

らの混晶を例示できる。このようなエピタキシャル結晶としては、具体的には、例えば、 GaN 、 AlN 、 InN 、 $Ga_xAl_{1-x}N$ ($1 > x > 0$)、 $Ga_xIn_{1-x}N$ ($1 > x > 0$)、 $Al_xIn_{1-x}N$ ($1 > x > 0$)、 $Ga_xAl_yIn_zN$ ($1 > x > 0$ 、 $1 > y > 0$ 、 $x + y + z = 1$) が挙げられる。また、得られるⅢ族元素窒化物半導体基板上に設ける機能層としては、発光層の他、整流素子や、スイッチング素子、電力変換素子などが挙げられる。また、得られるⅢ族元素窒化物半導体基板のⅢ族元素極性面上に機能層を設けた後に、窒素極性面を加工、例えば、研削、研磨加工することによって、自立基板の厚さや厚さ分布を小さくすることもできる。

[0080] 《エピタキシャル基板およびHEMT素子》

図4は、本発明の実施形態によるエピタキシャル基板1000を含んで構成されるHEMT素子2000の断面構造を示す概略断面図である。

[0081] 本発明の実施形態によるエピタキシャル基板1000は、本発明の実施形態によるⅢ族元素窒化物半導体基板100と、バッファ層200と、チャネル層300と、障壁層400とを備える。また、HEMT素子2000は、エピタキシャル基板1000の上に（障壁層400の上に）ソース電極500とドレイン電極600とゲート電極700とを設けたものである。なお、図4における各層の厚みの比率は、実際のものを反映したものではない。

[0082] バッファ層200は、本発明の実施形態によるⅢ族元素窒化物半導体基板100の第一面上に（隣接）形成されてなる、代表的には10nm～1000nmの厚みを有する層である。バッファ層200は、代表的に800℃未満の低温で形成されるいわゆる低温バッファ層とは異なり、チャネル層300や障壁層400の形成温度と同程度の温度で形成されるものである。

[0083] エピタキシャル基板1000において、バッファ層200は、本発明の実施形態によるⅢ族元素窒化物半導体基板100にドーパされてなるドーパント（代表的にはZn）がエピタキシャル基板1000の作製時にチャネル層300さらにはその上方の障壁層400へと拡散することを抑制する、

拡散抑制層として設けられてなる。

- [0084] バッファ層200は、好ましくは、AlGa_NおよびAlNから選ばれる少なくとも1種からなる。
- [0085] チャネル層300は、バッファ層200の上に（隣接）形成されてなる層である。チャネル層300は、代表的には50nm～5000nmの厚みで形成される。
- [0086] チャネル層300は、好ましくは、Ga_Nからなる。
- [0087] 障壁層400は、チャネル層300を挟んでバッファ層200とは反対側に設けられてなる層である。障壁層400は、代表的には2nm～40nmの厚みで形成される。
- [0088] 障壁層400は図4に示すようにチャネル層300に隣接して形成されてもよく、この場合、両層の界面はヘテロ接合界面となる。あるいは、チャネル層300と障壁層400の間に図示しないスペーサ層が設けられてもよく、この場合、チャネル層300とスペーサ層との界面から障壁層400とスペーサ層との界面にいたる領域がヘテロ接合界面領域となる。スペーサ層にはAlNを用いるのが好ましい。
- [0089] 障壁層400は、好ましくは、InAlGa_N、InAlN、およびAlGa_Nから選ばれる少なくとも1種からなる。
- [0090] バッファ層200、チャネル層300、および、障壁層400の形成は、例えば、MOCVD法によって実現される。MOCVD法による層形成は、例えば、バッファ層200がAlGa_Nにて形成され、チャネル層300がGa_Nにて形成され、障壁層400がAlGa_Nにて形成される場合であれば、Ga、Alについての有機金属（MO）原料ガス（TMG、TMA）と、アンモニアガスと、水素ガスと、窒素ガスとをリアクタ内に供給可能に構成されてなる公知のMOCVD炉を用い、リアクタ内に載置した本発明の実施形態によるIII族元素窒化物半導体基板100を所定温度に加熱しつつ、各層に対応した有機金属原料ガスとアンモニアガスとの気相反応によって生成するGa_N結晶やAlGa_N結晶を本発明の実施形態によるIII族元素窒

化物半導体基板 100 上に順次に堆積させることによって行える。

[0091] ソース電極 500 とドレイン電極 600 とは、代表的にはそれぞれ十数 nm ～百数十 nm の厚みを有する金属電極である。ソース電極 500 とドレイン電極 600 とは、例えば、Ti / Al / Ni / Au からなる多層電極として形成されるのが好適である。ソース電極 500 およびドレイン電極 600 は、障壁層 400 との間にオーミック性接触を有してなる。ソース電極 500 およびドレイン電極 600 は、真空蒸着法とフォトリソグラフィプロセスとにより形成されるのが好適な一例である。なお、両電極のオーミック性接触を向上させるために、電極形成後、650℃～1000℃の間の所定温度の窒素ガス雰囲気中において数十秒間の熱処理を施すのが好ましい。

[0092] ゲート電極 700 は、代表的には十数 nm ～百数十 nm の厚みを有する金属電極である。ゲート電極 700 は、例えば、Ni / Au からなる多層電極として構成されるのが好適である。ゲート電極 700 は、障壁層 400 との間にショットキー性接触を有してなる。ゲート電極 700 は、真空蒸着法とフォトリソグラフィプロセスとにより形成されるのが好適な一例である。

[0093] 《エピタキシャル基板の作製》

本発明の実施形態によるエピタキシャル基板 1000 の作製方法の一つの実施形態として、MOCVD 法による作製について説明する。エピタキシャル基板 1000 は、本発明の実施形態による III 族元素窒化物半導体基板 100 を MOCVD 炉のリアクタ内に設けられたサセプタ上に載置した状態で、下記の条件にてバッファ層 200、チャネル層 300、および障壁層 400 をこの順にて積層形成することで得られる。なお、形成温度とはサセプタ加熱温度を意味する。

[0094] なお、本明細書において、15 族 / 13 族ガス比とは、13 族 (Ga、Al、In) 原料である TMG (トリメチルガリウム)、TMA (トリメチルアルミニウム)、および TMI (トリメチルインジウム) の総供給量に対する 15 族 (N) 原料であるアンモニアの供給量の比 (モル比) である。また、障壁層 400 を AlGaIn にて形成する場合の Al 原料ガス / 13 族原料

ガス比とは、Al原料の供給量の13族(Ga、Al)原料全体の供給量に対する比(モル比)であり、障壁層400をInAlNにて形成する場合のIn原料ガス/13族原料ガス比とは、In原料の供給量の13族(In、Al)原料全体の供給量に対する比(モル比)である。いずれにおいても、所望する障壁層400の組成(Alモル比xもしくはIn組成比y)に応じて定められる。

[0095] バッファ層200:

- ・形成温度=900℃~1200℃
- ・リアクタ内圧力=5kPa~30kPa
- ・キャリアガス=水素
- ・15族/13族ガス比=5000~20000
- ・Al原料ガス/13族原料ガス比=0.00002~1.0
- ・厚み=10nm~500nm

[0096] チャネル層300:

- ・形成温度=1000℃~1200℃
- ・リアクタ内圧力=15kPa~105kPa
- ・キャリアガス=水素
- ・15族/13族ガス比=1000~10000
- ・厚み=50nm~5000nm

[0097] 障壁層400(AlGaInNにて形成する場合):

- ・形成温度=1000℃~1200℃
- ・リアクタ内圧力=1kPa~30kPa
- ・15族/13族ガス比=5000~20000
- ・キャリアガス=水素
- ・Al原料ガス/13族原料ガス比=0.1~0.4
- ・厚み=2nm~40nm

[0098] 障壁層400(InAlNにて形成する場合):

- ・形成温度=700℃~900℃

- ・リアクタ内圧力＝1 kPa～30 kPa
- ・15族／13族ガス比＝2000～20000
- ・キャリアガス＝窒素
- ・In原料ガス／13族原料ガス比＝0.1～0.9
- ・厚み＝2 nm～40 nm

[0099] 障壁層400（InAlGaInにて形成する場合）：

- ・形成温度＝700℃～1000℃
- ・リアクタ内圧力＝1 kPa～30 kPa
- ・15族／13族ガス比＝2000～20000
- ・キャリアガス＝窒素
- ・Al原料ガス／13族原料ガス比＝0.1～0.9
- ・In原料ガス／13族原料ガス比＝0.1～0.9
- ・厚み＝2 nm～40 nm

[0100] ≪HEMT素子の作製≫

HEMT素子2000の作製は、本発明の実施形態によるエピタキシャル基板1000を用いて、公知の技術を適用することで実現可能である。

[0101] 例えば、フォトリソグラフィプロセスとRIE（Reactive Ion Etching）法を用いて個々の素子の境界となる部位を50 nm～1000 nm程度までエッチングで除去する素子分離処理を行った後、エピタキシャル基板1000の表面（障壁層400の表面）に厚さ50 nm～500 nmのSiO₂膜を形成し、続いて、フォトリソグラフィを用いてソース電極500およびドレイン電極600の形成予定箇所のSiO₂膜をエッチング除去することで、SiO₂パターン層を得る。

[0102] 次いで、真空蒸着法とフォトリソグラフィプロセスとを用い、ソース電極500およびドレイン電極600の形成予定箇所にTi／Al／Ni／Auからなる金属パターンを形成することで、ソース電極500およびドレイン電極600を形成する。それぞれの金属層の厚みは、順に、5 nm～50 nmの範囲、40 nm～400 nmの範囲、4 nm～40 nmの範囲、および

、20nm～200nmの範囲とすることが好ましい。

[0103] その後、ソース電極500およびドレイン電極600のオーミック性を良好なものにするために、600℃～1000℃の窒素ガス雰囲気中にて10秒間～1000秒間の熱処理を施すことが好ましい。

[0104] 続いて、フォトリソグラフィプロセスを用いて、SiO₂パターン層から、ゲート電極700の形成予定箇所のSiO₂膜を除去する。

[0105] さらに、真空蒸着法とフォトリソグラフィプロセスとを用いて、ゲート電極700の形成予定箇所に、Ni/Auからなるショットキー性金属パターンを形成することで、ゲート電極700を形成する。それぞれの金属層の厚みは、4nm～40nmの範囲、および、20nm～200nmの範囲とすることが好ましい。

[0106] 以上のプロセスにより、HEMT素子2000が得られる。

実施例

[0107] 以下、実施例により本発明を具体的に説明するが、本発明はこれら実施例になんら限定されるものではない。なお、実施例等における、試験および評価方法は以下のとおりである。なお、「部」と記載されている場合は、特記事項がない限り「重量部」を意味し、「%」と記載されている場合は、特記事項がない限り「重量%」を意味する。

[0108] <III族元素窒化物半導体基板の第一面の面内の比抵抗の測定>

電気容量法により行った。比抵抗測定装置としてSEMIMAP社製のCOREMA-WTを用いた。プローブ径が1mmのプローブを用い、プローブをXY方向に移動させることで基板主面（第一面）の比抵抗のマッピング測定を行った。測定間隔は4mmで行った。また、測定は最外周部のデバイスの形成を行わない領域（最外周から1.5mmの領域）を除いて測定した。

[0109] <酸素濃度の測定>

基板主面（第一面）から二次イオン質量分析（SIMS: Secondary Ion Mass Spectrometry）を用いて酸素濃度を

測定した。

[0110] <透過型電子顕微鏡によるナノパイプの有無の観察>

透過型電子顕微鏡を用いてナノパイプの有無を確認した。観察に用いる試料片は、収束イオンビーム法を用いて、基板の断面を観察できるように基板主面（第一面）側よりサンプリングした。観察時は $[10-10]$ 方向に平行に電子線を入射し、明視野およびウィークビーム法による暗視野で観察を行った。ウィークビーム法による暗視野観察では回折ベクトル g は $[11-20]$ と $[0002]$ を用いた。観察された欠陥の内、明視野およびウィークビーム法による暗視野のいずれの条件下でも観察され、かつ欠陥の $[11-20]$ 方向の幅が 20 nm 以上であるものをナノパイプと判定した。

[0111] <HEMT素子の素子耐圧の評価>

得られたHEMT素子の素子耐圧を評価するための指標として、ゲート電圧 $V_g = -10\text{ V}$ を印加したまま、ドレイン電圧 V_d を 0 V から徐々に増加させた際に、ドレイン電流 I_d が $1 \times 10^{-5}\text{ A}$ （ゲート幅 $100\text{ }\mu\text{ m}$ で規格化すると $1 \times 10^{-4}\text{ A/mm}$ ）を初めて超えるドレイン電圧 V_{db} を採用した。 V_{db} は大きい程望ましく、 $V_{db} \geq 300\text{ V}$ の場合にHEMT素子の素子耐圧は十分にあると判定し、以下の基準で評価した。

全ての素子で V_{db} は 300 V 以上：○

V_{db} が 300 V を下回る素子がある：×

[0112] [比較例1]

直径3インチのサファイア基板上に、MOCVD法によって厚さ $2\text{ }\mu\text{ m}$ の窒化ガリウムからなる種結晶膜を成膜し、種結晶基板を得た。

得られた種結晶基板を、窒素雰囲気グローブボックス内で、AlNをコーティングしたアルミナ坩堝の中に配置した。

次に、原料として金属ガリウム、金属ナトリウム、ドーピング材として粒状マンガンを上記坩堝内に充填し、AlNをコーティングしたアルミナ蓋で蓋をした。金属ガリウム、金属ナトリウムは $Ga/Ga+Na\text{ (mol\%)}$
 $= 15\text{ mol\%}$ となるようにした。

上記蓋をした坩堝をステンレス製内容器に入れ、さらにそれを収納できるステンレス製外容器に入れて、窒素導入パイプの付いた容器蓋で閉じた。この外容器を、予め真空バークしてある結晶製造装置内の加熱部に設置されている回転台の上に配置し、耐圧容器に蓋をして密閉した。

次いで、耐圧容器内を真空ポンプにて 0.1 Pa 以下まで真空引きした。続いて、上段ヒータ、中段ヒータ、および下段ヒータを調節して加熱空間の温度を 870°C になるように加熱しながら、 4.0 MPa まで窒素ガスボンベから窒素ガスを導入し、外容器を中心軸周りに 20 rpm の速度で一定周期の時計回りと反時計回りで回転させた。そして、この状態で40時間保持した。その後、室温まで自然冷却して大気圧にまで減圧した後、耐圧容器の蓋を開けて中から坩堝を取り出した。坩堝の中の固化した金属ナトリウムを除去し、種結晶基板上に成長した窒化ガリウム結晶を回収した。

サファイア基板側から紫外線レーザを照射することで種結晶基板上の窒化ガリウム結晶を分解し、成長した窒化ガリウム結晶をサファイア基板から分離した。分離後の窒化ガリウム結晶の外周部を、ダイヤモンド砥石を用いて研削加工し、直径を 75 mm に調整した。

次いで、窒化ガリウム結晶をセラミックス製の加工用定盤に貼り付け、グラインダー、ラップ装置を用いてGa極性面を研削・研磨加工した。最終仕上げには粒径 $0.1\text{ }\mu\text{m}$ のダイヤモンド粒を用い、鏡面仕上げとした。

窒化ガリウム結晶を裏返してセラミックス製の加工用定盤に固定し、窒素極性面を同様に研削・研磨加工した。最終仕上げには粒径 $0.1\text{ }\mu\text{m}$ のダイヤモンド粒を用い、鏡面仕上げとした。

以上の作製方法により、窒化ガリウム自立基板としてのウェハー（C1）を作製した。

ウェハー（C1）の室温における比抵抗を電気容量方式にて測定した。比抵抗測定は、主面内を 4 mm 間隔で277点のマッピング測定を行った。比抵抗は主面内でのバラツキが大きく、最小値は $1.0 \times 10^5\text{ }\Omega \cdot \text{cm}$ （測定下限）、最大値は $1.1 \times 10^9\text{ }\Omega \cdot \text{cm}$ であり、最小値／最大値は、9.1

$\times 10^{-5}$ であった。比抵抗のマッピング測定の結果を図5に示す。

ウエハー（C1）の比抵抗測定において低抵抗を示した $X = -28\text{ mm}$, $Y = 0\text{ mm}$ および $X = +16\text{ mm}$, $Y = 0\text{ mm}$ の領域について、二次イオン質量分析（SIMS: Secondary Ion Mass Spectrometry）を行ったところ、酸素濃度はそれぞれ $1 \times 10^{17}\text{ atoms/cm}^3$ 、 $2 \times 10^{17}\text{ atoms/cm}^3$ であった。また、高抵抗を示した $X = 0\text{ mm}$, $Y = 0\text{ mm}$ の領域のSIMSの測定を行ったところ、酸素濃度は $4 \times 10^{16}\text{ atoms/cm}^3$ であった。

ウエハー（C1）の比抵抗測定において低抵抗を示した $X = +16\text{ mm}$, $Y = 0\text{ mm}$ の領域を透過型電子顕微鏡で観察すると、図11に示すように、結晶内にナノパイプが観察された。一方、ウエハー（C1）の比抵抗測定において高抵抗を示した $X = 0\text{ mm}$, $Y = 0\text{ mm}$ の領域を透過型電子顕微鏡で観察すると、結晶内にナノパイプは観察されなかった。

[0113] [比較例2]

比較例1と同じ条件でドーピング材を粒状亜鉛として窒化ガリウム自立基板としてのウエハー（C2）を作製した。

ウエハー（C2）の室温における比抵抗を電気容量方式にて測定した。比抵抗測定は、主面内を4 mm間隔で277点のマッピング測定を行った。比抵抗は主面内でのバラツキが大きく、最小値は $1.0 \times 10^5\text{ }\Omega \cdot \text{cm}$ （測定下限）、最大値は $8.6 \times 10^{11}\text{ }\Omega \cdot \text{cm}$ であり、最小値／最大値は、 1.2×10^{-7} であった。比抵抗のマッピング測定の結果を図6に示す。

ウエハー（C2）の比抵抗測定において低抵抗を示した $X = +24\text{ mm}$, $Y = -4\text{ mm}$ および $X = 0\text{ mm}$, $Y = +20\text{ mm}$ の領域について、二次イオン質量分析（SIMS: Secondary Ion Mass Spectrometry）を行ったところ、酸素濃度はそれぞれ $2 \times 10^{17}\text{ atoms/cm}^3$ 、 $8 \times 10^{16}\text{ atoms/cm}^3$ であった。また、高抵抗を示した $X = 0\text{ mm}$, $Y = +12\text{ mm}$ の領域のSIMSの測定を行ったところ、酸素濃度は $5 \times 10^{16}\text{ atoms/cm}^3$ であった。

ウエハー（C 2）の比抵抗測定において低抵抗を示した $X = +24\text{ mm}$ ， $Y = -4\text{ mm}$ の領域を透過型電子顕微鏡で観察すると、結晶内にナノパイプが観察された。一方、ウエハー（C 2）の比抵抗測定において高抵抗を示した $X = 0\text{ mm}$ ， $Y = +12\text{ mm}$ の領域を透過型電子顕微鏡で観察すると、結晶内にナノパイプは観察されなかった。

[0114] [比較例 3]

比較例 1 と同じ条件でドーピング材を粒状鉄として窒化ガリウム自立基板としてのウエハー（C 3）を作製した。

ウエハー（C 3）の室温における比抵抗を電気容量方式にて測定した。比抵抗測定は、主面内を 4 mm 間隔で 277 点のマッピング測定を行った。比抵抗は主面内でのバラツキが大きく、最小値は $1.0 \times 10^5 \Omega \cdot \text{cm}$ （測定下限）、最大値は $1.2 \times 10^8 \Omega \cdot \text{cm}$ であり、最小値／最大値は、 8.3×10^{-4} であった。比抵抗のマッピング測定の結果を図 7 に示す。

ウエハー（C 3）の比抵抗測定において低抵抗を示した $X = 0\text{ mm}$ ， $Y = +8\text{ mm}$ および $X = +4\text{ mm}$ ， $Y = +16\text{ mm}$ の領域について、二次イオン質量分析（SIMS: Secondary Ion Mass Spectrometry）を行ったところ、酸素濃度はそれぞれ $2 \times 10^{17} \text{ atoms/cm}^3$ 、 $4 \times 10^{17} \text{ atoms/cm}^3$ であった。また、高抵抗を示した $X = 0\text{ mm}$ ， $Y = +4\text{ mm}$ の領域のSIMSの測定を行ったところ、酸素濃度は $6 \times 10^{16} \text{ atoms/cm}^3$ であった。

ウエハー（C 3）の比抵抗測定において低抵抗を示した $X = 0\text{ mm}$ ， $Y = +8\text{ mm}$ の領域を透過型電子顕微鏡で観察すると、結晶内にナノパイプが観察された。一方、ウエハー（C 3）の比抵抗測定において高抵抗を示した $X = 0\text{ mm}$ ， $Y = +4\text{ mm}$ の領域を透過型電子顕微鏡で観察すると、結晶内にナノパイプは観察されなかった。

[0115] [実施例 1]

直径 3 インチのサファイア基板上に、MOCVD 法によって厚さ $2\text{ }\mu\text{m}$ の窒化ガリウムからなる種結晶膜を成膜し、種結晶基板を得た。

得られた種結晶基板を、窒素雰囲気グローブボックス内で、AlNをコーティングした後に熱処理およびフッ酸洗浄を行ったアルミナ坩堝の中に配置した。熱処理は窒素雰囲気にて1700℃で30分保持した。

次に、原料として金属ガリウム、金属ナトリウム、ドーピング材として粒状マンガンを上記坩堝内に充填し、AlNをコーティングしたアルミナ蓋で蓋をした。金属ガリウム、金属ナトリウムは $Ga / Ga + Na \text{ (mol\%)} = 15 \text{ mol\%}$ となるようにした。

上記蓋をした坩堝をステンレス製内容器に入れ、さらにそれを収納できるステンレス製外容器に入れて、窒素導入パイプの付いた容器蓋で閉じた。この外容器を、予め真空バークしてある結晶製造装置内の加熱部に設置されている回転台の上に配置し、耐圧容器に蓋をして密閉した。

次いで、耐圧容器内を真空ポンプにて0.1 Pa以下まで真空引きした。続いて、上段ヒータ、中段ヒータ、および下段ヒータを調節して加熱空間の温度を870℃になるように加熱しながら、4.0 MPaまで窒素ガスボンベから窒素ガスを導入し、外容器を中心軸周りに20 rpmの速度で一定周期の時計回りと反時計回りで回転させた。そして、この状態で40時間保持した。その後、室温まで自然冷却して大気圧にまで減圧した後、耐圧容器の蓋を開けて中から坩堝を取り出した。坩堝の中の固化した金属ナトリウムを除去し、種結晶基板上に成長した窒化ガリウム結晶を回収した。

サファイア基板側から紫外線レーザを照射することで種結晶基板上の窒化ガリウム結晶を分解し、成長した窒化ガリウム結晶をサファイア基板から分離した。分離後の窒化ガリウム結晶の外周部を、ダイヤモンド砥石を用いて研削加工し、直径を75 mmに調整した。

次いで、窒化ガリウム結晶をセラミックス製の加工用定盤に貼り付け、グラインダー、ラップ装置を用いてGa極性面を研削・研磨加工した。最終仕上げには粒径0.1 μmのダイヤモンド粒を用い、鏡面仕上げとした。

窒化ガリウム結晶を裏返してセラミックス製の加工用定盤に固定し、窒素極性面を同様に研削・研磨加工した。最終仕上げには粒径0.1 μmのダイ

ヤ砥粒を用い、鏡面仕上げとした。

以上の作製方法により、窒化ガリウム自立基板としてのウエハー（１）を作製した。

ウエハー（１）の室温における比抵抗を電気容量方式にて測定した。比抵抗測定は、主面内を４ｍｍ間隔で２７７点のマッピング測定を行った。比抵抗は全面で $1 \times 10^7 \Omega \cdot \text{cm}$ 以上が得られた。最小値は $1.9 \times 10^8 \Omega \cdot \text{cm}$ 、最大値は $8.7 \times 10^{10} \Omega \cdot \text{cm}$ であり、最小値／最大値は、０．０２２であった。比抵抗のマッピング測定の結果を図８に示す。

ウエハー（１）の $X=0 \text{ mm}$ 、 $Y=0 \text{ mm}$ 、 $X=+20 \text{ mm}$ 、 $Y=0 \text{ mm}$ 、 $X=+36 \text{ mm}$ 、 $Y=0 \text{ mm}$ の領域について、SIMSの測定を行ったところ、酸素濃度はそれぞれ $5 \times 10^{16} \text{ atoms/cm}^3$ 、 $3 \times 10^{16} \text{ atoms/cm}^3$ 、 $2 \times 10^{16} \text{ atoms/cm}^3$ であった。

ウエハー（１）の $X=0 \text{ mm}$ 、 $Y=0 \text{ mm}$ 、 $X=+20 \text{ mm}$ 、 $Y=0 \text{ mm}$ 、 $X=+36 \text{ mm}$ 、 $Y=0 \text{ mm}$ の領域を透過型電子顕微鏡で観察すると、結晶内にナノパイプは観察されなかった。

[0116] [実施例２]

実施例１と同じ条件でドーピング材を粒状亜鉛として窒化ガリウム自立基板としてのウエハー（２）を作製した。

ウエハー（２）の室温における比抵抗を電気容量方式にて測定した。比抵抗測定は、主面内を４ｍｍ間隔で２７７点のマッピング測定を行った。比抵抗は全面で $1 \times 10^7 \Omega \cdot \text{cm}$ 以上が得られた。最小値は $7.1 \times 10^{11} \Omega \cdot \text{cm}$ 、最大値は $9.2 \times 10^{11} \Omega \cdot \text{cm}$ であり、最小値／最大値は、０．７７であった。比抵抗のマッピング測定の結果を図９に示す。

ウエハー（２）の $X=0 \text{ mm}$ 、 $Y=0 \text{ mm}$ 、 $X=0 \text{ mm}$ 、 $Y=+20 \text{ mm}$ 、 $X=0 \text{ mm}$ 、 $Y=+36 \text{ mm}$ の領域について、SIMSの測定を行ったところ、酸素濃度はそれぞれ $4 \times 10^{16} \text{ atoms/cm}^3$ 、 $2 \times 10^{16} \text{ atoms/cm}^3$ 、 $3 \times 10^{16} \text{ atoms/cm}^3$ であった。

ウエハー（２）の $X=0 \text{ mm}$ 、 $Y=0 \text{ mm}$ 、 $X=0 \text{ mm}$ 、 $Y=+20 \text{ mm}$

、 $X = 0 \text{ mm}$ 、 $Y = +36 \text{ mm}$ の領域を透過型電子顕微鏡で観察すると、結晶内にナノパイプは観察されなかった。

[0117] [実施例3]

実施例1と同じ条件でドーピング材を粒状鉄として窒化ガリウム自立基板としてのウエハー(3)を作製した。

ウエハー(3)の室温における比抵抗を電気容量方式にて測定した。比抵抗測定は、主面内を4mm間隔で277点のマッピング測定を行った。比抵抗は全面で $1 \times 10^7 \Omega \cdot \text{cm}$ 以上が得られた。最小値は $1.1 \times 10^7 \Omega \cdot \text{cm}$ 、最大値は $1.4 \times 10^8 \Omega \cdot \text{cm}$ であり、最小値/最大値は、0.079であった。比抵抗のマッピング測定の結果を図10に示す。

ウエハー(3)の $X = 0 \text{ mm}$ 、 $Y = 0 \text{ mm}$ 、 $X = 0 \text{ mm}$ 、 $Y = +20 \text{ mm}$ 、 $X = 0 \text{ mm}$ 、 $Y = +36 \text{ mm}$ の領域について、SIMSの測定を行ったところ、酸素濃度はそれぞれ $3 \times 10^{16} \text{ atoms/cm}^3$ 、 $6 \times 10^{16} \text{ atoms/cm}^3$ 、 $5 \times 10^{16} \text{ atoms/cm}^3$ であった。

ウエハー(3)の $X = 0 \text{ mm}$ 、 $Y = 0 \text{ mm}$ 、 $X = 0 \text{ mm}$ 、 $Y = +20 \text{ mm}$ 、 $X = 0 \text{ mm}$ 、 $Y = +36 \text{ mm}$ の領域を透過型電子顕微鏡で観察すると、結晶内にナノパイプは観察されなかった。

[0118] [比較例4～6、実施例4～6]

(エピタキシャル基板の作製)

比較例1～3、実施例1～3で作製した窒化ガリウム自立基板であるウエハー(C1)～(C3)、(1)～(3)のそれぞれの上にMOCVD法によってバッファ層、チャネル層、障壁層をこの順に積層形成し、エピタキシャル基板を作製した。

具体的には、比較例1～3、実施例1～3で作製した窒化ガリウム自立基板であるウエハー(C1)～(C3)、(1)～(3)のそれぞれをMOCVD炉のリアクタ内に設けられたサセプタ上に載置した状態で、下記の条件にて各層を積層形成した。なお、形成温度とはサセプタ加熱温度を意味し、15族/13族ガス比とは、13族(Ga、Al、In)原料であるTMG

(トリメチルガリウム)、TMA (トリメチルアルミニウム)、およびTM
I (トリメチルインジウム)の総供給量に対する15族(N)原料であるア
ンモニアの供給量の比(モル比)である。また、AlGa_{0.2}Nを形成する場合
のAl原料ガス/13族原料ガス比とは、Al原料の供給量の13族(Ga
、Al)原料全体の供給量に対する比(モル比)であり、所望するAlGa_{0.2}
Nの組成に応じて定められる。

バッファ層: AlGa_{0.2}N

・形成温度=1050℃

・リアクタ内圧力=5 kPa

15族/13族ガス比=15000

・Al原料ガス/13族原料ガス比=0.001

・厚み=20 nm

チャネル層: GaN

・形成温度=1050℃

・リアクタ内圧力=100 kPa

・15族/13族ガス比=2000

・厚み=1000 nm

障壁層: AlGa_{0.2}N

・形成温度=1050℃

・リアクタ内圧力=5 kPa

・15族/13族ガス比=12000

・Al原料ガス/13族原料ガス比=0.25

・厚み=25 nm

(HEMT素子の作製)

それぞれのエピタキシャル基板の主面を、フォトリソグラフィプロセスと
RIE法を用いて各素子の境界となる部位を深さ100 nm程度までエッチ
ング除去した。境界の間隔は1 mmとした。

次に、ソース電極およびドレイン電極の形成対象箇所に、フォトリソグラ

フィロプロセスと真空蒸着法とを用いて、Ti／Al／Ni／Au（それぞれの膜厚は25nm／75nm／15nm／100nm）からなる電極パターンを形成した。その後、窒素中で800℃、30秒間の熱処理を行った。

続いて、それぞれのエピタキシャル基板の上面の、ゲート電極の形成対象個所に、フォトリソグラフィプロセスと真空蒸着法とを用いて、ゲート電極のパターンを形成した。ゲート電極としては、Ni／Au（膜厚6nm／12nm）を形成した。なお、ゲート電極は、ゲート長を1μm、ゲート幅を100μmとし、ソース電極との間隔が1μm、ドレイン電極との間隔が10μmとなるように形成した。

以上のプロセスにより、HEMT素子を得た。得られたHEMT素子の素子耐圧を評価した。

比較例1～3で作製した窒化ガリウム自立基板であるウェハー（C1）～（C3）上に形成したHEMT素子では、V_{db}が300Vを下回るものがあり、評価は「×（不良）」であった。

一方、実施例1～3で作製した窒化ガリウム自立基板であるウェハー（1）～（3）上に形成したHEMT素子では、全ての素子でV_{db}は300V以上となり、評価は「○（良好）」であった。

産業上の利用可能性

[0119] 本発明の実施形態によるIII族元素窒化物半導体基板は、各種半導体デバイスの基板として利用可能である。

符号の説明

[0120]	100	III族元素窒化物半導体基板
	100'	自立基板
	1	下地基板
	1a	下地基板1の主面
	1b	下地基板1の裏面
	2	種結晶膜
	2a	種結晶膜2のIII族元素極性面

3	ⅠⅠⅠ族元素窒化物層
4	機能層
5	機能素子
1 0	主面
1 0'	主面
1 2	外周端部
2 0	裏面
2 0'	裏面
2 2	外周端部
3 0	側面
1 0 0 0	エピタキシャル基板
2 0 0 0	HEMT素子
2 0 0	バッファ層
3 0 0	チャネル層
4 0 0	障壁層
5 0 0	ソース電極
6 0 0	ドレイン電極
7 0 0	ゲート電極

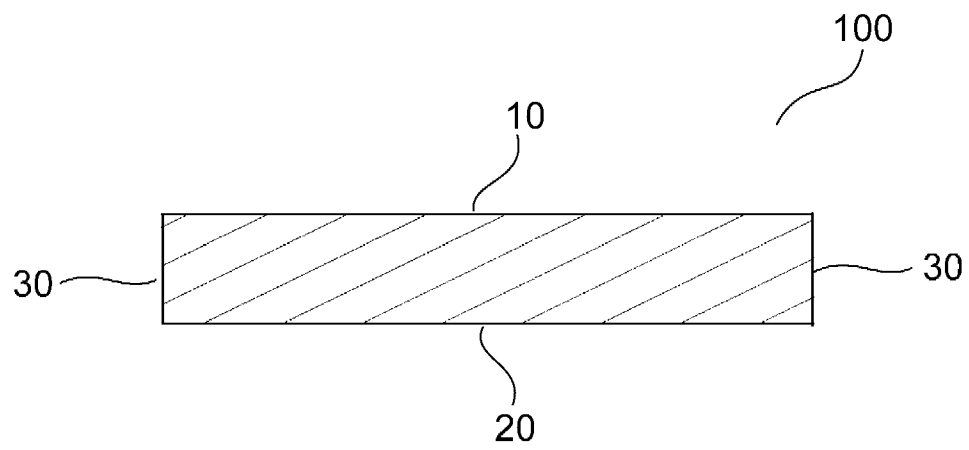
請求の範囲

- [請求項1] 第一面と第二面とを備えるⅢ族元素窒化物半導体基板であって、
- 、
- 該第一面の面内の比抵抗の最小値が $1 \times 10^7 \Omega \cdot \text{cm}$ 以上であり
- 、
- 該第一面の面内の比抵抗の最小値が該第一面の面内の比抵抗の最大値の0.01倍以上である、
- Ⅲ族元素窒化物半導体基板。
- [請求項2] 前記比抵抗の測定は、測定間隔10mm以下で連続的に行われる、請求項1に記載のⅢ族元素窒化物半導体基板。
- [請求項3] 前記比抵抗の測定は、電気容量法による前記第一面の面内のマッピング測定によって行われる、請求項2に記載のⅢ族元素窒化物半導体基板。
- [請求項4] ドーパントとしてZnを含む、請求項1に記載のⅢ族元素窒化物半導体基板。
- [請求項5] 前記Ⅲ族元素窒化物半導体基板中のSIMSによる酸素濃度が $2 \times 10^{16} \text{ atoms/cm}^3 \sim 6 \times 10^{16} \text{ atoms/cm}^3$ である、請求項1に記載のⅢ族元素窒化物半導体基板。
- [請求項6] 前記Ⅲ族元素窒化物半導体基板中にナノパイプを含まない、請求項1に記載のⅢ族元素窒化物半導体基板。
- [請求項7] 直径が75mm以上である、請求項1に記載のⅢ族元素窒化物半導体基板。
- [請求項8] 請求項1から7までのいずれかに記載のⅢ族元素窒化物半導体基板の第一面上に、
- AIGaNおよびAlNから選ばれる少なくとも1種からなるバッファ層と、
- GaNからなるチャネル層と、
- InAlGaN、InAlN、およびAIGaNから選ばれる少な

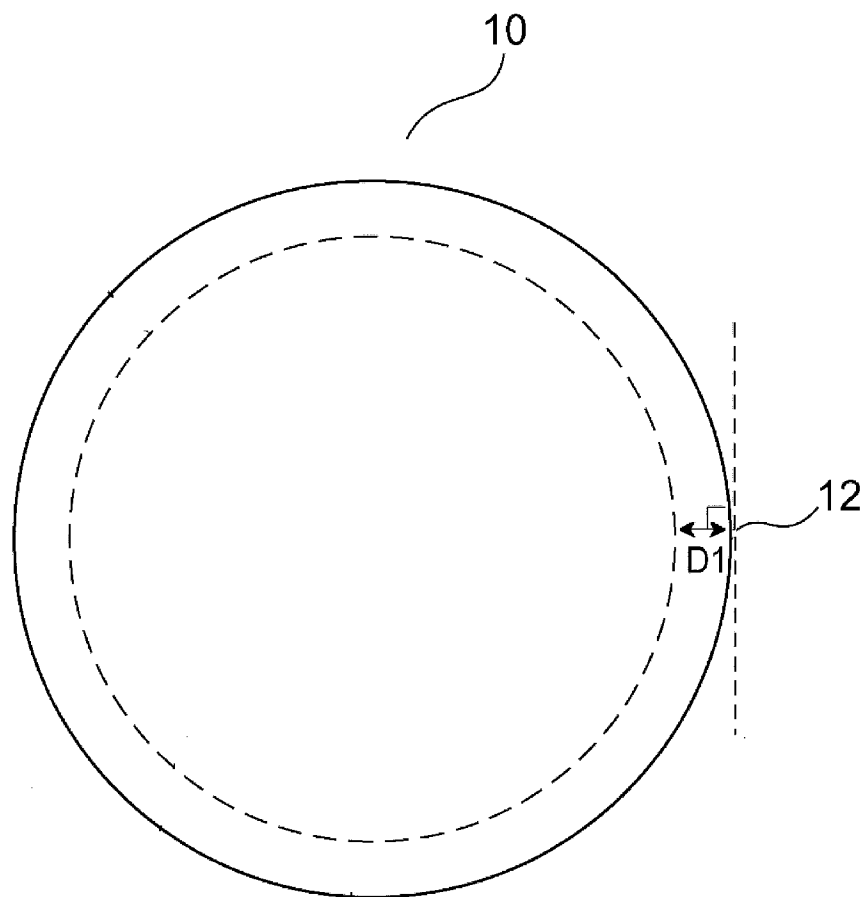
くとも1種からなる障壁層と、をこの順に備える、
エピタキシャル基板。

[請求項9] 請求項1から7までのいずれかに記載のIII族元素窒化物半導体
基板の第一面上に、
AlGa_NおよびAlNから選ばれる少なくとも1種からなるバッ
ファ層と、
Ga_Nからなるチャネル層と、
InAlGa_N、InAlN、およびAlGa_Nから選ばれる少な
くとも1種からなる障壁層と、
をこの順に備える、
機能素子。

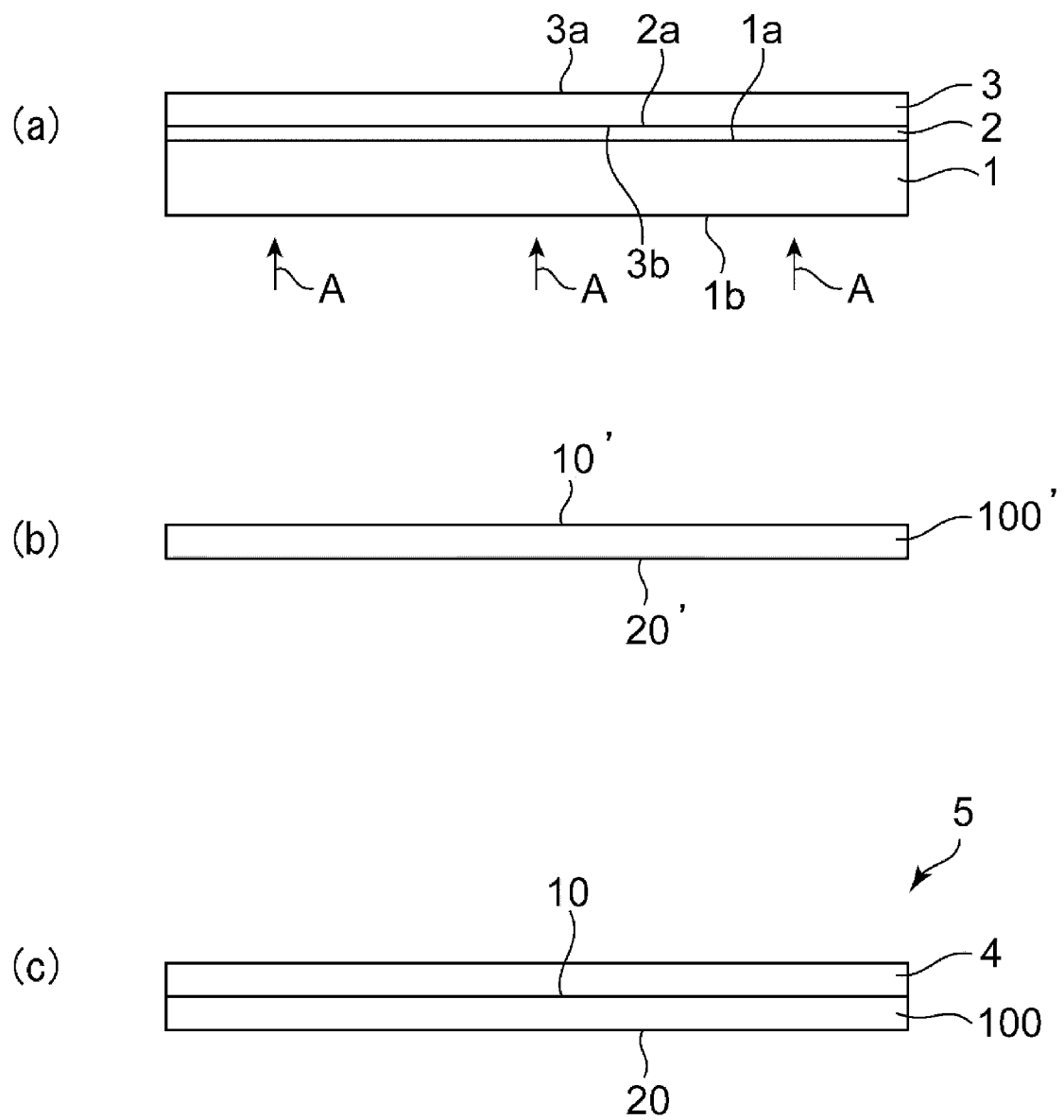
[図1]



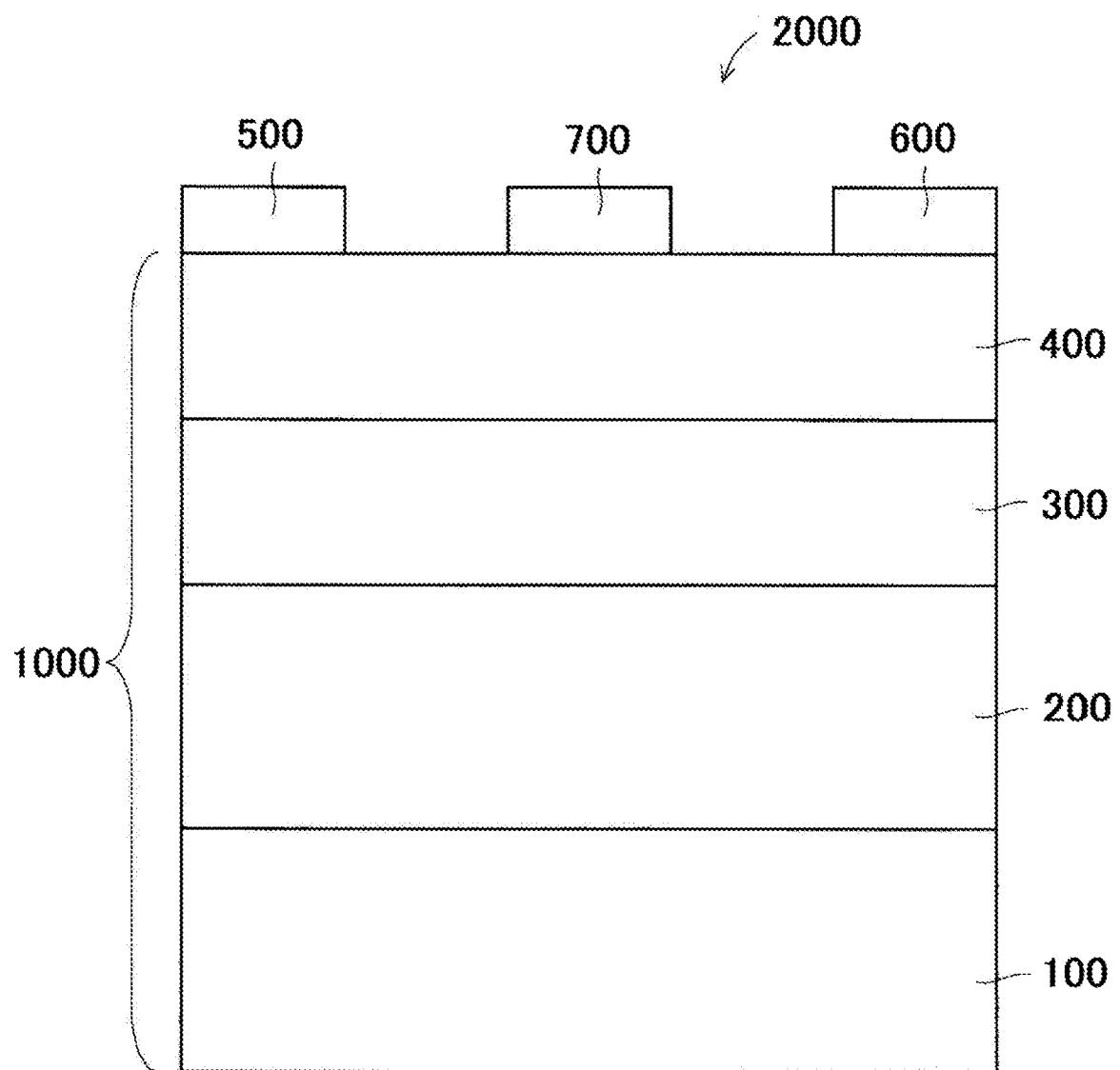
[図2]



[図3]



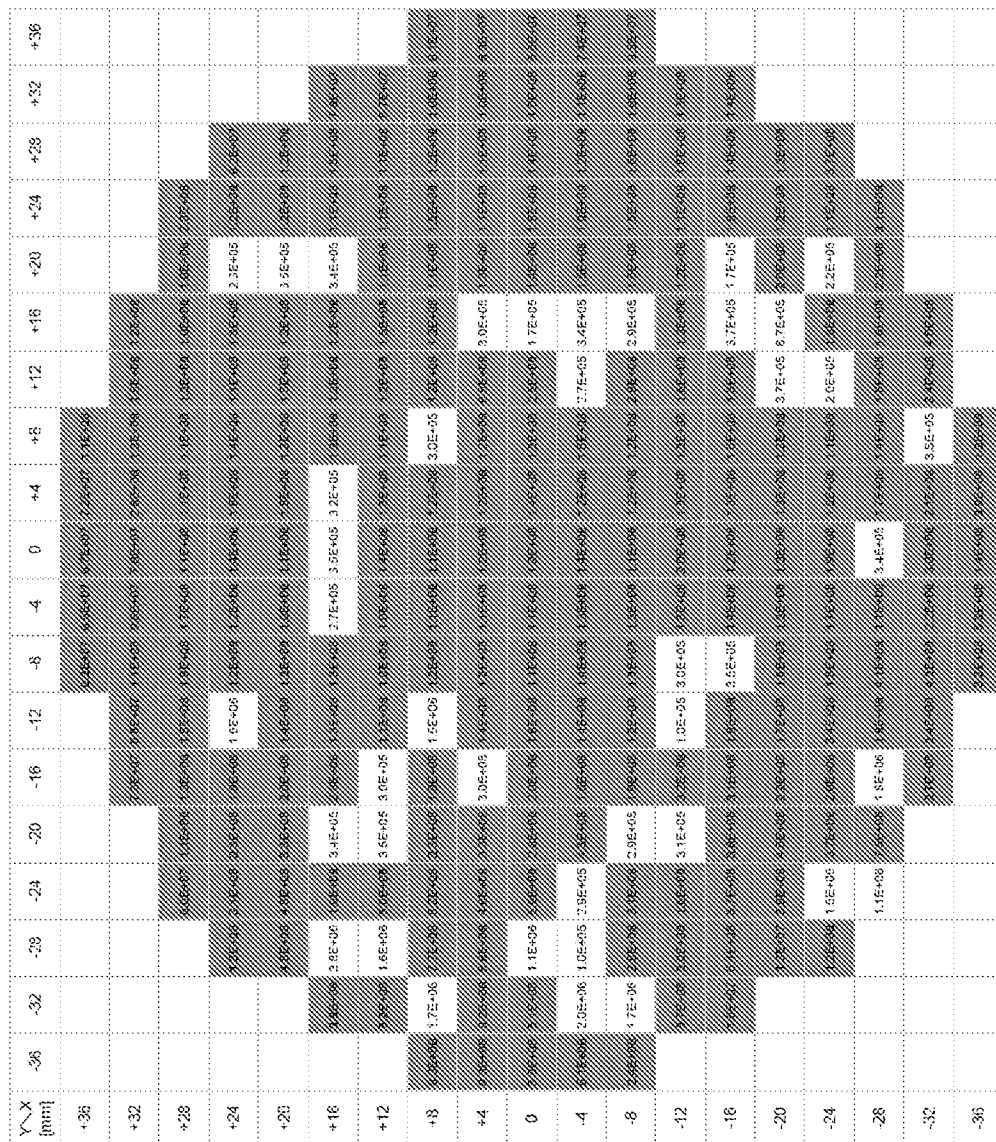
[図4]



12.5 cm

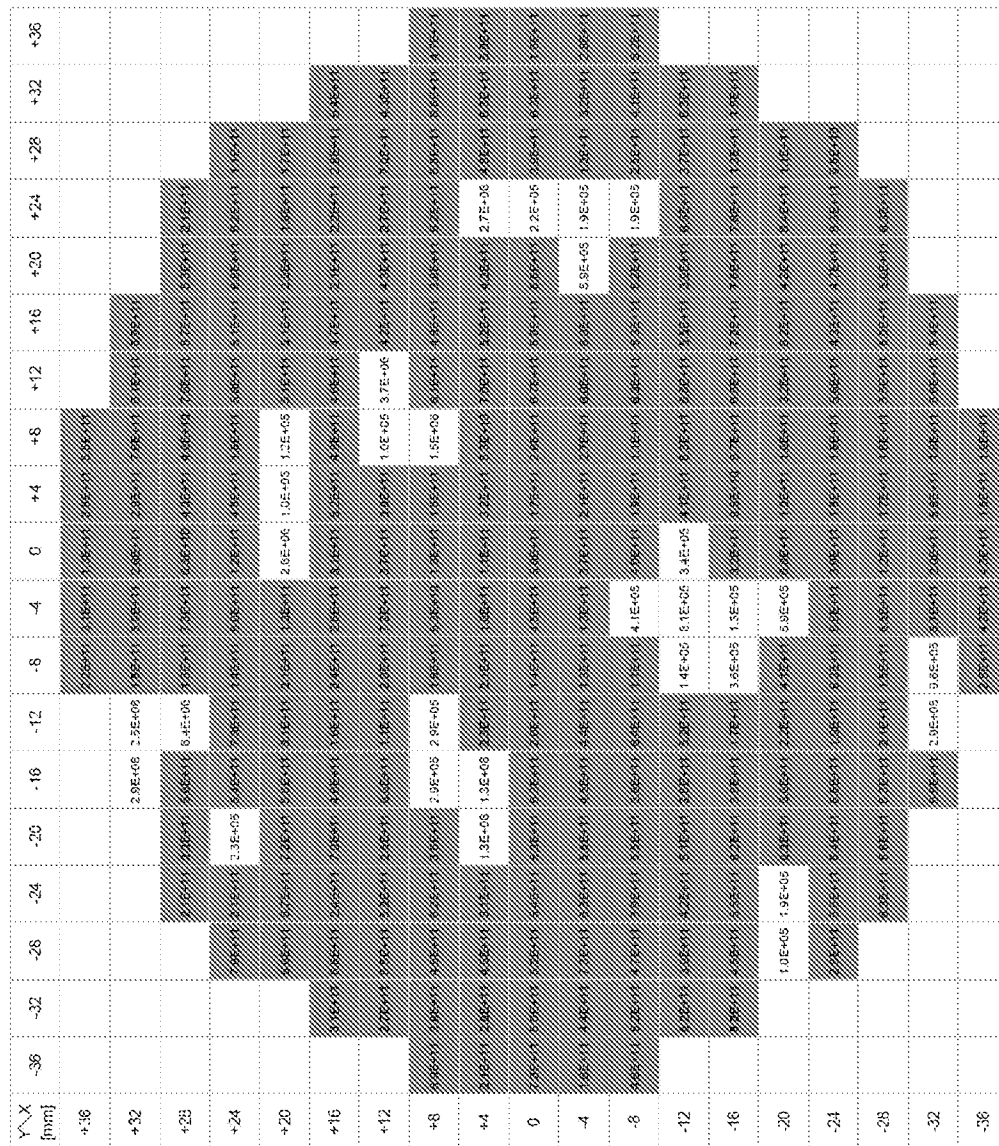
2011
X
1
A

201XIV



比抵抗[Ωcm]

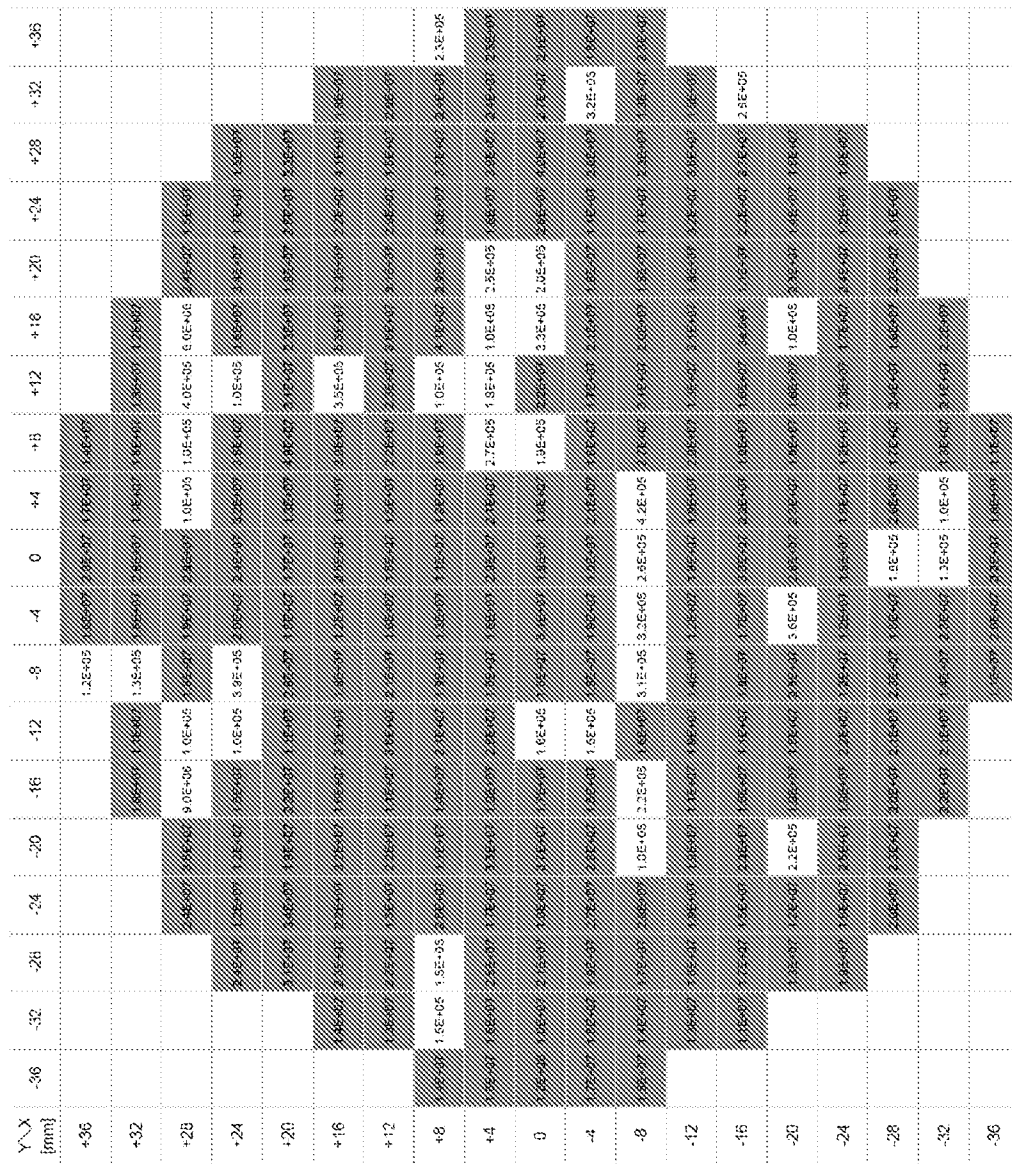
✓1X107



比抵抗[Ω_m]

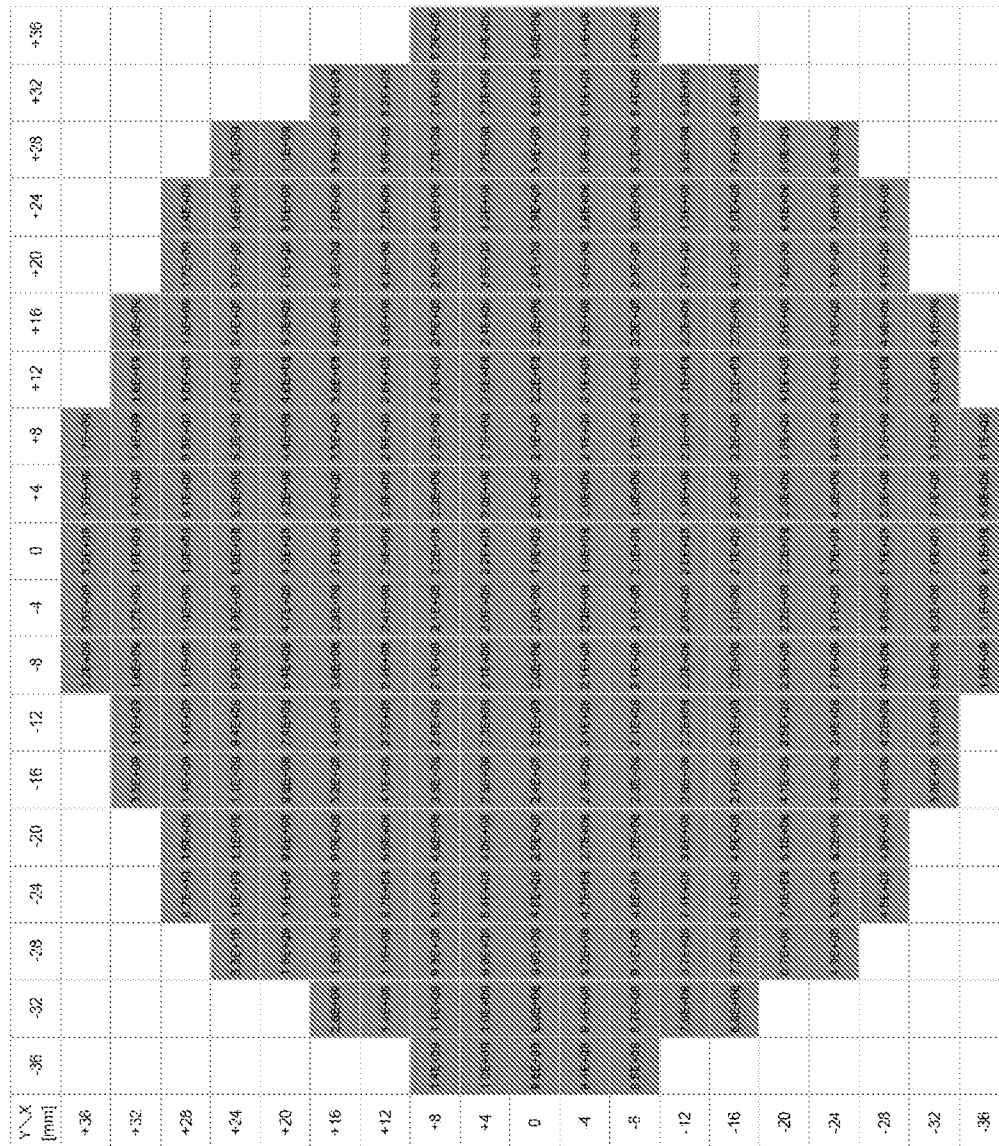
101111

2014



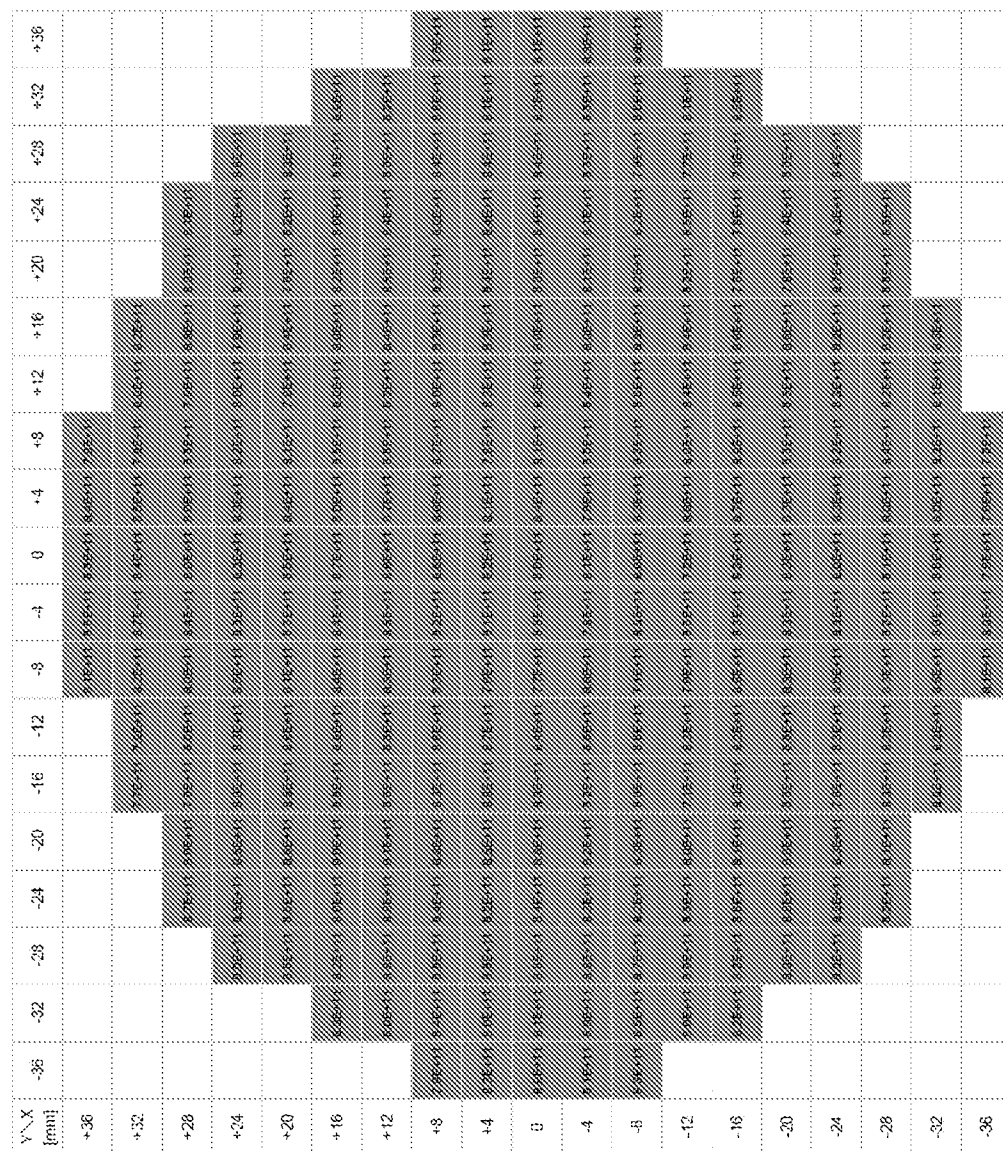
Height 12cm

1017

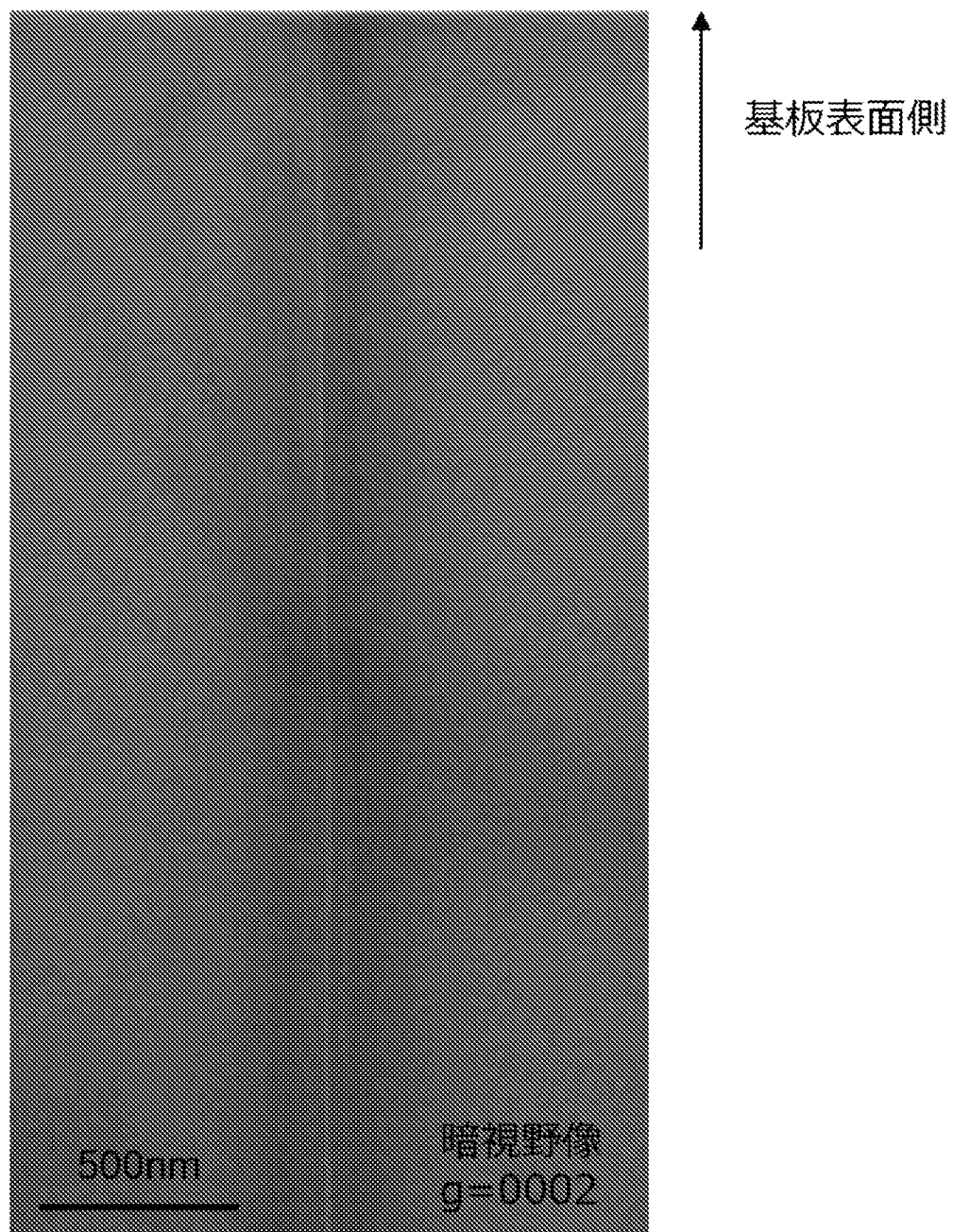


1051

2011-10-27

 $\leq 1 \times 10^7$ 

[図11]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2023/001299

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

C30B 19/02(2006.01)i; **C30B 29/38**(2006.01)i; **H01L 21/20**(2006.01)i; **H01L 21/205**(2006.01)i; **H01L 21/338**(2006.01)i;
H01L 29/778(2006.01)i; **H01L 29/812**(2006.01)i
 FI: C30B29/38 D; C30B19/02; H01L21/20; H01L29/80 H; H01L21/205

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)

C30B19/02; C30B29/38; H01L21/20; H01L21/205; H01L21/338; H01L29/778; H01L29/812

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

Published examined utility model applications of Japan 1922-1996
 Published unexamined utility model applications of Japan 1971-2023
 Registered utility model specifications of Japan 1996-2023
 Published registered utility model applications of Japan 1994-2023

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 2012-246195 A (HITACHI CABLE LTD) 13 December 2012 (2012-12-13) claims, paragraphs [0063], [0076]-[0101], examples 5, fig. 3	1-3, 5-7
Y		4, 8-9
X	JP 2011-20896 A (NGK INSULATORS LTD) 03 February 2011 (2011-02-03) claims, paragraphs [0011], [0020]-[0029], example 5	1-7
Y		8-9
Y	JP 2011-37666 A (HITACHI CABLE LTD) 24 February 2011 (2011-02-24) paragraph [0054]	4
Y	JP 2015-135946 A (LG ELECTRONICS INC) 27 July 2015 (2015-07-27) claims	8-9
Y	JP 2014-524661 A (NORTHROP GRUMMAN SYSTEMS CORPORATION) 22 September 2014 (2014-09-22) claims	8-9

☐ 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

31 March 2023

Date of mailing of the international search report

11 April 2023

Name and mailing address of the ISA/JP

Japan Patent Office (ISA/JP)
 3-4-3 Kasumigaseki, Chiyoda-ku, Tokyo 100-8915
 Japan

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/JP2023/001299

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)	Publication date (day/month/year)
JP	2012-246195	A	13 December 2012	(Family: none)	
JP	2011-20896	A	03 February 2011	(Family: none)	
JP	2011-37666	A	24 February 2011	US 2011/0108944	A1
				paragraph [0087]	
				CN 101996862	A
JP	2015-135946	A	27 July 2015	US 2015/0200257	A1
				claims	
				EP 2897173	A1
				KR 10-2015-0085724	A
JP	2014-524661	A	22 September 2014	US 2013/0026489	A1
				claims	
				WO 2013/019516	A1
				EP 2737538	A1

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC）） C30B 19/02(2006.01)i; C30B 29/38(2006.01)i; H01L 21/20(2006.01)i; H01L 21/205(2006.01)i; H01L 21/338(2006.01)i; H01L 29/778(2006.01)i; H01L 29/812(2006.01)i FI: C30B29/38 D; C30B19/02; H01L21/20; H01L29/80 H; H01L21/205		
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）） C30B19/02; C30B29/38; H01L21/20; H01L21/205; H01L21/338; H01L29/778; H01L29/812 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 1971-2023年 日本国実用新案登録公報 1996-2023年 日本国登録実用新案公報 1994-2023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 2012-246195 A（日立電線株式会社）13.12.2012（2012-12-13） 特許請求の範囲，[0063]，[0076]-[0101]実施例5，図3	1-3，5-7
Y		4，8-9
X	JP 2011-20896 A（日本碍子株式会社）03.02.2011（2011-02-03） 特許請求の範囲，[0011]，[0020]-[0029]実施例5	1-7
Y		8-9
Y	JP 2011-37666 A（日立電線株式会社）24.02.2011（2011-02-24） [0054]	4
Y	JP 2015-135946 A（エルジー エレクトロニクス インコーポレイティド）27.07.2015 （2015-07-27） 特許請求の範囲	8-9
Y	JP 2014-524661 A（ノースロップ グラマン システムズ コーポレーション） 22.09.2014（2014-09-22） 特許請求の範囲	8-9
☐ 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、一般的技术水準を示すもの “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抵触するものではなく、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 31.03.2023		国際調査報告の発送日 11.04.2023
名称及びあて先 日本国特許庁(ISA/JP) 〒100-8915 日本国 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号		権限のある職員（特許庁審査官） 西田 彩乃 4G 7877 電話番号 03-3581-1101 内線 3416

国際調査報告
 パテントファミリーに関する情報

国際出願番号

PCT/JP2023/001299

引用文献			公表日	パテントファミリー文献	公表日
JP	2012-246195	A	13.12.2012	(ファミリーなし)	
JP	2011-20896	A	03.02.2011	(ファミリーなし)	
JP	2011-37666	A	24.02.2011	US 2011/0108944	A1
				[0087]	
				CN 101996862	A
JP	2015-135946	A	27.07.2015	US 2015/0200257	A1
				Claims	
				EP 2897173	A1
				KR 10-2015-0085724	A
JP	2014-524661	A	22.09.2014	US 2013/0026489	A1
				Claims	
				WO 2013/019516	A1
				EP 2737538	A1