

(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
2016 年 9 月 1 日(01.09.2016)



(10) 国際公開番号
WO 2016/136552 A1

- (51) 国際特許分類:
C30B 29/38 (2006.01) *C30B 25/04* (2006.01)
C23C 16/34 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2016/054550
- (22) 国際出願日: 2016 年 2 月 17 日(17.02.2016)
- (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 2015-032948 2015 年 2 月 23 日(23.02.2015) JP
- (71) 出願人: 三菱化学株式会社(MITSUBISHI CHEMICAL CORPORATION) [JP/JP]; 〒1008251 東京都千代田区丸の内一丁目 1 番 1 号 Tokyo (JP).
- (72) 発明者: 磯 憲司(ISO, Kenji); 〒3001295 茨城県牛久市東端穴町 1 〇〇〇番地 三菱化学株式会社内 Ibaraki (JP). 木村 博充(KIMURA, Hiromitsu); 〒2278502 神奈川県横浜市青葉区鴨志田町 1 〇〇〇番地 株式会社三菱化学科学技術研究セン

ター内 Kanagawa (JP). 齋藤 雄也(SAITO, Yuya); 〒3001295 茨城県牛久市東端穴町 1 〇〇〇番地 三菱化学株式会社内 Ibaraki (JP). 江夏 悠貴(EN-ATSU, Yuuki); 〒3001295 茨城県牛久市東端穴町 1 〇〇〇番地 三菱化学株式会社内 Ibaraki (JP).

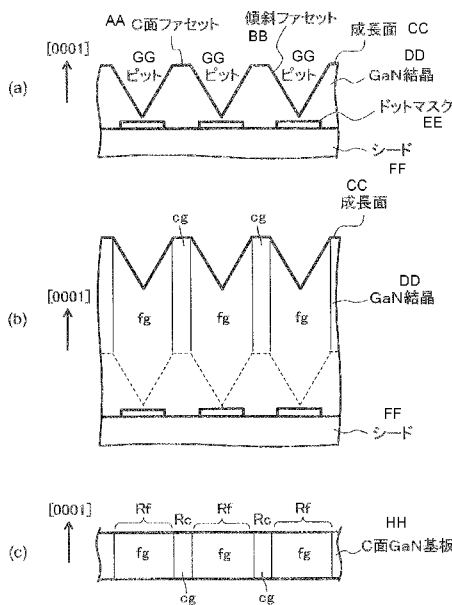
(74) 代理人: 川口 嘉之, 外(KAWAGUCHI, Yoshiyuki et al.); 〒1030004 東京都中央区東日本橋三丁目 4 番 1 〇号 アクロポリス 2 1 ビル 8 階 Tokyo (JP).

(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, JP, 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.

[続葉有]

(54) Title: C-PLANE GaN SUBSTRATE

(54) 発明の名称: C 面 G a N 基板



AA C-plane facet
BB Tilted facet
CC Growth surface
DD GaN crystal
EE Dot mask
FF Seed
GG Pit
HH C-plane GaN substrate

(57) Abstract: Provided is a C-plane GaN substrate with which constraints in shape and size imposed on nitride semiconductor devices formed on said substrate are lenient, and in which variations in off-angle within the principal surface are suppressed, even though said substrate is made of GaN crystals grown according to a method in which pits are created in the growth surface. Provided is a C-plane GaN substrate wherein: a plurality of facet growth regions each having a closed-ring shape are observed on a principal surface; the number density of facet growth regions accompanied by a core among said plurality of facet growth regions is less than 5 cm^{-2} on the principal surface; and, when a circular region having a diameter of 4 cm is selected discretionarily from an area within the principal surface located at a distance equal to or more than 5 mm away from the outer peripheral ends of the substrate, the range of variation of the a-axis direction component and the m-axis direction component of the off-angle within the circular region is equal to or less than 0.25 degrees.

(57) 要約: 成長面にピットを発生させる方法で成長された G a N 結晶から作られるものでありながら、当該基板上に形成される窒化物半導体デバイスが受ける形状および寸法上の制約が緩やかで、かつ、主表面内におけるオフ角の変動が抑制された、C 面 G a N 基板を提供する。各々が閉環形状を有する複数のファセット成長領域が主表面に観察され、該複数のファセット成長領域のうちコアを付随するファセット成長領域の数密度が該主表面上において 5 cm^{-2} 未満であり、かつ、該主表面のうち基板の外周端からの距離が 5 mm 以上の部分から、直径 4 cm の円形領域をどのように選んでも、該円形領域内におけるオフ角の a 軸方向成分および m 軸方向成分の変動幅がそれぞれ 0.25 度以下である、C 面 G a N 基板が提供される。



(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).

添付公開書類:

— 国際調査報告 (条約第 21 条(3))

明 細 書

発明の名称： C面GaN基板

技術分野

[0001] 本発明は、主としてC面GaN基板に関する。

背景技術

[0002] GaN（窒化ガリウム）はIII-V族化合物半導体の一種であり、六方晶系に属するウルツ鉱型の結晶構造を備える。

近年、GaN結晶のみで構成された単結晶基板であるGaN基板が、窒化物半導体デバイス用の基板として注目されている。

窒化物半導体は、III族窒化物系化合物半導体、窒化物系III-V族化合物半導体、GaN系半導体などとも呼ばれ、GaNを含む他、GaNのガリウムの一部または全部を他の周期表第13族元素（B、Al、In等）で置換した化合物を含む。

[0003] 特に有用なGaN基板のひとつが、C面と平行または略平行な主表面を持つC面GaN基板である。

C面GaN基板は、[0001]側の主表面であるガリウム極性面と、[000-1]側の主表面である窒素極性面とを有している。窒化物半導体デバイスの形成に使用されるのは、今のところ主にガリウム極性面である。

商業的に生産されているC面GaN基板には、HVPE（ハイドライド気相エピタキシー）法によって成長されたGaN結晶が使用されている。

HVPE法によるGaN結晶の成長では、サファイア基板、GaAs基板等の、GaNとは組成を異にする単結晶基板上に、MOVPE（有機金属気相成長）法でc軸配向GaN膜を成長させてなるGaNテンプレートが、シードとして使用される。該GaNテンプレート上で、GaN結晶はc軸方向に成長される。

[0004] GaN結晶に導電性を付与する目的で使用されるドーパントとして酸素（O）がある。GaNでは酸素の取り込みに関して強いファセット依存性がある。

り、成長面がC面ファセットで覆われる成長モードでは、Ga₂N結晶に十分な量の酸素を添加することができない。そこで、特開2002-373864（特許文献1）に記載された方法では、c軸方向に成長するGa₂Nの成長面（成長途中にあるGa₂N結晶の表面）にピットを発生させて、C面以外のファセットを露出させている。ピットは、成長条件の制御によって発生させている。

[0005] 特開2003-165799号公報（特許文献2）および特開2006-66496号公報（特許文献3）には、コア（「閉じた欠陥集合領域」）を伴う表面ピットを発生させるために、Ga₂Nテンプレートの表面に成長マスクでドットパターンを形成する方法が開示されている。

コアは、周囲の領域との間で結晶構造上の連続性を持たない領域であり、その典型例は、Ga₂N結晶の極性が局所的に反転したドメイン（反転ドメイン）である。反転ドメイン以外において、Ga₂N結晶の成長方向は[0001]方向（+c方向）であるが、反転ドメインでは[000-1]方向（-c方向）である。

反転ドメイン以外のコアとして、特許文献2には、多結晶領域が例示されている他、粒界、面欠陥、線欠陥の集合体等によって周囲の領域から仕切られた結晶領域が例示されている。

先行技術文献

特許文献

- [0006] 特許文献1：特開2002-373864号公報
特許文献2：特開2003-165799号公報
特許文献3：特開2006-66496号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

- [0007] 特許文献1（特開2002-373864）に開示された方法では、Ga₂Nの成長面に発生させるピットの位置制御が全く行われていない。従って、

この方法で製造されるGaN結晶は、不純物の濃度や分布が製造ロット間で変動し易く、それ故に、このGaN結晶から得られるC面GaN基板は、品質が不安定となることが懸念される。

また、特許文献1では、GaN基板の主表面内におけるオフ角の変動については何ら関心が向けられていない。

特許文献2（特開2003-165779）および特許文献3（特開2006-66496）に開示された方法で成長させたGaN結晶からC面GaN基板を作製した場合、二つの主表面間を貫通するコアが周期的に配列された構造となる。かかるC面GaN基板上に形成される窒化物半導体デバイスは、形状および寸法上の制約を強く受ける。なぜなら、コアは巨大な結晶欠陥であり、コアの直上にデバイス構造を形成することは好まれないからである。コアの直上に形成された窒化物半導体デバイスは、特性と信頼性の少なくとも一方（多くの場合は両方）に問題を持つ可能性が高い。

[0008] 従って、本発明の目的には、成長面にピットを発生させる方法で成長されたGaN結晶から作られるものでありながら、当該基板上に形成される窒化物半導体デバイスが受ける形状および寸法上の制約が緩やかで、かつ、主表面内におけるオフ角の変動が抑制された、C面GaN基板を提供することが含まれる。

更に、本発明の目的には、成長面にピットを発生させる方法で成長されたGaN結晶から作られるものでありながら、品質が安定しており、かつ、当該基板上に形成される窒化物半導体デバイスが受ける形状および寸法上の制約が緩やかな、C面GaN基板を提供することが含まれる。

課題を解決するための手段

[0009] 本発明の実施形態には、以下に記載するC面GaN基板、窒化物半導体デバイスの製造方法、および、エピタキシャルウエハが含まれる。

[a1] 各々が閉環形状を有する複数のファセット成長領域が主表面に観察され、該複数のファセット成長領域のうちコアを付随するファセット成長領域の数密度が該主表面上において 5 cm^{-2} 未満であり、かつ、該主表面のうち

基板の外周端からの距離が5 mm以上の部分から、直径4 cmの円形領域をどのように選んでも、該円形領域内におけるオフ角のa軸方向成分およびm軸方向成分の変動幅がそれぞれ0.25度以下である、C面Ga_{0.95}N基板。

[a 2] 直径が95～105 mmであって、各々が閉環形状を有する複数のファセット成長領域が主表面に観察され、該複数のファセット成長領域のうちコアを付随するファセット成長領域の数密度が該主表面上において5 cm⁻²未満であり、かつ、前記主表面のうち基板の外周端からの距離が5 mm以上の部分におけるオフ角のa軸方向成分およびm軸方向成分の変動幅が、それぞれ0.5度以下である、C面Ga_{0.95}N基板。

[a 3] 前記複数のファセット成長領域のうち反転ドメインを付随するファセット成長領域の数密度が前記主表面上において0 cm⁻²である、[a 1] または[a 2]に記載のC面Ga_{0.95}N基板。

[a 4] 前記主表面に存在する全てのファセット成長領域の面積の総和が、前記主表面の面積の70%以上である、[a 1]～[a 3]のいずれかに記載のC面Ga_{0.95}N基板。

[a 5] 前記複数のファセット成長領域の少なくとも一部は規則的に配置されている、[a 1]～[a 4]のいずれかに記載のC面Ga_{0.95}N基板。

[a 6] 前記複数のファセット成長領域のうち、規則的に配置されたファセット成長領域の配置が正方格子配置である、[a 5]に記載のC面Ga_{0.95}N基板。

[a 7] 前記複数のファセット成長領域のうち、規則的に配置されたファセット成長領域の配置が三角格子位置である、[a 5]に記載のC面Ga_{0.95}N基板。

[a 8] 表面にドットマスクが配置されたシードを用いて成長されたGa_{0.95}N結晶を含む、[a 1]～[a 7]のいずれかに記載のC面Ga_{0.95}N基板。

[a 9] 前記ファセット成長領域の少なくとも一部において酸素濃度が5×10¹⁷ cm⁻³以上である、[a 1]～[a 8]のいずれかに記載のC面Ga_{0.95}N基板。

[a 1 0] ケイ素およびゲルマニウムのいずれか一方または両方が添加されている、[a 1] ~ [a 9] のいずれかに記載のC面Ga N基板。

[a 1 1] 電気抵抗率が $0.1 \Omega \text{ cm}$ 以下である、[a 1] ~ [a 1 0] のいずれかに記載のC面Ga N基板。

[a 1 2] [a 1] ~ [a 1 1] のいずれかに記載のC面Ga N基板を準備するステップと、該準備したC面Ga N基板上に少なくともひとつの窒化物半導体層をエピタキシャル成長させるステップとを含む、窒化物半導体デバイスの製造方法。

[a 1 3] 前記[a 1] ~ [a 1 1] のいずれかに記載のC面Ga N基板と、該C面Ga N基板上に配置された少なくともひとつの窒化物半導体層と、を有するエピタキシャルウエハ。

[0010] [b 1] 各々が閉環形状を有する複数のファセット成長領域が主表面に観察され、該複数のファセット成長領域のうちコアを付随するファセット成長領域の数密度が該主表面上において 5 cm^{-2} 未満であり、かつ、該複数のファセット成長領域の少なくとも一部は規則的に配置されている、C面Ga N基板。

[b 2] 前記複数のファセット成長領域のうち反転ドメインを付随するファセット成長領域の数密度が前記主表面上において 0 cm^{-2} である、[b 1] に記載のC面Ga N基板。

[b 3] 前記複数のファセット成長領域のうち、規則的に配置されたファセット成長領域の配置が正方格子配置である、[b 1] または[b 2] に記載のC面Ga N基板。

[b 4] 前記複数のファセット成長領域のうち、規則的に配置されたファセット成長領域の配置が三角格子位置である、[b 1] または[b 2] に記載のC面Ga N基板。

[b 5] 前記主表面に存在する全てのファセット成長領域の面積の総和が、前記主表面の面積の70%以上である、[b 1] ~ [b 4] のいずれかに記載のC面Ga N基板。

[b 6] 表面にドットマスクが配置されたシードを用いて成長された GaN 結晶を含む、[b 1] ~ [b 5] のいずれかに記載の C 面 GaN 基板。

[b 7] 前記ファセット成長領域の少なくとも一部において酸素濃度が $5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 以上である、[b 1] ~ [b 6] のいずれかに記載の C 面 GaN 基板。

[b 8] ケイ素およびゲルマニウムのいずれか一方または両方が添加されている、[b 1] ~ [b 7] のいずれかに記載の C 面 GaN 基板。

[b 9] 電気抵抗率が $0.1 \Omega \text{ cm}$ 以下である、[b 1] ~ [b 8] のいずれかに記載の C 面 GaN 基板。

[b 10] [b 1] ~ [b 9] のいずれかに記載の C 面 GaN 基板を準備するステップと、該準備した C 面 GaN 基板上に少なくともひとつの窒化物半導体層をエピタキシャル成長させるステップとを含む、窒化物半導体デバイスの製造方法。

[b 11] 前記 [b 1] ~ [b 10] のいずれかに記載の C 面 GaN 基板と、該 C 面 GaN 基板上に配置された少なくともひとつの窒化物半導体層と、を有するエピタキシャルウエハ。

[0011] [c 1] 表面にドットマスクが配置されたシードを用いて成長された GaN 結晶を含み、各々が閉環形状を有する複数のファセット成長領域が主表面に観察され、該複数のファセット成長領域のうちコアを付随するファセット成長領域の数密度が該主表面上において 5 cm^{-2} 未満である、C 面 GaN 基板。

[c 2] 前記複数のファセット成長領域のうち反転ドメインを付随するファセット成長領域の数密度が前記主表面上において 0 cm^{-2} である、[c 1] に記載の C 面 GaN 基板。

[c 3] 表面にドットマスクが規則的に配置されたシードを用いて成長された GaN 結晶を含む、[c 1] または [c 2] に記載の C 面 GaN 基板。

[c 4] 表面にドットマスクが正方格子配置されたシードを用いて成長された GaN 結晶を含む、[c 1] または [c 2] に記載の C 面 GaN 基板。

[c 5] 表面にドットマスクが三角格子配置されたシードを用いて成長され

たGaN結晶を含む、[c 1]または[c 2]に記載のC面Ga N基板。

[c 6] 前記主表面に存在する全てのファセット成長領域の面積の総和が、前記主表面の面積の70%以上である、[c 1]～[c 5]のいずれかに記載のC面Ga N基板。

[c 7] 前記主表面のうち基板の外周端からの距離が5 mm以上の部分から、直径4 cmの円形領域をどのように選んでも、該円形領域内におけるオフ角のa軸方向成分およびm軸方向成分の変動幅がそれぞれ0.3度以下である、[c 1]～[c 6]のいずれかに記載のC面Ga N基板。

[c 8] 直径が95～105 mmであって、前記主表面のうち基板の外周端からの距離が5 mm以上の部分におけるオフ角のa軸方向成分およびm軸方向成分の変動幅が、それぞれ0.6度以下である、[c 1]～[c 6]のいずれかに記載のC面Ga N基板。

[c 9] 前記ファセット成長領域の少なくとも一部において酸素濃度が $5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 以上である、[c 1]～[c 8]のいずれかに記載のC面Ga N基板。

[c 10] ケイ素およびゲルマニウムのいずれか一方または両方が添加されている、[c 1]～[c 9]のいずれかに記載のC面Ga N基板。

[c 11] 電気抵抗率が $0.1 \Omega \text{ cm}$ 以下である、[c a 1]～[c 10]のいずれかに記載のC面Ga N基板。

[c 12] [c 1]～[c 11]のいずれかに記載のC面Ga N基板を準備するステップと、該準備したC面Ga N基板上に少なくともひとつの窒化物半導体層をエピタキシャル成長させるステップとを含む、窒化物半導体デバイスの製造方法。

[c 13] 前記[c 1]～[c 11]のいずれかに記載のC面Ga N基板と、該C面Ga N基板上に配置された少なくともひとつの窒化物半導体層と、を有するエピタキシャルウエハ。

発明の効果

[0012] 本発明の一実施形態に係るC面Ga N基板は、成長面にピットを発生させ

る方法で成長されたGaN結晶から作られるものでありながら、当該基板上に形成される窒化物半導体デバイスが受ける形状および寸法上の制約が緩やかで、かつ、主表面内におけるオフ角の変動が抑制されている。

更に、本発明の他の一実施形態に係るC面GaN基板は、成長面にピットを発生させる方法で成長されたGaN結晶から作られるものでありながら、品質が安定しており、かつ、当該基板上に形成される窒化物半導体デバイスが受ける形状および寸法上の制約が緩やかである。

図面の簡単な説明

[0013] [図1]図1は、本発明のC面GaN基板の一例を表す図面であり、図1(a)は斜視図、図1(b)は側面図である。

[図2]図2は、ファセット成長領域がどのようにして形成されるかを説明する図面である。

[図3]図3は、ドットマスクの配置例を示す図面であり、図3(a)は正方格子配置を、図3(b)は三角格子配置を、それぞれ表す。

[図4]図4は、格子パターンの例を示す図面であり、図4(a)は正方格子を、図4(b)は三角格子を、それぞれ表す。

[図5]図5は、C面GaN基板のオフ角 θ と、そのa軸方向成分 θ_a およびm軸方向成分 θ_m との関係を説明する図面である。

[図6]図6は、寸法の異なるドットマスクの混在の態様を例示する図面である。

[図7]図7は、ネットパターンの例を示す図面である。

[図8]図8は、ドットパターンの例を示す図面である。

[図9]図9は、複雑なパターンの例を示す図面である。

[図10]図10は、あるタイプのコアのカソードルミネッセンス像である（図面代用写真）。

[図11]図11(a)および(b)は、それぞれ、C面GaN基板のガリウム極性面の光学像である（図面代用写真）。

[図12]図12は、C面GaN基板のガリウム極性面の光学像である（図面代

用写真)。

[図13]図13(a)および(b)は、それぞれ、C面Ga_{0.99}N基板のガリウム極性面の光学像である(図面代用写真)。

[図14]図14は、コアが原因でC面Ga_{0.99}N基板のガリウム極性面に発生した窪みのSEM像である(図面代用写真)。

[図15]図15は、反転ドメインを有するC面Ga_{0.99}N基板のガリウム極性面の光学像である(図面代用写真)。

発明を実施するための形態

[0014] Ga_{0.99}N結晶では、 $[0001]$ に平行な結晶軸がc軸、 $\langle 10\bar{1}0 \rangle$ に平行な結晶軸がm軸、 $\langle 11\bar{2}0 \rangle$ に平行な結晶軸がa軸と呼ばれる。また、c軸に直交する結晶面がC面、m軸に直交する結晶面がM面、a軸に直交する結晶面がA面と呼ばれる。

以下において、結晶軸、結晶面、結晶方位等に言及する場合には、特に断らない限り、Ga_{0.99}N結晶の結晶軸、結晶面、結晶方位等を意味するものとする。

[0015] 以下では、具体的な実施形態に即して本発明を詳細に説明する。

1. C面Ga_{0.99}N基板

本発明のC面Ga_{0.99}N基板は、典型的には図1に示すように、円盤の形状を有する。図1(a)は斜視図であり、図1(b)は側面図である。

図1を参照すると、C面Ga_{0.99}N基板10は、 $[0001]$ 側の主表面であるガリウム極性面11と、 $[000\bar{1}]$ 側の主表面である窒素極性面12と、側面13とを有している。ガリウム極性面11上に描かれた破線は、基板の外周端からの距離が5mm未満の部分と5mm以上の部分との境界を表している。

C面Ga_{0.99}N基板10の直径は45mm以上であり、50mm以上であってもよく、通常は305mm以下である。典型的な直径は、45～55mm(約2インチ)、95～105mm(約4インチ)、145～155mm(約6インチ)、195～205mm(約8インチ)等である。

[0016] C面GaN基板には、ハンドリングに不都合が生じない程度の強度が求められるので、その厚さは好ましくは $250\mu\text{m}$ 以上、より好ましくは $300\mu\text{m}$ 以上である。直径に応じて、更に厚くすることもできる。

ガリウム極性面11と側面13との境界を滑らかにするための面取りは、必要に応じて適宜行うことができる。窒素極性面12と側面13との境界についても同じである。

C面GaN基板10には、更に、結晶の方位を表示するオリエンテーション・フラットを設けることができる他、ガリウム極性面11と窒素極性面12の識別を容易にするためにインデックス・フラット等のマーキングを設けることができる。

[0017] C面GaN基板10の主表面は、GaN結晶のC面と平行であってもよいが、好ましくは、C面から僅かに傾斜させた方がよい。この傾斜の角度をオフ角という。

ガリウム極性面を(0001)面から傾斜させる場合の、好ましい傾斜方向は、 $\langle 10-10 \rangle$ 方向を中心とする ± 5 度の範囲内の方向、または、 $\langle 11-20 \rangle$ 方向を中心とする ± 5 度の範囲内の方向である。オフ角の絶対値は、通常 0.1 度以上、好ましくは 0.2 度以上であり、また、通常 10 度以下、好ましくは 2 度以下、より好ましくは 1 度以下である。

GaN基板10のオフ角は、X線回折法により測定することができる。

[0018] 本発明のC面GaN基板は、各々が閉環形状を有する複数のファセット成長領域を主表面に有する。

ファセット成長領域の定義と、ファセット成長領域がどのようにして形成されるのかについて、図2を参照して説明する。

本発明のC面GaN基板を構成するGaN結晶は、シード上でGaNをc軸方向に成長させることにより製造される。シードの表面にはドットマスクが設けられ、その作用によって、成長の最初期段階に、図2(a)に示すように、GaN結晶の成長面(成長途中にあるGaN結晶の表面)にピットが発生する。

ピットの内部には、C面ファセット以外のファセットである、傾斜ファセットが露出する。傾斜ファセットは、C面に対し傾斜している。傾斜ファセットは、限定されるものではないが、例えば、 $\{11-22\}$ ファセットや $\{11-21\}$ ファセットのような $\{nn-2nk\}$ ファセットや、 $\{10-11\}$ ファセットや $\{10-12\}$ ファセットのような $\{n0-nk\}$ ファセットである（ここで、 n 、 k は整数である）。

ピット以外の部分に露出するファセットは、C面ファセットである。

[0019] 成長面にピットが存在する状態を保ちながら成長させると、図2（b）に示すように、ファセット成長部 $f g$ とC面成長部 $c g$ を含むGaN結晶が形成される。ファセット成長部 $f g$ は、傾斜ファセット上での成長によって形成された部分であり、C面成長部 $c g$ は、C面ファセット上での成長により形成された部分である。

注記すると、実際にGaN結晶が成長するときには、ピットの寸法は図2（b）に示すように一定ではなく、変化し得る。恐らくは局所的な環境の違いによって、あるピットはGaN結晶の成長とともに大きくなり、また、あるピットは小さくなるということが起こる。

[0020] ファセット成長部 $f g$ とC面成長部 $c g$ を含むGaN結晶を加工すると、図2（c）に示すように、主表面にファセット成長領域 $R f$ とC面成長領域 $R c$ を有するC面基板が得られる。ファセット成長領域 $R f$ はファセット成長部 $f g$ が露出した領域であり、C面成長領域 $R c$ はC面成長部 $c g$ が露出した領域である。ファセット成長部 $f g$ とC面成長部 $c g$ は、ガリウム極性面にも窒素極性面にも露出する。

以上に説明した形成メカニズムから理解されるように、ファセット成長領域の輪郭は、GaN結晶の成長面に形成されるピットの形状を反映して、閉環形状となる。ファセット成長領域 $R f$ は、円または正多角形に近い輪郭形状を持つものが多いが、結晶成長中にピット同士の合体等が起こった部分等では、歪んだ形状となることもある。

[0021] 本発明のC面GaN基板の主表面に観察される複数のファセット成長領域

の殆どは、コアを付随しないファセット成長領域である。コアを付随するファセット成長領域は、存在しないことが最も好ましく、存在するとしても、その数密度は通常 5 cm^{-2} 未満であり、好ましくは 4 cm^{-2} 未満、更には 2 cm^{-2} 未満、更には 1 cm^{-2} 未満、更には 0.5 cm^{-2} 未満である。特に好ましいのは、反転ドメインを付随するファセット成長領域が存在しないこと、すなわち、かかるファセット成長領域の数密度が 0 cm^{-2} であることである。

コアとは、前述の特許文献2および特許文献3で開示されたC面GaN基板が備える特徴的な構造であり、周囲の領域との間で結晶構造上の連続性を持たない領域である。コアには反転ドメインと多結晶領域が含まれる他、欠陥または欠陥の集合体によって周囲の領域から仕切られた結晶領域が含まれる。コアは、後述するように、カソードルミネッセンス像などで確認することができる。反転ドメインや多結晶領域の場合は、エッチングされたときに周囲と異なる形状を呈することを利用して検出することも可能である。

このように、本発明のC面GaN基板では、コアを付随するファセット成長領域が皆無であるか、あるいは、存在するとしても僅かであることから、その上に形成される窒化物半導体デバイスが形状および寸法に関して受ける制約を小さくすることができる。

[0022] 本発明のC面GaN基板では、主表面に観察される複数のファセット成長領域の少なくとも一部が、規則的に配置されていてもよい。この構造は、基板を構成するGaN結晶を成長させる際に用いられる、表面ピットの発生方法と関係している。

前述の通り、本発明のC面GaN基板を構成するGaN結晶は、表面にドットマスクが設けられたシード上に成長される。表面ピットは、各ドットマスクの上部にひとつずつ発生する。従って、ドットマスクを規則的に並べた場合には、ドットマスクと同様に規則的に並んだピットが、GaNの成長面に発生する。

ドットマスクのピッチが比較的大きく、例えば $500 \mu\text{m}$ 以上のとき、このピットの配置が、GaN結晶中に形成されるファセット成長部の配置に反

映され、更には、C面Ga_{0.9}N基板の主表面におけるファセット成長領域の配置に反映される。

[0023] このように、本発明のC面Ga_{0.9}N基板において、その主表面に観察され得るファセット成長領域の規則的な配置は、基板を構成するGa_{0.9}N結晶を成長させる際に、表面にドットマスクが規則的に配置されたシードが用いられたことの名残なのである。

従って、ドットマスクが正方格子配置されたシードを用いて成長されたGa_{0.9}N結晶を含むC面Ga_{0.9}N基板の主表面には、ファセット成長領域が正方格子配置された部分が観察され得るし、また、ドットマスクが三角格子配置されたシードを用いて成長されたGa_{0.9}N結晶を含むC面Ga_{0.9}N基板の主表面には、ファセット成長領域が三角格子配置された部分が観察され得る。

[0024] ここで、正方格子配置とは図3（a）に示す配置であり、ドットは正方格子の格子位置に配置される。正方格子とは、図4（a）に示すように、同じ大きさの正方形が組み合わされた格子パターンである。格子位置とは、格子パターンを構成する直線が交差する位置のことである。

三角格子配置とは図3（b）に示す配置であり、ドットは三角格子の格子位置に配置される。三角格子とは、図4（b）に示すように、同じ大きさの正三角形が組み合わされた格子パターンである。

ドットマスクの作用でピットが発生するのは、結晶成長の最初期段階であり、発生したピットの一部には、その後の結晶成長の過程で消失するものもあれば、隣のピットと合体して大型化するものもある。そのため、本発明のC面Ga_{0.9}N基板の主表面においては、一部のファセット成長領域のみが規則的に配置されていることが多い。

[0025] C面Ga_{0.9}N基板の主表面におけるファセット成長領域の形状と配置は、例えば、蛍光顕微鏡を用いて調べることができる。蛍光顕微鏡で可視光観察を行った場合、ファセット成長領域は暗く見え、C面成長領域は明るく見える。

顕微ラマン分光測定に基づいて得られるキャリア濃度マッピング像からも

、ファセット成長領域の配置を知ることができる。ファセット成長領域内では、中央部から外周部に向かってキャリア濃度が高くなる傾向があるので、キャリア濃度マッピング像上では、複数のファセット成長領域が互いに接している部分における、各ファセット成長領域の輪郭を観察することができる。

ファセット成長領域とC面成長領域ではエッチングレートが僅かに異なるので、主表面の仕上げ工程にCMPまたはエッチングが含まれるとき、ファセット成長領域とC面成長領域の間にナノスケールの段差が生じる場合がある。かかる段差が生じたC面GaN基板では、平面の微細な凹凸を検知し得る半導体ウエハ用の表面検査装置を用いて得られる光学像から、ファセット成長領域の配置を調べることができる。この目的に使用可能な半導体ウエハ用の表面検査装置の一例は、ソフトウェアクス（株）より入手できる「スーパーマクロSM75」である。

[0026] 本発明のC面GaN基板において、主表面に存在する全てのファセット成長領域の面積の総和は、好ましくは、該主表面の面積の70%以上である。該比率は、より好ましくは80%以上であり、更には90%以上である。

主表面に存在する全てのファセット領域の中には、前述のドットマスクの作用で発生したピットに由来したものが含まれるだけでなく、該ドットマスクの作用によらずに、自発的に発生したピットに由来するものも含まれる。

本発明のC面GaN基板において、ファセット成長領域における酸素濃度は、 $5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 以上、更には $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 以上とすることが可能である。一方、C面成長領域の酸素濃度を 10^{17} cm^{-3} 台まで高くすることは困難である。

ここでいう酸素濃度は、表面から約 $1 \mu\text{m}$ の深さで測定される酸素濃度を意味している。かかる酸素濃度は、ダイナミックSIMS (Secondary Ion Mass Spectroscopy) によって測定することができる。

[0027] 本発明の面GaN基板には、C面成長領域におけるキャリア濃度不足を補

うために、ケイ素（Si）、ゲルマニウム（Ge）等のn型不純物を添加してもよい。例えばケイ素は、C面成長領域における濃度が $1.0 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 台に達し得る。

本発明のC面GaN基板の電気抵抗率は、通常 $0.1 \Omega \text{ cm}$ 以下であり、好ましくは $0.05 \Omega \text{ cm}$ 以下、より好ましくは $0.02 \Omega \text{ cm}$ 以下である。電気抵抗率が $0.001 \Omega \text{ cm}$ 未満となる程のドーピングは、GaN結晶の結晶性や熱伝導率を低下させる可能性がある。

[0028] C面GaN基板のオフ角は、a軸方向成分とm軸方向成分に分解することができる。このことは、オフ角を、c軸を基準としたときの主表面の法線ベクトルの傾斜角として表すと理解し易い。

図5を参照して説明すると、オフ角 θ を有するC面GaN基板において、主表面の法線ベクトルNを、M面平行成分 $N_{//M}$ とA面平行成分 $N_{//A}$ に分解することができる。M面平行成分 $N_{//M}$ は、M面上における法線ベクトルNの正射影であり、A面平行成分 $N_{//A}$ は、A面上における法線ベクトルNの正射影である。

法線ベクトルNをこのように分解したときの、M面平行成分 $N_{//M}$ のc軸に対する傾斜が、オフ角 θ のa軸方向成分 θ_a であり、また、A面平行成分 $N_{//A}$ のc軸に対する傾斜が、オフ角 θ のm軸方向成分 θ_m である。

[0029] GaN基板においては、主表面内におけるオフ角の変動が小さいことが重要である。主表面上にエピタキシャル成長する窒化物半導体膜の品質に対し、GaN基板のオフ角は極めて大きな影響を与えるからである。

従って、本発明のC面GaN基板では、主表面のうち基板の外周端からの距離が5 mm以上の部分から、直径4 cmの円形領域をどのように選んでも、該円形領域内におけるオフ角の変動幅が、a軸方向成分およびm軸方向成分のいずれについても 0.25° 以下、更には 0.2° 以下、更には 0.1° 以下であることが好ましい。

本発明のC面GaN基板の直径が95～105 mm（約4インチ）である場合には、主表面のうち基板の外周端からの距離が5 mm以上の領域にお

るオフ角の変動幅が、 a 軸方向成分および m 軸方向成分のいずれについても 0.5 度以下、更には 0.4 度以下、更には 0.2 度以下であることが好ましい。

ここでいう、オフ角の a 軸方向成分の変動幅とは、該 a 軸方向成分の中央値を θ_a 、最大値を $\theta_a + \Delta\theta_a$ 、最小値を $\theta_a - \Delta\theta_a$ としたときの、 $2\Delta\theta_a$ を意味する。同様に、オフ角の m 軸方向成分の変動幅とは、該 m 軸方向成分の中央値を θ_m 、最大値を $\theta_m + \Delta\theta_m$ 、最小値を $\theta_m - \Delta\theta_m$ としたときの、 $2\Delta\theta_m$ を意味する。 θ_a および θ_m は、それぞれ 0° であってもよい。

[0030] 2. C面Ga₂N基板の製造方法

本発明のC面Ga₂N基板の製造に好適に用い得る、C面Ga₂N基板の製造方法を以下に説明する。

2. 1. シードの準備

C面サファイア基板上にMOVPE法で c 軸配向Ga₂N膜を成長させてなる、Ga₂Nテンプレートを用意する。Ga₂Nテンプレートの寸法（直径）は、製造しようとするC面Ga₂N基板の寸法に応じて適宜選択すればよい。

次いで、Ga₂Nテンプレートの主表面（Ga₂N膜表面）に選択成長マスクを形成する。選択成長マスクの材料は、Ga₂N結晶の成長開始を阻害し得るものであればよく、例えば、金属の酸化物、窒化物または酸窒化物である。好適例は酸化ケイ素、窒化ケイ素および酸窒化ケイ素である。

選択成長マスクは、上記材料からなる厚さ $50 \sim 150 \text{ nm}$ の薄膜を、プラズマCVD、真空蒸着、スパッタリング等の方法で形成した後、該薄膜をフォトリソグラフィおよびエッチングの技法を用いてパターンニングすることにより形成する。

[0031] 選択成長マスクは、ドットマスクを含むパターンに形成する。

ドットマスクは、その最大幅が $10 \mu\text{m}$ あれば、その作用によって、シード上に成長するGa₂N結晶の表面にピットを発生させることができる。ドットマスクの最大幅は $15 \mu\text{m}$ 以上、更には $30 \mu\text{m}$ 以上、更には $50 \mu\text{m}$ 以上とすることができる。

ここでいうドットマスクの最大幅とは、幅が最大となる方向の幅のことである。例えば、円の幅は方向によらず一定なので、円の最大幅はその直径に等しい。辺の数が偶数の正多角形の最大幅は、その外接円の直径と等しい。

ドットマスクの形状は、例えば、円形または正多角形であるが、限定されるものではない。ドットマスクの形状が、その上方に発生する表面ピットの形状に与える影響は確認されていない。しかし、異常成長の発生を防ぐうえでは、円形または円形に近い形状（例えば、正六角形、正八角形、正十二角形等）が好ましい。

ドットマスクの最大幅は、通常 $200\ \mu\text{m}$ 以下、好ましくは $150\ \mu\text{m}$ 以下、更に好ましくは $100\ \mu\text{m}$ 以下である。ドットマスクが大き過ぎる場合、GaN結晶の異常成長の原因となる。

[0032] 選択成長マスクに含まれるドットマスクの配置は、好ましくは、図3（a）に示す正方格子配置や図3（b）に示す三角格子配置であるが、限定されるものではない。

ドットマスクの寸法が均一であることは必須ではなく、例えば図6に示すように、寸法の異なるドットマスクを混在させてもよい。図6（a）では、大小2種類のドットマスクが、正方格子の格子位置に1個おきに配置されている。図6（b）は、三角格子配置されたドットマスクの中に、大きなドットマスクと小さなドットマスクがあるパターンの一例である。

[0033] 選択成長マスクに占めるドットマスクの面積比が高く、例えば10%を超える場合、シード上に成長させるGaNに結晶多形（polytype）と呼ばれる異常が生じ易い。従って、マスクパターンを設計する際には、ドットマスクの寸法を上記の好ましい範囲内としつつ、該面積比が5%以下、更には2%以下、更には1%以下となるように、ドットの数密度を調整することが望ましい。

例えば、直径 $100\ \mu\text{m}$ の円形ドットマスクを正方格子配置する場合、ドットマスク1個の面積が $7.85 \times 10^{-5}\ \text{cm}^2$ であるから、その数密度（＝格子位置の密度）を $250\ \text{cm}^{-2}$ とすれば、ドットマスクの面積比は約2%とな

る。ドットマスクの数密度を 250 cm^{-2} とするには、正方格子における最近接格子位置間の間隔、つまり、単位格子である正方形の一辺の長さを、 $632\text{ }\mu\text{m}$ とすればよい。

[0034] 本発明者等が見出しているところによれば、選択成長マスクを前述のドットマスクのみで構成した場合、シード上に成長するGaN結晶中の転位密度（螺旋転位、刃状転位、混合転位）が高くなる傾向、ならびに、成長したGaN結晶を加工して得られるC面GaN基板において、主表面内でのオフ角の変動幅が大きくなる傾向がある。それだけではなく、選択成長マスクが前述のドットマスクのみであると、成長したGaN結晶がシードに強く固着するため、割れや欠けを発生させることなくシードから分離させることが難しくなる。

そこで、選択成長マスクは、前述のドットマスクが形成するパターンである第1パターンと、第1パターンより微細なパターンである第2パターンとを重ね合せた、混成パターンとすることが推奨される。別の言い方をすれば、第1パターンの余白部分（ドットマスクが無い部分）に、第2パターンを設けるということである。

[0035] 第2パターンの一例は、ネットパターンである。ネットパターンの具体例を図7に示す。

図7（a）は三角格子ネット、図7（b）は菱形格子ネット、図7（c）は六角格子ネットを、それぞれ示す。図7（d）のネットパターンでは、開口部が円形である。図7（e）のネットパターンは、内角が全て 120° であるが正六角形ではない、六角形の開口部を有している。

第2パターンの他の一例は、ドットパターンである。ドットパターンの具体例を図8に示す。図8（a）～（c）におけるドットの配置はいずれも三角格子配置であるが、ドットの形状が異なっており、図8（a）では正六角形ではない六角形、図8（b）では正六角形、図8（c）では正三角形である。図8（c）では、ドットの各々が、隣接するドットと点接触している。

ドットパターンは、図8に示すものの他、ドットの配置が六角格子配置で

あるパターン、ドットの形状が円形、十二角形等であるパターン等、であってもよい。ドットの配置と形状の組合せに限定はない。

更に、第2パターンは、図9に示すような複雑なパターンであってもよい。

[0036] 第2パターンは、第1パターンよりも微細なパターンである。

第2パターンの周期は、第1パターンの周期の好ましくは10分の1以下、更には15分の1以下である。

更に、第1パターンの周期とは関係なく、第2パターンの周期は30 μm 以下、更には20 μm 以下であることが好ましい。

第2パターンを構成するラインまたはドットの幅は、第1パターンを構成するドットマスクの幅の3分の1以下、更には5分の1以下、更には10分の1以下とすることができる。

第1パターンを構成するドットマスクの幅がいかなる値であろうと、第2パターンを構成するラインまたはドットの幅は、5 μm 以下、更には3 μm 以下であることが好ましい。

一方で、第2パターンを構成するラインまたはドットの幅は、通常0.5 μm 以上、好ましくは1 μm 以上である。この幅が小さ過ぎる場合、フォトリソグラフィ工程のコストが高くなる他、第2パターンに欠陥が生じる確率が高くなる。第2パターンに発生した欠陥は、Ga₂N結晶の異常成長の原因となる。

[0037] 第2パターンの設計にあたっては、その周期と、パターンを構成するラインまたはドットの幅を、上記の好ましい範囲内とするとともに、開口率（第2パターンに占める開口部の面積比）を50%以下、更には40%以下とすることが好ましい。第2パターンの開口率の下限は20%であり、それよりも低くすると、シード上にGa₂N結晶を成長させたときに、結晶多形と呼ばれる異常成長が発生し易い。

第2パターンの開口率を、上記の好ましい範囲内とすることにより、成長させたGa₂N結晶がシードに強く固着する問題が軽減される。

[0038] 2. 2. GaN結晶の成長

上記2. 1. で準備した、主表面に選択成長マスクを配置したGaNテンプレートを生シードに用いて、HVPE法でGaN結晶をc軸方向に成長させる。

HVPE装置としては、ホットウォール型石英リアクターを備えるものを好ましく使用できる。リアクター内に設置したGaボートにHCl（塩酸）ガスを供給し、HClと金属Gaを反応させてGaClガスを生させる。このGaClガスと、別途配管を通してリアクター内に供給されるNH₃（アンモニア）ガスとを反応させ、生するGaNをリアクター内の別の場所に設置したシード上にエピタキシャル成長させる。

[0039] 成長開始時を含む成長初期段階の成長温度は、好ましくは980℃以上とする。より好ましくは985℃以上である。成長温度が低いと反転ドメインが形成され易くなり、特に970℃以下では全てのドットマスク上に反転ドメインが形成される場合がある。

成長面にピットが発生した後の成長温度は、ピットが存在する状態が維持されるように設定すればよく、限定されるものではないが、好ましくは980～1100℃である。

成長開始直後の成長レートを高くし過ぎた場合、あるタイプのコアを付随するファセット成長部が形成され易くなる。それは、欠陥または欠陥の集合体によって周囲の領域から仕切られた、異常に高い転位密度を有する結晶領域からなるコアである。

図10は、このタイプのコアがC面GaN基板の主表面に露出した部分のカソードルミネッセンス像である。非発光部で形成された輪郭線が観察され、コアとその周囲の領域とを明確に区別することができる。

[0040] このタイプのコアの発生を防止するには、GaN結晶を厚く成長させるメイン成長ステップの前に、該メイン成長ステップよりも成長温度を低くして成長レートを下げた初期成長ステップを設け、2段階（または多段階）成長を行うことが有効である。ただし、成長開始時の温度を970℃以下にする

と、反転ドメイン型のコアが形成され易くなるので注意が必要である。

好適例では、(i) 初期成長ステップ、(ii) メイン成長ステップと同じ成長温度を用いる第1中間成長ステップ、(iii) 初期成長ステップと同じ成長温度を用いる第2中間成長ステップ、(iv) メイン成長ステップを順次行ってもよい。このような温度プロファイルを採用すると、上述のコアの発生を防止できるだけでなく、成長させたGaN結晶を加工して得られるC面GaN基板において、主表面内でのオフ角の変動幅が小さくなるという利点がある。

[0041] GaN結晶は、通常、成長面に形成されたピットの底からシード表面までの距離が1mm以上となるまで、成長させる。成長厚さに特に上限はなく、該距離が5mm以上となるまで成長させてもよい。

石英リアクターを用いた場合、酸素含有ガスを意図的に供給しなくても、成長するGaN結晶は酸素でドーピングされる。酸素が取り込まれるのは、主にファセット成長部である。

オートドーピングだけに頼ったのではGaN結晶の酸素濃度が不足するという場合は、リアクター内に酸素ガス(O₂)を供給する。

反対に、GaN結晶の酸素濃度を下げる必要がある場合には、リアクター内にBN(窒化ホウ素)、SiC(炭化ケイ素)等からなるライナー管を配置し、その内側にシードを配置することによって、リアクターから発生する酸素含有ガスがシードに達することを妨げる。

GaN結晶をケイ素でドーピングする場合は、ドーピングガスとしてクロロシラン(SiH₃Cl、SiH₂Cl₂、SiHCl₃、SiCl₄)またはフルオロシランをリアクターに供給することが好ましい。

GaN結晶をゲルマニウムでドーピングする場合は、ドーピングガスとしてテトラクロロゲルマン(GeCl₄)をリアクターに供給することが好ましい。

[0042] 所定の成長時間が経過したら、GaボートへのHClガスの供給を停止するとともに、リアクターの加熱を停止して、GaN結晶の成長を止め、リアクターの温度を室温まで降下させる。

選択成長マスクに設ける前述の第2パターンの開口率を40%以下にすると、シードの温度が室温に下がる間に、成長したGaN結晶がシードから自発的に分離する傾向がある。

GaN結晶がシードから自発的に分離しない場合は、ソーイング、研磨、レーザー・リフトオフ、エッチング等、公知の手段を適宜使用して分離させる。

[0043] 2. 3. GaN結晶の加工

円盤形状のC面GaN基板を作製する場合、上記2. 2で成長させたGaN結晶に、研削加工またはコアドリル加工を行い、外周部を円筒形としたインゴットを作製する。次いで、ワイヤソー・スライサーまたは内周刃スライサーを用いて、このインゴットをC面に平行または略平行にスライスし、円盤形のウエハを得る。

更に、得られたウエハの主表面の一方または両方を、その上に窒化物半導体薄膜をエピタキシャル成長させるのに適した、平坦で平滑な表面に仕上げる。

ガリウム極性面と窒素極性面のいずれであっても、研削、ラッピングを順次施して平坦化した後、CMP (Chemical Mechanical Polishing) によってダメージ層除去および平滑化を行うことにより、窒化物半導体のエピタキシャル成長に適した表面とすることができる。CMPに加えて、あるいはCMPに代えて、RIE (Reactive Ion Etching) による加工を行ってもよい。

窒化物半導体のエピタキシャル成長に使用することを予定していない主表面からも、ダメージ層は取り除くことが望ましい。窒素極性面のダメージ層は、ウェットまたはドライエッチングにより取り除くことが可能である。エッチングによって窒素極性面はマット面になる場合がある。

[0044] 以上に説明した手順によって、主表面に平行な方向に沿った特性の偏りが少ないC面GaN基板が得られる。理由は、基板を構成するGaN結晶を成長させる際に、規則的に並んだドットマスクを含む選択成長マスクをシード上に設けるからである。規則的に並んだドットマスクの作用で、GaN結晶

の成長面には、同じように規則的に並んだピットが発生し、その結果として、成長するGaN結晶中にファセット成長部が偏りなく形成される。どの不純物もファセット成長部とC面成長部とでは濃度が異なるのが普通であるため、結晶中のファセット成長部の分布を偏らせないことが、基板の特性に偏りを発生させないうえで重要なのである。

更に、以上に説明した手順で製造されるC面GaN基板は、大量生産を行った場合であっても、品質を安定に保つことができる。なぜなら、同じ選択成長マスクを使用すれば、どのシード上に成長するGaN結晶にも、同じように規則的に並んだピットを発生させることができ、それによって、ファセット成長部が同じように分布したGaN結晶を再現性よく成長させることが可能だからである。

[0045] 3. C面GaN基板の用途

本発明のC面GaN基板上に、少なくともひとつの窒化物半導体層をエピタキシャル成長させて、エピタキシャルウエハを得ることができる。その際、その少なくともひとつの窒化物半導体層で、窒化物半導体デバイス構造を形成することができる。

本発明のC面GaN基板上に形成し得る窒化物半導体デバイスの種類に限定はなく、具体例としては、発光ダイオード、レーザダイオードなどの発光デバイス、整流器、バイポーラトランジスタ、電界効果トランジスタ、HEMT (High Electron Mobility Transistor) などの電子デバイス、温度センサ、圧力センサ、放射線センサ、可視光検出器、紫外光検出器などのセンサ、SAW (Surface Acoustic Wave) デバイス、振動子、共振子、発振器、MEMS (Micro Electro Mechanical Systems) 部品、電圧アクチュエータ、太陽電池などが挙げられる。

本発明のC面GaN基板は、人工光合成デバイス等の電気化学デバイスにおける半導体電極としても使用できる可能性がある。

[0046] 4. 実験結果

4. 1. 実験1

直径 76 mm の C 面サファイア基板上に、MOCVD 法で約 3 μ m 厚の c 軸配向 GaN 膜をエピタキシャル成長させた、GaN テンプレートを準備した。GaN 膜の表面はガリウム極性面である。

この GaN テンプレートの GaN 膜の表面に、プラズマ CVD 法によって厚さ 800 Å の SiN_x 膜を堆積させた後、通常の写真リソグラフィおよびドライエッチングの技法を用いて該 SiN_x 膜をパターンニングして、選択成長マスクを形成した。

選択成長マスクのパターンは、次の第 1 パターンと第 2 パターンを重ね合わせた混成パターンとした。

[0047] 第 1 パターンは、最大幅 58 μ m の正六角形ドットマスクが、正方格子配置されたパターンとした。最近接格子位置間の距離、すなわち、単位格子である正方形の一辺の長さは 800 μ m とした。従って、ドットマスクの数密度は 156 cm⁻² であり、選択成長マスクに占めるドットマスクの面積比は 0.34% であった。

第 2 パターンは、ライン幅 3 μ m の三角格子ネットパターンとし、開口率が 39% となるように、その周期を設定した。

[0048] 選択成長マスクの形成後、上記 GaN テンプレート上に HVPE 法で GaN 結晶を成長させた。HVPE 装置は、ホットウォール型石英リアクターを備えるものを使用した。GaN テンプレートは、外周部をリングで覆い、主表面内の直径 70 mm の領域だけを露出させた。

エピタキシャル成長の開始から 33 分間は、成長温度 986°C、リアクター圧力 101 kPa、アンモニア分圧 9.5 kPa、GaCl 分圧 0.6 kPa、水素ガス分圧 66.7 kPa、窒素ガス分圧 24.1 kPa という条件を用いた。

次いで、原料ガスおよびキャリアガスの供給を続けながら、成長温度を 986°C から 997°C まで上昇させた。

次いで、成長温度 997°C、リアクター圧力 101 kPa、アンモニア分圧 9.5 kPa、GaCl 分圧 1.0 kPa、水素ガス分圧 66.4 kPa

、窒素ガス分圧 24.1 kPa という条件で、1.5 時間、GaN 結晶を成長させた。この段階から、ケイ素ドーピングガスとしてジクロロシランもリアクター内に供給した。

次いで、原料ガスおよびキャリアガスの流量を維持しながら、成長温度を 997℃ から 984℃ まで低下させた。

次いで、原料ガスおよびキャリアガスの流量を維持しながら、2 時間、GaN 結晶を成長させた。

次いで、原料ガスおよびキャリアガスの流量を維持しながら、成長温度を 984℃ から 997℃ まで上昇させた。

次いで、原料ガスおよびキャリアガスの流量を維持しながら、51 時間、GaN 結晶を成長させた。

[0049] GaN 結晶の成長完了後、リアクター温度を室温まで下げて、成長した GaN 結晶を取り出した。成長した GaN 結晶は、殆ど外力を加えることなしに、GaN テンプレートから分離させることができた。

この GaN 結晶の外周部を円筒形に加工し、次いでスライスすることにより、直径 5 cm (2 インチ) の C 面ウエハを得た。この C 面ウエハの窒素極性面のダメージ層をアルカリエッチングによって除去した後、ガリウム極性面にグラインディング、ラッピングおよび CMP を順次施して、C 面 GaN 基板を完成させた。

上記アルカリエッチングでは、80℃ に加熱した KOH 水溶液をエッチャントに用い、処理時間は 30 分間とした。該エッチング後の基板を SEM 観察したところ、窒素極性面には多数のコーンが密に形成されていたのに対し、ガリウム極性面にはコーンが全く形成されていなかった。このことから、実験 1 の C 面 GaN 基板は反転ドメインを有さないことが確かめられた。

[0050] 図 11 (a) および (b) は、いずれも、半導体ウエハ用の表面検査装置を用いて得た、実験 1 の C 面 GaN 基板のガリウム極性面の光学像の例である。図 11 (a) では、正六角形様のファセット成長領域が整然と並んでいるのに対し、図 11 (b) では、ファセット成長領域の配置が図 11 (a)

と比べ乱れている。

図 1 1 (a) において、ファセット成長領域の規則的配置のパターンは、選択成長マスクに設けたドットマスクと同じ正方格子配置であり、最近接格子位置間の間隔は $800\text{ }\mu\text{m}$ であった。

図 1 1 (b) では、注意深く観察すると、一部のファセット成長領域が図 1 1 (a) と同じ周期の正方格子の格子位置上にあり、その配置は、規則性が低いとはいえ、ランダムではない。

実験 1 の C 面 GaN 基板の中でも、シードに近い位置で成長した GaN 結晶からなる基板では、ガリウム極性面の多くの部分で、ファセット成長領域が図 1 1 (a) に示す例のように規則的に配置されていた。それに対し、シードから離れた位置で成長した GaN 結晶からなる基板では、ファセット成長領域の配置の規則性が高い部分と低い部分の両方がガリウム極性面に存在していた。当該基板を構成する GaN 結晶の成長位置がシードから遠い程、ファセット成長領域の配置の乱れた部分がガリウム極性面内に占める割合は高くなる傾向があった。

[0051] ガリウム極性面全体の観察から、実験 1 の C 面 GaN 基板には、コアを伴うファセット成長領域が全く無いことが確認された。

蛍光顕微鏡観察したところ、実験 1 の C 面 GaN 基板のガリウム極性面に存在する全てのファセット成長領域の面積の総和は、ガリウム極性面の面積の 80% を超えていた。

XRD (X 線回折) 分析により実験 1 の C 面 GaN 基板のオフ角を調べたところ、基板の外縁からの距離が 5 mm 以上の部分 (直径 4 cm の領域) において、オフ角の a 軸方向成分の変動幅が 0.100 度、m 軸方向成分の変動幅が 0.048 度であった。

ダイナミック SIMS により、実験 1 の C 面 GaN 基板の主表面のファセット成長領域における酸素濃度を調べたところ、 $1.3 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ であった。

Van der Pauw 法で測定した実験 1 の C 面 GaN 基板の電気抵抗率は、 $1 \times$

$1.0 \times 10^{-2} \Omega \cdot \text{cm}$ と $2 \times 10^{-2} \Omega \cdot \text{cm}$ の間であった。

[0052] 4. 2. 実験2

実験1で用いたものと同じGaNテンプレートを準備し、実験1と同様の手順で、そのGaNテンプレートのGaN膜上に選択成長マスクを形成した。ただし、選択成長マスクの第1パターンと第2パターンは次のように変更した。

第1パターンは、最大幅 $35 \mu\text{m}$ の正六角形ドットが正方格子配置されたパターンとした。最近接格子位置間の距離、すなわち、単位格子である正方形の一辺の長さは $200 \mu\text{m}$ とした。従って、ドットマスクの数密度は 2496 cm^{-2} であり、選択成長マスクに占めるドットマスクの面積比は 1.9% であった。

第2パターンは、ライン幅 $1 \mu\text{m}$ の六角格子ネットパターンとし、開口率が 25% となるように、その周期を設定した。

[0053] 続いて、GaN膜上に上記の選択成長マスクを設けたGaNテンプレートの上に、HVPE法でGaN結晶を成長させた。実験1と同様に石英リアクターを使用し、成長条件も実験1と同じとした。

GaN結晶の成長完了後、リアクター温度を室温まで下げて、成長したGaN結晶を取り出した。成長したGaN結晶は、殆ど外力を加えることなしに、GaNテンプレートから分離させることができた。

このGaN結晶を、実験1と同様の手順で加工し、直径 5 cm （2インチ）のC面GaN基板を得た。実験1のC面GaN基板と同じように、この実験2のC面GaN基板においても、エッチングによって窒素極性面には多数のコーンが密に形成されたのに対し、ガリウム極性面にはコーンが全く観察されなかった。このことから、実験2のC面GaN基板は反転ドメインを有さないことが確かめられた。

[0054] 半導体ウエハ用の表面検査装置を用いて得た、実験2のC面GaN基板のガリウム極性面の光学像を図12に示す。ガリウム極性面には閉環形状のファセット成長領域が複数形成されていたが、その配置に規則性は見出されな

かった。第1パターンにおけるドットマスクのピッチが $200\mu\text{m}$ と小さかったためと考えられる。

図12の画像では、ファセット成長領域が集まっている部分において、ファセット成長領域間の境界がぼんやりとしている。これは、互いに接しているファセット成長領域同士の間、明確な段差が形成されていないためと考えられる。

ガリウム極性面全体の観察から、実験2のC面基板には、コアを伴うファセット成長領域が全く無いことが確認された。

[0055] 蛍光顕微鏡観察したところ、実験2のC面GaN基板のガリウム極性面に存在する全てのファセット成長領域の面積の総和は、ガリウム極性面の面積の80%を超えていた。

XRD（X線回折）分析により実験2のC面GaN基板のオフ角を調べたところ、基板の外縁からの距離が5mm以上の部分（直径4cmの領域）において、オフ角のa軸方向成分の変動幅が 0.016 度、m軸方向成分の変動幅が 0.022 度であった。

ダイナミックSIMSにより、実験1のC面GaN基板の主表面のファセット成長領域における酸素濃度を調べたところ、 $1.4 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ であった。

Van der Pauw法で測定した実験1のC面GaN基板の電気抵抗率は、 $1 \times 10^{-2} \Omega \cdot \text{cm}$ と $2 \times 10^{-2} \Omega \cdot \text{cm}$ の間であった。

[0056] 4. 3. 実験3

実験3では、直径127mmのC面サファイア基板上にMOCVD法でc軸配向GaN膜をエピタキシャル成長させてなるGaNテンプレートを準備した。実験1と同様の手順で、このGaNテンプレートのGaN膜上に選択成長マスクを形成した。選択成長マスクに設けるパターンは実験1と同じとした。

選択成長マスクを形成後、上記GaNテンプレートの上に、HVPE法でGaN結晶を成長させた。HVPE装置は、実験1と同様に、ホットウォー

ル型石英リアクターを備えるものを使用した。Ga Nテンプレートは、外周部をリングで覆い、主表面内の直径110mmの領域だけを露出させた。

[0057] エピタキシャル成長の開始から75分間は、成長温度983℃、リアクター圧力101kPa、アンモニア分圧10.3kPa、GaCl分圧0.7kPa、水素ガス分圧75.6kPa、窒素ガス分圧14.4kPaという条件を用いた。

次いで、原料ガスおよびキャリアガスの供給を続けながら、成長温度を983℃から1005℃まで上昇させた。

次いで、成長温度1005℃、リアクター圧力101kPa、アンモニア分圧10.3kPa、GaCl分圧1.0kPa、水素ガス分圧75.3kPa、窒素ガス分圧14.4kPaという条件で、1時間、Ga N結晶を成長させた。この段階から、ケイ素ドーピングガスとしてジクロロシランもリアクター内に供給した。

次いで、原料ガスおよびキャリアガスの流量を維持しながら、成長温度を1005℃から983℃まで降下させた。

次いで、原料ガスおよびキャリアガスの流量を維持しながら、2時間、Ga N結晶を成長させた。

次いで、原料ガスおよびキャリアガスの流量を維持しながら、成長温度を983℃から1005℃まで上昇させた。

次いで、原料ガスおよびキャリアガスの流量を維持しながら、70時間、Ga N結晶を成長させた。

[0058] Ga N結晶の成長完了後、リアクター温度を室温まで下げて、成長したGa N結晶を取り出した。成長したGa N結晶は、殆ど外力を加えることなく、Ga Nテンプレートから分離させることができた。

このGa N結晶を、実験1と同様の手順で加工し、直径10cm（4インチ）のC面Ga N基板を得た。実験1のC面Ga N基板と同じように、この実験3のC面Ga N基板においても、エッチングによって窒素極性面には多数のコーンが密に形成されたのに対し、ガリウム極性面にはコーンが全く観

察されなかった。このことから、実験3のC面GaN基板も反転ドメインを有さないことが確かめられた。

[0059] 半導体ウエハ用の表面検査装置を用いて得た、実験3のC面GaN基板の、ガリウム極性面の光学像の例を図13(a)および(b)に示す。図13(a)では、正六角形様または円形様のファセット成長領域が整然と並んでいるのに対し、図13(b)では、ファセット成長領域の配置が図13(a)と比べ乱れている。

図13(a)において、ファセット成長領域の規則的配置のパターンは、選択成長マスクに設けたドットマスクと同じ正方格子配置であり、最近接格子位置間の間隔は $800\mu\text{m}$ であった。

図13(b)では、注意深く観察すると、一部のファセット成長領域が図13(a)と同じ周期の正方格子の格子位置上にあり、ファセット成長領域の配置は、規則性が低いとはいえ、ランダムではない。

実験3のC面GaN基板の中でも、シードに近い位置で成長したGaN結晶からなる基板では、ガリウム極性面の多くの部分で、ファセット成長領域が図13(a)に示す例のように規則的に配置されていた。それに対し、シードから離れた位置で成長したGaN結晶からなる基板では、ファセット成長領域の配置の規則性が高い部分と低い部分の両方がガリウム極性面に存在していた。当該基板を構成するGaN結晶の成長位置がシードから遠い程、ファセット成長領域の配置の乱れた部分がガリウム極性面内に占める割合は高くなる傾向があった。

[0060] ガリウム極性面全体の観察から、実験3のC面GaN基板には、コアを伴うファセット成長領域が全く無いことが確認された。

蛍光顕微鏡観察したところ、実験3のC面GaN基板のガリウム極性面に存在する全てのファセット成長領域の面積の総和は、ガリウム極性面の面積の80%を超えていた。

XRD(X線回折)分析により実験3のC面GaN基板のオフ角を調べたところ、基板の外縁からの距離が5mm以上の部分(直径9cmの領域)に

において、オフ角の a 軸方向成分の変動幅が 0.07 度、 m 軸方向成分の変動幅も 0.07 度であった。

ダイナミックSIMSにより、実験3のC面GaN基板の主表面のファセット成長領域における酸素濃度を調べたところ、 $1.3 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ であった。

Van der Pauw法で測定した実験3のC面GaN基板の電気抵抗率は、 $1 \times 10^{-2} \Omega \cdot \text{cm}$ と $2 \times 10^{-2} \Omega \cdot \text{cm}$ の間であった。

[0061] 4. 4. 実験4

実験1で用いたものと同じGaNテンプレートを準備し、実験1と同様の手順で、そのGaNテンプレートのGaN膜上に選択成長マスクを形成した。

ただし、実験4では、選択成長マスクの第1パターンを変更した。具体的には、第1パターンは、最大幅 $115 \mu\text{m}$ の正六角形ドットが正方格子配置されたパターンとした。最近接格子位置間の距離、すなわち、単位格子である正方形の一辺の長さは $800 \mu\text{m}$ とした。従って、ドットマスクの数密度は 156 cm^{-2} であり、選択成長マスクに占めるドットマスクの面積比は 1.35% であった。

第2パターンは、実験1で使用した選択成長マスクと同じとした。

[0062] 選択成長マスクを形成後、上記GaNテンプレートの上に、HVPE法でGaN結晶を成長させた。HVPE装置は、実験1と同様に、ホットウォール型石英リアクターを備えるものを使用した。GaNテンプレートは、外周部をリングで覆い、主表面内の直径 70 mm の領域だけを露出させた。

エピタキシャル成長の開始から 40 分間は、成長温度 1010°C 、リアクター圧力 101 kPa 、アンモニア分圧 10.4 kPa 、GaCl分圧 0.79 kPa 、水素ガス分圧 64.3 kPa 、窒素ガス分圧 25.4 kPa という条件を用いた。

次いで、成長温度とリアクター圧力を同じとしたまま、アンモニア分圧 10.4 kPa 、GaCl分圧 1.1 kPa 、水素ガス分圧 64.1 kPa 、

窒素ガス分圧 25.5 kPa という条件で、72 時間、GaN 結晶を成長させた。

[0063] GaN 結晶の成長完了後、リアクター温度を室温まで下げて、成長した GaN 結晶を取り出した。

この GaN 結晶を、実験 1 と同様の手順で加工し、直径 5 cm (2 インチ) の C 面 GaN 基板を得た。実験 1 の C 面 GaN 基板と同じように、この実験 4 の C 面 GaN 基板においても、エッチングによって窒素極性面には多数のコーンが密に形成されたのに対し、ガリウム極性面にはコーンが全く観察されなかった。

[0064] こうして作製した実験 4 の C 面 GaN 基板のガリウム極性面には、深さ 0.5 ~ 1 μm 、幅 50 ~ 1000 μm のドット状の窪みが 120 個発生していた (数密度 6.1 cm^{-2})。図 14 は、かかる窪みの外観を示す SEM 像である。

この窪みは、いずれもファセット成長領域の中央部に発生しており、CL 観察すると図 10 と同様の像が得られたことから、コアが原因で発生したものであることが判った。

[0065] 4. 5. 実験 5

実験 5 では、直径 127 mm の C 面サファイア基板上に MOCVD 法で c 軸配向 GaN 膜をエピタキシャル成長させてなる GaN テンプレートを準備した。実験 1 と同様の手順で、この GaN テンプレートの GaN 膜上に選択成長膜を形成した。選択成長マスクに設けるパターンは実験 1 と同じとした。

選択成長マスクを形成後、上記 GaN テンプレートの上に、HVPE 法で GaN 結晶を成長させた。HVPE 装置は、実験 1 と同様に、ホットウォール型石英リアクターを備えるものを使用した。GaN テンプレートは、外周部をリングで覆い、主表面内の直径 110 mm の領域だけを露出させた。

[0066] エピタキシャル成長の開始から 75 分間は、成長温度 965 °C、リアクター圧力 101 kPa、NH₃ 分圧 10.3 kPa、GaCl 分圧 0.7 kPa

、 H_2 分圧75.6 kPa、 N_2 分圧14.4 kPaという条件を用いた。

次いで、原料ガスおよびキャリアガスの供給を続けながら、成長温度を965℃から1005℃まで上昇させた。

次いで、成長温度1005℃、リアクター圧力101 kPa、 NH_3 分圧10.3 kPa、GaCl分圧1.0 kPa、 H_2 分圧75.3 kPa、 N_2 分圧14.4 kPaという条件で、1時間、GaN結晶を成長させた。この段階から、ケイ素ドーピングガスとしてジクロロシランもリアクター内に供給した。

次いで、原料ガスおよびキャリアガスの流量を維持しながら、成長温度を1005℃から983℃まで降下させた。

次いで、原料ガスおよびキャリアガスの流量を維持しながら、2時間、GaN結晶を成長させた。

次いで、原料ガスおよびキャリアガスの流量を維持しながら、成長温度を983℃から1005℃まで上昇させた。

次いで、原料ガスおよびキャリアガスの流量を維持しながら、70時間、GaN結晶を成長させた。

[0067] GaN結晶の成長完了後、リアクター温度を室温まで下げて、成長したGaN結晶を取り出した。成長したGaN結晶は、殆ど外力を加えなくても、GaNテンプレートから分離させることができた。

このGaN結晶を、実験1と同様の手順で加工し、直径10 cm（4インチ）のC面GaN基板を得た。

この実験5のC面GaN基板は、実験1のC面GaN基板と異なり、エッチングによって窒素極性面に多数のコーンが密に形成されただけでなく、ガリウム極性面にもコーンが形成された。このことから、実験5のC面GaN基板を構成するGaN結晶は、反転ドメインを含んでいることが判った。

[0068] 半導体ウエハ用の表面検査装置を用いて得た、実験5のC面GaN基板のガリウム極性面の光学像を、図15に示す。

図15の画像に見られる複数のドットの配置は、選択成長マスクに設けた

ドットマスクと同じ正方格子配置であり、最近接格子位置間の間隔は800 μm であった。加えて、図15の画像においてドットとして見える領域は、ガリウム極性面にコーンが観察された領域と一致していたことから、GaN結晶が成長する際、ドットマスクに対応する位置に反転ドメインが形成されたものと考えられる。

[0069] 4. 6. その他

上記実験1～4で成長させたGaN結晶では、ドットマスクの表面近傍を起点として発生した転位群が観察された。転位群の規模は、ドットマスクの最大径とともに大きくなる傾向があった。この転位群は、GaN結晶がc軸方向に成長していくにつれ拡散する傾向を有していたが、完全に拡散することはなく、その結果、作製したC面GaN基板の主表面には転位密度が局所的に高くなった部分が観察された。かかる部分における転位密度は 10^7cm^{-2} 台に達していた。

[0070] 以上、本発明を具体的な実施形態に即して説明したが、各実施形態は例として提示されたものであり、本発明の範囲を限定するものではない。本明細書に記載された各実施形態は、発明の趣旨を逸脱しない範囲内で、様々に変形することができ、かつ、実施可能な範囲内で、他の実施形態により説明された特徴と組み合わせることができる。

符号の説明

- [0071] 10 C面GaN基板
11 ガリウム極性面
12 窒素極性面
13 側面

請求の範囲

- [請求項1] 各々が閉環形状を有する複数のファセット成長領域が主表面に観察され、
該複数のファセット成長領域のうちコアを付随するファセット成長領域の数密度が該主表面上において 5 cm^{-2} 未満であり、かつ、
該主表面のうち基板の外周端からの距離が 5 mm 以上の部分から、直径 4 cm の円形領域をどのように選んでも、該円形領域内におけるオフ角の a 軸方向成分および m 軸方向成分の変動幅がそれぞれ 0.25 度以下である、
C面GaN基板。
- [請求項2] 直径が $95 \sim 105 \text{ mm}$ であって、
各々が閉環形状を有する複数のファセット成長領域が主表面に観察され、
該複数のファセット成長領域のうちコアを付随するファセット成長領域の数密度が該主表面上において 5 cm^{-2} 未満であり、かつ、
前記主表面のうち基板の外周端からの距離が 5 mm 以上の部分におけるオフ角の a 軸方向成分および m 軸方向成分の変動幅が、それぞれ 0.5 度以下である、
C面GaN基板。
- [請求項3] 前記複数のファセット成長領域のうち反転ドメインを付随するファセット成長領域の数密度が前記主表面上において 0 cm^{-2} である、請求項1または2に記載のC面GaN基板。
- [請求項4] 前記主表面に存在する全てのファセット成長領域の面積の総和が、前記主表面の面積の 70% 以上である、請求項1～3のいずれか一項に記載のC面GaN基板。
- [請求項5] 前記複数のファセット成長領域の少なくとも一部は規則的に配置されている、請求項1～4のいずれか一項に記載のC面GaN基板。
- [請求項6] 前記複数のファセット成長領域のうち、規則的に配置されたファセッ

ト成長領域の配置が正方格子配置である、請求項5に記載のC面Ga N基板。

[請求項7] 前記複数のファセット成長領域のうち、規則的に配置されたファセット成長領域の配置が三角格子位置である、請求項5に記載のC面Ga N基板。

[請求項8] 表面にドットマスクが配置されたシードを用いて成長されたGa N結晶を含む、請求項1～7のいずれかに記載のC面Ga N基板。

[請求項9] 前記ファセット成長領域の少なくとも一部において酸素濃度が $5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 以上である、請求項1～8のいずれか一項に記載のC面Ga N基板。

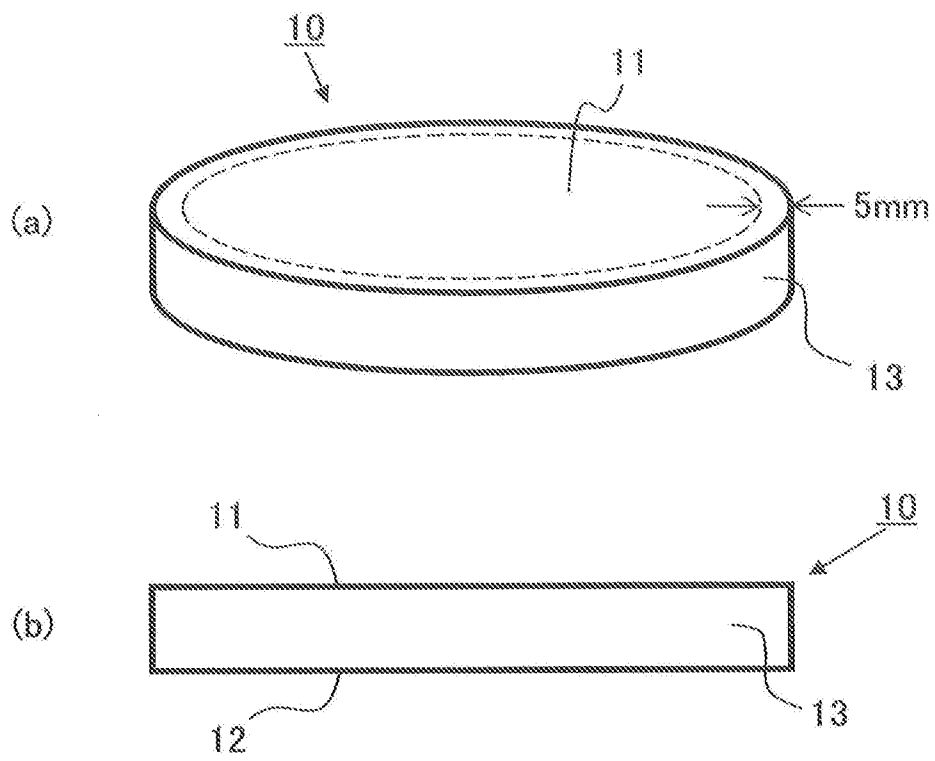
[請求項10] ケイ素およびゲルマニウムのいずれか一方または両方が添加されている、請求項1～9のいずれか一項に記載のC面Ga N基板。

[請求項11] 電気抵抗率が $0.1 \Omega \text{ cm}$ 以下である、請求項1～10のいずれか一項に記載のC面Ga N基板。

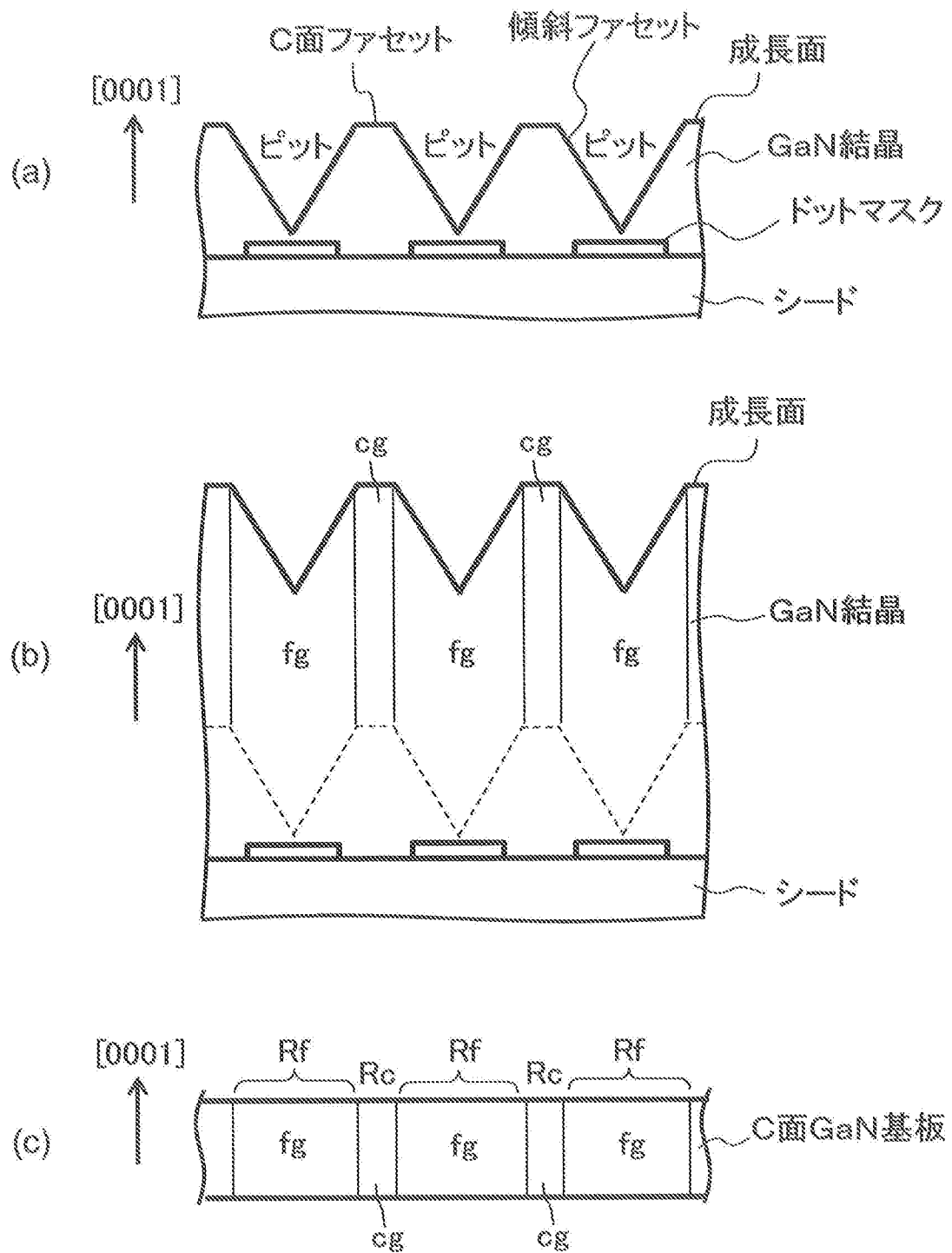
[請求項12] 請求項1～11のいずれか一項に記載のC面Ga N基板を準備するステップと、該準備したC面Ga N基板上に少なくともひとつの窒化物半導体層をエピタキシャル成長させるステップとを含む、窒化物半導体デバイスの製造方法。

[請求項13] 請求項1～11のいずれか一項に記載のC面Ga N基板と、該C面Ga N基板上に配置された少なくともひとつの窒化物半導体層と、を有するエピタキシャルウエハ。

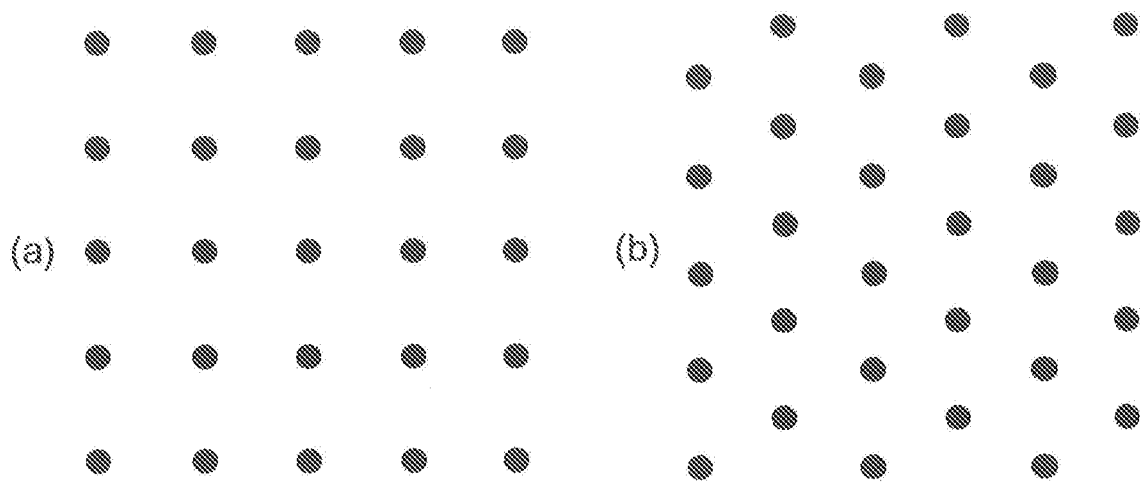
[図1]



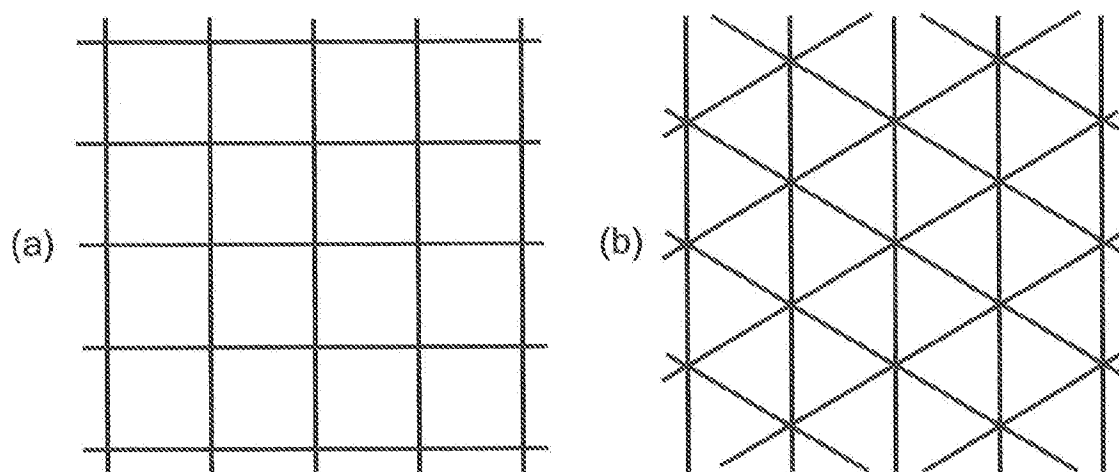
[図2]



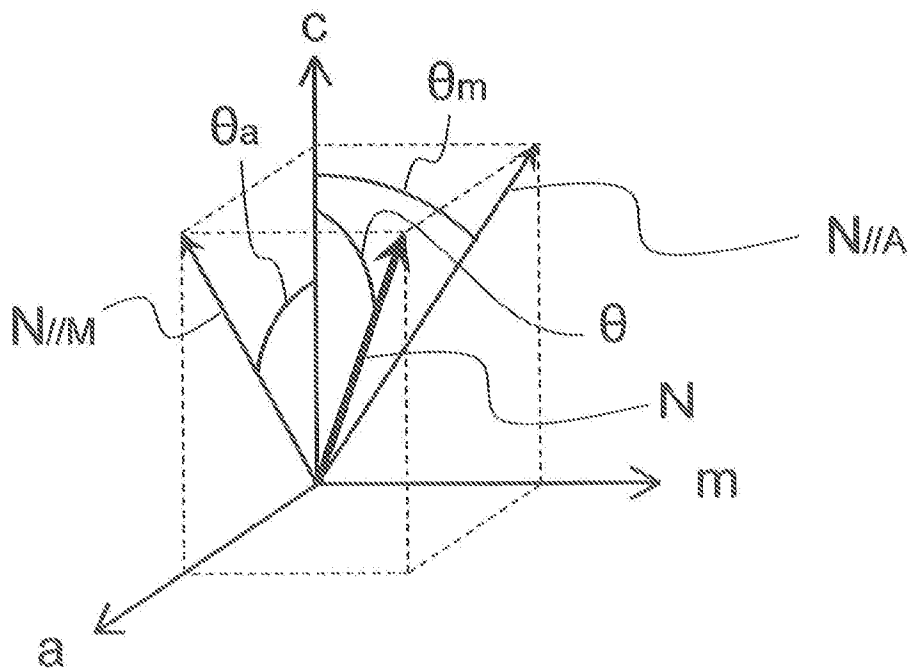
[図3]



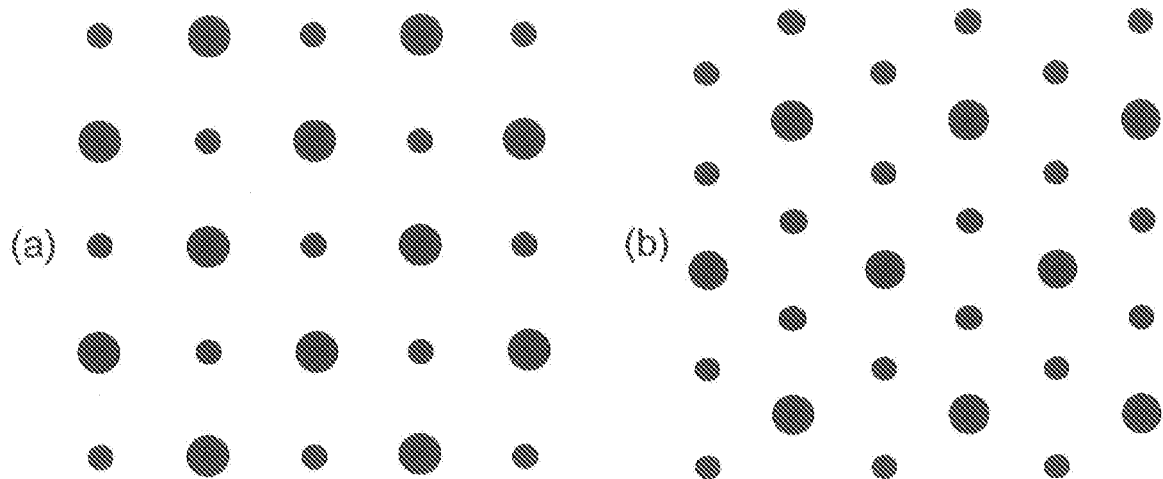
[図4]



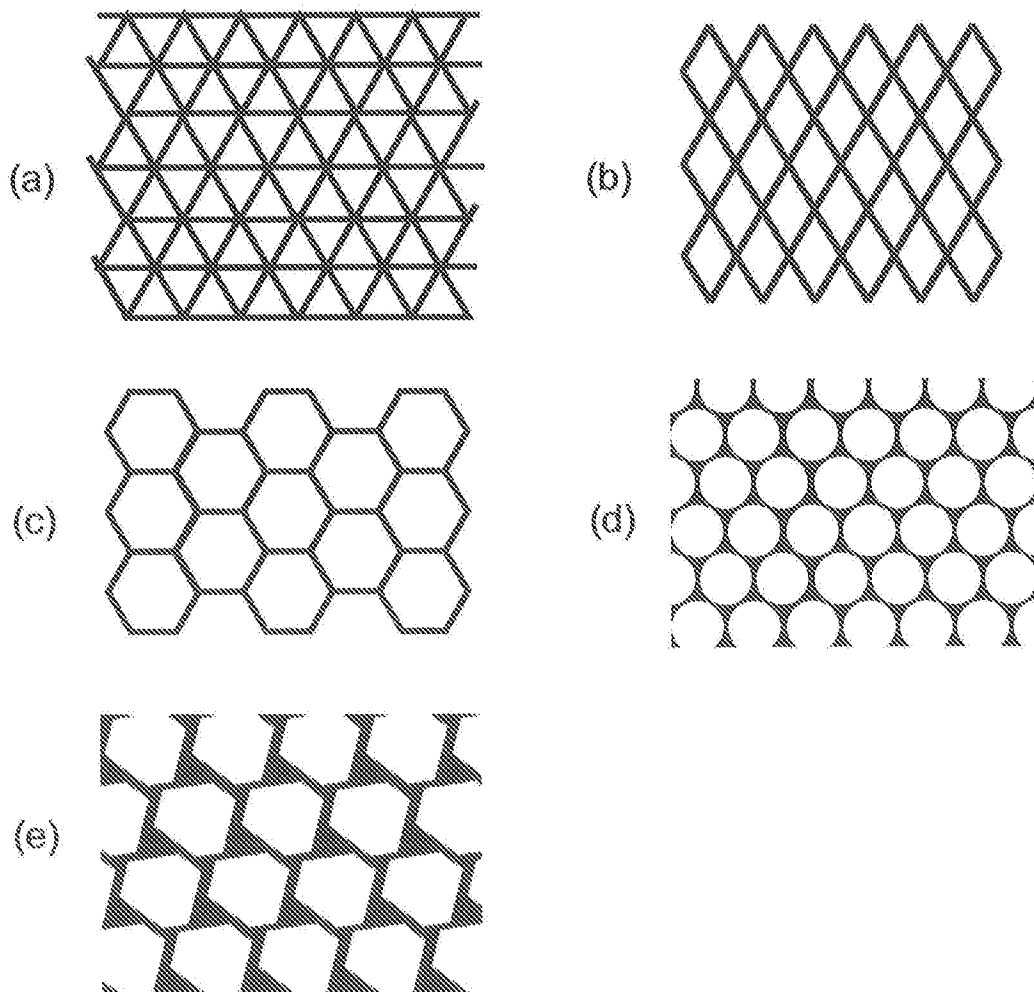
[図5]



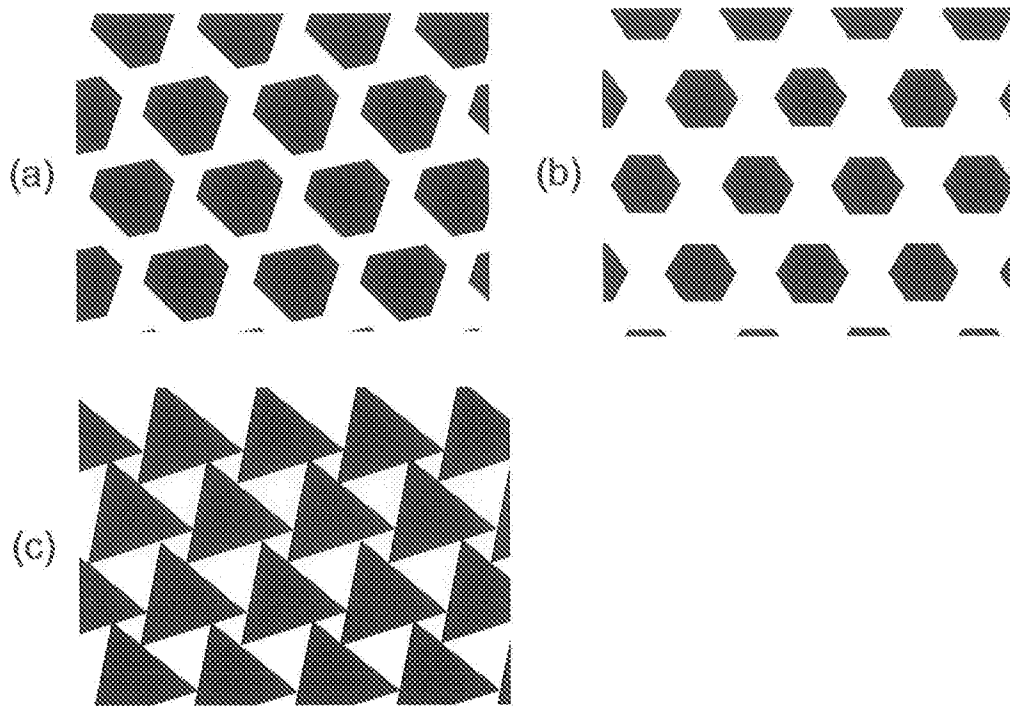
[図6]



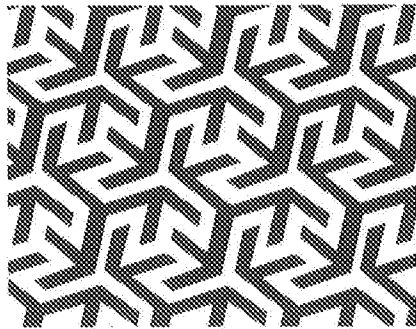
[図7]



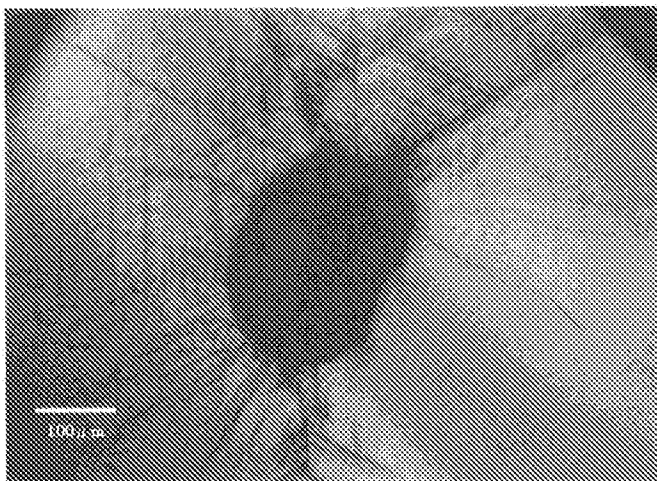
[図8]



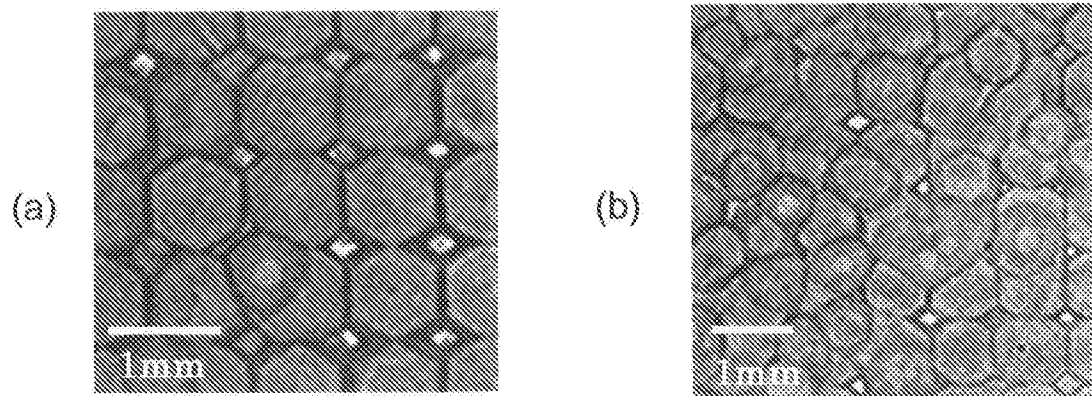
[図9]



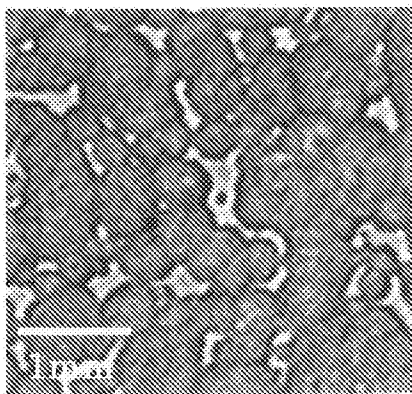
[図10]



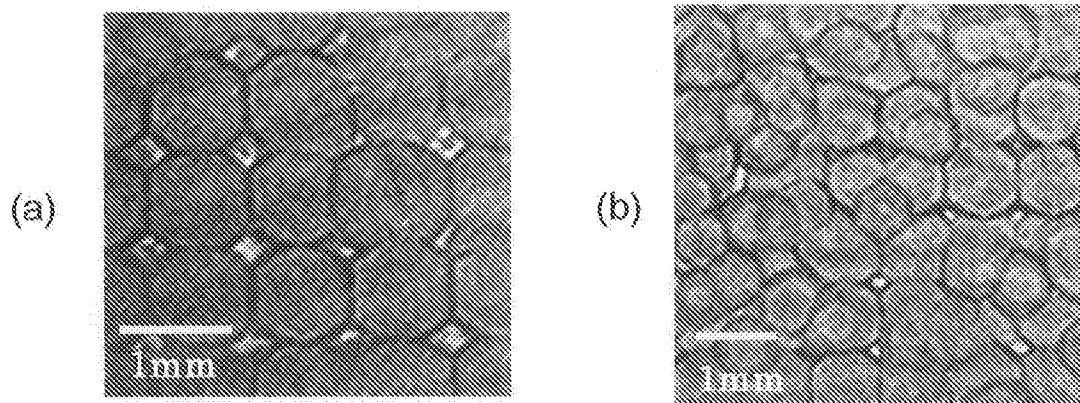
[図11]



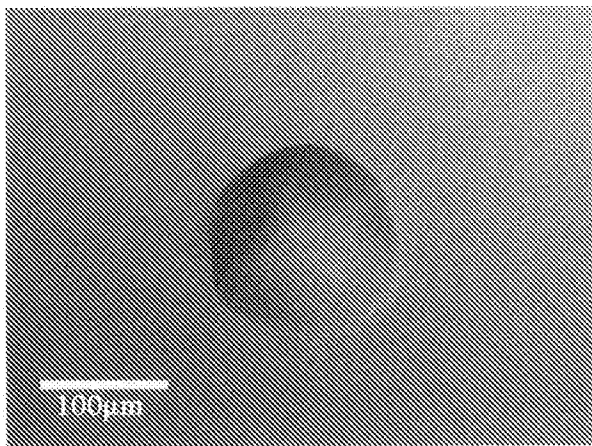
[図12]



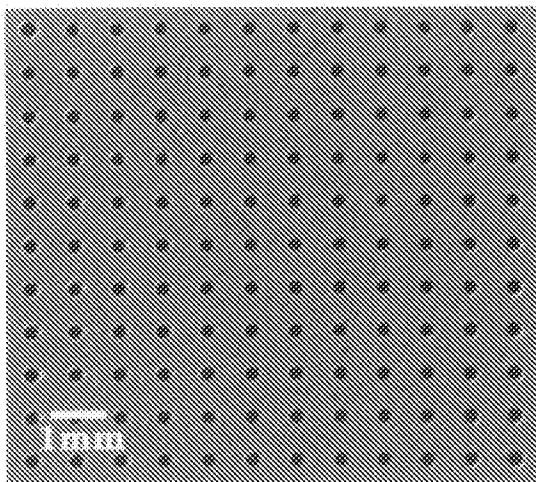
[図13]



[図14]



[図15]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2016/054550

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

C30B29/38(2006.01)i, C23C16/34(2006.01)i, C30B25/04(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)

C30B29/38, C30B29/40, C23C16/34, C23C16/30, C30B25/04

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	1996-2016
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2016	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2016

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 Y	JP 2007-254258 A (Sumitomo Electric Industries, Ltd.), 04 October 2007 (04.10.2007), claims 1, 18; paragraphs [0058] to [0063], [0090] to [0096], [0132], [0394]; fig. 1 to 10 & US 2006/0272572 A1 claims 1, 24; paragraphs [0056] to [0061], [0088] to [0095], [0168], [0417]; fig. 1 to 10 & US 2009/0155989 A1 & EP 1731632 A2 & KR 10-2006-0127743 A & CN 1877877 A	1-8, 12, 13 9-11
Y	WO 2014/097931 A1 (Mitsubishi Chemical Corp.), 26 June 2014 (26.06.2014), paragraph [0002] & US 2015/0311068 A1 paragraph [0004] & TW 201435164 A	9-11

☒ 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
21 April 2016 (21.04.16)

Date of mailing of the international search report
10 May 2016 (10.05.16)

Name and mailing address of the ISA/
Japan Patent Office
3-4-3, Kasumigaseki, Chiyoda-ku,
Tokyo 100-8915, Japan

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2016/054550

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2003-165799 A (Sumitomo Electric Industries, Ltd.), 10 June 2003 (10.06.2003), paragraphs [0023] to [0028], [0352] to [0355]; fig. 1 to 7 & US 2003/0080345 A1 paragraphs [0031] to [0036], [0485] to [0490]; fig. 1 to 7 & EP 1296362 A2 & EP 2107597 A1 & TW 230468 B & CA 2543950 A & KR 10-2003-0025216 A & HK 1088715 A & CN 1790759 A	1-13
A	JP 2009-120465 A (Sumitomo Electric Industries, Ltd.), 04 June 2009 (04.06.2009), paragraphs [0175] to [0177], [0237] to [0240]; table 1, no.26, 27; fig. 1 to 10 & US 2009/0108297 A1 paragraphs [0177] to [0179], [0261] to [0266]; no.26, 27 of table 1; fig. 1 to 10 & EP 2055811 A2 & KR 10-2009-0042164 A & RU 2008142153 A & TW 200937499 A & CN 101441999 A & CA 2641016 A1	1-13
A	JP 2005-94029 A (NEC Corp.), 07 April 2005 (07.04.2005), paragraphs [0093] to [0104], [0107]; fig. 2, 3 & US 2002/0066403 A1 paragraphs [0051] to [0062], [0065]; fig. 4, 5 & US 6348096 B1	1-13
A	JP 2009-141085 A (Rohm Co., Ltd.), 25 June 2009 (25.06.2009), paragraph [0033]; fig. 1 to 7 (Family: none)	1-13

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC））

Int.Cl. C30B29/38(2006.01)i, C23C16/34(2006.01)i, C30B25/04(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. C30B29/38, C30B29/40, C23C16/34, C23C16/30, C30B25/04

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	1971-2016年
日本国実用新案登録公報	1996-2016年
日本国登録実用新案公報	1994-2016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 Y	JP 2007-254258 A（住友電気工業株式会社）2007.10.04, 請求項1, 18, 段落 0058-0063, 0090-0096, 0132, 0394, 図 1-10 & US 2006/0272572 A1 (cls. 1, 24, pars. 0056-0061, 0088-0095, 0168, 0417, figs. 1-10) & US 2009/0155989 A1 & EP 1731632 A2 & KR 10-2006-0127743 A & CN 1877877 A	1-8, 12, 13 9-11
Y	WO 2014/097931 A1（三菱化学株式会社）2014.06.26, 段落 0002 & US 2015/0311068 A1 (par. 0004) & TW 201435164 A	9-11

☒ 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

21.04.2016

国際調査報告の発送日

10.05.2016

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁（ISA/J P）

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）

安齋 美佐子

4G

5795

電話番号 03-3581-1101 内線 3416

C (続き) . 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 2003-165799 A (住友電気工業株式会社) 2003.06.10, 段落 0023-0028, 0352-0355, 図 1-7 & US 2003/0080345 A1 (pars. 0031-0036, 0485-0490, figs. 1-7) & EP 1296362 A2 & EP 2107597 A1 & TW 230468 B & CA 2543950 A & KR 10-2003-0025216 A & HK 1088715 A & CN 1790759 A	1-13
A	JP 2009-120465 A (住友電気工業株式会社) 2009.06.04, 段落 0175-0177, 0237-0240, 表 1 の番号 26 及び 27, 図 1-10 & US 2009/0108297 A1 (pars. 0177-0179, 0261-0266, No. 26 and 27 of table 1, figs. 1-10) & EP 2055811 A2 & KR 10-2009-0042164 A & RU 2008142153 A & TW 200937499 A & CN 101441999 A & CA 2641016 A1	1-13
A	JP 2005-94029 A (日本電気株式会社) 2005.04.07, 段落 0093-0104, 0107, 図 2, 3 & US 2002/0066403 A1 (pars. 0051-0062, 0065, figs. 4, 5) & US 6348096 B1	1-13
A	JP 2009-141085 A (ローム株式会社) 2009.06.25, 段落 0033, 図 1-7 (ファミリーなし)	1-13