

(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11月12日(12.11.2015)



(10) 国際公開番号  
WO 2015/170774 A1

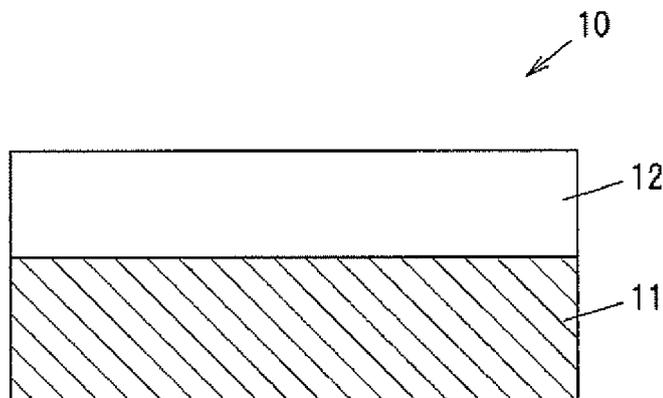
- (51) 国際特許分類:  
C30B 29/16 (2006.01) H01L 21/205 (2006.01)  
C23C 16/40 (2006.01) H01L 21/365 (2006.01)  
C30B 25/20 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2015/063523
- (22) 国際出願日: 2015年5月11日(11.05.2015)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:  
特願 2014-097751 2014年5月9日(09.05.2014) JP
- (71) 出願人: 株式会社タムラ製作所(TAMURA CORPORATION) [JP/JP]; 〒1788511 東京都練馬区東大泉1丁目19番43号 Tokyo (JP). 国立大学法人東京農工大学(NATIONAL UNIVERSITY CORPORATION TOKYO UNIVERSITY OF AGRICULTURE AND TECHNOLOGY) [JP/JP]; 〒1838538 東京都府中市晴見町3-8-1 Tokyo (JP).
- (72) 発明者: 後藤 健(GOTO, Ken); 〒1788511 東京都練馬区東大泉1丁目19番43号 株式会社タムラ製作所内 Tokyo (JP). 纈纈 明伯(KOUKITU, Akinori); 〒1838538 東京都府中市晴見町3-8-1 国立大学法人東京農工大学内 Tokyo (JP). 熊谷 義直(KUMAGAI, Yoshinao); 〒1838538 東京都府中市晴見町3-8-1 国立大学法人東京農工大学内 Tokyo (JP).
- (74) 代理人: 平田 忠雄(HIRATA, Tadao); 〒1690074 東京都新宿区北新宿二丁目21番1号 新宿フロントタワー29階 平田国際特許事務所 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, 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,

[続葉有]

(54) Title: SEMICONDUCTOR SUBSTRATE, EPITAXIAL WAFER, AND METHOD FOR MANUFACTURING EPITAXIAL WAFER

(54) 発明の名称: 半導体基板、並びにエピタキシャルウエハ及びその製造方法

図1



(57) Abstract: Provided are: a semiconductor substrate comprising a  $\beta$ -Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub> single crystal, on which an epitaxial layer comprising a  $\beta$ -Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub> single crystal can be made to grow at a high growth rate using the hydride vapor phase epitaxy (HVPE) method; an epitaxial wafer comprising such semiconductor substrate and epitaxial layer; and a method for manufacturing such epitaxial wafer. As one embodiment of the present invention, provided is a semiconductor substrate (11), used as a base substrate for epitaxial crystal growth by the HVPE method, wherein the semiconductor substrate comprises a  $\beta$ -Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-based single crystal and a plane parallel to the [010] axis of the  $\beta$ -Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub> single crystal is used as the principal surface.

(57) 要約:

[続葉有]

WO 2015/170774 A1



MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, 添付公開書類:  
TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, — 国際調査報告 (条約第 21 条(3))  
KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

HVPE法により  $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$  単結晶からなるエピタキシャル層を高い成長レートで成長させることができる  $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$  単結晶からなる半導体基板、その半導体基板とエピタキシャル層を有するエピタキシャルウエハ、及びそのエピタキシャルウエハの製造方法を提供する。一実施の形態として、HVPE法によるエピタキシャル結晶成長用の下地基板として用いられる半導体基板であって、 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$  系単結晶からなり、 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$  系単結晶の [010] 軸に平行な面を主面とする、半導体基板 11 を提供する。

## 明 細 書

発明の名称：

半導体基板、並びにエピタキシャルウエハ及びその製造方法

### 技術分野

[0001] 本発明は、半導体基板、並びにエピタキシャルウエハ及びその製造方法に関する。

### 背景技術

[0002] 従来、 $\beta$ -Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub>系基板上に、MBE (Molecular Beam Epitaxy) 法によるエピタキシャル結晶成長により $\beta$ -Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub>単結晶膜を形成する技術が知られている（例えば、特許文献1参照）。

[0003] 特許文献1によれば、 $\beta$ -Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub>系基板の主面の面方位を所定の面方位とすることにより、MBE法により、 $\beta$ -Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub>単結晶膜を高い成長レートで成長させることができる。

### 先行技術文献

#### 特許文献

[0004] 特許文献1：国際公開第2013/035464号

### 発明の概要

#### 発明が解決しようとする課題

[0005] 本発明の目的の1つは、HVPE法により $\beta$ -Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub>単結晶からなるエピタキシャル層を高い成長レートで成長させることができる $\beta$ -Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub>単結晶からなる半導体基板、その半導体基板とエピタキシャル層を有するエピタキシャルウエハ、及びそのエピタキシャルウエハの製造方法を提供することにある。

#### 課題を解決するための手段

[0006] 本発明の一態様は、上記目的を達成するために、下記[1]～[4]の半導体基板を提供する。

- [0007] [1] HVPE法によるエピタキシャル結晶成長用の下地基板として用いられる半導体基板であって、 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 系単結晶からなり、 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 系単結晶の[010]軸に平行な面を主面とする、半導体基板。
- [0008] [2] 前記主面が、 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 系単結晶の[010]軸を回転軸として(100)面から(101)面へ向かう方向に $38^\circ$ 以上 $90^\circ$ 以下の範囲内の角度で回転させた面である、前記[1]に記載の半導体基板。
- [0009] [3] 前記角度が、 $68 \pm 1^\circ$ である、前記[2]に記載の半導体基板。
- [0010] [4] 前記角度が、 $38 \pm 1^\circ$ 、 $53.8 \pm 1^\circ$ 、 $68 \pm 1^\circ$ 、 $76.3 \pm 1^\circ$ 、 $77.3 \pm 1^\circ$ 、 $83 \pm 1^\circ$ 、又は $90 \pm 1^\circ$ である、前記[2]に記載の半導体基板。
- [0011] また、本発明の他の態様は、上記目的を達成するために、下記[5]のエピタキシャルウエハを提供する。
- [0012] [5] 前記[1]～[4]のいずれか1項に記載の前記半導体基板と、前記半導体基板の前記主面上にHVPE法によるエピタキシャル結晶成長により形成された、 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 系単結晶からなるエピタキシャル層と、を有するエピタキシャルウエハ。
- [0013] また、本発明の他の態様は、上記目的を達成するために、下記[6]～[10]のエピタキシャルウエハの製造方法を提供する。
- [0014] [6]  $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 系単結晶からなり、 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 系単結晶の[010]軸に平行な面を主面とする半導体基板上に、 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 系単結晶からなるエピタキシャル層をHVPE法によるエピタキシャル結晶成長により形成する工程を含む、エピタキシャルウエハの製造方法。
- [0015] [7] 前記エピタキシャル層の成長レートが $1.2 \mu\text{m}/\text{h}$ 以上である、前記[6]に記載のエピタキシャルウエハの製造方法。
- [0016] [8] 前記半導体基板の前記主面が、 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 系単結晶の[010]軸を回転軸として(100)面から(101)面へ向かう方向に $38^\circ$ 以上 $90^\circ$ 以下の範囲内の角度で回転させた面である、前記[6]又は[7]に記載のエピタキシャルウエハの製造方法。

[0017] [9] 前記角度が、 $68 \pm 1^\circ$  である、前記 [8] に記載のエピタキシャルウエハの製造方法。

[0018] [10] 前記角度が、 $38 \pm 1^\circ$ 、 $53.8 \pm 1^\circ$ 、 $68 \pm 1^\circ$ 、 $76.3 \pm 1^\circ$ 、 $77.3 \pm 1^\circ$ 、 $83 \pm 1^\circ$ 、又は $90 \pm 1^\circ$  である、前記 [8] に記載のエピタキシャルウエハの製造方法。

### 発明の効果

[0019] 本発明によれば、HVPE法により $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 単結晶からなるエピタキシャル層を高い成長レートで成長させることができる $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 単結晶からなる半導体基板、その半導体基板とエピタキシャル層を有するエピタキシャルウエハ、及びそのエピタキシャルウエハの製造方法を提供することができる。

### 図面の簡単な説明

[0020] [図1]図1は、第1の実施の形態に係るエピタキシャルウエハの垂直断面図である。

[図2]図2は、実施の形態に係る気相成長装置の垂直断面図である。

[図3A]図3Aは、評価に用いられた $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 単結晶基板の主面の一部を表す斜視図である。

[図3B]図3Bは、評価に用いられた $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 単結晶基板の主面の一部を表す側面図である。

[図4A]図4Aは、 $\theta = 38^\circ$  である $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 単結晶基板のSEM観察画像である。

[図4B]図4Bは、 $\theta = 38^\circ$  である $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 単結晶基板のSEM観察画像である。

[図5A]図5Aは、 $\theta = 68^\circ$  である $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 単結晶基板のSEM観察画像である。

[図5B]図5Bは、 $\theta = 68^\circ$  である $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 単結晶基板のSEM観察画像である。

[図6A]図6Aは、 $\theta = 98^\circ$  である $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 単結晶基板のSEM観察画像である。

像である。

[図6B]図6Bは、 $\theta = 98^\circ$ である $\beta - \text{Ga}_2\text{O}_3$ 単結晶基板のSEM観察画像である。

[図7]図7は、評価により得られた、HVPE法による $\beta - \text{Ga}_2\text{O}_3$ 単結晶の成長レートと下地面の面方位との関係を表すグラフである。

[図8]図8は、第2の実施の形態に係る横型トランジスタの垂直断面図である。

### 発明を実施するための形態

[0021] [第1の実施の形態]

(結晶積層構造体の構成)

図1は、第1の実施の形態に係るエピタキシャルウエハ10の垂直断面図である。エピタキシャルウエハ10は、半導体基板11と、半導体基板11の主面上にHVPE (Halide Vapor Phase Epitaxy) 法によるエピタキシャル結晶成長により形成されたエピタキシャル層12を有する。

[0022] 半導体基板11は、 $\beta - \text{Ga}_2\text{O}_3$ 系単結晶からなる基板である。ここで、 $\beta - \text{Ga}_2\text{O}_3$ 系単結晶とは、 $\beta - \text{Ga}_2\text{O}_3$ 単結晶、又は、Al、In等の元素が添加された $\beta - \text{Ga}_2\text{O}_3$ 単結晶を母結晶とする結晶をいう。例えば、Al及びInが添加された $\beta - \text{Ga}_2\text{O}_3$ 単結晶の組成は、 $\beta - (\text{Ga}_x\text{Al}_y\text{In}_{(1-x-y)})_2\text{O}_3$  ( $0 < x \leq 1$ 、 $0 \leq y \leq 1$ 、 $0 < x + y \leq 1$ ) で表される。Alを添加した場合には $\beta - \text{Ga}_2\text{O}_3$ 単結晶のバンドギャップが広がり、Inを添加した場合にはバンドギャップが狭くなる。また、半導体基板11は、Si等の導電型不純物を含んでもよい。

[0023] 半導体基板11は、例えば、FZ (Floating Zone) 法やEFG (Edge Defined Film Fed Growth) 法等の融液成長法により育成した $\text{Ga}_2\text{O}_3$ 系単結晶のバルク結晶をスライスし、表面を研磨することにより形成される。

[0024] 半導体基板11の主面は、半導体基板11を構成する $\beta - \text{Ga}_2\text{O}_3$ 系単結晶の[010]軸に平行な面である。これは、 $\beta - \text{Ga}_2\text{O}_3$ 系単結晶基板の主面の面方位が(010)であるときに、 $\beta - \text{Ga}_2\text{O}_3$ 系単結晶層のHVP

E法によるエピタキシャル成長の成長レートが極端に低くなるという本発明者らの発見に基づいて設定されたものである。

[0025] 本発明者らは、 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 系単結晶基板の主面の面方位が、このHVPE法による $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 系単結晶層の成長に適さない(010)面に垂直な面、すなわち[010]軸に平行な面であるときに、 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 系単結晶層のHVPE法によるエピタキシャル成長の成長レートが高くなることを見出した。

[0026] 好ましくは、半導体基板11の主面は、 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 系単結晶の[010]軸を回転軸として(100)面から(101)面へ向かう方向に $38^\circ$ 以上 $90^\circ$ 以下の範囲内の角度で回転させた面である。

[0027] より好ましくは、半導体基板11の主面は、 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 系単結晶の[010]軸を回転軸として(100)面から(101)面へ向かう方向に、 $68 \pm 10^\circ$ 回転させた面である。ここで、「 $\pm$ 」は許容誤差を表し、例えば、 $68 \pm 10^\circ$ は、 $58^\circ$ 以上 $78^\circ$ 以下の範囲内の任意の角度を表す。

[0028] また、半導体基板11の主面は、 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 系単結晶の[010]軸を回転軸として(100)面から(101)面へ向かう方向に $38 \pm 1^\circ$ 、 $53.8 \pm 1^\circ$ 、 $68 \pm 1^\circ$ 、 $76.3 \pm 1^\circ$ 、 $77.3 \pm 1^\circ$ 、 $83 \pm 1^\circ$ 、又は $90 \pm 1^\circ$ 回転させた面であることも好ましい。

[0029] エピタキシャル層12は、半導体基板11と同様に、 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 系単結晶からなる。また、エピタキシャル層12は、Si等の導電型不純物を含んでもよい。

[0030] (気相成長装置の構造)

以下に、本実施の形態に係るエピタキシャル層12の成長に用いる気相成長装置の構造の一例について説明する。

[0031] 図2は、実施の形態に係る気相成長装置2の垂直断面図である。気相成長装置2は、HVPE法用の気相成長装置であり、第1のガス導入ポート21、第2のガス導入ポート22、第3のガス導入ポート23、及び排気ポート24を有する反応チャンバー20と、反応チャンバー20の周囲に設置され

、反応チャンバー20内の所定の領域を加熱する第1の加熱手段26及び第2の加熱手段27を有する。

[0032] H V P E法は、P L D法等と比較して、成膜レートが高い。また、膜厚の面内分布の均一性が高く、大口径の膜を成長させることができる。このため、結晶の大量生産に適している。

[0033] 反応チャンバー20は、G a原料が収容された反応容器25が配置され、ガリウムの原料ガスが生成される原料反応領域R1と、半導体基板11が配置され、エピタキシャル層12の成長が行われる結晶成長領域R2を有する。反応チャンバー20は、例えば、石英ガラスからなる。

[0034] ここで、反応容器25は、例えば、石英ガラスであり、反応容器25に収容されるG a原料は金属ガリウムである。

[0035] 第1の加熱手段26と第2の加熱手段27は、反応チャンバー20の原料反応領域R1と結晶成長領域R2をそれぞれ加熱することができる。第1の加熱手段26及び第2の加熱手段27は、例えば、抵抗加熱式や輻射加熱式の加熱装置である。

[0036] 第1のガス導入ポート21は、C l<sub>2</sub>ガス又はH C lガスであるC l含有ガスを、不活性ガスであるキャリアガス（N<sub>2</sub>ガス、A rガス又はH eガス）を用いて反応チャンバー20の原料反応領域R1内に導入するためのポートである。

[0037] 第2のガス導入ポート22は、酸素の原料ガスであるO<sub>2</sub>ガスやH<sub>2</sub>Oガス等の酸素含有ガス及びエピタキシャル層12にS i等のドーパントを添加するための塩化物系ガス（例えば、四塩化ケイ素等）を、不活性ガスであるキャリアガス（N<sub>2</sub>ガス、A rガス又はH eガス）を用いて反応チャンバー20の結晶成長領域R2へ導入するためのポートである。

[0038] 第3のガス導入ポート23は、不活性ガスであるキャリアガス（N<sub>2</sub>ガス、A rガス又はH eガス）を反応チャンバー20の結晶成長領域R2へ導入するためのポートである。

[0039] （エピタキシャル層の成長）

以下に、本実施の形態に係るエピタキシャル層 1 2 の成長工程の一例について説明する。

- [0040] まず、第 1 の加熱手段 2 6 を用いて反応チャンバー 2 0 の原料反応領域 R 1 を加熱し、原料反応領域 R 1 の雰囲気温度を所定の温度に保つ。
- [0041] 次に、第 1 のガス導入ポート 2 1 から C l 含有ガスを、キャリアガスを用いて導入し、原料反応領域 R 1 において、上記の雰囲気温度下で反応容器 2 5 内の金属ガリウムと C l 含有ガスを反応させ、塩化ガリウム系ガスを生成する。
- [0042] このとき、上記の原料反応領域 R 1 内の雰囲気温度は、反応容器 2 5 内の金属ガリウムと C l 含有ガスの反応により生成される塩化ガリウム系ガスのうち、G a C l ガスの分圧が最も高くなるような温度であることが好ましい。ここで、塩化ガリウム系ガスには、G a C l ガス、G a C l<sub>2</sub> ガス、G a C l<sub>3</sub> ガス、(G a C l<sub>3</sub>)<sub>2</sub> ガス等が含まれる。
- [0043] G a C l ガスは、塩化ガリウム系ガスに含まれるガスのうち、G a<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 結晶の成長駆動力を最も高い温度まで保つことのできるガスである。高純度、高品質の G a<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 結晶を得るためには、高い成長温度での成長が有効であるため、高温において成長駆動力の高い G a C l ガスの分圧が高い塩化ガリウム系ガスを生成することが、エピタキシャル層 1 2 の成長のために好ましい。
- [0044] なお、エピタキシャル層 1 2 を成長させる際の雰囲気に水素が含まれていると、エピタキシャル層 1 2 の表面の平坦性及び結晶成長駆動力が低下するため、水素を含まない C l<sub>2</sub> ガスを C l 含有ガスとして用いることが好ましい。
- [0045] また、塩化ガリウム系ガスのうちの G a C l ガスの分圧比を高くするため、第 1 の加熱手段 2 6 により原料反応領域 R 1 の雰囲気温度を 3 0 0 °C 以上に保持した状態で反応容器 2 5 内の金属ガリウムと C l 含有ガスを反応させることが好ましい。
- [0046] また、例えば、8 5 0 °C 以上の雰囲気温度下では、G a C l ガスの分圧比

が圧倒的に高くなる（GaClガスの平衡分圧がGaCl<sub>2</sub>ガスより4桁大きく、GaCl<sub>3</sub>ガスより8桁大きい）ため、GaClガス以外のガスはGa<sub>2</sub>O<sub>3</sub>結晶の成長にほとんど寄与しない。

[0047] なお、第1の加熱手段26の寿命や、石英ガラス等からなる反応チャンバ-20の耐熱性を考慮して、原料反応領域R1の雰囲気温度を1000℃以下に保持した状態で反応容器25内の金属ガリウムとCl含有ガスを反応させることが好ましい。

[0048] 次に、結晶成長領域R2において、原料反応領域R1で生成された塩化ガリウム系ガスと、第2のガス導入ポート22から導入された酸素含有ガスとを混合させ、その混合ガスに半導体基板11を曝し、半導体基板11上にエピタキシャル層12をエピタキシャル成長させる。このとき、反応チャンバ-20を収容する炉内の結晶成長領域R2における圧力を、例えば、1 atmに保つ。

[0049] ここで、Si、Al等の添加元素を含むエピタキシャル層12を形成する場合には、ガス導入ポート22より、添加元素の原料ガス（例えば、四塩化ケイ素（SiCl<sub>4</sub>）等の塩化物系ガス）も塩化ガリウム系ガス及び酸素含有ガスに併せて結晶成長領域R2に導入する。

[0050] なお、エピタキシャル層12を成長させる際の雰囲気に水素が含まれていると、エピタキシャル層12の表面の平坦性及び結晶成長駆動力が低下するため、酸素含有ガスとして水素を含まないO<sub>2</sub>ガスを用いることが好ましい。

[0051] また、GaClガスの平衡分圧の低下を抑え、エピタキシャル層12を効率的に成長させるためには、結晶成長領域R2におけるO<sub>2</sub>ガスの供給分圧のGaClガスの供給分圧に対する比が0.5以上である状態でエピタキシャル層12を成長させることが好ましい。

[0052] また、高品質のエピタキシャル層12を成長させるために、成長温度を900℃以上にすることが好ましい。

[0053] なお、エピタキシャル層12は、例えば、 $5 \times 10^{16}$  (atoms/cm<sup>3</sup>)以下のClを含む。これは、エピタキシャル層12がCl含有ガスを用い

るHVPE法により形成されることに起因する。通常、HVPE法以外の方法により $Ga_2O_3$ 単結晶膜を形成する場合には、Cl含有ガスを用いないため、 $Ga_2O_3$ 単結晶膜中にClが含まれることはなく、少なくとも、 $1 \times 10^{16}$  (atoms/cm<sup>3</sup>)以上のClが含まれることはない。

[0054] (半導体基板の主面の面方位)

以下に、半導体基板11の主面の面方位と、エピタキシャル層12の成長レートの関係の評価結果を示す。この評価は、(010)面である主面にラインアンドスペースパターンの凹凸が形成された $\beta-Ga_2O_3$ 単結晶基板を用いて行った。

[0055] 図3A、図3Bは、評価に用いられた $\beta-Ga_2O_3$ 単結晶基板30の主面の一部を表す斜視図と側面図である。 $\beta-Ga_2O_3$ 単結晶基板30の主面の凸部の上面を面31、凹部の底面を面32、凸部の側面を面33、34とする。

[0056] 面31、32の面方位は(010)である。面33、34は面31、32に垂直な面であり、[010]軸を回転軸として(100)面から(101)面へ向かう方向へ角度 $\theta$ だけ回転させた面である。なお、面34の面方位は $\theta$ からさらに $180^\circ$ 回転しており、面33の面方位と等価である。

[0057] HVPE法により $\beta-Ga_2O_3$ 単結晶基板30上に $\beta-Ga_2O_3$ 単結晶をエピタキシャル成長させ、面33、34に垂直な方向の $\beta-Ga_2O_3$ 単結晶の成長を観察することにより、[010]軸に平行な面の面方位と $\beta-Ga_2O_3$ 単結晶の成長レートとの関係の評価した。

[0058] 図4A、図4Bは、 $\theta = 38^\circ$ である $\beta-Ga_2O_3$ 単結晶基板30のSEM (Scanning Electron Microscope) 観察画像である。図4Aは主面に垂直な方向から観察した画像であり、図4Bは斜め上方から観察した画像である。

[0059] 図5A、図5Bは、 $\theta = 68^\circ$ である $\beta-Ga_2O_3$ 単結晶基板30のSEM観察画像である。図5Aは主面に垂直な方向から観察した画像であり、図5Bは斜め上方から観察した画像である。

- [0060] 図6A、図6Bは、 $\theta = 98^\circ$ である $\beta - \text{Ga}_2\text{O}_3$ 単結晶基板30のSEM観察画像である。図6Aは主面に垂直な方向から観察した画像であり、図6Bは斜め上方から観察した画像である。
- [0061] 図4B、図5B、図6Bに示される厚さ $t$ は、面33、34に垂直な方向へ成長した $\beta - \text{Ga}_2\text{O}_3$ 単結晶の厚さを表す。
- [0062] 図7は、評価により得られた、HVPE法による $\beta - \text{Ga}_2\text{O}_3$ 単結晶の成長レートと下地面の面方位との関係を表すグラフである。図7の横軸は面33の角度 $\theta$ を表し、縦軸は面33、34に垂直な方向の $\beta - \text{Ga}_2\text{O}_3$ 単結晶の成長レート（厚さ $t$ の単位時間あたりの増加量）を表す。
- [0063] 図7中の点線は(010)面、(001)面、(-101)面、(-201)面に対応する角度 $\theta$ を表しており、例えば、 $\theta = 53.8^\circ$ のときに面33が(101)面に一致しており、面34は(-10-1)面に一致することを表している。
- [0064] 図7中のプロットマーク◆は、上記の $\beta - \text{Ga}_2\text{O}_3$ 単結晶基板30を用いた評価方法による測定値である。プロットマーク◇は、 $\beta - \text{Ga}_2\text{O}_3$ 単結晶基板30を用いずに、対応する面方位の平坦な主面を有する $\beta - \text{Ga}_2\text{O}_3$ 単結晶基板上に $\beta - \text{Ga}_2\text{O}_3$ 単結晶を成長させ、主面に垂直な方向の成長を観察して得た測定値である。
- [0065] 以下の表1に、図7に示される各測定点の数値を表す。
- [0066]

[表1]

角度 $\theta$ (degree)	成長レート ( $\mu\text{m}/\text{h}$ )
8.0	3.20
30.5	2.13
38.0	4.53
53.8	4.10
68.0	7.20
76.3	6.40
77.3	5.80
83.0	4.67
90.0	3.90
90.0	3.73
98.0	1.33
126.2	1.20
128.0	1.60
143.0	2.67
158.0	2.67
172.0	3.07

[0067] なお、(010)面を主面とする $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 単結晶基板の上に $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 単結晶を同じ成長条件で成長させたところ、主面に垂直な方向の $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 単結晶の成長レートは、 $0.3\mu\text{m}/\text{h}$ であった。

[0068] 図7、表1に示されるように、[010]軸に平行な面上の $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 単結晶の成長レートは、 $0 \leq \theta \leq 180^\circ$ の全範囲において、(010)面上の成長レートよりも格段に高い。例えば、図7、表1に示される[010]軸に平行な面上の $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 単結晶の成長レートのうちの、最も低い成長レートである $1.20\mu\text{m}/\text{h}$  ( $\theta = 126.2$ )であっても、(010)面上の成長レートである $0.3\mu\text{m}/\text{h}$ の4倍である。このことから、 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 単結晶基板の主面が[010]軸に平行な面であるときに、 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 単結晶のHVPE法によるエピタキシャル成長の成長レートが高くなるといえる。

[0069] また、図7、表1に示されるように、 $38^\circ \leq \theta \leq 90^\circ$ の範囲において

、特に $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 単結晶の成長レートが高い。

[0070] さらに、 $38^\circ \leq \theta \leq 90^\circ$  の範囲においては、角度 $\theta$ が $68^\circ$  付近に近づくほど $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 単結晶の成長レートが高くなる傾向がみられ、 $68 \pm 1^\circ$  の範囲で特に高い成長レートが得られることが推測される。

[0071] また、 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 単結晶基板の主面の傾きがおよそ $\pm 1^\circ$  以内であれば、成長レートは大きく変化しないため、実測値から、 $\theta = 38 \pm 1^\circ$ 、 $53.8 \pm 1^\circ$ 、 $68 \pm 1^\circ$ 、 $76.3 \pm 1^\circ$ 、 $77.3 \pm 1^\circ$ 、 $83 \pm 1^\circ$ 、又は $90 \pm 1^\circ$  のときに $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 単結晶の成長レートが高くなるといえる。

[0072] 以上の評価は、 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 単結晶基板上に $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 単結晶を成長させることにより行われたが、基板の材料及び成長結晶として $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 単結晶の代わりに他の $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 系単結晶を用いて評価を行う場合や、ドーパントを含む $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 系単結晶を用いて評価を行う場合にも、同様の結果が得られる。

[0073] このため、エピタキシャル層12のHVPE法によるエピタキシャル成長の成長レートを高くするためには、エピタキシャルウエハ10の半導体基板11の主面が $[010]$ 軸に平行な面であることが好ましいといえる。

[0074] また、半導体基板11の主面が、 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 系単結晶の $[010]$ 軸を回転軸として $(100)$ 面から $(101)$ 面へ向かう方向に $38^\circ$  以上 $90^\circ$  以下の範囲内の角度で回転させた面であることがより好ましいといえる。

[0075] さらに、半導体基板11の主面が、 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 系単結晶の $[010]$ 軸を回転軸として $(100)$ 面から $(101)$ 面へ向かう方向に、 $68 \pm 1^\circ$  回転させた面であることがより好ましいといえる。

[0076] また、半導体基板11の主面は、 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 系単結晶の $[010]$ 軸を回転軸として $(100)$ 面から $(101)$ 面へ向かう方向に $38 \pm 1^\circ$ 、 $53.8 \pm 1^\circ$ 、 $68 \pm 1^\circ$ 、 $76.3 \pm 1^\circ$ 、 $77.3 \pm 1^\circ$ 、 $83 \pm 1^\circ$ 、又は $90 \pm 1^\circ$  回転させた面であることも好ましいといえる。

[0077] [第2の実施の形態]

第2の実施の形態は、第1の実施の形態に係るエピタキシャルウエハ10を含む半導体素子についての形態である。この半導体素子の一例として、いかに、MESFET (Metal Semiconductor Field Effect Transistor) 構造を有する横型トランジスタについて説明する。

[0078] (半導体素子の構造)

図8は、第2の実施の形態に係る横型トランジスタ40の垂直断面図である。横型トランジスタ40は、半導体基板11上に形成されたエピタキシャル層12と、エピタキシャル層12上のゲート電極41、ソース電極42、及びドレイン電極43を含む。ゲート電極41は、ソース電極42とドレイン電極43との間に配置される。

[0079] ソース電極42及びドレイン電極43は、エピタキシャル層12の上面(半導体基板11に接している面の反対側の面)に接触してオーミック接合を形成する。また、ゲート電極41はエピタキシャル層12の上面に接触してショットキー接合を形成し、エピタキシャル層12中のゲート電極41下に空乏層が形成される。この空乏領域の厚さにより、横型トランジスタ40は、ノーマリーオフ型のトランジスタ又はノーマリーオン型のトランジスタとして機能する。

[0080] 半導体基板11は、Mg、Be、Zn、Fe等のp型ドーパントを含むGa<sub>2</sub>O<sub>3</sub>系結晶からなり、高い電気抵抗を有する。

[0081] エピタキシャル層12は、Si、Sn等のn型ドーパントを含む。ソース電極42及びドレイン電極43との接触部付近におけるn型ドーパントの濃度は、他の部分におけるn型ドーパントの濃度よりも高い。エピタキシャル層12の厚さは、例えば、0.1~1μmである。

[0082] ゲート電極41、ソース電極42、及びドレイン電極43は、例えば、Au、Al、Ti、Sn、Ge、In、Ni、Co、Pt、W、Mo、Cr、Cu、Pb等の金属、これらの金属のうちの2つ以上を含む合金、ITO等の導電性化合物、又は導電性ポリマーからなる。導電性ポリマーとしては、ポリチオフェン誘導体(PEDOT:ポリ(3,4)-エチレンジオキシチオフェ

ン) にポリスチレンスルホン酸 (PSS) をドーピングしたものや、ポリピロール誘導体に TCNA をドーピングしたもの等が用いられる。また、ゲート電極 41 は、異なる 2 つの金属からなる 2 層構造、例えば Al/Ti、Au/Ni、Au/Co、を有してもよい。

[0083] 横型トランジスタ 40 においては、ゲート電極 41 に印加するバイアス電圧を制御することにより、エピタキシャル層 12 内のゲート電極 41 下の空乏層の厚さを変化させ、ドレイン電流を制御することができる。

[0084] 上記の横型トランジスタ 40 は、第 1 の実施の形態に係るエピタキシャルウエハ 10 を含む半導体素子の一例であり、その他にも、エピタキシャルウエハ 10 を用いて様々な半導体素子を製造することができる。

[0085] 例えば、エピタキシャル層 12 をチャンネル層として用いる MISFET (Metal Insulator Semiconductor Field Effect Transistor) や HEMT (High Electron Mobility Transistor)、半導体基板 11 とエピタキシャル層 12 にオーミック電極とショットキー電極がそれぞれ接続されるショットキーダイオード等を製造することができる。製造する半導体素子の種類によって、半導体基板 11 とエピタキシャル層 12 に含まれるドーパントの種類や濃度を適宜設定する。

[0086] (実施の形態の効果)

上記実施の形態によれば、HVPE 法により  $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$  単結晶からなるエピタキシャル層を高い成長レートで成長させることができる  $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$  単結晶からなる半導体基板を提供することができる。

[0087] また、その半導体基板上にエピタキシャル層をエピタキシャル成長させることにより、効率よくエピタキシャルウエハを製造することができる。また、エピタキシャル層を高い成長レートで成長させることにより、半導体基板からの不純物の拡散を抑制することができるため、このエピタキシャルウエハは、高品質のエピタキシャル層を有する。

[0088] さらに、そのエピタキシャルウエハを用いることにより、効率よく高品質な半導体素子を製造することができる。

[0089] 以上、本発明の実施の形態を説明したが、本発明は、上記実施の形態に限定されず、発明の主旨を逸脱しない範囲内において種々変形実施が可能である。

[0090] また、上記に記載した実施の形態は特許請求の範囲に係る発明を限定するものではない。また、実施の形態の中で説明した特徴の組合せの全てが発明の課題を解決するための手段に必須であるとは限らない点に留意すべきである。

### 産業上の利用可能性

[0091] H V P E法により $\beta - G a _ 2 O _ 3$ 単結晶からなるエピタキシャル層を高い成長レートで成長させることができる $\beta - G a _ 2 O _ 3$ 単結晶からなる半導体基板、その半導体基板とエピタキシャル層を有するエピタキシャルウエハ、及びそのエピタキシャルウエハの製造方法を提供する。

### 符号の説明

[0092] 1 0…エピタキシャルウエハ、 1 1…半導体基板、 1 2…エピタキシャル層

## 請求の範囲

- [請求項1] H V P E 法によるエピタキシャル結晶成長用の下地基板として用いられる半導体基板であって、  
 $\beta$ -G a <sub>2</sub>O<sub>3</sub>系単結晶からなり、 $\beta$ -G a <sub>2</sub>O<sub>3</sub>系単結晶の [0 1 0] 軸に平行な面を主面とする、  
半導体基板。
- [請求項2] 前記主面が、 $\beta$ -G a <sub>2</sub>O<sub>3</sub>系単結晶の [0 1 0] 軸を回転軸として (1 0 0) 面から (1 0 1) 面へ向かう方向に 3 8 ° 以上 9 0 ° 以下の範囲内の角度で回転させた面である、  
請求項 1 に記載の半導体基板。
- [請求項3] 前記角度が、6 8 ± 1 0 ° である、  
請求項 2 に記載の半導体基板。
- [請求項4] 前記角度が、3 8 ± 1 ° 、 5 3 . 8 ± 1 ° 、 6 8 ± 1 ° 、 7 6 . 3 ± 1 ° 、 7 7 . 3 ± 1 ° 、 8 3 ± 1 ° 、 又は 9 0 ± 1 ° である、  
請求項 2 に記載の半導体基板。
- [請求項5] 請求項 1 ~ 4 のいずれか 1 項に記載の前記半導体基板と、  
前記半導体基板の前記主面上に H V P E 法によるエピタキシャル結晶成長により形成された、 $\beta$ -G a <sub>2</sub>O<sub>3</sub>系単結晶からなるエピタキシャル層と、  
を有するエピタキシャルウエハ。
- [請求項6]  $\beta$ -G a <sub>2</sub>O<sub>3</sub>系単結晶からなり、 $\beta$ -G a <sub>2</sub>O<sub>3</sub>系単結晶の [0 1 0] 軸に平行な面を主面とする半導体基板上に、 $\beta$ -G a <sub>2</sub>O<sub>3</sub>系単結晶からなるエピタキシャル層を H V P E 法によるエピタキシャル結晶成長により形成する工程を含む、  
エピタキシャルウエハの製造方法。
- [請求項7] 前記エピタキシャル層の成長レートが 1 . 2 μ m / h 以上である、  
請求項 6 に記載のエピタキシャルウエハの製造方法。
- [請求項8] 前記半導体基板の前記主面が、 $\beta$ -G a <sub>2</sub>O<sub>3</sub>系単結晶の [0 1 0]

] 軸を回転軸として(100)面から(101)面へ向かう方向に38°以上90°以下の範囲内の角度で回転させた面である、

請求項6又は7に記載のエピタキシャルウエハの製造方法。

[請求項9]

前記角度が、 $68 \pm 10^\circ$ である、

請求項8に記載のエピタキシャルウエハの製造方法。

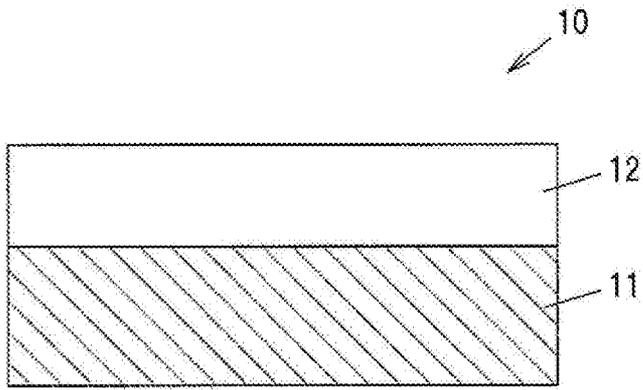
[請求項10]

前記角度が、 $38 \pm 1^\circ$ 、 $53.8 \pm 1^\circ$ 、 $68 \pm 1^\circ$ 、 $76.3 \pm 1^\circ$ 、 $77.3 \pm 1^\circ$ 、 $83 \pm 1^\circ$ 、又は $90 \pm 1^\circ$ である、

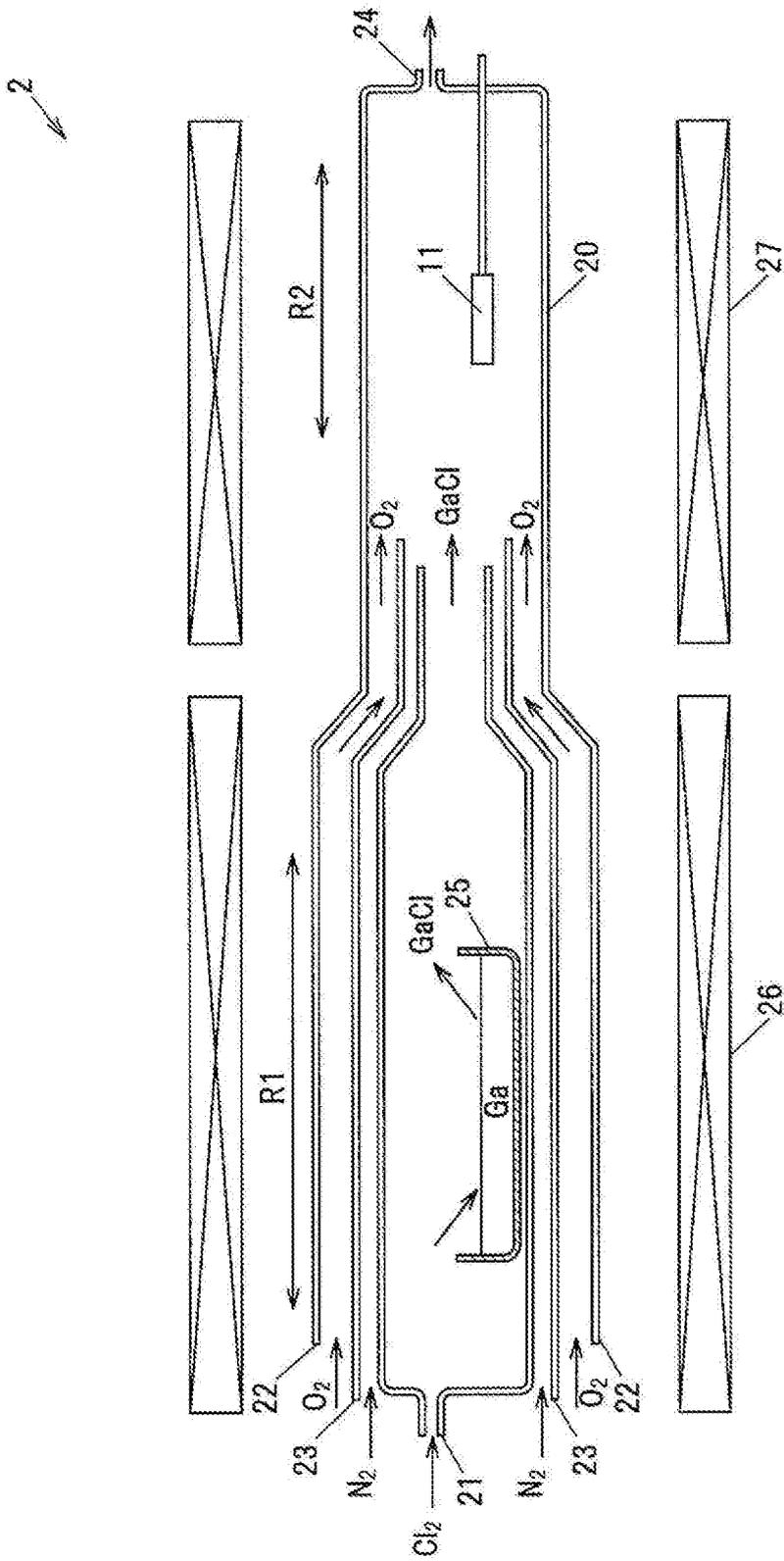
請求項8に記載のエピタキシャルウエハの製造方法。

[図1]

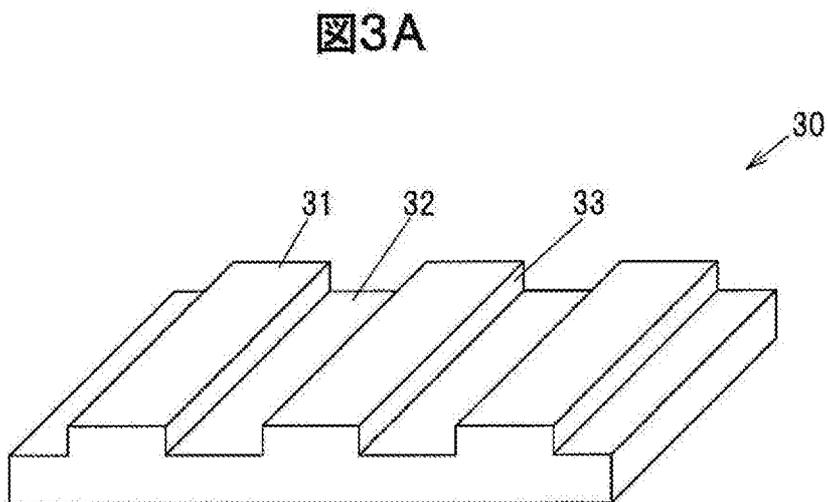
図1



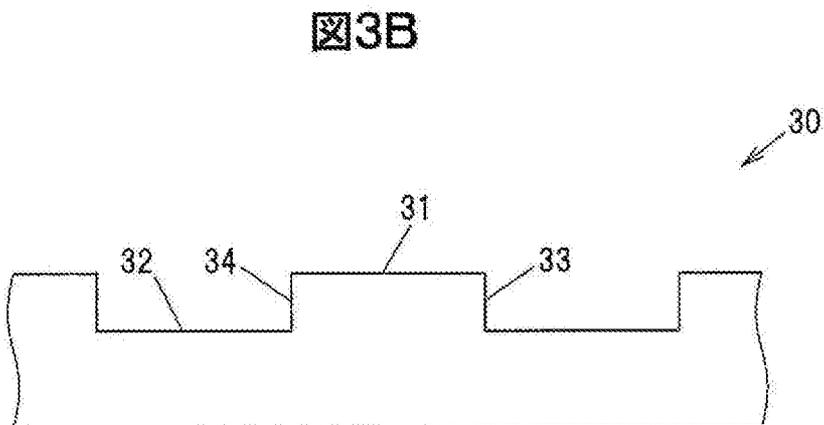
[図2]



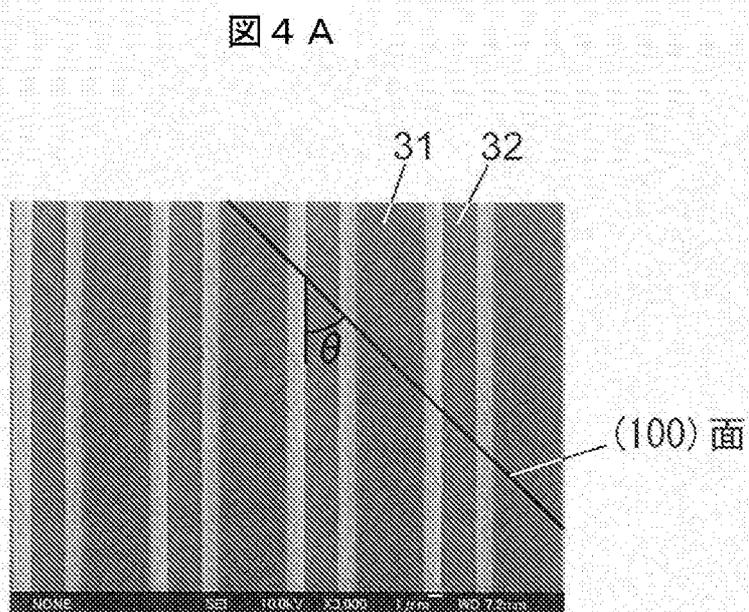
[図3A]



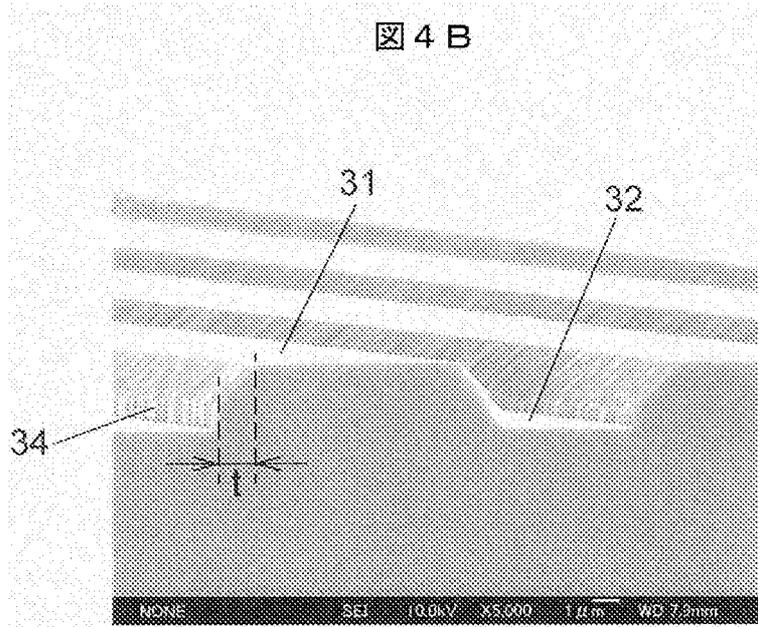
[図3B]



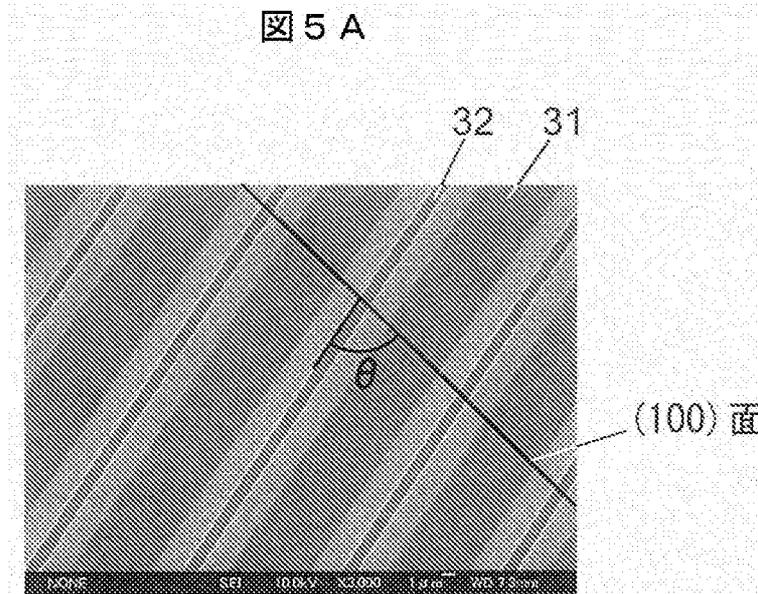
[図4A]



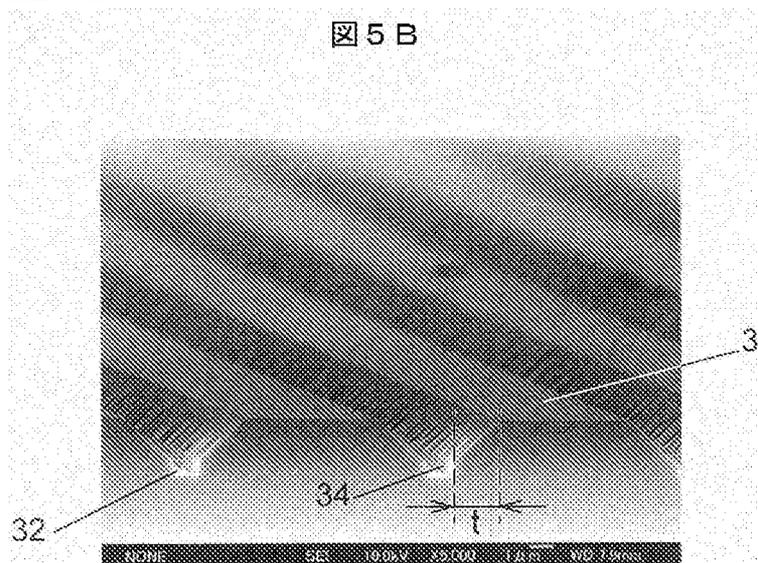
[図4B]



[図5A]

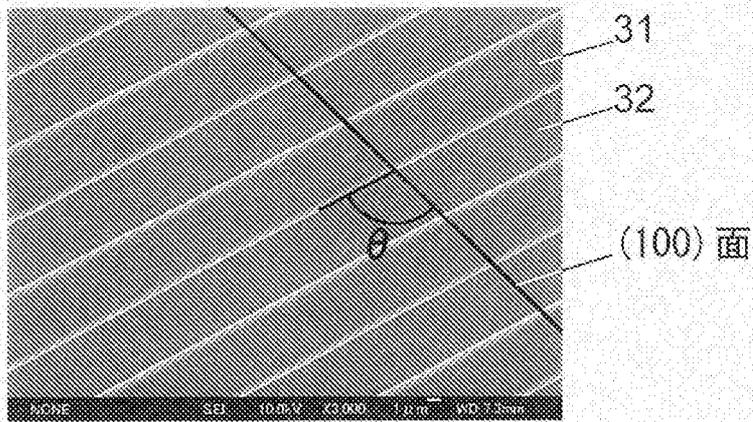


[図5B]



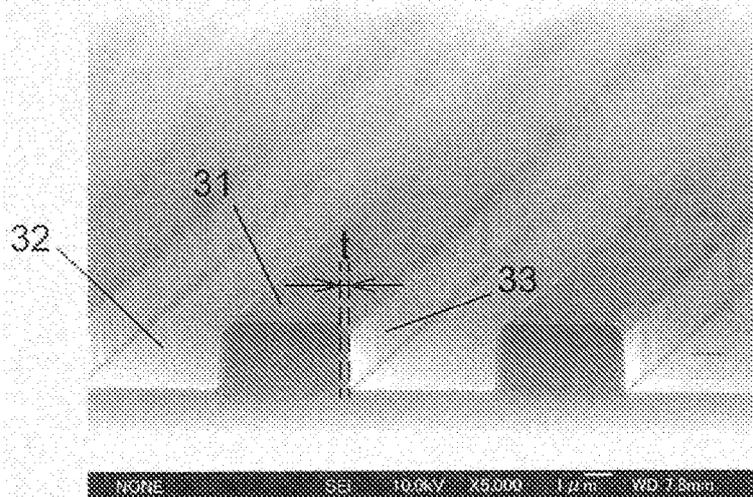
[図6A]

図 6 A



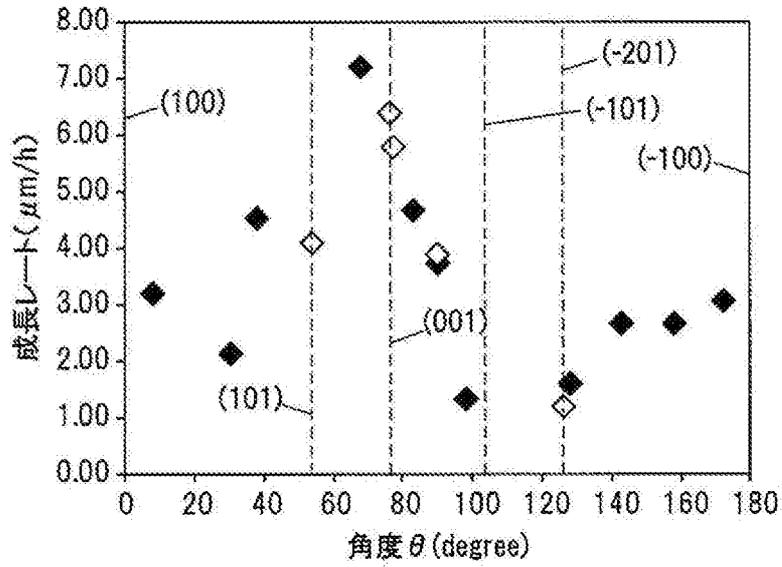
[図6B]

図 6 B



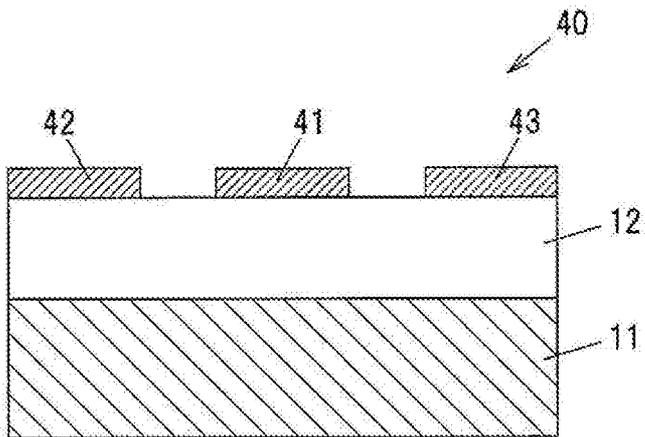
[図7]

図7



[図8]

図8



## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2015/063523

<b>A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER</b> C30B29/16(2006.01)i, C23C16/40(2006.01)i, C30B25/20(2006.01)i, H01L21/205(2006.01)i, H01L21/365(2006.01)i  According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
<b>B. FIELDS SEARCHED</b> Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) C30B29/16, C23C16/40, C30B25/20, H01L21/205, H01L21/365  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 1996-2015 Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-2015 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-2015  Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)		
<b>C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT</b>		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y A	WO 2013/035464 A1 (Tamura Corp.), 14 March 2013 (14.03.2013), claims; paragraphs [0003], [0017] to [0024], [0032], [0065]; fig. 1 to 7 & JP 2014-221719 A & US 2014/0217554 A1 & EP 2754736 A1 & CN 103781948 A	1-4 5-10
Y	JP 2013-227202 A (Mitsubishi Chemical Corp.), 07 November 2013 (07.11.2013), paragraphs [0015], [0025] (Family: none)	1-4
Y	JP 2013-229554 A (Mitsubishi Chemical Corp.), 07 November 2013 (07.11.2013), paragraphs [0021], [0038] (Family: none)	1-4
<input checked="" type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input type="checkbox"/> See patent family annex.		
* Special categories of cited documents: "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance "E" earlier application or patent but published on or after the international filing date "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified) "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed "T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art "&" document member of the same patent family		
Date of the actual completion of the international search 03 August 2015 (03.08.15)		Date of mailing of the international search report 11 August 2015 (11.08.15)
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/JP2015/063523

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
E, X	JP 2015-091740 A (Tamura Corp.), 14 May 2015 (14.05.2015), claims; paragraphs [0024] to [0099]; fig. 1 to 12 & WO 2015/046006 A1	1-10

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC）） Int.Cl. C30B29/16(2006.01)i, C23C16/40(2006.01)i, C30B25/20(2006.01)i, H01L21/205(2006.01)i, H01L21/365(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. C30B29/16, C23C16/40, C30B25/20, H01L21/205, H01L21/365		
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 1971-2015年 日本国実用新案登録公報 1996-2015年 日本国登録実用新案公報 1994-2015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
Y	WO 2013/035464 A1 (株式会社タムラ製作所) 2013.03.14, 特許請求の範囲、[0003]、[0017]-[0024]、[0032]、[0065]、図1-7	1-4
A	& JP 2014-221719 A & US 2014/0217554 A1 & EP 2754736 A1 & CN 103781948 A	5-10
Y	JP 2013-227202 A (三菱化学株式会社) 2013.11.07, [0015]、[0025] (ファミリーなし)	1-4
<input checked="" type="checkbox"/> C欄の続きにも文献が列挙されている。 <input type="checkbox"/> 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	03.08.2015	国際調査報告の発送日
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） 國方 恭子 電話番号 03-3581-1101 内線 3416	4G 9540

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
Y	JP 2013-229554 A (三菱化学株式会社) 2013. 11. 07, [0021]、[0038] (ファミリーなし)	1-4
EX	JP 2015-091740 A (株式会社タムラ製作所) 2015. 05. 14, 特許請求の範囲、[0024]-[0099]、図1-12 & WO 2015/046006 A1	1-10