

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第6253150号  
(P6253150)

(45) 発行日 平成29年12月27日 (2017.12.27)

(24) 登録日 平成29年12月8日 (2017.12.8)

(51) Int. Cl.		F I
C 3 O B 29/16	(2006.01)	C 3 O B 29/16
C 3 O B 25/20	(2006.01)	C 3 O B 25/20
C 2 3 C 16/40	(2006.01)	C 2 3 C 16/40
H O 1 L 21/205	(2006.01)	H O 1 L 21/205
H O 1 L 21/365	(2006.01)	H O 1 L 21/365

請求項の数 9 (全 15 頁)

(21) 出願番号	特願2014-97751 (P2014-97751)	(73) 特許権者	390005223
(22) 出願日	平成26年5月9日 (2014.5.9)		株式会社タムラ製作所
(65) 公開番号	特開2015-214448 (P2015-214448A)		東京都練馬区東大泉1丁目19番43号
(43) 公開日	平成27年12月3日 (2015.12.3)	(73) 特許権者	504132881
審査請求日	平成29年4月20日 (2017.4.20)		国立大学法人東京農工大学
早期審査対象出願			東京都府中市晴見町3-8-1
		(74) 代理人	110002583
			特許業務法人平田国際特許事務所
		(74) 代理人	100071526
			弁理士 平田 忠雄
		(74) 代理人	100119208
			弁理士 岩永 勇二
		(74) 代理人	100124246
			弁理士 遠藤 和光

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 エピタキシャルウエハ及びその製造方法

(57) 【特許請求の範囲】

【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、  
 $-Ga_2O_3$ 系単結晶からなり、  
 $-Ga_2O_3$ 系単結晶の[010]軸に平行な面を主面とする半導体基板と、

前記半導体基板の前記主面上の $5 \times 10^{16}$  (atoms/cm<sup>3</sup>)以下のClを含む  
 $-Ga_2O_3$ 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。

【請求項2】

前記主面が、  
 $-Ga_2O_3$ 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

10

請求項1に記載のエピタキシャルウエハ。

【請求項3】

前記角度が、 $68 \pm 10^\circ$ である、  
 請求項2に記載のエピタキシャルウエハ。

【請求項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、

請求項2に記載のエピタキシャルウエハ。

20

## 【請求項 5】

- Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub>系単結晶からなり、  
- Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub>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、  
- Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub>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。

## 【請求項 6】

前記エピタキシャル層の成長レートが1.2 μm/h以上である、  
請求項5に記載のエピタキシャルウエハの製造方法。

## 【請求項 7】

前記半導体基板の前記主面が、  
- Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub>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°以上90°以下の範囲内の角度で回転させた面である、

10

請求項5又は6に記載のエピタキシャルウエハの製造方法。

## 【請求項 8】

前記角度が、68 ± 10°である、  
請求項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、38 ± 1°、53.8 ± 1°、68 ± 1°、76.3 ± 1°、77.3 ± 1°、83 ± 1°、又は90 ± 1°である、

請求項7に記載のエピタキシャルウエハの製造方法。

20

## 【発明の詳細な説明】

## 【技術分野】

## 【0001】

本発明は、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、  
- 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  
- 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、  
- 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、  
- 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。

30

## 【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  
- 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  
- 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。

40

## 【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

50

板であって、 $\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 系単結晶からなり、 $\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 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、 $\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 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、 $68 \pm 10^\circ$ 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。 10

【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の $5 \times 10^{16} (\text{atoms/cm}^3)$ 以下のClを含む $\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 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。 20

【0014】

[6]  $\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 系単結晶からなり、 $\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 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、 $\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 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 $1.2 \mu\text{m/h}$ 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、 $\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 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。 30

【0017】

[9] 前記角度が、 $68 \pm 10^\circ$ 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。 40

【発明の効果】

【0019】

本発明によれば、HVPE法により $\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 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 $\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 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。 50

【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3】図3(a)、(b)は、評価に用いられた  $\text{-Ga}_2\text{O}_3$  単結晶基板の主面の一部を表す斜視図と側面図である。

【図4】図4(a)、(b)は、 $\theta = 38^\circ$  である  $\text{-Ga}_2\text{O}_3$  単結晶基板のSEM観察画像である。

【図5】図5(a)、(b)は、 $\theta = 68^\circ$  である  $\text{-Ga}_2\text{O}_3$  単結晶基板のSEM観察画像である。

【図6】図6(a)、(b)は、 $\theta = 98^\circ$  である  $\text{-Ga}_2\text{O}_3$  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  $\text{-Ga}_2\text{O}_3$  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、 $\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 系単結晶からなる基板である。ここで、 $\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 系単結晶とは、 $\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 単結晶、又は、Al、In等の元素が添加された  $\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 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  $\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 単結晶の組成は、 $(\text{Ga}_x\text{Al}_y\text{In}_{(1-x-y)})_2\text{O}_3$  ( $0 < x < 1$ 、 $0 < y < 1$ 、 $0 < x + y < 1$ )で表される。Alを添加した場合には  $\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 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  $\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 系単結晶の[010]軸に平行な面である。これは、 $\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 系単結晶基板の主面の面方位が(010)であるときに、 $\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 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、 $\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 系単結晶基板の主面の面方位が、このHVPE法による  $\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 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、 $\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 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、 $\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 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、 $\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 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  $78^\circ$

10

20

30

40

50

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、 $\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 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、 $\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 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】

HVPE法は、PLD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、Ga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Ga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、 $\text{Cl}_2$ ガス又は $\text{HCl}$ ガスであるCl含有ガスを、不活性ガスであるキャリアガス( $\text{N}_2$ ガス、Arガス又はHe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 $\text{O}_2$ ガスや $\text{H}_2\text{O}$ ガス等の酸素含有ガス及びエピタキシャル層12にSi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( $\text{N}_2$ ガス、Arガス又はHe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( $\text{N}_2$ ガス、Arガス又はHe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)

10

20

30

40

50

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 Cl 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 Cl 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 Cl 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、GaCl 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、GaCl ガス、GaCl<sub>2</sub> ガス、GaCl<sub>3</sub> ガス、(GaCl<sub>3</sub>)<sub>2</sub> ガス等が含まれる。

【0043】

GaCl ガスは、塩化ガリウム系ガスに含まれるガスのうち、Ga<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 Ga<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 GaCl 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 Cl<sub>2</sub> ガスを Cl 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 GaCl 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 300 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 Cl 含有ガスを反応させることが好ましい。

【0046】

また、例えば、850 以上の雰囲気温度下では、GaCl 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 2 6 の寿命や、石英ガラス等からなる反応チャンバー 2 0 の耐熱性を考慮して、原料反応領域 R 1 の雰囲気温度を 1000 以下に保持した状態で反応容器 2 5 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 R 2 において、原料反応領域 R 1 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 2 2 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 1 1 を曝し、半導体基板 1 1 上にエピタキシャル層 1 2 をエピタキシャル成長させる。このとき、反応チャンバー 2 0 を収容する炉内の結晶成長領域 R 2 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 1 2 を形成する場合には、ガス導入ポート 2 2 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 R 2 に導入する。

【0050】

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

10

20

30

40

50

キシタル層 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  $O_2$  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、エピタキシタル層 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  $O_2$  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タル層 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タル層 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、エピタキシタル層 12 は、例えば、 $5 \times 10^{16}$  (atoms/cm<sup>3</sup>) 以下の Cl を含む。これは、エピタキシタル層 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、エピタキシタル層 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  $-Ga_2O_3$  単結晶基板を用いて行った。

【0055】

図 3 (a)、(b) は、評価に用いられた  $-Ga_2O_3$  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。  $-Ga_2O_3$  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だけ回転させた面である。なお、面 34 の面方位は からさらに 180° 回転しており、面 33 の面方位と等価である。

【0057】

HVPE 法により  $-Ga_2O_3$  単結晶基板 30 上に  $-Ga_2O_3$  単結晶をエピタキシタル成長させ、面 33、34 に垂直な方向の  $-Ga_2O_3$  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  $-Ga_2O_3$  単結晶の成長レートとの関係を評価した。

【0058】

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

【0059】

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

【0060】

図 6 (a)、(b) は、 $\theta = 98^\circ$  である  $-Ga_2O_3$  単結晶基板 30 の SEM 観察画像である。図 6 (a) は主面に垂直な方向から観察した画像であり、図 6 (b) は斜め上方から観察した画像である。

【0061】

図 4 (b)、図 5 (b)、図 6 (b) に示される厚さ t は、面 33、34 に垂直な方向

10

20

30

40

50

へ成長した  $\text{-Ga}_2\text{O}_3$  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  $\text{-Ga}_2\text{O}_3$  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  $\text{-Ga}_2\text{O}_3$  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。

10

【0064】

図7中のプロットマーク  $\square$  は、上記の  $\text{-Ga}_2\text{O}_3$  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  $\circ$  は、 $\text{-Ga}_2\text{O}_3$  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  $\text{-Ga}_2\text{O}_3$  単結晶基板上に  $\text{-Ga}_2\text{O}_3$  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

10

20

30

## 【0067】

なお、(010)面を主面とする  $\text{-Ga}_2\text{O}_3$  単結晶基板上に  $\text{-Ga}_2\text{O}_3$  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  $\text{-Ga}_2\text{O}_3$  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  $\text{-Ga}_2\text{O}_3$  単結晶の成長レートは、 $0 \sim 180^\circ$ 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  $\text{-Ga}_2\text{O}_3$  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  $1.20 \mu\text{m}/\text{h}$  ( $=126.2$ )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、 $\text{-Ga}_2\text{O}_3$  単結晶基板の主面が[010]軸に平行な面であるときに、 $\text{-Ga}_2\text{O}_3$  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。

40

## 【0069】

また、図7、表1に示されるように、 $38^\circ \sim 90^\circ$ の範囲において、特に  $\text{-Ga}_2\text{O}_3$  単結晶の成長レートが高い。

## 【0070】

50

さらに、 $38^\circ$  ～  $90^\circ$  の範囲においては、角度 が  $68^\circ$  付近に近づくほど  $\text{-Ga}_2\text{O}_3$  単結晶の成長レートが高くなる傾向がみられ、 $68 \pm 10^\circ$  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、 $\text{-Ga}_2\text{O}_3$  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、 $= 38 \pm 1^\circ$ 、 $53.8 \pm 1^\circ$ 、 $68 \pm 1^\circ$ 、 $76.3 \pm 1^\circ$ 、 $77.3 \pm 1^\circ$ 、 $83 \pm 1^\circ$ 、又は  $90 \pm 1^\circ$  のときに  $\text{-Ga}_2\text{O}_3$  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、 $\text{-Ga}_2\text{O}_3$  単結晶基板上に  $\text{-Ga}_2\text{O}_3$  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  $\text{-Ga}_2\text{O}_3$  単結晶の代わりに他の  $\text{-Ga}_2\text{O}_3$  系単結晶を用いて評価を行う場合や、ドーパントを含む  $\text{-Ga}_2\text{O}_3$  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。

10

【0073】

このため、エピタキシャル層 12 の H V P E 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、 $\text{-Ga}_2\text{O}_3$  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。

20

【0075】

さらに、半導体基板 11 の主面が、 $\text{-Ga}_2\text{O}_3$  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、 $\text{-Ga}_2\text{O}_3$  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。

30

【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、M E S F E T (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。

40

【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】

50

半導体基板 11 は、Mg、Be、Zn、Fe 等の p 型ドーパントを含む  $Ga_2O_3$  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、 $0.1 \sim 1 \mu m$  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。

10

【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。

20

【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。

30

【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  $Ga_2O_3$  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  $Ga_2O_3$  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。

40

【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

50

段に必須であるとは限らない点に留意すべきである。

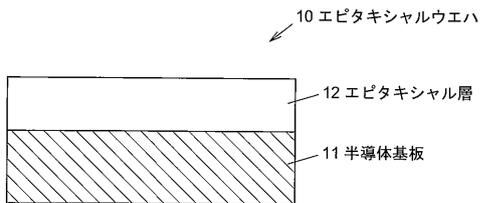
【符号の説明】

【0091】

10 ...エピタキシャルウエハ、 11 ...半導体基板、 12 ...エピタキシャル層

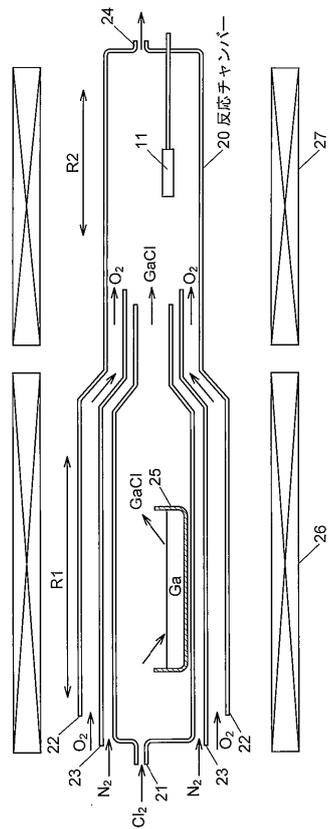
【図1】

図1

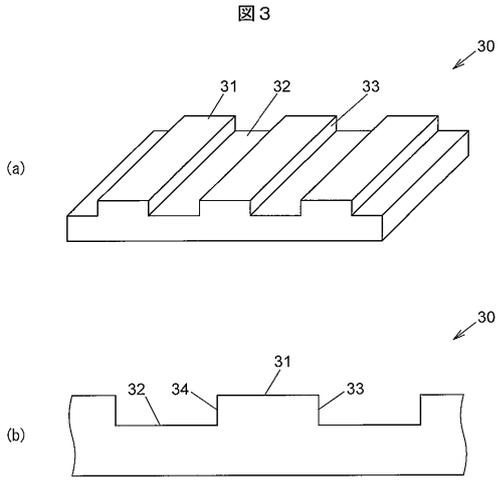


【図2】

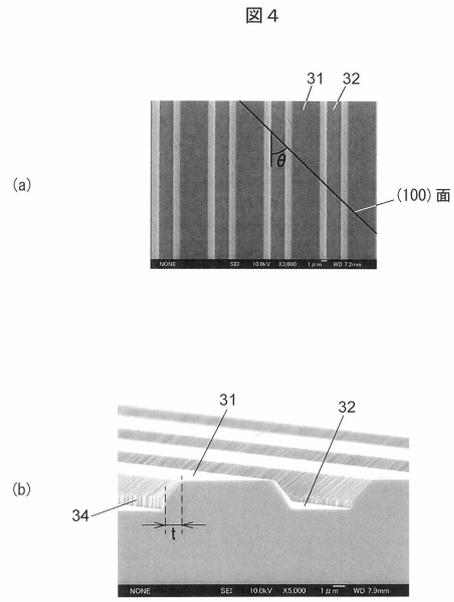
図2



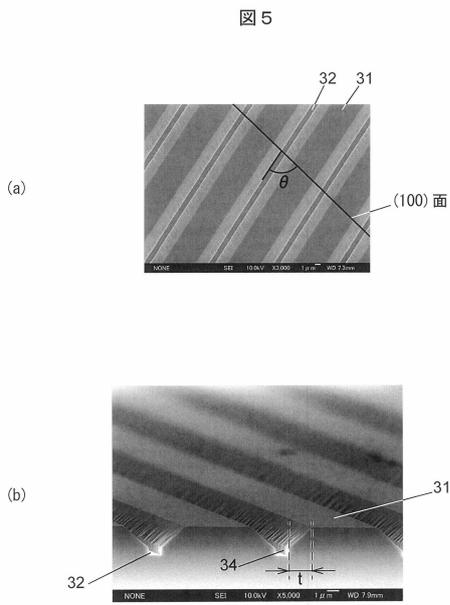
【 図 3 】



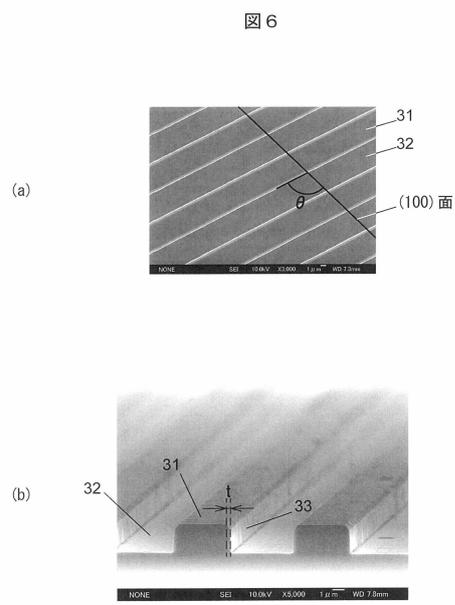
【 図 4 】



【 図 5 】

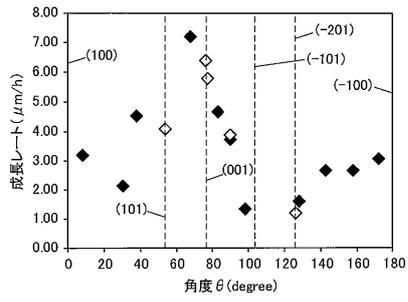


【 図 6 】



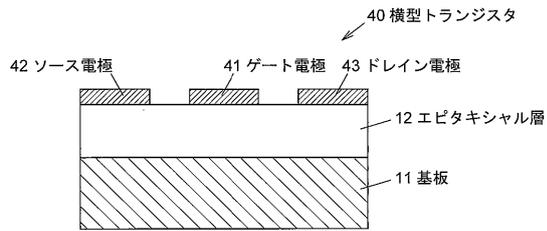
【 図 7 】

図 7



【 図 8 】

図 8



## フロントページの続き

- (74)代理人 100145171  
弁理士 伊藤 浩行
- (72)発明者 後藤 健  
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
- (72)発明者 瀧瀬 明伯  
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
- (72)発明者 熊谷 義直  
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
- (72)発明者 村上 尚  
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

審査官 有田 恭子

- (56)参考文献 国際公開第2013/035464(WO, A1)  
特開2013-227202(JP, A)  
特開2013-229554(JP, A)  
国際公開第2013/035842(WO, A1)  
国際公開第2013/035845(WO, A1)  
特開2010-030896(JP, A)  
特開2015-091740(JP, A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

C30B 1/00 - 35/00  
C23C 16/00 - 16/56  
H01L 21/205, 21/365