

(19) 日本国特許庁(JP)

## (12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第6891758号  
(P6891758)

(45) 発行日 令和3年6月18日(2021.6.18)

(24) 登録日 令和3年5月31日(2021.5.31)

(51) Int.Cl.	F 1
C 30 B 29/36	(2006.01)
H 01 L 29/12	(2006.01)
H 01 L 29/78	(2006.01)
H 01 L 21/336	(2006.01)
H 01 L 29/161	(2006.01)
C 30 B 29/36	C 30 B 29/36
H 01 L 29/12	H 01 L 29/78
H 01 L 29/78	H 01 L 29/78
H 01 L 21/336	H 01 L 29/161
H 01 L 29/161	H 01 L 21/20

請求項の数 3 (全 17 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号	特願2017-200837 (P2017-200837)	(73) 特許権者	000002130 住友電気工業株式会社 大阪府大阪市中央区北浜四丁目5番33号
(22) 出願日	平成29年10月17日 (2017.10.17)	(74) 代理人	100107766 弁理士 伊東 忠重
(62) 分割の表示	特願2017-544970 (P2017-544970) の分割	(74) 代理人	100070150 弁理士 伊東 忠彦
原出願日	平成29年6月5日 (2017.6.5)	(72) 発明者	堀 勉 兵庫県伊丹市昆陽北一丁目1番1号 住友 電気工業株式会社 伊丹製作所内
(65) 公開番号	特開2018-70440 (P2018-70440A)		
(43) 公開日	平成30年5月10日 (2018.5.10)		
審査請求日	令和2年5月18日 (2020.5.18)		
(31) 優先権主張番号	特願2016-196636 (P2016-196636)		
(32) 優先日	平成28年10月4日 (2016.10.4)		
(33) 優先権主張国・地域又は機関	日本国 (JP)		
		審査官	山本 一郎

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】炭化珪素エピタキシャル基板及び炭化珪素半導体装置の製造方法

## (57) 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

{ 0 0 0 1 }面から 0 ° を超え 8 ° 以下傾斜した主面を有する 1 0 0 m m 以上の径の炭化珪素単結晶基板と、

前記主面上に形成された膜厚が 2 0 μ m 以上の炭化珪素エピタキシャル層と、

前記炭化珪素エピタキシャル層に含まれ、一方の端部が前記炭化珪素エピタキシャル層に含まれる貫通らせん転位と連結しており、他方の端部は前記炭化珪素エピタキシャル層の表面に存在する基底面転位と、を有し、

前記基底面転位は、{ 0 0 0 1 }基底面において < 1 1 - 2 0 > 方向に対し、2 0 ° 以上 8 0 ° 以下の傾きを有する方向に伸び、

前記基底面転位の他方の端部に連結された < 1 1 - 2 0 > 方向に延びる他の基底面転位が存在し、

前記基底面転位の密度が 0 . 0 3 個 / c m ² 以下である炭化珪素エピタキシャル基板。

## 【請求項 2】

前記炭化珪素単結晶基板の径は 1 5 0 m m 以上であることを特徴とする請求項 1 に記載の炭化珪素エピタキシャル基板。

## 【請求項 3】

請求項 1 又は請求項 2 に記載の炭化珪素エピタキシャル基板を準備する工程と、

前記炭化珪素エピタキシャル基板を加工する工程と、を備える、炭化珪素半導体装置の製造方法。

10

20

**【発明の詳細な説明】****【技術分野】****【0001】**

本開示は、炭化珪素エピタキシャル基板及び炭化珪素半導体装置の製造方法に関する。

**【0002】**

本出願は、2016年10月4日出願の日本出願2016-196636号に基づく優先権を主張し、前記日本出願に記載された全ての記載内容を援用するものである。

**【背景技術】****【0003】**

炭化珪素エピタキシャル基板としては、例えば、貫通刃状転位とこの貫通刃状転位に連結している基底面転位とを低減した炭化珪素エピタキシャル基板が開示されている（例えば、特許文献1）。

**【先行技術文献】****【特許文献】****【0004】****【特許文献1】国際公開第2009/035095号パンフレット****【発明の概要】****【0005】**

本開示の一観点による炭化珪素エピタキシャル基板は、{0001}面から $0^{\circ}$ を超える傾斜した主面を有する100mm以上の径の炭化珪素単結晶基板と、主面の上に形成された膜厚が $20\mu m$ 以上の炭化珪素エピタキシャル層と、炭化珪素エピタキシャル層に含まれ、一方の端部が炭化珪素エピタキシャル層に含まれる貫通らせん転位と連結しており、他方の端部は前記炭化珪素エピタキシャル層の表面に存在する基底面転位と、を有する。基底面転位は、{0001}基底面において<11-20>方向に対し、 $20^{\circ}$ 以上 $80^{\circ}$ 以下の傾きを有する方向に伸びる。基底面転位の密度は $0.03\text{個}/cm^2$ 以下である。

**【図面の簡単な説明】****【0006】**

【図1】図1は、本開示の一態様に係る炭化珪素エピタキシャル基板を模式的に示す部分断面図である。

【図2】図2は、一方の端部が貫通らせん転位と連結している基底面転位及びこの基底面転位に連結している他の基底面転位を模式的に示す上面図である。

【図3】図3は、一方の端部が貫通らせん転位と連結している基底面転位及びこの基底面転位に連結している他の基底面転位を模式的に示す斜視図(1)である。

【図4】図4は、一方の端部が貫通らせん転位と連結している基底面転位及びこの基底面転位に連結している他の基底面転位を模式的に示す斜視図(2)である。

【図5】図5は、一方の端部が貫通らせん転位と連結している基底面転位及び他の基底面転位の発生のメカニズムを説明する模式的な上面図(1)である。

【図6】図6は、一方の端部が貫通らせん転位と連結している基底面転位及び他の基底面転位の発生のメカニズムを説明する模式的な上面図(2)である。

【図7】図7は、一方の端部が貫通らせん転位と連結している基底面転位及び他の基底面転位の発生のメカニズムを説明する模式的な上面図(3)である。

【図8】図8は、一方の端部が貫通らせん転位と連結している基底面転位及び他の基底面転位の発生のメカニズムを説明する模式的な上面図(4)である。

【図9】図9は、一方の端部が貫通らせん転位と連結している基底面転位及び他の基底面転位の発生のメカニズムを説明する模式的な上面図(5)である。

【図10】図10は、一方の端部が貫通らせん転位と連結している基底面転位及び他の基底面転位のPL(Photoluminescence)像(1)である。

【図11】図11は、一方の端部が貫通らせん転位と連結している基底面転位及び他の基底面転位のPL像(2)である。

10

20

30

40

50

【図12】図12は、成膜装置の構成の一例を示す模式的な側面図である。

【図13】図13は、成膜装置の構成の一例を示す模式的な断面図である。

【図14】図14は、本開示の一態様に係る炭化珪素エピタキシャル基板の製造方法の概略を示すフローチャートである。

【図15】図15は、成膜装置内における温度制御とガス流量制御の一例を示すタイミングチャートである。

【図16】図16は、急冷工程のない炭化珪素エピタキシャル基板の製造方法の成膜装置内における温度制御とガス流量制御の一例を示すタイミングチャートである。

【図17】図17は、急冷工程のない炭化珪素エピタキシャル基板の製造方法により製造した炭化珪素エピタキシャル基板における転位のPL像である。 10

【図18】図18は、本開示の一態様に係る炭化珪素半導体装置の製造方法の概略を示すフローチャートである。

【図19】図19は、本開示の一態様に係る炭化珪素半導体装置の製造方法の工程図(1)である。

【図20】図20は、本開示の一態様に係る炭化珪素半導体装置の製造方法の工程図(2)である。

【図21】図21は、本開示の一態様に係る炭化珪素半導体装置の製造方法の工程図(3)である。

#### 【発明を実施するための形態】

##### 【0007】

ところで、転位と呼ばれる格子欠陥が多く存在している炭化珪素エピタキシャル基板を用いて半導体装置を製造した場合、半導体装置における信頼性の低下等を招くことが知られている。従って、転位のない炭化珪素エピタキシャル基板が求められているが、転位のない炭化珪素エピタキシャル基板を作製することは、極めて困難である。このため、特許文献1には、貫通刃状転位とこの貫通刃状転位に連結している基底面転位とを減らした炭化珪素エピタキシャル基板が開示されている。 20

##### 【0008】

しかしながら、炭化珪素エピタキシャル基板において、貫通刃状転位とこの貫通刃状転位に連結している基底面転位とを減らしただけでは、製造される半導体装置の信頼性を十分に高めることはできない。 30

##### 【0009】

このため、信頼性の高い半導体装置を製造することのできる炭化珪素エピタキシャル基板が求められている。

##### 【0010】

そこで、本開示は、貫通らせん転位と連結した基底面転位を低減可能な炭化珪素エピタキシャル基板及び炭化珪素半導体装置の製造方法を提供することを目的の1つとする。

##### 【0011】

本開示の技術を実施するための形態について、以下に説明する。尚、同じ部材等については、同一の符号を付して説明を省略する。

##### 【0012】

###### [本開示の実施形態の説明]

最初に本開示の実施態様を列記して説明する。以下の説明では、同一または対応する要素には同一の符号を付し、それらについて同じ説明は繰り返さない。また本明細書の結晶学的記載においては、個別方位を[ ]、集合方位を<>、個別面を( )、集合面を{ }でそれぞれ示している。ここで結晶学上の指数が負であることは、通常、数字の上に"-"(バー)を付すことによって表現されるが、本明細書では数字の前に負の符号を付すことによって結晶学上の負の指数を表現している。また、本開示のエピタキシャル成長は、ホモエピタキシャル成長である。 40

##### 【0013】

###### [1] 本開示の一態様に係る炭化珪素エピタキシャル基板は、{0001}面から0°。

50

を超える  $8^{\circ}$  以下傾斜した主面を有する  $100\text{ mm}$  以上の径の炭化珪素単結晶基板と、前記主面の上に形成された膜厚が  $20\text{ }\mu\text{m}$  以上の炭化珪素エピタキシャル層と、前記炭化珪素エピタキシャル層に含まれ、一方の端部が前記炭化珪素エピタキシャル層に含まれる貫通らせん転位と連結しており、他方の端部は前記炭化珪素エピタキシャル層の表面に存在する基底面転位と、を有し、前記基底面転位は、 $\{0001\}$  基底面において  $<11-20>$  方向に対し、 $20^{\circ}$  以上  $80^{\circ}$  以下の傾きを有する方向に伸び、前記基底面転位の密度が  $0.03\text{ 個}/\text{cm}^2$  以下である。

## 【0014】

本願発明者は、研究により、炭化珪素単結晶基板の上に、炭化珪素エピタキシャル層が形成された炭化珪素エピタキシャル基板において、一方の端部が貫通らせん転位と連結しており、他方の端部は炭化珪素エピタキシャル層の表面となる基底面転位を発見した。この基底面転位は、この基底面転位は転位線の方向が、 $\{0001\}$  基底面において  $<11-20>$  方向に対し、 $20^{\circ}$  以上  $80^{\circ}$  以下の傾きを有している。本願発明者の知見によれば、この基底面転位は、 $\{0001\}$  面から  $0^{\circ}$  を超える  $8^{\circ}$  以下傾斜した主面を有する炭化珪素単結晶基板であって、特に、 $100\text{ mm}$  以上の径、更には、 $150\text{ mm}$  以上の径の炭化珪素単結晶基板を用いた場合に発生しやすい。このような基底面転位が存在していると、基底面転位が増殖し、基底面転位が多く含まれる炭化珪素エピタキシャル基板となる場合がある。このような基底面転位が多く含まれる炭化珪素エピタキシャル基板を用いて半導体装置を製造した場合、製造される半導体装置の信頼性が低下する可能性がある。

## 【0015】

従って、炭化珪素エピタキシャル基板において、上記基底面転位の数が全面において 1 個以上、密度が  $0.03\text{ 個}/\text{cm}^2$  以下となるように制御することにより、炭化珪素エピタキシャル基板を用いて製造された半導体装置の信頼性が低下することを抑制できる可能性がある。

## 【0016】

ここで、上記基底面転位の数及び密度は、PL (Photo Luminescence) イメージング装置を用いて炭化珪素エピタキシャル層の表面を全面分析し、検出された上記基底面転位の個数を炭化珪素エピタキシャル層の表面の面積で除することにより算出することができる。PL イメージング装置としては、例えば、PL イメージング装置 PLIS-100 (株式会社フォトンデザイン製) を用いることができる。尚、ここでいう全面には、通常、半導体装置に利用されない領域は含まれないものとする。ここで半導体装置に利用されない領域とは、たとえば基板のエッジから  $3\text{ mm}$  の領域である。

## 【0017】

[2] 前記基底面転位の他方の端部に連結された  $<11-20>$  方向に延びる他の基底面転位が存在している。

## 【0018】

[3] 前記炭化珪素単結晶基板の径は  $150\text{ mm}$  以上である。

## 【0019】

[4] 本開示の一態様に係る炭化珪素半導体装置の製造方法は、炭化珪素エピタキシャル基板を準備する工程と、前記炭化珪素エピタキシャル基板を加工する工程と、を備える。

## 【0020】

## [本開示の実施形態の詳細]

以下、本開示の一実施形態（以下「本実施形態」と記す）について詳細に説明するが、本実施形態はこれらに限定されるものではない。

## 【0021】

## [炭化珪素エピタキシャル基板]

以下、本実施形態における炭化珪素エピタキシャル基板 100 について説明する。

## 【0022】

図 1 は、本実施形態における炭化珪素エピタキシャル基板 100 の構造の一例を示す断

10

20

30

40

50

面図である。本実施形態における炭化珪素エピタキシャル基板 100 は、所定の結晶面からオフ角だけ傾斜した主面 10A を有する炭化珪素単結晶基板 10 と、炭化珪素単結晶基板 10 の主面 10A 上に形成された炭化珪素エピタキシャル層 11 と、を備える。所定の結晶面は、(0001) 面または (000-1) 面が好ましい。

#### 【0023】

本実施形態における炭化珪素エピタキシャル基板 100 には、一方の端部が貫通らせん転位と連結しており、他方の端部は炭化珪素エピタキシャル層 11 の表面となる基底面転位が存在している。この基底面転位の転位線の方向は、{0001} 基底面において <11-20> 方向に対し、20°以上 80°以下の傾きを有しており、この基底面転位の数が 1 個以上、転位の密度が 0.05 個 / cm<sup>2</sup> 以下である。

10

#### 【0024】

炭化珪素エピタキシャル基板を用いて製造される半導体装置の信頼性の観点からは、上記の基底面転位の密度は低いほどよく、理想的には 0 (ゼロ) である。しかしながら、上記の基底面転位を 0 にすることは極めて困難であることから、基底面転位の密度は好ましくは 0.05 個 / cm<sup>2</sup> 以下であり、より好ましくは 0.03 個 / cm<sup>2</sup> 以下である。

#### 【0025】

##### 〔基底面転位〕

上述した基底面転位について、図 2 から図 4 に基づき説明する。図 2 は、炭化珪素エピタキシャル基板 100 の上面図であり、図 3 は斜視図であり、図 4 は、要部を拡大した斜視図である。上述した基底面転位 111 の一方の端部 111a が貫通らせん転位 120 と接続されており、他方の端部 111b が炭化珪素エピタキシャル層 11 の表面 11A となる。この基底面転位 111 は、{0001} 基底面において <11-20> 方向に対する角度が 20° 以上 80° 以下の傾きを有している。

20

#### 【0026】

このような基底面転位 111 には、他方の端部 111b より、他の基底面転位 112 が連結されている場合がある。これらの基底面転位 111 及び他の基底面転位 112 は、本願発明者の研究の結果見出されたものである。

#### 【0027】

##### 〔転位発生のメカニズム〕

次に、基底面転位 111 の発生のメカニズム等について、図 5 から図 9 に基づき説明する。

30

#### 【0028】

本実施形態における炭化珪素エピタキシャル基板は、炭化珪素単結晶基板の上に炭化珪素エピタキシャル層を成膜することにより形成される。炭化珪素単結晶基板には基底面転位と貫通らせん転位が存在している。このため、炭化珪素単結晶基板の上に形成された炭化珪素エピタキシャル層にも、炭化珪素単結晶基板における基底面転位の一部と貫通らせん転位に起因して、図 5 に示すように、基底面転位 110 と貫通らせん転位 120 が発生する。

#### 【0029】

炭化珪素エピタキシャル層において発生した基底面転位 110 は、基底面となる {0001} 面を <1-100> 方向に滑り移動することができる。従って、基底面転位 110 は、破線矢印 A に示す方向に滑り移動するが、図 6 に示すように、貫通らせん転位 120 にぶつかると、基底面転位 110 の滑り移動は、そこで止まる。

40

#### 【0030】

この後、図 7 に示すように、基底面転位 110 の貫通らせん転位 120 と炭化珪素エピタキシャル層との表面との間の部分は、破線矢印 B に示されるように、{0001} 基底面上において <11-20> 方向に対する角度が 20° 以上 80° 以下となるまで動き、基底面転位 111 が形成される。この基底面転位 111 の一方の端部 111a は貫通らせん転位 120 と接続されており、他方の端部 111b は炭化珪素エピタキシャル層の表面となる。即ち、基底面転位 111 の他方の端部 111b は、貫通らせん転位 120 から

50

伸びて炭化珪素エピタキシャル層の表面に到達し、当該表面に含まれるように存在する。この際、この基底面転位 111 の他方の端部 111b から他の基底面転位 112 が生じる。以上のメカニズムにより、基底面転位 111 及び他の基底面転位 112 が発生する。

#### 【0031】

この後、図 8 に示すように、他の基底面転位 112 は、破線矢印 C に示されるように、基底面転位 111 の他方の端部 111b から離れ、基底面となる {0001} 面を滑り <1-100> 方向に動く。この後、再び、基底面転位 111 の他方の端部 111b より他の基底面転位 112 が発生し、他の基底面転位 112 が基底面転位 111 の他方の端部 111b より離れることが繰り返される。これにより、図 9 に示すように、1 つの基底面転位 111 から多くの基底面転位が発生する。

10

#### 【0032】

図 10 及び図 11 は、炭化珪素エピタキシャル基板の PL 像 (PLイメージング像) である。尚、PL 像の測定には、PL イメージング装置 PLIS-100 (株式会社フォトニンデザイン製) を用いた。この PL 像の測定では、室温において、励起光源として水銀キセノンランプを用い、波長が 313 nm のバンドパスフィルタを通した光を炭化珪素エピタキシャル基板に照射した。PL 像は、炭化珪素エピタキシャル基板からの光を、波長が 750 nm 以上の光を透過するフィルタを透過した光により得られた像である。このようにして得られた PL 像は、炭化珪素エピタキシャル層における転位は観察することができるが、炭化珪素単結晶基板の転位は観察することができない。従って、図 10 及び図 11 に示される転位は、炭化珪素エピタキシャル層における転位である。図 10 は、斜め方向に延びる基底面転位 111 と他の基底面転位 112 とが連結している状態を示し、図 11 は、基底面転位 111 が <11-20> 方向と <1-100> 方向にジグザグになっている状態を示す。図 11 の PL 像では、ジグザグになっている基底面転位のうち <1-100> 方向の部分が明るい線で示されている。

20

#### 【0033】

ところで、上記の基底面転位の発生のメカニズムを検討したところ、上記基底面転位は、炭化珪素エピタキシャル層の成膜中ではなく、炭化珪素エピタキシャル層を成膜した後、炭化珪素エピタキシャル基板を冷却する間に生じているものと考えられる。即ち、図 6 ~ 図 9 に示されるような基底面転位 110 の滑り移動は、比較的高い温度、具体的には、1000 以上的温度で生じるものと考えられ、炭化珪素エピタキシャル基板に生じた応力に起因するものと考えられる。炭化珪素エピタキシャル基板では、炭化珪素エピタキシャル基板の温度分布の差が大きいと、炭化珪素エピタキシャル基板に生じる応力も大きくなる。一方、炭化珪素エピタキシャル基板を製造する工程において、炭化珪素エピタキシャル基板の温度分布の差が大きくなる工程としては、炭化珪素エピタキシャル基板の冷却工程が挙げられる。この冷却工程において、炭化珪素エピタキシャル基板には、特に応力が発生しやすい。

30

#### 【0034】

即ち、炭化珪素エピタキシャル層の成膜は、1600 程度の非常に高い温度で行われるが、この場合、高温ではあるものの、温度分布の均一性は比較的高い。炭化珪素エピタキシャル層の成膜後は、炭化珪素エピタキシャル基板を冷却するが、この場合、全体が均一な温度で冷却されるのではなく、温度分布にバラツキが生じやすい。このように、炭化珪素エピタキシャル基板において、温度分布にバラツキが生じた状態の時間が長いと、これに伴い、基底面転位 111 が発生し、他の基底面転位 112 の数が増えるものと考えられる。また、本願発明者の知見によれば、基底面転位 111 は、炭化珪素単結晶基板 10 の大きさが小さい基板ではあまり見られないが、大きくなると顕著に生じる。例えば、炭化珪素単結晶基板 10 の大きさが、100 mm 以上、更には、150 mm (例えば、6 インチ) 以上の場合に顕著に生じることが確認されている。このことは、炭化珪素単結晶基板 10 の面積が大きいと、その分、冷却の際に、温度分布の差が大きくなるため、これに伴い応力も発生しやすいからであると考えられる。

40

#### 【0035】

50

従って、本実施形態における炭化珪素エピタキシャル基板は、炭化珪素エピタキシャル層を成膜した後に、炭化珪素エピタキシャル基板にガスを吹き付け急冷することにより得られる。即ち、炭化珪素エピタキシャル層を成膜した後に急冷することにより、基底面転位の滑り移動や基底面転位の増殖が生じる前に、基底面転位の滑り移動や増殖が生じにくくい1000以下になるまでの時間を短くする。これにより、基底面転位111や他の基底面転位112の少ない炭化珪素エピタキシャル基板を作製することができる。

#### 【0036】

##### 〔成膜装置〕

次に、本実施形態における炭化珪素エピタキシャル基板の製造方法について説明する。  
最初に、炭化珪素エピタキシャル基板における炭化珪素エピタキシャル層を成膜する成膜装置について説明する。図12は、成膜装置の構成の一例を示す模式的な側面図である。  
また図13は、図12の一点鎖線12A-12Bにおいて切断した断面図である。図12及び図13に示される成膜装置1は、横型ホットウォールCVD(chemical vapor deposition)装置である。図12に示されるように、成膜装置1は、発熱体6と、断熱材5と、石英管4と、誘導加熱コイル3とを備えている。発熱体6は、たとえばカーボン製である。図13に示されるように成膜装置1において、発熱体6は2つ設けられており、各発熱体6は、曲面部6A及び平坦部6Bを含む半円筒状の中空構造を有している。2つの平坦部6Bは、互いに対向するように配置されており、2つの平坦部6Bに取り囲まれた空間が、炭化珪素単結晶基板10が設置されるチャンバ1Aとなっている。チャンバ1Aは、「ガスフローチャネル」とも呼ばれる。

10

20

#### 【0037】

断熱材5は、発熱体6の外周部を取り囲むように配置されている。チャンバ1Aは、断熱材5によって成膜装置1の外部から断熱されている。石英管4は、断熱材5の外周部を取り囲むように配置されている。誘導加熱コイル3は、石英管4の外周部に沿って巻回されている。成膜装置1では、誘導加熱コイル3に交流電流を供給することにより、発熱体6が誘導加熱され、チャンバ1A内の温度が制御できるようになっている。この際、断熱材5により断熱されるため、石英管4は殆ど加熱されない。

#### 【0038】

##### 〔炭化珪素エピタキシャル基板の製造方法〕

次に、本実施形態における炭化珪素エピタキシャル基板の製造方法について説明する。

30

#### 【0039】

図14は、本実施形態の炭化珪素エピタキシャル基板の製造方法の概略を示すフローチャートである。図14に示されるように、本実施形態の炭化珪素エピタキシャル基板の製造方法は、準備工程(S101)、減圧工程(S102)、昇温工程(S103)、水素ガス供給工程(S104)、エピタキシャル成長工程(S105)及び急冷工程(S106)を備える。本実施形態では、エピタキシャル成長工程(S105)の後に、急冷工程(S106)を行うことにより、炭化珪素単結晶基板10における基底面転位を減らすことができる。以下、各工程について説明する。

#### 【0040】

準備工程(S101)では、炭化珪素単結晶基板10を準備する。炭化珪素単結晶基板10は、たとえば炭化珪素単結晶からなるインゴットをスライスすることにより作製される。スライスには、たとえばワイヤーソーが使用される。炭化珪素のポリタイプは4Hが好ましい。電子移動度、絶縁破壊電界強度等において他のポリタイプよりも優れているからである。炭化珪素単結晶基板10の径は、100mm以上、より好ましくは150mm以上(たとえば6インチ以上)である。径が大きい程、半導体装置の製造コスト削減に有利である。

40

#### 【0041】

炭化珪素単結晶基板10は、後に炭化珪素エピタキシャル層11を成長させることとなる主面10Aを有する。炭化珪素単結晶基板10は、0°を超える8°以下のオフ角を有する。即ち、主面10Aは、所定の結晶面から0°を超える8°以下のオフ角だけ傾斜し

50

た面である。炭化珪素単結晶基板 10 にオフ角  $\theta$  を導入しておくことにより、CVD 法によって炭化珪素エピタキシャル層 11 を成長させる際、主面 10 A に表出した原子ステップからの横方向成長、いわゆる「ステップフロー成長」が誘起される。これにより炭化珪素単結晶基板 10 のポリタイプを引き継いだ形で単結晶が成長し、異種ポリタイプの混入が抑制される。ここで所定の結晶面は、(0001) 面または (000-1) 面が好ましい。即ち、所定の結晶面は、{0001} 面が好ましい。オフ角を設ける方向は、<11-20> 方向である。オフ角  $\theta$  は、より好ましくは  $2^\circ$  以上  $7^\circ$  以下であり、更に好ましくは  $3^\circ$  以上  $6^\circ$  以下であり、最も好ましくは  $3^\circ$  以上  $5^\circ$  以下である。こうした範囲にオフ角を設定することにより、異種ポリタイプの抑制と成長速度とのバランスが保たれるからである。この後の工程は、成膜装置 1 内で行われる。

10

#### 【0042】

減圧工程 (S102) では、図 12 及び図 13 に示されるように、炭化珪素単結晶基板 10 を成膜装置 1 のチャンバ 1 A 内に設置し、チャンバ 1 A 内を減圧する。炭化珪素単結晶基板 10 は、チャンバ 1 A 内において図示しないサセプタ上に載せられる。サセプタには SiC コーティング等が施されていてもよい。

#### 【0043】

図 15 は、減圧工程 (S102) 以降のチャンバ 1 A 内の温度及びガス流量の制御を示すタイミングチャートである。図 15 において減圧工程 (S102) は、チャンバ 1 A 内に炭化珪素単結晶基板 10 を設置した後、チャンバ 1 A 内の減圧を開始する時点 t<sub>1</sub> から、チャンバ 1 A 内の圧力が目標値に達する時点 t<sub>2</sub> までの間に相当する。減圧工程 (S102) における圧力の目標値は、たとえば  $1 \times 10^{-6}$  Pa 程度である。

20

#### 【0044】

昇温工程 (S103) では、成膜装置 1 のチャンバ 1 A 内の温度を第 2 の温度 T<sub>2</sub> まで加熱する。昇温工程 (S103) では、第 2 の温度 T<sub>2</sub> よりも低い第 1 の温度 T<sub>1</sub> を経た後、第 2 の温度 T<sub>2</sub> に到達する。図 15 に示されるように、時点 t<sub>2</sub> からチャンバ 1 A 内の昇温が開始され、時点 t<sub>3</sub> においてチャンバ 1 A 内の温度が第 1 の温度 T<sub>1</sub> に達し、更に、時点 t<sub>4</sub> においてチャンバ 1 A 内の温度が第 2 の温度 T<sub>2</sub> に達する。第 1 の温度 T<sub>1</sub> は、例えば、1100 である。

#### 【0045】

また、第 2 の温度 T<sub>2</sub> は、1500 以上 1700 以下が好ましい。第 2 の温度 T<sub>2</sub> が 1500 を下回ると、後述するエピタキシャル成長工程 (S105) で単結晶を均一に成長させることができない場合があり、また成長速度が低下する場合もある。また第 2 の温度 T<sub>2</sub> が 1700 を超えると、水素ガスによるエッティング作用が強くなり、かえって成長速度が低下する場合もあり得る。第 2 の温度 T<sub>2</sub> は、より好ましくは 1520 以上 1680 以下であり、特に好ましくは 1550 以上 1650 以下である。本実施形態においては、1630 である。

30

#### 【0046】

水素ガス供給工程 (S104) では、図 15 に示されるように、チャンバ 1 A 内の温度が第 1 の温度 T<sub>1</sub> に達した時点 t<sub>3</sub> から、チャンバ 1 A 内に水素 ( $H_2$ ) ガスを供給し、チャンバ 1 A 内の圧力を所定の圧力、例えば、8 kPa にする。水素ガスの供給は、時点 t<sub>3</sub> より供給を開始し、徐々に水素ガスの流量を増やして、時点 t<sub>4</sub> において水素ガスの流量が 120 s<sup>-1</sup> m<sup>3</sup> となるように供給する。尚、水素ガス供給工程 (S104) においても、成膜装置 1 のチャンバ 1 A 内の温度が第 2 の温度 T<sub>2</sub> に到達するまで、昇温工程 (S103) が継続される。成膜装置 1 のチャンバ 1 A 内の温度が第 2 の温度 T<sub>2</sub> に到達した後に、エピタキシャル成長工程 (S105) を行う。

40

#### 【0047】

エピタキシャル成長工程 (S105) では、成膜装置 1 のチャンバ 1 A 内に、水素ガスとともに、炭化水素ガス及びシラン ( $SiH_4$ ) ガスを供給する。エピタキシャル成長工程 (S105) におけるチャンバ 1 A 内の所定の圧力は、例えば、8 kPa である。これにより、炭化珪素単結晶基板 10 の主面 10 A 上に炭化珪素エピタキシャル層 11 を成長

50

させることができる。

**【0048】**

炭化水素ガスとしては、メタン（ $\text{C H}_4$ ）ガス、エタン（ $\text{C}_2\text{H}_6$ ）ガス、プロパン（ $\text{C}_3\text{H}_8$ ）ガス、ブタン（ $\text{C}_4\text{H}_{10}$ ）ガス及びアセチレン（ $\text{C}_2\text{H}_2$ ）ガス等を用いることができる。これらの炭化水素ガスは1種単独で用いてもよいし、2種以上を混合して用いてもよい。即ち、炭化水素ガスは、メタンガス、エタンガス、プロパンガス、ブタンガス及びアセチレンガスからなる群より選択される1種以上を含むことが好ましい。炭化水素ガスの流量は、5 sccm以上30 sccm以下が好ましい。本実施形態においては、例えば、炭化水素ガスとしてプロパンガスを15 sccm供給する。

**【0049】**

また、シランガスの流量は特に限定されないが、炭化水素ガスに含まれる炭素（C）の原子数と、シランガスに含まれる珪素（Si）の原子数との比（C/Si）が0.5以上2.0以下となるように、シランガスの流量を調整することが好ましい。化学量論比の適切なSiCをエピタキシャル成長させるためである。本実施形態においては、例えば、シランガスを45 sccm供給する。

**【0050】**

エピタキシャル成長工程（S105）では、ドーパントとして窒素（N<sub>2</sub>）等を供給してもよい。エピタキシャル成長工程（S105）は、目標とする炭化珪素エピタキシャル層11の厚さに合わせて時点t5まで行われる。

**【0051】**

エピタキシャル成長工程（S105）の終了後は、急冷工程（S106）を行う。急冷工程（S106）では、エピタキシャル成長が終了した炭化珪素エピタキシャル基板に、水素またはアルゴン（Ar）を吹き付けて急速に冷却する。本実施形態においては、水素ガスの流量を増やして、エピタキシャル成長が終了した炭化珪素エピタキシャル基板に、水素ガスを吹き付ける。この際、チャンバ1A内の圧力は、8 kPaを超えてよい。本実施形態では、冷却を開始して10分経過、即ち、時点t5から10分経過した時点t6における第3の温度T3は約700℃にすることができる。従って、エピタキシャル成長後、10分以内の短時間で1000℃以下の温度にすることができるため、基底面転位の滑り移動が生じにくい。このため、本実施形態においては、炭化珪素エピタキシャル基板における基底面転位111の密度を0.05個/cm<sup>2</sup>以下にすることができる。

**【0052】**

この後、更に冷却し、温度が600℃となる時点t7において、吹き付けていた水素ガスの供給を停止する。この後、形成された炭化珪素エピタキシャル基板を取り出すことが可能な温度となる時点t8まで冷却した後、チャンバ1A内を大気開放して、チャンバ1A内を大気圧に戻し、チャンバ1A内より炭化珪素エピタキシャル基板100を取り出す。

**【0053】**

以上の工程により、本実施形態における炭化珪素エピタキシャル基板100を製造することができる。

**【0054】**

次に、本実施形態と比較のため、本実施形態の製造方法とは異なり、急冷工程（S106）を行うことなく、エピタキシャル成長が終了した基板を通常の冷却する場合について説明する。この場合における減圧工程以降のチャンバ1A内の温度及びガス流量の制御を示すタイミングチャートを図16に示す。図15に示される本実施形態の製造方法との相違点は、エピタキシャル成長工程が終了した時点t5以降、エピタキシャル成長が終了した炭化珪素エピタキシャル基板を急冷することなく、通常に冷却を行う点である。具体的には、図16に示すタイミングチャートでは、エピタキシャル成長が終了した時点t5より、水素ガスの流量を100 s1mにして冷却を行う。この際のチャンバ1A内の所定の圧力は、例えば、8 kPaである。この場合、時点t5より10分経過した時点t16における温度は、約1200℃であり、1000℃以上である。このため、時点t16におい

10

20

30

40

50

ては、基底面転位は滑り移動しており、基底面転位 111 や他の基底面転位 112 が増加するものと推察される。

#### 【0055】

この後、更に冷却し、温度が 600 となる時点 t17において、水素ガスの供給を停止する。この後、炭化珪素エピタキシャル基板を取り出すことが可能な温度となる時点 t18まで冷却した後、チャンバ 1A 内を大気開放し、チャンバ 1A 内を大気圧に戻し、チャンバ 1A 内より炭化珪素エピタキシャル基板を取り出す。

#### 【0056】

上記の図 16 に示すタイミングチャートの製造方法により作製された炭化珪素エピタキシャル基板の PL 像を図 17 に示す。図 16 に示すタイミングチャートの製造方法では、エピタキシャル成長が終了した後、10 分経過しても約 1200 と 1000 以上であるため、基底面転位が滑り移動し、図 17 で示されるように、非常の多くの転位（約 40 個 / cm<sup>2</sup>）が確認される。10

#### 【0057】

本実施形態における炭化珪素エピタキシャル基板の製造方法によれば、エピタキシャル成長後の炭化珪素エピタキシャル基板を急冷することにより、短時間で基底面転位が滑り移動しにくい 1000 以下にすることができる。従って、図 17 に示される炭化珪素エピタキシャル基板よりも、基底面転位を減らすことが可能となる。

#### 【0058】

##### 〔炭化珪素半導体装置の製造方法〕

次に、本実施形態に係る炭化珪素半導体装置 300 の製造方法について説明する。20

#### 【0059】

本実施形態に係る炭化珪素半導体装置の製造方法は、エピタキシャル基板準備工程（S210：図 18）と、基板加工工程（S220：図 18）とを主に有する。

#### 【0060】

まず、炭化珪素エピタキシャル基板準備工程（S210：図 18）が実施される。具体的には、前述した炭化珪素エピタキシャル基板の製造方法によって、炭化珪素エピタキシャル基板が準備される。

#### 【0061】

次に、基板加工工程（S220：図 18）が実施される。具体的には、炭化珪素エピタキシャル基板を加工することにより、炭化珪素半導体装置が製造される。「加工」には、たとえば、イオン注入、熱処理、エッティング、酸化膜形成、電極形成、ダイシング等の各種加工が含まれる。すなわち基板加工ステップは、イオン注入、熱処理、エッティング、酸化膜形成、電極形成及びダイシングのうち、少なくともいずれかの加工を含むものであつてもよい。30

#### 【0062】

以下では、炭化珪素半導体装置の一例としての MOSFET (Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor) の製造方法を説明する。基板加工工程（S220：図 18）は、イオン注入工程（S221：図 18）、酸化膜形成工程（S222：図 18）、電極形成工程（S223：図 18）及びダイシング工程（S224：図 18）を含む。40

#### 【0063】

まず、イオン注入工程（S221：図 18）が実施される。開口部を有するマスク（図示せず）が形成された表面 11A に対して、たとえばアルミニウム（A1）等の p 型不純物が注入される。これにより、p 型の導電型を有するボディ領域 232 が形成される。次に、ボディ領域 232 内の所定位置に、たとえばリン（P）等の n 型不純物が注入される。これにより、n 型の導電型を有するソース領域 233 が形成される。次に、アルミニウム等の p 型不純物がソース領域 233 内の所定位置に注入される。これにより、p 型の導電型を有するコンタクト領域 234 が形成される（図 19 参照）。

#### 【0064】

炭化珪素エピタキシャル層 11において、ボディ領域 232、ソース領域 233 及びコンタクト領域 234 以外の部分は、ドリフト領域 231 となる。ソース領域 233 は、ボディ領域 232 によってドリフト領域 231 から隔てられている。イオン注入は、炭化珪素エピタキシャル基板 100 を 300 以上 600 以下程度に加熱して行われてもよい。イオン注入の後、炭化珪素エピタキシャル基板 100 に対して活性化アニールが行われる。活性化アニールにより、炭化珪素エピタキシャル層 11 に注入された不純物が活性化し、各領域においてキャリアが生成される。活性化アニールの雰囲気は、たとえばアルゴン (Ar) 雰囲気でもよい。活性化アニールの温度は、たとえば 1800 程度でもよい。活性化アニールの時間は、たとえば 30 分程度でもよい。

## 【0065】

10

次に、酸化膜形成工程 (S222: 図18) が実施される。たとえば炭化珪素エピタキシャル基板 100 が酸素を含む雰囲気中において加熱されることにより、表面 11A 上に酸化膜 236 が形成される (図20 参照)。酸化膜 236 は、たとえば二酸化珪素 (SiO<sub>2</sub>) 等から構成される。酸化膜 236 は、ゲート絶縁膜として機能する。熱酸化処理の温度は、たとえば 1300 程度でもよい。熱酸化処理の時間は、たとえば 30 分程度でもよい。

## 【0066】

20

酸化膜 236 が形成された後、さらに窒素雰囲気中で熱処理が行なわれてもよい。たとえば、一酸化窒素 (NO)、亜酸化窒素 (N<sub>2</sub>O) 等の雰囲気中、1100 程度で 1 時間程度、熱処理が実施されてもよい。さらにその後、アルゴン雰囲気中で熱処理が行なわれてもよい。たとえば、アルゴン雰囲気中、1100 ~ 1500 程度で、1 時間程度、熱処理が行われてもよい。

## 【0067】

次に、電極形成工程 (S223: 図18) が実施される。第 1 電極 241 は、酸化膜 236 上に形成される。第 1 電極 241 は、ゲート電極として機能する。第 1 電極 241 は、たとえば CVD 法により形成される。第 1 電極 241 は、たとえば不純物を含有し導電性を有するポリシリコン等から構成される。第 1 電極 241 は、ソース領域 233 及びボディ領域 232 に對面する位置に形成される。

## 【0068】

30

次に、第 1 電極 241 を覆う層間絶縁膜 237 が形成される。層間絶縁膜 237 は、たとえば CVD 法により形成される。層間絶縁膜 237 は、たとえば二酸化珪素等から構成される。層間絶縁膜 237 は、第 1 電極 241 と酸化膜 236 とに接するように形成される。次に、所定位置の酸化膜 236 及び層間絶縁膜 237 がエッチングによって除去される。これにより、ソース領域 233 及びコンタクト領域 234 が、酸化膜 236 から露出する。

## 【0069】

40

たとえばスパッタリング法により当該露出部に第 2 電極 242 が形成される。第 2 電極 242 はソース電極として機能する。第 2 電極 242 は、たとえばチタン、アルミニウム及びシリコン等から構成される。第 2 電極 242 が形成された後、第 2 電極 242 と炭化珪素エピタキシャル基板 100 が、たとえば 900 ~ 1100 程度の温度で加熱される。これにより、第 2 電極 242 と炭化珪素エピタキシャル基板 100 とがオーム接觸するようになる。次に、第 2 電極 242 に接するように、配線層 238 が形成される。配線層 238 は、たとえばアルミニウムを含む材料から構成される。

## 【0070】

50

次に、たとえばプラズマ CVD により、配線層 238 上にパッシベーション保護膜 (図示せず) が形成される。パッシベーション保護膜は、たとえば SiN 膜を含む。ボンディングワイヤを接続するため、パッシベーション保護膜の一部が配線層 238 までエッチングされ、パッシベーション保護膜に開口部が形成される。次に、炭化珪素単結晶基板 10 の裏面 10B に対してバックグラインディングが行われる。これにより、炭化珪素単結晶基板 10 が薄くされる。次に、裏面 10B に第 3 電極 243 が形成される。第 3 電極 24

3は、ドレイン電極として機能する。第3電極243は、たとえばニッケル及びシリコンを含む合金(たとえばNiSi等)から構成される。

#### 【0071】

次に、ダイシング工程(S224:図18)が実施される。たとえば炭化珪素エピタキシャル基板100がダイシングラインに沿ってダイシングされることにより、炭化珪素エピタキシャル基板100が複数の半導体チップに分割される。以上より、炭化珪素半導体装置300が製造される(図21参照)。

#### 【0072】

上記において、MOSFETを例示して、本開示に係る炭化珪素半導体装置の製造方法を説明したが、本開示に係る製造方法はこれに限定されない。本開示に係る製造方法は、たとえばIGBT(Insulated Gate Bipolar Transistor)、SBD(Schottky Barrier Diode)、サイリスタ、GTO(Gate Turn Off thyristor)、PINダイオード等の各種炭化珪素半導体装置に適用可能である。  
10

#### 【0073】

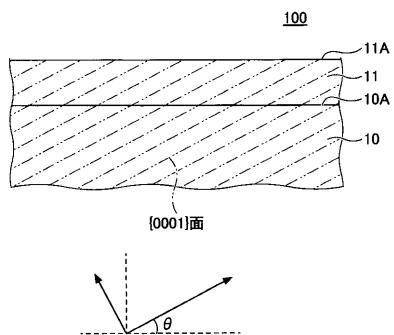
以上、実施形態について詳述したが、特定の実施形態に限定されるものではなく、請求の範囲に記載された範囲内において、種々の変形及び変更が可能である。

#### 【符号の説明】

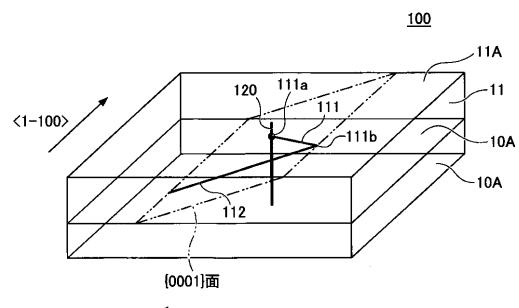
#### 【0074】

1	成膜装置	20
1 A	チャンバ	
3	誘導加熱コイル	
4	石英管	
5	断熱材	
6	発熱体	
6 A	曲面部	
6 B	平坦部	
10	炭化珪素単結晶基板	
10 A	正面	
10 B	裏面	30
11	炭化珪素エピタキシャル層	
11 A	表面	
100	炭化珪素エピタキシャル基板	
110	基底面転位	
111	基底面転位	
111 a	一方の端部	
111 b	他方の端部	
112	他の基底面転位	
120	貫通らせん転位	
231	ドリフト領域	40
232	ボディ領域	
233	ソース領域	
234	コンタクト領域	
236	酸化膜	
237	層間絶縁膜	
238	配線層	
241	第1電極	
242	第2電極	
243	第3電極	

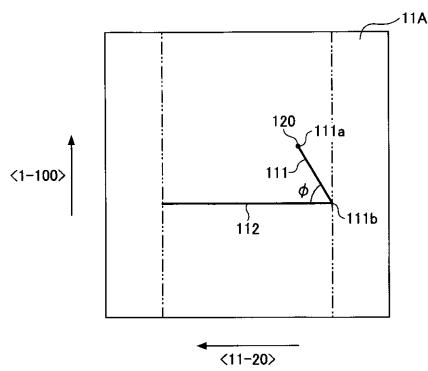
【図1】



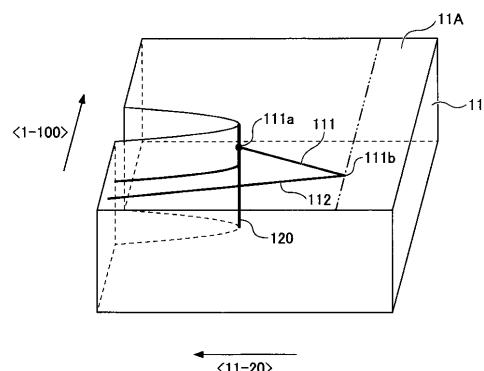
【図3】



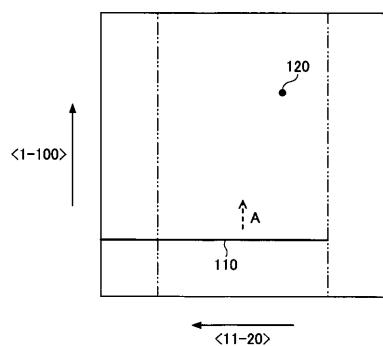
【図2】



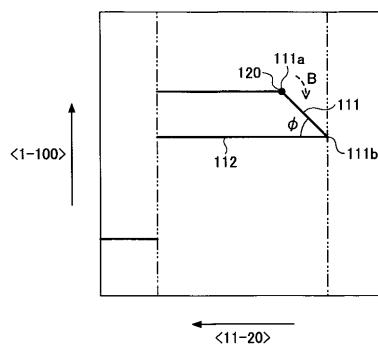
【図4】



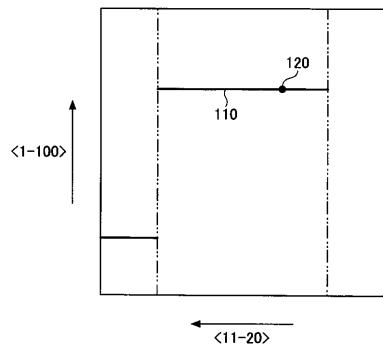
【図5】



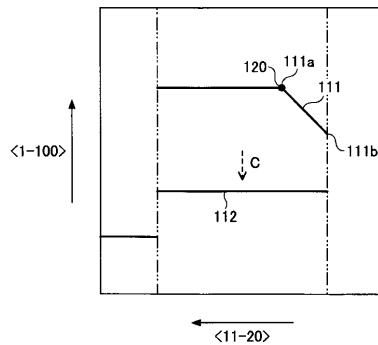
【図7】



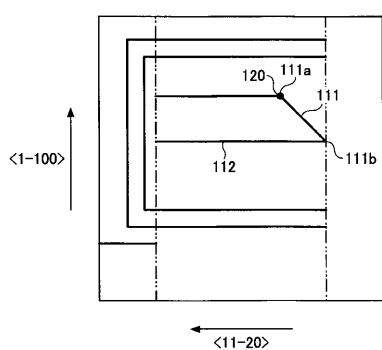
【図6】



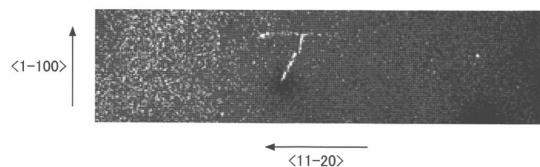
【図8】



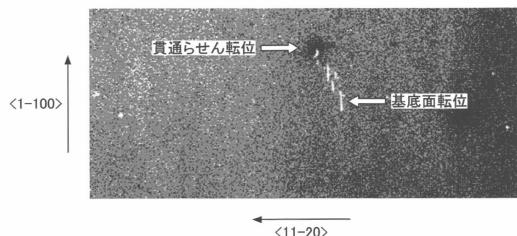
【図 9】



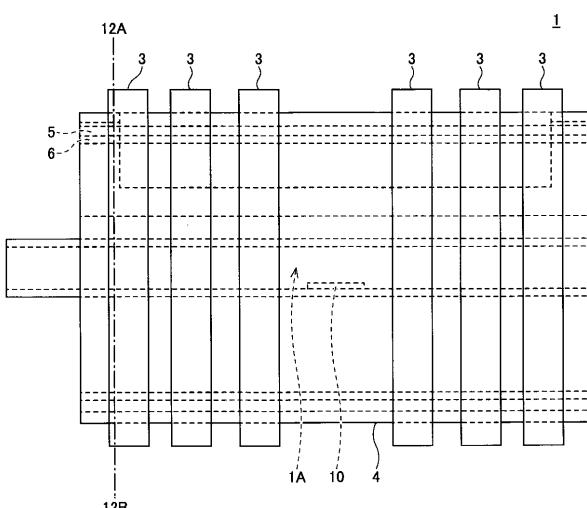
【図 10】



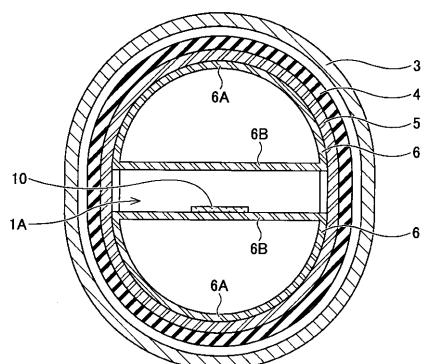
【図 11】



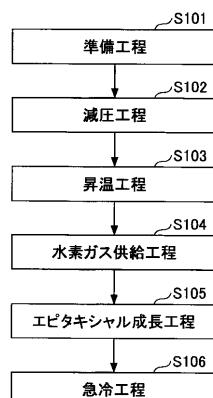
【図 12】



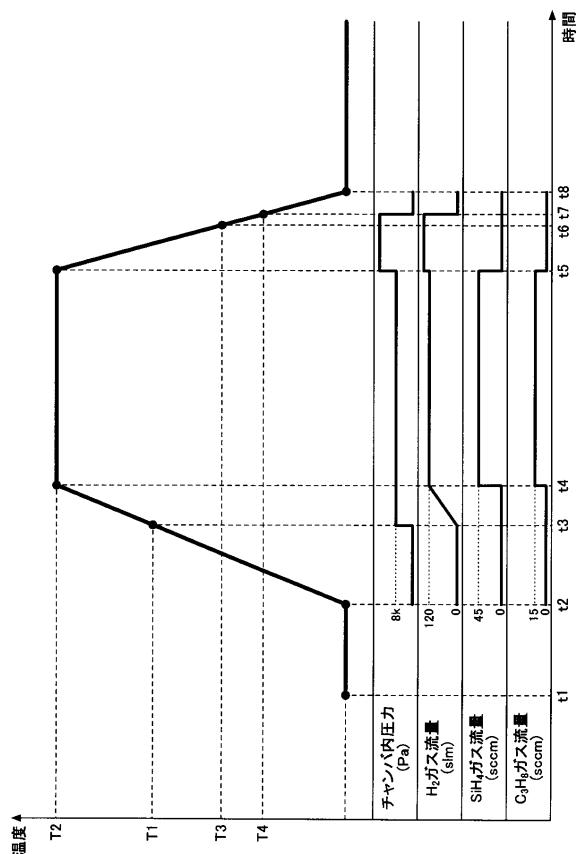
【図 13】



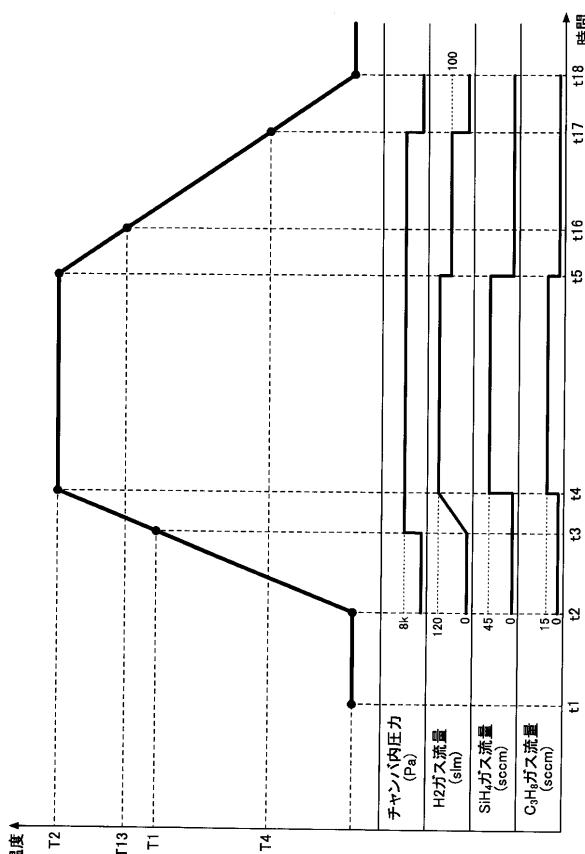
【図 14】



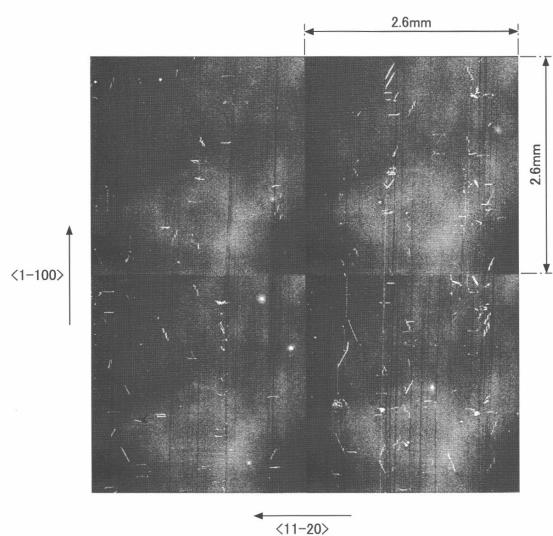
【図15】



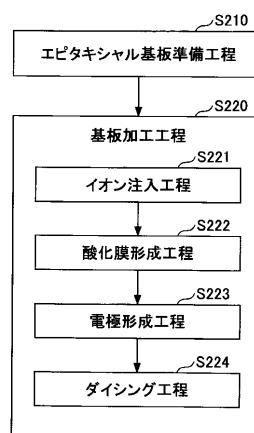
【図16】



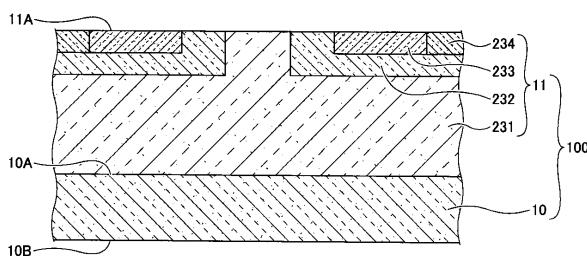
【図17】



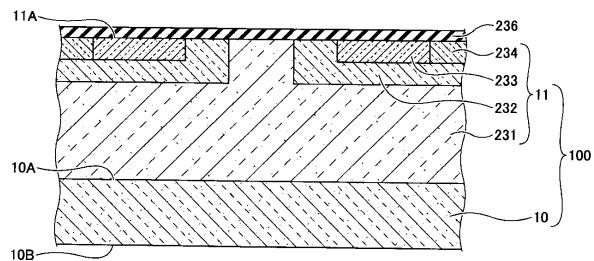
【図18】



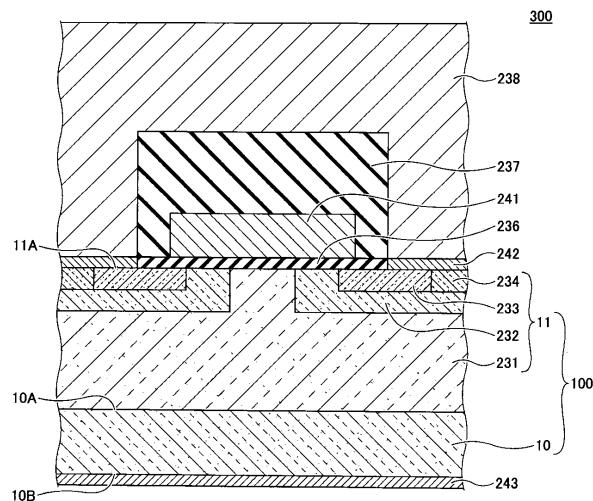
【図19】



【図20】



【図21】



---

フロントページの続き

(51)Int.Cl. F I  
H 01 L 21/20 (2006.01) H 01 L 21/205  
H 01 L 21/205 (2006.01)

(56)参考文献 特開2015-2207 (JP, A)  
特開2016-165004 (JP, A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

C 30 B 29 / 36  
H 01 L 21 / 20  
H 01 L 21 / 205  
H 01 L 21 / 336  
H 01 L 29 / 12  
H 01 L 29 / 161  
H 01 L 29 / 78