

(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  
2022年12月1日(01.12.2022)



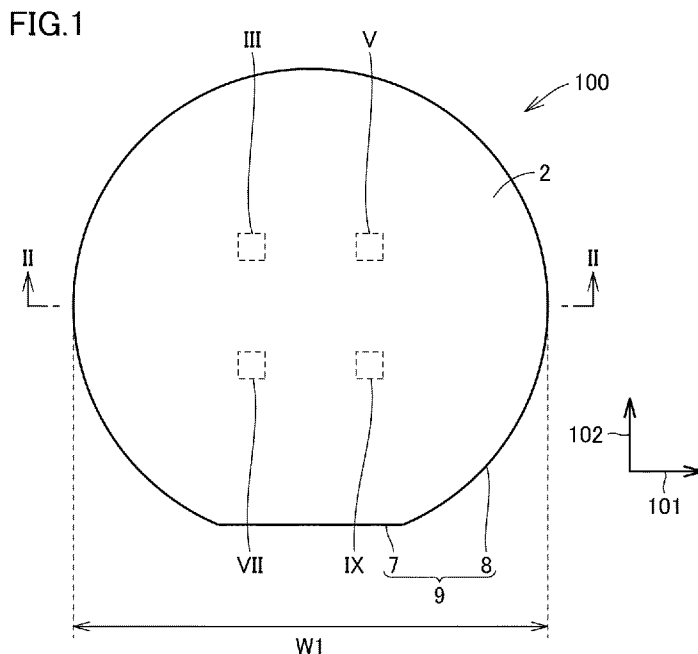
(10) 国際公開番号

WO 2022/249914 A1

- (51) 国際特許分類:  
C30B 29/36 (2006.01) C30B 25/18 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2022/020369
- (22) 国際出願日: 2022年5月16日(16.05.2022)
- (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 2021-087625 2021年5月25日(25.05.2021) JP
- (71) 出願人: 住友電気工業株式会社  
(SUMITOMO ELECTRIC INDUSTRIES, LTD.)  
[JP/JP]; 〒5410041 大阪府大阪市中央区北浜四丁目5番33号 Osaka (JP).
- (72) 発明者: 西原 弘樹 (NISHIHARA, Hiroki);  
〒5410041 大阪府大阪市中央区北浜四丁目5番33号 住友電気工業株式会社内 Osaka (JP). 本家 翼 (HONKE, Tsubasa); 〒5410041 大阪府大阪市中央区北浜四丁目5番33号 住友電気工業株式会社内 Osaka (JP). 宮瀬 貴也 (MIYASE, Takaya); 〒5410041 大阪府大阪市中央区北浜四丁目5番33号 住友電気工業株式会社内 Osaka (JP). 榎園 太郎 (ENOKIZONO, Taro); 〒5410041 大阪府大阪市中央区北浜四丁目5番33号 住友電気工業株式会社内 Osaka (JP).
- (74) 代理人: 弁理士法人深見特許事務所 (FUKAMI PATENT OFFICE, P.C.); 〒5300005 大阪府大

(54) Title: SILICON CARBIDE EPITAXIAL SUBSTRATE AND METHOD FOR PRODUCING SILICON CARBIDE SEMICONDUCTOR DEVICE

(54) 発明の名称: 炭化珪素エピタキシャル基板および炭化珪素半導体装置の製造方法



(57) Abstract: According to the present invention, a silicon carbide epitaxial substrate comprises a silicon carbide substrate and a silicon carbide epitaxial layer. A plurality of square regions are composed of a plurality of outer peripheral regions, which are positioned on the outermost peripheries of the plurality of square regions, and a plurality of central regions, which are surrounded by the plurality of outer peripheral regions. If the maximum value of LTIR of the silicon carbide epitaxial substrate in the plurality of outer peripheral regions is defined as a first value, and the maximum value of LTIR of the silicon carbide epitaxial substrate in the



WO 2022/249914 A1

阪市北区中之島三丁目2番4号 中之島フェスティバルタワー・ウエスト Osaka (JP).

- (81) 指定国(表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IQ, IR, IS, IT, JM, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, 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, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, WS, ZA, ZM, ZW.
- (84) 指定国(表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, 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:

- 一 国際調査報告 (条約第21条(3))

plurality of central regions is defined as a second value, the value obtained by dividing the first value by the second value is from 0.8 to 1.2. The area density of pits in a second main surface is 0.5 per  $\text{cm}^2$  or less.

(57) 要約: 炭化珪素エピタキシャル基板は、炭化珪素基板と、炭化珪素エピタキシャル層と有している。複数の正方領域は、複数の正方領域の最外周に位置する複数の外周領域と、複数の外周領域に囲まれた複数の中央領域とにより構成されている。複数の外周領域における炭化珪素エピタキシャル基板のL T I Rの最大値を第1値とし、複数の中央領域における炭化珪素エピタキシャル基板のL T I Rの最大値を第2値とした場合、第2値で第1値を除いた値は、0.8以上1.2以下である。第2主面におけるピットの面密度は、0.5個/ $\text{cm}^2$ 以下である。

## 明 細 書

発明の名称：

炭化珪素エピタキシャル基板および炭化珪素半導体装置の製造方法

### 技術分野

[0001] 本開示は、炭化珪素エピタキシャル基板および炭化珪素半導体装置の製造方法に関する。本出願は、2021年5月25日に出願した日本特許出願である特願2021-087625号に基づく優先権を主張する。当該日本特許出願に記載された全ての記載内容は、参照によって本明細書に援用される。

### 背景技術

[0002] L. Scaltrito外13名、"Defect influence on the electrical properties of 4H-SiC Schottky diodes"、Materials Science Forum Vols. 457-460、1081-1084頁、2004年（非特許文献1）には、4H-SiCウエハの欠陥マップが記載されている。

### 先行技術文献

#### 非特許文献

[0003] 非特許文献1：L. Scaltrito外13名、"Defect influence on the electrical properties of 4H-SiC Schottky diodes"、Materials Science Forum Vols. 457-460、1081-1084頁、2004年

### 発明の概要

[0004] 本開示に係る炭化珪素エピタキシャル基板は、炭化珪素基板と、炭化珪素エピタキシャル層と備えている。炭化珪素エピタキシャル層は、炭化珪素基板上にある。炭化珪素基板は、炭化珪素基板と炭化珪素エピタキシャル層との界面の反対側にある第1主面を有している。炭化珪素エピタキシャル層は、界面の反対側にある第2主面を有している。第2主面を、1辺の長さが10mmである複数の正方領域に区分した場合、複数の正方領域は、複数の正方領域の最外周に位置する複数の外周領域と、複数の外周領域に囲まれた複

数の中央領域とにより構成されている。複数の外周領域における炭化珪素エピタキシャル基板のL T I Rの最大値を第1値とし、複数の中央領域における炭化珪素エピタキシャル基板のL T I Rの最大値を第2値とした場合、第2値で第1値を除した値は、0.8以上1.2以下である。第2主面におけるピットの面密度は、0.5個/cm<sup>2</sup>以下である。第2主面に対して垂直な方向に見て、ピットの面積は、100μm<sup>2</sup>以下である。第2主面に対して垂直な方向において、ピットの深さは、0.01μm以上0.1μm以下である。

[0005] 本開示に係る炭化珪素エピタキシャル基板は、炭化珪素基板と、炭化珪素エピタキシャル層と備えている。炭化珪素エピタキシャル層は、炭化珪素基板上にある。炭化珪素基板は、炭化珪素基板と炭化珪素エピタキシャル層との界面の反対側にある第1主面を有している。炭化珪素エピタキシャル層は、界面の反対側にある第2主面を有している。第2主面を、1辺の長さが10mmである複数の正方領域に区分した場合、複数の正方領域は、複数の正方領域の最外周に位置する複数の外周領域と、複数の外周領域に囲まれた複数の中央領域とにより構成されている。複数の外周領域における炭化珪素エピタキシャル基板のL T I Rの最大値を第1値とし、複数の中央領域における炭化珪素エピタキシャル基板のL T I Rの最大値を第2値とした場合、第2値で第1値を除した値は、0.8以上1.2以下である。第2主面におけるバンプの面密度は、0.5個/cm<sup>2</sup>以下である。第2主面に対して垂直な方向に見て、バンプの面積は、100μm<sup>2</sup>以下である。第2主面に対して垂直な方向において、バンプの高さは、0.01μm以上0.1μm以下である。

### 図面の簡単な説明

[0006] [図1]図1は、本実施形態に係る炭化珪素エピタキシャル基板の構成を示す平面模式図である。

[図2]図2は、図1の| | - | |線に沿った断面模式図である。

[図3]図3は、図1の領域| | |の拡大平面図である。

- [図4]図4は、図3の領域ⅠV-ⅠVに沿った断面模式図である。
- [図5]図5は、図1の領域Vの拡大平面図である。
- [図6]図6は、図5の領域VⅠ-VⅠに沿った断面模式図である。
- [図7]図7は、図1の領域VⅠⅠの拡大平面図である。
- [図8]図8は、図7の領域VⅠⅠⅠ-VⅠⅠⅠに沿った断面模式図である。
- [図9]図9は、図1の領域ⅠXの拡大平面図である。
- [図10]図10は、図9の領域X-Xに沿った断面模式図である。
- [図11]図11は、立体斜め欠陥のフォトルミネッセンス画像を示す平面模式図である。
- [図12]図12は、L T | Rの測定領域を示す平面模式図である。
- [図13]図13は、L T | Rの定義を説明する模式図である。
- [図14]図14は、炭化珪素エピタキシャル基板の製造装置の構成を示す一部断面模式図である。
- [図15]図15は、本実施形態に係る炭化珪素エピタキシャル基板の製造方法を概略的に示すフローチャートである。
- [図16]図16は、炭化珪素エピタキシャル層に対して化学機械研磨を行う工程を示す断面模式図である。
- [図17]図17は、化学機械研磨装置の構成を示す断面模式図である。
- [図18]図18は、本実施形態に係る炭化珪素半導体装置の製造方法を概略的に示すフローチャートである。
- [図19]図19は、ボディ領域を形成する工程を示す断面模式図である。
- [図20]図20は、ソース領域を形成する工程を示す断面模式図である。
- [図21]図21は、炭化珪素エピタキシャル層の第2主面にトレンチを形成する工程を示す断面模式図である。
- [図22]図22は、ゲート絶縁膜を形成する工程を示す断面模式図である。
- [図23]図23は、ゲート電極および層間絶縁膜を形成する工程を示す断面模式図である。
- [図24]図24は、本実施形態に係る炭化珪素半導体装置の構成を示す断面模

式図である。

[図25]図25は、化学機械研磨後における炭化珪素エピタキシャル基板の垂れ度と、研磨量との関係を示す図である。

[図26]図26は、化学機械研磨後における炭化珪素エピタキシャル基板の第2主面における立体斜め欠陥の面密度と、研磨量との関係を示す図である。

### 発明を実施するための形態

#### [0007] [本開示が解決しようとする課題]

本開示の目的は、炭化珪素半導体装置の信頼性を向上可能な炭化珪素エピタキシャル基板および炭化珪素半導体装置の製造方法を提供することである。

#### [本開示の効果]

本開示によれば、炭化珪素半導体装置の信頼性を向上可能な炭化珪素エピタキシャル基板および炭化珪素半導体装置の製造方法を提供することができる。

#### [本開示の実施形態の説明]

最初に本開示の実施形態を列記して説明する。

- [0008] (1) 本開示に係る炭化珪素エピタキシャル基板100は、炭化珪素基板11と、炭化珪素エピタキシャル層22と備えている。炭化珪素エピタキシャル層22は、炭化珪素基板11上にある。炭化珪素基板11は、炭化珪素基板11と炭化珪素エピタキシャル層22との界面3の反対側にある第1主面1を有している。炭化珪素エピタキシャル層22は、界面3の反対側にある第2主面2を有している。第2主面2を、1辺の長さが10mmである複数の正方領域50に区分した場合、複数の正方領域50は、複数の正方領域50の最外周に位置する複数の外周領域5と、複数の外周領域5に囲まれた複数の中央領域6とにより構成されている。複数の外周領域における炭化珪素エピタキシャル基板のL T I Rの最大値を第1値とし、複数の中央領域における炭化珪素エピタキシャル基板のL T I Rの最大値を第2値とした場合、第2値で第1値を除いた値は、0.8以上1.2以下である。第2主面2

におけるピット10の面密度は、0.5個/cm<sup>2</sup>以下である。第2主面2に対して垂直な方向に見て、ピット10の面積は、100μm<sup>2</sup>以下である。第2主面2に対して垂直な方向において、ピット10の深さは、0.01μm以上0.1μm以下である。

[0009] (2) 本開示に係る炭化珪素エピタキシャル基板100は、炭化珪素基板11と、炭化珪素エピタキシャル層22と備えている。炭化珪素エピタキシャル層22は、炭化珪素基板11上にある。炭化珪素基板11は、炭化珪素基板11と炭化珪素エピタキシャル層22との界面3の反対側にある第1主面1を有している。炭化珪素エピタキシャル層22は、界面3の反対側にある第2主面2を有している。第2主面2を、1辺の長さが10mmである複数の正方領域50に区分した場合、複数の正方領域50は、複数の正方領域50の最外周に位置する複数の外周領域5と、複数の外周領域5に囲まれた複数の中央領域6とにより構成されている。複数の外周領域における炭化珪素エピタキシャル基板のL T I Rの最大値を第1値とし、複数の中央領域における炭化珪素エピタキシャル基板のL T I Rの最大値を第2値とした場合、第2値で第1値を除した値は、0.8以上1.2以下である。第2主面2におけるバンプ20の面密度は、0.5個/cm<sup>2</sup>以下である。第2主面2に対して垂直な方向に見て、バンプ20の面積は、100μm<sup>2</sup>以下である。第2主面2に対して垂直な方向において、バンプ20の高さは、0.01μm以上0.1μm以下である。

[0010] (3) 上記(1)に係る炭化珪素エピタキシャル基板100によれば、第2主面2におけるバンプ20の面密度は、0.5個/cm<sup>2</sup>以下であってもよい。第2主面2に対して垂直な方向に見て、バンプ20の面積は、100μm<sup>2</sup>以下であってもよい。第2主面2に対して垂直な方向において、バンプ20の高さは、0.01μm以上0.1μm以下であってもよい。

[0011] (4) 上記(1)から(3)のいずれか1項に係る炭化珪素エピタキシャル基板100によれば、第2主面2における立体斜め欠陥40の面密度は、0.006個/cm<sup>2</sup>以上0.2個/cm<sup>2</sup>以下であってもよい。

- [0012] (5) 上記(1)から(4)のいずれか1項に係る炭化珪素エピタキシャル基板100によれば、第2主面2の直径は、100mm以上であってもよい。
- [0013] (6) 上記(1)から(5)のいずれか1項に係る炭化珪素エピタキシャル基板100によれば、{0001}面に対する第2主面2のオフ角度は、5°以下であってもよい。
- [0014] (7) 上記(1)から(6)のいずれか1項に係る炭化珪素エピタキシャル基板100によれば、炭化珪素基板11および炭化珪素エピタキシャル層22の各々を構成する炭化珪素のポリタイプは、4Hであってもよい。
- [0015] (8) 上記(1)から(7)のいずれか1項に係る炭化珪素エピタキシャル基板100によれば、炭化珪素エピタキシャル層22は、n型不純物を含んでいてもよい。n型不純物の濃度は、 $1 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ 以上 $1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 以下であってもよい。
- [0016] (9) 本開示に係る炭化珪素半導体装置400の製造方法は、以下の工程を備えている。上記(1)から(8)のいずれかに記載の炭化珪素エピタキシャル基板100が準備される。炭化珪素エピタキシャル基板100が加工される。

[本開示の実施形態の詳細]

以下、図面に基づいて、本開示の実施形態の詳細について説明する。なお、以下の図面において同一または相当する部分には同一の参照番号を付し、その説明は繰返さない。本明細書中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。また、負の指数については、結晶学上、“-”（バー）を数字の上に付けることになっているが、本明細書中では、数字の前に負の符号を付けている。

- [0017] (炭化珪素エピタキシャル基板)

まず、本実施形態に係る炭化珪素エピタキシャル基板100の構成について説明する。図1は、本実施形態に係る炭化珪素エピタキシャル基板100

の構成を示す平面模式図である。

[0018] 図1に示されるように、本実施形態に係る炭化珪素エピタキシャル基板100は、第2主面2と、外周側面9とを有している。第2主面2は、第1方向101および第2方向102の各々に沿って拡がっている。第1方向101は、たとえば $\langle 11-20 \rangle$ 方向である。第2方向102は、たとえば $\langle 1-100 \rangle$ 方向である。

[0019] 第2主面2は、 $\{0001\}$ 面に対して傾斜した平面である。 $\{0001\}$ 面に対する第2主面2のオフ角度は、たとえば $5^\circ$ 以下であってもよい。具体的には、第2主面2は、 $(0001)$ 面に対して $5^\circ$ 以下のオフ角度だけ傾斜した面であってもよい。第2主面2は、 $(000-1)$ 面に対して $5^\circ$ 以下のオフ角度だけ傾斜した面であってもよい。 $\{0001\}$ 面に対する第2主面2の傾斜方向(オフ方向)は、たとえば $\langle 11-20 \rangle$ 方向である。 $\{0001\}$ 面に対する第2主面2のオフ角度は、たとえば $4^\circ$ 以下であってもよいし、 $3^\circ$ 以下であってもよい。

[0020] 図1に示されるように、外周側面9は、オリエンテーションフラット部7と、円弧状部8とを有している。円弧状部8は、オリエンテーションフラット部7に連なっている。図1に示されるように、第2主面2に対して垂直な方向から見て、オリエンテーションフラット部7は、第1方向101に沿って延在している。第2主面2の直径W1は、たとえば100mm以上である。直径W1は、150mm以上でもよいし、200mm以上でもよい。直径W1の上限は、特に限定されないが、たとえば300mm以下であってもよい。第2主面2に対して垂直な方向に見て、直径W1は、外周側面9上の異なる2点間の最長直線距離である。

[0021] 図2は、図1の11-11線に沿った断面模式図である。図2に示される断面は、第2主面2に対して垂直であり、かつ第1方向101に平行である。図2に示されるように、本実施形態に係る炭化珪素エピタキシャル基板100は、炭化珪素基板11と、炭化珪素エピタキシャル層22を有している。炭化珪素エピタキシャル層22は、炭化珪素基板11上にある。

- [0022] 炭化珪素基板 1 1 は、炭化珪素基板 1 1 と炭化珪素エピタキシャル層 2 2 との界面 3 の反対側にある第 1 主面 1 を有している。炭化珪素エピタキシャル層 2 2 は、炭化珪素基板 1 1 と炭化珪素エピタキシャル層 2 2 との界面 3 の反対側にある第 2 主面 2 を有している。第 2 主面 2 は、炭化珪素エピタキシャル基板 1 0 0 の表面である。第 1 主面 1 は、炭化珪素エピタキシャル基板 1 0 0 の裏面である。
- [0023] 炭化珪素基板 1 1 および炭化珪素エピタキシャル層 2 2 の各々は、たとえば炭化珪素単結晶により構成されている。具体的には、炭化珪素基板 1 1 および炭化珪素エピタキシャル層 2 2 の各々は、たとえばポリタイプ 4 H の炭化珪素から構成されていてもよい。炭化珪素基板 1 1 および炭化珪素エピタキシャル層 2 2 の各々は、キャリアを含んでいる。炭化珪素基板 1 1 および炭化珪素エピタキシャル層 2 2 の各々は、たとえば n 型不純物としての窒素 (N) を含んでいる。炭化珪素基板 1 1 および炭化珪素エピタキシャル層 2 2 の各々の導電型は、たとえば n 型 (第 1 導電型) である。
- [0024] 炭化珪素エピタキシャル層 2 2 が含む n 型不純物の濃度は、たとえば  $1 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$  以上  $1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$  以下である。n 型不純物の濃度の下限は、特に限定されないが、たとえば  $5 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$  以上であってもよいし、 $1 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$  以上であってもよい。n 型不純物の濃度の上限は、特に限定されないが、たとえば  $5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$  以下であってもよいし、 $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$  以下であってもよい。炭化珪素エピタキシャル層 2 2 が含む n 型不純物の濃度は、たとえば水銀プローブ方式の C (Capacitance) – V (Voltage) 測定装置を使用して測定することができる。
- [0025] 炭化珪素エピタキシャル層 2 2 の厚み (第 1 厚み T 1) は、たとえば  $15 \mu\text{m}$  以上であってもよい。炭化珪素エピタキシャル層 2 2 の厚み (第 1 厚み T 1) の下限は、特に限定されないが、たとえば  $20 \mu\text{m}$  以上であってもよいし、 $30 \mu\text{m}$  以上であってもよい。炭化珪素エピタキシャル層 2 2 の厚み (第 1 厚み T 1) の上限は、特に限定されないが、たとえば  $100 \mu\text{m}$  以下であってもよいし、 $50 \mu\text{m}$  以下であってもよい。

[0026] 炭化珪素エピタキシャル層 2 2 の厚み (第 1 厚み T 1) は、たとえば 1 5  $\mu\text{m}$  未満であってもよい。炭化珪素エピタキシャル層 2 2 の厚み (第 1 厚み T 1) の上限は、特に限定されないが、たとえば 1 3  $\mu\text{m}$  以下であってもよいし、1 0  $\mu\text{m}$  以下であってもよい。炭化珪素エピタキシャル層 2 2 の厚み (第 1 厚み T 1) の下限は、特に限定されないが、たとえば 1  $\mu\text{m}$  以上であってもよいし、5  $\mu\text{m}$  以上であってもよい。炭化珪素基板 1 1 の厚み (第 5 厚み T 5) は、たとえば 3 5 0  $\mu\text{m}$  以上 5 0 0  $\mu\text{m}$  以下である。

[0027] 次に、炭化珪素エピタキシャル層 2 2 の厚みの測定方法について説明する。

炭化珪素エピタキシャル層 2 2 の厚みは、たとえば FTIR (Fourier Transform Infrared spectrometer) を用いて測定することができる。測定装置は、たとえば島津製作所製フーリエ変換赤外分光光度計 (IR Prestige-21) である。FTIR による炭化珪素層エピタキシャル層の厚みの測定は、炭化珪素層エピタキシャル層と炭化珪素基板 1 1 とのキャリア濃度差により生じる光学定数差を利用して求められる。測定波数範囲は、たとえば 3 4 0 0  $\text{cm}^{-1}$  から 2 4 0 0  $\text{cm}^{-1}$  までの範囲である。波数間隔は、たとえば 4  $\text{cm}^{-1}$  程度である。

[0028] 具体的には、赤外光を照射して、炭化珪素エピタキシャル層 2 2 の第 2 主面 2 からの反射光と、炭化珪素エピタキシャル層 2 2 と炭化珪素基板 1 1 との界面 3 からの反射光による干渉を計測することにより、炭化珪素エピタキシャル層 2 2 の厚みが計測される。

[0029] (ピット)

図 3 は、図 1 の領域 1 1 1 の拡大平面図である。図 3 に示されるように、炭化珪素エピタキシャル基板 1 0 0 の第 2 主面 2 において、たとえばピット 1 0 があってもよい。図 3 に示されるように、第 2 主面 2 に対して垂直な方向に見て、ピット 1 0 の形状は、特に限定されないが、たとえば略円形であってもよい。第 1 方向 1 0 1 に沿ったピット 1 0 の幅 (第 1 幅 A 1) を第 2 方向 1 0 2 に沿ったピット 1 0 の長さ (第 1 長さ B 1) で除した値は、たと

例えば0.1以上10以下であってもよいし、0.2以上5以下であってもよい。第2主面2に対して垂直な方向に見て、ピット10の形状は、たとえば棒状であってもよい。

[0030] 第2主面2に対して垂直な方向に見て、ピット10の面積は $100\mu\text{m}^2$ 以下である。第2主面2に対して垂直な方向に見て、ピット10の面積の上限は、特に限定されないが、たとえば $80\mu\text{m}^2$ 以下であってもよいし、 $60\mu\text{m}^2$ 以下であってもよい。第2主面2に対して垂直な方向に見て、ピット10の面積の下限は、特に限定されないが、たとえば $1\mu\text{m}^2$ 以上であってもよいし、 $10\mu\text{m}^2$ 以上であってもよい。

[0031] 第1方向101に沿ったピット10の幅（第1幅A1）の上限は、特に限定されないが、たとえば $50\mu\text{m}$ 以下であってもよいし、 $30\mu\text{m}$ 以下であってもよいし、 $10\mu\text{m}$ 以下であってもよい。第1方向101に沿ったピット10の幅（第1幅A1）の下限は、特に限定されないが、たとえば $1\mu\text{m}$ 以上であってもよいし、 $2\mu\text{m}$ 以上であってもよいし、 $5\mu\text{m}$ 以上であってもよい。

[0032] 第2方向102に沿ったピット10の長さ（第1長さB1）の上限は、特に限定されないが、たとえば $50\mu\text{m}$ 以下であってもよいし、 $30\mu\text{m}$ 以下であってもよいし、 $10\mu\text{m}$ 以下であってもよい。第2方向102に沿ったピット10の長さ（第1長さB1）の下限は、特に限定されないが、たとえば $1\mu\text{m}$ 以上であってもよいし、 $2\mu\text{m}$ 以上であってもよいし、 $5\mu\text{m}$ 以上であってもよい。

[0033] 図4は、図3の領域IV-IVに沿った断面模式図である。図4に示されるように、ピット10は、第2主面2に形成された凹みである。断面視において、ピット10を構成する側面は、湾曲していてもよい。第2主面2に対して垂直な方向において、ピット10の深さ（第1深さC1）は、 $0.01\mu\text{m}$ 以上 $0.1\mu\text{m}$ 以下である。第2主面2に対して垂直な方向において、ピット10の深さ（第1深さC1）の上限は、特に限定されないが、たとえば $0.09\mu\text{m}$ 以下であってもよいし、 $0.08\mu\text{m}$ 以下であってもよい。

第2主面2に対して垂直な方向において、ピット10の深さ（第1深さC1）の下限は、特に限定されないが、たとえば $0.02\mu\text{m}$ 以上であってもよいし、 $0.03\mu\text{m}$ 以上であってもよい。

[0034] 第2主面2におけるピット10の面密度は、 $0.7$ 個/ $\text{cm}^2$ 以下であってもよい。第2主面2におけるピット10の面密度の上限は、たとえば $0.5$ 個/ $\text{cm}^2$ 以下であってもよいし、たとえば $0.1$ 個/ $\text{cm}^2$ 以下であってもよいし、たとえば $0.05$ 個/ $\text{cm}^2$ 以下であってもよい。あるいは、ピット10の面密度は、たとえば、 $30$ 個/ $\text{cm}^2$ 以下であってもよいし、 $20$ 個/ $\text{cm}^2$ 以下であってもよいし、 $10$ 個/ $\text{cm}^2$ 以下であってもよいし、 $5$ 個/ $\text{cm}^2$ 以下であってもよいし、 $2$ 個/ $\text{cm}^2$ 以下であってもよい。第2主面2におけるピット10の面密度の下限は、特に限定されないが、たとえば $0.01$ 個/ $\text{cm}^2$ 以上であってもよいし、たとえば $0.02$ 個/ $\text{cm}^2$ 以上であってもよい。

[0035] (バンプ)

図5は、図1の領域Vの拡大平面図である。図5に示されるように、炭化珪素エピタキシャル基板100の第2主面2において、たとえばバンプ20があってもよい。図5に示されるように、第2主面2に対して垂直な方向に見て、バンプ20の形状は、特に限定されないが、たとえば略円形であってもよい。第1方向101に沿ったバンプ20の幅（第2幅A2）を第2方向102に沿ったバンプ20の長さ（第2長さB2）で除した値は、たとえば $0.1$ 以上 $10$ 以下であってもよいし、 $0.2$ 以上 $5$ 以下であってもよい。

[0036] 第2主面2に対して垂直な方向に見て、バンプ20の面積は $100\mu\text{m}^2$ 以下である。第2主面2に対して垂直な方向に見て、バンプ20の面積の上限は、特に限定されないが、たとえば $80\mu\text{m}^2$ 以下であってもよいし、 $60\mu\text{m}^2$ 以下であってもよい。第2主面2に対して垂直な方向に見て、バンプ20の面積の下限は、特に限定されないが、たとえば $1\mu\text{m}^2$ 以上であってもよいし、 $10\mu\text{m}^2$ 以上であってもよい。

[0037] 第1方向101に沿ったバンプ20の幅（第2幅A2）の上限は、特に限

定されないが、たとえば $50\mu\text{m}$ 以下であってもよいし、 $30\mu\text{m}$ 以下であってもよいし、 $10\mu\text{m}$ 以下であってもよい。第1方向101に沿ったバンプ20の幅（第2幅A2）の下限は、特に限定されないが、たとえば $1\mu\text{m}$ 以上であってもよいし、 $2\mu\text{m}$ 以上であってもよいし、 $5\mu\text{m}$ 以上であってもよい。

[0038] 第2方向102に沿ったバンプ20の長さ（第2長さB2）の上限は、特に限定されないが、たとえば $50\mu\text{m}$ 以下であってもよいし、 $30\mu\text{m}$ 以下であってもよいし、 $10\mu\text{m}$ 以下であってもよい。第2方向102に沿ったバンプ20の長さ（第2長さB2）の下限は、特に限定されないが、たとえば $1\mu\text{m}$ 以上であってもよいし、 $2\mu\text{m}$ 以上であってもよいし、 $5\mu\text{m}$ 以上であってもよい。

[0039] 図6は、図5の領域V1-V1に沿った断面模式図である。図6に示されるように、バンプ20は、第2主面2に形成された突起である。断面視において、バンプ20を構成する側面は、湾曲していてもよい。第2主面2に対して垂直な方向において、バンプ20の高さ（第2高さC2）は、 $0.01\mu\text{m}$ 以上 $0.1\mu\text{m}$ 以下である。第2主面2に対して垂直な方向において、バンプ20の高さ（第2高さC2）の上限は、特に限定されないが、たとえば $0.09\mu\text{m}$ 以下であってもよいし、 $0.08\mu\text{m}$ 以下であってもよい。第2主面2に対して垂直な方向において、バンプ20の高さ（第2高さC2）の下限は、特に限定されないが、たとえば $0.02\mu\text{m}$ 以上であってもよいし、 $0.03\mu\text{m}$ 以上であってもよい。

[0040] 第2主面2におけるバンプ20の面密度は、 $1\text{個}/\text{cm}^2$ 以下であってもよい。第2主面2におけるバンプ20の面密度の上限は、たとえば $0.5\text{個}/\text{cm}^2$ 以下であってもよいし、たとえば $0.3\text{個}/\text{cm}^2$ 以下であってもよい。あるいは、バンプ20の面密度は、たとえば $3\text{個}/\text{cm}^2$ 以下であってもよいし、 $2\text{個}/\text{cm}^2$ 以下であってもよい。第2主面2におけるバンプ20の面密度の下限は、特に限定されないが、たとえば $0.01\text{個}/\text{cm}^2$ 以上であってもよいし、たとえば $0.1\text{個}/\text{cm}^2$ 以上であってもよい。

## [0041] (スクラッチ)

図7は、図1の領域V11の拡大平面図である。図7に示されるように、炭化珪素エピタキシャル基板100の第2主面2において、たとえばスクラッチ30があってもよい。図7に示されるように、第2主面2に対して垂直な方向に見て、スクラッチ30の形状は、特に限定されないが、たとえば棒状であってもよい。第2主面2に垂直な方向に見て、スクラッチ30の長手方向に沿ったスクラッチ30の長さ(第3幅A3)を、スクラッチ30の短手方向に沿ったスクラッチ30の幅(第3長さB3)で除した値は、たとえば7以上であってもよいし、10以上であってもよいし、15以上であってもよい。

[0042] 第2主面2に垂直な方向に見て、スクラッチ30の幅(第3長さB3)は、 $10\mu\text{m}$ 以下である。スクラッチ30の幅(第3長さB3)の上限は、特に限定されないが、たとえば $8\mu\text{m}$ 以下であってもよいし、 $5\mu\text{m}$ 以下であってもよいし、 $3\mu\text{m}$ 以下であってもよい。スクラッチ30の幅(第3長さB3)の下限は、特に限定されないが、たとえば $0.1\mu\text{m}$ 以上であってもよいし、 $0.2\mu\text{m}$ 以上であってもよいし、 $0.5\mu\text{m}$ 以上であってもよい。

[0043] 第2主面2に垂直な方向に見て、スクラッチ30の長さ(第3幅A3)は、 $150\text{mm}$ 以下である。スクラッチ30の長さ(第3幅A3)の上限は、特に限定されないが、たとえば $90\text{mm}$ 以下であってもよいし、 $80\text{mm}$ 以下であってもよい。スクラッチ30の長さ(第3幅A3)の下限は、特に限定されないが、たとえば $10\mu\text{m}$ 以上であってもよいし、 $20\mu\text{m}$ 以上であってもよいし、 $50\mu\text{m}$ 以上であってもよい。

[0044] 図8は、図7の領域V111-V111に沿った断面模式図である。図8に示される断面は、第2主面2に対して垂直であり、かつスクラッチ30の長手方向に垂直である。図8に示されるように、スクラッチ30は、第2主面2に形成された凹みである。第2主面2に対して垂直な方向において、スクラッチ30の深さ(第3深さC3)は、 $0.2\mu\text{m}$ 以上である。第2主面

2に対して垂直な方向において、スクラッチ30の深さ（第3深さC3）の上限は、特に限定されないが、たとえば $5\mu\text{m}$ 以下であってもよいし、 $2\mu\text{m}$ 以下であってもよい。第2主面2に対して垂直な方向において、スクラッチ30の深さ（第3深さC3）の下限は、特に限定されないが、たとえば $0.4\mu\text{m}$ 以上であってもよいし、 $0.6\mu\text{m}$ 以上であってもよい。

[0045] 第2主面2におけるスクラッチ30の面密度は、 $1\text{個}/\text{cm}^2$ 以下である。第2主面2におけるスクラッチ30の面密度の上限は、特に限定されないが、たとえば $0.5\text{個}/\text{cm}^2$ 以下であってもよいし、たとえば $0.1\text{個}/\text{cm}^2$ 以下であってもよいし、たとえば $0.05\text{個}/\text{cm}^2$ 以下であってもよい。第2主面2におけるスクラッチ30の面密度の下限は、特に限定されないが、たとえば $0.01\text{個}/\text{cm}^2$ 以上であってもよいし、たとえば $0.02\text{個}/\text{cm}^2$ 以上であってもよい。

[0046] （共焦点微分干渉顕微鏡）

ピット10、バンプ20およびスクラッチ30の各々は、共焦点微分干渉顕微鏡を有する欠陥検査装置を用いて、炭化珪素エピタキシャル基板100の第2主面2を観察することにより特定される。共焦点微分干渉顕微鏡を有する欠陥検査装置として、たとえばレーザーテック株式会社製のWASAV1シリーズ「SICA 6X」を使用することができる。対物レンズの倍率は、たとえば10倍である。炭化珪素エピタキシャル基板100の第2主面2に対して、水銀キセノンランプなどの光源から波長 $546\text{nm}$ の光が照射され、当該光の反射光が受光素子により観察される。これにより、第2主面2におけるSICA画像が取得される。

[0047] SICA画像のコントラストは、1（最小）から256（最大）まで256段階に分類される。コントラストが最大の時に、SICA画像は最も暗く表示される。コントラストが最小の時に、SICA画像は最も明るく表示される。SICAを用いて深いピット10を観察した場合、ピット10の底は、暗く表示される。反対に、SICAを用いて浅いピット10を観察した場合、ピット10の底は、明るく表示される。あらかじめ、コントラストの異

なるピット10を選定し、それぞれのピット10の深さがAFM (Atomic Force Microscope) で測定される。これにより、SICA画像におけるコントラスト (明暗) によって、ピット10の深さが推定される。

[0048] ピット10、バンプ20およびスクラッチ30の各々の平面形状および深さに基づいて、ピット10、バンプ20およびスクラッチ30の各々が定義される。観察されたSICA画像に基づいて、ピット10、バンプ20およびスクラッチ30の各々が特定される。SICAの測定感度の指標である「Tresh S」は、たとえば40とされる。

[0049] 第2主面2の全面において、ピット10、バンプ20およびスクラッチ30の各々の総数がカウントされる。ピット10の面密度は、第2主面2におけるピット10の総数を、第2主面2の面積で除した値である。バンプ20の面密度は、第2主面2におけるバンプ20の総数を、第2主面2の面積で除した値である。スクラッチ30の面密度は、第2主面2におけるスクラッチ30の総数を、第2主面2の面積で除した値である。なお、第2主面2において、外周側面9から5mm以内の領域は、ピット10、バンプ20およびスクラッチ30の各々の面密度の測定領域から除外される (エッジエクスクルージョン)。

[0050] (立体斜め欠陥)

図9は、図1の領域IXの拡大平面図である。図10は、図9の領域X-Xに沿った断面模式図である。図9および図10に示されるように、炭化珪素エピタキシャル基板100の第2主面2において、たとえば立体斜め欠陥40があってもよい。図10に示されるように、立体斜め欠陥40は、突起部41と、積層欠陥42とを有している。積層欠陥42は、突起部41に連なっている。積層欠陥42は、突起部41から第1方向101に沿って延在していてもよい。図10に示されるように、積層欠陥42の頂面44の一部は、溝35を構成する。

[0051] 図9に示される立体斜め欠陥40の形状は、共焦点微分干渉顕微鏡を用いて観察された形状である。図9に示されるように、第2主面2に対して垂直

な方向に見て、突起部41の形状は、たとえば略円形であってもよい。第2主面2に対して垂直な方向に見て、溝35の形状は、たとえば棒状であってもよい。

[0052] 図9に示されるように、第1方向101において、溝35の幅（第5幅A5）は、突起部41の幅（第4幅A4）よりも大きい。第1方向101において、溝35の幅（第5幅A5）の下限は、特に限定されないが、突起部41の幅（第4幅A4）の5倍以上であってもよいし、10倍以上であってもよい。第1方向101において、溝35の幅（第5幅A5）の上限は、特に限定されないが、突起部41の幅（第4幅A4）の100倍以下であってもよいし、50倍以下であってもよい。

[0053] 図9に示されるように、第2方向102において、突起部41の長さ（第4長さB4）は、溝35の長さ（第5長さB5）よりも大きいてもよい。第2方向102において、突起部41の長さ（第4長さB4）の下限は、特に限定されないが、溝35の長さ（第5長さB5）の1.5倍以上であってもよいし、2倍以上であってもよい。第2方向102において、突起部41の長さ（第4長さB4）の上限は、特に限定されないが、溝35の長さ（第5長さB5）の20倍以下であってもよいし、10倍以下であってもよい。

[0054] 第1方向101に沿った突起部41の幅（第4幅A4）の上限は、特に限定されないが、たとえば50 $\mu\text{m}$ 以下であってもよいし、30 $\mu\text{m}$ 以下であってもよいし、10 $\mu\text{m}$ 以下であってもよい。第1方向101に沿った突起部41の幅（第4幅A4）の下限は、特に限定されないが、たとえば1 $\mu\text{m}$ 以上であってもよいし、2 $\mu\text{m}$ 以上であってもよいし、5 $\mu\text{m}$ 以上であってもよい。

[0055] 第2方向102に沿った突起部41の長さ（第4長さB4）の上限は、特に限定されないが、たとえば50 $\mu\text{m}$ 以下であってもよいし、30 $\mu\text{m}$ 以下であってもよいし、10 $\mu\text{m}$ 以下であってもよい。第2方向102に沿った突起部41の長さ（第4長さB4）の下限は、特に限定されないが、たとえば1 $\mu\text{m}$ 以上であってもよいし、2 $\mu\text{m}$ 以上であってもよいし、5 $\mu\text{m}$ 以上

であってもよい。

[0056] 第1方向101に沿った溝35の幅(第5幅A5)は、たとえば $T1 / \tan \theta$ であってもよい。第1方向101に沿った溝35の幅(第5幅A5)は、たとえば $0.9 \times (T1 / \tan \theta)$ 以上 $1.1 \times (T1 / \tan \theta)$ 以下であってもよいし、 $0.8 \times (T1 / \tan \theta)$ 以上 $1.2 \times (T1 / \tan \theta)$ 以下であってもよい。

[0057] 第2方向102に沿った溝35の長さ(第5長さB5)の上限は、特に限定されないが、たとえば $30 \mu\text{m}$ 以下であってもよいし、 $20 \mu\text{m}$ 以下であってもよいし、 $5 \mu\text{m}$ 以下であってもよい。第2方向102に沿った溝35の長さ(第5長さB5)の下限は、特に限定されないが、たとえば $0.1 \mu\text{m}$ 以上であってもよいし、 $0.5 \mu\text{m}$ 以上であってもよいし、 $1 \mu\text{m}$ 以上であってもよい。

[0058] 図10に示されるように、積層欠陥42は、貫通螺旋転位46に連なっている。貫通螺旋転位46は、第1主面1から界面3まで連続的に延在している。貫通螺旋転位46が延在する方向は、第4方向104である。第4方向104は、たとえば $\langle 0001 \rangle$ 方向である。第3方向103は、第2主面2に対して垂直な方向である。別の観点から言えば、第3方向103は、第1方向101および第2方向102の各々に対して垂直な方向である。第3方向103に対する第4方向104の傾斜角 $\theta$ は、第2主面2のオフ角度に対応する。積層欠陥42は、界面3において、貫通螺旋転位46と接している。

[0059] 図10に示されるように、積層欠陥42は、頂面44と、側部45と、底面43とを有している。底面43は、界面3において、貫通螺旋転位46に連なっている。頂面44は、貫通螺旋転位46から離間している。底面43は、突起部41に接している。頂面44は、突起部41に接している。側部45は、突起部41から離間している。側部45は、頂面44と底面43との境界である。

[0060] 底面43は、たとえば $\{0001\}$ 面に位置していてもよい。 $\{0001$

}面は、第2主面2に対して傾斜している。頂面44は、側部45に連なっている。図10に示されるように、第2方向102に沿って見た場合、頂面44は、底面43に対して傾斜していてもよい。頂面44は、第2主面2に対して傾斜していてもよい。底面43は、第2主面2に対して傾斜している。積層欠陥42を構成する炭化珪素のポリタイプは、炭化珪素基板11を構成する炭化珪素のポリタイプと異なってもよい。

[0061] 第2主面2に対して垂直な方向において、積層欠陥42の頂面44が構成する溝35の深さ（第5深さC5）は、たとえば $0.1\ \mu\text{m}$ 以下である。積層欠陥42の頂面44が構成する溝35の深さ（第5深さC5）の上限は、特に限定されないが、たとえば $0.08\ \mu\text{m}$ 以下であってもよいし、 $0.06\ \mu\text{m}$ 以下であってもよい。積層欠陥42の頂面44が構成する溝35の深さ（第5深さC5）の下限は、特に限定されないが、たとえば $0.001\ \mu\text{m}$ 以上であってもよいし、 $0.01\ \mu\text{m}$ 以上であってもよい。溝35の深さは、突起部41から離れるにつれて大きくなってよい。第5深さC5は、溝35の最も深い位置における深さである。

[0062] 第2主面2に対して垂直な方向において、突起部41の高さ（第4高さC4）は、たとえば $0.05\ \mu\text{m}$ 以下である。第2主面2に対して垂直な方向において、突起部41の高さ（第4高さC4）の上限は、特に限定されないが、たとえば $0.03\ \mu\text{m}$ 以下であってもよいし、 $0.01\ \mu\text{m}$ 以下であってもよい。第2主面2に対して垂直な方向において、突起部41の高さ（第4高さC4）の下限は、特に限定されないが、たとえば $0.001\ \mu\text{m}$ 以上であってもよいし、 $0.003\ \mu\text{m}$ 以上であってもよい。

[0063] 本実施形態に係る炭化珪素エピタキシャル基板100によれば、第2主面2における立体斜め欠陥40の面密度は、たとえば $0.006\ \text{個}/\text{cm}^2$ 以上 $0.2\ \text{個}/\text{cm}^2$ 以下である。第2主面2における立体斜め欠陥40の面密度の下限は、特に限定されないが、たとえば $0.012\ \text{個}/\text{cm}^2$ 以上であってもよいし、 $0.024\ \text{個}/\text{cm}^2$ 以上であってもよい。第2主面2における立体斜め欠陥40の面密度の上限は、特に限定されないが、たとえば $0.15$

個/cm<sup>2</sup>以下であってもよいし、0.1個/cm<sup>2</sup>以下であってもよい。

[0064] 図11は、立体斜め欠陥40のフォトルミネッセンス画像を示す平面模式図である。図11に示される画像の模式図は、図9に示される画像と同じ領域を撮影して得られた画像の模式図である。図11に示されるように、第2主面2に対して垂直な方向に見て、積層欠陥42は、三角形形状である。積層欠陥42の領域と、積層欠陥42の周りの領域とは、コントラスト（明暗）が異なっている。積層欠陥42の領域は、積層欠陥42の周りの領域よりも暗く表示される。積層欠陥42は、第1辺47と、第2辺48と、頂点49と有している。第2主面2に対して垂直な方向に見て、頂点49は、突起部41に位置している。第1辺47および第2辺48の各々は、頂点49に連なっている。

[0065] 図11に示されるように、第2主面2に対して垂直な方向に見て、第1辺47および第2辺48の各々は、側部45に連なっている。側部45は、第2方向102に沿って延在していてもよい。第1辺47および第2辺48の各々は、第1方向101に対して傾斜していてもよい。頂点49から側部45に向かうに従って、第2方向102に沿った第1辺47と第2辺48との距離は、単調に大きくなっていてもよい。

[0066] （フォトルミネッセンスイメージング装置）

立体斜め欠陥40は、共焦点微分干渉顕微鏡を有する欠陥検査装置と、フォトルミネッセンスイメージング装置との双方を用いることにより特定することができる。共焦点微分干渉顕微鏡を有する欠陥検査装置は、たとえばレーザーテック株式会社製のWASAVIシリーズ「SICA 6X」である。フォトルミネッセンスイメージング装置は、たとえば株式会社フォトンデザイン社製のフォトルミネッセンスイメージング装置（型番：PLI-200-SMH5）である。炭化珪素エピタキシャル基板100の第2主面2の被測定領域に対して励起光が照射されると、被測定領域からフォトルミネッセンス光が発生する。被測定領域から発生したフォトルミネッセンス光は、受光素子により撮像される。以上のように、被測定領域のフォトルミネッセ

ンス画像が撮影される。

[0067] 励起光のエネルギーは、六方晶炭化珪素のバンドギャップのエネルギーよりも高い。励起光源としては、たとえば水銀キセノンランプが使用される。励起光の波長は、たとえば313 nmである。励起光の強度は、たとえば0.1 mW/cm<sup>2</sup>以上2 W/cm<sup>2</sup>以下である。照射光の露光時間は、たとえば0.5秒以上120秒以下である。

[0068] 第2主面2と平行な方向に沿って、炭化珪素エピタキシャル基板100を移動させながら、第2主面2の全領域におけるフォトルミネッセンス画像が撮影される。測定視野の面積は、たとえば2.6 mm×2.6 mmである。これにより、第2主面2の全領域におけるフォトルミネッセンス画像がマッピングされる。取得されたフォトルミネッセンス画像において立体斜め欠陥40が観察される。

[0069] 立体斜め欠陥40は、共焦点微分干渉顕微鏡を有する欠陥検査装置によって測定された共焦点微分干渉画像（SICA画像）と、フォトルミネッセンスイメージング装置によって測定されたフォトルミネッセンス画像とを用いることにより、特定することができる。SICA画像において、立体斜め欠陥40は、突起部41と、突起部41に連なる溝35とを有している。フォトルミネッセンス画像において、立体斜め欠陥40は、三角形状を有している。つまり、SICA画像において、突起部41と、突起部41に連なる溝35とを有しており、かつ、フォトルミネッセンス画像において、三角形状を有している欠陥が、立体斜め欠陥40である。

[0070] まず、レーザーテック株式会社製のWASAVIシリーズ「SICA 6X」を使用して、炭化珪素エピタキシャル基板100の第2主面2の全測定領域における共焦点微分干渉画像（SICA画像）が測定される。当該SICA画像に基づいて、第2主面2において、共焦点微分干渉画像（SICA画像）で定義された立体斜め欠陥40の総数がカウントされる。次に、フォトルミネッセンスイメージング装置を使用して、SICA画像において立体斜め欠陥40と判断された欠陥の形状が観察される。フォトルミネッセンス

イメージング装置によって観察されたフォトルミネッセンス画像が、略三角形形状のコントラスト画像を有している場合、当該欠陥は、立体斜め欠陥40であると判断される。一方、フォトルミネッセンスイメージング装置によって観察されたフォトルミネッセンス画像が、略三角形形状のコントラスト画像を有していない場合、当該欠陥は、立体斜め欠陥40ではないと判断される。共焦点微分干渉画像（SICA画像）およびフォトルミネッセンス画像の双方において、立体斜め欠陥40であると判断された欠陥が、真の立体斜め欠陥40である。立体斜め欠陥40の面密度は、第2主面2における真の立体斜め欠陥40の総数を、第2主面2の面積で除した値である。なお、第2主面2において、外周側面9から5mm以内の領域は、立体斜め欠陥40の面密度の測定領域から除外される（エッジエクスクルージョン）。

[0071] 次に、炭化珪素エピタキシャル基板100の周辺部の垂れ度について説明する。炭化珪素エピタキシャル基板100の垂れ度は、LTIR (Local Total Indicated Reading) という指標を用いて定量化することができる。LTIRは、たとえばCorning Tropel社製の「Tropel FlatMaster (登録商標)」を用いて測定可能である。

[0072] 図12は、LTIRの測定領域を示す平面模式図である。図12に示されるように、第2主面2が、複数の正方領域50に区分される。複数の正方領域50の各々の1辺の長さ(W2)は、10mmである。第2主面2の直径(W1)は、たとえば150mmである。まず、外周側面9に外接する150mm×150mmの正方形が想定される。150mm×150mmの正方形は、10mm×10mmの正方領域(15×15=225個)に区分される。第2主面2に対して垂直な方向に見て、外周側面9に囲まれている正方領域50の数は、145個である。第2主面2に対して垂直な方向に見て、外周側面9と交差する正方領域は、一部が欠けており完全な正方領域とはならない。そのため、外周側面9と交差する正方領域は、第2主面2を構成する正方領域50とはみなさない。

[0073] 複数の正方領域50は、複数の外周領域5と、複数の中央領域6とにより構成される。複数の外周領域5は、複数の正方領域50の最外周に位置している。別の観点から言えば、複数の外周領域5の各々は、外周側面9と交差している正方領域50に接する正方領域50である。図12において、ハッチングが付されている領域が、複数の外周領域5である。複数の中央領域6は、複数の外周領域5に囲まれている。別の観点から言えば、複数の中央領域6の各々は、外周側面9と交差している正方領域50から離間している正方領域50である。なお、第2主面2に垂直な方向に見て、複数の正方領域50の各々一辺は、オリエンテーションフラット部7の延在方向に平行である。

[0074] 図12に示されるように、第2主面2の直径が150mmの場合、第2主面2は、1辺の長さW2が10mmである145個の正方領域50に区分される。145個の正方領域50の各々において、L T I Rが測定される。第2主面2の直径が150mmの場合、外周領域5の数は36個であり、中央領域6の数は109個である。

[0075] 次に、L T I Rの測定方法について説明する。図13は、L T I Rの定義を説明する模式図である。

[0076]  $L T I R = | T 3 | + | T 4 | \dots$  (数式1)

L T I Rは、たとえば以下の手順で測定される。まず、平坦な吸着面に炭化珪素エピタキシャル基板100の第1主面1が全面吸着される。次に、ある局所的な領域（たとえば中央領域6および外周領域5など）における第2主面2の画像が光学的に取得される。次に、第2主面2の最小二乗平面L1が計算により求められる。数式1および図13に示されるように、L T I Rは、平坦な吸着面に第1主面1を全面吸着させた状態で、最小二乗平面L1から第2主面2の最高点P2までの高さ（最高点高さT4）から、最小二乗平面L1から第2主面2の最低点P1までの高さ（最低点高さT3）を差し引いた値である。最低点P1とは、最小二乗平面L1に対して第1主面1側に位置する第2主面2の領域において、最小二乗平面L1に対して垂直な方

向に沿った最小二乗平面L1と第2主面2との距離が最大となる位置である。最高点P2とは、最小二乗平面L1に対して第1主面1側とは反対側に位置する第2主面2の領域において、最小二乗平面L1に対して垂直な方向に沿った最小二乗平面L1と第2主面2との距離が最大となる位置である。つまり、L T I Rは、最高点P2を通りかつ最小二乗平面L1と平行な平面（最高点平面L2）と、最低点P1を通りかつ最小二乗平面L1と平行な平面（最低点平面L3）との距離である。

[0077] 複数の外周領域における炭化珪素エピタキシャル基板のL T I Rの最大値は、第1値とする。複数の中央領域における炭化珪素エピタキシャル基板のL T I Rの最大値は、第2値とする。数式2に示されるように、第2値で第1値を除した値は、0.8以上1.2以下とする。

[0078] 炭化珪素エピタキシャル基板100の垂れ度 = 第1値 / 第2値 . . .  
(数式2)

炭化珪素エピタキシャル基板100の垂れ度は、0.8以上1.2以下である。炭化珪素エピタキシャル基板100の垂れ度の上限は、特に限定されないが、たとえば1.18以下であってもよいし、1.15以下であってもよい。炭化珪素エピタキシャル基板100の垂れ度の下限は、特に限定されないが、たとえば0.82以上であってもよいし、0.85以上であってもよいし、0.90以上であってもよいし、0.95以上であってもよいし、1.0以上であってもよい。

[0079] (炭化珪素エピタキシャル基板の製造装置)

次に、炭化珪素エピタキシャル基板100の製造装置の構成について説明する。図14は、炭化珪素エピタキシャル基板100の製造装置の構成を示す一部断面模式図である。炭化珪素エピタキシャル基板100の製造装置200は、たとえばホットウォール方式の横型CVD (Chemical Vapor Deposition) 装置である。図14に示されるように、炭化珪素エピタキシャル基板100の製造装置200は、反応室201と、ガス供給部235と、制御部245と、発熱体203、石英管204、断熱

材（図示せず）、誘導加熱コイル（図示せず）とを主に有している。

[0080] 発熱体 203 は、たとえば筒状の形状を有しており、内部に反応室 201 を形成している。発熱体 203 は、たとえば黒鉛製である。発熱体 203 は、石英管 204 の内部に設けられている。断熱材は、発熱体 203 の外周を取り囲んでいる。誘導加熱コイルは、たとえば石英管 204 の外周面に沿って巻回されている。誘導加熱コイルは、外部電源（図示せず）により、交流電流が供給可能に構成されている。これにより、発熱体 203 が誘導加熱される。結果として、反応室 201 が発熱体 203 により加熱される。

[0081] 反応室 201 は、発熱体 203 の内壁面 205 に取り囲まれて形成された空間である。反応室 201 には、炭化珪素基板 11 を保持するサセプタ 210 が設けられる。サセプタ 210 は、炭化珪素により構成されている。炭化珪素基板 11 は、サセプタ 210 に載置される。サセプタ 210 は、ステージ 202 上に配置される。ステージ 202 は、回転軸 209 によって自転可能に支持されている。ステージ 202 が回転することで、サセプタ 210 が回転する。

[0082] 炭化珪素エピタキシャル基板 100 の製造装置 200 は、ガス導入口 207 およびガス排気口 208 をさらに有している。ガス排気口 208 は、図示しない排気ポンプに接続されている。図 14 中の矢印は、ガスの流れを示している。ガスは、ガス導入口 207 から反応室 201 に導入され、ガス排気口 208 から排気される。反応室 201 内の圧力は、ガスの供給量と、ガスの排気量とのバランスによって調整される。

[0083] ガス供給部 235 は、反応室 201 に、原料ガスとドーパントガスとキャリアガスとを含む混合ガスを供給可能に構成されている。具体的には、ガス供給部 235 は、たとえば第 1 ガス供給部 231 と、第 2 ガス供給部 232 と、第 3 ガス供給部 233 と、第 4 ガス供給部 234 とを含んでいる。

[0084] 第 1 ガス供給部 231 は、たとえば炭素原子を含む第 1 ガスを供給可能に構成されている。第 1 ガス供給部 231 は、たとえば第 1 ガスが充填されたガスボンベである。第 1 ガスは、たとえばプロパン ( $C_3H_8$ ) ガスである。第

1 ガスは、たとえばメタン ( $\text{CH}_4$ ) ガス、エタン ( $\text{C}_2\text{H}_6$ ) ガス、アセチレン ( $\text{C}_2\text{H}_2$ ) ガス等であってもよい。

[0085] 第2 ガス供給部232は、たとえばシランガスを含む第2ガスを供給可能に構成されている。第2 ガス供給部232は、たとえば第2ガスが充填されたガスボンベである。第2ガスは、たとえばシラン ( $\text{SiH}_4$ ) ガスである。第2ガスは、シランガスと、シラン以外の他のガスとの混合ガスでもよい。

[0086] 第3 ガス供給部233は、たとえば窒素原子を含む第3ガスを供給可能に構成されている。第3 ガス供給部233は、たとえば第3ガスが充填されたガスボンベである。第3ガスは、ドーピングガスである。第3ガスは、たとえばアンモニアガスである。アンモニアガスは、三重結合を有する窒素ガスに比べて熱分解されやすい。

[0087] 第4 ガス供給部234は、たとえば水素などの第4ガス (キャリアガス) を供給可能に構成されている。第4 ガス供給部234は、たとえば水素が充填されたガスボンベである。第4ガスは、アルゴンガスであってもよい。

[0088] 制御部245は、ガス供給部235から反応室201に供給される混合ガスの流量を制御可能に構成されている。具体的には、制御部245は、第1ガス流量制御部241と、第2ガス流量制御部242と、第3ガス流量制御部243と、第4ガス流量制御部244とを含んでもよい。各制御部は、たとえばMFC (Mass Flow Controller) であってもよい。制御部245は、ガス供給部235とガス導入口207との間に配置されている。

[0089] (炭化珪素エピタキシャル基板の製造方法)

次に、本実施形態に係る炭化珪素エピタキシャル基板100の製造方法について説明する。図15は、本実施形態に係る炭化珪素エピタキシャル基板100の製造方法を概略的に示すフローチャートである。図15に示されるように、本実施形態に係る炭化珪素エピタキシャル基板100の製造方法は、炭化珪素基板上に炭化珪素エピタキシャル層を形成する工程 (S10) と、炭化珪素エピタキシャル層に対して化学機械研磨を行う工程 (S20) と

を主に有している。

[0090] まず、たとえば昇華法により製造された炭化珪素単結晶からなるインゴットがワイヤーソーによりスライスされることにより、炭化珪素基板11が準備される。炭化珪素基板11は、たとえばポリタイプ4Hの炭化珪素から構成されている。炭化珪素基板11の直径は、たとえば100mm以上である。炭化珪素基板11の厚みは、たとえば500 $\mu$ m以下である。炭化珪素基板11は、窒素などのn型不純物を含んでいる。n型不純物の濃度は、たとえば $1 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ 以上 $1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 以下である。

[0091] 次に、炭化珪素基板上に炭化珪素エピタキシャル層を形成する工程(S10)が実施される。まず、炭化珪素基板11がサセプタ210に配置される。次に、反応室201が減圧される。具体的には、反応室201の圧力が大気圧からたとえば $1 \times 10^{-6} \text{ Pa}$ 程度に低減される。次に、炭化珪素基板11の昇温が開始される。昇温の途中において、第4ガス供給部234からキャリアガスである水素( $\text{H}_2$ )ガスが反応室201に導入される。

[0092] 次に、原料ガス、ドーパントガスおよびキャリアガスが、反応室201に供給される。具体的には、たとえばシランとプロパンとアンモニアと水素とを含む混合ガスが、反応室201に導入される。反応室201において、それぞれのガスが熱分解される。成長温度は、たとえば1500 $^{\circ}\text{C}$ 以上1750 $^{\circ}\text{C}$ 以下である。混合ガスは、水素の代わりにアルゴンを含んでいてもよい。

[0093] 第1ガス(プロパンガス)の流量は、たとえば29sccmである。第2ガス(シランガス)の流量は、たとえば46sccmである。第3ガス(アンモニアガス)の流量は、たとえば1.5sccmである。第4ガス(水素ガスまたはアルゴンガス)の流量は、たとえば100slmである。反応室201は、たとえば2kPa以上6kPa以下の圧力で維持される。以上により、炭化珪素基板11上に炭化珪素エピタキシャル層22が形成される。

[0094] 次に、炭化珪素エピタキシャル層に対して化学機械研磨を行う工程(S20)が実施される。図16は、炭化珪素エピタキシャル層22に対して化学

機械研磨を行う工程を示す断面模式図である。図16に示されるように、炭化珪素エピタキシャル層に対して化学機械研磨を行うことにより、炭化珪素エピタキシャル層22の一部が除去される。

[0095] 炭化珪素エピタキシャル層22の除去量T2は、たとえば0.1 $\mu\text{m}$ 以上0.4 $\mu\text{m}$ 以下である。炭化珪素エピタキシャル層22の除去量T2の上限は、たとえば0.35 $\mu\text{m}$ 以下であってもよいし、0.3 $\mu\text{m}$ 以下であってもよいし、0.2 $\mu\text{m}$ 以下であってもよい。炭化珪素エピタキシャル層22の除去量T2の下限は、たとえば0.12 $\mu\text{m}$ 以上であってもよいし、0.15 $\mu\text{m}$ 以上であってもよい。

[0096] 図17は、化学機械研磨装置の構成を示す断面模式図である。図17に示されるように、化学機械研磨装置300は、研磨布301と、研磨ヘッド302と、真空ポンプ304とを有している。研磨布301は、たとえばスエードである。研磨液310は、たとえば砥粒312と、酸化剤311とを有している。砥粒312は、コロイダルシリカである。砥粒312は、たとえばフュームドシリカまたはアルミナなどではいけない。砥粒312の粒径は、たとえば10nm以上30nm以下である。酸化剤311は、たとえば過酸化水素水である。

[0097] 図17に示されるように、真空ポンプ304を用いることにより、炭化珪素単結晶基板110は研磨ヘッド302に真空吸着されている。研磨ヘッド302は、たとえばセラミックスまたはステンレスなどである。

[0098] 酸化力は、酸化剤311の種類によって制御される。酸化剤311は、たとえば過酸化水素水である。

[0099] 研磨布301の硬度が低い場合（言い換えれば、研磨布301がやわらかい場合）、炭化珪素エピタキシャル基板100が研磨布301に沈み込みやすくなる。この場合、炭化珪素エピタキシャル基板100の外周付近の研磨レートが高くなることで、炭化珪素エピタキシャル基板100の垂れ度が大きくなる。研磨布301の圧縮率が高い場合も、同様の理由により、炭化珪素エピタキシャル基板100の垂れ度が大きくなる。炭化珪素エピタキシャル

ル基板100の垂れ度が大きくなることを抑制するため、硬度が高くかつ圧縮率が低い研磨布301が用いられる。研磨布301は、たとえばフジボウ愛媛製のG804Wである。これにより、炭化珪素エピタキシャル基板100の垂れ度を効果的に低減することができる。

[0100] 炭化珪素エピタキシャル基板100の第2主面2は、研磨布301に対向するように配置される。第2主面2と研磨布301との間に、砥粒312を含む研磨液310が供給される。研磨ヘッド302の回転数は、たとえば60rpmである。研磨布301が設けられた定盤の回転数は、たとえば60rpmである。加工圧力Fは、たとえば500g/cm<sup>2</sup>である。炭化珪素エピタキシャル層22に対して化学機械研磨を行う工程(S20)の後、炭化珪素エピタキシャル基板100は、純水、酸またはアルカリなどの洗浄液を用いて洗浄されてもよい。以上により、本実施形態に係る炭化珪素エピタキシャル基板100が製造される。

[0101] (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400の製造方法について説明する。図18は、本実施形態に係る炭化珪素半導体装置400の製造方法を概略的に示すフローチャートである。図18に示されるように、本実施形態に係る炭化珪素半導体装置400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(S1)と、炭化珪素エピタキシャル基板を加工する工程(S2)とを主に有している。

[0102] まず、炭化珪素エピタキシャル基板を準備する工程(S1)が実施される。炭化珪素エピタキシャル基板を準備する工程(S1)においては、本実施形態に係る炭化珪素エピタキシャル基板100が準備される(図1参照)。

[0103] 次に、炭化珪素エピタキシャル基板を加工する工程(S2)が実施される。具体的には、炭化珪素エピタキシャル基板100に対して以下のような加工が行われる。まず、炭化珪素エピタキシャル基板100に対してイオン注入が行われる。炭化珪素エピタキシャル層22において、たとえばボディ領域が実施される。

- [0104] 図19は、ボディ領域を形成する工程を示す断面模式図である。具体的には、炭化珪素エピタキシャル層22の第2主面2に対して、たとえばアルミニウムなどのp型不純物がイオン注入される。これにより、p型の導電型を有するボディ領域13が形成される。炭化珪素エピタキシャル層22において、ボディ領域13が形成されなかった部分は、ドリフト領域21となる。ボディ領域13の厚みは、たとえば0.9 $\mu$ mである。
- [0105] 次に、ソース領域を形成する工程が実施される。図20は、ソース領域を形成する工程を示す断面模式図である。具体的には、ボディ領域13に対して、たとえばリンなどのn型不純物がイオン注入される。これにより、n型の導電型を有するソース領域14が形成される。ソース領域14の厚みは、たとえば0.4 $\mu$ mである。ソース領域14が含むn型不純物の濃度は、ボディ領域13が含むp型不純物の濃度よりも高い。
- [0106] 次に、ソース領域14に対して、たとえばアルミニウムなどのp型不純物がイオン注入されることにより、コンタクト領域18が形成される。コンタクト領域18は、ソース領域14およびボディ領域13を貫通し、ドリフト領域21に接するように形成される。コンタクト領域18が含むp型不純物の濃度は、ソース領域14が含むn型不純物の濃度よりも高い。
- [0107] 次に、イオン注入された不純物を活性化するため活性化アニールが実施される。活性化アニールの温度は、好ましくは1500 $^{\circ}$ C以上1900 $^{\circ}$ C以下であり、たとえば1700 $^{\circ}$ C程度である。活性化アニールの時間は、たとえば30分程度である。活性化アニールの雰囲気は、好ましくは不活性ガス雰囲気であり、たとえばアルゴン雰囲気である。
- [0108] 次に、炭化珪素エピタキシャル層22の第2主面2にトレンチを形成する工程が実施される。図21は、炭化珪素エピタキシャル層22の第2主面2にトレンチを形成する工程を示す断面模式図である。ソース領域14およびコンタクト領域18から構成される第2主面2上に、開口を有するマスク17が形成される。マスク17を用いて、ソース領域14と、ボディ領域13と、ドリフト領域21の一部とがエッチングにより除去される。エッチング

の方法としては、たとえば反応性イオンエッチング、特に誘導結合プラズマ反応性イオンエッチングを用いることができる。具体的には、たとえば反応ガスとして $\text{SF}_6$ または $\text{SF}_6$ と $\text{O}_2$ との混合ガスを用いた誘導結合プラズマ反応性イオンエッチングを用いることができる。エッチングにより、第2主面2に凹部が形成される。

[0109] 次に、凹部において熱エッチングが行われる。熱エッチングは、第2主面2上にマスク17が形成された状態で、たとえば、少なくとも1種類以上のハロゲン原子を有する反応性ガスを含む雰囲気中での加熱によって行い得る。少なくとも1種類以上のハロゲン原子は、塩素(Cl)原子およびフッ素(F)原子の少なくともいずれかを含む。当該雰囲気は、たとえば、 $\text{Cl}_2$ 、 $\text{BCl}_3$ 、 $\text{SF}_6$ または $\text{CF}_4$ を含む。たとえば、塩素ガスと酸素ガスとの混合ガスを反応ガスとして用い、熱処理温度を、たとえば $700^\circ\text{C}$ 以上 $1000^\circ\text{C}$ 以下として、熱エッチングが行われる。なお、反応ガスは、上述した塩素ガスと酸素ガスとに加えて、キャリアガスを含んでもよい。キャリアガスとしては、たとえば窒素ガス、アルゴンガスまたはヘリウムガスなどを用いることができる。

[0110] 図21に示されるように、熱エッチングにより、第2主面2にトレンチ56が形成される。トレンチ56は、側壁面53と、底壁面54とにより規定される。側壁面53は、ソース領域14と、ボディ領域13と、ドリフト領域21とにより構成される。底壁面54は、ドリフト領域21により構成される。次に、マスク17が第2主面2から除去される。

[0111] 次に、ゲート絶縁膜を形成する工程が実施される。図22は、ゲート絶縁膜を形成する工程を示す断面模式図である。具体的には、第2主面2にトレンチ56が形成された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、たとえば $1300^\circ\text{C}$ 以上 $1400^\circ\text{C}$ 以下の温度で加熱される。これにより、底壁面54においてドリフト領域21と接し、側壁面53においてドリフト領域21、ボディ領域13およびソース領域14の各々に接し、かつ第2主面2においてソース領域14およびコンタクト領域18の

各々と接するゲート絶縁膜 15 が形成される。

[0112] 次に、ゲート電極を形成する工程が実施される。図 23 は、ゲート電極および層間絶縁膜を形成する工程を示す断面模式図である。ゲート電極 27 は、トレンチ 56 の内部においてゲート絶縁膜 15 に接するように形成される。ゲート電極 27 は、トレンチ 56 の内部に配置され、ゲート絶縁膜 15 上においてトレンチ 56 の側壁面 53 および底壁面 54 の各々と対面するように形成される。ゲート電極 27 は、たとえば LPCVD (Low Pressure Chemical Vapor Deposition) 法により形成される。

[0113] 次に、層間絶縁膜が形成される。層間絶縁膜 26 は、ゲート電極 27 を覆い、かつゲート絶縁膜 15 と接するように形成される。層間絶縁膜 26 は、たとえば化学気相成長法により形成される。層間絶縁膜 26 は、たとえば二酸化珪素を含む材料により構成される。次に、ソース領域 14 およびコンタクト領域 18 上に開口部が形成されるように、層間絶縁膜 26 およびゲート絶縁膜 15 の一部がエッチングされる。これにより、コンタクト領域 18 およびソース領域 14 がゲート絶縁膜 15 から露出する。

[0114] 次に、ソース電極を形成する工程が実施される。ソース電極 16 は、ソース領域 14 およびコンタクト領域 18 の各々に接するように形成される。ソース電極 16 は、たとえばスパッタリング法により形成される。ソース電極 16 は、たとえば Ti (チタン)、Al (アルミニウム) および Si (シリコン) を含む材料からなる。

[0115] 次に、合金化アニールが実施される。具体的には、ソース領域 14 およびコンタクト領域 18 の各々と接するソース電極 16 が、たとえば 900°C 以上 1100°C 以下の温度で 5 分程度保持される。これにより、ソース電極 16 の少なくとも一部がシリサイド化する。これにより、ソース領域 14 とオーミック接合するソース電極 16 が形成される。好ましくは、ソース電極 16 は、コンタクト領域 18 とオーミック接合する。

[0116] 次に、ソース配線 19 が形成される。ソース配線 19 は、ソース電極 16

と電氣的に接続される。ソース配線19は、ソース電極16および層間絶縁膜26を覆うように形成される。

[0117] 次に、ドレイン電極を形成する工程が実施される。まず、第1主面1において、炭化珪素基板11が研磨される。これにより、炭化珪素基板11の厚みが薄くなる。次に、ドレイン電極23が形成される。ドレイン電極23は、第1主面1と接するように形成される。以上により、本実施形態に係る炭化珪素半導体装置400が製造される。

[0118] 図24は、本実施形態に係る炭化珪素半導体装置の構成を示す断面模式図である。炭化珪素半導体装置400は、たとえばMOSFET (Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor) である。炭化珪素半導体装置400は、炭化珪素エピタキシャル基板100と、ゲート電極27と、ゲート絶縁膜15と、ソース電極16と、ドレイン電極23と、ソース配線19と、層間絶縁膜26とを主に有している。炭化珪素エピタキシャル基板100は、ドリフト領域21と、ボディ領域13と、ソース領域14と、コンタクト領域18とを有している。炭化珪素半導体装置400は、たとえばIGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor) 等であってもよい。

[0119] 次に、本実施形態に係る炭化珪素エピタキシャル基板100、炭化珪素エピタキシャル基板100の製造方法および炭化珪素半導体装置400の製造方法作用効果について説明する。

[0120] 炭化珪素半導体装置400を製造する際、炭化珪素エピタキシャル基板100の主面に酸化膜が形成される場合がある。炭化珪素エピタキシャル基板100の主面に凹凸がある場合、炭化珪素エピタキシャル基板100の主面に形成される酸化膜の厚みにばらつきが生じる。また炭化珪素エピタキシャル基板100の主面において欠陥が存在すると、当該欠陥上に形成された酸化膜の膜質が低下する。結果として、炭化珪素半導体装置400の信頼性が低下する。

- [0121] 炭化珪素エピタキシャル基板100の主面に存在する凹凸および欠陥を除去するため、炭化珪素エピタキシャル基板100の主面に対して化学機械研磨が実施される場合がある。化学機械研磨工程においては、炭化珪素エピタキシャル基板100がやわらかい研磨布301に押し当てられながら、炭化珪素エピタキシャル基板100の表面が研磨されることがある。
- [0122] 研磨布301がやわらかい場合、炭化珪素エピタキシャル基板100が研磨布301に沈み込みやすくなる。この場合、炭化珪素エピタキシャル基板100の外周付近の研磨レートが高くなることで、炭化珪素エピタキシャル基板100の外周付近が垂れ下がる。特に、化学機械研磨によって除去される炭化珪素エピタキシャル層22の除去量が大きくなると、炭化珪素エピタキシャル基板100の外周付近が大きく垂れ下がる。この場合、炭化珪素エピタキシャル基板100の表面に形成される酸化膜の厚みのばらつきが大きくなる。そのため、炭化珪素半導体装置400の耐圧にばらつきが生じる。結果として、炭化珪素半導体装置400の信頼性が低下していた。
- [0123] 発明者らは、鋭意検討の結果、化学機械研磨工程における研磨条件を最適化することにより、炭化珪素エピタキシャル基板100の外周付近が垂れ下がることを抑制可能であることを見出した。結果として、炭化珪素半導体装置400の信頼性を向上することができる。
- [0124] 本開示に係る炭化珪素エピタキシャル基板100によれば、複数の外周領域における炭化珪素エピタキシャル基板のL T I Rの最大値を第1値とし、複数の中央領域における炭化珪素エピタキシャル基板のL T I Rの最大値を第2値とした場合、第2値で第1値を除いた値は、0.8以上1.2以下である。これにより、炭化珪素エピタキシャル基板100の垂れ度が低減されている。そのため、炭化珪素エピタキシャル基板100の第2主面2に酸化膜が形成された場合において、酸化膜の厚みのばらつきを低減することができる。
- [0125] また本開示に係る炭化珪素エピタキシャル基板100によれば、第2主面2におけるピット10の面密度は、0.5個/cm<sup>2</sup>以下である。つまり、第

2主面2においてピット10の面密度が低減されている。そのため、炭化珪素エピタキシャル基板100の第2主面2に酸化膜が形成された場合において、酸化膜の品質が低下することを抑制することができる。結果として、炭化珪素半導体装置400の信頼性を向上することができる。

[0126] さらに本開示に係る炭化珪素エピタキシャル基板100によれば、第2主面2におけるバンプ20の面密度は、 $0.5$ 個/cm<sup>2</sup>以下である。つまり、第2主面2においてバンプ20の面密度が低減されている。そのため、炭化珪素エピタキシャル基板100の第2主面2に酸化膜が形成された場合において、酸化膜の品質が低下することを抑制することができる。結果として、炭化珪素半導体装置400の信頼性を向上することができる。

[0127] さらに本開示に係る炭化珪素エピタキシャル基板100によれば、第2主面2における立体斜め欠陥40の面密度は、 $0.006$ 個/cm<sup>2</sup>以上 $0.2$ 個/cm<sup>2</sup>以下であってもよい。つまり、第2主面2において立体斜め欠陥40の面密度が低減されている。そのため、炭化珪素エピタキシャル基板100の第2主面2に酸化膜が形成された場合において、酸化膜の品質が低下することをさらに抑制することができる。結果として、炭化珪素半導体装置400の信頼性をさらに向上することができる。

[0128] さらに本開示に係る炭化珪素エピタキシャル基板100によれば、第2主面2の直径は、 $100$ mm以上であってもよい。第2主面2の直径が大きくなるにつれて、炭化珪素エピタキシャル基板100の周辺部における垂れ度は大きくなる。本開示に係る炭化珪素エピタキシャル基板100によれば、第2主面2の直径が大きい場合において、より効果的に炭化珪素半導体装置400の信頼性を向上することができる。

[0129] 本開示に係る炭化珪素エピタキシャル基板100の製造方法によれば、炭化珪素エピタキシャル層22に対して化学機械研磨が行われる。炭化珪素エピタキシャル層22に対して化学機械研磨を行う工程において、炭化珪素エピタキシャル層22の除去量は、 $0.1$ μm以上 $0.4$ μm以下である。これにより、炭化珪素エピタキシャル層22においてスクラッチの発生を抑制

しつつ、ピット、バンプの面密度および立体斜め欠陥の各々の面密度を低減することができる。

[0130] また本開示に係る炭化珪素エピタキシャル基板100の製造方法によれば、炭化珪素エピタキシャル層22に対して化学機械研磨を行う工程において用いられる研磨液は、過酸化水素水を含んでいてもよい。これにより、酸化力を高めることで、研磨レートを高くすることができる。

[0131] さらに本開示に係る炭化珪素エピタキシャル基板100の製造方法によれば、炭化珪素エピタキシャル層22に対して化学機械研磨を行う工程において用いられる砥粒は、コロイダルシリカである。砥粒は、たとえばフュームドシリカまたはアルミナなどではない。

[0132] さらに本開示に係る炭化珪素エピタキシャル基板100の製造方法によれば、炭化珪素エピタキシャル層22に対して化学機械研磨を行う工程において用いられる研磨布は、スエードであってもよい。これにより、硬度が高くかつ圧縮率が低い研磨布を得ることができる。これにより、化学機械研磨工程において炭化珪素エピタキシャル基板100が研磨布に深く沈み込むことを抑制することができる。そのため、炭化珪素エピタキシャル基板100の外周付近の研磨量が過度に大きくなることを抑制することができる。結果として、炭化珪素エピタキシャル基板100の垂れ度を効果的に低減することができる。

## 実施例

[0133] (サンプル準備)

まず、サンプル1からサンプル6に係る炭化珪素エピタキシャル基板100を準備した。サンプル5および6に係る炭化珪素エピタキシャル基板100は、比較例である。サンプル1から4に係る炭化珪素エピタキシャル基板100は、実施例である。

[0134] サンプル1から6に係る炭化珪素エピタキシャル基板を製造する工程における化学機械研磨工程の条件は以下の通りとした。酸化剤は、過酸化水素水( $H_2O_2$ )とした。砥粒は、コロイダルシリカとした。研磨液の水素イオン指

数（pH）は、6以上8以下とした。研磨布301は、フジボウ愛媛製のG804Wとした。研磨ヘッド302の回転数は、60rpmとした。定盤の回転数は、60rpmとした。加工圧力Fは、500g/cm<sup>2</sup>とした。

[0135] サンプル1および2に係る炭化珪素エピタキシャル基板を製造する工程における化学機械研磨工程における炭化珪素エピタキシャル層22の除去量T2は、それぞれ0.53μmおよび0.5μmとした。一方、サンプル3から6に係る炭化珪素エピタキシャル基板を製造する工程における化学機械研磨工程における炭化珪素エピタキシャル層22の除去量T2は、それぞれ0.21μm、0.12μm、0.07μmおよび0.02μmとした。

[0136] （測定方法）

まず、炭化珪素エピタキシャル層に対して化学機械研磨を行う工程前において、炭化珪素エピタキシャル層の第2主面におけるピット、バンプおよび立体斜め欠陥の各々の面密度と、炭化珪素エピタキシャル基板の垂れ度を測定した。次に、炭化珪素エピタキシャル層に対して化学機械研磨を行う工程後において、炭化珪素エピタキシャル層の第2主面におけるピット、バンプおよび立体斜め欠陥の各々の面密度と、炭化珪素エピタキシャル基板の垂れ度を測定した。

[0137] ピットおよびバンプの各々の面密度は、レーザーテック株式会社製のWASAVIシリーズ「SICA 6X」を用いて測定した。ピットおよびバンプの各々の面密度の測定方法は上述の通りとした。立体斜め欠陥の面密度は、レーザーテック株式会社製のWASAVIシリーズ「SICA 6X」と、株式会社フォトンデザイン社製のフォトルミネッセンスイメージング装置「PLI-200-SMH5」とを用いて測定した。立体斜め欠陥の面密度の測定方法は、上述の通りとした。炭化珪素エピタキシャル基板の垂れ度は、Corning Tropel社製の「Tropel FlatMaster（登録商標）」を用いて測定した。炭化珪素エピタキシャル基板の垂れ度の測定方法は、上述の通りとした。

[0138] （測定結果）

[0139] [表1]

		研磨量 ( $\mu\text{m}$ )	バンプ (個/ $\text{cm}^2$ )	ピット (個/ $\text{cm}^2$ )	立体斜め欠陥 (個/ $\text{cm}^2$ )	垂れ度
サンプル 1	CMP 前	0.53	11.02	34.93	0.8	1.05
	CMP 後		0.02	0.19	0.1	1.54
サンプル 2	CMP 前	0.5	10.84	37.82	0.87	0.88
	CMP 後		0	0.23	0.12	1.25
サンプル 3	CMP 前	0.21	8.56	74.2	0.97	1.04
	CMP 後		0.04	0.28	0.1	0.97
サンプル 4	CMP 前	0.12	3.52	226.7	0.26	1.03
	CMP 後		0	0.28	0.07	0.98
サンプル 5	CMP 前	0.07	3.5	86.42	3.62	1.17
	CMP 後		0.22	1.57	2.85	1.12
サンプル 6	CMP 前	0.02	34.48	362.42	1.02	1.16
	CMP 後		2.99	13.54	1.02	1.14

[0140] 表1は、サンプル1から6に係る炭化珪素エピタキシャル基板のバンプの面密度と、ピットの面密度と、立体斜め欠陥の面密度と、垂れ度とを示している。図25は、化学機械研磨後における炭化珪素エピタキシャル基板の垂れ度と、研磨量との関係を示す図である。図25および表1に示されるように、研磨量が $0.21\mu\text{m}$ 以下の場合において、炭化珪素エピタキシャル基板の垂れ度は大幅に小さくなった。研磨量が $0.21\mu\text{m}$ 以下の場合において、炭化珪素エピタキシャル基板の垂れ度は、 $0.8$ 以上 $1.2$ 以下であった。

[0141] 図26は、化学機械研磨後における炭化珪素エピタキシャル基板の第2主面における立体斜め欠陥の面密度と、研磨量との関係を示す図である。図26および表1に示されるように、研磨量が $0.1\mu\text{m}$ 以上の場合において、炭化珪素エピタキシャル基板の第2主面における立体斜め欠陥の面密度は大幅に小さくなった。研磨量が $0.1\mu\text{m}$ 以上の場合において、炭化珪素エピタキシャル基板の第2主面における立体斜め欠陥の面密度は、 $0.12$ 個/ $\text{cm}^2$ 以下であった。

[0142] 表1に示されるように、研磨量が $0.1\mu\text{m}$ 以上の場合において、炭化珪素エピタキシャル基板の第2主面におけるバンプおよびピットの各々の面密度は大幅に小さくなった。一方、研磨量が $0.07\mu\text{m}$ 以下の場合において

、炭化珪素エピタキシャル基板の第2主面におけるバンプ、ピットおよび立体斜め欠陥の各々の面密度は、それぞれ0.22個/cm<sup>2</sup>以上、1.57個/cm<sup>2</sup>以上および1.02個/cm<sup>2</sup>以上であり、バンプ、ピットおよび立体斜め欠陥の各々の低減が不十分であった。

[0143] 以上の結果より、化学機械研磨工程における条件を上述のように制御し、かつ研磨量が0.1μm以上0.2μm以下の場合において、ピット、バンプおよび立体斜め欠陥の各々の面密度を低減しつつ、炭化珪素エピタキシャル基板の垂れ度を低減可能であることが確かめられた。

[0144] 今回開示された実施の形態および実施例はすべての点で例示であって、制限的なものではないと考えられるべきである。本発明の範囲は上記した説明ではなくて請求の範囲によって示され、請求の範囲と均等の意味、および範囲内でのすべての変更が含まれることが意図される。

### 符号の説明

[0145] 1 第1主面、2 第2主面、3 界面、5 外周領域、6 中央領域、7 オリエンテーションフラット部、8 円弧状部、9 外周側面、10 ピット、11 炭化珪素基板、13 ボディ領域、14 ソース領域、15 ゲート絶縁膜、16 ソース電極、17 マスク、18 コンタクト領域、19 ソース配線、20 バンプ、21 ドリフト領域、22 炭化珪素エピタキシャル層、23 ドレイン電極、26 層間絶縁膜、27 ゲート電極、30 スクラッチ、35 溝、40 立体斜め欠陥、41 突起部、42 積層欠陥、43 底面、44 頂面、45 側部、46 貫通螺旋転位、47 第1辺、48 第2辺、49 頂点、50 正方領域、53 側壁面、54 底壁面、56 トレンチ、100 炭化珪素エピタキシャル基板、101 第1方向、102 第2方向、103 第3方向、104 第4方向、110 単結晶基板、200 製造装置、201 反応室、202 ステージ、203 発熱体、204 石英管、205 内壁面、207 ガス導入口、208 ガス排気口、209 回転軸、210 サセプタ、231 第1ガス供給部、232 第2ガス供給部、233 第3ガス供給部、

234 第4ガス供給部、235 ガス供給部、241 第1ガス流量制御部、242 第2ガス流量制御部、243 第3ガス流量制御部、244 第4ガス流量制御部、245 制御部、300 化学機械研磨装置、301 研磨布、302 研磨ヘッド、304 真空ポンプ、310 研磨液、311 酸化剤、312 砥粒、400 炭化珪素半導体装置、A1 第1幅、A2 第2幅、A3 第3幅、A4 第4幅、A5 第5幅、B1 第1長さ、B2 第2長さ、B3 第3長さ、B4 第4長さ、B5 第5長さ、C1 第1深さ、C2 第2高さ、C3 第3深さ、C4 第4高さ、C5 第5深さ、F 加工圧力、L1 最小二乗平面、L2 最高点平面、L3 最低点平面、P1 最低点、P2 最高点、T1 第1厚み、T2 除去量、T3 最低点高さ、T4 最低点高さ、T5 第5厚み、W1 直径、W2 長さ。

## 請求の範囲

### [請求項1]

炭化珪素基板と、  
前記炭化珪素基板上にある炭化珪素エピタキシャル層と、を備えた炭化珪素エピタキシャル基板であって、  
前記炭化珪素基板は、前記炭化珪素基板と前記炭化珪素エピタキシャル層との界面の反対側にある第1主面を有し、  
前記炭化珪素エピタキシャル層は、前記界面の反対側にある第2主面を有し、  
前記第2主面を、1辺の長さが10mmである複数の正方領域に区分した場合、前記複数の正方領域は、前記複数の正方領域の最外周に位置する複数の外周領域と、前記複数の外周領域に囲まれた複数の中央領域とにより構成されており、  
前記複数の外周領域における前記炭化珪素エピタキシャル基板のL T I Rの最大値を第1値とし、前記複数の中央領域における前記炭化珪素エピタキシャル基板のL T I Rの最大値を第2値とした場合、前記第2値で前記第1値を除いた値は、0.8以上1.2以下であり、  
前記第2主面におけるピットの面密度は、0.5個/cm<sup>2</sup>以下であり、  
前記第2主面に対して垂直な方向に見て、前記ピットの面積は、100μm<sup>2</sup>以下であり、  
前記第2主面に対して垂直な方向において、前記ピットの深さは、0.01μm以上0.1μm以下である、炭化珪素エピタキシャル基板。

### [請求項2]

炭化珪素基板と、  
前記炭化珪素基板上にある炭化珪素エピタキシャル層と、を備えた炭化珪素エピタキシャル基板であって、  
前記炭化珪素基板は、前記炭化珪素基板と前記炭化珪素エピタキシャル層との界面の反対側にある第1主面を有し、

前記炭化珪素エピタキシャル層は、前記界面の反対側にある第2主面を有し、

前記第2主面を、1辺の長さが10mmである複数の正方領域に区分した場合、前記複数の正方領域は、前記複数の正方領域の最外周に位置する複数の外周領域と、前記複数の外周領域に囲まれた複数の中央領域とにより構成されており、

前記複数の外周領域における前記炭化珪素エピタキシャル基板のL T I Rの最大値を第1値とし、前記複数の中央領域における前記炭化珪素エピタキシャル基板のL T I Rの最大値を第2値とした場合、前記第2値で前記第1値を除した値は、0.8以上1.2以下であり、

前記第2主面におけるバンプの面密度は、0.5個/cm<sup>2</sup>以下であり、

前記第2主面に対して垂直な方向に見て、前記バンプの面積は、100μm<sup>2</sup>以下であり、

前記第2主面に対して垂直な方向において、前記バンプの高さは、0.01μm以上0.1μm以下である、炭化珪素エピタキシャル基板。

[請求項3] 前記第2主面におけるバンプの面密度は、0.5個/cm<sup>2</sup>以下であり、

前記第2主面に対して垂直な方向に見て、前記バンプの面積は、100μm<sup>2</sup>以下であり、

前記第2主面に対して垂直な方向において、前記バンプの高さは、0.01μm以上0.1μm以下である、請求項1に記載の炭化珪素エピタキシャル基板。

[請求項4] 前記第2主面における立体斜め欠陥の面密度は、0.006個/cm<sup>2</sup>以上0.2個/cm<sup>2</sup>以下である、請求項1から請求項3のいずれか1項に記載の炭化珪素エピタキシャル基板。

[請求項5] 前記第2主面の直径は、100mm以上である、請求項1から請求

項4のいずれか1項に記載の炭化珪素エピタキシャル基板。

[請求項6] {0001}面に対する前記第2主面のオフ角度は、 $5^{\circ}$ 以下である、

請求項1から請求項5のいずれか1項に記載の炭化珪素エピタキシャル基板。

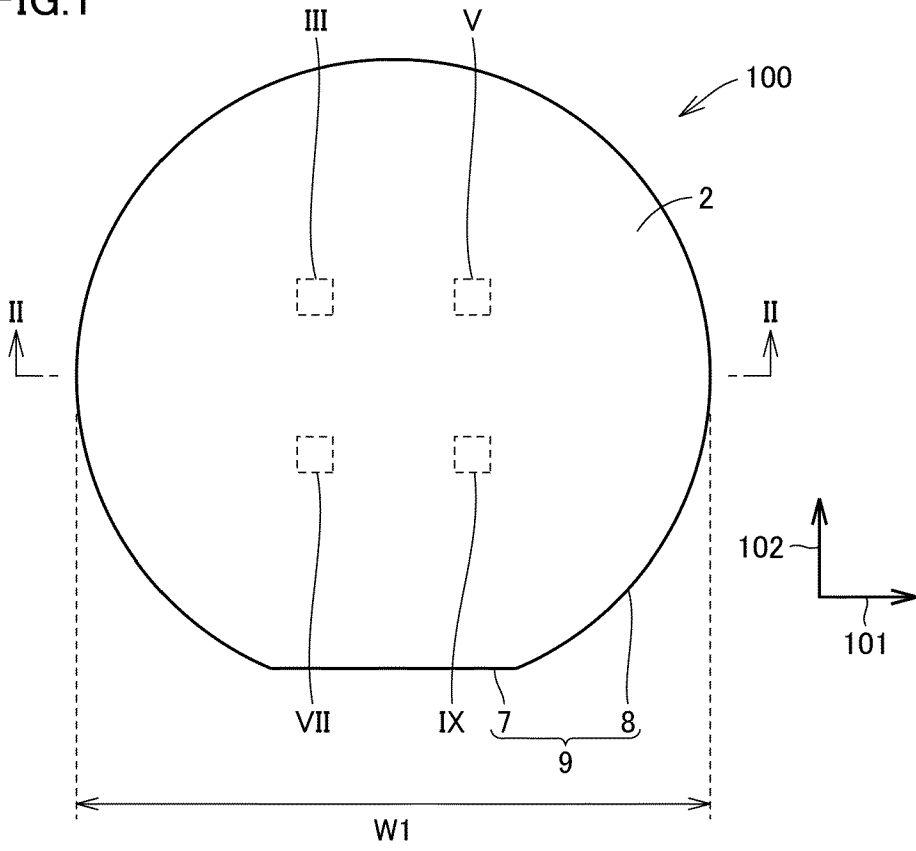
[請求項7] 前記炭化珪素基板および前記炭化珪素エピタキシャル層の各々を構成する炭化珪素のポリタイプは、4Hである、請求項1から請求項6のいずれか1項に記載の炭化珪素エピタキシャル基板。

[請求項8] 前記炭化珪素エピタキシャル層は、n型不純物を含み、  
前記n型不純物の濃度は、 $1 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ 以上 $1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 以下である、請求項1から請求項7のいずれか1項に記載の炭化珪素エピタキシャル基板。

[請求項9] 請求項1から請求項8のいずれか1項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、を備えた、炭化珪素半導体装置の製造方法。

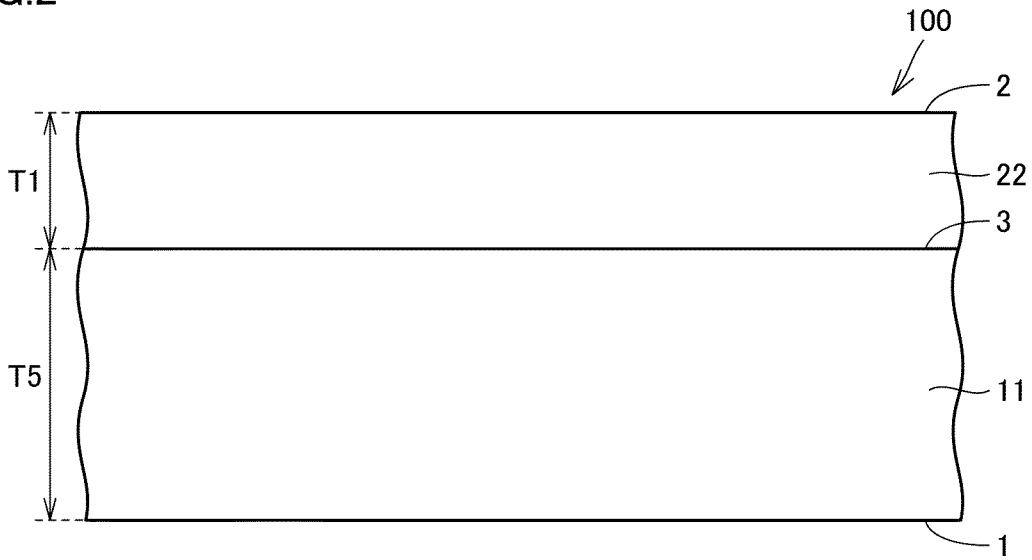
[図1]

FIG.1



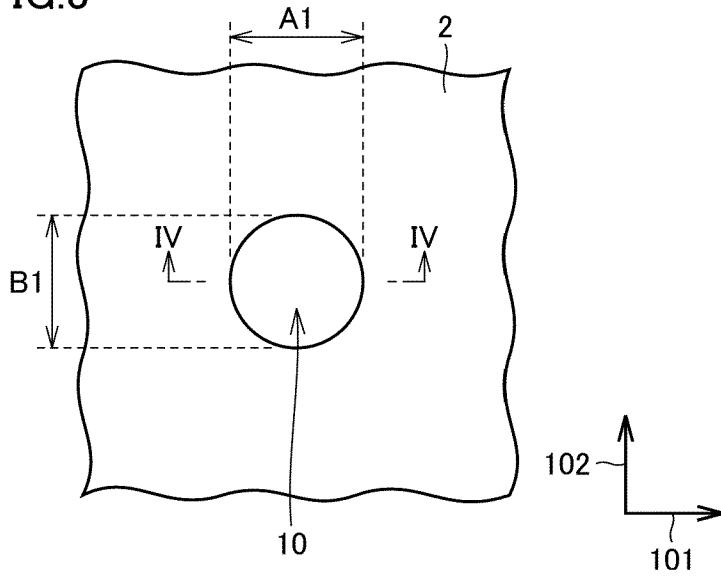
[図2]

FIG.2



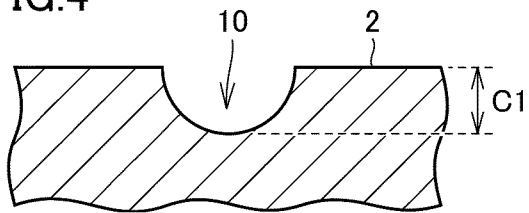
[図3]

FIG.3



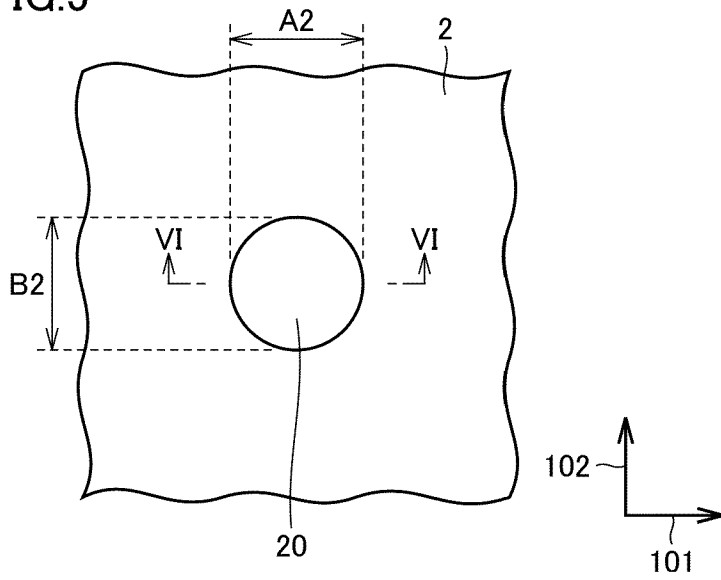
[図4]

FIG.4



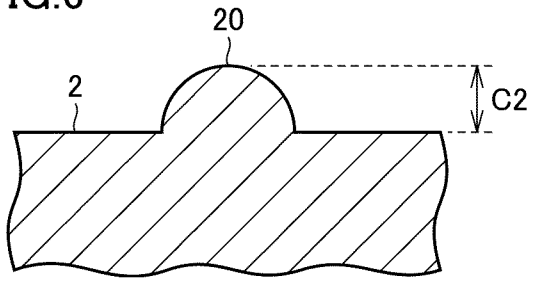
[図5]

FIG.5



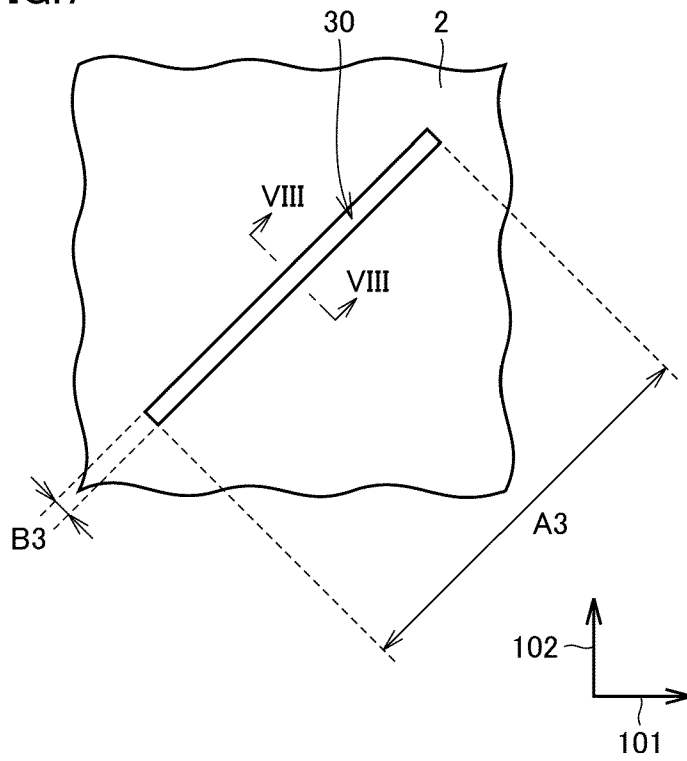
[図6]

FIG.6



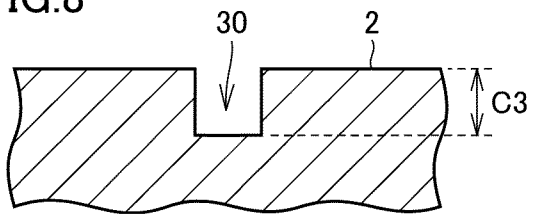
[図7]

FIG.7



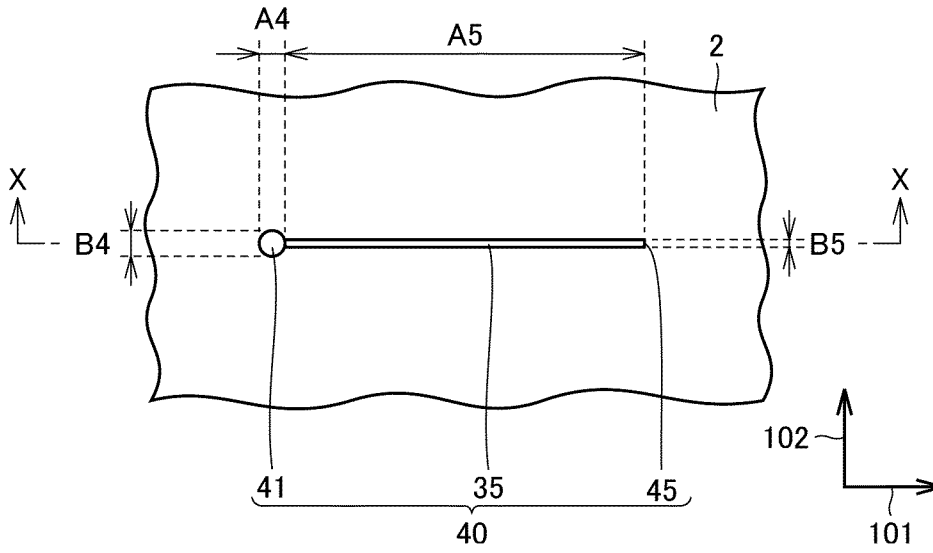
[図8]

FIG.8



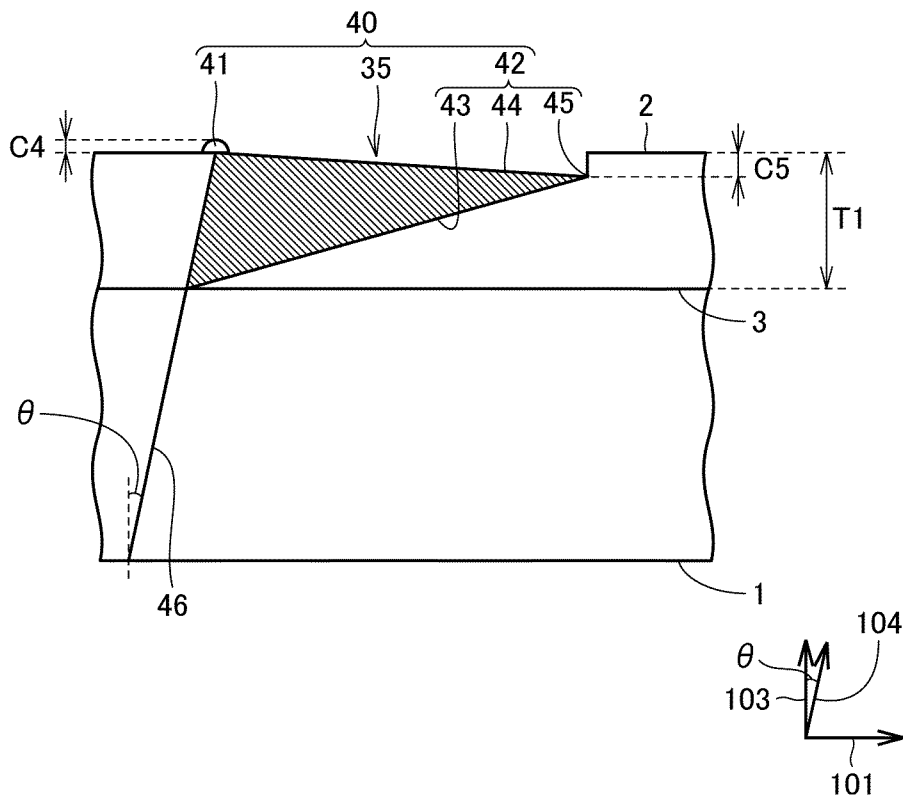
[図9]

FIG.9



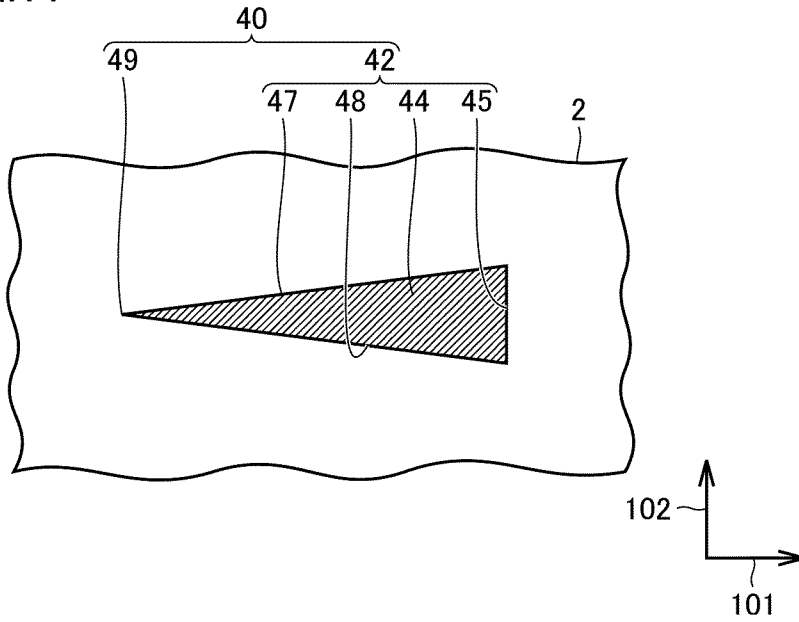
[図10]

FIG.10



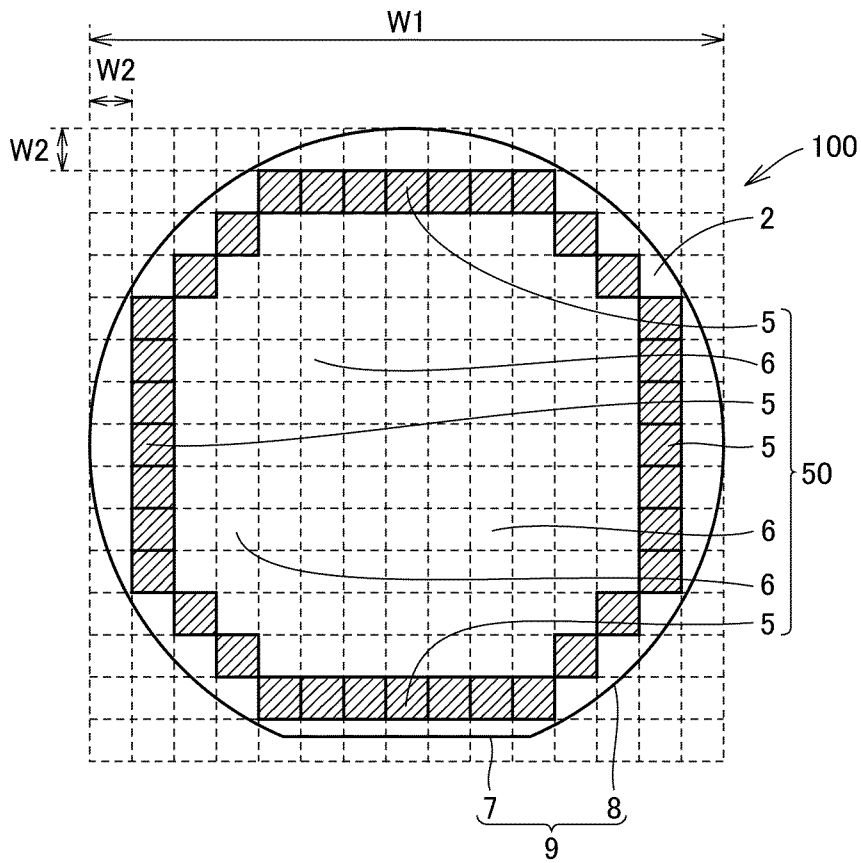
[図11]

FIG.11



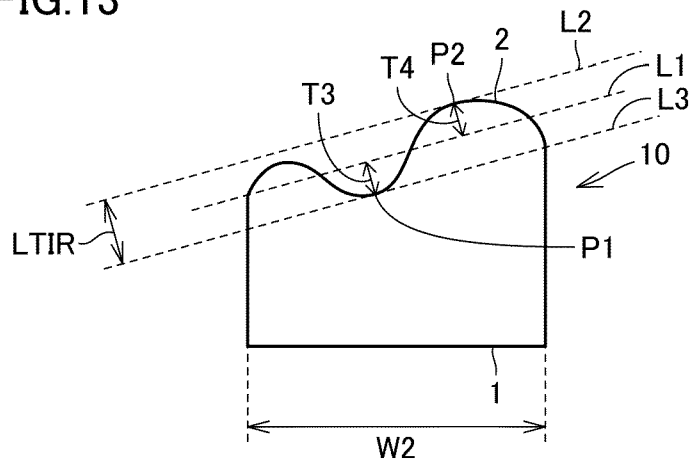
[図12]

FIG.12



[図13]

FIG.13



[図14]

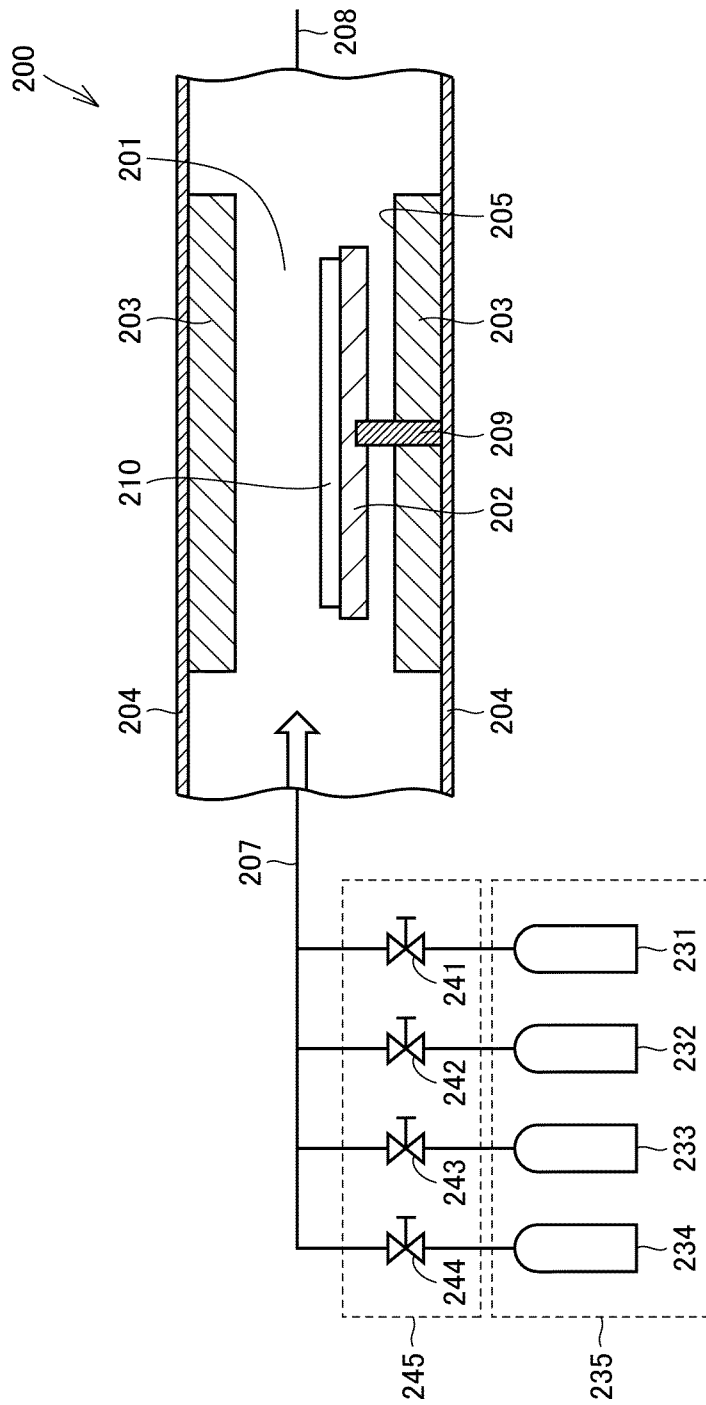
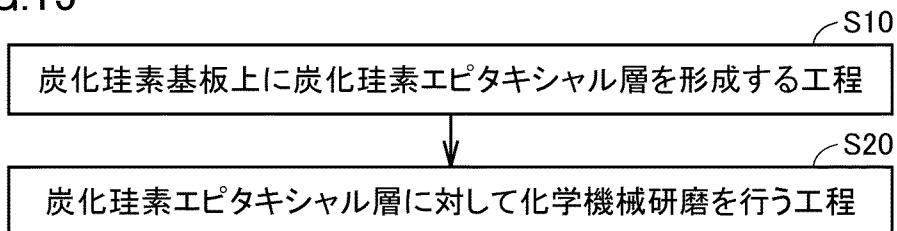


FIG.14

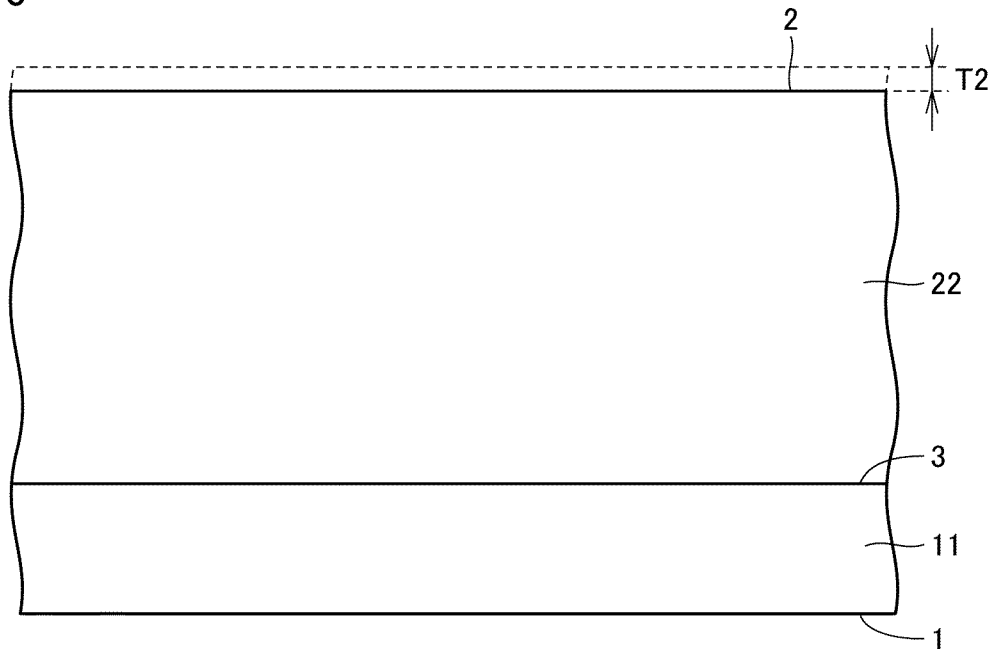
[図15]

FIG.15



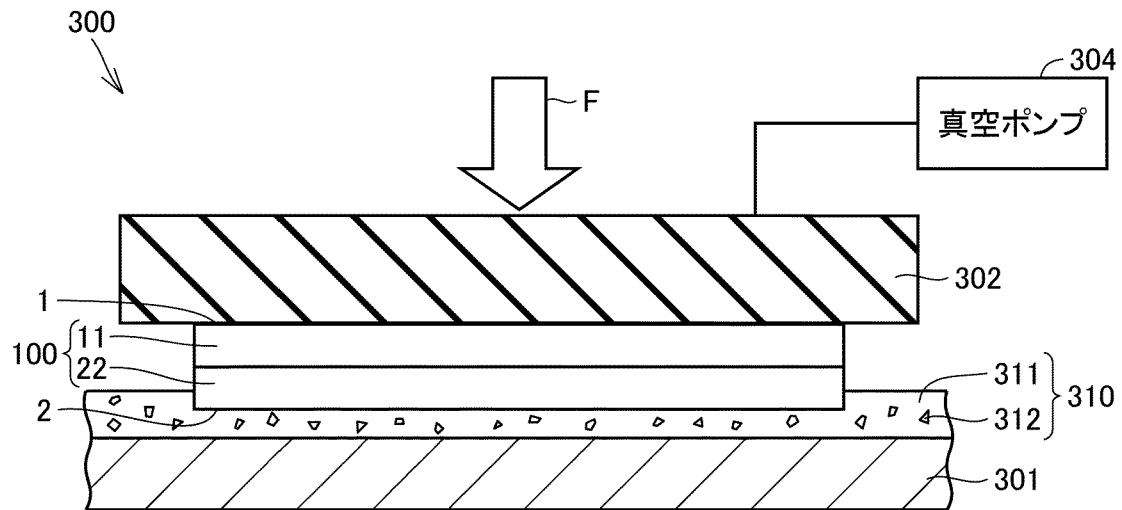
[図16]

FIG.16



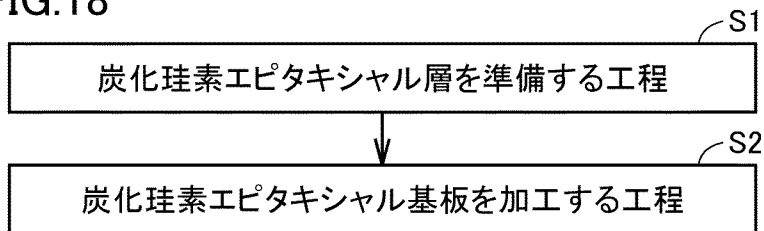
[図17]

FIG.17



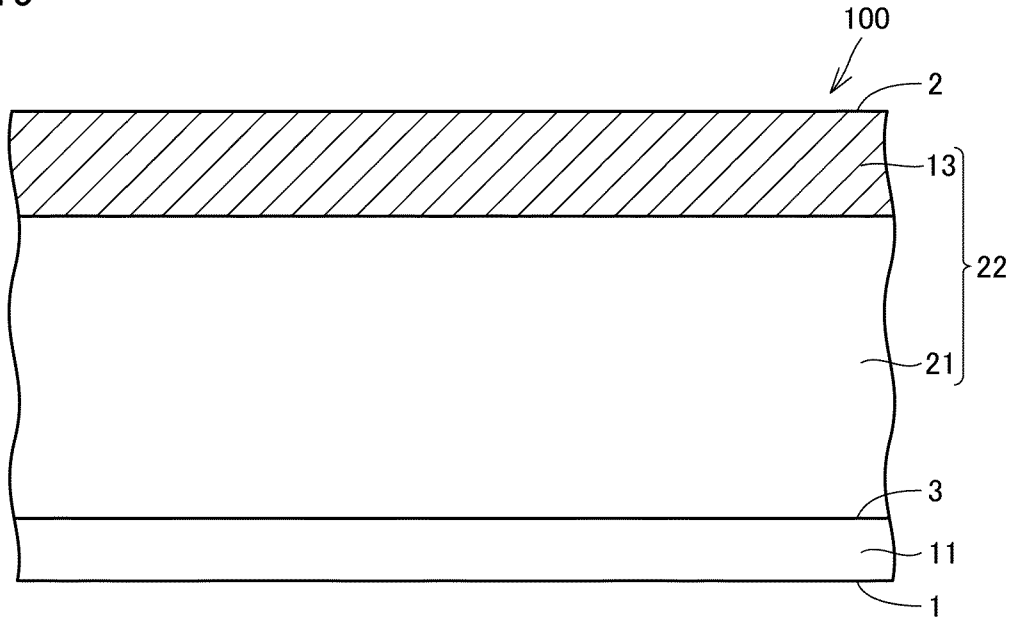
[図18]

FIG.18



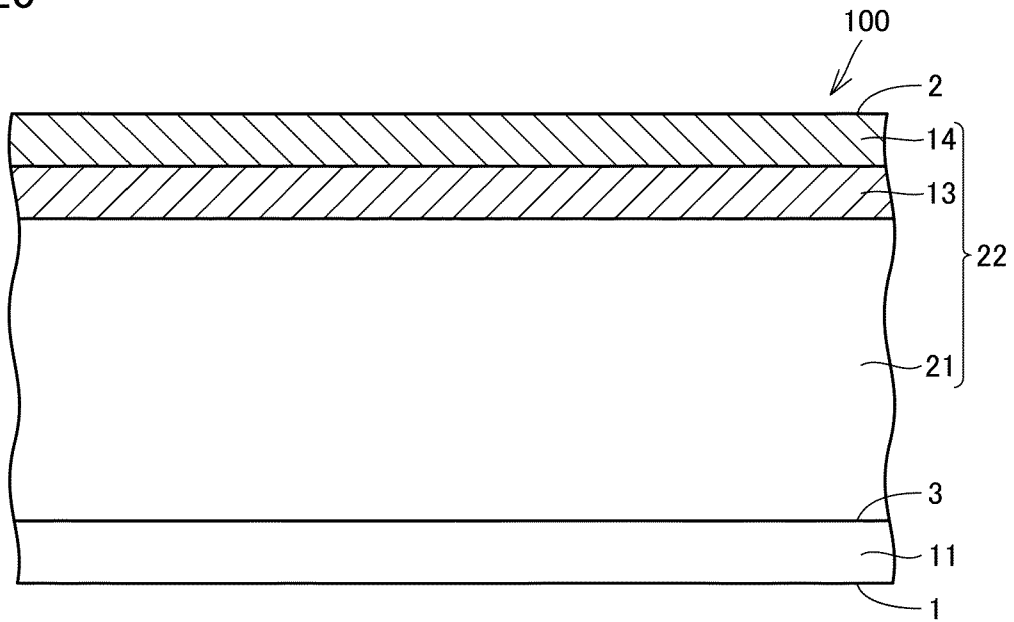
[図19]

FIG.19



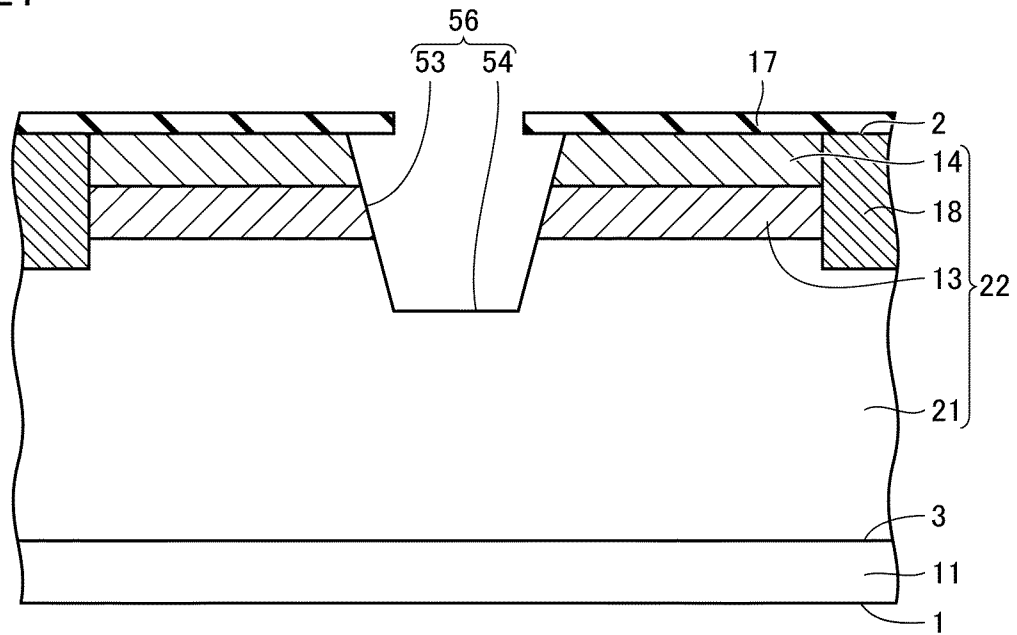
[図20]

FIG.20



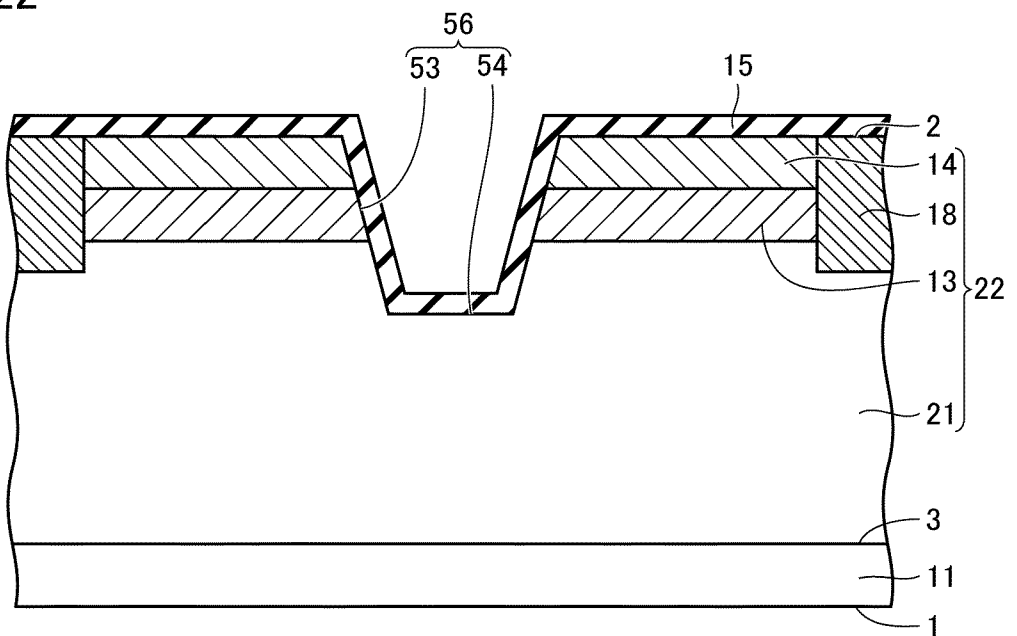
[図21]

FIG.21



[図22]

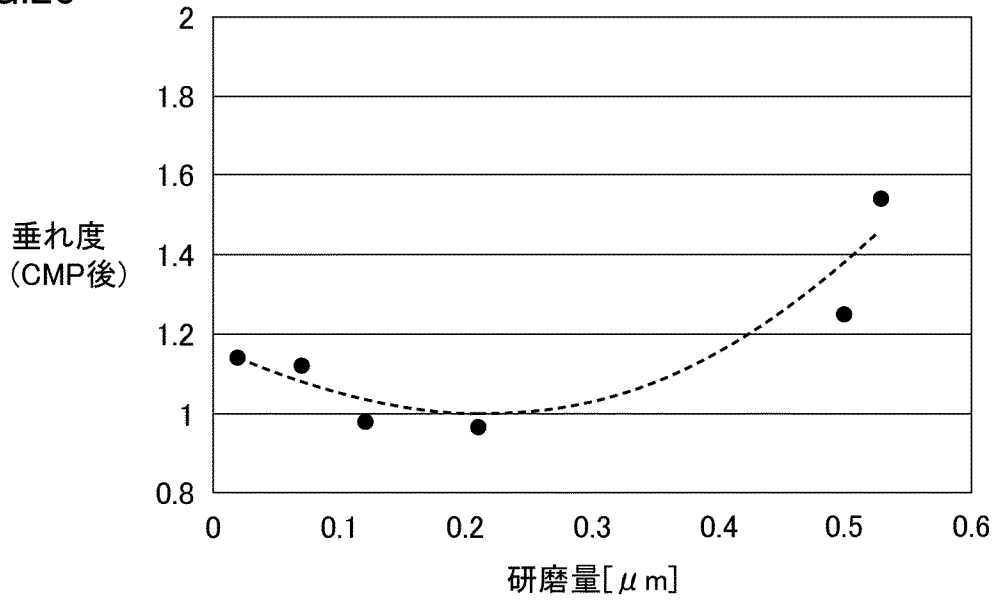
FIG.22





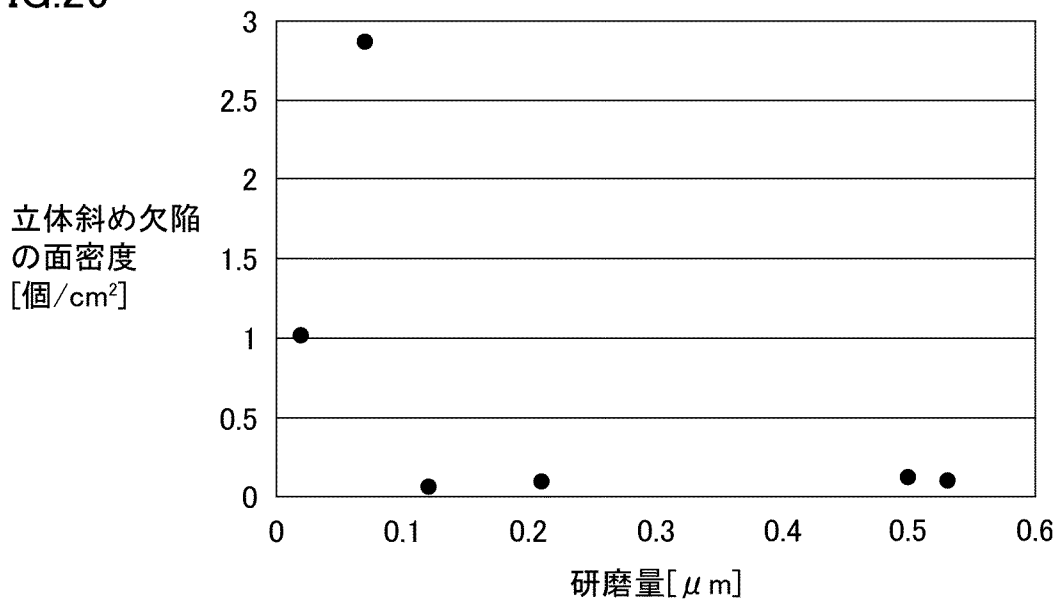
[図25]

FIG.25



[図26]

FIG.26



## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2022/020369

<b>A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER</b>		
<i>C30B 29/36</i> (2006.01)i; <i>C30B 25/18</i> (2006.01)i FI: C30B29/36 A; C30B25/18		
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) C30B29/36; C30B25/18		
Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched Published examined utility model applications of Japan 1922-1996 Published unexamined utility model applications of Japan 1971-2022 Registered utility model specifications of Japan 1996-2022 Published registered utility model applications of Japan 1994-2022		
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.
A	JP 2017-76650 A (SUMITOMO ELECTRIC IND., LTD.) 20 April 2017 (2017-04-20) entire text, all drawings	1-9
A	JP 2020-125241 A (SUMITOMO ELECTRIC IND., LTD.) 20 August 2020 (2020-08-20) entire text, all drawings	1-9
A	JP 2017-59670 A (ROHM CO., LTD.) 23 March 2017 (2017-03-23) entire text, all drawings	1-9
<input type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input checked="" 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 <b>13 July 2022</b>		Date of mailing of the international search report <b>26 July 2022</b>
Name and mailing address of the ISA/JP <b>Japan Patent Office (ISA/JP) 3-4-3 Kasumigaseki, Chiyoda-ku, Tokyo 100-8915 Japan</b>		Authorized officer  Telephone No.

**INTERNATIONAL SEARCH REPORT**  
**Information on patent family members**

International application No.

**PCT/JP2022/020369**

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)	Publication date (day/month/year)
JP	2017-76650	A	20 April 2017	US 2019/0019868 A1 entire text, all drawings	
				WO 2017/064908 A1	
				DE 112016004677 T	
				CN 108028185 A	
<hr/>					
JP	2020-125241	A	20 August 2020	US 2018/0096854 A1 entire text, all drawings	
				WO 2016/185819 A1	
				DE 112016002263 T	
				CN 107430995 A	
				CN 111799324 A	
				JP 2021-165229 A	
<hr/>					
JP	2017-59670	A	23 March 2017	US 2018/0202070 A1 entire text, all drawings	
				US 2019/0257001 A1	
				US 2020/0149188 A1	
				WO 2017/047350 A1	
				EP 3352200 A1	
				CN 108028186 A	
<hr/>					

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC）） C30B 29/36(2006.01)i; C30B 25/18(2006.01)i FI: C30B29/36 A; C30B25/18		
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）） C30B29/36; C30B25/18 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 1971-2022年 日本国実用新案登録公報 1996-2022年 日本国登録実用新案公報 1994-2022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
A	JP 2017-76650 A（住友電気工業株式会社）20.04.2017（2017-04-20） 全文, 全図	1-9
A	JP 2020-125241 A（住友電気工業株式会社）20.08.2020（2020-08-20） 全文, 全図	1-9
A	JP 2017-59670 A（ローム株式会社）23.03.2017（2017-03-23） 全文, 全図	1-9
<input type="checkbox"/> C欄の続きにも文献が列挙されている。 <input checked="" 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の日の後に公表された文献 “T” 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と抵触するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの “X” 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの “Y” 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの “&” 同一パテントファミリー文献		
国際調査を完了した日	13.07.2022	国際調査報告の発送日 26.07.2022
名称及びあて先 日本国特許庁(ISA/JP) 〒100-8915 日本国 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号	権限のある職員（特許庁審査官）  宮崎 園子 4G 9277  電話番号 03-3581-1101 内線 3416	

国際調査報告  
 パテントファミリーに関する情報

国際出願番号

PCT/JP2022/020369

引用文献			公表日	パテントファミリー文献		公表日
JP	2017-76650	A	20.04.2017	US 2019/0019868	A1	
				全文,全図		
				WO 2017/064908	A1	
				DE 112016004677	T	
				CN 108028185	A	
-----						
JP	2020-125241	A	20.08.2020	US 2018/0096854	A1	
				全文,全図		
				WO 2016/185819	A1	
				DE 112016002263	T	
				CN 107430995	A	
				CN 111799324	A	
				JP 2021-165229	A	
-----						
JP	2017-59670	A	23.03.2017	US 2018/0202070	A1	
				全文,全図		
				US 2019/0257001	A1	
				US 2020/0149188	A1	
				WO 2017/047350	A1	
				EP 3352200	A1	
				CN 108028186	A	
-----						