

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7632313号
(P7632313)

(45)発行日 令和7年2月19日(2025.2.19)

(24)登録日 令和7年2月10日(2025.2.10)

(51)国際特許分類 F I
C 3 0 B 29/36 (2006.01) C 3 0 B 29/36 A
C 3 0 B 25/20 (2006.01) C 3 0 B 25/20

請求項の数 6 (全18頁)

(21)出願番号	特願2021-574657(P2021-574657)	(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
(86)(22)出願日	令和3年1月19日(2021.1.19)	(74)代理人	110001195 弁理士法人深見特許事務所
(86)国際出願番号	PCT/JP2021/001693	(72)発明者	伊東 洋典 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
(87)国際公開番号	WO2021/153351	(72)発明者	西口 太郎 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
(87)国際公開日	令和3年8月5日(2021.8.5)	(72)発明者	櫻田 隆 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
審査請求日	令和5年10月18日(2023.10.18)		
(31)優先権主張番号	特願2020-12522(P2020-12522)		
(32)優先日	令和2年1月29日(2020.1.29)		
(33)優先権主張国・地域又は機関	日本国(JP)		

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およ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】

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、
前記炭化珪素エピタキシャル層は、前記炭化珪素基板に接する境界面と、前記境界面と反対側の主面とを含み、
前記主面は、外周縁と、前記外周縁から5mm以内の外周領域と、前記外周領域に取り囲まれた中央領域とを有し、
前記外周領域におけるダブルショックレー型積層欠陥の面密度を第1面密度とし、前記中央領域におけるダブルショックレー型積層欠陥の面密度を第2面密度とした場合、前記第1面密度は前記第2面密度の5倍以上であり、
前記外周領域におけるシングルショックレー型積層欠陥の面密度は、 0.5 個 cm^{-2} 以下である、炭化珪素エピタキシャル基板。

【請求項2】

前記主面の反り量を定量的に規定したbowは、負の値である、請求項1に記載の炭化珪素エピタキシャル基板。

【請求項3】

前記第2面密度は、 0.2 個 cm^{-2} 以上である、請求項1または請求項2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面密度は、 1.0 個 cm^{-2} 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1面密度は、 2.0 個 cm^{-2} 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】

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

【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、2020年1月29日に出願した日本特許出願である特願2020-012522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】

特開2018-162178号公報（特許文献1）には、ダブルショックレー型積層欠陥を 5 個 cm^{-2} 以下とすることを特徴とする炭化珪素のエピタキシャル成長方法が開示されている。

20

【先行技術文献】

【特許文献】

【0003】

【文献】特開2018-162178号公報

【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を備えている。炭化珪素エピタキシャル層は、炭化珪素基板上にある。炭化珪素エピタキシャル層は、炭化珪素基板に接する境界面と、境界面と反対側の主面とを含んでいる。主面は、外周縁と、外周縁から 5mm 以内の外周領域と、外周領域に取り囲まれた中央領域とを有している。外周領域におけるダブルショックレー型積層欠陥の面密度を第1面密度とし、中央領域におけるダブルショックレー型積層欠陥の面密度を第2面密度とした場合、第1面密度は第2面密度の5倍以上である。第2面密度は、 0.2 個 cm^{-2} 以上である。外周領域におけるシングルショックレー型積層欠陥の面密度は、 0.5 個 cm^{-2} 以下である。

30

【図面の簡単な説明】

【0005】

【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。

40

【図2】図2は、図1のII-II線に沿った断面模式図である。

【図3】図3は、フォトルミネッセンス法で外周領域を測定した状態を示す拡大平面模式図である。

【図4】図4は、フォトルミネッセンス法で中央領域を測定した状態を示す拡大平面模式図である。

【図5】図5は、第1主面を観察した状態を示す平面模式図である。

【図6】図6は、 bow が負の値となる場合における第1主面の形状を示す模式図である。

【図7】図7は、 bow が正の値となる場合における第1主面の形状を示す模式図である。

【図8】図8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の概略を示す

50

フローチャートである。

【図 9】図 9 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の第 1 工程を示す断面模式図である。

【図 10】図 10 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のイオン注入工程を示す断面模式図である。

【図 11】図 11 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の水素処理工程を示す断面模式図である。

【図 12】図 12 は、本実施形態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 13】図 13 は、本実施形態に係る炭化珪素半導体装置の製造方法のイオン注入工程を示す断面模式図である。

10

【図 14】図 14 は、本実施形態に係る炭化珪素半導体装置の製造方法の酸化膜形成工程を示す断面模式図である。

【図 15】図 15 は、本実施形態に係る炭化珪素半導体装置の構成を示す断面模式図である。

【図 16】図 16 は、エピタキシャル成長前後における $b o w$ の変化を示す図である。

【発明を実施するための形態】

【0006】

[本開示が解決しようとする課題]

本開示の目的は、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。

20

[本開示の効果]

本開示によれば、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。

【0007】

[本開示の実施形態の概要]

まず本開示の実施形態の概要について説明する。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 $\langle \rangle$ 、個別面を $()$ 、集合面を $\{ \}$ でそれぞれ示す。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する。

30

【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 10 と、炭化珪素エピタキシャル層 20 とを備えている。炭化珪素エピタキシャル層 20 は、炭化珪素基板 10 上にある。炭化珪素エピタキシャル層 20 は、炭化珪素基板 10 に接する境界面 11 と、境界面 11 と反対側の主面 1 とを含んでいる。主面 1 は、外周縁 5 と、外周縁 5 から 5 mm 以内の外周領域 31 と、外周領域 31 に取り囲まれた中央領域 32 とを有している。外周領域 31 におけるダブルショックレー型積層欠陥 7 の面密度を第 1 面密度とし、中央領域 32 におけるダブルショックレー型積層欠陥 7 の面密度を第 2 面密度とした場合、第 1 面密度は第 2 面密度の 5 倍以上である。第 2 面密度は、 0.2 個 cm^{-2} 以上である。外周領域 31 におけるシングルショックレー型積層欠陥 8 の面密度は、 0.5 個 cm^{-2} 以下である。

40

【0009】

(2) 上記 (1) に係る炭化珪素エピタキシャル基板 100 において、主面 1 の反り量を定量的に規定した $b o w$ は、負の値であってもよい。

【0010】

(3) 上記 (1) または (2) に係る炭化珪素エピタキシャル基板 100 において、第 2 面密度は、 1.0 個 cm^{-2} 以下であってもよい。

【0011】

(4) 上記 (1) ~ (3) のいずれかに係る炭化珪素エピタキシャル基板 100 におい

50

て、第1面密度は、 2.0 個 cm^{-2} 以上であってもよい。

【0012】

(5)本開示に係る炭化珪素半導体装置300の製造方法は以下の工程を備えている。上記(1)~(4)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。

【0013】

[本開示の実施形態の詳細]

以下、本開示の実施形態の詳細について説明する。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。

【0014】

(炭化珪素エピタキシャル基板)

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は、図1のII-II線に沿った断面模式図である。図1および図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10と、炭化珪素エピタキシャル層20とを有している。炭化珪素エピタキシャル層20は、炭化珪素基板10上にある。炭化珪素エピタキシャル層20は、炭化珪素基板10に接している。炭化珪素エピタキシャル層20は、炭化珪素エピタキシャル基板100の表面(第1主面1)を構成する。炭化珪素基板10は、炭化珪素エピタキシャル基板100の裏面(第2主面12)を構成する。

【0015】

炭化珪素エピタキシャル層20は、主面(第1主面1)と、境界面11とを有している。境界面11は、第1主面1の反対側にある。境界面11は、炭化珪素基板10に接している。第1主面1は、外周縁5と、外周領域31と、中央領域32とを含んでいる。外周領域31は、外周縁5から5mm以内の領域である。図1に示されるように、炭化珪素エピタキシャル層20の厚み方向に見て、外周領域31は、環状である。中央領域32は、外周領域31に取り囲まれている。中央領域32は、第1主面1の中心6を含んでいる。なお本明細書において、炭化珪素エピタキシャル層20の厚み方向とは、炭化珪素エピタキシャル基板100の裏面(第2主面12)が平坦面に接するように、炭化珪素エピタキシャル基板100を平坦面上に配置した場合、平坦面に対して垂直な方向である。

【0016】

外周縁5は、たとえばオリエンテーションフラット3と、円弧状部4とを有している。オリエンテーションフラット3は、第1方向101に沿って延在している。図1に示されるように、オリエンテーションフラット3は、炭化珪素エピタキシャル層20の厚み方向に見て、直線状である。円弧状部4は、オリエンテーションフラット3に連なっている。円弧状部4は、炭化珪素エピタキシャル層20の厚み方向に見て、円弧状である。第1主面1の中心6は、炭化珪素エピタキシャル層20の厚み方向に見て、円弧状部4を含む円の中心に位置している。

【0017】

図1に示されるように、炭化珪素エピタキシャル層20の厚み方向に見て、第1主面1は、第1方向101および第2方向102の各々に沿って延在している。炭化珪素エピタキシャル層20の厚み方向に見て、第1方向101は、第2方向102に対して垂直な方向である。

【0018】

第1方向101は、たとえば<11-20>方向である。第1方向101は、たとえば[11-20]方向であってもよい。第1方向101は、<11-20>方向を第1主面1に射影した方向であってもよい。別の観点から言えば、第1方向101は、たとえば<11-20>方向成分を含む方向であってもよい。

【0019】

第2方向102は、たとえば<1-100>方向である。第2方向102は、たとえば[1-100]方向であってもよい。第2方向102は、たとえば<1-100>方向を第

10

20

30

40

50

1 主面 1 に射影した方向であってもよい。別の観点から言えば、第 2 方向 1 0 2 は、たとえば $\langle 1 - 1 0 0 \rangle$ 方向成分を含む方向であってもよい。

【 0 0 2 0 】

第 1 主面 1 は、 $\{ 0 0 0 1 \}$ 面に対して傾斜した面であってもよい。第 1 主面 1 は、 $\{ 0 0 0 1 \}$ 面に対して傾斜している場合、 $\{ 0 0 0 1 \}$ 面に対する傾斜角（オフ角）は、たとえば 2° 以上 6° 以下である。第 1 主面 1 が $\{ 0 0 0 1 \}$ 面に対して傾斜している場合、第 1 主面 1 の傾斜方向（オフ方向）は、たとえば $\langle 1 1 - 2 0 \rangle$ 方向である。

【 0 0 2 1 】

図 1 に示されるように、第 1 主面 1 の最大径 W（直径）は、特に限定されないが、たとえば 4 インチである。最大径 W は、4 インチ以上でもよいし、6 インチ以上でもよい。最大径 W の上限は、特に限定されない。最大径 W は、たとえば 8 インチ以下であってもよい。

10

【 0 0 2 2 】

なお本明細書において、2 インチは、50 mm 又は 50.8 mm ($25.4 \text{ mm/inch} \times 2 \text{ inch}$) のことである。3 インチは、75 mm 又は 76.2 mm ($25.4 \text{ mm/inch} \times 3 \text{ inch}$) のことである。4 インチは、100 mm 又は 101.6 mm ($25.4 \text{ mm/inch} \times 4 \text{ inch}$) のことである。5 インチは、125 mm 又は 127.0 mm ($25.4 \text{ mm/inch} \times 5 \text{ inch}$) のことである。6 インチは、150 mm 又は 152.4 mm ($25.4 \text{ mm/inch} \times 6 \text{ inch}$) のことである。8 インチは、200 mm 又は 203.2 mm ($25.4 \text{ mm/inch} \times 8 \text{ inch}$) のことである。

【 0 0 2 3 】

図 2 に示されるように、炭化珪素基板 1 0 は、第 2 主面 1 2 と、第 3 主面 1 3 とを有している。第 3 主面 1 3 は、第 2 主面 1 2 の反対側にある。第 2 主面 1 2 は、炭化珪素エピタキシャル基板 1 0 0 の裏面である。第 2 主面 1 2 は、炭化珪素エピタキシャル層 2 0 から離間している。第 3 主面 1 3 は、炭化珪素エピタキシャル層 2 0 に接している。炭化珪素基板 1 0 を構成する炭化珪素のポリタイプは、たとえば 4 H である。同様に、炭化珪素エピタキシャル層 2 0 を構成する炭化珪素のポリタイプは、たとえば 4 H である。

20

【 0 0 2 4 】

炭化珪素基板 1 0 は、たとえば窒素（N）などの n 型不純物を含んでいる。炭化珪素基板 1 0 の導電型は、たとえば n 型である。炭化珪素基板 1 0 の厚みは、たとえば $350 \mu\text{m}$ 以上 $500 \mu\text{m}$ 以下である。炭化珪素エピタキシャル層 2 0 は、たとえば窒素などの n 型不純物を含んでいる。炭化珪素エピタキシャル層 2 0 の導電型は、たとえば n 型である。炭化珪素エピタキシャル層 2 0 が含む n 型不純物の濃度は、炭化珪素基板 1 0 が含む n 型不純物の濃度より低くてもよい。

30

【 0 0 2 5 】

図 3 は、フォトルミネッセンス法で外周領域 3 1 を測定した状態を示す拡大平面模式図である。図 3 に示されるように、炭化珪素エピタキシャル層 2 0 の外周領域 3 1 にはダブルショックレー型積層欠陥 7 が存在している。外周領域 3 1 におけるダブルショックレー型積層欠陥 7 の面密度は、第 1 面密度である。第 1 面密度は、たとえば 2.0 個 cm^{-2} 以上であってもよいし、 4.0 個 cm^{-2} 以上であってもよい。第 1 面密度は、外周領域 3 1 に存在するダブルショックレー型積層欠陥 7 の総数を外周領域 3 1 の面積で除した値である。

40

【 0 0 2 6 】

図 3 に示されるように、炭化珪素エピタキシャル層 2 0 の外周領域 3 1 には、シングルショックレー型積層欠陥 8 があってもよいし、なくてもよい。外周領域 3 1 におけるシングルショックレー型積層欠陥 8 の面密度（第 3 面密度）は、たとえば 0.5 個 cm^{-2} 以下である。第 3 面密度は、外周領域 3 1 に存在するシングルショックレー型積層欠陥 8 の総数を外周領域 3 1 の面積で除した値である。

【 0 0 2 7 】

図 4 は、フォトルミネッセンス法で中央領域 3 2 を測定した状態を示す拡大平面模式図である。図 4 に示されるように、炭化珪素エピタキシャル層 2 0 の中央領域 3 2 にはダブ

50

ルショックレー型積層欠陥 7 が存在している。中央領域 3 2 におけるダブルショックレー型積層欠陥 7 の面密度は、第 2 面密度である。第 2 面密度は、 0.2 個 cm^{-2} 以上である。第 2 面密度は、 0.4 個 cm^{-2} 以上であってもよいし、 0.6 個 cm^{-2} 以上であってもよい。第 2 面密度は、たとえば 1.0 個 cm^{-2} 以下であってもよいし、 0.8 個 cm^{-2} 以下であってもよい。第 2 面密度は、中央領域 3 2 に存在するダブルショックレー型積層欠陥 7 の総数を中央領域 3 2 の面積で除した値である。

【0028】

第 1 面密度は第 2 面密度の 5 倍以上である。第 1 面密度は第 2 面密度の 7 倍以上であってもよいし、 10 倍以上であってもよい。炭化珪素エピタキシャル層 2 0 の中央領域 3 2 には、シングルショックレー型積層欠陥 8 があってもよいし、なくてもよい。中央領域 3 2 におけるシングルショックレー型積層欠陥 8 の面密度 (第 4 面密度) は、 0.5 個 cm^{-2} 以下である。第 4 面密度は、たとえば 0.3 個 cm^{-2} 以下であってもよいし、 0.1 個 cm^{-2} 以下であってもよい。中央領域 3 2 において、シングルショックレー型積層欠陥 8 が不在することが望ましい。第 4 面密度は、中央領域 3 2 に存在するシングルショックレー型積層欠陥 8 の総数を中央領域 3 2 の面積で除した値である。

10

【0029】

(積層欠陥の面密度の測定方法)

次に、シングルショックレー型積層欠陥 8 およびダブルショックレー型積層欠陥 7 の各々の面密度の測定方法について説明する。

【0030】

シングルショックレー型積層欠陥 8 およびダブルショックレー型積層欠陥 7 の各々の観察には、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) が用いられる。炭化珪素エピタキシャル基板 1 0 0 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観測される。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。光源からの励起光は、照射側のバンドパスフィルター (313 nm) を通過した後、被測定領域に照射される。これにより、被測定領域からフォトルミネッセンス光が放出される。フォトルミネッセンス光は、受光側のバンドパスフィルターを通過した後、カメラ等の受光素子に到達する。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。

20

【0031】

シングルショックレー型積層欠陥 8 の発光波長は、 420 nm 付近である。一方、ダブルショックレー型積層欠陥 7 の発光波長は、 510 nm 付近である。そのため、受光側のバンドパスフィルターの波長を変更することにより、各積層欠陥を識別することができる。具体的には、受光側のバンドパスフィルターの波長を 420 nm とすることにより、シングルショックレー型積層欠陥 8 を観察することができる。受光側のバンドパスフィルターの波長を 510 nm とすることにより、ダブルショックレー型積層欠陥 7 を観察することができる。観察されたフォトルミネッセンス画像において、シングルショックレー型積層欠陥 8 およびダブルショックレー型積層欠陥 7 の各々は周囲の領域に比べて暗く発光している。

30

【0032】

炭化珪素エピタキシャル層 2 0 の第 1 主面 1 と平行な方向に炭化珪素エピタキシャル基板 1 0 0 を移動させながら、第 1 主面 1 全体のフォトルミネッセンス画像が撮影される。フォトルミネッセンス画像の 1 つ視野の面積は、たとえば $2.6 \text{ mm} \times 2.6 \text{ mm}$ である。第 1 主面 1 は、外周領域 3 1 と中央領域 3 2 とにより構成されている。取得されたフォトルミネッセンス画像において、シングルショックレー型積層欠陥 8 およびダブルショックレー型積層欠陥 7 の各々の数が特定される。

40

【0033】

(反り量)

次に、炭化珪素エピタキシャル基板 1 0 0 の第 1 主面 1 の反り量の測定方法について説明する。第 1 主面 1 の反り量は、たとえば Trope l 社製の Flatmaster によ

50

り測定することができる。まず、炭化珪素エピタキシャル基板 100 が平坦面上に配置される。第 2 主面 12 が平坦面上に配置された状態で、第 2 主面 12 と反対側の第 1 主面 1 が観察される。

【0034】

図 5 は、第 1 主面 1 を観察した状態を示す平面模式図である。図 5 に示されるように、第 1 主面 1 の 3 点基準面 94 が決定される。3 点基準面 94 とは、中央領域 32 と外周領域 31 との境界線上の 3 点（第 5 位置 95、第 6 位置 96 および第 7 位置 97）を含む仮想平面である。第 5 位置 95、第 6 位置 96 および第 7 位置 97 を繋ぐことにより構成される三角形は、正三角形である。図 5 に示されるように、炭化珪素エピタキシャル基板 100 の厚み方向に見て、第 1 主面 1 の中心は、正三角形の中心と一致する。

10

【0035】

反り量を定量化する指標としては、bow および warp がある。図 6 は、bow が負の値となる場合における第 1 主面 1 の形状を示す模式図である。図 7 は、bow が正の値となる場合における第 1 主面 1 の形状を示す模式図である。図 6 および図 7 に示されるように、3 点基準面 94 と垂直な方向において、3 点基準面 94 から見た第 1 主面 1 の最高位置 92 と 3 点基準面 94 との間の距離（第 1 距離 154）と、3 点基準面 94 から見た第 1 主面 1 の最低位置 93 と 3 点基準面 94 との間の距離（第 2 距離 155）との合計が warp である。3 点基準面 94 と垂直な方向において、第 1 主面 1 の中心 6 の位置 91 と 3 点基準面 94 との間の距離が bow である。

【0036】

図 6 に示されるように、第 1 主面 1 の中心 6 の位置 91 が 3 点基準面 94 よりも低い場合、bow は負の値となる。図 7 に示されるように、第 1 主面 1 の中心 6 の位置 91 が 3 点基準面 94 よりも高い場合、bow は正の値となる。本明細書においては、bow が負の値となる場合（図 6 参照）、第 1 主面 1 は凹状であるとする。反対に、bow が正の値となる場合（図 7 参照）、第 1 主面 1 は凸状であるとする。

20

【0037】

本実施形態に係る炭化珪素エピタキシャル基板 100 において、第 1 主面 1 の bow は、たとえば負の値である。第 1 主面 1 の bow は、たとえば $-20\ \mu\text{m}$ 以下であってもよいし、 $-40\ \mu\text{m}$ 以下であってもよい。第 1 主面 1 の bow の下限は、特に限定されないが、たとえば $-80\ \mu\text{m}$ 以上であってもよい。

30

【0038】

本実施形態に係る炭化珪素エピタキシャル基板 100 において、第 1 主面 1 の warp は、たとえば $60\ \mu\text{m}$ 以下である。第 1 主面 1 の warp は、たとえば $50\ \mu\text{m}$ 以下であってもよいし、 $40\ \mu\text{m}$ 以下であってもよい。第 1 主面 1 の warp 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。

【0039】

（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。

【0040】

図 8 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の概略を示すフローチャートである。図 8 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、炭化珪素基板準備工程（S1）と、炭化珪素基板研磨工程（S2）と、イオン注入工程（S3）と、水素処理工程（S4）と、エピタキシャル成長工程（S5）とを主に有している。

40

【0041】

炭化珪素基板準備工程（S1）が実施される。たとえば昇華法により、ポリタイプ 4H の炭化珪素単結晶が製造される。次に、たとえばワイヤーソーによって、炭化珪素単結晶をスライスすることにより、炭化珪素基板 10 が準備される。炭化珪素基板 10 は、たとえば窒素などの n 型不純物を含んでいる。炭化珪素基板 10 の導電型は、たとえば n 型で

50

ある。

【 0 0 4 2 】

図 9 に示されるように、炭化珪素基板 1 0 は、第 3 主面 1 3 と、第 3 主面 1 3 の反対側にある第 2 主面 1 2 とを有する。第 3 主面 1 3 は、たとえば { 0 0 0 1 } 面に対してオフ角だけオフ方向に傾斜した面である。オフ角は、たとえば 2° 以上 6° 以下である。オフ方向は、たとえば $\langle 1 1 - 2 0 \rangle$ 方向である。炭化珪素基板 1 0 の第 3 主面 1 3 の最大径は、たとえば 1 5 0 mm である。

【 0 0 4 3 】

次に、炭化珪素基板研磨工程 (S 2) が実施される。具体的には、まず機械研磨工程が実施される。機械研磨工程においては、炭化珪素基板 1 0 の第 3 主面 1 3 に対して機械研磨が行われる。具体的には、第 3 主面 1 3 が定盤に対向するように炭化珪素基板 1 0 が研磨ヘッドに保持される。定盤と第 3 主面 1 3 との間に砥粒を含むスラリーが供給される。砥粒は、たとえばダイヤモンド砥粒である。第 2 主面 1 2 に対しても第 3 主面 1 3 と同様に機械研磨が行われる。

10

【 0 0 4 4 】

次に、化学的機械研磨工程が実施される。化学的機械研磨工程においては、炭化珪素基板 1 0 の第 3 主面 1 3 に対して化学的機械研磨が行われる。具体的には、炭化珪素基板 1 0 の第 3 主面 1 3 が定盤に設けられた研磨布と対向するように炭化珪素基板 1 0 が研磨ヘッドに保持される。研磨布は、たとえばニッタハース製の *supreme* である。研磨布と第 3 主面 1 3 との間に研磨剤が供給される。研磨剤は、たとえばフジミンコーポレーテッド製の D S C - 0 9 0 2 である。加工圧 (面圧) は、たとえば $4 0 0 \text{ g / c m }^2$ である。定盤の回転数は、たとえば 6 0 r p m である。研磨ヘッドの回転数は、たとえば 6 0 r p m である。第 2 主面 1 2 に対しても第 3 主面 1 3 と同様に化学的機械研磨が行われる。第 3 主面 1 3 に対して研磨加工が行われることにより、第 3 主面 1 3 において加工ダメージにより形成された基底面転位 (図示せず) が発生する。

20

【 0 0 4 5 】

次に、イオン注入工程 (S 3) が実施される。具体的には、第 3 主面 1 3 の全面に対して 2 段階のイオン注入が実施される。イオン注入には、たとえば日新イオン機器株式会社製のパラレルイオン注入装置 (I M P H E A T) が用いられる。イオン種は、たとえばアルミニウムイオン (Al^+) である。炭化珪素基板 1 0 の温度は、たとえば室温である。第 1 回目のイオン注入工程においては、たとえば、エネルギーが 5 3 0 k e V とされ、かつドーズ量が $2 . 8 \times 1 0^{14} \text{ c m}^{-2}$ とされる。第 2 回目のイオン注入工程においては、たとえば、エネルギーが 2 8 0 k e V とされ、かつドーズ量が $2 . 0 \times 1 0^{14} \text{ c m}^{-2}$ とされる。

30

【 0 0 4 6 】

図 1 0 に示されるように、上記の条件を用いて第 3 主面 1 3 に対してイオン注入が行われる。図 1 0 に示されている矢印の方向は、イオン注入方向である。これにより、炭化珪素基板 1 0 は凹状に湾曲する。具体的には、炭化珪素基板 1 0 の第 2 主面 1 2 が平坦面に接するように炭化珪素基板 1 0 を平坦面上に配置した場合に、第 2 主面 1 2 の中央付近が平坦面に接し、かつ第 2 主面 1 2 の外縁が平坦面から離間するように炭化珪素基板 1 0 は湾曲している。第 3 主面 1 3 は、概ね第 2 主面 1 2 の形状に沿って湾曲している。つまり、第 3 主面 1 3 の *bow* は、負の値となっている。

40

【 0 0 4 7 】

次に、水素処理工程 (S 4) が実施される。水素処理工程 (S 4) においては、炭化珪素基板 1 0 が加熱された状態で、第 3 主面 1 3 に対して水素処理が実施される。具体的には、炭化珪素基板 1 0 が、チャンバ内に配置される。次に、炭化珪素基板 1 0 が 1 6 3 0 程度に昇温される。次に、チャンバに対して水素ガスが導入される。水素ガスの流量は、たとえば 1 0 0 s l m となるように調整される。これにより、第 3 主面 1 3 において、炭化珪素基板 1 0 がエッチングされる (図 1 1 参照) 。結果として、第 3 主面 1 3 に形成されていた基底面転位の一部が除去される。また、上記エッチングにより炭化珪素基板 1

50

0の歪みが部分的に緩和されることで第3主面13のbowは変化し得るが、上記炭化珪素基板10では水素処理工程後も第3主面13のbowは負の値となっている。

【0048】

次に、エピタキシャル成長工程(S5)が実施される。エピタキシャル成長工程(S5)においては、まずチャンバが、たとえば1630程度に昇温される。次に、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チャンバに導入される。具体的には、シランガスの流量は、たとえば115sccmとなるように調整される。プロパンガスの流量は、たとえば57.6sccmとなるように調整される。アンモニアガスの流量は、たとえば 2.5×10^{-2} sccmとなるように調整される。水素ガスの流量は、100slmとなるように調整される。チャンバに混合ガスを導入することにより、炭化珪素基板10の第3主面13上に炭化珪素エピタキシャル層20がエピタキシャル成長により形成される。

10

【0049】

エピタキシャル成長工程(S5)において炭化珪素基板10が1600程度の高温になる。高温下において炭化珪素基板10が凸状に湾曲していると、第3主面13の外周から中心に向かって応力が集中する。別の観点から言えば、第3主面13の中心付近においては応力が高くなり、第3主面13の外周付近においては応力が低くなる。反対に、図10に示されるように、高温下において炭化珪素基板10が凹状に湾曲していると、第3主面13の中心から外周に向かって応力が解放される。別の観点から言えば、第3主面13の中心付近においては応力が低くなり、第3主面13の外周付近においては応力が高くなる。応力が高い領域においては、炭化珪素エピタキシャル層20にダブルショックレー型積層欠陥7が発生しやすくなる。

20

【0050】

本実施形態に係る炭化珪素エピタキシャル基板100の製造方法においては、炭化珪素基板10の第3主面13のbowが負の値となる状態でエピタキシャル成長が行われる。具体的には、イオン注入工程(S3)後であってかつ水素処理工程(S4)前における炭化珪素基板10において、第3主面13のbowが、たとえば $-20\mu\text{m}$ 以下である状態でエピタキシャル成長が行われる。第3主面13のbowは、たとえば $-40\mu\text{m}$ 以下であってもよいし、 $-60\mu\text{m}$ 以下であってもよい。これにより、第3主面13の中心付近においては応力が低くなり、第3主面13の外周付近においては応力が高くなる。結果として、応力が高い外周付近においては、多数のダブルショックレー型積層欠陥7が発生する。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(図2参照)。

30

【0051】

(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。

【0052】

図12は、本実施形態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12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の製造方法は、エピタキシャル基板準備工程(S10:図12)と、基板加工工程(S20:図12)とを主に有する。

40

【0053】

まず、エピタキシャル基板準備工程(S10:図12)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100の製造方法によって、炭化珪素エピタキシャル基板100が準備される(図2参照)。

【0054】

次に、基板加工工程(S20:図12)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、エッチング、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。すなわち基板加工工程は、イオン注入、熱処理、エッチング、酸

50

化膜形成、電極形成およ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ってもよい。

【0055】

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(S20:図12)は、たとえばイオン注入工程(S21:図12)、酸化膜形成工程(S22:図12)、電極形成工程(S23:図12)およびダイシング工程(S24:図12)を含む。

【0056】

まず、イオン注入工程(S21:図12)が実施される。開口部を有するマスク(図示せず)が形成された第1主面1に対して、たとえばアルミニウム(Al)等のp型不純物が注入される。これにより、p型の導電性を有するボディ領域132が形成される。次に、ボディ領域132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型の導電性を有するソース領域133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133内の所定位置に注入される。これにより、p型の導電性を有するコンタクト領域134が形成される(図13参照)。

10

【0057】

炭化珪素エピタキシャル層20において、ボディ領域132、ソース領域133およびコンタクト領域134以外の部分は、ドリフト領域131となる。ソース領域133は、ボディ領域132によってドリフト領域131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20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)雰囲気である。活性化アニールの温度は、たとえば1800 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。

20

【0058】

次に、酸化膜形成工程(S22:図12)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、第1主面1において酸化膜136が形成される(図14参照)。酸化膜136は、たとえば二酸化珪素等から構成される。酸化膜136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 程度である。熱酸化処理の時間は、たとえば30分程度である。

30

【0059】

酸化膜136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、一酸化窒素の雰囲気中、1100 程度で1時間程度、熱処理が実施される。さらにその後、アルゴン雰囲気中で熱処理が行なわれる。たとえば、アルゴン雰囲気中、1100 以上1500 以下程度で、1時間程度、熱処理が行われる。

【0060】

次に、電極形成工程(S23:図12)が実施される。具体的には、ゲート電極141は、酸化膜136上に形成される。ゲート電極141は、たとえばCVD(Chemical Vapor Deposition)法により形成される。ゲート電極141は、たとえば導電性を有するポリシリコン等から構成される。ゲート電極141は、ソース領域133およびボディ領域132に対面する位置に形成される。

40

【0061】

次に、ゲート電極141を覆う層間絶縁膜137が形成される。層間絶縁膜137は、たとえばCVD法により形成される。層間絶縁膜137は、たとえば二酸化珪素等から構成される。層間絶縁膜137は、ゲート電極141と酸化膜136とに接するように形成される。次に、酸化膜136および層間絶縁膜137の一部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133およびコンタクト領域134が、酸化膜136から露出する。

50

【 0 0 6 2 】

次に、たとえばスパッタリング法により当該露出部にソース電極 1 4 2 が形成される。ソース電極 1 4 2 は、たとえばチタン、アルミニウムおよびシリコン等から構成される。ソース電極 1 4 2 が形成された後、ソース電極 1 4 2 と炭化珪素エピタキシャル基板 1 0 0 が、たとえば 9 0 0 以上 1 1 0 0 以下程度の温度で加熱される。これにより、ソース電極 1 4 2 と炭化珪素エピタキシャル基板 1 0 0 とがオーミック接触ようになる。次に、ソース電極 1 4 2 に接するように、配線層 1 3 8 が形成される。配線層 1 3 8 は、たとえばアルミニウムを含む材料から構成される。次に、第 2 主面 1 2 にドレイン電極 1 4 3 が形成される。ドレイン電極 1 4 3 は、たとえばニッケルおよびシリコンを含む合金（たとえば Ni Si 等）から構成される。

10

【 0 0 6 3 】

次に、ダイシング工程（S 2 4：図 1 2）が実施される。たとえば炭化珪素エピタキシャル基板 1 0 0 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 1 0 0 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 3 0 0 が製造される（図 1 5 参照）。

【 0 0 6 4 】

なお上記において、平面型 MOS F E T 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、たとえばトレンチ型 MOS F E T、I G B T (I n s u l a t e d G a t e B i p o l a r T r a n s i s t o r)、S B D (S c h o t t k y B a r r i e r D i o d e)、サイリスタ、G T O (G a t e T u r n O f f t h y r i s t o r)、P N ダイオード等の炭化珪素半導体装置に適用可能である。

20

【 0 0 6 5 】

次に、本実施形態に係る炭化珪素エピタキシャル基板 1 0 0 および炭化珪素半導体装置 3 0 0 の製造方法の作用効果について説明する。

【 0 0 6 6 】

たとえばポリタイプ 4 H の炭化珪素においては、基底面完全転位は、2 本の基底面部分転位に分解して存在している。2 本の基底面部分転位の間に存在する積層欠陥は、ショックレー型積層欠陥と呼ばれている。ショックレー型積層欠陥は、積層構造の違いにより、4 種類の積層欠陥に分類される。具体的には、ショックレー型積層欠陥は、シングルショックレー型積層欠陥、ダブルショックレー型積層欠陥、トリプルショックレー型積層欠陥、クアドラプルショックレー型積層欠陥とに分類される。4 種類の積層欠陥の各々は、異なる発光波長を有している。そのため、フォトルミネッセンス法を用いることにより、これらの積層欠陥を識別することができる。

30

【 0 0 6 7 】

シングルショックレー型積層欠陥 8 の面密度が高い場合には、炭化珪素半導体装置の電流リークが発生しやすくなり、信頼性が著しく劣化する。一方、ダブルショックレー型積層欠陥 7 は、炭化珪素半導体装置の長期信頼性を考慮すると低減することが望ましいが、シングルショックレー型積層欠陥 8 と比較すると信頼性劣化に対する影響はそれほど大きくない。そのため、炭化珪素エピタキシャル基板 1 0 0 にダブルショックレー型積層欠陥 7 がある程度残存していても、信頼性劣化に対する影響はそれほど顕著ではない。

40

【 0 0 6 8 】

発明者らは、鋭意検討の結果、ダブルショックレー型積層欠陥 7 を積極的に増加させることにより、シングルショックレー型積層欠陥 8 を低減させることを考え出した。高温下において炭化珪素基板 1 0 が凸状に湾曲していると、主面（上面）の外周から中心に向かって応力が集中する。別の観点から言えば、主面の中心付近においては応力が高くなり、主面の外周付近においては応力が低くなる。反対に、図 1 0 に示されるように、高温下において炭化珪素基板 1 0 が凹状に湾曲していると、主面の中心から外周に向かって応力が解放される。別の観点から言えば、主面の中心付近においては応力が低くなり、主面の外周付近においては応力が高くなる。応力が高い領域においては、炭化珪素エピタキシャル

50

層 20 にダブルショックレー型積層欠陥 7 が発生しやすくなる。また正常なポリタイプ 4 H の領域が、ダブルショックレー型積層欠陥 7 に転換すれば、当該領域はシングルショックレー型積層欠陥 8 には転換しない。

【 0 0 6 9 】

具体的には、炭化珪素基板 10 を高温下においてある程度凹状に湾曲させた状態で炭化珪素基板 10 上に炭化珪素エピタキシャル層 20 を形成することにより、炭化珪素エピタキシャル層 20 の主面 1 の外周領域 3 1 における応力を主面 1 の中央領域 3 2 における応力よりも高くした。これにより、外周領域 3 1 において積極的にダブルショックレー型積層欠陥 7 を形成した。さらに具体的には、外周領域 3 1 におけるダブルショックレー型積層欠陥 7 の面密度を第 1 面密度とし、中央領域 3 2 におけるダブルショックレー型積層欠陥 7 の面密度を第 2 面密度とした場合、第 1 面密度は第 2 面密度の 5 倍以上とした。これにより、外周領域 3 1 においてシングルショックレー型積層欠陥 8 が形成される確率を低減することができる。具体的には、外周領域 3 1 におけるシングルショックレー型積層欠陥 8 の面密度は、 0.5 個 cm^{-2} 以下である。

10

【 0 0 7 0 】

また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、中央領域 3 2 におけるダブルショックレー型積層欠陥 7 の面密度（第 2 面密度）は、 0.2 個 cm^{-2} 以上である。中央領域 3 2 においてもダブルショックレー型積層欠陥 7 を積極的に増加させることにより、中央領域 3 2 においてシングルショックレー型積層欠陥 8 が形成される確率を低減することができる。

20

【実施例 1】

【 0 0 7 1 】

（サンプル準備）

次に、実施例について説明する。前述した炭化珪素エピタキシャル基板 100 の製造方法に従い、まず、第 3 主面 1 3 の bow の値が異なる 2 枚の炭化珪素基板 10 を準備した。サンプル 1 の第 3 主面 1 3 の bow の値は、 $-63.1 \mu\text{m}$ であった。サンプル 2 の第 3 主面 1 3 の bow の値は、 $+15.9 \mu\text{m}$ であった。当該 bow の値は、イオン注入工程（S3）後であってかつ水素処理工程（S4）前における値である。次に、炭化珪素基板 10 の第 3 主面 1 3 に対して水素処理工程（S4）を実施した。次に、第 3 主面 1 3 上に炭化珪素エピタキシャル層 20 をエピタキシャル成長により形成した。第 3 主面 1 3 は、Si（シリコン）面とした。つまり、Si 面に炭化珪素エピタキシャル層 20 を成長した。以上により、サンプル 1 およびサンプル 2 の各々に係る炭化珪素エピタキシャル基板 100 を製造した。

30

【 0 0 7 2 】

（実験方法）

次に、炭化珪素エピタキシャル基板 100 の第 1 主面 1 の外周領域 3 1 におけるダブルショックレー型積層欠陥 7 の面密度（第 1 面密度）を測定した。同様に、中央領域 3 2 におけるダブルショックレー型積層欠陥 7 の面密度（第 2 面密度）を測定した。同様に、外周領域 3 1 におけるシングルショックレー型積層欠陥 8 の面密度（第 3 面密度）を測定した。上記積層欠陥の測定方法は、上述の通りである。

40

【 0 0 7 3 】

（実験結果）

【表 1】

サンプル番号	エピタキシャル成長前の第 3 主面の bow (μm)	第 1 面密度 (個 cm^{-2})	第 2 面密度 (個 cm^{-2})	第 1 面密度 / 第 2 面密度	第 3 面密度 (個 cm^{-2})
サンプル 1	-63.1	2.2	0.3	7.3	0.3
サンプル 2	+15.9	0.6	3.2	0.2	2.8

50

【0074】

表1は、サンプル1およびサンプル2の各々に係る炭化珪素エピタキシャル基板100における、第1面密度、第2面密度、第1面密度/第2面密度および第3面密度の結果を示している。表1に示されるように、サンプル2に係る炭化珪素エピタキシャル基板100と比較して、サンプル1に係る炭化珪素エピタキシャル基板100においては、シングルショックレー型積層欠陥の面密度(第3面密度)を大幅に低減可能であることが確認された。実験の数値は第1面密度 2.2 cm^{-2} 、第2面密度 0.3 cm^{-2} 、第1面密度/第2面密度 7.3 、第3面密度 0.3 cm^{-2} であるが、第1面密度 1.0 cm^{-2} 、第2面密度 0.2 cm^{-2} 、第1面密度/第2面密度 5.0 、第3面密度 0.5 cm^{-2} の数値でも、発明の効果を奏する。

10

【実施例2】

【0075】

次に、エピタキシャル成長前後におけるbowの変化について説明する。まず、第3主面13のbowの値が異なる複数の炭化珪素基板10を準備した。当該bowの値は、イオン注入工程(S3)後であってかつ水素処理工程(S4)前における値である。次に、炭化珪素基板10の第3主面13に対して水素処理工程(S4)を実施した。次に、炭化珪素基板10の第3主面13上に炭化珪素エピタキシャル層20をエピタキシャル成長により形成した。炭化珪素エピタキシャル層20の厚みは、 $10\text{ }\mu\text{m}$ とした。次に、炭化珪素エピタキシャル層20の第1主面1のbowを測定した。

【0076】

図16は、エピタキシャル成長前後におけるbowの変化を示す図である。図16の横軸は、エピタキシャル成長前(水素処理前)の炭化珪素基板10の第3主面13のbowである。図16の縦軸は、エピタキシャル成長後の炭化珪素エピタキシャル層20の第1主面1のbowである。エピタキシャル成長前の第3主面13のbowは、たとえば $-80\text{ }\mu\text{m}$ 超 $40\text{ }\mu\text{m}$ 未満の範囲である。エピタキシャル成長後の第1主面1のbowは、たとえば $-50\text{ }\mu\text{m}$ 超 $50\text{ }\mu\text{m}$ 未満の範囲である。図16に示されるように、エピタキシャル成長後の第1主面1のbowは、エピタキシャル成長前の第3主面13のbowよりも $15.6\text{ }\mu\text{m}$ 大きくなることが確認された。

20

【0077】

今回開示された実施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実施形態および実施例ではなく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。

30

【符号の説明】

【0078】

1 主面(第1主面)、3 オリエンテーションフラット、4 円弧状部、5 外周縁、6 中心、7 ダブルショックレー型積層欠陥、8 シングルショックレー型積層欠陥、10 炭化珪素基板、11 境界面、12 第2主面、13 第3主面、20 炭化珪素エピタキシャル層、31 外周領域、32 中央領域、91 位置、92 最高位置、93 最低位置、94 点基準面、95 第5位置、96 第6位置、97 第7位置、100 炭化珪素エピタキシャル基板、101 第1方向、102 第2方向、131 ドリフト領域、132 ボディ領域、133 ソース領域、134 コンタクト領域、136 酸化膜、137 層間絶縁膜、138 配線層、141 ゲート電極、142 ソース電極、143 ドレイン電極、154 第1距離、155 第2距離、300 炭化珪素半導体装置、W 最大径。

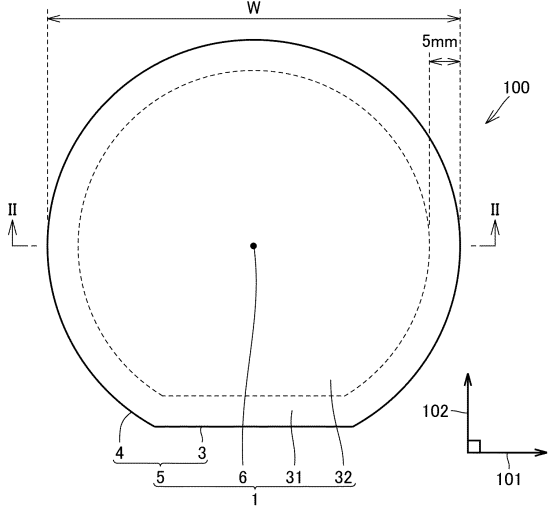
40

50

【図面】

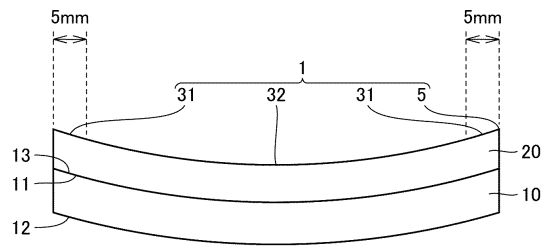
【図 1】

FIG.1



【図 2】

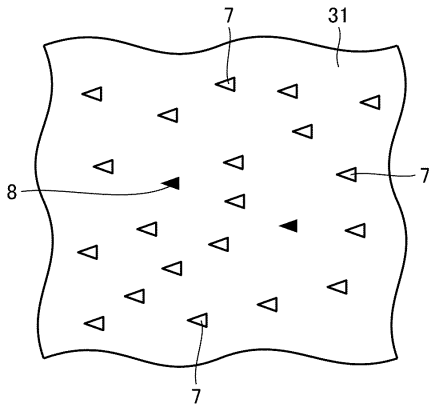
FIG.2



10

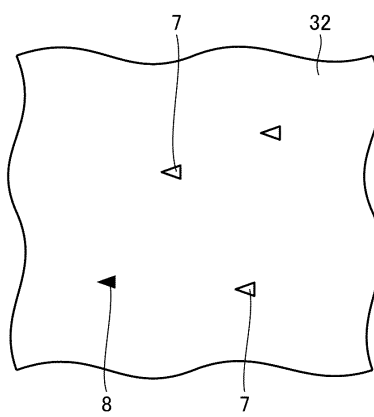
【図 3】

FIG.3



【図 4】

FIG.4



20

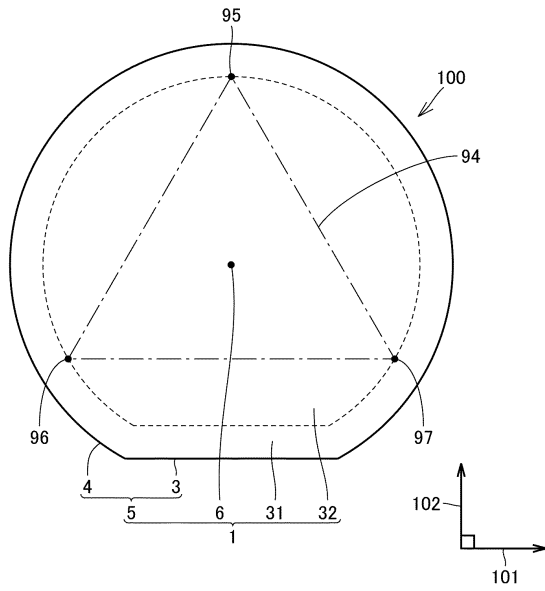
30

40

50

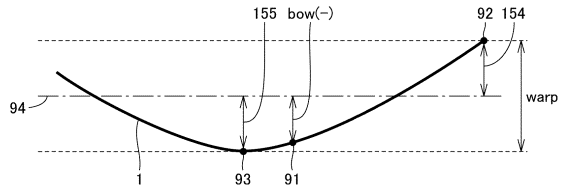
【 図 5 】

FIG.5



【 図 6 】

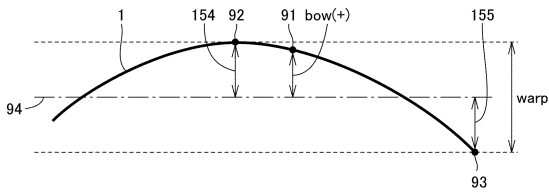
FIG.6



10

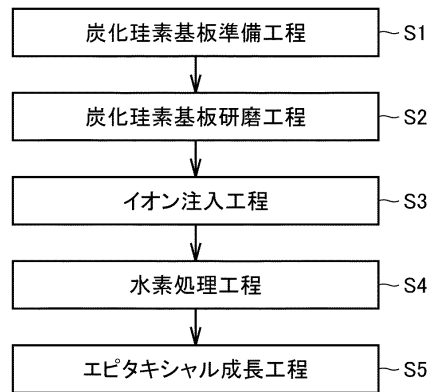
【 図 7 】

FIG.7



【 図 8 】

FIG.8



20

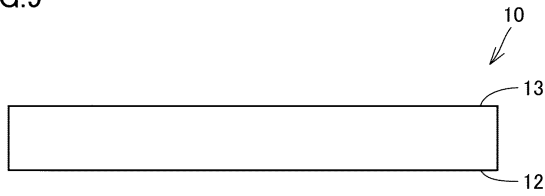
30

40

50

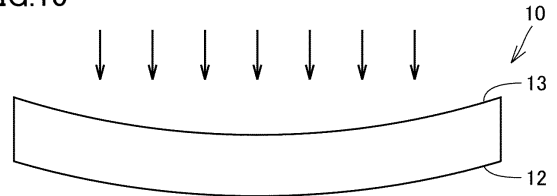
【図9】

FIG.9



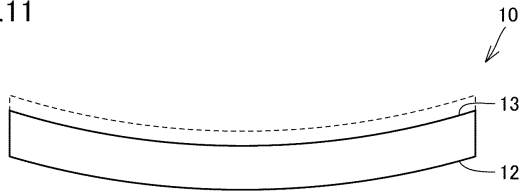
【図10】

FIG.10



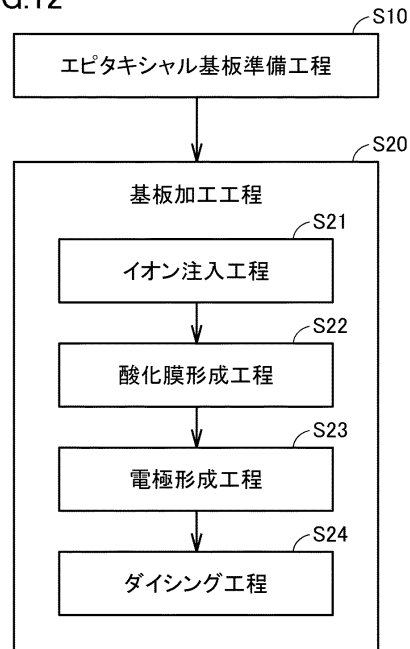
【図11】

FIG.11



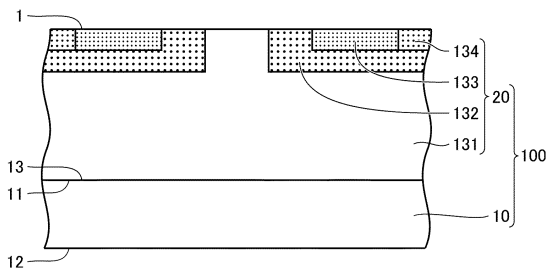
【図12】

FIG.12



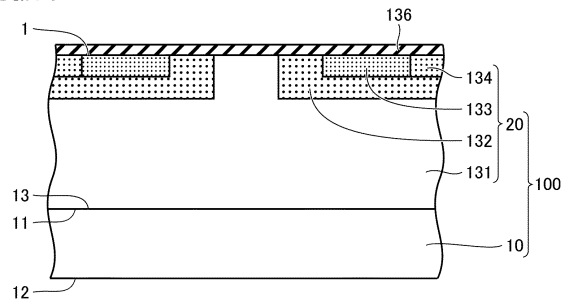
【図13】

FIG.13



【図14】

FIG.14



10

20

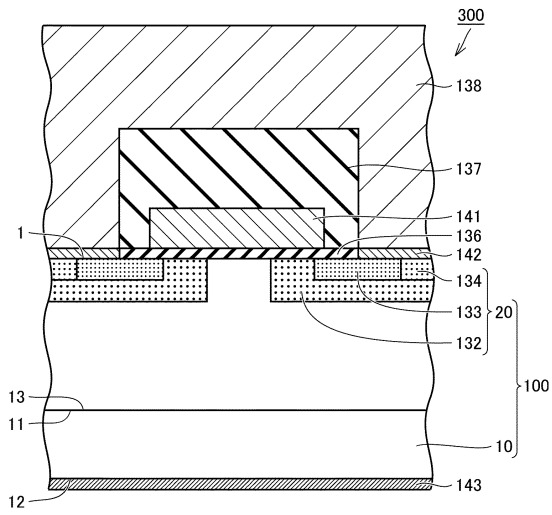
30

40

50

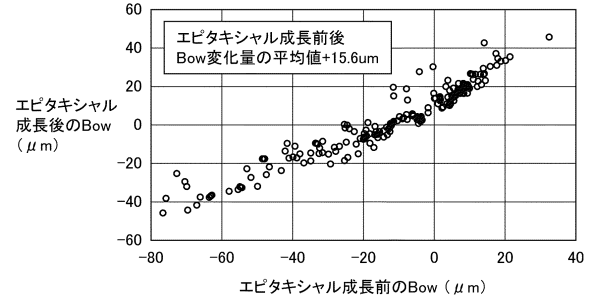
【図15】

FIG.15



【図16】

FIG.16



10

20

30

40

50

フロントページの続き

審査官 和瀬田 芳正

- (56)参考文献 特開 2018 - 52749 (JP, A)
国際公開第 2009 / 035095 (WO, A1)
特開 2017 - 108179 (JP, A)
特開 2018 - 162178 (JP, A)
- (58)調査した分野 (Int.Cl., DB名)
C30B 29 / 36
C30B 25 / 20