

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第6798293号
(P6798293)

(45) 発行日 令和2年12月9日(2020.12.9)

(24) 登録日 令和2年11月24日(2020.11.24)

(51) Int.Cl.	F I
C 3 O B 29/36 (2006.01)	C 3 O B 29/36 A
H O 1 L 29/12 (2006.01)	H O 1 L 29/78 6 5 2 T
H O 1 L 29/78 (2006.01)	H O 1 L 29/78 6 5 2 G
H O 1 L 21/336 (2006.01)	H O 1 L 29/78 6 5 2 L
H O 1 L 29/161 (2006.01)	H O 1 L 29/78 6 5 8 E
請求項の数 6 (全 19 頁) 最終頁に続く	

(21) 出願番号	特願2016-238507 (P2016-238507)	(73) 特許権者	000002130
(22) 出願日	平成28年12月8日(2016.12.8)		住友電気工業株式会社
(62) 分割の表示	特願2016-560603 (P2016-560603) の分割		大阪府大阪市中央区北浜四丁目5番33号
原出願日	平成28年7月4日(2016.7.4)	(74) 代理人	110001195 特許業務法人深見特許事務所
(65) 公開番号	特開2017-71551 (P2017-71551A)	(72) 発明者	西口 太郎
(43) 公開日	平成29年4月13日(2017.4.13)		兵庫県伊丹市昆陽北一丁目1番1号 住友
審査請求日	令和1年5月29日(2019.5.29)		電気工業株式会社 伊丹製作所内
(31) 優先権主張番号	特願2015-199565 (P2015-199565)	(72) 発明者	平塚 健二
(32) 優先日	平成27年10月7日(2015.10.7)		兵庫県伊丹市昆陽北一丁目1番1号 住友
(33) 優先権主張国・地域又は機関	日本国(JP)		電気工業株式会社 伊丹製作所内
		審査官	手島 理
			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】

第1主面を有する炭化珪素単結晶基板と、
前記第1主面上の炭化珪素層とを備え、
前記炭化珪素層は、前記炭化珪素単結晶基板と接する面と反対側の第2主面を含み、
前記第2主面は、{0001}面がオフ方向に傾斜した面であり、
前記第2主面の最大径は、100mm以上であり、
前記第2主面は、前記第2主面の外縁から3mm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、

前記中央領域には、前記オフ方向に対して垂直な直線に沿って並ぶ第1ハーフループの第1転位列があり、

前記第1ハーフループは、前記第2主面に露出する一対の貫通刃状転位を含み、
前記中央領域における前記第1転位列の面密度は、8本/cm²以下であり、
前記中央領域には、前記オフ方向に対して傾斜する直線に沿って並ぶ第2ハーフループの第2転位列があり、

前記第2ハーフループは、前記第2主面に露出する一対の貫通刃状転位を含み、
前記中央領域において、前記第1転位列の面密度は、前記第2転位列の面密度よりも低い、炭化珪素エピタキシャル基板。

【請求項2】

前記最大径は、150mm以上である、請求項1に記載の炭化珪素エピタキシャル基板

10

20

。

【請求項 3】

前記オフ方向は、 $\langle 11 - 20 \rangle$ 方向である、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 主面は、 (0001) 面が 4° 以下傾斜した面である、請求項 1 ~ 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 主面は、 $(000-1)$ 面が 4° 以下傾斜した面である、請求項 1 ~ 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。

10

【請求項 6】

請求項 1 ~ 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。

【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、2015 年 10 月 7 日に提出した日本特許出願である特願 2015 - 199565 号に基づく優先権を主張し、当該日本特許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。

20

【背景技術】

【0002】

国際公開第 2009 / 035095 号（特許文献 1）には、エピタキシャル成長中に発生する転位列を有するエピタキシャル基板が開示されている。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0003】

【特許文献 1】国際公開第 2009 / 035095 号

30

【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、炭化珪素単結晶基板と、炭化珪素層とを備える。炭化珪素単結晶基板は、第 1 主面を有する。炭化珪素層は、第 1 主面上にある。炭化珪素層は、炭化珪素単結晶基板と接する面と反対側の第 2 主面を含む。第 2 主面は、 $\{0001\}$ 面がオフ方向に傾斜した面である。第 2 主面の最大径は、100 mm 以上である。第 2 主面は、第 2 主面の外縁から 3 mm 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する。中央領域には、オフ方向に対して垂直な直線に沿って並ぶ第 1 ハーフループの第 1 転位列がある。第 1 ハーフループは、第 2 主面に露出する一対の貫通刃状転位を含む。中央領域における第 1 転位列の面密度は、10 本 / cm^2 以下である。

40

【0005】

本開示に係る炭化珪素エピタキシャル基板は、炭化珪素単結晶基板と、炭化珪素層とを備える。炭化珪素単結晶基板は、第 1 主面を有する。炭化珪素層は、第 1 主面上にある。炭化珪素層は、炭化珪素単結晶基板と接する面と反対側の第 2 主面を含む。第 2 主面は、 (0001) 面が $\langle 11 - 20 \rangle$ 方向に 4° 以下傾斜した面である。第 2 主面の最大径は、150 mm 以上である。第 2 主面は、第 2 主面の外縁から 3 mm 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する。中央領域には、 $\langle 11 - 20 \rangle$ 方向に対して垂直な直線に沿って並ぶハーフループの転位列がある。ハーフループは、第 2 主面に露出する一対の貫通刃状転位を含む。中央領域における転位列の面密度は、10 本 / cm^2 以下である。

50

【図面の簡単な説明】**【 0 0 0 6 】**

【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 I I - I I 線に沿った矢視断面模式図である。

【図 3】図 3 は、図 1 の領域 I I I における斜視模式図である。

【図 4】図 4 は、図 1 の領域 I I I における平面模式図である。

【図 5】図 5 は、図 1 の領域 I I I における断面模式図である。

【図 6】図 6 は、図 1 の領域 V I における斜視模式図である。

【図 7】図 7 は、図 1 の領域 V I における平面模式図である。

【図 8】図 8 は、図 1 の領域 V I における断面模式図である。

【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装置の構成を示す一部断面模式図である。

【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第 1 工程を示す平面模式図である。

【図 11】図 11 は、図 10 の X I - X I 線に沿った矢視断面模式図である。

【図 12】図 12 は、本実施形態に係る炭化珪素エピタキシャル基板の製造方法における温度と時間との関係を示す図である。

【図 13】図 13 は、成長工程の第 0 時点における図 10 の領域 X I I I 上の基底面転位の構成を示す斜視模式図である。

【図 14】図 14 は、成長工程の第 1 時点における図 10 の領域 X I I I 上の基底面転位の構成を示す斜視模式図である。

【図 15】図 15 は、成長工程の第 3 時点における図 10 の領域 X I I I 上の基底面転位の構成を示す斜視模式図である。

【図 16】図 16 は、冷却工程における図 10 の領域 X I I I 上の基底面転位および第 1 ハーフループの構成を示す斜視模式図である。

【図 17】図 17 は、成長工程の第 0 時点における図 10 の領域 X V I I 上の基底面転位の構成を示す斜視模式図である。

【図 18】図 18 は、成長工程の第 1 時点における図 10 の領域 X V I I 上の基底面転位および第 2 ハーフループの構成を示す斜視模式図である。

【図 19】図 19 は、成長工程の第 2 時点における図 10 の領域 X V I I 上の基底面転位および第 2 ハーフループの構成を示す斜視模式図である。

【図 20】図 20 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における圧力と時間との関係を示す図である。

【図 21】図 21 は、本実施形態に係る炭化珪素半導体装置の製造方法を示すフロー図である。

【図 22】図 22 は、本実施形態に係る炭化珪素半導体装置の製造方法の第 1 工程を示す断面模式図である。

【図 23】図 23 は、本実施形態に係る炭化珪素半導体装置の製造方法の第 2 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製造方法の第 3 工程を示す断面模式図である。

【発明を実施するための形態】**【 0 0 0 7 】**

[本開示が解決しようとする課題]

本開示の目的は、オフ方向に対して垂直な直線に沿って並ぶハーフループの転位列を低減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。

【 0 0 0 8 】

[本開示の効果]

10

20

30

40

50

本開示によれば、オフ方向に対して垂直な直線に沿って並ぶハーフループの転位列を低減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。

【0009】

[本開示の実施形態の概要]

(1) 本開示に係る炭化珪素エピタキシャル基板 100 は、炭化珪素単結晶基板 10 と、炭化珪素層 20 とを備える。炭化珪素単結晶基板 10 は、第 1 主面 11 を有する。炭化珪素層 20 は、第 1 主面 11 上にある。炭化珪素層 20 は、炭化珪素単結晶基板 10 と接する面 14 と反対側の第 2 主面 30 を含む。第 2 主面 30 は、{ 0001 } 面がオフ方向に傾斜した面である。第 2 主面 30 の最大径 111 は、100 mm 以上である。第 2 主面 30 は、第 2 主面 30 の外縁 54 から 3 mm 以内の外周領域 52 と、外周領域 52 に取り囲まれた中央領域 53 とを有する。中央領域 53 には、オフ方向に対して垂直な直線に沿って並ぶ第 1 ハーフループ 1 の第 1 転位列 2 がある。第 1 ハーフループ 1 は、第 2 主面 30 に露出する一対の貫通刃状転位を含む。中央領域 53 における第 1 転位列 2 の面密度は、10 本 / cm^2 以下である。

10

【0010】

通常、炭化珪素エピタキシャル基板には、貫通刃状転位の転位列が存在している。当該転位列は、半導体装置の耐圧の低下、リーク電流の増大および半導体装置の信頼性の低下等の原因となる。そのため、当該転位列の低減が求められている。発明者らは、貫通刃状転位の転位列を低減する方策について鋭意検討した結果、以下の知見を得て本開示の一態様を見出した。

20

【0011】

貫通刃状転位の転位列は、主に 3 種類に分類されると考えられる。第 1 種類目の転位列は、炭化珪素単結晶基板からエピタキシャル成長により形成される炭化珪素層に引き継がれる転位列である。第 2 種類目の転位列は、炭化珪素層のエピタキシャル成長の途中で発生する転位列である。当該転位列を構成する複数のハーフループの各々の深さは、当該ハーフループが発生した時点における炭化珪素層の厚みにより決定される。そのため、当該転位列を構成する複数のハーフループの各々の深さは異なっている。また複数のハーフループの各々が並ぶ方向（即ち、転位列の長手方向）は、ステップフロー成長方向（オフ方向）の成分を有している。つまり、当該転位列の長手方向は、オフ方向に対して垂直ではない。第 3 種類目の転位列は、炭化珪素層のエピタキシャル成長の終了後に発生する転位列である。当該転位列は、エピタキシャル成長終了後に、炭化珪素層中の基底面転位がオフ方向に対して垂直な方向にスライドすることによって形成されと考えられる。そのため、当該転位列の長手方向は、オフ方向に対して垂直である。また当該転位列を構成する複数のハーフループの各々の深さはほぼ同じである。

30

【0012】

発明者らは、特に第 3 種類目の転位列の発生を抑制することに着目した。基底面転位は、炭化珪素層内の応力を緩和するようにオフ方向に対して垂直な方向にスライドすることにより、炭化珪素層内にハーフループが形成されと考えられる。また炭化珪素層内の応力は、主に炭化珪素エピタキシャル基板を冷却する工程において発生していると考えられる。以上の知見に基づき、発明者らは、炭化珪素エピタキシャル基板を冷却する工程において、炭化珪素エピタキシャル基板の冷却速度を後述の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内の応力を緩和し、第 3 種類目の転位列の発生を抑制可能であることを見出した。これにより、オフ方向に対して垂直な直線に沿って並ぶ第 1 ハーフループの第 1 転位列の面密度を低減することができる。

40

【0013】

(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、最大径は、150 mm 以上であってもよい。

【0014】

(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、オ

50

フ方向は、 $\langle 11 - 20 \rangle$ 方向であってもよい。

【0015】

(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において、中央領域53には、オフ方向に対して傾斜する直線に沿って並ぶ第2ハーフループ4の第2転位列5があってもよい。第2ハーフループ4は、第2主面30に露出する一対の貫通刃状転位を含む。中央領域53において、第1転位列2の面密度は、第2転位列5の面密度よりも低くてもよい。

【0016】

(5) 上記(1)～(4)のいずれかに係る炭化珪素エピタキシャル基板100において、第2主面30は、(0001)面が 4° 以下傾斜した面であってもよい。

10

【0017】

(6) 上記(1)～(4)のいずれかに係る炭化珪素エピタキシャル基板100において、第2主面30は、(000-1)面が 4° 以下傾斜した面であってもよい。

【0018】

(7) 本開示に係る炭化珪素エピタキシャル基板100は、炭化珪素単結晶基板10と、炭化珪素層20とを備える。炭化珪素単結晶基板10は、第1主面11を有する。炭化珪素層20は、第1主面11上にある。炭化珪素層20は、炭化珪素単結晶基板10と接する面14と反対側の第2主面30を含む。第2主面30は、(0001)面が $\langle 11 - 20 \rangle$ 方向に 4° 以下傾斜した面である。第2主面30の最大径111は、150mm以上である。第2主面30は、第2主面30の外縁54から3mm以内の外周領域52と、外周領域52に取り囲まれた中央領域53とを有する。中央領域53には、 $\langle 11 - 20 \rangle$ 方向に対して垂直な直線に沿って並ぶハーフループ1の転位列2がある。ハーフループ1は、第2主面30に露出する一対の貫通刃状転位を含む。中央領域53における転位列2の面密度は、10本/cm²以下である。

20

【0019】

(8) 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る。上記(1)～(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。

【0020】

[本開示の実施形態の詳細]

30

以下、本開示の一実施形態(以下「本実施形態」とも記す)について説明する。ただし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)

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、炭化珪素単結晶基板10と、炭化珪素層20とを有している。炭化珪素単結晶基板10は、第1主面11と、第1主面11と反対側の第3主面13とを含む。炭化珪素層20は、炭化珪素単結晶基板10と接する第4主面14と、第4主面14と反対側の第2主面30を含む。炭化珪素エピタキシャル基板100は、第1方向101に延在する第1フラット(図示せず)と、第2方向102に延在する第2フラット(図示せず)を有している。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。

40

【0022】

炭化珪素単結晶基板10(以下「単結晶基板」と略記する場合がある)は、炭化珪素単結晶から構成される。当該炭化珪素単結晶のポリタイプは、たとえば4H-SiCである。4H-SiCは、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優れている。炭化珪素単結晶基板10は、たとえば窒素(N)などのn型不純物を含んでいる。炭化珪素単結晶基板10の導電型は、たとえばn型である。第1主面11は、たとえば{0001}面から 4° 以下傾斜した面である。第1主面11が{0001}面から傾斜している場合、第1主面11の法線の傾斜方向は、たとえば $\langle 11 - 20 \rangle$ 方向である。

50

【0023】

図2に示されるように、炭化珪素層20は、炭化珪素単結晶基板10上に形成されたエピタキシャル層である。炭化珪素層20は、第1主面11上にある。炭化珪素層20は、第1主面11に接している。炭化珪素層20は、たとえば窒素などのn型不純物を含んでいる。炭化珪素層20の導電型は、たとえばn型である。炭化珪素層20が含むn型不純物の濃度は、炭化珪素単結晶基板10が含むn型不純物の濃度よりも低くてもよい。図1に示されるように、第2主面30の最大径111(直径)は、100mm以上である。本実施形態に係る炭化珪素エピタキシャル基板100の最大径111は、150mmである。最大径111は、150mm以上でもよい200mm以上でもよいし、250mm以上でもよい。最大径111の上限は特に限定されない。最大径111の上限は、たとえば300mmであってもよい。

10

【0024】

第2主面30は、{0001}面がオフ方向に傾斜した面である。オフ方向は、たとえば<11-20>方向であってもよいし、<1-100>方向であってもよいし、<11-20>方向と<1-100>方向とに挟まれた方向であってもよい。具体的には、オフ方向は、たとえば[11-20]方向であってもよいし、[1-100]方向であってもよいし、[11-20]方向と[1-100]方向とに挟まれた方向であってもよい。第2主面30は、(0001)面が4°以下傾斜した面であってもよい。第2主面30は、(000-1)面が4°以下傾斜した面であってもよい。{0001}面からの傾斜角(オフ角)は、1°以上であってもよいし、2°以上であってもよい。オフ角は、3°以下

20

【0025】

図1に示されるように、第2主面30は、外周領域52と、外周領域52に取り囲まれた中央領域53とを有する。外周領域52は、第2主面30の外縁54から3mm以内の領域である。言い換えれば、第2主面30の径方向において、外縁54と、外周領域52および中央領域53の境界との距離112は、3mmである。

【0026】

(オフ方向に対して垂直な直線に沿って並ぶハーフループの転位列)

図1および図3に示されるように、中央領域53には、オフ方向に対して垂直な直線に沿って並ぶ第1ハーフループ1の第1転位列2がある。第1転位列2は、複数の第1ハーフループ1から構成されている。オフ方向が第1方向101の場合、オフ方向に対して垂直な方向は第2方向102である。第1ハーフループ1は、第2主面30に露出する一対の貫通刃状転位を含む。中央領域53における第1転位列2の面密度は、10本/cm²以下である。好ましくは、中央領域53における第1転位列2の面密度は、8本/cm²以下であり、より好ましくは5本/cm²以下である。

30

【0027】

次に、転位列の面密度の測定方法について説明する。

まず、溶融KOH(水酸化カリウム)で中央領域53がエッチングされることにより、中央領域53にエッチピットが形成される。溶融KOHの温度は、たとえば515°である。溶融KOHによるエッチング時間は、たとえば8分である。次に、光学顕微鏡を用いて中央領域53に形成されたエッチピットが観察される。中央領域53が、たとえば格子状に1cm×1cmの正方形領域に分割される。全ての正方形領域において転位列の面密度が測定される。中央領域53における第1転位列2の面密度は、10本/cm²以下であるとは、全ての正方形領域において第1転位列2の面密度が10本/cm²以下であることを意味する。なお、中央領域53の外周付近は、ラウンド状であるため正方形の領域に分割できない。転位列の面密度の計算に際して、このような正方形の領域に分割できない領域における面密度は考慮しない。

40

【0028】

図3に示されるように、第1ハーフループ1は、略U字型を有している。第1ハーフループ1の湾曲部は炭化珪素層20内に設けられている。一対の貫通刃状転位の端部3は第

50

2主面30に露出している。第1ハーフloop1の湾曲部は、貫通刃状転位以外の転位であってもよい。炭化珪素エピタキシャル基板100は、基底面転位34を含んでいる。基底面転位34は、第1部分31と、第2部分32と、第3部分33とにより構成されている。第1部分31は、炭化珪素単結晶基板10中に存在する基底面転位である。第2部分32は、炭化珪素単結晶基板10と炭化珪素層20との界面に存在する界面転位である。第3部分33は、炭化珪素層20中に存在する基底面転位である。第1部分31は、第2部分32と繋がっている。第2部分32は、第3部分33と繋がっている。第1部分31は、炭化珪素単結晶基板10の第3主面13に露出する。第3部分33は、炭化珪素層20の第2主面30に露出する。言い換えれば、基底面転位34の一方の端部35は第2主面30に露出し、他方の端部は第3主面13に露出する。

10

【0029】

図3に示されるように、第1転位列2は、第1部分31を、第1部分31の伸展方向に沿って炭化珪素層20側に延長した仮想線37が第2主面30に露出した点36と、基底面転位34の一方の端部35との間に位置してもよい。言い換えれば、第1転位列2が含む複数の第1ハーフloop1の各々は、点36と端部35との間に位置していてもよい。つまり、第2主面30に対して垂直な方向から見て、第1転位列2は、仮想線37と第3部分33との間に位置していてもよい。

【0030】

図4に示されるように、第2方向102において、第1転位列2の長さ123は、たとえば0.1mm以上50mm以下である。第1方向101において、一方の端部3と他方の端部3との距離122は、たとえば1μm以上10μm以下である。第2方向102において、隣り合う2つの第1ハーフloop1の間の距離121は、たとえば1μm以上100μm以下である。距離121は、距離122よりも長くてもよい。2つの端部3は、第1方向101上に位置していてもよい。隣り合う2つの第1ハーフloop1の間隔は、同じであってもよいし、異なってもよい。第2主面30に対して垂直な方向から見て、複数のハーフloop1の各々は、第2方向102に平行な直線と重なっている。第1転位列2の長手方向は、第2方向102である。第1転位列2の長手方向は、界面転位の伸展方向と平行であってもよい。

20

【0031】

図5に示されるように、第2主面30に対して垂直な方向において、複数のハーフloop1の各々の深さは、ほぼ同じであってもよい。第1ハーフloop1の深さとは、第2主面30に対して垂直な方向におけるハーフloopの長さである。第1ハーフloop1の深さは、炭化珪素層20の厚みより小さくてもよい。第1ハーフloop1は、炭化珪素単結晶基板10から離間していてもよい。

30

【0032】

(オフ方向に対して傾斜する直線に沿って並ぶハーフloopの転位列)

図1および図6に示されるように、中央領域53には、オフ方向に対して傾斜する直線に沿って並ぶ第2ハーフloop4の第2転位列5があってもよい。第2転位列5は、複数の第2ハーフloop4から構成されている。第2ハーフloop4は、第1方向101および第2方向102の双方に対して傾斜する直線に平行な第3方向103に沿って並んでいる。第2ハーフloop4は、第2主面30に露出する一対の貫通刃状転位を含む。中央領域53において、第1転位列2の面密度は、第2転位列5の面密度よりも低くてもよい。中央領域53における第2転位列5の面密度は、10本/cm²よりも高くてもよい。第1転位列2は、外周領域52の近くに多く存在し、第2転位列5は、中央領域53の中心付近に多く存在する傾向がある。

40

【0033】

図6に示されるように、第2ハーフloop4は、略U字型を有している。第2ハーフloop4の湾曲部は炭化珪素層20内に設けられており、一対の貫通刃状転位の端部6が第2主面30に露出している。第2ハーフloop4の湾曲部は、貫通刃状転位以外の転位であってもよい。炭化珪素エピタキシャル基板100は、基底面転位44を含んでいる。基

50

底面転位 4 4 は、第 4 部分 4 1 と、第 5 部分 4 2 と、第 6 部分 4 3 とにより構成されている。第 4 部分 4 1 は、炭化珪素単結晶基板 1 0 中に存在する基底面転位である。第 5 部分 4 2 は、炭化珪素単結晶基板 1 0 と炭化珪素層 2 0 との界面に存在する界面転位である。第 6 部分 4 3 は、炭化珪素層 2 0 中に存在する基底面転位である。第 4 部分 4 1 は、第 5 部分 4 2 と繋がっている。第 5 部分 4 2 は、第 6 部分 4 3 と繋がっている。第 4 部分 4 1 は、炭化珪素単結晶基板 1 0 の第 3 主面 1 3 に露出する。第 6 部分 4 3 は、炭化珪素層 2 0 の第 2 主面 3 0 に露出する。言い換えれば、基底面転位 4 4 の一方の端部 4 5 は第 2 主面 3 0 に露出し、他方の端部は第 3 主面 1 3 に露出する。第 2 主面 3 0 に対して垂直な方向から見て、第 2 転位列 5 は、第 4 部分 4 1 を、第 4 部分 4 1 の伸展方向に沿って炭化珪素層 2 0 側に延長した仮想線 4 7 と、第 6 部分 4 3 との間に位置していてもよい。言い換えれば、第 2 転位列 5 は、仮想線 4 7 が第 2 主面 3 0 に露出した点 4 6 と、基底面転位 4 4 の一方の端部 4 5 との間に位置していてもよい。

10

【 0 0 3 4 】

図 7 に示されるように、第 3 方向 1 0 3 において、第 2 転位列 5 の長さ 1 2 6 は、たとえば 0 . 1 mm 以上 5 0 mm 以下である。第 3 方向 1 0 3 に対して垂直な方向において、一方の端部 6 と他方の端部 6 と間の距離 1 2 5 は、たとえば 1 μ m 以上 1 0 μ m 以下である。第 3 方向 1 0 3 において、隣り合う 2 つの第 2 ハーフループ 4 の間の距離 1 2 4 は、たとえば 1 μ m 以上 1 0 0 μ m 以下である。距離 1 2 4 は、距離 1 2 5 よりも長くてもよい。2 つの端部 6 は、第 3 方向 1 0 3 方向に対して垂直な直線上に位置していてもよい。第 2 主面 3 0 に対して垂直な方向から見て、複数の第 2 ハーフループ 4 の各々は、第 3 方向 1 0 3 に平行な直線と重なっている。隣り合う 2 つの第 2 ハーフループ間の間隔は、同じであってもよいし、異なってもよい。

20

【 0 0 3 5 】

図 8 に示されるように、第 2 主面 3 0 に対して垂直な方向において、複数の第 2 ハーフループ 4 の各々の深さは、異なってもよい。第 2 ハーフループ 4 の深さとは、第 2 主面 3 0 に対して垂直な方向におけるハーフループの長さである。具体的には、第 2 ハーフループ 4 の深さは、オフ方向に向かって小さくなってもよい。言い換えれば、第 2 主面 3 0 に対して垂直な方向から見て、第 4 部分 4 1 に近い第 2 ハーフループ 4 の深さは、第 6 部分 4 3 に近い第 2 ハーフループ 4 の深さよりも大きい。第 2 ハーフループ 4 の深さは、炭化珪素層 2 0 の厚みより小さくてもよい。第 2 ハーフループ 4 は、炭化珪素単結晶基板 1 0 から離間していてもよい。

30

【 0 0 3 6 】

(成膜装置)

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 の製造方法で使用される製造装置 2 0 0 の構成について説明する。

【 0 0 3 7 】

図 9 に示されるように、製造装置 2 0 0 は、たとえばホットウォール方式の C V D (C h e m i c a l V a p o r D e p o s i t i o n) 装置である。製造装置 2 0 0 は、発熱体 2 0 3、石英管 2 0 4、断熱材 2 0 5、誘導加熱コイル 2 0 6 および予備加熱機構 2 1 1 を主に有する。発熱体 2 0 3 に取り囲まれた空洞は、反応室 2 0 1 である。反応室 2 0 1 には、炭化珪素単結晶基板 1 0 を保持するサセプタプレート 2 1 0 が設けられている。サセプタプレート 2 1 0 は自転可能である。炭化珪素単結晶基板 1 0 は、第 1 主面 1 1 を上にして、サセプタプレート 2 1 0 に載せられる。

40

【 0 0 3 8 】

発熱体 2 0 3 は、たとえば黒鉛製である。誘導加熱コイル 2 0 6 は、石英管 2 0 4 の外周に沿って巻回されている。誘導加熱コイル 2 0 6 に所定の交流電流を供給することにより、発熱体 2 0 3 が誘導加熱される。これにより反応室 2 0 1 が加熱される。

【 0 0 3 9 】

製造装置 2 0 0 は、ガス導入口 2 0 7 およびガス排気口 2 0 8 をさらに有する。ガス排気口 2 0 8 は、図示しない排気ポンプに接続されている。図 9 中の矢印は、ガスの流れを

50

示している。キャリアガス、原料ガスおよびドーピングガスは、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得る。

【0040】

通常、サセプタプレート 210 および単結晶基板 10 は、反応室 201 の軸方向において、略中央に配置されている。図 9 に示されるように、本開示では、サセプタプレート 210 および単結晶基板 10 が、反応室 201 の中央よりも下流側、すなわちガス排気口 208 側に配置されていてもよい。原料ガスが単結晶基板 10 に到達するまでに、原料ガスの分解反応を十分に進行させるためである。これにより単結晶基板 10 の面内において C/Si 比の分布が均一になることが期待される。

10

【0041】

ドーパントガスであるアンモニアガスは、反応室 201 に供給される前に、十分に加熱し、予め熱分解させておくことが望ましい。これにより炭化珪素層 20 において、窒素（ドーパント）密度の面内均一性が向上することが期待できる。図 9 に示されるように、反応室 201 の上流側に予備加熱機構 211 が設けられていてもよい。予備加熱機構 211 において、アンモニアガスを事前に加熱することができる。予備加熱機構 211 は、たとえば 1300 以上に加熱された部屋を備えている。アンモニアガスは、予備加熱機構 211 の内部を通過する際、十分に熱分解され、その後反応室 201 へと供給される。こうした構成により、ガスの流れに大きな乱れを生じさせることなく、アンモニアガスの熱分解を行うことができる。

20

【0042】

（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の製造方法について説明する。

【0043】

まず、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、炭化珪素単結晶基板 10 が準備される（図 10 および図 11 参照）。炭化珪素単結晶基板 10 は、第 1 主面 11 と、第 1 主面 11 と反対側の第 3 主面 13 とを有する。図 11 に示されるように、第 1 主面 11 は、{0001} 面がオフ方向に傾斜した面である。

【0044】

30

具体的には、第 1 主面 11 は、たとえば {0001} 面から 4° 以下傾斜した面である。第 1 主面 11 は、(0001) 面が 4° 以下傾斜した面であってもよいし、(000-1) 面が 4° 以下傾斜した面であってもよい。{0001} 面からの傾斜角（オフ角）は、1° 以上であってもよいし、2° 以上であってもよい。オフ角は、3° 以下であってもよい。オフ方向は、たとえば <11-20> 方向であってもよいし、<1-100> 方向であってもよいし、<11-20> 方向と <1-100> 方向とに挟まれた方向であってもよい。

【0045】

次に、炭化珪素単結晶基板 10 が、前述した製造装置 200 内に配置される。具体的には、炭化珪素単結晶基板 10 は、第 1 主面 11 がサセプタプレート 210 から露出するように、サセプタプレート 210 の凹部に配置される。次に、炭化珪素単結晶基板 10 上に炭化珪素層 20 がエピタキシャル成長によって形成される。たとえば反応室 201 の圧力が大気圧から 1×10^{-6} Pa 程度に低減された後、炭化珪素単結晶基板 10 の昇温が開始される。昇温の途中において、キャリアガスである水素 (H_2) ガスが、反応室 201 に導入される。

40

【0046】

反応室 201 内の温度がたとえば 1600 程度となった後、原料ガスおよびドーピングガスが反応室 201 に導入される。原料ガスは、Si 源ガスおよび C 源ガスを含む。Si 源ガスとして、たとえばシラン (SiH_4) ガスを用いることができる。C 源ガスとして、たとえばプロパン (C_3H_8) ガスを用いることができる。シランガスの流量およびプロ

50

パンガスの流量は、たとえば46 s c c mおよび14 s c c mである。水素に対するシランガスの体積比率は、たとえば0.04%である。原料ガスのC/Si比は、たとえば0.9である。

【0047】

ドーピングガスとして、たとえばアンモニア(NH_3)ガスが用いられる。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。アンモニアガスを用いることにより、キャリア濃度の面内均一性の向上が期待できる。水素ガスに対するアンモニアガスの濃度は、たとえば1 p p mである。アンモニアガスは、反応室201に導入される前に、予備加熱機構211で、予め熱分解させておくことが望ましい。予備加熱機構211により、アンモニアガスは、たとえば1300 以上に加熱される。

10

【0048】

炭化珪素単結晶基板10が1600 程度に加熱された状態で、キャリアガス、原料ガスおよびドーピングガスが反応室201に導入されることで、炭化珪素単結晶基板10上に炭化珪素層20がエピタキシャル成長により形成される。炭化珪素層20がエピタキシャル成長している間、サセプタプレート210は回転軸212(図9参照)の周りを回転している。サセプタプレート210の平均回転数は、たとえば20 r p mである。以上により、炭化珪素単結晶基板10上に炭化珪素層20がエピタキシャル成長によって形成される。

【0049】

図12に示されるように、炭化珪素層20の成長工程において、炭化珪素単結晶基板10の温度が、第0時点(T_0)から第3時点(T_3)まで第1温度(A_1)に維持される。第1温度(A_1)は、たとえば、1600 である、第0時点(T_0)は、反応室201に対する原料ガスおよびドーピングガスの導入が開始された時点である。第0時点(T_0)において、炭化珪素単結晶基板10上に炭化珪素層20の形成が実質的に開始される。第3時点(T_3)は、反応室201に対する原料ガスおよびドーピングガスの導入が終了した時点である。第3時点(T_3)において、炭化珪素単結晶基板10上に炭化珪素層20の形成が実質的に終了する。好ましくは、炭化珪素層20の成長工程において、炭化珪素単結晶基板10の面内方向の温度が均一に維持される。具体的には、第0時点(T_0)から第3時点(T_3)までの間、炭化珪素単結晶基板10の第1主面11における最高温度と最低温度との差が10 以下に維持される。

20

30

【0050】

次に、炭化珪素単結晶基板10のある領域X I I I上における炭化珪素層20の部分の成長工程について詳細に説明する。

【0051】

図10および図13に示されるように、第0時点(T_0)において、炭化珪素単結晶基板10内のある領域X I I Iには、{0001}面上に伸展する基底面転位34が存在している。基底面転位34の一方の端部は、第1主面11に露出し、他方の端部は第3主面13に露出している。基底面転位34は、オフ方向である第1方向101に沿って伸展している。

【0052】

40

図14に示されるように、第1時点(T_1)において、炭化珪素層20の一部が炭化珪素単結晶基板10上に形成される。基底面転位34は、炭化珪素単結晶基板10から炭化珪素層20に伝播する。基底面転位34は、第1方向101に沿って炭化珪素層20中を伸展する。基底面転位34の一方の端部は、炭化珪素層20の表面に露出し、他方の端部は第3主面13に露出している。

【0053】

図15に示されるように、基底面転位34は、炭化珪素層20の成長に伴って、炭化珪素層20中をさらに伸展する。第1時点(T_1)よりも後の第3時点(T_3)において、基底面転位34の一方の端部は炭化珪素層20の第2主面30に露出し、他方の端部は炭化珪素単結晶基板10の第3主面13に露出している。以上により、炭化珪素層20の形

50

成が実質的に完了する。

【 0 0 5 4 】

次に、炭化珪素エピタキシャル基板 1 0 0 の冷却工程について説明する。

図 1 2 に示されるように、成長工程終了後、冷却工程が実施される。第 3 時点 (T 3) から第 7 時点 (T 7) までは冷却工程である。冷却工程において、炭化珪素単結晶基板 1 0 と炭化珪素層 2 0 とを含む炭化珪素エピタキシャル基板 1 0 0 が冷却される。たとえば、第 3 時点 (T 3) から第 6 時点 (T 6) にかけて、炭化珪素エピタキシャル基板 1 0 0 の温度は、第 1 温度 (A 1) から第 2 温度 (A 2) まで低下する。第 3 時点 (T 3) から第 6 時点 (T 6) までの時間は、たとえば 6 0 分である。第 1 温度 (A 1) は、たとえば 1 6 0 0 であり、第 2 温度 (A 2) は、たとえば 1 0 0 である。つまり、炭化珪素エ
10
ピタキシャル基板 1 0 0 の冷却速度は、たとえば $(1 6 0 0 - 1 0 0) / 1 \text{ h} = 1 5 0 0 / \text{h}$ である。第 1 温度 (A 1) から第 2 温度 (A 2) までの冷却速度は、 $1 5 0 0 / \text{h}$ 以下であってもよいし、 $1 3 0 0 / \text{h}$ 以下であってもよいし、 $1 0 0 0 / \text{h}$ 以下であってもよい。

【 0 0 5 5 】

図 1 6 に示されるように、冷却工程において、炭化珪素層 2 0 中に第 1 ハーフループ 1 から構成される第 1 転位列 2 が形成される場合がある。第 1 転位列 2 は、炭化珪素層 2 0 中の基底面転位の第 3 部分 3 3 が、オフ方向とは垂直な第 2 方向 1 0 2 にスライドすることにより発生すると考えられる。成長工程における基底面転位 3 4 (図 1 5 参照) は、冷却工程において第 1 部分 3 1 と第 2 部分 3 2 と第 3 部分 3 3 とにより構成される基底面転
20
位 3 4 (図 1 6) に変化するとともに、複数の第 1 ハーフループ 1 を形成する。言い換えれば、第 1 ハーフループ 1 は基底面転位 3 4 に起因して発生する。

【 0 0 5 6 】

好ましくは、炭化珪素エピタキシャル基板 1 0 0 の冷却工程において、炭化珪素エピタキシャル基板 1 0 0 の面内方向の温度が均一に維持される。具体的には、第 3 時点 (T 3) から第 6 時点 (T 6) までの間、炭化珪素エピタキシャル基板 1 0 0 の第 2 主面 3 0 における最高温度と最低温度との差が 1 0 以下に維持される。以上のように、冷却工程における炭化珪素エピタキシャル基板 1 0 0 の冷却速度を低くすることにより、炭化珪素エ
30
ピタキシャル基板 1 0 0 の面内方向の温度の均一性を向上することができる。結果として、炭化珪素エピタキシャル基板 1 0 0 内の応力を緩和することで、オフ方向に対して垂直な直線に沿って並ぶ第 1 ハーフループ 1 の第 1 転位列 2 の発生を抑制することができる。

【 0 0 5 7 】

次に、第 5 時点 (T 5) から第 6 時点 (T 6) にかけて、炭化珪素エピタキシャル基板 1 0 0 の温度は、第 2 温度 (A 2) から第 3 温度 (A 3) まで低下する。第 3 温度 (A 3) は、たとえば室温である。炭化珪素エピタキシャル基板 1 0 0 の温度が室温付近になった後、炭化珪素エピタキシャル基板 1 0 0 が反応室 2 0 1 から取り出される。以上のようにして、炭化珪素エピタキシャル基板 1 0 0 が完成する (図 1 参照) 。

【 0 0 5 8 】

図 2 0 に示されるように、冷却工程において、反応室 2 0 1 内の圧力が低減されてもよい。たとえば、第 3 時点 (T 3) から第 4 時点 (T 4) にかけて、反応室 2 0 1 内の圧力は、第 1 圧力 (B 1) から第 2 圧力 (B 2) まで低下する。第 1 圧力 (B 1) は、たとえば $1 0 0 \text{ mbar} (1 0 \text{ kPa})$ であり、第 2 圧力 (B 2) は、たとえば $1 0 \text{ mbar} (1 \text{ kPa})$ である。第 3 時点 (T 3) から第 4 時点 (T 4) までの時間は、たとえば 1 0 分である。つまり、反応室 2 0 1 内の圧力の低下速度は、 $(1 0 - 1) \text{ kPa} / 1 0 \text{ 分} = 0 . 9 \text{ kPa} / \text{分}$ である。反応室 2 0 1 内の圧力の低減速度は、 $0 . 9 \text{ kPa} / \text{分}$ 以上であ
40
ってもよし、 $1 . 2 \text{ kPa} / \text{分}$ 以上であってもよいし、 $1 . 5 \text{ kPa} / \text{分}$ 以上であってもよい。冷却工程において反応室 2 0 1 の圧力を急速に低減することにより、反応室 2 0 1 内を外部から断熱し、炭化珪素エピタキシャル基板 1 0 0 の冷却速度を低減することができる。

【 0 0 5 9 】

反応室 201 内の圧力は、たとえばキャリアガスの流量を低減することにより低減し得る。たとえば、成長工程におけるキャリアガスの流量が 120 s l m であり、冷却工程におけるキャリアガスの流量が 12 s l m であってもよい。成長工程において、反応室 201 にはキャリアガス、ドーパントガスおよび原料ガスが供給されている。冷却工程において、反応室 201 にはキャリアガスのみが供給されていてもよい。キャリアガスの流量は、成長工程終了直後に低減されてもよいし、冷却工程において成長工程における流量を一定時間維持した後低減されてもよい。

【0060】

次に、炭化珪素単結晶基板 10 のある領域 X V I 上における炭化珪素層 20 の部分の成長工程について詳細に説明する。

10

【0061】

図 10 および図 17 に示されるように、第 0 時点 (T0) において、炭化珪素単結晶基板 10 内のある領域 X V I I には、{0001} 面上に存在する基底面転位 44 が存在していてもよい。基底面転位 44 の一方の端部は、第 1 主面 11 に露出し、他方の端部は第 3 主面 13 に露出している。基底面転位は、オフ方向である第 1 方向 101 に沿って伸展している。

【0062】

図 18 に示されるように、第 1 時点 (T1) において、基底面転位 44 に起因して第 2 ハーフループ 4 が発生する。第 2 ハーフループ 4 の 2 つの端部は、炭化珪素層 20 の表面に露出する。炭化珪素層 20 中を伸展していた基底面転位の第 6 部分 43 は、第 2 方向 (図 18 中の矢印の方向) にシフトする。結果として、基底面転位 44 は、炭化珪素単結晶基板 10 中に位置する第 4 部分 41 と、炭化珪素単結晶基板 10 と炭化珪素層 20 との界面に位置し、かつ第 2 方向に伸展する第 5 部分 42 と、炭化珪素層 20 中に位置する第 6 部分 43 とに転換され、第 2 ハーフループ 4 を発生させる。基底面転位 44 の一方の端部は、炭化珪素層 20 の表面に露出し、他方の端部は第 3 主面 13 に露出している。

20

【0063】

図 19 に示されるように、第 2 時点 (T2) において、基底面転位 44 に起因して、もう一つの第 2 ハーフループ 4 が発生する。もう一つの第 2 ハーフループ 4 は、先に発生した第 2 ハーフループ 4 よりも第 1 方向 101 側であってかつ第 2 方向 102 側に発生する。先に発生した第 2 ハーフループ 4 の深さは、後に発生した第 2 ハーフループ 4 の深さよりも大きい。第 1 時点 (T1) において炭化珪素層 20 中に存在していた基底面転位の第 6 部分 43 は、さらに第 2 方向 (図 19 中の矢印の方向) にシフトする。第 6 部分 43 は、炭化珪素層 20 の表面に露出する。以上のようにして、オフ方向とは傾斜した直線に沿って、複数の第 2 ハーフループ 4 が形成される。時間の経過につれて、第 2 ハーフループ 4 の数は増加する。第 3 時点 (T3) において、オフ方向に対して傾斜する直線に沿って並ぶ第 2 ハーフループ 4 の第 2 転位列 5 が形成される (図 6 参照)。以上のように、第 2 転位列 5 は、炭化珪素層の形成工程 (つまり成長工程) において形成される。言い換えれば、炭化珪素エピタキシャル基板 100 の冷却工程においては、第 2 転位列 5 は、発生することもなく、消滅することもないと考えられる。

30

【0064】

(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。

40

【0065】

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 21) と、基板加工工程 (S20: 図 21) とを主に有する。

【0066】

まず、エピタキシャル基板準備工程 (S10: 図 21) 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 100 が準備される (図 1 参照)。エピタキシャル基板準備工程 (S10: 図 21) は、炭化珪素単結晶基板 10 上にバッファ層 21 を形成する工程を含んでいてもよい。

50

【 0 0 6 7 】

次に、基板加工工程（S 2 0：図 2 1）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。すなわち基板加工ステップは、イオン注入、熱処理、エッチング、酸化膜形成、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。

【 0 0 6 8 】

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（S 2 0：図 2 1）は、イオン注入工程（S 2 1：図 2 1）、酸化膜形成工程（S 2 2：図 2 1）、電極形成工程（S 2 3：図 2 1）およびダイシング工程（S 2 4：図 2 1）を含む。

【 0 0 6 9 】

まず、イオン注入工程（S 2 1：図 2 1）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 2 主面 3 0 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 1 3 2 が形成される。次に、ボディ領域 1 3 2 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 1 3 3 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 1 3 3 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 1 3 4 が形成される（図 2 2 参照）。

【 0 0 7 0 】

炭化珪素層 2 0 において、ボディ領域 1 3 2、ソース領域 1 3 3 およびコンタクト領域 1 3 4 以外の部分は、ドリフト領域 1 3 1 となる。ソース領域 1 3 3 は、ボディ領域 1 3 2 によってドリフト領域 1 3 1 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 1 0 0 を 3 0 0 以上 6 0 0 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 1 0 0 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、炭化珪素層 2 0 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 1 8 0 0 程度でもよい。活性化アニールの時間は、たとえば 3 0 分程度でもよい。

【 0 0 7 1 】

次に、酸化膜形成工程（S 2 2：図 2 1）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 が酸素を含む雰囲気中において加熱されることにより、第 2 主面 3 0 上に酸化膜 1 3 6 が形成される（図 2 3 参照）。酸化膜 1 3 6 は、たとえば二酸化珪素（SiO₂）等から構成される。酸化膜 1 3 6 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 1 3 0 0 程度でもよい。熱酸化処理の時間は、たとえば 3 0 分程度でもよい。

【 0 0 7 2 】

酸化膜 1 3 6 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（N₂O）等の雰囲気中、1 1 0 0 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、1 1 0 0 ~ 1 5 0 0 程度で、1 時間程度、熱処理が行われてもよい。

【 0 0 7 3 】

次に、電極形成工程（S 2 3：図 2 1）が実施される。第 1 電極 1 4 1 は、酸化膜 1 3 6 上に形成される。第 1 電極 1 4 1 は、ゲート電極として機能する。第 1 電極 1 4 1 は、たとえば CVD 法により形成される。第 1 電極 1 4 1 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 1 4 1 は、ソース領域 1 3 3 およびボディ領域 1 3 2 に対面する位置に形成される。

【 0 0 7 4 】

次に、第 1 電極 1 4 1 を覆う層間絶縁膜 1 3 7 が形成される。層間絶縁膜 1 3 7 は、たとえば C V D 法により形成される。層間絶縁膜 1 3 7 は、たとえば二酸化珪素等から構成される。層間絶縁膜 1 3 7 は、第 1 電極 1 4 1 と酸化膜 1 3 6 とに接するように形成される。次に、所定位置の酸化膜 1 3 6 および層間絶縁膜 1 3 7 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 1 3 3 およびコンタクト領域 1 3 4 が、酸化膜 1 3 6 から露出する。

【 0 0 7 5 】

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 1 4 2 が形成される。第 2 電極 1 4 2 はソース電極として機能する。第 2 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。第 2 電極 1 4 2 が形成された後、第 2 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 ~ 1 1 0 0 程度の温度で加熱される。これにより、第 2 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するようになる。次に、第 2 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。

【 0 0 7 6 】

次に、第 3 主面 1 3 に第 3 電極 1 4 3 が形成される。第 3 電極 1 4 3 は、ドレイン電極として機能する。第 3 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 N i S i 等）から構成される。

【 0 0 7 7 】

次に、ダイシング工程（S 2 4：図 2 1）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 2 4 参照）。

【 0 0 7 8 】

上記において、M O S 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 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 i N 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。

【 0 0 7 9 】

今回開示された実施形態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ではなく特許請求の範囲によって示され、特許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 】

【 0 0 8 0 】

1 第 1 ハーフloop (ハーフloop)、2 第 1 転位列 (転位列)、3, 6, 3 5, 4 5 端部、4 第 2 ハーフloop、5 第 2 転位列、1 0 炭化珪素単結晶基板、1 1 第 1 主面、1 3 第 3 主面、1 4 第 4 主面 (面)、2 0 炭化珪素層、2 1 バッファ層、3 0 第 2 主面、3 1 第 1 部分、3 2 第 2 部分、3 3 第 3 部分、3 4, 4 4 基底面転位、3 7, 4 7 仮想線、4 1 第 4 部分、4 2 第 5 部分、4 3 第 6 部分、5 2 外周領域、5 3 中央領域、5 4 外縁、1 0 0 炭化珪素エピタキシャル基板、1 0 1 第 1 方向、1 0 2 第 2 方向、1 0 3 第 3 方向、1 1 1 最大径、1 3 1 ドリフト領域、1 3 2 ボディ領域、1 3 3 ソース領域、1 3 4 コンタクト領域、1 3 6 酸化膜、1 3 7 層間絶縁膜、1 3 8 配線層、1 4 1 第 1 電極、1 4 2 第 2 電極、1 4 3 第 3 電極、2 0 0 製造装置、2 0 1 反応室、2 0 3 発熱体、2 0 4 石英管、2 0 5 断熱材、2 0 6 誘導加熱コイル、2 0 7 ガス導入口、2 0 8 ガス排気口、2 1 0 サセプタプレート、2 1 1 予備加熱機構、2 1 2 回転軸、3 0 0

【 図 1 】

FIG. 1

【圖 2】

FIG.2

[0001]面

30

20

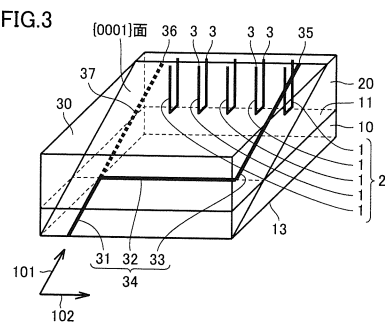
10

11

14

13

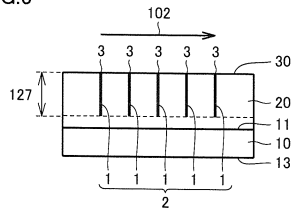
FIG.3



【 図 4 】

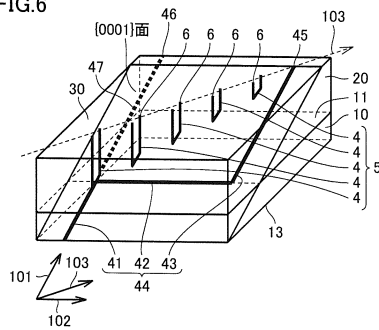
【図 5】

FIG.5



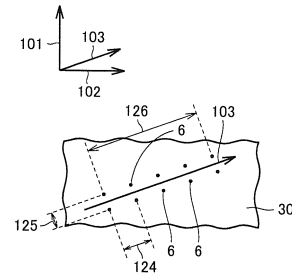
【図 6】

FIG.6



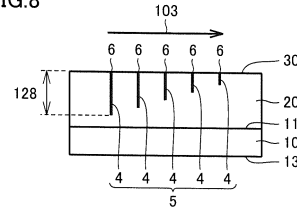
【図 7】

FIG.7



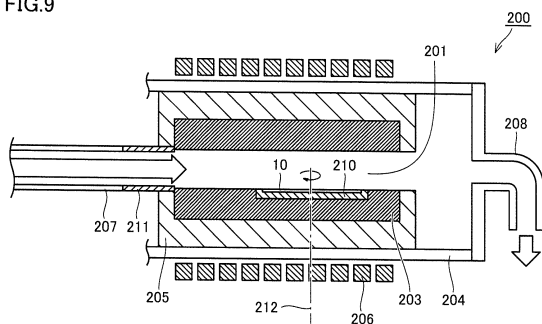
【図 8】

FIG.8



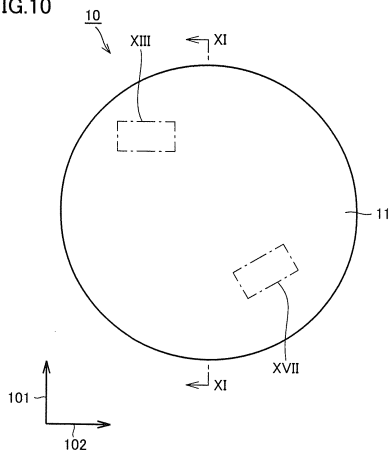
【図 9】

FIG.9



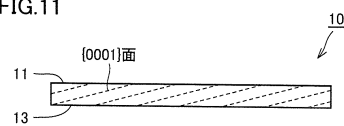
【図 10】

FIG.10



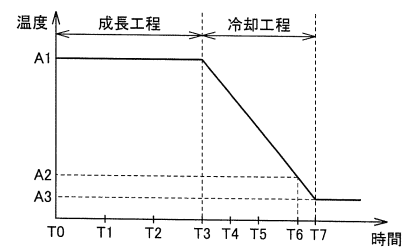
【図 11】

FIG.11



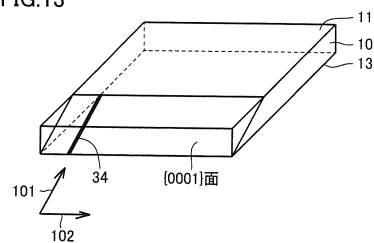
【図 12】

FIG.12



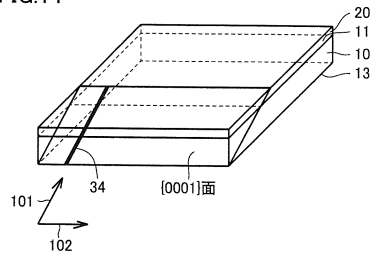
【図 13】

FIG.13



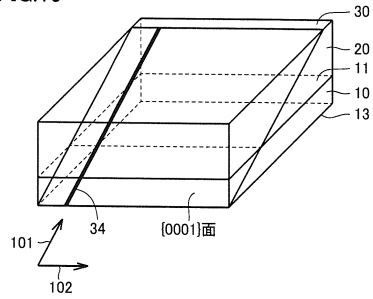
【図 14】

FIG.14



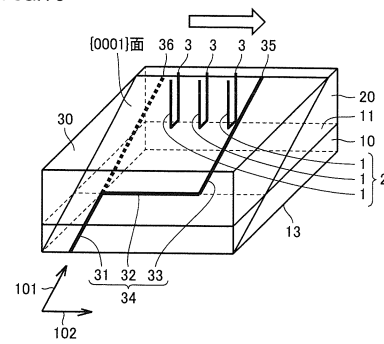
【図 15】

FIG.15



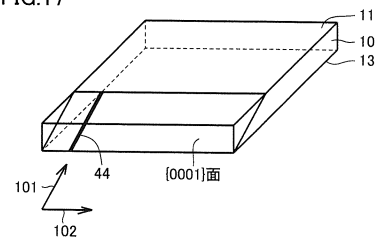
【図 16】

FIG.16



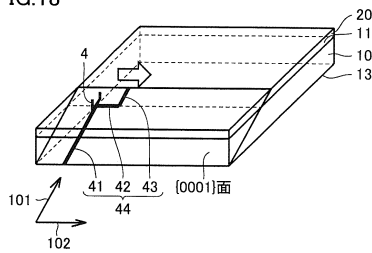
【図 17】

FIG.17



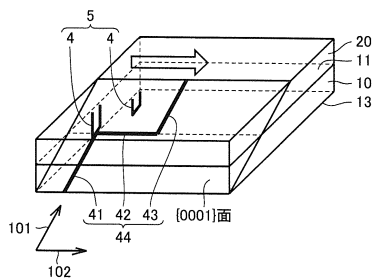
【図 18】

FIG.18



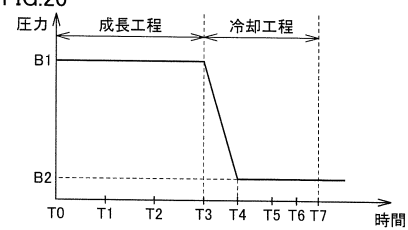
【図 19】

FIG.19



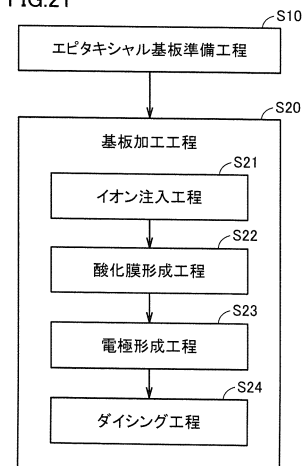
【図 20】

FIG.20

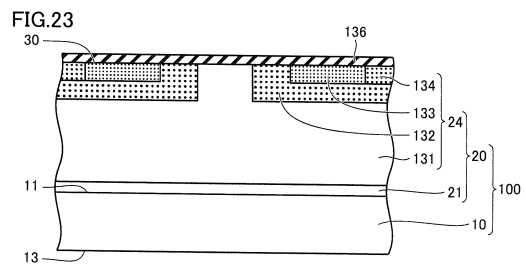
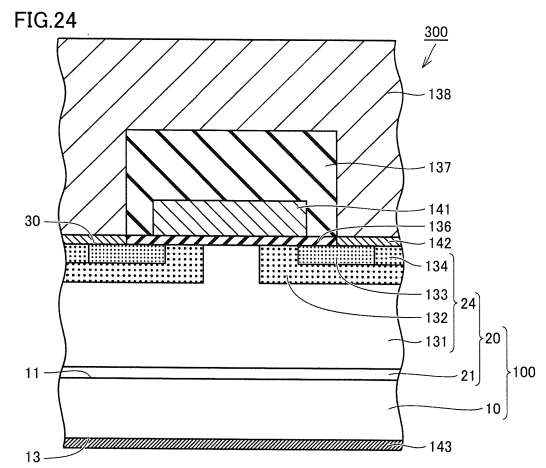


【図 21】

FIG.21



【 図 2 4 】



 フロントページの続き

(51)Int.Cl.		F I	
H 0 1 L 21/20	(2006.01)	H 0 1 L	29/161
H 0 1 L 21/205	(2006.01)	H 0 1 L	21/20
H 0 1 L 21/314	(2006.01)	H 0 1 L	21/205
		H 0 1 L	21/314
			A

(56)参考文献 国際公開第 2 0 0 9 / 0 3 5 0 9 5 (W O , A 1)
 特開 2 0 1 5 - 0 1 3 7 6 1 (J P , A)

(58)調査した分野(Int.Cl. , D B 名)

C 3 0 B	2 9 / 3 6
H 0 1 L	2 1 / 2 0
H 0 1 L	2 1 / 2 0 5
H 0 1 L	2 1 / 3 1 4
H 0 1 L	2 1 / 3 3 6
H 0 1 L	2 9 / 1 2
H 0 1 L	2 9 / 1 6 1
H 0 1 L	2 9 / 7 8