

(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
2024年6月20日(20.06.2024)



(10) 国際公開番号

WO 2024/128015 A1

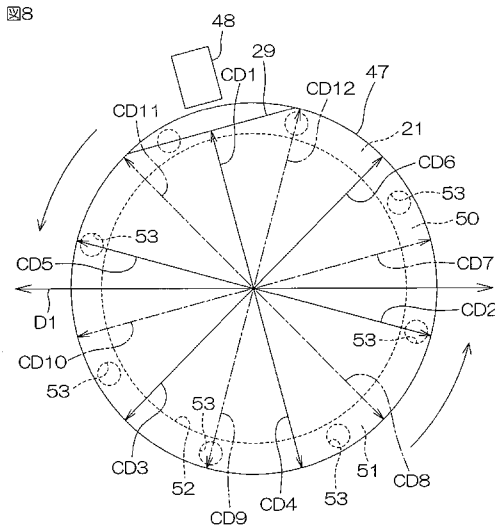
- (51) 国際特許分類:
H01L 21/683 (2006.01) H01L 21/304 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2023/042944
- (22) 国際出願日: 2023年11月30日(30.11.2023)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:
特願 2022-200641 2022年12月15日(15.12.2022) JP
- (71) 出願人: ローム株式会社 (ROHM CO., LTD.)
[JP/JP]; 〒6158585 京都府京都市右京区西院
溝崎町 2 1 番地 Kyoto (JP).
- (72) 発明者: 太田 真吾 (OTA, Shingo); 〒6158585 京
都府京都市右京区西院溝崎町 2 1 番地 ロ
ーム株式会社内 Kyoto (JP).
- (74) 代理人: 弁理士法人 あい 特 許
事 務 所 (AI ASSOCIATION OF PATENT AND
TRADEMARK ATTORNEYS); 〒5410059 大阪

府大阪市中央区博労町三丁目 2 番 8 号 岩
田東急ビル 8 階 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, CV, 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, MG, MK, MN, MU, 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, CV, GH, GM, KE, LR, LS,
MW, MZ, NA, RW, SC, 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,

(54) Title: METHOD FOR MANUFACTURING SEMICONDUCTOR DEVICE AND SHEET MATERIAL REMOVING DEVICE

(54) 発明の名称: 半導体装置の製造方法、およびシート材剥離装置



(57) Abstract: This method for manufacturing a semiconductor device comprises: a sticking step for sticking a sheet material to a first main surface of a wafer which has a hexagonal closest-packing structure and which has formed therein an element structure; a machining step for machining a second main surface opposite to the first main surface; and a removing step for, after the machining step, removing the sheet material from the first main surface in a direction avoiding prescribed crystal directions. The prescribed crystal directions include a [11-20] direction and a [1-100] direction of the wafer, and a crystal direction equivalent to said directions.

(57) 要約: 半導体装置の製造方法は、六方最密充填構造を有するウエハであって、素子構造が形成されたウエハの第 1 主面にシート材を貼付する貼付工程と、第 1 主面の反対側の第 2 主面を加工する加工工程と、加工工程の後、所定の結晶方向を避けた方向に沿ってシート材を第 1 主面から剥離する剥離工程とを含み、所定の結晶方向は、ウエハの [11-20] 方向および [1-100] 方向、ならびにこれらと等価な結晶方向を含む。

IT, LT, LU, LV, MC, ME, 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)）

明 細 書

発明の名称：半導体装置の製造方法、およびシート材剥離装置
関連出願

[0001] 本出願は、2022年12月15日に日本国特許庁に提出された特願2022-200641号に対応しており、この出願の全開示はここに引用により組み込まれるものとする。

技術分野

[0002] 本開示は、半導体装置の製造方法、および当該製造方法に使用可能なシート材剥離装置に関する。

背景技術

[0003] たとえば、特許文献1は、SiC半導体基板およびSiCエピタキシャル層を含む積層構造を有し、SiCエピタキシャル層によって形成された第1主面（素子形成面）、ならびに、SiC半導体基板およびSiCエピタキシャル層によって形成された側面を有するSiC半導体層と、側面においてSiCエピタキシャル層から間隔を空けてSiC半導体基板からなる部分に形成され、SiC半導体基板とは異なる性質に改質された改質ラインとを含む、SiC半導体装置を開示している。

先行技術文献

特許文献

[0004] 特許文献1：特開2022-166265号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0005] シート材の剥離時におけるウエハの破損を抑制することができる、半導体装置の製造方法、および当該製造方法に使用可能なシート材剥離装置を提供する。

課題を解決するための手段

[0006] 本開示の一実施形態に係る半導体装置の製造方法は、六方最密充填構造を有するウエハであって、素子構造が形成された前記ウエハの第1主面にシート材を貼付する貼付工程と、前記第1主面の反対側の第2主面を加工する加工工程と、前記加工工程の後、所定の結晶方向を避けた方向に沿って前記シート材を前記第1主面から剥離する剥離工程とを含み、前記所定の結晶方向は、前記ウエハの $[11-20]$ 方向および $[1-100]$ 方向、ならびにこれらと等価な結晶方向を含む。

[0007] 本開示の一実施形態に係るシート材剥離装置は、前記半導体装置の製造方法に使用されるシート材剥離装置であって、前記シート材が貼付された前記ウエハをセット可能であり、粘着テープを第1方向に沿って移動させることにより、セットされた前記ウエハから前記シート材を前記粘着テープにより剥離する剥離ユニットと、前記剥離ユニット上に前記粘着テープを供給するテープ供給ユニットと、使用済みの前記粘着テープを回収するテープ回収ユニットと、前記所定の結晶方向が前記第1方向に対して傾斜した方向となるように前記ウエハの向きを調整し、前記剥離ユニット上に前記ウエハを供給するウエハ供給ユニットとを含む。

発明の効果

[0008] 本開示の一実施形態に係る半導体装置の製造方法によれば、シート材の剥離時におけるウエハの破損を抑制することができる。

図面の簡単な説明

[0009] [図1]図1は、本開示の実施形態に適用される4H-SiC単結晶の単位セルを示す図である。

[図2]図2は、図1の4H-SiC単結晶の単位セルのシリコン面を示す平面図である。

[図3]図3は、本開示の一実施形態に係る半導体装置の模式的な断面図である。

[図4]図4は、前記半導体装置の製造に使用されるSiC半導体ウエハを示す斜視図である。

[図5A]図 5 A は、本開示の一実施形態に係る半導体装置の製造方法を説明するための図である。

[図5B]図 5 B は、図 5 A の次の工程を示す図である。

[図5C]図 5 C は、図 5 B の次の工程を示す図である。

[図5D]図 5 D は、図 5 C の次の工程を示す図である。

[図5E]図 5 E は、図 5 D の次の工程を示す図である。

[図6]図 6 は、本開示の一実施形態に係るシート材剥離装置の模式的な平面図である。

[図7]図 7 は、本開示の一実施形態に係るシート材剥離装置の模式的な断面図である。

[図8]図 8 は、前記 S i C 半導体ウエハの向きの調整に関連する工程を示す図である。

[図9]図 9 は、前記 S i C 半導体ウエハの向きの調整に関連する工程を示す図である。

発明を実施するための形態

[0010] 以下では、本開示の実施形態を、添付図面を参照して詳細に説明する。

[0011] [S i C 単結晶の結晶構造]

本開示の実施形態では、六方晶（六方最密構造）からなる S i C（炭化シリコン）単結晶が適用される。六方晶からなる S i C 単結晶は、原子配列の周期に応じて、2 H（Hexagonal）－S i C 単結晶、4 H－S i C 単結晶および 6 H－S i C 単結晶を含む複数種のポリタイプを有している。本開示の実施形態では、4 H－S i C 単結晶が適用された例について説明するが、他のポリタイプを本開示から除外するものではない。

[0012] 以下、4 H－S i C 単結晶の結晶構造について説明する。図 1 は、本開示の実施形態に適用される 4 H－S i C 単結晶の単位セル（以下、単に「単位セル」という。）を示す図である。図 2 は、図 1 に示す単位セルのシリコン面を示す平面図である。

[0013] 図 1 および図 2 を参照して、単位セルは、1 つの S i 原子に対して 4 つの

C原子が四面体配列（正四面体配列）の関係で結合された四面体構造を含む。単位セルは、四面体構造が4周期積層された原子配列を有している。単位セルは、正六角形のシリコン面、正六角形のカーボン面、ならびに、シリコン面およびカーボン面を接続する6つの側面を有する六角柱構造を有している。

[0014] シリコン面は、Si原子によって終端された終端面である。シリコン面では、正六角形の6つの頂点に1つのSi原子がそれぞれ位置し、正六角形の中心に1つのSi原子が位置している。

[0015] カーボン面は、C原子によって終端された終端面である。カーボン面では、正六角形の6つの頂点に1つのC原子がそれぞれ位置し、正六角形の中心に1つのC原子が位置している。

[0016] 単位セルの結晶面は、a1軸、a2軸、a3軸およびc軸を含む4つの座標軸（a1, a2, a3, c）によって定義される。4つの座標軸のうちのa3の値は、 $-(a1 + a2)$ の値をとる。以下、六方晶の終端面の一例としてのシリコン面を基準にして、4H-SiC単結晶の結晶面について説明する。

[0017] a1軸、a2軸およびa3軸は、シリコン面をc軸から見た平面視において、中心に位置するSi原子を基準に、最近接するSi原子の配列方向（以下、単に「最近接原子方向」という。）に沿ってそれぞれ設定されている。a1軸、a2軸およびa3軸は、それぞれ、Si原子の配列に倣って120°ずつ角度をずらして設定されている。

[0018] c軸は、中心に位置するSi原子を基準に、シリコン面の法線方向に設定されている。シリコン面は、(0001)面である。カーボン面は、(000-1)面である。

[0019] 六角柱の側面は、シリコン面をc軸から見た平面視において、最近接原子方向に沿う6つの結晶面を含む。六角柱の側面は、より具体的には、シリコン面をc軸から見た平面視において、最近接する2つのSi原子をそれぞれ含む6つの結晶面を含む。

- [0020] 六角柱の側面は、シリコン面をc軸から見た平面視において、a1軸の先端から時計回りに(1-100)面、(0-110)面、(-1010)面、(-1100)面、(01-10)面および(10-10)面を含む。
- [0021] 六角柱の対角線に沿う対角面は、シリコン面をc軸から見た平面視において、最近接原子方向に交差する交差方向に沿う6つの結晶面を含む。六角柱の対角面は、より具体的には、シリコン面をc軸から見た平面視において、最近接しない2つのSi原子をそれぞれ含む6つの結晶面を含む。中心に位置するSi原子を基準に見たとき、最近接原子方向の交差方向は、最近接原子方向に直交する直交方向となる。
- [0022] 六角柱の対角面は、シリコン面をc軸から見た平面視において、(11-20)面、(1-210)面、(-2110)面、(-1-120)面、(-12-10)面および(2-1-10)面を含む。
- [0023] 単位セルの結晶方向は、結晶面の法線方向によって定義される。(1-100)面の法線方向は[1-100]方向である。(0-110)面の法線方向は[0-110]方向である。(-1010)面の法線方向は[-1010]方向である。(-1100)面の法線方向は[-1100]方向である。(01-10)面の法線方向は[01-10]方向である。(10-10)面の法線方向は[10-10]方向である。
- [0024] (11-20)面の法線方向は[11-20]方向である。(1-210)面の法線方向は[1-210]方向である。(-2110)面の法線方向は[-2110]方向である。(-1-120)面の法線方向は[-1-120]方向である。(-12-10)面の法線方向は[-12-10]方向である。(2-1-10)面の法線方向は[2-1-10]方向である。
- [0025] 六方晶は6回対称であり、60°毎に等価な結晶面および等価な結晶方向が存在している。たとえば、(1-100)面、(0-110)面、(-1010)面、(-1100)面、(01-10)面および(10-10)面は、等価な結晶面を形成している。
- [0026] また、[1-100]方向、[0-110]方向、[-1010]方向、

$[-1\ 1\ 0\ 0]$ 方向、 $[0\ 1\ -1\ 0]$ 方向および $[1\ 0\ -1\ 0]$ 方向は、等価な結晶方向を形成している。また、 $[1\ 1\ -2\ 0]$ 方向、 $[1\ -2\ 1\ 0]$ 方向、 $[-2\ 1\ 1\ 0]$ 方向、 $[-1\ -1\ 2\ 0]$ 方向、 $[-1\ 2\ -1\ 0]$ 方向および $[2\ -1\ -1\ 0]$ 方向は、等価な結晶方向を形成している。

[0027] c 軸は、 $[0\ 0\ 0\ 1]$ 方向 ($[0\ 0\ 0\ -1]$ 方向) である。 a_1 軸は、 $[2\ -1\ -1\ 0]$ 方向 ($[-2\ 1\ 1\ 0]$ 方向) である。 a_2 軸は、 $[-1\ 2\ -1\ 0]$ 方向 ($[1\ -2\ 1\ 0]$ 方向) である。 a_3 軸は、 $[-1\ -1\ 2\ 0]$ 方向 ($[1\ 1\ -2\ 0]$ 方向) である。

[0028] $(0\ 0\ 0\ 1)$ 面および $(0\ 0\ 0\ -1)$ 面は、 c 面と総称される。 $[0\ 0\ 0\ 1]$ 方向および $[0\ 0\ 0\ -1]$ 方向は、 c 軸方向と総称される。 $(1\ 1\ -2\ 0)$ 面および $(-1\ -1\ 2\ 0)$ 面は、 a 面と総称される。 $[1\ 1\ -2\ 0]$ 方向および $[-1\ -1\ 2\ 0]$ 方向は、 a 軸方向と総称される。 $(1\ -1\ 0\ 0)$ 面および $(-1\ 1\ 0\ 0)$ 面は、 m 面と総称される。 $[1\ -1\ 0\ 0]$ 方向および $[-1\ 1\ 0\ 0]$ 方向は、 m 軸方向と総称される。

[0029] [半導体装置 1 の構造]

図 3 は、本開示の一実施形態に係る半導体装置 1 の模式的な断面図である。

[0030] 半導体装置 1 は、この形態では SiC 半導体装置であり、 SiC 半導体層 2 を含む。 SiC 半導体層 2 は、六方晶からなる SiC 単結晶の一例としての 4H-SiC 単結晶を含む。 SiC 半導体層 2 は、直方体形状のチップ状に形成されている。

[0031] SiC 半導体層 2 は、一方側の第 1 主面 3 および他方側の第 2 主面 4 を有している。第 1 主面 3 および第 2 主面 4 は、それらの法線方向 Z から見た平面視（以下、単に「平面視」という。）において四角形状（この形態では正形状）に形成されている。

[0032] 第 1 主面 3 は、半導体素子が形成された素子形成面である。 SiC 半導体層 2 の第 2 主面 4 は、研削痕を有する研削面からなる。

[0033] SiC 半導体層 2 の厚さ T_L は、 $50\ \mu\text{m}$ 以上 $350\ \mu\text{m}$ 以下であっても

よい。厚さTLは、 $80\mu\text{m}$ 以上 $350\mu\text{m}$ 以下、 $100\mu\text{m}$ 以上 $350\mu\text{m}$ 以下、 $150\mu\text{m}$ 以上 $350\mu\text{m}$ 以下、 $50\mu\text{m}$ 以上 $300\mu\text{m}$ 以下、 $80\mu\text{m}$ 以上 $300\mu\text{m}$ 以下、 $100\mu\text{m}$ 以上 $300\mu\text{m}$ 以下、 $150\mu\text{m}$ 以上 $300\mu\text{m}$ 以下、 $50\mu\text{m}$ 以上 $250\mu\text{m}$ 以下、 $80\mu\text{m}$ 以上 $250\mu\text{m}$ 以下、 $100\mu\text{m}$ 以上 $250\mu\text{m}$ 以下、 $150\mu\text{m}$ 以上 $250\mu\text{m}$ 以下であってもよい。厚さTLは、 $50\mu\text{m}$ 以上 $350\mu\text{m}$ 以下であることが好ましく、 $50\mu\text{m}$ 以上 $300\mu\text{m}$ 以下であることがさらに好ましい。

[0034] 第1主面3および第2主面4は、この形態では、SiC単結晶のc面に面している。第1主面3は、(0001)面(シリコン面)に面している。第2主面4は、SiC単結晶の(000-1)面(カーボン面)に面している。

[0035] 第1主面3および第2主面4は、SiC単結晶のc面に対して $[11-20]$ 方向に 10° 以下の角度で傾斜したオフ角 θ を有している。法線方向Zは、SiC単結晶のc軸($[0001]$ 方向)に対してオフ角 θ 分だけ傾斜している。

[0036] オフ角 θ は、 0° 以上 5.0° 以下であってもよい。オフ角 θ は、 0° 以上 1.0° 以下、 1.0° 以上 1.5° 以下、 1.5° 以上 2.0° 以下、 2.0° 以上 2.5° 以下、 2.5° 以上 3.0° 以下、 3.0° 以上 3.5° 以下、 3.5° 以上 4.0° 以下、 4.0° 以上 4.5° 以下または 4.5° 以上 5.0° 以下の角度の範囲に設定されてもよい。オフ角 θ は、 0° を超えていることが好ましい。オフ角 θ は、 4.0° 未満であってもよい。

[0037] オフ角 θ は、 3.0° 以上 4.5° 以下の角度の範囲に設定されていてもよい。この場合、オフ角 θ は、 3.0° 以上 3.5° 以下または 3.5° 以上 4.0° 以下の角度の範囲に設定されていることが好ましい。

[0038] オフ角 θ は、 1.5° 以上 3.0° 以下の角度の範囲に設定されていてもよい。この場合、オフ角 θ は、 1.5° 以上 2.0° 以下または 2.0° 以上 2.5° 以下の角度の範囲に設定されていることが好ましい。

- [0039] 第1主面3は、デバイス形成面である。第1主面3は、非実装面である。第2主面4は、実装面である。半導体装置1が接続対象物に実装される場合、SiC半導体層2は、第2主面4を対向させた姿勢で接続対象物に実装される。接続対象物としては、電子部品、リードフレーム、回路基板等が例示される。
- [0040] 第2主面4は、粗面化された粗面化面からなる。第2主面4は、不規則に形成された凹凸（Unevenness）によって粗面化されている。第2主面4の全域が粗面化されていることが好ましい。第2主面4は、研削痕（より具体的にはライン状に延びる研削痕）を有さない粗面化面からなることが特に好ましい。第2主面4は、より具体的には、Si単結晶からなる結晶面である。したがって、第2主面4は、Si単結晶が粗面化された結晶粗面化面からなる。
- [0041] 第2主面4の算術平均粗さRaは、5nm以上であってもよい。第2主面4の算術平均粗さRaは、5nm以上1000nm以下、5nm以上800nm以下、5nm以上600nm以下、5nm以上400nm以下、5nm以上100nm以下であってもよい。第2主面4の算術平均粗さRaは、5nm以上100nm以下であることが好ましい。
- [0042] SiC半導体層2は、この形態では、n⁺型のSiC半導体基板5およびn型のSiCエピタキシャル層6を含む積層構造を有している。SiC半導体基板5によって、SiC半導体層2の第2主面4が形成されている。SiCエピタキシャル層6によって、SiC半導体層2の第1主面3が形成されている。なお、図3では、各構成要素の明瞭化のために、SiC半導体基板5がSiCエピタキシャル層6よりも薄く示されているが、SiC半導体基板5およびSiCエピタキシャル層6の厚さの比率は適宜変更することができる。
- [0043] SiCエピタキシャル層6のn型不純物濃度は、SiC半導体基板5のn型不純物濃度以下である。SiCエピタキシャル層6のn型不純物濃度は、より具体的には、SiC半導体基板5のn型不純物濃度未満である。SiC

半導体基板5のn型不純物濃度は、 $1.0 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 以上 $1.0 \times 10^{21} \text{ cm}^{-3}$ 以下であってもよい。SiCエピタキシャル層6のn型不純物濃度は、 $1.0 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ 以上 $1.0 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 以下であってもよい。

[0044] SiC半導体基板5の厚さTSは、 $40 \mu\text{m}$ 以上 $150 \mu\text{m}$ 以下であってもよい。厚さTSは、 $40 \mu\text{m}$ 以上 $50 \mu\text{m}$ 以下、 $50 \mu\text{m}$ 以上 $60 \mu\text{m}$ 以下、 $60 \mu\text{m}$ 以上 $70 \mu\text{m}$ 以下、 $70 \mu\text{m}$ 以上 $80 \mu\text{m}$ 以下、 $80 \mu\text{m}$ 以上 $90 \mu\text{m}$ 以下、 $90 \mu\text{m}$ 以上 $100 \mu\text{m}$ 以下、 $100 \mu\text{m}$ 以上 $110 \mu\text{m}$ 以下、 $110 \mu\text{m}$ 以上 $120 \mu\text{m}$ 以下、 $120 \mu\text{m}$ 以上 $130 \mu\text{m}$ 以下、 $130 \mu\text{m}$ 以上 $140 \mu\text{m}$ 以下または $140 \mu\text{m}$ 以上 $150 \mu\text{m}$ 以下であってもよい。厚さTSは、 $40 \mu\text{m}$ 以上 $130 \mu\text{m}$ 以下であることが好ましい。SiC半導体基板5の薄化によって、電流経路の短縮による抵抗値の低減を図ることができる。

[0045] SiCエピタキシャル層6の厚さTEは、 $1 \mu\text{m}$ 以上 $50 \mu\text{m}$ 以下であってもよい。厚さTEは、 $1 \mu\text{m}$ 以上 $5 \mu\text{m}$ 以下、 $5 \mu\text{m}$ 以上 $10 \mu\text{m}$ 以下、 $10 \mu\text{m}$ 以上 $15 \mu\text{m}$ 以下、 $15 \mu\text{m}$ 以上 $20 \mu\text{m}$ 以下、 $20 \mu\text{m}$ 以上 $25 \mu\text{m}$ 以下、 $25 \mu\text{m}$ 以上 $30 \mu\text{m}$ 以下、 $30 \mu\text{m}$ 以上 $35 \mu\text{m}$ 以下、 $35 \mu\text{m}$ 以上 $40 \mu\text{m}$ 以下、 $40 \mu\text{m}$ 以上 $45 \mu\text{m}$ 以下または $45 \mu\text{m}$ 以上 $50 \mu\text{m}$ 以下であってもよい。厚さTEは、 $5 \mu\text{m}$ 以上 $15 \mu\text{m}$ 以下であることが好ましい。

[0046] 半導体装置1は、素子構造の一例としてトレンチゲート構造のMOSFETを含む。SiCエピタキシャル層6の第1主面3の表層部には、複数の単位セル7を区画するゲートトレンチ8が形成されている。複数のゲートトレンチ8は、a軸方向に沿って延びるストライプ状に形成されていてもよい。

[0047] 各ゲートトレンチ8の底部は、SiCエピタキシャル層6の厚さ方向途中部に位置している。各ゲートトレンチ8の側面と底部とが交わるエッジ部は、各ゲートトレンチ8の外方へ向かって湾曲する形状に形成されており、各ゲートトレンチ8は断面視U字状に形成されている。各ゲートトレンチ8のエッジ部が湾曲状であれば、当該エッジ部に集中する電界を緩和できる。ゲ

ートトレンチ8の深さは、たとえば、1 μm 以上であってもよい。

[0048] 各ゲートトレンチ8には、ゲート絶縁膜9を介してゲート電極10が埋め込まれている。ゲート電極10は、SiCエピタキシャル層6の第1主面3と面一な表面を有している。ゲート絶縁膜9は、たとえば、シリコン酸化膜、シリコン窒化膜、シリコン酸窒化膜、ハフニウム酸化膜、アルミナ膜、タンタル酸化膜等からなってもよい。また、ゲート電極10は、たとえば、不純物を注入して低抵抗化したポリシリコンからなってもよい。互いに隣り合うゲートトレンチ8間の領域に、単位セル7を構成するp型のボディ領域11が形成されている。

[0049] ボディ領域11の底部は、SiCエピタキシャル層6の厚さ方向に関して、SiCエピタキシャル層6の第1主面3とゲートトレンチ8の底部との間に位置している。SiCエピタキシャル層6の第1主面3に沿う横方向において、ボディ領域11の端部は、ゲートトレンチ8の一部を形成している。つまり、ボディ領域11は、ゲート絶縁膜9を挟んでゲート電極10に対向している。

[0050] この形態では、SiC半導体基板5がn⁺型のドレイン領域12であり、ボディ領域11とドレイン領域12との間の領域がn⁻型のドリフト領域13である。

[0051] ボディ領域11の内方領域には、n型のソース領域14が形成されている。ソース領域14は、SiCエピタキシャル層6の厚さ方向に関して、ボディ領域11よりも浅く形成されている。SiCエピタキシャル層6の第1主面3に沿う横方向において、ソース領域14の端部は、ゲートトレンチ8の一部を形成している。つまり、ソース領域14は、ゲート絶縁膜9を挟んでゲート電極10に対向している。

[0052] SiCエピタキシャル層6の厚さ方向に関して、ゲートトレンチ8の側面に沿うソース領域14の下端とボディ領域11の下端との間の領域がp型のチャネル領域15である。ソース領域14を貫通するようにp⁺型のボディコンタクト領域16が形成されている。

- [0053] ボディコンタクト領域 16 は、ソース領域 14 を貫通して、ソース領域 14 とボディ領域 11 との境界を横切るように形成されている。ボディコンタクト領域 16 は、ボディ領域 11 よりも高い不純物濃度を有している。
- [0054] SiC エピタキシャル層 6 上には、ゲート電極 10 を覆う層間絶縁膜 17 が形成されている。層間絶縁膜 17 の厚さは、たとえば、 $0.2\ \mu\text{m}$ 以上 $2.0\ \mu\text{m}$ 以下であってもよい。層間絶縁膜 17 には、ソース領域 14 の一部およびボディコンタクト領域 16 を選択的に露出させるコンタクト孔 18 が形成されている。層間絶縁膜 17 上には、ソース電極 19 が形成されている。ソース電極 19 は、たとえば、純 Al 層（純度が 99% 以上の Al 層）、Cu 層（純度が 99% 以上の Cu 層）、AlCu 合金層、AlSiCu 合金層および AlSi 合金層のうちの少なくとも 1 種を含んでいてもよい。
- [0055] ソース電極 19 は、コンタクト孔 18 内において、ボディ領域 11、ソース領域 14 の一部およびボディコンタクト領域 16 との間でオーミックコンタクトを形成している。一方、SiC 半導体基板 5 の第 2 主面 4 には、ドレイン電極 20 が形成されている。ドレイン電極 20 は、ドレイン領域 12 との間でオーミックコンタクトを形成している。ドレイン電極 20 は、たとえば、純 Al 層（純度が 99% 以上の Al 層）、Cu 層（純度が 99% 以上の Cu 層）、AlCu 合金層、AlSiCu 合金層および AlSi 合金層のうちの少なくとも 1 種を含んでいてもよい。
- [0056] [半導体装置 1 の製造方法]
- 図 4 は、半導体装置 1 の製造に使用される SiC 半導体ウエハ 21 を示す斜視図である。図 5 A ~ 図 5 E は、半導体装置 1 の製造工程の一部を工程順に示す図である。
- [0057] SiC 半導体ウエハ 21 は、SiC 半導体基板 5 のベースとなる部材である。SiC 半導体ウエハ 21 は、六方晶からなる SiC 単結晶の一例としての 4H-SiC 単結晶を含む。SiC 半導体ウエハ 21 は、この形態では、SiC 半導体基板 5 の n 型不純物濃度に対応した n 型不純物濃度を有している。

- [0058] SiC半導体ウエハ21は板状または盤状に形成されている。SiC半導体ウエハ21は、円盤状に形成されていてもよい。SiC半導体ウエハ21は、一方側の第1ウエハ主面22、他方側の第2ウエハ主面23、ならびに、第1ウエハ主面22および第2ウエハ主面23を接続するウエハ側面24を有している。
- [0059] SiC半導体ウエハ21の厚さTWは、SiC半導体基板5の厚さTS（図3参照）を超えている（ $TS < TW$ ）。SiC半導体ウエハ21の厚さTWは、研削によってSiC半導体基板5の厚さTSに合わせ込まれる。
- [0060] 厚さTWは、 $150\mu m$ を超えて $750\mu m$ 以下であってもよい。厚さTWは、 $150\mu m$ を超えて $300\mu m$ 以下、 $300\mu m$ 以上 $450\mu m$ 以下、 $450\mu m$ 以上 $600\mu m$ 以下または $600\mu m$ 以上 $750\mu m$ 以下であってもよい。SiC半導体ウエハ21の研削時間を鑑みると、厚さTWは、 $150\mu m$ を超えて $500\mu m$ 以下であることが好ましい。厚さTWは、典型的には、 $300\mu m$ 以上 $450\mu m$ 以下である。
- [0061] 第1ウエハ主面22および第2ウエハ主面23は、この形態では、SiC単結晶のc面に面している。第1ウエハ主面22は、 (0001) 面（シリコン面）に面している。第2ウエハ主面23は、SiC単結晶の $(000\bar{1})$ 面（カーボン面）に面している。
- [0062] 第1ウエハ主面22および第2ウエハ主面23は、SiC単結晶のc面に対して $[11\bar{2}0]$ 方向に 10° 以下の角度で傾斜したオフ角 θ を有している。第1ウエハ主面22の法線方向Zは、SiC単結晶のc軸（ $[0001]$ 方向）に対してオフ角 θ 分だけ傾斜している。
- [0063] オフ角 θ は、 0° 以上 5.0° 以下であってもよい。オフ角 θ は、 0° 以上 1.0° 以下、 1.0° 以上 1.5° 以下、 1.5° 以上 2.0° 以下、 2.0° 以上 2.5° 以下、 2.5° 以上 3.0° 以下、 3.0° 以上 3.5° 以下、 3.5° 以上 4.0° 以下、 4.0° 以上 4.5° 以下または 4.5° 以上 5.0° 以下の角度の範囲に設定されてもよい。オフ角 θ は、 0° を超えていることが好ましい。オフ角 θ は、 4.0° 未満であってもよい。

。

[0064] オフ角 θ は、 3.0° 以上 4.5° 以下の角度の範囲に設定されていてもよい。この場合、オフ角 θ は、 3.0° 以上 3.5° 以下または 3.5° 以上 4.0° 以下の角度の範囲に設定されていることが好ましい。

[0065] オフ角 θ は、 1.5° 以上 3.0° 以下の角度の範囲に設定されていてもよい。この場合、オフ角 θ は、 1.5° 以上 2.0° 以下または 2.0° 以上 2.5° 以下の角度の範囲に設定されていることが好ましい。

[0066] SiC半導体ウエハ21は、第1ウエハ主面22およびウエハ側面24を接続する第1ウエハ角部25、ならびに、第2ウエハ主面23およびウエハ側面24を接続する第2ウエハ角部26を含む。第1ウエハ角部25は、第1ウエハ主面22からウエハ側面24に向かって下り傾斜した第1面取り部27を有している。第2ウエハ角部26は、第2ウエハ主面23からウエハ側面24に向かって下り傾斜した第2面取り部28を有している。

[0067] 第1面取り部27は、凸湾曲状に形成されていてもよい。第2面取り部28は、凸湾曲状に形成されていてもよい。第1面取り部27および第2面取り部28は、SiC半導体ウエハ21のクラックを抑制する。

[0068] SiC半導体ウエハ21のウエハ側面24には、SiC単結晶の結晶方位を示す目印の一例として1つのオリエンテーションフラット29が形成されている。オリエンテーションフラット29は、SiC半導体ウエハ21のウエハ側面24に形成された切欠部である。オリエンテーションフラット29は、この形態では、SiC単結晶のm軸方向（ $[1-100]$ 方向）に沿って直線状に延びている。

[0069] SiC半導体ウエハ21のウエハ側面24には、結晶方位を示す複数（たとえば2つ）のオリエンテーションフラット29が形成されていてもよい。複数（たとえば2つ）のオリエンテーションフラット29は、第1オリエンテーションフラットおよび第2オリエンテーションフラットを含んでいてもよい。

[0070] 第1オリエンテーションフラットは、SiC単結晶のm軸方向（ $[1-1$

00] 方向) に沿って直線状に延びる切欠部であってもよい。第2オリエンテーションフラットは、SiC単結晶のa軸方向([11-20] 方向) に沿って直線状に延びる切欠部であってもよい。

[0071] SiC半導体ウエハ21の第1ウエハ主面22には、半導体装置1にそれぞれ対応した複数の装置形成領域30が設定される。複数の装置形成領域30は、m軸方向([1-100] 方向) およびa軸方向([11-20] 方向) に間隔を空けて行列状の配列で設定される。

[0072] 各装置形成領域30は、SiC単結晶の結晶方位に沿った4つの辺31A, 31B, 31C, 31Dを有している。4つの辺31A~31Dは、SiC半導体層2の4つの側面にそれぞれ対応している。4つの辺31A~31Dは、m軸方向([1-100] 方向) に沿う2つの辺31B, 31Dおよびa軸方向([11-20] 方向) に沿う2つの辺31A, 31Cを含む。

[0073] 複数の装置形成領域30は、m軸方向([1-100] 方向) およびa軸方向([11-20] 方向) に沿って延びる格子状の切断予定ライン32によってそれぞれ区画されている。切断予定ライン32は、複数の第1切断予定ライン33および複数の第2切断予定ライン34を含む。

[0074] 複数の第1切断予定ライン33は、a軸方向([11-20] 方向) に沿ってそれぞれ延びている。複数の第2切断予定ライン34は、m軸方向([1-100] 方向) に沿ってそれぞれ延びている。

[0075] 半導体装置1の製造工程では、図5Aを参照して、複数の装置形成領域30に所定の素子構造35(前述のトレンチゲート構造のMOSFETの各単位セル7) が作り込まれる。

[0076] 次に、図5Bを参照して、素子構造35を被覆するように、SiC半導体ウエハ21の第1ウエハ主面22に層間絶縁膜17が形成される。層間絶縁膜17は、たとえば、CVD法等によって第1ウエハ主面22の全面に形成される。層間絶縁膜17の形成後、素子構造35に電氣的に接続される第1ウエハ主面22側の配線構造(図示せず) が形成される。当該配線構造は、前述のソース電極19等を含んでいてもよい。

[0077] 次に、図5Cを参照して、シート材36が、SiC半導体ウエハ21の第1ウエハ主面22に貼付される。シート材36は、たとえば、SiC半導体ウエハ21を研削により薄化する際に素子構造35を保護するためのシートであり、保護シート、保護テープ等と称されてもよい。シート材36としては、たとえば、公知の裏面研削用の保護テープを使用することができる。また、シート材36は、たとえば、公知のテープ貼付装置によりSiC半導体ウエハ21に貼付することができる。

[0078] 次に、図5Dを参照して、SiC半導体ウエハ21の第2ウエハ主面23が研削される。SiC半導体ウエハ21の第2ウエハ主面23は、CMP (Chemical Mechanical Polishing) 法によって研削されてもよい。これにより、SiC半導体ウエハ21が所望の厚さまで薄化される。この実施形態では、SiC半導体ウエハ21は、50 μ m以上350 μ m以下の厚さになるまで薄化される。この際、薄化の最終仕上げ工程として、SiC半導体ウエハ21の第2ウエハ主面23が粗面化されてもよい。第2ウエハ主面23は、エッチング法によって粗面化されることが好ましい。第2ウエハ主面23は、5 nm以上の算術平均粗さRaになるまで粗面化されてもよい。第2ウエハ主面23は、算術平均粗さRaが、5 nm以上100 nm以下になるまで粗面化されることが好ましい。

[0079] 次の工程は、シート材36の剥離工程である。シート材36の剥離には、本開示の一実施形態に係るシート材剥離装置37が使用される。図6は、本開示の一実施形態に係るシート材剥離装置37の模式的な平面図である。図7は、本開示の一実施形態に係るシート材剥離装置37の模式的な断面図である。

[0080] 図6および図7を参照して、シート材剥離装置37は、ウエハ搬送ユニット38と、ウエハ供給ユニット39と、剥離ユニット40と、テープ供給ユニット41と、テープ回収ユニット42とを含む。

[0081] ウエハ搬送ユニット38は、シート材36が貼付されたSiC半導体ウエハ21をウエハ供給ユニット39に搬送する。ウエハ搬送ユニット38は、

たとえば、アーム４３を有する搬送ロボット４４を含んでいてもよい。シート材３６が貼付されたＳｉＣ半導体ウエハ２１は、複数枚を一括にしてウエハ搬送ユニット３８の基板収容部４５にまとめて収容される。ウエハ搬送ユニット３８は、アーム４３の先端部に形成された吸着ハンド４６によって基板収容部４５のＳｉＣ半導体ウエハ２１を１枚ずつ吸着し、ウエハ供給ユニット３９に搬送する。

[0082] ウエハ供給ユニット３９は、ＳｉＣ半導体ウエハ２１の向きを調整する機能を有している。ウエハ供給ユニット３９は、ＳｉＣ半導体ウエハ２１の向きの調整後、ＳｉＣ半導体ウエハ２１を剥離ユニット４０上に供給する。

[0083] ウエハ供給ユニット３９は、アライメントテーブル４７と、位置検出センサ４８と、保持テーブル４９とを含む。

[0084] アライメントテーブル４７は、図６に示すように、たとえば平面視円形状に形成されている。アライメントテーブル４７は、ＳｉＣ半導体ウエハ２１の周縁部５０を支持する環状の枠部５１と、枠部５１に取り囲まれた中空部５２とを含む円環状に形成されている。枠部５１には、アライメントテーブル４７の周方向に沿って複数の吸引孔５３が形成されている。吸引孔５３からアライメントテーブル４７の内部に向かう吸引によって、ＳｉＣ半導体ウエハ２１の周縁部５０がアライメントテーブル４７に吸着固定される。アライメントテーブル４７は、シート材剥離装置３７において、水平方向に回転自在に設けられている。したがって、吸着固定されたＳｉＣ半導体ウエハ２１をアライメントテーブル４７の回転力により回転させ、ＳｉＣ半導体ウエハ２１の向きを調整することができる。

[0085] 図６を参照して、位置検出センサ４８は、アライメントテーブル４７の周囲に配置されている。位置検出センサ４８は、たとえば、光学センサを含み、ＳｉＣ半導体ウエハ２１のオリエンテーションフラット２９を検出する。

[0086] 保持テーブル４９は、たとえば、下面に複数の吸引孔（図示せず）を有しており、当該吸引孔からの吸引によってＳｉＣ半導体ウエハ２１を吸着することができる。保持テーブル４９は、水平方向に移動可能であり、吸着した

S i C半導体ウエハ21を剥離ユニット40上に搬送する。

[0087] 剥離ユニット40は、S i C半導体ウエハ21に貼付されたシート材36に粘着テープ54を密着させ、粘着テープ54と一体的にシート材36を剥離する。剥離ユニット40は、たとえば、S i C半導体ウエハ21をセット可能な剥離テーブル55を含む。剥離テーブル55は、たとえば、水平方向に平行な第1方向D1に沿って延びる一对のレール（図示せず）に支持されており、第1方向D1に沿ってスライド自在に設けられている。剥離テーブル55上の粘着テープ54は、剥離テーブル55が第1方向D1に沿ってスライドすることによって、そのスライド移動に追随して、第1方向D1に沿って相対的に移動する。第1方向D1は、粘着テープ54が移動する方向であり、たとえば、粘着テープ54の移動方向、粘着テープ54の進行方向、粘着テープ54の引っ張り方向と称されてもよい。

[0088] テープ供給ユニット41およびテープ回収ユニット42は、粘着テープ54を介して互いに結合されている。粘着テープ54は、テープ供給ユニット41の供給リール56に巻回されている。粘着テープ54は、剥離ユニット40を介してテープ回収ユニット42の回収リール57に向かって第1方向D1に沿って搬送され、回収リール57で巻き取られる。供給リール56と回収リール57との間には、ガイドローラ58やモータ（図示せず）等が設置されている。供給リール56から回収リール57に向かって搬送される粘着テープ54には、ガイドローラ58のテンションやモータの動力等により適宜の張力が付与される。

[0089] 図5E、図6および図7を参照して、S i C半導体ウエハ21からシート材36を剥離するには、搬送ユニットの吸着ハンド46の吸着によって基板収容部45から1枚のS i C半導体ウエハ21が取り出され、アライメントテーブル47に搬送される。アライメントテーブル47では、吸引孔53からの吸引によってS i C半導体ウエハ21を固定した状態で、S i C半導体ウエハ21の向きが調整される。

[0090] より具体的には、図8を参照して、S i C半導体ウエハ21の所定の結晶

方向CD1～CD12が、粘着テープ54の移動方向（第1方向D1）に対して傾斜した方向となるようにSiC半導体ウエハ21の向きが調整される。図8を参照して、この実施形態では、SiC半導体ウエハ21の所定の結晶方向CD1～CD12は、 $[11-20]$ 方向および $[1-100]$ 方向、ならびにこれらと等価な結晶方向である。より具体的には、所定の結晶方向は、 $[11-20]$ 方向CD1、 $[1-210]$ 方向CD2、 $[-2110]$ 方向CD3、 $[-1-120]$ 方向CD4、 $[-12-10]$ 方向CD5、 $[2-1-10]$ 方向CD6、 $[1-100]$ 方向CD7、 $[0-110]$ 方向CD8、 $[-1010]$ 方向CD9、 $[-1100]$ 方向CD10、 $[01-10]$ 方向CD11および $[10-10]$ 方向CD12であってもよい。

[0091] この実施形態では、オリエンテーションフラット29がSiC単結晶のm軸方向（ $[1-100]$ 方向）に沿って直線状に延びているので、オリエンテーションフラット29を位置検出センサ48で検出する。オリエンテーションフラット29の位置を基準にして結晶方向CD1～CD12が第1方向D1に対して傾斜しているかどうか判別し、傾斜していると判別されている位置においてアライメントテーブル47の回転を停止する。より具体的には、結晶方向CD1～CD12が第1方向D1に対して、 $\pm 5^\circ$ 以上傾斜した方向となるようにSiC半導体ウエハ21の向きを調整することが好ましい。

[0092] この位置は、SiC半導体ウエハ21の剥離準備位置と称されてもよい。図8に示すように、所定の結晶方向CD1～CD12は、たとえば、オリエンテーションフラット29に対して、 90° 、 $+30^\circ$ 、 -30° の角度で傾斜した方向（以上、 $[11-20]$ 方向および当該方向に等価な方向CD1～CD6）と、 0° 、 $+60^\circ$ 、 -60° の角度で傾斜した方向（以上、 $[1-100]$ 方向および当該方向に等価な方向CD7～CD12）であってもよい。

[0093] シート材剥離装置37の剥離セクション側では、供給リール56からガイ

ドローラ 58 を介して張力が付与された粘着テープ 54 が、剥離テーブル 55 の上面に搬送される。粘着テープ 54 は、剥離テーブル 55 の上面に配置され、S i C 半導体ウエハ 21 の受け入れ準備状態となる。

[0094] 次に、剥離準備位置にある S i C 半導体ウエハ 21 が保持テーブル 49 で吸着され、剥離準備位置の向きを保持したまま、剥離テーブル 55 の上方に搬送される（図 7 の二点鎖線参照）。そのまま保持テーブル 49 が下降し、剥離テーブル 55 上の粘着テープ 54 に保持テーブル 49 を押し付けることによって、S i C 半導体ウエハ 21 のシート材 36 が粘着テープ 54 に密着する。

[0095] そして、保持テーブル 49 の押圧により S i C 半導体ウエハ 21 が固定された状態で、剥離テーブル 55 をスライド移動させる。これにより、図 5 E に示すように、剥離テーブル 55 のスライド移動に追随して粘着テープ 54 が引っ張られ、シート材 36 が粘着テープ 54 と一体的に剥離される。この実施形態では、S i C 半導体ウエハ 21 の結晶方向 C D 1 ~ C D 1 2（図 8 参照）が第 1 方向 D 1 に対して傾斜しているので、結晶方向 C D 1 ~ C D 1 2 を避けた方向に沿ってシート材 36 の剥離が進行する。より具体的には、結晶方向 C D 1 ~ C D 1 2 から $\pm 5^{\circ}$ の範囲に収まる方向を避けた方向に沿ってシート材 36 の剥離が進行することが好ましい。一方、使用済みの粘着テープ 54 は、シート材 36 と共に回収リール 57 で回収される。

[0096] 次に、第 2 ウエハ主面 23 の全域に一括してドレイン電極 20 が形成される。その後は、切断予定ライン 32 に沿って S i C 半導体ウエハ 21 を切断することによって、複数の半導体装置 1 が切り出される。

[0097] [半導体装置 1 の製造方法による効果]

以上、本開示の一実施形態によれば、図 8 に示すように、S i C 半導体ウエハ 21 の結晶方向 C D 1 ~ C D 1 2 が第 1 方向 D 1 に対して傾斜した方向となるように、S i C 半導体ウエハ 21 の向きが調整される。そのため、結晶方向 C D 1 ~ C D 1 2 を避けた方向に沿ってシート材 36 の剥離が進行する。

[0098] SiCを含む六方最密構造では、結晶方向CD1～CD12に沿ってシート材36を剥離すると、結晶方向CD1～CD12に沿ってSiC半導体ウエハ21が破損しやすい。したがって、結晶方向CD1～CD12を避けた方向に沿って粘着テープ54を引っ張ってシート材36を剥離することによって、シート材36の剥離時におけるウエハの破損を抑制することができる。

[0099] また、この実施形態では、SiC半導体ウエハ21が50 μ m以上350 μ m以下の厚さになるまで薄化される。このような比較的薄いSiC半導体ウエハ21では、剥離時の破損を発生しやすいが、結晶方向CD1～CD12を粘着テープ54の引っ張り方向に対して傾斜させる本開示の剥離方法を採用することによって、SiC半導体ウエハ21の破損を効果的に抑制することができる。

[0100] また、この実施形態では、SiC半導体ウエハ21の第2ウエハ主面23が粗面化される。粗面化されたSiC半導体ウエハ21では、剥離時の破損を発生しやすいが、結晶方向CD1～CD12を粘着テープ54の引っ張り方向に対して傾斜させる本開示の剥離方法を採用することによって、SiC半導体ウエハ21の破損を効果的に抑制することができる。

[0101] また、この実施形態では、SiC半導体ウエハ21の素子構造35としてトレンチゲート構造が形成されている。ゲートトレンチ8を有するSiC半導体ウエハ21では、ゲートトレンチ8の形成部分が局所的に薄くなり、また、ゲートトレンチ8の形成により反りが発生しやすい。そのため、剥離時の破損を発生しやすいが、結晶方向CD1～CD12を粘着テープ54の引っ張り方向に対して傾斜させる本開示の剥離方法を採用することによって、SiC半導体ウエハ21の破損を効果的に抑制することができる。

[0102] また、この実施形態では、SiC半導体ウエハ21の第1ウエハ主面22に層間絶縁膜17が形成されている。この層間絶縁膜17の応力により、SiC半導体ウエハ21では反りが発生しやすい。そのため、剥離時の破損を発生しやすいが、結晶方向CD1～CD12を粘着テープ54の引っ張り方

向に対して傾斜させる本開示の剥離方法を採用することによって、S i C半導体ウエハ21の破損を効果的に抑制することができる。

[0103] 本開示の実施形態について説明したが、本開示は他の形態で実施することもできる。

[0104] 前述の実施形態では、六方最密構造を有する材料からなるウエハの一例として4H-S i C単結晶からなるS i C半導体ウエハ21を示したが、たとえば、GaN、AlN、ダイヤモンド等、その他のワイドバンドギャップ半導体からなるウエハが適用されてもよい。

[0105] 前述の実施形態では、位置検出センサ48の検出対象がS i C半導体ウエハ21のオリエンテーションフラット29であったが、たとえば、図9に示すように、オリエンテーションフラット29に代えてノッチ59であってもよい。ノッチ59は、たとえば、S i C半導体ウエハ21の[11-20]方向(結晶方向CD1)に沿ってV字状にカットされたノッチであってもよい。

[0106] 前述の実施形態では、素子構造35の一例としてトレンチゲート構造のMOSFETを示したが、素子構造35は、たとえば、プレーナゲート構造のMOSFET、トレンチゲート構造およびプレーナゲート構造のIGBT、ショットキーバリアダイオード等のその他の素子構造であってもよい。

[0107] 前述の実施形態では、S i C半導体ウエハ21の第2ウエハ主面23の加工工程の一例として、S i C半導体ウエハ21の薄化工程を示したが、たとえば、S i C半導体ウエハ21の第2ウエハ主面23から電子線を照射する工程、薄化を経ずに第2ウエハ主面23を粗面化する工程等、各種加工工程が採用されてもよい。

[0108] 以上、本開示の実施形態は、すべての点において例示であり限定的に解釈されるべきではなく、すべての点において変更が含まれることが意図される。

[0109] この明細書および図面の記載から以下に付記する特徴が抽出され得る。

[0110] [付記1-1]

六方最密充填構造を有するウエハ（２１）であって、素子構造（７，３５）が形成された前記ウエハ（２１）の第１主面（３，２２）にシート材（３６）を貼付する貼付工程と、

前記第１主面（３，２２）の反対側の第２主面（４，２３）を加工する加工工程と、

前記加工工程の後、所定の結晶方向（ＣＤ１～ＣＤ１２）を避けた方向に沿って前記シート材（３６）を前記第１主面（３，２２）から剥離する剥離工程とを含み、

前記所定の結晶方向（ＣＤ１～ＣＤ１２）は、前記ウエハ（２１）の〔１１－２０〕方向および〔１－１００〕方向、ならびにこれらと等価な結晶方向（ＣＤ１～ＣＤ１２）を含む、半導体装置（１）の製造方法。

[0111] この方法によれば、ウエハ（２１）の〔１１－２０〕方向および〔１－１００〕方向、ならびにこれらと等価な結晶方向（ＣＤ１～ＣＤ１２）を避けた方向に沿って、シート材（３６）が剥離される。六方最密構造では、ウエハ（２１）の〔１１－２０〕方向および〔１－１００〕方向、ならびにこれらと等価な結晶方向（ＣＤ１～ＣＤ１２）に沿ってシート材（３６）を剥離すると、当該結晶方向（ＣＤ１～ＣＤ１２）に沿ってウエハ（２１）が破損しやすい。したがって、当該結晶方向（ＣＤ１～ＣＤ１２）を避けた方向に沿ってシート材（３６）を剥離することによって、シート材（３６）の剥離時におけるウエハ（２１）の破損を抑制することができる。

[0112] [付記１－２]

前記剥離工程では、前記所定の結晶方向（ＣＤ１～ＣＤ１２）から±５°の範囲に収まる方向を避けた方向に沿って前記シート材（３６）が剥離される、付記１－１に記載の半導体装置（１）の製造方法。

[0113] [付記１－３]

前記加工工程は、前記ウエハ（２１）を、５０μm以上３５０μm以下の厚さになるまで前記第２主面（４，２３）から薄化する工程を含む、付記１－１または付記１－２に記載の半導体装置（１）の製造方法。

[0114] このような比較的薄いウエハ（２１）では、剥離時の破損を発生しやすいが、本開示の剥離方法を採用することによって、ウエハ（２１）の破損を効果的に抑制することができる。

[0115] [付記１－４]

前記加工工程は、最終的に前記ウエハ（２１）の前記第２主面（４，２３）の算術平均粗さ（ R_a ）が $R_a = 5\text{ nm}$ 以上となるように仕上げる工程を含む、付記１－１～付記１－３のいずれか一項に記載の半導体装置（１）の製造方法。

[0116] 粗面化されたウエハ（２１）では、剥離時の破損を発生しやすいが、本開示の剥離方法を採用することによって、ウエハ（２１）の破損を効果的に抑制することができる。

[0117] [付記１－５]

前記ウエハ（２１）は、 SiC ウエハ（２１）を含む、付記１－１～付記１－４のいずれか一項に記載の半導体装置（１）の製造方法。

[0118] [付記１－６]

前記素子構造（７，３５）は、前記ウエハ（２１）の前記第１主面（３，２２）に形成されたトレンチ素子構造（７，３５）を含む、付記１－１～付記１－５のいずれか一項に記載の半導体装置（１）の製造方法。

[0119] トレンチ（８）を有するウエハ（２１）では、トレンチ（８）の形成部分が局所的に薄くなり、また、トレンチ（８）の形成により反りが発生しやすい。そのため、剥離時の破損を発生しやすいが、本開示の剥離方法を採用することによって、ウエハ（２１）の破損を効果的に抑制することができる。

[0120] [付記１－７]

前記トレンチ素子構造（７，３５）の深さは、 $1\text{ }\mu\text{m}$ 以上である、付記１－６に記載の半導体装置（１）の製造方法。

[0121] [付記１－８]

前記ウエハ（２１）は、前記第１主面（３，２２）の表層部に形成された第１導電型の第１半導体領域（１３）を含み、

前記トレンチ素子構造（７，３５）は、前記第１主面（３，２２）に形成されたゲートトレンチ（８）と、ゲート絶縁膜（９）を介して前記ゲートトレンチ（８）に埋め込まれたゲート電極（１０）と、前記第１主面（３，２２）から前記ゲートトレンチ（８）の深さ方向に順に形成された第１導電型の第２半導体領域（１４）および第２導電型の第３半導体領域（１１）とを含む、付記１－６または付記１－７に記載の半導体装置（１）の製造方法。

[0122] [付記１－９]

前記素子構造（７，３５）を被覆するように前記ウエハ（２１）の前記第１主面（３，２２）に形成された絶縁膜（１７）を含む、付記１－１～付記１－８のいずれか一項に記載の半導体装置（１）の製造方法。

[0123] 絶縁膜（１７）の応力により、ウエハ（２１）では反りが発生しやすい。そのため、剥離時の破損が発生しやすいが、本開示の剥離方法を採用することによって、ウエハ（２１）の破損を効果的に抑制することができる。

[0124] [付記１－１０]

前記絶縁膜（１７）は、 $0.2\mu\text{m}$ 以上 $2.0\mu\text{m}$ 以下の厚さを有する層間絶縁膜（１７）を含む、付記１－９に記載の半導体装置（１）の製造方法。

[0125] [付記１－１１]

前記ウエハ（２１）は、前記ウエハ（２１）の〔１１－２０〕方向に対して直交する方向に沿って直線状に延びるオリエンテーションフラット（２９）、または前記ウエハ（２１）の〔１１－２０〕方向に沿ってＶ字状にカットされたノッチ（５９）を含む、付記１－１～付記１－１０のいずれか一項に記載の半導体装置（１）の製造方法。

[0126] [付記１－１２]

付記１－１～付記１－１１のいずれか一項に記載の半導体装置（１）の製造方法に使用されるシート材剥離装置（３７）であって、

前記シート材（３６）が貼付された前記ウエハ（２１）をセット可能であり、粘着テープ（５４）を第１方向（Ｄ１）に沿って移動させることにより

、セットされた前記ウエハ（２１）から前記シート材（３６）を前記粘着テープ（５４）により剥離する剥離ユニット（４０）と、

前記剥離ユニット（４０）上に前記粘着テープ（５４）を供給するテープ供給ユニット（４１）と、

使用済みの前記粘着テープ（５４）を回収するテープ回収ユニット（４２）と、

前記所定の結晶方向（ＣＤ１～ＣＤ１２）が前記第１方向（Ｄ１）に対して傾斜した方向となるように前記ウエハ（２１）の向きを調整し、前記剥離ユニット（４０）上に前記ウエハ（２１）を供給するウエハ供給ユニット（３９）とを含む、シート材剥離装置（３７）。

[0127] この構成によれば、ウエハ（２１）の〔１１－２０〕方向および〔１－１００〕方向、ならびにこれらと等価な結晶方向（ＣＤ１～ＣＤ１２）が第１方向（Ｄ１）に対して傾斜した方向となるように、ウエハ（２１）の向きが調整される。そのため、当該結晶方向（ＣＤ１～ＣＤ１２）を避けた方向に沿ってシート材（３６）の剥離が進行する。その結果、シート材（３６）の剥離時におけるウエハ（２１）の破損を抑制することができる。

[0128] [付記１－１３]

前記ウエハ供給ユニット（３９）は、前記所定の結晶方向（ＣＤ１～ＣＤ１２）が前記第１方向（Ｄ１）に対して±５°以上傾斜した方向となるように前記ウエハ（２１）の向きを調整する機構（４７，４８）を含む、付記１－１２に記載のシート材剥離装置（３７）。

[0129] [付記１－１４]

付記１－１１に記載の半導体装置（１）の製造方法に使用される前記シート材剥離装置（３７）であって、

前記ウエハ供給ユニット（３９）は、前記ウエハ（２１）の前記オリエンテーションフラット（２９）または前記ノッチ（５９）を検出するセンサ（４８）と、前記ウエハ（２１）を回転可能に保持するアライメントテーブル（４７）とを含む、付記１－１２または付記１－１３に記載のシート材剥離

装置（３７）。

[0130] [付記１－１５]

前記アライメントテーブル（４７）は、前記ウエハ（２１）の周縁部を支持する環状の枠部（５１）と、前記枠部（５１）に取り囲まれた中空部（５２）とを含む、付記１－１４に記載のシート材剥離装置（３７）。

符号の説明

- [0131] １ : 半導体装置
- ２ : SiC半導体層
- ３ : 第１主面
- ４ : 第２主面
- ５ : SiC半導体基板
- ６ : SiCエピタキシャル層
- ７ : 単位セル
- ８ : ゲートトレンチ
- ９ : ゲート絶縁膜
- １０ : ゲート電極
- １１ : ボディ領域
- １２ : ドレイン領域
- １３ : ドリフト領域
- １４ : ソース領域
- １５ : チャネル領域
- １６ : ボディコンタクト領域
- １７ : 層間絶縁膜
- １８ : コンタクト孔
- １９ : ソース電極
- ２０ : ドレイン電極
- ２１ : SiC半導体ウエハ
- ２２ : 第１ウエハ主面

2 3	: 第2 ウエハ主面
2 4	: ウエハ側面
2 5	: 第1 ウエハ角部
2 6	: 第2 ウエハ角部
2 7	: 第1 面取り部
2 8	: 第2 面取り部
2 9	: オリエンテーションフラット
3 0	: 装置形成領域
3 1 A	: 辺
3 1 B	: 辺
3 1 C	: 辺
3 1 D	: 辺
3 2	: 切断予定ライン
3 3	: 第1 切断予定ライン
3 4	: 第2 切断予定ライン
3 5	: 素子構造
3 6	: シート材
3 7	: シート材剥離装置
3 8	: ウエハ搬送ユニット
3 9	: ウエハ供給ユニット
4 0	: 剥離ユニット
4 1	: テープ供給ユニット
4 2	: テープ回収ユニット
4 3	: アーム
4 4	: 搬送ロボット
4 5	: 基板収容部
4 6	: 吸着ハンド
4 7	: アライメントテーブル

- 4 8 : 位置検出センサ
- 4 9 : 保持テーブル
- 5 0 : 周縁部
- 5 1 : 枠部
- 5 2 : 中空部
- 5 3 : 吸引孔
- 5 4 : 粘着テープ
- 5 5 : 剥離テーブル
- 5 6 : 供給リール
- 5 7 : 回収リール
- 5 8 : ガイドローラ
- 5 9 : ノッチ

請求の範囲

- [請求項1] 六方最密充填構造を有するウエハであって、素子構造が形成された前記ウエハの第1主面にシート材を貼付する貼付工程と、
前記第1主面の反対側の第2主面を加工する加工工程と、
前記加工工程の後、所定の結晶方向を避けた方向に沿って前記シート材を前記第1主面から剥離する剥離工程とを含み、
前記所定の結晶方向は、前記ウエハの $[11-20]$ 方向および $[1-100]$ 方向、ならびにこれらと等価な結晶方向を含む、半導体装置の製造方法。
- [請求項2] 前記剥離工程では、前記所定の結晶方向から $\pm 5^\circ$ の範囲に収まる方向を避けた方向に沿って前記シート材が剥離される、請求項1に記載の半導体装置の製造方法。
- [請求項3] 前記加工工程は、前記ウエハを、 $50\mu\text{m}$ 以上 $350\mu\text{m}$ 以下の厚さになるまで前記第2主面から薄化する工程を含む、請求項1または2に記載の半導体装置の製造方法。
- [請求項4] 前記加工工程は、最終的に前記ウエハの前記第2主面の算術平均粗さ(Ra)が $Ra = 5\text{nm}$ 以上となるように仕上げる工程を含む、請求項1～3のいずれか一項に記載の半導体装置の製造方法。
- [請求項5] 前記ウエハは、SiCウエハを含む、請求項1～4のいずれか一項に記載の半導体装置の製造方法。
- [請求項6] 前記素子構造は、前記ウエハの前記第1主面に形成されたトレンチ素子構造を含む、請求項1～5のいずれか一項に記載の半導体装置の製造方法。
- [請求項7] 前記トレンチ素子構造の深さは、 $1\mu\text{m}$ 以上である、請求項6に記載の半導体装置の製造方法。
- [請求項8] 前記ウエハは、前記第1主面の表層部に形成された第1導電型の第1半導体領域を含み、
前記トレンチ素子構造は、前記第1主面に形成されたゲートトレン

チと、ゲート絶縁膜を介して前記ゲートトレンチに埋め込まれたゲート電極と、前記第1主面から前記ゲートトレンチの深さ方向に順に形成された第1導電型の第2半導体領域および第2導電型の第3半導体領域とを含む、請求項6または7に記載の半導体装置の製造方法。

[請求項9] 前記素子構造を被覆するように前記ウエハの前記第1主面に形成された絶縁膜を含む、請求項1～8のいずれか一項に記載の半導体装置の製造方法。

[請求項10] 前記絶縁膜は、 $0.2\mu\text{m}$ 以上 $2.0\mu\text{m}$ 以下の厚さを有する層間絶縁膜を含む、請求項9に記載の半導体装置の製造方法。

[請求項11] 前記ウエハは、前記ウエハの $[11-20]$ 方向に対して直交する方向に沿って直線状に延びるオリエンテーションフラット、または前記ウエハの $[11-20]$ 方向に沿ってV字状にカットされたノッチを含む、請求項1～10のいずれか一項に記載の半導体装置の製造方法。

[請求項12] 請求項1～11のいずれか一項に記載の半導体装置の製造方法に使用されるシート材剥離装置であって、

前記シート材が貼付された前記ウエハをセット可能であり、粘着テープを第1方向に沿って移動させることにより、セットされた前記ウエハから前記シート材を前記粘着テープにより剥離する剥離ユニットと、

前記剥離ユニット上に前記粘着テープを供給するテープ供給ユニットと、

使用済みの前記粘着テープを回収するテープ回収ユニットと、

前記所定の結晶方向が前記第1方向に対して傾斜した方向となるように前記ウエハの向きを調整し、前記剥離ユニット上に前記ウエハを供給するウエハ供給ユニットとを含む、シート材剥離装置。

[請求項13] 前記ウエハ供給ユニットは、前記所定の結晶方向が前記第1方向に対して $\pm 5^\circ$ 以上傾斜した方向となるように前記ウエハの向きを調整

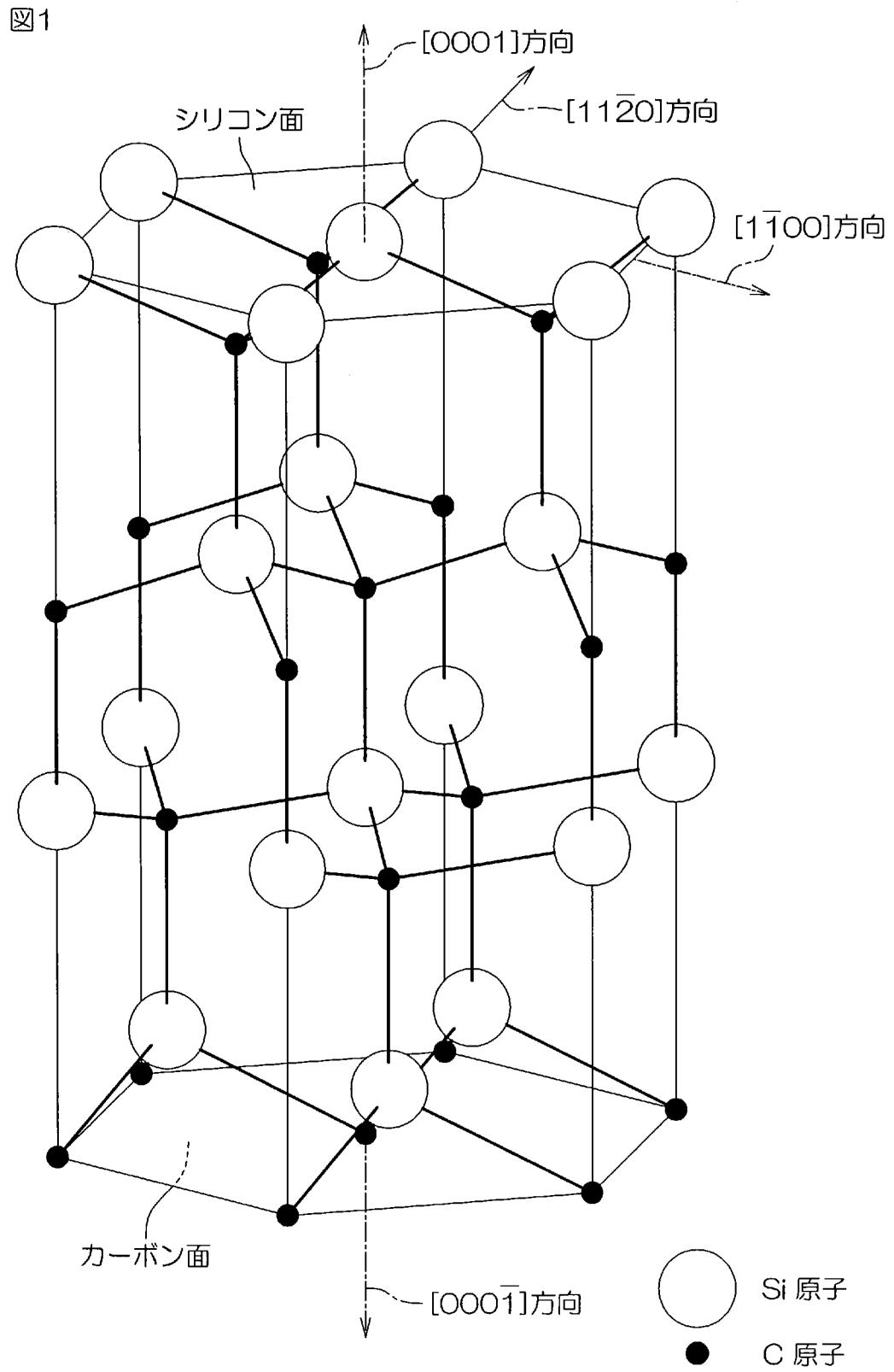
する機構を含む、請求項 1 2 に記載のシート材剥離装置。

[請求項14] 請求項 1 1 に記載の半導体装置の製造方法に使用される前記シート材剥離装置であって、

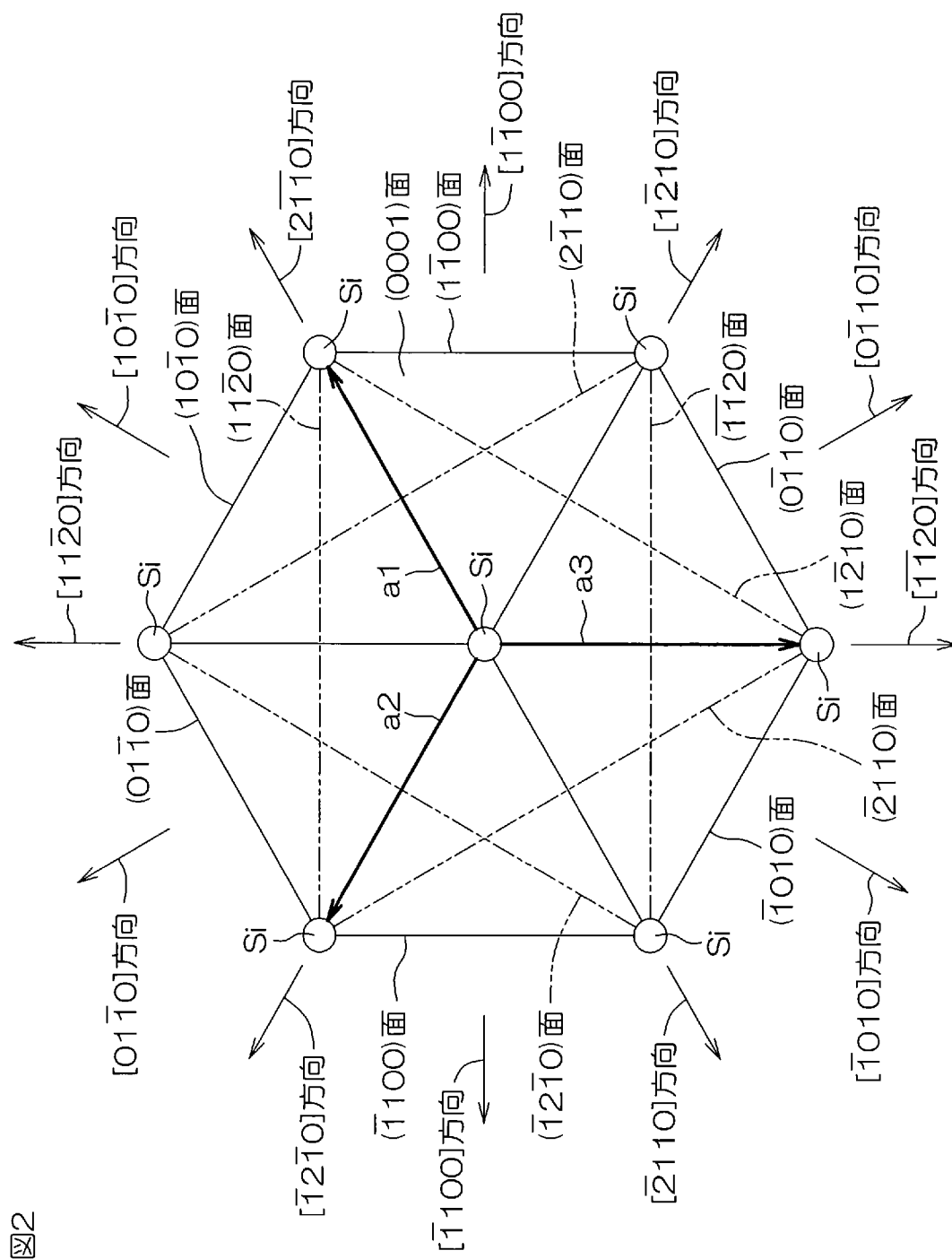
前記ウエハ供給ユニットは、前記ウエハの前記オリエンテーションフラットまたは前記ノッチを検出するセンサと、前記ウエハを回転可能に保持するアライメントテーブルとを含む、請求項 1 2 または 1 3 に記載のシート材剥離装置。

[請求項15] 前記アライメントテーブルは、前記ウエハの周縁部を支持する環状の枠部と、前記枠部に取り囲まれた中空部とを含む、請求項 1 4 に記載のシート材剥離装置。

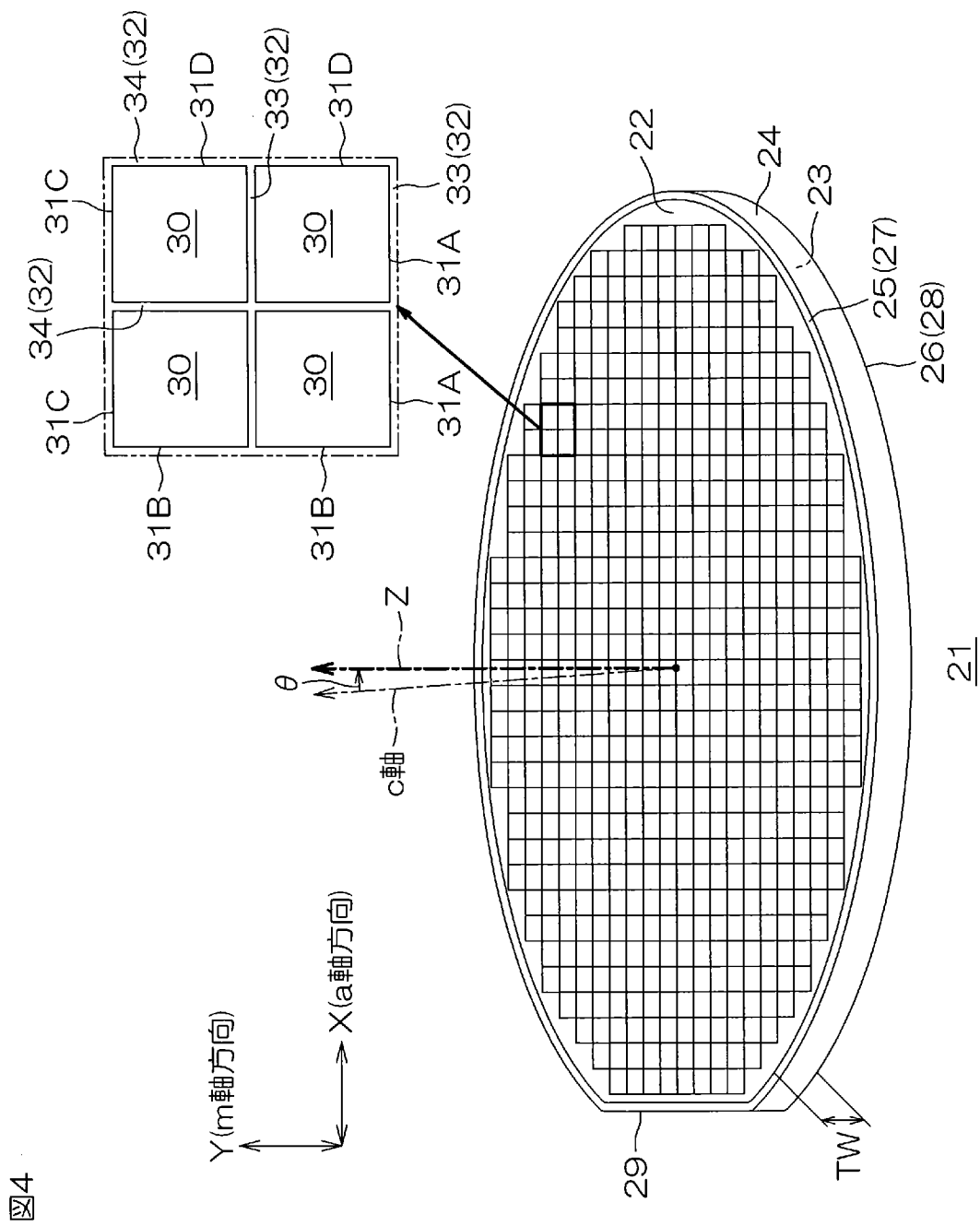
[図1]



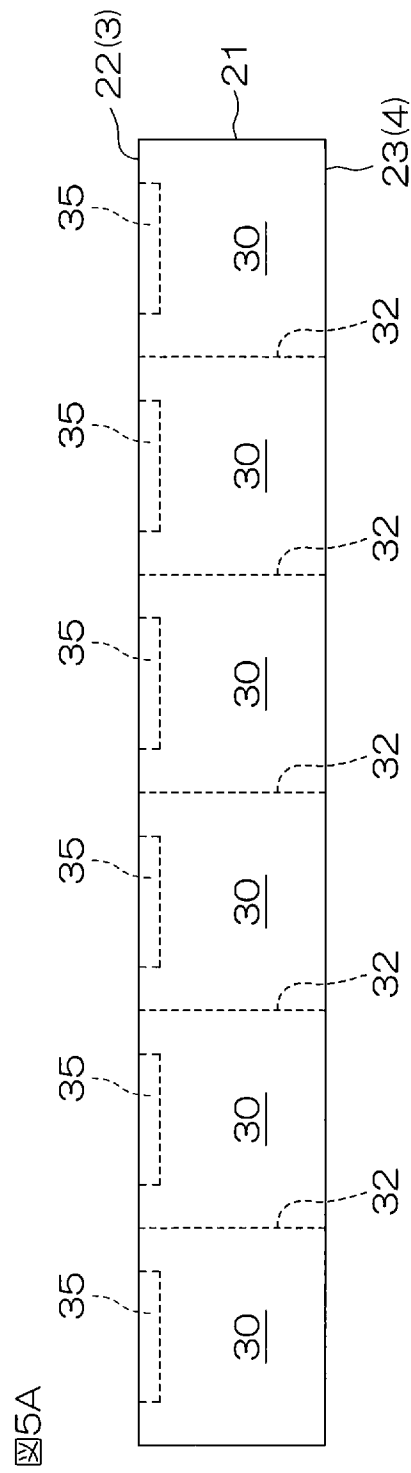
[图2]



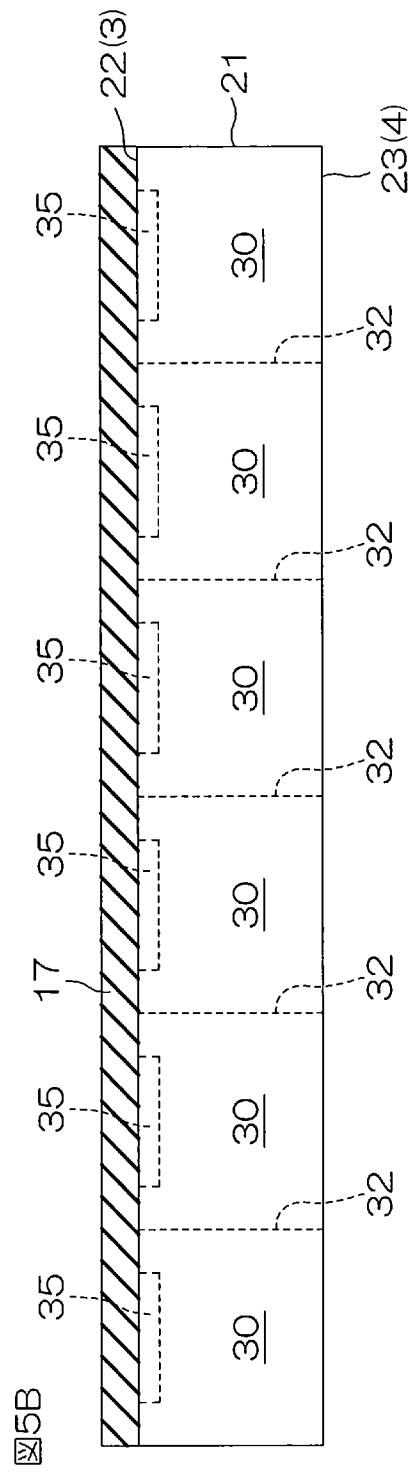
[図4]



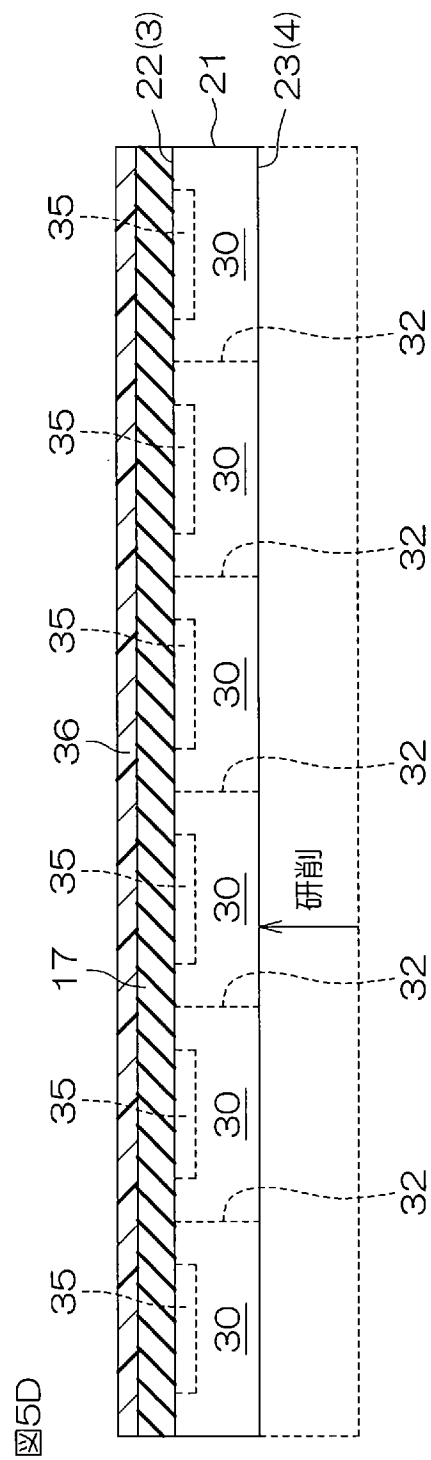
[図5A]



[図5B]

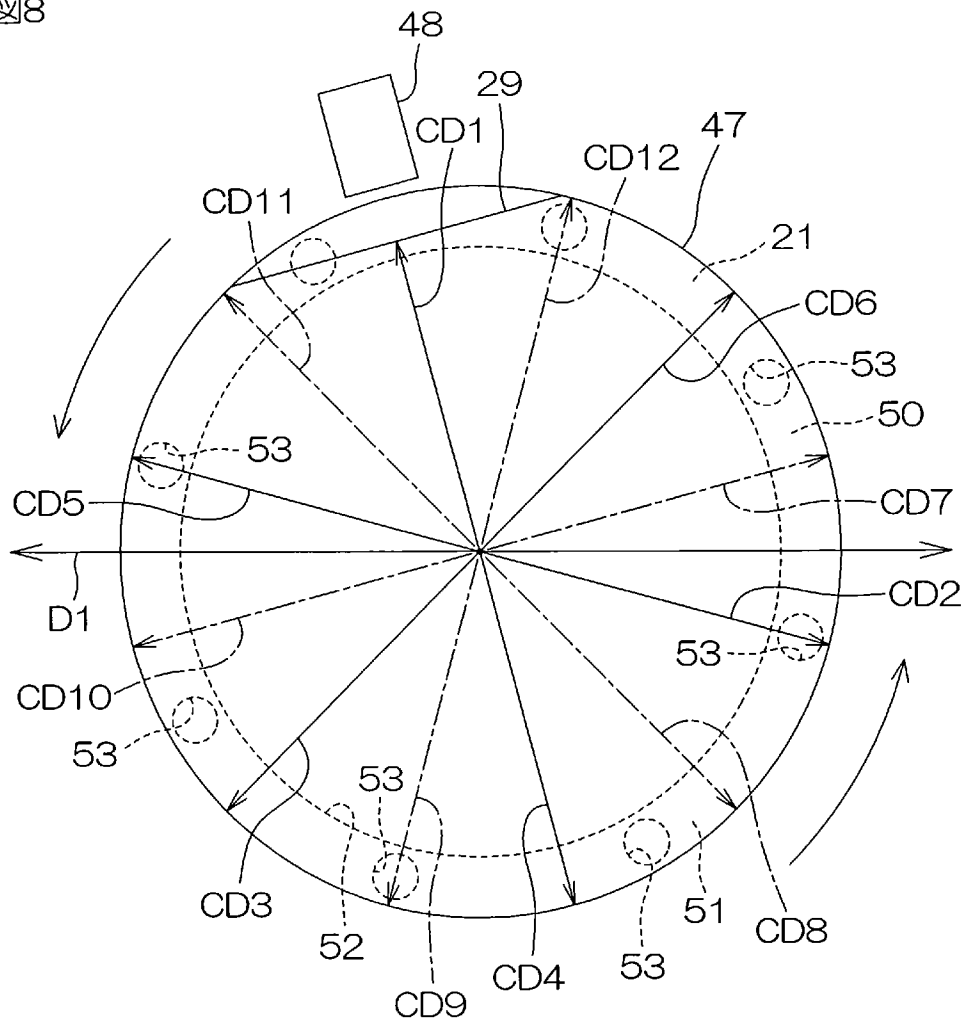


[図5D]



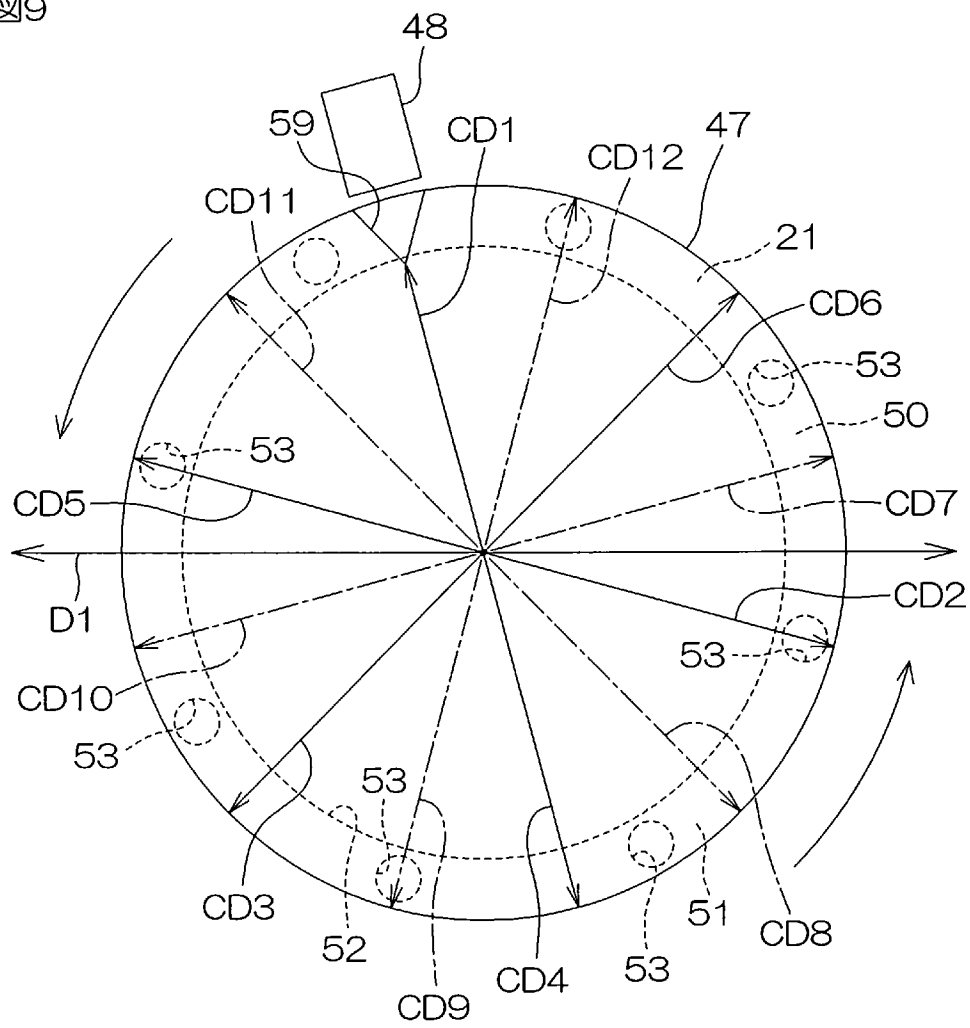
[図8]

図8



[図9]

図9



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2023/042944

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER H01L 21/683 (2006.01)i; H01L 21/304 (2006.01)i FI: H01L21/68 N; H01L21/304 631 According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
B. FIELDS SEARCHED Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) H01L21/683; H01L21/304 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 1971-2024 Registered utility model specifications of Japan 1996-2024 Published registered utility model applications of Japan 1994-2024 Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	JP 2012-33671 A (TOYOTA MOTOR CORP) 16 February 2012 (2012-02-16) paragraphs [0001]-[0048], fig. 1-12	1-2, 4-5, 12-15
Y	paragraphs [0001]-[0048], fig. 1-12	3, 6-11
Y	JP 2020-27854 A (ROHM CO LTD) 20 February 2020 (2020-02-20) paragraphs [0009]-[0459], fig. 1-29	3, 6-11
☐ Further documents are listed in the continuation of Box C. ☒ 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 “D” document cited by the applicant in the international application “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 26 January 2024		Date of mailing of the international search report 06 February 2024
Name and mailing address of the ISA/JP Japan Patent Office (ISA/JP) 3-4-3 Kasumigaseki, Chiyoda-ku, Tokyo 100-8915 Japan		Authorized officer Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/JP2023/042944

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)	Publication date (day/month/year)
JP	2012-33671	A	16 February 2012	(Family: none)	
JP	2020-27854	A	20 February 2020	US 2021/0234007 A1 paragraphs [0077]-[1088], fig. 1-29	
				CN 112640048 A	

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC））

H01L 21/683(2006.01)i; H01L 21/304(2006.01)i

FI: H01L21/68 N; H01L21/304 631

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））

H01L21/683; H01L21/304

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 - 2024年

日本国実用新案登録公報

1996 - 2024年

日本国登録実用新案公報

1994 - 2024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
X	JP 2012-33671 A（トヨタ自動車株式会社）16.02.2012（2012 - 02 - 16） 段落[0001]-[0048], 図1-12	1-2, 4-5, 12-15
Y	段落[0001]-[0048], 図1-12	3, 6-11
Y	JP 2020-27854 A（ローム株式会社）20.02.2020（2020 - 02 - 20） 段落[0009]-[0459], 図1-29	3, 6-11

☐ C欄の続きにも文献が列挙されている。

☒ 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、一般的技术水準を示すもの

“D” 国際出願で出願人が先行技術文献として記載した文献

“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

26.01.2024

国際調査報告の発送日

06.02.2024

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）

鈴木 孝章 50 6309

電話番号 03-3581-1101 内線 3559

様式 PCT/ISA/210（第2ページ）（2022年7月）

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/JP2023/042944

引用文献			公表日	パテントファミリー文献	公表日
JP	2012-33671	A	16.02.2012	(ファミリーなし)	
JP	2020-27854	A	20.02.2020	US 2021/0234007 A1	
				段落[0077]-[1088], 図1-29	
				CN 112640048 A	