

(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7月4日(04.07.2024)



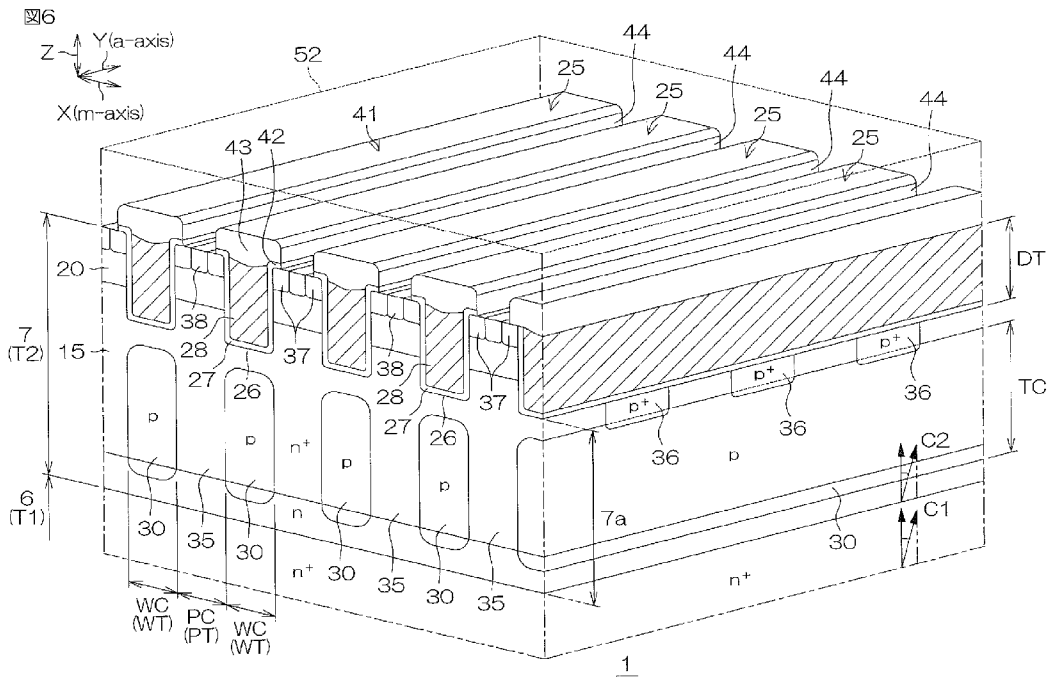
(10) 国際公開番号  
**WO 2024/143379 A1**

- (51) 国際特許分類:  

<i>H01L 29/78</i> (2006.01)	<i>H01L 29/41</i> (2006.01)
<i>H01L 21/66</i> (2006.01)	<i>H01L 29/47</i> (2006.01)
<i>H01L 21/265</i> (2006.01)	<i>H01L 29/861</i> (2006.01)
<i>H01L 21/336</i> (2006.01)	<i>H01L 29/868</i> (2006.01)
<i>H01L 29/06</i> (2006.01)	<i>H01L 29/872</i> (2006.01)
<i>H01L 29/12</i> (2006.01)	
- (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番地 Kyoto (JP).
- (72) 発明者: 森 誠悟(MORI, Seigo); 〒6158585 京都府京都市右京区西院溝崎町2番地 ローム株式会社内 Kyoto (JP). 中野 佑紀(NAKANO, Yuki); 〒6158585 京都府京都市右京区西院溝崎町2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,
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2023/046700
- (22) 国際出願日: 2023年12月26日(26.12.2023)
- (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 2022-212612 2022年12月28日(28.12.2022) JP

(54) Title: SiC SEMICONDUCTOR DEVICE

(54) 発明の名称: SiC半導体装置



(57) Abstract: This SiC semiconductor device comprises: a first conductivity-type SiC layer including a main surface and having an axial channel in the stacking direction; a trench formed in the main surface and defining a lower region between the trench and the bottom of the SiC layer; and a second conductivity-type column region formed in the lower region in the SiC layer and extending along the axial channel.



WO 2024/143379 A1

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, 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))
- 

(57) 要約 : S i C 半導体装置は、主面を含み、積層方向に軸チャネルを有する第1導電型のS i C層と、前記主面に形成され、前記S i C層の底部との間に下側領域を区画するトレンチと、前記S i C層内において前記下側領域に形成され、前記軸チャネルに沿って延びる第2導電型のコラム領域と、を含む。

## 明 細 書

発明の名称：S i C半導体装置

### 技術分野

[0001] この出願は、2022年12月28日に日本国特許庁に提出された特許出願2022-212612号に基づく優先権を主張しており、この出願の全内容はここに引用により組み込まれる。本開示は、S i C半導体装置に関する。

### 背景技術

[0002] 特許文献1 (US2015/0028351A1) は、チャネリング注入法によって炭化ケイ素層に導入された不純物領域を有する電子デバイスを開示している。

### 先行技術文献

#### 特許文献

[0003] 特許文献1：米国特許出願公開第2015/0028351号明細書

[0004] [概要]

本開示は、新規なS i C半導体装置を提供する。

[0005] 本開示は、主面を含み、積層方向に軸チャネルを有する第1導電型のS i C層と、前記主面に形成され、前記S i C層の底部との間に下側領域を区画するトレンチと、前記S i C層内において前記下側領域に形成され、前記軸チャネルに沿って延びる第2導電型のコラム領域と、を含む、S i C半導体装置を提供する。

[0006] 上述のまたはさらに他の目的、特徴および効果は、添付図面を参照する詳細な説明により明らかにされる。

### 図面の簡単な説明

[0007] [図1]図1は、具体的な形態に係るS i C半導体装置を示す平面図である。

[図2]図2は、図1に示すII-II線に沿う断面図である。

[図3]図3は、チップのレイアウト例を示す平面図である。

[図4]図4は、チップのレイアウト例を示す斜視図である。

[図5]図5は、活性領域と第1形態例に係るトレンチ構造を示す平面図である。

[図6]図6は、活性領域と第1形態例に係るトレンチ構造を示す断面斜視図である。

[図7]図7は、活性領域と第1形態例に係るトレンチ構造を示す断面斜視図である。

[図8]図8は、第1形態例に係るトレンチ構造を示す拡大断面図である。

[図9]図9は、第1形態例に係るトレンチ構造を示す拡大断面図である。

[図10]図10は、高濃度領域のn型濃度勾配の一例を示すグラフである。

[図11]図11は、高濃度領域のn型濃度勾配の比較例を示すグラフである。

[図12]図12は、コラム領域のp型濃度勾配の一例を示すグラフである。

[図13]図13は、外周領域の構成を示す斜視図である。

[図14]図14は、外周領域の一要部を示す断面図である。

[図15]図15は、外周領域の一要部を示す断面図である。

[図16]図16は、SiC半導体装置の製造に使用されるウエハを示す概略図である。

[図17]図17は、SiC半導体装置の製造方法例を示すフローチャートである。

[図18A]図18Aは、SiC半導体装置の製造方法例を示す断面斜視図である。

[図18B]図18Bは、図18Aの後の工程を示す断面斜視図である。

[図18C]図18Cは、図18Bの後の工程を示す断面斜視図である。

[図18D]図18Dは、図18Cの後の工程を示す断面斜視図である。

[図18E]図18Eは、図18Dの後の工程を示す断面斜視図である。

[図18F]図18Fは、図18Eの後の工程を示す断面斜視図である。

[図18G]図18Gは、図18Fの後の工程を示す断面斜視図である。

[図18H]図18Hは、図18Gの後の工程を示す断面斜視図である。

[図18I]図18Iは、図18Hの後の工程を示す断面斜視図である。

- [図18J]図18Jは、図18Iの後の工程を示す断面斜視図である。
- [図18K]図18Kは、図18Jの後の工程を示す断面斜視図である。
- [図18L]図18Lは、図18Kの後の工程を示す断面斜視図である。
- [図18M]図18Mは、図18Lの後の工程を示す断面斜視図である。
- [図18N]図18Nは、図18Mの後の工程を示す断面斜視図である。
- [図18O]図18Oは、図18Nの後の工程を示す断面斜視図である。
- [図19A]図19Aは、結晶方位の測定工程を説明するための概略図である。
- [図19B]図19Bは、結晶方位の測定工程を説明するための概略図である。
- [図20A]図20Aは、イオン注入工程を説明するための概略図である。
- [図20B]図20Bは、イオン注入工程を説明するための概略図である。
- [図21]図21は、第2形態例に係るトレンチ構造を示す断面斜視図である。
- [図22]図22は、第3形態例に係るトレンチ構造を示す断面斜視図である。
- [図23]図23は、第4形態例に係るトレンチ構造を示す断面斜視図である。
- [図24]図24は、第1変形例に係るSiC半導体装置を示す断面斜視図である。
- [図25]図25は、第2変形例に係るSiC半導体装置を示す断面斜視図である。

[0008] [詳細な説明]

以下、添付図面を参照して、具体的な形態が詳細に説明される。添付図面は、いずれも模式図であり、厳密に図示されたものではなく、相対的な位置関係、縮尺、比率、角度等は必ずしも一致しない。添付図面の間で対応する構造には同一の参照符号が付され、重複する説明は省略または簡略化される。説明が省略または簡略化された構造については、省略または簡略化される前になされた説明が適用される。

- [0009] この明細書において「ほぼ (substantially)」の文言が使用される場合、この文言は、比較対象の数値 (形態) と等しい数値 (形態) を含む他、比較対象の数値 (形態) を基準とする±10%の範囲の数値誤差 (形態誤差) も含む。以下の説明では「第1」、「第2」、「第3」等の文言が使用される

が、これらは説明順序を明確にするために各構造の名称に付された記号であり、各構造の名称を限定する趣旨で付されていない。

[0010] 以下の説明では、「p型」または「n型」を用いて半導体（不純物）の導電型が示されるが、「p型」が「第1導電型」と称され、「n型」が「第2導電型」と称されてもよい。むしろ、「n型」が「第1導電型」と称され、「p型」が「第2導電型」と称されてもよい。「p型」は3価元素に起因する導電型であり、「n型」は5価元素に起因する導電型である。3価元素は、特に言及されない限り、ホウ素、アルミニウム、ガリウムおよびインジウムのうちの少なくとも1種である。5価元素は、特に言及されない限り、窒素、リン、ヒ素、アンチモンおよびビスマスのうちの少なくとも1種である。

[0011] 図1は、具体的な形態に係るSiC半導体装置1を示す平面図である。図2は、図1に示すII-II線に沿う断面図である。図3は、チップ2のレイアウト例を示す平面図である。図4は、チップ2のレイアウト例を示す斜視図である。

[0012] 図5は、活性領域8と共に第1形態例に係るトレンチ構造25を示す平面図である。図6は、活性領域8と共に第1形態例に係るトレンチ構造25を示す断面斜視図である。図7は、活性領域8と共に第1形態例に係るトレンチ構造25を示す断面斜視図である。図8は、第1形態例に係るトレンチ構造25を示す拡大断面図である。図9は、第1形態例に係るトレンチ構造25を示す拡大断面図である。

[0013] 図1～図9を参照して、SiC半導体装置1は、SiC単結晶を含むチップ2を含む。チップ2は、「SiCチップ」または「半導体チップ」と称されてもよい。チップ2は、この形態（this embodiment）では、六方晶のSiC単結晶からなり、直方体形状に形成されている。六方晶のSiC単結晶は、2H（Hexagonal）-SiC単結晶、4H-SiC単結晶、6H-SiC単結晶等を含む複数種のポリタイプを有している。この形態では、チップ2が4H-SiC単結晶からなる例が示されるが、チップ2は他のポリタイプか

らなってもよい。

[0014] チップ2は、一方側の第1主面3、他方側の第2主面4、ならびに、第1主面3および第2主面4を接続する第1～第4側面5A～5Dを有している。第1主面3および第2主面4は、鉛直方向Zから見た平面視（以下、単に「平面視」という。）において四角形状に形成されている。鉛直方向Zは、チップ2の厚さ方向や第1主面3（第2主面4）の法線方向でもある。第1主面3および第2主面4は、平面視において正方形形状または長方形形状に形成されていてもよい。

[0015] 第1主面3および第2主面4は、SiC単結晶のc面によって形成されていることが好ましい。この場合、第1主面3はSiC単結晶のシリコン面（ $(0001)$ 面）によって形成され、第2主面4はSiC単結晶のカーボン面（ $(000-1)$ 面）によって形成されていることが好ましい。

[0016] 第1側面5Aを起点とするチップ2の周方向（図1では反時計回り）に関して、第2側面5Bは第1側面5Aに接続され、第3側面5Cは第2側面5Bに接続され、第4側面5Dは第1側面5Aおよび第3側面5Cに接続されている。第1側面5Aおよび第3側面5Cは、第1主面3に沿う第1方向Xに延び、第1方向Xに交差（具体的には直交）する第2方向Yに対向している。第2側面5Bおよび第4側面5Dは、第2方向Yに延び、第1方向Xに対向している。

[0017] この形態では、第1方向XがSiC単結晶のm軸方向（ $[1-100]$ 方向）であり、第2方向YがSiC単結晶のa軸方向（ $[11-20]$ 方向）である。むろん、第1方向XがSiC単結晶のa軸方向であり、第2方向YがSiC単結晶のm軸方向であってもよい。

[0018] 第1方向Xおよび第2方向Yを含むXY平面は、鉛直方向Zに直交する水平面を形成する。以下では、鉛直方向Zに沿って延びる軸が「鉛直軸」と表現されることがある。また、以下では、第1方向Xおよび第2方向Yが「水平方向」と表現されることがある。水平方向は、第1主面3に沿って延びる方向でもある。

- [0019] 図4を参照して、チップ2（第1主面3および第2主面4）は、SiC単結晶のc面に対して所定のオフ方向D<sub>o</sub>に所定の角度で傾斜したオフ角 $\theta_o$ を有している。つまり、SiC単結晶のc軸（(0001)軸）は、鉛直軸からオフ方向D<sub>o</sub>に向けてオフ角 $\theta_o$ 分だけ傾斜している。また、SiC単結晶のc面は、水平面に対してオフ角 $\theta_o$ 分だけ傾斜している。
- [0020] オフ方向D<sub>o</sub>は、SiC単結晶のa軸方向（つまり第2方向Y）であることが好ましい。オフ角 $\theta_o$ は、0°を超えて10°以下であってもよい。オフ角 $\theta_o$ は、0°を超えて1°以下、1°以上2.5°以下、2.5°以上5°以下、5°以上7.5°以下、および、7.5°以上10°以下のいずれか1つの範囲に属する値を有していてもよい。
- [0021] オフ角 $\theta_o$ は、5°以下であることが好ましい。オフ角 $\theta_o$ は、2°以上4.5°以下であることが特に好ましい。オフ角 $\theta_o$ は、典型的には、4°±0.1°の範囲に設定される。むろん、この明細書は、オフ角 $\theta_o$ が0°である形態（つまり、第1主面3がc面に対してジャスト面である形態）を除外しない。
- [0022] チップ2は、SiC単結晶からなるn型のベース層6を含む。ベース層6は、「ベースSiC層」、「ベース領域」等と称されてもよい。ベース層6は、水平方向に層状に延び、第2主面4および第1～第4側面5A～5Dの一部を形成している。ベース層6は、この形態では、SiC単結晶製の基板（つまりSiC基板）からなる。ベース層6は、前述のオフ方向D<sub>o</sub>およびオフ角 $\theta_o$ を有している。
- [0023] ベース層6は、積層方向に沿う第1軸チャンネルC1を有している。第1軸チャンネルC1は、ベース層6を構成するSiC単結晶に関して原子間距離（原子間隔）が比較的広い領域（チャンネル）であり、積層方向（結晶成長方向）に延びる結晶軸を構成する原子列によって取り囲まれている。
- [0024] つまり、第1軸チャンネルC1は、原子列が疎である領域が積層方向に延在し、平面視において水平方向の原子列（原子間距離／原子密度）が疎である領域である。第1軸チャンネルC1は、結晶軸のうち低指数結晶軸に沿う原子

列によって取り囲まれた領域であることが好ましい。低指数結晶軸は、ミラー指数（ $a_1$ 、 $a_2$ 、 $a_3$ 、 $c$ ）に関して、「 $a_1$ 」、「 $a_2$ 」、「 $a_3$ 」および「 $c$ 」の絶対値がいずれも2以下（好ましくは1以下）で表現される結晶軸である（以下、この明細書において同じ）。

[0025] 第1軸チャンネルC1は、この形態では、SiC単結晶の $c$ 軸（ $(0001)$ 軸）に沿う原子列によって取り囲まれた領域からなる。つまり、第1軸チャンネルC1は、 $c$ 軸に沿って延び、前述のオフ方向 $D_0$ およびオフ角 $\theta_0$ を有している。換言すると、第1軸チャンネルC1は、鉛直軸からオフ方向 $D_0$ に向けてオフ角 $\theta_0$ 分だけ傾斜している。

[0026] ベース層6は、 $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 以上 $1 \times 10^{21} \text{ cm}^{-3}$ 以下の $n$ 型不純物濃度をピーク値として有していてもよい。ベース層6は、厚さ方向にほぼ一定の $n$ 型不純物濃度を有していることが好ましい。ベース層6の $n$ 型不純物濃度は、単一種の5価元素によって調整されていることが好ましい。ベース層6の $n$ 型不純物濃度は、リン以外の5価元素によって調整されていることが特に好ましい。ベース層6の $n$ 型不純物濃度は、この形態では、窒素によって調整されている。

[0027] ベース層6は、第1厚さT1を有している。第1厚さT1は、 $5 \mu\text{m}$ 以上 $300 \mu\text{m}$ 以下であってもよい。第1厚さT1は、 $5 \mu\text{m}$ 以上 $50 \mu\text{m}$ 以下、 $50 \mu\text{m}$ 以上 $100 \mu\text{m}$ 以下、 $100 \mu\text{m}$ 以上 $150 \mu\text{m}$ 以下、 $150 \mu\text{m}$ 以上 $200 \mu\text{m}$ 以下、 $200 \mu\text{m}$ 以上 $250 \mu\text{m}$ 以下、および、 $250 \mu\text{m}$ 以上 $300 \mu\text{m}$ 以下のいずれか1つの範囲に属する値を有していてもよい。第1厚さT1は、 $50 \mu\text{m}$ 以上 $250 \mu\text{m}$ 以下であることが好ましい。

[0028] チップ2は、ベース層6の上に積層されたSiC単結晶製の半導体層7を含む。半導体層7は「SiC層」、「半導体領域」等と称されてもよい。半導体層7は、水平方向に層状に延び、第1主面3および第1～第4側面5A～5Dの一部を形成している。半導体層7は、ベース層6を起点に結晶成長されたエピタキシャル層（つまりSiCエピタキシャル層）からなる。

[0029] 半導体層7は、下端および上端を有している。半導体層7の下端は結晶成

長起点であり、半導体層7の上端は結晶成長終点である。半導体層7の下端は、半導体層7の底部でもある。半導体層7はベース層6から連続的に結晶成長されているため、半導体層7の下端はベース層6の上端に一致している。

[0030] ベース層6および半導体層7の間の境界部は必ずしも視認できるものではなく、他の構成や要素から間接的に評価および／または判定され得る。半導体層7は、ベース層6のオフ方向 $D_0$ およびオフ角 $\theta_0$ にほぼ一致したオフ方向 $D_0$ およびオフ角 $\theta_0$ を有している。

[0031] 半導体層7は、積層方向に沿う第2軸チャンネルC2を有している。第2軸チャンネルC2は、半導体層7を構成するSiC単結晶に関して原子間距離（原子間隔）が比較的広い領域（チャンネル）であり、積層方向（結晶成長方向）に延びる結晶軸に沿う原子列によって取り囲まれている。

[0032] つまり、第2軸チャンネルC2は、原子列が疎である領域が積層方向に延在し、平面視において水平方向の原子列（原子間距離／原子密度）が疎である領域である。第2軸チャンネルC2は、結晶軸のうち低指数結晶軸に沿う原子列によって取り囲まれた領域であることが好ましい。

[0033] 第2軸チャンネルC2は、この形態では、SiC単結晶のc軸に沿う原子列によって取り囲まれた領域からなる。つまり、第2軸チャンネルC2は、c軸に沿って延び、オフ方向 $D_0$ およびオフ角 $\theta_0$ を有している。換言すると、第2軸チャンネルC2は、鉛直軸からオフ方向 $D_0$ に向けてオフ角 $\theta_0$ 分だけ傾斜している。

[0034] 半導体層7のn型不純物濃度は、ベース層6のn型不純物濃度未満であることが好ましい。半導体層7は、 $1 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ 以上 $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 以下のn型不純物濃度をピーク値として有していてもよい。半導体層7のn型不純物濃度は、厚さ方向にほぼ一定であってもよい。むしろ、半導体層7のn型不純物濃度は、積層方向（結晶成長方向）に向けて漸増および／または漸減する濃度勾配を有していてもよい。

[0035] 半導体層7のn型不純物濃度は、この形態では、窒素によって調節されて

いる。半導体層7は、少なくとも1種の5価元素によって調整されたn型不純物濃度を有していてもよい。たとえば、半導体層7のn型不純物濃度は、窒素、リン、ヒ素、アンチモンおよびビスマスのうちの少なくとも1種によって調節されていてもよい。半導体層7は、リン以外の5価元素を含むことが好ましい。

[0036] 半導体層7のn型不純物濃度は、少なくとも窒素によって調整されていることが好ましい。半導体層7が2種以上の5価元素を含む場合、半導体層7は、窒素および窒素以外の5価元素を含むことが好ましい。この場合、半導体層7は、リンおよび窒素以外の5価元素として、ヒ素およびアンチモンのいずれか一方または双方を含むことが好ましい。

[0037] 半導体層7は、第1厚さT1未満の第2厚さT2を有している。第2厚さT2は、1 $\mu$ m以上10 $\mu$ m以下であってもよい。第2厚さT2は、1 $\mu$ m以上2 $\mu$ m以下、2 $\mu$ m以上4 $\mu$ m以下、4 $\mu$ m以上6 $\mu$ m以下、6 $\mu$ m以上8 $\mu$ m以下、および、8 $\mu$ m以上10 $\mu$ m以下のいずれか1つの範囲に属する値を有していてもよい。第2厚さT2は、2 $\mu$ m以上8 $\mu$ m以下であることが好ましい。

[0038] SiC半導体装置1は、チップ2に設定された活性領域8を含む。活性領域8は、平面視においてチップ2の周縁（第1～第4側面5A～5D）から間隔を空けてチップ2の内方部に設定されている。活性領域8は、平面視においてチップ2の周縁に平行な4辺を有する多角形状（この形態では四角形状）に設定されている。活性領域8の平面積は、第1主面3の平面積の50%以上90%以下であることが好ましい。

[0039] SiC半導体装置1は、チップ2において活性領域8外に設定された外周領域9を含む。外周領域9は、平面視においてチップ2の周縁および活性領域8の間の領域に設けられている。外周領域9は、平面視において活性領域8に沿って帯状に延び、活性領域8を取り囲む多角環状（この形態では四角環状）に設定されている。

[0040] SiC半導体装置1は、第1主面3に形成された活性面10（active surf

ace)、外周面11(outer surface)および第1~第4接続面12A~12D(connecting surface)を含む。活性面10、外周面11および第1~第4接続面12A~12Dは、第1主面3において活性台地13を区画している。

[0041] 活性面10が「第1面部」と称され、外周面11が「第2面部」と称され、第1~第4接続面12A~12Dが「接続面部」と称され、活性台地13が「メサ部」と称されてもよい。活性面10、外周面11および第1~第4接続面12A~12D(つまり活性台地13)は、チップ2(第1主面3)の構成要素と見なされてもよい。

[0042] 活性面10は、活性領域8に形成されている。つまり、活性面10は、第1主面3の周縁(第1~第4側面5A~5D)から内方に間隔を空けて形成されている。活性面10は、第1方向Xおよび第2方向Yに延びる平坦面を有している。活性面10は、この形態では、c面(Si面)によって形成されている。活性面10は、この形態では、平面視において第1~第4側面5A~5Dに平行な4辺を有する四角形状に形成されている。

[0043] 外周面11は、外周領域9に形成されている。つまり、外周面11は、活性面10外に形成されている。外周面11は、活性面10に対してチップ2の厚さ方向(第2主面4側)に窪んでいる。具体的には、外周面11は、この形態では、半導体層7を露出させるように半導体層7の厚さ未満の深さで窪んでいる。つまり、外周面11は、半導体層7の一部を挟んでベース層6に対向し、半導体層7を露出させている。

[0044] 外周面11は、平面視において活性面10に沿って帯状に延び、活性面10を取り囲む環状(具体的には四角環状)に形成されている。外周面11は、第1方向Xおよび第2方向Yに延びる平坦面を有し、活性面10に対してほぼ平行に形成されている。外周面11は、この形態では、c面(Si面)によって形成されている。外周面11は、第1~第4側面5A~5Dに連なっている。

[0045] 外周面11は、外周深さD0を有している。外周深さD0は、 $0.1\ \mu\text{m}$

以上 $2\mu\text{m}$ 以下であってもよい。外周深さ $DO$ は、 $0.1\mu\text{m}$ 以上 $0.25\mu\text{m}$ 以下、 $0.25\mu\text{m}$ 以上 $0.5\mu\text{m}$ 以下、 $0.5\mu\text{m}$ 以上 $0.75\mu\text{m}$ 以下、 $0.75\mu\text{m}$ 以上 $1\mu\text{m}$ 以下、 $1\mu\text{m}$ 以上 $1.5\mu\text{m}$ 以下、および、 $1.5\mu\text{m}$ 以上 $2\mu\text{m}$ 以下のいずれか1つの範囲に属する値を有していてもよい。外周深さ $DO$ は、 $0.1\mu\text{m}$ 以上 $1.5\mu\text{m}$ 以下であることが好ましい。

[0046] 第1～第4接続面12A～12Dは、鉛直方向 $Z$ に延び、活性面10および外周面11を接続している。第1接続面12Aは第1側面5A側に位置され、第2接続面12Bは第2側面5B側に位置され、第3接続面12Cは第3側面5C側に位置され、第4接続面12Dは第4側面5D側に位置されている。第1接続面12Aおよび第3接続面12Cは、第1方向 $X$ に延び、第2方向 $Y$ に対向している。第2接続面12Bおよび第4接続面12Dは、第2方向 $Y$ に延び、第1方向 $X$ に対向している。

[0047] 第1～第4接続面12A～12Dは、四角柱状の活性台地13が区画されるように活性面10および外周面11の間をほぼ垂直に延びていてもよい。第1～第4接続面12A～12Dは、四角錐台状の活性台地13が区画されるように活性面10から外周面11に向かって斜め下り傾斜していてもよい。このように、活性台地13は、第1主面3において半導体層7に突状に区画されている。活性台地13は、半導体層7のみに形成され、ベース層6には形成されていない。

[0048] 図6および図7を参照して、 $\text{SiC}$ 半導体装置1は、半導体層7において少なくとも活性領域8に位置する部分に形成された $n$ 型の高濃度領域15を含む。高濃度領域15は、半導体層7の $n$ 型不純物濃度よりも高い $n$ 型不純物濃度を有している。高濃度領域15は、この形態では、活性領域8から外周領域9に引き出されている。つまり、高濃度領域15は、半導体層7のうち活性領域8に位置する部分から半導体層7のうち外周領域9に位置する部分に引き出されている。高濃度領域15は、外周面11から露出している。

[0049] さらに、高濃度領域15は、外周領域9から第1～第4側面5A～5Dに

向けて延び、第1～第4側面5A～5Dから露出している。むろん、高濃度領域15は、第1～第4側面5A～5Dから内方に間隔を空けて半導体層7内に形成されていてもよい。この場合、高濃度領域15の周縁部は、活性領域8内に位置されていてもよいし、外周領域9内に位置されていてもよい。

[0050] 高濃度領域15は、半導体層7の上端側に位置された上端部、および、半導体層7の下端側に位置された下端部を有している。この形態では、高濃度領域15の上端部は半導体層7の厚さ範囲中間部に対して半導体層7の上端側の領域に位置され、高濃度領域15の下端部は半導体層7の厚さ範囲中間部に対して半導体層7の下端側の領域に位置されている。

[0051] 具体的な図示は省略されるが、高濃度領域15の上端部は第1主面3から露出してもよい。むろん、高濃度領域15の上端部は、半導体層7の上端（つまり半導体層7）から下端側に間隔を空けて形成され、半導体層7の一部（上端部）を挟んで第1主面3に対向してもよい。このような構造は、高濃度領域15のn型不純物濃度（濃度勾配）を解析することによって特定される。

[0052] 第1主面3および高濃度領域15の上端部の間の距離は、 $0\ \mu\text{m}$ 以上 $1\ \mu\text{m}$ 以下であってもよい。第1主面3および高濃度領域15の上端部の間の距離は、 $0\ \mu\text{m}$ 以上 $0.25\ \mu\text{m}$ 以下、 $0.25\ \mu\text{m}$ 以上 $0.5\ \mu\text{m}$ 以下、 $0.5\ \mu\text{m}$ 以上 $0.75\ \mu\text{m}$ 以下、および、 $0.75\ \mu\text{m}$ 以上 $1\ \mu\text{m}$ 以下のいずれか1つの範囲に属する値を有してもよい。

[0053] 高濃度領域15の下端部は、半導体層7の下端（つまりベース層6）から上端側に間隔を空けて形成され、半導体層7の一部（下端部）を挟んでベース層6に対向している。半導体層7の下端および高濃度領域15の下端部の間の距離は、 $0\ \mu\text{m}$ を超えて $5\ \mu\text{m}$ 以下であってもよい。半導体層7の下端および高濃度領域15の下端部の間の距離は、 $0\ \mu\text{m}$ を超えて $1\ \mu\text{m}$ 以下、 $1\ \mu\text{m}$ 以上 $2\ \mu\text{m}$ 以下、 $2\ \mu\text{m}$ 以上 $3\ \mu\text{m}$ 以下、 $3\ \mu\text{m}$ 以上 $4\ \mu\text{m}$ 以下、および、 $4\ \mu\text{m}$ 以上 $5\ \mu\text{m}$ 以下のいずれか1つの範囲に属する値を有してもよい。

- [0054] 高濃度領域15は、半導体層7の第2厚さT2未満の厚さを有している。高濃度領域15の厚さは、1 $\mu$ m以上10 $\mu$ m未満であってもよい。高濃度領域15の厚さは、1 $\mu$ m以上2 $\mu$ m以下、2 $\mu$ m以上4 $\mu$ m以下、4 $\mu$ m以上6 $\mu$ m以下、6 $\mu$ m以上8 $\mu$ m以下、および、8 $\mu$ m以上10 $\mu$ m未満のいずれか1つの範囲に属する値を有していてもよい。高濃度領域15の厚さは、2 $\mu$ m以上8 $\mu$ m以下であることが好ましい。むろん、高濃度領域15の下端部は、ベース層6および半導体層7の境界部を横切り、ベース層6内に位置されていてもよい。
- [0055] 高濃度領域15は、断面視において半導体層7内で第2軸チャネルC2に沿って延びるp型のチャネリング領域からなる。つまり、高濃度領域15は、半導体層7内において低指数結晶軸に沿う原子列によって取り囲まれた領域（第2軸チャネルC2）に対して平行にまたはほぼ平行に導入された不純物領域からなり、第1主面3に対して傾斜して延びている。
- [0056] したがって、高濃度領域15は、第2軸チャネルC2のオフ方向D $\circ$ およびオフ角 $\theta\circ$ にほぼ一致したオフ方向D $\circ$ およびオフ角 $\theta\circ$ を有している。換言すると、高濃度領域15は、鉛直軸からオフ方向D $\circ$ に向けてオフ角 $\theta\circ$ 分だけ傾斜している。高濃度領域15は、第2軸チャネルC2に沿って半導体層7の中間部を横切る厚さ（深さ）を有する単一の不純物領域からなる。
- [0057] 高濃度領域15は、 $1 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ 以上 $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 以下のn型不純物濃度をピーク値として有していてもよい。高濃度領域15のn型不純物濃度は、少なくとも1種の5価元素によって調整されていることが好ましい。たとえば、高濃度領域15のn型不純物濃度は、窒素、リン、ヒ素、アンチモンおよびビスマスのうちの少なくとも1種によって調節されていてもよい。
- [0058] 高濃度領域15は、窒素およびリン以外の5価元素を含むことが好ましい。高濃度領域15のn型不純物濃度は、ヒ素、アンチモンおよびビスマスのうちの少なくとも1種によって調整されていることが好ましい。入手容易性

を鑑みると、高濃度領域15のn型不純物濃度は、ヒ素またはアンチモンによって調節されていることが好ましい。

[0059] 以下、高濃度領域15のn型濃度勾配が具体的に説明される。図10は、高濃度領域15のn型濃度勾配の一例を示すグラフ（シミュレーション）である。図11は、高濃度領域15のn型濃度勾配の比較例を示すグラフ（シミュレーション）である。図10および図11において、縦軸は高濃度領域15のn型不純物濃度を示し、横軸は第1主面3を基準（ゼロ地点）とする第2軸チャンネルC2に沿う深さを示している。

[0060] 図10および図11では、 $1 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ 以上のn型不純物濃度を有する領域が高濃度領域15と定義され、グラフとして図示されている。以下に示される不純物濃度や厚さ等の数値は、高濃度領域15の基本的な構成を濃度勾配に基づいて説明するための例示であり、高濃度領域15の構成を一義的に限定する趣旨で示されていない。不純物濃度や厚さ等は、5価元素の注入条件（ドーズ量、注入温度、注入エネルギー等）等に応じて種々の値に調節される。

[0061] 図10は、チャネリング注入法によって高濃度領域15を形成した場合のグラフである。図10は、500KeV以上800KeV以下の注入エネルギーによって、第2軸チャンネルC2に対して平行にまたはほぼ平行に所定の5価元素（ここではヒ素）を半導体層7に導入したときの高濃度領域15の濃度勾配を示している。

[0062] 5価元素のドーズ量は $1 \times 10^{13} \text{ cm}^{-2}$ である。半導体層7の厚さは、5 $\mu\text{m}$ 程度である。図10では、1500KeV以上2500KeV以下の注入エネルギーによって高濃度領域15を形成した場合の濃度勾配が破線によって示されている。

[0063] 一方、図11は、ランダム注入法によって高濃度領域15を形成した場合のグラフである。図11は、500KeV以上800KeV以下の注入エネルギーによって、ランダム方向に所定の5価元素（ここではヒ素）を半導体層7に導入したときの高濃度領域15の濃度勾配を示している。

- [0064] ランダム方向は、第2軸チャンネルC2に平行（ほぼ平行）ではない方向（たとえば鉛直方向Z）である。5価元素のドーズ量は $1 \times 10^{13} \text{ cm}^{-2}$ である。半導体層7の厚さは、 $5 \mu\text{m}$ 程度である。図11では、 $1500 \text{ KeV}$ 以上 $2500 \text{ KeV}$ 以下の注入エネルギーによって高濃度領域15を形成した場合の濃度勾配が破線によって示されている。
- [0065] 図10を参照して、高濃度領域15は、 $2.1 \mu\text{m}$ 以上 $2.4 \mu\text{m}$ 以下の厚さを有し、第1主面3から半導体層7の下端側に離間した上端部、および、半導体層7の下端から上端側に離間した下端部を有している。高濃度領域15は、上端部側から下端部側に向けて漸減する濃度勾配を有している。
- [0066] 具体的には、高濃度領域15のn型不純物濃度は、上端部側から下端部側に向けて、第1漸増部16、第1ピーク部17、第1緩慢部18および第1漸減部19を含む濃度勾配を有している。第1漸増部16は、高濃度領域15の上端部を形成する部分であり、上端部から下端部側に向けて比較的急峻な増加率で第1ピーク部17までn型不純物濃度が漸増している。
- [0067] 第1ピーク部17は、n型不純物濃度の第1ピーク値P1（最大値）を有する部分である。第1ピーク部17は、n型不純物濃度が増加（増加傾向）から低下（低下傾向）に転じる一連の濃度変化（変曲点）を含む凸状の主たる濃度遷移部でもある。
- [0068] 第1緩慢部18は、第1ピーク部17よりも下端部側の領域に形成され、比較的緩慢な低下率で不純物濃度が漸減する部分である。つまり、第1緩慢部18は、一定の深さ範囲において一定のn型不純物濃度を維持する部分であり、高濃度領域15の本体部を形成している。第1緩慢部18のn型不純物濃度は、第1ピーク部17のn型不純物濃度未満の濃度範囲において漸減している。
- [0069] 第1緩慢部18は、少なくとも $0.5 \mu\text{m}$ の厚さ範囲において50%以下の濃度低下率を有する部分によって定義される。第1緩慢部18は、図10の例では、 $0.8 \mu\text{m}$ 以上 $1.1 \mu\text{m}$ 以下の厚さを有し、当該厚さ範囲において50%以下の濃度低下率を有している。

- [0070] 第1緩慢部18は、高濃度領域15のうちの1/4以上の厚さ範囲を占めている。具体的には、高濃度領域15に占める第1緩慢部18の割合は、1/3以上である。高濃度領域15に占める第1緩慢部18の割合は、典型的には、1/2以下（1/2未満）である。むろん、高濃度領域15に占める第1緩慢部18の割合は、1/2以上であってもよい。
- [0071] 第1漸減部19は、高濃度領域15の下端部を形成する部分である。第1漸減部19は、第1緩慢部18における濃度低下率よりも大きい濃度低下率を有し、第1緩慢部18から下端部に向けてn型不純物濃度が漸減する部分である。第1漸減部19の単位厚さ当たりの濃度低下率は、第1緩慢部18の単位厚さ当たりの濃度低下率よりも大きい。
- [0072] チャネリング注入法の場合、高濃度領域15の厚さ（深さ）は注入エネルギーの増加に伴って大きくなる。第1主面3に対する高濃度領域15の上端部の深さ位置は、注入エネルギーの増加に伴って大きくなる。第1漸増部16の厚さ、第1ピーク部17の厚さ、第1緩慢部18の厚さおよび第1漸減部19の厚さは、注入エネルギーの増加に伴って大きくなる。一方、高濃度領域15の第1ピーク値P1は、注入エネルギーの増加に伴って低下する。これは、注入エネルギーの増加に伴って深い領域まで5価元素が導入され、当該深い領域のn型不純物濃度が増加したことに起因している。
- [0073] これとは反対に、第1主面3に対する高濃度領域15の上端部の深さ位置は、注入エネルギーの低下に伴って小さくなる。第1漸増部16の厚さ、第1ピーク部17の厚さ、第1緩慢部18の厚さおよび第1漸減部19の厚さは、注入エネルギーの低下に伴って小さくなる。一方、高濃度領域15の第1ピーク値P1は、注入エネルギーの低下に伴って上昇する。これは、注入エネルギーの低下に伴って浅い領域で5価元素が捕獲されるためである。
- [0074] 一方、図11を参照して、ランダム注入法の場合、高濃度領域15は0.5 $\mu$ mの範囲に第1漸増部16、第1ピーク部17（第1ピーク値P1）および第1漸減部19を有する一方、0.5 $\mu$ m以上の厚さを有する第1緩慢部18を有さない。また、ランダム注入法の場合、注入エネルギーの増加に伴

って第1主面3に対する第1ピーク部17（第1ピーク値P1）の深さ位置は大きくなったが、高濃度領域15の厚さは2 $\mu$ m未満であった。つまり、注入エネルギーを増加させたとしても、厚さは大きく変動しなかった。

[0075] このことから、SiC単結晶は不純物が拡散し難い物性を有しているところ、ランダム注入法の場合、比較的大きい第2厚さT2（たとえば1 $\mu$ m以上）を有する半導体層7に対して、単一の領域からなる比較的大きい厚さ（たとえば1 $\mu$ m以上5 $\mu$ m以下の厚さ）の高濃度領域15を形成することが困難であると理解される。

[0076] 図6～図9を参照して、SiC半導体装置1は、第1主面3（活性面10）の表層部に形成されたp型のボディ領域20を含む。ボディ領域20は、この形態では、活性面10に沿って延びる層状に形成されている。ボディ領域20は、活性面10の全域に形成され、第1～第4接続面12A～12Dから露出してもよい。ボディ領域20は、半導体層7の下端から活性面10側に間隔を空けて形成されている。ボディ領域20は、外周面11の深さ位置から活性面10側に間隔を空けて形成され、活性面10から露出していることが好ましい。

[0077] ボディ領域20は、半導体層7に対するランダム注入法によって半導体層7の表層部に導入されたランダム領域からなる。したがって、ボディ領域20は、高濃度領域15とは異なり、第1緩慢部18のような緩慢部を有さない。ボディ領域20は、第2軸チャネルC2に沿う方向に関して高濃度領域15の厚さ未満の厚さを有している。

[0078] ボディ領域20は、 $1 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ 以上 $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 以下のp型不純物濃度をピーク値として有していてもよい。ボディ領域20のp型不純物濃度は、少なくとも1種の3価元素によって調整されていることが好ましい。ボディ領域20の3価元素は、ホウ素、アルミニウム、ガリウムおよびインジウムのうちの少なくとも1種であってもよい。

[0079] SiC半導体装置1は、活性領域8において第1主面3（活性面10）に形成されたトレンチ電極型の複数のトレンチ構造25を含む。トレンチ構造

25は、「ゲート構造」、「トレンチゲート構造」等と称されてもよい。複数のトレンチ構造25には、制御電位としてのゲート電位が付与される。複数のトレンチ構造25は、ゲート電位に応答してボディ領域20内におけるチャンネル（電流経路）の反転および非反転を制御する。

[0080] 複数のトレンチ構造25は、活性領域8において活性面10の周縁（第1～第4接続面12A～12D）から内方に間隔を空けて配置されている。複数のトレンチ構造25は、この形態では、第1方向Xに間隔を空けて配列され、第2方向Yに延びる帯状にそれぞれ形成されている。

[0081] つまり、複数のトレンチ構造25は、m軸方向に間隔を空けて配列され、a軸方向にそれぞれ延びている。また、複数のトレンチ構造25は、この形態では、a軸方向（第2方向Y）に延びるストライプ状に配列されている。複数のトレンチ構造25の延在方向は半導体層7のオフ方向D<sub>o</sub>に一致している。

[0082] 複数のトレンチ構造25は、半導体層7の下端（ベース層6）から第1主面3（活性面10）側に間隔を空けて形成され、半導体層7の一部を挟んでベース層6に対向している。複数のトレンチ構造25は、複数のトレンチ構造25の底壁および半導体層7の下端（ベース層6）の間の領域において下側領域7aを区画している。

[0083] 複数のトレンチ構造25は、この形態では、高濃度領域15の底部から第1主面3（活性面10）側に間隔を空けて形成され、高濃度領域15の一部（下端部）を挟んで半導体層7の一部（下端部）に対向している。つまり、下側領域7aは、半導体層7の一部（下端部）および高濃度領域15の一部（下端部）によって形成されている。

[0084] 複数のトレンチ構造25は、高濃度領域15の厚さ範囲中間部から活性面10側に間隔を形成されていることが好ましい。むしろ、複数のトレンチ構造25は、高濃度領域15の厚さ範囲中間部を横切る深さ位置に形成されていてもよい。

[0085] 各トレンチ構造25は、配列方向にトレンチ幅WTを有し、鉛直方向Zに

トレンチ深さDTを有している。トレンチ幅WTは、半導体層7の第2厚さT2未満であることが好ましい。トレンチ幅WTは、高濃度領域15の厚さ未満であることが好ましい。トレンチ幅WTは、0.1 $\mu$ m以上5 $\mu$ m以下であってもよい。

[0086] トレンチ幅WTは、0.1 $\mu$ m以上0.25 $\mu$ m以下、0.25 $\mu$ m以上0.5 $\mu$ m以下、0.5 $\mu$ m以上0.75 $\mu$ m以下、0.75 $\mu$ m以上1 $\mu$ m以下、1 $\mu$ m以上1.5 $\mu$ m以下、1.5 $\mu$ m以上2 $\mu$ m以下、2 $\mu$ m以上2.5 $\mu$ m以下、2.5 $\mu$ m以上3 $\mu$ m以下、3 $\mu$ m以上3.5 $\mu$ m以下、3.5 $\mu$ m以上4 $\mu$ m以下、4 $\mu$ m以上4.5 $\mu$ m以下、および、4.5 $\mu$ m以上5 $\mu$ m以下のいずれか1つの範囲に属する値を有していてもよい。

[0087] トレンチ深さDTは、半導体層7の第2厚さT2未満であることが好ましい。トレンチ深さDTは、高濃度領域15の厚さ未満であることが好ましい。トレンチ深さDTは、前述の外周深さDOとほぼ等しいことが特に好ましい。むろん、トレンチ深さDTは、外周深さDO以上であってもよいし、外周深さDO未満であってもよい。

[0088] トレンチ深さDTは、トレンチ幅WTよりも大きいことが好ましい。つまり、複数のトレンチ構造25は、縦長柱状に延びるアスペクト比DT/WTそれぞれ有していることが好ましい。アスペクト比DT/WTは、トレンチ深さDTに対するトレンチ幅WTの比である。トレンチ深さDTは、0.1 $\mu$ m以上5 $\mu$ m以下であってもよい。

[0089] トレンチ深さDTは、0.1 $\mu$ m以上0.25 $\mu$ m以下、0.25 $\mu$ m以上0.5 $\mu$ m以下、0.5 $\mu$ m以上1 $\mu$ m以下、1 $\mu$ m以上1.5 $\mu$ m以下、1.5 $\mu$ m以上2 $\mu$ m以下、2 $\mu$ m以上3 $\mu$ m以下、3 $\mu$ m以上4 $\mu$ m以下、および、4 $\mu$ m以上5 $\mu$ m以下のいずれか1つの範囲に属する値を有していてもよい。トレンチ深さDTは、0.1 $\mu$ m以上1.5 $\mu$ m以下であることが好ましい。

[0090] 複数のトレンチ構造25は、第1方向XにトレンチピッチPTの間隔を空けて配列されている。トレンチピッチPTは、半導体層7の第2厚さT2未

満であることが好ましい。トレンチピッチPTは、高濃度領域15の厚さ未満であることが好ましい。トレンチピッチPTは、トレンチ深さDT未満であることが好ましい。トレンチピッチPTは、 $0.1\mu\text{m}$ 以上 $5\mu\text{m}$ 以下であってもよい。

[0091] トレンチピッチPTは、 $0.1\mu\text{m}$ 以上 $0.25\mu\text{m}$ 以下、 $0.25\mu\text{m}$ 以上 $0.5\mu\text{m}$ 以下、 $0.5\mu\text{m}$ 以上 $0.75\mu\text{m}$ 以下、 $0.75\mu\text{m}$ 以上 $1\mu\text{m}$ 以下、 $1\mu\text{m}$ 以上 $1.5\mu\text{m}$ 以下、 $1.5\mu\text{m}$ 以上 $2\mu\text{m}$ 以下、 $2\mu\text{m}$ 以上 $2.5\mu\text{m}$ 以下、 $2.5\mu\text{m}$ 以上 $3\mu\text{m}$ 以下、 $3\mu\text{m}$ 以上 $3.5\mu\text{m}$ 以下、 $3.5\mu\text{m}$ 以上 $4\mu\text{m}$ 以下、 $4\mu\text{m}$ 以上 $4.5\mu\text{m}$ 以下、および、 $4.5\mu\text{m}$ 以上 $5\mu\text{m}$ 以下のいずれか1つの範囲に属する値を有していてもよい。トレンチピッチPTは、 $0.5\mu\text{m}$ 以上 $1.5\mu\text{m}$ 以下であることが好ましい。

[0092] 各トレンチ構造25は、トレンチ26、絶縁膜27および埋設電極28を含む。トレンチ26は、活性面10に形成され、トレンチ構造25の壁面（側壁および底壁）を区画している。トレンチ26の底壁は、平坦に延びる部分を有していることが好ましい。

[0093] 底壁の平坦部は、第1主面3に対してほぼ平行に延びていることが特に好ましい。つまり、トレンチ26の底壁は、c面に対して所定のオフ方向D0に所定の角度で傾斜したオフ角 $\theta_0$ を有していることが好ましい。つまり、トレンチ26の底壁は、オフ方向D0に延びる平坦部を有していることが好ましい。むろん、底壁は、半導体層7の下端側に向けて円弧状に湾曲していてもよい。

[0094] 絶縁膜27は、トレンチ26の壁面を被覆している。絶縁膜27は、酸化シリコン膜、窒化シリコン膜および酸窒化シリコン膜のうちの少なくとも1つを含んでいてもよい。絶縁膜27は、この形態では、酸化シリコン膜からなる単層構造を有している。絶縁膜27は、チップ2の酸化物からなる酸化シリコン膜を含むことが特に好ましい。

[0095] 埋設電極28は、トレンチ26に埋設され、絶縁膜27を挟んでチャンネル

に対向している。埋設電極 28 は、この形態では、絶縁膜 27 を挟んで高濃度領域 15 およびボディ領域 20 に対向している。埋設電極 28 は、p 型または n 型の導電性ポリシリコンを含んでいてもよい。

[0096] SiC 半導体装置 1 は、半導体層 7 内において水平方向に間隔を空けて形成された p 型の複数のコラム領域 30 を含む。具体的には、複数のコラム領域 30 は、半導体層 7 内において下側領域 7a に形成されている。つまり、複数のコラム領域 30 は、半導体層 7 の下端および複数のトレンチ構造 25 の底壁の間の厚さ範囲に形成されている。

[0097] 複数のコラム領域 30 は、下側領域 7a において第 1 方向 X に間隔を空けて配列され、第 2 方向 Y に延びる帯状にそれぞれ形成されている。つまり、複数のコラム領域 30 は、m 軸方向に間隔を空けて配列され、SiC 単結晶の a 軸方向に延びている。複数のコラム領域 30 は a 軸方向（第 2 方向 Y）に延びるストライプ状に形成され、複数のコラム領域 30 の延在方向は半導体層 7 のオフ方向 D<sub>o</sub> に一致している。

[0098] 複数のコラム領域 30 は、積層方向に複数のトレンチ構造 25 に重なっている。具体的には、複数のコラム領域 30 は、積層方向に複数のトレンチ構造 25 と 1 対 1 の対応関係で重なっている。複数のコラム領域 30 は、活性領域 8 において活性面 10 の周縁（第 1～第 4 接続面 12A～12D）から内方に間隔を空けて形成されている。

[0099] 第 2 方向 Y に関して、複数のコラム領域 30 の両端部は、複数のトレンチ構造 25 の両端部に対して活性領域 8 の内方側に位置されていてもよい。第 2 方向 Y に関して、複数のコラム領域 30 の両端部は、複数のトレンチ構造 25 の両端部に対して活性領域 8 の周縁側に位置されていてもよい。

[0100] 複数のコラム領域 30 は、トレンチ構造 25 の底壁側に位置された上端部、および、半導体層 7 の下端側に位置された下端部を有している。この形態では、複数のコラム領域 30 の上端部は下側領域 7a の厚さ範囲中間部に対してトレンチ構造 25 の底壁側の領域に位置され、複数のコラム領域 30 の下端部は下側領域 7a の厚さ範囲中間部に対して半導体層 7 の下端側の領域

に位置されている。

- [0101] 複数のコラム領域 30 の上端部は、外周面 11 の深さ位置に対して半導体層 7 の下端側に間隔を空けて形成されている。複数のコラム領域 30 の上端部は、複数のトレンチ構造 25 の底壁から半導体層 7 の下端側に間隔を空けて形成され、半導体層 7 の一部を挟んで複数のトレンチ構造 25 に対向している。
- [0102] 具体的には、複数のコラム領域 30 の上端部は、高濃度領域 15 の一部を挟んで複数のトレンチ構造 25 に対向している。つまり、複数のコラム領域 30 の上端部は、比較的高濃度な高濃度領域 15 に電氣的に接続されている。むろん、複数のコラム領域 30 の上端部は、複数のトレンチ構造 25 の底壁に接続されていてもよい。
- [0103] 複数のトレンチ構造 25 の底壁および複数のコラム領域 30 の上端部の間の中間距離は、 $0\ \mu\text{m}$  以上  $1\ \mu\text{m}$  以下であってもよい。中間距離は、 $0\ \mu\text{m}$  以上  $0.25\ \mu\text{m}$  以下、 $0.25\ \mu\text{m}$  以上  $0.5\ \mu\text{m}$  以下、 $0.5\ \mu\text{m}$  以上  $0.75\ \mu\text{m}$  以下、および、 $0.75\ \mu\text{m}$  以上  $1\ \mu\text{m}$  以下のいずれか 1 つの範囲に属する値を有していてもよい。
- [0104] 複数のコラム領域 30 の下端部は、高濃度領域 15 の底部を横切って半導体層 7 内に引き出されている。つまり、複数のコラム領域 30 は、高濃度領域 15 の底部および複数のトレンチ構造 25 の底壁の間の領域に位置された部分、および、半導体層 7 の下端および高濃度領域 15 の底部の間の領域に位置された部分を含む。複数のコラム領域 30 の下端部は、比較的低濃度な半導体層 7 に電氣的に接続されている。
- [0105] 複数のコラム領域 30 のうち高濃度領域 15 内に位置された部分の断面積は、複数のコラム領域 30 のうち半導体層 7 内に位置された部分の断面積よりも大きいことが好ましい。むろん、複数のコラム領域 30 のうち高濃度領域 15 内に位置された部分の断面積は、複数のコラム領域 30 のうち半導体層 7 内に位置された部分の断面積よりも小さくてもよい。
- [0106] 複数のコラム領域 30 の下端部は、この形態では、半導体層 7 の下端から

高濃度領域 15 の底部側に間隔を空けて形成され、半導体層 7 の一部を挟んでベース層 6 に対向している。むろん、複数のコラム領域 30 の下端部は、半導体層 7 およびベース層 6 の境界部を横切り、ベース層 6 内に位置されていてもよい。高濃度領域 15 の下端部がベース層 6 内に位置されている場合、複数のコラム領域 30 の下端部はベース層 6 内において高濃度領域 15 の底部を横切ってもよい。

[0107] 半導体層 7 の下端および複数のコラム領域 30 の下端部の間の下端距離は、 $0\ \mu\text{m}$ 以上 $2\ \mu\text{m}$ 以下であってもよい。下端距離は、 $0\ \mu\text{m}$ 以上 $0.5\ \mu\text{m}$ 以下、 $0.5\ \mu\text{m}$ 以上 $1\ \mu\text{m}$ 以下、 $1\ \mu\text{m}$ 以上 $1.5\ \mu\text{m}$ 以下、および、 $1.5\ \mu\text{m}$ 以上 $2\ \mu\text{m}$ 以下のいずれか1つの範囲に属する値を有していてもよい。

[0108] むろん、比較的厚い高濃度領域 15 が形成されている場合、複数のコラム領域 30 の下端部は、高濃度領域 15 の底部からトレンチ構造 25 の底壁側に間隔を空けて形成されていてもよい。つまり、複数のコラム領域 30 は、上端部および下端部の双方において高濃度領域 15 に電氣的に接続されていてもよい。

[0109] 複数のコラム領域 30 は、断面視において第 2 軸チャンネル C 2 に沿って延びるチャネリング領域からなる。つまり、コラム領域 30 は、半導体層 7 内において低指数結晶軸に沿う原子列によって取り囲まれた領域（第 2 軸チャンネル C 2）に対して平行にまたはほぼ平行に導入された不純物領域であり、第 1 主面 3 に対して傾斜して延びている。

[0110] したがって、複数のコラム領域 30 は、第 2 軸チャンネル C 2 のオフ方向  $D_0$  およびオフ角  $\theta_0$  にほぼ一致したオフ方向  $D_0$  およびオフ角  $\theta_0$  を有している。換言すると、複数のコラム領域 30 は、鉛直軸からオフ方向  $D_0$  に向けてオフ角  $\theta_0$  分だけ傾斜している。複数のコラム領域 30 は、第 2 軸チャンネル C 2 に沿って下側領域 7 a の中間部を横切る厚さ（深さ）を有する単一の領域からなる。

[0111] 複数のコラム領域 30 は、 $1 \times 10^{15}\ \text{cm}^{-3}$ 以上 $1 \times 10^{18}\ \text{cm}^{-3}$ 以下の

p型不純物濃度をピーク値として有していてもよい。コラム領域30のp型不純物濃度（ピーク値）は、ボディ領域20のp型不純物濃度（ピーク値）よりも高くてもよい。コラム領域30のp型不純物濃度（ピーク値）は、ボディ領域20のp型不純物濃度（ピーク値）未満であってもよい。

[0112] コラム領域30のp型不純物濃度は、少なくとも1種の3価元素によって調整されていることが好ましい。コラム領域30のp型不純物濃度は、炭素よりも重たい重元素に属する3価元素によって調整されていることが特に好ましい。つまり、コラム領域30は、ホウ素以外の3価元素（アルミニウム、ガリウムおよびインジウムのうちの少なくとも1種）を含むことが好ましい。コラム領域30のp型不純物濃度は、この形態では、アルミニウムによって調整されている。

[0113] 複数のコラム領域30は、配列方向にコラム幅WCをそれぞれ有している。コラム幅WCは、トレンチ幅WTとほぼ等しくてもよい。コラム幅WCは、トレンチ幅WTよりも大きくてもよい。コラム幅WCは、トレンチ幅WT未満であってもよい。コラム幅WCは、トレンチ深さDT未満であってもよい。コラム幅WCは、トレンチ深さDTよりも大きくてもよい。コラム幅WCは、半導体層7の第2厚さT2未満であることが好ましい。コラム幅WCは、高濃度領域15の厚さ未満であることが好ましい。

[0114] コラム幅WCは、0.1  $\mu\text{m}$ 以上5  $\mu\text{m}$ 以下であってもよい。コラム幅WCは、0.1  $\mu\text{m}$ 以上0.25  $\mu\text{m}$ 以下、0.25  $\mu\text{m}$ 以上0.5  $\mu\text{m}$ 以下、0.5  $\mu\text{m}$ 以上0.75  $\mu\text{m}$ 以下、0.75  $\mu\text{m}$ 以上1  $\mu\text{m}$ 以下、1  $\mu\text{m}$ 以上1.5  $\mu\text{m}$ 以下、1.5  $\mu\text{m}$ 以上2  $\mu\text{m}$ 以下、2  $\mu\text{m}$ 以上2.5  $\mu\text{m}$ 以下、2.5  $\mu\text{m}$ 以上3  $\mu\text{m}$ 以下、3  $\mu\text{m}$ 以上3.5  $\mu\text{m}$ 以下、3.5  $\mu\text{m}$ 以上4  $\mu\text{m}$ 以下、4  $\mu\text{m}$ 以上4.5  $\mu\text{m}$ 以下、および、4.5  $\mu\text{m}$ 以上5  $\mu\text{m}$ 以下のいずれか1つの範囲に属する値を有していてもよい。

[0115] 複数のコラム領域30は、コラム厚さTC（領域深さ）をそれぞれ有している。コラム厚さTCは、半導体層7の第2厚さT2未満であることが好ましい。コラム厚さTCは、高濃度領域15の厚さ未満であることが好ましい。

。コラム厚さTCは、トレンチ深さDT以上であることが特に好ましい。コラム厚さTCは、トレンチ幅WTよりも大きいことが好ましい。コラム厚さTCは、トレンチ深さDTよりも大きいことが特に好ましい。むろん、コラム厚さTCは、トレンチ深さDT未満であってもよい。

[0116] コラム厚さTCは、トレンチ深さDTの1倍以上5倍以下であってもよい。トレンチ深さDTに対するコラム厚さTCの比 $TC/DT$ は、1以上1.5以下、1.5以上2以下、2以上2.5以下、2.5以上3以下、3以上3.5以下、3.5以上4以下、4以上4.5以下、および、4.5以上5以下のいずれか1つの範囲に属する値を有していてもよい。

[0117] コラム厚さTCは、コラム幅WCよりも大きいことが好ましい。つまり、複数のコラム領域30は、第2軸チャンネルC2に沿って縦長柱状に延びるアスペクト比 $TC/WC$ をそれぞれ有していることが好ましい。アスペクト比 $TC/WC$ は、コラム幅WCに対するコラム厚さTCの比である。コラム厚さTCは、1 $\mu\text{m}$ 以上5 $\mu\text{m}$ 以下であることが好ましい。

[0118] コラム厚さTCは、1 $\mu\text{m}$ 以上1.5 $\mu\text{m}$ 以下、1.5 $\mu\text{m}$ 以上2 $\mu\text{m}$ 以下、2 $\mu\text{m}$ 以上2.5 $\mu\text{m}$ 以下、2.5 $\mu\text{m}$ 以上3 $\mu\text{m}$ 以下、3 $\mu\text{m}$ 以上3.5 $\mu\text{m}$ 以下、3.5 $\mu\text{m}$ 以上4 $\mu\text{m}$ 以下、4 $\mu\text{m}$ 以上4.5 $\mu\text{m}$ 以下、および、4.5 $\mu\text{m}$ 以上5 $\mu\text{m}$ 以下のいずれか1つの範囲に属する値を有していてもよい。

[0119] 複数のコラム領域30は、配列方向にコラムピッチPCの間隔を空けて形成されている。コラムピッチPCは、トレンチピッチPTとほぼ等しくてもよい。コラムピッチPCは、トレンチピッチPTよりも大きくてもよい。コラムピッチPCは、トレンチピッチPT未満であってもよい。

[0120] コラムピッチPCは、コラム厚さTC未満であることが好ましい。コラムピッチPCは、トレンチ深さDT未満であることが好ましい。コラムピッチPCは、半導体層7の第2厚さT2未満であることが好ましい。コラムピッチPCは、高濃度領域15の厚さ未満であることが好ましい。コラムピッチPCは、0.1 $\mu\text{m}$ 以上5 $\mu\text{m}$ 以下であってもよい。

[0121] コラムピッチPCは、 $0.1\ \mu\text{m}$ 以上 $0.25\ \mu\text{m}$ 以下、 $0.25\ \mu\text{m}$ 以上 $0.5\ \mu\text{m}$ 以下、 $0.5\ \mu\text{m}$ 以上 $0.75\ \mu\text{m}$ 以下、 $0.75\ \mu\text{m}$ 以上 $1\ \mu\text{m}$ 以下、 $1\ \mu\text{m}$ 以上 $1.5\ \mu\text{m}$ 以下、 $1.5\ \mu\text{m}$ 以上 $2\ \mu\text{m}$ 以下、 $2\ \mu\text{m}$ 以上 $2.5\ \mu\text{m}$ 以下、 $2.5\ \mu\text{m}$ 以上 $3\ \mu\text{m}$ 以下、 $3\ \mu\text{m}$ 以上 $3.5\ \mu\text{m}$ 以下、 $3.5\ \mu\text{m}$ 以上 $4\ \mu\text{m}$ 以下、 $4\ \mu\text{m}$ 以上 $4.5\ \mu\text{m}$ 以下、および、 $4.5\ \mu\text{m}$ 以上 $5\ \mu\text{m}$ 以下のいずれか1つの範囲に属する値を有していてもよい。コラムピッチPCは、 $0.5\ \mu\text{m}$ 以上 $1.5\ \mu\text{m}$ 以下であることが好ましい。

[0122] 以下、コラム領域30のp型濃度勾配が具体的に説明される。図12は、コラム領域30のp型濃度勾配の一例を示すグラフである。図12において、縦軸はコラム領域30のp型不純物濃度を示し、横軸はトレンチ構造25の底壁を基準（ゼロ地点）とする第2軸チャンネルC2に沿う深さを示している。

[0123] 図12では、 $1 \times 10^{15}\ \text{cm}^{-3}$ 以上のp型不純物濃度を有する領域がコラム領域30と定義され、グラフとして図示されている。以下に示される不純物濃度や厚さ等の数値は、コラム領域30の基本的な構成を濃度勾配に基づいて説明するための例示であり、コラム領域30の構成を一義的に限定する趣旨で示されていない。不純物濃度や厚さ等は、3価元素の注入条件（ドーズ量、注入温度、注入エネルギー等）等に応じて種々の値に調節される。

[0124] 図12は、チャネリング注入法によってコラム領域30を形成した場合のグラフである。図12は、 $500\ \text{KeV}$ 以上 $800\ \text{KeV}$ 以下の注入エネルギーによって、第2軸チャンネルC2に対して平行にまたはほぼ平行に所定の3価元素（ここではアルミニウム）を下側領域7aに導入したときのコラム領域30の濃度勾配を示している。

[0125] 3価元素のドーズ量は $1 \times 10^{13}\ \text{cm}^{-2}$ である。トレンチ深さDTは $1\ \mu\text{m}$ 程度であり、下側領域7aの厚さは $4\ \mu\text{m}$ 程度である。図12では、 $1500\ \text{KeV}$ 以上 $2500\ \text{KeV}$ 以下の注入エネルギーによってコラム領域30を形成した場合の濃度勾配が破線によって示されている。

- [0126] 図12を参照して、コラム領域30は、 $2.5\mu\text{m}$ 以上 $2.8\mu\text{m}$ 以下の厚さを有し、トレンチ構造25の底壁から半導体層7の下端側に離間した上端部、および、半導体層7の下端から上端側に離間した下端部を有している。
- [0127] コラム領域30のp型不純物濃度は、上端部側から下端部側に向けて、第2漸増部31、第2ピーク部32、第2緩慢部33および第2漸減部34を含む濃度勾配を有している。第2漸増部31は、コラム領域30の上端部を形成する部分であり、上端部から下端部側に向けて比較的急峻な増加率で第2ピーク部32までp型不純物濃度が漸増している。第2漸増部31は、この形態では、高濃度領域15内に位置され、高濃度領域15に電氣的に接続される。
- [0128] 第2ピーク部32は、p型不純物濃度の第2ピーク値P2（最大値）を有する部分である。第2ピーク部32は、p型不純物濃度が増加（増加傾向）から低下（低下傾向）に転じる一連の濃度変化（変曲点）を含む凸状の主たる濃度遷移部でもある。第2ピーク部32は、高濃度領域15に電氣的に接続される。第2ピーク値P2は、この形態では、高濃度領域15の第1ピーク値P1よりも半導体層7の下端側に位置されている。
- [0129] 第2緩慢部33は、第2ピーク部32よりも下端部側の領域に形成され、比較的緩慢な低下率で不純物濃度が漸減する部分である。つまり、第2緩慢部33は、一定の深さ範囲において一定のp型不純物濃度を維持する部分であり、コラム領域30の本体部を形成している。第2緩慢部33のp型不純物濃度は、第2ピーク部32のp型不純物濃度未満の濃度範囲において漸減している。
- [0130] 第2緩慢部33は、少なくとも $0.5\mu\text{m}$ の厚さ範囲において50%以下の濃度低下率を有する部分によって定義される。第2緩慢部33は、図12の例では、 $1\mu\text{m}$ 以上 $1.3\mu\text{m}$ 以下の厚さを有し、当該厚さ範囲において50%以下の濃度低下率を有している。第2緩慢部33は、高濃度領域15に位置され、高濃度領域15に電氣的に接続される。第2緩慢部33は、半

導体層 7 の下端および高濃度領域 15 の下端部の間の厚さ範囲に位置された部分を有し、半導体層 7 に電氣的に接続されていてもよい。

[0131] 第 2 緩慢部 33 は、コラム領域 30 のうちの  $1/4$  以上の厚さ範囲を占めている。具体的には、コラム領域 30 に占める第 2 緩慢部 33 の割合は、 $1/3$  以上である。コラム領域 30 に占める第 2 緩慢部 33 の割合は、典型的には、 $1/2$  以下 ( $1/2$  未満) である。むろん、コラム領域 30 に占める第 2 緩慢部 33 の割合は、 $1/2$  以上であってもよい。

[0132] 第 2 漸減部 34 は、コラム領域 30 の下端部を形成する部分である。第 2 漸減部 34 は、第 2 緩慢部 33 における濃度低下率よりも大きい濃度低下率を有し、第 2 緩慢部 33 から下端部に向けて p 型不純物濃度が漸減する部分である。第 2 漸減部 34 の単位厚さ当たりの濃度低下率は、第 2 緩慢部 33 の単位厚さ当たりの濃度低下率よりも大きい。第 2 漸減部 34 は、半導体層 7 の下端および高濃度領域 15 の下端部の間の厚さ範囲に位置され、半導体層 7 に電氣的に接続される。

[0133] チャネリング注入法の場合、コラム領域 30 の厚さ (深さ) は注入エネルギーの増加に伴って大きくなる。トレンチ構造 25 の底壁に対するコラム領域 30 の上端部の深さ位置は、注入エネルギーの増加に伴って大きくなる。第 2 漸増部 31 の厚さ、第 2 ピーク部 32 の厚さ、第 2 緩慢部 33 の厚さおよび第 2 漸減部 34 の厚さは、注入エネルギーの増加に伴って大きくなる。一方、コラム領域 30 の第 2 ピーク値 P2 は、注入エネルギーの増加に伴って低下する。これは、注入エネルギーの増加に伴って深い領域まで 3 価元素が導入され、当該深い領域の p 型不純物濃度が増加したことに起因している。

[0134] これとは反対に、トレンチ構造 25 の底壁に対するコラム領域 30 の上端部の深さ位置は、注入エネルギーの低下に伴って小さくなる。第 2 漸増部 31 の厚さ、第 2 ピーク部 32 の厚さ、第 2 緩慢部 33 の厚さおよび第 2 漸減部 34 の厚さは、注入エネルギーの低下に伴って小さくなる。一方、コラム領域 30 の第 2 ピーク値 P2 は、注入エネルギーの低下に伴って上昇する。これは、注入エネルギーの低下に伴って浅い領域で 3 価元素の導入が阻害されるため

である。

- [0135] コラム領域30の場合、5価元素に代えて3価元素が半導体層7に導入されるため、高濃度領域15のプロセス条件と同じプロセス条件が課されたとしても、コラム領域30の濃度プロファイルや厚さ（深さ）は高濃度領域15の濃度プロファイルや厚さ（深さ）とは異なる点に留意される必要がある。したがって、適切なチャージバランスを達成すべく、コラム領域30のプロセス条件および高濃度領域15のプロセス条件は、別々に設定されることが好ましい。
- [0136] SiC半導体装置1は、半導体層7内に形成されたn型の複数のドリフト領域35を含む。複数のドリフト領域35は、半導体層7のうちの複数のコラム領域30によって区画された領域からそれぞれなる。つまり、複数のドリフト領域35は、半導体層7内において第1方向X（m軸方向）に間隔を空けて配列され、第2方向Y（a軸方向）に延びる帯状にそれぞれ区画されている。
- [0137] 複数のドリフト領域35は、この形態では、半導体層7の一部および高濃度領域15の一部によって形成されている。複数のドリフト領域35のうち高濃度領域15を含む部分は、第2軸チャンネルC2に沿って延びるn型のチャネリング領域からなる。
- [0138] 複数のドリフト領域35は、複数のコラム領域30と共にチャージバランスを有する複数のpn接合部を形成している。チャージバランスを有する状態は、互いに隣り合う複数のコラム領域30に関して、一方のpn接合部から拡がる空乏層、および、他方のpn接合部から拡がる空乏層が、複数のドリフト領域35内で接続される状態を意味する。
- [0139] この形態では、高濃度領域15によって濃度調節されたn型の複数のドリフト領域35（半導体層7）が、濃度調節されたp型の複数のコラム領域30とチャージバランスを形成している。複数のドリフト領域35は、下側領域7aにおいて複数のコラム領域30とスーパー Junction構造を構成している。

- [0140] SiC半導体装置1は、半導体層7内において複数のトレンチ構造25の底壁および複数のコラム領域30の間の領域にそれぞれ介在されたp型の複数の中間領域36を含む。この形態では、複数の中間領域36が、1つのトレンチ構造25の底壁および1つのコラム領域30の上端部の間の領域に介在されている。
- [0141] 複数の中間領域36は、対応するトレンチ構造25の直下において対応するトレンチ構造25の延在方向（第2方向Y）に沿って間隔を空けてそれぞれ形成されている。トレンチ構造25の延在方向に関して、複数の中間領域36は、トレンチ幅WT（コラム幅WC）よりも大きい間隔を空けて配列されていてもよい。複数の中間領域36の間隔は、トレンチピッチPT（コラムピッチPC）よりも大きくてもよい。むしろ、複数の中間領域36の間隔は、トレンチピッチPT（コラムピッチPC）未満であってもよい。
- [0142] 一方および他方のトレンチ構造25に関して、一方のトレンチ構造25の直下に位置された一方側の複数の中間領域36は、他方のトレンチ構造25の直下に位置された他方側の複数の中間領域36から複数のトレンチ構造25の配列方向（第1方向X）に間隔を空けて形成されている。
- [0143] 一方側の複数の中間領域36は、半導体層7の一部（高濃度領域15の一部）を挟んで配列方向（第1方向X）に他方側の複数の中間領域36に1対1の対応関係で対向している。むしろ、一方側の複数の中間領域36は、配列方向に他方側の複数の中間領域36の間の領域に1対1の対応関係で対向していてもよい。
- [0144] 複数の中間領域36は、トレンチ構造25の底壁およびコラム領域30の上端部にそれぞれ接続されている。複数の中間領域36は、さらに、トレンチ構造25の直下の領域からトレンチ構造25の両サイドに張り出し、トレンチ構造25の側壁に沿って延びる部分を有している。
- [0145] 複数の中間領域36は、第1主面3（活性面10）の表層部においてボディ領域20に電氣的に接続されている。つまり、複数の中間領域36は、複数のコラム領域30をボディ領域20に電氣的に接続させている。これによ

り、複数のコラム領域30が電氣的に浮遊状態になることが抑制されている。

[0146] 複数の中間領域36は、トレンチ構造25の側壁に沿ってボディ領域20内を鉛直方向Zに延び、第1主面3から露出しているもよい。この場合、複数の中間領域36は、第1主面3の表層部において水平方向に延びる部分を有しているもよい。複数のトレンチ構造25の配列方向（第1方向X）に隣り合う中間領域36は、第1主面3の表層部において間隔を空けて形成されている。むろん、隣り合う中間領域36は、第1主面3の表層部において互いに接続されているもよい。

[0147] 複数の中間領域36は、トレンチ構造25に対する電界を緩和する。複数の中間領域36は、必ずしも複数のドリフト領域35と共にチャージバランスを形成している必要はない。むろん、複数の中間領域36は、複数のドリフト領域35と共にチャージバランスを有する複数のpn接合部を形成しているもよい。

[0148] 複数の中間領域36は、半導体層7に対するランダム注入法によって複数のドリフト領域35の表層部に導入されたランダム領域からなる。つまり、複数の中間領域36は、第2軸チャネルC2に沿う方向に関して複数のコラム領域30の厚さ未満の厚さを有している。また、複数の中間領域36は、第2軸チャネルC2に双方向に関して、 $0.5\mu\text{m}$ 以上の厚さを有する第2緩慢部33を有さない。

[0149] 複数の中間領域36は、 $1 \times 10^{15} \text{cm}^{-3}$ 以上 $1 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ 以下のp型不純物濃度をピーク値として有しているもよい。複数の中間領域36は、 $1 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ 以上 $1 \times 10^{21} \text{cm}^{-3}$ 以下のp型不純物濃度をピーク値として有しているもよい。中間領域36は、ボディ領域20のp型不純物濃度（ピーク値）よりも高いp型不純物濃度（ピーク値）を有しているもよい。中間領域36のp型不純物濃度（ピーク値）は、ボディ領域20のp型不純物濃度（ピーク値）未満であってもよい。

[0150] 中間領域36のp型不純物濃度（ピーク値）は、コラム領域30のp型不

純物濃度（ピーク値）よりも高くてもよい。中間領域 36 の p 型不純物濃度（ピーク値）は、コラム領域 30 の p 型不純物濃度（ピーク値）未満であってもよい。

[0151] 中間領域 36 の p 型不純物濃度は、少なくとも 1 種の 3 価元素によって調整されていることが好ましい。中間領域 36 の 3 価元素は、コラム領域 30 の 3 価元素と同一種であってもよいし、コラム領域 30 の 3 価元素と異なる種であってもよい。中間領域 36 の 3 価元素は、ホウ素、アルミニウム、ガリウムおよびインジウムのうちの少なくとも 1 種であってもよい。

[0152] SiC 半導体装置 1 は、第 1 主面 3（活性面 10）の表層部において複数のトレンチ構造 25 の両サイドに形成された複数のソース領域 37 を含む。複数のソース領域 37 は、ボディ領域 20 の表層部に形成されている。複数のソース領域 37 は、半導体層 7 よりも高い n 型不純物濃度（ピーク値）を有している。複数のソース領域 37 の n 型不純物濃度は、高濃度領域 15 の n 型不純物濃度よりも高い。複数のソース領域 37 は、 $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$  以上  $1 \times 10^{21} \text{ cm}^{-3}$  以下の n 型不純物濃度をピーク値として有していてもよい。

[0153] 複数のソース領域 37 は、平面視において対応するトレンチ構造 25 の延在方向に帯状に延びている。複数のソース領域 37 は、ボディ領域 20 の底部から活性面 10 側に間隔を空けて形成され、積層方向にボディ領域 20 の一部を挟んで直下のドリフト領域 35（半導体層 7 / 高濃度領域 15）に対向している。複数のソース領域 37 は、直下の複数のドリフト領域 35 と共に対応するトレンチ構造 25 の壁面に沿って延びるチャンネル（電流経路）を区画する。複数のソース領域 37 は、水平方向に複数の中間領域 36 に対向していてもよい。

[0154] SiC 半導体装置 1 は、第 1 主面 3（活性面 10）の表層部において複数のトレンチ構造 25 の間の領域に形成された複数のコンタクト領域 38 を含む。複数のコンタクト領域 38 は、ボディ領域 20 の表層部に形成されている。

- [0155] 複数のコンタクト領域 38 は、ボディ領域 20 の p 型不純物濃度（ピーク値）よりも高い p 型不純物濃度（ピーク値）を有している。複数のコンタクト領域 38 の p 型不純物濃度（ピーク値）は、複数のコラム領域 30 の p 型不純物濃度（ピーク値）よりも高い。複数のコンタクト領域 38 の p 型不純物濃度（ピーク値）は、複数の中間領域 36 の p 型不純物濃度（ピーク値）よりも高い。複数のコンタクト領域 38 は、 $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$  以上  $1 \times 10^{21} \text{ cm}^{-3}$  以下の p 型不純物濃度をピーク値として有していてもよい。
- [0156] 複数のコンタクト領域 38 は、互いに隣り合う複数のソース領域 37 の間の領域に介在され、複数のトレンチ構造 25 の延在方向に帯状に延びている。複数のコンタクト領域 38 は、ボディ領域 20 の底部から活性面 10 側に間隔を空けて形成され、積層方向にボディ領域 20 の一部を挟んで直下のドリフト領域 35（半導体層 7 / 高濃度領域 15）に対向している。複数のコンタクト領域 38 は、水平方向に複数の中間領域 36 に対向していてもよい。
- [0157] 以下、外周領域 9 側の構成が示される。図 13 は、外周領域 9 の構成を示す斜視図である。図 14 は、外周領域 9 の一要部を示す断面図である。図 15 は、外周領域 9 の一要部を示す断面図である。
- [0158] SiC 半導体装置 1 は、外周面 11 の表層部に形成された p 型のウェル領域 39 を含む。ウェル領域 39 は、平面視において外周面 11 の周縁（第 1 ～ 第 4 側面 5A ～ 5D）から活性面 10 側に間隔を空けて形成され、活性面 10 に沿って帯状に延びている。ウェル領域 39 は、この形態では、平面視において活性面 10 を取り囲む環状（具体的には四角環状）に形成されている。
- [0159] ウェル領域 39 は、外周面 11 の表層部から第 1 ～ 第 4 接続面 12A ～ 12D 側に引き出され、第 1 ～ 第 4 接続面 12A ～ 12D の表層部に沿って延びている。ウェル領域 39 は、活性面 10 の表層部においてボディ領域 20 に電氣的に接続されている。
- [0160] ウェル領域 39 は、半導体層 7 の下端から外周面 11 側に間隔を空けて形

成され、半導体層 7 の一部を挟んでベース層 6 に対向している。具体的には、ウェル領域 39 は、高濃度領域 15 の底部から外周面 11 側に間隔を空けて形成され、トレンチ構造 25 の底壁よりも高濃度領域 15 の底部側に位置されている。ウェル領域 39 は、半導体層 7（高濃度領域 15）と p n 接合部を形成している。

[0161] ウェル領域 39 は、半導体層 7 に対するランダム注入法によって半導体層 7 の表層部に導入されたランダム領域からなる。ウェル領域 39 は、第 2 軸チャンネル C2 に沿う方向に関して高濃度領域 15 の厚さ未満の厚さを有している。また、ウェル領域 39 の厚さは、コラム領域 30 の厚さ未満である。

[0162] ウェル領域 39 は、コラム領域 30 とは異なり、 $0.5 \mu\text{m}$  以上の厚さを有する緩慢部を有さない。ウェル領域 39 は、 $1 \times 10^{15} \text{cm}^{-3}$  以上  $1 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$  以下の p 型不純物濃度をピーク値として有していてもよい。ウェル領域 39 は、コンタクト領域 38 の p 型不純物濃度よりも低い p 型不純物濃度を有している。

[0163] ウェル領域 39 の p 型不純物濃度は、ボディ領域 20 の p 型不純物濃度よりも高くてもよい。むしろ、ウェル領域 39 の p 型不純物濃度は、ボディ領域 20 よりも低くてもよい。ウェル領域 39 の p 型不純物濃度は、中間領域 36 の p 型不純物濃度とほぼ等しくてもよい。むしろ、ウェル領域 39 の p 型不純物濃度は、中間領域 36 の p 型不純物濃度よりも高くてもよいし、中間領域 36 よりも低くてもよい。

[0164] ウェル領域 39 の p 型不純物濃度は、少なくとも 1 種の 3 価元素によって調整されていることが好ましい。ウェル領域 39 の 3 価元素は、コラム領域 30 の 3 価元素と同一種であってもよいし、コラム領域 30 の 3 価元素と異なる種であってもよい。ウェル領域 39 の 3 価元素は、ホウ素、アルミニウム、ガリウムおよびインジウムのうちの少なくとも 1 種であってもよい。

[0165] SiC 半導体装置 1 は、外周領域 9 において外周面 11（第 1 主面 3）の表層部に形成された少なくとも 1 つ（好ましくは 2 個以上 20 個以下）の p 型のフィールド領域 40 を含む。複数のフィールド領域 40 の個数は、典型

的には、4個以上8個以下である。複数のフィールド領域40は、電氣的に浮遊状態に形成され、第1主面3の周縁部においてチップ2内の電界を緩和する。フィールド領域40の個数、幅、深さ、p型不純物濃度等は任意であり、緩和すべき電界に応じて種々の値を取り得る。

[0166] 複数のフィールド領域40は、この形態では、活性面10の周縁（第1～第4接続面12A～12D）およびチップ2の周縁（第1～第4側面5A～5D）から間隔を空けて配列されている。具体的には、複数のフィールド領域40は、ウェル領域39から外周面11の周縁側に間隔を空けて配列されている。

[0167] 複数のフィールド領域40は、平面視において活性領域8に沿って延びる帯状に形成されている。複数のフィールド領域40は、第1方向Xに帯状に延びる部分、および、第2方向Yに帯状に延びる部分をそれぞれ有している。複数のフィールド領域40は、この形態では、平面視において活性領域8（つまり複数のコラム領域30）を取り囲む環状（具体的には四角環状）に形成されている。

[0168] 複数のフィールド領域40は、半導体層7の下端から外周面11側に間隔を空けて半導体層7内に形成され、半導体層7とpn接合部を形成している。複数のフィールド領域40は、半導体層7の厚さ範囲中間部に対して外周面11側に位置する底部を有していることが好ましい。複数のフィールド領域40は、高濃度領域15の底部から外周面11側に間隔を空けて形成され、高濃度領域15とpn接合部を形成していることが好ましい。

[0169] 複数のフィールド領域40は、この形態では、複数のコラム領域30からチップ2の周縁側に間隔を空けて形成されている。したがって、複数のフィールド領域40は、積層方向に複数のコラム領域30に対向していない。複数のフィールド領域40は、トレンチ構造25の底壁よりも半導体層7（高濃度領域15）の底部側に位置されている。

[0170] 複数のフィールド領域40の底部は、複数のコラム領域30の上端部の深さ位置よりも半導体層7（高濃度領域15）の底部側に位置されていてもよ

い。むろん、複数のフィールド領域40の底部は、複数のコラム領域30の上端部の深さ位置よりもトレンチ構造25の底壁側に位置されていてもよい。

[0171] 複数のフィールド領域40は、半導体層7に対するランダム注入法によって半導体層7の表層部に導入されたランダム領域からなる。複数のフィールド領域40は、第2軸チャネルC2に沿う方向に関して高濃度領域15の厚さ未満の厚さを有している。また、複数のフィールド領域40の厚さは、コラム領域30の厚さ未満である。

[0172] 複数のフィールド領域40は、コラム領域30等とは異なり、 $0.5\mu\text{m}$ 以上の厚さを有する緩慢部を有さない。複数のフィールド領域40は、 $1 \times 10^{15}\text{cm}^{-3}$ 以上 $1 \times 10^{18}\text{cm}^{-3}$ 以下のp型不純物濃度をピーク値として有していてもよい。フィールド領域40のp型不純物濃度は、ボディ領域20のp型不純物濃度とほぼ等しくてもよい。複数のフィールド領域40のp型不純物濃度は、ボディ領域20のp型不純物濃度も高くてもよい。複数のフィールド領域40のp型不純物濃度は、ボディ領域20のp型不純物濃度よりも低くてもよい。

[0173] 複数のフィールド領域40のp型不純物濃度は、少なくとも1種の3価元素によって調整されていることが好ましい。フィールド領域40の3価元素は、コラム領域30の3価元素と同一種であってもよいし、コラム領域30の3価元素と異なる種であってもよい。フィールド領域40の3価元素は、ホウ素、アルミニウム、ガリウムおよびインジウムのうちの少なくとも1種であってもよい。

[0174] 複数のフィールド領域40は、コラム領域30のコラム幅WCとは異なる幅を有していることが好ましい。つまり、複数のフィールド領域40による電界緩和効果は、複数のコラム領域30から切り離して調節されることが好ましい。複数のフィールド領域40の幅は、コラム幅WCよりも大きいことが特に好ましい。むろん、複数のフィールド領域40の幅は、コラム幅WCよりも小さくてもよい。また、コラム領域30の幅は、コラム幅WCとほぼ

等しくてもよい。

[0175] 複数のフィールド領域40は、コラム領域30のコラムピッチPCとは異なるピッチで形成されていることが好ましい。複数のフィールド領域40のピッチは、コラムピッチPCよりも大きいことが特に好ましい。複数のフィールド領域40のピッチは、コラムピッチPCよりも小さくてもよい。複数のフィールド領域40のピッチは、コラムピッチPCとほぼ等しくてもよい。

[0176] SiC半導体装置1は、第1主面3を被覆する層間絶縁膜41を含む。層間絶縁膜41は、「絶縁膜」、「層間膜」、「中間絶縁膜」等と称されてもよい。層間絶縁膜41は、この形態では、第1絶縁膜42および第2絶縁膜43を含む積層構造を有している。第1絶縁膜42は、酸化シリコン膜、窒化シリコン膜および酸窒化シリコン膜のうち少なくとも1つを含んでもよい。第1絶縁膜42は、チップ2（半導体層7）の酸化物からなる酸化シリコン膜を含むことが特に好ましい。

[0177] 第1絶縁膜42は、活性領域8および外周領域9において第1主面3を選択的に被覆している。具体的には、第1絶縁膜42は、活性面10、外周面11および第1～第4接続面12A～12Dを選択的に被覆している。第1絶縁膜42は、活性面10において絶縁膜27に接続され、埋設電極28を露出させている。

[0178] 第1絶縁膜42は、外周面11においてウェル領域39および複数のフィールド領域40を被覆している。第1絶縁膜42は、この形態では、第1～第4側面5A～5Dに連なっている。むしろ、第1絶縁膜42は、外周面11の周縁から内方に間隔を空けて形成され、外周面11の周縁部から半導体層7を露出させていてもよい。第1絶縁膜42は、第1～第4接続面12A～12Dにおいてボディ領域20およびウェル領域39を被覆している。

[0179] 第2絶縁膜43は、第1絶縁膜42の上に積層されている。第2絶縁膜43は、酸化シリコン膜、窒化シリコン膜および酸窒化シリコン膜のうち少なくとも1つを含んでもよい。層間絶縁膜41は、酸化シリコン膜を含

むことが好ましい。第2絶縁膜43は、活性領域8および外周領域9において第1絶縁膜42を挟んで第1主面3を被覆している。具体的には、第2絶縁膜43は、第1絶縁膜42を挟んで活性面10、外周面11および第1～第4接続面12A～12Dを選択的に被覆している。

[0180] 第2絶縁膜43は、活性領域8において複数のトレンチ構造25（埋設電極28）を被覆している。第2絶縁膜43は、外周領域9において第1絶縁膜42を挟んでウェル領域39および複数のフィールド領域40を被覆している。第2絶縁膜43は、この形態では、第1～第4側面5A～5Dに連なっている。むしろ、第2絶縁膜43は、外周面11の周縁から内方に間隔を空けて形成され、第1絶縁膜42と共に第1主面3の周縁部を露出させていてもよい。

[0181] SiC半導体装置1は、層間絶縁膜41に形成された複数のコンタクト開口44を含む。複数のコンタクト開口44は、複数のトレンチ構造25（埋設電極28）を露出させる複数のコンタクト開口44（図示略）、および、複数のソース領域37を露出させる複数のコンタクト開口44を含む。ソース領域37用の複数のコンタクト開口44は、隣り合う複数のトレンチ構造25の間の領域に形成され、複数のソース領域37および複数のコンタクト領域38を露出させている。

[0182] SiC半導体装置1は、第1～第4接続面12A～12Dのうちの少なくとも1つを被覆するように層間絶縁膜41内に配置されたサイドウォール構造45を含む。サイドウォール構造45は、第1絶縁膜42の上に配置され、第2絶縁膜43によって被覆されている。サイドウォール構造45は、活性面10および外周面11の間に形成された段差を緩和する。

[0183] サイドウォール構造45は、第1～第4接続面12A～12Dのうちの少なくとも1つに沿って延びる帯状に形成されている。サイドウォール構造45は、この形態では、平面視において活性面10を取り囲むように第1～第4接続面12A～12Dに沿って延びる環状（具体的には四角環状）に形成されている。

- [0184] サイドウォール構造45は、外周面11に沿って膜状に延びる部分、および、第1～第4接続面12A～12Dに沿って膜状に延びる部分を有していてもよい。サイドウォール構造45は、この形態では、最内のフィールド領域40から活性面10側に間隔を空けて形成され、水平方向および積層方向に第1絶縁膜42を挟んでウェル領域39に対向している。サイドウォール構造45は、第1絶縁膜42を挟んでボディ領域20に対向していてもよい。
- [0185] 図1を参照して、SiC半導体装置1は、層間絶縁膜41の上に配置されたゲートパッド50を含む。ゲートパッド50は、外部からゲート電位が付与される電極である。ゲートパッド50は、「ゲートパッド電極」、「第1パッド電極」等と称されてもよい。ゲートパッド50は、層間絶縁膜41側からこの順に積層されたTi系金属膜およびAl系金属膜を含む積層構造を有していてもよい。
- [0186] ゲートパッド50は、この形態では、層間絶縁膜41のうち活性領域8を被覆する部分の上に配置されている。具体的には、ゲートパッド50は、平面視において外周面11から間隔を空けて活性面10の上に配置されている。ゲートパッド50は、平面視において活性面10の一辺（この形態では第2接続面12B）の中央部に近接する領域に配置されている。
- [0187] むろん、ゲートパッド50は、第1～第4接続面12A～12Dの中央部のいずれかに沿う領域に配置されていてもよい。むろん、ゲートパッド50は、平面視において活性面10の任意の角部に配置されていてもよい。また、ゲートパッド50は、平面視において活性面10の中央部に配置されていてもよい。ゲートパッド50は、この形態では、平面視において四角形状に形成されている。
- [0188] SiC半導体装置1は、ゲートパッド50から層間絶縁膜41の上に引き出された少なくとも1つ（この形態では複数）のゲート配線51を含む。ゲート配線51は、「配線」、「配線電極」等と称されてもよい。複数のゲート配線51は、この形態では、平面視において外周面11から間隔を空けて

活性面 10 の上に配置されている。

[0189] 複数のゲート配線 51 は、層間絶縁膜 41 側からこの順に積層された T i 系金属膜および A 1 系金属膜を含む積層構造を有していてもよい。複数のゲート配線 51 は、この形態では、第 1 ゲート配線 51 A および第 2 ゲート配線 51 B を含む。

[0190] 第 1 ゲート配線 51 A は、ゲートパッド 50 から第 1 接続面 12 A 側に向けて引き出され、複数のトレンチ構造 25 の一部（具体的には一端部）に交差（具体的には直交）するように活性面 10 の周縁に沿ってライン状に延びている。第 1 ゲート配線 51 A は、複数のコンタクト開口 44 を介して層間絶縁膜 41 を貫通し、複数のトレンチ構造 25 の一端部に電氣的に接続されている。

[0191] 第 2 ゲート配線 51 B は、ゲートパッド 50 から第 3 接続面 12 C 側に向けて引き出され、複数のトレンチ構造 25 の一部（具体的には他端部）に交差（具体的には直交）するように活性面 10 の周縁に沿ってライン状に延びている。第 2 ゲート配線 51 B は、複数のコンタクト開口 44 を介して層間絶縁膜 41 を貫通し、複数のトレンチ構造 25 の他端部に電氣的に接続されている。

[0192] S i C 半導体装置 1 は、ゲートパッド 50 およびゲート配線 51 から間隔を空けて層間絶縁膜 41 の上に配置されたソースパッド 52 を含む。ソースパッド 52 は、外部からソース電位が付与される電極である。ソースパッド 52 は、「ソースパッド電極」、「第 2 パッド電極」等と称されてもよい。ソースパッド 52 は、層間絶縁膜 41 側からこの順に積層された T i 系金属膜および A 1 系金属膜を含む積層構造を有していてもよい。

[0193] ソースパッド 52 は、この形態では、平面視において外周面 11 から間隔を空けて活性面 10 の上に配置されている。ソースパッド 52 は、この形態では、平面視においてゲートパッド 50 に沿って窪んだ凹部を有する多角形状に形成されている。むろん、ソースパッド 52 は、平面視において四角形状に形成されていてもよい。

- [0194] ソースパッド52は、複数のコンタクト開口44を介して層間絶縁膜41を貫通し、ボディ領域20、複数のソース領域37および複数のコンタクト領域38に電氣的に接続されている。つまり、ソースパッド52は、ボディ領域20を介して複数のコラム領域30に電氣的に接続されている。
- [0195] SiC半導体装置1は、第2主面4を被覆するドレインパッド53を含む。ドレインパッド53は、外部からドレイン電位が付与される電極である。ドレインパッド53は、「ドレインパッド電極」、「第3パッド電極」等と称されてもよい。ドレインパッド53は、第2主面4から露出したベース層6とオーミック接触を形成している。
- [0196] つまり、ドレインパッド53は、ベース層6を介して複数のドリフト領域35に電氣的に接続されている。ドレインパッド53は、チップ2の周縁（第1～第4側面5A～5D）に連なるように第2主面4の全域を被覆していてもよい。ドレインパッド53は、チップ2の周縁部を露出させるように、チップ2の周縁から内方に間隔を空けて第2主面4を被覆していてもよい。
- [0197] ソースパッド52およびドレインパッド53の間（第1主面3および第2主面4の間）に印加可能なブレイクダウン電圧は、500V以上3000V以下であってもよい。ブレイクダウン電圧は、500V以上1000V以下、1000V以上1500V以下、1500V以上2000V以下、2000V以上2500V以下、および、2500V以上3000V以下のいずれか1つの範囲に属する値を有していてもよい。
- [0198] 図16は、SiC半導体装置1の製造に使用されるウエハ60を示す概略図である。ウエハ60は、ベース層6の基材であり、SiC単結晶を含む。ウエハ60は、扁平な円盤状に形成されている。むしろ、ウエハ60は、扁平な直方体形状に形成されていてもよい。ウエハ60は、一方側の第1ウエハ主面61、他方側の第2ウエハ主面62、ならびに、第1ウエハ主面61および第2ウエハ主面62を接続するウエハ側面63を有している。
- [0199] 第1ウエハ主面61はベース層6の上端に対応し、第2ウエハ主面62はベース層6の下端に対応している。第1ウエハ主面61および第2ウエハ主

面62は、SiC単結晶のc面によって形成されている。第1ウエハ主面61はSiC単結晶のシリコン面によって形成され、第2ウエハ主面62はSiC単結晶のカーボン面によって形成されている。ウエハ60（第1ウエハ主面61および第2ウエハ主面62）は、前述のオフ方向 $D_0$ およびオフ角 $\theta_0$ を有している。

[0200] ウエハ60は、ウエハ側面63においてSiC単結晶の結晶方位を示す目印64を有している。目印64は、オリエンテーションフラットおよびオリエンテーションノッチのいずれか一方または双方を含んでいてもよい。オリエンテーションフラットは、平面視において直線状に切り欠かれた切り欠き部からなる。オリエンテーションノッチは、平面視において第1ウエハ主面61の中央部に向けて凹形状（たとえば先細り形状）に切り欠かれた切り欠き部からなる。

[0201] 目印64は、m軸方向に延びる第1のオリエンテーションフラット、および、a軸方向に延びる第2のオリエンテーションフラットのいずれか一方または双方を含んでいてもよい。目印64は、m軸方向に窪んだオリエンテーションノッチ、および、a軸方向に窪んだオリエンテーションノッチのいずれか一方または双方を含んでいてもよい。図16では、平面視においてm軸方向（第1方向X）に延びるオリエンテーションフラットが示されている。

[0202] たとえば、ウエハ60には、アライメントマーク等によって複数のデバイス領域65および複数の切断予定ライン66が設定される。各デバイス領域65は、SiC半導体装置1に対応する領域である。複数のデバイス領域65は、平面視において四角形状にそれぞれ設定されている。

[0203] 複数のデバイス領域65は、この形態では、平面視において第1方向Xおよび第2方向Yに沿って行列状に設定される。複数のデバイス領域65は、平面視において第1ウエハ主面61の周縁から内方に間隔を空けてそれぞれ設定されている。複数の切断予定ライン66は、複数のデバイス領域65を区画するように第1方向Xおよび第2方向Yに沿って延びる格子状に設定されている。

- [0204] 図17は、SiC半導体装置1の製造方法例を示すフローチャートである。図18A～図18Oは、SiC半導体装置1の製造方法例を示す断面斜視図である。図19A～図19Bは、結晶方位の測定工程を説明するための概略図である。図20A～図20Bは、イオン注入工程を説明するための概略図である。図18A～図18Oは、1つのデバイス領域65の活性領域8の一部の断面斜視図を示している。
- [0205] まず、図18Aを参照して、前述のウエハ60の用意工程が実施される（図17のステップS1）。次に、半導体層7の形成工程が実施される（図17のステップS2）。半導体層7は、エピタキシャル成長法によって第1ウエハ主面61（ウエハ60）を起点に形成される。
- [0206] 次に、半導体層7の結晶方位の測定工程が実施される（図17のステップS3）。半導体層7の結晶方位は、半導体層7のオフ角 $\theta_0$ を測定する工程を含む。つまり、この工程は、半導体層7の第2軸チャンネルC2の結晶方位を測定する工程を含む。
- [0207] ウエハ60は結晶塊であるインゴット（SiCインゴット）から切り出されるが、プロセス誤差に起因してオフ角 $\theta_0$ に誤差が生じるリスクがある。ウエハ60のオフ角 $\theta_0$ に誤差が生じた場合、半導体層7のオフ角 $\theta_0$ にもプロセス誤差が生じ、チャネリング注入工程時の障害になる。したがって、チャネリング注入工程に先立ってオフ角 $\theta_0$ のデータ（情報）が取得され、当該オフ角 $\theta_0$ のデータ（情報）に基づいてチャネリング注入工程が実施されることが好ましい。
- [0208] 図19Aを参照して、この工程では、X線回折装置67を用いたX線回折法（所謂 $\omega$ - $2\theta$ 測定法）によって半導体層7の結晶方位が測定される。X線回折装置67は、「XRD（X-ray Diffraction）装置」と称されてもよい。
- [0209] X線回折装置67は、照射部68および検出部69を含み、ロックンガープ測定法を実行する。照射部68は、半導体層7の上端（ウエハ60の第1ウエハ主面61）に対して所定の入射角 $\omega$ を有する入射X線L1を照射する。入射角 $\omega$ は、入射X線L1および半導体層7の上端（ウエハ60の第1

ウエハ主面 6 1) の間の角度によって定義される。

- [0210] 検出部 6 9 は、ウエハ 6 0 に対する入射 X 線 L 1 の照射位置に対して回折角  $2\theta$  ( $\theta$  はブラッグ角) の角度位置に配置され、回折 X 線 L 2 を検出する。回折角  $2\theta$  は、入射 X 線 L 1 の入射方向および回折 X 線 L 2 の回折方向の間の角度である。
- [0211] ロッキングカーブ測定法では、回折角  $2\theta$  が固定された状態で、入射角  $\omega$  が微小な角度範囲で変移させられ、回折 X 線 L 2 の強度 (回折 X 線 L 2 の強度プロファイル) を表すロッキングカーブが測定される。ロッキングカーブは、回折 X 線 L 2 の強度を縦軸に有し、入射角  $\omega$  を横軸に有している。入射角  $\omega$  は、回折 X 線 L 2 の強度がピーク値を取る角度位置で求められる。
- [0212] この工程では、半導体層 7 の上端 (ウエハ 6 0 の第 1 ウエハ主面 6 1) の一箇所 (たとえば中央部) についてのみ、ロッキングカーブ測定法が実施される。オフ角  $\theta_0$  の面内ばらつきが想定される場合、ロッキングカーブ測定法は半導体層 7 の上端 (ウエハ 6 0 の第 1 ウエハ主面 6 1) の複数箇所 (たとえば中央部および周縁部) について実施されてもよい。
- [0213] 図 1 9 B では、半導体層 7 の上端の複数箇所 (ここでは 5 か所) についてロッキングカーブ測定法を実施した場合の測定箇所を示している。半導体層 7 のオフ角  $\theta_0$  は、ここでは、約  $4^\circ$  に設定されている。図 1 9 B では、第 1 ~ 第 5 測定点 P 0 1 ~ P 0 5 が示されている。
- [0214] 第 1 測定点 P 0 1 は、半導体層 7 の中央部に設定されている。第 2 測定点 P 0 2 は、第 1 測定点 P 0 1 から第 2 方向 Y の一方側 (目印 6 4 とは反対側) に間隔を空けて半導体層 7 の周縁部に設定されている。第 3 測定点 P 0 3 は、第 1 測定点 P 0 1 から第 1 方向 X の一方側 (目印 6 4 に対して右側) に間隔を空けて半導体層 7 の周縁部に設定されている。
- [0215] 第 4 測定点 P 0 4 は、第 1 測定点 P 0 1 から第 2 方向 Y の他方側 (目印 6 4 側) に間隔を空けて半導体層 7 の周縁部に設定されている。第 5 測定点 P 0 5 は、第 1 測定点 P 0 1 から第 1 方向 X の他方側 (目印 6 4 に対して左側) に間隔を空けて半導体層 7 の周縁部に設定されている。

[0216] 第1～第5測定点P○1～P○5における入射角 $\omega$ 、回折角 $2\theta$ およびオフ角 $\theta_{off}$ の測定結果は、以下の表1 (Table 1) の通りである。オフ角 $\theta_{off}$ は、入射角 $\omega$ および回折角 $2\theta$ を用いて「 $\omega - (2\theta \times 1/2)$ 」の計算式によって求められる。

[表1]

Table 1

Measuring point	$\omega (^{\circ})$	$2\theta (^{\circ})$	$\theta_{off} (^{\circ})$
Po1	21.836	35.606	4.033
Po2	21.830	35.609	4.025
Po3	21.841	35.611	4.035
Po4	21.837	35.609	4.033
Po5	21.856	35.606	4.053
Average			4.036
Standard deviation			0.009

[0217] 表1に示される通り、第1～第5測定点P○1～P○5のオフ角 $\theta_{off}$ の平均値は $4.036^{\circ}$ であり、これらのオフ角 $\theta_{off}$ の標準偏差は $0.009^{\circ}$  ( $\pm 0.01^{\circ}$ )であった。このことから、半導体層7の上端（ウエハ60の第1ウエハ主面61）に生じるオフ角 $\theta_{off}$ の面内ばらつきは極めて小さく、チャネリング注入工程に支障を来たさない程度であることが理解される。

[0218] したがって、半導体層7の上端（第1ウエハ主面61）に対する測定箇所は少なくとも一箇所で問題ないことが理解される。たとえば、測定箇所は、第1～第5測定点P○1～P○5のいずれか1つまたは複数（全部）であってもよい。たとえば、測定箇所は、第1測定点P○1のみであってもよい。測定箇所（測定回数）を減らすことにより、製造工数（製造コスト）が削減される。

[0219] むろん、半導体層7の上端（第1ウエハ主面61）の複数個所についてオ

フ角 $\theta_0$ を測定し、チャネリング注入工程においてオフ角 $\theta_0$ の面内ばらつきに応じた注入角度が設定されてもよい。この場合、製造工数（製造コスト）が増大するが、半導体層7に形成されるコラム領域30の面内誤差が適切に抑制される。

[0220] 半導体層7のオフ角 $\theta_0$ は、ウエハ60のオフ角 $\theta_0$ にほぼ一致している。したがって、結晶方位の測定工程は、半導体層7の形成工程に先立ってウエハ60に対して実施されてもよい。ただし、正確を期す観点から、結晶方位の測定工程は半導体層7に対して実施されることが好ましい。

[0221] 次に、図18Cを参照して、高濃度領域15の形成工程が実施される（図17のステップS4）。高濃度領域15の形成工程は、半導体層7に対する5価元素（n型不純物）のチャネリング注入工程を含む。この工程では、5価元素が半導体層7の全域に導入される。半導体層7（ウエハ60）は、第1ウエハ主面61に対して所定のオフ方向D0に所定の角度で傾斜したオフ角 $\theta_0$ を有している。チャネリング注入工程は、オフ角 $\theta_0$ のデータ（情報）に基づいて実施される。

[0222] 図20Aを参照して、ランダム注入法では、第2軸チャンネルC2（オフ角 $\theta_0$ ）に交差する方向に5価元素が所定の注入エネルギーで半導体層7に導入される（図11も併せて参照）。たとえば、ランダム注入法では、半導体層7の上端（第1ウエハ主面61）に垂直な鉛直方向Zに沿って5価元素が注入される。

[0223] ランダム注入法の場合、平面視において原子列が比較的密である方向に沿って5価元素が導入されるため、5価元素は比較的浅い深さ位置において原子列に衝突する。そのため、半導体層7の比較的深い深さ位置に対する5価元素の導入が原子列によって阻害される。その結果、第1緩慢部18を有さない高濃度領域15が形成される。

[0224] 一方、図20Bを参照して、チャネリング注入法では、半導体層7に対する5価元素の注入角度が制御され、第2軸チャンネルC2（この形態ではSiC単結晶のc軸）に沿って5価元素が所定の注入エネルギーで半導体層7に導

入される（図10も併せて参照）。この場合、半導体層7に対する5価元素の注入角度、および、5価元素の注入角度に対する半導体層7の傾斜角度のいずれか一方または双方が調節される。

[0225] たとえば、ウエハ60が水平に支持され、5価元素が第2軸チャンネルC2に沿って半導体層7に導入されてもよい。むしろ、ウエハ60が水平に対してオフ角 $\theta_0$ 分だけ傾斜した状態で支持され、5価元素が第2軸チャンネルC2に沿って半導体層7に導入されてもよい。5価元素の注入エネルギーおよび5価元素の注入温度の任意の組み合わせによって、所定の厚さを有する高濃度領域15が所定の深さ位置に形成される。

[0226] 5価元素の注入エネルギーは、100KeV以上2000KeV以下であってもよい。注入エネルギーは、100KeV以上250KeV以下、250KeV以上500KeV以下、500KeV以上750KeV以下、750KeV以上1000KeV以下、1000KeV以上1250KeV以下、1250KeV以上1500KeV以下、1500KeV以上1750KeV以下、および、1750KeV以上2000KeV以下のいずれか1つの範囲に属する値を有していてもよい。

[0227] 5価元素の注入温度は、0℃以上1500℃以下の範囲で調整されてもよい。注入温度は、0℃以上25℃以下、25℃以上50℃以下、50℃以上100℃以下、100℃以上250℃以下、250℃以上500℃以下、500℃以上750℃以下、750℃以上1000℃以下、1000℃以上1250℃以下、および、1250℃以上1500℃以下のいずれか1つの範囲に属する値を有していてもよい。

[0228] 5価元素の注入角度は、第2軸チャンネルC2に沿う軸（この形態ではSiC単結晶のc軸）を基準（0°）として±2°の範囲内に設定されることが好ましい。5価元素の注入角度は、第2軸チャンネルC2に沿う軸（この形態ではSiC単結晶のc軸）を基準（0°）として±1°の範囲内に設定されることが特に好ましい。

[0229] チャネリング注入法の場合、5価元素が平面視において原子列が比較的疎

である第2軸チャンネルC2に沿って導入される。5価元素は、チャネリング効果によって小角散乱を繰り返しながら第2軸チャンネルC2内を進行し、半導体層7の比較的深い深さ位置まで到達する。つまり、チャネリング注入法の場合、SiC単結晶の原子列に対する5価元素の衝突確率が低減される。5価元素は、ヒ素またはアンチモンであることが好ましい。

[0230] 5価元素の注入工程後、アニール法によって、5価元素が電氣的に活性化されると同時に、半導体層7に生じた格子欠陥等が修復されてもよい。半導体層7に対するアニール温度は、500℃以上2000℃以下であってもよい。

[0231] 次に、図18Dを参照して、ボディ領域20の形成工程が実施される（図17のステップS5）。ボディ領域20の形成工程は、半導体層7の表層部に対する3価元素（p型不純物）のランダム注入工程を含む。この工程では、3価元素が半導体層7の全域に導入される。たとえば、ランダム注入法では、半導体層7の上端（第1ウエハ主面61）に垂直な鉛直方向Zに沿って3価元素が注入される。これにより、半導体層7の表層部の全域にボディ領域20が形成される。

[0232] 次に、図18Eを参照して、複数のソース領域37の形成工程が実施される（図17のステップS6）。複数のソース領域37は、所定レイアウトを有するマスク（図示せず）を介するランダム注入法によって5価元素を半導体層7の表層部に導入することによって形成される。

[0233] また、複数のコンタクト領域38の形成工程が実施される（図17のステップS7）。複数のコンタクト領域38は、所定レイアウトを有するマスク（図示せず）を介するランダム注入法によって3価元素を半導体層7の表層部に導入することによって形成される。コンタクト領域38の形成工程は、ソース領域37の形成工程に先立って実施されてもよい。

[0234] 次に、図18Fを参照して、所定パターンを有する第1マスク71の形成工程が実施される（図17のステップS8）。第1マスク71は、無機マスク（ハードマスク）であることが好ましい。第1マスク71は、半導体層7

の上端の上に配置され、複数のトレンチ26を形成すべき領域を露出させる複数の第1開口71aを有している。

[0235] 複数の第1開口71aは、第1方向Xに間隔を空けて形成され、第2方向Yに延びる帯状にそれぞれ区画される。つまり、複数の第1開口71aは、平面視においてオフ方向D<sub>o</sub>に沿って延びる延在方向を有している。また、第1マスク71は、外周面11を形成すべき領域を露出させる第1開口71a（図示せず）を有している。外周面11用の第1開口71aは、複数の切断予定ライン66に沿って格子状に形成される。

[0236] 次に、複数のトレンチ26の形成工程が実施される（図17のステップS9）。トレンチ26の形成工程では、第1マスク71を介するエッチング法によって、半導体層7の不要な部分が除去される。エッチング法は、ウェットエッチング法およびドライエッチング法のいずれか一方または双方であってもよい。

[0237] エッチング法は、RIE（Reactive Ion Etching）法であることが好ましい。これにより、半導体層7の上端に複数のトレンチ26が形成される。また、半導体層7の上端に活性面10、外周面11および第1～第4接続面12A～12Dが形成される。複数のトレンチ26の形成工程後、第1マスク71は除去される。

[0238] 次に、図18Gを参照して、所定パターンを有する第2マスク72の形成工程が実施される（図17のステップS10）。第2マスク72は、有機マスク（レジストマスク）であることが好ましい。第2マスク72は、半導体層7の上端の上に配置され、複数のトレンチ26を1対1の対応関係で露出させる複数の第2開口72aを有している。複数の第2開口72aは、第1方向Xに間隔を空けて形成され、第2方向Yに延びる帯状にそれぞれ区画される。つまり、複数の第2開口72aは、平面視においてオフ方向D<sub>o</sub>に沿って延びる延在方向を有している。

[0239] 次に、複数のコラム領域30の形成工程が実施される（図17のステップS11）。複数のコラム領域30の形成工程は、半導体層7に対する3価元

素（ $n$ 型不純物）のチャネリング注入工程を含む。3価元素は、第2マスク72の複数の第2開口72aから複数のトレンチ26の底壁を介して半導体層7の下側領域7a内に導入される。チャネリング注入工程は、前述のオフ角 $\theta_0$ のデータ（情報）に基づいて実施される。

[0240] チャネリング注入法では、半導体層7に対する3価元素の注入角度が制御され、第2軸チャンネルC2（この形態ではSiC単結晶の $c$ 軸）に沿って3価元素が所定の注入エネルギーで半導体層7に導入される。この場合、半導体層7に対する3価元素の注入角度、および、3価元素の注入角度に対する半導体層7の傾斜角度のいずれか一方または双方が調節される。

[0241] たとえば、ウエハ60が水平に支持され、3価元素が第2軸チャンネルC2に沿って半導体層7に導入されてもよい。むしろ、ウエハ60が水平に対してオフ角 $\theta_0$ 分だけ傾斜した状態で支持され、3価元素が第2軸チャンネルC2に沿って半導体層7に導入されてもよい。3価元素の注入エネルギーおよび3価元素の注入温度（ウエハ60の温度）の任意の組み合わせによって、所定の厚さを有する複数のコラム領域30が所定の深さ位置に形成される。

[0242] 3価元素の注入エネルギーは、100KeV以上2000KeV以下であってもよい。注入エネルギーは、100KeV以上250KeV以下、250KeV以上500KeV以下、500KeV以上750KeV以下、750KeV以上1000KeV以下、1000KeV以上1250KeV以下、1250KeV以上1500KeV以下、1500KeV以上1750KeV以下、および、1750KeV以上2000KeV以下のいずれか1つの範囲に属する値を有していてもよい。

[0243] コラム領域30に係る注入エネルギーは、高濃度領域15に係る注入エネルギーとほぼ等しくてもよいし、高濃度領域15に係る注入エネルギーと異なってもよい。コラム領域30に係る注入エネルギーは、高濃度領域15に係る注入エネルギー以上であってもよい。コラム領域30に係る注入エネルギーは、高濃度領域15に係る注入エネルギー未満であってもよい。

[0244] 3価元素の注入温度は、0℃以上1500℃以下の範囲で調整されてもよ

い。注入温度は、 $0^{\circ}\text{C}$ 以上 $25^{\circ}\text{C}$ 以下、 $25^{\circ}\text{C}$ 以上 $50^{\circ}\text{C}$ 以下、 $50^{\circ}\text{C}$ 以上 $100^{\circ}\text{C}$ 以下、 $100^{\circ}\text{C}$ 以上 $250^{\circ}\text{C}$ 以下、 $250^{\circ}\text{C}$ 以上 $500^{\circ}\text{C}$ 以下、 $500^{\circ}\text{C}$ 以上 $750^{\circ}\text{C}$ 以下、 $750^{\circ}\text{C}$ 以上 $1000^{\circ}\text{C}$ 以下、 $1000^{\circ}\text{C}$ 以上 $1250^{\circ}\text{C}$ 以下、および、 $1250^{\circ}\text{C}$ 以上 $1500^{\circ}\text{C}$ 以下のいずれか1つの範囲に属する値を有していてもよい。

[0245] コラム領域30に係る注入温度は、高濃度領域15に係る注入温度とほぼ等しくてもよいし、高濃度領域15に係る注入温度と異なってもよい。コラム領域30に係る注入温度は、高濃度領域15に係る注入温度以上であってもよい。コラム領域30に係る注入温度は、高濃度領域15に係る注入温度未満であってもよい。

[0246] 3価元素の注入角度は、第2軸チャンネルC2に沿う軸（この形態ではSiC単結晶のc軸）を基準（ $0^{\circ}$ ）として $\pm 2^{\circ}$ の範囲内に設定されることが好ましい。3価元素の注入角度は、第2軸チャンネルC2に沿う軸（この形態ではSiC単結晶のc軸）を基準（ $0^{\circ}$ ）として $\pm 1^{\circ}$ の範囲内に設定されることが特に好ましい。

[0247] チャネリング注入法の場合、3価元素が平面視において原子列が比較的疎である第2軸チャンネルC2に沿って導入される。3価元素は、チャネリング効果によって小角散乱を繰り返しながら第2軸チャンネルC2内を進行し、半導体層7の比較的深い深さ位置まで到達する。つまり、チャネリング注入法の場合、SiC単結晶の原子列に対する3価元素の衝突確率が低減される。

[0248] この場合、炭素よりも重たい重元素に属する3価元素が半導体層7に導入されることが好ましい。つまり、3価元素は、ホウ素以外の3価元素（アルミニウム、ガリウムおよびインジウムのうちの少なくとも1種）であることが好ましい。3価元素は、この形態では、アルミニウムである。

[0249] 複数の第2開口72aはオフ方向D0に沿って延びる延在方向を有し、3価元素の注入角度はオフ方向D0に傾斜している。したがって、3価元素は、延在方向に直交する断面視において複数の第2開口72aを介してトレンチ26の底壁に対してほぼ垂直に半導体層7内に導入される。

- [0250] これにより、複数のコラム領域30が傾斜した姿勢で半導体層7内に形成されることが抑制される。また、複数の第2開口72aの壁面が3価元素の入射経路に対する遮蔽物となることが抑制される。これにより、複数の第2開口72aの壁面のシャドウイングに起因する複数のコラム領域30のプロセス誤差が抑制される。したがって、チャージバランスの精度が向上される。
- [0251] 3価元素の注入工程後、アニール法によって、3価元素が電氣的に活性化されると同時に、半導体層7に生じた格子欠陥等が修復されてもよい。半導体層7に対するアニール温度は、500℃以上2000℃以下であってもよい。これにより、複数のコラム領域30および複数のドリフト領域35が形成されると同時に、スーパージャンクション構造が形成される。
- [0252] コラム領域30に係るアニール法は、高濃度領域15に係るアニール法を兼ねていてもよい。この場合、コラム領域30の形成工程前の高濃度領域15のアニール法は省略されてもよい。図18Hを参照して、複数のコラム領域30の形成工程後、第2マスク72は除去される。
- [0253] 次に、図18Iを参照して、所定パターンを有する第3マスク73の形成工程が実施される（図17のステップS12）。第3マスク73は、有機マスク（レジストマスク）であることが好ましい。第3マスク73は、半導体層7の上端の上に配置され、複数のトレンチ26を選択的に露出させる複数の第3開口73aを有している。複数の第3開口73aは、第1方向Xおよび第2方向Yに間隔を空けて複数のトレンチ26の一部をそれぞれ露出させている。
- [0254] 次に、複数の中間領域36の形成工程が実施される（図17のステップS13）。複数の中間領域36の形成工程は、第3マスク73を介するランダム注入法によって、第2軸チャネルC2（オフ角 $\theta_0$ ）に交差する方向に3価元素を所定の注入エネルギーで半導体層7に導入する工程を含む。3価元素は、複数の第3開口73aから複数のトレンチ26の壁面（側壁および底壁）を介して半導体層7（高濃度領域15）内に導入される。3価元素は、半

導体層 7 内に 1 回または複数回導入されてもよい。

- [0255] 3 価元素が複数回導入される場合、3 価元素は複数の注入エネルギーで半導体層 7 の異なる深さ位置に多段階的に導入されてもよい。3 価元素は、斜めイオン注入法によって複数のトレンチ 26 の壁面（側壁および底壁）を介して半導体層 7（高濃度領域 15）内に導入されてもよい。図 18 J を参照して、複数の中間領域 36 の形成工程後、第 3 マスク 73 は除去される。
- [0256] 複数の中間領域 36 の形成工程は、ウェル領域 39 の形成工程を兼ねていてもよい。ウェル領域 39 は、複数の第 3 開口 73 a から外周面 11 および第 1～第 4 接続面 12 A～12 D を介して半導体層 7（高濃度領域 15）内に 3 価元素を導入することによって形成される。むろん、ウェル領域 39 は、第 3 マスク 73 とは別のマスクを介するランダム注入法によって 3 価元素を半導体層 7 の表層部に導入することによって形成されてもよい。
- [0257] 具体的な図示は省略されるが、ウェル領域 39 の形成工程に先立って、または、ウェル領域 39 の形成工程の後に、複数のフィールド領域 40 の形成工程が実施される。複数のフィールド領域 40 は、所定レイアウトを有するマスク（図示せず）を介するランダム注入法によって 3 価元素を半導体層 7 の表層部に導入することによって形成される。
- [0258] 次に、図 18 K を参照して、絶縁膜 27 の形成工程が実施される（図 17 のステップ S 14）。絶縁膜 27 の形成工程は、第 1 絶縁膜 42 の形成工程を兼ねている。絶縁膜 27 は、CVD（Chemical Vapor Deposition）法および酸化処理法のいずれか一方または双方によって形成されてもよい。絶縁膜 27 および第 1 絶縁膜 42 は、典型的には、熱酸化処理法によって形成される。絶縁膜 27 は複数のトレンチ 26 の壁面に膜状に形成され、第 1 絶縁膜 42 は半導体層 7 の上端のうち複数のトレンチ 26 外の領域に膜状に形成される。
- [0259] 次に、図 18 L を参照して、埋設電極 28 の形成工程が実施される（図 17 のステップ S 15）。この工程は、絶縁膜 27 の上にベース電極膜 74 を形成する工程を含む。ベース電極膜 74 は、この形態では、導電性ポリシリ

コンを含む。ベース電極膜 74 は、複数のトレンチ 26 を埋め戻し、半導体層 7 の上端を被覆する。ベース電極膜 74 は、CVD 法によって形成されてもよい。

[0260] 次に、図 18M を参照して、埋設電極 28 の不要な部分がエッチング法によって除去される。埋設電極 28 の不要な部分は、絶縁膜 27 が露出するまで除去される。エッチング法は、ウエットエッチング法およびドライエッチング法のいずれか一方または双方であってもよい。これにより、複数のトレンチ 26 内に複数の埋設電極 28 がそれぞれ埋設され、複数のトレンチ構造 25 が形成される。

[0261] 次に、図 18N を参照して、層間絶縁膜 41（第 2 絶縁膜 43）の形成工程が実施される（図 17 のステップ S16）。層間絶縁膜 41 は、CVD 法によって形成されてもよい。層間絶縁膜 41 には、所定レイアウトを有するマスク（図示せず）を介するエッチング法によって所定レイアウトを有する複数のコンタクト開口 44 が形成される。

[0262] 次に、図 18O を参照して、ゲートパッド 50、ゲート配線 51 およびソースパッド 52 の形成工程が実施される（図 17 のステップ S17）。ゲートパッド 50、ゲート配線 51 およびソースパッド 52 は、スパッタ法によって金属膜を層間絶縁膜 41 の上に堆積させた後、所定レイアウトを有するマスク（図示せず）を介するエッチング法によって所定レイアウトに成形されることによって形成される。

[0263] 次に、ドレインパッド 53 の形成工程が実施される（図 17 のステップ S18）。ドレインパッド 53 は、スパッタ法によって金属膜を第 2 ウエハ主面 62 の上に堆積させることによって形成される。その後、ウエハ 60 が複数の切断予定ライン 66 に沿って切断される（図 17 のステップ S19）。以上を含む工程を経て、1 枚のウエハ 60 から複数の SiC 半導体装置 1 が製造される。

[0264] 以下、トレンチ構造 25 の他の形態例が示される。図 21 は、第 2 形態例に係るトレンチ構造 25 を示す断面斜視図である。図 21 を参照して、第 2

形態例に係る複数のトレンチ構造 25 は、狭ピッチ化に寄与する構成をそれぞれ有している。第 2 形態例に係る複数のトレンチ構造 25 は、複数のコラム領域 30 の狭ピッチ化を実現する上で特に有効である。

[0265] 複数のトレンチ構造 25 は、トレンチ 26、絶縁膜 27、埋設電極 28、および、埋設絶縁体 80 をそれぞれ含む。トレンチ 26 は、第 1 形態例の場合と同様の形態を有している。絶縁膜 27 は、この形態では、第 1 主面 3（活性面 10）からトレンチ 26 の底壁側に間隔を空けて形成され、トレンチ 26 の開口端において第 1 主面 3（活性面 10）の表層部を露出させている。絶縁膜 27 の上端部は、トレンチ 26 の深さ範囲中間部に対して第 1 主面 3 側に位置されていることが好ましい。

[0266] 埋設電極 28 は、この形態では、第 1 主面 3（活性面 10）からトレンチ 26 の底壁側に間隔を空けてトレンチ 26 に埋設され、トレンチ 26 の開口端においてトレンチ 26 の底壁に向けて窪んだ開口リセスを区画している。埋設電極 28 は、トレンチ 26 の開口端において第 1 主面 3（活性面 10）の表層部および絶縁膜 27 の上端部を露出させている。埋設電極 28 の上端部は、トレンチ 26 の深さ範囲中間部に対して第 1 主面 3 側に位置されていることが好ましい。

[0267] 埋設絶縁体 80 は、第 1 主面 3（活性面 10）を露出させるようにトレンチ 26（開口リセス）に埋設され、トレンチ 26 内において絶縁膜 27 および埋設電極 28 を被覆している。埋設絶縁体 80 は、第 1 主面 3（活性面 10）から埋設電極 28 側に間隔を空けてトレンチ 26 に埋設され、トレンチ 26 の開口端において第 1 主面 3（活性面 10）の表層部を露出させている。

[0268] 埋設絶縁体 80 の上端部は、トレンチ 26 の深さ範囲中間部に対して第 1 主面 3 側に位置されていることが好ましい。埋設絶縁体 80 は、酸化シリコン膜、窒化シリコン膜および酸窒化シリコン膜のうちの少なくとも 1 つを含んでいてもよい。埋設絶縁体 80 は、酸化シリコン膜を含むことが好ましい。

[0269] 前述の複数のソース領域 37 は、この形態では、第 1 主面 3（活性面 10）の表層部において互いに隣り合う複数のトレンチ構造 25 の間の領域にそれぞれ形成されている。複数のソース領域 37 は、両サイドに位置された複数のトレンチ構造 25 に接続されるように複数のトレンチ構造 25 に沿って間隔を空けて配列されている。

[0270] 具体的には、トレンチ構造 25 の一方側の側壁に沿って配列された一方側の複数のソース領域 37 は、トレンチ構造 25 の他方側の側壁に沿って配列されて他方側の複数のソース領域 37 に 1 対 1 の対応関係で対向している。つまり、複数のソース領域 37 は、平面視において行列状に配列されている。

[0271] むろん、一方側の複数のソース領域 37 は、他方側の複数のソース領域 37 の間の領域に 1 対 1 の対応関係で対向していてもよい。つまり、複数のソース領域 37 は、平面視において千鳥状に配列されていてもよい。複数のソース領域 37 は、トレンチ 26 の開口端においてトレンチ 26 の側壁から露出した部分を有し、絶縁膜 27 を挟んで埋設電極 28 および埋設絶縁体 80 に対向している。

[0272] 前述の複数のコンタクト領域 38 は、この形態では、第 1 主面 3（活性面 10）の表層部において互いに隣り合う複数のトレンチ構造 25 の間の領域にそれぞれ形成されている。複数のコンタクト領域 38 は、両サイドに位置された複数のトレンチ構造 25 に接続されるように複数のトレンチ構造 25 に沿って間隔を空けて配列されている。

[0273] 具体的には、複数のコンタクト領域 38 は、複数のトレンチ構造 25 に沿って複数のソース領域 37 と交互に配列されている。さらに具体的には、トレンチ構造 25 の一方側の側壁に沿って配列された一方側の複数のコンタクト領域 38 は、トレンチ構造 25 の他方側の側壁に沿って配列されて他方側の複数のコンタクト領域 38 に 1 対 1 の対応関係で対向している。また、複数のソース領域 37 は、平面視において行列状に配列されている。

[0274] むろん、一方側の複数のコンタクト領域 38 は、他方側の複数のソース領

域 3 7 の間の領域（つまり、複数のソース領域 3 7）に 1 対 1 の対応関係で対向していてもよい。つまり、複数のコンタクト領域 3 8 は、平面視において千鳥状に配列されていてもよい。複数のコンタクト領域 3 8 は、トレンチ 2 6 の開口端においてトレンチ 2 6 の側壁から露出した部分を有し、絶縁膜 2 7 を挟んで埋設電極 2 8 および埋設絶縁体 8 0 に対向している。

[0275] 具体的な図示は省略されるが、前述の層間絶縁膜 4 1 は、第 1 絶縁膜 4 2 および第 2 絶縁膜 4 3 を含む積層構造を有している。第 1 絶縁膜 4 2 は、第 1 形態例に係る場合と同様、活性面 1 0、外周面 1 1 および第 1～第 4 接続面 1 2 A～1 2 D を選択的に被覆している。

[0276] 第 1 絶縁膜 4 2 は、この形態では、活性面 1 0 の周縁部を被覆し、活性面 1 0 の内方部において複数のトレンチ構造 2 5 を一括して露出させている。具体的には、第 1 絶縁膜 4 2 は、複数のトレンチ構造 2 5 の両端部において絶縁膜 2 7 に接続され、埋設電極 2 8 を露出させている。また、第 1 絶縁膜 4 2 は、第 1 形態例に係る場合と同様の態様で外周面 1 1 および第 1～第 4 接続面 1 2 A～1 2 D を被覆している。

[0277] 第 2 絶縁膜 4 3 は、第 1 形態例に係る場合と同様、第 1 絶縁膜 4 2 を挟んで活性面 1 0、外周面 1 1 および第 1～第 4 接続面 1 2 A～1 2 D を選択的に被覆している。第 2 絶縁膜 4 3 は、この形態では、活性面 1 0 の周縁部を被覆し、活性面 1 0 の内方部において複数のトレンチ構造 2 5 を一括して露出させている。具体的には、第 2 絶縁膜 4 3 は、複数のトレンチ構造 2 5 の両端部において第 1 主面 3（活性面 1 0）の上からトレンチ 2 6 内に入り込み、トレンチ 2 6 内において埋設絶縁体 8 0 に接続されている。

[0278] 層間絶縁膜 4 1 は、この形態では、複数のトレンチ構造 2 5 の両端部（埋設電極 2 8）を露出させる複数のコンタクト開口 4 4（図示略）、および、複数のトレンチ構造 2 5 の内方部（埋設絶縁体 8 0）、複数のソース領域 3 7 および複数のコンタクト領域 3 8 を一括して露出させる単一のコンタクト開口 4 4 を含む。

[0279] 前述のゲートパッド 5 0、前述の複数のゲート配線 5 1 および前述のドレ

インパッド53は、第1形態例の場合と同様の形態を有している。前述のソースパッド52は、層間絶縁膜41の上から単一のコンタクト開口44に入り込み、単一のコンタクト開口44内において複数のトレンチ構造25の内方部（埋設絶縁体80）、複数のソース領域37および複数のコンタクト領域38を一括して被覆している。

[0280] ソースパッド52は、埋設絶縁体80によって複数のトレンチ構造25（埋設電極28）から電氣的に絶縁され、第1主面3（活性面10）において複数のソース領域37および複数のコンタクト領域38に電氣的に接続されている。この形態では、ソースパッド52は、第1主面3において複数の中間領域36の露出部に電氣的にも接続されている。

[0281] ソースパッド52は、トレンチ26に埋設された埋設部を有している。ソースパッド52の埋設部は、トレンチ26内において埋設絶縁体80を挟んで埋設電極28に対向し、トレンチ26の開口端において複数のソース領域37および複数のコンタクト領域38に電氣的に接続されている。

[0282] 図22は、第3形態例に係るトレンチ構造25を示す断面斜視図である。図22を参照して、第3形態例に係る複数のトレンチ構造25は、第2形態例に係る複数のトレンチ構造25を変形させた構成をそれぞれ有している。

[0283] 複数のトレンチ構造25は、トレンチ26、絶縁膜27、埋設電極28、および、埋設絶縁体80をそれぞれ含む。トレンチ26は、第1形態例の場合と同様の形態を有している。絶縁膜27は、この形態では、上絶縁膜81および下絶縁膜82を含む。

[0284] 上絶縁膜81は、チャンネル制御用の絶縁膜27として形成され、ボディ領域20の底部に対してトレンチ26の開口側の壁面を被覆している。上絶縁膜81は、半導体層7（高濃度領域15）およびボディ領域20の境界部を横切って半導体層7（高濃度領域15）を被覆する部分を有している。この場合、ボディ領域20に対する上絶縁膜81の被覆面積は、ドリフト領域35に対する上絶縁膜81の被覆面積よりも大きいことが好ましい。

[0285] 上絶縁膜81は、酸化シリコン膜を含んでいてもよい。上絶縁膜81は、

チップ2の酸化物からなる酸化シリコン膜を含むことが好ましい。上絶縁膜81は、1nm以上100nm以下の厚さを有していてもよい。上絶縁膜81の厚さは、1nm以上25nm以下、25nm以上50nm以下、50nm以上75nm以下、および、75nm以上100nm以下のいずれか1つの範囲に属する値を有していてもよい。

[0286] 下絶縁膜82は、ボディ領域20の底部に対してトレンチ26の底壁側の壁面を被覆している。下絶縁膜82は、半導体層7（高濃度領域15）を被覆している。ドリフト領域35に対する下絶縁膜82の被覆面積は、ボディ領域20に対する上絶縁膜81の被覆面積よりも大きい。

[0287] 下絶縁膜82は、酸化シリコン膜を含んでいてもよい。下絶縁膜82は、チップ2の酸化物からなる酸化シリコン膜を含んでいてもよいし、CVD法によって形成された酸化シリコン膜を含んでいてもよい。下絶縁膜82は、上絶縁膜81の厚さよりも大きい厚さを有している。下絶縁膜82の厚さは、上絶縁膜81の厚さの10倍以上50倍以下であることが好ましい。

[0288] 下絶縁膜82は、100nm以上500nm以下の厚さを有していてもよい。下絶縁膜82の厚さは、100nm以上150nm以下、150nm以上200nm以下、200nm以上250nm以下、250nm以上300nm以下、300nm以上350nm以下、350nm以上400nm以下、400nm以上450nm以下、および、450nm以上500nm以下のいずれか1つの範囲に属する値を有していてもよい。

[0289] 埋設電極28は、この形態では、上電極83、下電極84および中間絶縁膜85を含むマルチ電極構造（ダブル電極構造）を有している。上電極83は、絶縁膜27を挟んでトレンチ26の開口側に埋設されている。具体的には、上電極83は、上絶縁膜81を挟んでトレンチ26の開口側に埋設され、上絶縁膜81を挟んでボディ領域20に対向している。

[0290] ボディ領域20に対する上電極83の対向面積は、ドリフト領域35に対する上電極83の対向面積よりも大きい。上電極83は、この形態では、第1主面3（活性面10）からトレンチ26の底壁側に間隔を空けてトレンチ

26に埋設され、トレンチ26の開口端においてトレンチ26の底壁に向けて窪んだ開口リセスを区画している。上電極83は、トレンチ26の開口端において第1主面3（活性面10）の表層部および上絶縁膜81の上端部を露出させている。

[0291] 上電極83には、制御電位としてのゲート電位が付与される。上電極83は、ゲート電位に応答してボディ領域20内におけるチャネル（電流経路）の反転および非反転を制御する。上電極83は、p型またはn型の導電性ポリシリコンを含んでいてもよい。

[0292] 下電極84は、絶縁膜27を挟んでトレンチ26の底壁側に埋設されている。具体的には、下電極84は、下絶縁膜82を挟んでトレンチ26の底壁側に埋設され、下絶縁膜82を挟んでドリフト領域35に対向している。つまり、下電極84は、ボディ領域20の底部に対してトレンチ26の底壁側に埋設されている。具体的な図示は省略されるが、下電極84は、トレンチ26の一部（この形態では両端部）においてトレンチ26の開口側に引き出されている。

[0293] ドリフト領域35に対する下電極84の対向面積は、ボディ領域20に対する上電極83の対向面積よりも大きい。下電極84は、トレンチ26の深さ方向に沿って壁状に延びている。下電極84は、下絶縁膜82から上電極83側に突出した上端部を有し、上電極83の下端部に系合している。下電極84の上端部は、水平方向に上電極83の下端部を挟んで上絶縁膜81（ボディ領域20）に対向している。

[0294] 下電極84には、ゲート電位またはソース電位が付与されてもよい。下電極84にゲート電位が付与される場合、下電極84は上電極83と同電位になる。したがって、上電極83および下電極84の間の電圧降下が抑制される。これにより、トレンチ構造25に対する電界集中が抑制される。

[0295] 一方、下電極84にソース電位が付与される場合、下電極84をフィールド電極として機能させることができる。したがって、下電極84（フィールド電極）およびドリフト領域35の間の寄生容量が低下される。これにより

、寄生容量に起因するスイッチング速度の低下が抑制される。下電極 84 は、p 型または n 型の導電性ポリシリコンを含んでいてもよい。

[0296] 中間絶縁膜 85 は、上電極 83 および下電極 84 の間に介在され、トレンチ 26 内において上電極 83 および下電極 84 を電氣的に絶縁させている。中間絶縁膜 85 は、上絶縁膜 81 および下絶縁膜 82 に連なっている。中間絶縁膜 85 は、下絶縁膜 82 の厚さよりも小さい厚さを有している。中間絶縁膜 85 の厚さは、上絶縁膜 81 の厚さよりも大きいことが好ましい。中間絶縁膜 85 は、酸化シリコン膜を含んでいてもよい。中間絶縁膜 85 は、下電極 84 の酸化物からなる酸化シリコン膜を含むことが好ましい。

[0297] 埋設絶縁体 80 は、第 1 主面 3 (活性面 10) を露出させるようにトレンチ 26 (開口リセス) に埋設され、リセス内において上絶縁膜 81 および上電極 83 を被覆している。埋設絶縁体 80 は、第 1 主面 3 (活性面 10) から上電極 83 側に間隔を空けてトレンチ 26 に埋設され、トレンチ 26 の開口端において第 1 主面 3 (活性面 10) の表層部を露出させている。

[0298] 前述の複数のソース領域 37 は、この形態では、トレンチ 26 の開口端においてトレンチ 26 の側壁から露出した部分を有し、上絶縁膜 81 を挟んで上電極 83 および埋設絶縁体 80 に対向している。前述の複数のコンタクト領域 38 は、この形態では、トレンチ 26 の開口端においてトレンチ 26 の側壁から露出した部分を有し、上絶縁膜 81 を挟んで上電極 83 および埋設絶縁体 80 に対向している。

[0299] 前述の複数のゲート配線 51 は、この形態では、複数のコンタクト開口 44 を介して層間絶縁膜 41 を貫通し、複数の上電極 83 に電氣的に接続される。下電極 84 にゲート電位が付与される場合、複数のゲート配線 51 は、複数のコンタクト開口 44 を介して層間絶縁膜 41 を貫通し、複数の上電極 83 および複数の下電極 84 に電氣的に接続される。

[0300] 下電極 84 にソース電位が付与される場合、ソースパッド 52 は、複数の下電極 84 に電氣的に接続される。この場合、SiC 半導体装置 1 は、ソースパッド 52 から層間絶縁膜 41 の上に引き出されたソース配線を含んでい

てもよい。この場合、ソース配線は、複数のゲート配線51よりも外側の領域において複数のトレンチ構造25の一部（一端部または両端部）に交差（具体的には直交）するように活性面10の周縁に沿って延びるライン状に形成される。ソース配線は、複数のコンタクト開口44を介して層間絶縁膜41を貫通し、複数の下電極84に電氣的に接続される。

[0301] 図23は、第4形態例に係るトレンチ構造25を示す断面斜視図である。第1形態例に係る複数のトレンチ構造25は、第1方向X（m軸方向）に間隔を空けて配列され、第2方向Y（a軸方向）に延びる帯状にそれぞれ形成されていた。しかし、複数のトレンチ構造25は、第1方向X（m軸方向）に延びる帯状にそれぞれ形成され、第2方向Y（a軸方向）に間隔を空けて配列されていてもよい。

[0302] 複数のコラム領域30は、複数のトレンチ構造25のレイアウトに応じて、第1方向X（m軸方向）に延びる帯状にそれぞれ形成され、第2方向Y（a軸方向）に間隔を空けて配列される。この場合、複数のコラム領域30の延在方向がSiC単結晶のオフ方向D<sub>0</sub>に交差（具体的には直交）するため、複数のコラム領域30はSiC単結晶のm面から見た断面視において鉛直軸からオフ方向D<sub>0</sub>に向けてほぼオフ角 $\theta_0$ 分だけ傾斜する。したがって、チャージバランスの精度を鑑みると、複数のコラム領域30はオフ方向D<sub>0</sub>に延びていることが好ましい。

[0303] むろん、複数のトレンチ構造25の配列方向はa軸方向およびm軸方向以外の方向であり、複数のトレンチ構造25の延在方向はa軸方向およびm軸方向以外の方向であってもよい。つまり、複数のトレンチ構造25は、a軸方向およびm軸方向の双方に交差する方向に延びてもよい。この場合、複数のコラム領域30の配列方向はa軸方向およびm軸方向以外の方向になり、複数のコラム領域30の延在方向はa軸方向およびm軸方向以外の方向になる。つまり、複数のコラム領域30は、a軸方向およびm軸方向の双方に交差する方向に延びる。

[0304] 以下、SiC半導体装置1の変形例が示される。変形例に係る構成は、前

述の第1～第4形態例に適用可能である。図24は、第1変形例に係るSiC半導体装置1を示す断面斜視図である。前述の形態では、SiC半導体装置1が高濃度領域15を有していた。これに対して、変形例に係るSiC半導体装置1は、高濃度領域15を有していない。この場合、複数のトレンチ構造25、複数のコラム領域30、複数のドリフト領域35等は、半導体層7内にそれぞれ形成される。

[0305] 図25は、第2変形例に係るSiC半導体装置1を示す断面斜視図である。第2変形例に係るSiC半導体装置1は、ベース層6の上に積層されたSiC単結晶製のn型のバッファ層86をさらに含む。バッファ層86は、チップ2の一構成要素でもある。バッファ層86は、「バッファSiC層」、「バッファ領域」等と称されてもよい。

[0306] バッファ層86は、水平方向に層状に延び、チップ2の中間部および第1～第4側面5A～5Dの一部を形成している。バッファ層86は、ベース層6を起点に結晶成長されたエピタキシャル層（つまりSiCエピタキシャル層）からなる。

[0307] バッファ層86は、下端および上端を有している。バッファ層86の下端は結晶成長起点であり、バッファ層86の上端は結晶成長終点である。バッファ層86はベース層6から連続的に結晶成長されているため、バッファ層86の下端はベース層6の上端に一致している。ベース層6およびバッファ層86の間の境界部は必ずしも視認できるものではなく、他の構成や要素から間接的に評価および／または判定され得る。バッファ層86は、ベース層6のオフ方向 $D_0$ およびオフ角 $\theta_0$ にほぼ一致したオフ方向 $D_0$ およびオフ角 $\theta_0$ を有している。

[0308] バッファ層86は、積層方向に沿う第3軸チャンネルC3を有している。第3軸チャンネルC3は、バッファ層86を構成するSiC単結晶に関して原子間距離（原子間隔）が比較的広い領域（チャンネル）であり、積層方向（結晶成長方向）に延びる結晶軸に沿う原子列によって取り囲まれている。

[0309] つまり、第3軸チャンネルC3は、原子列が疎である領域が積層方向に延在

し、平面視において水平方向の原子列（原子間距離／原子密度）が疎である領域である。第3軸チャンネルC3は、結晶軸のうち低指数結晶軸に沿う原子列によって取り囲まれた領域であることが好ましい。

[0310] 第3軸チャンネルC3は、この形態では、SiC単結晶のc軸に沿う原子列によって取り囲まれた領域からなる。つまり、第3軸チャンネルC3は、c軸に沿って延び、オフ方向 $D_0$ およびオフ角 $\theta_0$ を有している。換言すると、第3軸チャンネルC3は、鉛直軸からオフ方向 $D_0$ に向けてオフ角 $\theta_0$ 分だけ傾斜している。

[0311] バッファ層86のn型不純物濃度は、ベース層6のn型不純物濃度未満であることが好ましい。バッファ層86は、 $1 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ 以上 $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 以下のn型不純物濃度をピーク値として有していてもよい。バッファ層86のn型不純物濃度は、厚さ方向にほぼ一定であってもよい。むしろ、バッファ層86のn型不純物濃度は、積層方向（結晶成長方向）に向けて漸増および／または漸減する濃度勾配を有していてもよい。

[0312] バッファ層86は、少なくとも1種の5価元素によって調整されたn型不純物濃度を有している。たとえば、バッファ層86のn型不純物濃度は、窒素、リン、ヒ素、アンチモンおよびビスマスのうちの少なくとも1種によって調節されていてもよい。バッファ層86は、リン以外の5価元素を含むことが好ましい。

[0313] バッファ層86のn型不純物濃度は、少なくとも窒素によって調整されていることが好ましい。バッファ層86が2種以上の5価元素を含む場合、バッファ層86は、窒素および窒素以外の5価元素を含むことが好ましい。この場合、バッファ層86は、リンおよび窒素以外の5価元素として、ヒ素およびアンチモンのいずれか一方または双方を含むことが好ましい。

[0314] バッファ層86は、第3厚さT3を有している。第3厚さT3は、ベース層6の第1厚さT1未満であることが好ましい。第3厚さT3は、 $1 \mu\text{m}$ 以上であることが好ましい。第3厚さT3は、 $5 \mu\text{m}$ 以下であることが好ましい。第3厚さT3は、 $1 \mu\text{m}$ 以上 $1.5 \mu\text{m}$ 以下、 $1.5 \mu\text{m}$ 以上 $2 \mu\text{m}$ 以

下、 $2\ \mu\text{m}$ 以上 $2.5\ \mu\text{m}$ 以下、 $2.5\ \mu\text{m}$ 以上 $3\ \mu\text{m}$ 以下、 $3\ \mu\text{m}$ 以上 $3.5\ \mu\text{m}$ 以下、 $3.5\ \mu\text{m}$ 以上 $4\ \mu\text{m}$ 以下、 $4\ \mu\text{m}$ 以上 $4.5\ \mu\text{m}$ 以下、および、 $4.5\ \mu\text{m}$ 以上 $5\ \mu\text{m}$ 以下のいずれか1つの範囲に属する値を有していてもよい。

[0315] 半導体層7は、バッファ層86の上に積層されている。半導体層7は、バッファ層86を起点に結晶成長されたエピタキシャル層（つまりSiCエピタキシャル層）からなる。したがって、半導体層7は、バッファ層86のオフ方向 $D_0$ およびオフ角 $\theta_0$ にほぼ一致したオフ方向 $D_0$ およびオフ角 $\theta_0$ を有している。また、第2軸チャンネルC2は、第3軸チャンネルC3にほぼ一致している。

[0316] 半導体層7の第2厚さT2は、第3厚さT3よりも大きいことが好ましい。むろん、第2厚さT2は、第3厚さT3未満であってもよい。また、第2厚さT2は、第3厚さT3とほぼ等しくてもよい。

[0317] 前述の形態はさらに他の形態で実施できる。たとえば、前述の形態では、SiC単結晶をそれぞれ含むベース層6、半導体層7およびバッファ層86が採用された。しかし、ベース層6、半導体層7およびバッファ層86の少なくとも1つまたは全部は、SiC単結晶以外のワイドバンドギャップ半導体の単結晶を含んでいてもよい。

[0318] ワイドバンドギャップ半導体は、シリコンのバンドギャップよりも大きいバンドギャップを有する半導体である。ワイドバンドギャップ半導体の単結晶として、炭化シリコン（SiC）、窒化ガリウム（GaN）、ダイヤモンド（C）、酸化ガリウム（Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub>）等が例示される。ベース層6、半導体層7およびバッファ層86は、同一種類の単結晶によって構成されていてもよいし、異なる種類の単結晶によって構成されていてもよい。

[0319] 前述のチャネリング注入工程（原子列が疎な領域に不純物を注入する工程）は立方晶を構成する単結晶にも適用可能である。したがって、ワイドバンドギャップ半導体の単結晶は、立方晶または六方晶であってもよい。ベース層6、半導体層7およびバッファ層86のうちの少なくとも1つまたは全部

に対して立方晶の単結晶が適用される場合、これらの軸チャンネルは、立方晶の結晶軸のうち低指数結晶軸に沿う原子列によって取り囲まれた領域によって形成される。

- [0320] 立方晶に係る低指数結晶軸は、ミラー指数（ $h$ 、 $k$ 、 $l$ ）に関して、「 $h$ 」、「 $k$ 」および「 $l$ 」の絶対値がいずれも2以下（好ましくは1以下）で表現される結晶軸である。むろん、ベース層6、半導体層7およびバッファ層86のうちの少なくとも1つまたは全部は、シリコン単結晶を含んでもよい。
- [0321] 前述の形態では、 $n$ 型のベース層6が示された。しかし、 $p$ 型のベース層6が採用されてもよい。この場合、MISFET構造に代えてIGBT（Insulated Gate Bipolar Transistor）構造が形成される。この場合、前述の説明において、MISFET構造の「ソース」がIGBT構造の「エミッタ」に置き換えられ、MISFET構造の「ドレイン」がIGBT構造の「コレクタ」に置き換えられる。 $p$ 型のベース層6はイオン注入法によってチップ2の第2主面4の表層部に導入された3価元素を含む $p$ 型領域であってもよい。
- [0322] 以下、この明細書および図面から抽出される特徴例が示される。以下、括弧内の英数字等は前述の形態における対応構成要素等を表すが、各項目（Clause）の範囲を前述の形態に限定する趣旨ではない。以下の項目に係る「半導体装置」は、必要に応じて「SiC半導体装置」、「ワイドバンドギャップ半導体装置」、「半導体スイッチング装置」、「半導体整流装置」、「MISFET装置」、「IGBT装置」、「ダイオード装置」等に置き換えられてもよい。
- [0323] [A1] 主面（3）を含み、積層方向に軸チャンネル（C2）を有する第1導電型（ $n$ 型）の半導体層（7）と、前記主面（3）に形成され、前記半導体層（7）の底部との間に下側領域（7a）を区画するトレンチ（26）と、前記半導体層（7）内において前記下側領域（7a）に形成され、前記軸チャンネル（C2）に沿って延びる第2導電型（ $p$ 型）のコラム領域（30）

と、を含む、半導体装置（１）。

- [0324] [A 2] 前記コラム領域（３０）は、前記軸チャネル（Ｃ２）に沿って前記下側領域（７a）の厚さ範囲中間部を横切っている、A 1に記載の半導体装置（１）。
- [0325] [A 3] 前記コラム領域（３０）は、前記半導体層（７）の厚さ方向（Ｚ）に関して、前記トレンチ（２６）の深さ（ＤＴ）よりも大きい厚さ（ＴＣ）を有している、A 1またはA 2に記載の半導体装置（１）。
- [0326] [A 4] 前記コラム領域（３０）は、前記軸チャネル（Ｃ２）に沿って縦長柱状に延びるアスペクト比（ＴＣ／ＷＣ）を有している、A 1～A 3のいずれか一つに記載の半導体装置（１）。
- [0327] [A 5] 前記コラム領域（３０）は、単一の不純物領域からなる、A 1～A 4のいずれか一つに記載の半導体装置（１）。
- [0328] [A 6] 前記コラム領域（３０）は、前記トレンチ（２６）側の上端部、および、前記半導体層（７）の前記底部側の下端部を有し、前記上端部から前記下端部に向けて漸減する濃度勾配を有している、A 1～A 5のいずれか一つに記載の半導体装置（１）。
- [0329] [A 7] 前記濃度勾配は、前記上端部側のピーク値（Ｐ２）、および、前記ピーク値（Ｐ２）よりも前記下端部側の領域において緩慢な低下率で不純物濃度が漸減する緩慢部（３３）を含む、A 6に記載の半導体装置（１）。
- [0330] [A 8] 前記緩慢部（３３）は、前記コラム領域（３０）のうちの１／４以上の厚さ範囲を占めている、A 7に記載の半導体装置（１）。
- [0331] [A 9] 前記トレンチ（２６）は、平面視で帯状に延び、前記コラム領域（３０）は、平面視で前記トレンチ（２６）に沿って帯状に延びている、A 1～A 8のいずれか一つに記載の半導体装置（１）。
- [0332] [A 10] 前記トレンチ（２６）は、平面視で前記半導体層（７）のa軸方向に延びている、A 9に記載の半導体装置（１）。
- [0333] [A 11] 前記半導体層（７）は、鉛直軸（Ｚ）を基準にオフ方向（Ｄo）に向けて傾斜したオフ角（θo）を有し、前記軸チャネルは、前記鉛直軸

(Z) を基準に前記オフ方向 (D o) に向けて傾斜した前記オフ角 ( $\theta o$ ) を有している、A 1 ~ A 1 0 のいずれか一つに記載の半導体装置 (1)。

[0334] [A 1 2] 前記オフ方向 (D o) は、前記半導体層 (7) の a 軸方向である、A 1 1 に記載の半導体装置 (1)。

[0335] [A 1 3] 前記オフ角 ( $\theta o$ ) は、 $10^\circ$  以下である、A 1 1 または A 1 2 に記載の半導体装置 (1)。

[0336] [A 1 4] 前記コラム領域 (3 0) は、前記トレンチ (2 6) から前記半導体層 (7) の前記底部側に間隔を空けて形成されている、A 1 ~ A 1 3 のいずれか一つに記載の半導体装置 (1)。

[0337] [A 1 5] 前記半導体層 (7) 内において前記トレンチ (2 6) および前記コラム領域 (3 0) の間の領域に形成された第 2 導電型 (p 型) の中間領域 (3 6) をさらに含む、A 1 4 に記載の半導体装置 (1)。

[0338] [A 1 6] 前記主面 (3) の表層部に形成された第 2 導電型 (p 型) のボディ領域 (2 0) をさらに含み、前記トレンチ (2 6) は、前記ボディ領域 (2 0) を貫通し、前記中間領域 (3 6) は、前記ボディ領域 (2 0) および前記コラム領域 (3 0) に電氣的に接続されている、A 1 5 に記載の半導体装置 (1)。

[0339] [A 1 7] 前記ボディ領域 (2 0) の表層部において前記トレンチ (2 6) の側方に形成された第 1 導電型 (n 型) のソース領域 (3 7) をさらに含む、A 1 6 に記載の半導体装置 (1)。

[0340] [A 1 8] 前記ボディ領域の不純物濃度よりも高い不純物濃度を有し、前記ボディ領域の表層部において前記トレンチ (2 6) の側方に形成された第 2 導電型 (p 型) のコンタクト領域 (3 8) をさらに含む、A 1 6 または A 1 7 に記載の半導体装置 (1)。

[0341] [A 1 9] 前記半導体層 (7) の不純物濃度よりも高い不純物濃度を有し、前記主面 (3) の表層部に形成された第 1 導電型 (n 型) の高濃度領域 (1 5) をさらに含み、前記トレンチ (2 6) は、前記高濃度領域 (1 5) の底部から前記主面 (3) 側に間隔を空けて形成されている、A 1 ~ A 1 8 の

いずれか一つに記載の半導体装置（１）。

[0342] [A 2 0] 前記コラム領域（３０）は、前記高濃度領域（１５）の底部を横切っている、A 1 9に記載の半導体装置（１）。

[0343] [A 2 1] 前記半導体層（７）は、S i C単結晶を含むS i C層（７）である、A 1 ~ A 2 0のいずれか一つに記載の半導体装置（１）。

[0344] 以上、具体的な形態が詳細に説明されたが、これらは技術的内容を明示する具体例に過ぎない。この明細書から抽出される種々の技術的思想は、明細書内の説明順序、形態例の順序、変形例の順序等に制限されずにそれらの中で適宜組み合わせ可能である。

### 符号の説明

- [0345] 1 S i C半導体装置  
3 第１主面  
7 半導体層  
7 a 下側領域  
1 5 高濃度領域  
2 0 ボディ領域  
2 6 トレンチ  
3 0 コラム領域  
3 3 第２緩慢部  
3 6 中間領域  
3 7 ソース領域  
3 8 コンタクト領域  
C 2 第２軸チャネル  
D オフ方向  
 $\theta$  オフ角  
D T トレンチ深さ  
T C コラム厚さ  
P 2 ピーク値

Z 鉛直方向

## 請求の範囲

- [請求項1] 主面を含み、積層方向に軸チャンネルを有する第1導電型のSiC層と、  
前記主面に形成され、前記SiC層の底部との間に下側領域を区画するトレンチと、  
前記SiC層内において前記下側領域に形成され、前記軸チャンネルに沿って延びる第2導電型のコラム領域と、を含む、SiC半導体装置。
- [請求項2] 前記コラム領域は、前記軸チャンネルに沿って前記下側領域の厚さ範囲中間部を横切っている、請求項1に記載のSiC半導体装置。
- [請求項3] 前記コラム領域は、前記SiC層の厚さ方向に関して、前記トレンチの深さよりも大きい厚さを有している、請求項1または2に記載のSiC半導体装置。
- [請求項4] 前記コラム領域は、前記軸チャンネルに沿って縦長柱状に延びるアスペクト比を有している、請求項1～3のいずれか一項に記載のSiC半導体装置。
- [請求項5] 前記コラム領域は、単一の不純物領域からなる、請求項1～4のいずれか一項に記載のSiC半導体装置。
- [請求項6] 前記コラム領域は、前記トレンチ側の上端部、および、前記SiC層の前記底部側の下端部を有し、前記上端部から前記下端部に向けて漸減する濃度勾配を有している、請求項1～5のいずれか一項に記載のSiC半導体装置。
- [請求項7] 前記濃度勾配は、前記上端部側のピーク値、および、前記ピーク値よりも前記下端部側の領域において緩慢な低下率で不純物濃度が漸減する緩慢部を含む、請求項6に記載のSiC半導体装置。
- [請求項8] 前記緩慢部は、前記コラム領域のうちの1/4以上の厚さ範囲を占めている、請求項7に記載のSiC半導体装置。
- [請求項9] 前記トレンチは、平面視で帯状に延び、

前記コラム領域は、平面視で前記トレンチに沿って帯状に延びている、請求項 1～8 のいずれか一項に記載の SiC 半導体装置。

[請求項10] 前記トレンチは、平面視で SiC 単結晶の a 軸方向に延びている、請求項 9 に記載の SiC 半導体装置。

[請求項11] 前記 SiC 層は、鉛直軸を基準にオフ方向に向けて傾斜したオフ角を有し、

前記軸チャンネルは、前記鉛直軸を基準に前記オフ方向に向けて傾斜した前記オフ角を有している、請求項 1～10 のいずれか一項に記載の SiC 半導体装置。

[請求項12] 前記オフ方向は、SiC 単結晶の a 軸方向である、請求項 11 に記載の SiC 半導体装置。

[請求項13] 前記オフ角は、 $10^\circ$  以下である、請求項 11 または 12 に記載の SiC 半導体装置。

[請求項14] 前記コラム領域は、前記トレンチから前記 SiC 層の前記底部側に間隔を空けて形成されている、請求項 1～13 のいずれか一項に記載の SiC 半導体装置。

[請求項15] 前記 SiC 層内において前記トレンチおよび前記コラム領域の間の領域に形成された第 2 導電型の間領域をさらに含む、請求項 14 に記載の SiC 半導体装置。

[請求項16] 前記主面の表層部に形成された第 2 導電型のボディ領域をさらに含み、

前記トレンチは、前記ボディ領域を貫通し、

前記中間領域は、前記ボディ領域および前記コラム領域に電氣的に接続されている、請求項 15 に記載の SiC 半導体装置。

[請求項17] 前記ボディ領域の表層部において前記トレンチの側方に形成された第 1 導電型のソース領域をさらに含む、請求項 16 に記載の SiC 半導体装置。

[請求項18] 前記ボディ領域の不純物濃度よりも高い不純物濃度を有し、前記ボ

ディ領域の表層部において前記トレンチの側方に形成された第2導電型のコンタクト領域をさらに含む、請求項16または17に記載のSiC半導体装置。

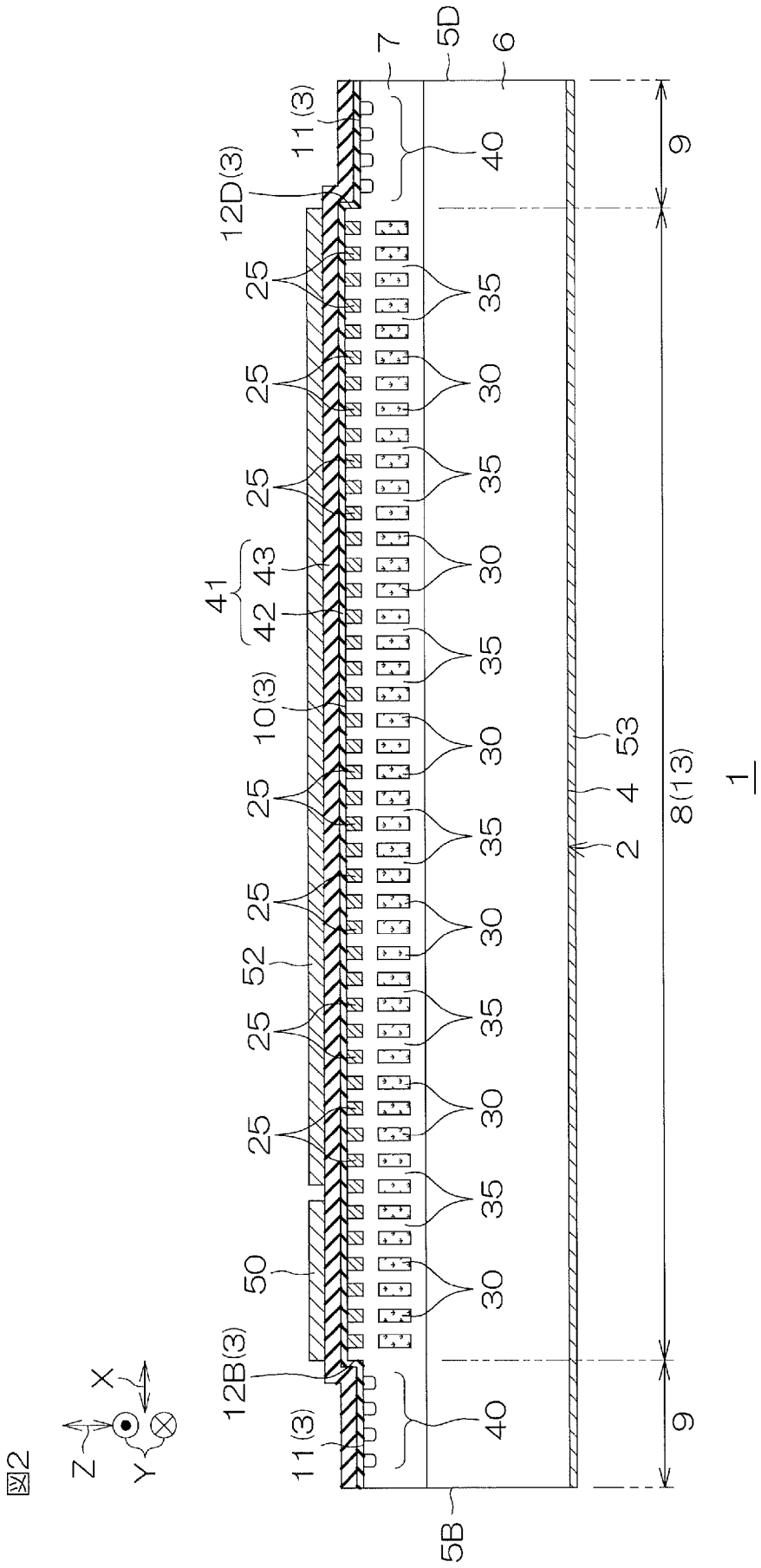
[請求項19] 前記SiC層の不純物濃度よりも高い不純物濃度を有し、前記主面の表層部に形成された第1導電型の高濃度領域をさらに含み、

前記トレンチは、前記高濃度領域の底部から前記主面側に間隔を空けて形成されている、請求項1～18のいずれか一項に記載のSiC半導体装置。

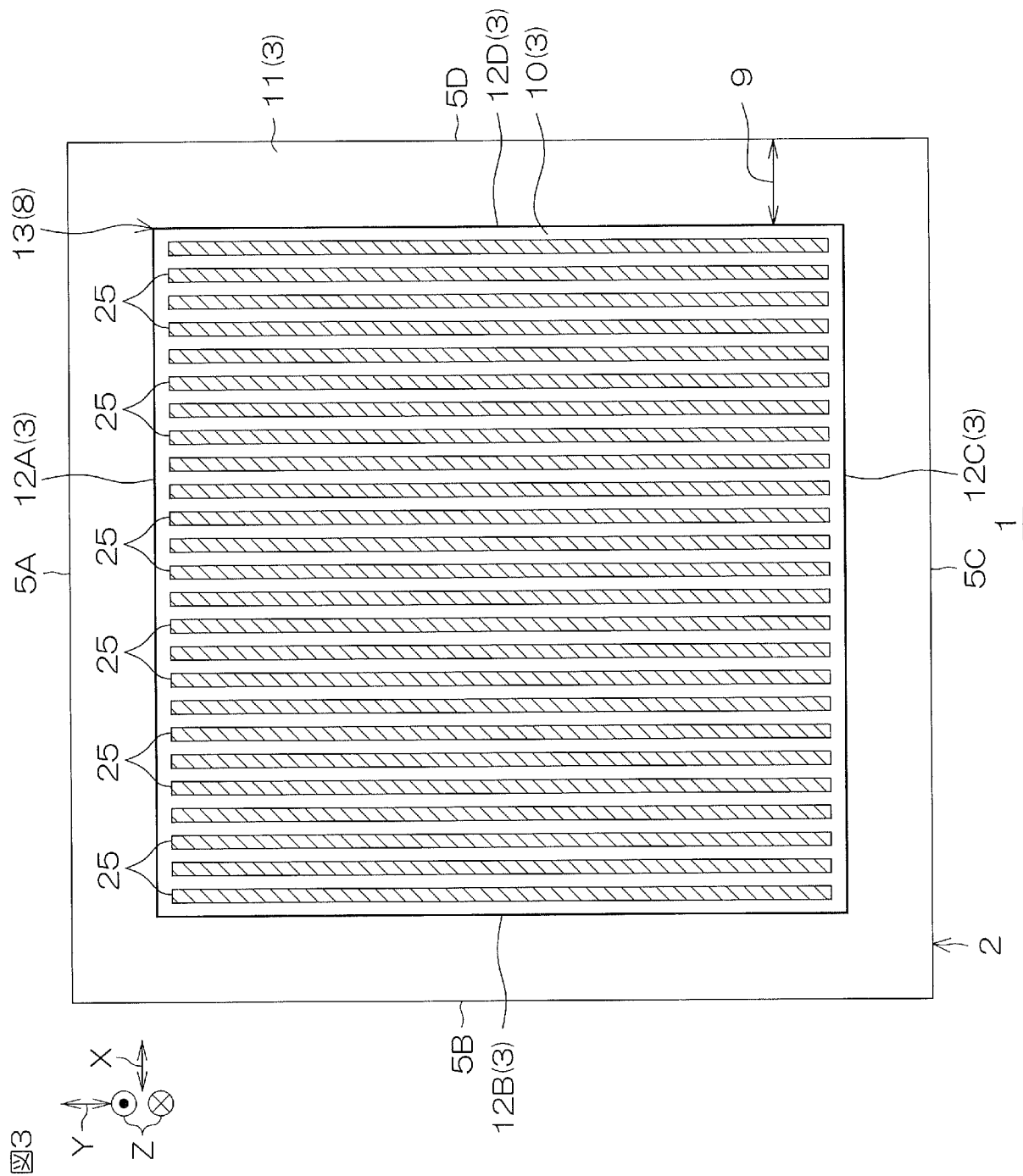
[請求項20] 前記コラム領域は、前記高濃度領域の底部を横切っている、請求項19に記載のSiC半導体装置。



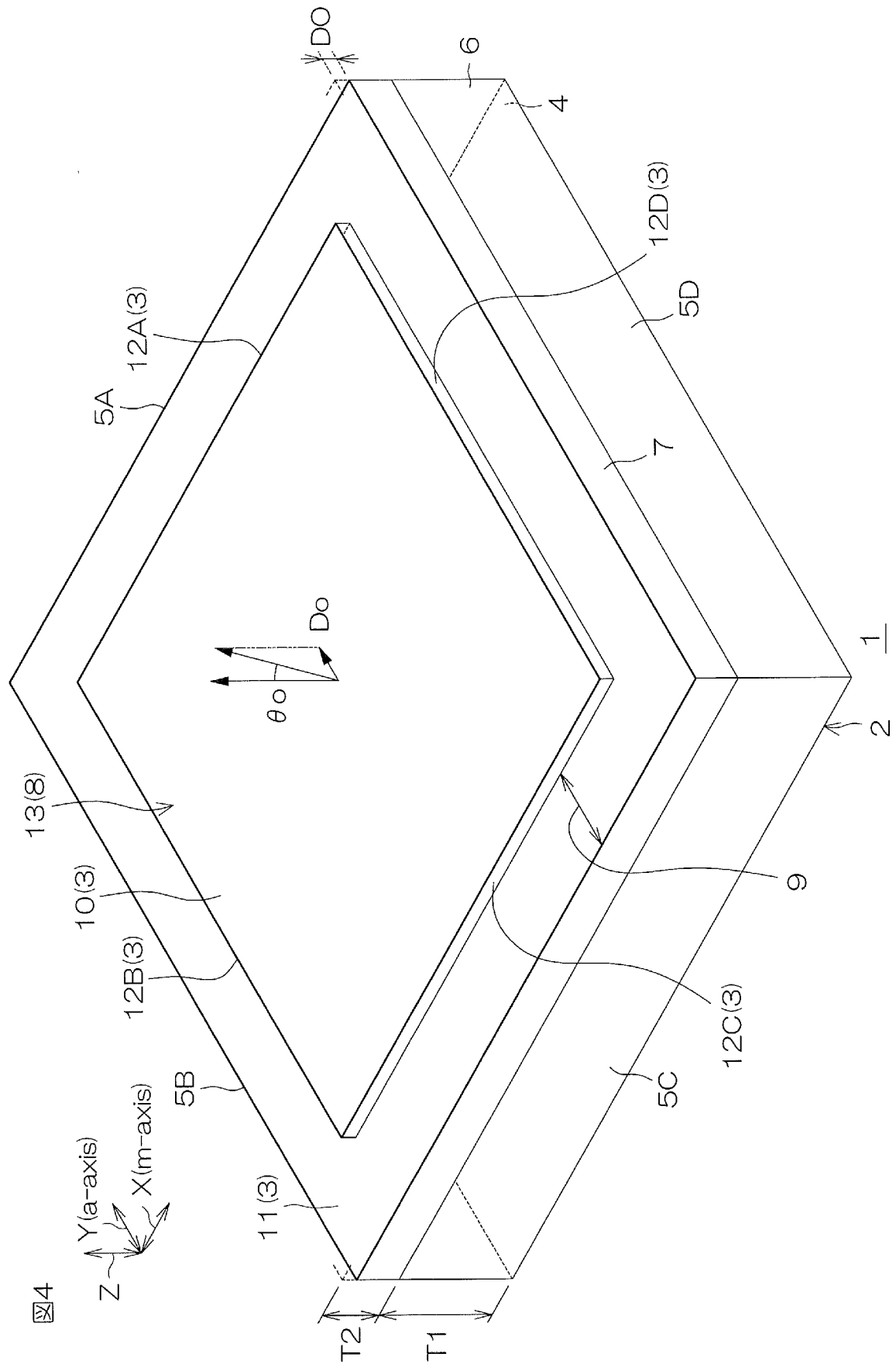
[図2]



[図3]



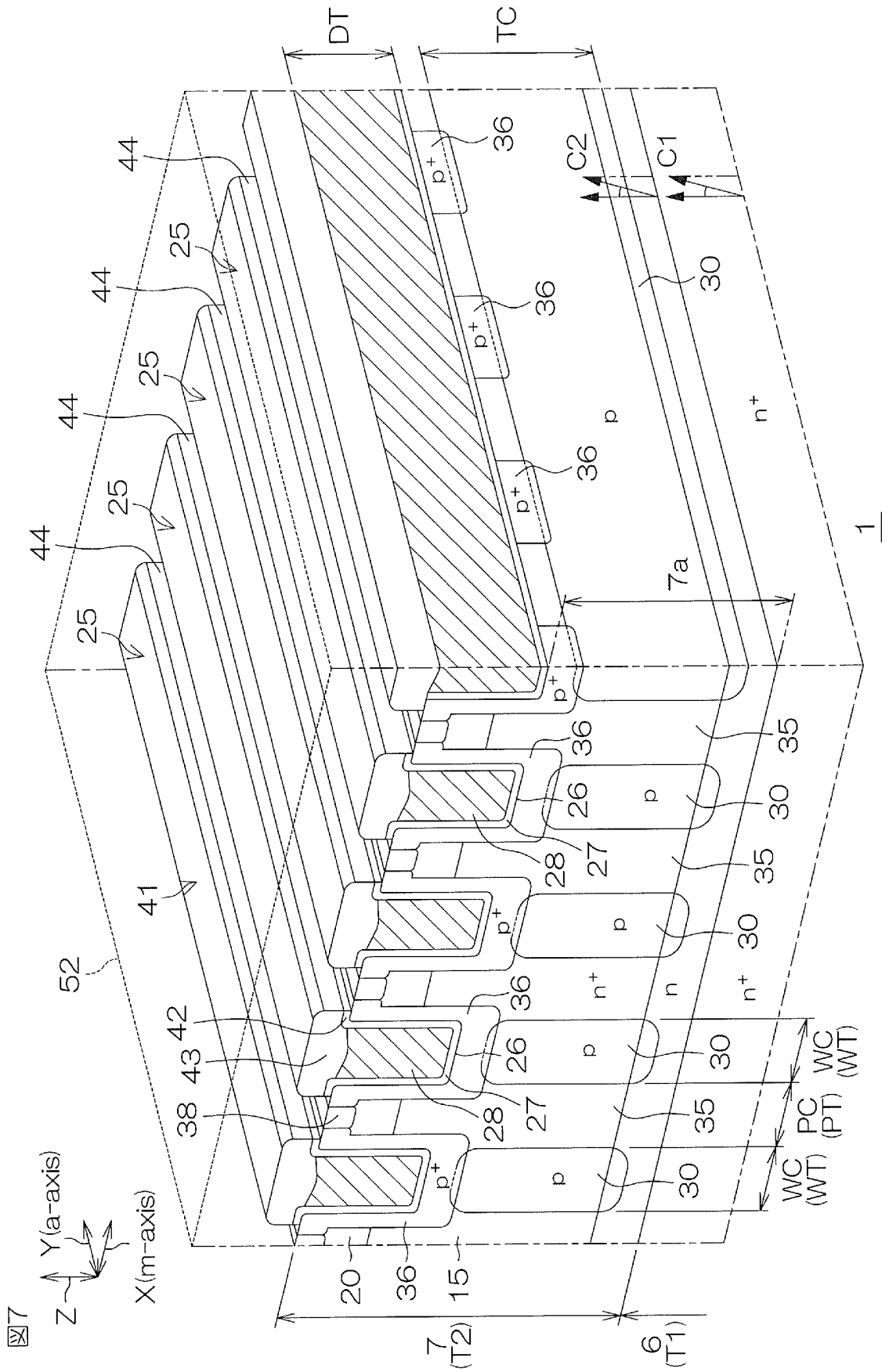
[図4]





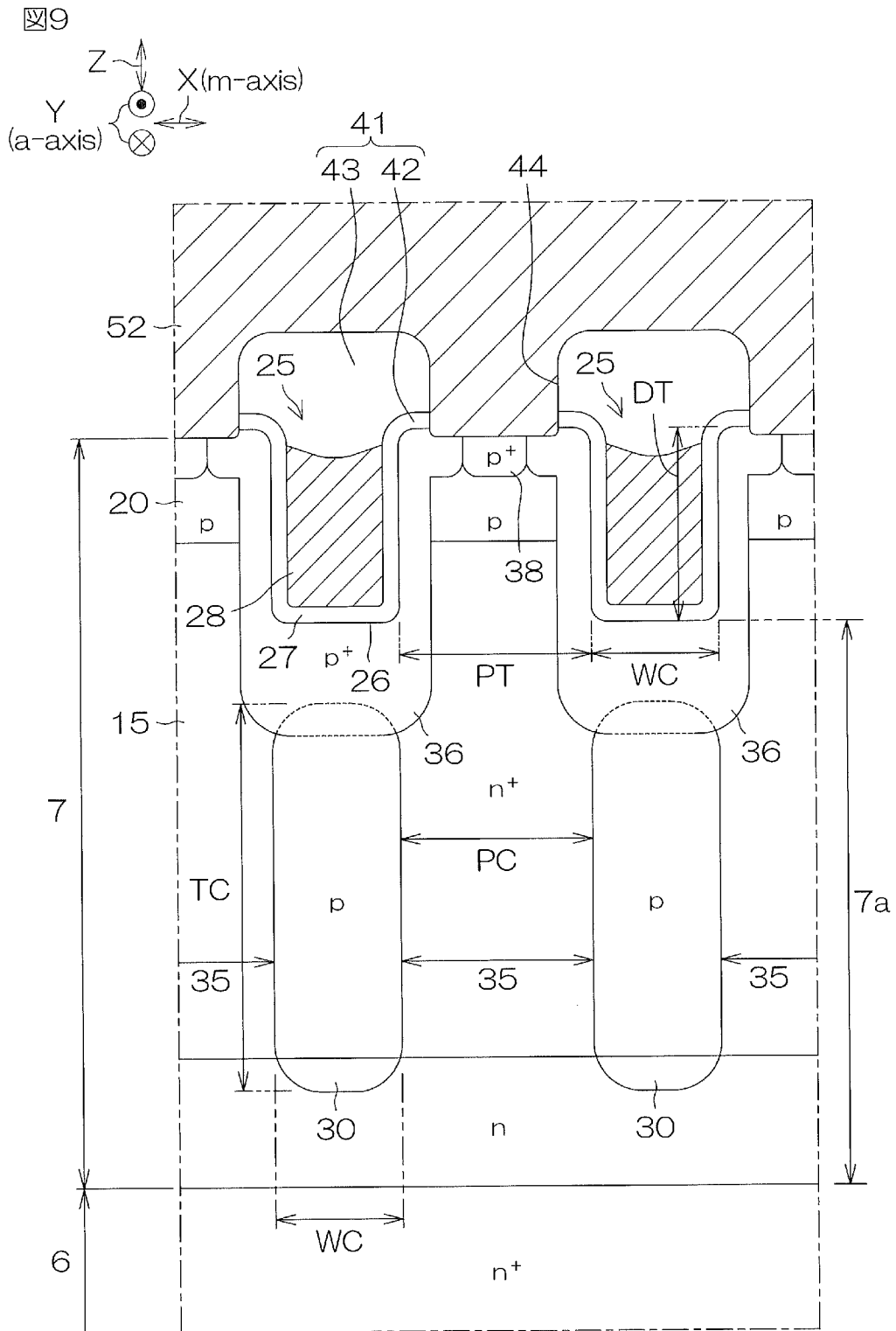


[図7]

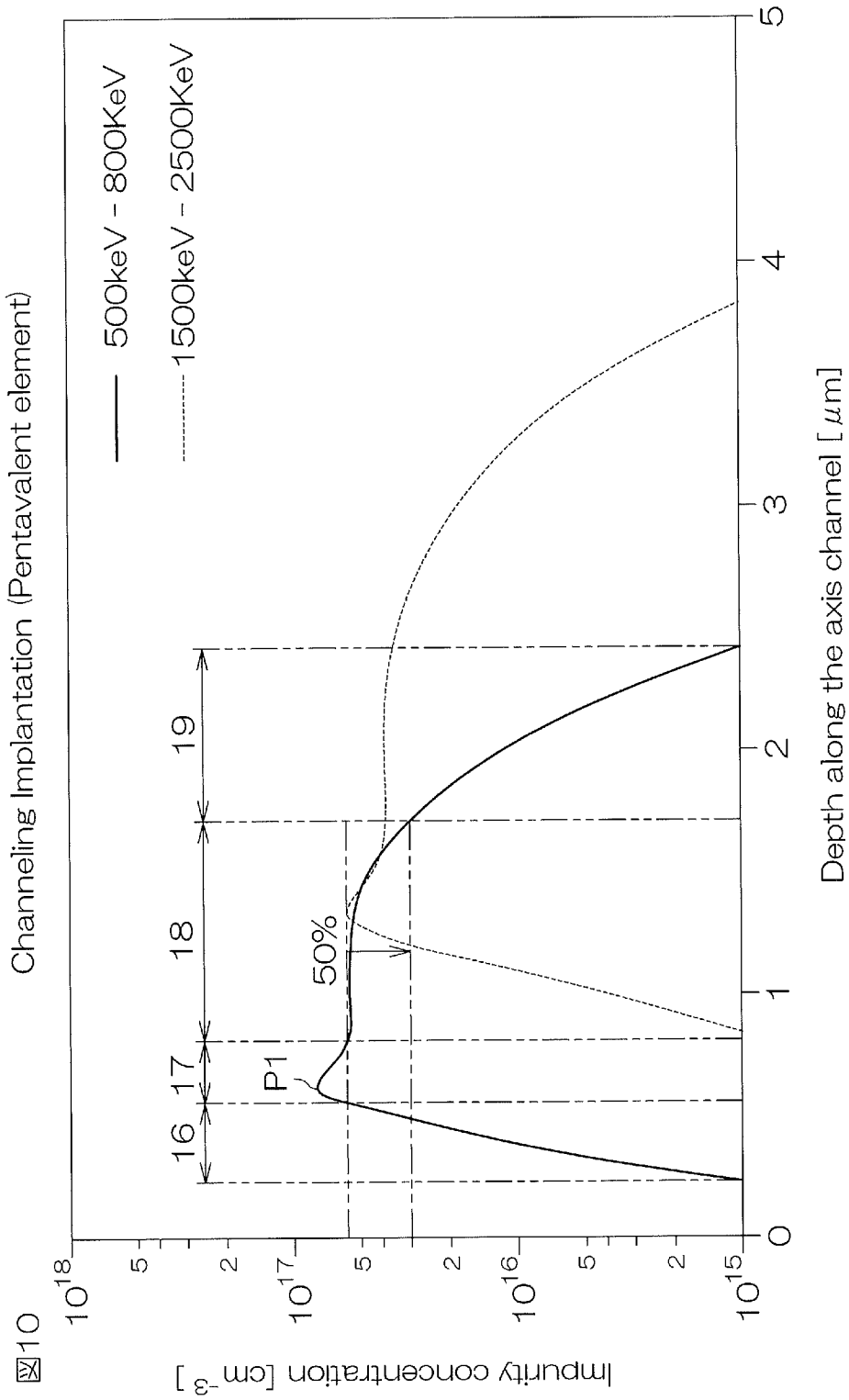




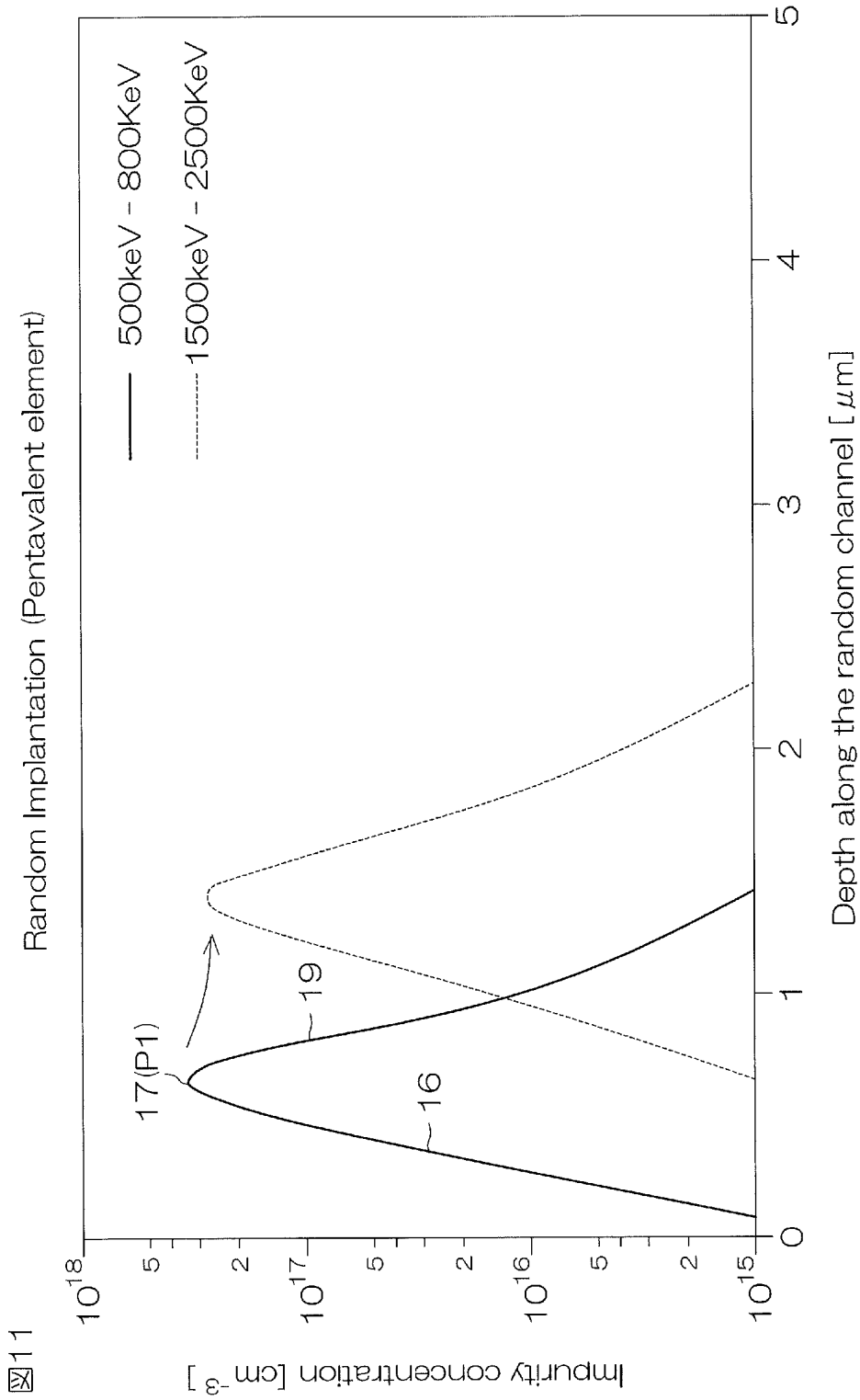
[図9]



[10]



[11]



[11]

[圖12]

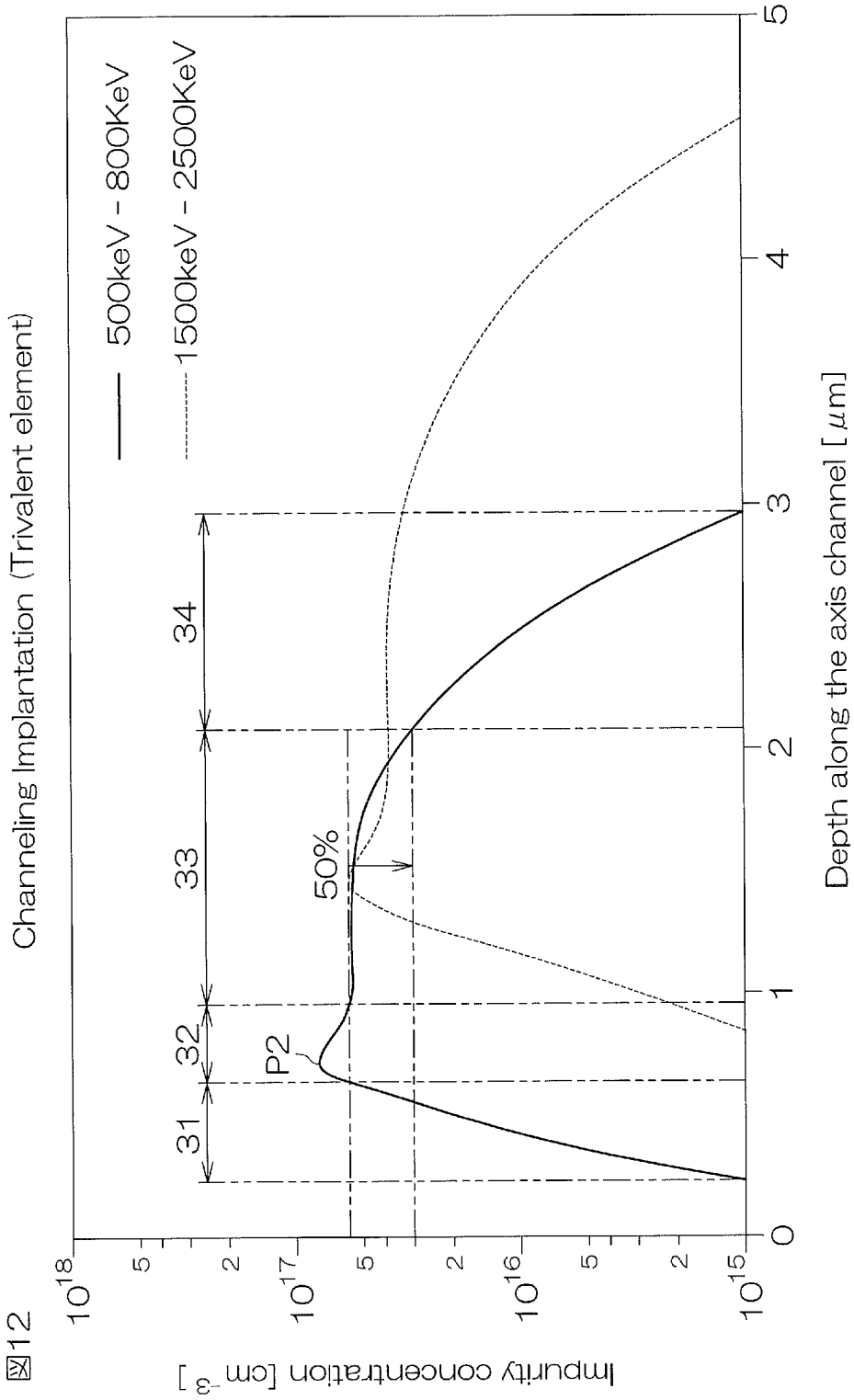
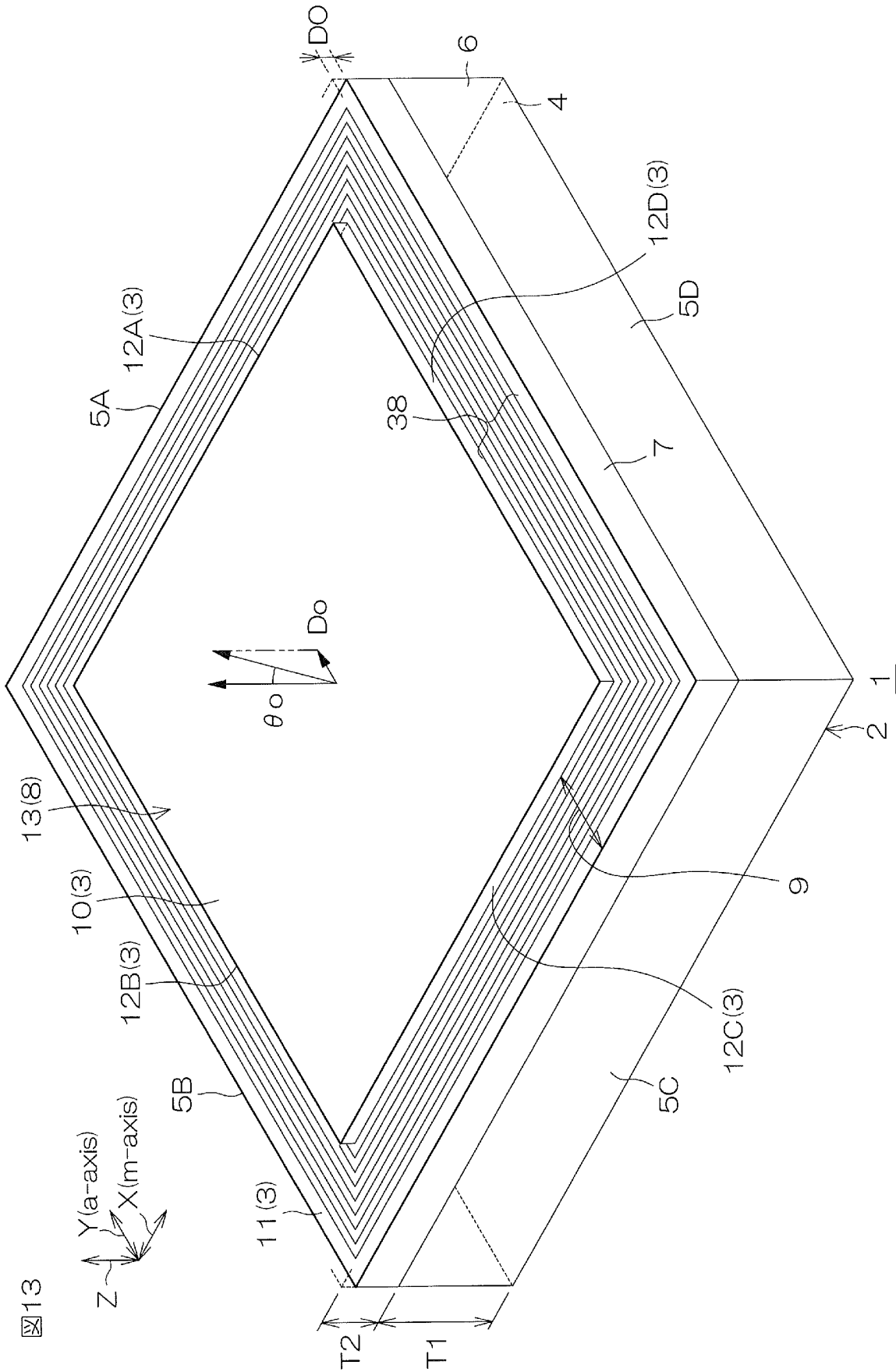
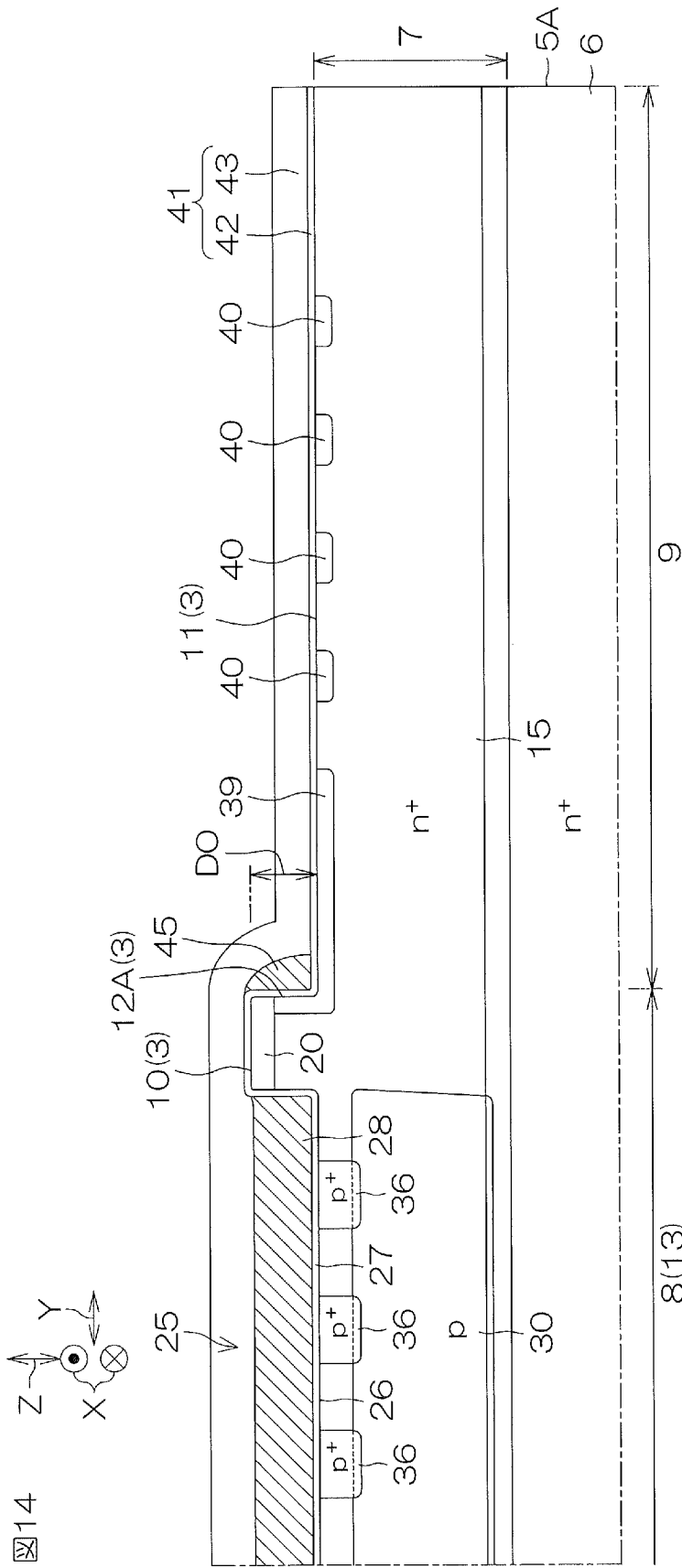


圖12

[圖13]



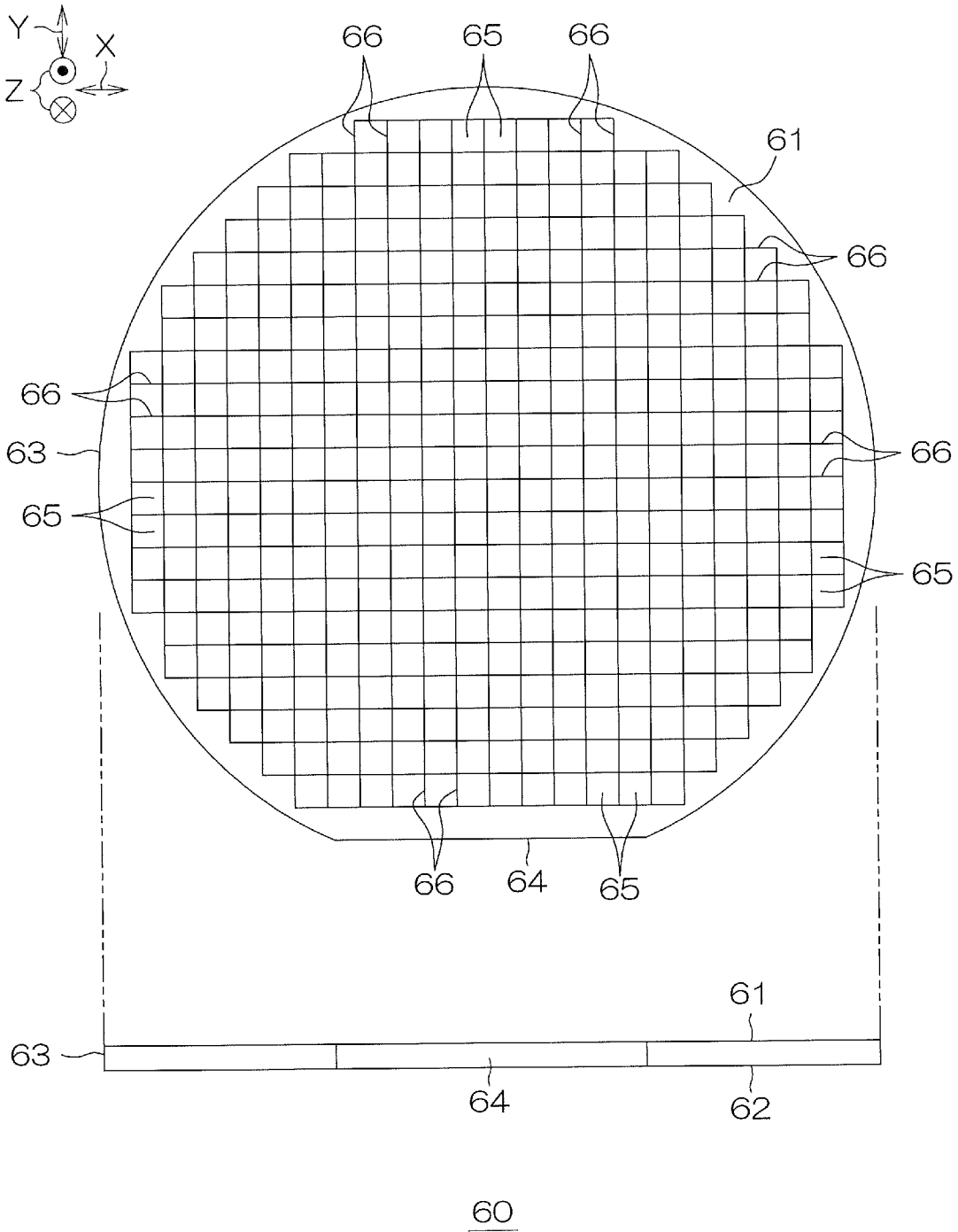
[図14]



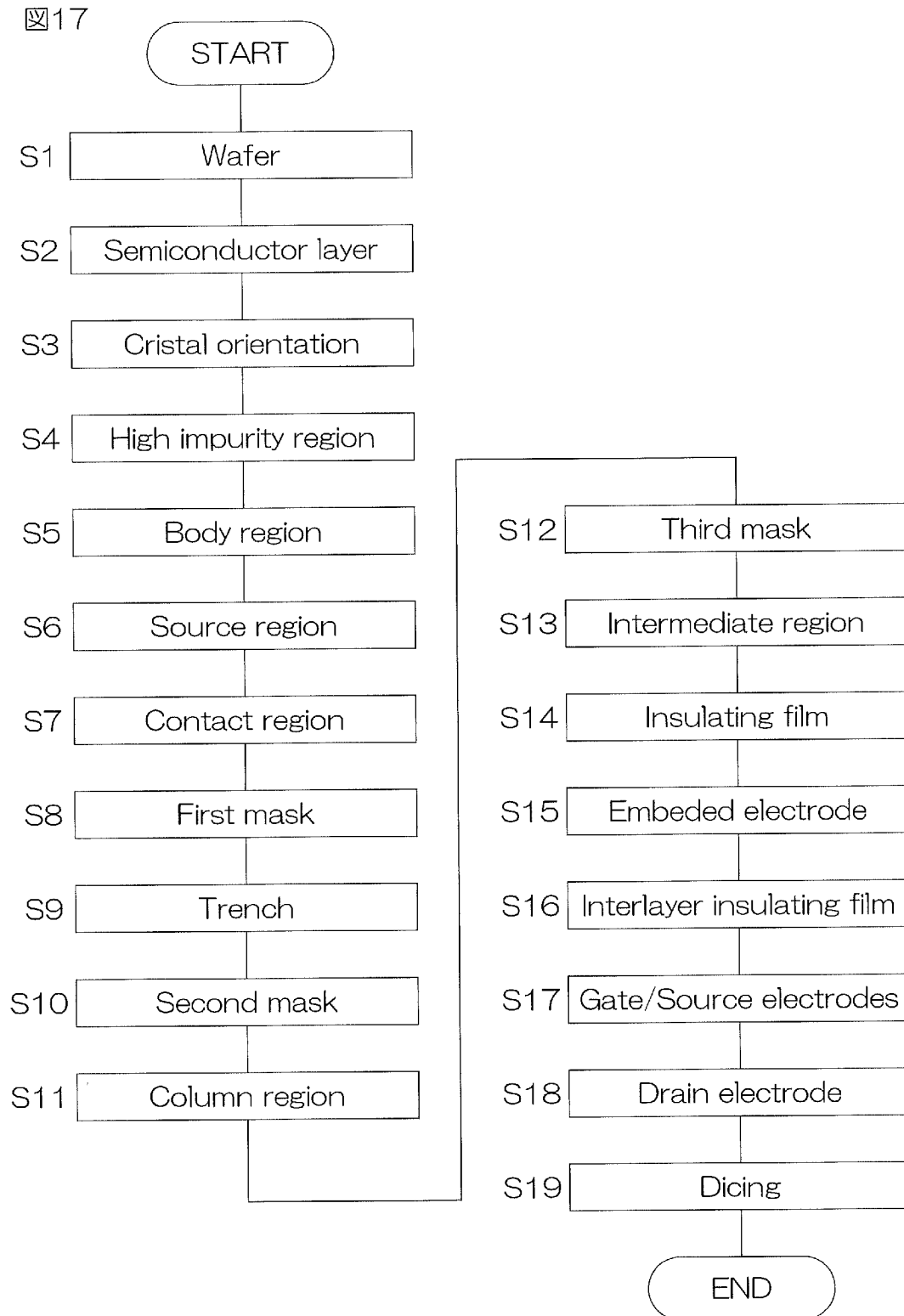



[図16]

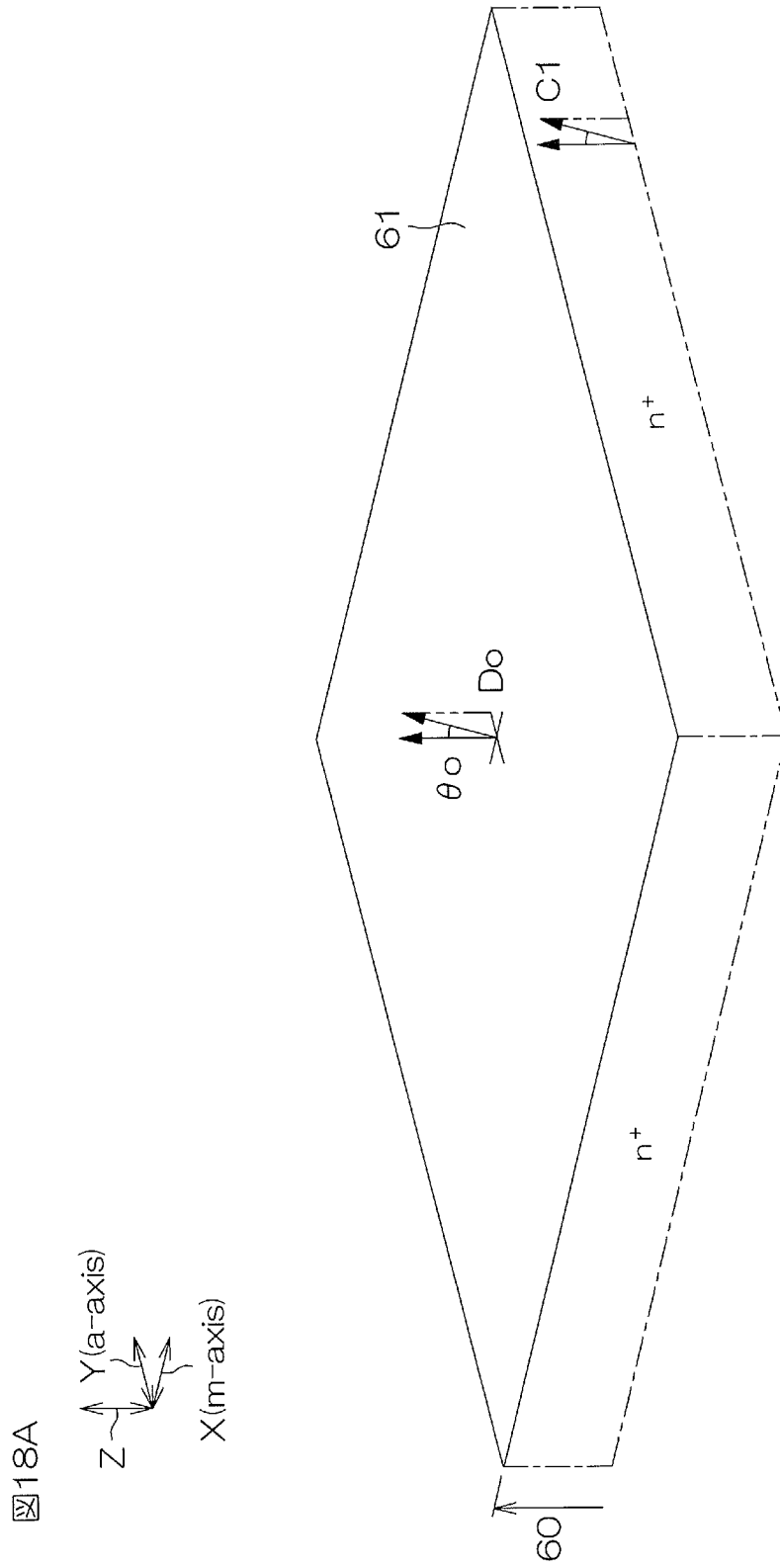
図16




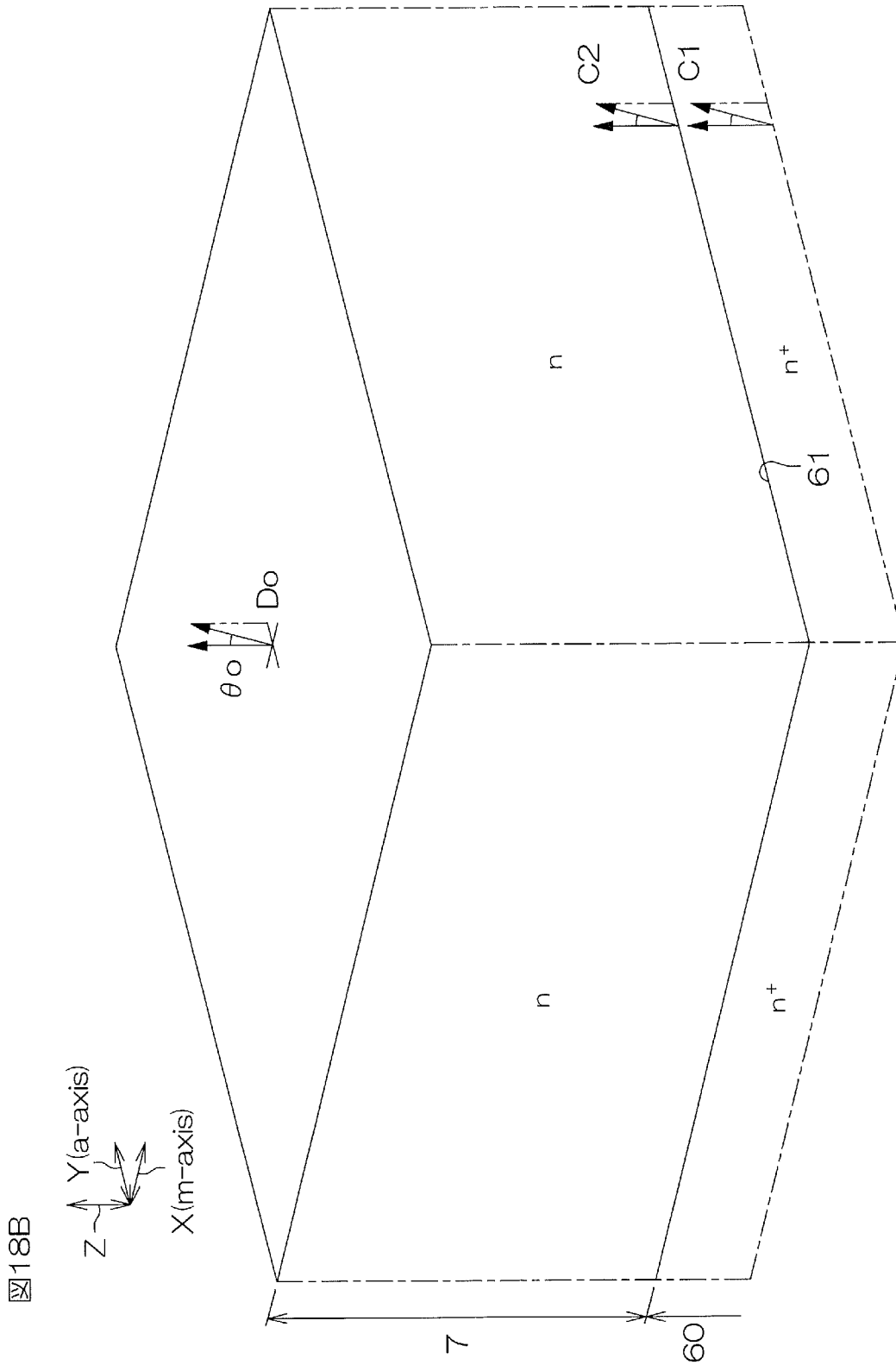
[図17]




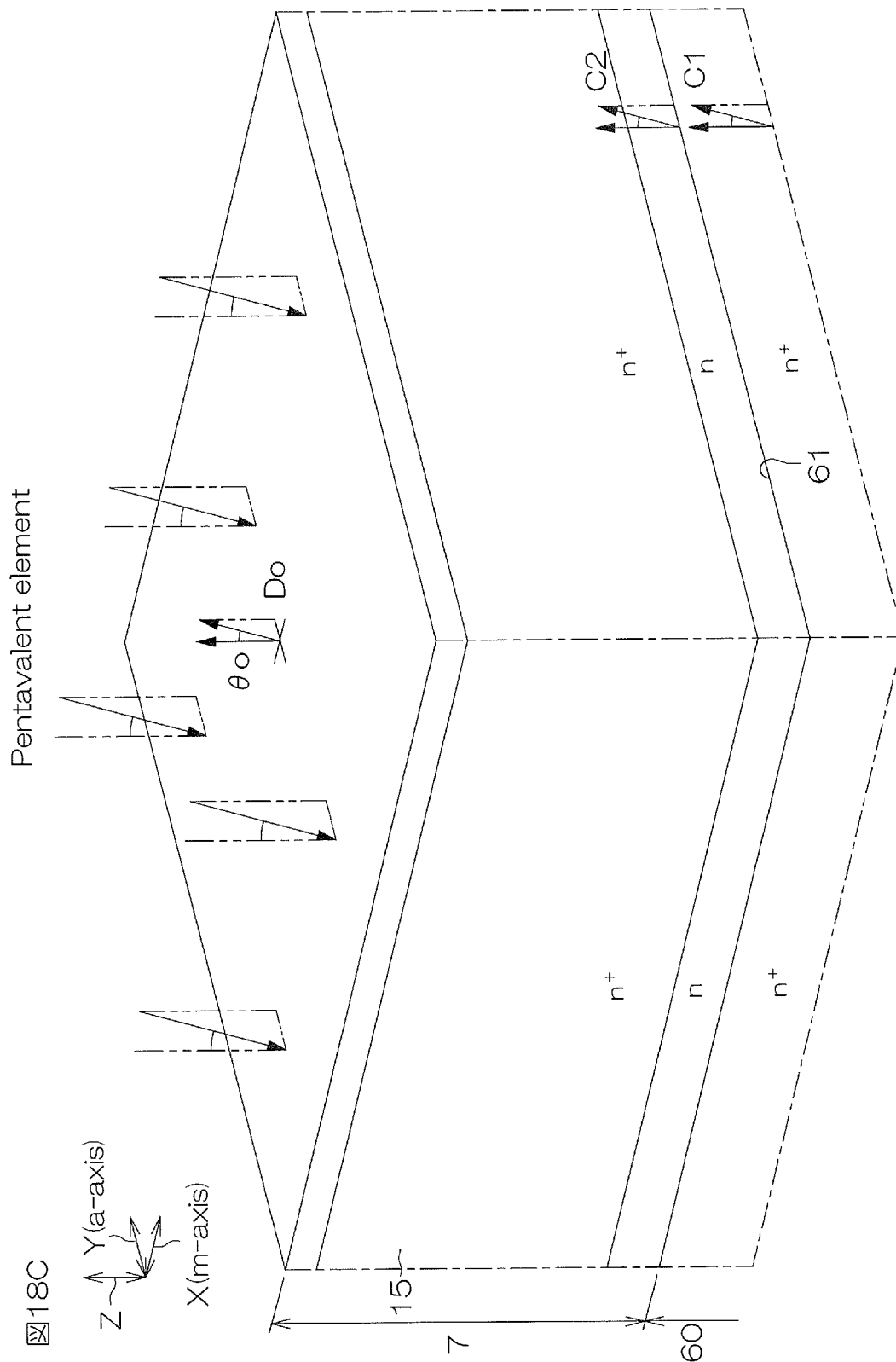
[18A]



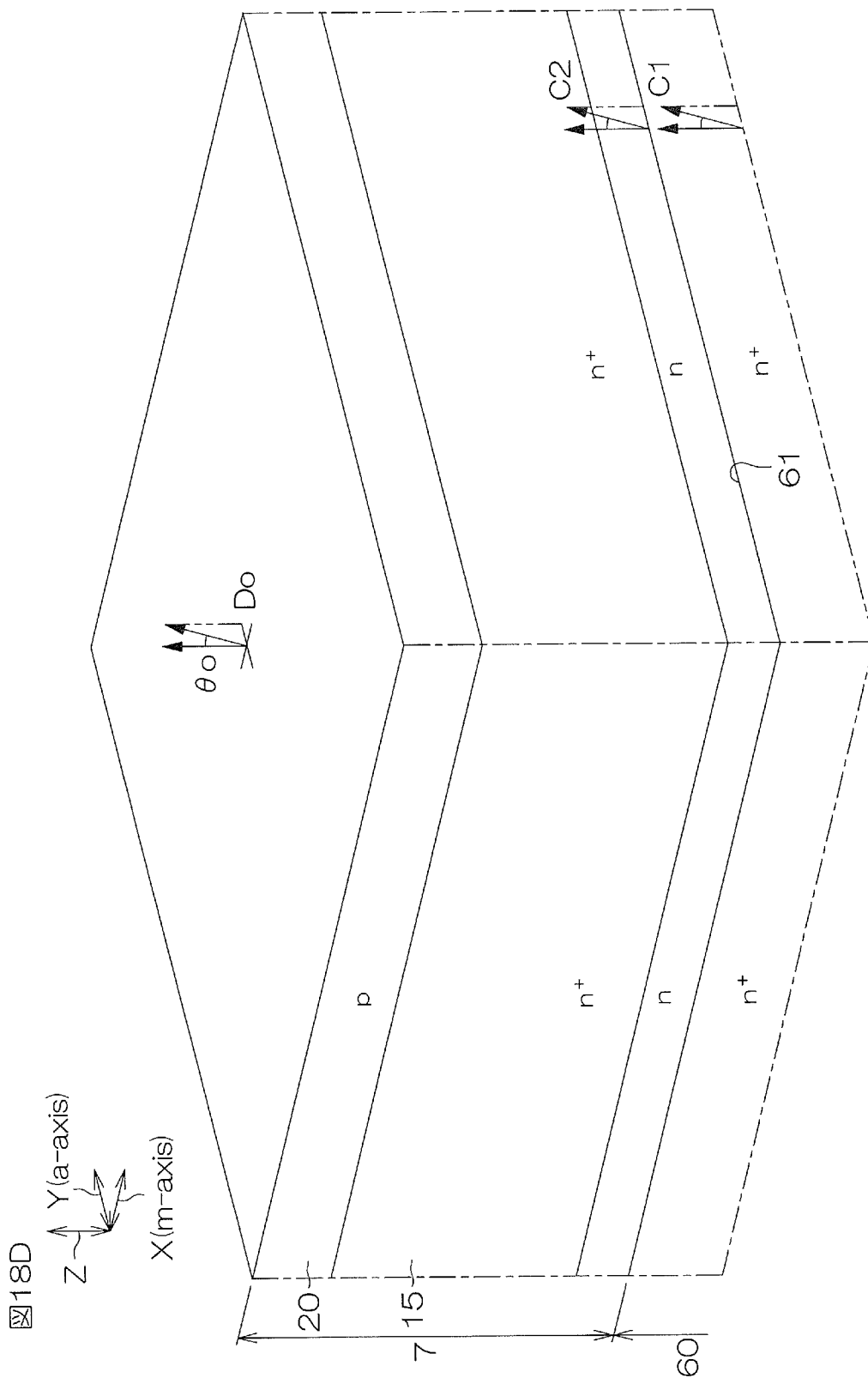
[18B]



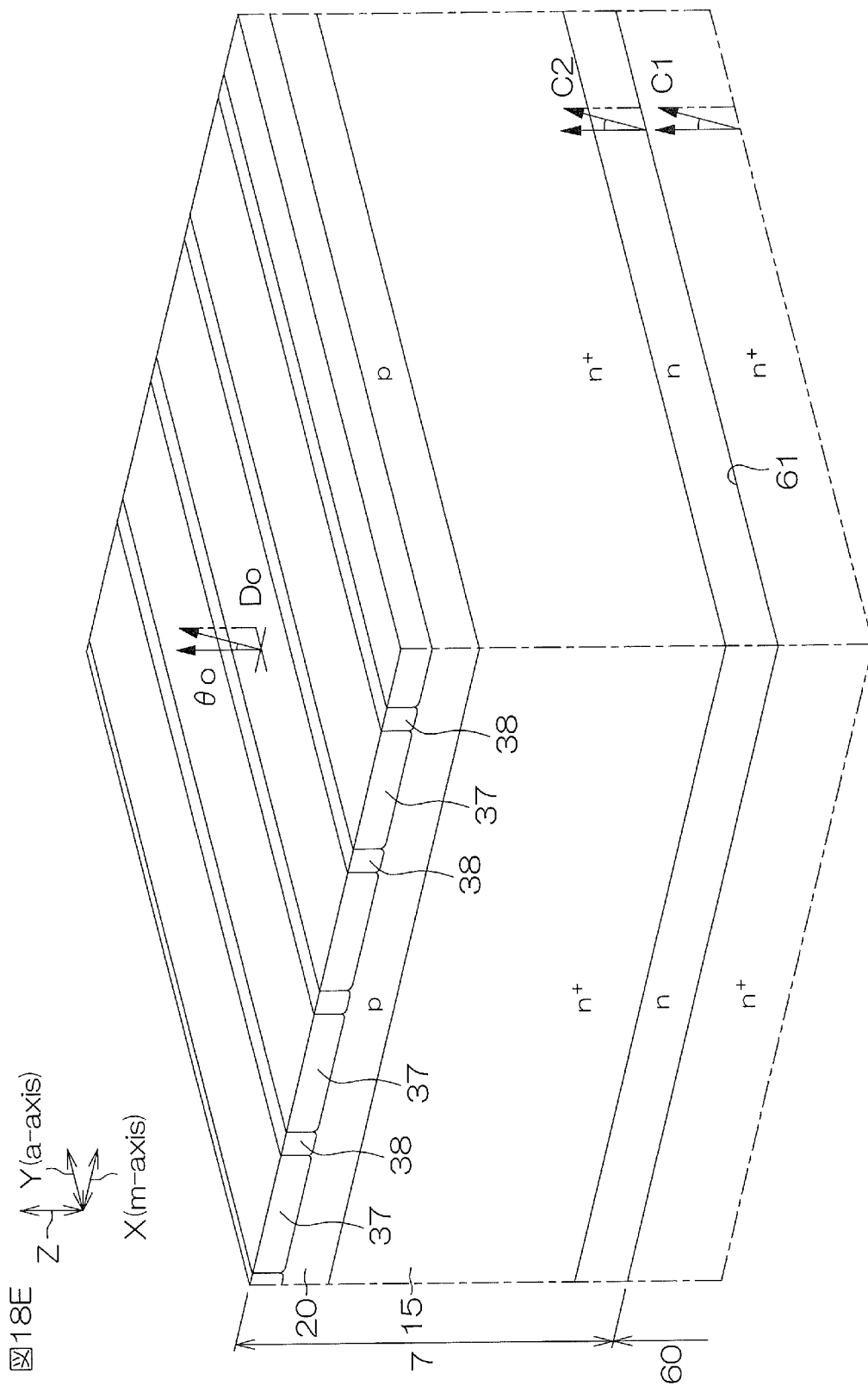
[]18C




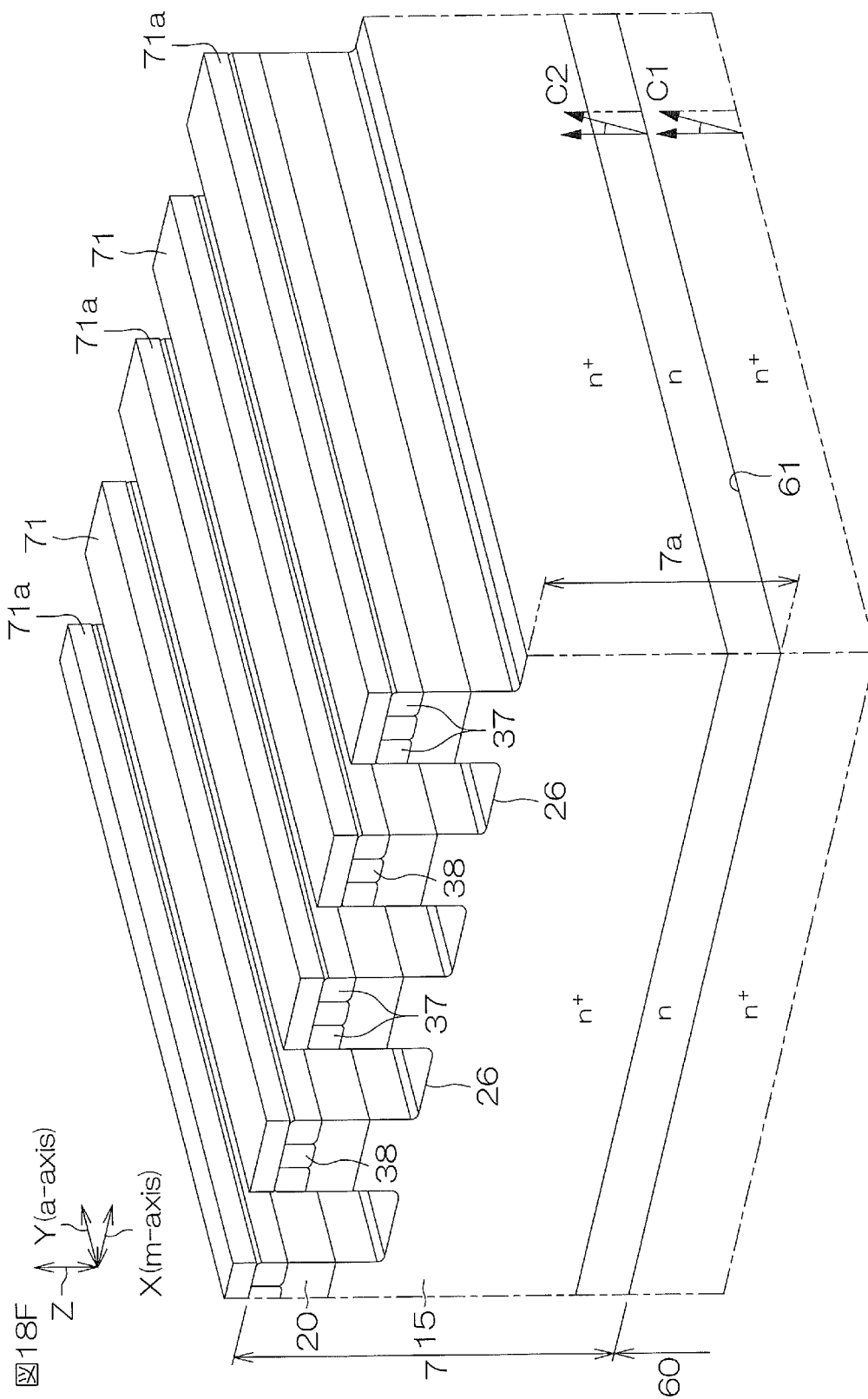
[圖18D]




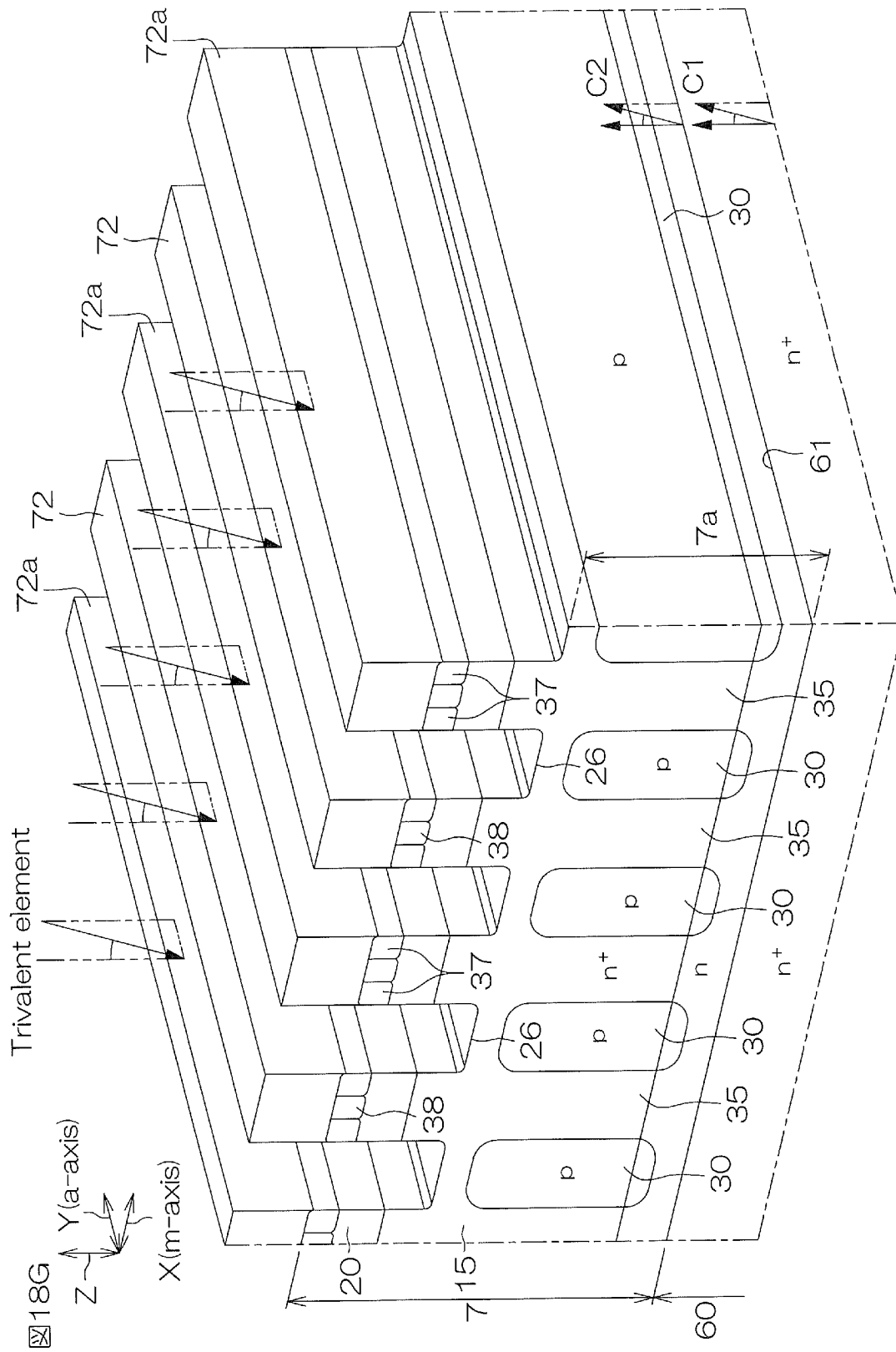
[18E]



[ 18F]




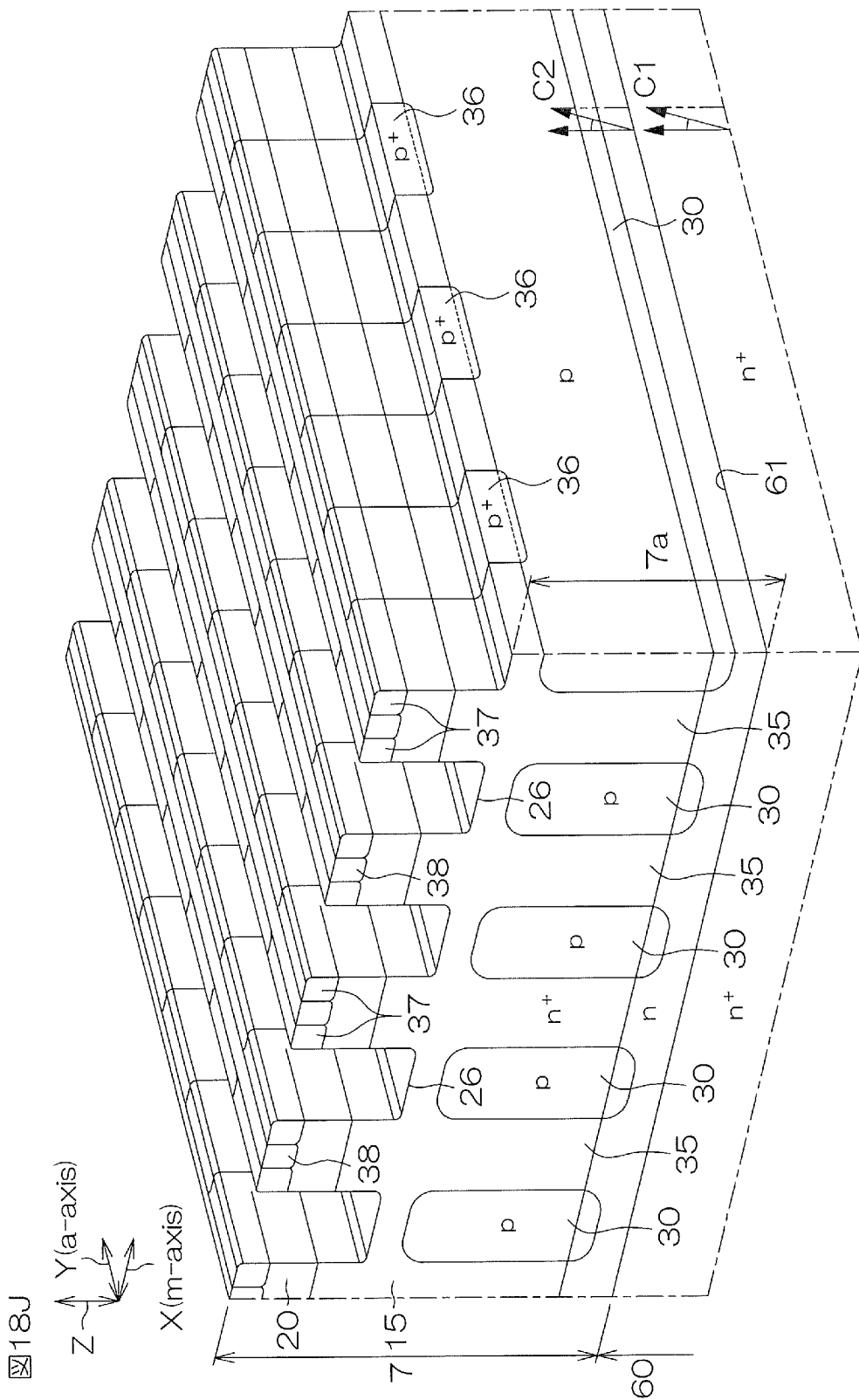
[18G]





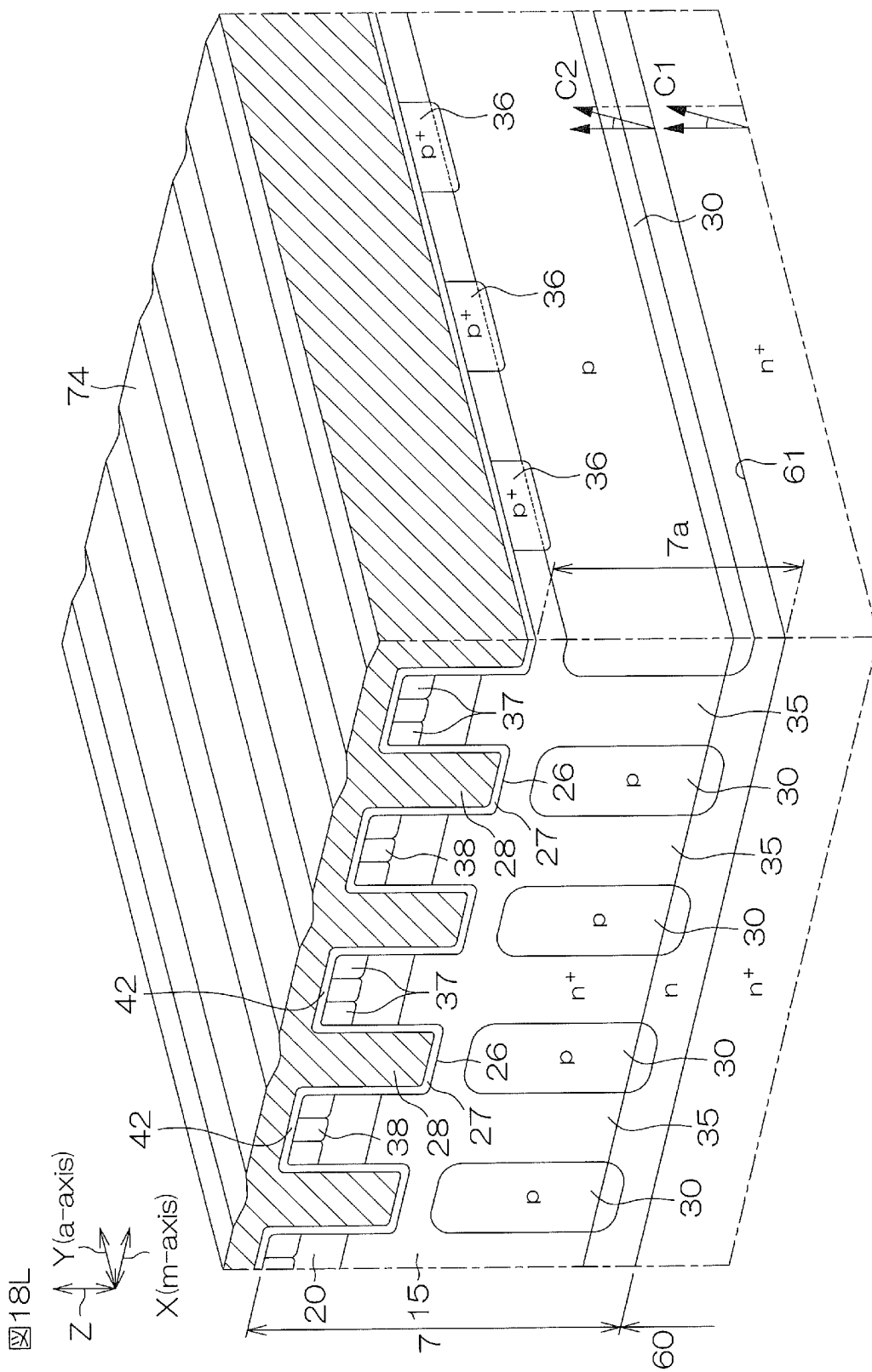



[ 18J]

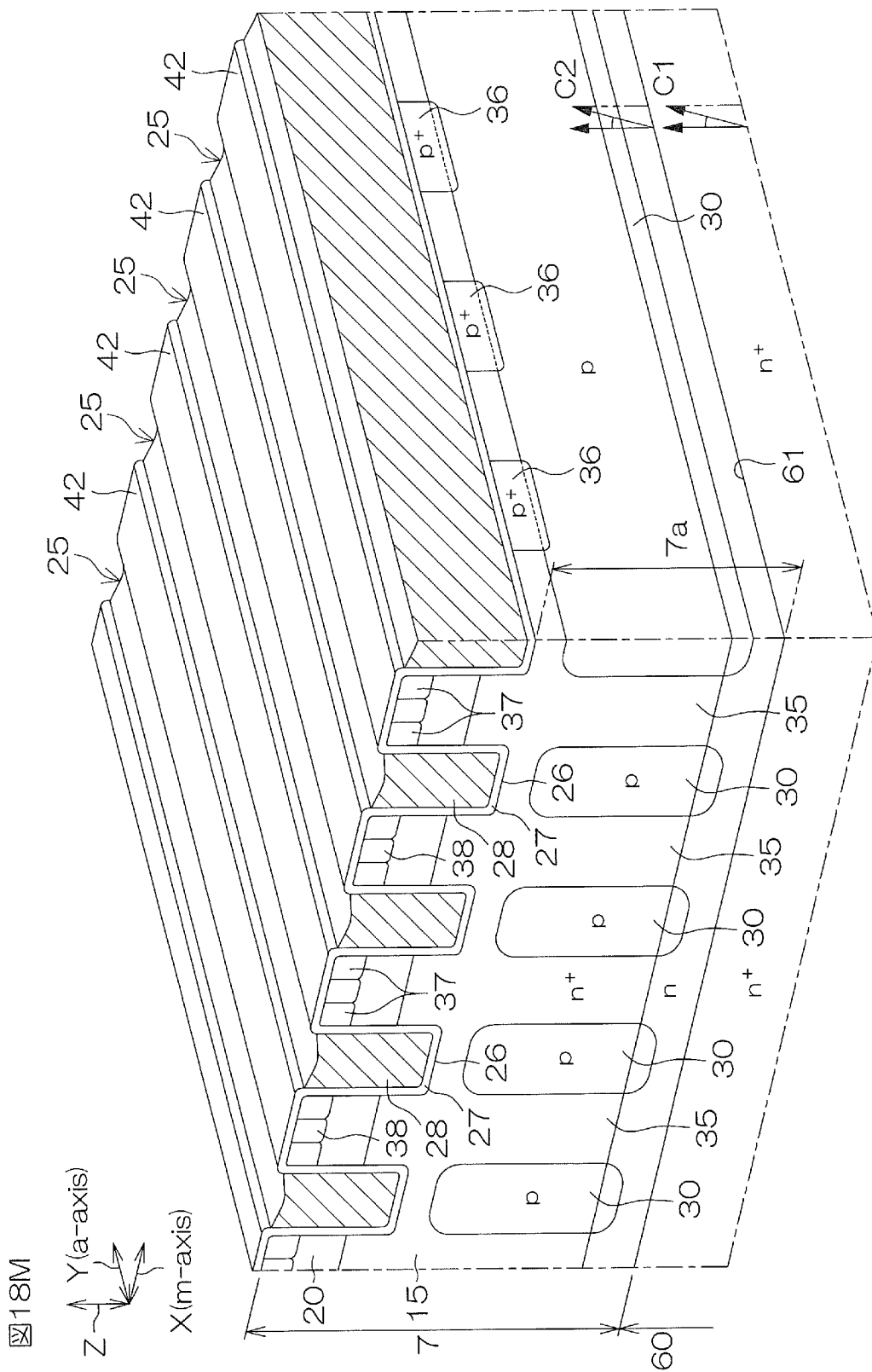





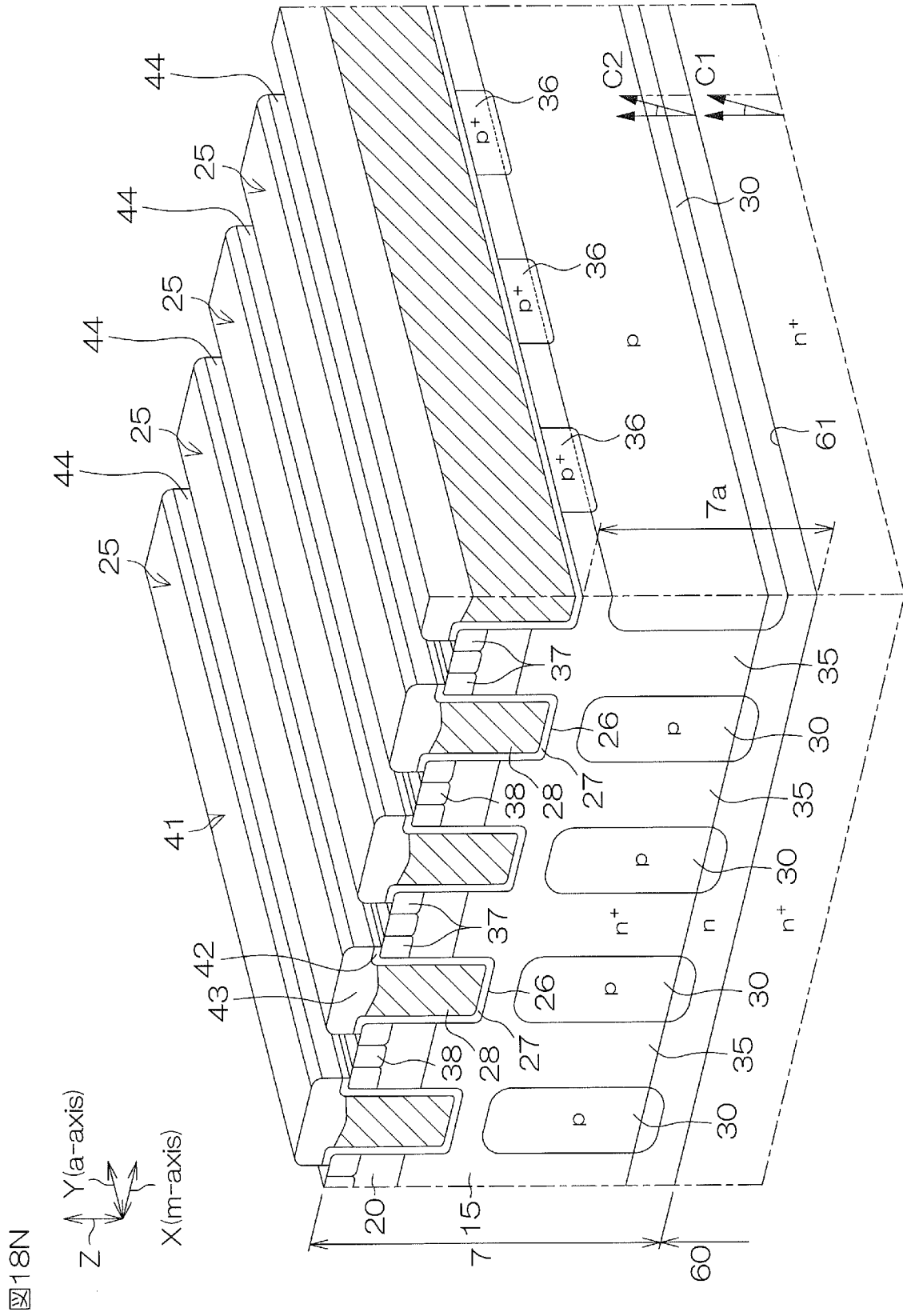
[圖18L]



[18M]

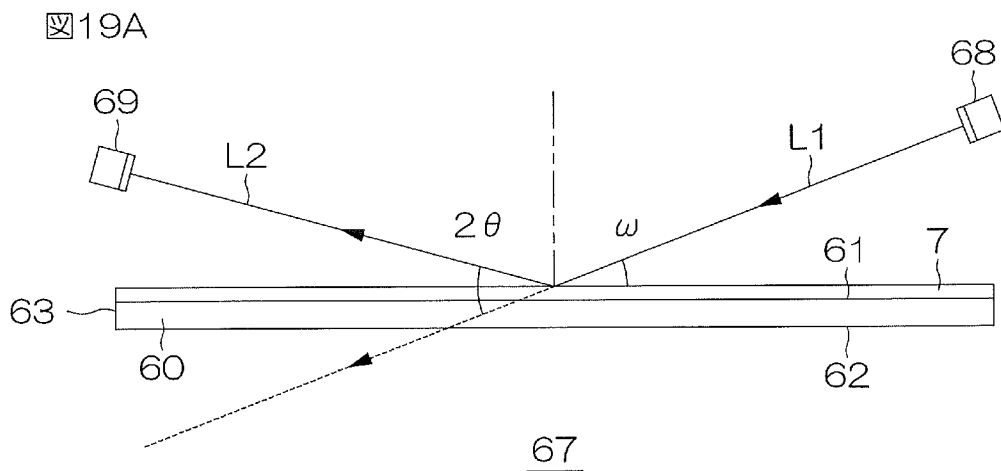


[18N]

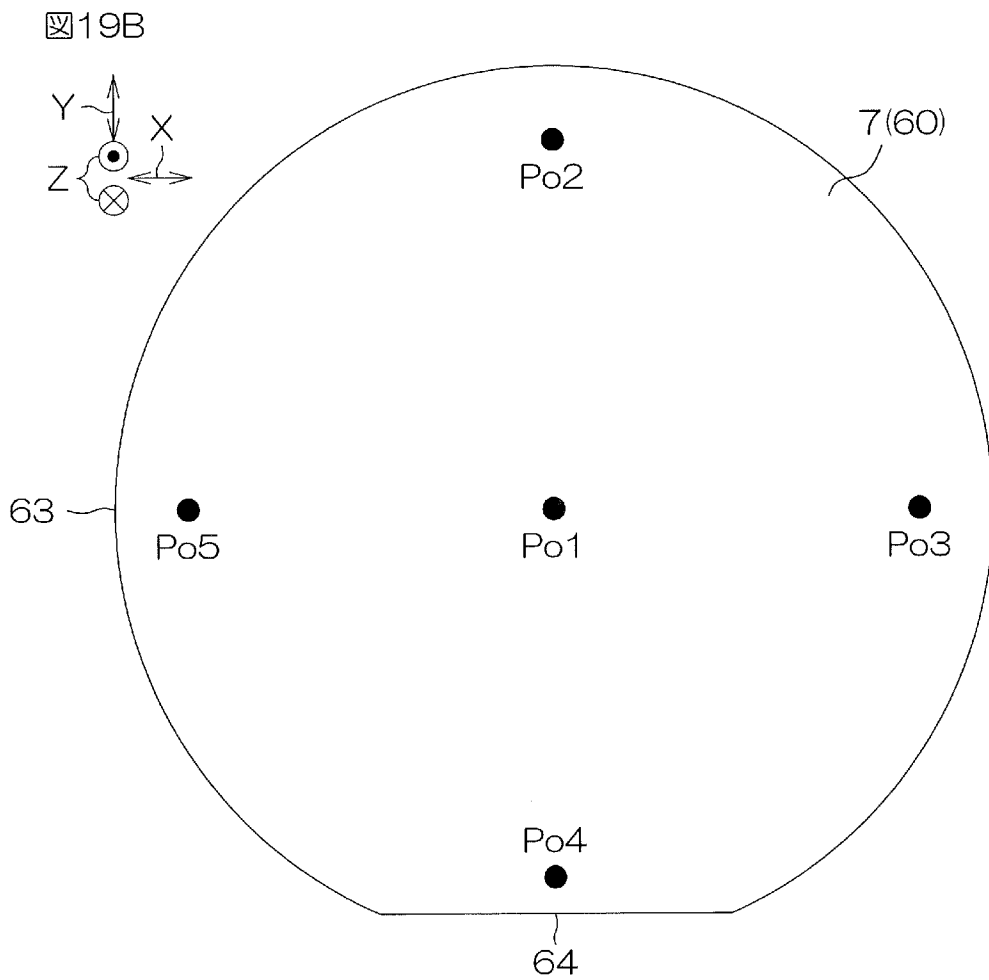




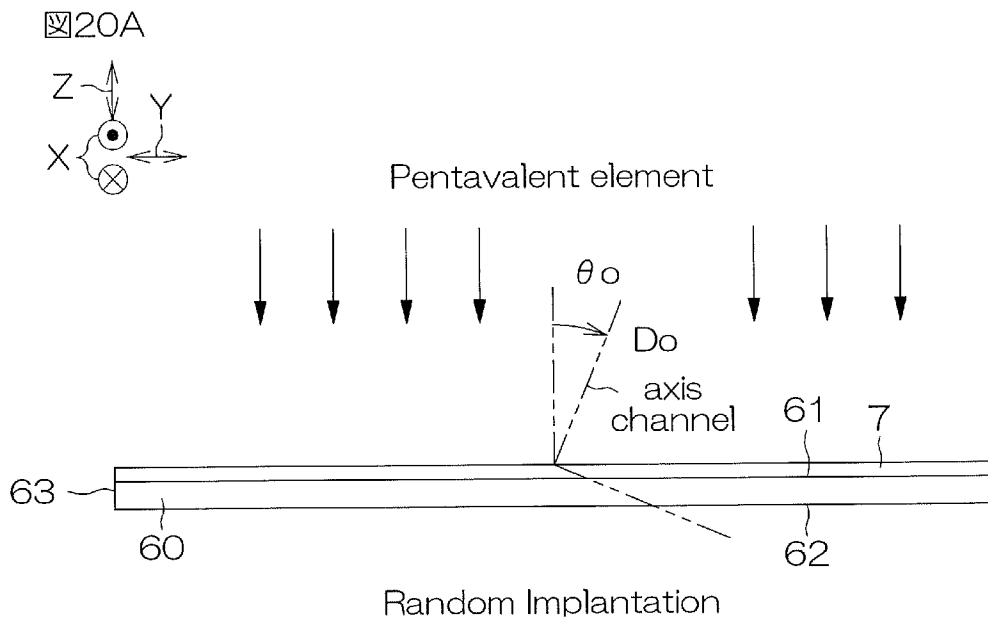
[図19A]



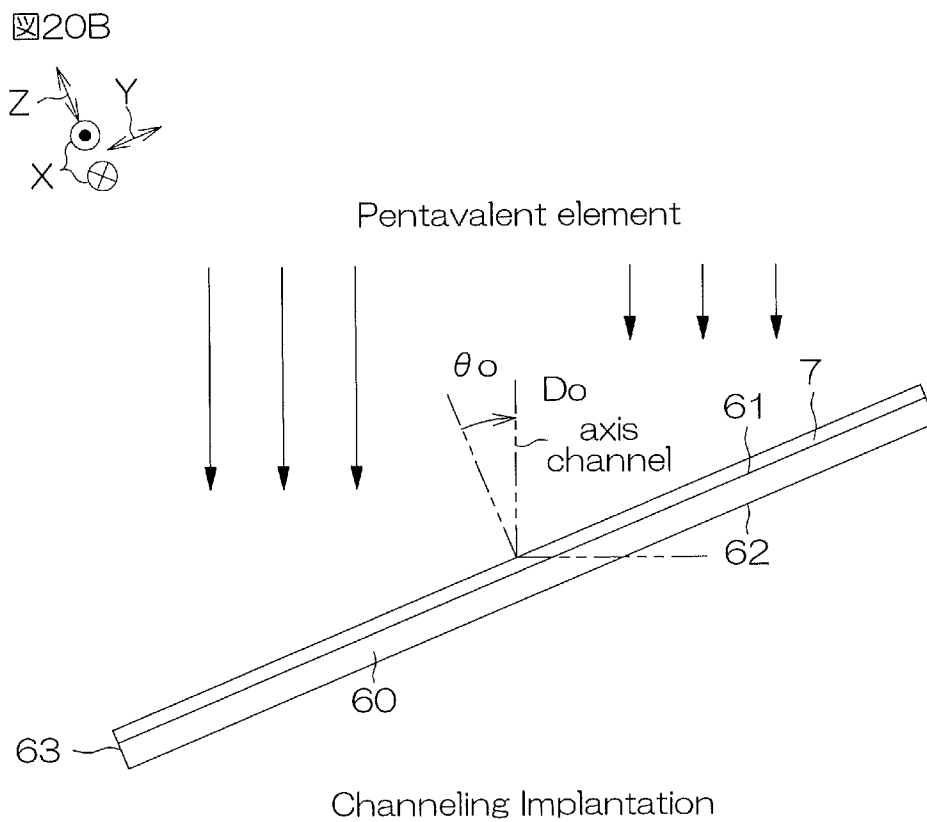
[図19B]



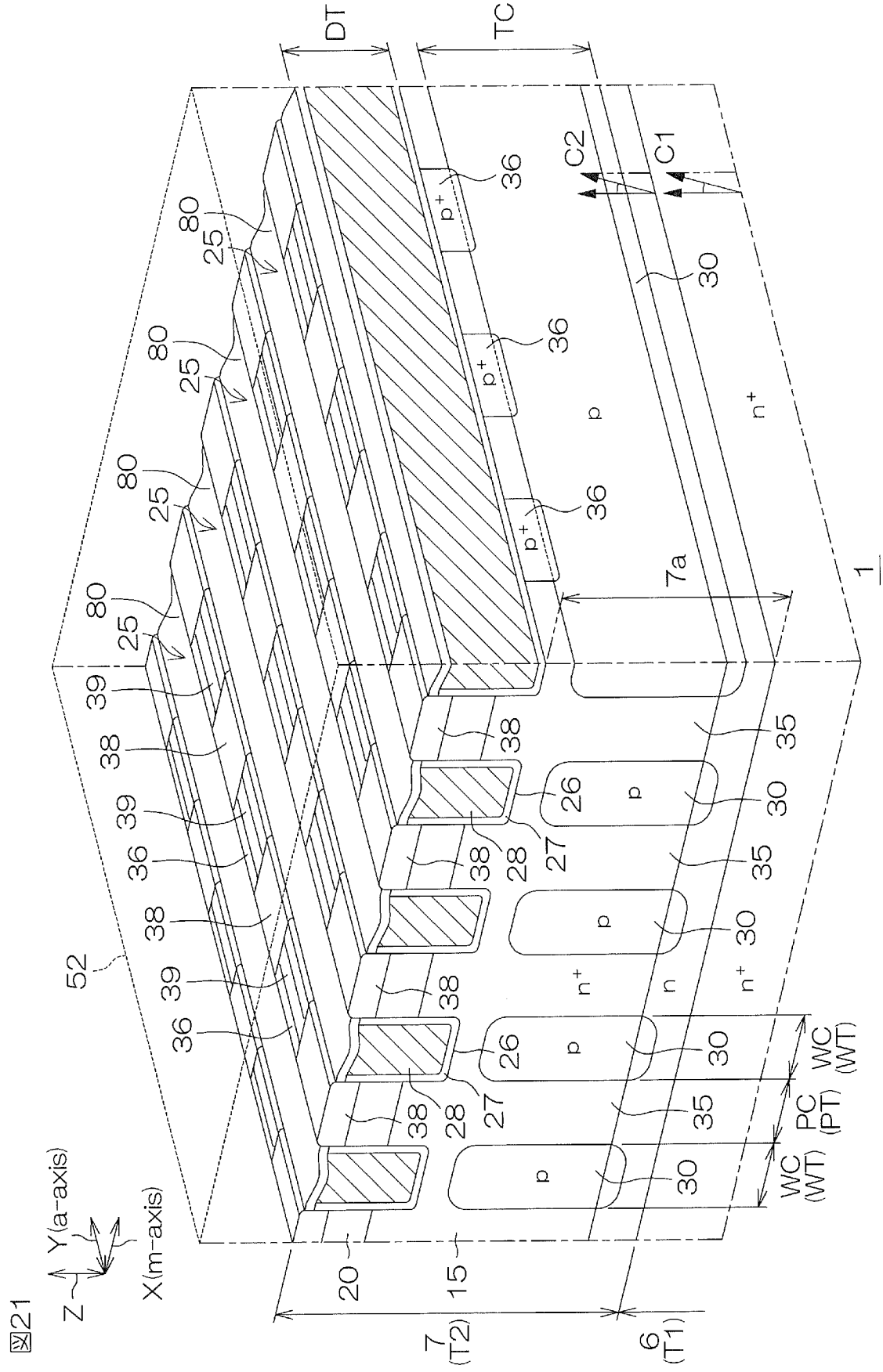
[図20A]



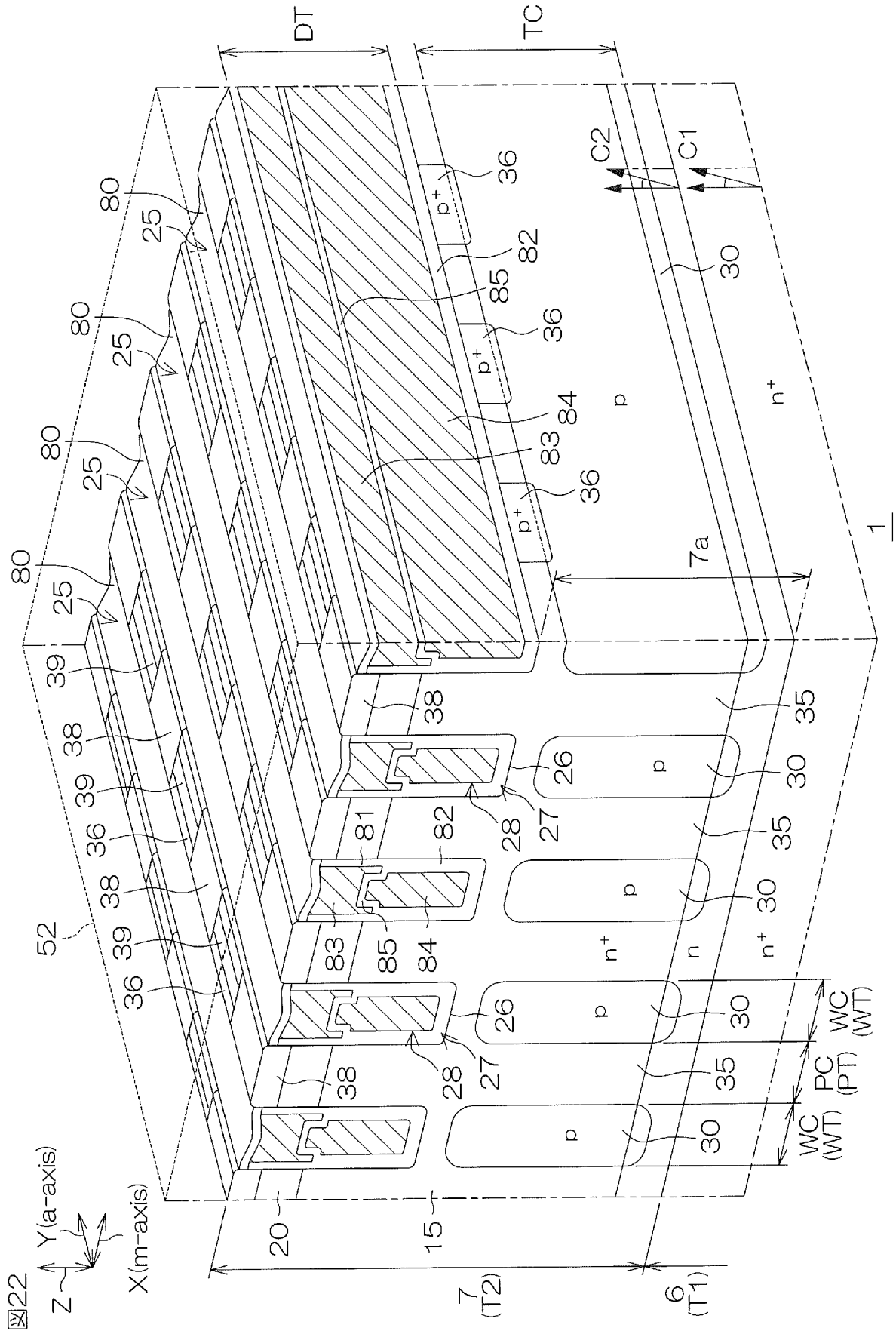
[図20B]



[図21]

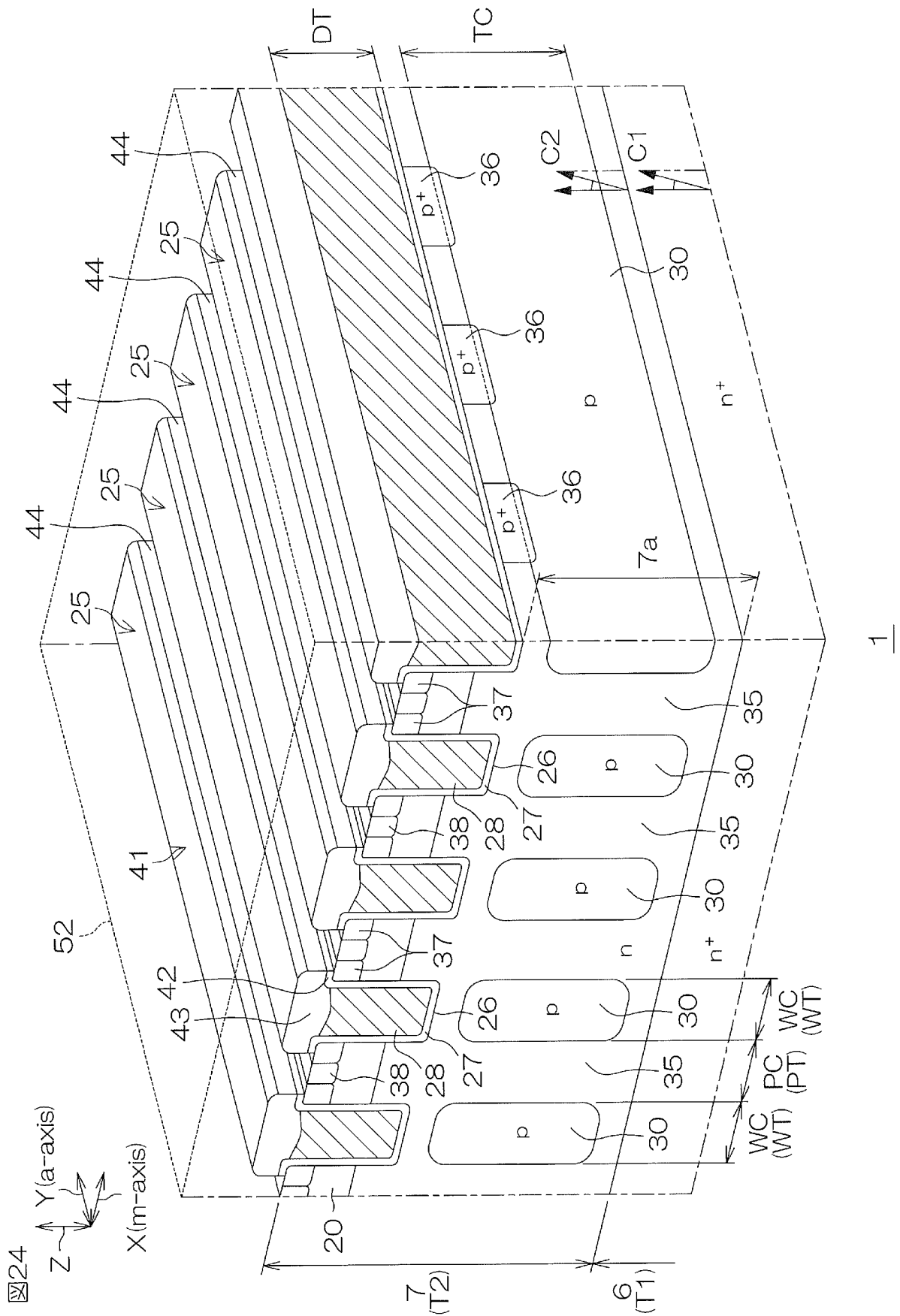


[図22]

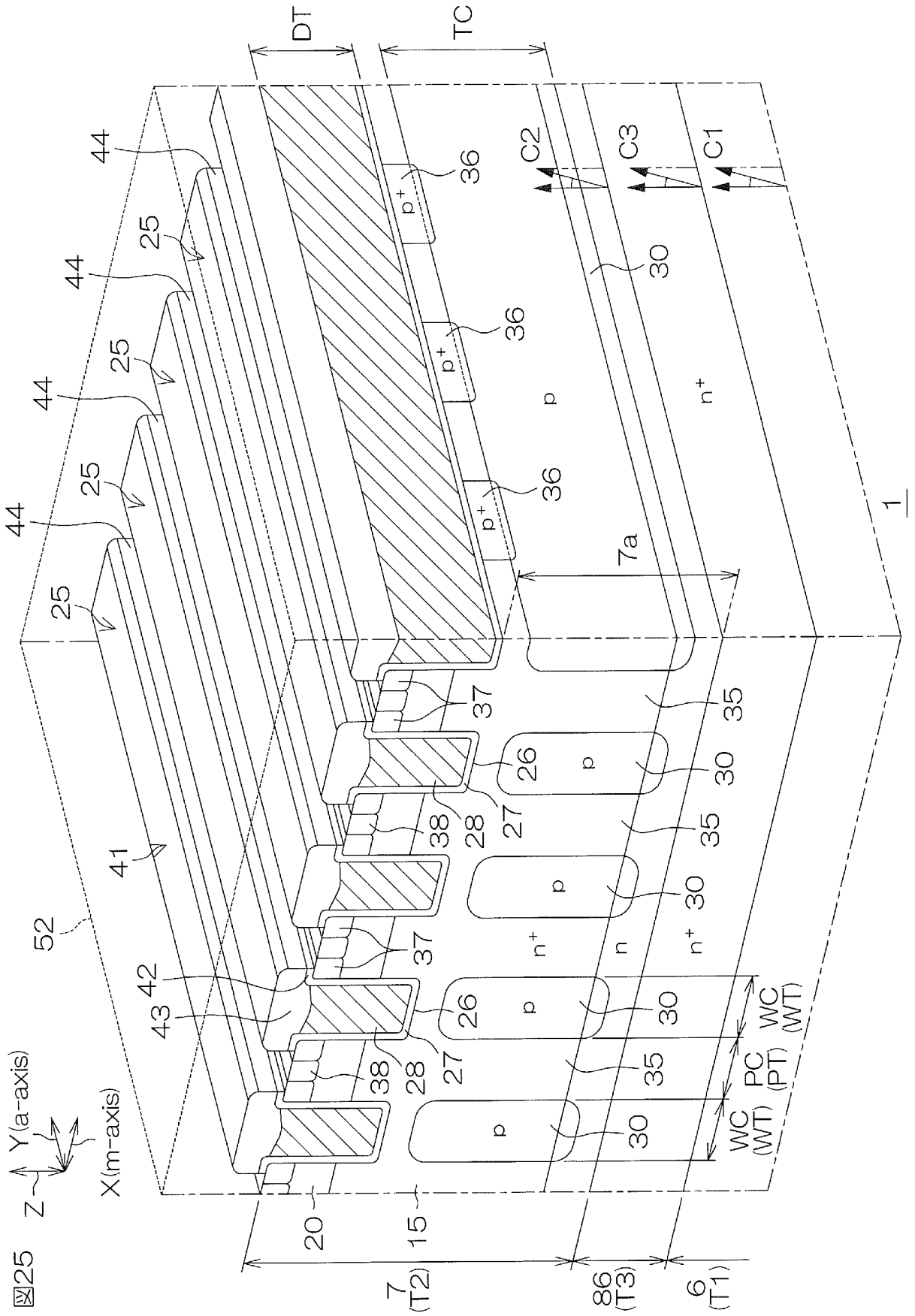




[図24]



[圖25]



## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2023/046700

<b>A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER</b>		
<p><b>H01L 29/78</b>(2006.01)i; <b>H01L 21/66</b>(2006.01)i; <b>H01L 21/265</b>(2006.01)i; <b>H01L 21/336</b>(2006.01)i; <b>H01L 29/06</b>(2006.01)i; <b>H01L 29/12</b>(2006.01)i; <b>H01L 29/41</b>(2006.01)i; <b>H01L 29/47</b>(2006.01)i; <b>H01L 29/861</b>(2006.01)i; <b>H01L 29/868</b>(2006.01)i; <b>H01L 29/872</b>(2006.01)i</p> <p>FI: H01L29/78 652H; H01L29/78 652F; H01L29/78 652J; H01L29/78 652K; H01L29/78 652N; H01L29/78 652P; H01L29/78 652Q; H01L29/78 652T; H01L29/78 653C; H01L29/78 658A; H01L29/78 658E; H01L29/78 658L; H01L29/44 Y; H01L29/48 F; H01L29/48 D; H01L21/265 V; H01L29/86 301D; H01L29/86 301F; H01L29/91 K; H01L29/06 301D; H01L29/06 301F; H01L29/06 301M; H01L29/06 301G; H01L29/06 301V; H01L29/78 652D; H01L21/265 R; H01L21/66 N</p> <p>According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC</p>		
<b>B. FIELDS SEARCHED</b>		
Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)		
H01L29/78; H01L21/66; H01L21/265; H01L21/336; H01L29/06; H01L29/12; H01L29/41; H01L29/47; H01L29/861; H01L29/868; H01L29/872		
Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched		
<p>Published examined utility model applications of Japan 1922-1996</p> <p>Published unexamined utility model applications of Japan 1971-2024</p> <p>Registered utility model specifications of Japan 1996-2024</p> <p>Published registered utility model applications of Japan 1994-2024</p>		
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.
X	JP 2021-89916 A (FUJI ELECTRIC CO., LTD.) 10 June 2021 (2021-06-10)	1-5, 9-12, 14, 15
A	paragraphs [0048]-[0098], fig. 1-4	6-8, 13, 16-20
X	JP 2022-80586 A (THE NATIONAL INSTITUTE OF ADVANCED INDUSTRIAL SCIENCE AND TECHNOLOGY) 30 May 2022 (2022-05-30)	1-5, 9, 10, 14, 15
A	paragraphs [0036]-[0050], fig. 1-4	6-8, 11-13, 16-20
<input checked="" type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input checked="" type="checkbox"/> See patent family annex.		
<p>* Special categories of cited documents:</p> <p>“A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance</p> <p>“D” document cited by the applicant in the international application</p> <p>“E” earlier application or patent but published on or after the international filing date</p> <p>“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)</p> <p>“O” document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means</p> <p>“P” document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed</p> <p>“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</p> <p>“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</p> <p>“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</p> <p>“&amp;” document member of the same patent family</p>		
Date of the actual completion of the international search		Date of mailing of the international search report
11 March 2024		26 March 2024
Name and mailing address of the ISA/JP		Authorized officer
Japan Patent Office (ISA/JP) 3-4-3 Kasumigaseki, Chiyoda-ku, Tokyo 100-8915 Japan		Telephone No.

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

**PCT/JP2023/046700**

<b>C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT</b>		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	JP 2021-27138 A (KABUSHIKI KAISHA TOSHIBA) 22 February 2021 (2021-02-22)	1-5, 9, 11-15, 19, 20
A	paragraphs [0014]-[0022], fig. 1-3	6-8, 10, 16-18
A	WO 2022/163081 A1 (ROHM CO., LTD.) 04 August 2022 (2022-08-04)	1-20
A	JP 2004-119611 A (KABUSHIKI KAISHA TOSHIBA) 15 April 2004 (2004-04-15)	1-20

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

International application No.

**PCT/JP2023/046700**

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)			Publication date (day/month/year)
JP	2021-89916	A	10 June 2021	US	2021/0167167	A1	paragraphs [0068]-[0118], fig. 1-4C
JP	2022-80586	A	30 May 2022	US	2023/0050319	A1	paragraphs [0058]-[0072], fig. 1-4B
				WO	2022/107854	A1	
JP	2021-27138	A	22 February 2021	US	2021/0036116	A1	paragraphs [0038]-[0047], fig. 1-3
				CN	112310216	A	
WO	2022/163081	A1	04 August 2022	DE	112021006730	T5	
				CN	116783715	A	
JP	2004-119611	A	15 April 2004	US	2004/0056306	A1	
				KR	10-2004-0027352	A	
				CN	1494160	A	

<p>A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC））</p> <p>H01L 29/78(2006.01)i; H01L 21/66(2006.01)i; H01L 21/265(2006.01)i; H01L 21/336(2006.01)i;                  H01L 29/06(2006.01)i; H01L 29/12(2006.01)i; H01L 29/41(2006.01)i; H01L 29/47(2006.01)i;                  H01L 29/861(2006.01)i; H01L 29/868(2006.01)i; H01L 29/872(2006.01)i                  FI: H01L29/78 652H; H01L29/78 652F; H01L29/78 652J; H01L29/78 652K; H01L29/78 652N; H01L29/78 652P;                  H01L29/78 652Q; H01L29/78 652T; H01L29/78 653C; H01L29/78 658A; H01L29/78 658E; H01L29/78 658L;                  H01L29/44 Y; H01L29/48 F; H01L29/48 D; H01L21/265 V; H01L29/86 301D; H01L29/86 301F; H01L29/91 K;                  H01L29/06 301D; H01L29/06 301F; H01L29/06 301M; H01L29/06 301G; H01L29/06 301V; H01L29/78 652D;                  H01L21/265 R; H01L21/66 N</p>																	
<p>B. 調査を行った分野</p> <p>調査を行った最小限資料（国際特許分類（IPC））</p> <p>H01L29/78; H01L21/66; H01L21/265; H01L21/336; H01L29/06; H01L29/12; H01L29/41; H01L29/47; H01L29/861;                  H01L29/868; H01L29/872</p> <p>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</p> <table border="0"> <tr> <td>日本国実用新案公報</td> <td>1922-1996年</td> </tr> <tr> <td>日本国公開実用新案公報</td> <td>1971-2024年</td> </tr> <tr> <td>日本国実用新案登録公報</td> <td>1996-2024年</td> </tr> <tr> <td>日本国登録実用新案公報</td> <td>1994-2024年</td> </tr> </table> <p>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）</p>			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							
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																
<p>C. 関連すると認められる文献</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>引用文献の カテゴリ*</th> <th>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</th> <th>関連する 請求項の番号</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>X</td> <td>JP 2021-89916 A (富士電機株式会社) 10.06.2021 (2021-06-10) 段落0048-0098、図1-4</td> <td>1-5, 9-12, 14, 15</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td></td> <td>6-8, 13, 16-20</td> </tr> <tr> <td>X</td> <td>JP 2022-80586 A (国立研究開発法人産業技術総合研究所) 30.05.2022 (2022-05-30) 段落0036-0050、図1-4</td> <td>1-5, 9, 10, 14, 15</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td></td> <td>6-8, 11-13, 16-20</td> </tr> </tbody> </table>			引用文献の カテゴリ*	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 2021-89916 A (富士電機株式会社) 10.06.2021 (2021-06-10) 段落0048-0098、図1-4	1-5, 9-12, 14, 15	A		6-8, 13, 16-20	X	JP 2022-80586 A (国立研究開発法人産業技術総合研究所) 30.05.2022 (2022-05-30) 段落0036-0050、図1-4	1-5, 9, 10, 14, 15	A		6-8, 11-13, 16-20
引用文献の カテゴリ*	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 2021-89916 A (富士電機株式会社) 10.06.2021 (2021-06-10) 段落0048-0098、図1-4	1-5, 9-12, 14, 15															
A		6-8, 13, 16-20															
X	JP 2022-80586 A (国立研究開発法人産業技術総合研究所) 30.05.2022 (2022-05-30) 段落0036-0050、図1-4	1-5, 9, 10, 14, 15															
A		6-8, 11-13, 16-20															
<p><input checked="" 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。</p>																	
<p>* 引用文献のカテゴリ</p> <p>“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</p> <p>“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</p> <p>“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</p> <p>“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）</p> <p>“O” 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献</p> <p>“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</p> <p>“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</p> <p>“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</p> <p>“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</p> <p>“&amp;” 同一パテントファミリー文献</p>																	
<p>国際調査を完了した日</p> <p>11.03.2024</p>	<p>国際調査報告の発送日</p> <p>26.03.2024</p>																
<p>名称及びあて先</p> <p>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</p>	<p>権限のある職員（特許庁審査官）</p> <p>岩本 勉 5F 9355</p> <p>電話番号 03-3581-1101 内線 3516</p>																

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 A	JP 2021-27138 A (株式会社東芝) 22.02.2021 (2021 - 02 - 22) 段落0014-0022、図1-3	1-5, 9, 11- 15, 19, 20 6-8, 10, 16-18
A	WO 2022/163081 A1 (ローム株式会社) 04.08.2022 (2022 - 08 - 04)	1-20
A	JP 2004-119611 A (株式会社東芝) 15.04.2004 (2004 - 04 - 15)	1-20

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/JP2023/046700

引用文献			公表日	パテントファミリー文献			公表日
JP	2021-89916	A	10.06.2021	US	2021/0167167	A1	
				段落0068-118、図1-4C			
JP	2022-80586	A	30.05.2022	US	2023/0050319	A1	
				段落0058-0072、図1-4B			
				WO	2022/107854	A1	
JP	2021-27138	A	22.02.2021	US	2021/0036116	A1	
				段落0038-0047、図1-3			
				CN	112310216	A	
WO	2022/163081	A1	04.08.2022	DE	112021006730	T5	
				CN	116783715	A	
JP	2004-119611	A	15.04.2004	US	2004/0056306	A1	
				KR	10-2004-0027352	A	
				CN	1494160	A	