

(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)



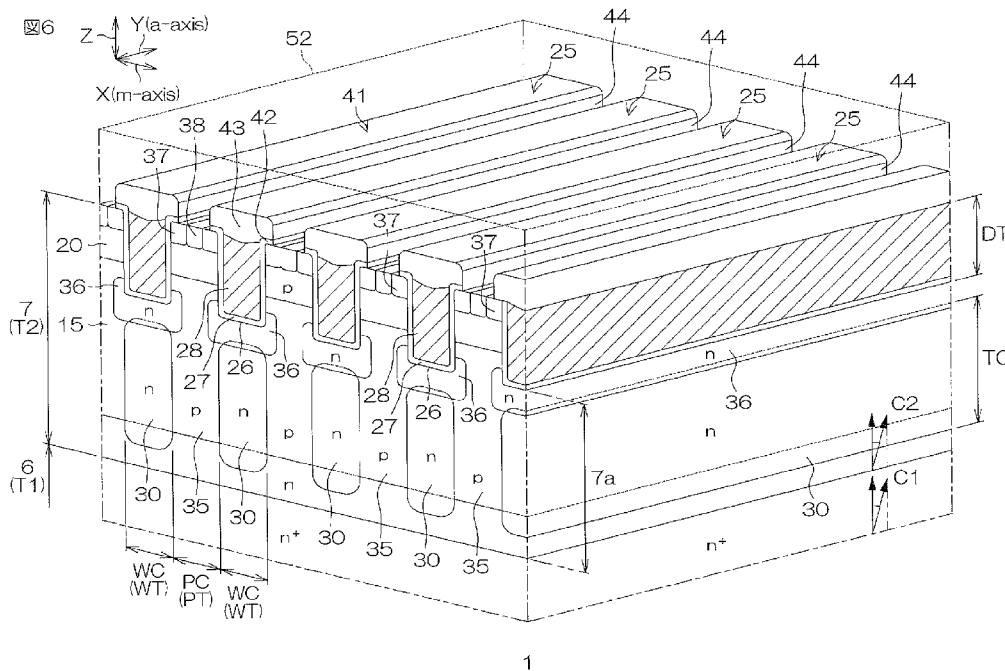
(10) 国際公開番号

WO 2024/143384 A1

- (51) 国際特許分類:
H01L 29/78 (2006.01) H01L 29/06 (2006.01)
H01L 21/66 (2006.01) H01L 29/12 (2006.01)
H01L 21/265 (2006.01) H01L 29/41 (2006.01)
H01L 21/336 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2023/046705
- (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 2022-212617 2022年12月28日(28.12.2022) 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,

(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 SiC layer including a main surface and having an axial channel in the lamination direction; a p-type impurity region formed in the SiC layer; a trench formed shallower than the impurity region in the main surface and defining a lower region including a portion of the impurity region between the trench and the bottom of the SiC layer; and an n-type inversion column that is formed in the lower region so as to extend along the axial channel and that inverts the conductivity type of the impurity region.

WO 2024/143384 A1

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, 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 S i C 層と、前記 S i C 層内に形成された p 型の不純物領域と、前記主面において前記不純物領域よりも浅く形成され、前記 S i C 層の底部との間に前記不純物領域の一部を含む下側領域を区画するトレンチと、前記軸チャネルに沿って延びるように前記下側領域内に形成され、前記不純物領域の導電型を反転させる n 型の反転コラムと、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願2022-212617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S i C層と、前記S i C層内に形成されたp型の不純物領域と、前記主面において前記不純物領域よりも浅く形成され、前記S i C層の底部との間に前記不純物領域の一部を含む下側領域を区画するトレンチと、前記軸チャネルに沿って延びるように前記下側領域内に形成され、前記不純物領域の導電型を反転させるn型の反転コラムと、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、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8]図8は、不純物領域のp型濃度勾配の一例を示すグラフである。

[図9]図9は、不純物領域のp型濃度勾配の比較例を示すグラフである。

[図10]図10は、コラム領域のn型濃度勾配の一例を示すグラフである。

[図11]図11は、外周領域の構成を示す斜視図である。

[図12]図12は、外周領域の一要部を示す断面図である。

[図13]図13は、外周領域の一要部を示す断面図である。

[図14]図14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15]図15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16A]図16A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16B]図16Bは、図16Aの後の工程を示す断面斜視図である。

[図16C]図16Cは、図16Bの後の工程を示す断面斜視図である。

[図16D]図16Dは、図16Cの後の工程を示す断面斜視図である。

[図16E]図16Eは、図16Dの後の工程を示す断面斜視図である。

[図16F]図16Fは、図16Eの後の工程を示す断面斜視図である。

[図16G]図16Gは、図16Fの後の工程を示す断面斜視図である。

[図16H]図16Hは、図16Gの後の工程を示す断面斜視図である。

[図16I]図16Iは、図16Hの後の工程を示す断面斜視図である。

[図16J]図16Jは、図16Iの後の工程を示す断面斜視図である。

[図16K]図16Kは、図16Jの後の工程を示す断面斜視図である。

[図16L]図16Lは、図16Kの後の工程を示す断面斜視図である。

- [図16M]図16Mは、図16Lの後の工程を示す断面斜視図である。
- [図16N]図16Nは、図16Mの後の工程を示す断面斜視図である。
- [図16O]図16Oは、図16Nの後の工程を示す断面斜視図である。
- [図17A]図17A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17B]図17B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18A]図18Aは、イオン注入工程を説明するための概略図である。
- [図18B]図18Bは、イオン注入工程を説明するための概略図である。
- [図19]図19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20]図20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21]図21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22]図22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23]図23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。
- [図24]図24は、第3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。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、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。
- [0012] 図1～図7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。
- [0013] 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。

[0014] 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。

[0015] 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。

[0016] 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。むしろ、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。

[0017] 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。

[0018] 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_oに所定の角度で傾斜したオフ角θ_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_oに向けてオフ角θ_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 θ_0 分だけ傾斜している。

- [0019] オフ方向 D_0 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 θ_0 は、 0° を超えて 10° 以下であってもよい。オフ角 θ_0 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。
- [0020] オフ角 θ_0 は、 5° 以下であることが好ましい。オフ角 θ_0 は、 2° 以上 4.5° 以下であることが特に好ましい。オフ角 θ_0 は、典型的には、 $4^\circ \pm 0.1^\circ$ の範囲に設定される。むろん、この明細書は、オフ角 θ_0 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。
- [0021] 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_0 およびオフ角 θ_0 を有している。
- [0022] 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。
- [0023] 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）。

- [0024] 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D₀およびオフ角θ₀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D₀に向けてオフ角θ₀分だけ傾斜している。
- [0025] 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。
- [0026] ベース層6は、第1厚さT1を有している。第1厚さT1は、5 μm以上300 μm以下であってもよい。第1厚さT1は、5 μm以上50 μm以下、50 μm以上100 μm以下、100 μm以上150 μm以下、150 μm以上200 μm以下、200 μm以上250 μm以下、および、250 μm以上300 μm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 μm以上250 μm以下であることが好ましい。
- [0027] 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。
- [0028] 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。

- [0029] 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 θ_0 にほぼ一致したオフ方向 D_0 およびオフ角 θ_0 を有している。
- [0030] 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。
- [0031] 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。
- [0032] 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 θ_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 θ_0 分だけ傾斜している。また、第2軸チャンネルC2は、第1軸チャンネルC1にほぼ一致している。
- [0033] 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。
- [0034] 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。

[0035] 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。

[0036] 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 μ m以上10 μ m以下であってもよい。第2厚さT2は、1 μ m以上2 μ m以下、2 μ m以上4 μ m以下、4 μ m以上6 μ m以下、6 μ m以上8 μ m以下、および、8 μ m以上10 μ 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 μ m以上8 μ m以下であることが好ましい。

[0037] 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。

[0038] 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。

[0039] SiC半導体装置1は、第1主面3に形成された活性面10 (active surface)、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。

[0040] 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。

[0041] 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。

[0042] 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の厚さ未満の深さに窪んでいる。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。

[0043] 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。

[0044] 外周面11は、外周深さD0を有している。外周深さD0は、0.1 μ m以上2 μ m以下であってもよい。外周深さD0は、0.1 μ m以上0.25 μ m以下、0.25 μ m以上0.5 μ m以下、0.5 μ m以上0.75 μ m以下、0.75 μ m以上1 μ m以下、1 μ m以上1.5 μ 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D0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。

[0045] 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。

[0046] 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。

[0047] 図6～図7を参照して、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p型の不純物領域15を含む。不純物領域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、半導体層7の導電型をn型からp型に反転させている。

[0048] つまり、不純物領域15は、半導体層7の導電型を構成する5価元素に加えて3価元素を含む。不純物領域15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。不純物領域15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。

[0049] 不純物領域15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、不純物領域1

5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。不純物領域15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。

[0050] 不純物領域15は、この形態では、活性領域8の周縁から内方に間隔を空けて半導体層7に形成され、活性領域8内に位置された周縁部を有している。むろん、不純物領域15は、活性領域8から外周領域9に引き出されていてもよい。この場合、不純物領域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てもよい。

[0051] 不純物領域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から露出してもよい。むろん、不純物領域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、不純物領域15の周縁部は、外周領域9内に位置されていてもよい。

[0052] 不純物領域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、不純物領域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、不純物領域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。

[0053] 具体的な図示は省略されるが、不純物領域15の上端部は第1主面3から露出してもよい。むろん、不純物領域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、不純物領域15のp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。

[0054] 第1主面3および不純物領域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および不純物領域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いてもよい。

[0055] 不純物領域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の下端および不純物領域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の下端および不純物領域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いてもよい。

[0056] 不純物領域15は、半導体層7の第2厚さT2未満の厚さを有している。不純物領域15の厚さは、 $1\ \mu\text{m}$ 以上 $10\ \mu\text{m}$ 未満であってもよい。不純物領域15の厚さは、 $1\ \mu\text{m}$ 以上 $2\ \mu\text{m}$ 以下、 $2\ \mu\text{m}$ 以上 $4\ \mu\text{m}$ 以下、 $4\ \mu\text{m}$ 以上 $6\ \mu\text{m}$ 以下、 $6\ \mu\text{m}$ 以上 $8\ \mu\text{m}$ 以下、および、 $8\ \mu\text{m}$ 以上 $10\ \mu\text{m}$ 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。不純物領域15の厚さは、 $2\ \mu\text{m}$ 以上 $8\ \mu\text{m}$ 以下であることが好ましい。むろん、不純物領域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。

[0057] 不純物領域15は、断面視において半導体層7内で第2軸チャンネル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、不純物領域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軸チャンネル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。

[0058] したがって、不純物領域15は、第2軸チャンネルC2のオフ方向 D_0 およびオフ角 θ_0 にほぼ一致したオフ方向 D_0 およびオフ角 θ_0 を有している。換言すると、不純物領域15は、鉛直軸からオフ方向 D_0 に向けてオフ角 θ_0 分だけ傾斜している。不純物領域15は、第2軸チャンネル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

- 。
- [0059] 以下、不純物領域 15 の n 型濃度勾配が具体的に説明される。図 8 は、不純物領域 15 の p 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 9 は、不純物領域 15 の p 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 8 および図 9 において、縦軸は不純物領域 15 の p 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 C 2 に沿う深さを示している。
- [0060] 図 8 および図 9 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不純物領域 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、不純物領域 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、不純物領域 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、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。
- [0061] 図 8 は、チャネリング注入法によって不純物領域 15 を形成した場合のグラフである。図 8 は、500 KeV 以上 800 KeV 以下の注入エネルギーによって、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所定の 3 価元素（ここではアルミニウム）を半導体層 7 に導入したときの不純物領域 15 の濃度勾配を示している。
- [0062] 3 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 μm 程度である。図 8 では、1500 KeV 以上 2500 KeV 以下の注入エネルギーによって不純物領域 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 9 は、ランダム注入法によって不純物領域 15 を形成した場合のグラフである。図 9 は、500 KeV 以上 800 KeV 以下の注入エネルギーによって、ランダム方向に所定の 3 価元素（ここではアルミニウム）を半導体層 7 に導入したときの不純物領域 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 C 2 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。3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9では、 1500 KeV 以上 2500 KeV 以下の注入エネルギーによって不純物領域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8を参照して、不純物領域15は、 $2.5 \mu\text{m}$ 以上 $2.8 \mu\text{m}$ 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。不純物領域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、不純物領域15のp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、不純物領域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p型不純物濃度が漸増している。

[0067] 第1ピーク部17は、p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、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。

[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p型不純物濃度を維持する部分であり、不純物領域15の本体部を形成している。第1緩慢部18のp型不純物濃度は、第1ピーク部17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。

[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8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。

[0070] 第1緩慢部18は、不純物領域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、不純物領域 15 に占める第 1 緩慢部 18 の割合は、 $1/3$ 以上である。不純物領域 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、不純物領域 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、不純物領域 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 p 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、不純物領域 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 に対する不純物領域 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、不純物領域 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 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。

[0073] これとは反対に、第 1 主面 3 に対する不純物領域 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、不純物領域 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 3 価元素が捕獲されるためである。

[0074] 一方、図 9 を参照して、ランダム注入法の場合、不純物領域 15 は $0.5 \mu\text{m}$ 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、 $0.5 \mu\text{m}$ 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、不純物領域15の厚さは $2\mu\text{m}$ 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 $1\mu\text{m}$ 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 $1\mu\text{m}$ 以上 $5\mu\text{m}$ 以下の厚さ）の不純物領域15を形成することが困難であると理解される。

[0076] 図6～図7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から露出しているもよい。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。

[0077] 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。不純物領域15が第1主面3から間隔を空けて形成されている場合、ボディ領域20は第1主面3および不純物領域15の間の領域に形成され、不純物領域15に接続される。不純物領域15が第1主面3から露出している場合、ボディ領域20は不純物領域15の表層部に形成され、不純物領域15に接続される。

[0078] 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、不純物領域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不純物領域15の厚さ未満の厚さを有している。

[0079] 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るもよい。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。

[0080] ボディ領域20は必ずしも形成されている必要はない。たとえば、不純物領域15の一部(表層部)がボディ領域20の一部として機能し得る場合、不純物領域15の一部(表層部)がボディ領域20として形成され、ボディ領域20が省略されてもよい。換言すると、不純物領域15の表層部はボディ領域20を兼ね、ボディ領域20は不純物領域15の表層部を利用して形成されてもよい。このような構成は、不純物領域15が第1主面3から半導体層7の下端側に間隔を空けて形成されている場合、および、不純物領域15が第1主面3から露出している場合の双方において適用可能である。

[0081] 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内における電流経路としてのチャネルCh(図7参照)の反転および非反転を制御する。

[0082] 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。

[0083] 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_oに一致している。

[0084] 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、半導体層7の下端

(ベース層6) および複数のトレンチ構造25の底壁の間の領域において下側領域7aを区画している。

[0085] 複数のトレンチ構造25は、この形態では、不純物領域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、不純物領域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、複数のトレンチ構造25は、不純物領域15よりも浅く形成され、不純物領域15の一部(下端部)を含む下側領域7aを区画している。下側領域7aは、この形態では、半導体層7の一部(下端部)および不純物領域15の一部(下端部)を含む。

[0086] 複数のトレンチ構造25は、不純物領域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、不純物領域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。

[0087] 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、不純物領域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 μ m以上5 μ m以下であってもよい。

[0088] トレンチ幅WTは、0.1 μ m以上0.25 μ m以下、0.25 μ m以上0.5 μ m以下、0.5 μ m以上0.75 μ m以下、0.75 μ m以上1 μ m以下、1 μ m以上1.5 μ m以下、1.5 μ m以上2 μ m以下、2 μ m以上2.5 μ m以下、2.5 μ m以上3 μ m以下、3 μ m以上3.5 μ m以下、3.5 μ m以上4 μ m以下、4 μ m以上4.5 μ m以下、および、4.5 μ m以上5 μ 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。

[0089] 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、不純物領域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。むしろ、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D O未満であってもよい。

[0090] トレンチ深さD Tは、トレンチ幅W T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2 5は、縦長柱状に延びるアスペクト比D T/W Tそれぞれ有していることが好ましい。アスペクト比D T/W Tは、トレンチ深さD Tに対するトレンチ幅W Tの比である。トレンチ深さD Tは、0. 1 μ m以上5 μ m以下であってもよい。

[0091] トレンチ深さD Tは、0. 1 μ m以上0. 25 μ m以下、0. 25 μ m以上0. 5 μ m以下、0. 5 μ m以上1 μ m以下、1 μ m以上1. 5 μ m以下、1. 5 μ m以上2 μ m以下、2 μ m以上3 μ m以下、3 μ m以上4 μ m以下、および、4 μ m以上5 μ 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D Tは、0. 1 μ m以上1. 5 μ m以下であることが好ましい。

[0092] 複数のトレンチ構造2 5は、第1方向XにトレンチピッチP Tの間隔を空けて配列されている。トレンチピッチP Tは、半導体層7の第2厚さT 2未満であることが好ましい。トレンチピッチP Tは、不純物領域1 5の厚さ未満であることが好ましい。トレンチピッチP Tは、トレンチ深さD T未満であることが好ましい。トレンチピッチP Tは、0. 1 μ m以上5 μ m以下であってもよい。

[0093] トレンチピッチP Tは、0. 1 μ m以上0. 25 μ m以下、0. 25 μ m以上0. 5 μ m以下、0. 5 μ m以上0. 75 μ m以下、0. 75 μ m以上1 μ m以下、1 μ m以上1. 5 μ m以下、1. 5 μ m以上2 μ m以下、2 μ m以上2. 5 μ m以下、2. 5 μ m以上3 μ m以下、3 μ m以上3. 5 μ m以下、3. 5 μ m以上4 μ m以下、4 μ m以上4. 5 μ m以下、および、4. 5 μ m以上5 μ 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P Tは、0. 5 μ m以上1. 5 μ m以下であることが好ましい。

[0094] 各トレンチ構造2 5は、トレンチ2 6、絶縁膜2 7および埋設電極2 8を含む。トレンチ2 6は、活性面1 0に形成され、トレンチ構造2 5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。

[0095] 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θ₀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。

[0096] 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。

[0097] 埋設電極28は、トレンチ26に埋設され、絶縁膜27を挟んでチャネルChに対向している。埋設電極28は、この形態では、絶縁膜27を挟んで不純物領域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。

[0098] 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n型の複数の反転コラム30を含む。反転コラム30は、「第1コラム領域」、「反転コラム領域」、「ドリフト領域」、「反転ドリフト領域」等と称されてもよい。反転コラム30は、不純物領域15のp型不純物濃度よりも高いn型不純物濃度を有し、不純物領域15の導電型をp型からn型に反転させている。

[0099] つまり、反転コラム30は、不純物領域15の導電型を構成する3価元素に加えて5価元素を含む。反転コラム30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。反転コラム30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、反転コラム30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。

[0100] 反転コラム30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。反転コラム30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、反転コラム30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。

[0101] 複数の反転コラム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、複数の反転コラム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。具体的には、複数の反転コラム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。

[0102] つまり、複数の反転コラム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。また、複数の反転コラム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、複数の反転コラム30の延在方向は半導体層7のオフ方向D_oに一致している。

[0103] 複数の反転コラム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、複数の反転コラム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。複数の反転コラム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。

[0104] 第2方向Yに関して、複数の反転コラム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、複数の反転コラム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。

[0105] 不純物領域15の周縁部が活性領域8内に位置されている場合、複数の反転コラム30の両端部は、不純物領域15の周縁部（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。むしろ、複数の反転コラム30の

両端部は、不純物領域 15 の周縁部（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。

[0106] 複数の反転コラム 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、複数の反転コラム 30 の上端部は下側領域 7 a 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、複数の反転コラム 30 の下端部は下側領域 7 a 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。

[0107] 複数の反転コラム 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。複数の反転コラム 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、不純物領域 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、複数の反転コラム 30 の上端部は、比較的高濃度な不純物領域 15 に電氣的に接続されている。むろん、複数の反転コラム 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。

[0108] 複数のトレンチ構造 25 の底壁および複数の反転コラム 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。

[0109] 複数の反転コラム 30 の下端部は、不純物領域 15 の底部を横切って半導体層 7 の下層部に引き出されている。つまり、複数の反転コラム 30 は、不純物領域 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、ならびに、半導体層 7 の下端および不純物領域 15 の底部の間の領域に位置された部分を含む。複数の反転コラム 30 の下端部は、半導体層 7 の下層部に電氣的に接続されている。つまり、複数の反転コラム 30 は、半導体層 7 の一部を介してベース層 6 に電氣的に接続されている。

[0110] 複数の反転コラム 30 のうち不純物領域 15 内に位置された部分の断面積

は、複数の反転コラム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、複数の反転コラム30のうち不純物領域15内に位置された部分の断面積は、複数の反転コラム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。

[0111] 複数の反転コラム30の下端部は、この形態では、半導体層7の下端から不純物領域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、複数の反転コラム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。不純物領域15の下端部がベース層6内に位置されている場合、複数の反転コラム30の下端部はベース層6内において不純物領域15の底部を横切ってもよい。

[0112] 半導体層7の下端および複数の反転コラム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もよい。

[0113] 複数の反転コラム30は、断面視において第2軸チャンネルC2に沿って延びるチャネリング領域からなる。つまり、反転コラム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であり、第1主面3に対して傾斜して延びている。

[0114] したがって、複数の反転コラム30は、第2軸チャンネルC2のオフ方向 D_0 およびオフ角 θ_0 にほぼ一致したオフ方向 D_0 およびオフ角 θ_0 を有している。換言すると、複数の反転コラム30は、鉛直軸からオフ方向 D_0 に向けてオフ角 θ_0 分だけ傾斜している。複数の反転コラム30は、第2軸チャンネルC2に沿って下側領域7a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。

[0115] 複数の反転コラム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よりも大きいくともよい。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よりも大きいくともよい。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、不純物領域15の厚さ未満であることが好ましい。

[0116] 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。

[0117] 複数の反転コラム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、不純物領域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。

[0118] 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。

[0119] 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、複数の反転コラム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 μm 以上5 μm 以下であることが好ましい。

[0120] コラム厚さTCは、1 μm 以上1.5 μm 以下、1.5 μm 以上2 μm 以下、2 μm 以上2.5 μm 以下、2.5 μm 以上3 μm 以下、3 μm 以上3.5 μm 以下、3.5 μm 以上4 μm 以下、4 μm 以上4.5 μm 以下、および、4.5 μm 以上5 μm 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。

[0121] 複数の反転コラム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。

[0122] 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、不純物領域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 μm 以上5 μm 以下であってもよい。

[0123] コラムピッチPCは、0.1 μm 以上0.25 μm 以下、0.25 μm 以上0.5 μm 以下、0.5 μm 以上0.75 μm 以下、0.75 μm 以上1 μm 以下、1 μm 以上1.5 μm 以下、1.5 μm 以上2 μm 以下、2 μm 以上2.5 μm 以下、2.5 μm 以上3 μm 以下、3 μm 以上3.5 μm 以下、3.5 μm 以上4 μm 以下、4 μm 以上4.5 μm 以下、および、4.5 μm 以上5 μm 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 μm 以上1.5 μm 以下であることが好ましい。

[0124] 以下、反転コラム30のn型濃度勾配が具体的に説明される。図10は、反転コラム30のn型濃度勾配の一例を示すグラフである。図10において、縦軸は反転コラム30のn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軸チャネルC2に沿う深さを示してい

る。

[0125] 図10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反転コラム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、反転コラム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、反転コラム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、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。

[0126] 図10は、チャネリング注入法によって反転コラム30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）を下側領域7aに導入したときの反転コラム30の濃度勾配を示している。

[0127] 5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 μm 程度であり、下側領域7aの厚さは4 μm 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反転コラム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。

[0128] 図10を参照して、反転コラム30は、2.1 μm 以上2.4 μm 以下の厚さを有し、トレンチ構造25の底壁から不純物領域15の底部側に離間した上端部、および、不純物領域15の底部からトレンチ構造25の底壁側に離間した下端部を有している。反転コラム30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。

[0129] 具体的には、反転コラム30のn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、反転コラム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n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、不純物領域15内に位置され、不純物領域15に電氣的に接続される。

- [0130] 第2ピーク部32は、n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、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。第2ピーク部32は、不純物領域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、不純物領域15の第1ピーク値P1よりも不純物領域15の底部側に位置されている。
- [0131] 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n型不純物濃度を維持する部分であり、反転コラム30の本体部を形成している。第2緩慢部33のn型不純物濃度は、第2ピーク部32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。
- [0132] 第2緩慢部33は、少なくとも0.5 μ 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10の例では、0.8 μ m以上1.1 μ 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、不純物領域15内に位置され、不純物領域15に電氣的に接続される。第2緩慢部33は、半導体層7の下端および不純物領域15の底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。
- [0133] 第2緩慢部33は、反転コラム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、反転コラム30に占める第2緩慢部33の割合は、1/3以上である。反転コラム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。むしろ、反転コラム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。
- [0134] 第2漸減部34は、反転コラム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n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の下端および不純物領域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。

[0135] チャネリング注入法の場合、反転コラム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の底壁に対する反転コラム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、反転コラム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。

[0136] これとは反対に、トレンチ構造25の底壁に対する反転コラム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、反転コラム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5価元素の導入が阻害されるためである。

[0137] 反転コラム30の場合、3価元素に代えて5価元素が半導体層7に導入されるため、不純物領域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、反転コラム30の濃度プロファイルや厚さ（深さ）は不純物領域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、反転コラム30のプロセス条件および不純物領域15のプロセス条件は、別々に設定されることが好ましい。

[0138] SiC半導体装置1は、半導体層7内に形成されたp型の複数の非反転コラム35を含む。非反転コラム35は、「第2コラム領域」、「非反転コラム領域」等と称されてもよい。複数の非反転コラム35は、不純物領域15

のうちの複数の反転コラム30によって区画された領域からそれぞれなる。

[0139] つまり、複数の非反転コラム35は、第2軸チャンネルC2に沿って延びるp型のチャネリング領域からそれぞれなる。また、複数の非反転コラム35は、半導体層7（下側領域7a）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。また、複数の非反転コラム35は、積層方向に複数のトレンチ構造25の間の領域に重なっている。

[0140] 複数の非反転コラム35は、複数の反転コラム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非反転コラム35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、複数の反転コラム30内で接続される状態を意味する。

[0141] この形態では、3価元素（不純物領域15）によって濃度調節されたp型の複数の非反転コラム35が、5価元素によって濃度調節されたn型の複数の反転コラム30とチャージバランスを形成している。複数の非反転コラム35は、下側領域7aにおいて複数の反転コラム30とスーパージャンクション構造を構成している。

[0142] 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の直下の領域にそれぞれ形成されたn型の複数の中間領域36を含む。この形態では、1つの中間領域36が、1つのトレンチ構造25の底壁および1つの反転コラム30の上端部の間の領域に介在されている。複数の中間領域36は、下側領域7a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形成されている。

[0143] 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。一方側の複数の中間領域36は、不純物領域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 に対向している。

- [0144] 各中間領域 36 は、トレンチ構造 25 の底壁および反転コラム 30 の上端部にそれぞれ接続されている。各中間領域 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] 各中間領域 36 は、ボディ領域 20 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、不純物領域 15 の一部を挟んでボディ領域 20 に対向している。むろん、各中間領域 36 は、ボディ領域 20 の底部に接続されていてもよい。また、各中間領域 36 は、トレンチ構造 25 の底壁よりも幅狭に形成され、トレンチ構造 25 の底壁のみに沿って形成されていてもよい。
- [0146] 第 2 方向 Y に関して、各中間領域 36 の両端部は、対応するトレンチ構造 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、複数の反転コラム 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。
- [0147] 複数の中間領域 36 は、複数の非反転コラム 35 と共にチャージバランスを有する複数の中間 p n 接合部を形成している。つまり、複数の中間領域 36 は、複数の非反転コラム 35 とスーパージャンクション構造の一部を構成している。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中間領域 36 に関して、一方の中間 p n 接合部から拡がる空乏層、および、他方の中間 p n 接合部から拡がる空乏層が、複数の非反転コラム 35 内で接続される状態を意味する。
- [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非反転コラム 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反転コラム 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n型不純物濃度をピーク値として有していてもよい。複数の中間領域36は、複数の反転コラム30のn型不純物濃度（ピーク値）よりも高いn型不純物濃度（ピーク値）を有していてもよい。むしろ、複数の中間領域36のn型不純物濃度（ピーク値）は、複数の反転コラム30のn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、中間領域36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。中間領域36は、少なくともリンを含むことが好ましい。
- [0151] 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。
- [0152] 複数のソース領域37のn型不純物濃度（ピーク値）は、反転コラム30のn型不純物濃度（ピーク値）よりも高いことが好ましい。複数のソース領域37のn型不純物濃度（ピーク値）は、中間領域36のn型不純物濃度（ピーク値）よりも高いことが特に好ましい。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ている。複数のソース領域37は、直下に位置された中間領域36と共に対応するトレンチ構造25の壁面に沿って延びる電流経路としてのチャンネルChを区画する。複数のソース領域37は、この形態では、積層方向にボディ領域20の一部を挟んで不純物

領域 15 の一部に対向している。したがって、チャンネル Ch は、不純物領域 15 の一部およびボディ領域 20 の一部に形成される。

[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、不純物領域 15 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、ボディ領域 20 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るてもよい。

[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非反転コラム 35 に対向している。

[0157] 以下、外周領域 9 側の構成が示される。図 11 は、外周領域 9 の構成を示す斜視図である。図 12 は、外周領域 9 の一要部を示す断面図である。図 13 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、不純物領域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の底壁よりも不純物領域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（不純物領域15）とpn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不純物領域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、反転コラム30の厚さ未満である。

[0162] ウェル領域39は、反転コラム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。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。

[0163] 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、不純物領域15の3価元素と同一種であってもよいし、不純物領域15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。

[0164] 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。

[0165] 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。

[0166] 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（つまり複数の反転コラム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。

[0167] 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。

[0168] 複数のフィールド領域40は、この形態では、複数の反転コラム30からチップ2の周縁側に間隔を空けて形成され、積層方向に複数の反転コラム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（不純物領域15）の底部側に位置されている。

[0169] 複数のフィールド領域40の底部は、複数の反転コラム30の上端部の深さ位置よりも半導体層7の底部側に位置されていてもよい。むしろ、複数のフィールド領域40の底部は、複数の反転コラム30の上端部の深さ位置よりも外周面11側に位置されていてもよい。

[0170] 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不純物領域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、反転コラム30の厚さ未満である。

[0171] 複数のフィールド領域40は、反転コラム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、コンタクト領域38のp型不純物濃度未満であってもよい。

[0172] 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、不純物領域15の3価元素と同一種であってもよいし、不純物領域15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、反転コラム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、複数の反転コラム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。むしろ、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、反転コラム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、反転コラム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の少なくとも1つを含んでいてもよい。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の少なくとも1つを含んでいてもよい。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 1 2 A ~ 1 2 D を選択的に被覆している。

[0180] 第2 絶縁膜 4 3 は、活性領域 8 において複数のトレンチ構造 2 5（埋設電極 2 8）を被覆している。第2 絶縁膜 4 3 は、外周領域 9 の周縁において第1 絶縁膜 4 2 を挟んでウェル領域 3 9 および複数のフィールド領域 4 0 を被覆している。第2 絶縁膜 4 3 は、この形態では、第1 ~ 第4 側面 5 A ~ 5 D に連なっている。むしろ、第2 絶縁膜 4 3 は、外周面 1 1 の周縁から内方に間隔を空けて形成され、第1 絶縁膜 4 2 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 4 1 に形成された複数のコンタクト開口 4 4 を含む。複数のコンタクト開口 4 4 は、複数のトレンチ構造 2 5（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、複数のソース領域 3 7 を露出させる複数のコンタクト開口 4 4 を含む。ソース領域 3 7 用の複数のコンタクト開口 4 4 は、隣り合う複数のトレンチ構造 2 5 の間の領域に形成され、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 を露出させている。

[0182] SiC 半導体装置 1 は、第1 ~ 第4 接続面 1 2 A ~ 1 2 D のうちの少なくとも1 つを被覆するように層間絶縁膜 4 1 内に配置されたサイドウォール構造 4 5 を含む。サイドウォール構造 4 5 は、第1 絶縁膜 4 2 の上に配置され、第2 絶縁膜 4 3 によって被覆されている。サイドウォール構造 4 5 は、活性面 1 0 および外周面 1 1 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 4 5 は、第1 ~ 第4 接続面 1 2 A ~ 1 2 D 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 4 5 は、この形態では、平面視において活性面 1 0 を取り囲むように第1 ~ 第4 接続面 1 2 A ~ 1 2 D 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 4 5 は、外周面 1 1 に沿って膜状に延びる部分、および、第1 ~ 第4 接続面 1 2 A ~ 1 2 D に沿って膜状に延びる部分を有してもよい。サイドウォール構造 4 5 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。複数のゲ

ート配線51は、この形態では、第1ゲート配線51Aおよび第2ゲート配線51Bを含む。

[0190] 第1ゲート配線51Aは、ゲートパッド50から第1接続面12A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51A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51Bは、ゲートパッド50から第3接続面12C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51B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] SiC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。

[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。むしろ、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を介して複数の非反転コラム35（不純物領域15）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を介して複数の反転コラム30（中間領域36）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14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。むろん、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6

1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 θ_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14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15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16A～図16O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17A～図17B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18A～図18Bは、イオン注入工程を説明するための概略図である。図16A～図16O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16Aを参照して、前述のウエハ60の用意工程が実施される（図15のステップS1）。次に、図16Bを参照して、半導体層7の形成工程が実施される（図15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15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 θ_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 θ_0 に誤差が生じるリスクがある。ウエハ60のオフ角 θ_0 に誤差が生じた場合、半導体層7のオフ角 θ_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 θ_0 のデータ（情報）が取得され、当該オフ角 θ_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17A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 ω - 2θ 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、ロックンガーク測定法を実行する。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 ω を有する入射X線L1を照射する。入射角 ω 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61）の間の角度によって定義される。

- [0210] 検出部69は、ウエハ60に対する入射X線L1の照射位置に対して回折角 2θ (θ はブラッグ角)の角度位置に配置され、回折X線L2を検出する。回折角 2θ は、入射X線L1の入射方向および回折X線L2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 2θ が固定された状態で、入射角 ω が微小な角度範囲で変移させられ、回折X線L2の強度(回折X線L2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L2の強度を縦軸に有し、入射角 ω を横軸に有している。入射角 ω は、回折X線L2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60の第1ウエハ主面61)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 θ_o 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60の第1ウエハ主面61)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17B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が示されている。半導体層7のオフ角 θ_o は、ここでは、約 4° に設定されている。図17Bでは、第1~第5測定点P○1~P○5が示されている。
- [0214] 第1測定点P○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○2は、第1測定点P○1から第2方向Yの一方側(目印64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○3は、第1測定点P○1から第1方向Xの一方側(目印64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○4は、第1測定点P○1から第2方向Yの他方側(目印64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○5は、第1測定点P○1から第1方向Xの他方側(目印64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 ω 、回折角 2θ およびオ

フ角 θ_o の測定結果は、以下の表 1 (Table 1) の通りである。オフ角 θ_o は、入射角 ω および回折角 2θ 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	ω (°)	2θ (°)	θ_{off} (°)
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 o 1 ~ P o 5 のオフ角 θ_o の平均値は 4. 0 3 6 ° であり、これらのオフ角 θ_o の標準偏差は 0. 0 0 9 ° (± 0. 0 1 °) であった。このことから、半導体層 7 の上端 (ウエハ 6 0 の第 1 ウエハ主面 6 1) に生じるオフ角 θ_o 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 6 1) 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 o 1 ~ P o 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 o 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 6 1) の複数箇所についてオフ角 θ_o を測定し、チャネリング注入工程においてオフ角 θ_o 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 に形成される不純物領域 1 5 および複数の反転

コラム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 θ_0 は、ウエハ60のオフ角 θ_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16Cを参照して、不純物領域15の形成工程が実施される（図15のステップS4）。不純物領域15の形成工程は、半導体層7に対する3価元素（p型不純物）のチャネリング注入工程を含む。この工程では、所定レイアウトを有するマスク（図示せず）を介して3価元素が半導体層7の全域に導入される。

[0222] マスク（図示せず）は、半導体層7の上端の上に配置され、活性領域において不純物領域15を形成すべき領域を露出させ、それ以外の領域を被覆している。むろん、半導体層7の全域に3価元素が導入される場合、マスク（図示せず）は省略されてもよい。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 θ_0 を有している。チャネリング注入工程は、オフ角 θ_0 のデータ（情報）に基づいて実施される。

[0223] 図18A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 θ_0 ）に交差する方向に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（図9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3価元素が注入される。

[0224] 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3価元素が導入されるため、3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3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を有さない不純物領域15が形成される。

[0225] 一方、図18B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（図8も併せて参照）。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。

[0226] 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 θ_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不純物領域15が所定の深さ位置に形成される。

[0227] 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。

[0228] 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℃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。

[0229] 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°）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°）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。

[0230] 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。

[0231] 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。

[0232] 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。

[0233] 次に、図16Dを参照して、ボディ領域20の形成工程が実施される（図15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。

[0234] 次に、図16E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15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。

[0235] 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15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。

[0236] 次に、図 16 F 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 15 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 71 a を有している。

[0237] 複数の第 1 開口 71 a 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 71 a は、平面視においてオフ方向 D_o 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 71 a（図示せず）を有している。外周面 11 用の第 1 開口 71 a 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。

[0238] 次に、複数のトレンチ 26 の形成工程が実施される（図 15 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。

[0239] エッチング法は、R I E（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 12 A～12 D 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。

[0240] 次に、図 16 G 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 15 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 72 a を有している。複数の第 2 開口 72 a 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_oに沿って延びる延在方向を有している。

[0241] 次に、複数の反転コラム30の形成工程が実施される（図15のステップS11）。複数の反転コラム30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。5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 θ_o のデータ（情報）に基づいて実施される。

[0242] 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。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。

[0243] 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 θ_o 分だけ傾斜した状態で支持され、5価元素が第2軸チャネル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複数の反転コラム30が所定の深さ位置に形成される。

[0244] 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。

[0245] 反転コラム30に係る注入エネルギーは、不純物領域15に係る注入エネル

ギとほぼ等しくてもよいし、不純物領域15に係る注入エネルギーと異なってもよい。反転コラム30に係る注入エネルギーは、不純物領域15に係る注入エネルギー以上であってもよい。反転コラム30に係る注入エネルギーは、不純物領域15に係る注入エネルギー未満であってもよい。

[0246] 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。

[0247] 反転コラム30に係る注入温度は、不純物領域15に係る注入温度とほぼ等しくてもよいし、不純物領域15に係る注入温度と異なってもよい。反転コラム30に係る注入温度は、不純物領域15に係る注入温度以上であってもよい。反転コラム30に係る注入温度は、不純物領域15に係る注入温度未満であってもよい。

[0248] 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。

[0249] 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。

[0250] 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、5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、5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。

[0251] これにより、複数の反転コラム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5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反転コラム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。

[0252] 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。これにより、複数の反転コラム30および複数の非反転コラム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。

[0253] 反転コラム30に係るアニール法は、不純物領域15に係るアニール法を兼ねていてもよい。この場合、反転コラム30の形成工程前の不純物領域15のアニール法は省略されてもよい。図16Hを参照して、複数の反転コラム30の形成工程後、第2マスク72は除去される。

[0254] 次に、図16I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15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。

[0255] 次に、複数の中間領域36の形成工程が実施される（図15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 θ_0 ）に交差する方向に5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。5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（不純物領域15）内に導入される。5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。

[0256] 5価元素が複数回導入される場合、5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。5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（不純物領域15）内に導入されてもよい。図16J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。

[0257] 具体的な図示は省略されるが、中間領域36の形成工程に先立って、または、中間領域36の形成工程の後に、ウェル領域39の形成工程が実施される。ウェル領域39は、外周面11および第1～第4接続面12A～12Dを選択的に露出させるマスク（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内に導入することによって形成される。

[0258] 具体的な図示は省略されるが、中間領域36の形成工程に先立って、または、中間領域36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、外周面11を選択的に露出させるマスク（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内の表層部に導入することによって形成される。

[0259] 次に、図16Kを参照して、絶縁膜27の形成工程が実施される（図15のステップS14）。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。

[0260] 次に、図16Lを参照して、埋設電極28の形成工程が実施される（図15のステップS15）。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。

[0261] 次に、図 16M 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。

[0262] 次に、図 16N 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 15 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。

[0263] 次に、図 16O 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 15 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。

[0264] 次に、ドレインパッド 53 の形成工程が実施される（図 15 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 15 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。

[0265] 以下、トレンチ構造 25 の他の形態例が示される。図 19 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 19 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、複数の反転コラム 30 の狭ピッチ化を実現する上で特に有効である。

[0266] 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。

[0267] 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。

[0268] 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。

[0269] 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。

。

[0270] 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。

[0271] 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。

。

[0272] 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。

[0273] 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。

[0274] 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、複数のコンタクト領域 38 は、平面視において行列状に配列されている。

- [0275] 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 37 の間の領域（つまり、複数のソース領域 37）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 38 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 38 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。
- [0276] 具体的な図示は省略されるが、前述の層間絶縁膜 41 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、第 1 形態例に係る場合と同様、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。
- [0277] 第 1 絶縁膜 42 は、この形態では、活性面 10 の周縁部を被覆し、活性面 10 の内方部において複数のトレンチ構造 25 を一括して露出させている。具体的には、第 1 絶縁膜 42 は、複数のトレンチ構造 25 の両端部において絶縁膜 27 に接続され、埋設電極 28 を露出させている。また、第 1 絶縁膜 42 は、第 1 形態例に係る場合と同様の態様で外周面 11 および第 1～第 4 接続面 12A～12D を被覆している。
- [0278] 第 2 絶縁膜 43 は、第 1 形態例に係る場合と同様、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。第 2 絶縁膜 43 は、この形態では、活性面 10 の周縁部を被覆し、活性面 10 の内方部において複数のトレンチ構造 25 を一括して露出させている。具体的には、第 2 絶縁膜 43 は、複数のトレンチ構造 25 の両端部において第 1 主面 3（活性面 10）の上からトレンチ 26 内に入り込み、トレンチ 26 内において埋設絶縁体 80 に接続されている。
- [0279] 層間絶縁膜 41 は、この形態では、複数のトレンチ構造 25 の両端部（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 を一括して露出させる単一のコンタクト開口 44 を含む。

- [0280] 前述のゲートパッド50、前述の複数のゲート配線51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。
- [0281] 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。
- [0282] 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。
- [0283] 図20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20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。
- [0284] 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。
- [0285] 上絶縁膜81は、チャンネルChの制御用の絶縁膜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、ボディ領域20の底部を横切って不純物領域15（非反転コラム35）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、不純物領域15（非反転コラム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。

- [0286] 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、1 nm 以上 100 nm 以下の厚さを有していてもよい。上絶縁膜 81 の厚さは、1 nm 以上 25 nm 以下、25 nm 以上 50 nm 以下、50 nm 以上 75 nm 以下、および、75 nm 以上 100 nm 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。
- [0287] 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、不純物領域 15（非反転コラム 35）を被覆している。不純物領域 15（非反転コラム 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。
- [0288] 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。
- [0289] 下絶縁膜 82 は、100 nm 以上 500 nm 以下の厚さを有していてもよい。下絶縁膜 82 の厚さは、100 nm 以上 150 nm 以下、150 nm 以上 200 nm 以下、200 nm 以上 250 nm 以下、250 nm 以上 300 nm 以下、300 nm 以上 350 nm 以下、350 nm 以上 400 nm 以下、400 nm 以上 450 nm 以下、および、450 nm 以上 500 nm 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。
- [0290] 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。
- [0291] ボディ領域 20 に対する上電極 83 の対向面積は、不純物領域 15（非反

転コラム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。

[0292] 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Ch(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。

[0293] 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を挟んで不純物領域15(非反転コラム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。

[0294] 不純物領域15(非反転コラム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。

[0295] 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。

[0296] 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）および不純物領域 15（非反転コラム 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。

[0297] 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。

[0298] 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。

[0299] 前述の反転コラム 30 および前述の中間領域 36 は、前述の形態の場合と同様の態様で形成されている。各中間領域 36 は、この形態では、トレンチ 26 の底壁に沿う部分において下絶縁膜 82 を挟んで下電極 84 に対向し、トレンチ 26 の側壁に沿う部分において下絶縁膜 82 を挟んで下電極 84 に対向している。

[0300] 各中間領域 36 のうちトレンチ 26 の側壁に沿う部分は、ボディ領域 20 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、不純物領域 15 の一部を挟んでボディ領域 20 に対向している。むろん、各中間領域 36 は、ボディ領域 20 に接続されていてもよい。この場合、各中間領域 36 は、上絶縁膜 81 を挟んで上電極 83 に対向していてもよい。

[0301] 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

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。

[0302] 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。

[0303] 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。

[0304] 図21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。

[0305] 複数の反転コラム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、複数の反転コラム30の延在方向がSiC単結晶のオフ方向D_oに交差（具体的には直交）するため

、複数の反転コラム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D₀に向けてほぼオフ角 θ_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、複数の反転コラム30はオフ方向D₀に延びていることが好ましい。

[0306] 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いてもよい。この場合、複数の反転コラム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、複数の反転コラム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、複数の反転コラム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。

[0307] 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22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、不純物領域15が半導体層7の下端から第1主面3側に間隔を空けて形成されていた。

[0308] これに対して、第1変形例に係る不純物領域15は、ベース層6および半導体層7の境界部を横切ってベース層6内に位置された底部を有している。不純物領域15の底部は、ベース層6の表層部に位置されている。第2軸チャネルC2は、第1軸チャネルC1にほぼ一致しているため、不純物領域15の底部は、ベース層6内において第1軸チャネルC1に沿って形成されている。

[0309] 一方、前述の反転コラム30は、ベース層6内において不純物領域15の底部を横切り、ベース層6に電氣的に接続された下端部を有している。反転コラム30の下端部は、ベース層6の表層部に位置されている。第2軸チャネルC2は、第1軸チャネルC1にほぼ一致しているため、反転コラム30の下端部は、ベース層6内において第1軸チャネルC1に沿って形成されている。

- [0310] 図23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。前述の形態では、不純物領域15が半導体層7に形成されていた。これに対して、第2変形例に係るSiC半導体装置1では、p型の半導体層7（p型のエピタキシャル層）が形成され、p型の不純物領域15が省略されている。p型の半導体層7は、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を有さない点において、不純物領域15と区別される。
- [0311] 半導体層7のp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p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p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p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] 半導体層7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てもよい。半導体層7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。半導体層7の3価元素は、典型的には、ホウ素またアルミニウムである。
- [0313] 前述のボディ領域20は、必ずしも形成されている必要はない。たとえば、半導体層7の一部（表層部）がボディ領域20の一部として機能し得る場合、半導体層7の一部（表層部）がボディ領域20として形成され、ボディ領域20が省略されてもよい。換言すると、半導体層7の表層部はボディ領域20を兼ね、ボディ領域20は半導体層7の表層部を利用して形成されてもよい。
- [0314] 前述の複数の反転コラム30（中間領域36）は、p型の半導体層7の導電型を反転させるように下側領域7aに形成され、p型の半導体層7の一部からそれぞれなる複数の非反転コラム35を区画している。前述のウェル領域39の導電型はp型からn型に置き換えられる。また、前述のフィールド領域40の導電型は、p型からn型に置き換えられる。

- [0315] むろん、p型の半導体層7が形成された場合であっても、p型の不純物領域15を含む構成が採用されてもよい。この場合、p型の半導体層7のp型不純物濃度がp型の不純物領域15によって補正（調節）される。
- [0316] 図24は、第3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3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。
- [0317] 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。
- [0318] 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 θ_0 にほぼ一致したオフ方向 D_0 およびオフ角 θ_0 を有している。
- [0319] 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。
- [0320] 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。

- [0321] 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D₀およびオフ角θ₀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D₀に向けてオフ角θ₀分だけ傾斜している。
- [0322] 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。
- [0323] 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。
- [0324] 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。
- [0325] 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。

- [0326] 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D₀およびオフ角θ₀にほぼ一致したオフ方向D₀およびオフ角θ₀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。
- [0327] 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。むしろ、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。
- [0328] 前述の不純物領域15は半導体層7に位置された底部を有し、前述の反転コラム30は、ベース層6、半導体層7またはバッファ層86に位置された下端部を有していてもよい。むしろ、不純物領域15はバッファ層86に位置された底部を有し、反転コラム30はベース層6またはバッファ層86に位置された下端部を有していてもよい。
- [0329] 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。
- [0330] 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（Ga₂O₃）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。
- [0331] 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。

[0332] 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いてもよい。

[0333] 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。

[0334] 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」、「MISFET装置」、「IGBT装置」等に置き換えられてもよい。

[0335] [A1] 主面(3)を含み、積層方向(Z)に軸チャネル(C2)を有する半導体層(7)と、前記半導体層(7)内に形成されたp型の不純物領域(15)と、前記主面(3)において前記不純物領域(15)よりも浅く形成され、前記半導体層(7)の底部との間に前記不純物領域(15)の一部

を含む下側領域（7 a）を区画するトレンチ（26）と、前記軸チャネル（C2）に沿って延びるように前記下側領域（7 a）内に形成され、前記不純物領域（15）の導電型を反転させるn型の反転コラム（30）と、を含む、半導体装置（1）。

[0336] [A2] 前記反転コラム（30）は、前記軸チャネル（C2）に沿って前記下側領域（7 a）の厚さ範囲中間部を横切っている、A1に記載の半導体装置（1）。

[0337] [A3] 前記反転コラム（30）は、前記半導体層（7）の厚さ方向に関して、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、A1またはA2に記載の半導体装置（1）。

[0338] [A4] 前記反転コラム（30）は、単一の領域からなる、A1～A3のいずれか一つに記載の半導体装置（1）。

[0339] [A5] 前記反転コラム（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、A1～A4のいずれか一つに記載の半導体装置（1）。

[0340] [A6] 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、A5に記載の半導体装置（1）。

[0341] [A7] 前記緩慢部（33）は、前記反転コラム（30）のうちの1/4以上の厚さ範囲を占めている、A6に記載の半導体装置（1）。

[0342] [A8] 前記トレンチ（26）は、平面視で帯状に延び、前記反転コラム（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、A1～A7のいずれか一つに記載の半導体装置（1）。

[0343] [A9] 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、A8に記載の半導体装置（1）。

[0344] [A10] 前記半導体層（7）は、鉛直軸（Z）を基準にオフ方向（D_o）に向けて傾斜したオフ角（ θ_o ）を有し、前記軸チャネル（C2）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（ θ_o ）を有している、A1～A9のいずれか一つに記載の半導体装置（1）。

[0345] [A11] 前記オフ方向（D_o）は、前記半導体層（7）のa軸方向である、A10に記載の半導体装置（1）。

[0346] [A12] 前記オフ角（ θ_o ）は、10°以下である、A10またはA11に記載の半導体装置（1）。

[0347] [A13] 前記半導体層（7）は、n型であり、前記不純物領域（15）は、前記半導体層（7）の導電型を反転させている、A1～A12のいずれか一つに記載の半導体装置（1）。

[0348] [A14] 前記不純物領域（15）は、前記軸チャンネル（C2）に沿って前記半導体層（7）の厚さ範囲中間部を横切っている、A1～A13のいずれか一つに記載の半導体装置（1）。

[0349] [A15] 前記反転コラム（30）は、前記不純物領域（15）の前記底部を横切っている、A1～A14のいずれか一つに記載の半導体装置（1）。

[0350] [A16] 前記不純物領域（15）は、前記半導体層（7）の前記底部から前記主面（3）側に間隔を空けて形成され、前記反転コラム（30）は、前記半導体層（7）の下層部に電氣的に接続されている、A1～A15のいずれか一つに記載の半導体装置（1）。

[0351] [A17] 前記反転コラム（30）は、前記トレンチ（26）の前記底壁から前記半導体層（7）の前記底部側に間隔を空けて形成されている、A1～A16のいずれか一つに記載の半導体装置（1）。

[0352] [A18] 前記半導体層（7）内において前記トレンチ（26）の前記底壁および前記反転コラム（30）の間の領域に形成されたn型の間領域（36）をさらに含む、A17に記載の半導体装置（1）。

[0353] [A19] 前記主面（3）の表層部において前記中間領域（36）から前記主面（3）側に間隔を空けて前記トレンチ（26）の側方に形成され、前

記中間領域（36）との間に前記反転コラム（30）に至る電流経路としてのチャンネル（Ch）を区画するn型のソース領域（37）をさらに含む、A18に記載の半導体装置（1）。

[0354] [A20] 前記ソース領域（37）は、前記反転コラム（30）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、A19に記載の半導体装置（1）。

[0355] [A21] 前記半導体層（7）と、SiC単結晶を含むSiC層（7）である、A1～A20のいずれか一つに記載の半導体装置（1）。

[0356] 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や形態例の順序等に制限されずにそれらの間で適宜組み合わせ可能である。

符号の説明

- [0357] 1 SiC半導体装置
3 第1主面
7 半導体層
7a 下側領域
15 不純物領域
26 トレンチ
30 反転コラム
33 第2緩慢部
36 中間領域
37 ソース領域
C2 第2軸チャンネル
Ch チャンネル（電流経路）
DT トレンチ深さ
P2 第2ピーク値
TC コラム厚さ

- D ○ オフ方向
- θ ○ オフ角
- Z 鉛直方向

請求の範囲

- [請求項1] 主面を含み、積層方向に軸チャネルを有するSiC層と、
前記SiC層内に形成されたp型の不純物領域と、
前記主面において前記不純物領域よりも浅く形成され、前記SiC層の底部との間に前記不純物領域の一部を含む下側領域を区画するトレンチと、
前記軸チャネルに沿って延びるように前記下側領域内に形成され、前記不純物領域の導電型を反転させるn型の反転コラムと、を含む、SiC半導体装置。
- [請求項2] 前記反転コラムは、前記軸チャ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] 前記反転コラムは、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] 前記反転コラムは、単一の領域からなる、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] 前記反転コラムは、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1～4のいずれか一項に記載のSiC半導体装置。
- [請求項6] 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5に記載のSiC半導体装置。
- [請求項7] 前記緩慢部は、前記反転コラムのうちの1/4以上の厚さ範囲を占めている、請求項6に記載のSiC半導体装置。
- [請求項8] 前記トレンチは、平面視で帯状に延び、
前記反転コラムは、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1～7のいずれか一項に記載のSiC半導体装置。

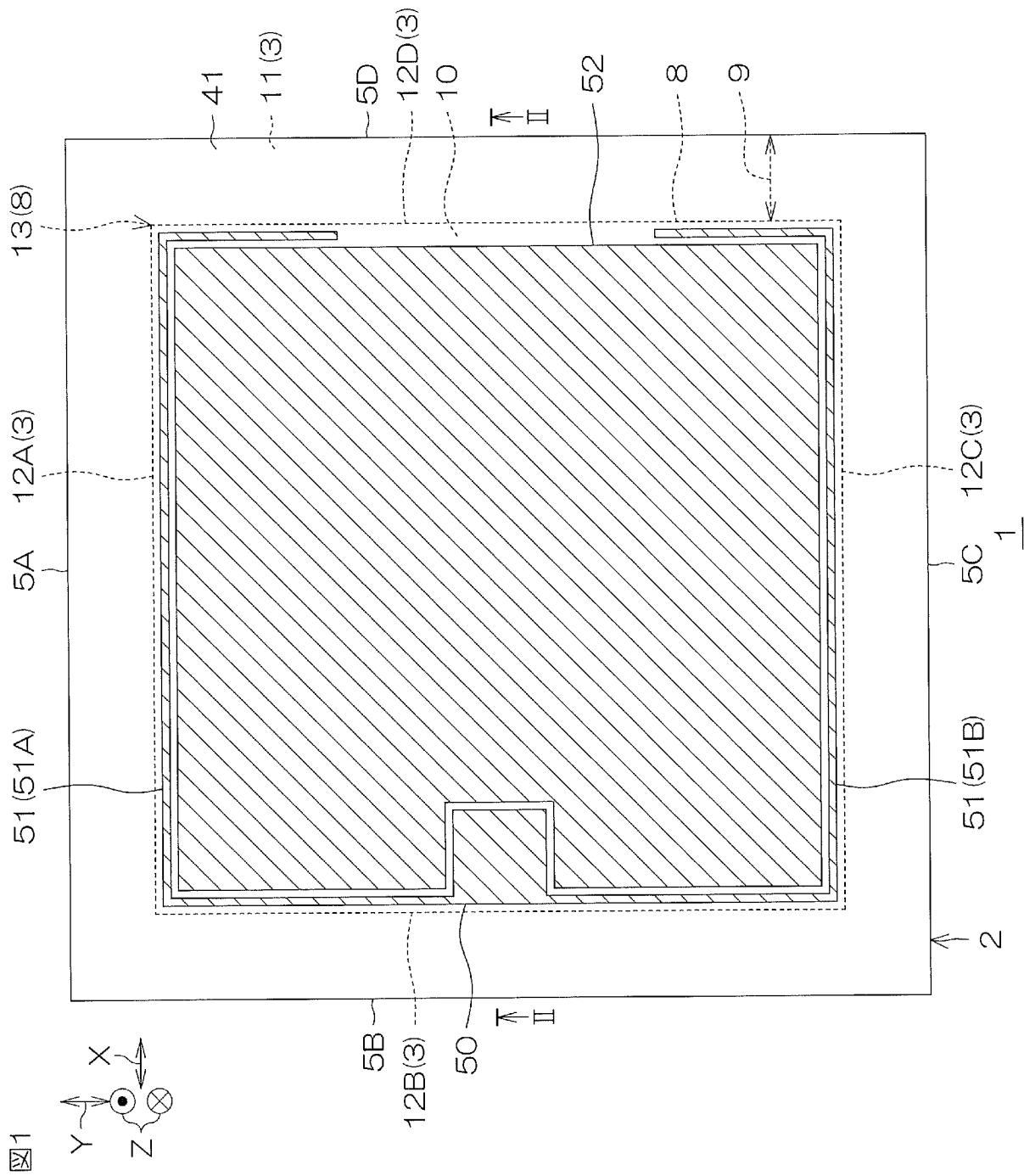
- [請求項9] 前記トレンチは、平面視でS i C単結晶のa軸方向に延びている、請求項8に記載のS i C半導体装置。
- [請求項10] 前記S i C層は、鉛直軸を基準にオフ方向に向けて傾斜したオフ角を有し、
前記軸チャンネルは、前記鉛直軸を基準に前記オフ方向に向けて傾斜した前記オフ角を有している、請求項1～9のいずれか一項に記載のS i C半導体装置。
- [請求項11] 前記オフ方向は、S i C単結晶のa軸方向である、請求項10に記載のS i C半導体装置。
- [請求項12] 前記オフ角は、 10° 以下である、請求項10または11に記載のS i C半導体装置。
- [請求項13] 前記S i C層は、n型であり、
前記不純物領域は、前記S i C層の導電型を反転させている、請求項1～12のいずれか一項に記載のS i C半導体装置。
- [請求項14] 前記不純物領域は、前記軸チャンネルに沿って前記S i C層の厚さ範囲中間部を横切っている、請求項1～13のいずれか一項に記載のS i C半導体装置。
- [請求項15] 前記反転コラムは、前記不純物領域の前記底部を横切っている、請求項1～14のいずれか一項に記載のS i C半導体装置。
- [請求項16] 前記不純物領域は、前記S i C層の前記底部から前記主面側に間隔を空けて形成され、
前記反転コラムは、前記S i C層の下層部に電氣的に接続されている、請求項1～15のいずれか一項に記載のS i C半導体装置。
- [請求項17] 前記反転コラムは、前記トレンチの前記底壁から前記S i C層の前記底部側に間隔を空けて形成されている、請求項1～16のいずれか一項に記載のS i C半導体装置。
- [請求項18] 前記S i C層内において前記トレンチの前記底壁および前記反転コラムの間の領域に形成されたn型の間隔領域をさらに含む、請求項1

7に記載のSiC半導体装置。

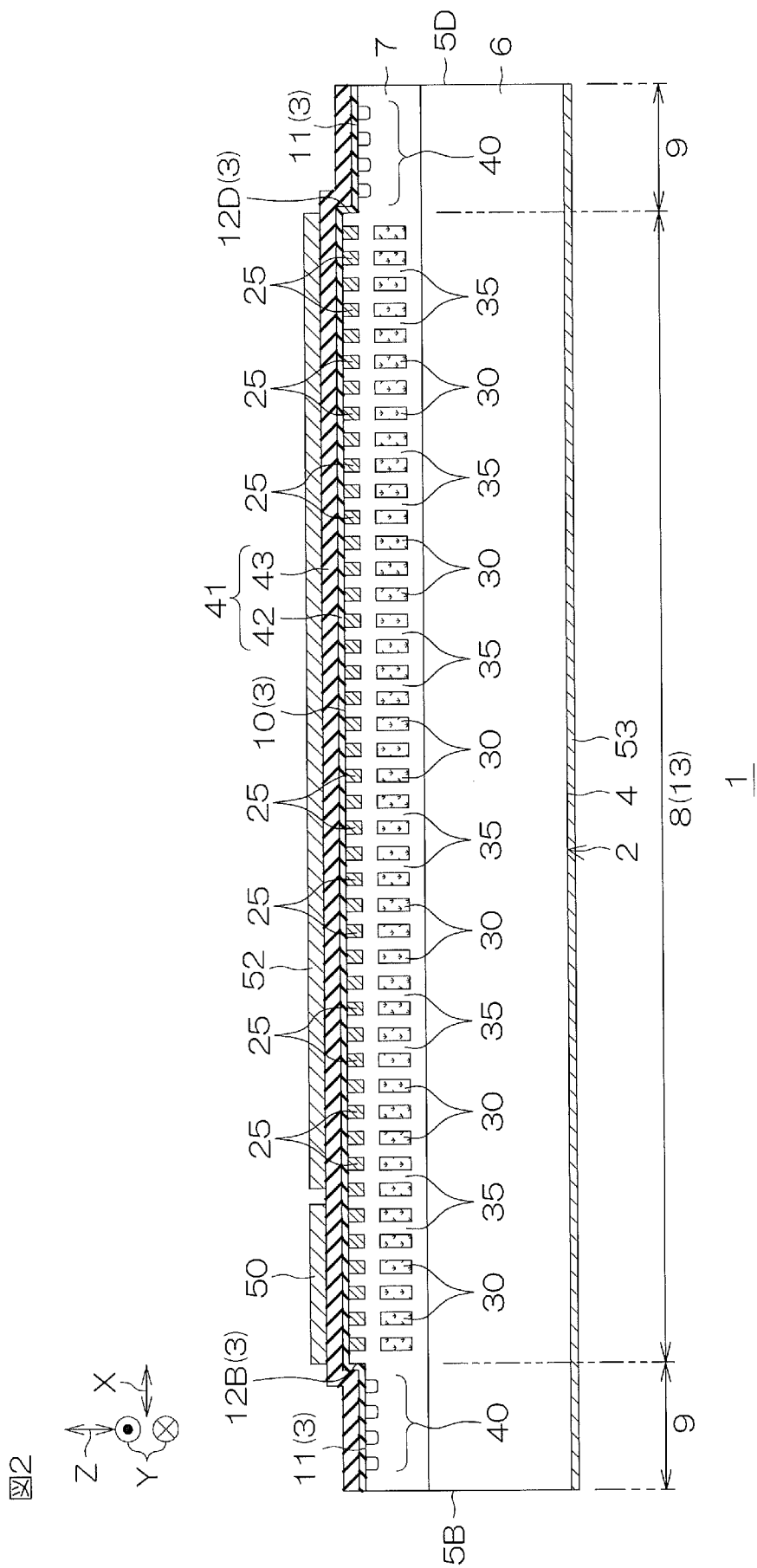
[請求項19] 前記主面の表層部において前記中間領域から前記主面側に間隔を空けて前記トレンチの側方に形成され、前記中間領域との間に前記反転コラムに至る電流経路としてのチャンネルを区画するn型のソース領域をさらに含む、請求項18に記載のSiC半導体装置。

[請求項20] 前記ソース領域は、前記反転コラムの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、請求項19に記載のSiC半導体装置。

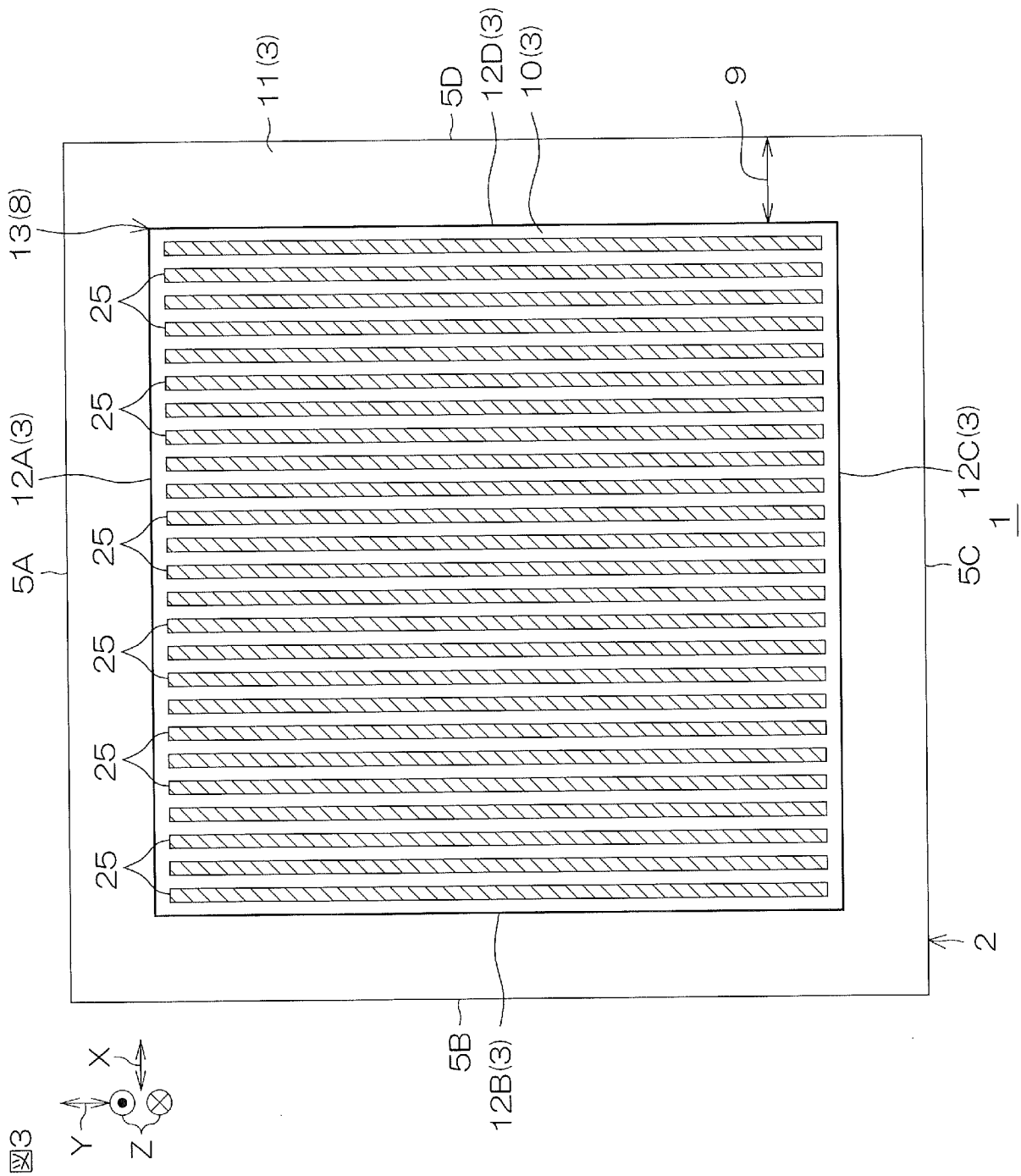
[図1]



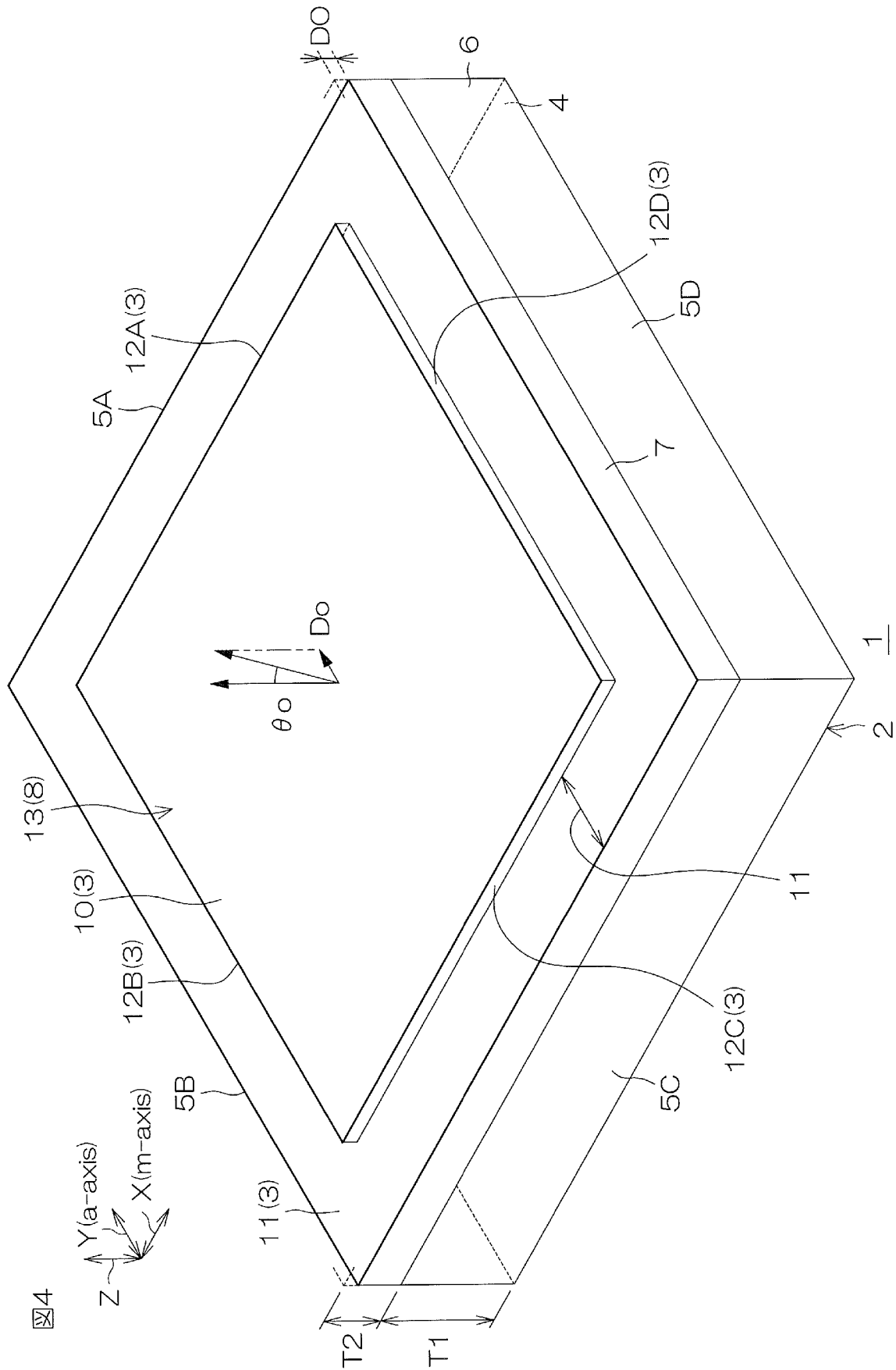
[圖2]



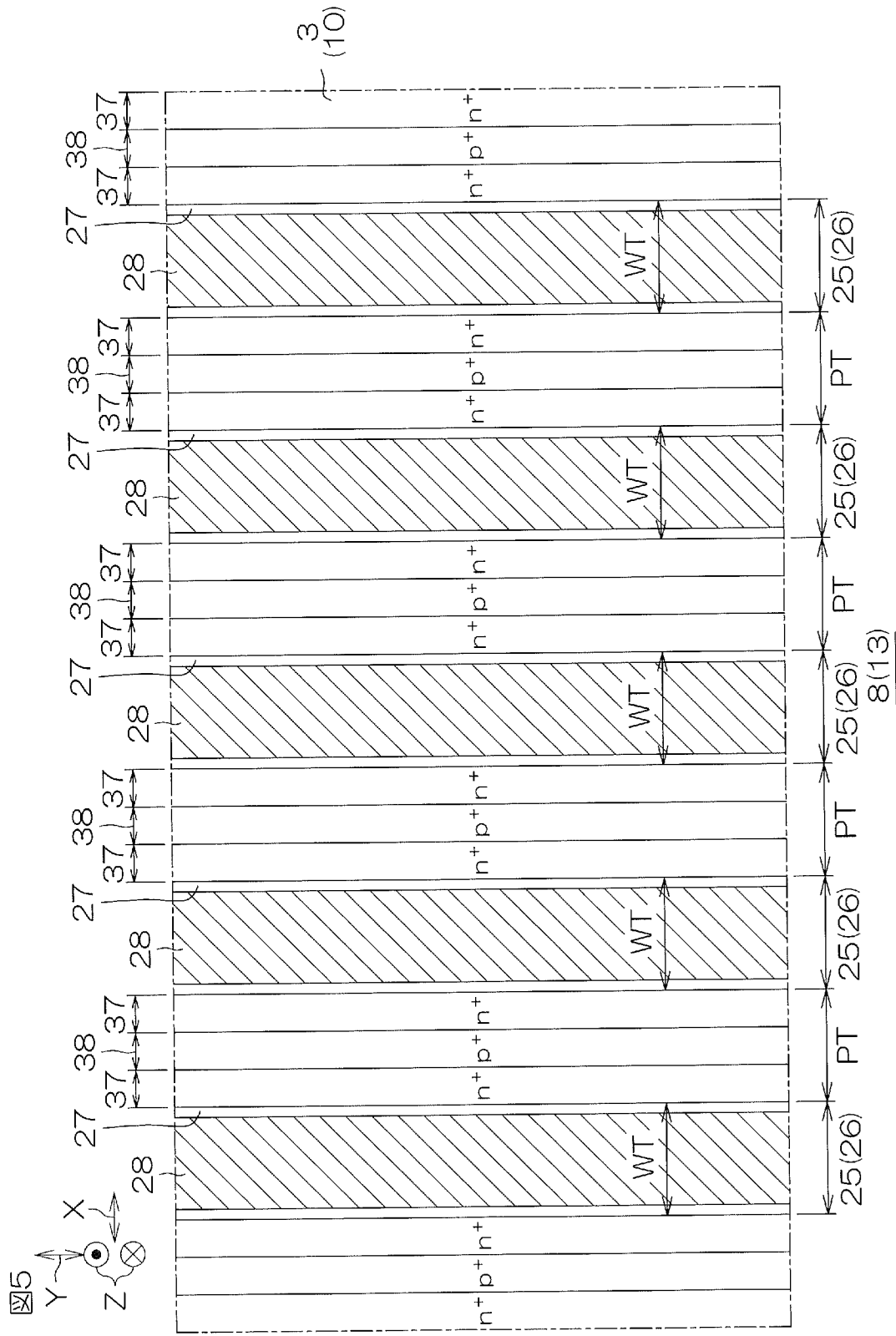
[図3]



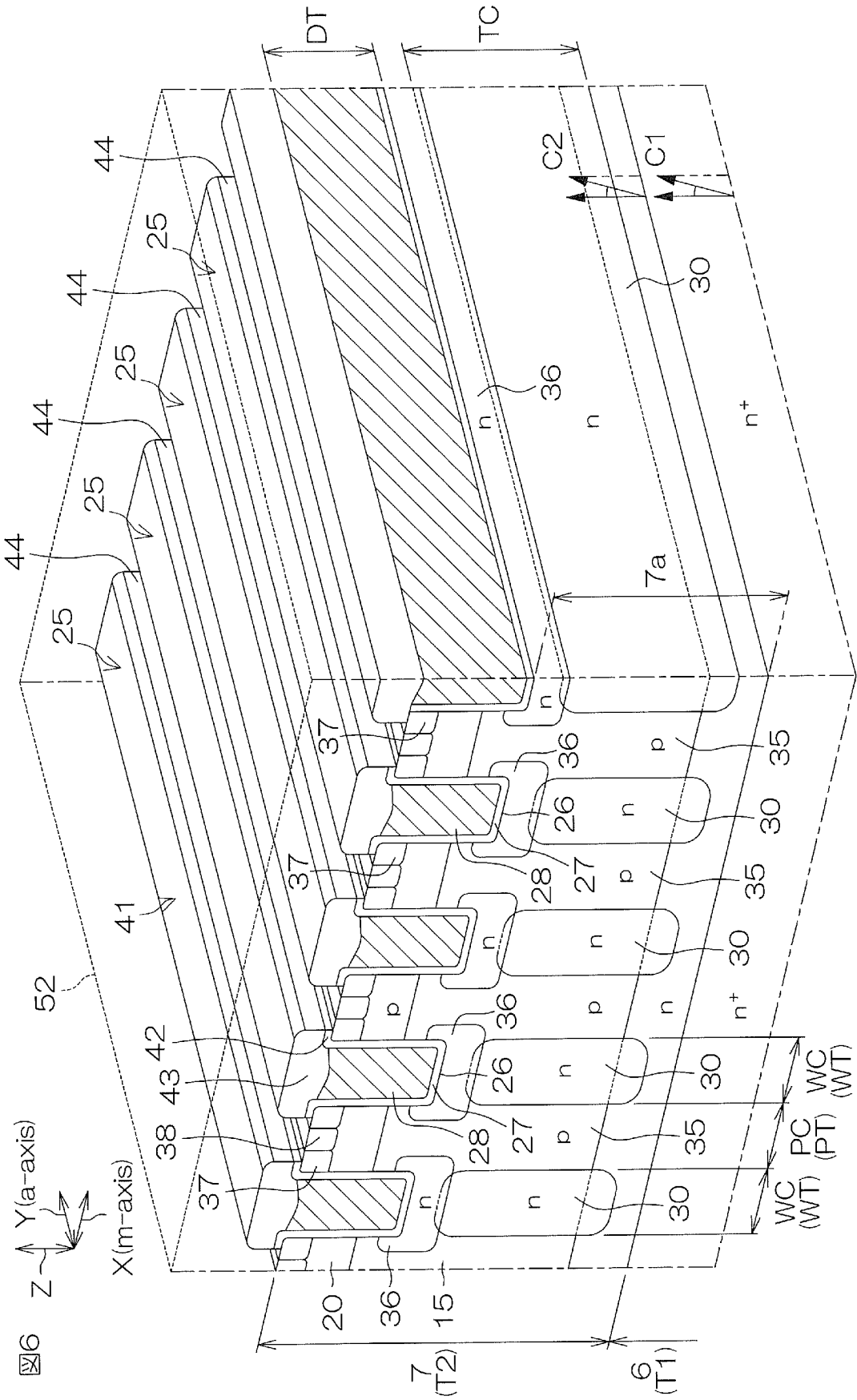
[図4]



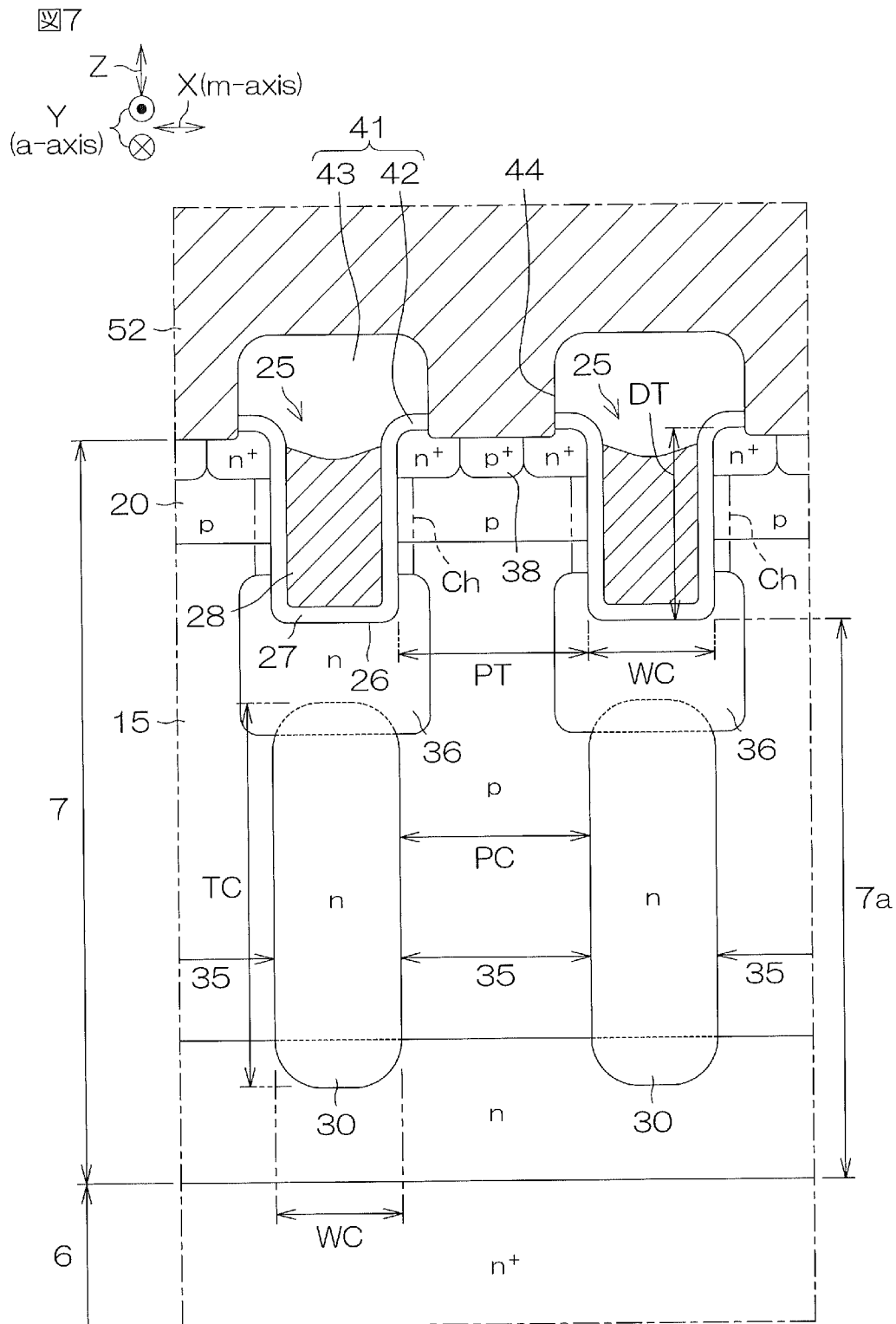
[圖5]



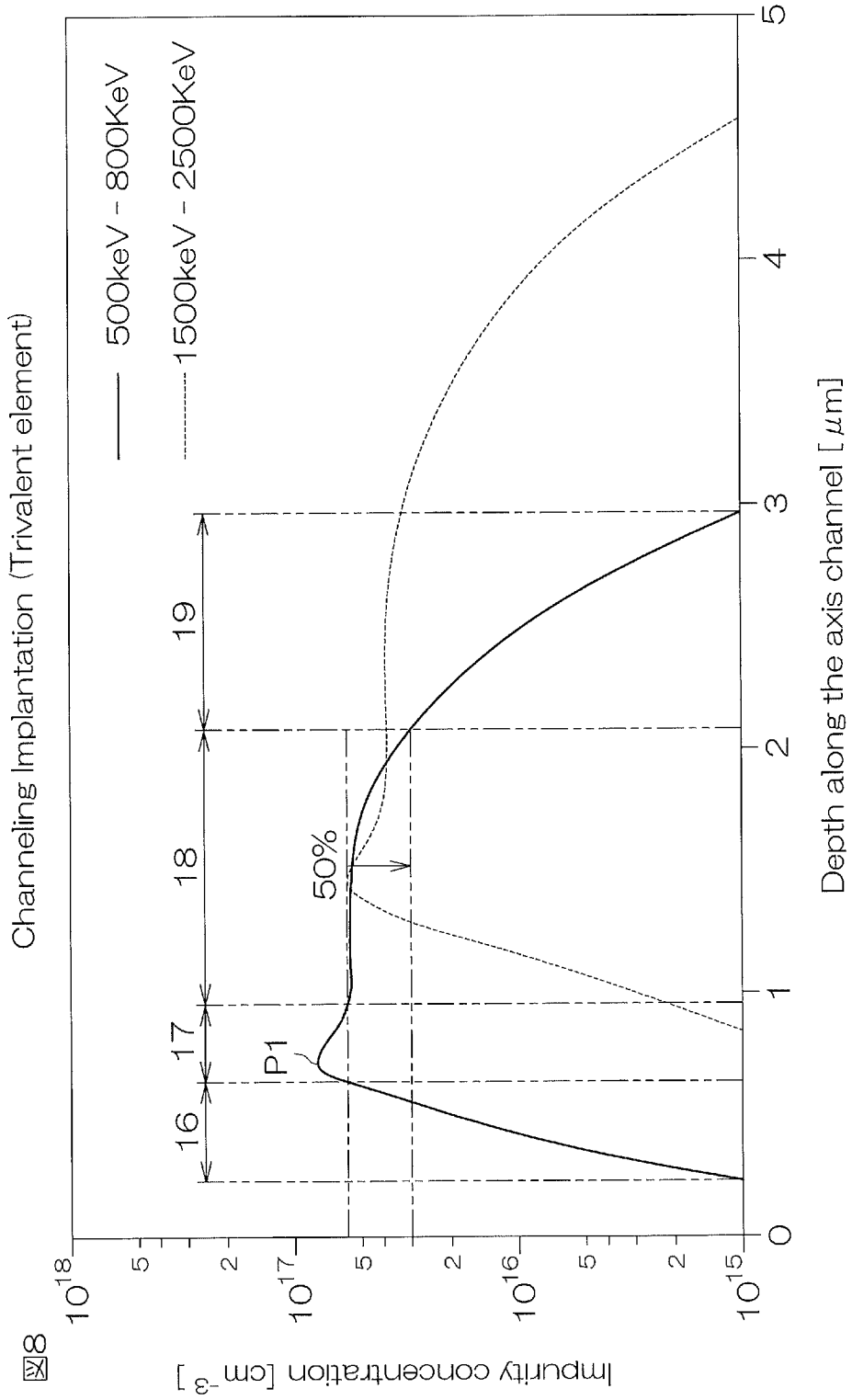
[図6]



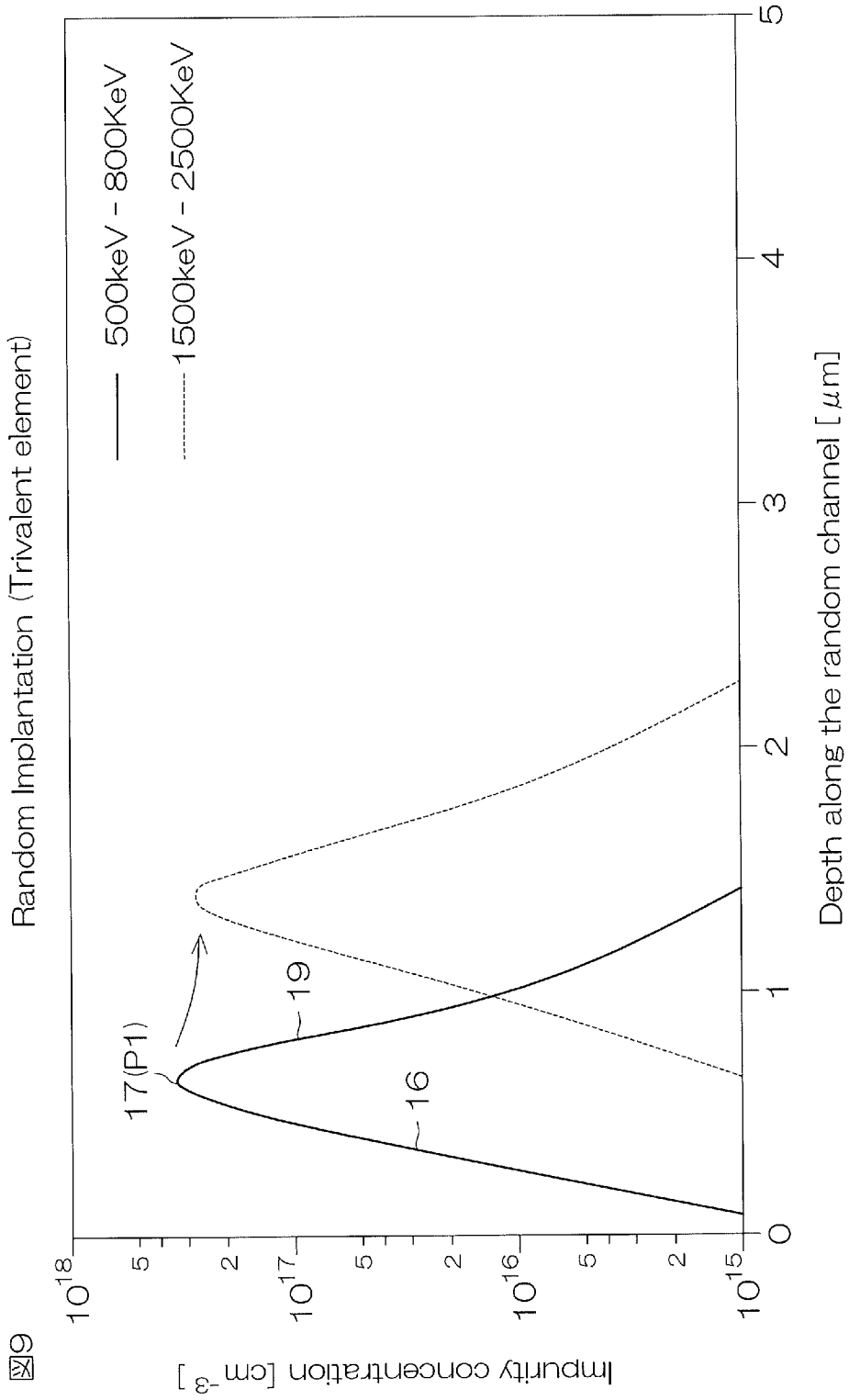
[図7]



[8]

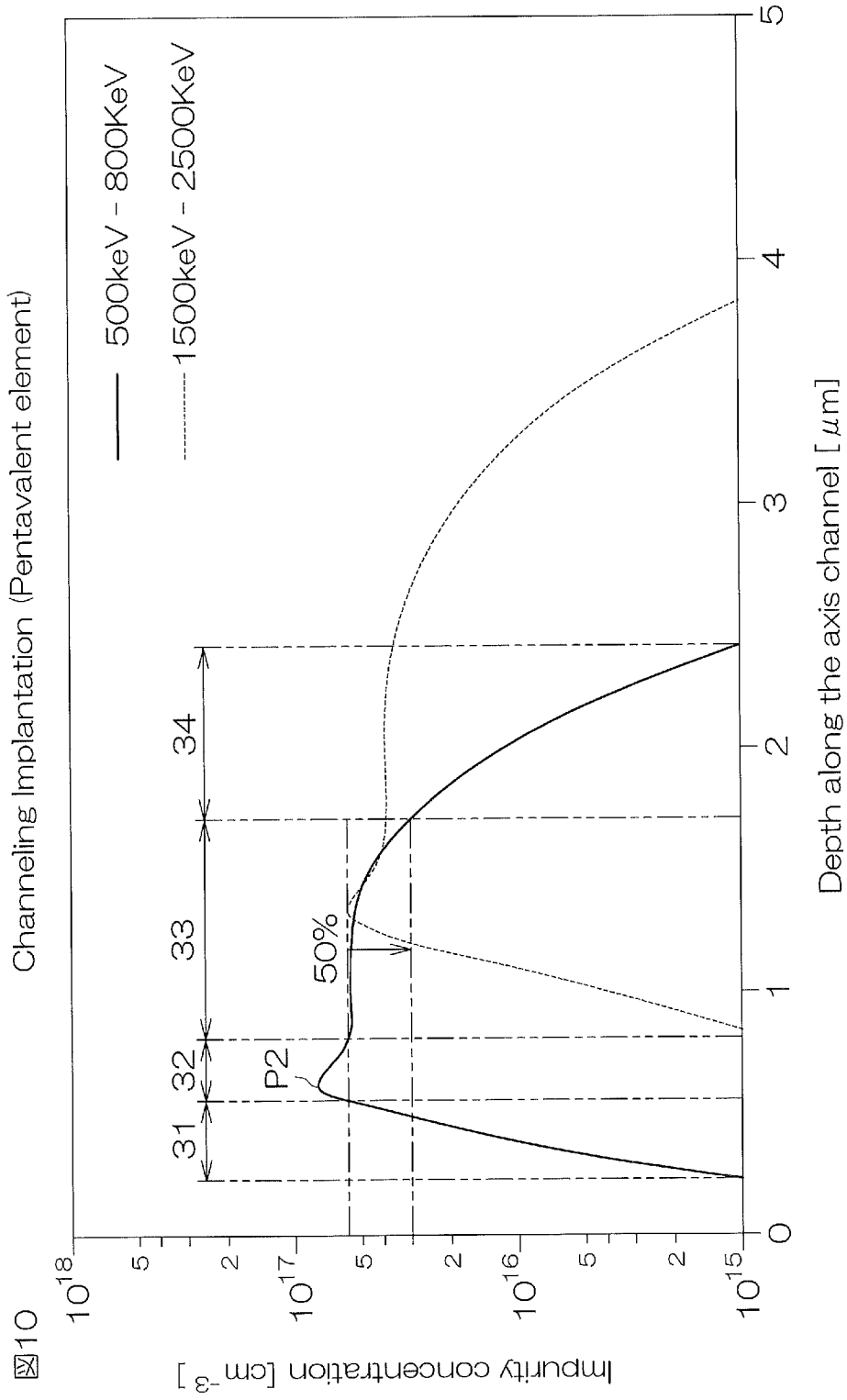


[9]

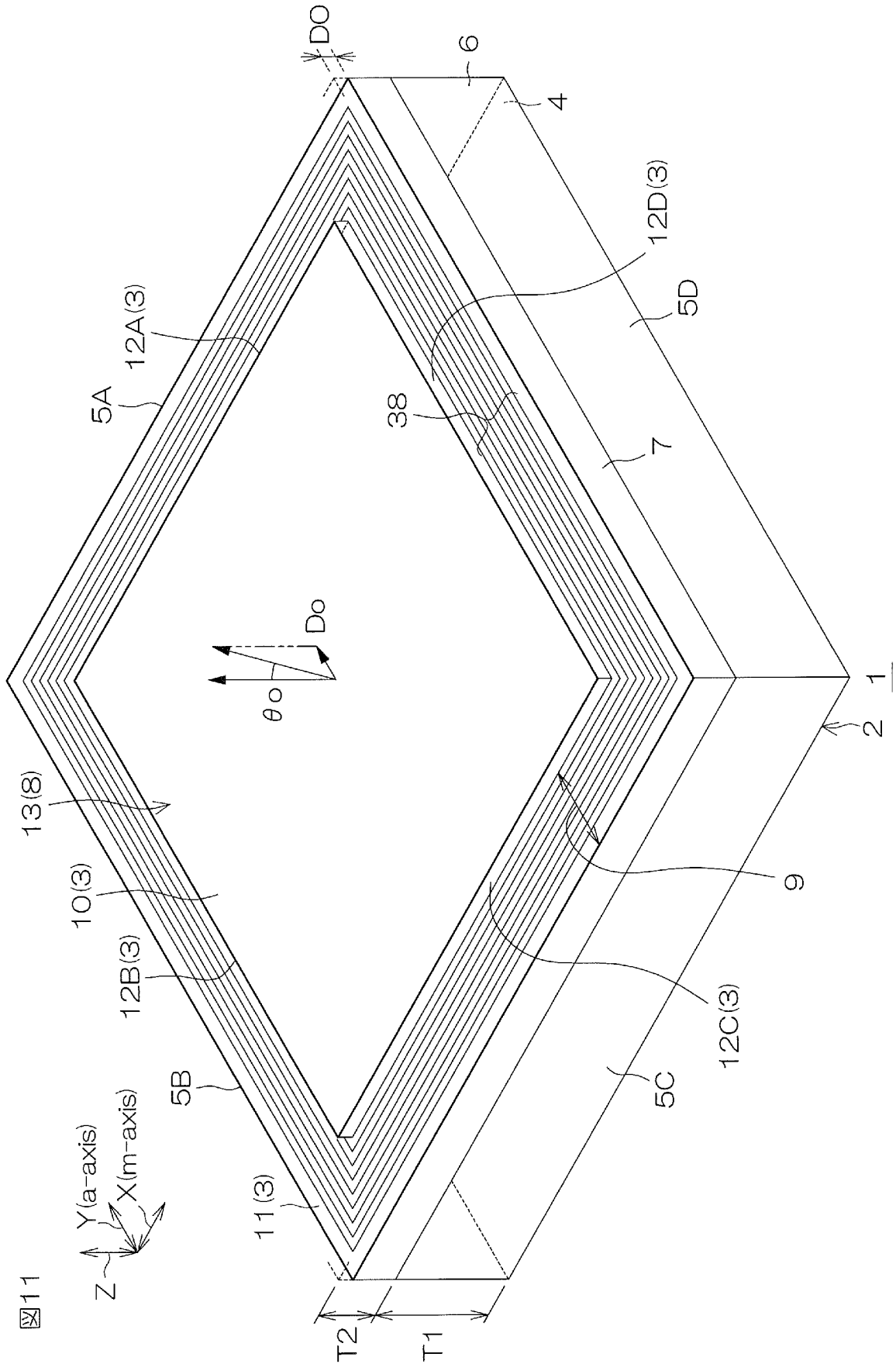


[9]

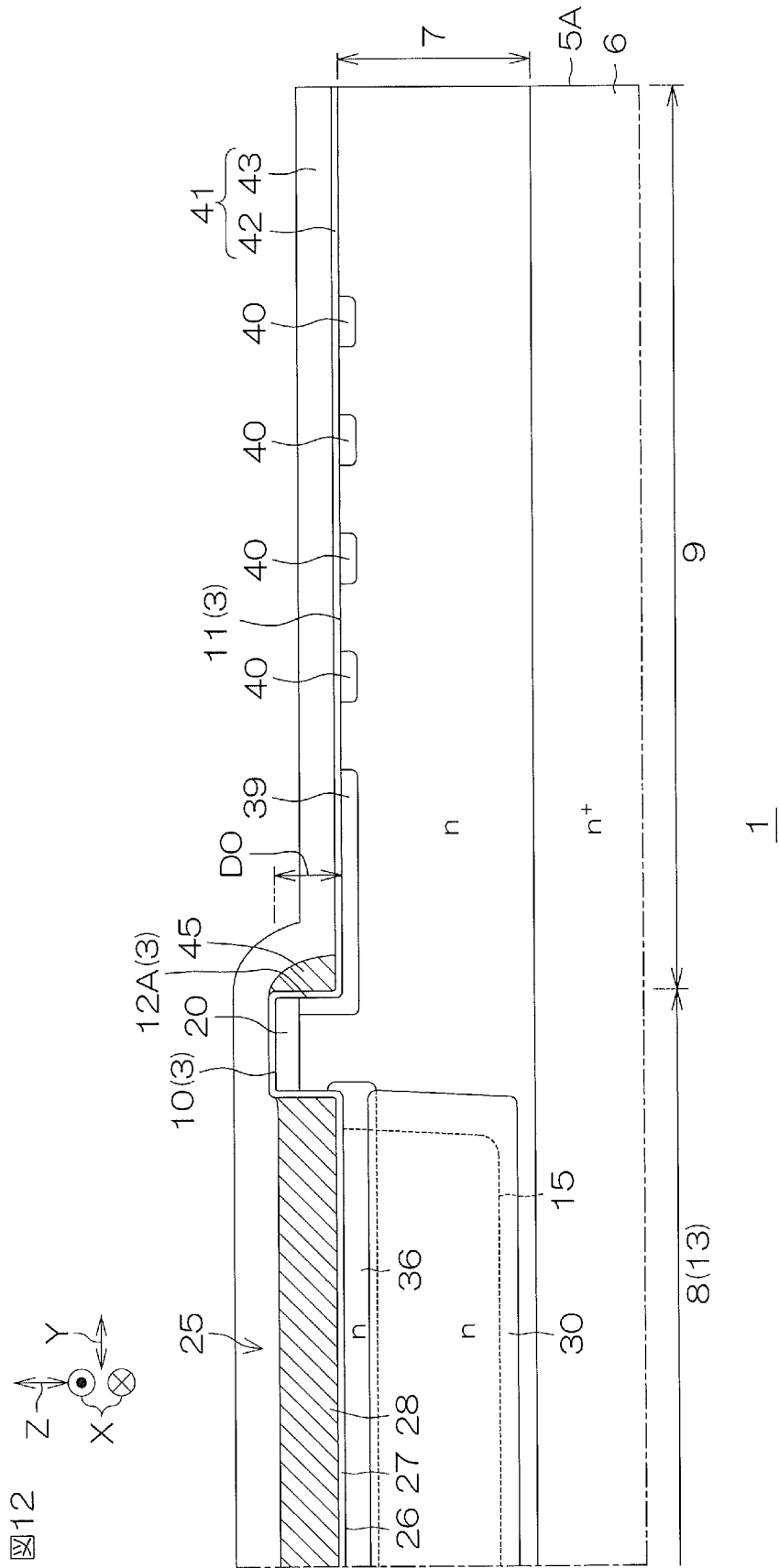
[図10]



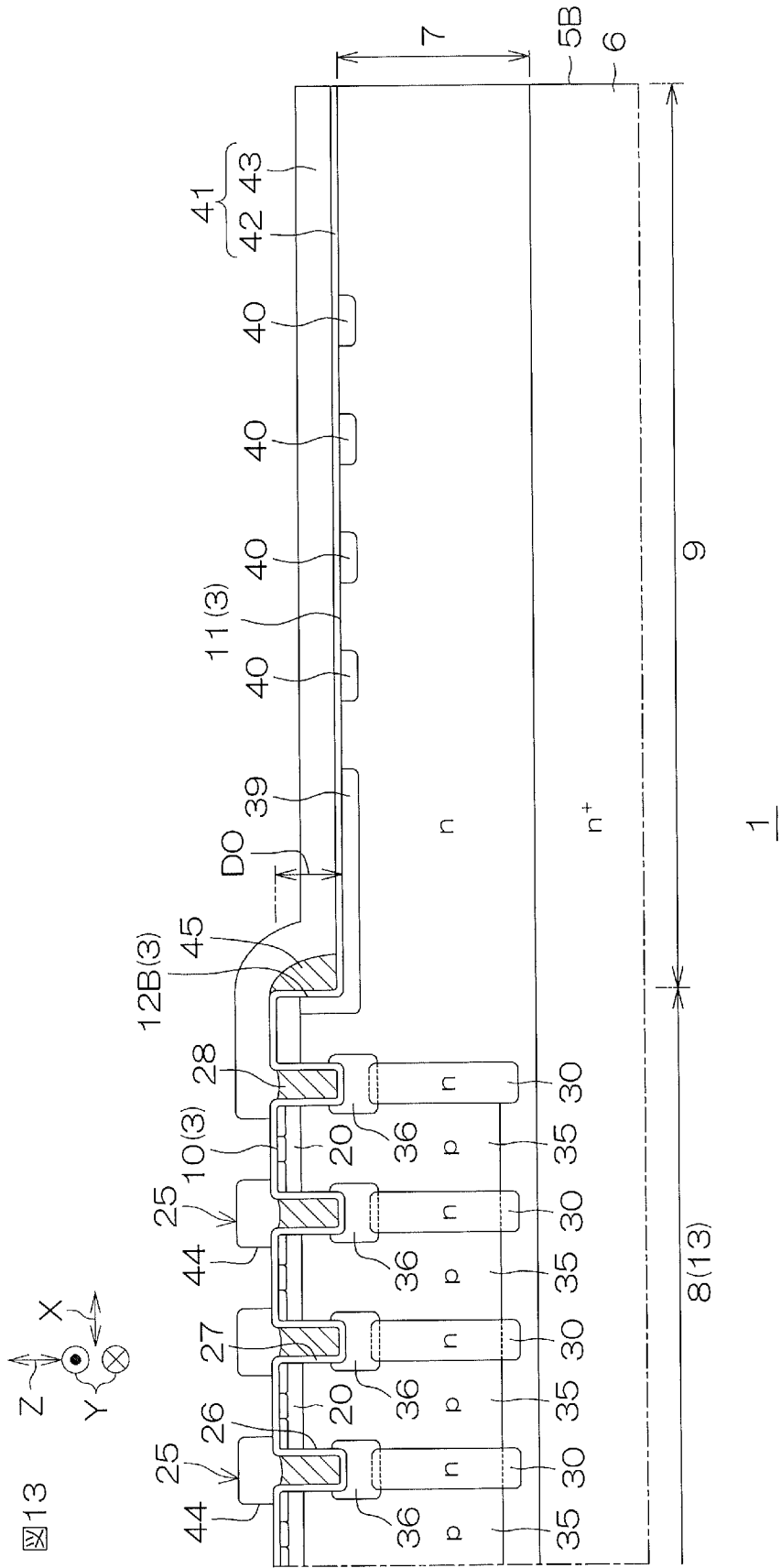
[図11]



[図12]

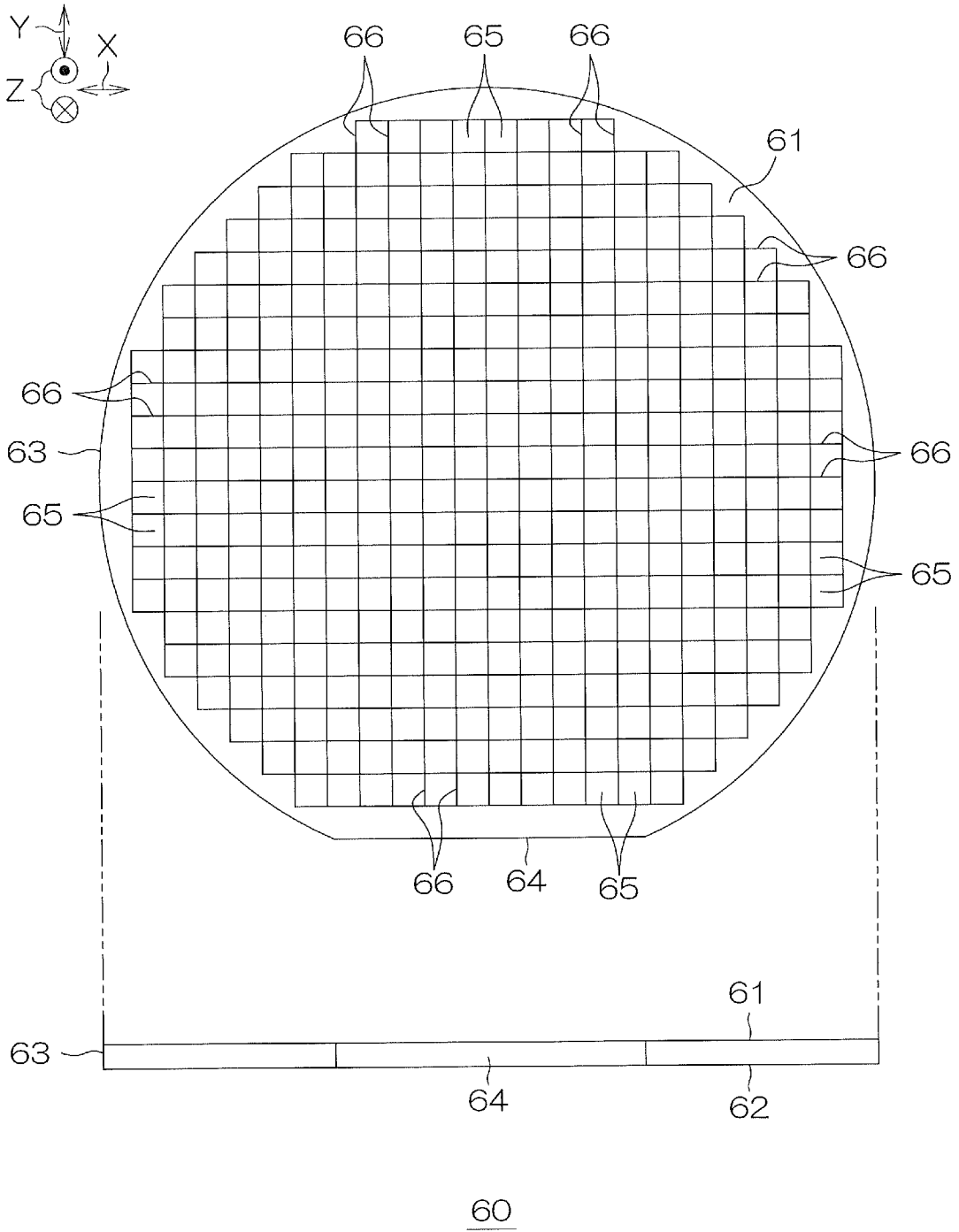


[圖13]

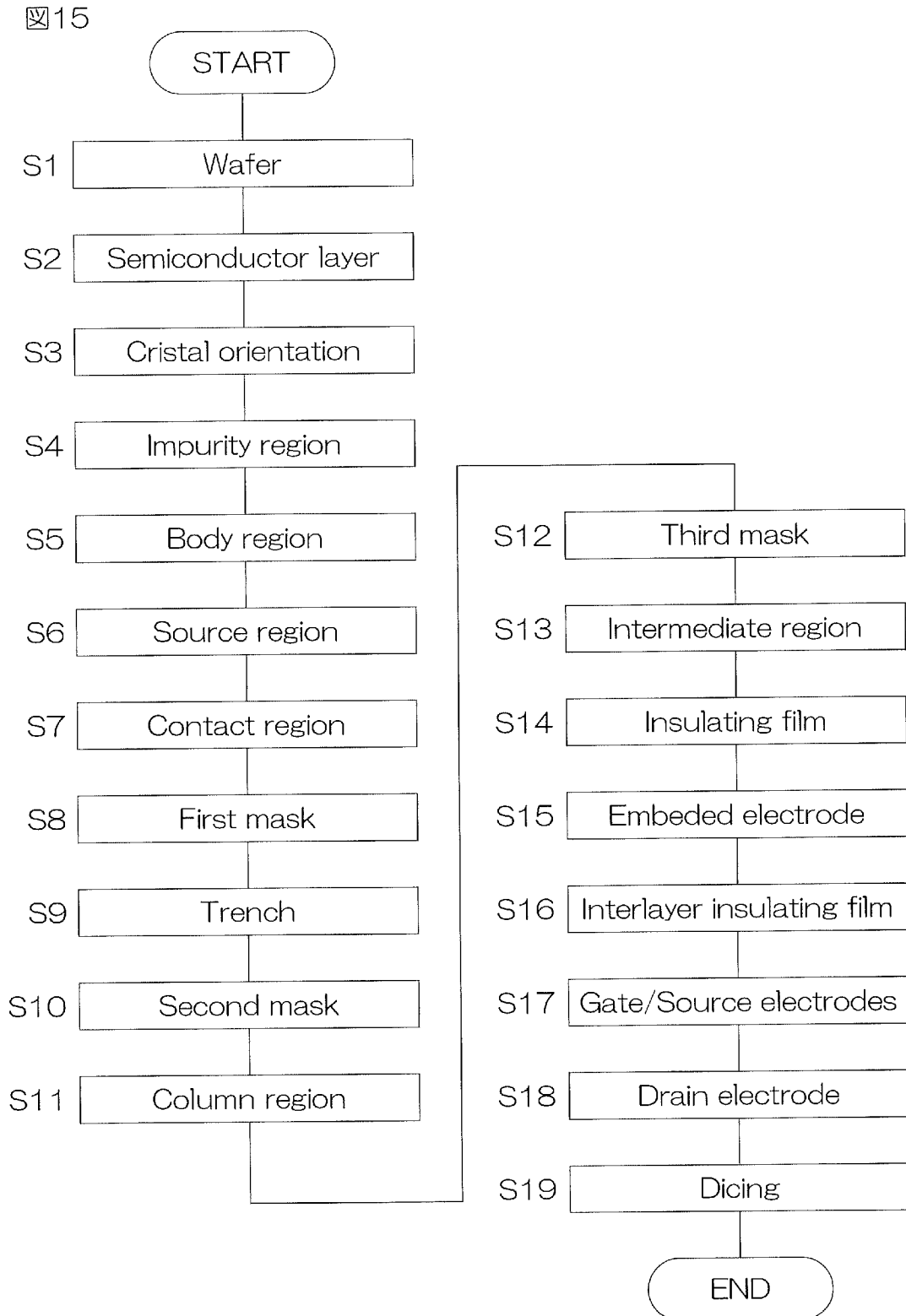


[図14]

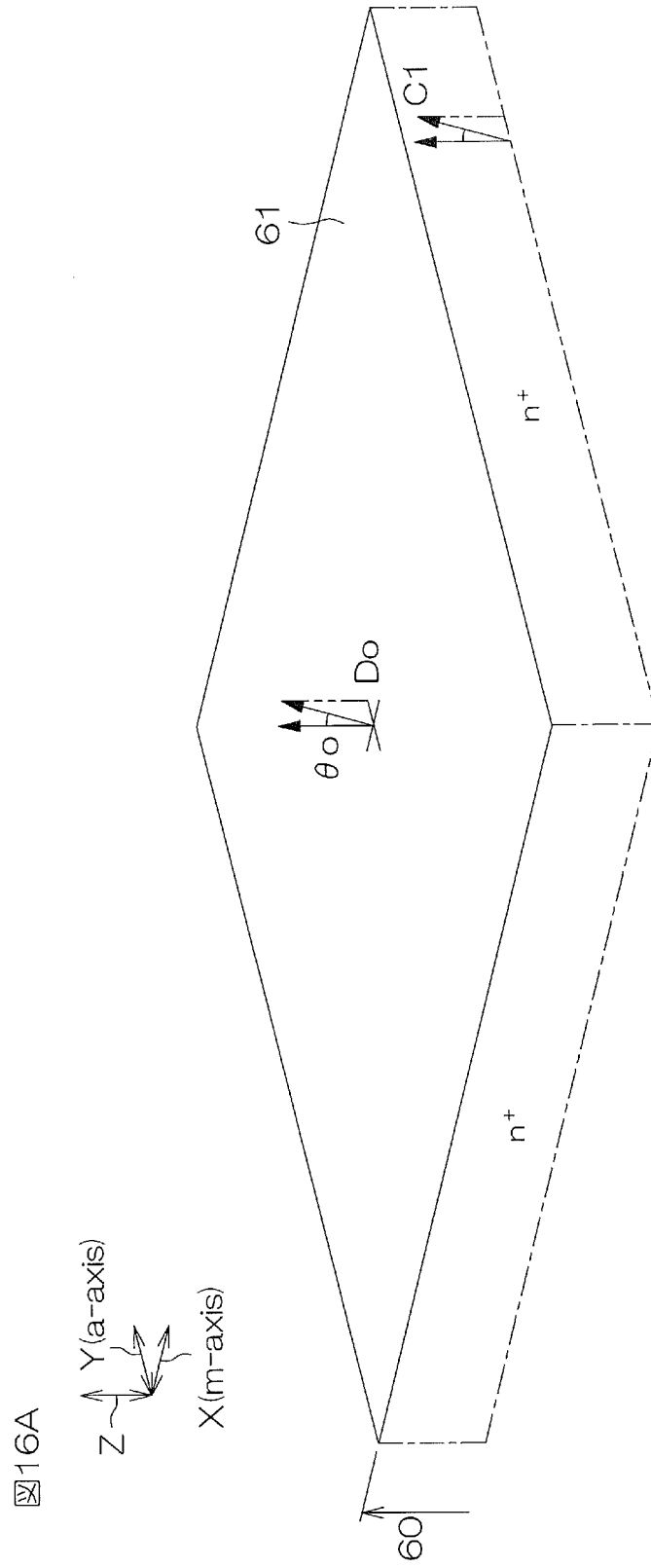
図14



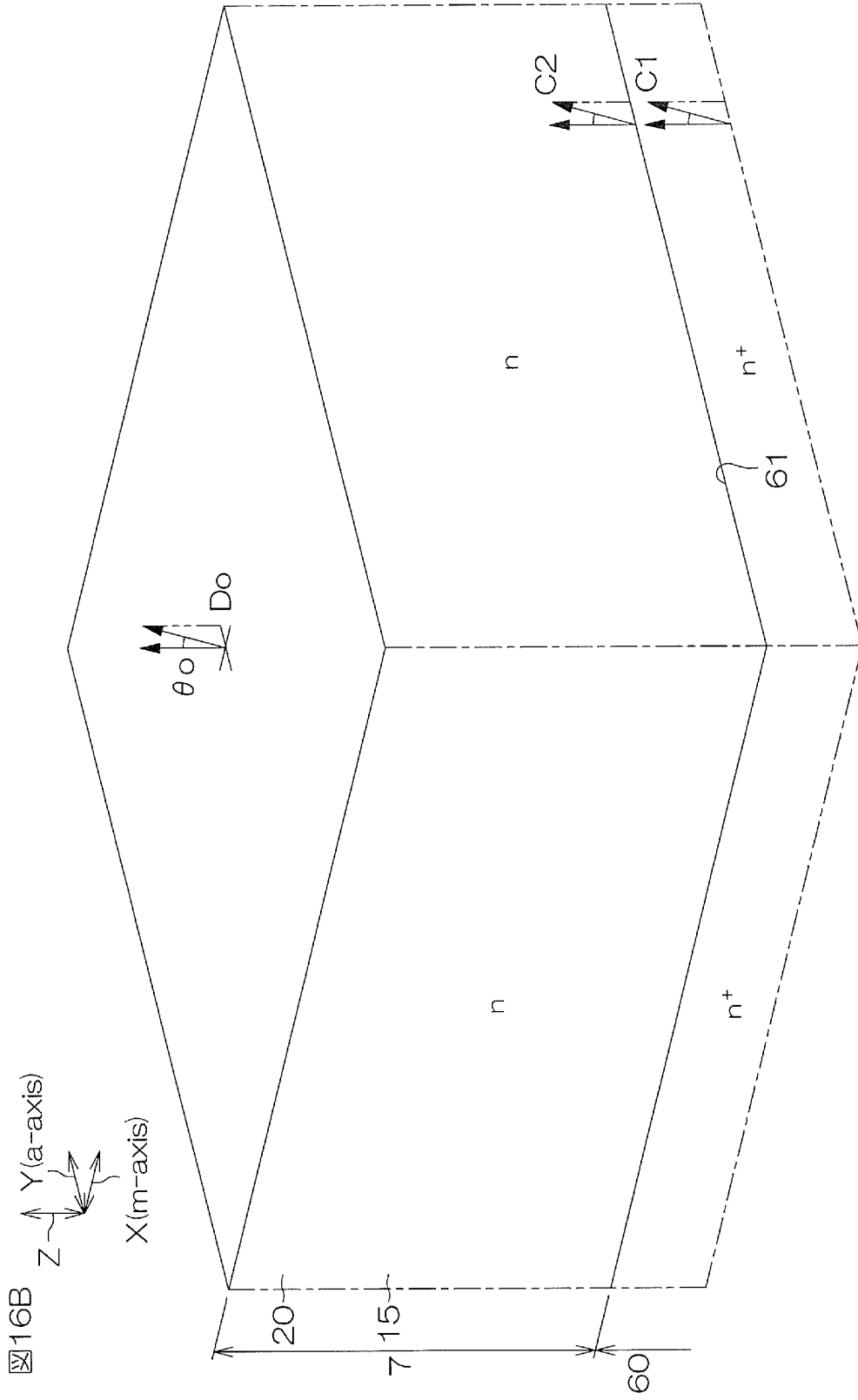
[図15]



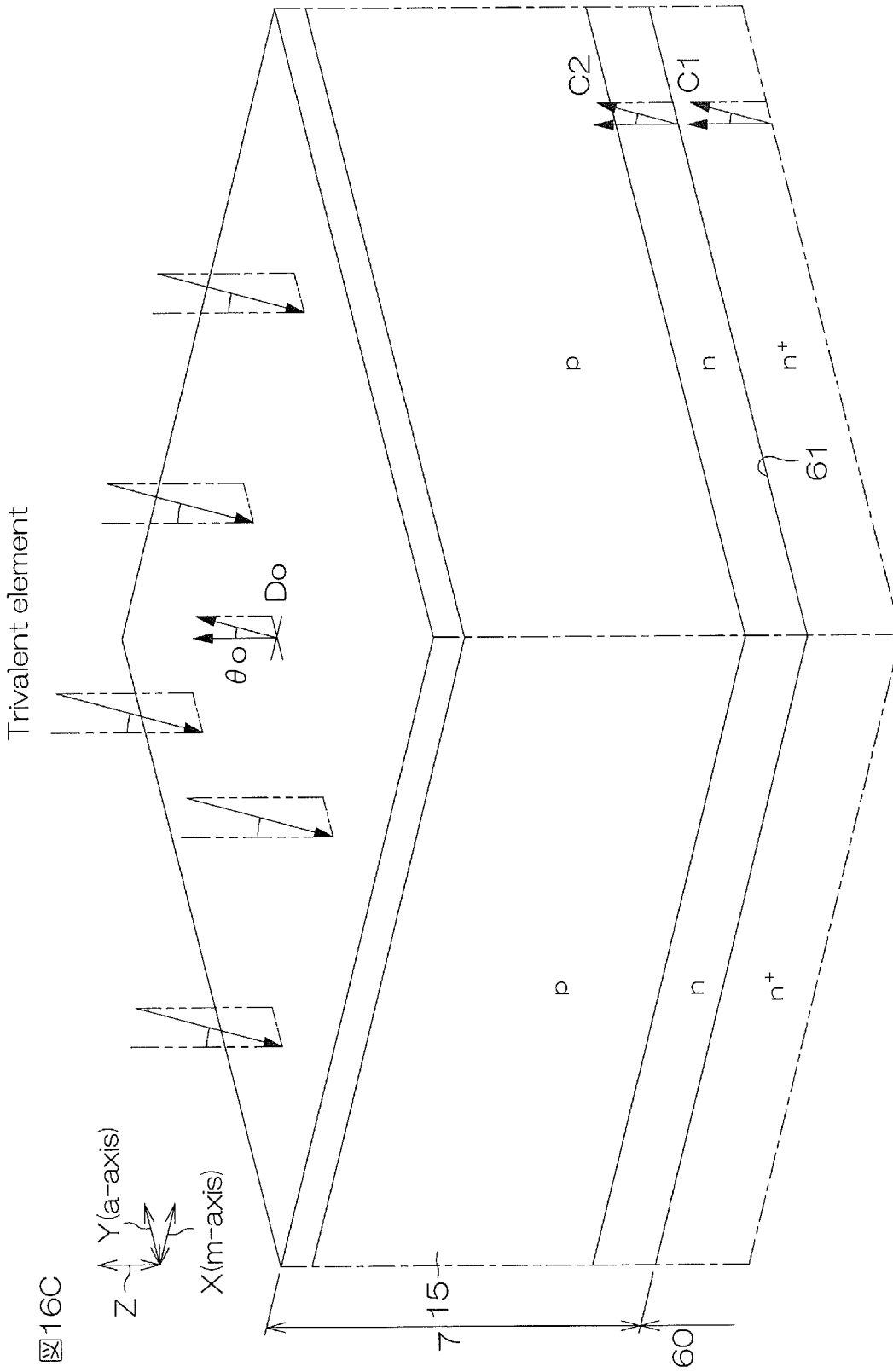
[図16A]



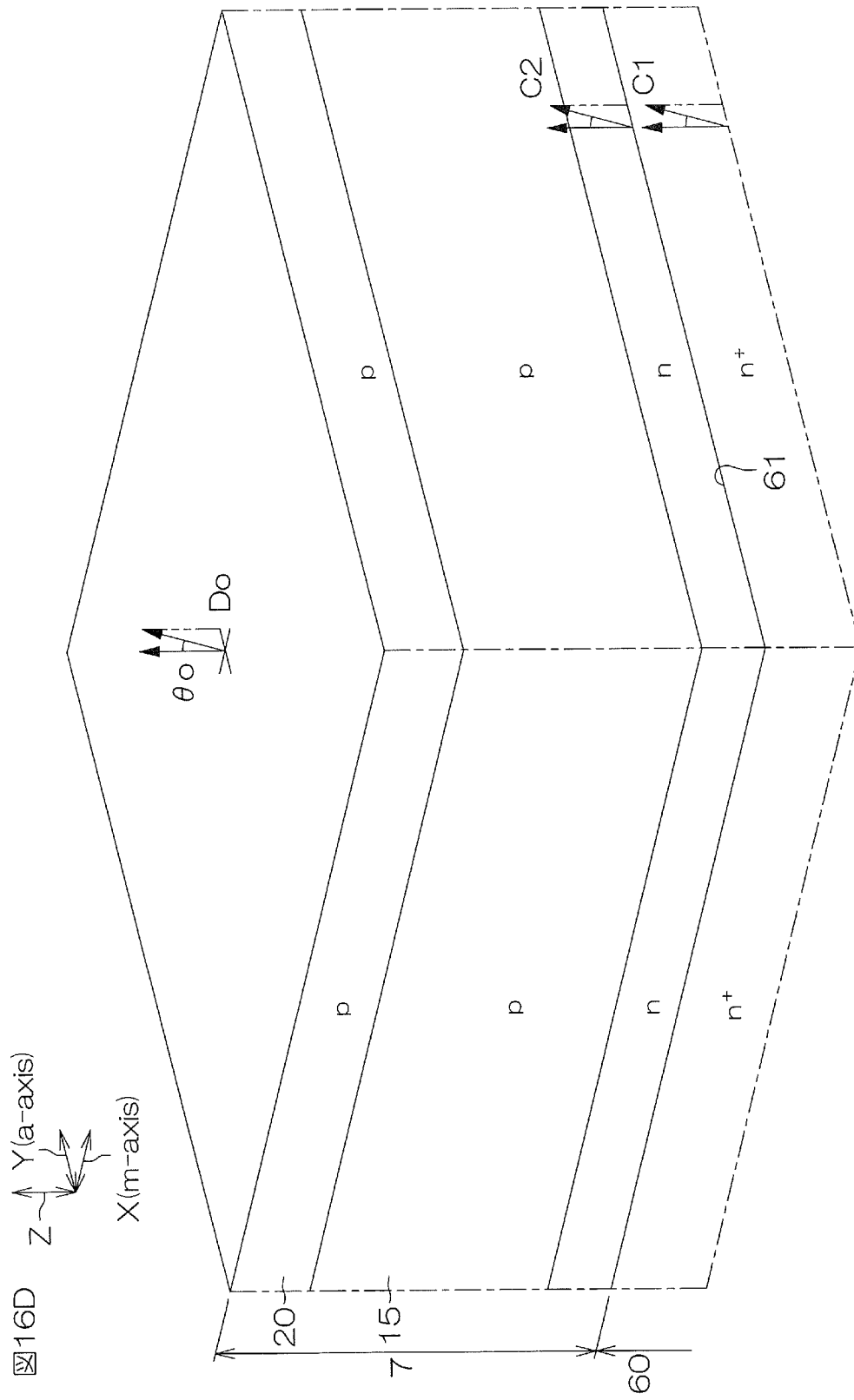
[図16B]



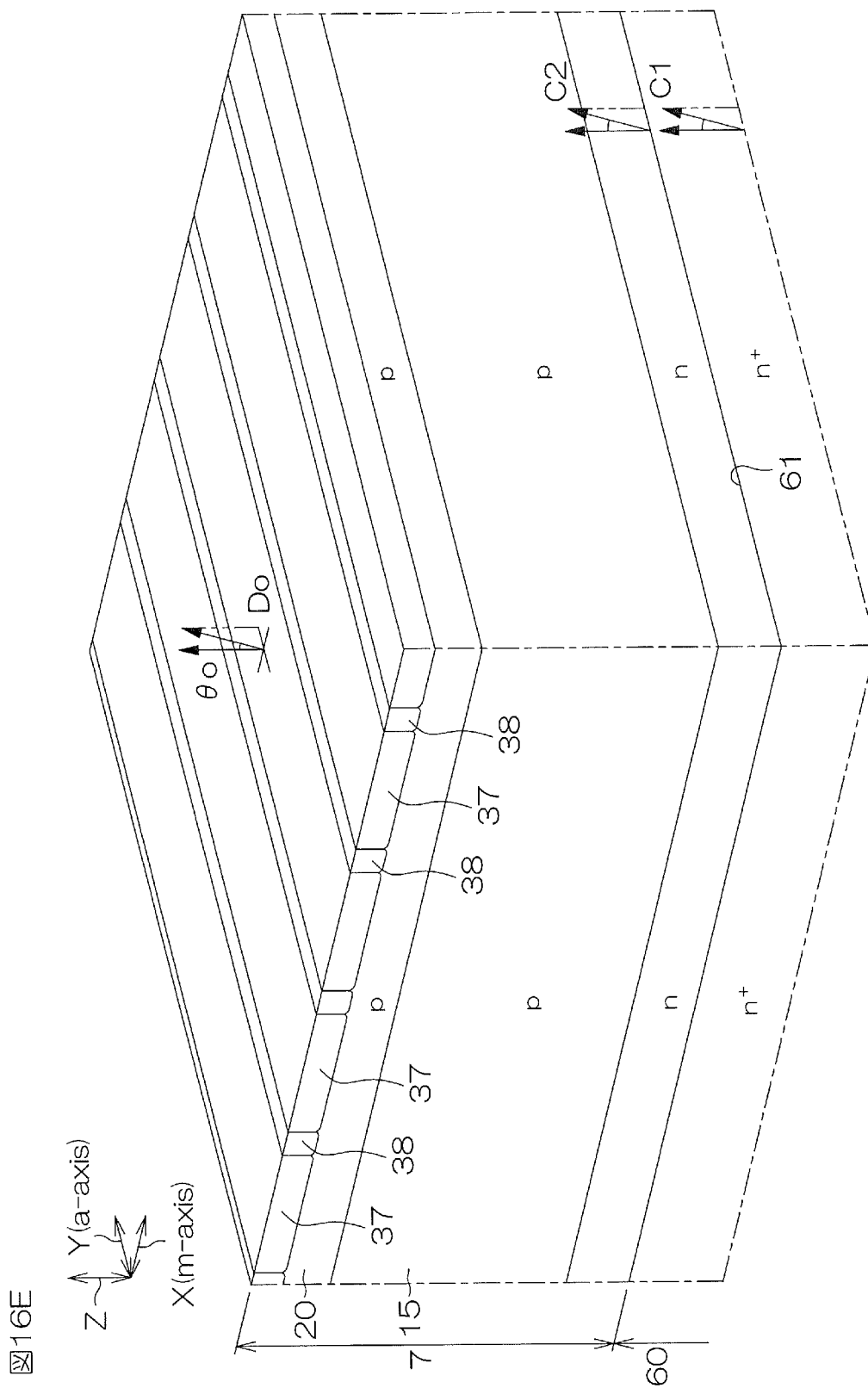
[圖16C]




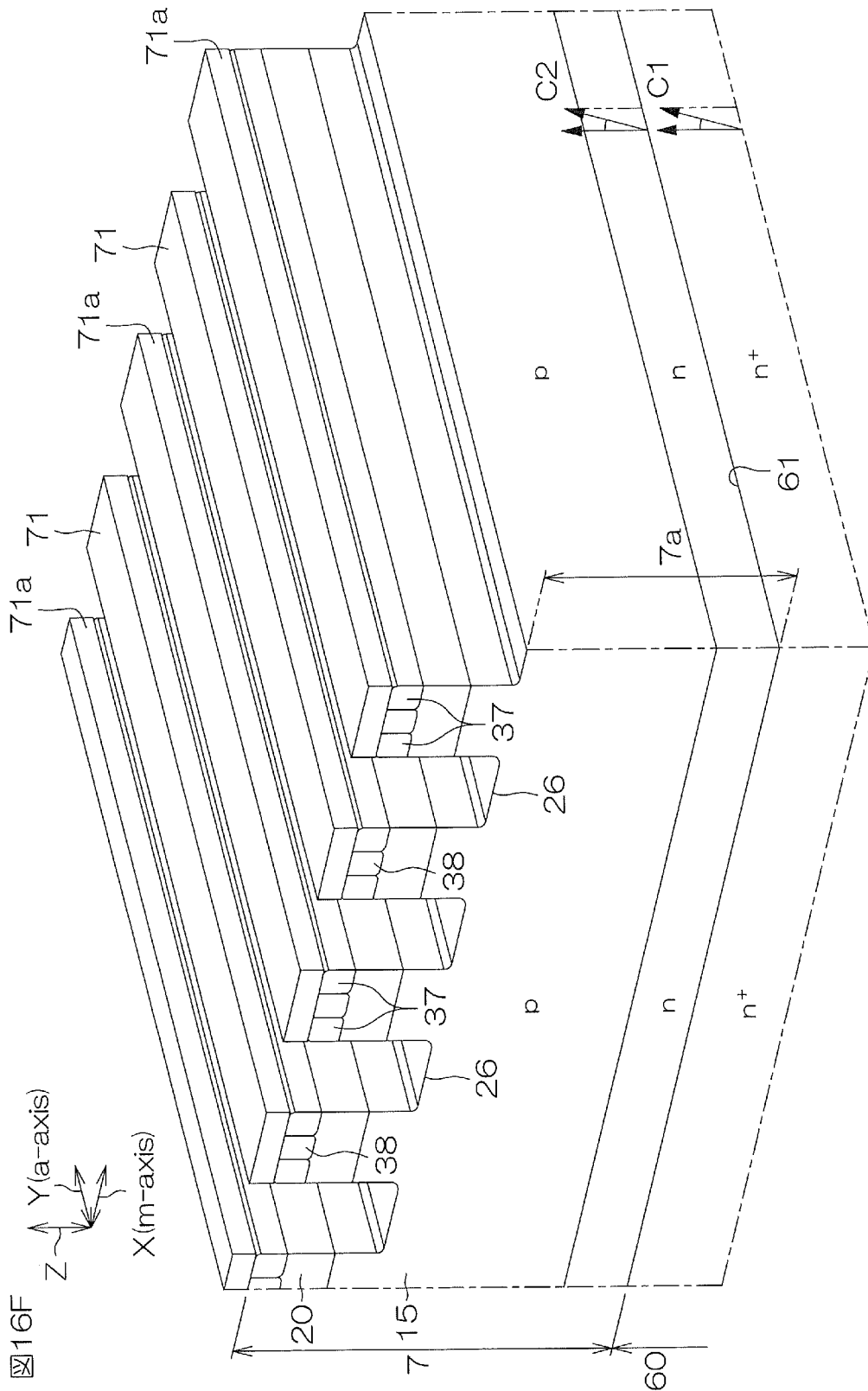
[図16D]




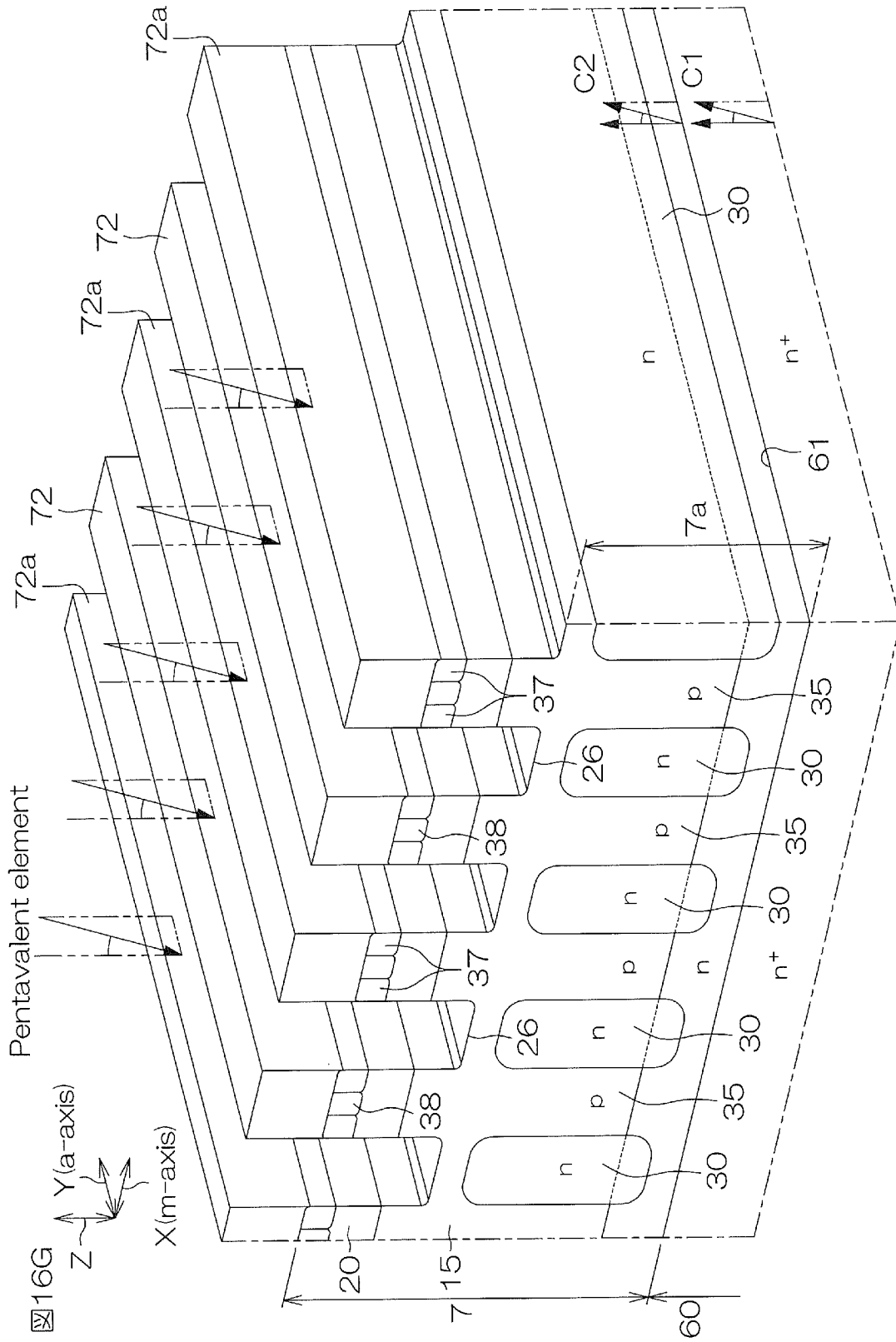
[図16E]




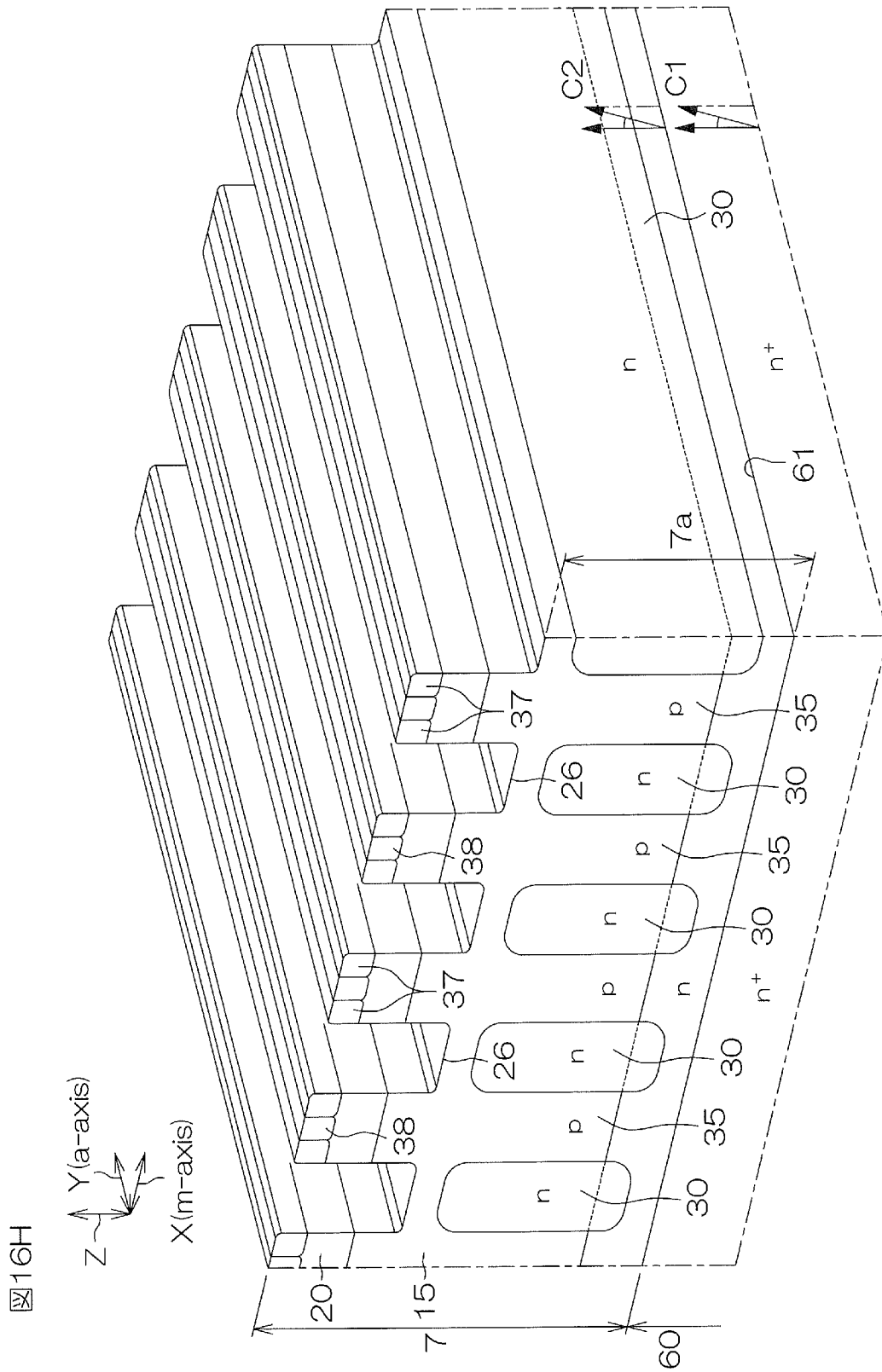
[16F]



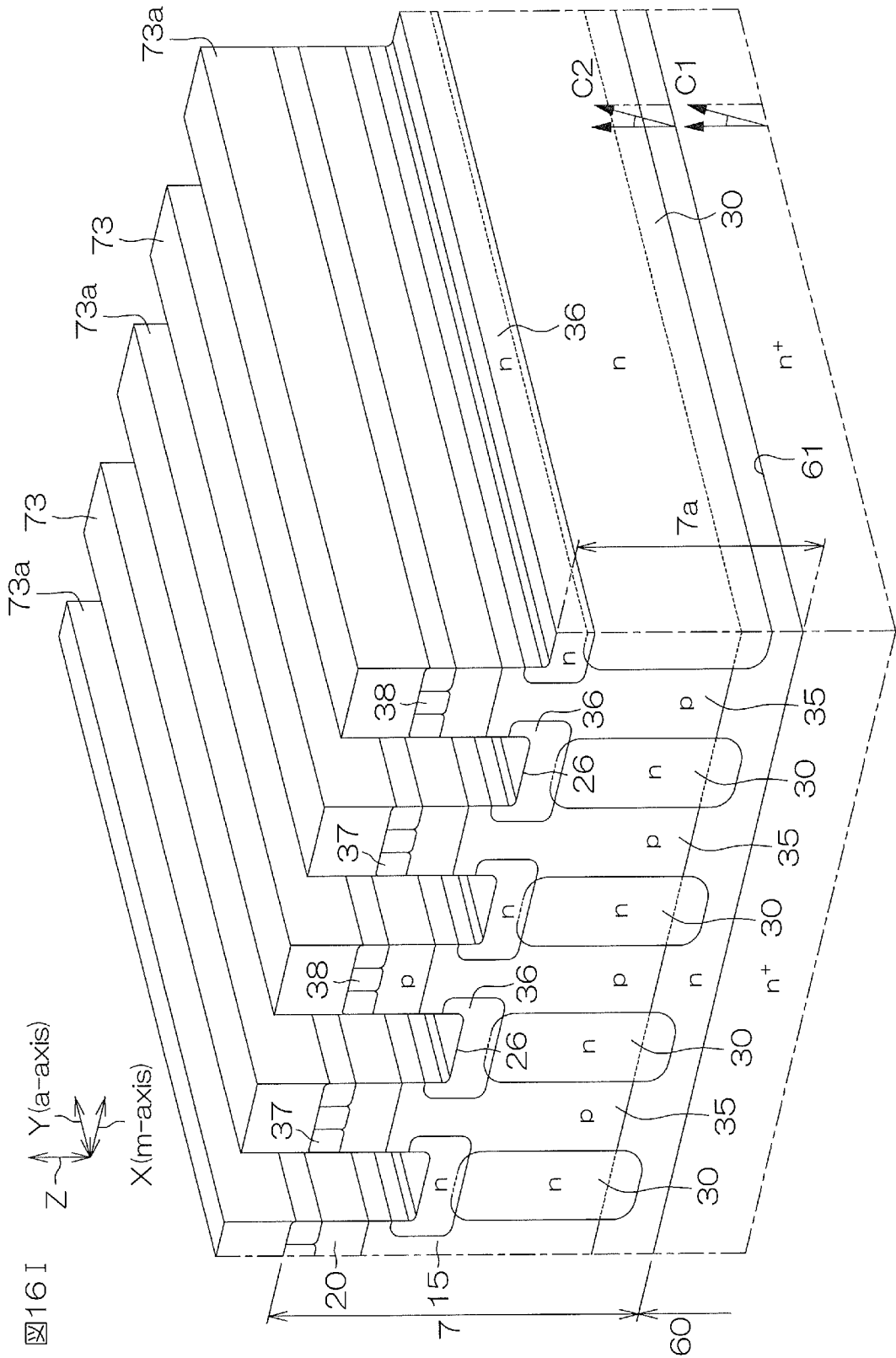
[ 16G]




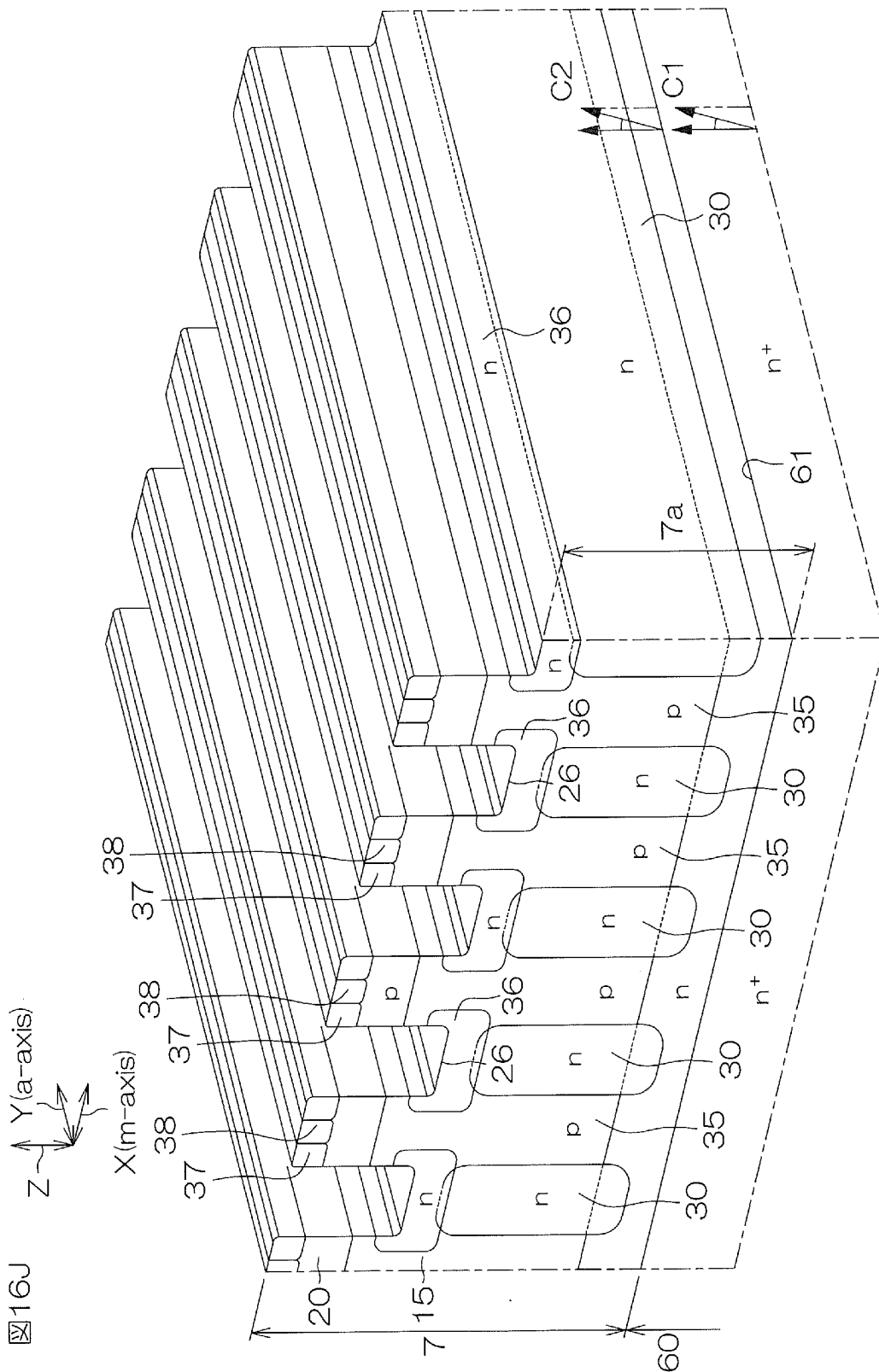
[16H]




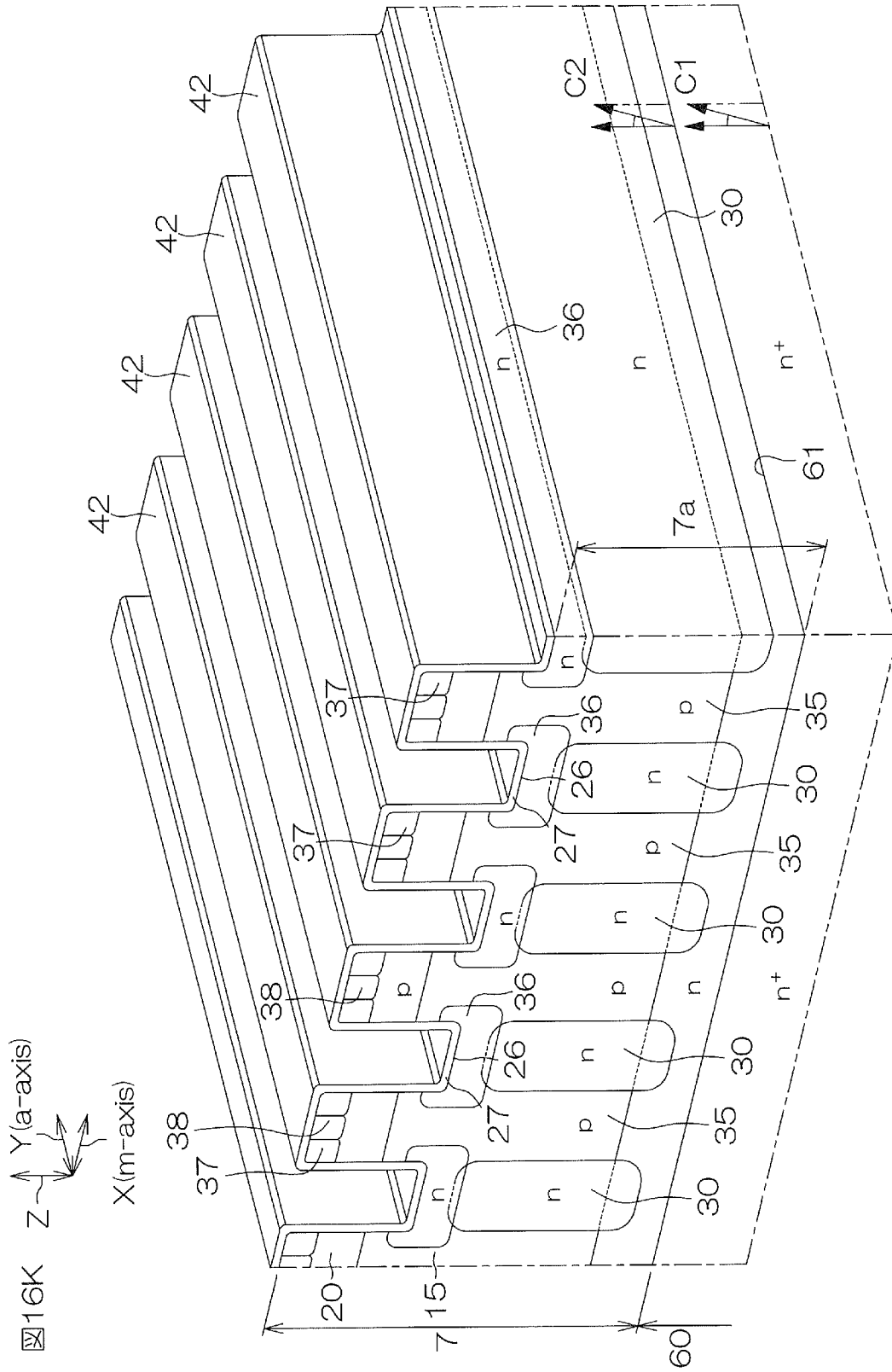
[16I]




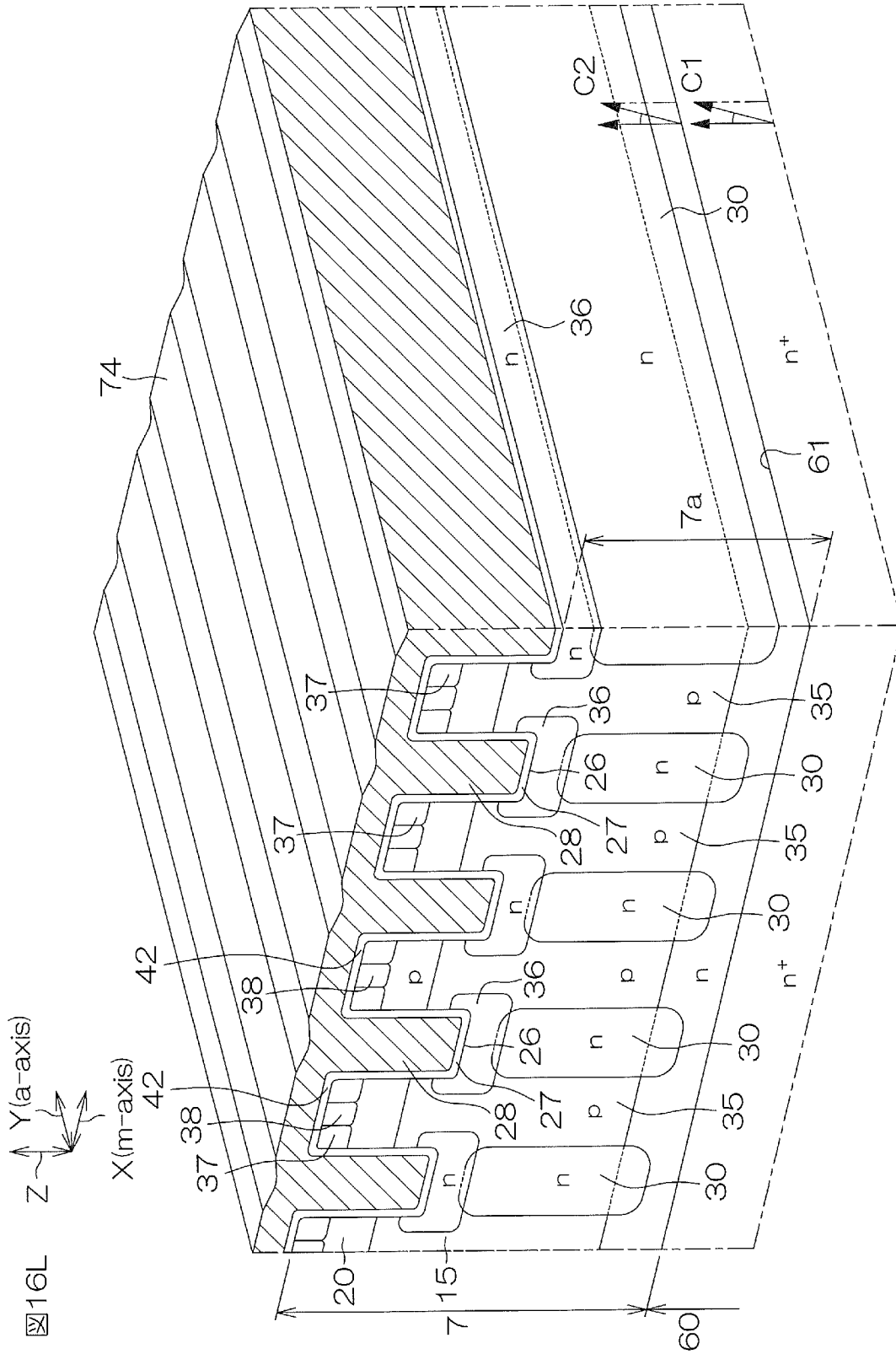
[16J]





[16K]

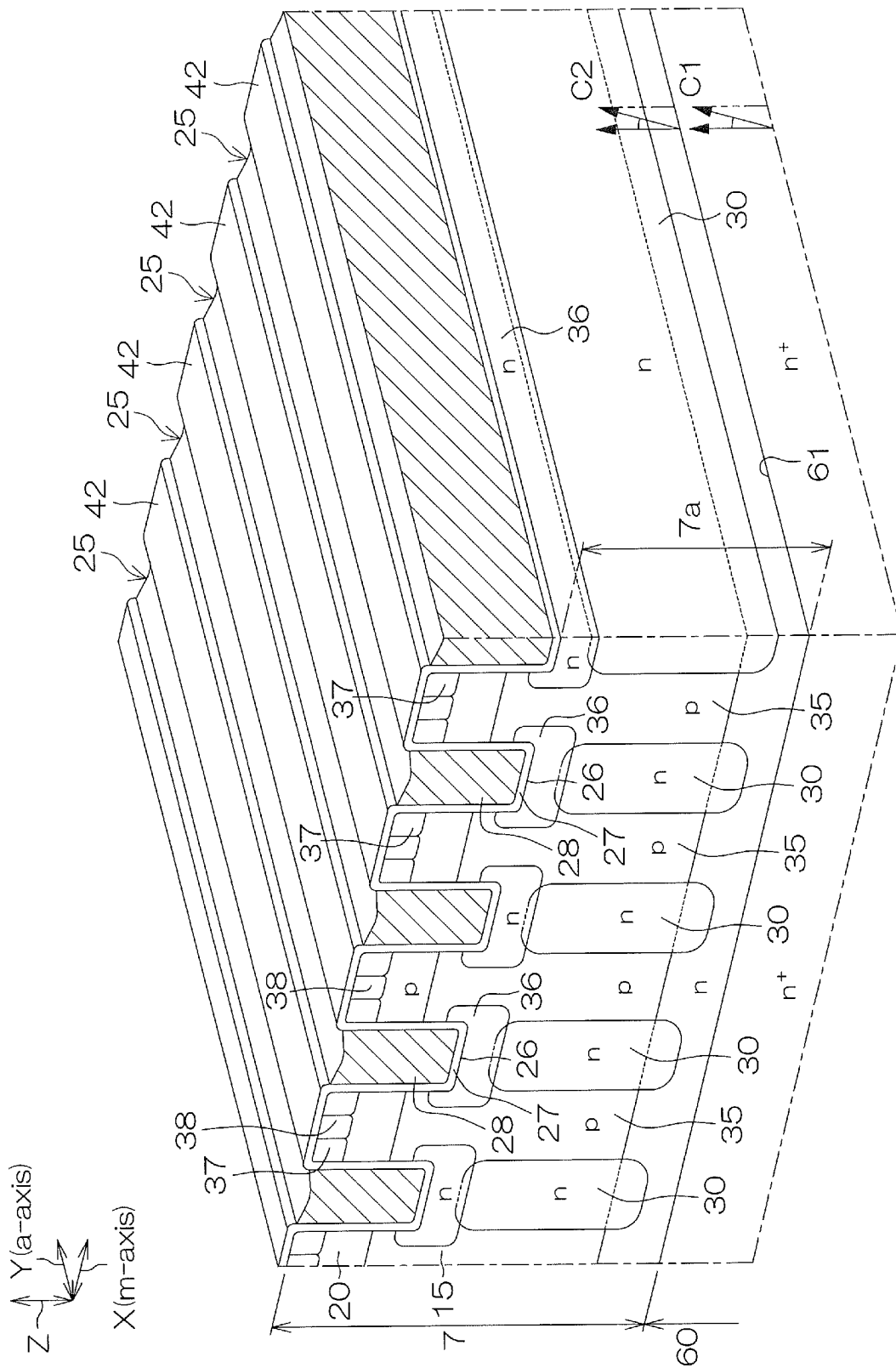



[16L]

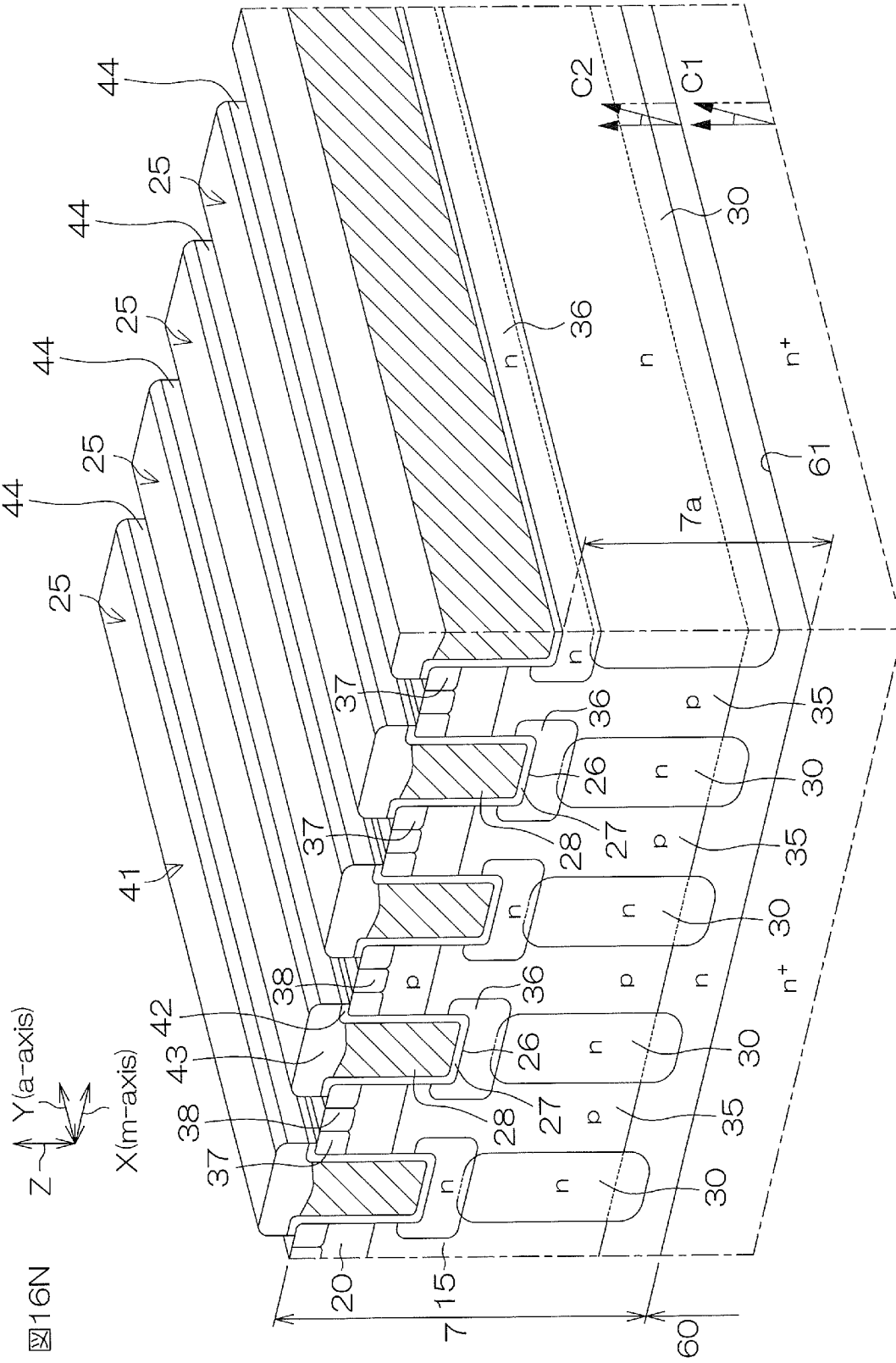


[16M]

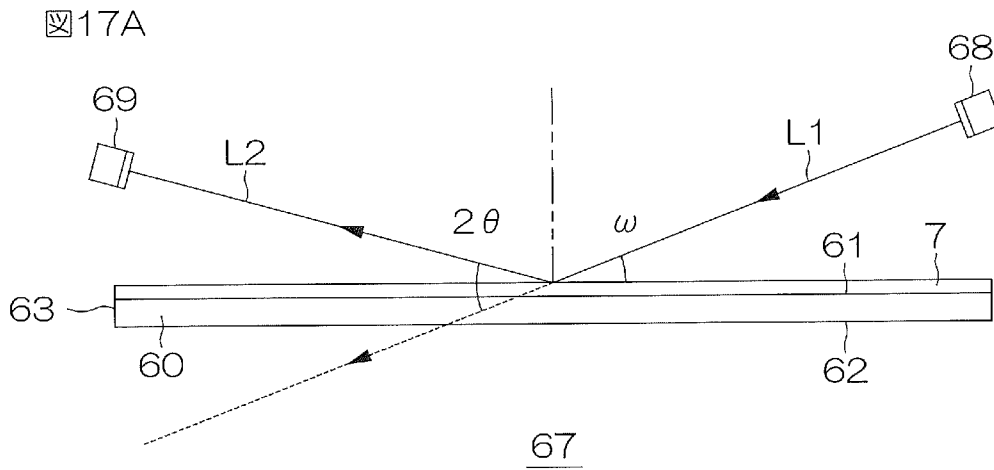
16M



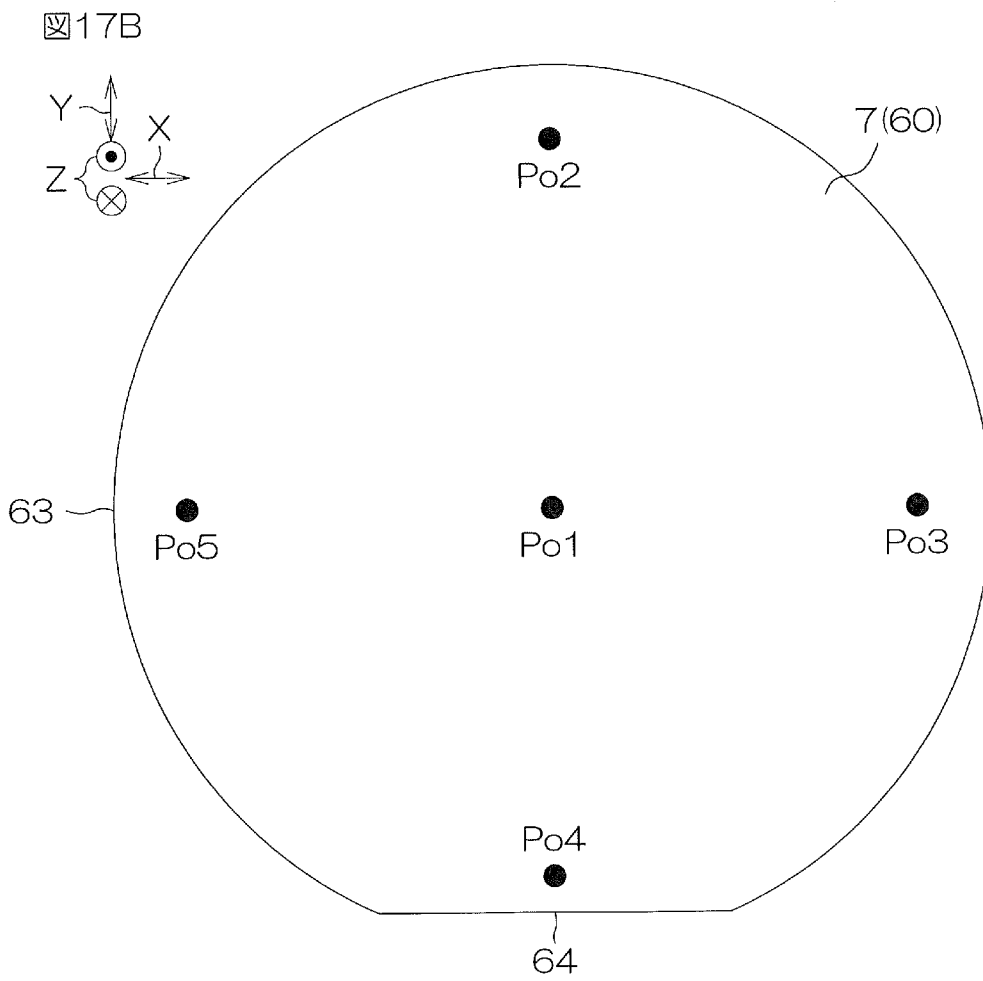
[ 16N]


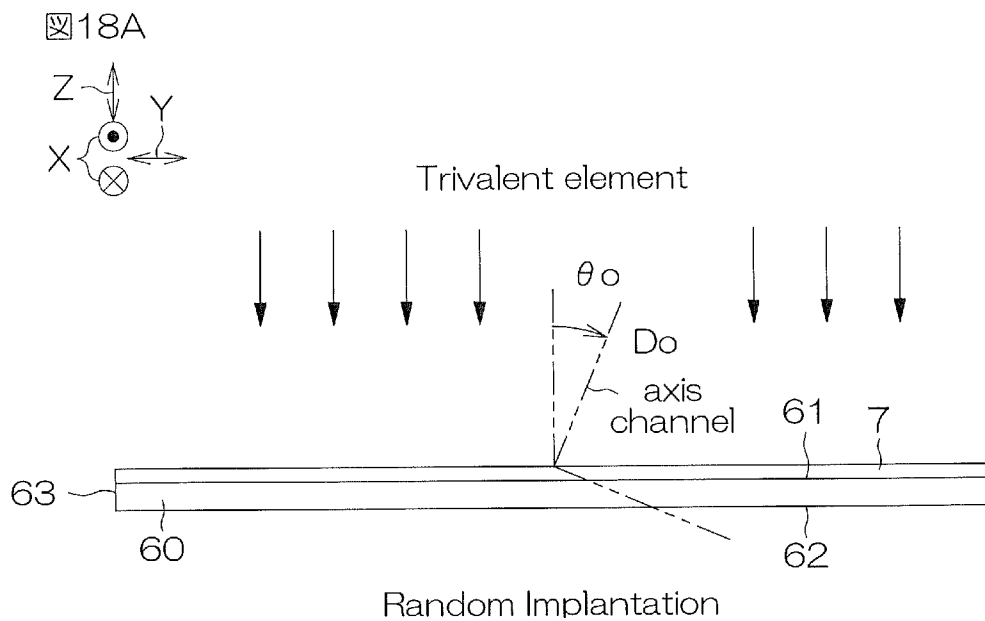

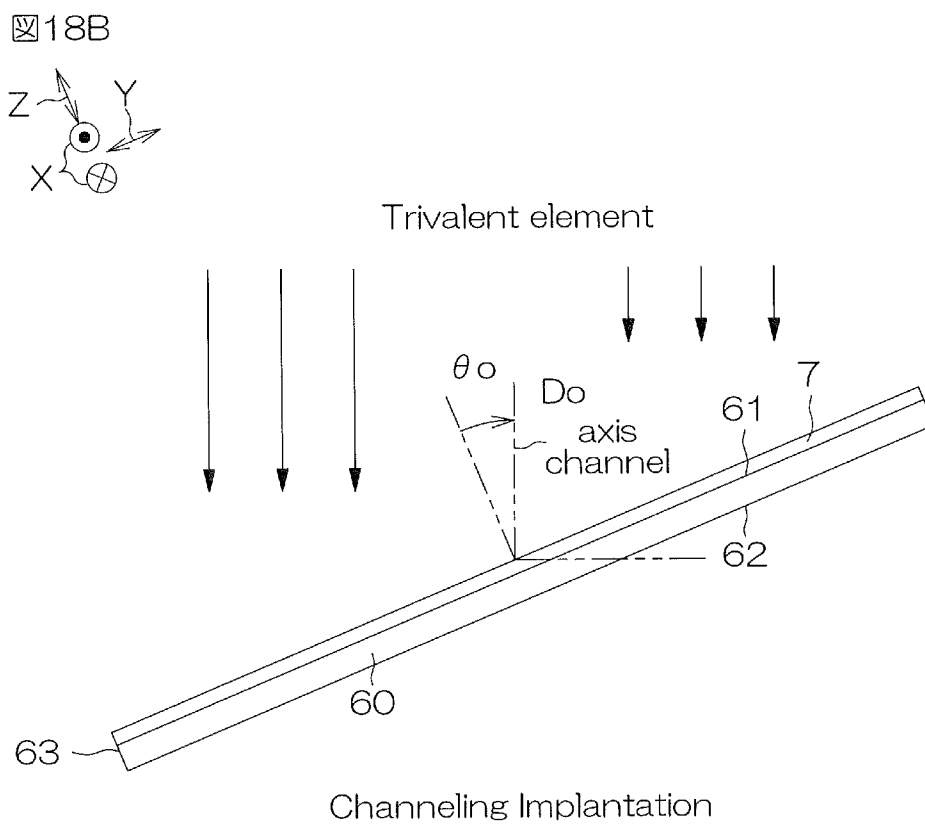


[図17A]

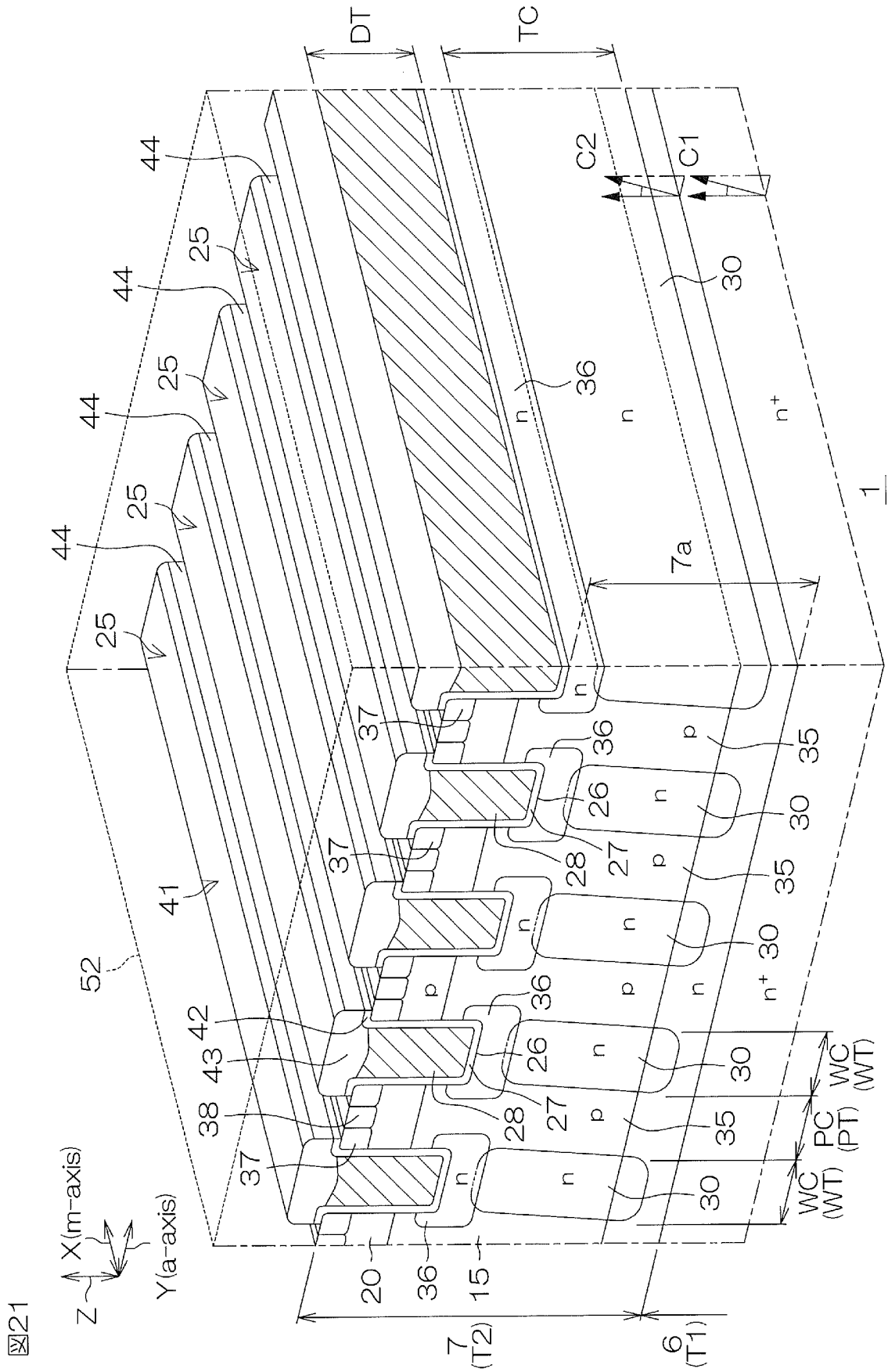


[図17B]

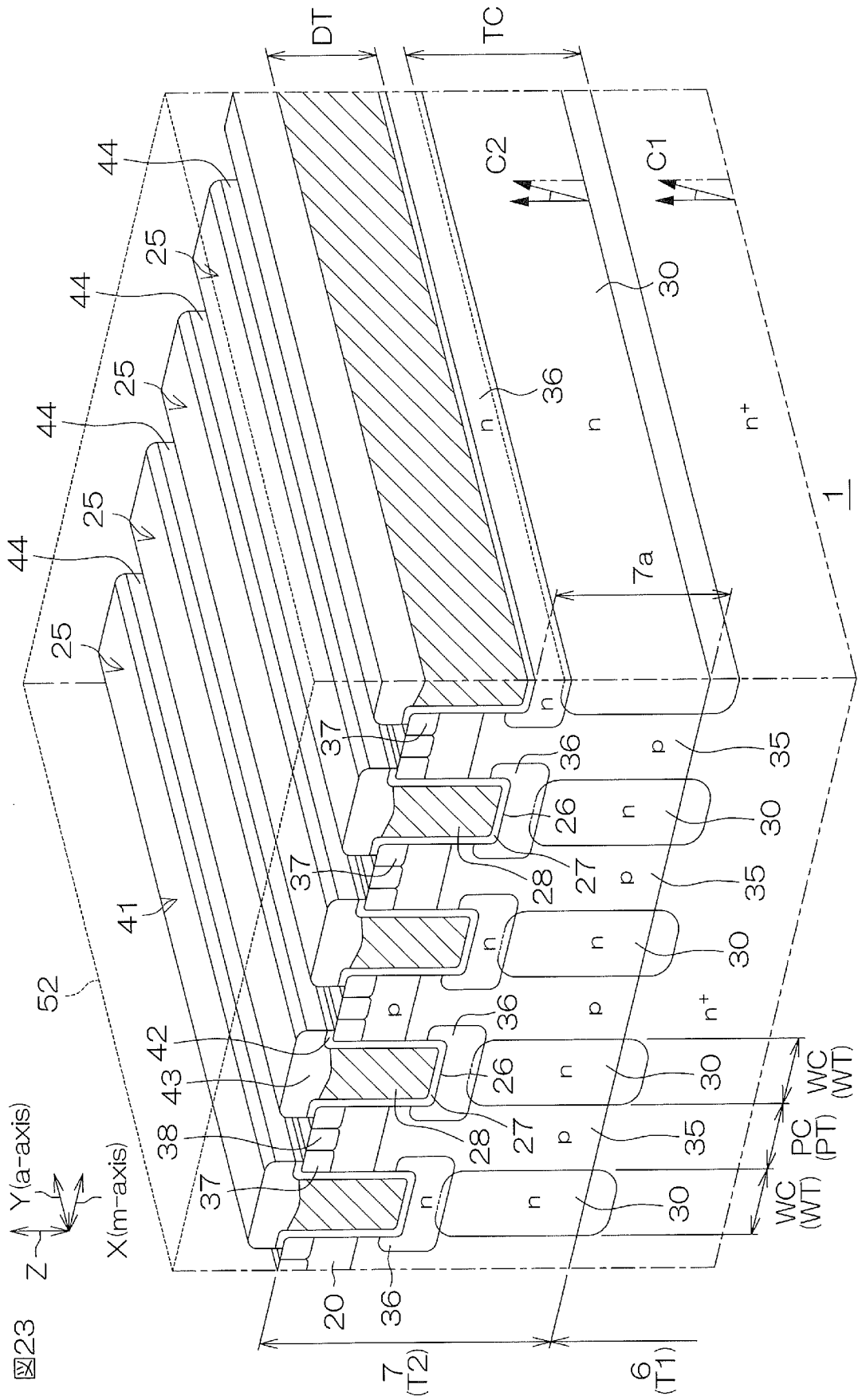


[18A][18B]

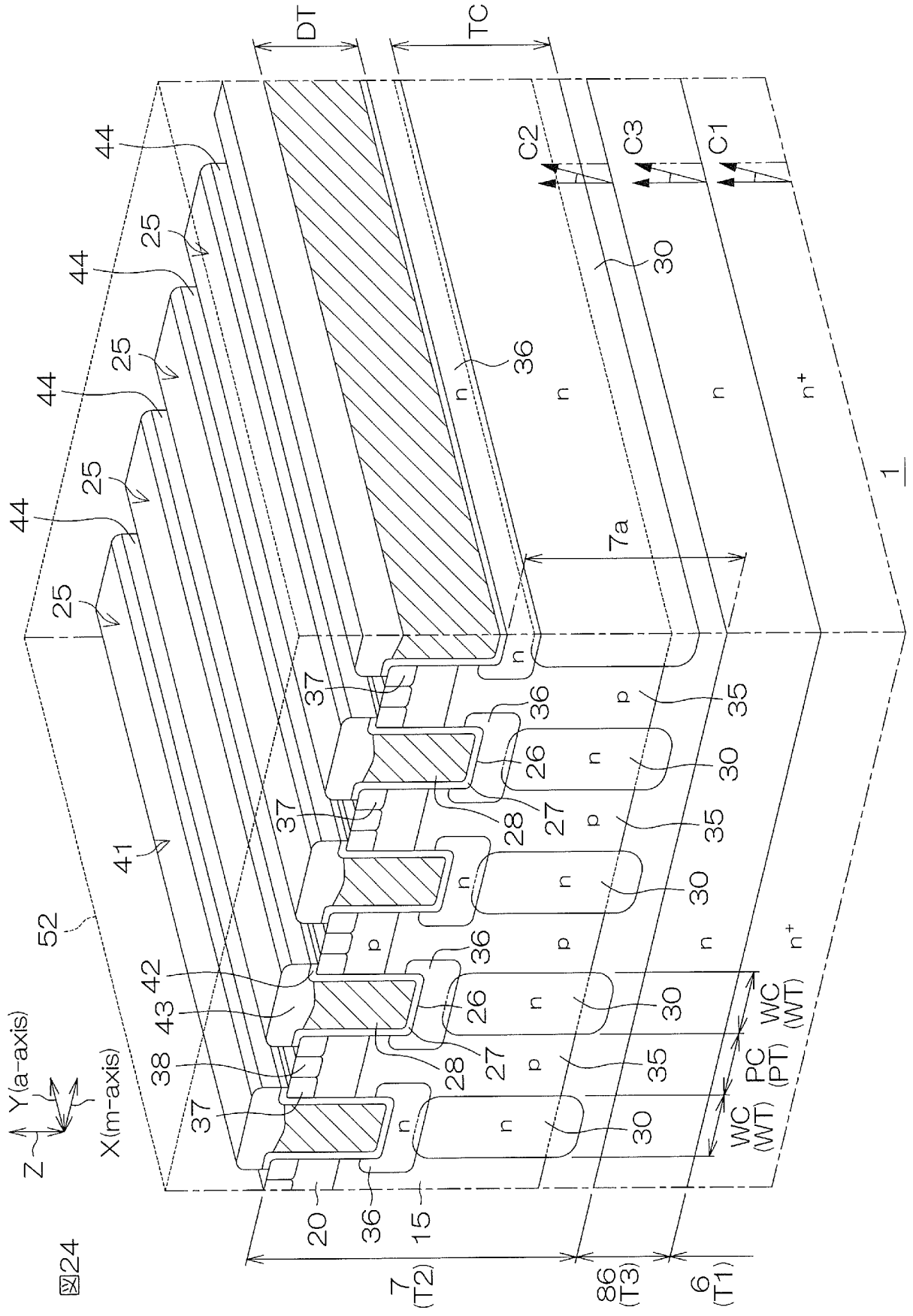
[図21]



[23]



[図24]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2023/046705

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER		
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		
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; H01L21/265 V; H01L29/06 301M; H01L29/06 301F; H01L29/06 301D; H01L29/06 301G; H01L29/06 301V; H01L21/265 R; H01L21/66 N		
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) H01L29/78; H01L21/66; H01L21/265; H01L21/336; H01L29/06; H01L29/12; H01L29/41		
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 2022-93100 A (DENSO CORPORATION) 23 June 2022 (2022-06-23) paragraphs [0015]-[0071], [0085]-[0086], fig. 1-2	1-20
A	WO 2022/163081 A1 (ROHM CO., LTD.) 04 August 2022 (2022-08-04)	1-20
A	JP 2021-89916 A (FUJI ELECTRIC CO., LTD.) 10 June 2021 (2021-06-10)	1-20
A	JP 2020-47623 A (KABUSHIKI KAISHA TOSHIBA) 26 March 2020 (2020-03-26)	1-20
A	JP 2020-191327 A (KABUSHIKI KAISHA TOYOTA CHUO KENKYUSHO) 26 November 2020 (2020-11-26)	1-20
<input type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input checked="" type="checkbox"/> See patent family annex.		
* Special categories of cited documents: "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance "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 16 February 2024		Date of mailing of the international search report 05 March 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/JP2023/046705

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)			Publication date (day/month/year)
JP	2022-93100	A	23 June 2022	(Family: none)			
WO	2022/163081	A1	04 August 2022	CN	116783715	A	
JP	2021-89916	A	10 June 2021	US	2021/0167167	A1	
JP	2020-47623	A	26 March 2020	US	2020/0091335	A1	
				CN	110911471	A	
JP	2020-191327	A	26 November 2020	(Family: none)			

<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 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; H01L21/265 V; H01L29/06 301M; H01L29/06 301F; H01L29/06 301D; H01L29/06 301G; H01L29/06 301V; 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</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 カテゴリー*</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 2022-93100 A (株式会社デンソー) 23.06.2022 (2022 - 06 - 23) 段落[0015]-[0071], [0085]-[0086], 図1-2</td> <td>1-20</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>WO 2022/163081 A1 (ローム株式会社) 04.08.2022 (2022 - 08 - 04)</td> <td>1-20</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>JP 2021-89916 A (富士電機株式会社) 10.06.2021 (2021 - 06 - 10)</td> <td>1-20</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>JP 2020-47623 A (株式会社東芝) 26.03.2020 (2020 - 03 - 26)</td> <td>1-20</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>JP 2020-191327 A (株式会社豊田中央研究所) 26.11.2020 (2020 - 11 - 26)</td> <td>1-20</td> </tr> </tbody> </table> <p><input type="checkbox"/> C欄の続きにも文献が列挙されている。 <input checked="" type="checkbox"/> パテントファミリーに関する別紙を参照。</p> <table border="0"> <tr> <td>* 引用文献のカテゴリー</td> <td>“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</td> </tr> <tr> <td>“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</td> <td>“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</td> </tr> <tr> <td>“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</td> <td>“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</td> </tr> <tr> <td>“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</td> <td>“&” 同一パテントファミリー文献</td> </tr> <tr> <td>“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）</td> <td></td> </tr> <tr> <td>“O” 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献</td> <td></td> </tr> <tr> <td>“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</td> <td></td> </tr> </table>			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 2022-93100 A (株式会社デンソー) 23.06.2022 (2022 - 06 - 23) 段落[0015]-[0071], [0085]-[0086], 図1-2	1-20	A	WO 2022/163081 A1 (ローム株式会社) 04.08.2022 (2022 - 08 - 04)	1-20	A	JP 2021-89916 A (富士電機株式会社) 10.06.2021 (2021 - 06 - 10)	1-20	A	JP 2020-47623 A (株式会社東芝) 26.03.2020 (2020 - 03 - 26)	1-20	A	JP 2020-191327 A (株式会社豊田中央研究所) 26.11.2020 (2020 - 11 - 26)	1-20	* 引用文献のカテゴリー	“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	“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	“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	“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	“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	“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	“&” 同一パテントファミリー文献	“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	
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 2022-93100 A (株式会社デンソー) 23.06.2022 (2022 - 06 - 23) 段落[0015]-[0071], [0085]-[0086], 図1-2	1-20																																
A	WO 2022/163081 A1 (ローム株式会社) 04.08.2022 (2022 - 08 - 04)	1-20																																
A	JP 2021-89916 A (富士電機株式会社) 10.06.2021 (2021 - 06 - 10)	1-20																																
A	JP 2020-47623 A (株式会社東芝) 26.03.2020 (2020 - 03 - 26)	1-20																																
A	JP 2020-191327 A (株式会社豊田中央研究所) 26.11.2020 (2020 - 11 - 26)	1-20																																
* 引用文献のカテゴリー	“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																																	
“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	“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																																	
“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	“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																																	
“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	“&” 同一パテントファミリー文献																																	
“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																																		
国際調査を完了した日	国際調査報告の発送日																																	
16.02.2024	05.03.2024																																	
名称及びあて先	権限のある職員（特許庁審査官）																																	
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	石塚 健太郎 5F 4815																																	
	電話番号 03-3581-1101 内線 3516																																	

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/JP2023/046705

引用文献	公表日	パテントファミリー文献	公表日
JP 2022-93100 A	23.06.2022	(ファミリーなし)	
WO 2022/163081 A1	04.08.2022	CN 116783715 A	
JP 2021-89916 A	10.06.2021	US 2021/0167167 A1	
JP 2020-47623 A	26.03.2020	US 2020/0091335 A1	
		CN 110911471 A	
JP 2020-191327 A	26.11.2020	(ファミリーなし)	