

(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)



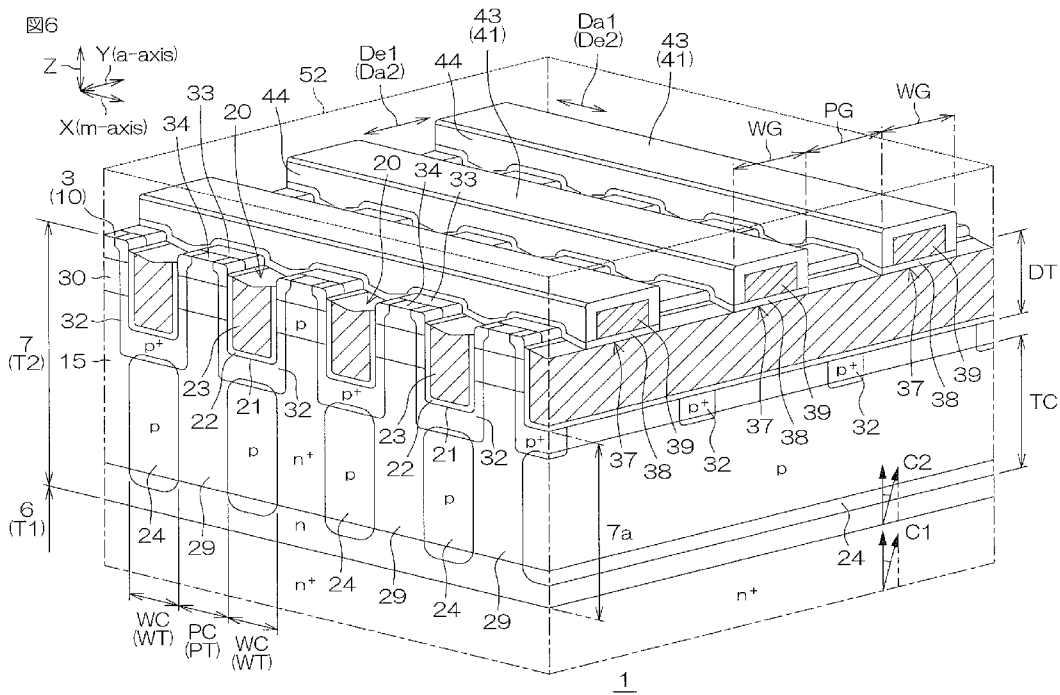
(10) 国際公開番号

WO 2024/143381 A1

- (51) 国際特許分類:
H01L 29/78 (2006.01) H01L 21/336 (2006.01)
H01L 21/265 (2006.01) H01L 29/06 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2023/046702
- (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 2022-212613 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2-1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2-1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2-1番地 ローム株式会社内 Kyoto (JP).
- (74) 代理人: 弁理士法人 あい 特許事務所 (AI ASSOCIATION OF PATENT AND TRADEMARK ATTORNEYS); 〒5410059 大阪府大阪市中央区博労町三丁目2番8号 岩田東急ビル8階 Osaka (JP).
- (81) 指定国(表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CV, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC,

(54) Title: SIC SEMICONDUCTOR DEVICE

(54) 発明の名称: SiC半導体装置



(57) Abstract: This SiC semiconductor device includes: a SiC layer including a main surface; a trench structure formed in the main surface and extending in a first extending direction in a plan view; and a planar electrode-type gate structure disposed on the main surface and extending in a second extending direction, which is different from the first extending direction, in a plan view.

(57) 要約: SiC半導体装置は、主面を含むSiC層と、前記主面に形成され、平面視で第1延在方向に伸びるトレンチ構造と、前記主面の上に配置され、平面視で前記第1延在方向以外の第2延在方向に伸びるプレーナ電極型のゲート構造と、を含む。



WO 2024/143381 A1

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))

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2022-212613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、主面を含むS i C層と、前記主面に形成され、平面視で第1延在方向に延びるトレンチ構造と、前記主面の上に配置され、平面視で前記第1延在方向以外の第2延在方向に延びるプレーナ電極型のゲート構造と、を含む、S i C半導体装置を提供する。

[0006] 本開示は、主面を含み、積層方向に沿う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層の底部と下側領域を区画するトレンチ構造と、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、前記主面の上に配置され、前記積層方向に前記トレンチ構造および前記コラム領域に重なるプレーナ電極型のゲート構造と、を含む、S i C半導体装置を提供する。

[0007] 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

- [0008] [図1]図1は、具体的な形態に係るSiC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、活性領域を示す平面図である。
- [図6]図6は、活性領域を示す断面斜視図である。
- [図7]図7は、活性領域を示す断面斜視図である。
- [図8]図8は、トレンチ構造を示す拡大断面図である。
- [図9]図9は、トレンチ構造を示す拡大断面図である。
- [図10]図10は、ゲート構造を示す拡大断面図である。
- [図11]図11は、ゲート構造を示す拡大断面図である。
- [図12]図12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13]図13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14]図14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15]図15は、外周領域の構成を示す斜視図である。
- [図16]図16は、外周領域の一要素を示す断面図である。
- [図17]図17は、外周領域の一要素を示す断面図である。
- [図18]図18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19]図19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20A]図20A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20B]図20Bは、図20Aの後の工程を示す断面斜視図である。
- [図20C]図20Cは、図20Bの後の工程を示す断面斜視図である。
- [図20D]図20Dは、図20Cの後の工程を示す断面斜視図である。
- [図20E]図20Eは、図20Dの後の工程を示す断面斜視図である。

- [図20F]図20Fは、図20Eの後の工程を示す断面斜視図である。
- [図20G]図20Gは、図20Fの後の工程を示す断面斜視図である。
- [図20H]図20Hは、図20Gの後の工程を示す断面斜視図である。
- [図20I]図20Iは、図20Hの後の工程を示す断面斜視図である。
- [図20J]図20Jは、図20Iの後の工程を示す断面斜視図である。
- [図20K]図20Kは、図20Jの後の工程を示す断面斜視図である。
- [図20L]図20Lは、図20Kの後の工程を示す断面斜視図である。
- [図20M]図20Mは、図20Lの後の工程を示す断面斜視図である。
- [図20N]図20Nは、図20Mの後の工程を示す断面斜視図である。
- [図20O]図20Oは、図20Nの後の工程を示す断面斜視図である。
- [図20P]図20Pは、図20Oの後の工程を示す断面斜視図である。
- [図20Q]図20Qは、図20Pの後の工程を示す断面斜視図である。
- [図20R]図20Rは、図20Qの後の工程を示す断面斜視図である。
- [図21A]図21A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21B]図21B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22A]図22Aは、イオン注入工程を説明するための概略図である。
- [図22B]図22Bは、イオン注入工程を説明するための概略図である。
- [図23]図23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24]図24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25]図25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。
- [図26]図26は、第4変形例に係るSiC半導体装置を示す断面斜視図である。

[0009] [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。

[0010] 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 $\pm 10\%$ 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。

[0011] 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。

[0012] 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を示す平面図である。

[0013] 図6は、トレンチ構造20を示す断面斜視図である。図7は、トレンチ構造20を示す断面斜視図である。図8は、トレンチ構造20を示す拡大断面図である。図9は、トレンチ構造20を示す拡大断面図である。図10は、ゲート構造37を示す拡大断面図である。図11は、ゲート構造37を示す拡大断面図である。

- [0014] 図1～図11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。
- [0015] 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。
- [0016] 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。
- [0017] 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。
- [0018] 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。

[0019] 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。

[0020] 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_o 分だけ傾斜している。

[0021] オフ方向D_o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_o は、0°を超えて10°以下であってもよい。オフ角 θ_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。

[0022] オフ角 θ_o は、5°以下であることが好ましい。オフ角 θ_o は、2°以上4.5°以下であることが特に好ましい。オフ角 θ_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 θ_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。

[0023] 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_oおよびオフ角 θ_o を有している。

- [0024] 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。
- [0025] 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）。
- [0026] 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 θ_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 θ_0 分だけ傾斜している。
- [0027] 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。
- [0028] 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 T_1 は、 $50\mu\text{m}$ 以上 $250\mu\text{m}$ 以下であることが好ましい。

[0029] 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。

[0030] 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。

[0031] 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。

[0032] 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。

[0033] 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。

[0034] 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。

- [0035] 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。
- [0036] 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。
- [0037] 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。
- [0038] 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、 $1 \mu\text{m}$ 以上 $10 \mu\text{m}$ 以下であってもよい。第2厚さT2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 $10 \mu\text{m}$ 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、 $2 \mu\text{m}$ 以上 $8 \mu\text{m}$ 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。

[0040] 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。

[0041] 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。

[0042] 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。

[0043] 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。

[0044] 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。

[0045] 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。

[0046] 外周面 11 は、外周深さ DO を有している。外周深さ DO 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。

[0047] 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。

[0048] 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、四角錘台状の活性台地 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。

- [0049] 図6～図11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。
- [0050] 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。むしろ、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。
- [0051] 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。
- [0052] 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。むしろ、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。
- [0053] 第1主面3および高濃度領域15の上端部間の距離は、 $0\ \mu\text{m}$ 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。

- [0054] 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いてもよい。
- [0055] 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、 $1\ \mu\text{m}$ 以上 $10\ \mu\text{m}$ 未満であってもよい。高濃度領域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。高濃度領域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、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。
- [0056] 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。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。
- [0057] したがって、高濃度領域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、高濃度領域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。高濃度領域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。
- [0058] 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。

[0059] 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。

[0060] 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12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13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12および図13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。

[0061] 図12および図13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。

[0062] 図12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12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。

- [0063] 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12では、 1500 KeV 以上 2500 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。
- [0064] 一方、図13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13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。
- [0065] ランダム方向は、第2軸チャネル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13では、 1500 KeV 以上 2500 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。
- [0066] 図12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。
- [0067] 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。
- [0068] 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。
- [0069] 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。

[0070] 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12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。

[0071] 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。むしろ、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。

[0072] 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。

[0073] 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。

[0074] 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。

[0075] 一方、図13を参照して、ランダム注入法の場合、高濃度領域15は0.5 μ 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 μ 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 μ 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。

[0076] 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 μ 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 μ m以上5 μ 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。

[0077] 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20を含む。トレンチ構造20には、ゲート電位以外の電位が付与される。トレンチ構造20には、この形態では、回路動作の基準となる基準電が付与さえる。たとえば、基準電位は、グランド電位またはソース電位である。トレンチ構造20は、「フィールドトレンチ構造」、「トレンチソース構造」等と称されてもよい。

[0078] 複数のトレンチ構造20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20は、この形態では、第1配列方向Da1に間隔を空けて配列され、第1延在方向De1に延びる帯状にそれぞれ形成されている。この形態では、第1配列方向Da1は第1方向X（m軸方向）であり、第1延在方向De1は第2方向Y（a軸方向）である。

- [0079] つまり、複数のトレンチ構造20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20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。第1延在方向D_{e1}は半導体層7のオフ方向D_oに一致している。
- [0080] 複数のトレンチ構造20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20は、複数のトレンチ構造20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。
- [0081] 複数のトレンチ構造20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。
- [0082] 複数のトレンチ構造20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20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。
- [0083] 各トレンチ構造20は、第1配列方向D_{a1}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。
- [0084] トレンチ幅WTは、0.1 μm以上5 μm以下であってもよい。トレンチ幅WT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。

[0085] 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。

[0086] 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20は、縦長柱状に延びるアスペクト比DT/WTを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。

[0087] トレンチ深さDTは、 $0.1\mu\text{m}$ 以上 $5\mu\text{m}$ 以下であってもよい。トレンチ深さDT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 $1\mu\text{m}$ 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 $3\mu\text{m}$ 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。トレンチ深さDT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。

[0088] 複数のトレンチ構造20は、第1配列方向Da1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未満であってもよい。むろん、トレンチピッチPTは、トレンチ深さDTよりも大きくてもよい。

[0089] 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。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。

[0090] 各トレンチ構造20は、トレンチ21、絶縁膜22および埋設電極23を含む。トレンチ21は、活性面10に形成され、トレンチ構造20の壁面（側壁および底壁）を区画している。トレンチ21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。

[0091] 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21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 θ_0 を有していることが好ましい。つまり、トレンチ21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。

[0092] 絶縁膜22は、トレンチ21の壁面を被覆している。絶縁膜22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22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22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。

[0093] 埋設電極23は、トレンチ21に埋設され、絶縁膜22を挟んで半導体層7に対向している。埋設電極23は、この形態では、絶縁膜22を挟んで高濃度領域15に対向している。埋設電極23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。

[0094] 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24を含む。具体的には、複数のコラム領域24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24は、半導体層7の下端および複数のトレンチ構造20の底壁の間の厚さ範囲に形成されている。

- [0095] 複数のコラム領域24は、下側領域7aにおいて第1配列方向Da1に間隔を空けて配列され、第1延在方向De1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24は、m軸方向（第1方向X）に間隔を空けて配列され、SiC単結晶のa軸方向（第2方向Y）に延びている。また、複数のコラム領域24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ている。複数のコラム領域24の延在方向は、半導体層7のオフ方向Doに一致している。
- [0096] 複数のコラム領域24は、積層方向に複数のトレンチ構造20に重なっている。具体的には、複数のコラム領域24は、積層方向に複数のトレンチ構造20と1対1の対応関係で重なっている。複数のコラム領域24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。
- [0097] 第2方向Yに関して、複数のコラム領域24の両端部は、複数のトレンチ構造20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24の両端部は、複数のトレンチ構造20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。
- [0098] 複数のコラム領域24は、トレンチ構造20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24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20の底壁側の領域に位置され、複数のコラム領域24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。
- [0099] 複数のコラム領域24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24の上端部は、複数のトレンチ構造20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20に対向している。
- [0100] 具体的には、複数のコラム領域24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 20 に対向している。つまり、複数のコラム領域 24 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 24 の上端部は、複数のトレンチ構造 20 の底壁に接続されていてもよい。

[0101] 複数のトレンチ構造 20 の底壁および複数のコラム領域 24 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。

[0102] 複数のコラム領域 24 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 24 は、高濃度領域 15 の底部および複数のトレンチ構造 20 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 24 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。

[0103] 複数のコラム領域 24 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 24 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 24 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 24 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。

[0104] 複数のコラム領域 24 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 24 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 24 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。

[0105] 半導体層 7 の下端および複数のコラム領域 24 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。

[0106] 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24の下端部は、高濃度領域15の底部からトレンチ構造20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24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。

[0107] 複数のコラム領域24は、断面視において第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、コラム領域24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。

[0108] したがって、複数のコラム領域24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、複数のコラム領域24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。複数のコラム領域24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。

[0109] 複数のコラム領域24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24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24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。

[0110] つまり、コラム領域24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24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。

- [0111] 複数のコラム領域24は、第1配列方向Da1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よりも大きいくてもよい。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。
- [0112] コラム幅WCは、0.1 μ m以上5 μ m以下であってもよい。コラム幅WC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。
- [0113] 複数のコラム領域24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以上であることが好ましい。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。
- [0114] 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。
- [0115] 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24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。

[0116] 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。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。

[0117] 複数のコラム領域24は、第1配列方向 $Da1$ 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。

[0118] 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。

[0119] 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。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。

[0120] 以下、コラム領域24のp型濃度勾配が具体的に説明される。図14は、コラム領域24のp型濃度勾配の一例を示すグラフである。図14において、縦軸はコラム領域24のp型不純物濃度を示し、横軸はトレンチ構造20

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。

[0121] 図14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24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24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24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。

[0122] 図14は、チャネリング注入法によってコラム領域24を形成した場合のグラフである。図14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24の濃度勾配を示している。

[0123] 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14では、1500KeV以上2500KeV以下の注入エネルギーによってコラム領域24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。

[0124] 図14を参照して、コラム領域24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20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。

[0125] コラム領域24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25、第2ピーク部26、第2緩慢部27および第2漸減部28を含む濃度勾配を有している。第2漸増部25は、コラム領域24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26までp型不純物濃度が漸増している。第2漸増部25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。

- [0126] 第2ピーク部26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26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26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。
- [0127] 第2緩慢部27は、第2ピーク部26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27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24の本体部を形成している。第2緩慢部27のp型不純物濃度は、第2ピーク部26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。
- [0128] 第2緩慢部27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27は、図14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27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27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。
- [0129] 第2緩慢部27は、コラム領域24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24に占める第2緩慢部27の割合は、 $1/3$ 以上である。コラム領域24に占める第2緩慢部27の割合は、典型的には、 $1/2$ 以下（ $1/2$ 未満）である。むしろ、コラム領域24に占める第2緩慢部27の割合は、 $1/2$ 以上であってもよい。
- [0130] 第2漸減部28は、コラム領域24の下端部を形成する部分である。第2漸減部28は、第2緩慢部27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27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28の単位厚さ当たりの濃度低下率は、第2緩慢部27

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28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。

[0131] チャネリング注入法の場合、コラム領域24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20の底壁に対するコラム領域24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25の厚さ、第2ピーク部26の厚さ、第2緩慢部27の厚さおよび第2漸減部28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24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。

[0132] これとは反対に、トレンチ構造20の底壁に対するコラム領域24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25の厚さ、第2ピーク部26の厚さ、第2緩慢部27の厚さおよび第2漸減部28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24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。

[0133] コラム領域24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24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24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。

[0134] 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29を含む。複数のドリフト領域29は、半導体層7のうちの複数のコラム領域24によって区画された領域からそれぞれなる。複数のドリフト領

域 29 は、半導体層 7 内において第 1 配列方向 D_{a1} に間隔を空けて配列され、第 1 延在方向 D_{e1} に延びる帯状にそれぞれ形成されている。

[0135] つまり、複数のドリフト領域 29 は、 m 軸方向（第 1 方向 X ）に間隔を空けて配列され、 SiC 単結晶の a 軸方向（第 2 方向 Y ）に延びている。複数のドリフト領域 29 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ている。複数のドリフト領域 29 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。

[0136] 複数のドリフト領域 29 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 29 のうち高濃度領域 15 を含む部分は、第 2 軸チャンネル C_2 に沿って延びる n 型のチャネリング領域からなる。

[0137] 複数のドリフト領域 29 は、複数のコラム領域 24 と共にチャージバランスを有する複数の $p-n$ 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 24 に関して、一方の $p-n$ 接合部から拡がる空乏層、および、他方の $p-n$ 接合部から拡がる空乏層が、複数のドリフト領域 29 内で接続される状態を意味する。

[0138] 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 29（半導体層 7）が、濃度調節された p 型の複数のコラム領域 24 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 29 は、下側領域 7a において複数のコラム領域 24 とスーパージャクション構造を構成している。

[0139] 図 6～図 11 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 型の複数のボディ領域 30 を含む。複数のボディ領域 30 は、第 1 主面 3（活性面 10）の表層部において隣り合う複数のトレンチ構造 20 の間の領域にそれぞれ形成されている。複数のボディ領域 30 は、第 1 延在方向 D_{e1} に沿って間隔を空けて配列され、両サイドに位置された複数のトレンチ構造 20 に接続されている。

[0140] トレンチ構造 20 の一方側の側壁に沿って配列された一方側の複数のボディ

ィ領域30は、トレンチ構造20の他方側の側壁に沿って配列された他方側の複数のボディ領域30に1対1の対応関係で対向している。つまり、複数のボディ領域30は、平面視において第1配列方向Da1および第1延在方向De1に間隔を空けて行列状に配列されている。

[0141] 複数のボディ領域30は、トレンチ21の開口端においてトレンチ21の側壁から露出した部分を有し、絶縁膜22を挟んで埋設電極23に対向している。複数のボディ領域30は、複数のトレンチ構造20の底壁から活性面10側に間隔を空けて形成され、積層方向に複数のドリフト領域29に対向している。

[0142] 活性面10の周縁側に位置された最外の複数のボディ領域30は、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活性面10の表層部に形成されていてもよい。最外の複数のボディ領域30は、複数のトレンチ構造20の両端部から内方に間隔を空けて活性面10の表層部に形成されていることが好ましい。むろん、最外の複数のボディ領域30は、複数のトレンチ構造20の両端部よりも活性面10の周縁側に位置されていてもよい。この場合、最外の複数のボディ領域30は、第1～第4接続面12A～12Dから露出してもよい。

[0143] ボディ領域30の第1延在方向De1の長さは、コラム幅WCよりも大きいことが好ましい。ボディ領域30の第1延在方向De1の長さは、コラムピッチPCよりも大きいことが好ましい。ボディ領域30の第1延在方向De1の長さは、トレンチ幅WTよりも大きいことが好ましい。ボディ領域30の第1延在方向De1の長さは、トレンチピッチPTよりも大きいことが好ましい。

[0144] むろん、ボディ領域30の第1延在方向De1の長さは、コラム幅WC未満であってもよい。ボディ領域30の第1延在方向De1の長さは、コラムピッチPC未満であってもよい。ボディ領域30の第1延在方向De1の長さは、トレンチ幅WT未満であってもよい。ボディ領域30の第1延在方向De1の長さは、トレンチピッチPT未満であってもよい。

- [0145] ボディ領域30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30は、コラム領域24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30は、第2軸チャンネルC2に沿う方向に関してコラム領域24の厚さ未満の厚さを有している。
- [0146] ボディ領域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。ボディ領域30のp型不純物濃度（ピーク値）は、コラム領域24のp型不純物濃度（ピーク値）未満であってもよい。むしろ、ボディ領域30のp型不純物濃度（ピーク値）は、コラム領域24のp型不純物濃度（ピーク値）よりも高くてもよい。
- [0147] ボディ領域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。ボディ領域30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。
- [0148] SiC半導体装置1は、隣り合う複数のトレンチ構造20の間の領域において複数のボディ領域30の間の領域にそれぞれ区画されたn型の複数の表層ドリフト領域31を含む。複数の表層ドリフト領域31は、半導体層7の一部からそれぞれなり、直下に位置された複数のドリフト領域29に電氣的に接続されている。複数の表層ドリフト領域31は、高濃度領域15の一部を含んでいてもよい。
- [0149] トレンチ構造20の一方側の側壁に沿って配列された一方側の複数の表層ドリフト領域31は、トレンチ構造20の他方側の側壁に沿って配列された他方側の複数の表層ドリフト領域31に1対1の対応関係で対向している。つまり、複数の表層ドリフト領域31は、平面視において第1配列方向Da1および第1延在方向De1に間隔を空けて行列状に配列されている。
- [0150] 表層ドリフト領域31の第1延在方向De1の長さは、コラム幅WCよりも大きいことが好ましい。表層ドリフト領域31の第1延在方向De1の長さは、コラムピッチPCよりも大きいことが好ましい。表層ドリフト領域3

1の第1延在方向D e 1の長さは、トレンチ幅W Tよりも大きいことが好ましい。表層ドリフト領域3 1の第1延在方向D e 1の長さは、トレンチピッチP Tよりも大きいことが好ましい。

[0151] むろん、表層ドリフト領域3 1の第1延在方向D e 1の長さは、コラム幅W C未満であってもよい。表層ドリフト領域3 1の第1延在方向D e 1の長さは、コラムピッチP C未満であってもよい。表層ドリフト領域3 1の第1延在方向D e 1の長さは、トレンチ幅W T未満であってもよい。表層ドリフト領域3 1の第1延在方向D e 1の長さは、トレンチピッチP T未満であってもよい。

[0152] S i C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2 0の底壁および複数のコラム領域2 4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3 2を含む。この形態では、複数の中間領域3 2が、1つのトレンチ構造2 0の底壁および1つのコラム領域2 4の上端部の間の領域に介在されている。

[0153] 複数の中間領域3 2は、対応するトレンチ構造2 0の直下において第1延在方向D e 1（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。具体的には、複数の中間領域3 2は、平面視において複数のボディ領域3 0を第1配列方向D a 1（第1方向X）に結ぶ仮想直線上に位置されるように第1延在方向D e 1（第2方向Y）に間隔を空けて配列されている。

[0154] つまり、一方および他方のトレンチ構造2 0に関して、一方のトレンチ構造2 0の直下に位置された一方側の複数の中間領域3 2は、他方のトレンチ構造2 0の直下に位置された他方側の複数の中間領域3 2から第1配列方向D a 1（第1方向X）に間隔を空けて形成されている。

[0155] 一方側の複数の中間領域3 2は、半導体層7の一部（高濃度領域1 5の一部）を挟んで第1配列方向D a 1（第1方向X）に他方側の複数の中間領域3 2に1対1の対応関係で対向している。むろん、一方側の複数の中間領域3 2は、第1配列方向D a 1に他方側の複数の中間領域3 2の間の領域に1対1の対応関係で対向していてもよい。

- [0156] 第1延在方向 $D e 1$ に関して、各中間領域32は、ボディ領域30の長さ未満の幅を有していることが好ましい。各中間領域32の幅は、コラム幅 $W C$ よりも大きくてもよい。各中間領域32の幅は、コラムピッチ $P C$ よりも大きくてもよい。むろん、各中間領域32の幅は、コラム幅 $W C$ 未満であってもよい。各中間領域32の幅は、コラムピッチ $P C$ 未満であってもよい。
- [0157] 各中間領域32の幅は、トレンチ幅 $W T$ よりも大きくてもよい。各中間領域32の幅は、トレンチピッチ $P T$ よりも大きくてもよい。むろん、各中間領域32の幅は、トレンチ幅 $W T$ 未満であってもよい。各中間領域32の幅は、トレンチピッチ $P T$ 未満であってもよい。
- [0158] 複数の中間領域32は、トレンチ構造20の底壁およびコラム領域24の上端部にそれぞれ接続されている。複数の中間領域32は、さらに、トレンチ構造20の直下の領域からトレンチ構造20の両サイドに張り出し、トレンチ構造20の側壁に沿って延びる部分を有している。
- [0159] 複数の中間領域32は、第1主面3（活性面10）の表層部においてボディ領域30に電氣的に接続されている。つまり、複数の中間領域32は、複数のコラム領域24をボディ領域30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24が電氣的に浮遊状態になることが抑制されている。
- [0160] 複数の中間領域32は、トレンチ構造20の側壁に沿ってボディ領域30内を鉛直方向 Z に延び、第1主面3から露出してもよい。この場合、複数の中間領域32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もよい。複数のトレンチ構造20の第1配列方向 $D a 1$ （第1方向 X ）に隣り合う中間領域32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32は、第1主面3の表層部において互いに接続されていてもよい。
- [0161] 複数の中間領域32は、トレンチ構造20に対する電界を緩和する。複数の中間領域32は、必ずしも複数のドリフト領域29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32は、複数のドリ

フト領域 29 と共にチャージバランスを有する複数の p n 接合部を形成していてもよい。

[0162] 複数の中間領域 32 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 29 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 32 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 24 の厚さ未満の厚さを有している。また、複数の中間領域 32 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 27 を有さない。

[0163] 複数の中間領域 32 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。中間領域 32 は、ボディ領域 30 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）を有していてもよい。

[0164] 中間領域 32 の p 型不純物濃度（ピーク値）は、ボディ領域 30 の p 型不純物濃度（ピーク値）未満であってもよい。中間領域 32 の p 型不純物濃度（ピーク値）は、コラム領域 24 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 32 の p 型不純物濃度（ピーク値）は、コラム領域 24 の p 型不純物濃度（ピーク値）未満であってもよい。

[0165] 中間領域 32 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 32 の 3 価元素は、コラム領域 24 の 3 価元素と同一種であってもよいし、コラム領域 24 の 3 価元素と異なる種であってもよい。中間領域 32 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。

[0166] 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 20 の両サイドに形成された複数のソース領域 33 を含む。複数のソース領域 33 は、複数のボディ領域 30 の表層部にそれぞれ形成されている。この形態では、2 のソース領域 33 が、各ボディ領域 30 の表層部に空けて形成されている。

[0167] 複数のソース領域 33 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33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33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るもよい。

[0168] 複数のソース領域33は、第1延在方向De1に間隔を空けて各ボディ領域30の表層部に形成されている。具体的には、一方側のソース領域33はボディ領域30の一端部側の表層部に形成され、他方側のソース領域33は一方側のソース領域33から第1延在方向De1に間隔を空けてボディ領域30の他端部側の表層部に形成されている。複数のソース領域33は、両サイドに位置された複数のトレンチ構造20に接続されている。

[0169] トレンチ構造20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33は、トレンチ構造20の他方側の側壁に沿って配列された他方側の複数のソース領域33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33は、平面視において第1配列方向Da1および第1延在方向De1に間隔を空けて行列状に配列されている。

[0170] 複数のソース領域33は、トレンチ21の開口端においてトレンチ21の側壁から露出した部分を有し、絶縁膜22を挟んで埋設電極23に対向している。複数のソース領域33は、ボディ領域30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30の一部を挟んで直下のドリフト領域29(半導体層7/高濃度領域15)に対向している。

[0171] 一方側のソース領域33は、各ボディ領域30の一端部から内方に間隔を空けて形成され、各ボディ領域30の一端部側の表層部において対応する表層ドリフト領域31と共に電流経路となるチャンネルChを区画している。他方側のソース領域33は、各ボディ領域30の他端部から内方に間隔を空けて形成され、各ボディ領域30の他端部側の表層部において対応する表層ドリフト領域31と共に電流経路となるチャンネルChを区画している。

[0172] つまり、複数のソース領域33は、複数の表層ドリフト領域31と共に水平方向(第1配列方向Da1および第1延在方向De1)に延びる複数のチ

チャンネルC hを区画している。トレンチ構造20の一方側の側壁に沿って区画された一方側の複数のチャンネルC hは、トレンチ構造20の他方側の側壁に沿って配列された他方側の複数のチャンネルC hに1対1の対応関係で対向している。つまり、複数のチャンネルC hは、平面視において第1配列方向D a 1および第1延在方向D e 1に間隔を空けて行列状に区画されている。

[0173] S i C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20の間の領域に形成された複数のコンタクト領域34を含む。複数のコンタクト領域34は、複数のボディ領域30の表層部にそれぞれ形成されている。この形態では、1のコンタクト領域34が、各ボディ領域30の表層部に形成されている。

[0174] 複数のコンタクト領域34は、ボディ領域30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34のp型不純物濃度（ピーク値）は、複数のコラム領域24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34のp型不純物濃度（ピーク値）は、複数の中間領域32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34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。

[0175] 複数のコンタクト領域34は、複数のボディ領域30の表層部において隣り合う複数のソース領域33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34は、ボディ領域30を介して複数の中間領域32に電氣的に接続されている。つまり、複数のコンタクト領域34は、複数の中間領域32を介して複数のコラム領域24に電氣的に接続されている。

[0176] 複数のコンタクト領域34は、両サイドに位置された複数のトレンチ構造20に接続されている。トレンチ構造20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34は、トレンチ構造20の他方側の側壁に沿って配列された他方側の複数のコンタクト領域34に1対1の対応関係で対向している。つまり、複数のコンタクト領域34は、平面視において第1配列方向D a 1および第1延在方向D e 1に間隔を空けて行列状に配列さ

れている。

[0177] 複数のコンタクト領域 34 は、平面視において複数の中間領域 32 を第 1 配列方向 D a 1（第 1 方向 X）に結ぶ仮想直線上に位置されていることが好ましい。この場合、複数のコンタクト領域 34 は、ボディ領域 30 内において中間領域 32 に接続されていてもよい。むしろ、複数のコンタクト領域 34 は、複数の中間領域 32 から第 1 延在方向 D e 1 にずれていてもよい。この場合、複数のコンタクト領域 34 は、複数の中間領域 32 に接続されていてもよいし、複数の中間領域 32 から間隔を空けて形成されていてもよい。

[0178] 複数のコンタクト領域 34 は、トレンチ 21 の開口端においてトレンチ 21 の側壁から露出した部分を有し、絶縁膜 22 を挟んで埋設電極 23 に対向している。複数のコンタクト領域 34 は、ボディ領域 30 の底部から活性面 10 側に間隔を空けて形成され、ボディ領域 30 の一部を挟んで半導体層 7（高濃度領域 15）に対向している。

[0179] この形態では、複数のコンタクト領域 34 が、複数の中間領域 32 とは別体からなる形態例が示された。しかし、複数のコンタクト領域 34 は、複数の中間領域 32 の一部を利用して形成されていてもよい。つまり、複数の中間領域 32 のうちのボディ領域 30 内に位置された部分がコンタクト領域 34 であると見做されてもよい。

[0180] 以下、外周領域 9 側の構成が示される。図 15 は、外周領域 9 の構成を示す斜視図である。図 16 は、外周領域 9 の一要部を示す断面図である。図 17 は、外周領域 9 の一要部を示す断面図である。

[0181] 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 35 を含む。ウェル領域 35 は、平面視において外周面 11 の周縁（第 1～第 4 側面 5 A～5 D）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 35 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。

[0182] ウェル領域 35 は、外周面 11 の表層部から第 1～第 4 接続面 12 A～1

2 D側に引き出され、第1～第4接続面1 2 A～1 2 Dの表層部に沿って延びている。ウェル領域3 5は、活性面1 0の表層部においてボディ領域3 0に電氣的に接続されていてもよい。ウェル領域3 5は、複数のコラム領域2 4に電氣的に接続されていてもよい。

[0183] ウェル領域3 5は、半導体層7の下端から外周面1 1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3 5は、高濃度領域1 5の底部から外周面1 1側に間隔を空けて形成され、トレンチ構造2 0の底壁よりも高濃度領域1 5の底部側に位置されている。ウェル領域3 5は、半導体層7（高濃度領域1 5）とpn接合部を形成している。

[0184] ウェル領域3 5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3 5は、第2軸チャンネルC 2に沿う方向に関して高濃度領域1 5の厚さ未満の厚さを有している。また、ウェル領域3 5の厚さは、コラム領域2 4の厚さ未満である。

[0185] ウェル領域3 5は、コラム領域2 4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3 5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3 5は、コンタクト領域3 4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。

[0186] ウェル領域3 5のp型不純物濃度は、ボディ領域3 0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3 5のp型不純物濃度は、ボディ領域3 0よりも低くてもよい。ウェル領域3 5のp型不純物濃度は、中間領域3 2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3 5のp型不純物濃度は、中間領域3 2のp型不純物濃度よりも高くてもよいし、中間領域3 2よりも低くてもよい。

[0187] ウェル領域3 5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3 5の3価元素は、コラム領域2 4の3価元素と同一種であってもよいし、コラム領域2 4の3価元素と異

なる種であってもよい。ウェル領域 35 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。

[0188] 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 36 を含む。複数のフィールド領域 36 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 36 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 36 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。

[0189] 複数のフィールド領域 36 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 36 は、ウェル領域 35 から外周面 11 の周縁側に間隔を空けて配列されている。

[0190] 複数のフィールド領域 36 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 36 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 36 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 24）を取り囲む環状（具体的には四角環状）に形成されている。

[0191] 複数のフィールド領域 36 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 36 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 36 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。

[0192] 複数のフィールド領域 36 は、この形態では、複数のコラム領域 24 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36は、積層方向に複数のコラム領域24に対向していない。複数のフィールド領域36は、トレンチ構造20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。

[0193] 複数のフィールド領域36の底部は、複数のコラム領域24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。むしろ、複数のフィールド領域36の底部は、複数のコラム領域24の上端部の深さ位置よりもトレンチ構造20の底壁側に位置されていてもよい。

[0194] 複数のフィールド領域36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36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36の厚さは、コラム領域24の厚さ未満である。

[0195] 複数のフィールド領域36は、コラム領域24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もよい。フィールド領域36のp型不純物濃度は、ボディ領域30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36のp型不純物濃度は、ボディ領域30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36のp型不純物濃度は、ボディ領域30のp型不純物濃度よりも低くてもよい。

[0196] 複数のフィールド領域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。フィールド領域36の3価元素は、コラム領域24の3価元素と同一種であってもよいし、コラム領域24の3価元素と異なる種であってもよい。フィールド領域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。

[0197] 複数のフィールド領域36は、コラム領域24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36による電界緩和効果は、複数のコラム領域24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36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36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24の幅は、コラム幅WCとほぼ等しくてもよい。

[0198] 複数のフィールド領域36は、コラム領域24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36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36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36のピッチは、コラムピッチPCとほぼ等しくてもよい。

[0199] 図5～図11を再度参照して、SiC半導体装置1は、第1主面3（活性面10）の上に配置されたプレーナ電極型の複数のゲート構造37を含む。ゲート構造37は、「プレーナゲート構造」と称されてもよい。複数のゲート構造37には、トレンチ構造20に付与される電位（第1電位）とは異なる電位（第2電位）が付与される。具体的には、複数のゲート構造37には、制御電位としてのゲート電位が付与される。

[0200] 複数のゲート構造37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。複数のゲート構造37は、積層方向に複数のチャンネルChに重なるように第1主面3の上に間隔を空けて配列され、ゲート電位に応答してボディ領域30内における複数のチャンネルChの反転および非反転を制御する。

[0201] 具体的には、複数のゲート構造37は、第1配列方向Da1以外の第2配列方向Da2に間隔を空けて配列され、第1延在方向De1以外の第2延在方向De2に延びる帯状にそれぞれ形成されている。この形態では、複数のゲート構造37は、第1配列方向Da1に直交する第2配列方向Da2に間隔を空けて配列され、第1延在方向De1に直交する第2延在方向De2に

延びている。

[0202] つまり、複数のゲート構造37は、SiC単結晶のa軸方向（第2方向Y）に間隔を空けて配列され、SiC単結晶のm軸方向（第1方向X）に延びている。また、複数のゲート構造37は、m軸方向（第1方向X）に延びるストライプ状に配列されている。第2延在方向De2は、SiC単結晶のオフ方向Doに直交している。

[0203] 複数のゲート構造37は、平面視において複数のトレンチ構造20、複数のコラム領域24および複数のドリフト領域29に交差（具体的には直交）し、第1配列方向Da1（第2延在方向De2）に隣り合う複数のチャンネルChを被覆している。1つのトレンチ構造20について見ると、複数のゲート構造37は、1つのトレンチ構造20の複数個所に交差している。複数のゲート構造37は、複数のトレンチ構造20との交差部において複数のトレンチ構造20から電氣的に絶縁されている。

[0204] 複数のゲート構造37は、隣り合う2つのトレンチ構造20の間の領域において、第1延在方向De1（第2配列方向Da2）に隣り合う2つのボディ領域30にそれぞれ跨り、対応する1つの表層ドリフト領域31をそれぞれ被覆している。複数のゲート構造37は、一方のボディ領域30内に形成された一方側のソース領域33を部分的に被覆し、他方のボディ領域30内に形成された他方側のソース領域33を部分的に被覆している。複数のゲート構造37は、複数のコンタクト領域34を露出させている。

[0205] 複数のゲート構造37は、この形態では、平面視において複数の中間領域32を第1配列方向Da1（第1方向X）に結ぶ仮想直線から第1延在方向De1（第2配列方向Da2）にずれて配置されている。したがって、複数のゲート構造37は、平面視において複数の中間領域32の間の領域に位置されている。むろん、複数のゲート構造37は、複数の中間領域32を第1配列方向Da1（第1方向X）に結ぶ仮想直線上に位置された部分を有しているもよい。

[0206] ゲート構造37は、第2配列方向Da2にゲート幅WGを有している。ゲ

ート幅WGは、コラム幅WCよりも大きいことが好ましい。ゲート幅WGは、コラムピッチPCよりも大きいことが好ましい。ゲート幅WGは、トレンチ幅WTよりも大きいことが好ましい。ゲート幅WGは、トレンチピッチPTよりも大きいことが好ましい。むろん、ゲート幅WGは、コラム幅WC未満であってもよい。ゲート幅WGは、コラムピッチPC未満であってもよい。ゲート幅WGは、トレンチ幅WT未満であってもよい。ゲート幅WGは、トレンチピッチPT未満であってもよい。

[0207] 複数のゲート構造37は、第2配列方向Da2にゲートピッチPGを空けて配列されている。ゲートピッチPGは、コラム幅WCよりも大きいてもよい。ゲートピッチPGは、コラム幅WC未満であってもよい。ゲートピッチPGは、コラム厚さTC未満であってもよい。ゲートピッチPGは、コラム厚さTCよりも大きいてもよい。ゲートピッチPGは、コラムピッチPCよりも大きいてもよい。ゲートピッチPGは、コラムピッチPC未満であってもよい。

[0208] ゲートピッチPGは、トレンチ幅WTよりも大きいてもよい。ゲートピッチPGは、トレンチ幅WT未満であってもよい。ゲートピッチPGは、トレンチ深さDT未満であってもよい。ゲートピッチPGは、トレンチ深さDTよりも大きいてもよい。ゲートピッチPGは、トレンチピッチPTよりも大きいてもよい。ゲートピッチPGは、トレンチピッチPT未満であってもよい。

[0209] ゲートピッチPGは、第1厚さT1未満である。ゲートピッチPGは、第2厚さT2未満であってもよい。ゲートピッチPGは、第2厚さT2よりも大きいてもよい。ゲートピッチPGは、高濃度領域15の厚さ未満であってもよい。ゲートピッチPGは、高濃度領域15の厚さよりも大きいてもよい。

[0210] 各ゲート構造37は、第1主面3側からこの順に積層されたゲート絶縁膜38およびゲート電極39を含む積層構造を有している。ゲート絶縁膜38は、第1主面3を膜状に被覆する部分、および、複数のトレンチ構造20を

膜状に被覆する部分を有している。ゲート絶縁膜 38 は、トレンチ 21 内において、トレンチ 21 の壁面（側壁）、絶縁膜 22 および埋設電極 23 を膜状に被覆している。

[0211] ゲート絶縁膜 38 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。ゲート絶縁膜 38 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。この場合、ゲート絶縁膜 38 のうち第 1 主面 3 を被覆する部分は、炭素を含有する酸化シリコンを含んでいてもよい。一方、ゲート絶縁膜 38 のうち埋設電極 23 を被覆する部分は、埋設電極 23 の酸化物（酸化ポリシリコン）からなる酸化シリコン膜を含んでいてもよい。

[0212] ゲート電極 39 は、ゲート絶縁膜 38 を膜状に被覆している。具体的には、ゲート電極 39 は、ゲート絶縁膜 38 を挟んで第 1 主面 3 を膜状に被覆する部分、および、ゲート絶縁膜 38 を挟んで複数のトレンチ構造 20 を膜状に被覆する部分を有している。

[0213] ゲート電極 39 は、第 1 主面 3 の上において、ゲート絶縁膜 38 を挟んで複数のボディ領域 30、複数の表層ドリフト領域 31、複数のソース領域 33 および複数のチャンネル Ch に対向している。ゲート電極 39 は、トレンチ 21 内において、ゲート絶縁膜 38 を挟んでトレンチ 21 の壁面（側壁）、絶縁膜 22 および埋設電極 23 を膜状に被覆している。

[0214] ゲート電極 39 は、トレンチ 21 内においてゲート絶縁膜 38 によって埋設電極 23 から電氣的に絶縁されている。ゲート電極 39 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。ゲート電極 39 の導電型は、埋設電極 23 の導電型と同じであってもよい。ゲート電極 39 の導電型は、埋設電極 23 の導電型と異なってもよい。積層方向に関して、ゲート電極 39 は、埋設電極 23 の厚さ未満の厚さを有していることが好ましい。

[0215] ゲート電極 39 にゲート電位が付与されると、当該ゲート電極 39 の直下に位置された複数のチャンネル Ch がオン状態になる。これにより、複数のドリフト領域 29 から複数の表層ドリフト領域 31 を介して複数のソース領域

33に至る電流経路が形成される。

[0216] つまり、複数のトレンチ構造20の下方の領域では、複数のドリフト領域29に沿って鉛直方向Zに延びる電流経路が形成される。また、複数のトレンチ構造20の間の領域では、複数のトレンチ構造20に沿って鉛直方向Zに延びる電流経路、および、複数のチャンネルCh（複数の表層ドリフト領域31および複数のソース領域33の間の領域）を水平方向に延びる複数の電流経路が形成される。

[0217] 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。

[0218] 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22およびゲート絶縁膜38に接続され、埋設電極23およびゲート電極39を露出させている。

[0219] 第1絶縁膜42は、外周面11においてウェル領域35および複数のフィールド領域36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30およびウェル領域35を被覆している。

[0220] 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。

[0221] 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20（埋設電極23）および複数のゲート構造37（ゲート電極39）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35および複数のフィールド領域36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。

[0222] 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、複数のゲート構造37（ゲート電極39）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20（埋設電極23）および複数のソース領域33を露出させる複数のコンタクト開口44を含む。

[0223] トレンチ構造20用の複数のコンタクト開口44は、隣り合う複数のゲート構造37の間の領域に形成され、複数のトレンチ構造20、複数のソース領域33および複数のコンタクト領域34を露出させている。具体的には、複数のコンタクト開口44は、複数のゲート構造37の間の領域に位置されるように第2配列方向Da2に間隔を空けて配列され、第2延在方向De2に延びる帯状にそれぞれ形成されている。

[0224] これにより、複数のコンタクト開口44は、第2延在方向De2に沿って複数のトレンチ構造20（埋設電極23）、複数のソース領域33および複数のコンタクト領域34を露出させている。複数のコンタクト開口44は、この形態では、複数の中間領域32のうちの第1主面3から露出した部分も露出させている。

[0225] 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。

[0226] サイドウォール構造45は、第1～第4接続面12A～12Dのうち少なくとも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。

[0227] 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36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35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30に対向していてもよい。

[0228] 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。

[0229] 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。

[0230] 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。

[0231] 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。

[0232] 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。

[0233] 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、複数のゲート構造37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、複数のゲート構造37（ゲート電極39）の一端部に電氣的に接続されている。

[0234] 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、複数のゲート構造37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、複数のゲート構造37（ゲート電極39）の他端部に電氣的に接続されている。

[0235] 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。

[0236] 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。

[0237] ソースパッド52は、層間絶縁膜41を挟んで複数のゲート構造37に対向し、複数のゲート構造37から電氣的に絶縁されている。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、複数のトレンチ構造20、複数のボディ領域30、複数の中間領域32、複数のソース領域33、複数のコンタクト領域34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30および複数の中間領域32を介して複数のコラム領域24に電氣的に接続されている。

[0238] 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。

[0239] 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29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。

[0240] 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）に印加可能なブレークダウン電圧は、500V以上3000V

以下であってもよい。ブレークダウン電圧は、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。

[0241] 図18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。

[0242] 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 θ_0 を有している。

[0243] 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。

[0244] 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

れか一方または双方を含んでいてもよい。図18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。

[0245] 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。

[0246] 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。

[0247] 図19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20A~図20R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21A~図21B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22A~図22Bは、イオン注入工程を説明するための概略図である。図20A~図20R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。

[0248] まず、図20Aを参照して、前述のウエハ60の用意工程が実施される（図19のステップS1）。次に、図20Bを参照して、半導体層7の形成工程が実施される（図19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。

[0249] 次に、半導体層7の結晶方位の測定工程が実施される（図19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。

[0250] 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。

[0251] 図21A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。

[0252] X線回折装置67は、照射部68および検出部69を含み、ロックンクカーブ測定法を実行する。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。

[0253] 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。

[0254] ロックンクカーブ測定法では、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）を表すロックンクカーブが測定される。ロックンクカーブは、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。

[0255] 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、ロックンクカーブ測定法が実施される。オフ角 θ_0 の面内ばらつきが想定される場合、ロックンク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。

[0256] 図21B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21Bでは、第1～第5測定点Po1～Po5が示されている。

[0257] 第1測定点Po1は、半導体層7の中央部に設定されている。第2測定点Po2は、第1測定点Po1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Po3は、第1測定点Po1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。

[0258] 第4測定点Po4は、第1測定点Po1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Po5は、第1測定点Po1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。

[0259] 第1～第5測定点Po1～Po5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 | $\omega (^{\circ})$ | $2\theta (^{\circ})$ | $\theta_{off} (^{\circ})$ |
|--------------------|---------------------|----------------------|---------------------------|
| 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 |

[0260] 表1に示される通り、第1～第5測定点Po1～Po5のオフ角 θ_o の平均値は 4.036° であり、これらのオフ角 θ_o の標準偏差は 0.009°

($\pm 0.01^\circ$)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 θ_0 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。

[0261] 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_{01} ~ P_{05} 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_{01} 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。

[0262] むろん、半導体層7の上端(第1ウエハ主面61)の複数箇所についてオフ角 θ_0 を測定し、チャネリング注入工程においてオフ角 θ_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24の面内誤差が適切に抑制される。

[0263] 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。

[0264] 次に、図20Cを参照して、高濃度領域15の形成工程が実施される(図19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 D_0 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。

[0265] 図22A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13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。

[0266] 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。

[0267] 一方、図22B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12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。

[0268] 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_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。

[0269] 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。

[0270] 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。

[0271] 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。

[0272] 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。

[0273] 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。

[0274] 次に、図20D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19のステップS5）。第1マスク71は、有機マスク（レジストマスク）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、数のボディ領域30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。

[0275] 複数の第1開口71aは、第2延在方向De2（第1方向X）に延びる帯状にそれぞれ形成され、第2配列方向Da2（第2方向Y）に間隔を空けて区画される。つまり、複数の第1開口71aは、平面視においてオフ方向Doに直交する方向に沿って延びる延在方向を有している。

- [0276] 次に、複数のボディ領域30の形成工程が実施される（図19のステップS6）。複数のボディ領域30の形成工程は、半導体層7に対する3価元素（p型不純物）のランダム注入工程を含む。たとえば、ランダム注入法では、第1マスク71の複数の第1開口71aを介して半導体層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、複数のボディ領域30が、半導体層7の表層部に形成される。
- [0277] 複数のボディ領域30は、第2延在方向De2（第1方向X）に延びる帯状にそれぞれ形成される。むろん、複数のボディ領域30は、複数のトレンチ構造20（トレンチ21）のレイアウトを考慮して、第1方向Xおよび第2方向Yに間隔を空けて行列状に形成されてもよい。複数のボディ領域30の形成工程後、第1マスク71は除去される。
- [0278] 次に、図20Eを参照して、複数のソース領域33の形成工程が実施される（図19のステップS7）。複数のソース領域33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（複数のボディ領域30）の表層部に導入することによって形成される。
- [0279] また、複数のコンタクト領域34の形成工程が実施される（図19のステップS8）。複数のコンタクト領域34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（複数のボディ領域30）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34の形成工程は、ソース領域33の形成工程に先立って実施されてもよい。
- [0280] 次に、図20F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19のステップS9）。第2マスク72は、無機マスク（ハードマスク）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21を形成すべき領域を露出させる複数の第2開口72aを有している。
- [0281] 複数の第2開口72aは、第1配列方向Da1（第1方向X）に間隔を空

けて形成され、第1延在方向D e 1（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7 2 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2マスク7 2は、外周面1 1を形成すべき領域を露出させる第2開口7 2 a（図示せず）を有している。外周面1 1用の第2開口7 2 aは、複数の切断予定ライン6 6に沿って格子状に形成される。

[0282] 次に、複数のトレンチ2 1の形成工程が実施される（図19のステップS 1 0）。トレンチ2 1の形成工程では、第2マスク7 2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。

[0283] 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2 1が形成される。また、半導体層7の上端に活性面1 0、外周面1 1および第1～第4接続面1 2 A～1 2 Dが形成される。複数のトレンチ2 1の形成工程後、第2マスク7 2は除去される。

[0284] 次に、図20Gを参照して、所定パターンを有する第3マスク7 3の形成工程が実施される（図19のステップS 1 1）。第3マスク7 3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7 3は、半導体層7の上端の上に配置され、複数のトレンチ2 1を1対1の対応関係で露出させる複数の第3開口7 3 aを有している。

[0285] 複数の第3開口7 3 aは、第1配列方向D a 1（第1方向X）に間隔を空けて形成され、第1延在方向D e 1（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3開口7 3 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。

[0286] 次に、複数のコラム領域2 4の形成工程が実施される（図19のステップS 1 2）。複数のコラム領域2 4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。3価元素は、第3マスク

73の複数の第3開口73aから複数のトレンチ21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_0 のデータ（情報）に基づいて実施される。

[0287] 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。

[0288] 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複数のコラム領域24が所定の深さ位置に形成される。

[0289] 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。

[0290] コラム領域24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24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24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。

[0291] 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。

[0292] コラム領域24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24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24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。

[0293] 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±2°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±1°の範囲内に設定されることが特に好ましい。

[0294] 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。

[0295] 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。

[0296] 複数の第3開口73aはオフ方向D_oに沿って延びる延在方向（第1延在方向D_{e1}）を有し、3価元素の注入角度はオフ方向D_o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3開口73aを介してトレンチ21の底壁に対してほぼ垂直に半導体層7内に導入される。

[0297] これにより、複数のコラム領域24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3開口73a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3開口73aの壁面のシャドウイングに起因する複数のコラム領域24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。

[0298] 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24および複数のドリフト領域29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。

[0299] コラム領域24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24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20Hを参照して、複数のコラム領域24の形成工程後、第3マスク73は除去される。

[0300] 次に、図20Iを参照して、所定パターンを有する第4マスク74の形成工程が実施される（図19のステップS13）。第4マスク74は、有機マスク（レジストマスク）であることが好ましい。第4マスク74は、半導体層7の上端の上に配置され、複数のトレンチ21を選択的に露出させる複数の第4開口74aを有している。複数の第4開口74aは、第1方向X（第1配列方向Da1）および第2方向Y（第1延在方向De1）に間隔を空けて行列状に区画され、複数のトレンチ21の一部をそれぞれ露出させている。

[0301] 次に、複数の中間領域32の形成工程が実施される（図19のステップS14）。複数の中間領域32の形成工程は、第4マスク74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4開口74aから複数のトレンチ21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。

[0302] 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21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20Jを参照して、複数の中間領域32の形成工程後、第4マスク74は除去される。

[0303] 複数の中間領域32の形成工程は、ウェル領域35の形成工程を兼ねていてもよい。ウェル領域35は、ウェル領域35を露出させる第4開口74aから外周面11および第1~第4接続面12A~12D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。むしろ、ウェル領域35は、第4マスク74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。

[0304] 具体的な図示は省略されるが、ウェル領域35の形成工程に先立って、または、ウェル領域35の形成工程の後に、複数のフィールド領域36の形成工程が実施される。複数のフィールド領域36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。

[0305] 次に、図20Kを参照して、ベース絶縁膜75の形成工程が実施される(図19のステップS15)。ベース絶縁膜75は、絶縁膜22、ゲート絶縁膜38および第1絶縁膜42のベースとなる。ベース絶縁膜75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。

[0306] ベース絶縁膜75は、典型的には、熱酸化処理法によって形成される。ベース絶縁膜75のうち複数のトレンチ21の壁面を被覆する部分は絶縁膜22として形成される。ベース絶縁膜75のうち半導体層7の上端を被覆する部分はゲート絶縁膜38となる。ベース絶縁膜75のうち絶縁膜22および

ゲート絶縁膜 38 以外の領域を被覆する部分は第 1 絶縁膜 42 となる。

[0307] 次に、図 20L を参照して、埋設電極 23 の形成工程が実施される（図 19 のステップ S16）。この工程は、ベース絶縁膜 75 の上に第 1 ベース電極膜 76 を形成する工程を含む。第 1 ベース電極膜 76 は、この形態では、導電性ポリシリコンを含む。第 1 ベース電極膜 76 は、複数のトレンチ 21 を埋め戻し、半導体層 7 の上端を被覆する。第 1 ベース電極膜 76 は、CVD 法によって形成されてもよい。

[0308] 次に、図 20M を参照して、第 1 ベース電極膜 76 の不要な部分がエッチング法によって除去される。第 1 ベース電極膜 76 の不要な部分は、ベース絶縁膜 75 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 21 内に複数の埋設電極 23 がそれぞれ埋設され、複数のトレンチ構造 20 が形成される。

[0309] 次に、図 20N を参照して、ゲート絶縁膜 38 の形成工程が実施される（図 19 のステップ S17）。ゲート絶縁膜 38 は、CVD 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。ゲート絶縁膜 38 は、典型的には、熱酸化処理法によって形成される。ゲート絶縁膜 38 は、埋設電極 23 の電極面を膜状に被覆し、ベース絶縁膜 75 と一体化される。

[0310] ゲート絶縁膜 38 の膜厚が精確に制御される場合、埋設電極 23 の形成工程後、ゲート絶縁膜 38 の形成工程に先立って前述のベース絶縁膜 75 のうちトレンチ 21 外の部分（つまり半導体層 7 の上端を被覆する部分や埋設電極 23 を被覆する部分等）が除去されてもよい。その後、ゲート絶縁膜 38 の形成工程において、半導体層 7 の上端および埋設電極 23 の電極面を一体的に被覆するゲート絶縁膜 38 が形成されてもよい。

[0311] 次に、図 20O を参照して、ゲート電極 39 の形成工程が実施される（図 19 のステップ S18）。この工程は、絶縁膜 22 の上に第 2 ベース電極膜 77 を形成する工程を含む。第 2 ベース電極膜 77 は、この形態では、導電性ポリシリコンを含む。第 2 ベース電極膜 77 は、ゲート絶縁膜 38 を挟ん

で半導体層 7 の上端および複数のトレンチ構造 20（埋設電極 23）を被覆する。第 2 ベース電極膜 77 は、CVD 法によって形成されてもよい。

[0312] 次に、図 20P を参照して、所定パターンを有する第 5 マスク 78 の形成工程が実施される（図 19 のステップ S19）。第 5 マスク 78 は、有機マスク（レジストマスク）であることが好ましい。第 5 マスク 78 は、複数のゲート電極 39 を形成すべき領域を被覆するように第 2 ベース電極膜 77 の上に配置され、それら以外の領域を露出させる複数の第 5 開口 78a を有している。複数の第 5 開口 78a は、第 2 配列方向 Da2（第 2 方向 Y）に間隔を空けて配列され、第 2 延在方向 De2（第 1 方向 X）に延びる帯状にそれぞれ区画されている。

[0313] 次に、第 2 ベース電極膜 77 の不要な部分が第 5 マスク 78 を介するエッチング法によって除去される。第 2 ベース電極膜 77 の不要な部分は、ゲート絶縁膜 38 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、複数のゲート電極 39 が形成されると同時に、プレーナ電極型のゲート構造 37 が形成される。ゲート構造 37 の形成工程後、第 5 マスク 78 は除去される。

[0314] 次に、図 20Q を参照して、第 2 絶縁膜 43 の形成工程が実施される（図 19 のステップ S20）。第 2 絶縁膜 43 は、CVD 法によって形成されてもよい。これにより、第 1 絶縁膜 42 および第 2 絶縁膜 43 を含む層間絶縁膜 41 が形成される。

[0315] 次に、図 20R を参照して、所定パターンを有する第 6 マスク 79 の形成工程が実施される（図 19 のステップ S21）。第 6 マスク 79 は、有機マスク（レジストマスク）であることが好ましい。第 6 マスク 79 は、層間絶縁膜 41 の上に配置され、複数のコンタクト開口 44 を形成すべき領域を露出させる複数の第 6 開口 79a を有している。複数の第 6 開口 79a は、複数のゲート電極 39 の間の領域に位置されるように第 2 配列方向 Da2（第 2 方向 Y）に間隔を空けて配列され、第 2 延在方向 De2（第 1 方向 X）に

延びる帯状にそれぞれ区画されている。

[0316] 次に、層間絶縁膜41の不要な部分が第6マスク79を介するエッチング法によって除去される。層間絶縁膜41の不要な部分は、半導体層7の上端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、複数のコンタクト開口44が層間絶縁膜41に形成される。

[0317] 次に、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19のステップS22）。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。

[0318] 次に、ドレインパッド53の形成工程が実施される（図19のステップS23）。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19のステップS24）。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。

[0319] 以下、変形例に係るSiC半導体装置1が示される。以下に示される変形例に係る特徴は、組み合わせて適用されることもできる。図23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SiC半導体装置1では、複数のトレンチ構造20の第1配列方向Da1がm軸方向（第1方向X）であり、複数のトレンチ構造20の第1延在方向De1がa軸方向（第2方向Y）であった。

[0320] これに対して、第1変形例に係るSiC半導体装置1では、第1配列方向Da1がa軸方向（第2方向Y）であり、第1延在方向De1がm軸方向（第1方向X）である。つまり、複数のトレンチ構造20は、m軸方向（第1方向X）に延びる帯状にそれぞれ形成され、a軸方向（第2方向Y）に間隔

を空けて配列されている。

[0321] 複数のボディ領域 30 の配列方向、複数の表層ドリフト領域 31 の配列方向、複数のコラム領域 24 の配列方向、複数の中間領域 32 の配列方向、および、複数のソース領域 33 の配列方向は、複数のトレンチ構造 20 のレイアウトに応じて、a 軸方向から m 軸方向にそれぞれ変更されている。

[0322] この場合、複数のコラム領域 24 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、複数のコラム領域 24 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_o に向けてほぼオフ角 θ_o 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 24 はオフ方向 D_o に延びていることが好ましい。

[0323] 複数のゲート構造 37 は、第 1 配列方向 D_{a1} 以外の第 2 配列方向 D_{a2} に間隔を空けて配列され、第 1 延在方向 D_{e1} 以外の第 2 延在方向 D_{e2} に延びる帯状にそれぞれ形成されている。この例では、複数のゲート構造 37 は、第 1 配列方向 D_{a1} に直交する第 2 配列方向 D_{a2} に間隔を空けて配列され、第 1 延在方向 D_{e1} に直交する第 2 延在方向 D_{e2} に延びている。

[0324] つまり、第 2 配列方向 D_{a2} は m 軸方向（第 1 方向 X）であり、第 2 延在方向 D_{e2} は a 軸方向（第 2 方向 Y）である。複数のゲート構造 37 は、m 軸方向（第 1 方向 X）に間隔を空けて配列され、a 軸方向（第 2 方向 Y）に延びる帯状にそれぞれ形成されている。

[0325] むろん、複数のトレンチ構造 20 に関して、第 1 配列方向 D_{a1} は a 軸方向および m 軸方向以外の方向であり、第 1 延在方向 D_{e1} 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 20 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。

[0326] この場合、複数のコラム領域 24 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 24 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 24 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。

[0327] 一方、複数のゲート構造 37 の第 2 配列方向 D_{a2} は a 軸方向および m 軸

方向の一方であり、複数のゲート構造 37 の第 2 延在方向 $D e 2$ は a 軸方向および m 軸方向の他方であってもよい。この場合、複数のゲート構造 37 は、複数のトレンチ構造 20 に非直交に交差していてもよい。

[0328] むろん、複数のゲート構造 37 の第 2 配列方向 $D a 2$ は a 軸方向および m 軸方向以外の方向であり、複数のゲート構造 37 の第 2 延在方向 $D e 2$ 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、複数のゲート構造 37 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、複数のゲート構造 37 は、複数のトレンチ構造 20 に直交していてもよいし、複数のトレンチ構造 20 に非直交に交差していてもよい。

[0329] 図 24 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、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、第 2 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 20、複数のボディ領域 30、複数の表層ドリフト領域 31、複数のコラム領域 24、複数のドリフト領域 29 および複数の中間領域 32 は半導体層 7 内に形成される。

[0330] 図 25 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。図 25 では、層間絶縁膜 41 の図示が省略されている。前述の SiC 半導体装置 1 では、トレンチ構造 20 にゲート電位以外の電位が付与されていた。しかし、第 3 変形例に係る SiC 半導体装置 1 では、トレンチ構造 20 がトレンチゲート構造として形成され、トレンチ構造 20 にゲート電位が付与される。

[0331] つまり、ゲート構造 37 は、トレンチ構造 20 と同電位になる。ゲート電極 39 は、埋設電極 23 と一体的に形成されていてもよいし、ゲート絶縁膜 38 を挟んで埋設電極 23 から物理的に切り離されていてもよい。図 25 では、ゲート電極 39 が埋設電極 23 と一体的に形成された例が示されている。

[0332] 前述のゲートパッド 50（複数のゲート配線 51）は、複数のトレンチ構造 20 および複数のゲート構造 37 に電氣的に接続される。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、複数の埋設電極23および複数のゲート電極39のいずれか一方または双方に接続される。このような構成は、前述の複数のコンタクト開口44のレイアウトが調節されることによって実現される。

[0333] 一方、ソースパッド52は、複数のコンタクト開口44を介して複数のボディ領域30、複数の中間領域32、複数のソース領域33および複数のコンタクト領域34に電氣的に接続され、層間絶縁膜41を挟んで複数のトレンチ構造20および複数のゲート構造37に対向する。つまり、ソースパッド52は、複数のトレンチ構造20および複数のゲート構造37から電氣的に切り離される。このような構成は、前述の複数のコンタクト開口44のレイアウトが調節されることによって実現される。

[0334] 第3変形例に係るSiC半導体装置1では、ボディ領域30のうちソース領域33およびドリフト領域29の間の領域にトレンチ構造20の側壁に沿うチャンネルChが更に形成される。

[0335] 図26は、第4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4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。

[0336] 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。

[0337] 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。

[0338] 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。

[0339] 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。

[0340] 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 θ_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 θ_0 分だけ傾斜している。

[0341] 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。

[0342] 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。

[0343] 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。

[0344] 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。

[0345] 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 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。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。

[0346] 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。

[0347] 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。

[0348] 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。

[0349] 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。

[0350] 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。

[0351] 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。

[0352] 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」、「M I S F E T 装置」、「I G B T 装置」等に置き換えられてもよい。

- [0353] [A 1] 主面 (3) を含む半導体層 (7) と、前記主面 (3) に形成され、平面視で第 1 延在方向 (D e 1) に延びるトレンチ構造 (2 0) と、前記主面 (3) の上に配置され、平面視で前記第 1 延在方向 (D e 1) 以外の第 2 延在方向 (D e 2) に延びるプレーナ電極型のゲート構造 (3 7) と、を含む、半導体装置 (1) 。
- [0354] [A 2] 前記ゲート構造 (3 7) は、前記トレンチ構造 (2 0) に交差し、前記トレンチ構造 (2 0) との交差部において前記トレンチ構造 (2 0) から電氣的に絶縁されている、A 1 に記載の半導体装置 (1) 。
- [0355] [A 3] 前記トレンチ構造 (2 0) には、ゲート電位以外の電位が付与され、前記ゲート構造 (3 7) には、前記ゲート電位が付与される、A 1 または A 2 に記載の半導体装置 (1) 。
- [0356] [A 4] 前記第 1 延在方向 (D e 1) は、前記半導体層 (7) の a 軸方向であり、前記第 2 延在方向 (D e 2) は、前記 a 軸方向以外の方向である、A 1 ~ A 3 のいずれか一つに記載の半導体装置 (1) 。
- [0357] [A 5] 第 1 導電型 (n 型) の前記半導体層 (7) と、前記半導体層 (7) の底部および前記トレンチ構造 (2 0) の間の領域に区画された下側領域 (7 a) と、前記下側領域 (7 a) に形成された第 2 導電型のコラム領域 (2 4) と、をさらに含む、A 1 ~ A 4 のいずれか一つに記載の半導体装置 (1) 。
- [0358] [A 6] 前記コラム領域 (2 4) は、平面視で前記第 1 延在方向 (D e 1) に延び、前記ゲート構造 (3 7) は、平面視で前記コラム領域 (2 4) に交差している、A 5 に記載の半導体装置 (1) 。
- [0359] [A 7] 前記半導体層 (7) は、積層方向に沿う軸チャネル (C 2) を有し、前記コラム領域 (2 4) は、前記軸チャネル (C 2) に沿って延びている、A 5 または A 6 に記載の半導体装置 (1) 。
- [0360] [A 8] 前記コラム領域 (2 4) は、前記軸チャネル (C 2) 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、A 7に記載の半導体装置（1）。

[0361] [A 9] 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（ θo ）を有し、前記軸チャンネル（C 2）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（ θo ）を有している、A 7またはA 8に記載の半導体装置（1）。

[0362] [A 1 0] 前記コラム領域（2 4）は、前記半導体層（7）の厚さ方向に関して、前記トレンチ構造（2 0）の深さ（D T）よりも大きい厚さ（T C）を有している、A 5～A 9のいずれか一つに記載の半導体装置（1）。

[0363] [A 1 1] 前記コラム領域（2 4）は、前記トレンチ構造（2 0）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 5～A 1 0のいずれか一つに記載の半導体装置（1）。

[0364] [A 1 2] 前記濃度勾配は、前記上端部側のピーク値（P 2）、および、前記ピーク値（P 2）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（2 7）を含む、A 1 1に記載の半導体装置（1）。

[0365] [A 1 3] 前記緩慢部（2 7）は、前記コラム領域（2 4）のうちの1／4以上の厚さ範囲を占めている、A 1 2に記載の半導体装置（1）。

[0366] [A 1 4] 前記コラム領域（2 4）は、前記トレンチ構造（2 0）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 5～A 1 3のいずれか一つに記載の半導体装置（1）。

[0367] [A 1 5] 前記トレンチ構造（2 0）および前記コラム領域（2 4）の間の領域に形成された第2導電型の間領域（3 2）をさらに含む、A 1 4に記載の半導体装置（1）。

[0368] [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（3 0）をさらに含み、前記トレンチ構造（2 0）は、前記ボディ領域（3 0）を貫通し、前記中間領域（3 2）は、前記ボディ領域（3 0）

および前記コラム領域（24）に電氣的に接続され、前記ゲート構造（37）は、前記ボディ領域（30）を被覆している、A15に記載の半導体装置（1）。

[0369] [A17] 前記ボディ領域（30）の表層部において前記トレンチ構造（20）の側方に形成された第1導電型（n型）のソース領域（33）をさらに含み、前記ゲート構造（37）は、前記ソース領域（33）を被覆している、A16に記載の半導体装置（1）。

[0370] [A18] 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（15）をさらに含み、前記トレンチ構造（20）は、前記高濃度領域（15）の底部から前記主面（3）側に間隔を空けて形成され、前記下側領域（7a）は、前記高濃度領域（15）の一部を含み、前記コラム領域（24）は、前記高濃度領域（15）内に位置された部分を含む、A5～A17のいずれか一つに記載の半導体装置（1）。

[0371] [A19] 前記コラム領域（24）は、前記高濃度領域（15）の底部を横切っている、A18に記載の半導体装置（1）。

[0372] [A20] 主面（3）を含み、積層方向に沿う軸チャネル（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）の底部と下側領域（7a）を区画するトレンチ構造（20）と、前記下側領域（7a）に形成され、前記軸チャネル（C2）に沿って延びる第2導電型（p型）のコラム領域（24）と、前記主面（3）の上に配置され、前記積層方向に前記トレンチ構造（20）および前記コラム領域（24）に重なるプレーナ電極型のゲート構造（37）と、を含む、半導体装置（1）。

[0373] [A21] 前記半導体層（7）は、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）。

[0374] 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間で適宜組み合わせ可能である。

符号の説明

| | | |
|--------|------------|----------|
| [0375] | 1 | 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 | トレンチ構造 |
| | 2 4 | コラム領域 |
| | 2 7 | 第2緩慢部 |
| | 3 0 | ボディ領域 |
| | 3 2 | 中間領域 |
| | 3 3 | ソース領域 |
| | 3 7 | ゲート構造 |
| | C 2 | 第2軸チャンネル |
| | D T | トレンチ深さ |
| | D e 1 | 第1延在方向 |
| | D e 2 | 第2延在方向 |
| | D o | オフ方向 |
| | P 2 | ピーク値 |
| | T C | コラム厚さ |
| | θ o | オフ角 |
| | Z | 鉛直方向 |

請求の範囲

- [請求項1] 主面を含むS i C層と、
前記主面に形成され、平面視で第1延在方向に延びるトレンチ構造と、
前記主面の上に配置され、平面視で前記第1延在方向以外の第2延在方向に延びるプレーナ電極型のゲート構造と、を含む、S i C半導体装置。
- [請求項2] 前記ゲート構造は、前記トレンチ構造に交差し、前記トレンチ構造との交差部において前記トレンチ構造から電氣的に絶縁されている、請求項1に記載のS i C半導体装置。
- [請求項3] 前記トレンチ構造には、ゲート電位以外の電位が付与され、
前記ゲート構造には、前記ゲート電位が付与される、請求項1または2に記載のS i C半導体装置。
- [請求項4] 前記第1延在方向は、S i C単結晶のa軸方向であり、
前記第2延在方向は、前記a軸方向以外の方向である、請求項1～3のいずれか一項に記載のS i C半導体装置。
- [請求項5] 第1導電型の前記S i C層と、
前記S i C層の底部および前記トレンチ構造の間の領域に区画された下側領域と、
前記下側領域に形成された第2導電型のコラム領域と、をさらに含む、請求項1～4のいずれか一項に記載のS i C半導体装置。
- [請求項6] 前記コラム領域は、平面視で前記第1延在方向に延び、
前記ゲート構造は、平面視で前記コラム領域に交差している、請求項5に記載のS i C半導体装置。
- [請求項7] 前記S i C層は、積層方向に沿う軸チャネルを有し、
前記コラム領域は、前記軸チャネルに沿って延びている、請求項5または6に記載のS i C半導体装置。
- [請求項8] 前記コラム領域は、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7に記載のSiC半導体装置。

[請求項9] 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7または8に記載のSiC半導体装置。

[請求項10] 前記コラム領域は、前記SiC層の厚さ方向に関して、前記トレンチ構造の深さよりも大きい厚さを有している、請求項5～9のいずれか一項に記載のSiC半導体装置。

[請求項11] 前記コラム領域は、前記トレンチ構造側の上端部、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5～10のいずれか一項に記載のSiC半導体装置。

[請求項12] 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11に記載のSiC半導体装置。

[請求項13] 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、前記トレンチ構造から前記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5～13のいずれか一項に記載のSiC半導体装置。

[請求項15] 前記トレンチ構造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、

前記トレンチ構造は、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、

前記ゲート構造は、前記ボディ領域を被覆している、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構造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み、

前記ゲート構造は、前記ソース領域を被覆している、請求項16に記載のSiC半導体装置。

[請求項18] 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、

前記トレンチ構造は、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、

前記下側領域は、前記高濃度領域の一部を含み、

前記コラム領域は、前記高濃度領域内に位置された部分を含む、請求項5～17のいずれか一項に記載のSiC半導体装置。

[請求項19] 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18に記載のSiC半導体装置。

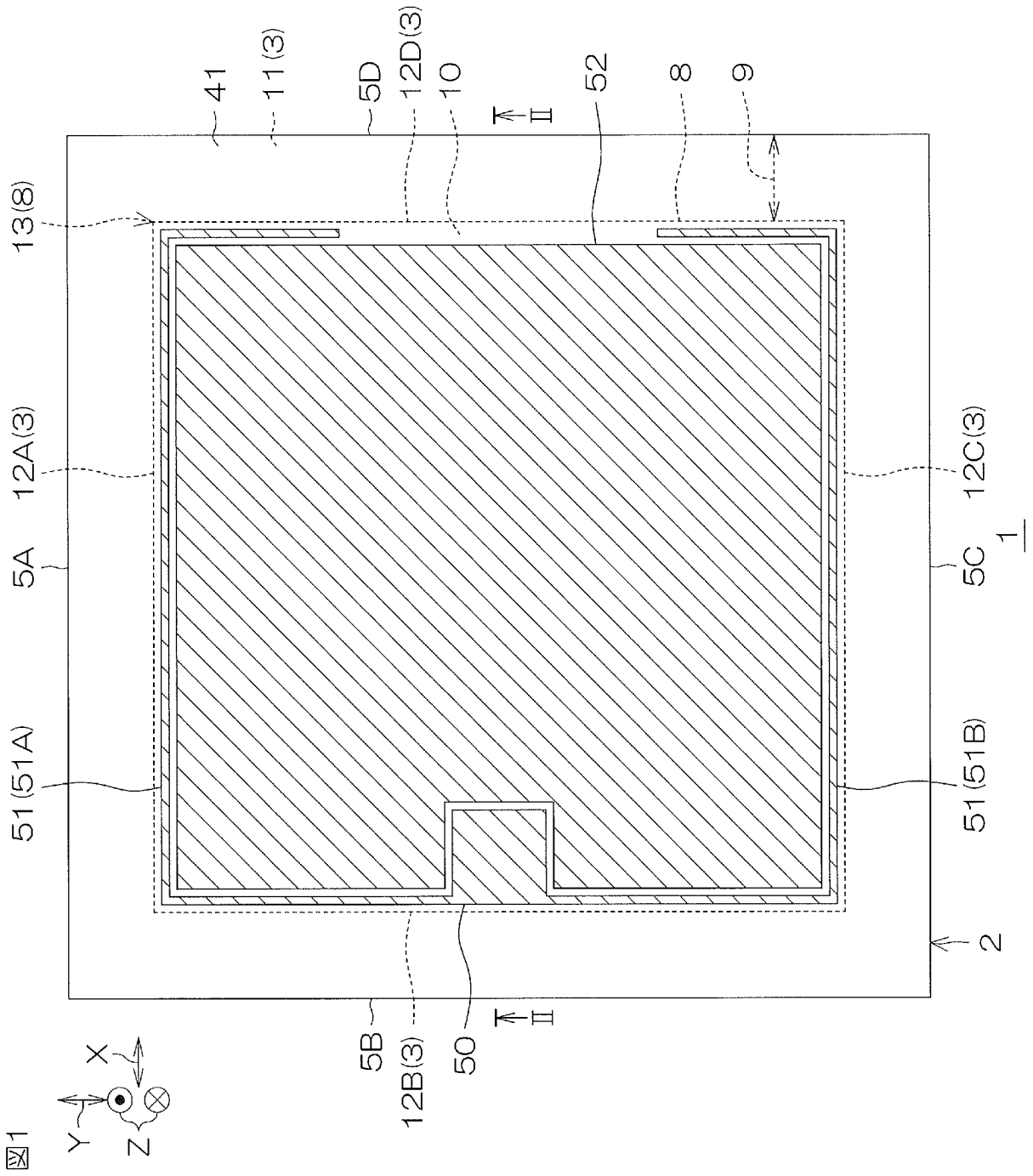
[請求項20] 主面を含み、積層方向に沿う軸チャンネルを有する第1導電型のSiC層と、

前記主面に形成され、前記SiC層の底部と下側領域を区画するトレンチ構造と、

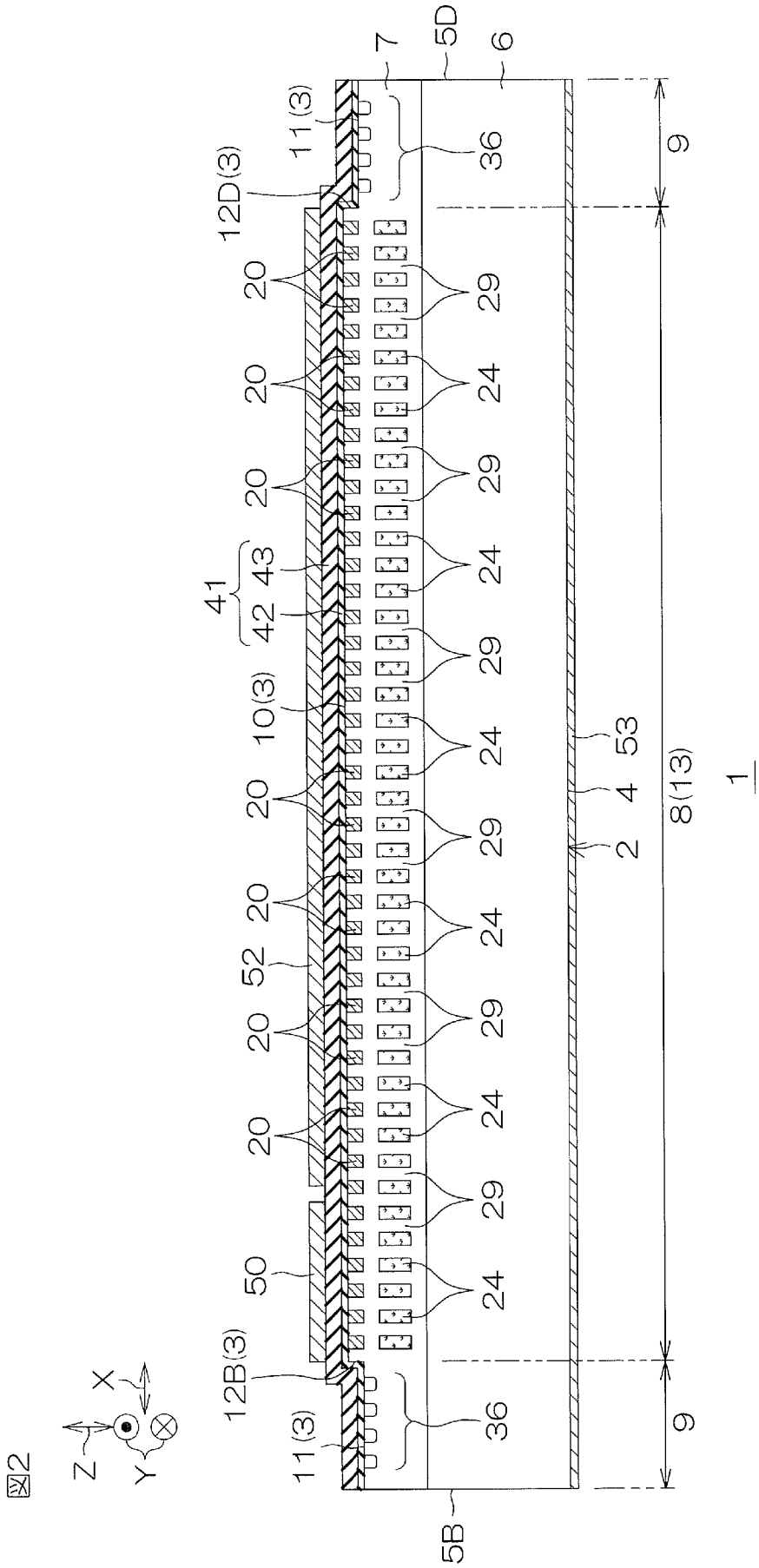
前記下側領域に形成され、前記軸チャンネルに沿って延びる第2導電型のコラム領域と、

前記主面の上に配置され、前記積層方向に前記トレンチ構造および前記コラム領域に重なるプレーナ電極型のゲート構造と、を含む、SiC半導体装置。

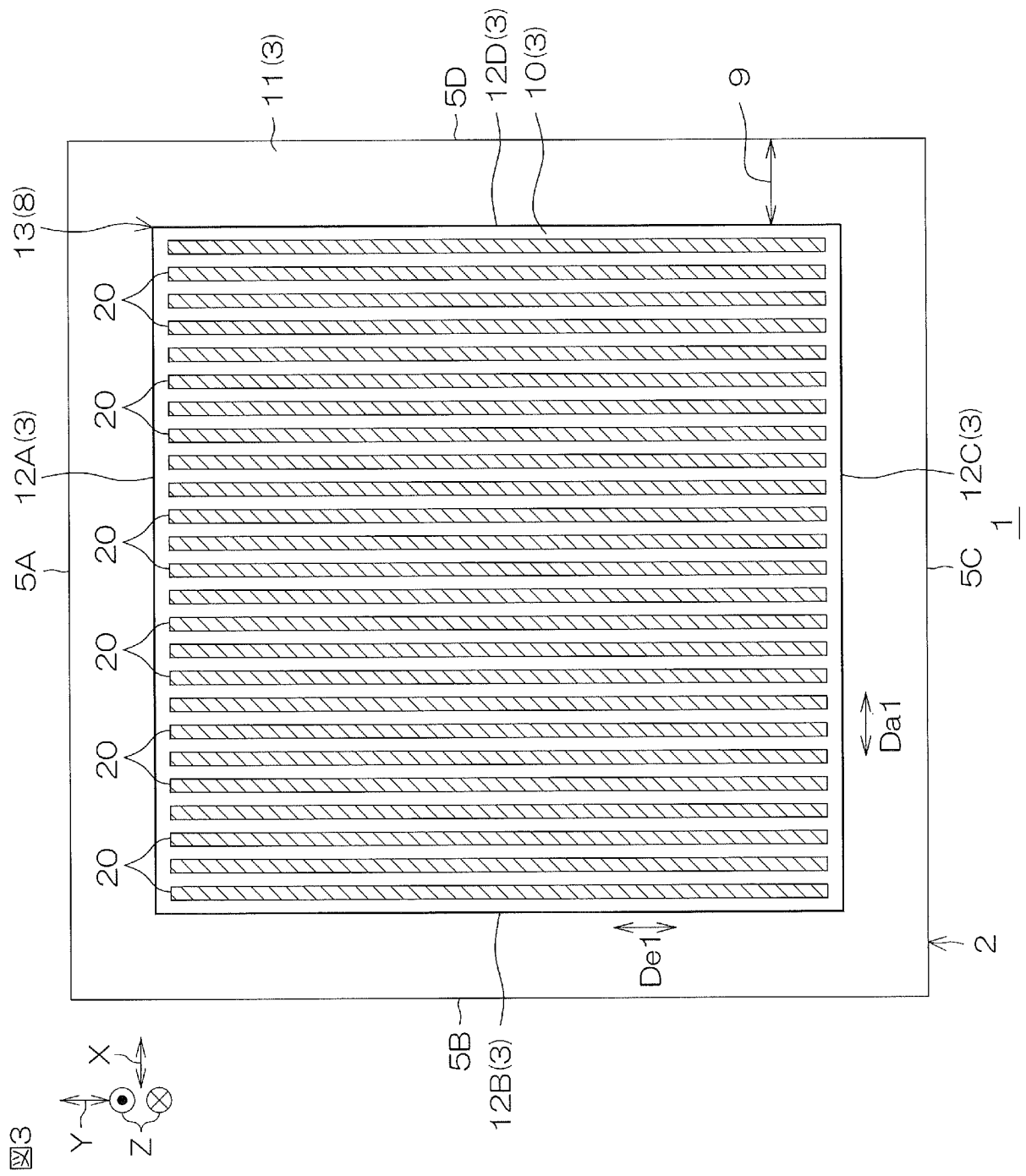
[図1]



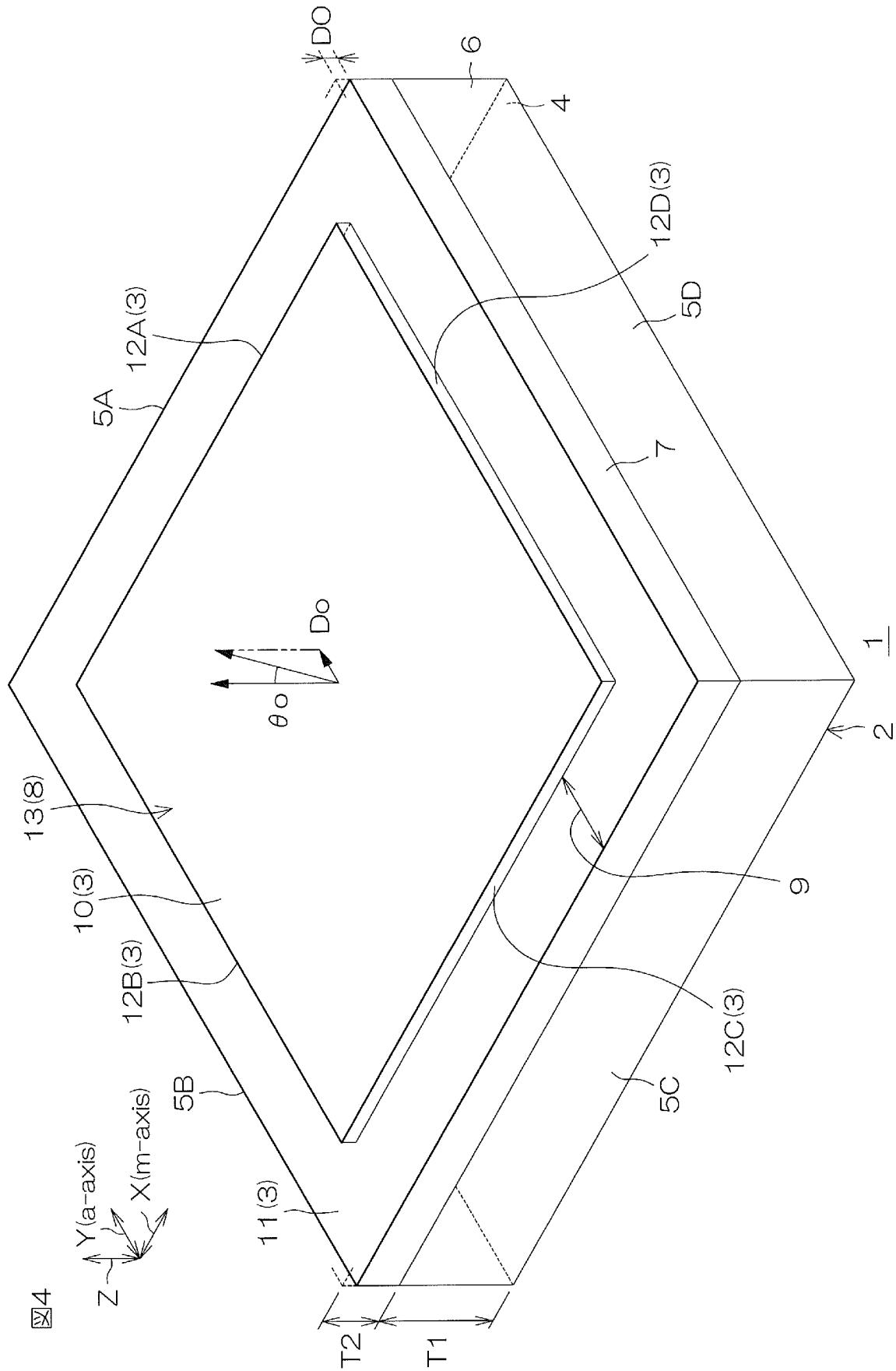
[図2]



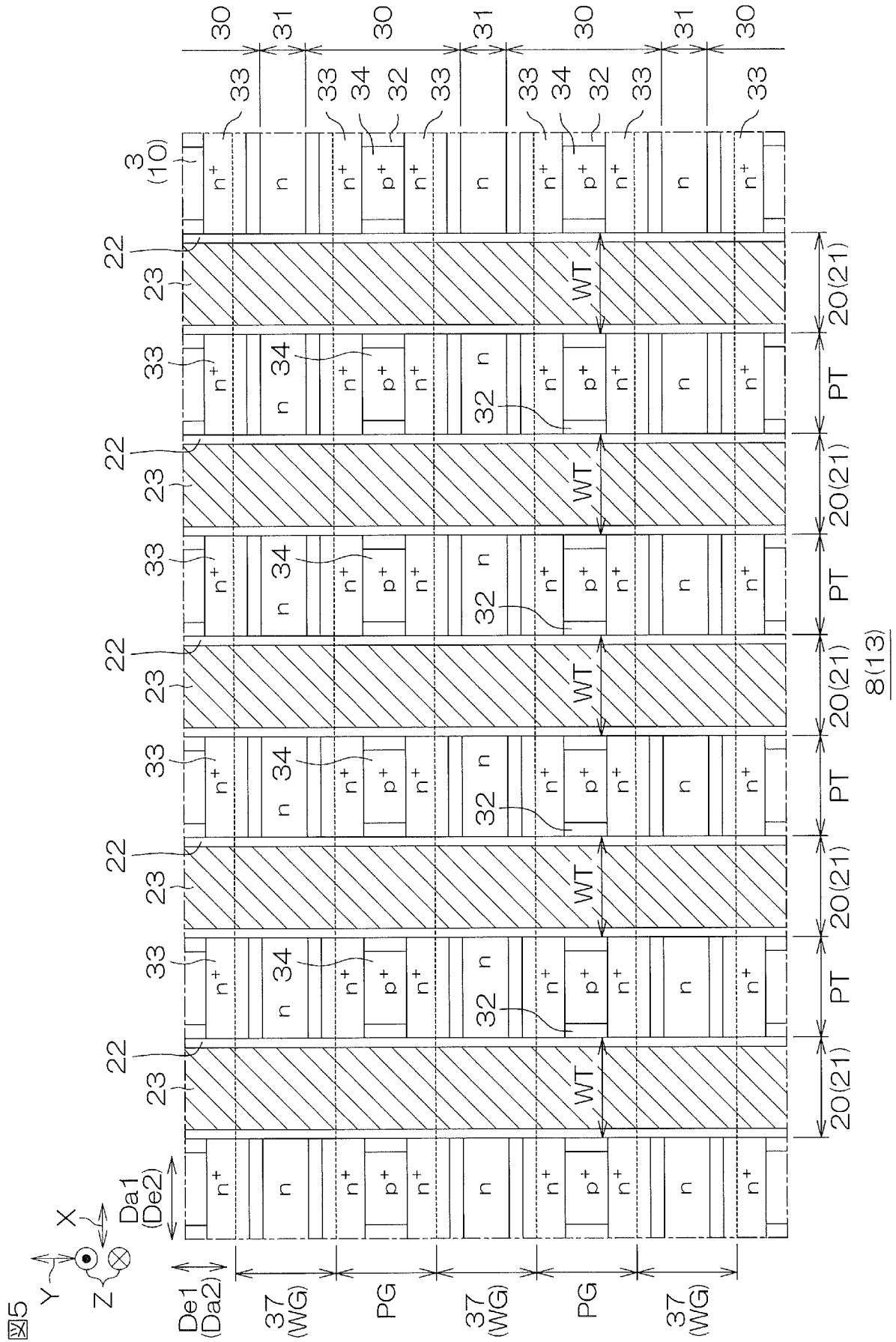
[図3]



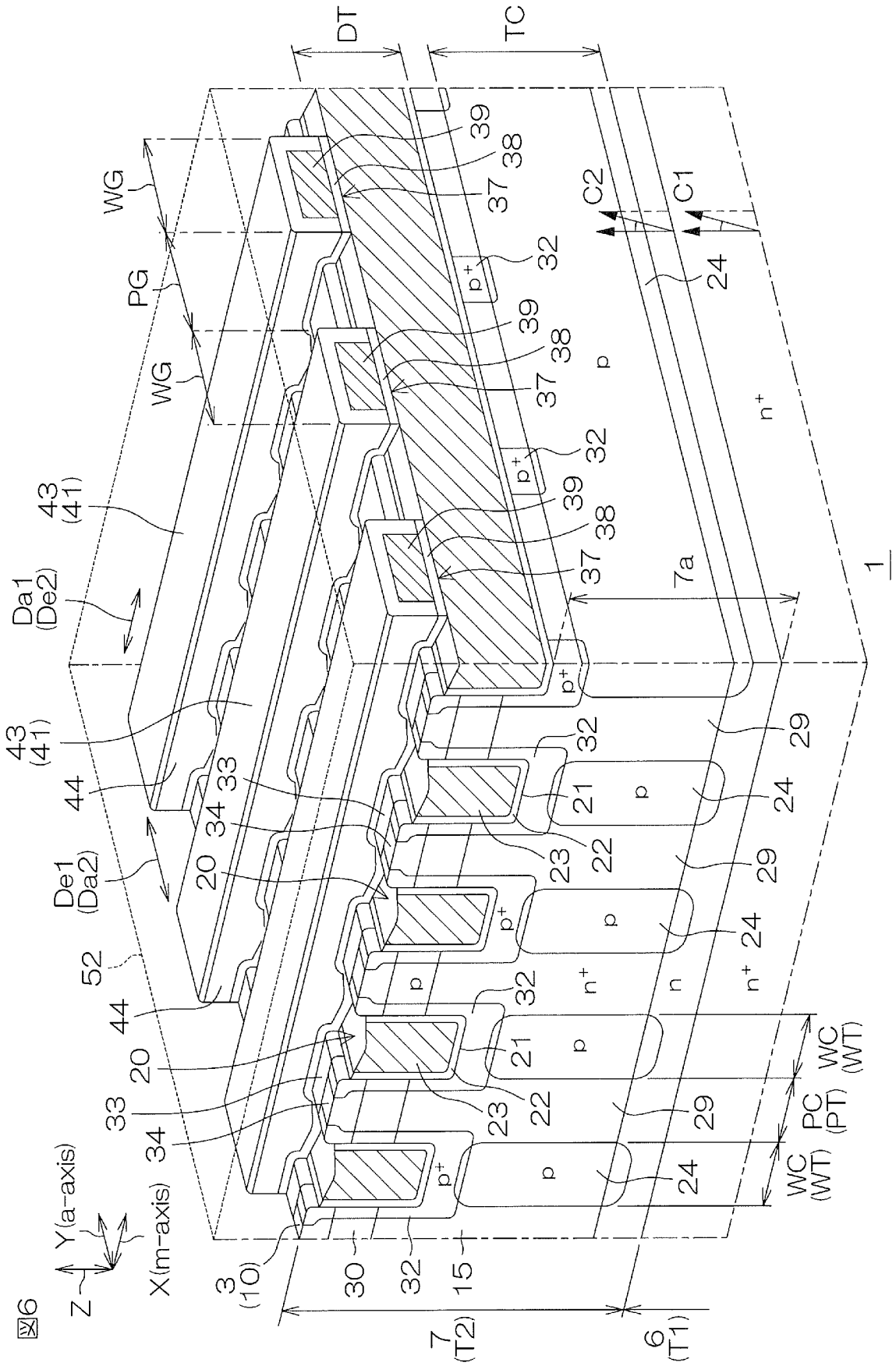
[図4]



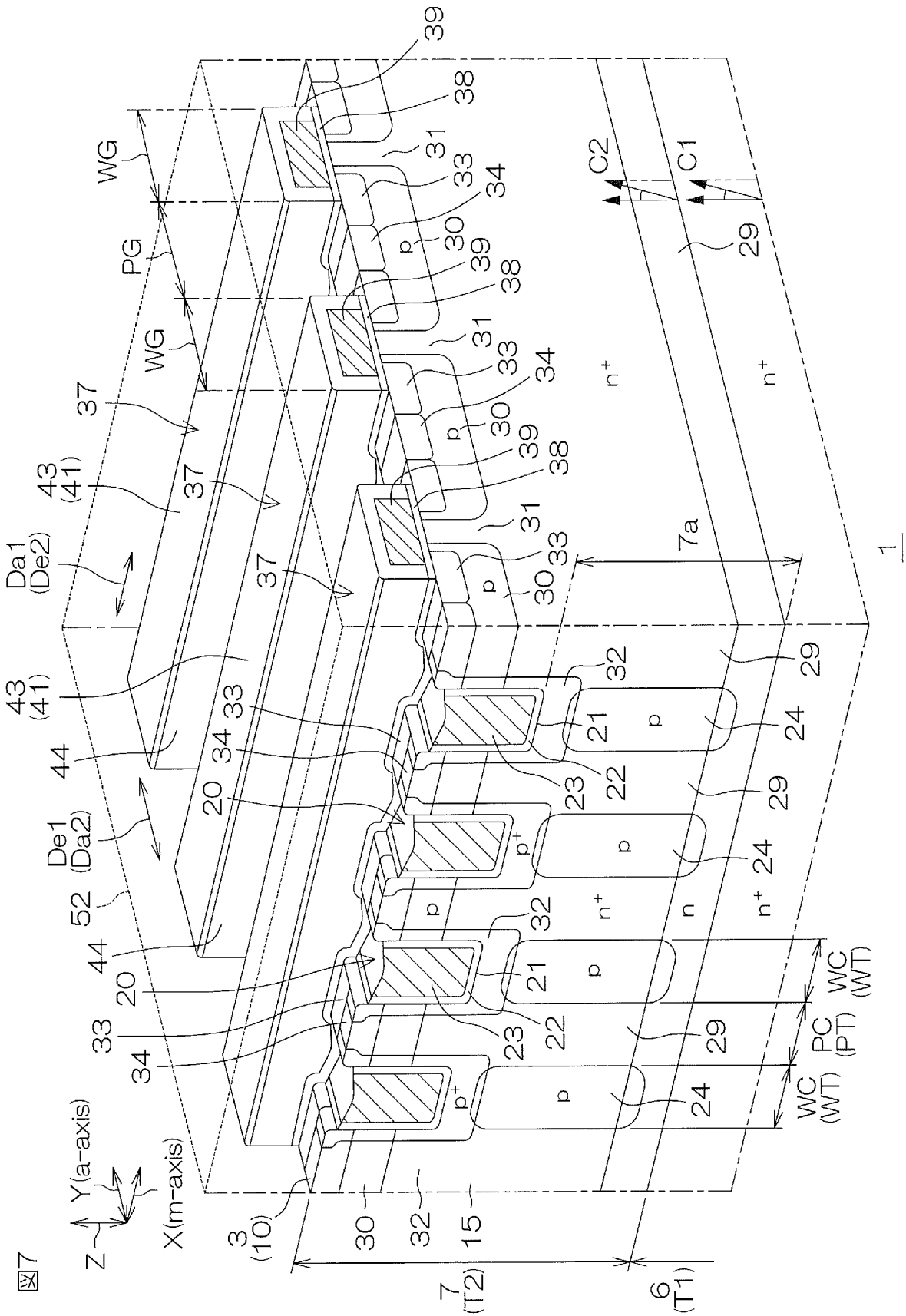
[図5]



[図6]

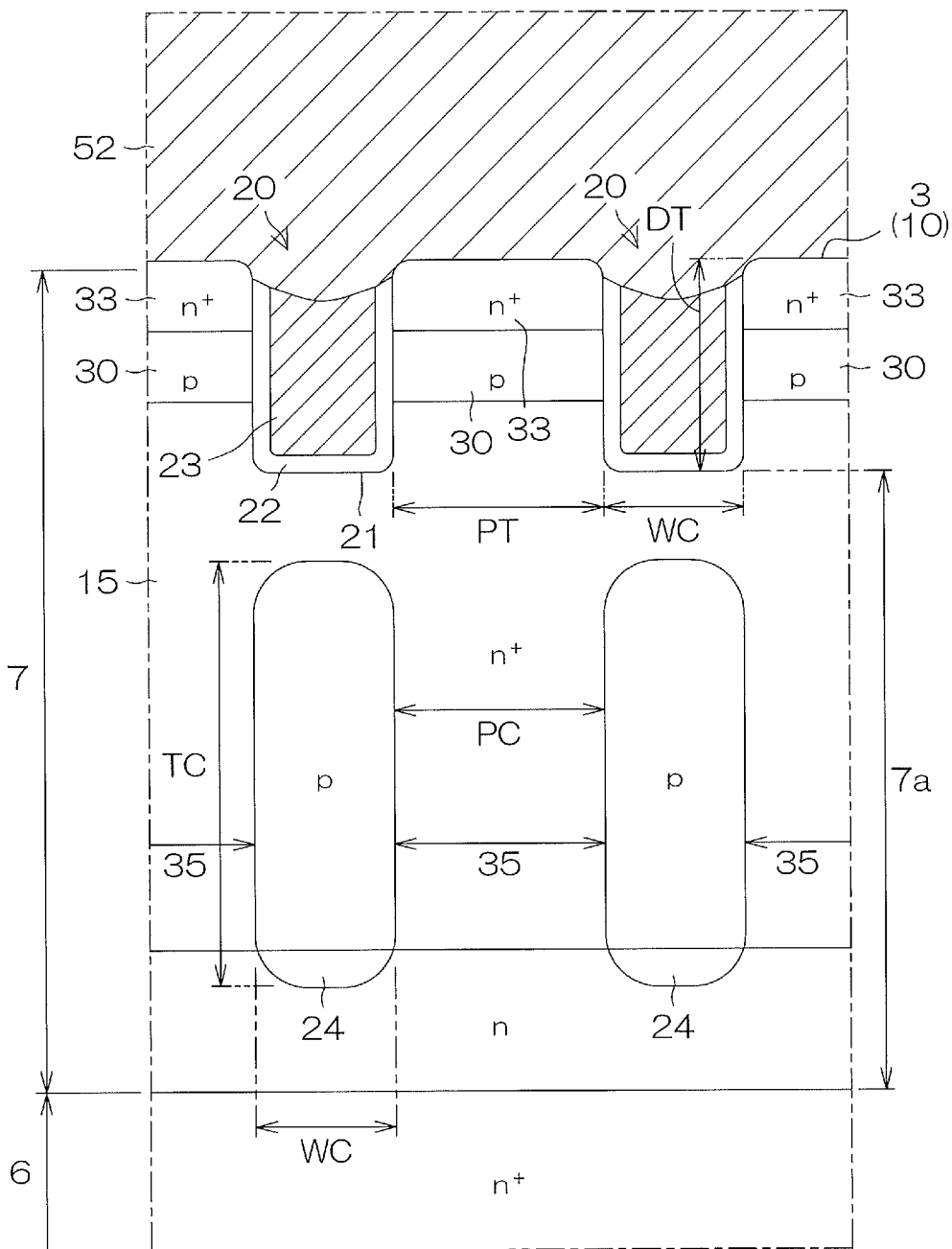
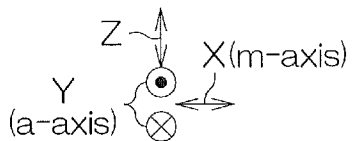


[7]

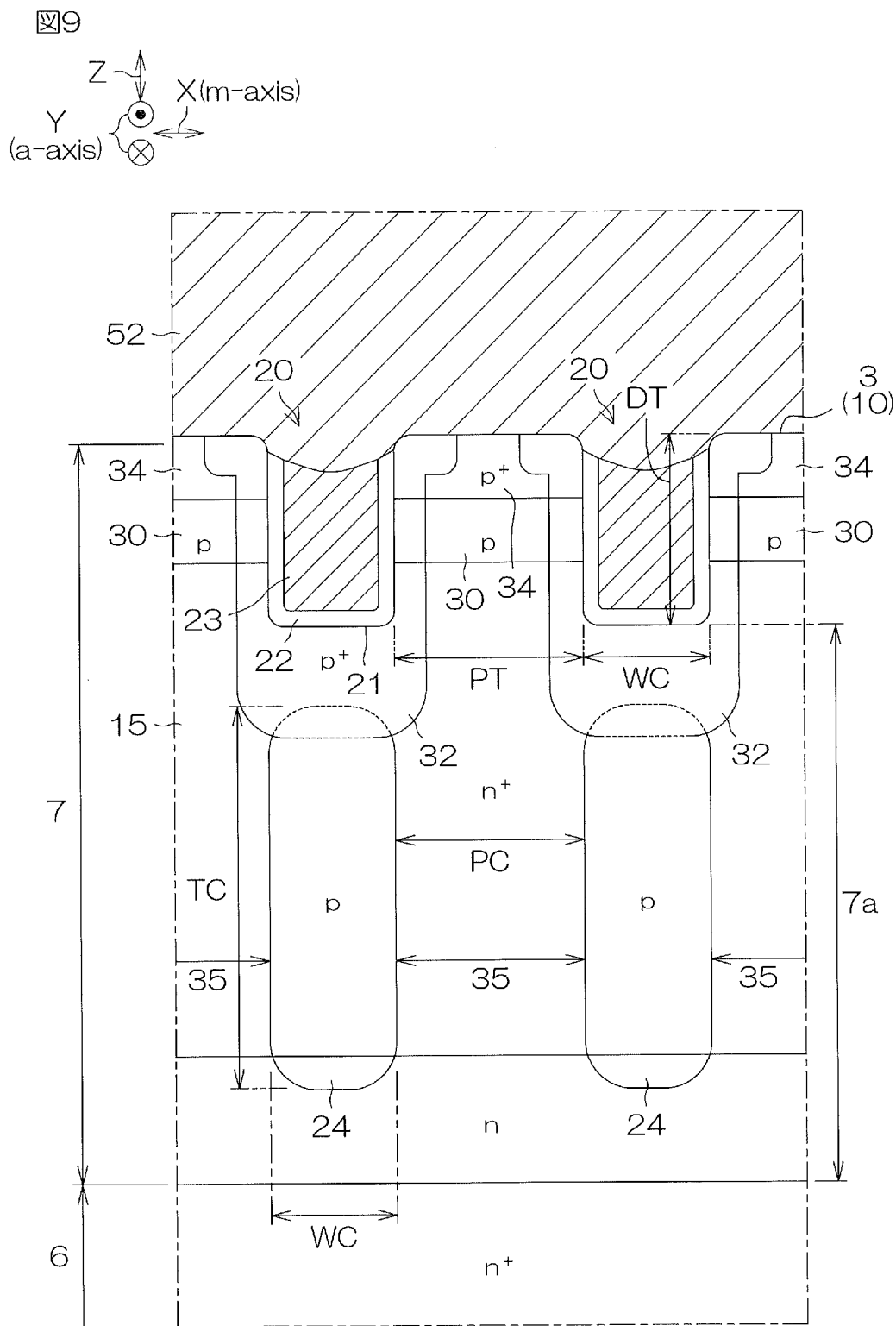


[図8]

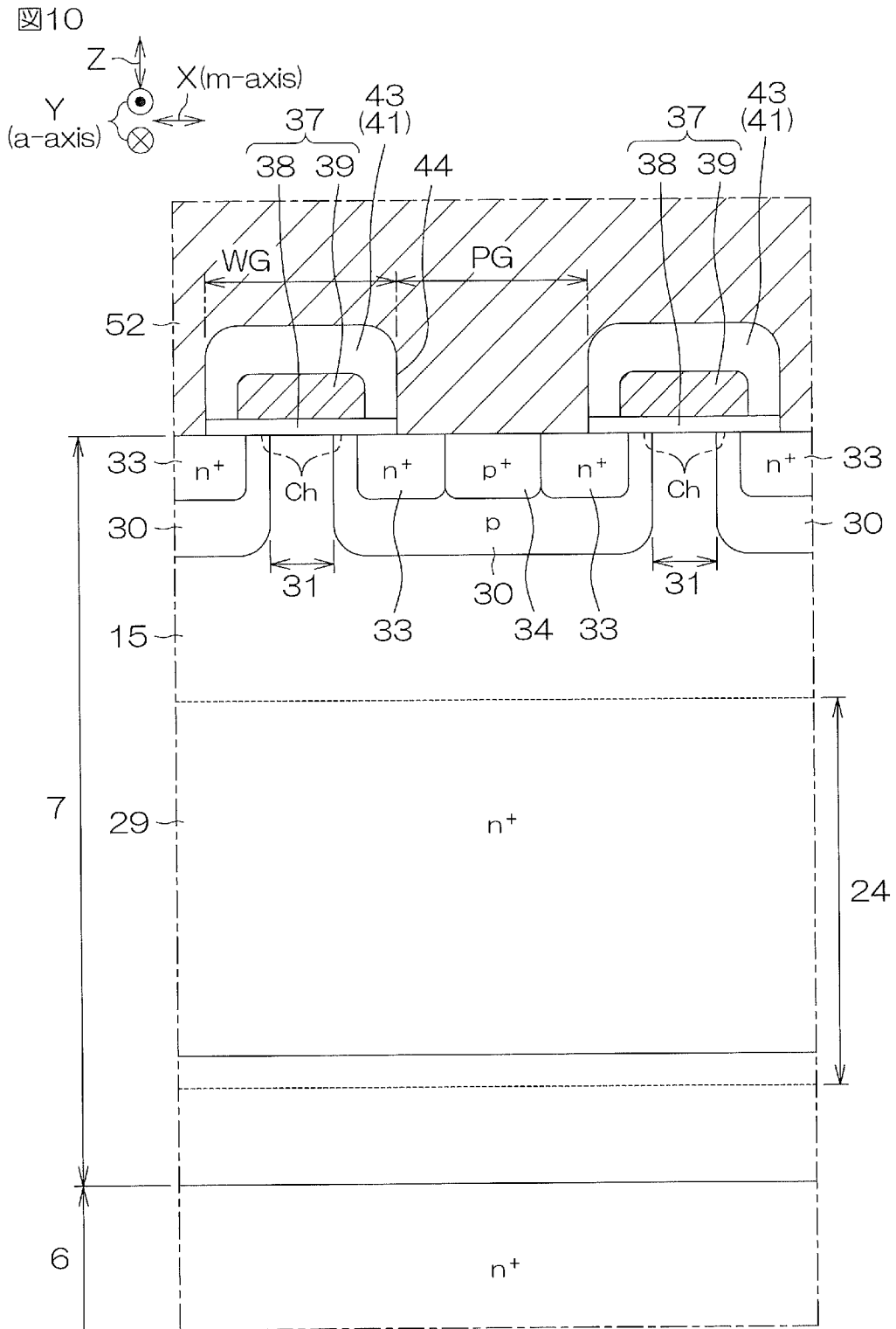
図8



[図9]

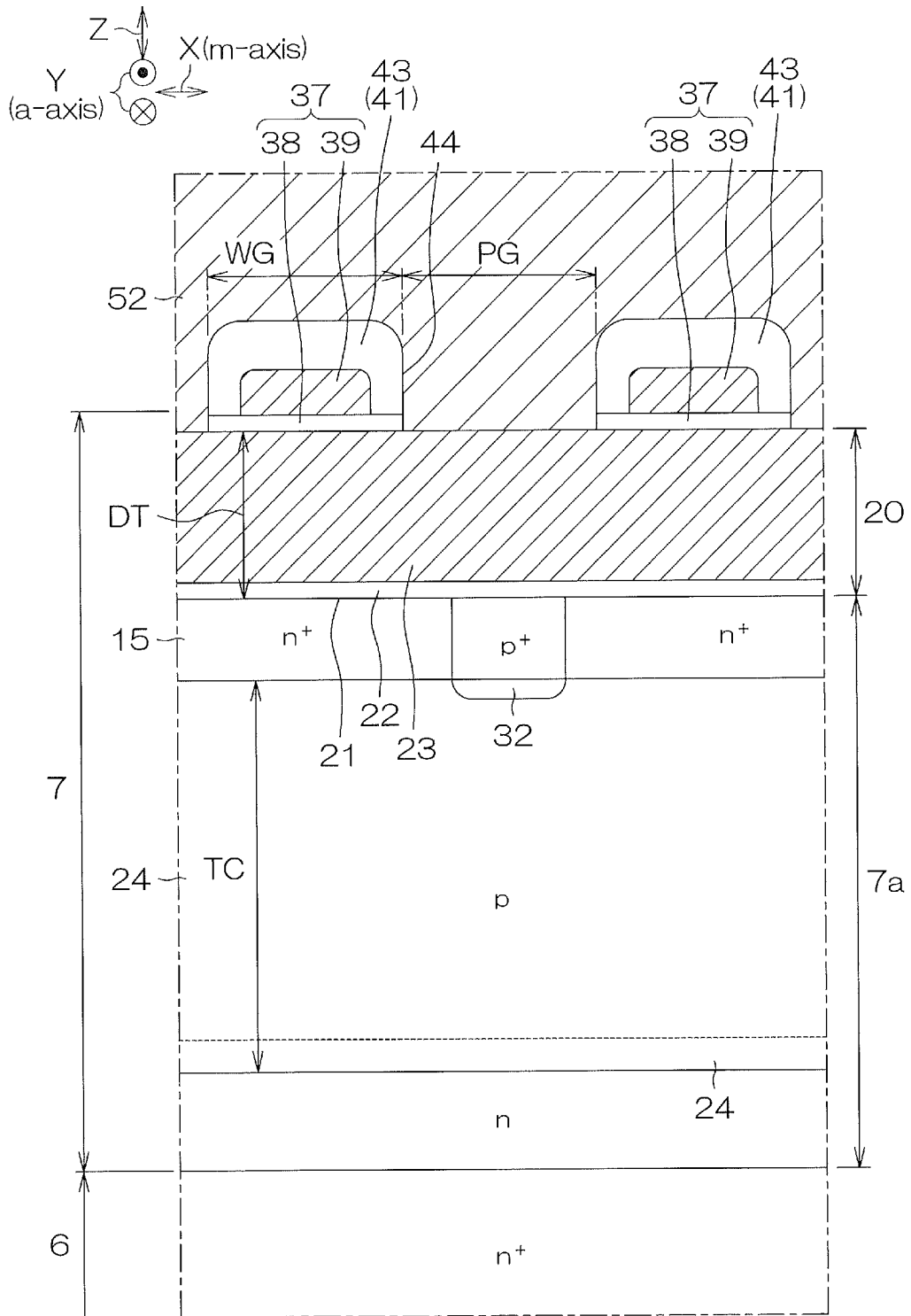


[図10]

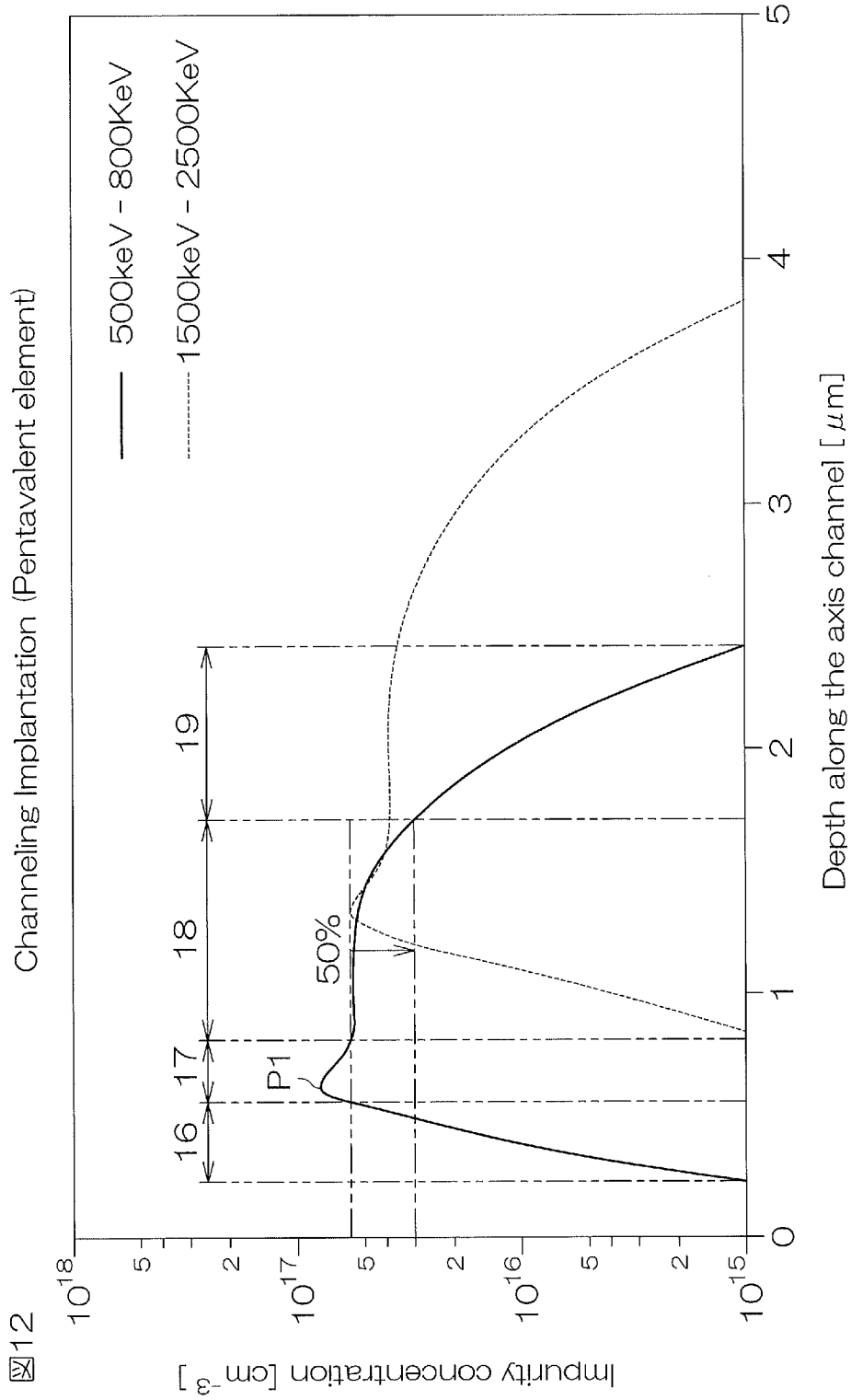


[図11]

図11

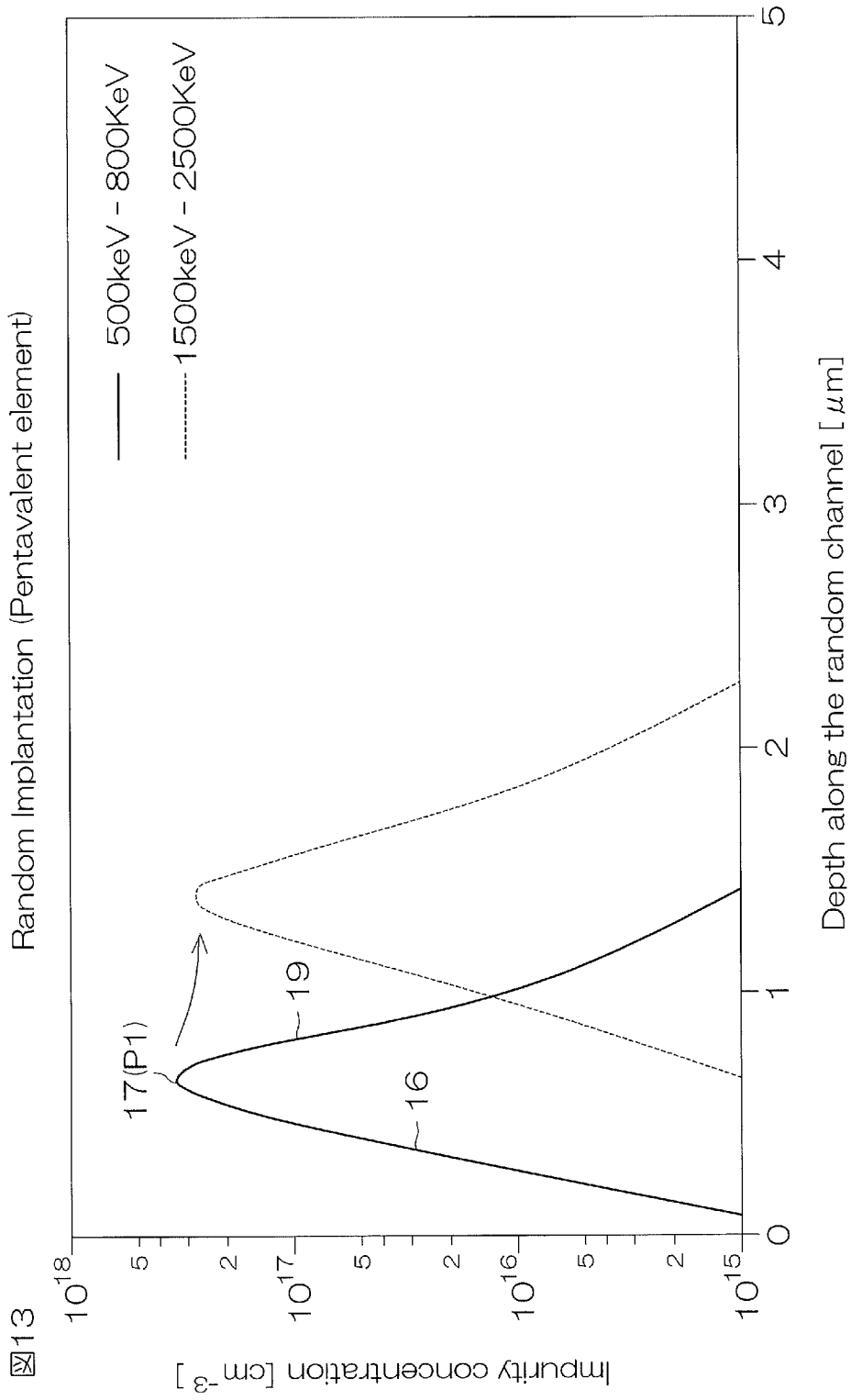


[12]



[12]

[13]



[圖14]

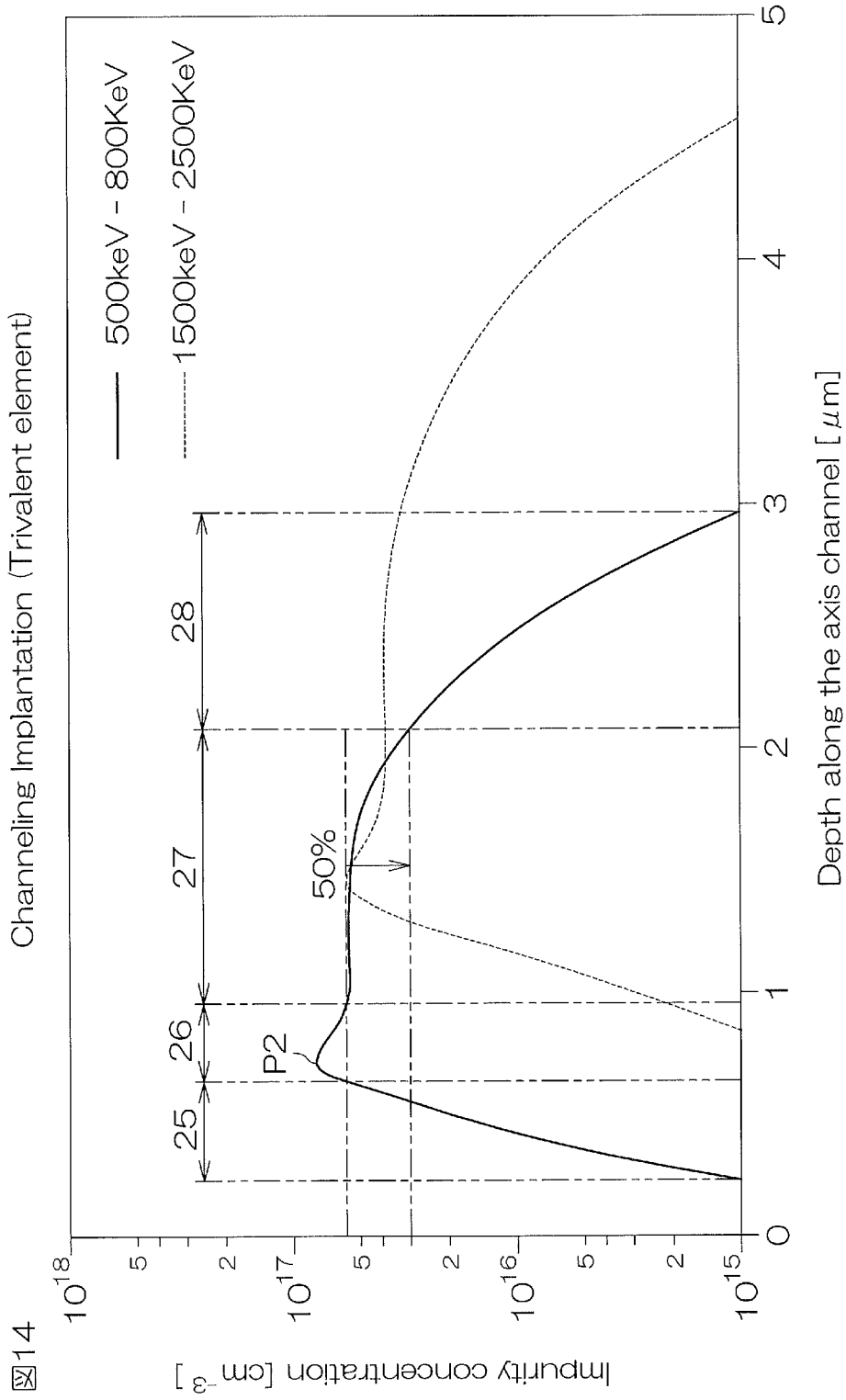
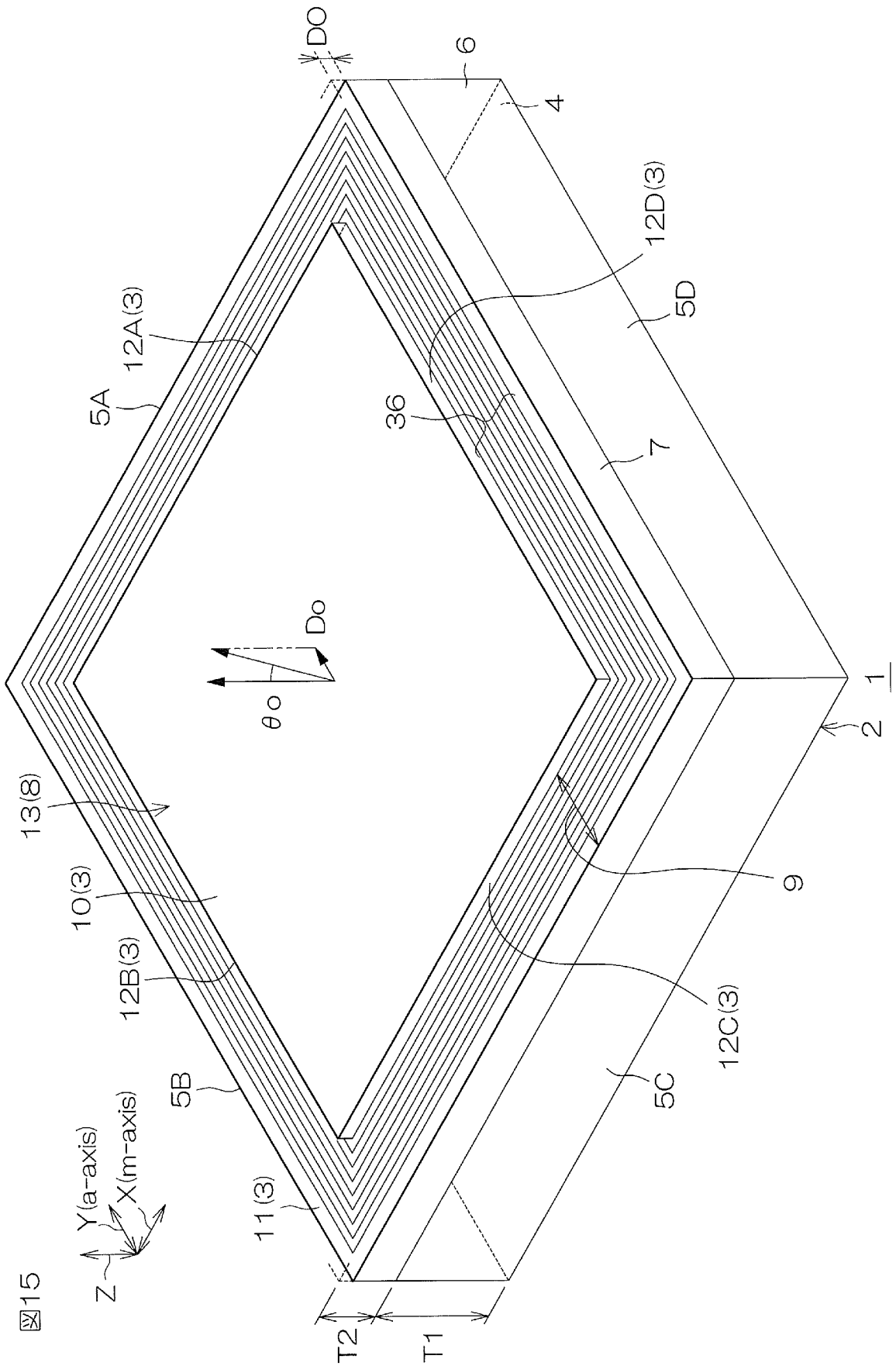
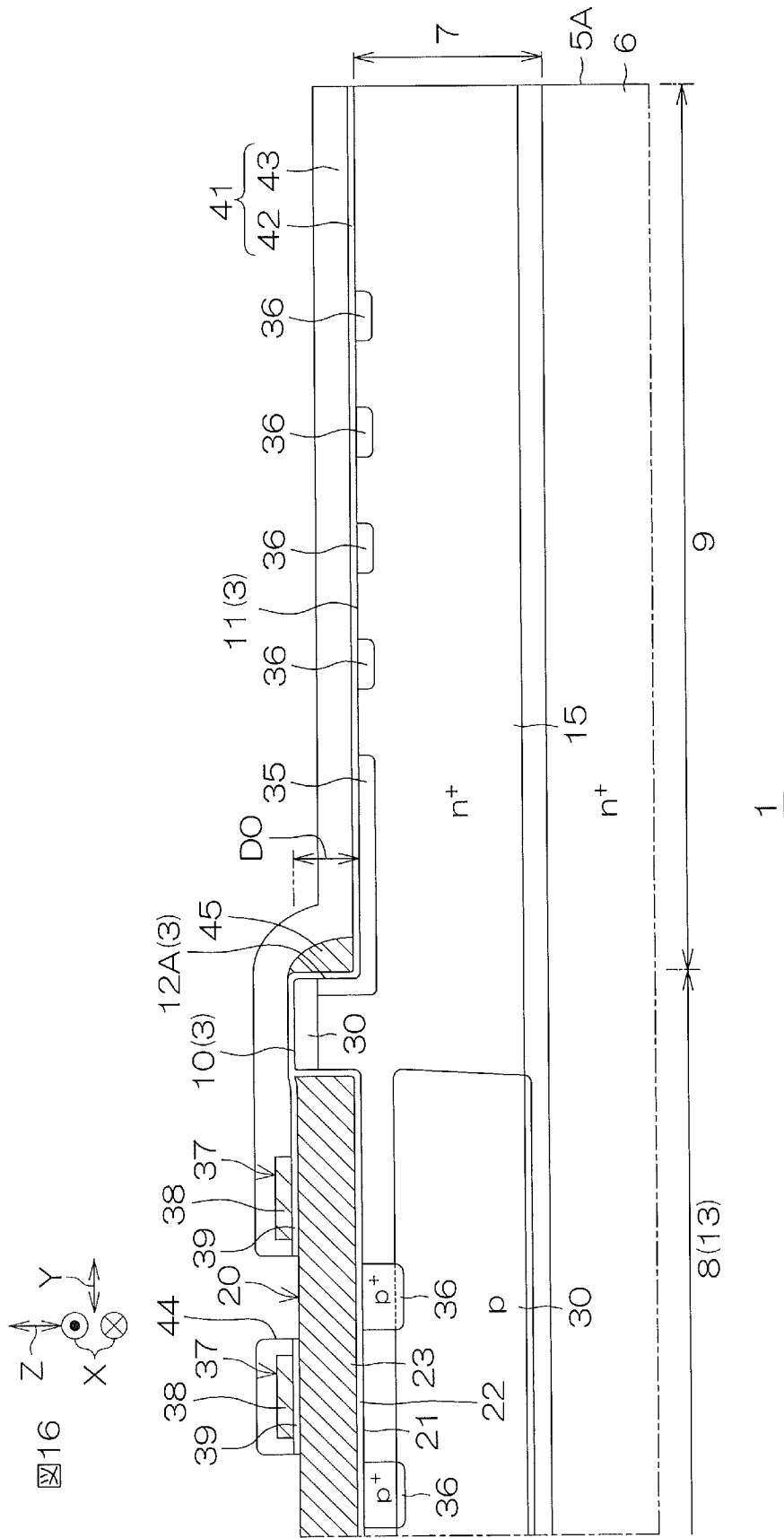


圖14

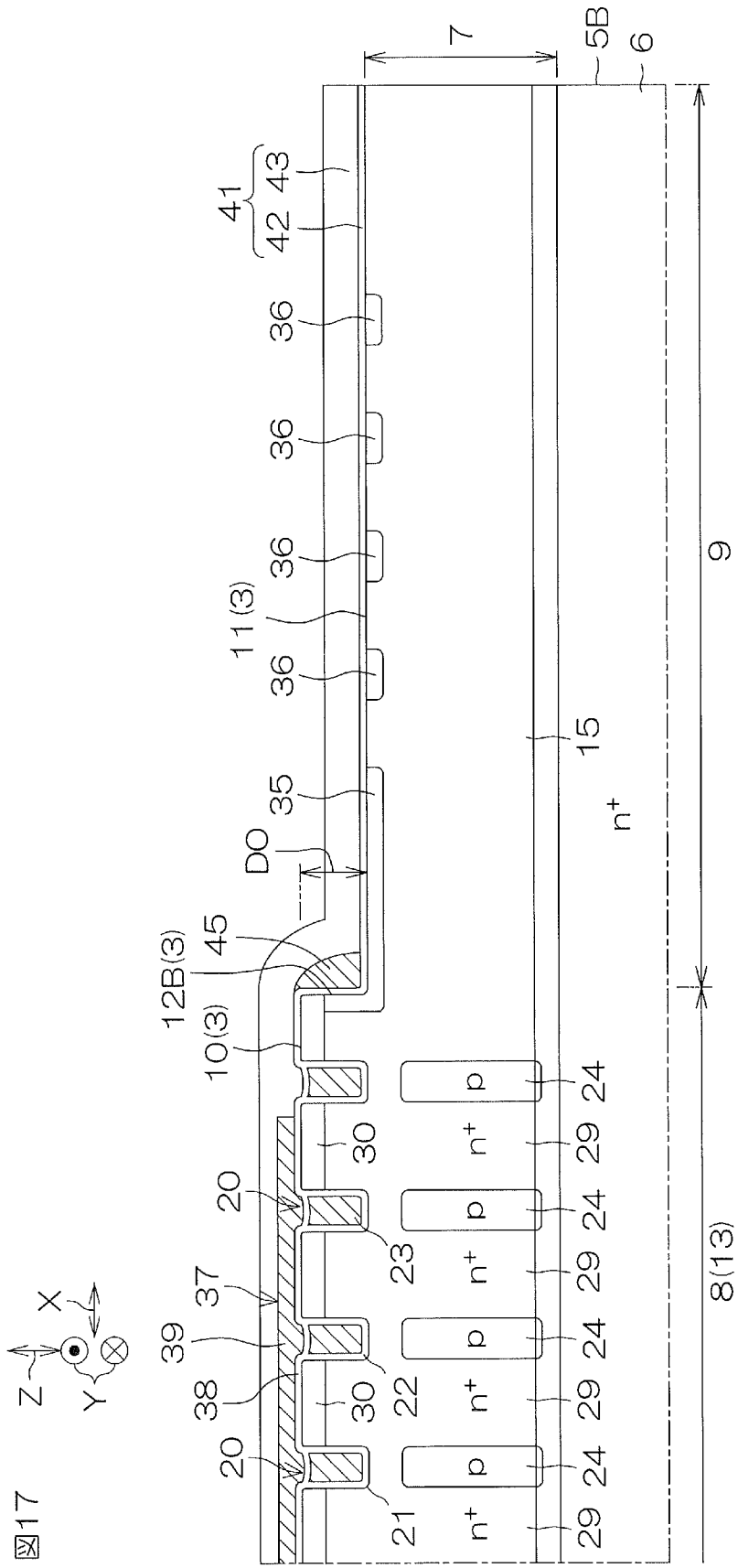
[圖15]



[図16]

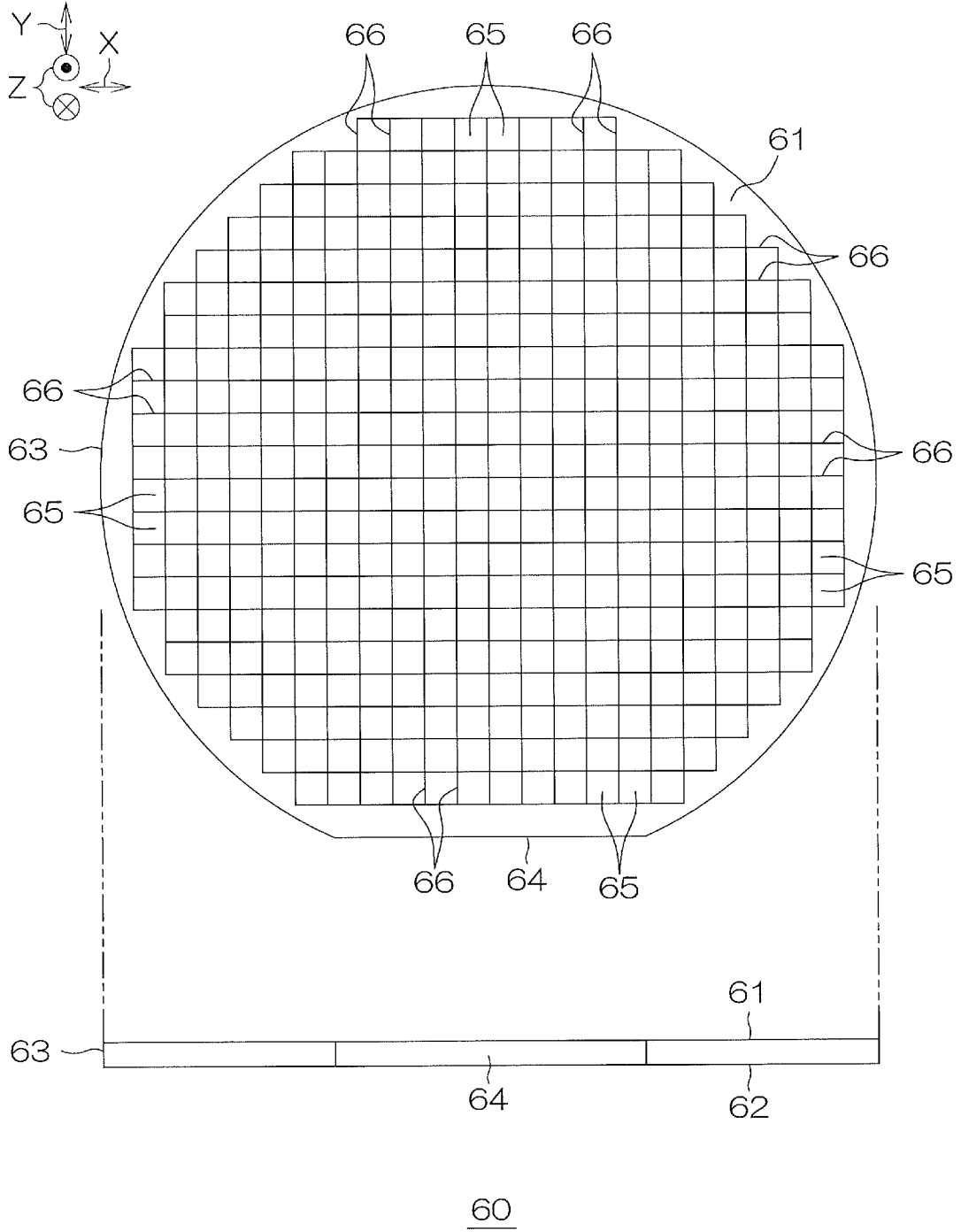


[図17]

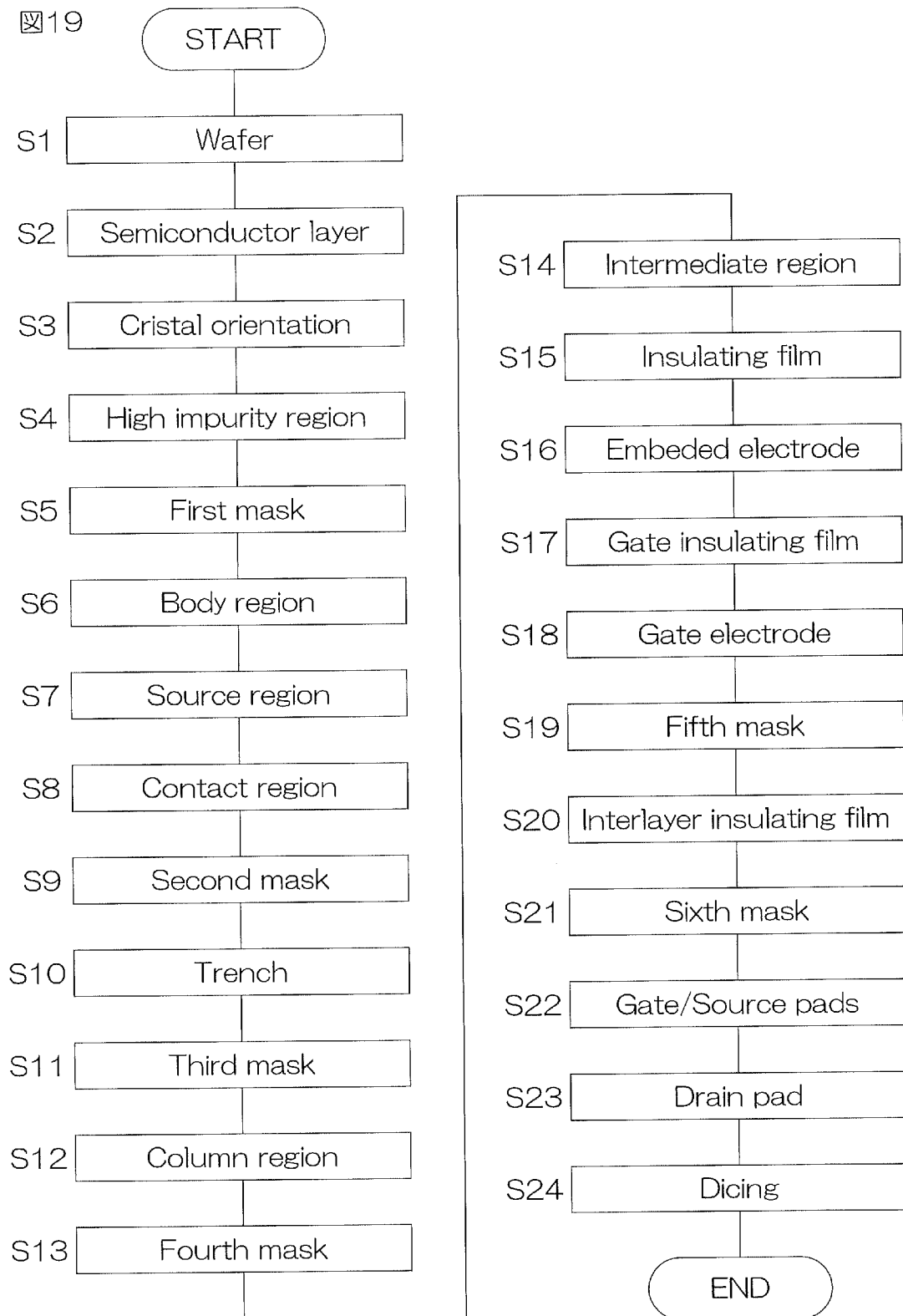


[図18]

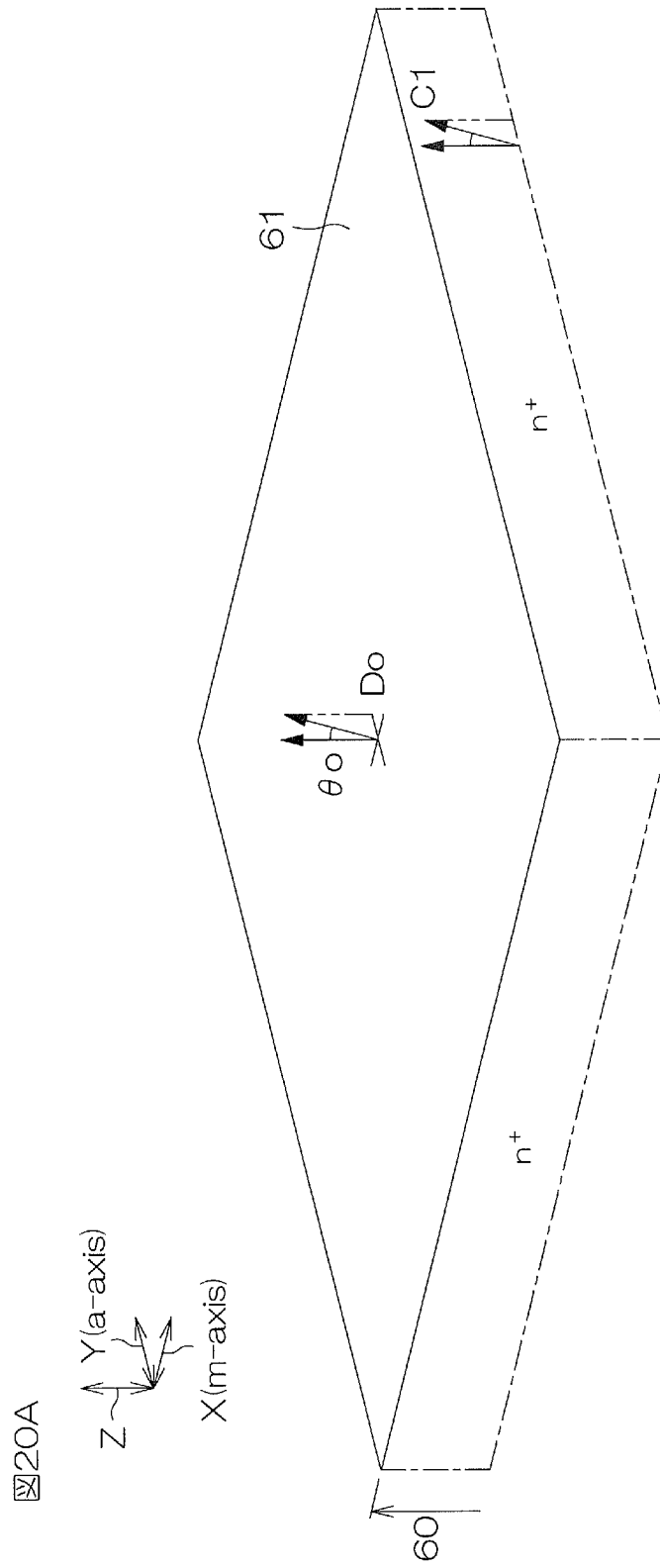
図18




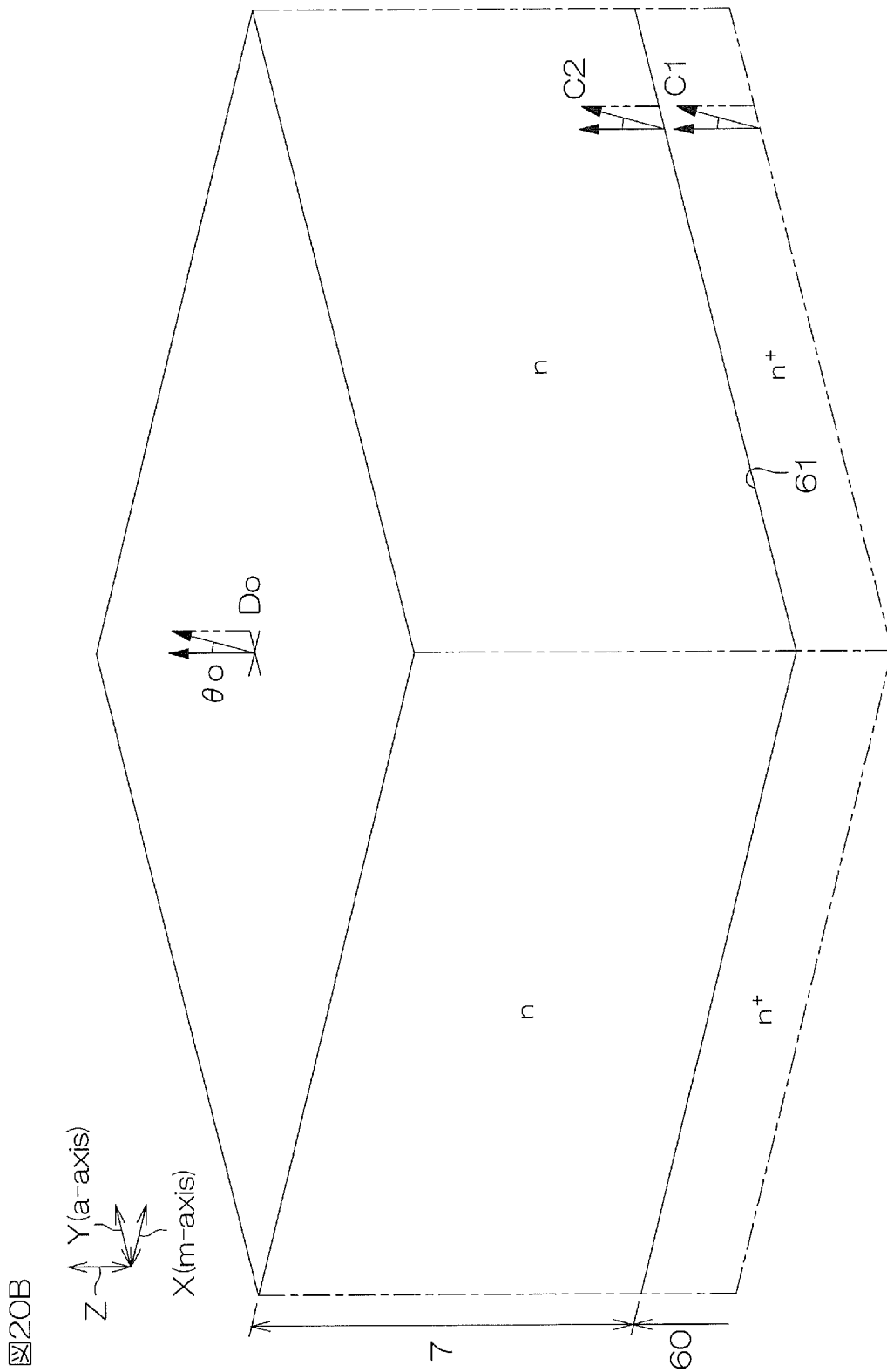
[図19]




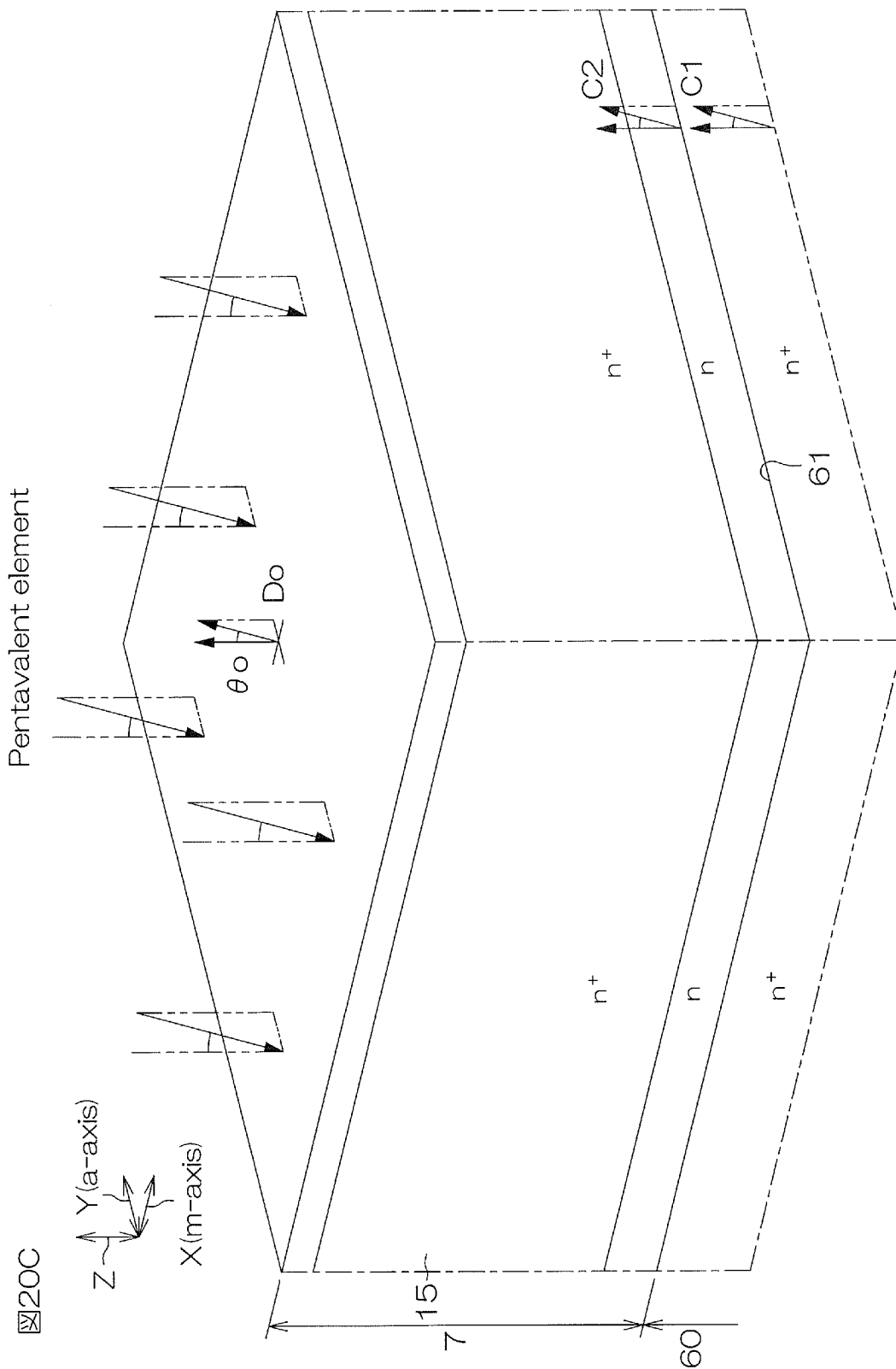
[図20A]



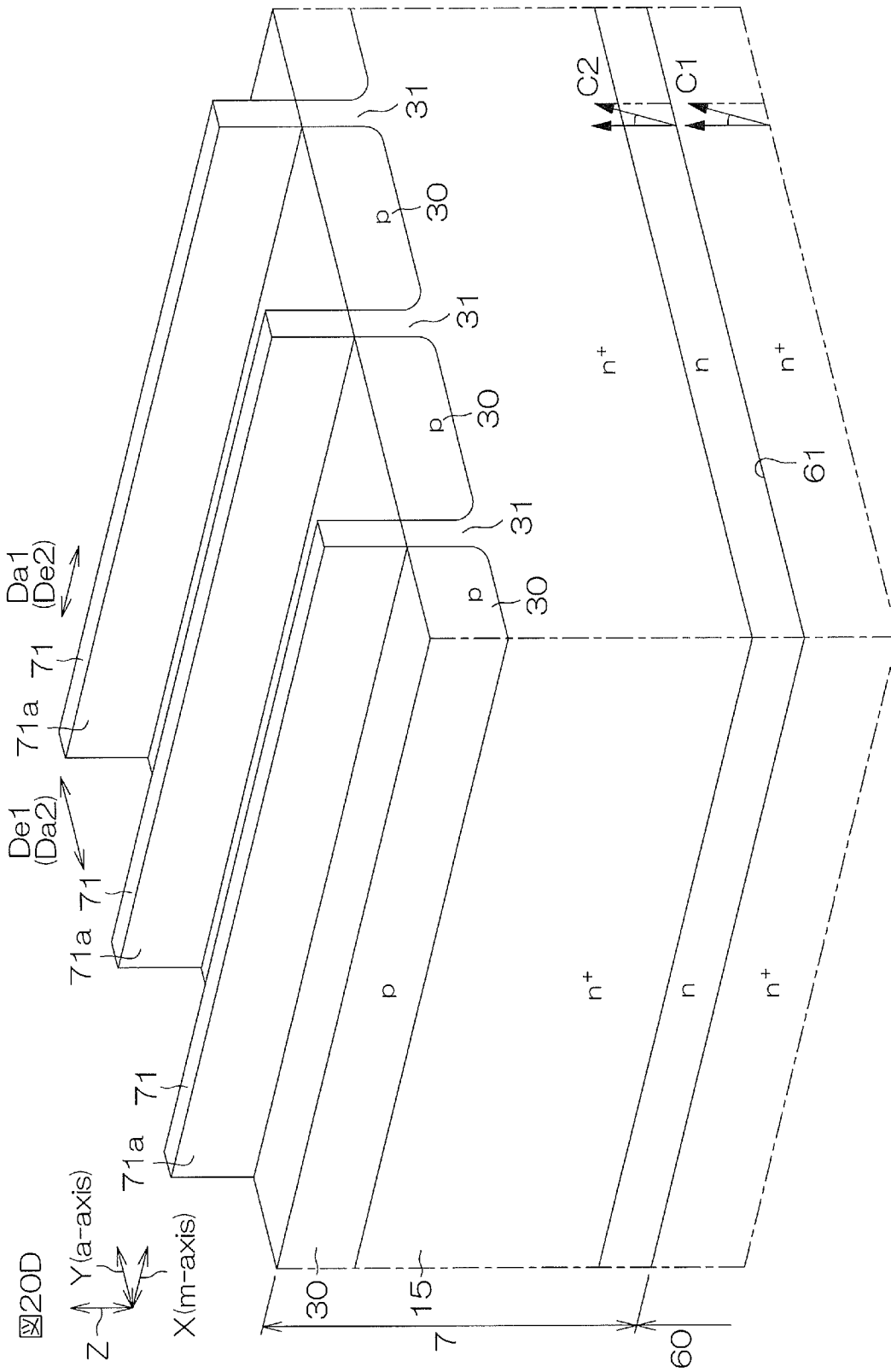
[20B]




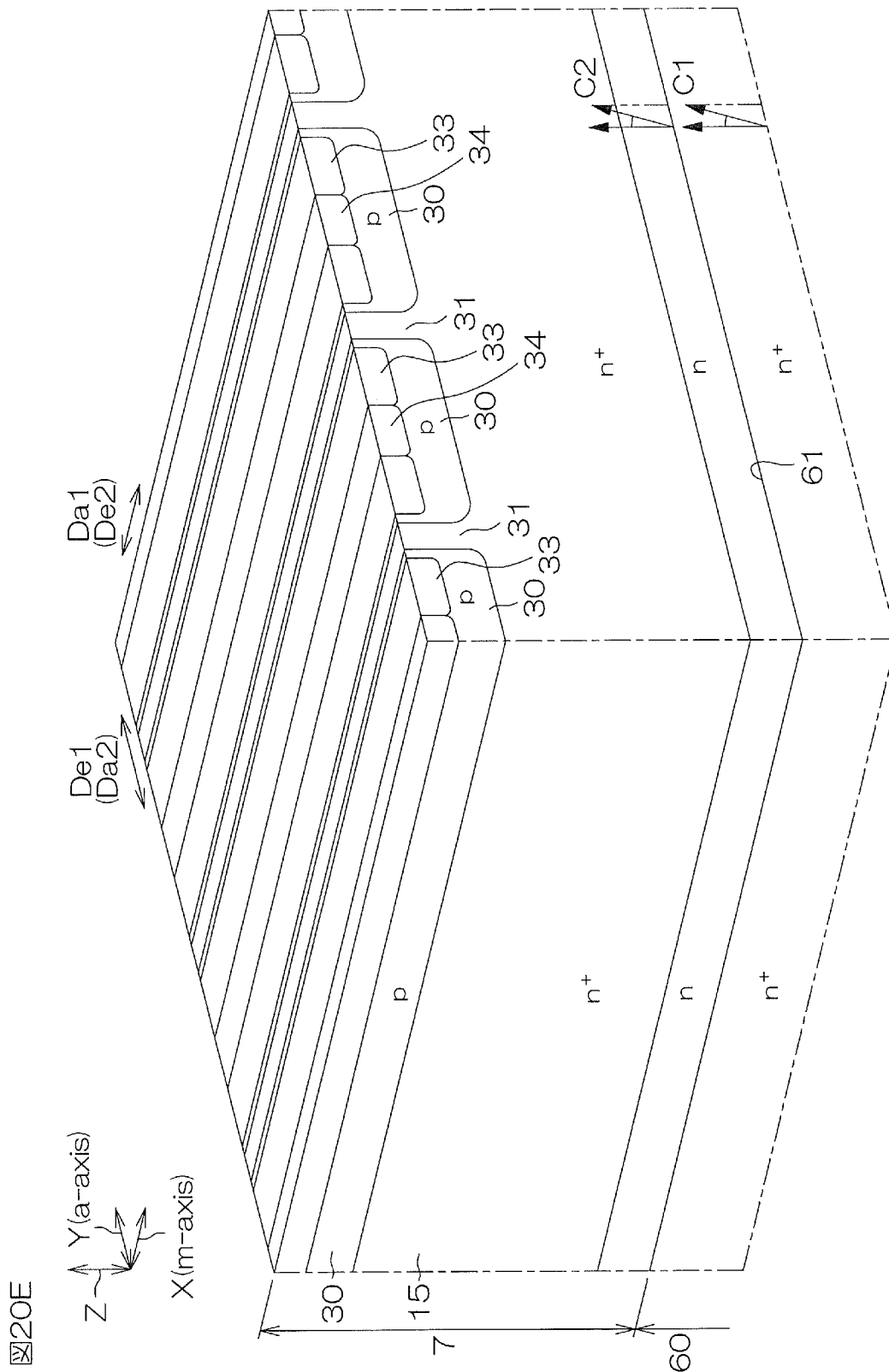
[ 20C]




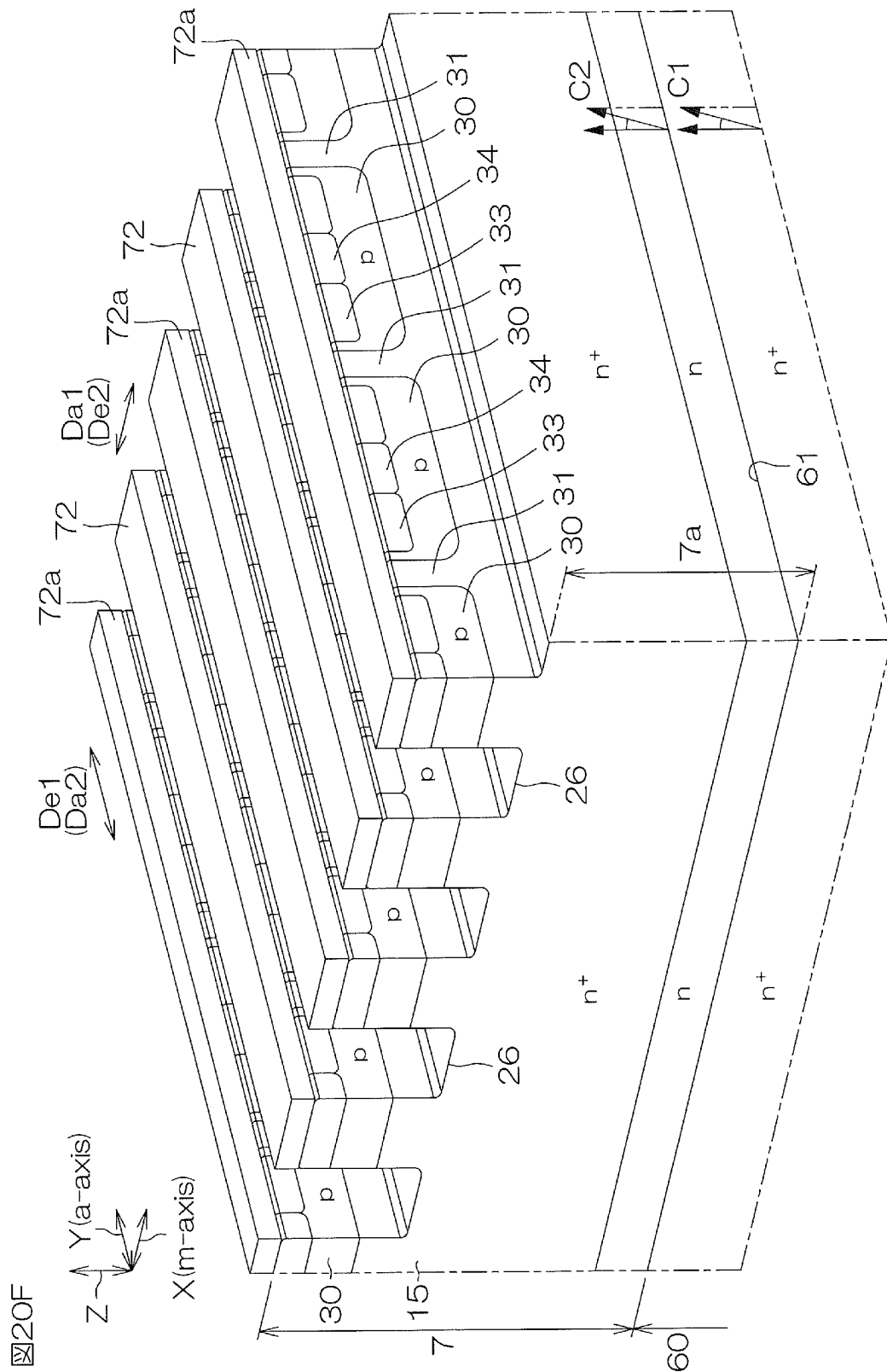
[20D]



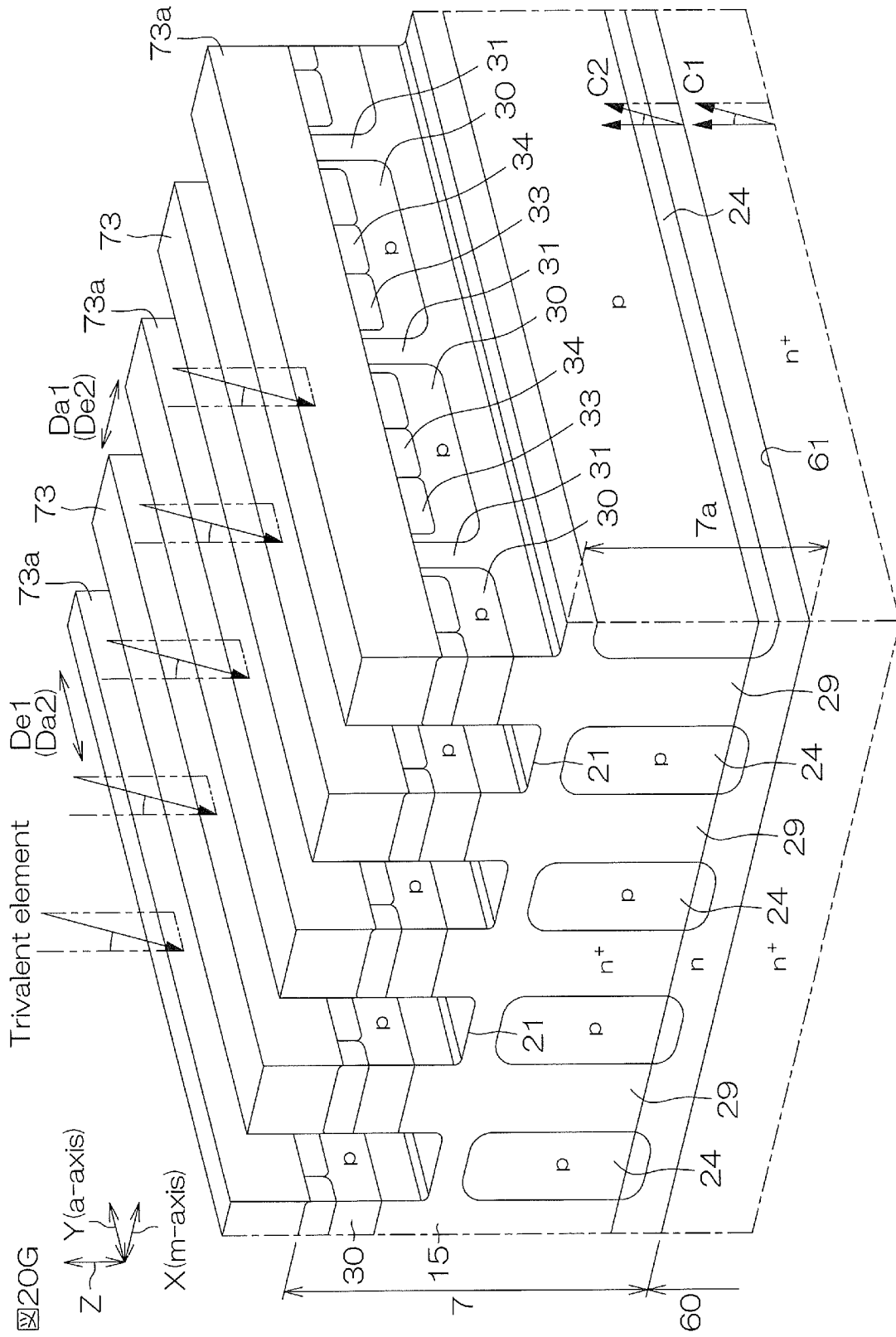
[ 20E]



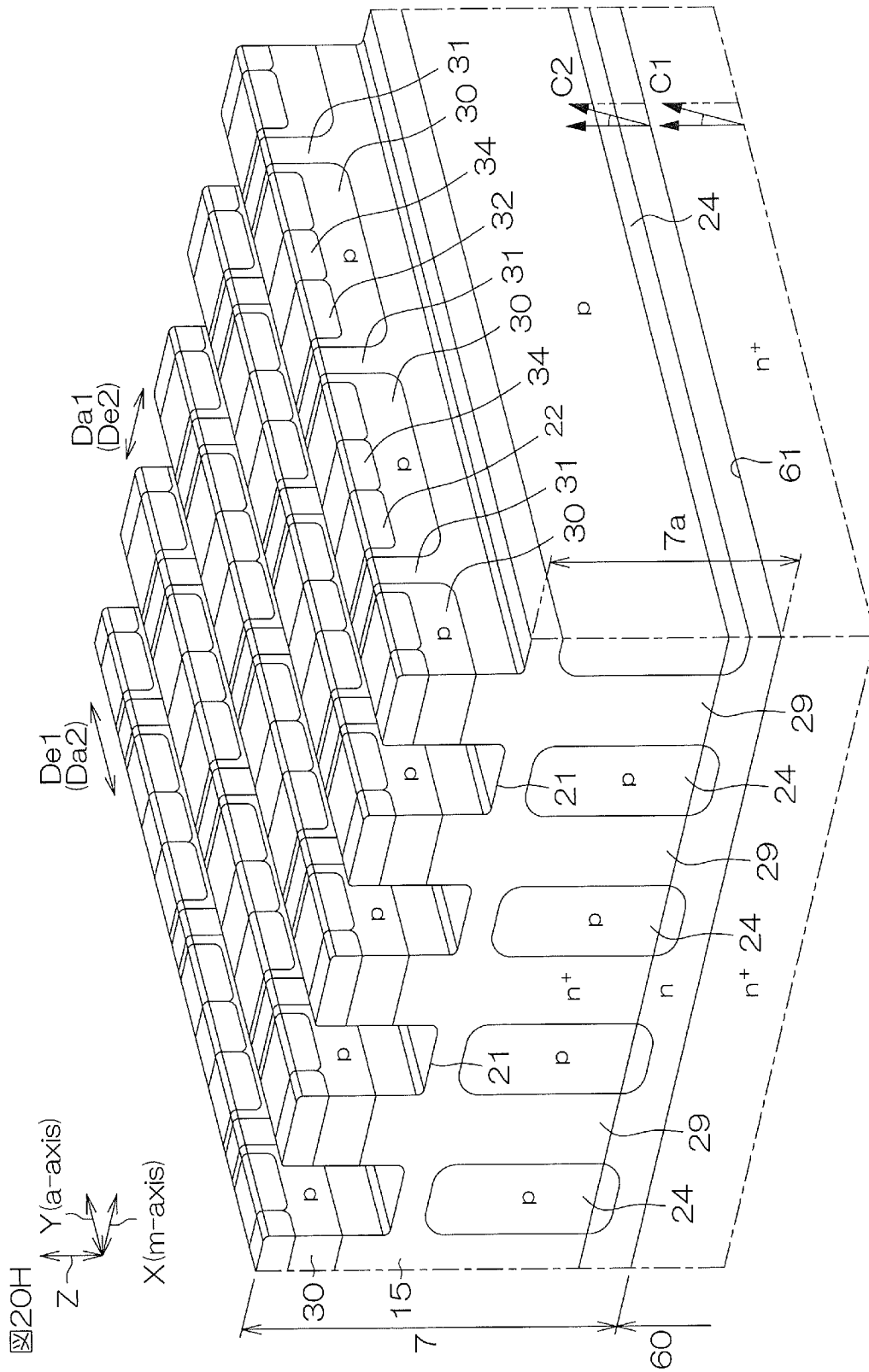
[ 20F]




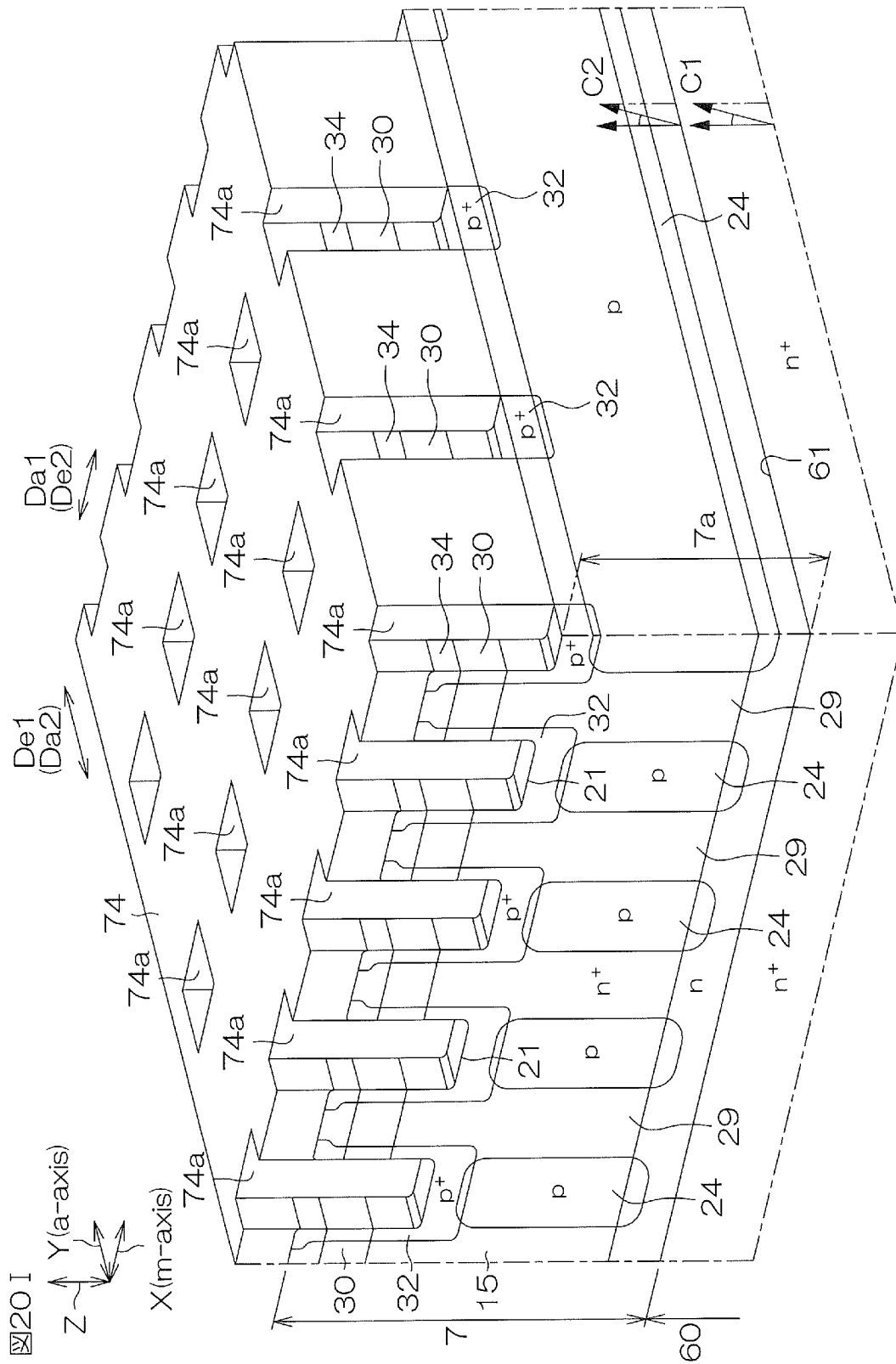
[20G]



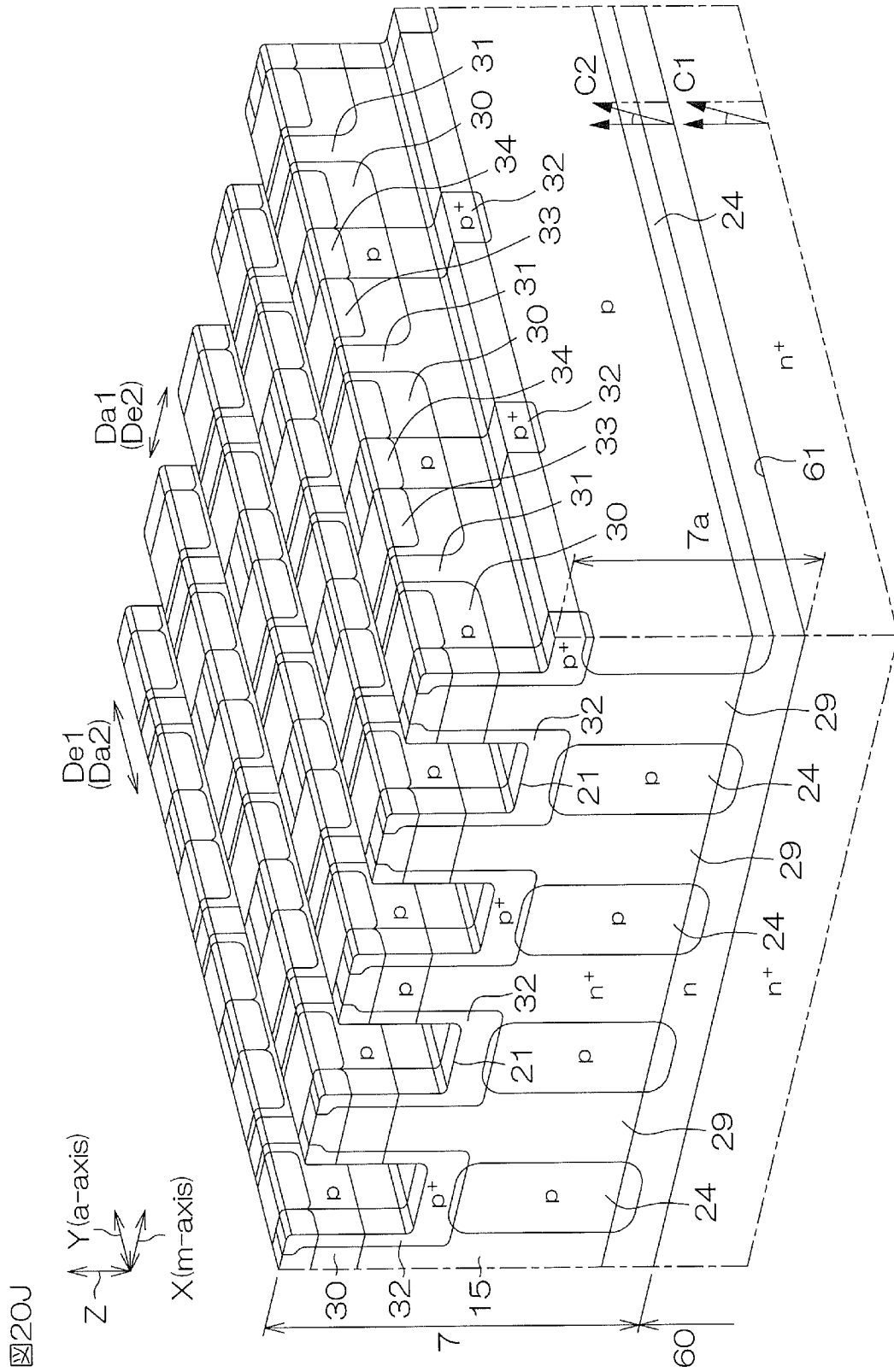
[図20H]



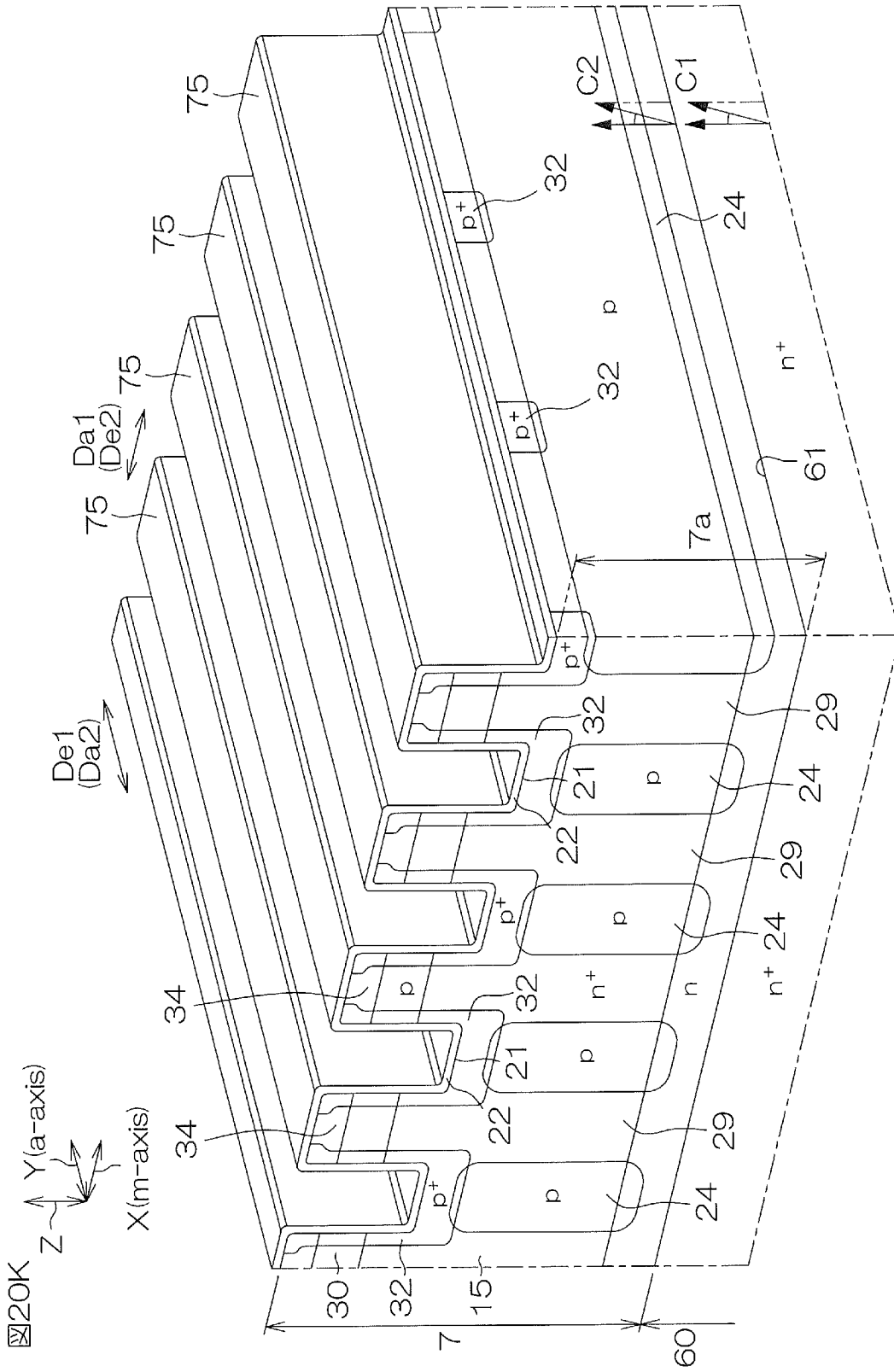
[ 20I]



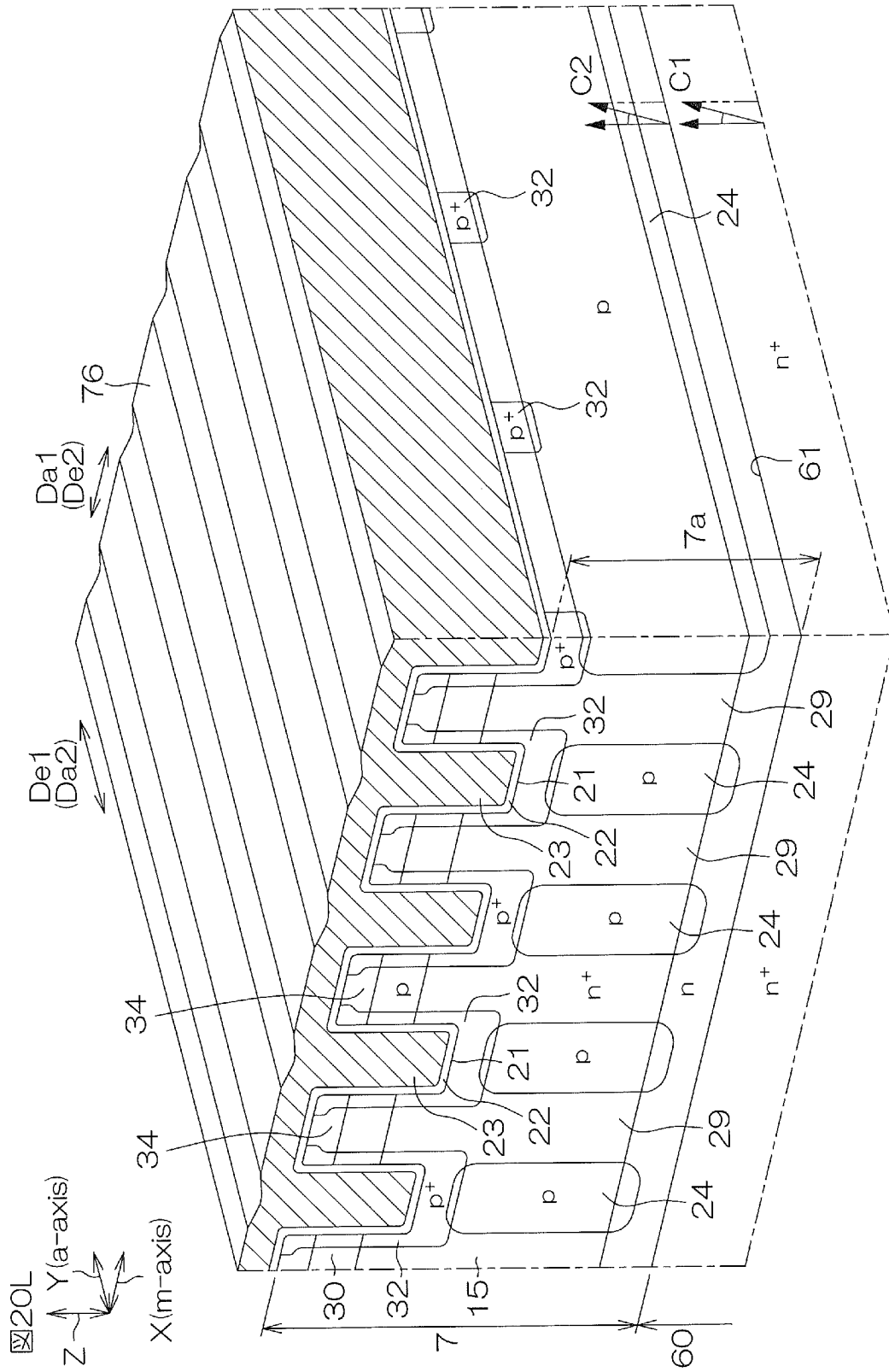
[図20J]




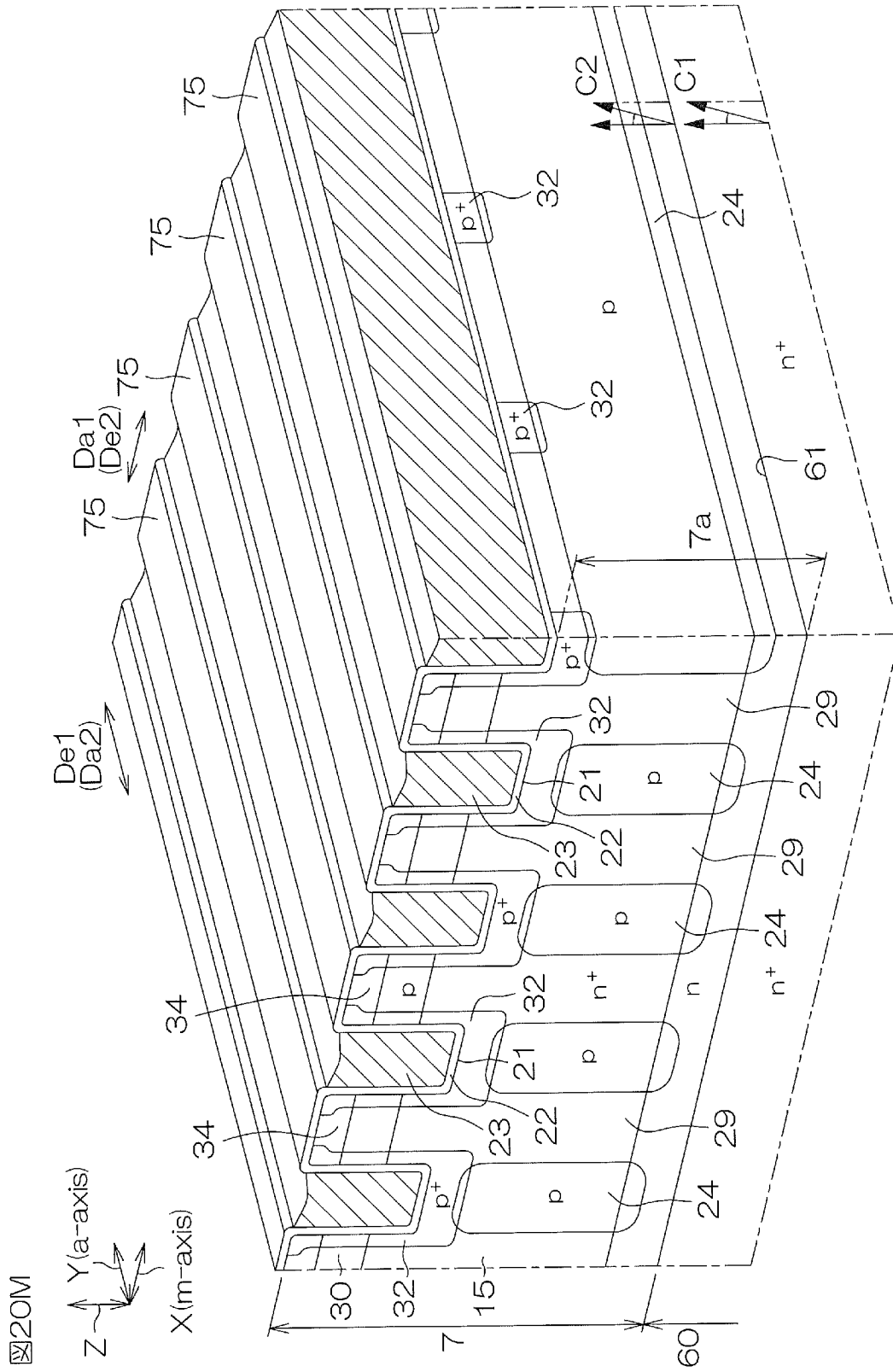
[20K]



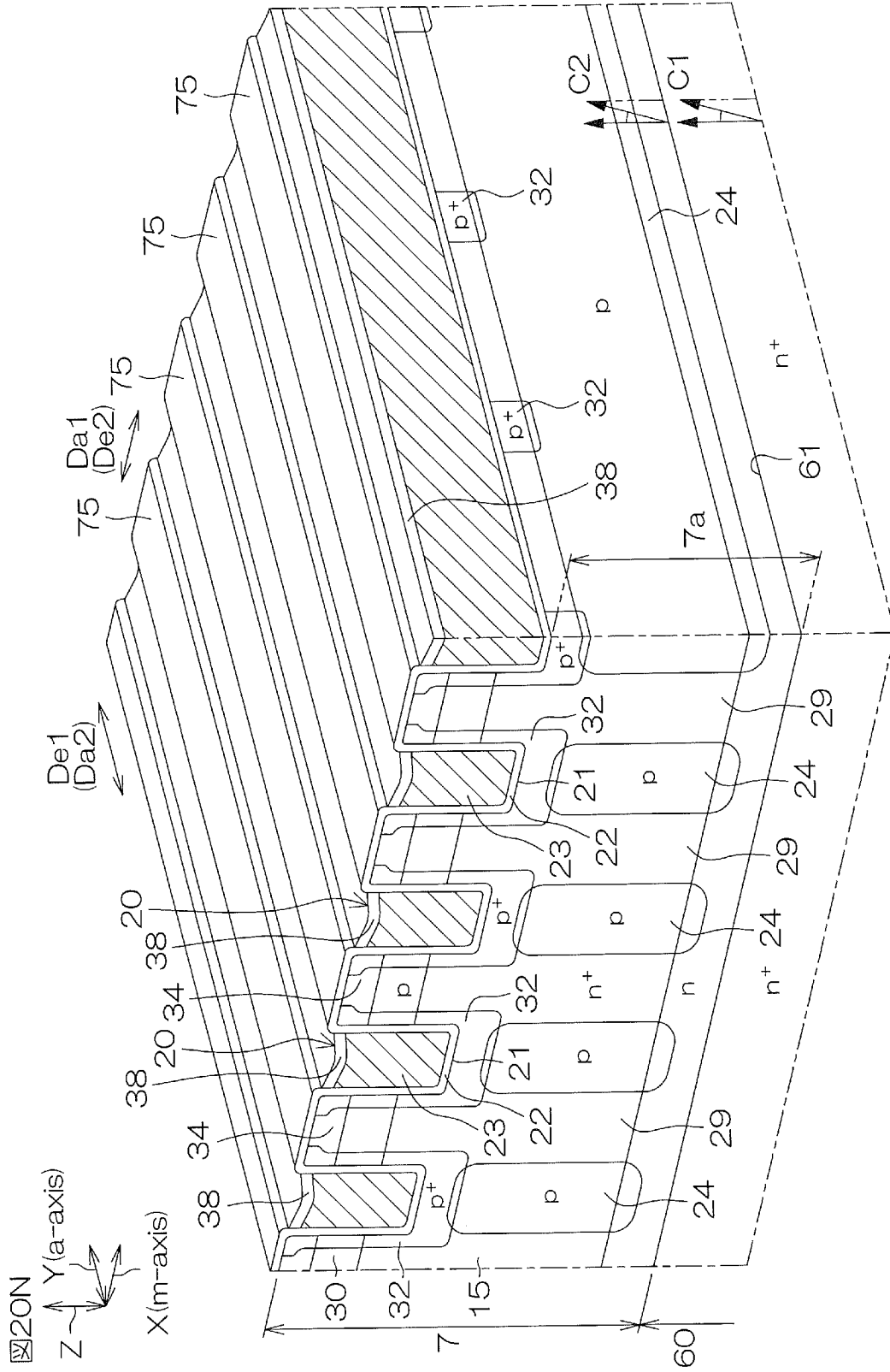
[20L]



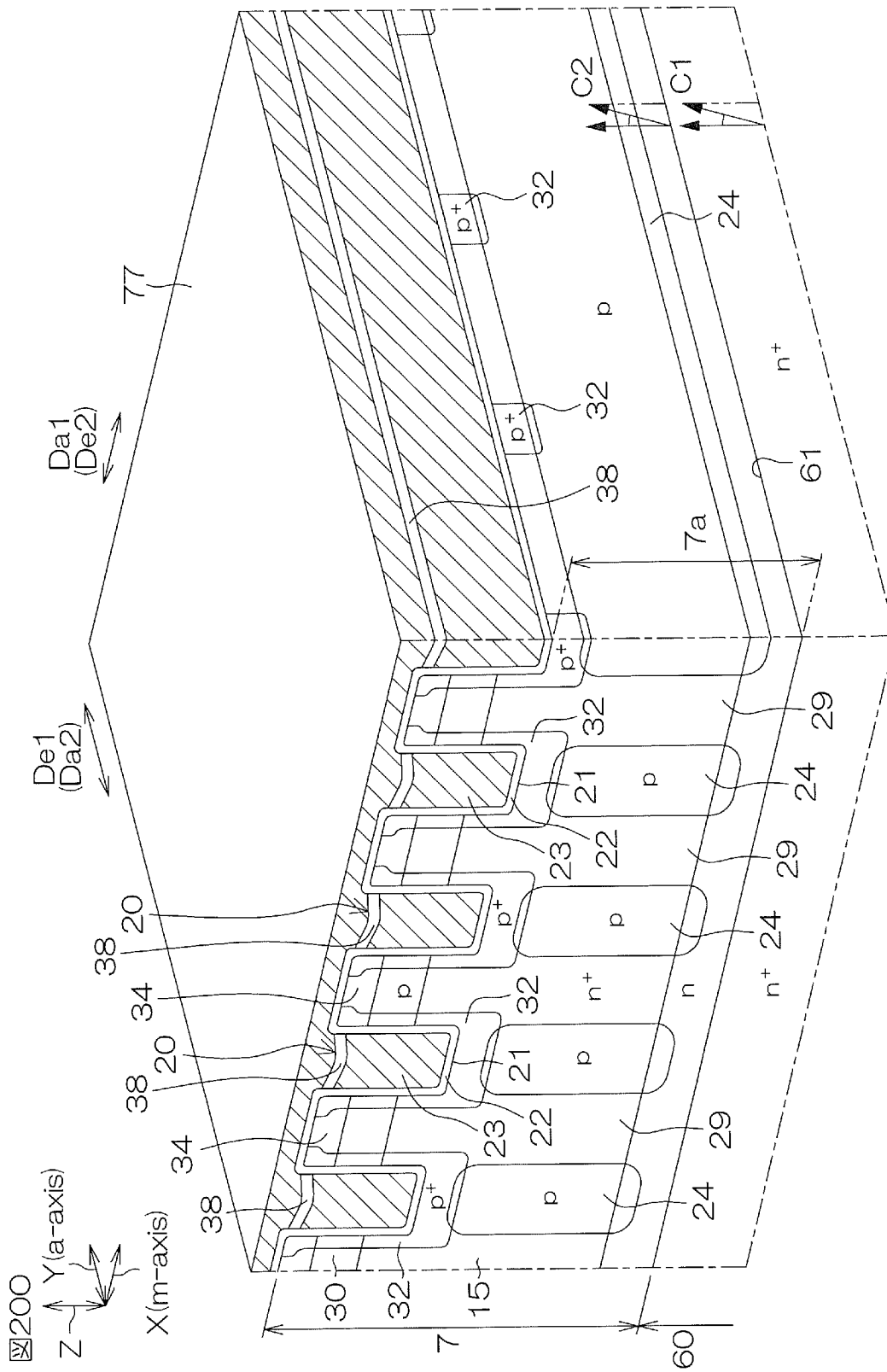
[20M]



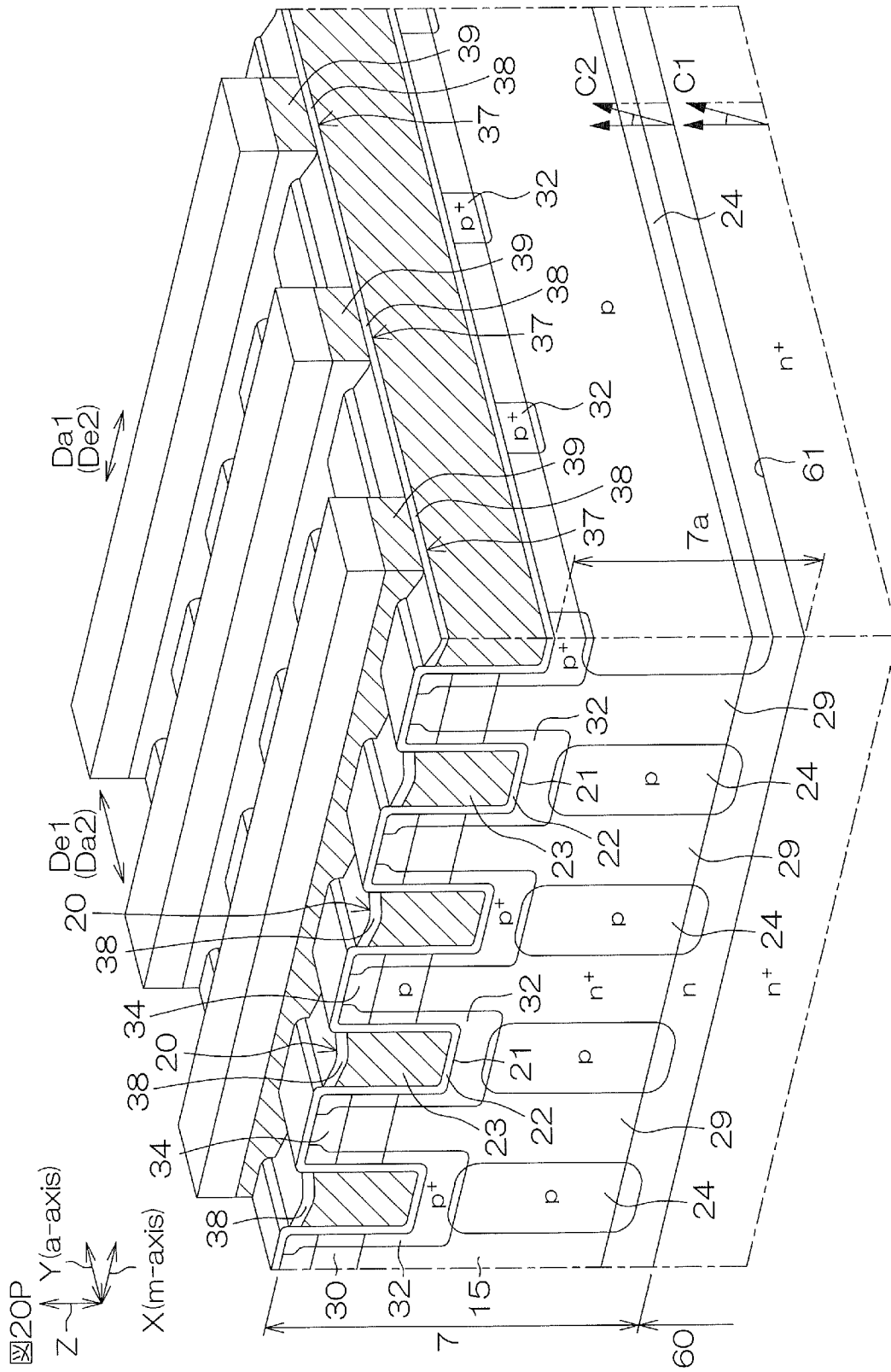
[20N]



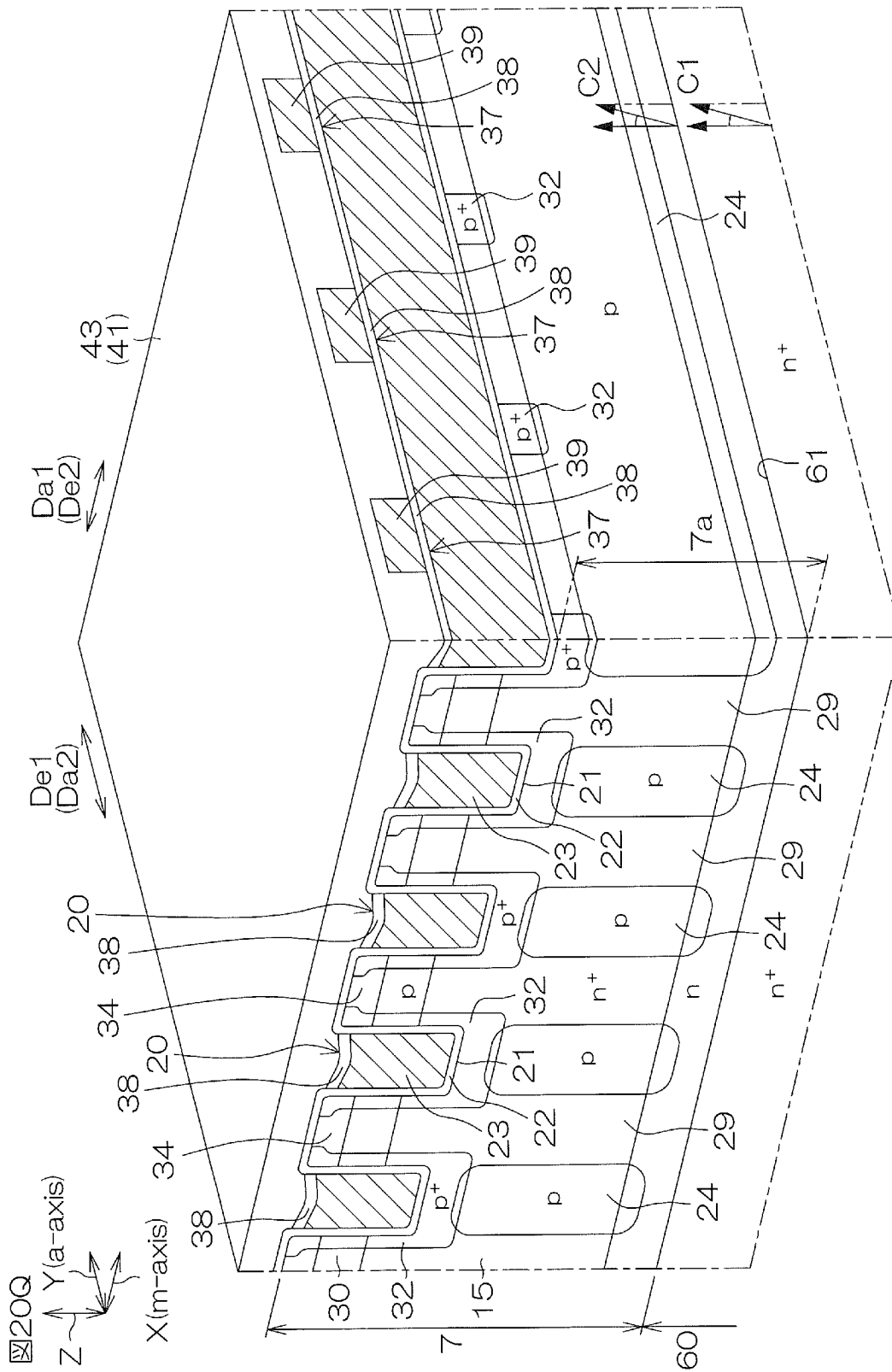
[200]




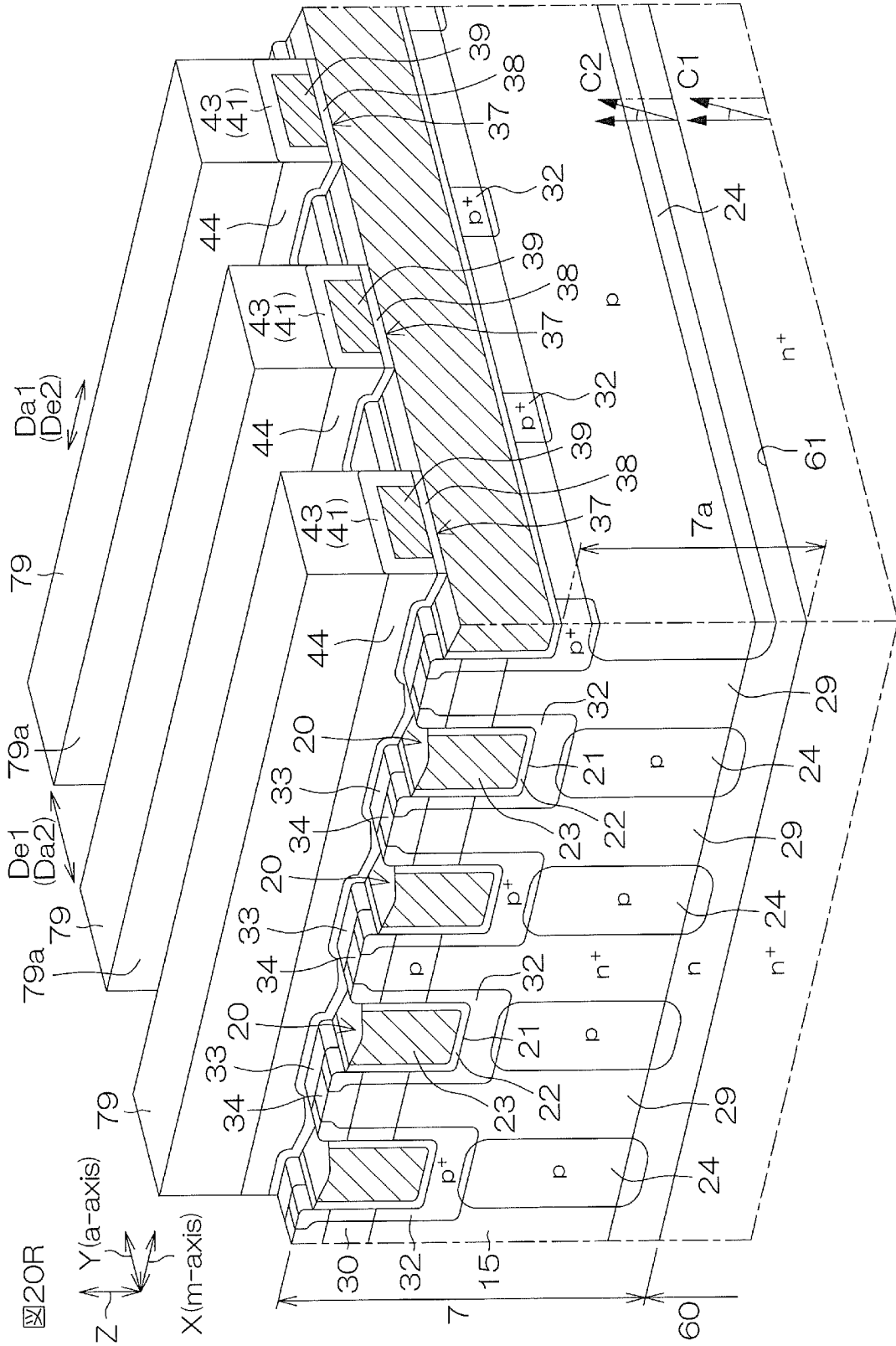
[図20P]



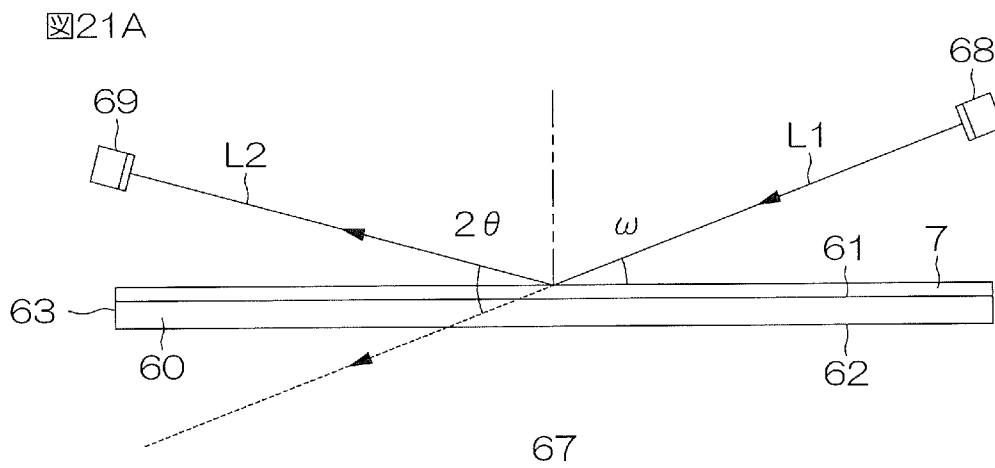
[20Q]



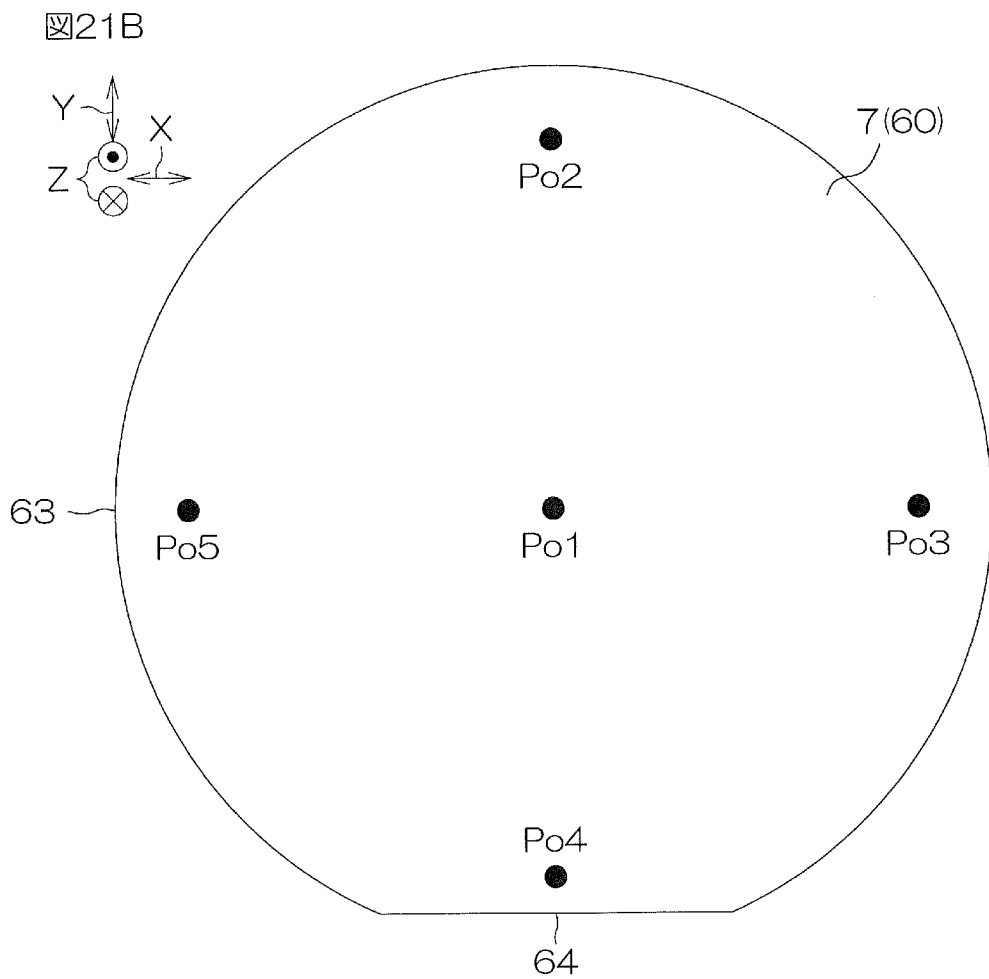
[20R]



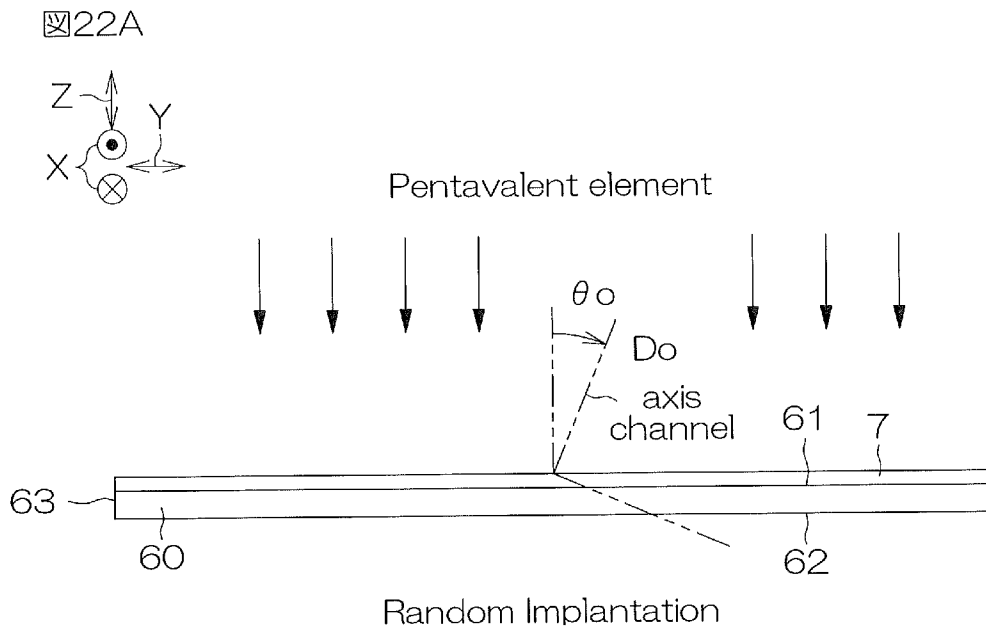
[図21A]



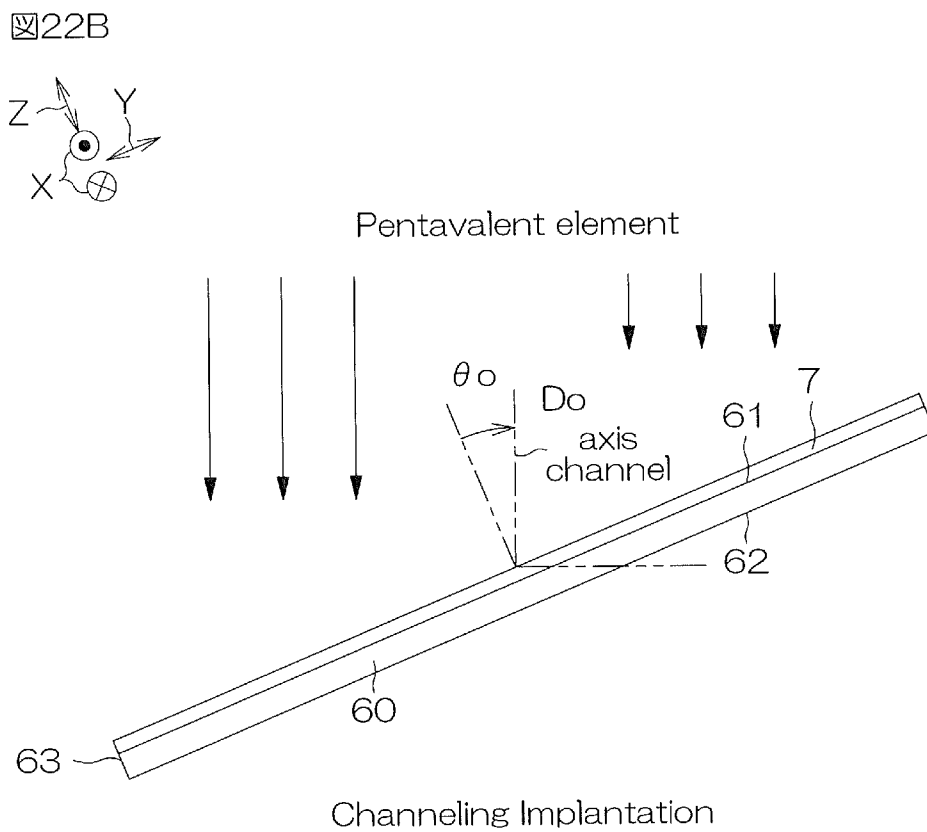
[図21B]



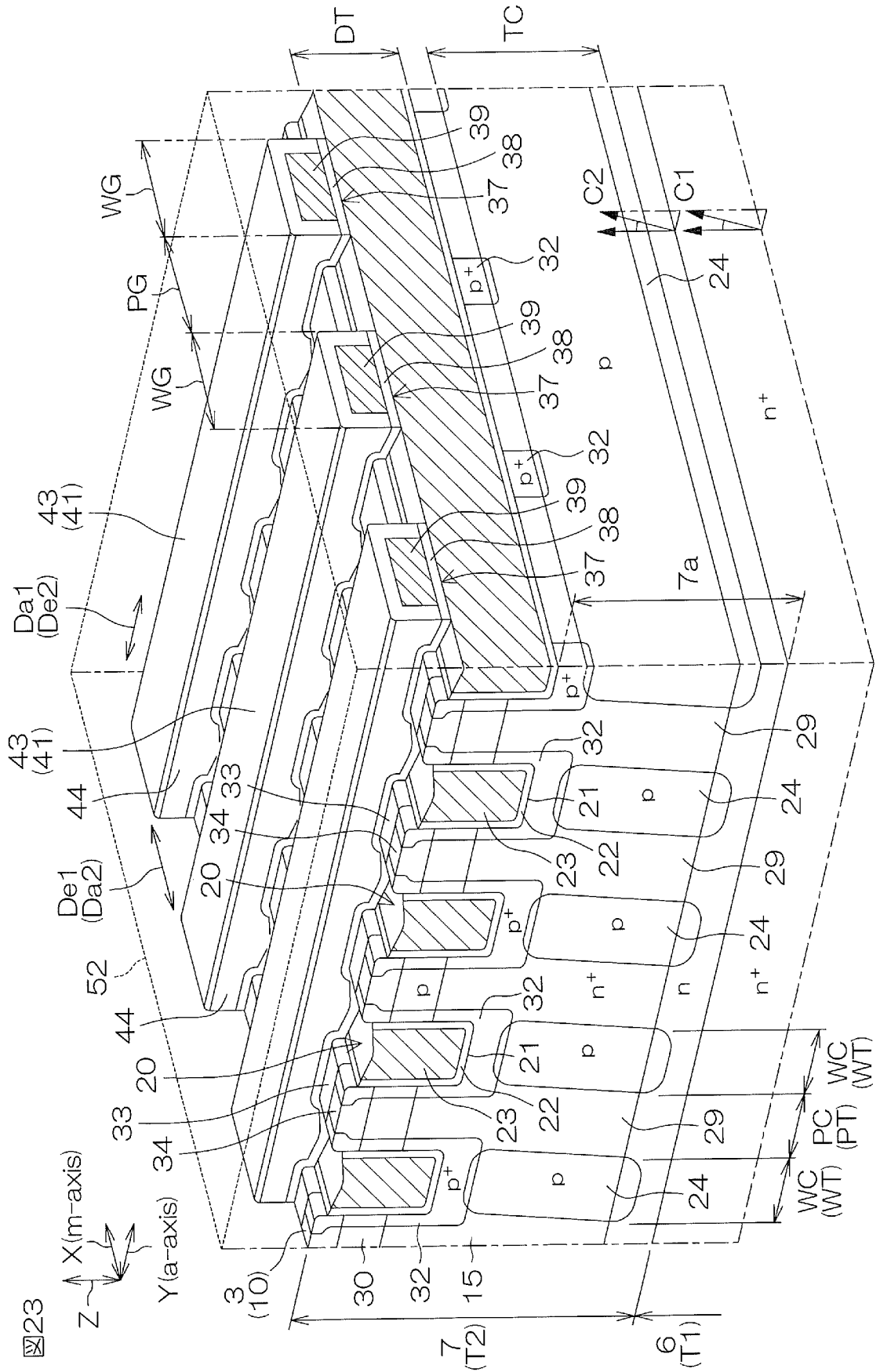
[22A]



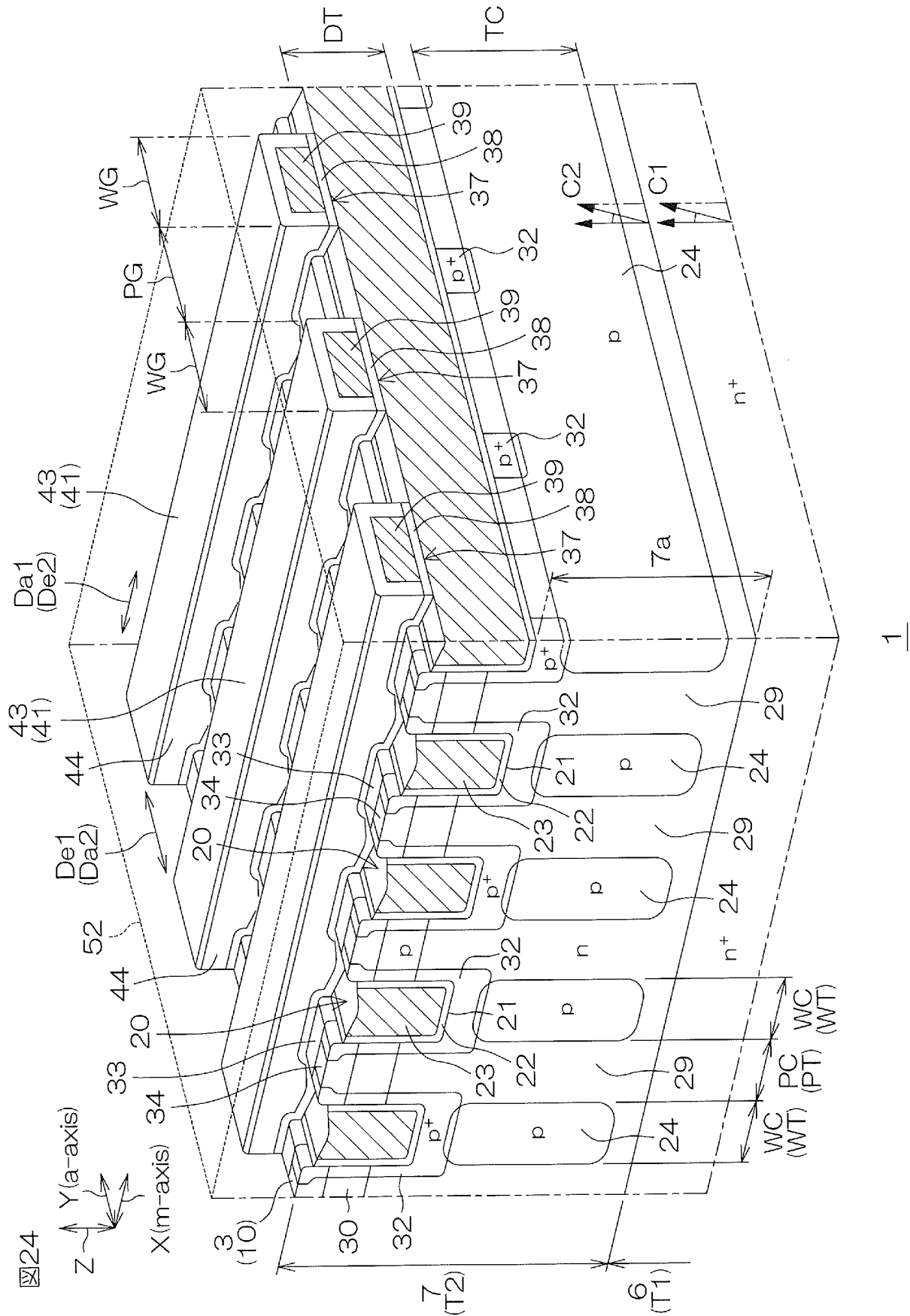
[22B]



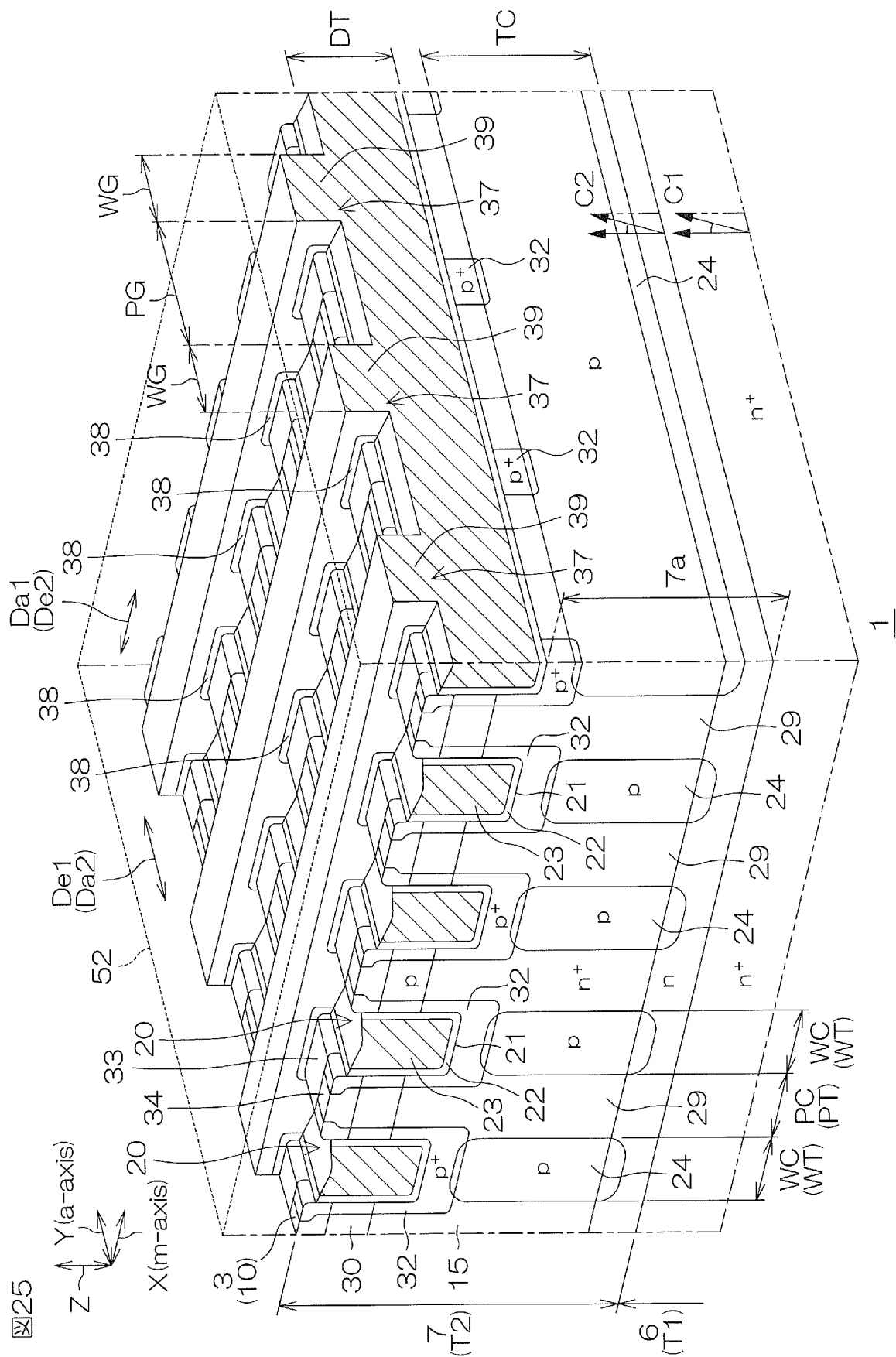
[23]



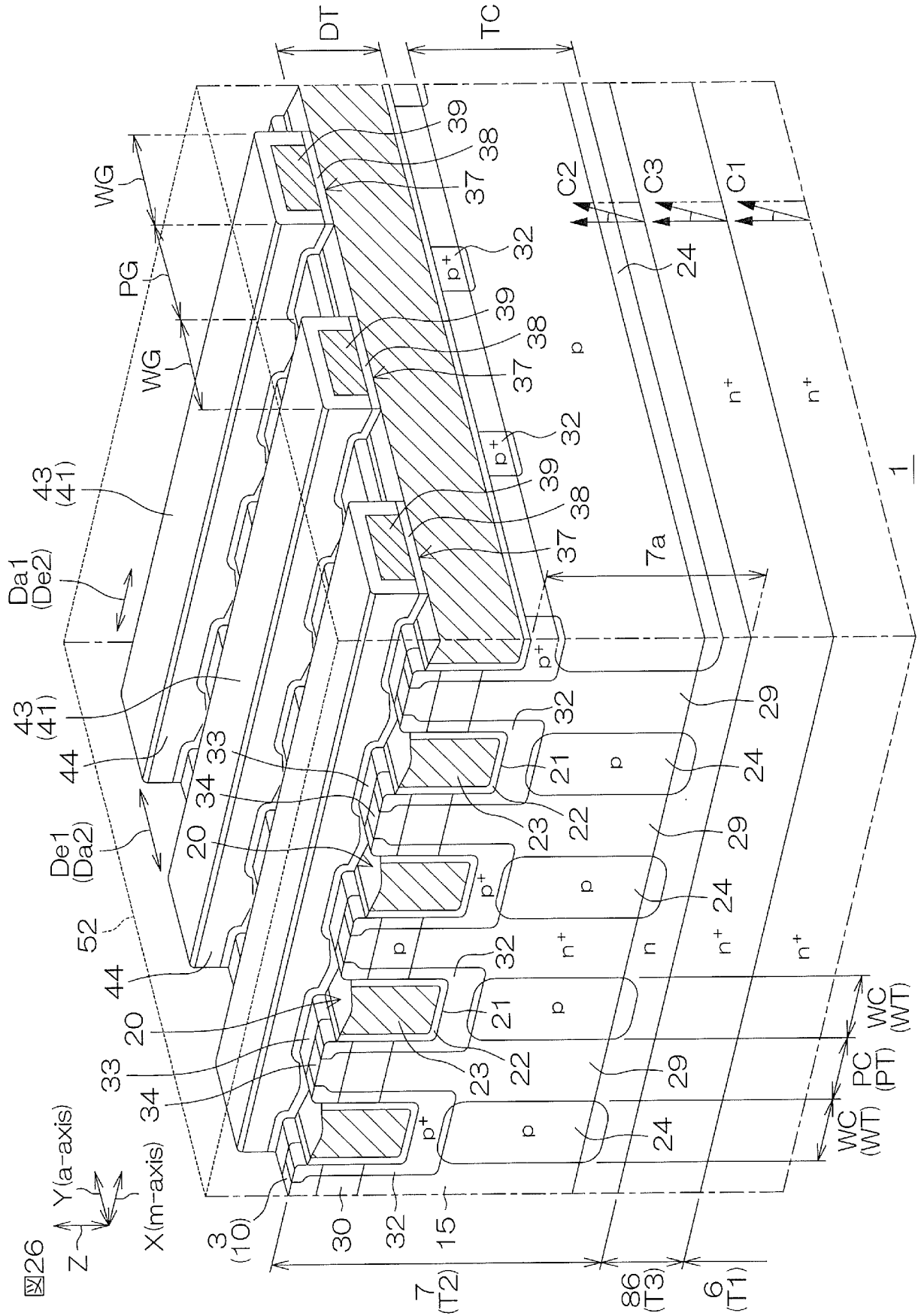
[Figure 24]



[25]



[図26]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2023/046702

| A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER | | |
|--|---|--|
| <i>H01L 29/78</i> (2006.01)i; <i>H01L 21/265</i> (2006.01)i; <i>H01L 21/336</i> (2006.01)i; <i>H01L 29/06</i> (2006.01)i FI: H01L29/78 652K; H01L29/06 301M; H01L29/06 301G; H01L29/06 301V; H01L29/06 301D; H01L29/78 652F; H01L29/78 653C; H01L29/78 652S; H01L29/78 652H; H01L29/78 652D; H01L29/78 652P; H01L29/78 652N; H01L29/78 658A; H01L29/78 658E; H01L21/265 V; H01L21/265 R; H01L29/78 658G; H01L29/78 658L | | |
| 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; H01L21/265; H01L21/336; H01L29/06 | | |
| 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 1994-20124 | | |
| 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 | US 2021/0202724 A1 (MQSEMI AG) 01 July 2021 (2021-07-01) paragraphs [0084]-[0106], fig. 7-10 | 1 |
| Y | | 4-11, 14, 20 |
| A | | 2, 3, 12, 13, 15-19 |
| Y | WO 2022/163081 A1 (ROHM CO., LTD.) 04 August 2022 (2022-08-04) paragraphs [0174]-[0226], [0235], [0236], fig. 30-37 | 4-11, 14, 20 |
| A | | 1-3, 12, 13, 15-19 |
| Y | JP 2012-142537 A (MITSUBISHI ELECTRIC CORPORATION) 26 July 2012 (2012-07-26) paragraphs [0039], [0068]-[0076], fig. 11 | 5-11, 14, 20 |
| A | | 1-4, 12-13, 15-19 |
| A | JP 2019-176077 A (ROHM CO., LTD.) 10 October 2019 (2019-10-10) paragraphs [0016]-[0053], fig. 1-3 | 1-20 |
| <input checked="" 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 12 March 2024 | | Date of mailing of the international search report 26 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. |

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

| Category* | Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages | Relevant to claim No. |
|-----------|--|-----------------------|
| A | JP 2021-190711 A (HYUNDAI MOBIS, CO., LTD.) 13 December 2021 (2021-12-13) paragraphs [0030]-[0067], fig. 1-3 | 1-20 |

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/JP2023/046702

| Patent document cited in search report | | | Publication date (day/month/year) | Patent family member(s) | Publication date (day/month/year) |
|--|--------------|----|-----------------------------------|--------------------------------|-----------------------------------|
| US | 2021/0202724 | A1 | 01 July 2021 | (Family: none) | |
| WO | 2022/163081 | A1 | 04 August 2022 | DE 112021006730 | T5 |
| | | | | paragraphs | |
| | | | | CN 116783715 | A |
| JP | 2012-142537 | A | 26 July 2012 | US 2012/0153348 | A1 |
| | | | | paragraphs [0053], [0081]- | |
| | | | | [0089], fig. 11 | |
| | | | | DE 102011085196 | A1 |
| | | | | CN 102569354 | A |
| JP | 2019-176077 | A | 10 October 2019 | US 2019/0305130 | A1 |
| | | | | paragraphs [0034]-[0087], fig. | |
| | | | | 1-3 | |
| JP | 2021-190711 | A | 13 December 2021 | US 2021/0376143 | A1 |
| | | | | paragraphs [0109]-[0148], fig. | |
| | | | | 1-3 | |
| | | | | DE 102021113470 | A1 |
| | | | | CN 113725298 | A |
| | | | | KR 10-2308153 | B1 |

| <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 21/265(2006.01)i; H01L 21/336(2006.01)i; H01L 29/06(2006.01)i FI: H01L29/78 652K; H01L29/06 301M; H01L29/06 301G; H01L29/06 301V; H01L29/06 301D; H01L29/78 652F; H01L29/78 653C; H01L29/78 652S; H01L29/78 652H; H01L29/78 652D; H01L29/78 652P; H01L29/78 652N; H01L29/78 658A; H01L29/78 658E; H01L21/265 V; H01L21/265 R; H01L29/78 658G; H01L29/78 658L</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; H01L21/265; H01L21/336; H01L29/06</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 Y A</td> <td>US 2021/0202724 A1 (MQSEMI AG) 01.07.2021 (2021-07-01) 段落0084-0106, 図7-10</td> <td>1 4-11, 14, 20 2, 3, 12, 13, 15-19</td> </tr> <tr> <td>Y A</td> <td>WO 2022/163081 A1 (ローム株式会社) 04.08.2022 (2022-08-04) 段落0174-0226, 0235-0236, 図30-37</td> <td>4-11, 14, 20 1-3, 12, 13, 15-19</td> </tr> <tr> <td>Y A</td> <td>JP 2012-142537 A (三菱電機株式会社) 26.07.2012 (2012-07-26) 段落0039, 0068-0076, 図11</td> <td>5-11, 14, 20 1-4, 12-13, 15-19</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>JP 2019-176077 A (ローム株式会社) 10.10.2019 (2019-10-10) 段落0016-0053, 図1-3</td> <td>1-20</td> </tr> </tbody> </table> <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ー "A" 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの "D" 国際出願で出願人が先行技術文献として記載した文献 "E" 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの "L" 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す） "O" 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献 "P" 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願の日の後に公表された文献 "T" 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と抵触するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの "X" 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの "Y" 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの "&" 同一パテントファミリー文献</p> | | | 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 Y A | US 2021/0202724 A1 (MQSEMI AG) 01.07.2021 (2021-07-01) 段落0084-0106, 図7-10 | 1 4-11, 14, 20 2, 3, 12, 13, 15-19 | Y A | WO 2022/163081 A1 (ローム株式会社) 04.08.2022 (2022-08-04) 段落0174-0226, 0235-0236, 図30-37 | 4-11, 14, 20 1-3, 12, 13, 15-19 | Y A | JP 2012-142537 A (三菱電機株式会社) 26.07.2012 (2012-07-26) 段落0039, 0068-0076, 図11 | 5-11, 14, 20 1-4, 12-13, 15-19 | A | JP 2019-176077 A (ローム株式会社) 10.10.2019 (2019-10-10) 段落0016-0053, 図1-3 | 1-20 |
| 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 Y A | US 2021/0202724 A1 (MQSEMI AG) 01.07.2021 (2021-07-01) 段落0084-0106, 図7-10 | 1 4-11, 14, 20 2, 3, 12, 13, 15-19 | | | | | | | | | | | | | | | |
| Y A | WO 2022/163081 A1 (ローム株式会社) 04.08.2022 (2022-08-04) 段落0174-0226, 0235-0236, 図30-37 | 4-11, 14, 20 1-3, 12, 13, 15-19 | | | | | | | | | | | | | | | |
| Y A | JP 2012-142537 A (三菱電機株式会社) 26.07.2012 (2012-07-26) 段落0039, 0068-0076, 図11 | 5-11, 14, 20 1-4, 12-13, 15-19 | | | | | | | | | | | | | | | |
| A | JP 2019-176077 A (ローム株式会社) 10.10.2019 (2019-10-10) 段落0016-0053, 図1-3 | 1-20 | | | | | | | | | | | | | | | |
| <p>国際調査を完了した日</p> <p>12. 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>恩田 和彦 5F 5896</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 |
| A | JP 2021-190711 A (ヒュンダイ・モービス・カンパニー・リミテッド) 13.12.2021 (2021 - 12 - 13) 段落0030-0067, 図1-3 | 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/JP2023/046702

| 引用文献 | 公表日 | パテントファミリー文献 | 公表日 |
|--------------------|------------|---|-----|
| US 2021/0202724 A1 | 01.07.2021 | (ファミリーなし) | |
| WO 2022/163081 A1 | 04.08.2022 | DE 112021006730 T5 段落 CN 116783715 A | |
| JP 2012-142537 A | 26.07.2012 | US 2012/0153348 A1 段落0053, 0081-0089, 図11 DE 102011085196 A1 CN 102569354 A | |
| JP 2019-176077 A | 10.10.2019 | US 2019/0305130 A1 段落0034-0087, 図1-3 | |
| JP 2021-190711 A | 13.12.2021 | US 2021/0376143 A1 段落0109-0148, 図1-3 DE 102021113470 A1 CN 113725298 A KR 10-2308153 B1 | |