

(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 2024/143377 A1

(51) 国際特許分類:

H01L 29/78 (2006.01) H01L 29/12 (2006.01)
H01L 21/336 (2006.01) H01L 29/739 (2006.01)
H01L 29/06 (2006.01)

(21) 国際出願番号: PCT/JP2023/046698

(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 2022-212610 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,

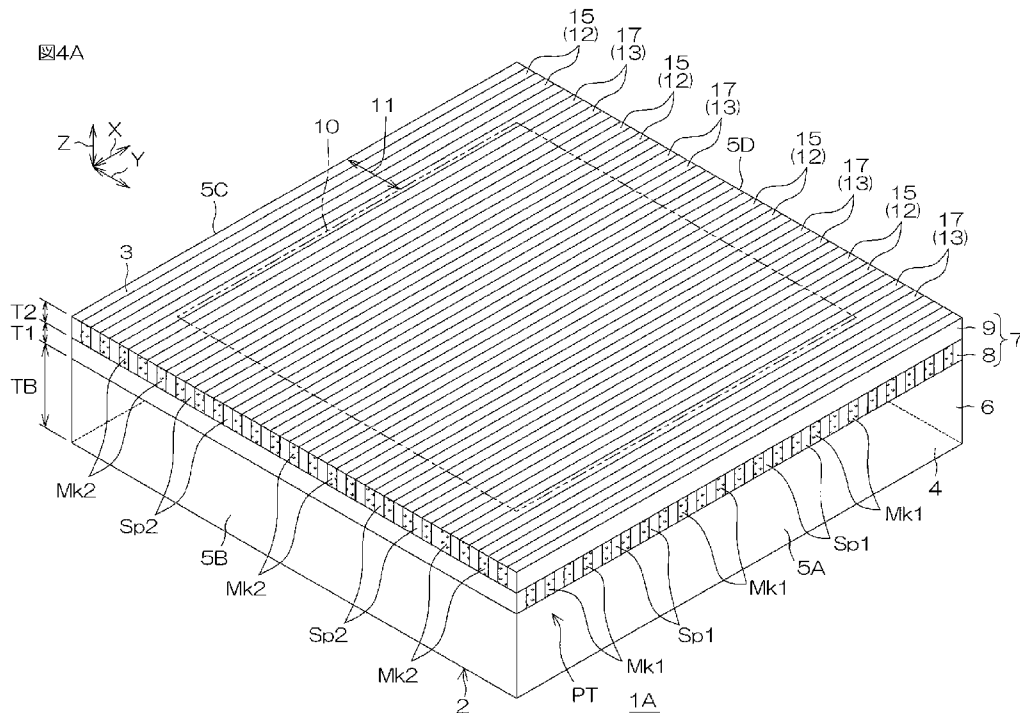
Yuki); 〒6158585 京都府京都市右京区西院溝崎町2-1番地 ローム株式会社内 Kyoto (JP).

(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, 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,

(54) Title: SEMICONDUCTOR DEVICE

(54) 発明の名称: 半導体装置



(57) Abstract: This semiconductor device includes: a chip having lateral surfaces; and decorative patterns which are formed on the lateral surfaces.

(57) 要約: 半導体装置は、側面を有するチップと、前記側面に形成された装飾パターンと、を含む。

[続葉有]

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:

— 国際調査報告 (条約第21条(3))

明 細 書

発明の名称：半導体装置

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2022-212610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、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、新規な半導体装置を提供する。

[0005] 本開示は、側面を有するチップと、前記側面に形成された装飾パターンと、を含む、半導体装置を提供する。

[0006] 本開示は、積層方向に沿う第1軸チャネルを有する第1導電型の第1SiC層と、前記積層方向に沿う第2軸チャネルを有し、前記第1SiC層の上に積層された第1導電型の第2SiC層と、断面視において前記第1SiC層内で前記第1軸チャネルに沿って延び、平面視において第1延在方向に延びる第2導電型の第1領域と、断面視において前記第2SiC層内で前記第2軸チャネルに沿って延び、平面視において前記第1領域に交差するように前記第1延在方向に交差する第2延在方向に延びる第2導電型の第2領域と、を含む、SiC半導体装置を提供する。

[0007] 本開示は、主面を有する第1導電型のSiC層と、前記主面の内方部に設定された活性領域と、前記主面の周縁部に設定された外周領域と、前記主面に沿う水平方向に間隔を空けて前記SiC層内に形成され、前記活性領域お

よび前記外周領域の双方に位置された複数の不純物領域を含む第2導電型のコラム領域と、を含む、SiC半導体装置を提供する。

[0008] 本開示は、主面を含み、厚さ方向に沿う軸チャネルを有する第1導電型の半導体層と、前記半導体層内で前記軸チャネルに沿って延びる第2導電型の不純物領域と、前記不純物領域に対して前記主面側の領域に形成された第2導電型のボディ領域と、前記主面において前記ボディ領域を貫通するトレンチ、前記主面よりも前記トレンチの底壁側に配置された埋設電極、および、前記主面よりも前記トレンチの底壁側に配置され、前記埋設電極を被覆する埋設絶縁体を有するゲート構造と、を含む、半導体装置を提供する。

[0009] 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

[0010] [図1]図1は、第1形態に係るSiC半導体装置を示す平面図である。

[図2A]図2Aは、図1に示すIIA-IIA線に沿う断面図である。

[図2B]図2Bは、図1に示すIIB-IIB線に沿う断面図である。

[図3A]図3Aは、チップ（第1層）のレイアウト例を示す平面図である。

[図3B]図3Bは、チップ（第2層）のレイアウト例を示す平面図である。

[図4A]図4Aは、第1形態例に係る装飾パターンと共にチップを示す斜視図である。

[図4B]図4Bは、第1形態例に係る装飾パターンと共にチップを示す斜視図である。

[図5]図5は、装飾パターンを示す要部斜視図である。

[図6A]図6Aは、第2形態例に係る装飾パターンと共にチップを示す斜視図である。

[図6B]図6Bは、第3形態例に係る装飾パターンと共にチップを示す斜視図である。

[図6C]図6Cは、第4形態例に係る装飾パターンと共にチップを示す斜視図である。

[図6D]図6Dは、第5形態例に係る装飾パターンと共にチップを示す斜視図である。

[図7]図7は、コラム領域の第1基本形態を示す断面斜視図である。

[図8A]図8Aは、第1基本形態の第1レイアウト例を示す平面図である。

[図8B]図8Bは、第1基本形態の第2レイアウト例を示す平面図である。

[図9]図9は、コラム領域の第2基本形態を示す断面斜視図である。

[図10A]図10Aは、第2基本形態の第1レイアウト例を示す平面図である。

[図10B]図10Bは、第2基本形態の第2レイアウト例を示す平面図である。

[図11]図11は、コラム領域の第3基本形態を示す断面斜視図である。

[図12A]図12Aは、第3基本形態の第1レイアウト例を示す平面図である。

[図12B]図12Bは、第3基本形態の第2レイアウト例を示す平面図である。

[図12C]図12Cは、第3基本形態の第3レイアウト例を示す平面図である。

[図13A]図13Aは、第2領域（第1領域）の濃度勾配の一例を示すグラフである。

[図13B]図13Bは、第2領域（第1領域）の濃度勾配の一例を示すグラフである。

[図13C]図13Cは、第2領域（第1領域）の濃度勾配の一例を示すグラフである。

[図13D]図13Dは、第2領域（第1領域）の濃度勾配の一例を示すグラフである。

[図13E]図13Eは、第2領域（第1領域）の濃度勾配の一例を示すグラフである。

[図14]図14は、第2領域（第1領域）の濃度勾配の比較例を示すグラフである。

[図15]図15は、第1形態例に係るコラム領域を示す断面斜視図である。

[図16]図16は、図15に示すコラム領域の濃度勾配の一例を示すグラフである。

[図17]図17は、第2形態例に係るコラム領域を示す断面斜視図である。

[図18]図 1 8 は、図 1 7 に示すコラム領域の濃度勾配の一例を示すグラフである。

[図19]図 1 9 は、第 3 形態例に係るコラム領域を示す断面斜視図である。

[図20]図 2 0 は、図 1 9 に示すコラム領域の濃度勾配の一例を示すグラフである。

[図21]図 2 1 は、第 4 形態例に係るコラム領域を示す断面斜視図である。

[図22]図 2 2 は、図 2 1 に示すコラム領域の濃度勾配の一例を示すグラフである。

[図23]図 2 3 は、第 5 形態例に係るコラム領域を示す断面斜視図である。

[図24]図 2 4 は、図 2 3 に示すコラム領域の濃度勾配の一例を示すグラフである。

[図25]図 2 5 は、第 6 形態例に係るコラム領域を示す断面斜視図である。

[図26]図 2 6 は、図 2 5 に示すコラム領域の濃度勾配の一例を示すグラフである。

[図27]図 2 7 は、第 7 形態例に係るコラム領域を示す断面斜視図である。

[図28]図 2 8 は、図 2 7 に示すコラム領域の濃度勾配の一例を示すグラフである。

[図29]図 2 9 は、第 8 形態例に係るコラム領域を示す断面斜視図である。

[図30]図 3 0 は、図 2 9 に示すコラム領域の濃度勾配の一例を示すグラフである。

[図31]図 3 1 は、第 9 形態例に係るコラム領域を示す断面斜視図である。

[図32]図 3 2 は、第 1 0 形態例に係るコラム領域を示す断面斜視図である。

[図33]図 3 3 は、第 1 1 形態例に係るコラム領域を示す断面斜視図である。

[図34]図 3 4 は、第 1 2 形態例に係るコラム領域を示す断面斜視図である。

[図35]図 3 5 は、活性領域の一要部を示す平面図である。

[図36]図 3 6 は、第 1 形態例に係るゲート構造を示す断面斜視図である。

[図37]図 3 7 は、外周領域の構成を示す斜視図である。

[図38A]図 3 8 A は、外周領域の一要部を示す断面図である。

[図38B]図38Bは、外周領域の一要素を示す断面図である。

[図39]図39は、第2形態例に係るゲート構造を示す断面斜視図である。

[図40]図40は、SiC半導体装置の製造に使用されるウェハを示す概略図である。

[図41]図41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42A]図42A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42B]図42Bは、図42Aの後の工程を示す断面斜視図である。

[図42C]図42Cは、図42Bの後の工程を示す断面斜視図である。

[図42D]図42Dは、図42Cの後の工程を示す断面斜視図である。

[図42E]図42Eは、図42Dの後の工程を示す断面斜視図である。

[図42F]図42Fは、図42Eの後の工程を示す断面斜視図である。

[図42G]図42Gは、図42Fの後の工程を示す断面斜視図である。

[図42H]図42Hは、図42Gの後の工程を示す断面斜視図である。

[図43A]図43A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43B]図43B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44A]図44Aは、イオン注入工程を説明するための概略図である。

[図44B]図44Bは、イオン注入工程を説明するための概略図である。

[図45]図45は、第2形態に係るSiC半導体装置を示す平面図である。

[図46A]図46Aは、図45に示すXLVIA-XLVIA線に沿う断面図である。

[図46B]図46Bは、図45に示すXLVIB-XLVIB線に沿う断面図である。

[図47A]図47Aは、チップ（第1層）のレイアウト例を示す平面図である。

[図47B]図47Bは、チップ（第2層）のレイアウト例を示す平面図である。

[図48]図48は、チップのレイアウト例を示す斜視図である。

[図49]図49は、活性領域の一要素を示す平面図である。

[図50]図50は、第1形態例に係るゲート構造を示す断面斜視図である。

[図51]図51は、外周領域の構成を示す斜視図である。

[図52A]図52Aは、外周領域の一要部を示す断面図である。

[図52B]図52Bは、外周領域の一要部を示す断面図である。

[図53]図53は、第2形態例に係るゲート構造を示す断面斜視図である。

[図54]図54は、第3形態例に係るゲート構造を示す断面斜視図である。

[図55]図55は、第4形態例に係るゲート構造を示す断面斜視図である。

[図56]図56は、第5形態例に係るゲート構造を示す断面斜視図である。

[図57]図57は、第3形態に係るSiC半導体装置を示す平面図である。

[図58A]図58Aは、図57に示すLVIIIA-LVIIIA線に沿う断面図である。

[図58B]図58Bは、図57に示すLVIIIB-LVIIIB線に沿う断面図である。

[図59A]図59Aは、チップのレイアウト例を示す平面図である。

[図59B]図59Bは、チップのレイアウト例を示す平面図である。

[図60]図60は、チップのレイアウト例を示す斜視図である。

[図61]図61は、外周領域の構成を示す斜視図である。

[図62]図62は、第1形態例に係るダイオード構造を示す断面斜視図である。
。

[図63]図63は、第2形態例に係るダイオード構造を示す断面斜視図である。
。

[図64]図64は、第3形態例に係るダイオード構造を示す断面斜視図である。
。

[図65]図65は、第4形態例に係るダイオード構造を示す断面斜視図である。
。

[図66]図66は、第5形態例に係るダイオード構造を示す断面斜視図である。
。

[図67]図67は、第1変形例に係る装飾パターンと共にチップを示す斜視図である。

[図68]図68は、第2変形例に係る装飾パターンと共にチップを示す斜視図である。

[図69]図69は、第3変形例に係る装飾パターンと共にチップを示す斜視図

である。

[図70]図70は、第4変形例に係る装飾パターンと共にチップを示す斜視図である。

[図71]図71は、変形例に係るコラム領域を示す断面斜視図である。

[図72]図72は、外周領域の一要素を示す断面図である。

[0011] [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。

[0012] 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。

[0013] 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。

[0014] 図1は、第1形態に係るSiC半導体装置1Aを示す平面図である。図2

Aは、図1に示すIIA-IIA線に沿う断面図である。図2Bは、図1に示すIIB-IIB線に沿う断面図である。図3Aは、チップ2（第1層8）のレイアウト例を示す平面図である。図3Bは、チップ2（第2層9）のレイアウト例を示す平面図である。図4Aは、第1形態例に係る装飾パターンPTと共にチップ2を示す斜視図である。図4Bは、第1形態例に係る装飾パターンPTと共にチップ2を示す斜視図である。

[0015] 図5は、装飾パターンPTを示す要部斜視図である。図6Aは、第2形態例に係る装飾パターンPTと共にチップ2を示す斜視図である。図6Bは、第3形態例に係る装飾パターンPTと共にチップ2を示す斜視図である。図6Cは、第4形態例に係る装飾パターンPTと共にチップ2を示す斜視図である。図7は、チップ2の一要部をコラム領域12の第1基本形態と共に示す断面斜視図である。

[0016] 図1～図7を参照して、SiC半導体装置1A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。

[0017] 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、平面視において正形状または長形状に形成されていてもよい。

[0018] 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。

[0019] 第1側面5Aを起点とするチップ2の周方向（図1では時計回り）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。

[0020] この形態では、第1方向XがSiC単結晶のa軸方向（ $[11-20]$ 方向）であり、第2方向YがSiC単結晶のm軸方向（ $[1-100]$ 方向）である。つまり、第1側面5Aおよび第3側面5Cは、SiC単結晶のm面（ $(1-100)$ 面）によってそれぞれ形成されている。また、第2側面5Bおよび第4側面5Dは、SiC単結晶のa面（ $(11-20)$ 面）によってそれぞれ形成されている。

[0021] a面はa軸方向に直交する結晶面であり、m面はm軸方向に直交する結晶面である。むしろ、第1方向XがSiC単結晶のm軸方向であり、第2方向YがSiC単結晶のa軸方向であってもよい。第1～第4側面5A～5Dは、研削面からそれぞれなってもよい。第1～第4側面5A～5Dは、劈開面からそれぞれなってもよい。

[0022] 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。

[0023] 図7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Doffに所定の角度で傾斜したオフ角

θ off 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 off に向けてオフ角 θ off 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 off 分だけ傾斜している。

[0024] オフ方向D off は、SiC単結晶のa軸方向（つまり第1方向X）であることが好ましい。オフ角 θ off は、 0° を超えて 10° 以下であってもよい。オフ角 θ off 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。

[0025] オフ角 θ off は、 5° 以下であることが好ましい。オフ角 θ off は、 2° 以上 4.5° 以下であることが特に好ましい。オフ角 θ off は、典型的には、 $4^\circ \pm 0.1^\circ$ の範囲に設定される。むろん、この明細書は、オフ角 θ off 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。

[0026] 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 off およびオフ角 θ off を有している。

[0027] ベース層6は、積層方向に沿うベース軸チャンネルCHBを有している。ベース軸チャンネルCHB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。

[0028] つまり、ベース軸チャンネルCHB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。ベース軸チャンネルCHB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）。

[0029] ベース軸チャネルCHB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、ベース軸チャネルCHBは、 c 軸に沿って延び、前述のオフ方向Doffおよびオフ角 θ_{off} を有している。換言すると、ベース軸チャネルCHBは、鉛直軸からオフ方向Doffに向けてオフ角 θ_{off} 分だけ傾斜している。

[0030] 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。

[0031] ベース層6は、ベース厚さTBを有している。ベース厚さTBは、 $5 \mu\text{m}$ 以上 $300 \mu\text{m}$ 以下であってもよい。ベース厚さTB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。ベース厚さTBは、 $50 \mu\text{m}$ 以上 $250 \mu\text{m}$ 以下であることが好ましい。

[0032] チップ2は、ベース層6の上に積層された積層部7を含む。積層部7は、「半導体層」、「SiC層」、「SiC積層部」、「半導体積層部」等と称されてもよい。積層部7は、SiC単結晶からなる複数（2層以上）の半導体層が積層された積層構造を有している。複数の半導体層は、この形態では、スーパージャンクション構造SJの形成層として設けられている。複数の半導体層（スーパージャンクション構造SJ）の積層数は任意であり、達成

すべき電気的特性に応じて適宜調節される。耐圧値（ブレイクダウン電圧）や抵抗値等が電気的特性として例示される。

[0033] 複数の半導体層（スーパージャンクション構造SJ）の積層数は、典型的には、2層以上5層以下（2層、3層、4層または5層）である。積層部7は、この形態では、SiC単結晶製のn型の第1層8およびSiC単結晶製のn型の第2層9を含む2層構造を有している。第1層8は「第1SiC層」、「第1半導体層」等と称されてもよい。第2層9は「第2SiC層」、「第2半導体層」等と称されてもよい。

[0034] 第1層8は、ベース層6の上に積層されている。第1層8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。第1層8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。

[0035] 第1層8は、下端および上端を有している。第1層8の下端は結晶成長起点であり、第1層8の上端は結晶成長終点である。第1層8はベース層6から連続的に結晶成長されているため、第1層8の下端はベース層6の上端に一致している。ベース層6および第1層8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。第1層8は、ベース層6のオフ方向 $\Delta\theta$ およびオフ角 θ にほぼ一致したオフ方向 $\Delta\theta$ およびオフ角 θ を有している。

[0036] 第1層8は、積層方向に沿う第1軸チャネルCH1を有している。第1軸チャネルCH1は、第1層8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。

[0037] つまり、第1軸チャネルCH1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軸チャネルCH1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。

[0038] 第1軸チャネルCH1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1軸チャネルCH1は、c軸に沿って延び、オフ方向Doffおよびオフ角 θ_{off} を有している。換言すると、第1軸チャネルCH1は、鉛直軸からオフ方向Doffに向けてオフ角 θ_{off} 分だけ傾斜している。

[0039] 第1層8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。第1層8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。第1層8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。むろん、第1層8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。

[0040] 第1層8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、第1層8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。第1層8は、リン以外の5価元素を含むことが好ましい。

[0041] 第1層8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。第1層8が2種以上の5価元素を含む場合、第1層8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、第1層8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。

[0042] 第1層8は、第1厚さT1を有している。第1厚さT1は、ベース厚さTB未満であることが好ましい。第1厚さT1は、 $1 \mu\text{m}$ 以上であることが好ましい。第1厚さT1は、 $5 \mu\text{m}$ 以下であることが好ましい。第1厚さT1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。

[0043] 第2層9は、第1層8の上に積層されている。第2層9は、水平方向に層状に延び、第1主面3を形成し、第1～第4側面5A～5Dの一部を形成し

ている。第2層9は、第1層8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。

[0044] 第2層9は、下端および上端を有している。第2層9の下端は結晶成長起点であり、第2層9の上端は結晶成長終点である。第2層9は第1層8から連続的に結晶成長されているため、第2層9の下端は第1層8の上端に一致している。第1層8および第2層9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。第2層9は、第1層8のオフ方向 $\Delta\theta$ およびオフ角 θ にほぼ一致したオフ方向 $\Delta\theta$ およびオフ角 θ を有している。

[0045] 第2層9は、積層方向に沿う第2軸チャンネルCH2を有している。第2軸チャンネルCH2は、第2層9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。

[0046] つまり、第2軸チャンネルCH2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CH2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。

[0047] 第2軸チャンネルCH2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CH2は、c軸に沿って延び、オフ方向 $\Delta\theta$ およびオフ角 θ を有している。換言すると、第2軸チャンネルCH2は、鉛直軸からオフ方向 $\Delta\theta$ に向けてオフ角 θ 分だけ傾斜している。

[0048] 第2層9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。第2層9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。第2層9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、第2層9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。

- [0049] 第2層9のn型不純物濃度は、第1層8のn型不純物濃度とほぼ等しいことが好ましい。むろん、第2層9のn型不純物濃度は、第1層8のn型不純物濃度と異なってもよい。この場合、第2層9のn型不純物濃度（ピーク値）は、第1層8のn型不純物濃度（ピーク値）よりも高くてもよいし、第1層8のn型不純物濃度（ピーク値）未満であってもよい。
- [0050] 第2層9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、第2層9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。第2層9は、リン以外の5価元素を含むことが好ましい。
- [0051] 第2層9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。第2層9が2種以上の5価元素を含む場合、第2層9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、第2層9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。
- [0052] 第2層9は、第2厚さT2を有している。第2厚さT2は、ベース厚さTB未満であることが好ましい。第2厚さT2は、第1厚さT1とほぼ等しくてもよいし、第1厚さT1とは異なってもよい。第2厚さT2は、第1厚さT1よりも大きくてもよいし、第1厚さT1未満であってもよい。
- [0053] 第2厚さT2は、1 μm 以上であることが好ましい。第2厚さT2は、5 μm 以下であることが好ましい。第2厚さT2は、1 μm 以上1.5 μm 以下、1.5 μm 以上2 μm 以下、2 μm 以上2.5 μm 以下、2.5 μm 以上3 μm 以下、3 μm 以上3.5 μm 以下、3.5 μm 以上4 μm 以下、4 μm 以上4.5 μm 以下、および、4.5 μm 以上5 μm 以下のいずれか1つの範囲に属する値を有していてもよい。
- [0054] SiC半導体装置1Aは、チップ2に設定された活性領域10を含む。活性領域10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10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10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。

[0055] SiC半導体装置1Aは、チップ2において活性領域10外に設定された外周領域11を含む。外周領域11は、平面視においてチップ2の周縁および活性領域10の間の領域に設けられている。外周領域11は、平面視において活性領域10に沿って帯状に延び、活性領域10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。

[0056] 図4A、図4Bおよび図5を参照して、SiC半導体装置1Aは、第1～第4側面5A～5Dのうちの少なくとも1つに形成された第1形態例に係る装飾パターンPTを含む。装飾パターンPTは、チップ2の外観から装置内部の構成の特定や推定、自他製品の判別等を容易ならしめ、SiC半導体装置1Aの利便性を高める。たとえば、装飾パターンPTは、チップ2に対する非破壊検査(外観検査)によって特定されてもよい。

[0057] 装飾パターンPTは、この形態では、少なくとも1つ(この形態では複数)の第1マークMk1、および、少なくとも1つ(この形態では複数)の第2マークMk2を含む。装飾パターンPTは、必ずしも第1マークMk1および第2マークMk2の双方を同時に含む必要はなく、第1マークMk1および第2マークMk2のいずれか一方のみからなってもよい。

[0058] 複数の第1マークMk1は、第1～第4側面5A～5Dのうちの少なくとも1つの側面に形成される。複数の第1マークMk1は、この形態では、第1方向Xに延びる第1側面5Aおよび第3側面5Cのいずれか一方または双方(この形態では双方)に形成されている。第3側面5C側の構成は、第1側面5A側の構成と同様であるので、以下では、第1側面5A側の構成が説明される。第3側面5C側の構成については、以下の説明において「第1側面5A」を「第3側面5C」に置き換えることによって得られる。

[0059] 複数の第1マークMk1は、この形態では、第1側面5Aから露出するp型の不純物領域からそれぞれなる。複数の第1マークMk1は、第1側面5Aのうち積層部7からなる部分にそれぞれ形成されている。具体的には、複

数の第1マークM_{k1}は、ベース層6に対して積層部7側の領域に形成され、第1側面5Aからベース層6を露出させている。

[0060] 複数の第1マークM_{k1}は、第1側面5Aにおいて、積層部7の厚さ方向の上側の範囲に対して積層部7の厚さ方向の下側の範囲に偏在するように形成される。上側範囲が第1厚さ範囲と定義された場合、下側範囲は第2厚さ範囲と定義される。下側範囲が第1厚さ範囲と定義された場合、上側範囲は第2厚さ範囲と定義される。上側範囲は第1～第4側面5A～5Dのうち第2層9からなる部分であり、下側範囲は第1～第4側面5A～5Dのうち第1層8からなる部分である。

[0061] 複数の第1マークM_{k1}は、この形態では、下側範囲において第1方向Xに間隔を空けて配列され、積層部7の一部からそれぞれなるn型の複数の第1スペースS_{p1}を区画している。つまり、複数の第1マークM_{k1}は第1側面5Aにおいて第1層8からなる部分にそれぞれ形成され、複数の第1スペースS_{p1}は第1層8の一部からそれぞれなる。複数の第1マークM_{k1}は、複数の第1スペースS_{p1}とp_n接合部を形成している。

[0062] 複数の第1マークM_{k1}は、複数の第1スペースS_{p1}の電気的特性（不純物＝5価元素）とは異なる電気的特性（不純物＝3価元素）を有している。したがって、複数の第1マークM_{k1}および複数の第1スペースS_{p1}の電気的特性（不純物、濃度、抵抗値等）を測定することによって、複数の第1マークM_{k1}および複数の第1スペースS_{p1}が特定される。たとえば、複数の第1マークM_{k1}および複数の第1スペースS_{p1}は、SEM (Scanning Electron Microscope) やTEM (Transmission Electron Microscope) 等の電子顕微鏡やEBIC (Electron Beam Induced Current) 解析等を用いて特定されることができる。

[0063] 複数の第1マークM_{k1}は、第2層9（上側範囲）に対して第1層8（下側範囲）側の領域に形成されている。したがって、複数の第1マークM_{k1}は、第1側面5Aにおいて第2層9からなる部分を露出させ、第2層9を挟んで第1主面3に対向している。複数の第1マークM_{k1}は、第1側面5A

において第2層9からなる部分の全域を露出させている。つまり、複数の第1マークMk1は、第2層9には形成されていない。一方、複数の第1スペースSp1は、第1側面5Aにおいて第2層9からなる部分に接続されている。

[0064] 複数の第1マークMk1は、積層方向に沿って縦長柱状にそれぞれ延び、第1側面5Aにおいて複数の第1スペースSp1と共に積層方向に延びるストライプマークを形成している。複数の第1マークMk1は、第1側面5Aの表層部において第1軸チャンネルCH1に沿って延びている。

[0065] 複数の第1マークMk1は、第1層8の下端側の下端部および第1層8の上端側の上端部をそれぞれ有している。複数の第1マークMk1の下端部は第1層8の厚さ範囲中間部に対して第1層8の下端側の領域に位置され、複数の第1マークMk1の上端部は第1層8の厚さ範囲中間部に対して第1層8の上端側の領域に位置されている。つまり、複数の第1マークMk1は、厚さ方向に沿って第1層8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それぞれなる。

[0066] 複数の第1マークMk1の下端部は、第1層8の下端から上端側に間隔を空けて形成され、第1層8の一部（下端部）を挟んでベース層6に対向していてもよい。つまり、複数の第1マークMk1は、第1側面5Aにおいてベース層6からなる部分の全域を露出させていてもよい。複数の第1マークMk1の下端部は、第1層8の下端とほぼ一致し、ベース層6に接続されていてもよい。

[0067] 複数の第1マークMk1の下端部は、ベース層6および第1層8の境界部を横切り、ベース層6内に位置する延部を有していてもよい。この場合、複数の第1マークMk1の延部は、ベース層6の上端側の表層部に位置され、第1側面5Aにおいてベース層6からなる部分のほぼ全域を露出させていることが好ましい。複数の第1マークMk1の延部は、ベース層6の厚さ範囲中間部よりも積層部7側に形成されていることが好ましい。

[0068] 第1マークMk1の上端部は、第1層8の上端（つまり第2層9）から下

端側に間隔を空けて形成され、第1層8の一部（上端部）を挟んで第1層8の上端に対向していてもよい。第1マークM_k1の上端部は、第1層8の上端とほぼ一致し、第2層9に接続されていてもよい。

[0069] 複数の第2マークM_k2は、第1～第4側面5A～5Dのうち複数の第1マークM_k1とは異なる少なくとも1つの側面に形成される。複数の第2マークM_k2は、この形態では、第2方向Yに延びる第2側面5Bおよび第4側面5Dのいずれか一方または双方（この形態では双方）に形成されている。第4側面5D側の構成は、第2側面5B側の構成と同様であるので、以下では、第2側面5B側の構成が説明される。第4側面5D側の構成については、以下の説明において「第2側面5B」を「第4側面5D」に置き換えることによって得られる。

[0070] 複数の第2マークM_k2は、この形態では、第2側面5Bから露出するp型の不純物領域からそれぞれなる。複数の第2マークM_k2は、第2側面5Bのうち積層部7からなる部分にそれぞれ形成されている。具体的には、複数の第2マークM_k2は、ベース層6に対して積層部7側の領域に形成され、第2側面5Bからベース層6を露出させている。

[0071] 複数の第2マークM_k2は、第2側面5Bにおいて、下側範囲に対して上側範囲に偏在するように形成される。複数の第2マークM_k2は、この形態では、上側範囲において第2方向Yに間隔を空けて配列され、積層部7の一部からそれぞれなるn型の複数の第2スペースS_p2を区画している。つまり、複数の第2マークM_k2は第2側面5Bにおいて第2層9からなる部分にそれぞれ形成され、複数の第2スペースS_p2は第2層9の一部からそれぞれなる。複数の第2マークM_k2は、複数の第2スペースS_p2とp_n接合部を形成している。

[0072] 複数の第2マークM_k2は、複数の第1マークM_k1の厚さ範囲とは異なる厚さ範囲において、複数の第1マークM_k1の配列方向とは異なる配列方向で形成されている。複数の第2スペースS_p2は、複数の第1スペースS_p1の厚さ範囲とは異なる厚さ範囲において、複数の第1スペースS_p1の

配列方向とは異なる配列方向で形成されている。

[0073] 複数の第2マークM_k2は、複数の第2スペースS_p2の電気的特性（不純物＝5価元素）とは異なる電気的特性（不純物＝3価元素）を有している。したがって、複数の第2マークM_k2および複数の第2スペースS_p2の電気的特性（不純物、濃度、抵抗値等）を測定することによって、複数の第2マークM_k2および複数の第2スペースS_p2が特定される。たとえば、複数の第2マークM_k2および複数の第2スペースS_p2は、SEMやTEM等の電子顕微鏡やEBIC解析等を用いて特定されることができる。

[0074] 複数の第2マークM_k2は、第1層8（下側範囲）に対して第2層9（上側範囲）側の領域に形成され、第1層8を挟んでベース層6に対向している。複数の第2マークM_k2は、第2側面5Bにおいて第1層8からなる部分を露出させている。複数の第2スペースS_p2は、第2側面5Bにおいて第1層8からなる部分にそれぞれ接続されている。

[0075] 複数の第2マークM_k2は、積層方向に沿って縦長柱状にそれぞれ延び、第2側面5Bにおいて複数の第2スペースS_p2と共に積層方向に延びるストライプマークを形成している。複数の第2マークM_k2は、第2側面5Bの表層部において第2軸チャネルCH2に延びている。

[0076] 複数の第2マークM_k2は、第2層9の下端側の下端部および第2層9の上端側の上端部をそれぞれ有している。複数の第2マークM_k2の下端部は第2層9の厚さ範囲中間部に対して第2層9の下端側の領域に位置され、複数の第2マークM_k2の上端部は第2層9の厚さ範囲中間部に対して第2層9の上端側の領域に位置されている。つまり、複数の第2マークM_k2は、厚さ方向に沿って第2層9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それぞれなる。

[0077] 第2マークM_k2の下端部は、第2層9の下端から上端側に間隔を空けて形成され、第2層9の一部（下端部）を挟んで第1層8に対向していてもよい。つまり、複数の第2マークM_k2は、第2側面5Bにおいて第1層8からなる部分の全域を露出させていてもよい。第2マークM_k2の下端部は、

第1層8の下端とほぼ一致し、第1層8に接続されていてもよい。

[0078] 第2マークMk2の下端部は、第1層8および第2層9の境界部を横切り、第1層8に内に位置する延部を有していてもよい。この場合、複数の第2マークMk2の延部は、第1層8の上端側の表層部に位置され、第2側面5Bにおいて第1層8からなる部分のほぼ全域を露出させていることが好ましい。

[0079] 第2マークMk2の上端部は、第2層9の上端（つまり第1主面3）から下端側に間隔を空けて形成され、第2層9の一部（上端部）を挟んで第2層9の上端に対向していてもよい。第2マークMk2の上端部は、第2層9の上端（つまり第1主面3）から露出していてもよい。

[0080] 図6Aを参照して、SiC半導体装置1Aは、第1～第4側面5A～5Dのうちの少なくとも1つに形成された第2形態例に係る装飾パターンPTを含んでいてもよい。第2形態例に係る装飾パターンPTは、第1形態例に係る構成に加えて、第1相異マークMd1を含む。

[0081] 第1相異マークMd1は、第1側面5Aおよび第3側面5Cのいずれか一方または双方において、第1マークMk1とは異なる厚さ範囲に第1マークMk1とは異なるレイアウトで形成される。図6Aでは、第1相異マークMd1が第1側面5Aに形成された例が示されている。第3側面5C側の構成については、以下の説明において「第1側面5A」を「第3側面5C」に置き換えることによって得られる。

[0082] 第1相異マークMd1は、この形態では、第1側面5Aから露出するp型の不純物領域からなる。第1相異マークMd1は、第1側面5Aのうち積層部7からなる部分に形成されている。具体的には、第1相異マークMd1は、ベース層6に対して積層部7側の領域に形成され、第1側面5Aからベース層6を露出させている。

[0083] より具体的には、第1相異マークMd1は、下側範囲に対して上側範囲に形成され、厚さ方向に少なくとも1つの第1マークMk1に重なっている。第1相異マークMd1は、この形態では、上側範囲を第1方向Xに帯状に延

び、厚さ方向に複数の第1マークMk1に重なっている。

[0084] 第1相異マークMd1は、この形態では、第1方向Xに関して、第1側面5Aの一方側の角部から第1側面5Aの他方側の角部まで延び、第1側面5Aの一方側の角部および他方側の角部から露出している。つまり、第1相異マークMd1は、厚さ方向に全ての第1マークMk1に重なっている。

[0085] 第1相異マークMd1は、第2側面5Bの角部および第4側面5Dの角部から露出した部分を有している。第1相異マークMd1は、第2側面5B（第4側面5D）の角部において最外の第2マークMk2から第2方向Yに間隔を空けて形成され、第2方向Yに最外の第2マークMk2に対向している。第1相異マークMd1は第1側面5Aにおいて第2層9からなる部分に形成され、複数の第1マークMk1と共に複数の第1スペースSp1を区画している。

[0086] 第1相異マークMd1は、複数の第1スペースSp1の電気的特性（不純物＝5価元素）とは異なる電気的特性（不純物＝3価元素）を有している。したがって、第1相異マークMd1および複数の第1スペースSp1の電気的特性（不純物、濃度、抵抗値等）を測定することによって、複数の第1相異マークMd1および複数の第1スペースSp1が特定される。たとえば、第1相異マークMd1および複数の第1スペースSp1は、SEMやTEM等の電子顕微鏡やEBIC解析等を用いて特定されることができる。

[0087] 第1相異マークMd1は、第2層9の下端側の下端部および第2層9の上端側の上端部を有している。第1相異マークMd1の下端部は第2層9の厚さ範囲中間部に対して第2層9の下端側の領域に位置され、第1相異マークMd1の上端部は第2層9の厚さ範囲中間部に対して第2層9の上端側の領域に位置されている。つまり、第1相異マークMd1は、厚さ方向に沿って第2層9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。

[0088] 第1相異マークMd1の下端部は、複数の第1マークMk1から第2層9の上端（第1主面3）側に間隔を空けて形成され、第2層9の一部（下端部

）を挟んで複数の第1マークMk1（複数の第1スペースSp1）に対向していてもよい。第1相異マークMd1の下端部は、第1層8の下端とほぼ一致していてもよい。

[0089] この場合、第1相異マークMd1の下端部は、複数の第1マークMk1の上端部から第2層9の上端側に間隔を空けて形成され、第2層9の一部（下端部）を挟んで複数の第1マークMk1に対向していてもよい。むろん、複数の第1相異マークMd1の下端部は、複数の第1マークMk1（複数の第1スペースSp1）の上端部に接続されていてもよい。

[0090] 第1相異マークMd1の下端部は、第1層8および第2層9の境界部を横切り、第1層8に内に位置する延部を有していてもよい。この場合、第1相異マークMd1の下端部（延部）は、第1層8内において複数の第1マークMk1に接続されていてもよい。むろん、第1相異マークMd1の下端部（延部）は、複数の第1マークMk1から第2層9の上端側に間隔を空けて形成されていてもよい。

[0091] 第1相異マークMd1の上端部は、第2層9の上端（つまり第1主面3）から下端側に間隔を空けて形成され、第2層9の一部（上端部）を挟んで第2層9の上端に対向していてもよい。第1相異マークMd1の上端部は、第2層9の上端（つまり第1主面3）から露出していてもよい。

[0092] 図6Bを参照して、SiC半導体装置1Aは、第1～第4側面5A～5Dのうちの少なくとも1つに形成された第3形態例に係る装飾パターンPTを含んでいてもよい。第3形態例に係る装飾パターンPTは、第1形態例に係る構成に加えて、第2相異マークMd2を含む。

[0093] 第2相異マークMd2は、第2側面5Bおよび第4側面5Dのいずれか一方または双方において、第2マークMk2とは異なる厚さ範囲に第2マークMk2とは異なるレイアウトで形成される。図6Bでは、第2相異マークMd2が第2側面5Bに形成された例が示されている。第4側面5D側の構成については、以下の説明において「第2側面5B」を「第4側面5D」に置き換えることによって得られる。

- [0094] 第2相異マークM d 2は、この形態では、第2側面5 Bから露出するp型の不純物領域からなる。第2相異マークM d 2は、第2側面5 Bのうち積層部7からなる部分に形成されている。具体的には、第2相異マークM d 2は、ベース層6に対して積層部7側の領域に形成され、第2側面5 Bからベース層6を露出させている。
- [0095] より具体的には、第2相異マークM d 2は、上側範囲に対して下側範囲に形成され、厚さ方向に少なくとも1つの第2マークM k 2に重なっている。第2相異マークM d 2は、この形態では、下側範囲を第2方向Yに帯状に延び、厚さ方向に複数の第2マークM k 2に重なっている。
- [0096] 第2相異マークM d 2は、この形態では、第2方向Yに関して、第2側面5 Bの一方側の角部から第2側面5 Bの他方側の角部まで延び、第2側面5 Bの一方側の角部および他方側の角部から露出している。つまり、第2相異マークM d 2は、厚さ方向に全ての第2マークM k 2に重なっている。
- [0097] 第2相異マークM d 2は、第1側面5 Aの角部および第3側面5 Cの角部から露出した部分を有している。第2相異マークM d 2は、第1側面5 A（第3側面5 C）の角部において最外の第1マークM k 1から第1方向Xに間隔を空けて形成され、第1方向Xに最外の第1マークM k 1に対向している。第2相異マークM d 2は第2側面5 Bにおいて第1層8からなる部分に形成され、複数の第2マークM k 2と共に複数の第2スペースS p 2を区画している。
- [0098] 第2相異マークM d 2は、複数の第2スペースS p 2の電気的特性（不純物＝5価元素）とは異なる電気的特性（不純物＝3価元素）を有している。したがって、第2相異マークM d 2および複数の第2スペースS p 2の電気的特性（不純物、濃度、抵抗値等）を測定することによって、複数の第2相異マークM d 2および複数の第2スペースS p 2が特定される。たとえば、第2相異マークM d 2および複数の第2スペースS p 2は、SEMやTEM等の電子顕微鏡やEBIC解析等を用いて特定されることができる。
- [0099] 第2相異マークM d 2は、第1層8の下端側の下端部および第1層8の上

端側の上端部を有している。第2相異マークM d 2の下端部は第1層8の厚さ範囲中間部に対して第1層8の下端側の領域に位置され、第2相異マークM d 2の上端部は第1層8の厚さ範囲中間部に対して第1層8の上端側の領域に位置されている。つまり、第2相異マークM d 2は、第1軸チャンネルC H 1に沿って第1層8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。

[0100] 第2相異マークM d 2の下端部は、第1層8の下端（つまりベース層6）から第1層8の上端（第2層9）側に間隔を空けて形成され、第1層8の一部（下端部）を挟んでベース層6に対向していてもよい。第2相異マークM d 2の下端部は、第1層8の下端とほぼ一致し、ベース層6に接続されていてもよい。第2相異マークM d 2の下端部は、ベース層6および第1層8の境界部を横切り、ベース層6に内に位置する延部を有していてもよい。

[0101] 第2相異マークM d 2の上端部は、第1層8の上端（つまり第2層9）から下端側に間隔を空けて形成され、第1層8の一部（上端部）を挟んで複数の第2マークM k 2に対向していてもよい。第2相異マークM d 2の上端部は、第1層8の上端（つまり第1主面3）から露出していてもよい。

[0102] この場合、第2相異マークM d 2の上端部は、複数の第2マークM k 2の下端部に接続されていてもよい。むしろ、第2相異マークM d 2の上端部は、複数の第2マークM k 2の下端部から第1層8の下端側に間隔を空けて形成され、第1層8の一部（下端部）を挟んで複数の第2マークM k 2に対向していてもよい。

[0103] 図6Cを参照して、S i C半導体装置1Aは、第1～第4側面5A～5Dのうちの少なくとも1つに形成された第4形態例に係る装飾パターンP Tを含んでいてもよい。第4形態例に係る装飾パターンP Tは、第1形態例に係る構成に加えて、第2形態例に係る第1相異マークM d 1および第3形態例に係る第2相異マークM d 2を含む。第2相異マークM d 2は、第1相異マークM d 1の厚さ範囲とは異なる厚さ範囲において、第1相異マークM d 1の延在方向とは異なる延在方向に延びている。

- [0104] 図6Dを参照して、SiC半導体装置1Aは、第1～第4側面5A～5Dのうちの少なくとも1つに形成された第5形態例に係る装飾パターンPTを含んでいてもよい。第5形態例に係る装飾パターンPTは、複数の第1マークMk1および複数の第2マークMk2の位置関係を入れ替えた構成を有している。
- [0105] 具体的には、複数の第1マークMk1は、第2側面5Bの下側範囲において第2方向Yに間隔を空けて配列され、積層部7の一部からそれぞれなるn型の複数の第1スペースSp1を区画している。複数の第1マークMk1は第2側面5Bにおいて第1層8からなる部分にそれぞれ形成され、複数の第1スペースSp1は第1層8の一部からそれぞれなる。その他、第5形態例に係る第1マークMk1（第1スペースSp1）の構成は、第2側面5Bに形成されている点を除き、第1形態例に係る第1マークMk1（第1スペースSp1）の構成と同様である。
- [0106] 一方、複数の第2マークMk2は、第1側面5Aの上側範囲において第1方向Xに間隔を空けて配列され、積層部7の一部からそれぞれなるn型の複数の第2スペースSp2を区画している。複数の第2マークMk2は第1側面5Aにおいて第2層9からなる部分にそれぞれ形成され、複数の第2スペースSp2は第2層9の一部からそれぞれなる。その他、第5形態例に係る第2マークMk2（第2スペースSp2）の構成は、第1側面5Aに形成されている点を除き、第1形態例に係る第2マークMk2（第2スペースSp2）の構成と同様である。
- [0107] むろん、前述の第2～第4形態例に係る装飾パターンPTの構成は、第5形態例に係る装飾パターンPTにも適用可能である。この場合、前述の第1相異マークMd1は、第2側面5Bの上側範囲に形成される。また、前述の第2相異マークMd2は、第1側面5の下側範囲に形成される。
- [0108] 図2～図7を参照して、SiC半導体装置1Aは、少なくとも活性領域10において積層部7に形成されたp型のコラム領域12を含む。コラム領域12は、「コラム層」、「ピラー層（領域）」、「p型層（領域）」、「p

型ゾーン」等と称されてもよい。コラム領域 12 は、積層部 7 内において立体格子状に形成され、積層部 7 の一部からなる立体格子状の n 型のドリフト領域 13 を区画している。

[0109] コラム領域 12 は、積層部 7 を構成する複数の半導体層のうちの少なくとも 1 つの半導体層に形成され、積層部 7 内においてドリフト領域 13 とスーパージャンクション構造 S J を形成している。コラム領域 12 は、この形態では、p 型の複数の第 1 領域 14 および p 型の複数の第 2 領域 15 を含む積層構造を有している。

[0110] 複数の第 1 領域 14 は、第 1 層 8 内において水平方向に間隔を空けて形成され、第 1 層 8 の一部からそれぞれなる n 型の複数の第 1 ドリフト領域 16 を区画している。複数の第 1 領域 14 は、複数の第 1 ドリフト領域 16 と共にチャージバランスを有する複数の第 1 p n 接合部を形成している。

[0111] つまり、複数の第 1 領域 14 は、複数の第 1 ドリフト領域 16 と第 1 スーパージャンクション構造 S J 1 を構成している。チャージバランスを有する状態は、互いに隣り合う複数の第 1 領域 14 に関して、一方の第 1 p n 接合部から拡がる空乏層、および、他方の第 1 p n 接合部から拡がる空乏層が、複数の第 1 ドリフト領域 16 内で接続される状態を意味する。

[0112] 複数の第 1 領域 14 は、第 1 層 8 内において第 1 配列方向 D a 1 に間隔を空けて配列され、第 1 延在方向 D e 1 に延びる帯状にそれぞれ形成されている。第 1 延在方向 D e 1 は、第 1 配列方向 D a 1 に交差または直交する方向である。つまり、複数の第 1 領域 14 は第 1 延在方向 D e 1 に延びるストライプ状に形成され、複数の第 1 ドリフト領域 16 は第 1 延在方向 D e 1 に延びるストライプ状に形成されている。

[0113] 複数の第 1 領域 14 は、この形態では、活性領域 10 から外周領域 11 に引き出されている（図 3 A 参照）。つまり、複数の第 1 領域 14 は、第 1 層 8 のうち活性領域 10 内に位置する部分から第 1 層 8 のうち外周領域 11 内に位置する部分に引き出されている。複数の第 1 領域 14 は、外周領域 11 においても第 1 配列方向 D a 1 に間隔を空けて配列され、第 1 延在方向 D e

1 に延びる帯状にそれぞれ形成されている。

[0114] さらに、複数の第1領域14は、外周領域11から第1側面5Aおよび第3側面5Cのいずれか一方または双方（この形態では双方）に向けて延び、第1側面5Aおよび第3側面5Cのいずれか一方または双方（この形態では双方）から露出した部分をそれぞれ有している。

[0115] 複数の第1領域14のうち第1側面5Aから露出した部分は第1側面5Aにおいて複数の第1マークMk1を形成し、複数の第1領域14のうち第3側面5Cから露出した部分は第3側面5Cにおいて複数の第1マークMk1を形成している。つまり、複数の第1領域14は、第1側面5Aから露出した露出部としての複数の第1マークMk1、および、第3側面5Cから露出した露出部としての複数の第1マークMk1のいずれか一方または双方を含む。

[0116] 換言すると、複数の第1マークMk1は、複数の第1領域14の一部（露出部）を利用してそれぞれ形成されている。第1側面5A（第3側面5C）に対する複数の第1マークMk1のレイアウト（露出箇所や配列方向）は、複数の第1領域14のレイアウト（第1配列方向Da1や第1延在方向De1）によって適宜調節される。

[0117] 複数の第1マークMk1は、必ずしも複数の第1領域14の本体部から連続して形成されている必要はなく、複数の第1領域14の本体部から分離された分離部として形成されていてもよい。この場合、複数の第1マークMk1は、外周領域11において複数の第1領域14の本体部から分離されていることが好ましい。第1領域14に対する説明は、第1マークMk1（第1領域14のうち第1側面5A／第3側面5Cから露出した部分）にも適用される。

[0118] 複数の第1領域14は、断面視において第1層8内で第1軸チャネルCH1に沿って延びるチャネリング領域（第1チャネリング領域）からなる。つまり、第1領域14は、第1層8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1軸チャネルCH1）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。

[0119] したがって、複数の第1領域14は、第1軸チャンネルCH1のオフ方向Doffおよびオフ角 θ_{off} にはほぼ一致したオフ方向Doffおよびオフ角 θ_{off} を有している。換言すると、複数の第1領域14は、鉛直軸からオフ方向Doffに向けてオフ角 θ_{off} 分だけ傾斜している。

[0120] 複数の第1領域14は、第1層8の下端側の第1下端部14aおよび第1層8の上端側の第1上端部14bをそれぞれ有している。第1下端部14aは第1層8の厚さ範囲中間部に対して第1層8の下端側の領域に位置され、第1上端部14bは第1層8の厚さ範囲中間部に対して第1層8の上端側の領域に位置されている。つまり、複数の第1領域14は、第1軸チャンネルCH1に沿って第1層8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それぞれなる。

[0121] 第1下端部14aは、第1層8の下端から上端側に間隔を空けて形成され、第1層8の一部（下端部）を挟んでベース層6に対向していてもよい。第1下端部14aは、第1層8の下端とほぼ一致し、ベース層6に接続されていてもよい。

[0122] 第1層8の下端および第1下端部14aの間の距離は、 $0\mu\text{m}$ 以上 $2\mu\text{m}$ 以下であってもよい。第1層8の下端および第1下端部14aの間の距離は、 $0\mu\text{m}$ 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。

[0123] 第1下端部14aは、ベース層6および第1層8の境界部を横切り、ベース層6内に位置する延部を有していてもよい。この場合、ベース層6の上端を基準とする第1下端部14aの延部の厚さは、 $0\mu\text{m}$ を超えて $2\mu\text{m}$ 以下であってもよい。第1下端部14aの延部の厚さは、 $0\mu\text{m}$ を超えて $0.5\mu\text{m}$ 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。

[0124] 第1上端部14bは、第1層8の上端（つまり第2層9）から下端側に間隔を空けて形成され、第1層8の一部（上端部）を挟んで第1層8の上端に対向していてもよい。第1上端部14bは、第1層8の上端とほぼ一致し、第2層9に接続されていてもよい。

[0125] 第1層8の上端および第1上端部14bの間の距離は、 $0\mu\text{m}$ 以上 $1\mu\text{m}$ 以下であってもよい。第1層8の上端および第1上端部14bの間の距離は、 $0\mu\text{m}$ 以上 $0.25\mu\text{m}$ 以下、 $0.25\mu\text{m}$ 以上 $0.5\mu\text{m}$ 以下、 $0.5\mu\text{m}$ 以上 $0.75\mu\text{m}$ 以下、および、 $0.75\mu\text{m}$ 以上 $1\mu\text{m}$ 以下のいずれか1つの範囲に属する値を有していてもよい。

[0126] 複数の第1領域14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。第1領域14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。第1領域14のp型不純物濃度は、炭素よりも重たい重元素に属する3価元素によって調整されていることが特に好ましい。つまり、第1領域14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。第1領域14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。

[0127] 複数の第1領域14は、第1幅W1をそれぞれ有している。第1幅W1は、第1領域14の第1配列方向Da1に沿う幅である。第1幅W1は、第1層8の第1厚さT1未満であることが好ましい。むしろ、第1幅W1は、第1厚さT1以上であってもよい。第1幅W1は、第2層9の第2厚さT2未満であることが好ましい。むしろ、第1幅W1は、第2厚さT2以上であってもよい。

[0128] 第1幅W1は、 $0.1\mu\text{m}$ 以上 $5\mu\text{m}$ 以下であってもよい。第1幅W1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。第1幅 $W1$ 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。

[0129] 複数の第1領域14は、第1領域厚さ $TR1$ （第1領域深さ）をそれぞれ有している。第1領域厚さ $TR1$ は、第1層8の第1厚さ $T1$ 未満であってもよい。第1領域厚さ $TR1$ は、第1厚さ $T1$ よりも大きいてもよい。第1領域厚さ $TR1$ は、第1厚さ $T1$ とほぼ等しくてもよい。第1領域厚さ $TR1$ は、第2層9の第2厚さ $T2$ 未満であってもよい。第1領域厚さ $TR1$ は、第2厚さ $T2$ よりも大きいてもよい。第1領域厚さ $TR1$ は、第2厚さ $T2$ とほぼ等しくてもよい。

[0130] 第1領域厚さ $TR1$ は、 $1\ \mu\text{m}$ 以上であることが好ましい。第1領域厚さ $TR1$ は、 $5\ \mu\text{m}$ 以下であることが好ましい。第1領域厚さ $TR1$ 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。

[0131] 第1幅 $W1$ が第1層8の第1厚さ $T1$ 未満であり、第1領域厚さ $TR1$ が第1幅 $W1$ よりも大きいことが好ましい。つまり、複数の第1領域14は、第1軸チャネル $CH1$ に沿って縦長柱状に延びる第1アスペクト比 $TR1/W1$ をそれぞれ有していることが好ましい。第1アスペクト比 $TR1/W1$ は、第1幅 $W1$ に対する第1領域厚さ $TR1$ の比である。この場合、第1領域厚さ $TR1$ は、第1厚さ $T1$ よりも大きいことが特に好ましい。たとえば、第1アスペクト比 $TR1/W1$ は、1を超えて100以下であってもよい。

[0132] 複数の第1領域14は、第1配列方向 $Da1$ に第1ピッチ $P1$ の間隔を空けて形成されている。第1ピッチ $P1$ は、第1層8の第1厚さ $T1$ 未満であることが好ましい。むしろ、第1ピッチ $P1$ は、第1厚さ $T1$ 以上であって

もよい。第1ピッチP1は、第2層9の第2厚さT2未満であることが好ましい。むろん、第1ピッチP1は、第2厚さT2以上であってもよい。

[0133] 第1ピッチP1は、0.1 μm 以上5 μm 以下であってもよい。第1ピッチP1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。第1ピッチP1は、0.5 μm 以上1.5 μm 以下であることが好ましい。

[0134] 複数の第2領域15は、第2層9内において水平方向に間隔を空けて形成され、第2層9の一部からそれぞれなるn型の複数の第2ドリフト領域17を区画している。複数の第2領域15は、複数の第2ドリフト領域17と共にチャージバランスを有する複数の第2pn接合部を形成している。

[0135] つまり、複数の第2領域15は、第2層9と第2スーパージャンクション構造SJ2を構成している。チャージバランスを有する状態は、互いに隣合う複数の第2領域15に関して、一方の第2pn接合部から拡がる空乏層、および、他方の第2pn接合部から拡がる空乏層が、複数の第2ドリフト領域17内で接続される状態を意味する。

[0136] 複数の第2領域15は、積層方向に複数の第1領域14に重なるように第2層9内に形成されている。具体的には、複数の第2領域15は、第2層9内において第1配列方向Da1とは異なる第2配列方向Da2に間隔を空けて配列され、第1延在方向De1とは異なる第2延在方向De2に延びる帯状にそれぞれ形成されている。

[0137] 第2配列方向Da2は第1配列方向Da1に交差する方向であり、第2延在方向De2は第1延在方向De1に交差する方向である。第2延在方向De2は、第2配列方向Da2に交差または直交する方向である。つまり、複数の第2領域15は第2延在方向De2に延びるストライプ状に形成され、

複数の第2ドリフト領域17は第2延在方向D_{e2}に延びるストライプ状に形成されている。

[0138] 複数の第2領域15は、平面視において複数の第1領域14に交差している。つまり、複数の第2ドリフト領域17は、第1層8および第2層9の境界部において複数の第1ドリフト領域16に格子状に接続され、複数の第1ドリフト領域16と共に1つの立体格子状のドリフト領域13を形成している。複数の第2ドリフト領域17は、複数の第1ドリフト領域16と共に立体格子状の電流経路を形成する。

[0139] 複数の第2領域15は、この形態では、活性領域10から外周領域11に引き出されている（図3B参照）。つまり、複数の第2領域15は、第2層9のうち活性領域10内に位置する部分から第2層9のうち外周領域11内に位置する部分に引き出されている。複数の第2領域15は、外周領域11においても第2配列方向D_{a2}に間隔を空けて配列され、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。つまり、複数の第2領域15は、外周領域11においても複数の第1領域14に交差している。

[0140] さらに、複数の第2領域15は、外周領域11から第2側面5Bおよび第4側面5Dのいずれか一方または双方（この形態では双方）に向けて延び、第2側面5Bおよび第4側面5Dのいずれか一方または双方（この形態では双方）から露出した部分をそれぞれ有している。

[0141] 複数の第2領域15のうち第2側面5Bから露出した部分は第2側面5Bにおいて複数の第2マークM_{k2}を形成し、複数の第2領域15のうち第4側面5Dから露出した部分は第4側面5Dにおいて複数の第2マークM_{k2}を形成している。つまり、複数の第2領域15は、第2側面5Bから露出した露出部としての複数の第2マークM_{k2}、および、第4側面5Dから露出した露出部としての複数の第2マークM_{k2}のいずれか一方または双方を含む。

[0142] 換言すると、複数の第2マークM_{k2}は、複数の第2領域15の一部（露出部）を利用してそれぞれ形成されている。第2側面5B（第4側面5D）

に対する複数の第2マークM_k2のレイアウト（露出箇所や配列方向）は、複数の第2領域15のレイアウト（第2配列方向D_a2や第2延在方向D_e2）によって適宜調節される。

[0143] 複数の第2マークM_k2は、必ずしも複数の第2領域15の本体部から連続して形成されている必要はなく、複数の第2領域15の本体部から分離された分離部として形成されていてもよい。この場合、複数の第2マークM_k2は、外周領域11において複数の第2領域15の本体部から分離されていることが好ましい。第2領域15に対する説明は、第2マークM_k2（第2領域15のうち第2側面5B／第4側面5Dから露出した部分）にも適用される。

[0144] 複数の第2領域15は、断面視において第2層9内で第2軸チャネルC_H2に沿って延びるチャネリング領域（第2チャネリング領域）からなる。つまり、第2領域15は、第2層9内において低指数結晶軸に沿う原子列によって取り囲まれた領域（第2軸チャネルC_H2）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。

[0145] したがって、複数の第2領域15は、第2軸チャネルC_H2のオフ方向D_{off}およびオフ角θ_{off}にほぼ一致したオフ方向D_{off}およびオフ角θ_{off}を有している。換言すると、複数の第2領域15は、鉛直軸からオフ方向D_{off}に向けてオフ角θ_{off}分だけ傾斜している。

[0146] 複数の第2領域15は、第2層9の下端側の第2下端部15aおよび第2層9の上端側の第2上端部15bをそれぞれ有している。第2下端部15aは第2層9の厚さ範囲中間部に対して第2層9の下端側の領域に位置され、第2上端部15bは第2層9の厚さ範囲中間部に対して第2層9の上端側の領域に位置されている。つまり、複数の第2領域15は、第2軸チャネルC_H2に沿って第2層9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それぞれなる。

[0147] 第2下端部15aは、第2層9の下端から上端側に間隔を空けて形成され

、第2層9の一部（下端部）を挟んで第1層8（複数の第1領域14）に対向していてもよい。第2下端部15aは、第2層9の下端とほぼ一致し、第1層8に接続されていてもよい。

[0148] 第2層9の下端および第2下端部15aの間の距離は、 $0\ \mu\text{m}$ 以上 $2\ \mu\text{m}$ 以下であってもよい。第2層9の下端および第2下端部15aの間の距離は、 $0\ \mu\text{m}$ 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。

[0149] 第2下端部15aは、第1層8および第2層9の境界部を横切り、第1層8内に位置する延部を有していてもよい。この場合、第1層8の上端を基準とする第2下端部15aの延部の厚さは、 $0\ \mu\text{m}$ を超えて $2\ \mu\text{m}$ 以下であってもよい。第2下端部15aの延部の厚さは、 $0\ \mu\text{m}$ を超えて $0.5\ \mu\text{m}$ 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。

[0150] 第2上端部15bは、第2層9の上端（つまり第1主面3）から下端側に間隔を空けて形成され、第2層9の一部（上端部）を挟んで第2層9の上端に対向していてもよい。この場合、第2層9における第1主面3および第2上端部15bの間のスペースは、デバイス構造（他の不純物領域等）を形成するための領域として使用されてもよい。むしろ、第2上端部15bは、第2層9の上端（つまり第1主面3）から露出していてもよい。

[0151] 第2層9の上端および第2上端部15bの間の距離は、 $0\ \mu\text{m}$ 以上 $1\ \mu\text{m}$ 以下であってもよい。第2層9の上端および第2上端部15bの間の距離は、 $0\ \mu\text{m}$ 以上 $0.25\ \mu\text{m}$ 以下、 $0.25\ \mu\text{m}$ 以上 $0.5\ \mu\text{m}$ 以下、 $0.5\ \mu\text{m}$ 以上 $0.75\ \mu\text{m}$ 以下、および、 $0.75\ \mu\text{m}$ 以上 $1\ \mu\text{m}$ 以下のいずれか1つの範囲に属する値を有していてもよい。

[0152] 複数の第2領域15は、 $1 \times 10^{15}\ \text{cm}^{-3}$ 以上 $1 \times 10^{18}\ \text{cm}^{-3}$ 以下のp型不純物濃度をピーク値として有していてもよい。第2領域15のp型不純

物濃度（ピーク値）は、第1領域14のp型不純物濃度（ピーク値）以上であってよい。第2領域15のp型不純物濃度（ピーク値）は、第1領域14のp型不純物濃度（ピーク値）未満であってよい。第2領域15のp型不純物濃度（ピーク値）は、第1領域14のp型不純物濃度（ピーク値）とほぼ等しくてもよい。

[0153] 第2領域15のp型不純物濃度は、少なくとも1種の3価元素によって調整されていることが好ましい。第2領域15のp型不純物濃度は、炭素よりも重たい重元素に属する3価元素によって調整されていることが特に好ましい。つまり、第2領域15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。第2領域15のp型不純物濃度は、この形態では、アルミニウムによって調整されている。

[0154] 複数の第2領域15は、第2幅W2をそれぞれ有している。第2幅W2は、第2領域15の第2配列方向D a 2に沿う幅である。第2幅W2は、第2層9の第2厚さT2未満であることが好ましい。むしろ、第2幅W2は、第2厚さT2以上であってよい。

[0155] 第2幅W2は、第1層8の第1厚さT1未満であることが好ましい。むしろ、第2幅W2は、第1厚さT1以上であってよい。第2幅W2は、第1領域14の第1幅W1とほぼ等しいことが好ましい。むしろ、第2幅W2は、第1幅W1以上であってよいし、第1幅W1未満であってよい。

[0156] 第2幅W2は、0.1 μm 以上5 μm 以下であってよい。第2幅W2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。第2幅W2は、0.5 μm 以上1.5 μm 以下であることが好ましい。

- [0157] 複数の第2領域15は、第2領域厚さ TR_2 （領域深さ）をそれぞれ有している。第2領域厚さ TR_2 は、第2層9の第2厚さ T_2 未満であってもよい。第2領域厚さ TR_2 は、第2厚さ T_2 よりも大きいてもよい。第2領域厚さ TR_2 は、第2厚さ T_2 とほぼ等しくてもよい。
- [0158] 第2領域厚さ TR_2 は、第1層8の第1厚さ T_1 未満であってもよい。第2領域厚さ TR_2 は、第1厚さ T_1 よりも大きいてもよい。第2領域厚さ TR_2 は、第1厚さ T_1 とほぼ等しくてもよい。第2領域厚さ TR_2 は、第1領域14の第1領域厚さ TR_1 未満であってもよい。第2領域厚さ TR_2 は、第1領域厚さ TR_1 よりも大きいてもよい。第2領域厚さ TR_2 は、第1領域厚さ TR_1 とほぼ等しくてもよい。
- [0159] 第2領域厚さ TR_2 は、 $1\mu m$ 以上であることが好ましい。第2領域厚さ TR_2 は、 $5\mu m$ 以下であることが好ましい。第2領域厚さ TR_2 は、 $1\mu m$ 以上 $1.5\mu m$ 以下、 $1.5\mu m$ 以上 $2\mu m$ 以下、 $2\mu m$ 以上 $2.5\mu m$ 以下、 $2.5\mu m$ 以上 $3\mu m$ 以下、 $3\mu m$ 以上 $3.5\mu m$ 以下、 $3.5\mu m$ 以上 $4\mu m$ 以下、 $4\mu m$ 以上 $4.5\mu m$ 以下、および、 $4.5\mu m$ 以上 $5\mu m$ 以下のいずれか1つの範囲に属する値を有していてもよい。
- [0160] 第2幅 W_2 が第2層9の第2厚さ T_2 未満であり、第2領域厚さ TR_2 が第2幅 W_2 よりも大きいことが好ましい。つまり、複数の第2領域15は、第2軸チャネル CH_2 に沿って縦長柱状に延びる第2アスペクト比 TR_2/W_2 をそれぞれ有していることが好ましい。第2アスペクト比 TR_2/W_2 は、第2幅 W_2 に対する第2領域厚さ TR_2 の比である。この場合、第2領域厚さ TR_2 は、第2厚さ T_2 よりも大きいことが特に好ましい。たとえば、第2アスペクト比 TR_2/W_2 は、1を超えて100以下であってもよい。
- [0161] 複数の第2領域15は、第2配列方向 Da_2 に第2ピッチ P_2 の間隔を空けて形成されている。第2ピッチ P_2 は、第2層9の第2厚さ T_2 未満であることが好ましい。むろん、第2ピッチ P_2 は、第2層9の第2厚さ T_2 以上であってもよい。第2ピッチ P_2 は、第1層8の第1厚さ T_1 未満である

ことが好ましい。むろん、第2ピッチP2は、第1厚さT1以上であってもよい。

[0162] 第2ピッチP2は、第1ピッチP1とほぼ等しくてもよいし、第1ピッチP1とは異なってもよい。第2ピッチP2は、第1ピッチP1よりも大きくてもよいし、第1ピッチP1よりも小さくてもよい。

[0163] 第2ピッチP2は、0.1 μm 以上5 μm 以下であってもよい。第2ピッチP2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。第2ピッチP2は、0.5 μm 以上1.5 μm 以下であることが好ましい。

[0164] この形態では、2層構造を有するスーパージャンクション構造SJが示された。しかし、3層以上の積層構造を有するスーパージャンクション構造SJが採用されてもよい。つまり、3層以上の積層構造を有する積層部7が形成され、3層以上の積層構造を有するコラム領域12が形成されてもよい。

[0165] この場合、積層部7において3層目以降の半導体層は、第2層9と同様の構成で形成される。一方、コラム領域12において奇数(2n+1:nは1以上自然数)層の半導体層に形成される領域は第1領域14(第1マークMk1)と同様の構成で形成され、偶数(2n+2)層の半導体層に形成される領域は第2領域15(第2マークMk2)と同様の構成で形成される。コラム領域12のうちの第(n+2)層目の領域は、第n層目の領域に対する第(n+1)層目の領域の関係と同様の関係で、第(n+2)層目の半導体層に形成される。

[0166] 以下、図7、図8Aおよび図8Bを参照して、第1領域14および第2領域15のレイアウト例が説明される。装飾パターンPT(複数の第1マークMk1および複数の第2マークMk2)は、以下に示される第1領域14お

よび第2領域15のレイアウト例に応じたレイアウトで形成される。

[0167] 図8Aは、第1基本形態に係るコラム領域12の第1レイアウト例を示す平面図である。図8Bは、第1基本形態に係るコラム領域12の第2レイアウト例を示す平面図である。図8Aおよび図8Bでは、第1領域14が破線によって示され、第2領域15がハッチングによって示されている。

[0168] 図7、図8Aおよび図8Bを参照して、第1領域14の第1配列方向 D_{a1} はa軸方向（第1方向X）であり、第1領域14の第1延在方向 D_{e1} はm軸方向（第2方向Y）であってもよい。この場合、第1延在方向 D_{e1} が第1層8のオフ方向 D_{off} に交差（具体的には直交）するため、複数の第1領域14はSiC単結晶のm面（ $(1-100)$ 面）から見た断面視において鉛直軸からオフ方向 D_{off} に向けてほぼオフ角 θ_{off} 分だけ傾斜する。SiC単結晶のm面は、m軸方向に直交する結晶面である。

[0169] 一方、図7および図8Aを参照して、複数の第2領域15は、平面視において複数の第1領域14に直交していてもよい。つまり、第2領域15の第2配列方向 D_{a2} はm軸方向（第2方向Y）であり、第2領域15の第2延在方向 D_{e2} はa軸方向（第1方向X）であってもよい。この場合、第2配列方向 D_{a2} は、第1延在方向 D_{e1} に一致し、第1配列方向 D_{a1} に直交する。また、第2延在方向 D_{e2} は、第1配列方向 D_{a1} に一致し、第1延在方向 D_{e1} に直交する。

[0170] この場合、第2延在方向 D_{e2} が第2層9のオフ方向 D_{off} に一致するため、複数の第2領域15はSiC単結晶のa面（ $(11-20)$ 面）から見た断面視においてほぼ鉛直方向Zに延びている。SiC単結晶のa面は、a軸方向に直交する方向である。複数の第2領域15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_{off} に向けてほぼオフ角 θ_{off} 分だけ傾斜している。

[0171] むろん、図8Bを参照して、複数の第2領域15は、平面視において複数の第1領域14に非直交に交差していてもよい。つまり、第2領域15の第2配列方向 D_{a2} はm軸方向およびa軸方向以外の方向であり、第2領域1

5の第2延在方向D e 2はm軸方向およびa軸方向以外の方向であってもよい。この場合、第2配列方向D a 2は第1配列方向D a 1および第1延在方向D e 1の双方に交差し、第2延在方向D e 2は第1配列方向D a 1および第1延在方向D e 1の双方に交差する。また、第2延在方向D e 2は、第2層9のオフ方向D o f fに交差する。

[0172] 第2延在方向D e 2は、平面視においてa軸からm軸の一方側（紙面左側）または他方側（紙面右側）に向けて傾斜していてもよい。複数の第2領域15は、a軸を基準（0°）としたとき、a軸と延在角 θa を形成する第2延在方向D e 2を有している。

[0173] 延在角 θa の絶対値は、0°を超えて90°未満であってもよい。延在角 θa は、0°を超えて18°以下、18°以上36°以下、36°以上54°以下、54°以上72°以下、および、72°以上90°未満のうちのいずれか1つの範囲に属する値を有していてもよい。延在角 θa の絶対値は、典型的には、30°±5°、45°±5°、および、60°±5°のうちのいずれか1つの範囲に属する値に設定される。

[0174] コラム領域12は、図9、図10Aおよび図10Bに示される形態を有していてもよい。図9は、コラム領域12の第2基本形態を示す断面斜視図である。図10Aおよび図10Bは、第2基本形態に係るコラム領域12の第1レイアウト例および第2レイアウト例を示す平面図である。図10Aおよび図10Bでは、第1領域14が破線によって示され、第2領域15がハッチングによって示されている。

[0175] 図9、図10Aおよび図10Bを参照して、第1領域14の第1配列方向D a 1はm軸方向（第1方向X）であり、第1領域14の第1延在方向D e 1はa軸方向（第2方向Y）であってもよい。この場合、第1延在方向D e 1が第1層8のオフ方向D o f fに一致するため、複数の第1領域14はSiC単結晶のa面から見た断面視においてほぼ鉛直方向Zに延びている。複数の第1領域14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 f fに向けてほぼオフ角 $\theta o f f$ 分だけ傾斜している。

[0176] 一方、図9および図10Aを参照して、複数の第2領域15は、平面視において複数の第1領域14に直交していてもよい。つまり、第2領域15の第2配列方向D a 2はa軸方向（第2方向Y）であり、第2領域15の第2延在方向D e 2はm軸方向（第1方向X）であってもよい。この場合、第2配列方向D a 2は、第1延在方向D e 1に一致し、第1配列方向D a 1に直交する。また、第2延在方向D e 2は、第1配列方向D a 1に一致し、第1延在方向D e 1に直交する。

[0177] この場合、第2延在方向D e 2が第2層9のオフ方向D o f fに交差（具体的には直交）するため、複数の第2領域15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 f fに向けてほぼオフ角 θ_{off} 分だけ傾斜する。

[0178] むろん、図10Bを参照して、複数の第2領域15は、平面視において複数の第1領域14に非直交に交差していてもよい。つまり、第2領域15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、第2領域15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。この場合、第2配列方向D a 2は第1配列方向D a 1および第1延在方向D e 1の双方に交差し、第2延在方向D e 2は第1配列方向D a 1および第1延在方向D e 1の双方に交差する。また、第2延在方向D e 2は、第2層9のオフ方向D o f fに交差する。

[0179] 第2延在方向D e 2は、平面視においてa軸からm軸の一方側（紙面左側）または他方側（紙面右側）に向けて傾斜していてもよい。複数の第2領域15は、a軸を基準（ 0° ）としたとき、a軸と延在角 θ_a を形成する第2延在方向D e 2を有している。

[0180] 延在角 θ_a の絶対値は、 0° を超えて 90° 未満であってもよい。延在角 θ_a は、 0° を超えて 18° 以下、 18° 以上 36° 以下、 36° 以上 54° 以下、 54° 以上 72° 以下、および、 72° 以上 90° 未満のうちのいずれか1つの範囲に属する値を有していてもよい。延在角 θ_a の絶対値は、典型的には、 $30^\circ \pm 5^\circ$ 、 $45^\circ \pm 5^\circ$ 、および、 $60^\circ \pm 5^\circ$ のうちの

いずれか1つの範囲に属する値に設定される。

[0181] コラム領域12は、図11、図12A、図12Bおよび図12Cに示される形態を有していてもよい。図11は、コラム領域12の第3基本形態を示す断面斜視図である。図12A、図12Bおよび図12Cは、第3基本形態に係るコラム領域12の第1レイアウト例、第2レイアウト例および第3レイアウト例を示す平面図である。図12A～図12Cでは、第1領域14が破線によって示され、第2領域15がハッチングによって示されている。

[0182] 図11および図12A～図12Cを参照して、第1領域14の第1配列方向Da1はa軸方向（第1方向X）およびm軸方向（第2方向Y）以外の方向であり、第1領域14の第1延在方向De1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、複数の第1領域14は、a軸方向およびm軸方向の双方に交差していてもよい。図12A～図12Cでは、第1領域14がa軸を基準にm軸の一方側（紙面左側）に向けて傾斜した例が示されている。

[0183] この場合、第1延在方向De1がオフ方向Doffに交差するため、複数の第1領域14はSiC単結晶のa面から見た断面視および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Doffに向けてほぼオフ角 θ_{off} 分だけ傾斜する。

[0184] 第1延在方向De1は、a軸を基準（0°）としたとき、a軸と第1延在角 θ_1 を形成する。第1延在角 θ_1 の絶対値は、0°を超えて90°未満であってもよい。第1延在角 θ_1 は、0°を超えて18°以下、18°以上36°以下、36°以上54°以下、54°以上72°以下、および、72°以上90°未満のうちのいずれか1つの範囲に属する値を有していてもよい。

[0185] 第1延在角 θ_1 の絶対値は、典型的には、30°±5°、45°±5°、および、60°±5°のうちのいずれか1つの範囲に属する値に設定される。図12Aでは第1延在角 θ_1 の絶対値がほぼ45°であるレイアウト例が示され、図12Bでは第1延在角 θ_1 の絶対値がほぼ30°であるレイアウト

ト例が示され、図 1 2 C では第 1 延在角 $\theta 1$ の絶対値がほぼ 60° であるレイアウト例が示されている。

[0186] 一方、図 1 1 および図 1 2 A ~ 図 1 2 C を参照して、第 2 領域 1 5 の第 1 配列方向 $D a 1$ は a 軸方向（第 1 方向 X ）および m 軸方向（第 2 方向 Y ）以外の方向であり、第 2 領域 1 5 の第 1 延在方向 $D e 1$ 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、複数の第 2 領域 1 5 は、 a 軸方向および m 軸方向の双方に交差していてもよい。第 2 領域 1 5 は、この例では、 a 軸を基準に m 軸の他方側（紙面右側）に向けて傾斜している。

[0187] この場合、第 2 延在方向 $D e 2$ がオフ方向 $D o f f$ に交差するため、複数の第 2 領域 1 5 は $S i C$ 単結晶の a 面から見た断面視および m 面から見た断面視において鉛直軸からオフ方向 $D o f f$ に向けてほぼオフ角 $\theta o f f$ 分だけ傾斜する。

[0188] 第 2 延在方向 $D e 2$ は、 a 軸を基準（ 0° ）としたとき、 a 軸と第 2 延在角 $\theta 2$ を形成する。第 1 延在角 $\theta 1$ が「正值」であると定義された場合、第 2 延在角 $\theta 2$ は「負値」である。一方、第 1 延在角 $\theta 1$ が「負値」であると定義された場合、第 2 延在角 $\theta 2$ は「正值」である。

[0189] 第 2 延在角 $\theta 2$ の絶対値は、 0° を超えて 90° 未満であってもよい。第 2 延在角 $\theta 2$ は、 0° を超えて 18° 以下、 18° 以上 36° 以下、 36° 以上 54° 以下、 54° 以上 72° 以下、および、 72° 以上 90° 未満のうちのいずれか 1 つの範囲に属する値を有していてもよい。

[0190] 第 2 延在角 $\theta 2$ の絶対値は、典型的には、 $30^\circ \pm 5^\circ$ 、 $45^\circ \pm 5^\circ$ 、および、 $60^\circ \pm 5^\circ$ のうちのいずれか 1 つの範囲に属する値に設定される。第 2 延在角 $\theta 2$ の絶対値は、第 1 延在角 $\theta 1$ の絶対値とほぼ等しいことが好ましい。つまり、複数の第 2 領域 1 5 は、単位面積当たりの平面視（つまり部分的な平面視）において a 軸を基準に複数の第 1 領域 1 4 とほぼ線対称となるレイアウトを有していることが好ましい。換言すると、複数の第 2 領域 1 5 は、単位面積当たりの平面視（つまり部分的な平面視）において鉛直軸を基準に複数の第 1 領域 1 4 とほぼ点対象となるレイアウトを有している

ことが好ましい。

[0191] 図 1 2 A では第 2 延在角 $\theta 2$ の絶対値がほぼ 45° ($\simeq \theta 1$) であるレイアウト例が示され、図 1 2 B では第 2 延在角 $\theta 2$ の絶対値がほぼ 30° ($\simeq \theta 1$) であるレイアウト例が示され、図 1 2 C では第 2 延在角 $\theta 2$ の絶対値がほぼ 60° ($\simeq \theta 1$) であるレイアウト例が示されている。

[0192] つまり、図 1 2 A のレイアウト例では、複数の第 2 領域 1 5 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、かつ、複数の第 1 領域 1 4 に直交している。第 1 延在角 $\theta 1$ の絶対値および第 2 延在角 $\theta 2$ の絶対値の和は、ほぼ直角 (ほぼ 90°) である。

[0193] 一方、図 1 2 B のレイアウト例では、複数の第 2 領域 1 5 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、かつ、複数の第 1 領域 1 4 に非直交に交差している。第 1 延在角 $\theta 1$ の絶対値および第 2 延在角 $\theta 2$ の絶対値の和は鋭角 (ほぼ 60°) である。他方、図 1 2 C のレイアウト例では、複数の第 2 領域 1 5 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、かつ、複数の第 1 領域 1 4 に非直交に交差している。第 1 延在角 $\theta 1$ の絶対値および第 2 延在角 $\theta 2$ の絶対値の和は鈍角 (ほぼ 120°) である。

[0194] むろん、第 2 延在角 $\theta 2$ の絶対値は、第 1 延在角 $\theta 1$ の絶対値よりも大きくてもよいし、第 1 延在角 $\theta 1$ の絶対値未満であってもよい。つまり、複数の第 2 領域 1 5 は、単位面積当たりの平面視 (つまり部分的な平面視) において a 軸を基準に複数の第 1 領域 1 4 と非線対称となるレイアウトを有していてもよい。換言すると、複数の第 2 領域 1 5 は、単位面積当たりの平面視 (つまり部分的な平面視) において鉛直軸を基準に複数の第 1 領域 1 4 と非点対象となるレイアウトを有していてもよい。

[0195] 以下、第 1 領域 1 4 の p 型不純物濃度の濃度勾配および第 2 領域 1 5 の p 型不純物濃度の濃度勾配が具体的に説明される。第 1 領域 1 4 の濃度勾配および第 2 領域 1 5 の濃度勾配はほぼ同様であるため、以下では、第 2 領域 1 5 の濃度勾配が例示される。

[0196] 第 1 領域 1 4 の濃度勾配の説明は、以下の説明において、必要に応じて、

「第1層8」を「ベース層6」に置き換え、「第2層9」を「第1層8」に置き換え、「第2領域15（第2下端部15aおよび第2上端部15b）」を「第1領域14（第1下端部14aおよび第1上端部14b）」に置き換え、「第2軸チャネルCH2」を「第1軸チャネルCH1」に置き換えることによって得られる。つまり、第1層8および第2層9に対する第2領域15の相対的または絶対的な位置関係は、ベース層6および第1層8に対する第1領域14の相対的または絶対的な位置関係に準用される。

[0197] 図13A～図13Eは、第2領域15（第1領域14）の濃度勾配の一例を示すグラフである。図14は、第2領域15（第1領域14）の濃度勾配の比較例を示すグラフである。図13および図14において、縦軸は第2領域15のp型不純物濃度を示し、横軸は第2層9の上端（第1主面3）を基準（ゼロ地点）とする第2軸チャネルCH2に沿う深さを示している。

[0198] 図13A～図13Eおよび図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第2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、第2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、第2領域15の構成を一義的に限定する趣旨で示されていない。不純物濃度や厚さ等は、3価元素の注入条件（ドーズ量、注入温度、注入エネルギー等）等に応じて種々の値に調節される。

[0199] 図13A～図13Eは、それぞれ、チャネリング注入法によって第2領域15を形成した場合のグラフである。図13A～図13Eは、190KeV（図13A）、380KeV（図13B）、650KeV（図13C）、960KeV（図13D）、または、2000KeV（図13E）の注入エネルギーによって、第2軸チャネルCH2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）を第2層9に導入したときの第2領域15の濃度勾配を示している。第2層9の第2厚さT2は3 μm 程度であり、3価元素のドーズ量は $1 \times 10^{13} \text{ cm}^{-2}$ である。

[0200] 一方、図14は、ランダム注入法によって第2領域15を形成した場合の

グラフである。図14は、190KeV、380KeV、650KeV、960KeV、または、2000KeVの注入エネルギーによって、ランダム方向に所定の3価元素（ここではアルミニウム）を第2層9に導入したときの第2領域15の濃度勾配を示している。ランダム方向は、第2軸チャンネルCH2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。第2層9の第2厚さT2は3 μ m程度であり、3価元素のドーズ量は $1 \times 10^{13} \text{ cm}^{-2}$ である。

[0201] 図13Aを参照して、第2領域15（190KeV）は、1.5 μ m以上1.8 μ m以下の第2領域厚さTR2を有し、第2層9の下端から上端側に離間した第2下端部15a、および、第2層9の上端（第1主面3）から露出した第2上端部15bを有している。第2層9の下端および第2下端部15aの間の距離は、1.2 μ m以上1.5 μ m以下である。

[0202] 第2領域15のp型不純物濃度は、第2層9の上端から下端に向けて、漸増部20、ピーク部21、緩慢部22および漸減部23を含む濃度勾配を有している。漸増部20は、第2領域15の第2上端部15bを形成する部分であり、第2上端部15bから第2層9の下端側に向けて比較的急峻な増加率でピーク部21までp型不純物濃度が漸増する部分である。

[0203] ピーク部21は、p型不純物濃度のピーク値P（最大値）を有する部分である。ピーク部21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。ピーク部21の深さ位置は、0.1 μ m以上0.5 μ m以下である。

[0204] 緩慢部22は、ピーク部21よりも第2下端部15a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、緩慢部22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、第2領域15の本体部を形成している。緩慢部22のp型不純物濃度は、ピーク部21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。

[0205] 緩慢部22は、少なくとも0.5 μ mの厚さ範囲において50%以下の濃

度低下率を有する部分によって定義される。緩慢部 22 は、この例では、 $0.7\ \mu\text{m}$ 以上 $0.8\ \mu\text{m}$ 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。緩慢部 22 の p 型不純物濃度は、この例では、 $4.5 \times 10^{16}\ \text{cm}^{-3}$ 以上 $9 \times 10^{16}\ \text{cm}^{-3}$ 以下の濃度範囲に収まっている。

[0206] 漸減部 23 は、第 2 領域 15 の第 2 下端部 15a を形成する部分である。漸減部 23 は、緩慢部 22 における濃度低下率よりも大きい濃度低下率を有し、緩慢部 22 から第 2 層 9 の下端に向けて p 型不純物濃度が漸減する部分である。漸減部 23 の単位厚さ当たりの濃度低下率は、緩慢部 22 の単位厚さ当たりの濃度低下率よりも大きい。漸減部 23 の p 型不純物濃度は、緩慢部 22 から $1 \times 10^{15}\ \text{cm}^{-3}$ まで漸減している。

[0207] 図 13B を参照して、第 2 領域 15 ($380\ \text{KeV}$) は、 $2.2\ \mu\text{m}$ 以上 $2.4\ \mu\text{m}$ 以下の第 2 領域厚さ TR2 を有し、第 2 層 9 の下端から上端側に離間した第 2 下端部 15a、および、第 2 層 9 の上端 (第 1 主面 3) から下端側 (第 1 層 8 側) に離間した第 2 上端部 15b を有している。第 2 層 9 の下端および第 2 下端部 15a の間の距離は、 $0.5\ \mu\text{m}$ 以上 $0.8\ \mu\text{m}$ 以下である。第 2 層 9 の上端および第 2 領域 15 の第 2 上端部 15b の間の距離は、 $0.01\ \mu\text{m}$ 以上 $0.2\ \mu\text{m}$ 以下である。

[0208] 第 2 領域 15 の p 型不純物濃度は、図 13A の例と同様、第 2 層 9 の上端から下端に向けて、漸増部 20、ピーク部 21、緩慢部 22 および漸減部 23 を含む濃度勾配を有している。漸増部 20 は、この例においても、第 2 上端部 15b から第 2 層 9 の下端側に向けて比較的急峻な増加率でピーク部 21 まで漸増している。ピーク部 21 の深さ位置は、 $0.3\ \mu\text{m}$ 以上 $0.7\ \mu\text{m}$ 以下である。

[0209] 緩慢部 22 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。緩慢部 22 の p 型不純物濃度は、この例では、 $3.5 \times 10^{16}\ \text{cm}^{-3}$ 以上 $7 \times 10^{16}\ \text{cm}^{-3}$ 以下の濃度範囲に収まっている。漸減部 23 の p 型不純物濃度は、緩慢部 22 から 1

$\times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ まで漸減している。

[0210] 図13Cを参照して、第2領域15（650KeV）は、 $2.5 \mu\text{m}$ 以上 $2.8 \mu\text{m}$ 以下の第2領域厚さTR2を有し、第2層9の下端から上端側に離間した第2下端部15a、および、第2層9の上端（第1主面3）から下端側（第1層8側）に離間した第2上端部15bを有している。第2層9の下端および第2下端部15aの間の距離は、 $0.01 \mu\text{m}$ 以上 $0.1 \mu\text{m}$ 以下である。第2層9の上端および第2領域15の第2上端部15bの間の距離は、 $0.1 \mu\text{m}$ 以上 $0.4 \mu\text{m}$ 以下である。

[0211] 第2領域15のp型不純物濃度は、図13Aの例と同様、第2上端部15bから第2下端部15aに向けて、漸増部20、ピーク部21、緩慢部22および漸減部23を含む濃度勾配を有している。漸増部20は、この例においても、第2領域15の第2上端部15bから比較的急峻な増加率でピーク部21まで漸増している。ピーク部21の深さ位置は、 $0.6 \mu\text{m}$ 以上 $1 \mu\text{m}$ 以下である。

[0212] 緩慢部22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。緩慢部22のp型不純物濃度は、この例では、 $3 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ 以上 $6 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ 以下の濃度範囲に収まっている。漸減部23のp型不純物濃度は、緩慢部22から $1 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ まで漸減している。

[0213] 図13Dを参照して、第2領域15（960KeV）は、 $3.1 \mu\text{m}$ 以上 $3.3 \mu\text{m}$ 以下の第2領域厚さTR2を有し、第2層9の上端（第1主面3）から下端側（第1層8側）に離間した第2上端部15b、および、第1層8内に位置する第2下端部15aを有している。つまり、第2領域15は、第2層9の第2厚さT2（ $=3 \mu\text{m}$ ）よりも大きい第2領域厚さTR2を有している。

[0214] また、第2下端部15aは、第1層8および第2層9の境界を横切り、第1層8内に延在した延部を有している。第2下端部15aの延部は、第1層8の上端を基準に $0.4 \mu\text{m}$ 以上 $0.7 \mu\text{m}$ 以下の厚さを有している。第2

層 9 の上端および第 2 領域 15 の第 2 上端部 15 b の間の距離は、 $0.3 \mu\text{m}$ 以上 $0.6 \mu\text{m}$ 以下である。

[0215] 第 2 領域 15 の p 型不純物濃度は、図 13 A の例と同様、第 2 上端部 15 b から第 2 下端部 15 a に向けて、漸増部 20、ピーク部 21、緩慢部 22 および漸減部 23 を含む濃度勾配を有している。漸増部 20 は、この例においても、第 2 領域 15 の第 2 上端部 15 b から比較的急峻な増加率でピーク部 21 まで漸増している。ピーク部 21 の深さ位置は、 $0.7 \mu\text{m}$ 以上 $1.3 \mu\text{m}$ 以下である。

[0216] 緩慢部 22 は、 $1.3 \mu\text{m}$ 以上 $1.7 \mu\text{m}$ 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。緩慢部 22 の p 型不純物濃度は、この例では、 $2.2 \times 10^{16} \text{cm}^{-3}$ 以上 $4.5 \times 10^{16} \text{cm}^{-3}$ 以下の濃度範囲に収まっている。漸減部 23 の p 型不純物濃度は、緩慢部 22 から $1 \times 10^{15} \text{cm}^{-3}$ まで漸減している。

[0217] 図 13 E を参照して、第 2 領域 15 (2000KeV) は、 $3.5 \mu\text{m}$ 以上 $3.8 \mu\text{m}$ 以下の第 2 領域厚さ TR2 を有し、第 2 層 9 の上端 (第 1 主面 3) から下端側 (第 1 層 8 側) に離間した第 2 上端部 15 b、および、第 1 層 8 内に位置する第 2 下端部 15 a を有している。つまり、第 2 領域 15 は、第 2 層 9 の第 2 厚さ T2 ($= 3 \mu\text{m}$) よりも大きい第 2 領域厚さ TR2 を有している。

[0218] また、第 2 下端部 15 a は、第 1 層 8 および第 2 層 9 の境界を横切り、第 1 層 8 内に延在した延部を有している。第 2 下端部 15 a の延部は、第 1 層 8 の上端を基準に $1.4 \mu\text{m}$ 以上 $1.8 \mu\text{m}$ 以下の厚さを有している。第 2 層 9 の上端および第 2 領域 15 の第 2 上端部 15 b の間の距離は、 $0.7 \mu\text{m}$ 以上 $1 \mu\text{m}$ 以下である。

[0219] 第 2 領域 15 の p 型不純物濃度は、図 13 A の例と同様、第 2 上端部 15 b から第 2 下端部 15 a に向けて、漸増部 20、ピーク部 21、緩慢部 22 および漸減部 23 を含む濃度勾配を有している。漸増部 20 は、この例においても、第 2 領域 15 の第 2 上端部 15 b から比較的急峻な増加率でピーク

部 2 1 まで漸増している。ピーク部 2 1 の深さ位置は、 $1.3 \mu\text{m}$ 以上 $1.9 \mu\text{m}$ 以下である。

[0220] 緩慢部 2 2 は、 $1.5 \mu\text{m}$ 以上 $1.8 \mu\text{m}$ 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。緩慢部 2 2 は、この例では、第 1 層 8 および第 2 層 9 の境界を横切り、第 1 層 8 内に位置されている。つまり、第 2 領域 1 5 の延部は、緩慢部 2 2 の一部を含む。緩慢部 2 2 の p 型不純物濃度は、この例では、 $2 \times 10^{16} \text{cm}^{-3}$ 以上 $4 \times 10^{16} \text{cm}^{-3}$ 以下の濃度範囲に収まっている。漸減部 2 3 の p 型不純物濃度は、緩慢部 2 2 から $1 \times 10^{15} \text{cm}^{-3}$ まで漸減している。

[0221] 図 1 3 A ~ 図 1 3 E を参照して、第 2 領域 1 5 の p 型不純物濃度は、いずれの注入エネルギーにおいても漸増部 2 0、ピーク部 2 1、緩慢部 2 2 および漸減部 2 3 を有している。また、第 2 領域 1 5 の第 2 領域厚さ $TR2$ (深さ) は、注入エネルギーの増加に伴って大きくなっている。また、第 2 層 9 の上端に対する第 2 領域 1 5 の第 2 上端部 1 5 b の深さ位置は、注入エネルギーの増加に伴って大きくなっている。

[0222] 漸増部 2 0 の厚さ、ピーク部 2 1 の厚さ、緩慢部 2 2 の厚さおよび漸減部 2 3 の厚さは、いずれも注入エネルギーの増加に伴って大きくなっている。一方、第 2 領域 1 5 のピーク値 P は、注入エネルギーの増加に伴って低下している。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。

[0223] 緩慢部 2 2 は、第 2 領域 1 5 (第 2 領域厚さ $TR2$) のうちの $1/4$ 以上の厚さ範囲を占め、第 2 層 9 内に位置されている。具体的には、第 2 領域 1 5 に占める緩慢部 2 2 の割合は、 $1/3$ 以上である。第 2 領域 1 5 に占める緩慢部 2 2 の割合は、典型的には、 $1/2$ 以下 ($1/2$ 未満) である。第 2 領域 1 5 に占める緩慢部 2 2 の割合は、 $1/2$ 以上であってもよい。

[0224] 一方、図 1 4 を参照して、ランダム注入法の場合、第 2 領域 1 5 は $0.5 \mu\text{m}$ の範囲に漸増部 2 0、ピーク部 2 1 (ピーク値 P) および漸減部 2 3 を有する一方、 $0.5 \mu\text{m}$ 以上の厚さを有する緩慢部 2 2 を有することはなか

った。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2層9の上端に対するピーク部21（ピーク値P）の深さ位置は大きくなったが、第2領域15の第2領域厚さTR2はいずれの注入エネルギーにおいても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、第2領域厚さTR2は大きく変動しなかった。

[0225] このことから、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以上の第2厚さT2）を有する第2層9に対して、単一の不純物領域からなる第2領域15によってチャージバランスの精度を高めることが困難であると理解される。SiC単結晶は、Si単結晶とは異なり、不純物が拡散し難い物性を有している。したがって、前記問題は、一般的に、マルチエピタキシャル成長法や多段階ランダム注入法によって解消される。

[0226] マルチエピタキシャル成長法では、比較的小さい厚さ（たとえば1 μ m未満の厚さ）を有するエピタキシャル層に3価元素をランダム注入法によって導入する工程が複数回繰り返される。この工程の場合、エピタキシャル成長の工程数およびランダム注入法の工程数が増加するため、製造工程が煩雑化する。

[0227] 多段階ランダム注入法では、複数の注入エネルギーで3価元素を異なる深さ位置に多段階的に導入する工程が実施される。たとえば、図14の例を取り上げると、1 μ mの第2層9が形成された場合、5段階（190 KeV、380 KeV、650 KeVおよび960 KeV）の注入エネルギーで3価元素が第2層9に導入される。この工程の場合、目的の深さ位置に3価元素を導入できるが、3価元素を導入できる深さ位置は浅い。そのため、エピタキシャル成長の工程数およびランダム注入法の工程数を増加せざるを得ず、マルチエピタキシャル成長法と同様の問題が生じる。

[0228] これに対して、チャネリング注入法の場合、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）を有する第2層9に対して0.5 μ m以上2 μ mの厚さの緩慢部22を有する第2領域15が形成される。したがって、ランダム注入法を採用した場合の工数よりも少ない工数によってチャージバ

ランスを有する第2領域15が形成される。

[0229] むろん、この明細書は、複数の注入エネルギーを利用したチャネリング注入法によって異なる深さ位置に多段階的に複数の第2領域15を導入し、1つの第2領域15を形成する技術的思想を除外しない。この場合、各第2領域15は、第2層9の中間部を横切るように第2軸チャンネルCH2に沿って第2層9にそれぞれ形成された複数の不純物領域（第2領域15）の一体化領域からなる。

[0230] この場合、各第2領域15のp型不純物濃度（濃度勾配）は、複数の不純物領域（第2領域15）のp型不純物濃度（濃度勾配）の加算値になる。たとえば、各第2領域15のp型不純物濃度は、図13A～図13Eに示された5つのグラフのうちの少なくとも2つを重ね合わせた濃度勾配（加算した濃度勾配）を有する。

[0231] 図13A～図13Eの例では、チャネリング注入法の注入エネルギーの上限が2000KeVであったが、第2領域15は2000KeVよりも大きい注入エネルギーによって形成されることもできる。この場合、図13Eに示された濃度勾配よりも深い位置に、比較的厚い第2領域15が形成される。

[0232] ただし、2000KeVよりも大きい注入エネルギーを実現する場合、第2層9の上端部を通過する3価元素量が増加し、当該上端部側の空き領域の範囲（つまり第1主面3および第2領域15の間の距離）が拡大するため、コラム領域12の設計難度が高まる。また、2000KeVよりも大きい注入エネルギーを実現する場合、イオン加速器のサイズが数十メートルに及ぶ事態にもなり得るため、費用対効果（設置個所や設備投資）の観点から現実的ではないことが想定される。

[0233] したがって、チャネリング注入法によって比較的厚いコラム領域12を形成する場合、注入エネルギーを2000KeV以下に制限し、積層部7の積層数（スーパージャンクション構造SJの積層数）を増加させることが好ましい。

[0234] 以下、図15～図35を参照して、コラム領域12の第1～第12形態例

が示される。第1～第3基本形態に係るコラム領域12は、第1～第12形態例に示される複数の特徴のうちの少なくとも1つの特徴を有していてもよい。第1～第3基本形態に係るコラム領域12は、第1～第12形態例に示される複数（2つ以上）の特徴が組み合わされた特徴を有していてもよい。

[0235] 以下では、第1領域14の「漸増部20」、「ピーク部21（ピーク値P）」、「緩慢部22」および「漸減部23」が「第1漸増部20A」、「第1ピーク部21A（第1ピーク値PA）」、「第1緩慢部22A」および「第1漸減部23A」と称される。また、以下では、第2領域15の「漸増部20」、「ピーク部21（ピーク値P）」、「緩慢部22」および「漸減部23」が「第2漸増部20B」、「第2ピーク部21B（第2ピーク値PB）」、「第2緩慢部22B」および「第2漸減部23B」と称される。

[0236] 図15は、第1形態例に係るコラム領域12を示す断面斜視図である。図16は、図15に示すコラム領域12の濃度勾配の一例を示すグラフである。

[0237] 図15および図16を参照して、第1領域14は、第1層8の第1厚さT1未満の第1領域厚さTR1を有し、第1層8の下端および上端の双方から間隔を空けて第1層8内に形成されている。具体的には、第1領域14の第1下端部14aは、第1層8の下端（ベース層6）から上端側に間隔を空けて形成され、第1層8の一部（下端部）を挟んでベース層6に対向している。

[0238] 一方、第1領域14の第1上端部14bは、第1層8の上端（第2層9）から下端側に間隔を空けて形成され、第1層8の一部（上端部）を挟んで第2層9に対向している。第1領域14の第1漸増部20A、第1ピーク部21A、第1緩慢部22Aおよび第1漸減部23Aは、第1層8内に位置されている。

[0239] 図16では、第1層8が3 μ mの第1厚さT1を有し、第1領域14が650KeVの注入エネルギーによって第1層8内に形成された例が示されている。むろん、第1領域14は、650KeV以下の注入エネルギーによって形

成されていてもよい。

[0240] 第2領域15は、第2層9の第2厚さ T_2 未満の第2領域厚さ TR_2 を有し、第2層9の下端および上端の双方から間隔を空けて第2層9内に形成されている。具体的には、第2領域15の第2下端部15aは、第2層9の下端（第1層8）から上端側に間隔を空けて形成され、第2層9の一部（下端部）を挟んで第1層8に対向している。

[0241] 一方、第2領域15の第2上端部15bは、第2層9の上端（第1主面3）から下端側に間隔を空けて形成され、第2層9の一部（上端部）を挟んで第1主面3に対向している。第2領域15の第2漸増部20B、第2ピーク部21B、第2緩慢部22Bおよび第2漸減部23Bは、第2層9内に位置されている。

[0242] 図16では、第2層9が $3\mu m$ の第2厚さ T_2 を有し、第2領域15が650KeVの注入エネルギーによって第2層9内に形成された例が示されている。むろん、第2領域15は、650KeV以下の注入エネルギーによって形成されていてもよい。また、第2領域15に係る注入エネルギーは、第1領域14に係る注入エネルギーとは異なってもよい。

[0243] つまり、第2領域15の第2領域厚さ TR_2 は、第1領域14の第1領域厚さ TR_1 とは異なってもよい。第2領域厚さ TR_2 は、第1領域厚さ TR_1 未満であってもよいし、第1領域厚さ TR_1 よりも大きくてもよい。

[0244] 図17は、第2形態例に係るコラム領域12を示す断面斜視図である。図18は、図17に示すコラム領域12の濃度勾配の一例を示すグラフである。図17および図18を参照して、第2形態例に係るコラム領域12は、第1形態例に係る第2領域15を変形させた形態を有している。第2形態例に係る第1領域14の形態は、第1形態例に係る第1領域14と同様である。

[0245] 第2領域15は、第2層9の上端から下端側に間隔を空けて第2層9内に形成され、第1層8および第2層9の境界を横切って第1層8内に位置する部分を有している。つまり、第2領域15の第2下端部15aは、第1層8および第2層9の境界部を横切って第1層8内に位置する延部を有している。

。

- [0246] 第2軸チャネルCH2は第1軸チャネルCH1とほぼ一致しているため、第2下端部15aの延部は第1層8内において第1軸チャネルCH1に沿って形成されている。第2下端部15aの延部は、第1層8の厚さ範囲中間部に対して第1層8の上端側に位置されていることが好ましい。第2下端部15aの延部は、第1層8内において第1領域14（第1上端部14b）に接続されている。
- [0247] この構成では、第1層8の上端および第1領域14の第1上端部14bの間のスペースに第2領域15の一部（延部）が設けられ、第1領域14および第2領域15によって連続的に立体格子状に延びる1つのコラム領域12が形成される。したがって、チャージバランスの精度が向上される。
- [0248] 第2領域15は、この例では、第2層9の第2厚さT2よりも大きい第2領域厚さTR2を有している。また、第2領域厚さTR2は、第1層8の第1厚さT1よりも大きい。また、第2領域厚さTR2は、第1領域14の第1領域厚さTR1よりも大きい。むろん、第2領域厚さTR2は、第2厚さT2未満であってもよい。また、第2領域厚さTR2は、第1領域厚さTR1未満であってもよい。また、第2領域厚さTR2は、第1領域厚さTR1未満であってもよい。
- [0249] 第2領域15の第2漸増部20B、第2ピーク部21B、第2緩慢部22Bおよび第2漸減部23Bは、第2層9内に位置されている。第2漸減部23Bの少なくとも一部は、第1層8内に位置されている。つまり、第2下端部15aの延部は、第2漸減部23Bを含む。むろん、第2緩慢部22Bの一部が第1層8内に位置されていてもよい（図13E参照）。つまり、第2下端部15aの延部は、第2緩慢部22Bの一部および第2漸減部23Bを含んでいてもよい。
- [0250] 図18では、第2層9が3 μ mの第1厚さT1を有し、第2領域15が960KeVの注入エネルギーによって第2層9内に形成された例が示されている。むろん、第2領域15は、960KeV以上の注入エネルギーによって形

成されていてもよい。たとえば、第2厚さ T_2 は、 $3\mu\text{m}$ よりも大きく $5\mu\text{m}$ 以下であってもよい。この場合、 960KeV 以上の注入エネルギーによって、第1層8内で第1領域14に接続される第2領域15が形成される（図13F～図13Eも併せて参照）。

[0251] 図19は、第3形態例に係るコラム領域12を示す断面斜視図である。図20は、図19に示すコラム領域12の濃度勾配の一例を示すグラフである。図19および図20を参照して、第3形態例に係るコラム領域12は、第2形態例に係る第2領域15を変形させた形態を有している。第3形態例に係る第1領域14は、第1形態例に係る第1領域14と同様の形態を有している。

[0252] 第2形態例に係る第2領域15は、第1層8の第1厚さ T_1 とほぼ等しい第2厚さ T_2 を有する第2層9に形成されていた。これに対して、第3形態例に係る第2領域15は、第1層8の第1厚さ T_1 未満の第2厚さ T_2 を有する第2層9に形成されている。第2領域15は、この例では、第2層9の第2厚さ T_2 よりも大きい第2領域厚さ T_{R2} を有している。

[0253] 図19では、第2層9が $3\mu\text{m}$ 未満（ここでは $2\mu\text{m}$ ）の第2厚さ T_2 を有し、第2領域15が 650KeV の注入エネルギーによって第2層9内に形成された例が示されている。むろん、第2領域15は、 650KeV 以下の注入エネルギーによって形成されていてもよい。

[0254] たとえば、第2厚さ T_2 は、 $1\mu\text{m}$ 以上 $2\mu\text{m}$ 以下であってもよい。この場合、 190KeV 以上の注入エネルギーによって、第1層8内で第1領域14に接続される第2領域15が形成される（図13A～図13Eも併せて参照）。たとえば、第2厚さ T_2 は、 $2\mu\text{m}$ 以上 $3\mu\text{m}$ 未満であってもよい。この場合、 380KeV 以上の注入エネルギーによって、第1層8内で第1領域14に接続される第2領域15が形成される（図13B～図13Eも併せて参照）。

[0255] この構成では、第1領域14および第2領域15の接続部に形成される濃度勾配が緩和され、チャージバランスの精度が向上される。また、比較的小

さい第2厚さ T_2 を有する第2層9によれば、比較的小さい注入エネルギーによって第1領域14に接続される第2領域15が形成されることができる。したがって、製造コストが削減される。

[0256] たとえば、比較的小さい第2厚さ T_2 によれば、第1領域14の第1領域厚さ T_{R1} （注入エネルギー）および第2領域15の第2領域厚さ T_{R2} （注入エネルギー）が同一に設定される一方で、第1層8内で第1領域14に接続される第2領域15が形成されることもできる。この場合、製造工程の工程管理が容易になる。これらの場合において、第2層9の第2厚さ T_2 が第1層8の第1厚さ T_1 未満に設定され、第2厚さ T_2 よりも大きい第2領域厚さ T_{R2} を有する第2領域15が形成されてもよい。

[0257] 図21は、第4形態例に係るコラム領域12を示す断面斜視図である。図22は、図21に示すコラム領域12の濃度勾配の一例を示すグラフである。図21および図22を参照して、第4形態例に係るコラム領域12は、第2形態例に係る第1領域14を変形させた形態を有している。第4形態例に係る第2領域15は、第2形態例に係る第2領域15の形態と同様の形態を有している。むしろ、第4形態例に係る第2領域15は、第3形態例に係る第2領域15の形態と同様の形態を有していてもよい。

[0258] 第1領域14は、第1層8の上端から下端側に間隔を空けて第1層8内に形成され、ベース層6および第1層8の境界を横切ってベース層6内に位置する部分を有している。つまり、第1領域14の第1下端部14aは、ベース層6および第1層8の境界部を横切ってベース層6内に位置する延部を有している。

[0259] 第1軸チャネルCH1はベース軸チャネルCHBにほぼ一致しているため、第1下端部14aの延部はベース層6内においてベース軸チャネルCHBに沿って形成されている。第1下端部14aの延部は、ベース層6の厚さ範囲中間部に対してベース層6の上端側に位置されていることが好ましい。第1下端部14aの延部は、ベース層6内において当該ベース層6に接続されている。

- [0260] 第1領域14は、この例では、第1層8の第1厚さ T_1 よりも大きい第1領域厚さ TR_1 を有している。また、第1領域厚さ TR_1 は、第2層9の第2厚さ T_2 よりも大きい。また、第1領域厚さ TR_1 は、第2領域15の第2領域厚さ TR_2 よりも大きい。むろん、第1領域厚さ TR_1 は、第1厚さ T_1 未満であってもよい。また、第1領域厚さ TR_1 は、第2厚さ T_2 未満であってもよい。また、第1領域厚さ TR_1 は、第2領域厚さ TR_2 未満であってもよい。
- [0261] 第1領域14の第1漸増部20A、第1ピーク部21A、第1緩慢部22Aおよび第1漸減部23Aは、第1層8内に位置されている。第1漸減部23Aの少なくとも一部は、ベース層6内に位置されている。つまり、第1下端部14aの延部は、第1漸減部23Aを含む。むろん、第1緩慢部22Aの一部がベース層6内に位置されていてもよい（図13E参照）。つまり、第1下端部14aの延部は、第1緩慢部22Aの一部および第1漸減部23Aを含んでいてもよい。
- [0262] 図22では、第1層8が $3\mu m$ の第1厚さ T_1 を有し、第1領域14が $960KeV$ の注入エネルギーによって第1層8内に形成された例が示されている。むろん、第1領域14は、 $960KeV$ 以上の注入エネルギーによって形成されていてもよい。たとえば、第1厚さ T_1 は、 $3\mu m$ よりも大きく $5\mu m$ 以下であってもよい。この場合、 $960KeV$ 以上の注入エネルギーによって、ベース層6内に部分的に位置される第1領域14が形成される（図13F～図13Eも併せて参照）。
- [0263] 図23は、第5形態例に係るコラム領域12を示す断面斜視図である。図24は、図23に示すコラム領域12の濃度勾配の一例を示すグラフである。図23および図24を参照して、第5形態例に係るコラム領域12は、第4形態例に係る第1領域14を変形させた形態を有している。第5形態例に係る第2領域15は、第2形態例に係る第2領域15の形態と同様の形態を有している。むろん、第5形態例に係る第2領域15は、第3形態例に係る第2領域15の形態と同様の形態を有していてもよい。

- [0264] 第4形態例では、第1層8が $3\mu\text{m}$ の第1厚さ T_1 を有し、第1領域14が 960KeV 以上の注入エネルギーによって第1層8内に形成されていた。これに対して、第5形態例では、第1層8が $3\mu\text{m}$ 未満の第1厚さ T_1 を有し、第1領域14が 650KeV 以上の注入エネルギーによって第1層8内に形成されている。第1領域14は、この例では、第1厚さ T_1 よりも大きい第1領域厚さ T_{R1} を有している。第1厚さ T_1 は、この例では、第2層9の第2厚さ T_2 未満である。
- [0265] たとえば、第1厚さ T_1 は、 $1\mu\text{m}$ 以上 $2\mu\text{m}$ 以下であってもよい。この場合、 190KeV 以上の注入エネルギーによって、ベース層6内に部分的に位置される第1領域14が形成される（図13A～図13Eも併せて参照）。たとえば、第1厚さ T_1 は、 $2\mu\text{m}$ 以上 $3\mu\text{m}$ 未満であってもよい。この場合、 380KeV 以上の注入エネルギーによって、ベース層6内に部分的に位置される第1領域14が形成される（図13B～図13Eも併せて参照）。
- [0266] 図25は、第6形態例に係るコラム領域12を示す断面斜視図である。図26は、図25に示すコラム領域12の濃度勾配の一例を示すグラフである。図25および図26を参照して、コラム領域12は、第1領域14および第2領域15に加えて、第1領域14および第2領域15の間に介在されたp型の間領域25を含む。
- [0267] 第1領域14は、第1～第5形態例に係る第1領域14の形態のいずれか1つと同様の形態を有していてもよい。第1領域14は、この例では、第4形態例に係る第1領域14の形態と同様の形態を有している。第2領域15は、第1～第5形態例に係る第2領域15の形態のいずれか1つと同様の形態を有していてもよい。第2領域15は、この例では、第4形態例（第2形態例）に係る第2領域15の形態と同様の形態を有している。
- [0268] 複数の間領域25は、少なくとも複数の第1領域14および複数の第2領域15の間の複数の交差部に位置されるように第1層8の上端側の表層部に形成され、積層方向に対応する第1領域14および第2領域15にそれぞれ

れ重なっている。複数の中間領域 25 は、この形態では、積層方向に複数の第 1 領域 14 に 1 対 1 の対応関係で重なるように第 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。

[0269] この例では、第 1 配列方向 D_{a1} が a 軸方向（第 1 方向 X ）であり、第 1 延在方向 D_{e1} が m 軸方向（第 2 方向 Y ）である。むろん、複数の中間領域 25 の配列方向および延在方向は、複数の第 1 領域 14 の第 1 配列方向 D_{a1} および第 1 延在方向 D_{e1} に応じて変更される。したがって、第 1 配列方向 D_{a1} が m 軸方向であり、第 1 延在方向 D_{e1} が a 軸方向であってもよい。また、第 1 配列方向 D_{a1} が 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} が a 軸方向および m 軸方向以外の方向であってもよい。

[0270] 複数の中間領域 25 は、複数の第 1 領域 14 と共に活性領域 10 から外周領域 11 に引き出されている。つまり、複数の中間領域 25 は、第 1 層 8 のうち活性領域 10 内に位置する部分から第 1 層 8 のうち外周領域 11 内に位置する部分に引き出されている。複数の中間領域 25 は、外周領域 11 においても第 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。

[0271] 複数の中間領域 25 は、外周領域 11 から第 1 側面 5A および第 3 側面 5C のいずれか一方または双方（この形態では双方）に向けて延び、第 1 側面 5A および第 3 側面 5C のいずれか一方または双方（この形態では双方）から露出した部分をそれぞれ有している。

[0272] 複数の中間領域 25 のうち第 1 側面 5A から露出した部分は第 1 側面 5A において複数の第 1 マーク M_{k1} の一部（上端部）を形成し、複数の中間領域 25 のうち第 3 側面 5C から露出した部分は第 3 側面 5C において複数の第 1 マーク M_{k1} の一部（上端部）を形成している。つまり、複数の中間領域 25 は、第 1 側面 5A から露出した露出部としての複数の第 1 マーク M_{k1} の一部（上端部）、および、第 3 側面 5C から露出した露出部としての複数の第 1 マーク M_{k1} の一部（上端部）のいずれか一方または双方を含む。

[0273] 換言すると、複数の第1マークM_k1は、複数の第1領域14および複数の中間領域25を利用してそれぞれ形成されている。つまり、第1側面5A（第3側面5C）に対する複数の第1マークM_k1のレイアウト（露出箇所や配列方向）は、複数の第1領域14および複数の中間領域25のレイアウト（第1配列方向D_a1や第1延在方向D_e1）によっても適宜調節される。

[0274] 複数の第1マークM_k1は、必ずしも複数の中間領域25の本体部から連続して形成されている必要はなく、複数の中間領域25の本体部から分離された分離部として形成されていてもよい。この場合、複数の第1マークM_k1は、外周領域11において複数の中間領域25の本体部から分離されていることが好ましい。

[0275] むろん、複数の中間領域25は、必ずしも複数の第1マークM_k1の一部（上端部）を形成している必要はない。つまり、複数の中間領域25は、平面視において第1～第4側面5A～5Dから間隔を空けて第1層8の内方部に形成されていてもよい。中間領域25に対する説明は、第1マークM_k1（中間領域25のうち第1側面5A／第3側面5Cから露出した部分）にも適用される。

[0276] 複数の中間領域25は、第1層8内において第1層8の上端および第1領域14の第1上端部14bの間の領域に形成されている。複数の中間領域25は、第1層8の厚さ範囲中間部に対して第1層8の上端側に位置されていることが好ましい。複数の中間領域25は、第1層8の上端から露出しているてもよいし、第1層8の上端から下端側に間隔を空けて形成されていてもよい。各中間領域25は、断面視において水平方向に延びる横長柱状に形成されていてもよい。むろん、各中間領域25は、鉛直方向Zに延びる縦長柱状に形成されていてもよい。

[0277] 複数の中間領域25は、第1層8と共にチャージバランスを有する複数の中間p-n接合部を形成している。つまり、複数の中間領域25は、複数の第1ドリフト領域16と第1スーパージャンクション構造S_J1の一部を構成

している。チャージバランスを有する状態は、互いに隣り合う複数の中間領域 25 に関して、一方の中間 p n 接合部から拡がる空乏層、および、他方の中間 p n 接合部から拡がる空乏層が、複数の第 1 ドリフト領域 16 内で接続される状態を意味する。

[0278] 図 26 を参照して、各中間領域 25 は、単一または複数の領域要素 25 a を含んでいてもよい。図 26 では、各中間領域 25 が複数（2 つ）の領域要素 25 a を含む例が示されている。各中間領域 25 が単一の領域要素 25 a によって構成される場合、単一の領域要素 25 a は第 1 層 8 の上端および第 1 領域 14 の第 1 上端部 14 b の間の領域に形成され、第 1 領域 14 の第 1 上端部 14 b に接続される。

[0279] 各中間領域 25 が複数の領域要素 25 a によって構成される場合、複数の領域要素 25 a は第 1 層 8 の上端および第 1 領域 14 の第 1 上端部 14 b の間の領域において異なる深さ位置にそれぞれ形成される。この場合、複数の領域要素 25 a は、積層方向に互いに接続されるようにそれぞれ形成される。また、少なくとも最下の領域要素 25 a は、第 1 領域 14 の第 1 上端部 14 b に接続される。

[0280] 領域要素 25 a は、第 1 層 8 に対するランダム注入法によって第 1 層 8 の表層部に導入されたランダム不純物領域からなる（図 14 も併せて参照）。つまり、領域要素 25 a は、第 2 層 9 に形成されていない。また、領域要素 25 a は、第 1 軸チャネル CH1 に沿う方向に関して第 1 領域 14 の第 1 領域厚さ TR1 未満の厚さを有している。また、領域要素 25 a の厚さは、第 2 領域 15 の第 2 領域厚さ TR2 未満である。

[0281] 領域要素 25 a は、第 1 領域 14 等とは異なり、 $0.5\ \mu\text{m}$ 以上の厚さを有する緩慢部 22 を有さず、 $0.5\ \mu\text{m}$ の範囲に漸増部 20、ピーク部 21 および漸減部 23 を含む濃度勾配を有している。各中間領域 25 が複数の領域要素 25 a を含む場合、各中間領域 25 は第 1 層 8 の厚さ方向に複数の領域要素 25 a の個数に応じた複数のピーク部 21（ピーク値 P）を有する。

[0282] 領域要素 25 a 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Pとして有していてもよい。図26では、領域要素25aのp型不純物濃度のピーク値Pが $1 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ 以上 $1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 以下である例が示されている。

[0283] 中間領域25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25の3価元素は、第1領域14等の3価元素と同一種であってもよいし、第1領域14等の3価元素と異なる種であってもよい。中間領域25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。

[0284] 複数の中間領域25は、中間幅WMをそれぞれ有している。中間幅WMは、第1配列方向Da1に沿う幅である。中間幅WMは、第1層8の第1厚さT1未満であることが好ましい。むろん、中間幅WMは、第1厚さT1以上であってもよい。中間幅WMは、第2層9の第2厚さT2未満であることが好ましい。むろん、中間幅WMは、第2厚さT2以上であってもよい。

[0285] 中間幅WMは、第1領域14の第1幅W1とほぼ等しいことが好ましい。むろん、中間幅WMは、第1幅W1以上であってもよいし、第1幅W1未満であってもよい。中間幅WMは、 $1 \mu\text{m}$ 以上であることが好ましい。中間幅WMは、 $5 \mu\text{m}$ 以下であることが好ましい。

[0286] 中間幅WM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。

[0287] 複数の中間領域25は、中間厚さTMをそれぞれ有している。中間厚さTMは、第1層8の上端および第1領域14の第1上端部14bの間の距離以上であることが好ましい。中間厚さTMは、 $0.1 \mu\text{m}$ 以上 $2 \mu\text{m}$ 以下であってもよい。中間厚さTMは、 $0.1 \mu\text{m}$ 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。

[0288] 複数の中間領域 25 は、第 1 配列方向 D a 1 に中間ピッチ P M の間隔を空けて形成されている。中間ピッチ P M は、第 1 領域 14 の第 1 ピッチ P 1 とほぼ等しいことが好ましい。むろん、中間ピッチ P M は、第 1 ピッチ P 1 以上であってもよいし、第 1 ピッチ P 1 未満であってもよい。図 25 では、明瞭化のため、第 1 ピッチ P 1 よりも大きい中間ピッチ P M が示されている。

[0289] 中間ピッチ P M は、0.1 μ m 以上 5 μ m 以下であってもよい。中間ピッチ P M 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。中間ピッチ P M は、0.5 μ m 以上 1.5 μ m 以下であることが好ましい。

[0290] このような構成において、第 2 領域 15 は、第 1 層 8 内に位置する延部を有し、第 1 層 8 内において中間領域 25 に接続されていることが好ましい。つまり、第 2 領域 15 は、第 1 層 8 内において中間領域 25 を介して第 1 領域 14 に電氣的に接続されていることが好ましい。この場合、第 2 領域 15 は、第 1 領域 14 および中間領域 25 と共に積層方向に連続的に延びる 1 つのドリフト領域 13 を形成する。

[0291] むろん、第 2 領域 15 の延部は、第 1 層 8 内において中間領域 25 および第 1 領域 14 の双方に接続されていてもよい。中間領域 25 を有する構成では、第 1 領域 14 および第 2 領域 15 の間の領域の濃度勾配が中間領域 25 によって緩和され、チャージバランスの精度が向上される。

[0292] 図 27 は、第 7 形態例に係るコラム領域 12 を示す断面斜視図である。図 28 は、図 27 に示すコラム領域 12 の濃度勾配の一例を示すグラフである。図 27 および図 28 を参照して、第 7 形態例に係るコラム領域 12 は、第 1 ～第 6 形態例に係る第 1 領域 14 を変形させた形態を有している。第 7 形態例に係る第 2 領域 15 は、第 1 ～第 6 形態例に係る第 2 領域 15 の形態の

いずれか1つと同様の形態を有していてもよい。

[0293] 第1領域14は、この例では、第1層8の上端から露出している。第1領域14は、第1漸増部20Aの一部または全部を有さない。図28では、第1領域14が第1漸増部20Aの全部および第1ピーク部21Aを有さない例が示されている。つまり、第1上端部14bは、この例では、第1層8の上端から露出した第1緩慢部22Aを含む。

[0294] 第1領域14は、第1層8の上端に第1ピーク値PAを有し、第1層8の下端側に向けて漸減する濃度勾配を有している。むろん、第1上端部14bは第1漸増部20Aの一部または第1ピーク部21Aの一部を含み、第1漸増部20Aの一部または第1ピーク部21Aの一部が第1層8の上端から露出してもよい。

[0295] この構成において、第2領域15は、第1層8内に位置する延部を有し、第1層8内において第1領域14に接続されていることが好ましい。第1層8の上端から第1領域14が露出する構成では、第1領域14および第2領域15の間の領域に形成される濃度勾配が第1領域14の露出部によって緩和され、チャージバランスの精度が向上される。

[0296] このような構成は、第1領域14の形成後、第1領域14の第1漸増部20Aの一部または全部が消失するまで第1層8の上端を部分的に除去することによって得られる。たとえば、第1層8の上端は、研削法によって部分的に除去されてもよい。研削法は、機械研磨法および／または化学機械研磨法であってもよい。この場合、第1層8の上端は研削面からなり、第1領域14は当該研削面から露出する。第2層9は、第1層8の研削面の上に積層される。

[0297] たとえば、第1層8の上端は、エッチング法によって部分的に除去されてもよい。エッチング法は、ウエットエッチング法および／またはドライエッチング法であってもよい。この場合、第1層8の上端はエッチング面からなり、第1領域14は当該エッチング面から露出する。第2層9は、第1層8のエッチング面の上に積層される。

- [0298] 図29は、第8形態例に係るコラム領域12を示す断面斜視図である。図30は、図29に示すコラム領域12の濃度勾配の一例を示すグラフである。図29および図30を参照して、第8形態例に係るコラム領域12は、第1～第7形態例に係る第2領域15を変形させた形態を有している。第8形態例に係る第1領域14は、第1～第7形態例に係る第1領域14の形態のいずれか1つと同様の形態を有していてもよい。図29および図30では、第7形態例に係る第1領域14が示されている。
- [0299] 第2領域15は、この例では、第2層9の上端（第1主面3）から露出している。第2領域15は、第2漸増部20Bの一部または全部を有さない。図30では、第2領域15が第2漸増部20Bの全部および第2ピーク部21Bを有さない例が示されている。つまり、第2上端部15bは、この例では、第2層9の上端から露出した第2緩慢部22Bを含む。
- [0300] 第2領域15は、第2層9の上端に第2ピーク値PBを有し、第2層9の下端側に向けて漸減する濃度勾配を有している。むろん、第2上端部15bは、第2漸増部20Bの一部または第2ピーク部21Bの一部を含み、第2漸増部20Bの一部または第2ピーク部21Bの一部が第2層9の上端から露出してもよい。
- [0301] 第2層9の上端から第2領域15が露出する構成は、第2層9（第1主面3）を利用してデバイス構造物が形成される場合において、第2領域15を用いてデバイス構造物の電気的特性を調整する場合に有効である。
- [0302] このような構成は、第2領域15の形成後、第2領域15の第2漸増部20Bの一部または全部が消失するまで第2層9の上端を部分的に除去することによって得られる。たとえば、第2層9の上端（第1主面3）は、研削法によって部分的に除去されてもよい。研削法は、機械研磨法および／または化学機械研磨法であってもよい。この場合、第2層9の上端は研削面からなり、第2領域15は当該研削面から露出する。
- [0303] たとえば、第2層9の上端（第1主面3）は、エッチング法によって部分的に除去されてもよい。エッチング法は、ウェットエッチング法および／ま

たはドライエッチング法であってもよい。この場合、第2層9の上端はエッチング面からなり、第2領域15は当該エッチング面から露出する。

[0304] 図31は、第9形態例に係るコラム領域12を示す断面斜視図である。図32は、第10形態例に係るコラム領域12を示す断面斜視図である。図31および図32を参照して、積層部7は、ベース層6側からこの順に積層されたバッファ層26、第1層8および第2層9を含む積層構造を有していてもよい。バッファ層26は、「バッファSiC層」、「バッファ領域」等と称されてもよい。

[0305] バッファ層26は、SiC単結晶を含み、n型の導電性を有している。バッファ層26は、ベース層6の上に積層されている。バッファ層26は、水平方向に層状に延び、チップ2の中間部を形成し、第1～第4側面5A～5Dの一部を形成している。バッファ層26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。

[0306] バッファ層26は、下端および上端を有している。バッファ層26の下端は結晶成長起点であり、バッファ層26の上端は結晶成長終点である。バッファ層26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26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26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26は、ベース層6のオフ方向 $\Delta\theta$ およびオフ角 θ にほぼ一致したオフ方向 $\Delta\theta$ およびオフ角 θ を有している。

[0307] バッファ層26は、積層方向に沿うバッファ軸チャネルCHBuを有している。バッファ軸チャネルCHBuは、バッファ層26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。

[0308] つまり、バッファ軸チャネルCHBu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。バッファ軸チャネルCHBu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。

[0309] バッファ軸チャネルCHBu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、バッファ軸チャネルCHBuは、c軸に沿って延び、オフ方向Doffおよびオフ角θoffを有している。換言すると、バッファ軸チャネルCHBuは、鉛直軸からオフ方向Doffに向けてオフ角θoff分だけ傾斜している。

[0310] バッファ層26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26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26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26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。

[0311] バッファ層26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26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26は、リン以外の5価元素を含むことが好ましい。

[0312] バッファ層26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26が2種以上の5価元素を含む場合、バッファ層26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26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。

[0313] バッファ層26は、バッファ厚さTBuを有している。バッファ厚さTBuは、ベース厚さTB未満であることが好ましい。バッファ厚さTBuは、 $1 \mu\text{m}$ 以上であることが好ましい。バッファ厚さTBuは、 $5 \mu\text{m}$ 以下であることが好ましい。バッファ厚さTBu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 $3 \mu\text{m}$

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。

[0314] 第1層8は、この形態では、バッファ層26の上に積層され、第2層9は第1層8の上に積層されている。第1層8は、バッファ層26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）からなり、n型の導電性を有している。したがって、第1層8は、バッファ層26のオフ方向Doffおよびオフ角 θ_{off} にほぼ一致したオフ方向Doffおよびオフ角 θ_{off} を有している。また、第1軸チャネルCH1は、バッファ軸チャネルCHBuにほぼ一致している。

[0315] 第1層8の第1厚さT1は、バッファ厚さTBuよりも大きいことが好ましい。むしろ、第1厚さT1は、バッファ厚さTBu未満であってもよい。また、第1厚さT1は、バッファ厚さTBuとほぼ等しくてもよい。第2層9の第2厚さT2は、バッファ厚さTBuよりも大きいことが好ましい。むしろ、第2厚さT2は、バッファ厚さTBu未満であってもよい。また、第2厚さT2は、バッファ厚さTBuとほぼ等しくてもよい。

[0316] 第1領域14は、第1～第8形態例に係る第1領域14の形態のいずれか1つと同様の形態を有し、第1層8内に形成されている。第2領域15は、第1～第8形態例に係る第1領域14の形態のいずれか1つと同様の形態を有し、第2層9内に形成されている。

[0317] 図31を参照して、第1領域14の第1下端部14aは、第1層8の下端から上端側に間隔を空けて形成され、第1層8の一部（下端部）を挟んでバッファ層26に対向していてもよい。つまり、第1領域14の全域（第1漸増部20A、第1ピーク部21A、第1緩慢部22Aおよび第1漸減部23A）は、第1層8内に位置されていてもよい。むしろ、第1下端部14aは、第1層8の下端とほぼ一致し、バッファ層26に接続されていてもよい。

[0318] 図32を参照して、第1下端部14aは、バッファ層26および第1層8の境界部を横切り、バッファ層26内に位置する延部を有していてもよい。

第1軸チャネルCH1はバッファ軸チャネルCHBuとほぼ一致しているため、第1下端部14aの延部はバッファ層26内においてバッファ軸チャネルCHBuに沿って形成されている。

[0319] 第1下端部14aの延部は、バッファ層26の厚さ範囲中間部に対してバッファ層26の上端側に位置されていることが好ましい。第1下端部14aの延部は、第1漸減部23Aを含む。むろん、第1下端部14aの延部は、第1緩慢部22Aの一部および第1漸減部23Aを含んでいてもよい。

[0320] 図33は、第1形態例に係るコラム領域12を示す断面斜視図である。前述の形態では、3層以上の積層構造を有するスーパージャンクション構造SJが採用され得る趣旨の説明がなされた。図33では、この一例として、3層構造を有する積層部7、および、3層構造を有するコラム領域12が示されている。

[0321] 具体的には、積層部7は、第2層9の上に積層されたSiC単結晶製のn型の第3層27を含む。第3層27は「第3SiC層」、「第3半導体層」等と称されてもよい。第2層9は、この例では、チップ2の中間部を形成し、第1～第4側面5A～5Dの一部を形成している。第3層27は、水平方向に層状に延び、第1主面3を形成し、第1～第4側面5A～5Dの一部を形成している。第3層27は、第2層9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。

[0322] 第3層27は、下端および上端を有している。第3層27の下端は結晶成長起点であり、第3層27の上端は結晶成長終点である。第3層27は第2層9から連続的に結晶成長されているため、第3層27の下端は第2層9の上端に一致している。第2層9および第3層27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。第3層27は、第2層9のオフ方向 Doff およびオフ角 θ_{off} にほぼ一致したオフ方向 Doff およびオフ角 θ_{off} を有している。

[0323] 第3層27は、積層方向に沿う第3軸チャネルCH3を有している。第3軸チャネルCH3は、第3層27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。

[0324] つまり、第3軸チャンネルCH3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CH3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。

[0325] 第3軸チャンネルCH3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CH3は、c軸に沿って延び、オフ方向Doffおよびオフ角 θ_{off} を有している。換言すると、第3軸チャンネルCH3は、鉛直軸からオフ方向Doffに向けてオフ角 θ_{off} 分だけ傾斜している。

[0326] 第3層27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。第3層27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。第3層27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。むろん、第3層27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。

[0327] 第3層27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、第3層27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。第3層27は、リン以外の5価元素を含むことが好ましい。

[0328] 第3層27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。第3層27が2種以上の5価元素を含む場合、第3層27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、第3層27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。

[0329] 第3層27は、第3厚さT3を有している。第3厚さT3は、ベース厚さ

T B未満であることが好ましい。第3厚さT 3は、第2厚さT 2とほぼ等しくてもよいし、第2厚さT 2以上であってもよいし、第2厚さT 2未満であってもよい。第3厚さT 3は、第1厚さT 1とほぼ等しくてもよいし、第1厚さT 1以上であってもよいし、第1厚さT 1未満であってもよい。

[0330] 第3厚さT 3は、 $1\ \mu\text{m}$ 以上であることが好ましい。第3厚さT 3は、 $5\ \mu\text{m}$ 以下であることが好ましい。第3厚さT 3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。

[0331] コラム領域1 2は、第3層2 7内に形成された第3領域2 8を含む。複数の第3領域2 8は、第3層2 7内において水平方向に間隔を空けて形成され、第3層2 7の一部からそれぞれなるn型の複数の第3ドリフト領域2 9を区画している。複数の第3領域2 8は、複数の第3ドリフト領域2 9と共にチャージバランスを有する複数の第3 p n接合部を形成している。

[0332] つまり、複数の第3領域2 8は、第3層2 7と第3スーパージャンクション構造S J 3を構成している。チャージバランスを有する状態は、互いに隣り合う複数の第3領域2 8に関して、一方の第3 p n接合部から拡がる空乏層、および、他方の第3 p n接合部から拡がる空乏層が、複数の第3ドリフト領域2 9内で接続される状態を意味する。

[0333] 複数の第3領域2 8は、積層方向に複数の第2領域1 5に重なるように第3層2 7内に形成されている。具体的には、複数の第3領域2 8は、第3層2 7内において第2配列方向D a 2とは異なる第3配列方向D a 3に間隔を空けて配列され、第2延在方向D e 2とは異なる第3延在方向D e 3に延びる帯状にそれぞれ形成されている。つまり、複数の第3領域2 8は第3延在方向D e 3に延びるストライプ状に形成され、複数の第3ドリフト領域2 9は第3延在方向D e 3に延びるストライプ状に形成されている。

[0334] 複数の第3領域2 8は、平面視において複数の第2領域1 5に交差してい

る。したがって、複数の第3ドリフト領域29は、第2層9および第3層27の境界部において複数の第2ドリフト領域17に接続され、複数の第1ドリフト領域16および複数の第2ドリフト領域17と共に1つの立体格子状のドリフト領域13を形成している。複数の第3ドリフト領域29は、複数の第1ドリフト領域16および複数の第2ドリフト領域17と共に積層方向に延びる立体格子状の電流経路を形成する。

[0335] 第3配列方向Da3は、第1配列方向Da1と一致していてもよい。また、第3延在方向De3は、第1延在方向De1と一致していてもよい。つまり、複数の第3領域28は、平面視において複数の第1領域14と同一方向に延びていてもよい。この場合、複数の第3領域28は、積層方向に複数の第1領域14に1対1対応の関係で対向していてもよい。

[0336] むろん、複数の第3領域28は、複数の第1領域14から第1配列方向Da1にずれて配列され、積層方向に第1領域14および第1ドリフト領域16のいずれか一方または双方に対向していてもよい。むろん、第3配列方向Da3は、第1配列方向Da1と異なってもよい。また、第3延在方向De3は、第1延在方向De1と異なってもよい。つまり、複数の第3領域28は、平面視において複数の第1領域14に交差（たとえば直交）していてもよい。

[0337] 具体的な図示は省略されるが、複数の第3領域28は、この形態では、活性領域10から外周領域11に引き出されている。つまり、複数の第3領域28は、第3層27のうち活性領域10内に位置する部分から第3層27のうち外周領域11内に位置する部分に引き出されている。複数の第3領域28は、外周領域11においても第3配列方向Da3に間隔を空けて配列され、第3延在方向De3に延びる帯状にそれぞれ形成されている。

[0338] さらに、複数の第3領域28は、外周領域11から第1側面5Aおよび第3側面5Cのいずれか一方または双方（この形態では双方）に向けて延び、第1側面5Aおよび第3側面5Cのいずれか一方または双方（この形態では双方）から露出した部分をそれぞれ有している。

- [0339] 複数の第3領域28のうち第1側面5Aから露出した部分は第1側面5Aにおいて複数の第3マーク（図示せず）を形成し、複数の第3領域28のうち第3側面5Cから露出した部分は第3側面5Cにおいて複数の第3マークを形成している。つまり、複数の第3領域28は、第1側面5Aから露出した露出部としての複数の第3マーク、および、第3側面5Cから露出した露出部としての複数の第3マークのいずれか一方または双方を含む。
- [0340] 換言すると、複数の第3マークは、複数の第3領域28の一部（露出部）を利用してそれぞれ形成されている。複数の第3マークは、第1側面5A（第3側面5C）において複数の第3スペースを区画している。複数の第3マークおよび複数の第3スペースは、複数の第1マークMk1および複数の第1スペースSp1と同様のレイアウトで第1側面5A（第3側面5C）に形成される。
- [0341] したがって、複数の第1マークMk1（複数の第1スペースSp1）の説明は、複数の第3マーク（複数の第3スペース）の説明に適用される。第1側面5A（第3側面5C）に対する複数の第3マークのレイアウト（露出箇所や配列方向）は、複数の第3領域28のレイアウト（第3配列方向Da3や第3延在方向De3）によって適宜調節される。
- [0342] 複数の第3マークは、必ずしも複数の第3領域28の本体部から連続して形成されている必要はなく、複数の第3領域28の本体部から分離された分離部として形成されていてもよい。この場合、複数の第3マークは、外周領域11において複数の第3領域28の本体部から分離されていることが好ましい。第3領域28に対する説明は、第3マーク（第3領域28のうち第1側面5A／第3側面5Cから露出した部分）にも適用される。
- [0343] 複数の第3領域28は、断面視において第3層27内において第3軸チャネルCH3に沿って延びるチャネリング領域（第3チャネリング領域）からなる。つまり、第3領域28は、第3層27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3軸チャネルCH3）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。

- [0344] 複数の第3領域28は、第3層27の下端側の第3下端部28aおよび第3層27の上端側の第3上端部28bをそれぞれ有している。第3下端部28aは第3層27の厚さ範囲中間部に対して第3層27の下端側の領域に位置され、第3上端部28bは第3層27の厚さ範囲中間部に対して第3層27の上端側の領域に位置されている。つまり、複数の第3領域28は、第3軸チャネルCH3に沿って第3層27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それぞれなる。
- [0345] 第3下端部28aは、第3層27の下端から上端側に間隔を空けて形成され、第3層27の一部（下端部）を挟んで第2層9に対向していてもよい。第3下端部28aは、第3層27の下端とほぼ一致し、第2層9に接続されていてもよい。
- [0346] 第3層27の下端および第3下端部28aの間の距離は、 $0\ \mu\text{m}$ 以上 $2\ \mu\text{m}$ 以下であってもよい。第3層27の下端および第3下端部28aの間の距離は、 $0\ \mu\text{m}$ 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。
- [0347] 第3下端部28aは、第2層9および第3層27の境界部を横切り、第2層9内に位置する延部を有していてもよい。この場合、第2層9の上端を基準とする第3下端部28aの延部の厚さは、 $0\ \mu\text{m}$ を超えて $2\ \mu\text{m}$ 以下であってもよい。第3下端部28aの延部の厚さは、 $0\ \mu\text{m}$ を超えて $0.5\ \mu\text{m}$ 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。
- [0348] 第3上端部28bは、第3層27の上端（つまり第1主面3）から下端側に間隔を空けて形成され、第3層27の一部（上端部）を挟んで第3層27の上端に対向していてもよい。第3上端部28bは、第3層27の上端（つまり第1主面3）から露出していてもよい。

- [0349] 第3層27の上端および第3上端部28bの間の距離は、 $0\ \mu\text{m}$ 以上 $1\ \mu\text{m}$ 以下であってもよい。第3層27の上端および第3上端部28bの間の距離は、 $0\ \mu\text{m}$ 以上 $0.25\ \mu\text{m}$ 以下、 $0.25\ \mu\text{m}$ 以上 $0.5\ \mu\text{m}$ 以下、 $0.5\ \mu\text{m}$ 以上 $0.75\ \mu\text{m}$ 以下、および、 $0.75\ \mu\text{m}$ 以上 $1\ \mu\text{m}$ 以下のいずれか1つの範囲に属する値を有していてもよい。
- [0350] 複数の第3領域28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。第3領域28のp型不純物濃度（ピーク値）は、第1領域14のp型不純物濃度（ピーク値）以上であってもよい。第3領域28のp型不純物濃度（ピーク値）は、第1領域14のp型不純物濃度（ピーク値）未満であってもよい。第3領域28のp型不純物濃度（ピーク値）は、第1領域14のp型不純物濃度（ピーク値）とほぼ等しいことが好ましい。
- [0351] 第3領域28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。第3領域28のp型不純物濃度は、炭素よりも重たい重元素に属する3価元素によって調整されていることが特に好ましい。つまり、第3領域28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。第3領域28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。
- [0352] 複数の第3領域28は、第3幅W3をそれぞれ有している。第3幅W3は、第3配列方向Da3に沿う幅である。第3幅W3は、第3層27の第3厚さT3未満であることが好ましい。むしろ、第3幅W3は、第3厚さT3以上であってもよい。第3幅W3は、第1層8の第1厚さT1未満であることが好ましい。むしろ、第3幅W3は、第1厚さT1以上であってもよい。第3幅W3は、第2層9の第2厚さT2未満であることが好ましい。むしろ、第3幅W3は、第2厚さT2以上であってもよい。
- [0353] 第3幅W3は、第1領域14の第1幅W1以上であってもよいし、第1幅W1未満であってもよい。第3幅W3は、第1幅W1とほぼ等しいことが好

ましい。第3幅W3は、第2領域15の第2幅W2以上であってもよいし、第2幅W2未満であってもよい。第3幅W3は、第2幅W2とほぼ等しいことが好ましい。

[0354] 第3幅W3は、0.1 μm 以上5 μm 以下であってもよい。第3幅W3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。第3幅W3は、0.5 μm 以上1.5 μm 以下であることが好ましい。

[0355] 複数の第3領域28は、第3領域厚さTR3をそれぞれ有している。第3領域厚さTR3は、第3層27の第3厚さT3未満であってもよい。第3領域厚さTR3は、第3厚さT3よりも大きいてもよい。第3領域厚さTR3は、第3厚さT3とほぼ等しくてもよい。

[0356] 第3領域厚さTR3は、第1層8の第1厚さT1未満であってもよい。第3領域厚さTR3は、第1厚さT1よりも大きいてもよい。第3領域厚さTR3は、第1厚さT1とほぼ等しくてもよい。第3領域厚さTR3は、第2層9の第2厚さT2未満であってもよい。第3領域厚さTR3は、第2厚さT2よりも大きいてもよい。第3領域厚さTR3は、第2厚さT2とほぼ等しくてもよい。

[0357] 第3領域厚さTR3は、1 μm 以上であることが好ましい。第3領域厚さTR3は、5 μm 以下であることが好ましい。第3領域厚さTR3は、1 μm 以上1.5 μm 以下、1.5 μm 以上2 μm 以下、2 μm 以上2.5 μm 以下、2.5 μm 以上3 μm 以下、3 μm 以上3.5 μm 以下、3.5 μm 以上4 μm 以下、4 μm 以上4.5 μm 以下、および、4.5 μm 以上5 μm 以下のいずれか1つの範囲に属する値を有していてもよい。

[0358] 第3幅W3が第3層27の第3厚さT3未満であり、第3領域厚さTR3

が第3幅 W_3 よりも大きいことが好ましい。つまり、複数の第3領域28は、第3軸チャネル CH_3 に沿って縦長柱状に延びる第3アスペクト比 TR_3/W_3 をそれぞれ有していることが好ましい。第3アスペクト比 TR_3/W_3 は、第3幅 W_3 に対する第3領域厚さ TR_3 の比である。この場合、第3領域厚さ TR_3 は、第3厚さ T_3 よりも大きいことが特に好ましい。たとえば、第3アスペクト比 TR_3/W_3 は、1を超えて100以下であってもよい。

[0359] 複数の第3領域28は、第3配列方向 Da_3 に第3ピッチ P_3 の間隔を空けて形成されている。第3ピッチ P_3 は、第3層27の第3厚さ T_3 未満であることが好ましい。むろん、第3ピッチ P_3 は、第3厚さ T_3 以上であってもよい。第3ピッチ P_3 は、第1層8の第1厚さ T_1 未満であることが好ましい。また、第3ピッチ P_3 は、第2層9の第2厚さ T_2 未満であることが好ましい。むろん、第3ピッチ P_3 は、第1厚さ T_1 以上であってもよい。また、第3ピッチ P_3 は、第2厚さ T_2 以上であってもよい。

[0360] 第3ピッチ P_3 は、第1ピッチ P_1 とほぼ等しくてもよいし、第1ピッチ P_1 とは異なってもよい。第3ピッチ P_3 は、第1ピッチ P_1 よりも大きくてもよいし、第1ピッチ P_1 よりも小さくてもよい。第3ピッチ P_3 は、第2ピッチ P_2 とほぼ等しくてもよいし、第2ピッチ P_2 とは異なってもよい。第3ピッチ P_3 は、第2ピッチ P_2 よりも大きくてもよいし、第2ピッチ P_2 よりも小さくてもよい。

[0361] 第3ピッチ P_3 は、 $0.1\mu m$ 以上 $5\mu m$ 以下であってもよい。第3ピッチ P_3 は、 $0.1\mu m$ 以上 $0.25\mu m$ 以下、 $0.25\mu m$ 以上 $0.5\mu m$ 以下、 $0.5\mu m$ 以上 $0.75\mu m$ 以下、 $0.75\mu m$ 以上 $1\mu m$ 以下、 $1\mu m$ 以上 $1.5\mu m$ 以下、 $1.5\mu m$ 以上 $2\mu m$ 以下、 $2\mu m$ 以上 $2.5\mu m$ 以下、 $2.5\mu m$ 以上 $3\mu m$ 以下、 $3\mu m$ 以上 $3.5\mu m$ 以下、 $3.5\mu m$ 以上 $4\mu m$ 以下、 $4\mu m$ 以上 $4.5\mu m$ 以下、および、 $4.5\mu m$ 以上 $5\mu m$ 以下のいずれか1つの範囲に属する値を有していてもよい。第3ピッチ P_3 は、 $0.5\mu m$ 以上 $1.5\mu m$ 以下であることが好ましい。

- [0362] その他、図13A～図13Eに示された濃度勾配の説明は、第3領域28の濃度勾配の説明に適用される。また、第1～第12形態例に示された第1領域14（第1層8）や第2領域15（第2層9）の構成は、第3領域28（第3層27）の構成に適用される。
- [0363] 図34は、第12形態例に係るコラム領域12を示す断面斜視図である。図34を参照して、積層部7は、この例では、第2層9の上に積層されたSiC単結晶性のn型のトップ層30を含む。トップ層30は、コラム領域12から第1主面3を離間させるために形成されている。つまり、トップ層30は、第1主面3および複数の第2領域15の第2上端部15bの間の領域の少なくとも一部を形成する部分でもある。トップ層30は、第2層9の上端部を形成する部分であると見做されてもよい。
- [0364] この例では、トップ層30がn型の導電性を有しているが、トップ層30の導電性は第1主面3に形成されるデバイス構造物の性質に応じて適宜調整されることもできる。したがって、トップ層30の導電性は、必ずしもn型に制限される必要はなく、p型であってもよい。
- [0365] トップ層30は、第2層9の上に積層されている。トップ層30は、水平方向に層状に延び、第1主面3を形成し、第1～第4側面5A～5Dの一部を形成している。トップ層30は、第2層9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。
- [0366] トップ層30は第2層9から連続的に結晶成長されているため、トップ層30の下端は第2層9の上端に一致している。トップ層30および第2層9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。トップ層30は、第2層9のオフ方向 $\Delta\theta$ およびオフ角 θ にはほぼ一致したオフ方向 $\Delta\theta$ およびオフ角 θ を有している。
- [0367] トップ層30は、積層方向に沿うトップ軸チャネルCHTを有している。トップ軸チャネルCHTは、トップ層30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。

[0368] つまり、トップ軸チャネルCHT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。トップ軸チャネルCHT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。

[0369] トップ軸チャネルCHT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、トップ軸チャネルCHTは、c軸に沿って延び、オフ方向Doffおよびオフ角 θ_{off} を有している。換言すると、トップ軸チャネルCHTは、鉛直軸からオフ方向Doffに向けてオフ角 θ_{off} 分だけ傾斜している。

[0370] トップ層30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。トップ層30は、 $1 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ 以上 $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 以下のn型不純物濃度をピーク値として有していてもよい。トップ層30のn型不純物濃度は、第1層8(第2層9)のn型不純物濃度とほぼ等しくてもよい。トップ層30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。むろん、トップ層30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。

[0371] トップ層30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、トップ層30のn型不純物濃度は、窒素、リン、ヒ素、アンチモンおよびビスマスのうちの少なくとも1種によって調節されていてもよい。トップ層30は、リン以外の5価元素を含むことが好ましい。

[0372] トップ層30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。トップ層30が2種以上の5価元素を含む場合、トップ層30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、トップ層30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。

[0373] トップ層30は、トップ厚さTTを有している。トップ厚さTTは、ベー

ス厚さ T_B 未満であることが好ましい。トップ厚さ T_T は、第1厚さ T_1 （第2厚さ T_2 ）未満であることが好ましい。むろん、トップ厚さ T_T は、第1厚さ T_1 （第2厚さ T_2 ）以上であってもよい。

[0374] トップ厚さ T_T は、 $0.1\ \mu\text{m}$ 以上 $5\ \mu\text{m}$ 以下であってもよい。トップ厚さ T_T 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。

[0375] 以下、活性領域10内に形成されるデバイス構造物の形態例が示される。図35は、活性領域10の一要素を示す平面図である。図36は、第1形態例に係るゲート構造35を示す断面斜視図である。図36では、第1基本形態に係るコラム領域12に第2形態例に係るコラム領域12が適用された構成が例示されている。むろん、図36では、第1～第3基本形態に係るコラム領域12のいずれか1つに第1～第12形態例に係るコラム領域12のいずれか1つまたは複数が適用された構成が適用されてもよい。

[0376] 図35および図36を参照して、SiC半導体装置1Aは、この形態では、活性領域10に形成されたデバイス構造物の一例としてのMIS構造31 (Metal Insulator Semiconductor structure) を含む。MIS構造31は、「電界効果トランジスタ構造」と称されてもよい。

[0377] ここでは、MIS構造31が第2層9（第1主面3）に形成された例が示される。前述のトップ層30が形成される場合、MIS構造31はトップ層30（第1主面3）に形成される。この場合の形態は、以下の説明において必要に応じて「第2層9」を「トップ層30」に置き換えることによって得られる。以下の構成は、SiC半導体装置1Aの構成要素として説明されるが、MIS構造31の構成要素でもある。

[0378] SiC半導体装置1Aは、活性領域10に形成されたp型の複数のボディ

領域 3 2 を含む。複数のボディ領域 3 2 は、積層方向に複数の第 2 領域 1 5 に重なるように第 1 主面 3 の表層部に形成されている。複数のボディ領域 3 2 は、この形態では、積層方向に複数の第 2 領域 1 5 に 1 対 1 の対応関係で重なるように第 2 配列方向 D a 2 に間隔を空けて配列され、第 2 延在方向 D e 2 に延びる帯状にそれぞれ形成されている。

[0379] この例では、第 2 配列方向 D a 2 が m 軸方向（第 2 方向 Y）であり、第 2 延在方向 D e 2 が a 軸方向（第 1 方向 X）である。むろん、複数のボディ領域 3 2 の配列方向および延在方向は、複数の第 2 領域 1 5 の第 2 配列方向 D a 2 および第 2 延在方向 D e 2 に応じて変更される。したがって、第 2 配列方向 D a 2 が a 軸方向であり、第 2 延在方向 D e 2 が m 軸方向であってもよい。また、第 2 配列方向 D a 2 が a 軸方向および m 軸方向以外の方向であり、第 2 延在方向 D e 2 が a 軸方向および m 軸方向以外の方向であってもよい。

[0380] 複数の第 2 領域 1 5 が第 1 主面 3 から間隔を空けて形成されている場合、複数のボディ領域 3 2 は第 1 主面 3 および複数の第 2 領域 1 5 の第 2 上端部 1 5 b の間の領域にそれぞれ形成される。複数のボディ領域 3 2 は、第 2 層 9 の厚さ範囲中間部に対して第 1 主面 3 側に形成され、第 1 主面 3 から露出していることが好ましい。複数のボディ領域 3 2 は、対応する第 2 領域 1 5（第 2 上端部 1 5 b）に接続されていることが好ましい。

[0381] 複数のボディ領域 3 2 は、直下の第 2 領域 1 5 よりも幅広にそれぞれ形成され、隣り合う複数の第 2 領域 1 5 から直下の第 2 領域 1 5 側に間隔を空けて形成されている。複数のボディ領域 3 2 は、第 1 主面 3 のうち隣り合う複数の第 2 領域 1 5 の間の領域から第 2 ドリフト領域 1 7 の一部を露出させている。

[0382] 複数のボディ領域 3 2 は、第 2 層 9 に対するランダム注入法によって第 2 層 9 の表層部に導入されたランダム不純物領域からなる（図 1 4 も併せて参照）。したがって、複数のボディ領域 3 2 は、第 2 軸チャネル C H 2 に沿う方向に関して第 2 領域 1 5 の第 2 領域厚さ T R 2 未満の厚さを有している。

複数のボディ領域 3 2 の厚さは、第 1 領域 1 4 の第 1 領域厚さ $T R 1$ 未満である。

[0383] 複数のボディ領域 3 2 は、第 2 領域 1 5 等とは異なり、 $0.5 \mu m$ 以上の厚さを有する緩慢部 2 2 を有さず、 $0.5 \mu m$ の範囲に漸増部 2 0、ピーク部 2 1 および漸減部 2 3 を含む濃度勾配を有している。複数のボディ領域 3 2 は、 $1 \times 10^{15} cm^{-3}$ 以上 $1 \times 10^{18} cm^{-3}$ 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。

[0384] 複数のボディ領域 3 2 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 3 2 の 3 価元素は、第 2 領域 1 5 等の 3 価元素と同一種であってもよいし、第 2 領域 1 5 等の 3 価元素と異なる種であってもよい。ボディ領域 3 2 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。

[0385] SiC 半導体装置 1 A は、活性領域 1 0 において複数のボディ領域 3 2 の表層部にそれぞれ形成された n 型の 1 つまたは複数のソース領域 3 3 を含む。この形態では、各ボディ領域 3 2 の表層部に複数（この形態では 2 つ）のソース領域 3 3 が間隔を空けて形成されている。複数のソース領域 3 3 は、第 2 層 9（複数の第 2 ドリフト領域 1 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。複数のソース領域 3 3 は、 $1 \times 10^{18} cm^{-3}$ 以上 $1 \times 10^{21} cm^{-3}$ 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。

[0386] 複数のソース領域 3 3 は、対応するボディ領域 3 2 の延在方向に沿って帯状にそれぞれ延びていてもよい。むしろ、複数のソース領域 3 3 は、対応するボディ領域 3 2 の延在方向に沿って間隔を空けて形成されていてもよい。複数のソース領域 3 3 は、対応するボディ領域 3 2 の底部から第 1 主面 3 側に間隔を空けて形成され、対応するボディ領域 3 2 の周縁から内方に間隔を空けて形成されている。複数のソース領域 3 3 は、ボディ領域 3 2 の周縁部において複数の第 2 ドリフト領域 1 7 と共に第 1 主面 3 に沿うチャンネル（電

流経路)を区画している。

- [0387] SiC半導体装置1Aは、活性領域10において複数のボディ領域32の表層部にそれぞれ形成されたp型の1つまたは複数のコンタクト領域34を含む。コンタクト領域34は、「バックゲート領域」と称されてもよい。この形態では、各ボディ領域32の表層部において互いに隣り合う複数のソース領域33の間の領域に1つのコンタクト領域34が形成されている。
- [0388] 複数のコンタクト領域34は、複数のボディ領域32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、複数の第2領域15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。
- [0389] 複数のコンタクト領域34は、対応するボディ領域32の延在方向に沿って帯状にそれぞれ延びていてもよい。むろん、複数のコンタクト領域34は、対応するボディ領域32の延在方向に沿って間隔を空けて形成されていてもよい。複数のコンタクト領域34は、対応するボディ領域32の底部から第1主面3側に間隔を空けて形成され、対応するボディ領域32の周縁部から内方に間隔を空けて形成されている。
- [0390] SiC半導体装置1Aは、活性領域10において第1主面3の上に配置されたプレーナ電極型の複数のゲート構造35を含む。ゲート構造35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35は、積層方向に少なくとも1つのボディ領域32（チャンネル）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ている。複数のゲート構造35には、制御電位としてのゲート電位が付与される。複数のゲート構造35は、ゲート電位に応答してボディ領域32内におけるチャンネル（電流経路）の反転および非反転を制御する。
- [0391] 複数のゲート構造35は、この形態では、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

。この例では、第2配列方向D a 2がm軸方向（第2方向Y）であり、第2延在方向D e 2がa軸方向（第1方向X）である。

[0392] むろん、複数のゲート構造35の配列方向および延在方向は、複数の第2領域15（ボディ領域32）の第2配列方向D a 2および第2延在方向D e 2に応じて変更される。したがって、第2配列方向D a 2がa軸方向であり、第2延在方向D e 2がm軸方向であってもよい。また、第2配列方向D a 2がa軸方向およびm軸方向以外の方向であり、第2延在方向D e 2がa軸方向およびm軸方向以外の方向であってもよい。

[0393] 複数のゲート構造35は、複数の第2領域15から複数の第2ドリフト領域17側にずれて配置され、積層方向に複数の第2ドリフト領域17に1対1の対応関係で重なっている。複数のゲート構造35は、この形態では、隣り合う2つのボディ領域32に跨るようにそれぞれ配置され、一方および他方のボディ領域32内に位置された複数のソース領域33をそれぞれ被覆している。

[0394] 複数のゲート構造35は、第1主面3の上に配置されたゲート絶縁膜36、および、ゲート絶縁膜36の上に配置されたゲート電極37を含む積層構造をそれぞれ有している。ゲート絶縁膜36は、酸化シリコン膜を含んでいてもよい。ゲート電極37は、導電性ポリシリコンを含んでいてもよい。

[0395] ゲート絶縁膜36およびゲート電極37のいずれか一方または双方は、積層方向に第2領域15に部分的に重なるように配置されていてもよい。むろん、ゲート絶縁膜36およびゲート電極37のいずれか一方または双方は、積層方向に第2領域15に部分的に重ならないように配置されていてもよい。

[0396] 以下、外周領域11側の構成が示される。図37は、外周領域11の構成を示す斜視図である。図38Aは、外周領域11の一要部を示す第1方向Xの断面図である。図38Bは、外周領域11の一要部を示す第2方向Yの断面図である。図37では、コラム領域12の図示が省略されている。

[0397] SiC半導体装置1Aは、外周領域11において第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38を含む。複数のフィールド領域38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38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38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。

[0398] 複数のフィールド領域38は、チップ2の周縁および活性領域10の間の領域に間隔を空けて形成されている。複数のフィールド領域38は、平面視において活性領域10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38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38は、この形態では、平面視において活性領域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。

[0399] 複数のフィールド領域38は、外周領域11において積層方向にコラム領域12に重なっている。つまり、複数のフィールド領域38は、複数の第1領域14および複数の第2領域15の複数の交差部の上方の領域に形成されている。複数のフィールド領域38は、平面視において第1延在方向De1に延びる部分において複数の第2領域15に交差し、第2延在方向De2に延びる部分において複数の第1領域14に交差している。

[0400] 複数のフィールド領域38は、第2層9の下端から第1主面3側に間隔を空けて第2層9内に形成され、第2層9とpn接合部をそれぞれ形成している。複数のフィールド領域38は、第2層9の厚さ範囲中間部に対して第1主面3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38の底部は、第2領域15の厚さ範囲中間部に対して第1主面3側に位置されていることが特に好ましい。

[0401] 複数のフィールド領域38の底部は、第2領域15の第2上端部15bの深さ位置よりも第2領域15の第2下端部15a側に位置されていてもよい。この場合、複数のフィールド領域38は、第2延在方向De2に沿って延

びる部分において複数の第2領域15に接続されていてもよい。むしろ、複数のフィールド領域38は、第2延在方向De2に沿って延びる部分において複数の第2領域15から水平方向に間隔を空けて形成され、複数の第2領域15に接続されていなくてもよい。

[0402] たとえば、第1主面3および第2上端部15bの間の距離が十分に広い場合、複数のフィールド領域38の底部は第2領域15の第2上端部15bの深さ位置よりも第1主面3側に位置されていてもよい。むしろ、トップ層30が形成されている場合、複数のフィールド領域38の底部は第2領域15の第2上端部15bの深さ位置よりも第1主面3側に位置されていてもよい。

[0403] 複数のフィールド領域38は、複数のボディ領域32の厚さとほぼ等しい厚さを有していてもよい。この場合、複数のフィールド領域38は、複数のボディ領域32と同時に形成されることができる。むしろ、複数のフィールド領域38の厚さは、複数のボディ領域32の厚さよりも大きくてもよい。また、複数のフィールド領域38の厚さは、複数のボディ領域32の厚さよりも小さくてもよい。

[0404] 複数のフィールド領域38は、第2層9に対するランダム注入法によって第2層9の表層部に導入されたランダム不純物領域からなる（図14も併せて参照）。したがって、複数のフィールド領域38は、第2軸チャネルCH2に沿う方向に関して第2領域15の第2領域厚さTR2未満の厚さを有している。複数のフィールド領域38の厚さは、第1領域14の第1領域厚さTR1未満である。

[0405] 複数のフィールド領域38は、第2領域15等とは異なり、 $0.5\mu\text{m}$ 以上の厚さを有する緩慢部22を有さず、 $0.5\mu\text{m}$ の範囲に漸増部20、ピーク部21および漸減部23を含む濃度勾配を有している。複数のフィールド領域38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。

[0406] フィールド領域38のp型不純物濃度は、ボディ領域32のp型不純物濃

度とほぼ等しくてもよい。むろん、複数のフィールド領域 38 の p 型不純物濃度は、複数のボディ領域 32 の p 型不純物濃度も高くてもよい。また、複数のフィールド領域 38 の p 型不純物濃度は、複数のボディ領域 32 の p 型不純物濃度よりも低くてもよい。

[0407] 複数のフィールド領域 38 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 38 の 3 価元素は、第 2 領域 15 等の 3 価元素と同一種であってもよいし、第 2 領域 15 等の 3 価元素と異なる種であってもよい。フィールド領域 38 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。

[0408] 複数のフィールド領域 38 は、第 2 領域 15 の第 2 幅 W2（第 1 領域 14 の第 1 幅 W1）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 38 による電界緩和効果は、コラム領域 12 から切り離して調節されることが好ましい。

[0409] 複数のフィールド領域 38 の幅は、第 2 領域 15 の第 2 幅 W2（第 1 幅 W1）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 38 の幅は、第 2 幅 W2（第 1 幅 W1）よりも小さくてもよい。また、コラム領域 12 の幅は、第 2 幅 W2（第 1 幅 W1）とほぼ等しくてもよい。

[0410] 複数のフィールド領域 38 は、第 2 領域 15 の第 2 ピッチ P2（第 1 領域 14 の第 1 ピッチ P1）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 38 のピッチは、第 2 ピッチ P2（第 1 ピッチ P1）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 38 のピッチは、第 2 ピッチ P2（第 1 ピッチ P1）よりも小さくてもよい。また、複数のフィールド領域 38 のピッチは、第 2 ピッチ P2（第 1 ピッチ P1）とほぼ等しくてもよい。

[0411] SiC 半導体装置 1A は、第 1 主面 3 を被覆する層間絶縁膜 40 を含む。層間絶縁膜 40 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 40 は、この形態では、第 1 絶縁膜 41 および第 2 絶縁

膜 4 2 を含む積層構造を有している。第 1 絶縁膜 4 1 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 4 1 は、チップ 2（第 2 層 9）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。

[0412] 第 1 絶縁膜 4 1 は、活性領域 1 0 および外周領域 1 1 において第 1 主面 3 を選択的に被覆している。第 1 絶縁膜 4 1 は、活性領域 1 0 においてゲート絶縁膜 3 6 外の領域を被覆し、ゲート絶縁膜 3 6 に接続されている。第 1 絶縁膜 4 1 は、外周領域 1 1 において複数のフィールド領域 3 8 を被覆している。

[0413] 第 1 絶縁膜 4 1 は、この形態では、第 1 主面 3 の周縁（第 1 ～第 4 側面 5 A ～ 5 D）に連なっている。したがって、第 1 絶縁膜 4 1 は、第 1 主面 3 の周縁において複数の第 2 マーク M k 2（複数の第 2 領域 1 5）に重なっている。むしろ、第 1 絶縁膜 4 1 は、第 1 主面 3 の周縁から内方に間隔を空けて形成され、第 1 主面 3 の周縁部から第 2 層 9 を露出させていてもよい。

[0414] 第 2 絶縁膜 4 2 は、第 1 絶縁膜 4 1 の上に積層されている。第 2 絶縁膜 4 2 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 4 0 は、酸化シリコン膜を含むことが好ましい。第 2 絶縁膜 4 2 は、活性領域 1 0 および外周領域 1 1 において第 1 絶縁膜 4 1 を挟んで第 1 主面 3 を被覆している。

[0415] 第 2 絶縁膜 4 2 は、活性領域 1 0 において複数のゲート構造 3 5 を被覆している。第 2 絶縁膜 4 2 は、外周領域 1 1 において第 1 絶縁膜 4 1 を挟んで複数のフィールド領域 3 8 を被覆している。第 2 絶縁膜 4 2 は、この形態では、第 1 主面 3 の周縁に連なっている。第 2 絶縁膜 4 2 は、第 1 主面 3 の周縁において第 1 絶縁膜 4 1 を挟んで複数の第 2 マーク M k 2（複数の第 2 領域 1 5）に重なってもよい。むしろ、第 2 絶縁膜 4 2 は、第 1 主面 3 の周縁から内方に間隔を空けて形成され、第 1 絶縁膜 4 1 と共に第 1 主面 3 の周縁部を露出させていてもよい。

[0416] S i C 半導体装置 1 A は、層間絶縁膜 4 0 に形成された複数のコンタクト

開口 4 3 を含む。複数のコンタクト開口 4 3 は、複数のゲート構造 3 5（ゲート電極 3 7）を露出させる複数のコンタクト開口 4 3（図示略）、および、複数のソース領域 3 3 を露出させる複数のコンタクト開口 4 3 を含む。ソース領域 3 3 用の複数のコンタクト開口 4 3 は、隣り合う複数のゲート構造 3 5 の間の領域に形成され、複数のソース領域 3 3 および複数のコンタクト領域 3 4 を露出させている。

[0417] 図 1 を参照して、S i C 半導体装置 1 A は、層間絶縁膜 4 0 の上に配置されたゲートパッド 4 5 を含む。ゲートパッド 4 5 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 4 5 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 4 5 は、層間絶縁膜 4 0 側からこの順に積層された T i 系金属膜および A l 系金属膜を含む積層構造を有していてもよい。

[0418] ゲートパッド 4 5 は、この形態では、層間絶縁膜 4 0 のうち活性領域 1 0 を被覆する部分の上に配置されている。ゲートパッド 4 5 は、外周領域 1 1 から活性領域 1 0 側に間隔を空けて配置されていてもよい。ゲートパッド 4 5 は、この形態では、平面視において活性領域 1 0 の周縁部に配置されている。

[0419] 図 1 では、ゲートパッド 4 5 が活性領域 1 0 の周縁部において第 1 側面 5 A の中央部に沿う領域に配置された例が示されている。むろん、ゲートパッド 4 5 は、第 1 ～第 4 側面 5 A ～5 D 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 4 5 は、平面視において活性領域 1 0 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 4 5 は、平面視において活性領域 1 0 の中央部に配置されていてもよい。ゲートパッド 4 5 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。

[0420] S i C 半導体装置 1 A は、ゲートパッド 4 5 から層間絶縁膜 4 0 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 4 6 を含む。ゲート配線 4 6 は、「配線」、「配線電極」等と称されてもよい。複数のゲート配線 4 6 は、層間絶縁膜 4 0 側からこの順に積層された T i 系金属膜お

よびAⅠ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46は、この形態では、第1ゲート配線46Aおよび第2ゲート配線46Bを含む。

[0421] 第1ゲート配線46Aは、ゲートパッド45から第2側面5B側に向けて引き出され、複数のゲート構造35の一部（具体的には一端部）に交差（具体的には直交）するように活性領域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46Aは、複数のコンタクト開口43を介して層間絶縁膜40を貫通し、複数のゲート構造35の一端部に電氣的に接続されている。

[0422] 第2ゲート配線46Bは、ゲートパッド45から第4側面5D側に向けて引き出され、複数のゲート構造35の一部（具体的には他端部）に交差（具体的には直交）するように活性領域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46Bは、複数のコンタクト開口43を介して層間絶縁膜40を貫通し、複数のゲート構造35の他端部に電氣的に接続されている。

[0423] SiC半導体装置1Aは、ゲートパッド45およびゲート配線46から間隔を空けて層間絶縁膜40の上に配置されたソースパッド47を含む。ソースパッド47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47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47は、層間絶縁膜40側からこの順に積層されたTi系金属膜およびAⅠ系金属膜を含む積層構造を有していてもよい。

[0424] ソースパッド47は、層間絶縁膜40のうち活性領域10を被覆する部分の上に配置されている。ソースパッド47は、外周領域11から活性領域10側に間隔を空けて配置されていてもよい。ソースパッド47は、この形態では、平面視においてゲートパッド45に沿って窪んだ凹部を有する多角形状に形成されている。むろん、ソースパッド47は、平面視において四角形状に形成されていてもよい。

[0425] ソースパッド47は、複数のコンタクト開口43を介して層間絶縁膜40

を貫通し、複数のボディ領域 3 2、複数のソース領域 3 3および複数のコンタクト領域 3 4に電氣的に接続されている。つまり、ソースパッド 4 7は、複数のボディ領域 3 2を介してコラム領域 1 2に電氣的に接続されている。

[0426] SiC半導体装置 1 Aは、第2主面 4を被覆するドレインパッド 4 8を含む。ドレインパッド 4 8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 4 8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 4 8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。つまり、ドレインパッド 4 8は、ベース層 6を介して第1層 8（複数の第1ドリフト領域 1 6）および第2層 9（複数の第2ドリフト領域 1 7）に電氣的に接続されている。

[0427] ドレインパッド 4 8は、チップ 2の周縁（第1～第4側面 5 A～5 D）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 4 8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。

[0428] ソースパッド 4 7およびドレインパッド 4 8の間（第1主面 3および第2主面 4の間）に印加可能なブレイクダウン電圧は、500V以上3000V以下であってもよい。ブレイクダウン電圧は、500V以上1000V以下、1000V以上1500V以下、1500V以上2000V以下、2000V以上2500V以下、および、2500V以上3000V以下のいずれか1つの範囲に属する値を有していてもよい。

[0429] 2層構造を有する積層部 7が採用される場合、ブレイクダウン電圧は500V以上1000V以下、1000V以上1500V以下、および、1500V以上2000V以下のいずれか1つの範囲に属する値に設定されることが好ましい。3層構造を有する積層部 7が採用される場合、ブレイクダウン電圧は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に設定されることが好ましい。

[0430] 図 3 9 は、第 2 形態例に係るゲート構造 3 5を示す断面斜視図である。第

1形態例に係る複数のゲート構造35は、複数の第2領域15の第2延在方向D_{e2}に沿って延びていた。これに対して、第2形態例に係る複数のゲート構造35は、複数の第2領域15に交差するように第2延在方向D_{e2}以外の方向に延びている。

[0431] 前述の複数のボディ領域32は、この形態では、積層方向に複数の第2領域15に交差するように第2延在方向D_{e2}以外の方向に延びている。複数のボディ領域32は、この形態では、第1領域14の第1配列方向D_{a1}に間隔を空けて配列され、第1領域14の第1延在方向D_{e1}に延びている。つまり、複数のボディ領域32は、複数の第2領域15に直交している。この例では、第1配列方向D_{a1}がa軸方向（第1方向X）であり、第1延在方向D_{e1}がm軸方向（第2方向Y）である。

[0432] 複数のボディ領域32は、積層方向に複数の第1領域14に1対1対応の関係で対向していてもよい。むしろ、各ボディ領域32は、積層方向に複数の第1領域14に対向していてもよい。複数のボディ領域32は、積層方向に複数の第1ドリフト領域16に1対1対応の関係で対向していてもよい。

[0433] むろん、各ボディ領域32は、積層方向に複数の第1ドリフト領域16に対向していてもよい。複数のボディ領域32は、複数の第1領域14から第1配列方向D_{a1}にずれて配列され、積層方向に第1領域14および第1ドリフト領域16のいずれか一方または双方に対向していてもよい。

[0434] むろん、複数のボディ領域32の配列方向および延在方向は、複数の第1領域14の第1配列方向D_{a1}および第1延在方向D_{e1}に応じて変更される。したがって、第1配列方向D_{a1}がm軸方向であり、第1延在方向D_{e1}がa軸方向であってもよい。また、第1配列方向D_{a1}が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}がa軸方向およびm軸方向以外の方向であってもよい。

[0435] むろん、複数のボディ領域32の配列方向は、第1配列方向D_{a1}および第2配列方向D₂以外の方向であってもよい。また、複数のボディ領域32の延在方向は、第1延在方向D_{e1}および第2延在方向D_{e2}以外の方向で

あってもよい。つまり、複数のボディ領域 3 2 は、平面視において複数の第 1 領域 1 4 および複数の第 2 領域 1 5 の双方に交差していてもよい。この場合、複数のボディ領域 3 2 の配列方向が a 軸方向および m 軸方向の一方であり、複数のボディ領域 3 2 の延在方向が a 軸方向および m 軸方向の他方である形態は妨げられない。

[0436] たとえば、ボディ領域 3 2 の延在方向および第 2 延在方向 D_{e2} の間の角度（絶対値）は、 0° を超えて 90° 以下であってもよい。ボディ領域 3 2 の角度（絶対値）は、 0° を超えて 18° 以下、 18° 以上 36° 以下、 36° 以上 54° 以下、 54° 以上 72° 以下、および、 72° 以上 90° 以下のうちのいずれか 1 つの範囲に属する値を有していてもよい。ボディ領域 3 2 の角度（絶対値）は、 $30^\circ \pm 5^\circ$ 、 $45^\circ \pm 5^\circ$ 、および、 $60^\circ \pm 5^\circ$ のうちのいずれか 1 つの範囲に属する値に設定されてもよい。

[0437] 前述の複数のソース領域 3 3 および複数のコンタクト領域 3 4 は、対応するボディ領域 3 2 の延在方向に沿って形成され、積層方向に対応するボディ領域 3 2 の一部を挟んで複数の第 2 領域 1 5 および複数の第 2 ドリフト領域 1 7 にそれぞれ対向している。

[0438] 複数のゲート構造 3 5 は、この形態では、第 1 領域 1 4 の第 1 配列方向 D_{a1} に間隔を空けて配列され、第 1 領域 1 4 の第 1 延在方向 D_{e1} に延びている。つまり、複数のゲート構造 3 5 は、複数の第 2 領域 1 5 に直交している。この例では、第 1 配列方向 D_{a1} が a 軸方向（第 1 方向 X）であり、第 1 延在方向 D_{e1} が m 軸方向（第 2 方向 Y）である。

[0439] 複数のゲート構造 3 5 は、積層方向に複数の第 1 領域 1 4 に 1 対 1 対応の関係で対向していてもよい。むろん、各ゲート構造 3 5 は、積層方向に複数の第 1 領域 1 4 に対向していてもよい。複数のゲート構造 3 5 は、積層方向に複数の第 1 ドリフト領域 1 6 に 1 対 1 対応の関係で対向していてもよい。

[0440] むろん、各ゲート構造 3 5 は、積層方向に複数の第 1 ドリフト領域 1 6 に対向していてもよい。複数のゲート構造 3 5 は、複数の第 1 領域 1 4 から第 1 配列方向 D_{a1} にずれて配列され、積層方向に第 1 領域 1 4 および第 1 ド

リフト領域 1 6 のいずれか一方または双方に対向していてもよい。

[0441] むろん、複数のゲート構造 3 5 の配列方向および延在方向は、複数の第 1 領域 1 4（ボディ領域 3 2）の第 1 配列方向 D_{a1} および第 1 延在方向 D_{e1} に応じて変更される。したがって、第 1 配列方向 D_{a1} が m 軸方向であり、第 1 延在方向 D_{e1} が a 軸方向であってもよい。また、第 1 配列方向 D_{a1} が 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} が a 軸方向および m 軸方向以外の方向であってもよい。

[0442] むろん、複数のゲート構造 3 5 の配列方向は、第 1 配列方向 D_{a1} および第 2 配列方向 D_2 以外の方向であってもよい。また、複数のゲート構造 3 5 の延在方向は、第 1 延在方向 D_{e1} および第 2 延在方向 D_{e2} 以外の方向であってもよい。つまり、複数のゲート構造 3 5 は、平面視において複数の第 1 領域 1 4 および複数の第 2 領域 1 5 の双方に交差していてもよい。この場合、複数のゲート構造 3 5 の配列方向が 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 3 5 の延在方向が a 軸方向および m 軸方向の他方である形態は妨げられない。

[0443] たとえば、ゲート構造 3 5 の延在方向および第 2 延在方向 D_{e2} の間の角度（絶対値）は、 0° を超えて 90° 以下であってもよい。ゲート構造 3 5 の角度（絶対値）は、 0° を超えて 18° 以下、 18° 以上 36° 以下、 36° 以上 54° 以下、 54° 以上 72° 以下、および、 72° 以上 90° 以下のうちのいずれか 1 つの範囲に属する値を有していてもよい。ゲート構造 3 5 の角度（絶対値）は、 $30^\circ \pm 5^\circ$ 、 $45^\circ \pm 5^\circ$ 、および、 $60^\circ \pm 5^\circ$ のうちのいずれか 1 つの範囲に属する値に設定されてもよい。

[0444] 複数のゲート構造 3 5 は、この形態では、隣り合う 2 つのボディ領域 3 2 に跨るようにそれぞれ配置され、一方および他方のボディ領域 3 2 内に位置された複数のソース領域 3 3 をそれぞれ被覆している。また、複数のゲート構造 3 5 は、積層方向に複数の第 2 領域 1 5（第 2 領域 1 5）および複数の第 2 ドリフト領域 1 7 にそれぞれ対向している。

[0445] 図 40 は、SiC 半導体装置 1 A の製造に使用されるウエハ 50 を示す概

略図である。ウエハ50は、ベース層6の基材であり、SiC単結晶を含む。ウエハ50は、扁平な円盤状に形成されている。むしろ、ウエハ50は、扁平な直方体形状に形成されていてもよい。ウエハ50は、一方側の第1ウエハ主面51、他方側の第2ウエハ主面52、ならびに、第1ウエハ主面51および第2ウエハ主面52を接続するウエハ側面53を有している。

[0446] 第1ウエハ主面51はベース層6の上端に対応し、第2ウエハ主面52はベース層6の下端に対応している。第1ウエハ主面51および第2ウエハ主面52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51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52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50（第1ウエハ主面51および第2ウエハ主面52）は、前述のオフ方向 $\Delta\theta$ およびオフ角 θ を有している。

[0447] ウエハ50は、ウエハ側面53においてSiC単結晶の結晶方位を示す目印54を有している。目印54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51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。

[0448] 目印54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54は、m軸方向に窪んだオリエンテーションノッチ、および、a軸方向に窪んだオリエンテーションノッチのいずれか一方または双方を含んでいてもよい。図40では、平面視においてa軸方向に延びるオリエンテーションフラットが示されている。

[0449] たとえば、ウエハ50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55および複数の切断予定ライン56が設定される。各デバイス領域55は、SiC半導体装置1Aに対応する領域である。複数のデバイス領域

５５は、平面視において四角形状にそれぞれ設定されている。

[0450] 複数のデバイス領域５５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５５は、平面視において第１ウエハ主面５１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５６は、複数のデバイス領域５５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。

[0451] 図４１は、ＳｉＣ半導体装置１Ａの製造方法例を示すフローチャートである。図４２Ａ～図４２Ｈは、ＳｉＣ半導体装置１Ａの製造方法例を示す断面斜視図である。図４３Ａ～図４３Ｂ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４４Ａ～図４４Ｂは、イオン注入工程を説明するための概略図である。図４２Ａ～図４２Ｈは、１つのデバイス領域５５の活性領域１０の一部の断面斜視図を示している。

[0452] まず、図４２Ａを参照して、前述のウエハ５０の用意工程が実施される（図４１のステップＳ１）。次に、ｎ型のバッファ層２６（図３１および図３２参照）の形成工程が実施されるか否かの判定工程が実施される（図４１のステップＳ２）。バッファ層２６が形成される場合（図４１のステップＳ２：ＹＥＳ）、バッファ層２６が、エピタキシャル成長法によって第１ウエハ主面５１（ウエハ５０）を起点に形成される（図４１のステップＳ３）。バッファ層２６の形成工程が実施されない場合（図４１のステップＳ２：ＮＯ）、この工程は省略される。

[0453] 次に、図４２Ｂを参照して、ｎ型の第１層８の形成工程が実施される（図４１のステップＳ４）。バッファ層２６の形成工程が省略された場合、第１層８は、エピタキシャル成長法によって第１ウエハ主面５１（ウエハ５０）を起点に形成される。バッファ層２６が形成された場合、第１層８は、エピタキシャル成長法によってバッファ層２６を起点に形成される。この場合、第１層８は、バッファ層２６の形成工程後、バッファ層２６の形成工程を利用してバッファ層２６から連続的に結晶成長されることによって形成されて

もよい。

[0454] 次に、第1層8の結晶方位の測定工程が実施される（図41のステップS5）。第1層8の結晶方位は、第1層8のオフ角 θ_{off} を測定する工程を含む。つまり、この工程は、第1層8の第1軸チャンネルCH1の結晶方位を測定する工程を含む。

[0455] ウエハ50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_{off} に誤差が生じるリスクがある。ウエハ50のオフ角 θ_{off} に誤差が生じた場合、第1層8のオフ角 θ_{off} 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_{off} のデータ（情報）が取得され、当該オフ角 θ_{off} 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。

[0456] 図43Aを参照して、この工程では、X線回折装置57を用いたX線回折法（所謂 ω - 2θ 測定法）によって第1層8の結晶方位が測定される。X線回折装置57は、「XRD（X-ray Diffraction）装置」と称されてもよい。

[0457] X線回折装置57は、照射部58および検出部59を含み、ロッキングカーブ測定法を実行する。照射部58は、第1層8の上端（ウエハ50の第1ウエハ主面51）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および第1層8の上端（ウエハ50の第1ウエハ主面51）の間の角度によって定義される。

[0458] 検出部59は、ウエハ50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。

[0459] ロッキングカーブ測定法では、回折角 2θ が固定された状態で、入射角 ω が微小な角度範囲で変移させられ、回折X線L2の強度（回折X線L2の強度プロファイル）を表すロッキングカーブが測定される。ロッキングカーブは、回折X線L2の強度を縦軸に有し、入射角 ω を横軸に有している。入射

角 ω は、回折X線L2の強度がピーク値を取る角度位置で求められる。

[0460] この工程では、第1層8の上端（ウエハ50の第1ウエハ主面51）の一箇所（たとえば中央部）についてのみ、ロッキングカーブ測定法が実施される。オフ角 θ_{off} の面内ばらつきが想定される場合、ロッキングカーブ測定法は第1層8の上端（ウエハ50の第1ウエハ主面51）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。

[0461] 図43Bでは、第1層8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。第1層8のオフ角 θ_{off} は、ここでは、約 4° に設定されている。図43Bでは、第1～第5測定点P01～P05が示されている。

[0462] 第1測定点P01は、第1層8の中央部に設定されている。第2測定点P02は、第1測定点P01から第2方向Yの一方側（目印54とは反対側）に間隔を空けて第1層8の周縁部に設定されている。第3測定点P03は、第1測定点P01から第1方向Xの一方側（目印54に対して右側）に間隔を空けて第1層8の周縁部に設定されている。

[0463] 第4測定点P04は、第1測定点P01から第2方向Yの他方側（目印54側）に間隔を空けて第1層8の周縁部に設定されている。第5測定点P05は、第1測定点P01から第1方向Xの他方側（目印54に対して左側）に間隔を空けて第1層8の周縁部に設定されている。

[0464] 第1～第5測定点P01～P05における入射角 ω 、回折角 2θ およびオフ角 θ_{off} の測定結果は、以下の表1（Table 1）の通りである。オフ角 θ_{off} 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	$\omega (^{\circ})$	$2\theta (^{\circ})$	$\theta_{\text{off}} (^{\circ})$
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

[0465] 表1に示される通り、第1～第5測定点Po1～Po5のオフ角 θ_{off} の平均値は 4.036° であり、これらのオフ角 θ_{off} の標準偏差は 0.009° ($\pm 0.01^{\circ}$)であった。このことから、第1層8の上端（ウエハ50の第1ウエハ主面51）に生じるオフ角 θ_{off} の面内ばらつきは極めて小さく、チャネリング注入工程に支障を来たさない程度であることが理解される。

[0466] したがって、第1層8の上端（ウエハ50の第1ウエハ主面51）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Po1～Po5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Po1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。

[0467] むろん、第1層8の上端（ウエハ50の第1ウエハ主面51）の複数箇所についてオフ角 θ_{off} を測定し、チャネリング注入工程においてオフ角 θ_{off} 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、第1層8に形成される第1領域14の面内誤差が適切に抑制される。

[0468] 第1層8のオフ角 θ_{off} は、ウエハ50のオフ角 θ_{off} およびバッファ層26のオフ角 θ_{off} にほぼ一致している。したがって、結晶方位の測定工程は、第1層8の形成工程に先立ってウエハ50またはバッファ層26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第1層8に対して実施されることが好ましい。

[0469] 次に、図42Cを参照して、所定パターンを有する第1マスク60の形成工程が実施される（図41のステップS6）。第1マスク60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60は、第1層8の上端の上に配置され、第1層8において複数の第1領域14を形成すべき領域を露出させる複数の第1開口61を有している。

[0470] 具体的には、複数の第1開口61は、第1層8の上端の全面において、第1配列方向D_{a1}に間隔を空けて形成され、第1延在方向D_{e1}に延びる帯状にそれぞれ区画される。つまり、複数の第1開口61は、複数のデバイス領域55および複数の切断予定ライン56を第1延在方向D_{e1}に横切り、複数のデバイス領域55および複数の切断予定ライン56をストライプ状に露出させている。複数の第1開口61は、各デバイス領域55において、第1層8の上端うち活性領域10内に位置する部分および外周領域11内に位置する部分の双方を露出させている。

[0471] 次に、図42Dを参照して、複数の第1領域14の形成工程が実施される（図41のステップS7）。複数の第1領域14の形成工程は、第1層8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。第1層8（ウエハ50）は、第1ウエハ主面51に対して所定のオフ方向D_{off}に所定の角度で傾斜したオフ角 θ_{off} を有している。チャネリング注入工程は、オフ角 θ_{off} のデータ（情報）に基づいて実施される。

[0472] 図44Aを参照して、ランダム注入法では、第1軸チャネルCH1（オフ角 θ_{off} ）に交差する方向に3価元素が所定の注入エネルギーで第1層8に

導入される（図 1 4 も併せて参照）。たとえば、ランダム注入法では、第 1 層 8 の上端（第 1 ウエハ主面 5 1）に垂直な鉛直方向 Z に沿って 3 価元素が注入される。

[0473] ランダム注入法の場合、平面視において原子列が比較的密である方向に沿って 3 価元素が導入されるため、3 価元素は比較的浅い深さ位置において原子列に衝突する。そのため、第 1 層 8 の比較的深い深さ位置に対する 3 価元素の導入が原子列によって阻害される。その結果、緩慢部 2 2 を有さない第 1 領域 1 4 が形成される（図 1 4 も併せて参照）。

[0474] 一方、図 4 4 B を参照して、チャネリング注入法では、第 1 層 8 に対する 3 価元素の注入角度が制御され、第 1 軸チャネル C H 1（この形態では S i C 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第 1 層 8 に導入される（図 1 3 A ～図 1 3 E も併せて参照）。この場合、第 1 層 8 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第 1 層 8 の傾斜角度のいずれか一方または双方が調節される。

[0475] たとえば、ウエハ 5 0 が水平に支持され、3 価元素が第 1 軸チャネル C H 1 に沿って第 1 層 8 に導入されてもよい。むしろ、ウエハ 5 0 が水平に対してオフ角 θ o f f 分だけ傾斜した状態で支持され、3 価元素が第 1 軸チャネル C H 1 に沿って第 1 層 8 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 5 0 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第 1 領域 1 4 が所定の深さ位置に形成される（図 1 3 A ～図 1 3 E も併せて参照）。

[0476] 3 価元素の注入エネルギーは、1 0 0 K e V 以上 2 0 0 0 K e V 以下であってもよい。注入エネルギーは、1 0 0 K e V 以上 2 5 0 K e V 以下、2 5 0 K e V 以上 5 0 0 K e V 以下、5 0 0 K e V 以上 7 5 0 K e V 以下、7 5 0 K e V 以上 1 0 0 0 K e V 以下、1 0 0 0 K e V 以上 1 2 5 0 K e V 以下、1 2 5 0 K e V 以上 1 5 0 0 K e V 以下、1 5 0 0 K e V 以上 1 7 5 0 K e V 以下、および、1 7 5 0 K e V 以上 2 0 0 0 K e V 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。

- [0477] 3価元素の注入温度は、 0°C 以上 1500°C 以下の範囲で調整されてもよい。注入温度は、 0°C 以上 25°C 以下、 25°C 以上 50°C 以下、 50°C 以上 100°C 以下、 100°C 以上 250°C 以下、 250°C 以上 500°C 以下、 500°C 以上 750°C 以下、 750°C 以上 1000°C 以下、 1000°C 以上 1250°C 以下、および、 1250°C 以上 1500°C 以下のいずれか1つの範囲に属する値を有していてもよい。
- [0478] 3価元素の注入角度は、第1軸チャンネルCH1に沿う軸（この形態ではSiC単結晶のc軸）を基準（ 0° ）として $\pm 2^{\circ}$ の範囲内に設定されることが好ましい。3価元素の注入角度は、第1軸チャンネルCH1に沿う軸（この形態ではSiC単結晶のc軸）を基準（ 0° ）として $\pm 1^{\circ}$ の範囲内に設定されることが特に好ましい。
- [0479] 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1軸チャンネルCH1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1軸チャンネルCH1内を進行し、第1層8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。
- [0480] この場合、炭素よりも重たい重元素に属する3価元素が第1層8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。
- [0481] 第1延在方向De1は、a軸方向またはm軸方向であってもよい。第1延在方向De1は、a軸方向およびm軸方向以外の方向であってもよい。第1延在方向De1がm軸方向に一致している場合（図8A等も併せて参照）、3価元素は第1配列方向Da1に沿う断面視において複数の第1開口61を介して第1層8の上端に対してほぼオフ角 θ_{off} 分だけ傾斜して第1層8内に導入される。
- [0482] 第1延在方向De1がa軸方向（オフ方向Doff）に一致している場合

(図10A等も併せて参照)、3価元素は第1配列方向D a 1に沿う断面視において複数の第1開口61を介して第1層8の上端に対してほぼ垂直に第1層8内に導入される。したがって、複数の第1領域14が傾斜した姿勢で第1層8内に形成されることが抑制される。また、複数の第1開口61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。

[0483] 第1延在方向D e 1がa軸方向およびm軸方向以外の方向である場合(図12A～図12C等も併せて参照)、SiC単結晶の結晶方位に対する複数の第1領域14のアライメントずれを厳密に制御する必要がなくなる。

[0484] 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、第1層8に生じた格子欠陥等が修復されてもよい。第1層8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、複数の第1領域14が形成されると同時に、第1スーパージャクション構造S J 1が形成される。

[0485] 複数の第1領域14は、第1層8の全域に渡って第1配列方向D a 1に間隔を空けて配列され、かつ、第1延在方向D e 1に帯状に延びるようにそれぞれ形成される。つまり、複数の第1領域14は、複数のデバイス領域55および複数の切断予定ライン56を第1延在方向D e 1に横切るようにストライプ状に形成される。複数の第1領域14の形成工程後、第1マスク60は除去される。

[0486] 次に、第1層8の厚さ調節工程が実施されるか否かの判定工程が実施される(図41のステップS8)。第1層8の厚さが調節される場合(図41のステップS8: YES)、第1層8が上端側から薄化される(図41のステップS9)。

[0487] 厚さ調節工程(薄化工程)は、研削法によって第1層8の上端部を部分的に除去する工程を含んでいてもよい。研削法は、機械研磨法および／または化学機械研磨法であってもよい。厚さ調節工程は、エッチング法によって第1層8の上端部を部分的に除去する工程を含んでいてもよい。エッチング法は、ウェットエッチング法および／またはドライエッチング法であってもよい。

い。

[0488] 厚さ調節工程は、第1層8の上端から複数の第1領域14を露出させる工程を含んでいてもよい（図27～図30等も併せて参照）。つまり、厚さ調節工程は、複数の第1領域14の第1漸増部20Aの一部または全部を取り除く工程を含んでいてもよい。厚さ調節工程が実施されない場合（図41のステップS8：NO）、この工程は省略される。

[0489] 次に、複数の中間領域25（図25および図26も併せて参照）の形成工程が実施されるか否かの判定工程が実施される（図41のステップS10）。複数の中間領域25が形成される場合（図41のステップS10：YES）、第1層8の表層部に複数の中間領域25が形成される（図41のステップS11）。

[0490] 複数の中間領域25の形成工程は、所定パターンを有するマスク（図示せず）を第1層8の上端の上に配置する工程を含む。マスク（図示せず）は、有機マスク（レジストマスク）であることが好ましい。マスク（図示せず）は、第1層8において複数の第1領域14が形成された領域をそれぞれ露出させる複数の開口を有している。

[0491] 具体的には、複数の開口は、第1層8の上端の全面において、第1配列方向Da1に間隔を空けて形成され、第1延在方向De1に延びる帯状にそれぞれ区画される。つまり、複数の開口は、複数のデバイス領域55および複数の切断予定ライン56を第1延在方向De1に横切り、複数のデバイス領域55および複数の切断予定ライン56をストライプ状に露出させている。複数の開口は、各デバイス領域55において、第1層8の上端うち活性領域10内に位置する部分および外周領域11内に位置する部分の双方を露出させている。

[0492] 複数の中間領域25の形成工程は、マスク（図示せず）を介するランダム注入法によって、第1軸チャネルCH1（オフ角 θ_{off} ）に交差する方向に3価元素を所定の注入エネルギーで第1層8に導入する工程を含む（図14も併せて参照）。3価元素は、第1層8内に1回または複数回導入されても

よい。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第1層8の異なる深さ位置に多段階的に導入されてもよい。

[0493] 複数の中間領域25は、第1層8の全域に渡って第1配列方向D_{a1}に間隔を空けて配列され、かつ、第1延在方向D_{e1}に帯状に延びるようにそれぞれ形成される。つまり、複数の中間領域25は、複数のデバイス領域55および複数の切断予定ライン56を第1延在方向D_{e1}に横切るようにストライプ状に形成される。複数の中間領域25の形成工程後、マスク（図示せず）は除去される。

[0494] 前述の第1層8の厚さ調節工程が実施されない場合、複数の中間領域25の形成工程は、複数の第1領域14の形成工程から連続的に実施されてもよい。この場合、前述の第1マスク60を利用して複数の中間領域25が形成されてもよい。

[0495] 次に、図42Eを参照して、第2層9の形成工程が実施される（図41のステップS12）。第2層9は、エピタキシャル成長法によって第1層8を起点に形成される。この後、図41のステップS4と同様の方法によって、第2層9の結晶方位（オフ角 θ_{off} ）の測定工程が実施されてもよい（図43Aおよび図43Bも併せて参照）。

[0496] 次に、図42Fを参照して、所定パターンを有する第2マスク62の形成工程が実施される（図41のステップS13）。第2マスク62は、有機マスク（レジストマスク）であることが好ましい。第2マスク62は、第2層9の上端の上に配置され、第2層9において複数の第2領域15を形成すべき領域を露出させる複数の第2開口63を有している。

[0497] 具体的には、複数の第2開口63は、第2層9の上端の全面において、第1配列方向D_{a1}とは異なる第2配列方向D_{a2}に間隔を空けて形成され、第1延在方向D_{e1}とは異なる第2延在方向D_{e2}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63は、複数のデバイス領域55および複数の切断予定ライン56を第2延在方向D_{e2}に横切り、複数のデバイス領域55および複数の切断予定ライン56をストライプ状に露出させてい

る。複数の第2開口63は、各デバイス領域55において、第2層9の上端うち活性領域10内に位置する部分および外周領域11内に位置する部分の双方を露出させている。

[0498] 次に、図42Gを参照して、複数の第2領域15の形成工程が実施される（図41のステップS14）。複数の第2領域15の形成工程は、第2層9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。チャネリング注入工程は、前述のオフ角 θ_{off} のデータ（情報）に基づいて実施される。

[0499] チャネリング注入法では、第2層9に対する3価元素の注入角度が制御され、第2軸チャネルCH2（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第2層9に導入される（図13A～図13Eも併せて参照）。この場合、第2層9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第2層9の傾斜角度のいずれか一方または双方が調節される。

[0500] たとえば、ウエハ50が水平に支持され、3価元素が第2軸チャネルCH2に沿って第2層9に導入されてもよい。むしろ、ウエハ50が水平に対してオフ角 θ_{off} 分だけ傾斜した状態で支持され、3価元素が第2軸チャネルCH2に沿って第2層9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第2領域15が所定の深さ位置に形成される（図13A～図13Eも併せて参照）。

[0501] 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。

- [0502] 第2領域15に係る注入エネルギーは、第1領域14に係る注入エネルギーとほぼ等しくてもよいし、第1領域14に係る注入エネルギーと異なってもよい。第2領域15に係る注入エネルギーは、第1領域14に係る注入エネルギー以上であってもよい。また、第2領域15に係る注入エネルギーは、第1領域14に係る注入エネルギー未満であってもよい。
- [0503] 3価元素の注入温度は、 0°C 以上 1500°C 以下の範囲で調整されてもよい。注入温度は、 0°C 以上 25°C 以下、 25°C 以上 50°C 以下、 50°C 以上 100°C 以下、 100°C 以上 250°C 以下、 250°C 以上 500°C 以下、 500°C 以上 750°C 以下、 750°C 以上 1000°C 以下、 1000°C 以上 1250°C 以下、および、 1250°C 以上 1500°C 以下のいずれか1つの範囲に属する値を有していてもよい。
- [0504] 第2領域15に係る注入温度は、第1領域14に係る注入温度とほぼ等しくてもよいし、第1領域14に係る注入温度と異なってもよい。第2領域15に係る注入温度は、第1領域14に係る注入温度以上であってもよい。また、第2領域15に係る注入温度は、第1領域14に係る注入温度未満であってもよい。
- [0505] 3価元素の注入角度は、第2軸チャネルCH2に沿う軸（この形態ではSiC単結晶のc軸）を基準（ 0° ）として $\pm 2^{\circ}$ の範囲内に設定されることが好ましい。3価元素の注入角度は、第2軸チャネルCH2に沿う軸（この形態ではSiC単結晶のc軸）を基準（ 0° ）として $\pm 1^{\circ}$ の範囲内に設定されることが特に好ましい。
- [0506] 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軸チャネルCH2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軸チャネルCH2内を進行し、第2層9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。
- [0507] この場合、炭素よりも重たい重元素に属する3価元素が第2層9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。

[0508] 第2延在方向 D_{e2} は、a軸方向またはm軸方向であってもよい。第2延在方向 D_{e2} は、a軸方向およびm軸方向以外の方向であってもよい。第2延在方向 D_{e2} がa軸方向（オフ方向 D_{off} ）に一致している場合（図8A等も併せて参照）、3価元素は第2配列方向 D_{a2} に沿う断面視において複数の第2開口63を介して第2層9の上端に対してほぼ垂直に第2層9内に導入される。したがって、複数の第2領域15が傾斜した姿勢で第2層9内に形成されることが抑制される。また、複数の第2開口63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。

[0509] 第2延在方向 D_{e2} がm軸方向に一致している場合（図10A等も併せて参照）、3価元素は第2配列方向 D_{a2} に沿う断面視において複数の第2開口63を介して第2層9の上端に対してほぼオフ角 θ_{off} 分だけ傾斜して第2層9内に導入される。

[0510] 第2延在方向 D_{e2} がa軸方向およびm軸方向以外の方向である場合（図12A～図12C等も併せて参照）、SiC単結晶の結晶方位に対する複数の第2領域15のアライメントずれを厳密に制御する必要がなくなる。

[0511] 第1領域14の第1延在方向 D_{e1} がa軸方向およびm軸方向以外の方向である場合、第2延在方向 D_{e2} もa軸方向およびm軸方向以外の方向であることが好ましい。この場合、複数の第1領域14はa軸に対してm軸の一方側に傾斜した第1延在角 θ_1 を有し、複数の第2領域15はa軸に対してm軸の他方側に第2延在角 θ_2 を有している。

[0512] 第2延在角 θ_2 の絶対値は第1延在角 θ_1 の絶対値と異なってもよい。ただし、この場合、第2領域15の形成工程における3価元素の相対的な注入角度の条件が、第1領域14の形成工程における3価元素の相対的な注入角度の条件と異なる。そのため、3価元素の入射経路に対する複数の第2開口63の遮蔽面積が、3価元素の入射経路に対する複数の第1開口61の

遮蔽面積と異なる。

- [0513] つまり、複数の第2開口63のシャドウイングに起因する複数の第2領域15のプロセス誤差が、複数の第1開口61のシャドウイングに起因する複数の第1領域14のプロセス誤差と異なる。したがって、第2延在角 θ_2 の絶対値は第1延在角 θ_1 の絶対値とほぼ等しいことが好ましい。この場合、複数の第2領域15のプロセス誤差が、複数の第1領域14のプロセス誤差とほぼ同じになる。したがって、チャージバランスの精度が向上される。
- [0514] 一例として、第1延在角 θ_1 が $+45^\circ \pm 5^\circ$ であり、第2延在角 θ_2 が $-45^\circ \pm 5^\circ$ であってもよい（図12A参照）。一例として、第1延在角 θ_1 が $+30^\circ \pm 5^\circ$ であり、第2延在角 θ_2 が $-30^\circ \pm 5^\circ$ であってもよい（図12B参照）。一例として、第1延在角 θ_1 が $+60^\circ \pm 5^\circ$ であり、第2延在角 θ_2 が $-60^\circ \pm 5^\circ$ であってもよい（図12C参照）。
- [0515] 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、第2層9に生じた格子欠陥等が修復されてもよい。第2層9に対するアニール温度は、 500°C 以上 2000°C 以下であってもよい。これにより、複数の第2領域15が形成されると同時に、第2スーパージャクション構造SJ2が形成される。
- [0516] 複数の第2領域15は、第2層9の全域に渡って第2配列方向Da2に間隔を空けて配列され、かつ、第2延在方向De2に帯状に延びるようにそれぞれ形成される。つまり、複数の第2領域15は、複数のデバイス領域55および複数の切断予定ライン56を第2延在方向De2に横切るようにストライプ状に形成される。
- [0517] 複数の第2領域15に係るアニール法は、前述の複数の第1領域14に係るアニール法を兼ねていてもよい。この場合、第2領域15の形成工程前における複数の第1領域14に係るアニール法は省略されてもよい。
- [0518] 次に、第2層9の厚さ調節工程が実施されるか否かの判定工程が実施される（図41のステップS15）。第2層9の厚さが調節される場合（図41のステップS15：YES）、第2層9が上端側から薄化される（図41の

ステップS 1 6)。

[0519] 厚さ調節工程（薄化工程）は、研削法によって第2層9の上端部を部分的に除去する工程を含んでいてもよい。研削法は、機械研磨法および／または化学機械研磨法であってもよい。第2層9の薄化工程は、エッチング法によって第2層9の上端部を部分的に除去する工程を含んでいてもよい。エッチング法は、ウエットエッチング法および／またはドライエッチング法であってもよい。

[0520] 厚さ調節工程は、第2層9の上端から複数の第2領域15を露出させる工程を含んでいてもよい（図27～図30等も併せて参照）。つまり、厚さ調節工程は、複数の第2領域15の第2漸増部20Bの一部または全部を取り除く工程を含んでいてもよい。厚さ調節工程が実施されない場合（図41のステップS 1 5：NO）、この工程は省略される。

[0521] 次に、第2層9の上に更なるスーパージャクション構造SJの形成工程が実施されるか否かの判定工程が実施される（図41のステップS 1 7）。たとえば、第3スーパージャクション構造SJ3（図33も併せて参照）の形成工程が実施される場合（図41のステップS 1 7：YES）、図41のステップS 1 2～S 1 4と同様の工程を経て、第2層9の上に第3層27が形成され、第3層27内に複数の第3領域28が形成される（図41のステップS 1 8）。

[0522] むろん、更なるスーパージャクション構造SJの形成工程に先立って、図41のステップS 1 1と同様の工程を経て、第2層9の表層部に複数の中間領域25が形成されてもよい（図25および図26も併せて参照）。更なるスーパージャクション構造SJの形成工程が実施されない場合（図41のステップS 1 7：NO）、この工程は省略される。

[0523] 次に、トップ層30（図34も併せて参照）の形成工程が実施されるか否かの判定工程が実施される（図41のステップS 1 9）。トップ層30の形成工程が実施される場合（図41のステップS 1 9：YES）、トップ層30が、エピタキシャル成長法によって第2層9を起点に形成される（図41

のステップS20)。トップ層30の形成工程が実施されない場合(図41のステップS19:NO)、この工程は省略される。

[0524] その後、MIS構造31、複数のフィールド領域38、層間絶縁膜40、ゲートパッド45、ゲート配線46、ソースパッド47、ドレインパッド48等が形成される(図41のステップS21)。

[0525] そして、ウエハ50が複数の切断予定ライン56に沿って切断される。複数の第1領域14のうち複数の切断予定ライン56上に位置する部分は、複数の第1マークMk1として第1側面5A(第3側面5C)から露出する。複数の中間領域25が形成された場合、複数の中間領域25のうち複数の切断予定ライン56上に位置する部分は、複数の第1マークMk1の一部(上端部)として第1側面5A(第3側面5C)から露出する。複数の第2領域15のうち複数の切断予定ライン56上に位置する部分は、複数の第2マークMk2として第2側面5B(第4側面5D)から露出する。

[0526] また、第2領域15の中間部が第2延在方向De2に沿って切断された場合、第2領域15の一部は第1相異マークMd1として第1側面5A(第3側面5C)から露出する。また、第1領域14の中間部が第1延在方向De1に沿って切断された場合、第1領域14の一部は第2相異マークMd2として第2側面5B(第4側面5D)から露出する。

[0527] ウエハ50の切断工程は、ウエハ50の切削工程を含んでもよい。この場合、ウエハ50は、ダイシングブレードによって複数の切断予定ライン56に沿って切断される。これにより、研削面からそれぞれなる第1～第4側面5A～5Dを有するチップ2が形成される。

[0528] ウエハ50の切断工程は、ウエハ50の劈開工程を含んでもよい。この場合、レーザ光照射法によって複数の切断予定ライン56に沿う複数の改質層(ダメージ層)がウエハ50の内部に形成され、複数の改質層を起点にウエハ50が複数の切断予定ライン56に沿って劈開される。これにより、劈開面からそれぞれなる第1～第4側面5A～5Dを有するチップ2が形成される。

- [0529] ウエハ50の劈開工程の場合、複数の改質層は、積層部7の厚さ範囲に対してウエハ50（ベース層6）の厚さ範囲に形成されることが好ましい。具体的には、複数の改質層は、積層部7の厚さ範囲からウエハ50の第2ウエハ主面52側に間隔を空けてウエハ50（ベース層6）に形成されることが好ましい。
- [0530] この製法によれば、劈開後の第1～第4側面5A～5Dのうちベース層6からなる部分に複数の改質層が形成（残存）される。したがって、複数の改質層が、装飾パターンPT（複数の第1マークMk1および複数の第2マークMk2）に重複することを回避できる。これにより、装飾パターンPTの視認性が向上される。また、複数の改質層が装飾パターンPTを介して複数の第1領域14および複数の第2領域15に与える電氣的な影響が低減される。
- [0531] 劈開工程が実施される場合、第1～第4側面5A～5Dは劈開面からそれぞれなり、複数の改質層をそれぞれ有する。したがって、複数の改質層は、SiC半導体装置1A（チップ2）の一構成要素と見做されてもよい。
- [0532] 前述の各種判定工程（図41のステップS2、S8、S10、S15、S17およびS19）は、ウエハ50の用意工程（図41のステップS1）の段階において予め決定されていてもよい。つまり、SiC半導体装置1Aは、予め定められた製造ラインに沿って製造されてもよい。以上を含む工程を経て、1枚のウエハ50から複数のSiC半導体装置1Aが製造される。
- [0533] 図45は、第2形態に係るSiC半導体装置1Bを示す平面図である。図46Aは、図45に示すXLVIA-XLVIA線に沿う断面図である。図46Bは、図45に示すXLVIB-XLVIB線に沿う断面図である。図47Aは、チップ2（第1層8）のレイアウト例を示す平面図である。図47Bは、チップ2（第2層9）のレイアウト例を示す平面図である。図48は、チップ2のレイアウト例を示す斜視図である。
- [0534] 図45～図48を参照して、SiC半導体装置1Bは、SiC半導体装置1Aの場合と同様、チップ2、ベース層6、積層部7（第1層8および第2

層 9)、活性領域 10 および外周領域 11 を含む。

[0535] SiC 半導体装置 1B は、この形態では、第 1 主面 3 に形成された活性面 71 (active surface)、外周面 72 (outer surface) および第 1～第 4 接続面 73A～73D (connecting surface) を含む。活性面 71、外周面 72 および第 1～第 4 接続面 73A～73D は、第 1 主面 3 において活性台地 74 を区画している。

[0536] 活性面 71 が「第 1 面部」と称され、外周面 72 が「第 2 面部」と称され、第 1～第 4 接続面 73A～73D が「接続面部」と称され、活性台地 74 が「メサ部」と称されてもよい。活性面 71、外周面 72 および第 1～第 4 接続面 73A～73D (つまり活性台地 74) は、チップ 2 (第 1 主面 3) の構成要素と見なされてもよい。

[0537] 活性面 71 は、活性領域 10 に形成されている。つまり、活性面 71 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 71 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 71 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 71 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。

[0538] 外周面 72 は、外周領域 11 に形成されている。つまり、外周面 72 は、活性面 71 外に形成されている。外周面 72 は、活性面 71 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 72 は、この形態では、第 2 層 9 を露出させるように第 2 層 9 の厚さ未満の深さで窪んでいる。外周面 72 は、平面視において活性面 71 に沿って帯状に延び、活性面 71 を取り囲む環状 (具体的には四角環状) に形成されている。

[0539] 外周面 72 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 71 に対してほぼ平行に形成されている。外周面 72 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 72 は、第 1～第 4 側面 5A～5D に連なっている。外周面 72 は、外周深さ DO を有している。

[0540] 外周深さ DO は、0.1 μm 以上 2 μm 以下であってもよい。外周深さ D

O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。

[0541] 第1～第4接続面73A～73Dは、鉛直方向Zに延び、活性面71および外周面72を接続している。第1接続面73Aは第1側面5A側に位置され、第2接続面73Bは第2側面5B側に位置され、第3接続面73Cは第3側面5C側に位置され、第4接続面73Dは第4側面5D側に位置されている。第1接続面73Aおよび第3接続面73C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73Bおよび第4接続面73Dは、第2方向Yに延び、第1方向Xに対向している。

[0542] 第1～第4接続面73A～73Dは、四角柱状の活性台地74が区画されるように活性面71および外周面72の間をほぼ垂直に延びていてもよい。第1～第4接続面73A～73Dは、四角錐台状の活性台地74が区画されるように活性面71から外周面72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74は、第1主面3において第2層9に突状に区画されている。活性台地74は、第2層9のみに形成され、第1層8には形成されていない。

[0543] SiC半導体装置1Bは、SiC半導体装置1Aの場合と同様、第1～第4側面5A～5Dにおいて第1形態例に係る装飾パターンPTを含む。装飾パターンPTは、複数の第1マークMk1および複数の第2マークMk2を含む。

[0544] 複数の第1マークMk1および複数の第2マークMk2は、SiC半導体装置1Aの場合と同様の態様でそれぞれ形成されている。複数の第1マークMk1は、外周面72から第1層8の下端側に間隔を空けて形成されていることが好ましい。一方、複数の第2マークMk2は、外周面72の上端から露出していることが好ましい。複数の第2マークMk2は、複数の第1マー

クMk 1の厚さ未満の厚さを有していてもよい。むろん、複数の第2マークMk 2は、複数の第1マークMk 1の厚さ以上の厚さを有していてもよい。

[0545] むろん、SiC半導体装置1Bは、第2～第5形態例に係る装飾パターンPTを含んでいてもよい。装飾パターンPTが第1相異マークMd 1を含む場合（図6Aや図6C等参照）、第1相異マークMd 1は外周面72および複数の第1マークMk 1の間の領域に介在され、外周面72から露出していることが好ましい。

[0546] 装飾パターンPTが第2相異マークMd 2を含む場合（図6Bや図6C等参照）、第2相異マークMd 2は、外周面72から第1層8の下端側に間隔を空けて形成され、複数の第2マークMk 2を挟んで外周面72に対向していることが好ましい。

[0547] SiC半導体装置1Bは、活性領域10において積層部7に形成されたp型のコラム領域12を含む。コラム領域12は、SiC半導体装置1Aの場合と同様のレイアウトで形成されている。つまり、複数の第1領域14は、SiC半導体装置1Aに係る複数の第1領域14と同様のレイアウトで第1層8に形成され、複数の第1ドリフト領域16を区画している。また、複数の第2領域15は、SiC半導体装置1Aに係る複数の第2領域15と同様のレイアウトで第2層9に形成され、複数の第2ドリフト領域17を区画している。

[0548] コラム領域12は、第1～第12形態例に示される複数の特徴のうちの少なくとも1つの特徴を有していてもよい。コラム領域12は、前述の第1～第12形態例に示された複数（2つ以上）の特徴が組み合わされた特徴を有していてもよい。

[0549] 複数の第1領域14は、平面視において少なくとも活性面71の周縁（第1～第4接続面73A～73D）によって取り囲まれた領域内にそれぞれ形成されている。複数の第1領域14は、この形態では、活性領域10から第1～第4接続面73A～73Dの直下の領域を横切って外周領域11に引き出されている（図47A参照）。

- [0550] つまり、複数の第1領域14は、第1層8のうち活性面71に対向する部分から第1層8のうち外周面72に対向する部分に引き出されている。複数の第1領域14は、外周領域11においても第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。複数の第1領域14は、外周領域11において外周面72から第1層8の下端側に間隔を空けて形成され、第2層9を挟んで外周面72に対向している。
- [0551] さらに、複数の第1領域14は、外周領域11から第1側面5Aおよび第3側面5Cのいずれか一方または双方（この形態では双方）に向けて延び、第1側面5Aおよび第3側面5Cのいずれか一方または双方（この形態では双方）から露出した部分をそれぞれ有している。複数の第1領域14のうち第1側面5Aから露出した部分は第1側面5Aにおいて複数の第1マークM_k1を形成し、複数の第1領域14のうち第3側面5Cから露出した部分は第3側面5Cにおいて複数の第1マークM_k1を形成している。
- [0552] 複数の第2領域15は、平面視において少なくとも活性面71の周縁（第1～第4接続面73A～73D）によって取り囲まれた領域内にそれぞれ形成されている。複数の第2領域15は、この形態では、第2層9のうち活性領域10内に位置する部分から、第2層9のうち外周領域11に位置する部分に引き出されている。
- [0553] 複数の第2領域15のうち外周領域11に位置する部分は、複数の第1領域14の厚さ未満の厚さを有していてもよい。むしろ、複数の第2領域15のうち外周領域11に位置する部分は、複数の第1領域14の厚さ以上の厚さを有していてもよい。複数の第2領域15の第2下端部15aは、第2層9の厚さ方向に関して、外周面72の深さ位置よりも第2層9の下端側の領域に位置されている。また、複数の第2領域15の第2上端部15bは、第2層9の厚さ方向に関して、外周面72よりも活性面71側の領域に位置されている。
- [0554] したがって、複数の第2領域15は、第1～第4接続面73A～73Dの

うち第2延在方向D e 2に直交する少なくとも1つの接続面から露出している。複数の第2領域15は、この形態では、第2接続面73Bおよび第4接続面73Dの双方から露出している。

[0555] むろん、第2領域15の中間部から第2延在方向D e 2に沿って第1接続面73Aが形成された場合、第2領域15は第1接続面73Aの全域から露出していてもよい。また、第2領域15の中間部から第2延在方向D e 2に沿って第3接続面73Cが形成された場合、第2領域15は第3接続面73Cの全域から露出していてもよい。

[0556] また、第2延在方向D e 2が第1接続面73Aおよび第3接続面73Cに直交している場合、複数の第2領域15は第1接続面73Aおよび第3接続面73Cのいずれか一方または双方から露出していてもよい。また、これらの場合、第2領域15は第2接続面73Bおよび第4接続面73Dのいずれか一方または双方の全域から露出していてもよい。

[0557] 複数の第2領域15は、外周領域11においても第2配列方向D a 2に間隔を空けて配列され、第2延在方向D e 2に延びる帯状にそれぞれ形成されている。複数の第2領域15は、外周領域11において外周面72から露出している。

[0558] さらに、複数の第2領域15は、外周領域11から第2側面5Bおよび第4側面5Dのいずれか一方または双方（この形態では双方）に向けて延び、第2側面5Bおよび第4側面5Dのいずれか一方または双方（この形態では双方）から露出した部分をそれぞれ有している。複数の第2領域15のうち第2側面5Bから露出した部分は第2側面5Bにおいて複数の第2マークM k 2を形成し、複数の第2領域15のうち第4側面5Dから露出した部分は第4側面5Dにおいて複数の第2マークM k 2を形成している。

[0559] 図49は、活性領域10の一要部を示す平面図である。図50は、第1形態例に係るゲート構造35を示す断面斜視図である。図49および図50を参照して、SiC半導体装置1Bは、活性領域10に形成されたMIS構造31を含む。以下の構成は、SiC半導体装置1Bの構成要素として説明さ

れるが、MIS構造31の構成要素でもある。

- [0560] SiC半導体装置1Bは、第1主面3（活性面71）の表層部に形成されたp型のボディ領域32を含む。ボディ領域32は、この形態では、活性面71に沿って延びる層状に形成されている。ボディ領域32は、活性面71の全域に形成され、第1～第4接続面73A～73Dから露出しているもよい。
- [0561] ボディ領域32は、第2層9の下端から活性面71側に間隔を空けて形成され、積層方向にコラム領域12（複数の第2領域15）に重なっている。ボディ領域32は、外周面72の深さ位置から活性面71側に間隔を空けて形成され、第1主面3から露出していることが好ましい。複数の第2領域15が第1主面3から間隔を空けて形成されている場合、ボディ領域32は活性面71および複数の第2領域15の第2上端部15bの間の領域に形成される。ボディ領域32は、複数の第2領域15（第2上端部15b）に接続されていることが好ましい。
- [0562] ボディ領域32は、第2層9に対するランダム注入法によって第2層9の表層部に導入されたランダム不純物領域からなる（図14も併せて参照）。したがって、ボディ領域32は、第2軸チャネルCH2に沿う方向に関して第2領域15の第2領域厚さTR2未満の厚さを有している。ボディ領域32の厚さは、第1領域14の第1領域厚さTR1未満である。
- [0563] ボディ領域32は、第2領域15等とは異なり、 $0.5\mu\text{m}$ 以上の厚さを有する緩慢部22を有さず、 $0.5\mu\text{m}$ の範囲に漸増部20、ピーク部21および漸減部23を含む濃度勾配を有している。ボディ領域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るもよい。
- [0564] ボディ領域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。ボディ領域32の3価元素は、第2領域15等の3価元素と同一種であってもよいし、第2領域15等の3価元素と異なる種であってもよい。ボディ領域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。むしろ、ボディ領域３２は、ｐ型のトップ層３０の一部を利用して形成されていてもよい。

[0565] SiC半導体装置１Ｂは、活性領域１０において第１主面３（活性面７１）に形成されたトレンチ電極型の複数のゲート構造３５を含む。ゲート構造３５は、「トレンチゲート構造」と称されてもよい。複数のゲート構造３５には、制御電位としてのゲート電位が付与される。複数のゲート構造３５は、ゲート電位に応答してボディ領域３２内におけるチャネル（電流経路）の反転および非反転を制御する。

[0566] 複数のゲート構造３５は、活性領域１０において活性面７１の周縁（第１～第４接続面７３Ａ～７３Ｄ）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３５は、この形態では、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。つまり、複数のゲート構造３５は、この形態では、複数の第２領域１５に沿って延びるストライプ状に配列され、積層方向に複数の第１領域１４および複数の第１ドリフト領域１６に交差している。

[0567] この例では、第２配列方向Ｄａ２がｍ軸方向（第２方向Ｙ）であり、第２延在方向Ｄｅ２がａ軸方向（第１方向Ｘ）である。むしろ、複数のゲート構造３５の配列方向および延在方向は、複数の第２領域１５の第２配列方向Ｄａ２および第２延在方向Ｄｅ２に応じて変更される。したがって、第２配列方向Ｄａ２がａ軸方向であり、第２延在方向Ｄｅ２がｍ軸方向であってもよい。また、第２配列方向Ｄａ２がａ軸方向およびｍ軸方向以外の方向であり、第２延在方向Ｄｅ２がａ軸方向およびｍ軸方向以外の方向であってもよい。

[0568] 複数のゲート構造３５は、この形態では、複数の第２領域１５から複数の第２ドリフト領域１７側にずれて配置されている。具体的には、複数のゲート構造３５は、複数の第２領域１５から間隔を空けてボディ領域３２を貫通し、複数の第２ドリフト領域１７内に１対１の対応関係で配置されている。

つまり、複数のゲート構造 35 は、第 2 配列方向 $D a 2$ に沿って複数の第 2 領域 15 と交互に配列され、水平方向に複数の第 2 領域 15 に対向している。

[0569] 複数のゲート構造 35 は、複数の第 2 ドリフト領域 17 の下端から活性面 71 側に間隔を空けて形成され、複数の第 2 ドリフト領域 17 の一部を挟んで複数の第 1 領域 14 および複数の第 1 ドリフト領域 16 に対向している。複数のゲート構造 35 は、複数の第 2 領域 15 の厚さ範囲中間部から活性面 71 側に間隔を形成されていることが好ましい。むろん、複数のゲート構造 35 は、複数の第 2 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。

[0570] 各ゲート構造 35 は、配列方向（この形態では第 2 方向 Y ）にトレンチ幅 $W T$ を有し、鉛直方向 Z にトレンチ深さ $D T$ を有している。トレンチ幅 $W T$ は、第 2 ピッチ $P 2$ （第 1 ピッチ $P 1$ ）未満である。トレンチ深さ $D T$ は、第 2 層 9 の第 2 厚さ $T 2$ 未満である。トレンチ深さ $D T$ は、前述の外周深さ $D O$ とほぼ等しいことが好ましい。むろん、トレンチ深さ $D T$ は、外周深さ $D O$ 以上であってもよいし、外周深さ $D O$ 未満であってもよい。

[0571] トレンチ幅 $W T$ は、 $0.1 \mu m$ 以上 $5 \mu m$ 以下であってもよい。トレンチ幅 $W T$ は、 $0.1 \mu m$ 以上 $0.25 \mu m$ 以下、 $0.25 \mu m$ 以上 $0.5 \mu m$ 以下、 $0.5 \mu m$ 以上 $0.75 \mu m$ 以下、 $0.75 \mu m$ 以上 $1 \mu m$ 以下、 $1 \mu m$ 以上 $1.5 \mu m$ 以下、 $1.5 \mu m$ 以上 $2 \mu m$ 以下、 $2 \mu m$ 以上 $2.5 \mu m$ 以下、 $2.5 \mu m$ 以上 $3 \mu m$ 以下、 $3 \mu m$ 以上 $3.5 \mu m$ 以下、 $3.5 \mu m$ 以上 $4 \mu m$ 以下、 $4 \mu m$ 以上 $4.5 \mu m$ 以下、および、 $4.5 \mu m$ 以上 $5 \mu m$ 以下のいずれか 1 つの範囲に属する値を有していてもよい。

[0572] トレンチ深さ $D T$ は、 $0.1 \mu m$ 以上 $5 \mu m$ 以下であってもよい。トレンチ深さ $D T$ は、 $0.1 \mu m$ 以上 $0.25 \mu m$ 以下、 $0.25 \mu m$ 以上 $0.5 \mu m$ 以下、 $0.5 \mu m$ 以上 $1 \mu m$ 以下、 $1 \mu m$ 以上 $1.5 \mu m$ 以下、 $1.5 \mu m$ 以上 $2 \mu m$ 以下、 $2 \mu m$ 以上 $3 \mu m$ 以下、 $3 \mu m$ 以上 $4 \mu m$ 以下、および、 $4 \mu m$ 以上 $5 \mu m$ 以下のいずれか 1 つの範囲に属する値を有していても

よい。トレンチ深さDTは、 $0.1\ \mu\text{m}$ 以上 $1.5\ \mu\text{m}$ 以下であることが好ましい。

[0573] 各ゲート構造35は、トレンチ75、絶縁膜76および埋設電極77を含む。トレンチ75は、活性面71に形成され、ゲート構造35の壁面を区画している。絶縁膜76は、トレンチ75の壁面を被覆している。絶縁膜76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。

[0574] 絶縁膜76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76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。埋設電極77は、絶縁膜76を挟んでトレンチ75に埋設され、絶縁膜76を挟んでチャネルに対向している。埋設電極77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。

[0575] SiC半導体装置1Bは、第1主面3（活性面71）の表層部において複数のゲート構造35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、ボディ領域32の表層部に形成されている。複数のソース領域33は、第2層9（第2ドリフト領域17）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。

[0576] 複数のソース領域33は、平面視において対応するゲート構造35に沿って帯状に延びている。複数のソース領域33は、ボディ領域32の底部から活性面71側に間隔を空けて形成され、積層方向にボディ領域32の一部を挟んで第2ドリフト領域17に対向している。複数のソース領域33は、直下に位置された複数の第2ドリフト領域17と共に対応するゲート構造35の壁面に沿って延びるチャネル（電流経路）を区画する。

[0577] 複数のソース領域33は、積層方向にボディ領域32の一部を挟んで第2領域15に対向していてもよい。むしろ、複数のソース領域33は、積層方向に第2領域15に対向しないように第2領域15から第2ドリフト領域1

7 側（ゲート構造 3 5 側）に間隔を空けて形成されていてもよい。

[0578] SiC 半導体装置 1 A は、第 1 主面 3（活性面 7 1）の表層部において複数のゲート構造 3 5 の間の領域に形成された複数のコンタクト領域 3 4 を含む。複数のコンタクト領域 3 4 は、ボディ領域 3 2 の表層部に形成されている。

[0579] 複数のコンタクト領域 3 4 は、複数のボディ領域 3 2 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 3 4 の p 型不純物濃度（ピーク値）は、複数の第 2 領域 1 5 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 3 4 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。

[0580] 複数のコンタクト領域 3 4 は、互いに隣り合う複数のソース領域 3 3 の間の領域に介在され、複数のゲート構造 3 5 に沿って帯状に延びている。複数のコンタクト領域 3 4 は、ボディ領域 3 2 の底部から活性面 7 1 側に間隔を空けて形成され、積層方向にボディ領域 3 2 の一部を挟んで複数の第 2 領域 1 5 に対向している。

[0581] 複数のコンタクト領域 3 4 は、積層方向にボディ領域 3 2 の一部を挟んで第 2 ドリフト領域 1 7 に対向していてもよい。むろん、複数のコンタクト領域 3 4 は、積層方向に第 2 ドリフト領域 1 7 に対向しないように第 2 ドリフト領域 1 7 から第 2 領域 1 5 側に間隔を空けて形成されていてもよい。

[0582] 以下、外周領域 1 1 側の構成が示される。図 5 1 は、外周領域 1 1 の構成を示す斜視図である。図 5 2 A は、外周領域 1 1 の一要部を示す第 1 方向 X の断面図である。図 5 2 B は、外周領域 1 1 の一要部を示す第 2 方向 Y の断面図である。図 5 1 では、コラム領域 1 2 の図示が省略されている。

[0583] SiC 半導体装置 1 B は、外周面 7 2 の表層部に形成された p 型のウェル領域 7 8 を含む。ウェル領域 7 8 は、平面視において外周面 7 2 の周縁（第 1 ～第 4 側面 5 A ～5 D）から活性面 7 1 側に間隔を空けて形成され、活性面 7 1 に沿って帯状に延びている。ウェル領域 7 8 は、この形態では、平面

視において活性面 7 1 を取り囲む環状（具体的には四角環状）に形成されている。ウェル領域 7 8 は、外周面 7 2 の表層部から第 1 ～第 4 接続面 7 3 A ～ 7 3 D 側に引き出され、第 1 ～第 4 接続面 7 3 A ～ 7 3 D の表層部に沿って延びている。

[0584] ウェル領域 7 8 は、活性面 7 1 の表層部においてボディ領域 3 2 に電氣的に接続され、第 1 ～第 4 接続面 7 3 A ～ 7 3 D において複数の第 2 領域 1 5 に電氣的に接続されている。ウェル領域 7 8 は、第 2 層 9 の下端から外周面 7 2 側に間隔を空けて形成され、第 2 層 9 の一部を挟んで第 1 層 8 に対向している。

[0585] ウェル領域 7 8 の底部は、ゲート構造 3 5 の底壁よりも第 2 層 9 の下端側に位置されている。ウェル領域 7 8 の底部は、複数の第 2 領域 1 5 の第 2 下端部 1 5 a に対して外周面 7 2 側に位置されていることが好ましい。ウェル領域 7 8 の底部は、複数の第 2 領域 1 5 の厚さ範囲中間部に対して外周面 7 2 側に位置されていることが特に好ましい。

[0586] ウェル領域 7 8 は、第 2 層 9 に対するランダム注入法によって第 2 層 9 の表層部に導入されたランダム不純物領域からなる（図 1 4 も併せて参照）。したがって、ウェル領域 7 8 は、第 2 軸チャネル C H 2 に沿う方向に関して第 2 領域 1 5 の第 2 領域厚さ T R 2 未満の厚さを有している。ウェル領域 7 8 の厚さは、第 1 領域 1 4 の第 1 領域厚さ T R 1 未満である。

[0587] ウェル領域 7 8 は、第 2 領域 1 5 等とは異なり、 $0.5 \mu\text{m}$ 以上の厚さを有する緩慢部 2 2 を有さず、 $0.5 \mu\text{m}$ の範囲に漸増部 2 0、ピーク部 2 1 および漸減部 2 3 を含む濃度勾配を有している。ウェル領域 7 8 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。

[0588] ウェル領域 7 8 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。ウェル領域 7 8 の p 型不純物濃度は、ボディ領域 3 2 の p 型不純物濃度よりも高い。むしろ、ウェル領域 7 8 の p 型不純物濃度は、ボディ領域 3 2 よりも低くてもよい。ウェル領域 7 8 は、第 2 層 9 と

p n 接合部を形成している。

- [0589] ウェル領域 7 8 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 7 8 の 3 価元素は、第 2 領域 1 5 等の 3 価元素と同一種であってもよいし、第 2 領域 1 5 等の 3 価元素と異なる種であってもよい。ウェル領域 7 8 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。
- [0590] S i C 半導体装置 1 B は、外周領域 1 1 において外周面 7 2 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 2 0 個以下）の p 型のフィールド領域 3 8 を含む。複数のフィールド領域 3 8 は、S i C 半導体装置 1 A の場合と同様の態様で、外周面 7 2 の表層部に形成されている。
- [0591] 複数のフィールド領域 3 8 は、この形態では、活性面 7 1 の周縁（第 1 ～第 4 接続面 7 3 A ～ 7 3 D）およびチップ 2 の周縁（第 1 ～第 4 側面 5 A ～ 5 D）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 3 8 は、ウェル領域 7 8 から外周面 7 2 の周縁側に間隔を空けて配列されている。複数のフィールド領域 3 8 は、平面視において活性面 7 1 に沿って帯状に延び、活性面 7 1 を取り囲む環状（具体的には四角環状）に形成されている。
- [0592] 複数のフィールド領域 3 8 は、この形態では、外周面 7 2 において積層方向にコラム領域 1 2 に重なっている。つまり、複数のフィールド領域 3 8 は、複数の第 1 領域 1 4 および複数の第 2 領域 1 5 の複数の交差部の上方の領域に形成されている。複数のフィールド領域 3 8 は、平面視において第 1 延在方向 D e 1 に延びる部分において複数の第 2 領域 1 5 に交差し、第 2 延在方向 D e 2 に延びる部分において複数の第 1 領域 1 4 に交差している。
- [0593] 複数のフィールド領域 3 8 は、第 2 層 9 の底部から外周面 7 2 側に間隔を空けて形成され、第 2 層 9 の一部を挟んで第 1 層 8 に対向している。複数のフィールド領域 3 8 は、ゲート構造 3 5 の底部よりも第 2 層 9 の下端側に位置されている。
- [0594] 複数のフィールド領域 3 8 の底部は、第 2 領域 1 5 の厚さ範囲中間部に対

して外周面 7 2 側に位置されていることが好ましい。複数のフィールド領域 3 8 は、第 2 延在方向 D e 2 に沿って延びる部分において複数の第 2 領域 1 5 に接続されていてもよい。むろん、複数のフィールド領域 3 8 は、第 2 延在方向 D e 2 に沿って延びる部分において複数の第 2 領域 1 5 から水平方向に間隔を空けて形成され、複数の第 2 領域 1 5 に接続されていなくてもよい。

[0595] S i C 半導体装置 1 B は、第 1 主面 3 を被覆する前述の層間絶縁膜 4 0 を含む。層間絶縁膜 4 0 は、第 1 絶縁膜 4 1 および第 2 絶縁膜 4 2 を含む積層構造を有している。第 1 絶縁膜 4 1 は、この形態では、活性面 7 1、外周面 7 2 および第 1 ～第 4 接続面 7 3 A ～ 7 3 D を選択的に被覆している。第 1 絶縁膜 4 1 は、活性面 7 1 において絶縁膜 7 6 に接続され、埋設電極 7 7 を露出させている。

[0596] 第 1 絶縁膜 4 1 は、外周面 7 2 においてウェル領域 7 8 および複数のフィールド領域 3 8 を被覆している。第 1 絶縁膜 4 1 は、この形態では、第 1 ～第 4 側面 5 A ～ 5 D に連なっている。したがって、第 1 絶縁膜 4 1 は、外周面 7 2 の周縁において複数の第 2 マーク M k 2 （複数の第 2 領域 1 5 ）を被覆している。

[0597] むろん、第 1 絶縁膜 4 1 は、外周面 7 2 の周縁から内方に間隔を空けて形成され、外周面 7 2 の周縁部から第 2 層 9 を露出させていてもよい。この場合、第 1 絶縁膜 4 1 は、外周面 7 2 の周縁から複数の第 2 マーク M k 2 （複数の第 2 領域 1 5 ）を露出させる。第 1 絶縁膜 4 1 は、第 1 ～第 4 接続面 7 3 A ～ 7 3 D においてウェル領域 7 8 を被覆している。

[0598] 第 2 絶縁膜 4 2 は、この形態では、第 1 絶縁膜 4 1 を挟んで活性面 7 1、外周面 7 2 および第 1 ～第 4 接続面 7 3 A ～ 7 3 D を選択的に被覆している。第 2 絶縁膜 4 2 は、活性領域 1 0 において複数のゲート構造 3 5 を被覆している。第 2 絶縁膜 4 2 は、外周領域 1 1 において第 1 絶縁膜 4 1 を挟んで複数のフィールド領域 3 8 およびウェル領域 7 8 を被覆している。

[0599] 第 2 絶縁膜 4 2 は、この形態では、第 1 ～第 4 側面 5 A ～ 5 D に連なって

いる。第2絶縁膜42は、外周面72の周縁において第1絶縁膜41を挟んで複数の第2マークMk2（複数の第2領域15）を被覆していてもよい。むしろ、第2絶縁膜42は、外周面72の周縁から内方に間隔を空けて形成され、第1絶縁膜41と共に外周面72の周縁から複数の第2マークMk2（複数の第2領域15）を露出させていてもよい。

[0600] SiC半導体装置1Aは、層間絶縁膜40に形成された複数のコンタクト開口43を含む。複数のコンタクト開口43は、複数のゲート構造35（埋設電極77）を露出させる複数のコンタクト開口43（図示略）、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43を含む。ソース領域33用の複数のコンタクト開口43は、隣り合う複数のゲート構造35の間の領域に形成され、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。

[0601] SiC半導体装置1Bは、第1～第4接続面73A～73Dのうちの少なくとも1つを被覆するように層間絶縁膜40内に配置されたサイドウォール構造79を含む。サイドウォール構造79は、第1絶縁膜41の上に配置され、第2絶縁膜42によって被覆されている。サイドウォール構造79は、活性面71および外周面72の間に形成された段差を緩和する。

[0602] サイドウォール構造79は、第1～第4接続面73A～73Dのうちの少なくとも1つに沿って延びる帯状に形成されている。サイドウォール構造79は、この形態では、平面視において活性面71を取り囲むように第1～第4接続面73A～73D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。

[0603] サイドウォール構造79は、外周面72に沿って膜状に延びる部分、および、第1～第4接続面73A～73D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79は、この形態では、最内のフィールド領域38から活性面71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41を挟んで複数の第2領域15およびウェル領域78に対向している。サイドウォール構造79は、第1絶縁膜41を挟んでボディ領域

32に対向していてもよい。

[0604] SiC半導体装置1Bは、SiC半導体装置1Aの場合と同様、ゲートパッド45、複数のゲート配線46、ソースパッド47およびドレインパッド48を含む。ドレインパッド48は、第1形態例の場合と同様の形態で形成されている。

[0605] ゲートパッド45は、この形態では、平面視において外周面72から間隔を空けて活性面71の上に配置されている。ゲートパッド45は、平面視において活性面71の一辺（この形態では第2接続面73B）の中央部に近接する領域に配置されている。むろん、ゲートパッド45は、平面視において活性面71の角部や活性面71の中央部に配置されていてもよい。

[0606] 複数のゲート配線46は、この形態では、平面視において外周面72から間隔を空けて活性面71の上に配置されている。複数のゲート配線46は、第1ゲート配線46Aおよび第2ゲート配線46Bを含む。

[0607] 第1ゲート配線46Aは、ゲートパッド45から第2接続面73B側に向けて引き出され、複数のゲート構造35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71の周縁に沿ってライン状に延びている。第1ゲート配線46Aは、複数のコンタクト開口43を介して層間絶縁膜40を貫通し、複数のゲート構造35（埋設電極77）の一端部に電氣的に接続されている。

[0608] 第2ゲート配線46Bは、ゲートパッド45から第4接続面73D側に向けて引き出され、複数のゲート構造35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71の周縁に沿ってライン状に延びている。第2ゲート配線46Bは、複数のコンタクト開口43を介して層間絶縁膜40を貫通し、複数のゲート構造35（埋設電極77）の他端部に電氣的に接続されている。

[0609] ソースパッド47は、この形態では、平面視において外周面72から間隔を空けて活性面71の上に配置されている。ソースパッド47は、複数のコンタクト開口43を介して層間絶縁膜40を貫通し、ボディ領域32、複数

のソース領域 3 3 および複数のコンタクト領域 3 4 に電氣的に接続されている。つまり、ソースパッド 4 7 は、ボディ領域 3 2 を介してコラム領域 1 2 に電氣的に接続されている。

[0610] 図 5 3 は、第 2 形態例に係るゲート構造 3 5 を示す断面斜視図である。前述の第 1 形態例に係る複数のゲート構造 3 5 は、コラム領域 1 2（複数の第 2 領域 1 5）から複数の第 2 ドリフト領域 1 7 側にずれて配列されていた。これに対して、図 5 3 を参照して、第 2 形態例に係る複数のゲート構造 3 5 は、積層方向に複数の第 2 領域 1 5 に重なるように配列されている。複数のゲート構造 3 5 は、積層方向に複数の第 2 領域 1 5 に 1 対 1 の対応関係で重なっている。

[0611] 複数のゲート構造 3 5 は、対応する第 2 領域 1 5 に接続された底壁をそれぞれ有している。具体的には、複数のゲート構造 3 5 は、対応する第 2 領域 1 5 よりも幅広に形成され、対応する第 2 領域 1 5 に接続された底壁、および、対応する第 2 ドリフト領域 1 7 に接続された側壁をそれぞれ有している。

[0612] つまり、埋設電極 7 7 は、積層方向に絶縁膜 7 6 を挟んで対応する第 2 領域 1 5 に対向し、水平方向に絶縁膜 7 6 を挟んで対応する第 2 ドリフト領域 1 7 に対向している。前述の複数のソース領域 3 3 および複数のコンタクト領域 3 4 は、積層方向にボディ領域 3 2 の一部を挟んで対応する第 2 ドリフト領域 1 7 にそれぞれ対向している。

[0613] 図 5 4 は、第 3 形態例に係るゲート構造 3 5 を示す断面斜視図である。第 3 形態例に係る複数のゲート構造 3 5 は、複数の第 2 領域 1 5 に対する位置ずれを考慮しなくて済むレイアウトをそれぞれ有している。

[0614] 具体的には、図 5 4 を参照して、複数のゲート構造 3 5 は、複数の第 2 領域 1 5 に交差するように第 2 延在方向 $D_e 2$ 以外の方向に延びている。複数のゲート構造 3 5 は、この形態では、第 1 領域 1 4 の第 1 配列方向 $D_a 1$ に間隔を空けて配列され、第 1 領域 1 4 の第 1 延在方向 $D_e 1$ に延びている。この例では、第 1 配列方向 $D_a 1$ が a 軸方向（第 1 方向 X ）であり、第 1 延

在方向D e 1 がm軸方向（第2方向Y）である。

- [0615] 複数のゲート構造35は、積層方向に複数の第1領域14に1対1対応の関係で対向していてもよい。むろん、各ゲート構造35は、積層方向に複数の第1領域14に対向していてもよい。複数のゲート構造35は、積層方向に複数の第1ドリフト領域16に1対1対応の関係で対向していてもよい。
- [0616] むろん、各ゲート構造35は、積層方向に複数の第1ドリフト領域16に対向していてもよい。複数のゲート構造35は、複数の第1領域14から第1配列方向D a 1にずれて配列され、積層方向に第1領域14および第1ドリフト領域16のいずれか一方または双方に対向していてもよい。
- [0617] むろん、複数のゲート構造35の配列方向および延在方向は、複数の第1領域14の第1配列方向D a 1および第1延在方向D e 1に応じて変更される。したがって、第1配列方向D a 1がm軸方向であり、第1延在方向D e 1がa軸方向であってもよい。また、第1配列方向D a 1が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 e 1がa軸方向およびm軸方向以外の方向であってもよい。
- [0618] むろん、複数のゲート構造35の配列方向は、第1配列方向D a 1および第2配列方向D 2以外の方向であってもよい。また、複数のゲート構造35の延在方向は、第1延在方向D e 1および第2延在方向D e 2以外の方向であってもよい。つまり、複数のゲート構造35は、平面視において複数の第1領域14および複数の第2領域15の双方に交差していてもよい。
- [0619] たとえば、ゲート構造35の延在方向および第2延在方向D e 2の間の角度（絶対値）は、0°を超えて90°以下であってもよい。ゲート構造35の角度（絶対値）は、0°を超えて18°以下、18°以上36°以下、36°以上54°以下、54°以上72°以下、および、72°以上90°以下のうちのいずれか1つの範囲に属する値を有していてもよい。ゲート構造35の角度（絶対値）は、30°±5°、45°±5°、および、60°±5°のうちのいずれか1つの範囲に属する値に設定されてもよい。
- [0620] 埋設電極77は、この形態では、積層方向および水平方向に絶縁膜76を

挟んで複数の第2領域15および複数の第2ドリフト領域17に対向している。前述の複数のソース領域33および複数のコンタクト領域34は、この形態では、積層方向にボディ領域32の一部を挟んで複数の第2領域15および複数の第2ドリフト領域17に対向している。

[0621] 図55は、第4形態例に係るゲート構造35を示す断面斜視図である。図55を参照して、第4形態例に係る複数のゲート構造35は、狭ピッチ化に寄与する構成をそれぞれ有している。第4形態例に係る複数のゲート構造35は、コラム領域12（複数の第2領域15）の狭ピッチ化を実現する上で特に有効である。図55では、前述の第1形態例に係るゲート構造35が第4形態例に係るゲート構造35に置き換えられた例が示されているが、第4形態例に係るゲート構造35の構成は第2～第3形態例に係るゲート構造35の構成にも適用可能である。

[0622] 複数のゲート構造35は、トレンチ75、絶縁膜76、埋設電極77、および、埋設絶縁体80をそれぞれ含む。トレンチ75は、第1形態例の場合と同様の形態を有している。絶縁膜76は、この形態では、第1主面3（活性面71）からトレンチ75の底壁側に間隔を空けて形成され、トレンチ75の開口端において第1主面3（活性面71）の表層部を露出させている。絶縁膜76の上端部は、トレンチ75の深さ範囲中間部に対して第1主面3側に位置されていることが好ましい。

[0623] 埋設電極77は、この形態では、第1主面3（活性面71）からトレンチ75の底壁側に間隔を空けてトレンチ75に埋設され、トレンチ75の開口端においてトレンチ75の底壁に向けて窪んだ開口リセスを区画している。埋設電極77は、トレンチ75の開口端において第1主面3（活性面71）の表層部および絶縁膜76の上端部を露出させている。埋設電極77の上端部は、トレンチ75の深さ範囲中間部に対して第1主面3側に位置されていることが好ましい。

[0624] 埋設絶縁体80は、第1主面3（活性面71）を露出させるようにトレンチ75（開口リセス）に埋設され、トレンチ75内において絶縁膜76およ

び埋設電極 77 を被覆している。埋設絶縁体 80 は、第 1 主面 3（活性面 71）から埋設電極 77 側に間隔を空けてトレンチ 75 に埋設され、トレンチ 75 の開口端において第 1 主面 3（活性面 71）の表層部を露出させている。

[0625] 埋設絶縁体 80 の上端部は、トレンチ 75 の深さ範囲中間部に対して第 1 主面 3 側に位置されていることが好ましい。埋設絶縁体 80 は、酸化シリコン膜、窒化シリコン膜および酸窒化シリコン膜のうちの少なくとも 1 つを含んでいてもよい。埋設絶縁体 80 は、酸化シリコン膜を含むことが好ましい。

[0626] 前述の複数のソース領域 33 は、この形態では、第 1 主面 3（活性面 71）の表層部において互いに隣り合う複数のゲート構造 35 の間の領域にそれぞれ形成されている。複数のソース領域 33 は、両サイドに位置された複数のゲート構造 35 に接続されるように複数のゲート構造 35 に沿って間隔を空けて配列されている。

[0627] 具体的には、ゲート構造 35 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、ゲート構造 35 の他方側の側壁に沿って配列されて他方側の複数のソース領域 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、平面視において行列状に配列されている。

[0628] むろん、一方側の複数のソース領域 33 は、他方側の複数のソース領域 33 の間の領域に 1 対 1 の対応関係で対向していてもよい。つまり、複数のソース領域 33 は、平面視において千鳥状に配列されていてもよい。複数のソース領域 33 は、トレンチ 75 の開口端においてトレンチ 75 の側壁から露出した部分を有し、絶縁膜 76 を挟んで埋設電極 77 および埋設絶縁体 80 に対向している。

[0629] 前述の複数のコンタクト領域 34 は、この形態では、第 1 主面 3（活性面 71）の表層部において互いに隣り合う複数のゲート構造 35 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、両サイドに位置された複数のゲート構造 35 に接続されるように複数のゲート構造 35 に沿っ

て間隔を空けて配列されている。

[0630] 具体的には、複数のコンタクト領域 34 は、複数のゲート構造 35 に沿って複数のソース領域 33 と交互に配列されている。さらに具体的には、ゲート構造 35 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、ゲート構造 35 の他方側の側壁に沿って配列されて他方側の複数のコンタクト領域 34 に 1 対 1 の対応関係で対向している。また、複数のソース領域 33 は、平面視において行列状に配列されている。

[0631] むろん、一方側の複数のコンタクト領域 34 は、他方側の複数のソース領域 33 の間の領域（つまり、複数のソース領域 33）に 1 対 1 の対応関係で対向していてもよい。つまり、複数のコンタクト領域 34 は、平面視において千鳥状に配列されていてもよい。複数のコンタクト領域 34 は、トレンチ 75 の開口端においてトレンチ 75 の側壁から露出した部分を有し、絶縁膜 76 を挟んで埋設電極 77 および埋設絶縁体 80 に対向している。

[0632] 具体的な図示は省略されるが、前述の層間絶縁膜 40 は、第 1 絶縁膜 41 および第 2 絶縁膜 42 を含む積層構造を有している。第 1 絶縁膜 41 は、第 1 形態例に係る場合と同様、活性面 71、外周面 72 および第 1～第 4 接続面 73A～73D を選択的に被覆している。

[0633] 第 1 絶縁膜 41 は、この形態では、活性面 71 の周縁部を被覆し、活性面 71 の内方部において複数のゲート構造 35 を一括して露出させている。具体的には、第 1 絶縁膜 41 は、複数のゲート構造 35 の両端部において絶縁膜 76 に接続され、埋設電極 77 を露出させている。また、第 1 絶縁膜 41 は、第 1 形態例に係る場合と同様の態様で外周面 72 および第 1～第 4 接続面 73A～73D を被覆している。

[0634] 第 2 絶縁膜 42 は、第 1 形態例に係る場合と同様、第 1 絶縁膜 41 を挟んで活性面 71、外周面 72 および第 1～第 4 接続面 73A～73D を選択的に被覆している。第 2 絶縁膜 42 は、この形態では、活性面 71 の周縁部を被覆し、活性面 71 の内方部において複数のゲート構造 35 を一括して露出させている。具体的には、第 2 絶縁膜 42 は、複数のゲート構造 35 の両端

部において第1主面3（活性面71）の上からトレンチ75内に入り込み、トレンチ75内において埋設絶縁体80に接続されている。

[0635] 層間絶縁膜40は、この形態では、複数のゲート構造35の両端部（埋設電極77）を露出させる複数のコンタクト開口43（図示略）、および、複数のゲート構造35の内方部（埋設絶縁体80）、複数のソース領域33および複数のコンタクト領域34を一括して露出させる単一のコンタクト開口43を含む。

[0636] 前述のゲートパッド45、前述の複数のゲート配線46および前述のドレインパッド48は、第1形態例の場合と同様の形態を有している。前述のソースパッド47は、層間絶縁膜40の上から単一のコンタクト開口43に入り込み、単一のコンタクト開口43内において複数のゲート構造35の内方部（埋設絶縁体80）、複数のソース領域33および複数のコンタクト領域34を一括して被覆している。

[0637] ソースパッド47は、埋設絶縁体80によって複数のゲート構造35（埋設電極77）から電氣的に絶縁され、第1主面3（活性面71）において複数のソース領域33および複数のコンタクト領域34に電氣的に接続されている。ソースパッド47は、トレンチ75に埋設された埋設部を有している。ソースパッド47の埋設部は、トレンチ75内において埋設絶縁体80を挟んで埋設電極77に対向し、トレンチ75の開口端において複数のソース領域33および複数のコンタクト領域34に電氣的に接続されている。

[0638] 図56は、第5形態例に係るゲート構造35を示す断面斜視図である。図56を参照して、第5形態例に係る複数のゲート構造35は、第4形態例に係る複数のゲート構造35を変形させた構成をそれぞれ有している。第5形態例に係るゲート構造35の構成は第1～第3形態例に係るゲート構造35の構成にも適用可能である。

[0639] 複数のゲート構造35は、トレンチ75、絶縁膜76、埋設電極77、および、埋設絶縁体80をそれぞれ含む。トレンチ75は、第1形態例の場合と同様の形態を有している。絶縁膜76は、この形態では、上絶縁膜81お

よび下絶縁膜 8 2 を含む。

- [0640] 上絶縁膜 8 1 は、チャネル制御用の絶縁膜として形成され、ボディ領域 3 2 の底部に対してトレンチ 7 5 の開口側の壁面を被覆している。上絶縁膜 8 1 は、第 2 ドリフト領域 1 7 およびボディ領域 3 2 の境界部を横切って第 2 ドリフト領域 1 7 を被覆する部分を有している。この場合、ボディ領域 3 2 に対する上絶縁膜 8 1 の被覆面積は、第 2 ドリフト領域 1 7 に対する上絶縁膜 8 1 の被覆面積よりも大きいことが好ましい。
- [0641] 上絶縁膜 8 1 は、酸化シリコン膜を含んでいてもよい。上絶縁膜 8 1 は、チップ 2 の酸化物からなる酸化シリコン膜を含むことが好ましい。上絶縁膜 8 1 は、1 nm 以上 100 nm 以下の厚さを有していてもよい。上絶縁膜 8 1 の厚さは、1 nm 以上 25 nm 以下、25 nm 以上 50 nm 以下、50 nm 以上 75 nm 以下、および、75 nm 以上 100 nm 以下のいずれか 1 つの範囲に属する値を有していてもよい。
- [0642] 下絶縁膜 8 2 は、ボディ領域 3 2 の底部に対してトレンチ 7 5 の底壁側の壁面を被覆している。下絶縁膜 8 2 は、第 2 ドリフト領域 1 7 を被覆している。第 2 ドリフト領域 1 7 に対する下絶縁膜 8 2 の被覆面積は、ボディ領域 3 2 に対する上絶縁膜 8 1 の被覆面積よりも大きい。
- [0643] 下絶縁膜 8 2 は、酸化シリコン膜を含んでいてもよい。下絶縁膜 8 2 は、チップ 2 の酸化物からなる酸化シリコン膜を含んでいてもよいし、CVD 法によって形成された酸化シリコン膜を含んでいてもよい。下絶縁膜 8 2 は、上絶縁膜 8 1 の厚さよりも大きい厚さを有している。下絶縁膜 8 2 の厚さは、上絶縁膜 8 1 の厚さの 10 倍以上 50 倍以下であることが好ましい。
- [0644] 下絶縁膜 8 2 は、100 nm 以上 500 nm 以下の厚さを有していてもよい。下絶縁膜 8 2 の厚さは、100 nm 以上 150 nm 以下、150 nm 以上 200 nm 以下、200 nm 以上 250 nm 以下、250 nm 以上 300 nm 以下、300 nm 以上 350 nm 以下、350 nm 以上 400 nm 以下、400 nm 以上 450 nm 以下、および、450 nm 以上 500 nm 以下のいずれか 1 つの範囲に属する値を有していてもよい。

- [0645] 埋設電極 7 7 は、この形態では、上電極 8 3、下電極 8 4 および中間絶縁膜 8 5 を含むマルチ電極構造（ダブル電極構造）を有している。上電極 8 3 は、絶縁膜 7 6 を挟んでトレンチ 7 5 の開口側に埋設されている。具体的には、上電極 8 3 は、上絶縁膜 8 1 を挟んでトレンチ 7 5 の開口側に埋設され、上絶縁膜 8 1 を挟んでボディ領域 3 2 に対向している。
- [0646] ボディ領域 3 2 に対する上電極 8 3 の対向面積は、第 2 ドリフト領域 1 7 に対する上電極 8 3 の対向面積よりも大きい。上電極 8 3 は、この形態では、第 1 主面 3（活性面 7 1）からトレンチ 7 5 の底壁側に間隔を空けてトレンチ 7 5 に埋設され、トレンチ 7 5 の開口端においてトレンチ 7 5 の底壁に向けて窪んだ開口リセスを区画している。上電極 8 3 は、トレンチ 7 5 の開口端において第 1 主面 3（活性面 7 1）の表層部および上絶縁膜 8 1 の上端部を露出させている。
- [0647] 上電極 8 3 には、制御電位としてのゲート電位が付与される。上電極 8 3 は、ゲート電位に応答してボディ領域 3 2 内におけるチャネル（電流経路）の反転および非反転を制御する。上電極 8 3 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。
- [0648] 下電極 8 4 は、絶縁膜 7 6 を挟んでトレンチ 7 5 の底壁側に埋設されている。具体的には、下電極 8 4 は、下絶縁膜 8 2 を挟んでトレンチ 7 5 の底壁側に埋設され、下絶縁膜 8 2 を挟んで第 2 ドリフト領域 1 7 に対向している。つまり、下電極 8 4 は、ボディ領域 3 2 の底部に対してトレンチ 7 5 の底壁側に埋設されている。具体的な図示は省略されるが、下電極 8 4 は、トレンチ 7 5 の一部（この形態では両端部）においてトレンチ 7 5 の開口側に引き出されている。
- [0649] 第 2 ドリフト領域 1 7 に対する下電極 8 4 の対向面積は、ボディ領域 3 2 に対する上電極 8 3 の対向面積よりも大きい。下電極 8 4 は、トレンチ 7 5 の深さ方向に沿って壁状に延びている。下電極 8 4 は、下絶縁膜 8 2 から上電極 8 3 側に突出した上端部を有し、上電極 8 3 の下端部に系合している。下電極 8 4 の上端部は、水平方向に上電極 8 3 の下端部を挟んで上絶縁膜 8

1（ボディ領域32）に対向している。

[0650] 下電極84には、ゲート電位またはソース電位が付与されてもよい。下電極84にゲート電位が付与される場合、下電極84は上電極83と同電位になる。したがって、上電極83および下電極84の間の電圧降下が抑制される。これにより、ゲート構造35に対する電界集中が抑制される。

[0651] 一方、下電極84にソース電位が付与される場合、下電極84をフィールド電極として機能させることができる。したがって、下電極84（フィールド電極）および第2層9（ドリフト領域13）の間の寄生容量が低下される。これにより、寄生容量に起因するスイッチング速度の低下が抑制される。下電極84は、p型またはn型の導電性ポリシリコンを含んでいてもよい。

[0652] 中間絶縁膜85は、上電極83および下電極84の間に介在され、トレンチ75内において上電極83および下電極84を電氣的に絶縁させている。中間絶縁膜85は、上絶縁膜81および下絶縁膜82に連なっている。中間絶縁膜85は、下絶縁膜82の厚さよりも小さい厚さを有している。中間絶縁膜85の厚さは、上絶縁膜81の厚さよりも大きいことが好ましい。中間絶縁膜85は、酸化シリコン膜を含んでいてもよい。中間絶縁膜85は、下電極84の酸化物からなる酸化シリコン膜を含むことが好ましい。

[0653] 埋設絶縁体80は、第1主面3（活性面71）を露出させるようにトレンチ75（開口リセス）に埋設され、リセス内において上絶縁膜81および上電極83を被覆している。埋設絶縁体80は、第1主面3（活性面71）から上電極83側に間隔を空けてトレンチ75に埋設され、トレンチ75の開口端において第1主面3（活性面71）の表層部を露出させている。

[0654] 前述の複数のソース領域33は、この形態では、トレンチ75の開口端においてトレンチ75の側壁から露出した部分を有し、上絶縁膜81を挟んで上電極83および埋設絶縁体80に対向している。前述の複数のコンタクト領域34は、この形態では、トレンチ75の開口端においてトレンチ75の側壁から露出した部分を有し、上絶縁膜81を挟んで上電極83および埋設絶縁体80に対向している。

- [0655] 前述の複数のフィールド領域 38、層間絶縁膜 40、ゲートパッド 45、前述の複数のゲート配線 46、前述のソースパッド 47および前述のドレインパッド 48は、第2形態例の場合と同様の形態を有している。複数のゲート配線 46は、この形態では、複数のコンタクト開口 43を介して層間絶縁膜 40を貫通し、複数の上電極 83に電氣的に接続される。下電極 84にゲート電位が付与される場合、複数のゲート配線 46は、複数のコンタクト開口 43を介して層間絶縁膜 40を貫通し、複数の上電極 83および複数の下電極 84に電氣的に接続される。
- [0656] 下電極 84にソース電位が付与される場合、ソースパッド 47は、複数の下電極 84に電氣的に接続される。この場合、SiC半導体装置 1Bは、ソースパッド 47から層間絶縁膜 40の上に引き出されたソース配線を含んでもよい。この場合、ソース配線は、複数のゲート配線 46よりも外側の領域において複数のゲート構造 35の一部（一端部または両端部）に交差（具体的には直交）するように活性面 71の周縁に沿って延びるライン状に形成される。ソース配線は、複数のコンタクト開口 43を介して層間絶縁膜 40を貫通し、複数の下電極 84に電氣的に接続される。
- [0657] 図57は、第3形態に係るSiC半導体装置 1Cを示す平面図である。図58Aは、図57に示すLVIIIA-LVIIIA線に沿う断面図である。図58Bは、図57に示すLVIIIB-LVIIIB線に沿う断面図である。図59Aは、チップ2（第1層8）のレイアウト例を示す平面図である。図59Bは、チップ2（第2層9）のレイアウト例を示す平面図である。図60は、チップ2のレイアウト例を示す斜視図である。図61は、外周領域 11の構成を示す斜視図である。図61では、コラム領域 12の図示が省略されている。
- [0658] 図57～図61を参照して、SiC半導体装置 1Cは、SiC半導体装置 1Aの場合と同様、チップ2、ベース層6、積層部7（第1層8および第2層9）、活性領域 10、外周領域 11、コラム領域 12、複数のフィールド領域 38および装飾パターンPTを含む。
- [0659] 装飾パターンPTは、第1～第5形態例に示される複数の特徴のうちの少

なくとも1つの特徴を有していてもよい。コラム領域12は、前述の第1～第12形態例に示される複数の特徴のうちの少なくとも1つの特徴を有していてもよい。コラム領域12は、前述の第1～第12形態例に示された複数の(2つ以上)の特徴が組み合わされた特徴を有していてもよい。

[0660] SiC半導体装置1Cは、第1主面3を選択的に被覆する層間絶縁膜90を含む。層間絶縁膜90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つを含む単層構造または積層構造を有していてもよい。層間絶縁膜90は、この形態では、酸化シリコン膜を含む単層構造を有している。

[0661] 層間絶縁膜90は、外周領域11において複数のフィールド領域38を被覆している。層間絶縁膜90は、この形態では、第1主面3の周縁(第1～第4側面5A～5D)に連なっている。むろん、層間絶縁膜90は、第1主面3の周縁から内方に間隔を空けて形成され、第1主面3の周縁部から第2層9を露出させていてもよい。

[0662] 層間絶縁膜90は、活性領域10を露出させるコンタクト開口91を有している。コンタクト開口91は、この形態では、最内のフィールド領域38の上に位置された開口壁面を有し、活性領域10の全域および最内のフィールド領域38の内縁部を露出させている。

[0663] SiC半導体装置1Cは、活性領域10において第1主面3を被覆する第1パッド電極92を含む。第1パッド電極92は、アノードパッドとして形成されている。第1パッド電極92は、チップ2の周縁から内方に間隔を空けて配置されている。第1パッド電極92は、平面視においてチップ2の周縁に沿う多角形状(この形態では四角形状)に形成されている。

[0664] 第1パッド電極92は、層間絶縁膜90の上からコンタクト開口91に入り込み、コンタクト開口91内において第1主面3および最内のフィールド領域38に電氣的に接続されている。第1パッド電極92は、第1主面3(第2層9)とショットキー接合を形成している。これにより、ダイオード構造(デバイス構造物)としてのSBD構造93(Schottky Barrier Diode st

ructure) が活性領域 10 に形成されている。

- [0665] SiC 半導体装置 1C は、第 2 主面 4 を被覆する第 2 パッド電極 94 を含む。第 2 パッド電極 94 は、カソードパッドとして形成されている。第 2 パッド電極 94 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。つまり、第 2 パッド電極 94 は、ベース層 6 を介して第 1 層 8 (複数の第 1 ドリフト領域 16) および第 2 層 9 (複数の第 2 ドリフト領域 17) に電氣的に接続されている。
- [0666] 第 2 パッド電極 94 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。第 2 パッド電極 94 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。
- [0667] 第 1 パッド電極 92 および第 2 パッド電極 94 の間 (第 1 主面 3 および第 2 主面 4 の間) に印加可能なブレイクダウン電圧は、500V3000V 以下であってもよい。ブレイクダウン電圧は、500V1000V 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。
- [0668] 2 層構造を有する積層部 7 が採用される場合、ブレイクダウン電圧は 500V 以上 1000V 以下、1000V 以上 1500V 以下、および、1500V 以上 2000V 以下のいずれか 1 つの範囲に属する値に設定されることが好ましい。3 層構造を有する積層部 7 が採用される場合、ブレイクダウン電圧は 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に設定されることが好ましい。
- [0669] 以下、図 62 ~ 図 66 を参照して、SBD 構造 93 の第 1 ~ 第 5 形態例が示される。図 62 は、第 1 形態例に係る SBD 構造 93 を示す断面斜視図である。図 62 を参照して、複数の第 2 領域 15 の第 2 上端部 15b が第 1 主面 3 から第 2 層 9 の下端側に間隔を空けて形成されている場合 (たとえば図

20～図27等も併せて参照)、第1パッド電極92は第2層9のうち第1主面3および第2上端部15bの間に介在された部分とショットキー接合を形成する。

[0670] 図63は、第2形態例に係るSBD構造93を示す断面斜視図である。図63を参照して、複数の第2領域15および複数の第2ドリフト領域17が第1主面3から露出している場合(たとえば図29等も併せて参照)、第1パッド電極92は第1主面3において複数の第2領域15および複数の第2ドリフト領域17に機械的および電氣的に接続される。この場合、第1パッド電極92は、複数の第2領域15とJBS構造(Junction Barrier Controlled Schottky structure)を形成し、複数の第2ドリフト領域17とショットキー接合を形成する。

[0671] 図64は、第3形態例に係るSBD構造93を示す断面斜視図である。図64を参照して、積層部7がトップ層30を含む場合(図34等も併せて参照)、第1パッド電極92はトップ層30(第1主面3)とショットキー接合を形成する。むろん、トップ層30が形成されていない状態において、第2層9において第1主面3およびコラム領域12の間に十分なスペースが形成されている場合、トップ層30は省略されてもよい。

[0672] 図65は、第4形態例に係るSBD構造93を示す断面斜視図である。図65を参照して、積層部7がトップ層30を含む場合(図34等も併せて参照)、SiC半導体装置1Cは、活性領域10のトップ層30内において第1主面3の表層部に形成されたp型の複数の表層領域95(不純物領域)を含んでいてもよい。

[0673] 複数の表層領域95は、この形態では、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。つまり、複数の表層領域95は、この形態では、複数の第2領域15の第2延在方向De2に沿って延びるストライプ状に配列されている。

[0674] この例では、第2配列方向Da2がm軸方向であり、第2延在方向De2がa軸方向である。むろん、複数の表層領域95の配列方向および延在方向

は、複数の第2領域15の第2配列方向D a 2および第2延在方向D e 2に応じて変更される。したがって、第2配列方向D a 2がa軸方向であり、第2延在方向D e 2がm軸方向であってもよい。また、第2配列方向D a 2がa軸方向およびm軸方向以外の方向であり、第2延在方向D e 2がa軸方向およびm軸方向以外の方向であってもよい。

[0675] 複数の表層領域95は、複数の第1領域14の幅とは異なる幅をそれぞれ有し、複数の第1領域14のピッチとは異なるピッチで配列されていることが好ましい。表層領域95の幅は複数の第1領域14の幅未満であり、表層領域95のピッチは複数の第1領域14のピッチ未満であってもよい。表層領域95の幅は複数の第1領域14の幅未満であり、表層領域95のピッチは複数の第1領域14のピッチよりも大きいてもよい。

[0676] 表層領域95の幅は複数の第1領域14の幅よりも大きく、表層領域95のピッチは複数の第1領域14のピッチ未満であってもよい。表層領域95の幅は複数の第1領域14の幅よりも大きく、表層領域95のピッチは複数の第1領域14のピッチよりも大きいてもよい。むしろ、複数の表層領域95の幅は、複数の第1領域14の幅とほぼ等しくてもよい。また、複数の表層領域95のピッチは、複数の第1領域14のピッチとほぼ等しくてもよい。

[0677] 複数の表層領域95は、複数の第2領域15の幅とは異なる幅をそれぞれ有し、複数の第2領域15のピッチとは異なるピッチで配列されていることが好ましい。表層領域95の幅は複数の第2領域15の幅未満であり、表層領域95のピッチは複数の第2領域15のピッチ未満であってもよい。表層領域95の幅は複数の第2領域15の幅未満であり、表層領域95のピッチは複数の第2領域15のピッチよりも大きいてもよい。

[0678] 表層領域95の幅は複数の第2領域15の幅よりも大きく、表層領域95のピッチは複数の第2領域15のピッチ未満であってもよい。表層領域95の幅は複数の第2領域15の幅よりも大きく、表層領域95のピッチは複数の第2領域15のピッチよりも大きいてもよい。むしろ、複数の表層領域9

5の幅は、複数の第2領域15の幅とほぼ等しくてもよい。また、複数の表層領域95のピッチは、複数の第2領域15のピッチとほぼ等しくてもよい。

[0679] 複数の表層領域95は、複数の第2領域15から第1主面3側に間隔を空けて形成されている。複数の表層領域95は、トップ層30の下端（第2層9）から第1主面3側に間隔を空けて形成され、少なくともトップ層30の一部を挟んで複数の第2層9に対向していることが好ましい。複数の表層領域95は、積層方向に第2領域15および第2ドリフト領域17のいずれか一方または双方に対向していてもよい。

[0680] 複数の表層領域95は、第2層9に対するランダム注入法によって第2層9の表層部に導入されたランダム不純物領域からなる（図14も併せて参照）。したがって、複数の表層領域95は、トップ軸チャンネルCHTに沿う方向に関して第2領域15の第2領域厚さTR2未満の厚さを有している。複数の表層領域95の厚さは、第1領域14の第1領域厚さTR1未満である。

[0681] 複数の表層領域95は、第2領域15等とは異なり、 $0.5\mu\text{m}$ 以上の厚さを有する緩慢部22を有さず、 $0.5\mu\text{m}$ の範囲に漸増部20、ピーク部21および漸減部23を含む濃度勾配を有している。複数の表層領域95は、 $1 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ 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。

[0682] 複数の表層領域95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。表層領域95の3価元素は、第2領域15等の3価元素と同一種であってもよいし、第2領域15等の3価元素と異なる種であってもよい。表層領域95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。

[0683] 第1パッド電極92は、第1主面3においてトップ層30に機械的および電氣的に接続されている。この場合、第1パッド電極92は、第1主面3において複数の表層領域95とJBS構造を形成し、第1主面3において複数

の表層領域 9 5 の間の領域とショットキー接合を形成する。つまり、第 4 形態例に係る S B D 構造 9 3 では、スーパージャンクション構造 S J（第 2 スーパージャンクション構造 S J 2）のレイアウトに起因する J B S 構造のレイアウトの制限および電気的特性の制限が緩和される。

[0684] この例では、複数の表層領域 9 5 がトップ層 3 0 に形成されていた。しかし、トップ層 3 0 が形成されていない状態において、第 2 層 9 において第 1 主面 3 およびコラム領域 1 2 の間に十分なスペースが形成されている場合、トップ層 3 0 は省略されてもよい。

[0685] 図 6 6 は、第 5 形態例に係る S B D 構造 9 3 を示す断面斜視図である。第 5 形態例に係る S B D 構造 9 3 は、第 4 形態例に係る複数の表層領域 9 5 のレイアウトを変形させたレイアウトを有している。具体的には、複数の表層領域 9 5 は、活性領域 1 0 において複数の第 2 領域 1 5 の第 2 延在方向 D e 2 に交差する方向に延びるストライプ状に配列されている。

[0686] 複数の表層領域 9 5 は、この形態では、第 1 領域 1 4 の第 1 配列方向 D a 1 に間隔を空けて配列され、第 1 領域 1 4 の第 1 延在方向 D e 1 に延びている。この例では、第 1 配列方向 D a 1 が m 軸方向であり、第 1 延在方向 D e 1 が a 軸方向である。

[0687] むろん、複数の表層領域 9 5 の配列方向および延在方向は、複数の第 1 領域 1 4 の第 1 配列方向 D a 1 および第 1 延在方向 D e 1 に応じて変更される。したがって、第 1 配列方向 D a 1 が a 軸方向であり、第 1 延在方向 D e 1 が m 軸方向であってもよい。また、第 1 配列方向 D a 1 が 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 e 1 が a 軸方向および m 軸方向以外の方向であってもよい。

[0688] むろん、複数の表層領域 9 5 の配列方向は、第 1 配列方向 D a 1 および第 2 配列方向 D 2 以外の方向であってもよい。また、複数の表層領域 9 5 の延在方向は、第 1 延在方向 D e 1 および第 2 延在方向 D e 2 以外の方向であってもよい。つまり、複数の表層領域 9 5 は、平面視において複数の第 1 領域 1 4 および複数の第 2 領域 1 5 の双方に交差していてもよい。

- [0689] たとえば、表層領域 95 の延在方向および第 2 延在方向 $D_e 2$ の間の角度（絶対値）は、 0° を超えて 90° 以下であってもよい。表層領域 95 の角度（絶対値）は、 0° を超えて 18° 以下、 18° 以上 36° 以下、 36° 以上 54° 以下、 54° 以上 72° 以下、および、 72° 以上 90° 以下のうちのいずれか 1 つの範囲に属する値を有していてもよい。表層領域 95 の角度（絶対値）は、 $30^\circ \pm 5^\circ$ 、 $45^\circ \pm 5^\circ$ 、および、 $60^\circ \pm 5^\circ$ のうちのいずれか 1 つの範囲に属する値に設定されてもよい。
- [0690] 以下、装飾パターン PT の変形例が示される。以下では、変形例に係る装飾パターン PT が第 1 形態に係る SiC 半導体装置 1 に採用された例が示されるが、変形例に係る装飾パターン PT は第 2 形態に係る SiC 半導体装置 1B および第 3 形態に係る SiC 半導体装置 1C にも適用可能である。
- [0691] 図 67 は、第 1 変形例に係る装飾パターン PT と共にチップ 2 を示す斜視図である。前述の各形態では、複数の第 1 マーク Mk 1 が、複数の第 2 マーク Mk 2 とは異なる側面に形成された例が示された。しかし、図 67 を参照して、複数の第 1 マーク Mk 1 は、複数の第 2 マーク Mk 2 と同じ側面に形成されていてもよい。図 67 では、複数の第 1 マーク Mk 1 が、第 1 側面 5A および第 2 側面 5B の双方に形成された例が示されている。
- [0692] 複数の第 1 マーク Mk 1 は、第 2 側面 5B において複数の第 2 マーク Mk 2 の幅（第 2 幅 W2）とは異なる幅（第 1 幅 W1）を有していてもよい。複数の第 1 マーク Mk 1 は、第 2 側面 5B において複数の第 2 マーク Mk 2 のピッチ（第 2 ピッチ P2）とは異なるピッチ（第 1 ピッチ P1）を有していてもよい。複数の第 1 マーク Mk 1 は、第 2 側面 5B において、厚さ方向に複数の第 2 マーク Mk 2 および複数の第 2 スペース Sp 2 のいずれか一方または双方に重なっていてもよい。
- [0693] 第 1 変形例に係る装飾パターン PT は、第 1 側面 5A および第 2 側面 5B の双方に交差する方向に延びる複数の第 1 領域 14 を形成することによって実現される。たとえば、複数の第 1 領域 14 の第 1 延在方向 $D_e 1$ は、a 軸方向および m 軸方向の双方に交差する方向である。複数の第 1 マーク Mk 1

が第2側面5Bに形成される場合、第2側面5Bに第2相異マークMd2は形成されない。

[0694] 図68は、第2変形例に係る装飾パターンPTと共にチップ2を示す斜視図である。前述の各形態では、複数の第2マークMk2が、複数の第1マークMk1とは異なる側面に形成された例が示された。しかし、図68を参照して、複数の第2マークMk2は、複数の第1マークMk1と同じ側面に形成されていてもよい。図68では、複数の第2マークMk2が、第1側面5Aおよび第2側面5Bの双方に形成された例が示されている。

[0695] 複数の第2マークMk2は、第1側面5Aにおいて複数の第1マークMk1の幅（第1幅W1）とは異なる幅（第2幅W2）を有していてもよい。複数の第2マークMk2は、第1側面5Aにおいて複数の第1マークMk1のピッチ（第1ピッチP1）とは異なるピッチ（第2ピッチP2）を有していてもよい。複数の第2マークMk2は、第1側面5Aにおいて、厚さ方向に複数の第1マークMk1および複数の第1スペースSp1のいずれか一方または双方に重なっていてもよい。

[0696] 第2変形例に係る装飾パターンPTは、第1側面5Aおよび第2側面5Bの双方に交差する方向に延びる複数の第2領域15を形成することによって実現される。たとえば、複数の第2領域15の第2延在方向De2は、a軸方向およびm軸方向の双方に交差する方向である。複数の第2マークMk2が第1側面5Aに形成される場合、第1側面5Aに第1相異マークMd1は形成されない。

[0697] 図69は、第3変形例に係る装飾パターンPTと共にチップ2を示す斜視図である。第3変形例に係る装飾パターンPTは、第1変形例に係る装飾パターンPTおよび第2変形例に係る装飾パターンPTを組み合わせた形態を有している。つまり、複数の第1マークMk1は第1側面5Aおよび第2側面5Bの双方から露出し、複数の第2マークMk2は第1側面5Aおよび第2側面5Bの双方から露出している。

[0698] この場合、第1側面5Aおよび第2側面5Bに交差する方向に延びる複数

の第1領域14が形成され、第1側面5Aおよび第2側面5Bに交差する方向に延びる複数の第2領域15が形成される。複数の第2領域15は、複数の第1領域14に交差または直交している。

[0699] 図70は、第4変形例に係る装飾パターンPTと共にチップ2を示す斜視図である。図71は、変形例に係るコラム領域12を示す断面斜視図である。図72は、変形例に係るコラム領域12と共に外周領域11の一要素を示す断面図である。図71では、第1基本形態に係るコラム領域12の変形例が示されている。

[0700] むろん、変形例に係るコラム領域12は、第1～第12形態例に示される複数の特徴のうちの少なくとも1つの特徴を有していてもよい。変形例に係るコラム領域12は、第1～第12形態例に示される複数（2つ以上）の特徴が組み合わされた特徴を有していてもよい。

[0701] 前述の各形態では、第1側面5A（第3側面5C）に複数の第1マークMk1が形成され、かつ、第2側面5B（第4側面5D）に複数の第2マークMk2が形成された例が示された。

[0702] しかし、図70に示されるように、複数の第1マークMk1および複数の第2マークMk2は、第1方向Xに延びる第1側面5A（第3側面5C）および第2方向Yに延びる第2側面5B（第4側面5D）のいずれか一方のみに形成されていてもよい。図70では、複数の第1マークMk1および複数の第2マークMk2の双方が第2側面5B（第4側面5D）に形成された例が示されている。複数の第1マークMk1は、前述の形態の場合と同様の態様、第2側面5Bにおいて積層部7の下側範囲に形成されている。

[0703] 一方、複数の第2マークMk2は、第2側面5Bにおいて積層部7の上側範囲に形成されている。複数の第2マークMk2は、積層方向に複数の第1マークMk1に重なるように上側範囲において第1方向Xに間隔を空けて配列され、積層部7（第2層9）の一部からそれぞれなる複数の第2スペースSp2を区画している。具体的には、複数の第2マークMk2は積層方向に複数の第1マークMk1と1対1の対応関係で重なり、複数の第2スペース

S p 2は積層方向に複数の第1スペースS p 1と1対1の対応関係で重なっている。

[0704] 第2マークM k 2の下端部は、第2層9の下端から上端側に間隔を空けて形成され、第2層9の一部（下端部）を挟んで第1マークM k 1に対向していてもよい。第2マークM k 2の下端部は、第1層8および第2層9の境界部を横切り、第1層8に内に位置する延部を有していてもよい。この場合、複数の第2マークM k 2の延部は、複数の第1マークM k 1に1対1の対応関係で接続されていることが好ましい。つまり、複数の第2マークM k 2は、複数の第1マークM k 1と一体化したストライプパターンを形成していることが好ましい。

[0705] 図71を参照して、第4変形例に係る装飾パターンP Tは、複数の第2領域15の第2配列方向D a 2および第2延在方向D e 2の双方を、複数の第1領域14の第1配列方向D a 1および第1延在方向D e 1の双方に一致させることによって実現される。この場合、複数の第2領域15は、活性領域10および外周領域11の双方において、積層方向に複数の第1領域14に1対1の対応関係で重なるように第2層9に形成される。

[0706] つまり、複数の第1領域14は、第1層8内において第1延在方向D e 1（第2延在方向D e 2）にストライプ状に延びている。複数の第1領域14は、第1層8内において第1延在方向D e 1（第2延在方向D e 2）にストライプ状に延びる複数の第1ドリフト領域16を区画している。

[0707] 一方、複数の第2領域15は、第2層9内において第1延在方向D e 1（第2延在方向D e 2）にストライプ状に延びている。複数の第2領域15は、第2層9内において第1延在方向D e 1（第2延在方向D e 2）にストライプ状に延びる複数の第2ドリフト領域17を区画している。

[0708] 複数の第2領域15は、積層部7内において、第1延在方向D e 1（第2延在方向D e 2）にストライプ状に延びる複数のコラム領域12を複数の第1領域14と共に形成している。複数のコラム領域12は、積層部7内において第1延在方向D e 1（第2延在方向D e 2）にストライプ状に延びる複

数のドリフト領域 13 を区画している。

[0709] この例では、第 1 配列方向 $D a 1$ および第 2 配列方向 $D a 2$ が a 軸方向であり、第 1 延在方向 $D e 1$ および第 2 延在方向 $D e 2$ が m 軸方向である。むしろ、第 1 配列方向 $D a 1$ および第 2 配列方向 $D a 2$ が m 軸方向であり、第 1 延在方向 $D e 1$ および第 2 延在方向 $D e 2$ が a 軸方向であってもよい。

[0710] むろん、第 1 延在方向 $D e 1$ および第 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。この場合、ストライプ状に延びる複数のコラム領域 12 によって、第 3 変形例に係る装飾パターン $P T$ と同様の装飾パターン $P T$ が形成される。

[0711] 図 72 を参照して、複数のフィールド領域 38 は、ストライプ状の複数のコラム領域 12 に対して第 1 主面 3 側の領域に形成されている。複数のフィールド領域 38 は、第 1 延在方向 $D e 1$ （第 2 延在方向 $D e 2$ ）に延びる部分において複数の第 1 領域 14 および複数の第 2 領域 15 に沿って延びている。

[0712] 複数のフィールド領域 38 は、第 1 延在方向 $D e 1$ （第 2 延在方向 $D e 2$ ）に交差する方向に延びる部分において複数の第 1 領域 14 および複数の第 2 領域 15 に同一箇所では交差している。複数のフィールド領域 38 は、複数の第 2 領域 15 に接続されていてもよいし、複数の第 2 領域 15 から間隔を空けて形成されていてもよい。

[0713] 前述の形態はさらに他の形態で実施できる。前述の各形態では、装飾パターン $P T$ が第 1 ～第 4 側面 5A ～5D に形成されていた。しかし、装飾パターン $P T$ を有さない構造が採用されてもよい。この場合、複数の第 1 領域 14 および複数の第 2 領域 15 は、第 1 ～第 4 側面 5A ～5D から内方に間隔を空けて積層部 7 内に形成される。

[0714] たとえば、複数の第 1 領域 14 および複数の第 2 領域 15 は、外周領域 1 から内方に間隔を空けて活性領域 10 に形成されてもよい。むしろ、複数の第 1 領域 14 および複数の第 2 領域 15 の一方が第 1 ～第 4 側面 5A ～5D から露出し、複数の第 1 領域 14 および複数の第 2 領域 15 の他方が第 1

～第4側面5A～5Dから内方に間隔を空けて形成されてもよい。

[0715] 前述の各形態では、SiC単結晶をそれぞれ含むベース層6、第1層8、第2層9、バッファ層26およびトップ層30が採用された。しかし、ベース層6、第1層8、第2層9、バッファ層26およびトップ層30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。

[0716] 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、第1層8、第2層9、バッファ層26およびトップ層30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。

[0717] 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、第1層8、第2層9、バッファ層26およびトップ層30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。

[0718] 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、第1層8、第2層9、バッファ層26およびトップ層30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。

[0719] 前述の各形態では、MIS構造31およびSBD構造93が異なるチップ2に個別的に形成された例が示された。しかし、MIS構造31およびSBD構造93は1つのチップ2に形成されてもよい。この場合、SBD構造9

3は、MIS構造31に対する還流ダイオードとしてソースパッド47（アノードパッド）およびドレインパッド48（カソードパッド）の間に電氣的に介装されてもよい。

[0720] 前述の各形態では、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。

[0721] 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各形態における対応構成要素等を表すが、各項目（Clause）の範囲を前述の各形態に限定する趣旨ではない。以下の項目に係る「半導体装置」は、必要に応じて「SiC半導体装置」、「ワイドバンドギャップ半導体装置」、「半導体スイッチング装置」、「半導体整流装置」、「MISFET装置」、「IGBT装置」、「ダイオード装置」等に置き換えられてもよい。

[0722] [A1] 半導体単結晶を含み、積層方向に沿う第1軸チャネル（CH1）を有する第1導電型（n型）の第1層（8）と、半導体単結晶を含み、前記積層方向に沿う第2軸チャネル（CH2）を有し、前記第1層（8）の上に積層された第1導電型（n型）の第2層（9）と、断面視において前記第1層（8）内で前記第1軸チャネル（CH1）に沿って延び、平面視において第1延在方向（De1）に延びる第2導電型（p型）の第1領域（14）と、断面視において前記第2層（9）内で前記第2軸チャネル（CH2）に沿って延び、平面視において前記第1領域（14）に交差するように前記第1延在方向（De1）に交差する第2延在方向（De2）に延びる第2導電型（p型）の第2領域（15）と、を含む、半導体装置（1A、1B、1C）

。

- [0723] [A 2] 前記第1延在方向(D e 1)は、結晶方位のうちのm軸方向またはa軸方向である、A 1に記載の半導体装置(1 A、1 B、1 C)。
- [0724] [A 3] 前記第2延在方向(D e 2)は、前記第1延在方向(D e 1)に直交している、A 2に記載の半導体装置(1 A、1 B、1 C)。
- [0725] [A 4] 前記第2延在方向(D e 2)は、前記第1延在方向(D e 1)に直交していない、A 2に記載の半導体装置(1 A、1 B、1 C)。
- [0726] [A 5] 前記第1延在方向(D e 1)は、結晶方位のうちのm軸方向およびa軸方向以外の方向である、A 1に記載の半導体装置(1 A、1 B、1 C)。
- [0727] [A 6] 前記第2延在方向(D e 2)は、前記第1延在方向(D e 1)に直交している、A 5に記載の半導体装置(1 A、1 B、1 C)。
- [0728] [A 7] 前記第2延在方向(D e 2)は、前記第1延在方向(D e 1)に直交していない、A 5に記載の半導体装置(1 A、1 B、1 C)。
- [0729] [A 8] 前記第2延在方向(D e 2)は、結晶方位のうちのm軸方向およびa軸方向以外の方向である、A 1～A 7のいずれか一つに記載の半導体装置(1 A、1 B、1 C)。
- [0730] [A 9] 前記第2領域(1 5)は、前記第1層(8)および前記第2層(9)の間の境界部を横切り、前記第1層(8)内に位置する延部を有している、A 1～A 8のいずれか一つに記載の半導体装置(1 A、1 B、1 C)。
- [0731] [A 1 0] 前記第2領域(1 5)の前記延部は、前記第1層(8)内で前記第1領域(1 4)に接続されている、A 9に記載の半導体装置(1 A、1 B、1 C)。
- [0732] [A 1 1] 前記第1領域(1 4)は、前記第1層(8)の上端から下端側に間隔を空けて形成されている、A 9またはA 1 0に記載の半導体装置(1 A、1 B、1 C)。
- [0733] [A 1 2] 前記第1領域(1 4)および前記第2領域(1 5)の間の領域に介在された第2導電型(p型)の中間領域(2 5)をさらに含む、A 1～

A 1 1 のいずれか一つに記載の半導体装置（1 A、1 B、1 C）。

[0734] [A 1 3] 前記中間領域（2 5）は、前記第1領域（1 4）および前記第2領域（1 5）の間の領域において前記第1層（8）に形成されている、A 1 2 に記載の半導体装置（1 A、1 B、1 C）。

[0735] [A 1 4] 前記第1領域（1 4）は、前記第1軸チャネル（C H 1）に沿って前記第1層（8）の中間部を横切る単一の不純物領域からなり、前記第2領域（1 5）は、前記第2軸チャネル（C H 2）に沿って前記第2層（9）の中間部を横切る単一の不純物領域からなる、A 1 ～A 1 3 のいずれか一つに記載の半導体装置（1 A、1 B、1 C）。

[0736] [A 1 5] 前記第1領域（1 4）は、前記第1層（8）の下端側の第1下端部（1 4 a）、および、前記第1層（8）の上端側の第1上端部（1 4 b）を有し、前記第1上端部（1 4 b）から前記第1下端部（1 4 a）に向けて漸減する第1濃度勾配を有している、A 1 ～A 1 4 のいずれか一つに記載の半導体装置（1 A、1 B、1 C）。

[0737] [A 1 6] 前記第1濃度勾配は、前記第1上端部（1 4 b）側の第1ピーク値（P A、2 1 A）、および、前記第1ピーク値（P A、2 1 A）よりも前記第1下端部（1 4 a）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第1緩慢部（2 2 A）を含む、A 1 5 に記載の半導体装置（1 A、1 B、1 C）。

[0738] [A 1 7] 前記第1緩慢部（2 2 A）は、前記第1領域（1 4）のうちの1／4以上の厚さ範囲を占めている、A 1 6 に記載の半導体装置（1 A、1 B、1 C）。

[0739] [A 1 8] 前記第2領域（1 5）は、前記第2層（9）の下端側の第2下端部（1 5 a）、および、前記第2層（9）の上端側の第2上端部（1 5 b）を有し、前記第2上端部（1 5 b）から前記第2下端部（1 5 a）に向けて漸減する第2濃度勾配を有している、A 1 ～A 1 7 のいずれか一つに記載の半導体装置（1 A、1 B、1 C）。

[0740] [A 1 9] 前記第2濃度勾配は、前記第2上端部（1 5 b）側の第2ピーク

ク値（P B、2 1 B）、および、前記第2ピーク値（P B、2 1 B）よりも前記第2下端部（1 5 a）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第2緩慢部（2 2 B）を含む、A 1 8に記載の半導体装置（1 A、1 B、1 C）。

[0741] [A 2 0] 前記第2緩慢部（2 2 B）は、前記第2領域（1 5）のうちの1／4以上の厚さ範囲を占めている、A 1 9に記載の半導体装置（1 A、1 B、1 C）。

[0742] [A 2 1] 前記第1層（8）は、S i C単結晶を含む第1 S i C層（8）であり、前記第2層（9）は、S i C単結晶を含む第2 S i C層（9）である、A 1～A 2 0のいずれか一つに記載の半導体装置（1 A、1 B、1 C）。

[0743] [B 1] 主面（3）を有する第1導電型（n型）の半導体層（7）と、前記主面（3）の内方部に設定された活性領域（1 0）と、前記主面（3）の周縁部に設定された外周領域（1 1）と、前記主面（3）に沿う水平方向に間隔を空けて前記半導体層（7）内に形成され、前記活性領域（1 0）および前記外周領域（1 1）の双方に位置された複数の不純物領域（1 4、1 5）を含む第2導電型（p型）のコラム領域（1 2）と、を含む、半導体装置（1 A、1 B、1 C）。

[0744] [B 2] 前記半導体層（7）は、第1導電型（n型）の第1層（8）、および、前記第1層（8）の上に積層された第1導電型（n型）の第2層（9）を含む積層構造を有し、前記コラム領域（1 2）は、前記水平方向に間隔を空けて前記第1層（8）内に形成され、前記活性領域（1 0）および前記外周領域（1 1）の双方に位置された前記不純物領域（1 4、1 5）としての複数の第1領域（1 4）と、前記水平方向に間隔を空けて前記第2層（9）内に形成され、前記活性領域（1 0）および前記外周領域（1 1）の双方に位置された前記不純物領域（1 4、1 5）としての複数の第2領域（1 5）と、を含む、B 1に記載の半導体装置（1 A、1 B、1 C）。

[0745] [B 3] 前記第1層（8）は、積層方向に沿う第1軸チャンネル（C H 1）

を有し、前記第2層（9）は、前記積層方向に沿う第2軸チャンネル（CH2）を有し、前記第1領域（14）は、前記第1層（8）内で前記第1軸チャンネル（CH1）に沿って延び、前記第2領域（15）は、前記第2層（9）内で前記第2軸チャンネル（CH2）に沿って延びている、B2に記載の半導体装置（1A、1B、1C）。

[0746] [B4] 前記第1領域（14）は、前記第1軸チャンネル（CH1）に沿って前記第1層（8）の中間部を横切る単一の前記不純物領域（14）からなり、前記第2領域（15）は、前記第2軸チャンネル（CH2）に沿って前記第2層（9）の中間部を横切る単一の前記不純物領域（15）からなる、B3に記載の半導体装置（1A、1B、1C）。

[0747] [B5] 前記第2領域（15）は、前記第1層（8）および前記第2層（9）の間の境界部を横切り、前記第1層（8）内に位置する延部を有している、B2～B4のいずれか一つに記載の半導体装置（1A、1B、1C）。

[0748] [B6] 前記第1領域（14）は、前記第1層（8）の上端から下端側に間隔を空けて形成されている、B2～B5のいずれか一つに記載の半導体装置（1A、1B、1C）。

[0749] [B7] 前記第1領域（14）は、前記第1層（8）の上端側の第1ピーク値（PA、21A）、および、前記第1ピーク値（PA、21A）よりも前記第1層（8）の下端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第1緩慢部（22A）を含み、前記第2領域（15）は、前記第2層（9）の上端側の第2ピーク値（PB、21B）、および、前記第2ピーク値（PB、21B）よりも前記第2層（9）の下端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第2緩慢部（22B）を含む、B2～B6のいずれか一つに記載の半導体装置（1A、1B、1C）。

[0750] [B8] 前記第1緩慢部（22A）は、前記第1領域（14）のうちの1/4以上の厚さ範囲を占め、前記第2緩慢部（22B）は、前記第2領域（15）のうちの1/4以上の厚さ範囲を占めている、B7に記載の半導体装置（1A、1B、1C）。

- [0751] [B 9] 複数の前記第1領域(14)は、第1延在方向(D e 1)に延び、複数の前記第2領域(15)は、前記第1延在方向(D e 1)とは異なる第2延在方向(D e 2)に延び、複数の前記第1領域(14)に交差している、B 2～B 8のいずれか一つに記載の半導体装置(1 A、1 B、1 C)。
- [0752] [B 1 0] 前記第1延在方向(D e 1)は、結晶方位のうちのm軸方向またはa軸方向である、B 9に記載の半導体装置(1 A、1 B、1 C)。
- [0753] [B 1 1] 前記第1延在方向(D e 1)は、結晶方位のうちのm軸方向およびa軸方向以外の方向である、B 9に記載の半導体装置(1 A、1 B、1 C)。
- [0754] [B 1 2] 前記第2延在方向(D e 2)は、結晶方位のうちのm軸方向およびa軸方向以外の方向である、B 1 1に記載の半導体装置(1 A、1 B、1 C)。
- [0755] [B 1 3] 前記第2延在方向(D e 2)は、前記第1延在方向(D e 1)に直交している、B 9に記載の半導体装置(1 A、1 B、1 C)。
- [0756] [B 1 4] 前記第2延在方向(D e 2)は、前記第1延在方向(D e 1)に直交していない、B 9に記載の半導体装置(1 A、1 B、1 C)。
- [0757] [B 1 5] 複数の前記第1領域(14)は、第1延在方向(D e 1)に延び、複数の前記第2領域(15)は、前記第1延在方向(D e 1)に一致した第2延在方向(D e 2)に延び、前記半導体層(7)の厚さ方向に複数の前記第1領域(14)に重なっている、B 2～B 8のいずれか一つに記載の半導体装置(1 A、1 B、1 C)。
- [0758] [B 1 6] 前記外周領域(11)において前記主面(3)の表層部に形成され、前記半導体層(7)の厚さ方向に前記コラム領域(12)に重なる少なくとも1つのフィールド領域(38)をさらに含む、B 1～B 15のいずれか一つに記載の半導体装置(1 A、1 B、1 C)。
- [0759] [B 1 7] 立体格子状の前記コラム領域(12)が複数の前記不純物領域(14、15)によって形成され、前記フィールド領域(38)は、前記外周領域(11)において立体格子状の前記コラム領域(12)に対して前記

主面（３）側の領域に形成されている、Ｂ１６に記載の半導体装置（１Ａ、１Ｂ、１Ｃ）。

[0760] [B 1 8] ストライプ状の複数の前記コラム領域（１２）が複数の前記不純物領域（１４、１５）によって形成され、前記フィールド領域（３８）は、前記外周領域（１１）においてストライプ状の複数の前記コラム領域（１２）に対して前記主面（３）側の領域に形成されている、Ｂ１６に記載の半導体装置（１Ａ、１Ｂ、１Ｃ）。

[0761] [B 1 9] 前記フィールド領域（３８）は、平面視で複数の前記不純物領域（１４、１５）に交差する部分、および、平面視で複数の前記不純物領域（１４、１５）に沿って延びる部分を有している、Ｂ１６～Ｂ１８のいずれか一つに記載の半導体装置（１Ａ、１Ｂ、１Ｃ）。

[0762] [B 2 0] 複数の前記フィールド領域（３８）が、間隔を空けて形成されている、Ｂ１６～Ｂ１９のいずれか一つに記載の半導体装置（１Ａ、１Ｂ、１Ｃ）。

[0763] [B 2 1] 前記半導体層（７）は、ＳｉＣ単結晶を含むＳｉＣ層（７）である、Ｂ１～Ｂ２０のいずれか一つに記載の半導体装置（１Ａ、１Ｂ、１Ｃ）。

[0764] [C 1] 側面（５Ａ～５Ｄ）を有するチップ（２）と、前記側面（５Ａ～５Ｄ）に形成された装飾パターン（ＰＴ）と、を含む、半導体装置（１Ａ、１Ｂ、１Ｃ）。

[0765] [C 2] 前記チップ（２）は、第１導電型（ｎ型）の半導体層（７）を含み、前記装飾パターン（ＰＴ）は、前記側面（５Ａ～５Ｄ）において前記半導体層（７）からなる部分に形成された第２導電型（ｐ型）のマーク（Ｍｋ１、Ｍｋ２）を含む、Ｃ１に記載の半導体装置（１Ａ、１Ｂ、１Ｃ）。

[0766] [C 3] 前記装飾パターン（ＰＴ）は、複数の前記マーク（Ｍｋ１、Ｍｋ２）を含む、Ｃ２に記載の半導体装置（１Ａ、１Ｂ、１Ｃ）。

[0767] [C 4] 前記側面（５Ａ～５Ｄ）は、平面視で第１方向（Ｘ）に延びる第１側面（５Ａ、５Ｃ）、および、平面視で前記第１方向（Ｘ）に交差する第

2方向（Y）に延びる第2側面（5B、5D）を含み、前記装飾パターン（PT）は、前記第1側面（5A、5C）および前記第2側面（5B、5D）のいずれか一方または双方に形成された少なくとも1つの前記マーク（Mk1、Mk2）を含む、C2またはC3に記載の半導体装置（1A、1B、1C）。

[0768] [C5] 前記半導体層（7）は、六方晶からなり、前記第1方向（X）は、前記半導体層（7）の結晶方位のうちのm軸方向およびa軸方向の一方であり、前記第2方向（Y）は、前記結晶方位のうちのm軸方向およびa軸方向の他方である、C4に記載の半導体装置（1A、1B、1C）。

[0769] [C6] 複数の前記マーク（Mk1、Mk2）は、前記第1側面（5A、5C）に形成された第1マーク（Mk1）、および、前記第2側面（5B、5D）に形成された第2マーク（Mk2）を含む、C4またはC5に記載の半導体装置（1A、1B、1C）。

[0770] [C7] 前記第1マーク（Mk1）は、前記半導体層（7）の厚さ方向（Z）に縦長柱状に延び、前記第2マーク（Mk2）は、前記半導体層（7）の厚さ方向（Z）に縦長柱状に延びている、C6に記載の半導体装置（1A、1B、1C）。

[0771] [C8] 前記第1マーク（Mk1）は、前記第1側面（5A、5C）において前記半導体層（7）の厚さ方向（Z）の一方側の第1厚さ範囲に形成され、前記第2マーク（Mk2）は、前記第2側面（5B、5D）において前記半導体層（7）の厚さ方向（Z）の他方側の第2厚さ範囲に形成されている、C6またはC7に記載の半導体装置（1A、1B、1C）。

[0772] [C9] 複数の前記第1マーク（Mk1）が、前記第1方向（X）に間隔を空けて一列に配列され、複数の前記第2マーク（Mk2）が、前記第2方向（Y）に間隔を空けて一列に配列されている、C6～C8のいずれか一つに記載の半導体装置（1A、1B、1C）。

[0773] [C10] 前記半導体層（7）は、第1導電型（n型）の第1層（8）、および、前記第1層（8）の上に積層された第1導電型（n型）の第2層（

9)を含む積層構造を有し、前記第1マーク(Mk 1)は、前記第1層(8)に形成され、前記第2マーク(Mk 2)は、前記第2層(9)に形成されている、C 6～C 9のいずれか一つに記載の半導体装置(1 A、1 B、1 C)。

[0774] [C 1 1] 前記第2マーク(Mk 2)は、前記第1層(8)および前記第2層(9)の間の境界部を横切り、前記第1層(8)内に位置する延部を有している、C 1 0に記載の半導体装置(1 A、1 B、1 C)。

[0775] [C 1 2] 前記第1マーク(Mk 1)は、前記第1層(8)の上端から下端側に間隔を空けて形成されている、C 1 0またはC 1 1に記載の半導体装置(1 A、1 B、1 C)。

[0776] [C 1 3] 前記第1層(8)は、積層方向に沿う第1軸チャネル(CH 1)を有し、前記第2層(9)は、前記積層方向に沿う第2軸チャネル(CH 2)を有し、前記第1マーク(Mk 1)は、前記第1側面(5 A、5 C)の表層部において前記第1軸チャネル(CH 1)に沿って延び、前記第2マーク(Mk 2)は、前記第2側面(5 B、5 D)の表層部において前記第2軸チャネル(CH 2)に沿って延びている、C 1 0～C 1 2のいずれか一つに記載の半導体装置(1 A、1 B、1 C)。

[0777] [C 1 4] 前記第1マーク(Mk 1)は、前記第1軸チャネル(CH 1)に沿って前記第1層(8)の中間部を横切り、前記第2マーク(Mk 2)は、前記第2軸チャネル(CH 2)に沿って前記第2層(9)の中間部を横切っている、C 1 3に記載の半導体装置(1 A、1 B、1 C)。

[0778] [C 1 5] 前記第1マーク(Mk 1)は、前記第1層(8)の上端側の第1ピーク値(P A、2 1 A)、および、前記第1ピーク値(P A、2 1 A)よりも前記第1層(8)の下端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第1緩慢部(2 2 A)を含み、前記第2マーク(Mk 2)は、前記第2層(9)の上端側の第2ピーク値(P B、2 1 B)、および、前記第2ピーク値(P B、2 1 B)よりも前記第2層(9)の下端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第2緩慢部(2 2 B)を含む、C 1

0～C 1 4 のいずれか一つに記載の半導体装置（1 A、1 B、1 C）。

[0779] [C 1 6] 前記第1緩慢部（2 2 A）は、前記第1マーク（M k 1）のうちの1／4以上の厚さ範囲を占め、前記第2緩慢部（2 2 B）は、前記第2マーク（M k 2）のうちの1／4以上の厚さ範囲を占めている、C 1 5に記載の半導体装置（1 A、1 B、1 C）。

[0780] [C 1 7] 前記装飾パターン（P T）は、前記第1マーク（M k 1）とは異なるレイアウトで前記第1側面（5 A、5 C）に形成された第2導電型（p型）の第1相異マーク（M d 1）を含む、C 6～C 1 6のいずれか一つに記載の半導体装置（1 A、1 B、1 C）。

[0781] [C 1 8] 前記第1相異マーク（M d 1）は、前記第1方向（X）に沿って帯状に延び、前記半導体層（7）の厚さ方向（Z）に前記第1マーク（M k 1）に重なっている、C 1 7に記載の半導体装置（1 A、1 B、1 C）。

[0782] [C 1 9] 前記装飾パターン（P T）は、前記第2マーク（M k 2）とは異なるレイアウトで前記第2側面（5 B、5 D）に形成された第2導電型（p型）の第2相異マーク（M d 2）を含む、C 6～C 1 8のいずれか一つに記載の半導体装置（1 A、1 B、1 C）。

[0783] [C 2 0] 前記第2相異マーク（M d 2）は、前記第2方向（Y）に沿って帯状に延び、前記半導体層（7）の厚さ方向（Z）に前記第1マーク（M k 1）に重なっている、C 1 9に記載の半導体装置（1 A、1 B、1 C）。

[0784] [C 2 1] 前記チップ（2）は、S i C単結晶を含むS i Cチップ（2）である、C 1～C 2 0のいずれか一つに記載の半導体装置（1 A、1 B、1 C）。

[0785] [D 1] 主面（3）を含み、厚さ方向（Z）に沿う軸チャネル（C H 2）を有する第1導電型（n型）の半導体層（9）と、前記半導体層（9）内で前記軸チャネル（C H 2）に沿って延びる第2導電型（p型）の不純物領域（1 5）と、前記不純物領域（1 5）に対して前記主面（3）側の領域に形成された第2導電型（p型）のボディ領域（3 2）と、前記主面（3）において前記ボディ領域（3 2）を貫通するトレンチ（7 5）、前記主面（3）

よりも前記トレンチ（７５）の底壁側に配置された埋設電極（７７）、および、前記主面（３）よりも前記トレンチ（７５）の底壁側に配置され、前記埋設電極（７７）を被覆する埋設絶縁体（８０）を有するゲート構造（３５）と、を含む、半導体装置（１Ａ、１Ｂ、１Ｃ）。

[0786] [D 2] 前記不純物領域（１５）は、前記軸チャネル（ＣＨ２）に沿って前記半導体層（９）の中間部を横切る単一の領域からなり、前記ゲート構造（３５）は、前記不純物領域（１５）よりも浅い、Ｄ１に記載の半導体装置（１Ａ、１Ｂ、１Ｃ）。

[0787] [D 3] 前記不純物領域（１５）は、前記半導体層（９）の上端側のピーク値（ＰＢ、２１Ｂ）、および、前記ピーク値（ＰＢ、２１Ｂ）よりも前記半導体層（９）の下端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（２２Ｂ）を含む、Ｄ１またはＤ２に記載の半導体装置（１Ａ、１Ｂ、１Ｃ）。

[0788] [D 4] 前記緩慢部（２２Ｂ）は、前記不純物領域（１５）のうちの１／４以上の厚さ範囲を占めている、Ｄ３に記載の半導体装置（１Ａ、１Ｂ、１Ｃ）。

[0789] [D 5] 前記ゲート構造（３５）は、平面視で帯状に延びている、Ｄ１～Ｄ４に記載の半導体装置（１Ａ、１Ｂ、１Ｃ）。

[0790] [D 6] 前記ゲート構造（３５）は、結晶方位のうちのａ軸方向に延びている、Ｄ５に記載の半導体装置（１Ａ、１Ｂ、１Ｃ）。

[0791] [D 7] 前記不純物領域（１５）は、平面視で帯状に延び、前記ゲート構造（３５）は、前記不純物領域（１５）の延在方向に延び、前記不純物領域（１５）から間隔を空けて形成されている、Ｄ５またはＤ６に記載の半導体装置（１Ａ、１Ｂ、１Ｃ）。

[0792] [D 8] 前記不純物領域（１５）は、平面視で帯状に延び、前記ゲート構造（３５）は、前記不純物領域（１５）の延在方向に延び、前記半導体層（９）の厚さ方向（Ｚ）に前記不純物領域（１５）に重なっている、Ｄ５またはＤ６に記載の半導体装置（１Ａ、１Ｂ、１Ｃ）。

- [0793] [D 9] 前記不純物領域 (15) は、平面視で帯状に延び、前記ゲート構造 (35) は、前記不純物領域 (15) の延在方向以外の方向に延び、前記不純物領域 (15) に交差している、D 5 または D 6 に記載の半導体装置 (1A、1B、1C)。
- [0794] [D 10] 前記埋設電極 (77) は、前記トレンチ (75) の深さ方向に間隔を空けて配置された複数の電極 (83、84) を含むマルチ電極構造を有している、D 1～D 9 のいずれか一つに記載の半導体装置 (1A、1B、1C)。
- [0795] [D 11] 厚さ方向 (Z) に沿う下側軸チャネル (CH1) を有する下側半導体層 (8) と、前記下側半導体層 (8) 内で前記下側軸チャネル (CH1) に沿って延びる第2導電型 (p型) の下側不純物領域 (14) と、をさらに含み、前記半導体層 (9) は、前記下側半導体層 (8) の上に積層され、前記不純物領域 (15) は、積層方向に前記下側不純物領域 (14) に重なるように前記半導体層 (9) 内に形成されている、D 1～D 10 のいずれか一つに記載の半導体装置 (1A、1B、1C)。
- [0796] [D 12] 前記下側不純物領域 (14) は、前記下側軸チャネル (CH1) に沿って前記下側半導体層 (8) の中間部を横切る単一の領域からなる、D 11 に記載の半導体装置 (1A、1B、1C)。
- [0797] [D 13] 前記下側不純物領域 (14) は、前記下側半導体層 (8) の上端側の下側ピーク値 (PA、21A)、および、前記下側ピーク値 (PA、21A) よりも前記下側半導体層 (8) の下端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下側緩慢部 (22A) を含む、D 11 または D 12 に記載の半導体装置 (1A、1B、1C)。
- [0798] [D 14] 前記下側緩慢部 (22A) は、前記不純物領域 (15) のうちの $1/4$ 以上の厚さ範囲を占めている、D 13 に記載の半導体装置 (1A、1B、1C)。
- [0799] [D 15] 前記下側不純物領域 (14) は、平面視で第1延在方向 (De1) に延び、前記不純物領域 (15) は、平面視で前記第1延在方向 (De

1) に一致した第2延在方向 (De 2) に延びている、D 1 1 ~ D 1 4 のいずれか一つに記載の半導体装置 (1 A、1 B、1 C)。

[0800] [D 1 6] 前記下側不純物領域 (1 4) は、平面視で第1延在方向 (De 1) に延び、前記不純物領域 (1 5) は、平面視で前記第1延在方向 (De 1) 以外の第2延在方向 (De 2) に延び、前記下側不純物領域 (1 4) に交差している、D 1 1 ~ D 1 5 のいずれか一つに記載の半導体装置 (1 A、1 B、1 C)。

[0801] [D 1 7] 前記ボディ領域 (3 2) の表層部において前記ゲート構造 (3 5) に沿って形成された第1導電型 (n型) のソース領域 (3 3) と、前記主面 (3) の上で前記ソース領域 (3 3) に電氣的に接続され、前記トレンチ (7 5) 内で前記埋設絶縁体 (8 0) によって前記埋設電極 (7 7) から電氣的に絶縁されたソースパッド (4 7) と、をさらに含む、D 1 ~ D 1 6 のいずれか一つに記載の半導体装置 (1 A、1 B、1 C)。

[0802] [D 1 8] 前記ソース領域 (3 3) は、前記トレンチ (7 5) の側壁から露出した部分を有し、前記ソースパッド (4 7) は、前記トレンチ (7 5) 内において前記ソース領域 (3 3) のうち前記トレンチ (7 5) の側壁から露出した部分に電氣的に接続されている、D 1 7 に記載の半導体装置 (1 A、1 B、1 C)。

[0803] [D 1 9] 複数の前記ゲート構造 (3 5) が間隔を空けて前記主面 (3) に形成され、前記ソース領域 (3 3) は、互いに隣り合う2つの前記ゲート構造 (3 5) に接続されている、D 1 7 または D 1 8 に記載の半導体装置 (1 A、1 B、1 C)。

[0804] [D 2 0] 前記ボディ領域 (3 2) の表層部において前記ゲート構造 (3 5) に沿って前記ソース領域 (3 3) とは異なる領域に形成された第2導電型 (p型) のコンタクト領域 (3 4) をさらに含み、前記ソースパッド (4 7) は、前記主面 (3) の上で前記コンタクト領域 (3 4) に電氣的に接続されている、D 1 7 ~ D 1 9 のいずれか一つに記載の半導体装置 (1 A、1 B、1 C)。

[0805] [D 2 1] 前記半導体層（9）は、S i C単結晶を含むS i C層（9）である、D 1～D 2 0のいずれか一つに記載の半導体装置（1 A、1 B、1 C）。

[0806] 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

[0807]	1 A	S i C半導体装置
	1 B	S i C半導体装置
	1 C	S i C半導体装置
	2	チップ
	3	第1主面
	5 A	第1側面
	5 B	第2側面
	5 C	第3側面
	5 D	第4側面
	7	積層部（半導体層）
	8	第1層
	9	第2層
	1 2	コラム領域
	1 4	第1領域
	1 4 a	第1下端部
	1 4 b	第1上端部
	1 5	第2領域
	1 5 a	第2下端部
	1 5 b	第2上端部
	2 1 A	第1ピーク部

2 1 B	第2ピーク部
2 2 A	第1緩慢部
2 2 B	第2緩慢部
2 5	中間領域
3 2	ボディ領域
3 3	ソース領域
3 4	コンタクト領域
3 5	ゲート構造
3 8	フィールド領域
4 7	ソースパッド
7 5	トレンチ
7 6	絶縁膜
7 7	埋設電極
8 0	埋設絶縁体
8 3	上電極
8 4	下電極
C H 1	第1軸チャネル
C H 2	第2軸チャネル
D e 1	第1延在方向
D e 2	第2延在方向
M k 1	第1マーク
M k 2	第2マーク
M d 1	第1相異マーク
M d 2	第2相異マーク
P T	装飾パターン
P A	第1ピーク値
P B	第2ピーク値
T 1	第1厚さ

T 2	第 2 厚さ
W 1	第 1 幅
W 2	第 2 幅
D o f f	オフ方向
θ o f f	オフ角
X	第 1 方向
Y	第 2 方向
Z	鉛直方向

請求の範囲

- [請求項1] 側面を有するチップと、
前記側面に形成された装飾パターンと、を含む、半導体装置。
- [請求項2] 前記チップは、第1導電型の半導体層を含み、
前記装飾パターンは、前記側面において前記半導体層からなる部分
に形成された第2導電型のマークを含む、請求項1に記載の半導体装
置。
- [請求項3] 前記装飾パターンは、複数の前記マークを含む、請求項2に記載の
半導体装置。
- [請求項4] 前記側面は、平面視で第1方向に延びる第1側面、および、平面視
で前記第1方向に交差する第2方向に延びる第2側面を含み、
前記装飾パターンは、前記第1側面および前記第2側面のいずれか
一方または双方に形成された少なくとも1つの前記マークを含む、請
求項2または3に記載の半導体装置。
- [請求項5] 前記半導体層は、六方晶からなり、
前記第1方向は、前記半導体層の結晶方位のうちのm軸方向および
a軸方向の一方であり、
前記第2方向は、前記結晶方位のうちのm軸方向およびa軸方向の
他方である、請求項4に記載の半導体装置。
- [請求項6] 複数の前記マークは、前記第1側面に形成された第1マーク、およ
び、前記第2側面に形成された第2マークを含む、請求項4または5
に記載の半導体装置。
- [請求項7] 前記第1マークは、前記半導体層の厚さ方向に縦長柱状に延び、
前記第2マークは、前記半導体層の厚さ方向に縦長柱状に延びてい
る、請求項6に記載の半導体装置。
- [請求項8] 前記第1マークは、前記第1側面において前記半導体層の厚さ方向の
一方側の第1厚さ範囲に形成され、
前記第2マークは、前記第2側面において前記半導体層の厚さ方向

の他方側の第2厚さ範囲に形成されている、請求項6または7に記載の半導体装置。

[請求項9] 複数の前記第1マークが、前記第1方向に間隔を空けて一列に配列され、

複数の前記第2マークが、前記第2方向に間隔を空けて一列に配列されている、請求項6～8のいずれか一項に記載の半導体装置。

[請求項10] 前記半導体層は、第1導電型の第1層、および、前記第1層の上に積層された第1導電型の第2層を含む積層構造を有し、

前記第1マークは、前記第1層に形成され、

前記第2マークは、前記第2層に形成されている、請求項6～9のいずれか一項に記載の半導体装置。

[請求項11] 前記第2マークは、前記第1層および前記第2層の間の境界部を横切り、前記第1層内に位置する延部を有している、請求項10に記載の半導体装置。

[請求項12] 前記第1マークは、前記第1層の上端から下端側に間隔を空けて形成されている、請求項10または11に記載の半導体装置。

[請求項13] 前記第1層は、積層方向に沿う第1軸チャネルを有し、
前記第2層は、前記積層方向に沿う第2軸チャネルを有し、
前記第1マークは、前記第1側面の表層部において前記第1軸チャネルに沿って延び、
前記第2マークは、前記第2側面の表層部において前記第2軸チャネルに沿って延びている、請求項10～12のいずれか一項に記載の半導体装置。

[請求項14] 前記第1マークは、前記第1軸チャネルに沿って前記第1層の中間部を横切り、

前記第2マークは、前記第2軸チャネルに沿って前記第2層の中間部を横切っている、請求項13に記載の半導体装置。

[請求項15] 前記第1マークは、前記第1層の上端側の第1ピーク値、および、

前記第 1 ピーク値よりも前記第 1 層の下端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第 1 緩慢部を含み、

前記第 2 マークは、前記第 2 層の上端側の第 2 ピーク値、および、前記第 2 ピーク値よりも前記第 2 層の下端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第 2 緩慢部を含む、請求項 10～14 のいずれか一項に記載の半導体装置。

[請求項16] 前記第 1 緩慢部は、前記第 1 マークのうちの $1/4$ 以上の厚さ範囲を占め、

前記第 2 緩慢部は、前記第 2 マークのうちの $1/4$ 以上の厚さ範囲を占めている、請求項 15 に記載の半導体装置。

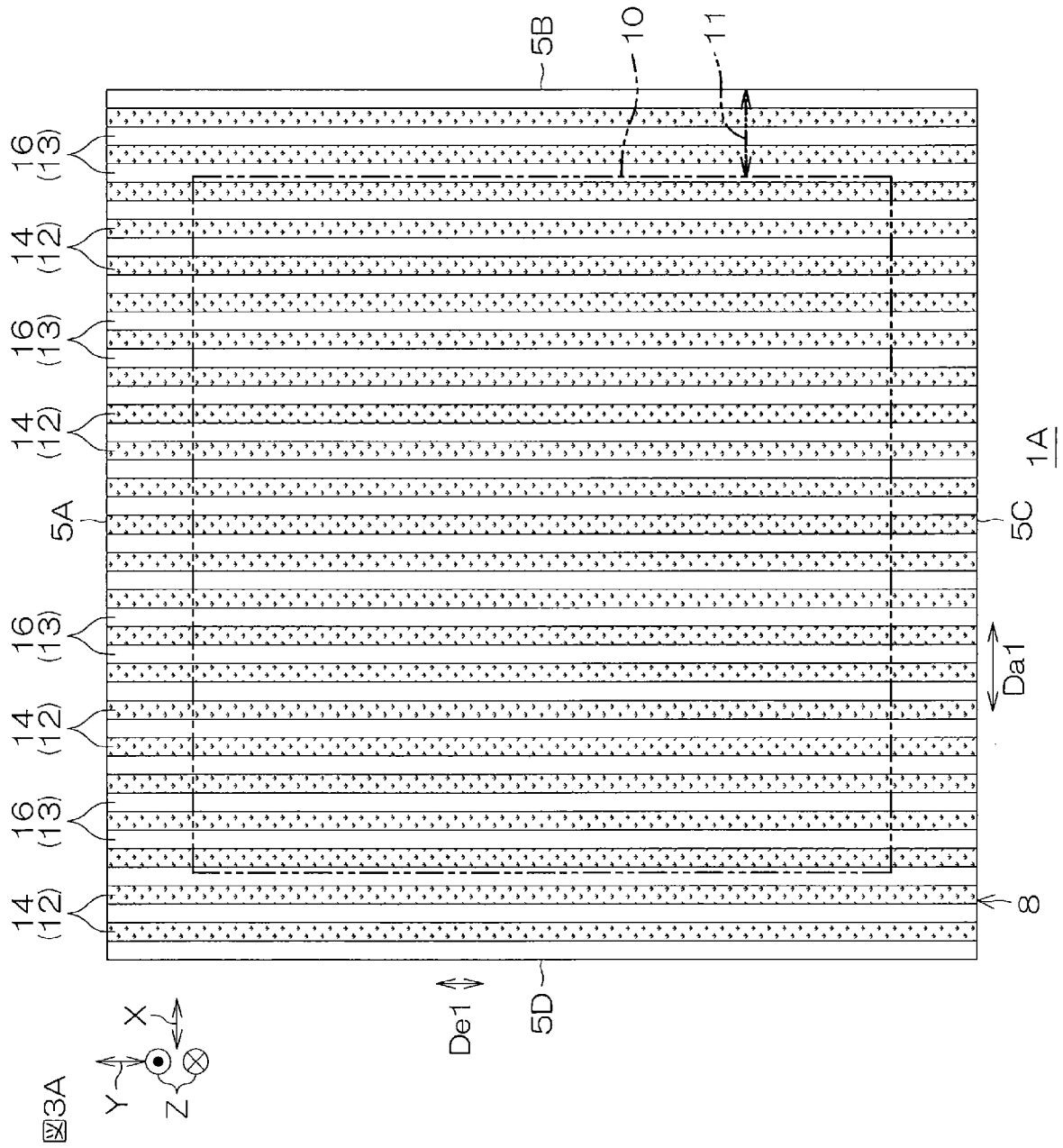
[請求項17] 前記装飾パターンは、前記第 1 マークとは異なるレイアウトで前記第 1 側面に形成された第 2 導電型の第 1 相異マークを含む、請求項 6～16 のいずれか一項に記載の半導体装置。

[請求項18] 前記第 1 相異マークは、前記第 1 方向に沿って帯状に延び、前記半導体層の厚さ方向に前記第 1 マークに重なっている、請求項 17 に記載の半導体装置。

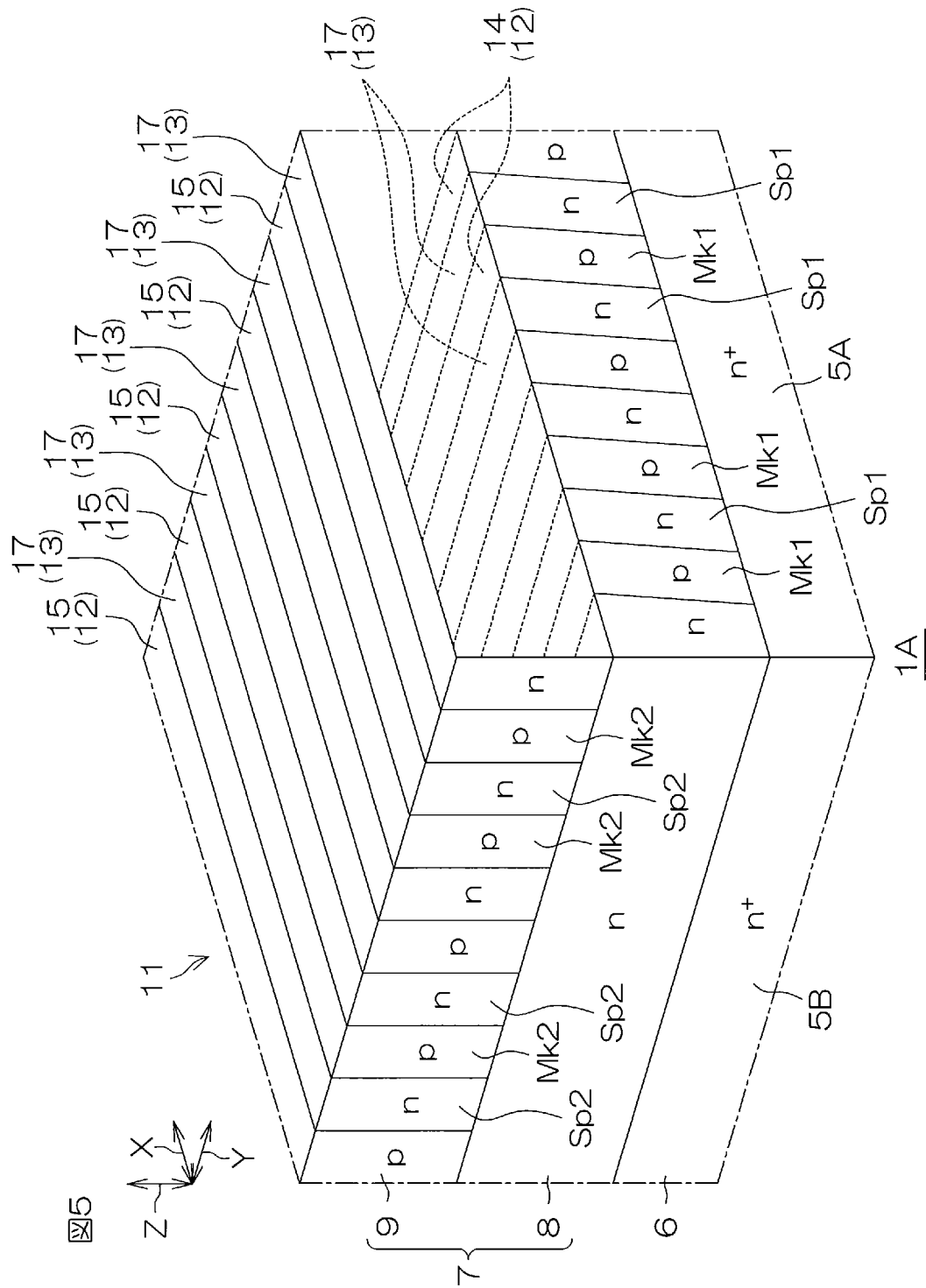
[請求項19] 前記装飾パターンは、前記第 2 マークとは異なるレイアウトで前記第 2 側面に形成された第 2 導電型の第 2 相異マークを含む、請求項 6～18 のいずれか一項に記載の半導体装置。

[請求項20] 前記第 2 相異マークは、前記第 2 方向に沿って帯状に延び、前記半導体層の厚さ方向に前記第 1 マークに重なっている、請求項 19 に記載の半導体装置。

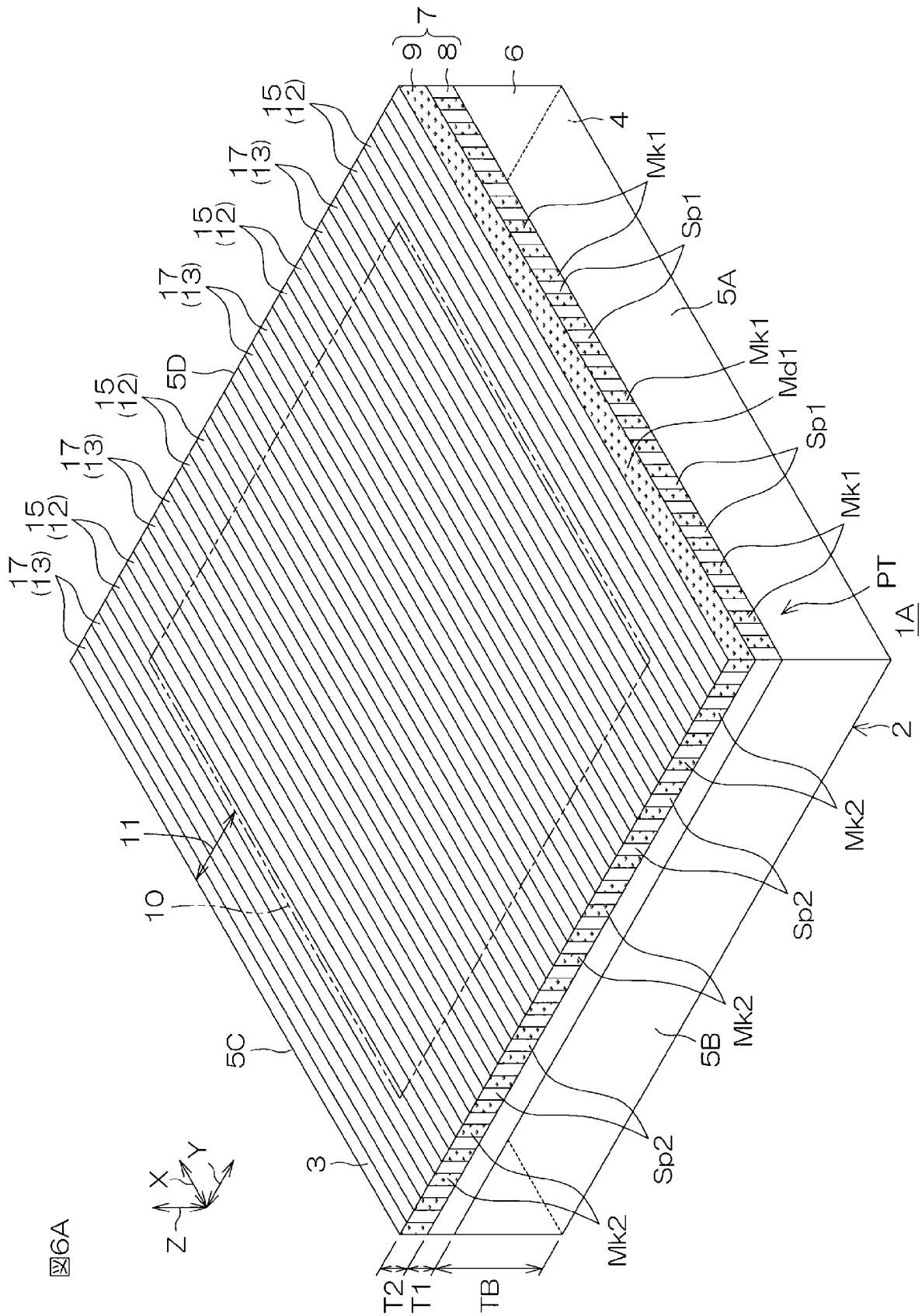
[図3A]



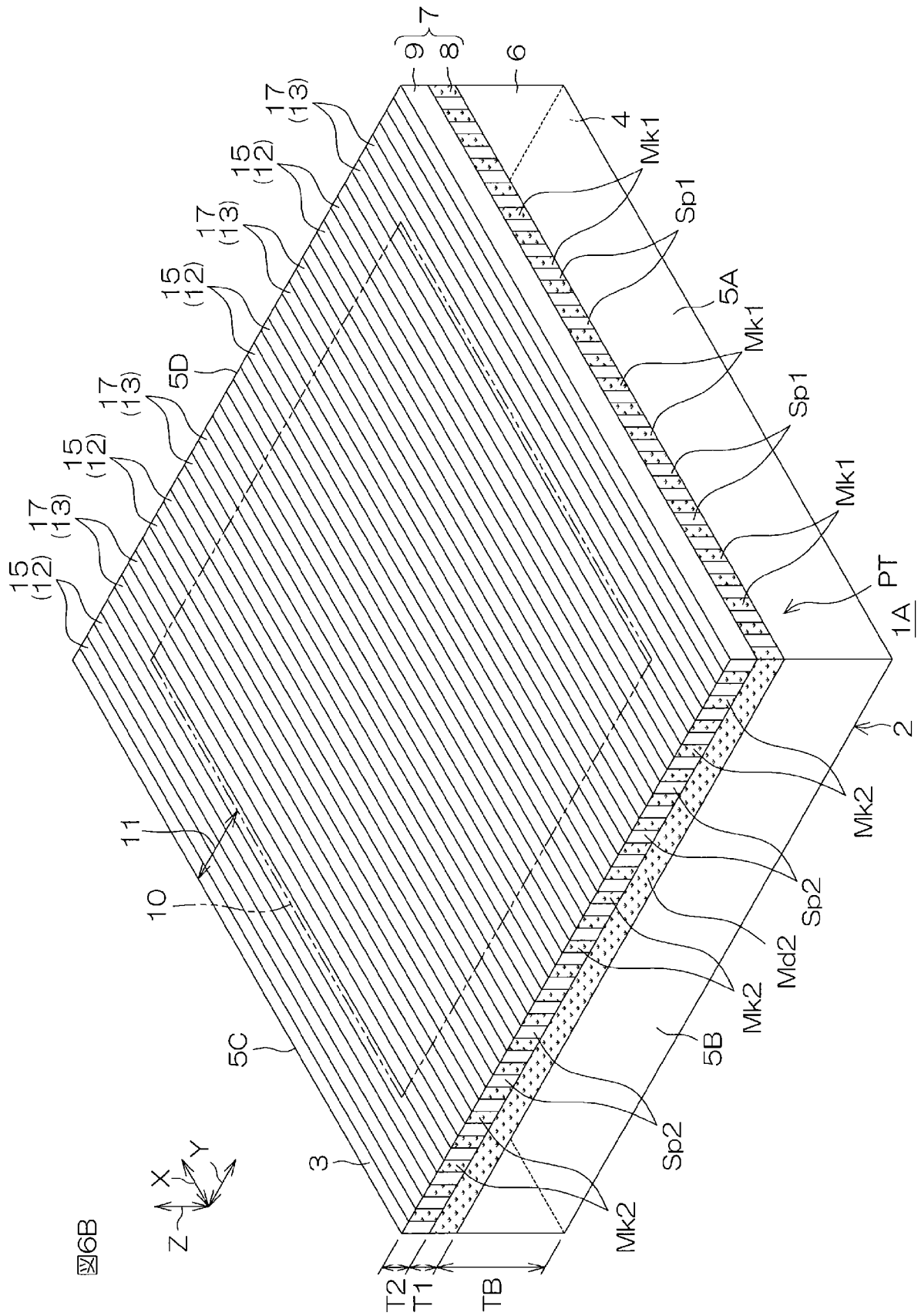
[図5]



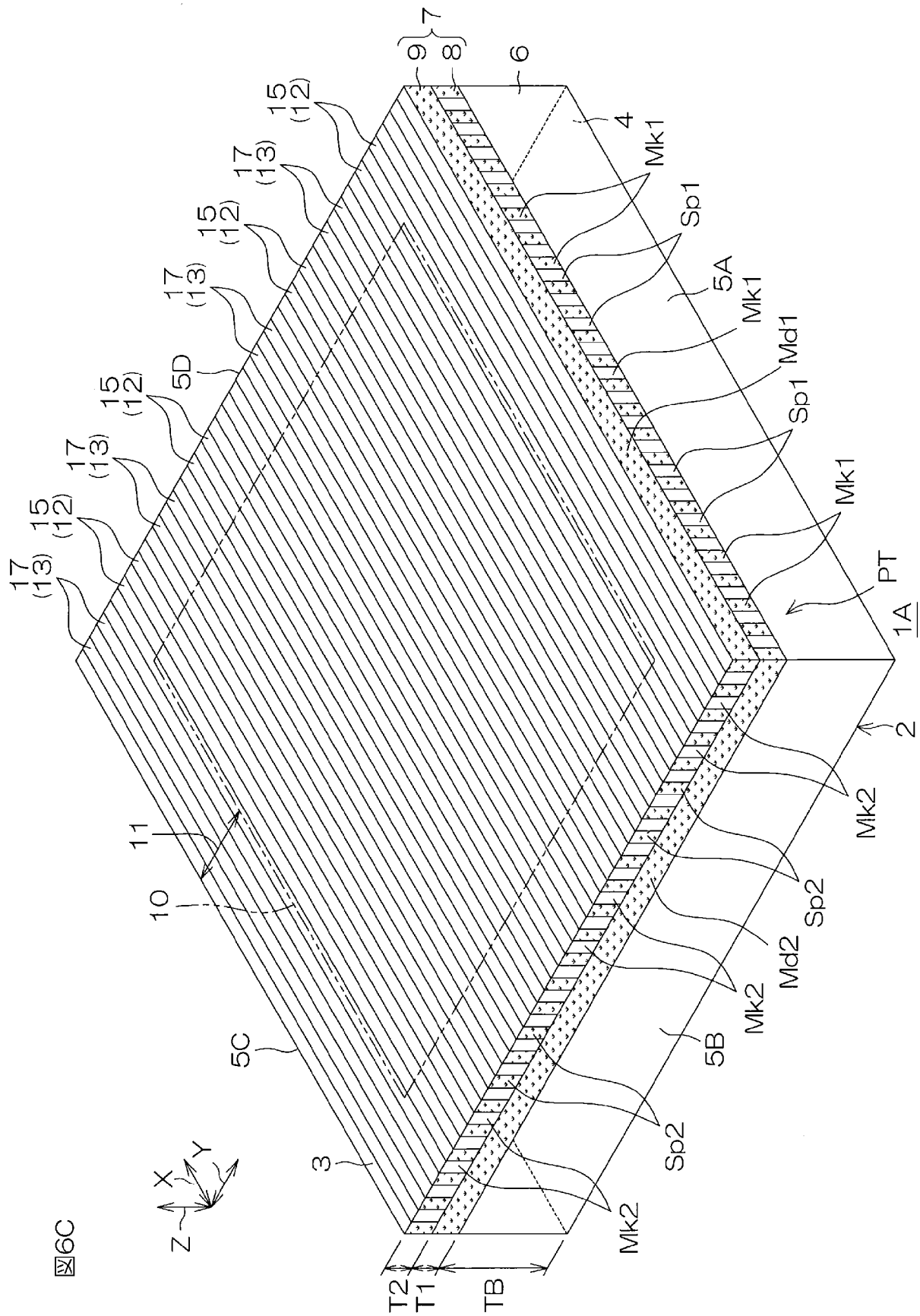
[図6A]



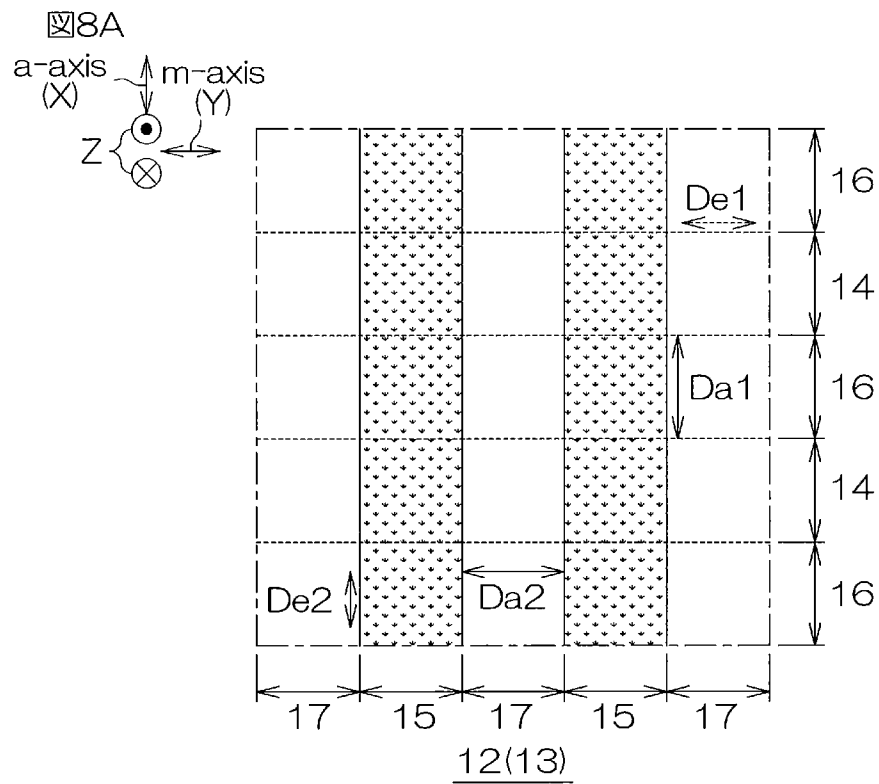
[図6B]



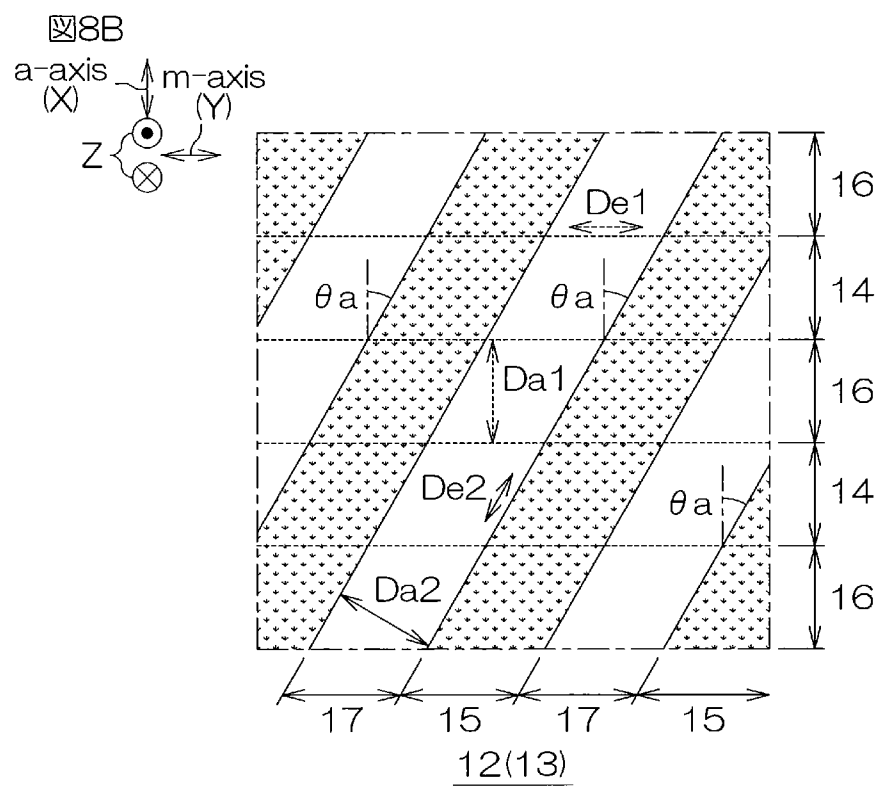
[図6C]



[図8A]



[図8B]



[図9]

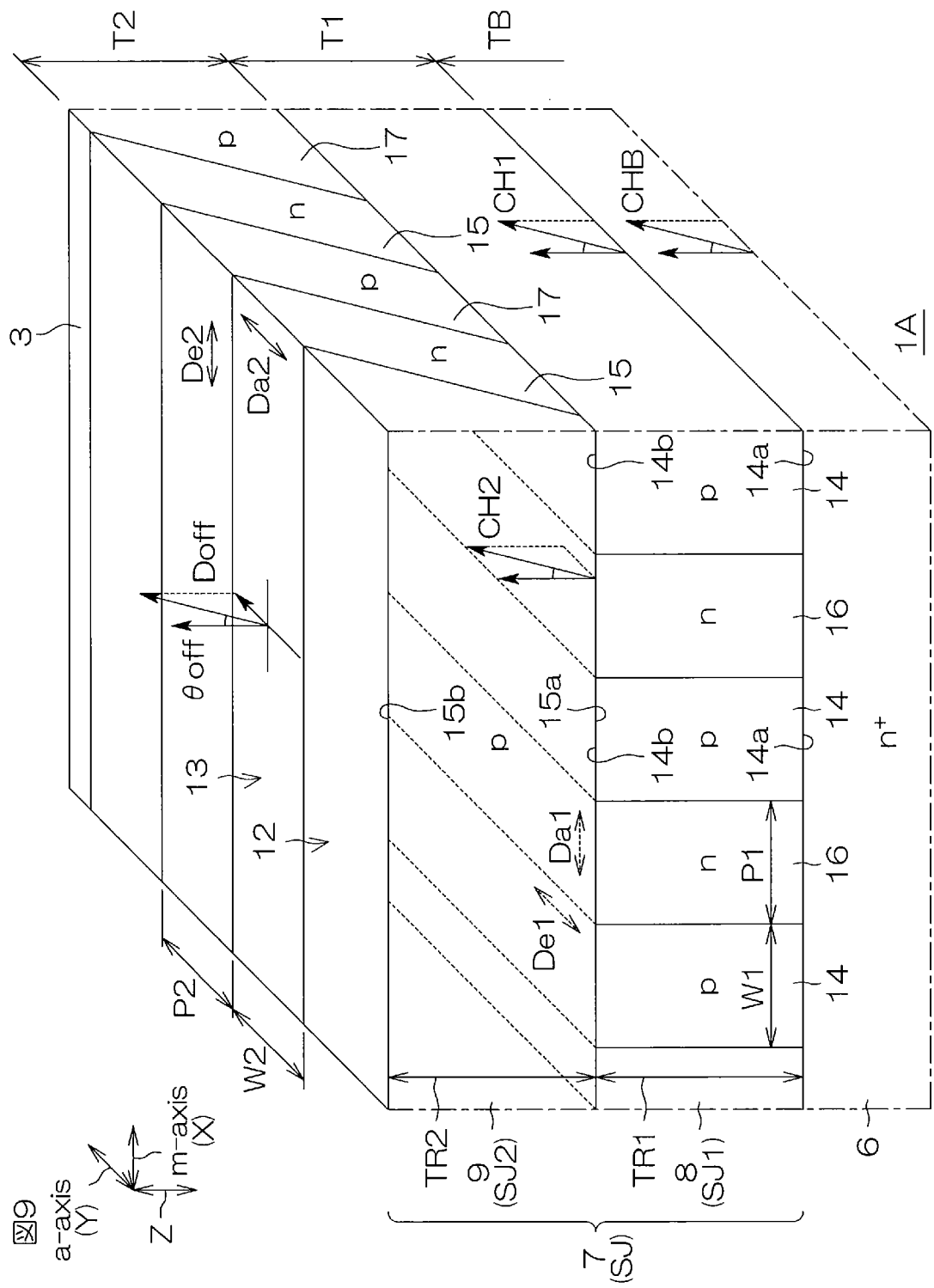


図10A

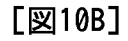
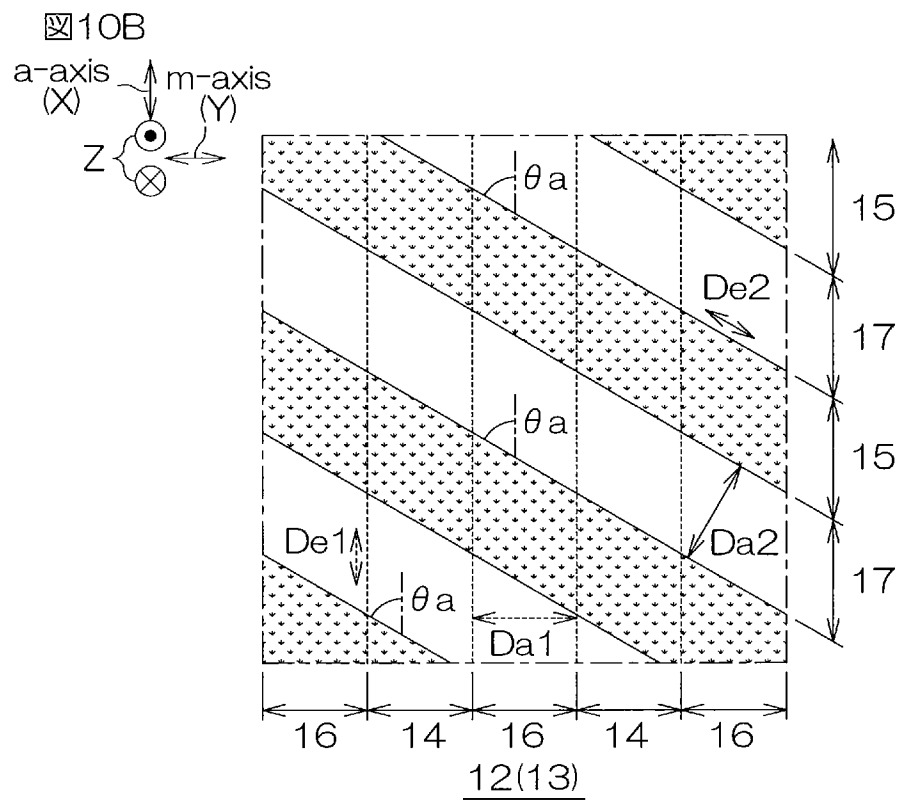
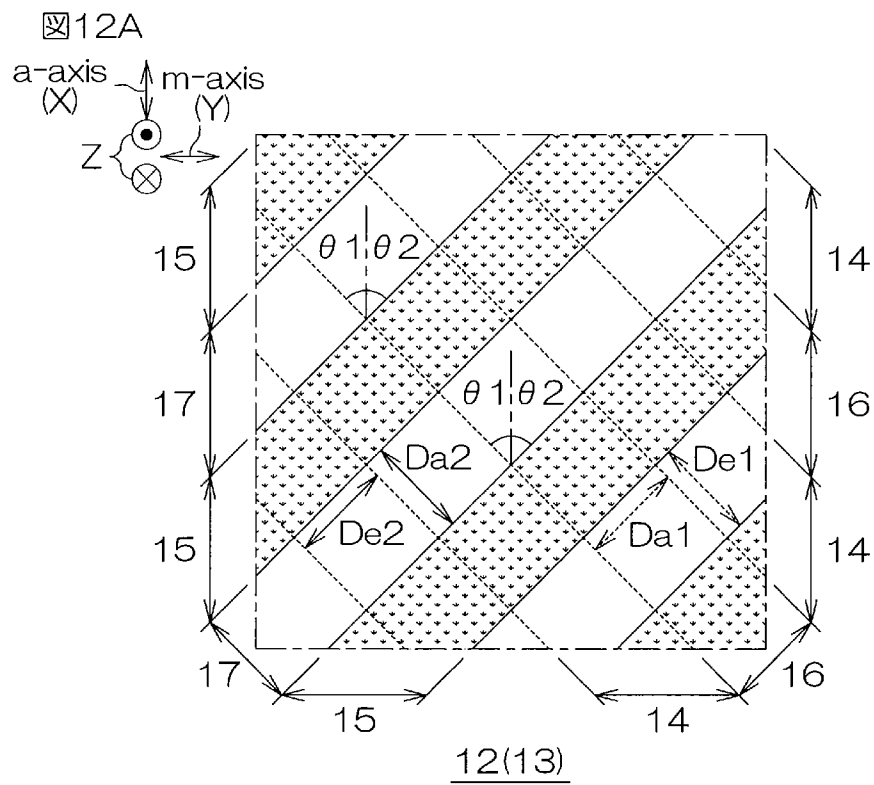


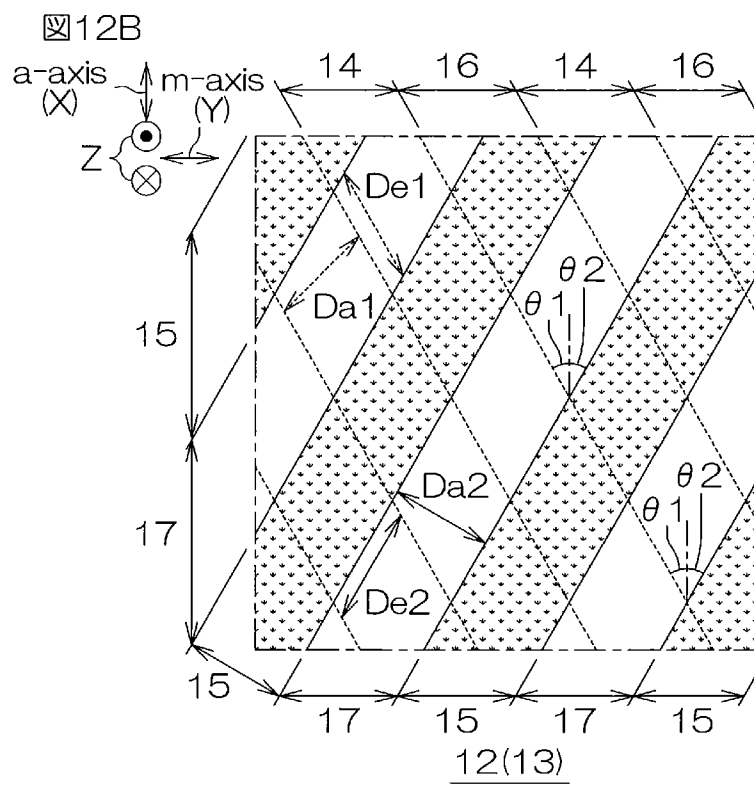
图 10B



[図12A]

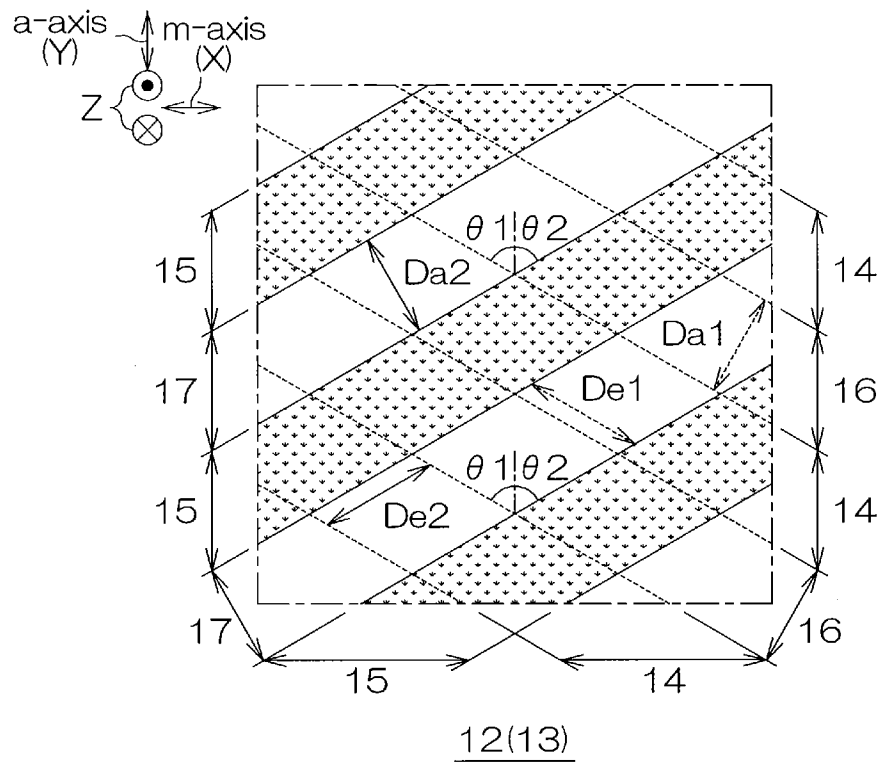


[図12B]

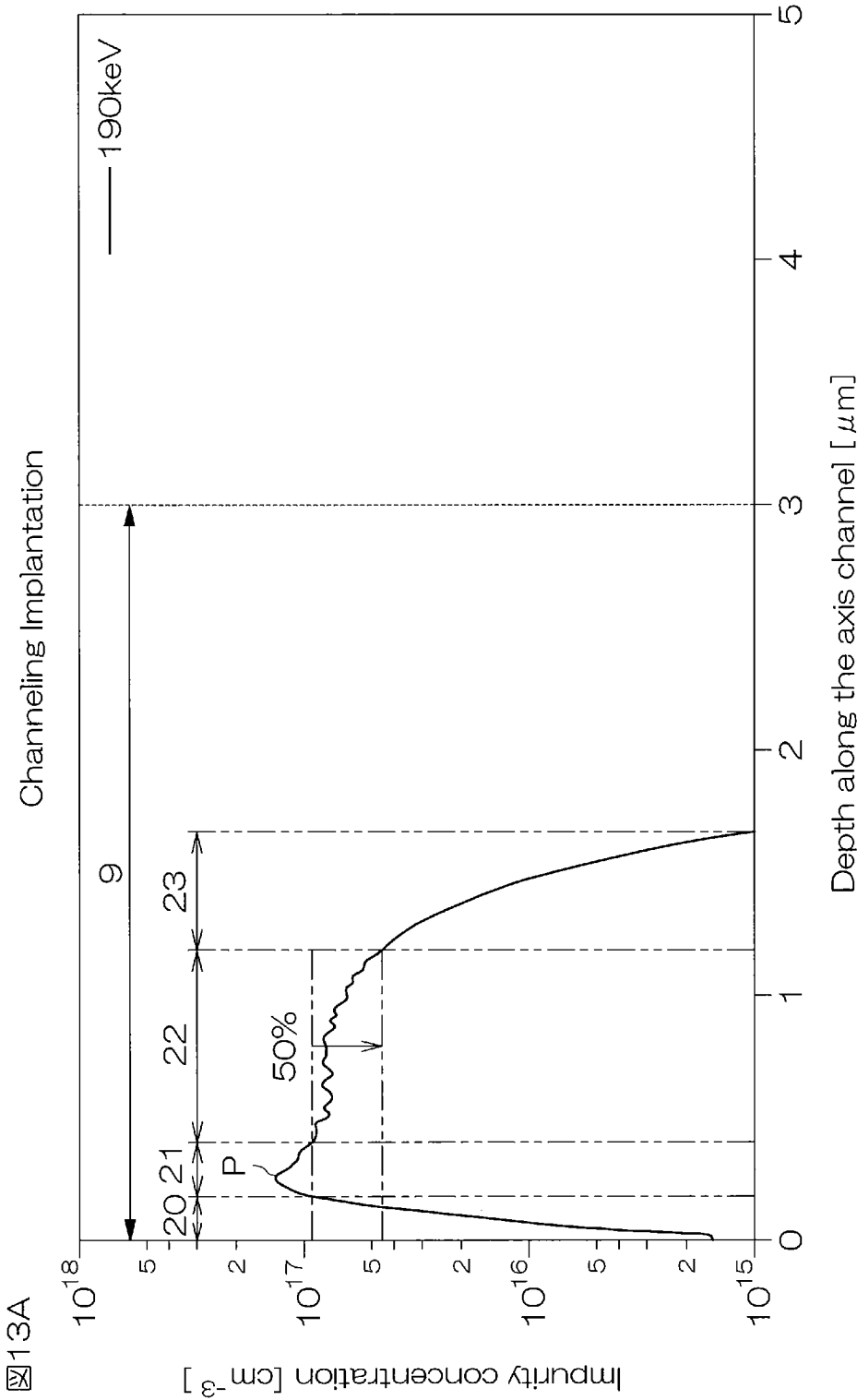


[図12C]

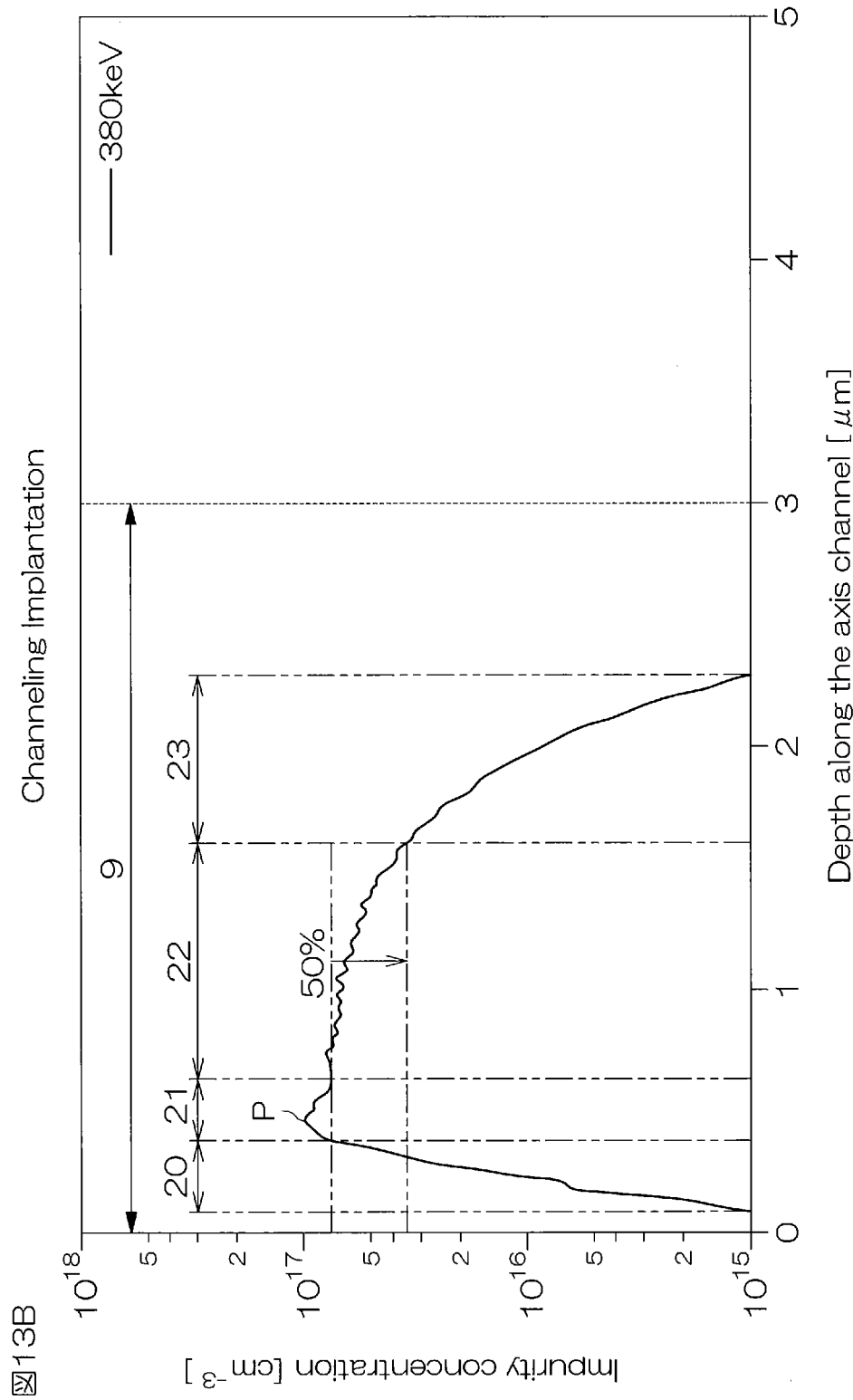
図12C



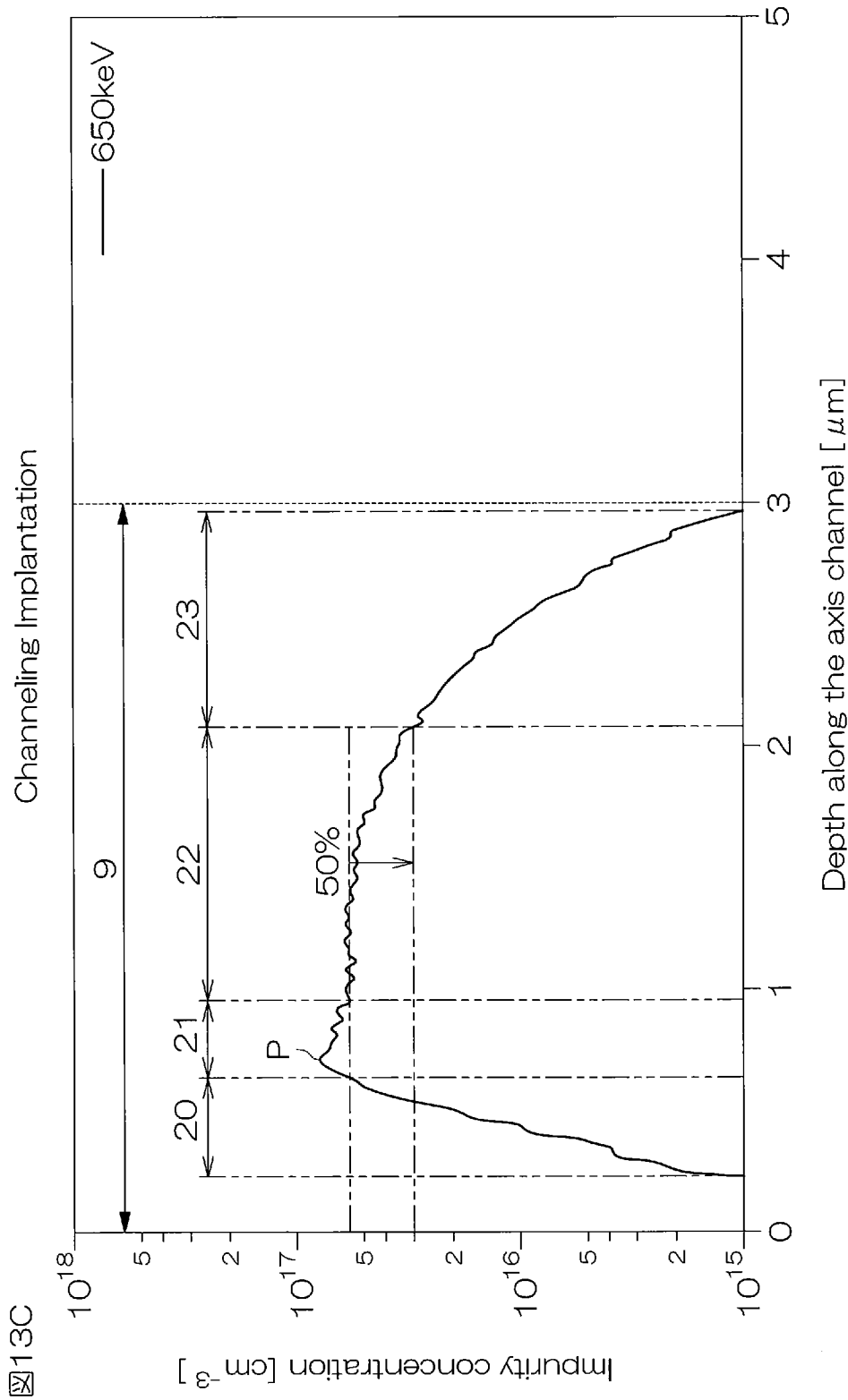
[図13A]



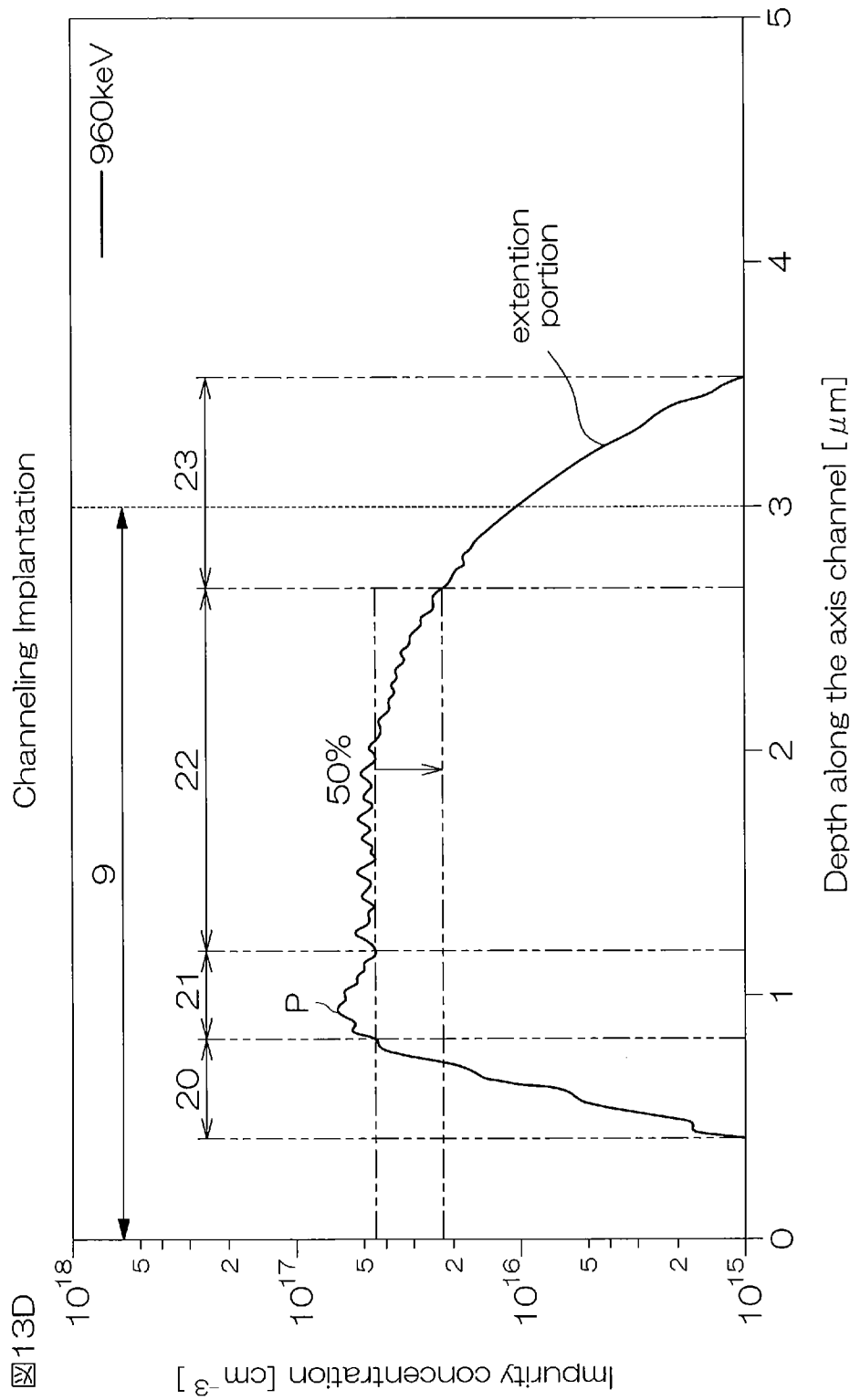
[図13B]



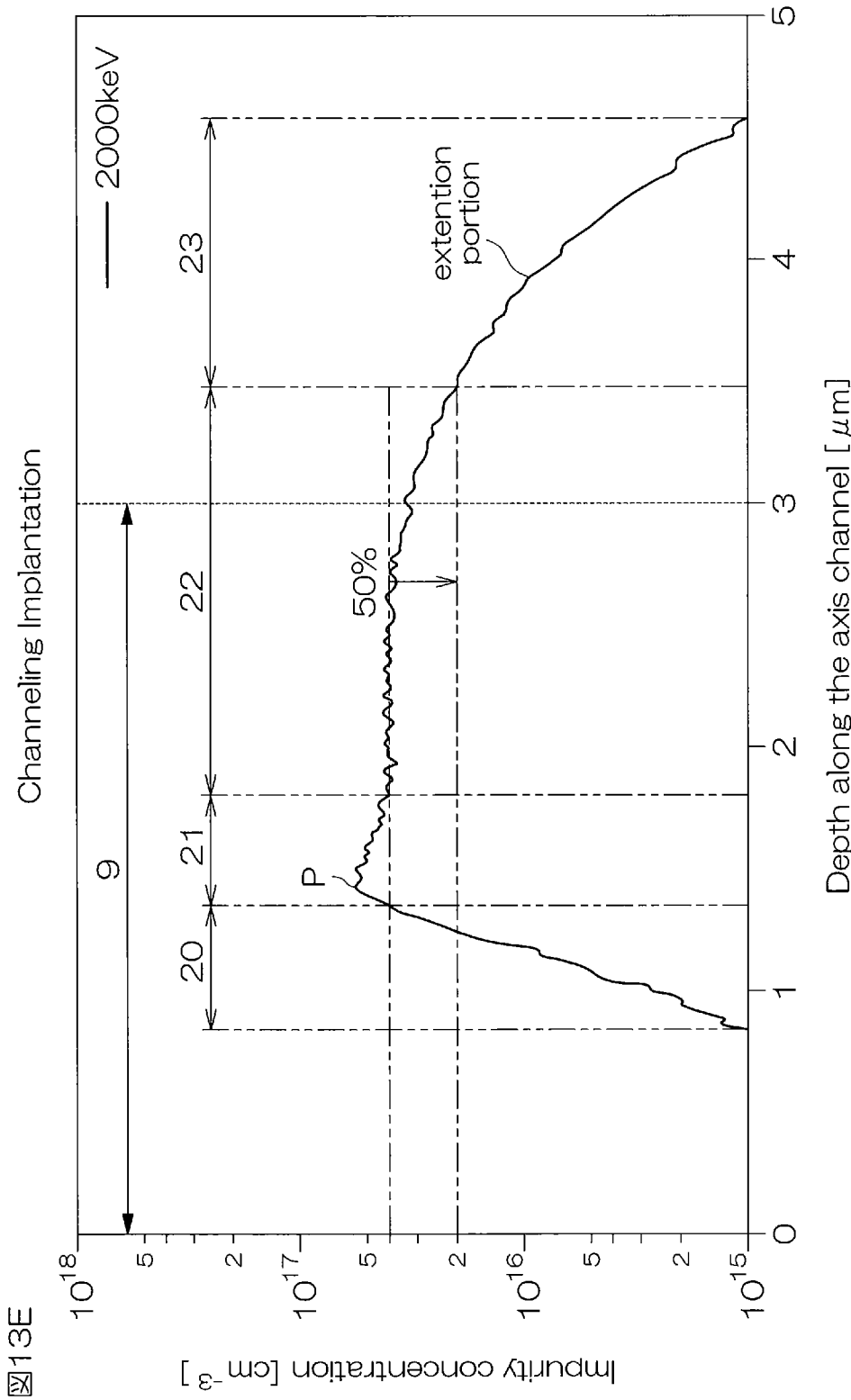
[図13C]



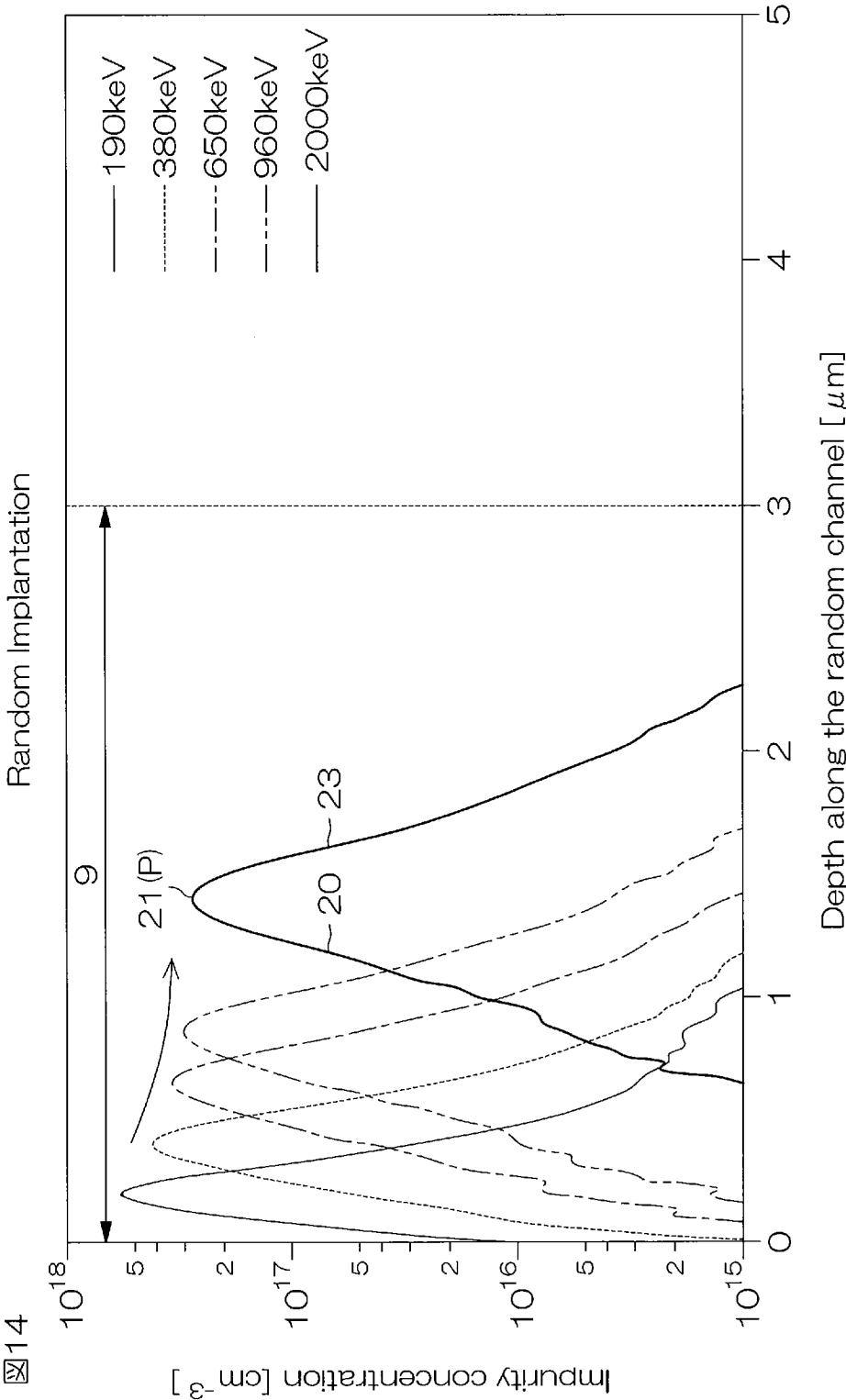
[図13D]



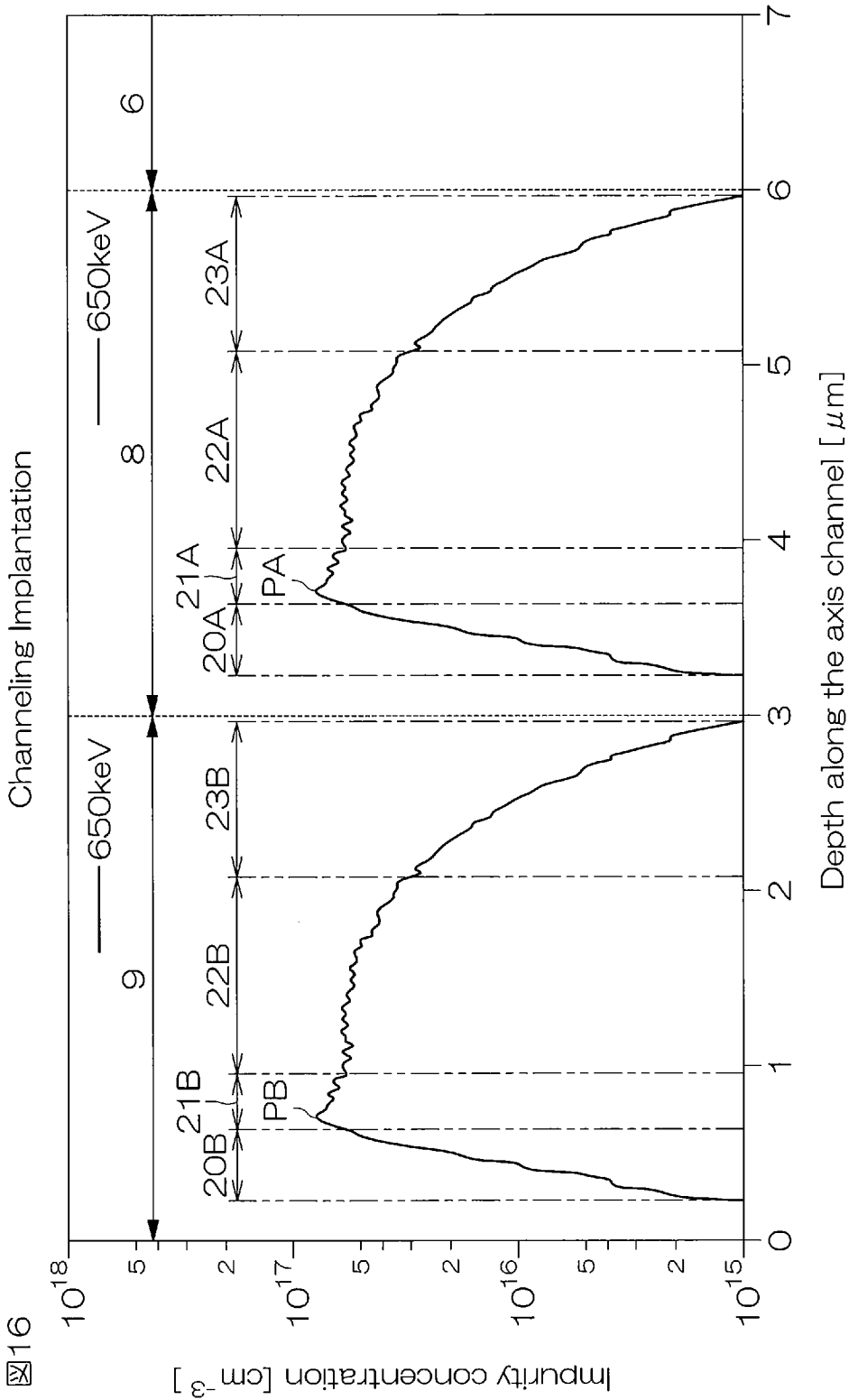
[図13E]



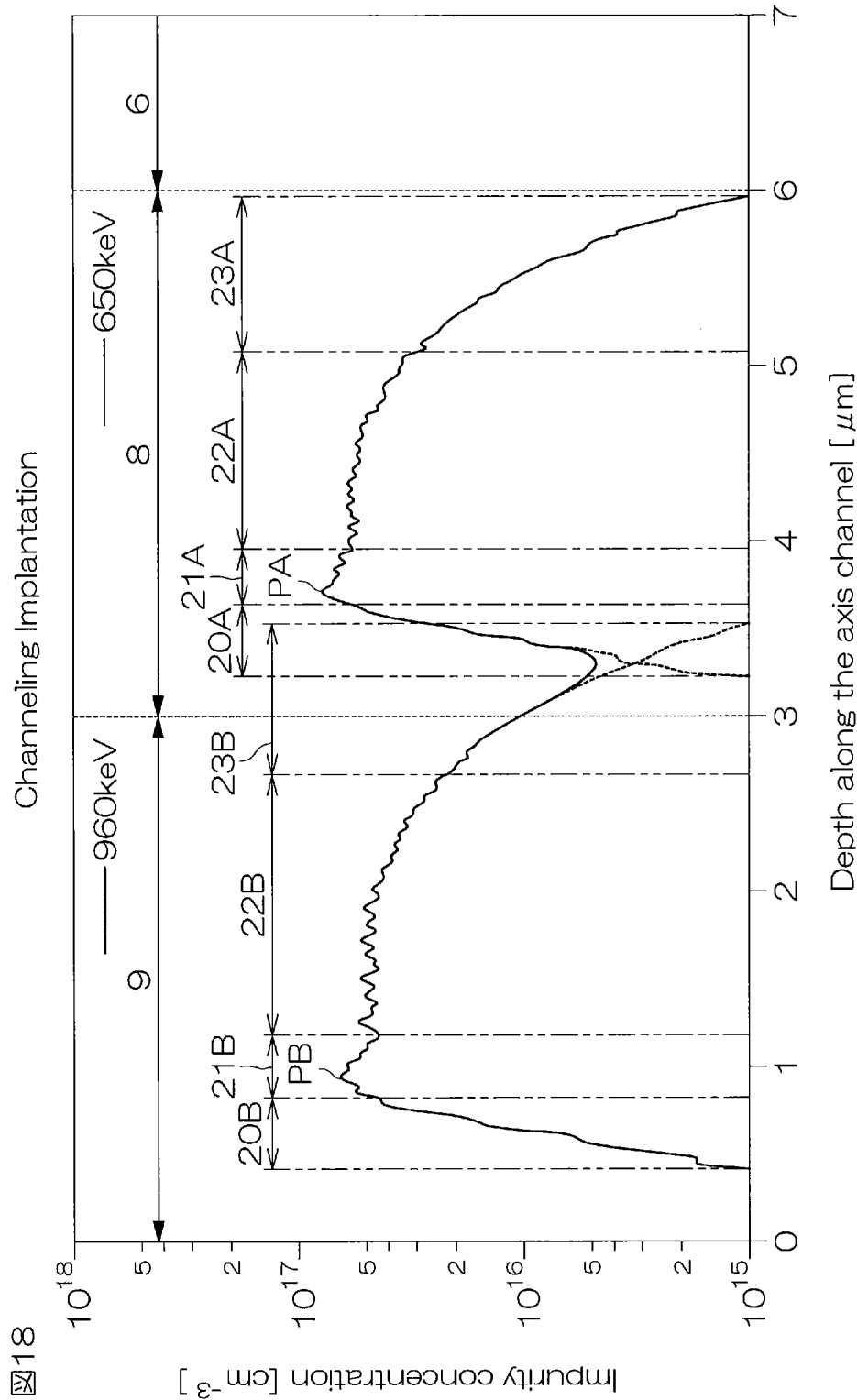
[図14]



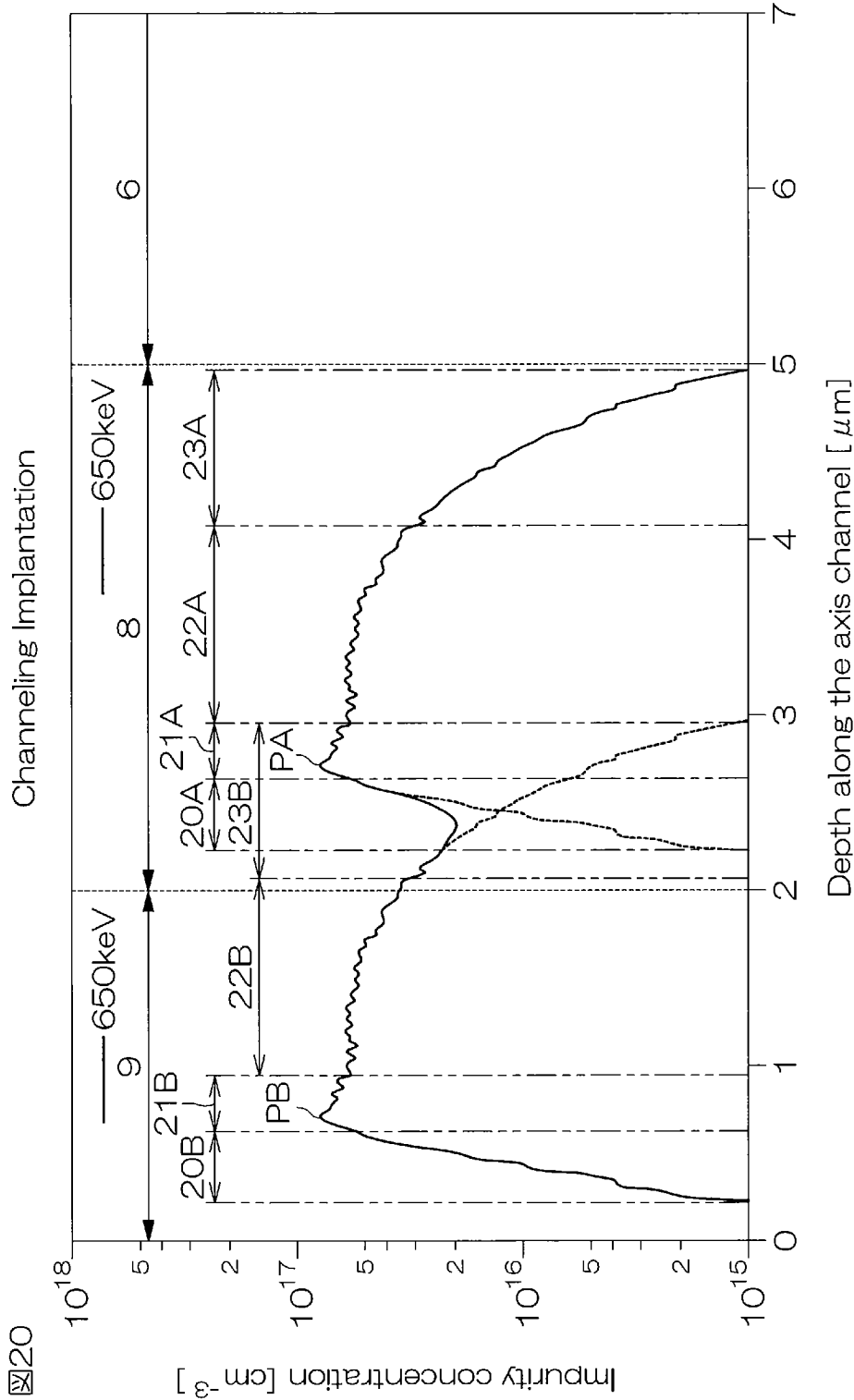
[図16]



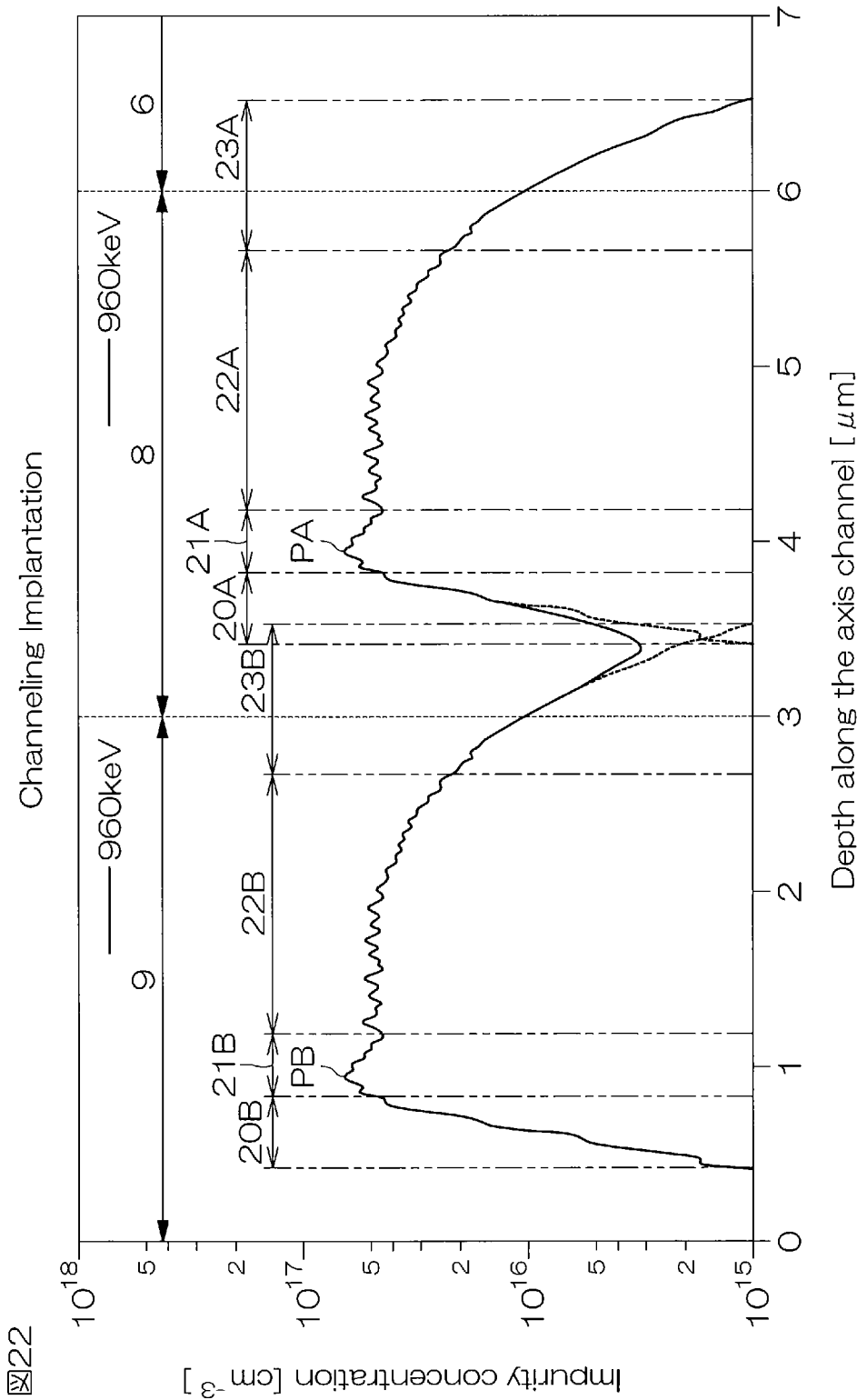
[図18]



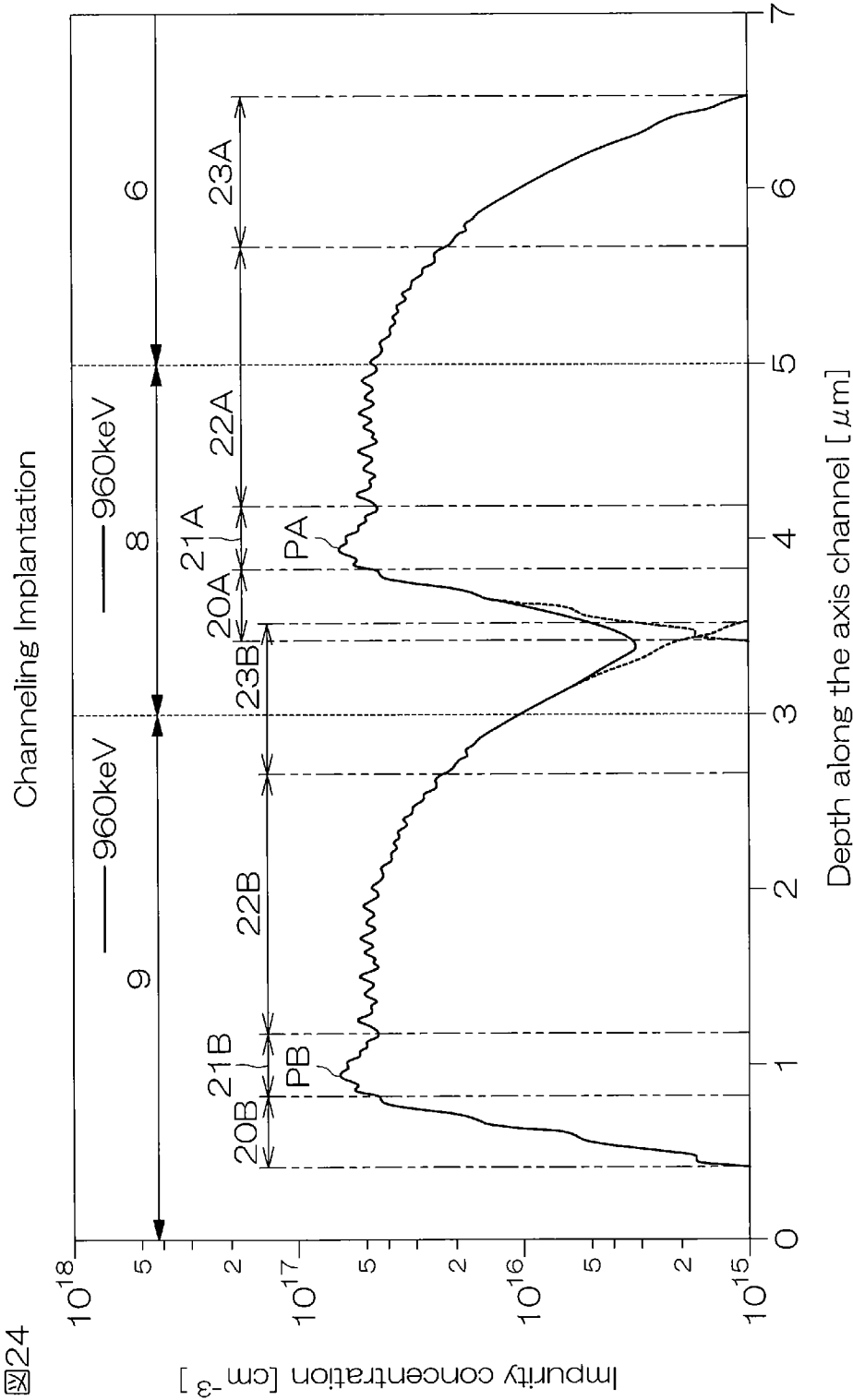
[図20]



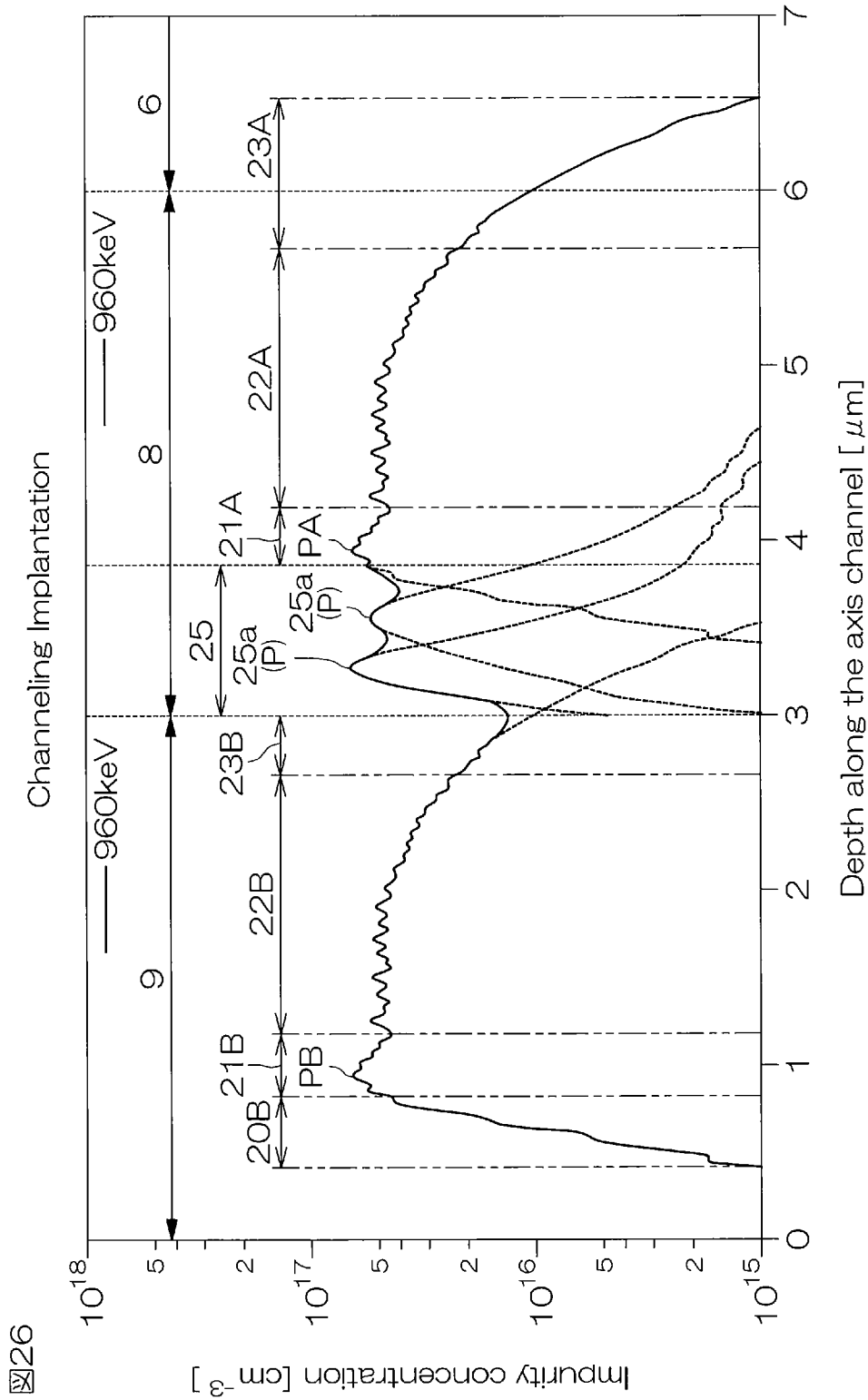
[図22]



[図24]



[図26]



[図28]

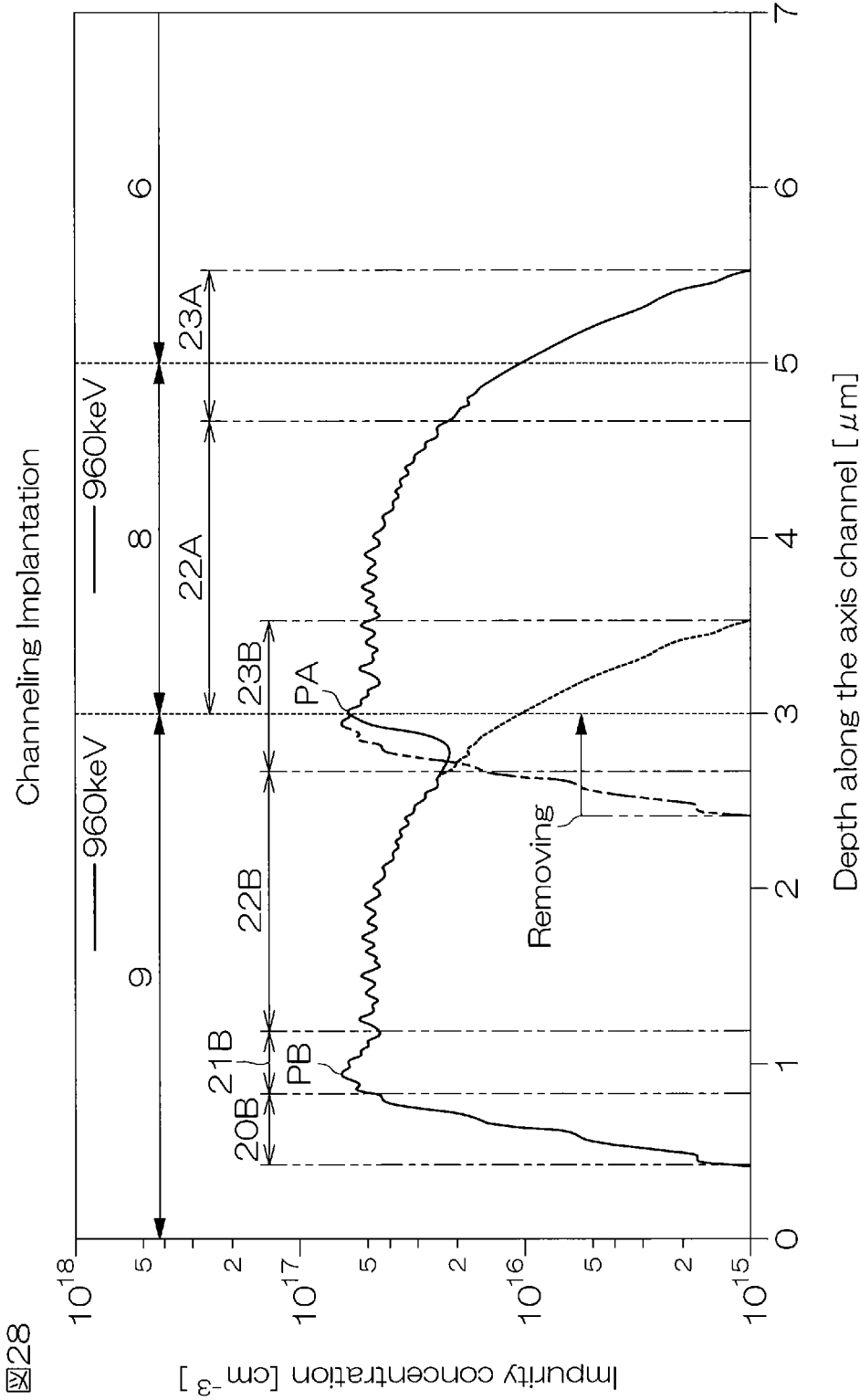
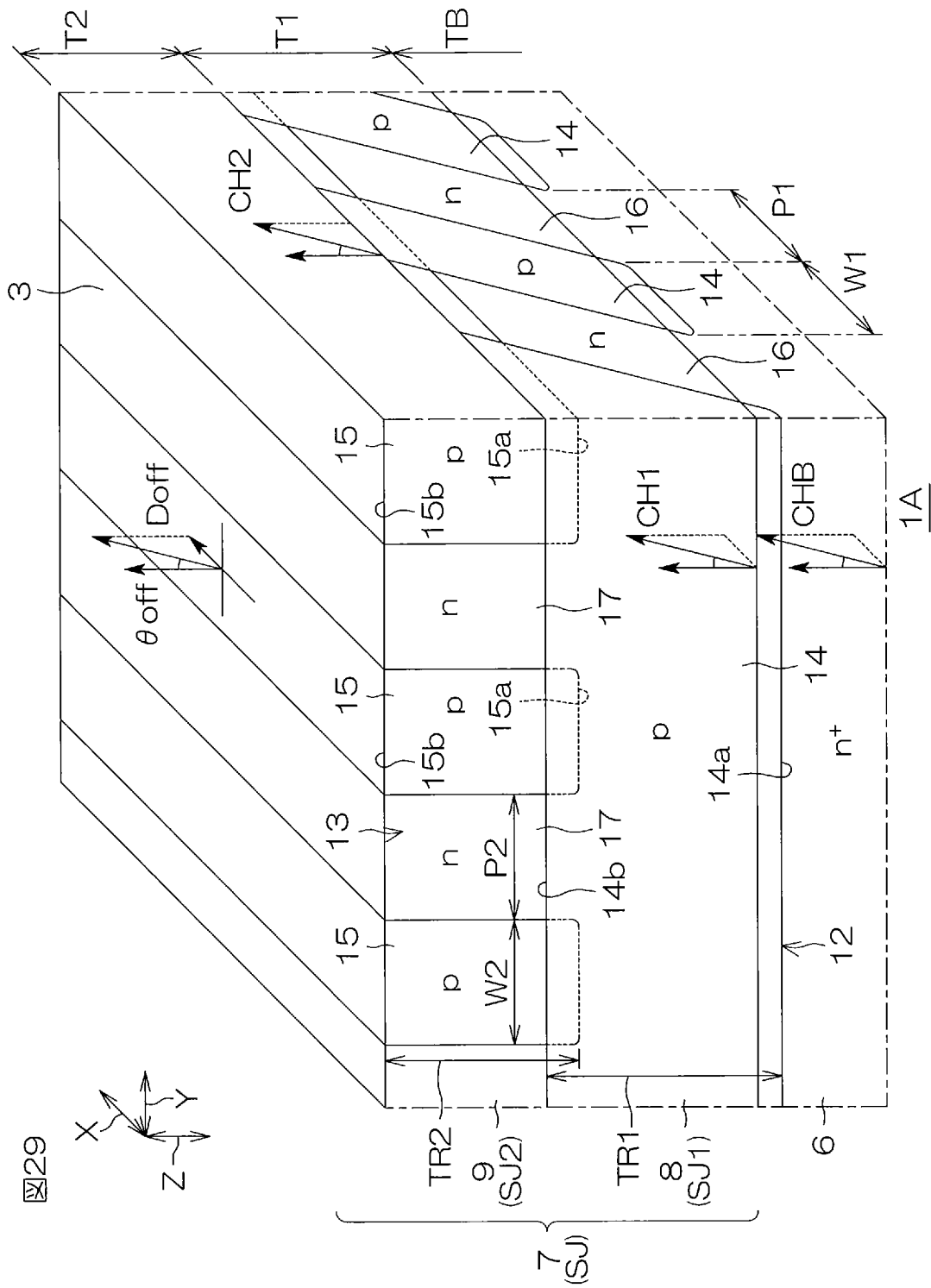
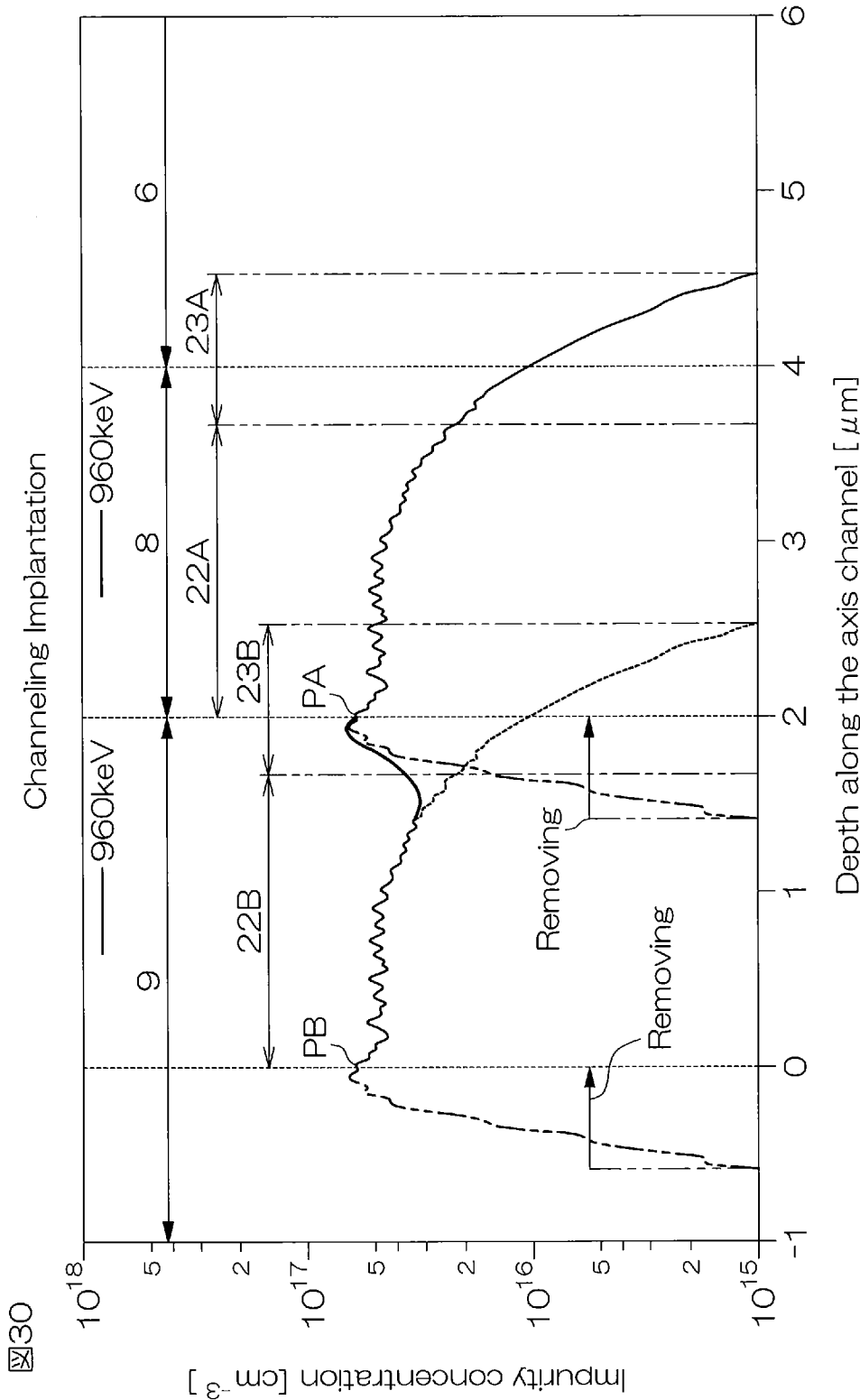


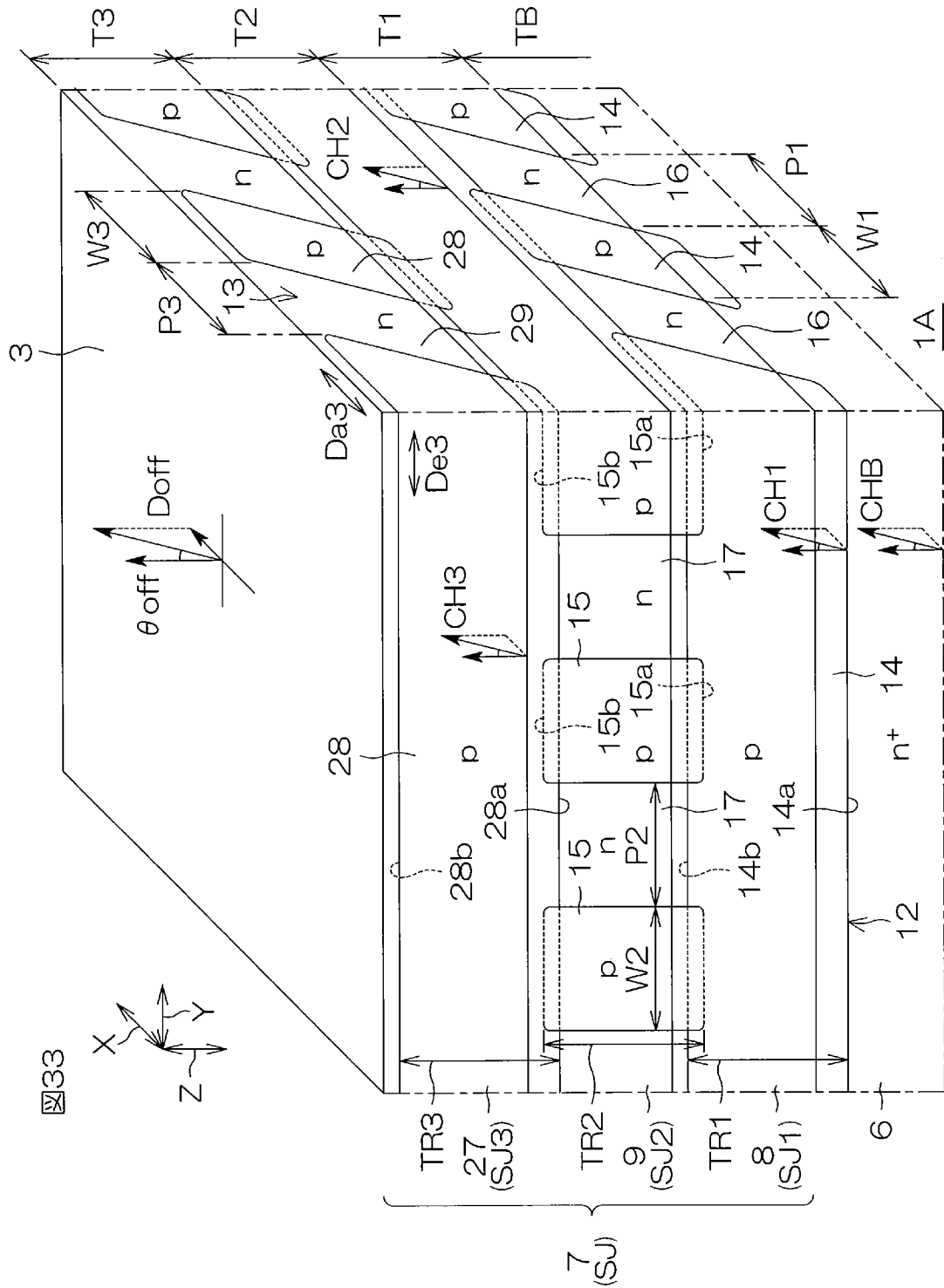
図28

[図29]

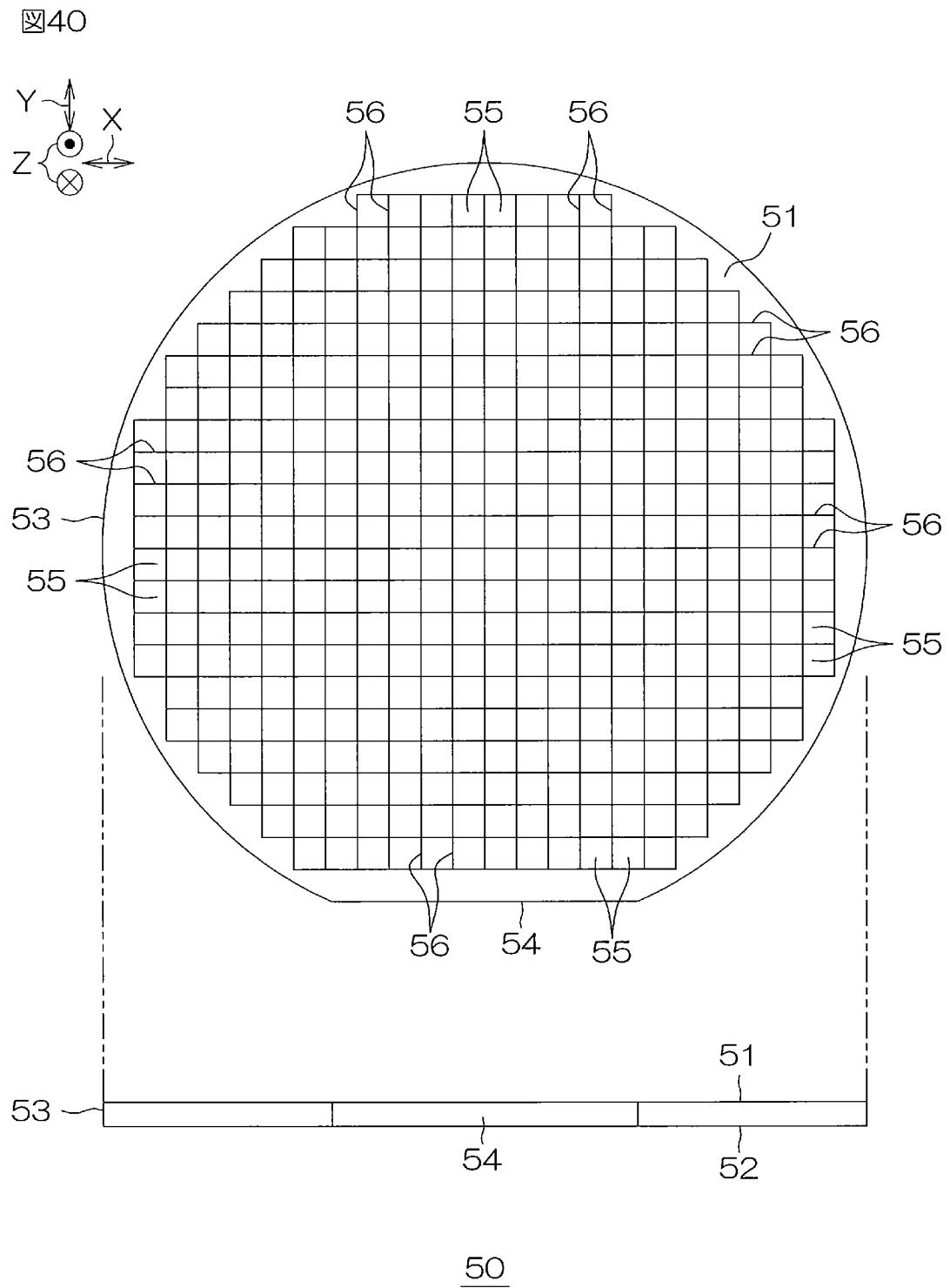


[図30]

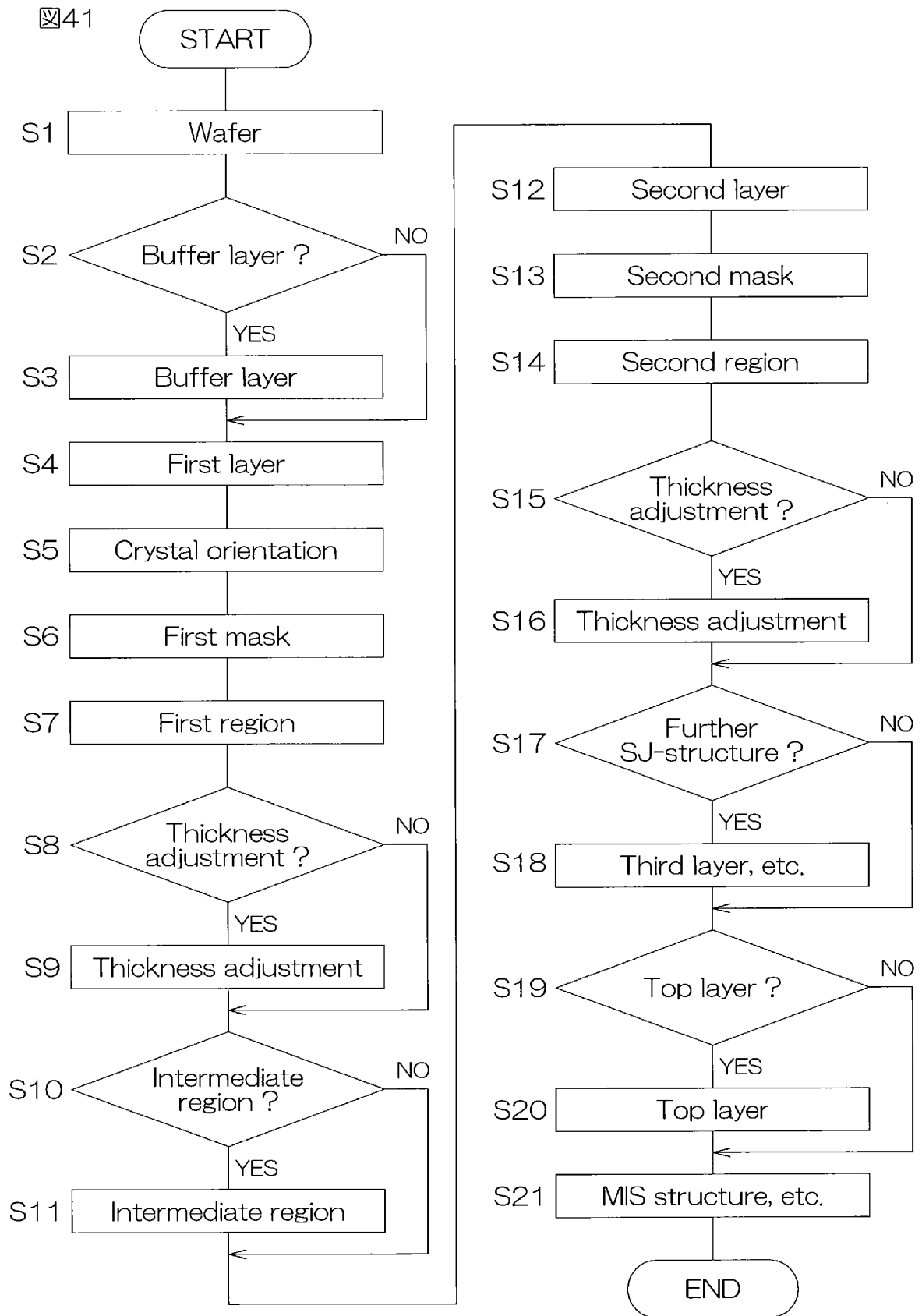




[図40]

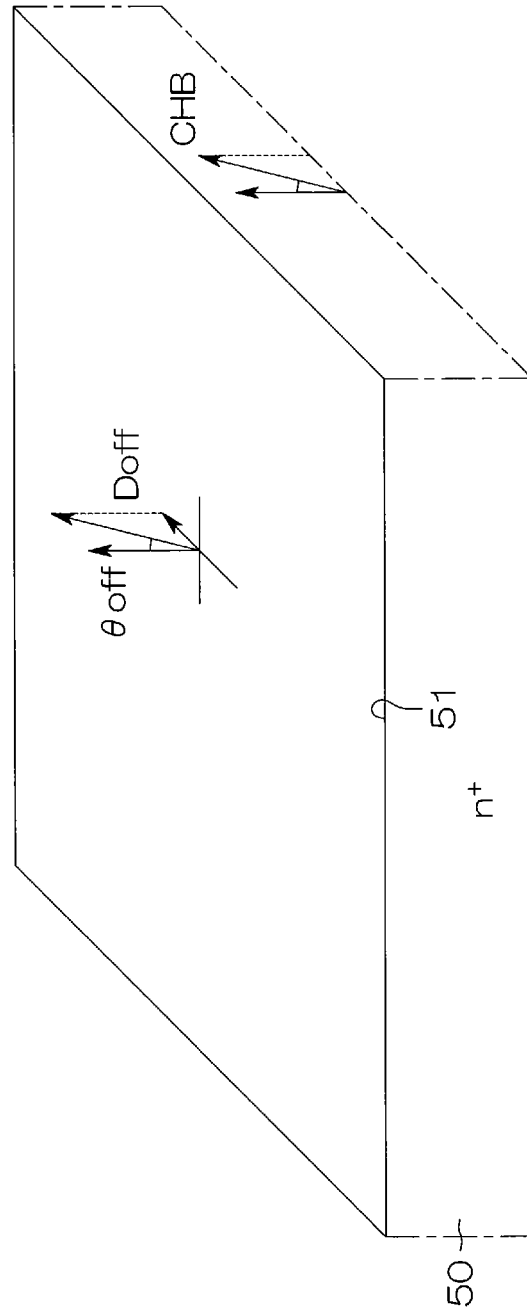
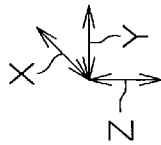


[図41]

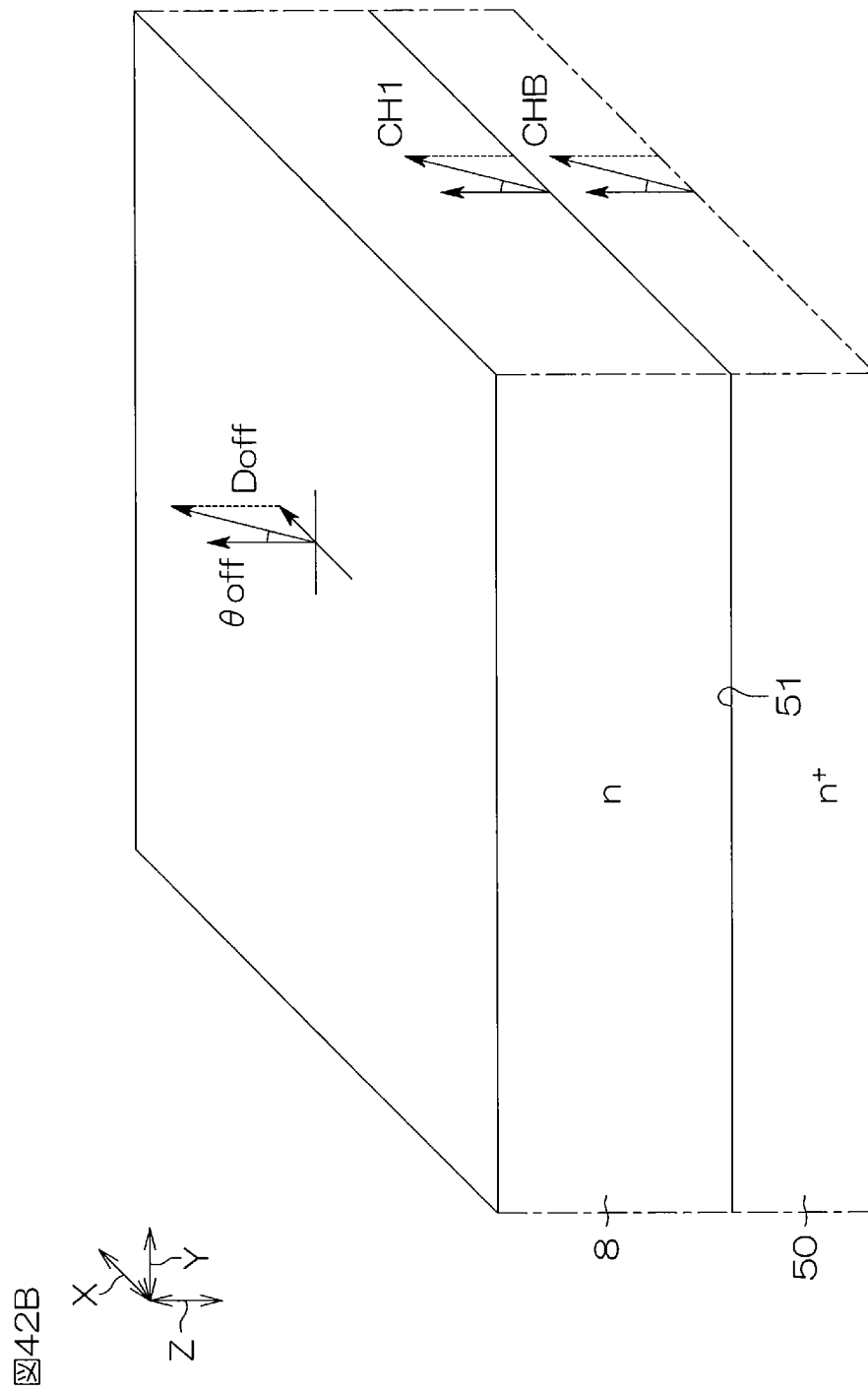


[図42A]

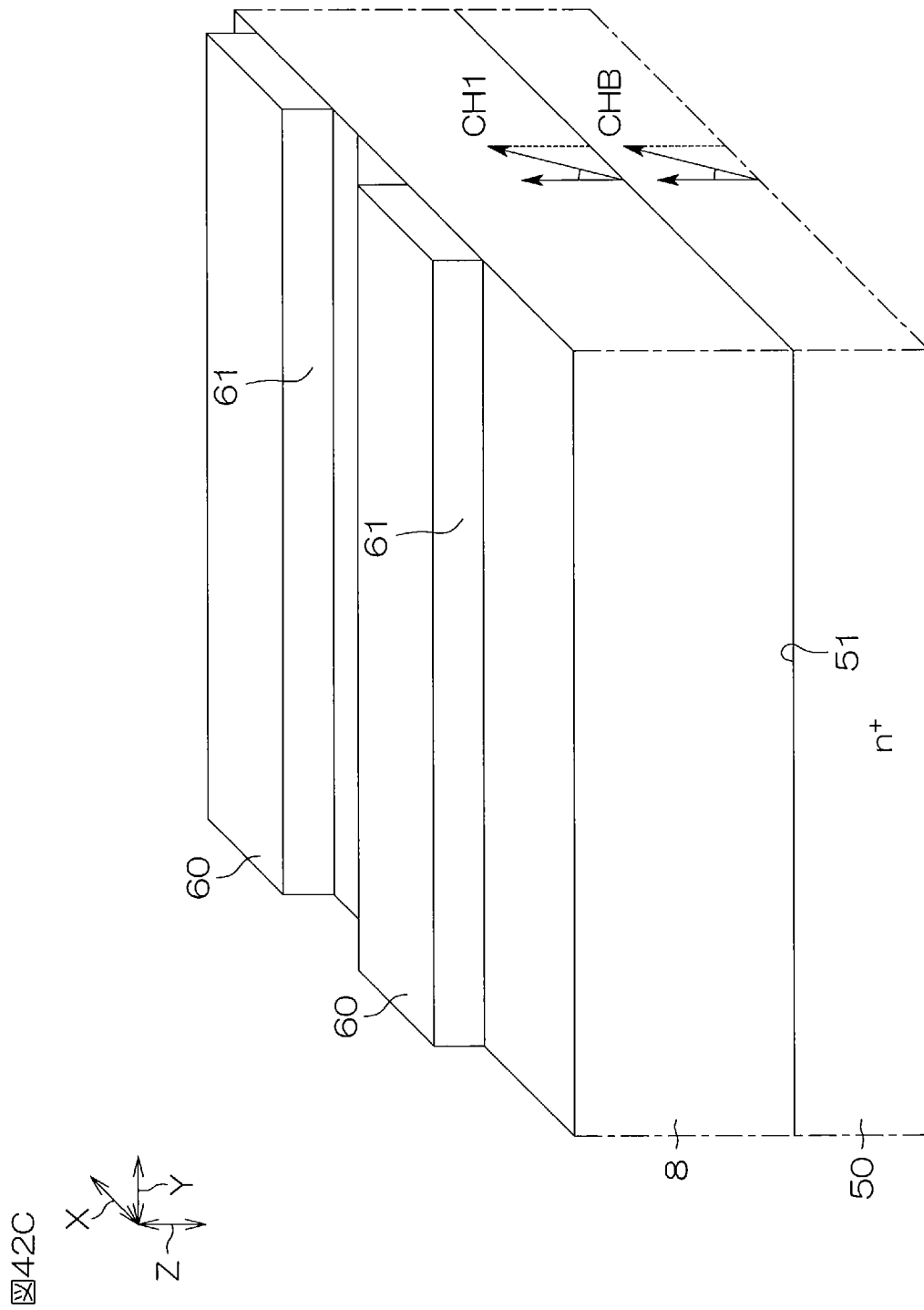
図42A



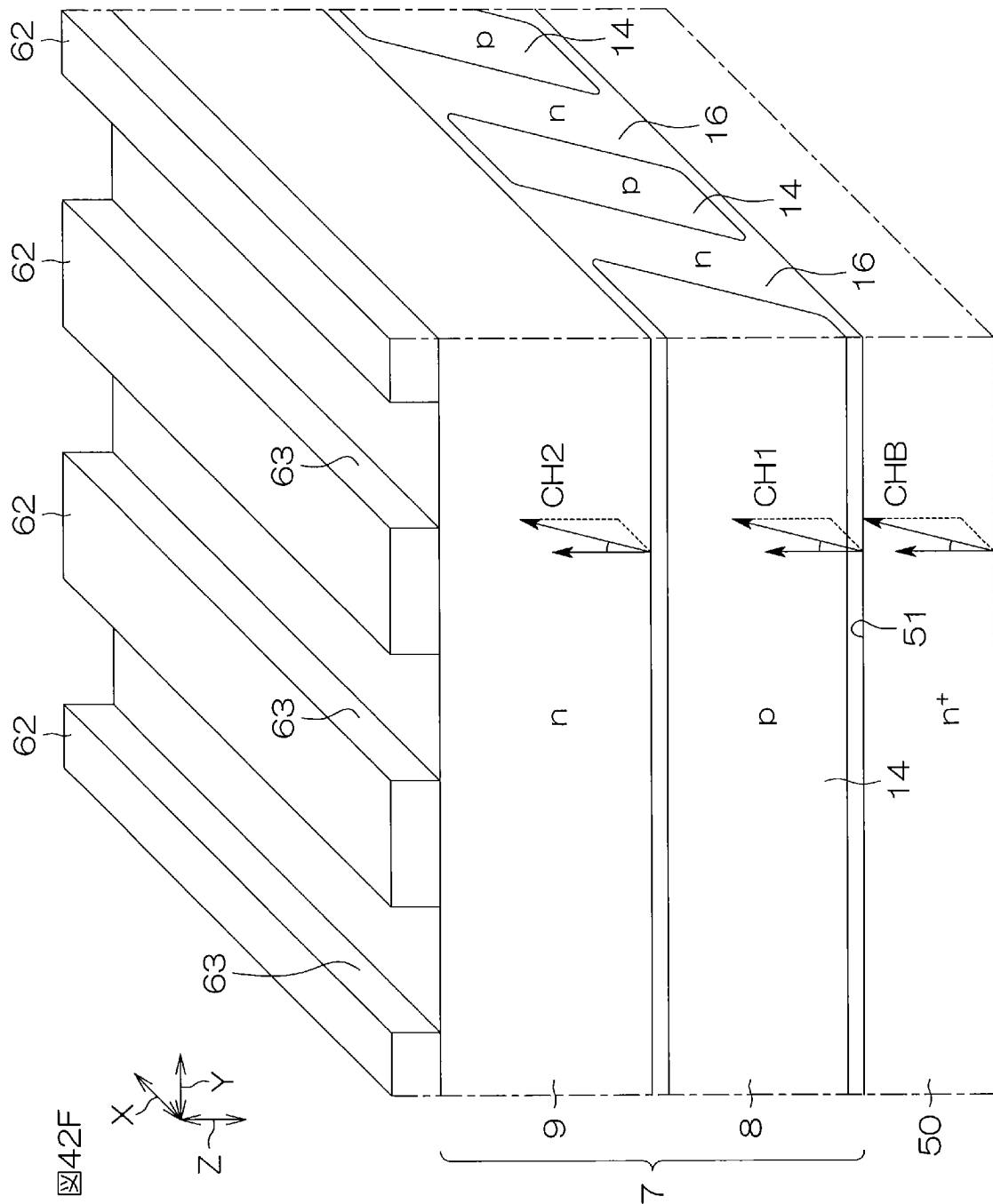
[図42B]



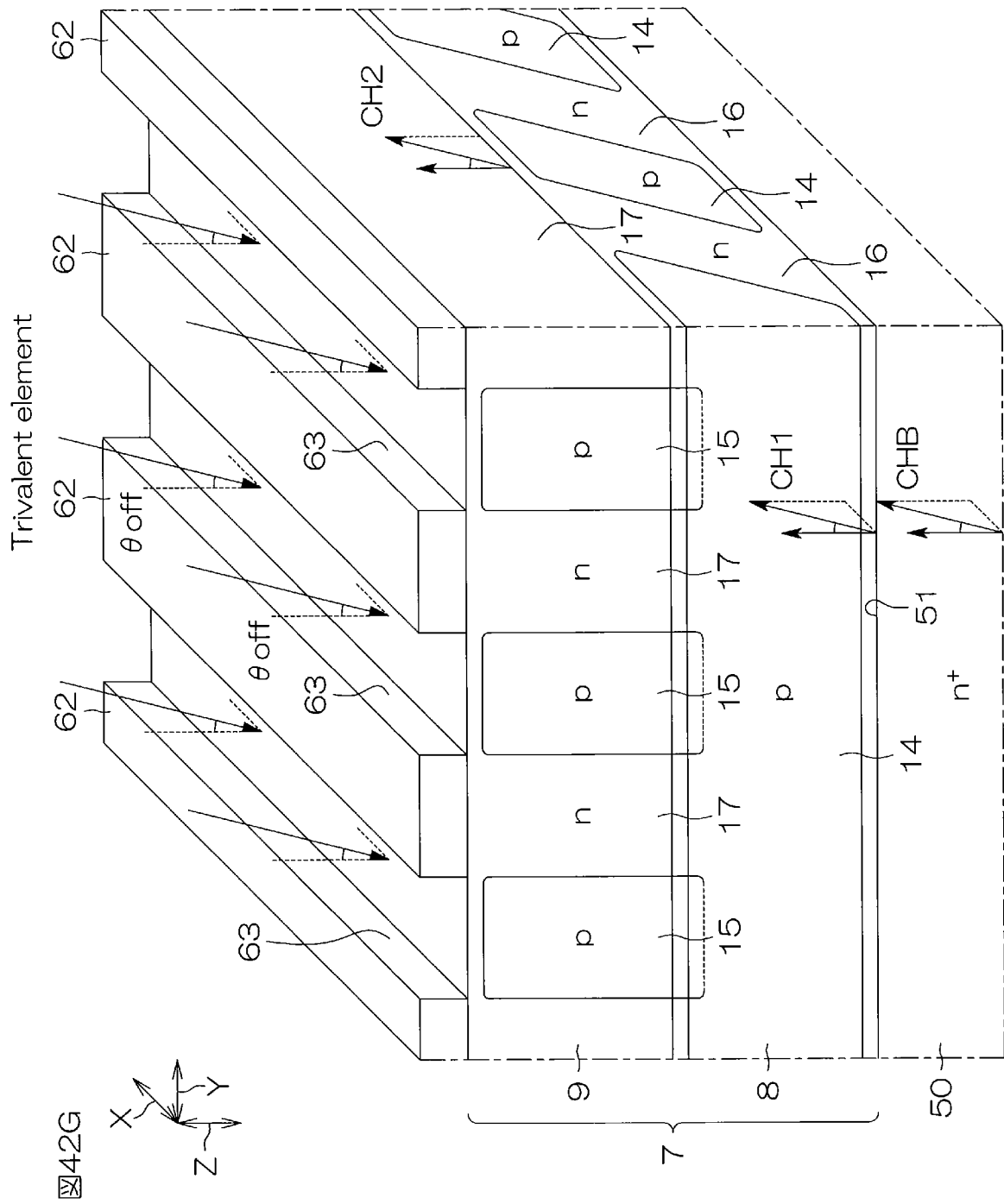
[図42C]



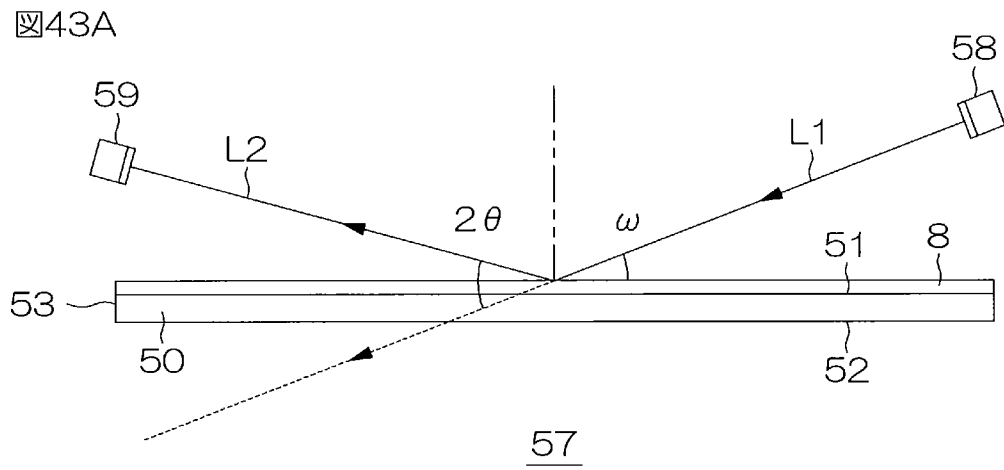
[図42F]



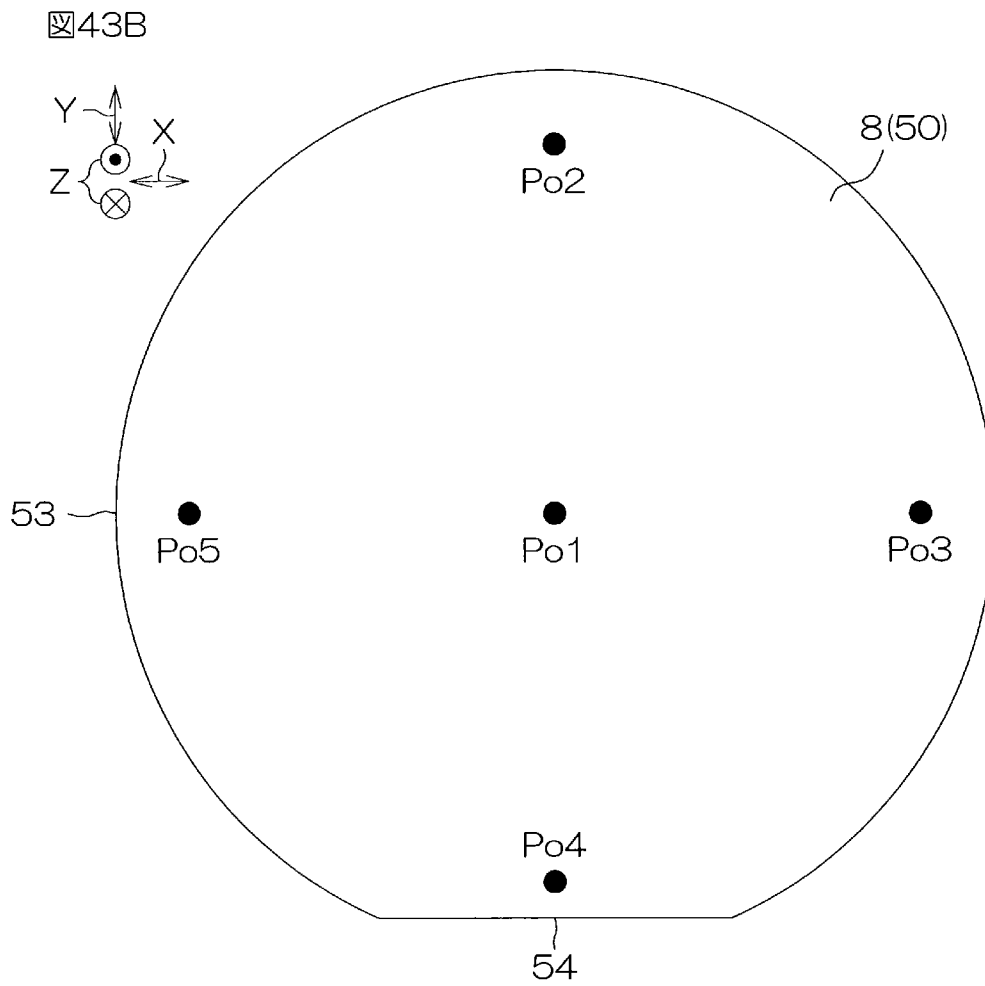
[図42G]



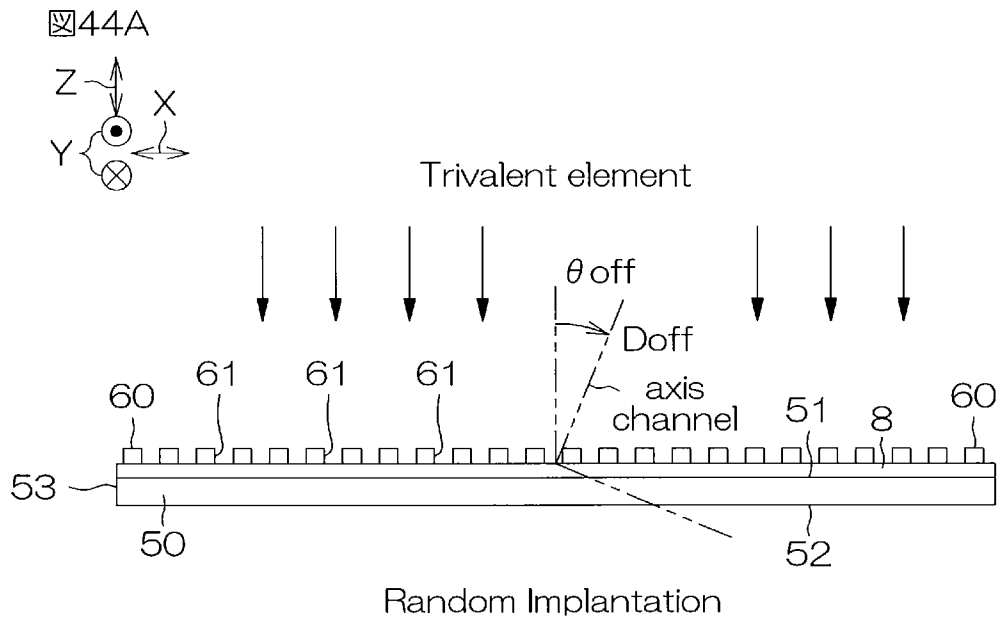
[図43A]



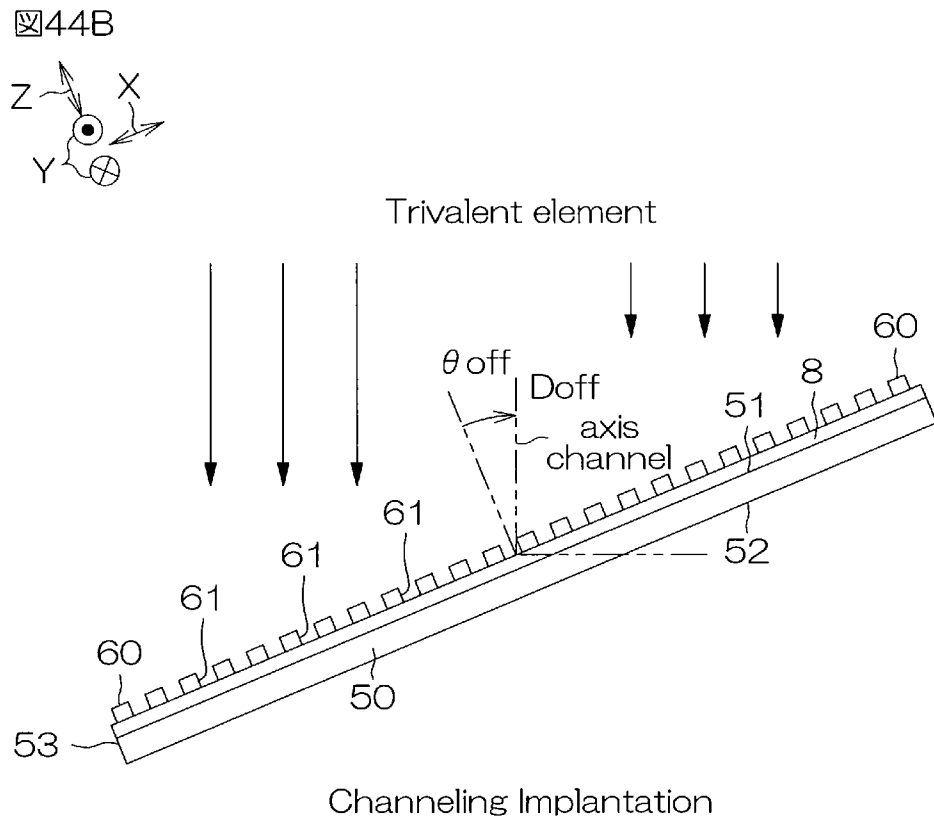
[図43B]



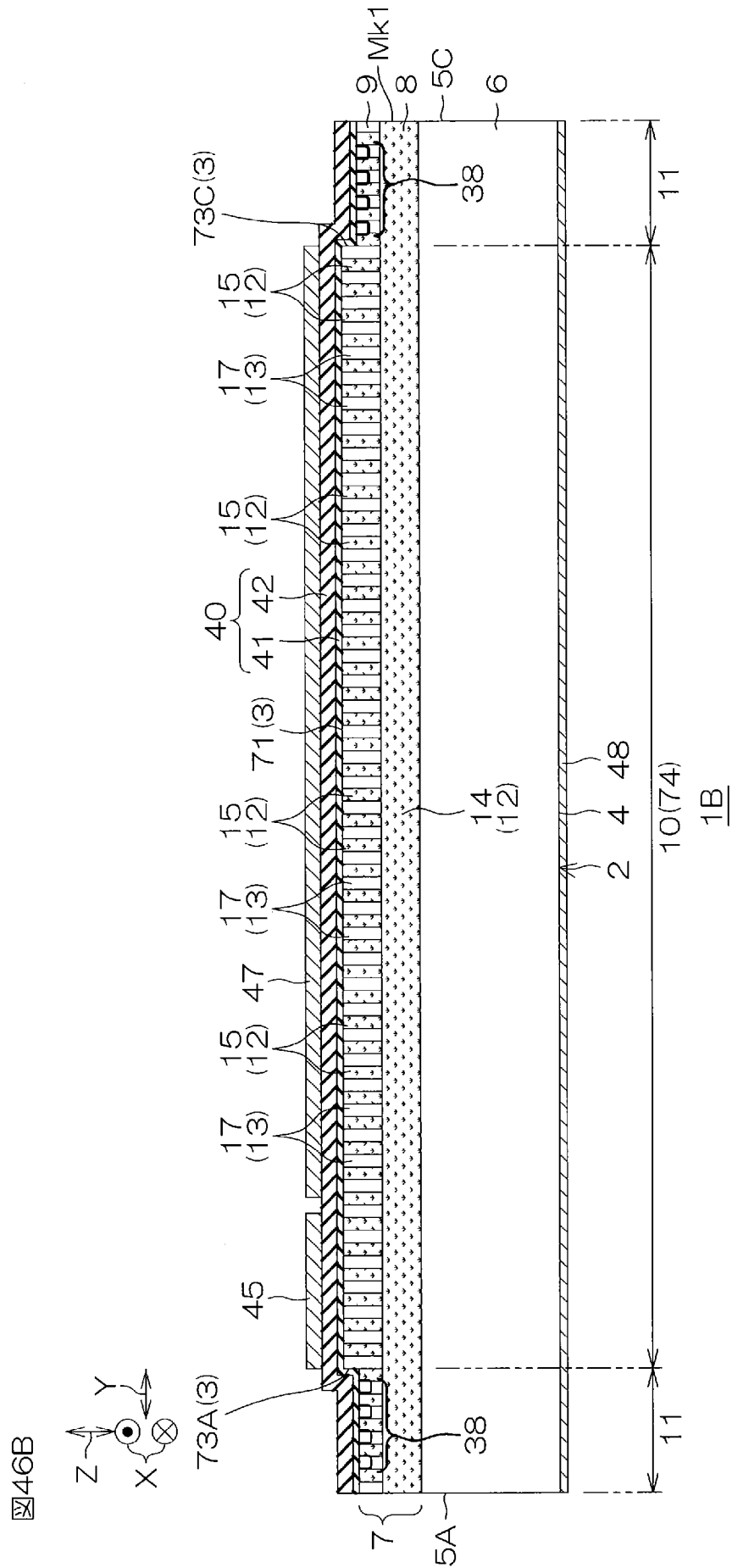
[図44A]



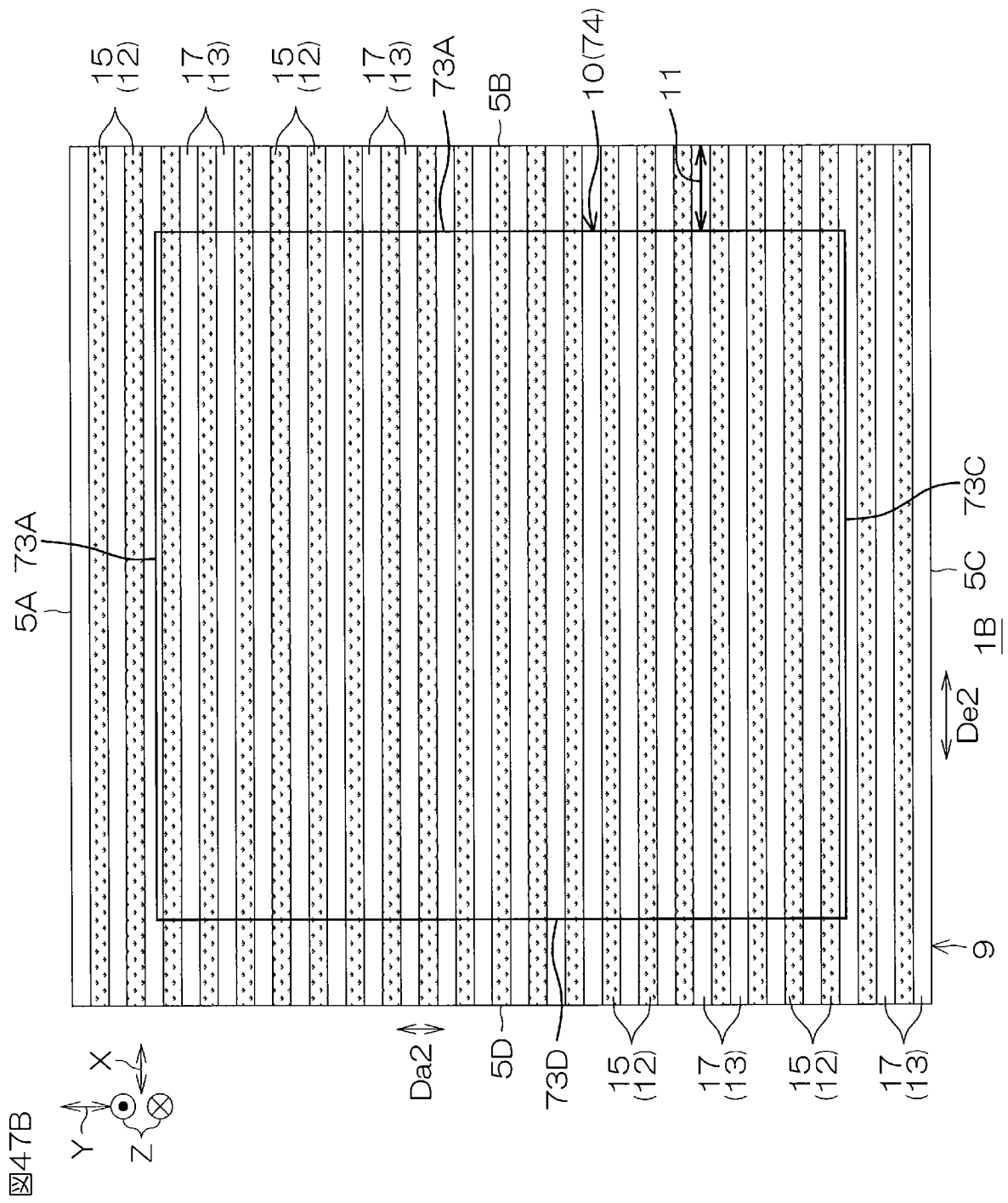
[図44B]



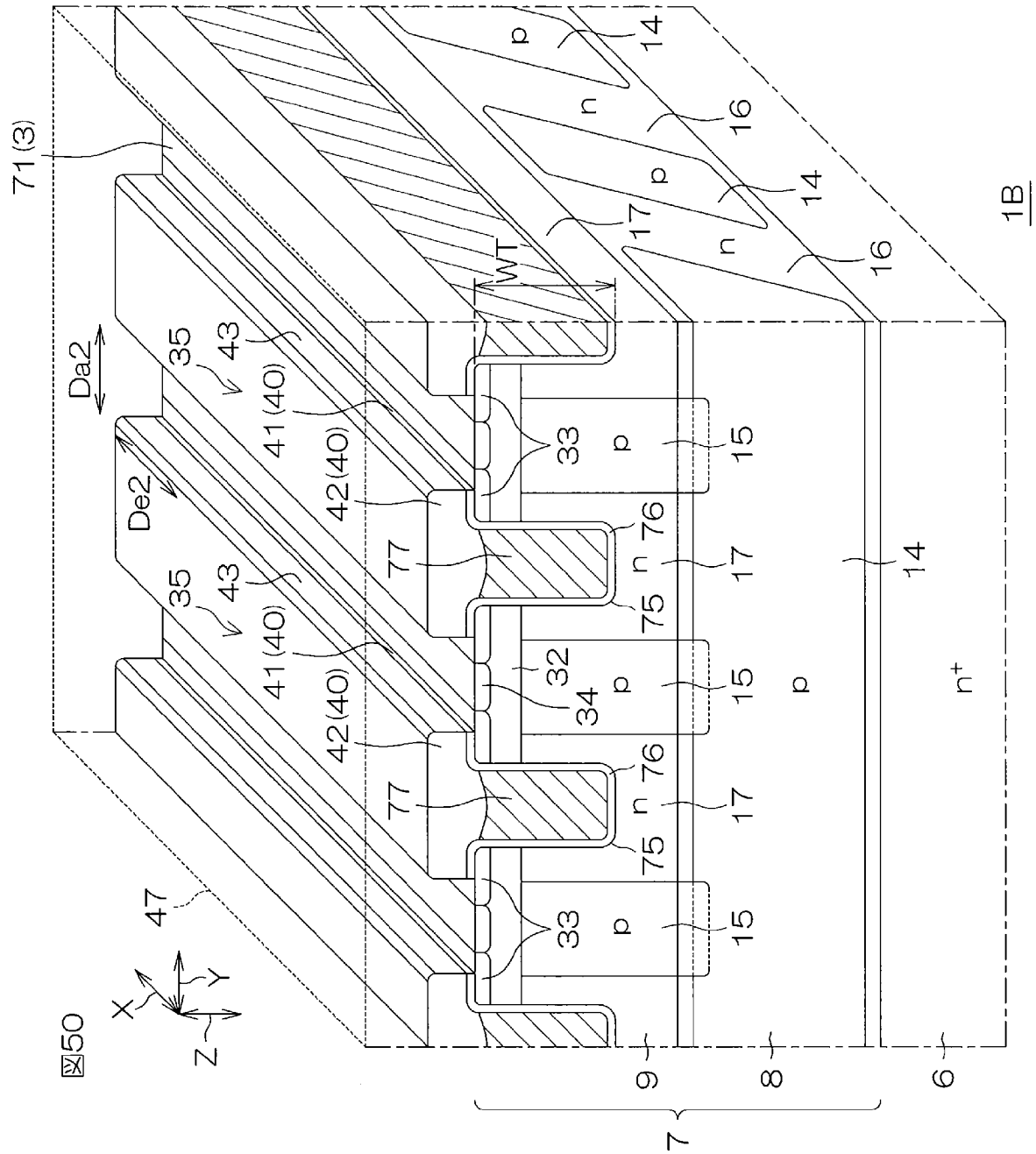
[図46B]



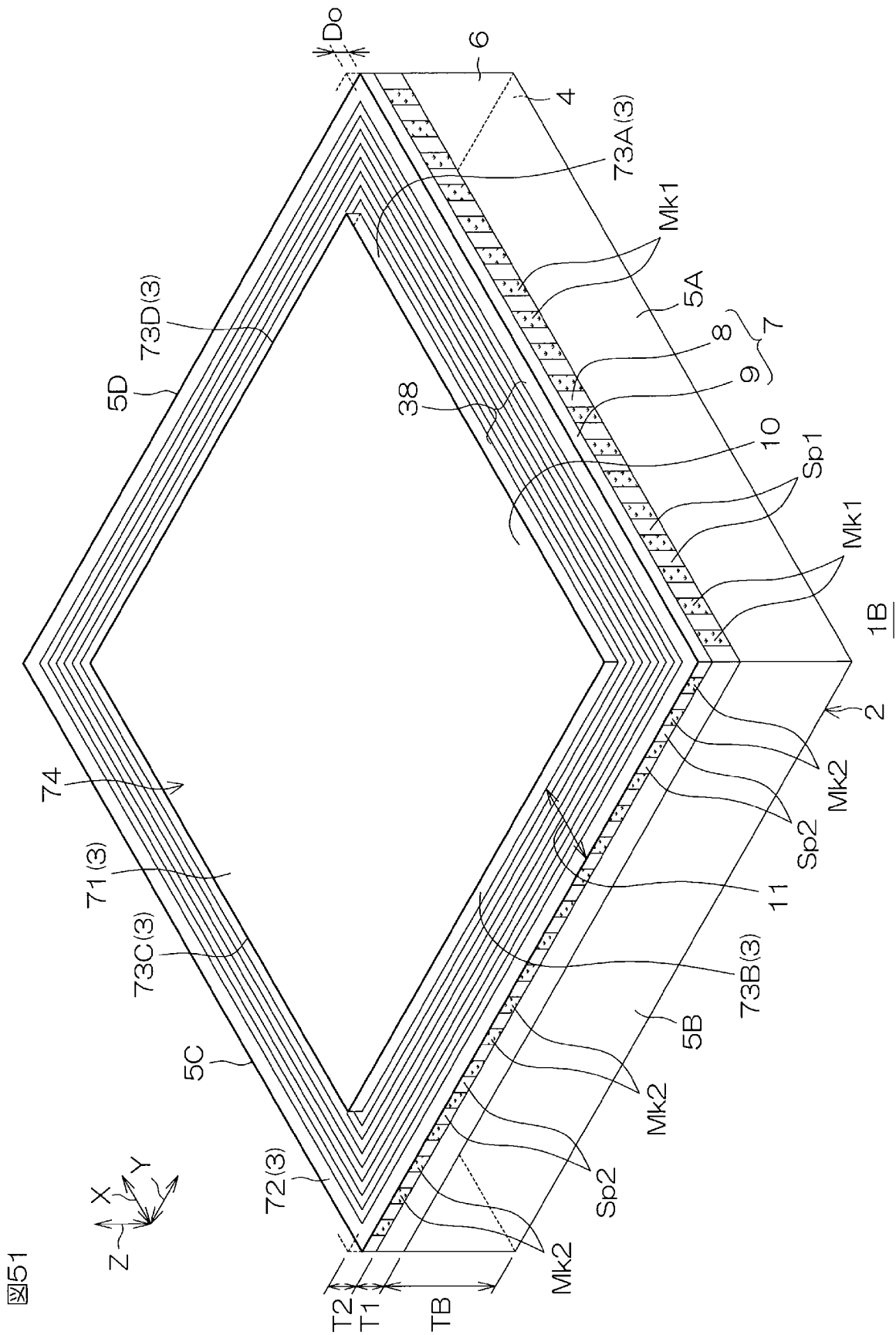
[図47B]



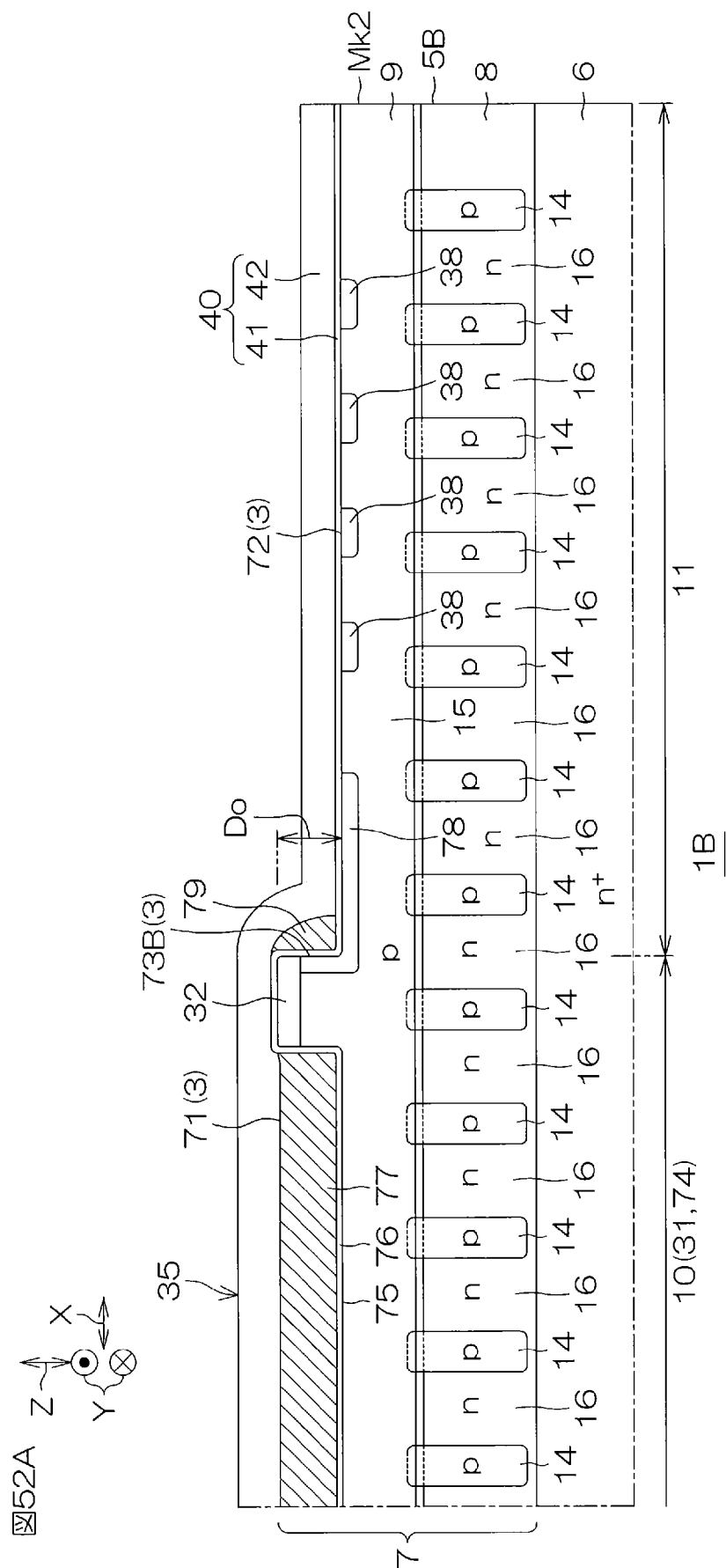
[図50]



[図51]

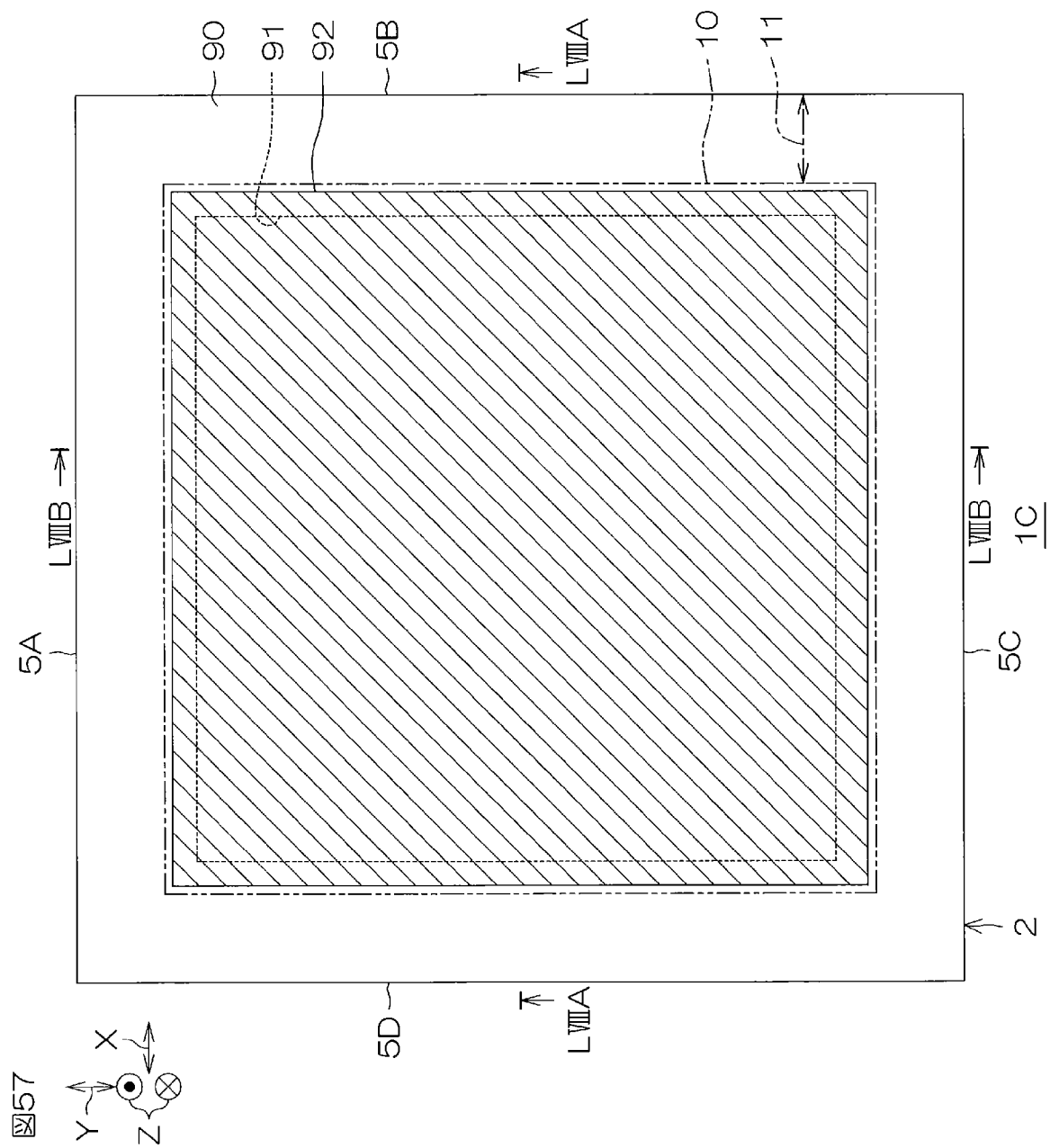


52A

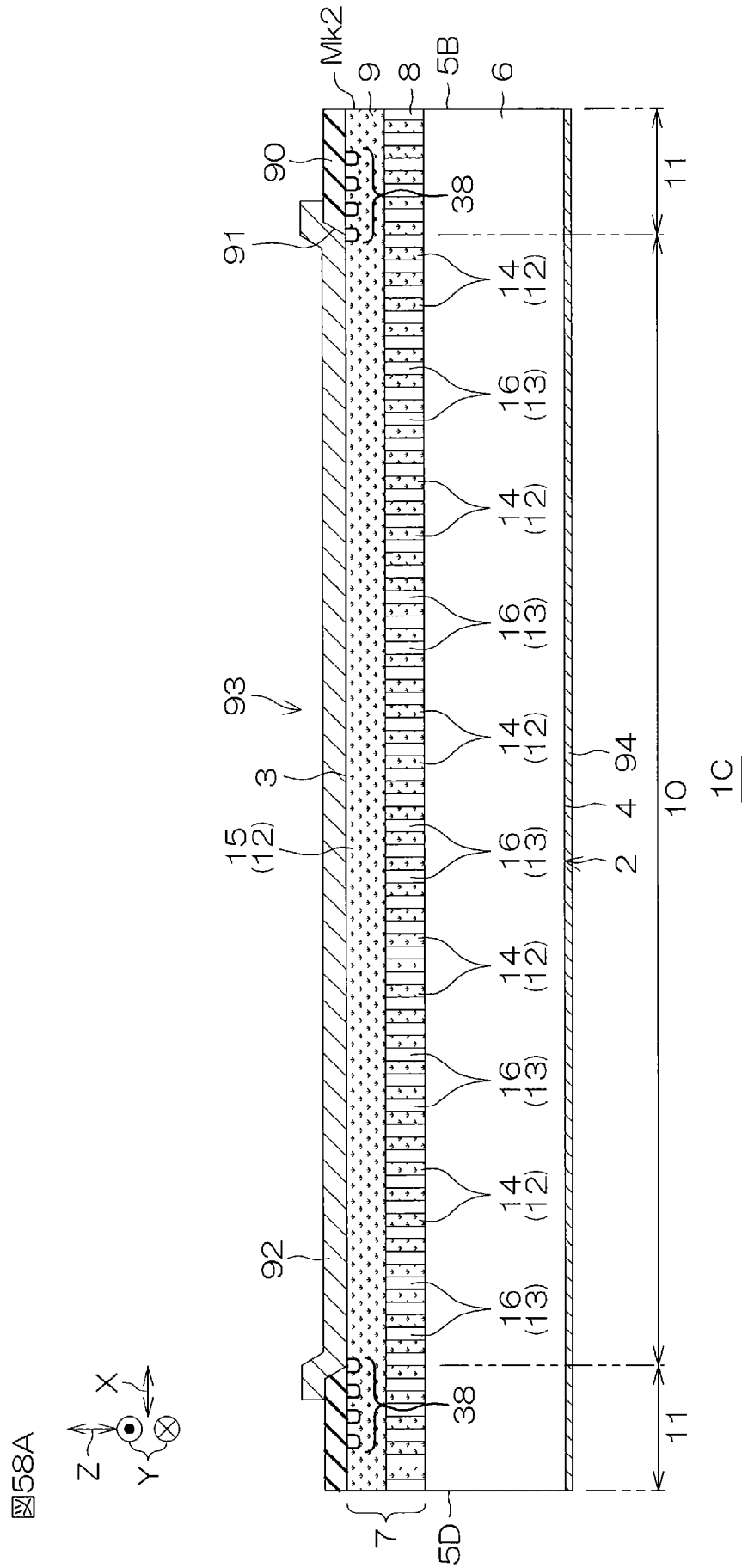


[illegible]

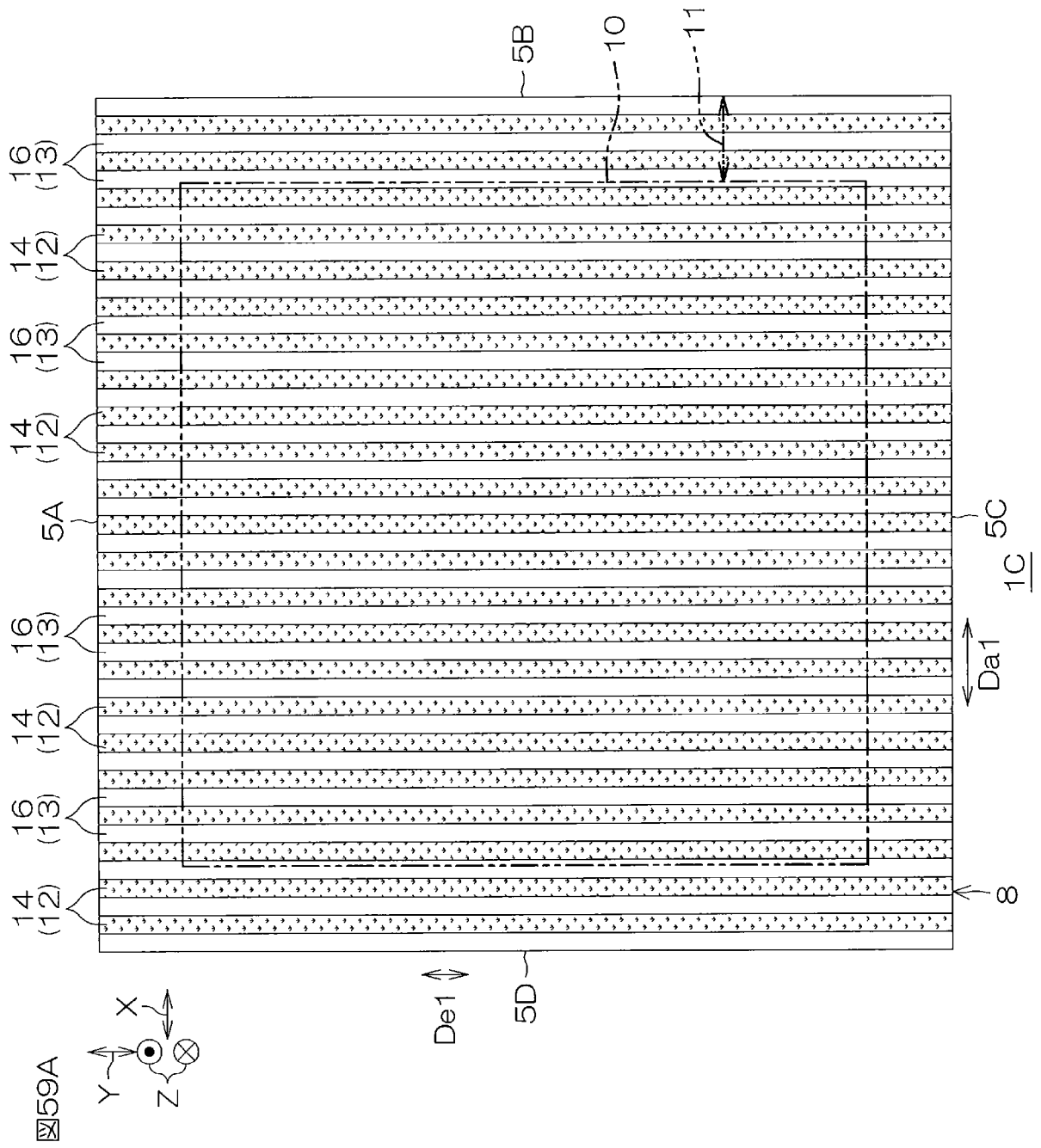
[図57]



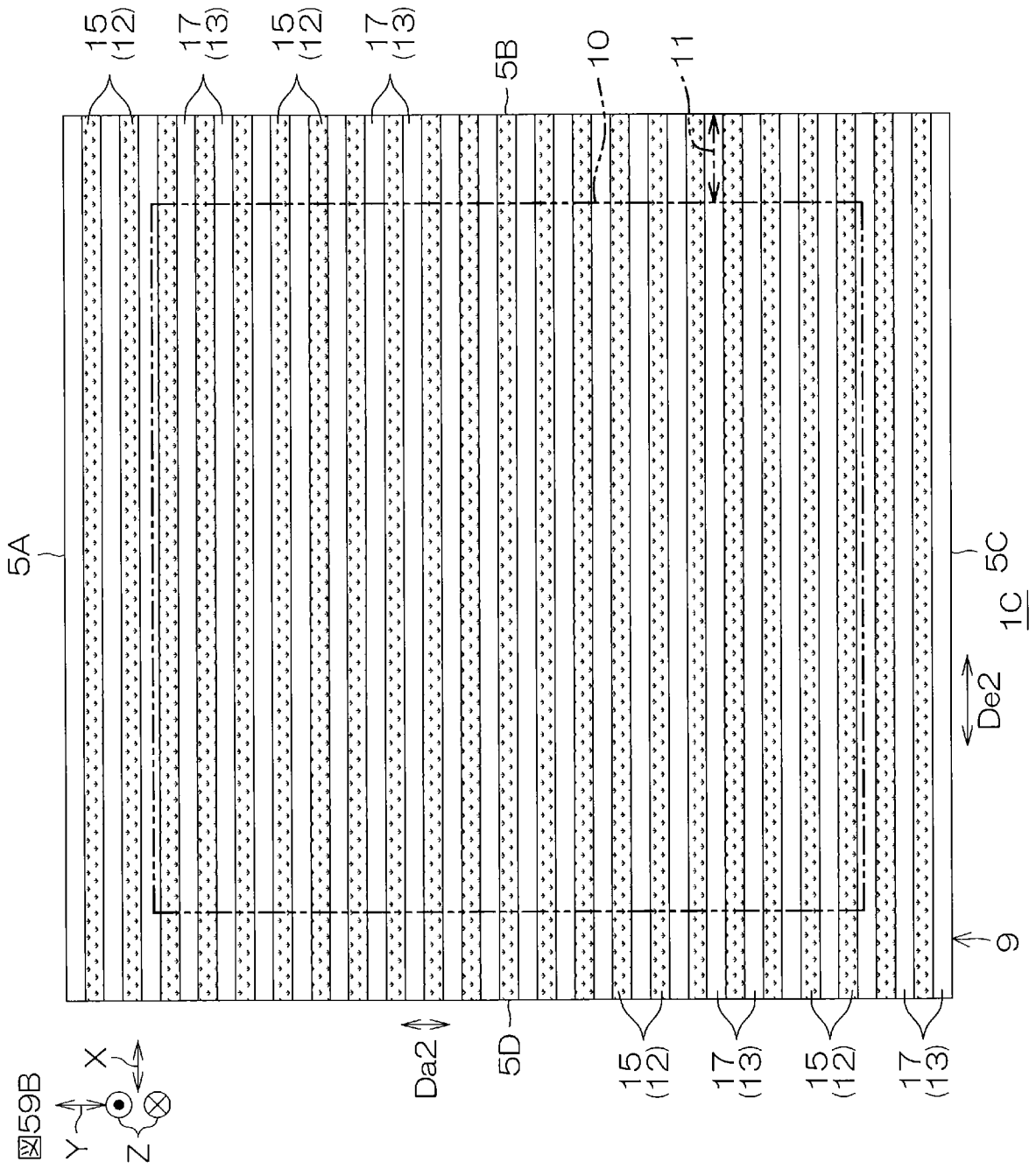
[図58A]



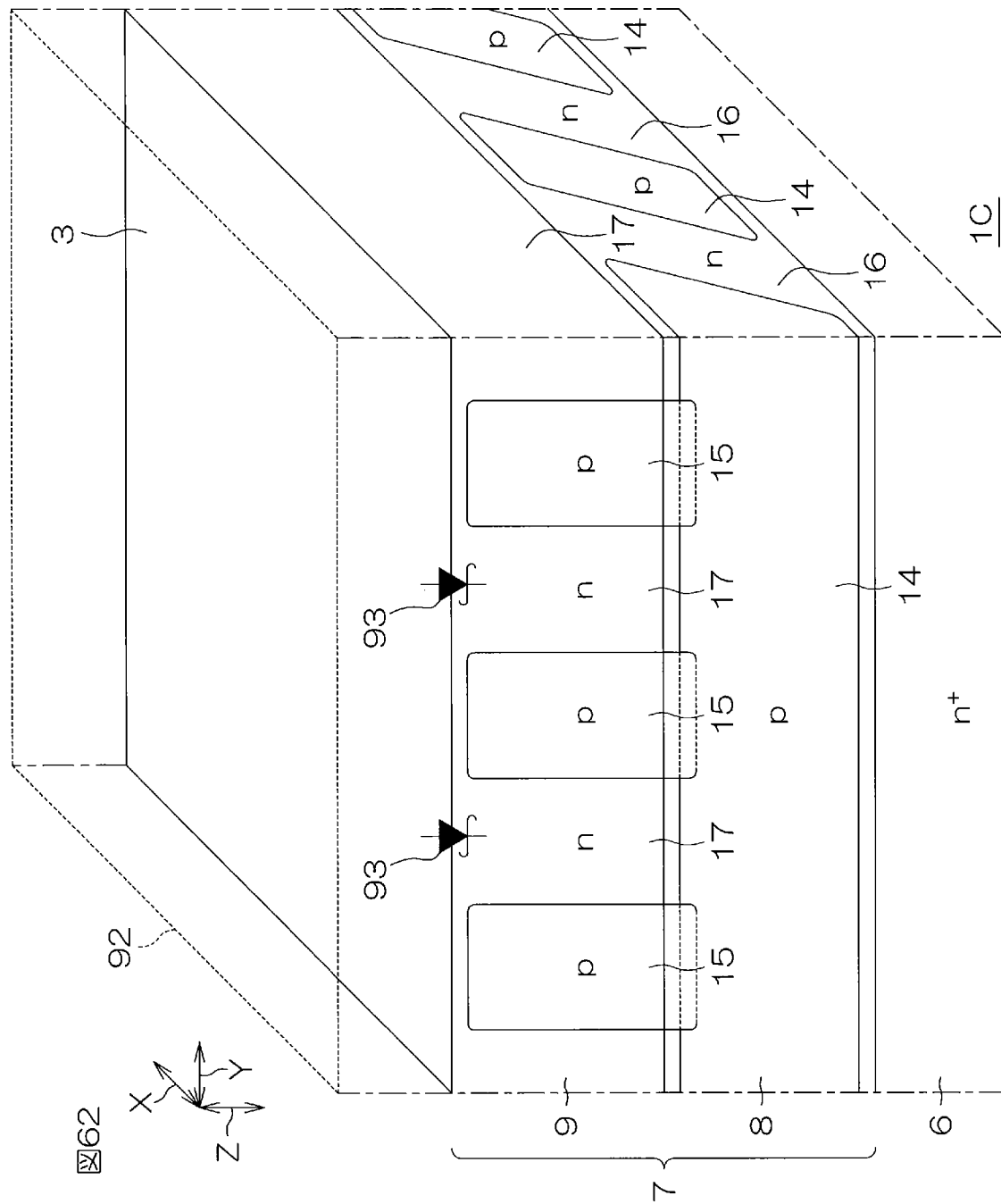
[図59A]



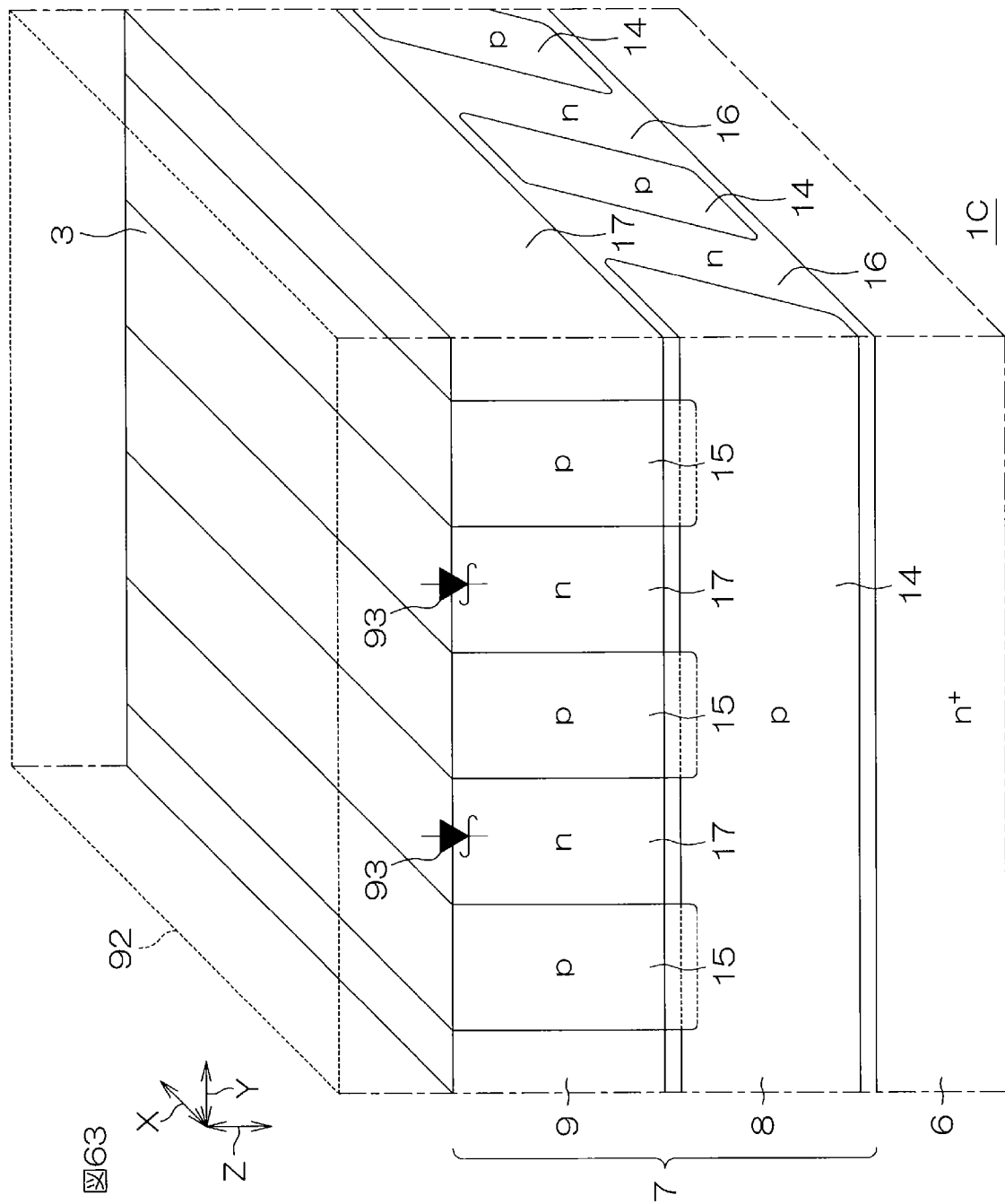
[図59B]



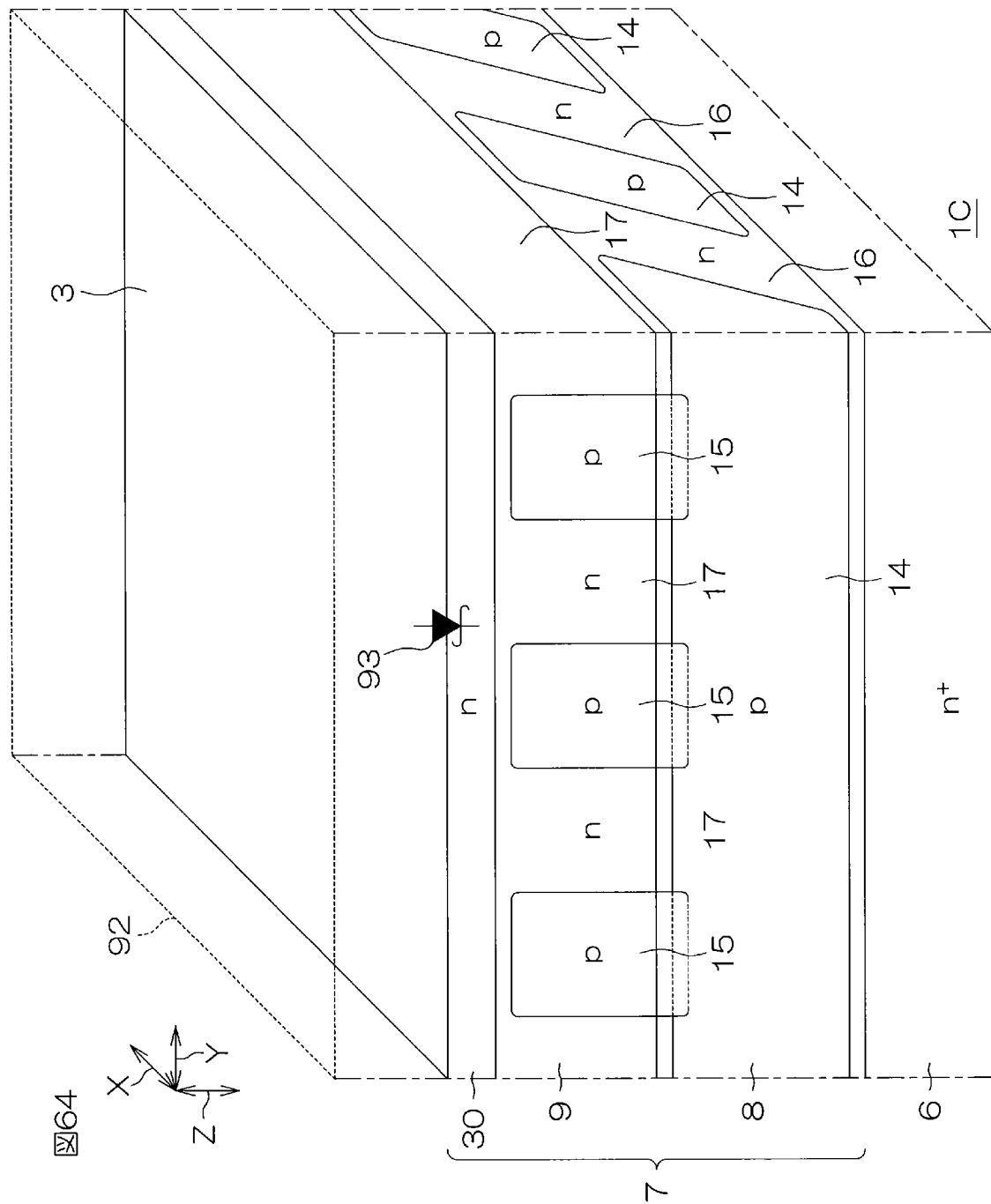
[図62]



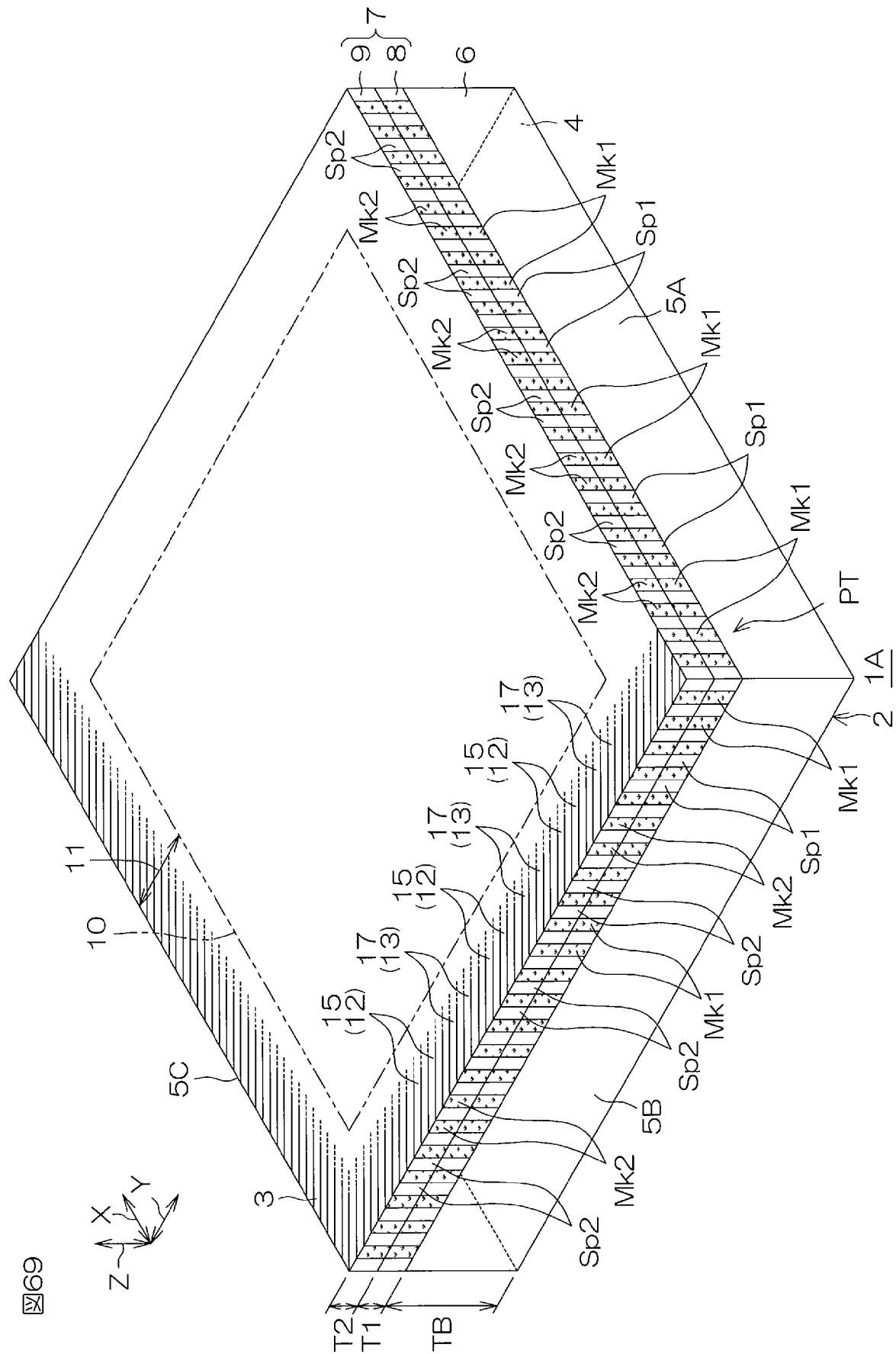
[図63]



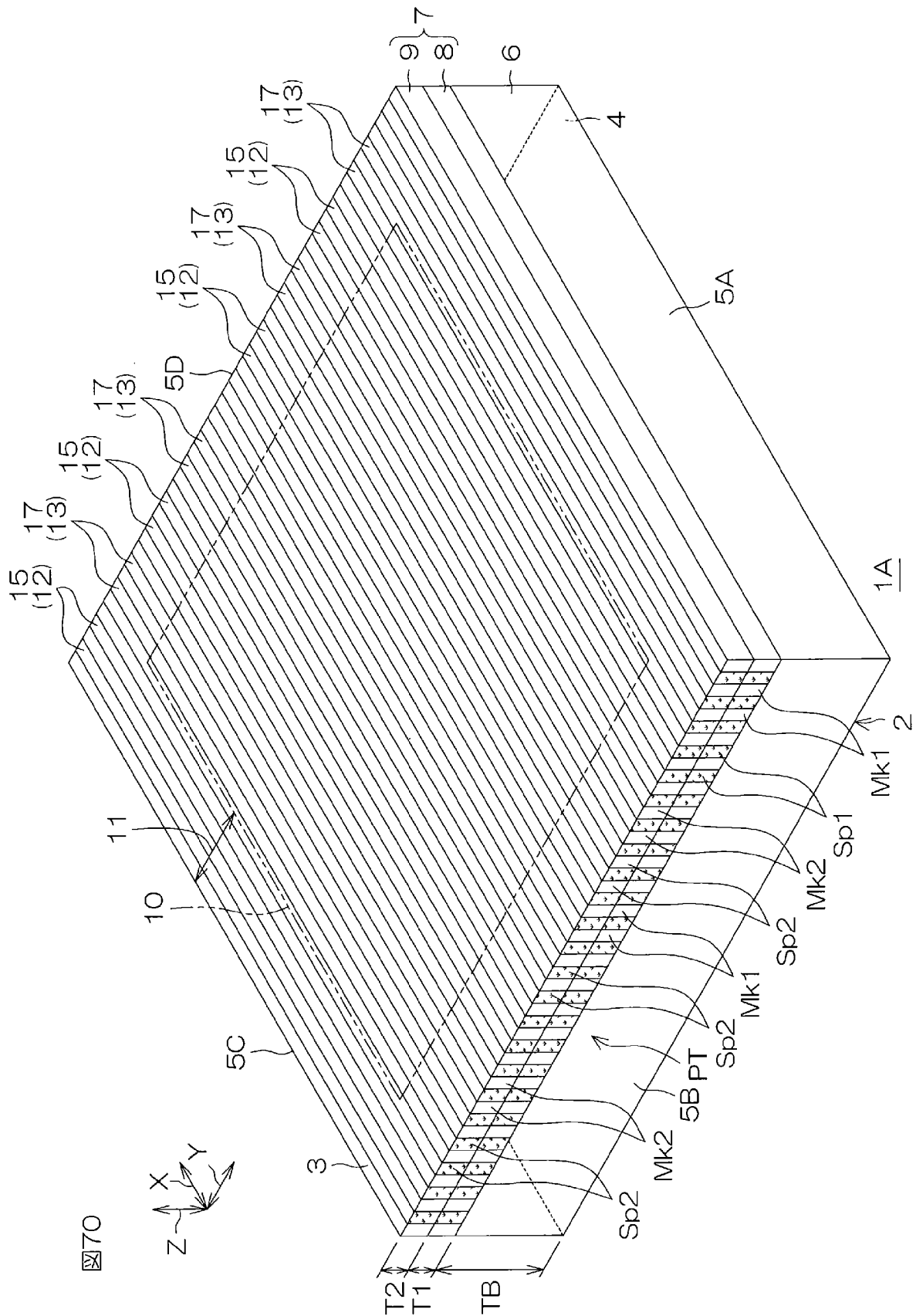
[図64]



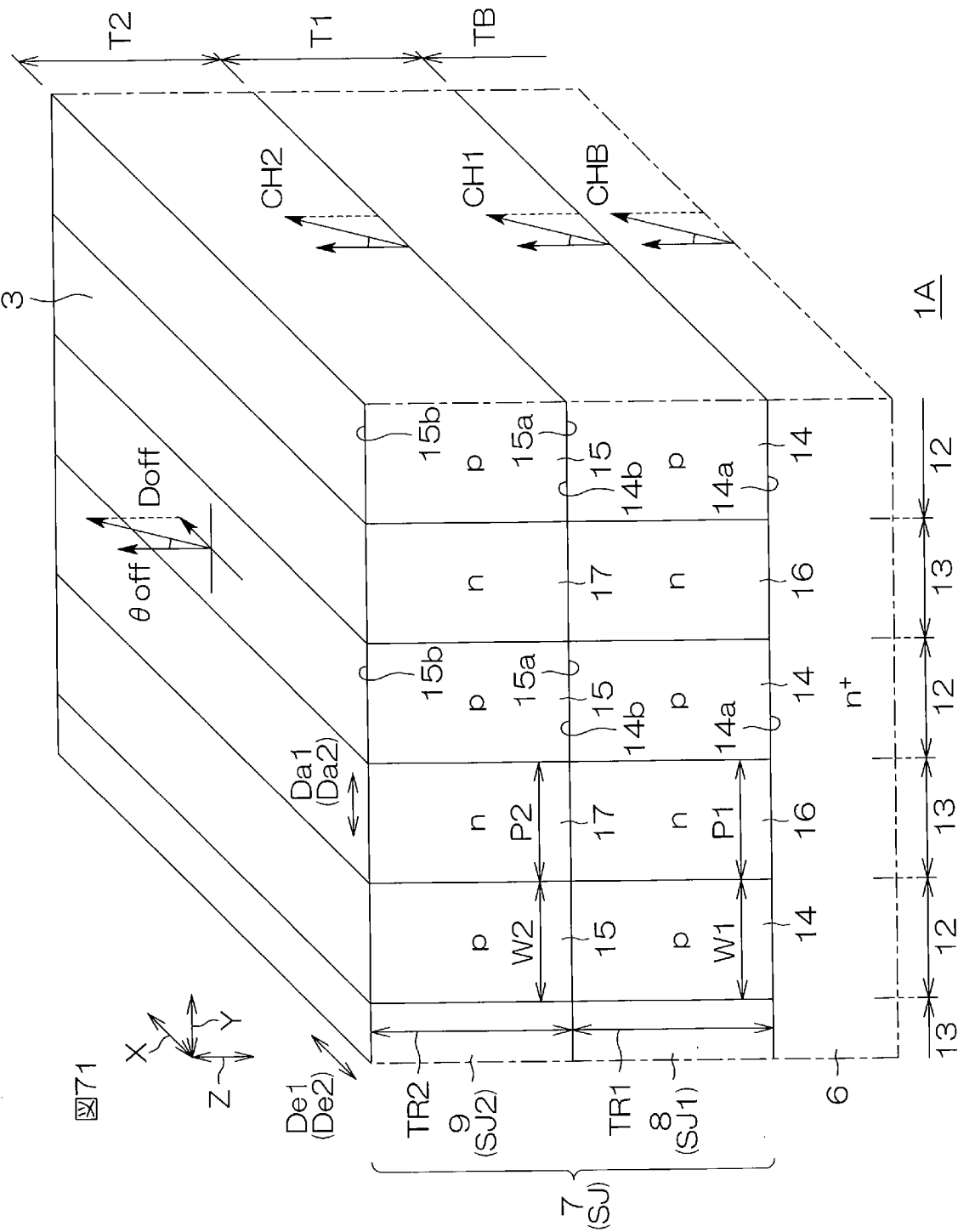
[図69]



[図70]



[図71]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2023/046698

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H01L 29/78(2006.01)i; **H01L 21/336**(2006.01)i; **H01L 29/06**(2006.01)i; **H01L 29/12**(2006.01)i; **H01L 29/739**(2006.01)i
 FI: H01L29/78 652N; H01L29/78 653C; H01L29/06 301M; H01L29/06 301G; H01L29/06 301V; H01L29/78 652T;
 H01L29/78 652H; H01L29/78 652F; H01L29/78 652S; H01L29/78 652P; H01L29/78 658A; H01L29/78 655A

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; H01L21/336; H01L29/06; H01L29/12; H01L29/739

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Published examined utility model applications of Japan 1922-1996
 Published unexamined utility model applications of Japan 1971-2024
 Registered utility model specifications of Japan 1996-2024
 Published registered utility model applications of Japan 1994-2024

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	JP 2022-093100 A (DENSO CORP., MIRISE TECH CORP., TOYOTA JIDOSHA KABUSHIKI KAISHA) 23 June 2022 (2022-06-23) paragraphs [0053], [0072]-[0089], fig. 6A, 9	1-4, 6-10, 17, 18
Y		5, 11, 15, 16
A		12-14, 19, 20
X	JP 2001-267568 A (FUJI ELECTRIC CO., LTD.) 28 September 2001 (2001-09-28) paragraphs [0023]-[0035], fig. 2-4	1-4, 6-10, 17, 18
Y		11
A		5, 12-16, 19, 20
X	JP 2007-036213 A (KABUSHIKI KAISHA TOSHIBA) 08 February 2007 (2007-02-08) paragraphs [0027]-[0028], fig. 17	1-4, 6-10
Y		11
A		5, 12-20



Further documents are listed in the continuation of Box C.



See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

“A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
 “D” document cited by the applicant in the international application
 “E” earlier application or patent but published on or after the international filing date
 “L” document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
 “O” document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
 “P” document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

“T” later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

“X” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

“Y” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

“&” document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

05 March 2024

Date of mailing of the international search report

12 March 2024

Name and mailing address of the ISA/JP

**Japan Patent Office (ISA/JP)
 3-4-3 Kasumigaseki, Chiyoda-ku, Tokyo 100-8915
 Japan**

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2023/046698**C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT**

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	JP 2007-243092 A (TOYOTA JIDOSHA KABUSHIKI KAISHA) 20 September 2007 (2007-09-20) paragraphs [0019]-[0046], fig. 1,17	1-4, 6-10
Y		11
A		5, 12-20
Y	JP 2014-003191 A (HITACHI, LTD.) 09 January 2014 (2014-01-09) paragraphs [0002], [0007], [0011]-[0019], [0027], [0038], [0039], fig. 1, 2, 11, 21	5
A		1-4, 6-20
Y	JP 2021-089916 A (FUJI ELECTRIC CO., LTD.) 10 June 2021 (2021-06-10) paragraphs [0048]-[0149], fig. 1-16	11
A		1-10, 12-20
Y	JP 2016-530712 A (CREE INC.) 29 September 2016 (2016-09-29) paragraphs [0054]-[0057], fig. 7	15, 16
A		1-14, 17-20
A	JP 2015-216182 A (PANASONIC INTELLECTUAL PROPERTY MANAGEMENT CO., LTD.) 03 December 2015 (2015-12-03) paragraphs [0028]-[0055], fig. 1-4	1-20

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/JP2023/046698

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)	Publication date (day/month/year)
JP	2022-093100	A	23 June 2022	(Family: none)	
JP	2001-267568	A	28 September 2001	US 2001/0032998 A1 paragraphs [0039]-[0063], fig. 1,2 DE 10112463 A1	
JP	2007-036213	A	08 February 2007	US 2006/0284248 A1 paragraphs [0054]-[0055], fig. 17	
JP	2007-243092	A	20 September 2007	(Family: none)	
JP	2014-003191	A	09 January 2014	US 2013/0341711 A1 paragraphs [0004], [0006], [0032]-[0040], [0048], [0059]- [0062], fig. 1, 2, 11, 21 DE 102013010245 A1	
JP	2021-089916	A	10 June 2021	US 2021/0167167 A1 paragraphs [0068]-[0169], fig. 1-16	
JP	2016-530712	A	29 September 2016	US 2015/0028350 A1 paragraphs [0111]-[0116], fig. 7 WO 2015/013620 A1	
JP	2015-216182	A	03 December 2015	(Family: none)	

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC））

H01L 29/78(2006.01)i; H01L 21/336(2006.01)i; H01L 29/06(2006.01)i; H01L 29/12(2006.01)i;
H01L 29/739(2006.01)i
FI: H01L29/78 652N; H01L29/78 653C; H01L29/06 301M; H01L29/06 301G; H01L29/06 301V; H01L29/78 652T;
H01L29/78 652H; H01L29/78 652F; H01L29/78 652S; H01L29/78 652P; H01L29/78 658A; H01L29/78 655A

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料（国際特許分類（IPC））

H01L29/78; H01L21/336; H01L29/06; H01L29/12; H01L29/739

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報1922-1996年
日本国公開実用新案公報1971-2024年
日本国実用新案登録公報1996-2024年
日本国登録実用新案公報1994-2024年

国際調査で使用した電子データベース（データベースの名称、調査に使用した用語）

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
X	JP 2022-093100 A（株式会社デンソー、株式会社ミライズテクノロジーズ、トヨタ自動車株式会社）23.06.2022（2022-06-23） 段落[0053], [0072]-[0089], 図6A, 9	1-4, 6-10, 17, 18
Y		5, 11, 15, 16
A		12-14, 19, 20
X	JP 2001-267568 A（富士電機株式会社）28.09.2001（2001-09-28） 段落[0023]-[0035], 図2-4	1-4, 6-10, 17, 18
Y		11
A		5, 12-16, 19, 20
X	JP 2007-036213 A（株式会社東芝）08.02.2007（2007-02-08） 段落[0027]-[0028], 図17	1-4, 6-10
Y		11
A		5, 12-20

☒ C欄の続きにも文献が列挙されている。☒ パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー
“A” 特に関連のある文献ではなく、一般的技术水準を示すもの
“D” 国際出願で出願人が先行技術文献として記載した文献
“E” 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの
“I” 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す）
“O” 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献
“P” 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願の日の後に公表された文献

“T” 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と抵触するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの
“X” 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの
“Y” 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの
“&” 同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日05.03.2024

国際調査報告の発送日12.03.2024

名称及びあて先

日本国特許庁(ISA/JP)
〒100-8915
日本国
東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

権限のある職員（特許庁審査官）

杉山 芳弘 5F 6311

電話番号 03-3581-1101 内線 3516

C. 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
X	JP 2007-243092 A (トヨタ自動車株式会社) 20.09.2007 (2007 - 09 - 20) 段落[0019]-[0046], 図1, 17	1-4, 6-10
Y		11
A		5, 12-20
Y	JP 2014-003191 A (株式会社日立製作所) 09.01.2014 (2014 - 01 - 09) 段落[0002], [0007], [0011]-[0019], [0027], [0038], [0039], 図1, 2, 11, 21	5
A		1-4, 6-20
Y	JP 2021-089916 A (富士電機株式会社) 10.06.2021 (2021 - 06 - 10) 段落[0048]-[0149], 図1-16	11
A		1-10, 12-20
Y	JP 2016-530712 A (クリー インコーポレイテッド) 29.09.2016 (2016 - 09 - 29) 段落[0054]-[0057], 図7	15, 16
A		1-14, 17-20
A	JP 2015-216182 A (パナソニック IP マネジメント株式会社) 03.12.2015 (2015 - 12 - 03) 段落[0028]-[0055], 図1-4	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/JP2023/046698

引用文献			公表日	パテントファミリー文献	公表日
JP	2022-093100	A	23.06.2022	(ファミリーなし)	
JP	2001-267568	A	28.09.2001	US 2001/0032998 A1 段落[0039]-[0063], 図1, 2 DE 10112463 A1	
JP	2007-036213	A	08.02.2007	US 2006/0284248 A1 段落[0054]-[0055], 図17	
JP	2007-243092	A	20.09.2007	(ファミリーなし)	
JP	2014-003191	A	09.01.2014	US 2013/0341711 A1 段落[0004], [0006], [0032]- [0040], [0048], [0059]- [0062], 図1, 2, 11, 21 DE 102013010245 A1	
JP	2021-089916	A	10.06.2021	US 2021/0167167 A1 段落[0068]-[0169], 図1-16	
JP	2016-530712	A	29.09.2016	US 2015/0028350 A1 段落[0111]-[0116], 図7 WO 2015/013620 A1	
JP	2015-216182	A	03.12.2015	(ファミリーなし)	