

LY, MA, MD, MG, MK, MN, MU, MW, MX, MY,
MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL,
PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK,
SL, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA,
UG, US, UZ, VC, VN, WS, ZA, ZM, ZW.

- (84) 指定国(表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, CV, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SC, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, ME, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類：

一 国際調査報告 (条約第21条(3))

region. The substrate is provided with a gate trench provided with a side surface reaching from the first main surface to the drift region, and a bottom surface continuous with the side surface. The substrate has a gate insulating film in contact with the gate trench, and a gate electrode on the gate insulating film. The gate trench extends along a first axis; the connection region is farther from the gate trench than from the body region along a second axis perpendicular to the first axis; the electric field relaxation region is farther from the gate trench than from the connection region along the second axis; and the first thickness of the electric field relaxation region is greater than the second thickness of the connection region.

(57) 要約：炭化珪素半導体装置は、第1主面と、第2主面とを有する炭化珪素基板を備え、炭化珪素基板は、第1導電型のドリフト領域と、ドリフト領域上の第2導電型のボディ領域と、ボディ領域上の第1導電型のソース領域と、ボディ領域の下に接して設けられた第2導電型の接続領域と、接続領域の下に接して設けられた第2導電型の電界緩和領域とを有し、第1主面からドリフト領域に至る側面と、側面と連なる底面とを備えたゲートトレンチが設けられ、ゲートトレンチに接するゲート絶縁膜と、前記ゲート絶縁膜上のゲート電極とを有し、ゲートトレンチは第1軸に沿って延び、接続領域は第1軸に垂直な第2軸に沿いボディ領域よりもゲートトレンチから離れ、電界緩和領域は第2軸に沿い接続領域よりもゲートトレンチから離れ、電界緩和領域の第1厚さは接続領域の第2厚さよりも大きい。

明 細 書

発明の名称：炭化珪素半導体装置

技術分野

[0001] 本開示は、炭化珪素半導体装置に関する。

[0002] 本出願は、2023年7月21日出願の日本出願第2023-119164号に基づく優先権を主張し、前記日本出願に記載された全ての記載内容を援用するものである。

背景技術

[0003] 炭化珪素半導体装置の一つとして、主面に形成されたゲートトレンチの下方に電界緩和領域が設けられたトレンチ型MOSFET (metal oxide semiconductor field effect transistor) が開示されている。

先行技術文献

特許文献

[0004] 特許文献1：日本国特開2021-182639号公報

特許文献2：日本国特開2019-161200号公報

特許文献3：日本国特開2011-253837号公報

発明の概要

[0005] 本開示の炭化珪素半導体装置は、第1主面と、前記第1主面とは反対の第2主面とを有する炭化珪素基板を備え、前記炭化珪素基板は、第1導電型を有するドリフト領域と、前記ドリフト領域の上に設けられ、前記第1導電型と異なる第2導電型を有するボディ領域と、前記ドリフト領域から隔てられるように前記ボディ領域の上に設けられ、前記第1導電型を有するソース領域と、前記ボディ領域の下に設けられ、前記ボディ領域に接し、前記第2導電型を有する接続領域と、前記接続領域の下に設けられ、前記接続領域に接し、前記第2導電型を有する電界緩和領域と、を有し、前記第1主面に、前記ソース領域および前記ボディ領域を貫通して前記ドリフト領域に至る側面

と、前記側面と連なる底面とを備えたゲートトレンチが設けられており、前記ゲートトレンチの前記側面および前記底面に接するゲート絶縁膜と、前記炭化珪素基板との間に前記ゲート絶縁膜を挟むように前記ゲート絶縁膜上に設けられたゲート電極と、を有し、前記ゲートトレンチは、前記第1主面に平行な第1軸に沿って延び、前記接続領域は、前記第1主面に平行かつ前記第1軸に垂直な第2軸に沿って、前記ボディ領域よりも前記ゲートトレンチから離れ、前記電界緩和領域は、前記第2軸に沿って、前記接続領域よりも前記ゲートトレンチから離れ、前記電界緩和領域の第1厚さは、前記接続領域の第2厚さよりも大きい。

図面の簡単な説明

[0006] [図1]図1は、第1実施形態に係る炭化珪素半導体装置における層間絶縁膜および第1主面の構成を示す図である。

[図2]図2は、第1実施形態に係る炭化珪素半導体装置の構成を示す断面図である。

[図3]図3は、接続領域および電界緩和領域の範囲を示す模式図である。

[図4]図4は、第2実施形態に係る炭化珪素半導体装置の構成を示す断面図である。

発明を実施するための形態

[0007] [本開示が解決しようとする課題]

従来の炭化珪素半導体装置においては、ゲート絶縁膜の信頼性の確保とオン抵抗の低減との両立が困難である。

[0008] 本開示は、ゲート絶縁膜の信頼性の確保とオン抵抗の低減とを両立できる炭化珪素半導体装置を提供することを目的とする。

[0009] [本開示の効果]

本開示によれば、ゲート絶縁膜の信頼性の確保とオン抵抗の低減とを両立できる。

[0010] 実施するための形態について、以下に説明する。

[0011] [本開示の実施形態の説明]

最初に本開示の実施態様を列記して説明する。以下の説明では、同一または対応する要素には同一の符号を付し、それらについて同じ説明は繰り返さない。本明細書中の結晶学的記載においては、個別方位を $[\]$ 、集合方位を $\langle \rangle$ 、個別面を $()$ 、集合面を $\{ \}$ でそれぞれ示している。また結晶学上の指数が負であることは、通常、“ $-$ ”（バー）を数字の上に付すことによって表現されるが、本開示では数字の前に負の符号を付している。また、以下の説明では、XYZ直交座標系を用いるが、当該座標系は、説明のために定めるものであって、炭化珪素半導体装置の姿勢について限定するものではない。また、XY面視を平面視といい、任意の点からみて、+Z方向を上方、上側または上ということがあり、-Z方向を下方、下側または下ということがある。

[0012] [1] 本開示の一態様に係る炭化珪素半導体装置は、第1主面と、前記第1主面とは反対の第2主面とを有する炭化珪素基板を備え、前記炭化珪素基板は、第1導電型を有するドリフト領域と、前記ドリフト領域の上に設けられ、前記第1導電型と異なる第2導電型を有するボディ領域と、前記ドリフト領域から隔てられるように前記ボディ領域の上に設けられ、前記第1導電型を有するソース領域と、前記ボディ領域の下に設けられ、前記ボディ領域に接し、前記第2導電型を有する接続領域と、前記接続領域の下に設けられ、前記接続領域に接し、前記第2導電型を有する電界緩和領域と、を有し、前記第1主面に、前記ソース領域および前記ボディ領域を貫通して前記ドリフト領域に至る側面と、前記側面と連なる底面とを備えたゲートトレンチが設けられており、前記ゲートトレンチの前記側面および前記底面に接するゲート絶縁膜と、前記炭化珪素基板との間に前記ゲート絶縁膜を挟むように前記ゲート絶縁膜上に設けられたゲート電極と、を有し、前記ゲートトレンチは、前記第1主面に平行な第1軸に沿って延び、前記接続領域は、前記第1主面に平行かつ前記第1軸に垂直な第2軸に沿って、前記ボディ領域よりも前記ゲートトレンチから離れ、前記電界緩和領域は、前記第2軸に沿って、前記接続領域よりも前記ゲートトレンチから離れ、前記電界緩和領域の第

1 厚さは、前記接続領域の第 2 厚さよりも大きい。

[0013] 接続領域が第 2 軸に沿ってボディ領域よりもゲートトレンチから離れ、電界緩和領域が第 2 軸に沿って接続領域よりもゲートトレンチから離れ、電界緩和領域の第 1 厚さが接続領域の第 2 厚さよりも大きい。このため、ゲート絶縁膜にかかる電圧を緩和しながら、オン抵抗を低減できる。すなわち、ゲート絶縁膜の信頼性の確保とオン抵抗の低減とを両立できる。

[0014] [2] [1] において、前記第 2 厚さは、前記ボディ領域の第 3 厚さよりも大きくてもよい。この場合、ゲート絶縁膜にかかる電圧をより緩和しやすい。

[0015] [3] [1] または [2] において、前記ドリフト領域は、前記側面および前記ボディ領域に接する第 1 半導体領域と、前記第 1 半導体領域と前記第 2 主面との間に設けられ、前記第 1 半導体領域に接する第 2 半導体領域と、を有し、前記第 1 半導体領域における前記第 1 導電型の不純物の第 1 実効濃度は、前記第 2 半導体領域における前記第 1 導電型の不純物の第 2 実効濃度よりも高くてもよい。この場合、ドリフト領域の広い範囲でオン電流が流れやすく、オン抵抗をより低減しやすい。

[0016] [4] [1] から [3] のいずれかにおいて、前記接続領域の下端面は、前記底面よりも前記第 2 主面に近くてもよい。この場合、ゲート絶縁膜にかかる電圧をより緩和しやすい。

[0017] [5] [1] から [4] のいずれかにおいて、前記第 1 主面に、複数の前記ゲートトレンチが一定の第 1 ピッチで設けられており、前記第 1 軸に垂直な断面視で、前記炭化珪素基板は、前記接続領域を前記ゲートトレンチの両側に有し、前記接続領域の間の距離は、前記第 1 ピッチの 0.5 倍以下であってもよい。この場合、スイッチング動作時のノイズを低減しやすい。

[0018] [6] [1] から [5] のいずれかにおいて、前記ボディ領域における前記第 2 導電型の不純物の第 3 実効濃度は、前記接続領域における前記第 2 導電型の不純物の第 4 実効濃度よりも高く、前記第 4 実効濃度は、前記電界緩和領域における前記第 2 導電型の不純物の第 5 実効濃度よりも高くてもよ

い。この場合、ゲート絶縁膜にかかる電圧をより緩和しやすい。

[0019] [7] [1] から [6] のいずれかにおいて、前記第1主面を基準とした前記底面の第1深さは、前記底面を基準とした前記電界緩和領域の下端面の第2深さよりも小さくてもよい。この場合、ゲート絶縁膜にかかる電圧をより緩和しやすい。

[0020] [8] [1] から [7] のいずれかにおいて、前記第1軸に垂直な断面視で、前記炭化珪素基板は、前記電界緩和領域を前記ゲートトレンチの両側に有し、前記底面を基準とした前記電界緩和領域の下端面の第2深さを $D2$ としたとき、前記底面から $D2/2$ だけ深い仮想平面において、前記第1軸に垂直な断面視で、前記電界緩和領域の第1幅は、隣り合う前記電界緩和領域の間の前記ドリフト領域の第2幅よりも大きくてもよい。この場合、ゲート絶縁膜にかかる電圧をより緩和しやすく、スイッチング動作時のノイズをより低減しやすい。

[0021] [9] [1] から [8] のいずれかにおいて、前記底面を基準とした前記電界緩和領域の下端面の第2深さは $2\mu\text{m}$ 以上であってもよい。この場合、ゲート絶縁膜にかかる電圧をより緩和しやすい。

[0022] [10] [1] から [9] のいずれかにおいて、前記底面と前記第2主面との間の半導体の導電型は前記第1導電型であってもよい。この場合、オン抵抗をより低減しやすい。

[0023] [11] [1] から [10] のいずれかにおいて、前記ゲートトレンチの前記側面は、 $\{0-33-8\}$ 面を含んでもよい。側面が $\{0-33-8\}$ 面を含むことで、ゲートトレンチの側面において良好な移動度が得られ、チャンネル抵抗を低減できる。

[0024] [本開示の実施形態]

(第1実施形態)

第1実施形態について説明する。第1実施形態は、炭化珪素を用いたいわゆる縦型のMOS型電界効果トランジスタ (field effect transistor: FET) に関し、このMOS型FETは炭化珪素半導

体装置の一例である。図1は、第1実施形態に係る炭化珪素半導体装置における層間絶縁膜および第1主面の構成を示す図である。図2は、第1実施形態に係る炭化珪素半導体装置の構成を示す断面図である。図2は、図1中の11-11線に沿った断面図に相当する。

[0025] 図1および図2に示されるように、第1実施形態に係る炭化珪素半導体装置100は、炭化珪素基板10と、ゲート絶縁膜81と、ゲート電極82と、層間絶縁膜83と、ソース電極60と、ドレイン電極70と、バリアメタル膜84とを主に有している。

[0026] 炭化珪素基板10は、第1主面1と、第1主面1とは反対の第2主面2とを有する。第1主面1および第2主面2はXY平面に平行であり、第1主面1は第2主面2からみて+Z方向にある。炭化珪素基板10は、炭化珪素単結晶基板50と、炭化珪素単結晶基板50上にある炭化珪素エピタキシャル層40とを含む。炭化珪素エピタキシャル層40は第1主面1を構成し、炭化珪素単結晶基板50は第2主面2を構成する。炭化珪素単結晶基板50および炭化珪素エピタキシャル層40は、例えばポリタイプ4Hの六方晶炭化珪素から構成されている。炭化珪素単結晶基板50は、例えば窒素(N)等のn型不純物を含み、n型の導電型(第1導電型)を有する。

[0027] 第1主面1は、 $\{0001\}$ 面または $\{000\bar{1}\}$ 面がオフ方向に 8° 以下のオフ角だけ傾斜した面である。好ましくは、第1主面1は、 $(000\bar{1})$ 面または $(000\bar{1})$ 面がオフ方向に 8° 以下のオフ角だけ傾斜した面である。オフ方向は、例えば $\langle 11\bar{2}0 \rangle$ 方向であってもよいし、 $\langle 1\bar{1}00 \rangle$ 方向であってもよい。オフ角は、例えば 1° 以上であってもよいし、 2° 以上であってもよい。オフ角は、 6° 以下であってもよいし、 4° 以下であってもよい。

[0028] 炭化珪素エピタキシャル層40は、ドリフト領域11と、ボディ領域12と、ソース領域13と、接続領域14と、電界緩和領域15と、コンタクト領域18とを主に有する。

[0029] ドリフト領域11は、窒素またはリン(P)等のn型不純物を含み、n型

の導電性を有する。ドリフト領域11は炭化珪素単結晶基板50の上に設けられている。ドリフト領域11は、第1領域11Aと、第2領域11Bとを主に有している。

[0030] ボディ領域12は、アルミニウム（Al）等のp型不純物を含み、p型の導電性を有する。ボディ領域12はドリフト領域11の上に設けられている。例えば、ボディ領域12の第3厚さT3は100nm以上1000nm以下である。

[0031] ソース領域13は、窒素またはリン等のn型不純物を含み、n型の導電性を有する。ソース領域13はボディ領域12の上に設けられている。ソース領域13は、ボディ領域12によってドリフト領域11から隔てられている。ソース領域13は第1主面1を構成する。

[0032] 第1主面1に、側面3と底面4とにより規定される複数のゲートトレンチ5が設けられている。ゲートトレンチ5は、例えばY軸に沿って延びる。また、X軸に沿って複数のゲートトレンチ5が一定の間隔（第1ピッチP1）で設けられている。側面3は、ソース領域13と、ボディ領域12と、ドリフト領域11の一部とを貫通し、ドリフト領域11に至る。底面4は側面3と連なる。底面4はドリフト領域11に位置する。例えば、底面4は第1主面1および第2主面2と平行である。Y軸に垂直な断面視で、底面4を含む仮想平面31に対する側面3の角度 $\theta 1$ は、例えば 45° 以上 65° 以下である。角度 $\theta 1$ は、例えば 50° 以上であってもよい。角度 $\theta 1$ は、例えば 60° 以下であってもよい。側面3は、好ましくは{0-33-8}面を有する。{0-33-8}面は、優れた移動度が得られる結晶面である。Y軸は第1軸の一例であり、X軸は第2軸の一例である。

[0033] コンタクト領域18は、アルミニウム等のp型不純物を含み、p型の導電性を有する。コンタクト領域18は、ソース領域13を貫通し、ボディ領域12に接する。コンタクト領域18は第1主面1を構成する。コンタクト領域18は、第1主面1に垂直な平面視で、X軸に沿って隣り合うゲートトレンチ5の間にある。X軸に沿って隣り合う2つのゲートトレンチ5の間にお

いて、コンタクト領域18とソース領域13とがY軸に沿って交互に設けられていてもよい。X軸に沿って隣り合う2つのゲートトレンチ5の間において、コンタクト領域18がY軸に沿って断続的に設けられていてもよい。

[0034] Y軸に沿って複数のゲートトレンチ5が一定の間隔で配置されていてもよい。Y軸に沿って複数のゲートトレンチ5が一定の間隔で配置されている場合、コンタクト領域18の一部が、Y軸に沿って隣り合うゲートトレンチ5の間にあってもよい。複数のゲートトレンチ5がアレイ状に設けられていてもよい。

[0035] 接続領域14は、アルミニウム等のp型不純物を含み、p型の導電性を有する。接続領域14は、第1主面1に垂直な平面視で、X軸に沿って隣り合うゲートトレンチ5の間にある。接続領域14はゲートトレンチ5から離れている。ボディ領域12はゲートトレンチ5の側面3に露出する。接続領域14は、X軸に沿ってボディ領域12よりもゲートトレンチ5から離れている。接続領域14はボディ領域12の下にあり、ボディ領域12に接する。接続領域14は、第1主面1に垂直な平面視で、コンタクト領域18に重なる。接続領域14がボディ領域12およびコンタクト領域18に接していてもよい。接続領域14はY軸に沿って延びていてもよい。X軸に沿って複数の接続領域14が一定の間隔で配置されている。複数の接続領域14がストライプ状に設けられていてもよい。例えば、接続領域14の第2厚さT2は100nm以上1000nm以下である。接続領域14の第2厚さT2はボディ領域12の第3厚さT3よりも大きくてよい。

[0036] 電界緩和領域15は、アルミニウム等のp型不純物を含み、p型の導電性を有する。電界緩和領域15は、第1主面1に垂直な平面視で、X軸に沿って隣り合うゲートトレンチ5の間にある。電界緩和領域15はゲートトレンチ5から離れている。電界緩和領域15は、X軸に沿って接続領域14よりもゲートトレンチ5から離れている。電界緩和領域15は接続領域14の下にあり、接続領域14に接する。電界緩和領域15は、第1主面1に垂直な平面視で、コンタクト領域18および接続領域14に重なる。電界緩和領域

15はY軸に沿って延びていてもよい。X軸に沿って複数の電界緩和領域15が一定の間隔で配置されている。複数の電界緩和領域15がストライプ状に設けられていてもよい。例えば、電界緩和領域15の第1厚さT1は1000nm以上5000nm以下であり、1200nm以上2500nm以下であってもよい。電界緩和領域15の第1厚さT1は接続領域14の第2厚さT2よりも大きい。電界緩和領域15は、例えばチャネリング注入により形成できる。

[0037] 接続領域14が電界緩和領域15とボディ領域12との間にある。コンタクト領域18、ボディ領域12、接続領域14および電界緩和領域15が互いに電氣的に接続されている。

[0038] ドリフト領域11の第1領域11Aは側面3に露出し、かつボディ領域12および接続領域14に接する。第1領域11Aの厚さは、例えば0.1 μ m以上0.6 μ m以下である。ドリフト領域11の第2領域11Bは炭化珪素単結晶基板50に接してもよい。第1領域11Aは、第2領域11Bとボディ領域12との間にある。第1領域11Aの下端面が第2領域11Bの上端面に接する。第2領域11Bが側面3に露出してもよい。第2領域11Bが底面4に露出してもよい。第1領域11Aの下端面は、底面4を含む仮想平面31にあってもよく、仮想平面31よりも第1主面1に近くてもよい。第1領域11Aは第1半導体領域の一例であり、第2領域11Bは第2半導体領域の一例である。

[0039] 第2領域11Bにおけるn型不純物の第2実効濃度は、第1領域11Aにおけるn型不純物の第1実効濃度よりも低い。例えば、第2実効濃度は $1 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ 以上 $1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 以下であり、第1実効濃度は $1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 以上 $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 以下である。第1領域11Aは電流拡散領域とよばれることがある。

[0040] Z軸に沿って、底面4と第2主面2の間には炭化珪素単結晶基板50およびドリフト領域11があり、底面4と第2主面2との間の炭化珪素基板10の導電型はn型である。Z軸に沿って、底面4と第2主面2との間に導電

型がp型の半導体は存在しない。Z軸は第3軸の一例である。

- [0041] ゲート絶縁膜81は、例えば酸化膜である。ゲート絶縁膜81は、例えば二酸化珪素を含む材料により構成されている。ゲート絶縁膜81は、側面3および底面4に接する。ゲート絶縁膜81は、底面4においてドリフト領域11に接する。ゲート絶縁膜81は、底面4において第2領域11Bに接する。ゲート絶縁膜81は、側面3においてソース領域13、ボディ領域12およびドリフト領域11に接する。ゲート絶縁膜81は、側面3において第1領域11Aおよび第2領域11Bに接する。ゲート絶縁膜81は、側面3において第1領域11Aに接していれば、第2領域11Bに接していなくてもよい。ゲート絶縁膜81は、第1主面1においてソース領域13に接してもよい。
- [0042] ゲート電極82は、ゲート絶縁膜81の上に設けられている。ゲート電極82は、例えば導電性不純物を含むポリシリコン（ポリSi）から構成されている。ゲート電極82は、ゲートトレンチ5の内部に配置されている。ゲート電極82は、側面3および底面4に対向する。ゲート電極82の一部が第1主面1に対向してもよい。ゲート電極82はY軸に沿って延びる。第1主面1に垂直な平面視で、ゲート電極82が複数のゲートトレンチ5と重なってもよい。
- [0043] 層間絶縁膜83はゲート電極82を覆う。層間絶縁膜83はゲート電極82およびゲート絶縁膜81に接する。層間絶縁膜83は、例えば酸化膜である。層間絶縁膜83は、例えば二酸化珪素を含む材料から構成されている。層間絶縁膜83は、ゲート電極82とソース電極60とを互いに電氣的に絶縁している。層間絶縁膜83の一部は、ゲートトレンチ5の内部に設けられていてもよい。層間絶縁膜83の上面は、曲率が連続的に変化する曲面であってもよい。層間絶縁膜83の上面は、ゲートトレンチ5の上方において+Z方向に凸となる曲面であってもよい。
- [0044] 層間絶縁膜83およびゲート絶縁膜81には、X軸に沿って一定の間隔でコンタクトホール90が形成されている。コンタクトホール90は、X軸に

沿って隣り合うコンタクトホール90の間にゲートトレンチ5が位置するように配置されている。コンタクトホール90はY軸に沿って延びる。コンタクトホール90を通じて、ソース領域13およびコンタクト領域18が層間絶縁膜83およびゲート絶縁膜81から露出している。

[0045] バリアメタル膜84は、層間絶縁膜83の上面と、ゲート絶縁膜81の側面とを覆う。バリアメタル膜84は、層間絶縁膜83およびゲート絶縁膜81に接している。バリアメタル膜84は、例えば窒化チタン(TiN)を含む材料から構成されている。

[0046] ソース電極60は第1主面1に接する。ソース電極60は、コンタクトホール90内に設けられたコンタクト電極61と、ソース配線62とを有する。コンタクト電極61は、第1主面1において、ソース領域13およびコンタクト領域18に接している。コンタクト電極61は、例えばニッケルシリサイド(NiSi)を含む材料から構成されている。コンタクト電極61が、チタン(Ti)と、アルミニウムと、シリコンとを含む材料から構成されていてもよい。コンタクト電極61は、ソース領域13およびコンタクト領域18とオーミック接合している。ソース配線62は、バリアメタル膜84の上面および側面と、コンタクト電極61の上面とを覆う。ソース配線62は、バリアメタル膜84およびコンタクト電極61に接している。ソース配線62は、例えばアルミニウムを含む材料から構成されている。

[0047] ドレイン電極70は第2主面2に接する。ドレイン電極70は、第2主面2において炭化珪素単結晶基板50に接している。ドレイン電極70は、ドリフト領域11に電氣的に接続されている。ドレイン電極70は、例えばニッケルシリサイドを含む材料から構成されている。ドレイン電極70がチタンと、アルミニウムと、シリコンとを含む材料から構成されていてもよい。ドレイン電極70は、炭化珪素単結晶基板50にオーミック接合している。

[0048] 炭化珪素単結晶基板50とドリフト領域11との間に、窒素等のn型不純物を含み、n型の導電性を有するバッファ層が設けられていてもよい。また、ソース電極60の一部を覆うパッシベーション膜が設けられていてもよい。

- 。
- [0049] コンタクト領域 1 8 における p 型不純物の実効濃度は、ボディ領域 1 2 における p 型不純物の実効濃度よりも高くてもよい。例えば、コンタクト領域 1 8 における p 型不純物の実効濃度は、例えば $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 以上 $1 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ 以下であり、ボディ領域 1 2 における p 型不純物の実効濃度は $5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 以上 $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 以下である。
- [0050] ソース領域 1 3 における n 型不純物の実効濃度は、ボディ領域 1 2 における p 型不純物の実効濃度よりも高くてもよい。ソース領域 1 3 における n 型不純物の実効濃度は、例えば $1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 程度である。また、接続領域 1 4 における p 型不純物の実効濃度および電界緩和領域 1 5 における p 型不純物の実効濃度は、例えば $5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 以上 $5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 以下である。
- [0051] 本開示において、第 1 導電型の不純物の実効濃度とは、第 1 導電型の不純物の濃度から第 2 導電型の不純物の濃度を減じて得られる濃度であり、第 2 導電型の不純物の実効濃度とは、第 2 導電型の不純物の濃度から第 1 導電型の不純物の濃度を減じて得られる濃度である。実効濃度は、例えば走査型静電容量顕微鏡 (scanning capacitance microscope : SCM) を用いて測定できる。
- [0052] ここで、本開示における接続領域 1 4 および電界緩和領域 1 5 の範囲について説明する。図 3 は、接続領域 1 4 および電界緩和領域 1 5 の範囲を示す模式図である。
- [0053] ドリフト領域 1 1 は n 型の導電型を有し、ボディ領域 1 2、接続領域 1 4 および電界緩和領域 1 5 は p 型の導電型を有する。このため、ドリフト領域 1 1 とボディ領域 1 2 との境界、ドリフト領域 1 1 と接続領域 1 4 との境界、およびドリフト領域 1 1 と電界緩和領域 1 5 との境界は明確である。
- [0054] ドリフト領域 1 1 の上端面 2 1 はボディ領域 1 2 の下端面 2 2 に接する。そして、本開示では、接続領域 1 4 の上端面 2 3 はドリフト領域 1 1 の上端面 2 1 と同一の面にあるとする。また、上端面 2 3 よりも第 2 主面 2 に近い

領域内では、Y軸に垂直な断面視で、p型領域（接続領域14または電界緩和領域15）とドリフト領域11を示す曲線に接触する接触円33の中心を第2主面に向かって移動させると、接触円33の中心は、第1主面1からある距離だけ離れた面でp型領域からドリフト領域11へと移る。本開示では、この面に接続領域14の下端面24および電界緩和領域15の上端面25があるとす。接続領域14の下端面24が底面4よりも第2主面2に近くてもよい。電界緩和領域15の下端面26は炭化珪素単結晶基板50に対向する面である。

[0055] 第1実施形態に係る炭化珪素半導体装置100では、接続領域14が、X軸に沿ってボディ領域12よりもゲートトレンチ5から離れ、電界緩和領域15が、X軸に沿って接続領域14よりもゲートトレンチ5から離れている。また、電界緩和領域15の第1厚さT1が接続領域14の第2厚さT2よりも大きい。このため、ゲート絶縁膜81にかかる電圧を緩和しながら、オン抵抗を低減できる。すなわち、ゲート絶縁膜81の信頼性の確保とオン抵抗の低減とを両立できる。また、オン抵抗を低減するために電流拡散領域を過剰に広くした場合には、スイッチング動作時のノイズの増加が生じ得るが、本実施形態では、スイッチング動作時のノイズの増加が生じる得る程度に第1領域11Aを広くせずともオン抵抗を低減できる。従って、スイッチング動作時のノイズの増加を回避できる。更に、ゲートトレンチの間にソーストレンチを形成し、ソーストレンチ内にソース電極を設け、その周囲にディープウェル領域を設けた場合には、ドレイン耐圧が低下し得るが、本実施形態では、ディープウェル領域に伴うドレイン耐圧の低下を回避できる。

[0056] Z軸に沿って、底面4と第2主面2との間の半導体（炭化珪素基板10）の導電型がn型であり、底面4と第2主面2との間に導電型がp型の半導体は存在しない場合、オン抵抗をより低減しやすい。

[0057] 接続領域14の第2厚さT2がボディ領域12の第3厚さT3より大きい場合、ゲート絶縁膜81にかかる電圧をより緩和しやすい。

[0058] ドリフト領域11の第1領域11Aにおける第1実効濃度が第2領域11

Bにおける第2実効濃度よりも高い場合、ドリフト領域11の広い範囲でオン電流が流れやすく、オン抵抗をより低減しやすい。

[0059] 接続領域14の下端面24が底面4よりも第2主面2に近い場合、ゲート絶縁膜81にかかる電圧をより緩和しやすい。

[0060] 第1主面1に垂直な平面視でゲートトレンチ5を間に挟む2つの接続領域14の間の距離L1は、例えば第1ピッチP1の0.5倍以下であってもよい。距離L1が第1ピッチP1の0.5倍以下である場合、スイッチング動作時のノイズを低減しやすい。

[0061] ボディ領域12におけるp型不純物の第3実効濃度が接続領域14におけるp型不純物の第4実効濃度よりも高く、第4実効濃度が電界緩和領域15におけるp型不純物の第5実効濃度よりも高くてもよい。第3実効濃度が第4実効濃度よりも高く、第4実効濃度が第5実効濃度よりも高い場合、ゲート絶縁膜81にかかる電圧をより緩和しやすい。

[0062] 第1主面1を基準とした底面4の第1深さD1が、底面4を基準とした電界緩和領域15の下端面26の第2深さD2よりも小さくてもよい。第1深さD1が第2深さD2よりも小さい場合、ゲート絶縁膜81にかかる電圧をより緩和しやすい。

[0063] 第2深さD2が $2\mu\text{m}$ 以上である場合、ゲート絶縁膜81にかかる電圧をより緩和しやすい。第2深さD2が $2.5\mu\text{m}$ 以上であってもよく、 $3\mu\text{m}$ 以上であってもよい。

[0064] (第2実施形態)

第2実施形態について説明する。第2実施形態は、主として、電界緩和領域15の幅の点で第1実施形態と相違する。図4は、第2実施形態に係る炭化珪素半導体装置の構成を示す断面図である。

[0065] 図4に示されるように、第2実施形態に係る炭化珪素半導体装置200では、電界緩和領域15が第1実施形態よりも広く形成されている。より具体的には、底面4から第2深さD2の半分($D2/2$)だけ深い仮想平面32において、Y軸に垂直な断面視で、電界緩和領域15の第1幅W1が、隣り

合う電界緩和領域 1 5 の間のドリフト領域 1 1 の第 2 幅 W 2 よりも大きい。

[0066] 第 2 実施形態の他の構成は第 1 実施形態と同じである。

[0067] 第 2 実施形態によっても第 1 実施形態と同じ効果が得られる。また、仮想平面 3 2 において、第 1 幅 W 1 が第 2 幅 W 2 よりも大きいため、ゲート絶縁膜 8 1 にかかる電圧をより緩和しやすく、スイッチング動作時のノイズをより低減しやすい。

[0068] 以上、実施形態について詳述したが、本開示は特定の実施形態に限定されるものではなく、特許請求の範囲に記載された範囲内において、種々の変形および変更が可能である。

符号の説明

- [0069] 1 第 1 主面
2 第 2 主面
3 側面
4 底面
5 ゲートトレンチ
1 0 炭化珪素基板
1 1 ドリフト領域
1 1 A 第 1 領域
1 1 B 第 2 領域
1 2 ボディ領域
1 3 ソース領域
1 4 接続領域
1 5 電界緩和領域
1 8 コンタクト領域
2 1、2 3、2 5 上端面
2 2、2 4、2 6 下端面
3 1、3 2 仮想平面
3 3 接触円

- 40 炭化珪素エピタキシャル層
- 50 炭化珪素単結晶基板
- 60 ソース電極
- 61 コンタクト電極
- 62 ソース配線
- 70 ドレイン電極
- 81 ゲート絶縁膜
- 82 ゲート電極
- 83 層間絶縁膜
- 84 バリアメタル膜
- 90 コンタクトホール
- 100、200 炭化珪素半導体装置
- D1 第1深さ
- D2 第2深さ
- L1 距離
- P1 第1ピッチ
- T1 第1厚さ
- T2 第2厚さ
- T3 第3厚さ
- W1 第1幅
- W2 第2幅
- θ 1 角度

請求の範囲

- [請求項1] 第1主面と、前記第1主面とは反対の第2主面とを有する炭化珪素基板を備え、
- 前記炭化珪素基板は、
- 第1導電型を有するドリフト領域と、
- 前記ドリフト領域の上に設けられ、前記第1導電型と異なる第2導電型を有するボディ領域と、
- 前記ドリフト領域から隔てられるように前記ボディ領域の上に設けられ、前記第1導電型を有するソース領域と、
- 前記ボディ領域の下に設けられ、前記ボディ領域に接し、前記第2導電型を有する接続領域と、
- 前記接続領域の下に設けられ、前記接続領域に接し、前記第2導電型を有する電界緩和領域と、
- を有し、
- 前記第1主面に、前記ソース領域および前記ボディ領域を貫通して前記ドリフト領域に至る側面と、前記側面と連なる底面とを備えたゲートトレンチが設けられており、
- 前記ゲートトレンチの前記側面および前記底面に接するゲート絶縁膜と、
- 前記炭化珪素基板との間に前記ゲート絶縁膜を挟むように前記ゲート絶縁膜上に設けられたゲート電極と、
- を有し、
- 前記ゲートトレンチは、前記第1主面に平行な第1軸に沿って延び、
- 前記接続領域は、前記第1主面に平行かつ前記第1軸に垂直な第2軸に沿って、前記ボディ領域よりも前記ゲートトレンチから離れ、
- 前記電界緩和領域は、前記第2軸に沿って、前記接続領域よりも前記ゲートトレンチから離れ、

前記電界緩和領域の第1厚さは、前記接続領域の第2厚さよりも大きい、炭化珪素半導体装置。

[請求項2] 前記第2厚さは、前記ボディ領域の第3厚さよりも大きい、請求項1に記載の炭化珪素半導体装置。

[請求項3] 前記ドリフト領域は、
前記側面および前記ボディ領域に接する第1半導体領域と、
前記第1半導体領域と前記第2主面との間に設けられ、前記第1半導体領域に接する第2半導体領域と、
を有し、
前記第1半導体領域における前記第1導電型の不純物の第1実効濃度は、前記第2半導体領域における前記第1導電型の不純物の第2実効濃度よりも高い、請求項1または請求項2に記載の炭化珪素半導体装置。

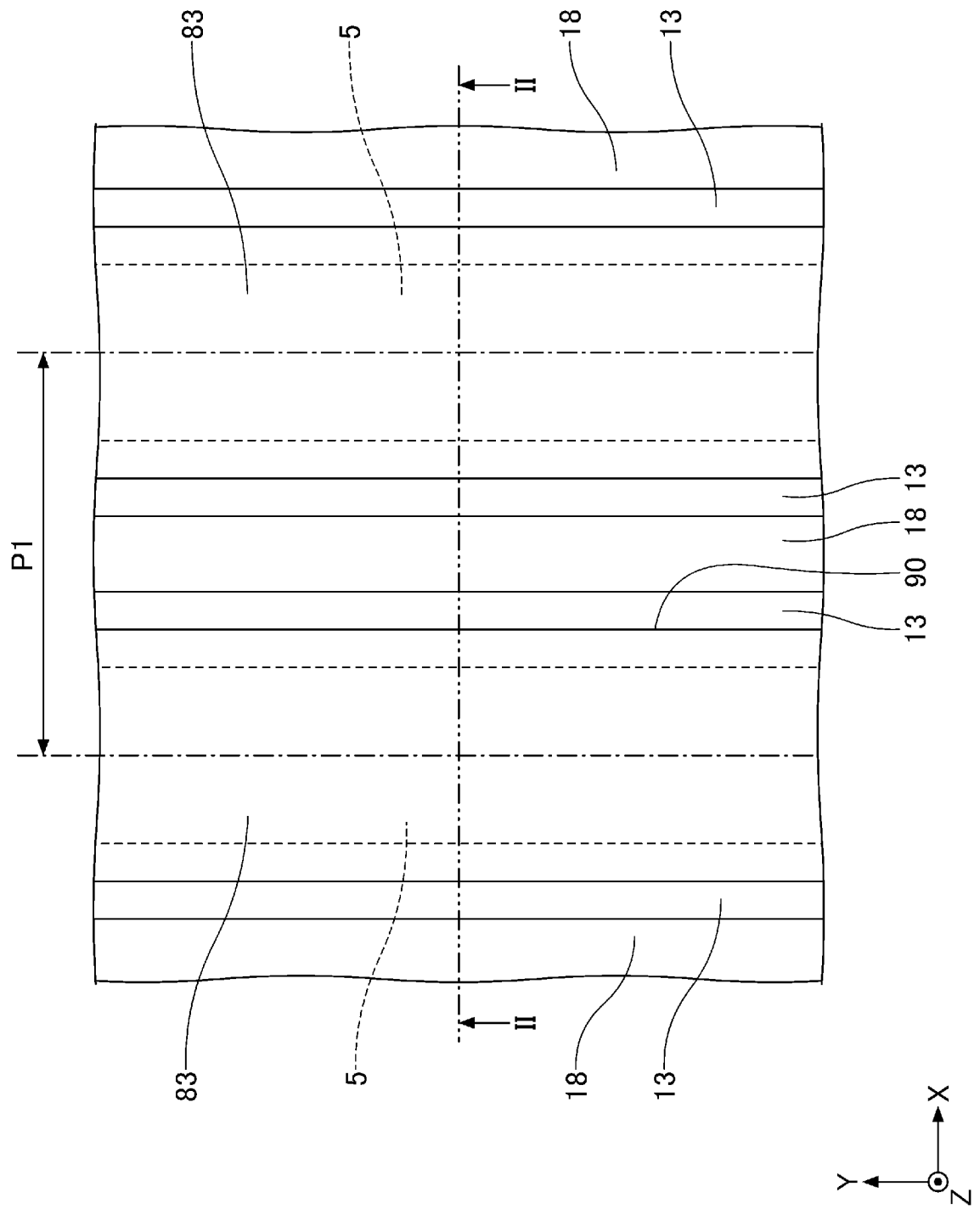
[請求項4] 前記接続領域の下端面は、前記底面よりも前記第2主面に近い、請求項1から請求項3のいずれか1項に記載の炭化珪素半導体装置。

[請求項5] 前記第1主面に、複数の前記ゲートトレンチが一定の第1ピッチで設けられており、
前記第1軸に垂直な断面視で、前記炭化珪素基板は、前記接続領域を前記ゲートトレンチの両側に有し、
前記接続領域の間の距離は、前記第1ピッチの0.5倍以下である、請求項1から請求項4のいずれか1項に記載の炭化珪素半導体装置。

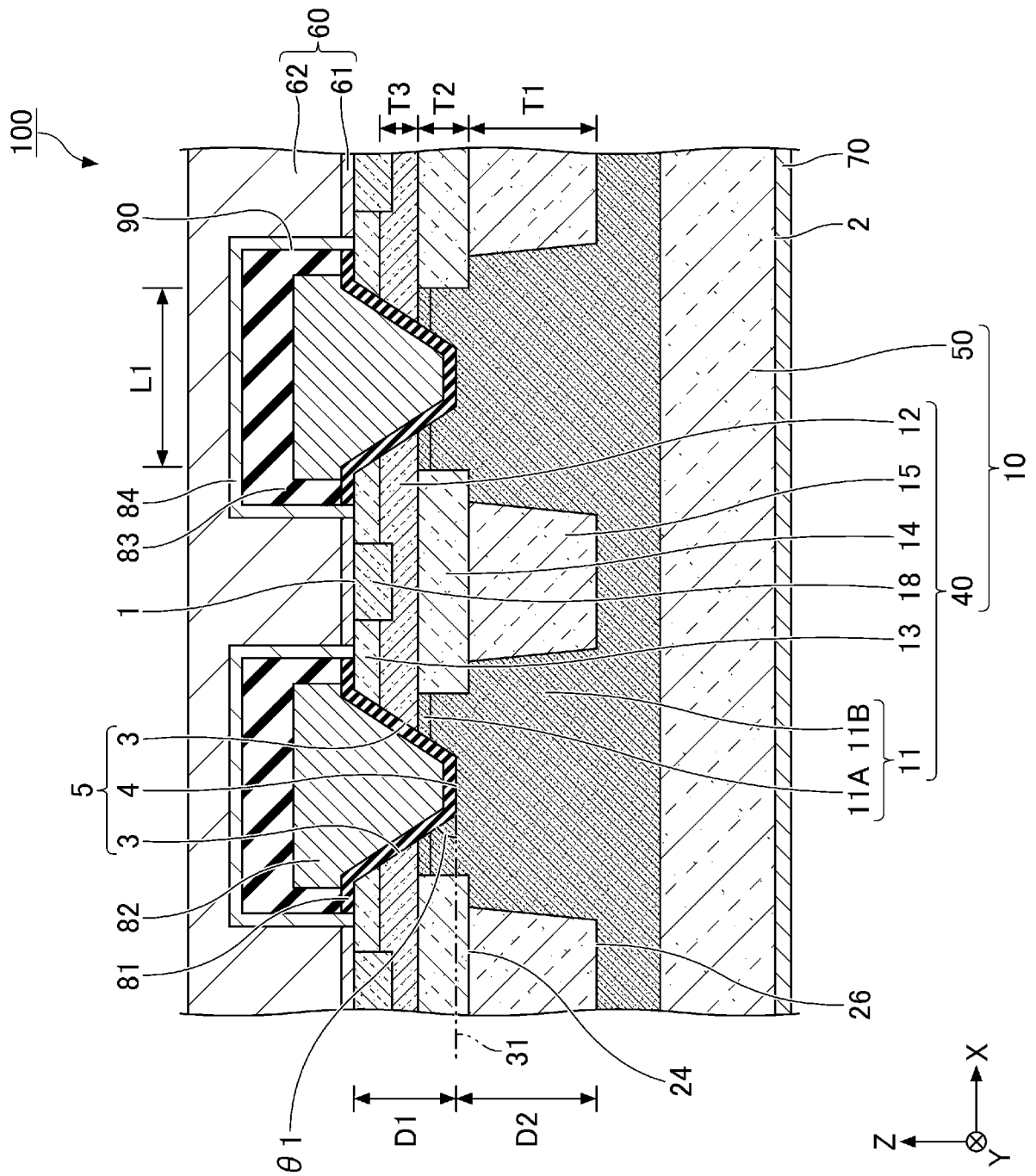
[請求項6] 前記ボディ領域における前記第2導電型の不純物の第3実効濃度は、前記接続領域における前記第2導電型の不純物の第4実効濃度よりも高く、
前記第4実効濃度は、前記電界緩和領域における前記第2導電型の不純物の第5実効濃度よりも高い、請求項1から請求項5のいずれか1項に記載の炭化珪素半導体装置。

- [請求項7] 前記第1主面を基準とした前記底面の第1深さは、前記底面を基準とした前記電界緩和領域の下端面の第2深さよりも小さい、請求項1から請求項6のいずれか1項に記載の炭化珪素半導体装置。
- [請求項8] 前記第1軸に垂直な断面視で、前記炭化珪素基板は、前記電界緩和領域を前記ゲートトレンチの両側に有し、
前記底面を基準とした前記電界緩和領域の下端面の第2深さをD2としたとき、前記底面からD2/2だけ深い仮想平面において、前記第1軸に垂直な断面視で、前記電界緩和領域の第1幅は、隣り合う前記電界緩和領域の間の前記ドリフト領域の第2幅よりも大きい、請求項1から請求項7のいずれか1項に記載の炭化珪素半導体装置。
- [請求項9] 前記底面を基準とした前記電界緩和領域の下端面の第2深さは2 μ m以上である、請求項1から請求項8のいずれか1項に記載の炭化珪素半導体装置。
- [請求項10] 前記底面と前記第2主面との間の半導体の導電型は前記第1導電型である、請求項1から請求項9のいずれか1項に記載の炭化珪素半導体装置。
- [請求項11] 前記ゲートトレンチの前記側面は、{0-33-8}面を含む、請求項1から請求項10のいずれか1項に記載の炭化珪素半導体装置。

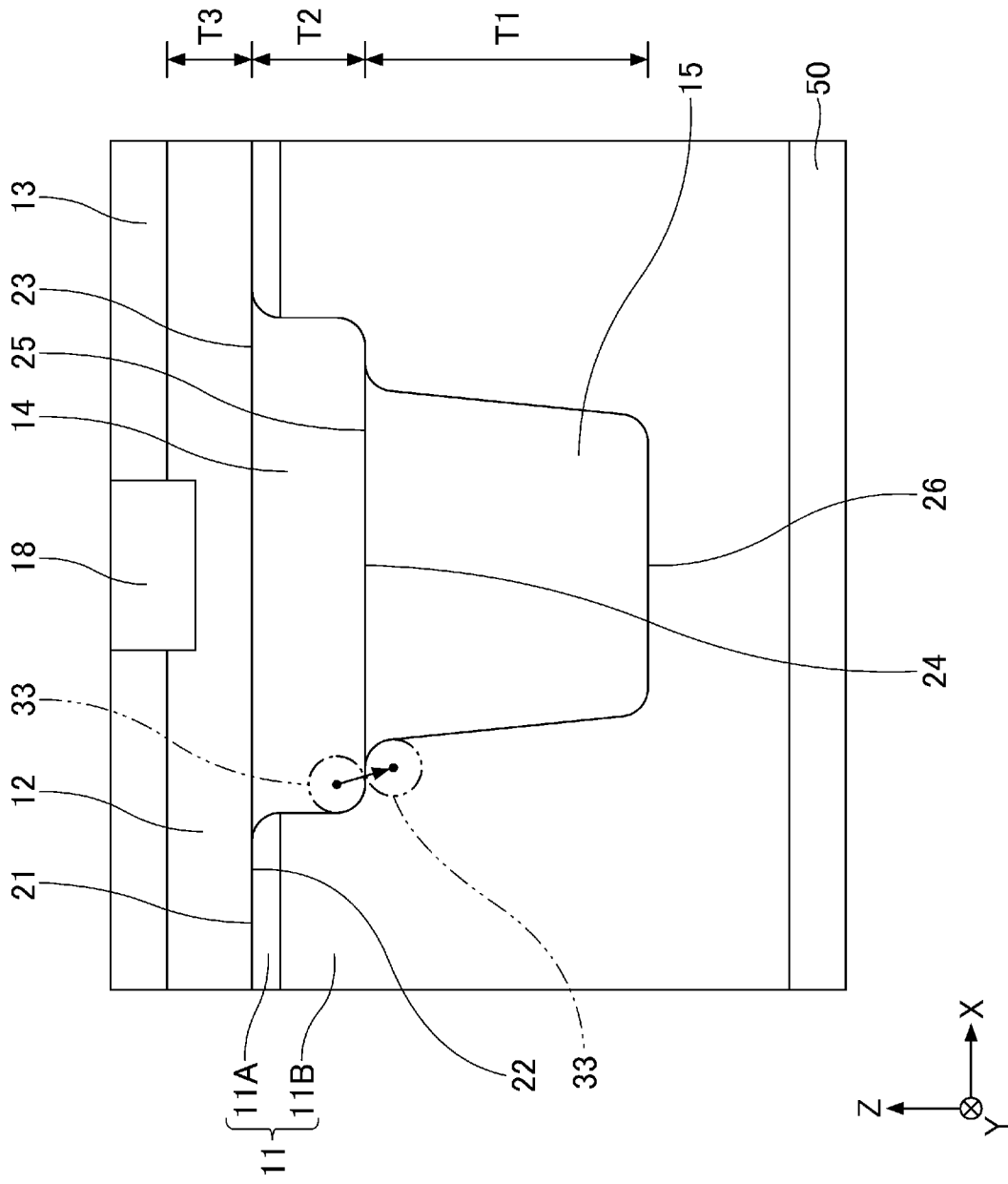
[図1]



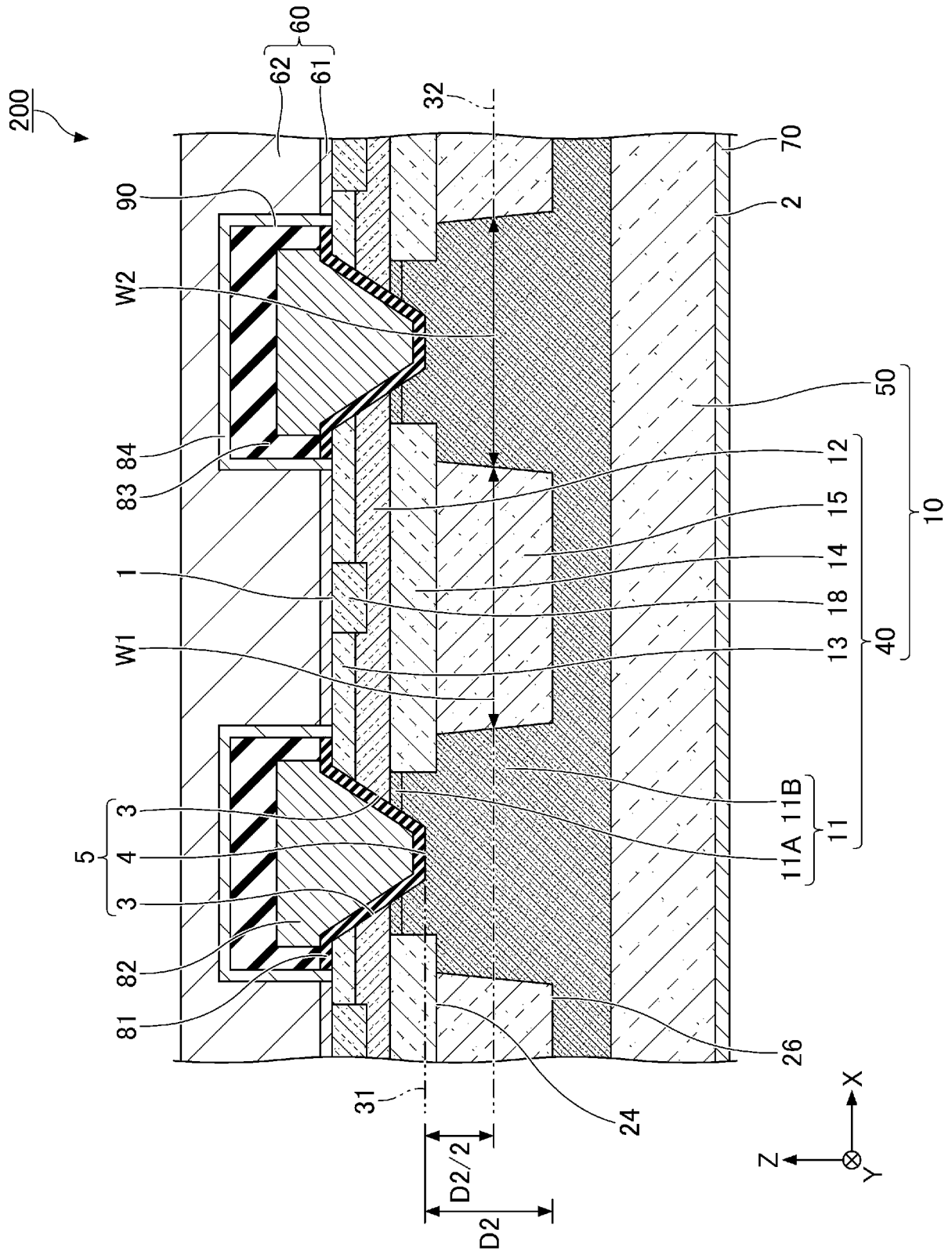
[圖2]



[図3]



[圖4]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2024/024715

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER		
<i>H01L 29/78</i> (2006.01)i; <i>H01L 29/12</i> (2006.01)i FI: H01L29/78 652H; H01L29/78 652T; H01L29/78 652F; H01L29/78 652M; H01L29/78 652K; H01L29/78 653A		
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; H01L29/12		
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) JSTPlus/JMEDPlus/JST7580 (JDreamIII)		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2017-59570 A (KABUSHIKI KAISHA TOSHIBA) 23 March 2017 (2017-03-23) entire text, all drawings	1-11
A	JP 2016-66780 A (DENSO CORPORATION) 28 April 2016 (2016-04-28) entire text, all drawings	1-11
A	JP 2018-206923 A (FUJI ELECTRIC CO., LTD.) 27 December 2018 (2018-12-27) entire text, all drawings	1-11
A	JP 2015-162579 A (SUMITOMO ELECTRIC INDUSTRIES, LTD.) 07 September 2015 (2015-09-07) entire text, all drawings	1-11
A	WO 2020/110514 A1 (FUJI ELECTRIC CO., LTD.) 04 June 2020 (2020-06-04) entire text, all drawings	1-11
<input checked="" type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input checked="" type="checkbox"/> See patent family annex.		
* Special categories of cited documents: "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance "D" document cited by the applicant in the international application "E" earlier application or patent but published on or after the international filing date "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified) "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed "T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art "&" document member of the same patent family		
Date of the actual completion of the international search 27 August 2024		Date of mailing of the international search report 10 September 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/JP2024/024715

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	WO 2018/042835 A1 (SUMITOMO ELECTRIC INDUSTRIES, LTD.) 08 March 2018 (2018-03-08) entire text, all drawings	1-11
P, X	JP 2023-139376 A (THE NATIONAL INSTITUTE OF ADVANCED INDUSTRIAL SCIENCE AND TECHNOLOGY) 04 October 2023 (2023-10-04) paragraphs [0001], [0037]-[0069], fig. 1, 2	1, 2, 4-7, 9, 10
P, A	paragraphs [0001], [0037]-[0069], fig. 1, 2	3, 8, 11

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/JP2024/024715

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)	Publication date (day/month/year)
JP	2017-59570	A	23 March 2017	US 2017/0077289 A1 entire text, all drawings	
				CN 106531796 A	
JP	2016-66780	A	28 April 2016	US 2017/0263757 A1 entire text, all drawings	
				US 2019/0288107 A1	
				WO 2016/042738 A1	
JP	2018-206923	A	27 December 2018	US 2018/0350976 A1 entire text, all drawings	
				US 2019/0371938 A1	
JP	2015-162579	A	07 September 2015	(Family: none)	
WO	2020/110514	A1	04 June 2020	US 2021/0183995 A1 entire text, all drawings	
				DE 112019003790 T5	
				CN 112655096 A	
WO	2018/042835	A1	08 March 2018	US 2019/0198622 A1 entire text, all drawings	
				DE 112017004339 T5	
				CN 109661728 A	
JP	2023-139376	A	04 October 2023	US 2023/0327017 A1 paragraphs [0002], [0024]- [0054], fig. 1, 2	

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 29/12(2006.01)i FI: H01L29/78 652H; H01L29/78 652T; H01L29/78 652F; H01L29/78 652M; H01L29/78 652K; H01L29/78 653A		
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; H01L29/12		
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） JSTPlus/JMEDPlus/JST7580 (JDreamII)		
C. 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
A	JP 2017-59570 A (株式会社東芝) 23.03.2017 (2017 - 03 - 23) 全文、全図	1-11
A	JP 2016-66780 A (株式会社デンソー) 28.04.2016 (2016 - 04 - 28) 全文、全図	1-11
A	JP 2018-206923 A (富士電機株式会社) 27.12.2018 (2018 - 12 - 27) 全文、全図	1-11
A	JP 2015-162579 A (住友電気工業株式会社) 07.09.2015 (2015 - 09 - 07) 全文、全図	1-11
A	WO 2020/110514 A1 (富士電機株式会社) 04.06.2020 (2020 - 06 - 04) 全文、全図	1-11
A	WO 2018/042835 A1 (住友電気工業株式会社) 08.03.2018 (2018 - 03 - 08) 全文、全図	1-11
<input checked="" type="checkbox"/> C欄の続きにも文献が列挙されている。 <input checked="" type="checkbox"/> パテントファミリーに関する別紙を参照。		
* 引用文献のカテゴリー “A” 特に関連のある文献ではなく、一般的技术水準を示すもの “D” 国際出願で出願人が先行技術文献として記載した文献 “E” 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの “L” 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す） “O” 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献 “P” 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願の日の後に公表された文献	“T” 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と抵触するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの “X” 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの “Y” 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの “&” 同一パテントファミリー文献	
国際調査を完了した日 27.08.2024	国際調査報告の発送日 10.09.2024	
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） 上田 智志 5F 3664 電話番号 03-3581-1101 内線 3560	

C. 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリ*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
P, X	JP 2023-139376 A (国立研究開発法人産業技術総合研究所) 04.10.2023 (2023 - 10 - 04) 段落0001, 0037-0069, 図1, 2	1, 2, 4-7, 9, 10
P, A	段落0001, 0037-0069, 図1, 2	3, 8, 11

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/JP2024/024715

引用文献	公表日	パテントファミリー文献	公表日
JP 2017-59570 A	23.03.2017	US 2017/0077289 A1 全文、全図 CN 106531796 A	
JP 2016-66780 A	28.04.2016	US 2017/0263757 A1 全文、全図 US 2019/0288107 A1 WO 2016/042738 A1	
JP 2018-206923 A	27.12.2018	US 2018/0350976 A1 全文、全図 US 2019/0371938 A1	
JP 2015-162579 A	07.09.2015	(ファミリーなし)	
WO 2020/110514 A1	04.06.2020	US 2021/0183995 A1 全文、全図 DE 112019003790 T5 CN 112655096 A	
WO 2018/042835 A1	08.03.2018	US 2019/0198622 A1 全文、全図 DE 112017004339 T5 CN 109661728 A	
JP 2023-139376 A	04.10.2023	US 2023/0327017 A1 段落0002, 0024-0054, 図1, 2	