

(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
2022年1月20日(20.01.2022)



(10) 国際公開番号

WO 2022/014624 A1

(51) 国際特許分類:

H01L 21/8234 (2006.01) H01L 29/739 (2006.01)
H01L 27/06 (2006.01) H01L 21/336 (2006.01)
H01L 29/06 (2006.01) H01L 29/861 (2006.01)
H01L 29/78 (2006.01) H01L 29/868 (2006.01)

(21) 国際出願番号: PCT/JP2021/026376

(22) 国際出願日: 2021年7月13日(13.07.2021)

(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 2020-120909 2020年7月14日(14.07.2020) JP

(71) 出願人: 富士電機株式会社 (FUJI ELECTRIC CO., LTD.) [JP/JP]; 〒2109530 神奈川県川崎市川崎区田辺新田1番1号 Kanagawa (JP).

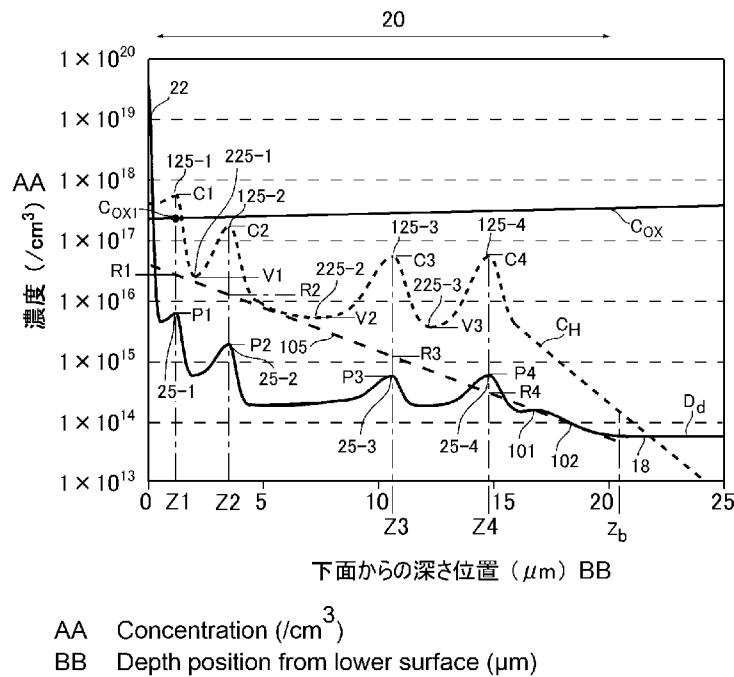
(72) 発明者: 石川 隆正 (ISHIKAWA Takamasa); 〒2109530 神奈川県川崎市川崎区田辺新田1番1号 富士電機株式会社内 Kanagawa (JP). 八尾 典明 (YAO Noriaki); 〒2109530 神奈川県川崎市川崎区田辺新田1番1号 富士電機株式会社内 Kanagawa (JP).

(74) 代理人: 龍華国際特許業務法人 (RYUKA IP LAW FIRM); 〒1631522 東京都新宿区西新宿1-6-1 新宿エルタワー22階 Tokyo (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,

(54) Title: SEMICONDUCTOR DEVICE

(54) 発明の名称: 半導体装置



(57) Abstract: Provided is a semiconductor device in which: a buffer region of a semiconductor substrate has a plurality of hydrogen chemical concentration peaks that have been arranged at different locations in the depth direction of the semiconductor substrate, a plurality of doping concentration peaks that have been arranged at locations corresponding to the plurality of hydrogen chemical concentration peaks, and a high-concentration region provided between a deepest hydrogen chemical concentration peak and a drift region; the doping concentration distribution in the depth direction of

BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, IT, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, 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, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, 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, 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))
- 補正された請求の範囲 (条約第19条(1))

the high-concentration region has a slope which adjoins the drift region and in which the doping concentration gradually decreases going toward the drift region; the slope includes a portion that is convex upward; and the doping concentration of a most shallow doping concentration peak is 5-50% of a most shallow reference concentration, if the most shallow reference concentration is the concentration at the depth location of the most shallow doping concentration peak on an approximate concentration line that is a rectilinear approximation of the incline of the slope.

(57) 要約: 半導体基板のバッファ領域は、半導体基板の深さ方向の異なる位置に配置された複数の水素化学濃度ピークと、複数の水素化学濃度ピークと対応する位置に配置された複数のドーピング濃度ピークと、最深水素化学濃度ピークとドリフト領域との間に設けられた高濃度領域とを有し、高濃度領域の深さ方向のドーピング濃度分布は、ドリフト領域に接しており、且つ、ドリフト領域に向けてドーピング濃度が徐々に低下するスロープを有し、スロープは上に凸の部分を含み、スロープの傾きを直線で近似した近似濃度直線において、最浅ドーピング濃度ピークの深さ位置における濃度を最浅参考濃度とした場合に、最浅ドーピング濃度ピークのドーピング濃度が、最浅参考濃度の5%以上、50%以下である半導体装置を提供する。

明 細 書

発明の名称：半導体装置

技術分野

[0001] 本発明は、半導体装置に関する。

背景技術

[0002] 従来、ＩＧＢＴ（絶縁ゲート型バイポーラトランジスタ）等の半導体装置において、ドリフト領域よりもドーピング濃度の高いバッファ領域を設けた構造が知られている（例えば特許文献１参照）。

特許文献１ WO 2018-074434号

解決しようとする課題

[0003] 半導体装置は、短絡耐量等の特性がよいことが好ましい。

一般的開示

[0004] 上記課題を解決するために、本発明の一つの態様においては、上面および下面を有する半導体基板を備える半導体装置を提供する。半導体装置は、半導体基板に設けられた、第１導電型のドリフト領域を備えてよい。半導体装置は、ドリフト領域と半導体基板の下面との間に設けられた、ドリフト領域よりもドーピング濃度の高い第１導電型のバッファ領域を備えてよい。バッファ領域は、半導体基板の深さ方向の異なる位置に配置され、下面から最も遠い最深水素化学濃度ピークを含む複数の水素化学濃度ピークを有してよい。バッファ領域は、複数の水素化学濃度ピークと対応する位置に配置され、下面に最も近い最浅ドーピング濃度ピークを含む複数のドーピング濃度ピークを有してよい。バッファ領域は、最深水素化学濃度ピークと、ドリフト領域との間に設けられた高濃度領域を有してよい。高濃度領域の深さ方向のドーピング濃度分布は、ドリフト領域に接しており、且つ、ドリフト領域に向けてドーピング濃度が徐々に低下するスロープを有してよい。スロープは上に凸の部分を含んでよい。スロープの傾きを直線で近似した近似濃度直線において、最浅ドーピング濃度ピークの深さ位置における濃度を最浅参考濃度

とした場合に、最浅ドーピング濃度ピークのドーピング濃度が、最浅参考濃度の5%以上、50%以下であってよい。

[0005] 近似濃度直線の対数傾きが1000 (／cm) 以上、2000 (／cm) 以下であってよい。

[0006] 最浅ドーピング濃度ピークと、半導体基板の下面との距離が1 μm以上であってよい。

[0007] 最浅ドーピング濃度ピークと、半導体基板の下面との距離が3 μm未満であってよい。

[0008] 最深水素化学濃度ピークと、半導体基板の下面との距離が20 μm以下であってよい。

[0009] 複数の水素化学濃度ピークは、下面に最も近い最浅水素化学濃度ピークを含んでよい。最浅水素化学濃度ピークと、最深水素化学濃度ピークとの距離が15 μm以下であってよい。

[0010] 高濃度領域およびドリフト領域の境界位置と、半導体基板の下面との距離が25 μm以下であってよい。

[0011] 複数のドーピング濃度ピークは、下面から最も遠い最深ドーピング濃度ピークを含んでよい。近似濃度直線において、最深ドーピング濃度ピークの深さ位置における濃度を最深参考濃度とした場合に、最深ドーピング濃度ピークのドーピング濃度が、最深参考濃度より高くてよい。

[0012] 複数のドーピング濃度ピークは、下面に2番目に近い第2ドーピング濃度ピークを含んでよい。近似濃度直線において、第2ドーピング濃度ピークの深さ位置における濃度を第2参考濃度とした場合に、第2ドーピング濃度ピークのドーピング濃度が、第2参考濃度より低くてよい。

[0013] 最浅ドーピング濃度ピークのドーピング濃度は、第2ドーピング濃度ピークのドーピング濃度の10倍以下であってよい。

[0014] 最浅参考濃度に対する最浅ドーピング濃度ピークのドーピング濃度の割合が、第2参考濃度に対する第2ドーピング濃度ピークのドーピング濃度の割合よりも大きくてよい。

- [0015] 半導体装置は、バッファ領域と、半導体基板の下面との間に設けられた第2導電型のコレクタ領域を備えてよい。複数の水素化学濃度ピークは、下面に最も近い最浅水素化学濃度ピークを含んでよい。コレクタ領域と、最浅水素化学濃度ピークとの間に、水素以外のn型ドーパントの化学濃度ピークがなくてよい。
- [0016] 最浅水素化学濃度ピークの水素化学濃度は、最浅参考濃度よりも高くてもよい。
- [0017] 最浅水素化学濃度ピークの水素化学濃度は、最浅参考濃度よりも低くてもよい。
- [0018] 最浅水素化学濃度ピークのピーク位置における酸素化学濃度は、最浅参考濃度よりも高くてもよい。
- [0019] 最浅水素化学濃度ピークのピーク位置における酸素化学濃度は、最浅参考濃度よりも低くてもよい。
- [0020] なお、上記の発明の概要は、本発明の必要な特徴の全てを列挙したものではない。また、これらの特徴群のサブコンビネーションもまた、発明となりうる。

図面の簡単な説明

- [0021] [図1]本発明の一つの実施形態に係る半導体装置100の一例を示す上面図である。
- [図2]図1における領域Aの拡大図である。
- [図3]図2におけるb-b断面の一例を示す図である。
- [図4]図3のd-d線におけるドーピング濃度 D_d ($/cm^3$) および水素化学濃度 C_H ($atoms/cm^3$) の分布例を示す図である。
- [図5]図4に示した分布における、バッファ領域20の近傍を拡大した図である。
- [図6A]図5におけるスロープ102の近傍を拡大した図である。
- [図6B]高濃度領域101のドーピング濃度分布の他の例である。
- [図6C]高濃度領域101のドーピング濃度分布の他の例である。

[図7]近似濃度直線 105 の対数傾き α を説明する図である。

[図8]平坦部 150 を説明する図である。

[図9]比較例におけるドーピング濃度 D_d および水素化学濃度 C_H の分布例を示す図である。

発明を実施するための形態

[0022] 以下、発明の実施の形態を通じて本発明を説明するが、以下の実施形態は請求の範囲にかかる発明を限定するものではない。また、実施形態の中で説明されている特徴の組み合わせの全てが発明の解決手段に必須であるとは限らない。

[0023] 本明細書においては半導体基板の深さ方向と平行な方向における一方の側を「上」、他方の側を「下」と称する。基板、層またはその他の部材の2つの主面のうち、一方の面を上面、他方の面を下面と称する。「上」、「下」の方向は、重力方向または半導体装置の実装時における方向に限定されない。

[0024] 本明細書では、X軸、Y軸およびZ軸の直交座標軸を用いて技術的事項を説明する場合がある。直交座標軸は、構成要素の相対位置を特定するに過ぎず、特定の方向を限定するものではない。例えば、Z軸は地面に対する高さ方向を限定して示すものではない。なお、+Z軸方向と-Z軸方向とは互いに逆向きの方向である。正負を記載せず、Z軸方向と記載した場合、+Z軸および-Z軸に平行な方向を意味する。

[0025] 本明細書では、半導体基板の上面および下面に平行な直交軸をX軸およびY軸とする。また、半導体基板の上面および下面と垂直な軸をZ軸とする。本明細書では、Z軸の方向を深さ方向と称する場合がある。また、本明細書では、X軸およびY軸を含めて、半導体基板の上面および下面に平行な方向を、水平方向と称する場合がある。

[0026] 本明細書において「同一」または「等しい」のように称した場合、製造ばらつき等に起因する誤差を有する場合も含んでよい。当該誤差は、例えば10%以内である。

- [0027] 本明細書においては、不純物がドーピングされたドーピング領域の導電型をP型またはN型として説明している。本明細書においては、不純物とは、特にN型のドナーまたはP型のアクセプタのいずれかを意味する場合があります、ドーパントと記載する場合がある。本明細書においては、ドーピングとは、半導体基板にドナーまたはアクセプタを導入し、N型の導電型を示す半導体またはP型の導電型を示す半導体とすることを意味する。
- [0028] 本明細書においては、ドーピング濃度とは、熱平衡状態におけるドナーの濃度またはアクセプタの濃度を意味する。本明細書においては、ネット・ドーピング濃度とは、ドナー濃度を正イオンの濃度とし、アクセプタ濃度を負イオンの濃度として、電荷の極性を含めて足し合わせた正味の濃度を意味する。一例として、ドナー濃度を N_D 、アクセプタ濃度を N_A とすると、任意の位置における正味のネット・ドーピング濃度は $N_D - N_A$ となる。
- [0029] ドナーは、半導体に電子を供給する機能を有している。アクセプタは、半導体から電子を受け取る機能を有している。ドナーおよびアクセプタは、不純物自体には限定されない。例えば、半導体中に存在する空孔（V）、酸素（O）および水素（H）が結合したVOH欠陥は、電子を供給するドナーとして機能する。
- [0030] 本明細書においてP+型またはN+型と記載した場合、P型またはN型よりもドーピング濃度が高いことを意味し、P-型またはN-型と記載した場合、P型またはN型よりもドーピング濃度が低いことを意味する。また、本明細書においてP++型またはN++型と記載した場合には、P+型またはN+型よりもドーピング濃度が高いことを意味する。
- [0031] 本明細書において化学濃度とは、電気的な活性化の状態によらずに測定される不純物の原子密度を指す。化学濃度は、例えば二次イオン質量分析法（SIMS）により計測できる。上述したネット・ドーピング濃度は、電圧-容量測定法（CV法）により測定できる。また、拡がり抵抗測定法（SR法）により計測されるキャリア濃度を、ネット・ドーピング濃度としてよい。CV法またはSR法により計測されるキャリア濃度は、熱平衡状態における

値としてよい。また、N型の領域においては、ドナー濃度がアクセプタ濃度よりも十分大きいので、当該領域におけるキャリア濃度を、ドナー濃度としてもよい。同様に、P型の領域においては、当該領域におけるキャリア濃度を、アクセプタ濃度としてもよい。

[0032] また、ドナー、アクセプタまたはネット・ドーピングの濃度分布がピークを有する場合、当該ピーク値を当該領域におけるドナー、アクセプタまたはネット・ドーピングの濃度としてよい。ドナー、アクセプタまたはネット・ドーピングの濃度がほぼ均一な場合等においては、当該領域におけるドナー、アクセプタまたはネット・ドーピングの濃度の平均値をドナー、アクセプタまたはネット・ドーピングの濃度としてよい。

[0033] S R法により計測されるキャリア濃度が、ドナーまたはアクセプタの濃度より低くてもよい。拡がり抵抗を測定する際に電流が流れる範囲において、半導体基板のキャリア移動度が結晶状態の値よりも低い場合がある。キャリア移動度の低下は、格子欠陥等による結晶構造の乱れ（ディスオーダー）により、キャリアが散乱されることで生じる。

[0034] C V法またはS R法により計測されるキャリア濃度から算出したドナーまたはアクセプタの濃度は、ドナーまたはアクセプタを示す元素の化学濃度よりも低くてよい。一例として、シリコンの半導体においてドナーとなるリンまたはヒ素のドナー濃度、あるいはアクセプタとなるボロン（ホウ素）のアクセプタ濃度は、これらの化学濃度の99%程度である。一方、シリコンの半導体においてドナーとなる水素のドナー濃度は、水素の化学濃度の0.1%から10%程度である。

[0035] 本明細書の単位系は、特に断りがなければSI単位系である。長さの単位をcm等で表示することがあるが、諸計算はメートル（m）に換算してから行ってよい。

[0036] 図1は、本発明の一つの実施形態に係る半導体装置100の一例を示す上面図である。図1においては、各部材を半導体基板10の上面に投影した位置を示している。図1においては、半導体装置100の一部の部材だけを示

しており、一部の部材は省略している。

[0037] 半導体装置 100 は、半導体基板 10 を備えている。半導体基板 10 は、上面視において端辺 202 を有する。本明細書で単に上面視と称した場合、半導体基板 10 の上面側から見ることを意味している。本例の半導体基板 10 は、上面視において互いに向かい合う 2 組の端辺 202 を有する。図 1 においては、X 軸および Y 軸は、いずれかの端辺 202 と平行である。また Z 軸は、半導体基板 10 の上面と垂直である。

[0038] 半導体基板 10 には活性部 160 が設けられている。活性部 160 は、半導体装置 100 が動作した場合に半導体基板 10 の上面と下面との間で、深さ方向に主電流が流れる領域である。活性部 160 の上方には、エミッタ電極が設けられているが図 1 では省略している。

[0039] 活性部 160 には、IGBT 等のトランジスタ素子を含むトランジスタ部 70 と、還流ダイオード (FWD) 等のダイオード素子を含むダイオード部 80 の少なくとも一方が設けられている。図 1 の例では、トランジスタ部 70 およびダイオード部 80 は、半導体基板 10 の上面における所定の配列方向 (本例では X 軸方向) に沿って、交互に配置されている。他の例では、活性部 160 には、トランジスタ部 70 およびダイオード部 80 の一方だけが設けられていてもよい。

[0040] 図 1 においては、トランジスタ部 70 が配置される領域には記号「I」を付し、ダイオード部 80 が配置される領域には記号「F」を付している。本明細書では、上面視において配列方向と垂直な方向を延伸方向 (図 1 では Y 軸方向) と称する場合がある。トランジスタ部 70 およびダイオード部 80 は、それぞれ延伸方向に長手を有してよい。つまり、トランジスタ部 70 の Y 軸方向における長さは、X 軸方向における幅よりも大きい。同様に、ダイオード部 80 の Y 軸方向における長さは、X 軸方向における幅よりも大きい。トランジスタ部 70 およびダイオード部 80 の延伸方向と、後述する各トレンチ部の長手方向とは同一であってよい。

[0041] ダイオード部 80 は、半導体基板 10 の下面と接する領域に、N+型のカ

ソード領域を有する。本明細書では、カソード領域が設けられた領域を、ダイオード部 80 と称する。つまりダイオード部 80 は、上面視においてカソード領域と重なる領域である。半導体基板 10 の下面には、カソード領域以外の領域には、P+型のコレクタ領域が設けられてよい。本明細書では、ダイオード部 80 を、後述するゲート配線まで Y 軸方向に延長した延長領域 81 も、ダイオード部 80 に含める場合がある。延長領域 81 の下面には、コレクタ領域が設けられている。

[0042] トランジスタ部 70 は、半導体基板 10 の下面と接する領域に、P+型のコレクタ領域を有する。また、トランジスタ部 70 は、半導体基板 10 の上面側に、N型のエミッタ領域、P型のベース領域、ゲート導電部およびゲート絶縁膜を有するゲート構造が周期的に配置されている。

[0043] 半導体装置 100 は、半導体基板 10 の上方に 1 つ以上のパッドを有してよい。本例の半導体装置 100 は、ゲートパッド 112 を有している。半導体装置 100 は、アノードパッド、カソードパッドおよび電流検出パッド等のパッドを有してもよい。各パッドは、端辺 202 の近傍に配置されている。端辺 202 の近傍とは、上面視における端辺 202 と、エミッタ電極との間の領域を指す。半導体装置 100 の実装時において、各パッドは、ワイヤ等の配線を介して外部の回路に接続されてよい。

[0044] ゲートパッド 112 には、ゲート電位が印加される。ゲートパッド 112 は、活性部 160 のゲートトレンチ部の導電部に電氣的に接続される。半導体装置 100 は、ゲートパッド 112 とゲートトレンチ部とを接続するゲート配線を備える。図 1 においては、ゲート配線に斜線のハッチングを付している。

[0045] 本例のゲート配線は、外周ゲート配線 130 と、活性側ゲート配線 131 とを有している。外周ゲート配線 130 は、上面視において活性部 160 と半導体基板 10 の端辺 202 との間に配置されている。本例の外周ゲート配線 130 は、上面視において活性部 160 を囲んでいる。上面視において外周ゲート配線 130 に囲まれた領域を活性部 160 としてもよい。また、外

周ゲート配線１３０は、ゲートパッド１１２と接続されている。外周ゲート配線１３０は、半導体基板１０の上方に配置されている。外周ゲート配線１３０は、アルミニウム等を含む金属配線であってよい。

[0046] 活性側ゲート配線１３１は、活性部１６０に設けられている。活性部１６０に活性側ゲート配線１３１を設けることで、半導体基板１０の各領域について、ゲートパッド１１２からの配線長のばらつきを低減できる。

[0047] 活性側ゲート配線１３１は、活性部１６０のゲートトレンチ部と接続される。活性側ゲート配線１３１は、半導体基板１０の上方に配置されている。活性側ゲート配線１３１は、不純物がドーピングされたポリシリコン等の半導体で形成された配線であってよい。

[0048] 活性側ゲート配線１３１は、外周ゲート配線１３０と接続されてよい。本例の活性側ゲート配線１３１は、Ｙ軸方向の略中央で一方の外周ゲート配線１３０から他方の外周ゲート配線１３０まで、活性部１６０を横切るように、Ｘ軸方向に延伸して設けられている。活性側ゲート配線１３１により活性部１６０が分割されている場合、それぞれの分割領域において、トランジスタ部７０およびダイオード部８０がＸ軸方向に交互に配置されてよい。

[0049] また、半導体装置１００は、ポリシリコン等で形成されたＰＮ接合ダイオードである不図示の温度センス部や、活性部１６０に設けられたトランジスタ部の動作を模擬する不図示の電流検出部を備えてもよい。

[0050] 本例の半導体装置１００は、活性部１６０と端辺２０２との間に、エッジ終端構造部９０を備える。本例のエッジ終端構造部９０は、外周ゲート配線１３０と端辺２０２との間に配置されている。エッジ終端構造部９０は、半導体基板１０の上面側の電界集中を緩和する。エッジ終端構造部９０は、複数のガードリング９２を有する。ガードリング９２は、半導体基板１０の上面と接するＰ型の領域である。ガードリング９２は、上面視において活性部１６０を囲んでいてよい。複数のガードリング９２は、外周ゲート配線１３０と端辺２０２との間において、所定の間隔で配置されている。外側に配置されたガードリング９２は、一つ内側に配置されたガードリング９２を囲ん

でいてよい。外側とは、端辺202に近い側を指し、内側とは、外周ゲート配線130に近い側を指す。複数のガードリング92を設けることで、活性部160の上面側における空乏層を外側に伸ばすことができ、半導体装置100の耐圧を向上できる。エッジ終端構造部90は、活性部160を囲んで環状に設けられたフィールドプレートおよびリサフのうちの少なくとも一つを更に備えていてもよい。

[0051] 図2は、図1における領域Aの拡大図である。領域Aは、トランジスタ部70、ダイオード部80、および、活性側ゲート配線131を含む領域である。本例の半導体装置100は、半導体基板10の上面側の内部に設けられたゲートトレンチ部40、ダミートレンチ部30、ウェル領域11、エミッタ領域12、ベース領域14およびコンタクト領域15を備える。ゲートトレンチ部40およびダミートレンチ部30は、それぞれがトレンチ部の一例である。また、本例の半導体装置100は、半導体基板10の上面の上方に設けられたエミッタ電極52および活性側ゲート配線131を備える。エミッタ電極52および活性側ゲート配線131は互いに分離して設けられる。

[0052] エミッタ電極52および活性側ゲート配線131と、半導体基板10の上面との間には層間絶縁膜が設けられるが、図1では省略している。本例の層間絶縁膜には、コンタクトホール54が、当該層間絶縁膜を貫通して設けられる。図2においては、それぞれのコンタクトホール54に斜線のハッチングを付している。

[0053] エミッタ電極52は、ゲートトレンチ部40、ダミートレンチ部30、ウェル領域11、エミッタ領域12、ベース領域14およびコンタクト領域15の上方に設けられる。エミッタ電極52は、コンタクトホール54を通過して、半導体基板10の上面におけるエミッタ領域12、コンタクト領域15およびベース領域14と接触する。また、エミッタ電極52は、層間絶縁膜に設けられたコンタクトホールを通過して、ダミートレンチ部30内のダミー導電部と接続される。エミッタ電極52は、Y軸方向におけるダミートレンチ部30の先端において、ダミートレンチ部30のダミー導電部と接続され

てよい。

- [0054] 活性側ゲート配線 131 は、層間絶縁膜に設けられたコンタクトホールを通して、ゲートトレンチ部 40 と接続する。活性側ゲート配線 131 は、Y 軸方向におけるゲートトレンチ部 40 の先端部 41 において、ゲートトレンチ部 40 のゲート導電部と接続されてよい。活性側ゲート配線 131 は、ダミートレンチ部 30 内のダミー導電部とは接続されない。
- [0055] エミッタ電極 52 は、金属を含む材料で形成される。図 2 においては、エミッタ電極 52 が設けられる範囲を示している。例えば、エミッタ電極 52 の少なくとも一部の領域はアルミニウムまたはアルミニウム-シリコン合金、例えば $AlSi$ 、 $AlSiCu$ 等の金属合金で形成される。エミッタ電極 52 は、アルミニウム等で形成された領域の下層に、チタンやチタン化合物等で形成されたバリアメタルを有してよい。さらにコンタクトホール内において、バリアメタルとアルミニウム等に接するようにタングステン等を埋め込んで形成されたプラグを有してもよい。
- [0056] ウェル領域 11 は、活性側ゲート配線 131 と重なって設けられている。ウェル領域 11 は、活性側ゲート配線 131 と重ならない範囲にも、所定の幅で延伸して設けられている。本例のウェル領域 11 は、コンタクトホール 54 の Y 軸方向の端から、活性側ゲート配線 131 側に離れて設けられている。ウェル領域 11 は、ベース領域 14 よりもドーピング濃度の高い第 2 導電型の領域である。本例のベース領域 14 は P 型であり、ウェル領域 11 は P+ 型である。
- [0057] トランジスタ部 70 およびダイオード部 80 のそれぞれは、配列方向に複数配列されたトレンチ部を有する。本例のトランジスタ部 70 には、配列方向に沿って 1 以上のゲートトレンチ部 40 と、1 以上のダミートレンチ部 30 とが交互に設けられている。本例のダイオード部 80 には、複数のダミートレンチ部 30 が、配列方向に沿って設けられている。本例のダイオード部 80 には、ゲートトレンチ部 40 が設けられていない。
- [0058] 本例のゲートトレンチ部 40 は、配列方向と垂直な延伸方向に沿って延伸

する２つの直線部分３９（延伸方向に沿って直線状であるトレンチの部分）と、２つの直線部分３９を接続する先端部４１を有してよい。図２における延伸方向はＹ軸方向である。

[0059] 先端部４１の少なくとも一部は、上面視において曲線状に設けられることが好ましい。２つの直線部分３９のＹ軸方向における端部どうしを先端部４１が接続することで、直線部分３９の端部における電界集中を緩和できる。

[0060] トランジスタ部７０において、ダミートレンチ部３０はゲートトレンチ部４０のそれぞれの直線部分３９の間に設けられる。それぞれの直線部分３９の間には、１本のダミートレンチ部３０が設けられてよく、複数本のダミートレンチ部３０が設けられていてもよい。ダミートレンチ部３０は、延伸方向に延伸する直線形状を有してよく、ゲートトレンチ部４０と同様に、直線部分２９と先端部３１とを有していてもよい。図２に示した半導体装置１００は、先端部３１を有さない直線形状のダミートレンチ部３０と、先端部３１を有するダミートレンチ部３０の両方を含んでいる。

[0061] ウェル領域１１の拡散深さは、ゲートトレンチ部４０およびダミートレンチ部３０の深さよりも深くてよい。ゲートトレンチ部４０およびダミートレンチ部３０のＹ軸方向の端部は、上面視においてウェル領域１１に設けられる。つまり、各トレンチ部のＹ軸方向の端部において、各トレンチ部の深さ方向の底部は、ウェル領域１１に覆われている。これにより、各トレンチ部の当該底部における電界集中を緩和できる。

[0062] 配列方向において各トレンチ部の間には、メサ部が設けられている。メサ部は、半導体基板１０の内部において、トレンチ部に挟まれた領域を指す。一例としてメサ部の上端は半導体基板１０の上面である。メサ部の下端の深さ位置は、トレンチ部の下端の深さ位置と同一である。本例のメサ部は、半導体基板１０の上面において、トレンチに沿って延伸方向（Ｙ軸方向）に延伸して設けられている。本例では、トランジスタ部７０にはメサ部６０が設けられ、ダイオード部８０にはメサ部６１が設けられている。本明細書において単にメサ部と称した場合、メサ部６０およびメサ部６１のそれぞれを指

している。

[0063] それぞれのメサ部には、ベース領域 14 が設けられる。メサ部において半導体基板 10 の上面に露出したベース領域 14 のうち、活性側ゲート配線 131 に最も近く配置された領域をベース領域 14-e とする。図 2 においては、それぞれのメサ部の延伸方向における一方の端部に配置されたベース領域 14-e を示しているが、それぞれのメサ部の他方の端部にもベース領域 14-e が配置されている。それぞれのメサ部には、上面視においてベース領域 14-e に挟まれた領域に、第 1 導電型のエミッタ領域 12 および第 2 導電型のコンタクト領域 15 の少なくとも一方が設けられてよい。本例のエミッタ領域 12 は N+ 型であり、コンタクト領域 15 は P+ 型である。エミッタ領域 12 およびコンタクト領域 15 は、深さ方向において、ベース領域 14 と半導体基板 10 の上面との間に設けられてよい。

[0064] トランジスタ部 70 のメサ部 60 は、半導体基板 10 の上面に露出したエミッタ領域 12 を有する。エミッタ領域 12 は、ゲートトレンチ部 40 に接して設けられている。ゲートトレンチ部 40 に接するメサ部 60 は、半導体基板 10 の上面に露出したコンタクト領域 15 が設けられていてよい。

[0065] メサ部 60 におけるコンタクト領域 15 およびエミッタ領域 12 のそれぞれは、X 軸方向における一方のトレンチ部から、他方のトレンチ部まで設けられる。一例として、メサ部 60 のコンタクト領域 15 およびエミッタ領域 12 は、トレンチ部の延伸方向（Y 軸方向）に沿って交互に配置されている。

[0066] 他の例においては、メサ部 60 のコンタクト領域 15 およびエミッタ領域 12 は、トレンチ部の延伸方向（Y 軸方向）に沿ってストライプ状に設けられていてもよい。例えばトレンチ部に接する領域にエミッタ領域 12 が設けられ、エミッタ領域 12 に挟まれた領域にコンタクト領域 15 が設けられる。

[0067] ダイオード部 80 のメサ部 61 には、エミッタ領域 12 が設けられていない。メサ部 61 の上面には、ベース領域 14 およびコンタクト領域 15 が設

けられてよい。メサ部 61 の上面においてベース領域 14-e に挟まれた領域には、それぞれのベース領域 14-e に接してコンタクト領域 15 が設けられてよい。メサ部 61 の上面においてコンタクト領域 15 に挟まれた領域には、ベース領域 14 が設けられてよい。ベース領域 14 は、コンタクト領域 15 に挟まれた領域全体に配置されてよい。

[0068] それぞれのメサ部の上方には、コンタクトホール 54 が設けられている。コンタクトホール 54 は、ベース領域 14-e に挟まれた領域に配置されている。本例のコンタクトホール 54 は、コンタクト領域 15、ベース領域 14 およびエミッタ領域 12 の各領域の上方に設けられる。コンタクトホール 54 は、ベース領域 14-e およびウェル領域 11 に対応する領域には設けられない。コンタクトホール 54 は、メサ部 60 の配列方向（X 軸方向）における中央に配置されてよい。

[0069] ダイオード部 80 において、半導体基板 10 の下面と隣接する領域には、N+型のカソード領域 82 が設けられる。半導体基板 10 の下面において、カソード領域 82 が設けられていない領域には、P+型のコレクタ領域 22 が設けられてよい。図 2 においては、カソード領域 82 およびコレクタ領域 22 の境界を点線で示している。

[0070] カソード領域 82 は、Y 軸方向においてウェル領域 11 から離れて配置されている。これにより、比較的ドーピング濃度が高く、且つ、深い位置まで形成されている P 型の領域（ウェル領域 11）と、カソード領域 82 との距離を確保して、耐圧を向上できる。本例のカソード領域 82 の Y 軸方向における端部は、コンタクトホール 54 の Y 軸方向における端部よりも、ウェル領域 11 から離れて配置されている。他の例では、カソード領域 82 の Y 軸方向における端部は、ウェル領域 11 とコンタクトホール 54 との間に配置されていてもよい。

[0071] 図 3 は、図 2 における b-b 断面の一例を示す図である。b-b 断面は、エミッタ領域 12 およびカソード領域 82 を通過する XZ 面である。本例の半導体装置 100 は、当該断面において、半導体基板 10、層間絶縁膜 38

、エミッタ電極 5 2 およびコレクタ電極 2 4 を有する。層間絶縁膜 3 8 は、半導体基板 1 0 の上面に設けられている。層間絶縁膜 3 8 は、ホウ素またはリン等の不純物が添加されたシリケートガラス等の絶縁膜、熱酸化膜、および、その他の絶縁膜の少なくとも一層を含む膜である。層間絶縁膜 3 8 には、図 2 において説明したコンタクトホール 5 4 が設けられている。

[0072] エミッタ電極 5 2 は、層間絶縁膜 3 8 の上方に設けられる。エミッタ電極 5 2 は、層間絶縁膜 3 8 のコンタクトホール 5 4 を通って、半導体基板 1 0 の上面 2 1 と接触している。コレクタ電極 2 4 は、半導体基板 1 0 の下面 2 3 に設けられる。エミッタ電極 5 2 およびコレクタ電極 2 4 は、アルミニウム等の金属材料で形成されている。本明細書において、エミッタ電極 5 2 とコレクタ電極 2 4 とを結ぶ方向（Z 軸方向）を深さ方向と称する。

[0073] 半導体基板 1 0 は、N 型のドリフト領域 1 8 を有する。ドリフト領域 1 8 は、ドリフト領域 1 8 のドーピング濃度が、バルク・ドナーのドナー濃度と一致する領域である。バルク・ドナーについては後述する。ドリフト領域 1 8 は、トランジスタ部 7 0 およびダイオード部 8 0 のそれぞれに設けられている。

[0074] トランジスタ部 7 0 のメサ部 6 0 には、N + 型のエミッタ領域 1 2 および P 型のベース領域 1 4 が、半導体基板 1 0 の上面 2 1 側から順番に設けられている。ベース領域 1 4 の下方にはドリフト領域 1 8 が設けられている。メサ部 6 0 には、N + 型の蓄積領域 1 6 が設けられてもよい。蓄積領域 1 6 は、ベース領域 1 4 とドリフト領域 1 8 との間に配置される。

[0075] エミッタ領域 1 2 は半導体基板 1 0 の上面 2 1 に露出しており、且つ、ゲートトレンチ部 4 0 と接して設けられている。エミッタ領域 1 2 は、メサ部 6 0 の両側のトレンチ部と接してよい。エミッタ領域 1 2 は、ドリフト領域 1 8 よりもドーピング濃度が高い。

[0076] ベース領域 1 4 は、エミッタ領域 1 2 の下方に設けられている。本例のベース領域 1 4 は、エミッタ領域 1 2 と接して設けられている。ベース領域 1 4 は、メサ部 6 0 の両側のトレンチ部と接してよい。

- [0077] 蓄積領域 16 は、ベース領域 14 の下方に設けられている。蓄積領域 16 は、ドリフト領域 18 よりもドーピング濃度が高い N+型の領域である。ドリフト領域 18 とベース領域 14 との間に高濃度の蓄積領域 16 を設けることで、キャリア注入促進効果（IE 効果）を高めて、オン電圧を低減できる。蓄積領域 16 は、各メサ部 60 におけるベース領域 14 の下面全体を覆うように設けられてよい。
- [0078] ダイオード部 80 のメサ部 61 には、半導体基板 10 の上面 21 に接して、P-型のベース領域 14 が設けられている。ベース領域 14 の下方には、ドリフト領域 18 が設けられている。メサ部 61 において、ベース領域 14 の下方に蓄積領域 16 が設けられていてもよい。
- [0079] トランジスタ部 70 およびダイオード部 80 のそれぞれにおいて、ドリフト領域 18 の下には N+型のバッファ領域 20 が設けられてよい。バッファ領域 20 のドーピング濃度は、ドリフト領域 18 のドーピング濃度よりも高い。バッファ領域 20 は、ドリフト領域 18 よりもドナー濃度の高い複数のドナー濃度ピークを有する。複数のドナー濃度ピークは、半導体基板 10 の深さ方向における異なる位置に配置される。バッファ領域 20 のドナー濃度ピークの少なくとも一つは、水素ドナーの濃度ピークであってよい。バッファ領域 20 は、ベース領域 14 の下端から広がる空乏層が、P+型のコレクタ領域 22 および N+型のカソード領域 82 に到達することを防ぐフィールドストップ層として機能してよい。
- [0080] トランジスタ部 70 において、バッファ領域 20 の下には、P+型のコレクタ領域 22 が設けられる。コレクタ領域 22 のアクセプタ濃度は、ベース領域 14 のアクセプタ濃度より高い。コレクタ領域 22 は、ベース領域 14 と同一のアクセプタを含んでよく、異なるアクセプタを含んでもよい。コレクタ領域 22 のアクセプタは、例えばボロンである。
- [0081] ダイオード部 80 において、バッファ領域 20 の下には、N+型のカソード領域 82 が設けられる。カソード領域 82 のドナー濃度は、ドリフト領域 18 のドナー濃度より高い。カソード領域 82 のドナーは、例えば水素また

はリンである。なお、各領域のドナーおよびアクセプタとなる元素は、上述した例に限定されない。コレクタ領域 22 およびカソード領域 82 は、半導体基板 10 の下面 23 に露出しており、コレクタ電極 24 と接続している。コレクタ電極 24 は、半導体基板 10 の下面 23 全体と接触してよい。エミッタ電極 52 およびコレクタ電極 24 は、アルミニウム等の金属材料で形成される。

[0082] 半導体基板 10 の上面 21 側には、1 以上のゲートトレンチ部 40、および、1 以上のダミートレンチ部 30 が設けられる。各トレンチ部は、半導体基板 10 の上面 21 から、ベース領域 14 を貫通して、ドリフト領域 18 に到達している。エミッタ領域 12、コンタクト領域 15 および蓄積領域 16 の少なくともいずれかが設けられている領域においては、各トレンチ部はこれらのドーピング領域も貫通して、ドリフト領域 18 に到達している。トレンチ部がドーピング領域を貫通するとは、ドーピング領域を形成してからトレンチ部を形成する順序で製造したものに限定されない。トレンチ部を形成した後に、トレンチ部の間にドーピング領域を形成したものも、トレンチ部がドーピング領域を貫通しているものに含まれる。

[0083] 上述したように、トランジスタ部 70 には、ゲートトレンチ部 40 およびダミートレンチ部 30 が設けられている。ダイオード部 80 には、ダミートレンチ部 30 が設けられ、ゲートトレンチ部 40 が設けられていない。本例においてダイオード部 80 とトランジスタ部 70 の X 軸方向における境界は、カソード領域 82 とコレクタ領域 22 の境界である。

[0084] ゲートトレンチ部 40 は、半導体基板 10 の上面 21 に設けられたゲートトレンチ、ゲート絶縁膜 42 およびゲート導電部 44 を有する。ゲート絶縁膜 42 は、ゲートトレンチの内壁を覆って設けられる。ゲート絶縁膜 42 は、ゲートトレンチの内壁の半導体を酸化または窒化して形成してよい。ゲート導電部 44 は、ゲートトレンチの内部においてゲート絶縁膜 42 よりも内側に設けられる。つまりゲート絶縁膜 42 は、ゲート導電部 44 と半導体基板 10 とを絶縁する。ゲート導電部 44 は、ポリシリコン等の導電材料で形

成される。

[0085] ゲート導電部44は、深さ方向において、ベース領域14よりも長く設けられてよい。当該断面におけるゲートトレンチ部40は、半導体基板10の上面21において層間絶縁膜38により覆われる。ゲート導電部44は、ゲート配線に電氣的に接続されている。ゲート導電部44に所定のゲート電圧が印加されると、ベース領域14のうちゲートトレンチ部40に接する界面の表層に電子の反転層によるチャネルが形成される。

[0086] ダミートレンチ部30は、当該断面において、ゲートトレンチ部40と同一の構造を有してよい。ダミートレンチ部30は、半導体基板10の上面21に設けられたダミートレンチ、ダミー絶縁膜32およびダミー導電部34を有する。ダミー導電部34は、ゲートパッドとは異なる電極に接続されてよい。例えば、ゲートパッドとは異なる外部回路に接続する図示しないダミーパッドに、ダミー導電部34を接続し、ゲート導電部44とは異なる制御を行ってもよい。また、ダミー導電部34をエミッタ電極52に電氣的に接続させてもよい。ダミー絶縁膜32は、ダミートレンチの内壁を覆って設けられる。ダミー導電部34は、ダミートレンチの内部に設けられ、且つ、ダミー絶縁膜32よりも内側に設けられる。ダミー絶縁膜32は、ダミー導電部34と半導体基板10とを絶縁する。ダミー導電部34は、ゲート導電部44と同一の材料で形成されてよい。例えばダミー導電部34は、ポリシリコン等の導電材料で形成される。ダミー導電部34は、深さ方向においてゲート導電部44と同一の長さを有してよい。

[0087] 本例のゲートトレンチ部40およびダミートレンチ部30は、半導体基板10の上面21において層間絶縁膜38により覆われている。なお、ダミートレンチ部30およびゲートトレンチ部40の底部は、下側に凸の曲面状（断面においては曲線状）であってよい。

[0088] 半導体基板10は、第1導電型（N型）のバルク・ドナーが全体に分布している。バルク・ドナーは、半導体基板10の元となるインゴットの製造時に、インゴット内に略一様に含まれたドーパントによるドナーである。本例

のバルク・ドナーは、水素以外の元素である。バルク・ドナーのドーパントは、例えばリンやアンチモンであるが、これに限定されない。本例のバルク・ドナーは、リンである。バルク・ドナーは、P型の領域にも含まれている。半導体基板10は、半導体のインゴットから切り出したウエハであってよく、ウエハを個片化したチップであってもよい。半導体のインゴットは、チョクラルスキー法（CZ法）、磁場印加型チョクラルスキー法（MCZ法）、フロートゾーン法（FZ法）のいずれかで製造されよい。本例におけるインゴットは、MCZ法で製造されている。ドリフト領域18は、ドーピング濃度がバルク・ドナーのドナー濃度と一致する領域であってよい。他の例では、ドリフト領域18のドーピング濃度は、バルク・ドナー濃度より高くてもよい。また、バルク・ドナー濃度は、半導体基板10に一様に分布するバルク・ドナーのドーパント（例えばリン）の化学濃度の90%から100%の間であってよい。

[0089] 図4は、図3のd-d線におけるドーピング濃度 D_d ($/\text{cm}^3$) および水素化学濃度 C_H (atoms/cm^3) の分布例を示す図である。本例のd-d線は、トランジスタ部70において、エミッタ領域12、ベース領域14、蓄積領域16、バッファ領域20およびコレクタ領域22を通過する。ドーピング濃度 D_d は、SR法で測定されたキャリア濃度であってよい。水素化学濃度 C_H は、SIMS法で測定された水素原子の原子密度であってよい。図4における縦軸は各濃度を示す対数軸である。横軸は、半導体基板10の下面23を基準とした深さ位置を示している。つまり横軸は、下面23の位置を0とし、各位置の下面23との距離 (μm) を示している。図4においては、半導体基板10の深さ方向における中央位置を Z_c とする。

[0090] 本例のエミッタ領域12には、リン等のN型のドーパントがイオン注入されている。本例のベース領域14には、ボロン等のP型のドーパントがイオン注入されている。蓄積領域16には、リン等のN型のドーパントがイオン注入されている。コレクタ領域22には、ボロン等のP型のドーパントがイオン注入されている。本例のエミッタ領域12、ベース領域14、蓄積領域

16およびコレクタ領域22のそれぞれは、ドーピング濃度のピークを有している。他の例では、エミッタ領域12、ベース領域14、蓄積領域16およびコレクタ領域22の少なくとも一つは、ドーピング濃度のピークを有さず、ほぼ平坦なドーピング濃度分布を有していてもよい。例えば、複数の深さ位置にイオン注入して熱処理することで、ほぼ平坦なドーピング濃度分布を形成できる。また、エピタキシャル成長等の方法によっても、ほぼ平坦なドーピング濃度分布を形成できる。

[0091] ドリフト領域18は、エミッタ領域12よりもドーピング濃度が低い領域である。ドリフト領域18は、ドーピング濃度分布がほぼ平坦な平坦部150を有してよい。ドリフト領域18のドーピング濃度は、半導体基板10の全体に一樣に含まれるバルク・ドナーの濃度 D_0 と同一であってよい。つまり、ドリフト領域18は、局所的にドーパントが注入されずに、バルク・ドナー濃度 D_0 のまま残存した領域であってよい。他の例では、ドリフト領域18のドーピング濃度は、バルク・ドナー濃度 D_0 よりも高くてもよい。

[0092] 例えばドリフト領域18は、半導体基板10中の空孔等の格子欠陥（V）、酸素（O）、水素（H）が結合したVOH欠陥（水素ドナーとも称する）が分布していてもよい。半導体基板10の全体には、インゴットの製造時に意図的にまたは意図せずに添加された酸素が分布している。また、半導体基板10の少なくとも一部の領域には、意図的にまたは意図せずに形成された格子欠陥が分布している。半導体基板10に水素を注入して熱処理することで、水素が拡散した領域に水素ドナーが形成される場合がある。

[0093] 特に、電子線、ヘリウムイオン、水素イオン等の荷電粒子線を半導体基板10に照射することで、荷電粒子線が通過した通過領域には、単原子空孔（V）、複原子空孔（VV）等の、空孔を主体とする格子欠陥が形成される。空孔に隣接する原子は、ダングリング・ボンドを有する。格子欠陥には格子間原子や転位等も含まれ、広義ではドナーやアクセプタも含まれ得るが、本明細書では空孔を主体とする格子欠陥を空孔型格子欠陥、空孔型欠陥、あるいは単に格子欠陥と称する場合がある。また、格子欠陥が多く形成されるこ

とで、半導体基板 10 の結晶性が強く乱れることがある。本明細書では、この結晶性の乱れをディスオーダーと称する場合がある。

[0094] 通過領域が形成され、且つ、水素が注入された半導体基板 10 を熱処理することで、水素が通過領域中に拡散して、通過領域に水素ドナーが形成される。半導体基板 10 における酸素濃度、欠陥密度はほぼ一樣なので、通過領域に生成される水素ドナー濃度も、ほぼ一樣にできる。また、通過領域の深さ方向における長さは、荷電粒子の注入位置で調整できるので、半導体基板 10 の任意の深さ位置に水素ドナーを形成できる。また、水素ドナーの濃度は、注入する水素の濃度、通過領域に形成する格子欠陥の密度（すなわち、荷電粒子のドーズ量）により調整可能である。水素ドナー等を形成することで、バルク・ドナー濃度よりもドーピング濃度が高く、且つ、深さ方向において長い領域に渡って設けられたドリフト領域 18 を形成できる。

[0095] バッファ領域 20 は、半導体基板 10 の深さ方向において異なる位置に配置された、複数の水素化学濃度ピーク 125 を有する。水素化学濃度ピーク 125 は、半導体基板 10 に局所的に注入された水素イオンによるピークである。半導体基板 10 に対して、加速エネルギーを変化させて複数回水素イオンを注入することで、複数の水素化学濃度ピーク 125 が形成される。水素イオンは、例えば半導体基板 10 の下面 23 から注入される。この場合、図 4 に示すように、水素化学濃度 C_H は、下面 23 から最も離れた水素化学濃度ピーク 125 よりも上面 21 側において、急峻に低下する。

[0096] また、バッファ領域 20 は、半導体基板 10 の深さ方向において異なる位置に配置された、複数のドーピング濃度ピーク 25 を有する。ドーピング濃度ピーク 25 は、水素化学濃度ピーク 125 と一対一に対応して設けられてよい。水素を注入した位置の近傍には上述した水素ドナーが多く形成されるので、当該位置にドーピング濃度ピーク 25 が形成される。この場合、ドーピング濃度ピーク 25 は、水素ドナーの濃度ピークである。ドーピング濃度ピーク 25 と水素化学濃度ピーク 125 は、同一の深さ位置に設けられてよい。ピークどうしが同一の深さ位置に設けられるとは、ピークの頂点の位置

が一致している場合に加えて、一方のピークの半値全幅内に、他方のピークの頂点が含まれる場合を含む。バッファ領域 20 は、水素化学濃度ピーク 125 と同数のドーピング濃度ピーク 25 を有してよく、水素化学濃度ピーク 125 よりも多いドーピング濃度ピーク 25 を有していてもよい。例えば、バッファ領域 20 に、水素とは異なる N 型ドーパントを更に注入することで、水素ドナー以外の N 型ドーパントのドーピング濃度ピーク 25 を形成できる。当該ドーピング濃度ピーク 25 は、水素ドナーによるドーピング濃度ピーク 25 と、下面 23 との間に配置されてよい。

[0097] バッファ領域 20 は、水素化学濃度ピーク 125 のうち、下面 23 から最も遠い最深水素化学濃度ピーク 125 と、ドリフト領域 18 との間に、高濃度領域 101 を有する。高濃度領域 101 は、ドリフト領域 18 よりもドーピング濃度が高く、且つ、深さ方向のドーピング濃度分布が、上に凸の部分を含むスロープを有する領域である。当該スロープは、ドリフト領域 18 に接している。つまり、当該スロープは、最深水素化学濃度ピーク 125 からドリフト領域 18 に向かう方向において、ドリフト領域 18 のドーピング濃度まで徐々に低下するスロープである。上に凸とは、図 4 に示すように、縦軸の上側が高濃度であり、下側が低濃度であるドーピング濃度分布において、上側に凸であることを指す。

[0098] 高濃度領域 101 は、上述した水素ドナーを含む領域である。高濃度領域 101 は、深さ位置 Z4 に注入された水素が拡散することで形成された領域であってよい。高濃度領域 101 の深さ方向における長さは、深さ位置 Z4 に水素を注入した後に熱処理を行う温度および時間で制御できる。

[0099] 図 5 は、図 4 に示した分布における、バッファ領域 20 の近傍を拡大した図である。なお図 5 においては、酸素化学濃度 C_{Ox} の分布を更に示している。酸素化学濃度 C_{Ox} は、半導体基板 10 において一様に分布してよい。また、酸素化学濃度 C_{Ox} の分布は、半導体基板 10 の深さ方向においてわずかに傾きを有していてもよい。つまり酸素化学濃度 C_{Ox} は、半導体基板 10 の深さ方向に沿って単調に増加または減少してもよい。また半導体基板 10 は、

半導体基板 10 の少なくとも一方の主面（下面 23 および上面 21）の近傍において、主面に向かって酸素化学濃度 C_{Ox} が減少する領域を有していてもよい。

[0100] 図 5 においては、複数の水素化学濃度ピーク 125 を、下面 23 側から第 1 の水素化学濃度ピーク 125-1、第 2 の水素化学濃度ピーク 125-2、第 3 の水素化学濃度ピーク 125-3、第 4 の水素化学濃度ピーク 125-4 とする。第 1 の水素化学濃度ピーク 125-1 は、下面 23 に最も近い最浅水素化学濃度ピークである。また、第 4 の水素化学濃度ピーク 125-4 は、下面 23 から最も離れた最深水素化学濃度ピークである。なお、水素化学濃度ピーク 125 の数は 4 個に限定されない。ドリフト領域 18 と下面 23 との間に配置された複数の水素化学濃度ピーク 125 のうち、ドリフト領域 18 に最も近い水素化学濃度ピーク 125 が、最深水素化学濃度ピークである。第 k の水素化学濃度ピーク 125- k の水素化学濃度を C_k とする。

[0101] また、水素化学濃度 C_H の分布は、2 つの水素化学濃度ピーク 125 の間に、水素化学濃度極小部 225 を有する。水素化学濃度極小部 225 は、水素化学濃度 C_H が極小値となる領域である。図 5 においては、複数の水素化学濃度極小部 225 を、下面 23 側から第 1 の水素化学濃度極小部 225-1、第 2 の水素化学濃度極小部 225-2、第 3 の水素化学濃度極小部 225-3 とする。第 k の水素化学濃度極小部 225- k の水素化学濃度を V_k とする。

[0102] 図 5 においては、複数のドーピング濃度ピーク 25 を、下面 23 側から第 1 のドーピング濃度ピーク 25-1、第 2 のドーピング濃度ピーク 25-2、第 3 のドーピング濃度ピーク 25-3、第 4 のドーピング濃度ピーク 25-4 とする。第 1 のドーピング濃度ピーク 25-1 は、下面 23 に最も近い最浅ドーピング濃度ピークである。また、第 4 のドーピング濃度ピーク 25-4 は、下面 23 から最も離れた最深ドーピング濃度ピークである。なお、ドーピング濃度ピーク 25 の数は 4 個に限定されない。ドリフト領域 18 と

コレクタ領域 22（ダイオード部 80 においては、カソード領域 82）との間に配置された複数のドーピング濃度ピーク 25 のうち、ドリフト領域 18 に最も近いドーピング濃度ピーク 25 が、最深ドーピング濃度ピークである。

[0103] 本例では、第 k の水素化学濃度ピーク $125-k$ と、第 k のドーピング濃度ピーク $25-k$ が、深さ位置 Z_k に配置されている。本例の k は 1 から 4 の整数である。また、第 k のドーピング濃度ピーク $25-k$ の頂点のドーピング濃度を P_k とする。

[0104] 高濃度領域 101 は、水素化学濃度ピーク $125-4$ と、ドリフト領域 18 との間に設けられる。高濃度領域 101 のドーピング濃度 D_d の分布は、ドリフト領域 18 と接するスロープ 102 を有する。スロープ 102 は、水素化学濃度 C_H が上面 21 に向かって減衰するのに伴い、減衰してよい。上述したように、スロープ 102 は、水素化学濃度ピーク $125-4$ からドリフト領域 18 に向かってドーピング濃度 D_d が徐々に低下する下りスロープである。スロープ 102 は、上に凸の部分を含む。例えばスロープ 102 は、ドーピング濃度がドリフト領域 18 に向けて下がり始める領域の近傍において、上に凸の部分を含んでよい。

[0105] スロープ 102 の傾きを近似した直線を、近似濃度直線 105 とする。近似濃度直線 105 は、スロープ 102 の全体を最小二乗法で近似した直線であってよい。近似濃度直線 105 を、それぞれの深さ位置 Z_1 、 Z_2 、 Z_3 、 Z_4 まで外挿する。それぞれの深さ位置 Z_1 、 Z_2 、 Z_3 、 Z_4 における、近似濃度直線 105 で示される濃度を参考濃度 R_1 、 R_2 、 R_3 、 R_4 とする。本例において、参考濃度 R_1 は最浅参考濃度であり、参考濃度 R_4 は最深参考濃度である。

[0106] バッファ領域 20 を深さ方向に長く形成すると、下面 23 側からドリフト領域 18 への正孔の注入が阻害される。短絡時のように、半導体装置 100 のエミッターコレクタ間電流として大きな電流が流れた場合、下面 23 側からの正孔注入が十分でないと、下面 23 側に電界が集中して、アバランシェ

が発生しやすくなる。このため、短絡耐量を向上させる観点では、バッファ領域 20 は、深さ方向に長くしすぎないことが好ましい。

[0107] また、下面 23 に最も近い第 1 のドーピング濃度ピーク 25-1 のドーピング濃度 P_1 が高いと、下面 23 側からの正孔注入が阻害される。このため、ドーピング濃度 P_1 は高すぎないことが好ましい。ただし、ドーピング濃度 P_1 が低すぎると、上面 21 側から広がる空乏層がコレクタ領域 22 等に達する可能性が高くなる。このため、ドーピング濃度 P_1 は、低すぎないことが好ましい。

[0108] また、第 1 のドーピング濃度ピーク 25-1 が下面 23 に近いと、下面 23 に生じたキズが第 1 のドーピング濃度ピーク 25-1 に達しやすくなる。キズが第 1 のドーピング濃度ピーク 25-1 に達すると、半導体装置 100 の耐圧が低下する。このため、第 1 のドーピング濃度ピーク 25-1 はと下面 23 との距離は、ある程度確保されていることが好ましい。

[0109] 本例の半導体装置 100 においては、第 1 のドーピング濃度ピーク 25-1 のドーピング濃度 P_1 が、参考濃度 R_1 の 5% 以上、50% 以下である。参考濃度 R_1 に対するドーピング濃度 P_1 の比を 5% 以上にするすることで、バッファ領域 20 が長くなることを抑制できる。これにより、短絡耐量を向上できる。なおバッファ領域 20 が長くなると、スロープ 102 と第 1 のドーピング濃度ピーク 25-1 までの距離が長くなり、 P_1/R_1 の比は低下する。

[0110] また、 P_1/R_1 を 5% 以上とすることで、第 1 のドーピング濃度ピーク 25-1 が、下面 23 に近くなりすぎるのを抑制できる。下面 23 に近いほど近似濃度直線 105 の濃度は上がっているので、 P_1/R_1 の比は低下する。また、 P_1/R_1 を 50% 以下とすることで、第 1 のドーピング濃度ピーク 25-1 が高濃度になることを抑制できる。これにより、短絡耐量を向上できる。

[0111] このように、 P_1/R_1 を 5% 以上、50% 以下とすることで、短絡耐量を向上させ、また、耐圧を向上できる。 P_1/R_1 は、10% 以上であって

よく、20%以上であってもよい。P1/R1は、40%以下であってもよく、30%以下であってもよい。

[0112] 第1のドーピング濃度ピーク25-1と、半導体基板10の下面23との距離は、1 μ m以上であることが好ましい。これにより、下面23に生じたキズが第1のドーピング濃度ピーク25-1に達することを抑制できる。当該距離は、1.5 μ m以上であってもよい。当該距離は、3 μ m未満であってもよい。これにより、コレクタ領域22と第1のドーピング濃度ピーク25-1とが離れすぎるのを抑制できる。当該距離は2.5 μ m以下であってもよい。

[0113] 第4の水素化学濃度ピーク125-4の深さ位置Z4と、半導体基板10の下面23との距離は、20 μ m以下であってもよい。これにより、バッファ領域20が長くなりすぎて短絡耐量が低下することを防げる。当該距離は15 μ m以下であってもよい。なお、半導体基板10の深さ方向の厚みに対する、当該距離の比は、20%以下であってもよく、15%以下であってもよい。

[0114] 第1の水素化学濃度ピーク125-1と、第4の水素化学濃度ピーク125-4との深さ方向の距離は、15 μ m以下であってもよい。当該距離は、深さ位置Z1から深さ位置Z4までの距離である。これにより、バッファ領域20が長くなりすぎて短絡耐量が低下することを防げる。当該距離は13 μ m以下であってもよい。なお、半導体基板10の深さ方向の厚みに対する、当該距離の比は、15%以下であってもよく、13%以下であってもよい。

[0115] 高濃度領域101およびドリフト領域18の境界位置Z_bと、半導体基板10の下面23との距離は、25 μ m以下であってもよい。境界位置Z_bは、高濃度領域101からドリフト領域18に向かう方向において、ドーピング濃度D_dがドリフト領域18のドーピング濃度と初めて一致する位置である。これにより、バッファ領域20が長くなりすぎるのを防げる。当該距離は、20 μ m以下であってもよい。なお、半導体基板10の深さ方向の厚みに対する、当該距離の比は、25%以下であってもよく、20%以下であってもよい。

- [0116] 境界位置 Z_0 と、第4のドーピング濃度ピーク25-4の位置 Z_4 との距離は、 $10\mu\text{m}$ 以下であってよい。これによっても、バッファ領域20が長くなりすぎるのを防げる。当該距離は、 $5\mu\text{m}$ 以下であってよい。なお、半導体基板10の深さ方向の厚みに対する、当該距離の比は、10%以下であってよく、5%以下であってよい。
- [0117] 第4のドーピング濃度ピーク25-4のドーピング濃度 P_4 は、参考濃度 R_4 より高くてよい。これにより、高濃度領域101が長くなりすぎるのを防げる。高濃度領域101が長くなり、第4のドーピング濃度ピーク25-4と境界位置 Z_0 との距離が大きくなると、参考濃度 R_4 が大きくなる。ドーピング濃度 P_4 は、参考濃度 R_4 の1.5倍以上であってよい。
- [0118] 第2のドーピング濃度ピーク25-2のドーピング濃度 P_2 は、参考濃度 R_2 より低くてよい。 P_2/R_2 は、10%以上であってよく、20%以上であってよい。 P_2/R_2 は、50%以下であってよく、40%以下であってよい。
- [0119] 第3のドーピング濃度ピーク25-3のドーピング濃度 P_3 は、参考濃度 R_3 より低くてよい。 P_3/R_3 は、10%以上であってよく、20%以上であってよい。 P_3/R_3 は、50%以下であってよく、40%以下であってよい。なお、最深ドーピング濃度ピーク25と、最浅ドーピング濃度ピーク25の間にあるドーピング濃度ピークは、いずれも対応する参考濃度より低くてよい。
- [0120] 第1のドーピング濃度ピーク25-1のドーピング濃度 P_1 は、第2のドーピング濃度ピーク25-2のドーピング濃度 P_2 の10倍以下であってよい。これにより、ドーピング濃度 P_1 が高くなりすぎるのを防ぎ、短絡耐量を向上できる。ドーピング濃度 P_1 は、ドーピング濃度 P_2 の5倍以下であってよい。
- [0121] 上述した割合 P_1/R_1 は、割合 P_2/R_2 よりも大きくてよい。これにより、深さ位置 Z_1 が下面23に近くなりすぎるのを防げる。深さ位置 Z_1 が下面23に近いほど、参考濃度 R_1 は高くなる。

- [0122] 第1の水素化学濃度ピーク125-1の水素化学濃度 C_1 は、深さ位置 Z_1 における参考濃度 R_1 よりも高くてもよい。水素化学濃度 C_1 は、参考濃度 R_1 の2倍以上であってよく、5倍以上であってもよい。水素化学濃度 C_1 は、参考濃度 R_1 より低くてもよい。
- [0123] 第2～第4の水素化学濃度ピーク125-2～4の水素化学濃度 $C_2 \sim C_4$ も、それぞれの深さ位置 $Z_2 \sim Z_4$ における参考濃度 $R_2 \sim R_4$ よりも、高くてもよい。水素化学濃度 C_k は、参考濃度 R_k の2倍以上であってよく、5倍以上であってもよい。水素化学濃度 C_k は、参考濃度 R_k より低くてもよい。
- [0124] 第1の水素化学濃度極小部225-1の水素化学濃度 V_1 は、深さ位置 Z_1 における参考濃度 R_1 よりも高くてもよいし、低くてもよい。本例では、水素化学濃度 V_1 は、参考濃度 R_1 よりも高い。第2～第3の水素化学濃度極小部225-2～3の水素化学濃度 $V_2 \sim V_3$ も、それぞれの深さ位置 $Z_2 \sim Z_3$ における参考濃度 $R_2 \sim R_3$ よりも、高くてもよい。
- [0125] 第1の水素化学濃度ピーク125-1の水素化学濃度 C_1 は、深さ位置 Z_1 における酸素化学濃度 C_{Ox1} よりも高くてもよいし、低くてもよい。本例では、水素化学濃度 C_1 は、酸素化学濃度 C_{Ox1} よりも高い。
- [0126] 第1の水素化学濃度ピーク125-1のピーク位置（つまり深さ位置 Z_1 ）における酸素化学濃度 C_{Ox1} は、深さ位置 Z_1 における最浅参考濃度 R_1 よりも高くてもよいし、低くてもよい。本例では、酸素化学濃度 C_{Ox1} は、最浅参考濃度 R_1 よりも高い。
- [0127] 本例では、コレクタ領域22と、第1の水素化学濃度ピーク125-1との間には、水素以外のn型ドーパントの化学濃度ピークがない。つまり、バッファ領域20に存在するドーピング濃度ピーク25は、全て水素ドナーのピークである。他の例では、コレクタ領域22と、第1の水素化学濃度ピーク125-1との間に、リン等の水素以外のn型ドーパントの化学濃度ピークがあってもよい。この場合、最浅ドーピング濃度ピークは、リン等のn型ドーパントの濃度ピークである。

- [0128] 図6Aは、図5におけるスロープ102の近傍を拡大した図である。バッファ領域20のドーピング濃度 D_d の分布は、第4のドーピング濃度ピーク25-4よりも上面21側において、変曲点103を有してよい。変曲点103は、深さ位置 Z_4 から上面21側に向かう方向において、ドーピング濃度分布を深さ位置で2階微分した微分値の符号が最初に変化する点である。
- [0129] 高濃度領域101は、変曲点103から、ドリフト領域18との境界位置 Z_b までの領域であってよい。スロープ102は、変曲点103よりも上面21側に配置されている。スロープ102は、境界位置 Z_b から下面23側に向かってドーピング濃度 D_d が上昇し続ける領域である。本例のスロープ102は、深さ位置 Z_h から境界位置 Z_b まで、ドーピング濃度 D_d が D_h から D_b まで連続して低下している。深さ位置 Z_h は、高濃度領域のドーピング濃度分布が極大となる位置であってよい。
- [0130] スロープ102は、上に凸の領域106を含む。スロープ102は、主に深さ位置 Z_4 に注入された水素が拡散して形成されるので、上に凸の領域106が含まれる。領域106は、深さ位置 Z_h に接する領域であってよい。スロープ102は、下に凸の領域107を含んでよく、含んでいなくてもよい。領域107は、領域106と、深さ位置 Z_b との間に配置されてよい。
- [0131] 近似濃度直線105は、スロープ102の全体を、最小二乗法で近似した直線である。つまり、深さ位置 Z_h から境界位置 Z_b までのドーピング濃度 D_d の分布を近似した直線である。他の例では、近似濃度直線105は、深さ位置 Z_h におけるドーピング濃度 D_h と、境界位置 Z_b におけるドーピング濃度 D_b の2点を結んだ直線であってもよい。ドーピング濃度 D_d の分布は、図6Aに示すように、深さ位置 Z_h と変曲点103との間において極小値を有してよい。
- [0132] 図6Bは、高濃度領域101のドーピング濃度分布の他の例である。図6Aの例とは、ドーピング濃度分布が、極小値を有せずにキंक状である点で相違する。本例のドーピング濃度 D_d の分布は、変曲点103においてキंक状の部分の有する。また、深さ位置 Z_4 から Z_b まで、ドーピング濃度 D_d は

単調に減少してよい。また、本例の深さ位置 Z_h は、ドーピング濃度 D_d を深さ位置 Z で 2 次微分した微分値が極大となる位置であってよい。

[0133] 図 6 C は、高濃度領域 101 のドーピング濃度分布の他の例である。図 6 A の例とは、ドーピング濃度 D_d の分布が階段状の部分 F を有する点で相違する。階段状の部分 F とは、深さ方向においてドーピング濃度 D_d が均一（または平坦）な部分である。ドーピング濃度 D_d の分布は、図 6 A に示したように極小値を更に有してよく、有さなくともよい。本例のドーピング濃度 D_d は、深さ位置 Z_4 から部分 F まで単調に減少し、部分 F で均一な濃度となり、部分 F から深さ位置 Z_b まで単調に減少している。本例の深さ位置 Z_h は、2 次微分した微分値が極大となる位置であってよい。特に、深さ位置 Z_h は、平坦な領域 F の最も上面 21 側の位置であってよい。

[0134] 図 7 は、近似濃度直線 105 の対数傾き α を説明する図である。（深さ位置、ドーピング濃度）= (Z_{a1} , D_{a1})、(Z_{a2} , D_{a2}) の 2 点を通る直線の傾き α は下式で与えられる。

$$\alpha = | \log_{10}(D_{a2}) - \log_{10}(D_{a1}) | / | Z_{a2} - Z_{a1} |$$

近似濃度直線 105 の対数傾き α は、任意の 2 点の値を用いて、上式から算出できる。対数は、常用対数でよく、自然対数でもよい。本例では、常用対数である。近似濃度直線 105 の対数傾き α は、1000 (／cm) 以上、2000 (／cm) 以下であってよい。これにより、短絡時の空間電荷領域を、一層コレクタ領域に近づけることができ、特に短絡電流が高いときの短絡耐量を増加させることができる。短絡電流が高いとは、短絡発生時のゲート電圧がゲート閾値よりも 10 V 以上高い状態であってよく、15 V 以上高い状態であってよく、20 V 以上高い状態であってよい。

[0135] 図 8 は、平坦部 150 を説明する図である。平坦部 150 は、ドーピング濃度 D_d が、所定の最大値 m_{ax} と所定の最小値 m_{in} との間となっている領域が、深さ方向において連続している部分である。最大値 m_{ax} は、当該領域におけるドーピング濃度 D_d の最大値を用いてよい。最小値 m_{in} は、最大値 m_{ax} の 50% の値であってよく、70% の値であってよく、90% の値

であってもよい。

[0136] あるいは、深さ方向の所定範囲におけるドーピング濃度分布の平均濃度に対して、ドーピング濃度 D_d の値が、当該ドーピング濃度分布の平均濃度の $\pm 50\%$ 以内にある領域を平坦部150としてよく、 $\pm 30\%$ 以内にある領域を平坦部150としてよく、 $\pm 10\%$ 以内にある領域を平坦部150としてもよい。図6A～C等において説明した境界位置 Z_b は、図8において説明した平坦部150のドーピング濃度 D_b の範囲から、ドーピング濃度 D_b が逸脱する位置であってよい。

[0137] 図9は、比較例におけるドーピング濃度 D_d および水素化学濃度 C_H の分布例を示す図である。本例では、第1のドーピング濃度ピーク25-1は、リンの濃度ピークである。本例では、第1のドーピング濃度ピーク25-1が、下面23の近傍に配置されている。このため、高濃度領域101と、第1のドーピング濃度25-1との距離が大きくなり、第1のドーピング濃度25-1が、近似濃度直線105よりも大きくなっている。

[0138] このような場合、例えば、下面23にキズが生じた場合に、耐圧低下が生じやすくなる。また、バッファ領域20が長くなるので、短絡耐量が下がる場合がある。図1から図8の例によれば、耐圧低下を抑制しつつ、短絡耐量を確保できる。

[0139] 請求の範囲、明細書、および図面中において示した装置、システム、プログラム、および方法における動作、手順、ステップ、および段階等の各処理の実行順序は、特段「より前に」、「先立って」等と明示しておらず、また、前の処理の出力を後の処理で用いるのでない限り、任意の順序で実現しうることに留意すべきである。請求の範囲、明細書、および図面中の動作フローに関して、便宜上「まず、」、「次に、」等を用いて説明したとしても、この順で実施することが必須であることを意味するものではない。

符号の説明

[0140] 10・・・半導体基板、11・・・ウェル領域、12・・・エミッタ領域、14・・・ベース領域、15・・・コンタクト領域、16・・・蓄積領域、

18・・・ドリフト領域、20・・・バッファ領域、21・・・上面、22
・・・コレクタ領域、23・・・下面、24・・・コレクタ電極、25・・・
ドーピング濃度ピーク、29・・・直線部分、30・・・ダミートレンチ
部、31・・・先端部、32・・・ダミー絶縁膜、34・・・ダミー導電部
、38・・・層間絶縁膜、39・・・直線部分、40・・・ゲートレンチ
部、41・・・先端部、42・・・ゲート絶縁膜、44・・・ゲート導電部
、52・・・エミッタ電極、54・・・コンタクトホール、60、61・・・
メサ部、70・・・トランジスタ部、80・・・ダイオード部、81・・・
延長領域、82・・・カソード領域、90・・・エッジ終端構造部、92
・・・ガードリング、100・・・半導体装置、101・・・高濃度領域、
102・・・スロープ、103・・・変曲点、105・・・近似濃度直線、
106・・・領域、107・・・領域、112・・・ゲートパッド、125
・・・水素化学濃度ピーク、130・・・外周ゲート配線、131・・・活
性側ゲート配線、150・・・平坦部、160・・・活性部、202・・・
端辺、225・・・水素化学濃度極小部

請求の範囲

[請求項1]

上面および下面を有する半導体基板と、
前記半導体基板に設けられた、第1導電型のドリフト領域と、
前記ドリフト領域と前記半導体基板の前記下面との間に設けられた、前記ドリフト領域よりもドーピング濃度の高い第1導電型のバッファ領域と
を備え、
前記バッファ領域は、
前記半導体基板の深さ方向の異なる位置に配置され、前記下面から最も遠い最深水素化学濃度ピークを含む複数の水素化学濃度ピークと、
前記半導体基板の深さ方向の異なる位置に配置され、前記下面に最も近い最浅ドーピング濃度ピークを含む複数のドーピング濃度ピークと、
前記最深水素化学濃度ピークと、前記ドリフト領域との間に設けられた高濃度領域と
を有し、
前記高濃度領域の前記深さ方向のドーピング濃度分布は、前記ドリフト領域に接しており、且つ、前記ドリフト領域に向けてドーピング濃度が徐々に低下するスロープを有し、
前記スロープは上に凸の部分を含み、
前記スロープの傾きを直線で近似した近似濃度直線は、前記最浅ドーピング濃度ピークの深さ位置における最浅参考濃度を有し、
前記最浅ドーピング濃度ピークのドーピング濃度が、前記最浅参考濃度の5%以上、50%以下である半導体装置。

[請求項2]

前記近似濃度直線の対数傾きが1000 (／cm) 以上、2000 (／cm) 以下である
請求項1に記載の半導体装置。

- [請求項3] 前記最浅ドーピング濃度ピークと、前記半導体基板の前記下面との距離が $1\ \mu\text{m}$ 以上である
請求項 1 または 2 に記載の半導体装置。
- [請求項4] 前記最浅ドーピング濃度ピークと、前記半導体基板の前記下面との距離が $3\ \mu\text{m}$ 未満である
請求項 3 に記載の半導体装置。
- [請求項5] 前記最深水素化学濃度ピークと、前記半導体基板の前記下面との距離が $20\ \mu\text{m}$ 以下である
請求項 1 から 4 のいずれか一項に記載の半導体装置。
- [請求項6] 前記複数の水素化学濃度ピークは、前記下面に最も近い最浅水素化学濃度ピークを含み、
前記最浅水素化学濃度ピークと、前記最深水素化学濃度ピークとの距離が $15\ \mu\text{m}$ 以下である
請求項 5 に記載の半導体装置。
- [請求項7] 前記高濃度領域および前記ドリフト領域の境界位置と、前記半導体基板の前記下面との距離が $25\ \mu\text{m}$ 以下である
請求項 1 から 6 のいずれか一項に記載の半導体装置。
- [請求項8] 前記複数のドーピング濃度ピークは、前記下面から最も遠い最深ドーピング濃度ピークを含み、
前記近似濃度直線において、前記最深ドーピング濃度ピークの深さ位置における濃度を最深参考濃度とした場合に、前記最深ドーピング濃度ピークのドーピング濃度が、前記最深参考濃度より高い
請求項 1 から 7 のいずれか一項に記載の半導体装置。
- [請求項9] 前記複数のドーピング濃度ピークは、前記下面に 2 番目に近い第 2 ドーピング濃度ピークを含み、
前記近似濃度直線において、前記第 2 ドーピング濃度ピークの深さ位置における濃度を第 2 参考濃度とした場合に、前記第 2 ドーピング濃度ピークのドーピング濃度が、前記第 2 参考濃度より低い

請求項 1 から 8 のいずれか一項に記載の半導体装置。

[請求項10] 前記最浅ドーピング濃度ピークのドーピング濃度は、前記第 2 ドーピング濃度ピークのドーピング濃度の 10 倍以下である

請求項 9 に記載の半導体装置。

[請求項11] 前記最浅参考濃度に対する前記最浅ドーピング濃度ピークのドーピング濃度の割合が、前記第 2 参考濃度に対する前記第 2 ドーピング濃度ピークのドーピング濃度の割合よりも大きい

請求項 9 または 10 に記載の半導体装置。

[請求項12] 前記バッファ領域と、前記半導体基板の下面との間に設けられた第 2 導電型のコレクタ領域を更に備え、

前記複数の水素化学濃度ピークは、前記下面に最も近い最浅水素化学濃度ピークを含み、

前記コレクタ領域と、前記最浅水素化学濃度ピークとの間に、水素以外の n 型ドーパントの化学濃度ピークがない

請求項 1 から 11 のいずれか一項に記載の半導体装置。

[請求項13] 前記複数の水素化学濃度ピークは、前記下面に最も近い最浅水素化学濃度ピークを含み、

前記最浅水素化学濃度ピークの水素化学濃度は、前記最浅参考濃度よりも高い

請求項 1 から 12 のいずれか一項に記載の半導体装置。

[請求項14] 前記複数の水素化学濃度ピークは、前記下面に最も近い最浅水素化学濃度ピークを含み、

前記最浅水素化学濃度ピークの水素化学濃度は、前記最浅参考濃度よりも低い

請求項 1 から 12 のいずれか一項に記載の半導体装置。

[請求項15] 前記複数の水素化学濃度ピークは、前記下面に最も近い最浅水素化学濃度ピークを含み、

前記最浅水素化学濃度ピークのピーク位置における酸素化学濃度は

、前記最浅参考濃度よりも高い

請求項 1 から 1 4 のいずれか一項に記載の半導体装置。

[請求項16]

前記複数の水素化学濃度ピークは、前記下面に最も近い最浅水素化学濃度ピークを含み、

前記最浅水素化学濃度ピークのピーク位置における酸素化学濃度は

、前記最浅参考濃度よりも低い

請求項 1 から 1 4 のいずれか一項に記載の半導体装置。

補正された請求の範囲
[2021年11月12日(12.11.2021)国際事務局受理]

[請求項1] 上面および下面を有する半導体基板と、
前記半導体基板に設けられた、第1導電型のドリフト領域と、
前記ドリフト領域と前記半導体基板の前記下面との間に設けられた、
前記ドリフト領域よりもドーピング濃度の高い第1導電型のバッファ
領域と
を備え、
前記バッファ領域は、
前記半導体基板の深さ方向の異なる位置に配置され、前記下面から
最も遠い最深水素化学濃度ピークを含む複数の水素化学濃度ピークと、
前記半導体基板の深さ方向の異なる位置に配置され、前記下面に最
も近い最浅ドーピング濃度ピークを含む複数のドーピング濃度ピーク
と、
前記最深水素化学濃度ピークと、前記ドリフト領域との間に設けら
れた高濃度領域と
を有し、
前記高濃度領域の前記深さ方向のドーピング濃度分布は、前記ドリ
フト領域に接しており、且つ、前記ドリフト領域に向けてドーピング
濃度が徐々に低下するスロープを有し、
前記スロープは上に凸の部分を含み、
前記スロープの傾きを直線で近似した近似濃度直線は、前記最浅ド
ーピング濃度ピークの深さ位置における最浅参考濃度を有し、
前記最浅ドーピング濃度ピークのドーピング濃度が、前記最浅参考
濃度の5%以上、50%以下である半導体装置。

[請求項2] (補正後)
前記最浅ドーピング濃度ピークのドーピング濃度が、前記最浅参考

濃度の10%以上である

請求項1に記載の半導体装置。

[請求項3] (補正後)

前記近似濃度直線は、前記高濃度領域のドーピング濃度分布が極大となる位置のうち、前記ドリフト領域に最も近い位置から前記高濃度領域および前記ドリフト領域の境界位置までのドーピング濃度分布を最小二乗法で近似した直線である

請求項1または2に記載の半導体装置。

[請求項4] (補正後)

前記近似濃度直線は、前記高濃度領域のドーピング濃度分布が極大となる位置のうち、前記ドリフト領域に最も近い位置におけるドーピング濃度と、前記高濃度領域および前記ドリフト領域の境界位置におけるドーピング濃度の2点を結んだ直線である

請求項1または2に記載の半導体装置。

[請求項5] (補正後)

前記近似濃度直線の対数傾きが1000 (／cm) 以上、2000 (／cm) 以下である

請求項1から4のいずれか一項に記載の半導体装置。

[請求項6] (補正後)

前記最浅ドーピング濃度ピークと、前記半導体基板の前記下面との距離が1 μ m以上である

請求項1から5のいずれか一項に記載の半導体装置。

[請求項7] (補正後)

前記最浅ドーピング濃度ピークと、前記半導体基板の前記下面との距離が3 μ m未満である

請求項6に記載の半導体装置。

[請求項8] (補正後)

前記最深水素化学濃度ピークと、前記半導体基板の前記下面との距

離が 20 μm 以下である

請求項 1 から 7 のいずれか一項に記載の半導体装置。

[請求項9] (補正後)

前記複数の水素化学濃度ピークは、前記下面に最も近い最浅水素化学濃度ピークを含み、

前記最浅水素化学濃度ピークと、前記最深水素化学濃度ピークとの距離が 15 μm 以下である

請求項 8 に記載の半導体装置。

[請求項10] (補正後)

前記高濃度領域および前記ドリフト領域の境界位置と、前記半導体基板の前記下面との距離が 25 μm 以下である

請求項 1 から 9 のいずれか一項に記載の半導体装置。

[請求項11] (補正後)

前記複数のドーピング濃度ピークは、前記下面から最も遠い最深ドーピング濃度ピークを含み、

前記近似濃度直線において、前記最深ドーピング濃度ピークの深さ位置における濃度を最深参考濃度とした場合に、前記最深ドーピング濃度ピークのドーピング濃度が、前記最深参考濃度より高い

請求項 1 から 10 のいずれか一項に記載の半導体装置。

[請求項12] (補正後)

前記複数のドーピング濃度ピークは、前記下面に 2 番目に近い第 2 ドーピング濃度ピークを含み、

前記近似濃度直線において、前記第 2 ドーピング濃度ピークの深さ位置における濃度を第 2 参考濃度とした場合に、前記第 2 ドーピング濃度ピークのドーピング濃度が、前記第 2 参考濃度より低い

請求項 1 から 11 のいずれか一項に記載の半導体装置。

[請求項13] (補正後)

前記第 2 ドーピング濃度ピークのドーピング濃度が、前記第 2 参考

濃度の 10 %以上、50 %以下である

請求項 12 に記載の半導体装置。

[請求項14] (補正後)

前記最浅ドーピング濃度ピークのドーピング濃度は、前記第 2 ドーピング濃度ピークのドーピング濃度の 10 倍以下である

請求項 12 または 13 に記載の半導体装置。

[請求項15] (補正後)

前記最浅参考濃度に対する前記最浅ドーピング濃度ピークのドーピング濃度の割合が、前記第 2 参考濃度に対する前記第 2 ドーピング濃度ピークのドーピング濃度の割合よりも大きい

請求項 12 から 14 のいずれか一項に記載の半導体装置。

[請求項16] (補正後)

前記複数の水素化学濃度ピークは、前記下面に 2 番目に近い第 2 水素化学濃度ピークを含み、

前記第 2 水素化学濃度ピークの水素化学濃度は、前記第 2 参考濃度よりも低い

請求項 12 から 15 のいずれか一項に記載の半導体装置。

[請求項17] (追加)

前記バッファ領域と、前記半導体基板の下面との間に設けられた第 2 導電型のコレクタ領域を更に備え、

前記複数の水素化学濃度ピークは、前記下面に最も近い最浅水素化学濃度ピークを含み、

前記コレクタ領域と、前記最浅水素化学濃度ピークとの間に、水素以外の n 型ドーパントの化学濃度ピークがない

請求項 1 から 16 のいずれか一項に記載の半導体装置。

[請求項18] (追加)

前記複数の水素化学濃度ピークは、前記下面に最も近い最浅水素化学濃度ピークを含み、

前記最浅水素化学濃度ピークの水素化学濃度は、前記最浅参考濃度よりも高い

請求項 1 から 17 のいずれか一項に記載の半導体装置。

[請求項19] (追加)

前記複数の水素化学濃度ピークは、前記下面に最も近い最浅水素化学濃度ピークを含み、

前記最浅水素化学濃度ピークの水素化学濃度は、前記最浅参考濃度よりも低い

請求項 1 から 17 のいずれか一項に記載の半導体装置。

[請求項20] (追加)

前記複数の水素化学濃度ピークは、前記下面に最も近い最浅水素化学濃度ピークを含み、

前記最浅水素化学濃度ピークのピーク位置における酸素化学濃度は、前記最浅参考濃度よりも高い

請求項 1 から 19 のいずれか一項に記載の半導体装置。

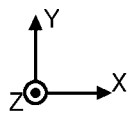
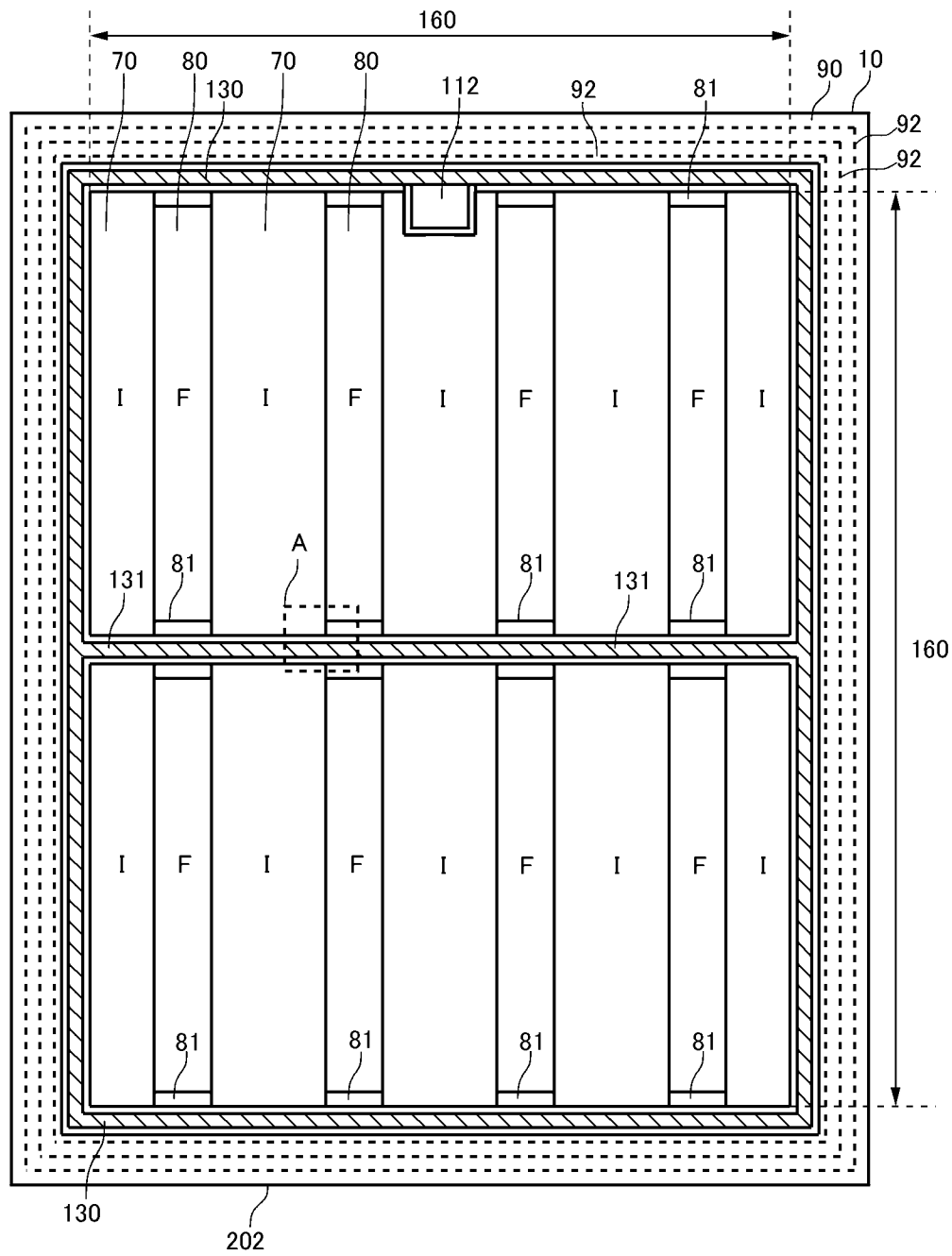
[請求項21] (追加)

前記複数の水素化学濃度ピークは、前記下面に最も近い最浅水素化学濃度ピークを含み、

前記最浅水素化学濃度ピークのピーク位置における酸素化学濃度は、前記最浅参考濃度よりも低い

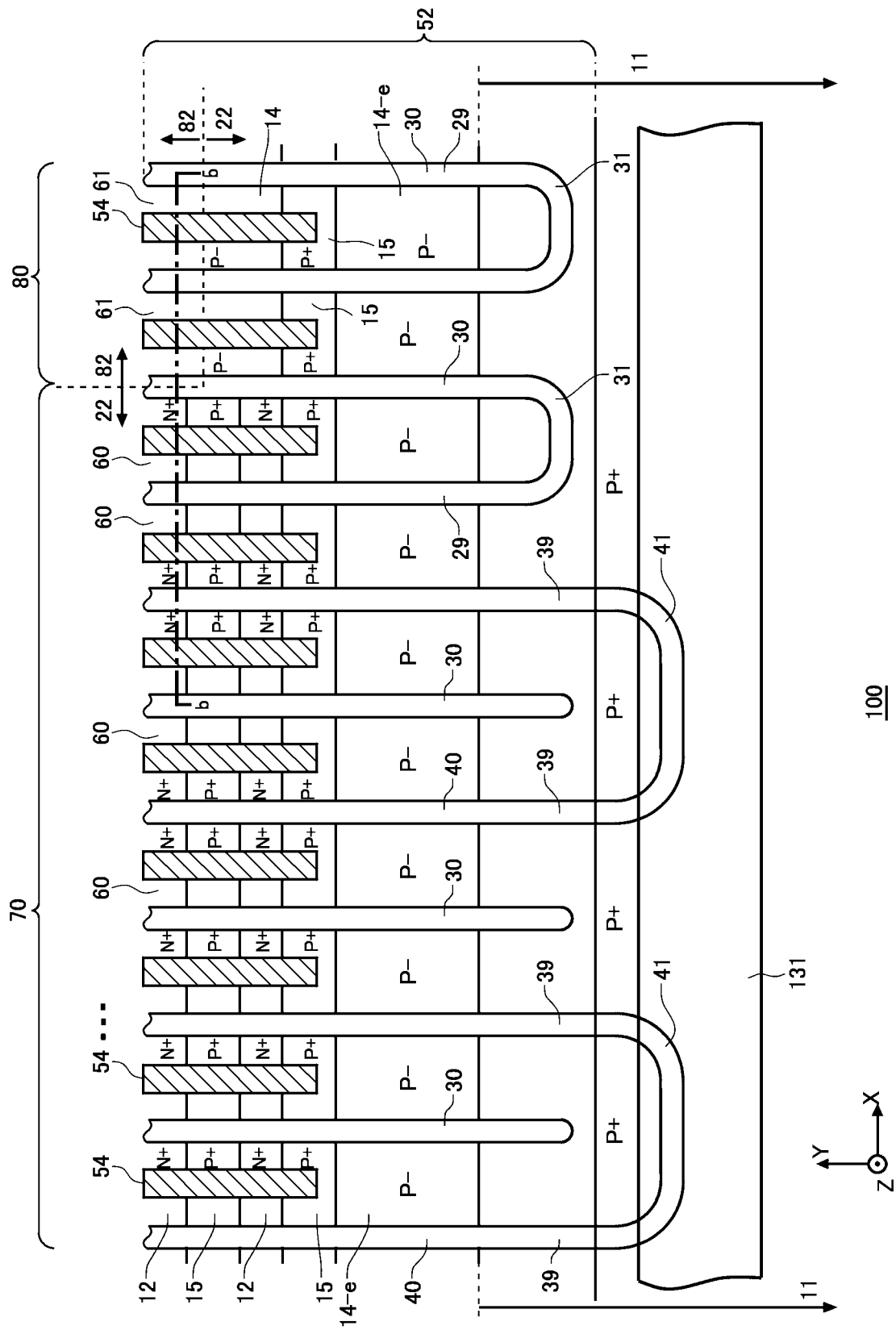
請求項 1 から 19 のいずれか一項に記載の半導体装置。

[図1]

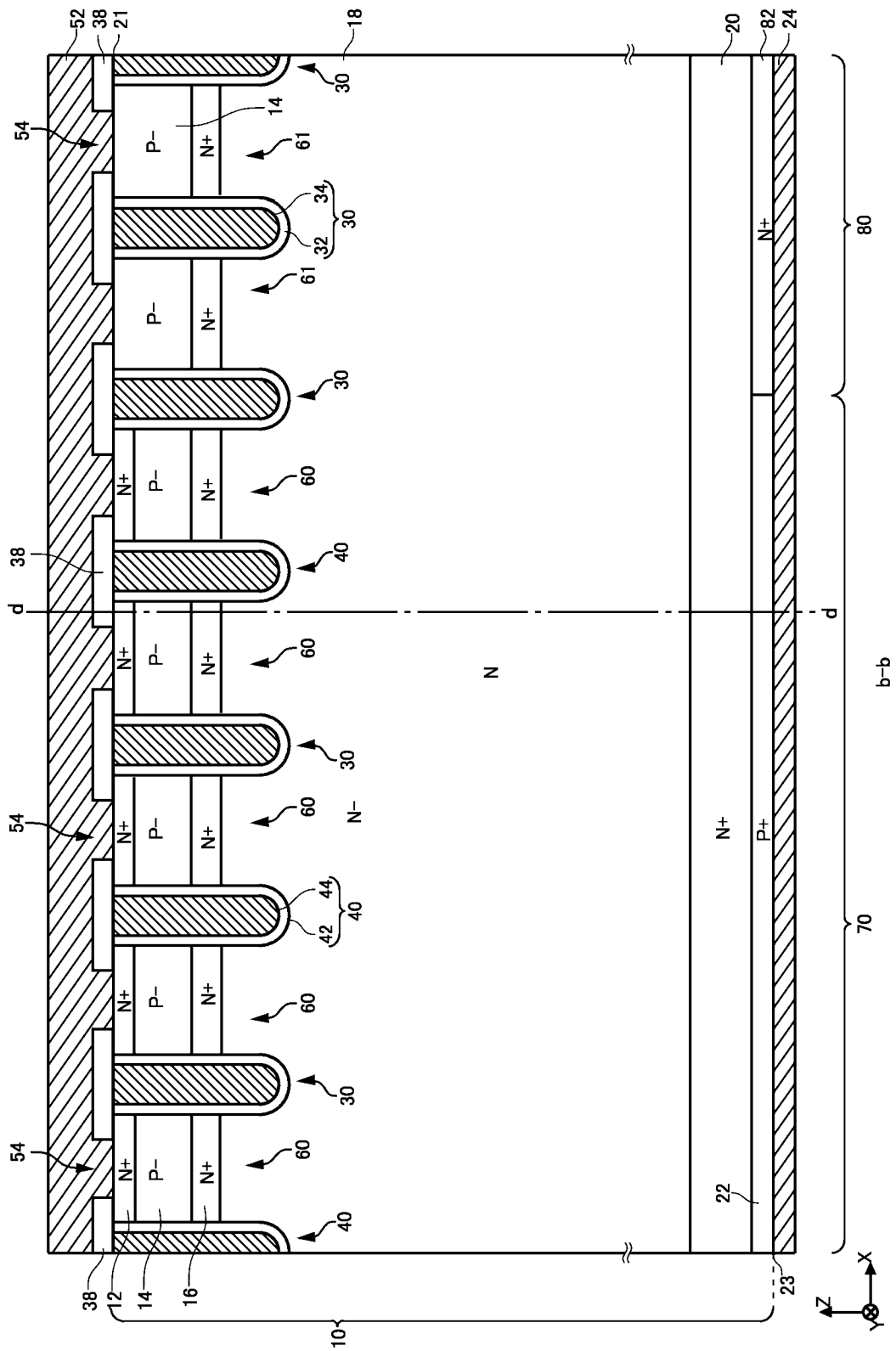


100

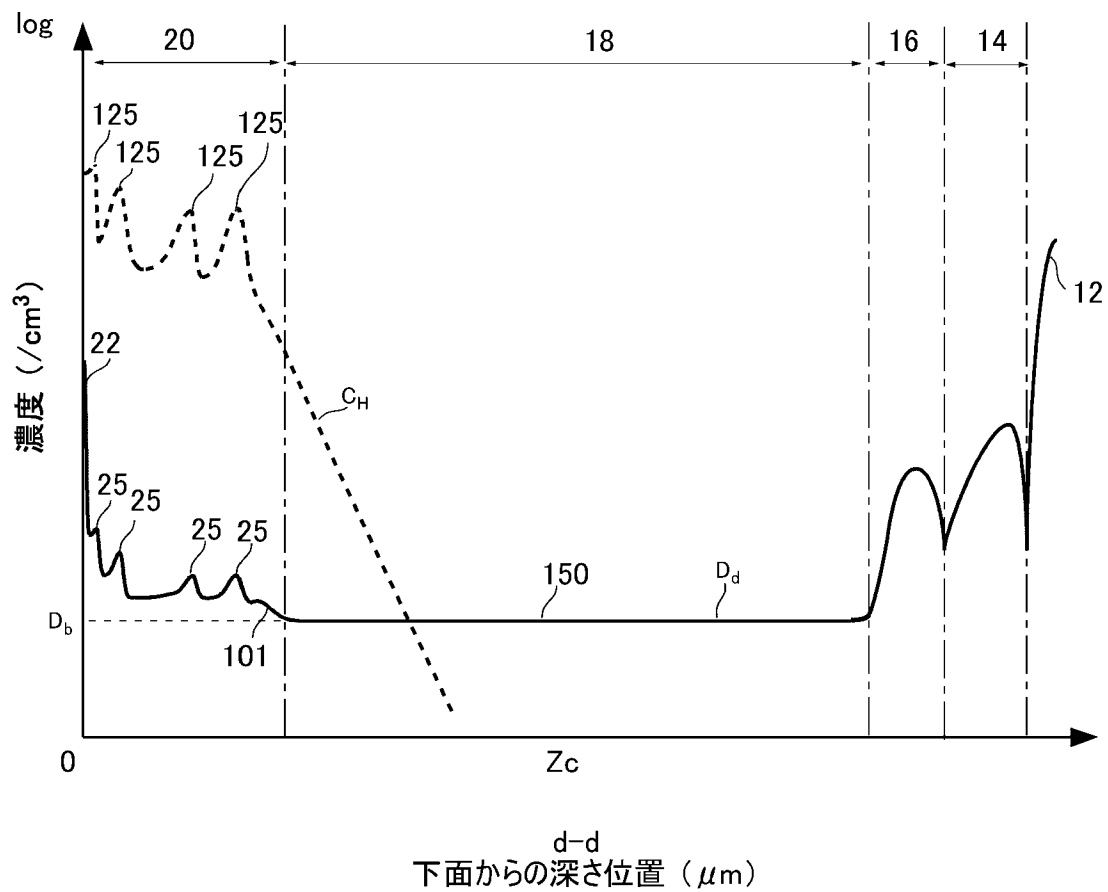
[図2]



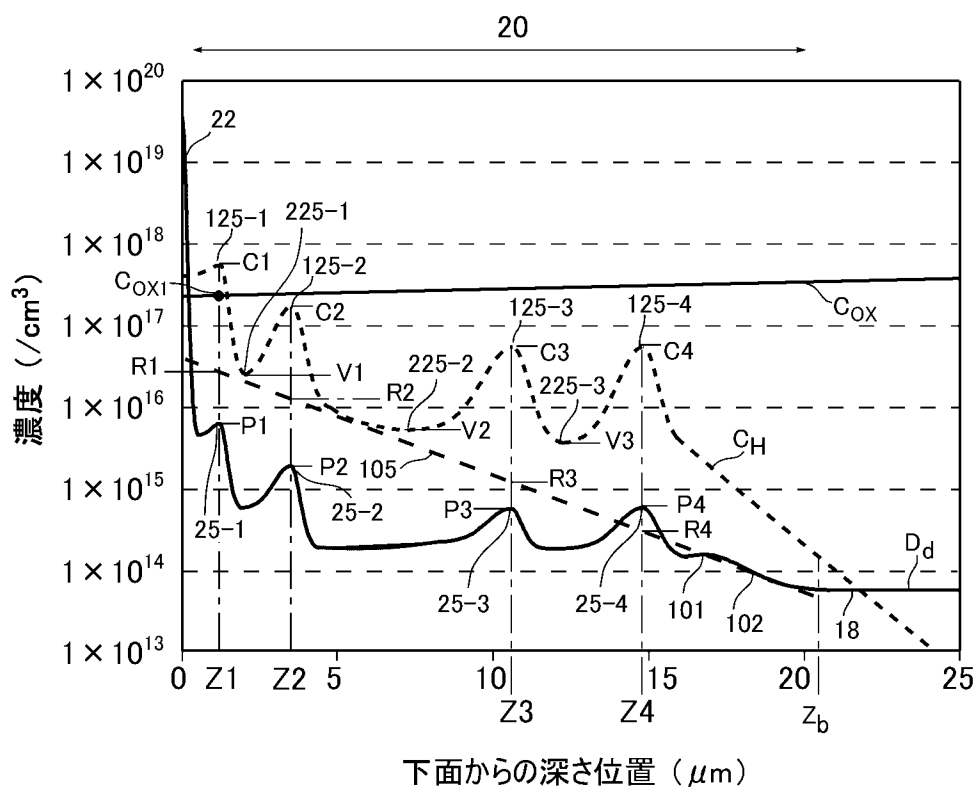
[図3]



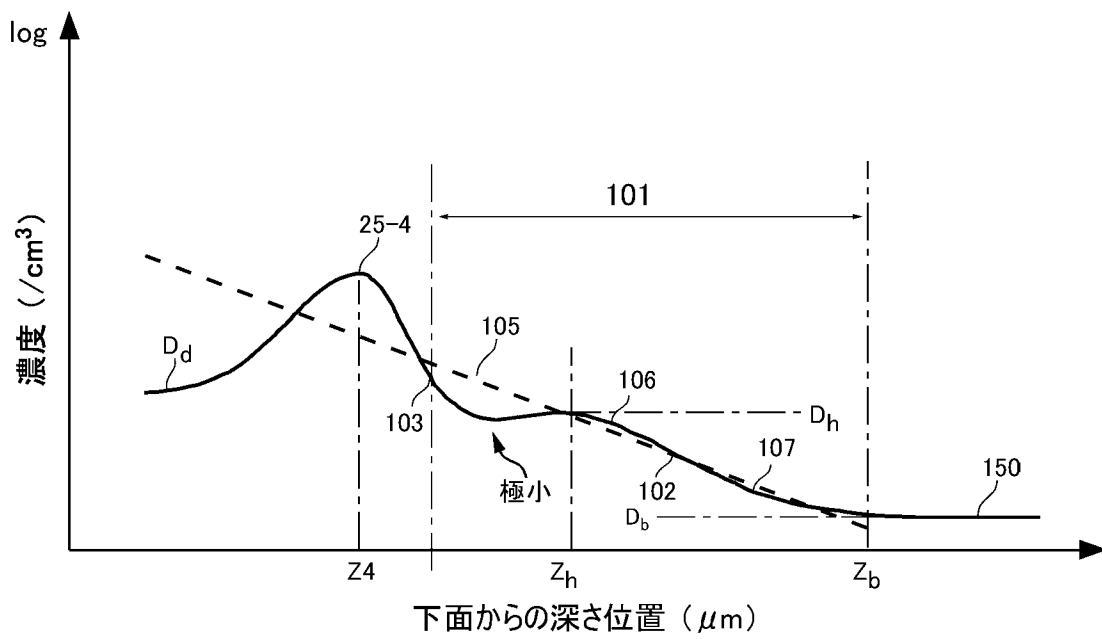
[図4]



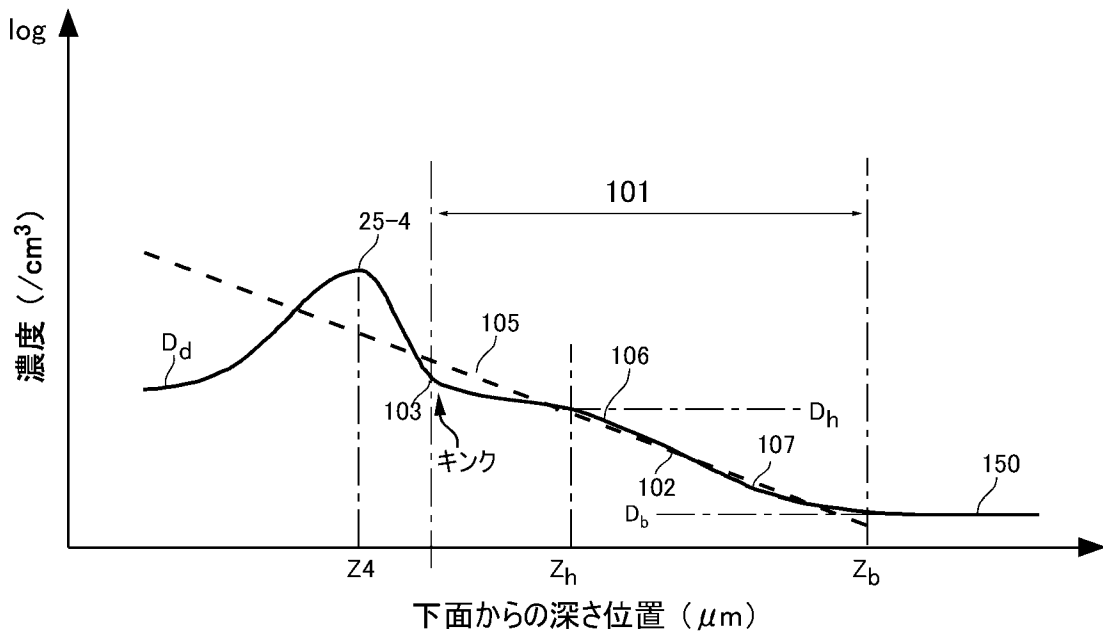
[図5]



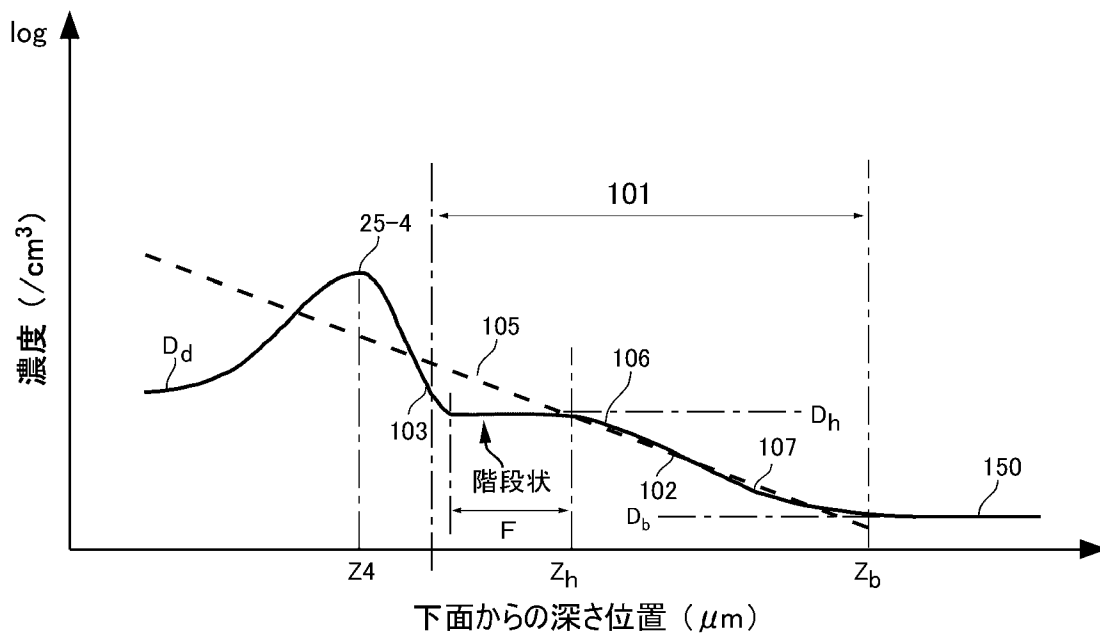
[図6A]



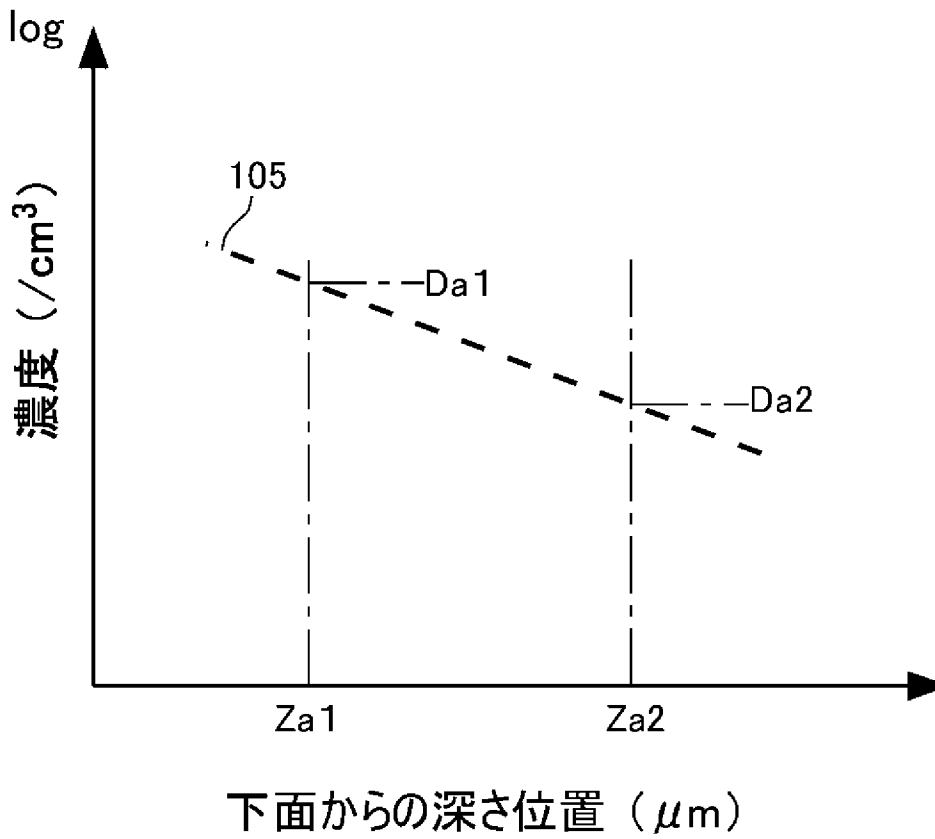
[図6B]



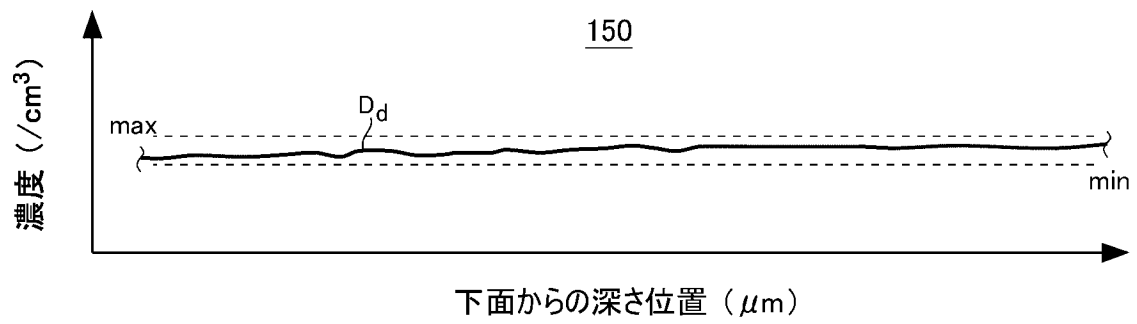
[図6C]



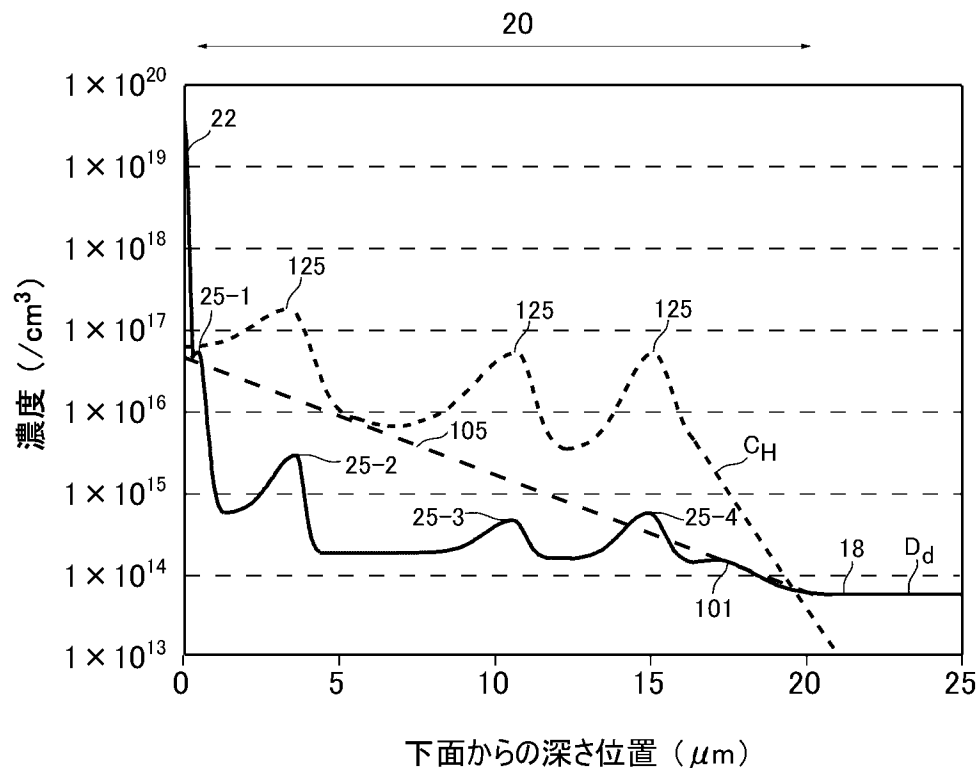
[図7]



[図8]



[図9]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2021/026376

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int. Cl. H01L21/8234(2006.01)i, H01L27/06(2006.01)i, H01L29/06(2006.01)i, H01L29/78(2006.01)i, H01L29/739(2006.01)i, H01L21/336(2006.01)i, H01L29/861(2006.01)i, H01L29/868(2006.01)i
FI: H01L29/78 655B, H01L29/78 657D, H01L29/78 655G, H01L29/78 652Q, H01L29/78 657A, H01L29/78 657F, H01L29/78 652P, H01L29/06 301R, H01L29/06 301V, H01L29/78 652J, H01L29/91 G, H01L29/78 653A, H01L29/78 658H, H01L27/06 102A

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)

Int. Cl. H01L21/8234, H01L27/06, H01L29/06, H01L29/78, H01L29/739, H01L21/336, H01L29/861, H01L29/868

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 1971-2021
Registered utility model specifications of Japan 1996-2021
Published registered utility model applications of Japan 1994-2021

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	WO 2020/100995 A1 (FUJI ELECTRIC CO., LTD.) 22 May	1, 3-4, 8-13
Y	2020 (2020-05-22), paragraphs [0034]-[0094], fig.	15-16
A	1-9	2, 5-7, 14
Y	WO 2017/047285 A1 (FUJI ELECTRIC CO., LTD.) 23 March 2017 (2017-03-23), paragraphs [0030]-[0060], [0092], fig. 1, 5	15-16
A	JP 2013-138172 A (DENSO CORP.) 11 July 2013 (2013- 07-11), paragraphs [0023]-[0059], fig. 1-10	1-16

☐ 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

"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
06.09.2021

Date of mailing of the international search report
14.09.2021

Name and mailing address of the ISA/
Japan Patent Office
3-4-3, Kasumigaseki, Chiyoda-ku,
Tokyo 100-8915, Japan

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No.

PCT/JP2021/026376

Patent Documents referred to in the Report	Publication Date	Patent Family	Publication Date
WO 2020/100995 A1	22.05.2020	US 2021/043739 A1 paragraphs [0048]- [0109], fig. 1-9 CN 112219263 A	
WO 2017/047285 A1	23.03.2017	US 2018/0012762 A1 paragraphs [0046]- [0076], [0113], fig. 1, 5 CN 107408576 A	
JP 2013-138172 A	11.07.2013	US 2014/0299915 A1 paragraphs [0048]- [0084], fig. 1-10 WO 2013/080417 A1 CN 103959473 A	

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC）） H01L 21/8234(2006.01)i; H01L 27/06(2006.01)i; H01L 29/06(2006.01)i; H01L 29/78(2006.01)i; H01L 29/739(2006.01)i; H01L 21/336(2006.01)i; H01L 29/861(2006.01)i; H01L 29/868(2006.01)i FI: H01L29/78 655B; H01L29/78 657D; H01L29/78 655G; H01L29/78 652Q; H01L29/78 657A; H01L29/78 657F; H01L29/78 652P; H01L29/06 301R; H01L29/06 301V; H01L29/78 652J; H01L29/91 C; H01L29/78 653A; H01L29/78 658H; H01L27/06 102A																				
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）） H01L21/8234; H01L27/06; H01L29/06; H01L29/78; H01L29/739; H01L21/336; H01L29/861; H01L29/868 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 <table border="0"> <tr> <td>日本国実用新案公報</td> <td>1922-1996年</td> </tr> <tr> <td>日本国公開実用新案公報</td> <td>1971-2021年</td> </tr> <tr> <td>日本国実用新案登録公報</td> <td>1996-2021年</td> </tr> <tr> <td>日本国登録実用新案公報</td> <td>1994-2021年</td> </tr> </table> 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）			日本国実用新案公報	1922-1996年	日本国公開実用新案公報	1971-2021年	日本国実用新案登録公報	1996-2021年	日本国登録実用新案公報	1994-2021年										
日本国実用新案公報	1922-1996年																			
日本国公開実用新案公報	1971-2021年																			
日本国実用新案登録公報	1996-2021年																			
日本国登録実用新案公報	1994-2021年																			
C. 関連すると認められる文献 <table border="1"> <thead> <tr> <th>引用文献の カテゴリー*</th> <th>引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示</th> <th>関連する 請求項の番号</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>X</td> <td>WO 2020/100995 A1（富士電機株式会社）22.05.2020（2020-05-22） 段落[0034]-[0094], 図1-9</td> <td>1,3-4,8-13</td> </tr> <tr> <td>Y</td> <td></td> <td>15-16</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td></td> <td>2,5-7,14</td> </tr> <tr> <td>Y</td> <td>WO 2017/047285 A1（富士電機株式会社）23.03.2017（2017-03-23） 段落[0030]-[0060], [0092], 図1,5</td> <td>15-16</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>JP 2013-138172 A（株式会社デンソー）11.07.2013（2013-07-11） 段落[0023]-[0059], 図1-10</td> <td>1-16</td> </tr> </tbody> </table>			引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号	X	WO 2020/100995 A1（富士電機株式会社）22.05.2020（2020-05-22） 段落[0034]-[0094], 図1-9	1,3-4,8-13	Y		15-16	A		2,5-7,14	Y	WO 2017/047285 A1（富士電機株式会社）23.03.2017（2017-03-23） 段落[0030]-[0060], [0092], 図1,5	15-16	A	JP 2013-138172 A（株式会社デンソー）11.07.2013（2013-07-11） 段落[0023]-[0059], 図1-10	1-16
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	WO 2020/100995 A1（富士電機株式会社）22.05.2020（2020-05-22） 段落[0034]-[0094], 図1-9	1,3-4,8-13																		
Y		15-16																		
A		2,5-7,14																		
Y	WO 2017/047285 A1（富士電機株式会社）23.03.2017（2017-03-23） 段落[0030]-[0060], [0092], 図1,5	15-16																		
A	JP 2013-138172 A（株式会社デンソー）11.07.2013（2013-07-11） 段落[0023]-[0059], 図1-10	1-16																		
☐ 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、一般的な技術水準を示すもの “E” 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの “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 06.09.2021		国際調査報告の発送日 14.09.2021																		
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																		

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/JP2021/026376

引用文献			公表日	パテントファミリー文献			公表日
WO	2020/100995	A1	22.05.2020	US	2021/043739	A1	
				[0048]-[0109], 図1-9			
				CN	112219263	A	
WO	2017/047285	A1	23.03.2017	US	2018/0012762	A1	
				[0046]-[0076], [0113], 図1, 5			
				CN	107408576	A	
JP	2013-138172	A	11.07.2013	US	2014/0299915	A1	
				段落[0048]-[0084], 図1-10			
				WO	2013/080417	A1	
				CN	103959473	A	