

(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5月27日(27.05.2022)

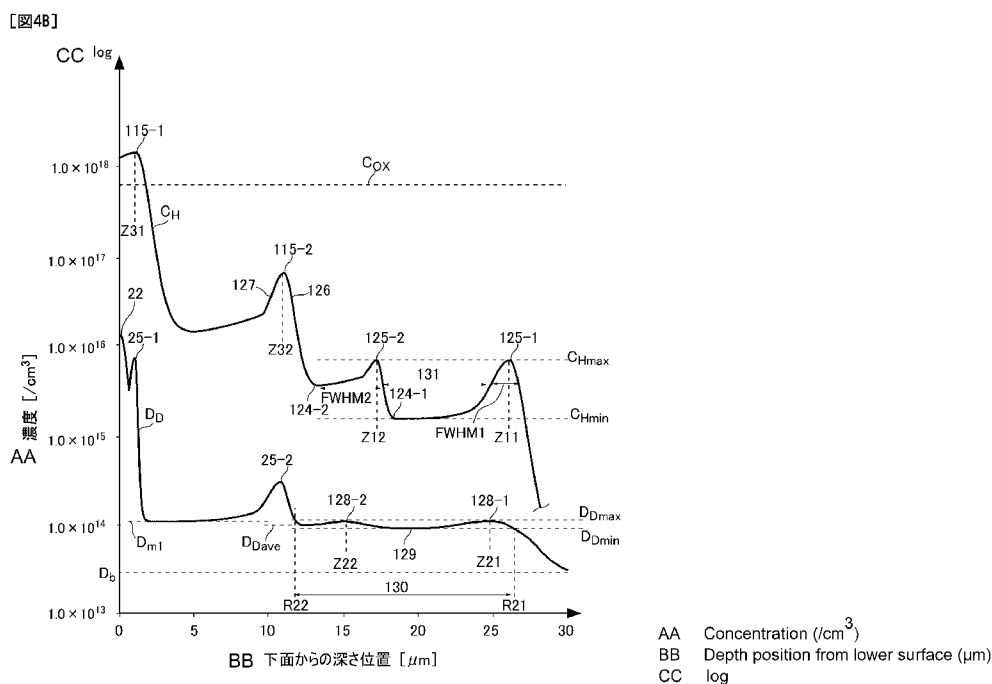


(10) 国際公開番号  
**WO 2022/107727 A1**

- (51) 国際特許分類:  
*H01L 29/06* (2006.01)    *H01L 29/861* (2006.01)  
*H01L 29/78* (2006.01)    *H01L 29/868* (2006.01)  
*H01L 29/739* (2006.01)
- (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: 内田 美佐稀 (UCHIDA Misaki); 〒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). 吉村 尚 (YOSHIMURA Takashi); 〒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). 瀧下 博 (TAKISHITA Hiroshi); 〒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). 谷口 竣太郎 (YAGUCHI Shuntaro); 〒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). 野口 晴司 (NOGUCHI Seiji);
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2021/041952
- (22) 国際出願日: 2021年11月15日(15.11.2021)
- (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 2020-190971 2020年11月17日(17.11.2020) JP

(54) Title: SEMICONDUCTOR DEVICE

(54) 発明の名称: 半導体装置



(57) Abstract: A semiconductor device which is provided with: a buffer region where the doping concentration is higher than the bulk donor concentration; a first low-concentration hydrogen peak that is arranged in the buffer region; a second low-concentration hydrogen peak that is arranged in the buffer region at a position closer to the lower surface than the first low-concentration hydrogen peak; a high-concentration hydrogen peak that is arranged in the buffer region at a position closer to the lower surface than the second low-concentration hydrogen peak, while having a higher hydrogen



WO 2022/107727 A1

〒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).  
桜井 洋輔(SAKURAI Yosuke); 〒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 2 2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, 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:

一 国際調査報告 (条約第21条(3))

chemical concentration than the second low-concentration hydrogen peak; a region between the first low-concentration hydrogen peak and the second low-concentration hydrogen peak; and a flat region which contains the region where the second low-concentration hydrogen peak is provided, wherein the doping concentration is higher than the bulk donor concentration and the average doping concentration is not more than the minimum value of the doping concentration between the second low-concentration hydrogen peak and the high-concentration hydrogen peak.

(57) 要約: ドーピング濃度がバルク・ドナー濃度よりも高いバッファ領域と、バッファ領域に配置される第 1 低濃度水素ピークと、バッファ領域において第 1 低濃度水素ピークよりも下面に近い位置に配置される第 2 低濃度水素ピークと、バッファ領域において第 2 低濃度水素ピークよりも下面に近い位置に配置され、前記第 2 低濃度水素ピークよりも水素化学濃度が高い高濃度水素ピークと、第 1 低濃度水素ピークおよび第 2 低濃度水素ピーク間の領域と、第 2 低濃度水素ピークが設けられた領域を含み、ドーピング濃度がバルク・ドナー濃度よりも高く、ドーピング濃度の平均値が第 2 低濃度水素ピークと高濃度水素ピーク間のドーピング濃度の極小値以下である平坦領域とを備え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、フィールドストップ層として機能するバッファ領域を備える半導体装置が知られている（例えば、特許文献1参照）。

（特許文献1）米国特許出願公開第2016/0141399号明細書

### 解決しようとする課題

[0003] 半導体装置においては、バッファ領域等におけるドーピング濃度の分布を、所定の形状に制御することが好ましい。

### 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、半導体装置を提供する。半導体装置は、上面および下面を有し、バルク・ドナーおよび酸素を含む半導体基板を備えてよい。半導体装置は、少なくとも一部分が半導体基板の下面側に設けられ、ドーピング濃度がバルク・ドナー濃度よりも高いバッファ領域を備えてよい。半導体装置は、バッファ領域に配置された第1低濃度水素ピークを備えてよい。半導体装置は、バッファ領域において第1低濃度水素ピークよりも下面に近い位置に配置された第2低濃度水素ピークを備えてよい。半導体装置は、バッファ領域において第2低濃度水素ピークよりも下面に近い位置に配置され、第2低濃度水素ピークよりも水素化学濃度が高い高濃度水素ピークを備えてよい。半導体装置は、第1低濃度水素ピークおよび第2低濃度水素ピークの間領域と、第2低濃度水素ピークが設けられた領域を含み、ドーピング濃度がバルク・ドナー濃度よりも高く、且つ、ドーピング濃度の変動が±30%以下であり、ドーピング濃度の変動比率が水素化学濃度の変動比率よりも小さく、水素化学濃度分布の水素濃度ピークに対応するドーピング濃度分布の濃度ピークの幅が、水素化学濃度

分布の水素濃度ピークの幅よりも大きい平坦領域を備えてよい。

- [0005] 平坦領域の深さ方向におけるドーピング濃度分布は、第2低濃度水素ピークに対応する濃度ピークを有してよい。濃度ピークは、第2低濃度水素ピークよりも緩やかに濃度が変化してよい。
- [0006] 濃度ピークは、第2低濃度水素ピークよりも半導体基板の下面側に配置されてよい。
- [0007] 深さ方向において、平坦領域の長さは、バッファ領域の長さの半分以上であってよい。
- [0008] 平坦領域のドーピング濃度の平均値が、半導体基板の酸素化学濃度の0.01%以上、3%以下であってよい。
- [0009] 半導体基板の酸素化学濃度は、第1低濃度水素ピークの水素化学濃度の10倍以上であってよい。
- [0010] 第1低濃度水素ピークと、第2低濃度水素ピークとの間隔 ( $\mu\text{m}$ ) は、半導体基板の酸素化学濃度 ( $\text{atoms}/\text{cm}^3$ ) の  $3/10^{16}$  ( $\mu\text{m}/(\text{atoms}/\text{cm}^3)$ ) 倍以下であってよい。
- [0011] 第1低濃度水素ピークの水素化学濃度が  $1.0 \times 10^{16} \text{ atoms}/\text{cm}^3$  以下であってよい。第1低濃度水素ピークと、第2低濃度水素ピークとの間隔が  $100 \mu\text{m}$  以下であってよい。
- [0012] バッファ領域は、バッファ領域の中央よりも下面側の下面側領域と、バッファ領域の中央よりも上面側の上面側領域とを有してよい。バッファ領域は、第1低濃度水素ピークおよび第2低濃度水素ピークを含む複数の低濃度水素ピークを有してよい。上面側領域に配置された低濃度水素ピークの個数は、下面側領域に配置された低濃度水素ピークの個数よりも多くてよい。
- [0013] 低濃度水素ピークの水素化学濃度は、 $1 \times 10^{16}/\text{cm}^3$  以下であってよい。
- [0014] 平坦領域のドーピング濃度が、バルク・ドナー濃度の2倍以上であってよい。
- [0015] 平坦領域のドーピング濃度が、 $0.7 \times 10^{13}/\text{cm}^3$  以上であってよい。

- [0016] 第1低濃度水素ピークおよび第2低濃度水素ピークのそれぞれは、ピークの頂点から半導体基板の下面に向かう下側裾と、頂点から半導体基板の上面に向かう上側裾とを有してよい。上側裾は、下側裾よりも急峻に水素化学濃度が低下してよい。
- [0017] 酸素化学濃度が  $1.0 \times 10^{17} \text{ atoms/cm}^3$  以上であってよい。
- [0018] 第1低濃度水素ピークの水素イオンドーズ量が水素イオンのドーズ量が  $1.0 \times 10^{12} \text{ ions/cm}^2$  以下であってよい。
- [0019] 第2低濃度水素ピークの水素イオンドーズ量が水素イオンのドーズ量が  $1.0 \times 10^{12} \text{ ions/cm}^2$  以下であってよい。
- [0020] 平坦領域のドーピング濃度の平均値が第2低濃度水素ピークと高濃度水素ピークの間ドーピング濃度の極小値以下であってよい。
- [0021] バッファ領域において、高濃度水素ピークよりも上面側であって、第2低濃度水素ピークよりも下面に近い位置に配置された第3低濃度水素ピークを有してよい。平坦領域が第3低濃度水素ピークを含んでよい。平坦領域のドーピング濃度の平均値が第3低濃度水素ピークと高濃度水素ピークの間ドーピング濃度の極小値以下であってよい。
- [0022] 平坦領域において、ドーピング濃度の変動比率は水素化学濃度の変動比率の半分以下であってよい。
- [0023] 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

- [0024] [図1]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Dの拡大図である。
- [図3]図2におけるe-e断面の一例を示す図である。
- [図4A]図3のF-F線の位置における、深さ方向のドーピング濃度分布の一例を示す図である。
- [図4B]バッファ領域20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、深さ方向の分布例を示す図である。

[図5A]図3のF-F線の位置における、深さ方向のドーピング濃度分布の他の例を示す図である。

[図5B]図5Aのバッファ領域20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、深さ方向の分布例を示す図である。

[図6]実施例および比較例における、バッファ領域20のドーピング濃度分布を示す図である。

[図7]実施例および比較例における、バッファ領域20のドーピング濃度分布を示す図である。

[図8]図3のF-F線の位置における、深さ方向のドーピング濃度分布の他の例を示す図である。

[図9]隣り合って配置された複数の低濃度水素ピーク125を拡大した図である。

[図10]隣り合って配置された複数の低濃度水素ピーク125の他の例を示す図である。

[図11]隣り合って配置された複数の低濃度水素ピーク125の他の例を示す図である。

### 発明を実施するための形態

[0025] 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。

[0026] 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。

[0027] 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。

[0028] 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。

[0029] また、半導体基板の深さ方向における中心から、半導体基板の上面までの領域を、上面側と称する場合がある。同様に、半導体基板の深さ方向における中心から、半導体基板の下面までの領域を、下面側と称する場合がある。

[0030] 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。

[0031] 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、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。

[0032] 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。本明細書で

は、ネット・ドーピング濃度を単にドーピング濃度と記載する場合がある。

[0033] 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。本明細書では、VOH欠陥を水素ドナーと称する場合がある。

[0034] 本明細書において半導体基板は、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、アンチモン、ヒ素、セレンまたは硫黄であるが、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。MCZ法で製造された基板に含まれる酸素濃度は、例えば $1 \times 10^{17} \sim 7 \times 10^{17} / \text{cm}^3$ である。FZ法で製造された基板に含まれる酸素濃度は、例えば $1 \times 10^{15} \sim 5 \times 10^{16} / \text{cm}^3$ である。酸素濃度が高い方が水素ドナーを生成しやすい傾向がある。バルク・ドナー濃度は、半導体基板の全体に分布しているバルク・ドナーの化学濃度を用いてよく、当該化学濃度の90%から100%の間の値であってよい。また、半導体基板は、リン等のドーパントを含まないノンドーピング基板を用いてもよい。その場合、ノンドーピング基板のバルク・ドナー濃度（ $D_b$ ）は例えば $1 \times 10^{10} / \text{cm}^3$ 以上、 $5 \times 10^{12} / \text{cm}^3$ 以下である。ノンドーピング基板のバルク・ドナー濃度（ $D_b$ ）は、好ましくは $1 \times 10^{11} / \text{cm}^3$ 以上である。ノンドーピング基板のバルク・ドナー濃度（ $D$

b) は、好ましくは  $5 \times 10^{12} / \text{cm}^3$  以下である。尚、本発明における各濃度は、室温における値でよい。室温における値は、一例として 300 K (ケルビン) (約 26.9°C) のときの値を用いてよい。

[0035] 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。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 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] 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。本明細書では、N型領域のドーピング濃度をドナー濃度と称する場合があります、P型領域のドーピング濃度をアクセプタ濃度と称する場合がある。

[0037] 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。本明細書において、単位体

積当りの濃度表示に  $\text{atoms}/\text{cm}^3$ 、または、 $/\text{cm}^3$ を用いる。この単位は、半導体基板内のドナーまたはアクセプタ濃度、または、化学濃度に用いられる。 $\text{atoms}$ 表記は省略してもよい。

[0038] SR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。

[0039] CV法またはSR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もよい。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。

[0040] 図1は、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。

[0041] 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、半導体材料で形成された基板である。一例として半導体基板10はシリコン基板であるが、半導体基板10の材料はシリコンに限定されない。

[0042] 半導体基板10は、上面視において端面162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組の端面162を有する。図1においては、X軸およびY軸は、いずれかの端面162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。

[0043] 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。

[0044] 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。

[0045] 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。

[0046] 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。

[0047] 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。

[0048] 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164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162の近傍に配置されている。端辺162の近傍とは、上面視における端辺162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。

[0049] ゲートパッド164には、ゲート電位が印加される。ゲートパッド164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164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。

[0050] 本例のゲート配線は、外周ゲート配線101と、活性側ゲート配線102とを有している。外周ゲート配線101は、上面視において活性部160と半導体基板10の端辺162との間に配置されている。本例の外周ゲート配線101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101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101は、ゲートパッド164と接続されている。外周ゲート配線101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101は、アルミニウム等を含む金属配線であってよい。

[0051] 活性側ゲート配線102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102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164からの配線長のバラツキを低減できる。

[0052] 活性側ゲート配線102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102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102は、不純物がドーパ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。

[0053] 活性側ゲート配線102は、外周ゲート配線101と接続されてよい。本例の活性側ゲート配線102は、Y軸方向の略中央で一方の外周ゲート配線101から他方の外周ゲート配線101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102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。

[0054] 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。

[0055] 本例の半導体装置100は、上面視において、活性部160と端辺162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101と端辺162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、活性部160を囲んで環状に設けられたガードリング、フィールドプレートおよびリサーフのうちの少なくとも一つを備えていてよい。

[0056] 図2は、図1における領域Dの拡大図である。領域D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102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102を備える。エミッタ電極52および活性側ゲート配線102は互いに分離して設けられる。

[0057] エミッタ電極52および活性側ゲート配線102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2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。

[0058] 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。

[0059] 活性側ゲート配線102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、ゲートトレンチ部40と接続する。活性側ゲート配線102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102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。

[0060] 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。

[0061] ウェル領域11は、活性側ゲート配線102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102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102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。

[0062] 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。

[0063] 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。

[0064] 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。

[0065] 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。

[0066] 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もよい。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。

[0067] 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。

[0068] 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102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。

[0069] 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。

[0070] 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

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。

[0071] 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。

[0072] 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。

[0073] 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。

[0074] 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。カソード領域82およびコレクタ領域22は、半導体基板10の下面23と、バッファ領域20との間に設けられている。図2にお

いては、カソード領域 8 2 およびコレクタ領域 2 2 の境界を点線で示している。

[0075] カソード領域 8 2 は、Y 軸方向においてウェル領域 1 1 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 1 1）と、カソード領域 8 2 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 8 2 の Y 軸方向における端部は、コンタクトホール 5 4 の Y 軸方向における端部よりも、ウェル領域 1 1 から離れて配置されている。他の例では、カソード領域 8 2 の Y 軸方向における端部は、ウェル領域 1 1 とコンタクトホール 5 4 との間に配置されていてもよい。

[0076] 図 3 は、図 2 における e - e 断面の一例を示す図である。e - e 断面は、エミッタ領域 1 2 およびカソード領域 8 2 を通過する X Z 面である。本例の半導体装置 1 0 0 は、当該断面において、半導体基板 1 0、層間絶縁膜 3 8、エミッタ電極 5 2 およびコレクタ電極 2 4 を有する。

[0077] 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。

[0078] 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。

[0079] 半導体基板 1 0 は、N 型または N - 型のドリフト領域 1 8 を有する。ドリフト領域 1 8 は、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。

- [0080] トランジスタ部70のメサ部60には、N+型のエミッタ領域12およびP-型のベース領域14が、半導体基板10の上面21側から順番に設けられている。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60には、N+型の蓄積領域16が設けられてもよい。蓄積領域16は、ベース領域14とドリフト領域18との間に配置される。
- [0081] エミッタ領域12は半導体基板10の上面21に露出しており、且つ、ゲートトレンチ部40と接して設けられている。エミッタ領域12は、メサ部60の両側のトレンチ部と接してよい。エミッタ領域12は、ドリフト領域18よりもドーピング濃度が高い。
- [0082] ベース領域14は、エミッタ領域12の下方に設けられている。本例のベース領域14は、エミッタ領域12と接して設けられている。ベース領域14は、メサ部60の両側のトレンチ部と接してよい。
- [0083] 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。蓄積領域16は、リンまたは水素ドナー等のドナーの濃度ピークを有してよい。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。
- [0084] 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。
- [0085] 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よりもドーピング濃度の高い濃度ピークを有してよい。濃度ピークのドーピング濃度とは、濃度ピークの頂

点におけるドーピング濃度を指す。また、ドリフト領域 18 のドーピング濃度は、ドーピング濃度分布がほぼ平坦な領域におけるドーピング濃度の平均値を用いてよい。

[0086] バッファ領域 20 は、水素（プロトン）またはリン等の N 型ドーパントをイオン注入することで形成してよい。本例のバッファ領域 20 は水素をイオン注入して形成される。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。

[0087] 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。

[0088] 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。

[0089] 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も含まれる。

[0090] 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。

[0091] 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。

[0092] 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ンネルが形成される。

[0093] 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、エミッタ電極52に電氣的に接続されている。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

一導電部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。

[0094] 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。

[0095] 図4Aは、図3のF-F線の位置における、深さ方向のドーピング濃度分布の一例を示す図である。図4Aの縦軸は、対数軸である。図4A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 $Z_c$ としている。

[0096] エミッタ領域12は、N型ドーパントの濃度ピークを有する。N型ドーパントは例えばリンであるが、これに限定されない。ベース領域14は、P型ドーパントの濃度ピークを有する。P型ドーパントは例えばボロンであるが、これに限定されない。蓄積領域16は、N型ドーパントの濃度ピークを有する。N型ドーパントは、例えば水素またはリンであるが、これに限定されない。

[0097] ドリフト領域18は、ドーピング濃度がほぼ一定であってよい。ドリフト領域18のドーピング濃度は、バルク・ドナー濃度 $D_b$ と同一であってよく、バルク・ドナー濃度 $D_b$ より高くてもよい。

[0098] バッファ領域20は、バルク・ドナー濃度 $D_b$ よりもドーピング濃度が高いN型の領域である。バッファ領域20は、ドリフト領域18よりもドーピング濃度が高くてもよい。バッファ領域20は、少なくとも一部分が半導体基板10の下面23側に設けられる。下面23側とは、下面23と、中央位置 $Z_c$ との間の領域である。本例のバッファ領域20におけるドーピング濃度分布は、濃度ピーク25を有してよい。バッファ領域20は、深さ方向におい

て異なる位置に設けられた複数の濃度ピーク25を有していてもよい。

[0099] バッファ領域20は、平坦領域130を有する。平坦領域130は、濃度ピーク25と、ドリフト領域18との間に配置されていてよい。平坦領域130は、ドーピング濃度がほぼ一定の領域である。

[0100] 図4Bは、バッファ領域20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、深さ方向の分布例を示す図である。本例の半導体基板10は、バルク・ドナーおよび酸素を含む。図4Bにおいては、バルク・ドナー濃度を $D_b$ 、酸素化学濃度を $C_{Ox}$ とする。バルク・ドナー濃度 $D_b$ は、半導体基板10の深さ方向において均一であってよい。酸素化学濃度 $C_{Ox}$ は、半導体基板10の深さ方向において均一であってよく、単調に増加してよく、単調に減少してもよい。酸素化学濃度 $C_{Ox}$ は、 $1.0 \times 10^{17} \text{ atoms/cm}^3$ 以上であってよく、 $3.0 \times 10^{17} \text{ atoms/cm}^3$ 以上であってよく、 $5.0 \times 10^{17} \text{ atoms/cm}^3$ 以上であってよく、 $7.0 \times 10^{17} \text{ atoms/cm}^3$ 以上であってよい。酸素化学濃度 $C_{Ox}$ は、 $3.0 \times 10^{18} \text{ atoms/cm}^3$ 以下であってよく、 $2.0 \times 10^{18} \text{ atoms/cm}^3$ 以下であってよく、 $1.0 \times 10^{18} \text{ atoms/cm}^3$ 以下であってよい。

[0101] なお、半導体基板10の表面近傍の酸素は、半導体基板10の外部に放出される場合がある。このため、半導体基板10の表面近傍においては、酸素化学濃度 $C_{Ox}$ は、 $1.0 \times 10^{17} \text{ atoms/cm}^3$ より小さくなっていてもよい。酸素化学濃度 $C_{Ox}$ は、半導体基板10の全体における酸素化学濃度 $C_{Ox}$ の平均値を用いてよい。他の例では、酸素化学濃度 $C_{Ox}$ は、バッファ領域20における酸素化学濃度を用いてよい。例えばバッファ領域20における酸素化学濃度の最小値を、酸素化学濃度 $C_{Ox}$ としてよい。酸素化学濃度 $C_{Ox}$ は、平坦領域130における酸素化学濃度を用いてもよい。例えば平坦領域130における酸素化学濃度の最小値を、酸素化学濃度 $C_{Ox}$ としてよい。

[0102] 本例のバッファ領域20は、半導体基板10の下面23から水素イオンを注入して形成される。バッファ領域20のドーピング濃度 $D_D$ は、水素ドナーの濃度と、バルク・ドナー濃度 $D_b$ との和であってよい。

[0103] 水素イオンは、濃度ピーク25の頂点の近傍と、平坦領域130に注入される。水素イオンの一部は、平坦領域130とドリフト領域18との間に注入されてもよい。本例においては、バッファ領域20内の深さ位置Z11、Z12、Z32およびZ31のそれぞれに水素イオンが注入される。深さ位置Z11、Z12、Z32およびZ31のそれぞれには、水素化学濃度 $C_H$ のピークが形成される。深さ位置Z11、Z12、Z32、Z31は、この順番で、下面23からの距離が大きい。

[0104] 本例では、水素化学濃度 $C_H$ のピークのうち、水素イオンのドーズ量が所定値以下のピークを低濃度水素ピーク125とする。また、水素イオンのドーズ量が当該所定値より大きいピークを高濃度水素ピーク115とする。また、低濃度水素ピークおよび高濃度水素ピークをまとめて、水素ピークと称する場合がある。上述した所定値は、 $1.0 \times 10^{12} \text{ ions/cm}^2$ である。当該所定値は、 $5.0 \times 10^{11} \text{ ions/cm}^2$ であってもよい。水素ピークにおける水素イオンのドーズ量は、水素ピークの半値全幅の範囲に渡って水素化学濃度 $C_H$ を積分した値を用いてよい。また、低濃度水素ピーク125に対する水素イオンのドーズ量は、 $1.0 \times 10^{10} \text{ ions/cm}^2$ 以上であってよく、 $1.0 \times 10^{11} \text{ ions/cm}^2$ 以上であってもよい。低濃度水素ピーク125に対する水素イオンのドーズ量は、 $5.0 \times 10^{12} \text{ ions/cm}^2$ 以下であってよく、 $3.0 \times 10^{12} \text{ ions/cm}^2$ 以下であってよく、 $2.0 \times 10^{12} \text{ ions/cm}^2$ 以下であってよい。酸素化学濃度が例えば $5.0 \times 10^{17} \text{ atoms/cm}^3$ 以上の場合には、低濃度水素ピーク125に対する水素イオンのドーズ量は、 $3.0 \times 10^{12} \text{ ions/cm}^2$ 以上、 $1.0 \times 10^{13} \text{ ions/cm}^2$ 以下であってよい。

[0105] また、水素化学濃度 $C_H$ のピークのうち、頂点における水素化学濃度 $C_H$ が所定値以下のピークを低濃度水素ピーク125としてもよい。頂点における水素化学濃度 $C_H$ が当該所定値より大きいピークを高濃度水素ピーク115としてよい。上述した所定値は、 $1.0 \times 10^{16} \text{ atoms/cm}^3$ である。当該所定値は、 $5.0 \times 10^{15} \text{ atoms/cm}^3$ であってもよい。また、低濃

度水素ピーク125の頂点における水素化学濃度 $C_H$ は、 $1.0 \times 10^{14} \text{ atoms/cm}^3$ 以上であってよく、 $1.0 \times 10^{15} \text{ atoms/cm}^3$ 以上であってよい。

[0106] バッファ領域20は、第1低濃度水素ピーク125-1と、第2低濃度水素ピーク125-2とを有する。本例の第1低濃度水素ピーク125-1は、深さ位置Z11に配置されている。本例の第2低濃度水素ピーク125-2は、深さ位置Z12に配置されている。つまり第2低濃度水素ピーク125-2は、バッファ領域20において第1低濃度水素ピーク125-1よりも下面23に近い位置に配置される。本明細書では、それぞれの水素ピークの頂点の位置を、水素ピークの深さ位置とする。本例において、水素イオンの注入位置と、水素ピークの頂点の位置は同一である。

[0107] バッファ領域20は、1つ以上の高濃度水素ピーク115を有してよい。本例のバッファ領域20は、第1高濃度水素ピーク115-1と、第2高濃度水素ピーク115-2とを有する。本例の第1高濃度水素ピーク115-1は、深さ位置Z31に配置されている。本例の第2高濃度水素ピーク115-2は、深さ位置Z32に配置されている。本例の第1低濃度水素ピーク125-1は、バッファ領域20に形成された水素ピークのうち、最も上面21側に配置されたピークである。また、本例の第1高濃度水素ピーク115-1は、バッファ領域20に形成された水素ピークのうち、最も下面23側に配置されたピークである。

[0108] 下面23から水素イオンを注入した場合、注入位置から下面23までの領域にも水素が分布する。このため、それぞれの水素ピークの頂点から下面23に向かう下面側裾127の傾きは緩やかになり、水素ピークの頂点から上面21に向かう上面側裾126の傾きは、下面側裾127よりも急峻になる。

[0109] 半導体基板10に水素イオン等の荷電粒子を照射すると、荷電粒子が通過した通過領域には、荷電粒子が通過したことにより、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。本例では

、半導体基板 10 の下面 23 から、第 1 低濃度水素ピーク 125-1 の頂点近傍までの領域に格子欠陥が形成される。空孔に隣接する原子は、ダングリグ・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、半導体基板 10 への荷電粒子注入により、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。

[0110] また、半導体基板 10 の全体には酸素が含まれる。当該酸素は、半導体のインゴットの製造時において、意図的にまたは意図せずに導入される。バッファ領域 20 に注入された水素が熱処理等により拡散することで、半導体基板 10 の内部では、水素 (H)、空孔 (V) および酸素 (O) が結合し、VOH 欠陥が形成される。

[0111] VOH 欠陥は、電子を供給するドナーとして機能する。本明細書では、VOH 欠陥を単に水素ドナーと称する場合がある。半導体基板 10 に水素ドナーを形成することで、ドリフト領域 18 よりも高濃度のバッファ領域 20 を形成できる。

[0112] 水素イオンの注入位置の近傍には水素および格子欠陥が多く存在するので、水素ドナーが多く形成されやすい。このため、ドーピング濃度  $D_D$  の分布には、注入位置の近傍に濃度ピーク 25 が形成される場合がある。

[0113] バッファ領域 20 に濃度ピーク 25 を形成することで、上面 21 側から広がる空乏層がコレクタ領域 22 等に到達することを抑制できる。一方で、水素イオンを注入して通過領域に水素ドナーを形成するが、水素イオンの注入位置近傍に大きな濃度ピーク 25 を形成したくない場合もある。例えば、ドリフト領域 18 の近くに大きな濃度ピーク 25 を形成すると、半導体装置 100 のターンオフ時等において空乏層が濃度ピーク 25 に到達したときに、電圧または電流波形が発振する場合がある。

[0114] 本例においては、バッファ領域 20 に複数の低濃度水素ピーク 125 を形

成する。これにより、バルク・ドナー濃度よりも高濃度のバッファ領域 20 を形成しつつ、低濃度水素ピーク 125 の近傍において大きな濃度ピーク 25 が形成されるのを防ぐことができる。

[0115] 本例のバッファ領域 20 は、平坦領域 130 を有する。平坦領域 130 は、第 1 低濃度水素ピーク 125-1 および第 2 低濃度水素ピーク 125-2 の間の領域 131 と、第 2 低濃度水素ピーク 125-2 が設けられた領域とを含む。平坦領域 130 は、第 1 低濃度水素ピーク 125-1 が設けられた領域の少なくとも一部を更に含んでよい。平坦領域 130 には、高濃度水素ピーク 115 が設けられないので、大きな濃度ピーク 25 が形成されていない。

[0116] 本例の第 1 低濃度水素ピーク 125-1 は、深さ方向において連続して配置された複数の低濃度水素ピーク 125 のうち、最も上面 21 側に配置された低濃度水素ピークである。また、第 2 低濃度水素ピーク 125-2 は、深さ方向において連続して配置された複数の低濃度水素ピーク 125 のうち、最も下面 23 側に配置された低濃度水素ピークである。第 1 低濃度水素ピーク 125-1 と第 2 低濃度水素ピーク 125-2 の間に、1 つ以上の低濃度水素ピーク 125 が形成されていてもよい。

[0117] 領域 131 は、第 1 低濃度水素ピーク 125-1 の半値全幅 FWHM1 と、第 2 低濃度水素ピーク 125-2 の半値全幅 FWHM2 の間の領域であってよい。領域 131 は、第 1 低濃度水素ピーク 125-1 の頂点の位置 Z11 と、第 2 低濃度水素ピーク 125-2 の頂点の位置 Z12 との間の領域であってよい。

[0118] 第 2 低濃度水素ピーク 125-2 が設けられた領域は、第 2 低濃度水素ピーク 125-2 の半値全幅 FWHM2 の領域であってよく、第 2 低濃度水素ピーク 125-2 を深さ方向において挟む 2 つの谷部 124 の間の領域であってよい。谷部 124-1 は、位置 Z12 から上面 21 に向かう方向において、水素化学濃度  $C_H$  が最初に極小値となる箇所である。谷部 124-2 は、位置 Z12 から下面 23 に向かう方向において、水素化学濃度  $C_H$  が最初に

極小値となる箇所である。第1低濃度水素ピーク125-1が設けられた領域は、第1低濃度水素ピーク125-1の半値全幅FWHM1の領域であってよい。

[0119] 平坦領域130は、ドーピング濃度 $D_D$ がバルク・ドナー濃度 $D_b$ よりも高く、且つ、ドーピング濃度 $D_D$ の変動が $\pm 30\%$ 以下である。平坦領域130におけるドーピング濃度 $D_D$ の平均値を $D_{D_{ave}}$ 、最大値を $D_{D_{max}}$ 、最小値を $D_{D_{min}}$ とする。最大値 $D_{D_{max}}$ は、平均値 $D_{D_{ave}}$ の1.3倍以下であってよい。最小値 $D_{D_{min}}$ は、平均値 $D_{D_{ave}}$ の0.7倍以上であってよい。

[0120] 平坦領域130の深さ方向におけるドーピング濃度分布は、1つ以上の濃度ピーク128を有してよい。濃度ピーク128は、ドーピング濃度 $D_D$ が極大値を示す箇所である。濃度ピーク128の振幅は、濃度ピーク25の振幅よりも小さい。それぞれの濃度ピーク128は、いずれかの低濃度水素ピーク125に対応している。本例の平坦領域130は、第1低濃度水素ピーク125-1に対応する第1濃度ピーク128-1と、第2低濃度水素ピーク125-2に対応する第2濃度ピーク128-2とを有する。それぞれの濃度ピーク128は、対応する低濃度水素ピーク125の半値全幅FWHMの範囲内に配置されてよい。

[0121] また、平坦領域130は、1つ以上の極小部129を有してよい。極小部129は、ドーピング濃度 $D_D$ が極小値を示す箇所である。それぞれの極小部129は、水素化学濃度 $C_H$ の谷部124に対応している。本例では、第1濃度ピーク128-1と、第2濃度ピーク128-2の間に、谷部124-1に対応する極小部129が配置されている。

[0122] 濃度ピーク128は、対応する低濃度水素ピーク125よりも、深さ方向に緩やかに濃度が変化する。例えば、濃度ピーク128-2から極小部129までのドーピング濃度 $D_D$ の変化の傾きは、第2低濃度水素ピーク125-2から谷部124-1までの水素化学濃度 $C_H$ の変化の傾きよりも小さい。

[0123] 平坦領域130におけるドーピング濃度の平均値 $D_{D_{ave}}$ を計算する場合に、下面23からの深さ位置の範囲は以下のように定義してよい。平均値を計

算する平坦領域130の上面21側の端の位置をR21、下面23側の位置をR22とする。位置R21は、位置Z21よりも上面21側において、ドーピング濃度が、濃度ピーク128-1と濃度ピーク128-2の間における極小部129のドーピング濃度と同じ値となる位置としてよい。位置R22は、濃度ピーク25-2の上面21側の裾におけるドーピング濃度が、濃度ピーク128-2の位置Z22におけるドーピング濃度と同じ値となる位置としてよい。平坦領域130におけるドーピング濃度の平均値 $D_{D_{ave}}$ は、位置R21から位置R22までにわたってドーピング濃度を積分した値を、位置R21から位置R22までの間の長さで割った値としてよい。

[0124] 濃度ピーク25-1と濃度ピーク25-2の間におけるドーピング濃度分布は、極小値 $D_{m1}$ を有してよい。平坦領域130の平均値 $D_{D_{ave}}$ は、極小値 $D_{m1}$ 以下か、極小値 $D_{m1}$ よりも小さくてよい。平坦領域130の最大値 $D_{D_{max}}$ は、極小値 $D_{m1}$ 以上であってもよいし、極小値 $D_{m1}$ 以下か、極小値 $D_{m1}$ よりも小さくてよい。

[0125] 平坦領域130におけるドーピング濃度分布の濃度ピーク128のピーク幅は、水素化学濃度分布の対応する低濃度水素ピーク125のピーク幅より大きくてよい。平坦領域130におけるドーピング濃度分布の濃度ピーク128のピーク幅は、濃度ピーク128の上面21側の極小部と、下面23側の極小部との距離としてよい。平坦領域130では、ドーピング濃度の最大値 $D_{D_{max}}$ は最小値 $D_{D_{min}}$ の50%以上の場合もあってよい。この場合に極小部129の濃度は最大値 $D_{D_{max}}$ の50%以上となり、濃度ピーク128の半値全幅FWHMが定義できない。濃度ピーク128の半値全幅FWHMが定義できる場合は、濃度ピーク128のピーク幅として半値全幅FWHMを用いてよい。

[0126] また、低濃度水素ピーク125の水素化学濃度 $C_H$ のうち、最も高いものを $C_{H_{max}}$ とする。低濃度水素ピーク125に挟まれる谷部124の水素化学濃度 $C_H$ のうち、最も低いものを $C_{H_{min}}$ とする。水素化学濃度 $C_{H_{min}}$ に対する水素化学濃度 $C_{H_{max}}$ の比率 $C_{H_{max}}/C_{H_{min}}$ を変動比率R1とする。同様に

、平坦領域 130 におけるドーピング濃度  $D_D$  の最小値  $D_{Dmin}$  に対する最大値  $D_{Dmax}$  の比率  $D_{Dmax}/D_{Dmin}$  を変動比率 R2 とする。変動比率 R2 は、変動比率 R1 より小さい。変動比率 R2 は、変動比率 R1 の半分以下であってよく、 $1/4$  以下であってよく、 $1/10$  以下であってよい。

[0127] 本例の半導体基板 10 は、比較的酸素化学濃度  $C_{Ox}$  が高い。また、低濃度水素ピーク 125 が配置された領域では、水素化学濃度が比較的低下する。このため、低濃度水素ピーク 125 が配置された領域における水素ドナーの濃度は、酸素化学濃度  $C_{Ox}$  の影響を受けて変動が小さくなる。これにより、低濃度水素ピーク 125 を配置した領域に、バルク・ドナー濃度  $D_b$  よりも高濃度で、且つ、ドーピング濃度  $D_D$  の変動が小さい平坦領域 130 を形成できる。

[0128] 水素ドナー濃度  $N_{VOH}$  は、水素イオンの通過によって生じる空孔濃度  $N_V$  と、半導体基板 10 の酸素化学濃度  $C_{Ox}$ 、酸素化学濃度  $C_{Ox}$  が実際に  $N_{VOH}$  の生成に寄与する割合である酸素寄与率  $\xi$  を用いて、以下の式 1 で表されてよい。

$$N_{VOH} = N_V + \xi C_{Ox} \quad \dots \quad (式1)$$

酸素寄与率  $\xi$  は、 $1 \times 10^{-5}$  以上、 $1 \times 10^{-3}$  以下であってよい。空孔濃度  $N_V$  は、 $1 \times 10^{12}$  ( $/cm^3$ ) 以上  $1 \times 10^{14}$  ( $/cm^3$ ) 以下であってよい。酸素寄与率  $\xi$  は、下面 23 から最も離れた低濃度水素ピーク 125-1 のドーズ量  $D_H$  ( $ions/cm^2$ ) に対して、以下の式 2 で表されてよい。

$$\xi = a D_H^b \quad \dots \quad (式2)$$

ここで、 $a$  は  $1 \times 10^{-11}$  以上、 $1 \times 10^{-10}$  以下であってよい。 $b$  は、 $4 \times 10^{-1}$  以上、 $6 \times 10^{-1}$  以下であってよい。

[0129] 本例の半導体基板 10 は、比較的炭素化学濃度  $C_C$  が高い。水素ドナー濃度  $N_{VOH}$  は、水素イオンの通過によって生じる空孔濃度  $N_V$  と、半導体基板 10 の酸素化学濃度  $C_{Ox}$ 、酸素化学濃度  $C_{Ox}$  が実際に  $N_{VOH}$  の生成に寄与する割合である酸素寄与率  $\xi$ 、半導体基板 10 の炭素化学濃度  $C_C$ 、炭素化学濃度

$C_C$ が実際に $N_{VOH}$ の生成に寄与する割合である炭素寄与率 $\eta$ を用いて、以下の式2で表されてもよい。

$$N_{VOH} = N_V + \xi C_{OX} + \eta C_C \quad \dots \quad (式2)$$

酸素寄与率 $\xi$ および空孔濃度 $N_V$ は、上記の値の範囲であってよい。炭素寄与率 $\eta$ は、0.01%~10%（すなわち0.0001以上、0.1以下）の値であってよい。

[0130] それぞれの濃度ピーク128は、対応する低濃度水素ピーク125よりも、半導体基板10の下面23側に配置されてよい。本例では、第1濃度ピーク128-1は、第1低濃度水素ピーク125-1よりも下面23側に配置され、第2濃度ピーク128-2は、第2低濃度水素ピーク125-2よりも下面23側に配置されている。第1濃度ピーク128-1の深さ位置は、ドーピング濃度 $D_D$ が極大値を示す深さ位置Z21であり、第2濃度ピーク128-2の深さ位置は、ドーピング濃度 $D_D$ が極大値を示す深さ位置Z22である。

[0131] 図4Bに示したドーピング濃度 $D_D$ の分布は、SR法で測定されたキャリア濃度である。本例では、低濃度水素ピーク125における水素化学濃度 $C_H$ が低い。一方で、水素イオンを注入した深さ位置Z11、Z12には、比較的多くの格子欠陥が形成される。このため、深さ位置Z11、Z12の近傍では水素に結合しない格子欠陥が多く残留する場合がある。格子欠陥が多く存在することで、深さ位置Z11、Z12の近傍におけるキャリア濃度が低くなる場合がある。また、それぞれの水素ピークの下面側裾127は、上面側裾126よりも傾きが小さい。このため、深さ位置Z11、Z12の下面23側には、上面21側よりも多くの水素イオンが存在する。深さ位置Z11、Z12の下面23側で、比較的多くの水素ドナーが形成されやすい。このため、濃度ピーク128が、低濃度水素ピーク125よりも下面23側に配置される場合がある。平坦領域130においては、SR法で測定されたキャリア濃度は、隣り合う測定点のキャリア濃度が±10%程度異なる場合があり、測定されたキャリア濃度が測定点毎に変動するように見えることが

ある。このような場合は、一例として、測定点におけるキャリア濃度と、その前後の測定点におけるキャリア濃度の、計3点の測定値を平均した平均値を、当該測定点のキャリア濃度として用いてよく、さらに測定点の前後2点ずつ等のように、測定点の前後の複数点の測定値における平均値を用いてもよい。

[0132] 半導体基板10の深さ方向において、平坦領域130の長さは、バッファ領域20の長さの半分より小さくてよく、半分以上であってもよい。平坦領域130の長さは、低濃度水素ピーク125の個数、間隔等により調整できる。

[0133] 平坦領域130のドーピング濃度の平均値 $D_{D_{ave}}$ は、半導体基板10の酸素化学濃度 $C_{Ox}$ の0.01%以上、3%以下であってよい。平均値 $D_{D_{ave}}$ は、酸素化学濃度 $C_{Ox}$ の0.05%以上であってよく、0.1%以上であってもよい。平均値 $D_{D_{ave}}$ は、酸素化学濃度 $C_{Ox}$ の2%以下であってよく、1%以下であってもよい。平坦領域130のドーピング濃度の平均値 $D_{D_{ave}}$ は、低濃度水素ピーク125の水素イオンのドーズ量に依存する。上述した条件を満たすように水素イオンを注入することで、平坦領域130を形成しやすくなる。

[0134] 半導体基板10の酸素化学濃度 $C_{Ox}$ は、第1低濃度水素ピーク125-1の水素化学濃度の10倍以上であってよい。つまり、第1低濃度水素ピーク125-1の水素化学濃度は、半導体基板10の酸素化学濃度 $C_{Ox}$ の10%以下であってよい。これにより、平坦領域130のドーピング濃度 $D_D$ に対する酸素化学濃度 $C_{Ox}$ の影響を強くして、平坦領域130のドーピング濃度分布を平坦化しやすくなる。本例では、深さ位置Z11において、酸素化学濃度 $C_{Ox}$ と水素化学濃度とを比較してよい。半導体基板10の酸素化学濃度 $C_{Ox}$ は、第1低濃度水素ピーク125-1の水素化学濃度の20倍以上であってよく、50倍以上であってよく、100倍以上であってもよい。なお、他の低濃度水素ピーク125についても、第1低濃度水素ピーク125-1と同様である。

- [0135] 第1低濃度水素ピーク125-1と、第2低濃度水素ピーク125-2との間隔、すなわち、 $Z_{11} - Z_{12}$  ( $\mu\text{m}$ ) は、半導体基板10の酸素化学濃度 $C_{\text{Ox}}$  ( $\text{atoms}/\text{cm}^3$ ) の $3/10^{16}$  ( $\mu\text{m}/(\text{atoms}/\text{cm}^3)$ ) 倍以下であってよい。本例の間隔 $Z_{11} - Z_{12}$ は、深さ方向において隣り合う低濃度水素ピーク125の間隔である。例えば酸素化学濃度 $C_{\text{Ox}}$ が $1.0 \times 10^{17} \text{ atoms}/\text{cm}^3$ の場合、間隔 $Z_{11} - Z_{12}$ は $30 \mu\text{m}$ 以下である。間隔 $Z_{11} - Z_{12}$  ( $\mu\text{m}$ ) は、酸素化学濃度 $C_{\text{Ox}}$  ( $\text{atoms}/\text{cm}^3$ ) の $1/10^{16}$  ( $\mu\text{m}/(\text{atoms}/\text{cm}^3)$ ) 倍以下であってよく、 $5/10^{17}$  ( $\mu\text{m}/(\text{atoms}/\text{cm}^3)$ ) 倍以下であってよい。
- [0136] 第1低濃度水素ピーク125-1の水素化学濃度 $C_{\text{H}}$ が $1.0 \times 10^{16} \text{ atoms}/\text{cm}^3$ 以下であってよい。他の低濃度水素ピーク125の水素化学濃度 $C_{\text{H}}$ も $1.0 \times 10^{16} \text{ atoms}/\text{cm}^3$ 以下であってよい。間隔 $Z_{11} - Z_{12}$ は、 $100 \mu\text{m}$ 以下であってよく、 $50 \mu\text{m}$ 以下であってよく、 $20 \mu\text{m}$ 以下であってよく、 $10 \mu\text{m}$ 以下であってよい。隣り合う低濃度水素ピーク125の間隔 $Z_{11} - Z_{12}$ が大きすぎると、谷部124の水素化学濃度 $C_{\text{H}}$ が低くなりすぎて、極小部129のドーピング濃度が低くなってしまふ。間隔 $Z_{11} - Z_{12}$ は、 $5 \mu\text{m}$ 以上であってよい。
- [0137] 平坦領域130のドーピング濃度 $D_{\text{D}}$ が、バルク・ドナー濃度 $D_{\text{b}}$ の2倍以上であってよい。平坦領域130のドーピング濃度 $D_{\text{D}}$ は、最小値 $D_{\text{Dmin}}$ を用いてよく、平均値 $D_{\text{Dave}}$ を用いてもよい。平坦領域130のドーピング濃度 $D_{\text{D}}$ は、バルク・ドナー濃度 $D_{\text{b}}$ の5倍以上であってよく、10倍以上であってよい。
- [0138] 平坦領域130のドーピング濃度 $D_{\text{D}}$ が、 $0.7 \times 10^{13}/\text{cm}^3$ 以上であってよい。最小値 $D_{\text{Dmin}}$ を用いてよく、平均値 $D_{\text{Dave}}$ を用いてもよい。平坦領域130のドーピング濃度 $D_{\text{D}}$ は、 $1.0 \times 10^{14}/\text{cm}^3$ 以上であってよい。平坦領域130のドーピング濃度 $D_{\text{D}}$ は、 $1.0 \times 10^{15}/\text{cm}^3$ 以下であってよく、 $3.0 \times 10^{14}/\text{cm}^3$ 以下であってよい。
- [0139] 図5Aは、図3のF-F線の位置における、深さ方向のドーピング濃度分

布の他の例を示す図である。図4Aの例とは、濃度ピーク25が1つである点で異なる。他の部分の分布は、図4Aの例と同様である。

[0140] 図5Bは、図5Aのバッファ領域20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、深さ方向の分布例を示す図である。図4Bの例における濃度ピーク25-2が、本例では平坦領域130の濃度ピーク128-3となっている。図4Bの例における第2高濃度水素ピーク115-2は、本例では第3低濃度水素ピーク125-3である。他の分布は、図4Bの例と同様である。

[0141] 第3低濃度水素ピーク125-3の水素化学濃度を、第2低濃度水素ピーク125-2と同等の濃度とすることで、濃度ピーク128-3のドーピング濃度を濃度ピーク128-2と同等にしている。第3低濃度水素ピーク125-3の水素化学濃度は第2低濃度水素ピーク125-2より高くてもよく、高濃度水素ピーク115-1よりは低くてもよい。濃度ピーク128-3のドーピング濃度は、濃度ピーク128-2よりは高くてもよく、濃度ピーク25-1よりは低くてもよい。

[0142] 本例において、平坦領域130のドーピング濃度の平均値を計算する場合、平坦領域130の下面23側の端の位置を、図4Bにおいて説明した位置R22としてよく、図5Bに示す位置R23としてもよい。位置R23は、濃度ピーク25-1の上面21側の裾におけるドーピング濃度が、濃度ピーク128-3の位置Z23におけるドーピング濃度と同じ値となる位置である。本例において、平均値を計算する平坦領域130の上面21側の端の位置は、図4Bの例と同様でよい。平坦領域130を位置R23から位置R21までとした場合の、平坦領域130におけるドーピング濃度の平均値 $D_{D_{ave2}}$ は、位置R21から位置R23までにわたってドーピング濃度を積分した値を、位置R21から位置R23までの間の長さで割った値としてよい。他の例では、図4Bと同様に、平坦領域130の下面23側の端の位置をR22として、平坦領域130におけるドーピング濃度の平均値 $D_{D_{ave}}$ を計算してもよい。

- [0143] 濃度ピーク25-1と濃度ピーク128-3の間におけるドーピング濃度分布は極小値 $D_{m1}$ を有してよい。平坦領域130の平均値 $D_{D_{ave2}}$ は、極小値 $D_{m1}$ 以下か、極小値 $D_{m1}$ よりも小さくてよい。平坦領域130の最大値 $D_{D_{max}}$ は、極小値 $D_{m1}$ 以下か、極小値 $D_{m1}$ よりも小さくてよい。平坦領域130の最小値 $D_{D_{min}}$ は、極小値 $D_{m1}$ 以下か、極小値 $D_{m1}$ よりも小さくてよい。
- [0144] 図6は、実施例および比較例における、バッファ領域20のドーピング濃度分布を示す図である。実施例は、図4Bに示したドーピング濃度分布と同様である。実施例において、深さ位置Z11に対する水素イオンのドーズ量は、 $1.0 \times 10^{12} \text{ ions/cm}^2$ であり、深さ位置Z12に対する水素イオンのドーズ量は、 $5.0 \times 10^{11} \text{ ions/cm}^2$ であり、深さ位置Z32に対する水素イオンのドーズ量は、 $4.0 \times 10^{12} \text{ ions/cm}^2$ であり、深さ位置Z31に対する水素イオンのドーズ量は、 $5.0 \times 10^{14} \text{ ions/cm}^2$ である。実施例では、深さ位置Z11およびZ12の近傍において、ドーピング濃度の大きなピークは見られなかった。
- [0145] 比較例1において、深さ位置Z11に対する水素イオンのドーズ量は、 $2.0 \times 10^{12} \text{ ions/cm}^2$ であり、深さ位置Z12に対する水素イオンのドーズ量は、 $1.0 \times 10^{12} \text{ ions/cm}^2$ であり、深さ位置Z32に対する水素イオンのドーズ量は、 $4.0 \times 10^{12} \text{ ions/cm}^2$ であり、深さ位置Z31に対する水素イオンのドーズ量は、 $5.0 \times 10^{14} \text{ ions/cm}^2$ である。比較例1では、深さ位置Z11およびZ12の近傍において、ドーピング濃度の濃度ピーク25が見られた。特に、深さ位置Z11において比較的大きな濃度ピーク25が存在する。
- [0146] 比較例2において、深さ位置Z11に対する水素イオンのドーズ量は、 $3.0 \times 10^{12} \text{ ions/cm}^2$ であり、深さ位置Z12に対する水素イオンのドーズ量は、 $1.5 \times 10^{12} \text{ ions/cm}^2$ であり、深さ位置Z32に対する水素イオンのドーズ量は、 $1.0 \times 10^{13} \text{ ions/cm}^2$ であり、深さ位置Z31に対する水素イオンのドーズ量は、 $3.0 \times 10^{14} \text{ ions/cm}^2$ である。比較例2では、深さ位置Z11およびZ12の近傍において、ドー

ピング濃度の濃度ピーク25が見られた。図6に示すように、水素イオンのドーピング量を $1.0 \times 10^{12} \text{ ions/cm}^2$ 以下にすることで、ドーピング濃度の濃度ピーク25が形成されるのを抑制できた。

[0147] 図7は、実施例および比較例における、バッファ領域20のドーピング濃度分布を示す図である。実施例は、図6に示したドーピング濃度分布と同様である。比較例3において、各位置の水素イオンのドーピング量は、実施例と同様である。ただし、比較例3における水素イオンの注入位置は、実施例と相違している。また、実施例の半導体基板10の酸素化学濃度 $C_{Ox}$ が $1.0 \times 10^{17} \text{ atoms/cm}^3$ であるのに対し、比較例3の半導体基板の酸素化学濃度 $C_{Ox}$ は、 $1.0 \times 10^{16} \text{ atoms/cm}^3$ 程度である。実施例の半導体基板はMCZ基板であり、比較例3の半導体起案はFZ基板である。

[0148] 図7に示すように、水素イオンのドーピング量が $1.0 \times 10^{12} \text{ ions/cm}^2$ であっても、半導体基板の酸素化学濃度が低い比較例3では、ドーピング濃度の濃度ピーク25が形成された。一方で、実施例においては、半導体基板10の酸素化学濃度 $C_{Ox}$ を $1.0 \times 10^{17} \text{ atoms/cm}^3$ 以上にすることで、ドーピング濃度の濃度ピーク25が形成されるのを抑制できた。

[0149] 図8は、図3のF-F線の位置における、深さ方向のドーピング濃度分布の他の例を示す図である。本例では、バッファ領域20における水素化学濃度 $C_H$ およびドーピング濃度 $D_D$ の分布が、図4Aの例と相違する。他の構造は図4Aの例と同様である。本例の平坦領域130は、深さ方向における長さが、バッファ領域20の半分以上である。

[0150] 本例では、バッファ領域20の深さ方向における中央の位置をZcbとする。バッファ領域20のうち、中央位置Zcbよりも下面23側を下面側領域133、上面21側を上面側領域132とする。

[0151] バッファ領域20は、第1低濃度水素ピーク125-1および第2低濃度水素ピーク125-2を含む複数の低濃度水素ピーク125を有している。本例では、上面側領域132に配置された低濃度水素ピーク125の個数は、下面側領域133に配置された低濃度水素ピーク125の個数よりも多い

。図8の例では、上面側領域132に第1低濃度水素ピーク125-1、第2低濃度水素ピーク125-2、および、第3低濃度水素ピーク125-3が配置されている。下面側領域133には、低濃度水素ピーク125が配置されなくてよく、破線で示すように、1つ以上の低濃度水素ピーク125が配置されていてもよい。

[0152] 本例の上面側領域132には、高濃度水素ピーク115が配置されていない。下面側領域133には、1つ以上の高濃度水素ピーク115が配置されてよい。このような構成により、上面側領域132におけるドーピング濃度を平坦化できる。また、下面側領域133の濃度ピーク25により、空乏層がコレクタ領域22等に到達することを抑制できる。

[0153] 平坦領域130は、上面側領域132の80%以上の領域に設けられてよく、全体に設けられてもよい。平坦領域130は、下面側領域133の一部にも設けられてよい。例えば平坦領域130は、下面側領域133において、最も上面21側に配置された濃度ピーク25よりも上面21側に配置されてよい。

[0154] 平坦領域130は、半導体基板10の中央位置Zcを越えて、上面21側の領域まで形成されてよい。平坦領域130は、蓄積領域16まで形成されていてもよい。この場合、低濃度水素ピーク125は、蓄積領域16内に配置されてよい。

[0155] 上面側領域132を深さ方向に2等分した領域のうち、上面21側の領域を先端領域134とする。先端領域134に、2つ以上の低濃度水素ピーク125が配置されてよい。先端領域134の複数の深さ位置に水素イオンを分散して注入することで、先端領域134における単一の深さ位置に水素イオンを注入する場合に比べて、先端領域134におけるドーピング濃度 $D_D$ の分布を平坦化できる。また、下面23から先端領域134までを通過する水素イオンの量を確保して、格子欠陥を形成しやすくなる。このため、平坦領域130を高濃度化できる。上面側領域132において、先端領域134に配置された低濃度水素ピーク125の個数は、先端領域134ではない領域

に配置された低濃度水素ピーク 1 2 5 の個数よりも多くてよい。

[0156] 図 9 は、隣り合って配置された複数の低濃度水素ピーク 1 2 5 を拡大した図である。本例の複数の低濃度水素ピーク 1 2 5 は、例えば図 8 の先端領域 1 3 4 に配置されてよく、上面側領域 1 3 2 に配置されてよく、バッファ領域 2 0 に配置されてもよい。

[0157] それぞれの低濃度水素ピーク 1 2 5 の頂点における水素化学濃度 P 1 1、P 1 2、P 1 3 は、同一であってよく、異なってもよい。図 9 の例では、水素化学濃度 P 1 1、P 1 2、P 1 3 は同一である。

[0158] それぞれの低濃度水素ピーク 1 2 5 の頂点の間隔 Z 1 1 - Z 1 3、Z 1 3 - Z 1 2 は、同一であってよく、異なってもよい。図 9 の例では、間隔 Z 1 1 - Z 1 3 と、間隔 Z 1 3 - Z 1 2 は同一である。

[0159] 図 1 0 は、隣り合って配置された複数の低濃度水素ピーク 1 2 5 の他の例を示す図である。本例の複数の低濃度水素ピーク 1 2 5 は、例えば図 8 の先端領域 1 3 4 に配置されてよく、上面側領域 1 3 2 に配置されてよく、バッファ領域 2 0 に配置されてもよい。

[0160] 本例では、最も上面 2 1 側に配置された第 1 低濃度水素ピーク 1 2 5 - 1 の水素化学濃度 P 1 1 は、他の低濃度水素ピーク 1 2 5 の水素化学濃度よりも大きい。最も下面 2 3 側に配置された第 2 低濃度水素ピーク 1 2 5 - 2 の水素化学濃度 P 1 2 は、他の低濃度水素ピーク 1 2 5 の水素化学濃度よりも小さい。それぞれの低濃度水素ピーク 1 2 5 の水素化学濃度は、上面 2 1 に近づくほど大きくてよい。

[0161] 図 1 1 は、隣り合って配置された複数の低濃度水素ピーク 1 2 5 の他の例を示す図である。本例の複数の低濃度水素ピーク 1 2 5 は、例えば図 8 の先端領域 1 3 4 に配置されてよく、上面側領域 1 3 2 に配置されてよく、バッファ領域 2 0 に配置されてもよい。

[0162] 本例では、最も上面 2 1 側に配置された第 1 低濃度水素ピーク 1 2 5 - 1 の水素化学濃度 P 1 1 は、他の低濃度水素ピーク 1 2 5 の水素化学濃度よりも小さい。最も下面 2 3 側に配置された第 2 低濃度水素ピーク 1 2 5 - 2 の

水素化学濃度 P 1 2 は、他の低濃度水素ピーク 1 2 5 の水素化学濃度よりも大きい。それぞれの低濃度水素ピーク 1 2 5 の水素化学濃度は、上面 2 1 に近づくほど小さくてよい。

[0163] 図 1 0 および図 1 1 の例において、低濃度水素ピーク 1 2 5 の間隔は、上面 2 1 に近づくほど大きくてよい。低濃度水素ピーク 1 2 5 の間隔は、上面 2 1 に近づくほど小さくなくてもよい。

[0164] 以上、本発明を実施の形態を用いて説明したが、本発明の技術的範囲は上記実施の形態に記載の範囲には限定されない。上記実施の形態に、多様な変更または改良を加えることが可能であることが当業者に明らかである。その様な変更または改良を加えた形態も本発明の技術的範囲に含まれ得ることが、請求の範囲の記載から明らかである。

[0165] 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

[0166] 1 0 . . . 半導体基板、1 1 . . . ウェル領域、1 2 . . . エミッタ領域、1 4 . . . ベース領域、1 5 . . . コンタクト領域、1 6 . . . 蓄積領域、1 8 . . . ドリフト領域、2 0 . . . バッファ領域、2 1 . . . 上面、2 2 . . . コレクタ領域、2 3 . . . 下面、2 4 . . . コレクタ電極、2 5 . . . 濃度ピーク、2 9 . . . 直線部分、3 0 . . . ダミートレンチ部、3 1 . . . 先端部、3 2 . . . ダミー絶縁膜、3 4 . . . ダミー導電部、3 8 . . . 層間絶縁膜、3 9 . . . 直線部分、4 0 . . . ゲートレンチ部、4 1 . . . 先端部、4 2 . . . ゲート絶縁膜、4 4 . . . ゲート導電部、5 2 . . . エミッタ電極、5 4 . . . コンタクトホール、6 0、6 1 . . . 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、100・・・半導体装置、101・・・外周ゲート配線、102・・・活性側ゲート配線、115・・・高濃度水素ピーク、124・・・谷部、125・・・低濃度水素ピーク、126・・・上面側裾、127・・・下面側裾、128・・・濃度ピーク、129・・・極小部、130・・・平坦領域、131・・・領域、132・・・上面側領域、133・・・下面側領域、134・・・先端領域、160・・・活性部、162・・・端辺、164・・・ゲートパッド

## 請求の範囲

- [請求項1] 上面および下面を有し、バルク・ドナーおよび酸素を含む半導体基板と、
- 少なくとも一部分が前記半導体基板の前記下面側に設けられ、ドーピング濃度がバルク・ドナー濃度よりも高いバッファ領域と、
- 前記バッファ領域に配置された第1低濃度水素ピークと、
- 前記バッファ領域において前記第1低濃度水素ピークよりも前記下面に近い位置に配置された第2低濃度水素ピークと、
- 前記バッファ領域において前記第2低濃度水素ピークよりも前記下面に近い位置に配置され、前記第2低濃度水素ピークよりも水素化学濃度が高い高濃度水素ピークと、
- 前記第1低濃度水素ピークおよび前記第2低濃度水素ピークの間領域と、前記第2低濃度水素ピークが設けられた領域を含み、ドーピング濃度がバルク・ドナー濃度よりも高く、且つ、前記ドーピング濃度の変動が±30%以下であり、前記ドーピング濃度の変動比率が水素化学濃度の変動比率よりも小さく、水素化学濃度分布の水素濃度ピークに対応するドーピング濃度分布の濃度ピークの幅が、前記水素化学濃度分布の前記水素濃度ピークの幅よりも大きい平坦領域と
- を備える半導体装置。
- [請求項2] 前記平坦領域の深さ方向におけるドーピング濃度分布は、前記第2低濃度水素ピークに対応する前記濃度ピークを有し、
- 前記濃度ピークは、前記第2低濃度水素ピークよりも緩やかに濃度
- が変化する
- 請求項1に記載の半導体装置。
- [請求項3] 前記濃度ピークは、前記第2低濃度水素ピークよりも前記半導体基板の前記下面側に配置されている
- 請求項2に記載の半導体装置。
- [請求項4] 深さ方向において、前記平坦領域の長さは、前記バッファ領域の長

さの半分以上である

請求項 1 から 3 のいずれか一項に記載の半導体装置。

[請求項5] 前記平坦領域の前記ドーピング濃度の平均値が、前記半導体基板の酸素化学濃度の 0.01%以上、3%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] 前記半導体基板の酸素化学濃度は、前記第 1 低濃度水素ピークの水素化学濃度の 10 倍以上である

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] 前記第 1 低濃度水素ピークと、前記第 2 低濃度水素ピークとの間隔 ( $\mu\text{m}$ ) は、前記半導体基板の酸素化学濃度 ( $\text{atoms}/\text{cm}^3$ ) の  $3/10^{16}$  ( $\mu\text{m}/(\text{atoms}/\text{cm}^3)$ ) 倍以下である

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] 前記第 1 低濃度水素ピークの水素化学濃度が  $1.0 \times 10^{16} \text{ atoms}/\text{cm}^3$  以下であり、

前記第 1 低濃度水素ピークと、前記第 2 低濃度水素ピークとの間隔が  $100 \mu\text{m}$  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] 前記バッファ領域は、前記バッファ領域の中央よりも前記下面側の下面側領域と、前記バッファ領域の中央よりも前記上面側の上面側領域とを有し、

前記バッファ領域は、前記第 1 低濃度水素ピークおよび前記第 2 低濃度水素ピークを含む複数の低濃度水素ピークを有し、

前記上面側領域に配置された前記低濃度水素ピークの個数は、前記下面側領域に配置された前記低濃度水素ピークの個数よりも多い

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] 前記低濃度水素ピークの水素化学濃度は、 $1 \times 10^{16}/\text{cm}^3$  以下である

請求項 9 に記載の半導体装置。

- [請求項11] 前記平坦領域のドーピング濃度が、前記バルク・ドナー濃度の2倍以上である  
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] 前記平坦領域のドーピング濃度が、 $0.7 \times 10^{13} / \text{cm}^3$ 以上である  
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] 前記第1低濃度水素ピークおよび前記第2低濃度水素ピークのそれぞれは、ピークの頂点から前記半導体基板の前記下面に向かう下側裾と、前記頂点から前記半導体基板の前記上面に向かう上側裾とを有し、  
前記上側裾は、前記下側裾よりも急峻に水素化学濃度が低下する  
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] 前記半導体基板の酸素化学濃度が $1.0 \times 10^{17} \text{ atoms} / \text{cm}^3$ 以上である  
請求項1から13のいずれか一項に記載の半導体装置。
- [請求項15] 前記第1低濃度水素ピークの水素イオンドーズ量が水素イオンのドーズ量が $1.0 \times 10^{12} \text{ ions} / \text{cm}^2$ 以下である  
請求項1から14のいずれか一項に記載の半導体装置。
- [請求項16] 前記第2低濃度水素ピークの水素イオンドーズ量が水素イオンのドーズ量が $1.0 \times 10^{12} \text{ ions} / \text{cm}^2$ 以下である  
請求項1から15のいずれか一項に記載の半導体装置。
- [請求項17] 前記平坦領域のドーピング濃度の平均値が前記第2低濃度水素ピークと前記高濃度水素ピークの間でのドーピング濃度の極小値以下である  
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] 前記バッファ領域において、前記高濃度水素ピークよりも前記上面側であって、前記第2低濃度水素ピークよりも前記下面に近い位置に配置された第3低濃度水素ピークを有し、  
前記平坦領域が前記第3低濃度水素ピークを含み、

前記平坦領域の前記ドーピング濃度の平均値が前記第3低濃度水素ピークと前記高濃度水素ピークの間の前記ドーピング濃度の極小値以下である

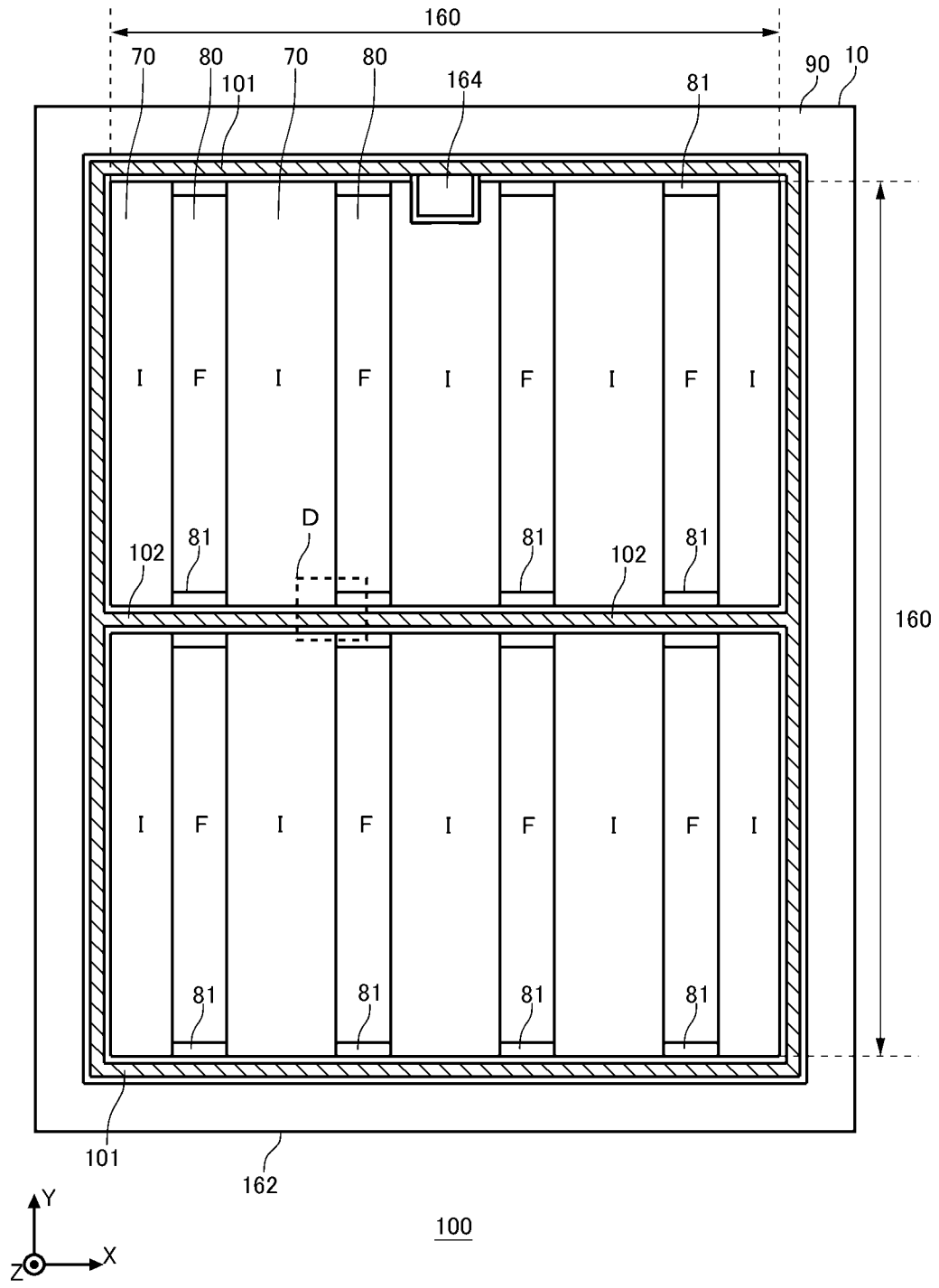
請求項1から17のいずれか一項に記載の半導体装置。

[請求項19]

前記平坦領域において、前記ドーピング濃度の変動比率は前記水素化学濃度の変動比率の半分以下である

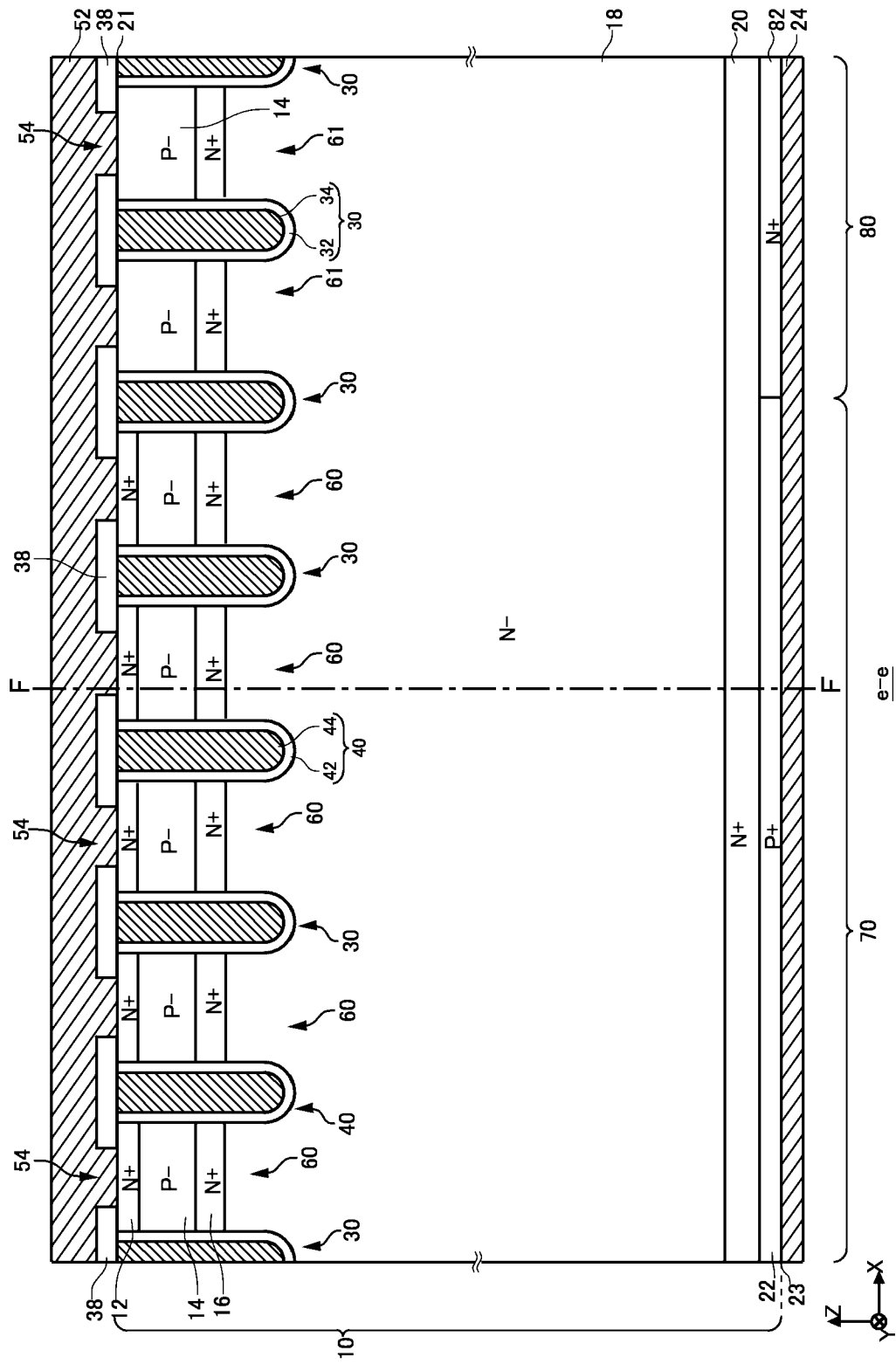
請求項1から18のいずれか一項に記載の半導体装置。

[図1]

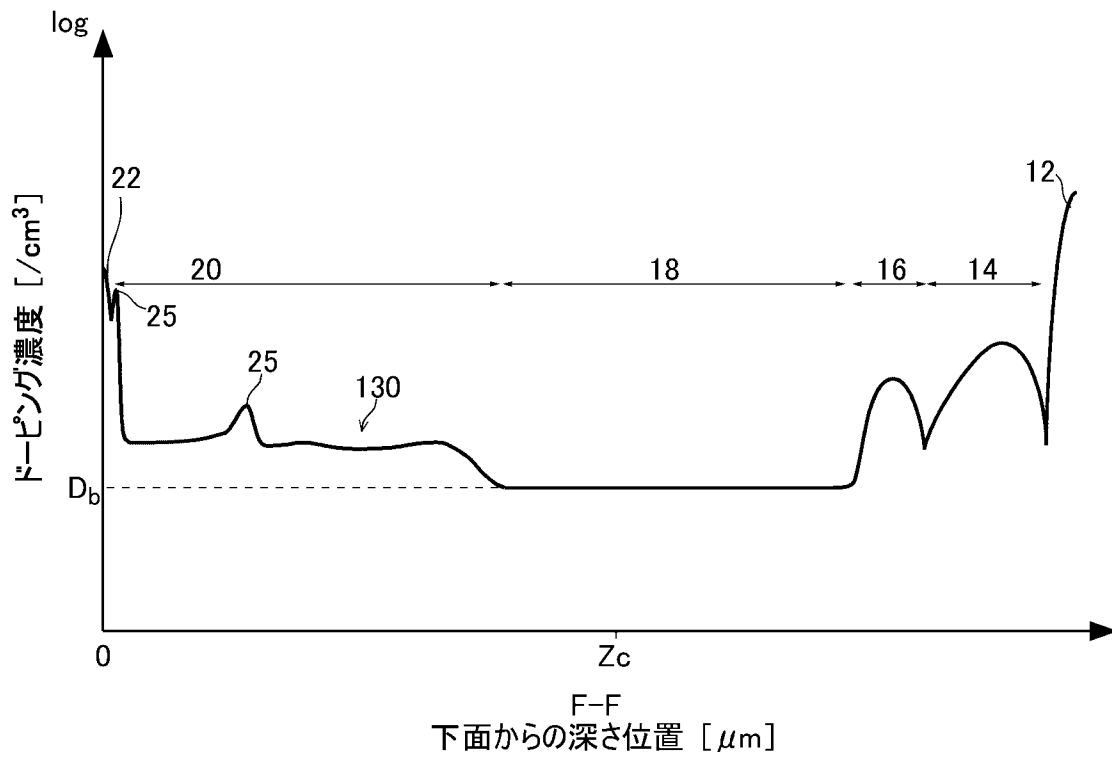




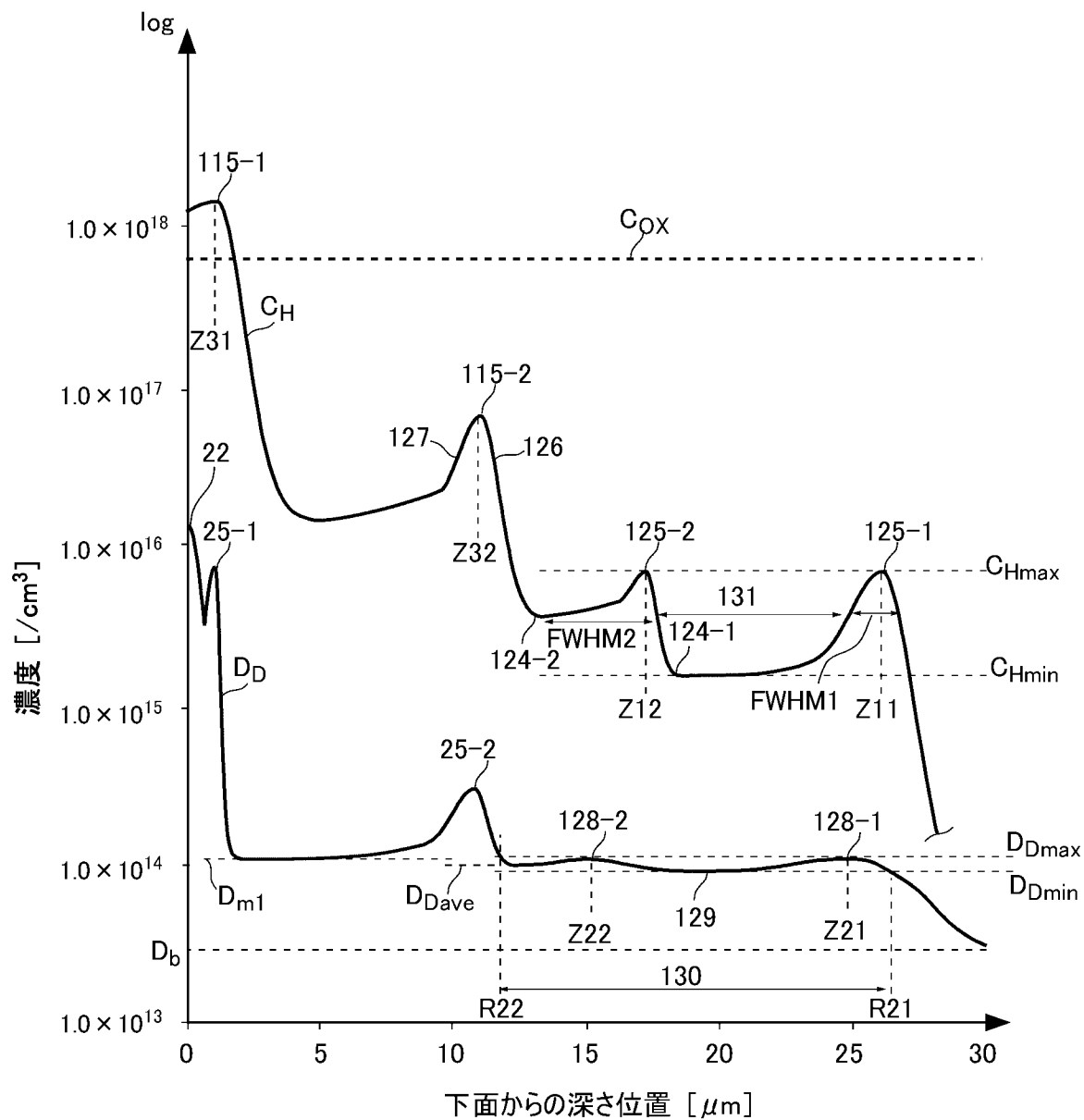
[] 3



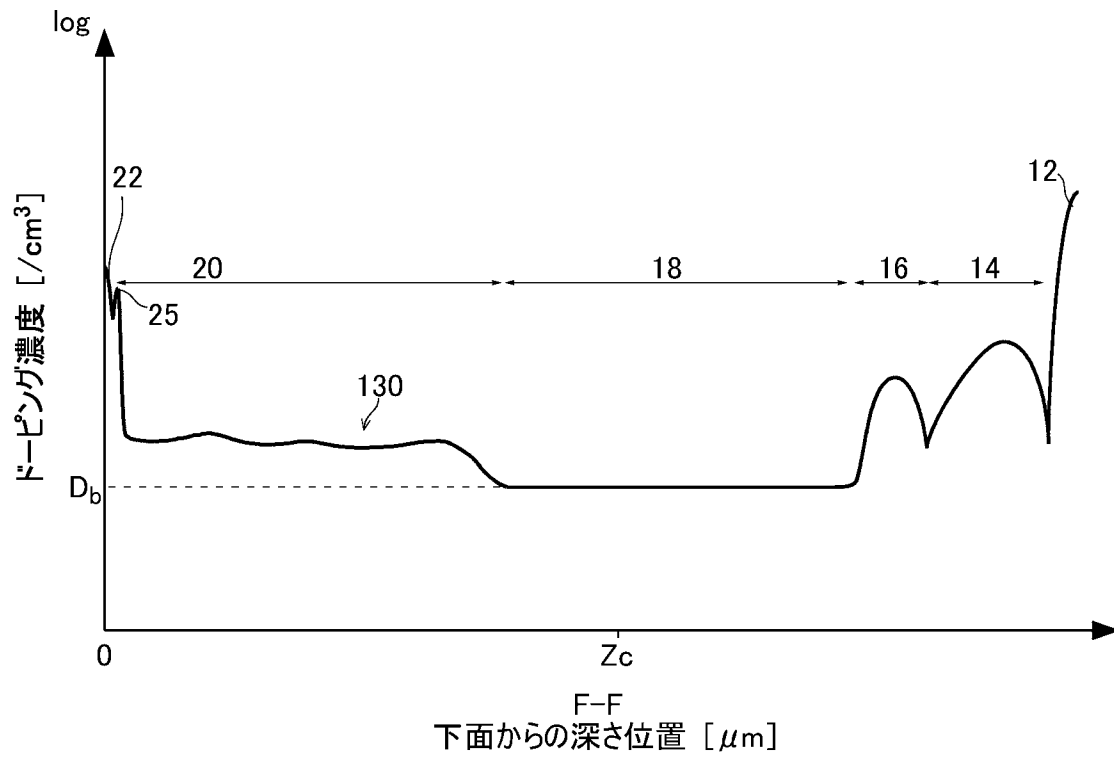
[図4A]



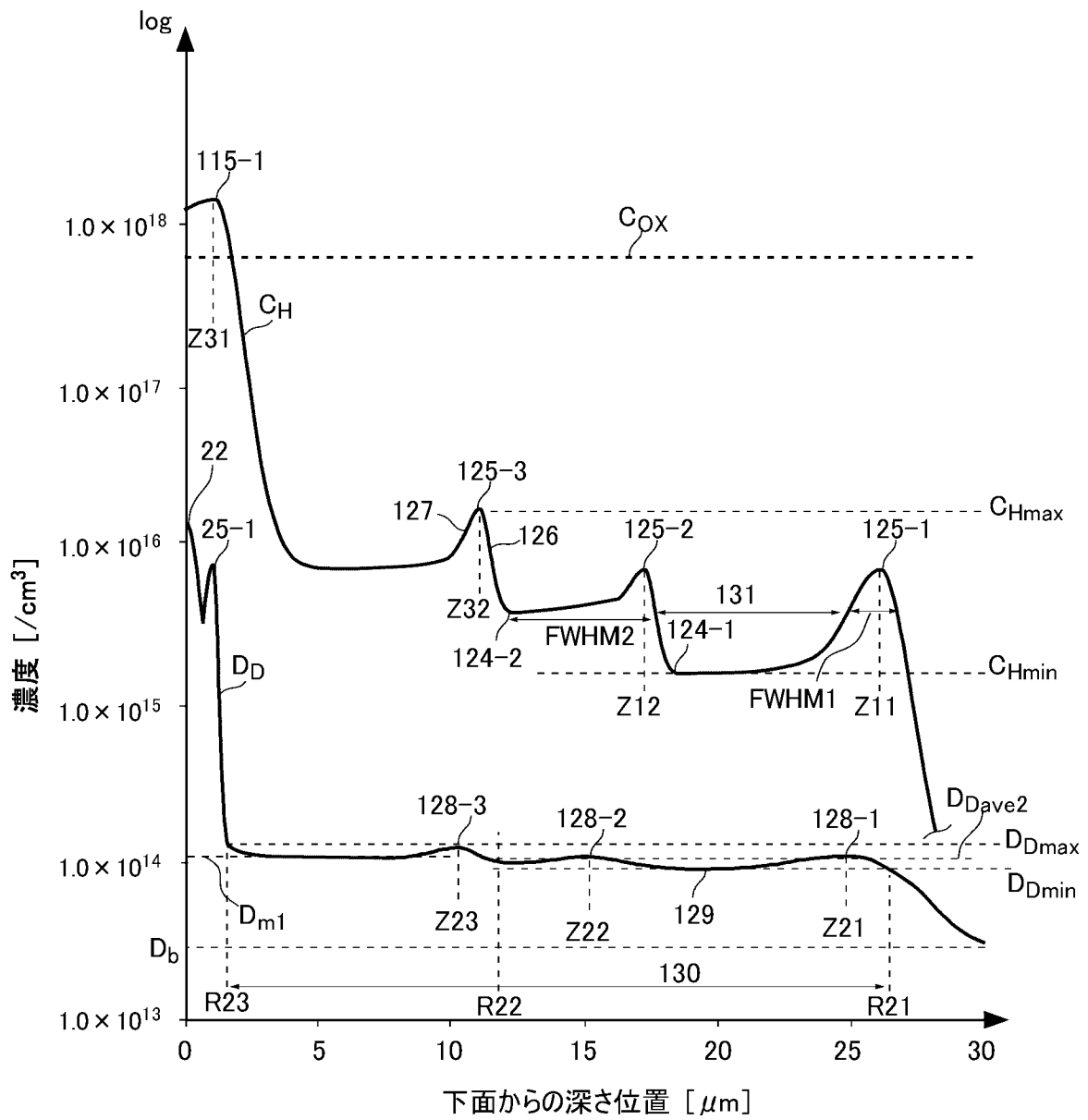
[図4B]



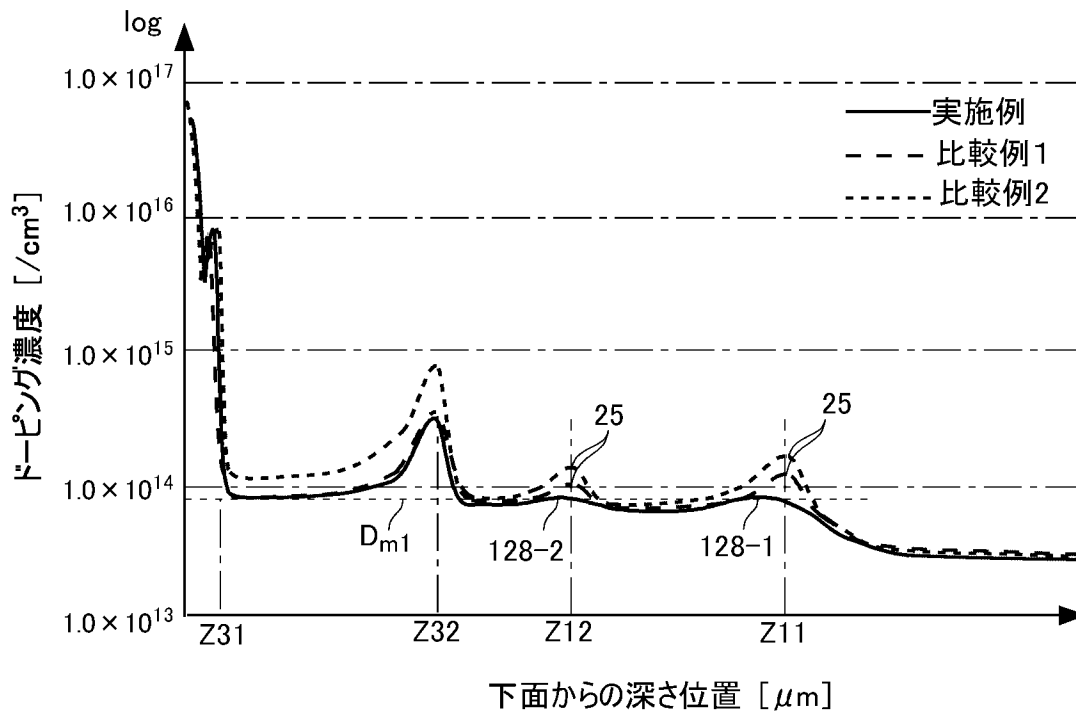
[図5A]



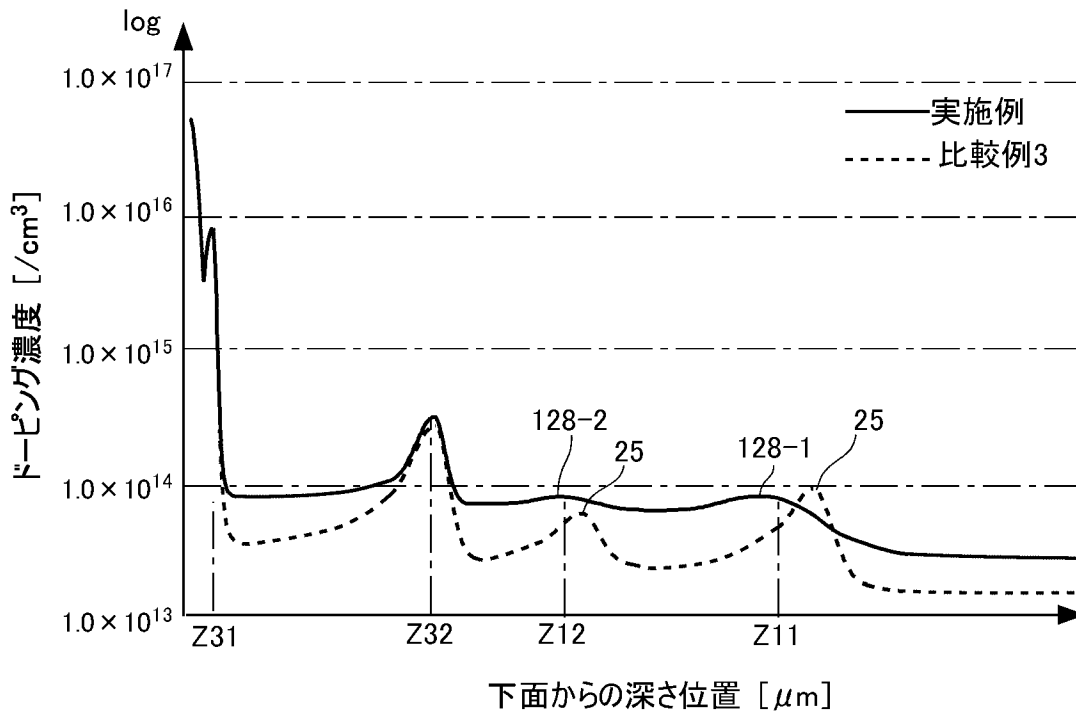
[図5B]



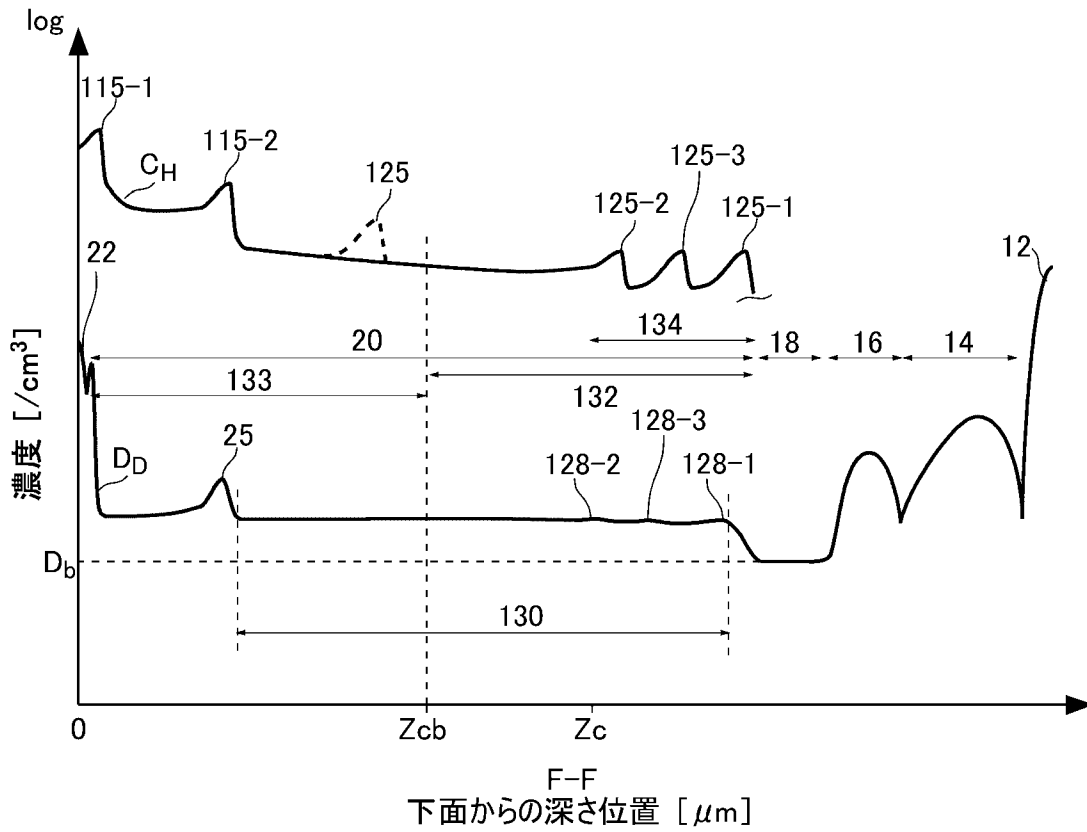
[図6]



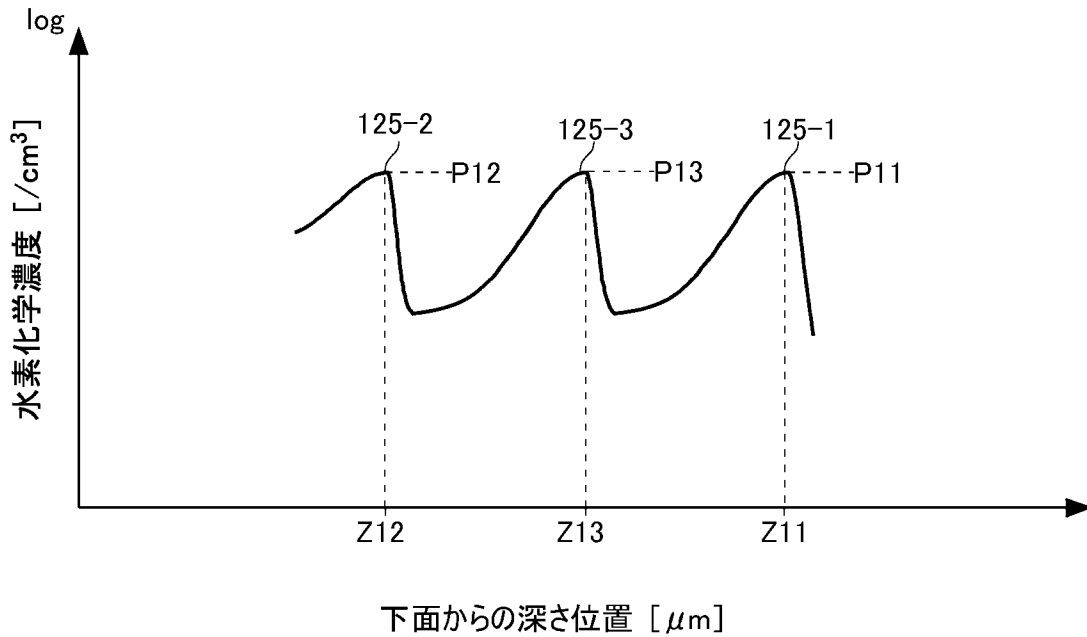
[図7]



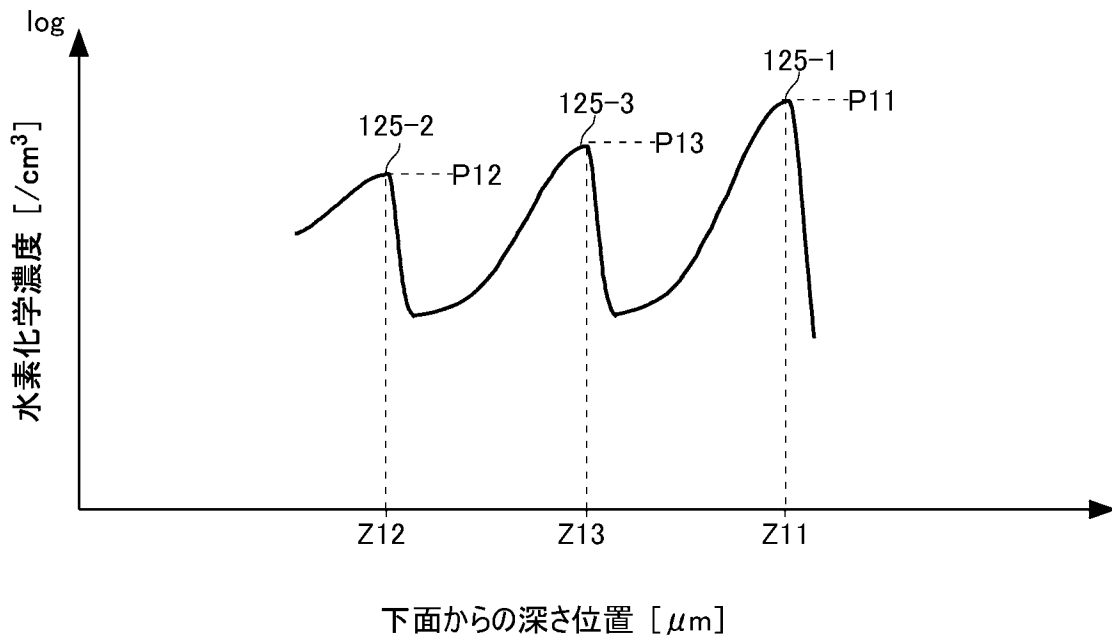
[図8]



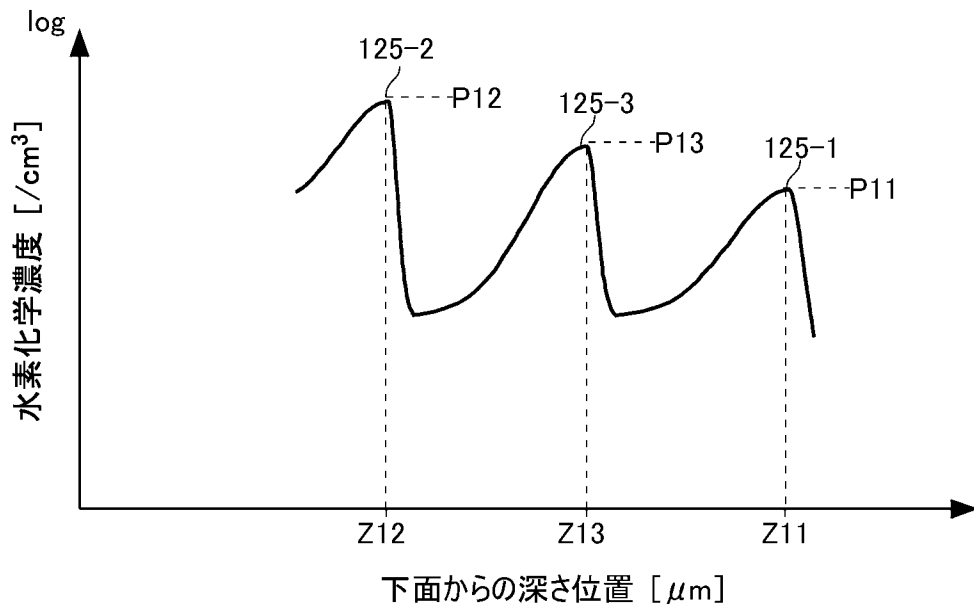
[図9]



[図10]



[図11]



## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2021/041952

<b>A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER</b>		
<i>H01L 29/06</i> (2006.01)i; <i>H01L 29/78</i> (2006.01)i; <i>H01L 29/739</i> (2006.01)i; <i>H01L 29/861</i> (2006.01)i; <i>H01L 29/868</i> (2006.01)i FI: H01L29/78 655B; H01L29/78 652Q; H01L29/78 657D; H01L29/78 655G; H01L29/78 653A; H01L29/78 652J; H01L29/91 C; H01L29/06 301D; H01L29/06 301V		
According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
<b>B. FIELDS SEARCHED</b>		
Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) H01L29/06; H01L29/78; H01L29/739; 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 1971-2022 Registered utility model specifications of Japan 1996-2022 Published registered utility model applications of Japan 1994-2022		
Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)		
<b>C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT</b>		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	WO 2020/100997 A1 (FUJI ELECTRIC CO., LTD.) 22 May 2020 (2020-05-22) paragraphs [0031]-[0039], fig. 2	1-19
A	JP 2018-195757 A (TOHOKU GAKUIN UNIVERSITY) 06 December 2018 (2018-12-06) paragraphs [0012]-[0016], [0019], [0020], fig. 1, 2	1-19
A	WO 2020/138218 A1 (FUJI ELECTRIC CO., LTD.) 02 July 2020 (2020-07-02) paragraphs [0036]-[0063], [0079], [0080], fig. 1, 2, 5	1-19
<input type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input checked="" type="checkbox"/> See patent family annex.		
* Special categories of cited documents: "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance "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 <b>27 January 2022</b>		Date of mailing of the international search report <b>08 February 2022</b>
Name and mailing address of the ISA/JP <b>Japan Patent Office (ISA/JP) 3-4-3 Kasumigaseki, Chiyoda-ku, Tokyo 100-8915 Japan</b>		Authorized officer  Telephone No.

**INTERNATIONAL SEARCH REPORT**  
**Information on patent family members**

International application No.  
**PCT/JP2021/041952**

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)	Publication date (day/month/year)
WO	2020/100997	A1	22 May 2020	US 2021/0050215 A1 paragraphs [0041]-[0050], fig. 2	
JP	2018-195757	A	06 December 2018	(Family: none)	
WO	2020/138218	A1	02 July 2020	US 2021/0104407 A1 paragraphs [0082]-[0109], [0125], [0126], fig. 1, 2, 5	

<p>A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC））</p> <p>H01L 29/06(2006.01)i; H01L 29/78(2006.01)i; H01L 29/739(2006.01)i; H01L 29/861(2006.01)i;                  H01L 29/868(2006.01)i                  FI: H01L29/78 655B; H01L29/78 652Q; H01L29/78 657D; H01L29/78 655G; H01L29/78 653A; H01L29/78 652J;                  H01L29/91 C; H01L29/06 301D; H01L29/06 301V</p>														
<p>B. 調査を行った分野</p> <p>調査を行った最小限資料（国際特許分類（IPC））</p> <p>H01L29/06; H01L29/78; H01L29/739; H01L29/861; H01L29/868</p> <p>最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの</p> <table border="0"> <tr> <td>日本国実用新案公報</td> <td>1922 - 1996年</td> </tr> <tr> <td>日本国公開実用新案公報</td> <td>1971 - 2022年</td> </tr> <tr> <td>日本国実用新案登録公報</td> <td>1996 - 2022年</td> </tr> <tr> <td>日本国登録実用新案公報</td> <td>1994 - 2022年</td> </tr> </table> <p>国際調査で使用した電子データベース（データベースの名称、調査に使用した用語）</p>			日本国実用新案公報	1922 - 1996年	日本国公開実用新案公報	1971 - 2022年	日本国実用新案登録公報	1996 - 2022年	日本国登録実用新案公報	1994 - 2022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 - 2022年													
日本国実用新案登録公報	1996 - 2022年													
日本国登録実用新案公報	1994 - 2022年													
<p>C. 関連すると認められる文献</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>引用文献の カテゴリー*</th> <th>引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示</th> <th>関連する 請求項の番号</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>A</td> <td>WO 2020/100997 A1（富士電機株式会社）22.05.2020（2020 - 05 - 22） 段落0031-0039, 図2</td> <td>1-19</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>JP 2018-195757 A（学校法人東北学院）06.12.2018（2018 - 12 - 06） 段落0012-0016, 0019-0020, 図1,2</td> <td>1-19</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>WO 2020/138218 A1（富士電機株式会社）02.07.2020（2020 - 07 - 02） 段落0036-0063, 0079-0080, 図1,2,5</td> <td>1-19</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	A	WO 2020/100997 A1（富士電機株式会社）22.05.2020（2020 - 05 - 22） 段落0031-0039, 図2	1-19	A	JP 2018-195757 A（学校法人東北学院）06.12.2018（2018 - 12 - 06） 段落0012-0016, 0019-0020, 図1,2	1-19	A	WO 2020/138218 A1（富士電機株式会社）02.07.2020（2020 - 07 - 02） 段落0036-0063, 0079-0080, 図1,2,5	1-19
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	WO 2020/100997 A1（富士電機株式会社）22.05.2020（2020 - 05 - 22） 段落0031-0039, 図2	1-19												
A	JP 2018-195757 A（学校法人東北学院）06.12.2018（2018 - 12 - 06） 段落0012-0016, 0019-0020, 図1,2	1-19												
A	WO 2020/138218 A1（富士電機株式会社）02.07.2020（2020 - 07 - 02） 段落0036-0063, 0079-0080, 図1,2,5	1-19												
<p><input type="checkbox"/> C欄の続きにも文献が列挙されている。 <input checked="" type="checkbox"/> パテントファミリーに関する別紙を参照。</p>														
<table border="0"> <tr> <td>* 引用文献のカテゴリー</td> <td>“T” 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と抵触するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの</td> </tr> <tr> <td>“A” 特に関連のある文献ではなく、一般的な技術水準を示すもの</td> <td>“X” 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの</td> </tr> <tr> <td>“E” 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの</td> <td>“Y” 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの</td> </tr> <tr> <td>“L” 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す）</td> <td>“&amp;” 同一パテントファミリー文献</td> </tr> <tr> <td>“O” 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献</td> <td></td> </tr> <tr> <td>“P” 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願の日の後に公表された文献</td> <td></td> </tr> </table>			* 引用文献のカテゴリー	“T” 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と抵触するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの	“A” 特に関連のある文献ではなく、一般的な技術水準を示すもの	“X” 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの	“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	“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	“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）	“&” 同一パテントファミリー文献	“O” 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献		“P” 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願の日の後に公表された文献	
* 引用文献のカテゴリー	“T” 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と抵触するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの													
“A” 特に関連のある文献ではなく、一般的な技術水準を示すもの	“X” 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの													
“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	“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													
“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）	“&” 同一パテントファミリー文献													
“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														
<p>国際調査を完了した日</p> <p>27.01.2022</p>	<p>国際調査報告の発送日</p> <p>08.02.2022</p>													
<p>名称及びあて先</p> <p>日本国特許庁(ISA/JP) 〒100-8915 日本国 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号</p>	<p>権限のある職員（特許庁審査官）</p> <p>恩田 和彦 5F 5896</p> <p>電話番号 03-3581-1101 内線 3516</p>													

国際調査報告  
特許ファミリーに関する情報

国際出願番号

PCT/JP2021/041952

引用文献	公表日	特許ファミリー文献	公表日
WO 2020/100997 A1	22.05.2020	US 2021/0050215 A1 段落0041-0050, 図2	
JP 2018-195757 A	06.12.2018	(ファミリーなし)	
WO 2020/138218 A1	02.07.2020	US 2021/0104407 A1 段落0082-0109, 0125-0126, 図1, 2, 5	