

(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  
2023年11月2日(02.11.2023)

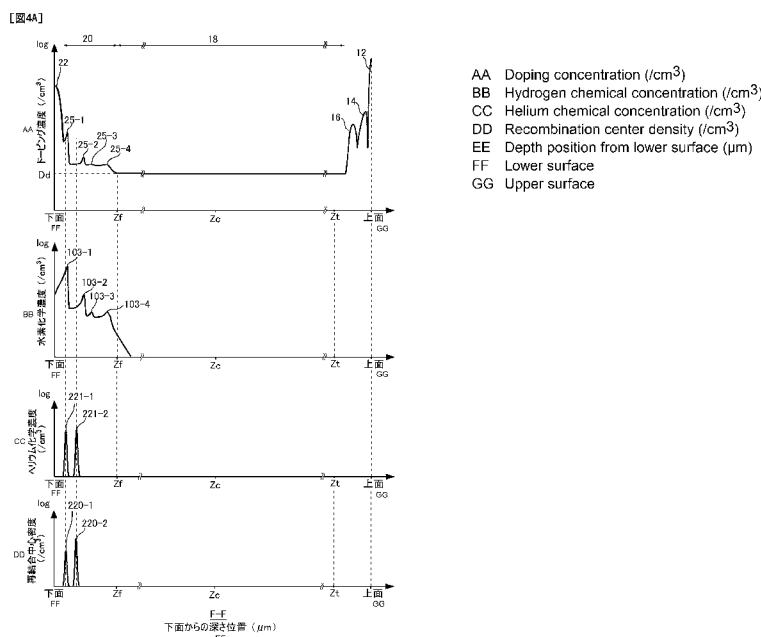


(10) 国際公開番号  
**WO 2023/210727 A1**

- (51) 国際特許分類:  
H01L 29/78 (2006.01) H01L 27/088 (2006.01)  
H01L 21/322 (2006.01) H01L 29/06 (2006.01)  
H01L 21/336 (2006.01) H01L 29/739 (2006.01)  
H01L 21/8234 (2006.01) H01L 29/861 (2006.01)  
H01L 27/06 (2006.01) H01L 29/868 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2023/016589
- (22) 国際出願日: 2023年4月27日(27.04.2023)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:  
特願 2022-073381 2022年4月27日(27.04.2022) 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: 加藤 由晴 (KATO Yoshiharu); 〒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). 三塚 要 (MITSUZUKA Kaname); 〒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). 白川 徹 (SHIRAKAWA Tohru); 〒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). 小田 優喜 (ODA Yuuki); 〒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).

(54) Title: SEMICONDUCTOR DEVICE

(54) 発明の名称: 半導体装置



(57) Abstract: The present invention provides a semiconductor device that is provided with: a semiconductor substrate which has an upper surface, a lower surface and a drift region of a first conductivity type; and a buffer region of the first conductivity type, the buffer region being provided between the drift region and the lower surface of the semiconductor substrate, while having a higher doping concentration than the drift region. With respect to this semiconductor device, the buffer region has a first recombination center density peak and a second recombination center density peak which is



WO 2023/210727 A1

(74) 代理人: 弁理士法人 R Y U K A 国際特許事務所(RYUKA & PARTNERS); 〒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, CV, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IQ, IR, IS, IT, JM, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, MG, MK, MN, MU, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, WS, ZA, ZM, ZW.

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

添付公開書類:

- 国際調査報告 (条約第21条(3))
- 補正された請求の範囲 (条約第19条(1))

---

positioned closer to the upper surface of the semiconductor substrate than the first recombination center density peak; and the integral value of the second recombination center density peak in the depth direction is larger than the integral value of the first recombination center density peak in the depth direction.

(57) 要約: 上面および下面を有し、第1導電型のドリフト領域を有する半導体基板と、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、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、第1の再結合中心密度ピークと、前記第1の再結合中心密度ピークよりも前記半導体基板の前記上面側に配置された第2の再結合中心密度ピークとを有し、前記第2の再結合中心密度ピークの深さ方向における積分値は、前記第1の再結合中心密度ピークの深さ方向における積分値よりも大きい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、半導体装置にヘリウム等の粒子を注入することで格子欠陥を形成する技術が知られている（例えば、特許文献1、2参照）。

[先行技術文献]

[特許文献]

[特許文献1] WO2019/181852号

[特許文献2] WO2017/146148号

### 解決しようとする課題

[0003] 格子欠陥を生成することでキャリアライフタイムを調整しつつ、格子欠陥を生成することによる漏れ電流を抑制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、本発明の第1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、第1導電型のドリフト領域を有する半導体基板を備えてよい。半導体装置は、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、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を備えてよい。上記何れかの半導体装置において、前記バッファ領域は、第1の再結合中心密度ピークを有してよい。上記何れかの半導体装置において、前記バッファ領域は、前記第1の再結合中心密度ピークよりも前記半導体基板の前記上面側に配置された第2の再結合中心密度ピークを有してよい。上記何れかの半導体装置において、前記第2の再結合中心密度ピークの深さ方向における積分値は、前記第1の再結合中心密度ピークの深さ方向における積分値よりも大きくてよい。

[0005] 上記何れかの半導体装置において、前記バッファ領域は、前記第2の再結

合中心密度ピークよりも前記半導体基板の前記下面から離れて配置された第3の再結合中心密度ピークを有してよい。上記何れかの半導体装置において、前記第2の再結合中心密度ピークの深さ方向における積分値は、前記第3の再結合中心密度ピークの深さ方向における積分値よりも大きくてよい。

[0006] 上記何れかの半導体装置において、前記第2の再結合中心密度ピークのピーク値は、前記第1の再結合中心密度ピークのピーク値および前記第3の再結合中心密度ピークのピーク値のいずれよりも大きくてよい。

[0007] 上記何れかの半導体装置において、前記バッファ領域は、前記半導体基板の深さ方向において1つ以上のドーピング濃度ピークを有してよい。上記何れかの半導体装置において、前記第1の再結合中心密度ピークは、いずれかの前記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間に配置されてよい。上記何れかの半導体装置において、前記第2の再結合中心密度ピークは、前記いずれかの前記ドーピング濃度ピークと前記半導体基板の前記上面との間に配置されていてよい。

[0008] 上記何れかの半導体装置において、前記1つ以上のドーピング濃度ピークは、前記半導体基板の前記下面に最も近い最浅ドーピング濃度ピークを含んでよい。上記何れかの半導体装置において、前記第1の再結合中心密度ピークは、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間に配置されてよい。上記何れかの半導体装置において、前記第2の再結合中心密度ピークは、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上面との間に配置されていてよい。

[0009] 上記何れかの半導体装置において、前記バッファ領域は、前記ドーピング濃度ピークを3つ以上有してよい。上記何れかの半導体装置において、前記第2の再結合中心密度ピークは、いずれか2つの前記ドーピング濃度ピークの間配置されてよい。上記何れかの半導体装置において、前記第3の再結合中心密度ピークは、前記第2の再結合中心密度ピークとは異なるいずれか2つの前記ドーピング濃度ピークの間配置されてよい。

[0010] 上記何れかの半導体装置において、3つ以上の前記ドーピング濃度ピーク

は、前記半導体基板の前記下面から最も離れて配置された第1上面側ドーピング濃度ピークを含んでよい。上記何れかの半導体装置において、3つ以上の前記ドーピング濃度ピークは、前記第1上面側ドーピング濃度ピークと深さ方向において隣り合う第2上面側ドーピング濃度ピークを含んでよい。上記何れかの半導体装置において、前記第3の再結合中心密度ピークは、前記第2上面側ドーピング濃度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よい。

- [0011] 上記何れかの半導体装置において、前記第1上面側ドーピング濃度ピークと、前記第2上面側ドーピング濃度ピークとの間には、再結合中心密度ピークが配置されていなくてよい。
- [0012] 上記何れかの半導体装置において、前記ドーピング濃度ピークは、水素ドナーの濃度ピークであってよい。
- [0013] 上記何れかの半導体装置において、最も前記下面に近い前記ドーピング濃度ピークは、リンの濃度ピークであってよい。上記何れかの半導体装置において、前記最も前記下面に近い前記ドーピング濃度ピーク以外の前記ドーピング濃度ピークは、水素ドナーの濃度ピークであってよい。
- [0014] 上記何れかの半導体装置において、前記半導体基板には、トランジスタ部およびダイオード部が配列方向に並んで配列されてよい。上記何れかの半導体装置において、前記ダイオード部は、前記バッファ領域を有してよい。
- [0015] 上記何れかの半導体装置において、前記トランジスタ部は、前記バッファ領域を有してよい。上記何れかの半導体装置において、前記ダイオード部および前記トランジスタ部において、前記第1の再結合中心密度ピークの前記積分値が同一であってよい。
- [0016] 上記何れかの半導体装置において、前記第1の再結合中心密度ピークは第1のヘリウム化学濃度ピークであってよい。上記何れかの半導体装置において、前記第2の再結合中心密度ピークは第2のヘリウム化学濃度ピークであってよい。上記何れかの半導体装置において、前記第3の再結合中心密度ピークは第3のヘリウム化学濃度ピークであってよい。

- [0017] 上記何れかの半導体装置において、前記第2のヘリウム化学濃度ピークの前記深さ方向における積分値が $1 \times 10^{11}$  ( $/\text{cm}^2$ ) 以上、 $1 \times 10^{12}$  ( $/\text{cm}^2$ ) 以下であってよい。
- [0018] 上記何れかの半導体装置において、前記第1のヘリウム化学濃度ピークの前記深さ方向における積分値が $1 \times 10^{11}$  ( $/\text{cm}^2$ ) 以上、 $1 \times 10^{12}$  ( $/\text{cm}^2$ ) 以下であってよい。
- [0019] 上記何れかの半導体装置において、第3のヘリウム化学濃度ピークの前記深さ方向における積分値が $1 \times 10^{10}$  ( $/\text{cm}^2$ ) 以上、 $1 \times 10^{11}$  ( $/\text{cm}^2$ ) 以下であってよい。
- [0020] 本発明の第2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、第1導電型のドリフト領域を有する半導体基板を備えてよい。半導体装置は、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、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を備えてよい。上記何れかの半導体装置において、前記バッファ領域は、前記半導体基板の前記下面の最も近くに配置された最浅ドーピング濃度ピークを含む、深さ方向の異なる位置に設けられた2つ以上のドーピング濃度ピークを有してよい。上記何れかの半導体装置において、前記バッファ領域は、前記半導体基板の前記下面と前記最浅ドーピング濃度ピークとの間、および、深さ方向において隣り合う2つの前記ドーピング濃度ピークの間設けられた複数のピーク間領域を有してよい。上記何れかの半導体装置において、前記複数のピーク間領域は、1つ以上の第1の再結合中心密度ピークが設けられた第1のピーク間領域を含んでよい。上記何れかの半導体装置において、前記複数のピーク間領域は、前記第1のピーク間領域よりも前記半導体基板の前記下面から離れて配置され、1つ以上の第2の再結合中心密度ピークが設けられた第2のピーク間領域を含んでよい。上記何れかの半導体装置において、前記第2のピーク間領域の再結合中心密度の深さ方向における積分値は、前記第1のピーク間領域の再結合中心密度の深さ方向における積分値よりも大きくてよい。

[0021] 上記何れかの半導体装置において、前記第2のヘリウム化学濃度ピークの前記積分値が $1 \times 10^{11}$  ( $/\text{cm}^2$ ) 以上、 $1 \times 10^{12}$  ( $/\text{cm}^2$ ) 以下であってよい。

[0022] 上記何れかの半導体装置において、前記第1のヘリウム化学濃度ピークの前記積分値が $0.9 \times 10^{11}$  ( $/\text{cm}^2$ ) 以上、 $0.9 \times 10^{12}$  ( $/\text{cm}^2$ ) 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線におけるドーピング濃度分布、水素化学濃度分布およびヘリウム化学濃度分布の一例を示す図である。

[図4B]イオンの注入深さ( $R_p$ )と、注入に要する加速エネルギーの関係を示す図である。

[図4C]イオンの注入深さ( $R_p$ )と、注入方向のストラグリング( $\Delta R_p$ 、標準偏差)の関係を示す図である。

[図5]第1の再結合中心密度ピーク220-1および第2の再結合中心密度ピーク220-2を示す図である。

[図6]バッファ領域20におけるドーピング濃度分布、水素化学濃度分布、ヘリウム化学濃度分布、再結合中心密度分布およびドーピング濃度の積分濃度分布の一例を示す図である。

[図7]第1の再結合中心密度ピーク220-1および第2の再結合中心密度ピーク220-2におけるヘリウムドーズ量と、逆回復損失 $E_{rr}$ との関係を示す図である。

[図8]第1の再結合中心密度ピーク220-1および第2の再結合中心密度ピ

ーク220-2におけるヘリウムドーズ量と、漏れ電流  $I_{ces}$  との関係を示す図である。

[図9]比較例のバッファ領域20における、キャリア濃度分布およびヘリウム化学濃度分布の一例を示している。

[図10]バッファ領域20における、ドーピング濃度分布、水素化学濃度分布、ヘリウム化学濃度分布、再結合中心密度分布およびドーピング濃度の積分濃度分布の他の例を示す図である。

[図11]バッファ領域20における、ピーク間領域を説明する図である。

[図12]半導体装置100の製造方法における一部の工程を示す図である。

### 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。他に、格子間シリコンと水素によるSi-H欠陥、格子間炭素と格子間酸素および水素によるCiOi-H欠陥も、電子を供給するドナーとして機能してよい。本明細書では、VOH欠陥、Si-H欠陥また

はC i O i - H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てよい。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 $1 \times 10^{17} \sim 7 \times 10^{17} / \text{cm}^3$ である。FZ法で製造された基板に含まれる酸素濃度は $1 \times 10^{15} \sim 5 \times 10^{16} / \text{cm}^3$ 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プ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（D0）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（D0）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（D0）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300K（ケルビン）（約26.9℃）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。キャリアとは、電子または正孔の電荷キャリアを意味する。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ります。

[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atoms/cm<sup>3</sup>、または、/cm<sup>3</sup>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。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。キャリア濃度が低下する理由は、下記の通りである。SR法では、拡がり抵抗を測定し、拡がり抵抗の測定値からキャリア濃度を換算する。このとき、キャリアの移動度は結晶状態の移動度が用いられる。一方、格子欠陥が導入されている位置では、キャリア移動度は低下しているにもかかわらず、結晶状態のキャリア移動度によりキャリア濃度が算出される。そのため、実際のキャリア濃度、すなわちドナーまたはアクセプタの濃度よりも低い値となる。

[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。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。

- [0042] 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。
- [0043] 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。
- [0044] 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。
- [0045] 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。

- [0046] 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。
- [0047] 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。
- [0048] 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。
- [0049] 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162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164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。
- [0050] 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164からの配線長のバラツキを低減できる。
- [0051] 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。

[0052] 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、活性部 160 を挟む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 Y 軸方向の略中央で横切るように、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。

[0053] 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。

[0054] 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 130 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。

[0055] 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 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。

- [0056] 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。
- [0057] 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。
- [0058] 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。
- [0059] 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。
- [0060] 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。

[0061] 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。

[0062] 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。

[0063] 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。

[0064] 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。

[0065] 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。

[0066] 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。

[0067] 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。

[0068] 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には、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。

[0069] 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。

[0070] 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。

[0071] 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。

[0072] 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。

[0073] 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 8 2 およびコレクタ領域 2 2 は、半導体基板 1 0 の下面 2 3 と、バッファ領域 2 0 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。

[0074] 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。

[0075] 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。

[0076] 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。

[0077] 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。

[0078] 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 18 は、トランジスタ部 70 およびダイオード部 80 のそれぞれに設けられている。

[0079] 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。

[0080] 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。

[0081] 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。

[0082] 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。すなわち蓄積領域 16 は、ドナー濃度がドリフト領域 18 よりも高い。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。

[0083] 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。

[0084] 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。

[0085] バッファ領域 20 は、半導体基板 10 の深さ方向（Z 軸方向）において、2 つ以上の濃度ピークを有してよい。バッファ領域 20 の濃度ピークは、例えば水素（プロトン）またはリンの化学濃度ピークと同一の深さ位置に設けられていてよい。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。本明細書では、バッファ領域 20 の上端の深さ位置を Z f とする。深さ位置 Z f は、ドーピング濃度が、ドリフト領域 18 のドーピング濃度より高くなる位置であってよい。

[0086] 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。

[0087] 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。

- [0088] 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含まれる。
- [0089] 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。
- [0090] 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。
- [0091] 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。

- [0092] 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。
- [0093] 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。本明細書では、ゲートトレンチ部40の下端の深さ位置を $Z_t$ とする。
- [0094] 半導体基板10の上面21側には、上面側ライフタイムキラークラスが設けられてよい。上面側ライフタイムキラークラスは、深さ方向において局所的に形成された格子欠陥等の再結合中心である。本例では、深さ方向における再結合中心密度分布における、再結合中心密度ピーク210が、上面側ライフタイムキラークラスである。各図においては、深さ方向におけるライフタイムキラークラスの密度分布のピーク位置をバツ印で模式的に示している。本明細書では、当該ピーク位置を、ライフタイムキラークラスの位置として説明する。バツ印は、X軸方向において離散的に配置されているが、特に説明する場合を除き、ライフタイムキラークラスはX軸方向において一様に設けられている。
- [0095] 再結合中心密度ピーク210は、半導体基板10の上面21から、ヘリウム等の粒子を所定の深さ位置に注入することで形成できる。再結合中心密度

ピーク210と同一の深さ位置に、ヘリウム等の粒子の濃度ピークが配置されてよい。再結合中心密度ピーク210は、各トレンチ部よりも下方に配置されてよい。また、再結合中心密度ピーク210は、上面視においてゲートトレンチ部40と重ならない位置に設けられることが好ましい。これにより、ゲート絶縁膜42にダメージを与えずに、ヘリウム等の粒子を注入して再結合中心密度ピーク210を形成できる。本例の再結合中心密度ピーク210は、上面視においてダイオード部80の全体に設けられている。図3における再結合中心密度ピーク210は、トランジスタ部70に設けられていないが、他の例では、トランジスタ部70の一部の領域に再結合中心密度ピーク210が設けられていてもよい。

[0096] 半導体基板10の下面23側には、下面側ライフタイムキラーが設けられている。下面側ライフタイムキラーは、半導体基板10の下面23側からヘリウム等の粒子を注入することで形成してよい。本例では、再結合中心密度ピーク220が、下面側ライフタイムキラーである。再結合中心密度ピーク220は、深さ方向において異なる位置に複数個配置されてよい。図3の例では、異なる深さ位置に、第1の再結合中心密度ピーク220-1および第2の再結合中心密度ピーク220-2が配置されている。ただし、再結合中心密度ピーク220は、3つ以上の深さ位置に設けられていてもよい。それぞれの再結合中心密度ピーク220と同一の深さ位置には、ヘリウム化学濃度のピークが設けられてよい。

[0097] バッファ領域20内に、2つ以上の再結合中心密度ピーク220が設けられてよい。これにより、バッファ領域20内におけるライフタイムキラーの分布を制御しやすくなる。従って、キャリアライフタイムを精度よく制御できる。

[0098] 再結合中心密度ピーク220は、上面視においてダイオード部80の全体に設けられてよい。また、再結合中心密度ピーク220は、上面視においてトランジスタ部70の全体に設けられてよい。再結合中心密度ピーク220は、上面視において活性部160の全体に設けられてよく、上面視において

半導体基板 10 の全体に設けられてもよい。第 1 の再結合中心密度ピーク 220-1 および第 2 の再結合中心密度ピーク 220-2 は、上面視において同一の範囲に設けられてよい。

[0099] 図 4 A は、図 3 の F-F 線におけるドーピング濃度分布、水素化学濃度分布、ヘリウム化学濃度分布および再結合中心密度分布の一例を示す図である。図 4 A において、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。つまり、半導体基板 10 の上面 21 側の領域とは、上面 21 と中央位置  $Z_c$  との間の領域であり、下面 23 側の領域とは、下面 23 と中央位置  $Z_c$  との間の領域である。

[0100] エミッタ領域 12 は、リン等の N 型ドーパントを含む。ベース領域 14 は、ボロン等の P 型ドーパントを含む。蓄積領域 16 は、リンまたは水素等の N 型ドーパントを含む。ドーピング濃度分布は、エミッタ領域 12、ベース領域 14 および蓄積領域 16 においてそれぞれ濃度ピークを有してよい。

[0101] ドリフト領域 18 は、ドーピング濃度がほぼ平坦な領域である。ドリフト領域 18 のドーピング濃度  $D_d$  は、半導体基板 10 のバルク・ドナー濃度と同一であってよく、バルク・ドナー濃度よりも高濃度であってよい。

[0102] 本例のバッファ領域 20 は、ドーピング濃度分布において、複数のドーピング濃度ピーク 25-1、25-2、25-3、25-4 を有する。それぞれのドーピング濃度ピーク 25 は、水素イオンを局所的に注入することで形成された水素ドナーのピークであってよい。他の例では、それぞれのドーピング濃度ピーク 25 は、リン等の N 型ドーパントを注入することで形成されてもよい。他の例では、下面 23 に最も近いドーピング濃度ピーク 25-1 の N 型ドーパントをリンとし、ドーピング濃度ピーク 25-1 以外のドーピング濃度ピーク 25-1、25-2、25-3 の N 型ドーパントを水素としてもよい。つまり、ドーピング濃度ピーク 25-1 はリンの濃度ピークであり、ドーピング濃度ピーク 25-1 以外の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ってよい。この場合に、ドーピング濃度ピーク 25-1 の深さ位置における水素化学濃度ピーク 103-1 は、無くてよい。コ

レクタ領域 22 は、ボロン等の P 型ドーパントを含む。また、図 3 に示したカソード領域 82 は、リン等の N 型ドーパントを含む。バッファ領域 20 において、ドーピング濃度からドリフト領域 18 のドーピング濃度  $D_d$  を差し引いた濃度を、水素ドナー濃度としてよい。

[0103] 本例の水素化学濃度分布は、バッファ領域 20 において局所的な水素化学濃度ピーク 103 を複数有する。バッファ領域 20 に水素イオンを注入することで、水素、格子欠陥などが結合した水素ドナーが形成され、ドナーとして機能する。本例の水素化学濃度ピーク 103 は、ドーピング濃度ピーク 25 と同一の深さ位置に設けられている。2 つのピークが同一の深さ位置に設けられるとは、一方のピークの半値全幅の範囲内に、他方のピークの頂点が配置されていることを指す。水素化学濃度ピーク 103 の濃度が十分高くない場合、当該水素化学濃度ピーク 103 と同一の深さ位置に明瞭なドーピング濃度ピーク 25 が観察されない場合もある。本例の水素化学濃度は、バッファ領域 20 からドリフト領域 18 に入った直後において急峻に低下している。このため、ドリフト領域 18 には水素ドナーがほとんど形成されていない。他の例では、水素はドリフト領域 18 の内部まで拡散して水素ドナーを形成してもよい。この場合、ドリフト領域 18 のドーピング濃度は、バルク・ドナー濃度よりも高くなる。

[0104] バッファ領域 20 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た、2 つ以上のヘリウム化学濃度ピーク 221 を有する。本例では、第 1 のヘリウム化学濃度ピーク 221-1 と、第 2 のヘリウム化学濃度ピーク 221-2 が、バッファ領域 20 に設けられている。第 2 のヘリウム化学濃度ピーク 221-2 は、第 1 のヘリウム化学濃度ピーク 221-1 よりも下面 23 から離れて配置されている。

[0105] 上述したように、それぞれのヘリウム化学濃度ピーク 221 の近傍には、再結合中心密度ピーク 220 が形成されている。つまり、第 1 の再結合中心密度ピーク 220-1 と重なる位置、および、第 2 の再結合中心密度ピーク 220-2 と重なる位置に、第 1 のヘリウム化学濃度ピーク 221-1、お

よび、第2のヘリウム化学濃度ピーク221-2を有する。ピークが重なるとは、一方のピークの半値全幅内に、他方のピークの頂点が配置されることを指してよい。

[0106] 本例では、第1の再結合中心密度ピーク220-1と、第2の再結合中心密度ピーク220-2が、バッファ領域20に設けられている。第2の再結合中心密度ピーク220-2は、第1の再結合中心密度ピーク220-1よりも下面23から離れて（すなわち上面21側に）配置されている。再結合中心密度ピーク220は、キャリアの再結合を促進する再結合中心であってよい。再結合中心は、格子欠陥であってよい。格子欠陥は、単原子空孔（V）、複原子空孔（VV）等の、空孔を主体としてよく、転位であってよく、格子間原子であってよく、遷移金属等であってよい。例えば、空孔に隣接する原子は、ダングリング・ボンドを有する。広義では、格子欠陥に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。本明細書では格子欠陥を、キャリアの再結合に寄与する再結合中心として、単に再結合中心、あるいはライフタイムキラースと称する場合がある。ライフタイムキラースは、ヘリウムイオンを半導体基板10に注入することにより形成されてよい。ヘリウムを注入したことで形成されたライフタイムキラースは、バッファ領域20に存在する水素により終端される場合があるので、ライフタイムキラースの密度ピークの深さ位置と、ヘリウム化学濃度ピーク221の深さ位置とは一致しない場合がある。

[0107] バッファ領域20の2か所以上の深さ位置にヘリウムを注入することで、バッファ領域20における再結合中心密度ピーク220の密度分布を制御しやすくなる。それぞれの深さ位置には、 $^3\text{He}$ または $^4\text{He}$ を注入してよい。 $^3\text{He}$ は、2個の陽子と1個の中性子を含むヘリウム同位体である。 $^4\text{He}$ は、2個の陽子と2個の中性子を含むヘリウム同位体である。

[0108]  $^3\text{He}$ または $^4\text{He}$ を、緩衝材（アルミニウム等）を経由することなく、注入深さが一義的にきまる最も小さい加速エネルギーで注入することで、ヘリ

ウム化学濃度の濃度ピークの深さ方向における半値幅を小さくできる。

[0109] 図4 Bは、イオンの注入深さ ( $R_p$ ) と、注入に要する加速エネルギーの関係を示す図である。本例では、緩衝材を経由せずに、シリコンの半導体基板10に直接ヘリウムイオンを注入している。図4 Bにおける横軸は飛程  $R_p$  ( $\mu\text{m}$ )、縦軸は注入に必要な加速エネルギー  $E$  (eV) である。図4 Bでは、 $^3\text{He}$  の例を実線で示し、 $^4\text{He}$  の例を破線で示している。

[0110]  $\log_{10}(R_p)$  を  $x$ 、 $\log_{10}(E)$  を  $y$  とする。

$^3\text{He}$  では、飛程  $R_p$  と加速エネルギー  $E$  の関係は式 (1) で与えられてよい。

$$y = 4.52505E-03x^6 - 4.71471E-02x^5 + 1.67185E-01x^4 - 1.72038E-01x^3 - 2.92723E-01x^2 + 1.39782E+00x + 5.33858E+00 \quad \dots \text{式 (1)}$$

なお、 $E-A$  は  $10^{-A}$  であり、 $E+A$  は  $10^A$  である。

[0111] 半導体装置100の製造時における実際の飛程  $R_p'$  を式 (1) に代入して算出される加速エネルギーを  $E$  とする。製造時における実際の加速エネルギー  $E'$  が、式 (1) から算出された加速エネルギー  $E$  の  $\pm 20\%$  以内であれば、 $^3\text{He}$  を使用しているとみなしてよい。

[0112]  $^4\text{He}$  では、飛程  $R_p$  と加速エネルギー  $E$  の関係は式 (2) で与えられてよい。

$$y = 2.90157E-03x^6 - 3.66593E-02x^5 + 1.59363E-01x^4 - 2.31938E-01x^3 - 2.00999E-01x^2 + 1.45891E+00x + 5.27160E+00 \quad \dots \text{式 (2)}$$

製造時における実際の加速エネルギー  $E'$  が、実際の飛程  $R_p'$  を用いて式 (2) から算出された加速エネルギー  $E$  の  $\pm 20\%$  以内であれば、 $^4\text{He}$  を使用しているとみなしてよい。

[0113] 図4 Bに示されるように、飛程  $R_p$  が  $8\mu\text{m} \sim 10\mu\text{m}$  の領域の値を境界

値として、飛程  $R_p$  が境界値以上の場合は、 ${}^4\text{He}$  の加速エネルギーの方が、 ${}^3\text{He}$  の加速エネルギーよりも 10% 程度高くなっている。飛程  $R_p$  が境界値以下の場合は、 ${}^3\text{He}$  の加速エネルギーの方が、 ${}^4\text{He}$  の加速エネルギーよりも 10% 程度高くなっている。同位体の中性子の個数により、電子阻止能と核阻止能のバランスが変化することによると推測される。一例として、飛程  $R_p$  が  $10\ \mu\text{m}$  以下の場合には  ${}^4\text{He}$  を用いてよい。これにより、10% 程度小さい加速エネルギーでヘリウムイオンを注入することが可能である。飛程  $R_p$  が  $10\ \mu\text{m}$  より大きい場合には、 ${}^3\text{He}$  を用いてよい。

[0114] 図 4C は、イオンの注入深さ ( $R_p$ ) と、注入方向のストラグリング ( $\Delta R_p$ 、標準偏差) の関係を示す図である。本例における注入方向は、半導体基板 10 の深さ方向である。本例においても、緩衝材を経由せずに、シリコンの半導体基板 10 に直接ヘリウムイオンを注入している。図 4C における横軸は飛程  $R_p$  ( $\mu\text{m}$ )、縦軸はストラグリング  $\Delta R_p$  ( $\mu\text{m}$ ) である。図 4C では、 ${}^3\text{He}$  の例を実線で示し、 ${}^4\text{He}$  の例を破線で示している。

[0115] ストラグリング  $\Delta R_p$  は、ヘリウム濃度分布をガウス分布と仮定して算出してよい。例えばストラグリング  $\Delta R_p$  は、濃度ピーク値の 0.60653 倍の濃度になる 2 点間の距離 (分布幅) としてよく、濃度ピーク値の 0.6 倍の濃度になる 2 点間の距離としてもよい。隣り合う濃度ピークの間極小値等が濃度ピーク値の 0.6 倍よりも大きい場合は、濃度分布の極小値等の変曲点間の距離を、ストラグリング  $\Delta R_p$  としてもよい。

[0116]  $\log_{10}(R_p)$  を  $x$ 、 $\log_{10}(\Delta R_p)$  を  $y$  とする。

${}^3\text{He}$  では、飛程  $R_p$  とストラグリング  $\Delta R_p$  の関係は式 (3) で与えられてよい。

$$y = 5.00395E-04x^6 + 9.91651E-03x^5 - 9.76015E-02x^4 + 2.12587E-01x^3 + 1.30994E-01x^2 + 2.25458E-01x - 8.59463E-01 \quad \dots \text{式 (3)}$$

[0117] 半導体装置 100 の製造時における実際の飛程  $R_p'$  を式 (3) に代入して

算出されるストラグリングを $\Delta R_p$ とする。製造時における実際のストラグリング $\Delta R_p'$ が、式(3)から算出されたストラグリング $\Delta R_p$ の $\pm 20\%$ 以内であれば、 $^3\text{He}$ を使用しているとみなしてよい。実際のストラグリング $\Delta R_p'$ は、熱的アニールによるヘリウムの拡散分を含まないことが好ましい。実際のストラグリング $\Delta R_p'$ は、ヘリウムの注入後、熱的アニールの前に測定した値であってよく、熱的アニールの後に測定した値から、ヘリウムの拡散分を差し引いた値であってもよい。

[0118]  $^4\text{He}$ では、飛程 $R_p$ とストラグリング $\Delta R_p$ の関係は式(4)で与えられてよい。

$$y = 3.10234E-03x^6 - 9.20762E-03x^5 - 6.13612E-02x^4 + 2.34304E-01x^3 + 3.88591E-02x^2 + 2.22955E-01x - 8.01967E-01 \dots \text{式(4)}$$

製造時における実際のストラグリング $\Delta R_p'$ が、実際の飛程 $R_p'$ を用いて式(4)から算出されたストラグリング $\Delta R_p$ の $\pm 20\%$ 以内であれば、 $^4\text{He}$ を使用しているとみなしてよい。実際のストラグリング $\Delta R_p'$ は、熱的アニールによるヘリウムの拡散分を含まないことが好ましい。

[0119] 図4Cに示されるように、飛程 $R_p$ が $10 \sim 20 \mu\text{m}$ の領域の値を境界値として、飛程 $R_p$ が境界値以下の場合、 $^3\text{He}$ のストラグリング $\Delta R_p$ のほうが、 $^4\text{He}$ のストラグリング $\Delta R_p$ よりも $10\%$ 程度小さくなっている。飛程 $R_p$ が境界値以上の場合、 $^3\text{He}$ と $^4\text{He}$ とで、ストラグリング $\Delta R_p$ はほぼ等しい。同位体の中性子の個数により、電子阻止能と核阻止能のバランスが変化することによると推測される。

[0120] 一例として、飛程 $R_p$ が $20 \mu\text{m}$ 以下の場合、 $^3\text{He}$ を用いてよい。これにより、 $10\%$ 程度小さいストラグリング $\Delta R_p$ とすることが可能である。あるいは、ストラグリング $\Delta R_p$ の $10\%$ 程度の相違が、ヘリウム化学濃度分布あるいは電気的特性に与える相違が十分小さい場合は、飛程 $R_p$ が $20 \mu\text{m}$ 以下の場合においても、 $^3\text{He}$ と $^4\text{He}$ とで、ストラグリング $\Delta R_p$ はほぼ

等しいとみなしてもよい。この場合、半導体基板10に注入するヘリウム原子は、 $^3\text{He}$ でもよいし、 $^4\text{He}$ でもよい。

[0121] 一例として $^4\text{He}$ を注入した場合のヘリウム化学濃度ピーク221の半値全幅は $1\ \mu\text{m}$ 以下である。ヘリウム化学濃度ピーク221の半値全幅は $0.5\ \mu\text{m}$ 以下であってもよい。半値幅の小さいヘリウム化学濃度ピーク221を、バッファ領域20に複数配置することで、再結合中心密度ピーク220の分布の形状を容易に制御できる。また、ヘリウムを注入したことにより形成される水素ドナーが、広範囲に分布することを抑制できる。このため、バッファ領域20のドーピング濃度分布が広範囲に変動することを抑制できる。

[0122] また、複数のヘリウム化学濃度ピーク221を設けることで、再結合中心密度ピーク220の総濃度を高く維持できる。このため、半導体装置100のターンオフ時等においてキャリアのライフタイムを短くし、テール電流を抑制できる。

[0123] なお、 $^3\text{He}$ の加速エネルギー $E$ がおよそ $20\ \text{MeV}$ 以上（飛程 $R_p$ が $270\ \mu\text{m}$ 以上）で、ストラグリング $\Delta R_p$ が $10\ \mu\text{m}$ 以上となる。 $^4\text{He}$ の加速エネルギー $E$ がおよそ $21\ \text{MeV}$ 以上（飛程 $R_p$ が $250\ \mu\text{m}$ 以上）で、ストラグリング $\Delta R_p$ が $10\ \mu\text{m}$ 以上となる。この場合、バッファ領域20の深さ方向の幅に比べて、ヘリウム化学濃度ピーク221の半値全幅を十分小さくできない。このため、バッファ領域20の広範囲において水素ドナーが形成され、ドーピング濃度分布が変動してしまう。このため、バッファ領域20において短絡時に局所的に電界が集中して、短絡電流耐量が低下する場合がある。これに対してヘリウム化学濃度ピーク221の半値幅を小さくすることで、短絡電流耐量を維持しやすくなる。よって、 $^3\text{He}$ および $^4\text{He}$ のいずれかを注入する場合において、加速エネルギー $E$ は $20\ \text{MeV}$ 以下であってよく、 $10\ \text{MeV}$ 以下であってよい。あるいは、複数のヘリウム化学濃度ピーク221のうちの、少なくとも1つ以上または2つ以上のヘリウム化学濃度ピーク221の加速エネルギー $E$ が、 $10\ \text{MeV}$ 以下であってよく、 $5\ \text{MeV}$ 以下であってよい。

[0124] 図5は、第1の再結合中心密度ピーク220-1および第2の再結合中心密度ピーク220-2を示す図である。第1の再結合中心密度ピーク220-1のピーク値を $P_{k1}$ 、第2の再結合中心密度ピーク220-2のピーク値を $P_{k2}$ とする。第1の再結合中心密度ピーク220-1の深さ方向における積分値を $S_1$ 、第2の再結合中心密度ピーク220-2の深さ方向における積分値を $S_2$ とする。積分値 $S_1$ は、第1の再結合中心密度ピーク220-1において、再結合中心密度が $\alpha \times P_{k1}$ 以上となる範囲（図5では斜線のハッチングを付した範囲）を積分した値であってよい。係数 $\alpha$ は、0より大きく、1より小さい実数である。例えば $\alpha = 0.5$ の場合、積分値 $S_1$ は、第1の再結合中心密度ピーク220-1を半値全幅の範囲で積分した値である。同様に積分値 $S_2$ は、第2の再結合中心密度ピーク220-2において、再結合中心密度が $\alpha \times P_{k2}$ 以上となる範囲を積分した値であってよい。係数 $\alpha$ は、それぞれの再結合中心密度ピーク220で同一であってよい。係数 $\alpha$ は0.5であってよく、0.1であってよく、0.01であってよく、他の数値であってよい。なお再結合中心密度の分布は、キャリアライフタイムの分布から算出してよく、他の方法で測定してもよい。再結合中心密度の分布は、例えば陽電子消滅法により測定される空孔濃度を再結合中心密度としてよい。あるいは、SIMS法により測定されるヘリウム原子の原子密度を再結合中心密度としてもよい。

[0125] 本例の第2の再結合中心密度ピーク220-2の積分値 $S_2$ は、第1の再結合中心密度ピーク220-1の積分値 $S_1$ よりも大きい。それぞれの積分値は、それぞれの深さ位置に注入するヘリウム等の荷電粒子線のドーズ量で調整できる。積分値 $S_2$ を大きくすることで、逆回復損失 $E_{rr}$ を大きく低減できる。積分値 $S_2$ は、積分値 $S_1$ の2倍以上であってよく、5倍以上であってよく、10倍以上であってよい。

[0126] 本例の第2の再結合中心密度ピーク220-2のピーク値 $P_{k2}$ が、第1の再結合中心密度ピーク220-1のピーク値 $P_{k1}$ より大きくてもよい。積分値 $S_2 > S_1$ の条件と、ピーク値 $P_{k2} > P_{k1}$ の条件

の少なくとも一方を満たしてよく、両方を満たしてもよい。ピーク値  $P_k 2$  は、ピーク値  $P_k 1$  の2倍以上であってよく、5倍以上であってよく、10倍以上であってよい。

[0127] 第1のヘリウム化学濃度ピーク221-1のピーク値は、第2のヘリウム化学濃度ピーク221-2のピーク値より小さくてよく、第2のヘリウム化学濃度ピーク221-2のピーク値と同一であってよく、第2のヘリウム化学濃度ピーク221-2のピーク値より大きいてもよい。ヘリウムを照射することで形成された再結合中心は、水素により終端されて水素ドナーになる場合がある。このため、第1のヘリウム化学濃度ピーク221-1のピーク値が、第2のヘリウム化学濃度ピーク221-2のピーク値と同一またはより大きい場合でも、それぞれの位置における水素濃度の違いにより、積分値  $S_2 > S_1$ 、または、ピーク値  $P_k 2 > P_k 1$  となり得る。

[0128] 図6は、バッファ領域20におけるドーピング濃度分布、水素化学濃度分布、ヘリウム化学濃度分布、再結合中心密度分布およびドーピング濃度の積分濃度分布の一例を示す図である。それぞれの濃度分布は、図4Aにおいて説明した各濃度分布と同様であってよい。本例の積分濃度分布は、トレンチ部の下端位置  $Z_t$  から下面23に向かってドーピング濃度を積分した積分値 ( $/cm^2$ ) の分布である。なお、トレンチ部の下端を含むようにP型層が形成されている場合は、下端位置  $Z_t$  を、当該P型層のうち半導体基板10の下面23側に位置するドリフト領域18とのPN接合の位置としてよい。すなわち本例の積分濃度分布を、当該P型層のうち半導体基板10の下面23側に位置するドリフト領域18とのPN接合の位置から、下面23に向かってドーピング濃度を積分した積分値 ( $/cm^2$ ) の分布としてよい。

[0129] 本例のドーピング濃度分布は、半導体基板10の下面23側から順番に、1つ以上のドーピング濃度ピーク25-1、25-2、25-3、25-4を有する。ドーピング濃度ピーク25-1は、バッファ領域20のドーピング濃度ピーク25のうち、下面23に最も近い最浅ドーピング濃度ピークの一例である。ドーピング濃度ピーク25-4は、下面23から最も離れて配

置された最深ドーピング濃度ピークの一例である。それぞれのドーピング濃度ピーク25の深さ位置を、下面23側から順番にZd1、Zd2、Zd3、Zd4とする。それぞれの深さ位置Zdは、下面23からの距離を示している。なお、いずれかのドーピング濃度ピーク25は、明瞭なピークでなくてもよい。例えばドーピング濃度分布の傾きの変曲点（キック）を、ドーピング濃度ピーク25としてよい。ドーピング濃度ピーク25-1は、濃度値が最大のドーピング濃度ピーク25であってよい。ドーピング濃度ピーク25-2は、濃度値が2番目に大きいドーピング濃度ピーク25であってよい。ドーピング濃度ピーク25-3は、濃度値が最小のドーピング濃度ピーク25であってよい。ドーピング濃度ピーク25-4は、ドーピング濃度ピーク25-3よりも高濃度のドーピング濃度ピーク25であってよい。

[0130] 本例の水素化学濃度分布は、半導体基板10の下面23側から順番に、水素化学濃度ピーク103-1、103-2、103-3、103-4を有する。それぞれの水素化学濃度ピーク103の深さ位置を、下面23側から順番にZh1、Zh2、Zh3、Zh4とする。それぞれの深さ位置Zhは、下面23からの距離を示している。深さ位置Zdkは、深さ位置Zhkと同一位置であってよい。ただし、kは1から4の整数である。水素化学濃度ピーク103-1は、濃度値が最大の水素化学濃度ピーク103であってよい。水素化学濃度ピーク103-2は、濃度値が2番目に大きい水素化学濃度ピーク103であってよい。水素化学濃度ピーク103-3は、濃度値が最小の水素化学濃度ピーク103であってよい。水素化学濃度ピーク103-4は、水素化学濃度ピーク103-3よりも高濃度の水素化学濃度ピーク103であってよい。

[0131] 本例のヘリウム化学濃度分布は、半導体基板10の下面23側から順番に、第1のヘリウム化学濃度ピーク221-1、第2のヘリウム化学濃度ピーク221-2を有する。本例の再結合中心密度分布は、半導体基板10の下面23側から順番に、第1の再結合中心密度ピーク220-1、第2の再結合中心密度ピーク220-2を有する。それぞれのヘリウム化学濃度ピーク

221の深さ位置を、下面23側から順番に $Z_{k1}$ 、 $Z_{k2}$ とする。それぞれの再結合中心密度ピーク220の深さ位置を、下面23側から順番に $Z_{k1}$ 、 $Z_{k2}$ としてもよい。それぞれの深さ位置 $Z_k$ は、下面23からの距離を示している。

[0132] 第1の再結合中心密度ピーク220-1は、いずれかのドーピング濃度ピーク25と半導体基板10の下面23との間に配置され、第2の再結合中心密度ピーク220-2は、当該ドーピング濃度ピーク25と上面21との間に配置されている。本例の第1の再結合中心密度ピーク220-1は、ドーピング濃度ピーク25-1よりも下面23側に配置されて、第2の再結合中心密度ピーク220-2は、ドーピング濃度ピーク25-1よりも上面21側に配置されている。より具体的な例では、第2の再結合中心密度ピーク220-2は、ドーピング濃度ピーク25-1とドーピング濃度ピーク25-2との間に配置されている。他の例では、第2の再結合中心密度ピーク220-2は、ドーピング濃度ピーク25-2とドーピング濃度ピーク25-3との間に配置されてよく、ドーピング濃度ピーク25-3とドーピング濃度ピーク25-4との間に配置されていてもよい。つまり、第1の再結合中心密度ピーク220-1と第2の再結合中心密度ピーク220-2の間には、ドーピング濃度ピーク25が1つだけ配置されてよく、ドーピング濃度ピーク25が複数配置されてもよい。後述するように、ドーピング濃度ピーク25-1よりも下面23側に第1の再結合中心密度ピーク220-1を配置することで、漏れ電流を抑制しつつ、逆回復損失を抑制できる。また、ドーピング濃度ピーク25-1よりも上面21側に第2の再結合中心密度ピーク220-2を配置することで、逆回復損失を大幅に低減できる。

[0133] なお、SR法により測定したキャリア濃度分布をドーピング濃度分布とした場合、ドーピング濃度分布は、いずれかのヘリウム化学濃度ピーク221と同一の深さ位置において谷部35を有してよい。谷部35は、ドーピング濃度が極小値を示す領域である。本例では、ヘリウム化学濃度ピーク221と同一の深さ位置に再結合中心密度ピーク220が設けられるので、当該位

置におけるキャリア移動度が低下する。これにより、上述のようにキャリア濃度が低下する。以降のドーピング濃度分布を示す図面において、ヘリウム化学濃度ピーク221と同一の深さ位置において谷部35を省略しているが、谷部35が設けられていてよい。

[0134] 空乏層エッジ位置 $Z_e$ は、ドリフト領域18の上端から半導体基板10の下面23に向かってドリフト領域18およびバッファ領域20のネット・ドーピング濃度を積分した積分濃度が臨界積分濃度 $n_c$ に達する深さ位置である。空乏層エッジ位置 $Z_e$ は、臨界濃度深さ位置 $Z_e$ と称する場合がある。本明細書では、コレクタ電極24およびエミッタ電極52間に順バイアスが印加されてアバランシェ降伏が発生した場合において、ドリフト領域18の上端からバッファ領域20の特定位置までが空乏化している場合に、ドリフト領域18の上端から当該特定位置までネット・ドーピング濃度を積分した値を、臨界積分濃度と称する。つまり、空乏層エッジ位置 $Z_e$ は、アバランシェ降伏が発生した場合に、ベース領域14の下端から半導体基板10の下面23に向かって広がる空乏層が到達する最も下面23側の位置である。臨界積分濃度 $n_c$ は、半導体基板10の構成原子に依存する。半導体基板10がシリコンからなる場合は、臨界積分濃度 $n_c$ は約 $1.2 \times 10^{12} / \text{cm}^2$ である。コレクタ電極24およびエミッタ電極52間に半導体装置100の定格電圧を印加した場合に、当該空乏層が到達する最も下面23側の位置を空乏層エッジ位置 $Z_e$ としてもよい。空乏層エッジ位置 $Z_e$ をバッファ領域20に配置することで、空乏層がコレクタ領域22またはカソード領域82に到達することを防げる。

[0135] なおドリフト領域18の上端とは、図3に示した例では、ドリフト領域18と蓄積領域16との境界位置である。ドリフト領域18と蓄積領域16との境界位置の判別が困難な場合、トレンチ部の下端位置 $Z_t$ をドリフト領域18の下端としてもよい。また、ドリフト領域18とベース領域14とが接している場合、ドリフト領域18とベース領域14の境界のPN接合の位置が、ドリフト領域18の上端である。

- [0136] 空乏層エッジ位置  $Z_e$  は、第1の再結合中心密度ピーク  $220-1$  と第2の再結合中心密度ピーク  $220-2$  の間に位置してよい。空乏層エッジ位置  $Z_e$  は、ドーピング濃度ピーク  $25-1$  とドーピング濃度ピーク  $25-2$  の間に位置してよい。臨界濃度深さ位置  $Z_e$  よりも上面  $21$  側における再結合中心密度の積分値は、臨界濃度深さ位置  $Z_e$  よりも下面  $23$  側における再結合中心密度の積分値よりも大きくてよく、等しくてよく、小さくてもよい。本例では、臨界濃度深さ位置  $Z_e$  よりも上面  $21$  側における再結合中心密度の積分値は、臨界濃度深さ位置  $Z_e$  よりも下面  $23$  側における再結合中心密度の積分値よりも大きい。臨界濃度深さ位置  $Z_e$  よりも上面  $21$  側におけるヘリウム化学濃度の積分値は、臨界濃度深さ位置  $Z_e$  よりも下面  $23$  側におけるヘリウム化学濃度の積分値よりも大きくてよく、等しくてよく、小さくてもよい。本例では、臨界濃度深さ位置  $Z_e$  よりも上面  $21$  側におけるヘリウム化学濃度の積分値は、臨界濃度深さ位置  $Z_e$  よりも下面  $23$  側におけるヘリウム化学濃度の積分値よりも大きい。
- [0137] 図7は、第1の再結合中心密度ピーク  $220-1$  および第2の再結合中心密度ピーク  $220-2$  におけるヘリウムドーズ量と、逆回復損失  $E_{rr}$  との関係を示す図である。第1の再結合中心密度ピーク  $220-1$  および第2の再結合中心密度ピーク  $220-2$  の配置は、図4Aに示した例と同様である。
- [0138] ヘリウムドーズ量を増大させると、それぞれの再結合中心密度ピーク  $220$  の積分値  $S$  およびピーク値  $P_k$  が増大する。逆回復損失  $E_{rr}$  は、ダイオード部80の逆回復時における損失を指す。図7においては、第2の再結合中心密度ピーク  $220-2$  に対するヘリウムドーズ量を維持した状態で第1の再結合中心密度ピーク  $220-1$  のヘリウムドーズ量を変化させた結果を丸印で示し、第1の再結合中心密度ピーク  $220-1$  に対するヘリウムドーズ量を維持した状態で第2の再結合中心密度ピーク  $220-2$  のヘリウムドーズ量を変化させた結果をバツ印で示している。
- [0139] いずれの再結合中心密度ピーク  $220$  においても、ヘリウムドーズ量を増

加させると再結合中心密度が増大する。このため、ダイオード部80の逆回復時のキャリアライフタイムが短くなり、逆回復損失が小さくなる。特にバッファ領域20に再結合中心を形成するので、ダイオード部80の逆回復時に流れるテール電流を小さくし、または、テール電流が流れる期間を短くできる。このため、逆回復損失を小さくできる。図7に示すように、第1の再結合中心密度ピーク220-1よりも、第2の再結合中心密度ピーク220-2に対するヘリウムドーズ量を増大させたほうが、逆回復損失を大幅に低減できる。これは、逆回復時においてダイオード部80にテール電流が流れる期間では、ドーピング濃度ピーク25-1よりも上面21側に多くのキャリアが残存しているため、第2の再結合中心密度ピーク220-2の積分値を大きくすることで、効率よくテール電流を小さくし、また、テール電流が流れる期間を短縮できるためと推定できる。このため、第2の再結合中心密度ピーク220-2の積分値S2またはピーク値Pk2を、第1の再結合中心密度ピーク220-1の積分値S1またはピーク値Pk1よりも大きくすることで、逆回復損失を大幅に低減できる。

[0140] 図8は、第1の再結合中心密度ピーク220-1および第2の再結合中心密度ピーク220-2におけるヘリウムドーズ量と、漏れ電流 $I_{ces}$ との関係を示す図である。第1の再結合中心密度ピーク220-1および第2の再結合中心密度ピーク220-2の配置は、図4Aに示した例と同様である。図8の丸印およびバツ印のプロットにおける測定条件は、図7の例と同様である。

[0141] 漏れ電流 $I_{ces}$ は、コレクターエミッタ間遮断電流とも称される。漏れ電流 $I_{ces}$ は、ゲートエミッタ間を短絡した状態（つまりトランジスタ部70がオフ状態）で、コレクターエミッタ間に所定の電圧を印加したときの、コレクターエミッタ間の漏れ電流である。半導体基板10に再結合中心を形成すると、再結合中心を介して漏れ電流が増大する場合がある。

[0142] 図8に示すように、第2の再結合中心密度ピーク220-2のヘリウムドーズ量を増大させると、漏れ電流 $I_{ces}$ が増大する傾向がある。一方で、

第1の再結合中心密度ピーク220-1のヘリウムドーズ量を増大させても、漏れ電流 $I_{ces}$ はほとんど増大しない。このため、第1の再結合中心密度ピーク220-1を設けることで、漏れ電流 $I_{ces}$ の増大を抑制しつつ、逆回復損失 $E_{rr}$ を低減できる。以上により、第1の再結合中心密度ピーク220-1および第2の再結合中心密度ピーク220-2の積分値の比率を適切に調節することにより、漏れ電流 $I_{ces}$ の増大を抑えながら、逆回復損失を大幅に低減することができる。

[0143] 一方でバッファ領域20は、ダイオード部80およびトランジスタ部70の両方に設けられている場合がある。ダイオード部80およびトランジスタ部70において、第1の再結合中心密度ピーク220-1の積分値 $S_1$ が同一であってよい。バッファ領域20の構造は、ダイオード部80とトランジスタ部70とで同一であってよい。この場合、第1の再結合中心密度ピーク220-1の積分値 $S_1$ またはピーク値 $P_{k1}$ を大きくしすぎると、トランジスタ部70のコレクタ領域22からのキャリア注入が阻害され、キャリア注入促進効果（ $I_E$ 効果）が低くなり、トランジスタ部70のオン電圧が増大してしまう。これに対して第1の再結合中心密度ピーク220-1の積分値 $S_1$ またはピーク値 $P_{k1}$ を、第2の再結合中心密度ピーク220-2の積分値 $S_2$ またはピーク値 $P_{k2}$ より小さくすることで、ダイオード部80の特性を改善しつつ、トランジスタ部70のオン電圧の増大を抑制できる。

[0144] 図9は、比較例のバッファ領域20における、キャリア濃度分布およびヘリウム化学濃度分布の一例を示している。本例のバッファ領域20は、 $^3He$ を注入して形成したヘリウム化学濃度のピークを1つだけ有している。また、図9においては、ヘリウムを注入しない場合のキャリア濃度分布を実線で示し、ヘリウムを注入した場合のキャリア濃度分布を破線で示している。ヘリウムを注入しない場合のキャリア濃度分布は、図6等におけるドーピング濃度分布と同様である。

[0145] 本例では、バッファ領域20に単一のヘリウム化学濃度のピークが設けられている。このため、ライフタイムキラーの分布を制御しにくくなる。また

、ヘリウム化学濃度ピークの半値幅が大きい場合、再結合中心と水素とが結合した水素ドナーが広範囲に分布して、ヘリウムを注入しない場合に比べて、キャリア濃度分布が広い範囲で変動してしまう。特に、バッファ領域20の上端近傍までヘリウムの分布が広がると、キャリア濃度分布に凸部があらわれ、アバランシェ耐量の低下等、半導体装置100の特性が設計値からずれてしまう場合がある。これに対して図1から図8の例においては、バッファ領域20に複数のヘリウム化学濃度ピークを配置するので、ライフタイムキラーの分布を精度よく調整できる。また、ヘリウム化学濃度ピークの半値幅を小さくすることで、キャリア濃度分布の広い範囲での変動を抑制できる。

[0146] 図10は、バッファ領域20における、ドーピング濃度分布、水素化学濃度分布、ヘリウム化学濃度分布、再結合中心密度分布およびドーピング濃度の積分濃度分布の他の例を示す図である。本例のバッファ領域20は、第3のヘリウム化学濃度ピーク221-3および第3の再結合密度ピーク220-3を更に備える点で、図1から図9において説明したバッファ領域20と相違する。他の構造は、図1から図9において説明したいずれかの態様のバッファ領域20と同様である。第3のヘリウム化学濃度ピーク221-3および第3の再結合密度ピーク220-3は、深さ位置 $Z_{k3}$ に配置されている。第3の再結合密度ピーク220-3のピーク値を $P_{k3}$ とする。

[0147] 第3の再結合中心密度ピーク220-3は、第2の再結合中心密度ピーク220-2よりも、半導体基板10の下面23から離れて配置されている。第2の再結合中心密度ピーク220-2の深さ方向における積分値 $S_2$ は、第3の再結合中心密度ピーク220-3の深さ方向における積分値 $S_3$ よりも大きい。積分値 $S_3$ は、図5において説明した例と同様に、第3の再結合中心密度ピーク220-3において、再結合中心密度が $\alpha \times P_{k3}$ 以上となる範囲を積分した値である。係数 $\alpha$ は、他の再結合中心密度ピーク220と同一であってよい。

[0148] 下面23から離れた位置の再結合中心密度ピーク220ほど、積分値 $S$ を

増大させたときの、逆回復損失  $E_{rr}$  の低減幅が大きくなる傾向がある。このため、第3の再結合中心密度ピーク  $220-3$  を設けることで、逆回復損失  $E_{rr}$  を更に低減できる。一方で、下面  $23$  から離れた位置の再結合中心密度ピーク  $220$  の積分値  $S$  を増大させすぎると、図9において説明したように、水素ドナーの形成が促進されて、バッファ領域  $20$  の上端近傍のキャリア密度分布に凸部が生じる場合がある。これに対して第3の再結合中心密度ピーク  $220-3$  の積分値  $S_3$  を、第2の再結合中心密度ピーク  $220-2$  の積分値  $S_2$  より小さくすることで、逆回復損失  $E_{rr}$  を効率よく低減しつつ、キャリア密度分布における凸部の発生を抑制できる。積分値  $S_2$  は、積分値  $S_3$  の2倍以上であってよく、5倍以上であってよく、10倍以上であってよい。

[0149] 第2の再結合中心密度ピーク  $220-2$  のピーク値  $P_{k2}$  が、第3の再結合中心密度ピーク  $220-3$  のピーク値  $P_{k3}$  より大きいてもよい。積分値  $S_2 > \text{積分値 } S_3$  の条件と、ピーク値  $P_{k2} > \text{ピーク値 } P_{k3}$  の条件の少なくとも一方を満たしてよく、両方を満たしてもよい。ピーク値  $P_{k2}$  は、ピーク値  $P_{k3}$  の2倍以上であってよく、5倍以上であってよく、10倍以上であってよい。

[0150] 第2の再結合中心密度ピーク  $220-2$  のピーク値  $P_{k1}$  は、第1の再結合中心密度ピーク  $220-1$  のピーク値  $P_{k1}$  および第3の再結合中心密度ピーク  $220-3$  のピーク値  $P_{k3}$  のいずれよりも大きくてよい。第2の再結合中心密度ピーク  $220-2$  の積分値  $S_2$  は、第1の再結合中心密度ピーク  $220-1$  の積分値  $S_1$  および第3の再結合中心密度ピーク  $220-3$  の積分値  $S_3$  のいずれよりも大きくてよい。

[0151] 第1の再結合中心密度ピーク  $220-1$  の積分値  $S_1$  と、第3の再結合中心密度ピーク  $220-3$  の積分値  $S_3$  は、いずれが大きいてもよく、同一であってよい。第1の再結合中心密度ピーク  $220-1$  のピーク値  $P_{k1}$  と、第3の再結合中心密度ピーク  $220-3$  のピーク値  $P_{k3}$  は、いずれが大きいてもよく、同一であってよい。

- [0152] 本例のバッファ領域20は、ドーピング濃度ピーク25を3つ以上有している。第2の再結合中心密度ピーク220-2は、いずれか2つのドーピング濃度ピークの間配置されてよい。図10の例では、第2の再結合中心密度ピーク220-2は、ドーピング濃度ピーク25-1とドーピング濃度ピーク25-2との間に配置されている。第3の再結合中心密度ピーク220-3は、第2の再結合中心密度ピーク220-2とは異なるいずれか2つのドーピング濃度ピーク25の間配置されてよい。図10の例では、第3の再結合中心密度ピーク220-3は、ドーピング濃度ピーク25-2とドーピング濃度ピーク25-3との間に配置されている。つまり第2の再結合中心密度ピーク220-2と第3の再結合中心密度ピーク220-3との間には、ドーピング濃度ピーク25が一つだけ配置されてよい。他の例では、第2の再結合中心密度ピーク220-2と第3の再結合中心密度ピーク220-3との間には、ドーピング濃度ピーク25が複数配置されてもよい。
- [0153] 本例では、半導体基板10の下面23から最も離れて配置されたドーピング濃度ピーク25-4を第1上面側ドーピング濃度ピークとし、ドーピング濃度ピーク25-4と深さ方向において隣り合うドーピング濃度ピーク25-3を第2上面側ドーピング濃度ピークとする。つまり、ドーピング濃度ピーク25-4およびドーピング濃度ピーク25-3は、バッファ領域20において、最も上面21側に配置された2つのドーピング濃度ピークである。
- [0154] 第3の再結合中心密度ピーク220-3は、第2上面側ドーピング濃度ピーク（ドーピング濃度ピーク25-3）よりも半導体基板10の下面23側に配置されてよい。第1上面側ドーピング濃度ピーク（ドーピング濃度ピーク25-4）と、第2上面側ドーピング濃度ピーク（ドーピング濃度ピーク25-3）との間には、再結合中心密度ピーク220が配置されていなくてよい。このような構成により、バッファ領域20の上端近傍のキャリア濃度分布における凸部（図9参照）の発生を抑制できる。
- [0155] ヘリウム化学濃度ピーク221を再結合中心密度ピーク220とみなしてもよい。バッファ領域20におけるヘリウム化学濃度を、バッファ領域20

における再結合中心密度として扱ってよい。本明細書の各例において、第1のヘリウム化学濃度ピーク221-1の積分値S1は、 $1 \times 10^{11}$  ( $/\text{cm}^2$ )以上、 $1 \times 10^{12}$  ( $/\text{cm}^2$ )以下であってよい。本明細書の各例において、第2のヘリウム化学濃度ピーク221-2の積分値S2は、 $1 \times 10^{11}$  ( $/\text{cm}^2$ )以上、 $1 \times 10^{12}$  ( $/\text{cm}^2$ )以下であってよい。本明細書の各例において、第3のヘリウム化学濃度221-3の積分値S3は、 $1 \times 10^{10}$  ( $/\text{cm}^2$ )以上、 $1 \times 10^{11}$  ( $/\text{cm}^2$ )以下であってよい。それぞれのピークの積分値の範囲が同一または重複する場合でも、それぞれのピークの積分値は異なってよい。それぞれのピークの積分値の範囲内において、第2のヘリウム化学濃度ピーク221-2の積分値S2は、第1のヘリウム化学濃度ピーク221-1の積分値S1より大きくてよい。それぞれのピークの積分値の範囲内において、第2のヘリウム化学濃度ピーク221-2の積分値S2は、第3のヘリウム化学濃度ピーク221-3の積分値S1より大きくてよい。

[0156] 第1のヘリウム化学濃度ピーク221-1に対するヘリウムイオンのドーズ量は、 $1 \times 10^{11} \text{ ions}/\text{cm}^2$ 以上、 $1 \times 10^{12} \text{ ions}/\text{cm}^2$ 以下であってよい。第2のヘリウム化学濃度221-2に対するヘリウムイオンのドーズ量は、 $1 \times 10^{11} \text{ ions}/\text{cm}^2$ 以上、 $1 \times 10^{12} \text{ ions}/\text{cm}^2$ 以下であってよい。第1の再結合中心密度ピーク221-1に対するヘリウムイオンのドーズ量は、 $1 \times 10^{10} \text{ ions}/\text{cm}^2$ 以上、 $1 \times 10^{11} \text{ ions}/\text{cm}^2$ 以下であってよい。バッファ領域20は、第3のヘリウム化学濃度ピーク221-3よりも上面21側に、第4のヘリウム化学濃度ピークを更に有してもよい。第4のヘリウム化学濃度ピークの積分値は、第3のヘリウム化学濃度ピーク221-3の積分値よりも小さい。第4のヘリウム化学濃度ピークに対するヘリウムイオンのドーズ量は、 $0.5 \times 10^{10} \text{ ions}/\text{cm}^2$ 以上、 $5 \times 10^{10} \text{ ions}/\text{cm}^2$ 以下であってよい。

[0157] 本明細書の各例において、第1のヘリウム化学濃度ピーク221-1のピーク値Pk1は、 $1 \times 10^{15}$  ( $/\text{cm}^3$ )以上、 $1 \times 10^{17}$  ( $/\text{cm}^3$ )以下

であってよい。本明細書の各例において、第2のヘリウム化学濃度ピーク221-2のピーク値 $P_{k2}$ は、 $1 \times 10^{15}$  ( $/\text{cm}^3$ ) 以上、 $1 \times 10^{17}$  ( $/\text{cm}^3$ ) 以下であってよい。本明細書の各例において、第3のヘリウム化学濃度ピーク221-3のピーク値 $P_{k3}$ は、 $1 \times 10^{14}$  ( $/\text{cm}^3$ ) 以上、 $1 \times 10^{16}$  ( $/\text{cm}^3$ ) 以下であってよい。第2のヘリウム化学濃度ピーク221-2の半値全幅が第1のヘリウム化学濃度ピーク221-1の半値全幅よりも大きくなってよい。この場合、第2のヘリウム化学濃度ピーク221-2の積分値 $S_2$ が第1のヘリウム化学濃度ピーク221-1の積分値 $S_1$ よりも大きくても、第2のヘリウム化学濃度ピーク221-2のピーク値 $P_{k2}$ が第1のヘリウム化学濃度ピーク221-1のピーク値 $P_{k1}$ より小さくなることがあってもよい。

[0158] 図11は、バッファ領域20における、ピーク間領域を説明する図である。バッファ領域20におけるドーピング濃度分布、水素化学濃度分布、ヘリウム化学濃度分布、再結合中心密度分布およびドーピング濃度の積分濃度分布は、図1から図10の例と同一であってよく、異なってもよい。本例においては、半導体基板10の下面23とドーピング濃度ピーク25-1との間の領域(R1)、深さ方向において隣り合う2つのドーピング濃度ピーク25の間の領域(R2~R4)、および、ドーピング濃度ピーク25-4とドリフト領域18との間の領域(R5)を、ピーク間領域と称する。

[0159] 本例のバッファ領域20は、1つ以上の第1の再結合中心密度ピーク220-1が設けられた第1のピーク間領域R1と、1つ以上の第2の再結合中心密度ピーク220-2が設けられた第2のピーク間領域R2とを有する。第2のピーク間領域R2は、第1のピーク間領域R1よりも、半導体基板10の下面23から離れて配置されている。第2のピーク間領域R2は、第1のピーク間領域R1の隣に配置されてよい。

[0160] 第2のピーク間領域R2の再結合中心密度の深さ方向における積分値 $S_2'$ は、第1のピーク間領域R1の再結合中心密度の深さ方向における積分値 $S_1'$ よりも大きい。図4A等に示す例のように、それぞれのピーク間領域に単

一の再結合中心密度ピーク 220 が配置されている場合、それぞれのピーク間領域における積分値は、再結合中心密度ピーク 220 の積分値である。

[0161] 図 11 に示すように、いずれかのピーク間領域には、複数の再結合中心密度ピーク 220 が設けられてもよい。図 11 の例では、第 2 のピーク間領域 R2 に、2 つの第 2 の再結合中心密度ピーク 220-2 が設けられている。この場合、第 2 のピーク間領域 R2 における積分値 S2' は、2 つの第 2 の再結合中心密度ピーク 220-2 の積分値 S2 の和である。積分値 S2' と積分値 S1' との関係は、図 1 から図 10 において説明した積分値 S2 と積分値 S1 との関係と同一であってよい。

[0162] それぞれの第 2 の再結合中心密度ピーク 220-2 の積分値 S2 は、互いに異なってよく、同一であってもよい。1 つの第 2 の再結合中心密度ピーク 220-2 の積分値 S2 は、1 つの第 1 の再結合中心密度ピーク 220-1 の積分値 S1 より小さくてよく、同一であってよく、大きくてよい。1 つの第 2 の再結合中心密度ピーク 220-2 の積分値 S2 は、1 つの第 3 の再結合中心密度ピーク 220-3 の積分値 S3 より小さくてよく、同一であってよく、大きくてよい。

[0163] 本例のバッファ領域 20 は、1 つ以上の第 3 の再結合中心密度ピーク 220-3 が設けられた第 3 のピーク間領域 R3 を有してよい。第 3 のピーク間領域 R3 は、第 2 のピーク間領域 R2 よりも、半導体基板 10 の下面 23 から離れて配置されている。第 3 のピーク間領域 R3 は、第 2 のピーク間領域 R2 の隣に配置されてよい。

[0164] 第 2 のピーク間領域 R2 の再結合中心密度の深さ方向における積分値 S2' は、第 3 のピーク間領域 R3 の再結合中心密度の深さ方向における積分値 S3' よりも大きい。積分値 S2' と積分値 S3' との関係は、図 1 から図 10 において説明した積分値 S2 と積分値 S3 との関係と同一であってよい。積分値 S1' と積分値 S3' との関係は、図 1 から図 10 において説明した積分値 S1 と積分値 S3 との関係と同一であってよい。

[0165] このような構成によっても、図 1 から図 10 において説明した例と同様に

、漏れ電流  $I_{ces}$  の増大を抑制しつつ、逆回復損失  $E_{rr}$  を低減できる。第2のピーク間領域  $R_2$  に設けられる第2の再結合中心密度ピーク  $220-2$  の個数は、第1のピーク間領域  $R_1$  に設けられる第1の再結合中心密度ピーク  $220-1$  の個数より多くてよい。第2のピーク間領域  $R_2$  に設けられる第2の再結合中心密度ピーク  $220-2$  の個数は、第3のピーク間領域  $R_3$  に設けられる第3の再結合中心密度ピーク  $220-3$  の個数より多くてよい。

[0166] 第1の再結合中心密度ピーク  $220-1$ 、第2の再結合中心密度ピーク  $220-2$ 、および、第3の再結合中心密度ピーク  $220-3$  が設けられる第1のピーク間領域  $R_1$ 、第2のピーク間領域  $R_2$ 、および、第3のピーク間領域  $R_3$  の位置は、図1から図10において説明したいずれかの態様と同様である。図11の例では、第1のピーク間領域  $R_1$ 、第2のピーク間領域  $R_2$ 、および、第3のピーク間領域  $R_3$  は、互いに隣り合って配置されているが、離れて配置されていてもよい。

[0167] 図12は、半導体装置100の製造方法における一部の工程を示す図である。本例では、上面側構造形成段階  $S1200$  において、半導体基板10の上面21側の構造を形成する。上面21側の構造は、エミッタ領域12、ベース領域14、蓄積領域16等の、半導体基板10の上面21側の各ドープ領域の少なくとも一つを含んでよい。上面21側の構造は、各トレンチ部を含んでよい。上面21側の構造は、エミッタ電極52等の、半導体基板10の上面21よりも上方の構造を含んでよい。上面21側の構造は、エッジ終端構造部90を含んでよい。

[0168] 次に基板研削段階  $S1202$  において、半導体基板10の下面23を研削して、半導体基板10を薄板化する。 $S1202$  では、半導体装置100が有すべき耐圧に応じた厚さに、半導体基板10を薄化してよい。

[0169] 次に下面側領域形成段階  $S1204$  において、半導体基板10の下面ドープ領域を形成する。下面ドープ領域は、後の工程で形成するコレクタ電極24等の下面23に形成される電極と接するドープ領域である。下面ドープ領

域は、カソード領域 8 2 およびコレクタ領域 2 2 の少なくとも一方を含んでよい。

[0170] 次に第 1 イオン注入段階 S 1 2 0 6 において、バッファ領域 2 0 を形成するためのイオンを半導体基板 1 0 に注入する。S 1 2 0 6 においては、半導体基板 1 0 の下面 2 3 から、バッファ領域 2 0 を形成すべき領域にイオン注入してよい。S 1 2 0 6 においては、水素イオン（例えばプロトン）、または、リンイオン等のドナーイオンを注入してよい。

[0171] 次に第 1 アニール段階 S 1 2 0 8 において、半導体基板 1 0 を熱アニールする。S 1 2 0 8 では、半導体基板 1 0 を電気炉に投入して、半導体基板 1 0（またはウエハー）の全体をアニールしてよい。S 1 2 0 8 におけるアニール温度は、3 2 0 °C 以上、4 2 0 °C 以下であってよい。S 1 2 0 8 では、水素および窒素を含む雰囲気アニールしてよい。

[0172] 次に第 2 イオン注入段階 S 1 2 1 0 において、再結合中心密度ピーク 2 2 0 を形成するためのイオンを、半導体基板 1 0 に注入する。S 1 2 1 0 においては、半導体基板 1 0 の下面 2 3 からイオンを注入してよい。S 1 2 1 0 においては、プロトン等の水素イオン、または、ヘリウムイオンを注入してよい。本例では、ヘリウムイオンを注入する。

[0173] S 1 2 1 0 では、図 4 A から図 1 1 において説明した再結合中心密度ピーク 2 2 0 を形成する。ヘリウムイオン等の加速エネルギーを順次変更することで、深さ方向の複数の位置に再結合中心密度ピーク 2 2 0 を形成できる。S 1 2 1 0 では、深さ方向の複数の位置のうち、下面 2 3 に対して近い位置から順番にヘリウムイオン等を注入してよく、下面 2 3 に対して遠い位置から順番にヘリウムイオン等を注入してもよい。本例では、下面 2 3 に対して遠い位置から順番にヘリウムイオンを注入する。また、S 1 2 1 0 では、ドーズ量が大きい再結合中心密度ピーク 2 2 0 から順番にイオン注入してよく、ドーズ量が小さい再結合中心密度ピーク 2 2 0 から順番にイオン注入してもよい。

[0174] 次に第 2 アニール段階 S 1 2 1 2 において、半導体基板 1 0 を熱アニール

する。S 1 2 1 2では、半導体基板10を電気炉に投入して、半導体基板10（またはウエハー）の全体をアニールしてよい。S 1 2 1 2におけるアニール温度は、S 1 2 0 8におけるアニール温度よりも低くてよい。S 1 2 1 2におけるアニール温度は、300℃以上、400℃以下であってよい。S 1 2 1 2では、窒素雰囲気、または、水素および窒素を含む雰囲気でアニールしてよい。

[0175] S 1 2 1 2は、S 1 2 1 0において一つの深さ位置にヘリウムイオン等を注入する毎に行ってもよく、複数の深さ位置にヘリウムイオン等を注入する毎に行ってもよい。S 1 2 1 0とS 1 2 1 2の工程のセットを、複数回繰り返してよい（S 1 2 1 3）。

[0176] 次に下面電極形成段階S 1 2 1 4において、下面23に接する電極を形成する。S 1 2 1 4では、コレクタ電極24を形成してよい。このような工程により、半導体装置100を形成できる。

[0177] 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。

[0178] 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

[0179] 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  
、35・・・谷部、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、100・・・半導体装置、103・・・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、160・・・  
・・・活性部、162・・・端辺、164・・・ゲートパッド、210・・・再  
結合中心密度ピーク、220・・・再結合中心密度ピーク、221・・・ヘ  
リウム化学濃度ピーク

## 請求の範囲

- [請求項1] 上面および下面を有し、第1導電型のドリフト領域を有する半導体基板と、
- 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、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、
- 第1の再結合中心密度ピークと、
- 前記第1の再結合中心密度ピークよりも前記半導体基板の前記上面側に配置された第2の再結合中心密度ピークと
- を有し、
- 前記第2の再結合中心密度ピークの深さ方向における積分値は、前記第1の再結合中心密度ピークの深さ方向における積分値よりも大きい半導体装置。
- [請求項2] 前記バッファ領域は、前記第2の再結合中心密度ピークよりも前記半導体基板の前記下面から離れて配置された第3の再結合中心密度ピークを有し、
- 前記第2の再結合中心密度ピークの深さ方向における積分値は、前記第3の再結合中心密度ピークの深さ方向における積分値よりも大きい
- 請求項1に記載の半導体装置。
- [請求項3] 前記第2の再結合中心密度ピークのピーク値は、前記第1の再結合中心密度ピークのピーク値および前記第3の再結合中心密度ピークのピーク値のいずれよりも大きい
- 請求項2に記載の半導体装置。
- [請求項4] 前記バッファ領域は、前記半導体基板の深さ方向において1つ以上のドーピング濃度ピークを有し、

前記第1の再結合中心密度ピークは、いずれかの前記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間に配置され、

前記第2の再結合中心密度ピークは、前記いずれかの前記ドーピング濃度ピークと前記半導体基板の前記上面との間に配置されている請求項2に記載の半導体装置。

[請求項5] 前記1つ以上のドーピング濃度ピークは、前記半導体基板の前記下面に最も近い最浅ドーピング濃度ピークを含み、

前記第1の再結合中心密度ピークは、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間に配置され、

前記第2の再結合中心密度ピークは、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上面との間に配置されている請求項4に記載の半導体装置。

[請求項6] 前記バッファ領域は、前記ドーピング濃度ピークを3つ以上有し、前記第2の再結合中心密度ピークは、いずれか2つの前記ドーピング濃度ピークの間配置されており、

前記第3の再結合中心密度ピークは、前記第2の再結合中心密度ピークとは異なるいずれか2つの前記ドーピング濃度ピークの間配置されている

請求項5に記載の半導体装置。

[請求項7] 3つ以上の前記ドーピング濃度ピークは、前記半導体基板の前記下面から最も離れて配置された第1上面側ドーピング濃度ピークと、

前記第1上面側ドーピング濃度ピークと深さ方向において隣り合う第2上面側ドーピング濃度ピークと

を含み、

前記第3の再結合中心密度ピークは、前記第2上面側ドーピング濃度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6に記載の半導体装置。

- [請求項8] 前記第1上面側ドーピング濃度ピークと、前記第2上面側ドーピング濃度ピークとの間には、再結合中心密度ピークが配置されていない請求項7に記載の半導体装置。
- [請求項9] 前記ドーピング濃度ピークは、水素ドナーの濃度ピークである請求項4から8のいずれか一項に記載の半導体装置。
- [請求項10] 最も前記下面に近い前記ドーピング濃度ピークは、リンの濃度ピークであり、  
前記最も前記下面に近い前記ドーピング濃度ピーク以外の前記ドーピング濃度ピークは、水素ドナーの濃度ピークである  
請求項4から8のいずれか一項に記載の半導体装置。
- [請求項11] 前記半導体基板には、トランジスタ部およびダイオード部が配列方向に並んで配列されており、  
前記ダイオード部は、前記バッファ領域を有する  
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12] 前記トランジスタ部は、前記バッファ領域を有し、  
前記ダイオード部および前記トランジスタ部において、前記第1の再結合中心密度ピークの前記積分値が同一である  
請求項11に記載の半導体装置。
- [請求項13] 前記第1の再結合中心密度ピークは第1のヘリウム化学濃度ピークであり、  
前記第2の再結合中心密度ピークは第2のヘリウム化学濃度ピークであり、  
前記第3の再結合中心密度ピークは第3のヘリウム化学濃度ピークである  
請求項2から8のいずれか一項に記載の半導体装置。
- [請求項14] 前記第2のヘリウム化学濃度ピークの前記深さ方向における積分値が $1 \times 10^{11}$  ( $/\text{cm}^2$ ) 以上、 $1 \times 10^{12}$  ( $/\text{cm}^2$ ) 以下である  
請求項13に記載の半導体装置。

- [請求項15] 前記第1のヘリウム化学濃度ピークの前記深さ方向における積分値が $1 \times 10^{11}$  ( $/\text{cm}^2$ ) 以上、 $1 \times 10^{12}$  ( $/\text{cm}^2$ ) 以下である請求項14に記載の半導体装置。
- [請求項16] 前記第3のヘリウム化学濃度ピークの前記深さ方向における積分値が $1 \times 10^{10}$  ( $/\text{cm}^2$ ) 以上、 $1 \times 10^{11}$  ( $/\text{cm}^2$ ) 以下である請求項15に記載の半導体装置。
- [請求項17] 上面および下面を有し、第1導電型のドリフト領域を有する半導体基板と、  
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、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、  
前記半導体基板の前記下面の最も近くに配置された最浅ドーピング濃度ピークを含む、深さ方向の異なる位置に設けられた2つ以上のドーピング濃度ピークと、  
前記半導体基板の前記下面と前記最浅ドーピング濃度ピークとの間、および、深さ方向において隣り合う2つの前記ドーピング濃度ピークの間設けられた複数のピーク間領域と  
を有し、  
前記複数のピーク間領域は、  
1つ以上の第1の再結合中心密度ピークが設けられた第1のピーク間領域と、  
前記第1のピーク間領域よりも前記半導体基板の前記下面から離れて配置され、1つ以上の第2の再結合中心密度ピークが設けられた第2のピーク間領域と  
を含み、  
前記第2のピーク間領域の再結合中心密度の深さ方向における積分

値は、前記第1のピーク間領域の再結合中心密度の深さ方向における積分値よりも大きい半導体装置。

[請求項18] 前記第1の再結合中心密度ピークは第1のヘリウム化学濃度ピークであり、

前記第2の再結合中心密度ピークは第2のヘリウム化学濃度ピークであり、

前記第2のヘリウム化学濃度ピークの深さ方向における積分値は、前記第1のヘリウム化学濃度ピークの深さ方向における積分値よりも大きい

請求項17に記載の半導体装置。

[請求項19] 前記第2のヘリウム化学濃度ピークの前記積分値が $1 \times 10^{11}$  ( $/\text{cm}^2$ ) 以上、 $1 \times 10^{12}$  ( $/\text{cm}^2$ ) 以下である

請求項18に記載の半導体装置。

[請求項20] 前記第1のヘリウム化学濃度ピークの前記積分値が $0.9 \times 10^{11}$  ( $/\text{cm}^2$ ) 以上、 $0.9 \times 10^{12}$  ( $/\text{cm}^2$ ) 以下である

請求項18または19に記載の半導体装置。

補正された請求の範囲  
[2023年9月15日(15.09.2023) 国際事務局受理]

- [請求項1] 上面および下面を有し、第1導電型のドリフト領域を有する半導体基板と、  
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、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、  
第1の再結合中心密度ピークと、  
前記第1の再結合中心密度ピークよりも前記半導体基板の前記上面側に配置された第2の再結合中心密度ピークと  
を有し、  
前記第2の再結合中心密度ピークの深さ方向における積分値は、前記第1の再結合中心密度ピークの深さ方向における積分値よりも大きい半導体装置。
- [請求項2] 前記バッファ領域は、前記第2の再結合中心密度ピークよりも前記半導体基板の前記下面から離れて配置された第3の再結合中心密度ピークを有し、  
前記第2の再結合中心密度ピークの深さ方向における積分値は、前記第3の再結合中心密度ピークの深さ方向における積分値よりも大きい  
請求項1に記載の半導体装置。
- [請求項3] 前記第2の再結合中心密度ピークのピーク値は、前記第1の再結合中心密度ピークのピーク値および前記第3の再結合中心密度ピークのピーク値のいずれよりも大きい  
請求項2に記載の半導体装置。

- [請求項4] 前記バッファ領域は、前記半導体基板の深さ方向において1つ以上のドーピング濃度ピークを有し、  
前記第1の再結合中心密度ピークは、いずれかの前記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間に配置され、  
前記第2の再結合中心密度ピークは、前記いずれかの前記ドーピング濃度ピークと前記半導体基板の前記上面との間に配置されている  
請求項2に記載の半導体装置。
- [請求項5] 前記1つ以上のドーピング濃度ピークは、前記半導体基板の前記下面に最も近い最浅ドーピング濃度ピークを含み、  
前記第1の再結合中心密度ピークは、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間に配置され、  
前記第2の再結合中心密度ピークは、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上面との間に配置されている  
請求項4に記載の半導体装置。
- [請求項6] 前記バッファ領域は、前記ドーピング濃度ピークを3つ以上有し、  
前記第2の再結合中心密度ピークは、いずれか2つの前記ドーピング濃度ピークの間配置されており、  
前記第3の再結合中心密度ピークは、前記第2の再結合中心密度ピークとは異なるいずれか2つの前記ドーピング濃度ピークの間配置されている  
請求項5に記載の半導体装置。
- [請求項7] 3つ以上の前記ドーピング濃度ピークは、  
前記半導体基板の前記下面から最も離れて配置された第1上面側ドーピング濃度ピークと、  
前記第1上面側ドーピング濃度ピークと深さ方向において隣り合う第2上面側ドーピング濃度ピークと  
を含み、  
前記第3の再結合中心密度ピークは、前記第2上面側ドーピング濃

度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6に記載の半導体装置。

[請求項8] 前記第1上面側ドーピング濃度ピークと、前記第2上面側ドーピング濃度ピークとの間には、再結合中心密度ピークが配置されていない  
請求項7に記載の半導体装置。

[請求項9] 前記ドーピング濃度ピークは、水素ドナーの濃度ピークである  
請求項4から8のいずれか一項に記載の半導体装置。

[請求項10] 最も前記下面に近い前記ドーピング濃度ピークは、リンの濃度ピークであり、  
前記最も前記下面に近い前記ドーピング濃度ピーク以外の前記ドーピング濃度ピークは、水素ドナーの濃度ピークである  
請求項4から8のいずれか一項に記載の半導体装置。

[請求項11] 前記半導体基板には、トランジスタ部およびダイオード部が配列方向に並んで配列されており、  
前記ダイオード部は、前記バッファ領域を有する  
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12] 前記トランジスタ部は、前記バッファ領域を有し、  
前記ダイオード部および前記トランジスタ部において、前記第1の再結合中心密度ピークの前記積分値が同一である  
請求項11に記載の半導体装置。

[請求項13] 前記第1の再結合中心密度ピークは第1のヘリウム化学濃度ピークであり、  
前記第2の再結合中心密度ピークは第2のヘリウム化学濃度ピークであり、  
前記第3の再結合中心密度ピークは第3のヘリウム化学濃度ピークである  
請求項2から8のいずれか一項に記載の半導体装置。

- [請求項14] 前記第2のヘリウム化学濃度ピークの前記深さ方向における積分値が $1 \times 10^{11}$  ( $\text{cm}^{-2}$ ) 以上、 $1 \times 10^{12}$  ( $\text{cm}^{-2}$ ) 以下である請求項13に記載の半導体装置。
- [請求項15] 前記第1のヘリウム化学濃度ピークの前記深さ方向における積分値が $1 \times 10^{11}$  ( $\text{cm}^{-2}$ ) 以上、 $1 \times 10^{12}$  ( $\text{cm}^{-2}$ ) 以下である請求項14に記載の半導体装置。
- [請求項16] 前記第3のヘリウム化学濃度ピークの前記深さ方向における積分値が $1 \times 10^{10}$  ( $\text{cm}^{-2}$ ) 以上、 $1 \times 10^{11}$  ( $\text{cm}^{-2}$ ) 以下である請求項15に記載の半導体装置。
- [請求項17] 上面および下面を有し、第1導電型のドリフト領域を有する半導体基板と、  
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、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、  
前記半導体基板の前記下面の最も近くに配置された最浅ドーピング濃度ピークを含む、深さ方向の異なる位置に設けられた2つ以上のドーピング濃度ピークと、  
前記半導体基板の前記下面と前記最浅ドーピング濃度ピークとの間、および、深さ方向において隣り合う2つの前記ドーピング濃度ピークの間、に設けられた複数のピーク間領域と  
を有し、  
前記複数のピーク間領域は、  
1つ以上の第1の再結合中心密度ピークが設けられた第1のピーク間領域と、  
前記第1のピーク間領域よりも前記半導体基板の前記下面から離れて配置され、1つ以上の第2の再結合中心密度ピークが設けられた第

2のピーク間領域と

を含み、

前記第2のピーク間領域の再結合中心密度の深さ方向における積分値は、前記第1のピーク間領域の再結合中心密度の深さ方向における積分値よりも大きい半導体装置。

[請求項18] 前記第1の再結合中心密度ピークは第1のヘリウム化学濃度ピークであり、

前記第2の再結合中心密度ピークは第2のヘリウム化学濃度ピークであり、

前記第2のヘリウム化学濃度ピークの深さ方向における積分値は、前記第1のヘリウム化学濃度ピークの深さ方向における積分値よりも大きい

請求項17に記載の半導体装置。

[請求項19] 前記第2のヘリウム化学濃度ピークの前記積分値が $1 \times 10^{11}$  ( $\text{cm}^2$ ) 以上、 $1 \times 10^{12}$  ( $\text{cm}^2$ ) 以下である

請求項18に記載の半導体装置。

[請求項20] 前記第1のヘリウム化学濃度ピークの前記積分値が $0.9 \times 10^{11}$  ( $\text{cm}^2$ ) 以上、 $0.9 \times 10^{12}$  ( $\text{cm}^2$ ) 以下である

請求項18または19に記載の半導体装置。

[請求項21] (追加)

前記第2の再結合中心密度ピークの深さ方向における積分値は、前記第1の再結合中心密度ピークの深さ方向における積分値の2倍以上である

請求項1に記載の半導体装置。

[請求項22] (追加)

前記第2の再結合中心密度ピークのピーク値は、前記第1の再結合中心密度ピークのピーク値よりも大きい

請求項1に記載の半導体装置。

## [請求項23] (追加)

前記ドリフト領域と前記半導体基板の前記上面との間に設けられた第2導電型のベース領域を更に備え、

前記半導体装置にアバランシェ降伏が発生した場合に、前記ベース領域の下端から前記半導体基板の下面に向かって広がる空乏層が到達する最も下面側の位置である空乏層エッジ位置が、前記第1の再結合中心密度ピークと前記第2の再結合中心密度ピークの間位置している

請求項1に記載の半導体装置。

## [請求項24] (追加)

前記第2のピーク間領域の再結合中心密度の深さ方向における積分値は、前記第1のピーク間領域の再結合中心密度の深さ方向における積分値の2倍以上である

請求項17に記載の半導体装置。

## [請求項25] (追加)

いずれかの前記ピーク間領域には、複数の再結合中心密度ピークが設けられている

請求項17に記載の半導体装置。

## [請求項26] (追加)

前記複数のピーク間領域は、

前記第2のピーク間領域よりも前記半導体基板の前記下面から離れて配置され、1つ以上の第3の再結合中心密度ピークが設けられた第3のピーク間領域

を更に含む

請求項17に記載の半導体装置。

## [請求項27] (追加)

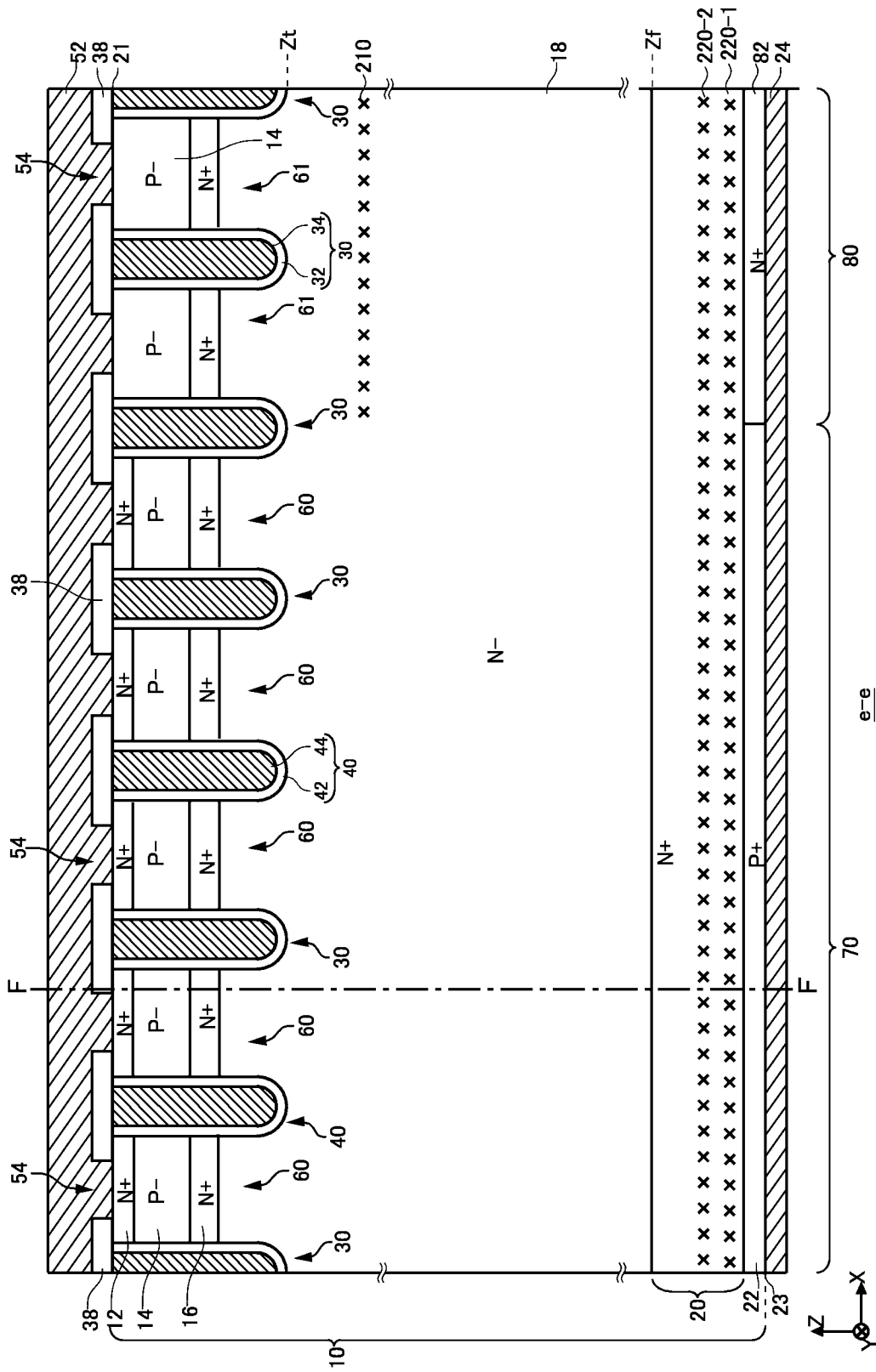
前記第2のヘリウム化学濃度ピークのピーク値は、前記第1のヘリウム化学濃度ピークのピーク値よりも大きい

請求項 1 3 に記載の半導体装置。

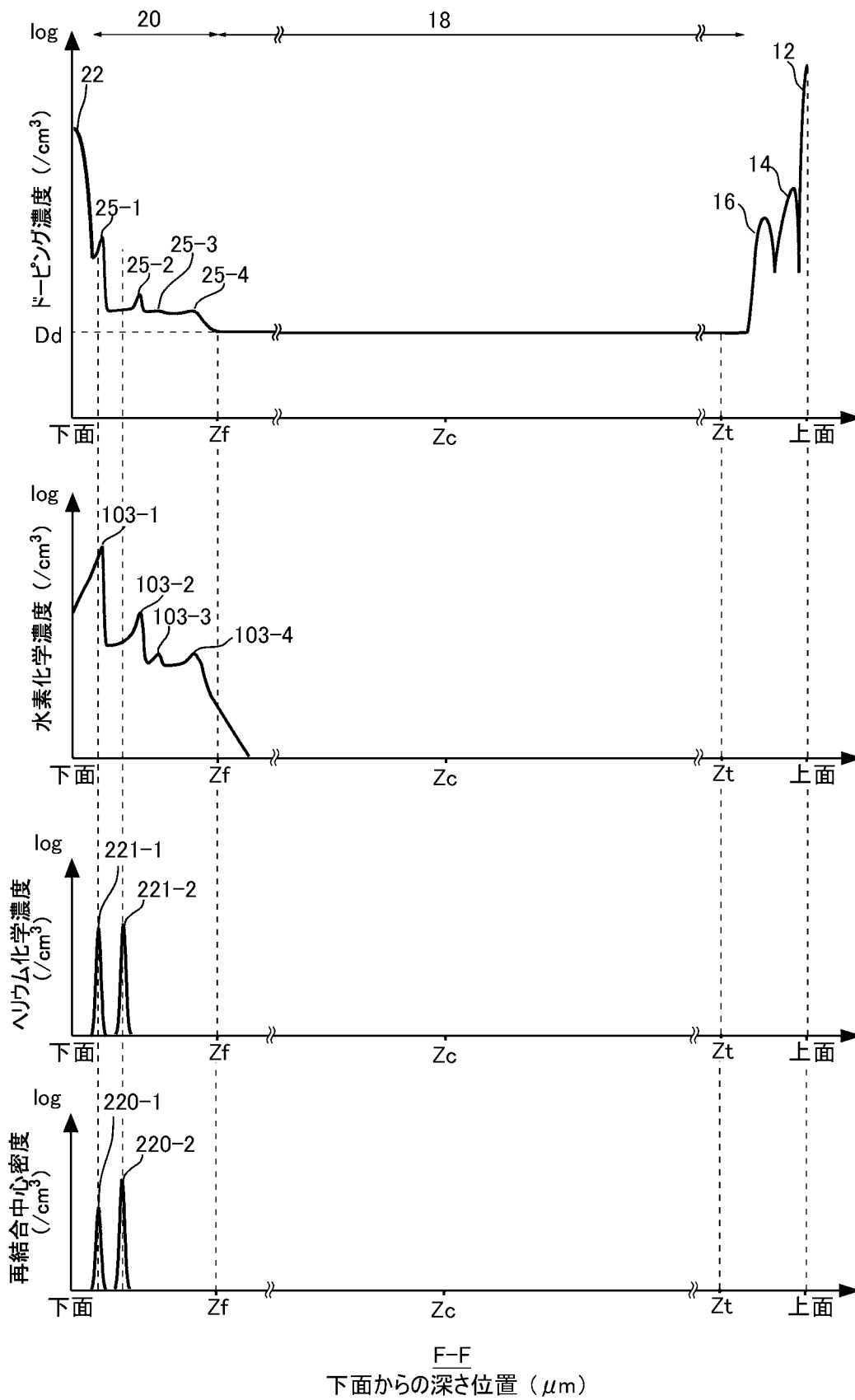




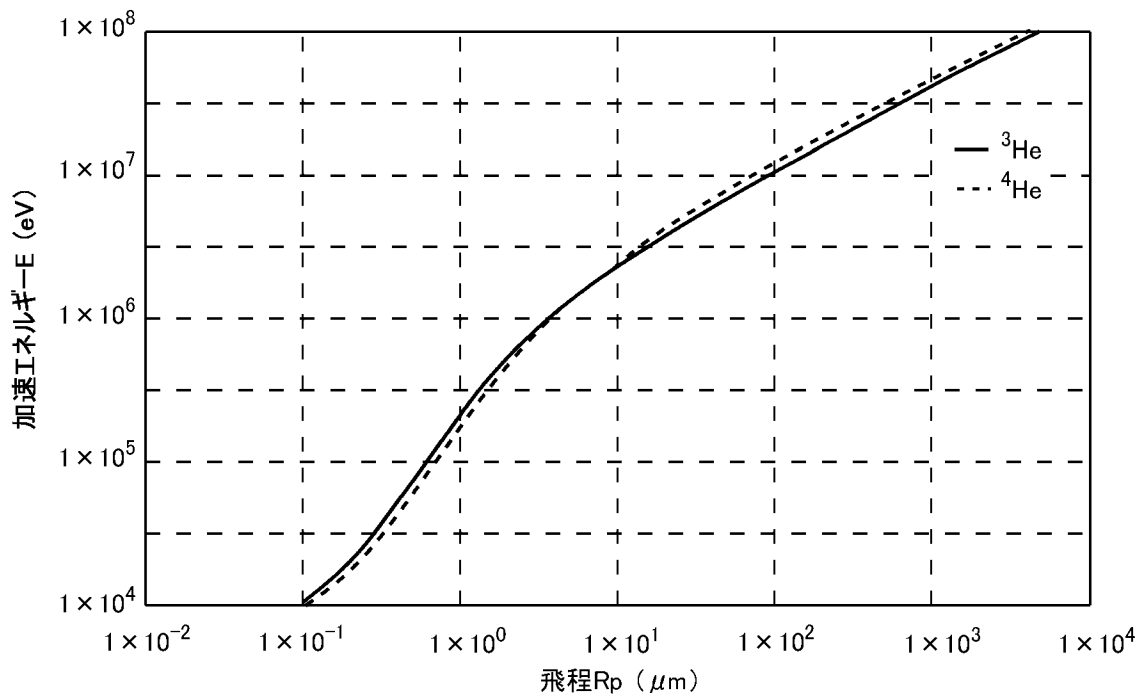
[3]



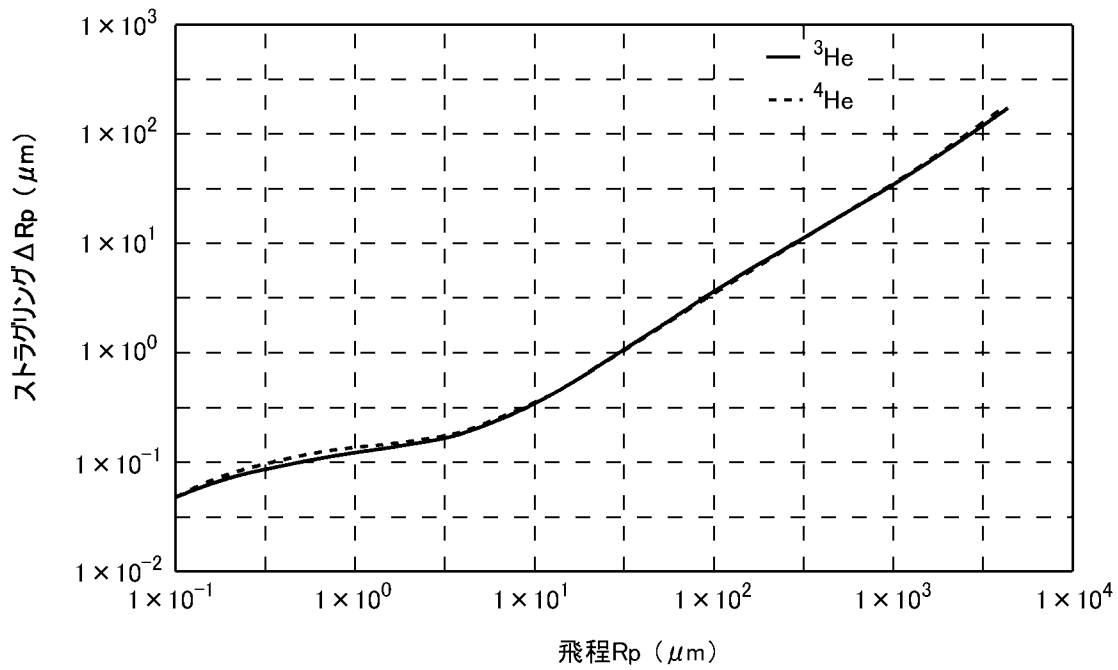
[図4A]



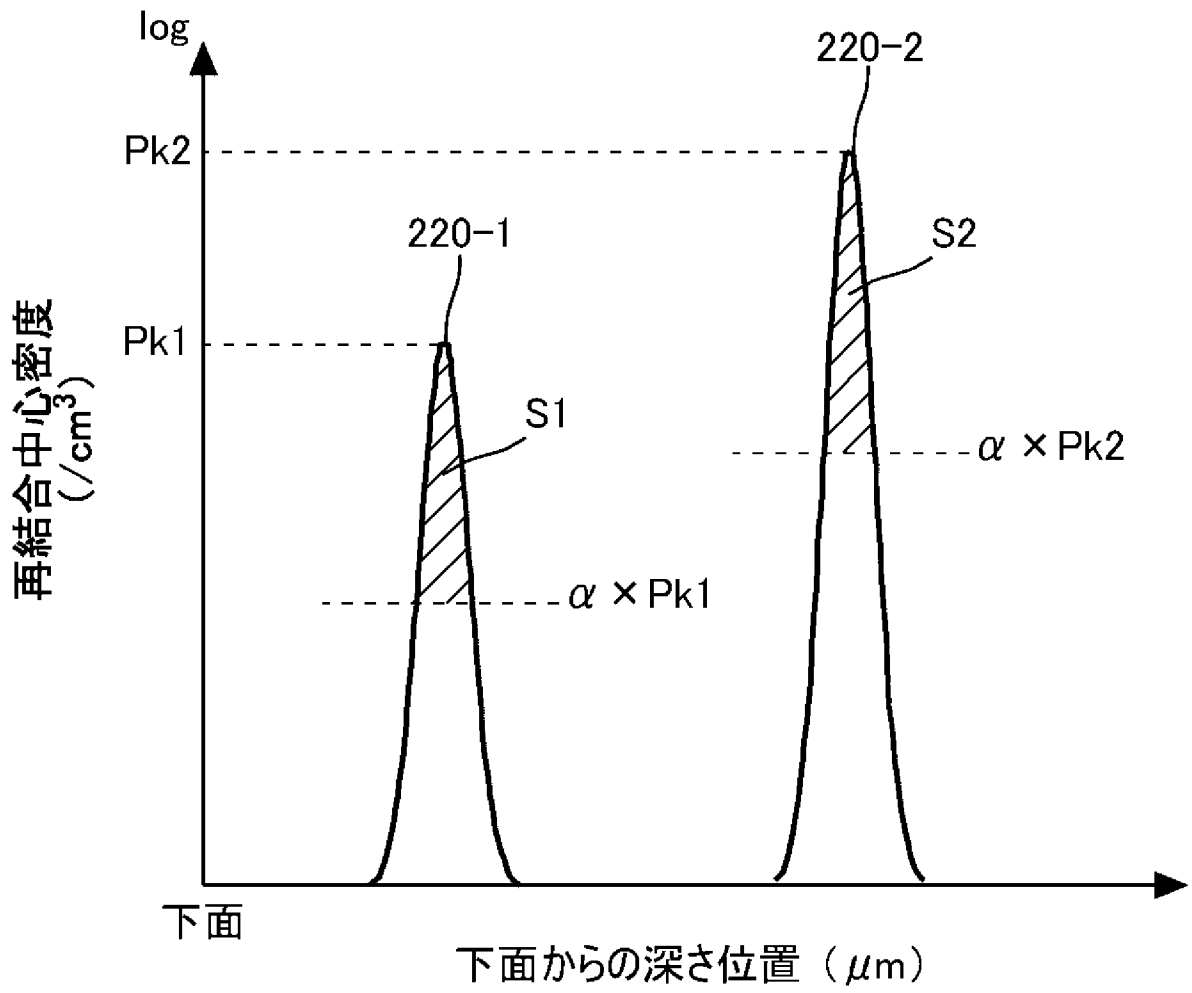
[図4B]



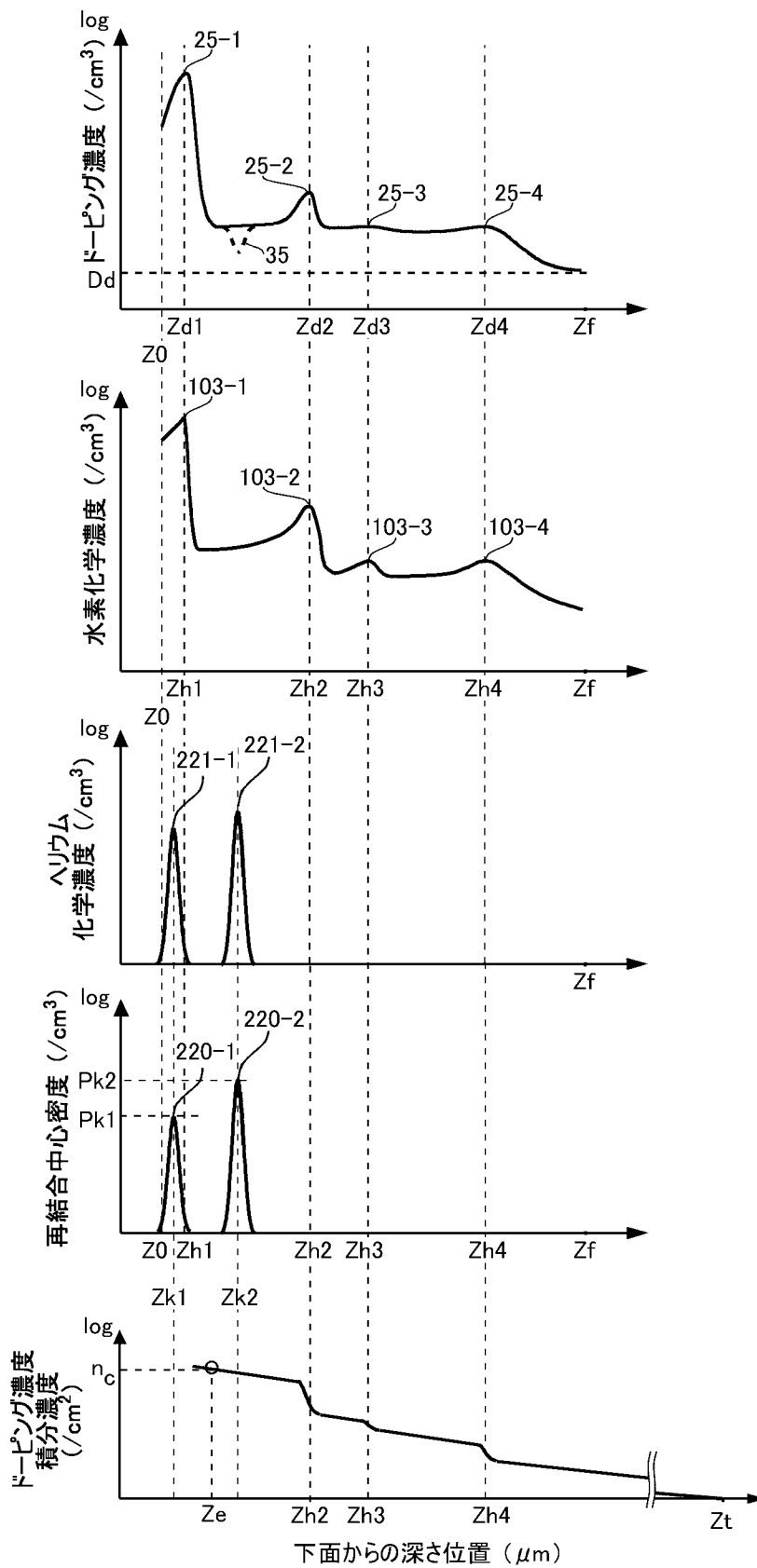
[図4C]



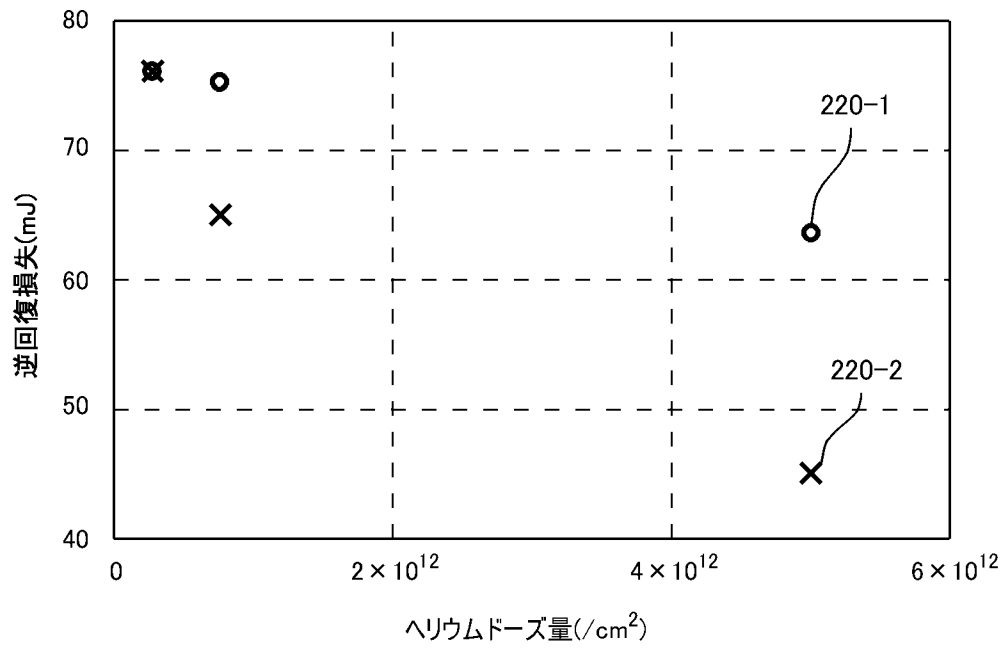
[図5]



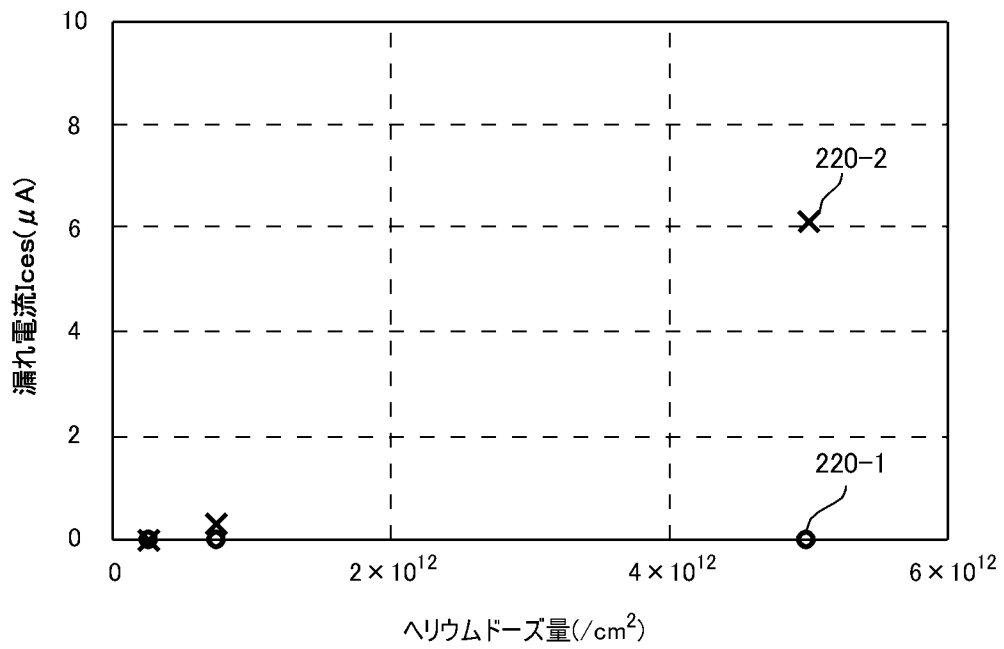
[図6]



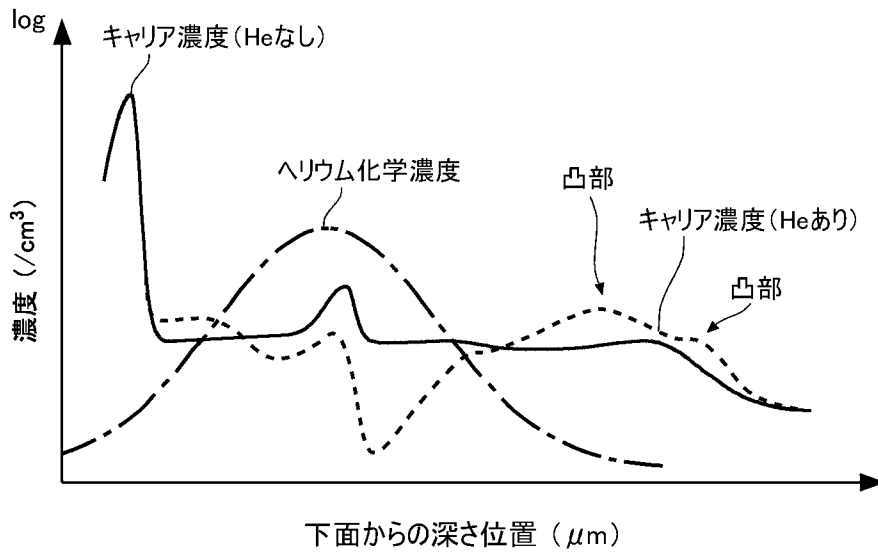
[図7]



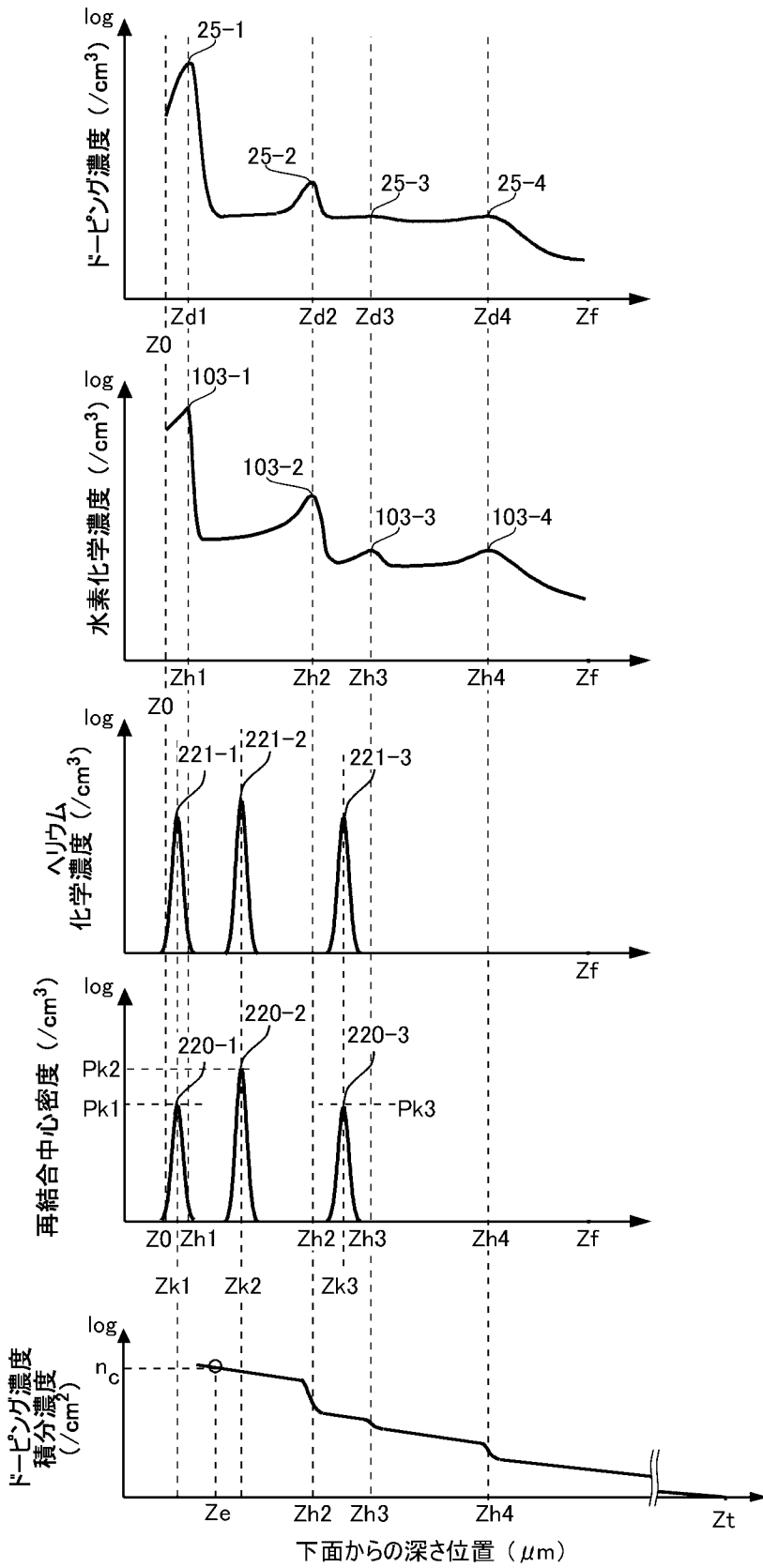
[図8]



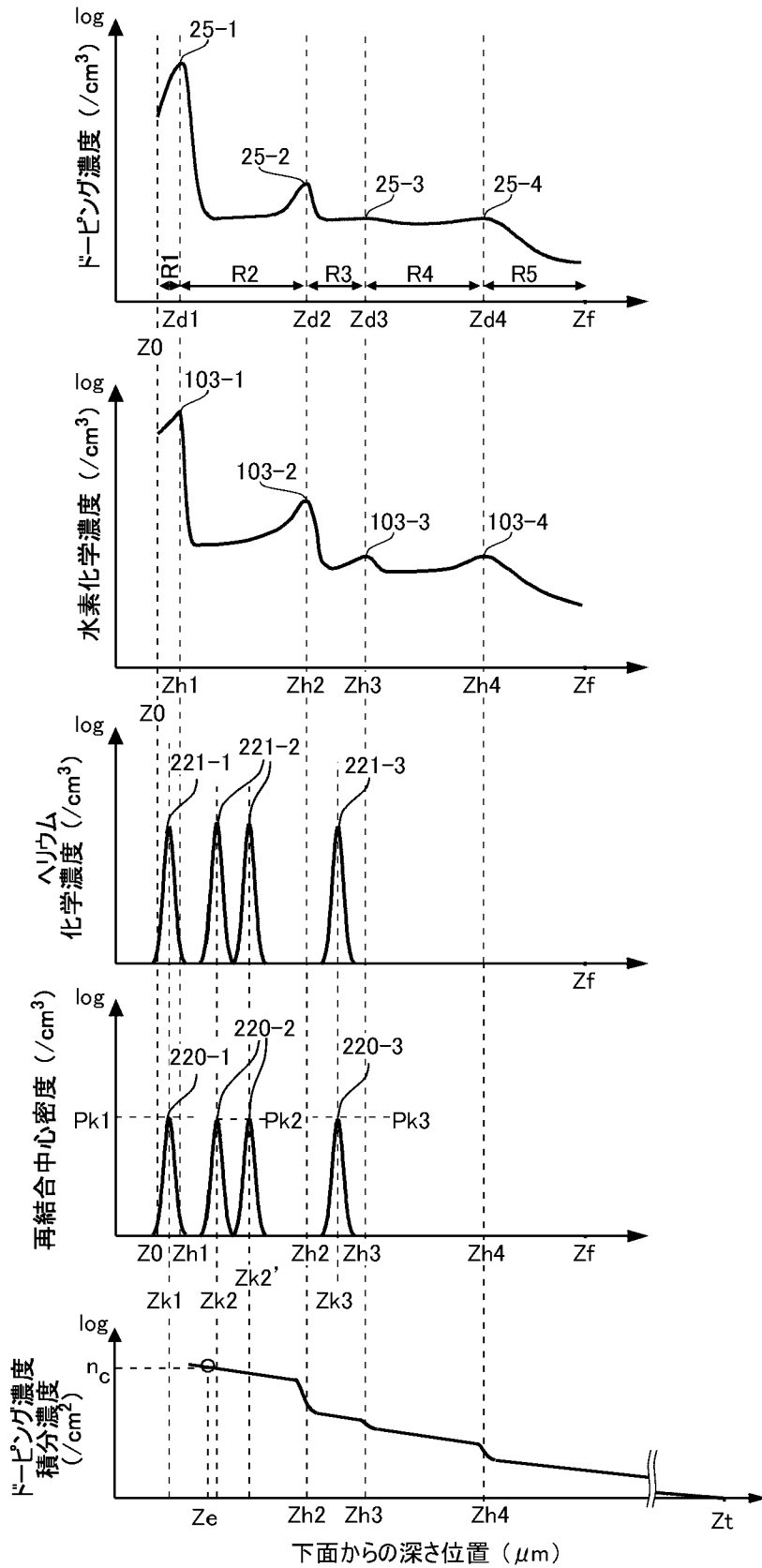
[図9]



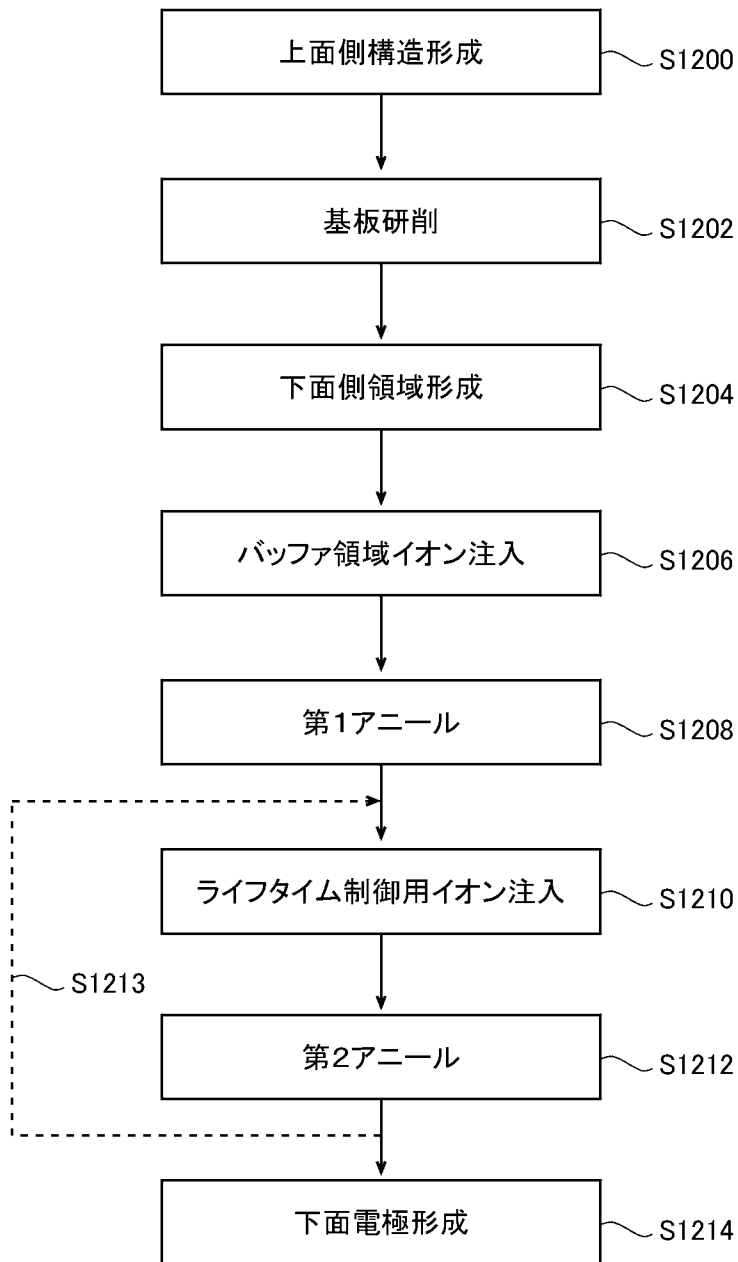
[図10]



[図11]



[図12]



## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2023/016589

<b>A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER</b>		
<p><b>H01L 29/78</b>(2006.01)i; <b>H01L 21/322</b>(2006.01)i; <b>H01L 21/336</b>(2006.01)i; <b>H01L 21/8234</b>(2006.01)i; <b>H01L 27/06</b>(2006.01)i; <b>H01L 27/088</b>(2006.01)i; <b>H01L 29/06</b>(2006.01)i; <b>H01L 29/739</b>(2006.01)i; <b>H01L 29/861</b>(2006.01)i; <b>H01L 29/868</b>(2006.01)i</p> <p>FI: H01L29/78 658H; H01L29/78 657D; H01L29/78 652Q; H01L29/78 655F; H01L29/78 655G; H01L29/78 653A; H01L29/78 652J; H01L29/91 C; H01L29/91 J; H01L29/78 655B; H01L29/06 301D; H01L29/06 301V; H01L21/322 L; H01L27/06 102A; H01L27/088 B; H01L27/088 E</p> <p>According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC</p>		
<b>B. FIELDS SEARCHED</b>		
Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)		
H01L21/322; H01L21/8234; H01L27/06; H01L27/088; 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		
<p>Published examined utility model applications of Japan 1922-1996</p> <p>Published unexamined utility model applications of Japan 1971-2023</p> <p>Registered utility model specifications of Japan 1996-2023</p> <p>Published registered utility model applications of Japan 1994-2023</p>		
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.
X	JP 2021-073733 A (FUJI ELECTRIC CO., LTD.) 13 May 2021 (2021-05-13)	1, 11-12, 17-20
A	paragraphs [0101]-[0132], [0182], fig. 7, 9	2-10, 13-16
A	WO 2019/159471 A1 (FUJI ELECTRIC CO., LTD.) 22 August 2019 (2019-08-22)	1-20
A	JP 2013-138172 A (DENSO CORP.) 11 July 2013 (2013-07-11)	1-20
A	WO 2020/036015 A1 (FUJI ELECTRIC CO., LTD.) 20 February 2020 (2020-02-20)	1-20
<input type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input checked="" type="checkbox"/> See patent family annex.		
<p>* Special categories of cited documents:</p> <p>“A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance</p> <p>“E” earlier application or patent but published on or after the international filing date</p> <p>“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)</p> <p>“O” document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means</p> <p>“P” document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed</p> <p>“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</p> <p>“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</p> <p>“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</p> <p>“&amp;” document member of the same patent family</p>		
Date of the actual completion of the international search		Date of mailing of the international search report
07 July 2023		18 July 2023
Name and mailing address of the ISA/JP		Authorized officer
<p>Japan Patent Office (ISA/JP)</p> <p>3-4-3 Kasumigaseki, Chiyoda-ku, Tokyo 100-8915</p> <p>Japan</p>		Telephone No.

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

International application No.

**PCT/JP2023/016589**

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)	Publication date (day/month/year)
JP	2021-073733	A	13 May 2021	US 2020/0194562 A1 paragraphs [0133]-[0164], [0214], fig. 7, 9	
				DE 112019000094 T5	
				CN 111095569 A	
WO	2019/159471	A1	22 August 2019	US 2020/0161479 A1	
				DE 112018007102 T5	
				CN 111095565 A	
JP	2013-138172	A	11 July 2013	US 2014/0299915 A1	
				DE 112012004985 T5	
				CN 103959473 A	
WO	2020/036015	A1	20 February 2020	US 2020/0357903 A1	
				CN 111656497 A	

<p>A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC））</p> <p>H01L 29/78(2006.01)i; H01L 21/322(2006.01)i; H01L 21/336(2006.01)i; H01L 21/8234(2006.01)i;                  H01L 27/06(2006.01)i; H01L 27/088(2006.01)i; H01L 29/06(2006.01)i; H01L 29/739(2006.01)i;                  H01L 29/861(2006.01)i; H01L 29/868(2006.01)i                  FI: H01L29/78 658H; H01L29/78 657D; H01L29/78 652Q; H01L29/78 655F; H01L29/78 655G; H01L29/78                  653A; H01L29/78 652J; H01L29/91 C; H01L29/91 J; H01L29/78 655B; H01L29/06 301D; H01L29/06 301V;                  H01L21/322 L; H01L27/06 102A; H01L27/088 B; H01L27/088 E</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>H01L21/322; H01L21/8234; H01L27/06; H01L27/088; H01L29/06; H01L29/78; H01L29/739; H01L21/336;                  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 - 2023年</td> </tr> <tr> <td>日本国実用新案登録公報</td> <td>1996 - 2023年</td> </tr> <tr> <td>日本国登録実用新案公報</td> <td>1994 - 2023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 - 2023年	日本国実用新案登録公報	1996 - 2023年	日本国登録実用新案公報	1994 - 2023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 - 2023年																			
日本国実用新案登録公報	1996 - 2023年																			
日本国登録実用新案公報	1994 - 2023年																			
<p>C. 関連すると認められる文献</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>引用文献の カテゴリー*</th> <th>引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示</th> <th>関連する 請求項の番号</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>X</td> <td>JP 2021-073733 A (富士電機株式会社) 13.05.2021 (2021 - 05 - 13) [0101]-[0132], [0182], 図7,9</td> <td>1, 11-12, 17-20</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td></td> <td>2-10, 13-16</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>WO 2019/159471 A1 (富士電機株式会社) 22.08.2019 (2019 - 08 - 22)</td> <td>1-20</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)</td> <td>1-20</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>WO 2020/036015 A1 (富士電機株式会社) 20.02.2020 (2020 - 02 - 20)</td> <td>1-20</td> </tr> </tbody> </table> <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> <p>* 引用文献のカテゴリー                  “A” 特に関連のある文献ではなく、一般的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                  “&amp;” 同一パテントファミリー文献</p>			引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号	X	JP 2021-073733 A (富士電機株式会社) 13.05.2021 (2021 - 05 - 13) [0101]-[0132], [0182], 図7,9	1, 11-12, 17-20	A		2-10, 13-16	A	WO 2019/159471 A1 (富士電機株式会社) 22.08.2019 (2019 - 08 - 22)	1-20	A	JP 2013-138172 A (株式会社デンソー) 11.07.2013 (2013 - 07 - 11)	1-20	A	WO 2020/036015 A1 (富士電機株式会社) 20.02.2020 (2020 - 02 - 20)	1-20
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号																		
X	JP 2021-073733 A (富士電機株式会社) 13.05.2021 (2021 - 05 - 13) [0101]-[0132], [0182], 図7,9	1, 11-12, 17-20																		
A		2-10, 13-16																		
A	WO 2019/159471 A1 (富士電機株式会社) 22.08.2019 (2019 - 08 - 22)	1-20																		
A	JP 2013-138172 A (株式会社デンソー) 11.07.2013 (2013 - 07 - 11)	1-20																		
A	WO 2020/036015 A1 (富士電機株式会社) 20.02.2020 (2020 - 02 - 20)	1-20																		
<p>国際調査を完了した日</p> <p>07.07.2023</p>	<p>国際調査報告の発送日</p> <p>18.07.2023</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>鈴木 聡一郎 5F 2576</p> <p>電話番号 03-3581-1101 内線 3516</p>																			

国際調査報告  
 パテントファミリーに関する情報

国際出願番号

PCT/JP2023/016589

引用文献			公表日	パテントファミリー文献			公表日
JP	2021-073733	A	13.05.2021	US	2020/0194562	A1	
					[0133]-[0164], [0214], 図		
					7,9		
				DE	112019000094	T5	
				CN	111095569	A	
WO	2019/159471	A1	22.08.2019	US	2020/0161479	A1	
				DE	112018007102	T5	
				CN	111095565	A	
JP	2013-138172	A	11.07.2013	US	2014/0299915	A1	
				DE	112012004985	T5	
				CN	103959473	A	
WO	2020/036015	A1	20.02.2020	US	2020/0357903	A1	
				CN	111656497	A	