

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))

differing from the first region and which has a second chemical concentration peak of the first impurity at the first depth position, wherein at the first depth position, the concentration of recombination centers in the second region is lower than the concentration of recombination centers in the first region.

(57) 要約: キャリアライフタイムを調整する領域を、容易に且つ半導体基板の所定の面に対するダメージが小さい方法で形成する。上面および下面を有する半導体基板と、半導体基板の上面側の領域に設けられ、第1深さ位置に第1不純物の第1化学濃度ピークを有する第1領域と、半導体基板において第1領域とは異なる領域に設けられ、第1深さ位置に第1不純物の第2化学濃度ピークを有する第2領域とを備え、第1深さ位置において、第2領域の再結合中心の濃度が、第1領域の再結合中心の濃度よりも低い半導体装置を提供する。

明 細 書

発明の名称：半導体装置および半導体装置の製造方法

技術分野

[0001] 本発明は、半導体装置および製造方法に関する。

背景技術

[0002] 従来、半導体基板の所定の深さに水素を注入して拡散させることで、水素が通過した領域に形成された格子欠陥と水素が結合してドナー化し、ドーピング濃度を高くできる技術が知られている（例えば、特許文献1参照）。また、ダイオードの逆回復特性を向上させるべく、キャリアのライフタイムを調整する技術が知られている（例えば、特許文献2参照）。

特許文献1 再公表特許第2016-204227号

特許文献2 特開2015-185742号公報

解決しようとする課題

[0003] キャリアライフタイムを調整する領域を、容易に且つ半導体基板の所定の面に対するダメージが小さい方法で形成する。

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、上面および下面を有する半導体基板を備える半導体装置を提供する。半導体装置は、半導体基板の上面側の領域に設けられ、第1深さ位置に第1不純物の第1化学濃度ピークを有する第1領域を備えてよい。半導体装置は、半導体基板において第1領域とは異なる領域に設けられ、第1深さ位置に第1不純物の第2化学濃度ピークを有する第2領域を備えてよい。第1深さ位置において、第2領域の再結合中心の濃度が、第1領域の前記再結合中心の濃度よりも低くてよい。

[0005] 第1深さ位置において、第1領域の第1化学濃度ピークのピーク値と第2領域の第2化学濃度ピークのピーク値との比は、第1領域の再結合中心の濃度と第2領域の再結合中心の濃度との比よりも1に近くてよい。

- [0006] 第1化学濃度ピークのピーク値と、第2化学濃度ピークのピーク値とが同一であってよい。
- [0007] 第1領域は、第1深さ位置に、再結合中心の濃度ピークを有してよい。
- [0008] 第1領域における再結合中心の濃度ピークの半値全幅の深さ範囲で、第1領域における水素化学濃度を深さ方向に積分した第1積分値が、深さ範囲で第2領域における水素化学濃度を深さ方向に積分した第2積分値よりも小さくてよい。
- [0009] 第1深さ位置において、第2領域の水素化学濃度が、第1領域の水素化学濃度よりも高くてよい。
- [0010] 第1領域における第1深さ位置から半導体基板の下面までの範囲で水素化学濃度を深さ方向に積分した第3積分値が、第2領域における第1深さ位置から半導体基板の下面までの範囲で水素化学濃度を深さ方向に積分した第4積分値よりも小さくてよい。
- [0011] 半導体装置は、第1領域と半導体基板の下面との間に配置された第1下面側領域を備えてよい。半導体装置は、第2領域と半導体基板の下面との間に設けられ、第2深さ位置に水素化学濃度のピークを有する第2下面側領域を備えてよい。第1下面側領域の第2深さ位置における水素化学濃度は、第2下面側領域の第2深さ位置における水素化学濃度よりも小さくてよい。
- [0012] 半導体装置は、第1領域と半導体基板の上面との間に配置された第1上面側領域を備えてよい。半導体装置は、第2領域と半導体基板の上面との間に設けられ、第3深さ位置に水素化学濃度のピークを有する第2上面側領域を備えてよい。第2上面側領域の第3深さ位置における水素化学濃度は、第1上面側領域の第3深さ位置における水素化学濃度よりも大きくてよい。
- [0013] 第1不純物の化学濃度分布は、第1化学濃度ピークから半導体基板の上面に向かう上側裾と、第1化学濃度ピークから下面に向かう下側裾とを有してよい。上側裾は、下側裾よりも第1不純物の化学濃度が急峻に減少してよい。
- [0014] 第1不純物はヘリウムであってよい。

- [0015] 半導体装置は、半導体基板の上面に設けられたゲート絶縁膜を備えてよい。
- [0016] 半導体装置は、半導体基板に設けられたN型のドリフト領域を備えてよい。ドリフト領域と半導体基板の下面との間に設けられ、ドリフト領域よりもドーピング濃度の高いN型のバッファ領域を備えてよい。第2領域の下方におけるバッファ領域は、第2下面側領域を含んでよい。第1領域の下方におけるバッファ領域は、第1下面側領域を含んでよい。
- [0017] 第1下面側領域は、水素以外のN型ドーパントの化学濃度ピークを有してよい。
- [0018] 半導体装置は、半導体基板の下面にP型のコレクタ領域を有するトランジスタ部を備えてよい。半導体装置は、半導体基板の下面にN型のカソード領域を有するダイオード部を備えてよい。第2領域はトランジスタ部に設けられてよい。第1領域はダイオード部に設けられてよい。
- [0019] 半導体基板はN型のドリフト領域を有してよい。半導体装置は、ドリフト領域と半導体基板の下面との間にP型のコレクタ領域を有するトランジスタ部を備えてよい。半導体装置は、ドリフト領域と半導体基板の下面との間にN型のカソード領域を有するダイオード部を備えてよい。第2上面側領域はトランジスタ部に設けられてよい。第1上面側領域はダイオード部に設けられてよい。
- [0020] トランジスタ部は、ドリフト領域と半導体基板の上面との間に配置されたP型のベース領域を有してよい。第3深さ位置は、ベース領域の下端よりも上方に配置されていてよい。
- [0021] トランジスタ部は、ドリフト領域と半導体基板の上面との間に配置され、ベース領域よりもドーピング濃度の高い高濃度領域を有してよい。第3深さ位置は、高濃度領域の下端よりも浅い位置に配置されていてよい。
- [0022] 半導体装置は、半導体基板の上面の上方に配置されたエミッタ電極を備えてよい。第3深さ位置は、エミッタ電極と接する半導体基板の上面からの深さ方向の距離が1 μm 以下であってよい。

[0023] 本発明の第2の態様においては、上面および下面を有する半導体基板を備える半導体装置を提供する。半導体装置は、半導体基板に設けられた第1領域を備えてよい。半導体装置は、半導体基板において第1領域と同一の深さ位置に設けられた第2領域を備えてよい。第1領域は、第2領域よりも再結合中心の濃度が高くてよい。第2領域は、第1領域よりも水素化学濃度が高くてよい。

[0024] 本発明の第3の態様においては、半導体装置の製造方法を提供する。製造方法は、上面および下面を有する半導体基板に荷電粒子を注入して、再結合中心を形成する第1注入段階を備えてよい。製造方法は、上面視において第1注入段階で荷電粒子が注入された領域のうちの一部に、荷電粒子の飛程よりも短い飛程で水素イオンを注入する第2注入段階を備えてよい。製造方法は、半導体基板を熱処理して半導体基板中の水素を拡散させて、再結合中心を上面視において局所的に回復させる熱処理段階を備えてよい。

[0025] 熱処理段階の後に、第2注入段階で水素イオンを注入することで形成された水素化学濃度ピークを含む半導体基板の部分を研削してよい。

[0026] 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

[0027] [図1]半導体装置100の一例を示す断面図である。

[図2]半導体装置100の製造方法の一例を説明する図である。

[図3]図1および図2のA-A線およびB-B線における、荷電粒子、再結合中心および水素の濃度分布を示している。

[図4]A-A線における水素化学濃度 $D_h A$ および再結合中心濃度 $D_{rc} A$ と、B-B線における水素化学濃度 $D_h B$ および再結合中心濃度 $D_{rc} B$ を比較する図である。

[図5]図1および図2のA-A線およびB-B線における、荷電粒子、再結合中心および水素の濃度分布の他の例を示している。

[図6]半導体装置 1 0 0 の製造方法の他の例を説明する図である。

[図7]半導体装置 1 0 0 の製造方法の他の例を説明する図である。

[図8]図 7 の A - A 線および B - B 線における、再結合中心および水素の濃度分布を示している。

[図9]半導体装置 1 0 0 の他の構造例を示す図である。

[図10]図 9 に示した半導体装置 1 0 0 の製造方法の一例を示す図である。

[図11]図 1 0 の A - A 線および B - B 線における、荷電粒子、再結合中心および水素の濃度分布を示している。

[図12]半導体装置 1 0 0 の一例を示す上面図である。

[図13]図 1 2 における領域 D の拡大図である。

[図14]図 1 3 における e - e 断面の一例を示す図である。

[図15]図 1 4 の F - F 線におけるドーピング濃度、および、水素化学濃度の分布例を示す図である。

[図16]図 1 4 の G - G 線におけるドーピング濃度、および、リン化学濃度の分布例を示す図である。

[図17]e - e 断面の他の構造例を示す図である。

[図18]図 1 7 に示した半導体装置 1 0 0 の製造方法の一例を示す図である。

[図19]第 2 上面側領域 2 7 0 が設けられたメサ部 6 0 の他の構造例を示す図である。

[図20]第 2 上面側領域 2 7 0 が設けられたメサ部 6 0 の他の構造例を示す図である。

[図21]第 2 上面側領域 2 7 0 が設けられたメサ部 6 0 の他の構造例を示す図である。

[図22]半導体装置 1 0 0 の製造方法の一例を示す図である。

[図23]半導体装置 1 0 0 の製造方法の他の例を示す図である。

発明を実施するための形態

[0028] 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。

[0029] 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。

[0030] 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。

[0031] 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。

[0032] 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。本明細書では、半導体基板の深さ方向における中心位置をZ_cと称する場合がある。

[0033] 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。

[0034] 本明細書においては、不純物がドーピングされたドーピング領域の導電型をP型またはN型として説明している。本明細書においては、不純物とは、

特にN型のドナーまたはP型のアクセプタのいずれかを意味する場合があります、ドーパントと記載する場合があります。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。

[0035] 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ります。

[0036] 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。

[0037] 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。

[0038] 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。
C V法またはS R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。

[0039] 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。 atoms 表記は省略してもよい。

[0040] S R法により計測されるキャリア濃度が、ドナーまたはアクセプタの濃度より低くてもよい。拡がり抵抗を測定する際に電流が流れる範囲において、半導体基板のキャリア移動度が結晶状態の値よりも低い場合がある。キャリア移動度の低下は、格子欠陥等による結晶構造の乱れ（ディスオーダー）により、キャリアが散乱されることで生じる。

[0041] C V法またはS R法により計測されるキャリア濃度から算出したドナーまたはアクセプタの濃度は、ドナーまたはアクセプタを示す元素の化学濃度よりも低くてもよい。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。本明細書における各濃度は、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。

[0042] 図1は、半導体装置100の一例を示す断面図である。半導体装置100は半導体基板10を備える。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。

[0043] 半導体基板10には、絶縁ゲート型バイポーラトランジスタ（IGBT）等のトランジスタ素子、および、還流ダイオード（FWD）等のダイオード素子の少なくとも一方が形成されている。図1においては、トランジスタ素子およびダイオード素子の各電極、半導体基板10の内部に設けられた各領域を省略している。トランジスタ素子およびダイオード素子の構成例は後述する。

[0044] 本例の半導体基板10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10の元となるインゴットの製造時に、インゴット内に略一様に含まれたドーパントによるドナーである。本例のバルク・ドナーは、水素以外の元素である。バルク・ドナーのドーパントは、例えばリン、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。

[0045] 半導体基板10は、半導体のインゴットから切り出したウエハであってよく、ウエハを個片化したチップであってもよい。半導体のインゴットは、チョクラスキー法（CZ法）、磁場印加型チョクラスキー法（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 $1 \times 10^{17} \sim 7 \times 10^{17} / \text{cm}^3$ 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が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10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%の間の値であってもよい。また、半導体基板10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(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。

[0046] 半導体基板10は、互いに向かい合う上面21および下面23を有する。上面21および下面23は、半導体基板10の2つの主面である。本明細書では、上面21および下面23と平行な面における直交軸をX軸およびY軸、上面21および下面23と垂直な軸をZ軸とする。

[0047] 半導体基板10の上面側には、第1領域210および第2領域220が設けられている。第1領域210および第2領域220は、XY面における位置が異なり、且つ、Y軸方向における位置が同一であってよい。本例においては、第1領域210および第2領域220は、XY面において接して配置されている。また、第1領域210および第2領域220は、共に第1深さ位置Z1を含む深さ範囲に設けられている。

[0048] 第1領域210には、キャリア（電子または正孔）の再結合中心が、周辺よりも高い濃度で設けられている。図1においては、再結合中心を模式的にバツ印で示している。再結合中心は、空孔や複空孔などの空孔を主体とする格子欠陥であってよく、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。

[0049] 再結合中心は、例えば水素イオン、ヘリウムイオン、電子等の荷電粒子を、下面23から半導体基板10に注入することで形成できる。水素イオンまたはヘリウムイオン等のイオンを注入する場合、イオンの飛程が第1深さ位置Z1となるように、イオンの加速エネルギーを調整する。

[0050] 第2領域220における再結合中心の濃度は、第1領域210における再結合中心の濃度よりも低い。例えば第1深さ位置Z1における再結合中心の

濃度を比べた場合に、第2領域220は第1領域210よりも低濃度である。このように、同一の深さ位置において、選択的に高濃度の再結合中心を設けることで、半導体装置100の特性を調整できる。例えば、トランジスタとダイオードが同一基板に設けられた半導体装置100においては、ダイオードに高濃度の再結合中心を設け、トランジスタには再結合中心を設けないか、または、低濃度の再結合中心を設ける場合がある。これにより、ダイオードの逆回復時間を短縮しつつ、トランジスタにおけるリーク電流の増大を抑制できる。

[0051] なお、半導体基板10の上面21にゲート絶縁膜等が設けられている場合に上面21から荷電粒子を注入すると、ゲート絶縁膜がダメージを受けて、閾値電圧等の特性が変化してしまう場合がある。これに対して荷電粒子を下面23から半導体基板10に注入することで、半導体基板10の上面21へのダメージを抑制できる。

[0052] しかし、下面23から上面21側に荷電粒子を注入する場合、荷電粒子の加速エネルギーが高くなる。このような場合に、XY面において選択的に荷電粒子を注入しようとする、荷電粒子を遮蔽するためのフォトレジスト等のマスクを設けることが困難になる。例えば、マスクの膜厚が非常に大きくなるので、パターニングが難しくなる。

[0053] 本例では、第1領域210および第2領域220の両方を含む領域に対して、荷電粒子を注入する。これにより、第1領域210および第2領域220の両方に再結合中心が同程度の濃度で形成される。

[0054] その後、Z軸方向から観察した場合において第2領域220と重なる領域に、荷電粒子よりも短い飛程で水素イオン（例えばプロトン）を注入する。水素イオンの注入は、下面23から行ってよく、上面21から行ってもよい。水素イオンの飛程を小さくしているので、注入面へのダメージは小さく、且つ、選択的な遮蔽も容易である。水素イオンを注入した後に、半導体基板10を熱処理することで、水素イオンが第2領域220まで拡散して、第2領域220における再結合中心と結合する。これにより、第2領域220に

おける再結合中心の濃度を、第1領域210における再結合中心の濃度よりも低くできる。

[0055] 図2は、半導体装置100の製造方法の一例を説明する図である。まず、第1注入段階S201において、半導体基板10の下面23から第1深さ位置Z1に、ヘリウムイオンまたは水素イオン等の荷電粒子を注入する。第1注入段階S201においては、第1領域210および第2領域220の両方を含む領域に対して、荷電粒子を注入する。荷電粒子の注入は、半導体基板10のXY面における全体に対して行ってもよい。これにより、第1領域210および第2領域220の両方に再結合中心が同程度の濃度で形成される。

[0056] 次に、第2注入段階S202において、上面視において第1注入段階S201で荷電粒子が注入された領域のうちの一部に、荷電粒子の飛程よりも短い飛程で水素イオンを注入する。水素イオンの飛程は、荷電粒子の飛程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。図2では、注入されたイオンを模式的に丸印で示している。上面視とは、Z軸方向から観察することを指す。つまり、各構成の位置を、XY面上に投影して観察することを指す。

[0057] 本例では、上面視において第2領域220と重なる領域に、水素イオンを注入する。また、水素イオンは、下面23から第2深さ位置Z2に注入される。第2深さ位置Z2は、半導体基板10の下面23側に配置されている。第2深さ位置Z2と下面23との距離は、第1深さ位置Z1と下面23との距離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。本例では、水素イオンが注入された領域を第2下面側領域240とし、水素イオンが注入されていない領域を第1下面側領域230とする。第2下面側領域240は、第2領域220とXY面において同一の位置に設けられてよい。第1下面側領域230は、第1領域210とXY面において同一の位置に設けられてよい。第1下面側領域230および第2下面側領域240は、XY面において接して配置されていてよい。また、第1下面側

領域 2 3 0 および第 2 下面側領域 2 4 0 は、共に第 2 深さ位置 Z 2 を含む深さ範囲に設けられている。なお、第 2 注入段階 S 2 0 2 においては、半導体基板 1 0 の下面 2 3 に、第 1 下面側領域 2 3 0 を覆うフォトリソ等マスクを形成することで、第 1 下面側領域 2 3 0 への水素イオンを遮蔽してよい。

[0058] 次に、熱処理段階 S 2 0 3 において、半導体基板 1 0 を熱処理する。熱処理段階 S 2 0 3 では、第 2 下面側領域 2 4 0 の第 2 深さ位置 Z 2 に注入された水素が、第 2 領域 2 2 0 の第 1 深さ位置 Z 1 まで拡散する条件で、半導体基板 1 0 を熱処理する。

[0059] 第 2 領域 2 2 0 の第 1 深さ位置 Z 1 まで水素が拡散することで、第 2 領域 2 2 0 の第 1 深さ位置 Z 1 における再結合中心が水素で終端される。これにより、第 2 領域 2 2 0 の再結合中心の濃度が低下する。従って、第 1 領域 2 1 0 の再結合中心を選択的に残存させることができる。このため、半導体装置 1 0 0 の特性を容易に調整できる。なお、水素は、半導体基板 1 0 の上面 2 1 または下面 2 3 に対して水平方向（X 軸方向）にも拡散する。第 1 領域 2 1 0 と第 2 領域 2 2 0 との X 軸方向における境界は、一例として、第 1 深さ位置 Z 1 における水素化学濃度が、第 2 領域 2 2 0 の最大水素濃度の 1 % となる位置としてよい。

[0060] 図 3 は、図 1 および図 2 の A - A 線および B - B 線における、荷電粒子、再結合中心および水素の濃度分布を示している。本例の荷電粒子はヘリウム（注入時はヘリウムイオン）である。図 3 の各濃度は、熱処理段階 S 2 0 3 の後の分布である。

[0061] A - A 線は、第 1 領域 2 1 0 および第 1 下面側領域 2 3 0 を通過する Z 軸と平行な線であり、B - B 線は、第 2 領域 2 2 0 および第 2 下面側領域 2 4 0 を通過する Z 軸と平行な線である。図 3 の上段グラフは A - A 線の各濃度分布を示し、下段グラフは B - B 線の各濃度分布を示している。図 3 の各グラフにおける縦軸は各濃度（ cm^{-3} ）を示す対数軸であり、横軸は下面 2 3 からの深さ位置（ μm ）を示す線形軸である。

- [0062] A－A線におけるヘリウムの化学濃度を D_{HeA} 、再結合中心の濃度を D_{rcA} 、水素の化学濃度を D_HA とする。B－B線におけるヘリウムの化学濃度を D_{HeB} 、再結合中心の濃度を D_{rcB} 、水素の化学濃度を D_{HB} とする。本明細書における各化学濃度は、SIMSで計測してよい。
- [0063] 第1領域210および第2領域220には、同一の工程でヘリウムが注入されるので、ヘリウム化学濃度 D_{HeA} およびヘリウム化学濃度 D_{HeB} は、任意の深さ位置において同一であってよい。具体的には、第1領域210の第1深さ位置Z1におけるヘリウム化学濃度 D_{He1A} と、第2領域220の第1深さ位置Z1におけるヘリウム化学濃度 D_{He1B} は、同一の濃度であってよい。
- [0064] ヘリウム化学濃度 D_{HeA} の分布は、第1深さ位置Z1におけるピーク211と、ピーク211から上面21に向かう上側裾212と、ピーク211から下面23に向かう下側裾213を有する。本例のヘリウムは下面23から注入されている。この場合、上側裾212は、下側裾213よりもヘリウム化学濃度 D_{HeA} が急峻に減少してよい。ピーク211におけるヘリウム化学濃度 D_{He1A} は、第2深さ位置Z2におけるヘリウム化学濃度 D_{HeA} の2倍以上であってよく、5倍以上であってよく、10倍以上であってもよい。
- [0065] ヘリウム化学濃度 D_{HeB} の分布は、第1深さ位置Z1におけるピーク221と、ピーク221から上面21に向かう上側裾222と、ピーク221から下面23に向かう下側裾223を有する。上側裾222は、下側裾223よりもヘリウム化学濃度 D_{HeB} が急峻に減少してよい。
- [0066] 水素化学濃度 D_{HA} は、下面23から第1深さ位置Z1までの任意の深さ位置において、水素化学濃度 D_{HB} より小さい。A－A線における水素化学濃度 D_{HA} は、深さ方向においてほぼ一定であってよい。水素化学濃度 D_{HA} は0であってもよい。
- [0067] 水素化学濃度 D_{HB} の分布は、第2深さ位置Z2にピーク241を有する。熱処理段階S203を行うことで、第2深さ位置Z2の近傍に注入された

水素が、第1深さ位置Z1まで拡散する。水素化学濃度 D_{hB} は、第2深さ位置Z2から第1深さ位置Z1まで減少してよい。

[0068] 再結合中心濃度 D_{rcA} の分布は、ヘリウム化学濃度 D_{heA} の分布と相似形であってよい。相似形とは、分布におけるピークが、同一の深さ位置に配置されていることを指してよい。なお、一方のピークが、他方のピークの半値全幅の範囲内に配置されている場合、2つのピークが同一の深さ位置に配置されているとしてよい。本例の再結合中心濃度 D_{rcA} の分布は、第1領域210の第1深さ位置Z1にピーク251を有する。つまり第1領域210は、第1深さ位置Z1にキャリアライフタイムの極小値を有する。

[0069] 再結合中心濃度 D_{rcA} の分布は、ピーク251から上面21に向かう上側裾252と、ピーク251から下面23に向かう下側裾253を有する。上側裾252は、下側裾253よりも再結合中心濃度 D_{rcA} が急峻に減少してよい。再結合中心濃度 D_{rcA} が、第1深さ位置Z1においてピーク251を有することで、第1深さ位置Z1の近傍におけるキャリアのライフタイムを短くできる。ピーク251における再結合中心濃度 D_{rc1A} は、第2深さ位置Z2における再結合中心濃度 D_{rc2A} 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。

[0070] 第2下面側領域240には水素イオンが注入されるので、再結合中心濃度 D_{rcB} は、再結合中心濃度 D_{rcA} に比べて小さくなる。再結合中心濃度 D_{rcB} は、下面23から第1深さ位置Z1までの任意の深さ位置において、再結合中心濃度 D_{rcA} より小さくてよい。再結合中心濃度 D_{rcB} の分布は、第1深さ位置Z1においてピークを有さなくてよい。第1深さ位置Z1における再結合中心濃度 D_{rc1B} は、第2深さ位置Z2における再結合中心濃度 D_{rcB} と同一であってよく、1.5倍以下であってよく、2倍以下であってよい。

[0071] なお、再結合中心の濃度の大小は、キャリアのライフタイムを比較することで判別してよい。キャリアのライフタイムが短いほうを、再結合中心の濃度が高いとしてよい。本明細書で「再結合中心濃度がN倍」と規定した場合

、「キャリアライフタイムが $1/N$ 倍」と読み替えてもよい。再結合中心の濃度の大小は、陽電子消滅法により空孔の濃度を測定し、その大小を比較することで判別してもよい。また、再結合中心の濃度の大小は、周知のデバイス・シミュレーションを用いて、後述するトランジスタ部またはダイオード部のオン電圧降下（順方向電圧降下）を算出し、当該特性の電氣的測定値と比較することで判別してもよい。また、レーザー光照射とマイクロ波反射によりキャリアのライフタイムを測定してもよい。

[0072] 図4は、A-A線における水素化学濃度 $D_h A$ および再結合中心濃度 $D_{rc} A$ と、B-B線における水素化学濃度 $D_h B$ および再結合中心濃度 $D_{rc} B$ を比較する図である。水素化学濃度 $D_h A$ 、再結合中心濃度 $D_{rc} A$ 、水素化学濃度 $D_h B$ および再結合中心濃度 $D_{rc} B$ の各分布は、図3に示した例と同一である。

[0073] 上述したように、水素化学濃度 $D_h B$ は、下面23から第1深さ位置 Z_1 の全範囲に渡って、水素化学濃度 $D_h A$ より大きくてよい。第2深さ位置 Z_2 における水素化学濃度 $D_{h2} B$ は、第2深さ位置 Z_2 における水素化学濃度 $D_{h2} A$ の10倍以上であってよく、100倍以上であってよく、1000倍以上であってよく、 10^{10} 倍以上であってよい。

[0074] 第1深さ位置 Z_1 における水素化学濃度 $D_{h1} B$ は、第1深さ位置 Z_1 における水素化学濃度 $D_{h1} A$ の10倍以上であってよく、100倍以上であってよく、1000倍以上であってよい。第2領域220の第1深さ位置 Z_1 における水素化学濃度 $D_{h1} B$ を高くすることで、第2領域220の第1深さ位置 Z_1 における再結合中心濃度 $D_{rc1} B$ を小さくできる。第2領域220の第1深さ位置 Z_1 における再結合中心濃度 $D_{rc1} B$ は、第1領域210の第1深さ位置 Z_1 における再結合中心濃度 $D_{rc1} A$ の $1/2$ 以下であってよく、 $1/5$ 以下であってよく、 $1/10$ 以下であってよく、 $1/100$ 以下であってよい。

[0075] 第1深さ位置 Z_1 において、第1領域210のヘリウム化学濃度 $D_{he1} A$ （図3参照）と、第2領域220のヘリウム化学濃度 $D_{he1} B$ （図3参

照) との比 D_{he1A}/D_{he1B} は、第1領域210の再結合中心の濃度 D_{rc1A} と、第2領域220の再結合中心の濃度 D_{rc1B} との比 D_{rc1A}/D_{rc1B} よりも1に近い。 D_{he1A}/D_{he1B} は、1であってよい。つまり、第1領域210の再結合中心の濃度 D_{rc1A} と、第2領域220の再結合中心の濃度 D_{rc1B} は同じであってよい。 D_{rc1A}/D_{rc1B} は、2以上であってよく、5以上であってよく、10以上であってよく、100以上であってよい。本例では、第1深さ位置Z1におけるヘリウム化学濃度が、第1領域210と第2領域220とでほぼ同一であるが、第1深さ位置Z1における再結合中心濃度は比較的に大きな差異を有する。

[0076] 第1領域210における再結合中心濃度 D_{rcA} のピーク251の半値全幅の深さ範囲をFWHM1とする。ピーク251の半値全幅の深さ範囲とは、ピーク251よりも上面21側において、再結合中心濃度 D_{rcA} がピーク濃度 D_{rc1A} の半分になる位置から、ピーク251よりも下面23側において、再結合中心濃度 D_{rcA} がピーク濃度 D_{rc1A} の半分になる位置までの範囲を指す。範囲FWHM1において、第1領域210における水素化学濃度 D_hA を深さ方向に積分した値を第1積分値とする。範囲FWHM1において、第2領域220における水素化学濃度 D_hB を深さ方向に積分した値を第2積分値とする。第1積分値は、第2積分値よりも小さい。第1積分値は、第2積分値の0.1倍以下であってよく、0.01倍以下であってよく、0.001倍以下であってよい。

[0077] 第1領域210における第1深さ位置Z1から下面23までの範囲で水素化学濃度 D_hA を深さ方向に積分した値を第3積分値とする。第2領域220における第1深さ位置Z1から下面23までの範囲で水素化学濃度 D_hB を深さ方向に積分した値を第4積分値とする。第3積分値は、第4積分値よりも小さい。第3積分値は、第4積分値の0.1倍以下であってよく、0.01倍以下であってよく、0.001倍以下であってよい。

[0078] なお、半導体基板10において荷電粒子が通過した通過領域には、水素が

通過したことにより、単原子空孔（V）、複原子空孔（V V）等の、空孔を主体とする格子欠陥（再結合中心）が形成されている。空孔に隣接する原子は、ダングリング・ボンドを有する。格子欠陥には格子間原子や転位等も含まれ、広義ではドナーやアクセプタも含まれ得るが、本明細書では空孔を主体とする格子欠陥を空孔型格子欠陥、空孔型欠陥、あるいは単に格子欠陥と称する場合がある。また、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。

[0079] 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。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。また、半導体基板 10 を熱処理することで水素が拡散し、VOH 欠陥の形成が促進される。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。

[0080] 本例の半導体基板 10 には、第 2 領域 220 と第 2 下面側領域 240 との間の第 2 通過領域に水素ドナーが形成される。一方で、第 1 領域 210 と第 1 下面側領域 230 との間の第 1 通過領域には水素ドナーが形成されにくい。第 2 通過領域におけるドーピング濃度は、第 1 通過領域におけるドーピング濃度より高くてもよい。第 2 通過領域におけるドーピング濃度を深さ方向に積分した積分値が、第 1 通過領域におけるドーピング濃度を深さ方向に積分した積分値よりも大きくてもよい。

[0081] 図 5 は、図 1 および図 2 の A-A 線および B-B 線における、荷電粒子、再結合中心および水素の濃度分布の他の例を示している。本例の荷電粒子は水素（注入時は水素イオン）である。図 5 の各濃度は、熱処理段階 S203 の後の分布である。荷電粒子以外の条件は、図 3 の例と同一である。荷電粒子の種類以外は、特に説明する場合を除き、図 3 および図 4 に示した例と同

様の構造（各濃度分布を含む）であってよい。

[0082] A－A線における水素の化学濃度を $D_h A 1$ 、再結合中心の濃度を $D_{rc} A$ とする。B－B線において、第1深さ位置 $Z 1$ に注入された水素の化学濃度を $D_h B 1$ 、第2深さ位置に注入された水素の化学濃度を $D_h B 2$ 、再結合中心の濃度を $D_{rc} B$ とする。本例では、水素化学濃度 $D_h B 1$ および $D_h B 2$ を加算した水素化学濃度を $D_h B$ と称する。

[0083] 図3に示したヘリウム化学濃度と同様に、水素化学濃度 $D_h A 1$ の分布は第1深さ位置 $Z 1$ にピーク $2 1 1$ を有してよい。水素化学濃度 $D_h A 1$ の分布は、上側裾 $2 1 2$ および下側裾 $2 1 3$ を有してよい。水素化学濃度 $D_h B$ の分布は第1深さ位置 $Z 1$ にピーク $2 2 1$ を有してよい。水素化学濃度 $D_h B$ の分布は、上側裾 $2 2 2$ および下側裾 $2 2 3$ を有してよい。

[0084] 再結合中心濃度 $D_{rc} A$ は、第1深さ位置 $Z 1$ の近傍においてピーク $2 5 1$ を有してよい。本例では荷電粒子が水素なので、第1深さ位置 $Z 1$ に多くの水素が存在する。つまり、第1深さ位置 $Z 1$ の再結合中心は水素で終端されやすい。ピーク $2 5 1$ は、第1深さ位置 $Z 1$ よりも下面 $2 3$ 側に配置されていてもよい。再結合中心濃度 $D_{rc} B$ は、図3および図4に示した例と同様である。ピーク $2 4 1$ における水素化学濃度 $D_h 2 B$ は、ピーク $2 2 1$ における水素化学濃度 $D_h 1 B$ の10倍以上であってよく、100倍以上であってよく、1000倍以上であってもよい。図5において説明したように、荷電粒子として水素イオンを用いた場合においても、再結合中心を局所的に設けることができる。

[0085] 図6は、半導体装置100の製造方法の他の例を説明する図である。本例の製造方法は、図2において説明した熱処理段階 $S 2 0 3$ の後に、研削段階 $S 2 0 4$ を更に備える。研削段階 $S 2 0 4$ では、第2注入段階 $S 2 0 2$ で水素イオンを注入することで形成された水素化学濃度のピーク（例えば、図3から図5において説明したピーク $2 4 1$ ）を含む半導体基板10の部分、下面 $2 3$ 側から研削する。つまり、研削段階 $S 2 0 4$ では、第2深さ位置 $Z 2$ を超える深さ位置まで、下面 $2 3$ を研削する。研削した後の半導体基板1

0は、下面123を有する。下面123の深さ位置は、第2深さ位置Z2よりも上面21側に配置されている。

[0086] 本例によれば、水素化学濃度のピーク241を削除できる。ピーク241の近傍においては、VOH欠陥が比較的に多く形成されるので、ドーピング濃度が高くなる。本例によれば、ドーピング濃度が高くなった領域を研削するので、ピーク241を設けたことによる半導体装置100の特性への影響を抑制できる。

[0087] 図7は、半導体装置100の製造方法の他の例を説明する図である。本例における荷電粒子は電子である。荷電粒子の種類以外の製造条件、製造工程および装置の構造は、図1から図6において説明したいずれかの例と同様である。

[0088] 本例においては、第1注入段階S701において、半導体基板10の下面23から電子線を照射する。半導体基板10に注入された電子は、半導体基板10を貫通して、上面21から外部に放出されてよい。電子が通過した領域には、深さ方向においてほぼ均一濃度の再結合中心が形成されてよい。

[0089] 次に第2注入段階S702において、第2深さ位置Z2に水素イオンを注入する。図2に示した例と同様に、第2注入段階S702においては、第2下面側領域240だけに水素イオンを注入してよい。他の例では、第1下面側領域230および第2下面側領域240の両方に水素イオンを注入してもよい。ただし、第1下面側領域230への水素イオンのドーズ量は、第2下面側領域240への水素イオンのドーズ量よりも少ない。

[0090] 次に熱処理段階S703において、半導体基板10を熱処理する。熱処理段階S703では、第2下面側領域240に注入した水素が第2領域220の第1深さ位置Z1まで拡散する条件で熱処理する。第1下面側領域230の水素化学濃度は、第2下面側領域240の水素化学濃度よりも低いので、第1領域210まで拡散する水素化学濃度は、第2領域220まで拡散する水素化学濃度よりも低い。このため、第1領域210における再結合中心の濃度を、第2領域220における再結合中心の濃度よりも高くできる。熱処

理段階 S 7 0 3 では、第 1 下面側領域 2 3 0 に注入した水素が第 1 領域 2 1 0 の第 1 深さ位置 Z 1 まで拡散しない条件で熱処理してよい。

[0091] 図 8 は、図 7 の A－A 線および B－B 線における、再結合中心および水素の濃度分布を示している。図 8 の各濃度は、熱処理段階 S 7 0 3 の後の分布である。荷電粒子以外の条件は、図 3 の例と同一である。荷電粒子の種類以外は、特に説明する場合を除き、図 3 および図 4 に示した例と同様の構造（各濃度分布を含む）であってよい。

[0092] 本例においては、第 1 下面側領域 2 3 0 にも水素イオンが注入されている。A－A 線における水素化学濃度 $D_h A$ は、第 2 深さ位置 Z 2 にピーク 2 3 1 を有する。ただし、ピーク 2 3 1 における水素化学濃度 $D_h 2 A$ は、ピーク 2 4 1 における水素化学濃度 $D_h 2 B$ よりも低い。水素化学濃度 $D_h 2 A$ は、水素化学濃度 $D_h 2 B$ の $1/2$ 以下であってよく、 $1/10$ 以下であってよく、 $1/100$ 以下であってよい。

[0093] 第 1 深さ位置 Z 1 において、A－A 線の水素化学濃度 $D_h 1 A$ は、B－B 線の水素化学濃度 $D_h 1 B$ よりも低い。水素化学濃度 $D_h 1 A$ は、水素化学濃度 $D_h 1 B$ の $1/2$ 以下であってよく、 $1/10$ 以下であってよく、 $1/100$ 以下であってよい。水素化学濃度 $D_h 1 A$ はほぼ 0 であってよい。

[0094] 本例の再結合中心濃度 $D_{rc} A$ の分布は、第 1 深さ位置 Z 1 にピークを有さなくてもよい。再結合中心濃度 $D_{rc} A$ の分布は、水素化学濃度 $D_h A$ がほぼ 0 となる深さ位置から、上面 2 1 に向かって徐々に増大してよい。第 1 深さ位置 Z 1 は、再結合中心濃度 $D_{rc} 1 A$ が、再結合中心濃度 $D_{rc} A$ の最大値 $D_{rc} A_{max}$ の半値となる位置であってよい。再結合中心濃度 $D_{rc} A$ の最大値 $D_{rc} A_{max}$ は、後述するドリフト領域 1 8 における最大値であってよい。第 1 深さ位置 Z 1 において、再結合中心濃度 $D_{rc} 1 A$ は、再結合中心濃度 $D_{rc} 1 B$ 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。

[0095] なお、図 8 以外の例においても、第 1 下面側領域 2 3 0 に水素イオンを注

入してよい。ただし、第1下面側領域230の水素イオンの単位面積当たりのドーズ量は、第2下面側領域240の水素イオンの単位面積当たりのドーズ量よりも少ない。

[0096] 図9は、半導体装置100の他の構造例を示す図である。本例の半導体装置100は、第1下面側領域230および第2下面側領域240に代えて、第1上面側領域260および第2上面側領域270を備える。他の構造は、図1から図8において説明したいずれかの例と同様である。

[0097] 第1上面側領域260は、第1領域210と上面21との間に配置されている。第2上面側領域270は、第2領域220と上面21との間に配置されている。本例では、上面21から、第2上面側領域270の第3深さ位置Z3に水素イオンを注入する。第3深さ位置Z3は、第1深さ位置Z1よりも上面21側に位置してよい。第1上面側領域260には、水素イオンを注入してよく、しなくてもよい。ただし、第1上面側領域260への水素イオンのドーズ量は、第2上面側領域270への水素イオンのドーズ量よりも少ない。本例においても、第2上面側領域270に注入した水素が、第2領域220に拡散することで、第2領域220における再結合中心の濃度を低くできる。

[0098] 図10は、図9に示した半導体装置100の製造方法の一例を示す図である。まず第1注入段階S1001において、下面23から荷電粒子を注入する。本例の荷電粒子は、水素イオンまたはヘリウムイオン等のイオンである。第1注入段階S1001は、図2等において説明した第1注入段階S201と同様である。

[0099] 次に、第2注入段階S1002において、上面21から第3深さ位置Z3に水素イオンを注入する。第3深さ位置Z3と上面21との距離は、第1深さ位置Z1と上面21との距離の半分以下であってよく、 $1/4$ 以下であってよく、 $1/10$ 以下であってよく、 $1/20$ 以下であってよい。本例では、第2上面側領域270に水素イオンを注入する。第1上面側領域260には、水素イオンを注入しないか、または、第2上面側領域270よりも少

ないドーズ量で水素イオンを注入する。

[0100] 第2上面側領域270は、第2領域220とXY面において同一の位置に設けられてよい。第1上面側領域260は、第1領域210とXY面において同一の位置に設けられてよい。第1上面側領域260および第2上面側領域270は、XY面において接して配置されていてよい。また、第1上面側領域260および第2上面側領域270は、共に第3深さ位置Z3を含む深さ範囲に設けられている。なお、第2注入段階S1002においては、半導体基板10の上面21に、第1上面側領域260を覆うフォトリソ等マスクを形成することで、第1上面側領域260への水素イオンを遮蔽してよい。

[0101] 次に、熱処理段階S1003において、半導体基板10を熱処理する。熱処理段階S1003では、第2上面側領域270の第3深さ位置Z3に注入された水素が、第2領域220の第1深さ位置Z1まで拡散する条件で、半導体基板10を熱処理する。これにより、第2領域220の再結合中心の濃度が低下する。従って、第1領域210の再結合中心を選択的に残存させることができる。このため、半導体装置100の特性を容易に調整できる。

[0102] なお、本例においては水素イオンを上面21から注入している。ただし、水素イオンの飛程は、荷電粒子の飛程よりも短い。このため、水素イオンの注入による半導体基板10へのダメージは比較的小さい。本例によっても、半導体基板10へのダメージを抑制しつつ、再結合中心を選択的に設けることができる。

[0103] 図11は、図10のA-A線およびB-B線における、荷電粒子、再結合中心および水素の濃度分布を示している。本例の荷電粒子はヘリウム（注入時はヘリウムイオン）である。図11の各濃度は、熱処理段階S1003の後の分布である。本例においては、B-B線における水素化学濃度 $D_h B$ の分布が、図3に示した水素化学濃度 $D_h B$ の分布と異なる。他の濃度分布は、図3に示した例と同様である。

[0104] 水素化学濃度 $D_h B$ の分布は、第3深さ位置Z3にピーク241を有する

。熱処理段階 S 1 0 0 3 を行うことで、第 3 深さ位置 Z 3 の近傍に注入された水素が、第 1 深さ位置 Z 1 まで拡散する。水素化学濃度 D h B は、第 3 深さ位置 Z 3 から第 1 深さ位置 Z 1 まで減少してよい。

[0105] 水素化学濃度 D h B は、上面 2 1 から第 1 深さ位置 Z 1 の全範囲に渡って、水素化学濃度 D h A より大きくてよい。第 3 深さ位置 Z 3 における水素化学濃度 D h 3 B は、第 3 深さ位置 Z 3 における水素化学濃度 D h A の 1 0 倍以上であってよく、1 0 0 倍以上であってよく、1 0 0 0 倍以上であってよく、 10^{10} 倍以上であってよい。

[0106] 第 1 深さ位置 Z 1 における水素化学濃度 D h 1 B は、第 1 深さ位置 Z 1 における水素化学濃度 D h A の 1 0 倍以上であってよく、1 0 0 倍以上であってよく、1 0 0 0 倍以上であってよい。第 2 領域 2 2 0 の第 1 深さ位置 Z 1 における再結合中心濃度 D r c 1 B は、第 1 領域 2 1 0 の第 1 深さ位置 Z 1 における再結合中心濃度 D r c 1 A の $1/2$ 以下であってよく、 $1/5$ 以下であってよく、 $1/10$ 以下であってよく、 $1/100$ 以下であってよい。

[0107] 第 1 領域 2 1 0 における再結合中心濃度 D r c A のピーク 2 5 1 の半値全幅の深さ範囲を FWHM 1 とする。範囲 FWHM 1 において、第 1 領域 2 1 0 における水素化学濃度 D h A を深さ方向に積分した値を第 5 積分値とする。範囲 FWHM 1 において、第 2 領域 2 2 0 における水素化学濃度 D h B を深さ方向に積分した値を第 6 積分値とする。第 5 積分値は、第 6 積分値よりも小さい。第 5 積分値は、第 6 積分値の 0. 1 倍以下であってよく、0. 0 1 倍以下であってよく、0. 0 0 1 倍以下であってよい。

[0108] 第 1 領域 2 1 0 における第 1 深さ位置 Z 1 から上面 2 1 までの範囲で水素化学濃度 D h A を深さ方向に積分した値を第 7 積分値とする。第 2 領域 2 2 0 における第 1 深さ位置 Z 1 から上面 2 1 までの範囲で水素化学濃度 D h B を深さ方向に積分した値を第 8 積分値とする。第 7 積分値は、第 8 積分値よりも小さい。第 7 積分値は、第 8 積分値の 0. 1 倍以下であってよく、0. 0 1 倍以下であってよく、0. 0 0 1 倍以下であってよい。

[0109] 図12は、半導体装置100の一例を示す上面図である。図12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12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。

[0110] 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、図1から図11において説明した水素化学濃度分布、荷電粒子濃度分布および再結合中心濃度分布を有してよい。ただし半導体基板10は、図1から図11において説明した各濃度ピークとは異なる他の濃度ピークを更に有してよい。後述するバッファ領域20のように、水素イオンを注入して半導体基板10におけるN型領域を形成する場合がある。この場合、水素化学濃度分布は、図1から図11において説明した水素化学濃度の分布の他に、局所的な水素濃度ピークを有し得る。また、後述するエミッタ領域12等のように、所定のドーパントを局所的に注入して、所定の導電型の領域を形成する場合がある。この場合、再結合中心の濃度分布は、ドーパントの飛程近傍に局所的なピークを有し得る。

[0111] 半導体基板10は、上面視において端辺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組の端辺162を有する。図12においては、X軸およびY軸は、いずれかの端辺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。

[0112] 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12では省略している。

[0113] 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12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。

[0114] 図12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12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。

[0115] 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。

[0116] 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。

[0117] 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。

[0118] 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 12 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。

[0119] 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。

[0120] 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。

[0121] 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。

[0122] 活性側ゲート配線 131 は、外周ゲート配線 130 と接続されてよい。本例の活性側ゲート配線 131 は、Y 軸方向の略中央で一方の外周ゲート配線 130 から他方の外周ゲート配線 130 まで、活性部 160 を横切るように、X 軸方向に延伸して設けられている。活性側ゲート配線 131 により活性部 160 が分割されている場合、それぞれの分割領域において、トランジス

タ部 70 およびダイオード部 80 が X 軸方向に交互に配置されてよい。

[0123] また、半導体装置 100 は、ポリシリコン等で形成された P N 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。

[0124] 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フのうちの少なくとも一つを備えていてよい。

[0125] 図 13 は、図 12 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。

[0126] 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 13 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 13 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。

[0127] 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 を通っ

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。

[0128] 活性側ゲート配線 131 は、層間絶縁膜に設けられたコンタクトホールを通して、ゲートトレンチ部 40 と接続する。活性側ゲート配線 131 は、Y 軸方向におけるゲートトレンチ部 40 の先端部 41 において、ゲートトレンチ部 40 のゲート導電部と接続されてよい。活性側ゲート配線 131 は、ダミートレンチ部 30 内のダミー導電部とは接続されない。

[0129] エミッタ電極 52 は、金属を含む材料で形成される。図 13 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。

[0130] 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。

[0131] 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。

[0132] 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13における延伸方向はY軸方向である。

[0133] 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。

[0134] 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13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。

[0135] ウェル領域11の拡散深さは、ゲートトレンチ部40およびダミートレンチ部30の深さよりも深くてよい。ゲートトレンチ部40およびダミートレンチ部30のY軸方向の端部は、上面視においてウェル領域11に設けられる。つまり、各トレンチ部のY軸方向の端部において、各トレンチ部の深さ方向の底部は、ウェル領域11に覆われている。これにより、各トレンチ部の当該底部における電界集中を緩和できる。

[0136] 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。

[0137] 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 13 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。

[0138] 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。

[0139] 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。

[0140] 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 1 2 が設けられ、エミッタ領域 1 2 に挟まれた領域にコンタクト領域 1 5 が設けられる。

[0141] ダイオード部 8 0 のメサ部 6 1 には、エミッタ領域 1 2 が設けられていない。メサ部 6 1 の上面には、ベース領域 1 4 およびコンタクト領域 1 5 が設けられてよい。メサ部 6 1 の上面においてベース領域 1 4 - e に挟まれた領域には、それぞれのベース領域 1 4 - e に接してコンタクト領域 1 5 が設けられてよい。メサ部 6 1 の上面においてコンタクト領域 1 5 に挟まれた領域には、ベース領域 1 4 が設けられてよい。ベース領域 1 4 は、コンタクト領域 1 5 に挟まれた領域全体に配置されてよい。

[0142] それぞれのメサ部の上方には、コンタクトホール 5 4 が設けられている。コンタクトホール 5 4 は、ベース領域 1 4 - 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 5 4 は、コンタクト領域 1 5、ベース領域 1 4 およびエミッタ領域 1 2 の各領域の上方に設けられる。コンタクトホール 5 4 は、ベース領域 1 4 - e およびウェル領域 1 1 に対応する領域には設けられない。コンタクトホール 5 4 は、メサ部 6 0 の配列方向（X 軸方向）における中央に配置されてよい。

[0143] ダイオード部 8 0 において、半導体基板 1 0 の下面と隣接する領域には、N + 型のカソード領域 8 2 が設けられる。半導体基板 1 0 の下面において、カソード領域 8 2 が設けられていない領域には、P + 型のコレクタ領域 2 2 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 1 3 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。

[0144] 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。

[0145] 図 1 4 は、図 1 3 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。

[0146] 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 1 3 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。

[0147] 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。

[0148] 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。

[0149] トランジスタ部 7 0 のメサ部 6 0 には、N + 型のエミッタ領域 1 2 および P - 型のベース領域 1 4 が、半導体基板 1 0 の上面 2 1 側から順番に設けられている。ベース領域 1 4 の下方にはドリフト領域 1 8 が設けられている。メサ部 6 0 には、N + 型の蓄積領域 1 6 が設けられてもよい。蓄積領域 1 6 は、ベース領域 1 4 とドリフト領域 1 8 との間に配置される。

[0150] エミッタ領域 1 2 は半導体基板 1 0 の上面 2 1 に露出しており、且つ、ゲ

ートトレンチ部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。

[0151] 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。

[0152] 蓄積領域16は、ベース領域14の下方に設けられている。蓄積領域16は、ドリフト領域18よりもドーピング濃度が高いN+型の領域である。ドリフト領域18とベース領域14との間に高濃度の蓄積領域16を設けることで、キャリア注入促進効果（IE効果）を高めて、オン電圧を低減できる。蓄積領域16は、各メサ部60におけるベース領域14の下面全体を覆うように設けられてよい。

[0153] 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。

[0154] 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25を有する。濃度ピーク25のドーピング濃度とは、濃度ピーク25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。

[0155] 本例のバッファ領域20は、半導体基板10の深さ方向（Z軸方向）において、3つ以上の濃度ピーク25を有する。バッファ領域20の濃度ピーク25は、例えば水素（プロトン）またはリンの濃度ピークと同一の深さ位置に設けられてよい。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Zfとする。深さ位置Zf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。

[0156] 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。

[0157] 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。

[0158] 半導体基板10の上面21側には、1以上のゲートトレンチ部40、および、1以上のダミートレンチ部30が設けられる。各トレンチ部は、半導体基板10の上面21から、ベース領域14を貫通して、ドリフト領域18に到達している。エミッタ領域12、コンタクト領域15および蓄積領域16の少なくともいずれかが設けられている領域においては、各トレンチ部はこれらのドーピング領域も貫通して、ドリフト領域18に到達している。トレンチ部がドーピング領域を貫通するとは、ドーピング領域を形成してからトレンチ部を形成する順序で製造したものに限定されない。トレンチ部を形成した後に、トレンチ部の間にドーピング領域を形成したものも、トレンチ部

がドーピング領域を貫通しているものに含まれる。

[0159] 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。

[0160] 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。

[0161] ゲート導電部44は、深さ方向において、ベース領域14よりも長く設けられてよい。当該断面におけるゲートトレンチ部40は、半導体基板10の上面21において層間絶縁膜38により覆われる。ゲート導電部44は、ゲート配線に電氣的に接続されている。ゲート導電部44に所定のゲート電圧が印加されると、ベース領域14のうちゲートトレンチ部40に接する界面の表層に電子の反転層によるチャネルが形成される。

[0162] 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。

[0163] 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。

[0164] 本例のバッファ領域 20 は、図 1 から図 13 において説明した第 1 下面側領域 230 および第 2 下面側領域 240 を有する。第 1 下面側領域 230 は、後述する第 1 領域 210 の下方のバッファ領域 20 に配置され、第 2 下面側領域 240 は、後述する第 2 領域 220 の下方のバッファ領域 20 に配置されている。第 1 下面側領域 230 の少なくとも一部は、ダイオード部 80 のバッファ領域 20 に設けられる。第 2 下面側領域 240 の少なくとも一部は、トランジスタ部 70 のバッファ領域 20 に設けられる。図 14 の例では、第 1 下面側領域 230 は、ダイオード部 80 の全体と、ダイオード部 80 と接するトランジスタ部 70 の一部の領域に設けられている。第 2 下面側領域 240 は、トランジスタ部 70 において、第 1 下面側領域 230 が設けられていない残りの領域全体に設けられている。

[0165] 本例の第 2 下面側領域 240 には、水素が注入される。第 2 下面側領域 240 に注入された水素は、第 2 下面側領域 240 において水素ドナー化して、ドナー濃度のピークを形成する。また、第 2 下面側領域 240 に注入された水素は、熱処理段階を行うことで、上面 21 側に向かって拡散する。

[0166] 本例の第 1 下面側領域 230 には、水素以外の N 型ドーパントが注入される。これにより、第 1 下面側領域 230 にも、ドナー濃度のピークが形成される。第 1 下面側領域 230 における N 型のドーパントは、例えばリンまたはセレンである。

[0167] 本例のドリフト領域 18 は、図 1 から図 13 において説明した第 1 領域 2

1 0 および第 2 領域 2 2 0 を有する。第 1 領域 2 1 0 および第 2 領域 2 2 0 には、下面 2 3 から荷電粒子が注入される。これにより、第 1 領域 2 1 0 および第 2 領域 2 2 0 には再結合中心の濃度ピークが形成される。ただし、第 2 領域 2 2 0 における再結合中心は、第 2 下面側領域 2 4 0 から拡散した水素により終端される。このため、第 2 領域 2 2 0 における再結合中心濃度は、第 1 領域 2 1 0 における再結合中心濃度よりも低くなる。

[0168] 第 1 領域 2 1 0 の少なくとも一部は、ダイオード部 8 0 のドリフト領域 1 8 に設けられる。第 2 領域 2 2 0 の少なくとも一部は、トランジスタ部 7 0 のドリフト領域 1 8 に設けられる。図 1 4 の例では、第 1 領域 2 1 0 は、ダイオード部 8 0 の全体と、ダイオード部 8 0 と接するトランジスタ部 7 0 の一部の領域に設けられている。第 2 領域 2 2 0 は、トランジスタ部 7 0 において、第 1 領域 2 1 0 が設けられていない残りの領域全体に設けられている。第 1 領域 2 1 0 および第 2 領域 2 2 0 は、トレンチ部の下端位置 Z_t よりも下面 2 3 側に配置されている。

[0169] 図 1 5 は、図 1 4 の F-F 線におけるドーピング濃度、および、水素化学濃度の分布例を示す図である。F-F 線は、トランジスタ部 7 0 において、第 2 領域 2 2 0 および第 2 下面側領域 2 4 0 を通過する Z 軸と平行な直線である。

[0170] エミッタ領域 1 2 は、リン等の N 型ドーパントを含む。コレクタ領域 2 2 およびベース領域 1 4 は、ボロン等の P 型ドーパントを含む。蓄積領域 1 6 は、リンまたは水素等の N 型ドーパントを含む。それぞれの領域において、ドーピング濃度は、ドーパントの飛程近傍に濃度ピークを有してよい。

[0171] 本例のバッファ領域 2 0 は、複数のドーピング濃度ピーク 2 5-1、2 5-2、2 5-3、2 5-4 を有する。本例では、それぞれのドーピング濃度ピーク 2 5 は、水素イオンを局所的に注入することで形成されている。

[0172] 本例の水素化学濃度の分布は、バッファ領域 2 0 において局所的な水素濃度ピーク 1 0 3 を複数有する。複数の水素濃度ピーク 1 0 3 のうち、最も上面 2 1 に近い水素濃度ピーク 1 0 3-4 の深さ位置を第 2 深さ位置 Z_2 とし

てよい。他の例では、複数の水素濃度ピーク 103 のうち、最も水素化学濃度が高いピークの深さ位置を第2深さ位置 Z2 としてもよい。

[0173] 本例では、半導体基板 10 のバルク・ドナー濃度を D0 とする。第2領域 220 および第2下面側領域 240 の間の通過領域では水素ドナーが形成されるので、バルク・ドナー濃度 D0 よりもドーピング濃度が高くなってよい。

[0174] 図16は、図14のG-G線におけるドーピング濃度、および、リン化学濃度の分布例を示す図である。G-G線は、ダイオード部80において、第1領域210および第1下面側領域230を通過するZ軸と平行な直線である。

[0175] カソード領域82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。それぞれの領域において、ドーピング濃度は、ドーパントの飛程近傍に濃度ピークを有してよい。

[0176] 本例のバッファ領域20は、1つまたは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。本例では、それぞれのドーピング濃度ピーク 25 は、リンを局所的に注入することで形成されている。

[0177] 本例のリン化学濃度の分布は、バッファ領域20において局所的なリン濃度ピーク 104 を1つまたは複数有する。複数のリン濃度ピーク 104 のうち、最も上面21に近いリン濃度ピーク 104-4 の深さ位置を第4深さ位置 Z4 としてよい。他の例では、複数のリン濃度ピーク 104 のうち、最もリン化学濃度が高いピークの深さ位置を第4深さ位置 Z4 としてもよい。リン濃度ピーク 104 は、水素濃度ピーク 103 と同じ個数設けられてよく、異なる個数設けられてもよい。また、リン濃度ピーク 104 は、水素濃度ピーク 103 と同一の深さ位置に設けられてよく、異なる深さ位置に設けられてもよい。第4深さ位置 Z4 は、第2深さ位置 Z2 と同じでよいし、第2深さ位置 Z2 より深くてもよいし、第2深さ位置 Z2 より浅くてもよい。本例では、第4深さ位置 Z4 は、第2深さ位置 Z2 よりも浅い。第1領域210お

よび第1下面側領域230の間の通過領域では、水素ドナーがほとんど形成されないので、バルク・ドナー濃度D0とほぼ同一のドーピング濃度になっている。つまり、第1領域210および第1下面側領域230の間の通過領域におけるドーピング濃度は、第2領域220および第2下面側領域240の間の通過領域におけるドーピング濃度よりも低くてよい。

[0178] 図17は、e-e断面の他の構造例を示す図である。本例の半導体装置100は、第1下面側領域230および第2下面側領域240に代えて、第1上面側領域260および第2上面側領域270を備える。他の構造は、図12から図16において説明した半導体装置100と同様である。

[0179] 第1上面側領域260の少なくとも一部は、ダイオード部80に設けられている。第2上面側領域270の少なくとも一部は、トランジスタ部70に設けられている。第1上面側領域260は、第1領域210の上方に配置され、第2上面側領域270は、第2領域220の上方に配置されている。第1上面側領域260は、第1領域210の上方におけるメサ部60およびメサ部61に設けられてよい。第2上面側領域270は、第2領域220の上方におけるメサ部60に設けられてよい。第2上面側領域270における第3深さ位置Z3（図10等参照）は、ベース領域14の下端よりも上方に配置されてよい。図17の例では、第1上面側領域260および第2上面側領域270は、ベース領域14の上端よりも上方に配置されている。図17においては、第1上面側領域260および第2上面側領域270の下端の位置を破線で示している。第1上面側領域260および第2上面側領域270は、当該破線の位置から、半導体基板10の上面21までの領域を指してよい。第1上面側領域260および第2上面側領域270は、各メサ部の上面21に平行な方向（X軸方向）全体に形成されてよい。

[0180] なお、第1上面側領域260および第2上面側領域270に形成される水素ドナーが、当該領域のP型ドーパントよりも十分低濃度となるように、当該領域に水素イオンが注入されている。つまり、本例の第1上面側領域260および第2上面側領域270は、ともにP型の領域である。ただし、第2

上面側領域 270 には、第 2 領域 220 まで十分な濃度の水素が拡散できるように、第 1 上面側領域 260 よりも高濃度の水素イオンが注入されている。第 1 上面側領域 260 には、水素イオンが注入されていなくてよい。

[0181] 図 18 は、図 17 に示した半導体装置 100 の製造方法の一例を示す図である。まず第 1 注入段階 S1801 において、下面 23 から第 1 領域 210 および第 2 領域 220 に荷電粒子を注入する。本例の荷電粒子は、水素イオンまたはヘリウムイオン等のイオンである。第 1 注入段階 S1801 は、図 10 等において説明した第 1 注入段階 S1001 と同様である。なお第 1 注入段階 S1801 の前に、半導体基板 10 には、各トレンチ部、エミッタ領域 12、ベース領域 14、蓄積領域 16、ドリフト領域 18、バッファ領域 20、コレクタ領域 22 およびカソード領域 82 が形成されていてよい。

[0182] 次に、第 2 注入段階 S1802 において、上面 21 から各メサ部のベース領域 14 内またはベース領域 14 よりも上面 21 側に、水素イオンを注入する。第 2 注入段階 S1802 の前には、層間絶縁膜 38 が設けられてよい。層間絶縁膜 38 は、水素イオンを遮蔽するマスクとして機能してよく、機能しなくてよい。本例は、層間絶縁膜 38 は、水素イオンを遮蔽するマスクとして機能しない場合であり、各メサ部の上面 21 に平行な方向（X 軸方向）全体に水素イオンが注入される。層間絶縁膜 38 には、コンタクトホール 54 が形成されていてよい。第 2 上面側領域 270 には水素イオンが注入され、第 1 上面側領域 260 に対しては水素イオンを注入しなくてもよい。他の例では、第 1 上面側領域 260 にも、第 2 上面側領域 270 よりも少ないドーズ量（ cm^2 ）で、水素イオンが注入されてもよい。

[0183] 次に、熱処理段階 S1803 において、半導体基板 10 を熱処理する。熱処理段階 S1803 では、第 2 上面側領域 270 に注入された水素が、第 2 領域 220 まで拡散する条件で、半導体基板 10 を熱処理する。これにより、第 2 領域 220 の再結合中心の濃度が低下する。従って、第 1 領域 210 の再結合中心を選択的に残存させることができる。このため、半導体装置 100 の特性を容易に調整できる。

[0184] 本例においては、第2上面側領域270は、第2領域220の上方の一部の領域に形成されている。ただし、第2上面側領域270に注入された水素はXY面においても拡散するので、第2領域220の全体に渡って再結合中心を終端できる。他の例では、第2領域220のうち、トレンチ部の下方の領域における再結合中心濃度は、メサ部60の下方の領域における再結合中心濃度よりも高くてもよい。

[0185] 図19は、第2上面側領域270が設けられたメサ部60の他の構造例を示す図である。本例のメサ部60は、エミッタ領域12が、メサ部60のX軸方向における両端に配置され、メサ部60のX軸方向における中央には設けられていない。エミッタ領域12は、各トレンチ部と接する領域に設けられている。半導体基板10の上面21において、メサ部60の両端のエミッタ領域12の間には、ベース領域14が設けられている。エミッタ領域12およびベース領域14以外の構造は、図12から図18に説明したいずれかのメサ部60と同様である。

[0186] 本例では、エミッタ領域12の下端の深さ位置を Z_e とする。エミッタ領域12は、ベース領域14よりもドーピング濃度が高い高濃度領域である。第2上面側領域270における第3深さ位置 Z_3 は、深さ位置 Z_e よりも上方に配置されている。上述したように、第3深さ位置 Z_3 は、深さ方向における水素化学濃度分布がピークとなる位置である。

[0187] 本例の第2上面側領域270は、メサ部60のX軸方向の両端に配置されたエミッタ領域12に挟まれたベース領域14に設けられている。第3深さ位置 Z_3 における水素化学濃度分布は、ほぼ均一であってよく、X軸方向におけるメサ部60の中央位置に最大値を有していてもよい。本例によれば、第2上面側領域270に注入された水素が、ベース領域14とゲートトレンチ部40との界面まで拡散することで、当該界面における結晶欠陥濃度を低減できる。このため、閾値電圧等の特性のばらつきを低減できる。

[0188] 図20は、第2上面側領域270が設けられたメサ部60の他の構造例を示す図である。本例のメサ部60は、P型のコンタクト領域15が、メサ部

60の上面21に露出している。コンタクト領域15以外の構造は、図12から図19において説明したいずれかのメサ部60と同様である。コンタクト領域15は、ベース領域14よりもドーピング濃度の高い高濃度領域である。メサ部60のX軸方向の両端には、図19の例と同様にエミッタ領域12が設けられていてよい。他の例では、コンタクト領域15がメサ部60のX軸方向の全体に設けられていてもよい。

[0189] 本例では、コンタクト領域15の下端の深さ位置を Z_p とする。第2上面側領域270における第3深さ位置 Z_3 は、深さ位置 Z_p よりも上方に配置されている。第2上面側領域270における第3深さ位置 Z_3 は、深さ位置 Z_e よりも上方に配置されていてもよい。本例の深さ位置 Z_e は、深さ位置 Z_p よりも上方に配置されている。

[0190] 本例の第2上面側領域270は、コンタクト領域15に設けられている。本例においても、第3深さ位置 Z_3 における水素化学濃度分布は、図19において説明した例と同様である。本例によっても、ベース領域14とゲートトレンチ部40との界面まで水素が拡散することで、閾値電圧等の特性のばらつきを低減できる。

[0191] なお、図9から図11、図19、および図20において説明した第3深さ位置 Z_3 は、半導体基板10の上面21からのZ軸方向における距離が、 $1\mu\text{m}$ 以下であってよい。当該距離を小さくすることで、第3深さ位置 Z_3 に水素イオンを注入するときのダメージを小さくできる。当該距離は、 $0.5\mu\text{m}$ 以下であってもよい。水素イオンを注入する場合に、半導体基板10の上面21に薄いレジスト等のマスクを形成して、水素イオンの飛程を調整してもよい。

[0192] 図21は、第2上面側領域270が設けられたメサ部60の他の構造例を示す図である。本例のメサ部60は、トレンチコンタクト55を有する。トレンチコンタクト55以外の構造は、図12から図20において説明したいずれかのメサ部60と同様である。トレンチコンタクト55は、半導体基板10の上面21から、ベース領域14に達する位置まで形成された溝である。

。本例のメサ部60においては、ベース領域14と上面21との間にエミッタ領域12が設けられており、トレンチコンタクト55は、エミッタ領域12を貫通している。トレンチコンタクト55の内部には、タングステン等の金属材料のプラグが形成されてよい。トレンチコンタクト55は、X軸方向におけるメサ部60の中央に配置されてよい。層間絶縁膜38は、トレンチコンタクト55が設けられていない領域を覆っていてよい。

[0193] 第2上面側領域270は、エミッタ領域12内と、トレンチコンタクト55の下方に配置されている。エミッタ領域12における第2上面側領域270は、第3深さ位置Z3aにおいて、水素化学濃度のピークを有する。ベース領域14における第2上面側領域270は、第3深さ位置Z3bにおいて、水素化学濃度のピークを有する。第3深さ位置Z3aは、トレンチコンタクト55の底面よりも浅い位置であり、第3深さ位置Z3bは、トレンチコンタクト55の底面よりも深い位置である。トレンチコンタクト55を形成した後で、且つ、タングステン等の金属材料を充填する前に、トレンチコンタクト55を介して水素イオンを注入することで、トレンチコンタクト55の下方に第2上面側領域270を形成できる。この場合、トレンチコンタクト55の底面が、水素イオンの注入面である上面21となる。トレンチコンタクト55の底面の深さ位置をZtcとする。深さ位置Ztcと、第2上面側領域270の第3深さ位置Z3bとのZ軸方向の距離は、1 μ m以下であってよく、0.5 μ m以下であってもよい。

[0194] 図22は、半導体装置100の製造方法の一例を示す図である。本例の製造方法は、上面側構造形成段階S2300、研削段階S2302、下面側構造形成段階S2304、第1注入段階S2306、第2注入段階S2308、熱処理段階S2310および電極形成段階S2312を備える。

[0195] 上面側構造形成段階S2300において、半導体装置100の構造のうち、半導体基板10の上面21側の構造を形成する。上面21側の構造には、例えばベース領域14、エミッタ領域12、蓄積領域16、ゲートトレンチ部40、ダミートレンチ部30、ウェル領域11、エミッタ電極52、層間

絶縁膜 38、ゲート配線等が含まれる。

[0196] 次に研削段階 S 2302 において、半導体基板 10 の下面 23 を研削して、半導体装置 100 の耐圧に応じた基板厚にする。次に下面側構造形成段階 S 2304 において、半導体基板 10 の下面 23 側の構造を形成する。下面 23 側の構造には、例えばコレクタ領域 22、カソード領域 82 等が含まれる。

[0197] 次に第 1 注入段階 S 2306 において、半導体基板 10 の下面 23 から、半導体基板 10 の第 1 深さ位置 Z1 に荷電粒子を注入する。第 1 注入段階 S 2306 は、図 2 における第 1 注入段階 S 201、図 7 における第 1 注入段階 S 701、または、図 10 における第 1 注入段階 S 1001 と同様の工程である。

[0198] 第 1 注入段階 S 2306 においては、半導体基板 10 の下面 23 の全体に荷電粒子を照射してよい。第 1 注入段階 S 2306 においては、半導体基板 10 を貫通するように電子線を注入してもよい。第 1 深さ位置 Z1 は、半導体基板 10 の上面 21 側に配置されている。このため、荷電粒子の飛程は比較的に大きくなる。ただし、下面 23 にはゲート絶縁膜 42 等が形成されていないので、荷電粒子の注入による半導体装置 100 の特性への影響は比較的に小さい。

[0199] 次に第 2 注入段階 S 2308 において、半導体基板 10 の下面 23 から、半導体基板 10 の第 2 深さ位置 Z2 に水素イオンを注入する。第 2 注入段階 S 2308 は、図 2 における第 2 注入段階 S 202、図 7 における第 2 注入段階 S 702、または、図 10 における第 2 注入段階 S 1002 と同様の工程である。

[0200] 第 2 注入段階 S 2308 においては、荷電粒子が注入された領域の一部の領域に、選択的に水素イオンを注入する。第 2 深さ位置 Z2 は、半導体基板 10 の下面 23 側に配置されている。このため、水素イオンの飛程は比較的に小さい。このため、水素イオンを遮蔽するマスクを形成することが容易であり、水素イオンを所定の領域に精度よく注入できる。

- [0201] 第2注入段階S 2 3 0 8においては、半導体基板1 0の上面2 1から、半導体基板1 0の第3深さ位置Z 3に水素イオンを注入してもよい。第3深さ位置Z 3は、第1深さ位置Z 1と、上面2 1との間に配置されている。この場合も、水素イオンの飛程は比較的に小さい。
- [0202] 次に、熱処理段階S 2 3 1 0において半導体基板1 0を熱処理して、水素イオンを第1深さ位置Z 1まで拡散させる。熱処理段階S 2 3 1 0は、図2における熱処理段階S 2 0 3、図7における熱処理段階S 7 0 3、または、図1 0における熱処理段階S 1 0 0 3と同様の工程である。
- [0203] 熱処理段階S 2 3 1 0により、半導体基板中の水素を拡散させて、第1深さ位置Z 1の近傍における再結合中心を、上面視において局所的に回復させる。これにより、図1から図2 1において説明した第1領域2 1 0および第2領域2 2 0を形成できる。熱処理段階S 2 3 1 0においては、半導体基板1 0を熱処理炉に投入して、半導体基板1 0の全体を加熱してよい。熱処理段階S 2 3 1 0においては、3 5 0℃以上、3 8 0℃以下の温度で、3時間以上、1 0時間以下の期間、熱処理を行ってよい。
- [0204] なお、第2注入段階S 2 3 0 8よりも後の工程では、注入した水素が半導体基板1 0の外に放出されないように、半導体基板1 0の全体を5 0 0℃以上に加熱する工程が存在しないことが好ましい。第2注入段階S 2 3 0 8の後に、コレクタ領域2 2、カソード領域8 2等を形成する場合、レーザーアニールで局所的なアニール行ってよい。また、ゲート絶縁膜4 2等の酸化膜は、1 0 0 0℃程度の高温による熱酸化で形成される場合がある。このため、第2注入段階S 2 3 0 8は、熱酸化工程よりも後に行うことが好ましい。
- [0205] 次に、電極形成段階S 2 3 1 2において、コレクタ電極2 4を形成する。S 2 3 0 0からS 2 3 1 2の工程は、ウエハ状態の半導体基板を用いて行ってよい。この場合、S 2 3 1 2の後に、ウエハを個片化してチップ状態の半導体装置1 0 0を製造してよい。
- [0206] 図2 3は、半導体装置1 0 0の製造方法の他の例を示す図である。本例の製造方法は、上面側構造形成段階S 2 3 0 0、第1研削段階S 2 4 0 0、第

1 注入段階 S 2 3 0 6、第 2 注入段階 S 2 3 0 8、熱処理段階 S 2 3 1 0、第 2 研削段階 S 2 4 0 2、下面側構造形成段階 S 2 3 0 4 および電極形成段階 S 2 3 1 2 を備える。

[0207] 上面側構造形成段階 S 2 3 0 0 は、図 2 2 の例と同様である。本例においては、上面側構造形成段階 S 2 3 0 0 の後に、第 1 研削段階 S 2 4 0 0 で下面 2 3 を研削する。ただし、第 1 研削段階 S 2 4 0 0 の後の半導体基板 1 0 の基板厚は、耐圧に応じた基板厚よりも大きい。

[0208] 次に第 1 注入段階 S 2 3 0 6 を行う。第 1 注入段階 S 2 3 0 6 は、図 2 2 の例と同様である。第 1 研削段階 S 2 4 0 0 の後に第 1 注入段階 S 2 3 0 6 を行うことで、荷電粒子の飛程および加速エネルギーを小さくできる。

[0209] 次に第 2 注入段階 S 2 3 0 8 を行う。第 2 注入段階 S 2 3 0 8 は、図 2 2 の例と同様である。ただし本例の第 2 注入段階 S 2 3 0 8 においては、半導体基板 1 0 の下面 2 3 から水素イオンを注入する。

[0210] 次に熱処理段階 S 2 3 1 0 を行う。熱処理段階 S 2 3 1 0 は、図 2 2 の例と同様である。次に第 2 研削段階 S 2 4 0 2 により、半導体基板 1 0 の下面 2 3 側を研削する。第 2 研削段階 S 2 4 0 2 は、図 6 における研削段階 S 2 0 4 と同様である。第 2 研削段階 S 2 4 0 2 において、第 2 深さ位置 Z 2 を含む領域を研削する。これにより、不要な水素化学濃度および水素ドナー濃度のピークを無くすることができる。

[0211] 次に下面側構造形成段階 S 2 3 0 4 を行う。下面側構造形成段階 S 2 3 0 4 は、図 2 2 の例と同様である。本例の下面側構造形成段階 S 2 3 0 4 においては、例えばコレクタ領域 2 2、カソード領域 8 2、バッファ領域 2 0 等を形成する。次に電極形成段階 S 2 3 1 2 を行う。電極形成段階 S 2 3 1 2 以降は、図 2 2 の例と同様である。

[0212] 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。

[0213] 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

[0214] 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・・・濃度ピーク、29・・・直線部分、30・・・ダミートレンチ部、31・・・先端部、32・・・ダミー絶縁膜、34・・・ダミー導電部、38・・・層間絶縁膜、39・・・直線部分、40・・・ゲートトレンチ部、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、55・・・トレンチコンタクト、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・・・水素濃度ピーク、104・・・リン濃度ピーク、123・・・下面、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・・・第1領域、211・・・ピーク、212・・・上側裾、213・・・下側裾、220・・・第2領域、221・・・ピーク、222・・・上側裾、223・・・下側裾、230・・・第1下面側領域、231・・・ピーク、240・・・第2下面側領域、241、251・・・ピーク、252・・・上側裾、253・・・下側裾、

2 6 0 . . . 第 1 上面側領域、 2 7 0 . . . 第 2 上面側領域

請求の範囲

- [請求項1] 上面および下面を有する半導体基板と、
前記半導体基板の上面側の領域に設けられ、第1深さ位置に第1不純物の第1化学濃度ピークを有する第1領域と、
前記半導体基板において前記第1領域とは異なる領域に設けられ、前記第1深さ位置に前記第1不純物の第2化学濃度ピークを有する第2領域と
を備え、
前記第1深さ位置において、前記第2領域の再結合中心の濃度が、前記第1領域の前記再結合中心の濃度よりも低い
半導体装置。
- [請求項2] 前記第1深さ位置において、前記第1領域の前記第1化学濃度ピークのピーク値と前記第2領域の前記第2化学濃度ピークのピーク値との比は、前記第1領域の前記再結合中心の濃度と前記第2領域の前記再結合中心の濃度との比よりも1に近い
請求項1に記載の半導体装置。
- [請求項3] 前記第1化学濃度ピークの前記ピーク値と、前記第2化学濃度ピークの前記ピーク値とが同一である
請求項2に記載の半導体装置。
- [請求項4] 前記第1領域は、前記第1深さ位置に、前記再結合中心の濃度ピークを有する
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] 前記第1領域における前記再結合中心の前記濃度ピークの半値全幅の深さ範囲で、前記第1領域における水素化学濃度を深さ方向に積分した第1積分値が、前記深さ範囲で前記第2領域における水素化学濃度を深さ方向に積分した第2積分値よりも小さい
請求項4に記載の半導体装置。
- [請求項6] 前記第1深さ位置において、前記第2領域の水素化学濃度が、前記

第1領域の水素化学濃度よりも高い

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領域における前記第1深さ位置から前記半導体基板の前記下面までの範囲で水素化学濃度を深さ方向に積分した第3積分値が、前記第2領域における前記第1深さ位置から前記半導体基板の前記下面までの範囲で水素化学濃度を深さ方向に積分した第4積分値よりも小さい

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領域と前記半導体基板の前記下面との間に配置された第1下面側領域と、

前記第2領域と前記半導体基板の前記下面との間に設けられ、第2深さ位置に水素化学濃度のピークを有する第2下面側領域と

を更に備え、

前記第1下面側領域の前記第2深さ位置における水素化学濃度は、前記第2下面側領域の前記第2深さ位置における水素化学濃度よりも小さい

請求項1から7のいずれか一項に記載の半導体装置。

[請求項9] 前記第1領域と前記半導体基板の前記上面との間に配置された第1上面側領域と、

前記第2領域と前記半導体基板の前記上面との間に設けられ、第3深さ位置に水素化学濃度のピークを有する第2上面側領域と

を更に備え、

前記第2上面側領域の前記第3深さ位置における水素化学濃度は、前記第1上面側領域の前記第3深さ位置における水素化学濃度よりも大きい

請求項1から7のいずれか一項に記載の半導体装置。

[請求項10] 前記第1不純物の化学濃度分布は、前記第1化学濃度ピークから前記半導体基板の前記上面に向かう上側裾と、前記第1化学濃度ピーク

から前記下面に向かう下側裾とを有し、

前記上側裾は、前記下側裾よりも前記第 1 不純物の化学濃度が急峻に減少する

請求項 1 から 9 のいずれか一項に記載の半導体装置。

[請求項11] 前記第 1 不純物はヘリウムである

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] 前記半導体基板の前記上面に設けられたゲート絶縁膜を更に備える
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] 前記半導体基板に設けられた N 型のドリフト領域と、
前記ドリフト領域と前記半導体基板の前記下面との間に設けられ、
前記ドリフト領域よりもドーピング濃度の高い N 型のバッファ領域と
を更に備え、

前記第 2 領域の下方における前記バッファ領域は、前記第 2 下面側領域を含み、

前記第 1 領域の下方における前記バッファ領域は、前記第 1 下面側領域を含む

請求項 8 に記載の半導体装置。

[請求項14] 前記第 1 下面側領域は、水素以外の N 型ドーパントの化学濃度ピークを有する

請求項 13 に記載の半導体装置。

[請求項15] 前記半導体基板の前記下面に P 型のコレクタ領域を有するトランジスタ部と、

前記半導体基板の前記下面に N 型のカソード領域を有するダイオード部と

を更に備え、

前記第 2 領域は前記トランジスタ部に設けられ、

前記第 1 領域は前記ダイオード部に設けられる

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] 前記半導体基板はN型のドリフト領域を有し、
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P型のコレクタ領域を有するトランジスタ部と、
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N型のカソード領域を有するダイオード部と
を更に備え、
前記第2上面側領域は前記トランジスタ部に設けられ、
前記第1上面側領域は前記ダイオード部に設けられる
請求項9に記載の半導体装置。
- [請求項17] 前記トランジスタ部は、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配置されたP型のベース領域を有し、
前記第3深さ位置は、前記ベース領域の下端よりも上方に配置されている
請求項16に記載の半導体装置。
- [請求項18] 前記トランジスタ部は、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配置され、前記ベース領域よりもドーピング濃度の高い高濃度領域を有し、
前記第3深さ位置は、前記高濃度領域の下端よりも浅い位置に配置されている
請求項17に記載の半導体装置。
- [請求項19] 前記半導体基板の前記上面の上方に配置されたエミッタ電極を更に備え、
前記第3深さ位置は、前記エミッタ電極と接する前記半導体基板の前記上面からの深さ方向の距離が $1\ \mu\text{m}$ 以下である
請求項16から18のいずれか一項に記載の半導体装置。
- [請求項20] 上面および下面を有する半導体基板と、
前記半導体基板に設けられた第1領域と、
前記半導体基板において前記第1領域と同一の深さ位置に設けられ

た第2領域と

を備え、

前記第1領域は、前記第2領域よりも再結合中心の濃度が高く、

前記第2領域は、前記第1領域よりも水素化学濃度が高い

半導体装置。

[請求項21]

半導体装置の製造方法であって、

上面および下面を有する半導体基板に荷電粒子を注入して、再結合中心を形成する第1注入段階と、

上面視において前記第1注入段階で前記荷電粒子が注入された領域のうちの一部に、前記荷電粒子の飛程よりも短い飛程で水素イオンを注入する第2注入段階と、

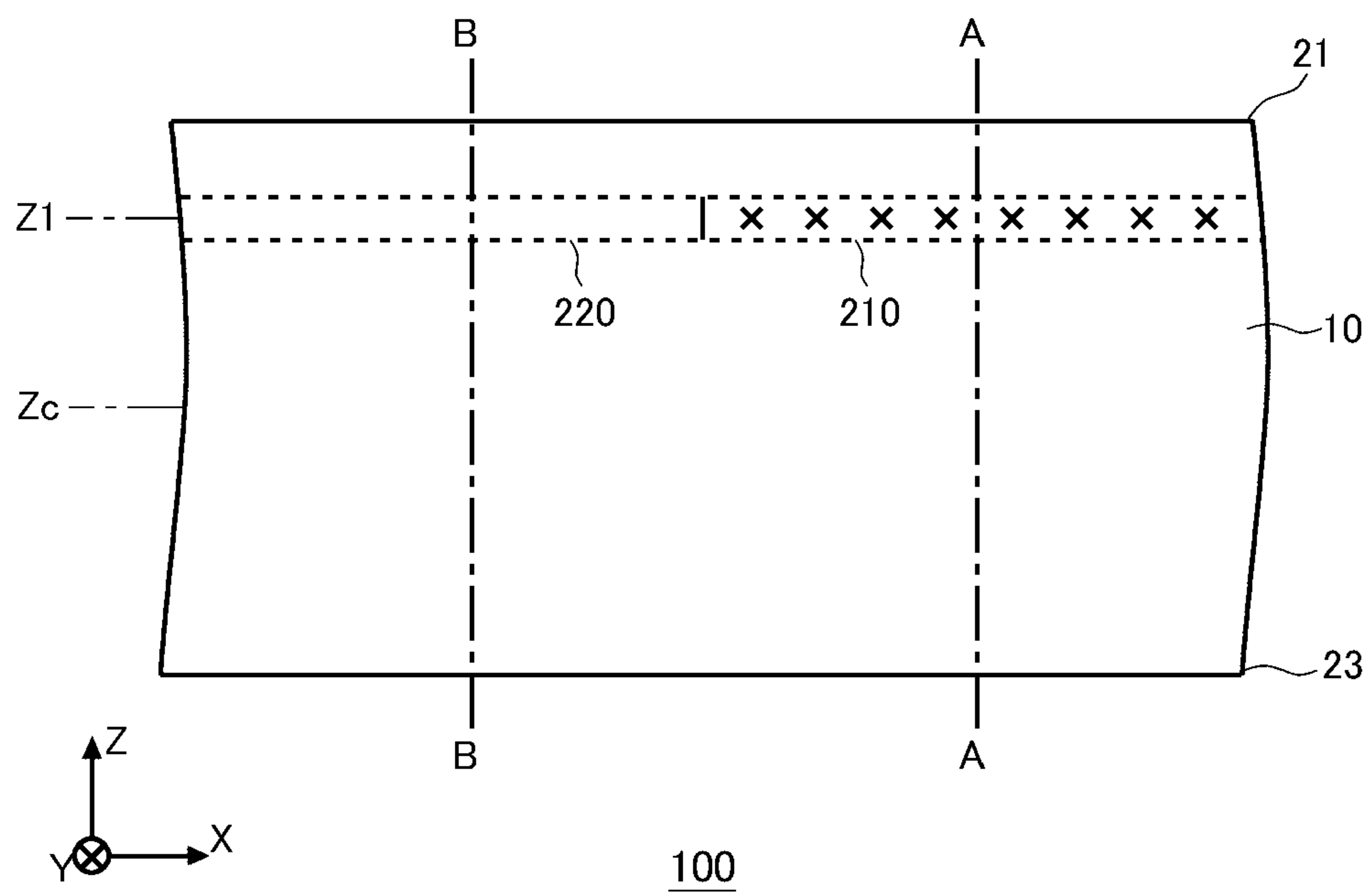
前記半導体基板を熱処理して前記半導体基板中の水素を拡散させて、前記再結合中心を上面視において局所的に回復させる熱処理段階とを備える半導体装置の製造方法。

[請求項22]

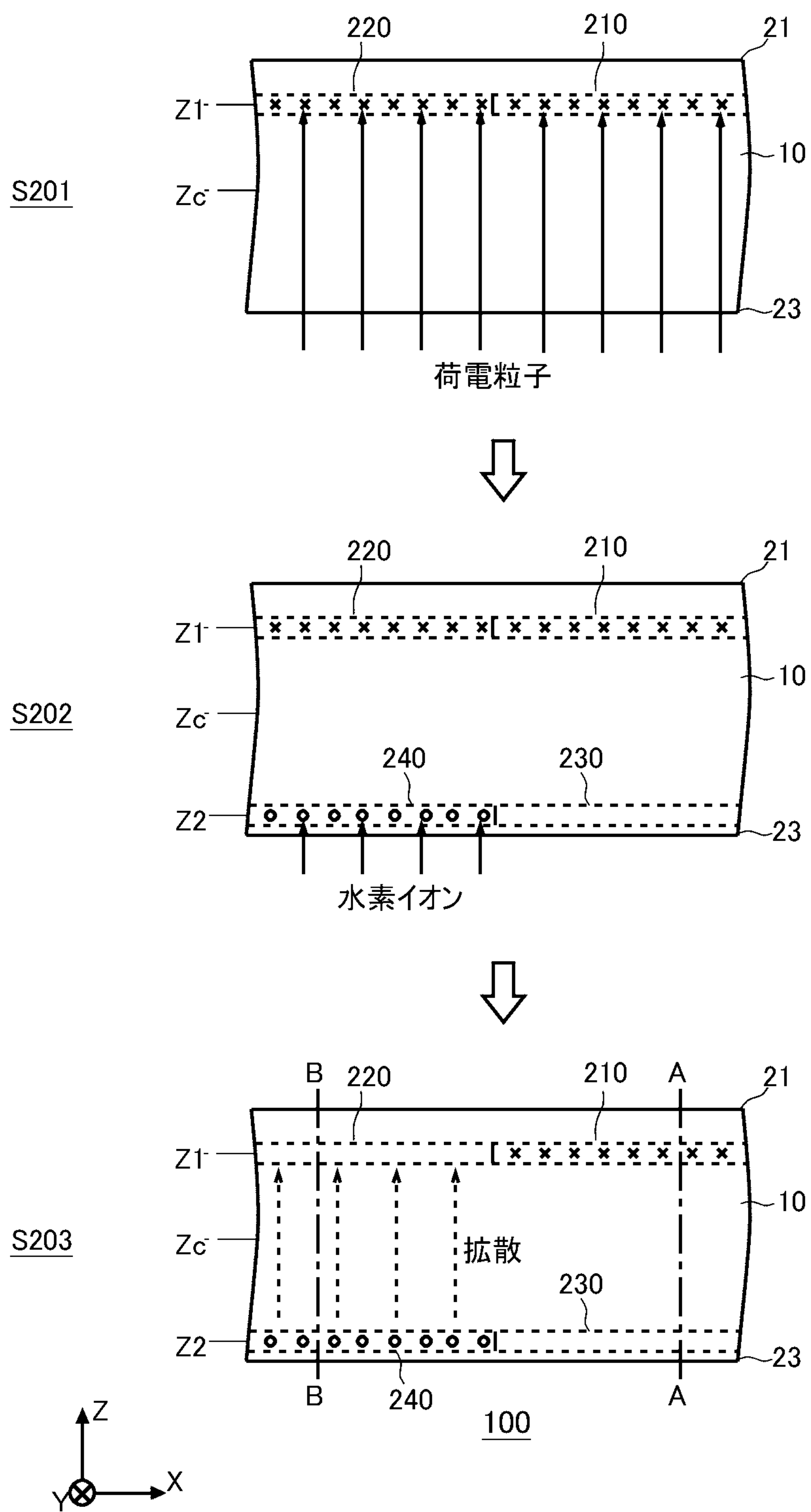
前記熱処理段階の後に、前記第2注入段階で前記水素イオンを注入することで形成された水素化学濃度ピークを含む前記半導体基板の部分を研削する

請求項21に記載の半導体装置の製造方法。

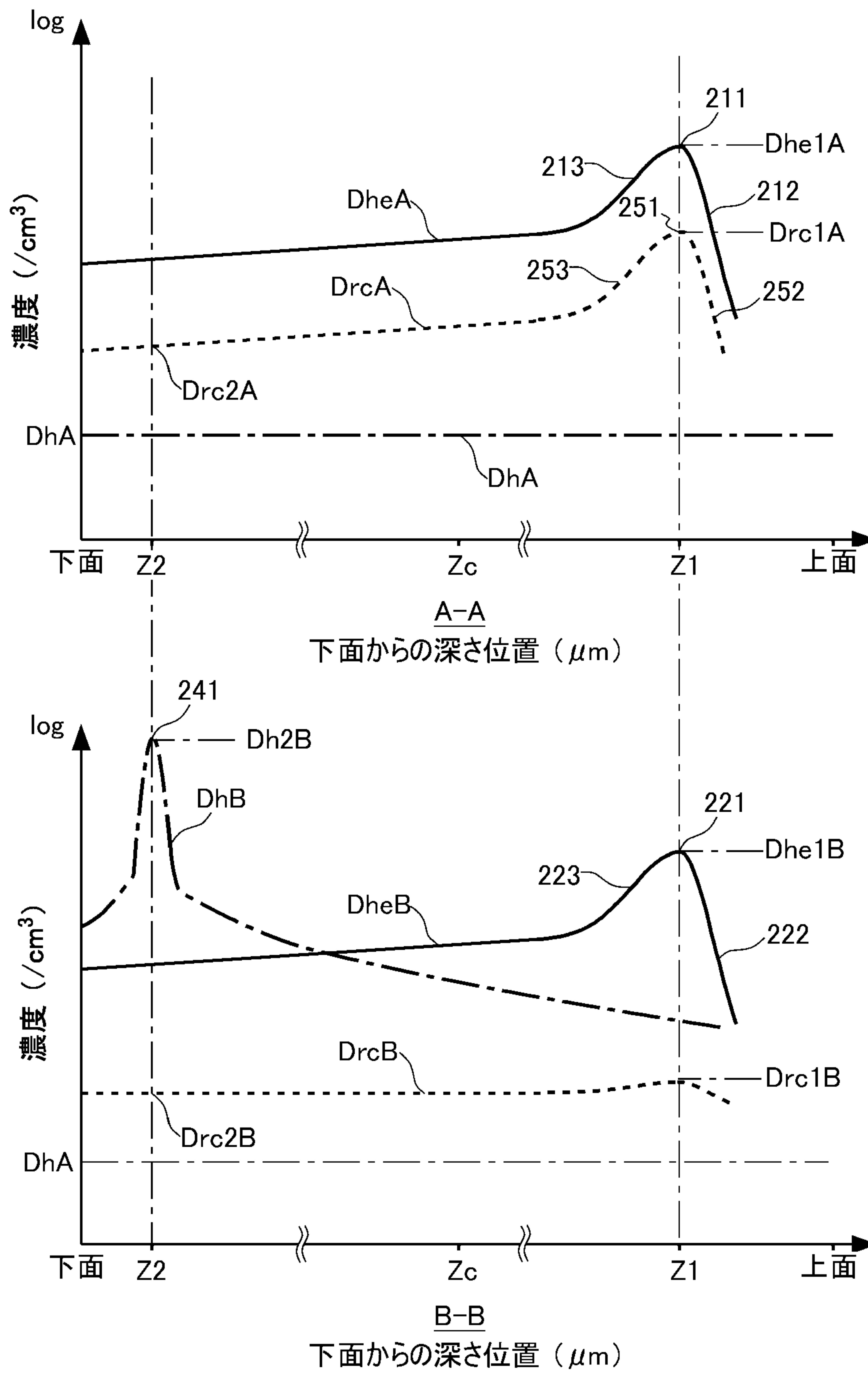
[図1]



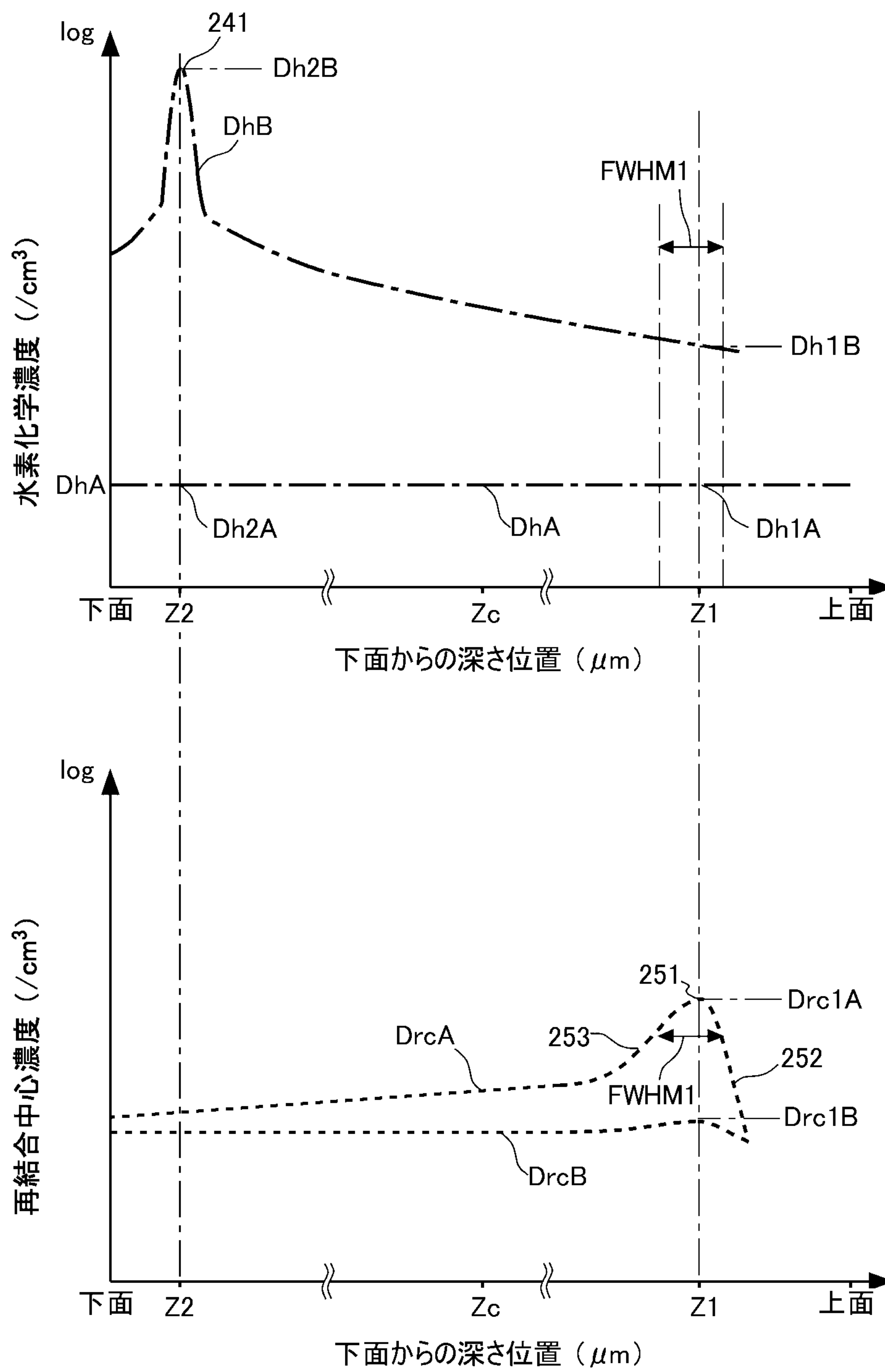
[図2]



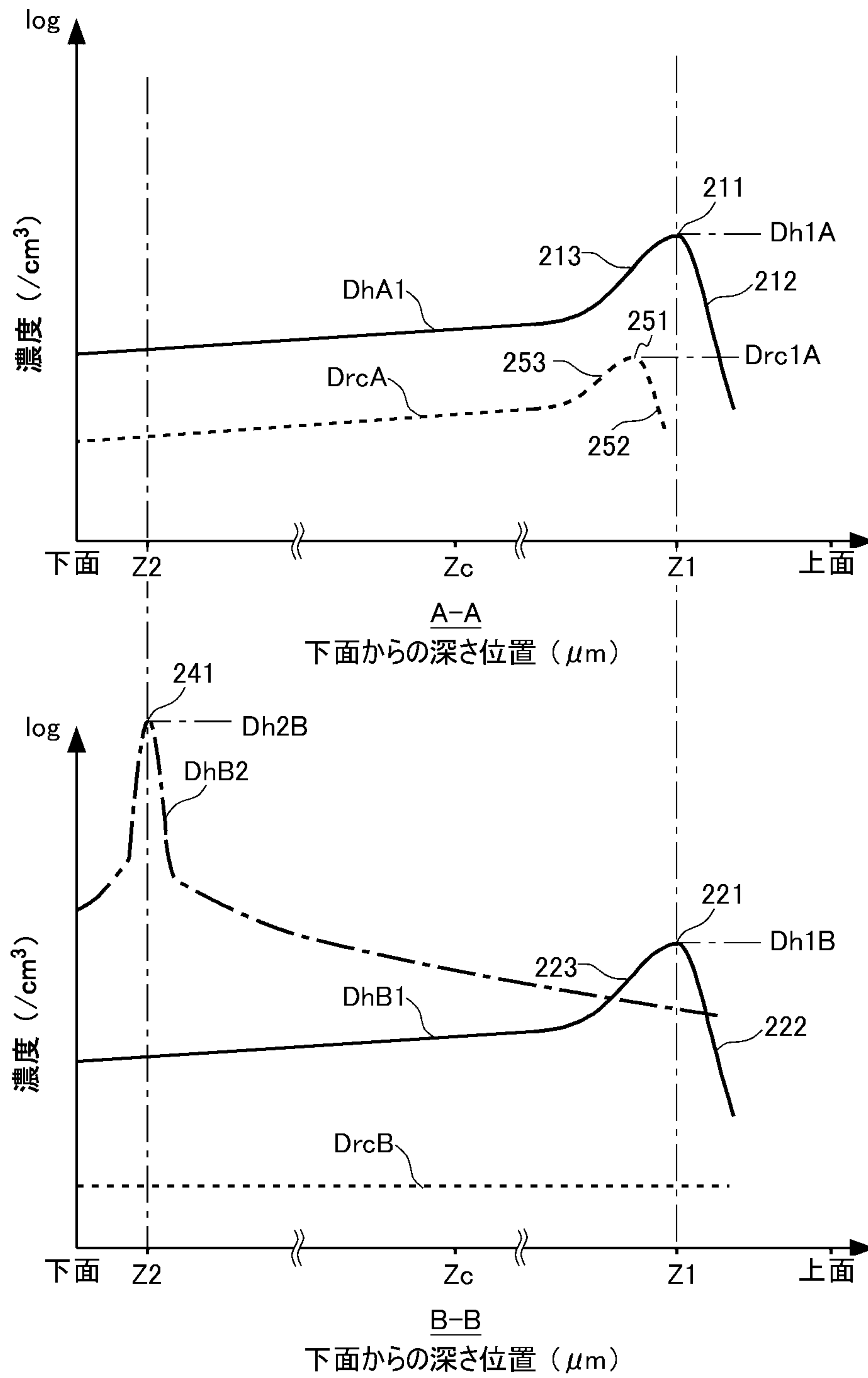
[図3]



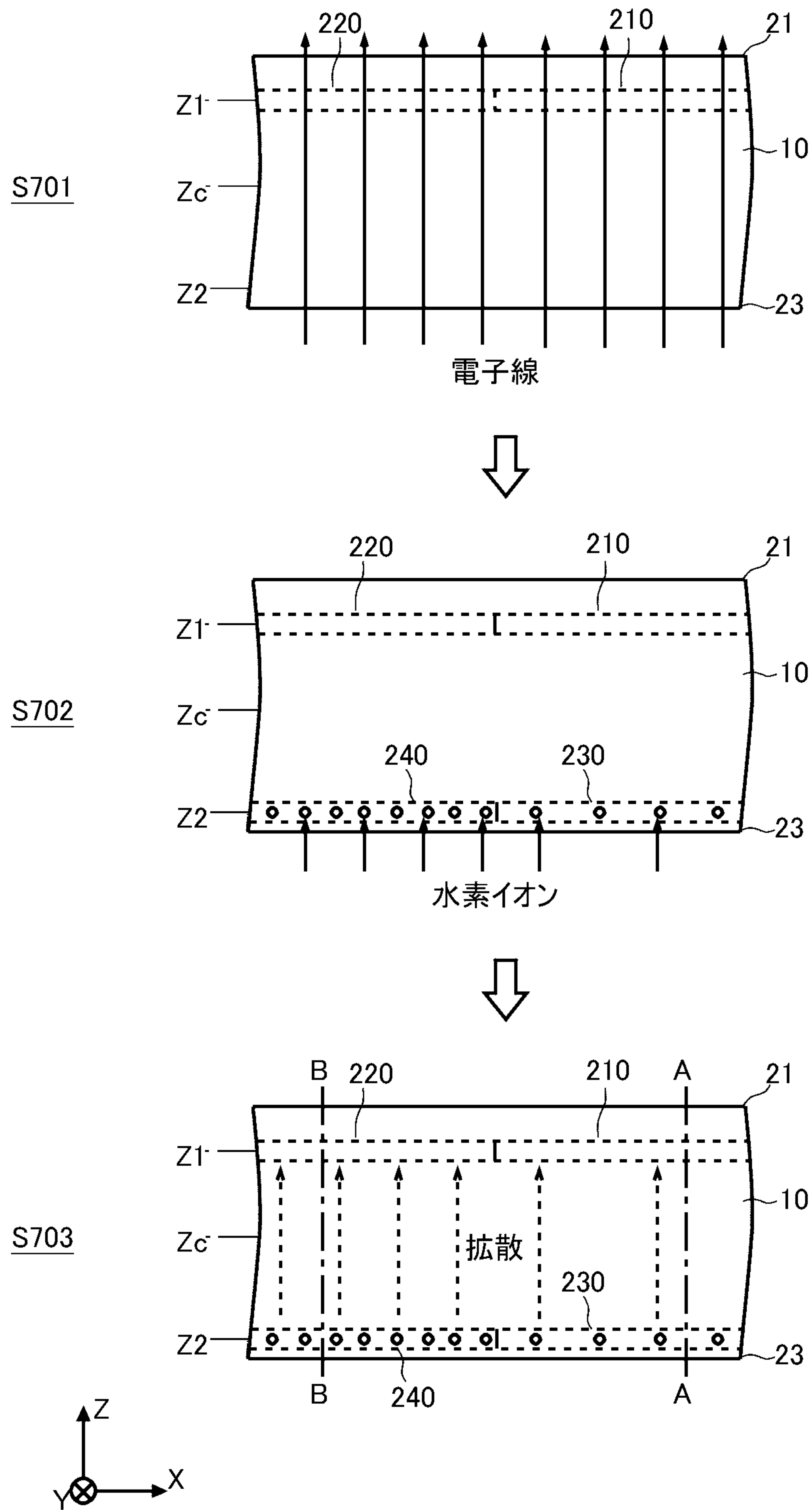
[図4]



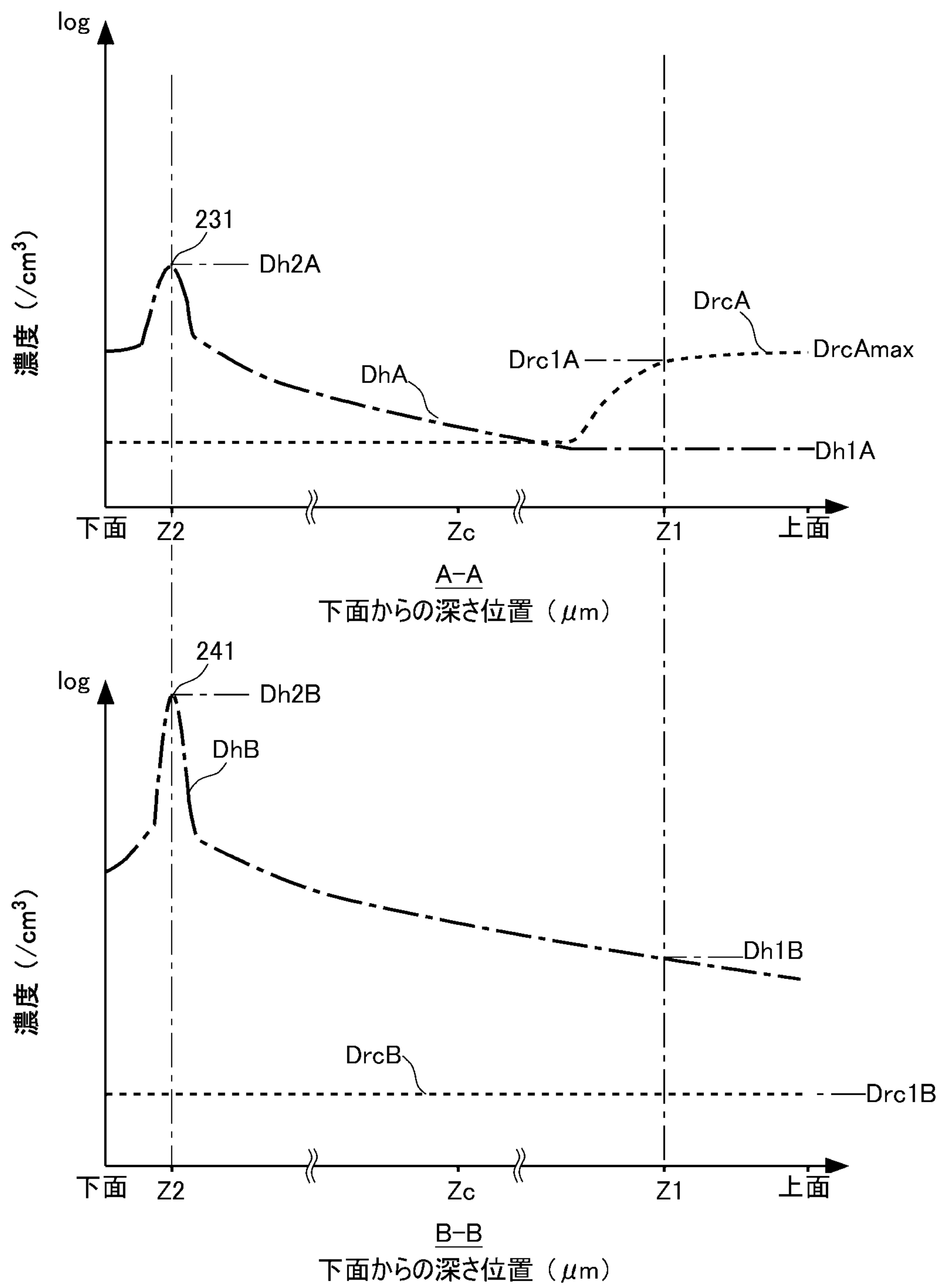
[図5]



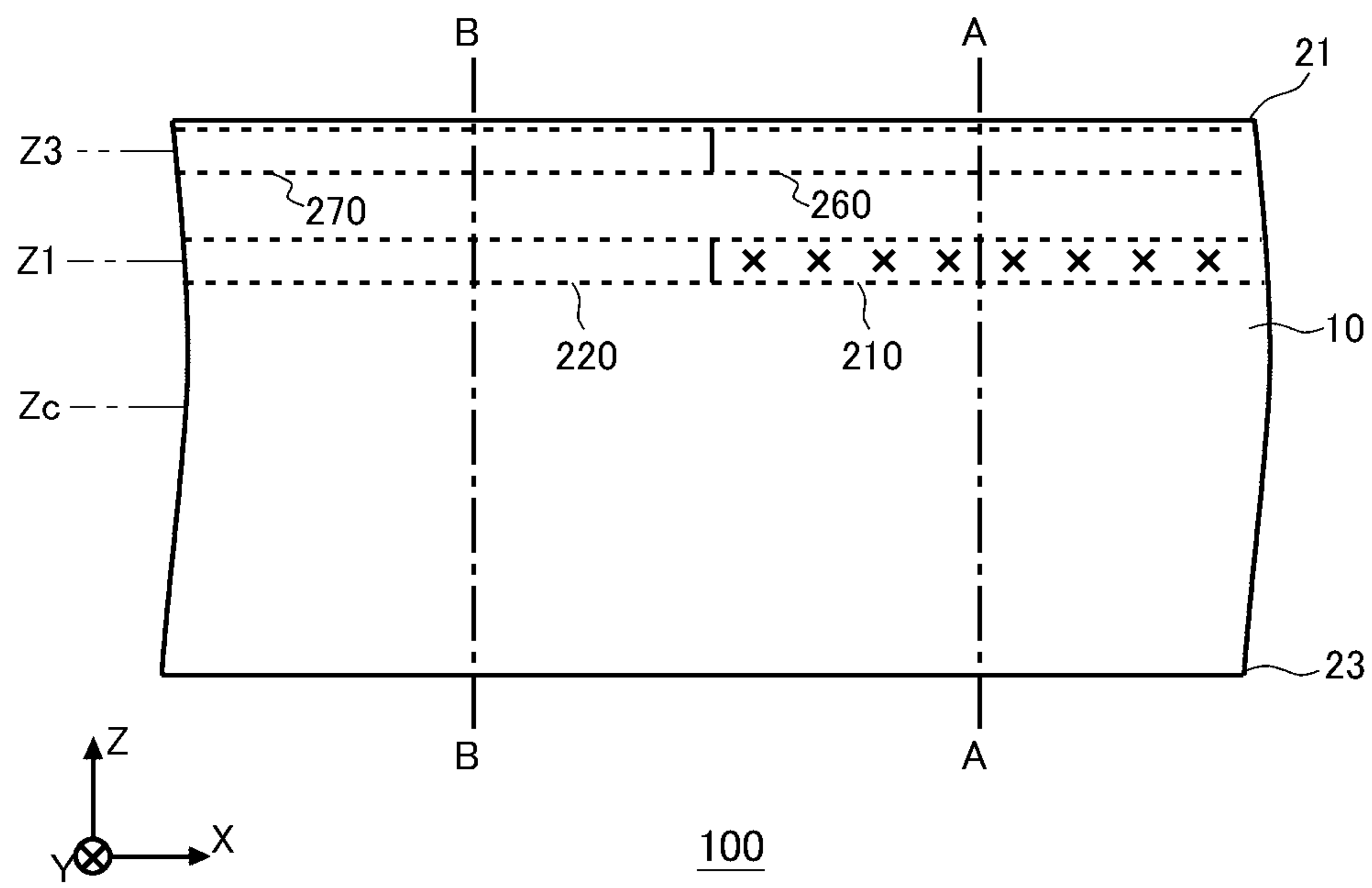
[図7]



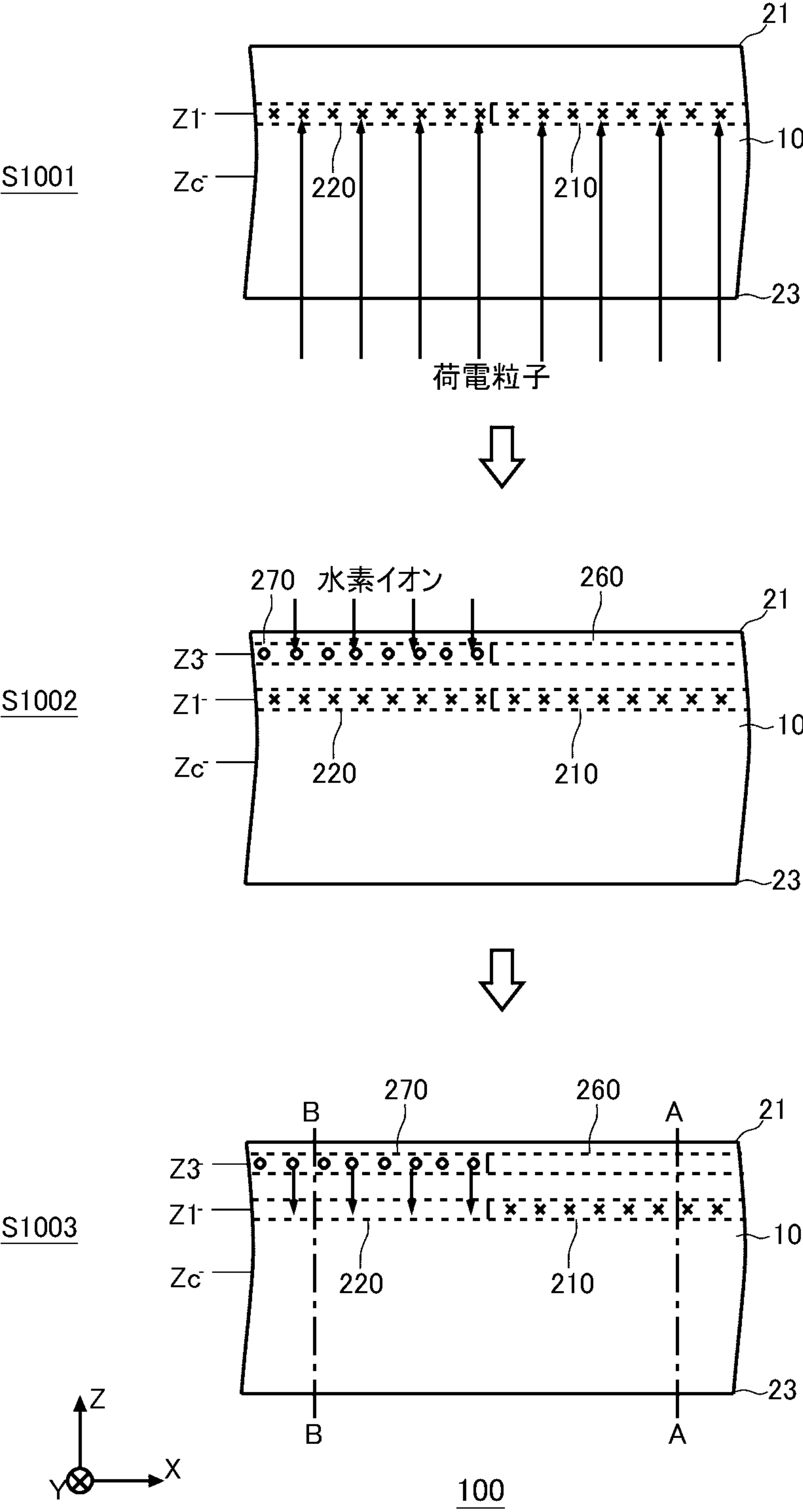
[図8]



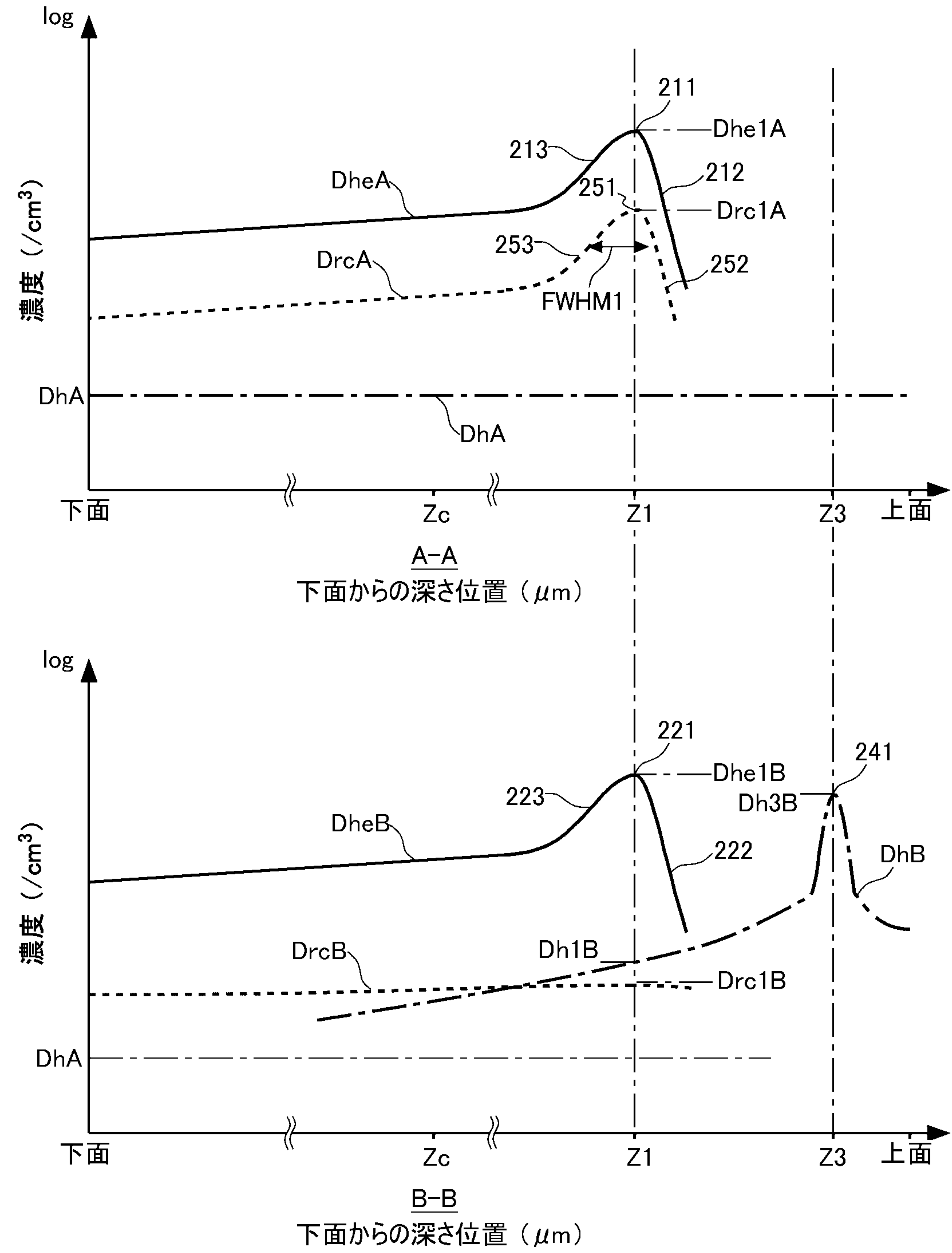
[図9]



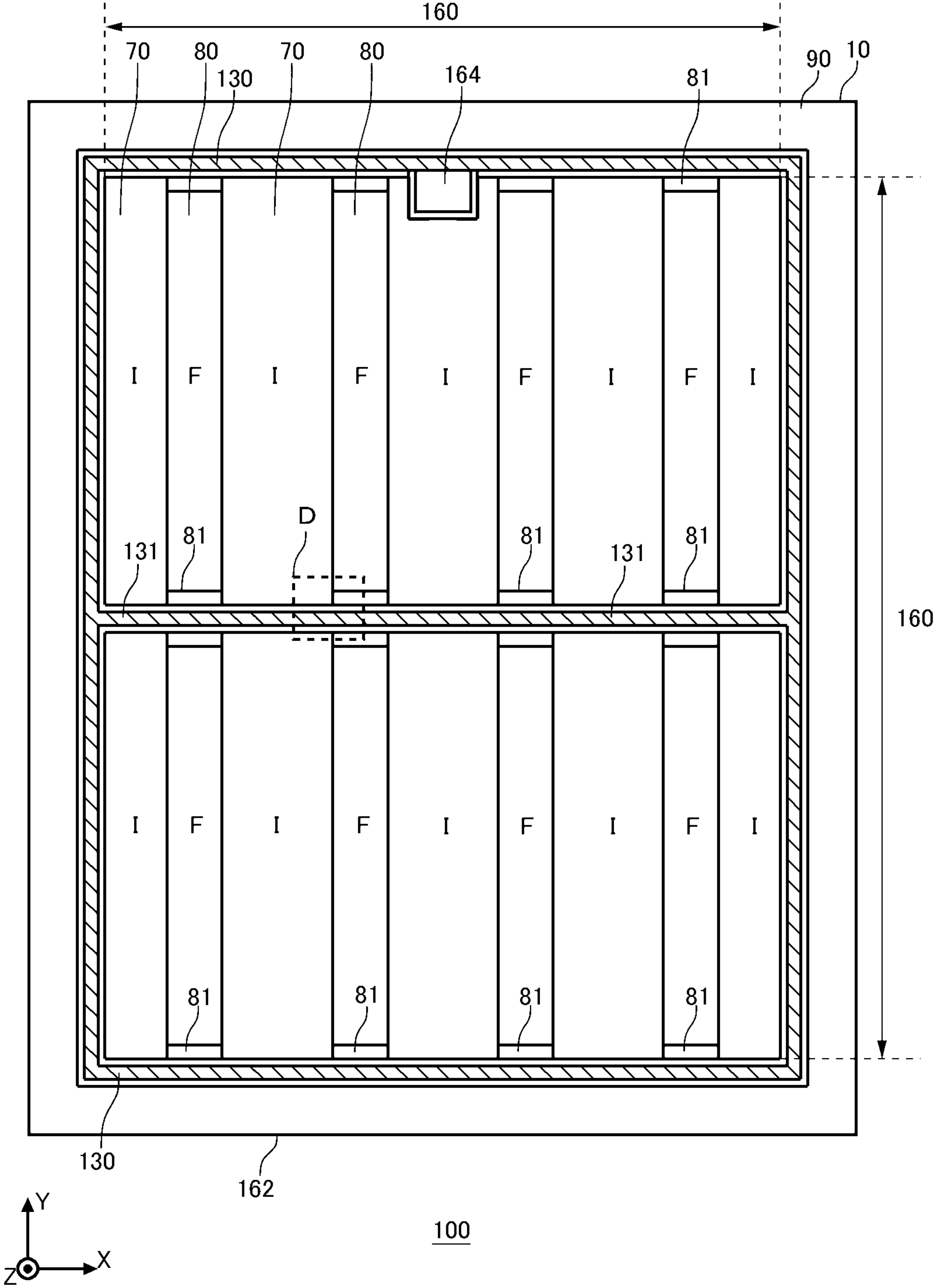
[図10]



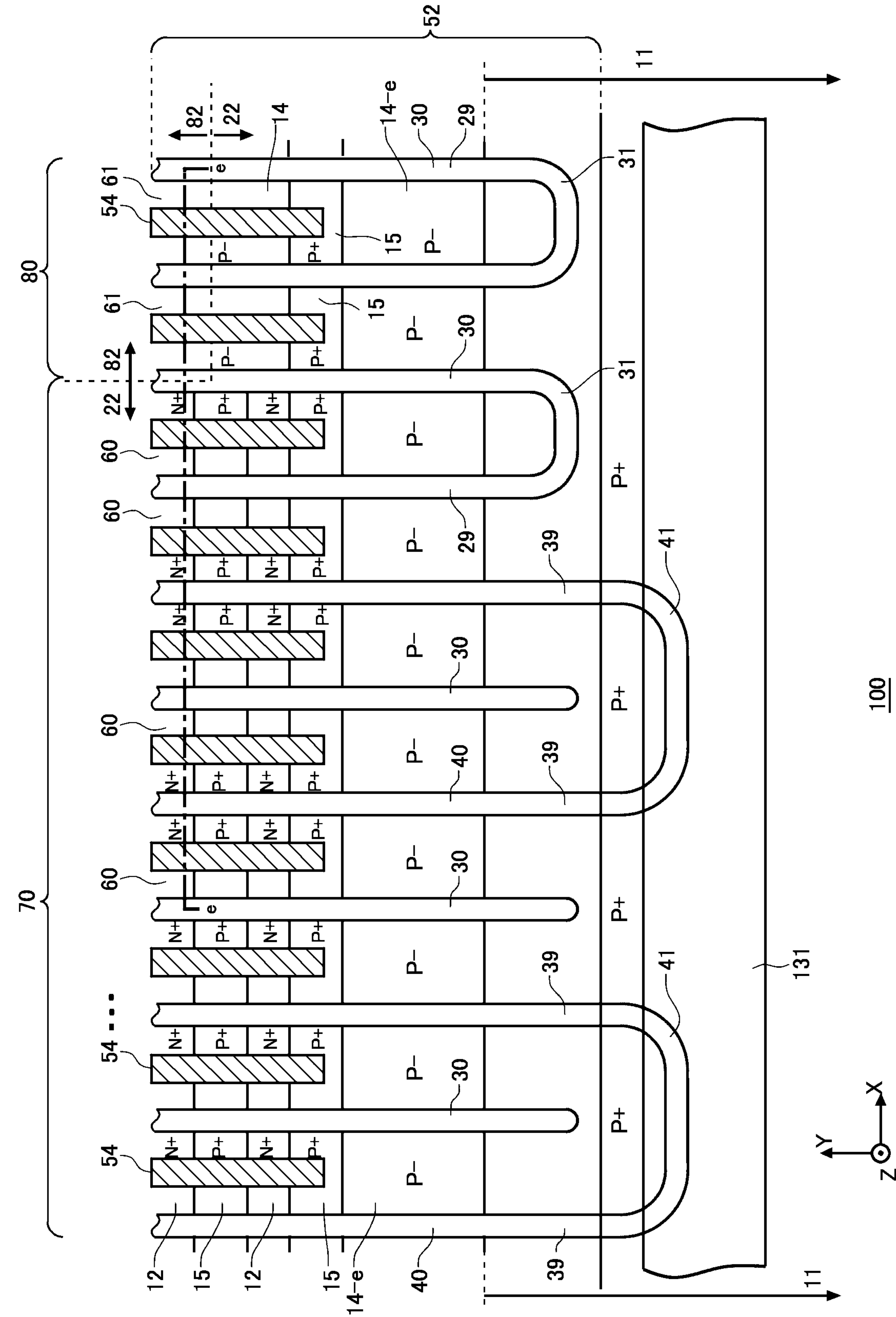
[図11]



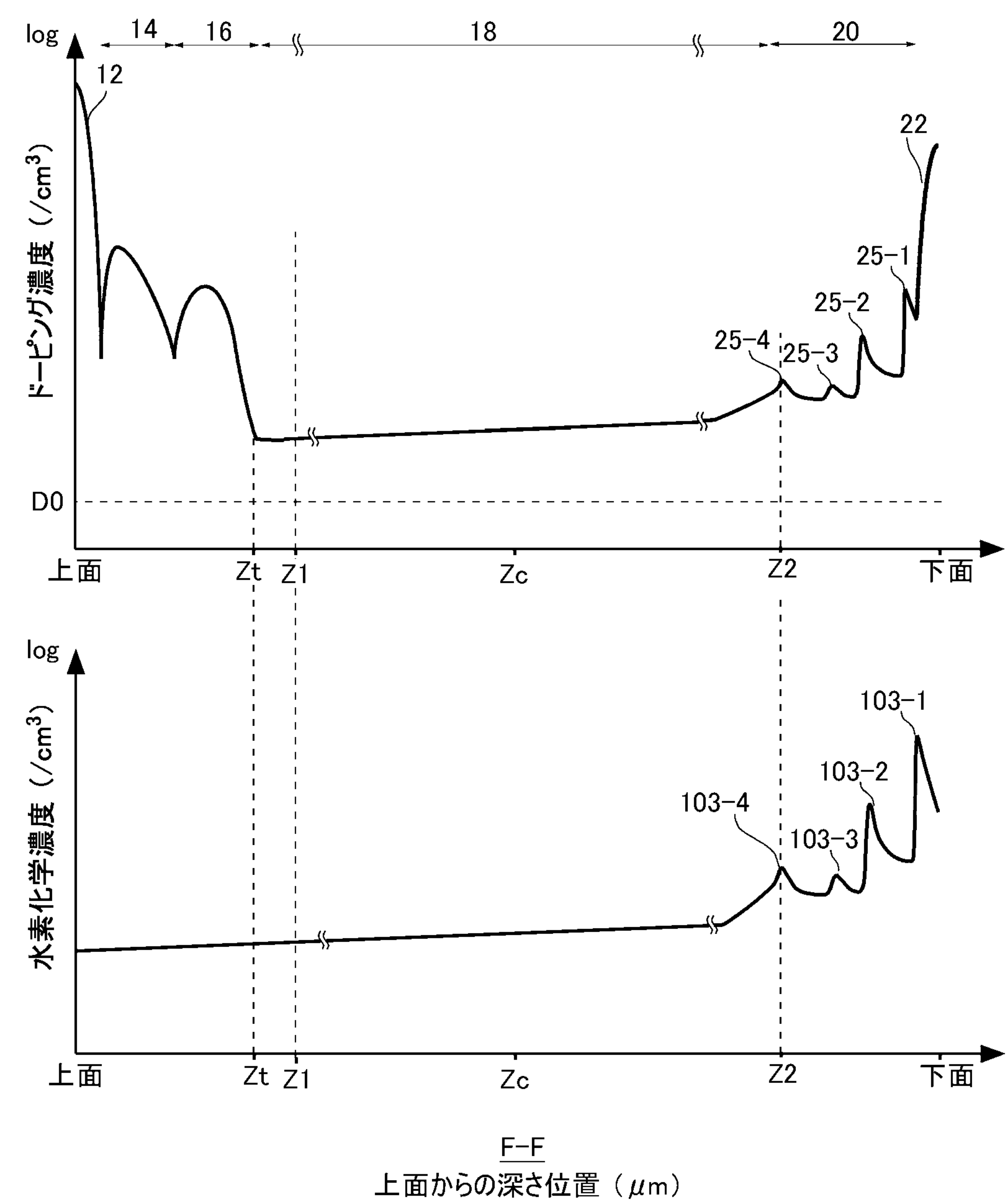
[図12]



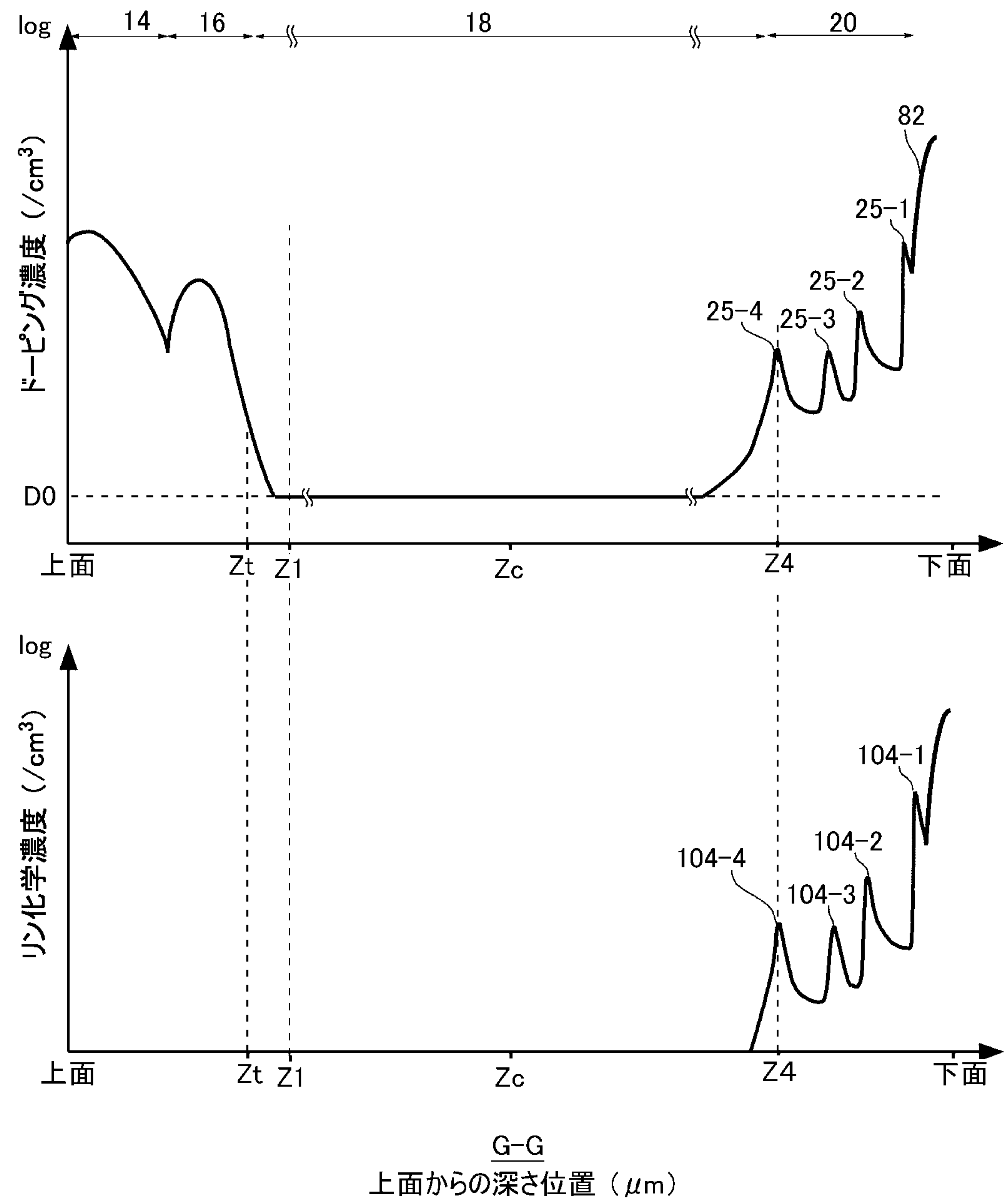
[図13]



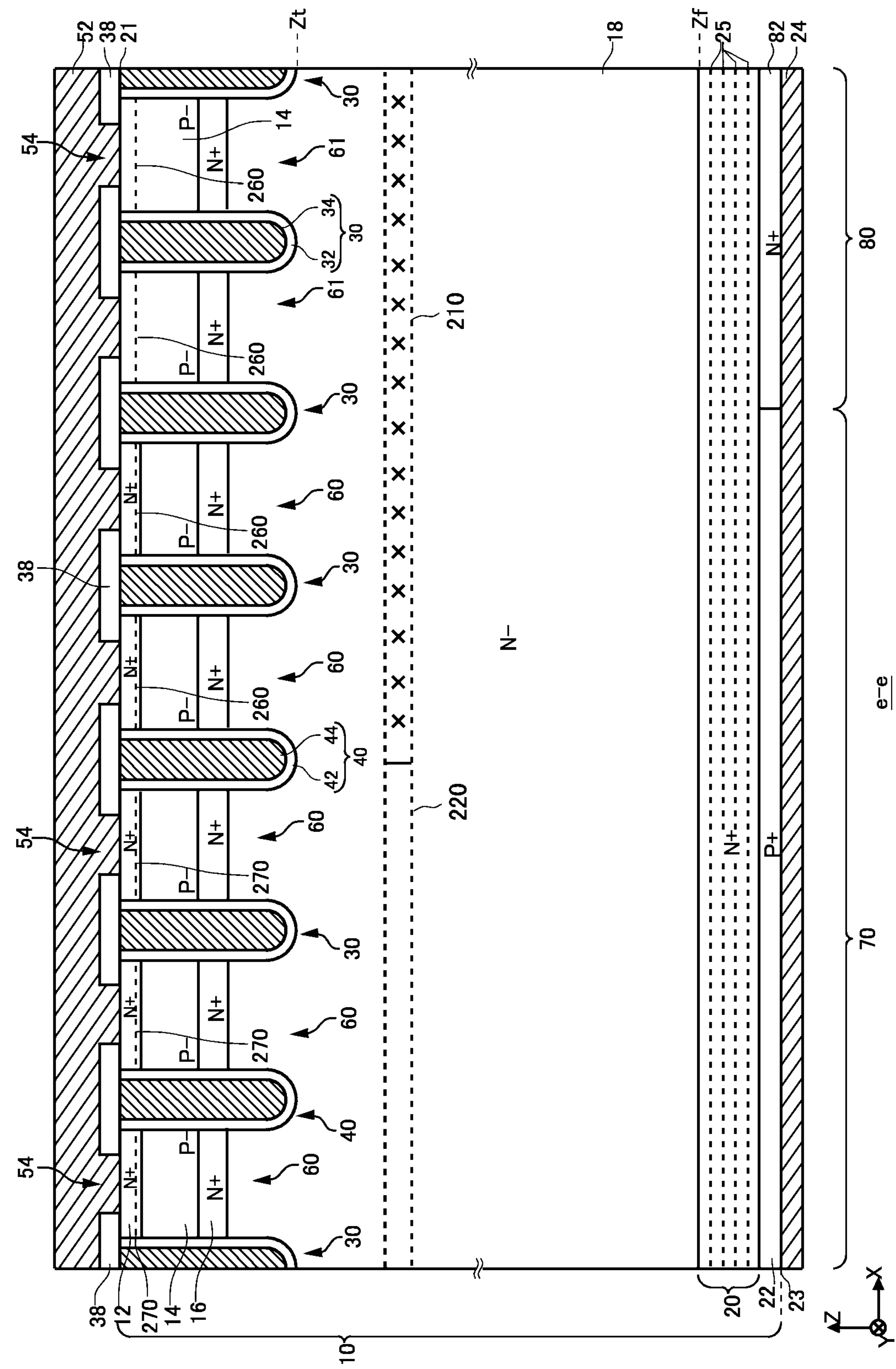
[図15]



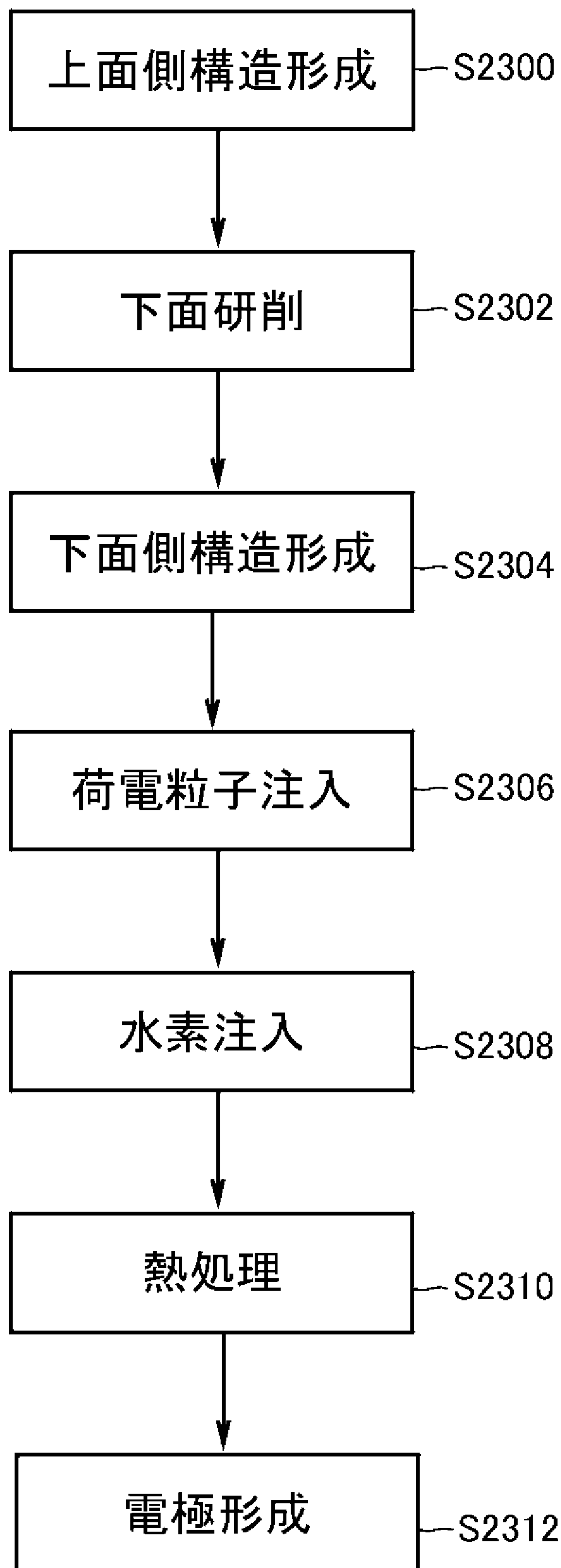
[図16]



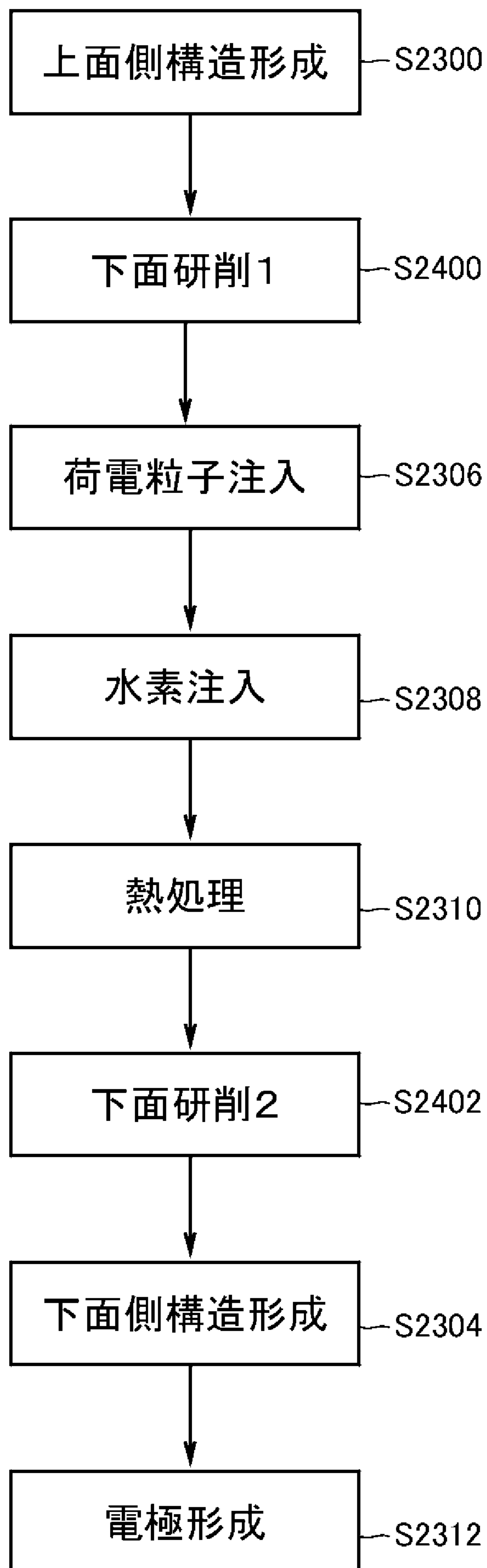
[図17]



[図22]



[図23]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2021/001135

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H01L 21/265(2006.01)i; H01L 21/322(2006.01)i; H01L 29/78(2006.01)i; H01L 29/739(2006.01)i; H01L 21/336(2006.01)i

FI: H01L29/78 658H; H01L29/78 658A; H01L29/78 652Q; H01L29/78 657D;
H01L29/78 655(;; H01L29/78 655F; H01L29/78 652B; H01L29/78 652J;
H01L29/78 655D; H01L29/78 655B; H01L29/78 653A; H01L29/78 652C;
H01L29/78 652E; H01L29/78 652D; H01L21/322 L; H01L21/265 W;
H01L21/265 602A

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

H01L21/336; H01L29/78; H01L21/265; H01L21/322; H01L29/739

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

Published examined utility model applications of Japan	1922-1996
Published unexamined utility model applications of Japan	1971-2021
Registered utility model specifications of Japan	1996-2021
Published registered utility model applications of Japan	1994-2021

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

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	WO 2016/204227 A1 (FUJI ELECTRIC CO., LTD.) 22 December 2016 (2016-12-22) paragraphs [0020]- [0047], [0061]-[0099], fig. 1, 2, 7-10	1-22
A	WO 2014/208404 A1 (FUJI ELECTRIC CO., LTD.) 31 December 2014 (2014-12-31) paragraphs [0011]- [0017], [0024]-[0036], [0084]-[0090], fig. 1-8, 29	1-22
A	JP 2018-125537 A (FUJI ELECTRIC CO., LTD.) 09 August 2018 (2018-08-09) paragraphs [0025], [0038]-[0044], fig. 2, 3, 6-8	1-22



Further documents are listed in the continuation of Box C.



See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

“A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

“E” earlier application or patent but published on or after the international filing date

“L” document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

“O” document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

“P” document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

“T”

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

“X”

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

“Y”

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

“&”

document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

08 April 2021 (08.04.2021)

Date of mailing of the international search report

20 April 2021 (20.04.2021)

Name and mailing address of the ISA/

Japan Patent Office

3-4-3, Kasumigaseki, Chiyoda-ku,

Tokyo 100-8915, Japan

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2021/001135

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	WO 2017/146148 A1 (FUJI ELECTRIC CO., LTD.) 31 August 2017 (2017-08-31) paragraphs [0038]-[0042], [0070]-[0075], [0092]-[0095], fig. 3, 10, 13	1-22
A	JP 2015-185742 A (DENSO CORP.) 22 October 2015 (2015-10-22) paragraphs [0035]-[0043], fig. 1-5	1-22
A	WO 2019/181852 A1 (FUJI ELECTRIC CO., LTD.) 26 September 2019 (2019-09-26) paragraphs [0037]-[0058], [0092]-[0132], fig. 1B, 2, 5-7	1-22

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No.

PCT/JP2021/001135

Patent Documents referred in the Report	Publication Date	Patent Family	Publication Date
WO 2016/204227 A1	22 Dec. 2016	US 2017/0271447 A1 paragraphs [0043]- [0070], [0084]- [0124], fig. 1, 2, 7- 10 US 2019/0214462 A1 DE 112016000170 T5 CN 107004723 A	
WO 2014/208404 A1	31 Dec. 2014	US 2015/0311279 A1 paragraphs [0013]- [0023], [0065]- [0077], [0125]- [0131], fig. 1-8, 29 US 2020/0144360 A1 EP 2930741 A1 CN 104903997 A CN 109065441 A KR 10-2016-0023632 A	
JP 2018-125537 A	09 Aug. 2018	US 2016/0276446 A1 paragraphs [0071], [0094]-[0100], fig. 2, 3, 6-8 US 2019/0288078 A1 WO 2016/051973 A1 DE 112015000206 T5 CN 105814694 A	
WO 2017/146148 A1	31 Aug. 2017	US 2018/0166279 A1 paragraphs [0056]- [0060], [0087]- [0092], [0109]- [0112], fig. 3, 10, 13 DE 112017000064 T5 CN 107851584 A	
JP 2015-185742 A	22 Oct. 2015	US 2017/0077216 A1 paragraphs [0056]- [0064], fig. 1-5 WO 2015/145929 A1 CN 106133889 A	
WO 2019/181852 A1	26 Sep. 2019	US 2020/0194562 A1 paragraphs [0069]- [0090], [0124]- [0164], fig. 1B, 2, 5-7 CN 111095569 A	

国際調査報告		国際出願番号 PCT/JP2021/001135
A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC）） H01L 21/265(2006.01)i; H01L 21/322(2006.01)i; H01L 29/78(2006.01)i; H01L 29/739(2006.01)i; H01L 21/336(2006.01)i FI: H01L29/78 658H; H01L29/78 658A; H01L29/78 652Q; H01L29/78 657D; H01L29/78 655G; H01L29/78 655F; H01L29/78 652B; H01L29/78 652J; H01L29/78 655D; H01L29/78 655B; H01L29/78 653A; H01L29/78 652C; H01L29/78 652E; H01L29/78 652D; H01L21/322 L; H01L21/265 W; H01L21/265 602A		
B. 調査を行った分野		
調査を行った最小限資料（国際特許分類（IPC）） H01L21/336; H01L29/78; H01L21/265; H01L21/322; H01L29/739		
最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの 日本国実用新案公報 1922 - 1996年 日本国公開実用新案公報 1971 - 2021年 日本国実用新案登録公報 1996 - 2021年 日本国登録実用新案公報 1994 - 2021年		
国際調査で使用した電子データベース（データベースの名称、調査に使用した用語）		
C. 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
A	WO 2016/204227 A1（富士電機株式会社）22.12.2016（2016 - 12 - 22） 段落0020-0047, 0061-0099, 図1, 2, 7-10	1-22
A	WO 2014/208404 A1（富士電機株式会社）31.12.2014（2014 - 12 - 31） 段落0011-0017, 0024-0036, 0084-0090, 図1-8, 29	1-22
A	JP 2018-125537 A（富士電機株式会社）09.08.2018（2018 - 08 - 09） 段落0025, 0038-0044, 図2, 3, 6-8	1-22
A	WO 2017/146148 A1（富士電機株式会社）31.08.2017（2017 - 08 - 31） 段落0038-0042, 0070-0075, 0092-0095 図3, 10, 13	1-22
A	JP 2015-185742 A（株式会社デンソー）22.10.2015（2015 - 10 - 22） 段落0035-0043, 図1-5	1-22
A	WO 2019/181852 A1（富士電機株式会社）26.09.2019（2019 - 09 - 26） 段落0037-0058, 0092-0132, 図1B, 2, 5-7	1-22
☐ C欄の続きにも文献が列挙されている。 ☒ パテントファミリーに関する別紙を参照。		
* 引用文献のカテゴリー “A” 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの “E” 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの “L” 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す） “O” 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献 “P” 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願の日の後に公表された文献		“T” 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と抵触するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの “X” 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの “Y” 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの “&” 同一パテントファミリー文献
国際調査を完了した日 08.04.2021		国際調査報告の発送日 20.04.2021
名称及びあて先 日本国特許庁(ISA/JP) 〒100-8915 日本国 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号		権限のある職員（特許庁審査官） 恩田 和彦 5F 5896 電話番号 03-3581-1101 内線 3516

引用文献			公表日	パテントファミリー文献	公表日
WO	2016/204227	A1	22.12.2016	US 2017/0271447 A1 段落0043-0070, 0084-0124, 図1, 2, 7-10 US 2019/0214462 A1 DE 112016000170 T5 CN 107004723 A	
WO	2014/208404	A1	31.12.2014	US 2015/0311279 A1 段落0013-0023, 0065-0077, 0125-0131, 図1-8, 29 US 2020/0144360 A1 EP 2930741 A1 CN 104903997 A CN 109065441 A KR 10-2016-0023632 A	
JP	2018-125537	A	09.08.2018	US 2016/0276446 A1 段落0071, 0094-0100, 図2, 3, 6-8 US 2019/0288078 A1 WO 2016/051973 A1 DE 112015000206 T5 CN 105814694 A	
WO	2017/146148	A1	31.08.2017	US 2018/0166279 A1 段落0056-0060, 0087-0092, 0109-0112, 図3, 10, 13 DE 112017000064 T5 CN 107851584 A	
JP	2015-185742	A	22.10.2015	US 2017/0077216 A1 段落0056-0064, 図1-5 WO 2015/145929 A1 CN 106133889 A	
WO	2019/181852	A1	26.09.2019	US 2020/0194562 A1 段落0069-0090, 0124-0164, 図1B, 2, 5-7 CN 111095569 A	