(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
2021年8月26日(26.08.2021)

WIPO | PCT

(10) 国際公開番号
WO 2021/166980 A1

(51) 国際特許分類:
H01L 29/78 (2006.01) *H01L 29/06* (2006.01)
H01L 21/322 (2006.01) *H01L 29/739* (2006.01)
H01L 21/324 (2006.01) *H01L 29/861* (2006.01)
H01L 21/336 (2006.01) *H01L 29/868* (2006.01)

(21) 国際出願番号： PCT/JP2021/006016

(22) 国際出願日： 2021年2月17日(17.02.2021)

(25) 国際出願の言語： 日本語

(26) 国際公開の言語： 日本語

(30) 優先権データ：
特願 2020-025326 2020年2月18日(18.02.2020) JP

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

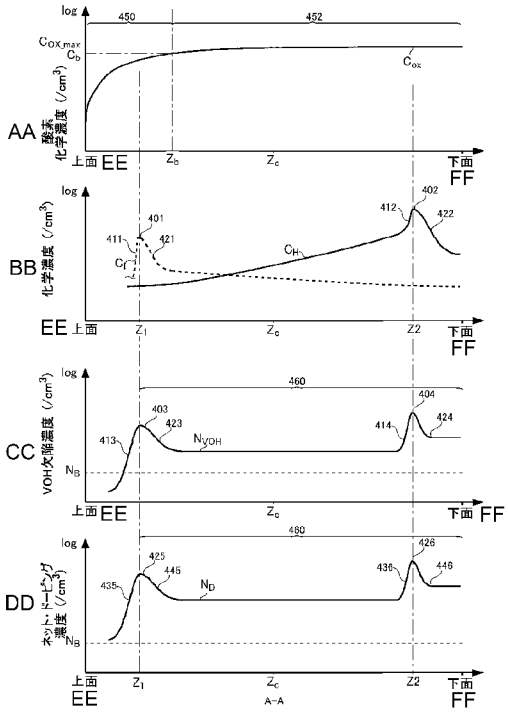
(72) 発明者: 窪内 源宜 (**KUBOUCHI Motoyoshi**); 〒2109530 神奈川県川崎市川崎区田辺新田１番１号 富士電機株式会社内 Kanagawa (JP).

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

(81) 指定国(表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, 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,

(54) **Title:** SEMICONDUCTOR DEVICE

(54) 発明の名称： 半導体装置



AA Oxygen chemical concentration
BB Chemical concentration
CC VOH defect concentration
DD Net doping concentration
EE Top surface
FF Bottom surface

(57) **Abstract:** Provided is a semiconductor device comprising: a semiconductor substrate which has a top surface and a bottom surface and in which a first conductivity type bulk donor is distributed throughout the entirety thereof; a first conductivity type high-concentration region which includes a central position in a depth direction of the semiconductor substrate and where the donor concentration is greater than the doping concentration of the bulk donor; and a top surface side oxygen reduced region which is provided to be in contact with the top surface of the semiconductor substrate inside

WO 2021/166980 A1

[続葉有]

HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, IT, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, WS, ZA, ZM, ZW.

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

添付公開書類:

— 国際調査報告 (条約第21条(3))

— 補正された請求の範囲 (条約第19条(1))

the semiconductor substrate and where the oxygen chemical concentration decreases the closer to the top surface of the semiconductor substrate. The distribution of the oxygen chemical concentration has a maximum value region where the oxygen chemical concentration is at least 50% of a maximum value, a first peak of an impurity chemical concentration is disposed at an end of the high-concentration region in the depth direction, and the first peak may be disposed inside the maximum value region or further toward the top surface of the semiconductor substrate than the maximum value region.

(57) 要約:上面および下面を有し、第１導電型のバルク・ドナーが全体に分布した半導体基板と、半導体基板の深さ方向における中央位置を含み、ドナー濃度がバルク・ドナーのドーピング濃度よりも高い、第１導電型の高濃度領域と、半導体基板の内部において半導体基板の上面と接して設けられ、半導体基板の上面に近づくほど酸素化学濃度が減少する上面側酸素減少領域とを備える半導体装置を提供する。酸素化学濃度分布は、酸素化学濃度が最大値の５０％以上である最大値領域を有し、高濃度領域の深さ方向の端部に不純物化学濃度の第１ピークが配置され、第１ピークは、最大値領域内か、または、最大値領域よりも半導体基板の上面側に配置されていてよい。

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、半導体ウエハにプロトンを照射して熱プロセスを行うことで、「プロトン照射および導入されたプロトンによって形成された結晶欠陥から、水素誘起ドナーが生じる」ことが知られている（例えば、特許文献１段落００６１参照）。

特許文献１　特開２０１３－１５３１８３号公報

解決しようとする課題

[0003] 半導体装置は、ドナー濃度のばらつきが小さいことが好ましい。

一般的開示

[0004] 上記課題を解決するために、本発明の一つの態様においては、上面および下面を有し、第１導電型のバルク・ドナーが全体に分布した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、半導体基板の深さ方向における中央位置を含み、ドナー濃度がバルク・ドナーのドーピング濃度よりも高い、第１導電型の高濃度領域を備えてよい。半導体装置は、半導体基板の内部において半導体基板の上面と接して設けられ、半導体基板の上面に近づくほど酸素化学濃度が減少する上面側酸素減少領域とを備えてよい。

[0005] 半導体基板の深さ方向における酸素化学濃度分布は、酸素化学濃度が最大値となる位置を含み、且つ、酸素化学濃度が最大値の５０％以上である最大値領域を有してよい。高濃度領域の深さ方向の端部に不純物化学濃度の第１ピークが配置されてよい。第１ピークは、最大値領域内か、または、最大値領域よりも半導体基板の上面側に配置されていてよい。

[0006] 不純物化学濃度の深さ方向の分布は、第１ピークから下面に向かう下側裾と、第１ピークから上面に向かって下側裾より不純物化学濃度が急峻に減少

する上側裾とを有してよい。

[0007] 高濃度領域は、第１ピークから、半導体基板の下面まで設けられていてよい。

[0008] 酸素化学濃度分布は、酸素化学濃度が極大値を示す酸素濃度ピークを有してよい。

[0009] 第１ピークと下面との間に配置された、水素化学濃度の第２ピークを有してよい。

[0010] 半導体装置は、上面側酸素減少領域よりも下面側に配置され、半導体基板の下面に近づくほど酸素化学濃度が減少する下面側酸素減少領域を備えてよい。水素化学濃度の第２ピークは、下面側酸素減少領域に配置されていてよい。

[0011] 水素化学濃度の第２ピークは、最大値領域に配置されていてよい。

[0012] 半導体装置は、半導体基板に設けられた第１導電型のドリフト領域を備えてよい。半導体装置は、ドリフト領域と下面との間に配置され、ドリフト領域よりもドーピング濃度が高いバッファ領域を備えてよい。水素化学濃度の第２ピークは、バッファ領域に配置されていてよい。

[0013] 半導体基板の前記深さ方向における再結合中心濃度分布は、再結合濃度ピークを有してよい。再結合濃度ピークは、酸素化学濃度が最大値の７０％以上である領域に配置されていてよい。

[0014] 第１ピークは、酸素化学濃度が最大値の７０％以上である領域に配置されていてよい。

[0015] バルク・ドナーはリンかアンチモンであってよい。

[0016] 半導体基板は、第２導電型のバルク・アクセプタが全体に分布していてよい。

[0017] バルク・アクセプタはボロンであってよい。

[0018] 不純物化学濃度は水素化学濃度であってよい。

[0019] 半導体装置は、半導体基板の上面に接し、第２導電型を有する１つ以上のガードリングを備えてよい。半導体装置は、最も外側のガードリングよりも

更に外側に設けられ、半導体基板の上面に接し、バルク・ドナーのドーピング濃度よりも高い第１導電型または第２導電型のチャネルストッパを備えてよい。チャネルストッパが水素を含んでよい。

[0020] 半導体基板の下面からチャネルストッパまで水素が分布していてよい。

[0021] 水素化学濃度のピークが、チャネルストッパに設けられていてよい。

[0022] 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

[0023] [図1]半導体装置１００の一例を示す断面図である。

[図2]図１のＡ－Ａ線に示した位置における、酸素化学濃度C_{OX}、不純物化学濃度C_I、水素化学濃度C_H、および、ＶＯＨ欠陥濃度N_{VOH}の深さ方向の分布例を示している。

[図3]図１のＡ－Ａ線に示した位置における、酸素化学濃度C_{OX}、不純物化学濃度C_I、水素化学濃度C_H、および、ＶＯＨ欠陥濃度N_{VOH}の深さ方向の他の分布例を示している。

[図4]酸素アニール前後における、ＭＣＺ基板の酸素化学濃度分布の変化例を示す図である。

[図5]酸素アニール前後における、ＦＺ基板の酸素化学濃度分布の変化例を示す図である。

[図6]再結合中心濃度N_rと、酸素化学濃度C_{OX}の分布例を示す図である。

[図7]第３ピーク４０３の位置を説明する図である。

[図8]半導体装置１００の上面図の一例である。

[図9]図８における領域Ａの拡大図である。

[図10]図９におけるｂ－ｂ断面の一例を示す図である。

[図11]図８におけるｃ－ｃ断面の一例を示す図である。

[図12]図１１に示したｄ－ｄ線における、キャリア濃度N_C、リン化学濃度C_PＶＯＨ欠陥濃度N_{VOH}、および、不純物化学濃度C_Iの分布例を示している。

[図13A]図８におけるｃ－ｃ断面の他の例を示す図である。

[図13B]図８におけるｃ－ｃ断面の他の例を示す図である。

[図13C]図８におけるｃ－ｃ断面の他の例を示す図である。

[図14]図８におけるｃ－ｃ断面の他の例を示す図である。

[図15]図８におけるｃ－ｃ断面の他の例を示す図である。

[図16]図８におけるｃ－ｃ断面の他の例を示す図である。

[図17]図８におけるｃ－ｃ断面の他の例を示す図である。

[図18A]図８におけるｃ－ｃ断面の他の例を示す図である。

[図18B]図８におけるｃ－ｃ断面の他の例を示す図である。

[図18C]図８におけるｃ－ｃ断面の他の例を示す図である。

[図19]図８におけるｃ－ｃ断面の他の例を示す図である。

[図20]図８におけるｃ－ｃ断面の他の例を示す図である。

[図21A]図８におけるｃ－ｃ断面の他の例を示す図である。

[図21B]図８におけるｃ－ｃ断面の他の例を示す図である。

[図22]図２０において説明した高濃度領域４６０の形成方法の一例を示す図である。

[図23]図２１Ａにおいて説明した高濃度領域４６０の形成方法の一例を示す図である。

発明を実施するための形態

[0024] 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。

[0025] 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。

[0026] 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。

[0027] 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。本明細書において半導体基板の上面側と称した場合、半導体基板の深さ方向における中央から上面までの領域を指す。半導体基板の下面側と称した場合、半導体基板の深さ方向における中央から下面までの領域を指す。

[0028] 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。

[0029] 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。

[0030] 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。

[0031] 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。

[0032] 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。

[0033] 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（原子密度）は、例えば二次イオン質量分析法（ＳＩＭＳ）により計測できる。上述したネット・ドーピング濃度は、電圧－容量測定法（ＣＶ法）により測定できる。また、拡がり抵抗測定法（ＳＲ法）により計測されるキャリア濃度を、ネット・ドーピング濃度としてよい。ＣＶ法またはＳＲ法により計測されるキャリア濃度は、熱平衡状態における値としてよい。また、Ｎ型の領域においては、ドナー濃度がアクセプタ濃度よりも十分大きいので、当該領域におけるキャリア濃度を、ドナー濃度としてもよい。同様に、Ｐ型の領域においては、当該領域におけるキャリア濃度を、アクセプタ濃度としてもよい。

[0034] 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。

[0035] 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。

[0036] 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。

[0037] 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。

[0038] 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、各電極および半導体基板１０の内部に設けられた各領域を省略している。

[0039] 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Ｖ族、ＶＩ族の元素であり、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１０は、半導体のインゴットから切り出したウエハであってよく、ウエハを個片化したチップであってもよい。半導体のインゴットは、チョクラルスキー法（Ｃ

Ｚ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。

[0040] ＭＣＺ法で製造された基板に含まれる酸素化学濃度は一例として1×10^{17}～7×10^{17}ａｔｏｍｓ／ｃｍ^{3}である。ＦＺ法で製造された基板に含まれる酸素化学濃度は一例として1×10^{15}～5×10^{16}ａｔｏｍｓ／ｃｍ^{3}である。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。リンなどのＶ族、ＶＩ族のドーパントがドープされた半導体基板では、バルク・ドナー濃度は、1×10^{11}／ｃｍ^{3}以上、3×10^{13}／ｃｍ^{3}以下であってよい。Ｖ族、ＶＩ族のドーパントがドープされた半導体基板のバルク・ドナー濃度は、好ましくは1×10^{12}／ｃｍ^{3}以上、1×10^{13}／ｃｍ^{3}以下である。また、半導体基板１０は、リン等のバルク・ドーパントを実質的に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（N_{B0}）は例えば1×10^{10}／ｃｍ^{3}以上、5×10^{12}／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（N_{B0}）は、好ましくは1×10^{11}／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（N_{B0}）は、好ましくは5×10^{12}／ｃｍ^{3}以下である。

[0041] 半導体基板１０は、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。

[0042] 半導体基板１０には、所定の深さ位置Ｚ１に、荷電粒子線が下面２３から注入されている。荷電粒子線を注入する半導体基板１０の主面は下面２３に限らなくてよく、上面２１であってもよい。本明細書においては、上面２１からのＺ軸方向の距離を、深さ位置と称する場合がある。本明細書では、半導体基板１０の深さ方向における中央位置を、深さ位置Ｚｃとする。深さ位置Ｚ１は、上面２１からのＺ軸方向の距離がＺ１の位置である。深さ位置Ｚ１は、半導体基板１０の上面２１側（深さ位置Ｚｃと上面２１との間の領域

）に配置されている。深さ位置Ｚ１に荷電粒子線を注入するとは、荷電粒子が半導体基板１０の内部を通過する平均距離（飛程とも称される）が、Ｚ１であることを指す。荷電粒子は、所定の深さ位置Ｚ１に応じた加速エネルギーで加速されて、半導体基板１０の内部に導入される。

[0043] 荷電粒子が半導体基板１０の内部を通過した領域を通過領域１０６とする。図１の例では、半導体基板１０の下面２３から、深さ位置Ｚ１までが通過領域１０６である。荷電粒子は、通過領域１０６に格子欠陥を形成できる粒子である。荷電粒子は例えば、水素イオン、ヘリウムイオン、または、電子である。荷電粒子は、ＸＹ面における半導体基板１０の全面に注入されてよく、一部の領域だけに注入されてもよい。

[0044] 半導体基板１０は、深さ位置Ｚ１において荷電粒子濃度の第１ピーク４０１を有する。本例では、荷電粒子は水素である。つまり本例の半導体基板１０は、深さ位置Ｚ１において、水素化学濃度の深さ方向における第１ピーク４０１を有する。第１ピーク４０１は、ヘリウム化学濃度分布におけるピークであってもよい。

[0045] 半導体基板１０において荷電粒子が通過した通過領域１０６には、荷電粒子が通過したことにより、単原子空孔（Ｖ）、複原子空孔（ＶＶ）等の、空孔を主体とする格子欠陥が形成されている。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。

[0046] 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。また、通過領域１０６の少なくとも一部の領域には、水素が含まれる。当該水素は、半導体基板１０の内部に意図的に注入されてよい。

[0047] 本例においては、深さ位置Ｚ２に、下面２３から水素イオンが注入されている。本例の水素イオンはプロトンである。水素イオンを注入する半導体基板１０の主面は下面２３に限らなくてよく、上面２１であってもよい。本例の半導体基板１０は、深さ位置Ｚ２において水素化学濃度の第２ピーク４０２を有する。図１においては、第１ピーク４０１および第２ピーク４０２を破線で模式的に示している。深さ位置Ｚ２は、通過領域１０６に含まれてよい。本例の深さ位置Ｚ２は、半導体基板１０の下面２３側（深さ位置Ｚｃと下面２３との間の領域）に配置されている。なお、深さ位置Ｚ１に注入された水素が、通過領域１０６に拡散してよく、他の方法で通過領域１０６に水素が導入されてもよい。これらの場合、深さ位置Ｚ２には水素イオンが注入されていなくてもよい。

[0048] 半導体基板１０に通過領域１０６が形成され、且つ、半導体基板１０に水素イオンが注入された後において、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（本明細書ではアニールと称する場合がある）することで水素が拡散し、ＶＯＨ欠陥の形成が促進される。また、通過領域１０６を形成した後に熱処理することで、水素が空孔と結合できるので、水素が半導体基板１０の外部に放出されるのを抑制できる。

[0049] 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。本例の半導体基板１０では、通過領域１０６に水素ドナーが形成される。各位置における水素ドナーのドーピング濃度は、各位置における水素の化学濃度よりも低い。水素の化学濃度に対して、水素ドナー（ＶＯＨ欠陥）のドーピング濃度に対する水素の化学濃度の割合は、０．１％～３０％（すなわち０．００１以上、０．３以下）の値であってよい。本例では、水素ドナー（ＶＯＨ欠陥）のドーピング濃度に対する水素の化学濃度の割合は１％～５％である。なお、特に断りがなければ、本明細書では、水素の化学濃度分布に相似する分布を有するＶＯＨ欠陥も、通過領域１０６の空孔欠陥の分布に相似するＶＯＨ欠陥も、水素

ドナー、またはドナーとしての水素と称する。

[0050] 半導体基板１０の通過領域１０６に水素ドナーを形成することで、通過領域１０６におけるドナー濃度を、バルク・ドナーのドーピング濃度（単に、バルク・ドナー濃度と称する場合がある）よりも高くできる。通常は、半導体基板１０に形成すべき素子の特性、特に定格電圧または耐圧に対応させて、所定のバルク・ドナー濃度を有する半導体基板１０を準備しなければならない。これに対して、図１に示した半導体装置１００によれば、荷電粒子のドーズ量を制御することで、半導体基板１０のドナー濃度を調整できる。このため、素子の特性等に対応していないバルク・ドナー濃度の半導体基板を用いて、半導体装置１００を製造できる。半導体基板１０の製造時におけるバルク・ドナー濃度のバラツキは比較的に大きいが、荷電粒子のドーズ量は比較的に高精度に制御できる。このため、荷電粒子を注入することで生じる格子欠陥の濃度も高精度に制御でき、通過領域のドナー濃度を高精度に制御できる。

[0051] 深さ位置Ｚ１は、上面２１を基準として、半導体基板１０の厚みの半分以下の範囲に配置されていてよく、半導体基板１０の厚みの１／４以下の範囲に配置されていてもよい。深さ位置Ｚ２は、下面２３を基準として、半導体基板１０の厚みの半分以下の範囲に配置されていてよく、半導体基板１０の厚みの１／４以下の範囲に配置されていてもよい。ただし、深さ位置Ｚ１および深さ位置Ｚ２はこれらの範囲に限定されない。

[0052] 半導体基板１０は、上面側酸素減少領域４５０を有する。上面側酸素減少領域４５０は、半導体基板１０の内部の領域であり、且つ、半導体基板１０の上面２１と接する領域である。また、上面側酸素減少領域４５０は、深さ位置が上面２１に近づくほど、酸素化学濃度が減少する領域である。上面側酸素減少領域４５０は、半導体基板１０の基板厚の３％以上の長さに渡って酸素化学濃度が減少する領域であってよく、基板厚の５％以上の長さに渡って酸素化学濃度が減少する領域であってよく、基板厚の１０％以上の長さに渡って酸素化学濃度が減少する領域であってもよい。基板厚とは、深さ方向

における半導体基板１０の厚みを指す。

[0053] 半導体のインゴット、または、インゴットから切り出されたウエハには、基板全体にほぼ均一濃度の酸素が含まれている。しかし、基板間における酸素化学濃度のばらつきは比較的に大きい。酸素化学濃度がばらつくと、水素を注入することで形成されるＶＯＨ欠陥の濃度がばらつきやすくなる。

[0054] 本例では、半導体基板１０に対して、所定のアニール温度および所定のアニール時間でアニールを行う。半導体基板１０は、インゴットから切り出されたウエハの状態でアニールを行ってよく、ウエハから切り出されたチップの状態でアニールを行ってもよい。アニールは、荷電粒子線の注入前に行うことが好ましい。本明細書では、荷電粒子線の注入前の当該アニールを酸素アニールと称する場合がある。

[0055] 酸素アニール時において半導体基板１０の表面は、酸素含有雰囲気に露出しているか、または、酸化膜が形成されていてよい。酸素アニール時間は、当該酸素アニール温度に応じた固溶限の濃度の酸素が基板中に導入される程度に長い時間である。酸素アニール時間は、１時間以上であってよく、２時間以上であってよく、１０時間以上であってもよい。酸素の固溶限とは、基板に溶け込める酸素の限界の濃度を指しており、酸素アニール温度に依存して変化する。酸素アニール温度は、例えば１０００℃以上であるがこれに限定されない。酸素アニール温度は、酸素の固溶限が、酸素アニール前の半導体基板１０の酸素化学濃度よりも十分高くなるように設定されてよい。

[0056] 一定以上の酸素アニール時間で酸素アニールすることで、半導体基板１０には、固溶限とほぼ一致した化学濃度の酸素が導入される。このため、所望の酸素化学濃度に応じた固溶限となるように酸素アニール温度を管理することで、半導体基板１０の酸素化学濃度を制御できる。また、酸素アニール温度は、比較的に容易に管理できるので、基板間の酸素化学濃度のバラツキも小さくできる。

[0057] 半導体基板１０を酸素雰囲気中から取り出して、温度を酸素アニール温度から室温に戻す過程では、半導体基板１０の表面の近傍における酸素が基板

の外に拡散する（本明細書では外方拡散と称する）。外方拡散は、半導体基板１０の表面に近いほど生じやすい。このため、半導体基板１０には上面側酸素減少領域４５０が形成される。なお、半導体基板１０の下面２３と接する領域にも、下面側酸素減少領域が形成される。ただし、半導体基板１０の下面２３側を研削した場合、下面側酸素減少領域が残存しない場合もある。

[0058] このような処理により、半導体基板１０における酸素化学濃度のばらつきを低減できる。このため、ＶＯＨ欠陥の濃度を制御しやすくなり、半導体基板１０のドナー濃度を制御しやすくなる。

[0059] 図２は、図１のＡ－Ａ線に示した位置における、酸素化学濃度C_{OX}、不純物化学濃度C_I、水素化学濃度C_H、ＶＯＨ欠陥濃度N_{VOH}、およびネット・ドーピング濃度N_Dの深さ方向の分布例を示している。図２は、酸素アニールおよび水素注入後の水素アニールを行った後の各分布を示している。

[0060] 図２の横軸は、上面２１からの深さ位置を示しており、縦軸は、単位体積当たりの各濃度を対数軸で示している。図２における化学濃度は、例えばＳＩＭＳ法で計測される。図２においては、バルク・ドナー濃度N_Bを破線で示している。バルク・ドナー濃度N_Bは、半導体基板１０の全体で均一であってよい。本例の半導体基板１０は一例としてＭＣＺ基板である。

[0061] 酸素化学濃度C_{OX}の分布は、上面側酸素減少領域４５０を有する。上述したように、酸素アニールを行うことで、上面２１の近傍における酸素が外方拡散する。本例においては、酸素アニール後に半導体基板１０の下面２３側を研削している。このため、半導体基板１０の下面２３には、下面側酸素減少領域は設けられていない。

[0062] 上面側酸素減少領域４５０において、深さ方向の単位距離に対する酸素化学濃度の減少率は、上面２１に近づくほど大きくなってよい。つまり、上面２１に近づくほど、酸素化学濃度が急峻に減少してよい。

[0063] 酸素化学濃度C_{OX}の分布は、最大値領域４５２を有する。最大値領域４５２は、深さ方向において、酸素化学濃度C_{OX}が最大値C_{OX_max}となる位置を含み、且つ、酸素化学濃度C_{OX}が所定の境界濃度C_b以上の領域である。境界

濃度C_bは、最大値C_{OX_max}の５０％であってよく、７０％であってよく、８０％以上であってよく、９０％以上であってよく、１００％であってもよい。本例の上面側酸素減少領域４５０は、最大値領域４５２と上面２１との間に配置されている。上面側酸素減少領域４５０と、最大値領域４５２との境界の深さ位置をＺｂとする。また、本例の最大値領域４５２は、深さ位置Ｚｂから、下面２３まで設けられている。

[0064] 最大値C_{OX_max}は、3×10^{15}ａｔｏｍｓ／ｃｍ^{3}以上、2×10^{18}ａｔｏｍｓ／ｃｍ^{3}以下であってよい。最大値C_{OX_max}は、1×10^{16}ａｔｏｍｓ／ｃｍ^{3}以上であってよく、1×10^{17}ａｔｏｍｓ／ｃｍ^{3}以上であってもよい。最大値C_{OX_max}は、1×10^{18}ａｔｏｍｓ／ｃｍ^{3}以下であってよく、1×10^{17}ａｔｏｍｓ／ｃｍ^{3}以下であってもよい。

[0065] 不純物化学濃度C_Iは、深さ位置Ｚ１に第１ピーク４０１を有する。本例において不純物は水素である。不純物化学濃度C_Iの分布は、第１ピーク４０１から上面２１に向かって不純物化学濃度C_Iが減少する上側裾４１１と、第１ピーク４０１から下面２３に向かって不純物化学濃度C_Iが減少する下側裾４２１とを有する。図１において説明したように、不純物（本例では水素）は、下面２３から深さ位置Ｚ１に注入される。このため、上側裾４１１は、下側裾４２１よりも急峻に不純物化学濃度C_Iが減少してよい。下側裾４２１は、第１ピーク４０１から、下面２３まで設けられてよい。不純物化学濃度C_Iは、半導体基板１０の下面２３から深さ位置Ｚ１に注入された水素の化学濃度であってよい。第１ピーク４０１は、上面側酸素減少領域４５０に配置されてよい。第１ピーク４０１の深さ位置Ｚ１は、深さ位置Ｚｃよりも上面２１側に配置されてよい。第１ピーク４０１の深さ位置Ｚ１は、深さ位置Z_bよりも上面２１側に配置されてよい。

[0066] 本例の水素化学濃度C_Hは、第１ピーク４０１と、下面２３との間の深さ位置Ｚ２に配置された、第２ピーク４０２を有する。本例の第２ピーク４０２は、最大値領域４５２に配置されている。第２ピーク４０２の化学濃度の値は、第１ピーク４０１の化学濃度の値よりも大きくてよい。これにより、通

過領域１０６に水素を拡散させやすくなる。第２ピーク４０２の値は、第１ピーク４０１の値の２倍以上であってよく、５倍以上であってよく、１０倍以上であってよく、１００倍以上であってもよい。

[0067] 水素化学濃度C_Hの分布は、第２ピーク４０２から上面２１に向かって水素化学濃度C_Hが減少する上側裾４１２と、第２ピーク４０２から下面２３に向かって水素化学濃度C_Hが減少する下側裾４２２とを有する。図１において説明したように、水素イオンは、下面２３から深さ位置Ｚ２に注入される。このため、上側裾４１２は、下側裾４２２よりも急峻に水素化学濃度C_Hが減少してよい。ただし、半導体基板１０を熱処理することで、第２ピーク４０２から第１ピーク４０１に向かって水素が拡散するので、上側裾４１２は、下側裾４２２よりもなだらかな部分を有してよい。第１ピーク４０１および第２ピーク４０２の間の各位置には、バルク・ドナー濃度N_Bの１０倍以上の化学濃度を有する水素が存在してよく、１００倍以上の水素が存在してよく、２００倍以上の水素が存在してもよい。

[0068] 本例のＶＯＨ欠陥濃度N_{VOH}の分布は、深さ位置Ｚ１に第３ピーク４０３を有する。深さ位置Ｚ１には、荷電粒子線注入による空孔欠陥が多く形成される。このため、深さ位置Ｚ１にＶＯＨ欠陥が多く形成されやすくなる。また、本例のＶＯＨ欠陥濃度N_{VOH}の分布は、深さ位置Ｚ２に第４ピーク４０４を有する。深さ位置Ｚ２には、水素イオン注入による空孔欠陥が多く形成される。このため、深さ位置Ｚ２にＶＯＨ欠陥が多く形成されやすくなる。

[0069] ＶＯＨ欠陥濃度N_{VOH}の分布は、第３ピーク４０３から上面２１に向かってＶＯＨ欠陥濃度N_{VOH}が減少する上側裾４１３と、第３ピーク４０３から下面２３に向かってＶＯＨ欠陥濃度N_{VOH}が減少する下側裾４２３とを有する。上側裾４１３は、下側裾４２３よりも急峻にＶＯＨ欠陥濃度N_{VOH}が減少してよい。

[0070] ＶＯＨ欠陥濃度N_{VOH}の分布は、第４ピーク４０４から上面２１に向かってＶＯＨ欠陥濃度N_{VOH}が減少する上側裾４１４と、第４ピーク４０４から下面２３に向かってＶＯＨ欠陥濃度N_{VOH}が減少する下側裾４２４とを有する。上

側裾４１４は、下側裾４２４よりも急峻にＶＯＨ欠陥濃度N_{VOH}が減少してよい。

[0071] 本例のネット・ドーピング濃度N_Dは、バルク・ドナー濃度N_Bと、ＶＯＨ欠陥濃度N_{VOH}とを加算した濃度を有する。バルク・ドナー濃度N_Bは、半導体基板１０の全体においてほぼ一定なので、ネット・ドーピング濃度N_Dの分布の形状は、ＶＯＨ欠陥濃度N_{VOH}の分布の形状と相似する。

[0072] 本例のネット・ドーピング濃度N_Dの分布は、深さ位置Ｚ１に第５ピーク４２５を有する。また、本例のネット・ドーピング濃度N_Dの分布は、深さ位置Ｚ２に第６ピーク４２６を有する。ネット・ドーピング濃度N_Dの分布は、第５ピーク４２５から上面２１に向かってネット・ドーピング濃度N_Dが減少する上側裾４３５と、第５ピーク４２５から下面２３に向かってネット・ドーピング濃度N_Dが減少する下側裾４４５とを有する。上側裾４３５は、下側裾４４５よりも急峻にネット・ドーピング濃度N_Dが減少してよい。

[0073] ネット・ドーピング濃度N_Dの分布は、第６ピーク４２６から上面２１に向かってネット・ドーピング濃度N_Dが減少する上側裾４３６と、第６ピーク４２６から下面２３に向かってネット・ドーピング濃度N_Dが減少する下側裾４４６とを有する。上側裾４３６は、下側裾４４６よりも急峻にネット・ドーピング濃度N_Dが減少してよい。

[0074] なお、第１ピーク４０１、第３ピーク４０３および第５ピーク４２５は、頂点の位置が厳密に一致していなくてもよい。同様に、第２ピーク４０２、第４ピーク４０４および第６ピーク４２６は、頂点の位置が厳密に一致していなくてもよい。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ていれば、２つのピークは同一の位置に設けられているとしてよい。

[0075] 通過領域１０６には、ＶＯＨ欠陥が形成されるので、通過領域１０６におけるドナー濃度は、バルク・ドナー濃度N_Bよりも高くなる。本明細書では、ＶＯＨ欠陥が含まれ、且つ、ドナー濃度がバルク・ドナー濃度N_Bよりも高い領域を、高濃度領域４６０と称する。高濃度領域４６０は、半導体基板１０の深さ位置Ｚｃを含み、深さ方向に所定の長さに渡って設けられている。高

濃度領域４６０の深さ方向における長さは、基板厚の５０％以上であってよく、６０％以上であってよく、７０％以上であってよく、８０％以上であってよく、９０％以上であってもよい。本例の高濃度領域４６０は、第１ピーク４０１から、下面２３まで設けられている。

[0076] また、第１ピーク４０１の上方にも、高濃度領域４６０が設けられていてよい。第１ピーク４０１は、深さ方向において所定の半値幅を有する。このため、第１ピーク４０１より上方にも空孔欠陥が形成され、高濃度領域４６０が形成される。ただし、第１ピーク４０１の上方における高濃度領域４６０は、第１ピーク４０１の下方における高濃度領域４６０に比べて、深さ方向における幅が小さい。

[0077] 高濃度領域４６０は、ＶＯＨ欠陥濃度N_{VOH}が、バルク・ドナー濃度N_Bよりも高い領域であってもよい。これにより、バルク・ドナー濃度N_Bがばらついた場合でも、高精度に制御できるＶＯＨ欠陥濃度N_{VOH}により、ドナー濃度のばらつきを抑制できる。ＶＯＨ欠陥濃度N_{VOH}は、バルク・ドナー濃度N_Bの２倍以上であってよく、５倍以上であってよく、１０倍以上であってもよい。

[0078] 図２に示すように、高濃度領域４６０の上面２１側の端部には、第１ピーク４０１が配置されている。第１ピーク４０１は、最大値領域４５２内か、最大値領域４５２よりも上面２１側に配置されてよい。本例の第１ピーク４０１は、上面側酸素減少領域４５０内に配置されている。これにより、深さ方向におけるより広い範囲に、高濃度領域４６０を形成できる。このため、半導体基板１０のドナー濃度を、より広い範囲で高精度に制御できる。

[0079] 第１ピーク４０１は、酸素化学濃度C_{OX}が、最大値C_{OX_max}の１０％以上の領域に配置されてよく、３０％以上の領域に配置されてよく、５０％以上の領域に配置されてよく、７０％以上の領域に配置されてよく、９０％以上の領域に配置されてもよい。酸素化学濃度C_{OX}が小さいと、深さ方向の位置ずれに対する、酸素化学濃度C_{OX}の変動が大きくなる。酸素化学濃度C_{OX}が所定値以上の領域に第１ピーク４０１を配置することで、第１ピーク４０１

の深さ位置がずれた場合の、第３ピーク４０３の大きさの変動を抑制できる。このため、半導体装置１００の特性の変動を抑制できる。

[0080] 図３は、図１のＡ－Ａ線に示した位置における、酸素化学濃度C_{OX}、不純物化学濃度C_I、水素化学濃度C_H、ＶＯＨ欠陥濃度N_{VOH}、および、ネット・ドーピング濃度N_Dの深さ方向の他の分布例を示している。図３は、熱処理を行った後の各分布を示している。本例では、酸素化学濃度C_{OX}が図２の例と相違する。他の濃度分布は、図２の例と同様である。本例の半導体基板１０は、例えばＦＺ基板である。

[0081] 本例の酸素化学濃度C_{OX}は、深さ位置Z_pに、極大値C_{OX_max}を示す酸素濃度ピーク４０５を有する。極大値C_{OX_max}の範囲は、図２の最大値C_{OX_max}の範囲と同様であってよい。本例の酸素化学濃度C_{OX}の分布は、図２に示した最大値領域４５２および上面側酸素減少領域４５０に加え、下面側酸素減少領域４５４を有する。下面側酸素減少領域４５４は、下面２３に接しており、且つ、下面２３に近づくほど酸素化学濃度C_{OX}が減少する領域である。最大値領域４５２は、上面側酸素減少領域４５０と、下面側酸素減少領域４５４の間に配置されている。

[0082] 下面側酸素減少領域４５４は、上面側酸素減少領域４５０に比べて、酸素化学濃度C_{OX}が緩やかに減少する領域であってよい。下面側酸素減少領域４５４は、深さ方向において、上面側酸素減少領域４５０よりも長くてよい。これにより、上面側酸素減少領域４５０が長い場合に比べて、半導体基板１０における酸素化学濃度C_{OX}の変動を比較的に小さくできる。下面側酸素減少領域４５４は、深さ方向における長さが基板厚の３０％以上であってよく、４０％以上であってよく、５０％以上であってもよい。本例の第２ピーク４０２および第４ピーク４０４は、下面側酸素減少領域４５４に配置されている。

[0083] 本例においても、第１ピーク４０１は、上面側酸素減少領域４５０に配置されてよい。第１ピーク４０１の深さ位置Ｚ１は、深さ位置Ｚｃよりも上面２１側に配置されてよい。第１ピーク４０１の深さ位置Ｚ１は、深さ位置Z_p

よりも上面２１側に配置されてよい。第１ピーク４０１の深さ位置Ｚ１は、深さ位置Z_bよりも上面２１側に配置されてよい。第１ピーク４０１の深さ位置Ｚ１は、深さ位置Z_pと深さ位置Z_bとの間に配置されてもよい。

[0084] 図４は、酸素アニール前後における、ＭＣＺ基板の酸素化学濃度分布の変化例を示す図である。酸素アニール前において、ＭＣＺ基板は比較的に酸素化学濃度C_{MCZ}が高い。酸素化学濃度C_{MCZ}は、例えば酸素アニール温度の固溶限よりも高い。このような基板を酸素アニールすると、基板中の酸素が外方拡散して、基板中の酸素化学濃度C_{OX}が固溶限とほぼ等しくなる。ただし、半導体基板１０の上面２１の近傍においては、外方拡散が促進されるので、酸素化学濃度C_{OX}は、上面２１に近づくほど小さくなる。なお、本例の半導体基板１０は、酸素アニール後に下面２３側を研削している。このため、下面２３側においては、酸素化学濃度C_{OX}はほぼ一定である。

[0085] 図５は、酸素アニール前後における、ＦＺ基板の酸素化学濃度分布の変化例を示す図である。酸素アニール前において、ＦＺ基板は比較的に酸素化学濃度C_{FZ}が低い。酸素化学濃度C_{FZ}は、例えば酸素アニール温度の固溶限よりも低い。このような基板を酸素アニールすると、基板中に酸素が導入され、半導体基板１０の上面２１からの距離が小さい領域では、基板中の酸素化学濃度C_{OX}が固溶限とほぼ等しくなる。上面２１からの距離が大きい領域では、酸素が導入されにくいので、上面２１からの距離が離れるにつれて、酸素化学濃度C_{OX}は徐々に低下する。また、半導体基板１０の上面２１の近傍においては、外方拡散が促進されるので、酸素化学濃度C_{OX}は、上面２１に近づくほど小さくなる。このため、酸素化学濃度C_{OX}は、酸素濃度ピーク４０５を有する場合がある。なお、本例の半導体基板１０は、酸素アニール後に下面２３側を研削している。このため、下面２３側においては、酸素化学濃度C_{OX}はピークを有さずに、下面２３に向かって緩やか且つ単調に低下している。

[0086] 図４および図５に示したいずれの例においても、元の酸素化学濃度が異なっていても、半導体基板１０の内部の酸素化学濃度を、酸素アニール温度等

により制御できる。このため、ＶＯＨ欠陥濃度のばらつきを低減できる。

[0087] 図６は、再結合中心濃度N_rと、酸素化学濃度C_{OX}の分布例を示す図である。酸素化学濃度C_{OX}は、図２または図３に示した例と同様である。図６では、図３に示した酸素化学濃度C_{OX}の分布のうち、上面２１の近傍を拡大して示している。

[0088] 半導体装置１００には、キャリアのライフタイムを調整する目的で、空孔欠陥等の再結合中心が形成される場合がある。例えば半導体基板１０に水素、ヘリウム、または、電子線等の荷電粒子を注入することで、再結合中心を形成できる。本例においては、再結合中心濃度N_rは、深さ位置Z_rに再結合中心ピーク４０６を有する。空孔濃度は、例えば周知の算出用ソフトウェアやツールを用いた算出方法が知られている（例えば、ｈｔｔｐ：／／ｗｗｗ．ｓｒｉｍ．ｏｒｇ／参照。）。また、半導体基板１０の深さ方向における比抵抗分布の極小値の位置を、再結合中心ピーク４０６の位置としてもよい。

[0089] 再結合中心ピーク４０６は、半導体基板１０の上面２１側において、酸素化学濃度C_{OX}が７０％以上の領域に形成されてよい。再結合中心ピーク４０６は、水素と結合してＶＯＨ欠陥となりうる。このため、酸素化学濃度C_{OX}のばらつきが大きいと、再結合中心の濃度がばらつきやすくなり、キャリアのライフタイムを精度よく調整することが困難になる。本例においては、再結合中心ピーク４０６が、酸素化学濃度C_{OX}の濃度が比較的に安定した領域に配置されるので、再結合中心の濃度が制御しやすくなり、キャリアのライフタイムを精度よく調整できる。再結合中心ピーク４０６は、酸素化学濃度C_{OX}が最大値C_{OX_max}の８０％以上の領域に形成されてよく、９０％以上の領域に配置されてもよい。

[0090] 深さ位置Z_rは、荷電粒子線が注入される深さ位置Ｚ１と同一位置であってよい。つまり、深さ位置Ｚ１への荷電粒子線の注入により、キャリアライフタイムを調整してよい。また、深さ位置Z_rは、深さ位置Ｚ１の近傍で、且つ、深さ位置Ｚ１よりも荷電粒子線の注入面（本例では下面２３）側の位置で

あってもよい。深さ位置Ｚ１に注入する荷電粒子が水素イオンの場合、深さ位置Ｚ１の近傍の再結合中心は、水素と結合することでＶＯＨ欠陥となる。このため、深さ位置Ｚ１における再結合中心濃度は低くなり、深さ位置$Ｚ_r$は、水素イオンの注入面（本例では下面２３）側にシフトする。深さ位置Ｚ１および深さ位置$Ｚ_r$の距離は、５μｍ以下であってよく、３μｍ以下であってよく、１μｍ以下であってもよい。

[0091] 他の例では、深さ位置$Ｚ_r$は、深さ位置Ｚ１と異なる位置であってもよい。この場合、深さ位置Ｚ１への荷電粒子線の注入とは別に、深さ位置$Ｚ_r$にも荷電粒子線を注入する。深さ位置$Ｚ_r$への荷電粒子線の注入は、深さ位置Ｚ２に注入した水素を拡散するための水素アニールの後で行ってよい。

[0092] 図７は、第３ピーク４０３の位置を説明する図である。図７においては、第３ピーク４０３の位置の変形例を、第３ピーク４０３－１、４０３－２、４０３－３として示している。半導体基板１０には、いずれかの第３ピーク４０３が設けられる。第３ピーク４０３－１は、酸素濃度ピーク４０５と、境界位置Ｚｂとの間に配置されている。境界位置Ｚｂは、酸素化学濃度$Ｃ_{Ox}$の最大値領域４５２と、上面側酸素減少領域４５０との境界位置である。これにより、高濃度領域４６０（図２、３参照）を長く形成するとともに、第３ピーク４０３の値のばらつきを抑制できる。

[0093] 他の例に係る第３ピーク４０３－２は、上面側酸素減少領域４５０に配置されている。この場合、高濃度領域４６０を更に長く形成できる。他の例に係る第３ピーク４０３－３は、酸素濃度ピーク４０５と、深さ位置Ｚｃとの間に配置されている。この場合、第３ピーク４０３－３を、酸素化学濃度$Ｃ_{Ox}$の変動が比較的に緩やかな領域に配置できる。第３ピーク４０３－３は、最大値領域４５２に配置されてよい。

[0094] 図８は、半導体装置１００の上面図の一例である。図８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８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。

[0095] 半導体装置１００は、図１から図７において説明した半導体基板１０を備えている。半導体基板１０は、上面視において端辺１０２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１０２を有する。図１においては、Ｘ軸およびＹ軸は、いずれかの端辺１０２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。

[0096] 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８では省略している。

[0097] 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８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。

[0098] 図８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８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。

[0099] 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。

[0100] 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。

[0101] 半導体装置１００は、半導体基板１０の上方に１つ以上のパッドを有してよい。本例の半導体装置１００は、ゲートパッド１１２を有している。半導体装置１００は、アノードパッド、カソードパッドおよび電流検出パッド等のパッドを有してもよい。各パッドは、端辺１０２の近傍に配置されている。端辺１０２の近傍とは、上面視における端辺１０２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。

[0102] ゲートパッド１１２には、ゲート電位が印加される。ゲートパッド１１２は、活性部１６０のゲートトレンチ部の導電部に電気的に接続される。半導体装置１００は、ゲートパッド１１２とゲートトレンチ部とを接続するゲート配線を備える。図８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。

[0103] 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１０２との間に配置されている。本例の外周ゲート配線１３０は、上面視において活性部１６０を囲んでいる。上面視において外周ゲート配線１３０に囲まれた領域を活性部１６０としてもよい。また、外周ゲート配線１３０は、ゲートパッド１１２と接続されている。外周ゲート

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

[0104] 活性側ゲート配線１３１は、活性部１６０に設けられている。活性部１６０に活性側ゲート配線１３１を設けることで、半導体基板１０の各領域について、ゲートパッド１１２からの配線長のばらつきを低減できる。

[0105] 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、不純物がドープ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。

[0106] 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。

[0107] 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。

[0108] 本例の半導体装置１００は、活性部１６０と端辺１０２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１０２との間に配置されている。エッジ終端構造部９０は、半導体基板１０の上面側の電界集中を緩和する。エッジ終端構造部９０は、複数のガードリング９２を有する。ガードリング９２は、半導体基板１０の上面と接するＰ型の領域である。ガードリング９２は、上面視において活性部１６０を囲んでいてよい。複数のガードリング９２は、外周ゲート配線１３０と端辺１０２との間において、所定の間隔で配置されている。外側に配置されたガードリング９２は、一つ内側に配置されたガードリング９２を囲んでいてよい。外側とは、端辺１０２に近い側を指し、内側とは、外周ゲート

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

[0109] 図９は、図８における領域Ａの拡大図である。領域Ａは、トランジスタ部７０、ダイオード部８０、および、活性側ゲート配線１３１を含む領域である。本例の半導体装置１００は、半導体基板１０の上面側の内部に設けられたゲートトレンチ部４０、ダミートレンチ部３０、ウェル領域１１、エミッタ領域１２、ベース領域１４およびコンタクト領域１５を備える。ゲートトレンチ部４０およびダミートレンチ部３０は、それぞれがトレンチ部の一例である。また、本例の半導体装置１００は、半導体基板１０の上面の上方に設けられたエミッタ電極５２および活性側ゲート配線１３１を備える。エミッタ電極５２および活性側ゲート配線１３１は互いに分離して設けられる。

[0110] 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９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９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。

[0111] 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って、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。

[0112] 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って、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。

[0113] エミッタ電極５２は、金属を含む材料で形成される。図９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。

[0114] 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。

[0115] 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。

[0116] 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９における延伸方向はＹ軸方向である。

[0117] 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。

[0118] 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９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。

[0119] 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。

[0120] 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。

[0121] 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９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。

[0122] 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。

[0123] 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。

[0124] 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。

[0125] 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。

[0126] 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。

[0127] ダイオード部８０において、半導体基板１０の下面と隣接する領域には、Ｎ＋型のカソード領域８２が設けられる。半導体基板１０の下面において、カソード領域８２が設けられていない領域には、Ｐ＋型のコレクタ領域２２が設けられてよい。図９においては、カソード領域８２およびコレクタ領域２２の境界を点線で示している。

[0128] カソード領域８２は、Ｙ軸方向においてウェル領域１１から離れて配置されている。これにより、比較的にドーピング濃度が高く、且つ、深い位置まで形成されているＰ型の領域（ウェル領域１１）と、カソード領域８２との距離を確保して、耐圧を向上できる。本例のカソード領域８２のＹ軸方向における端部は、コンタクトホール５４のＹ軸方向における端部よりも、ウェル領域１１から離れて配置されている。他の例では、カソード領域８２のＹ軸方向における端部は、ウェル領域１１とコンタクトホール５４との間に配置されていてもよい。

[0129] 図１０は、図９におけるｂ－ｂ断面の一例を示す図である。ｂ－ｂ断面は、エミッタ領域１２およびカソード領域８２を通過するＸＺ面である。本例の半導体装置１００は、当該断面において、半導体基板１０、層間絶縁膜３８、エミッタ電極５２およびコレクタ電極２４を有する。層間絶縁膜３８は

、半導体基板１０の上面に設けられている。層間絶縁膜３８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３８には、図９において説明したコンタクトホール５４が設けられている。

[0130] エミッタ電極５２は、層間絶縁膜３８の上方に設けられる。エミッタ電極５２は、層間絶縁膜３８のコンタクトホール５４を通って、半導体基板１０の上面２１と接触している。コレクタ電極２４は、半導体基板１０の下面２３に設けられる。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ている。本明細書において、エミッタ電極５２とコレクタ電極２４とを結ぶ方向（Ｚ軸方向）を深さ方向と称する。

[0131] 半導体基板１０は、Ｎ－型のバルク・ドーピング領域１８を有する。バルク・ドーピング領域１８は、バルク・ドーピング領域１８のドーピング濃度が、バルク・ドナーのドナー濃度と一致する領域である。バルク・ドーピング領域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。

[0132] 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の下方にはバルク・ドーピング領域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とバルク・ドーピング領域１８との間に配置される。

[0133] 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いてよい。エミッタ領域１２は、バルク・ドーピング領域１８よりもドーピング濃度が高い。

[0134] 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いてよい。

[0135] 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、バルク・ドーピング領域１８よりもドーピング濃度が高いＮ＋型の領域である。バルク・ドーピング領域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。

[0136] 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、バルク・ドーピング領域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。

[0137] 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、バルク・ドーピング領域１８および高濃度領域４６０よりも下面２３側には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、バルク・ドーピング領域１８のドーピング濃度よりも高い。バッファ領域２０は、バルク・ドーピング領域１８よりもドナー濃度の高い１つまたは複数のドナー濃度ピークを有する。複数のドナー濃度ピークは、半導体基板１０の深さ方向における異なる位置に配置される。バッファ領域２０のドナー濃度ピークは、例えば水素（プロトン）またはリンの濃度ピークであってよい。バッファ領域２０は、水素化学濃度の第２ピーク４０２（図２等参照）を含んでよい。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。

[0138] 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。

[0139] 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、バルク・ドーピング領域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。

[0140] 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、バルク・ドーピング領域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、バルク・ドーピング領域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。

[0141] 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。

[0142] 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。

[0143] 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、ゲート配線に電気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。

[0144] ダミートレンチ部３０は、当該断面において、ゲートトレンチ部４０と同一の構造を有してよい。ダミートレンチ部３０は、半導体基板１０の上面２１に設けられたダミートレンチ、ダミー絶縁膜３２およびダミー導電部３４を有する。ダミー導電部３４は、ゲートパッドとは異なる電極に接続されてよい。例えば、ゲートパッドとは異なる外部回路に接続する図示しないダミーパッドに、ダミー導電部３４を接続し、ゲート導電部４４とは異なる制御を行ってもよい。また、ダミー導電部３４をエミッタ電極５２に電気的に接続させてもよい。ダミー絶縁膜３２は、ダミートレンチの内壁を覆って設けられる。ダミー導電部３４は、ダミートレンチの内部に設けられ、且つ、ダミー絶縁膜３２よりも内側に設けられる。ダミー絶縁膜３２は、ダミー導電部３４と半導体基板１０とを絶縁する。ダミー導電部３４は、ゲート導電部４４と同一の材料で形成されてよい。例えばダミー導電部３４は、ポリシリコン等の導電材料で形成される。ダミー導電部３４は、深さ方向においてゲート導電部４４と同一の長さを有してよい。

[0145] 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。

[0146] 半導体基板１０は、図１から図６において説明したいずれかの例と同様の

、酸素化学濃度C_{OX}、不純物化学濃度C_I、水素化学濃度C_H、および、ＶＯＨ欠陥濃度N_{VOH}の分布を有する。図１０においては、第１ピーク４０１を×印で示し、高濃度領域４６０に斜線のハッチングを付している。バッファ領域２０、カソード領域８２およびコレクタ領域２２も高濃度領域４６０に含まれ得るが、図１０においては斜線を省略している。高濃度領域４６０は、第１ピーク４０１から下面２３まで設けられてよい。

[0147] 上述したように高濃度領域４６０には、ＶＯＨ欠陥が含まれている。バルク・ドーピング領域１８と、高濃度領域４６０とを合わせてドリフト領域１９と称する場合がある。ドリフト領域１９は、半導体装置１００に電圧を印加した時に空乏層が広がり、印加電圧の半分以上をサポートする領域であってよい。

[0148] 図１１は、図８におけるｃ－ｃ断面の一例を示す図である。ｃ－ｃ断面は、エッジ終端構造部９０、トランジスタ部７０およびダイオード部８０を通過するＸＺ面である。トランジスタ部７０およびダイオード部８０の構造は、図９および図１０において説明したトランジスタ部７０およびダイオード部８０と同一である。図１１においては、ゲートトレンチ部４０およびダミートレンチ部３０の構造を簡略化して示している。

[0149] 半導体基板１０において、エッジ終端構造部９０およびトランジスタ部７０の間には、ウェル領域１１が設けられている。ウェル領域１１は、半導体基板１０の上面２１に接するＰ＋型の領域である。ウェル領域１１は、ゲートトレンチ部４０およびダミートレンチ部３０の下端よりも深い位置まで設けられてよい。ゲートトレンチ部４０およびダミートレンチ部３０の一部は、ウェル領域１１の内部に配置されていてもよい。

[0150] 半導体基板１０の上面２１には、ウェル領域１１を覆う層間絶縁膜３８が設けられてよい。層間絶縁膜３８の上方には、エミッタ電極５２および外周ゲート配線１３０等の電極および配線が設けられている。エミッタ電極５２は、活性部１６０の上方から、ウェル領域１１の上方まで延伸して設けられている。エミッタ電極５２は、層間絶縁膜３８に設けられたコンタクトホー

ルを介して、ウェル領域１１と接続されていてよい。

[0151] 外周ゲート配線１３０は、エミッタ電極５２と、エッジ終端構造部９０との間に配置されている。エミッタ電極５２および外周ゲート配線１３０は、互いに分離して配置されているが、図１１においては、エミッタ電極５２および外周ゲート配線１３０の間の間隙は省略されている。外周ゲート配線１３０は、層間絶縁膜３８によりウェル領域１１とは電気的に絶縁されている。

[0152] エッジ終端構造部９０には、複数のガードリング９２、複数の第２高濃度領域２０２、複数のフィールドプレート９４およびチャネルストッパ１７４が設けられている。また、第１ピーク４０１および高濃度領域４６０が、エッジ終端構造部９０の少なくとも一部にも設けられている。高濃度領域４６０は、ガードリング９２の下方に設けられてよい。エッジ終端構造部９０の第１ピーク４０１および高濃度領域４６０は、トランジスタ部７０およびダイオード部８０の第１ピーク４０１および高濃度領域４６０と連続して設けられていてよい。第１ピーク４０１および高濃度領域４６０は、エッジ終端構造部９０のＸ軸方向全体にわたって設けられてよい。

[0153] 本例の第１ピーク４０１は、後述する第２高濃度領域２０２よりも下方（つまり、上面２１から見て、第２高濃度領域２０２よりも深い位置）に設けられている。第１ピーク４０１は、ガードリング９２の下端よりも深い位置に配置されてよい。つまり第１ピーク４０１は、ガードリング９２の下端と、半導体基板１０の下面２３との間に配置されてよい。第１ピーク４０１は、ウェル領域１１の下端よりも深い位置に配置されてよい。第１ピーク４０１は、トレンチ部の下端よりも深い位置に配置されてよい。

[0154] 図１１に示した高濃度領域４６０は、ガードリング９２と接していないが、高濃度領域４６０は、ガードリング９２の下端と接していてもよい。高濃度領域４６０は、２つのガードリング９２の間まで設けられてもよい。高濃度領域４６０は、ウェル領域１１と接していてよく、接していなくてもよい。高濃度領域４６０は、トレンチ部と接していてよく、接していなくてもよ

い。高濃度領域４６０は、第２高濃度領域２０２の下方に設けられてよい。

[0155] 高濃度領域４６０は、ウェル領域１１と接していてよい。高濃度領域４６０は、トレンチ部と接していてよい。高濃度領域４６０は、エミッタ領域１２、ベース領域１４、蓄積領域１６のいずれとも接していなくてよい。他の例では、高濃度領域４６０は、蓄積領域１６と接していてもよい。高濃度領域４６０は、ベース領域１４と接していてもよい。高濃度領域４６０は、チャネルストッパ１７４と接していなくてよく、接していてもよい。

[0156] 高濃度領域４６０は、エッジ終端構造部９０の全体において、深さ方向の長さが同一であってよく、異なってもよい。高濃度領域４６０は、エッジ終端構造部９０と活性部１６０とで、深さ方向の長さが同一であってよく、異なってもよい。

[0157] エッジ終端構造部９０において、下面２３に接する領域には、コレクタ領域２２が設けられていてよい。各ガードリング９２は、上面２１において活性部１６０を囲むように設けられてよい。複数のガードリング９２は、活性部１６０において発生した空乏層を半導体基板１０の外側へ広げる機能を有してよい。これにより、半導体基板１０内部における電界集中を防ぐことができ、半導体装置１００の耐圧を向上できる。

[0158] 本例のガードリング９２は、上面２１近傍にイオン注入により形成されたＰ＋型の半導体領域である。ガードリング９２は、半導体基板１０の上面２１から、ボロン等のＰ型ドーパントを選択的に注入し、熱処理することで形成できる。ガードリング９２の底部の深さは、ゲートトレンチ部４０およびダミートレンチ部３０の底部の深さより深くてよい。ガードリング９２の底部の深さは、ウェル領域１１の底部の深さと同一であってよく、異なっていてもよい。

[0159] ガードリング９２の上面は、層間絶縁膜３８により覆われている。フィールドプレート９４は、アルミニウム等の金属またはポリシリコン等の導電材料で形成される。フィールドプレート９４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てもよい。フィー

ルドプレート９４は、外周ゲート配線１３０またはエミッタ電極５２と同じ材料で形成されてよい。フィールドプレート９４は、層間絶縁膜３８上に設けられている。本例のフィールドプレート９４は、層間絶縁膜３８に設けられた貫通孔を通って、ガードリング９２に接続されている。

[0160] チャネルストッパ１７４は、最も外側のガードリング９２よりも更に外側に配置され、且つ、半導体基板１０の上面２１に露出したN型またはP型の領域である。なお外側とは、上面視において活性部１６０からの距離が大きくなる側を指す。つまり最も外側のガードリング９２とは、X軸方向において活性部１６０から最も離れたガードリング９２を指す。本例のチャネルストッパ１７４は、半導体基板１０の端辺１０２近傍における上面２１および側壁に露出して設けられる。チャネルストッパ１７４は、バルク・ドーピング領域１８よりもドーピング濃度の高いＮ型の領域である。チャネルストッパ１７４のドーピング濃度は、高濃度領域４６０のドーピング濃度よりも高くてよい。チャネルストッパ１７４は、活性部１６０において発生した空乏層を半導体基板１０の端辺１０２近傍において終端させる機能を有する。なお、フィールドプレート９４、外周ゲート配線１３０およびエミッタ電極５２の少なくとも一部は、ポリイミドまたは窒化膜等の保護膜で覆われているが、本明細書の図面では保護膜を省略する場合がある。

[0161] 第２高濃度領域２０２は、バルク・ドナーのドーピング濃度よりもドナー濃度の高いＮ型の領域である。第２高濃度領域２０２は、隣り合う２つのガードリング９２の間に設けられている。第２高濃度領域２０２は、半導体基板１０の上面２１に接していてよい。本例の第２高濃度領域２０２は、上面２１から、ガードリング９２の下端よりも浅い範囲に設けられている。他の例では、第２高濃度領域２０２は、ガードリング９２の下端よりも深い位置まで設けられていてもよい。第２高濃度領域２０２は、ウェル領域１１と、ガードリング９２との間にも設けられていてよい。

[0162] 第２高濃度領域２０２は、フィールドプレート９４をマスクとして、半導体基板１０の上面２１からドナーを注入し、熱処理することで形成してよい

。この場合、第２高濃度領域２０２の少なくとも一部は、フィールドプレート９４に覆われていない領域に形成される。本例の第２高濃度領域２０２の少なくとも一部は、Ｚ軸方向においてフィールドプレート９４と重なっていない。第２高濃度領域２０２に注入するドナーは、リンであってよく、水素であってよく、他のドナーであってもよい。第２高濃度領域２０２を深くまで形成する場合、ドナーの加速エネルギーを変化させて、複数の深さ位置にドナーを注入してよい。

[0163] 他の例では、第２高濃度領域２０２は、フィールドプレート９４をマスクとせず、半導体基板１０の上面２１からドナーを注入し、熱処理することで形成してよい。この場合、Ｐ型ドーパントとしてボロンを選択的にイオン注入し、熱処理によりガードリングを形成する。その後、Ｎ型ドーパントとしてリンをイオン注入し、熱処理により第２高濃度領域２０２を形成する。Ｐ型ドーパントを注入した後の熱処理の温度は、Ｎ型ドーパントを注入した後の熱処理の温度より高い。Ｎ型ドーパントのイオン注入におけるドーズ量は、Ｐ型ドーパントのドーズ量よりも低くてよい。この場合、Ｎ型ドーパントのイオン注入は、ガードリングを形成する領域にも注入されてよいし、ガードリングを形成する領域を避けるように選択的に注入されてもよい。

[0164] 図１１の例においては、第２高濃度領域２０２と高濃度領域４６０とは、Ｚ軸方向において離れて配置されている。第２高濃度領域２０２と高濃度領域４６０との間には、バルク・ドナー濃度と同一のドナー濃度の領域が設けられてよい。

[0165] なお、水素を注入した後に、高温で長時間の熱処理を行うと、水素ドナーが消失し、または、第１ピーク４０１におけるライフタイム調整機能が消失してしまう。このため、水素の注入および熱処理工程は、半導体装置１００の製造工程の終盤で行うことが好ましい。例えば、フィールドプレート９４等の上方に保護膜を形成した後に水素を注入することで、水素ドナーの消失を抑制できる。

[0166] エッジ終端構造部９０の上面２１側におけるドーピング濃度がばらつくと

、エッジ終端構造部９０における空乏層の広がり具合もばらついてしまう。第２高濃度領域２０２および高濃度領域４６０を設けない場合、エッジ終端構造部９０の上面２１側は、バルク・ドナー濃度のバルク・ドーピング領域１８が大きな領域を占めている。バルク・ドナー濃度は、半導体基板１０の製造時から含まれているドナーの濃度なので、比較的にばらつきが生じやすい。

[0167] これに対して第２高濃度領域２０２および高濃度領域４６０は、イオン注入等により形成される。イオン注入の濃度は、比較的に制御しやすいので、第２高濃度領域２０２および高濃度領域４６０のドナー濃度のばらつきは比較的に小さい。このため、第２高濃度領域２０２および高濃度領域４６０を設けることで、ウェル領域１１の下方からエッジ終端構造部９０に延伸する空乏層のＸ軸方向への広がり具合のばらつきを小さくでき、半導体装置１００の耐圧ばらつきも小さくできる。また、第２高濃度領域２０２および高濃度領域４６０を設けることで、エッジ終端構造部９０において、空乏層がＸ軸方向に広がりすぎることを抑制できる。

[0168] 図１２は、図１１に示したｄ－ｄ線における、キャリア濃度N_C、リン化学濃度C_P、ＶＯＨ欠陥濃度N_{VOH}、および、不純物化学濃度C_Iの分布例を示している。本例の不純物は水素である。つまり、不純物化学濃度C_Iは、水素化学濃度を示す。ｄ－ｄ線は、エッジ終端構造部９０において、第２高濃度領域２０２、バルク・ドーピング領域１８、高濃度領域４６０、バッファ領域２０およびコレクタ領域２２を通過する。キャリア濃度分布は、ネット・ドーピング濃度分布と同じであってよい。

[0169] 本例においては、バルク・ドナーはリンである。また、第２高濃度領域２０２は、半導体基板１０の上面２１からリンを注入して形成されている。本例では、バルク・ドナー濃度をN_Bとする。バルク・ドナー濃度は、深さ方向の全体にわたって略一様である。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ドナーの濃度の最小値を用いてよい。例えば半導体基板１０の全体にリンが分布している場合、バルク・ドナー濃度は、半導体基板

１０におけるリンの濃度の最小値としてよい。

[0170] 第２高濃度領域２０２におけるリン濃度分布は、リン濃度が極大値となるリン濃度ピーク３１８を有する。リン濃度ピーク３１８の深さ位置は、リンの注入位置に対応している。高濃度領域４６０における水素化学濃度は、第１ピーク４０１において極大値となる。

[0171] ＶＯＨ欠陥密度分布は、水素化学濃度分布を反映した分布、または水素化学濃度分布と相似形の分布をしてよい。例えば各分布の極大、極小、キンク等の変曲点の位置が、ほぼ同一の深さ位置に配置されていてよい。ほぼ同一の深さ位置とは、例えば、第１ピーク４０１の半値全幅より小さい誤差を有していてもよい。

[0172] 本例のキャリア濃度分布は、第１ピーク４０１と同一の深さ位置に、ピーク４０８を有する。また、第２高濃度領域２０２において、リン濃度ピーク３１８と同一の深さ位置に、ピーク３１４を有する。ピーク４０８とピーク３１４との距離が十分大きい場合、ピーク３１４とピーク４０８との間には、バルク・ドナー濃度N_Bに応じたベースキャリア濃度N_{00}を有するバルク・ドーピング領域１８が設けられる。

[0173] 高濃度領域４６０は、第１ピーク４０１とバッファ領域２０との間において、キャリア濃度が略一様な平坦部３１３を有してよい。平坦部３１３は、第１ピーク４０１とバッファ領域２０との間におけるキャリア濃度の最小値N_0以上、最小値N_0の２倍以下の範囲でキャリア濃度が変動していてもよい。平坦部３１３は、最小値N_0以上、最小値N_0の１．５倍以下の範囲でキャリア濃度が変動していてよく、最小値N_0以上、最小値N_0の１．２倍以下の範囲でキャリア濃度が変動していてもよい。平坦部３１３のＺ軸方向における長さは、高濃度領域４６０のＺ軸方向における長さの半分以上であってよい。また、高濃度領域４６０は、ピーク４０８からバッファ領域２０に向かって、キャリア濃度が徐々に減少してもよい。

[0174] ＶＯＨ欠陥濃度N_{VOH}の分布も、平坦部３１３と同じ深さ位置に平坦部３２３を有してよい。平坦部３２３も平坦部３１３と同様に、第１ピーク４０１

とバッファ領域２０との間におけるＶＯＨ欠陥密度の最小値以上、当該最小値の２倍以下の範囲でＶＯＨ欠陥密度が変動していてもよい。平坦部３２３は、当該最小値以上、当該最小値の１．５倍以下の範囲でＶＯＨ欠陥密度が変動していてよく、当該最小値以上、当該最小値の１．２倍以下の範囲でＶＯＨ欠陥密度が変動していてもよい。平坦部３２３のＺ軸方向における長さは、高濃度領域４６０のＺ軸方向における長さの半分以上であってよい。

[0175] 第２高濃度領域２０２におけるキャリア濃度のピーク値N_1は、高濃度領域４６０におけるキャリア濃度の最小値N_0より大きい。ピーク値N_1は、最小値N_0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。ピーク値N_1は、ベースキャリア濃度N_{00}の１０倍以上であってよく、１００倍以上であってもよい。

[0176] 本例のバッファ領域２０は、深さ位置が異なる複数のドナー濃度ピーク４０７を有する。少なくとも一つのドナー濃度ピーク４０７は、水素ドナーの濃度ピークであってよい。つまり、当該ドナー濃度ピーク４０７と同一の深さ位置に、水素化学濃度のピークが設けられてよい。水素化学濃度の当該ピークが、図２等において説明した第２ピーク４０２として機能する。全てのドナー濃度ピーク４０７が、水素ドナーの濃度ピークであってもよい。

[0177] 図１３Ａは、図８におけるｃ－ｃ断面の他の例を示す図である。本例の半導体装置１００は、高濃度領域４６０が設けられる深さ方向の範囲が、図１１に示した例と相違する。第１ピーク４０１の深さ方向における位置も、図１１に示した例と相違してよい。他の構造は、図１１に示した例と同一である。

[0178] 本例の高濃度領域４６０は、ガードリング９２に接している。高濃度領域４６０は、少なくともガードリング９２の下端を含む。高濃度領域４６０は、互いに隣り合う２つのガードリング９２の間にも設けられてよい。本例の高濃度領域４６０は、第２高濃度領域２０２とは接触していない。高濃度領域４６０は、トレンチ部の底面よりも上面２１側に設けられてよい。すなわち、高濃度領域４６０は、隣り合うトレンチ部に挟まれたメサ部まで設けら

れてよい。高濃度領域４６０と、第２高濃度領域２０２との間には、バルク・ドナー濃度のバルク・ドーピング領域１８が設けられてよい。

[0179] 本例の第１ピーク４０１は、ガードリング９２と接している。つまり第１ピーク４０１は、ガードリング９２の下端よりも上方に配置されている。

[0180] 本例によれば、ガードリング９２の下端を高濃度領域４６０が覆っているので、電界が集中しやすい領域のドナー濃度のばらつきを低減できる。このため、耐圧のばらつきを更に低減できる。

[0181] 図１３Ｂは、図８におけるｃ－ｃ断面の他の例を示す図である。本例の半導体装置１００は、高濃度領域４６０が設けられる深さ方向の範囲が、図１３Ａに示した例と相違する。第１ピーク４０１の深さ方向における位置も、図１３Ａに示した例と相違してよい。他の構造は、図１３Ａに示した例と同一であってよい。

[0182] 本例のチャネルストッパ１７４には水素が含まれる。本例では、第１ピーク４０１は、チャネルストッパ１７４と重なる深さ位置に配置されている。同様に、水素化学濃度のピークが、チャネルストッパ１７４と重なる位置に配置されている。つまり、半導体基板１０の下面２３からチャネルストッパ１７４と重なる深さ位置まで、水素が分布している。エミッタ領域１２、コンタクト領域１５、ベース領域１４または蓄積領域１６には、水素が含まれてよい。第１ピーク４０１は、エミッタ領域１２と重なってよく、コンタクト領域１５と重なってよく、ベース領域１４と重なってよく、蓄積領域１６と重なってもよい。

[0183] 高濃度領域４６０は、チャネルストッパ１７４と重なる深さ位置まで設けられている。高濃度領域４６０は、半導体基板１０の上面２１まで設けられてよく、上面２１よりも下方の位置まで設けられてもよい。２つのガードリング９２で挟まれた領域において、高濃度領域４６０と上面２１との間には、第２高濃度領域２０２が設けられてよく、バルク・ドーピング領域１８が設けられてもよい。

[0184] 本例のチャネルストッパ１７４の下方の領域は、高濃度領域４６０が設け

られ、バルク・ドーピング領域１８が残存していない。このため、Ｘ軸方向に広がる空乏層が、チャネルストッパ１７４よりも外側まで伸びることを抑制できる。

[0185] 図１３Ｃは、図８におけるｃ－ｃ断面の他の例を示す図である。本例の半導体装置１００は、高濃度領域４６０が設けられる深さ方向の範囲が、図１３Ａまたは図１３Ｂに示した例と相違する。また、半導体基板１０内に第１ピーク４０１が存在しない。他の構造は、図１３Ａまたは図１３Ｂに示した例と同一であってよい。

[0186] 本例においては、半導体基板１０の下面２３または上面２１から、半導体基板１０を貫通するように不純物（水素）が注入される。つまり、水素イオンの飛程が、半導体基板１０の厚みよりも大きくなるように、水素イオンの加速エネルギーが調整されている。このため、半導体基板１０には第１ピーク４０１が設けられない。水素イオンの注入時には、後述する遮蔽部材３５０等のアブソーバを用いてよく、用いなくてもよい。

[0187] 高濃度領域４６０は、半導体基板１０の下面２３から上面２１まで形成される。本例において、第２高濃度領域２０２を設けなくてよく、また、第２高濃度領域２０２を高濃度領域４６０と重ねて設けてもよい。

[0188] 本例のチャネルストッパ１７４の下方の領域は、高濃度領域４６０が設けられ、バルク・ドーピング領域１８が残存していない。このため、Ｘ軸方向に広がる空乏層が、チャネルストッパ１７４よりも外側まで伸びることを抑制できる。また、第１ピーク４０１が存在しないので、半導体基板１０の上面２１側に局所的に設けられたドーピング領域（例えばエミッタ領域１２、ベース領域１４、コンタクト領域１５、蓄積領域１６、ウェル領域１１、ガードリング９２）への影響を低減できる。

[0189] 図１４は、図８におけるｃ－ｃ断面の他の例を示す図である。本例の半導体装置１００は、第２高濃度領域２０２および高濃度領域４６０が設けられる深さ方向の範囲が、図１１、図１３Ａ、図１３Ｂ、または図１３Ｃに示した例と相違する。他の構造は、図１１、図１３Ａ、図１３Ｂ、または図１３

Ｃに示した例と同一である。

[0190] 本例の第２高濃度領域２０２の一部と、高濃度領域４６０の一部は、同一の領域に設けられている。第２高濃度領域２０２の下端は高濃度領域４６０の範囲内に配置され、高濃度領域４６０の上端は第２高濃度領域２０２の範囲内に配置されている。このような構成により、第２高濃度領域２０２と高濃度領域４６０とを接続して、エッジ終端構造部９０におけるバルク・ドナー濃度の領域を小さくできる。このため、耐圧ばらつきを更に低減できる。

[0191] 第２高濃度領域２０２は、ガードリング９２の下端よりも深い位置まで形成されてよい。これにより、第２高濃度領域２０２と高濃度領域４６０とを容易に接続できる。他の例では、第２高濃度領域２０２は、ガードリング９２の下端よりも浅い位置まで形成されてもよい。本例の第１ピーク４０１は、第２高濃度領域２０２内に配置されている。第１ピーク４０１は、ガードリング９２と接する位置に設けられてよい。これにより、高濃度領域４６０を上面２１の近くまで形成でき、第２高濃度領域２０２と高濃度領域４６０とを容易に接続できる。

[0192] エッジ終端構造部９０において、最も外側に配置されたガードリング９２よりも更に外側には、バルク・ドナー濃度のバルク・ドーピング領域１８が残存してもよいし、残存せず第２高濃度領域２０２が設けられてもよい。本例では、残存していない。図１４の例では、第２高濃度領域２０２は、ガードリング９２の下端の一部を覆っていない。図１４において破線で示すように、第２高濃度領域２０２は、ガードリング９２の全体を覆っていてもよい。

[0193] 図１５は、図８におけるｃ－ｃ断面の他の例を示す図である。本例の半導体装置１００は、エッジ終端構造部９０の少なくとも一部の領域９１において、高濃度領域４６０の配置が、図１１、図１３Ａ、図１３Ｂ、図１３Ｃまたは図１４に示した例と相違する。また領域９１においては、第２高濃度領域２０２に代えて、第３高濃度領域２０３が設けられてもよい。第３高濃度領域２０３は、第２高濃度領域２０２よりも深い位置まで形成された高濃度

領域である。領域９１には、バルク・ドーピング領域１８、第２高濃度領域２０２、高濃度領域４６０および第３高濃度領域２０３のうちの一つまたは複数が設けられてよい。他の構造は、図１１、図１３Ａ、図１３Ｂ、図１３Ｃまたは図１４に示した例と同一である。

[0194] 図１５の高濃度領域４６０は、エッジ終端構造部９０のうち、半導体基板１０の端辺１０２と接する、所定の幅の領域９１には設けられていない。領域９１は、一つ以上のガードリング９２を含んでよい。領域９１には、高濃度領域４６０に代えて、バルク・ドナー濃度のバルク・ドーピング領域１８が設けられてよい。高濃度領域４６０は、エッジ終端構造部９０に形成されなくてもよい。高濃度領域４６０の外周端は、最も内周にあるガードリング９２よりも内周側に位置してよい。他の例では、領域９１にも高濃度領域４６０が設けられていてよい。領域９１の高濃度領域４６０は、領域９１よりも内側に配置された高濃度領域４６０と、Ｚ軸方向の長さが同一であってよく、短くてよく、長くてもよい。

[0195] 領域９１よりも内側のエッジ終端構造部９０は、図１１、図１３Ａ、図１３Ｂ、図１３Ｃまたは図１４に示した例と同一の構造を有する。領域９１よりも内側のエッジ終端構造部９０は、一つ以上のガードリング９２を含んでいる。図１１、図１３Ａ、図１３Ｂ、図１３Ｃまたは図１４に示したように、高濃度領域４６０は、ガードリング９２の下端を含む範囲に設けられてよく、ガードリング９２の下端を含まない範囲に設けられてもよい。

[0196] 領域９１には、第２高濃度領域２０２が設けられていてもよく、また、設けられていなくてもよい。或いは、第２高濃度領域２０２に代えて、バルク・ドナー濃度よりもドナー濃度が高いＮ型の第３高濃度領域２０３が設けられてよい。第３高濃度領域２０３のドナー濃度は、第２高濃度領域２０２のドナー濃度と同一であってよく、異なっていてもよい。第３高濃度領域２０３は、半導体基板１０の上面２１から、第２高濃度領域２０２の下端よりも深い位置まで設けられている。本例の第３高濃度領域２０３は、ガードリング９２の下端よりも深い位置まで設けられてよい。第３高濃度領域２０３と

バッファ領域２０との間には、バルク・ドーピング領域１８が設けられている。

[0197] 第３高濃度領域２０３は、リンまたは水素等のドナーを、上面２１から注入して形成してよい。第３高濃度領域２０３におけるドナーの注入深さは、第２高濃度領域２０２におけるドナーの注入深さよりも深くてよい。第２高濃度領域２０２および第３高濃度領域２０３に対する熱処理は、個別に行ってよく、共通におこなってもよい。

[0198] 図１６は、図８におけるｃ－ｃ断面の他の例を示す図である。本例の半導体装置１００は、高濃度領域４６０が設けられるＸＹ面における範囲が、図１から図１５において説明した半導体装置１００と相違する。第１ピーク４０１が設けられるＸＹ面における範囲も、図１から図１５において説明した例と相違してよい。高濃度領域４６０および第１ピーク４０１以外の構造は、図１から図１５において説明したいずれかの態様と同一であってよい。図１６においては、図１１に示した例に対して、高濃度領域４６０および第１ピーク４０１の配置が異なっている。また、図１６に示した例では、図１１に示した例と比べて、第２高濃度領域２０２が設けられていない。他の構造は、図１１に示した例と同一である。

[0199] 本例の高濃度領域４６０は、少なくとも一部がエッジ終端構造部９０に設けられ、且つ、活性部１６０に達しない範囲に設けられている。高濃度領域４６０は、エッジ終端構造部９０だけに設けられてよく、エッジ終端構造部９０からウェル領域１１の下方まで設けられてもよい。図１６の例においては、高濃度領域４６０は、Ｘ軸方向における半導体基板１０の端部から、ウェル領域１１の下方まで設けられている。

[0200] 本例においては、高濃度領域４６０が活性部１６０に設けられていないので、高濃度領域４６０を設けたことによる活性部１６０の特性変動を防ぐことができる。エッジ終端構造部９０には高濃度領域４６０が設けられているので、エッジ終端構造部９０における空乏層の広がりを抑制でき、エッジ終端構造部９０のＸＹ面における面積を小さくできる。

[0201] 図１７は、図８におけるｃ－ｃ断面の他の例を示す図である。本例の半導体装置１００は、第２高濃度領域２０２が設けられている点で、図１６において説明した例と相違する。他の構造は、図１６において説明したいずれかの態様の半導体装置１００と同一である。本例においても、活性部１６０の特性変動を防ぎつつ、エッジ終端構造部９０における空乏層の広がりを抑制できる。

[0202] 図１８Ａは、図８におけるｃ－ｃ断面の他の例を示す図である。本例の半導体装置１００は、高濃度領域４６０のＺ軸方向における上端位置と、第１ピーク４０１のＺ軸方向における位置が、図１６または図１７において説明した例と相違する。他の構造は、図１６または図１７において説明したいずれかの例と同一である。図１８Ａに示した例では、図１７の例と同様に、第２高濃度領域２０２が設けられている。また、高濃度領域４６０のＺ軸方向における上端位置と、第１ピーク４０１のＺ軸方向における位置は、図１３Ａにおいて説明した例と同一である。本例においても、活性部１６０の特性変動を防ぎつつ、エッジ終端構造部９０における空乏層の広がりを抑制できる。

[0203] 図１８Ｂは、図８におけるｃ－ｃ断面の他の例を示す図である。本例の半導体装置１００は、高濃度領域４６０が設けられる深さ方向の範囲が、図１８Ａに示した例と相違する。第１ピーク４０１の深さ方向における位置も、図１８Ａに示した例と相違してよい。他の構造は、図１８Ａに示した例と同一であってよい。

[0204] 本例において、高濃度領域４６０が設けられる範囲、および、第１ピーク４０１が設けられる深さ位置は、図１３Ｂの例と同様である。つまり本例の第１ピーク４０１は、チャネルストッパ１７４と重なる深さ位置に配置されている。同様に、水素化学濃度のピークが、チャネルストッパ１７４と重なる位置に配置されている。本例の高濃度領域４６０は、チャネルストッパ１７４と重なる深さ位置まで設けられている。

[0205] 本例のチャネルストッパ１７４の下方の領域は、高濃度領域４６０が設け

られ、バルク・ドーピング領域１８が残存していない。このため、Ｘ軸方向に広がる空乏層が、チャネルストッパ１７４よりも外側まで伸びることを抑制できる。

[0206] 図１８Ｃは、図８におけるｃ－ｃ断面の他の例を示す図である。本例の半導体装置１００は、高濃度領域４６０が設けられる深さ方向の範囲が、図１８Ａまたは図１８Ｂに示した例と相違する。また、半導体基板１０内に第１ピーク４０１が存在しない。他の構造は、図１８Ａまたは図１８Ｂに示した例と同一であってよい。

[0207] 本例では、図１３Ｃの例と同様に、半導体基板１０の下面２３から、半導体基板１０を貫通するように不純物（水素）が注入される。本例において高濃度領域４６０が設けられる深さ範囲は、図１３Ｃの例と同様である。つまり高濃度領域４６０は、半導体基板１０の下面２３から上面２１まで形成される。

[0208] 本例のチャネルストッパ１７４の下方の領域は、高濃度領域４６０が設けられ、バルク・ドーピング領域１８が残存していない。このため、Ｘ軸方向に広がる空乏層が、チャネルストッパ１７４よりも外側まで伸びることを抑制できる。また、第１ピーク４０１が存在しないので、半導体基板１０の上面２１側に局所的に設けられたドーピング領域（例えばウェル領域１１、ガードリング９２）への影響を低減できる。

[0209] 図１９は、図８におけるｃ－ｃ断面の他の例を示す図である。本例の半導体装置１００は、第２高濃度領域２０２の構造が、図１８Ａ、図１８Ｂまたは図１８Ｃに示した例と相違する。他の構造は、図１８Ａ、図１８Ｂまたは図１８Ｃに示した例と同一である。本例の第２高濃度領域２０２は、図１４に示した例と同一の構造を有する。本例においても、活性部１６０の特性変動を防ぎつつ、エッジ終端構造部９０における空乏層の広がりを抑制できる。

[0210] 図２０は、図８におけるｃ－ｃ断面の他の例を示す図である。本例の半導体装置１００は、高濃度領域４６０が、Ｚ軸方向における長さが異なる複数

の領域を有する点で、図１６から図１９において説明した半導体装置１００と相違する。また、第１ピーク４０１のＺ軸方向における位置も、高濃度領域４６０の各領域で異なっている。他の構造は、図１６から図１９において説明したいずれかの例と同一である。

[0211] 高濃度領域４６０は、内側部分と、内側部分よりも外側に設けられた外側部分とを有する。外側とは、ＸＹ面において活性部１６０から遠い側を指す。外側部分は、Ｚ軸方向における長さが、内側部分よりも大きい。図２０の例では、高濃度領域４６０は、高濃度領域４６０－１、高濃度領域４６０－２、高濃度領域４６０－３を含む。高濃度領域４６０－２は、高濃度領域４６０－１よりも外側に配置され、且つ、高濃度領域４６０－１よりもＺ軸方向に長く設けられている。高濃度領域４６０－３は、高濃度領域４６０－２よりも外側に配置され、且つ、高濃度領域４６０－２よりもＺ軸方向に長く設けられている。つまり、高濃度領域４６０－１を内側部分とすると、高濃度領域４６０－２および高濃度領域４６０－３が外側部分である。また、高濃度領域４６０－２を内側部分とすると、高濃度領域４６０－３が外側部分である。本例では、高濃度領域４６０の各領域のＺ軸方向の長さが、階段状に変化している。

[0212] それぞれの高濃度領域４６０の上端は、ドリフト領域１９内に配置されていてよい。他の例では、高濃度領域４６０－３の上端は、ガードリング９２またはウェル領域１１と重なる位置に配置されていてもよい。

[0213] 高濃度領域４６０－２に含まれる第１ピーク４０１－２は、高濃度領域４６０－１に含まれる第１ピーク４０１－１よりもＺ軸方向において上の位置に設けられている。高濃度領域４６０－３に含まれる第１ピーク４０１－３は、高濃度領域４６０－２に含まれる第１ピーク４０１－２よりもＺ軸方向において上の位置に設けられている。

[0214] 本例の半導体装置１００によれば、活性部１６０の近傍の高濃度領域４６０がＺ軸方向において短いので、高濃度領域４６０が活性部１６０の特性に与える影響を抑制できる。また、活性部１６０から離れた高濃度領域４６０

がＺ軸方向において長いので、エッジ終端構造部９０における空乏層の広がりを抑制できる。

[0215] 図２１Ａは、図８におけるｃ－ｃ断面の他の例を示す図である。本例の半導体装置１００は、高濃度領域４６０が、Ｚ軸方向における長さが異なる複数の領域を有する点で、図１６から図１９において説明した半導体装置１００と相違する。また、第１ピーク４０１のＺ軸方向における位置も、高濃度領域４６０の各領域で異なっている。他の構造は、図１６から図１９において説明したいずれかの例と同一である。

[0216] 本例の高濃度領域４６０は、活性部１６０から離れるほど、Ｚ軸方向の長さが漸増する点で図２０の高濃度領域４６０と相違する。他の構造は、図２０の例と同一であってよい。本例の第１ピーク４０１は、活性部１６０から離れるほど、上側に配置されている。本例においても、高濃度領域４６０の上端は、全体がドリフト領域１９内に配置されていてよい。他の例では、高濃度領域４６０の上端の一部は、ガードリング９２またはウェル領域１１と重なる位置に配置されていてもよい。本例においても、高濃度領域４６０が活性部１６０の特性に与える影響を抑制できる。また、エッジ終端構造部９０における空乏層の広がりを抑制できる。

[0217] 図２１Ｂは、図８におけるｃ－ｃ断面の他の例を示す図である。本例の半導体装置１００は、高濃度領域４６０が設けられる深さ範囲、および、第１ピーク４０１の位置が図２１Ａの例と異なる。他の構造は、図２１Ａの例と同一である。

[0218] 図２１Ａの例と同様に、第１ピーク４０１の深さ位置は、活性部１６０から離れるほど上面２１に近づいている。同様に、水素化学濃度のピークの深さ位置は、活性部１６０から離れるほど上面２１に近づいている。第１ピーク４０１の位置に、水素化学濃度のピークが設けられてよい。本例では、第１ピーク４０１は、チャネルストッパ１７４と重なっている。第１ピーク４０１は、１つ以上のガードリング９２とも重なっていてよい。また、半導体基板１０の側壁に近い領域においては、下面２３から注入された水素イオン

が半導体基板１０を貫通していてもよい。水素イオンが貫通した領域には、第１ピーク４０１が設けられない。例えばチャネルストッパ１７４のうち、半導体基板１０の側壁に接する領域には、第１ピーク４０１が設けられなくてもよい。

[0219] また高濃度領域４６０も、活性部１６０から離れるほど、Ｚ軸方向の長さが漸増する。本例の高濃度領域４６０は、下面２３から、チャネルストッパ１７４と接するか、または、重なる位置まで形成されている。本例のチャネルストッパ１７４の下方の領域は、高濃度領域４６０が設けられ、バルク・ドーピング領域１８が残存していない。このため、Ｘ軸方向に広がる空乏層が、チャネルストッパ１７４よりも外側まで伸びることを抑制できる。

[0220] 図２２は、図２０において説明した高濃度領域４６０の形成方法の一例を示す図である。本例では、半導体基板１０の下面２３の下方に、遮蔽部材３５０を配置した状態で、下面２３側から水素イオンを照射する。遮蔽部材３５０は、活性部１６０の全体と、エッジ終端構造部９０の少なくとも一部を覆っている。活性部１６０を覆う遮蔽部材３５０は、水素イオンを完全に遮蔽して、半導体基板１０に到達させないだけの厚みを有する。

[0221] 高濃度領域４６０を設けるべき領域を覆う遮蔽部材３５０は、それぞれの高濃度領域４６０のＺ軸方向の長さに対応する厚みを有する。つまり、高濃度領域４６０を長く形成する領域ほど、遮蔽部材３５０が薄い。遮蔽部材３５０を薄くすることで、水素イオンが半導体基板１０の深くまで到達して、高濃度領域４６０が長くなる。

[0222] 本例の遮蔽部材３５０は、活性部１６０から離れるほど、遮蔽部材３５０が階段状に薄くなっている。高濃度領域４６０－３の下方には、遮蔽部材３５０が設けられてよく、設けられていなくてもよい。図２２においては、コレクタ電極２４が設けられているが、コレクタ電極２４を形成する前に、水素イオンを下面２３に照射してもよい。

[0223] 図２３は、図２１Ａにおいて説明した高濃度領域４６０の形成方法の一例を示す図である。本例では、遮蔽部材３５０の形状が、図２２の例と異なる

。他の条件は、図２２の例と同一である。

[0224] 本例の遮蔽部材３５０は、活性部１６０から離れるほど、遮蔽部材３５０が直線的または曲線的に薄くなっている。高濃度領域４６０－３の下方には、遮蔽部材３５０が設けられてよく、設けられていなくてもよい。

[0225] 図１６から図２３に示した形態において、高濃度領域４６０の比抵抗(抵抗率)は、活性部１６０（トランジスタ部７０またはダイオード部８０）におけるドリフト領域１９の比抵抗より低い。高濃度領域４６０の比抵抗は、活性部１６０のドリフト領域１９の比抵抗の１／１．５以下、１／１０以上であってよい。高濃度領域４６０の比抵抗は、活性部１６０のドリフト領域１９の比抵抗の１／２以下であってもよい。各領域の比抵抗は、各領域のＺ軸方向における中央の値を用いてよく、平均値を用いてもよい。

[0226] 図１６から図２３に示した形態において、活性部１６０のドリフト領域１９の比抵抗は、半導体装置１００の定格電圧に応じて値を有してよい。一例として定格電圧が６００Ｖの場合、比抵抗は２０～８０Ωｃｍであり、定格電圧が１２００Ｖの場合、比抵抗は４０～１２０Ωｃｍであり、定格電圧が１７００Ｖの場合、比抵抗は６０～２００Ωｃｍであり、定格電圧が３３００Ｖの場合、比抵抗は１５０～４５０Ωｃｍであってよい。

[0227] 図１から図２３に示した形態おいて、半導体基板１０は、第２導電型のバルク・アクセプタが全体に分布していてよい。バルク・アクセプタは、バルク・ドナーと同様に、インゴットの製造時にインゴット中に一様に導入されるアクセプタである。バルク・アクセプタは、ボロンであってよい。バルク・アクセプタ濃度は、バルク・ドナー濃度より低くてよい。つまり、インゴットはＮ型である。一例として、バルク・アクセプタ濃度は5×10^{11}（／cm^3）～9×10^{13}（／cm^3）であり、バルク・ドナー濃度は5×10^{12}（／cm^3）～1×10^{14}（／cm^3）である。バルク・アクセプタ濃度は、バルク・ドナー濃度の１％以上であってよく、１０％以上でよく、５０％以上であってよい。バルク・アクセプタ濃度は、バルク・ドナー濃度の９９％以下であってよく、９５％以下でよく、９０％以下であってよい。

[0228] 半導体基板１０の全体にバルク・アクセプタが存在することで、水素イオン等を注入する前の半導体基板１０におけるネット・ドーピング濃度を小さくできる。このため、半導体基板１０のネット・ドーピング濃度のバラツキの絶対値を小さくできる。このため、水素イオン注入による比抵抗の調整が容易になる。

[0229] 図１から図７において説明した酸素アニールは、図８から図２３において説明した構造のうち、バルク・ドーピング領域１８以外の構造を形成する前に行ってよい。他の例では、酸素アニールは、半導体基板１０の内部の各ドーピング領域を形成した後に行ってもよい。この場合、酸素アニール後に、層間絶縁膜３８、ゲート絶縁膜４２等の各膜を成膜してよい。これにより、酸素アニールにより、絶縁膜等の特性が劣化することを抑制できる。

[0230] また、酸素アニールを行う前に、リン等のＮ型ドーパントを、半導体基板１０の上面に注入してよい。Ｎ型ドーパントは、上面視において選択的に注入してよく、全面に注入してもよい。Ｎ型ドーパントは、第３高濃度領域２０３を形成する領域に注入してもよい。Ｎ型ドーパントを注入した後に、酸素雰囲気において半導体基板１０の１１００℃以上、１３００℃以下で２０時間以上アニールする（第１アニール）。これにより、Ｎ型ドーパントを比較的に深くまで拡散できる。Ｎ型ドーパントは、高濃度領域４６０に達するまで拡散させてよい。これにより、深さ方向全体に渡って、半導体基板１０のドナー濃度を調整できる。なお第１アニールにより、半導体基板１０には、固溶限と同等の濃度の酸素が導入される。

[0231] 次に、第１アニールよりも低い温度で、半導体基板１０をアニールする（第２アニール）。第２アニールは、酸素雰囲気で行ってよい。第２アニールのアニール時間は、第１アニールよりも短くてよい。例えば第１アニールは、９００℃以上、１０００℃以下で、１５時間以下である。これにより、半導体基板１０の酸素が外方拡散し、上面側酸素減少領域４５０が形成される。第２アニール後に、第３高濃度領域２０３以外の構造を形成してよい。第２アニールは、半導体基板１０の上面２１側の構造を形成する工程に含まれ

ていてもよい。

[0232] なお、第１アニールの温度は、１０００℃以下であってもよい。この場合、第１アニールにおいて、半導体基板１０に酸素が導入されることを抑制できる。

[0233] 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。

[0234] 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

[0235] 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・・・バルク・ドーピング領域、１９・・・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、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、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、９

１・・・領域、９２・・・ガードリング、９４・・・フィールドプレート、１００・・・半導体装置、１０２・・・端辺、１０６・・・通過領域、１１２・・・ゲートパッド、１３０・・・外周ゲート配線、１３１・・・活性側ゲート配線、１６０・・・活性部、１７４・・・チャネルストッパ、２０２・・・第２高濃度領域、２０３・・・第３高濃度領域、３１３・・・平坦部、３１４・・・ピーク、３１８・・・リン濃度ピーク、３２３・・・平坦部、３５０・・・遮蔽部材、４０１・・・第１ピーク、４０２・・・第２ピーク、４０３・・・第３ピーク、４０４・・・第４ピーク、４０５・・・酸素濃度ピーク、４０６・・・再結合中心ピーク、４０７・・・ドナー濃度ピーク、４０８・・・ピーク、４１１、４１２、４１３、４１４・・・上側裾、４２１、４２２、４２３、４２４・・・下側裾、４２５・・・第５ピーク、４２６・・・第６ピーク、４３５、４３６・・・上側裾、４４５、４４６・・・下側裾、４５０・・・上面側酸素減少領域、４５２・・・最大値領域、４５４・・・下面側酸素減少領域、４６０・・・高濃度領域

請求の範囲

[請求項1] 上面および下面を有し、第１導電型のバルク・ドナーが全体に分布した半導体基板と、

前記半導体基板の深さ方向における中央位置を含み、ドナー濃度が前記バルク・ドナーのドーピング濃度よりも高い、第１導電型の高濃度領域と、

前記半導体基板の内部において前記半導体基板の上面と接して設けられ、前記半導体基板の前記上面に近づくほど酸素化学濃度が減少する上面側酸素減少領域と

を備える半導体装置。

[請求項2] 前記半導体基板の前記深さ方向における酸素化学濃度分布は、前記酸素化学濃度が最大値となる位置を含み、且つ、前記酸素化学濃度が前記最大値の５０％以上である最大値領域を有し、

前記高濃度領域の前記深さ方向の端部に、不純物化学濃度分布がピークとなる第１ピークが配置され、

前記第１ピークは、前記最大値領域内か、または、前記最大値領域よりも前記半導体基板の前記上面側に配置されている

請求項１に記載の半導体装置。

[請求項3] 前記不純物化学濃度の前記深さ方向の分布は、前記第１ピークから前記下面に向かう下側裾と、前記第１ピークから前記上面に向かって前記下側裾より前記不純物化学濃度が急峻に減少する上側裾と

を有する請求項２に記載の半導体装置。

[請求項4] 前記高濃度領域は、前記第１ピークから、前記半導体基板の前記下面まで設けられている

請求項２または３に記載の半導体装置。

[請求項5] 前記酸素化学濃度分布は、前記酸素化学濃度が極大値を示す酸素濃度ピークを有する

請求項２から４のいずれか一項に記載の半導体装置。

[請求項6] 前記第１ピークと前記下面との間に配置された、水素化学濃度の第２ピークを有する

請求項２から５のいずれか一項に記載の半導体装置。

[請求項7] 前記上面側酸素減少領域よりも前記下面側に配置され、前記半導体基板の前記下面に近づくほど酸素化学濃度が減少する下面側酸素減少領域を更に備え、

前記水素化学濃度の前記第２ピークは、前記下面側酸素減少領域に配置されている

請求項６に記載の半導体装置。

[請求項8] 前記水素化学濃度の前記第２ピークは、前記最大値領域に配置されている

請求項６に記載の半導体装置。

[請求項9] 前記半導体基板に設けられた第１導電型のドリフト領域と、

前記ドリフト領域と前記下面との間に配置され、前記ドリフト領域よりもドーピング濃度が高いバッファ領域と

更に備え、

前記水素化学濃度の前記第２ピークは、前記バッファ領域に配置されている

請求項６から８のいずれか一項に記載の半導体装置。

[請求項10] 前記半導体基板の前記深さ方向における再結合中心濃度分布は、再結合濃度ピークを有し、

前記再結合濃度ピークは、前記酸素化学濃度が前記最大値の７０％以上である領域に配置されている

請求項５に記載の半導体装置。

[請求項11] 前記第１ピークは、前記酸素化学濃度が前記最大値の７０％以上である領域に配置されている

請求項２から１０のいずれか一項に記載の半導体装置。

[請求項12] 前記不純物化学濃度は水素化学濃度である

請求項２から１１のいずれか一項に記載の半導体装置。

[請求項13] 前記バルク・ドナーはリンかアンチモンである

請求項１から１２のいずれか一項に記載の半導体装置。

[請求項14] 前記半導体基板は、第２導電型のバルク・アクセプタが全体に分布している

請求項１から１３のいずれか一項に記載の半導体装置。

[請求項15] 前記バルク・アクセプタはボロンである

請求項１４に記載の半導体装置。

[請求項16] 前記半導体基板の上面に接し、第２導電型を有する１つ以上のガードリングと、

最も外側の前記ガードリングよりも更に外側に設けられ、前記半導体基板の上面に接し、前記バルク・ドナーのドーピング濃度よりも高い第１導電型または第２導電型のチャネルストッパと

を更に備え、

前記チャネルストッパが水素を含む

請求項１から１５のいずれか一項に記載の半導体装置。

[請求項17] 前記半導体基板の下面から前記チャネルストッパまで水素が分布している

請求項１６に記載の半導体装置。

[請求項18] 水素化学濃度のピークが、前記チャネルストッパに設けられている

請求項１６または１７に記載の半導体装置。

補正された請求の範囲
[2021年7月5日(05.07.2021)国際事務局受理]

[請求項1] 上面および下面を有し、第１導電型のバルク・ドナーが全体に分布した半導体基板と、

前記半導体基板の深さ方向における中央位置を含み、ドナー濃度が前記バルク・ドナーのドーピング濃度よりも高い、第１導電型の高濃度領域と、

前記半導体基板の内部において前記半導体基板の上面と接して設けられ、前記半導体基板の前記上面に近づくほど酸素化学濃度が減少する上面側酸素減少領域と

を備える半導体装置。

[請求項2] （補正後）

前記高濃度領域の前記深さ方向の端部に、不純物化学濃度分布がピークとなる第１ピークが配置されている

請求項１に記載の半導体装置。

[請求項3] （補正後）

前記半導体基板の前記深さ方向における酸素化学濃度分布は、前記酸素化学濃度が最大値となる位置を含み、且つ、前記酸素化学濃度が前記最大値の５０％以上である最大値領域を有し、

前記第１ピークは、前記最大値領域内か、または、前記最大値領域よりも前記半導体基板の前記上面側に配置されている

請求項２に記載の半導体装置。

[請求項4] （補正後）

前記不純物化学濃度の前記深さ方向の分布は、前記第１ピークから前記下面に向かう下側裾と、前記第１ピークから前記上面に向かって前記下側裾より前記不純物化学濃度が急峻に減少する上側裾と

を有する請求項２または３に記載の半導体装置。

[請求項5] （補正後）

前記高濃度領域は、前記第１ピークから、前記半導体基板の前記下面まで設けられている

請求項２から４のいずれか一項に記載の半導体装置。

[請求項6] （補正後）

前記酸素化学濃度分布は、前記酸素化学濃度が極大値を示す酸素濃度ピークを有する

請求項３に記載の半導体装置。

[請求項7] （補正後）

前記第１ピークと前記下面との間に配置された、水素化学濃度の第２ピークを有する

請求項２から６のいずれか一項に記載の半導体装置。

[請求項8] （補正後）

前記上面側酸素減少領域よりも前記下面側に配置され、前記半導体基板の前記下面に近づくほど酸素化学濃度が減少する下面側酸素減少領域を更に備え、

前記水素化学濃度の前記第２ピークは、前記下面側酸素減少領域に配置されている

請求項７に記載の半導体装置。

[請求項9] （補正後）

前記水素化学濃度の前記第２ピークは、前記最大値領域に配置されている

請求項７に記載の半導体装置。

[請求項10] （補正後）

前記半導体基板に設けられた第１導電型のドリフト領域と、

前記ドリフト領域と前記下面との間に配置され、前記ドリフト領域よりもドーピング濃度が高いバッファ領域と

更に備え、

前記水素化学濃度の前記第２ピークは、前記バッファ領域に配置されている

請求項７から９のいずれか一項に記載の半導体装置。

[請求項11] （補正後）

前記半導体基板の前記深さ方向における再結合中心濃度分布は、再結合濃度ピークを有し、

前記再結合濃度ピークは、前記酸素化学濃度が前記最大値の７０％以上である領域に配置されている

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] （補正後）

前記第１ピークは、前記酸素化学濃度が前記最大値の７０％以上である領域に配置されている

請求項２から１０のいずれか一項に記載の半導体装置。

[請求項13] （補正後）

前記不純物化学濃度は水素化学濃度である

請求項２から１０のいずれか一項に記載の半導体装置。

[請求項14] （補正後）

前記バルク・ドナーはリンかアンチモンである

請求項１から１３のいずれか一項に記載の半導体装置。

[請求項15] （補正後）

前記半導体基板は、第２導電型のバルク・アクセプタが全体に分布している

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] （補正後）

前記バルク・アクセプタはボロンである

請求項１５に記載の半導体装置。

[請求項17] （補正後）

前記半導体基板の上面に接し、第２導電型を有する１つ以上のガー

ドリングと、

最も外側の前記ガードリングよりも更に外側に設けられ、前記半導体基板の上面に接し、前記バルク・ドナーのドーピング濃度よりも高い第１導電型または第２導電型のチャネルストッパと

を更に備え、

前記チャネルストッパが水素を含む

請求項１から１６のいずれか一項に記載の半導体装置。

[請求項18] （補正後）

前記半導体基板の下面から前記チャネルストッパまで水素が分布している

請求項１７に記載の半導体装置。

[請求項19] （追加）

水素化学濃度のピークが、前記チャネルストッパに設けられている

請求項１７または１８に記載の半導体装置。

[請求項20] （追加）

前記高濃度領域は、前記半導体基板の前記下面まで設けられている

請求項１に記載の半導体装置。

[請求項21] （追加）

前記高濃度領域は、前記半導体基板の前記上面と接しない位置まで設けられている

請求項２０に記載の半導体装置。

[請求項22] （追加）

前記高濃度領域は、前記上面側酸素減少領域と重なる位置まで設けられている

請求項２０または２１に記載の半導体装置。

[請求項23] （追加）

前記高濃度領域は、前記半導体基板の前記上面まで設けられている

請求項２０に記載の半導体装置。

[請求項24] （追加）

前記半導体基板の前記深さ方向における酸素化学濃度分布は、前記酸素化学濃度が最大値となる位置を含み、且つ、前記酸素化学濃度が前記最大値の５０％以上である最大値領域を有し、

前記半導体基板の深さ方向の一部の領域において、前記最大値領域と、前記高濃度領域とが重なって設けられている

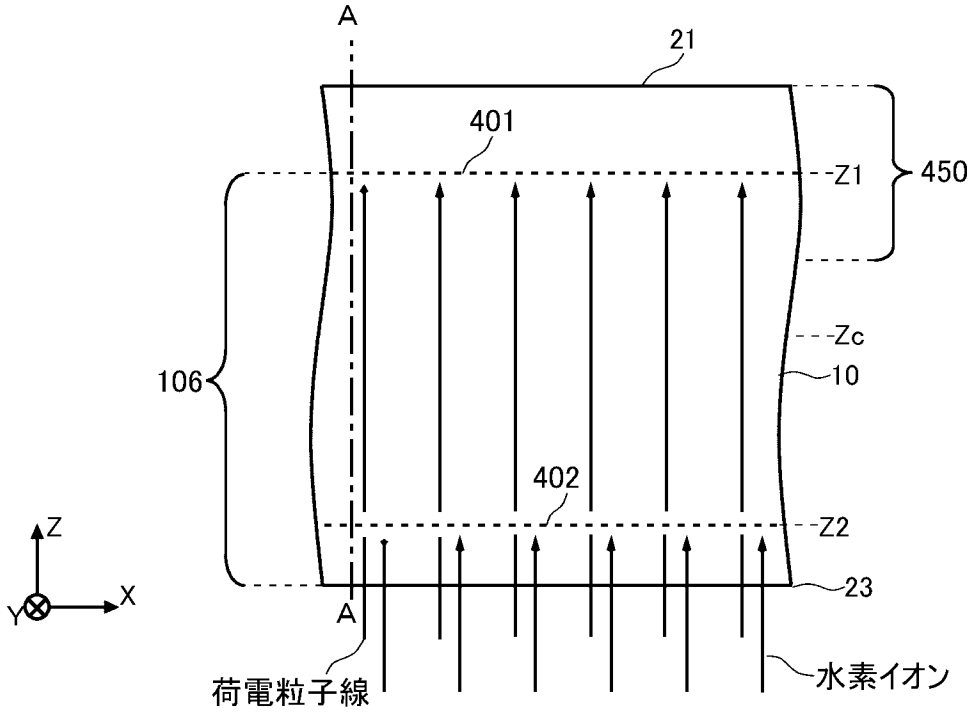
請求項１に記載の半導体装置。

[請求項25] （追加）

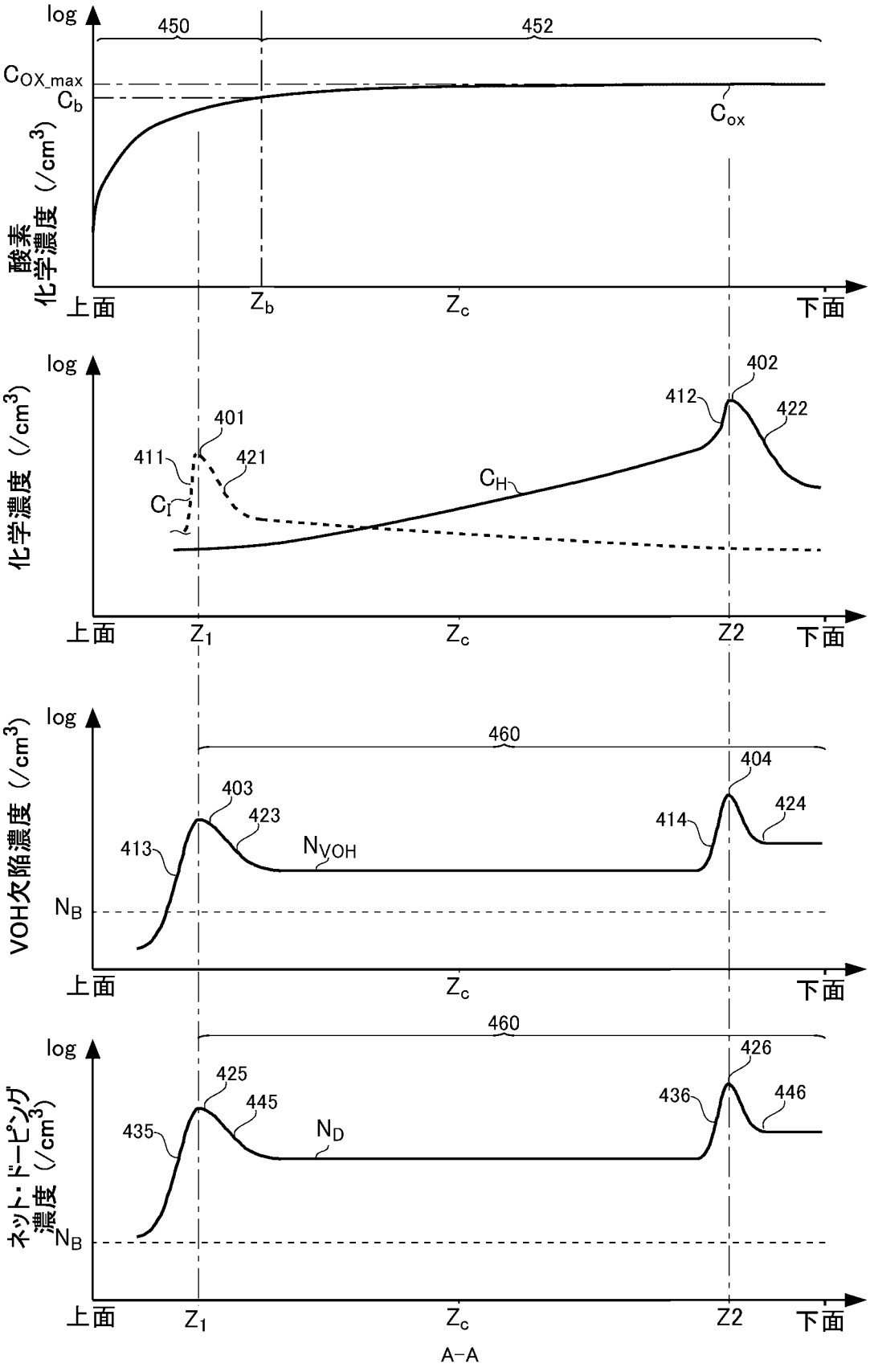
前記半導体基板の前記上面に、第１導電型のエミッタ領域が配置されている

請求項１から２４のいずれか一項に記載の半導体装置。

[図1]

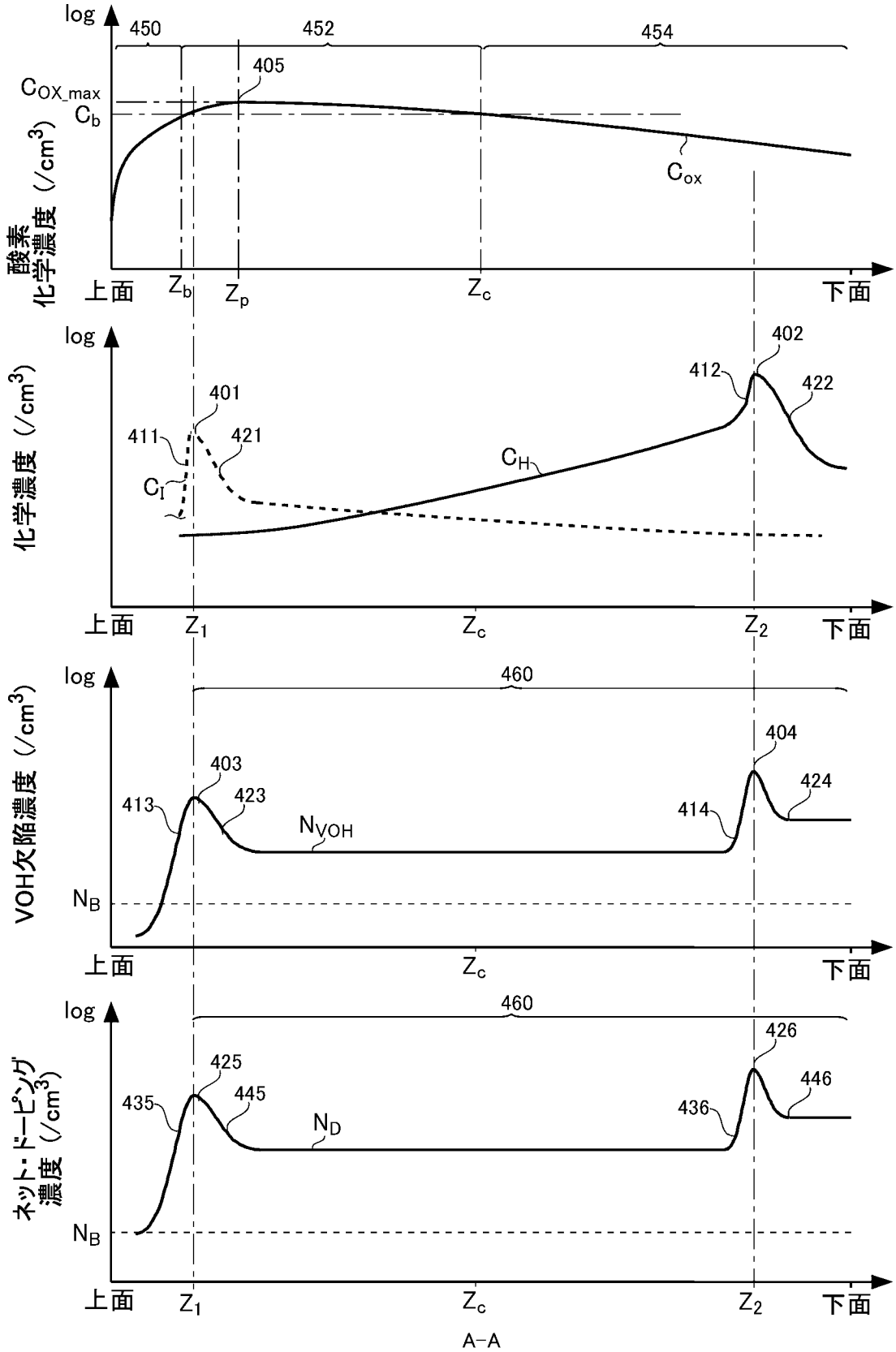


[図2]


log
450
452
C_{OX_max}
C_b
C_{ox}
酸素化学濃度（/cm^3）
上面
Z_b
Z_c
下面
log
402
412
422
401
411
421
C_H
C_I
化学濃度（/cm^3）
上面
Z_1
Z_c
Z2
下面
log
460
404
403
423
424
413
414
N_{VOH}
N_B
VOH欠陥濃度（/cm^3）
上面
Z_c
下面
460
log
426
425
445
436
446
435
N_D
N_B
ネット・ドーピング濃度（/cm^3）
上面
Z_1
Z_c
Z2
下面

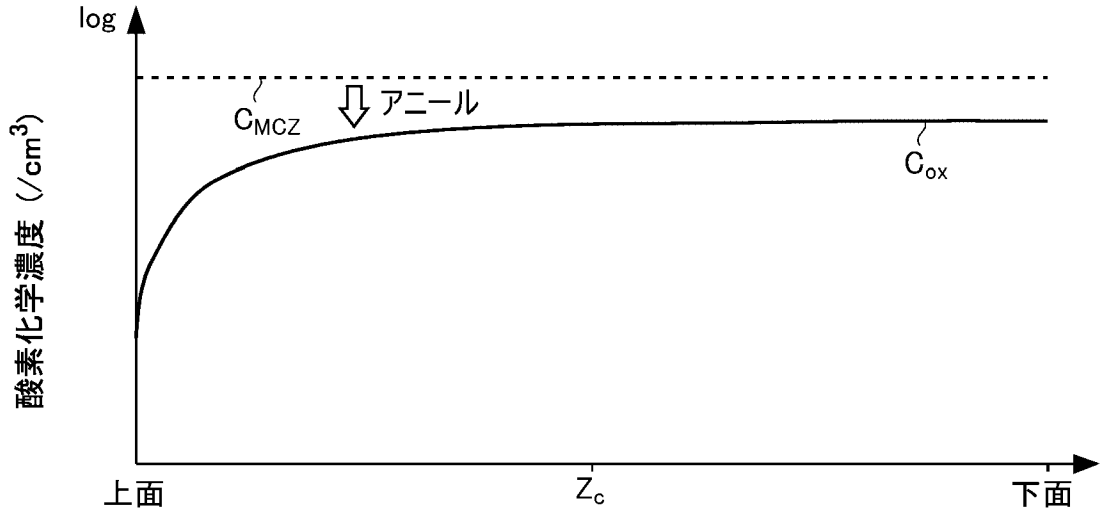
A-A

[図3]

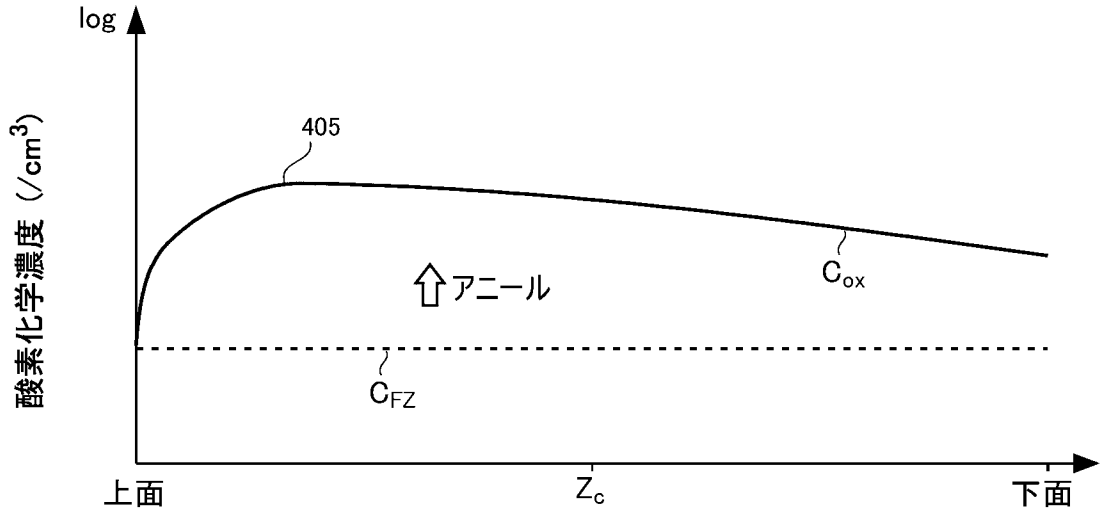

log
450
452
454
405
C_{OX_max}
C_b
酸素
化学濃度（/cm^3）
C_{ox}
上面
Z_b
Z_p
Z_c
下面
log
402
412
422
401
411
421
C_H
C_I
化学濃度（/cm^3）
上面
Z_1
Z_c
Z_2
下面
log
460
404
403
424
413
423
414
N_{VOH}
VOH欠陥濃度（/cm^3）
N_B
上面
Z_c
下面
log
460
426
425
446
435
445
436
N_D
ネット・ドーピング
濃度（/cm^3）
N_B
上面
Z_1
Z_c
Z_2
下面

A-A

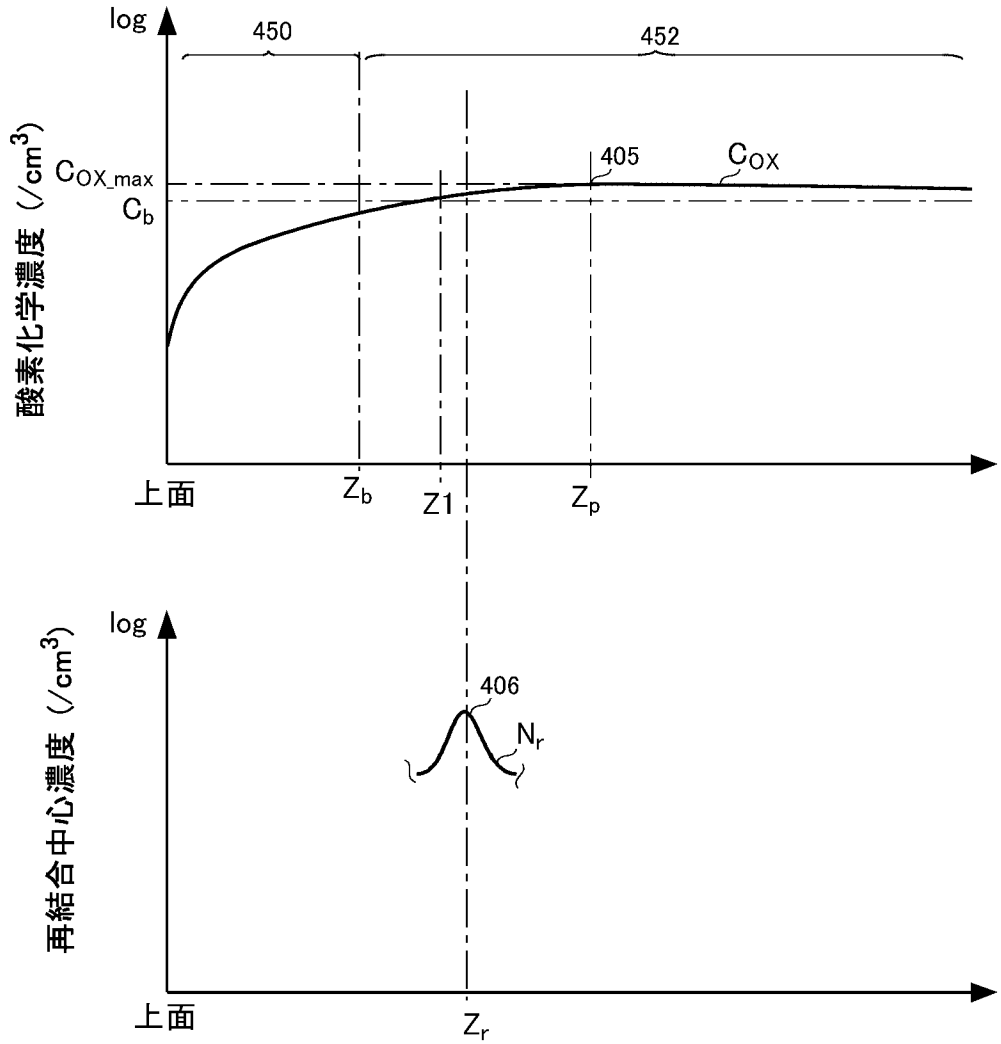
[図4]


log
酸素化学濃度（/cm3）
CMCZ
アニール
Cox
上面
Zc
下面

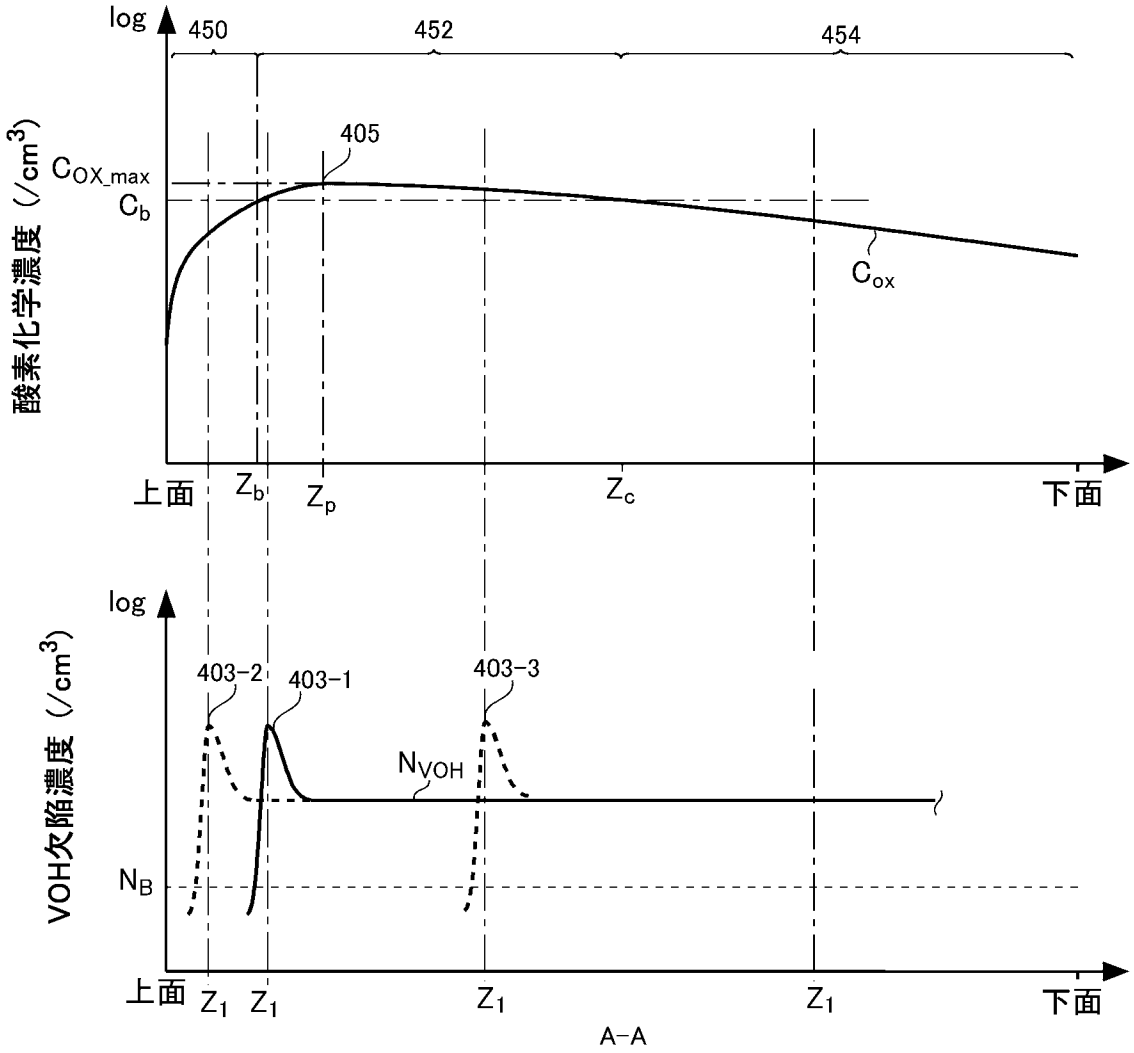
[図5]


log
酸素化学濃度（/cm3）
405
アニール
Cox
CFZ
上面
Zc
下面

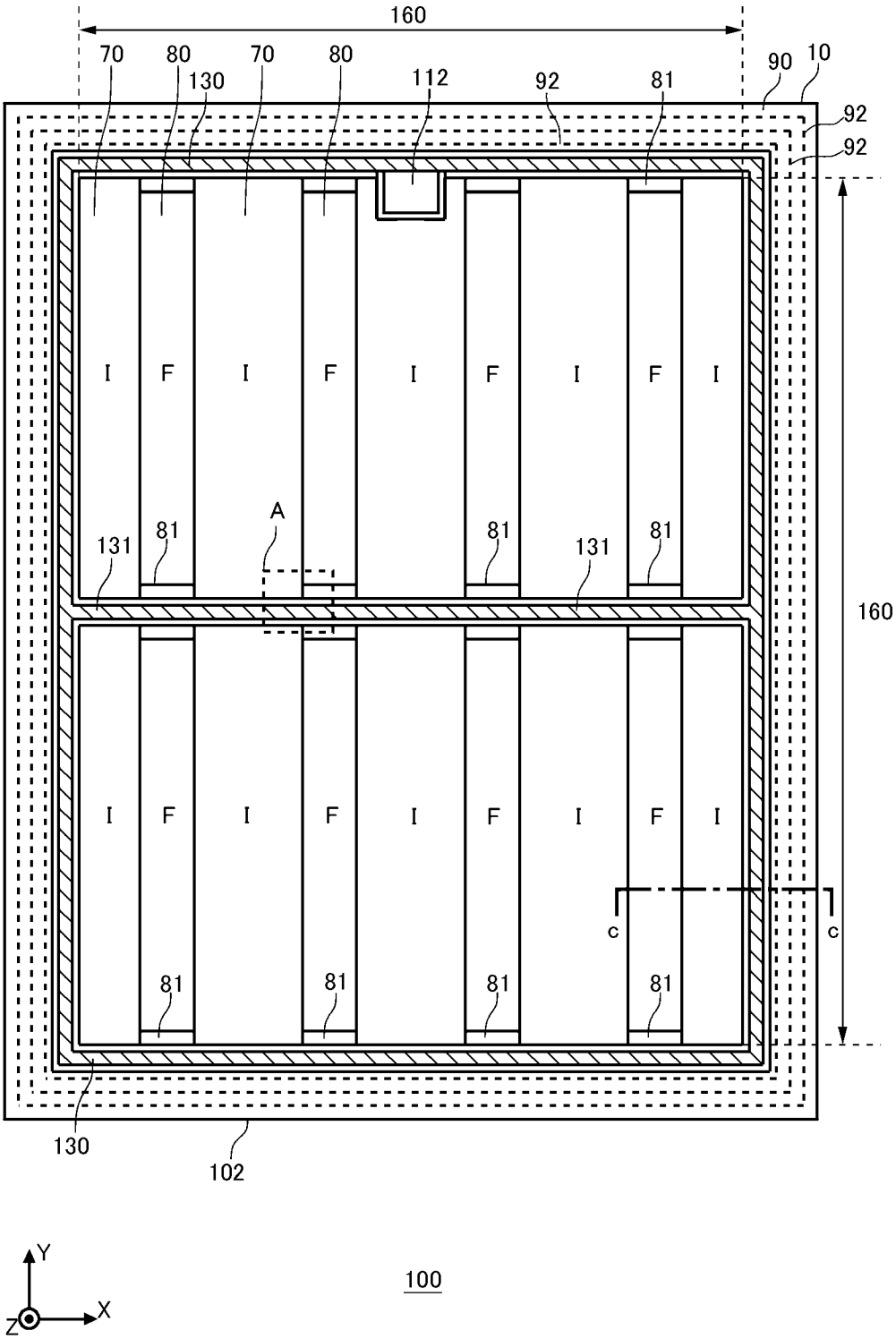
[図6]


log
450
452
酸素化学濃度（/cm3）
COX_max
Cb
405
COX
上面
Zb
Z1
Zp
log
406
Nr
再結合中心濃度（/cm3）
上面
Zr

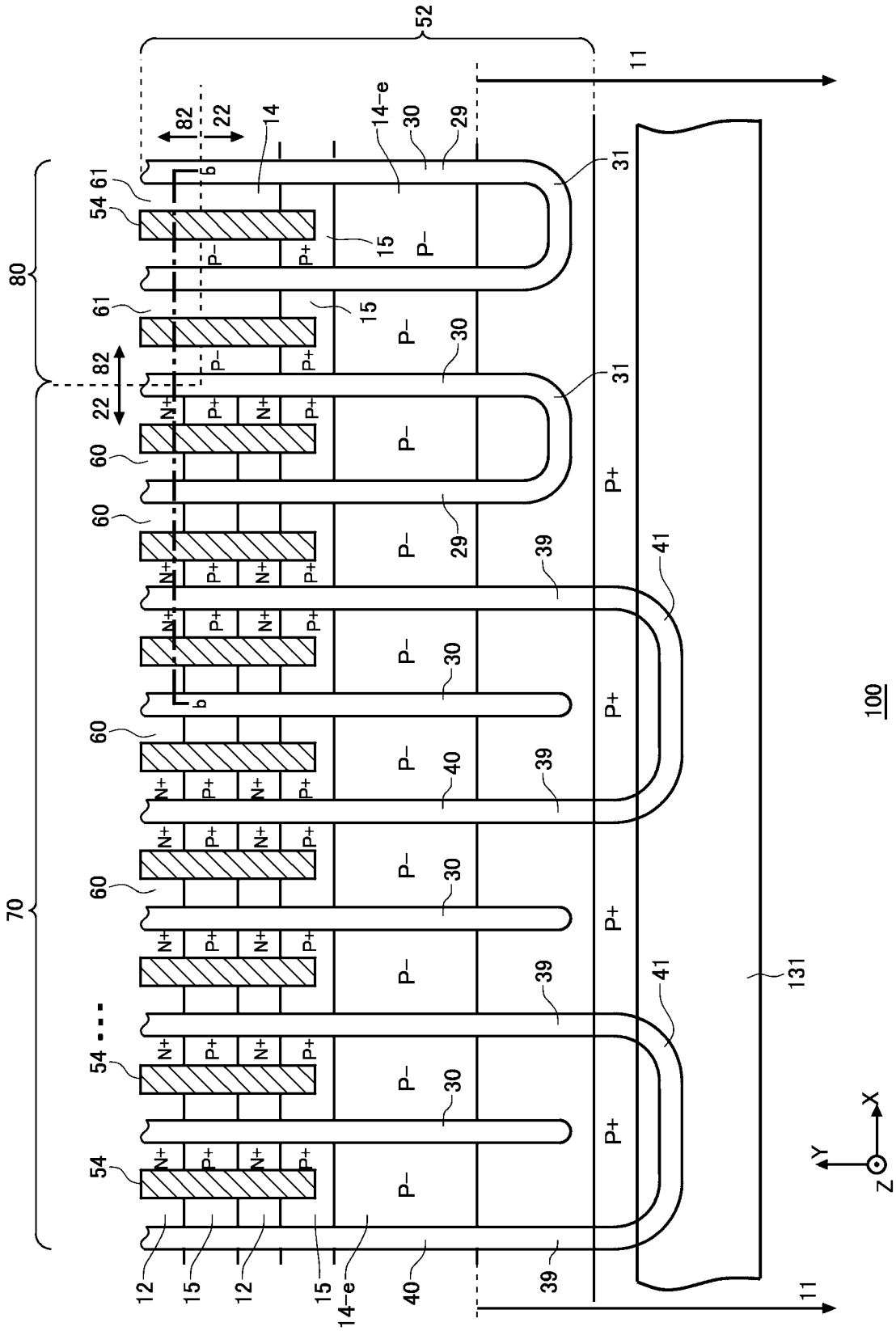
[図7]


log
450
452
454
405
C_{OX_max}
C_b
C_{ox}
酸素化学濃度（/cm^3）
上面
Z_b
Z_p
Z_c
下面
log
403-2
403-1
403-3
N_{VOH}
N_B
VOH欠陥濃度（/cm^3）
上面
Z_1
Z_1
Z_1
Z_1
下面
A-A

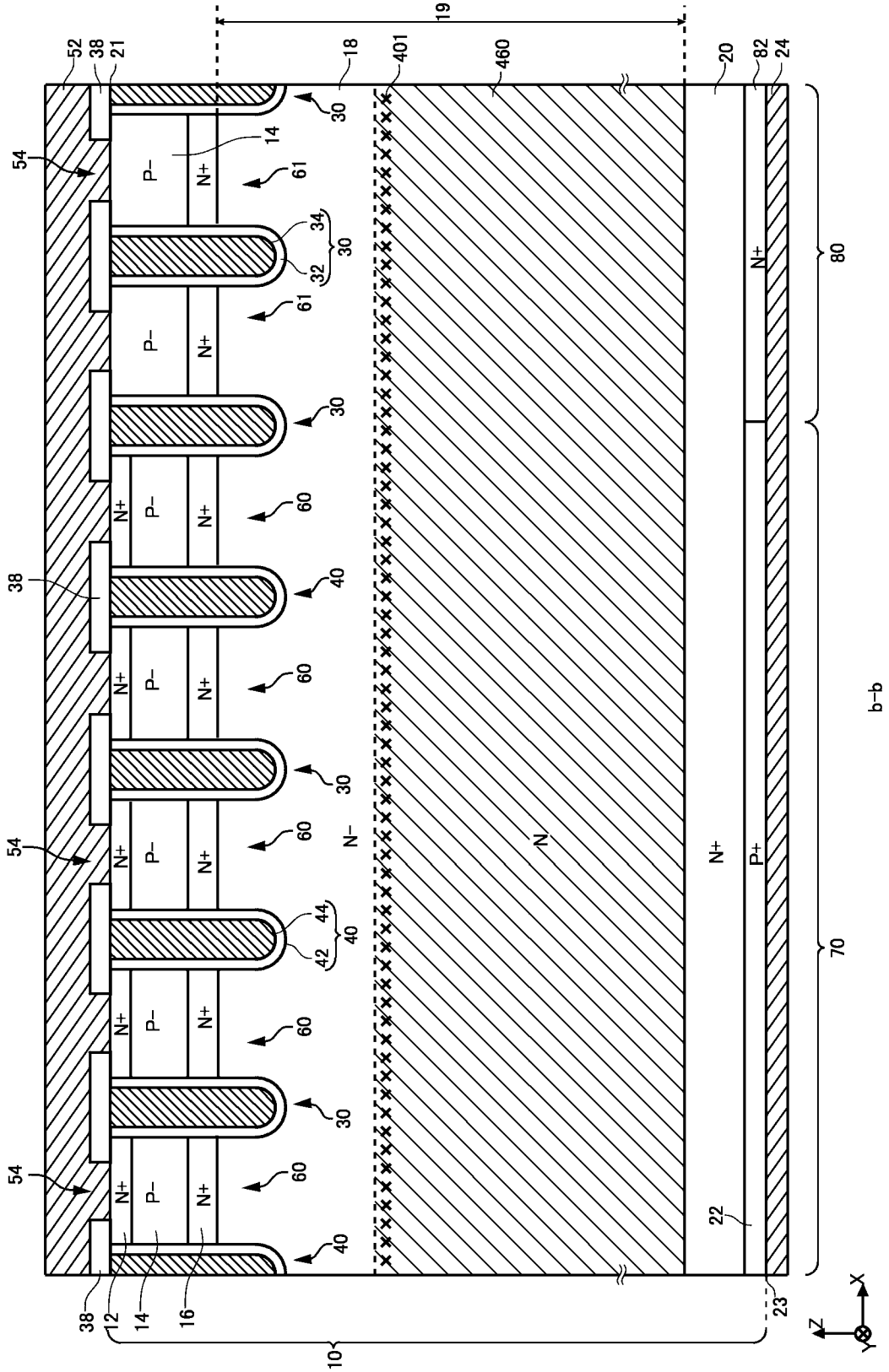
[図8]


160
70
80
130
70
80
112
92
81
90
10
92
92
I
F
I
F
I
F
I
F
I
131
81
A
81
131
81
160
I
F
I
F
I
F
I
F
I
c
c
81
81
81
81
130
102
Y
X
Z
100

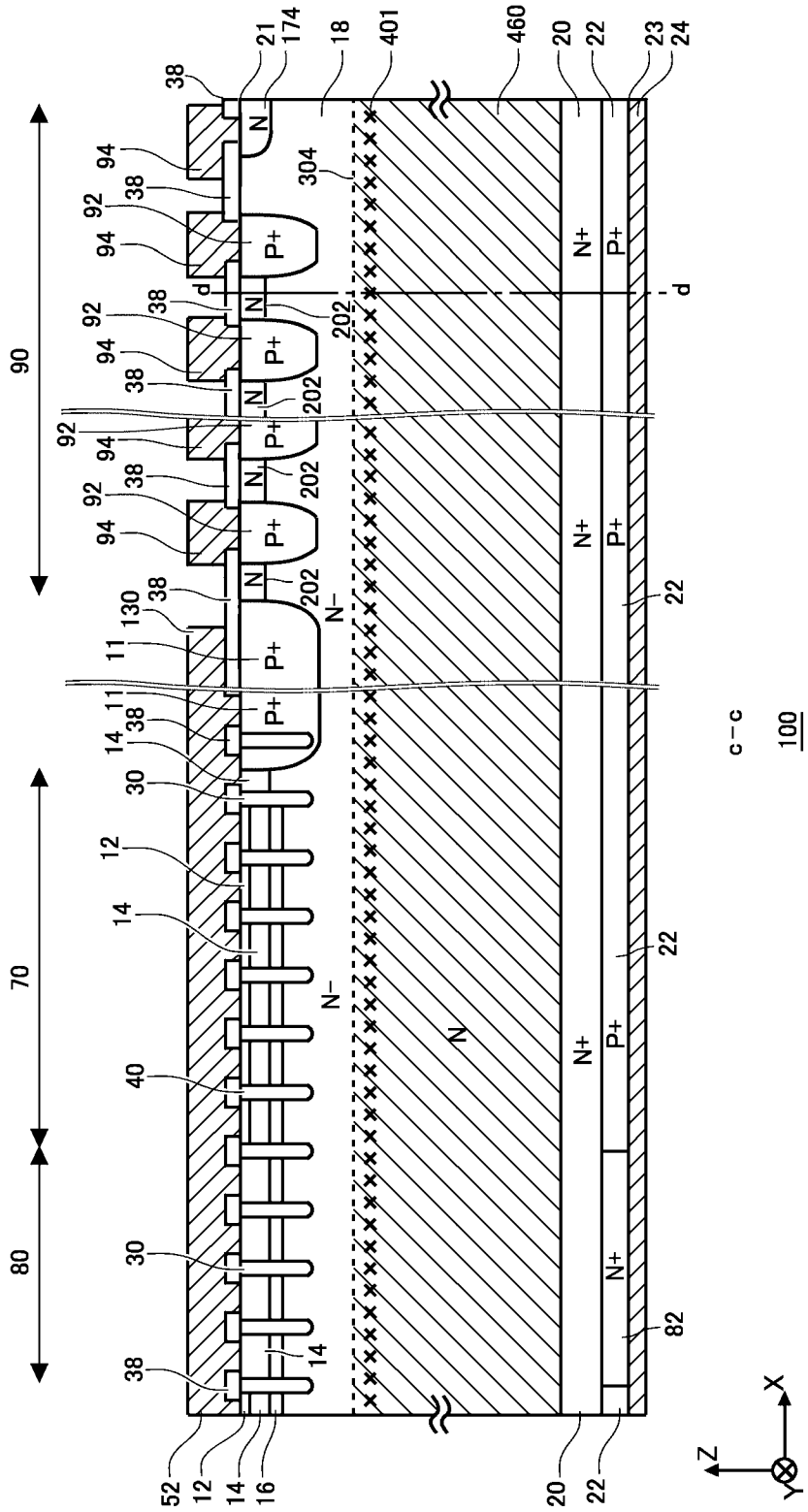
[図9]


52
11
82
22
14
14-e
30
29
31
61
54
15
P−
P+
80
60
N+
39
41
40
70
12
131
100
X
Y
Z

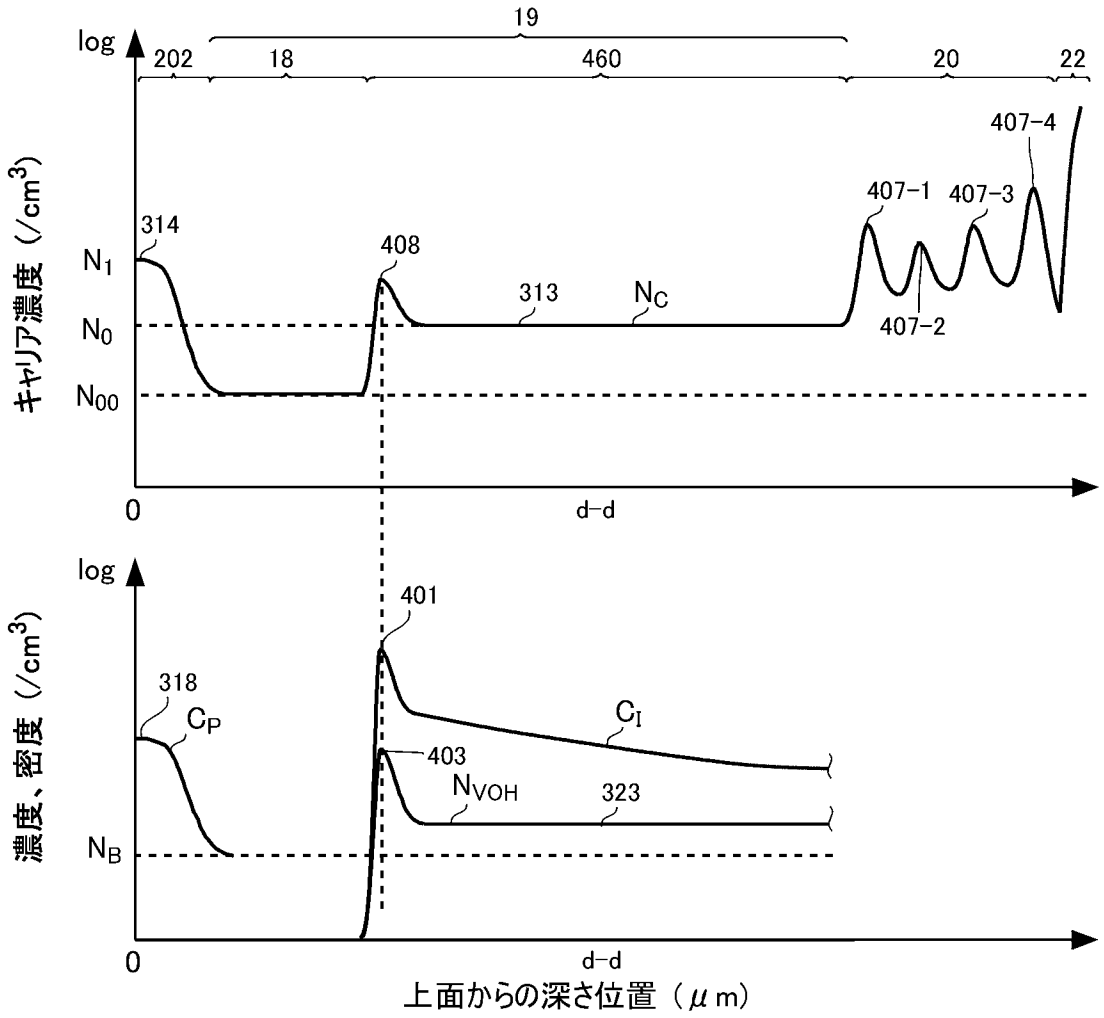
[図10]


19
52
38
21
18
401
460
20
82
24
54
30
14
P−
N+
61
34
32
80
N+
60
40
N−
N
N+
P+
44
42
22
70
23
38
12
14
16
10
b−b
Z
X
Y

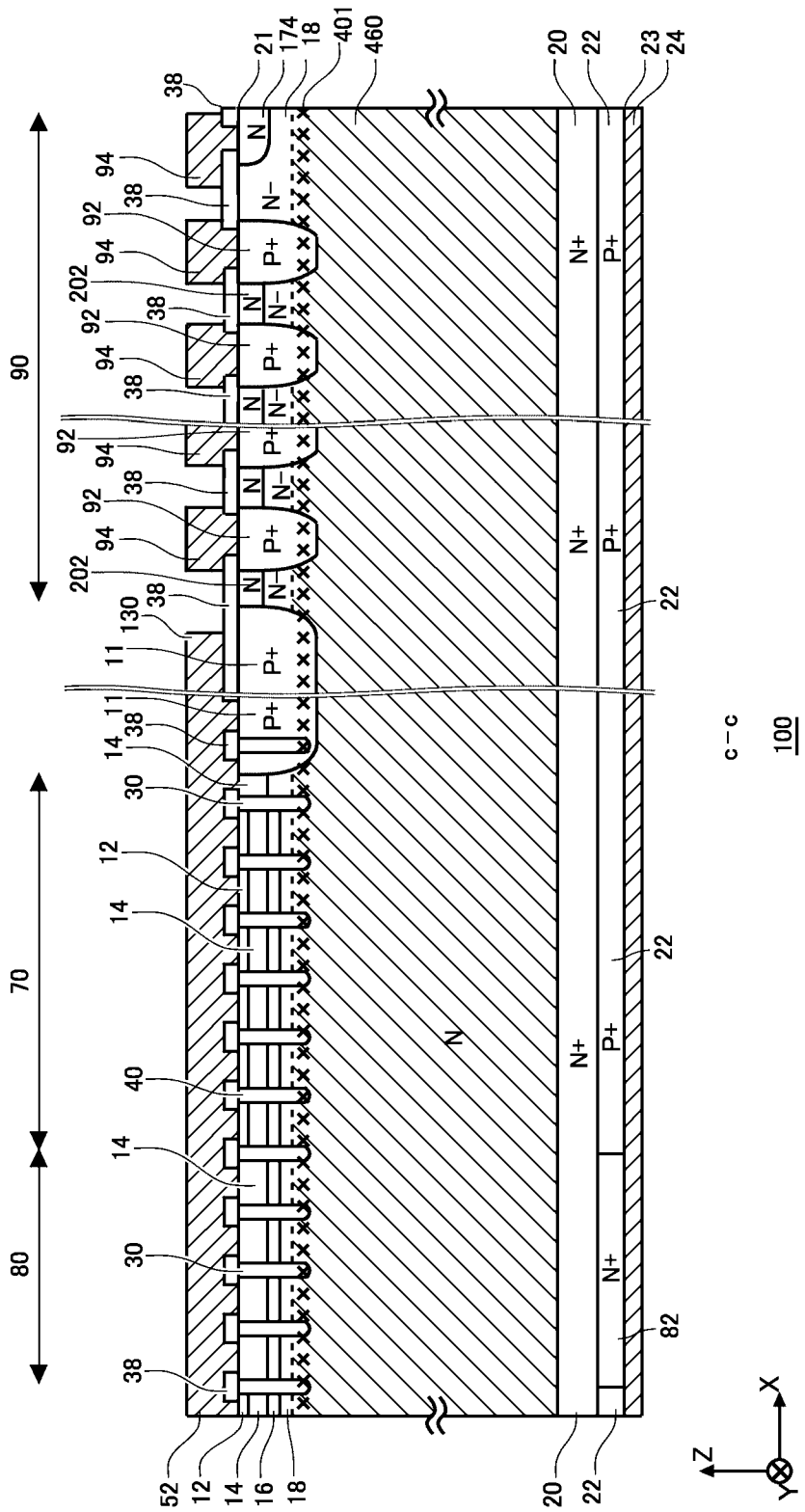
[図11]



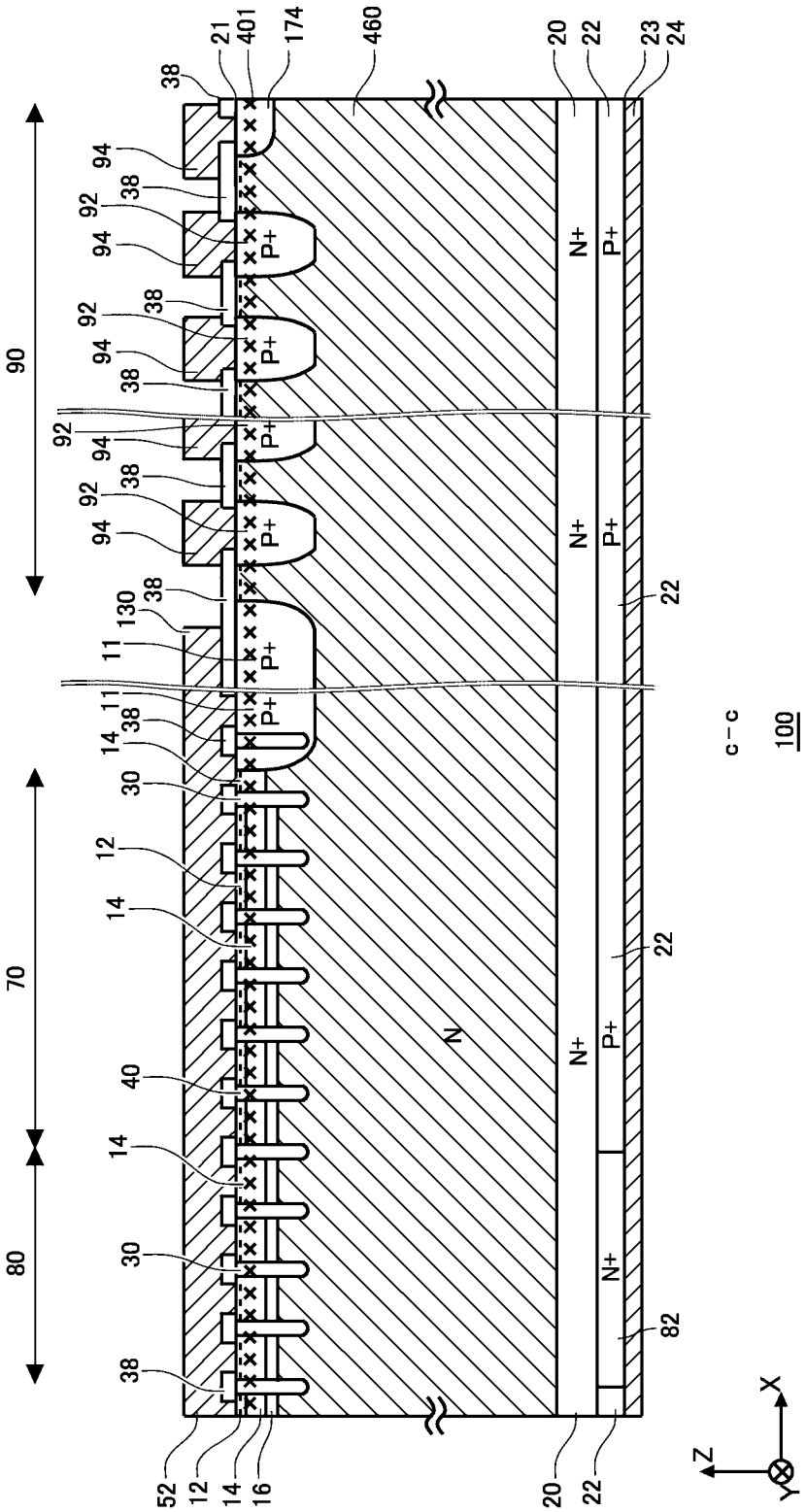
[図12]


19
log
202
18
460
20
22
407-4
407-1
407-3
314
408
313
N_C
407-2
N_1
N_0
N_{00}
0
d-d
キャリア濃度（/cm^3）
log
401
318
C_P
C_I
403
N_{VOH}
323
N_B
0
d-d
濃度、密度（/cm^3）
上面からの深さ位置（μm）

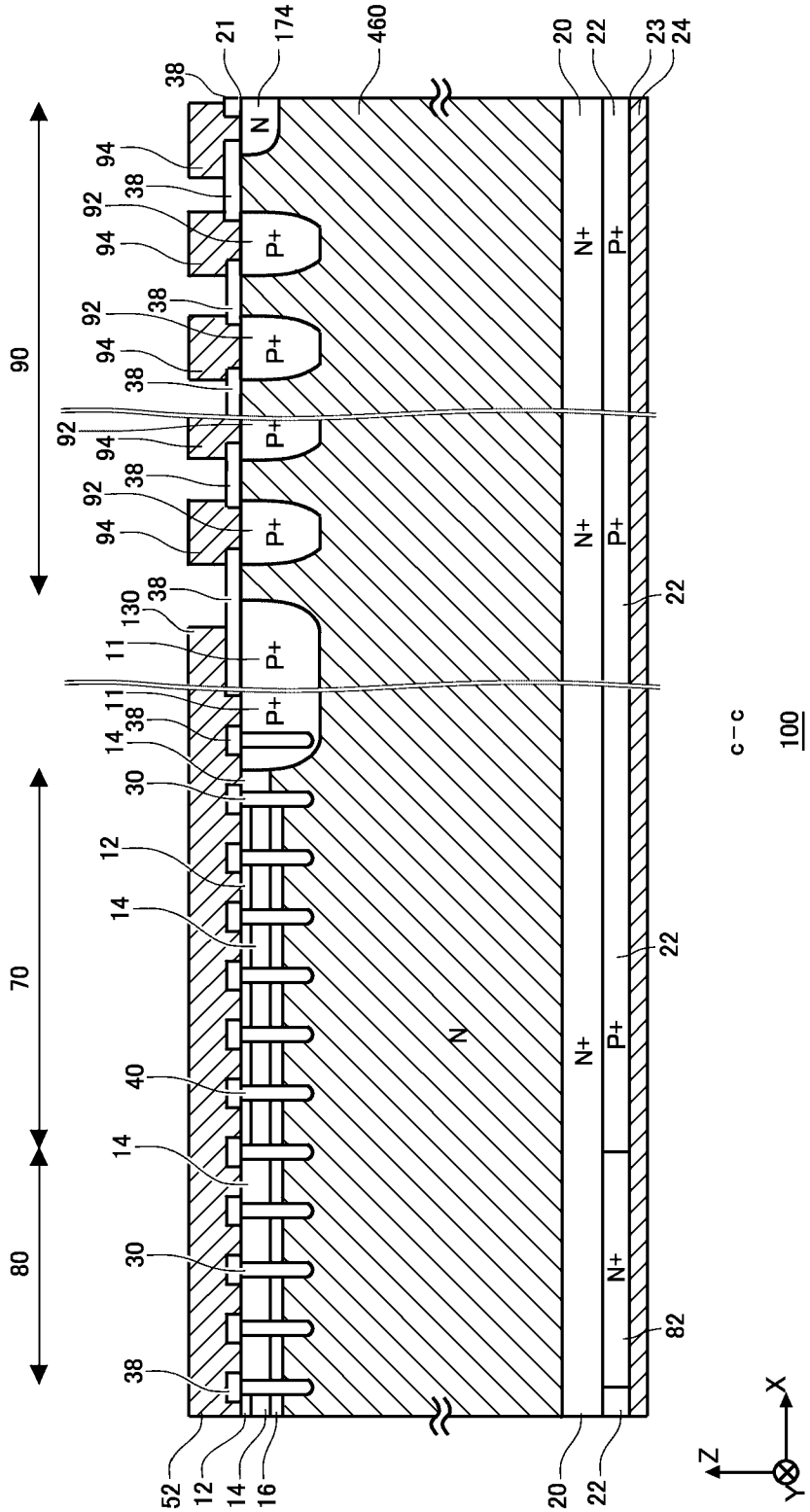
[図13A]



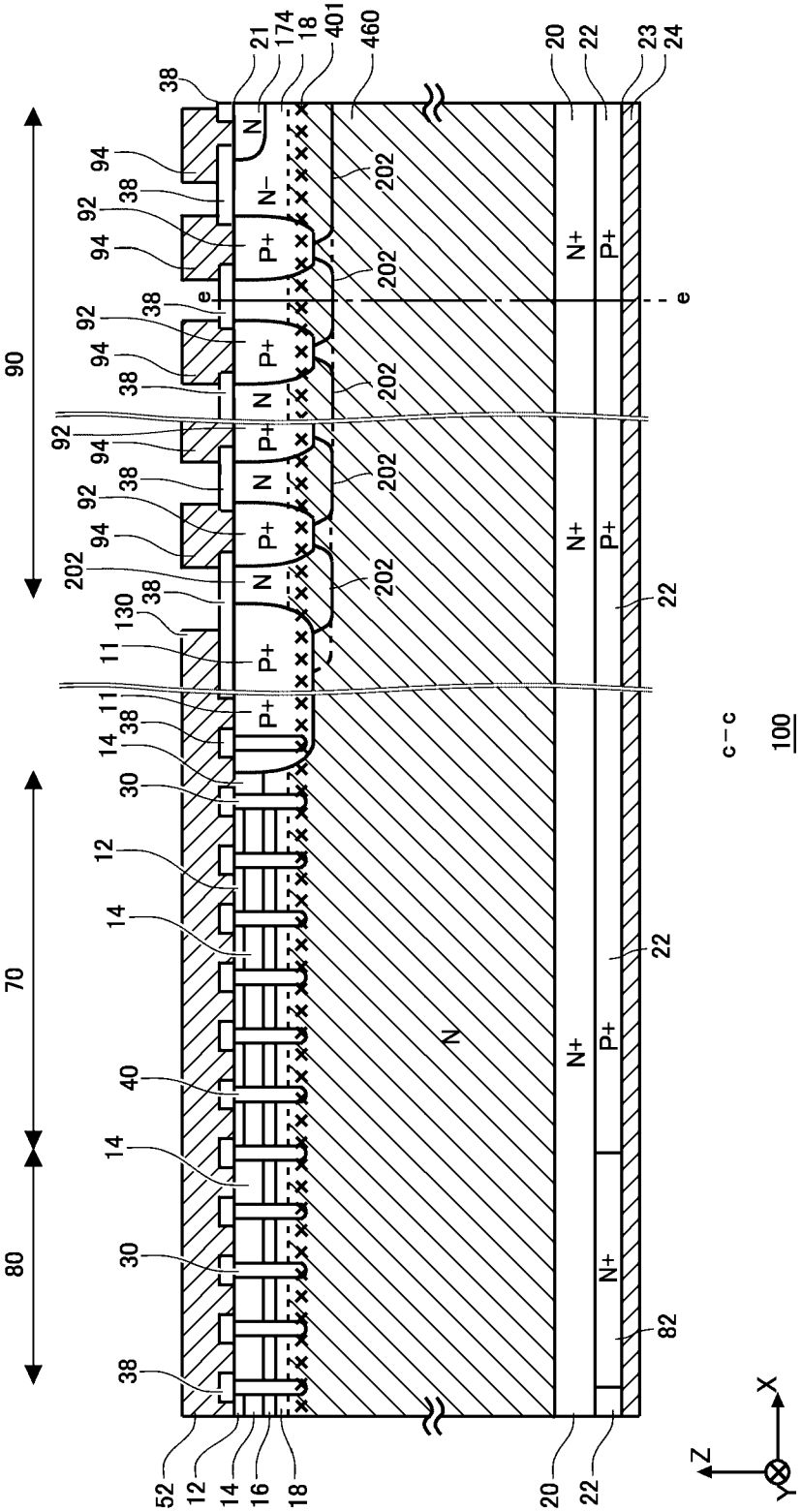
[図13B]


21
401
174
460
20
22
23
24
38
94
92
P+
N+
N
90
70
80
130
11
14
30
12
40
82
52
16
c－c
100
X
Z
Y

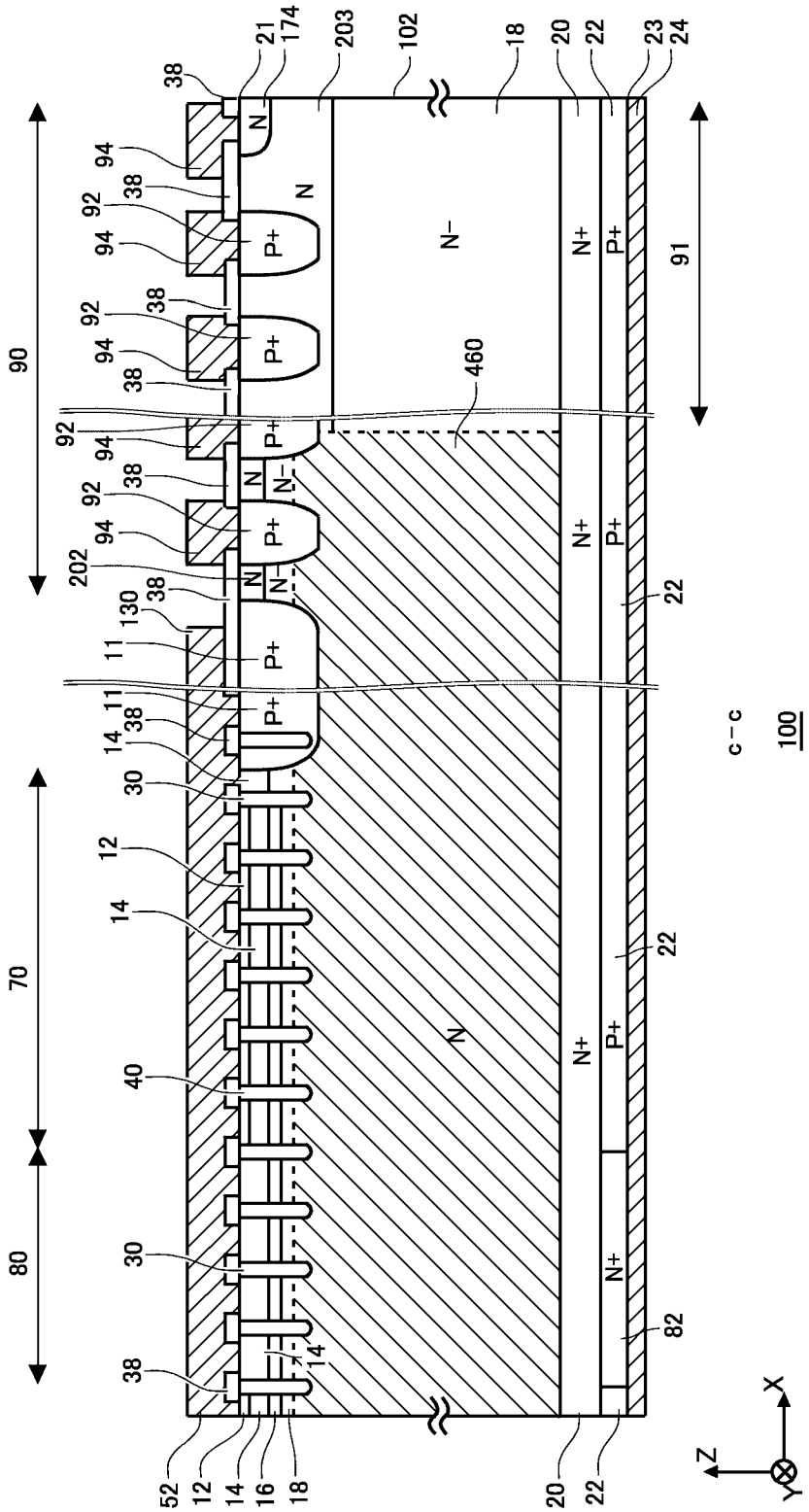
[図13C]


21
174
460
20
22
23
24
38
N
94
92
P+
N+
90
130
11
14
30
12
70
40
80
82
52
16
c－c
100
X
Y
Z

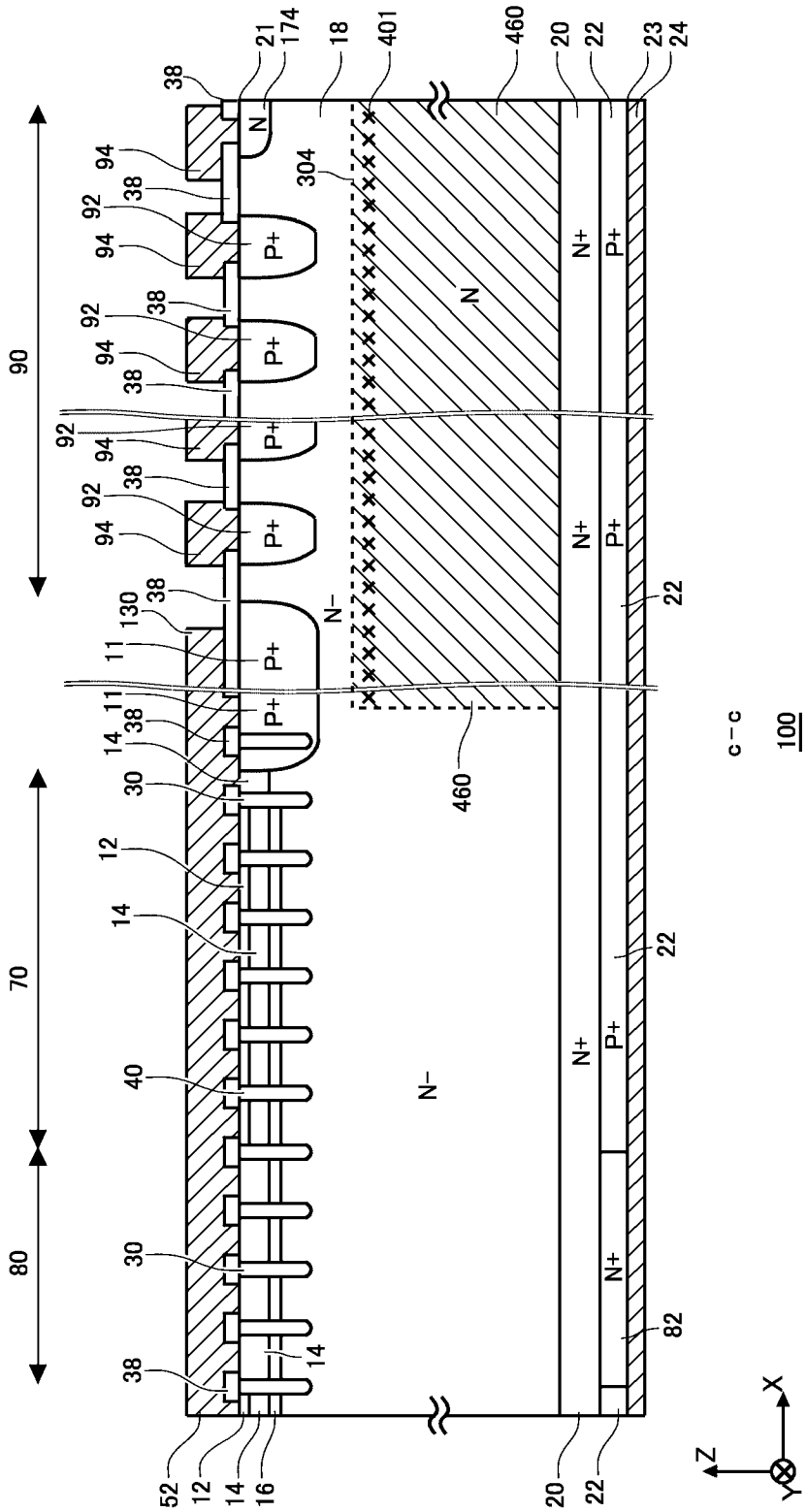
[図14]



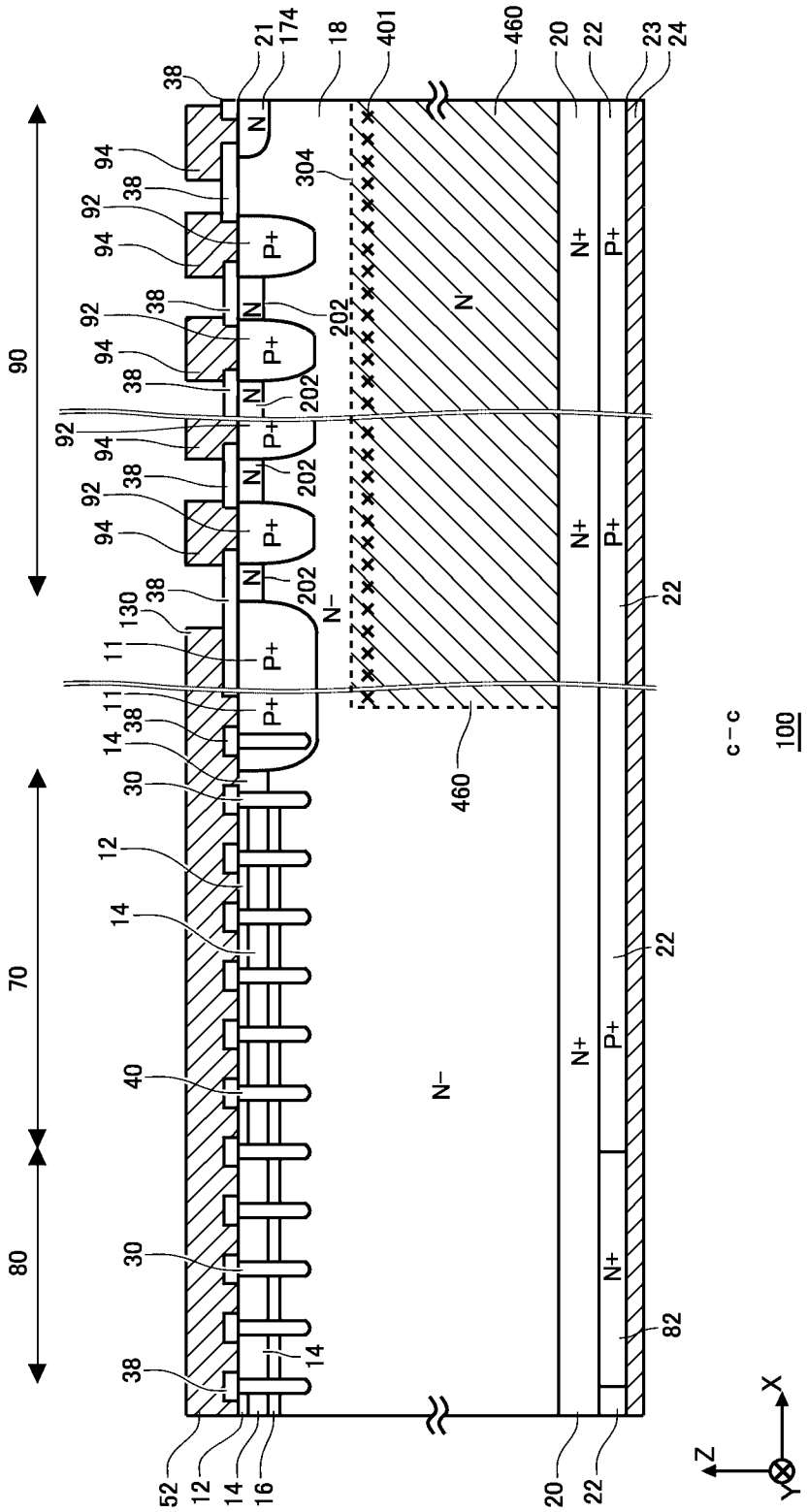
[図15]



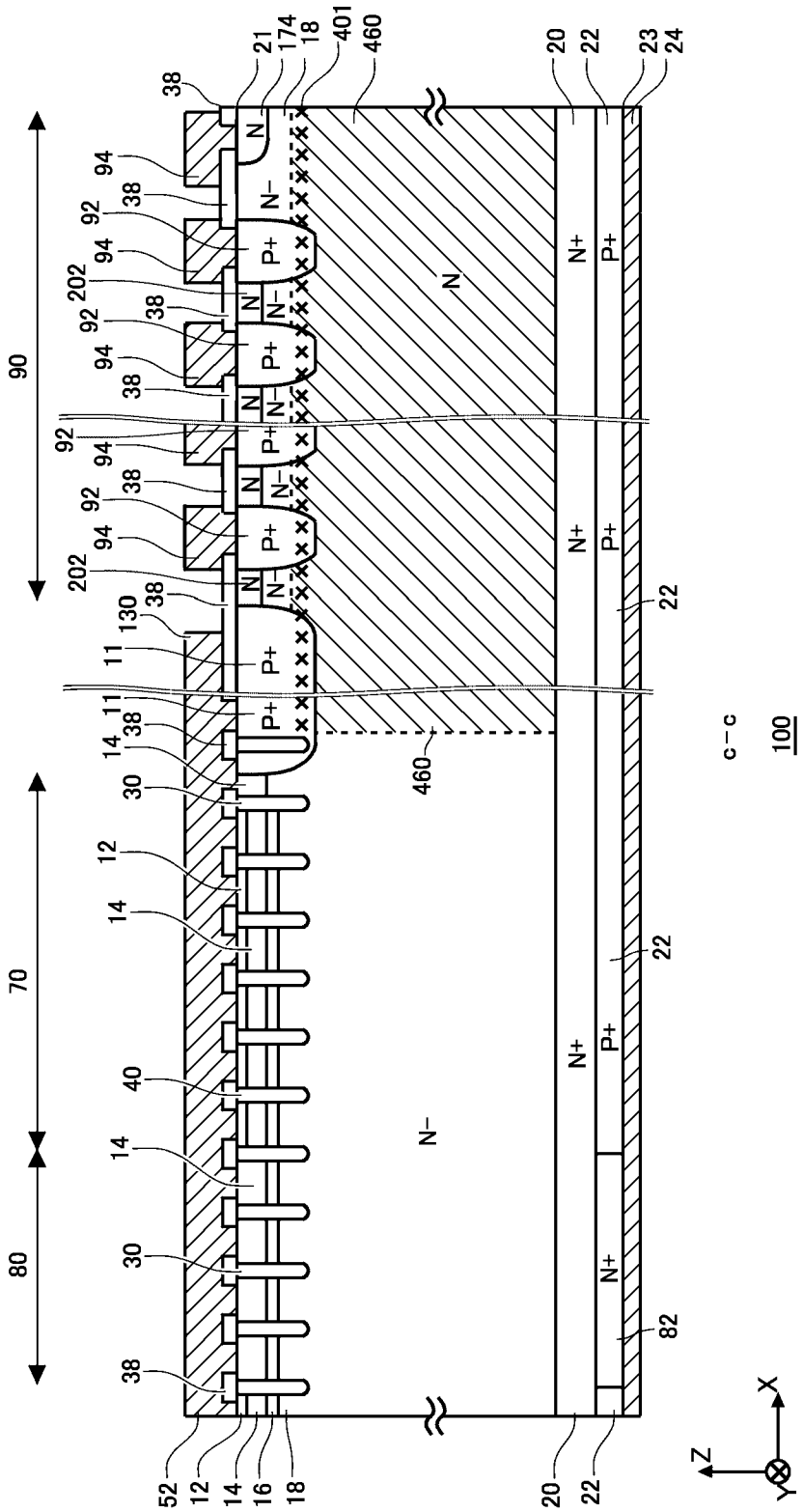
[図16]



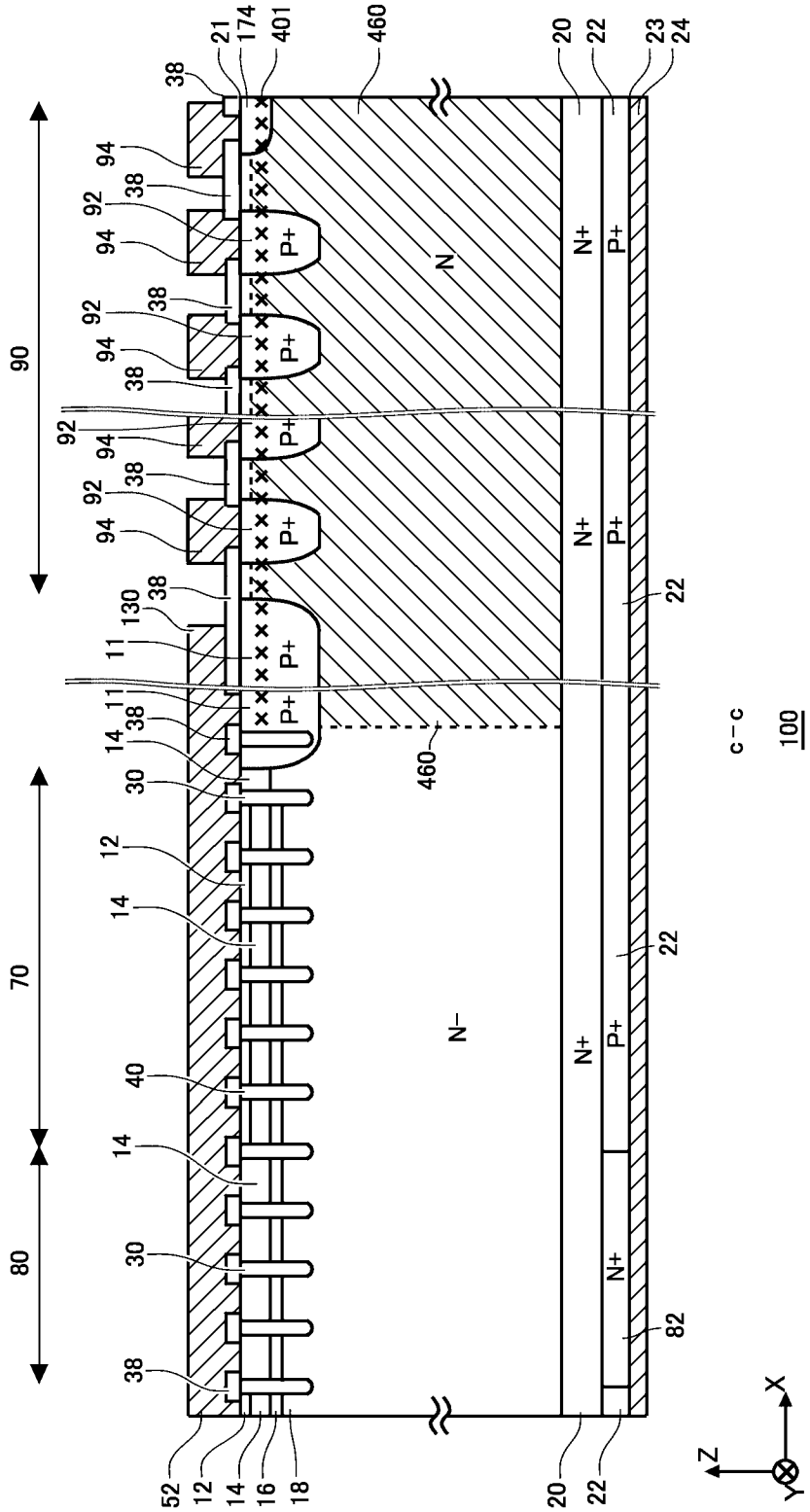
[図17]


38
21
174
18
401
460
20
22
23
24
94
38
92
94
304
P+
N
N+
P+
38
92
94
38
202
90
92
94
38
92
94
130
38
11
11
38
14
30
12
14
70
40
80
30
38
14
52
12
14
16
N−
460
22
22
82
20
22
c − c
100
X
Z
Y

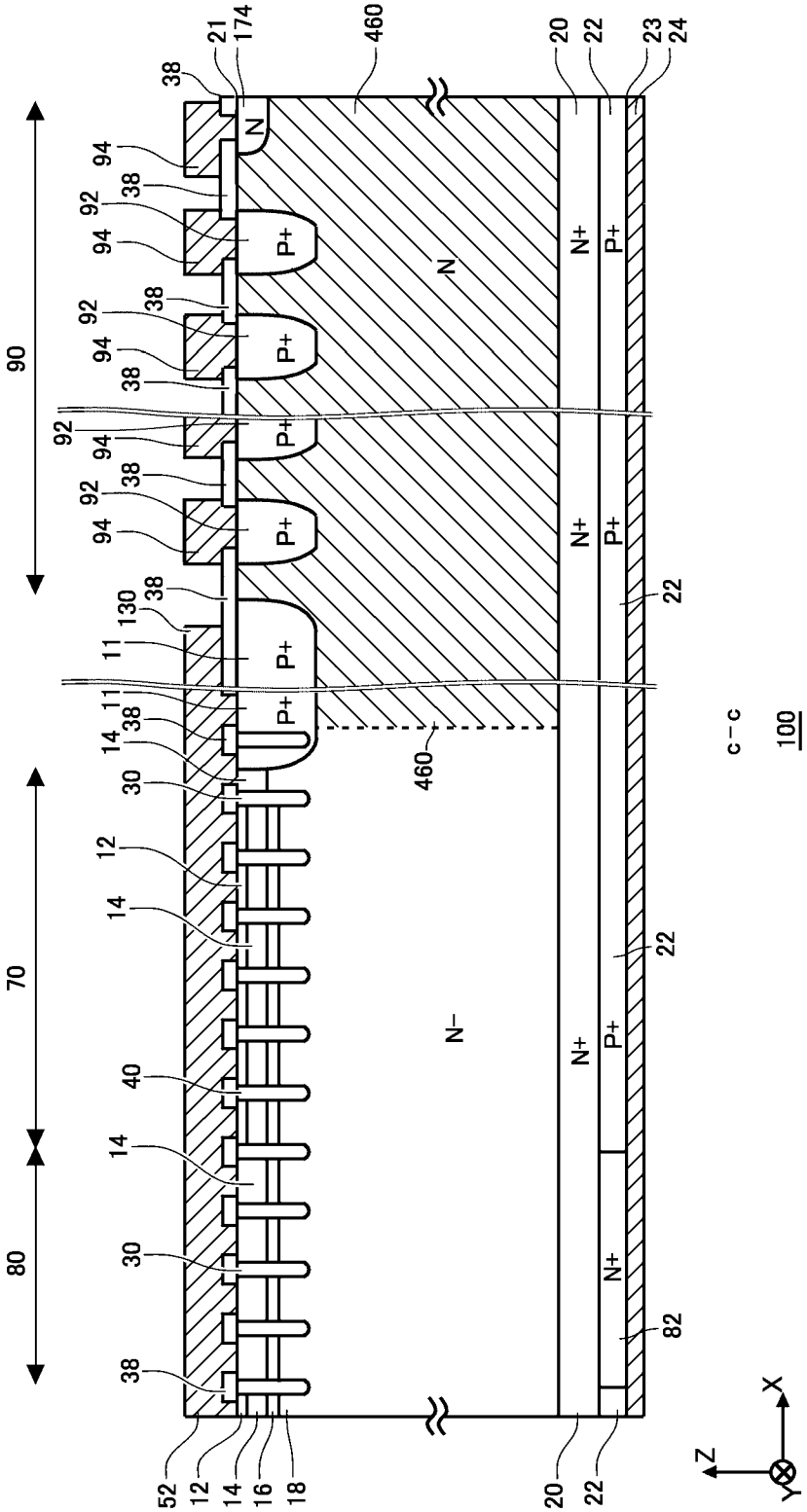
[図18A]


90
70
80
N
N−
P+
N+
38
21
174
18
401
460
20
22
23
24
94
92
202
130
11
14
30
12
40
82
52
16
c − c
100
X
Y
Z

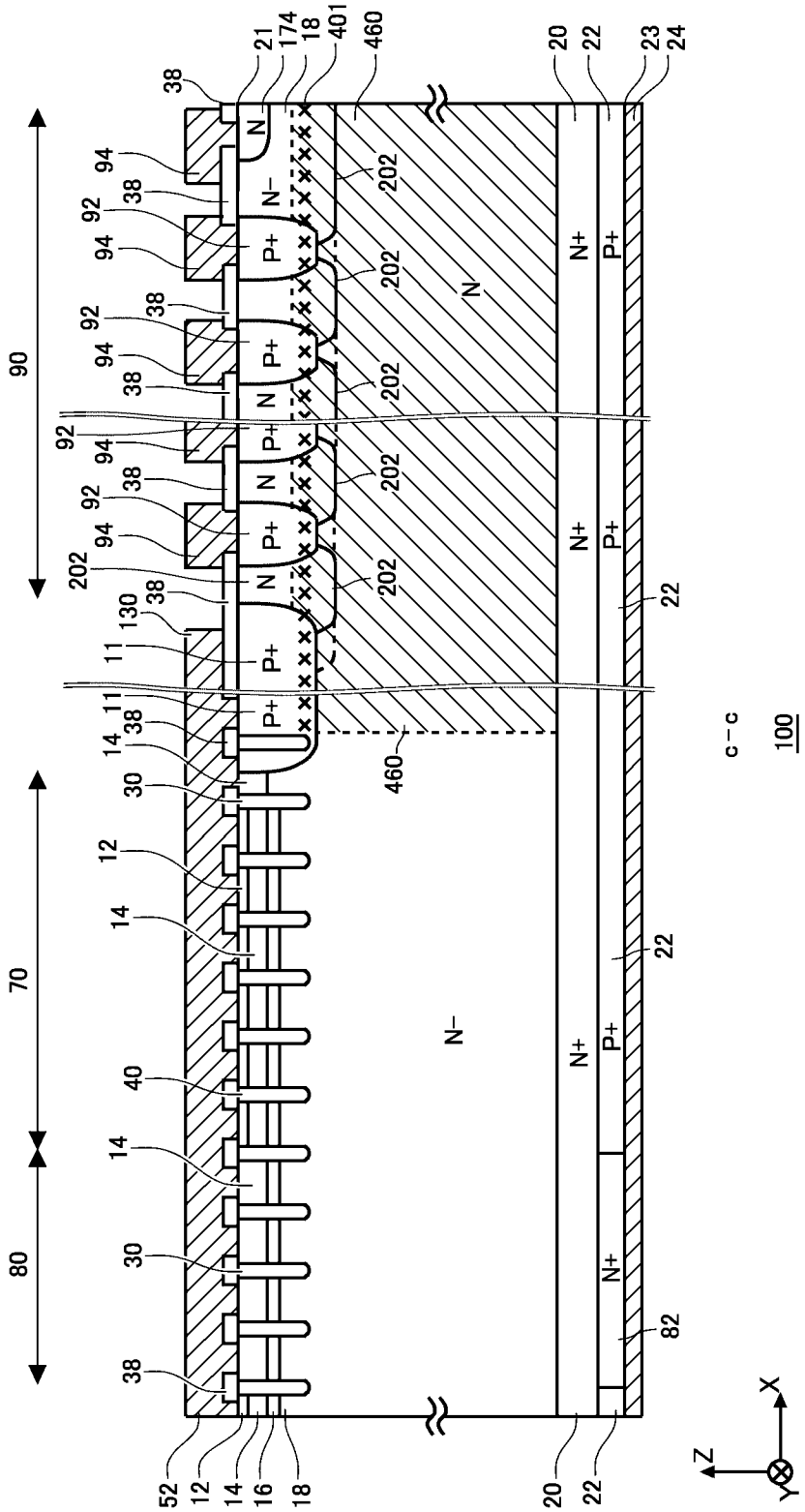
[図18B]



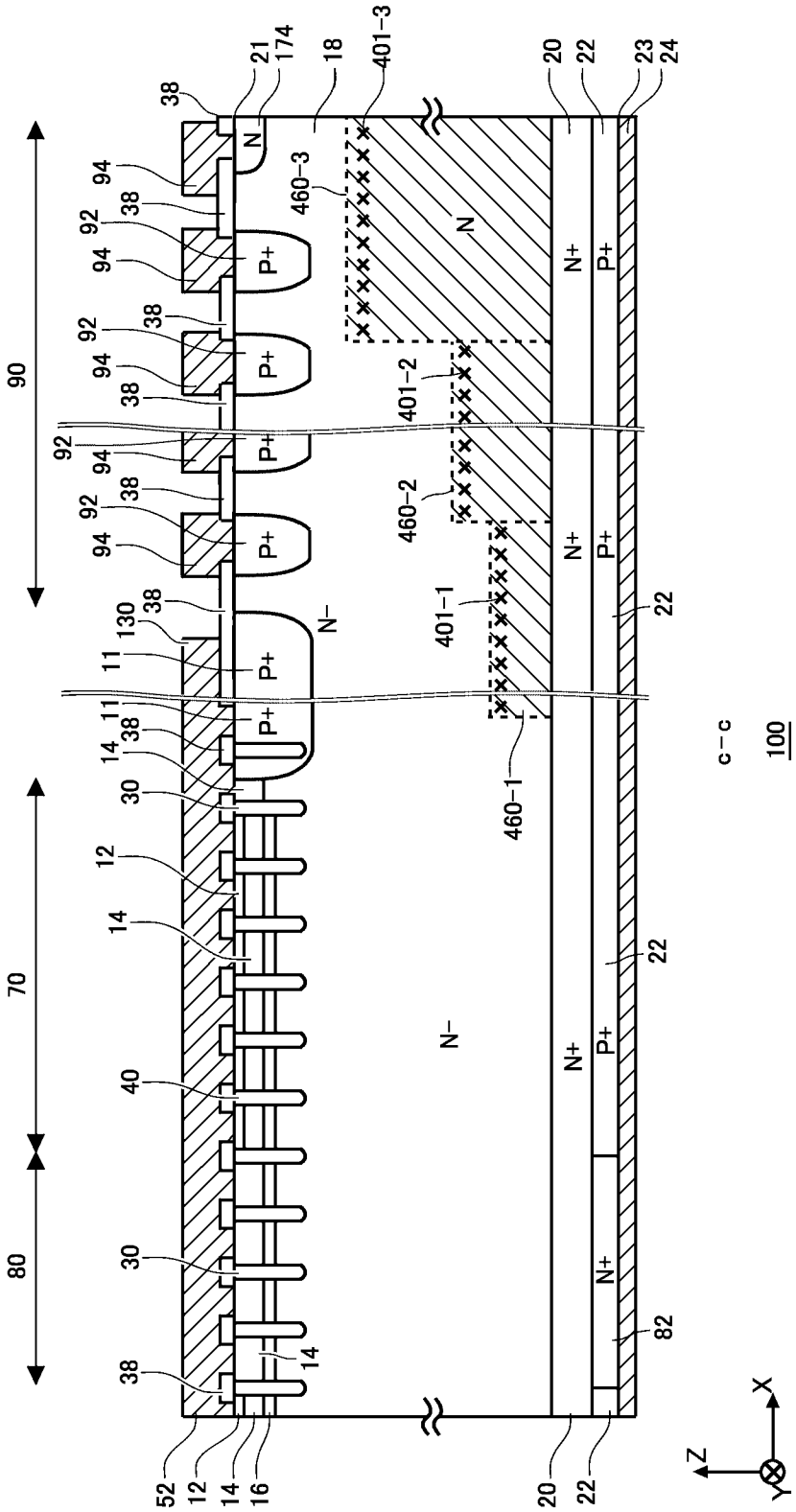
[図18C]



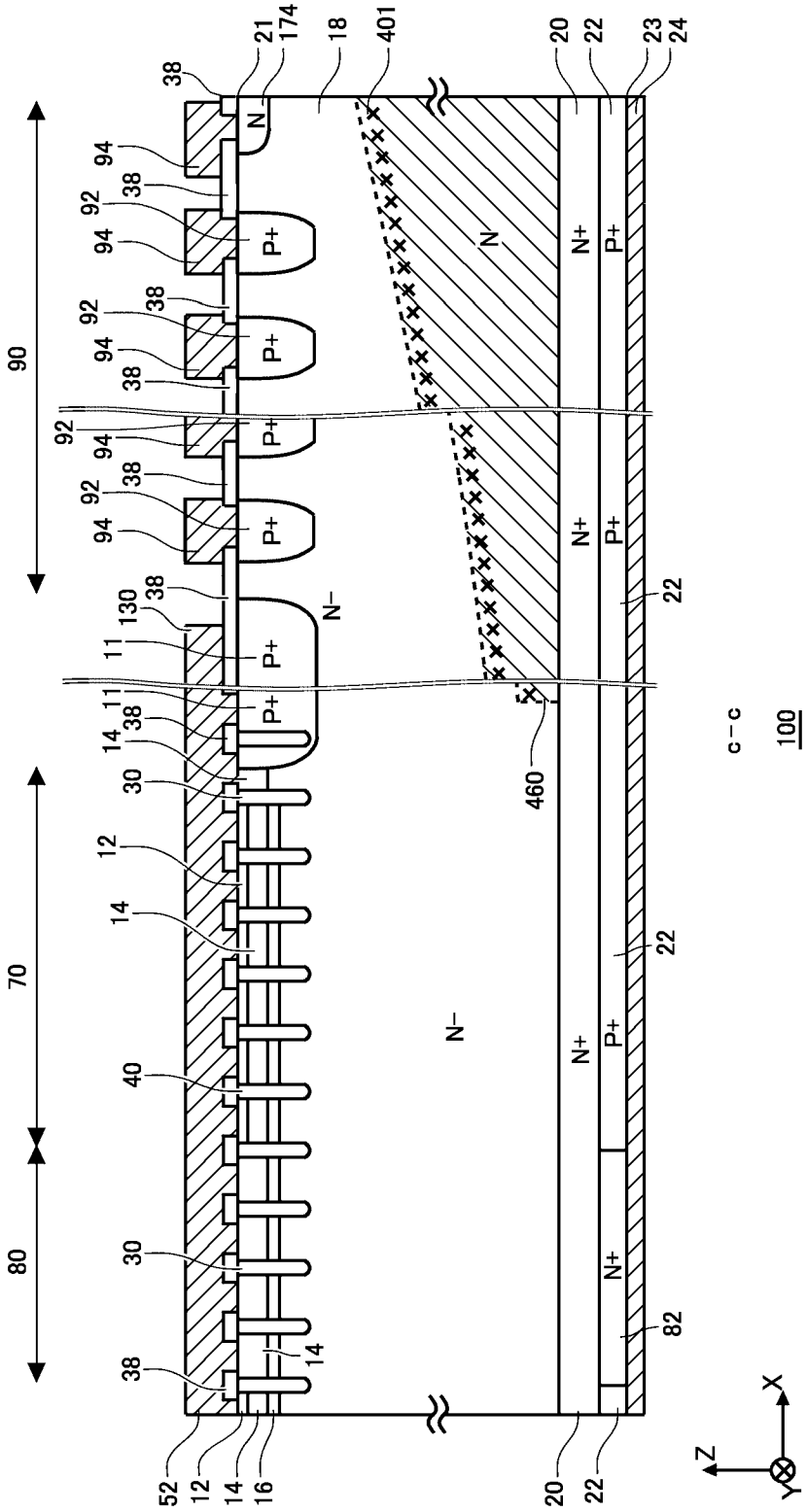
[図19]


90
70
80
N
N−
P+
N+
202
460
401
174
21
18
20
22
23
24
38
94
92
130
11
14
30
12
40
82
52
16
c − c
100
X
Y
Z

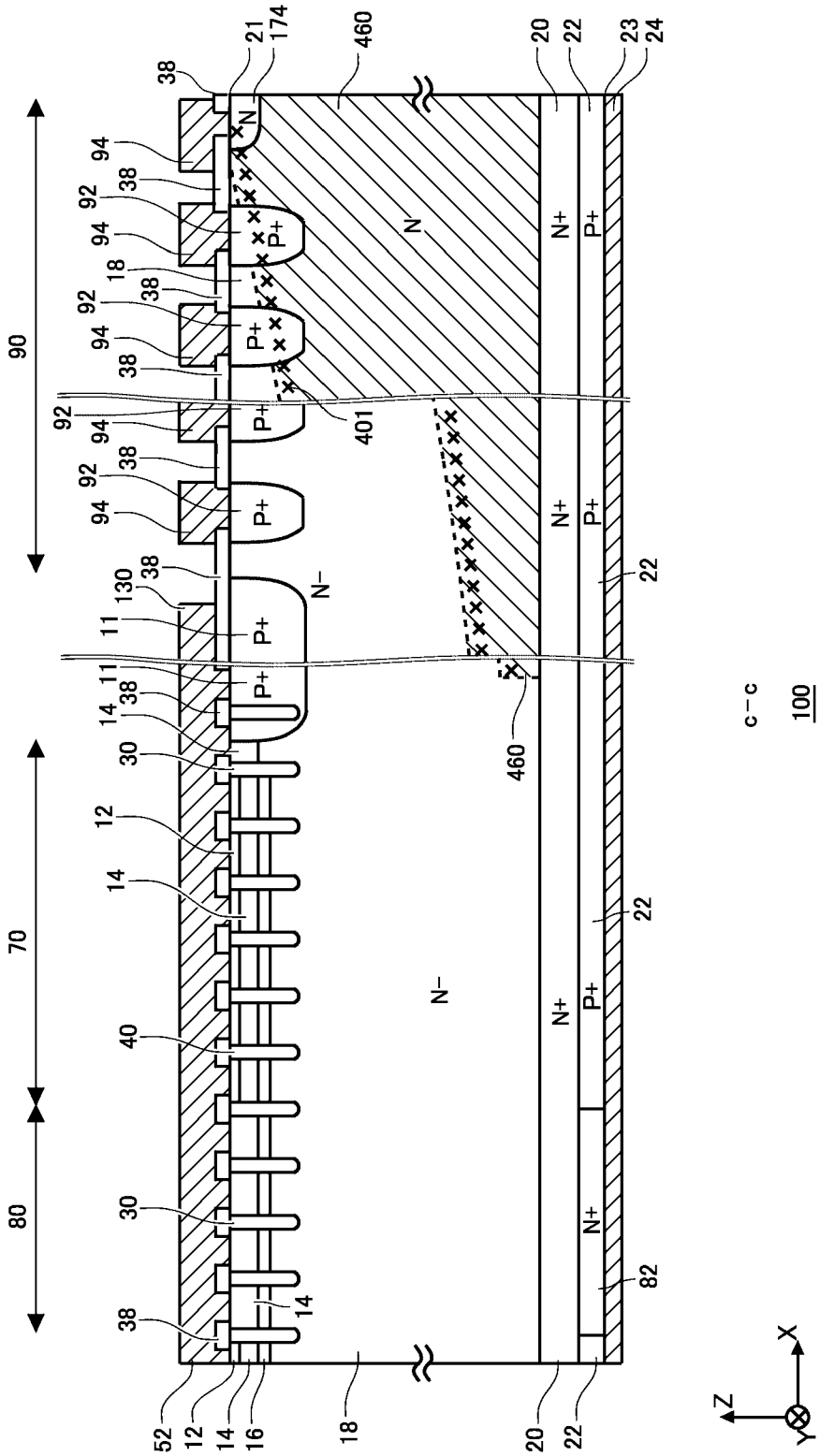
[図20]



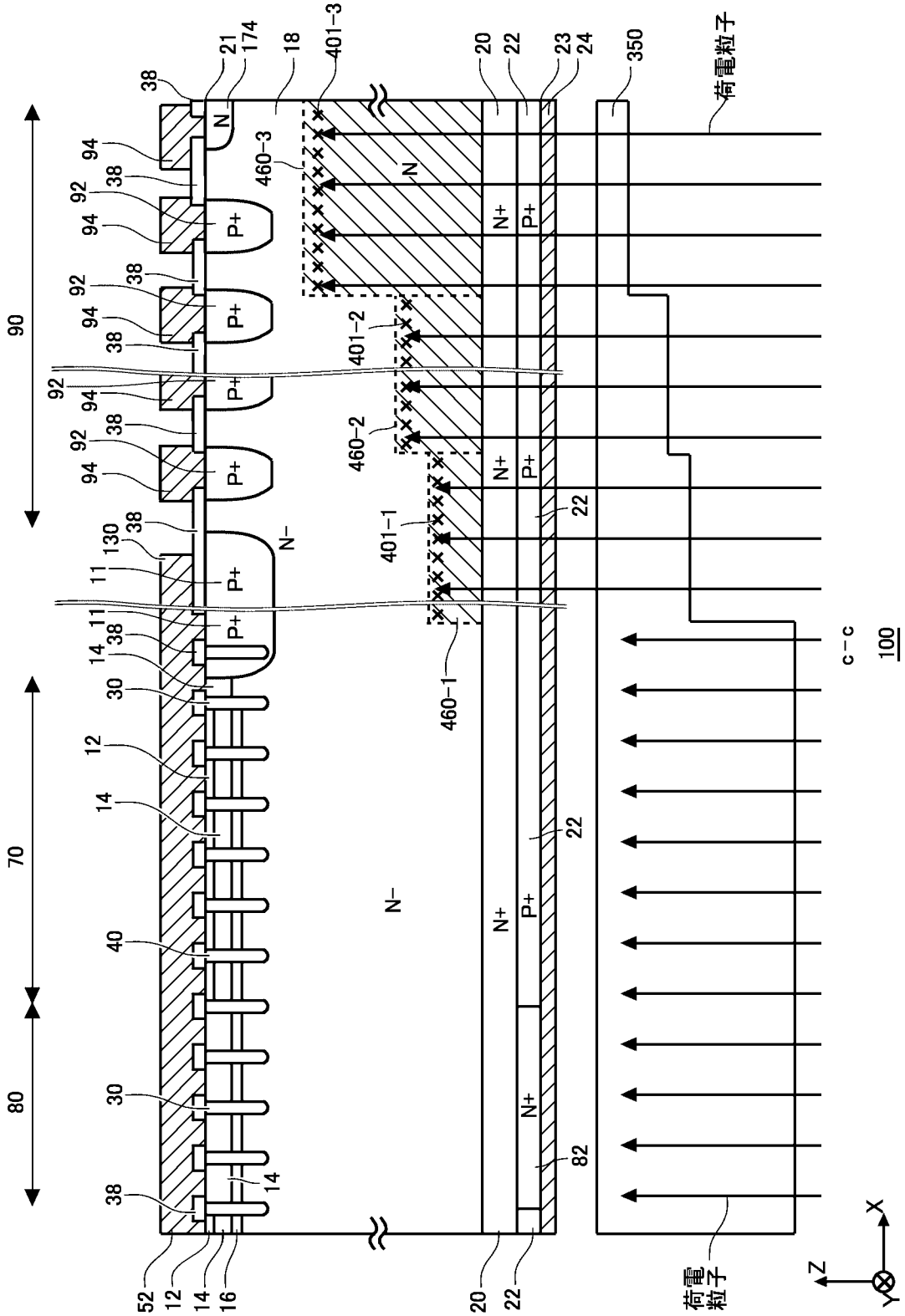
[図21A]


90
70
80
N
N+
P+
N−
c − c
100
460
52
12
14
16
18
20
21
22
23
24
30
38
40
82
92
94
130
174
401
X
Y
Z

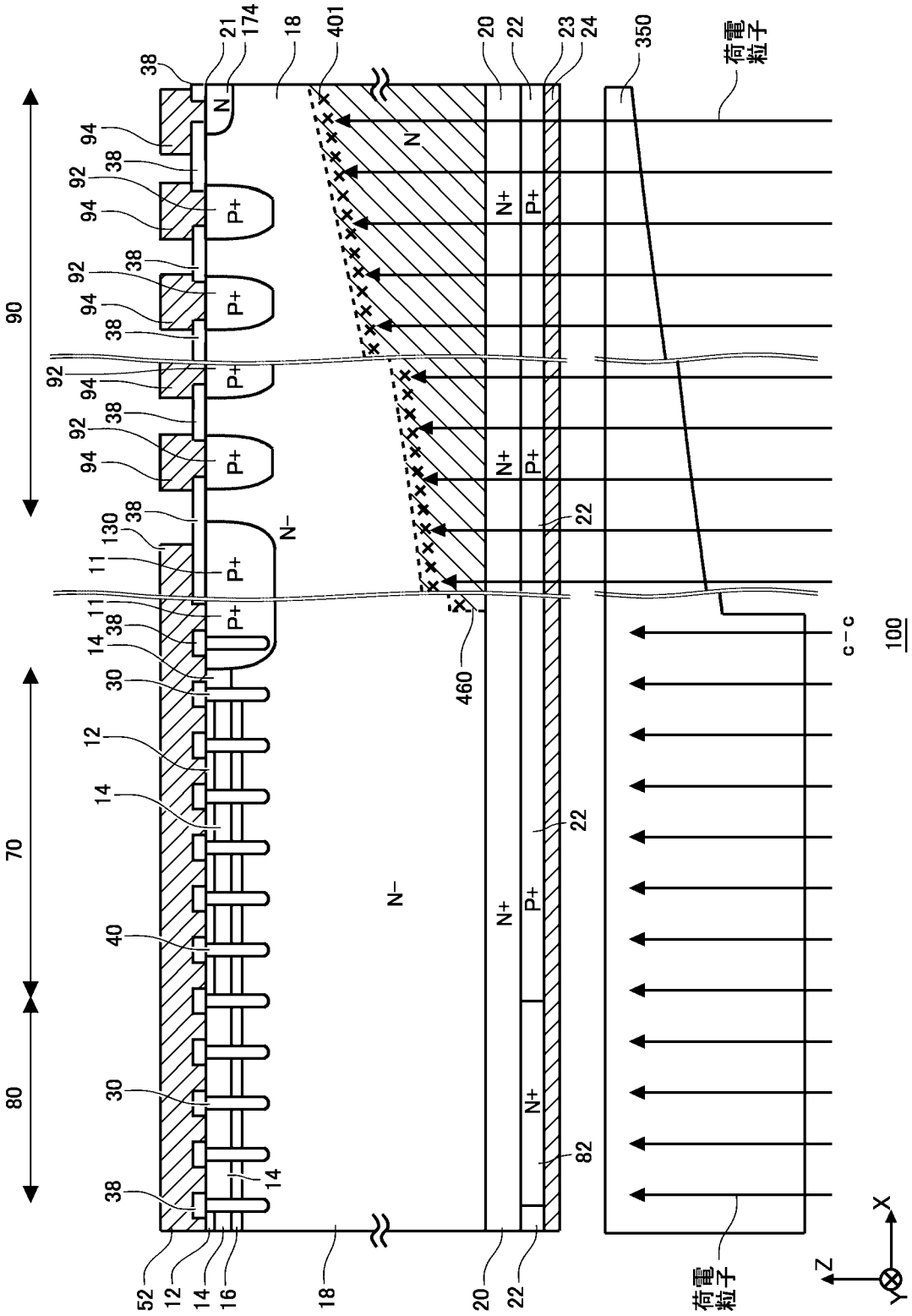
[図21B]



[図22]



[図23]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2021/006016

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H01L 29/78(2006.01)i; H01L 21/322(2006.01)i; H01L 21/324(2006.01)i; H01L 21/336(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 652J; H01L29/78 655A; H01L29/78 655G; H01L29/78 657D; H01L29/78 652Q; H01L29/06 301F; H01L29/06 301G; H01L29/06 301V; H01L29/91 J; H01L29/06 301D; H01L29/78 653A; H01L29/78 652P; H01L29/78 657A; H01L29/78 657F; H01L29/06 301R; H01L29/91 C; H01L29/78 655B; H01L21/322 K; H01L21/324 N

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

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

H01L29/78; H01L21/322; H01L21/324; H01L21/336; H01L29/06; H01L29/739; H01L29/861; H01L29/868

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

Published examined utility model applications of Japan	1922-1996
Published unexamined utility model applications of Japan	1971-2021
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.
Y A	WO 2017/047276 A1 (FUJI ELECTRIC CO., LTD.) 23 March 2017 (2017-03-23) paragraphs [0019]-[0120], fig. 15	1, 13-16, 18 2-12, 17
Y A	JP 2015-090953 A (FUJI ELECTRIC CO., LTD.) 11 May 2015 (2015-05-11) paragraph [0008]	1, 13-16, 18 2-12, 17
Y A	WO 2019/117248 A1 (FUJI ELECTRIC CO., LTD.) 20 June 2019 (2019-06-20) paragraphs [0143]-[0150], fig. 9	16, 18 1-15, 17
Y A	WO 2018/034250 A1 (ROHM CO., LTD.) 22 February 2018 (2018-02-22) paragraphs [0050][0097]	16, 18 1-15, 17

☐ 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	Date of mailing of the international search report
17 May 2021 (17.05.2021)	25 May 2021 (25.05.2021)

Name and mailing address of the ISA/	Authorized officer
Japan Patent Office 3-4-3, Kasumigaseki, Chiyoda-ku, Tokyo 100-8915, Japan	Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.
PCT/JP2021/006016

Patent Documents referred in the Report	Publication Date	Patent Family	Publication Date
WO 2017/047276 A1	23 Mar. 2017	US 2018/0005829 A1 paragraphs [0046]-[0147], fig. 15 US 2020/0051820 A1 CN 107408581 A	
JP 2015-090953 A	11 May 2015	US 2015/0126000 A1 paragraph [0011]	
WO 2019/117248 A1	20 Jun. 2019	US 2020/0098905 A1 paragraphs [0165]-[0172], fig. 9 CN 110663118 A	
WO 2018/034250 A1	22 Feb. 2018	US 2019/0181219 A1 paragraphs [0127]-[0174] CN 109643733 A	

国際調査報告

国際出願番号
PCT/JP2021/006016

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（ＩＰＣ））

H01L 29/78(2006.01)i; H01L 21/322(2006.01)i; H01L 21/324(2006.01)i; H01L 21/336(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 652J; H01L29/78 655A; H01L29/78 655G; H01L29/78 657D; H01L29/78 652Q; H01L29/06 301F; H01L29/06 301G; H01L29/06 301V; H01L29/91 J; H01L29/06 301D; H01L29/78 653A; H01L29/78 652P; H01L29/78 657A; H01L29/78 657F; H01L29/06 301R; H01L29/91 C; H01L29/78 655B; H01L21/322 K; H01L21/324 N

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料（国際特許分類（ＩＰＣ））

H01L29/78; H01L21/322; H01L21/324; H01L21/336; H01L29/06; H01L29/739; H01L29/861; H01L29/868

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

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
Y	WO 2017/047276 A1 (富士電機株式会社) 23.03.2017 (2017-03-23) 0019段落ないし0120段落、図15	1,13-16,18
A		2-12,17
Y	JP 2015-090953 A (富士電機株式会社) 11.05.2015 (2015-05-11) 0008段落	1,13-16,18
A		2-12,17
Y	WO 2019/117248 A1 (富士電機株式会社) 20.06.2019 (2019-06-20) 0143段落ないし0150段落、図9	16,18
A		1-15,17
Y	WO 2018/034250 A1 (ローム株式会社) 22.02.2018 (2018-02-22) 0050段落ないし0097段落	16,18
A		1-15,17

☐ 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	国際調査報告の発送日
17.05.2021	25.05.2021

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）
棚田　一也 5F 9361
電話番号 03-3581-1101 内線 3516

国際調査報告
パテントファミリーに関する情報

国際出願番号
PCT/JP2021/006016

引用文献	公表日	パテントファミリー文献	公表日
WO 2017/047276 A1	23.03.2017	US 2018/0005829 A1 0046段落ないし0147段落、図15 US 2020/0051820 A1 CN 107408581 A	
JP 2015-090953 A	11.05.2015	US 2015/0126000 A1 0011段落	
WO 2019/117248 A1	20.06.2019	US 2020/0098905 A1 0165段落ないし0172段落、図9 CN 110663118 A	
WO 2018/034250 A1	22.02.2018	US 2019/0181219 A1 0127段落ないし0174段落 CN 109643733 A	