

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7279846号
(P7279846)

(45)発行日 令和5年5月23日(2023.5.23)

(24)登録日 令和5年5月15日(2023.5.15)

(51)国際特許分類		F I		
H O 1 L	21/336 (2006.01)	H O 1 L	29/78	6 5 8 H
H O 1 L	29/78 (2006.01)	H O 1 L	29/78	6 5 2 J
H O 1 L	29/739 (2006.01)	H O 1 L	29/78	6 5 5 A
H O 1 L	29/06 (2006.01)	H O 1 L	29/78	6 5 5 G
		H O 1 L	29/78	6 5 7 D
請求項の数 29 (全44頁) 最終頁に続く				
(21)出願番号 特願2022-501951(P2022-501951)		(73)特許権者	000005234	
(86)(22)出願日 令和3年2月17日(2021.2.17)			富士電機株式会社	
(86)国際出願番号 PCT/JP2021/006016			神奈川県川崎市川崎区田辺新田1番1号	
(87)国際公開番号 WO2021/166980		(74)代理人	110000877	
(87)国際公開日 令和3年8月26日(2021.8.26)			弁理士法人 R Y U K A 国際特許事務所	
審査請求日 令和4年1月26日(2022.1.26)		(72)発明者	窪内 源宜	
(31)優先権主張番号 特願2020-25326(P2020-25326)			神奈川県川崎市川崎区田辺新田1番1号	
(32)優先日 令和2年2月18日(2020.2.18)			富士電機株式会社内	
(33)優先権主張国・地域又は機関 日本国(JP)		審査官	殿川 雅也	
最終頁に続く				

(54)【発明の名称】 半導体装置

(57)【特許請求の範囲】

【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、ドーピング濃度が前記バルク・ドナーのドーピング濃度よりも高い高濃度領域と、
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、
前記半導体基板の下面に設けられ、ドーピング濃度が前記バルク・ドナーのドーピング濃度よりも高い第1導電型または第2導電型の裏面領域と
を備え、
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、
前記高濃度領域は前記裏面領域に達し、
前記高濃度領域の前記上面の側の端部は、前記上面側酸素減少領域に位置し、
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ピークが配置されており、前記不純物化学濃度分布は水素またはヘリウムの化学濃度分布である半導体装置。

【請求項2】

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、ドーピング濃度が前記バルク・ドナーのドーピング濃度よりも高い高濃度領域と、

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、

前記半導体基板の下面に設けられ、ドーピング濃度が前記バルク・ドナーのドーピング濃度よりも高い第1導電型または第2導電型の裏面領域と

を備え、

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、

前記高濃度領域は前記裏面領域に達し、

前記高濃度領域の前記上面の側の端部は、前記上面側酸素減少領域に位置し、

前記高濃度領域は水素ドナーを含む

半導体装置。

10

【請求項3】

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、ドーピング濃度が前記バルク・ドナーのドーピング濃度よりも高い高濃度領域と、

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、

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

前記酸素化学濃度が極大値となる位置を含み、前記酸素化学濃度が前記極大値の50%以上の領域である最大値領域と、

20

前記半導体基板の下面に設けられ、ドーピング濃度が前記バルク・ドナーのドーピング濃度よりも高い第1導電型または第2導電型の裏面領域と

を備え、

前記高濃度領域は前記裏面領域に達し、

前記高濃度領域の前記上面の側の端部は、前記最大値領域に位置し、

前記酸素化学濃度が最大値となる位置は、前記半導体基板の深さ方向における中央位置よりも前記上面側に位置し、

前記高濃度領域の前記深さ方向の前記上面の側の端部に、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おり、前記不純物化学濃度分布は水素またはヘリウムの化学濃度分布である

30

半導体装置。

【請求項4】

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5】

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

40

を有する請求項1または4に記載の半導体装置。

【請求項6】

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4に記載の半導体装置。

【請求項7】

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3に記載の半導体装置。

【請求項8】

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ピークを有し、

50

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1、4または5のいずれか一項に記載の半導体装置。

【請求項9】

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ピークを有し、

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4または6に記載の半導体装置。

【請求項10】

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】

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3、4または6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、

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1または3に記載の半導体装置。

【請求項13】

前記不純物化学濃度は水素化学濃度である

請求項1または3から12のいずれか一項に記載の半導体装置。

【請求項14】

前記バルク・ドナーはリンかアンチモンである

請求項1から3のいずれか一項に記載の半導体装置。

【請求項15】

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3のいずれか一項に記載の半導体装置。

【請求項16】

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】

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3のいずれか一項に記載の半導体装置。

【請求項18】

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。

10

20

30

40

50

【請求項 19】

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】

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 19 に記載の半導体装置。

【請求項 21】

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 19 または 20 に記載の半導体装置。

【請求項 22】

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 3 に記載の半導体装置。

【請求項 23】

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 または 2 に記載の半導体装置。

【請求項 24】

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 3 のいずれか一項に記載の半導体装置。

【請求項 25】

前記上面側酸素減少領域は、前記半導体基板の深さ方向における中央位置よりも上面側に位置する

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 26】

前記最大値領域は、前記半導体基板の前記下面まで設けられている

請求項 4 または 23 に記載の半導体装置。

【請求項 27】

前記下面側酸素減少領域は、前記半導体基板の前記下面に接している

請求項 8 に記載の半導体装置。

【請求項 28】

前記高濃度領域は第 1 導電型である

請求項 1 から 27 のいずれか一項に記載の半導体装置。

【請求項 29】

前記高濃度領域は水素ドナーを含む

請求項 1 または 3 に記載の半導体装置。

【発明の詳細な説明】

【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

10

20

30

40

50

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導電型のチャンネルストッパを備えてよい。チャン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ンネルストッパまで水素が分布してよい。

【0021】

水素化学濃度のピークが、チャン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_{PV} 、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。

【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

10

20

30

40

50

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

10

20

30

40

50

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。

【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。

10

【0035】

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。

【0036】

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

20

【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。

30

【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

40

【0040】

M C Z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 $1 \times 10^{17} \sim 7 \times 10^{17} \text{ atoms/cm}^3$ である。F Z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 $1 \times 10^{15} \sim 5 \times 10^{16} \text{ atoms/cm}^3$ 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ピングされた半導体基板では、バルク・ドナー濃度は、 $1 \times 10^{11} \text{ /cm}^3$ 以上、 $3 \times 10^{13} \text{ /cm}^3$ 以下であってよい。V族、VI族のドーパントがドーピングされた半導体基板の

50

バルク・ドナー濃度は、好ましくは $1 \times 10^{12} / \text{cm}^3$ 以上、 $1 \times 10^{13} / \text{cm}^3$ 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(N_{B0})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(N_{B0})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(N_{B0})は、好ましくは $5 \times 10^{12} / \text{cm}^3$ 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。

10

【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。

20

【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。

30

【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。

40

【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

50

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、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% 以上の長さによ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% 以上の長さによ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% 以上の長さによって酸素化学濃度が減少する領域であってよい。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 Z_b とする。また、本例の最大値領域 452 は、深さ位置 Z_b から、下面 23 まで設けられている。

【0064】

最大値 C_{OX_max} は、 $3 \times 10^{15} \text{ atoms/cm}^3$ 以上、 $2 \times 10^{18} \text{ atoms/cm}^3$ 以下であってよい。最大値 C_{OX_max} は、 $1 \times 10^{16} \text{ atoms/cm}^3$ 以上であってよく、 $1 \times 10^{17} \text{ atoms/cm}^3$ 以上であってよい。最大値 C_{OX_max} は、 $1 \times 10^{18} \text{ atoms/cm}^3$ 以下であってよく、 $1 \times 10^{17} \text{ atoms/cm}^3$ 以下であってよい。

【0065】

不純物化学濃度 C_I は、深さ位置 Z_1 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 Z_1 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 Z_1 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 Z_1 は、深さ位置 Z_c 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 Z_1 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 Z_2 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 Z_2 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 4

10

20

30

40

50

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倍以上であってもよく、5倍以上であってもよく、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もよい。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もよい。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%以上であってもよく、40%以上であってもよく、50%以上であってもよい。本例の第2ピーク4

02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Zp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Zb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Zpと深さ位置Zb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} はピークを有せずに、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Zr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

10

20

30

40

50

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 Z_1 と同一位置であってよい。つまり、深さ位置 Z_1 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 Z_1 の近傍で、且つ、深さ位置 Z_1 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 Z_1 に注入する荷電粒子が水素イオンの場合、深さ位置 Z_1 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 Z_1 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 Z_1 および深さ位置 Z_r の距離は、5 μm 以下であってよく、3 μm 以下であってよく、1 μm 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 Z_1 と異なる位置であってもよい。この場合、深さ位置 Z_1 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 Z_2 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 Z_b との間に配置されている。境界位置 Z_b 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 Z_c 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、上面視において端面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、上面視において互に向かい合う2組の端面102を有する。図1においては、X軸およびY軸は、いずれかの端面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

10

20

30

40

50

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氣的に接続される。半導体装置100は、ゲートパッド112とゲートトレンチ部とを接続するゲート配線を備える。図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、不純物がドーパされたポリシリコン等の半導体で形成された配線であってよい。

【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。

10

【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サ部や、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】

20

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フのうちの少なくとも一つを更に備えていてもよい。

30

【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。

40

【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

50

ミッタ電極 5 2 は、コンタクトホール 5 4 を通って、半導体基板 1 0 の上面におけるエミッタ領域 1 2、コンタクト領域 1 5 およびベース領域 1 4 と接触する。また、エミッタ電極 5 2 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 3 0 内のダミー導電部と接続される。エミッタ電極 5 2 は、Y 軸方向におけるダミートレンチ部 3 0 の先端において、ダミートレンチ部 3 0 のダミー導電部と接続されてよい。

【0112】

活性側ゲート配線 1 3 1 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 4 0 と接続する。活性側ゲート配線 1 3 1 は、Y 軸方向におけるゲートトレンチ部 4 0 の先端部 4 1 において、ゲートトレンチ部 4 0 のゲート導電部と接続されてよい。活性側ゲート配線 1 3 1 は、ダミートレンチ部 3 0 内のダミー導電部とは接続されない。

10

【0113】

エミッタ電極 5 2 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 5 2 が設けられる範囲を示している。例えば、エミッタ電極 5 2 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 5 2 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 1 1 は、活性側ゲート配線 1 3 1 と重なって設けられている。ウェル領域 1 1 は、活性側ゲート配線 1 3 1 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 1 1 は、コンタクトホール 5 4 の Y 軸方向の端から、活性側ゲート配線 1 3 1 側に離れて設けられている。ウェル領域 1 1 は、ベース領域 1 4 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 1 4 は P - 型であり、ウェル領域 1 1 は P + 型である。

20

【0115】

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 7 0 には、配列方向に沿って 1 以上のゲートトレンチ部 4 0 と、1 以上のダミートレンチ部 3 0 とが交互に設けられている。本例のダイオード部 8 0 には、複数のダミートレンチ部 3 0 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 8 0 には、ゲートトレンチ部 4 0 が設けられていない。

30

【0116】

本例のゲートトレンチ部 4 0 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 3 9（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 3 9 を接続する先端部 4 1 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 4 1 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 3 9 の Y 軸方向における端部どうしを先端部 4 1 が接続することで、直線部分 3 9 の端部における電界集中を緩和できる。

40

【0118】

トランジスタ部 7 0 において、ダミートレンチ部 3 0 はゲートトレンチ部 4 0 のそれぞれの直線部分 3 9 の間に設けられる。それぞれの直線部分 3 9 の間には、1 本のダミートレンチ部 3 0 が設けられてよく、複数本のダミートレンチ部 3 0 が設けられていてもよい。ダミートレンチ部 3 0 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 4 0 と同様に、直線部分 2 9 と先端部 3 1 とを有していてもよい。図 9 に示した半導体装置 1 0 0 は、先端部 3 1 を有さない直線形状のダミートレンチ部 3 0 と、先端部 3 1 を有するダミートレンチ部 3 0 の両方を含んでいる。

【0119】

ウェル領域 1 1 の拡散深さは、ゲートトレンチ部 4 0 およびダミートレンチ部 3 0 の深

50

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。

10

【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。

20

【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。

30

【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。

40

【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

50

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よい。

【0135】

10

20

30

40

50

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の、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】

10

20

30

40

50

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。

【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 に電氣的に接続させてもよい。ダミー絶縁膜 32 は、ダミートレンチの内壁を覆って設けられる。ダミー導電部 34 は、ダミートレンチの内部に設けられ、且つ、ダミー絶縁膜 32 よりも内側に設けられる。ダミー絶縁膜 32 は、ダミー導電部 34 と半導体基板 10 とを絶縁する。ダミー導電部 34 は、ゲート導電部 44 と同一の材料で形成されてよい。例えばダミー導電部 34 は、ポリシリコン等の導電材料で形成される。ダミー導電部 34 は、深さ方向においてゲート導電部 44 と同一の長さを有してよい。

【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 $\times$ 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、

10

20

30

40

50

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。

10

【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 とは電氣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。

20

【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。

30

【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。

40

【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】

50

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もよい。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もよく、異なってもよい。

【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して、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もよい。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 に接していてもよい。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もよい。

【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、リンであってもよく、水素であってもよく、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。

10

【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。

20

【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。

30

【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。

40

【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。

50

【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、キッ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_0 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もよく、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もよく、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。

10

20

30

40

50

【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。

10

【0180】

本例によれば、ガードリング92の下端を高濃度領域460が覆っているため、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。

20

【0182】

本例のチャンネルストッパ174には水素が含まれる。本例では、第1ピーク401は、チャンネルストッパ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、チャンネルストッパ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からチャンネルストッパ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、チャンネルストッパ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。

30

【0184】

本例のチャンネルストッパ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、チャンネルストッパ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。

40

【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】

50

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。

10

【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 13C 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。

20

【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。

30

【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。

40

【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

50

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。

10

【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。

20

【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もよい。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、個別に行ってもよく、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。

30

【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。

40

【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

50

。他の構造は、図 1 6 において説明したいずれかの態様の半導体装置 1 0 0 と同一である。本例においても、活性部 1 6 0 の特性変動を防ぎつつ、エッジ終端構造部 9 0 における空乏層の広がりを抑制できる。

【0202】

図 1 8 A 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 1 0 0 は、高濃度領域 4 6 0 の Z 軸方向における上端位置と、第 1 ピーク 4 0 1 の Z 軸方向における位置が、図 1 6 または図 1 7 において説明した例と相違する。他の構造は、図 1 6 または図 1 7 において説明したいずれかの例と同一である。図 1 8 A に示した例では、図 1 7 の例と同様に、第 2 高濃度領域 2 0 2 が設けられている。また、高濃度領域 4 6 0 の Z 軸方向における上端位置と、第 1 ピーク 4 0 1 の Z 軸方向における位置は、図 1 3 A 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 1 6 0 の特性変動を防ぎつつ、エッジ終端構造部 9 0 における空乏層の広がりを抑制できる。

10

【0203】

図 1 8 B 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 1 0 0 は、高濃度領域 4 6 0 が設けられる深さ方向の範囲が、図 1 8 A に示した例と相違する。第 1 ピーク 4 0 1 の深さ方向における位置も、図 1 8 A に示した例と相違してよい。他の構造は、図 1 8 A 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 4 6 0 が設けられる範囲、および、第 1 ピーク 4 0 1 が設けられる深さ位置は、図 1 3 B の例と同様である。つまり本例の第 1 ピーク 4 0 1 は、チャンネルストッパ 1 7 4 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、チャンネルストッパ 1 7 4 と重なる位置に配置されている。本例の高濃度領域 4 6 0 は、チャンネルストッパ 1 7 4 と重なる深さ位置まで設けられている。

20

【0205】

本例のチャンネルストッパ 1 7 4 の下方の領域は、高濃度領域 4 6 0 が設けられ、バルク・ドーピング領域 1 8 が残存していない。このため、X 軸方向に広がる空乏層が、チャンネルストッパ 1 7 4 よりも外側まで伸びることを抑制できる。

【0206】

図 1 8 C 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 1 0 0 は、高濃度領域 4 6 0 が設けられる深さ方向の範囲が、図 1 8 A または図 1 8 B に示した例と相違する。また、半導体基板 1 0 内に第 1 ピーク 4 0 1 が存在しない。他の構造は、図 1 8 A または図 1 8 B に示した例と同一であってよい。

30

【0207】

本例では、図 1 3 C の例と同様に、半導体基板 1 0 の下面 2 3 から、半導体基板 1 0 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 4 6 0 が設けられる深さ範囲は、図 1 3 C の例と同様である。つまり高濃度領域 4 6 0 は、半導体基板 1 0 の下面 2 3 から上面 2 1 まで形成される。

【0208】

本例のチャンネルストッパ 1 7 4 の下方の領域は、高濃度領域 4 6 0 が設けられ、バルク・ドーピング領域 1 8 が残存していない。このため、X 軸方向に広がる空乏層が、チャンネルストッパ 1 7 4 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 4 0 1 が存在しないので、半導体基板 1 0 の上面 2 1 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 1 1、ガードリング 9 2）への影響を低減できる。

40

【0209】

図 1 9 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 1 0 0 は、第 2 高濃度領域 2 0 2 の構造が、図 1 8 A、図 1 8 B または図 1 8 C に示した例と相違する。他の構造は、図 1 8 A、図 1 8 B または図 1 8 C に示した例と同一である。本例の第 2 高濃度領域 2 0 2 は、図 1 4 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 1 6 0 の特性変動を防ぎつつ、エッジ終端構造部 9 0 における空乏層の広がりを抑制できる。

50

【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2

10

20

30

40

50

1 Aの例と異なる。他の構造は、図 2 1 Aの例と同一である。

【0 2 1 8】

図 2 1 Aの例と同様に、第 1 ピーク 4 0 1 の深さ位置は、活性部 1 6 0 から離れるほど上面 2 1 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 1 6 0 から離れるほど上面 2 1 に近づいている。第 1 ピーク 4 0 1 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 4 0 1 は、チャンネルストッパ 1 7 4 と重なっている。第 1 ピーク 4 0 1 は、1 つ以上のガードリング 9 2 と重なっている。また、半導体基板 1 0 の側壁に近い領域においては、下面 2 3 から注入された水素イオンが半導体基板 1 0 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 4 0 1 が設けられない。例えばチャンネルストッパ 1 7 4 のうち、半導体基板 1 0 の側壁に接する領域には、第 1 ピーク 4 0 1 が設けられなくてもよい。

10

【0 2 1 9】

また高濃度領域 4 6 0 も、活性部 1 6 0 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 4 6 0 は、下面 2 3 から、チャンネルストッパ 1 7 4 と接するか、または、重なる位置まで形成されている。本例のチャンネルストッパ 1 7 4 の下方の領域は、高濃度領域 4 6 0 が設けられ、バルク・ドーピング領域 1 8 が残存していない。このため、X 軸方向に広がる空乏層が、チャンネルストッパ 1 7 4 よりも外側まで伸びることを抑制できる。

【0 2 2 0】

図 2 2 は、図 2 0 において説明した高濃度領域 4 6 0 の形成方法の一例を示す図である。本例では、半導体基板 1 0 の下面 2 3 の下方に、遮蔽部材 3 5 0 を配置した状態で、下面 2 3 側から水素イオンを照射する。遮蔽部材 3 5 0 は、活性部 1 6 0 の全体と、エッジ終端構造部 9 0 の少なくとも一部を覆っている。活性部 1 6 0 を覆う遮蔽部材 3 5 0 は、水素イオンを完全に遮蔽して、半導体基板 1 0 に到達させないだけの厚みを有する。

20

【0 2 2 1】

高濃度領域 4 6 0 を設けるべき領域を覆う遮蔽部材 3 5 0 は、それぞれの高濃度領域 4 6 0 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 4 6 0 を長く形成する領域ほど、遮蔽部材 3 5 0 が薄い。遮蔽部材 3 5 0 を薄くすることで、水素イオンが半導体基板 1 0 の深くまで到達して、高濃度領域 4 6 0 が長くなる。

【0 2 2 2】

本例の遮蔽部材 3 5 0 は、活性部 1 6 0 から離れるほど、遮蔽部材 3 5 0 が階段状に薄くなっている。高濃度領域 4 6 0 - 3 の下方には、遮蔽部材 3 5 0 が設けられてよく、設けられていなくてもよい。図 2 2 においては、コレクタ電極 2 4 が設けられているが、コレクタ電極 2 4 を形成する前に、水素イオンを下面 2 3 に照射してもよい。

30

【0 2 2 3】

図 2 3 は、図 2 1 A において説明した高濃度領域 4 6 0 の形成方法の一例を示す図である。本例では、遮蔽部材 3 5 0 の形状が、図 2 2 の例と異なる。他の条件は、図 2 2 の例と同一である。

【0 2 2 4】

本例の遮蔽部材 3 5 0 は、活性部 1 6 0 から離れるほど、遮蔽部材 3 5 0 が直線的または曲線的に薄くなっている。高濃度領域 4 6 0 - 3 の下方には、遮蔽部材 3 5 0 が設けられてよく、設けられていなくてもよい。

40

【0 2 2 5】

図 1 6 から図 2 3 に示した形態において、高濃度領域 4 6 0 の比抵抗(抵抗率)は、活性部 1 6 0 (トランジスタ部 7 0 またはダイオード部 8 0)におけるドリフト領域 1 9 の比抵抗より低い。高濃度領域 4 6 0 の比抵抗は、活性部 1 6 0 のドリフト領域 1 9 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 4 6 0 の比抵抗は、活性部 1 6 0 のドリフト領域 1 9 の比抵抗の $1/2$ 以下であってよい。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。

【0 2 2 6】

50

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に示した形態において、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} (／cm³) ~ 9×10^{13} (／cm³) であり、バルク・ドナー濃度は 5×10^{12} (／cm³) ~ 1×10^{14} (／cm³) 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%以上であってよく、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%以下であってよく、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に対して、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

10

20

30

40

50

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。

10

【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、91・・・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

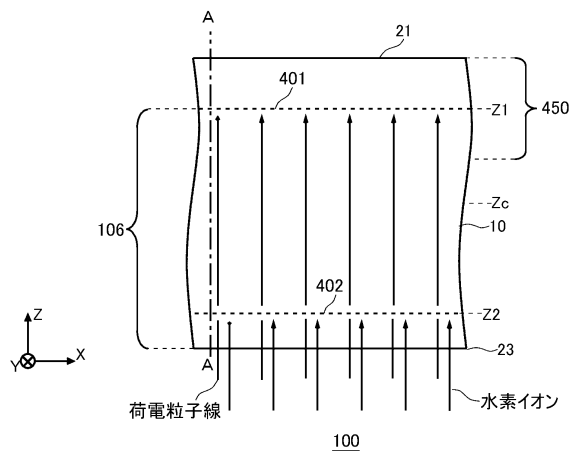
20

30

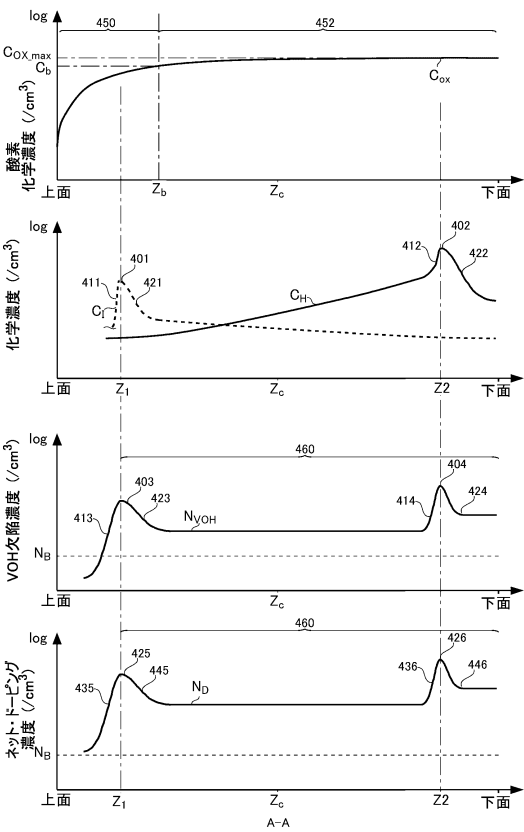
40

50

【図面】
【図 1】



【図 2】



10

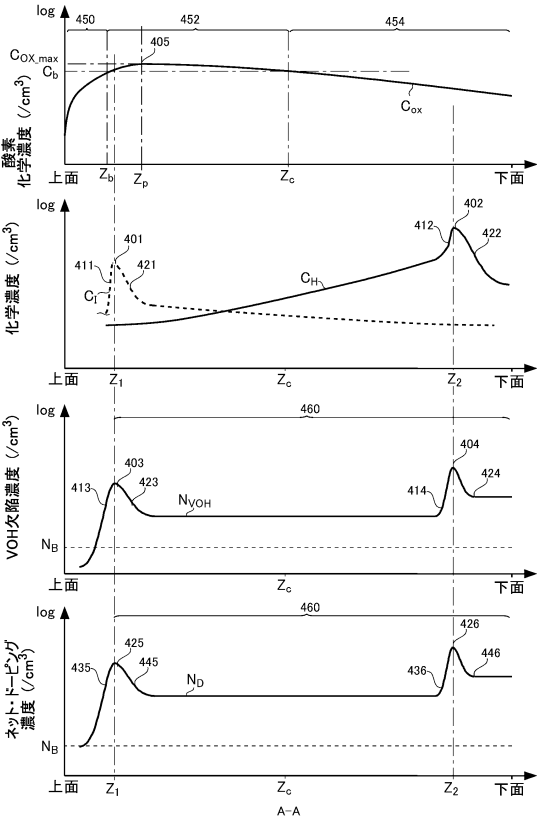
20

30

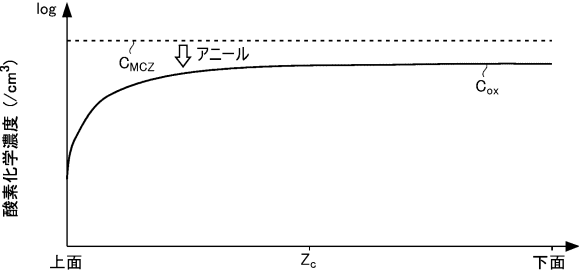
40

50

【図 3】



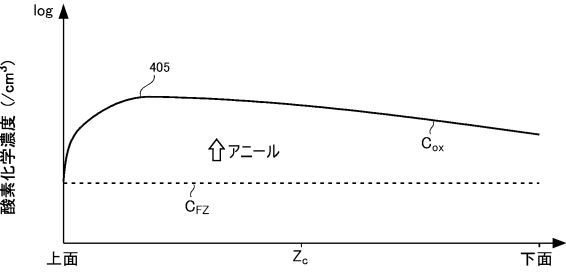
【図 4】



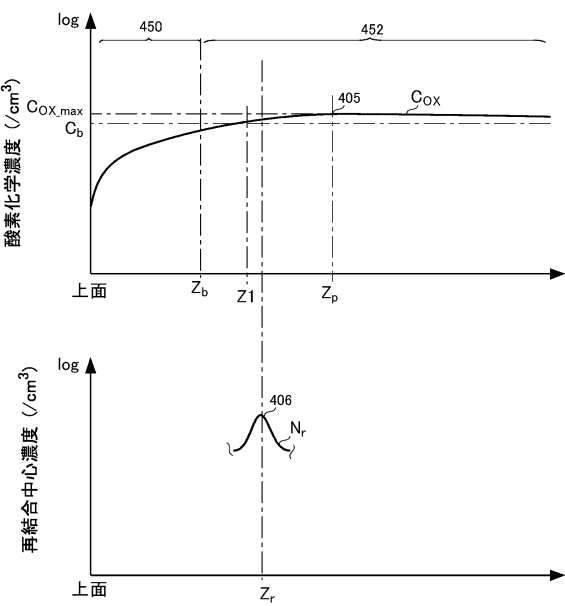
10

20

【図 5】



【図 6】

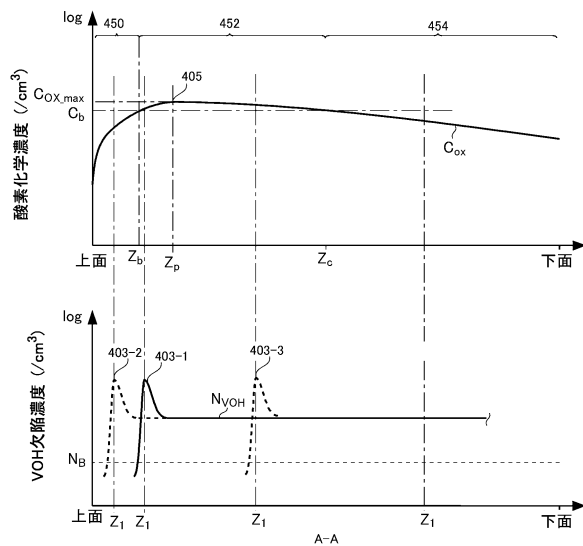


30

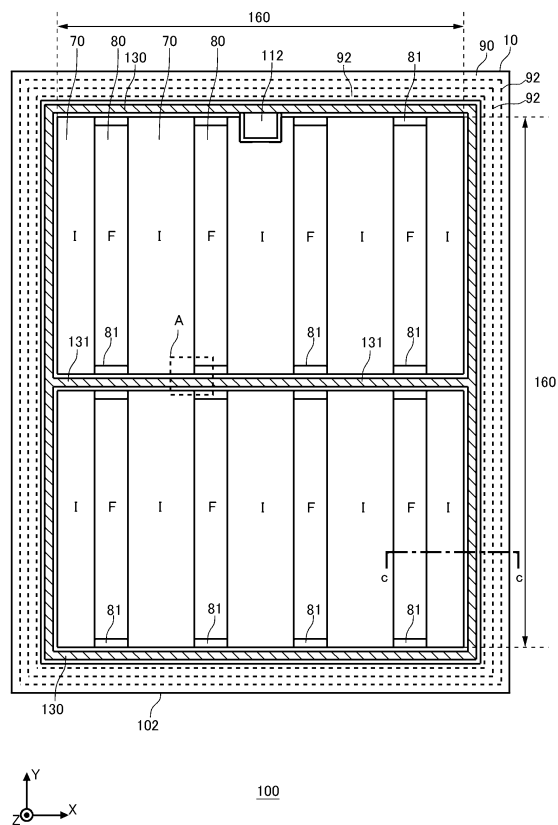
40

50

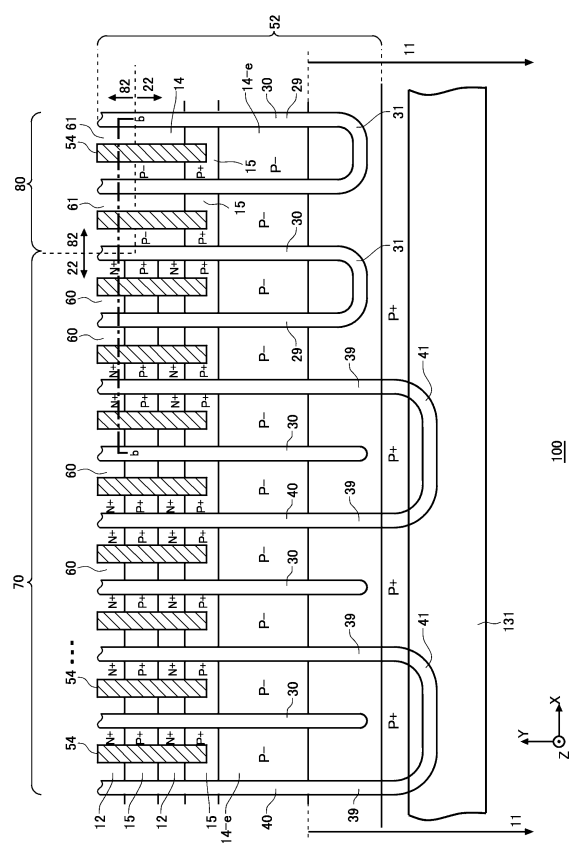
【圖 7】



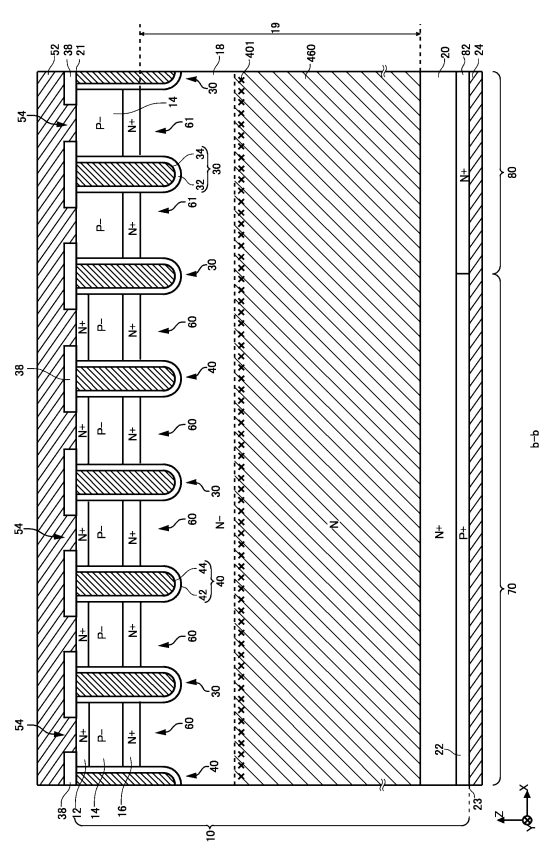
【圖 8】



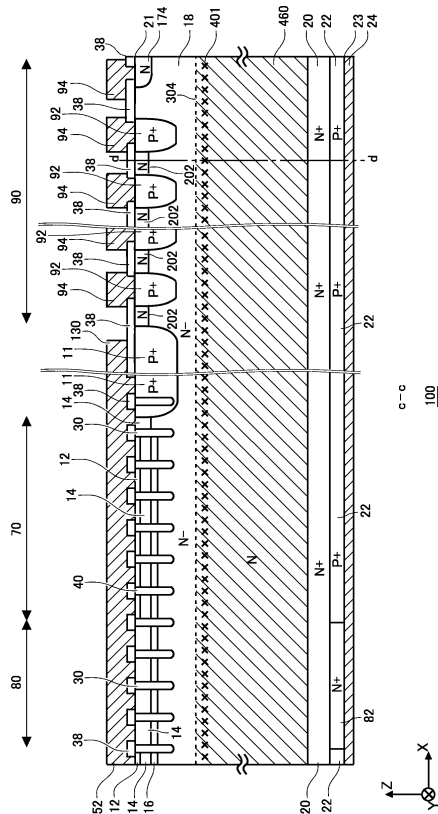
【圖 9】



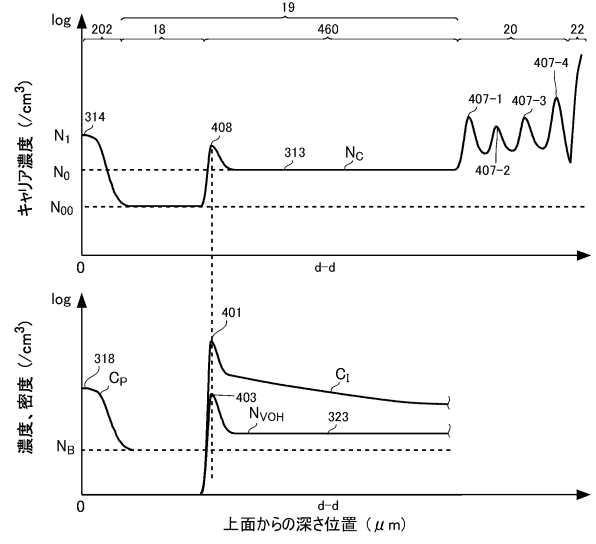
【図 10】



【図 1 1】



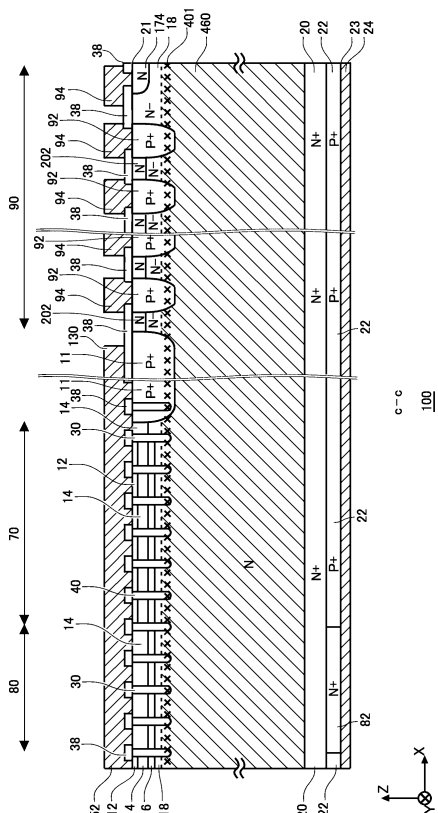
【図 1 2】



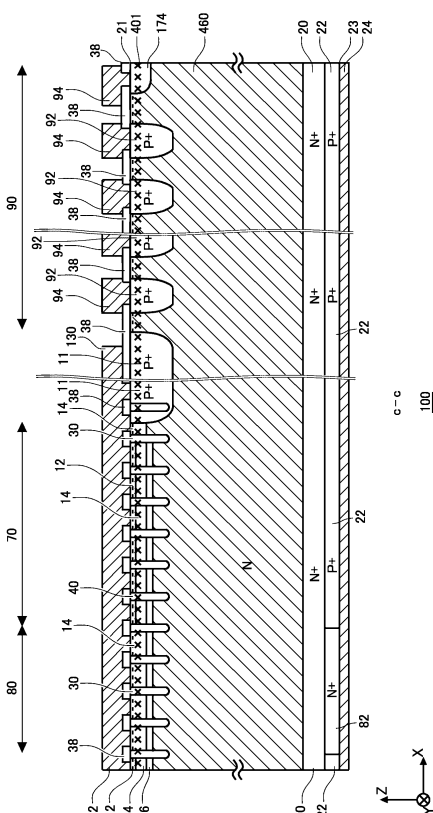
10

20

【図 1 3 A】



【図 1 3 B】

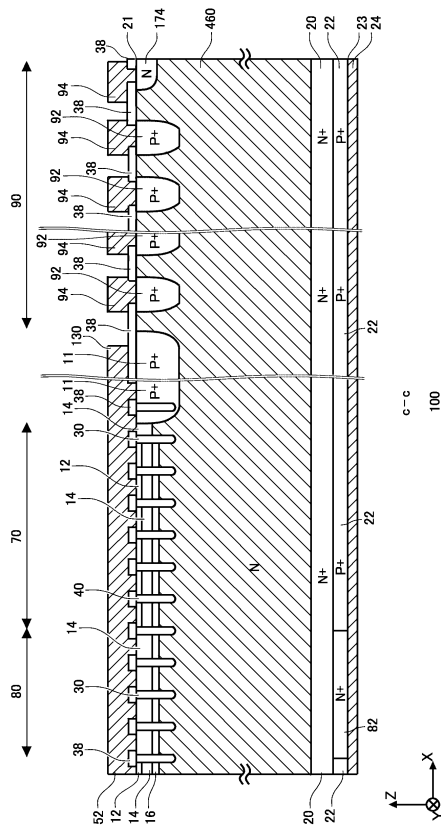


30

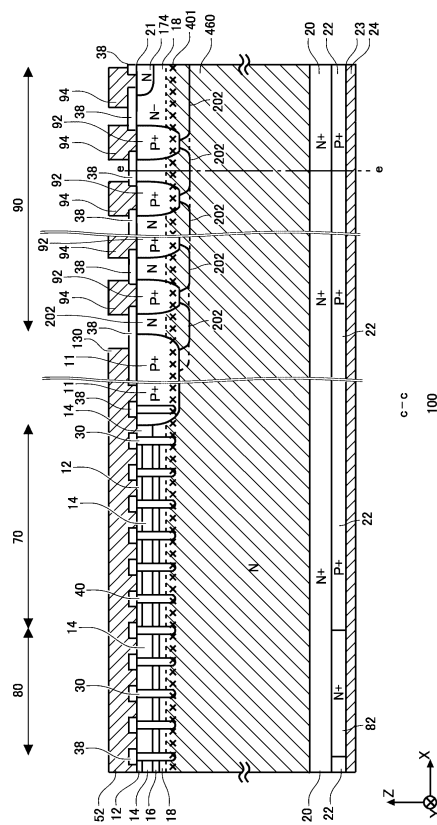
40

50

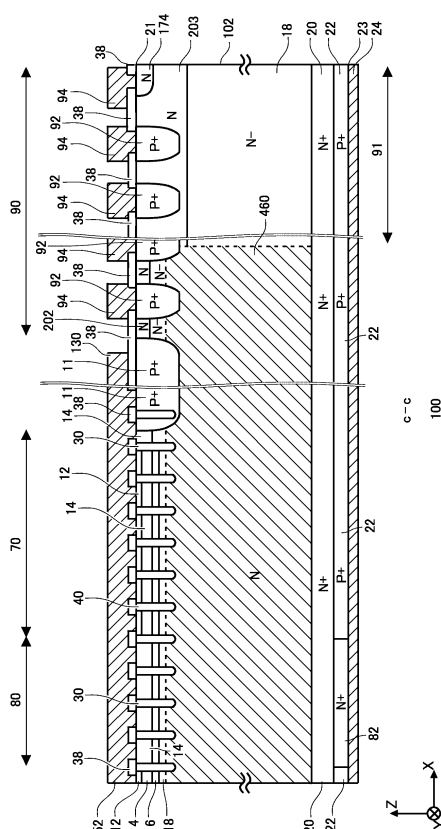
【図 13 C】



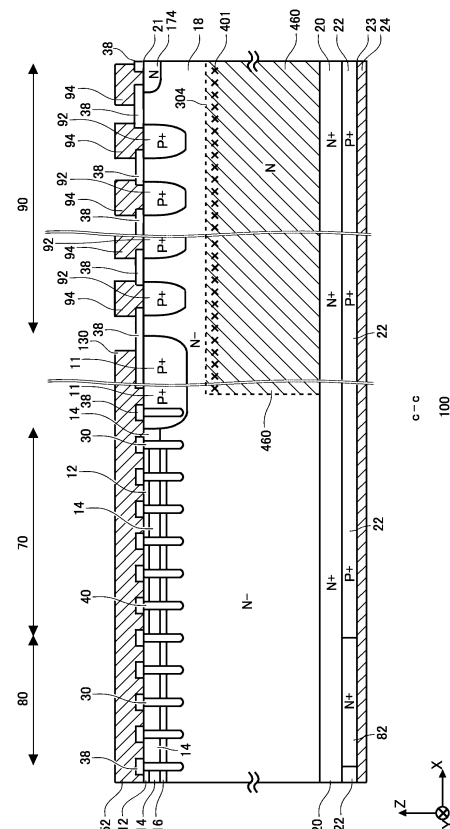
【図 14】



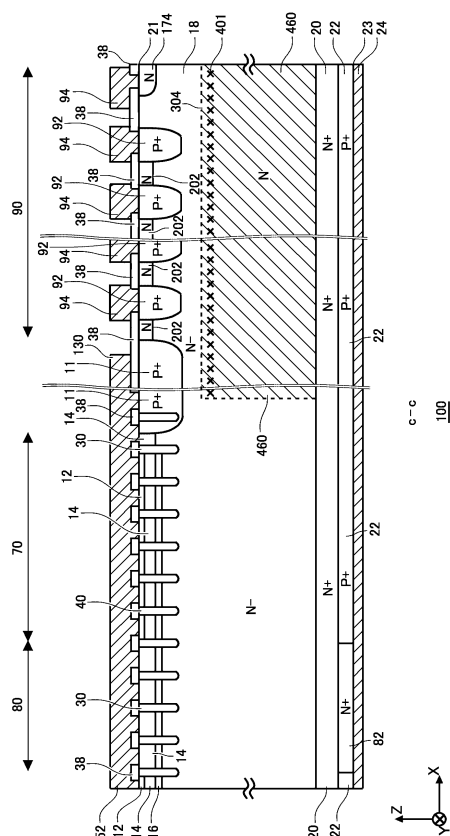
【図 15】



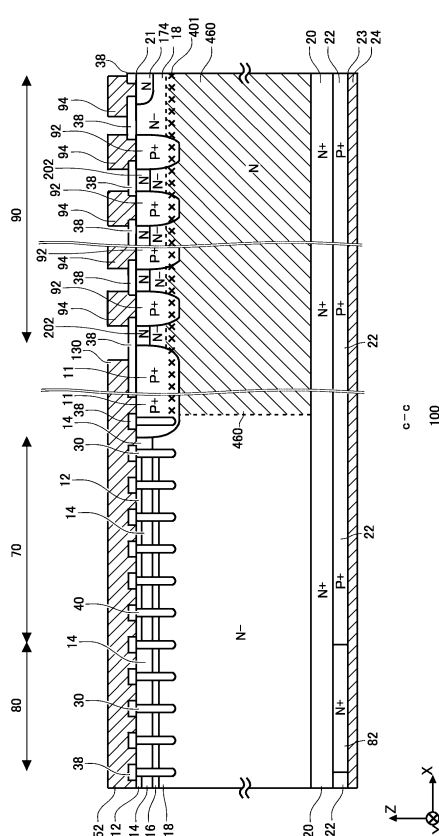
【図 16】



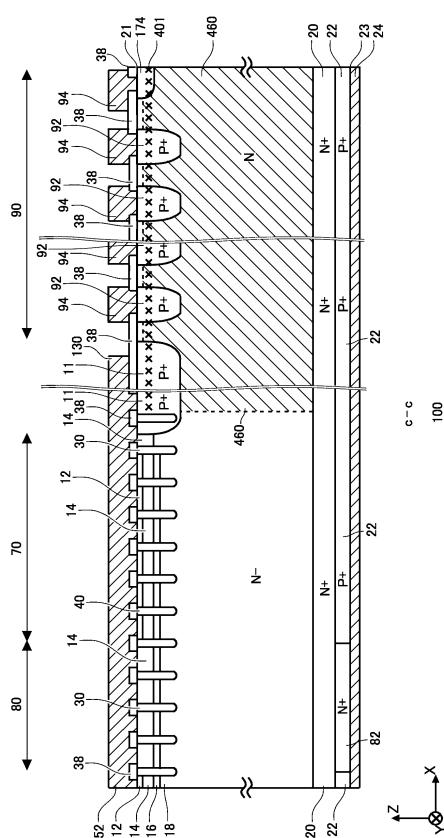
【図 17】



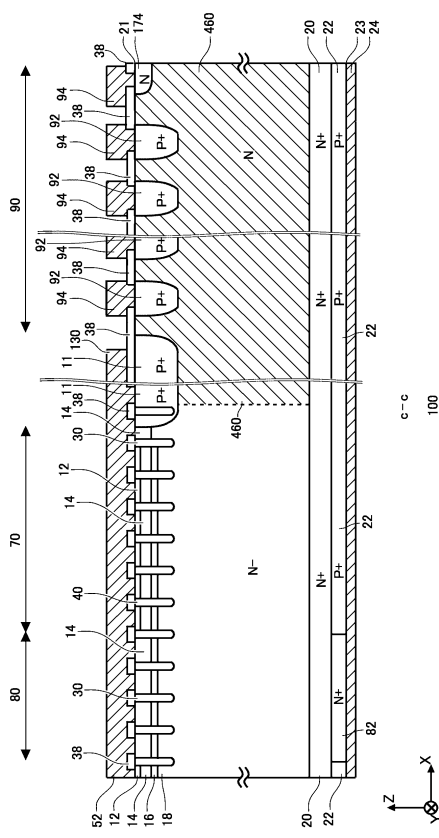
【図 18 A】



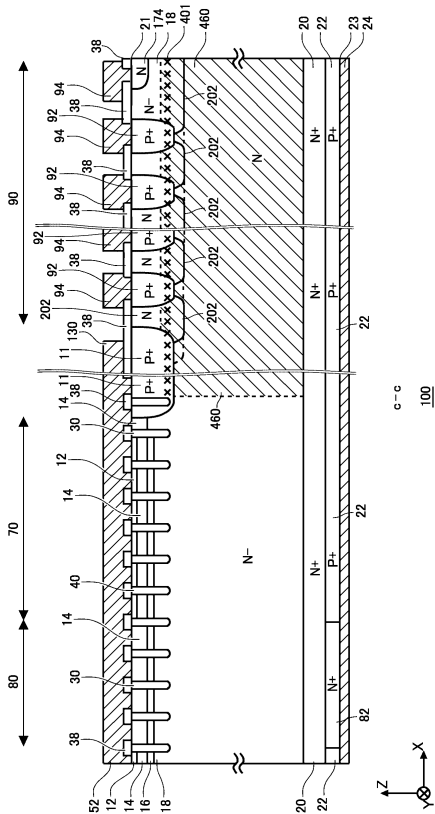
【図 18 B】



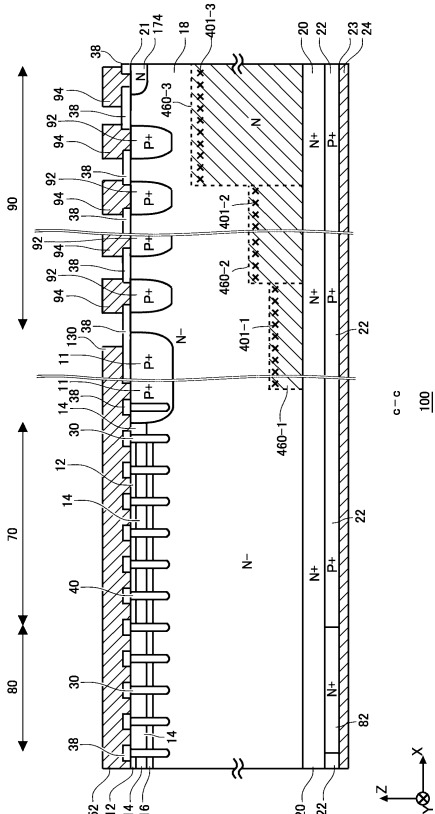
【図 18 C】



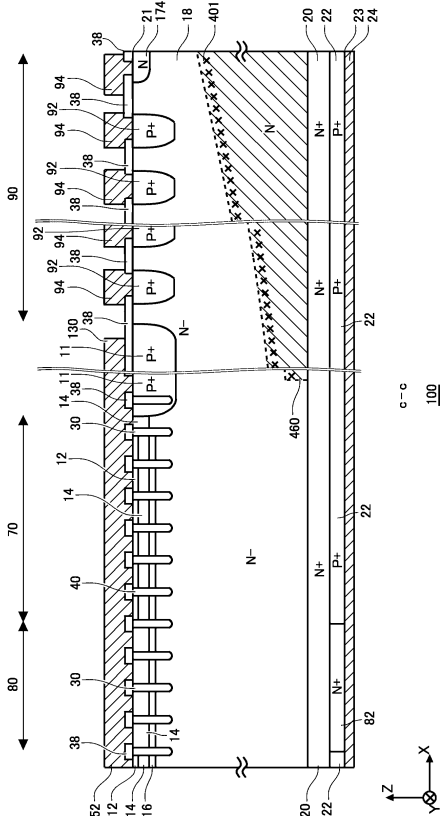
【図 19】



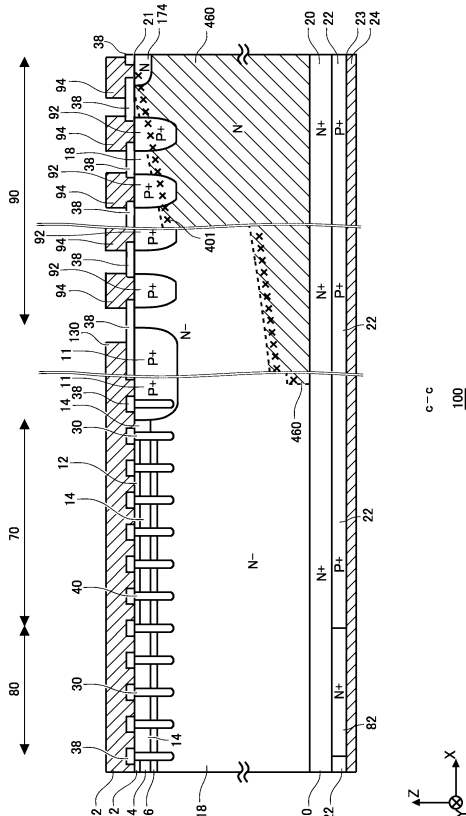
【図 20】



【図 21 A】



【図 21 B】



10

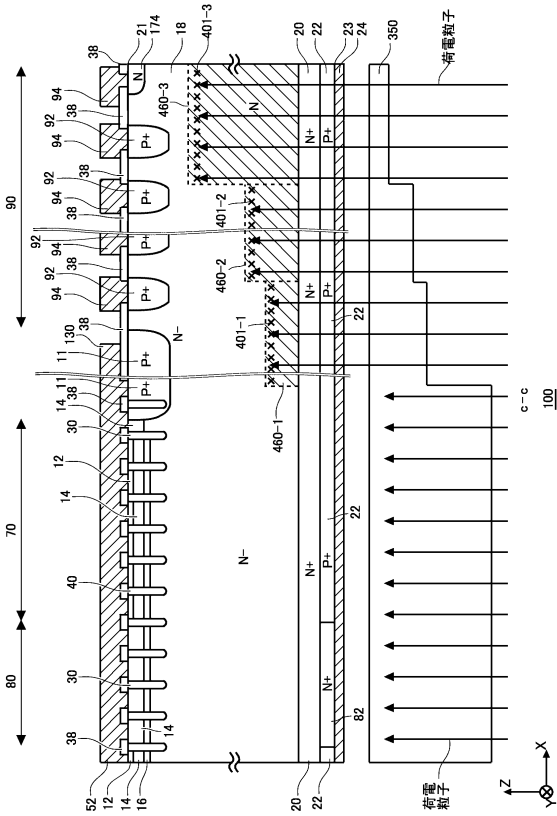
20

30

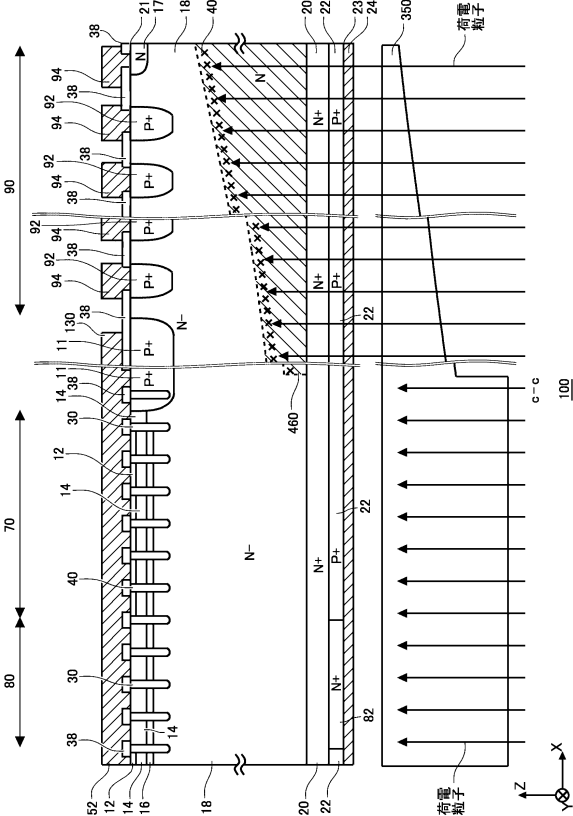
40

50

【図 2 2】



【図 2 3】



10

20

30

40

50

フロントページの続き

(51)国際特許分類

F I

H 0 1 L	29/78	6 5 3 A
H 0 1 L	29/78	6 5 5 F
H 0 1 L	29/78	6 5 2 P
H 0 1 L	29/78	6 5 5 D
H 0 1 L	29/78	6 5 5 B

(56)参考文献

特開 2 0 1 1 - 2 2 2 5 5 0 (J P , A)
国際公開第 2 0 1 6 / 2 0 4 2 2 7 (W O , A 1)
国際公開第 2 0 1 9 / 1 1 7 2 4 8 (W O , A 1)
国際公開第 2 0 1 7 / 0 4 7 2 7 6 (W O , A 1)
特開 2 0 1 5 - 0 9 0 9 5 3 (J P , A)
国際公開第 2 0 1 8 / 0 3 4 2 5 0 (W O , A 1)
国際公開第 2 0 1 9 / 1 8 1 8 5 2 (W O , A 1)

(58)調査した分野 (Int.Cl., D B 名)

H 0 1 L 2 1 / 3 2 2
H 0 1 L 2 1 / 3 2 4
H 0 1 L 2 1 / 3 3 6
H 0 1 L 2 9 / 0 6
H 0 1 L 2 9 / 7 3 9
H 0 1 L 2 9 / 7 8
H 0 1 L 2 9 / 8 6 1
H 0 1 L 2 9 / 8 6 8