

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号  
特許第7658452号  
(P7658452)

(45)発行日 令和7年4月8日(2025.4.8)

(24)登録日 令和7年3月31日(2025.3.31)

(51)国際特許分類

F I

H 1 0 D	30/66	(2025.01)	H 1 0 D	30/66	1 0 1 D
H 1 0 D	8/50	(2025.01)	H 1 0 D	8/50	C
H 1 0 D	12/00	(2025.01)	H 1 0 D	12/00	1 0 3 S
H 1 0 D	84/80	(2025.01)	H 1 0 D	30/66	1 0 1 L
			H 1 0 D	30/66	1 0 2 S

請求項の数 23 (全45頁) 最終頁に続く

(21)出願番号 特願2023-554642(P2023-554642)  
 (86)(22)出願日 令和4年10月14日(2022.10.14)  
 (86)国際出願番号 PCT/JP2022/038340  
 (87)国際公開番号 WO2023/063411  
 (87)国際公開日 令和5年4月20日(2023.4.20)  
 審査請求日 令和5年9月29日(2023.9.29)  
 (31)優先権主張番号 特願2021-169659(P2021-169659)  
 (32)優先日 令和3年10月15日(2021.10.15)  
 (33)優先権主張国・地域又は機関  
 日本国(JP)

(73)特許権者 000005234  
 富士電機株式会社  
 神奈川県川崎市川崎区田辺新田1番1号  
 (74)代理人 110000877  
 弁理士法人R Y U K A国際特許事務所  
 (72)発明者 内藤 達也  
 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  
 審査官 恩田 和彦

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導電型のドリフト領域が設けられた半導体基板と、  
 前記半導体基板に設けられたトランジスタ部と、  
 前記半導体基板に設けられたダイオード部と  
 を備え、

前記トランジスタ部および前記ダイオード部のそれぞれは、前記半導体基板の前記上面  
 から前記半導体基板の深さ方向に設けられ、且つ、前記半導体基板の前記上面において延  
 伸方向に延伸した1つ以上のトレンチコンタクト部を有し、

前記トランジスタ部は、いずれかの前記トレンチコンタクト部の底部と接して設けられ  
 た第2導電型の第1底部領域を有し、

前記ダイオード部は、いずれかの前記トレンチコンタクト部の底部と接して設けられた  
 第2導電型の第2底部領域を有し、

前記第1底部領域の前記延伸方向における長さが、前記第2底部領域の前記延伸方向に  
 おける長さよりも大きい

半導体装置。

【請求項2】

前記ダイオード部において、複数の前記第2底部領域が前記延伸方向に沿って離散的に  
 配置されている

請求項1に記載の半導体装置。

## 【請求項 3】

前記トランジスタ部および前記ダイオード部の間に設けられ、1つ以上の前記トレンチコンタクト部を含む境界部を更に備え、

前記境界部は、いずれかの前記トレンチコンタクト部の底部と接して設けられた第2導電型の第3底部領域を有し、

前記第1底部領域の前記延伸方向における長さが、前記第3底部領域の前記延伸方向における長さよりも大きい

請求項1に記載の半導体装置。

## 【請求項 4】

前記第2底部領域の前記延伸方向における長さ、前記第3底部領域の前記延伸方向における長さ、および前記第1底部領域の前記延伸方向における長さが同一である

10

請求項3に記載の半導体装置。

## 【請求項 5】

前記トランジスタ部は、

前記半導体基板の前記上面と接して設けられ、前記ドリフト領域よりもドーピング濃度の高い第1導電型のエミッタ領域と、

前記エミッタ領域と前記ドリフト領域との間に設けられた第2導電型のベース領域と、

前記半導体基板の前記上面と接して設けられ、前記ベース領域と接続され、前記ベース領域よりもドーピング濃度の高い第2導電型のコンタクト領域と、

前記エミッタ領域および前記ベース領域に接し、前記上面から前記下面に向かって設けられるゲートトレンチ部と、を備え、

20

前記延伸方向は前記ゲートトレンチ部が延伸する長手方向である

請求項1から4のいずれか一項に記載の半導体装置。

## 【請求項 6】

前記コンタクト領域は、前記延伸方向において前記エミッタ領域と交互に配置され、

前記第1底部領域は、前記延伸方向において離れて配置された2つの前記コンタクト領域を接続する

請求項5に記載の半導体装置。

## 【請求項 7】

前記第1底部領域の一部の領域は、前記コンタクト領域の下端よりも前記半導体基板の前記上面側に設けられている

30

請求項6に記載の半導体装置。

## 【請求項 8】

前記第1底部領域のドーピング濃度が、前記コンタクト領域のドーピング濃度よりも高い

請求項7に記載の半導体装置。

## 【請求項 9】

前記第1底部領域は、ドーピング濃度の深さ方向における第1濃度ピークを有し、

前記コンタクト領域は、ドーピング濃度の深さ方向における第2濃度ピークを有し、

前記第1濃度ピークの半値半幅が、前記第2濃度ピークの半値半幅よりも小さい

請求項8に記載の半導体装置。

40

## 【請求項 10】

前記トレンチコンタクト部の下端は、前記エミッタ領域の下端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5に記載の半導体装置。

## 【請求項 11】

前記ダイオード部の前記トレンチコンタクト部は、前記トランジスタ部の前記トレンチコンタクト部よりも下方まで設けられている

請求項1から4のいずれか一項に記載の半導体装置。

## 【請求項 12】

前記ダイオード部の前記トレンチコンタクト部は、前記トランジスタ部の前記トレンチ

50

コンタクト部よりも、前記半導体基板の前記上面における幅が小さい

請求項 1 から 4 のいずれか一項に記載の半導体装置。

【請求項 1 3】

前記境界部の前記トレンチコンタクト部は、前記ダイオード部の前記トレンチコンタクト部および前記トランジスタ部の前記トレンチコンタクト部のいずれよりも下方まで設けられている

請求項 3 または 4 に記載の半導体装置。

【請求項 1 4】

前記境界部の前記トレンチコンタクト部は、前記ダイオード部の前記トレンチコンタクト部および前記トランジスタ部の前記トレンチコンタクト部のいずれよりも、前記半導体基板の前記上面における幅が小さい

10

請求項 3 または 4 に記載の半導体装置。

【請求項 1 5】

前記ダイオード部は、前記ドリフト領域と前記半導体基板の前記上面との間に設けられた、第 2 導電型のアノード領域を有し、

前記アノード領域のドーピング濃度が、前記ベース領域のドーピング濃度よりも低い

請求項 5 に記載の半導体装置。

【請求項 1 6】

前記トランジスタ部は、前記ベース領域と前記ドリフト領域との間において前記深さ方向に複数設けられた、前記ドリフト領域よりもドーピング濃度の高い蓄積領域を更に有する

20

請求項 5 に記載の半導体装置。

【請求項 1 7】

上面および下面を有し、第 1 導電型のドリフト領域が設けられた半導体基板と、

前記半導体基板に設けられたトランジスタ部と、

を備え、

前記トランジスタ部は、

前記半導体基板の前記上面から前記半導体基板の深さ方向に設けられた 1 つ以上のトレンチコンタクト部と、

いずれかの前記トレンチコンタクト部の底部と接して設けられた第 2 導電型の第 1 底部領域と、

30

前記半導体基板の前記上面と接して設けられ、前記ドリフト領域よりもドーピング濃度の高い第 1 導電型のエミッタ領域と、

前記エミッタ領域と前記ドリフト領域との間に設けられた第 2 導電型のベース領域と、

前記半導体基板の前記上面と接して設けられ、前記ベース領域と接続され、前記ベース領域よりもドーピング濃度の高い第 2 導電型のコンタクト領域と

を有し、

前記第 1 底部領域のドーピング濃度が、前記コンタクト領域のドーピング濃度よりも高く、

前記トレンチコンタクト部の前記底部は、前記コンタクト領域の下端よりも前記半導体基板の前記上面の側に配置されており、

40

前記第 1 底部領域の全体が前記コンタクト領域の下端よりも上方に配置されている半導体装置。

【請求項 1 8】

前記第 1 底部領域は、ドーピング濃度の深さ方向における第 1 濃度ピークを有し、

前記コンタクト領域は、ドーピング濃度の深さ方向における第 2 濃度ピークを有し、

前記第 1 濃度ピークの半値半幅が、前記第 2 濃度ピークの半値半幅よりも小さい

請求項 1 7 に記載の半導体装置。

【請求項 1 9】

前記トレンチコンタクト部は、前記半導体基板の前記上面において延伸方向に延伸しており、

50

複数の前記第 1 底部領域が前記延伸方向に沿って離散的に配置されている

請求項 17 または 18 に記載の半導体装置。

【請求項 20】

前記トレンチコンタクト部の前記底部は、前記エミッタ領域の下端よりも前記半導体基板の前記上面の側に配置されている

請求項 17 または 18 に記載の半導体装置。

【請求項 21】

前記トレンチコンタクト部の前記底部は、前記エミッタ領域の下端よりも前記半導体基板の前記上面の側に配置されており、

前記第 1 底部領域の下端は、前記エミッタ領域の前記下端よりも前記半導体基板の前記下面の側に配置されている

請求項 17 または 18 に記載の半導体装置。

【請求項 22】

前記トレンチコンタクト部は、前記半導体基板の前記上面において延伸方向に延伸しており、

前記第 1 底部領域の前記延伸方向における長さは、前記トレンチコンタクト部の延伸方向における長さよりも小さい

請求項 17 または 18 に記載の半導体装置。

【請求項 23】

前記半導体基板に設けられたダイオード部を更に備え、

前記トランジスタ部および前記ダイオード部のそれぞれは、前記半導体基板の前記上面から前記半導体基板の深さ方向に設けられ、且つ、前記半導体基板の前記上面において延伸方向に延伸した 1 つ以上のトレンチコンタクト部を有し、

前記ダイオード部は、いずれかの前記トレンチコンタクト部の底部と接して設けられた第 2 導電型の第 2 底部領域を有し、

前記第 1 底部領域の前記延伸方向における長さが、前記第 2 底部領域の前記延伸方向における長さよりも小さい

請求項 17 または 18 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、IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor) 等の半導体装置において、半導体基板上方の電極と半導体基板とを接続するコンタクトトレンチを設ける構造が知られている (例えば特許文献 1 および 2 参照)。

[先行技術文献]

[特許文献]

[特許文献 1] WO2018/52099 号

[特許文献 2] 特開 2018 - 195798 号公報

【解決しようとする課題】

【0003】

半導体装置においては、ラッチアップを防ぎつつ、他の特性を向上させることが好ましい。

【一般的開示】

【0004】

上記課題を解決するために、本発明の第 1 の態様においては、半導体装置を提供する。半導体装置は、上面および下面を有し、第 1 導電型のドリフト領域が設けられた半導体基板を備えてよい。半導体装置は、半導体基板に設けられたトランジスタ部を備えてよい。

10

20

30

40

50

半導体装置は、半導体基板に設けられたダイオード部を備えてよい。トランジスタ部およびダイオード部のそれぞれは、半導体基板の上面から半導体基板の深さ方向に設けられた1つ以上のトレンチコンタクト部を有してよい。トランジスタ部は、いずれかのトレンチコンタクト部の底部と接して設けられた第2導電型の第1底部領域を有してよい。ダイオード部は、いずれかのトレンチコンタクト部の底部と接して設けられた第2導電型の第2底部領域を有してよい。第1底部領域の延伸方向における長さが、第2底部領域の延伸方向における長さよりも大きくてよい。

【0005】

ダイオード部において、複数の第2底部領域が延伸方向に沿って離散的に配置されてよい。

10

【0006】

半導体装置は、トランジスタ部およびダイオード部の間に設けられ、1つ以上のトレンチコンタクト部を含む境界部を備えてよい。境界部は、いずれかのトレンチコンタクト部の底部と接して設けられた第2導電型の第3底部領域を有してよい。第1底部領域の延伸方向における長さが、第3底部領域の延伸方向における長さよりも大きくてよい。

【0007】

第2底部領域の延伸方向における長さ、第3底部領域の延伸方向における長さと同じであってよい。

【0008】

トランジスタ部は、半導体基板の上面と接して設けられ、ドリフト領域よりもドーピング濃度の高い第1導電型のエミッタ領域を有してよい。トランジスタ部は、エミッタ領域とドリフト領域との間に設けられた第2導電型のベース領域を有してよい。トランジスタ部は、半導体基板の上面と接して設けられ、ベース領域と接続され、ベース領域よりもドーピング濃度の高い第2導電型のコンタクト領域を有してよい。トランジスタ部は、エミッタ領域およびベース領域に接し、上面から下面に向かって設けられるゲートトレンチ部を有してよい。延伸方向はゲートトレンチ部が延伸する長手方向であってよい。

20

【0009】

コンタクト領域は、延伸方向においてエミッタ領域と交互に配置されてよい。第1底部領域は、延伸方向において離れて配置された2つのコンタクト領域を接続してよい。

【0010】

第1底部領域の一部の領域は、コンタクト領域の下端よりも半導体基板の上面側に設けられていてよい。

30

【0011】

第1底部領域のドーピング濃度が、コンタクト領域のドーピング濃度よりも高くてよい。

【0012】

第1底部領域は、ドーピング濃度の深さ方向における第1濃度ピークを有してよい。コンタクト領域は、ドーピング濃度の深さ方向における第2濃度ピークを有してよい。第1濃度ピークの半値半幅が、第2濃度ピークの半値半幅よりも小さくてよい。

【0013】

トレンチコンタクト部の下端は、エミッタ領域の下端よりも半導体基板の上面側に配置されてよい。

40

【0014】

ダイオード部のトレンチコンタクト部は、トランジスタ部のトレンチコンタクト部よりも下方まで設けられていてよい。

【0015】

ダイオード部のトレンチコンタクト部は、トランジスタ部のトレンチコンタクト部よりも、半導体基板の上面における幅が小さくてよい。

【0016】

境界部のトレンチコンタクト部は、ダイオード部のトレンチコンタクト部およびトランジスタ部のトレンチコンタクト部のいずれよりも下方まで設けられていてよい。

50

## 【 0 0 1 7 】

境界部のトレンチコンタクト部は、ダイオード部のトレンチコンタクト部およびトランジスタ部のトレンチコンタクト部のいずれよりも、半導体基板の上面における幅が小さくてよい。

## 【 0 0 1 8 】

ダイオード部は、ドリフト領域と半導体基板の上面との間に設けられた、第2導電型のアノード領域を有してよい。アノード領域のドーピング濃度が、ベース領域のドーピング濃度よりも低くてよい。

## 【 0 0 1 9 】

トランジスタ部は、ベース領域とドリフト領域との間において深さ方向に複数設けられた、ドリフト領域よりもドーピング濃度の高い蓄積領域を有してよい。

10

## 【 0 0 2 0 】

本発明の第2の態様においては、半導体装置を提供する。半導体装置は、上面および下面を有し、第1導電型のドリフト領域が設けられた半導体基板を備えてよい。半導体装置は、半導体基板に設けられたトランジスタ部を備えてよい。トランジスタ部は、半導体基板の上面から半導体基板の深さ方向に設けられた1つ以上のトレンチコンタクト部を有してよい。トランジスタ部は、いずれかのトレンチコンタクト部の底部と接して設けられた第2導電型の第1底部領域を有してよい。トランジスタ部は、半導体基板の上面と接して設けられ、ドリフト領域よりもドーピング濃度の高い第1導電型のエミッタ領域を有してよい。トランジスタ部は、エミッタ領域とドリフト領域との間に設けられた第2導電型のベース領域を有してよい。トランジスタ部は、半導体基板の上面と接して設けられ、ベース領域と接続され、ベース領域よりもドーピング濃度の高い第2導電型のコンタクト領域を有してよい。第1底部領域のドーピング濃度が、コンタクト領域のドーピング濃度よりも高くてよい。

20

## 【 0 0 2 1 】

第1底部領域は、ドーピング濃度の深さ方向における第1濃度ピークを有してよい。コンタクト領域は、ドーピング濃度の深さ方向における第2濃度ピークを有してよい。第1濃度ピークの半値半幅が、第2濃度ピークの半値半幅よりも小さくてよい。

## 【 0 0 2 2 】

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。

30

## 【 図面の簡単な説明 】

## 【 0 0 2 3 】

【 図 1 】 本発明の一つの実施形態に係る半導体装置 1 0 0 の一例を示す上面図である。

【 図 2 】 図 1 における領域 D の拡大図である。

【 図 3 A 】 図 2 における e - e 断面の一例を示す図である。

【 図 3 B 】 e - e 断面の他の例を示す図である。

【 図 4 A 】 トランジスタ部 7 0 のメサ部 6 0 の一例を示す斜視断面図である。

【 図 4 B 】 トランジスタ部 7 0 のメサ部 6 0 - 1 の他の例を示す斜視断面図である。

【 図 5 】 ダイオード部 8 0 のメサ部 6 1 の一例を示す斜視断面図である。

40

【 図 6 】 境界部 7 2 のメサ部 6 2 の一例を示す斜視断面図である。

【 図 7 A 】 図 3 A に示した a - a 線における Y Z 断面の一例を示す。

【 図 7 B 】 図 3 A に示した a - a 線における Y Z 断面の他の例を示す。

【 図 8 】 図 3 A に示した b - b 線における Y Z 断面の一例を示す。

【 図 9 】 図 3 A に示した c - c 線における Y Z 断面の一例を示す。

【 図 1 0 A 】 メサ部 6 0 のトレンチコンタクト部 5 5 の近傍における X Z 断面を示す。

【 図 1 0 B 】 メサ部 6 0 のトレンチコンタクト部 5 5 の近傍における X Z 断面の他の例を示す。

【 図 1 1 】 トランジスタ部 7 0 のメサ部 6 0 の他の例を示す図である。

【 図 1 2 】 メサ部 6 0 - 2 の Y Z 断面を示す図である。

50

- 【図 1 3】図 7 の f - f 線におけるドーピング濃度分布の一例を示す図である。
- 【図 1 4】各メサ部におけるトレンチコンタクト部 5 5 の構造例を示す図である。
- 【図 1 5】各メサ部におけるトレンチコンタクト部 5 5 の構造例を示す図である。
- 【図 1 6 A】トランジスタ部 7 0 のメサ部 6 0 の他の例を示す図である。
- 【図 1 6 B】メサ部 6 0 - 3 の他の例を示す図である。
- 【図 1 7】ダイオード部 8 0 のメサ部 6 1 の他の例を示す図である。
- 【図 1 8】ダイオード部 8 0 のメサ部 6 1 の他の例を示す図である。
- 【図 1 9】半導体装置 1 0 0 におけるメサ部の組み合わせの一例を示す図である。
- 【図 2 0】半導体装置 1 0 0 におけるメサ部の組み合わせの他の例を示す図である。
- 【図 2 1】半導体装置 1 0 0 におけるメサ部の組み合わせの他の例を示す図である。 10
- 【図 2 2】半導体装置 1 0 0 におけるメサ部の組み合わせの他の例を示す図である。
- 【図 2 3】半導体装置 1 0 0 におけるメサ部の組み合わせの他の例を示す図である。
- 【図 2 4】半導体装置 1 0 0 におけるメサ部の組み合わせの他の例を示す図である。
- 【図 2 5】半導体装置 1 0 0 におけるメサ部の組み合わせの他の例を示す図である。
- 【図 2 6】半導体装置 1 0 0 の他の構成例を示す e - e 断面である。
- 【図 2 7】半導体装置 1 0 0 の他の構成例を示す e - e 断面である。
- 【図 2 8】半導体装置 1 0 0 の他の構成例を示す上面図である。
- 【図 2 9】半導体装置 1 0 0 の他の構成例を示す上面図である。
- 【図 3 0】半導体装置 1 0 0 の他の構成例を示す上面図である。
- 【図 3 1】半導体装置 1 0 0 の他の構成例を示す上面図である。 20
- 【図 3 2】半導体装置 1 0 0 の他の構成例を示す上面図である。
- 【図 3 3】半導体装置 1 0 0 の他の構成例を示す図である。
- 【図 3 4】図 3 3 における e - e 断面の一例を示す図である。
- 【図 3 5 A】半導体装置 1 0 0 の他の構成例を示す図である。
- 【図 3 5 B】図 3 5 A における a - a 断面および a' - a' 断面のドーピング濃度分布の一例を示す図である。
- 【図 3 6】図 7 A に示したメサ部 6 0 の構造に、トレンチ底部領域 2 6 0 を追加した例を示している。
- 【図 3 7】図 8 に示したメサ部 6 1 の構造に、トレンチ底部領域 2 6 0 を追加した例を示している。 30
- 【図 3 8】図 9 に示したメサ部 6 2 の構造に、トレンチ底部領域 2 6 0 を追加した例を示している。
- 【図 3 9】半導体装置 1 0 0 の他の構成例を示す図である。

【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。 40

【0026】

本明細書では、X 軸、Y 軸および Z 軸の直角座標軸を用いて技術的事項を説明する場合がある。直角座標軸は、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。

【0028】

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

【0029】

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。

10

【0030】

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。

【0031】

本明細書においては、ドーピング濃度とは、熱平衡状態におけるドナーの濃度またはアクセプタの濃度を意味する。本明細書においては、ネット・ドーピング濃度とは、ドナー濃度を正イオンの濃度とし、アクセプタ濃度を負イオンの濃度として、電荷の極性を含めて足し合わせた正味の濃度を意味する。一例として、ドナー濃度を $N_D$ 、アクセプタ濃度を $N_A$ とすると、任意の位置における正味のネット・ドーピング濃度は $N_D - N_A$ となる。本明細書では、ネット・ドーピング濃度を単にドーピング濃度と記載する場合がある。

20

【0032】

ドナーは、半導体に電子を供給する機能を有している。アクセプタは、半導体から電子を受け取る機能を有している。ドナーおよびアクセプタは、不純物自体には限定されない。例えば、半導体中に存在する空孔(V)、酸素(O)および水素(H)が結合したVOH欠陥は、電子を供給するドナーとして機能する。本明細書では、VOH欠陥を水素ドナーと称する場合がある。

30

【0033】

本明細書において半導体基板は、N型のバルク・ドナーが全体に分布している。バルク・ドナーは、半導体基板の元となるインゴットの製造時に、インゴット内に略一様に含まれたド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・ドナーのドパントは、例えばリン、アンチモン、ヒ素、セレンまたは硫黄であるが、これに限定されない。本例のバルク・ドナーは、リンである。バルク・ドナーは、P型の領域にも含まれている。半導体基板は、半導体のインゴットから切り出したウエハであってよく、ウエハを個片化したチップであってよい。半導体のインゴットは、チョクラルスキー法(CZ法)、磁場印加型チョクラルスキー法(MCZ法)、フロートゾーン法(FZ法)のいずれかで製造されてよい。本例におけるインゴットは、MCZ法で製造されている。MCZ法で製造された基板に含まれる酸素濃度は $1 \times 10^{17} \sim 7 \times 10^{17} / \text{cm}^3$ である。FZ法で製造された基板に含まれる酸素濃度は $1 \times 10^{15} \sim 5 \times 10^{16} / \text{cm}^3$ である。酸素濃度が高い方が水素ドナーを生成しやすい傾向がある。バルク・ドナー濃度は、半導体基板の全体に分布しているバルク・ドナーの化学濃度を用いてよく、当該化学濃度の90%から100%の間の値であってよい。また、半導体基板は、リン等のドパントを含まないノンドープ基板を用いてもよい。その場合、ノンドープ基板のバルク・ドナー濃度(D0)は例えば $1 \times 10^{10} / \text{cm}^3$ 以上、 $5 \times 10^{12} / \text{cm}^3$ 以下である。ノンドープ基板のバルク・ドナー濃度(D0)は、好ましくは $1 \times 10^{11} / \text{cm}^3$ 以上である。ノンドープ基板のバルク・ドナー濃度(D0)は、好ましくは $5 \times 10^{12} / \text{cm}^3$ 以下である。尚、本発明における各濃度は、室温における値で

40

50

よい。室温における値は、一例として300 K (ケルビン) (約26.9) のときの値を用いてよい。

【0034】

本明細書においてP + 型またはN + 型と記載した場合、P 型またはN 型よりもドーピング濃度が高いことを意味し、P - 型またはN - 型と記載した場合、P 型またはN 型よりもドーピング濃度が低いことを意味する。また、本明細書においてP ++ 型またはN ++ 型と記載した場合には、P + 型またはN + 型よりもドーピング濃度が高いことを意味する。本明細書の単位系は、特に断りがなければSI 単位系である。長さの単位をcm で表示することがあるが、諸計算はメートル(m) に換算してから行ってよい。

【0035】

本明細書において化学濃度とは、電気的な活性化の状態によらずに測定される不純物の原子密度を指す。化学濃度は、例えば二次イオン質量分析法(SIMS) により計測できる。上述したネット・ドーピング濃度は、電圧-容量測定法(CV法) により測定できる。また、拡がり抵抗測定法(SR法) により計測されるキャリア濃度を、ネット・ドーピング濃度としてよい。CV法またはSR法により計測されるキャリア濃度は、熱平衡状態における値としてよい。また、N 型の領域においては、ドナー濃度がアクセプタ濃度よりも十分大きいので、当該領域におけるキャリア濃度を、ドナー濃度としてもよい。同様に、P 型の領域においては、当該領域におけるキャリア濃度を、アクセプタ濃度としてもよい。本明細書では、N 型領域のドーピング濃度をドナー濃度と称する場合があります、P 型領域のドーピング濃度をアクセプタ濃度と称する場合があります。

【0036】

また、ドナー、アクセプタまたはネット・ドーピングの濃度分布がピークを有する場合、当該ピーク値を当該領域におけるドナー、アクセプタまたはネット・ドーピングの濃度としてよい。ドナー、アクセプタまたはネット・ドーピングの濃度がほぼ均一な場合等においては、当該領域におけるドナー、アクセプタまたはネット・ドーピングの濃度の平均値をドナー、アクセプタまたはネット・ドーピングの濃度としてよい。本明細書において、単位体積当りの濃度表示に $atms/cm^3$ 、または、 $/cm^3$  を用いる。この単位は、半導体基板内のドナーまたはアクセプタ濃度、または、化学濃度に用いられる。 $atms$  表記は省略してもよい。

【0037】

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。

【0038】

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。

【0039】

図1は、本発明の一つの実施形態に係る半導体装置100の一例を示す上面図である。図1においては、各部材を半導体基板10の上面に投影した位置を示している。図1においては、半導体装置100の一部の部材だけを示しており、一部の部材は省略している。

【0040】

半導体装置100は、半導体基板10を備えている。半導体基板10は、半導体材料で形成された基板である。一例として半導体基板10はシリコン基板である。半導体基板10は、上面視において端辺162を有する。本明細書で単に上面視と称した場合、半導体基板10の上面側から見ることを意味している。本例の半導体基板10は、上面視におい

10

20

30

40

50

て互いに向かい合う2組の端辺162を有する。図1においては、X軸およびY軸は、いずれかの端辺162と平行である。またZ軸は、半導体基板10の上面と垂直である。

【0041】

半導体基板10には活性部160が設けられている。活性部160は、半導体装置100が動作した場合に半導体基板10の上面と下面との間で、深さ方向に主電流が流れる領域である。活性部160の上方には、エミッタ電極が設けられているが図1では省略している。活性部160は、上面視においてエミッタ電極で重なる領域を指してよい。また、上面視において活性部160で挟まれる領域も、活性部160に含めてよい。

【0042】

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が設けられている。活性部160には、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が更に設けられていてもよい。図1の例では、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、トランジスタ部70およびダイオード部80が交互に配置されている。本例の半導体装置100は逆導通型IGBT(RC-IGBT)である。

10

【0043】

図1においては、トランジスタ部70が配置される領域には記号「I」を付し、ダイオード部80が配置される領域には記号「F」を付している。本明細書では、上面視において配列方向と垂直な方向を延伸方向(図1ではY軸方向)と称する場合がある。トランジスタ部70およびダイオード部80は、それぞれ延伸方向に長手を有してよい。つまり、トランジスタ部70のY軸方向における長さは、X軸方向における幅よりも大きい。同様に、ダイオード部80のY軸方向における長さは、X軸方向における幅よりも大きい。トランジスタ部70およびダイオード部80の延伸方向と、各トレンチ部の長手方向とは同一であってよい。

20

【0044】

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の下面において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。

30

【0045】

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。

【0046】

半導体装置100は、半導体基板10の上方に1つ以上のパッドを有してよい。本例の半導体装置100は、ゲートパッド164を有している。半導体装置100は、アノードパッド、カソードパッドおよび電流検出パッド等のパッドを有してもよい。各パッドは、端辺162の近傍に配置されている。端辺162の近傍とは、上面視における端辺162と、エミッタ電極との間の領域を指す。半導体装置100の実装時において、各パッドは、ワイヤ等の配線を介して外部の回路に接続されてよい。

40

【0047】

ゲートパッド164には、ゲート電位が印加される。ゲートパッド164は、活性部160のゲートトレンチ部の導電部に電氣的に接続される。半導体装置100は、ゲートパッド164とゲートトレンチ部とを接続するゲート配線を備える。図1においては、ゲート配線に斜線のハッチングを付している。

【0048】

50

本例のゲート配線は、外周ゲート配線 130 と、活性側ゲート配線 131 とを有している。外周ゲート配線 130 は、上面視において活性部 160 と半導体基板 10 の端辺 162 との間に配置されている。本例の外周ゲート配線 130 は、上面視において活性部 160 を囲んでいる。上面視において外周ゲート配線 130 に囲まれた領域を活性部 160 としてもよい。また、ゲート配線の下方には、ウェル領域が形成されている。ウェル領域とは、後述するベース領域よりも高濃度の P 型領域であり、半導体基板 10 の上面からベース領域よりも深い位置まで形成されている。上面視においてウェル領域で囲まれる領域を活性部 160 としてもよい。

【0049】

外周ゲート配線 130 は、ゲートパッド 164 と接続されている。外周ゲート配線 130 は、半導体基板 10 の上方に配置されている。外周ゲート配線 130 は、アルミニウム等を含む金属配線であってよい。

10

【0050】

活性側ゲート配線 131 は、活性部 160 に設けられている。活性部 160 に活性側ゲート配線 131 を設けることで、半導体基板 10 の各領域について、ゲートパッド 164 からの配線長のバラツキを低減できる。

【0051】

外周ゲート配線 130 および活性側ゲート配線 131 は、活性部 160 のゲートトレンチ部と接続される。外周ゲート配線 130 および活性側ゲート配線 131 は、半導体基板 10 の上方に配置されている。外周ゲート配線 130 および活性側ゲート配線 131 は、不純物がドーブ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。

20

【0052】

活性側ゲート配線 131 は、外周ゲート配線 130 と接続されてよい。本例の活性側ゲート配線 131 は、活性部 160 を挟む一方の外周ゲート配線 130 から他方の外周ゲート配線 130 まで、活性部 160 を Y 軸方向の略中央で横切るように、X 軸方向に延伸して設けられている。活性側ゲート配線 131 により活性部 160 が分割されている場合、それぞれの分割領域において、トランジスタ部 70 およびダイオード部 80 が X 軸方向に交互に配置されてよい。

【0053】

また、半導体装置 100 は、ポリシリコン等で形成された PN 接合ダイオードである不図示の温度センサ部や、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。

30

【0054】

本例の半導体装置 100 は、上面視において、活性部 160 と端辺 162 との間に、エッジ終端構造部 90 を備える。本例のエッジ終端構造部 90 は、外周ゲート配線 130 と端辺 162 との間に配置されている。エッジ終端構造部 90 は、半導体基板 10 の上面側の電界集中を緩和する。エッジ終端構造部 90 は、活性部 160 を囲んで環状に設けられたガードリング、フィールドプレートおよびリサーフのうちの少なくとも一つを備えてよい。

【0055】

図 2 は、図 1 における領域 D の拡大図である。領域 D は、トランジスタ部 70、ダイオード部 80、および、活性側ゲート配線 131 を含む領域である。図 2 に示すように、トランジスタ部 70 およびダイオード部 80 の間には、境界部 72 が設けられてもよい。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

【0056】

50

エミッタ電極 5 2 および活性側ゲート配線 1 3 1 と、半導体基板 1 0 の上面との間には層間絶縁膜が設けられるが、図 2 では省略している。本例の層間絶縁膜には、コンタクトホールが、当該層間絶縁膜を貫通して設けられる。コンタクトホールの内部には、エミッタ電極 5 2 等の導電部材が設けられてよい。

【 0 0 5 7 】

本例の半導体基板 1 0 の上面には、トレンチコンタクト部 5 5 が設けられている。トレンチコンタクト部 5 5 は、半導体基板 1 0 の上面から所定の深さまで設けられた溝状の構造に、導電材料が充填された部材である。トレンチコンタクト部 5 5 の溝の内部には、例えばタングステン等の導電部材が充填されている。トレンチコンタクト部 5 5 の溝の内部において、当該導電部材と半導体基板 1 0 との間には、チタン膜および窒化チタン膜の少なくとも一方を含むバリアメタルが設けられてもよい。トレンチコンタクト部 5 5 は、延伸方向（Y 軸方向）に延伸して設けられている。トレンチコンタクト部 5 5 は、上述した層間絶縁膜のコンタクトホールの下方に配置されている。エミッタ電極 5 2 は、層間絶縁膜のコンタクトホール、および、トレンチコンタクト部 5 5 を介して、半導体基板 1 0 と接続されてよい。図 2 においては、それぞれのトレンチコンタクト部 5 5 に斜線のハッチングを付している。

10

【 0 0 5 8 】

エミッタ電極 5 2 は、ゲートトレンチ部 4 0、ダミートレンチ部 3 0、ウェル領域 1 1、エミッタ領域 1 2、ベース領域 1 4 およびコンタクト領域 1 5 の上方に設けられる。エミッタ電極 5 2 は、コンタクトホールおよびトレンチコンタクト部 5 5 を介して、半導体基板 1 0 の上面におけるウェル領域 1 1、エミッタ領域 1 2、コンタクト領域 1 5、アノード領域 1 7 およびベース領域 1 4 の少なくとも一部と接触する。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。

20

【 0 0 5 9 】

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。

30

【 0 0 6 0 】

エミッタ電極 5 2 は、金属を含む材料で形成される。図 2 においては、エミッタ電極 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。

【 0 0 6 1 】

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。

40

【 0 0 6 2 】

トランジスタ部 7 0、境界部 7 2 およびダイオード部 8 0 のそれぞれは、配列方向に配列された 1 つ以上の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 つ以上のゲートトレンチ部 4 0 と、1 つ以上のダミートレンチ部 3 0 とが交互に設

50

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。本例の境界部 72 には、配列方向に沿って 1 つ以上のダミートレンチ部 30 が設けられている。境界部 72 には、ゲートトレンチ部 40 が更に設けられていてもよい。

【0063】

本例のゲートトレンチ部 40 は、配列方向と垂直な延伸方向に沿って延伸する 2 つの直線部分 39 (延伸方向に沿って直線状であるトレンチの部分) と、2 つの直線部分 39 を接続する先端部 41 を有してよい。図 2 における延伸方向は Y 軸方向である。

【0064】

先端部 41 の少なくとも一部は、上面視において曲線状に設けられることが好ましい。2 つの直線部分 39 の Y 軸方向における端部どうしを先端部 41 が接続することで、直線部分 39 の端部における電界集中を緩和できる。

【0065】

トランジスタ部 70 において、ダミートレンチ部 30 はゲートトレンチ部 40 のそれぞれの直線部分 39 の間に設けられる。それぞれの直線部分 39 の間には、1 本のダミートレンチ部 30 が設けられてよく、複数本のダミートレンチ部 30 が設けられていてもよい。ダミートレンチ部 30 は、延伸方向に延伸する直線形状を有してよく、ゲートトレンチ部 40 と同様に、直線部分 29 と先端部 31 とを有していてもよい。図 2 に示した半導体装置 100 は、先端部 31 を有さない直線形状のダミートレンチ部 30 と、先端部 31 を有するダミートレンチ部 30 の両方を含んでいる。

【0066】

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

【0067】

配列方向において各トレンチ部の間には、メサ部が設けられている。メサ部は、半導体基板 10 の内部において、トレンチ部に挟まれた領域を指す。一例としてメサ部の上端は半導体基板 10 の上面である。メサ部の下端の深さ位置は、トレンチ部の下端の深さ位置と同一である。本例のメサ部は、半導体基板 10 の上面において、トレンチに沿って延伸方向 (Y 軸方向) に延伸して設けられている。本例では、トランジスタ部 70 にはメサ部 60 が設けられ、ダイオード部 80 にはメサ部 61 が設けられ、境界部 72 にはメサ部 62 およびメサ部 63 が設けられている。メサ部 62 は、境界部 72 においてトランジスタ部 70 に最も近いメサ部であり、メサ部 63 は、境界部 72 においてダイオード部 80 に最も近いメサ部である。メサ部 62 およびメサ部 63 の間には、1 つ以上のメサ部 62 が更に設けられてよい。メサ部 62 およびメサ部 63 の間には、1 つ以上のメサ部 63 が更に設けられてよい。本明細書において単にメサ部と称した場合、メサ部 60、メサ部 61、メサ部 62 およびメサ部 63 のそれぞれを指している。

【0068】

それぞれのメサ部には、ベース領域 14 が設けられる。メサ部において半導体基板 10 の上面に露出したベース領域 14 のうち、活性側ゲート配線 131 に最も近く配置された領域をベース領域 14 - e とする。図 2 においては、それぞれのメサ部の延伸方向における一方の端部に配置されたベース領域 14 - e を示しているが、それぞれのメサ部の他方の端部にもベース領域 14 - e が配置されている。それぞれのメサ部には、上面視においてベース領域 14 - e に挟まれた領域に、第 1 導電型のエミッタ領域 12、第 2 導電型のコンタクト領域 15 および第 2 導電型のアノード領域 17 の少なくともいずれかが設けられてよい。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 + 型であり、アノード領域 17 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。アノード領域 17 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。

10

20

30

40

50

ド領域 17 は、ベース領域 14 と同一の深さ範囲に設けられてよい。アノード領域 17 は、ベース領域 14 と同一のドーピング濃度であってよく、ベース領域 14 よりもドーピング濃度が低くてもよい。

【0069】

トランジスタ部 70 のメサ部 60 は、半導体基板 10 の上面に露出したエミッタ領域 12 を有する。エミッタ領域 12 は、ゲートトレンチ部 40 に接して設けられている。ゲートトレンチ部 40 に接するメサ部 60 は、半導体基板 10 の上面に露出したコンタクト領域 15 が設けられていてよい。

【0070】

メサ部 60 におけるコンタクト領域 15 およびエミッタ領域 12 のそれぞれは、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。

10

【0071】

他の例においては、メサ部 60 のコンタクト領域 15 およびエミッタ領域 12 は、トレンチ部の延伸方向（Y 軸方向）に沿ってストライプ状に設けられていてもよい。例えばトレンチ部に接する領域にエミッタ領域 12 が設けられ、エミッタ領域 12 に挟まれた領域にコンタクト領域 15 が設けられる。

【0072】

ダイオード部 80 のメサ部 61 には、エミッタ領域 12 が設けられていない。メサ部 61 の上面には、ベース領域 14、アノード領域 17 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、アノード領域 17 が設けられてよい。アノード領域 17 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。

20

【0073】

境界部 72 のメサ部 62 の上面には、コンタクト領域 15 が設けられてよい。本例では、メサ部 61 の上面においてベース領域 14 - e に挟まれた領域の全体がコンタクト領域 15 である。

【0074】

境界部 72 のメサ部 63 には、エミッタ領域 12 が設けられていない。メサ部 63 の上面には、ベース領域 14、アノード領域 17 およびコンタクト領域 15 が設けられてよい。メサ部 63 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 63 の上面においてコンタクト領域 15 に挟まれた領域には、アノード領域 17 が設けられてよい。アノード領域 17 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。図 2 の例では、メサ部 61 およびメサ部 63 の構造は同一である。他の例では、メサ部 63 は、メサ部 61 とは異なる構造を有してもよい。

30

【0075】

それぞれのメサ部には、トレンチコンタクト部 55 が設けられている。トレンチコンタクト部 55 の上方の層間絶縁膜には、コンタクトホールが設けられる。トレンチコンタクト部 55 は、ベース領域 14 - e に挟まれた領域に配置されている。本例のトレンチコンタクト部 55 は、コンタクト領域 15、ベース領域 14、アノード領域 17 およびエミッタ領域 12 の各領域の上方に設けられる。トレンチコンタクト部 55 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ていない。トレンチコンタクト部 55 は、それぞれのメサ部の配列方向（X 軸方向）における中央に配置されてよい。

40

【0076】

ダイオード部 80 において、半導体基板 10 の下面と接する領域には、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。トランジスタ部 70 お

50

よび境界部 7 2 において、半導体基板 1 0 の下面と接する領域には、コレクタ領域 2 2 が設けられる。図 2 においては、カソード領域 8 2 およびコレクタ領域 2 2 の境界を点線で示している。

【 0 0 7 7 】

カソード領域 8 2 は、Y 軸方向においてウェル領域 1 1 から離れて配置されている。これにより、比較的ドーピング濃度が高く、且つ、深い位置まで形成されている P 型の領域（ウェル領域 1 1）と、カソード領域 8 2 との距離を確保して、耐圧を向上できる。本例のカソード領域 8 2 の Y 軸方向における端部は、トレンチコンタクト部 5 5 の Y 軸方向における端部よりも、ウェル領域 1 1 から離れて配置されている。他の例では、カソード領域 8 2 の Y 軸方向における端部は、ウェル領域 1 1 とトレンチコンタクト部 5 5 との間に配置されていてもよい。

10

【 0 0 7 8 】

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

【 0 0 7 9 】

層間絶縁膜 3 8 は、半導体基板 1 0 の上面に設けられている。層間絶縁膜 3 8 は、ホウ素またはリン等の不純物が添加されたシリケートガラス等の絶縁膜、熱酸化膜、および、その他の絶縁膜の少なくとも一層を含む膜である。層間絶縁膜 3 8 には、図 2 において説明したコンタクトホール 5 4 が設けられている。

20

【 0 0 8 0 】

エミッタ電極 5 2 は、層間絶縁膜 3 8 の上方に設けられる。エミッタ電極 5 2 は、層間絶縁膜 3 8 のコンタクトホール 5 4 を通って半導体基板 1 0 と接続する。コンタクトホール 5 4 の内部には、層間絶縁膜 3 8 の上方のエミッタ電極 5 2 と同一の導電材料が充填されてよく、異なる導電材料が充填されてもよい。コレクタ電極 2 4 は、半導体基板 1 0 の下面 2 3 に設けられる。エミッタ電極 5 2 およびコレクタ電極 2 4 は、アルミニウム等の金属材料で形成されている。コンタクトホール 5 4 の内部には、タングステン等が充填されてよい。本明細書において、エミッタ電極 5 2 とコレクタ電極 2 4 とを結ぶ方向（Z 軸方向）を深さ方向と称する。

30

【 0 0 8 1 】

半導体基板 1 0 は、N 型または N - 型のドリフト領域 1 8 を有する。ドリフト領域 1 8 は、トランジスタ部 7 0、境界部 7 2 およびダイオード部 8 0 のそれぞれに設けられている。

【 0 0 8 2 】

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

40

【 0 0 8 3 】

エミッタ領域 1 2 は半導体基板 1 0 の上面 2 1 に露出しており、且つ、ゲートトレンチ部 4 0 と接して設けられている。エミッタ領域 1 2 は、メサ部 6 0 の両側のトレンチ部と接してよい。エミッタ領域 1 2 は、ドリフト領域 1 8 よりもドーピング濃度が高い。

【 0 0 8 4 】

ベース領域 1 4 は、エミッタ領域 1 2 の下方に設けられている。本例のベース領域 1 4 は、エミッタ領域 1 2 と接して設けられている。ベース領域 1 4 は、メサ部 6 0 の両側のトレンチ部と接してよい。

【 0 0 8 5 】

蓄積領域 1 6 は、ベース領域 1 4 の下方に設けられている。蓄積領域 1 6 は、ドリフト

50

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

【0086】

メサ部 60 には、深さ方向において 2 つ以上の蓄積領域 16 が設けられてよい。それぞれの蓄積領域 16 は、深さ方向においてドーピング濃度のピークを有する。2 つの蓄積領域 16 の間には、深さ方向においてドーピング濃度の谷部を有する。つまりメサ部 60 は、ベース領域 14 からドリフト領域 18 に向かって、2 つ以上のドーピング濃度ピークを有してよい。蓄積領域 16 とベース領域 14 との間にドリフト領域 18 が設けられてよく、蓄積領域 16 とベース領域 14 とが接していてもよい。境界部 72 およびダイオード部 80 には、蓄積領域 16 が設けられてよく、設けられていなくてもよい。本例では、境界部 72 およびダイオード部 80 のいずれにも蓄積領域 16 は設けられていない。

10

【0087】

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 型のアノード領域 17 が設けられている。アノード領域 17 の下方には、ドリフト領域 18 が設けられている。なお本明細書で説明するいずれのメサ部 61 の構造においても、アノード領域 17 は、ベース領域 14 と同一のドーピング濃度を有してよく、ベース領域 14 よりも低いドーピング濃度を有してもよい。アノード領域 17 を低濃度化することで、メサ部 61 における正孔注入を抑制し、逆回復損失を低減できる。

20

【0088】

境界部 72 のメサ部 62 には、半導体基板 10 の上面 21 に接して、P + 型のコンタクト領域 15 が設けられている。コンタクト領域 15 とドリフト領域 18 の間にベース領域 14 またはアノード領域 17 が設けられてよく、コンタクト領域 15 とドリフト領域 18 とが接していてもよい。

【0089】

境界部 72 のメサ部 63 には、半導体基板 10 の上面 21 に接して P 型のアノード領域 17 が設けられている。アノード領域 17 の下方には、ドリフト領域 18 が設けられている。

30

【0090】

トランジスタ部 70、境界部 72 およびダイオード部 80 のそれぞれにおいて、ドリフト領域 18 の下には N + 型のバッファ領域 20 が設けられてよい。バッファ領域 20 のドーピング濃度は、ドリフト領域 18 のドーピング濃度よりも高い。バッファ領域 20 は、ドリフト領域 18 よりもドーピング濃度の高い濃度ピークを有してよい。濃度ピークのドーピング濃度とは、濃度ピークの頂点におけるドーピング濃度を指す。また、ドリフト領域 18 のドーピング濃度は、ドーピング濃度分布がほぼ平坦な領域におけるドーピング濃度の平均値を用いてよい。

【0091】

バッファ領域 20 は、半導体基板 10 の深さ方向 (Z 軸方向) において、2 つ以上の濃度ピークを有してよい。バッファ領域 20 の濃度ピークは、例えば水素 (プロトン) またはリンの化学濃度ピークと同一の深さ位置に設けられていてよい。バッファ領域 20 は、ベース領域 14 の下端から広がる空乏層が、P + 型のコレクタ領域 22 および N + 型のカソード領域 82 に到達することを防ぐフィールドストップ層として機能してよい。

40

【0092】

トランジスタ部 70 および境界部 72 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 のドーピング濃度は、ベース領域 14 のドーピング濃度より高い。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。

50

## 【 0 0 9 3 】

ダイオード部 8 0 において、バッファ領域 2 0 の下には、N + 型のカソード領域 8 2 が設けられる。カソード領域 8 2 のドーピング濃度は、ドリフト領域 1 8 のドーピング濃度より高い。カソード領域 8 2 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 2 2 およびカソード領域 8 2 は、半導体基板 1 0 の下面 2 3 に露出しており、コレクタ電極 2 4 と接続している。コレクタ電極 2 4 は、半導体基板 1 0 の下面 2 3 全体と接触してよい。エミッタ電極 5 2 およびコレクタ電極 2 4 は、アルミニウム等の金属材料で形成される。なおダイオード部 8 0 において、カソード領域 8 2 の一部分を P 型の領域に置き換えてもよい。当該 P 型領域は、カソード領域 8 2 に挟まれて配置されている。当該 P 型領域は、Y 軸方向においてカソード領域 8 2 に挟まれていてよい。

10

## 【 0 0 9 4 】

半導体基板 1 0 の上面 2 1 側には、1 以上のゲートトレンチ部 4 0、および、1 以上のダミートレンチ部 3 0 が設けられる。各トレンチ部は、半導体基板 1 0 の上面 2 1 から、ベース領域 1 4 を貫通して、ベース領域 1 4 の下方まで設けられている。エミッタ領域 1 2、コンタクト領域 1 5 および蓄積領域 1 6 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。

20

## 【 0 0 9 5 】

上述したように、トランジスタ部 7 0 には、ゲートトレンチ部 4 0 およびダミートレンチ部 3 0 が設けられている。境界部 7 2 には、ダミートレンチ部 3 0 が設けられている。境界部 7 2 には、ゲートトレンチ部 4 0 が更に設けられていてもよい。ダイオード部 8 0 には、ダミートレンチ部 3 0 が設けられ、ゲートトレンチ部 4 0 が設けられていない。

## 【 0 0 9 6 】

なお、コレクタ領域 2 2 およびカソード領域 8 2 との境界を、境界部 7 2 とダイオード部 8 0 との X 軸方向における境界としてよい。境界部 7 2 が設けられていない場合、コレクタ領域 2 2 およびカソード領域 8 2 との境界を、トランジスタ部 7 0 とダイオード部 8 0 との X 軸方向における境界としてよい。また、エミッタ領域 1 2 と接触するトレンチ部のうち、最もダイオード部 8 0 に近いトレンチ部を、トランジスタ部 7 0 と境界部 7 2 との境界としてよい。

30

## 【 0 0 9 7 】

ゲートトレンチ部 4 0 は、半導体基板 1 0 の上面 2 1 に設けられたゲートトレンチ、ゲート絶縁膜 4 2 およびゲート導電部 4 4 を有する。ゲート絶縁膜 4 2 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 4 2 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 4 4 は、ゲートトレンチの内部においてゲート絶縁膜 4 2 よりも内側に設けられる。つまりゲート絶縁膜 4 2 は、ゲート導電部 4 4 と半導体基板 1 0 とを絶縁する。ゲート導電部 4 4 は、ポリシリコン等の導電材料で形成される。

40

## 【 0 0 9 8 】

ゲート導電部 4 4 は、深さ方向において、ベース領域 1 4 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 4 0 は、半導体基板 1 0 の上面 2 1 において層間絶縁膜 3 8 により覆われる。ゲート導電部 4 4 は、ゲート配線に電氣的に接続されている。ゲート導電部 4 4 に所定のゲート電圧が印加されると、ベース領域 1 4 のうちゲートトレンチ部 4 0 に接する界面の表層に電子の反転層によるチャンネルが形成される。

## 【 0 0 9 9 】

ダミートレンチ部 3 0 は、当該断面において、ゲートトレンチ部 4 0 と同一の構造を有してよい。ダミートレンチ部 3 0 は、半導体基板 1 0 の上面 2 1 に設けられたダミートレンチ、ダミー絶縁膜 3 2 およびダミー導電部 3 4 を有する。ダミー導電部 3 4 は、エミッ

50

タ電極 5 2 に電氣的に接続されている。ダミー絶縁膜 3 2 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 3 4 は、ダミートレンチの内部に設けられ、且つ、ダミー絶縁膜 3 2 よりも内側に設けられる。ダミー絶縁膜 3 2 は、ダミー導電部 3 4 と半導体基板 1 0 とを絶縁する。ダミー導電部 3 4 は、ゲート導電部 4 4 と同一の材料で形成されてよい。例えばダミー導電部 3 4 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 3 4 は、深さ方向においてゲート導電部 4 4 と同一の長さを有してよい。

【 0 1 0 0 】

本例のゲートトレンチ部 4 0 およびダミートレンチ部 3 0 は、半導体基板 1 0 の上面 2 1 において層間絶縁膜 3 8 により覆われている。なお、ダミートレンチ部 3 0 およびゲートトレンチ部 4 0 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。

10

【 0 1 0 1 】

トランジスタ部 7 0 の少なくとも一つのメサ部 6 0 には、トレンチコンタクト部 5 5 および第 2 導電型の第 1 底部領域 2 0 1 が設けられている。全てのメサ部 6 0 にトレンチコンタクト部 5 5 および第 1 底部領域 2 0 1 が設けられてよい。図 3 A に示す断面においてトレンチコンタクト部 5 5 は、半導体基板 1 0 の上面 2 1 から下面 2 3 に向かって、深さ方向に設けられている。本例のトレンチコンタクト部 5 5 は、エミッタ領域 1 2 の下端よりも浅く形成されている。他の例のトレンチコンタクト部 5 5 は、エミッタ領域 1 2 の下端と同一の深さまで設けられてよく、エミッタ領域 1 2 の下端より深く形成されてもよい。

【 0 1 0 2 】

トレンチコンタクト部 5 5 には、タングステン等の金属によるプラグ 5 6 が埋め込まれてよい。トレンチコンタクト部 5 5 にプラグ 5 6 が埋め込まれている場合に、プラグ 5 6 の上面 5 8 を、トレンチコンタクト部 5 5 の上面 5 8 としてよい。プラグ 5 6 の上面 5 8 は、半導体基板 1 0 の上面 2 1 よりもエミッタ電極 5 2 側（つまり上側）に位置してよい。プラグ 5 6 の上面 5 8 が上面 2 1 よりもエミッタ電極 5 2 側に位置する場合に、トレンチコンタクト部 5 5 は、プラグ 5 6 の上面 5 8 から、半導体基板 1 0 の上面 2 1 よりも下面 2 3 側まで設けられてよい。すなわち、トレンチコンタクト部 5 5 の上面 5 8 は、層間絶縁膜 3 8 の上面よりも上面 2 1 側に位置してよく、上面 2 1 よりもエミッタ電極 5 2 側に位置してよい。あるいは、トレンチコンタクト部 5 5 の上面 5 8 は、層間絶縁膜 3 8 の上面と同じ深さ位置まで設けられてよい。

20

【 0 1 0 3 】

本例の第 1 底部領域 2 0 1 は、ベース領域 1 4 よりもドーピング濃度が高い P + 型の領域である。第 1 底部領域 2 0 1 は、トレンチコンタクト部 5 5 の底部と接して設けられている。第 1 底部領域 2 0 1 は、ベース領域 1 4 と接続する。第 1 底部領域 2 0 1 の少なくとも一部の領域は、エミッタ領域 1 2 よりも下方に設けられている。第 1 底部領域 2 0 1 は、トレンチコンタクト部 5 5 に沿って、Y 軸方向に延伸して設けられている。第 1 底部領域 2 0 1 は、図 2 に示したコンタクト領域 1 5 と接続している。本例によれば、トランジスタ部 7 0 がターンオフしたときに下面 2 3 側からエミッタ領域 1 2 に向かう正孔を、第 1 底部領域 2 0 1 を介してコンタクト領域 1 5 またはトレンチコンタクト部 5 5 に流すことができる。これにより正孔が通過する経路の抵抗を下げることができ、ラッチアップを抑制できる。

30

40

【 0 1 0 4 】

ダイオード部 8 0 の少なくとも一つのメサ部 6 1 には、トレンチコンタクト部 5 5 および第 2 導電型の第 2 底部領域 2 0 2 が設けられている。全てのメサ部 6 1 にトレンチコンタクト部 5 5 および第 2 底部領域 2 0 2 が設けられてよい。ダイオード部 8 0 のトレンチコンタクト部 5 5 は、トランジスタ部 7 0 のトレンチコンタクト部 5 5 と同一の構造を有してよい。ダイオード部 8 0 のトレンチコンタクト部 5 5 の下端は、アノード領域 1 7 の内部に配置されてよい。

【 0 1 0 5 】

本例の第 2 底部領域 2 0 2 は、アノード領域 1 7 およびベース領域 1 4 よりもドーピング濃度が高い P + 型の領域である。第 2 底部領域 2 0 2 は、トレンチコンタクト部 5 5 の

50

底部と接して設けられている。第2底部領域202は、アノード領域17の内部に設けられてよい。つまり第2底部領域202は、ドリフト領域18と接していなくてよい。第2底部領域202は、トレンチコンタクト部55に沿って、Y軸方向に延伸して設けられている。第2底部領域202を設けることで、エミッタ電極52と半導体基板10との接触抵抗を低減できる。

【0106】

なお、第1底部領域201のY軸方向の長さは、第2底部領域202のY軸方向の長さよりも大きい。第2底部領域202を小さくすることで、メサ部61において上面21側からの正孔の注入量を低減できる。このため、ダイオード部80の逆回復時間を短くし、逆回復損失を低減できる。

10

【0107】

境界部72のメサ部62には、トレンチコンタクト部55が設けられている。境界部72のメサ部62は、境界部72において最もトランジスタ部70側に設けられてよい。メサ部62のトレンチコンタクト部55は、トランジスタ部70のトレンチコンタクト部55と同一の構造を有してよい。メサ部62のトレンチコンタクト部55の下端は、コンタクト領域15の内部に配置される。メサ部62のトレンチコンタクト部55の下端には、コンタクト領域15よりもドーピング濃度の高いP型の底部領域が設けられていない。他の例では、メサ部62のトレンチコンタクト部55の下端に、コンタクト領域15よりもドーピング濃度の高いP型の底部領域204が設けられてもよい。図3Aにおいては、底部領域204が設けられた場合の位置を点線で示す。コンタクト領域15のドーピング濃度は、メサ部62における上面21でのドーピング濃度を用いてよい。

20

【0108】

境界部72のメサ部63には、トレンチコンタクト部55および第2導電型の第3底部領域203が設けられている。境界部72のメサ部63は、境界部72のメサ部62よりもダイオード部80側に設けられてよい。全てのメサ部63にトレンチコンタクト部55および第3底部領域203が設けられてよい。メサ部63のトレンチコンタクト部55は、トランジスタ部70のトレンチコンタクト部55と同一の構造を有してよい。メサ部63のトレンチコンタクト部55の下端は、アノード領域17の内部に配置されてよい。

【0109】

本例の第3底部領域203は、アノード領域17およびベース領域14よりもドーピング濃度が高いP+型の領域である。第3底部領域203は、トレンチコンタクト部55の底部と接して設けられている。第3底部領域203は、アノード領域17の内部に設けられてよい。つまり第3底部領域203は、ドリフト領域18と接していなくてよい。第3底部領域203は、トレンチコンタクト部55に沿って、Y軸方向に延伸して設けられている。第3底部領域203を設けることで、エミッタ電極52と半導体基板10との接触抵抗を低減できる。

30

【0110】

なお、第1底部領域201のY軸方向の長さは、第3底部領域203のY軸方向の長さよりも大きい。第3底部領域203を小さくすることで、ダイオード部80の近傍に配置されたメサ部63において上面21側からの正孔の注入量を低減できる。このため、ダイオード部80の逆回復時間を短くし、逆回復損失を低減できる。第3底部領域203のドーピング濃度、領域の大きさ、形状およびY軸上における位置は、第2底部領域202と同一であってよい。

40

【0111】

図3A等においては、境界部72はメサ部62およびメサ部63を一つずつ有している。他の例では、境界部72はメサ部62とダイオード部80との間に、複数のメサ部63を有してよい。また境界部72は、メサ部63とトランジスタ部70との間に、複数のメサ部62を有してよい。境界部72を設けることで、トランジスタ部70とダイオード部80との距離を確保して、例えばメサ部60とカソード領域82との間で電流が流れることを抑制できる。

50

## 【 0 1 1 2 】

図 3 B は、e - e 断面の他の例を示す図である。本例においては、トレンチコンタクト部 5 5 が図 3 A の例よりも深くまで形成されている。他の構造は図 3 A に示した半導体装置 1 0 0 と同様であってよい。

## 【 0 1 1 3 】

メサ部 6 0 において、トレンチコンタクト部 5 5 は、エミッタ領域 1 2 よりも深くまで形成されている。つまりトレンチコンタクト部 5 5 はエミッタ領域 1 2 を貫通しており、トレンチコンタクト部 5 5 の下端は、エミッタ領域 1 2 の下端よりも下方に配置されている。メサ部 6 0 のトレンチコンタクト部 5 5 の下端は、ベース領域 1 4 と同じ深さに配置されてよい。

10

## 【 0 1 1 4 】

他のメサ部のトレンチコンタクト部 5 5 も、メサ部 6 0 と同一の構造を有してよい。この場合、メサ部 6 1 のトレンチコンタクト部 5 5 の下端は、アノード領域 1 7 と同じ深さに配置されてよい。メサ部 6 2 のトレンチコンタクト部 5 5 の下端は、コンタクト領域 1 5 と同じ深さに配置されてよく、コンタクト領域 1 5 の下のベース領域 1 4 と同じ深さに配置されてもよい。メサ部 6 3 のトレンチコンタクト部 5 5 の下端は、アノード領域 1 7 と同じ深さに配置されてよい。

## 【 0 1 1 5 】

また、他のメサ部のトレンチコンタクト部 5 5 は、図 3 A に示した構造を有してもよい。つまり、他のメサ部のトレンチコンタクト部 5 5 は、メサ部 6 0 のトレンチコンタクト部 5 5 よりも浅く形成されてもよい。

20

## 【 0 1 1 6 】

図 3 A の例と同様に、それぞれのトレンチコンタクト部 5 5 の底部には、底部領域 ( 2 0 1、2 0 2、2 0 3 または 2 0 4 ) が形成されてよい。底部領域 2 0 1 は、エミッタ領域 1 2 と離れていてよく、エミッタ領域 1 2 と接していてもよい。底部領域 2 0 1 の下端は、ベース領域 1 4 と同じ深さに配置されてよい。底部領域 2 0 2 および底部領域 2 0 3 の下端は、アノード領域 1 7 と同じ深さに配置されてよい。底部領域 2 0 4 の下端は、コンタクト領域 1 5 と同じ深さに配置されてよく、ベース領域 1 4 と同じ深さに配置されてもよい。

## 【 0 1 1 7 】

図 4 A は、トランジスタ部 7 0 のメサ部 6 0 の一例を示す斜視断面図である。図 4 A に示すメサ部 6 0 を、メサ部 6 0 - 1 と称する場合がある。図 4 A は、メサ部 6 0 - 1 の X Z 断面および上面 ( X Y 面 ) と、トレンチ部の側面 ( Y Z 面 ) を示している。

30

## 【 0 1 1 8 】

X Z 断面におけるメサ部 6 0 - 1 の構造は、図 3 A に示したメサ部 6 0 と同様である。上面におけるメサ部 6 0 - 1 の構造は、図 2 に示したメサ部 6 0 と同様である。メサ部 6 0 - 1 の上面には、エミッタ領域 1 2 およびコンタクト領域 1 5 が Y 軸方向に沿って交互に配置されている。また、メサ部 6 0 - 1 の X 軸方向の中央には、トレンチコンタクト部 5 5 が設けられている。なお図 4 A では、トレンチコンタクト部 5 5 の内部の金属を省略して、トレンチコンタクト部 5 5 の溝構造を示している。

40

## 【 0 1 1 9 】

上述したように、第 1 底部領域 2 0 1 は、トレンチコンタクト部 5 5 の底面に沿って Y 軸方向に延伸して設けられている。図 4 A においては、第 1 底部領域 2 0 1 に斜線のハッチングを付している。第 1 底部領域 2 0 1 の Y 軸方向における長さ L 1 は、トレンチコンタクト部 5 5 の Y 軸方向における長さと同じであってよい。第 1 底部領域 2 0 1 の長さ L 1 は、Y 軸方向に沿って連続して設けられた第 1 底部領域 2 0 1 の長さである。

## 【 0 1 2 0 】

第 1 底部領域 2 0 1 は、トレンチコンタクト部 5 5 の溝構造を形成した後に、当該溝構造からアクセプタイオンを注入し、半導体基板 1 0 を熱処理することで形成してよい。熱処理によりアクセプタイオンが拡散するので、第 1 底部領域 2 0 1 の長さ L 1 は、トレン

50

チコンタクト部 55 の Y 軸方向における長さよりわずかに大きくてもよい。長さ L1 と、トレンチコンタクト部 55 の長さの差は 10 μm 以下であってよく、5 μm 以下であってよい。なお長さ L1 は、トレンチコンタクト部 55 の長さより小さくてもよい。コンタクトホール 54 の溝構造の一部、またはトレンチコンタクト部 55 の溝構造の一部をマスクしてアクセプタイオンを注入することで、トレンチコンタクト部 55 よりも短い第 1 底部領域 201 を形成できる。

【0121】

第 1 底部領域 201 の長さ L1 は、最も近くに配置されたトレンチ部（ゲートトレンチ部 40 またはダミートレンチ部 30）の Y 軸方向の長さより小さくてもよい。第 1 底部領域 201 は、図 2 に示したウェル領域 11 とは離れていてよい。

10

【0122】

第 1 底部領域 201 の X 軸方向の幅は、トレンチコンタクト部 55 の底面の幅と同一であってよく、トレンチコンタクト部 55 の底面の幅よりも大きくてもよい。トレンチコンタクト部 55 の底面とは、トレンチコンタクト部 55 のうち最も下面 23 側に形成された面であってよい。本例の第 1 底部領域 201 の X 軸方向の幅は、トレンチコンタクト部 55 の底面の幅よりも大きい。第 1 底部領域 201 の X 軸方向の幅は、メサ部 60 の X 軸方向の幅よりも小さい。第 1 底部領域 201 は、トレンチ部とは離れて設けられる。

【0123】

第 1 底部領域 201 は、トレンチコンタクト部 55 の底面の全体に露出してよい。第 1 底部領域 201 は、トレンチコンタクト部 55 の溝構造の側面の一部にも露出してよい。

20

【0124】

図 4 B は、トランジスタ部 70 のメサ部 60 - 1 の他の例を示す斜視断面図である。本例の XZ 断面におけるメサ部 60 - 1 の構造は、図 3 B に示したメサ部 60 と同様である。上面におけるメサ部 60 - 1 の構造は、図 2 に示したメサ部 60 と同様である。つまり本例のメサ部 60 - 1 は、トレンチコンタクト部 55 がエミッタ領域 12 を貫通している点で、図 4 A に示したメサ部 60 - 1 と相違する。トレンチコンタクト部 55 が深く形成されることに伴い、底部領域 201 も図 4 A の例よりも深い位置に設けられている。他の構造は、図 4 A の例と同様である。

【0125】

図 5 は、ダイオード部 80 のメサ部 61 の一例を示す斜視断面図である。図 5 に示すメサ部 61 を、メサ部 61 - 1 と称する場合がある。図 5 は、メサ部 61 - 1 の XZ 断面および上面（XY 面）と、トレンチ部の側面（YZ 面）を示している。

30

【0126】

XZ 断面におけるメサ部 61 - 1 の構造は、図 3 A に示したメサ部 61 と同様である。上面におけるメサ部 61 - 1 の構造は、図 2 に示したメサ部 61 と同様である。メサ部 61 - 1 の上面には、アノード領域 17 およびトレンチコンタクト部 55 が配置されている。トレンチコンタクト部 55 の構造は、図 4 A のトレンチコンタクト部 55 と同様である。

【0127】

上述したように、第 2 底部領域 202 は、トレンチコンタクト部 55 の底面に露出している。第 2 底部領域 202 は、トレンチコンタクト部 55 の溝構造の側面の一部にも露出してよい。図 5 においては、第 2 底部領域 202 に斜線のハッチングを付している。第 2 底部領域 202 の Y 軸方向における長さ L2 は、トレンチコンタクト部 55 の Y 軸方向における長さより小さい。本例のメサ部 61 - 1 においては、複数の第 2 底部領域 202 が Y 軸方向に沿って離散的に配置されている。複数の第 2 底部領域 202 は、Y 軸方向において一定の間隔で配置されてよい。第 2 底部領域 202 の長さ L2 は、Y 軸方向に沿って連続して設けられた一つの第 2 底部領域 202 の長さである。メサ部 61 - 1 のトレンチコンタクト部 55 は、図 4 B に示したトレンチコンタクト部 55 と同様に、より深くまで形成されてもよい。

40

【0128】

図 4 A または図 4 B に示した第 1 底部領域 201 の長さ L1 は、第 2 底部領域 202 の

50

長さL2よりも大きい。これにより、トランジスタ部70においてはラッチアップを抑制しつつ、ダイオード部80における正孔の注入を抑制できる。また、ダイオード部80に第2底部領域202を設けることで、ダイオード部80におけるエミッタ電極52とアノード領域17との間のコンタクト性を向上できる。

【0129】

長さL1は、長さL2の2倍以上であってよく、5倍以上であってよく、10倍以上であってよい。一つのメサ部60における1つ以上の第1底部領域201の長さL1の総和(第1の総和と称する)は、一つのメサ部61における複数の第2底部領域202の長さL2の総和(第2の総和と称する)より大きい。第1の総和は、第2の総和の1.5倍以上であってよく、2倍以上であってよく、3倍以上であってよい。一つのメサ部60における1つ以上の第1底部領域201の上面視における総面積(第1の総面積)は、一つのメサ部61における複数の第2底部領域202の上面視における総面積(第2の総面積と称する)より大きい。第1の総面積は、第2の総面積の1.5倍以上であってよく、2倍以上であってよく、3倍以上であってよい。

10

【0130】

第2底部領域202は、第1底部領域201と同様の方法で形成してよい。ただし第2底部領域202を形成する場合、トレンチコンタクト部55に対して選択的にアクセプタイオンを注入する。第2底部領域202は、図2に示したウェル領域11とは離れていてよい。

【0131】

第2底部領域202のX軸方向の幅は、トレンチコンタクト部55の幅と同一であってよく、トレンチコンタクト部55の幅よりも大きくてもよい。第2底部領域202のX軸方向の幅は、メサ部61のX軸方向の幅よりも小さい。第2底部領域202は、トレンチ部とは離れて設けられる。

20

【0132】

第2底部領域202のX軸方向の幅は、第1底部領域201のX軸方向の幅と同一であってよく、異なっていてよい。第2底部領域202のX軸方向の幅は、第1底部領域201のX軸方向の幅より小さくてよい。この場合、ダイオード部80における正孔注入を更に抑制できる。

【0133】

第2底部領域202のドーピング濃度は、第1底部領域201のドーピング濃度と同一であってよく、異なっていてよい。第2底部領域202のドーピング濃度は、第1底部領域201のドーピング濃度より低くてよい。この場合、ダイオード部80における正孔注入を更に抑制できる。

30

【0134】

なお、境界部72のメサ部63は、ダイオード部80のメサ部61と同一の構造を有してよい。例えばメサ部63は、メサ部61における第2底部領域202に代えて、第3底部領域203を有する。他の構造は、メサ部61と同様である。

【0135】

第3底部領域203の形状、大きさおよび配置は、第2底部領域202と同一であってよい。つまり第1底部領域201のY軸方向における長さL1は、第3底部領域203のY軸延伸方向における長さよりも大きい。また、第2底部領域202のY軸方向における長さL2は、第3底部領域203のY軸方向における長さと同じであってよい。他の例では、第2底部領域202は、第3底部領域203より長くてよく、短くてよい。第3底部領域203のドーピング濃度は、第2底部領域202のドーピング濃度と同一であってよく、異なっていてよい。

40

【0136】

また、少なくとも一つのメサ部63には、第3底部領域203が設けられていなくてもよい。例えばダイオード部80に最も近いメサ部63には、第3底部領域203が設けられていなくてもよい。メサ部63の下方にはカソード領域82が設けられておらずダイオ

50

ード部 80 として機能しないので、メサ部 63 とエミッタ電極 52 とのコンタクト性は低くてもよい。また、第 3 底部領域 203 を省略することで、ダイオード部 80 の近傍における正孔注入量を抑制できる。

【0137】

図 6 は、境界部 72 のメサ部 62 の一例を示す斜視断面図である。図 6 は、メサ部 62 の XZ 断面および上面 (XY 面) と、トレンチ部の側面 (YZ 面) を示している。XZ 断面におけるメサ部 62 の構造は、図 3A に示したメサ部 62 と同様である。上面におけるメサ部 62 の構造は、図 2 に示したメサ部 62 と同様である。メサ部 62 の上面には、コンタクト領域 15 およびトレンチコンタクト部 55 が配置されている。トレンチコンタクト部 55 の構造は、図 4A のトレンチコンタクト部 55 と同様である。メサ部 62 のトレンチコンタクト部 55 の底面および側面には、コンタクト領域 15 が露出している。メサ部 62 のトレンチコンタクト部 55 の底面に底部領域 204 が設けられる場合には、メサ部 62 のトレンチコンタクト部 55 の底面および側面には底部領域 204 が露出する。メサ部 62 のトレンチコンタクト部 55 は、図 4B に示したトレンチコンタクト部 55 と同様に、より深くまで形成されてもよい。

10

【0138】

図 7A は、図 3A に示した a-a 線における YZ 断面の一例を示す。図 7A は、トランジスタ部 70 のメサ部 60 の断面を示す。当該断面は、トレンチコンタクト部 55 を通過する。図 7A では、当該断面に投影したエミッタ領域 12 およびコンタクト領域 15 を破線で示している。

20

【0139】

コンタクト領域 15 およびエミッタ領域 12 は、Y 軸方向において交互に配置される。コンタクト領域 15 およびエミッタ領域 12 は、半導体基板 10 の上面 21 から所定の深さまで形成されている。コンタクト領域 15 は、エミッタ領域 12 よりも下方まで形成されてよい。

【0140】

第 1 底部領域 201 は、Y 軸方向において離れて配置された 2 つのコンタクト領域 15 を接続する。第 1 底部領域 201 は、当該メサ部 60 に設けられた全てのコンタクト領域 15 を接続してよい。

【0141】

半導体装置 100 の製造方法の一例として、半導体基板 10 の上面 21 にエミッタ領域 12 およびコンタクト領域 15 を形成してから、トレンチコンタクト部 55 の溝構造を形成してよい。溝構造を形成する場合、エミッタ領域 12 およびコンタクト領域 15 の一部分が除去される。溝構造は、コンタクト領域 15 の下端よりも浅く形成されることが好ましい。つまり溝構造の下方には、コンタクト領域 15 が残存している。溝構造は、エミッタ領域 12 の下端よりも浅く形成されてよく、エミッタ領域 12 の下端よりも深く形成されてもよい。図 7A の例では、トレンチコンタクト部 55 の溝構造は、エミッタ領域 12 の下端よりも浅い。つまり溝構造の底面 210 の下方には、エミッタ領域 12 が残存している。

30

【0142】

次に当該溝構造の底面 210 からアクセプタイオンを注入して第 1 底部領域 201 を形成する。このとき、底面 210 の下方のエミッタ領域 12 を P 型の領域に反転できるドーピング濃度でアクセプタイオンを注入する。図 7A において破線で示されたエミッタ領域 12 の底部は、アクセプタイオンを注入する前のエミッタ領域 12 の底部に相当する。コンタクト領域 15 が形成されている領域にもアクセプタイオンを注入してよい。つまり第 1 底部領域 201 は、コンタクト領域 15 と重なって形成されてよい。第 1 底部領域 201 とコンタクト領域 15 とが重なる部分は、それぞれの領域のドーピング濃度が重畳されるので、元のコンタクト領域 15 のドーピング濃度よりも高くなる。本明細書では、コンタクト領域 15 と第 1 底部領域 201 とが重なっている部分も第 1 底部領域 201 とする。第 1 底部領域 201 は、Y 軸方向に沿って、ドーピング濃度が比較的の高い部分と、ドーピング濃度が比較的の低い部分とが交互に配置されてよい。本例の第 1 底部領域 201 では、

40

50

コンタクト領域 15 と重なる部分のドーピング濃度は、エミッタ領域 12 と重なる部分のドーピング濃度よりも高くなる。

【0143】

第1底部領域 201 は、エミッタ領域 12 よりも深い位置に形成された部分を有してよい。第1底部領域 201 は、少なくとも一部分が、コンタクト領域 15 の下端 19 よりも上面 21 側に設けられている。図7Aの例では、第1底部領域 201 の全体が、コンタクト領域 15 の下端 19 よりも上方に配置されている。コンタクト領域 15 を下方に突出させることで、エミッタ領域 12 に引き寄せられた正孔をコンタクト領域 15 を介して引き抜きやすくなる。

【0144】

本例によれば、ドリフト領域 18 からエミッタ領域 12 に向かう正孔キャリアを、第1底部領域 201 を介してコンタクト領域 15 またはトレンチコンタクト部 55 に流すことができる。このため、トランジスタ部 70 のラッチアップを抑制できる。

【0145】

図7Bは、図3Aに示した a - a 線における YZ 断面の他の例を示す。本例のメサ部 60 - 1 は、トレンチコンタクト部 55 がエミッタ領域 12 を貫通している点で、図7Aに示したメサ部 60 - 1 と相違する。つまり、トレンチコンタクト部 55 の底面 210 は、エミッタ領域 12 の下端よりも深く形成されている。トレンチコンタクト部 55 が深く形成されるに伴い、底部領域 201 も図7Aの例よりも深い位置に設けられている。他の構造は、図7Aの例と同様である。本例の底部領域 201 も、Y 軸方向において隣り合う2つのコンタクト領域 15 を接続する。底部領域 201 は、Z 軸方向においてエミッタ領域 12 と離れていてよく、接触していてもよい。

【0146】

図8は、図3Aに示した b - b 線における YZ 断面の一例を示す。図8は、ダイオード部 80 のメサ部 61 の断面を示す。当該断面は、トレンチコンタクト部 55 を通過する。図8では、当該断面に投影したアノード領域 17 を破線で示している。

【0147】

第2底部領域 202 は、Y 軸方向に沿って離散的に配置されている。第2底部領域 202 は、トレンチコンタクト部 55 の底面 210 から、所定の深さまで形成されている。第2底部領域 202 は、アノード領域 17 の下端よりも浅く形成されてよい。

【0148】

半導体装置 100 の製造方法の一例として、半導体基板 10 の上面 21 にアノード領域 17 を形成してから、トレンチコンタクト部 55 の溝構造を形成してよい。次に当該溝構造の底面 210 からアクセプタイオンを注入して第2底部領域 202 を形成する。第1底部領域 201 および第2底部領域 202 は、同一の工程で形成されてよい。第1底部領域 201 および第2底部領域 202 の単位面積あたりのドーズ量は同一であってよい。

【0149】

本例によれば、エミッタ電極 52 とアノード領域 17 とのコンタクト性を確保しつつ、第2底部領域 202 からの正孔注入を抑制できる。これによりダイオード部 80 の逆回復損失を低減できる。メサ部 61 のトレンチコンタクト部 55 は、図7Bに示したトレンチコンタクト部 55 と同様に、より深くまで形成されてもよい。

【0150】

図9は、図3Aに示した c - c 線における YZ 断面の一例を示す。図9は、境界部 72 のメサ部 62 の断面を示す。当該断面は、トレンチコンタクト部 55 を通過する。図9では、当該断面に投影したコンタクト領域 15 を破線で示している。上述したように、メサ部 62 においては、トレンチコンタクト部 55 の底部には、コンタクト領域 15 よりも高濃度の底部領域が形成されていない。なお、メサ部 62 のトレンチコンタクト部 55 の底面に底部領域 204 が設けられる場合について、底部領域 204 を点線で示している。メサ部 62 のトレンチコンタクト部 55 は、図7Bに示したトレンチコンタクト部 55 と同様に、より深くまで形成されてもよい。

10

20

30

40

50

## 【 0 1 5 1 】

図 1 0 A は、メサ部 6 0 のトレンチコンタクト部 5 5 の近傍における X Z 断面を示す。図 1 0 A においては、トレンチコンタクト部 5 5 の内部の導電材料を省略し、溝構造を示している。

## 【 0 1 5 2 】

トレンチコンタクト部 5 5 の下端（底面 2 1 0）は、エミッタ領域 1 2 の下端 2 5 よりも半導体基板 1 0 の上面 2 1 側に配置されてよい。他の例では、トレンチコンタクト部 5 5 の底面 2 1 0 はエミッタ領域 1 2 の下端 2 5 と同一の深さ位置であってよく、下端 2 5 よりも下面 2 3 側に配置されてもよい。

## 【 0 1 5 3 】

第 1 底部領域 2 0 1 の下端 2 7 は、エミッタ領域 1 2 の下端 2 5 よりも下面 2 3 側に配置されている。第 1 底部領域 2 0 1 の下端 2 7 は、ベース領域 1 4 の内部に配置されてよい。第 1 底部領域 2 0 1 は、トレンチコンタクト部 5 5 の底面 2 1 0 よりも上面 2 1 側に配置された部分 2 2 0 を有してよい。

## 【 0 1 5 4 】

図 1 0 B は、メサ部 6 0 のトレンチコンタクト部 5 5 の近傍における X Z 断面の他の例を示す。本例のメサ部 6 0 は、トレンチコンタクト部 5 5 がエミッタ領域 1 2 を貫通している点で、図 1 0 A に示したメサ部 6 0 と相違する。つまり、トレンチコンタクト部 5 5 の底面 2 1 0 は、エミッタ領域 1 2 の下端 2 5 よりも深く形成されている。トレンチコンタクト部 5 5 が深く形成されることに伴い、底部領域 2 0 1 も図 1 0 A の例よりも深い位置に設けられている。他の構造は、図 1 0 A の例と同様である。底部領域 2 0 1 は、Z 軸方向においてエミッタ領域 1 2 と離れていてよく、接触していてもよい。

## 【 0 1 5 5 】

図 1 1 は、トランジスタ部 7 0 のメサ部 6 0 の他の例を示す図である。図 1 1 に示すメサ部 6 0 をメサ部 6 0 - 2 と称する。本例のメサ部 6 0 - 2 は、第 1 底部領域 2 0 1 の構造がメサ部 6 0 - 1 と相違する。他の点は、メサ部 6 0 - 1 と同様である。

## 【 0 1 5 6 】

メサ部 6 0 - 2 は、Y 軸方向に沿って離散的に配置された複数の第 1 底部領域 2 0 1 を有する。本例の第 1 底部領域 2 0 1 は、Y 軸方向において隣り合う 2 つのコンタクト領域 1 5 の間に配置されてよい。トレンチコンタクト部 5 5 の底面において隣り合う 2 つの第 1 底部領域 2 0 1 の間には、コンタクト領域 1 5 が露出してよい。メサ部 6 0 - 2 のトレンチコンタクト部 5 5 は、図 4 B に示したトレンチコンタクト部 5 5 と同様に、エミッタ領域 1 2 を貫通していてもよい。

## 【 0 1 5 7 】

図 1 2 は、メサ部 6 0 - 2 の Y Z 断面を示す図である。本例の第 1 底部領域 2 0 1 は、Y 軸方向において隣り合う 2 つのコンタクト領域 1 5 を接続している。第 1 底部領域 2 0 1 は、コンタクト領域 1 5 と重なる部分を有してよく、有していなくてもよい。メサ部 6 0 - 2 のトレンチコンタクト部 5 5 は、図 7 B に示したトレンチコンタクト部 5 5 と同様に、エミッタ領域 1 2 を貫通していてもよい。

## 【 0 1 5 8 】

図 1 3 は、図 7 A の f - f 線におけるドーピング濃度分布の一例を示す図である。f - f 線は、メサ部 6 0 - 1 のコンタクト領域 1 5 および第 1 底部領域 2 0 1 を通過する線である。半導体基板 1 0 の上面 2 1 の深さ方向における位置を Z 2 1、トレンチコンタクト部 5 5 の底面 2 1 0 の深さ方向における位置を Z 2 1 0 とする。図 1 3 において上面 2 1 の位置 Z 2 1 から位置 Z 2 1 0 までにおいては、図 7 A の断面に投影したコンタクト領域 1 5 のドーピング濃度分布を示している。図 1 3 において位置 Z 2 1 0 より深い位置のドーピング濃度分布は、トレンチコンタクト部 5 5 の下方の分布である。

## 【 0 1 5 9 】

第 1 底部領域 2 0 1 のドーピング濃度  $D_1$  ( $/\text{cm}^3$ ) は、コンタクト領域 1 5 のドーピング濃度  $D_2$  ( $/\text{cm}^3$ ) よりも高くてもよい。第 1 底部領域 2 0 1 のドーピング濃度  $D$

10

20

30

40

50

1は、位置Z210からN型の領域（例えば蓄積領域16またはドリフト領域18）までの間のP型領域におけるドーピング濃度の最大値を用いてよい。位置Z210におけるドーピング濃度を第1底部領域201のドーピング濃度D1としてもよい。

【0160】

位置Z21から位置Z210までのP型領域におけるドーピング濃度の最大値を、コンタクト領域15のドーピング濃度D2としてよい。位置Z21におけるドーピング濃度を、コンタクト領域15のドーピング濃度D2としてもよい。ドーピング濃度D1は、ドーピング濃度D2の2倍以上であってよく、5倍以上であってよく、10倍以上であってよい。ドーピング濃度D1を大きくすることでラッチアップを抑制しやすくなる。

【0161】

第1底部領域201は、ドーピング濃度の深さ方向における第1濃度ピーク251を有してよい。なお第1濃度ピーク251の頂点が位置Z210に配置されている場合、第1濃度ピーク251は、頂点から下面23側に向かうスロープを有し、頂点から上面21側に向かうスロープを有さない。

【0162】

コンタクト領域15は、ドーピング濃度の深さ方向における第2濃度ピーク252を有してよい。なお第2濃度ピーク252の頂点が位置Z21に配置されている場合、第2濃度ピーク252は、頂点から下面23側に向かうスロープを有し、頂点から上面21側に向かうスロープを有さない。

【0163】

第1濃度ピーク251の半値半幅HWHM1は、第2濃度ピーク252の半値半幅HWHM2よりも小さくてよい。半値半幅HWHM1は、半値半幅HWHM2の半分以下であってよく、1/4以下であってよく、1/10以下であってよい。これにより、第1底部領域201を形成するためのアクセプタイオンのドーズ量を多くせずに、第1濃度ピーク251のドーピング濃度D1を高くできる。第1濃度ピーク251の半値半幅HWHM1は、第1底部領域201を形成するためにアクセプタイオンを注入した後の熱処理の温度または時間で制御できる。図13においては第1底部領域201のドーピング濃度分布を説明したが、第2底部領域202および第3底部領域203も、第1底部領域201と同様のドーピング濃度分布を有してよい。

【0164】

図14は、各メサ部におけるトレンチコンタクト部55の構造例を示す図である。本例においては、メサ部60、メサ部61およびメサ部63におけるトレンチコンタクト部55-1、トレンチコンタクト部55-2およびトレンチコンタクト部55-3は、それぞれ深さが異なる。メサ部62におけるトレンチコンタクト部55は、メサ部61におけるトレンチコンタクト部55-2と同一の構造を有してよい。

【0165】

メサ部60のトレンチコンタクト部55-1のX軸方向の幅をW1、Z軸方向の深さをZ1とする。メサ部61のトレンチコンタクト部55-2のX軸方向の幅をW2、Z軸方向の深さをZ2とする。メサ部63のトレンチコンタクト部55-3のX軸方向の幅をW3、Z軸方向の深さをZ3とする。本例では、幅W1、幅W2および幅W3は同一である。一方で、深さZ2は深さZ1よりも大きい。つまりトレンチコンタクト部55-2は、コンタクト部55-1よりも下方まで設けられている。深さZ2を深さZ1よりも大きくすることで、トレンチコンタクト部55-2の底面210-2の幅を、トレンチコンタクト部55-1の底面210-1の幅よりも小さくできる。このため、トレンチコンタクト部55-2の底部に設けられた第2底部領域202のX軸方向の幅を、トレンチコンタクト部55-1の底部に設けられた第1底部領域201のX軸方向の幅よりも小さくして、メサ部61における正孔の注入を抑制できる。

【0166】

また、深さZ3は深さZ2よりも大きくてよい。つまりトレンチコンタクト部55-3は、コンタクト部55-2よりも下方まで設けられている。深さZ3を深さZ2よりも大

10

20

30

40

50

きくすることで、トレンチコンタクト部 55 - 3 の底面 210 - 3 の X 軸方向の幅を、トレンチコンタクト部 55 - 2 の底面 210 - 2 の X 軸方向の幅よりも小さくできる。このため、トレンチコンタクト部 55 - 3 の底部に設けられた第 3 底部領域 203 を、トレンチコンタクト部 55 - 2 の底部に設けられた第 2 底部領域 202 よりも小さくして、メサ部 63 における正孔の注入を抑制できる。深さ Z3 は、深さ Z2 の 1.1 倍以上であってよく、1.2 倍以上であってよく、1.5 倍以上であってよい。深さ Z2 は、深さ Z1 の 1.1 倍以上であってよく、1.2 倍以上であってよく、1.5 倍以上であってよい。メサ部 60 のトレンチコンタクト部 55 は、図 4 B に示したトレンチコンタクト部 55 と同様に、エミッタ領域 12 を貫通していてもよい。

【0167】

図 15 は、各メサ部におけるトレンチコンタクト部 55 の構造例を示す図である。本例においては、メサ部 60、メサ部 61 およびメサ部 63 におけるトレンチコンタクト部 55 - 1、トレンチコンタクト部 55 - 2 およびトレンチコンタクト部 55 - 3 は、それぞれ X 軸方向の幅が異なる。メサ部 62 におけるトレンチコンタクト部 55 は、メサ部 61 におけるトレンチコンタクト部 55 - 2 と同一の構造を有してよい。

【0168】

メサ部 60 のトレンチコンタクト部 55 - 1 の X 軸方向の幅を W1、メサ部 61 のトレンチコンタクト部 55 - 2 の X 軸方向の幅を W2、メサ部 63 のトレンチコンタクト部 55 - 3 の X 軸方向の幅を W3 とする。それぞれのトレンチコンタクト部 55 - 1 の幅は、半導体基板 10 の上面 21 における幅である。なお、それぞれのトレンチコンタクト部 55 の深さは同一であってよい。それぞれのトレンチコンタクト部 55 の深さは異なってもよい。それぞれのトレンチコンタクト部 55 は、図 14 に示した深さを有していてもよい。

【0169】

幅 W2 は幅 W1 よりも小さい。幅 W2 を幅 W1 よりも小さくすることで、トレンチコンタクト部 55 - 2 の底面 210 - 2 の幅を、トレンチコンタクト部 55 - 1 の底面 210 - 1 の幅よりも小さくできる。このため、トレンチコンタクト部 55 - 2 の底部に設けられた第 2 底部領域 202 の X 軸方向の幅を、トレンチコンタクト部 55 - 1 の底部に設けられた第 1 底部領域 201 の X 軸方向の幅よりも小さくして、メサ部 61 における正孔の注入を抑制できる。

【0170】

また、幅 W3 は幅 W2 よりも小さくてよい。幅 W3 を幅 W2 よりも小さくすることで、トレンチコンタクト部 55 - 3 の底面 210 - 3 の幅を、トレンチコンタクト部 55 - 2 の底面 210 - 2 の幅よりも小さくできる。このため、トレンチコンタクト部 55 - 3 の底部に設けられた第 3 底部領域 203 の X 軸方向の幅を、トレンチコンタクト部 55 - 2 の底部に設けられた第 2 底部領域 202 の X 軸方向の幅よりも小さくして、メサ部 63 における正孔の注入を抑制できる。幅 W1 は幅 W2 の 1.1 倍以上であってよく、1.2 倍以上であってよく、1.5 倍以上であってよい。幅 W2 は幅 W3 の 1.1 倍以上であってよく、1.2 倍以上であってよく、1.5 倍以上であってよい。メサ部 60 のトレンチコンタクト部 55 は、図 4 B に示したトレンチコンタクト部 55 と同様に、エミッタ領域 12 を貫通していてもよい。

【0171】

図 16 A は、トランジスタ部 70 のメサ部 60 の他の例を示す図である。図 16 A に示すメサ部 60 をメサ部 60 - 3 と称する。本例のメサ部 60 - 3 は、コンタクト領域 15 に代えてベース領域 14 を有する点で、図 4 A に示したメサ部 60 - 1 と相違する。他の点は、図 4 A に示したメサ部 60 - 1 と同様である。本例によっても、第 1 底部領域 201 およびトレンチコンタクト部 55 を介して正孔を引き抜くことができるので、トランジスタ部 70 のラッチアップを抑制できる。

【0172】

図 16 B は、メサ部 60 - 3 の他の例を示す図である。本例のメサ部 60 - 3 は、コン

10

20

30

40

50

タクト領域 15 に代えてベース領域 14 を有する点で、図 4 B に示したメサ部 60 - 1 と相違する。他の点は、図 4 B に示したメサ部 60 - 1 と同様である。本例によっても、第 1 底部領域 201 およびトレンチコンタクト部 55 を介して正孔を引き抜くことができるので、トランジスタ部 70 のラッチアップを抑制できる。

【0173】

図 17 は、ダイオード部 80 のメサ部 61 の他の例を示す図である。図 17 に示すメサ部 61 をメサ部 61 - 2 と称する。本例のメサ部 61 - 2 は、連続して形成された 1 つの第 2 底部領域 202 を有する点で、メサ部 61 - 1 と相違する。他の点は、メサ部 61 - 1 と同様である。第 2 底部領域 202 の長さ  $L_2$  は、第 1 底部領域 201 の長さ  $L_1$  より短くてよい。他の例では、第 2 底部領域 202 の長さ  $L_2$  は、第 1 底部領域 201 の長さ  $L_1$  と同一であってもよい。

10

【0174】

また、第 2 底部領域 202 のドーピング濃度は、第 1 底部領域 201 のドーピング濃度より低くてよい。この場合、長さ  $L_2$  が長さ  $L_1$  と同一であっても、メサ部 61 - 2 の正孔注入量を抑制できる。他の例では、第 2 底部領域 202 のドーピング濃度は、第 1 底部領域 201 のドーピング濃度と同一であってもよい。メサ部 61 - 2 のトレンチコンタクト部 55 は、図 4 B に示したトレンチコンタクト部 55 と同様に、より深くまで形成されてもよい。

【0175】

図 18 は、ダイオード部 80 のメサ部 61 の他の例を示す図である。図 18 に示すメサ部 61 をメサ部 61 - 3 と称する。本例のメサ部 61 - 3 は、上面 21 において、Y 軸方向に沿ってエミッタ領域 12 とアノード領域 17 とが交互に露出する点で、メサ部 61 - 1 またはメサ部 61 - 2 と相違する。他の点は、メサ部 61 - 1 またはメサ部 61 - 2 と同様である。

20

【0176】

トランジスタ部 70 は、図 1 から図 18 において説明したいずれの構成のメサ部 60 を有してもよい。ダイオード部 80 は、図 1 から図 18 において説明したいずれの構成のメサ部 61 を有してもよい。トランジスタ部 70 およびダイオード部 80 は、上述したメサ部 60 およびメサ部 61 の任意の組み合わせを有してよい。メサ部 61 - 3 のトレンチコンタクト部 55 は、図 4 B に示したトレンチコンタクト部 55 と同様に、より深くまで形成されてもよい。

30

【0177】

図 19 は、半導体装置 100 におけるメサ部の組み合わせの一例を示す図である。本例のトランジスタ部 70 は、メサ部 60 - 1 を有する。ダイオード部 80 は、メサ部 61 - 1 を有する。メサ部 63 の構造は、メサ部 61 - 1 と同様である。

【0178】

図 20 は、半導体装置 100 におけるメサ部の組み合わせの他の例を示す図である。本例のトランジスタ部 70 は、メサ部 60 - 2 を有する。ダイオード部 80 は、メサ部 61 - 1 を有する。メサ部 63 の構造は、メサ部 61 - 1 と同様である。

【0179】

図 21 は、半導体装置 100 におけるメサ部の組み合わせの他の例を示す図である。本例のトランジスタ部 70 は、メサ部 60 - 1 を有する。ダイオード部 80 は、メサ部 61 - 2 を有する。メサ部 63 の構造は、メサ部 61 - 2 と同様である。

40

【0180】

図 22 は、半導体装置 100 におけるメサ部の組み合わせの他の例を示す図である。本例のトランジスタ部 70 は、メサ部 60 - 3 を有する。ダイオード部 80 は、メサ部 61 - 2 を有する。メサ部 63 の構造は、メサ部 61 - 2 と同様である。

【0181】

図 23 は、半導体装置 100 におけるメサ部の組み合わせの他の例を示す図である。本例のトランジスタ部 70 は、メサ部 60 - 3 を有する。ダイオード部 80 は、メサ部 61

50

- 3を有する。メサ部63の構造は、メサ部61-3と同様である。

【0182】

図24は、半導体装置100におけるメサ部の組み合わせの他の例を示す図である。本例のトランジスタ部70は、メサ部60-3を有する。ダイオード部80は、メサ部61-3を有する。メサ部63の構造は、メサ部61-2と同様である。

【0183】

図25は、半導体装置100におけるメサ部の組み合わせの他の例を示す図である。本例のトランジスタ部70は、メサ部60-3を有する。ダイオード部80は、メサ部61-2を有する。メサ部63の構造は、メサ部61-3と同様である。なお半導体装置100におけるメサ部の組み合わせは、図19から図25の例に限定されない。

10

【0184】

図26は、半導体装置100の他の構成例を示すe-e断面である。本例の半導体装置100は、境界部72およびダイオード部80の構造が、図1から図25において説明した半導体装置100と異なる。他の構造は、図1から図25において説明したいずれかの半導体装置100と同様である。

【0185】

本例のダイオード部80は、トレンチコンタクト部55および第2底部領域202を有さない。他の構造は、図1から図25において説明したいずれかのダイオード部80と同様である。本例の境界部72は、トレンチコンタクト部55および第3底部領域203を有さない。他の構造は、図1から図25において説明したいずれかの境界部72と同様である。本例のトレンチコンタクト部55は、図3Bに示したトレンチコンタクト部55と同様に、より深くまで形成されてもよい。

20

【0186】

図27は、半導体装置100の他の構成例を示すe-e断面である。本例の半導体装置100は、境界部72およびダイオード部80を備えない。他の点は、図1から図25において説明したいずれかの半導体装置100と同様である。本例のトレンチコンタクト部55は、図3Bに示したトレンチコンタクト部55と同様に、より深くまで形成されてもよい。

【0187】

図26および図27の例におけるトランジスタ部70は、図13において説明したドーピング濃度分布を有する。コンタクト領域15よりも高濃度の第1底部領域201を設けることで、ラッチアップを抑制しやすくなる。第1濃度ピーク251の半値半幅HWHM1は、第2濃度ピーク252の半値半幅HWHM2よりも小さくてよい。

30

【0188】

図28は、半導体装置100の他の構成例を示す上面図である。本例の各メサ部には、トレンチコンタクト部55および底部領域が設けられていない。他の構造は、図1から図27において説明したいずれかの例と同様である。

【0189】

図28の例では、メサ部60は、上面21においてエミッタ領域12およびコンタクト領域15がY軸方向に沿って交互に配置されている。メサ部61およびメサ部63は、上面21においてアノード領域17が設けられている。アノード領域17は、ベース領域14よりもドーピング濃度が低くてよく、ベース領域14とドーピング濃度が同じでもよい。メサ部62は、上面21においてコンタクト領域15が設けられている。

40

【0190】

図29は、半導体装置100の他の構成例を示す上面図である。本例では、メサ部61およびメサ部63の構造が、図28の例と異なる。他の点は、図28の例と同様である。メサ部61およびメサ部63には、Y軸方向に沿ってエミッタ領域12とコンタクト領域15とが交互に配置されている。

【0191】

図30は、半導体装置100の他の構成例を示す上面図である。本例では、メサ部61

50

の構造が、図 28 の例と異なる。他の点は、図 28 の例と同様である。メサ部 61 には、Y 軸方向に沿ってエミッタ領域 12 とコンタクト領域 15 とが交互に配置されている。

【0192】

図 31 は、半導体装置 100 の他の構成例を示す上面図である。本例では、メサ部 61 およびメサ部 63 の構造が、図 28 の例と異なる。他の点は、図 28 の例と同様である。メサ部 61 およびメサ部 63 には、Y 軸方向に沿ってアノード領域 17 とコンタクト領域 15 とが交互に配置されている。

【0193】

図 32 は、半導体装置 100 の他の構成例を示す上面図である。本例では、メサ部 61 の構造が、図 28 の例と異なる。他の点は、図 28 の例と同様である。メサ部 61 には、Y 軸方向に沿ってアノード領域 17 とコンタクト領域 15 とが交互に配置されている。

10

【0194】

図 33 は、半導体装置 100 の他の構成例を示す図である。図 1 から図 32 において説明した半導体装置 100 はメサ部 62 を有しているが、本例の半導体装置 100 はメサ部 62 を有さない。本例の半導体装置 100 は、メサ部 62 に代えてメサ部 63 を有してよい。境界部 72 は、トランジスタ部 70 とダイオード部 80 との間に、1 つ以上のメサ部 63 を連続して有してよい。メサ部 62 を有さない点を除き、本例の半導体装置 100 の構造は、図 1 から図 32 において説明したいずれかの態様の半導体装置 100 と同様である。図 33 では、一例として図 2 に示した構造において、メサ部 62 を有さない例を示している。

20

【0195】

図 34 は、図 33 における e - e 断面の一例を示す図である。本例の半導体装置 100 は、メサ部 62 に代えてメサ部 63 を有する点で、図 3A に示した半導体装置 100 と相違する。他の構造は、図 3A に示した半導体装置 100 と同様である。

【0196】

図 35 A は、半導体装置 100 の他の構成例を示す図である。本例の半導体装置 100 は、図 1 から図 34 において説明したいずれかの半導体装置 100 の構成に対して、トレンチ底部領域 260 を更に備える。トレンチ底部領域 260 は、図 1 から図 34 において説明したいずれかの態様の半導体装置 100 に適用してもよい。図 35 A においては、図 3A に示した半導体装置 100 の構成に、トレンチ底部領域 260 を追加した例を示している。

30

【0197】

トレンチ底部領域 260 は、トレンチ部の下端と接して設けられた P 型の領域である。トレンチ底部領域 260 のドーピング濃度は、ベース領域 14 のドーピング濃度以下であってよい。本例のトレンチ底部領域 260 のドーピング濃度は、ベース領域 14 のドーピング濃度よりも低い。

【0198】

トレンチ底部領域 260 は、X 軸方向において 2 つ以上のトレンチ部の下端と接するように、連続して設けられている。つまりトレンチ底部領域 260 は、トレンチ部の間のメサ部を覆うように設けられている。トレンチ底部領域 260 は、複数のメサ部を覆っていてよい。

40

【0199】

トレンチ底部領域 260 は、それぞれのトランジスタ部 70 において、2 つ以上のトレンチ部の下端と接してよい。また、トレンチ底部領域 260 は、それぞれのトランジスタ部 70 において 2 つ以上のゲートトレンチ部 40 の下端と接していてもよい。トレンチ底部領域 260 は、少なくとも一つのトランジスタ部 70 において、全てのトレンチ部の下端と接していてもよい。またトレンチ底部領域 260 は、少なくとも一つのトランジスタ部 70 において、全てのゲートトレンチ部 40 の下端と接していてもよい。

【0200】

トレンチ底部領域 260 は、それぞれのダイオード部 80 において、2 つ以上のトレン

50

チ部の下端と接していてもよい。トレンチ底部領域 260 は、少なくとも一つのダイオード部 80 において、全てのトレンチ部の下端と接していてもよい。

【0201】

トレンチ底部領域 260 は、境界部 72 において、2 つ以上のトレンチ部の下端と接していてもよい。トレンチ底部領域 260 は、境界部 72 の全てのトレンチ部の下端と接していてもよい。図 35A の例では、トレンチ底部領域 260 は、半導体装置 100 の全てのメサ部に設けられている。

【0202】

トレンチ底部領域 260 は、半導体基板 10 の上面 21 側に配置された上面側 P 型領域（つまり、ベース領域 14、アノード領域 17 またはコンタクト領域 15）と、ドリフト領域 18 との間に配置されている。トレンチ底部領域 260 は、上面側 P 型領域とは離れて配置されてよい。トレンチ底部領域 260 と上面側 P 型領域との間には、N 型の領域（本例では蓄積領域 16 およびドリフト領域 18 の少なくとも一方）が設けられている。

10

【0203】

トレンチ底部領域 260 は、Y 軸方向に延伸して設けられている。トレンチ底部領域 260 の Y 軸方向の長さは、トレンチ部の Y 軸方向の長さより短い。また、トレンチ底部領域 260 の Y 軸方向の長さは、トレンチ部の Y 軸方向の長さの 50% 以上であってよく、70% 以上であってよく、90% 以上であってよい。

【0204】

トレンチ底部領域 260 を設けることで、半導体装置 100 がターンオンした時の、トレンチ部の下端近傍における電位上昇を抑制できる。このため、ターンオン時におけるエミッタコレクタ間電圧の波形の傾き ( $dv/dt$ ) を小さくでき、スイッチング時の電圧または電流波形のノイズを低減できる。

20

【0205】

なおトレンチ底部領域 260 の電位は、エミッタ電極 52 の電位とは異なる。上述したように、トレンチ底部領域 260 は、エミッタ電極 52 と接続されるベース領域 14 とは、Z 軸方向において離れて配置されている。またトレンチ底部領域 260 は、エミッタ電極 52 と接続されるウェル領域 11 とは、上面視において離れて配置されている。ウェル領域 11 とトレンチ底部領域 260 との間には、ドリフト領域 18 等の N 型の領域が設けられてよい。本例のトレンチ底部領域 260 は、ウェル領域 11 よりもドーピング濃度の低い P 型の領域である。

30

【0206】

図 35B は、図 35A における a - a 断面および a' - a' 断面のドーピング濃度分布の一例を示す図である。図 35B における横軸は、半導体基板 10 の上面 21 を基準位置 ( $0 \mu\text{m}$ ) とした Z 軸方向における位置を示している。図 35B においては、a - a 断面のドーピング濃度分布を実線で示し、a' - a' 断面のドーピング濃度分布を点線で示す。a - a 断面のトレンチコンタクト 55 の底面付近には、第 1 底部領域 201 とベース領域 14 が設けられている。a' - a' 断面の半導体基板 10 の上面 21 付近には、エミッタ領域 12 とベース領域 14 が設けられている。本例の蓄積領域 16 は、ドーピング濃度分布にピーク 261 を 2 つ有する。トレンチ底部領域 260 のドーピング濃度分布は、ピーク 262 を有してよい。トレンチ底部領域 260 のドーピング濃度のピーク値 P2 は、蓄積領域 16 のドーピング濃度の 2 つのピーク値のうち最小値 P1 よりも小さくてよい。トレンチ底部領域 260 のドーピング濃度のピーク値 P2 は、蓄積領域 16 のドーピング濃度の 2 つのピーク間における極小値 M1 よりも小さくてよい。あるいは、本例の蓄積領域 16 は、ドーピング濃度分布の 2 つのピーク 261 の間に極小値 M1 ではなくキック形状を有してもよい。

40

【0207】

図 36 は、図 7A に示したメサ部 60 の構造に、トレンチ底部領域 260 を追加した例を示している。トレンチ底部領域 260 は、Y 軸方向に延伸している。トレンチ底部領域 260 は、Y 軸方向において第 1 底部領域 201 より広い範囲に設けられてよく、第 1 底

50

部領域 201 と同一の範囲に設けられてよく、第 1 底部領域 201 より狭い範囲に設けられてもよい。

【0208】

図 37 は、図 8 に示したメサ部 61 の構造に、トレンチ底部領域 260 を追加した例を示している。トレンチ底部領域 260 は、Y 軸方向に延伸している。メサ部 61 におけるトレンチ底部領域 260 は、メサ部 60 におけるトレンチ底部領域 260 と同一の構造を有してよい。他の例では、トレンチ底部領域 260 は、第 1 底部領域 201 と同様に、Y 軸方向において離散的に配置されていてもよい。トレンチ底部領域 260 の少なくとも一部は、上面視において第 1 底部領域 201 と重なっていてもよい。トレンチ底部領域 260 の少なくとも一部は、上面視において第 1 底部領域 201 と重なっていてもよい。

10

【0209】

図 38 は、図 9 に示したメサ部 62 の構造に、トレンチ底部領域 260 を追加した例を示している。トレンチ底部領域 260 は、Y 軸方向に延伸している。メサ部 62 におけるトレンチ底部領域 260 は、メサ部 60 におけるトレンチ底部領域 260 と同一の構造を有してよい。

【0210】

図 39 は、半導体装置 100 の他の構成例を示す図である。本例の半導体装置 100 は、図 35A に示した半導体装置 100 に対して、トレンチ底部領域 260 が設けられる範囲が異なる。他の構造は図 35A の例と同様である。本例のトレンチ底部領域 260 も、図 1 から図 34 において説明したいずれの形態の半導体装置 100 に適用してもよい。

20

【0211】

本例のトレンチ底部領域 260 は、トランジスタ部 70 の少なくとも一部の領域に設けられる。図 39 の例では、トレンチ底部領域 260 は、X 軸方向においてトランジスタ部 70 の全体に渡って設けられている。

【0212】

トレンチ底部領域 260 は、境界部 72 の少なくとも一部に設けられてよい。本例のトレンチ底部領域 260 は、境界部 72 のメサ部のうち、トランジスタ部 70 に最も近いメサ部の少なくとも一部に設けられている。トレンチ底部領域 260 は、トランジスタ部 70 から、境界部 72 の途中まで延伸してよい。

【0213】

トレンチ底部領域 260 は、ダイオード部 80 の少なくとも一部に設けられてよく、設けられていなくてもよい。本例では、ダイオード部 80 にはトレンチ底部領域 260 が設けられていない。図 39 における a - a 断面は、図 36 に示した例と同様である。図 39 における b - b 断面および c - c 断面は、図 1 から図 34 において説明したいずれかの例と同様である。

30

【0214】

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。

40

【0215】

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】

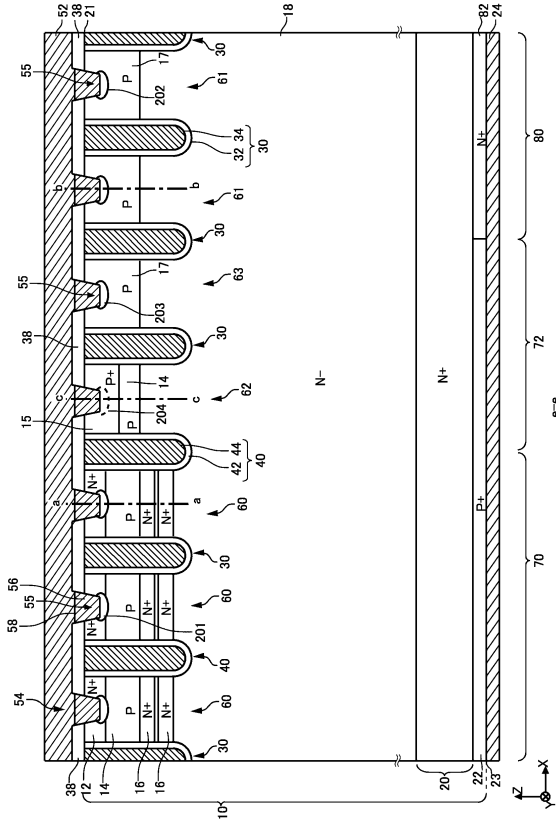
【0216】

10・・・半導体基板、11・・・ウェル領域、12・・・エミッタ領域、14・・・ベ

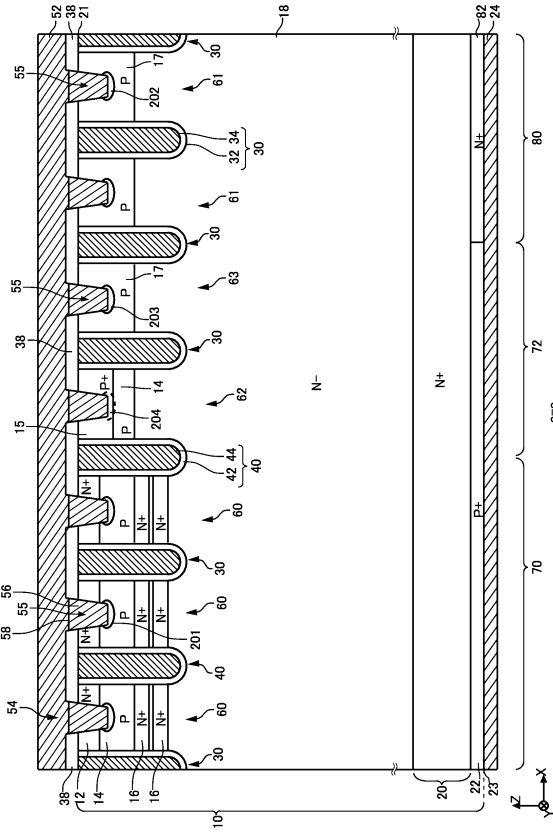
50



【図 3 A】



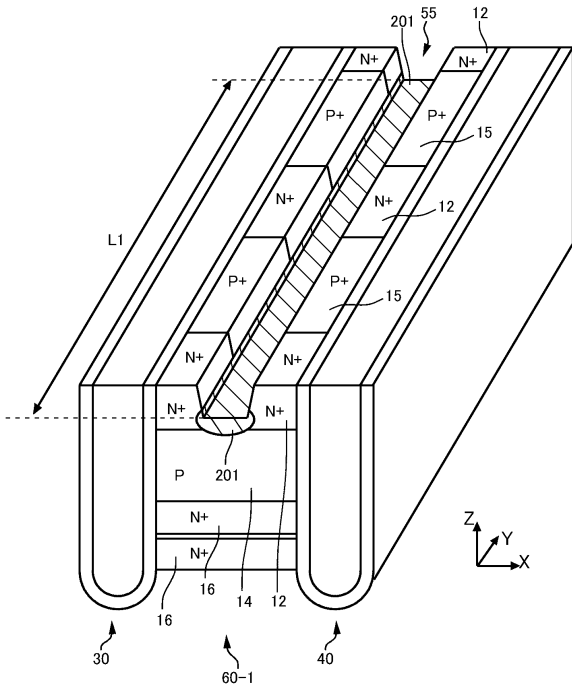
【図 3 B】



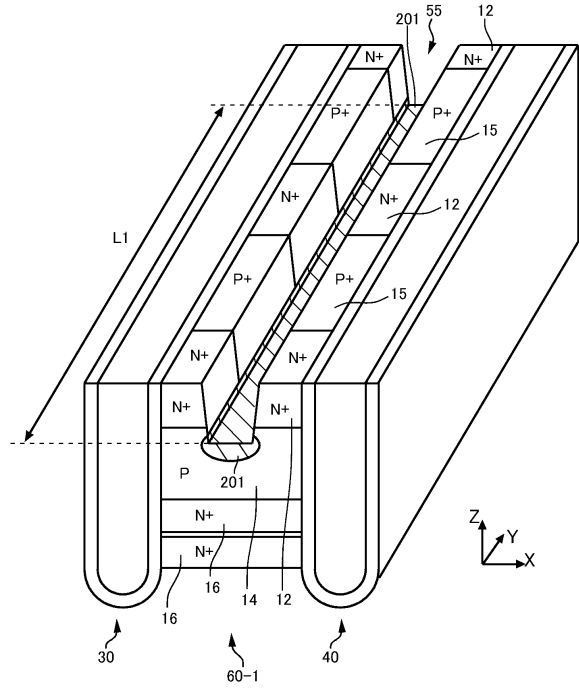
10

20

【図 4 A】



【図 4 B】

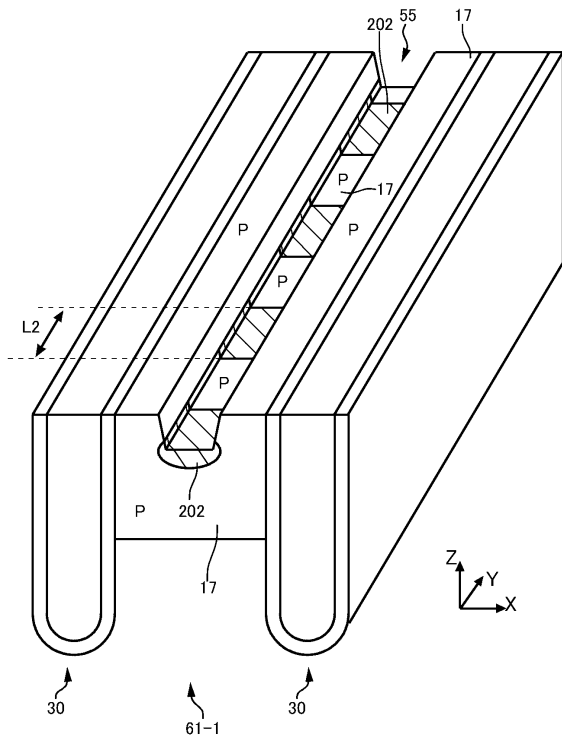


30

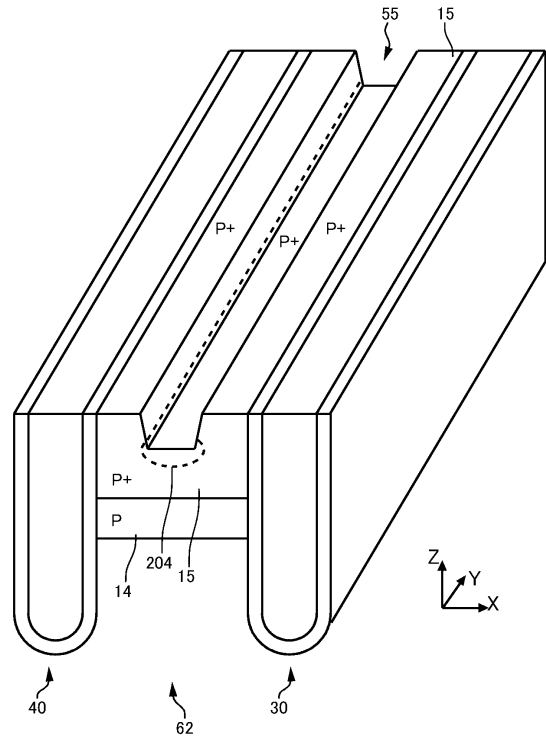
40

50

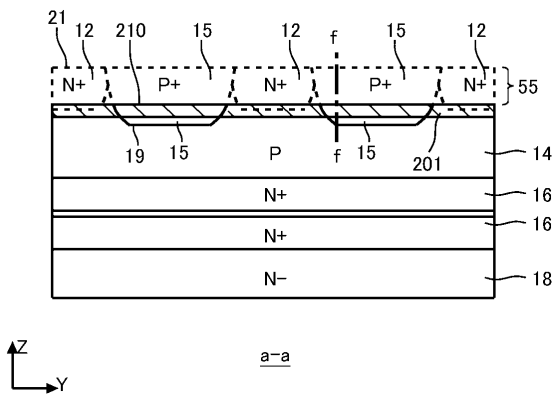
【 図 5 】



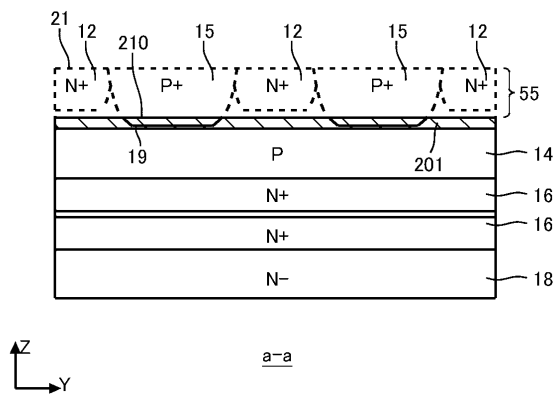
【 図 6 】



【 図 7 A 】



【 図 7 B 】



10

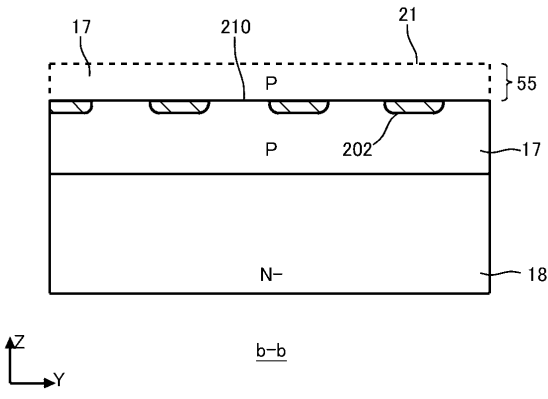
20

30

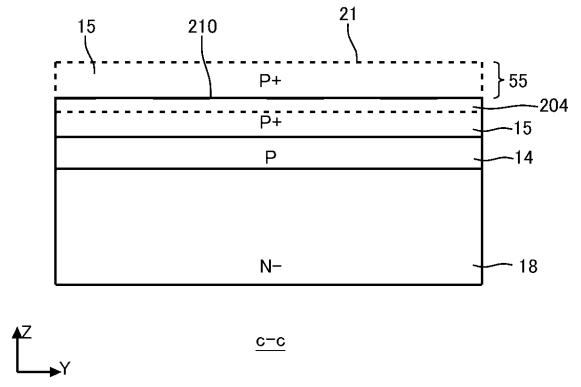
40

50

【図 8】

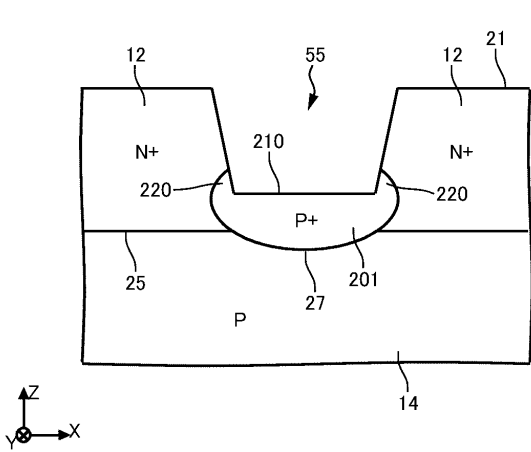


【図 9】

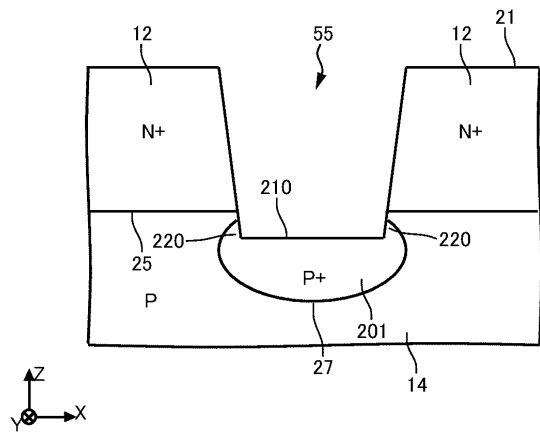


10

【図 10 A】



【図 10 B】



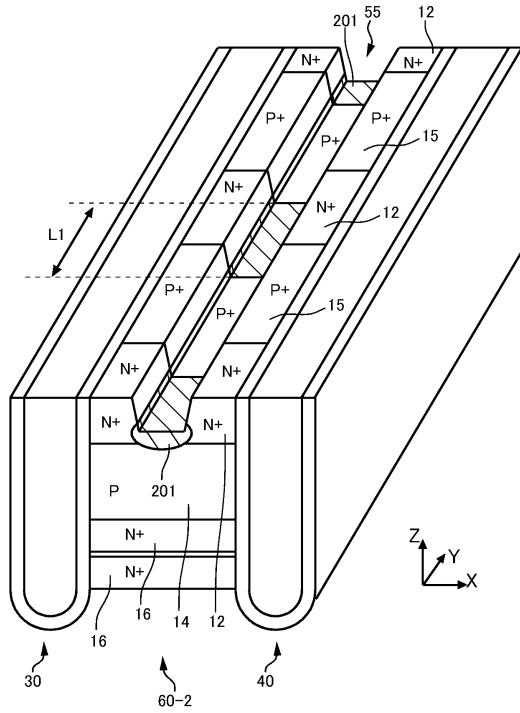
20

30

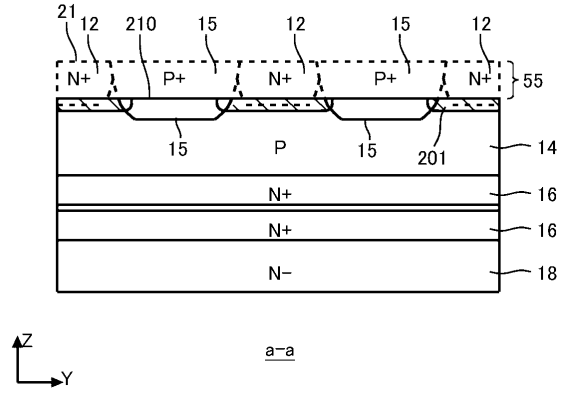
40

50

【図 1 1】



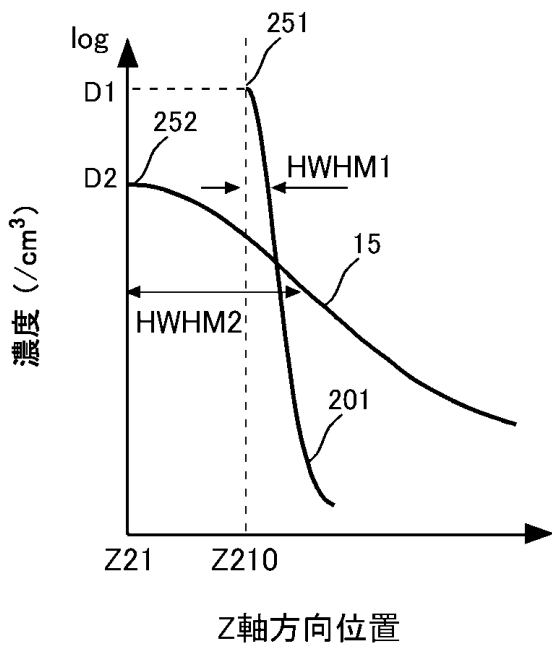
【図 1 2】



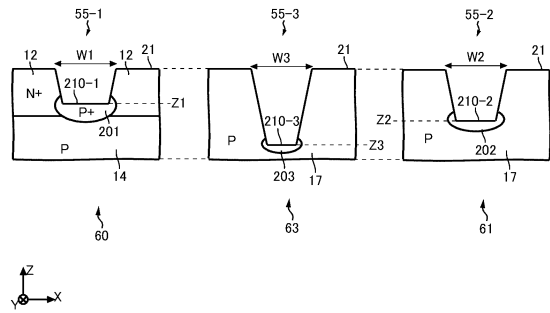
10

20

【図 1 3】



【図 1 4】

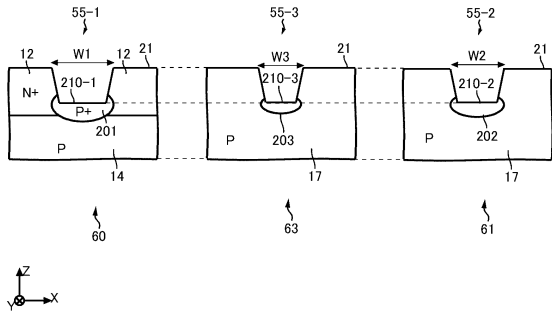


30

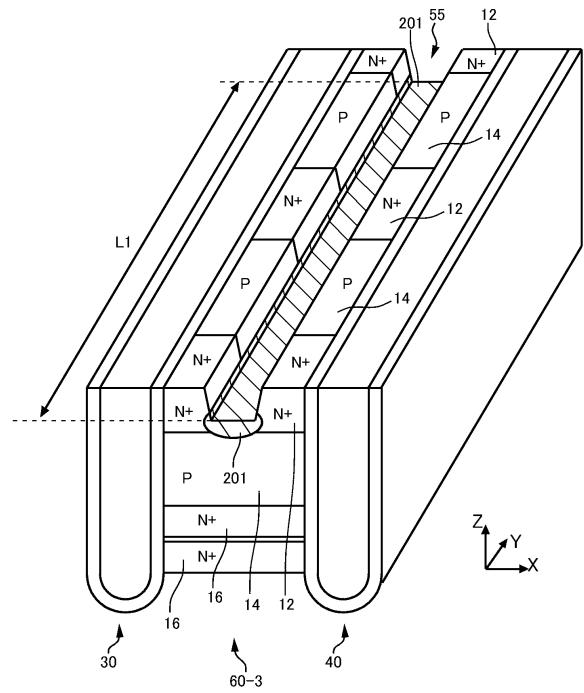
40

50

【図 15】



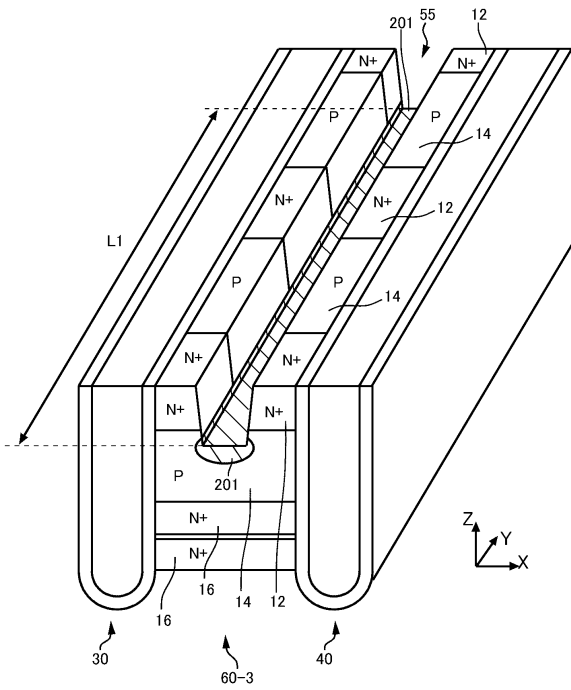
【図 16 A】



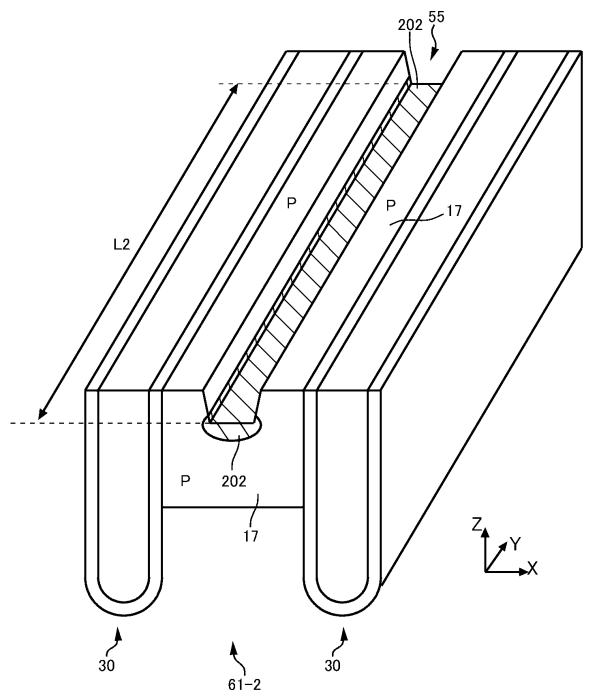
10

20

【図 16 B】



【図 17】

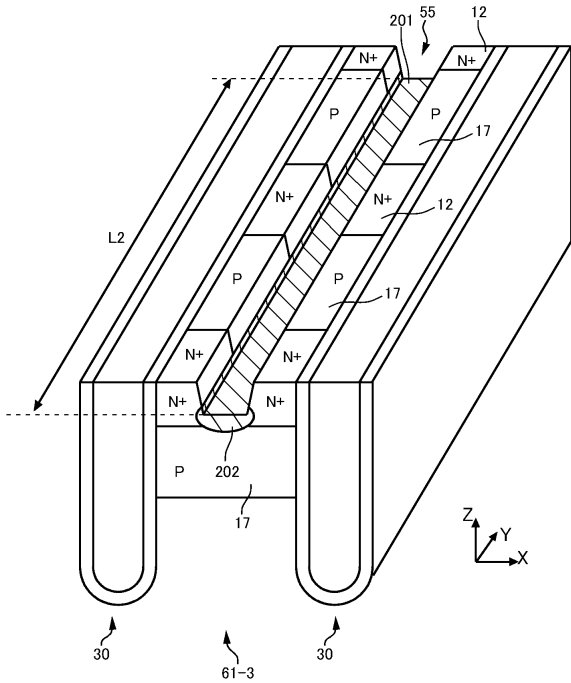


30

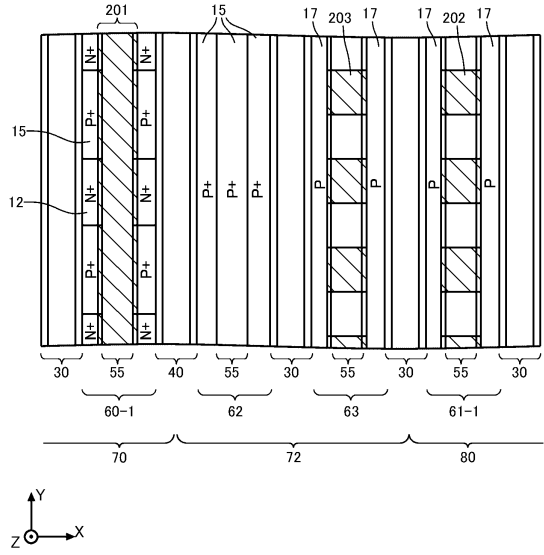
40

50

【図 18】



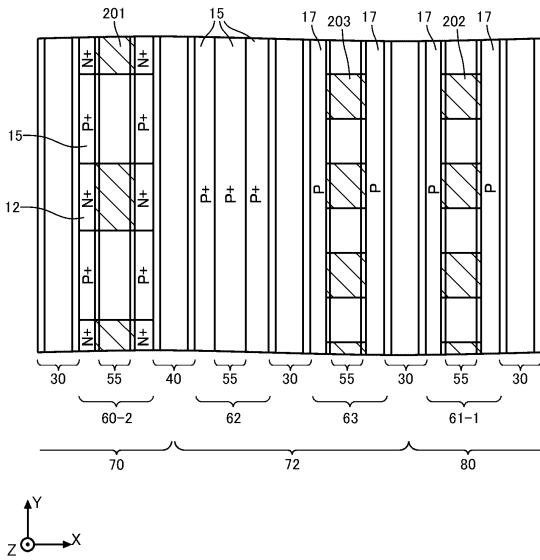
【図 19】



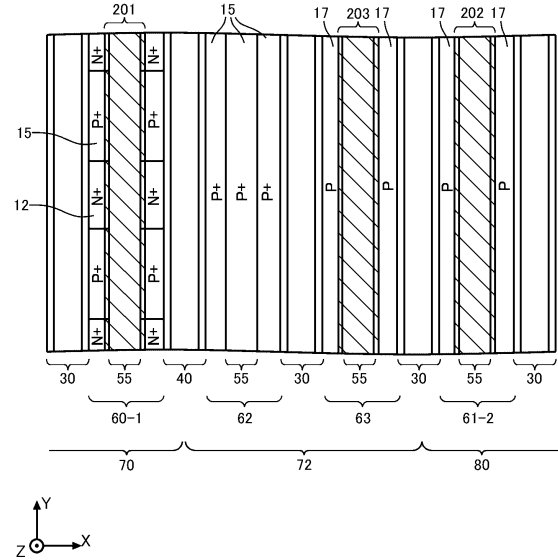
10

20

【図 20】



【図 21】

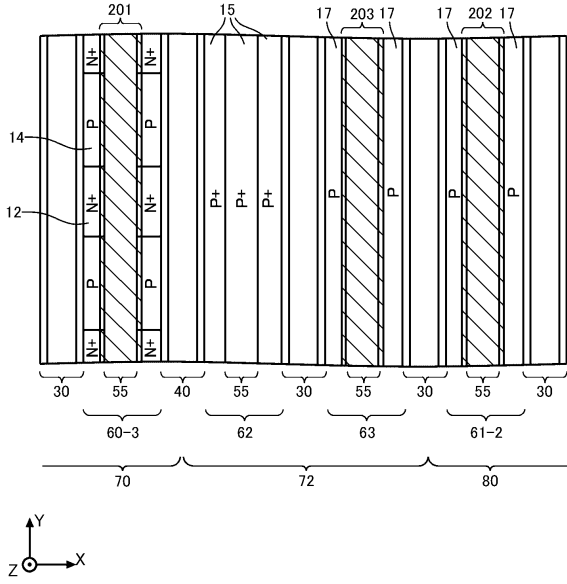


30

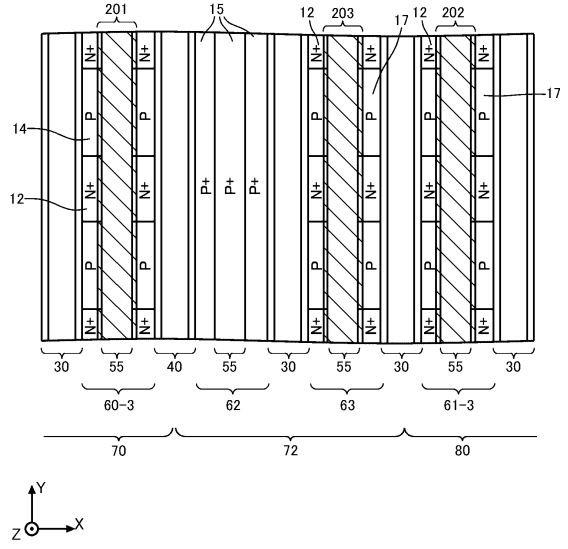
40

50

【 2 2 】

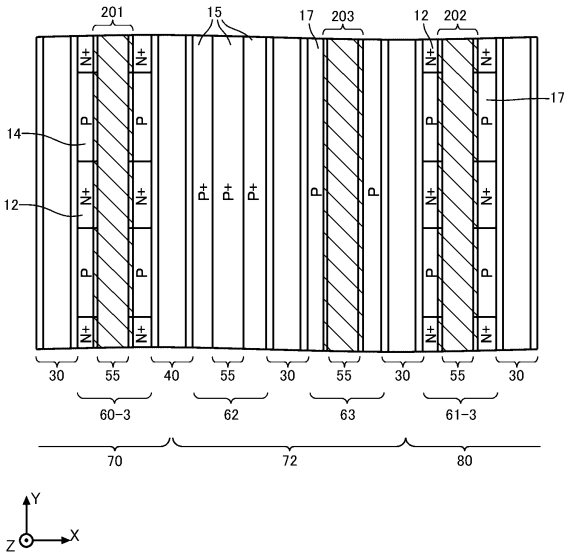


【 2 3 】

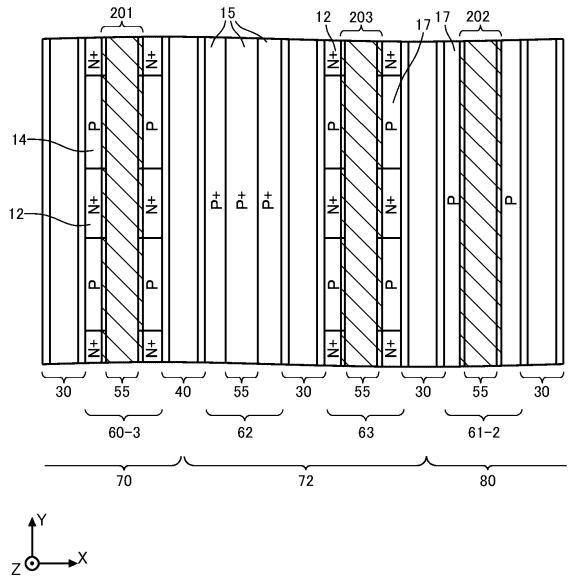


10

【 2 4 】



【 2 5 】



20

30

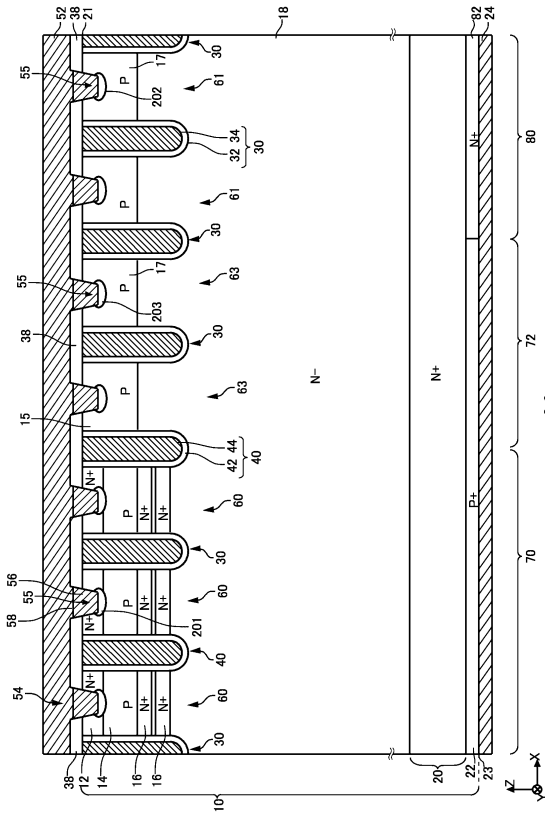
40

50

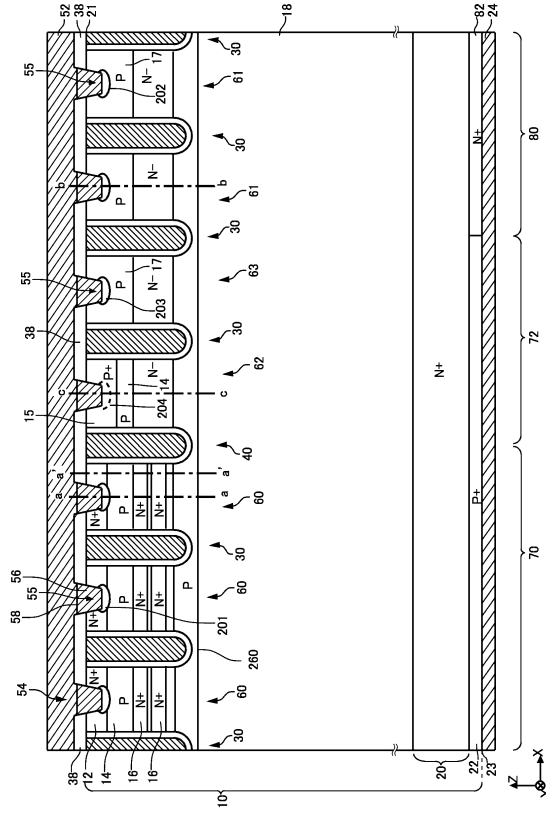




【図 3 4】



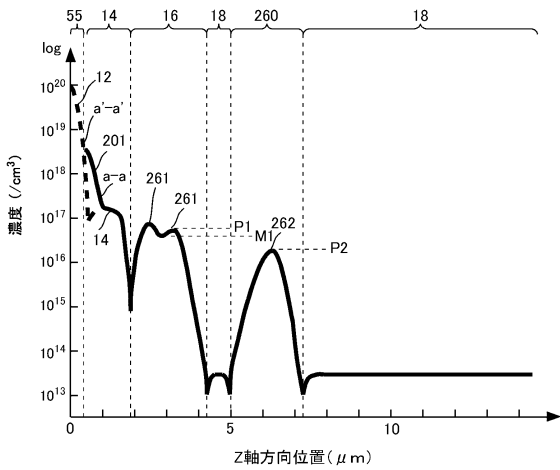
【図 3 5 A】



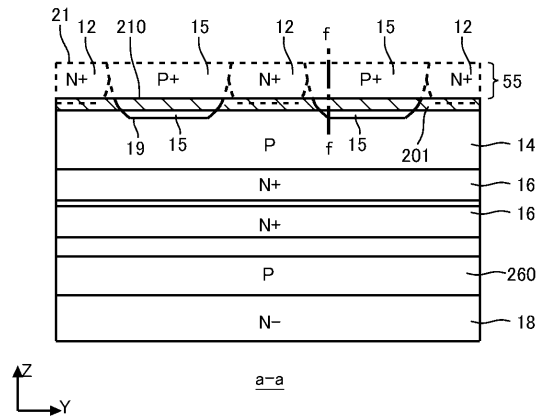
10

20

【図 3 5 B】



【図 3 6】

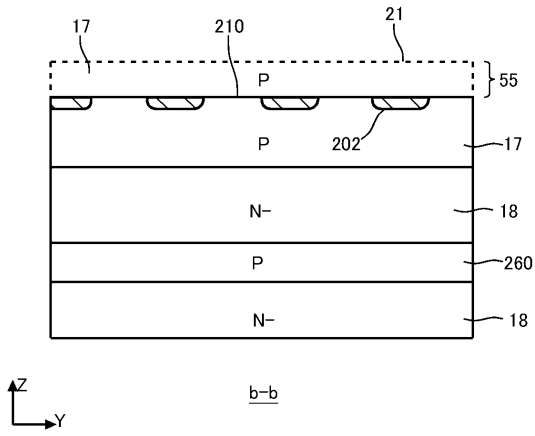


30

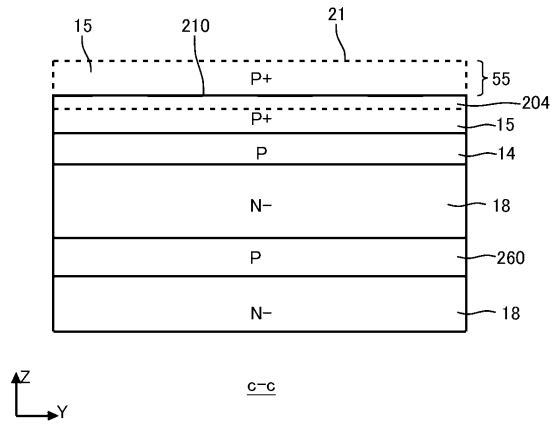
40

50

【図 3 7】

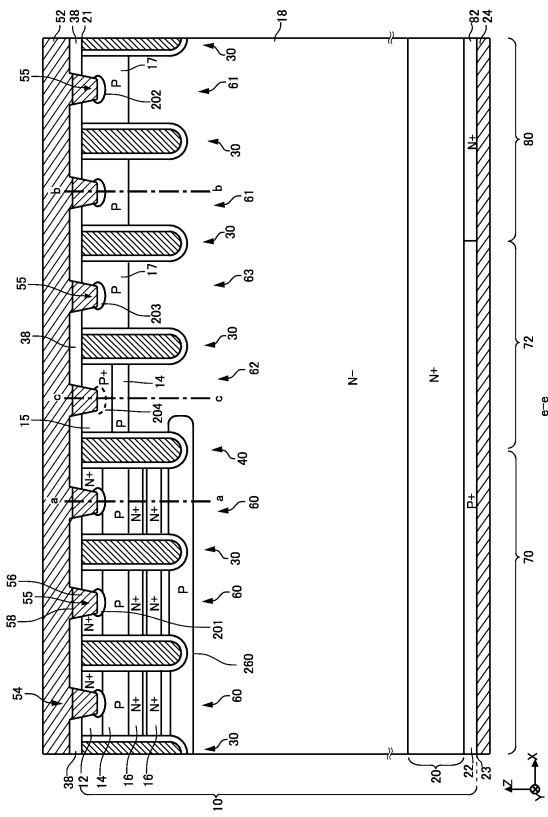


【図 3 8】



10

【図 3 9】



20

30

40

50

## フロントページの続き

## (51)国際特許分類

F I

H 1 0 D	30/66	1 0 3 Q
H 1 0 D	30/66	2 0 1 A
H 1 0 D	84/80	1 0 1 A
H 1 0 D	84/80	1 0 2 B
H 1 0 D	84/80	2 0 3 D

## (56)参考文献

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

## (58)調査した分野 (Int.Cl., D B 名)

H 1 0 D 3 0 / 6 6  
H 1 0 D 8 4 / 8 0  
H 1 0 D 1 2 / 0 0  
H 1 0 D 8 / 5 0