

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7405261号
(P7405261)

(45)発行日 令和5年12月26日(2023.12.26)

(24)登録日 令和5年12月18日(2023.12.18)

(51)国際特許分類

F I

H 0 1 L	29/739 (2006.01)	H 0 1 L	29/78	6 5 5 C
H 0 1 L	29/78 (2006.01)	H 0 1 L	29/78	6 5 7 D
H 0 1 L	29/12 (2006.01)	H 0 1 L	29/78	6 5 7 A
H 0 1 L	29/06 (2006.01)	H 0 1 L	29/78	6 5 2 T
H 0 1 L	29/861 (2006.01)	H 0 1 L	29/78	6 5 2 Q

請求項の数 28 (全35頁) 最終頁に続く

(21)出願番号 特願2022-536411(P2022-536411)
 (86)(22)出願日 令和3年7月13日(2021.7.13)
 (86)国際出願番号 PCT/JP2021/026375
 (87)国際公開番号 WO2022/014623
 (87)国際公開日 令和4年1月20日(2022.1.20)
 審査請求日 令和4年6月23日(2022.6.23)
 (31)優先権主張番号 特願2020-121285(P2020-121285)
 (32)優先日 令和2年7月15日(2020.7.15)
 (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 阿形 泰典
 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
 (72)発明者 白川 徹
 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 杉山 芳弘

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】

半導体基板に設けられた第1導電型のドリフト領域と、
 前記ドリフト領域の下方に設けられ、1または複数のピークを有する第1導電型のフィールドストップ領域と、
 前記フィールドストップ領域の下方に設けられた第2導電型のコレクタ領域と、
 を備え、
 前記コレクタ領域の積分濃度を $x [cm^{-2}]$ とし、前記1または複数のピークのうち前記半導体基板の裏面から最も浅い第1ピークの深さを $y_1 [\mu m]$ とし、
 線 A 1 : $y_1 = (-7.4699E-01) \ln(x) + (2.7810E+01)$
 線 B 1 : $y_1 = (-4.7772E-01) \ln(x) + (1.7960E+01)$
 とした場合に、
 前記第1ピークの深さおよび前記積分濃度が、線 A 1 と線 B 1 との間の範囲にあり、
 前記1または複数のピークのうち前記裏面から2番目に浅い第2ピークの深さを $y_2 [\mu m]$ とし、
 線 A 2 : $y_2 = (-3.1095E+00) \ln(x) + (1.1416E+02)$
 線 B 2 : $y_2 = (-1.9239E+00) \ln(x) + (7.1030E+01)$
 とした場合に、
 前記第2ピークの深さおよび前記積分濃度が、線 A 2 と線 B 2 との間の範囲にある半導体装置。

【請求項 2】

線 A 3 : $y_3 = (-2.8924E+00) \ln(x) + (1.0629E+02)$

線 B 3 : $y_3 = (-2.1020E+00) \ln(x) + (7.7530E+01)$

とした場合に、

前記第 2 ピークの深さおよび前記積分濃度が、線 A 3 と線 B 3 との間の範囲にある

請求項 1 に記載の半導体装置。

【請求項 3】

半導体基板に設けられた第 1 導電型のドリフト領域と、

前記ドリフト領域の下方に設けられ、1 または複数のピークを有する第 1 導電型のフィールドストップ領域と、

前記フィールドストップ領域の下方に設けられた第 2 導電型のコレクタ領域と、
を備え、

前記コレクタ領域の積分濃度を $x [cm^{-2}]$ とし、前記 1 または複数のピークのうち前記半導体基板の裏面から最も浅い第 1 ピークの深さを $y_1 [\mu m]$ とし、

線 A 1 : $y_1 = (-7.4699E-01) \ln(x) + (2.7810E+01)$

線 B 1 : $y_1 = (-4.7772E-01) \ln(x) + (1.7960E+01)$

とした場合に、

前記第 1 ピークの深さおよび前記積分濃度が、線 A 1 と線 B 1 との間の範囲にあり、

前記第 1 ピークのドーパントはリンである

半導体装置。

【請求項 4】

半導体基板に設けられた第 1 導電型のドリフト領域と、

前記ドリフト領域の下方に設けられ、1 または複数のピークを有する第 1 導電型のフィールドストップ領域と、

前記フィールドストップ領域の下方に設けられた第 2 導電型のコレクタ領域と、
を備え、

前記コレクタ領域の積分濃度を $x [cm^{-2}]$ とし、前記 1 または複数のピークのうち前記半導体基板の裏面から最も浅い第 1 ピークの深さを $y_1 [\mu m]$ とし、

線 A 1 : $y_1 = (-7.4699E-01) \ln(x) + (2.7810E+01)$

線 B 1 : $y_1 = (-4.7772E-01) \ln(x) + (1.7960E+01)$

とした場合に、

前記第 1 ピークの深さおよび前記積分濃度が、線 A 1 と線 B 1 との間の範囲にあり、

前記 1 または複数のピークのうち、前記第 1 ピーク以外のピークのドーパントは水素である

半導体装置。

【請求項 5】

前記コレクタ領域の積分濃度は、 $8.00E15 cm^{-2}$ 以下である

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】

前記コレクタ領域の積分濃度は、 $3.00E14 cm^{-2}$ 以下である

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 7】

前記コレクタ領域の積分濃度は、 $2.00E14 cm^{-2}$ 以下である

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 8】

前記コレクタ領域の積分濃度は、 $1.00E14 cm^{-2}$ 以下である

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 9】

前記コレクタ領域の積分濃度は、 $5.00E13 cm^{-2}$ 以下である

請求項 1 から 4 のいずれか一項に記載の半導体装置。

10

20

30

40

50

【請求項 10】

前記コレクタ領域の積分濃度は、 $3.00 \times 10^{13} \text{ cm}^{-2}$ 以下である
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 11】

前記コレクタ領域の積分濃度は、 $1.00 \times 10^{13} \text{ cm}^{-2}$ 以下である
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 12】

前記第 1 ピークの深さは、 $0.5 \mu\text{m}$ 以上、 $7.2 \mu\text{m}$ 以下である
請求項 1 から 11 のいずれか一項に記載の半導体装置。

【請求項 13】

前記第 1 ピークの深さは、 $2.0 \mu\text{m}$ 以上、 $7.2 \mu\text{m}$ 以下である
請求項 1 から 11 のいずれか一項に記載の半導体装置。

【請求項 14】

前記 1 または複数のピークのうち前記裏面から 2 番目に浅い第 2 ピークの深さを y_2 [μm] とし、

$$\text{線 A 2 : } y_2 = (-3.1095 \times 10^0) \ln(x) + (1.1416 \times 10^2)$$

$$\text{線 B 2 : } y_2 = (-1.9239 \times 10^0) \ln(x) + (7.1030 \times 10^1)$$

とした場合に、

前記第 2 ピークの深さおよび前記積分濃度が、線 A 2 と線 B 2 との間の範囲にある
請求項 3 または 4 に記載の半導体装置。

【請求項 15】

前記第 2 ピークの深さは、 $3.5 \mu\text{m}$ 以上、 $28 \mu\text{m}$ 以下である
請求項 1、2 および 14 のいずれか一項に記載の半導体装置。

【請求項 16】

前記半導体装置に接続された回路の浮遊インダクタンス L_s を X_c [nH]、コレクタ電流減少率 dI_{ce}/dt を Y_c [$\text{A}/\mu\text{s}$] とし、

$$\text{線 C 1 : } Y_c = 10000 X_c^{-1}$$

とした場合に、

前記浮遊インダクタンス L_s および前記コレクタ電流減少率 dI_{ce}/dt は、線 C 1 よりも大きい範囲にある

請求項 1 から 15 のいずれか一項に記載の半導体装置。

【請求項 17】

前記 1 または複数のピークのドーパントは水素である
請求項 1 または 2 に記載の半導体装置。

【請求項 18】

前記半導体基板に設けられた活性領域と、
前記半導体基板の上面視において、前記活性領域の外周に設けられた外周領域とを備える
請求項 1 から 17 のいずれか一項に記載の半導体装置。

【請求項 19】

前記ドリフト領域の上方に設けられた第 2 導電型のベース領域と、
前記ベース領域の上方に設けられ、前記ドリフト領域よりもドーピング濃度の高い第 1 導電型のエミッタ領域と、
前記ベース領域の上方に設けられ、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、
前記半導体基板に設けられた複数のゲートトレンチ部とを備える請求項 1 から 18 のいずれか一項に記載の半導体装置。

【請求項 20】

前記フィールドストップ領域と前記コレクタ領域の境界におけるドーピング濃度が $1 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ 以下である

10

20

30

40

50

請求項 1 から 1 9 のいずれか一項に記載の半導体装置。

【請求項 2 1】

前記フィールドストップ領域と前記コレクタ領域の境界におけるドーピング濃度が $5 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ 以下である

請求項 1 から 2 0 のいずれか一項に記載の半導体装置。

【請求項 2 2】

前記フィールドストップ領域と前記コレクタ領域の境界におけるドーピング濃度が $2 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ 以下である

請求項 1 から 2 1 のいずれか一項に記載の半導体装置。

【請求項 2 3】

前記フィールドストップ領域と前記コレクタ領域の境界における水素化学濃度が $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 以下である

請求項 1 から 2 2 のいずれか一項に記載の半導体装置。

【請求項 2 4】

前記フィールドストップ領域と前記コレクタ領域の境界における水素化学濃度が $1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 以下である

請求項 1 から 2 3 のいずれか一項に記載の半導体装置。

【請求項 2 5】

前記フィールドストップ領域と前記コレクタ領域の境界における水素化学濃度が $1 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ 以上である

請求項 1 から 2 4 のいずれか一項に記載の半導体装置。

【請求項 2 6】

前記フィールドストップ領域と前記コレクタ領域の境界における水素化学濃度が $1 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ 以上である

請求項 1 から 2 5 のいずれか一項に記載の半導体装置。

【請求項 2 7】

前記第 1 ピークのドーパントはリンである

請求項 1、2 または 4 のいずれか一項に記載の半導体装置。

【請求項 2 8】

前記 1 または複数のピークのうち、前記第 1 ピーク以外のピークのドーパントは水素である

請求項 1 から 3 のいずれか一項に記載の半導体装置。

【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、フィールドストップ領域を備える半導体装置が知られている（例えば、特許文献 1 参照）。

特許文献 1 特開 2015 - 135954 号公報

【解決しようとする課題】

【0003】

電流遮断時のサージ電圧による素子の破壊を防止することが好ましい。

【一般的開示】

【0004】

本発明の第 1 の態様においては、半導体基板に設けられた第 1 導電型のドリフト領域と、ドリフト領域の下方に設けられ、1 または複数のピークを有する第 1 導電型のフィールドストップ領域と、フィールドストップ領域の下方に設けられた第 2 導電型のコレクタ領域と、を備え、コレクタ領域の積分濃度を $x [\text{cm}^{-2}]$ とし、1 または複数のピークの

10

20

30

40

50

うち半導体基板の裏面から最も浅い第1ピークの深さを y_1 [μm] とし、

$$\text{線 A 1 : } y_1 = (-7.4699 \text{ E } - 01) \ln(x) + (2.7810 \text{ E } + 01)$$

$$\text{線 B 1 : } y_1 = (-4.7772 \text{ E } - 01) \ln(x) + (1.7960 \text{ E } + 01)$$

とした場合に、第1ピークの深さおよび積分濃度が、線A1と線B1との間の範囲にある半導体装置を提供する。

【0005】

コレクタ領域の積分濃度は、 $8.00 \text{ E } 15 \text{ cm}^{-2}$ 以下であってよい。

【0006】

コレクタ領域の積分濃度は、 $3.00 \text{ E } 14 \text{ cm}^{-2}$ 以下であってよい。

【0007】

コレクタ領域の積分濃度は、 $2.00 \text{ E } 14 \text{ cm}^{-2}$ 以下であってよい。

【0008】

コレクタ領域の積分濃度は、 $1.00 \text{ E } 14 \text{ cm}^{-2}$ 以下であってよい。

【0009】

コレクタ領域の積分濃度は、 $5.00 \text{ E } 13 \text{ cm}^{-2}$ 以下であってよい。

【0010】

コレクタ領域の積分濃度は、 $3.00 \text{ E } 13 \text{ cm}^{-2}$ 以下であってよい。

【0011】

コレクタ領域の積分濃度は、 $1.00 \text{ E } 13 \text{ cm}^{-2}$ 以下であってよい。

【0012】

第1ピークの深さは、 $0.5 \mu\text{m}$ 以上、 $7.2 \mu\text{m}$ 以下であってよい。

【0013】

第1ピークの深さは、 $2.0 \mu\text{m}$ 以上、 $7.2 \mu\text{m}$ 以下であってよい。

【0014】

1または複数のピークのうち裏面から2番目に浅い第2ピークの深さを y_2 [μm] とし、

$$\text{線 A 2 : } y_2 = (-3.1095 \text{ E } + 00) \ln(x) + (1.1416 \text{ E } + 02)$$

$$\text{線 B 2 : } y_2 = (-1.9239 \text{ E } + 00) \ln(x) + (7.1030 \text{ E } + 01)$$

とした場合に、第2ピークの深さおよび積分濃度が、線A2と線B2との間の範囲にあ

ってよい。

【0015】

第2ピークの深さは、 $3.5 \mu\text{m}$ 以上、 $28 \mu\text{m}$ 以下であってよい。

【0016】

半導体装置に接続された回路の浮遊インダクタンス L_s を X_c [nH]、コレクタ電流減少率 dI_{ce}/dt を Y_c [$\text{A}/\mu\text{s}$] とし、

$$\text{線 C 1 : } Y_c = 10000 X_c^{-1}$$

とした場合に、浮遊インダクタンス L_s およびコレクタ電流減少率 dI_{ce}/dt は、線C1よりも大きい範囲にあってよい。

【0017】

1または複数のピークのドーパントは水素であってよい。

【0018】

半導体基板に設けられた活性領域と、半導体基板の上面視において、活性領域の外周に設けられた外周領域とを備えてよい。

【0019】

ドリフト領域の上方に設けられた第2導電型のベース領域と、ベース領域の上方に設けられ、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と、ベース領域の上方に設けられ、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と、半導体基板に設けられた複数のゲートトレンチ部とを備えてよい。

【0020】

フィールドストップ領域とコレクタ領域の境界におけるドーピング濃度は $1 \text{ E } 16 \text{ cm}$

10

20

30

40

50

-³以下であってよい。

【0021】

フィールドストップ領域とコレクタ領域の境界におけるドーピング濃度は $5 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ 以下であってよい。

【0022】

フィールドストップ領域とコレクタ領域の境界におけるドーピング濃度は $2 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ 以下であってよい。

【0023】

フィールドストップ領域とコレクタ領域の境界における水素化学濃度は $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 以下であってよい。

【0024】

フィールドストップ領域とコレクタ領域の境界における水素化学濃度は $1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 以下であってよい。

【0025】

フィールドストップ領域とコレクタ領域の境界における水素化学濃度は $1 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ 以上であってよい。

【0026】

フィールドストップ領域とコレクタ領域の境界における水素化学濃度は $1 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ 以上であってよい。

【0027】

なお、上記の発明の概要は、本発明の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】

【0028】

【図1A】半導体装置100の上面図の一例である。

【図1B】図1Aの領域Aに対応する半導体装置100の上面図の一例である。

【図1C】図1Bにおけるb-b'断面の一例を示す図である。

【図1D】図1Cのc-c'線の位置における、深さ方向のドーピング濃度分布の一例を示す図である。

【図1E】図1Dにおけるフィールドストップ領域20およびコレクタ領域22の拡大図である。

【図1F】第1の濃度ピークおよびコレクタ領域22における、深さ方向のネット・ドーピング濃度及び水素化学濃度の分布の一例を示す図である。

【図1G】図1Aの領域Bに対応する半導体装置100の上面図の一例である。

【図1H】図1Aにおけるa-a'断面の一例を示す図である。

【図2A】半導体装置100のクランプ耐量試験時の回路の一例である。

【図2B】半導体装置100のクランプエネルギーを説明するための図である。

【図3A】コレクタ領域22のドーピング濃度とクランプエネルギーとの関係を示す。

【図3B】コレクタ領域22のドーピング濃度と素子の耐圧との関係を示す。

【図4A】実施例に係る半導体装置100の電流電圧特性の一例を示す。

【図4B】比較例に係る半導体装置500の電流電圧特性の一例を示す。

【図5A】コレクタ領域22の積分濃度と第1ピークP1の深さとの関係の例を示す。

【図5B】コレクタ領域22の積分濃度と第1ピークP1の深さとの関係の他の例を示す。

【図5C】コレクタ領域22の積分濃度と第1ピークP1の深さとの関係の他の例を示す。

【図6A】コレクタ領域22の積分濃度と第1ピークP1の深さとの関係の他の例を示す。

【図6B】コレクタ領域22の積分濃度と第1ピークP1の深さとの関係の他の例を示す。

【図6C】コレクタ領域22の積分濃度と第1ピークP1の深さとの関係の他の例を示す。

【図6D】コレクタ領域22の積分濃度と第1ピークP1の深さとの関係の他の例を示す。

【図6E】コレクタ領域22の積分濃度と第1ピークP1の深さとの関係の他の例を示す。

【図6F】コレクタ領域22の積分濃度と第1ピークP1の深さとの関係の他の例を示す。

10

20

30

40

50

【図 7 A】コレクタ領域 2 2 の積分濃度と第 2 ピーク P 2 の深さとの関係を示す。

【図 7 B】コレクタ領域 2 2 の積分濃度と第 2 ピーク P 2 の深さとの関係の他の例を示す。

【図 7 C】コレクタ領域 2 2 の積分濃度と第 2 ピーク P 2 の深さとの関係を示す。

【図 8 A】浮遊インダクタンス L_s とコレクタ電流減少率 dI_{ce}/dt との関係を示すための図である。

【図 8 B】比浮遊インダクタンス $L_s \cdot A$ と電流密度 dJ_{ce}/dt との関係を示すための図である。

【図 9】比浮遊インダクタンス $L_s \cdot A$ と比ゲート抵抗 $R_g \cdot A$ との関係を示すための図である。

【発明を実施するための形態】

【0029】

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。

【0030】

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」、「おもて」、「裏」の方向は重力方向、または、半導体装置の実装時における基板等への取り付け方向に限定されない。

【0031】

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。

【0032】

本明細書では、半導体基板の上面と平行な面を XY 面とし、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。半導体基板の深さ方向を Z 軸と称する場合がある。なお、本明細書において、Z 軸方向に半導体基板を視した場合について平面視と称する。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。

【0033】

各実施例においては、第 1 導電型を N 型、第 2 導電型を P 型とした例を示しているが、第 1 導電型を P 型、第 2 導電型を N 型としてもよい。この場合、各実施例における基板、層、領域等の導電型は、それぞれ逆の極性となる。

【0034】

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。

【0035】

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。

【0036】

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

10

20

30

40

50

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。

【0037】

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。VOH 欠陥を、単に水素ドナーと称する場合がある。

【0038】

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。

10

【0039】

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。尚、本発明における各濃度は、室温における値でよい。室温における値は、一例として 300 K (ケルビン) (約 26.9) のときの値を用いてよい。

20

【0040】

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。

【0041】

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。

30

【0042】

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、水素の化学濃度のたとえば 0.1% から 10% 程度である。

40

【0043】

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 等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。

【0044】

本明細書においてドーピング濃度とは、ドナーまたはアクセプタ化したドーパントの濃度を指す。したがって、その単位は、 1/cm^3 である。本明細書において、ドナーおよびアクセプタの濃度差 (すなわちネットドーピング濃度) をドーピング濃度とする場合がある。この場合、ドーピング濃度は SR 法で測定できる。また、ドナーおよびアクセプタの化学濃度をドーピング濃度としてもよい。この場合、ドーピング濃度は SIMS 法で測定

50

できる。特に限定していなければ、ドーピング濃度として、上記のいずれを用いてもよい。特に限定していなければ、ドーピング領域におけるドーピング濃度分布のピーク値を、当該ドーピング領域におけるドーピング濃度としてよい。

【 0 0 4 5 】

また、本明細書においてドーズ量とは、イオン注入を行う際に、ウェハに注入される単位面積あたりのイオンの個数をいう。したがって、その単位は、 /cm^2 である。なお、半導体領域のドーズ量は、その半導体領域の深さ方向にわたってドーピング濃度を積分した積分濃度とすることができる。その積分濃度の単位は、 /cm^2 である。したがって、ドーズ量と積分濃度とを同じものとして扱ってよい。積分濃度は、半値幅までの積分値としてもよく、他の半導体領域のスペクトルと重なる場合には、他の半導体領域の影響を除いて導出してよい。

10

【 0 0 4 6 】

よって、本明細書では、ドーピング濃度の高低をドーズ量の高低として読み替えることができる。即ち、一の領域のドーピング濃度が他の領域のドーピング濃度よりも高い場合、当該一の領域のドーズ量が他の領域のドーズ量よりも高いものと理解することができる。

【 0 0 4 7 】

図 1 A は、半導体装置 1 0 0 の上面図の一例である。半導体装置 1 0 0 は、活性領域 1 1 0 と、外周領域 1 2 0 と、パッド領域 1 3 0 とを備える。半導体装置 1 0 0 は、トランジスタ部 7 0 およびダイオード部 8 0 を備える半導体チップである。半導体装置 1 0 0 は、温度センス部 7 6 を備え、IPM (Intelligent Power Module) 等のモジュールに搭載されてよい。

20

【 0 0 4 8 】

トランジスタ部 7 0 は、IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor) 等のトランジスタを含む。ダイオード部 8 0 は、還流ダイオード (FWD : Free Wheel Diode) 等のダイオードを含む。本例の半導体装置 1 0 0 は、トランジスタ部 7 0 およびダイオード部 8 0 を同一のチップに有する逆導通 IGBT (RC - IGBT : Reverse Conducting IGBT) である。本例では、トランジスタ部 7 0 のトランジスタは、IGBT である。

【 0 0 4 9 】

半導体基板 1 0 は、シリコン基板であってよく、炭化シリコン基板であってよく、窒化ガリウム等の窒化物半導体基板等であってよい。本例の半導体基板 1 0 は、シリコン基板である。半導体基板 1 0 は、活性領域 1 1 0 および外周領域 1 2 0 を有する。

30

【 0 0 5 0 】

トランジスタ部 7 0 およびダイオード部 8 0 は、XY 平面内において交互に周期的に配列されてよい。本例の半導体装置 1 0 0 は、複数のトランジスタ部 7 0 および複数のダイオード部 8 0 をそれぞれ備える。本例のトランジスタ部 7 0 およびダイオード部 8 0 は、Y 軸方向に延伸するトレンチ部を有する。但し、トランジスタ部 7 0 およびダイオード部 8 0 は、X 軸方向に延伸するトレンチ部を有していてもよい。

【 0 0 5 1 】

温度センス部 7 6 は、活性領域 1 1 0 の上方に設けられる。温度センス部 7 6 は、単結晶または多結晶のシリコンで形成されてよい。半導体装置 1 0 0 の温度が変化すると、温度センス部 7 6 に流れる電流の順方向電圧が変化する。順方向電圧の変化に基づいて、半導体装置 1 0 0 の温度を検出することができる。

40

【 0 0 5 2 】

活性領域 1 1 0 は、トランジスタ部 7 0 およびダイオード部 8 0 を有する。活性領域 1 1 0 は、半導体装置 1 0 0 をオン状態に制御した場合に、半導体基板 1 0 のおもて面と裏面との間で主電流が流れる領域である。即ち、半導体基板 1 0 のおもて面から裏面、または裏面からおもて面に、半導体基板 1 0 の内部を深さ方向に電流が流れる領域である。本明細書では、トランジスタ部 7 0 およびダイオード部 8 0 をそれぞれ素子部または素子領域と称する。

50

【 0 0 5 3 】

なお、上面視において、2つの素子部に挟まれた領域も活性領域 1 1 0 とする。本例では、素子部に挟まれてゲートランナー 5 1 が設けられている領域も活性領域 1 1 0 に含めている。

【 0 0 5 4 】

ゲートランナー 5 1 は、パッド領域 1 3 0 のゲートパッド 1 3 1 から供給されるゲート電位をトランジスタ部 7 0 のゲート導電部に供給してよい。ゲートランナー 5 1 は、上面視において、活性領域 1 1 0 の外周に沿って設けられている。ゲートランナー 5 1 は、上面視において、トランジスタ部 7 0 およびダイオード部 8 0 の間の領域にも設けられてよい。

10

【 0 0 5 5 】

外周領域 1 2 0 は、上面視において、活性領域 1 1 0 とパッド領域 1 3 0 を囲むように半導体基板 1 0 の端部周辺に設けられる。半導体基板 1 0 の外周端との間の領域である。外周領域 1 2 0 は、上面視において、活性領域 1 1 0 を囲んで設けられる。外周領域 1 2 0 は、エッジ終端構造部を有してよい。エッジ終端構造部は、半導体基板 1 0 のおもて面側の電界集中を緩和する。例えば、エッジ終端構造部は、ガードリング、フィールドプレート、リサーフおよびこれらを組み合わせた構造を有する。

【 0 0 5 6 】

パッド領域 1 3 0 は、ゲートパッド 1 3 1、センス I G B T 1 3 2、センスエミッタパッド 1 3 3、アノードパッド 1 3 4 およびカソードパッド 1 3 5 を有する。本例では、カソードパッド 1 3 5、アノードパッド 1 3 4、ゲートパッド 1 3 1、センス I G B T 1 3 2 およびセンスエミッタパッド 1 3 3 がこの順で X 軸方向に並べて設けられる。各パッドは、金 (A u)、銀 (A g)、銅 (C u) またはアルミニウム (A l) 等を含む電極パッドであってよい。

20

【 0 0 5 7 】

ゲートパッド 1 3 1 は、ゲートランナー 5 1 を介してトランジスタ部 7 0 のゲート導電部と電氣的に接続される。ゲートパッド 1 3 1 は、ゲート電位に設定されている。

【 0 0 5 8 】

センス I G B T 1 3 2 は、トランジスタ部 7 0 に流れる主電流を検出するための I G B T である。センス I G B T 1 3 2 には、トランジスタ部 7 0 に流れる主電流に比例した電流が流れる。センス I G B T 1 3 2 に流れるセンス電流を、半導体装置 1 0 0 の外部に設けられた制御回路に取り込むことにより、トランジスタ部 7 0 の主電流を検出することができる。本例のセンスエミッタパッド 1 3 3 は、センス I G B T 1 3 2 のエミッタと同じ電位を有する。センス電流は、センス I G B T 1 3 2 を経てセンスエミッタパッド 1 3 3 から上述の制御回路に取り込まれてよい。制御回路はセンス電流に基づいて主電流を検知して、トランジスタ部 7 0 に過電流が流れている場合にトランジスタ部 7 0 に流れる電流を遮断してよい。

30

【 0 0 5 9 】

アノードパッド 1 3 4 は、温度センス部 7 6 と電氣的に接続され、温度センス部 7 6 のアノード電位に設定される。同様に、カソードパッド 1 3 5 は、温度センス部 7 6 と電氣的に接続され、温度センス部 7 6 のカソード電位に設定される。アノードパッド 1 3 4 およびカソードパッド 1 3 5 を用いて、温度センス部 7 6 のアノード カソード間の電位差を検知することができる。

40

【 0 0 6 0 】

図 1 B は、図 1 A の領域 A に対応する半導体装置 1 0 0 の上面図の一例である。即ち、活性領域 1 1 0 の端部の拡大図を示している。

【 0 0 6 1 】

トランジスタ部 7 0 は、半導体基板 1 0 の裏面側に設けられたコレクタ領域 2 2 を半導体基板 1 0 のおもて面に投影した領域である。コレクタ領域 2 2 は、第 2 導電型を有する。本例のコレクタ領域 2 2 は、一例として P + 型である。トランジスタ部 7 0 は、トラン

50

ジスタ部 70 とダイオード部 80 の境界に位置する境界部 90 を含む。

【0062】

ダイオード部 80 は、半導体基板 10 の裏面側に設けられたカソード領域 82 を半導体基板 10 のおもて面に投影した領域である。カソード領域 82 は、第 1 導電型を有する。本例のカソード領域 82 は、一例として N+ 型である。

【0063】

本例の半導体装置 100 は、半導体基板 10 のおもて面において、ゲートトレンチ部 40 と、ダミートレンチ部 30 と、エミッタ領域 12 と、ベース領域 14 と、コンタクト領域 15 と、ウェル領域 17 とを備える。また、本例の半導体装置 100 は、半導体基板 10 のおもて面の上方に設けられたエミッタ電極 52 およびゲート金属層 50 を備える。

10

【0064】

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、エミッタ領域 12、ベース領域 14、コンタクト領域 15 およびウェル領域 17 の上方に設けられている。また、ゲート金属層 50 は、ウェル領域 17 およびゲートランナー 51 の上方に設けられている。本例のエミッタ電極 52 は、トランジスタ部 70 のエミッタ電位に設定されている。

【0065】

ゲート金属層 50 は、トランジスタ部 70 のゲート導電部と電氣的に接続され、トランジスタ部 70 にゲート電圧を供給する。ゲート金属層 50 は、ゲートパッド 131 と電氣的に接続される。ゲート金属層 50 は、上面視で、活性領域 110 の外周に沿って設けられる。ゲート金属層 50 は、上面視で、トランジスタ部 70 およびダイオード部 80 の間にも設けられてよい。

20

【0066】

ゲートランナー 51 は、ゲート金属層 50 とゲートトレンチ部 40 内のゲート導電部とを接続する。ゲートランナー 51 は、ダミートレンチ部 30 内のダミー導電部とは接続されない。例えば、ゲートランナー 51 は、不純物がドーピングされたポリシリコン等で形成される。

【0067】

エミッタ電極 52 およびゲート金属層 50 は、金属を含む材料で形成される。例えば、エミッタ電極 52 の少なくとも一部の領域は、アルミニウム、アルミニウム シリコン合金、またはアルミニウム シリコン 銅合金で形成されてよい。エミッタ電極 52 は、アルミニウム等で形成された領域の下層にチタンやチタン化合物等で形成されたバリアメタルを有してよい。エミッタ電極 52 およびゲート金属層 50 は、互いに分離して設けられる。

30

【0068】

エミッタ電極 52 およびゲート金属層 50 は、層間絶縁膜 38 を挟んで、半導体基板 10 の上方に設けられる。層間絶縁膜 38 は、図 1B では省略されている。層間絶縁膜 38 には、コンタクトホール 54、コンタクトホール 55 およびコンタクトホール 56 が貫通して設けられている。

【0069】

コンタクトホール 55 は、ゲート金属層 50 とゲートランナー 51 とを接続する。コンタクトホール 55 の内部には、タングステン等で形成されたプラグが形成されてもよい。コンタクトホール 55 は、ゲートランナー 51 に沿って設けられてよい。

40

【0070】

コンタクトホール 56 は、エミッタ電極 52 とダミートレンチ部 30 内のダミー導電部とを接続する。コンタクトホール 56 の内部には、タングステン等で形成されたプラグが形成されてもよい。

【0071】

接続部 25 は、エミッタ電極 52 とコンタクトホール 56 の内部のプラグとを電氣的に接続する。接続部 25 は、不純物がドーピングされたポリシリコン等の導電性材料を有する。

50

本例の接続部 25 は、N 型の不純物がドーブされたポリシリコンである。接続部 25 は、上面視において、コンタクトホール 56 よりも大きな範囲を覆う。接続部 25 は、酸化膜等の絶縁膜等を介して、半導体基板 10 のおもて面の上方に設けられる。

【0072】

ゲートトレンチ部 40 は、予め定められた配列方向（本例では X 軸方向）に沿って予め定められた間隔で配列される。本例のゲートトレンチ部 40 は、半導体基板 10 のおもて面に平行であって配列方向と垂直な延伸方向（本例では Y 軸方向）に沿って延伸する 2 つの延伸部分 41 と、2 つの延伸部分 41 を接続する接続部分 43 を有してよい。

【0073】

接続部分 43 は、少なくとも一部が曲線状に形成されることが好ましい。ゲートトレンチ部 40 の 2 つの延伸部分 41 の端部を接続することで、延伸部分 41 の端部における電界集中を緩和できる。ゲートトレンチ部 40 の接続部分 43 において、ゲートランナー 51 がゲート導電部と接続されてよい。

10

【0074】

ダミートレンチ部 30 は、エミッタ電極 52 と電気的に接続されたトレンチ部である。ダミートレンチ部 30 は、ゲートトレンチ部 40 と同様に、予め定められた配列方向（本例では X 軸方向）に沿って予め定められた間隔で配列される。本例のダミートレンチ部 30 は、ゲートトレンチ部 40 と同様に、半導体基板 10 のおもて面において U 字形状を有してよい。即ち、ダミートレンチ部 30 は、延伸方向に沿って延伸する 2 つの延伸部分 31 と、2 つの延伸部分 31 を接続する接続部分 33 を有してよい。

20

【0075】

ウェル領域 17 は、後述するドリフト領域 18 よりも半導体基板 10 のおもて面側に設けられた第 2 導電型の領域である。ウェル領域 17 は、半導体装置 100 のエッジ側に設けられるウェル領域の一例である。ウェル領域 17 は、一例として P + 型である。ウェル領域 17 は、ゲート金属層 50 が設けられる側の活性領域 110 の端部から、予め定められた範囲で形成される。ウェル領域 17 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、ゲート金属層 50 側の一部の領域は、ウェル領域 17 に形成される。ゲートトレンチ部 40 およびダミートレンチ部 30 の延伸方向の端の底は、ウェル領域 17 に覆われてよい。

30

【0076】

コンタクトホール 54 は、トランジスタ部 70 において、エミッタ領域 12 およびコンタクト領域 15 の各領域の上方に形成される。また、コンタクトホール 54 は、ダイオード部 80 において、ベース領域 14 の上方に設けられる。コンタクトホール 54 は、境界部 90 において、コンタクト領域 15 の上方に設けられる。いずれのコンタクトホール 54 も、延伸方向の両端に設けられたウェル領域 17 の上方には設けられていない。このように、層間絶縁膜 38 には、1 または複数のコンタクトホール 54 が形成されている。1 または複数のコンタクトホール 54 は、延伸方向に延伸して設けられてよい。

【0077】

境界部 90 は、トランジスタ部 70 に設けられ、ダイオード部 80 と隣接する領域である。境界部 90 は、コンタクト領域 15 を有する。本例の境界部 90 は、エミッタ領域 12 を有さない。本例の境界部 90 は、配列方向における両端がダミートレンチ部 30 となるように配置されている。

40

【0078】

メサ部 71、メサ部 91 およびメサ部 81 は、半導体基板 10 のおもて面と平行な面内において、トレンチ部に隣接して設けられたメサ部である。メサ部とは、隣り合う 2 つのトレンチ部に挟まれた半導体基板 10 の部分であって、半導体基板 10 のおもて面から、各トレンチ部の最も深い底部の深さまでの部分であってよい。各トレンチ部の延伸部分を 1 つのトレンチ部としてよい。即ち、2 つの延伸部分に挟まれる領域をメサ部としてよい。

【0079】

50

メサ部 7 1 は、トランジスタ部 7 0 において、ダミートレンチ部 3 0 またはゲートトレンチ部 4 0 の少なくとも 1 つに隣接して設けられる。メサ部 7 1 は、半導体基板 1 0 のおもて面において、ウェル領域 1 7 と、エミッタ領域 1 2 と、ベース領域 1 4 と、コンタクト領域 1 5 とを有する。メサ部 7 1 では、エミッタ領域 1 2 およびコンタクト領域 1 5 が延伸方向において交互に設けられている。

【 0 0 8 0 】

メサ部 9 1 は、境界部 9 0 に設けられている。メサ部 9 1 は、半導体基板 1 0 のおもて面において、ベース領域 1 4 と、コンタクト領域 1 5 と、ウェル領域 1 7 とを有する。本例のメサ部 9 1 は、配列方向の両端がダミートレンチ部 3 0 と接しているが、少なくとも一方がゲートトレンチ部 4 0 と接していてもよい。本例では、1 つのメサ部 9 1 が設けら

10

【 0 0 8 1 】

メサ部 8 1 は、ダイオード部 8 0 において、隣り合うダミートレンチ部 3 0 に挟まれた領域に設けられる。メサ部 8 1 は、半導体基板 1 0 のおもて面において、ベース領域 1 4 およびウェル領域 1 7 を有する。

【 0 0 8 2 】

ベース領域 1 4 は、トランジスタ部 7 0 およびダイオード部 8 0 において、半導体基板 1 0 のおもて面側に設けられた第 2 導電型の領域である。ベース領域 1 4 は、一例として P - 型である。ベース領域 1 4 は、半導体基板 1 0 のおもて面において、メサ部 7 1 およびメサ部 9 1 の延伸方向における両端部に設けられてよい。なお、図 1 B は、当該ベース領域 1 4 の延伸方向の一方の端部のみを示している。

20

【 0 0 8 3 】

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の高い第 1 導電型の領域である。本例のエミッタ領域 1 2 は、一例として N + 型である。エミッタ領域 1 2 のドーパントの一例はヒ素 (As) である。エミッタ領域 1 2 は、メサ部 7 1 のおもて面において、ゲートトレンチ部 4 0 と接して設けられる。エミッタ領域 1 2 は、メサ部 7 1 を挟んだ 2 本のトレンチ部の一方から他方まで、配列方向に延伸して設けられてよい。エミッタ領域 1 2 は、コンタクトホール 5 4 の下方にも設けられている。

【 0 0 8 4 】

また、エミッタ領域 1 2 は、ダミートレンチ部 3 0 と接してもよいし、接しなくてもよい。本例のエミッタ領域 1 2 は、ダミートレンチ部 3 0 と接している。エミッタ領域 1 2 は、境界部 9 0 のメサ部 9 1 には設けられなくてよい。

30

【 0 0 8 5 】

コンタクト領域 1 5 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。本例のコンタクト領域 1 5 は、一例として P + 型である。本例のコンタクト領域 1 5 は、メサ部 7 1 およびメサ部 9 1 のおもて面に設けられている。コンタクト領域 1 5 は、メサ部 7 1 またはメサ部 9 1 を挟んだ 2 本のトレンチ部の一方から他方まで、配列方向に設けられてよい。コンタクト領域 1 5 は、ゲートトレンチ部 4 0 と接してもよいし、接しなくてもよい。また、コンタクト領域 1 5 は、ダミートレンチ部 3 0 と接してもよいし、接しなくてもよい。本例においては、コンタクト領域 1 5 が、ダミートレンチ部 3 0 およびゲートトレンチ部 4 0 と接する。コンタクト領域 1 5 は、コンタクトホール 5 4 の下方にも設けられている。なお、コンタクト領域 1 5 は、メサ部 8 1 にも設けられてよい。

40

【 0 0 8 6 】

図 1 C は、図 1 B における b - b' 断面の一例を示す図である。b - b' 断面は、トランジスタ部 7 0 において、エミッタ領域 1 2 を通過する X Z 面である。本例の半導体装置 1 0 0 は、b - b' 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。エミッタ電極 5 2 は、半導体基板 1 0 および層間絶縁膜 3 8 の上方に形成される。

【 0 0 8 7 】

ドリフト領域 1 8 は、半導体基板 1 0 に設けられた第 1 導電型の領域である。本例のド

50

ドリフト領域 18 は、一例として N - 型である。ドリフト領域 18 は、半導体基板 10 において他のドーピング領域が形成されずに残存した領域であってよい。即ち、ドリフト領域 18 のドーピング濃度は半導体基板 10 のドーピング濃度であってよい。

【0088】

フィールドストップ領域 20 は、ドリフト領域 18 の下方に設けられた第 1 導電型の領域である。本例のフィールドストップ領域 20 は、一例として N 型である。フィールドストップ領域 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。フィールドストップ領域 20 は、ベース領域 14 の下面側から広がる空乏層が、第 2 導電型のコレクタ領域 22 および第 1 導電型のカソード領域 82 に到達することを防ぐ。

【0089】

フィールドストップ領域 20 は、1 または複数のピークを有してよい。本例のフィールドストップ領域 20 は、第 1 ピーク P1 ~ 第 4 ピーク P4 の 4 つのピークを有する。1 または複数のピークのドーパントは水素であってよい。

【0090】

第 1 ピーク P1 ~ 第 4 ピーク P4 は、この順で裏面 23 から順に設けられる。即ち、第 1 ピーク P1 が最も裏面 23 に近いピークである。第 1 ピーク P1 のドーピング濃度は、他のピークのドーピング濃度よりも高くてもよい。これにより、電圧印加時の空乏層をゆっくりと確実に止めることができる。

【0091】

コレクタ領域 22 は、トランジスタ部 70 において、フィールドストップ領域 20 の下方に設けられる。カソード領域 82 は、ダイオード部 80 において、フィールドストップ領域 20 の下方に設けられる。コレクタ領域 22 とカソード領域 82 との境界は、トランジスタ部 70 とダイオード部 80 との境界である。

【0092】

コレクタ電極 24 は、半導体基板 10 の裏面 23 に形成される。コレクタ電極 24 は、金属等の導電材料で形成される。

【0093】

ベース領域 14 は、メサ部 71、メサ部 91 およびメサ部 81 において、ドリフト領域 18 の上方に設けられる第 2 導電型の領域である。ベース領域 14 は、ゲートトレンチ部 40 に接して設けられる。ベース領域 14 は、ダミートレンチ部 30 に接して設けられてよい。

【0094】

エミッタ領域 12 は、メサ部 71 において、ベース領域 14 とおもて面 21 との間に設けられる。エミッタ領域 12 は、ゲートトレンチ部 40 と接して設けられる。エミッタ領域 12 は、ダミートレンチ部 30 と接してもよいし、接しなくてもよい。なお、エミッタ領域 12 は、メサ部 91 に設けられなくてよい。

【0095】

コンタクト領域 15 は、メサ部 91 において、ベース領域 14 の上方に設けられる。コンタクト領域 15 は、メサ部 91 において、ダミートレンチ部 30 に接して設けられる。他の断面において、コンタクト領域 15 は、メサ部 71 のおもて面 21 に設けられてよい。

【0096】

蓄積領域 16 は、ドリフト領域 18 よりも半導体基板 10 のおもて面 21 側に設けられる第 1 導電型の領域である。本例の蓄積領域 16 は、一例として N + 型である。蓄積領域 16 は、トランジスタ部 70 およびダイオード部 80 に設けられる。本例の蓄積領域 16 は、境界部 90 にも設けられている。

【0097】

また、蓄積領域 16 は、ゲートトレンチ部 40 に接して設けられる。蓄積領域 16 は、ダミートレンチ部 30 に接してもよいし、接しなくてもよい。蓄積領域 16 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。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、トランジスタ部 70 のオン電圧を低減でき

10

20

30

40

50

る。

【 0 0 9 8 】

1つ以上のゲートトレンチ部 4 0 および 1つ以上のダミートレンチ部 3 0 は、おもて面 2 1 に設けられる。各トレンチ部は、おもて面 2 1 からドリフト領域 1 8 まで設けられる。エミッタ領域 1 2、ベース領域 1 4、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る領域においては、各トレンチ部はこれらの領域も貫通して、ドリフト領域 1 8 に到達する。トレンチ部がドーピング領域を貫通するとは、ドーピング領域を形成してからトレンチ部を形成する順序で製造したものに限定されない。トレンチ部を形成した後に、トレンチ部の間にドーピング領域を形成したのも、トレンチ部がドーピング領域を貫通しているものにも含まれる。

10

【 0 0 9 9 】

ゲートトレンチ部 4 0 は、おもて面 2 1 に形成さ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形成される。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 よりも内側に形成される。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。ゲートトレンチ部 4 0 は、おもて面 2 1 において層間絶縁膜 3 8 により覆われる。

【 0 1 0 0 】

ゲート導電部 4 4 は、半導体基板 1 0 の深さ方向において、ゲート絶縁膜 4 2 を挟んでメサ部 7 1 側で隣接するベース領域 1 4 と対向する領域を含む。ゲート導電部 4 4 に予め定められた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。

20

【 0 1 0 1 】

ダミートレンチ部 3 0 は、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、おもて面 2 1 側に形成さ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。ダミー絶縁膜 3 2 は、ダミートレンチの内壁を覆って形成される。ダミー導電部 3 4 は、ダミートレンチの内部に形成され、且つ、ダミー絶縁膜 3 2 よりも内側に形成される。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。ダミートレンチ部 3 0 は、おもて面 2 1 において層間絶縁膜 3 8 により覆われる。

30

【 0 1 0 2 】

層間絶縁膜 3 8 は、おもて面 2 1 に設けられている。層間絶縁膜 3 8 の上方には、エミッタ電極 5 2 が設けられている。層間絶縁膜 3 8 には、エミッタ電極 5 2 と半導体基板 1 0 とを電氣的に接続するための 1 又は複数のコンタクトホール 5 4 が設けられている。コンタクトホール 5 5 およびコンタクトホール 5 6 も同様に、層間絶縁膜 3 8 を貫通して設けられてよい。

【 0 1 0 3 】

図 1 D は、図 1 C の c - c' 線の位置における、深さ方向のドーピング濃度分布の一例を示す図である。c - c' 線は、トランジスタ部 7 0 において、エミッタ領域 1 2 からコレクタ領域 2 2 まで通過する。図 1 D の縦軸は、対数軸である。なお、本例ではトランジスタ部 7 0 におけるフィールドストップ領域 2 0 のドーピング濃度分布を説明するが、ダイオード部 8 0 におけるフィールドストップ領域 2 0 も同様のドーピング濃度分布を有してよい。

40

【 0 1 0 4 】

本例のドリフト領域 1 8 のドーピング濃度は、バルク・ドナー濃度 D_b である。本例の半導体基板 1 0 は、第 1 導電型 (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 1 0 の元となるインゴットの製造時に、インゴット内に略一様に含まれたドーパントによるドナーである。本例のバルク・ドナーは、水素以外の元素である。バルク・ドナーのドーパントは、例えばリン、アンチモン、ヒ素、セレン、硫黄であ

50

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ェハであってよく、ウェ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、チヨクラルスキー法(CZ法)、磁場印加型チヨクラルスキー法(MCZ法)、フロートゾーン法(FZ法)のいずれかで製造されよい。本例におけるインゴットは、MCZ法で製造されている。バルク・ドナー濃度 D_b は、半導体基板10の全体に分布している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。

【0105】

本例では、フィールドストップ領域20におけるドーピング濃度分布が、深さ方向において異なる位置に4つの濃度ピークP1、P2、P3、P4を有する場合について説明する。但し、濃度ピークの数にはこれに限定されない。本例において濃度ピークは、ドナー濃度のピークである。複数の濃度ピークは、水素またはリン等の不純物を、フィールドストップ領域20の複数の深さ位置に注入することで形成できる。一例として、P1の位置をリンとし、P2~P4をドナーとしての水素を用いてよい。本例ではP1~P4の全てがドナーとしての水素である。フィールドストップ領域20は、濃度ピークと対応する位置に、水素またはリン等の不純物の濃度ピークを有してよい。不純物の濃度ピークは、不純物の化学濃度分布におけるピークである。複数の濃度ピークを設けることで、空乏層がコレクタ領域22に達することを、より抑制できる。

10

【0106】

図1Eは、図1Cのフィールドストップ領域20およびコレクタ領域22におけるドーピング濃度分布の拡大図である。図1Eの縦軸は、対数軸である。図1Eにおいて、複数の濃度ピークP1、P2、P3、P4のドーピング濃度のピーク値は、それぞれ d_1 、 d_2 、 d_3 、 d_4 である。また、コレクタ領域22とフィールドストップ領域20との間のpn接合の深さを J_1 とする。

20

【0107】

複数の濃度ピークは、半導体基板10の裏面23に最も近い最浅ピークを含む。本例では、濃度ピークP1が最浅ピークに相当する。本例の濃度ピークP1は、コレクタ領域22に最も近い濃度ピークである。ダイオード部80のフィールドストップ領域20においては、濃度ピークP1は、カソード領域82に最も近い濃度ピークである。カソード領域82は、濃度ピークとは異なる不純物を注入することで形成されてよい。例えばカソード領域82はリン等の不純物濃度ピークを有し、フィールドストップ領域20は水素等の不純物濃度ピークを有する。

30

【0108】

複数の濃度ピークは、最浅ピーク(濃度ピークP1)よりも、裏面23から離れた位置に配置された高濃度ピークを含む。高濃度ピークは、最浅ピークに最も近い濃度ピークP2であってよく、他の濃度ピークであってよい。図1Eの例では、濃度ピークP1に最も近い濃度ピークP2が高濃度ピークに相当する。

【0109】

複数の濃度ピークは、高濃度ピークよりも裏面23から離れた位置に配置され、ドーピング濃度のピーク値が高濃度ピークのピーク値の $1/5$ 以下である低濃度ピークを含む。低濃度ピークは、複数の濃度ピークのうち、裏面23から最も離れて配置された最深ピーク(本例では濃度ピークP4)であってよい。低濃度ピークは、最深ピーク以外の濃度ピークであってよい。つまり低濃度ピークは、高濃度ピークと最深ピークとの間の濃度ピークであってよい。

40

【0110】

また、低濃度ピークが2つ以上設けられていてもよい。低濃度ピークは、深さ方向に隣り合って配置されることが好ましい。複数の濃度ピークのうち、裏面23から最も遠くに配置された2つ以上の濃度ピークが、低濃度ピークであってよい。図1Eの例では、最深ピークである濃度ピークP4と、裏面23に向かって最深ピークの次に裏面23から離れた位置に設けられた濃度ピークP3と、P3の次に裏面23に近い濃度ピークP2とが、

50

低濃度ピークである。最も裏面 2 3 に近い濃度ピーク以外の濃度ピークを、低濃度ピークとしてもよい。図 1 E の例においては、濃度ピーク P 3 のドーピング濃度のピーク値 d_3 と、濃度ピーク P 4 のドーピング濃度のピーク値 d_4 のいずれもが、濃度ピーク P 1 のドーピング濃度のピーク値 d_1 の $1/5$ 以下である。低濃度ピーク P 2 ~ P 4 の濃度ピーク $d_2 \sim d_4$ が、濃度ピーク P 1 のピーク値 d_1 の $1/10$ 以下であってよい。なお、本例では P 3 のピーク値 d_3 が P 4 のピーク値 d_4 よりも低くなっている。P 3 のピーク値 d_3 は、P 4 のピーク値 d_4 より高くてもよい。すなわち、P 2 から P 4 のピーク値は、おもて面 2 1 に向かって低下してよい。

【0111】

直列に接続された 2 つの半導体装置 1 0 0 が同時にオンする短絡状態等においては、半導体装置 1 0 0 のエミッタ/コレクタ間に高電圧が印加される場合がある。この場合、フィールドストップ領域 2 0 における最深ピーク（本例では濃度ピーク P 4）の近傍に、電界が集中しやすくなる。このため、濃度ピーク P 3 および濃度ピーク P 4 等のように、最深ピークの近傍におけるドーピング濃度を高くすると、電界の集中が促進されてしまう。電界が集中すると、半導体装置 1 0 0 のターンオフ時等においてゲート電圧が振動しやすくなる。

10

【0112】

本例の濃度ピークは、高濃度ピーク（濃度ピーク P 1）よりも深い位置に、ドーピング濃度が十分小さい低濃度ピークを設けている。このため、フィールドストップ領域 2 0 の深い位置における電界集中を緩和できる。上述したように、低濃度ピークは一以上であってよく、複数設けられていてもよい。これにより、比較的到低濃度のフィールドストップ領域 2 0 を、ドリフト領域 1 8 側に長く形成できる。図 1 E の例では、フィールドストップ領域 2 0 は 3 つの低濃度ピークを有しているが、他の例では、フィールドストップ領域 2 0 は 4 つ以上の低濃度ピークを有していてもよい。また、最深ピークは、半導体基板 1 0 のおもて面 2 1 側に設けられていてもよい。フィールドストップ領域 2 0 のドリフト領域 1 8 側を低濃度領域としつつ、低濃度領域を深さ方向に長く形成することで、電界集中を緩和しつつ、フィールドストップ機能を維持しやすくなる。

20

【0113】

低濃度ピークのドーピング濃度のピーク値は、高濃度ピークのドーピング濃度のピーク値の $1/5$ 以下であってよく、 $1/10$ 以下であってよく、 $1/20$ 以下であってよい。低濃度ピークのドーピング濃度を低くすることで、電界集中をより緩和できる。

30

【0114】

また、低濃度ピークのドーピング濃度のピーク値は、バルク・ドナー濃度 D_b よりも高い。低濃度ピークのドーピング濃度のピーク値は、半導体基板 1 0 のバルク・ドナー濃度 D_b の 5 0 倍以下であってよい。ドリフト領域 1 8 のドーピング濃度を、バルク・ドナー濃度 D_b として用いてよい。低濃度ピークのドーピング濃度のピーク値は、バルク・ドナー濃度 D_b の 2 0 倍以下であってよく、1 0 倍以下であってよく、8 倍以下であってよく、5 倍以下であってよく、3 倍以下であってよく、2 倍以下であってよい。

【0115】

また、低濃度ピークのピーク間におけるドーピング濃度の極小値は、バルク・ドナー濃度 D_b よりも高くてもよく、バルク・ドナー濃度 D_b の 5 倍以下であってよく、3 倍以下であってよく、2 倍以下であってよい。隣り合う低濃度ピークのどちらかのピーク濃度に対する、ピーク間の極小値の比は、0.8 以下であってよく、0.5 以下であってよく、0.2 以下であってよく、0.1 以上であってよく、0.2 以上であってよく、0.5 以上であってよい。

40

【0116】

濃度ピーク P 1、P 2、P 3、P 4 の深さ方向における位置を、それぞれ Z 1、Z 2、Z 3、Z 4 とする。濃度ピーク P 4 と、濃度ピーク P 2 との深さ方向における距離は Z 4 - Z 2 である。また、濃度ピーク P 1 と、濃度ピーク P 2 との深さ方向における距離は Z 2 - Z 1 である。距離 Z 4 - Z 2 は、距離 Z 2 - Z 1 より大きくてもよい。また、濃度ピーク

50

ク P 3 と、濃度ピーク P 4 との距離は Z 4 - Z 3 である。濃度ピーク P 3 と、濃度ピーク P 2 との距離は Z 3 - Z 2 である。距離 Z 4 - Z 3 は、距離 Z 3 - Z 2 より大きくてよい。また、距離 Z 4 - Z 3 は、距離 Z 2 - Z 1 より大きくてよい。

【 0 1 1 7 】

また、濃度ピーク P 4 のドーピング濃度のピーク値が、高濃度ピークのドーピング濃度のピーク値の 1 / 5 以下であってよく、1 / 10 以下であってよく、1 / 20 以下であってよい。濃度ピーク P 4 のドーピング濃度のピーク値は、バルク・ドナー濃度 D b よりも高い。濃度ピーク P 4 と、濃度ピーク P 3 のドーピング濃度のピーク値の平均値が、バルク・ドナー濃度 D b の 50 倍以下であってよく、20 倍以下であってよく、10 倍以下であってよく、8 倍以下であってよく、5 倍以下であってよく、3 倍以下であってよく、2 倍以下であってよい。最も深い 2 つの濃度ピークのドーピング濃度の平均値を小さくすることで、ドリフト領域 18 の近傍のフィールドストップ領域 20 における電界集中を緩和できる。

10

【 0 1 1 8 】

本例において、コレクタ領域 22 とフィールドストップ領域 20 の間の p n 接合 J 1 において、ドナー濃度またはアクセプタ濃度は、 $1 \text{ E } 16 / \text{ cm }^3$ 以下であってよく、 $5 \text{ E } 15 / \text{ cm }^3$ 以下であってよく、 $2 \text{ E } 15 / \text{ cm }^3$ 以下であってよい。なお、E は 10 のべき乗を意味し、例えば $1 \text{ E } 16 / \text{ cm }^3$ は $1 \times 10^{16} / \text{ cm }^3$ を意味する。

【 0 1 1 9 】

図 1 F は、第 1 の濃度ピークおよびコレクタ領域 22 における、深さ方向のネット・ドーピング濃度及び水素化学濃度の分布の一例を示す図である。実線がネット・ドーピング濃度の分布の一例を表しており、破線が水素化学濃度の分布の一例を表している。図 1 F の縦軸は対数軸である。ここで、図 1 F に斜線で示した領域が、本例におけるコレクタ領域 22 の積分濃度である。すなわち、本明細書において、コレクタ領域 22 の積分濃度とは、コレクタ領域 22 のネット・ドーピング濃度を、裏面からフィールドストップ領域 20 との p n 接合位置 J 1 まで半導体基板 10 の深さ方向に積分した濃度を意味する。また、コレクタ領域 22 とフィールドストップ領域 20 の間の p n 接合 J 1 における水素化学濃度 D h は、 $1 \text{ E } 18 / \text{ cm }^3$ 以下であってよく、 $1 \text{ E } 17 / \text{ cm }^3$ 以下であってよく、 $1 \text{ E } 16 / \text{ cm }^3$ 以上であってよく、 $1 \text{ E } 15 / \text{ cm }^3$ 以上であってよい。

20

【 0 1 2 0 】

図 1 G は、図 1 A の領域 B に対応する半導体装置 100 の上面図の一例である。本例では、活性領域 110 の端部の拡大図を示している。領域 B は、活性領域 110 のトランジスタ部 70 およびゲートランナー 51 を含む領域である。本例の半導体装置 100 は、ダミートレンチ領域 60 およびウェルコンタクト領域 65 を備える。

30

【 0 1 2 1 】

ダミートレンチ領域 60 は、トレンチ部としてダミートレンチ部 30 のみを有する領域である。ダミートレンチ領域 60 は、配列方向において、外周領域 120 に最も近いゲートトレンチ部 40 と外周領域 120 との間に設けられる。ダミートレンチ領域 60 は、配列方向において所定の間隔だけ離間して配置された複数のダミートレンチ部 30 を有する。

【 0 1 2 2 】

ウェルコンタクト領域 65 は、ウェル領域 17 の一部に設けられ、コレクタ領域 22 から注入されたホールをエミッタ電極 52 へと引き抜く。ウェルコンタクト領域 65 は、コンタクト領域 15 を有する。ウェルコンタクト領域 65 のコンタクト領域 15 上には、コンタクトホール 54 が設けられる。コンタクト領域 15 は、複数のコンタクトホール 54 を通じてエミッタ電極 52 と電氣的に接続される。なお、半導体装置 100 は、ウェルコンタクト領域 65 を備えなくてもよい。

40

【 0 1 2 3 】

メサ部 61 には、ベース領域 14、コンタクト領域 15 およびウェル領域 17 が設けられる。コンタクト領域 15 は、メサ部 61 において、配列方向において隣接する一方のダミートレンチ部 30 から、他方のダミートレンチ部 30 まで設けられる。本例のメサ部 6

50

1 は、コンタクト領域 1 5 を有するので、コンタクト領域 1 5 を有さない場合と比較して、ホールを引き抜きやすくなる。これにより、ウェル領域 1 7 の端部におけるアバランシェ電流の集中による半導体装置 1 0 0 の破壊を防止する。

【 0 1 2 4 】

エミッタ電極 5 2 は、ダミートレンチ領域 6 0 およびウェルコンタクト領域 6 5 の上方にも設けられる。エミッタ電極 5 2 は、コンタクトホール 5 4 を介して、ダミートレンチ領域 6 0、ウェルコンタクト領域 6 5 およびトランジスタ部 7 0 のそれぞれにおいて、半導体基板 1 0 のおもて面 2 1 と電氣的に接続されている。

【 0 1 2 5 】

ウェル領域 1 7 は、上面視において、活性領域 1 1 0 の外周側に設けられる。ウェル領域 1 7 の内側端部を破線で示している。

10

【 0 1 2 6 】

蓄積領域 1 6 は、トランジスタ部 7 0 からダミートレンチ領域 6 0 に延伸して設けられている。本例の蓄積領域 1 6 は、トランジスタ部 7 0 からダミートレンチ領域 6 0 の途中のメサ部 6 1 まで延伸して設けられている。蓄積領域 1 6 をトランジスタ部 7 0 からダミートレンチ領域 6 0 に延伸して設けることにより、蓄積領域 1 6 の形成用のマスクにずれが生じた場合であっても、トランジスタ部 7 0 に形成される蓄積領域 1 6 への影響が小さくなる。これにより、ゲート閾値電圧 (V_{th}) のばらつき、および、飽和電流のばらつきを抑制できる。蓄積領域 1 6 の外側端部を破線で示している。

【 0 1 2 7 】

図 1 H は、図 1 A における a - a' 断面の一例を示す図である。本例では、活性領域 1 1 0 および外周領域 1 2 0 にまたがる領域の断面図を示している。本例の外周領域 1 2 0 は、ガードリング構造およびチャネルストップ構造を有する。

20

【 0 1 2 8 】

ガードリング構造は、複数のガードリング部 9 2 を含んでよい。本例のガードリング構造は 5 つのガードリング部 9 2 を含む。各ガードリング部 9 2 は、おもて面 2 1 において活性領域 1 1 0 およびパッド領域 1 3 0 を囲むように設けられてよい。

【 0 1 2 9 】

ガードリング構造は、活性領域 1 1 0 において発生した空乏層を半導体基板 1 0 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 1 0 内部における電界集中を防ぐことができる。それゆえ、ガードリング構造を設けない場合と比較して、半導体装置 1 0 0 の耐圧を向上させることができる。

30

【 0 1 3 0 】

ガードリング部 9 2 は、おもて面 2 1 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。ガードリング部 9 2 は、電極層 9 4 と電氣的に接続される。電極層 9 4 は、ゲート金属層 5 0 またはエミッタ電極 5 2 と同じ材料であってよい。

【 0 1 3 1 】

複数のガードリング部 9 2 は、層間絶縁膜 3 8 によって互いに電氣的に絶縁される。ガードリング部 9 2 の底部の深さは、ウェル領域 1 7 の底部と同じ深さであってよい。ガードリング部 9 2 の底部の深さは、ゲートトレンチ部 4 0 およびダミートレンチ部 3 0 の底部の深さより深くてもよい。

40

【 0 1 3 2 】

チャネルストップ構造は、チャネルストップ領域 9 6 および電極層 9 4 を有する。チャネルストップ領域 9 6 は、層間絶縁膜 3 8 の開口を通じて電極層 9 4 と電氣的に接続する。チャネルストップ領域 9 6 の導電型は、第 1 導電型であっても、第 2 導電型であってもよい。本例のチャネルストップ領域 9 6 の導電型は、N + 型である。チャネルストップ領域 9 6 は、活性領域 1 1 0 において発生した空乏層を半導体基板 1 0 の外側端部において終端させる機能を有する。

【 0 1 3 3 】

ウェル領域 1 7 は、配列方向においてウェルコンタクト領域 6 5 を超えて、さらに外側

50

まで延伸してよい。本例のウェル領域 17 は、外周領域 120 における最も内側のガードリング部 92 とウェル領域 17 の外側端部との距離が近接するように設けられてよい。なお、本例の変形例として、ウェル領域 17 に代えて、ベース領域 14 を最も内側のガードリング部 92 の近傍まで拡張して設けてもよい。なお、ウェル領域 17 の上方において、コンタクト領域 15 とゲートランナー 51 との間に酸化膜 39 が設けられてよい。酸化膜 39 は、ダミー絶縁膜 32 またはゲート絶縁膜 42 と同一の工程で形成されてもよい。あるいは、酸化膜 39 は、より膜厚の厚いフィールド酸化膜等の工程で形成されてもよい。

【0134】

図 2A は、半導体装置 100 のクランプ耐量試験用の回路の一例である。半導体装置 100 のゲート端子には予め定められたゲート抵抗 R_g を介して、ゲート電圧 V_g が与えられている。クランプ耐量試験では、定格電流 I_c を、予め定められた電源電圧 V_{cc} でスイッチングさせる。電源電圧 V_{cc} は、定格電圧の 6 割程度であってよい。

10

【0135】

浮遊インダクタンス L_s は、半導体装置 100 が接続される回路の浮遊インダクタンスである。浮遊インダクタンス L_s が電流を維持しようとするため、電流遮断時にサージ電圧が発生する。浮遊インダクタンス L_s を予め定められた初期値からスイッチング 1 回ごとに高くして、半導体装置 100 をターンオフさせる。浮遊インダクタンス L_s を増加させると、跳ね上がり電圧 V が増加する。浮遊インダクタンス L_s を増加させることにより、半導体装置 100 の内部の電界強度が増加して、素子が破壊されやすくなる。ここで、素子が破壊に至る 1 つ前の試験における結果をクランプエネルギー（即ち、破壊耐量）とする。

20

【0136】

図 2B は、半導体装置 100 のクランプエネルギーを説明するための図である。同図は、ターンオフ時のコレクタ - エミッタ電流 I_{ce} およびコレクタ - エミッタ間電圧 V_{ce} の挙動を示している。本例のグラフは、クランプ耐量試験において、浮遊インダクタンス L_s を増加させながらターンオフを繰り返し、素子が破壊した浮遊インダクタンス L_s の 1 つ前の波形を示している。半導体装置 100 のターンオフによって、コレクタ - エミッタ間電圧 V_{ce} が跳ね上がり、一定期間、電圧が保持されている。電圧が一定の期間がクランプ期間である。

【0137】

クランプエネルギーは、コレクタ - エミッタ間電圧 V_{ce} の跳ね上がりから電源電圧 V_{cc} に落ち着くまでの期間で、電流 \times 電圧が 0 以上の範囲における積分値である。即ち、クランプエネルギーは、 $I_{ce} \times V_{ce} dt$ の積分値（即ち、エネルギー値）で示される。クランプエネルギーが大きいほどターンオフ時の破壊耐量が大きいことを示す。

30

【0138】

図 3A は、コレクタ領域 22 のドーピング濃度とクランプエネルギーとの関係を示す。縦軸はクランプエネルギー [mJ] を示し、横軸はコレクタ領域 22 のドーピング濃度を、裏面 23 から、コレクタ領域 22 とフィールドストップ領域 20 との PN 接合までの深さにわたって積分した積分値（以下、コレクタ領域 22 のドーピング濃度の積分値と称す）[cm^{-2}] を示す。黒色の四角は、プロトンの加速エネルギーが 400 keV の場合を示す。白色の四角は、プロトンの加速エネルギーが 300 keV の場合を示す。プロトンは水素イオンの種類の一つである。水素ドナーは、たとえばプロトンを半導体基板にイオン注入することにより形成される。

40

【0139】

プロトンの加速エネルギーが小さいほどプロトンの総ドーズ量が小さくなり、クランプエネルギーが上昇しやすくなる。また、プロトンの総ドーズ量が小さいと、アバランシェ降伏時に裏面 23 から注入される正孔濃度が増加して、活性領域 110 側でアバランシェ降伏が発生しやすくなる。このように、活性領域 110 のクランプ耐圧が外周領域 120 のクランプ耐圧よりも低下すると、後述の通り、外周領域 120 における瞬時破壊を防止しやすくなる。瞬時破壊とは、例えばターンオフ時に、電流が遮断される前に素子が破壊する

50

ことである。

【 0 1 4 0 】

例えば、プロトンの加速エネルギーが 300 keV の場合、コレクタ領域 22 のドーピング濃度の積分値がおよそ $1.00 \times 10^{14} [\text{cm}^{-2}]$ でクランプエネルギーが最大値となる。この場合、例えば、第 1 ピーク P1 のプロトン飛程が $3.13 \mu\text{m}$ となる。なお、 $1.00 \times 10^{14} [\text{cm}^{-2}]$ とは、 $1.00 \times 10^{14} [\text{cm}^{-2}]$ を示している。

【 0 1 4 1 】

また、プロトンの加速エネルギーが 400 keV の場合、コレクタ領域 22 のドーピング濃度の積分値がおよそ $1.00 \times 10^{13} [\text{cm}^{-2}]$ でクランプエネルギーが最大値となる。この場合、例えばプロトン飛程が $4.52 \mu\text{m}$ となる。

10

【 0 1 4 2 】

なお、コレクタ領域 22 のドーピング濃度の積分値は、裏面ボロンの注入ドーズ量とおよそ等しいので、注入ドーズ量 = コレクタ領域 22 のドーピング濃度の積分値としてよい。

【 0 1 4 3 】

本例の半導体装置 100 は、コレクタ領域 22 の積分濃度とフィールドストップ領域 20 のピーク深さを制御することにより、活性領域 110 のクランプ耐圧を外周領域 120 のクランプ耐圧よりも小さくする。これにより、半導体装置 100 のクランプエネルギーを向上することができる。

【 0 1 4 4 】

図 3 B は、コレクタ領域 22 のドーピング濃度と素子の耐圧との関係を示す。縦軸は素子の耐圧 $[V]$ を示し、横軸はコレクタ領域 22 のドーピング濃度 $[\text{cm}^{-3}]$ を示す。コレクタ領域 22 はピークを有するドーピング濃度分布を備えてよい。この場合、コレクタ領域 22 のドーピング濃度は、コレクタ領域 22 のドーピング濃度のピーク値であってよい。本例では、フィールドストップ領域 20 が 4 つのピークを有する場合について説明する。

20

【 0 1 4 5 】

グラフ G1 は、フィールドストップ領域 20 が 4 つのピークを有する場合の活性 + エッジモデルを示す。活性 + エッジモデルは、活性領域 110 と外周領域 120 の両方を考慮したシミュレーションモデルである。グラフ G2 は、フィールドストップ領域 20 が 4 つのピークを有する場合の活性モデルを示す。活性モデルは、外周領域 120 を考慮せず、活性領域 110 のみを考慮したシミュレーションモデルである。

30

【 0 1 4 6 】

コレクタ領域 22 のドーピング濃度を小さくすることにより、活性領域 110 の耐圧が外周領域 120 の耐圧よりも低下する。即ち、素子の耐圧は活性領域 110 の耐圧となる。このように、素子の耐圧が活性領域 110 で決定されるようになると、クランプエネルギーが増加する。

【 0 1 4 7 】

一方、コレクタ領域 22 のドーピング濃度を大きくすることにより、活性領域 110 の耐圧が外周領域 120 の耐圧よりも増加する。即ち、素子の耐圧は外周領域 120 の耐圧となる。このように、素子の耐圧が外周領域 120 で決定されるようになると、クランプエネルギーが低下する。以上により、クランプエネルギーを高くするために、コレクタ領域 22 のドーピング濃度は $6 \times 10^{17} (\text{cm}^{-3})$ 以下であってよく、 $5 \times 10^{17} (\text{cm}^{-3})$ 以下であってよい。

40

【 0 1 4 8 】

図 4 A は、実施例に係る半導体装置 100 の電流電圧特性の一例を示す。縦軸はコレクタ - エミッタ電流 $I_{ce} [A]$ およびコレクタ - エミッタ間電圧 $V_{ce} [V]$ を示し、横軸は時刻 $[s]$ を示す。また、半導体装置 100 の断面図では、時刻 T1 および時刻 T2 において、電子電流密度が大きな領域をそれぞれ破線で示している。本例のコレクタ領域 22 のドーピング濃度は、図 3 B において、活性領域 110 でクランプ耐圧が決定される範囲に設定されている。

50

【 0 1 4 9 】

時刻 T 1 は、半導体装置 1 0 0 がターンオフしてコレクタ - エミッタ間電圧 V_{ce} が上昇したタイミングの時刻である。時刻 T 1 では、活性領域 1 1 0 の破線で示す領域に電子電流が集中している。即ち、活性領域 1 1 0 の破線で示す領域の一部で、電子電流密度のピーク領域が形成されている。

【 0 1 5 0 】

時刻 T 2 は、コレクタ - エミッタ間電圧 V_{ce} が上昇して、8 0 0 V 前後でクランプされている時刻を示す。時刻 T 2 において、アバランシェ降伏箇所の温度が上昇する。温度上昇により格子振動が激しくなり、電子が散乱する。電子の散乱により電流が流れにくくなると、電子電流密度のピーク領域が、活性領域 1 1 0 からウェル領域 1 7 の外周領域 1 2 0 側の端部に向かって移動する場合がある。

10

【 0 1 5 1 】

このように、活性領域 1 1 0 の耐圧が外周領域 1 2 0 の耐圧よりも小さい場合、活性領域 1 1 0 側に形成された電子電流密度のピーク領域が、外周領域 1 2 0 側に移動する。これにより一時的に活性領域 1 1 0 の温度が低下する。また、アバランシェ降伏による電子電流密度のピーク領域が外周領域 1 2 0 側に移動したときには、パワー（即ち、 $I_{ce} \times V_{ce}$ ）が低下している。したがって、半導体装置 1 0 0 の温度上昇を緩和して、瞬時破壊を防止することができる。

【 0 1 5 2 】

図 4 B は、比較例に係る半導体装置 5 0 0 の電流電圧特性の一例を示す。縦軸はコレクタ - エミッタ電流 I_{ce} [A] およびコレクタ - エミッタ間電圧 V_{ce} [V] を示し、横軸は時刻 [s] を示す。また、本例では、時刻 T 3 および時刻 T 4 において、電子電流密度のピーク領域をそれぞれ破線で示している。本例のコレクタ領域 2 2 のドーピング濃度は、図 3 B において、外周領域 1 2 0 で耐圧が決定される範囲に設定されている。

20

【 0 1 5 3 】

半導体装置 5 0 0 は、外周領域 1 2 0 の耐圧が活性領域 1 1 0 の耐圧よりも小さくなるように、コレクタ領域 2 2 の積分濃度が設定されている。ターンオフにより、ウェル領域 1 7 の外周領域 1 2 0 側でアバランシェ降伏が発生し、電子電流密度のピーク領域が破線で示す箇所に形成される。時刻 T 3 から時刻 T 4 において、パワーが高い状態で、電子電流密度のピーク領域は破線で示した位置に停滞している。このため、電流集中により温度が上昇し続ける。このように、半導体装置 5 0 0 では、素子が破壊されやすくなり、クランプ耐量を向上することができない。

30

【 0 1 5 4 】

外周領域 1 2 0 では、コレクタ領域 2 2 の正孔注入効率に応じたアバランシェ降伏の増幅に加えて、外周領域 1 2 0 側のコンタクトホール端にキャリアが集中しやすいことにより、アバランシェ降伏が発生しやすくなる。裏面 2 3 側の正孔濃度の上昇は、クランプ時のアバランシェ降伏を増幅させる。

【 0 1 5 5 】

本例の半導体装置 1 0 0 は、コレクタ領域 2 2 のドーピング濃度と第 1 ピーク P 1 の深さを適切に設定することにより、コレクタ領域 2 2 の正孔注入効率を低下させて、活性領域 1 1 0 のクランプ耐圧を外周領域 1 2 0 のクランプ耐圧よりも小さくする。これにより、活性領域 1 1 0 でアバランシェ降伏が発生した後に、外周領域 1 2 0 へとアバランシェ降伏が移動するので、瞬時破壊を抑制できる。コレクタ領域 2 2 のドーピング濃度と第 1 ピーク P 1 の深さは、クランプエネルギーが最大となるように設定されてよい。コレクタ領域 2 2 のドーピング濃度と第 1 ピーク P 1 の深さの適切な範囲については後述する。

40

【 0 1 5 6 】

なお、電流遮断時の素子破壊を防止するために想定されるサージ電圧（ターンオフ時に、コレクタ・エミッタ間電圧が電源電圧よりも増加した電圧のピーク値のこと）以上の耐圧を持つように設計すると、半導体基板 1 0 の深さ方向の厚みを厚くしたり、外周領域 1 2 0 の面積を大きくしたりする必要がある。チップコストを低減するために、素子の耐圧

50

をサージ電圧以下に設計する場合がある。本例の半導体装置 100 は、ターンオフ時に活性領域 110 でアバランシェ降伏を発生させることにより、チップコストを低減しつつ、素子破壊を防止することができる。

【0157】

また、活性領域 110 の耐圧が外周領域 120 の耐圧よりも小さくなるように、フィールドストップ領域 20 の総ドーズ量と、コレクタ領域 22 の総ドーズ量を決定してよい。例えば、フィールドストップ領域 20 の総ドーズ量は、コレクタ領域 22 の総ドーズ量の 10 倍以下であってよく、コレクタ領域 22 の総ドーズ量の 5 倍以下であってよい。

【0158】

図 5 A は、コレクタ領域 22 の積分濃度と第 1 ピーク P 1 の深さとの関係の例を示す。縦軸は第 1 ピーク P 1 の深さ y_1 [μm] を示し、横軸はコレクタ領域 22 の積分濃度 x [cm^{-2}] を示す。

10

【0159】

ここで、図 3 A で得られたプロトン最浅の加速エネルギーと、クランプエネルギーが最大となる 2 点のデータに基づいて、次の基準線 L 1 を算出した。

$$\text{基準線 L 1 : } y_1 = (-6.0367 \text{E} - 01) \ln(x) + (2.2590 \text{E} + 01)$$

即ち、基準線 L 1 は、クランプエネルギーが最大となるコレクタ領域 22 の積分濃度と、クランプエネルギーが最大となる第 1 ピーク P 1 の深さとの関係を示している。

【0160】

領域 R 1 は、基準線 L 1 の $\pm 15\%$ の範囲の領域を示す。本例の領域 R 1 は、線 A 1 と線 B 1 との間の領域である。本例の線 A 1 および線 B 1 は、次式で示される。

20

$$\text{線 A 1 : } y_1 = (-7.4699 \text{E} - 01) \ln(x) + (2.7810 \text{E} + 01)$$

$$\text{線 B 1 : } y_1 = (-4.7772 \text{E} - 01) \ln(x) + (1.7960 \text{E} + 01)$$

この場合、第 1 ピーク P 1 の深さおよびコレクタ領域 22 の積分濃度が、領域 R 1 に属する。領域 R 1 であれば、コレクタ領域 22 の正孔注入効率を抑制して、活性領域 110 のクランプ耐圧を外周領域 120 のクランプ耐圧よりも小さくすることができる。コレクタ領域 22 の積分濃度は、 $1.00 \text{E} 16 \text{ cm}^{-2}$ 以下であってよく、 $8.00 \text{E} 15 \text{ cm}^{-2}$ 以下であってよい。第 1 ピーク P 1 の深さは、 $0.5 \mu\text{m}$ 以上、 $7.2 \mu\text{m}$ 以下であってよい。

【0161】

30

本例の半導体装置 100 は、コレクタ領域 22 の積分濃度と、第 1 ピーク P 1 の深さを領域 R 1 に設定することにより、クランピング時のアバランシェ降伏を活性領域 110 側で発生させることができる。これにより、クランプ耐圧が向上する。

【0162】

図 5 B は、コレクタ領域 22 の積分濃度と第 1 ピーク P 1 の深さとの関係の他の例を示す。本例の領域 R 1 は、基準線 L 1 の $\pm 10\%$ に該当する領域を示している。

【0163】

基準線 L 1 は、図 5 A の基準線 L 1 と同一である。本例の線 A 1 および線 B 1 は、次式で示される。

$$\text{線 A 1 : } y_1 = (-6.9487 \text{E} - 01) \ln(x) + (2.5930 \text{E} + 01)$$

$$\text{線 B 1 : } y_1 = (-5.2115 \text{E} - 01) \ln(x) + (1.9540 \text{E} + 01)$$

40

この場合も同様に、第 1 ピーク P 1 の深さおよびコレクタ領域 22 の積分濃度が、領域 R 1 に属するように設定されてよい。

【0164】

図 5 C は、コレクタ領域 22 の積分濃度と第 1 ピーク P 1 の深さとの関係の他の例を示す。本例の領域 R 1 は、基準線 L 1 の $\pm 5\%$ に該当する領域を示している。

【0165】

基準線 L 1 は、図 5 A の基準線 L 1 と同一である。本例の線 A 1 および線 B 1 は、次式で示される。

$$\text{線 A 1 : } y_1 = (-6.4710 \text{E} - 01) \ln(x) + (2.4190 \text{E} + 01)$$

50

線 B 1 : $y_1 = (-5.6458E-01) \ln(x) + (2.1130E+01)$

この場合も同様に、第 1 ピーク P 1 の深さおよびコレクタ領域 2 2 の積分濃度が、本例の領域 R 1 に属するように設定されてよい。

【 0 1 6 6 】

図 6 A は、コレクタ領域 2 2 の積分濃度と第 1 ピーク P 1 の深さとの関係の他の例を示す。基準線 L 1、線 A および線 B は、図 5 A の各線と同一である。即ち、基準線 L 1 の $\pm 15\%$ に該当する領域を示している。但し、本例の領域 R 1 は、コレクタ領域 2 2 の積分濃度が $3.00E14 \text{ cm}^{-2}$ 以下である領域を示している。第 1 ピーク P 1 の深さは、 $2.0 \mu\text{m}$ 以上、 $7.2 \mu\text{m}$ 以下であってよい。第 1 ピーク P 1 の深さおよびコレクタ領域 2 2 の積分濃度が、本例の領域 R 1 に属するように設定されてよい。

10

【 0 1 6 7 】

図 6 B は、コレクタ領域 2 2 の積分濃度と第 1 ピーク P 1 の深さとの関係の他の例を示す。基準線 L 1、線 A および線 B は、図 5 A の各線と同一である。即ち、基準線 L 1 の $\pm 15\%$ に該当する領域を示している。但し、本例の領域 R 1 は、コレクタ領域 2 2 の積分濃度が $2.00E14 \text{ cm}^{-2}$ 以下である領域を示している。第 1 ピーク P 1 の深さは、 $2.2 \mu\text{m}$ 以上、 $7.2 \mu\text{m}$ 以下であってよい。第 1 ピーク P 1 の深さおよびコレクタ領域 2 2 の積分濃度が、本例の領域 R 1 に属するように設定されてよい。

【 0 1 6 8 】

図 6 C は、コレクタ領域 2 2 の積分濃度と第 1 ピーク P 1 の深さとの関係の他の例を示す。基準線 L 1、線 A および線 B は、図 5 A の各線と同一である。即ち、基準線 L 1 の $\pm 15\%$ に該当する領域を示している。但し、本例の領域 R 1 は、コレクタ領域 2 2 の積分濃度が $1.00E14 \text{ cm}^{-2}$ 以下である領域を示している。第 1 ピーク P 1 の深さは、 $2.5 \mu\text{m}$ 以上、 $7.2 \mu\text{m}$ 以下であってよい。第 1 ピーク P 1 の深さおよびコレクタ領域 2 2 の積分濃度が、本例の領域 R 1 に属するように設定されてよい。

20

【 0 1 6 9 】

図 6 D は、コレクタ領域 2 2 の積分濃度と第 1 ピーク P 1 の深さとの関係の他の例を示す。基準線 L 1、線 A および線 B は、図 5 A の各線と同一である。即ち、基準線 L 1 の $\pm 15\%$ に該当する領域を示している。但し、本例の領域 R 1 は、コレクタ領域 2 2 の積分濃度が $5.00E13 \text{ cm}^{-2}$ 以下である領域を示している。第 1 ピーク P 1 の深さは、 $3.0 \mu\text{m}$ 以上、 $7.2 \mu\text{m}$ 以下であってよい。第 1 ピーク P 1 の深さおよびコレクタ領域 2 2 の積分濃度が、本例の領域 R 1 に属するように設定されてよい。

30

【 0 1 7 0 】

図 6 E は、コレクタ領域 2 2 の積分濃度と第 1 ピーク P 1 の深さとの関係の他の例を示す。基準線 L 1、線 A および線 B は、図 5 A の各線と同一である。即ち、基準線 L 1 の $\pm 15\%$ に該当する領域を示している。但し、本例の領域 R 1 は、コレクタ領域 2 2 の積分濃度が $3.00E13 \text{ cm}^{-2}$ 以下である領域を示している。第 1 ピーク P 1 の深さは、 $3.2 \mu\text{m}$ 以上、 $7.2 \mu\text{m}$ 以下であってよい。第 1 ピーク P 1 の深さおよびコレクタ領域 2 2 の積分濃度が、本例の領域 R 1 に属するように設定されてよい。

【 0 1 7 1 】

図 6 F は、コレクタ領域 2 2 の積分濃度と第 1 ピーク P 1 の深さとの関係の他の例を示す。基準線 L 1、線 A および線 B は、図 5 A の各線と同一である。即ち、基準線 L 1 の $\pm 15\%$ に該当する領域を示している。但し、本例の領域 R 1 は、コレクタ領域 2 2 の積分濃度が $1.00E13 \text{ cm}^{-2}$ 以下である領域を示している。第 1 ピーク P 1 の深さは、 $3.6 \mu\text{m}$ 以上、 $7.2 \mu\text{m}$ 以下であってよい。第 1 ピーク P 1 の深さおよびコレクタ領域 2 2 の積分濃度が、本例の領域 R 1 に属するように設定されてよい。

40

【 0 1 7 2 】

なお、図 5 B および図 5 C についても、図 6 A ~ 図 6 F のように、コレクタ領域 2 2 の積分濃度の範囲を制限してもよい。例えば、図 5 B および図 5 C において、領域 R 1 は、コレクタ領域 2 2 の積分濃度が $1.00E14 \text{ cm}^{-2}$ 以下の領域であってよく、 $5.00E13 \text{ cm}^{-2}$ 以下の領域であってよく、 $3.00E13 \text{ cm}^{-2}$ 以下の領域であってよく、

50

く、 $1.00E13 \text{ cm}^{-2}$ 以下の領域であってもよい。

【0173】

図7Aは、コレクタ領域22の積分濃度と第2ピークP2の深さとの関係を示す。縦軸は第2ピークP2の深さ y_2 [μm]を示し、横軸はコレクタ領域22の積分濃度 x [cm^{-2}]を示す。

【0174】

ここで、図3Aで得られたプロトン最浅の加速エネルギーと、クランプエネルギーが最大となる2点のデータに基づいて、次の基準線L2を算出した。

$$\text{基準線 L 2 : } y_2 = (-2.4885E+00) \ln(x) + (9.1580E+01)$$

即ち、基準線L2は、クランプエネルギーが最大となるコレクタ領域22の積分濃度と、クランプエネルギーが最大となる第2ピークP2の深さとの関係を示している。

10

【0175】

領域R2は、基準線L2の $\pm 15\%$ の範囲の領域を示す。本例の領域R2は、線A2と線B2との間の領域である。本例の線A2および線B2は、次式で示される。

$$\text{線 A 2 : } y_2 = (-3.1095E+00) \ln(x) + (1.1416E+02)$$

$$\text{線 B 2 : } y_2 = (-1.9239E+00) \ln(x) + (7.1030E+01)$$

この場合、第2ピークP2の深さおよびコレクタ領域22の積分濃度が、領域R2に属する。領域R2であれば、クランプエネルギーが十分高くなる。第2ピークP2の深さは、 $3.5 \mu\text{m}$ 以上、 $28 \mu\text{m}$ 以下であってもよい。

【0176】

20

図7Bは、コレクタ領域22の積分濃度と第2ピークP2の深さとの関係の他の例を示す。本例の領域R2は、基準線L2の $\pm 10\%$ に該当する領域を示している。

【0177】

基準線L2は、図7Aの基準線L2と同一である。本例の線A2および線B2は、次式で示される。

$$\text{線 A 2 : } y_2 = (-2.8924E+00) \ln(x) + (1.0629E+02)$$

$$\text{線 B 2 : } y_2 = (-2.1020E+00) \ln(x) + (7.7530E+01)$$

この場合も同様に、第2ピークP2の深さおよびコレクタ領域22の積分濃度が、領域R2に属するように設定されてよい。

【0178】

30

図7Cは、コレクタ領域22の積分濃度と第2ピークP2の深さとの関係を示す。本例の領域R2は、基準線L2の $\pm 5\%$ に該当する領域を示している。

【0179】

基準線L2は、図7Aの基準線L2と同一である。本例の線A2および線B2は、次式で示される。

$$\text{線 A 2 : } y_2 = (-2.4885E+00) \ln(x) + (9.1580E+01)$$

$$\text{線 B 2 : } y_2 = (-2.2931E+00) \ln(x) + (8.4470E+01)$$

この場合も同様に、第2ピークP2の深さおよびコレクタ領域22の積分濃度が、領域R2に属するように設定されてよい。

【0180】

40

なお、図7A～図7Cについても、図6A～図6Fのように、コレクタ領域22の積分濃度の範囲を制限してもよい。例えば、図7A～図7Cにおいて、領域R2は、コレクタ領域22の積分濃度が $1.00E14 \text{ cm}^{-2}$ 以下の領域であってもよく、 $5.00E13 \text{ cm}^{-2}$ 以下の領域であってもよく、 $3.00E13 \text{ cm}^{-2}$ 以下の領域であってもよく、 $1.00E13 \text{ cm}^{-2}$ 以下の領域であってもよい。

【0181】

図8Aは、浮遊インダクタンス L_s とコレクタ電流減少率 dI_{ce}/dt との関係を説明するための図である。浮遊インダクタンス L_s を X_c [nH]とし、コレクタ電流減少率 dI_{ce}/dt を Y_c [$\text{A}/\mu\text{s}$]としている。線C1は次式で示される。

$$\text{線 C 1 : } Y_c = 10000 X_c^{-1}$$

50

浮遊インダクタンス L_s およびコレクタ電流減少率 dI_{ce}/dt は、線 C 1 よりも大きい範囲に設定される。線 C 1 よりも大きい範囲とは、浮遊インダクタンス L_s とコレクタ電流減少率 dI_{ce}/dt との関係を示したグラフにおいて、線 C 1 の上側に位置する領域を指す。線 C 1 よりも大きい範囲は、パターンで塗りつぶされた領域である。

【0182】

浮遊インダクタンス L_s およびコレクタ電流減少率 dI_{ce}/dt は、線 C 2 よりも大きい範囲に設定されてよい。線 C 2 は次式で示される。

$$\text{線 C 2 : } Y_c = 20000 X_c^{-1}$$

【0183】

浮遊インダクタンス L_s およびコレクタ電流減少率 dI_{ce}/dt は、線 C 3 よりも大きい範囲に設定されてよい。線 C 3 は次式で示される。

$$\text{線 C 3 : } Y_c = 50000 X_c^{-1}$$

【0184】

ここで、浮遊インダクタンス L_s が大きくなるほど、電流を維持しやすくなり、電流遮断時にサージ電圧が大きくなる。また、コレクタ電流減少率 dI_{ce}/dt が大きいほど、電流遮断時にサージ電圧が大きくなる。そのため、線 C 1 ~ 線 C 3 のいずれかよりも大きい範囲に浮遊インダクタンス L_s およびコレクタ電流減少率 dI_{ce}/dt を設定した場合、サージ電圧が跳ね上がりやすくなる。本例の半導体装置 100 は、線 C 1 ~ 線 C 3 のいずれかよりも大きい範囲に浮遊インダクタンス L_s およびコレクタ電流減少率 dI_{ce}/dt を設定した場合であっても、瞬時破壊を防止できる。

【0185】

図 8 B は、比浮遊インダクタンス $L_s \cdot A$ と電流密度 dJ_{ce}/dt との関係を示すための図である。比浮遊インダクタンス $L_s \cdot A$ を $X_d [nH \cdot cm^2]$ とし、電流密度 dJ_{ce}/dt を $Y_d [A / (cm^2 \mu s)]$ としている。

【0186】

比浮遊インダクタンス $L_s \cdot A$ は、浮遊インダクタンス L_s に活性領域 110 の面積 $A (cm^2)$ を掛けた固有の値である。電流密度 dJ_{ce}/dt は、コレクタ電流減少率 dI_{ce}/dt を活性領域 110 の面積 $A (cm^2)$ で割った値である。

【0187】

比浮遊インダクタンス $L_s \cdot A$ および電流密度 dJ_{ce}/dt は、線 D 1 よりも大きい範囲に設定される。線 D 1 は次式で示される。

$$\text{線 D 1 : } Y_d = 10000 X_d^{-1}$$

【0188】

比浮遊インダクタンス $L_s \cdot A$ および電流密度 dJ_{ce}/dt は、線 D 2 よりも大きい範囲に設定されてよい。線 D 2 は次式で示される。

$$\text{線 D 2 : } Y_d = 20000 X_d^{-1}$$

【0189】

比浮遊インダクタンス $L_s \cdot A$ および電流密度 dJ_{ce}/dt は、線 D 3 よりも大きい範囲に設定されてよい。線 D 3 は次式で示される。

$$\text{線 D 3 : } Y_d = 50000 X_d^{-1}$$

【0190】

ここで、比浮遊インダクタンス $L_s \cdot A$ または電流密度 dJ_{ce}/dt が大きいほど、電流遮断時にサージ電圧が大きくなる。そのため、線 D 1 ~ 線 D 3 のいずれかよりも大きい範囲に比浮遊インダクタンス $L_s \cdot A$ または電流密度 dJ_{ce}/dt を設定した場合、サージ電圧が跳ね上がりやすくなる。本例の半導体装置 100 は、線 D 1 ~ 線 D 3 のいずれかよりも大きい範囲に比浮遊インダクタンス $L_s \cdot A$ または電流密度 dJ_{ce}/dt を設定した場合であっても、瞬時破壊を防止できる。

【0191】

図 9 は、比浮遊インダクタンス $L_s \cdot A$ と比ゲート抵抗 $R_g \cdot A$ との関係を示すための図である。比浮遊インダクタンス $L_s \cdot A$ を $X_e [nH \cdot cm^2]$ とし、比ゲート抵

10

20

30

40

50

抗 $R_g \cdot A$ を $Y_e [\text{cm}^2]$ としている。比ゲート抵抗 $R_g \cdot A$ は、半導体装置 100 の駆動回路のゲート抵抗 R_g に、活性領域 110 の面積 $A (\text{cm}^2)$ を掛けた固有の値である。

【0192】

コレクタ電流減少率 dI_{ce} / dt は、浮遊インダクタンス L_s の他に、半導体装置 100 の駆動回路のゲート抵抗 R_g によっても変化する。ゲート抵抗 R_g が減少すると、コレクタ電流減少率 dI_{ce} / dt は増加する傾向にある。

【0193】

比浮遊インダクタンス $L_s \cdot A$ および比ゲート抵抗 $R_g \cdot A$ は、線 E1 以下となる範囲に設定されてよい。線 E1 は次式で示される。

$$\text{線 E1} : Y_e = (4.000E - 01) X_e$$

【0194】

比浮遊インダクタンス $L_s \cdot A$ および比ゲート抵抗 $R_g \cdot A$ は、線 E2 以下となる範囲に設定されてよい。線 E2 は次式で示される。

$$\text{線 E2} : Y_e = (2.000E - 01) X_e$$

【0195】

比浮遊インダクタンス $L_s \cdot A$ および比ゲート抵抗 $R_g \cdot A$ は、線 E3 以下となる範囲に設定されてよい。線 E3 は次式で示される。

$$\text{線 E3} : Y_e = (8.000E - 02) X_e$$

【0196】

ここで、比ゲート抵抗 $R_g \cdot A$ が小さいほど、電流遮断時にサージ電圧が大きくなる。そのため、線 E1 ~ 線 E3 のいずれか以下となる範囲に、比浮遊インダクタンス $L_s \cdot A$ および比ゲート抵抗 $R_g \cdot A$ を設定した場合、サージ電圧が跳ね上がりやすくなる。本例の半導体装置 100 は、線 E1 ~ 線 E3 のいずれか以下となる範囲に、比浮遊インダクタンス $L_s \cdot A$ および比ゲート抵抗 $R_g \cdot A$ を設定した場合であっても、瞬時破壊を防止できる。

【0197】

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。

【0198】

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】

【0199】

10・・・半導体基板、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、17・・・ウェル領域、18・・・ドリフト領域、20・・・フィールドストップ領域、21・・・おもて面、22・・・コレクタ領域、23・・・裏面、24・・・コレクタ電極、25・・・接続部、30・・・ダミートレンチ部、31・・・延伸部分、32・・・ダミー絶縁膜、33・・・接続部分、34・・・ダミー導電部、38・・・層間絶縁膜、39・・・酸化膜、40・・・ゲートレンチ部、41・・・延伸部分、42・・・ゲート絶縁膜、43・・・接続部分、44・・・ゲート導電部、50・・・ゲート金属層、51・・・ゲートランナー、52・・・エミッタ電極、54・・・コンタクトホール、55・・・コンタクトホール、56・・・コンタクトホール、60・・・ダミートレンチ領域、61・・・メサ部、65・・・ウェルコンタクト

10

20

30

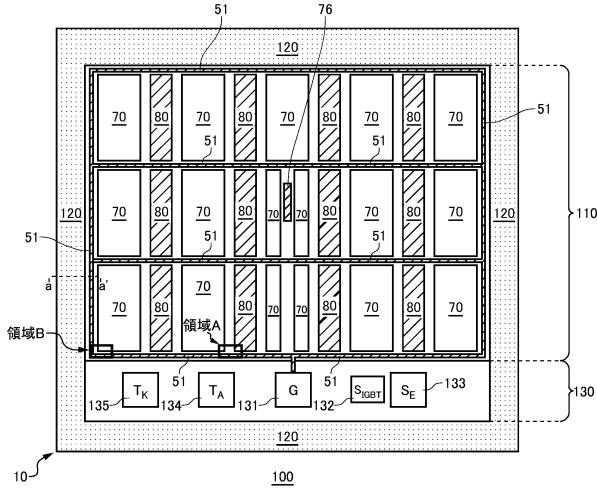
40

50

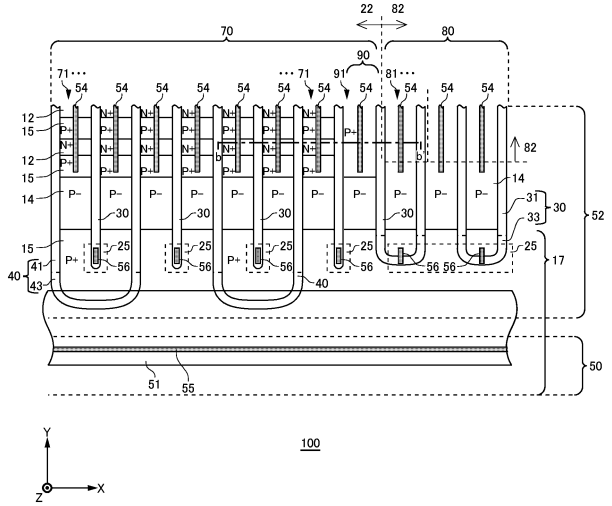
領域、70・・・トランジスタ部、71・・・メサ部、76・・・温度センス部、80・・・ダイオード部、81・・・メサ部、82・・・カソード領域、90・・・境界部、91・・・メサ部、92・・・ガードリング部、94・・・電極層、96・・・チャネルストップ領域、100・・・半導体装置、110・・・活性領域、120・・・外周領域、130・・・パッド領域、131・・・ゲートパッド、132・・・センスIGBT、133・・・センスエミッタパッド、134・・・アノードパッド、135・・・カソードパッド、500・・・半導体装置

【図面】

【図1A】



【図1B】



10

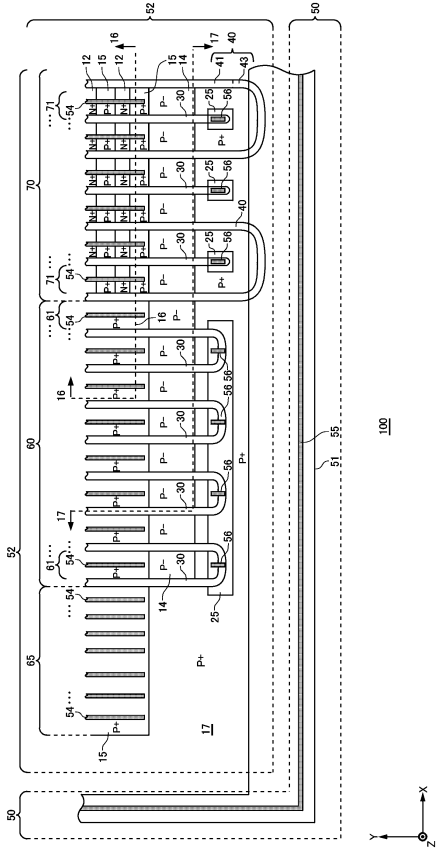
20

30

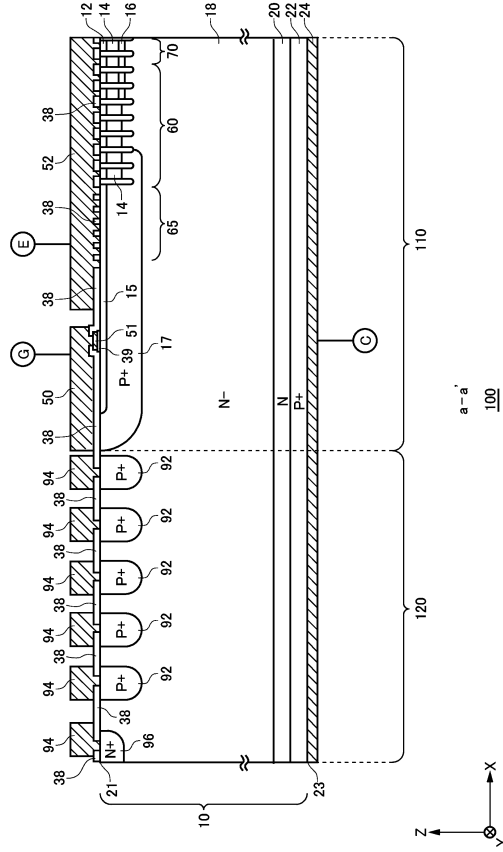
40

50

【図 1 G】



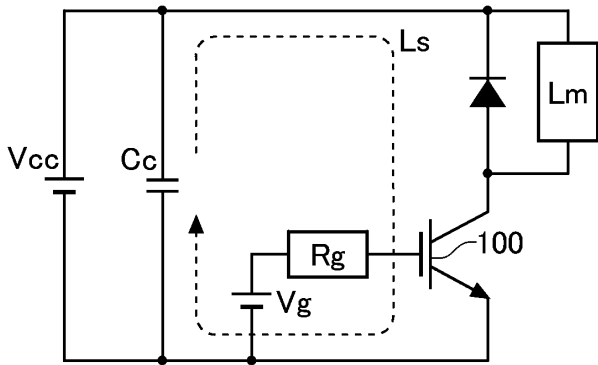
【図 1 H】



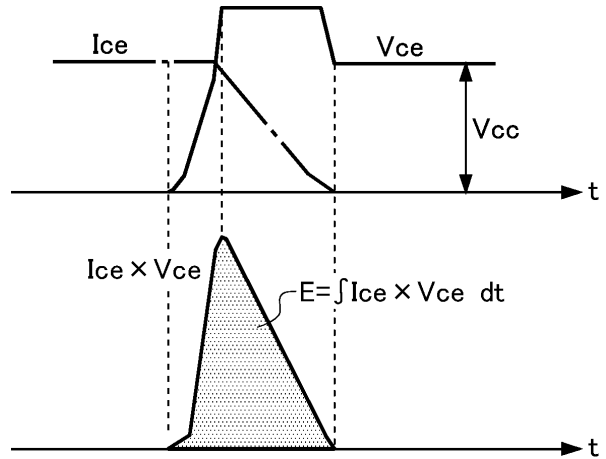
10

20

【図 2 A】



【図 2 B】

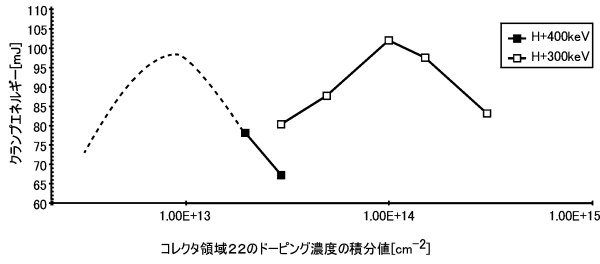


30

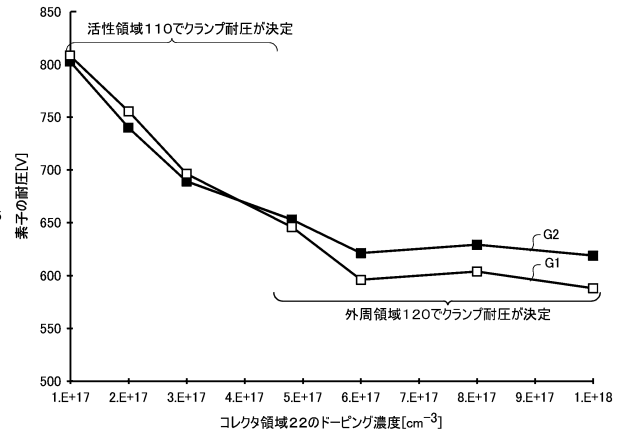
40

50

【図 3 A】

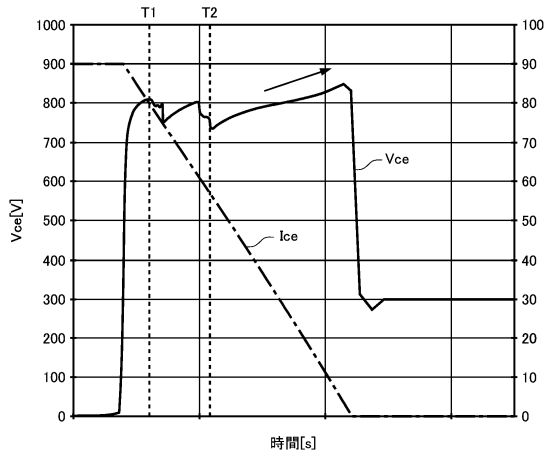


【図 3 B】

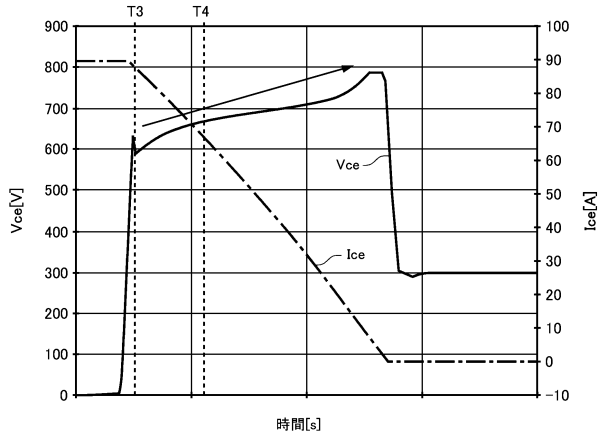


10

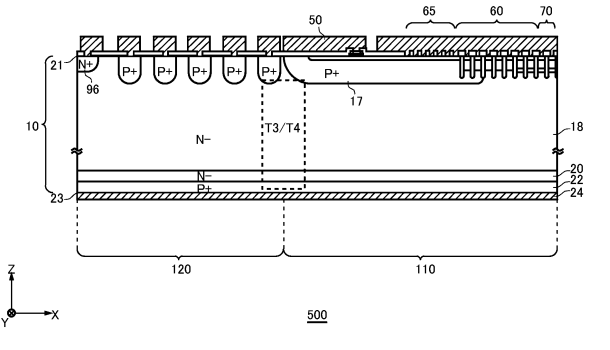
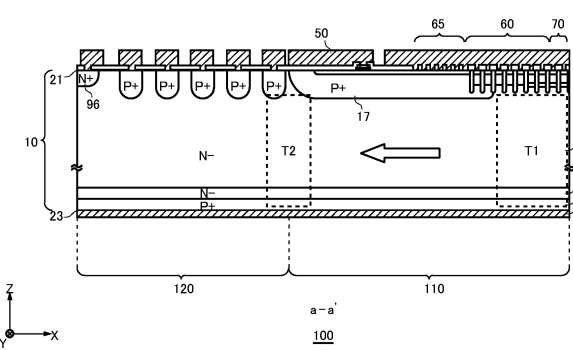
【図 4 A】



【図 4 B】



20

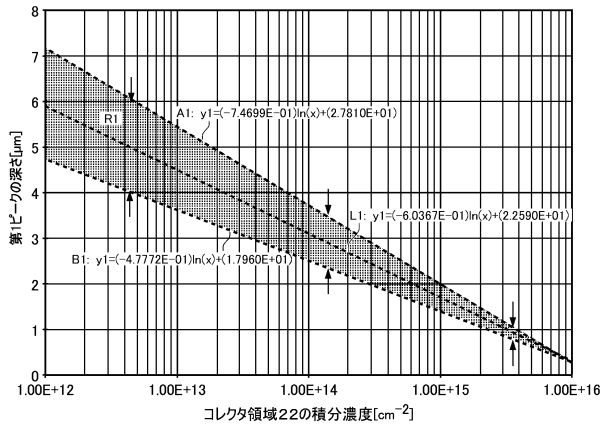


30

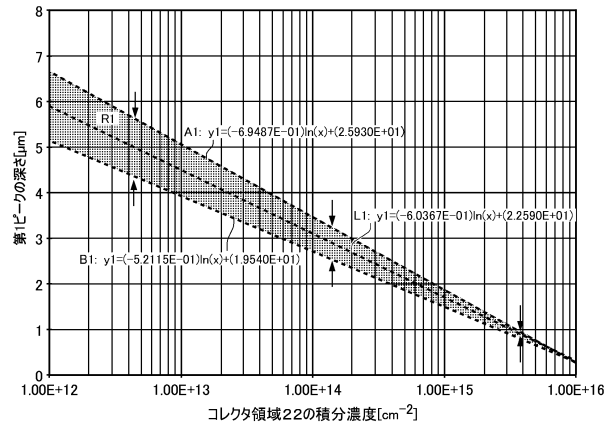
40

50

【図 5 A】

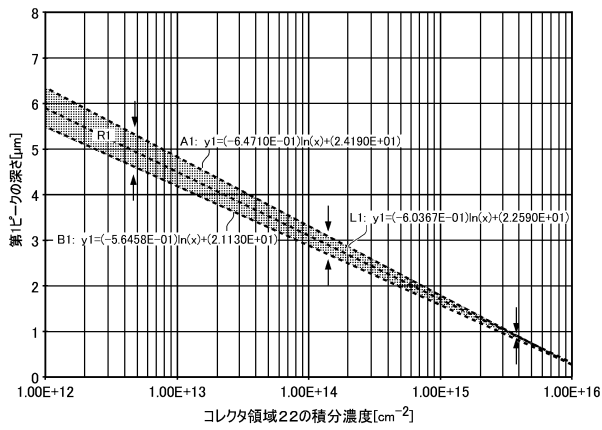


【図 5 B】

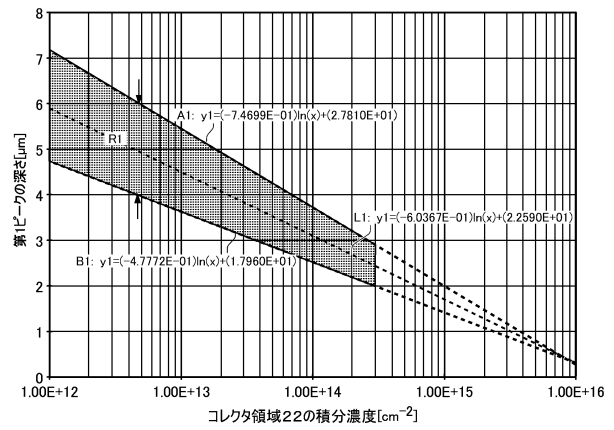


10

【図 5 C】

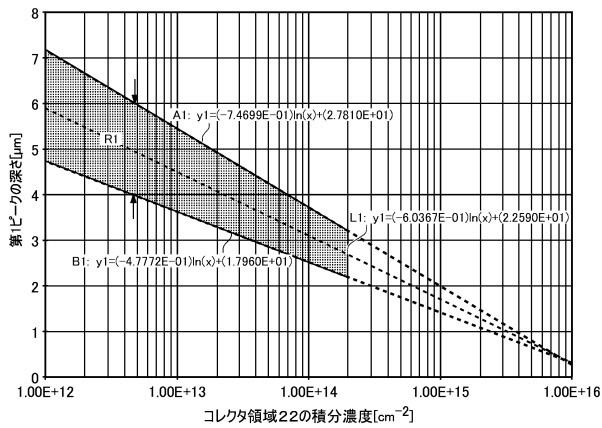


【図 6 A】

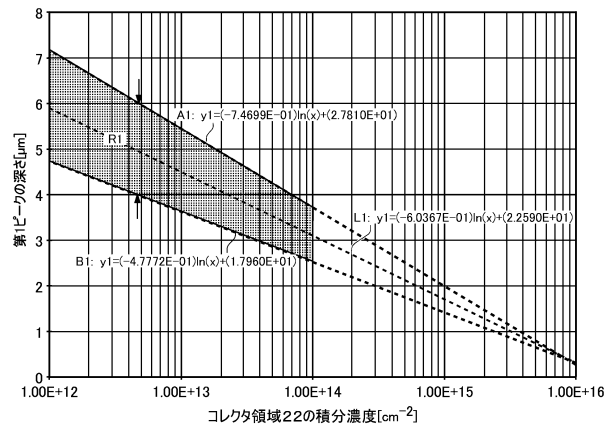


20

【図 6 B】



【図 6 C】

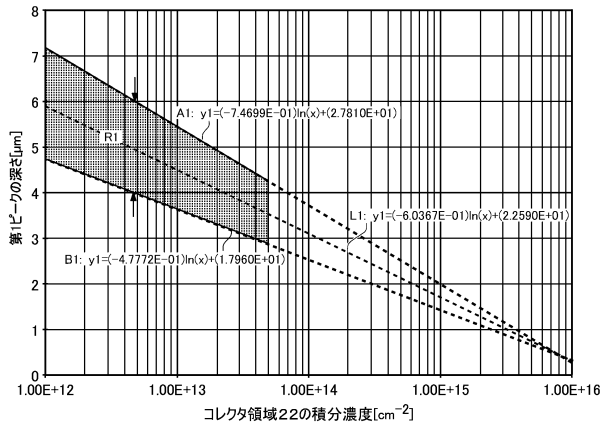


30

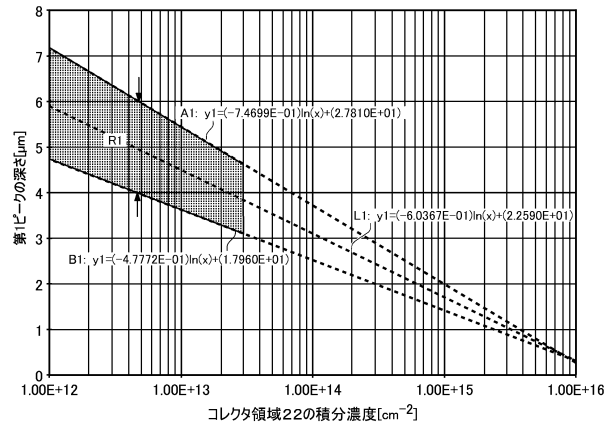
40

50

【図 6 D】

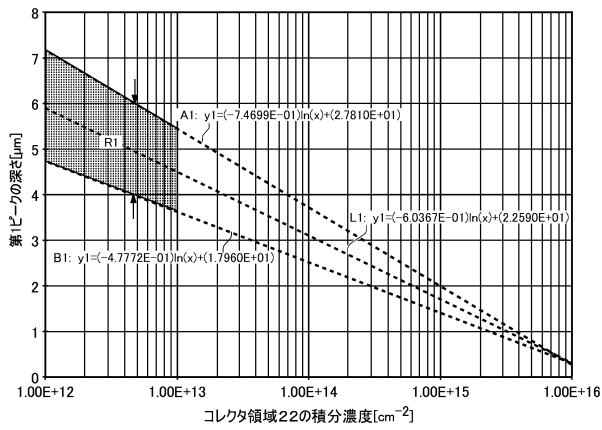


【図 6 E】

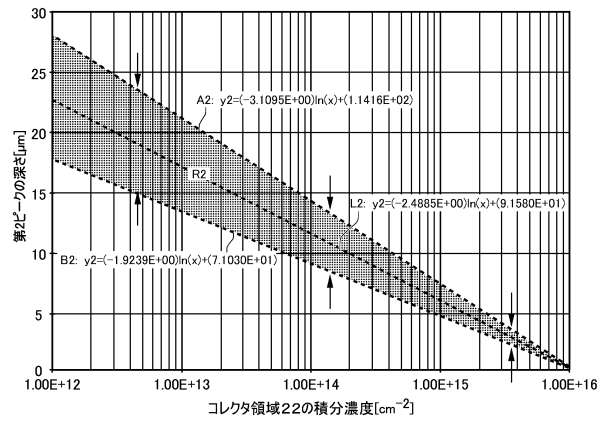


10

【図 6 F】

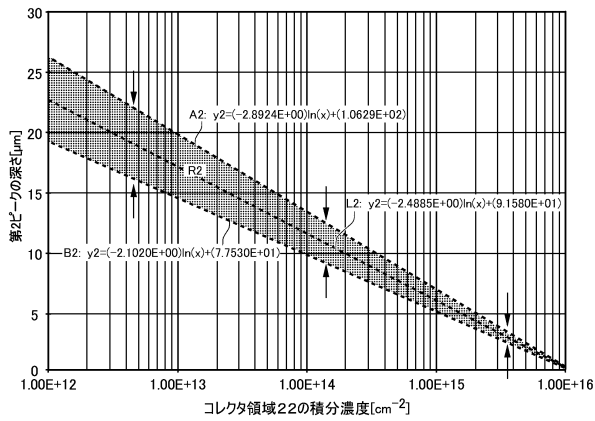


【図 7 A】

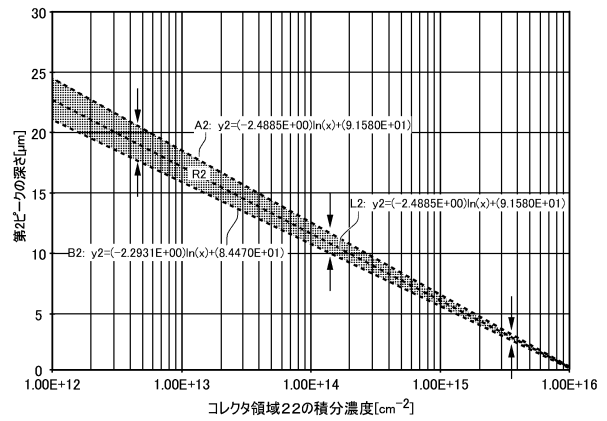


20

【図 7 B】



【図 7 C】

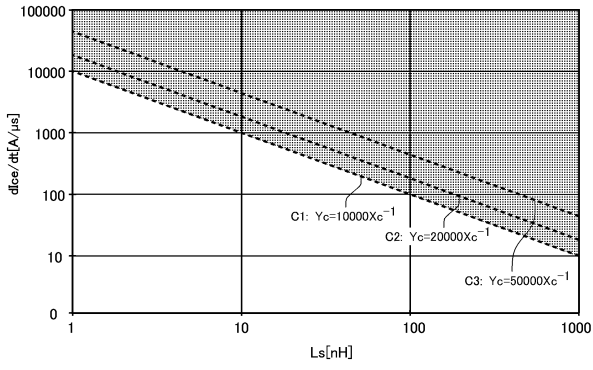


30

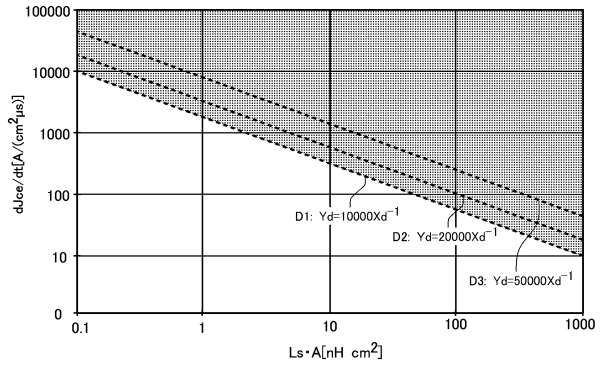
40

50

【 8 A 】

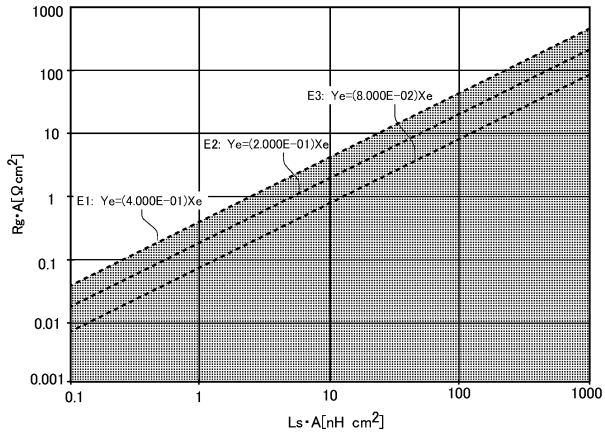


【 8 B 】



10

【 9 】



20

30

40

50

フロントページの続き

(51)国際特許分類

F I

<i>H 0 1 L</i>	<i>29/868(2006.01)</i>	<i>H 0 1 L</i>	<i>29/78</i>	<i>6 5 7 F</i>
<i>H 0 1 L</i>	<i>29/41 (2006.01)</i>	<i>H 0 1 L</i>	<i>29/78</i>	<i>6 5 5 G</i>
<i>H 0 1 L</i>	<i>21/8234(2006.01)</i>	<i>H 0 1 L</i>	<i>29/78</i>	<i>6 5 3 A</i>
<i>H 0 1 L</i>	<i>27/06 (2006.01)</i>	<i>H 0 1 L</i>	<i>29/78</i>	<i>6 5 2 J</i>
		<i>H 0 1 L</i>	<i>29/78</i>	<i>6 5 5 B</i>
		<i>H 0 1 L</i>	<i>29/06</i>	<i>3 0 1 D</i>
		<i>H 0 1 L</i>	<i>29/06</i>	<i>3 0 1 V</i>
		<i>H 0 1 L</i>	<i>29/91</i>	<i>C</i>
		<i>H 0 1 L</i>	<i>29/91</i>	<i>F</i>
		<i>H 0 1 L</i>	<i>29/78</i>	<i>6 5 5 E</i>
		<i>H 0 1 L</i>	<i>29/78</i>	<i>6 5 2 P</i>
		<i>H 0 1 L</i>	<i>29/06</i>	<i>3 0 1 G</i>
		<i>H 0 1 L</i>	<i>29/78</i>	<i>6 5 5 F</i>
		<i>H 0 1 L</i>	<i>29/44</i>	<i>Y</i>
		<i>H 0 1 L</i>	<i>27/06</i>	<i>1 0 2 A</i>

(56)参考文献

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

(58)調査した分野 (Int.Cl., D B 名)

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