

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号  
特許第7670132号  
(P7670132)

(45)発行日 令和7年4月30日(2025.4.30)

(24)登録日 令和7年4月21日(2025.4.21)

(51)国際特許分類

F I

|         |       |           |         |       |         |
|---------|-------|-----------|---------|-------|---------|
| H 1 0 D | 30/01 | (2025.01) | H 1 0 D | 30/01 | 3 0 1 H |
| H 1 0 D | 12/00 | (2025.01) | H 1 0 D | 12/00 | 1 0 1 L |
| H 1 0 D | 30/66 | (2025.01) | H 1 0 D | 12/00 | 1 0 1 T |
|         |       |           | H 1 0 D | 12/00 | 1 0 3 S |
|         |       |           | H 1 0 D | 30/66 | 1 0 1 L |

請求項の数 32 (全28頁) 最終頁に続く

(21)出願番号 特願2023-530396(P2023-530396)  
 (86)(22)出願日 令和4年6月16日(2022.6.16)  
 (86)国際出願番号 PCT/JP2022/024088  
 (87)国際公開番号 WO2022/265061  
 (87)国際公開日 令和4年12月22日(2022.12.22)  
 審査請求日 令和5年5月26日(2023.5.26)  
 (31)優先権主張番号 特願2021-100678(P2021-100678)  
 (32)優先日 令和3年6月17日(2021.6.17)  
 (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 八尾 典明  
 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 鈴木 啓久  
 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 瀧下 博  
 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】 半導体装置および半導体装置の製造方法

(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、  
 前記ドリフト領域よりも前記半導体基板の裏面側に設けられるとともにドーピング濃度分布に2以上のピークを有する第1導電型のバッファ領域であって、前記2以上のピークは、最も前記裏面側に設けられた第1ピークと、当該第1ピークよりも前記半導体基板のおもて面側に隣り合って設けられた第2ピークと、を有するバッファ領域と、  
 前記半導体基板の深さ方向において、前記第1ピークと前記第2ピークとの間に設けられた第1ライフタイム制御領域と  
 を備え、

10

前記半導体基板の深さ方向において、前記ドリフト領域の上端から前記第2ピークまでの方向にドーピング濃度を積分した積分濃度が、臨界積分濃度以上であり、  
 前記第1ライフタイム制御領域のライフタイムキラー濃度のピーク濃度は、前記第1ピークのドーピング濃度および前記第2ピークのドーピング濃度よりも大きい  
 半導体装置。

【請求項2】

前記バッファ領域は、前記第2ピークよりも前記半導体基板のおもて面側に設けられた第3ピークを有し、  
 前記半導体基板の深さ方向において、前記ドリフト領域の上端から前記第3ピークまでの積分濃度が、臨界積分濃度未満である

20

請求項 1 に記載の半導体装置。

【請求項 3】

前記第 1 ピークは、前記パツファ領域が有する複数のピークのうち、最も前記半導体基板の裏面に近いピークである

請求項 1 に記載の半導体装置。

【請求項 4】

前記第 1 ライフタイム制御領域は、前記半導体基板の深さ方向において、前記第 2 ピークから前記裏面側へ  $0.5 \mu\text{m}$  以上離れている

請求項 1 に記載の半導体装置。

【請求項 5】

前記第 1 ライフタイム制御領域は、前記半導体基板の深さ方向において、前記第 1 ピークから前記おもて面側へ  $1.0 \mu\text{m}$  以上離れている

請求項 1 に記載の半導体装置。

【請求項 6】

前記第 1 ピークは、前記半導体基板の裏面から  $0.5 \mu\text{m}$  以上、 $2.0 \mu\text{m}$  以下の深さに設けられる

請求項 1 に記載の半導体装置。

【請求項 7】

前記第 2 ピークは、前記半導体基板の裏面から  $2.0 \mu\text{m}$  以上、 $7.0 \mu\text{m}$  以下の深さに設けられる

請求項 1 に記載の半導体装置。

【請求項 8】

前記半導体基板の深さ方向において、前記第 2 ピークと前記第 1 ライフタイム制御領域のライフタイムキラ－濃度のピークとの距離は  $0.2 \mu\text{m}$  以上である

請求項 1 に記載の半導体装置。

【請求項 9】

前記半導体基板の裏面に設けられた第 2 導電型のコレクタ領域を備え、

前記半導体基板の深さ方向において、前記第 2 ピークと前記第 1 ライフタイム制御領域のライフタイムキラ－濃度のピークとの距離は、前記コレクタ領域の上端と前記第 1 ライフタイム制御領域の前記ピークとの距離よりも小さい

請求項 1 に記載の半導体装置。

【請求項 10】

前記半導体基板の裏面に設けられた第 2 導電型のコレクタ領域を備え、

前記半導体基板の深さ方向において、前記第 2 ピークと前記第 1 ライフタイム制御領域のライフタイムキラ－濃度のピークとの距離は、前記コレクタ領域の上端と前記第 1 ライフタイム制御領域の前記ライフタイムキラ－濃度のピークとの距離よりも大きい

請求項 1 に記載の半導体装置。

【請求項 11】

前記半導体基板の深さ方向において、前記コレクタ領域の上端と前記第 1 ライフタイム制御領域の前記ライフタイムキラ－濃度のピークとの距離は  $0.1 \mu\text{m}$  以上である

請求項 9 に記載の半導体装置。

【請求項 12】

前記第 1 ライフタイム制御領域のライフタイムキラ－濃度のピーク濃度は、前記第 1 ピークのドーピング濃度よりも大きく、前記コレクタ領域のピークのドーピング濃度よりも小さい

請求項 9 に記載の半導体装置。

【請求項 13】

前記コレクタ領域のピークのドーピング濃度は、 $1.0 \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$  以上、 $1.0 \times 10^{19} \text{cm}^{-3}$  以下である

請求項 9 に記載の半導体装置。

10

20

30

40

50

## 【請求項 14】

半導体基板に設けられた第 1 導電型のドリフト領域と、  
 前記ドリフト領域よりも前記半導体基板の裏面側に設けられ、ドーピング濃度の第 1 ピークと当該第 1 ピークよりも前記半導体基板のおもて面側に設けられた第 2 ピークとを有する第 1 導電型のバッファ領域と、  
 前記半導体基板の深さ方向において、前記第 1 ピークと前記第 2 ピークとの間に設けられた第 1 ライフタイム制御領域と、  
 前記半導体基板の裏面に設けられた第 2 導電型のコレクタ領域と  
 を備え、  
 前記半導体基板の深さ方向において、前記ドリフト領域の上端から前記第 2 ピークまでの方向にドーピング濃度を積分した積分濃度が、臨界積分濃度以上であり、  
 前記半導体基板の深さ方向において、前記第 2 ピークと前記第 1 ライフタイム制御領域のライフタイムキラー濃度のピークとの距離は、前記コレクタ領域の上端と前記第 1 ライフタイム制御領域の前記ライフタイムキラー濃度のピークとの距離よりも大きい  
 半導体装置。

10

## 【請求項 15】

半導体基板に設けられた第 1 導電型のドリフト領域と、  
 前記ドリフト領域よりも前記半導体基板の裏面側に設けられ、ドーピング濃度の第 1 ピークと当該第 1 ピークよりも前記半導体基板のおもて面側に設けられた第 2 ピークとを有する第 1 導電型のバッファ領域と、  
 前記半導体基板の深さ方向において、前記第 1 ピークと前記第 2 ピークとの間に設けられた第 1 ライフタイム制御領域と、  
 前記半導体基板の裏面に設けられた第 2 導電型のコレクタ領域と  
 を備え、  
 前記半導体基板の深さ方向において、前記ドリフト領域の上端から前記第 2 ピークまでの方向にドーピング濃度を積分した積分濃度が、臨界積分濃度以上であり、  
 前記第 1 ライフタイム制御領域のライフタイムキラー濃度のピーク濃度は、前記第 1 ピークのドーピング濃度よりも大きく、前記コレクタ領域のピークのドーピング濃度よりも小さい  
 半導体装置。

20

30

## 【請求項 16】

半導体基板に設けられた第 1 導電型のドリフト領域と、  
 前記ドリフト領域よりも前記半導体基板の裏面側に設けられ、ドーピング濃度の第 1 ピークと当該第 1 ピークよりも前記半導体基板のおもて面側に設けられた第 2 ピークとを有する第 1 導電型のバッファ領域と、  
 前記半導体基板の深さ方向において、前記第 1 ピークと前記第 2 ピークとの間に設けられた第 1 ライフタイム制御領域と  
 を備え、  
 前記半導体基板の深さ方向において、前記ドリフト領域の上端から前記第 2 ピークまでの方向にドーピング濃度を積分した積分濃度が、臨界積分濃度以上であり、  
 前記第 1 ライフタイム制御領域のライフタイムキラー濃度のピークの半値全幅は、 $0.5 \mu\text{m}$  以下である  
 半導体装置。

40

## 【請求項 17】

前記第 1 ライフタイム制御領域のライフタイムキラー濃度のピーク濃度は、 $1.0 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$  以上、 $1.0 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$  以下である  
 請求項 1 から 16 のいずれか一項に記載の半導体装置。

## 【請求項 18】

前記半導体基板に設けられたトランジスタ部およびダイオード部を備える  
 請求項 1 から 16 のいずれか一項に記載の半導体装置。

50

## 【請求項 19】

前記ドリフト領域は、前記第1ライフタイム制御領域よりも前記半導体基板のおもて面側に第2ライフタイム制御領域を備える

請求項1から16のいずれか一項に記載の半導体装置。

## 【請求項 20】

前記第2ライフタイム制御領域のライフタイムキラー濃度のピーク濃度は、前記第1ライフタイム制御領域のライフタイムキラー濃度のピーク濃度よりも小さい

請求項19に記載の半導体装置。

## 【請求項 21】

半導体基板に設けられた第1導電型のドリフト領域と、

前記ドリフト領域よりも前記半導体基板の裏面側に設けられ、ドーピング濃度の複数のピークを有する第1導電型のバッファ領域と、

を備え、

前記バッファ領域は、

前記バッファ領域が有する複数のピークのうち、前記半導体基板の最も裏面側に設けられた第1ピークと、

当該第1ピークよりも前記半導体基板のおもて面側に設けられ、ドーピング濃度の1以上のピークを有する副ピーク群と、

前記副ピーク群に設けられた第1ライフタイム制御領域と

を有し、

前記半導体基板の深さ方向において、前記ドリフト領域の上端から前記裏面側に向かう方向にドーピング濃度を積分した積分濃度が臨界積分濃度となる位置は、前記副ピーク群にあり、

前記副ピーク群の一つのピークが、当該ピークの半値全幅の範囲に、前記積分濃度が臨界積分濃度となる位置を含む

半導体装置。

## 【請求項 22】

前記第1ライフタイム制御領域のライフタイムキラー濃度のピーク位置は、前記積分濃度が臨界積分濃度となる位置から、前記裏面側に0.1 μm以上離れている

請求項21に記載の半導体装置。

## 【請求項 23】

前記第1ライフタイム制御領域のライフタイムキラー濃度のピーク位置は、前記積分濃度が臨界積分濃度となる位置を含む前記副ピーク群の一つのピークの位置から、前記裏面側に0.1 μm以上離れている

請求項21に記載の半導体装置。

## 【請求項 24】

前記副ピーク群の一つのピークのドーピング濃度が $3.0 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ 以上である

請求項21に記載の半導体装置。

## 【請求項 25】

前記副ピーク群の一つのピークは、前記第1ピークの前記おもて面側に隣接する第2ピークである

請求項21に記載の半導体装置。

## 【請求項 26】

前記副ピーク群のそれぞれのピークのドーピング濃度は、前記第1ピークのドーピング濃度よりも小さい

請求項21から25のいずれか一項に記載の半導体装置。

## 【請求項 27】

前記副ピーク群は複数のピークを備え、

前記副ピーク群の複数のピークのドーピング濃度は、前記おもて面側に向かって減少する

請求項26に記載の半導体装置。

10

20

30

40

50

## 【請求項 28】

半導体基板に第1導電型のドリフト領域を設ける段階と、  
 前記ドリフト領域よりも前記半導体基板の裏面側に第1導電型のバッファ領域を設ける段階と、  
 前記バッファ領域に第1ライフタイム制御領域を設ける段階と  
 を備え、  
 前記バッファ領域は、ドーピング濃度の第1ピークと当該第1ピークよりも前記半導体基板のおもて面側に設けられた第2ピークとを有し、  
 前記第1ライフタイム制御領域は、前記半導体基板の深さ方向において、前記第1ピークと前記第2ピークとの間に設けられ、  
 前記第1ライフタイム制御領域を形成するためのイオンのドーズ量は、前記第1ピークを形成するためのイオンのドーズ量の0.1倍以上、10倍以下である  
 半導体装置の製造方法。

10

## 【請求項 29】

前記第1ライフタイム制御領域を形成するための加速エネルギーは、50keV以上、2000keV以下である  
 請求項28に記載の半導体装置の製造方法。

## 【請求項 30】

前記半導体基板の裏面に第2導電型のコレクタ領域を形成する段階を備え、  
 前記コレクタ領域を形成するためのイオンのドーズ量は、 $2.0 \times 10^{13} / \text{cm}^2$ 以上、 $5.0 \times 10^{13} / \text{cm}^2$ 以下である  
 請求項28または29に記載の半導体装置の製造方法。

20

## 【請求項 31】

前記コレクタ領域を形成するためのイオンのドーズ量は、前記第1ピークを形成するためのイオンのドーズ量の10倍以上、50倍以下である  
 請求項30に記載の半導体装置の製造方法。

## 【請求項 32】

前記コレクタ領域を形成するためのイオンのドーズ量は、前記第1ライフタイム制御領域を形成するためのイオンのドーズ量の300倍以上、500倍以下である  
 請求項30に記載の半導体装置の製造方法。

30

## 【発明の詳細な説明】

## 【技術分野】

## 【0001】

本発明は、半導体装置および半導体装置の製造方法に関する。

## 【背景技術】

## 【0002】

特許文献1には、「簡単なライフタイム制御構造を有してなり、テイル損失が小さく高速のスイッチングが可能な絶縁ゲートバイポーラトランジスタ」を提供することが記載されている。

## [先行技術文献]

40

## [特許文献]

特許文献1 特開2011-086883号公報

## 【解決しようとする課題】

## 【0003】

半導体装置の電気的特性を改善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、ドリフト領域よりも半導体基板の裏面側に設けられ、ドーピング濃度の第1ピークと当該第1ピークよりも半導体基板のおもて面側に設けられた第2ピークとを有する第1導電

50

型のバッファ領域と、半導体基板の深さ方向において、第1ピークと第2ピークとの間に設けられた第1ライフタイム制御領域とを備える半導体装置を提供する。

【0005】

前記半導体装置の半導体基板の深さ方向において、ドリフト領域の上端から第2ピークまでの方向にドーピング濃度を積分した積分濃度が、臨界積分濃度以上であってよい。

【0006】

上記いずれかの前記半導体装置において、バッファ領域は、第2ピークよりも半導体基板のおもて面側に設けられた第3ピークを有してよい。半導体基板の深さ方向において、ドリフト領域の上端から第3ピークまでの積分濃度が、臨界積分濃度未満であってよい。

【0007】

上記いずれかの前記半導体装置において、第1ピークは、バッファ領域が有する複数のピークのうち、最も半導体基板の裏面に近いピークであってよい。

【0008】

上記いずれかの前記半導体装置において、第1ライフタイム制御領域は、半導体基板の深さ方向において、第2ピークから裏面側へ $0.5\ \mu\text{m}$ 以上離れていてよい。

【0009】

上記いずれかの前記半導体装置において、第1ライフタイム制御領域は、半導体基板の深さ方向において、第1ピークからおもて面側へ $1.0\ \mu\text{m}$ 以上離れていてよい。

【0010】

上記いずれかの前記半導体装置において、第1ピークは、半導体基板の裏面から $0.5\ \mu\text{m}$ 以上、 $2.0\ \mu\text{m}$ 以下の深さに設けられてよい。

【0011】

上記いずれかの前記半導体装置において、第2ピークは、半導体基板の裏面から $2.0\ \mu\text{m}$ 以上、 $7.0\ \mu\text{m}$ 以下の深さに設けられてよい。

【0012】

上記いずれかの前記半導体装置の半導体基板の深さ方向において、第2ピークと第1ライフタイム制御領域のライフタイムキラー濃度のピークとの距離は $0.2\ \mu\text{m}$ 以上であってよい。

【0013】

上記いずれかの前記半導体装置において、半導体装置は、半導体基板の裏面に設けられた第2導電型のコレクタ領域を備えてよい。半導体基板の深さ方向において、第2ピークと第1ライフタイム制御領域のドーピング濃度のピークとの距離は、コレクタ領域の上端と第1ライフタイム制御領域のピークとの距離よりも小さくてよい。

【0014】

上記いずれかの前記半導体装置において、半導体装置は、半導体基板の裏面に設けられた第2導電型のコレクタ領域を備えてよい。半導体基板の深さ方向において、第2ピークと第1ライフタイム制御領域のドーピング濃度のピークとの距離は、コレクタ領域の上端と第1ライフタイム制御領域のピークとの距離よりも大きくてよい。

【0015】

上記いずれかの前記半導体装置の半導体基板の深さ方向において、コレクタ領域の上端と第1ライフタイム制御領域のピークとの距離は $0.1\ \mu\text{m}$ 以上であってよい。

【0016】

上記いずれかの前記半導体装置において、第1ライフタイム制御領域のピークのドーピング濃度は、第1ピークのドーピング濃度よりも大きく、コレクタ領域のピークのドーピング濃度よりも小さくてよい。

【0017】

上記いずれかの前記半導体装置において、コレクタ領域のピークのドーピング濃度は、 $1.0 \times 10^{17}\ \text{cm}^{-3}$ 以上、 $1.0 \times 10^{19}\ \text{cm}^{-3}$ 以下であってよい。

【0018】

上記いずれかの前記半導体装置において、第1ライフタイム制御領域のピークのドーピ

10

20

30

40

50

ング濃度は、 $1.0 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ 以上、 $1.0 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 以下であってよい。

【0019】

上記いずれかの前記半導体装置において、第1ライフタイム制御領域のドーピング濃度のピークの半値全幅は、 $0.5 \mu\text{m}$ 以下であってよい。

【0020】

上記いずれかの前記半導体装置において、半導体装置は、半導体基板に設けられたトランジスタ部およびダイオード部を備えてよい。

【0021】

上記いずれかの前記半導体装置において、ドリフト領域は、第1ライフタイム制御領域よりも半導体基板のおもて面側に第2ライフタイム制御領域を備えてよい。

10

【0022】

上記いずれかの前記半導体装置において、第2ライフタイム制御領域のピークのドーピング濃度は、第1ライフタイム制御領域のピークのドーピング濃度よりも小さくてよい。

【0023】

本発明の第2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、ドリフト領域よりも半導体基板の裏面側に設けられ、ドーピング濃度の複数のピークを有する第1導電型のパッファ領域とを備える半導体装置を提供する。パッファ領域は、パッファ領域が有する複数のピークのうち、半導体基板の最も裏面側に設けられた第1ピークと、当該第1ピークよりも半導体基板のおもて面側に設けられ、ドーピング濃度の1以上のピークを有する副ピーク群と、副ピーク群に設けられた第1ライフタイム制御領域とを有してよい。

20

【0024】

前記半導体装置の半導体基板の深さ方向において、ドリフト領域の上端から裏面側に向かう方向にドーピング濃度を積分した積分濃度が臨界積分濃度となる位置は、副ピーク群にあってよい。

【0025】

上記いずれかの前記半導体装置において、第1ライフタイム制御領域のライフタイムキラー濃度のピーク位置は、積分濃度が臨界積分濃度となる位置から、裏面側に $0.1 \mu\text{m}$ 以上離れていてよい。

【0026】

上記いずれかの前記半導体装置において、副ピーク群の一つのピークが、当該ピークの半値全幅の範囲に、積分濃度が臨界積分濃度となる位置を含んでよい。

30

【0027】

上記いずれかの前記半導体装置において、第1ライフタイム制御領域のライフタイムキラー濃度のピーク位置は、積分濃度が臨界積分濃度となる位置を含む副ピーク群の一つのピークの位置から、裏面側に $0.1 \mu\text{m}$ 以上離れていてよい。

【0028】

上記いずれかの前記半導体装置において、第1ライフタイム制御領域のライフタイムキラー濃度のピーク位置は、積分濃度が臨界積分濃度となる位置から、裏面側に $0.1 \mu\text{m}$ 以上離れていてよい。

40

【0029】

上記いずれかの前記半導体装置において、副ピーク群の一つのピークのドーピング濃度が $3.0 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ 以上であってよい。

【0030】

上記いずれかの前記半導体装置において、副ピーク群の一つのピークは、第1ピークのおもて面側に隣接する第2ピークであってよい。

【0031】

上記いずれかの前記半導体装置において、副ピーク群のそれぞれのピークのドーピング濃度は、第1ピークのドーピング濃度よりも小さくてよい。

【0032】

50

上記いずれかの前記半導体装置において、副ピーク群は複数のピークを備えてよい。副ピーク群の複数のピークのドーピング濃度は、おもて面側に向かって減少してよい。

【0033】

本発明の第3の態様においては、半導体基板に第1導電型のドリフト領域を設ける段階と、ドリフト領域よりも半導体基板の裏面側に第1導電型のバッファ領域を設ける段階と、バッファ領域に第1ライフタイム制御領域を設ける段階とを備える半導体装置の製造方法を提供する。バッファ領域は、ドーピング濃度の第1ピークと当該第1ピークよりも半導体基板のおもて面側に設けられた第2ピークとを有してよい。第1ライフタイム制御領域は、半導体基板の深さ方向において、第1ピークと第2ピークとの間に設けられてよい。

【0034】

前記半導体装置の製造方法において、第1ライフタイム制御領域を形成するためのイオンのドーズ量は、第1ピークを形成するためのイオンのドーズ量の0.1倍以上、10倍以下であってよい。

【0035】

上記いずれかの前記半導体装置の製造方法において、第1ライフタイム制御領域を形成するための加速エネルギーは、50keV以上、2000keV以下であってよい。

【0036】

上記いずれかの前記半導体装置の製造方法において、半導体装置の製造方法は、半導体基板の裏面に第2導電型のコレクタ領域を形成する段階を備えてよい。コレクタ領域を形成するためのイオンのドーズ量は、 $2.3 \times 10^{13} / \text{cm}^2$ 以上、 $5.0 \times 10^{13} / \text{cm}^2$ 以下であってよい。

【0037】

上記いずれかの前記半導体装置の製造方法において、コレクタ領域を形成するためのイオンのドーズ量は、第1ピークを形成するためのイオンのドーズ量の10倍以上、50倍以下であってよい。

【0038】

上記いずれかの前記半導体装置の製造方法において、コレクタ領域を形成するためのイオンのドーズ量は、第1ライフタイム制御領域を形成するためのイオンのドーズ量の300倍以上、500倍以下であってよい。

【0039】

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】

【0040】

【図1A】半導体装置100の上面図の一例を示す。

【図1B】図1Aにおけるa-a'断面の一例を示す。

【図2A】コレクタ領域22、バッファ領域20およびドリフト領域18におけるドーピング濃度分布の一例を示す。

【図2B】第1ライフタイム制御領域151近傍のドーピング濃度分布の拡大図である。

【図3A】半導体装置100の変形例の上面図を示す。

【図3B】半導体装置100の変形例のb-b'断面を示す。

【図4】半導体基板10におけるドーピング濃度分布の一例を示す。

【図5】半導体装置100の製造工程の一例を示すフローチャートである。

【図6】第1ライフタイム制御領域151のピーク深さに対する半導体装置100の特性を示す。

【図7】比較例の半導体装置のドーピング濃度分布の一例を示す。

【図8】リーク電流とターンオフ損失Eoffとの関係を示すグラフである。

【発明を実施するための形態】

【0041】

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

10

20

30

40

50

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。

【0042】

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。

【0043】

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。

【0044】

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。

【0045】

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。

【0046】

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性を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型の導電性を示す半導体またはP型の導電性を示す半導体とすることを意味する。

【0047】

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。

【0048】

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。

【0049】

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。

【0050】

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

10

20

30

40

50

ング濃度としてよい。C V法またはS R法により計測されるキャリア濃度は、熱平衡状態における値としてよい。また、N型の領域においては、ドナー濃度がアクセプタ濃度よりも十分大きいので、当該領域におけるキャリア濃度を、ドナー濃度としてもよい。同様に、P型の領域においては、当該領域におけるキャリア濃度を、アクセプタ濃度としてもよい。本明細書では、N型領域のドーピング濃度をドナー濃度と称する場合があります、P型領域のドーピング濃度をアクセプタ濃度と称する場合がある。

【0051】

また、ドナー、アクセプタまたはネット・ドーピングの濃度分布がピークを有する場合、当該ピーク値を当該領域におけるドナー、アクセプタまたはネット・ドーピングの濃度としてよい。ドナー、アクセプタまたはネット・ドーピングの濃度がほぼ均一な場合等においては、当該領域におけるドナー、アクセプタまたはネット・ドーピングの濃度の平均値をドナー、アクセプタまたはネット・ドーピングの濃度としてよい。

10

【0052】

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

【0053】

C V法またはS R法により計測されるキャリア濃度から算出したドナーまたはアクセプタの濃度は、ドナーまたはアクセプタを示す元素の化学濃度よりも低くてもよい。一例として、シリコンの半導体においてドナーとなるリンまたはヒ素のドナー濃度、あるいはアクセプタとなるボロン（ホウ素）のアクセプタ濃度は、これらの化学濃度の99%程度である。一方、シリコンの半導体においてドナーとなる水素のドナー濃度は、水素の化学濃度の0.1%から10%程度である。本明細書では、S I単位系を採用する。本明細書において、距離や長さの単位がcm（センチメートル）で表されることがある。この場合、諸計算はm（メートル）に換算して計算してよい。

20

【0054】

図1Aは、半導体装置100の上面図の一例を示す。本例の半導体装置100は、トランジスタ部70を備える半導体チップである。

【0055】

トランジスタ部70は、半導体基板10の裏面側に設けられたコレクタ領域22を半導体基板10の上面に投影した領域である。コレクタ領域22については後述する。トランジスタ部70は、IGBT等のトランジスタを含む。

30

【0056】

図1Aにおいては、半導体装置100のエッジ側であるチップ端部周辺の領域を示しており、他の領域を省略している。例えば、本例の半導体装置100のY軸方向の負側の領域には、エッジ終端構造部が設けられてよい。エッジ終端構造部は、半導体基板10の上面側の電界集中を緩和する。エッジ終端構造部は、例えばガードリング、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。なお、本例では、便宜上、Y軸方向の負側のエッジについて説明するものの、半導体装置100の他のエッジについても同様である。

40

【0057】

半導体基板10は、シリコン基板であってもよく、炭化シリコン基板であってもよく、窒化ガリウム等の窒化物半導体基板等であってもよい。本例の半導体基板10は、シリコン基板である。

【0058】

本例の半導体装置100は、半導体基板10のおもて面21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。おもて面21については後述する。また、本例の半導体装置100は、半導体基板10のおもて面21の上方に設けられたエミッタ電

50

極 5 2 およびゲート金属層 5 0 を備える。

【 0 0 5 9 】

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、エミッタ領域 1 2、ベース領域 1 4、コンタクト領域 1 5 およびウェル領域 1 7 の上方に設けられている。また、ゲート金属層 5 0 は、ゲートトレンチ部 4 0 およびウェル領域 1 7 の上方に設けられている。

【 0 0 6 0 】

エミッタ電極 5 2 およびゲート金属層 5 0 は、金属を含む材料で形成される。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 ( A l ) 等の金属、または、アルミニウム シリコン合金 ( A l S i )、アルミニウム シリコン 銅合金 ( A l S i C u ) 等の金属合金で形成されてよい。ゲート金属層 5 0 の少なくとも一部の領域は、アルミニウム ( A l ) 等の金属、または、アルミニウム シリコン合金 ( A l S i )、アルミニウム シリコン 銅合金 ( A l S i C u ) 等の金属合金で形成されてよい。エミッタ電極 5 2 およびゲート金属層 5 0 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 5 2 およびゲート金属層 5 0 は、互いに分離して設けられる。

【 0 0 6 1 】

エミッタ電極 5 2 およびゲート金属層 5 0 は、層間絶縁膜 3 8 を挟んで、半導体基板 1 0 の上方に設けられる。層間絶縁膜 3 8 は、図 1 A では省略されている。層間絶縁膜 3 8 には、コンタクトホール 5 4、コンタクトホール 5 5 およびコンタクトホール 5 6 が貫通して設けられている。

【 0 0 6 2 】

コンタクトホール 5 5 は、ゲート金属層 5 0 とトランジスタ部 7 0 内のゲート導電部とを接続する。コンタクトホール 5 5 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。

【 0 0 6 3 】

コンタクトホール 5 6 は、エミッタ電極 5 2 とダミートレンチ部 3 0 内のダミー導電部とを接続する。コンタクトホール 5 6 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。

【 0 0 6 4 】

接続部 2 5 は、エミッタ電極 5 2 またはゲート金属層 5 0 等のおもて面側電極と、半導体基板 1 0 とを電氣的に接続する。一例において、接続部 2 5 は、ゲート金属層 5 0 とゲート導電部との間に設けられる。接続部 2 5 は、エミッタ電極 5 2 とダミー導電部との間にも設けられている。接続部 2 5 は、不純物がドーブされたポリシリコン等の、導電性を有する材料である。本例の接続部 2 5 は、N 型の不純物がドーブされたポリシリコン ( N + ) である。接続部 2 5 は、酸化膜等の絶縁膜等を介して、半導体基板 1 0 のおもて面 2 1 の上方に設けられる。

【 0 0 6 5 】

ゲートトレンチ部 4 0 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 4 0 は、半導体基板 1 0 のおもて面 2 1 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 4 1 と、2 つの延伸部分 4 1 を接続する接続部分 4 3 を有してよい。

【 0 0 6 6 】

接続部分 4 3 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 4 0 の 2 つの延伸部分 4 1 の端部を接続することで、延伸部分 4 1 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 4 0 の接続部分 4 3 において、ゲート金属層 5 0 がゲート導電部と接続されてよい。

【 0 0 6 7 】

ダミートレンチ部 3 0 は、エミッタ電極 5 2 と電氣的に接続されたトレンチ部である。ダミートレンチ部 3 0 は、ゲートトレンチ部 4 0 と同様に、予め定められた配列方向 ( 本

10

20

30

40

50

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、ゲートレンチ部40と同様に、半導体基板10のおもて面21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。

【0068】

本例のトランジスタ部70は、2つのゲートレンチ部40と3つのダミートレンチ部30を繰り返し配列させた構造を有する。即ち、本例のトランジスタ部70は、2:3の比率でゲートレンチ部40とダミートレンチ部30を有している。例えば、トランジスタ部70は、2本の延伸部分41の間に1本の延伸部分31を有する。また、トランジスタ部70は、ゲートレンチ部40と隣接して、2本の延伸部分31を有している。

10

【0069】

但し、ゲートレンチ部40とダミートレンチ部30の比率は本例に限定されない。ゲートレンチ部40とダミートレンチ部30の比率は、1:1であってもよく、2:4であってもよい。また、トランジスタ部70は、全てのトレンチ部をゲートレンチ部40として、ダミートレンチ部30を有さなくてもよい。

【0070】

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21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。

20

【0071】

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。コンタクトホール54は、Y軸方向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、層間絶縁膜には、1又は複数のコンタクトホール54が形成されている。1又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。

30

【0072】

メサ部71は、半導体基板10のおもて面21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21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。

【0073】

メサ部71は、トランジスタ部70において、ダミートレンチ部30またはゲートレンチ部40の少なくとも1つに隣接して設けられる。メサ部71は、半導体基板10のおもて面21において、ウェル領域17と、エミッタ領域12と、ベース領域14と、コンタクト領域15とを有する。メサ部71では、エミッタ領域12およびコンタクト領域15が延伸方向において交互に設けられている。

40

【0074】

ベース領域14は、半導体基板10のおもて面21側に設けられた第2導電型の領域である。ベース領域14は、一例としてP-型である。ベース領域14は、半導体基板10のおもて面21において、メサ部71のY軸方向における両端部に設けられてよい。なお、図1Aは、当該ベース領域14のY軸方向の一方の端部のみを示している。

【0075】

エミッタ領域12は、ドリフト領域18よりもドーピング濃度の高い第1導電型の領域

50

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 2 1 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、X 軸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。

【0076】

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。

【0077】

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 のおもて面 2 1 に設けられている。コンタクト領域 1 5 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、X 軸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 また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。本例のコンタクト領域 1 5 は、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。

10

【0078】

図 1 B は、図 1 A における a - a' 断面の一例を示す。a - a' 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 XZ 面である。本例の半導体装置 1 0 0 は、a - a' 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。

20

【0079】

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。本例のドリフト領域 1 8 は、一例として N - 型である。ドリフト領域 1 8 は、半導体基板 1 0 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 1 8 のドーピング濃度は半導体基板 1 0 のドーピング濃度であってよい。

【0080】

バッファ領域 2 0 は、ドリフト領域 1 8 よりも半導体基板 1 0 の裏面 2 3 側に設けられた第 1 導電型の領域である。本例のバッファ領域 2 0 は、一例として N 型である。バッファ領域 2 0 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も高い。バッファ領域 2 0 は、ベース領域 1 4 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 2 2 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。

30

【0081】

コレクタ領域 2 2 は、トランジスタ部 7 0 において、バッファ領域 2 0 の下方に設けられる。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。

【0082】

コレクタ電極 2 4 は、半導体基板 1 0 の裏面 2 3 に形成される。コレクタ電極 2 4 は、金属等の導電材料で形成される。

40

【0083】

ベース領域 1 4 は、ドリフト領域 1 8 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 1 4 は、ゲートトレンチ部 4 0 に接して設けられる。ベース領域 1 4 は、ダミートレンチ部 3 0 に接して設けられてよい。

【0084】

エミッタ領域 1 2 は、ベース領域 1 4 とおもて面 2 1 との間に設けられる。エミッタ領域 1 2 は、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、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。

【0085】

50

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。但し、蓄積領域 16 が設けられなくてもよい。

【0086】

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 のイオン注入のドーピング量は、 $1.0 \times 10^{12} \text{ cm}^{-2}$  以上、 $1.0 \times 10^{13} \text{ cm}^{-2}$  以下であってよい。また、蓄積領域 16 のイオン注入ドーピング量は、 $3.0 \times 10^{12} \text{ cm}^{-2}$  以上、 $6.0 \times 10^{12} \text{ cm}^{-2}$  以下であってよい。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る。なお、E は 10 のべき乗を意味し、例えば  $1.0 \times 10^{12} \text{ cm}^{-2}$  は  $1.0 \times 10^{12} \text{ cm}^{-2}$  を意味する。

10

【0087】

1 つ以上のゲートトレンチ部 40 および 1 つ以上のダミートレンチ部 30 は、おもて面 21 に設けられる。各トレンチ部は、おもて面 21 からドリフト領域 18 まで設けられる。エミッタ領域 12、ベース領域 14、コンタクト領域 15 および蓄積領域 16 の少なくともいずれかが設けられる領域においては、各トレンチ部はこれらの領域も貫通して、ドリフト領域 18 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たものに含まれる。

20

【0088】

ゲートトレンチ部 40 は、おもて面 21 に形成されたゲートトレンチ、ゲート絶縁膜 42 およびゲート導電部 44 を有する。ゲート絶縁膜 42 は、ゲートトレンチの内壁を覆って形成される。ゲート絶縁膜 42 は、ゲートトレンチの内壁の半導体を酸化または窒化して形成してよい。ゲート導電部 44 は、ゲートトレンチの内部においてゲート絶縁膜 42 よりも内側に形成される。ゲート絶縁膜 42 は、ゲート導電部 44 と半導体基板 10 とを絶縁する。ゲート導電部 44 は、ポリシリコン等の導電材料で形成される。ゲートトレンチ部 40 は、おもて面 21 において層間絶縁膜 38 により覆われる。

【0089】

ゲート導電部 44 は、半導体基板 10 の深さ方向において、ゲート絶縁膜 42 を挟んでメサ部 71 側で隣接するベース領域 14 と対向する領域を含む。ゲート導電部 44 に所定の電圧が印加されると、ベース領域 14 のうちゲートトレンチに接する界面の表層に、電子の反転層によるチャネルが形成される。

30

【0090】

ダミートレンチ部 30 は、ゲートトレンチ部 40 と同一の構造を有してよい。ダミートレンチ部 30 は、おもて面 21 側に形成されたダミートレンチ、ダミー絶縁膜 32 およびダミー導電部 34 を有する。ダミー絶縁膜 32 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 34 は、ダミートレンチの内部に形成され、且つ、ダミー絶縁膜 32 よりも内側に形成される。ダミー絶縁膜 32 は、ダミー導電部 34 と半導体基板 10 とを絶縁する。ダミートレンチ部 30 は、おもて面 21 において層間絶縁膜 38 により覆われる。

40

【0091】

層間絶縁膜 38 は、おもて面 21 に設けられている。層間絶縁膜 38 の上方には、エミッタ電極 52 が設けられている。層間絶縁膜 38 には、エミッタ電極 52 と半導体基板 10 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 54 が設けられている。コンタクトホール 55 およびコンタクトホール 56 も同様に、層間絶縁膜 38 を貫通して設けられてよい。

【0092】

第 1 ライフタイム制御領域 151 は、半導体基板 10 の内部に不純物を注入すること等

50

により意図的にライフタイムキラーが形成された領域である。一例において、第1ライフタイム制御領域151は、半導体基板10にヘリウムを注入することで形成される。第1ライフタイム制御領域151を設けることにより、ターンオフ時間を低減し、テイル電流を抑制することにより、スイッチング時の損失を低減することができる。

【0093】

ライフタイムキラーは、キャリアの再結合中心である。ライフタイムキラーは、格子欠陥であってよい。例えば、ライフタイムキラーは、空孔、複空孔、これらと半導体基板10を構成する元素との複合欠陥、または転位であってよい。また、ライフタイムキラーは、ヘリウム、ネオンなどの希ガス元素、または、白金などの金属元素などでもよい。格子欠陥の形成には電子線が用いられてよい。

10

【0094】

ライフタイムキラー濃度とは、キャリアの再結合中心濃度である。ライフタイムキラー濃度は、格子欠陥の濃度であってよい。例えばライフタイムキラー濃度とは、空孔、複空孔などの空孔濃度であってよく、これらの空孔と半導体基板10を構成する元素との複合欠陥濃度であってよく、または転位濃度であってよい。また、ライフタイムキラー濃度とは、ヘリウム、ネオンなどの希ガス元素の化学濃度としてもよく、または、白金などの金属元素の化学濃度としてもよい。

【0095】

第1ライフタイム制御領域151は、半導体基板10の深さ方向において、半導体基板10の中心よりも裏面23側に設けられる。本例の第1ライフタイム制御領域151は、バッファ領域20に設けられる。本例の第1ライフタイム制御領域151は、XY平面において半導体基板10の全面に設けられており、マスクを使用せずに形成できる。第1ライフタイム制御領域151は、XY平面において半導体基板10の一部に設けられてもよい。第1ライフタイム制御領域151を形成するための不純物のドーズ量は、 $0.5E10\text{ cm}^{-2}$ 以上、 $1.0E13\text{ cm}^{-2}$ 以下であってよく、 $5.0E10\text{ cm}^{-2}$ 以上、 $5.0E11\text{ cm}^{-2}$ 以下であってよくよい。

20

【0096】

また、本例の第1ライフタイム制御領域151は、裏面23側からの注入により形成されている。これにより、半導体装置100のおもて面21側への影響を回避できる。例えば、第1ライフタイム制御領域151は、裏面23側からヘリウムを照射することにより形成される。ここで、第1ライフタイム制御領域151がおもて面21側からの注入により形成されているか、裏面23側からの注入により形成されているかは、SR法またはリーク電流の測定によって、おもて面21側の状態を取得することで判断できる。

30

【0097】

図2Aは、コレクタ領域22、バッファ領域20およびドリフト領域18におけるドーピング濃度分布の一例を示す。本図では、第1ライフタイム制御領域151のライフタイムキラー濃度の分布を合わせて示している。本例では、第1ライフタイム制御領域151のライフタイムキラー濃度は、ヘリウム濃度である。

【0098】

なお、コレクタ領域22、バッファ領域20およびドリフト領域18におけるドーピング濃度分布は、第1ライフタイム制御領域151以外の各不純物の濃度を総合した正味のドーピング濃度（ネットドーピング濃度）を示している。

40

【0099】

バッファ領域20は、複数のドーピング濃度のピークを有する。本例のバッファ領域20は、第1ピーク61、第2ピーク62、第3ピーク63および第4ピーク64の4つのピークを有する。バッファ領域20の下端は、コレクタ領域22と第1ピーク61との境界であってよい。バッファ領域20の上端は、第4ピーク64とドリフト領域18の境界であってよい。バッファ領域20の深さ方向の厚みは、 $10.0\text{ }\mu\text{m}$ 以上、 $30.0\text{ }\mu\text{m}$ 以下であってよい。なお、本明細書において、それぞれのピークの位置は、ドーピング濃度が極大値を示す位置である。

50

## 【0100】

第1ピーク61は、コレクタ領域22よりもおもて面21側に設けられる。第1ピーク61は、バッファ領域20が有する複数のピークのうち最も裏面23に近いピークである。第1ピーク61は、裏面23から0.5 $\mu\text{m}$ 以上、2.0 $\mu\text{m}$ 以下の深さ位置に設けられてよい。例えば、第1ピーク61の裏面23からの深さ位置は、0.7 $\mu\text{m}$ である。深さ位置とは、半導体基板10の深さ方向における裏面23からの位置を指す。

## 【0101】

第1ピーク61は、バッファ領域20において、ドーピング濃度が最も高いピークであってよい。第1ピーク61のドーピング濃度は、 $1.0 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ 以上であってよく、 $1.0 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ 以上であってよい。第1ピーク61のドーピング濃度は、 $1.0 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 以下であってよく、 $5.0 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ 以下であってよい。例えば、第1ピーク61のドーピング濃度は、 $2.0 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ である。第1ピーク61のドーパントは、リン、砒素または水素であってよい。本例では、第1ピーク61のドーパントはリンである。

10

## 【0102】

第2ピーク62は、第1ピーク61よりもおもて面21側に設けられる。第2ピーク62は、裏面23から2.0 $\mu\text{m}$ 以上、7.0 $\mu\text{m}$ 以下の深さ位置に設けられてよい。例えば、第2ピーク62の裏面23からの深さ位置は、4.0 $\mu\text{m}$ である。第2ピーク62のドーピング濃度は、 $1.0 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ 以上であってよく、 $3.0 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ 以上であってよい。第2ピーク62のドーピング濃度は、 $2.0 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ 以下であってよく、 $1.0 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ 以下であってよい。本例の第2ピーク62のドーピング濃度は、 $5.0 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ 以上である。

20

## 【0103】

第3ピーク63は、第2ピーク62よりもおもて面21側に設けられる。第3ピーク63は、裏面23から7.0 $\mu\text{m}$ 以上、13.0 $\mu\text{m}$ 以下の深さ位置に設けられてよい。例えば、第3ピーク63の裏面23からの深さ位置は、10.0 $\mu\text{m}$ である。

## 【0104】

第4ピーク64は、第3ピーク63よりもおもて面21側に設けられる。第4ピーク64は、裏面23から半導体基板10の基板厚の10%以上、20%以下の深さ位置に設けられてよい。例えば、第4ピーク64の裏面23からの深さ位置は、15.0 $\mu\text{m}$ である。

30

## 【0105】

バッファ領域20の各ピークは、同一のドーパントにより形成されてもよいし、異なるドーパントにより形成されてもよい。バッファ領域20の各ピークのドーパントが水素であってよい。第1ピーク61がリンのイオン注入により形成され、それ以外のピークが水素イオンのイオン注入により形成されてよい。水素イオンはプロトン、デュトロ、トリトンであってよい。本例では、水素イオンはプロトンである。あるいは、第1ピーク61のドーパントがリンであって、それ以外のピークのドーパントが水素であってよい。

## 【0106】

第1ピーク61のドーピング濃度は、第1ピーク61以外のピークのドーピング濃度よりも高くてもよい。第1ピーク61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最大値よりも低くてもよい。第1ピーク61のドーピング濃度は、ゲートがオンの状態でコレクタ領域22から注入される正孔濃度または正孔電流を調節するように決めてよい。

40

## 【0107】

バッファ領域20における第1ピーク61以外のピークのドーピング濃度は、おもて面21側に向かって減少してよい。あるいは、第1ピーク61以外のピークのうち、最もおもて面21側に近いピークのドーピング濃度は、当該ピークの裏面23側に隣り合うピークのドーピング濃度より高くてもよく、等しくてもよい。本例では、最もおもて面21側に近いピークは第4ピーク64であり、第4ピーク64の裏面23側に隣り合うピークは第3ピーク63である。第4ピーク64のドーピング濃度 $D_{p4}$ は、第3ピーク63のドーピング濃度 $D_{p3}$ よりも低くてもよく、同じでもよく、高くてもよい。本例では、ドーピング濃

50

度  $Dp_4$  はドーピング濃度  $Dp_3$  より低い。

【0108】

バッファ領域 20 のピークの個数は、4 つ以上であってよい。即ち、バッファ領域 20 のピークの個数は 5 つであってよく、6 つであってよく、7 つ以上であってよい。

【0109】

第 1 ライフタイム制御領域 151 は、半導体基板 10 の深さ方向において、第 1 ピーク 61 と第 2 ピーク 62 との間に設けられる。これにより、リーク電流の増加を抑制しつつターンオフ損失  $E_{off}$  を低減しやすくなる。第 1 ライフタイム制御領域 151 は、裏面 23 から  $1.0 \mu\text{m}$  以上、 $4.0 \mu\text{m}$  以下の深さ位置に設けられてよい。第 1 ライフタイム制御領域 151 は、ライフタイムキラー濃度分布において 1 つのピークを有してよく、複数のピークを有してよい。本例の第 1 ライフタイム制御領域 151 のライフタイムキラー濃度分布は、1 つのピークを有するヘリウム化学濃度分布である。

10

【0110】

図 2B は、第 1 ライフタイム制御領域 151 近傍のライフタイムキラー濃度分布の拡大図である。本図は、コレクタ領域 22、第 1 ピーク 61、第 2 ピーク 62 および第 1 ライフタイム制御領域 151 のドーピング濃度を示している。

【0111】

深さ位置  $P_k$  は、第 1 ライフタイム制御領域 151 のピークの裏面 23 からの深さ位置を示す。深さ位置  $P_a$  は、第 2 ピーク 62 の裏面 23 からの深さ位置を示す。深さ位置  $P_b$  は、コレクタ領域 22 の上端の裏面 23 からの深さ位置を示す。コレクタ領域 22 の上端とは、コレクタ領域 22 のおもて面 21 側の面を指す。深さ位置  $P_b$  は、コレクタ領域 22 の深さ方向の厚みを示す。コレクタ領域 22 の深さ方向の厚みは、裏面 23 から  $0.2 \mu\text{m}$  以上、 $1.0 \mu\text{m}$  以下であってよい。

20

【0112】

距離 A は、半導体基板 10 の深さ方向における、第 2 ピーク 62 と第 1 ライフタイム制御領域 151 のドーピング濃度のピークとの距離である。即ち、距離 A は、 $P_a - P_k$  で算出される。距離 A を設けることにより、第 1 ライフタイム制御領域 151 の格子欠陥の消失を抑制することができる。距離 A は、 $0.2 \mu\text{m}$  以上であってよく、 $0.5 \mu\text{m}$  以上であってよい。

【0113】

距離 B は、半導体基板 10 の深さ方向における、コレクタ領域 22 の上端と第 1 ライフタイム制御領域 151 のピークとの距離である。即ち、距離 B は、 $P_k - P_b$  で算出される。距離 B を設けることにより、第 1 ライフタイム制御領域 151 の格子欠陥の消失を抑制することができる。距離 B は、 $0.1 \mu\text{m}$  以上であってよく、 $1.0 \mu\text{m}$  以上であってよい。

30

【0114】

ここで、距離 A は、距離 B よりも小さくてよい。つまり、第 1 ライフタイム制御領域 151 のピークは、深さ位置  $P_a$  と深さ位置  $P_b$  との間において、第 2 ピーク 62 に近い側に配置されてよい。距離 A は、距離 B の  $1/2$  以下であってよく、 $1/3$  以下であってよい。なお、距離 A は、距離 B よりも大きいてもよい。距離 A は、距離 B の 2 倍以上であってよく、3 倍以上であってよい。

40

【0115】

第 1 ライフタイム制御領域 151 のライフタイムキラー濃度分布は、ピーク濃度  $Dk_1$  と、ピーク濃度  $Dk_1$  の半値全幅 (FWHM) を備えてよい。ピーク濃度  $Dk_1$  の半値全幅を小さくすることにより、隣接するバッファ領域 20 のピークへの影響を低減することができる。即ち、第 1 ライフタイム制御領域 151 の半値全幅をより小さくすることで、第 1 ライフタイム制御領域 151 の格子欠陥の消失を抑制することができる。例えば、第 1 ライフタイム制御領域 151 の半値全幅は  $0.5 \mu\text{m}$  以下である。

【0116】

第 1 ライフタイム制御領域 151 のライフタイムキラー濃度のピークは、半導体基板 1

50

0の裏面から0.6 μm以上、3.8 μm以下の深さに位置してよい。第1ライフタイム制御領域151の深さ位置を深くすることにより、ターンオフ損失Eoffを低減しやすくなる。但し、第1ライフタイム制御領域151の深さ位置を深くし過ぎると、ベース領域14の下面側から広がる空乏層と接続されてリーク電流が増加する場合がある。

【0117】

また、第1ライフタイム制御領域151のライフタイムキラー濃度のピーク濃度 $Dk_1$ は、第1ピーク61のドーピング濃度のピーク濃度 $Dp_1$ よりも大きくてよい。第1ライフタイム制御領域151のライフタイムキラー濃度のピーク濃度 $Dk_1$ は、第1ピーク61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。一例において、第1ライフタイム制御領域151のライフタイムキラー濃度のピーク濃度 $Dk_1$ は、 $1.0E15\text{ cm}^{-3}$ 以上、 $1.0E17\text{ cm}^{-3}$ 以下である。

10

【0118】

第1ライフタイム制御領域151のライフタイムキラー濃度のピーク濃度 $Dk_1$ を、第1ピーク61のドーピング濃度のピーク濃度 $Dp_1$ よりも大きくすることにより、以下の効果を奏する。バッファ領域20を形成するための水素が、バッファ領域20のピーク濃度の近傍で格子欠陥のダングリング・ボンドを終端する。これにより、導入した格子欠陥が消失することがある。バッファ領域20のピーク濃度近傍で格子欠陥が消失しても、第1ライフタイム制御領域151のピーク濃度 $Dk_1$ がバッファ領域20のピーク濃度より高ければ、格子欠陥の消失が抑えられる。これにより、逆回復動作時における裏面23側の余剰キャリアを十分に減少させることができる。

20

【0119】

第1ライフタイム制御領域151のピークのライフタイムキラー濃度のピーク濃度 $Dk_1$ は、コレクタ領域22のドーピング濃度のピーク濃度 $Dc$ よりも小さい。コレクタ領域22のピークのドーピング濃度は、 $1.0E17\text{ cm}^{-3}$ 以上、 $1.0E19\text{ cm}^{-3}$ 以下であってよい。

【0120】

図3Aは、半導体装置100の変形例の上面図を示す。本例の半導体装置100は、トランジスタ部70およびダイオード部80を備える。例えば、半導体装置100は、逆導通IGBT(RC-IGBT: Reverse Conducting IGBT)である。本例のトランジスタ部70は、トランジスタ部70とダイオード部80との境界に位置する境界部90を含む。

30

【0121】

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の上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。ダイオード部80は、半導体基板10の上面においてトランジスタ部70と隣接して設けられた還流ダイオード(FWD: Free Wheel Diode)等のダイオードを含む。

【0122】

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。一例において、境界部90のトレンチ部は、ダミートレンチ部30である。本例の境界部90は、X軸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

【0123】

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、Y軸方向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。

【0124】

メサ部91は、境界部90に設けられている。メサ部91は、半導体基板10のおもて

50

面 2 1 において、コンタクト領域 1 5 を有する。本例のメサ部 9 1 は、Y 軸方向の負側において、ベース領域 1 4 およびウェル領域 1 7 を有する。

【 0 1 2 5 】

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 2 1 において、ベース領域 1 4 を有する。本例のメサ部 8 1 は、Y 軸方向の負側において、ベース領域 1 4 およびウェル領域 1 7 を有する。

【 0 1 2 6 】

エミッタ領域 1 2 は、メサ部 7 1 に設けられているが、メサ部 8 1 およびメサ部 9 1 には設けられなくてよい。コンタクト領域 1 5 は、メサ部 7 1 およびメサ部 9 1 に設けられているが、メサ部 8 1 には設けられなくてよい。

10

【 0 1 2 7 】

図 3 B は、半導体装置 1 0 0 の変形例の b - b' 断面を示す。本例の半導体装置 1 0 0 は、第 1 ライフタイム制御領域 1 5 1 および第 2 ライフタイム制御領域 1 5 2 を備える。

【 0 1 2 8 】

コンタクト領域 1 5 は、メサ部 9 1 において、ベース領域 1 4 の上方に設けられる。コンタクト領域 1 5 は、メサ部 9 1 において、ダミートレンチ部 3 0 に接して設けられる。他の断面において、コンタクト領域 1 5 は、メサ部 7 1 のおもて面 2 1 に設けられてよい。

【 0 1 2 9 】

蓄積領域 1 6 は、トランジスタ部 7 0 およびダイオード部 8 0 に設けられる。本例の蓄積領域 1 6 は、トランジスタ部 7 0 およびダイオード部 8 0 の全面に設けられる。但し、蓄積領域 1 6 は、ダイオード部 8 0 に設けられなくてもよい。

20

【 0 1 3 0 】

カソード領域 8 2 は、ダイオード部 8 0 において、バッファ領域 2 0 の下方に設けられる。コレクタ領域 2 2 とカソード領域 8 2 との境界は、トランジスタ部 7 0 とダイオード部 8 0 との境界である。即ち、本例の境界部 9 0 の下方には、コレクタ領域 2 2 が設けられている。

【 0 1 3 1 】

第 1 ライフタイム制御領域 1 5 1 は、トランジスタ部 7 0 およびダイオード部 8 0 の両方に設けられる。これにより、本例の半導体装置 1 0 0 は、ダイオード部 8 0 におけるリカバリーを速めて、スイッチング損失をさらに改善できる。第 1 ライフタイム制御領域 1 5 1 は、他の実施例の第 1 ライフタイム制御領域 1 5 1 と同様の方法により形成されてよい。

30

【 0 1 3 2 】

第 2 ライフタイム制御領域 1 5 2 は、半導体基板 1 0 の深さ方向において、半導体基板 1 0 の中心よりもおもて面 2 1 側に設けられる。本例の第 2 ライフタイム制御領域 1 5 2 は、ドリフト領域 1 8 に設けられる。第 2 ライフタイム制御領域 1 5 2 は、トランジスタ部 7 0 およびダイオード部 8 0 の両方に設けられる。第 2 ライフタイム制御領域 1 5 2 は、おもて面 2 1 側から不純物を注入することにより形成されてもよく、裏面 2 3 側から不純物を注入することにより形成されてもよい。第 2 ライフタイム制御領域 1 5 2 は、ダイオード部 8 0 と境界部 9 0 に設けられ、トランジスタ部 7 0 の一部には設けられなくてもよい。

40

【 0 1 3 3 】

第 2 ライフタイム制御領域 1 5 2 は、第 1 ライフタイム制御領域 1 5 1 の形成方法のうち、任意の方法で形成されてよい。第 1 ライフタイム制御領域 1 5 1 および第 2 ライフタイム制御領域 1 5 2 を形成するための元素およびドーズ量などは、同一であっても異なってもよい。

【 0 1 3 4 】

図 4 は、半導体基板 1 0 におけるドーピング濃度分布の一例を示す。本図においては第 1 ライフタイム制御領域 1 5 1 および第 2 ライフタイム制御領域 1 5 2 のドーピング濃度

50

の分布を合わせて示している。また、本図では、ドリフト領域 18 の上端からの積分濃度を合わせて示している。

【0135】

本明細書では、ベース領域 14 の下面側から半導体基板 10 の特定の位置まで、半導体基板 10 の深さ方向に沿ってドーピング濃度を積分した値を、積分濃度と称する。また、本明細書では、コレクタ電極 24 とエミッタ電極 52 との間に順バイアスが印加され、電界強度の最大値が臨界電界強度に達してアバランシェ降伏が発生した場合であって、ベース領域 14 の下面から深さ方向における半導体基板 10 の特定位置までが空乏化する場合に、積分濃度が臨界積分濃度  $N_c$  に達すると称する。なお、半導体装置 100 において、コレクタ電極 24 とエミッタ電極 52 との間に順バイアスが印加されるとは、ゲートがオフの状態において、コレクタ電極 24 の電位がエミッタ電極 52 の電位よりも高いことを指す。半導体装置 100 にアバランシェ降伏が発生すると、コレクタ電極 24 とエミッタ電極 52 間にアバランシェ電流が流れ、コレクタ電極 24 とエミッタ電極 52 間の電圧  $V_{CE}$  の増加が止まる。この場合、空乏層は、積分濃度が臨界積分濃度  $N_c$  に達する位置  $P_{Nc}$  よりも裏面側には広がらなくなる。

10

【0136】

本例の第 1 ライフタイム制御領域 151 は、第 2 ピーク 62 よりも裏面 23 側に設けられる。半導体基板 10 の深さ方向において、ドリフト領域 18 の上端から第 2 ピーク 62 までの積分濃度が、臨界積分濃度  $N_c$  以上であってよい。臨界積分濃度  $N_c$  に達する位置  $P_{Nc}$  は、第 2 ピーク 62 の位置  $P_a$  に一致してよい。これにより、ベース領域 14 の下面側から広がる空乏層が第 2 ピーク 62 によって止められるので、空乏化しない領域に第 1 ライフタイム制御領域 151 のピークを配置できる。よって、第 1 ライフタイム制御領域 151 を注入したことによる漏れ電流の増大も抑制することができる。なお、半導体基板 10 の深さ方向において、ドリフト領域 18 の上端から第 3 ピーク 63 までの積分濃度が、臨界積分濃度  $N_c$  未満であってよい。即ち、ベース領域 14 の下面側から広がる空乏層は、第 2 ピーク 62 によって止められてよい。

20

【0137】

臨界積分濃度  $N_c$  に達する位置  $P_{Nc}$  とバッファ領域 20 のピーク位置（本例ではピーク  $P_a$ ）は一致しなくてもよい。臨界積分濃度  $N_c$  に達する位置  $P_{Nc}$  は、第 2 ピーク 62 の位置  $P_a$  と第 3 ピーク 63 の間に位置してよい。臨界積分濃度  $N_c$  に達する位置  $P_{Nc}$  は、第 3 ピーク 63 の位置に位置してよい。臨界積分濃度  $N_c$  に達する位置  $P_{Nc}$  は、第 4 ピーク 64 と第 3 ピーク 63 の間に位置してよい。臨界積分濃度  $N_c$  に達する位置  $P_{Nc}$  は、第 4 ピーク 64 の位置に位置してよい。

30

【0138】

第 2 ライフタイム制御領域 152 のライフタイムキラー濃度のピーク濃度  $D_{k2}$  は、第 1 ライフタイム制御領域 151 のライフタイムキラー濃度のピーク濃度  $D_{k1}$  よりも小さくてよく、等しくてよく、大きくてよい。本例では、第 2 ライフタイム制御領域 152 のピーク濃度  $D_{k2}$  は、第 1 ライフタイム制御領域 151 のピーク濃度  $D_{k1}$  よりも小さい。第 2 ライフタイム制御領域 152 のピーク濃度  $D_{k2}$  は、蓄積領域 16 のドーピング濃度のピーク濃度  $D_{acc}$  よりも小さくてよく、等しくてよく、大きくてよい。本例では、第 2 ライフタイム制御領域 152 のピーク濃度  $D_{k2}$  は、蓄積領域 16 のピーク濃度  $D_{acc}$  よりも小さい。第 2 ライフタイム制御領域 152 のピーク濃度  $D_{k2}$  は、第 4 ピーク 64 のドーピング濃度のピーク濃度  $D_{p4}$  よりも大きくてよく、等しくてよく、小さくてよい。本例では、第 2 ライフタイム制御領域 152 のピーク濃度  $D_{k2}$  は、第 4 ピーク 64 のドーピング濃度のピーク濃度  $D_{p4}$  よりも大きい。

40

【0139】

図 5 は、半導体装置 100 の製造工程の一例を示すフローチャートである。ステップ S100 において、半導体装置 100 のおもて面側の構造を形成する。また、ステップ S100 においては、おもて面側の構造を形成した後、半導体基板 10 の裏面 23 側を研削して、半導体基板 10 の厚みを、要求される耐圧に応じて調整する。

50

## 【0140】

ステップS102において、半導体基板10の裏面23側からのイオン注入により第1ピーク61を形成する。一例において、第1ピーク61のドーパントは、リンである。例えば、第1ピーク61のドーパントのドーズ量は $1.0 \times 10^{12} \text{ cm}^{-2}$ 以上であってよく、 $2.0 \times 10^{12} \text{ cm}^{-2}$ 以上であってよい。第1ピーク61のドーパントのドーズ量は、 $1.0 \times 10^{13} \text{ cm}^{-2}$ 以下であってよく、 $5.0 \times 10^{12} \text{ cm}^{-2}$ 以下であってよい。本例では、 $3.0 \times 10^{12} \text{ cm}^{-2}$ である。第1ピーク61のドーパントの加速エネルギーは、500 keV以上であってよく、700 keV以上であってよい。第1ピーク61のドーパントの加速エネルギーは、4000 keV以下であってよく、3000 keV以下であってよい。本例では、2000 keVである。

10

## 【0141】

ステップS104において、コレクタ領域22を形成する。コレクタ領域22は、半導体基板10の裏面23の全面に形成されてよい。コレクタ領域22を形成するためのイオンのドーズ量は、 $2.0 \times 10^{13} / \text{cm}^2$ 以上であってよく、 $5.0 \times 10^{13} / \text{cm}^2$ 以下であってよい。また、コレクタ領域22を形成するためのイオンのドーズ量は、第1ピーク61を形成するためのイオンのドーズ量の10倍以上、50倍以下であってよい。

## 【0142】

ステップS106において、カソード領域82を形成する。なお、カソード領域82を形成した後に、コレクタ領域22を形成してもよい。半導体装置100がダイオード部80を有さない場合、ステップS106を省略してもよい。ステップS108において、レーザアニールによって、半導体基板10の裏面23側から不純物を注入した領域を加熱する。

20

## 【0143】

ステップS110において、水素イオンをイオン注入してバッファ領域20を形成する。バッファ領域20に複数のピークを形成する場合、加速エネルギーを異ならせて水素イオンを複数回注入する。例えば、ステップS110において、第2ピーク62、第3ピーク63および第4ピーク64を形成する。

## 【0144】

一例として、第2ピーク62に対応する水素イオンのドーズ量は $7.0 \times 10^{12} / \text{cm}^2$ 、加速エネルギーは1100 keVである。第3ピーク63に対応する水素イオンのドーズ量は $1.0 \times 10^{13} / \text{cm}^2$ 、加速エネルギーは820 keVである。第4ピーク64に対応する水素イオンのドーズ量は $3.0 \times 10^{14} / \text{cm}^2$ 、加速エネルギーは400 keVである。ステップS112において、半導体基板10を窒素雰囲気等のアニール炉で加熱する。一例として、アニール温度が370度であり、アニール時間が5時間である。

30

## 【0145】

ステップS114において、半導体基板10の裏面23側からヘリウムをイオン注入して第1ライフタイム制御領域151を形成する。第1ライフタイム制御領域151を形成するためのイオンのドーズ量は、 $1.0 \times 10^{11} \text{ cm}^{-2}$ 以上であってよく、 $3.0 \times 10^{11} \text{ cm}^{-2}$ 以上であってよい。第1ライフタイム制御領域151を形成するためのイオンのドーズ量は、 $5.0 \times 10^{12} \text{ cm}^{-2}$ 以下であってよく、 $2.0 \times 10^{12} \text{ cm}^{-2}$ 以下であってよい。第1ライフタイム制御領域151のドーズ量を予め定められた下限よりも大きくすることにより、ターンオフ損失Eoffを低減できる。但し、第1ライフタイム制御領域151のドーズ量を予め定められた上限よりも大きくすると、格子欠陥により特性のばらつきが生じる場合がある。

40

## 【0146】

コレクタ領域22を形成するためのイオンのドーズ量は、第1ライフタイム制御領域151を形成するためのイオンのドーズ量の300倍以上、500倍以下であってよい。第1ライフタイム制御領域151を形成するための加速エネルギーは、50 keV以上、2000 keV以下であってよい。一例として、 $\text{He}^{2+}$ を、ドーズ量 $2 \times 10^{12} / \text{cm}^2$ 、加速エネルギー700 keVで注入する。ステップS116において、半導体基板10

50

を窒素雰囲気等のアニール炉で加熱する。

【0147】

なお、第1ライフタイム制御領域151を形成するためのイオンのドーズ量は、第1ピーク61を形成するためのイオンのドーズ量の0.1倍以上、10倍以下であってよく、0.5倍以上、5倍以下であってよく、0.7倍以上、3倍以下であってよい。

【0148】

ステップS118において、コレクタ電極24を形成する。例えば、コレクタ電極24は、スパッタ法により形成される。コレクタ電極24は、アルミニウム層、チタン層およびニッケル層等が積層された積層電極であってよい。このような工程で、半導体装置100を製造することができる。

10

【0149】

図6は、第1ライフタイム制御領域151のピーク深さに対する半導体装置100の特性を示す。本図は、第1ライフタイム制御領域151のピーク深さに対する、ターンオフ損失 $E_{off}$ の変化と、IGBT定格電圧印加時のリーク電流の変化を示す。第1ライフタイム制御領域151のピーク深さを大きくしていくと、ターンオフ損失 $E_{off}$ が低減する傾向にある。一方、第1ライフタイム制御領域151のピーク深さを大きくし過ぎると、第1ライフタイム制御領域151がベース領域14の下面側から広がる空乏層と接続されてリーク電流が増加する場合がある。

【0150】

図6、図2A、図2Bまたは図4において、第1ライフタイム制御領域151のライフタイムキラークラウドのピーク位置 $P_k$ が裏面23から $4.0\mu\text{m}$ のときに、ターンオフ損失 $E_{off}$ が特異的に増加する。ピーク位置 $P_k$ が $4.0\mu\text{m}$ の場合、ピーク位置 $P_k$ はバッファ領域20の第2ピーク62の位置 $P_a$ と一致する。このため、第1ライフタイム制御領域151のライフタイムキラークラウド分布と、第2ピーク62のドーピング濃度分布が重なる。分布の重なりにより、第1ライフタイム制御領域151の空孔におけるダングリング・ボンドが、バッファ領域20の第2ピーク62における水素に終端される。これにより、第1ライフタイム制御領域151のライフタイムキラークラウドのピーク濃度 $D_k$ が低下することで、ターンオフ損失 $E_{off}$ が増加する。

20

【0151】

バッファ領域20は、第1ピーク61と副ピーク群600を有してよい。副ピーク群600は、第1ピーク61以外であって、第1ピーク61よりも半導体基板10のおもて面21側に設けられた一以上のピークである。本例では、副ピーク群600は第2ピーク62、第3ピーク63および第4ピーク64を有する。臨界積分濃度 $N_c$ に達する位置 $P_{Nc}$ は、副ピーク群600にあってよい。副ピーク群600には、第1ライフタイム制御領域151が設けられてよい。

30

【0152】

第1ライフタイム制御領域151のピーク位置 $P_k$ は、臨界積分濃度 $N_c$ に達する位置 $P_{Nc}$ から、裏面23側に向かって $0.1\mu\text{m}$ 以上離れてよく、 $0.5\mu\text{m}$ 以上離れてよく、 $1.0\mu\text{m}$ 以上離れてよい。ピーク位置 $P_k$ は、位置 $P_{Nc}$ から、裏面23側に向かって $3.0\mu\text{m}$ 以下の深さに位置してよく、 $2.0\mu\text{m}$ 以下の深さに位置してよい。本例では、位置 $P_{Nc}$ は位置 $P_a$ であり、ピーク位置 $P_k$ は、位置 $P_{Nc}$ または位置 $P_a$ から $1\mu\text{m}$ 裏面23側に離れた深さに位置する。

40

【0153】

位置 $P_{Nc}$ は、副ピーク群600のうちの一つのピーク $x$ のピーク濃度 $D_{px}$ の半値全幅 $FWHM$ の範囲に位置してよい。本例では、ピーク $x$ は第2ピーク62である。第2ピーク62は、第1ピーク61の半導体基板10のおもて面21側に隣接する。さらにピーク $x$ のピーク濃度 $D_{px}$ の30%における全幅を30%全幅( $FW30\%M$ )と称し、位置 $P_{Nc}$ は30%全幅の範囲に位置してよい。さらにピーク $x$ のピーク濃度 $D_{px}$ の20%における全幅を20%全幅( $FW20\%M$ )と称し、位置 $P_{Nc}$ は20%全幅の範囲に位置してよい。さらにピーク $x$ のピーク濃度 $D_{px}$ の10%における全幅を10%全幅(

50

FW 10 % M) と称し、位置  $P_{Nc}$  は 10 % 全幅の範囲に位置してよい。

【0154】

即ち、副ピーク群 600 の一つのピーク  $x$  が、ピーク  $x$  の半値全幅、30 % 全幅、20 % 全幅または 10 % 全幅の範囲に、積分濃度が臨界積分濃度  $N_c$  となる位置  $P_{Nc}$  を含む。これらの場合において、ピーク  $x$  のピーク濃度  $D_{px}$  は、 $3.0 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$  以上であってよく、 $4.0 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$  以上であってよく、 $5.0 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$  以上であってよい。ピーク濃度  $D_{px}$  は、 $1.0 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$  以下であってよく、 $8.0 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$  以下であってよく、 $6.0 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$  以下であってよい。本例では、ピーク  $x$  は第 2 ピーク 62 であり、 $D_{px}$  は  $D_{p2}$  であって  $7.0 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$  である。副ピーク群 600 のそれぞれのピーク  $x$  のドーピング濃度は、第 1 ピーク 61 のドーピング濃度よりも小

10

【0155】

さらに第 1 ライフタイム制御領域 151 の位置  $P_k$  は、位置  $P_{Nc}$  を FWHM、FW 30 % M、FW 20 % M または FW 10 % M に含むピーク  $x$  の位置  $P_x$  から、裏面 23 側に向かって  $0.1 \mu\text{m}$  以上離れてよく、 $0.5 \mu\text{m}$  以上離れてよく、 $1.0 \mu\text{m}$  以上離れてよい。ピーク位置  $P_k$  は、位置  $P_{Nc}$  から、裏面 23 側に向かって  $3.0 \mu\text{m}$  以下の深さに位置してよく、 $2.0 \mu\text{m}$  以下の深さに位置してよい。

【0156】

さらに第 1 ライフタイム制御領域 151 の位置  $P_k$  は、位置  $P_{Nc}$  を FWHM、FW 30 % M、FW 20 % M または FW 10 % M に含むピーク  $x$  における位置  $P_{Nc}$  から、裏面 23 側に向かって  $0.1 \mu\text{m}$  以上離れてよく、 $0.5 \mu\text{m}$  以上離れてよく、 $1.0 \mu\text{m}$  以上離れてよい。ピーク位置  $P_k$  は、位置  $P_{Nc}$  から、裏面 23 側に向かって  $3.0 \mu\text{m}$  以下の深さに位置してよく、 $2.0 \mu\text{m}$  以下の深さに位置してよい。

20

【0157】

以上により、ターンオフ損失  $E_{off}$  は低減されるとともにリーク電流も低減でき、ターンオフ損失  $E_{off}$  とリーク電流とのトレードオフを改善できる。

【0158】

図 7 は、比較例の半導体装置のドーピング濃度分布の一例を示す。本図においてはライフタイム制御領域 550 のドーピング濃度の分布を合わせて示している。

【0159】

バッファ領域 520 は、複数のドーピング濃度のピークを有する。本例のバッファ領域 520 は、第 1 ピーク 61、第 2 ピーク 62、第 3 ピーク 63 および第 4 ピーク 64 の 4 つのピークを有する。

30

【0160】

ライフタイム制御領域 550 は、半導体基板 10 の深さ方向において、第 2 ピーク 62 よりもおもて面 21 側に設けられている。即ち、ライフタイム制御領域 550 は、ベース領域 14 の下面側から広がる空乏層に接続される場合がある。また、ライフタイム制御領域 550 のピークのドーピング濃度は、第 1 ピーク 61 のドーピング濃度よりも小さい。ライフタイム制御領域 550 は、軽イオンの照射量を増加させることにより、エネルギー損失をより低減することができるものの、生成された格子欠陥を起点としてリーク電流が増加する場合がある。

40

【0161】

図 8 は、リーク電流とターンオフ損失  $E_{off}$  との関係を示すグラフである。縦軸はターンオフ損失  $E_{off}$  を示し、横軸はリーク電流を示す。本例では、実施例と比較例の両方の結果を示している。

【0162】

実施例の半導体装置 100 では、第 1 ライフタイム制御領域 151 を形成するための軽イオン照射量を増加させても、リーク電流の増加を抑制しつつターンオフ損失  $E_{off}$  を低減できる。一方、比較例の半導体装置では、ライフタイム制御領域 550 を形成するための軽イオン照射量が増加すると、生成された格子欠陥を起点としてリーク電流が増加す

50

る。

【0163】

このように、本例の半導体装置100は、第1ライフタイム制御領域151のライフタイムキラー濃度のピークを第1ピーク61と第2ピーク62の間に設けることにより、ドーピング濃度が増加した場合であっても、リーク電流を抑制することができる。

【0164】

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。

10

【0165】

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】

【0166】

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・・・バッファ領域、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、40・・・ゲートトレンチ部、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、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、61・・・第1ピーク、62・・・第2ピーク、63・・・第3ピーク、64・・・第4ピーク、70・・・トランジスタ部、71・・・メサ部、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、100・・・半導体装置、151・・・第1ライフタイム制御領域、152・・・第2ライフタイム制御領域、520・・・バッファ領域、550・・・ライフタイム制御領域、600・・・副ピーク群

20

30

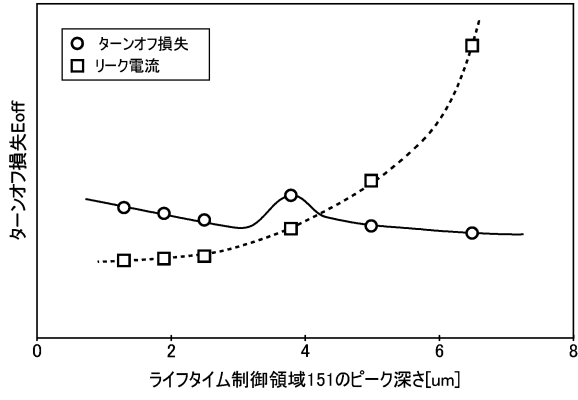
40

50

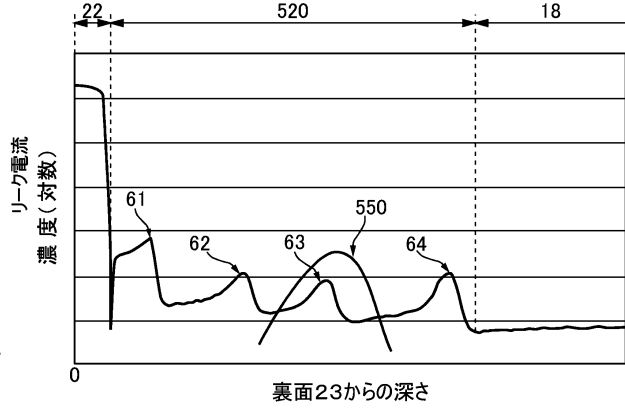




【図6】

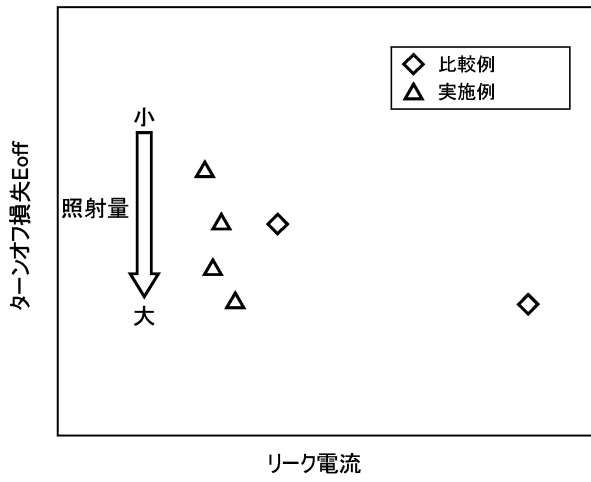


【図7】



10

【図8】



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 1 T |
| H 1 0 D | 30/66 | 2 0 1 A |

## (56)参考文献

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

## (58)調査した分野 (Int.Cl., D B 名)

H 1 0 D 3 0 / 0 1  
H 1 0 D 3 0 / 6 6  
H 1 0 D 1 2 / 0 0