

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2014-107499

(P2014-107499A)

(43) 公開日 平成26年6月9日(2014.6.9)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
HO 1 L 29/872 (2006.01)	HO 1 L 29/48 D	4M104
HO 1 L 29/47 (2006.01)	HO 1 L 29/48 F	
HO 1 L 29/06 (2006.01)	HO 1 L 29/06 3O1G	
	HO 1 L 29/06 3O1M	

審査請求 未請求 請求項の数 13 O L (全 16 頁)

(21) 出願番号 特願2012-261337 (P2012-261337)
 (22) 出願日 平成24年11月29日 (2012.11.29)

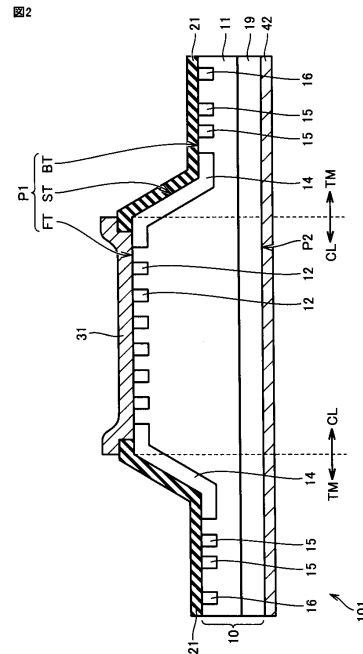
(71) 出願人 000002130
 住友電気工業株式会社
 大阪府大阪市中央区北浜四丁目5番33号
 (74) 代理人 110001195
 特許業務法人深見特許事務所
 (72) 発明者 日吉 透
 大阪市此花区島屋一丁目1番3号 住友電
 気工業株式会社大阪製作所内
 (72) 発明者 和田 圭司
 大阪市此花区島屋一丁目1番3号 住友電
 気工業株式会社大阪製作所内
 Fターム(参考) 4M104 AA03 DD01 DD26 EE01 FF02
 FF27 FF32 FF35 GG03 HH20

(54) 【発明の名称】 炭化珪素半導体装置およびその製造方法

(57) 【要約】

【課題】 炭化珪素半導体装置のリーク電流を抑制する。
 【解決手段】 炭化珪素基板10の第1の主面P1は、素子部CLに位置する平坦面FTと、終端部TMに位置する側壁面STとを有する。炭化珪素基板の不純物層11は第1の主面P1の平坦面FTと第2の主面P2との各々に位置する部分を有する。ショットキー電極31は、平坦面FT上において不純物層11に接している。対向電極42は第2の主面P2上において不純物層11に接している。絶縁膜21Sは側壁面STを覆っている。側壁面STは{000-1}面に対して50度以上80度以下傾斜している。

【選択図】 図2



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

半導体素子が設けられている素子部と、前記素子部を取り囲んでいる終端部とを有する炭化珪素半導体装置であって、

六方晶系の単結晶構造を有する炭化珪素から作られた炭化珪素基板を備え、前記炭化珪素基板は第 1 の主面および前記第 1 の主面と反対の第 2 の主面を有し、前記第 1 の主面は、前記素子部に位置する平坦面と、前記終端部に位置し、かつ前記平坦面を取り囲み、かつ前記第 2 の主面に近づくように前記平坦面に対して傾斜した側壁面とを有し、前記炭化珪素基板は、第 1 の導電型を有する不純物層を含み、前記不純物層は、前記第 1 の主面の前記平坦面に位置する部分を有し、さらに

10

前記第 1 の主面の前記平坦面上において前記不純物層に接するショットキー電極と、
前記第 2 の主面上に設けられた対向電極と、

前記第 1 の主面の前記側壁面を覆う絶縁膜とを備え、前記側壁面は { 0 0 0 - 1 } 面に対して 5 0 度以上 8 0 度以下傾斜している、炭化珪素半導体装置。

【請求項 2】

前記炭化珪素基板の前記第 1 の主面の前記側壁面は、面方位 { 0 - 3 3 - 8 } を有する第 1 の面を含む、請求項 1 に記載の炭化珪素半導体装置。

【請求項 3】

前記炭化珪素基板の前記第 1 の主面の前記側壁面は前記第 1 の面を微視的に含み、前記側壁面はさらに、面方位 { 0 - 1 1 - 1 } を有する第 2 の面を微視的に含む、請求項 2 に記載の炭化珪素半導体装置。

20

【請求項 4】

前記炭化珪素基板の前記第 1 の主面の前記側壁面の前記第 1 および第 2 の面は、面方位 { 0 - 1 1 - 2 } を有する複合面を構成している、請求項 3 に記載の炭化珪素半導体装置。

【請求項 5】

半導体素子が設けられている素子部と、前記素子部を取り囲んでいる終端部とを有する炭化珪素半導体装置であって、

六方晶系の単結晶構造を有する炭化珪素から作られた炭化珪素基板を備え、前記炭化珪素基板は第 1 の主面および前記第 1 の主面と反対の第 2 の主面を有し、前記第 1 の主面は、前記素子部に位置する平坦面と、前記終端部に位置し、かつ前記平坦面を取り囲み、かつ前記第 2 の主面に近づくように前記平坦面に対して傾斜した側壁面とを有し、前記炭化珪素基板は、第 1 の導電型を有する不純物層を含み、前記不純物層は、前記第 1 の主面の前記平坦面に位置する部分を有し、さらに

30

前記第 1 の主面の前記平坦面上において前記不純物層に接するショットキー電極と、
前記第 2 の主面上に設けられた対向電極と、

前記第 1 の主面の前記側壁面を覆う絶縁膜とを備え、前記側壁面は巨視的に見て、面方位 { 0 - 3 3 - 8 }、{ 0 - 1 1 - 2 }、{ 0 - 1 1 - 4 } および { 0 - 1 1 - 1 } のいずれかを有する、炭化珪素半導体装置。

【請求項 6】

40

前記炭化珪素基板の前記第 1 の主面の前記平坦面上に、前記ショットキー電極に接し前記第 1 の導電型と異なる第 2 の導電型を有する埋込領域が埋め込まれている、請求項 1 ~ 5 のいずれか 1 項に記載の炭化珪素半導体装置。

【請求項 7】

前記炭化珪素基板の前記第 1 の主面の前記側壁面上に、前記第 1 の導電型と異なる第 2 の導電型を有する側壁不純物領域が設けられている、請求項 1 ~ 6 のいずれか 1 項に記載の炭化珪素半導体装置。

【請求項 8】

前記側壁不純物領域は、前記炭化珪素基板の前記第 1 の主面上において前記側壁面と前記平坦面との境界を含む、請求項 7 に記載の炭化珪素半導体装置。

50

【請求項 9】

前記側壁不純物領域は前記ショットキー電極に接している、請求項 7 または 8 に記載の炭化珪素半導体装置。

【請求項 10】

前記炭化珪素基板の前記第 1 の主面の前記平坦面上に、前記ショットキー電極に接し前記第 1 の導電型と異なる第 2 の導電型を有する埋込領域が埋め込まれており、

前記炭化珪素基板の前記第 1 の主面の前記側壁面上に、前記第 2 の導電型を有し、前記埋込領域の不純物濃度に比して低い不純物濃度を有し、前記埋込領域につながった側壁不純物領域が設けられている、請求項 1 ~ 5 のいずれか 1 項に記載の炭化珪素半導体装置。

【請求項 11】

前記炭化珪素基板の前記第 1 の主面は、前記終端部において前記側壁面を取り囲む底面を有し、前記底面は、前記平坦面に対する前記側壁面の傾斜に比して前記平坦面に対してより小さい傾斜を有する、請求項 1 ~ 10 のいずれか 1 項に記載の炭化珪素半導体装置。

【請求項 12】

前記炭化珪素基板の前記第 1 の主面の前記底面上に、前記第 1 の導電型と異なる第 2 の導電型を有し、前記側壁面から離れ、前記側壁面を取り囲むガードリング領域が設けられている、請求項 11 に記載の炭化珪素半導体装置。

【請求項 13】

半導体素子が設けられている素子部と、前記素子部を取り囲んでいる終端部とを有する炭化珪素半導体装置の製造方法であって、

六方晶系の単結晶構造を有する炭化珪素から作られた炭化珪素基板を準備する工程を備え、前記炭化珪素基板は第 1 の主面および前記第 1 の主面と反対の第 2 の主面を有し、前記第 1 の主面は、前記素子部に位置する平坦面と、前記終端部に位置し、かつ前記平坦面を取り囲み、かつ前記第 2 の主面に近づくように前記平坦面に対して傾斜した側壁面とを有し、前記炭化珪素基板は、第 1 の導電型を有する不純物層を含み、前記不純物層は、前記第 1 の主面の前記平坦面に位置する部分を有し、前記炭化珪素基板を準備する工程は、前記第 1 の主面上における熱エッチングによって前記側壁面を形成する工程を含み、さらに

前記第 1 の主面の前記側壁面を覆う絶縁膜を形成する工程と、

前記第 1 の主面の前記平坦面上において前記不純物層に接するショットキー電極を形成する工程と、

前記第 2 の主面上に対向電極を形成する工程とを備える、炭化珪素半導体装置の製造方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

この発明は、炭化珪素半導体装置およびその製造方法に関するものである。

【背景技術】

【0002】

ショットキーダイオードの耐圧を高めるために、電界を緩和する終端構造が用いられ得る。終端構造としては J T E (Junction Termination Extension) および F L R (Field Limiting Ring) (ガードリングとも称される) などが知られている。

【0003】

Jochen Hilsenbeck et al., "Avalanche Capability of Unipolar SiC Diode: a Feature for Ruggedness and Reliability Improvement", Material Science Forum, Vols. 615-617 (2009), pp. 659-662 (非特許文献 1) によれば、炭化珪素基板に J T E が設けられている。J T E はパッシベーション膜 (絶縁膜) に覆われている。

【0004】

In Ho Kang et al., "Post Annealing Etch Process for Improved Revers

10

20

30

40

50

e Characteristics of 4H-SiC Diode", Material Science Forum, Vols. 615-617 (2009), pp. 663-666 (非特許文献2)によれば、炭化珪素基板にFLRが設けられている。FLRは熱酸化膜(絶縁膜)に覆われている。

【先行技術文献】

【非特許文献】

【0005】

【非特許文献1】Jochen Hilsenbeck et al., "Avalanche Capability of Unipolar SiC Diodes: a Feature for Ruggedness and Reliability Improvement", Material Science Forum, Vols. 615-617 (2009), pp. 659-662

【非特許文献2】In Ho Kang et al., "Post Annealing Etch Process for Improved Reverse Characteristics of 4H-SiC Diode", Material Science Forum, Vols. 615-617 (2009), pp. 663-666 10

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

上記のように、終端構造において炭化珪素基板と絶縁膜との界面が形成されている。この界面に沿った電流が流れやすいほど、炭化珪素半導体装置のリーク電流が大きくなる。そこで、このようなリーク電流を低減することができる終端構造が望まれる。

【0007】

本発明は、上記のような課題を解決するために成されたものであり、この発明の目的は、リーク電流を抑制することができる炭化珪素半導体装置およびその製造方法を提供することである。 20

【課題を解決するための手段】

【0008】

本発明の一の局面に従う炭化珪素半導体装置は、半導体素子が設けられている素子部と、素子部を取り囲んでいる終端部とを有するものである。炭化珪素半導体装置は、炭化珪素基板と、ショットキー電極と、対向電極と、絶縁膜とを有する。炭化珪素基板は、六方晶系の単結晶構造を有する炭化珪素から作られている。炭化珪素基板は、第1の主面、および第1の主面と反対の第2の主面を有する。第1の主面は、素子部に位置する平坦面と、終端部に位置し、かつ平坦面を取り囲み、かつ第2の主面に近づくように平坦面に対して傾斜した側壁面とを有する。炭化珪素基板は、第1の導電型を有する不純物層を含む。不純物層は、第1の主面の平坦面に位置する部分を有する。ショットキー電極は第1の主面の平坦面上において不純物層に接している。対向電極は第2の主面上に設けられている。絶縁膜は第1の主面の側壁面を覆っている。側壁面は{000-1}面に対して50度以上80度以下傾斜している。 30

【0009】

上記一の局面に従う炭化珪素半導体装置によれば、終端部に配置された側壁面が、{000-1}面に対して50度以上80度以下傾斜している。これにより終端部において、炭化珪素基板の側壁面と絶縁膜との界面における界面準位密度を低くし得る。よって界面準位の存在に起因した電流の生成が抑制される。よって、炭化珪素半導体装置のリーク電流を抑制することができる。 40

【0010】

好ましくは、炭化珪素基板の第1の主面の側壁面は、面方位{0-33-8}を有する第1の面を含む。より好ましくは、炭化珪素基板の第1の主面の側壁面は第1の面を微視的に含み、側壁面はさらに、面方位{0-11-1}を有する第2の面を微視的に含む。より好ましくは、炭化珪素基板の第1の主面の側壁面の第1および第2の面は、面方位{0-11-2}を有する複合面を構成している。これにより、炭化珪素半導体装置のリーク電流をより確実に抑制することができる。

【0011】

本発明の他の局面に従う炭化珪素半導体装置は、半導体素子が設けられている素子部と 50

、素子部を取り囲んでいる終端部とを有するものである。炭化珪素半導体装置は、炭化珪素基板と、ショットキー電極と、対向電極と、絶縁膜とを有する。炭化珪素基板は、六方晶系の単結晶構造を有する炭化珪素から作られている。炭化珪素基板は、第1の主面、および第1の主面と反対の第2の主面を有する。第1の主面は、素子部に位置する平坦面と、終端部に位置し、かつ平坦面を取り囲み、かつ第2の主面に近づくように平坦面に対して傾斜した側壁面とを有する。炭化珪素基板は、第1の導電型を有する不純物層を含む。不純物層は、第1の主面の平坦面に位置する部分を有する。ショットキー電極は第1の主面の平坦面上において不純物層に接している。対向電極は第2の主面上に設けられている。絶縁膜は第1の主面の側壁面を覆っている。側壁面は巨視的に見て、面方位{0-33-8}、{0-11-2}、{0-11-4}および{0-11-1}のいずれかを有する。

10

【0012】

上記他の局面に従う炭化珪素半導体装置によれば、終端部に配置された側壁面が、巨視的に見て、面方位{0-33-8}、{0-11-2}、{0-11-4}および{0-11-1}のいずれかを有する。これにより終端部において、炭化珪素基板の側壁面と絶縁膜との界面における界面準位密度を低くし得る。よって界面準位の存在に起因した電流の生成が抑制される。よって炭化珪素半導体装置のリーク電流を抑制することができる。

【0013】

好ましくは、炭化珪素基板の第1の主面の平坦面上に、ショットキー電極に接し第1の導電型と異なる第2の導電型を有する埋込領域が埋め込まれている。これにより、いわゆるJBS(Junction Barrier Schottky)構造が設けられることで、炭化珪素半導体装置の耐圧を高めることができる。

20

【0014】

好ましくは、炭化珪素基板の第1の主面の側壁面上に、第1の導電型と異なる第2の導電型を有する側壁不純物領域が設けられている。より好ましくは、側壁不純物領域は、炭化珪素基板の第1の主面上において側壁面と平坦面との境界を含んでいる。これにより、電界集中が緩和されることで、炭化珪素半導体装置の耐圧を高めることができる。

【0015】

好ましくは、側壁不純物領域はショットキー電極に接している。これにより側壁不純物領域の電位が安定化される。

30

【0016】

上記の炭化珪素半導体装置において、炭化珪素基板の第1の主面の平坦面上に、ショットキー電極に接し第1の導電型と異なる第2の導電型を有する埋込領域が埋め込まれていてもよい。炭化珪素基板の第1の主面の側壁面上に、第2の導電型を有し、埋込領域の不純物濃度に比して低い不純物濃度を有し、埋込領域につながった側壁不純物領域が設けられていてもよい。これにより側壁不純物が第1の主電極に埋込領域によって電氣的に接続される。よって側壁不純物領域の電位が安定化される。

【0017】

好ましくは、炭化珪素基板の第1の主面は、終端部において側壁面を取り囲む底面を有し、底面は、平坦面に対する側壁面の傾斜に比して平坦面に対してより小さい傾斜を有する。これにより、電界集中を緩和するための構造を終端部の底面に設けることができる。

40

【0018】

好ましくは、炭化珪素基板の第1の主面の底面上に、第1の導電型と異なる第2の導電型を有し、側壁面から離れ、側壁面を取り囲むガードリング領域が設けられる。これにより、電界集中が緩和されることで、炭化珪素半導体装置の耐圧を高めることができる。

【0019】

本発明の炭化珪素半導体装置の製造方法は、半導体素子が設けられている素子部と、素子部を取り囲んでいる終端部とを有する炭化珪素半導体装置の製造方法であり、次の工程を有する。六方晶系の単結晶構造を有する炭化珪素から作られた炭化珪素基板が準備される。炭化珪素基板は第1の主面および第1の主面と反対の第2の主面を有する。第1の主

50

面は、素子部に位置する平坦面と、終端部に位置し、かつ平坦面を取り囲み、かつ第2の主面に近づくように平坦面に対して傾斜した側壁面とを有する。炭化珪素基板は、第1の導電性を有する不純物層を含む。不純物層は、第1の主面の平坦面に位置する部分を有する。炭化珪素基板を準備する工程は、第1の主面上における熱エッチングによって側壁面を形成する工程を含む。第1の主面の側壁面を覆う絶縁膜が形成される。第1の主面の平坦面上において不純物層に接するショットキー電極が形成される。第2の主面上に対向電極が形成される。

【0020】

上記製造方法によれば、側壁面は熱エッチングにより形成される。熱エッチングを用いることで側壁面の面方位を、側壁面と絶縁膜との界面準位の抑制に適したものとすることができる。よって界面準位の存在に起因した電流の生成が抑制される。よって炭化珪素半導体装置のリーク電流を抑制することができる。

10

【発明の効果】

【0021】

本発明によれば上述したように炭化珪素半導体装置のリーク電流を抑制することができる。

【図面の簡単な説明】

【0022】

【図1】本発明の一実施の形態における炭化珪素半導体装置の構成を概略的に示す平面図である。

20

【図2】図1の線I I - I Iに沿う概略的な一部断面図である。

【図3】図1の一部拡大図である。

【図4】図3の視野に対応する炭化珪素基板の平面図である。

【図5】図2の炭化珪素半導体装置の製造方法の第1工程を概略的に示す一部断面図である。

【図6】図2の炭化珪素半導体装置の製造方法の第2工程を概略的に示す一部断面図である。

【図7】図2の炭化珪素半導体装置の製造方法の第3工程を概略的に示す一部断面図である。

【図8】図2の炭化珪素半導体装置の製造方法の第4工程を概略的に示す一部断面図である。

30

【図9】図2の炭化珪素半導体装置の製造方法の第5工程を概略的に示す一部断面図である。

【図10】図2の炭化珪素半導体装置の製造方法の第6工程を概略的に示す一部断面図である。

【図11】図2の炭化珪素半導体装置の製造方法の第7工程を概略的に示す一部断面図である。

【図12】図2の炭化珪素半導体装置の製造方法の第8工程を概略的に示す一部断面図である。

【図13】図2の炭化珪素半導体装置の変形例の構成を概略的に示す一部断面図である。

40

【図14】炭化珪素半導体装置が有する炭化珪素基板の側壁面の微細構造の例を概略的に示す部分断面図である。

【図15】ポリタイプ4Hの六方晶における(000-1)面の結晶構造を示す図である。

【図16】図15の線X V I - X V Iに沿う(11-20)面の結晶構造を示す図である。

【図17】図14の複合面の表面近傍における結晶構造を(11-20)面内において示す図である。

【図18】図14の複合面を(01-10)面から見た図である。

【図19】図14の変形例を示す図である。

50

【発明を実施するための形態】

【0023】

以下、図面に基づいて本発明の実施の形態について説明する。なお、以下の図面において同一または相当する部分には同一の参照番号を付しその説明は繰返さない。また、本明細書中の結晶学的記載においては、個別面を()、集合面を{ }でそれぞれ示している。また、面の指数が負であることを示す際に、数字の上に" - " (バー)を付す代わりに、数字の前に負の符号を付けている。

【0024】

(炭化珪素半導体装置の構成)

図1および図2に示すように、ダイオード101(炭化珪素半導体装置)は、ショットキー接合素子素子(半導体素子)が設けられている素子部CLと、素子部CLを取り囲んでいる終端部TMとを有するものである。ダイオード101は、エピタキシャル基板10(炭化珪素基板)と、ショットキー電極31と、対向電極42と、絶縁膜21とを有する。

10

【0025】

エピタキシャル基板10は、六方晶系の単結晶構造を有する炭化珪素から作られている。単結晶構造はポリタイプ4Hを有することが好ましい。エピタキシャル基板10は、上面P1(第1の主面)および裏面P2(第1の主面と反対の第2の主面)を有する。

【0026】

上面P1は、平坦面FTと、側壁面STと、底面BTとを有する。平坦面FTは素子部CLに位置している。側壁面STおよび底面BTは終端部TMに位置している。側壁面STは、平坦面FTを取り囲んでおり、かつ裏面P2に近づくように平坦面FTに対して傾斜している。底面BTは、終端部TMにおいて側壁面STを取り囲んでいる。底面BTは、平坦面FTに対する側壁面STの傾斜に比して平坦面FTに対してより小さい傾斜を有する。ここで「より小さい傾斜」とは、傾斜がないこと、すなわち平行を含む概念である。よって底面BTは、図2に示すように、平坦面FTと実質的に平行であってもよい。

20

【0027】

上面P1の平坦面FTは{000-1}面とおおよそ平行であることが好ましい。具体的には、平坦面FTの{000-1}面に対する傾きは10度以内が好ましく、5度以内がより好ましい。

30

【0028】

上面P1の側壁面STは{000-1}面に対して50度以上80度以下傾斜している。

【0029】

上面P1の側壁面STは、巨視的に見て、面方位{0-33-8}、{0-11-2}、{0-11-4}および{0-11-1}のいずれかを有してもよい。なお面方位{0-33-8}は{000-1}面から54.7度のオフ角を有する。面方位{0-11-1}は{000-1}面から75.1度のオフ角を有する。よって面方位{0-33-8}、{0-11-2}、{0-11-4}および{0-11-1}は、オフ角54.7~75.1度に対応する。オフ角について5度程度の製造誤差が想定されることを考慮すると、上面P1の側壁面STが{000-1}面に対して50度以上80度以下程度傾斜するような加工を行うことで、側壁面STの巨視的な面方位を、{0-33-8}、{0-11-2}、{0-11-4}および{0-11-1}のいずれかとしやすくなる。

40

【0030】

上述したような側壁面STは、「特殊面」を有するものとしやすい。特殊面の詳細については後述する。

【0031】

エピタキシャル基板10は、単結晶基板19と、n層11(不純物層)と、JBS領域12(埋込領域)と、JTE領域14(側壁不純物領域)と、ガードリング領域15と、フィールドストップ領域16とを有する。単結晶基板19は、n型(第1の導電型)を有

50

する。n層11は、n型を有し、単結晶基板19の不純物濃度に比して低い不純物濃度を有する。n層11は、上面P1の平坦面FTに位置する部分を有する。

【0032】

JBS領域12はp型(第1の導電型と異なる第2の導電型)を有する。JBS領域12はエピタキシャル基板10の上面P1の平坦面FT上に埋め込まれている。JBS領域12は、ショットキー電極31に接している。

【0033】

JTE領域14はp型を有する。JTE領域14は、上面P1の側壁面ST上に設けられている。JTE領域14は、エピタキシャル基板10の上面P1上において側壁面STと平坦面FTとの境界を含んでいる。JTE領域14の不純物濃度はJBS領域12の不純物濃度よりも低い。ダイオード101においては、JTE領域14はショットキー電極31に接している。

10

【0034】

ガードリング領域15はp型を有する。ガードリング領域15は、エピタキシャル基板10の上面P1の底面BT上に設けられており、側壁面STから離れており、側壁面STを取り囲んでいる。

【0035】

フィールドストップ領域16は、n型を有し、n層11の不純物濃度よりも高い不純物濃度を有する。フィールドストップ領域16は、側壁面STを取り囲んでいる。

【0036】

絶縁膜21は上面P1の側壁面STおよび底面BTを覆っている。絶縁膜21は上面P1の平坦面FTの一部を露出する開口部を有する。ショットキー電極31は、上面P1の平坦面FT上においてn層11およびJBS領域12に接している。対向電極42は、裏面P2上に設けられ、単結晶基板19に接している、オーミック電極である。

20

【0037】

図3に示すように、平面視における素子部CLと終端部TMとの境界はジグザグ形状を含んでもよい。このジグザグ形状において、素子部CLから終端部TMへ突き出た部分の角度DCは好ましくは60度である。またこのジグザグ形状において、終端部TMから素子部CLへ突き出た部分の角度DTは好ましくは60度である。60度が好ましいのは、エピタキシャル基板10が六方晶系の結晶構造を有し、この結晶構造が6回対称性を有することに起因している。図4に示すように、好ましくは、上記のジグザグ形状に沿って側壁面STが配置され、このジグザグ形状に側壁面STを介して隣り合うように底面BTが設けられている。

30

【0038】

(炭化珪素半導体装置の製造方法)

次にダイオード101(図2)の製造方法について説明する。

【0039】

図5を参照して、単結晶基板19上における炭化珪素のエピタキシャル成長によって、上面P1をなすn層11が形成される。これにより、単結晶基板19およびn層11を有するエピタキシャル基板10が形成される。エピタキシャル成長はCVD(Chemical Vapor Deposition)法により行われ得る。この際、キャリアガスとして水素ガスを用い得る。原料ガスとしては、たとえば、シラン(SiH_4)とプロパン(C_3H_8)との混合ガスを用い得る。この際、炭化珪素にn型を付与するための不純物として、たとえば窒素(N)やリン(P)を導入することが好ましい。

40

【0040】

次に上面P1上にマスク層71が形成される。好ましくは、マスク層71は、エピタキシャル基板10の上面P1に形成された熱酸化膜である。次にマスク層71上に、パターンを有するフォトレジスト層72が形成される。フォトレジスト層72を用いたエッチングにより、このパターンがマスク層71に転写される(図6)。

【0041】

50

図7に示すように、上面P1上において、マスク層71を用いた熱エッチングが行われる。これによりエピタキシャル基板10の上面P1に側壁面STおよび底面BTが形成される。熱エッチングが用いられることで側壁面STには特殊面が自己形成される。熱エッチングの詳細については後述する。次にマスク層71が除去される(図8)。

【0042】

図9に示すように、JBS領域12、JTE領域14、ガードリング領域15およびフィールドストップ領域16が、導電型不純物のイオン注入により形成される。次に、不純物を活性化するための活性化熱処理が行われる。たとえばアルゴン雰囲気中での1700程度の温度での30分間の加熱が行われる。

【0043】

図10に示すように、エピタキシャル基板10の上面P1の熱酸化によって、上面P1を覆う絶縁膜21が形成される。熱酸化はエピタキシャル基板10を、たとえば、空気中または酸素中で、1200程度の温度で、30分間程度加熱することで行われる。

【0044】

次に窒素アニールが行われる。これにより、エピタキシャル基板10と絶縁膜21との界面から10nm以内の領域における窒素濃度の最大値が $1 \times 10^{21} / \text{cm}^3$ 程度以上となるように窒素濃度が調整される。たとえば、一酸化窒素ガスなどの窒素を含有するガスの雰囲気中で、1100程度の温度で、120分間程度の加熱が行われる。この窒素アニール処理の後さらに、不活性ガス雰囲気中でアニール処理が行われてもよい。たとえば、アルゴン雰囲気中で、1100程度の温度で、60分間程度の加熱が行われる。

【0045】

図11に示すように、エピタキシャル基板10の裏面P2上に対向電極42が形成される。対向電極42は、熱処理によるシリサイド化によってオーミック電極とされる。

【0046】

図12に示すように、絶縁膜21に、上面P1の平坦面FTの一部を露出する開口部が形成される。

【0047】

再び図2を参照して、次に上面P1の平坦面FT上においてn層11およびJBS領域12に接するショットキー電極31が形成される。これによりダイオード101が得られる。

【0048】

(熱エッチング)

熱エッチングとは、エッチングされる対象を高温下でエッチングガスにさらすことによって行われるものであり、物理的エッチング作用を実質的に有しないものである。熱エッチングのプロセスガスはハロゲン元素を含有する。より好ましくはハロゲン元素は塩素またはフッ素である。具体的には、プロセスガスとして、 Cl_2 、 BCl_3 、 CF_4 、および SF_6 の少なくともいずれかを含有するプロセスガスを用いることができ、特に Cl_2 を好適に用いることができる。

【0049】

またプロセスガスはさらに酸素ガスを含有することが好ましい。またプロセスガスはキャリアガスを含んでいてもよい。キャリアガスとしては、たとえば窒素ガス、アルゴンガスまたはヘリウムガスである。

【0050】

熱エッチングの熱処理温度は、好ましくは700以上1200以下である。この温度の下限は、より好ましくは800、さらに好ましくは900である。これによりエッチング速度を十分実用的な値とすることができる。またこの温度の上限は、より好ましくは1100、さらに好ましくは1000である。熱処理温度を700以上1000以下とした場合、SiCのエッチング速度はたとえば $70 \mu\text{m} / \text{時}$ 程度になる。

【0051】

(作用効果)

10

20

30

40

50

本実施の形態のダイオード101によれば、終端部TMに配置された側壁面STが、{000-1}面に対して50度以上80度以下傾斜している。これにより側壁面STの面方位を、側壁面STと絶縁膜21との界面準位の抑制に適したものとすることができる。これにより終端部TMにおいて、エピタキシャル基板10の側壁面STと絶縁膜21との界面における界面準位密度を低くし得る。よって界面準位の存在に起因した電流の生成が抑制される。よって、ダイオード101のリーク電流を抑制することができる。また側壁面STを容易に「特殊面」を有するものとすることができ、この場合、リーク電流がより抑制される。側壁面STが、巨視的に見て、面方位{0-33-8}、{0-11-2}、{0-11-4}および{0-11-1}のいずれかを有する場合も、ほぼ同様である。

10

【0052】

エピタキシャル基板10の上面P1の平坦面FT上にJBS領域12が埋め込まれている。これによりダイオード101の耐圧を高めることができる。

【0053】

エピタキシャル基板10の上面P1の側壁面ST上にJTE領域14が設けられている。JTE領域14は上面P1上において側壁面STと平坦面FTとの境界を含んでいる。これにより、電界集中が緩和されることで、ダイオード101の耐圧を高めることができる。本実施の形態においては、JTE領域14はショットキー電極31に接している。これにより、JTE領域14の電位が安定化される。

20

【0054】

また上面P1には、平坦面FTに対する側壁面の傾斜に比して平坦面FTに対してより小さい傾斜を有する底面BTが設けられる。これにより、電界集中を緩和するための構造を底面BTに容易に設けることができる。具体的には、底面BT上にガードリング領域15が設けられる。これにより、電界集中が緩和されることで、ダイオード101の耐圧を高めることができる。

【0055】

また側壁面STは熱エッチングにより形成される。熱エッチングを用いることで側壁面STの面方位を、側壁面STと絶縁膜21との界面準位の抑制に適したものとすることができる。具体的には、側壁面STに特殊面を形成することができる。よって界面準位の存在に起因した電流の生成が抑制される。よってダイオード101のリーク電流を抑制することができる。

30

【0056】

(変形例)

図13に示すように、本変形例のダイオード102においては、JTE領域14はJBS領域12につながっている。これにより、JTE領域14がショットキー電極31に接していなくても、JTE領域14がショットキー電極31にJBS領域12によって電氣的に接続される。よってJTE領域14の電位が安定化される。

【0057】

(特殊面)

上面P1の側壁面STは特殊面を有することが好ましい。このような側壁面STは、図14に示すように、面方位{0-33-8}を有する面S1(第1の面)を含む。面S1は好ましくは面方位(0-33-8)を有する。より好ましくは、側壁面STは面S1を微視的に含み、側壁面STはさらに、面方位{0-11-1}を有する面S2(第2の面)を微視的に含む。ここで「微視的」とは、原子間隔の2倍程度の寸法を少なくとも考慮する程度に詳細に、ということの意味する。このように微視的な構造の観察方法としては、たとえばTEM(Transmission Electron Microscope)を用いることができる。面S2は好ましくは面方位(0-11-1)を有する。

40

【0058】

好ましくは、側壁面STの面S1および面S2は、面方位{0-11-2}を有する複合面SRを構成している。すなわち複合面SRは、面S1およびS2が周期的に繰り返さ

50

れることによって構成されている。このような周期的構造は、たとえば、TEMまたはAFM (Atomic Force Microscopy) により観察し得る。この場合、複合面SRは $\{000-1\}$ 面に対して巨視的に62度のオフ角を有する。ここで「巨視的」とは、原子間隔程度の寸法を有する微細構造を無視することを意味する。このように巨視的なオフ角の測定としては、たとえば、一般的なX線回折を用いた方法を用い得る。

【0059】

好ましくは複合面SRは面方位 $(0-11-2)$ を有する。この場合、複合面SRは $(000-1)$ 面に対して巨視的に62度のオフ角を有する。好ましくは、リーク電流が流れる方向CDは、上述した周期的繰り返しが行われる方向に沿っている。方向CDは、エピタキシャル基板10の厚さ方向(図2における縦方向)を側壁面STへ射影した方向に対応する。

10

【0060】

次に、複合面SRの詳細な構造について説明する。

一般に、ポリタイプ4Hの炭化珪素単結晶を $(000-1)$ 面から見ると、図15に示すように、Si原子(またはC原子)は、A層の原子(図中の実線)と、この下に位置するB層の原子(図中の破線)と、この下に位置するC層の原子(図中の一点鎖線)と、この下に位置するB層の原子(図示せず)とが繰り返し設けられている。つまり4つの層ABCBを1周期としてABCBA BCBA BCBA BCBA・・・のような周期的な積層構造が設けられている。

20

【0061】

図16に示すように、 $(11-20)$ 面(図15の線XVI-XVIの断面)において、上述した1周期を構成する4つの層ABCBの各層の原子は、 $(0-11-2)$ 面に完全に沿うようには配列されていない。図16においてはB層の原子の位置を通るように $(0-11-2)$ 面が示されており、この場合、A層およびC層の各々の原子は $(0-11-2)$ 面からずれていることがわかる。このため、炭化珪素単結晶の表面の巨視的な面方位、すなわち原子レベルの構造を無視した場合の面方位が $(0-11-2)$ に限定されたとしても、この表面は、微視的には様々な構造をとり得る。

【0062】

図17に示すように、複合面SRは、面方位 $(0-33-8)$ を有する面S1と、面S1につながりかつ面S1の面方位と異なる面方位を有する面S2とが交互に設けられることによって構成されている。面S1および面S2の各々の長さは、Si原子(またはC原子)の原子間隔の2倍である。なお面S1および面S2が平均化された面は、 $(0-11-2)$ 面(図16)に対応する。

30

【0063】

図18に示すように、複合面SRを $(01-10)$ 面から見て単結晶構造は、部分的に見て立方晶と等価な構造(面S1の部分)を周期的に含んでいる。具体的には複合面SRは、上述した立方晶と等価な構造における面方位 (001) を有する面S1と、面S1につながりかつ面S1の面方位と異なる面方位を有する面S2とが交互に設けられることによって構成されている。このように、立方晶と等価な構造における面方位 (001) を有する面(図18においては面S1)と、この面につながりかつこの面方位と異なる面方位を有する面(図18においては面S2)とによって表面を構成することは4H以外のポリタイプにおいても可能である。ポリタイプは、たとえば6Hまたは15Rであってもよい。

40

【0064】

図19に示すように、側壁面STは複合面SRに加えてさらに面S3(第3の面)を含んでもよい。より具体的には、面S3および複合面SRが周期的に繰り返されることによって構成された複合面SQを側壁面STが含んでもよい。周期的構造は、たとえば、TEMまたはAFMにより観察し得る。この場合、側壁面STの $\{000-1\}$ 面に対するオフ角は、理想的な複合面SRのオフ角である62度からずれる。このずれは小さいことが好ましく、 ± 10 度の範囲内であることが好ましい。このような角度範囲に含まれる表面

50

としては、たとえば、巨視的な面方位が{0 - 33 - 8}面となる表面がある。

【0065】

より好ましくは、側壁面STの(000 - 1)面に対するオフ角は、理想的な複合面SRのオフ角である62度からずれる。このずれは小さいことが好ましく、±10度の範囲内であることが好ましい。このような角度範囲に含まれる表面としては、たとえば、巨視的な面方位が(0 - 33 - 8)面となる表面がある。

【0066】

今回開示された実施の形態はすべての点で例示であって制限的なものではないと考えられるべきである。本発明の特許請求の範囲は上記した説明ではなくて請求の範囲によって示され、特許請求の範囲と均等の意味および範囲内でのすべての変更が含まれることが意図される。

10

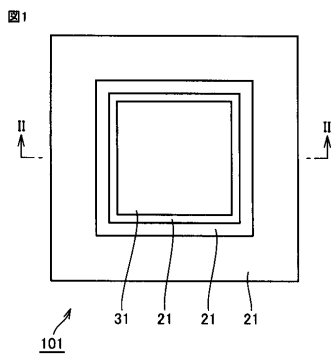
【符号の説明】

【0067】

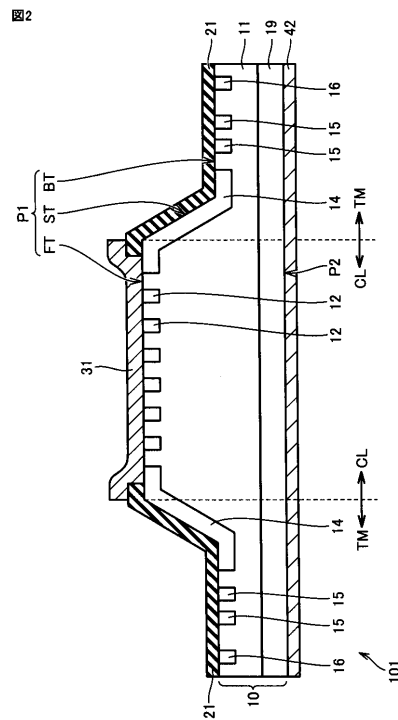
10 エピタキシャル基板(炭化珪素基板)、11 n層(不純物層)、12 JBS領域(埋込領域)、14 JTE領域(側壁不純物領域)、15 ガードリング領域、16 フィールドストップ領域、19 単結晶基板、21 絶縁膜、31 ショットキー電極、42 対向電極、71 マスク層、72, 73 フォトレジスト層、101, 102 ダイオード(炭化珪素半導体装置)、BT 底面、CL 素子部、FT 平坦面、P1 上面(第1の主面)、P2 裏面(第2の主面)、S1 面(第1の面)、S2 面(第2の面)、SQ, SR 複合面、ST 側壁面、TM 終端部。

20

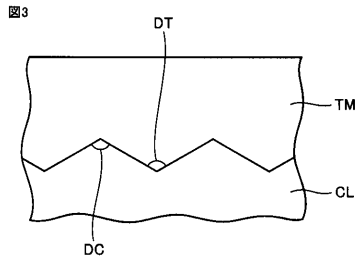
【図1】



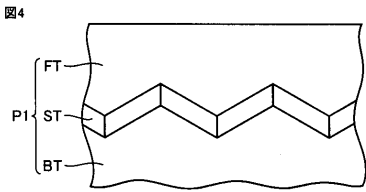
【図2】



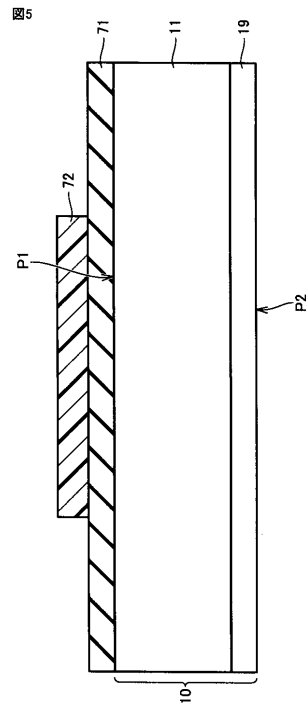
【 図 3 】



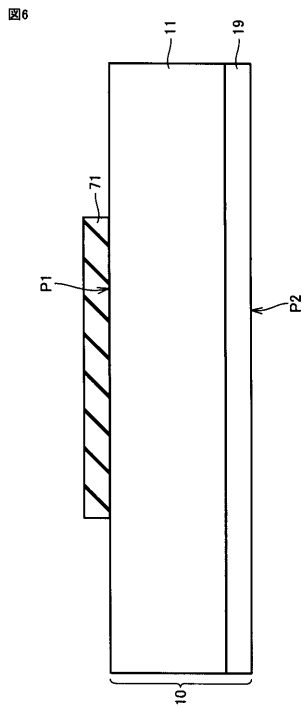
【 図 4 】



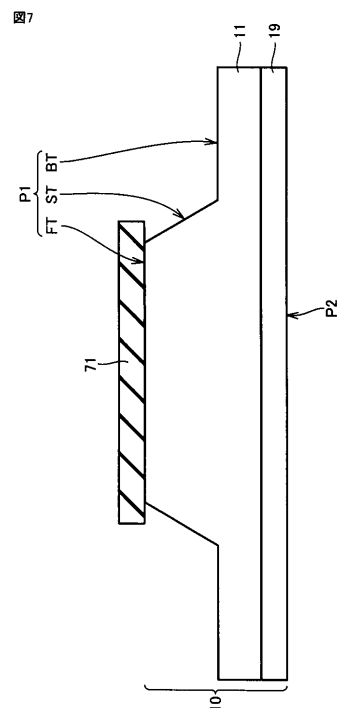
【 図 5 】



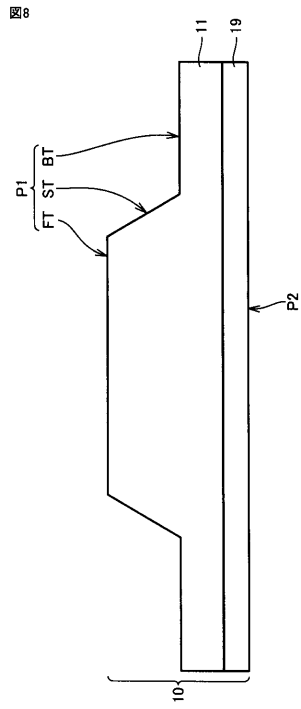
【 図 6 】



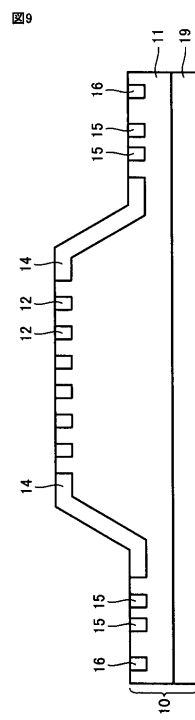
【 図 7 】



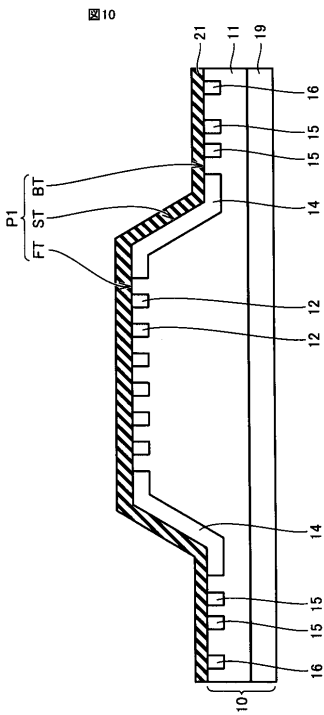
【 図 8 】



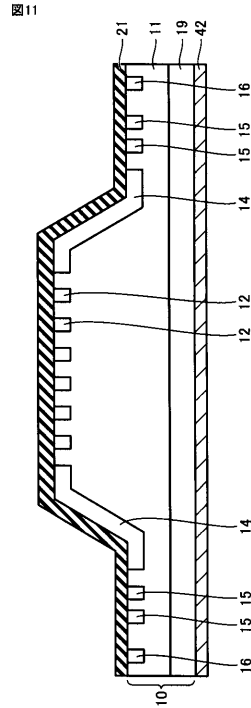
【 図 9 】



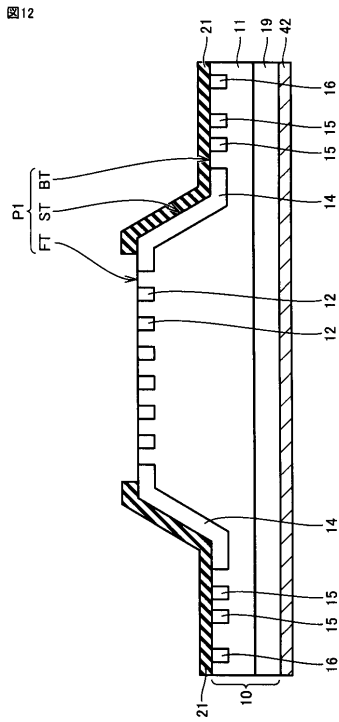
【 図 10 】



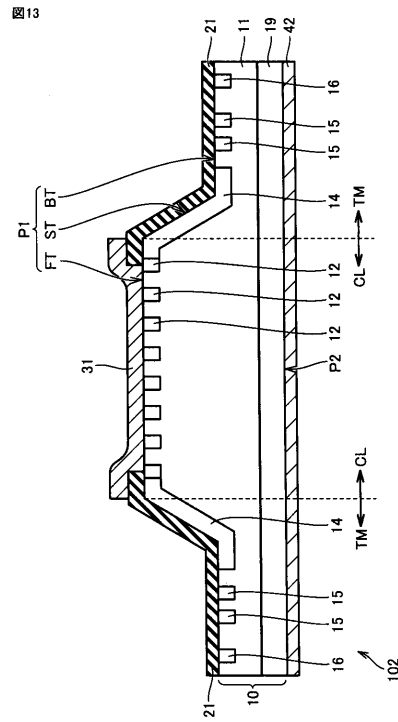
【 図 11 】



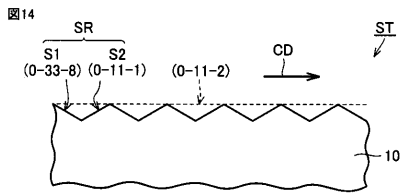
【 図 1 2 】



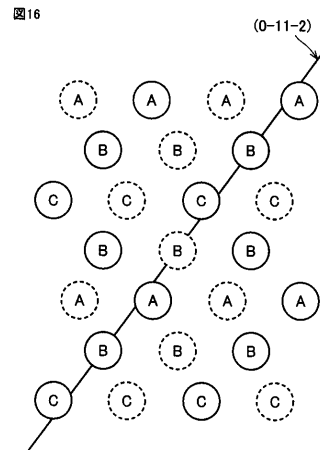
【 図 1 3 】



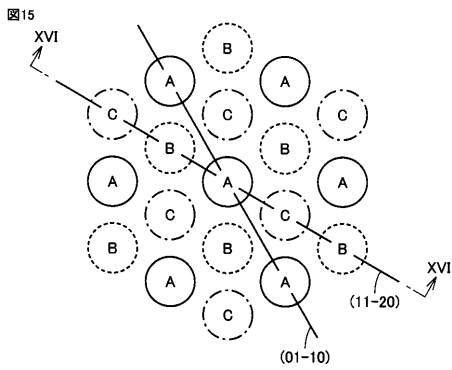
【 図 1 4 】



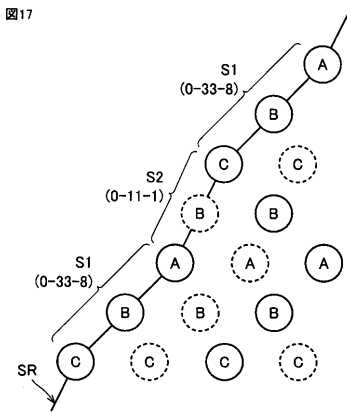
【 図 1 6 】



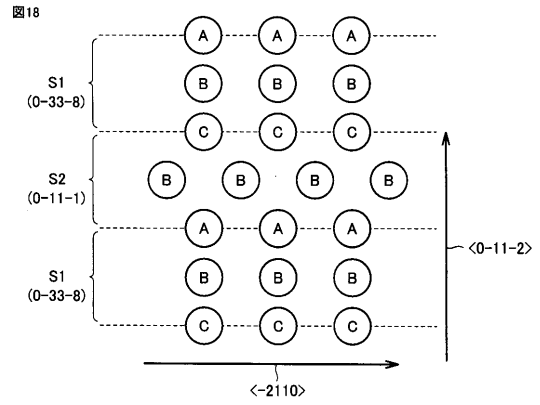
【 図 1 5 】



【 図 17 】



【 図 18 】



【 図 19 】

