

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号

特許第7021063号

(P7021063)

(45)発行日 令和4年2月16日(2022.2.16)

(24)登録日 令和4年2月7日(2022.2.7)

(51)国際特許分類

F I

H 0 1 L 21/337(2006.01)

H 0 1 L 29/80

V

H 0 1 L 21/338(2006.01)

H 0 1 L 29/80

H

H 0 1 L 29/808(2006.01)

H 0 1 L 27/088

A

H 0 1 L 29/812(2006.01)

H 0 1 L 29/78

3 0 1 B

H 0 1 L 29/778(2006.01)

H 0 1 L 29/78

3 0 1 H

請求項の数 18 (全23頁) 最終頁に続く

(21)出願番号 特願2018-230703(P2018-230703)

(22)出願日 平成30年12月10日(2018.12.10)

(65)公開番号 特開2020-96003(P2020-96003A)

(43)公開日 令和2年6月18日(2020.6.18)

審査請求日 令和2年9月4日(2020.9.4)

(73)特許権者 000003078

株式会社東芝

東京都港区芝浦一丁目1番1号

(74)代理人 100108062

弁理士 日向寺 雅彦

(74)代理人 100168332

弁理士 小崎 純一

(74)代理人 100146592

弁理士 市川 浩

(74)代理人 100157901

弁理士 白井 達哲

(74)代理人 100172188

弁理士 内田 敬人

(74)代理人 100197538

弁理士 竹内 功

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】

第1電極と、

第2電極であって、前記第1電極から前記第2電極への方向は、第1方向に沿う、前記第2電極と、

第3電極であって、前記第3電極の前記第1方向における位置は、前記第1電極の前記第1方向における位置と、前記第2電極の前記第1方向における位置と、の間にある、前記第3電極と、

炭化シリコン、シリコン、カーボン及びゲルマニウムよりなる群から選択された少なくとも1つを含む半導体部材であって、前記半導体部材は、第1領域、第1部分領域及び第2部分領域を含み、前記第1領域は、前記第1方向において前記第1電極と前記第2電極との間にあり、前記第1領域から前記第3電極への第2方向は、前記第1方向と交差し、前記第1部分領域は、前記第1方向において前記第1電極と前記第1領域との間にあり、前記第1部分領域から前記第2部分領域への方向は、前記第2方向に沿い、前記第2部分領域は、前記第1方向において前記第1電極と前記第3電極との間にある、前記半導体部材と、

前記第2方向において、前記第1領域と前記第3電極との間に設けられた第1結晶部材と、を備え、

前記第3電極に印加される電圧により、前記第1電極と前記第2電極との間に流れる電流が制御でき、

前記第 1 結晶部材は、ウルツ鉱構造を有し、

前記第 1 結晶部材の $\langle 0001 \rangle$ 方向または $\langle 000-1 \rangle$ 方向は、前記第 2 方向に沿う、半導体装置。

【請求項 2】

前記第 1 結晶部材は、 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ ($0 < x < 1$) を含む、請求項 1 記載の半導体装置。

【請求項 3】

第 1 電極と、

第 2 電極であって、前記第 1 電極から前記第 2 電極への方向は、第 1 方向に沿う、前記第 2 電極と、

第 3 電極であって、前記第 3 電極の前記第 1 方向における位置は、前記第 1 電極の前記第 1 方向における位置と、前記第 2 電極の前記第 1 方向における位置と、の間にある、前記第 3 電極と、

炭化シリコン、シリコン、カーボン及びゲルマニウムよりなる群から選択された少なくとも 1 つを含む半導体部材であって、前記半導体部材は、第 1 領域、第 1 部分領域及び第 2 部分領域を含み、前記第 1 領域は、前記第 1 方向において前記第 1 電極と前記第 2 電極との間にあり、前記第 1 領域から前記第 3 電極への第 2 方向は、前記第 1 方向と交差し、前記第 1 部分領域は、前記第 1 方向において前記第 1 電極と前記第 1 領域との間にあり、前記第 1 部分領域から前記第 2 部分領域への方向は、前記第 2 方向に沿い、前記第 2 部分領域は、前記第 1 方向において前記第 1 電極と前記第 3 電極との間にあり、前記半導体部材と、

前記第 2 方向において、前記第 1 領域と前記第 3 電極との間に設けられた第 1 結晶部材と、

を備え、

前記第 3 電極に印加される電圧により、前記第 1 電極と前記第 2 電極との間に流れる電流が制御でき、

前記第 1 結晶部材の分極の負から正への向き、または、前記分極の正から負への向きは、前記第 2 方向に沿う、半導体装置。

【請求項 4】

前記半導体部材は、前記第 1 電極と前記第 1 部分領域との間、及び、前記第 1 電極と前記第 2 部分領域との間に設けられた基板をさらに含む、請求項 1 記載の半導体装置。

【請求項 5】

第 1 電極と、

第 2 電極であって、前記第 1 電極から前記第 2 電極への方向は、第 1 方向に沿う、前記第 2 電極と、

第 3 電極であって、前記第 3 電極の前記第 1 方向における位置は、前記第 1 電極の前記第 1 方向における位置と、前記第 2 電極の前記第 1 方向における位置と、の間にある、前記第 3 電極と、

炭化シリコン、シリコン、カーボン及びゲルマニウムよりなる群から選択された少なくとも 1 つを含む半導体部材であって、前記半導体部材は、第 1 領域、第 1 部分領域及び第 2 部分領域を含み、前記第 1 領域は、前記第 1 方向において前記第 1 電極と前記第 2 電極との間にあり、前記第 1 領域から前記第 3 電極への第 2 方向は、前記第 1 方向と交差し、前記第 1 部分領域は、前記第 1 方向において前記第 1 電極と前記第 1 領域との間にあり、前記第 1 部分領域から前記第 2 部分領域への方向は、前記第 2 方向に沿い、前記第 2 部分領域は、前記第 1 方向において前記第 1 電極と前記第 3 電極との間にあり、前記半導体部材と、

前記第 2 方向において、前記第 1 領域と前記第 3 電極との間に設けられた第 1 結晶部材と、

を備え、

前記第 3 電極に印加される電圧により、前記第 1 電極と前記第 2 電極との間に流れる電

10

20

30

40

50

流が制御でき、

前記第 1 結晶部材は、ウルツ鉱構造を有し、

前記第 1 結晶部材の $\langle 0001 \rangle$ 方向は、前記第 1 領域から前記第 3 電極への向きの成分を有し、

前記第 1 領域は p 形である、半導体装置。

【請求項 6】

第 1 電極と、

第 2 電極であって、前記第 1 電極から前記第 2 電極への方向は、第 1 方向に沿う、前記第 2 電極と、

第 3 電極であって、前記第 3 電極の前記第 1 方向における位置は、前記第 1 電極の前記第 1 方向における位置と、前記第 2 電極の前記第 1 方向における位置と、の間にある、前記第 3 電極と、

10

炭化シリコン、シリコン、カーボン及びゲルマニウムよりなる群から選択された少なくとも 1 つを含む半導体部材であって、前記半導体部材は、第 1 領域、第 1 部分領域及び第 2 部分領域を含み、前記第 1 領域は、前記第 1 方向において前記第 1 電極と前記第 2 電極との間にあり、前記第 1 領域から前記第 3 電極への第 2 方向は、前記第 1 方向と交差し、前記第 1 部分領域は、前記第 1 方向において前記第 1 電極と前記第 1 領域との間にあり、前記第 1 部分領域から前記第 2 部分領域への方向は、前記第 2 方向に沿い、前記第 2 部分領域は、前記第 1 方向において前記第 1 電極と前記第 3 電極との間にある、前記半導体部材と、

20

前記第 2 方向において、前記第 1 領域と前記第 3 電極との間に設けられた第 1 結晶部材と、

を備え、

前記第 3 電極に印加される電圧により、前記第 1 電極と前記第 2 電極との間に流れる電流が制御でき、

前記第 1 結晶部材は、ウルツ鉱構造を有し、

前記第 1 結晶部材の $\langle 000-1 \rangle$ 方向は、前記第 1 領域から前記第 3 電極への向きの成分を有し、

前記第 1 領域は n 形である、半導体装置。

【請求項 7】

30

前記第 2 部分領域と前記第 3 電極との間に設けられた第 1 絶縁部材をさらに備えた請求項 1 ~ 6 のいずれか 1 つに記載の半導体装置。

【請求項 8】

前記第 1 結晶部材は、前記第 1 方向において前記第 2 部分領域と前記第 3 電極との間の領域を含む、請求項 1 ~ 6 のいずれか 1 つに記載の半導体装置。

【請求項 9】

前記第 1 方向において、前記第 3 電極と、前記第 2 電極の一部と、の間に設けられた第 2 絶縁部材をさらに備えた、請求項 1 ~ 8 のいずれか 1 つに記載の半導体装置。

【請求項 10】

ドレイン電極と、

40

ソース電極であって、前記ドレイン電極から前記ソース電極への方向は、第 1 方向に沿う、前記ソース電極と、

ゲート電極であって、前記ゲート電極の前記第 1 方向における位置は、前記ドレイン電極の前記第 1 方向における位置と、前記ソース電極の前記第 1 方向における位置と、の間にある、前記ゲート電極と、

別のソース電極であって、前記ドレイン電極から前記別のソース電極への方向は、前記第 1 方向に沿い、前記ソース電極から前記別のソース電極への方向は、前記第 1 方向と交差する第 2 方向に沿う、前記別のソース電極と、

別のゲート電極であって、前記別のゲート電極の前記第 1 方向における位置は、前記ドレイン電極の前記第 1 方向における前記位置と、前記別のソース電極の前記第 1 方向におけ

50

る位置と、の間にあり、前記ゲート電極から前記別のゲート電極へ方向は、前記第2方向に沿う、前記別のゲート電極と、

炭化シリコン、シリコン、カーボン及びゲルマニウムよりなる群から選択された少なくとも1つを含む半導体部材であって、前記半導体部材は、第1領域及び第2領域を含み、前記第1領域は、前記第1方向において前記ドレイン電極と前記ソース電極との間にあり、前記第2領域は、前記第1方向において前記ドレイン電極と前記別のソース電極との間にあり、前記半導体部材と、

前記第2方向において、前記第1領域と前記ゲート電極との間に設けられた第1結晶部材と、

前記第2方向において、前記第2領域と前記別のゲート電極との間に設けられた第2結晶部材と、

を備えた半導体装置。

【請求項11】

前記半導体部材は、前記ドレイン電極と前記第1領域との間、及び、前記ドレイン電極と前記第2領域との間に設けられた基板をさらに含む、請求項10記載の半導体装置。

【請求項12】

前記半導体部材は、第1部分領域、第2部分領域、第3部分領域及び第4部分領域をさらに含む、

前記第1部分領域は、前記第1方向において、前記ドレイン電極と前記第1領域との間にあり、

前記第1部分領域から前記第2部分領域へ方向は、前記第2方向に沿い、

前記第2部分領域は、前記第1方向において前記ドレイン電極と前記ゲート電極との間にあり、

前記第3部分領域は、前記第1方向において、前記ドレイン電極と前記第2領域との間にあり、

前記第3部分領域から前記第4部分領域へ方向は、前記第2方向に沿い、

前記第4部分領域は、前記第1方向において前記ドレイン電極と前記別のゲート電極との間にあり、請求項10または11に記載の半導体装置。

【請求項13】

前記半導体部材は、第3領域をさらに含む、

前記第3領域は、前記第2方向において、前記ゲート電極と前記第2領域との間にあり、

前記第3領域における不純物濃度は、前記第2領域における不純物濃度よりも高い、

請求項10～12のいずれか1つに記載の半導体装置。

【請求項14】

前記第1結晶部材及び前記第2結晶部材は、ウルツ鉱構造を有し、

前記第1結晶部材の<0001>方向または<000-1>方向は、前記第2方向に沿い、

前記第2結晶部材の<0001>方向または<000-1>方向は、前記第2方向に沿う、

請求項10～13のいずれか1つに記載の半導体装置。

【請求項15】

前記第1結晶部材及び前記第2結晶部材は、ウルツ鉱構造を有し、

前記第1結晶部材の<0001>方向は、前記第1領域から前記ゲート電極への向きの成分を有し、

前記第2結晶部材の<0001>方向は、前記第2領域から前記別のゲート電極への向きの成分を有し、

前記第1領域及び第2領域はp形である、請求項10～14のいずれか1つに記載の半導体装置。

【請求項16】

前記第1結晶部材及び前記第2結晶部材は、ウルツ鉱構造を有し、

前記第1結晶部材の<000-1>方向は、前記第1領域から前記ゲート電極への向きの成分を有し、

10

20

30

40

50

前記第 2 結晶部材の < 0 0 0 - 1 > 方向は、前記第 2 領域から前記別のゲート電極への向きの成分を有し、

前記第 1 領域及び第 2 領域は n 形である、請求項 1 0 ~ 1 3 のいずれか 1 つに記載の半導体装置。

【請求項 1 7】

第 1 電極と、

第 2 電極と、

第 3 電極と、

第 4 電極であって、前記第 3 電極から前記第 4 電極への第 1 方向は、前記第 1 電極から前記第 2 電極への第 2 方向と交差し、前記第 3 電極の前記第 2 方向における位置は、前記第 1 電極の前記第 2 方向における位置と、前記第 2 電極の前記第 2 方向における位置と、の間にある、前記第 4 電極と、

炭化シリコン、シリコン、カーボン及びゲルマニウムよりなる群から選択された少なくとも 1 つを含む半導体部材であって、前記半導体部材は、第 1 領域及び第 2 領域を含み、前記第 1 領域は、前記第 2 方向において前記第 1 電極と前記第 3 電極との間にあり、前記第 2 領域は、前記第 2 方向において前記第 3 電極と前記第 2 電極との間にある、前記第 1 領域及び前記第 2 領域は、前記第 4 電極と電氣的に接続された、前記半導体部材と、

前記第 2 方向において、前記第 1 領域と前記第 3 電極との間に設けられた第 1 結晶部材と、前記第 2 方向において、前記第 2 領域と前記第 3 電極との間に設けられた第 2 結晶部材と、を備え、

前記第 3 電極に印加される電圧により、前記第 1 電極と前記第 2 電極との間に流れる電流が制御でき、

前記第 1 領域及び前記第 2 領域は、前記第 4 電極と電氣的に接続された半導体装置。

【請求項 1 8】

前記第 1 結晶部材及び前記第 2 結晶部材は、ウルツ鉱構造を有し、

前記第 1 結晶部材の < 0 0 0 1 > 方向は、前記第 1 領域から前記第 3 電極への向きの成分を有し、

前記第 2 結晶部材の < 0 0 0 1 > 方向は、前記第 3 電極から前記第 2 領域への向きの成分を有する、請求項 1 7 記載の半導体装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0 0 0 1】

本発明の実施形態は、半導体装置に関する。

【背景技術】

【0 0 0 2】

半導体装置において、特性の向上が望まれる。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0 0 0 3】

【文献】特許第 5 2 0 7 8 7 4 号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0 0 0 4】

本発明の実施形態は、特性の向上が可能な半導体装置を提供する。

【課題を解決するための手段】

【0 0 0 5】

本発明の実施形態によれば、半導体装置は、第 1 電極、第 2 電極、第 3 電極、半導体部材及び第 1 結晶部材を含む。前記第 1 電極から前記第 2 電極への方向は、第 1 方向に沿う。前記第 3 電極の前記第 1 方向における位置は、前記第 1 電極の前記第 1 方向における位置と、前記第 2 電極の前記第 1 方向における位置と、の間にある。前記半導体部材は、炭化

10

20

30

40

50

シリコン、シリコン、カーボン及びゲルマニウムよりなる群から選択された少なくとも１つを含む。前記半導体部材は、第１領域、第１部分領域及び第２部分領域を含む。前記第１領域は、前記第１方向において前記第１電極と前記第２電極との間にある。前記第１領域から前記第３電極への第２方向は、前記第１方向と交差する。前記第１部分領域は、前記第１方向において前記第１電極と前記第１領域との間にある。前記第１部分領域から前記第２部分領域への方向は、前記第２方向に沿う。前記第２部分領域は、前記第１方向において前記第１電極と前記第３電極との間にある。前記第１結晶部材は、前記第２方向において、前記第１領域と前記第３電極との間に設けられる。

【図面の簡単な説明】

【０００６】

10

【図１】図１は、第１実施形態に係る半導体装置を例示する模式的断面図である。

【図２】図２は、第１実施形態に係る半導体装置の特性を例示する模式図である。

【図３】図３は、第１実施形態に係る半導体装置を例示する模式的断面図である。

【図４】図４は、第１実施形態に係る半導体装置を例示する模式的断面図である。

【図５】図５は、第１実施形態に係る半導体装置を例示する模式的断面図である。

【図６】図６は、第２実施形態に係る半導体装置を例示する模式的断面図である。

【図７】図７は、第２実施形態に係る半導体装置を例示する模式的断面図である。

【図８】図８は、第２実施形態に係る半導体装置の特性を例示するグラフ図である。

【図９】図９は、第２実施形態に係る半導体装置の特性を例示するグラフ図である。

【図１０】図１０は、第２実施形態に係る半導体装置を例示する模式的断面図である。

20

【図１１】図１１は、第２実施形態に係る半導体装置を例示する模式的断面図である。

【図１２】図１２は、第３実施形態に係る半導体装置を例示する模式的断面図である。

【図１３】図１３は、第３実施形態に係る半導体装置を例示する模式的断面図である。

【発明を実施するための形態】

【０００７】

以下に、本発明の各実施の形態について図面を参照しつつ説明する。

図面は模式的または概念的なものであり、各部分の厚さと幅との関係、部分間の大きさの比率などは、必ずしも現実のものと同じとは限らない。同じ部分を表す場合であっても、図面により互いの寸法や比率が異なって表される場合もある。

本願明細書と各図において、既出の図に関して前述したものと同様の要素には同一の符号を付して詳細な説明は適宜省略する。

30

【０００８】

（第１実施形態）

図１は、第１実施形態に係る半導体装置を例示する模式的断面図である。

図１に示すように、第１実施形態に係る半導体装置１１０は、第１電極５１、第２電極５２、第３電極５３、半導体部材１０及び第１結晶部材２１を含む。

【０００９】

第１電極５１から第２電極５２への方向は、第１方向に沿う。第１方向をＺ軸方向とする。Ｚ軸方向に対して垂直な１つの方向をＸ軸方向とする。Ｚ軸方向及びＸ軸方向に対して垂直な方向をＹ軸方向とする。

40

【００１０】

第３電極５３の第１方向（Ｚ軸方向）における位置は、第１電極５１の第１方向における位置と、第２電極５２の第１方向における位置と、の間にある。例えば、Ｚ軸方向において、第３電極５３の少なくとも一部が、第１電極５１の少なくとも一部と、第２電極５２の少なくとも一部と、の間にあっても良い。

【００１１】

半導体部材１０は、例えば、炭化シリコン、シリコン、カーボン及びゲルマニウムよりなる群から選択された少なくとも１つを含む。

【００１２】

半導体部材は、第１領域１１、第１部分領域１１ａ及び第２部分領域１１ｂを含む。

50

【 0 0 1 3 】

第 1 領域 1 1 は、第 1 方向（Z 軸方向）において、第 1 電極 5 1 と第 2 電極 5 2 との間にある。第 1 領域 1 1 から第 3 電極 5 3 への第 2 方向は、第 1 方向（Z 軸方向）と交差する。第 2 方向は、例えば、X 軸方向である。

【 0 0 1 4 】

第 1 部分領域 1 1 a は、第 1 方向（Z 軸方向）において、第 1 電極 5 1 と第 1 領域 1 1 との間にある。第 1 部分領域 1 1 a から第 2 部分領域 1 1 b への方向は、第 2 方向（X 軸方向）に沿う。第 2 部分領域 1 1 b は、第 1 方向（Z 軸方向）において、第 1 電極 5 1 と第 3 電極 5 3 との間にある。

【 0 0 1 5 】

第 1 結晶部材 2 1 は、第 2 方向（例えば、X 軸方向）において、第 1 領域 1 1 と第 3 電極 5 3 との間に設けられる。

【 0 0 1 6 】

この例では、半導体部材 1 0 は、基板 1 0 s をさらに含む。基板 1 0 s は、第 1 電極 5 1 と第 1 部分領域 1 1 a との間、及び、第 1 電極 5 1 と第 2 部分領域 1 1 b との間に設けられる。基板 1 0 s は、例えば、SiC 基板である。基板 1 0 s は、例えば、4H-SiC、または、6H-SiC を含む。

【 0 0 1 7 】

例えば、基板 1 0 s を含む半導体部材 1 0 にトレンチが形成され、トレンチの中に、第 1 結晶部材 2 1 及び第 3 電極 5 3 が設けられる。例えば、トレンチの側面に第 1 結晶部材 2 1 が形成される。残余の空間の少なくとも一部に、第 3 電極 5 3 が形成される。

【 0 0 1 8 】

第 1 結晶部材 2 1 は、分極を有する。1 つの例において、第 1 結晶部材 2 1 は、ウルツ鉱構造を有する。別の例において、第 1 結晶部材 2 1 は、分極を有する他の結晶構造を有する。

【 0 0 1 9 】

例えば、第 1 結晶部材 2 1 における分極に基づいて、半導体部材 1 0 にキャリア領域（図 1 の例では、2 次元電子ガス 1 0 e）が生じる。

【 0 0 2 0 】

第 1 電極 5 1 は、例えば、ドレイン電極として機能する。第 2 電極 5 2 は、例えば、ソース電極として機能する。第 3 電極 5 3 は、例えば、ゲート電極として機能する。半導体装置 1 1 0 は、例えば、トランジスタ（例えば HEMT : high electron mobility transistor）である。

【 0 0 2 1 】

例えば、第 3 電極 5 3 に印加される電圧により、第 1 電極 5 1 と第 2 電極 5 2 との間に流れる電流が制御できる。第 1 領域 1 1 は、電流経路の一部となる。

【 0 0 2 2 】

実施形態においては、半導体部材 1 0 は、X 軸方向で第 3 電極 5 3 と対向する第 1 領域 1 1 に加えて、Z 軸方向で第 3 電極 5 3 と第 1 電極 5 1 との間の領域（第 2 部分領域 1 1 b）を含む。そして、第 1 領域 1 1 と第 2 部分領域 1 1 b とを接続するように、第 1 部分領域 1 1 a が設けられている。このため、第 1 部分領域 1 1 a 及び第 2 部分領域 1 1 b は、電流経路として機能する。第 2 部分領域 1 1 b においては、電流は X 軸方向に広がりながら流れる。例えば、電流経路の断面積が拡大する。これにより、オン抵抗が低くできる。実施形態によれば、特性の向上が可能な半導体装置が提供できる。半導体装置 1 1 0 の特性の例については後述する。

【 0 0 2 3 】

図 1 の例では、第 1 結晶部材 2 1 は、ウルツ鉱構造を有する。第 1 結晶部材は、例えば、 $Al_xGa_{1-x}N$ ($0 < x < 1$) を含む。第 1 結晶部材は、例えば、AlN または AlGa_N などである。

【 0 0 2 4 】

10

20

30

40

50

図 1 の例では、第 1 結晶部材 2 1 の $\langle 0001 \rangle$ 方向は、第 2 方向（例えば、X 軸方向）に沿う。 $\langle 0001 \rangle$ 方向と Z 軸方向との間の角度の絶対値は、例えば、45 度を超える。後述するように、第 1 結晶部材 2 1 の $\langle 000-1 \rangle$ 方向が、第 2 方向（例えば、X 軸方向）に沿っても良い。

【0025】

本願明細書における結晶方位の記載において、「-」は、バーを示す。例えば、「-1」は、バーを有する「1」に対応する。

【0026】

例えば、第 1 結晶部材 2 1 の $\langle 0001 \rangle$ 方向は、第 1 領域 1 1 から第 3 電極 5 3 への向きの成分を有する。このとき、半導体部材 1 0 のうちの第 3 電極 5 3 の近傍領域に、キャリア領域として、2 次元電子ガス 1 0 e が生じる。

【0027】

第 1 結晶部材 2 1 は、ウルツ鉱構造でない結晶構造を有しても良い。第 1 結晶部材 2 1 は、例えば、 BaTiO_3 、 PbTiO_3 、 $\text{Pb}(\text{Zr}_x, \text{Ti}_{1-x})\text{O}_3$ 、 KNbO_3 、 LiNbO_3 、 LiTaO_3 、 Na_xWO_3 、 ZnO 、 $\text{Ba}_2\text{NaNb}_5\text{O}_{15}$ 、 $\text{Pb}_2\text{KNb}_5\text{O}_{15}$ 及び $\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7$ からなる群から選択された少なくとも 1 つを含む。第 1 結晶部材 2 1 の分極の負から正への向き、または、分極の正から負への向きは、例えば、第 2 方向（X 軸方向）に沿う。以下では、第 1 結晶部材 2 1 がウルツ鉱構造を有する場合の例について説明する。

【0028】

図 1 に示すように、半導体装置 1 1 0 において、半導体部材 1 0 は、第 1 部分 p 1 及び第 2 部分 p 2 を含んでも良い。第 1 部分 p 1 は、第 1 方向（Z 軸方向）において、第 1 領域 1 1 と第 2 電極 5 2 との間に設けられる。第 2 部分 p 2 は、第 1 方向（Z 軸方向）において、第 1 部分 p 1 と第 2 電極 5 2 との間に設けられる。第 2 部分 p 2 における不純物濃度は、第 1 部分 p 1 における不純物濃度よりも高い。

【0029】

例えば、第 2 部分 p 2 は、第 2 電極 5 2 とのコンタクト領域として機能する。この例では、第 2 部分 p 2 の導電形は、n 形である。

【0030】

第 1 結晶部材 2 1 の $\langle 0001 \rangle$ 方向が、第 1 領域 1 1 から第 3 電極 5 3 への向きの成分を有する場合（図 1 参照）、第 1 領域 1 1 は p 形であることが好ましい。これにより、例えば、しきい値電圧を上昇させることができる。例えば、ノーマリオフ動作が得られる。

【0031】

第 1 領域 1 1 と第 2 部分 p 2 との間の第 1 部分 p 1 における不純物濃度は、第 1 領域 1 1 よりも低く、第 2 部分 p 2 よりも低いことが好ましい。これにより、例えば、オフ電流（例えば、リーク電流）を抑制できる。

【0032】

一方、基板 1 0 s の導電形は、第 1 領域 1 1 の導電形と逆である。この例では、第 1 領域 1 1 は、p 形であり、第 2 部分 p 2 は、n⁺ 形であり、基板 1 0 s は、n⁺ 形である。

【0033】

第 1 部分領域 1 1 a 及び第 2 部分領域 1 1 b は、例えば、ドリフト領域 1 1 d として機能する。第 1 部分領域 1 1 a 及び第 2 部分領域 1 1 b における不純物濃度は、第 1 領域 1 1 における不純物濃度よりも低い。

【0034】

第 1 部分領域 1 1 a 及び第 2 部分領域 1 1 b は、例えば、4H-SiC、または、6H-SiC を含む。半導体部材 1 0 は、例えば、4H-SiC、または、6H-SiC を含む。

【0035】

半導体装置 1 1 0 においては、第 1 絶縁部材 4 1 が設けられている。第 1 絶縁部材 4 1 は、第 2 部分領域 1 1 b と第 3 電極 5 3 との間に設けられる。第 1 絶縁部材 4 1 は、第 3 電極 5 3 と半導体部材 1 0（第 2 部分領域 1 1 b など）とを電氣的に絶縁する。後述するよ

10

20

30

40

50

うに、第 1 絶縁部材 4 1 は省略されても良い。

【 0 0 3 6 】

図 1 の例では、半導体装置 1 1 0 は、第 2 絶縁部材 4 2 をさらに含む。第 2 絶縁部材 4 2 は、第 1 方向 (Z 軸方向) において、第 3 電極 5 3 と、第 2 電極 5 2 の一部と、の間に設けられている。第 2 絶縁部材 4 2 は、第 2 電極 5 2 と第 3 電極 5 3 とを電氣的に絶縁する。

【 0 0 3 7 】

図 1 に示すように、第 1 領域 1 1 は、面 1 1 F を含む。面 1 1 F は、第 1 結晶部材 2 1 と対向する。第 1 結晶部材 2 1 は、第 1 面 2 1 F を含む。第 1 面 2 1 F は、第 1 領域 1 1 と対向する。例えば、第 1 面 2 1 F は、面 1 1 F と接する。第 1 面 2 1 F は、第 1 方向 (Z 軸方向) に沿う。

10

【 0 0 3 8 】

第 1 結晶部材 2 1 がウルツ鉱構造を有する場合、例えば、第 1 面 2 1 F は、 c 面に沿う。第 1 面 2 1 F は、 c 面に対して実質的に平行でも良い。第 1 面 2 1 F と c 面との間の角度は、例えば、 4 5 度未満である。第 1 面 2 1 F と c 面との間の角度は、例えば、 1 0 度以下である。基板 1 0 s の表面 (例えば、第 1 電極 5 1 側の面でも良い) は、例えば、 a 面または m 面に沿っても良い。

【 0 0 3 9 】

図 2 は、第 1 実施形態に係る半導体装置の特性を例示する模式図である。

図 2 は、半導体装置 1 1 0 のオン時における電子密度のシミュレーション結果を例示している。図 2 において、画像の明暗は、電子密度の高低に対応する。画像が暗い部分における電子密度は、画像が明るい部分における電子密度よりも高い。図 2 に示すように、電子密度は、第 1 部分領域 1 1 a と第 3 電極 5 3 との間の領域において高い。電子密度の高い領域は、第 2 部分領域 1 1 b で広がり、第 3 電極 5 3 の下側に広がっている。実施形態においては、第 2 部分領域 1 1 b により、電子密度が高い領域が得られる。実施形態においては、第 2 部分領域 1 1 b が設けられない場合に比べて、オン抵抗を低くできる。

20

【 0 0 4 0 】

図 3 は、第 1 実施形態に係る半導体装置を例示する模式的断面図である。

以下、実施形態に係る半導体装置 1 1 1 について、半導体装置 1 1 0 とは異なる部分について説明する。半導体装置 1 1 1 においても、例えば、第 1 結晶部材 2 1 は、ウルツ鉱構造を有する。半導体装置 1 1 1 においては、第 1 結晶部材 2 1 の < 0 0 0 - 1 > 方向は、第 1 領域 1 1 から第 3 電極 5 3 への向きの成分を有する。このとき、半導体部材 1 0 のうちの第 3 電極 5 3 の近傍領域に、キャリア領域として、 2 次元ホールガス 1 0 h が生じる。半導体装置 1 1 1 においても、第 2 部分領域 1 1 b が設けられることにより、オン抵抗を低くできる。特性の向上が可能な半導体装置を提供できる。

30

【 0 0 4 1 】

半導体装置 1 1 1 においては、第 1 領域 1 1 は、 n 形であることが好ましい。これにより、例えば、しきい値電圧を上昇させることができる。例えば、ノーマリオフ動作が得られる。

【 0 0 4 2 】

半導体装置 1 1 1 の 1 つの例において、第 2 部分 p 2 は、 p + 形である。基板 1 0 s は、例えば、 p + 形である。

40

【 0 0 4 3 】

半導体装置 1 1 1 において、第 1 結晶部材 2 1 は、ウルツ鉱構造以外の、分極を有する結晶構造を有しても良い。この場合、第 1 結晶部材 2 1 の分極の負から正への向き、または、第 1 結晶部材 2 1 の分極の正から負への向きが、第 2 方向 (X 軸方向) に沿っても良い。

【 0 0 4 4 】

図 4 は、第 1 実施形態に係る半導体装置を例示する模式的断面図である。

以下、実施形態に係る半導体装置 1 1 2 について、半導体装置 1 1 0 とは異なる部分について説明する。半導体装置 1 1 2 においては、第 1 絶縁部材 4 1 が設けられていない。半導体装置 1 1 2 においては、第 1 結晶部材 2 1 は、複数の領域 (領域 2 1 p 及び領域 2 1

50

q)を含む。領域21pは、第2方向(X軸方向)において、第1領域11と第3電極53との間にある。領域21qは、第1方向(Z軸方向)において、第2部分領域11bと第3電極53との間にある。領域21qは、第2部分領域11bと第3電極53とを電氣的に絶縁する。

【0045】

図5は、第1実施形態に係る半導体装置を例示する模式的断面図である。

以下、実施形態に係る半導体装置113について、半導体装置111とは異なる部分について説明する。半導体装置113においても、第1絶縁部材41が設けられていない。半導体装置113においても、第1結晶部材21は、領域21p及び領域21qを含む。領域21pは、第2方向において、第1領域11と第3電極53との間にある。領域21qは、第1方向において、第2部分領域11bと第3電極53との間にある。領域21qは、第2部分領域11bと第3電極53とを電氣的に絶縁する。

10

【0046】

半導体装置112及び113においても、オン抵抗を低くできる。特性の向上が可能な半導体装置を提供できる。

【0047】

(第2実施形態)

図6は、第2実施形態に係る半導体装置を例示する模式的断面図である。

図6に示すように、第2実施形態に係る半導体装置120は、第1電極51、第2電極52、第3電極53、第4電極54、第5電極55、半導体部材10、第1結晶部材21及び第2結晶部材22を含む。

20

【0048】

第1電極51から第2電極52へ方向は、第1方向に沿う。第1方向は、例えば、Z軸方向である。

【0049】

第3電極53の第1方向(Z軸方向)における位置は、第1電極51の第1方向における位置と、第2電極52の第1方向における位置と、の間にある。

【0050】

第1電極51から第4電極54へ方向は、第1方向(Z軸方向)に沿う。第2電極52から第4電極54へ方向は、第2方向に沿う。第2方向は、第1方向と交差する。第2方向は、例えば、X軸方向である。

30

【0051】

第5電極55の第1方向(Z軸方向)における位置は、第1電極51の第1方向における位置と、第4電極54の第1方向における位置と、の間にある。第3電極53から第5電極55へ方向は、第2方向(例えばX軸方向)に沿う。

【0052】

半導体部材10は、炭化シリコン、シリコン、カーボン及びゲルマニウムよりなる群から選択された少なくとも1つを含む。半導体部材10は、第1領域11及び第2領域12を含む。第1領域11は、第1方向(Z軸方向)において、第1電極51と第2電極52との間にある。第2領域12は、第1方向(Z軸方向)において、第1電極51と第4電極54との間にある。例えば、第1領域11から第2領域12へ方向は、X軸方向に沿う。

40

【0053】

第1結晶部材21は、第2方向(例えばX軸方向)において、第1領域11と第3電極53との間に設けられる。第2結晶部材22は、第2方向において、第2領域12と第5電極55との間に設けられる。

【0054】

第1電極51は、例えば、ドレイン電極として機能する。第2電極52は、例えば、1つのソース電極として機能する。第3電極53は、例えば、1つのゲート電極として機能する。第4電極54は、例えば、別のソース電極として機能する。第5電極55は、例えば、別のゲート電極として機能する。半導体装置120は、例えば、トランジスタ(例えば

50

HEMT)である。

【0055】

半導体装置120において、例えば、第1結晶部材21及び第2結晶部材22は、ウルツ鉱構造を有する。例えば、第1結晶部材の<0001>方向または<000-1>方向は、第2方向(X軸方向)に沿う。第2結晶部材の<0001>方向または<000-1>方向は、第2方向(X軸方向)に沿う。

【0056】

図6に示す例では、第1結晶部材21の<0001>方向は、第1領域11から第3電極53への向きの成分を有する。第2結晶部材22の<0001>方向は、第2領域12から第5電極55への向きの成分を有する。

10

【0057】

この場合、第1領域11の第3電極53と対向する領域、及び、第2領域12の第5電極55と対向する領域に、2次元電子ガス10eが生じる。2次元電子ガス10eは、電流経路として機能する。

【0058】

実施形態においては、1つの半導体部材10に複数の電流経路が形成される。これにより、大電流のスイッチングが可能になる。例えば、オン抵抗を低くできる。本実施形態によれば、特性の向上が可能な半導体装置を提供できる。

【0059】

第1領域11は、例えば、第1結晶部材21と接する。第2領域12は、第2結晶部材22と接する。

20

【0060】

半導体装置120において、第1結晶部材21及び第2結晶部材22は、ウルツ鉱構造以外の、分極を有する結晶構造を有しても良い。この場合、第1結晶部材21及び第2結晶部材22の分極の負から正への向き、または、第1結晶部材21及び第2結晶部材22の分極の正から負への向きが、第2方向(X軸方向)に沿っても良い。

【0061】

半導体装置120において、半導体部材10は、第1部分領域11a、第2部分領域11b、第3部分領域12c及び第4部分領域12dをさらに含んでも良い。これらの部分領域は、例えば、ドリフト領域として機能する。

30

【0062】

第1部分領域11aは、第1方向(Z軸方向)において、第1電極51と第1領域11との間にある。第1部分領域11aから第2部分領域11bへの方向は、第2方向(例えばX軸方向)に沿う。第2部分領域11bは、第1方向において、第1電極51と第3電極53との間にある。

【0063】

第3部分領域12cは、第1方向(Z軸方向)において、第1電極51と第2領域12との間にある。第3部分領域12cから第4部分領域12dへの方向は、第2方向(例えばX軸方向)に沿う。第4部分領域12dは、第1方向において、第1電極51と第5電極55との間にある。

40

【0064】

第2部分領域11b及び第4部分領域12dが設けられることで、例えば、電流経路が広がる。これにより、オン抵抗をより低くできる。

【0065】

半導体装置120の1つの例において、半導体部材10は、第3領域13をさらに含んでも良い。第3領域13は、第2方向(X軸方向)において、第3電極53と第2領域12との間にある。第3領域13における不純物濃度は、第2領域12における不純物濃度よりも高い。第3領域13における不純物濃度は、第1領域11における不純物濃度よりも高い。

【0066】

50

例えば、第1領域11及び第2領域12は、p形領域である。第3領域13は、p⁺領域である。第3領域13は、例えば、第3電極53と接しても良い。第3領域13は、第3電極53のコンタクト領域として機能しても良い。

【0067】

半導体装置120において、半導体部材10は、第4領域14をさらに含んでも良い。例えば、第2方向(X軸方向)において、第2領域12と第4領域14との間に、第5電極55が位置する。第4領域14は、p⁺領域である。第4領域14は、例えば、第5電極55と接しても良い。第4領域14は、第5電極55のコンタクト領域として機能しても良い。

【0068】

半導体装置120において、半導体部材10は、基板10sをさらに含んでも良い。基板10sは、第1電極51と第1領域11との間、及び、第1電極51と第2領域12との間に設けられる。基板10sは、第1電極51と第3領域13との間、及び、第1電極51と第4領域14との間に設けられる。基板10sは、例えば、SiC基板である。基板10sは、例えば、4H-SiC、または、6H-SiCを含む。半導体部材10は、例えば、4H-SiC、または、6H-SiCを含む。

【0069】

例えば、基板10sを含む半導体部材10に複数のトレンチが形成され、複数のトレンチの中に、結晶部材及び電極が設けられる。例えば、1つのトレンチの側面に第1結晶部材21が形成される。そのトレンチの残余の空間の少なくとも一部に、第3電極53が形成される。例えば、別のトレンチの側面に第2結晶部材22が形成される。そのトレンチの残余の空間の少なくとも一部に、第5電極55が形成される。

【0070】

例えば、第3領域13の一部は、基板10sと第3電極53との間に設けられても良い。

例えば、第4領域14の一部は、基板10sと第5電極55との間に設けられても良い。

【0071】

半導体部材10は、第1～第4部分p1～p4をさらに含んでも良い。第1部分p1は、第1方向(Z軸方向)において、第1領域11と第2電極52との間に設けられる。第2部分p2は、第1方向において、第1部分p1と第2電極52との間に設けられる。第3部分p3は、第1方向(Z軸方向)において、第2領域12と第4電極54との間に設けられる。第4部分p4は、第1方向において、第3部分p3と第4電極54との間に設けられる。

【0072】

第2部分p2における不純物濃度は、第1部分p1における不純物濃度よりも高い。第4部分p4における不純物濃度は、第3部分p3における不純物濃度よりも高い。第1部分p1における不純物濃度は、例えば、第1領域11における不純物濃度よりも低い。第3部分p3における不純物濃度は、例えば、第2領域12における不純物濃度よりも低い。

【0073】

1つの例において、第1領域11及び第2領域12は、p形である。第2部分p2及び第4部分p4は、例えば、n⁺形である。第3領域13及び第4領域14は、例えば、p⁺形である。基板10sは、例えば、n⁺形である。

【0074】

半導体装置120において、第1～第4絶縁部材41～44が設けられても良い。第1絶縁部材41は、第2部分領域11bと第3電極53との間に設けられる。この例では、第1絶縁部材41は、第1方向(Z軸方向)において、第3領域13の一部と第3電極53との間に設けられる。

【0075】

第2絶縁部材42は、第1方向(Z軸方向)において、第3電極53と、第2電極52の一部と、の間に設けられている。第2絶縁部材42は、第2電極52と第3電極53とを電氣的に絶縁する。第2絶縁部材42は、第2電極52と第3領域13とを電氣的に絶縁

10

20

30

40

50

する。

【 0 0 7 6 】

第 3 絶縁部材 4 3 は、第 4 部分領域 1 2 d と第 5 電極 5 5 との間に設けられる。この例では、第 3 絶縁部材 4 3 は、第 1 方向（Z 軸方向）において、第 4 領域 1 4 の一部と第 5 電極 5 5 との間に設けられる。

【 0 0 7 7 】

第 4 絶縁部材 4 4 は、第 1 方向（Z 軸方向）において、第 5 電極 5 5 と、第 4 電極 5 4 の一部と、の間に設けられている。第 4 絶縁部材 4 4 は、第 4 電極 5 4 と第 5 電極 5 5 とを電氣的に絶縁する。第 4 絶縁部材 4 4 は、第 4 電極 5 4 と第 4 領域 1 4 とを電氣的に絶縁する。

10

【 0 0 7 8 】

図 7 は、第 2 実施形態に係る半導体装置を例示する模式的断面図である。

以下、実施形態に係る半導体装置 1 2 1 について、半導体装置 1 2 0 とは異なる部分について説明する。半導体装置 1 2 1 においても、第 1 結晶部材 2 1 は、ウルツ鉱構造を有する。半導体装置 1 2 1 においては、第 1 結晶部材 2 1 の < 0 0 0 - 1 > 方向は、第 1 領域 1 1 から第 3 電極 5 3 への向きの成分を有する。第 2 結晶部材 2 2 の < 0 0 0 - 1 > 方向は、第 2 領域 1 2 から第 5 電極 5 5 への向きの成分を有する。このとき、半導体部材 1 0 のうちの第 3 電極 5 3 の近傍領域、及び、第 5 電極 5 5 の近傍領域に、キャリア領域として、2 次元ホールガス 1 0 h が生じる。半導体装置 1 2 1 においても、オン抵抗を低くできる。半導体装置 1 2 1 において、第 2 部分領域 1 1 b 及び第 4 部分領域 1 2 d が設けられることにより、オン抵抗をさらに低くできる。特性の向上が可能な半導体装置を提供できる。

20

【 0 0 7 9 】

半導体装置 1 2 1 の 1 つの例において、第 1 領域 1 1 及び第 2 領域 1 2 は、n 形である。第 2 部分 p 2 及び第 4 部分 p 4 は、例えば、p⁺ 形である。第 3 領域 1 3 及び第 4 領域 1 4 は、例えば、n⁺ 形である。基板 1 0 s は、例えば、p⁺ 形である。

【 0 0 8 0 】

半導体装置 1 2 1 において、第 1 結晶部材 2 1 及び第 2 結晶部材 2 2 は、ウルツ鉱構造以外の、分極を有する結晶構造を有しても良い。この場合、第 1 結晶部材 2 1 及び第 2 結晶部材 2 2 の分極の負から正への向き、または、第 1 結晶部材 2 1 及び第 2 結晶部材 2 2 の分極の正から負への向きが、第 2 方向（X 軸方向）に沿っても良い。

30

【 0 0 8 1 】

以下、半導体装置 1 2 0 の特性の例について説明する。図 6 に示すように、第 1 領域 1 1 と第 1 結晶部材 2 1 との間の境界と、第 2 部分領域 1 1 b と第 3 領域 1 3 との境界と、の間の X 軸方向に沿う距離を距離 d_x とする。以下、図 6 に例示した半導体装置 1 2 0 において、距離 d_x を変えたときの特性のシミュレーション結果の例について説明する。

【 0 0 8 2 】

図 8 は、第 2 実施形態に係る半導体装置の特性を例示するグラフ図である。

図 8 の横軸は、ゲート電圧 V_g (V) である。ゲート電圧 V_g は、第 2 電極 5 2 (ソース電極) を基準にしたときの第 3 電極 5 3 (ゲート電極) の電位に対応する。図 8 の縦軸は、ドレイン電流 I_d (× 10⁻⁶ A) である。図 8 には、距離 d_x が 0 nm、150 nm、300 nm または 400 nm のときの結果が例示されている。この例では、第 3 電極 5 3 の X 軸方向の長さは、800 nm である。図 8 から分かるように、距離 d_x が長くなると、同じゲート電圧 V_g におけるドレイン電流 I_d が大きくなる。

40

【 0 0 8 3 】

以下、図 6 に例示した半導体装置 1 2 0 において、第 1 領域 1 1 (例えば p 形領域) における不純物濃度を変えたときの特性のシミュレーション結果の例について説明する。

【 0 0 8 4 】

図 9 は、第 2 実施形態に係る半導体装置の特性を例示するグラフ図である。

図 9 の横軸は、ゲート電圧 V_g (V) である。図 9 の縦軸は、ドレイン電流 I_d (× 10

50

- 5 A) である。図 9 には、第 1 領域 1 1 における p 形の不純物濃度 C_p が、 $5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 、 $7 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 、 $8 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 、または、 $9 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ のときの特性が例示されている。図 9 から分かるように、不純物濃度が低いと、ゲート電圧 V_g が 0 V のときのドレイン電流 I_d 大きい。第 1 領域 1 1 における不純物濃度を制御することで、しきい値電圧を制御できる。半導体装置 1 2 0 の 1 つの例において、第 1 領域 1 1 における p 形の不純物濃度 C_p は、 $7 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 以上であることが好ましい。これにより、例えば、オフ電流を小さくできる。安定したノーマリオフ特性が得られる。

【 0 0 8 5 】

図 1 0 は、第 2 実施形態に係る半導体装置を例示する模式的断面図である。

10

以下、実施形態に係る半導体装置 1 2 2 について、半導体装置 1 2 0 とは異なる部分について説明する。半導体装置 1 2 2 においては、第 1 絶縁部材 4 1 及び第 3 絶縁部材 4 3 が設けられていない。

【 0 0 8 6 】

半導体装置 1 2 2 においては、第 1 結晶部材 2 1 は、領域 2 1 p 及び領域 2 1 q を含む。領域 2 1 p は、第 2 方向 (X 軸方向) において、第 1 領域 1 1 と第 3 電極 5 3 との間にある。領域 2 1 q は、第 1 方向 (Z 軸方向) において、第 2 部分領域 1 1 b と第 3 電極 5 3 との間にある。領域 2 1 q は、第 2 部分領域 1 1 b と第 3 電極 5 3 とを電氣的に絶縁する。

【 0 0 8 7 】

半導体装置 1 2 2 においては、第 2 結晶部材 2 2 は、領域 2 2 p 及び領域 2 2 q を含む。領域 2 2 p は、第 2 方向 (X 軸方向) において、第 2 領域 1 2 と第 5 電極 5 5 との間にある。領域 2 2 q は、第 1 方向 (Z 軸方向) において、第 4 部分領域 1 2 d と第 5 電極 5 5 との間にある。領域 2 2 q は、第 4 部分領域 1 2 d と第 5 電極 5 5 とを電氣的に絶縁する。

20

【 0 0 8 8 】

図 1 1 は、第 2 実施形態に係る半導体装置を例示する模式的断面図である。

以下、実施形態に係る半導体装置 1 2 3 について、半導体装置 1 2 1 とは異なる部分について説明する。半導体装置 1 2 3 においても、第 1 絶縁部材 4 1 及び第 3 絶縁部材 4 3 が設けられていない。半導体装置 1 2 2 においては、第 1 結晶部材 2 1 は、領域 2 1 p 及び領域 2 1 q を含む。第 2 結晶部材 2 2 は、領域 2 2 p 及び領域 2 2 q を含む。

【 0 0 8 9 】

半導体装置 1 2 2 及び 1 2 3 においても、オン抵抗を低くできる。特性の向上が可能な半導体装置を提供できる。

30

【 0 0 9 0 】

(第 3 実施形態)

図 1 2 は、第 3 実施形態に係る半導体装置を例示する模式的断面図である。

図 1 2 に示すように、第 3 実施形態に係る半導体装置 1 3 0 は、第 1 電極 5 1、第 2 電極 5 2、第 3 電極 5 3、第 4 電極 5 4、半導体部材 1 0、第 1 結晶部材 2 1 及び第 2 結晶部材 2 2 を含む。

【 0 0 9 1 】

第 3 電極 5 3 から第 4 電極 5 4 への第 1 方向は、第 1 電極 5 1 から第 2 電極 5 2 への第 2 方向と交差する。

40

【 0 0 9 2 】

第 1 方向を Z 軸方向とする。第 2 方向は、例えば、X 軸方向である。

【 0 0 9 3 】

第 3 電極 5 3 の第 2 方向 (X 軸方向) における位置は、第 1 電極 5 1 の第 2 方向における位置と、第 2 電極 5 2 の第 2 方向における位置と、の間にある。例えば、X 軸方向において、第 3 電極 5 3 は、第 1 電極 5 1 と第 2 電極 5 2 との間にある。

【 0 0 9 4 】

第 4 電極 5 4 の第 2 方向 (X 軸方向) における位置は、第 1 電極 5 1 の第 2 方向における位置と、第 2 電極 5 2 の第 2 方向における位置と、の間にある。例えば、第 4 電極 5 4 は

50

、第3電極53の上方に設けられる。

【0095】

半導体部材10は、炭化シリコン、シリコン、カーボン及びゲルマニウムよりなる群から選択された少なくとも1つを含む。

【0096】

この例では、基板10sが設けられる。基板10sの上に、半導体部材10、及び、第1～第4電極51～54が設けられる。基板10sは、例えば、SiC基板である。基板10sは、例えば、4H-SiC、または、6H-SiCを含む。半導体部材10は、例えば、4H-SiC、または、6H-SiCを含む。

【0097】

半導体部材10は、第1領域11及び第2領域12を含む。第1領域11は、第2方向(X軸方向)において、第1電極51と第3電極53との間にある。第2領域12は、第2方向において、第3電極53と第2電極52との間にある。第1領域11及び第2領域12は、第4電極54と電氣的に接続される。

【0098】

第1結晶部材21は、第2方向(X軸方向)において、第1領域11と第3電極53との間に設けられる。第2結晶部材22は、第2方向において、第2領域12と第3電極53との間に設けられる。

【0099】

例えば、第1結晶部材21及び第2結晶部材22は、ウルツ鉱構造を有する。第1結晶部材21の<0001>方向は、第1領域11から第3電極53への向きの成分を有する。第2結晶部材22の<0001>方向は、第3電極53から第2領域12への向きの成分を有する。

【0100】

例えば、第1領域11のうちの第1結晶部材21の近傍領域に、2次元電子ガス10eが形成される。例えば、第2領域12のうちの第2結晶部材22の近傍領域に、2次元ホールガス10hが形成される。

【0101】

例えば、第1電極51の電位が低電位に設定される。第2電極52の電位が高電位に設定される。この高電位は、上記の低電位よりも高い。第3電極53に入力信号が入力される。入力信号に応じて、第1電極51と第4電極54との間の抵抗状態、及び、第2電極52と第4電極54との間の抵抗状態が制御される。これにより、入力信号に応じた信号が第4電極54から出力される。半導体装置130は、例えば、CMOS(Complementary metal-oxide-semiconductor)素子として機能する。半導体装置130において、例えば、高速のスイッチング特性が得られる。例えば、消費電力を低くできる。特性の向上が可能な半導体装置を提供できる。

【0102】

この例では、半導体部材10は、第1～第4部分p1～p4をさらに含む。第1部分p1は、第1方向(Z軸方向)において、第1領域11と第4電極54との間に設けられる。第2部分p2は、第1方向において、第1部分p1と第4電極54との間に設けられる。第3部分p3は、第1方向(Z軸方向)において、第2領域12と第4電極54との間に設けられる。第4部分p4は、第1方向において、第3部分p3と第4電極54との間に設けられる。

【0103】

第2部分p2における不純物濃度は、第1部分p1における不純物濃度よりも高い。第4部分p4における不純物濃度は、第3部分p3における不純物濃度よりも高い。第1部分p1における不純物濃度は、例えば、第1領域11における不純物濃度よりも低い。第3部分p3における不純物濃度は、例えば、第2領域12における不純物濃度よりも低い。

【0104】

第2部分p2及び第4部分p4は、第4電極54に対するコンタクト領域として機能する。

10

20

30

40

50

【 0 1 0 5 】

半導体部材 1 0 は、第 3 領域 1 3 及び第 4 領域 1 4 をさらに含む。この例では、基板 1 0 s の一部に不純物濃度が高い領域が設けられる。この不純物濃度が高い領域が、第 3 領域 1 3 及び第 4 領域 1 4 に対応する。例えば、第 3 領域 1 3 の一部から第 1 電極 5 1 へのは、第 1 方向（Z 軸方向）に沿う。例えば、第 4 領域 1 4 の一部から第 2 電極 5 2 へのは、第 1 方向（Z 軸方向）に沿う。第 3 領域 1 3 は、第 1 電極 5 1 と第 1 領域 1 1 との間の電流経路となる。第 4 領域 1 4 は、第 2 電極 5 2 と第 2 領域 1 2 との間の電流経路となる。

【 0 1 0 6 】

この例では、半導体部材 1 0 は、第 5 部分 p 5 及び第 6 部分 p 6 をさらに含む。第 5 部分 p 5 は、第 1 方向（Z 軸方向）において、第 3 領域 1 3 の別の一部と、第 1 領域 1 1 との間にある。第 6 部分 p 6 は、第 1 方向（Z 軸方向）において、第 4 領域 1 4 の別の一部と、第 2 領域 1 2 との間にある。

10

【 0 1 0 7 】

第 3 領域 1 3 は、例えば、n⁺領域である。第 4 領域 1 4 は、例えば、p⁺領域である。第 1 領域 1 1 は、例えば、p 形領域である。第 2 領域 1 2 は、例えば、n 形領域である。第 2 部分 p 2 は、例えば、n⁺形領域である。第 4 部分 p 4 は、p⁺形領域である。

【 0 1 0 8 】

この例では、第 1 ～第 4 絶縁部材 4 1 ～4 4 が設けられている。第 1 絶縁部材 4 1 は、基板 1 0 s（第 3 領域 1 3 及び第 4 領域 1 4 を含む）と、第 3 電極 5 3 と、の間に設けられる。第 2 絶縁部材 4 2 は、第 3 電極 5 3 と第 4 電極 5 4 との間、第 1 結晶部材 2 1 と第 4 電極 5 4 との間、及び、第 2 結晶部材 2 2 と第 4 電極 5 4 との間に設けられる。

20

【 0 1 0 9 】

第 3 絶縁部材 4 3 は、第 2 方向（X 軸方向）において、第 1 電極 5 1 と第 1 領域 1 1 との間、第 1 電極 5 1 と第 1 部分 p 1 との間、第 1 電極 5 1 と第 2 部分 p 2 との間、第 1 電極 5 1 と第 5 部分 p 5 との間に設けられる。

【 0 1 1 0 】

第 4 絶縁部材 4 4 は、第 2 方向（X 軸方向）において、第 2 電極 5 2 と第 2 領域 1 2 との間、第 2 電極 5 2 と第 3 部分 p 3 との間、第 2 電極 5 2 と第 4 部分 p 4 との間、第 2 電極 5 2 と第 6 部分 p 6 との間に設けられる。

30

【 0 1 1 1 】

半導体装置 1 3 0 において、第 1 結晶部材 2 1 及び第 2 結晶部材 2 2 は、ウルツ鉱構造以外の、分極を有する結晶構造を有しても良い。この場合、第 1 結晶部材 2 1 及び第 2 結晶部材 2 2 の分極の負から正への向き、または、第 1 結晶部材 2 1 及び第 2 結晶部材 2 2 の分極の正から負への向きが、第 2 方向（X 軸方向）に沿っても良い。

【 0 1 1 2 】

図 1 3 は、第 3 実施形態に係る半導体装置を例示する模式的断面図である。

以下、実施形態に係る半導体装置 1 3 1 について、半導体装置 1 3 0 とは異なる部分について説明する。半導体装置 1 3 1 においては、第 1 絶縁部材 4 1 が設けられない。半導体装置 1 3 1 は、第 1 結晶部材 2 1 及び第 2 結晶部材 2 2 に、加えて、第 3 結晶部材 2 3 をさらに含む。

40

【 0 1 1 3 】

第 1 方向（Z 軸方向）において、第 3 結晶部材 2 3 と第 4 電極 5 4 との間に第 3 電極 5 3 が設けられる。第 2 絶縁部材 4 2 が設けられる場合、第 1 方向（Z 軸方向）において、第 3 結晶部材 2 3 と第 2 絶縁部材 4 2 との間に第 3 電極 5 3 が設けられる。

【 0 1 1 4 】

第 3 結晶部材 2 3 は、第 1 結晶部材 2 1 と同じ材料を含んでも良い。第 3 結晶部材 2 3 は、第 2 結晶部材 2 2 と同じ材料を含んでも良い。第 3 結晶部材 2 3 は、第 1 結晶部材 2 1 及び第 2 結晶部材 2 2 と連続しても良い。第 3 結晶部材 2 3 は、例えば、第 3 電極 5 3 と、基板 1 0 s（第 3 領域 1 3 及び第 4 領域 1 4 を含む）と、を電氣的に絶縁する。例えば

50

、第1～第3結晶部材21～23は、絶縁性である。

【0115】

半導体装置131も、例えば、CMOS素子として機能する。半導体装置131において、例えば、高速のスイッチング特性が得られる。例えば、消費電力を低くできる。特性の向上が可能な半導体装置を提供できる。

【0116】

上記の実施形態において、電極（例えば、第1～第5電極51～55の少なくともいずれか）は、例えば、Al、Ti、Ni及びAuよりなる群から選択された少なくとも1つを含む。

【0117】

上記の実施形態において、半導体部材10は、例えば、SiCを含む。この場合、半導体部材10がシリコンを含む場合に比べて、高い放熱性が得られる。

【0118】

結晶部材（第1結晶部材21及び第2結晶部材22）は、AlNを含むことが好ましい。これにより、高い耐圧が得られる。

【0119】

半導体部材10がSiCを含み、結晶部材がAlNを含む場合ことが好ましい。これらの材料における格子定数差が小さい。例えば、AlN（結晶部材）において、良好な結晶性が得られる。

【0120】

半導体部材10がSiCを含み、結晶部材がAlNを含む場合、これらの材料の間におけるポテンシャル差が大きい。これにより、キャリアが閉じこめられやすく、局在化し易い。例えば、キャリアの積分濃度を高くできる。

【0121】

上記の実施形態において、結晶部材は、例えば、MOCVD（有機金属気相）法、分子線エピタキシ（MBE）法、ハライド気相成長（HVPE）法、スパッタ法、及び、パルスレーザー堆積法よりなる群から選択された少なくとも1つにより形成される。

【0122】

実施形態によれば、特性の向上が可能な半導体装置を提供することができる。

【0123】

本願明細書において、「電氣的に接続される状態」は、複数の導電体が物理的に接してこれら複数の導電体の間に電流が流れる状態を含む。「電氣的に接続される状態」は、複数の導電体の間に、別の導電体が挿入されて、これらの複数の導電体の間に電流が流れる状態を含む。

【0124】

本願明細書において、「垂直」及び「平行」は、厳密な垂直及び厳密な平行だけではなく、例えば製造工程におけるばらつきなどを含むものであり、実質的に垂直及び実質的に平行であれば良い。

【0125】

以上、具体例を参照しつつ、本発明の実施の形態について説明した。しかし、本発明は、これらの具体例に限定されるものではない。例えば、半導体装置に含まれる、電極、半導体部材、結晶部材及び絶縁部材などの各要素の具体的な構成に関しては、当業者が公知の範囲から適宜選択することにより本発明を同様に実施し、同様の効果を得ることができる限り、本発明の範囲に包含される。

【0126】

また、各具体例のいずれか2つ以上の要素を技術的に可能な範囲で組み合わせたものも、本発明の要旨を包含する限り本発明の範囲に含まれる。

【0127】

その他、本発明の実施の形態として上述した半導体装置を基にして、当業者が適宜設計変更して実施し得る全ての半導体装置も、本発明の要旨を包含する限り、本発明の範囲に属

10

20

30

40

50

する。

【 0 1 2 8 】

その他、本発明の思想の範疇において、当業者であれば、各種の変更例及び修正例に想到し得るものであり、それら変更例及び修正例についても本発明の範囲に属するものと解される。

【 0 1 2 9 】

本発明のいくつかの実施形態を説明したが、これらの実施形態は、例として提示したものであり、発明の範囲を限定することは意図していない。これら新規な実施形態は、その他の様々な形態で実施されることが可能であり、発明の要旨を逸脱しない範囲で、種々の省略、置き換え、変更を行うことができる。これら実施形態やその変形は、発明の範囲や要旨に含まれるとともに、特許請求の範囲に記載された発明とその均等の範囲に含まれる。

【符号の説明】

【 0 1 3 0 】

1 0 ... 半導体部材、 1 0 e ... 2 次元電子ガス、 1 0 h ... 2 次元ホールガス、 1 0 s ... 基板、 1 1 ~ 1 4 ... 第 1 ~ 第 4 領域、 1 1 F ... 面、 1 1 a、 1 1 b ... 第 1、第 2 部分領域、 1 1 d ... ドリフト領域、 1 2 c、 1 2 d ... 第 3、第 4 部分領域、 2 1 ~ 2 3 ... 第 1、第 3 結晶部材、 2 1 F ... 第 1 面、 2 1 p、 2 1 q、 2 2 p、 2 2 q ... 領域、 4 1 ~ 4 4 ... 第 1 ~ 第 4 絶縁部材、 5 1 ~ 5 5 ... 第 1 ~ 第 5 電極、 1 1 0 ~ 1 1 3、 1 2 0 ~ 1 2 3、 1 3 0、 1 3 1 ... 半導体装置、 C p ... 不純物濃度、 I d ... ドレイン電流、 V g ... ゲート電圧、 d x ... 距離、 p 1 ~ p 6 ... 第 1 ~ 第 6 部分

10

20

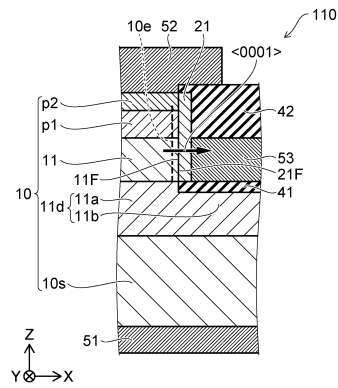
30

40

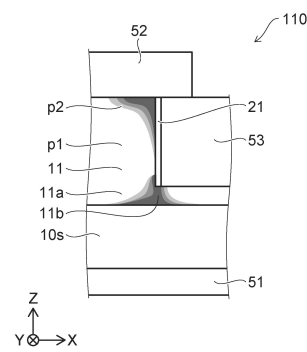
50

【図面】

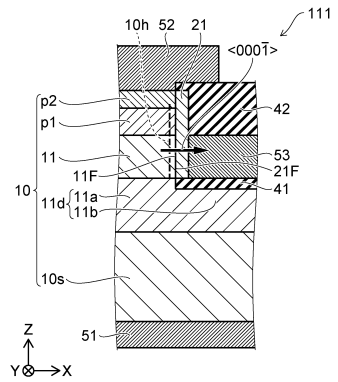
【図 1】



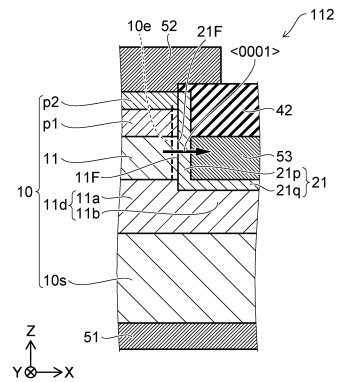
【図 2】



【図 3】



【図 4】



10

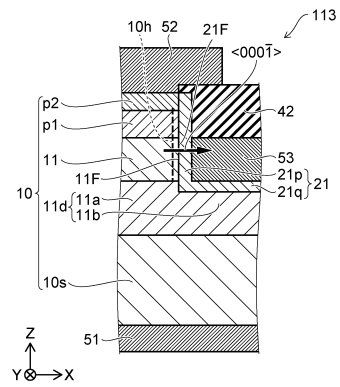
20

30

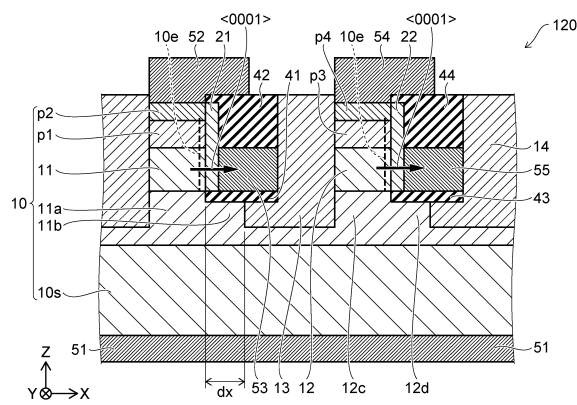
40

50

【図 5】

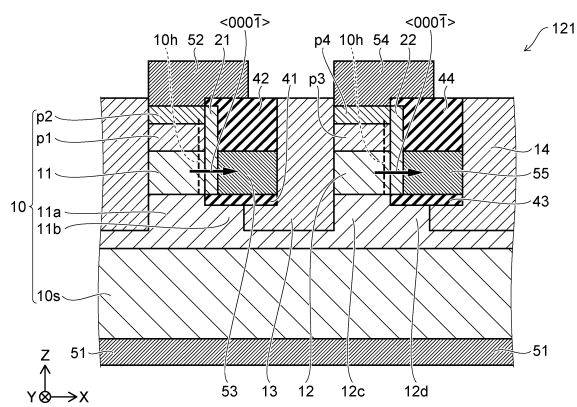


【図 6】

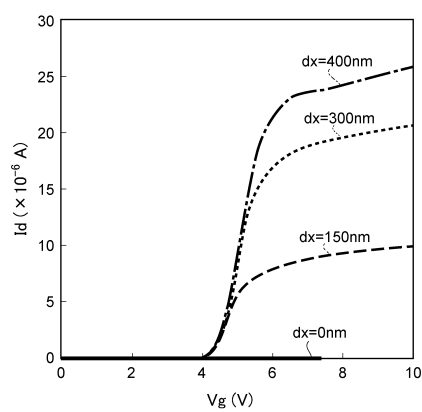


10

【図 7】



【図 8】



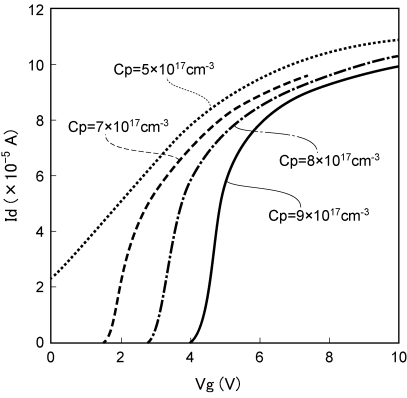
20

30

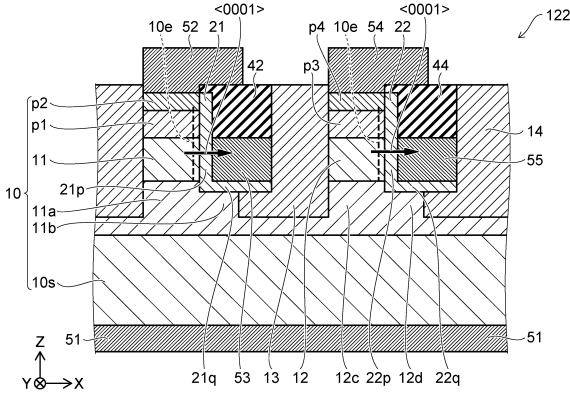
40

50

【図 9】

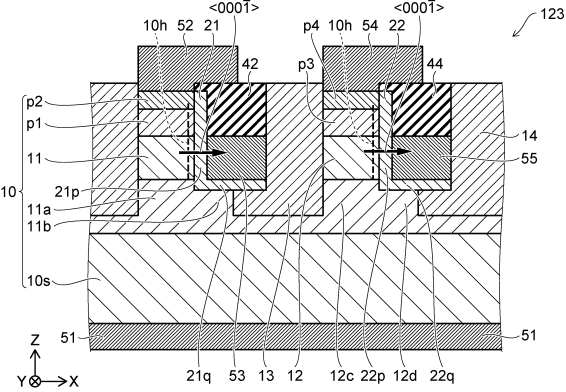


【図 10】

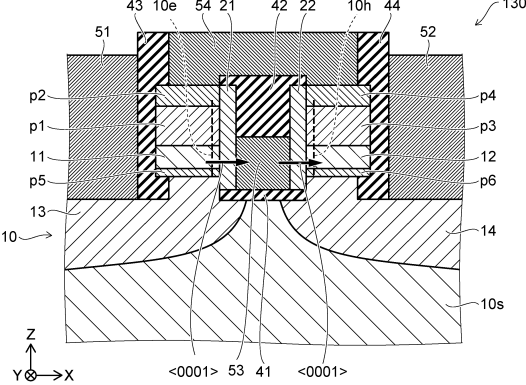


10

【図 11】



【図 12】



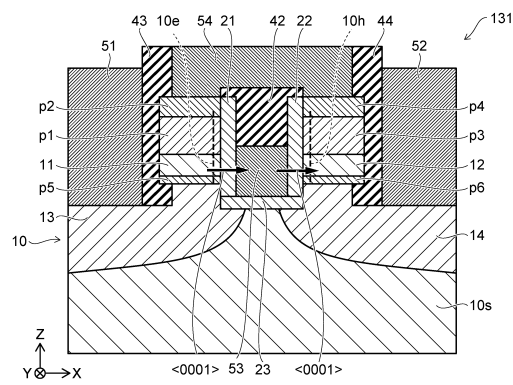
20

30

40

50

【 図 1 3 】



10

20

30

40

50

フロントページの続き

(51)国際特許分類

F I

H 0 1 L 21/8234(2006.01)

H 0 1 L 27/088(2006.01)

H 0 1 L 21/336(2006.01)

H 0 1 L 29/78 (2006.01)

(72)発明者 木村 重哉

東京都港区芝浦一丁目 1 番 1 号 株式会社東芝内

(72)発明者 吉田 学史

東京都港区芝浦一丁目 1 番 1 号 株式会社東芝内

(72)発明者 清水 達雄

東京都港区芝浦一丁目 1 番 1 号 株式会社東芝内

(72)発明者 飯島 良介

東京都港区芝浦一丁目 1 番 1 号 株式会社東芝内

審査官 杉山 芳弘

(56)参考文献

特開 2 0 0 6 - 3 4 4 7 5 9 (J P , A)

特開 2 0 0 9 - 1 9 4 0 6 5 (J P , A)

特開 2 0 1 8 - 0 1 0 9 9 5 (J P , A)

特開 2 0 0 6 - 0 8 6 5 4 8 (J P , A)

特開 2 0 1 7 - 2 2 0 6 6 7 (J P , A)

米国特許出願公開第 2 0 1 5 / 0 0 1 4 7 0 0 (U S , A 1)

特開 2 0 1 5 - 0 0 8 3 3 1 (J P , A)

(58)調査した分野 (Int.Cl. , D B 名)

H 0 1 L 2 9 / 7 7 8

H 0 1 L 2 9 / 8 1 2

H 0 1 L 2 1 / 3 3 8

H 0 1 L 2 9 / 7 8

H 0 1 L 2 1 / 3 3 6