

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第6447166号
(P6447166)

(45) 発行日 平成31年1月9日(2019.1.9)

(24) 登録日 平成30年12月14日(2018.12.14)

(51) Int.Cl.	F I	
HO 1 L 21/329 (2006.01)	HO 1 L 29/88	F
HO 1 L 29/88 (2006.01)	HO 1 L 29/80	E
HO 1 L 21/338 (2006.01)	HO 1 L 29/80	H
HO 1 L 29/812 (2006.01)	HO 1 L 29/06	G O 1 W
HO 1 L 29/778 (2006.01)	HO 1 L 27/06	F
請求項の数 8 (全 23 頁) 最終頁に続く		

(21) 出願番号 特願2015-10723 (P2015-10723)
 (22) 出願日 平成27年1月22日(2015.1.22)
 (65) 公開番号 特開2016-134609 (P2016-134609A)
 (43) 公開日 平成28年7月25日(2016.7.25)
 審査請求日 平成29年12月15日(2017.12.15)

(73) 特許権者 000005223
 富士通株式会社
 神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番1号
 (74) 代理人 100090273
 弁理士 園分 孝悦
 (72) 発明者 岡本 直哉
 神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番1号 富士通株式会社内
 審査官 市川 武宜

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 化合物半導体装置及びその製造方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

基板と、

前記基板上方の窒化物半導体の第1の障壁層、前記第1の障壁層上の窒化物半導体の井戸層、前記井戸層上の窒化物半導体の第2の障壁層を含む共鳴トンネルダイオードと、
 を有し、

前記第1の障壁層、前記井戸層及び前記第2の障壁層の各々が、上面が(0001)面の第1の領域及び上面が(000-1)面の第2の領域を有し、

前記第1の障壁層、前記井戸層及び前記第2の障壁層の間で、前記第1の領域同士が前記基板の厚さ方向で積層され、前記第2の領域同士が前記基板の厚さ方向で積層され、

前記第1の領域同士が積層された部分に第1のエミッタ電極及び第1のコレクタ電極が設けられ、

前記第2の領域同士が積層された部分に第2のエミッタ電極及び第2のコレクタ電極が設けられ、

前記第1のエミッタ電極と前記第2のエミッタ電極とが電氣的に互いに接続され、

前記第1のコレクタ電極と前記第2のコレクタ電極とが電氣的に互いに接続されていることを特徴とする化合物半導体装置。

【請求項2】

前記第1の障壁層及び前記第2の障壁層が $In_xAl_yGa_{1-x-y}N$ ($0 < x < 1$ 、 $0 < y < 1$ 、 $0 < x + y < 1$) 層を含み、

前記井戸層が $In_zGa_{1-z}N$ ($0 < z < 1$) 層を含むことを特徴とする請求項 1 に記載の化合物半導体装置。

【請求項 3】

前記第 1 の障壁層、前記井戸層及び前記第 2 の障壁層の各々において、前記第 1 の領域と前記第 2 の領域との境界にイオン注入領域が形成されていることを特徴とする請求項 1 又は 2 に記載の化合物半導体装置。

【請求項 4】

前記第 1 の障壁層、前記井戸層及び前記第 2 の障壁層の各々において、前記第 1 の領域と前記第 2 の領域との境界にパッシベーション膜が形成されていることを特徴とする請求項 1 又は 2 に記載の化合物半導体装置。

10

【請求項 5】

基板上方に、窒化物半導体の第 1 の障壁層、前記第 1 の障壁層上の窒化物半導体の井戸層、前記井戸層上の窒化物半導体の第 2 の障壁層を含む共鳴トンネルダイオードを形成する工程を有し、

前記第 1 の障壁層、前記井戸層及び前記第 2 の障壁層の各々が、上面が (0001) 面の第 1 の領域及び上面が $(000-1)$ 面の第 2 の領域を有し、

前記第 1 の障壁層、前記井戸層及び前記第 2 の障壁層の間で、前記第 1 の領域同士が前記基板の厚さ方向で積層され、前記第 2 の領域同士が前記基板の厚さ方向で積層され、

前記第 1 の領域同士が積層された部分に第 1 のエミッタ電極及び第 1 のコレクタ電極を形成する工程と、

20

前記第 2 の領域同士が積層された部分に第 2 のエミッタ電極及び第 2 のコレクタ電極を形成する工程と、

を有し、

前記第 1 のエミッタ電極と前記第 2 のエミッタ電極とが電氣的に互いに接続され、

前記第 1 のコレクタ電極と前記第 2 のコレクタ電極とが電氣的に互いに接続されることを特徴とする化合物半導体装置の製造方法。

【請求項 6】

前記第 1 の障壁層及び前記第 2 の障壁層が $In_xAl_yGa_{1-x-y}N$ ($0 < x < 1$ 、 $0 < y < 1$ 、 $0 < x + y < 1$) 層を含み、

前記井戸層が $In_zGa_{1-z}N$ ($0 < z < 1$) 層を含むことを特徴とする請求項 5 に記載の化合物半導体装置の製造方法。

30

【請求項 7】

前記第 1 の障壁層、前記井戸層及び前記第 2 の障壁層の各々において、前記第 1 の領域と前記第 2 の領域との境界にイオン注入を行う工程を有することを特徴とする請求項 5 又は 6 に記載の化合物半導体装置の製造方法。

【請求項 8】

前記第 1 の障壁層、前記井戸層及び前記第 2 の障壁層の各々において、前記第 1 の領域と前記第 2 の領域との境界にパッシベーション膜を形成する工程を有することを特徴とする請求項 5 又は 6 に記載の化合物半導体装置の製造方法。

【発明の詳細な説明】

40

【技術分野】

【0001】

本発明は、化合物半導体装置及びその製造方法等に関する。

【背景技術】

【0002】

$GaAs/AlAs$ 量子井戸構造又は $InGaAs/AlAs$ 量子井戸構造を備えた共鳴トンネルダイオード (RTD: resonant tunneling diode) は負性微分抵抗特性を有し、高速スイッチング動作が可能で、室温で動作する量子効果デバイスである。負性微分抵抗特性を活かした逡倍器、分周器、サンプリング回路及び多値論理回路が開発されている。特に近年では RTD を備えたテラヘルツ発振器の発展が目覚しく、RTD のテラヘルツ

50

通信、イメージセンサ等への応用が期待されている。

【0003】

近年では、GaN系高電子移動度トランジスタ（high electron mobility transistor：HEMT）との集積化が可能なGaN/AlGaN量子井戸構造を備えたRTD（以下、GaN系RTDということがある）についての検討も行われている。

【0004】

しかしながら、GaN系RTDでは、GaN特有の分極による内部電界でIV特性が非対称になる。そして、エミッタ側の伝導帯の持ち上がりにより、量子準位にフェルミレベルが整合したとしても電子のトンネリングが難しい。このため、GaN系RTDとGaN系HEMTとを集積した高速論理ゲート（monostable-bistable transition logic element：MOBILE）回路において優れた特性を得ることができない。

10

【0005】

これまで、GaN系RTDのIV特性を対称にすることを目的とした検討が行われているが、GaN系HEMTと集積化して優れた特性を得ることができるようなGaN系RTDは得られていない。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0006】

【特許文献1】特開2014-63917号公報

【特許文献2】特開2005-79417号公報

20

【非特許文献】

【0007】

【非特許文献1】Sakr et al., J. Appl. Phys. 109 (2011) 023717

【非特許文献2】Lee et al., APL 85 (2004) 6164

【非特許文献3】M. Park et al., J. Appl. Phys. Vol. 93 (2003) 9542

【非特許文献4】M. H. Wong et al., J. Appl. Phys. Vol. 104 (2008) 093710

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0008】

本発明の目的は、共鳴トンネルダイオードにおいて優れたIV特性の対称性を得ることができる窒化物半導体の化合物半導体装置及びその製造方法等を提供することにある。

30

【課題を解決するための手段】

【0009】

化合物半導体装置の一態様には、基板と、前記基板上方の窒化物半導体の第1の障壁層、前記第1の障壁層上の窒化物半導体の井戸層、前記井戸層上の窒化物半導体の第2の障壁層を含む共鳴トンネルダイオードと、が含まれる。前記第1の障壁層、前記井戸層及び前記第2の障壁層の各々が、上面が(0001)面の第1の領域及び上面が(000-1)面の第2の領域を有し、前記第1の障壁層、前記井戸層及び前記第2の障壁層の間で、前記第1の領域同士が前記基板の厚さ方向で積層され、前記第2の領域同士が前記基板の厚さ方向で積層されている。前記第1の領域同士が積層された部分に第1のエミッタ電極及び第1のコレクタ電極が設けられ、前記第2の領域同士が積層された部分に第2のエミッタ電極及び第2のコレクタ電極が設けられている。前記第1のエミッタ電極と前記第2のエミッタ電極とが電氣的に互いに接続され、前記第1のコレクタ電極と前記第2のコレクタ電極とが電氣的に互いに接続されている。

40

【0010】

化合物半導体装置の製造方法の一態様では、基板上方に、窒化物半導体の第1の障壁層、前記第1の障壁層上の窒化物半導体の井戸層、前記井戸層上の窒化物半導体の第2の障壁層を含む共鳴トンネルダイオードを形成する。前記第1の障壁層、前記井戸層及び前記第2の障壁層の各々が、上面が(0001)面の第1の領域及び上面が(000-1)面の第2の領域を有し、前記第1の障壁層、前記井戸層及び前記第2の障壁層の間で、前記

50

第 1 の領域同士が前記基板の厚さ方向で積層され、前記第 2 の領域同士が前記基板の厚さ方向で積層される。前記第 1 の領域同士が積層された部分に第 1 のエミッタ電極及び第 1 のコレクタ電極を形成し、前記第 2 の領域同士が積層された部分に第 2 のエミッタ電極及び第 2 のコレクタ電極を形成する。前記第 1 のエミッタ電極と前記第 2 のエミッタ電極とが電氣的に互いに接続され、前記第 1 のコレクタ電極と前記第 2 のコレクタ電極とが電氣的に互いに接続される。

【発明の効果】

【0011】

上記の化合物半導体装置等によれば、窒化物半導体の層が適切な極性を備えているため、共鳴トンネルダイオードにおいて優れた I V 特性の対称性を得ることができる。

10

【図面の簡単な説明】

【0012】

【図 1】第 1 の実施形態に係る化合物半導体装置の構成を示す図である。

【図 2】I V 特性を示す図である。

【図 3 A】第 1 の実施形態に係る化合物半導体装置の製造方法を工程順に示す断面図である。

【図 3 B】図 3 A に引き続き、化合物半導体装置の製造方法を工程順に示す断面図である。

【図 3 C】図 3 B に引き続き、化合物半導体装置の製造方法を工程順に示す断面図である。

20

【図 4】コレクタ電極の平面形状の一例を示す図である。

【図 5】第 2 の実施形態に係る化合物半導体装置の構成を示す断面図である。

【図 6】第 3 の実施形態に係る化合物半導体装置の構成を示す断面図である。

【図 7】第 4 の実施形態に係る化合物半導体装置の構成を示す断面図である。

【図 8 A】第 5 の実施形態に係る化合物半導体装置の構成を示す平面図である。

【図 8 B】第 5 の実施形態に係る化合物半導体装置の構成を示す断面図である。

【図 9 A】第 5 の実施形態に係る化合物半導体装置の製造方法を工程順に示す断面図である。

【図 9 B】図 9 A に引き続き、化合物半導体装置の製造方法を工程順に示す断面図である。

30

【図 9 C】図 9 B に引き続き、化合物半導体装置の製造方法を工程順に示す断面図である。

【図 9 D】図 9 C に引き続き、化合物半導体装置の製造方法を工程順に示す断面図である。

【図 10】第 6 の実施形態に係る化合物半導体装置の構成を示す断面図である。

【図 11】第 7 の実施形態に係る論理回路の構成を示す結線図である。

【図 12】第 8 の実施形態に係る発振器の構成を示す結線図である。

【図 13】第 9 の実施形態に係るセンサの構成を示す結線図である。

【発明を実施するための形態】

【0013】

以下、実施形態について添付の図面を参照しながら具体的に説明する。

40

【0014】

(第 1 の実施形態)

先ず、第 1 の実施形態について説明する。第 1 の実施形態は、共鳴トンネルダイオード (RTD) を備えた化合物半導体装置に関する。図 1 は、第 1 の実施形態に係る化合物半導体装置の構成を示す図である。図 1 (a) は平面図であり、図 1 (b) は図 1 (a) 中の I - I 線に沿った断面図である。

【0015】

第 1 の実施形態に係る化合物半導体装置では、図 1 に示すように、基板 111 上に核形成層 112 が選択的に形成され、核形成層 112 及び基板 111 上にコレクタコンタクト

50

層 1 1 3 が形成されている。コレクタコンタクト層 1 1 3 には、下面が核形成層 1 1 2 の上面に接する第 1 の領域 1 1 3 a、及び下面が基板 1 1 1 の上面に接する第 2 の領域 1 1 3 b が含まれる。例えば、基板 1 1 1 は上面が c 面のサファイア基板であり、核形成層 1 1 2 は AlN 層であり、コレクタコンタクト層 1 1 3 は n^+ -Ga_{0.5}N 層である。第 1 の領域 1 1 3 a の上面は Ga 極性面、つまり (0 0 0 1) 面であり、第 2 の領域 1 1 3 b の上面は N 極性面、つまり (0 0 0 - 1) 面である。

【0 0 1 6】

コレクタコンタクト層 1 1 3 上にスペーサ層 1 1 4、障壁層 1 1 5、井戸層 1 1 6、障壁層 1 1 7、スペーサ層 1 1 8 及びエミッタコンタクト層 1 1 9 がメサ状に積層されている。例えば、スペーサ層 1 1 4 及び 1 1 8 は意図的な不純物の導入が行われていない GaN 層 (i-GaN 層) であり、障壁層 1 1 5 及び 1 1 7 は意図的な不純物の導入が行われていない AlN 層 (i-AlN 層) であり、井戸層 1 1 6 は意図的な不純物の導入が行われていない GaN 層 (i-GaN 層) である。スペーサ層 1 1 4 には、第 1 の領域 1 1 3 a 上の第 1 の領域 1 1 4 a、及び第 2 の領域 1 1 3 b 上の第 2 の領域 1 1 4 b が含まれる。障壁層 1 1 5 には、第 1 の領域 1 1 4 a 上の第 1 の領域 1 1 5 a、及び第 2 の領域 1 1 4 b 上の第 2 の領域 1 1 5 b が含まれる。井戸層 1 1 6 には、第 1 の領域 1 1 5 a 上の第 1 の領域 1 1 6 a、及び第 2 の領域 1 1 5 b 上の第 2 の領域 1 1 6 b が含まれる。障壁層 1 1 7 には、第 1 の領域 1 1 6 a 上の第 1 の領域 1 1 7 a、及び第 2 の領域 1 1 6 b 上の第 2 の領域 1 1 7 b が含まれる。スペーサ層 1 1 8 には、第 1 の領域 1 1 7 a 上の第 1 の領域 1 1 8 a、及び第 2 の領域 1 1 7 b 上の第 2 の領域 1 1 8 b が含まれる。エミッタコンタクト層 1 1 9 には、第 1 の領域 1 1 8 a 上の第 1 の領域 1 1 9 a、及び第 2 の領域 1 1 8 b 上の第 2 の領域 1 1 9 b が含まれる。第 1 の領域 1 1 4 a、1 1 5 a、1 1 6 a、1 1 7 a、1 1 8 a 及び 1 1 9 a の上面は (0 0 0 1) 面である。第 2 の領域 1 1 4 b、1 1 5 b、1 1 6 b、1 1 7 b、1 1 8 b 及び 1 1 9 b の上面は (0 0 0 - 1) 面である。

【0 0 1 7】

エミッタコンタクト層 1 1 9 上にエミッタ電極 1 2 5 が形成され、コレクタコンタクト層 1 1 3 上にコレクタ電極 1 2 6 が形成されている。エミッタ電極 1 2 5 には、第 1 の領域 1 1 9 a 上の第 1 の領域 1 2 5 a、及び第 2 の領域 1 1 9 b 上の第 2 の領域 1 2 5 b が含まれる。コレクタ電極 1 2 6 には、第 1 の領域 1 1 3 a 上の第 1 の領域 1 2 6 a、及び第 2 の領域 1 1 3 b 上の第 2 の領域 1 2 6 b が含まれる。第 1 の領域 1 2 5 a と第 2 の領域 1 2 5 b とは一体的に形成されており、電気的に接続されている。第 1 の領域 1 2 6 a と第 2 の領域 1 2 6 b とは一体的に形成されており、電気的に接続されている。第 1 の領域 1 2 5 a は第 1 のエミッタ電極の一例であり、第 2 の領域 1 2 5 b は第 2 のエミッタ電極の一例であり、第 1 の領域 1 2 6 a は第 1 のコレクタ電極の一例であり、第 2 の領域 1 2 6 b は第 2 のエミッタ電極の一例である。

【0 0 1 8】

コレクタコンタクト層 1 1 3、スペーサ層 1 1 4、障壁層 1 1 5、井戸層 1 1 6、障壁層 1 1 7、スペーサ層 1 1 8 及びエミッタコンタクト層 1 1 9 の、エミッタ電極 1 2 5 又はコレクタ電極 1 2 6 から露出している部分を覆うパッシベーション膜 1 2 2 が形成されている。パッシベーション膜 1 2 2 は、例えばシリコン窒化膜である。

【0 0 1 9】

このような第 1 の実施形態には、第 1 の領域 1 1 5 a、1 1 6 a 及び 1 1 7 a を含む、上面が (0 0 0 1) 面の 2 重障壁量子井戸構造、及び第 2 の領域 1 1 5 b、1 1 6 b 及び 1 1 7 b を含む、上面が (0 0 0 - 1) 面の 2 重障壁量子井戸構造が含まれる。これら 2 重障壁量子井戸構造では、分極に伴う内部電界により、伝導帯ポテンシャルが非対称となるため、I-V 特性も非対称となる。そして、これら 2 重障壁量子井戸構造の間では、分極の方向が正反対であるため、I-V 特性が回転対称となる。即ち、上面が (0 0 0 1) 面の 2 重障壁量子井戸構造の I-V 特性は図 2 (a) のようなものとなり、上面が (0 0 0 - 1) 面の 2 重障壁量子井戸構造の I-V 特性は図 2 (b) のようなものとなる。従って、第 1

10

20

30

40

50

の実施形態のIV特性は、これらを足し合わせた図2(c)のようなものとなる。つまり、第1の実施形態によれば、対称性が優れたIV特性を得ることができる。また、障壁層115及び117並びに井戸層116に窒化物半導体が用いられているため、GaAs/AlAs量子井戸構造又はInGaAs/AlAs量子井戸構造を備えたRTDと比較して、伝導帯不連続Ecを大きくすることができる。従って、大きなピーク-バレー比が得られる可能性がある。

【0020】

次に、第1の実施形態に係る化合物半導体装置の製造方法について説明する。図3A乃至図3Cは、第1の実施形態に係る化合物半導体装置の製造方法を工程順に示す断面図である。

10

【0021】

まず、図3A(a)に示すように、基板111上に核形成層112を形成する。基板111として、例えば上面がc面のサファイア基板を用い、核形成層112として、例えば厚さが25nmのAlN層をプラズマアシスト分子線エピタキシー(plasma assisted molecular beam epitaxy: PAMBE)法により形成する。例えば核形成層112の形成時の基板温度は720とする。

【0022】

次いで、図3A(b)に示すように、上面が(000-1)面の2重障壁量子井戸構造を形成する予定の領域から核形成層112を除去する。核形成層112の除去では、上面が(0001)面の2重障壁量子井戸構造を形成する予定の領域を覆うレジストパターンを核形成層112上に形成し、このレジストパターンをマスクとして、KOHを用いたウェットエッチング、塩素系ドライエッチング又はアルゴンイオンミリング等を行う。そして、レジストパターンを除去する。

20

【0023】

その後、図3A(c)に示すように、基板111及び核形成層112上に、コレクタコンタクト層113、スペーサ層114、障壁層115、井戸層116、障壁層117、スペーサ層118及びエミッタコンタクト層119を形成する。コレクタコンタクト層113、スペーサ層114、障壁層115、井戸層116、障壁層117、スペーサ層118及びエミッタコンタクト層119は、例えば基板温度を720としてPAMBE法により形成することができる。コレクタコンタクト層113としては、例えば厚さが1 μ mのn⁺-Ga_{0.5}N層を形成する。スペーサ層114としては、例えば厚さが10nmのi-GaN層を形成する。障壁層115としては、例えば厚さが1nmのi-AlN層を形成する。井戸層116としては、例えば厚さが5nmのi-GaN層を形成する。障壁層117としては、例えば厚さが1nmのi-AlN層を形成する。スペーサ層118としては、例えば厚さが10nmのi-GaN層を形成する。エミッタコンタクト層119としては、例えば厚さが100nmのn⁺-Ga_{0.5}N層を形成する。非特許文献3に、PAMBE法にて上面がc面のサファイア基板上にGa_{0.5}N層を成長させる場合に、予めAlN核形成層を形成しておくこととGa_{0.5}N層の上面の極性がGa極性となり、サファイア基板上に直接成長させるとN極性となることが記載されている。

30

【0024】

コレクタコンタクト層113の核形成層112の上面上に成長した領域は、上面が(0001)面の第1の領域113aであり、基板111の上面上に成長した領域は、上面が(000-1)面の第2の領域113bである。スペーサ層114、障壁層115、井戸層116、障壁層117、スペーサ層118及びエミッタコンタクト層119には、それぞれ、第1の領域113a上に成長した第1の領域114a、115a、116a、117a、118a及び119aが含まれる。スペーサ層114、障壁層115、井戸層116、障壁層117、スペーサ層118及びエミッタコンタクト層119には、それぞれ、第2の領域113b上に成長した第2の領域114b、115b、116b、117b、118b及び119bも含まれる。このようにして、第1の領域115a、116a及び117aを含む、上面が(0001)面の2重障壁量子井戸構造、及び第2の領域115

40

50

b、116b及び117bを含む、上面が(000-1)面の2重障壁量子井戸構造が形成される。

【0025】

続いて、図3B(d)に示すように、エミッタコンタクト層119上に、第1の領域114a~119aの一部及び第2の領域114b~119bの一部を覆うレジストパターン120を形成し、レジストパターン120をマスクとしたドライエッチングを、コレクタコンタクト層113の上面が露出するように行う。この結果、スペーサ層114、障壁層115、井戸層116、障壁層117、スペーサ層118及びエミッタコンタクト層119を含むメサ構造121が形成される。次いで、レジストパターン120を除去する。

【0026】

その後、図3B(e)に示すように、メサ構造121及びコレクタコンタクト層113の露出面を覆うパッシベーション膜122を形成する。パッシベーション膜122としては、例えばプラズマ化学気相成長(chemical vapor deposition: CVD)法等によりシリコン窒化膜を形成する。

【0027】

続いて、図3C(f)に示すように、パッシベーション膜122のエミッタ電極を形成する予定の領域に開口部123を、コレクタ電極を形成する予定の領域に開口部124をそれぞれ形成する。開口部123は第1の領域119a及び第2の領域119bの両方を露出するように形成し、開口部124は第1の領域113a及び第2の領域113bの両方を露出するように形成する。開口部123及び124の形成では、例えばレジストパターンを用いたドライエッチングを行う。

【0028】

次いで、図3C(g)に示すように、開口部123内にエミッタ電極125を、開口部124内にコレクタ電極126をそれぞれ形成する。エミッタ電極125は第1の領域119a及び第2の領域119bの両方と接するように形成し、コレクタ電極126は第1の領域113a及び第2の領域113bの両方と接するように形成する。エミッタ電極125及びコレクタ電極126の形成では、例えば、これらを形成する予定の領域を露出するレジストパターンを形成し、金属膜を蒸着法により形成し、レジストパターンをその上の金属膜と共に除去する。つまり、リフトオフ法により金属膜の一部を開口部123内及び開口部124内に残存させる。金属膜の形成では、例えば、Ti膜を形成し、その上にAl膜を形成する。レジストパターンの除去後には、熱処理を行って、金属膜をコレクタコンタクト層113又はエミッタコンタクト層119にオーミック接触させる。この熱処理としては、例えば600程度でのラピッドサーマルアニール(RTA)を行う。

【0029】

このようにして第1の実施形態に係る化合物半導体装置を製造することができる。

【0030】

スペーサ層114、障壁層115、井戸層116、障壁層117、スペーサ層118、エミッタコンタクト層119、エミッタ電極125及びコレクタ電極126に含まれるそれぞれの第1の領域及び第2の領域の平面形状は、第1の領域及び第2の領域の境界を基準にして実質的に線対称となっていることが好ましい。

【0031】

第1の領域125aと第2の領域125bとが電氣的に接続されていれば、これらが一体的に形成されている必要はなく、第1の領域126aと第2の領域126bとが電氣的に接続されていれば、これらが一体的に形成されている必要はない。

【0032】

図1(a)では、コレクタ電極126の平面形状がコの字型となっているが、図4に示すように、コレクタ電極126の平面形状が口の字型となってもよい。コの字型とする場合には、エミッタ電極125及びコレクタ電極126の形成におけるレジストパターンの除去が容易である。

【0033】

10

20

30

40

50

(第2の実施形態)

次に、第2の実施形態について説明する。図5は、第2の実施形態に係る化合物半導体装置の構成を示す断面図である。

【0034】

第2の実施形態では、図5に示すように、基板211上にコレクタコンタクト層113が形成され、コレクタコンタクト層113内に選択的にMg層212が形成されている。コレクタコンタクト層113には、基板211の厚さ方向にMg層212を含む第1の領域113a、及びMg層212を含まない第2の領域113bが含まれる。例えば、基板211は、上面がC(カーボン)極性面、つまり(000-1)面のSiC基板(炭化シリコン基板)、上面がN極性面、つまり(000-1)面のGaN基板(窒化ガリウム基板)、又は上面がN極性面、つまり(000-1)面のAlN基板(窒化アルミニウム基板)である。第1の領域113aの上面はGa極性面、つまり(0001)面であり、第2の領域113bの上面はN極性面、つまり(000-1)面である。他の構成は第1の実施形態と同様である。

【0035】

第2の実施形態によっても第1の実施形態と同様の効果を得ることができる。GaNの格子定数とSiC及びAlNの格子定数との差は、GaNの格子定数とサファイアの格子定数との差よりも小さい。従って、基板211としてSiC基板又はAlN基板が用いられる場合、格子欠陥等をより低減することができる。基板211としてGaN基板が用いられる場合は、格子欠陥等をより一層低減することができる。

【0036】

第2の実施形態に係る化合物半導体装置を製造する際には、例えば第1の実施形態に係る化合物半導体装置を製造する方法から核形成層112の形成を除き、コレクタコンタクト層113を形成する途中でMg層212を形成すればよい。非特許文献4に、上面がC極性面のSiC基板上にGaN層を成長させる場合に、その途中でMgを堆積又は照射することにより、GaN層の上面の極性をN極性からGa極性に切り替えることが記載されている。

【0037】

(第3の実施形態)

次に、第3の実施形態について説明する。図6は、第3の実施形態に係る化合物半導体装置の構成を示す断面図である。

【0038】

第3の実施形態では、スペーサ層114、障壁層115、井戸層116、障壁層117、スペーサ層118及びエミッタコンタクト層119内にパッシベーション膜331が形成されている。パッシベーション膜331は、第1の領域114aと第2の領域114bとを分離し、第1の領域115aと第2の領域115bとを分離し、第1の領域116aと第2の領域116bとを分離し、第1の領域117aと第2の領域117bとを分離する。パッシベーション膜331は、第1の領域118aと第2の領域118bとを分離し、第1の領域119aと第2の領域119bとを分離する。他の構成は第1の実施形態と同様である。

【0039】

第3の実施形態によっても第1の実施形態と同様の効果を得ることができる。また、第3の実施形態では、第1の領域114aと第2の領域114bとの界面が存在せず、第1の領域115aと第2の領域115bとの界面が存在せず、第1の領域116aと第2の領域116bとの界面が存在せず、第1の領域117aと第2の領域117bとの界面が存在せず、第1の領域118aと第2の領域118bとの界面が存在せず、第1の領域119aと第2の領域119bとの界面が存在しない。これら界面はリークパスとして作用することがあり、リーク電流が生じるとIV特性のピークトゥバレー比(peak-to-valley比)が低下する。従って、第3の実施形態によれば、より優れたピークトゥバレー比を得ることができる。

10

20

30

40

50

【 0 0 4 0 】

第3の実施形態に係る化合物半導体装置を製造する際には、例えば、概ね、第1の実施形態に係る化合物半導体装置の製造方法と同様の処理を行い、メサ構造121を形成する際にパッシベーション膜331を形成する予定の領域もエッチングし、パッシベーション膜122を形成する際にパッシベーション膜331も形成すればよい。

【 0 0 4 1 】

(第4の実施形態)

次に、第4の実施形態について説明する。図7は、第4の実施形態に係る化合物半導体装置の構成を示す断面図である。

【 0 0 4 2 】

第4の実施形態では、スペーサ層114、障壁層115、井戸層116、障壁層117、スペーサ層118及びエミッタコンタクト層119内にイオン注入領域431が形成されている。イオン注入領域431は、第1の領域114aと第2の領域114bとを分離し、第1の領域115aと第2の領域115bとを分離し、第1の領域116aと第2の領域116bとを分離し、第1の領域117aと第2の領域117bとを分離する。パッシベーション膜331は、第1の領域118aと第2の領域118bとを分離し、第1の領域119aと第2の領域119bとを分離する。他の構成は第1の実施形態と同様である。

10

【 0 0 4 3 】

第4の実施形態によっても第3の実施形態と同様の効果を得ることができる。

20

【 0 0 4 4 】

第4の実施形態に係る化合物半導体装置を製造する際には、例えば、概ね、第1の実施形態に係る化合物半導体装置の製造方法と同様の処理を行い、エミッタコンタクト層119の形成からエミッタ電極125の形成までの間にイオン注入を行ってイオン注入領域431を形成すればよい。

【 0 0 4 5 】

(第5の実施形態)

次に、第5の実施形態について説明する。第5の実施形態は、共鳴トンネルダイオード(RTD)及び高電子移動度トランジスタ(HEMT)を備えた化合物半導体装置の一例である。図8Aは、第5の実施形態に係る化合物半導体装置の構成を示す平面図であり、図8Bは、図8A中のI-I線に沿った断面図である。

30

【 0 0 4 6 】

第5の実施形態に係る化合物半導体装置では、図8A及び図8Bに示すように、基板511上に核形成層512が選択的に形成され、核形成層512及び基板511上にチャネル層541、電子供給層542及びキャップ層513が形成されている。チャネル層541には、下面が核形成層512の上面に接する第1の領域541a、及び下面が基板511の上面に接する第2の領域541bが含まれる。電子供給層542には、第1の領域541a上の第1の領域542a、及び第2の領域541b上の第2の領域542bが含まれる。キャップ層513には、第1の領域542a上の第1の領域513a、及び第2の領域542b上の第2の領域513bが含まれる。例えば、基板511は上面がc面のサファイア基板であり、核形成層512はAlN層であり、チャネル層541は意図的な不純物の導入が行われていないGaN層(i-GaN層)であり、電子供給層542はAl組成が20%程度のAlGaN層であり、キャップ層513はn⁺-GaN層である。第1の領域541aの上面はGa極性面、つまり(0001)面であり、第2の領域541bの上面はN極性面、つまり(000-1)面である。第1の領域542a及び543aの上面は(0001)面であり、第2の領域542b及び543bの上面は(000-1)面である。

40

【 0 0 4 7 】

キャップ層513上にスペーサ層514、障壁層515、井戸層516、障壁層517、スペーサ層518及びエミッタコンタクト層519がメサ状に積層されている。スペー

50

サ層 5 1 4、障壁層 5 1 5、井戸層 5 1 6、障壁層 5 1 7、スペーサ層 5 1 8 及びエミッタコンタクト層 5 1 9 は、それぞれスペーサ層 1 1 4、障壁層 1 1 5、井戸層 1 1 6、障壁層 1 1 7、スペーサ層 1 1 8 及びエミッタコンタクト層 1 1 9 と同様の構成を備える。スペーサ層 5 1 4 には、第 1 の領域 5 1 3 a 上の第 1 の領域 5 1 4 a、及び第 2 の領域 5 1 3 b 上の第 2 の領域 5 1 4 b が含まれる。障壁層 5 1 5 には、第 1 の領域 5 1 4 a 上の第 1 の領域 5 1 5 a、及び第 2 の領域 5 1 4 b 上の第 2 の領域 5 1 5 b が含まれる。井戸層 5 1 6 には、第 1 の領域 5 1 5 a 上の第 1 の領域 5 1 6 a、及び第 2 の領域 5 1 5 b 上の第 2 の領域 5 1 6 b が含まれる。障壁層 5 1 7 には、第 1 の領域 5 1 6 a 上の第 1 の領域 5 1 7 a、及び第 2 の領域 5 1 6 b 上の第 2 の領域 5 1 7 b が含まれる。スペーサ層 5 1 8 には、第 1 の領域 5 1 7 a 上の第 1 の領域 5 1 8 a、及び第 2 の領域 5 1 7 b 上の第 2 の領域 5 1 8 b が含まれる。エミッタコンタクト層 5 1 9 には、第 1 の領域 5 1 8 a 上の第 1 の領域 5 1 9 a、及び第 2 の領域 5 1 8 b 上の第 2 の領域 5 1 9 b が含まれる。第 1 の領域 5 1 4 a、5 1 5 a、5 1 6 a、5 1 7 a、5 1 8 a 及び 5 1 9 a の上面は (0 0 0 1) 面である。第 2 の領域 5 1 4 b、5 1 5 b、5 1 6 b、5 1 7 b、5 1 8 b 及び 5 1 9 b の上面は (0 0 0 - 1) 面である。

【 0 0 4 8 】

エミッタコンタクト層 5 1 9 上にエミッタ電極 5 2 5 が形成されている。また、第 1 の領域 5 1 3 a にコレクタ電極用のリセスが形成されており、このリセス内及び第 2 の領域 5 1 3 b 上にコレクタ電極 5 2 6 が形成されている。エミッタ電極 5 2 5 には、第 1 の領域 5 1 9 a 上の第 1 の領域 5 2 5 a、及び第 2 の領域 5 1 9 b 上の第 2 の領域 5 2 5 b が含まれる。コレクタ電極 5 2 6 には、コレクタ電極用のリセス内の第 1 の領域 5 2 6 a、及び第 2 の領域 5 1 3 b 上の第 2 の領域 5 2 6 b が含まれる。第 1 の領域 5 2 5 a と第 2 の領域 5 2 5 b とは一体的に形成されており、電気的に接続されている。第 1 の領域 5 2 6 a と第 2 の領域 5 2 6 b とは一体的に形成されており、電気的に接続されている。第 1 の領域 5 2 5 a は第 1 のエミッタ電極の一例であり、第 2 の領域 5 2 5 b は第 2 のエミッタ電極の一例であり、第 1 の領域 5 2 6 a は第 1 のコレクタ電極の一例であり、第 2 の領域 5 2 6 b は第 2 のエミッタ電極の一例である。

【 0 0 4 9 】

第 5 の実施形態では、第 1 の領域 5 1 3 a にソース電極用のリセス及びドレイン電極用のリセスも形成されており、ソース電極用のリセス内にソース電極 5 4 3 が、ドレイン電極用のリセス内にドレイン電極 5 4 4 がそれぞれ形成されている。第 1 の領域 5 1 3 a 上にゲート電極 5 4 5 が形成されている。ゲート電極 5 4 5 は、平面視でソース電極 5 4 3 とドレイン電極 5 4 4 との間に位置する。

【 0 0 5 0 】

キャップ層 5 1 3、スペーサ層 5 1 4、障壁層 5 1 5、井戸層 5 1 6、障壁層 5 1 7、スペーサ層 5 1 8 及びエミッタコンタクト層 5 1 9 の、エミッタ電極 5 2 5、コレクタ電極 5 2 6、ソース電極 5 4 3、ドレイン電極 5 4 4 又はゲート電極 5 4 5 から露出している部分を覆うパッシベーション膜 5 2 2 が形成されている。パッシベーション膜 5 2 2 は、例えばシリコン窒化膜である。

【 0 0 5 1 】

このような第 5 の実施形態には、第 1 の領域 5 1 5 a、5 1 6 a 及び 5 1 7 a を含む、上面が (0 0 0 1) 面の 2 重障壁量子井戸構造、及び第 2 の領域 5 1 5 b、5 1 6 b 及び 5 1 7 b を含む、上面が (0 0 0 - 1) 面の 2 重障壁量子井戸構造が含まれる。従って、第 1 の実施形態と同様に、対称性が優れた I V 特性を得ることができる。

【 0 0 5 2 】

また、この G a N 系 R T D と、チャネル層 5 4 1 及び電子供給層 5 4 2 等を備えた G a N 系 H E M T とが同一基板 5 1 1 上に集積されているため、省面積で優れた M O B I L E 回路を得ることができる。

【 0 0 5 3 】

一般に、上面が (0 0 0 - 1) 面の領域内に n^+ -G a N と A l G a N との界面が存在

10

20

30

40

50

する場合、当該界面に誘起する負の固定電荷により伝導帯ポテンシャルが上昇し、オーミックコンタクト抵抗率が高くなる。その一方で、上面が(000-1)面の領域内に n^+ -Ga_{0.9}NとAlGa_{0.1}Nとの界面が存在する場合、当該界面に誘起する正の固定電荷により伝導帯ポテンシャルが下降し、2次元電子ガス(2DEG)が発生する。第5の実施形態では、コレクタ電極526の第1の領域526a、ソース電極543及びドレイン電極544がキャップ層513のリセス内に形成され、コレクタ電極526の第2の領域526bがキャップ層513上に形成されている。このため、第1の領域526a、ソース電極543及びドレイン電極544のオーミックコンタクト抵抗率の上昇を回避することができ、第2の領域526bの下方に2次元電子ガスを確保することができる。

【0054】

次に、第5の実施形態に係る化合物半導体装置の製造方法について説明する。図9A乃至図9Dは、第5の実施形態に係る化合物半導体装置の製造方法を工程順に示す断面図である。

【0055】

まず、図9A(a)に示すように、基板511上に核形成層512を形成する。基板511として、例えば上面がc面のサファイア基板を用い、核形成層512として、例えば厚さが25nmのAlN層をPAMBE法により形成する。例えば核形成層512の形成時の基板温度は720とする。

【0056】

次いで、図9A(b)に示すように、上面が(000-1)面の2重障壁量子井戸構造を形成する予定の領域から核形成層512を除去する。核形成層512の除去では、上面が(0001)面の2重障壁量子井戸構造を形成する予定の領域を覆うレジストパターンを核形成層512上に形成し、このレジストパターンをマスクとして、KOHを用いたウェットエッチング、塩素系ドライエッチング又はアルゴンイオンミリング等を行う。そして、レジストパターンを除去する。

【0057】

その後、図9A(c)に示すように、基板511及び核形成層512上に、チャンネル層541、電子供給層542、キャップ層513、スペーサ層514、障壁層515、井戸層516、障壁層517、スペーサ層518及びエミッタコンタクト層519を形成する。チャンネル層541、電子供給層542、キャップ層513、スペーサ層514、障壁層515、井戸層516、障壁層517、スペーサ層518及びエミッタコンタクト層519は、例えば基板温度を720としてPAMBE法により形成することができる。チャンネル層541としては、例えば1 μ mのi-GaN層を形成する。電子供給層542としては、例えば厚さが25nmのAlGa_{0.1}N層を形成する。キャップ層513としては、例えば厚さが10nmの n^+ -Ga_{0.9}N層を形成する。スペーサ層514、障壁層515、井戸層516、障壁層517、スペーサ層518及びエミッタコンタクト層519としては、それぞれコレクタコンタクト層113、スペーサ層114、障壁層115、井戸層116、障壁層117、スペーサ層118及びエミッタコンタクト層119と同様の構成のものを形成する。

【0058】

チャンネル層541の核形成層112の上面上に成長した領域は、上面が(0001)面の第1の領域541aであり、基板511の上面上に成長した領域は、上面が(000-1)面の第2の領域541bである。電子供給層542、キャップ層513、スペーサ層514、障壁層515、井戸層516、障壁層517、スペーサ層518及びエミッタコンタクト層519には、それぞれ、第1の領域541a上に成長した第1の領域542a、543a、514a、515a、516a、517a、518a及び519aが含まれる。電子供給層542、キャップ層513、スペーサ層514、障壁層515、井戸層516、障壁層517、スペーサ層518及びエミッタコンタクト層519には、それぞれ、第2の領域541b上に成長した第2の領域542b、543b、514b、515b、516b、517b、518b及び519bも含まれる。このようにして、第1の領域

10

20

30

40

50

5 1 5 a、5 1 6 a及び5 1 7 aを含む、上面が(0 0 0 1)面の2重障壁量子井戸構造、及び第2の領域5 1 5 b、5 1 6 b及び5 1 7 bを含む、上面が(0 0 0 - 1)面の2重障壁量子井戸構造が形成される。

【0 0 5 9】

続いて、図9 B (d) に示すように、エミッタコンタクト層5 1 9 上に、第1の領域5 1 4 a ~ 5 1 9 aの一部及び第2の領域5 1 4 b ~ 5 1 9 bの一部を覆うレジストパターン5 2 0を形成し、レジストパターン5 2 0をマスクとしたドライエッチングを、キャップ層5 1 3の上面が露出するように行う。この結果、スペーサ層5 1 4、障壁層5 1 5、井戸層5 1 6、障壁層5 1 7、スペーサ層5 1 8及びエミッタコンタクト層5 1 9を含むメサ構造5 2 1が形成される。次いで、レジストパターン5 2 0を除去する。

10

【0 0 6 0】

その後、図9 B (e) に示すように、コレクタ電極の第1の領域を形成する予定の領域、ソース電極を形成する予定の領域及びドレイン電極を形成する予定の領域を露出するレジストパターン5 3 0をエミッタコンタクト層5 1 9 上及びキャップ層5 1 3 上に形成する。続いて、レジストパターン5 3 0をマスクとしてキャップ層5 1 3をエッチングしてリセスを形成する。次いで、レジストパターン5 3 0を除去する。

【0 0 6 1】

その後、図9 C (f) に示すように、エミッタ電極5 2 5、コレクタ電極5 2 6、ソース電極5 4 3及びドレイン電極5 4 4を形成する。エミッタ電極5 2 5は第1の領域5 1 9 a及び第2の領域5 1 9 bの両方と接するようにエミッタコンタクト層5 1 9 上に形成し、コレクタ電極5 2 6は第1の領域5 1 3 a及び第2の領域5 1 3 bの両方と接するようにコレクタ電極用のリセス内及び第2の領域5 1 3 b上に形成する。エミッタ電極5 2 5、コレクタ電極5 2 6、ソース電極5 4 3及びドレイン電極5 4 4の形成では、例えば、これらを形成する予定の領域を露出するレジストパターンを形成し、金属膜を蒸着法により形成し、レジストパターンをその上の金属膜と共に除去する。つまり、リフトオフ法により金属膜の一部を、これら電極を形成する予定の領域に残存させる。金属膜の形成では、例えば、Ti膜を形成し、その上にAl膜を形成する。レジストパターンの除去後には、熱処理を行って、金属膜をキャップ層5 1 3又はエミッタコンタクト層5 1 9にオーミック接触させる。この熱処理としては、例えば6 0 0 程度でのRTAを行う。

20

【0 0 6 2】

続いて、図9 C (g) に示すように、メサ構造5 2 1及びキャップ層5 1 3の露出面を覆うパッシベーション膜5 2 2を形成する。パッシベーション膜5 2 2としては、例えばプラズマCVD法等によりシリコン窒化膜を形成する。

30

【0 0 6 3】

次いで、図9 D (h) に示すように、パッシベーション膜5 2 2のゲート電極を形成する予定の領域にリセス5 4 6を形成する。リセス5 4 6の形成では、例えばレジストパターンを用いたドライエッチングを行う。その後、リセス5 4 6内にゲート電極5 4 5を形成する。ゲート電極5 4 5の形成では、例えば、ゲート電極5 4 5を形成する予定の領域を露出するレジストパターンを形成し、金属膜を蒸着法により形成し、レジストパターンをその上の金属膜と共に除去する。つまり、リフトオフ法により金属膜の一部をリセス5 4 6内に残存させる。金属膜の形成では、例えば、Ni膜を形成し、その上にAu膜を形成する。

40

【0 0 6 4】

このようにして第5の実施形態に係る化合物半導体装置を製造することができる。

【0 0 6 5】

(第6の実施形態)

次に、第6の実施形態について説明する。第6の実施形態は、共鳴トンネルダイオード(RTD)及び高電子移動度トランジスタ(HEMT)を備えた化合物半導体装置の一例である。図10は、第6の実施形態に係る化合物半導体装置の構成を示す断面図である。

【0 0 6 6】

50

第6の実施形態に係る化合物半導体装置では、図10に示すように、基板611上に核形成層612が選択的に形成され、核形成層612及び基板611上にコレクタコンタクト層613、電子供給層642及びチャネル層641が形成されている。コレクタコンタクト層613には、下面が核形成層612の上面に接する第1の領域613a、及び下面が基板611の上面に接する第2の領域613bが含まれる。電子供給層642には、第1の領域613a上の第1の領域642a、及び第2の領域613b上の第2の領域642bが含まれる。チャネル層641には、第1の領域642a上の第1の領域641a、及び第2の領域642b上の第2の領域641bが含まれる。例えば、基板611は上面がc面のサファイア基板であり、核形成層612はAlN層であり、コレクタコンタクト層613はGaN層であり、電子供給層642はAl組成が20%程度のAlGaN層であり、チャネル層641は意図的な不純物の導入が行われていないGaN層(i-GaN層)である。第1の領域613aの上面はGa極性面、つまり(0001)面であり、第2の領域613bの上面はN極性面、つまり(000-1)面である。第1の領域642a及び641aの上面は(0001)面であり、第2の領域642b及び641bの上面は(000-1)面である。

【0067】

チャネル層641上にスペーサ層514、障壁層515、井戸層516、障壁層517、スペーサ層518及びエミッタコンタクト層519がメサ状に積層されている。スペーサ層514、障壁層515、井戸層516、障壁層517、スペーサ層518及びエミッタコンタクト層519は、それぞれスペーサ層114、障壁層115、井戸層116、障壁層117、スペーサ層118及びエミッタコンタクト層119と同様の構成を備える。スペーサ層514には、第1の領域641a上の第1の領域514a、及び第2の領域614b上の第2の領域514bが含まれる。障壁層515には、第1の領域514a上の第1の領域515a、及び第2の領域514b上の第2の領域515bが含まれる。井戸層516には、第1の領域515a上の第1の領域516a、及び第2の領域515b上の第2の領域516bが含まれる。障壁層517には、第1の領域516a上の第1の領域517a、及び第2の領域516b上の第2の領域517bが含まれる。スペーサ層518には、第1の領域517a上の第1の領域518a、及び第2の領域517b上の第2の領域518bが含まれる。エミッタコンタクト層519には、第1の領域518a上の第1の領域519a、及び第2の領域518b上の第2の領域519bが含まれる。第1の領域514a、515a、516a、517a、518a及び519aの上面は(0001)面である。第2の領域514b、515b、516b、517b、518b及び519bの上面は(000-1)面である。

【0068】

エミッタコンタクト層519上にエミッタ電極525が形成されている。また、第1の領域513aにコレクタ電極用のリセスが形成されており、このリセス内及び第2の領域513b上にコレクタ電極526が形成されている。エミッタ電極525には、第1の領域519a上の第1の領域525a、及び第2の領域519b上の第2の領域525bが含まれる。コレクタ電極526には、コレクタ電極用のリセス内の第1の領域526a、及び第2の領域641b上の第2の領域526bが含まれる。第1の領域525aと第2の領域525bとは一体的に形成されており、電氣的に接続されている。第1の領域526aと第2の領域526bとは一体的に形成されており、電氣的に接続されている。

【0069】

第6の実施形態では、第2の領域641b上にソース電極543、ドレイン電極544及びゲート電極545が形成されている。ゲート電極545は、平面視でソース電極543とドレイン電極544との間に位置する。

【0070】

チャネル層641、スペーサ層514、障壁層515、井戸層516、障壁層517、スペーサ層518及びエミッタコンタクト層519の、エミッタ電極525、コレクタ電極526、ソース電極543、ドレイン電極544又はゲート電極545から露出してい

10

20

30

40

50

る部分を覆うパッシベーション膜522が形成されている。パッシベーション膜522は、例えばシリコン窒化膜である。

【0071】

このような第6の実施形態には、第1の領域515a、516a及び517aを含む、上面が(0001)面の2重障壁量子井戸構造、及び第2の領域515b、516b及び517bを含む、上面が(000-1)面の2重障壁量子井戸構造が含まれる。従って、第1の実施形態と同様に、対称性が優れたIV特性を得ることができる。

【0072】

また、このGaN系RTDと、チャネル層641及び電子供給層642等を備えたGaN系HEMTとが同一基板611上に集積されているため、省面積で優れたMOBILE回路を得ることができる。

10

【0073】

更に、コレクタ電極526の第1の領域526aのオーミックコンタクト抵抗率の上昇を回避することができ、コレクタ電極526の第2の領域526b、ソース電極543及びドレイン電極544の下方に2次元電子ガスを確保することができる。

【0074】

第5の実施形態、第6の実施形態のいずれにおいても、コレクタ電極526の平面形状が口の字型となってもよい。RTDの部分では、スペーサ層514、障壁層515、井戸層516、障壁層517、スペーサ層518、エミッタコンタクト層519、エミッタ電極525及びコレクタ電極526に含まれるそれぞれの第1の領域及び第2の領域の平面形状は、第1の領域及び第2の領域の境界を基準にして実質的に線対称となっていることが好ましい。第1の領域525aと第2の領域525bとが電氣的に接続されていれば、これらが一体的に形成されている必要はなく、第1の領域526aと第2の領域526bとが電氣的に接続されていれば、これらが一体的に形成されている必要はない。また、第5の実施形態、第6の実施形態に、第2の実施形態、第3の実施形態又は第4の実施形態のような構成が組み合わされてもよい。

20

【0075】

井戸層の材料と障壁層の材料との組み合わせは、上記のGaNとAlNとの組み合わせに限定されず、井戸層のバンドギャップが障壁層のバンドギャップより小さければよい。例えば、障壁層が $In_xAl_yGa_{1-x-y}N$ ($0 < x < 1$ 、 $0 < y < 1$ 、 $0 < x + y < 1$)層を含み、井戸層が $In_zGa_{1-z}N$ ($0 < z < 1$)層を含んでもよい。より具体的には、障壁層がAlGaN、InAlN又はInAlGaNを含み、井戸層がInGaNを含んでもよい。

30

【0076】

(第7の実施形態)

次に、第7の実施形態について説明する。第7の実施形態は、高速論理ゲートMOBILE回路の一例である。図11は、第7の実施形態に係る論理回路の構成を示す結線図である。

【0077】

第7の実施形態に係る論理回路には、RTD701、RTD702及びスイッチ素子703が含まれる。スイッチ素子703は、例えばHEMTである。RTD702が、スイッチ素子703に並列接続され、RTD701に直列接続されている。RTD701の他端に、クロック信号が入力されるクロック端子706が接続され、RTD702が接地される。スイッチ素子703の制御端子(ゲート端子)が入力端子704となっており、RTD701とRTD702との間に出力端子705が接続されている。RTD701、RTD702及びスイッチ素子703に、例えば第5又は第6の実施形態のGaN系RTD、GaN系HEMTが用いられる。

40

【0078】

GaN系HEMTはInP系HEMTよりも小さいサイズにて大電流動作が可能である。従って、第7の実施形態によれば、論理回路を小型化(集積化)でき、小型・大容量基

50

幹通信ネットワークシステムを実現することができる。

【0079】

(第8の実施形態)

次に、第8の実施形態について説明する。第8の実施形態は、発振器の一例である。図12は、第8の実施形態に係る発振器の構成を示す結線図である。

【0080】

第8の実施形態に係る発振器には、RTD801及びアンテナ802が含まれる。アンテナ802には、容量素子803、インダクタ804及び抵抗素子805が含まれる。RTD801に、例えば第1、第2、第3又は第4の実施形態のGaN系RTDが用いられる。

10

【0081】

この発振器では、RTD801で発振し、アンテナ802を介してテラヘルツ波が放出される。第8の実施形態によれば、小型・超高速大容量無線ネットワークシステムを実現することができる。

【0082】

(第9の実施形態)

次に、第9の実施形態について説明する。第9の実施形態は、イメージングセンサの一例である。図13は、第9の実施形態に係るセンサの構成を示す結線図である。

【0083】

第9の実施形態に係るセンサには、発振器901、レンズ902、検出器903及びレンズ904が含まれる。レンズ902は発振器901の発振面に固定され、レンズ904は検出器903の検出面に固定されている。発振器901及び検出器903は、第8の実施形態に係る発振器と同様の構成を備えている。

20

【0084】

このセンサでは、発振器901から照射されたテラヘルツ波906が検出器903により検出される。そして、発振器901と検出器903との間に対象物905が存在していれば、対象物905の内部の探知が可能である。このセンサは、例えば、薬物検査、危険物検査、爆薬検査等に用いることができる。また、温暖化モニタ等の環境センシングに用いることもできる。第9の実施形態によれば、安心・安全を提供するセンシングネットワークシステムを実現することができる。

30

【0085】

以下、本発明の諸態様を付記としてまとめて記載する。

【0086】

(付記1)

基板と、

前記基板上方の窒化物半導体の第1の障壁層、前記第1の障壁層上の窒化物半導体の井戸層、前記井戸層上の窒化物半導体の第2の障壁層を含む共鳴トンネルダイオードと、
を有し、

前記第1の障壁層、前記井戸層及び前記第2の障壁層の各々が、上面が(0001)面の第1の領域及び上面が(000-1)面の第2の領域を有し、

40

前記第1の障壁層、前記井戸層及び前記第2の障壁層の間で、前記第1の領域同士が前記基板の厚さ方向で積層され、前記第2の領域同士が前記基板の厚さ方向で積層され、

前記第1の領域同士が積層された部分に第1のエミッタ電極及び第1のコレクタ電極が設けられ、

前記第2の領域同士が積層された部分に第2のエミッタ電極及び第2のコレクタ電極が設けられ、

前記第1のエミッタ電極と前記第2のエミッタ電極とが電氣的に互いに接続され、

前記第1のコレクタ電極と前記第2のコレクタ電極とが電氣的に互いに接続されていることを特徴とする化合物半導体装置。

【0087】

50

(付記2)

前記第1の障壁層及び前記第2の障壁層が $In_xAl_yGa_{1-x-y}N$ ($0 < x < 1$ 、 $0 < y < 1$ 、 $0 < x + y < 1$) 層を含み、

前記井戸層が $In_zGa_{1-z}N$ ($0 < z < 1$) 層を含むことを特徴とする付記1に記載の化合物半導体装置。

【0088】

(付記3)

前記第1の障壁層、前記井戸層及び前記第2の障壁層の各々において、前記第1の領域と前記第2の領域との境界にイオン注入領域が形成されていることを特徴とする付記1又は2に記載の化合物半導体装置。

【0089】

(付記4)

前記第1の障壁層、前記井戸層及び前記第2の障壁層の各々において、前記第1の領域と前記第2の領域との境界にパッシベーション膜が形成されていることを特徴とする付記1又は2に記載の化合物半導体装置。

【0090】

(付記5)

前記基板がサファイア基板、炭化シリコン基板、窒化ガリウム基板又は窒化アルミニウム基板であることを特徴とする付記1乃至4のいずれか1項に記載の化合物半導体装置。

【0091】

(付記6)

前記第1のエミッタ電極と前記第2のエミッタ電極とが一体化され、前記第1のコレクタ電極と前記第2のコレクタ電極とが一体化されていることを特徴とする付記1乃至5のいずれか1項に記載の化合物半導体装置。

【0092】

(付記7)

前記基板の上に形成された高電子移動度トランジスタを有することを特徴とする付記1乃至6のいずれか1項に記載の化合物半導体装置。

【0093】

(付記8)

付記1乃至6のいずれか1項に記載の化合物半導体装置を有することを特徴とする論理回路。

【0094】

(付記9)

付記1乃至6のいずれか1項に記載の化合物半導体装置を有することを特徴とする発振器。

【0095】

(付記10)

付記1乃至6のいずれか1項に記載の化合物半導体装置を有することを特徴とするセンサ。

【0096】

(付記11)

基板上方に、窒化物半導体の第1の障壁層、前記第1の障壁層上の窒化物半導体の井戸層、前記井戸層上の窒化物半導体の第2の障壁層を含む共鳴トンネルダイオードを形成する工程を有し、

前記第1の障壁層、前記井戸層及び前記第2の障壁層の各々が、上面が(0001)面の第1の領域及び上面が(000-1)面の第2の領域を有し、

前記第1の障壁層、前記井戸層及び前記第2の障壁層の間で、前記第1の領域同士が前記基板の厚さ方向で積層され、前記第2の領域同士が前記基板の厚さ方向で積層され、

前記第1の領域同士が積層された部分に第1のエミッタ電極及び第1のコレクタ電極を

10

20

30

40

50

形成する工程と、

前記第2の領域同士が積層された部分に第2のエミッタ電極及び第2のコレクタ電極を形成する工程と、

を有し、

前記第1のエミッタ電極と前記第2のエミッタ電極とが電氣的に互いに接続され、

前記第1のコレクタ電極と前記第2のコレクタ電極とが電氣的に互いに接続されていることを特徴とする化合物半導体装置の製造方法。

【0097】

(付記12)

前記第1の障壁層及び前記第2の障壁層が $In_xAl_yGa_{1-x-y}N$ ($0 < x < 1$ 、 $0 < y < 1$ 、 $0 < x + y < 1$) 層を含み、

前記井戸層が $In_zGa_{1-z}N$ ($0 < z < 1$) 層を含むことを特徴とする付記11に記載の化合物半導体装置の製造方法。

【0098】

(付記13)

前記第1の障壁層、前記井戸層及び前記第2の障壁層の各々において、前記第1の領域と前記第2の領域との境界にイオン注入を行う工程を有することを特徴とする付記11又は12に記載の化合物半導体装置の製造方法。

【0099】

(付記14)

前記第1の障壁層、前記井戸層及び前記第2の障壁層の各々において、前記第1の領域と前記第2の領域との境界にパッシベーション膜を形成する工程を有することを特徴とする付記11又は12に記載の化合物半導体装置の製造方法。

【符号の説明】

【0100】

111、211、511、611：基板

112、512、612：核形成層

115、117、515、517：障壁層

116、516：井戸層

125、525：エミッタ電極

126、526：コレクタ電極

212：Mg層

331：パッシベーション膜

431：イオン注入領域

541、641：チャネル層

542、642：電子供給層

543：ソース電極

544：ドレイン電極

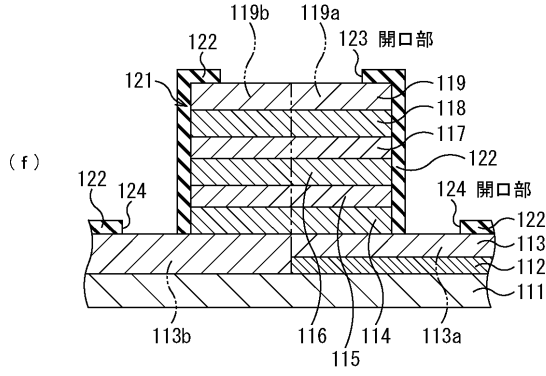
545：ゲート電極

10

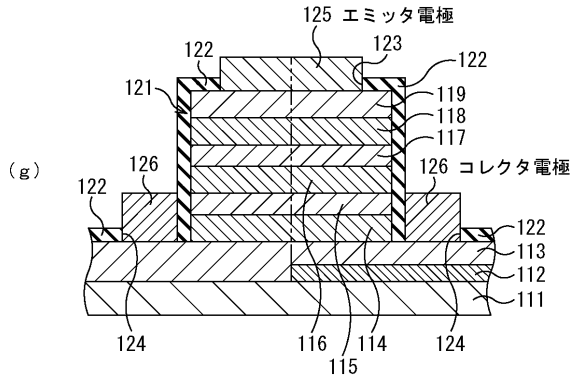
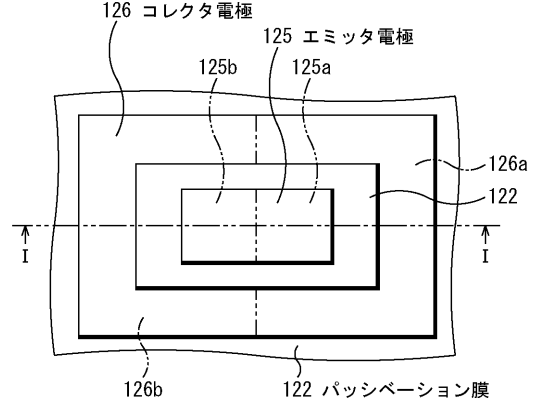
20

30

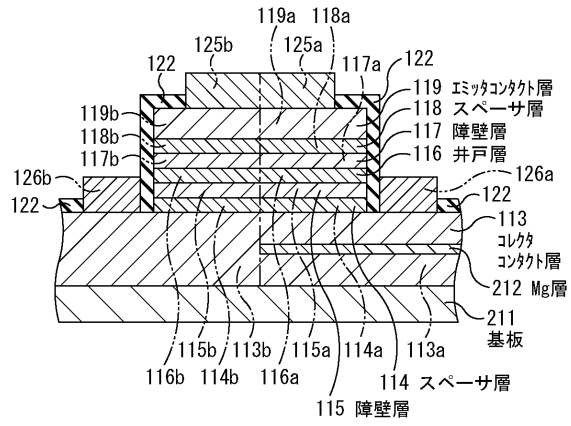
【図3C】



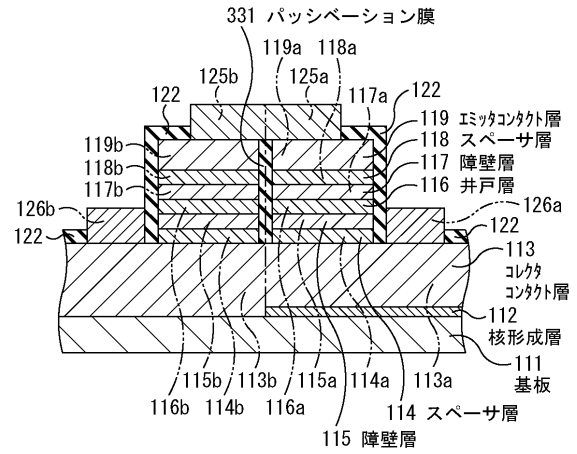
【図4】



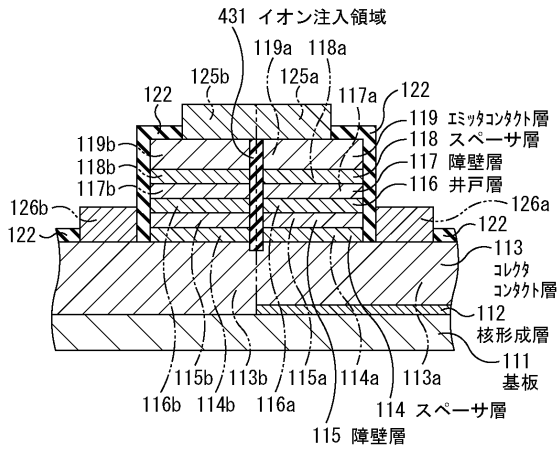
【図5】



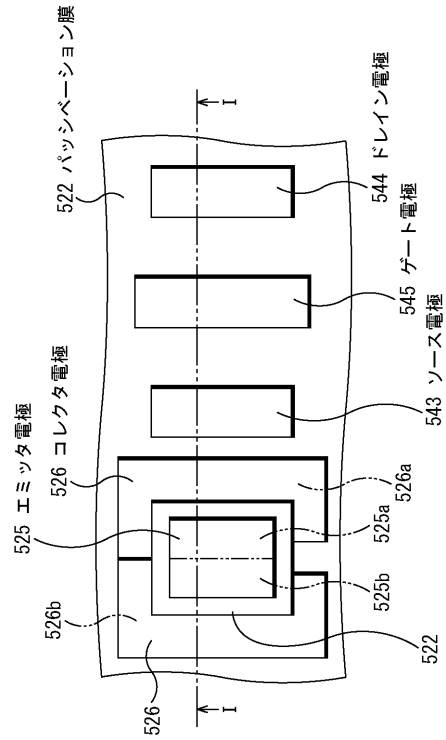
【図6】



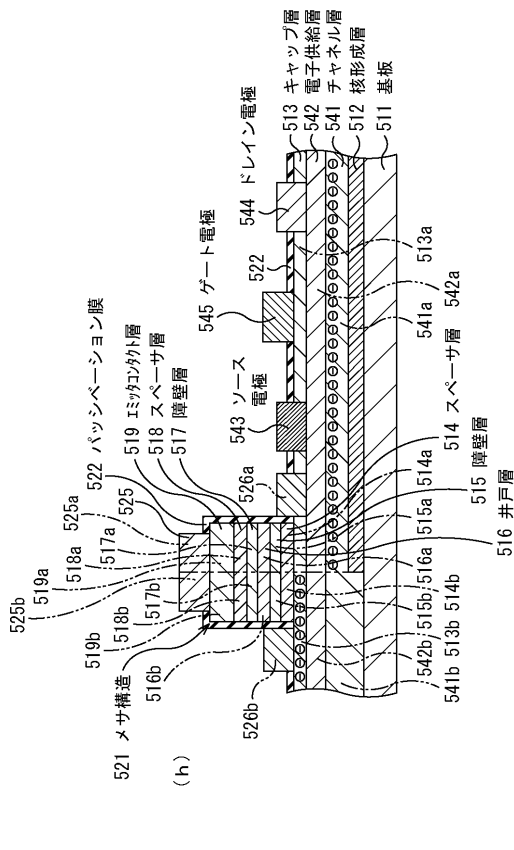
【図7】



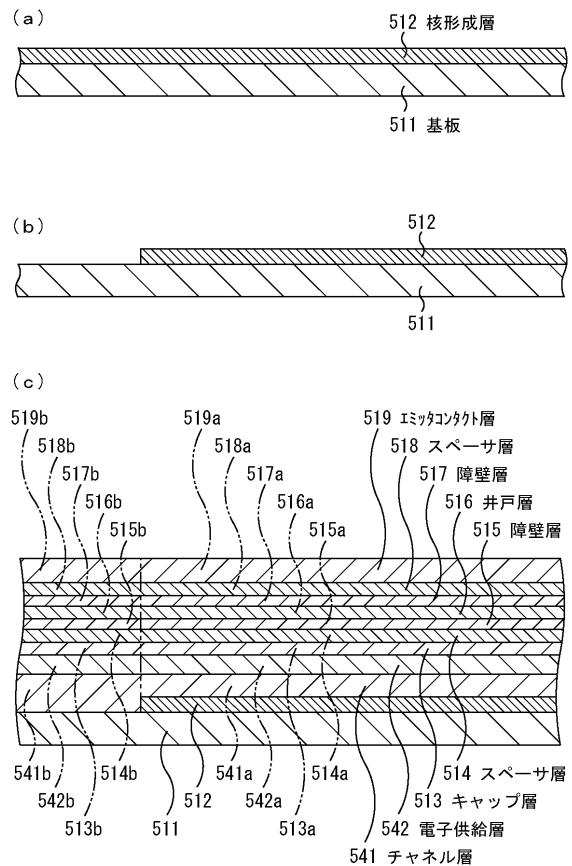
【図8A】



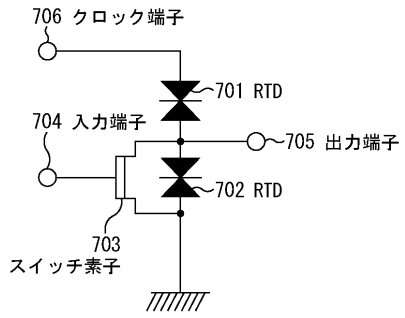
【図8B】



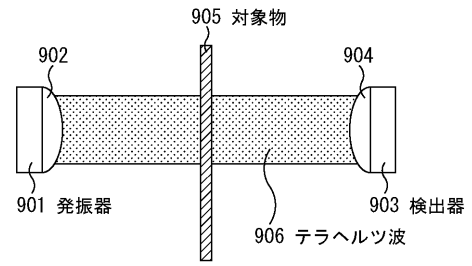
【図9A】



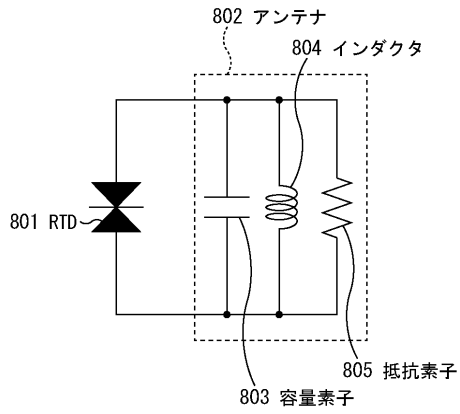
【図 1 1】



【図 1 3】



【図 1 2】



フロントページの続き

(51) Int.Cl. F I
H 0 1 L 29/06 (2006.01) H 0 1 L 27/06 3 2 1 B
H 0 1 L 21/8232 (2006.01) H 0 1 L 27/06 1 0 2 A
H 0 1 L 27/06 (2006.01)
H 0 1 L 21/8249 (2006.01)
H 0 1 L 21/8234 (2006.01)

(56) 参考文献 米国特許出願公開第 2 0 1 3 / 0 2 9 2 6 8 3 (U S , A 1)
国際公開第 2 0 0 8 / 1 2 3 2 1 3 (W O , A 1)
特開 2 0 1 0 - 2 2 2 1 7 4 (J P , A)
特開 2 0 1 4 - 6 3 9 1 7 (J P , A)

(58) 調査した分野 (Int.Cl. , D B 名)
H 0 1 L 2 1 / 3 2 9
H 0 1 L 2 1 / 3 3 8
H 0 1 L 2 1 / 8 2 3 2
H 0 1 L 2 1 / 8 2 3 4
H 0 1 L 2 1 / 8 2 4 9
H 0 1 L 2 7 / 0 6
H 0 1 L 2 9 / 0 6
H 0 1 L 2 9 / 7 7 8
H 0 1 L 2 9 / 8 1 2
H 0 1 L 2 9 / 8 8