

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第6367533号
(P6367533)

(45) 発行日 平成30年8月1日(2018.8.1)

(24) 登録日 平成30年7月13日(2018.7.13)

(51) Int.Cl.	F I			
HO 1 L 21/338 (2006.01)	HO 1 L 29/80	H		
HO 1 L 29/778 (2006.01)	HO 1 L 29/80	C		
HO 1 L 29/812 (2006.01)	HO 1 L 29/80	W		
HO 1 L 21/337 (2006.01)	HO 1 L 29/78	3 O 1 B		
HO 1 L 29/808 (2006.01)	HO 1 L 29/06	3 O 1 F		
請求項の数 15 (全 15 頁) 最終頁に続く				

(21) 出願番号	特願2013-199373 (P2013-199373)	(73) 特許権者	390019839
(22) 出願日	平成25年9月26日(2013.9.26)		三星電子株式会社
(65) 公開番号	特開2014-72528 (P2014-72528A)		Samsung Electronics
(43) 公開日	平成26年4月21日(2014.4.21)		Co., Ltd.
審査請求日	平成28年9月9日(2016.9.9)		大韓民国京畿道水原市靈通区三星路129
(31) 優先権主張番号	10-2012-0109267		129, Samsung-ro, Yeon
(32) 優先日	平成24年9月28日(2012.9.28)		gtong-gu, Suwon-si, G
(33) 優先権主張国	韓国 (KR)		yeonggi-do, Republic
			of Korea
		(74) 代理人	100110364
			弁理士 実広 信哉
		(72) 発明者	全 ▲祐▼徹
			大韓民国京畿道龍仁市器興區農書洞山14
			-1番地 三星綜合技術院内
最終頁に続く			

(54) 【発明の名称】 ノーマリーオフ高電子移動度トランジスタ

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

第1窒化物半導体を含むチャンネル層と、

前記チャンネル層上で第2窒化物半導体を含み、前記チャンネル層に、二次元電子ガスを誘発するチャンネル供給層と、

前記チャンネル供給層の両側のソース電極及びドレイン電極と、

前記チャンネル供給層上で、前記二次元電子ガスの少なくとも一部領域にデプレッション領域を形成し、少なくとも2つの厚みを有したデプレッション形成層と、

前記デプレッション形成層上のゲート絶縁層と、

前記ゲート絶縁層上に配置され、前記デプレッション形成層と接触するゲート電極と、
を具備し、

前記ゲート絶縁層には、前記デプレッション形成層の一部を露出させる開口部が形成され、

前記ゲート電極は、前記開口部を介して、前記デプレッション形成層と接触し、

前記デプレッション形成層は、第1厚みを有する第1部分と、前記第1部分の一侧の第2部分と、前記第1部分の他側の第3部分と、を含み、前記第2部分及び前記第3部分は、第2厚みを有し、

平面図から見るとき、前記第1部分ないし前記第3部分を横切る前記ゲート電極の幅が、前記第1部分と、前記第2部分及び前記第3部分それぞれの少なくとも一部をカバーし

、

10

20

前記第 1 厚みは、前記第 2 厚みより厚い、ノーマリーオフ高電子移動度トランジスタ。

【請求項 2】

前記デプレッション形成層の前記第 1 部分は、ストリップ状に形成され、前記第 2 部分及び前記第 3 部分は、前記第 1 部分と平行にストリップ状に形成されたことを特徴とする請求項 1 に記載の高電子移動度トランジスタ。

【請求項 3】

前記第 2 部分及び前記第 3 部分は、前記ソース電極及び前記ドレイン電極から離隔されたことを特徴とする請求項 1 または 2 に記載の高電子移動度トランジスタ。

【請求項 4】

前記第 1 部分の下部に、前記デプレッション領域が形成され、前記第 2 部分の下部及び前記第 3 部分の下部は、前記デプレッション形成層がない領域より、相対的に前記二次元電子ガスの電子濃度が低い領域であることを特徴とする請求項 1 から 3 の何れか 1 項に記載の高電子移動度トランジスタ。

10

【請求項 5】

前記第 2 部分及び前記第 3 部分のうち少なくとも一つは、対応する前記ソース電極または前記ドレイン電極と接触することを特徴とする請求項 1 から 4 の何れか 1 項に記載の高電子移動度トランジスタ。

【請求項 6】

前記ゲート電極は、前記ゲート絶縁層上で、前記第 1 部分ないし前記第 3 部分の少なくとも一部上に形成されることを特徴とする請求項 1 から 5 の何れか 1 項に記載の高電子移動度トランジスタ。

20

【請求項 7】

前記開口部は、前記第 1 部分上に形成されたことを特徴とする請求項 1 から 6 の何れか 1 項に記載の高電子移動度トランジスタ。

【請求項 8】

第 1 窒化物半導体を含むチャネル層と、

前記チャネル層上で第 2 窒化物半導体を含み、前記チャネル層に、二次元電子ガスを誘発するチャネル供給層と、

前記チャネル供給層の両側のソース電極及びドレイン電極と、

前記チャネル供給層上で、前記二次元電子ガスの少なくとも一部領域にデプレッション領域を形成し、少なくとも 2 つの厚みを有したデプレッション形成層と、

30

前記デプレッション形成層上のゲート絶縁層と、

前記ゲート絶縁層上に配置されたゲート電極と、を具備し、

前記デプレッション形成層は、第 1 厚みを有した第 1 部分と、前記第 1 部分の一侧の第 2 部分と、前記第 1 部分の他側の第 3 部分と、を含み、前記第 2 部分及び前記第 3 部分は、第 2 厚みを有し、

前記第 1 部分及び前記ゲート絶縁層の間に形成された第 1 ゲート電極をさらに含み、前記第 1 ゲート電極及び前記ゲート電極は、電氣的に連結されたことを特徴とする高電子移動度トランジスタ。

【請求項 9】

40

前記第 1 ゲート電極は、前記ゲート電極によって露出されるように形成され、

前記トランジスタは、前記第 1 ゲート電極の露出された部分及び前記ゲート電極を電氣的に連結するワイヤをさらに含むことを特徴とする請求項 8 に記載の高電子移動度トランジスタ。

【請求項 10】

前記ゲート絶縁層には、前記第 1 ゲート電極を露出する開口部が形成され、前記第 1 ゲート電極及び前記ゲート電極は、前記開口部を介して、電氣的に連結されたことを特徴とする請求項 8 または 9 に記載の高電子移動度トランジスタ。

【請求項 11】

前記第 1 窒化物半導体は、Ga N 系物質であることを特徴とする請求項 1 から 10 の何

50

れか1項に記載の高電子移動度トランジスタ。

【請求項12】

前記第2窒化物半導体は、Al、Ga、In及びBのうち少なくとも一つを含む窒化物のうちから選択された少なくとも一つであることを特徴とする請求項1から11の何れか1項に記載の高電子移動度トランジスタ。

【請求項13】

前記デプレッション形成層は、p型窒化物半導体からなることを特徴とする請求項1から12の何れか1項に記載の高電子移動度トランジスタ。

【請求項14】

前記デプレッション形成層は、III～V族窒化物半導体物質を含むことを特徴とする請求項13に記載の高電子移動度トランジスタ。

10

【請求項15】

前記デプレッション形成層は、第1厚みを有した第1部分を含み、前記デプレッション形成層は、前記第1厚みと異なる第2厚みを有した第2部分を含み、前記第1部分は、前記第2部分が、前記ゲート電極及び前記チャネル供給層を離隔させるところよりは、さらに大きく、前記ゲート電極及び前記チャネル供給層を離隔させることを特徴とする請求項1から14の何れか1項に記載の高電子移動度トランジスタ。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

20

本発明は、ノーマリーオフ高電子移動度トランジスタに係り、さらに詳細には、デプレッション形成層を含むノーマリーオフ高電子移動度トランジスタに関する。

【背景技術】

【0002】

多様な電力変換システムには、オン/オフ(ON/OFF)スイッチングを介して、電流の流れを制御する素子、すなわち、パワー素子(power device)が要求される。電力変換システムで、パワー素子の効率が、システム全体の効率を左右する。

【0003】

現在商用化されているパワー素子は、シリコン(Si)を基板とするパワーMOSFET(metal-oxide-semiconductor field-effect transistor)やIGBT(insulated gate bipolar transistor)がほとんどである。しかし、シリコンの物性限界や製造工程の限界などにより、シリコンを基板とするパワー素子の効率を向上させることが困難になっている。このような限界を克服するために、III～V族系の化合物半導体をパワー素子に適用して変換効率を高めようとする研究や開発が進められている。これと関連して、化合物半導体の異種接合(heterojunction)構造を利用する高電子移動度トランジスタ(HEMT:high electron mobility transistor)が注目されている。

30

【0004】

高電子移動度トランジスタは、電氣的分極(polarization)特性が互いに異なる半導体層を含む。高電子移動度トランジスタでは、相対的に大きい分極率を有する半導体層が、これと接合された他の半導体層に、二次元電子ガス(2DEG:2-dimensional electron gas)を誘発(induction)することができ、このような二次元電子ガスは、非常に高い電子移動度(electron mobility)を有することができる。

40

【0005】

高電子移動度トランジスタで、ゲート電圧が0Vであるとき、ドレイン電極とソース電極との間の低い抵抗によって電流が流れるノーマリーオン(normally-on)状態になれば、パワー消耗が発生することがある。ドレイン電極とソース電極との間の電流をオフ状態にするために、ゲート電極に負電圧(negative voltage)を

50

印加することがある。

【 0 0 0 6 】

他の方策として、デプレッション (d e p l e t i o n) 形成層を具備することにより、ゲート電圧が 0 V であるとき、ドレイン電極とソース電極との間の電流がオフ状態であるノーマリーオフ (n o r m a l l y - o f f) 特性を具現することができる高電子移動度トランジスタが研究されている。

【 発明の概要 】

【 発明が解決しようとする課題 】

【 0 0 0 7 】

本発明の実施形態は、デプレッション形成層を利用したノーマリーオフ高電子移動度トランジスタを提供するものである。

10

【 課題を解決するための手段 】

【 0 0 0 8 】

本発明の一実施形態によるノーマリーオフ高電子移動度トランジスタは、第 1 窒化物半導体を含むチャンネル層と、前記チャンネル層上で第 2 窒化物半導体を含み、前記チャンネル層に、二次元電子ガスを誘発するチャンネル供給層と、前記チャンネル供給層の両側のソース電極及びドレイン電極と、前記チャンネル供給層上で、前記二次元電子ガスの少なくとも一部領域にデプレッション領域を形成し、少なくとも 2 つの厚みを有したデプレッション形成層と、前記デプレッション形成層上のゲート絶縁層と、前記ゲート絶縁層上で、前記デプレッション形成層と接触するゲート電極と、を含む。

20

【 0 0 0 9 】

前記デプレッション形成層は、第 1 厚みを有した第 1 部分と、前記第 1 部分の一側の第 2 部分と、前記第 1 部分の他側の第 3 部分と、を含み、前記第 1 部分及び前記第 3 部分は、第 2 厚みを有する。

【 0 0 1 0 】

前記第 1 厚みは、前記第 2 厚みより厚くてもよい。

【 0 0 1 1 】

前記デプレッション形成層の前記第 1 部分は、ストリップ (s t r i p) 形状に形成され、前記第 2 部分及び前記第 3 部分は、前記第 1 部分と平行にストリップ状に形成されてもよい。

30

【 0 0 1 2 】

一局面によれば、前記第 2 部分及び前記第 3 部分は、前記ソース電極及び前記ドレイン電極から離隔される。

【 0 0 1 3 】

前記第 1 部分の下部に、前記デプレッション領域が形成され、前記第 2 部分の下部及び前記第 3 部分の下部は、前記デプレッション形成層がない領域より、相対的に前記二次元電子ガスの電子濃度が低い領域であってもよい。

【 0 0 1 4 】

他の局面によれば、前記第 2 部分及び前記第 3 部分のうち少なくとも一つは、対応する前記ソース電極または前記ドレイン電極と接触する。

40

【 0 0 1 5 】

前記ゲート電極は、前記ゲート絶縁層上で、前記第 1 部分ないし前記第 3 部分の少なくとも一部の上に形成されてもよい。

【 0 0 1 6 】

前記ゲート絶縁層で、前記デプレッション形成層の一部を露出させる開口部が形成され、前記ゲート電極は、前記開口部を介して、前記デプレッション形成層と接触することができる。

【 0 0 1 7 】

前記開口部は、前記第 1 部分上に形成されてもよい。

【 0 0 1 8 】

50

前記第 1 部分及び前記ゲート絶縁層の間に形成された第 1 ゲート電極をさらに含み、前記第 1 ゲート電極及び前記ゲート電極は、電氣的に連結されてもよい。

【 0 0 1 9 】

前記第 1 ゲート電極は、前記ゲート絶縁層によって露出されるように形成され、前記第 1 ゲート電極及び前記ゲート電極は、ワイヤで連結されてもよい。

【 0 0 2 0 】

前記ゲート絶縁層には、前記第 1 ゲート電極を露出する開口部が形成され、前記第 1 ゲート電極及び前記ゲート電極は、前記開口部を介して電氣的に連結されてもよい。

【 0 0 2 1 】

前記第 1 窒化物半導体は、G a N 系物質でもある。

10

【 0 0 2 2 】

前記第 2 窒化物半導体は、A l、G a、I n 及び B のうち少なくとも一つを含む窒化物のうちから選択された少なくとも一つであってもよい。

【 0 0 2 3 】

前記デプレッション形成層は、p 型窒化物半導体からなってもよい。

【 0 0 2 4 】

前記デプレッション形成層は、I I I ~ V 族窒化物半導体物質を含んでもよい。

【 0 0 2 5 】

前記デプレッション形成層は、第 1 厚みを有した第 1 部分を含み、前記デプレッション形成層は、前記第 1 厚みと異なる第 2 厚みを有した第 2 部分を含み、前記第 1 部分は、前記第 2 部分が、前記ゲート電極及び前記チャネル供給層を離隔させるところよりは、さらに大きく、前記ゲート電極及び前記チャネル供給層を離隔させてよい。

20

【発明の効果】

【 0 0 2 6 】

本発明の実施形態によるノーマリーオフ高電子移動度トランジスタは、デプレッション形成層が形成された領域で、二次元電子ガスが断絶されるので、オフ状態での電流漏れを防止することができる。デプレッション形成層の正孔注入により、ターンオン (t u r n o n) 抵抗が低くなる。また、デプレッション形成層の拡張によって電界が分散し、高電子移動度トランジスタの降伏電圧が上昇する。

【図面の簡単な説明】

30

【 0 0 2 7 】

【図 1】本発明の一実施形態によるノーマリーオフ高電子移動度トランジスタの構造を概略的に示す断面図である。

【図 2】本発明の一実施形態によるノーマリーオフ高電子移動度トランジスタの一部平面図である。

【図 3 A】本発明の一実施形態によるノーマリーオフ高電子移動度トランジスタの作用について説明する図面である。

【図 3 B】本発明の一実施形態によるノーマリーオフ高電子移動度トランジスタの作用について説明する図面である。

【図 3 C】本発明の一実施形態によるノーマリーオフ高電子移動度トランジスタの作用について説明する図面である。

40

【図 4】本発明の他の実施形態によるノーマリーオフ高電子移動度トランジスタの構造を概略的に示す断面図である。

【図 5】本発明のさらに他の実施形態によるノーマリーオフ高電子移動度トランジスタの構造を概略的に示す断面図である。

【図 6】図 5 の第 1 ゲート電極及び第 2 ゲート電極の電氣的連結を示す平面図である。

【発明を実施するための形態】

【 0 0 2 8 】

以下、添付された図面を参照し、本発明の実施形態について詳細に説明する。この過程で、図面に図示された層や領域の厚みは、明細書の明確性のために誇張されて図示されて

50

いる。明細書にわたって実質的に同一の構成要素には、同一の参照番号を使用して詳細な説明は省略する。

【0029】

図1は、本発明の一実施形態によるノーマリーオフ高電子移動度トランジスタ100の構造を概略的に示す断面図である。

【0030】

図1を参照すれば、基板110上に、チャネル層120が形成されている。基板110は、例えば、サファイア(sapphire)、Si、SiCまたはGaNなどからなってもよい。しかし、それらは例示的なものに過ぎず、基板110は、それら以外にも他の多様な物質からなってもよい。

10

【0031】

チャネル層120は、第1窒化物半導体物質からなってもよい。第1窒化物半導体物質は、III-V系の化合物半導体物質であってもよい。例えば、チャネル層120は、GaN系物質層である。具体的な例として、チャネル層110は、GaN層である。その場合、チャネル層110は、ドーピングされていない(undoped)GaN層であり、場合によっては、所定の不純物がドーピングされたGaN層であってもよい。

【0032】

図面には図示されていないが、基板110とチャネル層120との間には、バッファ層がさらに設けられてもよい。バッファ層は、基板110とチャネル層120との格子定数及び熱膨張係数の差を緩和させ、チャネル層120の結晶性低下を防止するためのものである。バッファ層は、Al、Ga、In及びBのうち少なくとも一つを含む窒化物を含み、単層または多層の構造を有することができる。バッファ層は、例えば、AlN、GaN、AlGaN、InGaN、AlInN及びAlGaInNからなってもよい。基板110とバッファ層との間には、バッファ層の成長のためのシード層(seed layer)(図示せず)がさらに設けられてもよい。

20

【0033】

チャネル層120上には、チャネル供給層130が形成される。チャネル供給層130は、チャネル層120に、二次元電子ガス(2DEG: 2-dimensional electron gas)を誘発することができる。二次元電子ガス(2DEG)は、チャネル層120とチャネル供給層130との界面下のチャネル層120内に形成されてもよい。チャネル供給層130は、チャネル層120をなす第1窒化物半導体物質とは異なる第2窒化物半導体物質からなってもよい。第2半導体物質は、第1窒化物半導体物質と、分極特性、エネルギーバンドギャップ(band gap)及び格子定数のうち、少なくとも一つが異なっている。具体的には、第2窒化物半導体物質は、分極率及びエネルギーバンドギャップのうち少なくとも一つが、第1窒化物半導体物質より大きい。

30

【0034】

チャネル供給層130は、例えば、Al、Ga、In及びBのうち少なくとも一つを含む窒化物からなってもよく、単層または多層の構造を有することができる。具体的な例として、チャネル供給層130は、AlGaN、AlInN、InGaN、AlN及びAlInGaNからなる。チャネル供給層130は、ドーピングされていない層であってもよいが、所定の不純物がドーピングされた層であってもよい。このようなチャネル供給層130の厚みは、例えば、数十nm以上である。例えば、チャネル供給層130の厚みは、約50nm以上であるが、それに限定されるものではない。

40

【0035】

チャネル供給層130両側のチャネル層120上には、ソース電極161及びドレイン電極162が形成されてもよい。ソース電極161及びドレイン電極162は、二次元電子ガス(2DEG)と電気的に連結されてもよい。ソース電極161及びドレイン電極162は、チャネル供給層130上に形成されてもよい。図1から分かるように、ソース電極161及びドレイン電極162は、チャネル層120の内部まで挿入されるように形成されてもよい。それ以外にも、ソース電極161及びドレイン電極162の構成は、多様

50

に変化する。

【0036】

チャネル供給層130上には、デプレッション形成層(depletion forming layer)140が設けられる。デプレッション形成層140は、第1厚みT1を有した第1部分141と、第2厚みT2を有した第2部分142と、第2厚みT2を有した第3部分143と、を含む。

【0037】

図2は、本発明の一実施形態によるノーマリーオフ高電子移動度トランジスタ100の概略的平面図である。図2では便宜上一部構成要素を省略した。

【0038】

図2を参照すれば、第1部分141は、ストリップ状を有し、第2部分142及び第3部分143は、第1部分141の長手方向に、第1部分141の両側に長く形成される。図2から分かるように、第1部分141は、第1幅W1を有し、第2部分142は、第2幅W2を有し、第3部分143は、第3幅W3を有する。第1幅W1ないし第3幅W3は、互いに異なることもある。例えば、第1幅W1が第3幅W3より広くもなり、第3幅W3が第1幅W1より広くもなる。しかし、本発明の実施形態は、それらに限定されるものではなく、デプレッション形成層140は、多様な形態に形成されてもよい。

【0039】

第2部分142は、ソース電極161から離隔されるように形成され、第3部分143は、ドレイン電極162から離隔されるように形成されてもよい。第1部分141は、ドレイン電極162よりソース電極161側に偏って形成されてもよい。

【0040】

デプレッション形成層140は、二次元電子ガス(2DEG)に、デプレッション領域(depletion region)を形成する役割を行うことができる。デプレッション形成層140によって、その下に位置するチャネル供給層130部分のエネルギーバンドギャップが高くなり、その結果、デプレッション形成層140に対応するチャネル層120部分に、二次元電子ガス(2DEG)のデプレッション領域が形成される。従って、二次元電子ガス(2DEG)において、デプレッション形成層140の第1部分141に対応する部分は、断絶され、第2部分142及び第3部分143に該当する部分は、電子濃度が低下する。デプレッション形成層140並びにソース電極161、及びデプレッション形成層140並びにドレイン電極162に該当する領域の二次元電子ガス(2DEG)の電子濃度は、第2部分142及び第3部分143の下部の二次元電子ガス(2DEG)の電子濃度より高い。

【0041】

図1では、相対的に電子濃度が高い二次元電子ガス(2DEG)の領域と、相対的に電子濃度が低い二次元電子ガス(2DEG)の領域とをドットの太さで区分して図示した。ドットの太さが太いほど電子濃度が高いということを示す。二次元電子ガス(2DEG)が断絶された領域を「断絶領域」といい、このような断絶領域Dによって、高電子移動度トランジスタ100は、ノーマリーオフ特性を有することができる。

【0042】

デプレッション形成層140は、p型半導体物質を含んでもよい。すなわち、デプレッション形成層140は、p型半導体層、またはp型不純物でドーピングされた半導体層にもなる。また、デプレッション形成層140は、III-V族窒化物半導体からなってもよい。例えば、デプレッション形成層140は、GaN、AlGaN、InN、AlInN、InGaN及びAlInGaNからなってもよく、Mgのようなp型不純物でドーピングされてもよい。具体的な例として、デプレッション形成層140は、p-GaN層またはp-AlGaN層である。このようなデプレッション形成層140によって、その下のチャネル供給層130部分のエネルギーバンドギャップが高くなりながら、二次元電子ガス(2DEG)の断絶領域、または相対的に電子濃度の低い領域が形成されてもよい。

【0043】

10

20

30

40

50

デプレッション形成層 140 上には、絶縁層 150 が形成される。絶縁層 150 は、以下では、ゲート絶縁層 150 と称する。ゲート絶縁層 150 は、チャネル供給層 130 上に延長されるように形成されてもよい。ゲート絶縁層 150 は、およそ 50 ~ 300 nm 厚に形成されてもよい。ゲート絶縁層 150 は、例えば、 Al_2O_3 、 SiO_x 、 Si_xN_y 、 Sc_2O_3 、 AlN 、 Ga_2O_3 、 Gd_2O_3 、 $Al_xGd_{2(1-x)}O_3$ 、 $Al_xGa_{2(1-x)}O_3$ 、 MgO 及びこれらの組み合わせのうち少なくとも一つを含んでもよい。一方、それら以外にも、一般的なトランジスタで使用される絶縁物質であるならば、いずれもゲート絶縁層 150 の物質として使用されてもよい。ゲート絶縁層 150 には、デプレッション形成層 140 の表面の少なくとも一部を露出させる開口部 152 が形成される。例えば、開口部 152 は、デプレッション形成層 140 の第 1 部分 141 の上面に形成される。開口部 152 は、直径が 0.25 μm 以下の貫通ホールであってもよい。

10

【0044】

ゲート絶縁層 150 上には、ゲート電極 170 が形成されている。ゲート電極 170 は、デプレッション形成層 140 の上に配置され、開口部 152 を介して、デプレッション形成層 140 と接触するように形成される。ゲート電極 170 は、図 2 から分かるように、デプレッション形成層 140 より狭い面積で形成されてもよい。ゲート電極 170 及びデプレッション形成層 140 の接触面積が狭いので、漏れ電流が少なくなる。ゲート電極 170 は、多様な金属物質または金属化合物などを含んでもよい。デプレッション形成層 140 は、ゲート電極 170 領域より広く形成されてもよい。

20

【0045】

図 1 に図示されたように、デプレッション形成層 140 は、図 1 では、2 つの厚みを有すると図示されているが、本発明は、これに限定されるものではない。例えば、デプレッション形成層 140 は、複数の厚みを有し、最も厚い厚みを有する部分が中央部、または中央部からソース電極に近く形成され、中央部の両側から順次に厚みが薄くなる部分が形成されてもよい。

【0046】

図 3 A ないし図 3 C は、本発明の一実施形態によるノーマリーオフ高電子移動度トランジスタ 100 の作用について説明する図面である。以下では、相対的に電子濃度が高い二次元電子ガス (2DEG) の領域と、相対的に電子濃度が低い二次元電子ガス (2DEG) 領域とをドットの太さで区分して図示した。ドットの太さが太いほど、電子濃度が高いということを示す。

30

【0047】

以下では、本発明の一実施形態によるノーマリーオフ高電子移動度トランジスタ 100 の作用について、図面を参照して説明する。

【0048】

図 1 は、高電子移動度トランジスタ 100 のノーマリーオフ状態を図示したものである。第 1 部分 141 下部の領域には、二次元電子ガス (2DEG) がない断絶領域 D が形成される。

【0049】

図 3 A を参照すれば、ゲート電極 170 に、しきい値電圧 (threshold voltage) 以上の電圧を印加すれば、断絶領域 D に二次元電子ガス (2DEG) が生成され、高電子移動度トランジスタ 100 がオン状態になる。ゲート電極 170 の下部に形成されたチャネルがオン状態になることにより、チャネル層 120 に形成された二次元電子ガス (2DEG) を経由して電流が流れる。しきい値電圧は、デプレッション形成層 140 の第 1 部分 141 の厚みと、第 1 部分 141 のドーピング濃度とによって異なってもよい。

40

【0050】

図 3 B を参照すれば、ゲート電極 170 に、デプレッション形成層 140 の第 2 部分 142 及び第 3 部分 143 の正孔注入 (hole injection) 電圧より高い電圧

50

を印加すれば、第２部分１４２及び第３部分１４３からチャネル供給層１３０に正孔が注入され、二次元電子ガス（２ＤＥＧ）に注入された正孔に対応し、デプレッション形成層１４０下部領域の二次元電子ガス（２ＤＥＧ）の電子濃度が上昇する。従って、オン抵抗が低下する。

【００５１】

図３Ｃを参照すれば、ゲート電極１７０に、デプレッション形成層１４０の第１部分１４１の正孔注入電圧より高い電圧を印加すれば、デプレッション形成層１４０の第１部分１４１ないし第３部分１４３からチャネル供給層１３０に正孔が注入され、注入された正孔に対応し、二次元電子ガス（２ＤＥＧ）の電子濃度が上昇する。従って、オン抵抗がさらに低下する。

10

【００５２】

本発明の実施形態によるノーマリーオフ高電子移動度トランジスタ１００は、ゲート電極１７０下部のデプレッション形成層１４０の面積が拡大され、ゲート領域が拡張される。ゲート電極１７０及びデプレッション形成層１４０の接触面積が狭いので、漏れ電流が少なくなる。

【００５３】

ゲート電極１７０にゼロ電圧が印加されるとき、デプレッション形成層１４０の第１部分１４１及びゲート電極１７０によって電界が分散し、従って、高電子移動度トランジスタの降伏電圧が上昇する。

【００５４】

20

また、デプレッション形成層１４０が、ソース電極１６１から離隔されるように形成されるので、ゲート電極１７０からソース電極１６１に連結される漏れ電流経路を遮断することができる。

【００５５】

図４は、本発明の他の実施形態によるノーマリーオフ高電子移動度トランジスタ２００の構造を概略的に示す断面図である。図１のノーマリーオフ高電子移動度トランジスタ１００の構成要素と実質的に同一の構成要素には、同一の参照番号を使用して詳細な説明は省略する。

【００５６】

図４を参照すれば、チャネル供給層１３０上には、デプレッション形成層２４０が設けられる。デプレッション形成層２４０は、第１厚みＴ１を有した第１部分２４１と、第２厚みＴ２を有した第２部分２４２及び第３部分２４３と、を含む。第１部分２４１は、ストリップ状を有し、第２部分２４２及び第３部分２４３は、第１部分２４１の長手方向に、第１部分２４１の両側に長く形成される。しかし、本発明の実施形態は、これに限定されるものではなく、デプレッション形成層２４０は、多様な形態に形成されてもよい。

30

【００５７】

第２部分２４２及び第３部分２４３は、ソース電極１６１及びドレイン電極１６２と接触するように形成されてもよい。第１部分２４１は、ドレイン電極１６２より、ソース電極１６１側に偏るように形成されてもよい。

【００５８】

40

デプレッション形成層２４０は、二次元電子ガス（２ＤＥＧ）に、デプレッション領域を形成する役割を行うことができる。デプレッション形成層２４０によって、その下に位置するチャネル供給層１３０部分のエネルギーバンドギャップが高くなり、その結果、デプレッション形成層２４０に対応するチャネル層１２０部分に、二次元電子ガス（２ＤＥＧ）のデプレッション領域が形成される。従って、二次元電子ガス（２ＤＥＧ）において、デプレッション形成層２４０の第１部分２４１に対応する部分は、断絶され、第２部分２４２及び第３部分２４３に該当する部分は、電子濃度が低下する。

【００５９】

図４では、相対的に電子濃度が高い二次元電子ガス（２ＤＥＧ）の領域と、相対的に電子濃度が低い二次元電子ガス（２ＤＥＧ）領域とを、ドットの太さで区分して図示した。

50

ドットの太さが太いほど、電子濃度が高いことを示す。二次元電子ガス(2DEG)が断絶された領域を「断絶領域」ということができ、このような断絶領域によって、高電子移動度トランジスタ200は、ノーマリーオフ特性を有することができる。

【0060】

デプレッション形成層240は、p型半導体物質を含んでもよい。すなわち、デプレッション形成層240は、p型半導体層、またはp型不純物でドーピングされた半導体層にもなる。また、デプレッション形成層240は、III~V族窒化物半導体からなってもよい。例えば、デプレッション形成層240は、GaN、AlGaN、InN、AlInN、InGaN及びAlInGaNからなってもよく、Mgのようなp型不純物でドーピングされもする。具体的な例として、デプレッション形成層240は、p-GaN層またはp-AlGaN層である。このようなデプレッション形成層240によって、その下のチャンネル供給層130部分のエネルギーバンドギャップが高くなりながら、二次元電子ガス(2DEG)の断絶領域、または相対的に電子濃度の低い領域が形成される。

10

【0061】

本発明の他の実施形態によるノーマリーオフ高電子移動度トランジスタ200は、デプレッション形成層240の両端のエッチング工程が不要であるので、高電子移動度トランジスタ200の製造工程が容易になる。

【0062】

また、デプレッション形成層240の第2部分242及び第3部分243の拡張により、オン抵抗がさらに低くなる。

20

【0063】

図5は、本発明のさらに他の実施形態によるノーマリーオフ高電子移動度トランジスタ300の構造を概略的に示す断面図である。図1のノーマリーオフ高電子移動度トランジスタ100の構成要素と実質的に同一の構成要素には、同一の参照番号を使用し、詳細な説明は省略する。

【0064】

図5を参照すれば、チャンネル供給層130上には、デプレッション形成層340が設けられる。デプレッション形成層340は、第1厚みT1を有した第1部分341と、第2厚みT2を有した第2部分342及び第3部分343と、を含む。第1部分341は、ストリップ状を有し、第2部分342及び第3部分343は、第1部分341の長手方向に、第1部分341の両側に長く形成されてもよい。しかし、本発明の実施形態は、これに限定されるものではなく、デプレッション形成層340は、多様な形態に形成されてもよい。

30

【0065】

第2部分342は、ソース電極161と離隔されるように形成され、第3部分343は、ドレイン電極162と離隔されるように形成されてもよい。発明の実施形態は、これに限定されるものではない。第2部分342及び第3部分343は、図4の第2部分242及び第3部分243のように、延長されてソース電極161及びドレイン電極162と接触するように形成されてもよい。第1部分341は、ドレイン電極162より、ソース電極161方向に偏るように形成されてもよい。

40

【0066】

デプレッション形成層340は、二次元電子ガス(2DEG)に、デプレッション領域を形成する役割を行うことができる。デプレッション形成層340によって、その下に位置するチャンネル供給層130部分のエネルギーバンドギャップが高くなり、その結果、デプレッション形成層340に対応するチャンネル層120部分に、二次元電子ガス(2DEG)のデプレッション領域が形成される。従って、二次元電子ガス(2DEG)において、デプレッション形成層340の第1部分341に対応する部分は、断絶され、第2部分342及び第3部分343に該当する部分は、電子濃度が低下する。

【0067】

図5では、相対的に電子濃度が高い二次元電子ガス(2DEG)の領域、と相対的に電

50

子濃度が低い二次元電子ガス(2DEG)領域とをドットの太さで区分して図示した。ドットの太さが太いほど、電子濃度が高いことを示す。二次元電子ガス(2DEG)が断絶された領域を「断絶領域」ということができ、このような断絶領域によって、高電子移動度トランジスタ300は、ノーマリーオフ特性を有することができる。

【0068】

デプレッション形成層340は、p型半導体物質を含んでもよい。すなわち、デプレッション形成層340は、p型半導体層、またはp型不純物でドーピングされた半導体層にもなる。また、デプレッション形成層340は、III~V族窒化物半導体からなってもよい。例えば、デプレッション形成層340は、GaN、AlGaN、InN、AlInN、InGaN及びAlInGaNからなってもよく、Mgのようなp型不純物でドーピングされもする。具体的な例として、デプレッション形成層340は、p-GaN層またはp-AlGaN層である。このようなデプレッション形成層340によって、その下のチャネル供給層130部分のエネルギーバンドギャップが高くなりながら、二次元電子ガス(2DEG)の断絶領域、または相対的に電子濃度の低い領域が形成されもする。

【0069】

デプレッション形成層340上には、第1ゲート電極371が形成されている。第1ゲート電極371は、主に第1部分341上に形成される。

【0070】

第1ゲート上には、絶縁層350が形成される。絶縁層350は、以下では、ゲート絶縁層350と称する。ゲート絶縁層350は、デプレッション形成層340と、チャネル供給層130とを覆い包むように形成される。ゲート絶縁層350は、およそ50~300nm厚に形成されてもよい。ゲート絶縁層350は、例えば、 Al_2O_3 、 SiO_x 、 Si_xNy 、 Sc_2O_3 、AlN、 Ga_2O_3 、 Gd_2O_3 、 $Al_xGd_{2(1-x)}O_3$ 、 $Al_xGa_{2(1-x)}O_3$ 、MgO及びそれらの組み合わせのうち少なくとも一つを含んでもよい。

【0071】

ゲート絶縁層350上には、第2ゲート電極372が形成されている。具体的には、第2ゲート電極372は、デプレッション形成層340の上に配置される。第1ゲート電極371と第2ゲート電極372は、多様な金属物質または金属化合物などから形成されてもよい。例えば、TiN、W、Pt、WNなどから形成され、W/Ti/Al/Ti/TiN多重層構造によっても形成される。第1ゲート電極371は、およそ100~300nm厚に形成されてもよい。

【0072】

第1ゲート電極371と第2ゲート電極372は、ワイヤ375によって電氣的に連結される。

【0073】

図6は、第1ゲート電極371及び第2ゲート電極372の電氣的連結を示す平面図である。便宜上、一部構成要素を図示していない。

【0074】

図6を参照すれば、第1ゲート電極371上に、第2ゲート電極372が形成され、第1ゲート電極371は、第2ゲート電極372によって露出されるように形成される。ワイヤ375は、露出された第1ゲート電極371と第2ゲート電極372とを連結する。

【0075】

図6では、ワイヤ375を利用して、第1ゲート電極371と第2ゲート電極372とを連結するが、本発明の実施形態は、これに限定されるものではない。例えば、第2ゲート電極372が露出された第1ゲート電極371に直接接触するように形成されてもよい。

【0076】

また、前述の実施形態から分かるように、ゲート絶縁層に形成された開口部152(図1)を介して、第1ゲート電極371と第2ゲート電極372とが電氣的に連結されても

10

20

30

40

50

よい。

【 0 0 7 7 】

本発明の実施形態によるノーマリーオフ高電子移動度トランジスタは、オフ状態での電流漏れを防止し、ターンオン抵抗が低くなる。また、デプレッション形成層の拡張によって電界が分散され、高電子移動度トランジスタの降伏電圧が上昇する。

【 0 0 7 8 】

以上、本発明の実施形態について説明したが、それらは、例示的なものに過ぎず、当分野で当業者であるならば、それらから多様な変形及び均等な他の実施形態が可能であるという点を理解するであろう。

【 0 0 7 9 】

以上、添付された図面を参照して説明した本発明の実施形態は、例示的なものに過ぎず、当分野で当業者であるならば、それらから多様な変形及び均等な他の実施形態が可能であるということを理解することができるであろう。従って、本発明の真の保護範囲は、特許請求の範囲によってのみ決定されるものである。

【 産業上の利用可能性 】

【 0 0 8 0 】

本発明のノーマリーオフ高電子移動度トランジスタは、例えば、パワー素子関連の技術分野に効果的に適用可能である。

【 符号の説明 】

【 0 0 8 1 】

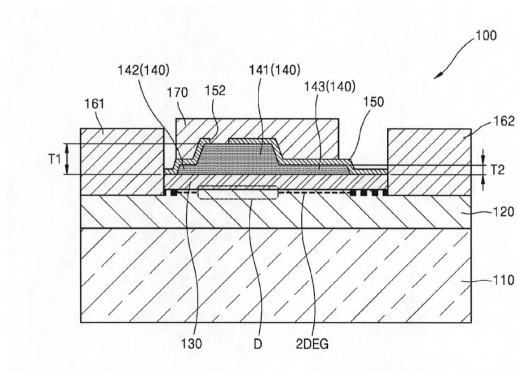
1 0 0 , 2 0 0 , 3 0 0	ノーマリーオフ高電子移動度トランジスタ
1 1 0	基板
1 2 0	チャネル層
1 3 0	チャネル供給層
1 4 0 , 2 4 0 , 3 4 0	デプレッション形成層
1 4 1 , 2 4 1 , 3 4 1	第 1 部分
1 4 2 , 2 4 2 , 3 4 2	第 2 部分
1 4 3 , 2 4 3 , 3 4 3	第 3 部分
1 5 0 , 3 5 0	絶縁層
1 5 2	開口部
1 6 1	ソース電極
1 6 2	ドレイン電極
1 7 0	ゲート電極
2 4 0	デプレッション形成層
3 7 1	第 1 ゲート電極
3 7 2	第 2 ゲート電極
3 7 5	ワイヤ

10

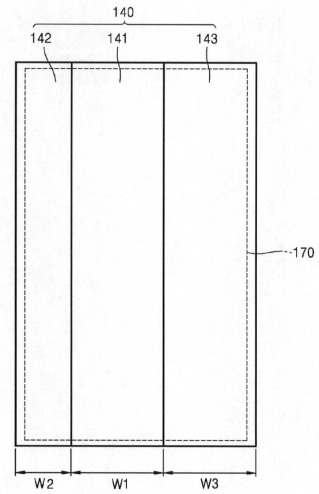
20

30

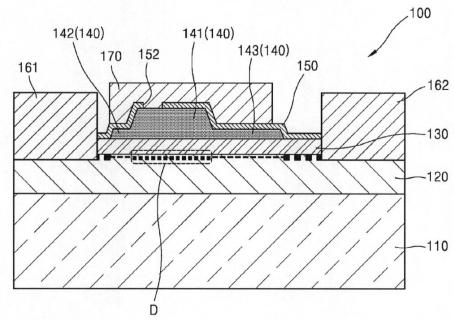
【図 1】



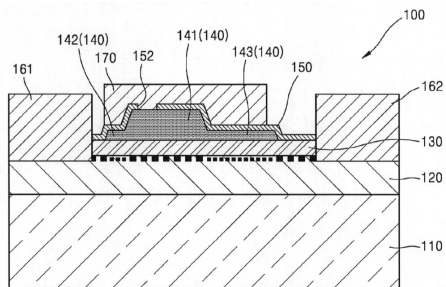
【図 2】



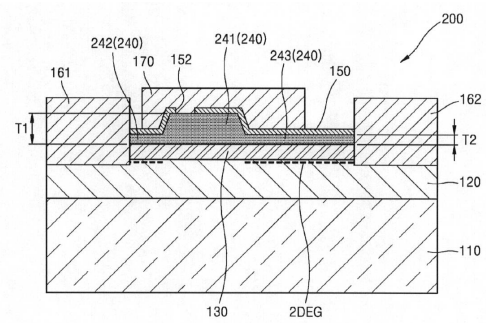
【図 3 A】



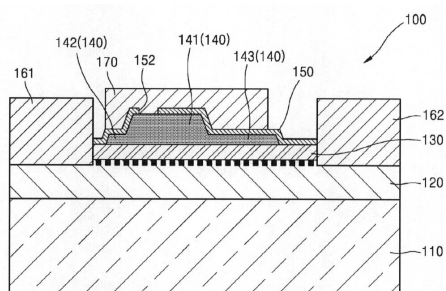
【図 3 B】



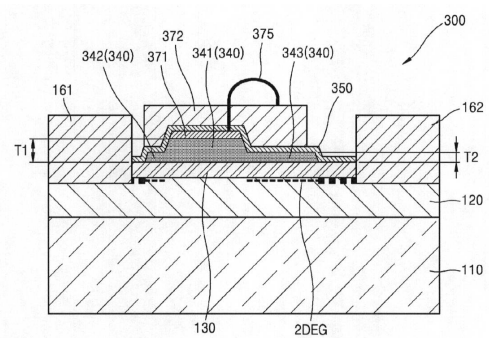
【図 4】



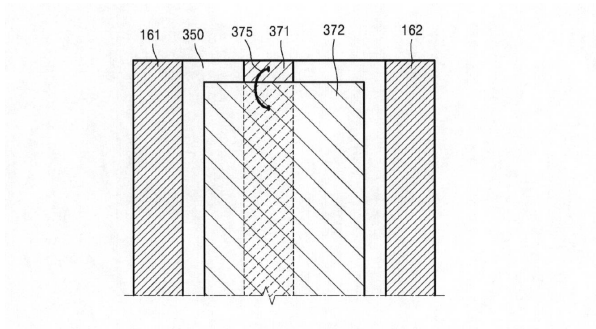
【図 3 C】



【図 5】



【図 6】



フロントページの続き

(51)Int.Cl. F I

H 0 1 L 21/336 (2006.01)

H 0 1 L 29/78 (2006.01)

H 0 1 L 29/06 (2006.01)

(72)発明者 朴 永煥

大韓民国京畿道龍仁市器興區農書洞山 1 4 - 1 番地 三星綜合技術院内

(72)発明者 ▲呉▼ 在浚

大韓民国京畿道龍仁市器興區農書洞山 1 4 - 1 番地 三星綜合技術院内

(72)発明者 金 景▲ヨン▼

大韓民国京畿道龍仁市器興區農書洞山 1 4 - 1 番地 三星綜合技術院内

(72)発明者 金 俊溶

大韓民国京畿道龍仁市器興區農書洞山 1 4 - 1 番地 三星綜合技術院内

(72)発明者 朴 基烈

大韓民国京畿道龍仁市器興區農書洞山 1 4 - 1 番地 三星綜合技術院内

(72)発明者 申 在光

大韓民国京畿道龍仁市器興區農書洞山 1 4 - 1 番地 三星綜合技術院内

(72)発明者 ▲黄▼ ▲スン▼珪

大韓民国京畿道龍仁市器興區農書洞山 1 4 - 1 番地 三星綜合技術院内

審査官 恩田 和彦

(56)参考文献 特開 2 0 1 1 - 1 8 1 9 2 2 (J P , A)

特開 2 0 0 8 - 1 5 9 6 8 1 (J P , A)

特開 2 0 1 1 - 2 0 4 8 7 7 (J P , A)

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

特開 2 0 1 2 - 0 3 3 6 7 9 (J P , A)

特開 2 0 0 8 - 0 9 1 3 9 2 (J P , A)

(58)調査した分野(Int.Cl. , D B 名)

H 0 1 L 2 1 / 3 3 8

H 0 1 L 2 1 / 3 3 6

H 0 1 L 2 1 / 3 3 7

H 0 1 L 2 9 / 0 6

H 0 1 L 2 9 / 7 7 8

H 0 1 L 2 9 / 7 8

H 0 1 L 2 9 / 8 0 8

H 0 1 L 2 9 / 8 1 2