

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第5777586号  
(P5777586)

(45) 発行日 平成27年9月9日(2015.9.9)

(24) 登録日 平成27年7月17日(2015.7.17)

(51) Int.Cl.		F I			
HO 1 L 29/47	(2006.01)	HO 1 L 29/48		D	
HO 1 L 29/872	(2006.01)	HO 1 L 29/48		P	
HO 1 L 21/329	(2006.01)	HO 1 L 29/48		F	
HO 1 L 21/338	(2006.01)	HO 1 L 29/80		H	
HO 1 L 29/778	(2006.01)				

請求項の数 8 (全 13 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号 特願2012-207234 (P2012-207234)  
 (22) 出願日 平成24年9月20日(2012.9.20)  
 (65) 公開番号 特開2014-63830 (P2014-63830A)  
 (43) 公開日 平成26年4月10日(2014.4.10)  
 審査請求日 平成26年8月13日(2014.8.13)

(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  
 (72) 発明者 吉岡 啓  
 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 斉藤 泰伸  
 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 藤本 英俊  
 東京都港区芝浦一丁目1番1号 株式会社  
 東芝内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 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】

III族元素を含む第1の窒化物半導体層と、  
 前記第1の窒化物半導体層上に設けられ、前記第1の窒化物半導体層よりもバンドギャップが大きく、III族元素を含む第2の窒化物半導体層と、  
 前記第2の窒化物半導体層上に設けられ、III族元素を含む第3の窒化物半導体層と、  
 前記第3の窒化物半導体層に接して、前記第3の窒化物半導体層上に設けられた絶縁膜と、  
 前記第2の窒化物半導体層に対してオーミック接触したオーミック電極と、  
 前記第2の窒化物半導体層に対してショットキー接触したショットキー電極と、  
 を備え、  
 前記オーミック電極と前記ショットキー電極との間における前記第3の窒化物半導体層の表面領域は、前記第3の窒化物半導体層の構成元素と異種の元素を、前記第3の窒化物半導体層における前記表面領域よりも前記第2の窒化物半導体層側の領域よりも高濃度で含み、

前記異種の元素を含む領域は、前記第3の窒化物半導体層と前記絶縁膜との界面を挟んで前記第3の窒化物半導体層の前記表面領域および前記絶縁膜の前記第3の窒化物半導体層側の領域に広がっている半導体装置。

【請求項2】

前記異種の元素は、ホウ素、アルゴン、鉄、フッ素または塩素である請求項1記載の半

導体装置。

【請求項 3】

III族元素を含む第1の窒化物半導体層と、

前記第1の窒化物半導体層上に設けられ、前記第1の窒化物半導体層よりもバンドギャップが大きく、III族元素を含む第2の窒化物半導体層と、

前記第2の窒化物半導体層上に設けられ、III族元素を含む第3の窒化物半導体層と、

前記第3の窒化物半導体層に接して、前記第3の窒化物半導体層上に設けられた絶縁膜と、

前記第2の窒化物半導体層に対してオーミック接触したオーミック電極と、

前記第2の窒化物半導体層に対してショットキー接触したショットキー電極と、

を備え、

前記オーミック電極と前記ショットキー電極との間における前記第3の窒化物半導体層の表面領域の前記III族元素と窒素との結合数は、前記第3の窒化物半導体層における前記表面領域よりも前記第2の窒化物半導体層側の領域の前記III族元素と窒素との結合数よりも少ない半導体装置。

10

【請求項 4】

前記第3の窒化物半導体層の前記表面領域の窒素濃度は、前記表面領域よりも前記第2の窒化物半導体層側の前記領域の窒素濃度よりも高い請求項3記載の半導体装置。

【請求項 5】

III族元素を含む第1の窒化物半導体層上に、前記第1の窒化物半導体層よりもバンド

ギャップが大きく、III族元素を含む第2の窒化物半導体層を形成する工程と、

前記第2の窒化物半導体層上に、III族元素を含む第3の窒化物半導体層を形成する工程と、

前記第3の窒化物半導体層上に、前記第3の窒化物半導体層に接する絶縁膜を形成する工程と、

前記第2の窒化物半導体層に対してオーミック接触するオーミック電極を形成する工程と、

前記オーミック電極を形成した後、アニールする工程と、

前記アニールの後、前記第3の窒化物半導体層の表面領域に、イオン注入法により、前記第3の窒化物半導体層の構成元素と異種または同種の元素を注入する工程と、

を備えた半導体装置の製造方法。

20

30

【請求項 6】

前記オーミック電極を形成した後、アニールする工程をさらに備え、

前記アニールの後、前記ショットキー電極を形成する請求項5記載の半導体装置の製造方法。

【請求項 7】

前記第3の窒化物半導体層上に前記絶縁膜を形成した後に、前記第3の窒化物半導体層と前記絶縁膜との界面を挟む前記第3の窒化物半導体層の前記表面領域および前記絶縁膜の前記第3の窒化物半導体層側の領域に、前記元素を注入する請求項5または6に記載の半導体装置の製造方法。

40

【請求項 8】

前記第3の窒化物半導体層上に前記絶縁膜を形成する前に、前記第3の窒化物半導体層の前記表面領域に、前記元素を注入する請求項5または6に記載の半導体装置の製造方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明の実施形態は、半導体装置及びその製造方法に関する。

50

## 【背景技術】

## 【0002】

地球温暖化をはじめとした環境汚染や、資源枯渇の問題などにより、システムの省エネルギー化の重要度が増大している。その動きに伴い、発電、供給された電力エネルギーを実際の機器にて使用する際の電力変換効率の向上による省エネルギー効果が最近高い注目を集めている。電力変換の効率向上には、変換回路に使用されるスイッチングデバイスの性能向上が求められる。

## 【0003】

そのようなスイッチングデバイスとしてパワー半導体デバイスが用いられており、電力変換回路の性能向上にはパワー半導体デバイスの性能向上が求められる。現在広く用いられているシリコンパワー半導体デバイスの性能は、近年の技術進展により、シリコンの材料としての特性によって制限されるところに到達しつつある。

10

## 【0004】

このような背景により、近年、半導体材料を新しいものに変えることにより、パワーデバイスの性能向上を達成しようという研究開発が盛んに行われている。この新しい材料の有力な候補として、窒化ガリウム系材料が挙げられている。

## 【先行技術文献】

## 【特許文献】

## 【0005】

【特許文献1】特開2007-329350号公報

20

## 【発明の概要】

## 【発明が解決しようとする課題】

## 【0006】

本発明の実施形態は、リーク電流の小さい半導体装置及びその製造方法を提供する。

## 【課題を解決するための手段】

## 【0007】

実施形態によれば、半導体装置は、III族元素を含む第1の窒化物半導体層と、III族元素を含む第2の窒化物半導体層と、III族元素を含む第3の窒化物半導体層と、絶縁膜と、オーミック電極と、ショットキー電極と、を備えている。前記第2の窒化物半導体層は、前記第1の窒化物半導体層上に設けられ、前記第1の窒化物半導体層よりもバンドギャップが大きい。前記第3の窒化物半導体層は、前記第2の窒化物半導体層上に設けられている。前記絶縁膜は、前記第3の窒化物半導体層に接して、前記第3の窒化物半導体層上に設けられている。前記オーミック電極は、前記第2の窒化物半導体層に対してオーミック接触している。前記ショットキー電極は、前記第2の窒化物半導体層に対してショットキー接触している。前記オーミック電極と前記ショットキー電極との間における前記第3の窒化物半導体層の表面領域は、前記第3の窒化物半導体層の構成元素と異種の元素を、前記第3の窒化物半導体層における前記表面領域よりも前記第2の窒化物半導体層側の領域よりも高濃度で含み、前記異種の元素を含む領域は、前記第3の窒化物半導体層と前記絶縁膜との界面を挟んで前記第3の窒化物半導体層の前記表面領域および前記絶縁膜の前記第3の窒化物半導体層側の領域に広がっている。

30

40

## 【図面の簡単な説明】

## 【0008】

【図1】第1実施形態の半導体装置の模式断面図。

【図2】第1実施形態の半導体装置の製造方法を示す模式断面図。

【図3】第1実施形態の半導体装置の製造方法を示す模式断面図。

【図4】第1実施形態の半導体装置の製造方法を示す模式断面図。

【図5】第1実施形態の半導体装置の他の製造方法を示す模式断面図。

【図6】第1実施形態の変形例の半導体装置の模式断面図。

【図7】第2実施形態の半導体装置の模式断面図。

【発明を実施するための形態】

50

## 【 0 0 0 9 】

以下、図面を参照し、実施形態について説明する。なお、各図面中、同じ要素には同じ符号を付している。

## 【 0 0 1 0 】

(第1実施形態)

図1は、第1実施形態の半導体装置51の模式断面図である。第1実施形態では、半導体装置51として、ショットキーバリアダイオードを例示する。

## 【 0 0 1 1 】

第1実施形態の半導体装置51は、第1の窒化物半導体層としてのチャネル層3と、チャネル層3よりもバンドギャップが大きい第2の窒化物半導体層としての障壁層4とのヘテロ接合構造を有する。

10

## 【 0 0 1 2 】

チャネル層3は基板1上にバッファ層2を介して設けられ、障壁層4はチャネル層3上に設けられている。

## 【 0 0 1 3 】

障壁層4上には、第3の窒化物半導体層としてのキャップ層5が設けられている。キャップ層5も、障壁層4に対してヘテロ接合している。キャップ層5は、障壁層4の上面を覆って保護している。

## 【 0 0 1 4 】

チャネル層3、障壁層4およびキャップ層5は、III族元素を含む窒化物半導体層である。チャネル層3、障壁層4およびキャップ層5は、III族元素として、例えば、ガリウム(Ga)、アルミニウム(Al)、インジウム(In)などを含み、 $In_x Al_y Ga_{1-x-y} N$  ( $0 < x < 1$ 、 $0 < y < 1$ 、 $x + y < 1$ )で表される窒化物半導体である。

20

## 【 0 0 1 5 】

例えば、チャネル層3はノンドープのGaN層であり、障壁層4はn型AlGaN層であり、キャップ層5はn型あるいはノンドープのGaN層である。

## 【 0 0 1 6 】

基板1およびバッファ層2には、III族元素を含む窒化物半導体のエピタキシャル成長に適した材料が用いられる。基板1は、例えば、サファイア、SiC、Si、GaNなどを用いることができる。バッファ層2は、例えば、AlN、AlGaNなどを用いることができる。

30

## 【 0 0 1 7 】

キャップ層5は、後述するように障壁層4の全面に形成される。その後、キャップ層5の一部が除去され、障壁層4の一部が露出される。その障壁層4が露出した部分の上に、アノード電極7とカソード電極8が設けられる。

## 【 0 0 1 8 】

アノード電極7は、障壁層4に対してショットキー接触したショットキー電極である。カソード電極8は、障壁層4に対してオーミック接触したオーミック電極である。

## 【 0 0 1 9 】

アノード電極7は障壁層4の表面とキャップ層5の表面との段差部を覆い、アノード電極7の一部がキャップ層5の表面上に乗り上げている。カソード電極8は、アノード電極7に対して離間した位置で、障壁層4の表面とキャップ層5の表面との段差部を覆い、カソード電極8の一部がキャップ層5の表面上に乗り上げている。

40

## 【 0 0 2 0 】

キャップ層5上、アノード電極7上およびカソード電極8上には、絶縁膜6が設けられている。絶縁膜6は、無機膜であり、例えばシリコン窒化膜である。あるいは、絶縁膜6として、シリコン酸化膜、シリコン酸窒化膜を用いてもよい。

## 【 0 0 2 1 】

絶縁膜6は、キャップ層5の表面に接し、キャップ層5の表面を覆って保護している。アノード電極7の一部およびカソード電極8の一部は、絶縁膜6から露出され、図示しな

50

い配線層に接続されている。

【 0 0 2 2 】

チャンネル層 3 と障壁層 4 とのヘテロ接合構造において、障壁層 4 の方がチャンネル層 3 よりも格子定数が小さいことから障壁層 4 に歪みが生じる。この歪みによるピエゾ効果により障壁層 4 内にピエゾ分極が生じ、チャンネル層 3 における障壁層 4 との界面付近に 2 次元電子ガスが分布する。この 2 次元電子ガスが、ショットキーバリアダイオードにおけるアノード電極 7 とカソード電極 8 間の電流パスとなる。アノード電極 7 と障壁層 4 との接合によって生じるショットキー障壁より、ダイオードの整流作用が得られる。

【 0 0 2 3 】

実施形態の半導体装置 5 1 は、例えば電力変換用途のパワーデバイスに適している。パワーデバイスにおいて、耐圧とオン抵抗との間には、素子材料で決まるトレードオフの関係がある。実施形態によれば、シリコンよりもワイドバンドギャップの窒化物半導体を用いることで、材料で決まる耐圧とオン抵抗のトレードオフ関係をシリコンに比べて改善でき、低オン抵抗化および高耐圧化が可能である。

【 0 0 2 4 】

また、実施形態によれば、アノード電極 7 とカソード電極 8 との間で絶縁膜 6 に接するキャップ層 5 の表面領域には、イオン注入法により、キャップ層 5 の構成元素と異種または同種の元素が注入されている。図において、イオン注入された元素が分布する領域 9 を模式的に破線で表す。

【 0 0 2 5 】

イオン注入されたキャップ層 5 の表面領域は、キャップ層 5 と絶縁膜 6 との界面から、例えば 2 ~ 2 0 n m ほどの深さの領域である。

【 0 0 2 6 】

キャップ層 5 の構成元素は、例えば、ガリウム ( G a ) 、アルミニウム ( A l ) 、インジウム ( I n ) 、窒素 ( N ) などであり、キャップ層 5 の表面領域に注入されるキャップ層 5 の構成元素と異種の元素は、例えば、ホウ素 ( B ) 、アルゴン ( A r ) 、鉄 ( F e ) 、フッ素 ( F ) 、塩素 ( C l ) などである。

【 0 0 2 7 】

上記異種元素は、キャップ層 5 の表面領域に制限して注入され、キャップ層 5 の下の障壁層 4 には到達しない。また、イオン注入後に、注入された元素を拡散させるアニールは行われない。

【 0 0 2 8 】

したがって、キャップ層 5 の厚み方向で上記異種元素の濃度が変化しており、キャップ層 5 の表面領域の異種元素濃度は、キャップ層 5 における表面領域よりも下の障壁層 4 側の領域の異種元素濃度よりも高い。キャップ層 5 における表面領域よりも下の領域には、イオン注入法で注入された上記異種元素はほとんど含まれていない。

【 0 0 2 9 】

なお、キャップ層 5 には、成膜時の原料に起因した異種元素 ( 例えば、炭素、水素など ) が含まれるが、それら元素の濃度は厚み方向でほとんど変化していない。

【 0 0 3 0 】

また、後述するように、キャップ層 5 上に絶縁膜 6 を形成した後に、絶縁膜 6 の上面側からイオン注入が行われる。このときの注入深さ制御のばらつきにより、上記異種元素を含む領域は、キャップ層 5 と絶縁膜 6 との界面を挟んでキャップ層 5 の表面領域、および絶縁膜 6 のキャップ層 5 側の領域に広がって分布する。

【 0 0 3 1 】

イオン注入された領域 9 では、元素が打ち込まれたときの衝撃により、キャップ層 5 の結晶、およびキャップ層 5 と絶縁膜 6 との界面に存在するホッピング伝導の原因となる界面準位が破壊され、高い絶縁性を有する領域となっている。このため、アノード電極 7 とカソード電極 8 との間の、キャップ層 5 と絶縁膜 6 との界面を介したリーク電流を大幅に低減できる。

10

20

30

40

50

## 【 0 0 3 2 】

チャンネル層 3 及び障壁層 4 にはイオン注入されておらず、チャンネル層 3 及び障壁層 4 は高い結晶性を有する。したがって、電流パス（2次元電子ガス）はイオン注入の影響を受けず、ショットキーバリアダイオードのオン抵抗はイオン注入の影響を受けない。

## 【 0 0 3 3 】

また、キャップ層 5 と絶縁膜 6 との界面に存在する界面準位が破壊されることで、高電圧印加時に上記界面準位に電子が補足されてオン抵抗が増加する現象（電流コラプス現象）を抑えることができる。

## 【 0 0 3 4 】

キャップ層 5 の表面領域には、キャップ層 5 の構成元素と異種の元素をイオン注入することに限らず、キャップ層 5 の構成元素と同種の元素を注入してもよい。この場合でも、イオン注入された領域 9 では、元素が打ち込まれたときの衝撃により、キャップ層 5 の結晶、およびキャップ層 5 と絶縁膜 6 との界面に存在する界面準位が破壊され、高い絶縁性を有する領域となっている。このため、アノード電極 7 とカソード電極 8 との間の、キャップ層 5 と絶縁膜 6 との界面を介したリーク電流を大幅に低減できる。また、電流コラプス現象も抑えることができる。

## 【 0 0 3 5 】

キャップ層 5 の構成元素と同種の元素として例えば窒素（N）がイオン注入法により、キャップ層 5 の表面領域に注入される。窒素は、キャップ層 5 の表面領域に制限して注入されるため、キャップ層 5 の表面領域の窒素濃度は、その表面領域よりも障壁層 4 側の領域の窒素濃度よりも高くなる。

## 【 0 0 3 6 】

したがって、キャップ層 5 の表面領域では III 族元素（例えば Ga）と窒素との組成比が成膜時の組成比から変化する。アノード電極 7 とカソード電極 8 との間で絶縁膜 6 に接するキャップ層 5 の表面領域の III 族元素と窒素との結合（Ga - N 結合）数は、キャップ層 5 における表面領域よりも障壁層 4 側の領域の III 族元素と窒素との結合（Ga - N 結合）数よりも少なくなる。

## 【 0 0 3 7 】

キャップ層 5 における Ga - N 結合数は、例えば、XPS（X-ray Photoelectron Spectroscopy）法により、Ga - N 結合ピークの半値幅やピーク強度を分析することで検出することができる。

## 【 0 0 3 8 】

XPS 法では、試料表面に X 線を照射し、放出される光電子を検出する。放出される光電子は、対象となる原子の内殻電子に起因するものであり、そのエネルギーは元素ごとに定まることから、X 線照射により放出される光電子のエネルギー分布を測定することで、試料表面の元素の種類、存在量、化学結合状態に関する知見を得ることができる。

## 【 0 0 3 9 】

次に、図 2（a）～図 4（b）を参照して、第 1 実施形態の半導体装置 51 の製造方法について説明する。

## 【 0 0 4 0 】

基板 1 上には、図 2（a）に示すように、バッファ層 2、チャンネル層 3、障壁層 4 およびキャップ層 5 が、例えば MOCVD（metal organic chemical vapor deposition）法により順にエピタキシャル成長される。

## 【 0 0 4 1 】

キャップ層 5 を形成した後、図 2（b）に示すように、キャップ層 5 の一部をエッチングして凹部 21 を形成する。例えば、塩素系ガスをを用いた RIE（Reactive Ion Etching）法によって、障壁層 4 の厚み方向の途中までエッチングする。凹部 21 の底に障壁層 4 が露出する。

## 【 0 0 4 2 】

凹部 21 内には、図 3（a）に示すように、オーミック電極であるカソード電極 8 が形

10

20

30

40

50

成される。カソード電極 8 は、例えば、凹部 2 1 の内壁に形成されるチタン膜と、このチタン膜上に形成されるアルミニウム膜との積層膜である。

【 0 0 4 3 】

その積層膜が図示しないレジスト膜をマスクにした蒸着法で形成された後、レジスト膜とともに積層膜の不要部分が除去（リフトオフ）され、凹部 2 1 内に積層膜がカソード電極 8 として残される。

【 0 0 4 4 】

この後、例えば R T A（Rapid Thermal Annealing）法による、750 のアニールが 30 秒間行われる。このアニールにより、カソード電極 8 と障壁層 4 との接触抵抗が低減され、カソード電極 8 と障壁層 4 とはオーミックコンタクトする。

10

【 0 0 4 5 】

カソード電極 8 を形成した後、図 3（b）に示すように、キャップ層 5 における他の一部をエッチングして凹部 2 2 を形成する。例えば、塩素系ガスを用いた R I E 法によって、障壁層 4 の厚み方向の途中までエッチングする。凹部 2 2 の底に障壁層 4 が露出する。

【 0 0 4 6 】

凹部 2 2 内には、図 4（a）に示すように、ショットキー電極であるアノード電極 7 が形成される。アノード電極 7 は、例えば、凹部 2 2 の内壁に形成されるニッケル膜と、このニッケル膜上に形成される金膜との積層膜である。

【 0 0 4 7 】

その積層膜が図示しないレジスト膜をマスクにした蒸着法で形成された後、レジスト膜とともに積層膜の不要部分が除去（リフトオフ）され、凹部 2 2 内に積層膜がアノード電極 7 として残される。

20

【 0 0 4 8 】

カソード電極 8 と障壁層 4 とのオーミックコンタクトをとるアニールの後に、アノード電極 7 が形成される。したがって、カソード電極 8 と障壁層 4 とのオーミックコンタクトをとるアニールによって、アノード電極 7 と障壁層 4 とがオーミックコンタクトしてしまうことがなく、アノード電極 7 と障壁層 4 とのショットキーコンタクトが維持される。

【 0 0 4 9 】

なお、凹部 2 2 は、図 6（a）に示すように、チャンネル層 3 に達してもよく、アノード電極 7 はチャンネル層 3 にショットキーコンタクトしてもよい。

30

【 0 0 5 0 】

アノード電極 7 を形成した後、図 4（b）に示すように、キャップ層 5 上、アノード電極 7 上、およびカソード電極 8 上に、絶縁膜 6 を形成する。絶縁膜 6 として、例えば C V D（Chemical Vapor Deposition）法によりシリコン窒化膜が形成される。

【 0 0 5 1 】

絶縁膜 6 を形成した後、絶縁膜 6 の上面側から、アノード電極 7 とカソード電極 8 との間で絶縁膜 6 に接するキャップ層 5 の表面領域に、前述した元素をイオン注入法により注入する。

【 0 0 5 2 】

これにより、図 1 に示すように、キャップ層 5 の表面領域およびその表面領域が隣接する絶縁膜 6 におけるキャップ層 5 との界面側の領域に、イオン注入により結晶および界面準位が破壊された領域 9 が形成される。

40

【 0 0 5 3 】

なお、図 5（a）に示すように、絶縁膜 6 を形成する前に、キャップ層 5 の表面領域に上記元素をイオン注入し、その後、図 5（b）に示すように、絶縁膜 6 を形成してもよい。

【 0 0 5 4 】

この場合、図 5（b）に示すように、イオン注入された領域 9 は、キャップ層 5 の表面には形成されるが、絶縁膜 6 には形成されない。

【 0 0 5 5 】

50

イオン注入後にアニールは行われぬ。そして、実施形態によれば、カソード電極 8 と障壁層 4 とのオーミックコンタクトをとるアニールの後に、キャップ層 5 の表面領域にイオン注入が行われる。したがって、イオン注された元素がアニールによって拡散することがない。このため、注入された元素は、キャップ層 5 の表面領域に制限され、電流パスの形成に寄与するチャンネル層 3 及び障壁層 4 はイオン注入の影響を受けず、結晶性が損なわれずにオン抵抗の低下をまねかない。

【 0 0 5 6 】

イオン注入された領域 9 は、アノード電極 7 とカソード電極 8 との間のキャップ層 5 の表面領域の全面にわたって形成されることに限らない。イオン注入された領域 9 は、図 6 ( b ) に示すように、アノード電極 7 近傍のキャップ層 5 の表面領域と、カソード電極 8 近傍のキャップ層 5 の表面領域に選択的に形成してもよい。

10

【 0 0 5 7 】

この場合でも、キャップ層 5 と絶縁膜 6 との界面を介した電流リークパスの一部に、結晶及び界面準位の破壊による高い絶縁性を与えることができる。また、電流コラプス現象の原因となる高電圧印加時の電子のトラップは、電極近傍で起こりやすいため、電極近傍の界面準位の破壊は電流コラプス現象の抑制に有効となる。

【 0 0 5 8 】

以上説明した第 1 実施形態によれば、オン時の電流パスの形成に寄与するチャンネル層 3 及び障壁層 4 の性能を劣化させることなく、リーク電流が小さいショットキーバリアダイオードを提供できる。

20

【 0 0 5 9 】

( 第 2 実施形態 )

図 7 ( a ) は、第 2 実施形態の半導体装置 6 1 の模式断面図である。第 2 実施形態では、半導体装置 6 1 として、ショットキーゲートトランジスタを例示する。

【 0 0 6 0 】

第 2 実施形態の半導体装置 6 1 は、オーミック電極としてドレイン電極 1 1 とソース電極 1 2 が設けられ、ショットキー電極としてゲート電極 1 3 が設けられている点で、第 1 実施形態の半導体装置 ( ショットキーダイオード ) 5 1 と異なる。

【 0 0 6 1 】

第 2 実施形態の半導体装置 6 1 において、第 1 実施形態の半導体装置 5 1 と同じ要素には同じ符号を付し、その詳細な説明は省略する場合がある。

30

【 0 0 6 2 】

第 2 実施形態の半導体装置 6 1 は、第 1 の窒化物半導体層としてのチャンネル層 3 と、チャンネル層 3 よりもバンドギャップが大きい第 2 の窒化物半導体層としての障壁層 4 とのヘテロ接合構造を有する。

【 0 0 6 3 】

チャンネル層 3 は基板 1 上にバッファ層 2 を介して設けられ、障壁層 4 はチャンネル層 3 上に設けられている。障壁層 4 上には、第 3 の窒化物半導体層としてのキャップ層 5 が設けられている。

【 0 0 6 4 】

キャップ層 5 は、第 1 実施形態と同様に障壁層 4 の全面に形成された後、一部が除去される。キャップ層 5 の一部が除去された凹部内に、ドレイン電極 1 1 、ソース電極 1 2 、およびゲート電極 1 3 が設けられる。

40

【 0 0 6 5 】

ドレイン電極 1 1 、ソース電極 1 2 およびゲート電極 1 3 は互いに離間し、ドレイン電極 1 1 とソース電極 1 2 との間にゲート電極 1 3 が設けられている。

【 0 0 6 6 】

ドレイン電極 1 1 、ソース電極 1 2 およびゲート電極 1 3 のそれぞれは、障壁層 4 の表面とキャップ層 5 の表面との段差部を覆い、各電極 1 1 、 1 2 、 1 3 の一部がキャップ層 5 の表面上に乗り上げている。

50

## 【0067】

キャップ層5上、ドレイン電極11上、ソース電極12上およびゲート電極13上には、絶縁膜6が設けられている。絶縁膜6は、例えばシリコン窒化膜である。

## 【0068】

絶縁膜6は、キャップ層5の表面に接し、キャップ層5の表面を覆って保護している。各電極11、12、13の一部は、絶縁膜6から露出され、図示しない配線層に接続されている。

## 【0069】

第2実施形態においても、チャンネル層3における障壁層4との界面付近に分布する2次元電子ガスが、ショットキーゲートトランジスタにおける電流パスとなる。ゲート電極13に印加するゲート電圧を制御することで、ゲート電極13下の2次元電子ガス濃度が増減し、ドレイン電極11とソース電極12との間に流れる電流を制御できる。

## 【0070】

第2実施形態においても、各電極間で絶縁膜6に接するキャップ層5の表面領域には、イオン注入法により、キャップ層5の構成元素と異種または同種の元素が注入されている。すなわち、ソース電極12とゲート電極13との間で絶縁膜6に接するキャップ層5の表面領域、およびゲート電極13とドレイン電極11との間で絶縁膜6に接するキャップ層5の表面領域に、イオン注入された領域9が形成されている。

## 【0071】

キャップ層5と異種または同種の元素は、キャップ層5の表面領域に制限して注入され、キャップ層5の下の障壁層4には到達しない。また、イオン注入後に、注入された元素を拡散させるアニールは行われない。

## 【0072】

キャップ層5上に絶縁膜6を形成した後に、絶縁膜6の上面側からイオン注入が行われた場合には、そのときの注入深さ制御のばらつきにより、イオン注入領域9は、キャップ層5と絶縁膜6との界面を挟んでキャップ層5の表面領域、および絶縁膜6におけるキャップ層5側の領域に広がって分布する。

## 【0073】

あるいは、絶縁膜6を形成する前にキャップ層5の表面領域にイオン注入した場合には、絶縁膜6にはイオン注入領域9は形成されない。

## 【0074】

第2実施形態においても、イオン注入された領域9では、元素が打ち込まれたときの衝撃により、キャップ層5の結晶、およびキャップ層5と絶縁膜6との界面に存在する界面準位が破壊され、高い絶縁性を有する領域となっている。このため、ゲート電極13とドレイン電極11間、およびゲート電極13とソース電極12間の、キャップ層5と絶縁膜6との界面を介したリーク電流を大幅に低減できる。

## 【0075】

チャンネル層3及び障壁層4にはイオン注入されておらず、チャンネル層3及び障壁層4は高い結晶性を有する。したがって、電流パス(2次元電子ガス)はイオン注入の影響を受けず、ショットキーゲートトランジスタのオン抵抗はイオン注入の影響を受けない。

## 【0076】

また、キャップ層5と絶縁膜6との界面に存在する界面準位が破壊されることで、高電圧印加時の電流コラプス現象を抑えることができる。

## 【0077】

第2実施形態においても、オーミック電極のアニールの後に、ショットキー電極が形成され、さらにその後に、キャップ層5の表面領域にイオン注入が行われる。

## 【0078】

すなわち、ドレイン電極11とソース電極12を形成した後、アニールによりドレイン電極11と障壁層4とのオーミックコンタクトがとられ、ソース電極12と障壁層4とのオーミックコンタクトがとられる。

10

20

30

40

50

## 【0079】

その後、ゲート電極13が形成されるため、オーミック電極と障壁層4とのオーミックコンタクトをとるアニールによって、ゲート電極13と障壁層4とがオーミックコンタクトしてしまうことがなく、ゲート電極13と障壁層4とのショットキーコンタクトが維持される。

## 【0080】

また、イオン注された元素が上記アニールによって拡散することがない。このため、注入された元素は、キャップ層5の表面領域に制限され、電流パスの形成に寄与するチャンネル層3及び障壁層4はイオン注入の影響を受けず、結晶性が損なわれずにオン抵抗の低下をまねかない。

10

## 【0081】

なお、第2実施形態においても、イオン注入された領域9は、オーミック電極とショットキー電極との間のキャップ層5の表面領域の全面にわたって形成されることに限らない。イオン注入された領域9は、図7(b)に示すように、例えば、ゲート電極13近傍のキャップ層5の表面領域と、ドレイン電極11近傍のキャップ層5の表面領域に選択的に形成してもよい。

## 【0082】

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。

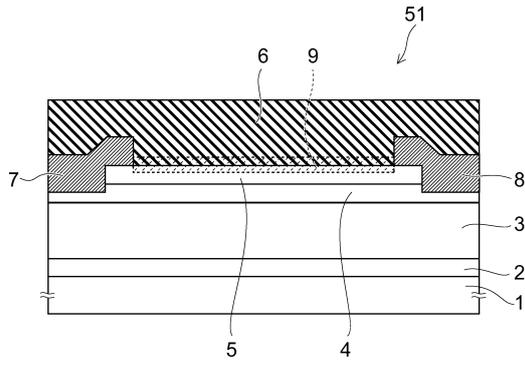
20

## 【符号の説明】

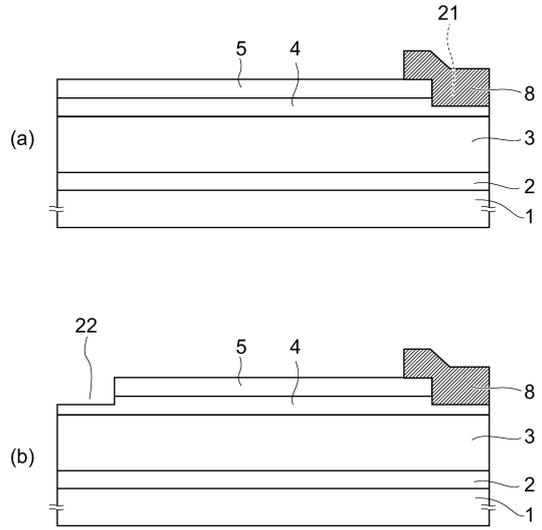
## 【0083】

1...基板、2...バッファ層、3...第1の窒化物半導体層(チャンネル層)、4...第2の窒化物半導体層(障壁層)、5...第3の窒化物半導体層(キャップ層)、6...絶縁膜、7...アノード電極、8...カソード電極、9...キャップ層の表面領域、11...ドレイン電極、12...ソース電極、13...ゲート電極

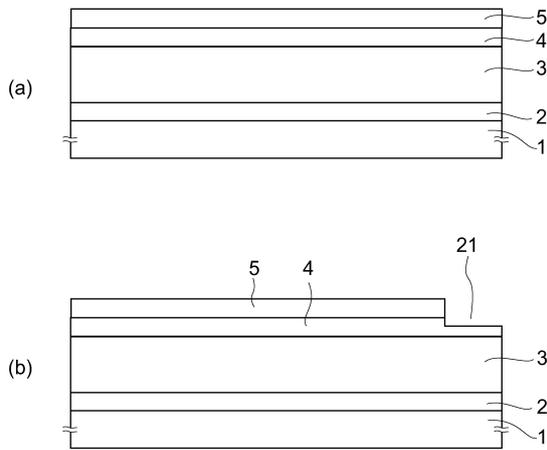
【図1】



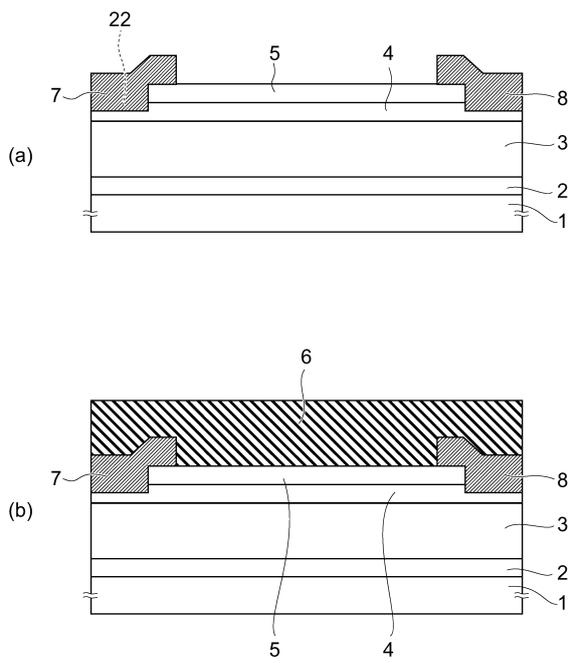
【図3】



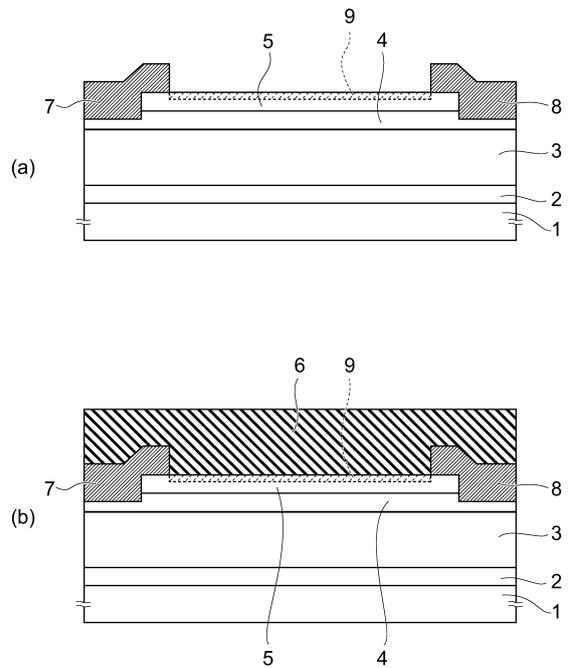
【図2】



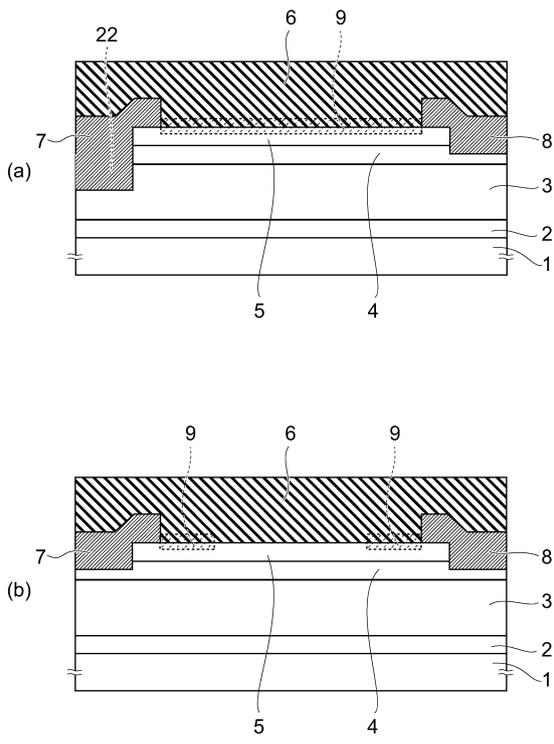
【図4】



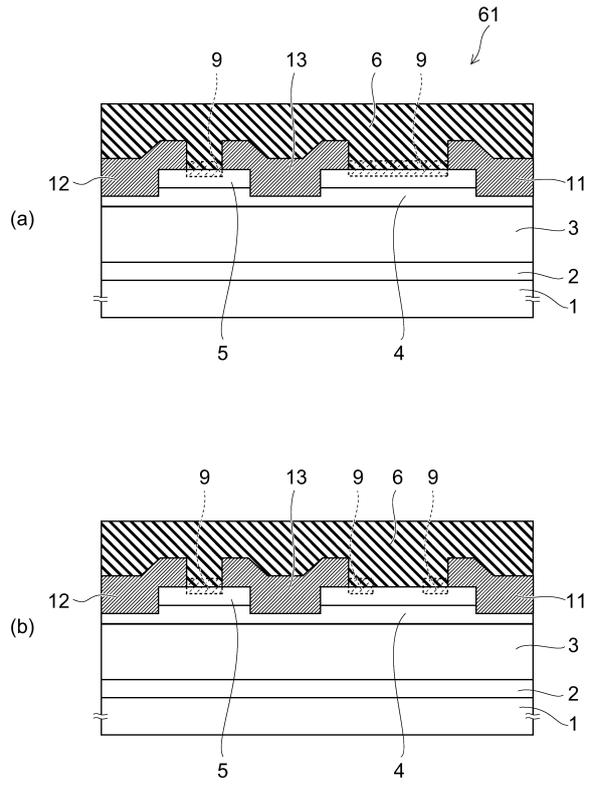
【図5】



【図6】



【図7】



---

フロントページの続き

(51)Int.Cl. F I

H 0 1 L 29/812 (2006.01)

(72)発明者 大野 哲也  
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 仲 敏行  
東京都港区芝浦一丁目1番1号 株式会社東芝内

審査官 河合 俊英

(56)参考文献 特開2011-146613(JP,A)  
特開2007-335736(JP,A)  
特表2010-522435(JP,A)  
米国特許出願公開第2009/0321787(US,A1)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H 0 1 L 29/47  
H 0 1 L 21/329  
H 0 1 L 21/338  
H 0 1 L 29/778  
H 0 1 L 29/812  
H 0 1 L 29/872