(19)日本国特許庁(JP)　(12)特　許　公　報(B2)　(11)特許番号
特許第3856729号
(P3856729)
(45)発行日　平成18年12月13日(2006.12.13)　(24)登録日　平成18年9月22日(2006.9.22)

(51)Int.Cl.		F I		
H01L 29/872	(2006.01)	H01L	29/48	F
H01L 29/47	(2006.01)	H01L	29/48	D
H01L 21/265	(2006.01)	H01L	21/265	Z
		H01L	21/265	602A

請求項の数 11　(全 19 頁)

(21)出願番号　特願2002-157375(P2002-157375)
(22)出願日　平成14年5月30日(2002.5.30)
(65)公開番号　特開2003-60193(P2003-60193A)
(43)公開日　平成15年2月28日(2003.2.28)
審査請求日　平成17年2月25日(2005.2.25)
(31)優先権主張番号　特願2001-167970(P2001-167970)
(32)優先日　平成13年6月4日(2001.6.4)
(33)優先権主張国　日本国(JP)

(73)特許権者　000005821
松下電器産業株式会社
大阪府門真市大字門真１００６番地
(74)代理人　100077931
弁理士　前田　弘
(74)代理人　100094134
弁理士　小山　廣毅
(74)代理人　100110939
弁理士　竹内　宏
(74)代理人　100110940
弁理士　嶋田　高久
(74)代理人　100113262
弁理士　竹内　祐二
(74)代理人　100115059
弁理士　今江　克実

最終頁に続く

(54)【発明の名称】半導体装置およびその製造方法

(57)【特許請求の範囲】
【請求項１】
炭化珪素からなる半導体層と、
上記半導体層にイオン注入して形成されたイオン注入層と、
上記半導体層のうち少なくとも上記イオン注入層を除く領域の上に形成されたショットキー電極と、
上記ショットキー電極とは所定の間隙をもって上記イオン注入層の上に形成された絶縁体層と
を備えている半導体装置。
【請求項２】
請求項１に記載の半導体装置において、
上記ショットキー電極は、上記半導体層のイオン注入層を除く領域と上記イオン注入層とに跨って形成されていることを特徴とする半導体装置。
【請求項３】
請求項１又は２に記載の半導体装置において、
上記ショットキー電極上に形成され、上記ショットキー電極に接触している上部金属電極をさらに備えていることを特徴とする半導体装置。
【請求項４】
請求項３に記載の半導体装置において、
上記上部金属電極は、上記絶縁体層の少なくとも一部を覆っていることを特徴とする半

導体装置。
【請求項５】
請求項１に記載の半導体装置において、
上記ショットキー電極は、上記イオン注入層と接触していないことを特徴とする半導体装置。
【請求項６】
請求項１～５のうちいずれか１つに記載の半導体装置において、
上記ショットキー電極が熱処理されていることを特徴とする半導体装置。
【請求項７】
請求項１～５のうちいずれか１つに記載の半導体装置において、
炭化珪素からなる基板をさらに備え、
上記半導体層は上記基板上にエピタキシャル成長されていることを特徴とする半導体装置。
【請求項８】
請求項１～５のうちいずれか１つに記載の半導体装置において、
Ｓｉからなる基板をさらに備え、
上記半導体層は上記基板上にエピタキシャル成長されていることを特徴とする半導体装置。
【請求項９】
請求項１～８のうちいずれか１つに記載の半導体装置において、
上記半導体装置は、ショットキーダイオードとして機能することを特徴とする半導体装置。
【請求項１０】
炭化珪素からなる半導体層に接するショットキー電極を有する半導体装置の製造方法であって、
上記半導体層の上にイオン注入用マスクを形成する工程（ａ）と、
上記イオン注入マスクの上方から上記半導体層内にドーパントとなる不純物イオンを注入して、イオン注入層を形成する工程（ｂ）と、
上記イオン注入層の上に、絶縁体層を形成する工程（ｃ）と、
上記絶縁体層の上に、ショットキー電極を形成しようとする領域に開口部を有するレジスト膜を形成する工程（ｄ）と、
上記レジスト膜をマスクとする等方性エッチングにより、上記イオン注入用マスクを除去するとともに、上記絶縁体層に上記レジスト膜の開口部よりも大きい開口部を形成する工程（ｅ）と、
上記レジスト膜の上方から金属膜を堆積した後、レジスト膜を除去することにより、上記絶縁体層との間に所定の間隙を有するショットキー電極を残す工程（ｆ）と
を含む半導体装置の製造方法。
【請求項１１】
請求項１０に記載の半導体装置の製造方法において、
上記工程（ｂ）の後で上記工程（ｄ）の前に、１２００℃以下の温度で熱処理を行なう工程をさらに含むことを特徴とする半導体装置の製造方法。
【発明の詳細な説明】
【０００１】
【発明の属する技術分野】
本発明は、炭化珪素層を用いた半導体装置に係り、特に、大電流，高耐圧用の炭化珪素半導体装置およびその製造方法に関するものである。
【０００２】
【従来の技術】
炭化珪素（シリコンカーバイド、ＳｉＣ）は珪素（Ｓｉ）に比べて高硬度でワイドバンドギャップを有する半導体であり、パワーデバイスや耐環境デバイス、高温動作デバイス、

高周波デバイス等に応用されている材料である。

【０００３】

パワーデバイスとしては、Ｓｉを用いたスイッチング素子が多く用いられており、スイッチング素子を整流素子として機能させる場合には、耐圧が必要なためにｐｎダイオードが用いられる。しかし、ｐｎダイオードはスイッチング損失が大きい。このため、よりスイッチング損失の小さいショットキーダイオードが望ましいが、Ｓｉの物性的限界から、Ｓｉでショットキーダイオードを形成した場合には所望の耐圧が得られない。そこで、高耐圧でスイッチング損失が小さいスイッチング素子の実現のために、ワイドバンドギャップを有するＳｉＣが注目されている。

【０００４】

図８は、スイッチング素子として代表的な第１の従来例である，ＳｉＣを用いた一般的なショットキーダイオードの断面図である。図８に示すように、この第１の従来例のショットキーダイオード８０は、ｎ型の４Ｈ－ＳｉＣからなる半導体基板８１と、半導体基板８１の上面上にエピタキシャル成長されたｎ型の４Ｈ－ＳｉＣ層８２と、ボロンやアルミニウムなどが注入されたイオン注入層８３と、基板の上面側に設けられ、４Ｈ－ＳｉＣ層８２との間でショットキー障壁を形成するニッケル，チタン等からなるショットキー電極８４と、半導体基板８１の裏面側に設けられたニッケルからなるオーミック電極８５と、ショットキー電極８４を囲む絶縁体層８６とを備えている。

【０００５】

ここで、イオン注入層８３は電界集中を緩和するガードリング構造を形成するために必要であり、ショットキー電極８４の一部とは界面８７において接している。このイオン注入層８３は、ショットキー電極８４がマイナスに、オーミック電極８５がプラスになるように両電極８４，８５間に高電圧を印加した場合の電界集中を緩和する働きを有している。

【０００６】

図９は、スイッチング素子として代表的な第２の従来例である，ＳｉＣを用いた一般的なショットキーダイオードの断面図である。図９に示すように、この第２の例のショットキーダイオード９０は、ｎ型の４Ｈ－ＳｉＣからなる半導体基板８１と、半導体基板８１の上面上にエピタキシャル成長されたｎ型の４Ｈ－ＳｉＣ層８２と、ボロンやアルミニウムなどが注入されたイオン注入層８３と、基板の上面側に設けられ、４Ｈ－ＳｉＣ層８２との間でショットキー障壁を形成するニッケル，チタン等からなるショットキー電極９１と、半導体基板８１の裏面側に設けられたニッケルからなるオーミック電極８５と、ショットキー電極９１を囲む絶縁体層８６とを備えている。第１の例のショットキーダイオード８０とは異なり、第２の例のショットキーダイオード９０のショットキー電極９１は、絶縁体層８６の上面に跨っている。

【０００７】

イオン注入層８３は電界集中を緩和するガードリング構造を形成するために必要であり、ショットキー電極９１の一部とは界面９２において接している。このイオン注入層８３は、ショットキー電極９１がマイナスに、オーミック電極８５がプラスになるように両電極８５，９１間に高電圧を印加した場合の電界集中を緩和する働きを有している。

【０００８】

ここで、図８又は図９に示すショットキーダイオード８０，９０において、イオン注入層８３がガードリングとして機能するためには、注入されたボロン等の不純物を高温熱処理により活性化する必要がある。つまり、ショットキーダイオード８０，９０の製造工程において、ショットキー電極８４，９１を形成する前に、イオン注入層８３の１５００℃を越える高温熱処理が必要である。

【０００９】

なお、例えば、文献（Ito et al., IEEE Electron Device Letters, Vol.17, No.3 (1996) pp139-141）に開示されているように、比較的低温（１０５０℃）でイオン注入層８３を熱処理する例も報告されている。

【００１０】

また、ショットキー電極８４，９１の特性を安定化させるために、ショットキー電極８４，９１を構成する金属膜をパターニングする前又はパターニングした後に、例えば４００℃程度での熱処理が施される。

【００１１】

【発明が解決しようとする課題】

しかしながら、上記従来の半導体装置においては、図８や図９に示すように、ショットキー電極８４と絶縁体層８６とが接する領域、及びショットキー電極９１と絶縁体層８６とが接する領域において、それぞれ変質層８８，９３，９４が形成されることがわかってきた。この変質層８８，９３，９４は、ショットキー電極８４，９１の熱処理の際に、絶縁体層８６との接触部においてショットキー電極８４，９１を構成する金属と絶縁体層８６を構成する絶縁体材料とが反応することによって形成される。そして、変質層８８，９３がイオン注入層８６と接している部分に顕著な電界集中が生じると、漏れ電流が誘発されたり、場合によってはダイオード８０，９０が破壊するおそれがあった。

【００１２】

また、上記従来のショットキーダイオード８０又は９０の製造工程において、イオン注入層８３の活性化のために１５００℃以上の高温熱処理を行なうと、高温熱処理の影響により、４Ｈ－ＳｉＣ層８２の表面に荒れが発生することがあり、ショットキーダイオード８０又は９０における漏れ電流の原因となったり、表面の平坦性が失われることに起因する製造プロセス上の各種条件が変動するおそれがあった。また、高温熱処理時に炉内の不純物が４Ｈ－ＳｉＣ層８２の表面に付着すると、４Ｈ－ＳｉＣ層８２とショットキー電極８４又は９１との界面に不純物が混在することにより、ショットキー障壁の漏れ電流が発生するおそれがある。

【００１３】

このような４Ｈ－ＳｉＣ層８２の表面の荒れや汚染を防止するためには、４Ｈ－ＳｉＣ層８２の上に酸化膜等の保護膜を形成した状態で熱処理を行なうことが好ましいが、１５００℃程度の高温熱処理に耐える保護膜の形成は困難である。

【００１４】

さらに、高温熱処理を行なう際には汎用の装置が使えず、炭化珪素の結晶成長装置のような特殊な高周波誘導加熱装置を用いなければならない。このような高温加熱炉を使用すると、冷却に要する時間も余分に費やすことになるためにスループットが悪く、量産時のコスト面でも不利になる。したがって、イオン注入層８３のより低温での熱処理が好ましい。しかし、イオン注入に伴ってエピタキシャル成長層８２の表面層にはダメージが生じているので、比較的低温でイオン注入層を熱処理した場合には、イオン注入層８３の活性化や結晶構造の回復が不十分である。

【００１５】

実用的なショットキーダイオードは、数アンペア以上の順方向電流が要求されるので、大きな電極面積が必要である。その結果、変質層８８，９３とイオン注入層８３とが接している界面の面積も必然的に大きい。したがって、ショットキーダイオードの変質層の影響による素子破壊の確率は決して低くない。

【００１６】

なお、図８に示す構造においては絶縁体層８６が存在しない例もある。しかし、絶縁体層８６が存在しない場合には、イオン注入層８３の大部分が外方に露出している状態であるので、半導体装置の組み立て工程において問題を生じる。例えば、ショットキー電極８４に金，アルミニウム等のワイヤを接続させる際に、イオン注入層８３が露出していると、ワイヤとイオン注入層８３が接触したり、ワイヤとショットキー電極８４の接触部からワイヤ金属や電極金属が微量ながら飛散することがある。そのために、予期せぬ漏れ電流や素子破壊が生じるおそれがあった。

【００１７】

本発明の目的は、炭化珪素層を利用しながら、素子破壊や漏れ電流の発生が比較的少ない半導体装置およびその製造方法を提供することにある。

【００１８】
【課題を解決するための手段】
本発明の半導体装置は、炭化珪素からなる半導体層と、上記半導体層にイオン注入して形成されたイオン注入層と、上記半導体層のうち少なくとも上記イオン注入層を除く領域の上に形成されたショットキー電極と、上記ショットキー電極とは所定の間隙をもって上記イオン注入層の上に形成された絶縁体層とを備えている。
【００１９】
これにより、ショットキー電極と絶縁体層との間に間隙が存在しているので、ショットキー電極と絶縁体層との反応による変質層が存在しない構造が実現する。したがって、半導体装置における変質層の存在に起因する漏れ電流の発生を抑制することができ、よって、半導体装置に逆バイアスが印加した場合などにおける半導体装置の破壊を抑制することができる。
【００２０】
上記ショットキー電極は、上記半導体層のイオン注入層を除く領域と上記イオン注入層とに跨って形成されていることができる。
【００２１】
上記ショットキー電極上に形成され、上記ショットキー電極に接触している上部金属電極をさらに備えていることができる。
【００２２】
その場合、上記上部金属電極が上記絶縁体層の少なくとも一部を覆っていることにより、ショットキー障壁部への電界の集中が緩和されるので、ガードリング部のわずかな漏れ電流を抑制することができる。
【００２３】
上記ショットキー電極は、上記イオン注入層と接触していないことにより、漏れ電流の抑制機能を顕著に発揮することができる。
【００２４】
上記ショットキー電極が熱処理されていることにより、ショットキー障壁の形成を確保することができる。
【００２５】
炭化珪素からなる基板をさらに備えている場合には、上記半導体層は上記基板上にエピタキシャル成長されていることが好ましい。
【００２６】
また、Ｓｉからなる基板をさらに備えている場合には、上記半導体層は上記基板上にエピタキシャル成長されていることが好ましい。
【００２７】
上記半導体装置は、ショットキーダイオードとして機能することが好ましい。
【００２８】
本発明の第１の半導体装置の製造方法は、炭化珪素からなる半導体層に接するショットキー電極を有する半導体装置の製造工程であって、上記半導体層内にドーパントとなる不純物イオンを注入して、イオン注入層を形成する工程（ａ）と、上記イオン注入層のうち少なくとも一部の上に、絶縁体層を形成する工程（ｂ）とを含み、上記工程（ｂ）は、１２００℃以下の温度で行なわれる。
【００２９】
この方法により、高温処理を必要としないので、半導体層の表面の荒れが抑制され、工程の簡略化やスループットの向上を図ることができる。
【００３０】
上記工程（ｂ）の前に、上記半導体層のうち少なくとも上記イオン注入層を除く領域を覆う保護膜を形成する工程をさらに含むことにより、半導体層の表面の清浄性を確保することができる。
【００３１】

上記保護膜を形成する工程は、上記工程（ａ）の前に行なわれ、上記保護膜は上記工程（ａ）におけるイオン注入時のマスクであることが好ましい。

【００３２】

上記工程（ｂ）では、上記絶縁体層が酸素を含む高温雰囲気中で形成されることにより、工程（ｂ）でイオン注入層の活性化処理を兼ねることができる。

【００３３】

上記工程（ｂ）では、上記絶縁体層が堆積法により形成されることができる。

【００３４】

本発明の第２の半導体装置の製造方法は、炭化珪素からなる半導体層に接するショットキー電極を有する半導体装置の製造方法であって、上記半導体層の上にイオン注入用マスクを形成する工程（ａ）と、上記イオン注入マスクの上方から上記半導体層内にドーパントとなる不純物イオンを注入して、イオン注入層を形成する工程（ｂ）と、上記イオン注入層の上に、絶縁体層を形成する工程（ｃ）と、上記絶縁体層の上に、ショットキー電極を形成しようとする領域に開口部を有するレジスト膜を形成する工程（ｄ）と、上記レジスト膜をマスクとする等方性エッチングにより、上記イオン注入用マスクを除去するとともに、上記絶縁体層に上記レジスト膜の開口部よりも大きい開口部を形成する工程（ｅ）と、上記レジスト膜の上方から金属膜を堆積した後、レジスト膜を除去することにより、上記絶縁体層との間に所定の間隙を有するショットキー電極を残す工程（ｆ）とを含んでいる。

【００３５】

この方法により、セルアラインにより、互いに間隙を挟んで対向する絶縁体層とショットキー電極とを形成することが容易となる。

【００３６】

上記工程（ｂ）の後で上記工程（ｄ）の前に、１２００℃以下の温度で熱処理を行なう工程をさらに含むことが好ましい。

【００３７】

【発明の実施の形態】

（第１の実施形態）

図１は、第１の実施形態における半導体装置（ショットキーダイオード）の断面図である。図１に示すように、本実施形態のショットキーダイオード１０は、ｎ型の４Ｈ－ＳｉＣからなる半導体基板１１と、半導体基板１１の上面上にエピタキシャル成長されたｎ型の４Ｈ－ＳｉＣ層１２と、４Ｈ－ＳｉＣ層１２内にボロンを注入して形成されたイオン注入層１３と、基板の上面側に設けられ、イオン注入層１３の一部を含む４Ｈ－ＳｉＣ層１２との間でショットキー障壁を形成するニッケル，チタン等からなるショットキー電極１４と、半導体基板１１の裏面側に設けられたニッケルからなるオーミック電極１５と、ショットキー電極１４を囲む熱酸化膜からなる絶縁体層１６とを備えている。

【００３８】

本実施形態においても、イオン注入層１３は電界集中を緩和するガードリング構造を形成するために必要であり、ショットキー電極１４の一部に接している。このイオン注入層１３は、ショットキー電極１４がマイナスに、オーミック電極１５がプラスになるように両電極１４，１５間に高電圧を印加した場合の電界集中を緩和する働きを有している。

【００３９】

ここで、本実施形態のショットキーダイオード１０の主たる特徴は、ショットキー電極１４と絶縁体層１６とが非接触であることである。

【００４０】

本実施形態では、この構成により、ショットキー電極１４と絶縁体層１６とが互いに接触することなく、両者間に間隙１７が設けられているので、図８又は図９に示す従来のショットキーダイオード８０又は９０のような変質層８８，９３，９４が生じない。したがって、本実施形態のショットキーダイオード１０により、漏れ電流の発生を抑制することができる。

【００４１】
次に、本実施形態のショットキーダイオードの製造工程について、図２（ａ）～（ｈ）を参照しながら説明する。
【００４２】
まず、図２（ａ）に示す工程の前に、（０００１）面から［１１-２０］方向に８°傾いた面を主面とする直径２インチの４Ｈ－ＳｉＣからなる半導体基板１１を準備する。そして、半導体基板１１の上に、４Ｈ－ＳｉＣ層１２をエピタキシャル成長させる。このエピタキシャル成長は、炭素源としてプロパンを、珪素源としてシランを、キャリアガスとして水素を、ドーパントとして窒素を用いて行なわれる。４Ｈ－ＳｉＣ基板１１はｎ型で、抵抗率は約０．０２Ω・ｃｍである。４Ｈ－ＳｉＣ層１２はｎ型であり、キャリア濃度は約１ｘ１０^{16}ｃｍ$^{-3}$であり、膜厚は約９μｍである。エピタキシャル成長の終了時には、高温水素雰囲気により、４Ｈ－ＳｉＣ層１２の表面処理を行なっている。
【００４３】
そして、図２（ａ）に示す工程で、４Ｈ－ＳｉＣ層１２の上に、厚さ約８００ｎｍのSiO_2膜を堆積する。次に、フォトリソグラフィー工程により、SiO_2膜の上に、レジストマスクを形成した後、レジストマスクを用いてSiO_2膜をバッファードフッ酸によりエッチングして、４Ｈ－ＳｉＣ層１２の上に、注入マスクとなる直径１ｍｍのSiO_2マスク２１を形成する。その後、レジストマスクを除去する。
【００４４】
次に、図２（ｂ）に示す工程で、SiO_2マスク２１の上方から４Ｈ－ＳｉＣ層１２内にボロンイオン（B^+）の注入を行なう。このとき、イオン注入の条件は、例えば、傾き角が０度、注入エネルギーが３０ｋｅＶ、ドーズ量が１ｘ１０^{15}／ｃｍ^2、注入時の基板温度が５００℃である。これにより、図２（ｂ）に示すように、イオン注入層１３が形成される。このとき、SiO_2マスク２１にもボロンが注入されるが、SiO_2マスク２１は、ボロンイオンがSiO_2マスクを通過してその直下の４Ｈ－ＳｉＣ層１２に到達しない程度の厚みを有している。
【００４５】
次に、図２（ｃ）に示す工程で、SiO_2マスク２１を残したままで、基板を抵抗加熱炉に導入し、抵抗加熱炉内において、窒素雰囲気中，１１００℃で９０分間熱処理を行なって、イオン注入層１３に注入されたボロンを活性化する。
【００４６】
その後、基板に、水蒸気を含む酸素雰囲気中、１１００℃で６０分間熱酸化処理を施した。これにより、図２（ｃ）に示すように、イオン注入層１３の表面部が熱酸化され、イオン注入層１３の上に、厚さ約２０ｎｍの熱酸化膜２３が形成される。このとき、SiO_2マスク２１があるので、イオン注入層１３のうちSiO_2マスク２１と接している表面部２４は熱酸化の影響を受けにくく、ほとんど酸化されない。
【００４７】
次に、図２（ｄ）に示す工程で、４Ｈ－ＳｉＣ基板１１の裏面上に、厚さ４００ｎｍのニッケル膜（Ｎｉ膜）を堆積する。このＮｉ膜が堆積された基板を窒素雰囲気で１０００℃、５分間の熱処理を行うことにより、Ｎｉからなるオーミック電極１５を形成する。
【００４８】
次に、図２（ｅ）に示す工程で、フォトリソグラフィー工程を行なって、熱酸化膜２３の上に、ショットキー電極を形成しようとする領域を開口したレジストマスクRe1を形成する。レジストマスクRe1の開口の大きさは、例えば直径１．０４ｍｍであり、SiO_2マスク２１よりもわずかに大きくしておく。
【００４９】
次に、図２（ｆ）に示す工程で、バッファードフッ酸（ＢＨＦ）によるウエットエッチングにより、SiO_2マスク２１を除去する。その際、熱酸化膜２３のうちレジスト膜Re1の開口部の縁部付近の領域もエッチング作用を受ける。これにより、熱酸化膜２３をパターニングして、例えば直径１．０４１ｍｍの開口部を有する絶縁体層１６を形成する。つ

まり、SiO_2 マスク２１が除去されてからもウエットエッチングを続けることにより、レジストマスクRe1の開口部（直径約１．０４ｍｍ）よりも大きい開口部を有する絶縁体層１６が形成される。

【００５０】

次に、図２（ｇ）に示す工程で、レジストマスクRe1の上方から電子ビーム蒸着により、厚さ約２００ｎｍのＮｉ膜１４ｘを堆積する。このとき、レジスト膜Re1の上だけでなく、レジストマスクRe1の開口部内で４Ｈ－ＳｉＣ層１２及びイオン注入層１３の上にもＮｉ膜１４ｘが堆積される。

【００５１】

次に、図２（ｈ）に示す工程で、レジストマスクRe1のリフトオフにより、レジストマスクRe1上のＮｉ膜のみを除去して、イオン注入層１３の一部を含む４Ｈ－ＳｉＣ層１２の上に、ショットキー電極１４を形成する。このとき、絶縁体層１６とショットキー電極１４の間には０．５μｍの間隔１７が存在し、両者は接触していない。その後、基板に窒素雰囲気で４００℃で５分間の熱処理を行なうことにより、ショットキー電極１４と４Ｈ－ＳｉＣ層１２との間にショットキー障壁を確実に形成することができる。

【００５２】

以上の工程により、図１に示すショットキーダイオード１０が形成される。

【００５３】

なお、例えば図２（ｅ）に示すレジストマスクRe1を形成することなく、熱酸化膜２３をパターニングして、SiO_2 マスク２１の除去と同時に、大きめの開口部を有する絶縁体層を形成した後、基板上にＮｉ膜を堆積，パターニングすることにより、絶縁体層の開口部よりも小さいショットキー電極を形成することも可能である。しかし、その場合には、ショットキー電極を形成するためのマスクと、熱酸化膜をパターニングするためのマスクとの位置ずれによって、ショットキー電極と熱酸化膜との間の間隙の寸法が位置によってばらつくことになる。

【００５４】

それに対し、本実施形態の製造工程により、図２（ｇ）に示すように、セルフアラインによりショットキー電極１４と絶縁体層１６との間に、ほぼ均一な寸法の間隙１７を容易に形成することができる。

【００５５】

また、SiO_2 マスク２１を残した状態で熱酸化膜からなる絶縁体層１６を形成することにより、SiO_2 マスク２１直下の４Ｈ－ＳｉＣ層１２の表面を清浄に維持しつつ、イオン注入層１３の表面部に生じたダメージ層を除去することができる。しかも、ダメージ層の存在により、酸化が促進されるので、比較的厚い熱酸化膜を形成することができる。

【００５６】

－実験例－

ここで、本実施形態のショットキーダイオードの効果を確認するために、以下の実験を行なった。

【００５７】

比較のため、図８に示す従来例のショットキーダイオードについても作製した。図１に示すショットキーダイオードと異なる点は、絶縁体層としてプラズマＣＶＤによるSiO_2層を用いたことと、絶縁体のウェットエッチングの際にオーバーエッチングを行わない条件、つまりエッチング時間を最小限にとどめて、絶縁体層８６とショットキー電極８４とを接触させていることである。以下、本実施形態のショットキーダイオードをダイオードＡとし、従来のショットキーダイオードをダイオードＢとして表記する。

【００５８】

ダイオードＡおよびＢについて電流電圧特性（Ｉ－Ｖ特性）を評価したところ、両者の順方向Ｉ－Ｖ特性にはほとんど差が見られなかった。しかし、両者の逆方向Ｉ－Ｖ特性には、大きな差が見られた。ダイオードＡでは、逆方向電圧で－６００Ｖを印加した際に破壊した素子が１０％以下であった。破壊の原因はショットキーダイオードの構造によるもの

ではなく、半導体基板１１の結晶やエピタキシャル成長層である４Ｈ－ＳｉＣ層１２内の欠陥によるものである。

【００５９】

それに対し、ダイオードＢでは、ダイオードＡに比べて漏れ電流が若干多く、また－５００Ｖ以上の逆バイアスを印加するとそのほとんどが破壊した。以上のような相違が生じる理由は、以下のように考えられる。

【００６０】

ダイオードＢにおいては、イオン注入層の活性化温度が１１００℃と比較的低温であることから、イオン注入層にはイオン注入に伴うダメージが残存し、結晶欠陥が完全には回復していない。この状態で、図８に示すような変質層８８がイオン注入層８３と接しているとその部分に電界が集中しやすくなり、局所的な漏れ電流を引き起こす原因となり破壊が生じやすいと考えられる。それに対し、ダイオードＡにおいては、図１に示すように、絶縁体層１６とショットキー電極１４とが接触していないので、変質層が形成されないことから、破壊確率が低いと考えられる。

【００６１】

もっとも、従来のショットキーダイオード８０においても、より高温の熱処理によりイオン注入層８３の活性化を十分行なうことはでき、その場合には破壊の確率は減少する。しかし、より高温の熱処理を行なった場合にも、本実施形態のような変質層の存在しない構造の方がより漏れ電流が少なく、破壊の確率が小さい。しかも、あまりに高温の熱処理によって、表面の荒れが激しくなると、それに伴って従来の技術の欄で説明したような不具合が生じるので、それほど高温の熱処理を行なうことは回避すべきである。

【００６２】

－第１の実施形態のプロセスの第１の変形例－

第１の実施形態においては、イオン注入層１３を１１００℃で熱処理した後に熱酸化膜を形成したが、熱処理工程と熱酸化工程を同じ装置内で行なってもよい。例えば、第１の実施形態のプロセスの第１の変形例として、第１の実施形態におけるショットキーダイオードの製造工程において、図２（ｂ）に示すように、イオン注入層１３を形成した後、基板を熱酸化炉に導入し、熱酸化炉中にアルゴンや窒素等の不活性ガスを導入して１１００℃に昇温して一定時間保持する熱処理により、イオン注入層１３を活性化し、続いて、不活性ガス雰囲気を、酸素を含む雰囲気に置換してそのまま熱酸化工程に移行することにより、イオン注入層１３の形成と熱酸化膜２３の形成を連続的に行なってもよい。これにより、製造工程の短縮化が可能となる。

【００６３】

－第１の実施形態のプロセスの第２の変形例－

第１の実施形態のプロセスの第１の変形例においては、イオン注入された４Ｈ－ＳｉＣ層の熱処理工程と熱酸化工程を同じ装置内で行なったが、熱処理工程と熱酸化工程を同時に行なってもよい。例えば、第１の実施形態のプロセスの第２の変形例として、上記第１の実施形態のプロセスの第１の変形例で示したショットキーダイオードの製造工程において、図２（ｂ）に示すように、イオン注入層１３を形成した後、基板を熱酸化炉に導入し、酸素を含む雰囲気中でそのまま所望の温度で熱処理を行なうことにより、酸化雰囲気中での加熱によるイオン注入層１３の活性化と熱酸化膜２３の形成を同時に行なってもよい。もちろん、熱処理時間が不足の場合は、例えば酸素を含む雰囲気を不活性ガス雰囲気に置換してさらに熱処理時間を追加してもよい。これにより、製造工程のさらなる短縮化が可能となる。ただし、熱処理工程と熱酸化工程を同時におこなう場合には、イオン注入層１３内にイオン注入によるダメージがあるために、イオン注入層１３の全部が熱酸化されることがある。そこで、イオン注入時の注入エネルギーをより大きくするか、または、多段注入によりイオン注入層１３の注入深さをより大きくすることにより、イオン注入層１３の全部が熱酸化されないようにすることが好ましい。

【００６４】

また、本実施形態における半導体装置の製造方法においては、イオン注入後の熱処理温度

や熱酸化処理温度を１１００℃としたが、汎用の抵抗加熱炉やランプアニール装置や熱酸化炉が使用できれば、他の特別な加熱装置を必要としないので、その意味で、イオン注入後の熱処理温度や熱酸化処理温度は１２００℃以下であることが望ましい。

－第１の実施形態の構造の第１，第２の変形例－

図３（ａ），（ｂ）は、第１の実施形態の構造の第１，第２の変形例における半導体装置の断面図である。

【００６５】

図３（ａ），（ｂ）に示すように、第１，第２の変形例においては、いずれもショットキー電極１４上に、上部金属電極３１を設けている。これらの変形例のショットキーダイオード３０ａ，３０ｂにおけるその他の要素は、第１の実施形態のショットキーダイオード１０と同じであるので、図１と同じ符号を付して、その説明を省略する。

【００６６】

図３（ａ）に示すように、構造の第１の変形例のショットキーダイオード３０ａにおいては、第１の実施形態と同様に、ショットキー電極１４が４Ｈ－ＳｉＣ層１２の非イオン注入領域とイオン注入層１３とに跨っており、ショットキー電極１４を覆うように、上部金属電極３１が形成されている。この変形例のショットキーダイオード３０ａにおけるその他の要素は、第１の実施形態のショットキーダイオード１０と同じであるので、図１と同じ符号を付して、その説明を省略する。この変形例においては、ショットキー電極１４は、イオン注入層１３と４Ｈ－ＳｉＣ層１２の非イオン注入領域との両方に接しているが、絶縁体層１６とショットキー電極１４とは非接触であり、上部金属電極３１が絶縁体層１６の少なくとも一部を覆っている。予めショットキー電極１４を所望の温度で熱処理しておいて、その後上部金属電極３１を形成することにより、４Ｈ－ＳｉＣ層１２とショットキー電極１４との界面には安定なショットキー界面が形成されるので、上部金属電極３１を形成した後に特に熱処理を必要としない。したがって、ショットキー電極１４と絶縁体層１６の間隙１７に上部金属電極３１が入り込んでも、絶縁体層１６と上部金属電極３１との間に変質層が形成されることはほとんどない。

【００６７】

また、４Ｈ－ＳｉＣ層１２との間にショットキー障壁を形成する必要があるために、ショットキー電極１４を構成する金属材料の種類はある程度限定されるが、上部金属電極３１を構成する金属材料の種類は特に限定されないので、絶縁体層１６に対して変質層を形成しにくい材料を容易に選択することができる。

【００６８】

なお、図３（ａ）に示す第１の変形例において、ショットキー電極１４とイオン注入層１３との接触部３２の面積は小さい方が好ましい。イオン注入層１３の熱処理温度が低温である場合には、接触部３２からわずかながら漏れ電流が観測されることがあるからである。一方、上部金属電極３１と絶縁体層１６との接触部３３の面積はある程度大きい方が好ましい。絶縁体層１６の一部を上部金属電極３１が覆っていることにより、上部金属電極３１と絶縁体層１６との接触部３３が電界集中を緩和するように作用するので、イオン注入層１３上に絶縁体層１６が存在することで、ガードリング部のわずかな漏れ電流をさらに低減することが可能となる。

【００６９】

図３（ｂ）に示す構造の第２の変形例に係るショットキーダイオード３０ｂにおいては、ショットキー電極１４が、４Ｈ－ＳｉＣ層１２の非イオン注入領域のみに接し、イオン注入層１３には接していない構成となっている。この第２の変形例においては、漏れ電流をより効果的に低減することが可能になる。

【００７０】

（第２の実施形態）

図４は、第２の実施形態における半導体装置（ショットキーダイオード）の断面図である。図４に示すように、本実施形態のショットキーダイオード４０は、第１の実施形態における熱酸化膜からなる絶縁体層１６に代えて、熱ＣＶＤ法により形成されたSiO_2膜か

らなる絶縁体層４１を備えている。本実施形態のショットキーダイオード４０におけるその他の要素は、第１の実施形態のショットキーダイオード１０と同じであるので、図１と同じ符号を付して、その説明を省略する。

【００７１】

本実施形態においても、ショットキー電極１４と絶縁体層４１とが互いに接触することなく、両者間に間隙１７が設けられているので、図８又は図９に示す従来のショットキーダイオード８０又は９０のような変質層８８，９３，９４が生じない。したがって、本実施形態のショットキーダイオード４０により、漏れ電流の発生を抑制することができる。

【００７２】

次に、本実施形態のショットキーダイオードの製造工程について、図５（ａ）～（ｅ）を参照しながら説明する。

【００７３】

図５（ａ），（ｂ）に示す工程における処理は、第１の実施形態に示す図２（ａ），（ｂ）に示す処理と同じであるので説明を省略する。

【００７４】

本実施形態においては、図５（ｃ）に示す工程で、SiO_2 マスク２１を残したままで、基板を抵抗加熱炉に導入し、抵抗加熱炉内において、窒素雰囲気中，１１００℃で９０分間熱処理を行なって、イオン注入層１３に注入されたボロンを活性化する。

【００７５】

その後、ＣＶＤ装置を用いて、図５（ｃ）に示すように、熱ＣＶＤ法により、イオン注入層１３およびSiO_2 マスク２１の上に、厚さ約２００ｎｍのSiO_2 膜５１を堆積する。熱ＣＶＤの際、シランガスと一酸化二窒素とを用い、基板温度を８５０℃程度に維持する。

【００７６】

次に、図５（ｄ）に示す工程で、４Ｈ－ＳｉＣ基板１１の裏面上に、厚さ４００ｎｍのニッケル膜（Ｎｉ膜）を堆積した。このＮｉ膜が堆積された基板を窒素雰囲気で１０００℃、５分間の熱処理を行うことにより、Ｎｉからなるオーミック電極１５を形成する。

【００７７】

その後、図５（ｅ）に示す工程で、図２（ｅ）～図２（ｈ）に示す工程と同様のリフトオフ工程を行なって、４Ｈ－ＳｉＣ層１２の非イオン注入領域及びイオン注入層１３に跨るショットキー電極１４を形成する。また、SiO_2 膜５１をパターニングして絶縁体層４１を形成する。このとき、絶縁体層４１とショットキー電極１４の間には２μｍの間隔１７が存在し、両者は接触していない。その後、基板に窒素雰囲気で４００℃で５分間の熱処理を行なうことにより、ショットキー電極１４と４Ｈ－ＳｉＣ層１２との間にショットキー障壁が確実に形成される。

【００７８】

本実施形態により、第１の実施形態と同様に、セルフアラインによる絶縁体層４１とショットキー電極２１との間隙１７を均一に確保することができる。

【００７９】

－実験例－

次に、本実施形態の効果を確認するために行なった実験について説明する。以下の説明においては、第２の実施形態におけるショットキーダイオードをダイオードＣと略して表記する。

【００８０】

ダイオードＣについてもＩ－Ｖ特性を評価した。ダイオードＣの順方向Ｉ－Ｖ特性は、ダイオードＡやＢとほとんど差が見られなかった。ダイオードＣの逆方向Ｉ－Ｖ特性はダイオードＡと同様に優れており、逆方向電圧で－６００Ｖを印加した際に破壊した素子が１０％以下であった。破壊の原因はショットキーダイオードの構造によるものではなく、半導体基板１１の結晶や４Ｈ－ＳｉＣ層１２内の欠陥によるものである。

【００８１】

ダイオードＢにおいては、イオン注入層の活性化温度が１１００℃と比較的低温であることから、イオン注入層にはイオン注入に伴うダメージが残存し、結晶欠陥が完全には回復していない。この状態で、図８に示すような変質層８８がイオン注入層８３と接しているとその部分に電界が集中しやすくなり、局所的な漏れ電流を引き起こす原因となり破壊が生じやすいと考えられる。それに対し、ダイオードＣにおいては、図４に示すように、絶縁体層４１とショットキー電極１４とが接触していないので、変質層が形成されないことから、破壊確率が低いと考えられる。

【００８２】

－第２の実施形態のプロセスの第１の変形例－

第２の実施形態においては、イオン注入層１３を１１００℃で熱処理した後にＣＶＤ装置を用いてSiO_2膜を形成したが、熱処理工程とSiO_2膜形成工程とを同じ装置内で行なってもよい。例えば、第２の実施形態のプロセスの第１の変形例として、第２の実施形態におけるショットキーダイオードの製造工程において、図５（ｂ）に示すように、イオン注入層１３を形成した後、基板をＣＶＤ装置に導入し、ＣＶＤ装置中にアルゴンや窒素等の不活性ガスを導入して１１００℃に昇温して一定時間保持する熱処理により、イオン注入層１３を活性化し、続いて、不活性ガス雰囲気を、シランや一酸化二窒素を含む反応ガス雰囲気に置換してそのままSiO_2膜形成工程に移行することにより、イオン注入層１３の形成とSiO_2膜５１の形成とを連続的に行なってもよい。これにより、製造工程の短縮化が可能となる。

【００８３】

－第２の実施形態のプロセスの第２の変形例－

第２の実施形態の製造工程の第１の変形例においては、イオン注入された４Ｈ－ＳｉＣ層の熱処理工程とSiO_2膜形成工程とを同じ装置内で行なったが、熱処理工程とSiO_2膜形成工程とを同時に行なってもよい。例えば、第２の実施形態の第２の変形例として、上記第２の実施形態のプロセスの第１の変形例で示したショットキーダイオードの製造工程において、図５（ｂ）に示すように、イオン注入層１３を形成した後、基板をＣＶＤ装置に導入し、反応性ガスを含む雰囲気中でそのまま所望の温度でSiO_2膜の堆積を行なうことにより、SiO_2膜形成のための加熱によるイオン注入層１３の活性化とSiO_2膜５１の形成とを同時に行なってもよい。これにより製造工程のさらなる短縮化が可能となる。もちろん、熱処理時間が不足の場合は、例えば反応ガス雰囲気を不活性ガス雰囲気に置換してさらに熱処理時間を追加してもよいし、熱処理温度が低すぎる場合には、さらに所望の温度まで加熱して熱処理を行なってもよい。

【００８４】

また、本実施形態における半導体装置の製造方法においては、イオン注入後の熱処理温度や熱ＣＶＤ温度を１１００℃，８５０℃としたが、汎用の抵抗加熱炉やランプアニール装置が使用できれば、他の特別な加熱装置を必要としないので、その意味で、イオン注入後の熱処理温度やSiO_2膜形成温度は１２００℃以下であることが望ましい。

【００８５】

また、第２の実施形態及びプロセスの第１，第２の変形例においては、絶縁体層をSiO_2膜から形成したが、他の絶縁性材料からなる絶縁体層を形成してもよい。

【００８６】

また、第２の実施形態においては、絶縁体層を構成するSiO_2膜５１を熱ＣＶＤ法により形成したが、プラズマＣＶＤ法やスパッタリング法やその他の堆積法を利用してもよい。

【００８７】

－第２の実施形態の構造の第１，第２の変形例－

図６（ａ），（ｂ）は、第２の実施形態の構造の第１，第２の変形例における半導体装置の断面図である。

【００８８】

図６（ａ），（ｂ）に示すように、第１，第２の変形例においては、いずれもショットキ

ー電極１４上に、上部金属電極６１を設けている。これらの変形例のショットキーダイオード６０ａ，６０ｂにおけるその他の要素は、第２の実施形態のショットキーダイオード４０と同じであるので、図４と同じ符号を付して、その説明を省略する。

【００８９】

図６（ａ）に示すように、構造の第１の変形例のショットキーダイオード６０ａにおいては、第２の実施形態と同様に、ショットキー電極１４が４Ｈ－ＳｉＣ層１２とイオン注入層１３とに跨っており、ショットキー電極１４を覆うように、上部金属電極６１が形成されている。この変形例においては、ショットキー電極１４は、イオン注入層１３と４Ｈ－ＳｉＣ層１２の非イオン注入領域の両方に接しているが、絶縁体層４１とショットキー電極１４とは非接触であり、上部金属電極６１が絶縁体層４１の少なくとも一部を覆っている。予めショットキー電極１４を所望の温度で熱処理しておいて、その後上部金属電極６１を形成することにより、４Ｈ－ＳｉＣ層１２とショットキー電極１４との界面には安定なショットキー界面が形成されるので、上部金属電極６１を形成した後に特に熱処理を必要としない。したがって、ショットキー電極１４と絶縁体層４１の間隙１７に上部金属電極６１が入り込んでも、絶縁体層４１と上部金属電極６１との間に変質層が形成されることはほとんどない。

【００９０】

また、４Ｈ－ＳｉＣ層１２との間にショットキー障壁を形成する必要があるために、ショットキー電極１４を構成する金属材料の種類はある程度限定されるが、上部金属電極６１を構成する金属材料の種類は特に限定されないので、絶縁体層４１に対して変質層を形成しにくい材料を容易に選択することができる。

【００９１】

なお、図６（ａ）に示す第１の変形例において、ショットキー電極１４とイオン注入層１３との接触部６２の面積は小さい方が好ましい。イオン注入層１３の熱処理温度が低温である場合には、接触部６２からわずかながら漏れ電流が観測されることがあるからである。一方、上部金属電極６１と絶縁体層４１との接触部６３の面積はある程度大きい方が好ましい。絶縁体層４１の一部を上部金属電極６１が覆っていることにより、上部金属電極６１と絶縁体層４１との接触部６３が電界集中を緩和するように作用するので、イオン注入層１３上に絶縁体層４１が存在することで、ガードリング部のわずかな漏れ電流をさらに低減することが可能となる。

【００９２】

図６（ｂ）に示す構造の第２の変形例に係るショットキーダイオード６０ｂにおいては、ショットキー電極１４が、４Ｈ－ＳｉＣ層１２に接し、イオン注入層１３には接していない構成となっている。この第２の変形例においては、漏れ電流をより効果的に低減することが可能になる。

【００９３】

なお、第１，第２の実施形態において説明した半導体装置およびその製造方法においては、４Ｈ－ＳｉＣ層１２の非イオン注入領域は、ショットキー電極が炭化珪素と接する面であり、ゴミや不純物等の混入を極力さける必要がある。そのために、半導体装置の製造プロセスにおいて、ショットキー電極を形成する前に４Ｈ－ＳｉＣ層１２の表面が保護層によって覆われていれば、その保護層をショットキー電極形成工程の直前に除去することにより、プロセスの途中で混在するゴミや不純物を除去することが可能となる。よって、第１，第２の実施形態では、絶縁体層を形成する工程において、イオン注入されていない４Ｈ－ＳｉＣ層１２の上に保護膜であるSiO_2マスク２１を有しているので、４Ｈ－ＳｉＣ層１２の表面の清浄性を確保することができる。

【００９４】

特に、第１，第２の実施形態の製造工程のごとく、保護膜であるSiO_2マスク２１がイオン注入マスクとして機能するので、プロセスの簡略化を図ることができる。

【００９５】

特に、第１の実施形態において、絶縁体層１６となる熱酸化膜２３を形成する際に、イオ

ン注入されていない４Ｈ－ＳｉＣ層１２の上に保護膜であるSiO_2マスクが存在していることにより、ショットキー電極１４と接する４Ｈ－ＳｉＣ層１２の表面部が熱酸化されるのを抑制することができる。イオン注入されていない４Ｈ－ＳｉＣ層１２の表面部が直接熱酸化された場合、その熱酸化膜はショットキー電極１４を形成する前に除去する必要があるが、４Ｈ－ＳｉＣ層１２の表面にマイクロパイプの端部等の顕著な欠陥が存在している場合には、熱酸化膜の除去により、欠陥部分が拡大される。そして、この欠陥部分により、後にショットキーダイオードを形成したときの漏れ電流がさらに発生する可能性がある。よって、熱酸化膜の形成の際には、４Ｈ－ＳｉＣ層１２の上が保護膜によって覆われていることが好ましい。

【００９６】

（第３の実施形態）

図７は、第３の実施形態における半導体装置（ショットキーダイオード）の断面図である。図７に示すように、本実施形態のショットキーダイオード７０のイオン注入層７１は、ショットキー電極１４の中央部付近の下方に離散的に形成された部分を有している。本実施形態のショットキーダイオード７０におけるその他の要素は、第１の実施形態のショットキーダイオード１０と同じであるので、図１と同じ符号を付して、その説明を省略する。

【００９７】

本実施形態においても、ショットキー電極１４と絶縁体層１６とが互いに接触することなく、両者間に間隙１７が設けられているので、図８又は図９に示す従来のショットキーダイオード８０又は９０のような変質層８８，９３，９４が生じない。したがって、本実施形態のショットキーダイオード７０により、漏れ電流の発生を抑制することができる。

【００９８】

また、本実施形態においても、図３（ａ），（ｂ）に示す上部金属電極３１を設けた変形例の構造を採用することができる。

【００９９】

（その他の実施形態）

第１，第２の実施形態で説明した半導体装置およびその製造方法においては、半導体基板として４Ｈ－ＳｉＣ基板を用いたが、６Ｈ－ＳｉＣ基板や、１５Ｒ－ＳｉＣ基板、Ｓｉ基板を用いてもよい。また、半導体層として、４Ｈ－ＳｉＣ層に代えて、１５Ｒ－ＳｉＣ基板上にエピタキシャル成長された１５Ｒ－ＳｉＣ層や、Ｓｉ基板上にエピタキシャル成長された３Ｃ－ＳｉＣ層を用いてもよい。もちろん、これ以外の組み合わせであってもよく、２層以上の積層構造であってもよい。例えば、絶縁体基板の上にエピタキシャル成長されたＳｉＣ層（半導体層）を備えている基板を用いてもよい。つまりは、ショットキー電極がＳｉＣ層上に形成されていればよい。

【０１００】

上記第１，第２の実施形態において、この絶縁体層１６とショットキー電極１４との間の間隙１７の寸法は、０．１μｍ以下程度以下になると変質層の形成を確実に防止することが困難になるので、０．１μｍ以上であることが好ましく、より確実に変質層の形成を防止するためには０．５μｍ以上であることが好ましい。一方、リフトオフ工程を確実に行なうためには、間隙１７が２０μｍ以下であることが好ましく、１０μｍ以下であることがより好ましい。よって、間隙１７の寸法は、０．１μｍ～２０μｍの範囲にあることが好ましく、０．５～１０μｍの範囲にあることがより好ましい。

【０１０１】

第１，第２の実施形態で説明した半導体装置およびその製造方法においては、オーミック電極、ショットキー電極を構成する材料としてＮｉを用いたが、それぞれオーミック特性、ショットキー特性を得られる材料であればいかなる材料であってもかまわない。

【０１０２】

第１，第２の実施形態で説明した半導体装置およびその製造方法においては、ショットキー電極やオーミック電極として、単層構造ではなく、積層構造の電極を設けてもよい。ま

た、電極の大きさは、特に制限されるものではない。

【０１０３】

第１，第２の実施形態で説明した半導体装置およびその製造方法においては、ショットキー電極の形成方法としてリフトオフ法を用いたが、他の方法であってももちろんかまわない。

【０１０４】

第１，第２の実施形態の半導体装置の製造工程において用いたプロセスの条件やガス種に代えて、他の条件やガス種を採用してもよい。

【０１０５】

また、第１，第２の実施形態の半導体装置およびその製造方法においては、イオン注入種としてボロンを用いたが、イオン注入層が高抵抗層になればよいので、ボロン以外の注入種であってももちろんかまわない。

【０１０６】

第１，第２の実施形態における製造工程では、イオン注入後の熱処理温度や熱酸化処理温度を１２００℃以下で形成するようにしているが、絶縁体層とショットキー電極とが非接触である構造を有するならば、１２００℃を越える温度でイオン注入後の熱処理を行なっても、変質層の形成を防止することは可能である。例えば、イオン注入後に１５００℃以上の温度で熱処理を行なっても、第１，第２の実施形態の構造又は製造方法により、変質層の形成を防止することが可能である。

【０１０７】

さらに、本発明の半導体装置はショットキーダイオードに限らず、イオン注入による電界集中緩和構造を有する素子であれば、トランジスタ等の他の素子形態であってもよい。

【０１０８】

さらに、本発明の半導体装置の製造方法においては、もちろん他の構成を有する半導体装置へも応用できる。例えば、図９に示した従来の構成を有する半導体装置を形成する場合であっても、第１，第２の実施形態の製造方法を用いることにより、高温熱処理を必要としないために、半導体装置の製造工程の簡略化やスループットを向上させることができ、漏れ電流の低減を図ることができる。

【０１０９】

【発明の効果】

本発明の半導体装置又はその製造方法によると、漏れ電流の少ない耐圧性の大きい半導体装置又はその製造方法を提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【図１】第１の実施形態におけるショットキーダイオードの断面図である。

【図２】（ａ）～（ｈ）は、第１の実施形態におけるショットキーダイオードの製造工程を示す断面図である。

【図３】（ａ），（ｂ）は、第１の実施形態の構造の第１，第２の変形例における半導体装置の断面図である。

【図４】第２の実施形態におけるショットキーダイオードの断面図である。

【図５】（ａ）～（ｅ）は、第２の実施形態におけるショットキーダイオードの製造工程を示す断面図である。

【図６】（ａ），（ｂ）は、第２の実施形態の構造の第１，第２の変形例における半導体装置の断面図である。

【図７】第３の実施形態におけるショットキーダイオードの断面図である。

【図８】スイッチング素子として代表的な第１の従来例である，ＳｉＣを用いた一般的なショットキーダイオードの断面図である。

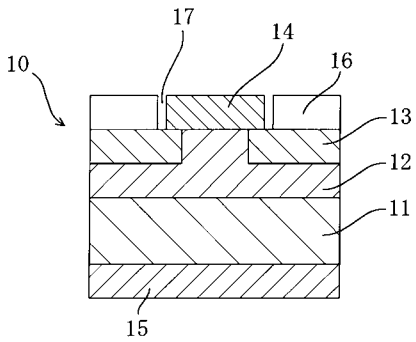
【図９】スイッチング素子として代表的な第２の従来例である，ＳｉＣを用いた一般的なショットキーダイオードの断面図である。

【符号の説明】

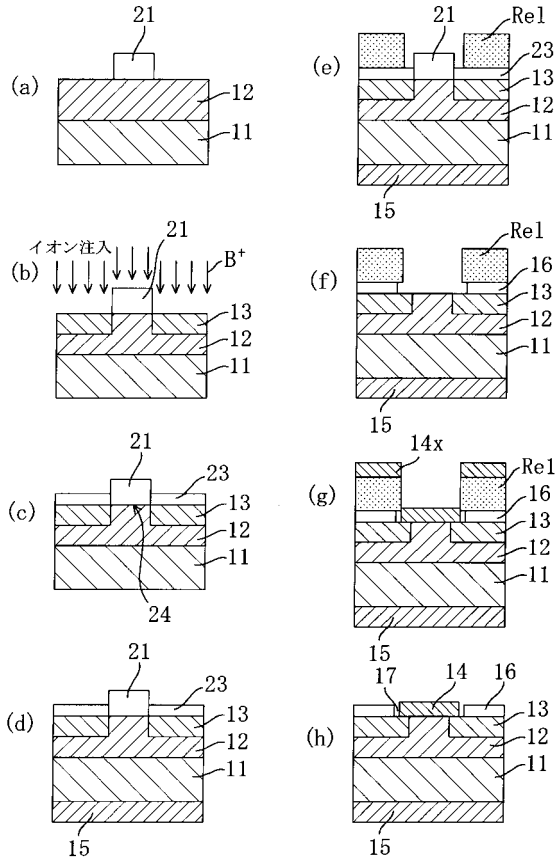
１０　ショットキーダイオード

１１　半導体基板
１２　４Ｈ－ＳｉＣ層
１３　イオン注入層
１４　ショットキー電極
１５　オーミック電極
１６　絶縁体層
２３　熱酸化膜

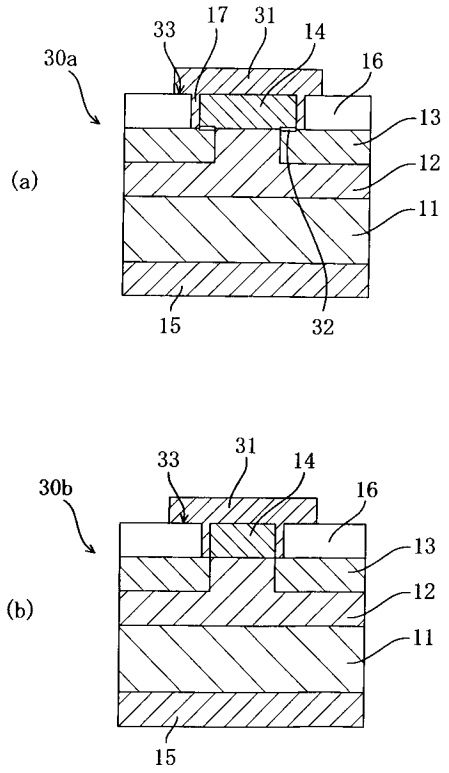
【図１】



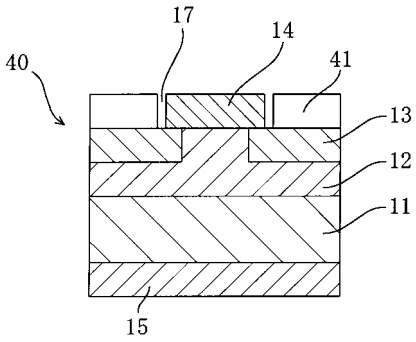
【図２】



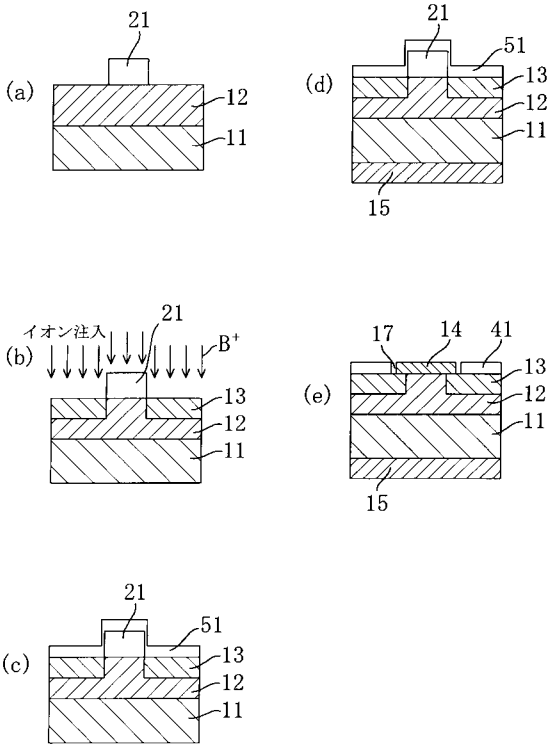
【図３】


(a)
30a
33
17
31
14
16
13
12
11
15
32
(b)
30b
33
31
14
16
13
12
11
15

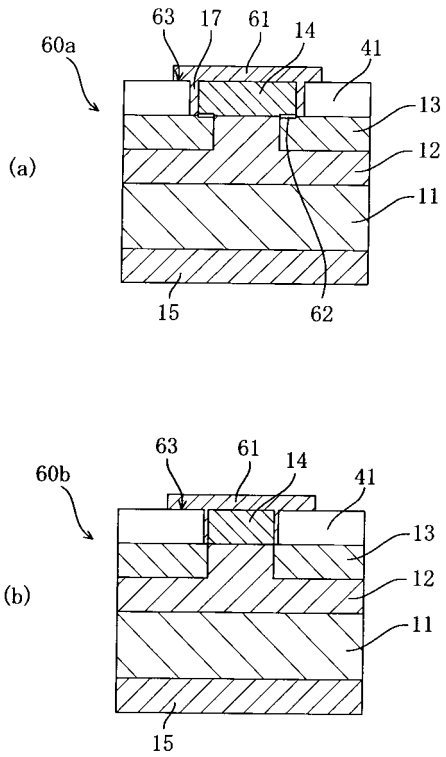
【図４】


40
17
14
41
13
12
11
15

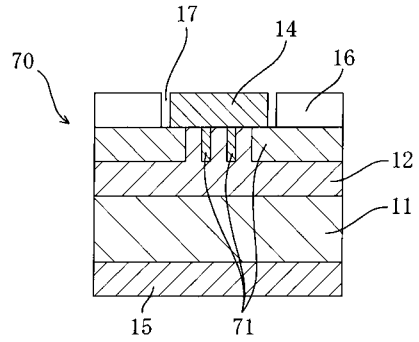
【図５】


(a)
21
12
11
(b)
イオン注入
21
B+
13
12
11
(c)
21
51
13
12
11
(d)
21
51
13
12
11
15
(e)
17
14
41
13
12
11
15

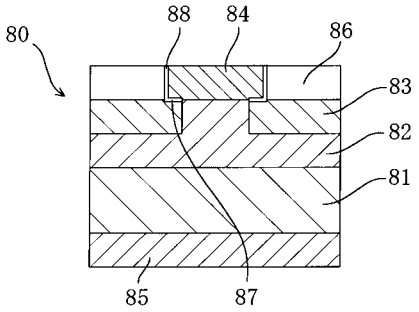
【図６】


(a)
60a
63
17
61
14
41
13
12
11
15
62
(b)
60b
63
61
14
41
13
12
11
15

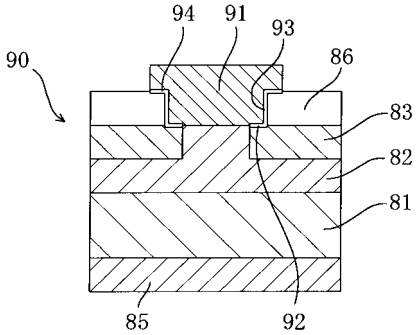
【図７】


17
14
16
70
12
11
15
71

【図８】


88
84
86
80
83
82
81
85
87

【図９】


94
91
93
86
90
83
82
81
85
92

フロントページの続き

(74)代理人 100115510
弁理士 手島 勝
(74)代理人 100115691
弁理士 藤田 篤史
(72)発明者 内田 正雄
大阪府門真市大字門真１００６番地 松下電器産業株式会社内
(72)発明者 北畠 真
大阪府門真市大字門真１００６番地 松下電器産業株式会社内
(72)発明者 横川 俊哉
大阪府門真市大字門真１００６番地 松下電器産業株式会社内
(72)発明者 楠本 修
大阪府門真市大字門真１００６番地 松下電器産業株式会社内
(72)発明者 高橋 邦方
大阪府門真市大字門真１００６番地 松下電器産業株式会社内
(72)発明者 宮永 良子
大阪府門真市大字門真１００６番地 松下電器産業株式会社内
(72)発明者 山下 賢哉
大阪府門真市大字門真１００６番地 松下電器産業株式会社内

審査官 小野田 誠

(58)調査した分野(Int.Cl., ＤＢ名)
H01L 29/47
H01L 21/265
H01L 29/872