

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第5281748号
(P5281748)

(45) 発行日 平成25年9月4日 (2013.9.4)

(24) 登録日 平成25年5月31日 (2013.5.31)

(51) Int. Cl.	F I
H O 1 L 21/28 (2006.01)	H O 1 L 21/28 3 O 1 B
H O 1 L 29/47 (2006.01)	H O 1 L 29/48 D
H O 1 L 29/872 (2006.01)	H O 1 L 29/50 J
H O 1 L 29/417 (2006.01)	H O 1 L 29/50 M
H O 1 L 21/338 (2006.01)	H O 1 L 29/80 F
請求項の数 15 (全 15 頁) 最終頁に続く	

(21) 出願番号	特願2006-542811 (P2006-542811)	(73) 特許権者	597161115
(86) (22) 出願日	平成16年12月6日 (2004.12.6)		インターナショナル レクティファイアー
(65) 公表番号	特表2007-519231 (P2007-519231A)		コーポレーション
(43) 公表日	平成19年7月12日 (2007.7.12)		アメリカ合衆国 カリフォルニア州 90
(86) 国際出願番号	PCT/US2004/040605		245 エル セガンド ノース セブル
(87) 国際公開番号	W02005/057624		ヴェーダ ブールバード 101
(87) 国際公開日	平成17年6月23日 (2005.6.23)	(74) 代理人	100147485
審査請求日	平成18年7月31日 (2006.7.31)		弁理士 杉村 憲司
審判番号	不服2012-5448 (P2012-5448/J1)	(74) 代理人	100161148
審判請求日	平成24年3月22日 (2012.3.22)		弁理士 福尾 誠
(31) 優先権主張番号	60/527,627	(72) 発明者	ビーチ・ロバート
(32) 優先日	平成15年12月5日 (2003.12.5)		アメリカ合衆国 カリフォルニア州910
(33) 優先権主張国	米国 (US)		01 アルタデナ, カシタス・アベニュー
(31) 優先権主張番号	60/527,634		, 2945
(32) 優先日	平成15年12月5日 (2003.12.5)		最終頁に続く
(33) 優先権主張国	米国 (US)		

(54) 【発明の名称】 I I I 族窒化物素子の不動態化およびその方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

I I I 族窒化物半導体素子であって、

第1の I I I 族窒化物半導体層、及び該第1の I I I 族窒化物半導体層の上に形成された第2の I I I 族窒化物半導体層を含むヘテロ接合構造と、

前記第2の I I I 族窒化物半導体層を貫いて前記第1の I I I 族窒化物半導体層まで延びた開口部と、

前記開口部内の前記第1の I I I 族窒化物半導体層、及び前記開口部に隣接する前記第2の I I I 族窒化物半導体層の一部を覆い、前記第1の I I I 族窒化物半導体層及び前記第2の I I I 族窒化物半導体層から窒素の外部拡散を防止する保護層と、

前記保護層の上の前記開口部に形成され、前記保護層を介して前記第1の I I I 族窒化物半導体層の導電チャネルに接続された電極と、
を備える、素子。

【請求項 2】

請求項1に記載の素子であって、前記電極は、前記開口部に隣接する前記第2の I I I 族窒化物半導体の一部の上に形成される、素子。

【請求項 3】

請求項1に記載の素子であって、さらに、前記導電チャネルに接続されたショットキコンタクトを備える、素子。

【請求項 4】

10

20

請求項 1 に記載の素子であって、前記電極は、オーミックコンタクトである、素子。

【請求項 5】

I I I 族窒化物半導体素子を形成するための方法であって、

導電チャネルを備えた第 1 の I I I 族窒化物層を形成する工程と、

前記第 1 の I I I 族窒化物層の上に第 2 の I I I 族窒化物層を形成する工程と、

前記第 2 の I I I 族窒化物層に開口部を形成して、前記第 1 の I I I 族窒化物層を露出させる工程と、

前記第 2 の I I I 族窒化物層と前記開口部の底部との上に、前記第 1 の I I I 族窒化物層及び前記第 2 の I I I 族窒化物層から窒素の外部拡散を防止する高窒素層を形成する工程と、

前記高窒素層の上にオーミックコンタクト材料を蒸着する工程と、

低温アニールを実行して、前記オーミック材料を活性化する工程と、
を備える、方法。

【請求項 6】

請求項 5 に記載の方法であって、さらに、前記オーミック材料をパターニングして、前記開口部にオーミックコンタクトを形成する工程を備える、方法。

【請求項 7】

請求項 5 に記載の方法であって、さらに、前記オーミック材料をパターニングして、ゲートコンタクトを形成する工程を備える、方法。

【請求項 8】

請求項 5 に記載の方法であって、前記高窒素層は、エピタキシャル成長で形成される、方法。

【請求項 9】

請求項 1 に記載の素子であって、前記第 1 の I I I 族窒化物半導体層は、G a N を含む、素子。

【請求項 10】

請求項 1 に記載の素子であって、前記第 2 の I I I 族窒化物半導体層は、A l G a N を含む、素子。

【請求項 11】

請求項 1 に記載の素子であって、前記保護層は、A l N と、H f N と、非化学量論性の高ドーブ G a N と、スパッタ蒸着された高ドーブ G a N と、高ドーブポリ G a N と、A l G a N と、T i N と、I n N と、導電金属窒化物と、から選択された材料かなる、素子。

【請求項 12】

請求項 1 に記載の素子であって、前記電極は、前記保護層を介して前記第 1 の I I I 族窒化物半導体層とオーミックコンタクトを形成する、素子。

【請求項 13】

請求項 1 に記載の素子であって、さらに前記第 2 の I I I 族窒化物半導体層の上に形成されたゲートと、該第 2 の I I I 族窒化物半導体層及び該ゲートの間に形成された別の保護層と、を備える、素子。

【請求項 14】

請求項 13 に記載の素子であって、前記別の保護層は、高ドーブ G a N を含む、素子。

【請求項 15】

請求項 1 に記載の素子であって、当該 I I I 族窒化物半導体素子は、高電子移動度トランジスタ (H E M T) を備える、素子。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、一般に、I I I 族窒化物材料系素子の形成に関し、特に、オーミックコンタクトを備えるよう形成された I I I 族窒化物材料系素子と、残留した不動態化層を備えるコンタクトを形成するための方法とに関する。

10

20

30

40

50

【背景技術】

【0002】

2. $2\text{MV}/\text{cm}$ を超える大きい絶縁破壊電界を示すIII族窒化物半導体が、現在、知られている。また、III族窒化物ヘテロ接合構造は、極度に大きい電流を伝えることが可能であり、そのため、III族窒化物材料系に加工された素子は、電力の用途に優れている。

【0003】

III族窒化物材料に基づく素子の開発は、一般に、携帯電話の基地局のためのエミッタなど、高出力高周波数の用途を目的とされてきた。これらの種類の用途のために加工された素子は、高い電子移動度を示す一般的な素子構造に基づいており、ヘテロ接合電界効果トランジスタ(HFET)、高電子移動度トランジスタ(HEMT)、または、変調ドープ電界効果トランジスタ(MODFET)と、様々なものがある。これらの種類の素子は、通例、100ボルトの範囲などの高電圧に耐えつつ、一般に2~100GHzの範囲の高周波数で動作することができる。これらの種類の素子は、多くの種類の用途に対して変更されてよいが、通例は、圧電分極電界を用いて、非常に低い抵抗損失で非常に高い電流密度の伝達を可能にする二次元電子ガス(2DEG)を生成するよう動作する。2DEGは、これら従来のIII族窒化物HEMT素子のAlGa_N材料とGa_N材料との界面で形成される。AlGa_N/Ga_Nの界面の性質と、界面での2DEGの形成とによって、III族窒化物材料系に形成された素子は、ノミナリーオン、すなわち、デプリーション型素子である傾向を持つ。AlGa_N/Ga_Nの層の界面における2DEGの高い電子移動度により、HEMT素子などのIII族窒化物素子は、ゲート電位を印加することなしに導電することが可能である。従来のHEMT素子のノミナリーオンの性質により、これらの素子は、電力管理への利用可能性が限られていた。ノミナリーオン型素子が電力を安全に制御できる前に、制御回路に電力供給して動作可能にする必要がある点で、ノミナリーオン型の電力素子には制限がある。したがって、ノミナリーオフ型のIII族窒化物ヘテロ接合素子を提供することで、始動時とその他のモード時の導電の問題を回避することが望ましい。

【0004】

低い抵抗損失で高い電流密度を可能にするIII族窒化物素子の欠点は、歪みAlGa_N/Ga_N系で実現可能な厚さが制限されている点である。これらの種類の材料の格子構造における差異により、異なる層を作るために形成される膜の転位を引き起こしうる歪みが生じる。これにより、例えば、バリア層を通して高レベルの漏れが引き起こされる。一部の従来の設計は、緩和点が生じるところの近くまでAlGa_N層の面内格子定数を低減することによって、転位の発生と漏れとを低減することに焦点を当ててきた。しかしながら、厚さが制限される問題は、これらの設計では解決されない。

【0005】

別の解決法は、絶縁層を追加して、漏れの問題を防止する方法である。絶縁層を追加すれば、バリアを通しての漏れを低減することが可能であり、この目的で用いられる典型的な層は、酸化ケイ素、窒化ケイ素、サファイア、または他の絶縁体からなり、AlGa_Nと金属ゲート層との間に配置される。この種類の素子は、しばしば、MISHFETと呼ばれ、絶縁層を備えない従来の素子に比べて、いくつかの利点がある。

【0006】

絶縁層を追加すると、より厚い歪みAlGa_N/Ga_N系を形成することが可能になるが、さらなる絶縁体によって閉じ込め層が形成された結果、Ga_N/絶縁体の界面において電子に生じる散乱効果のために、通電容量が低くなる。また、AlGa_N層と絶縁体との間にさらなる界面が形成されるため、素子の応答を遅くする界面トラップ準位が引き起こされる。さらに、酸化物の厚さの追加と、2つの層の間の界面の追加とによって、素子を切り替えるために用いるゲート駆動電圧が大きくなる。

【0007】

窒化物材料を用いてノミナリーオフ型の素子を実現する従来の素子設計は、この追加の

10

20

30

40

50

絶縁体が閉じ込め層として機能することを利用して、上部のAlGaIn層を低減または排除することができる。しかしながら、これらの素子は、通例、GaIn/絶縁体の界面における散乱により、通電容量が比較的低い。

【0008】

したがって、より少ない界面および層で低い漏れ特性を実現しつつ、高電圧に耐えると共に低い抵抗損失で高い電流密度を実現するヘテロ接合素子すなわちFETを提供することが望ましい。現在、MOCVD（金属有機化学蒸着）、分子線エピタキシ（MBE）、および水素化物気相エピタキシ（HVPE）など、多くの技術により、GaIn合金およびAlGaIn合金で平面素子が加工されている。

【0009】

窒化ガリウム材料系での材料は、窒化ガリウム（GaIn）と、窒化アルミニウムガリウム（AlGaIn）、窒化インジウムガリウム（InGaIn）、および、窒化インジウムアルミニウムガリウム（InAlGaIn）など、窒化ガリウムの合金と、を含んでよい。これらの材料は、高エネルギーの電子遷移が起きることを可能にする比較的広い直接バンドギャップを有する半導体化合物である。窒化ガリウム材料は、炭化ケイ素（SiC）、サファイア、および、シリコンなど、多くの様々な基板上に形成される。シリコン基板は、容易に利用可能で比較的安価であるため、シリコン処理技術が、よく発達した。

【0010】

しかしながら、シリコン基板上に窒化ガリウム材料を形成して半導体素子を製造すると、シリコンと窒化ガリウムとの間の格子定数、熱膨張、および、バンドギャップ、の差異によって、問題が生じる。GaInと従来の基板材料との間の格子不整合に付随する問題も、GaInとGaIn合金とを含む材料層の構造において、一般的に見られる。例えば、GaIn材料とAlGaIn材料とは、層間の界面の歪みを引き起こすのに十分なほど異なる格子構造を有しており、圧電分極に寄与する。多くの従来の素子では、圧電分極によって生成された電界は、素子の特性を改善するように制御される。AlGaIn/GaIn層の構造におけるアルミニウムの含有量の変化によって、材料間の格子不整合が変わる傾向があり、それによって、電導度や分離バリアの改善など、様々な素子特性が実現される。

【0011】

低いオン抵抗を有するノミナリーオフ型の素子は、潜在的に、多くの種類の電力素子の役に立つ可能性がある。例えば、電力を供給していない時にノミナリーオフとなる電力スイッチ、電力整流器、同期整流器、電流制御素子、または、その他の電力素子を実現することが望ましい。電流制御素子としては、ダイオード、ピンチ抵抗器、ショットキダイオードなどを挙げることができる。

【0012】

改善または最適化が望まれる電力素子の他の特徴は、破壊電圧である。通例、半導体から形成された高電圧スイッチング素子は、電力素子の絶縁破壊の原因になりうる非常に高い電界にさらされる。III族窒化物材料素子は、III族窒化物材料系における素子の形成の性質により、絶縁破壊障害に対して、特に弱い場合がある。III族窒化物材料素子の処理の際には、しばしば、高温アニール工程または化学処理を用いて、低ドーピング半導体材料または中程度にドーピングされた半導体材料に接続された低抵抗オーミックコンタクトを形成する。高温アニール工程中に、アニールされている半導体材料の表面は、高温アニールの環境において表面に近い窒素が揮発する性質により、窒素を失う。半導体材料からの窒素の損失により、この材料系にN型ドーパント作用を引き起こす空間が材料内に生じる。半導体材料の表面層に対する通常のドーピングすなわち予期されたドーピングを超えて、さらなるドーピングが施された影響として、電圧遮断動作中に、素子の表面領域の近傍で電界が増大する。例えば、素子が、オフ状態の電界効果トランジスタである場合には、その素子は、破壊することなしに、潜在的に大きい電圧から分離されることを期待される。しかしながら、半導体材料の表面層のドーピングの効果が予期されたよりも大きく、それによって表面領域における電界が増大することから、素子の障害と併せて、破壊電圧の低下が観察される。

10

20

30

40

50

【0013】

半導体材料の表面からの窒素の除去によって起きるドーピングの効果を防ぐ1つの方法は、オーミックコンタクトを形成する前に、半導体材料の上面に高ドーピングIII族窒化物材料を形成する方法である。オーミックコンタクト金属が蒸着およびアニールされると、高ドーピング材料層はエッチング除去され、例えば、ゲートやドリフト領域を形成するための領域が露出される。しかしながら、エッチング処理中に、露出された材料表面は、材料における欠陥を引き起こす多くの有害な影響を受けることがある。エッチング処理によって引き起こされた欠陥は、例えば、ゲートの下における界面の状態密度への有害な影響に加えて、ドーピング効果も引き起こす。

【0014】

したがって、高温アニール工程中に起きる半導体材料の表面層の窒素の外部拡散を低減または排除して、オーミックコンタクトの形成中の半導体の表面層における高い残留ドーピング効果を低減または排除することが望ましい。

【0015】

また、半導体素子の表面を保護する素子の不動態化を実現して、表面破壊を防止することが望ましい。さらに、通例、上述した従来の処理技術によって起こりうる電界集中効果を防止することが望ましい。

【発明の開示】

【0016】

本発明の代表的な実施形態によると、オーミックコンタクトが蒸着される前に蒸着された非化学量論性的高ドーピングGaN層を用いて、III族窒化物材料系における半導体素子にオーミックコンタクトを形成することが開示されている。高ドーピングGaN層は、非常に薄く、高ドーピングGaN層とオーミックコンタクト材料との間の界面におけるトンネル効果によって、オーミックコンタクトに用いられたオーミック材料と非常に低抵抗の接触を形成する。高ドーピングGaN層の存在により、半導体素子表面にほとんどもしくは全く損傷を与えることなく、オーミックコンタクトを形成することが可能になる。高ドーピングGaN層およびオーミックコンタクトは、低温アニール工程で活性化され、オーミックコンタクトを通して素子のための低抵抗の電流路が維持される。高ドーピングGaN層は、低温アニール工程によって高品質のオーミックコンタクトを形成することを可能にして、半導体材料表面からの窒素の外部拡散を防止する。薄い高ドーピングGaN層は、さらに、表面を再不動態化せずにゲート電極を形成することを可能にする。したがって、結果として形成される素子は、ゲート電極の下に、界面の状態密度が低く残留ドーピングが低い高品質の界面を有する。

【0017】

本発明の別の態様によると、オーミックコンタクトを形成する前に、半導体材料の上に、高ドーピングポリGaNの薄層が形成されてよい。オーミックコンタクトの形成前に形成され、半導体材料を不動態化する薄層として、AlGaNなどの他のIII族窒化物材料を含めて、他の材料が用いられてもよい。不動態化薄層は、例えば、PECVD、スパッタ蒸着など、任意の従来の技術を用いて形成されてよい。オーミックコンタクト材料としてアルミニウムを用いる場合には、約850℃未満の温度を用いるアニール工程で、良好なコンタクトを実現できる。

【0018】

本発明の別の特徴によると、オーミックコンタクトの形成前に、半導体材料の露出面の上に、AlN、HfN、または、その他の適切な材料など、不揮発性かつ非拡散性の材料が蒸着される。重ねられた材料は、オーミックコンタクトの形成中に、高温、化学作用への暴露、または、低抵抗オーミックコンタクトの形成に関連する他の処理によって引き起こされる表面の損傷を防止する。特定の領域で保護層を除去することにより、ショットキコンタクトの形成を可能にしてもよい。残りの保護材料は、コンタクト領域の間の領域において半導体材料を不動態化するために維持される。

【0019】

保護層は、オーミックコンタクトの形成前に素子の高電界領域の上に配置される窒素含有材料の犠牲層として形成されてよい。不動態化材料は、窒素源として機能することで、 III-V 族窒化物材料内の化学量を維持する。不動態化材料は、 III-V 族窒化物材料からの窒素の外部拡散を、被覆する犠牲層から III-V 族窒化物材料への等量の内部拡散で補う。アニール工程におけるオーミックコンタクトの形成後に、保護層は、ショットキコンタクトまたはゲートコンタクトの形成される領域で除去されてよい。残りの材料は、コンタクト領域の間の領域で表面領域を不動態化する。

【0020】

本発明は、低温アニール工程でオーミックコンタクトを形成することを可能にする簡単な不動態化層を備える III-V 族窒化物半導体素子の形成を実現する。不動態化層は、さら

10

【0021】

好ましくは、活性領域の上または下に、クラッド層やコンタクト層を形成してもよい。電極や絶縁層などを形成する他の周知の処理が、本発明に適用されてもよい。

【0022】

本発明によると、オン抵抗を低減しつつ高導電と高電圧遮断とが可能で、 III-V 族窒化物材料系で実現される素子が提供される。その素子は、オーミックコンタクトと、ショットキまたは絶縁コンタクトとを用いて、2つの III-V 族窒化物材料の間の 2DEG を操作するよう機能する。

20

【0023】

本発明によると、 III-V 族窒化物材料系で実現された FET 素子が提供される。FET は、 III-V 族窒化物材料系の性質によって高電流を伝導することが可能であり、圧電および自発分極電界が、高いキャリア移動度と大きい電流容量とを可能にする 2DEG の形成に寄与する。

【0024】

本発明の特徴によると、良好な GaN 絶縁体界面が提供され、活性層に絶縁層または構造を追加するよりも、通電容量が改善される。絶縁層を追加しなくとも、本明細書に記載したヘテロ界面のエピタキシャル性により、蓄積された際の 2DEG における電子に対して非常に高い移動度が実現される。

30

【0025】

本発明の一実施形態によると、順方向の伝導のためのターンオン電圧が低減された III-V 族窒化物素子が提供される。その素子は、2つの III-V 族窒化物材料層で形成されており、 III-V 族窒化物材料層の一方が、他方よりも大きい面内格子定数を有することで、界面に 2DEG が形成される。2DEG における高いキャリア移動度により、低い順方向伝導電圧で素子をオンにすることが可能になる。素子を通る電流は、2DEG チャンネルを通してオーミックコンタクトから短絡され、ショットキ障壁を回避する。逆電圧条件下では、ショットキコンタクトが、2DEG を遮断し、チャンネルを開放して、逆バイアス条件での電流を防止する。

40

【0026】

本発明の特徴によると、ショットキコンタクトは、 III-V 族窒化物層の凹部に形成され、それにより、素子は、順方向の電圧が印加されるまで導電しない。凹部は、傾斜した壁を有することで、素子パラメータを簡単に制御可能にすることが好ましい。

【0027】

本発明の別の代表的な実施形態によると、 III-V 族窒化物材料系におけるショットキ型整流器が提供されており、その素子は、 III-V 族窒化物の2つの異なる層の界面によって形成される 2DEG を備えるチャンネルを通して電流を伝導する。その素子は、オーミックコンタクトへ向かう方向への伝導のために、ショットキコンタクトとオーミックコンタク

50

トとを備え、ショットキコンタクトへ向かう別の方向に遮断電圧を有する。ショットキコンタクトに印加された電圧により、2DEGによって形成されたチャネルを通してオーミックコンタクトから電流が流れることが可能になり、反対方向に印加された電圧が、ショットキコンタクトの下2DEGを枯渇させて、逆バイアスの際の電圧を遮断する。III族窒化物層の一方にGaNが用いられた場合には、GaN層の高抵抗の性質により、素子を通しての漏れ電流が防止される。素子は、III族窒化物層にほとんどまたは全くドーピングせずに形成されて、高いスタンドオフ電圧を可能にする逆バイアス中の低電界を実現してもよい。この有利な特徴は、順バイアス抵抗の増加を犠牲にせずに実現される。

【0028】

III族窒化物半導体材料系における大きい絶縁破壊電界は、スタンドオフ領域のサイズを低減した電力素子の形成を可能にする。その材料系は、さらに、同等の定格電圧の周知の素子と比べて、固有オン抵抗が低減された素子の形成を可能にする。本明細書に記載されたIII族窒化物素子の場合には、平面素子は、垂直配置の同等物に比べ、約300ボルトの定格電圧において、固有オン抵抗に約100倍の改善を示す。

【0029】

素子は、さらに、コンタクトにおける低い漏れと、バリア層からの高い破壊電界とによって特徴付けられる。その結果、その素子は、SiO₂やSiNなどの従来の絶縁体に比べて大きい誘電率を提供する。GaN材料の高い臨界電界により、薄層が、絶縁破壊せずに高電圧に耐えることができるようになる。GaN材料の誘電率は約10であり、SiO₂の2.5倍良好である。

【0030】

本発明の他の特徴および利点は、添付の図面を参照して行う以下の説明から明らかになる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0031】

GaN材料素子の形成では、多くの要素が、素子の機能および性能に影響する。複数のIII族窒化物材料における大きい格子不整合と、これらの材料における強い圧電および分極の効果とは、III族窒化物ヘテロ接合素子の電気特性に大きな影響を与える。かなりの数の今までに報告されたGaNベースの素子が、歪みを軽減することで素子における長期の不安定性を引き起こしうる転位を回避するよう設計された合金組成を有する歪みGaN-AlGaN接合を用いている。ヘテロ接合素子を構築するための様々な素子およびシステムが、GaN-AlGaN接合の格子不整合および歪みを制御するために提案されてきた。これらの素子は、圧電分極効果および自発分極効果を利用すると共に、長期の不安定性を最小化するよう、特に設計されている。

【0032】

III族窒化物素子、特にGaN/AlGaN素子は、通例、与えられた素子における電流を制御するための1または複数の端子を有する。端子に印加された電位が、その端子と接続された導電チャネルにおける電流を制御する。導電チャネルは、2つの異なる半導体材料の間の少なくとも1つのヘテロ界面によって規定される。

【0033】

AlGaN/GaN材料がヘテロ接合素子の半導体材料を構成し、AlGaNがバリア層として用いられた場合には、AlGaNの自発分極特性に起因する分極電荷と、圧電分極電界として知られる歪み誘起特性とが存在する。III族窒化物素子の構成において、これらの電界の形成を制御すると、素子をどのように特性化するのかに応じて、GaNベースの素子を幅広い用途に適合させる様々な特性が実現される。

【0034】

GaN材料で形成されたヘテロ接合素子は、通例、チャネル内で高濃度の電子を生成する2DEGを誘導することによってチャネルの導電性を高めるためにチャネル層の上に配置されたAlGaNのバリア層を備える。AlGaN/GaN層の界面に形成された2DEGの存在により、例えば、チャネルの存在が電極間の導電を可能にするため、基本的に

10

20

30

40

50

形成された I I I 族窒化物素子はノミナリーオン型になる。

【0035】

図 1 A ないし 1 E によると、オーミックコンタクトとゲート電極とを備える I I I 族窒化物素子 1 4 を形成する処理における一連の工程が図示されている。素子 1 4 は、I I I 族窒化物層 1 0 を備えており、I I I 族窒化物層 1 0 は、緩衝層、交互組成層または傾斜組成層の超格子層など、I I I 族窒化物材料の複数の層からなっており、通例、層 1 0 は GaN からなる。

【0036】

層 1 0 の上には、ゲート絶縁層 1 2 が形成されており、この層 1 2 は層 1 0 よりも小さい格子定数を有する材料からなる。通例、層 1 2 は Al GaN で形成される。層 1 2 は、通例、I I I 族窒化物素子を不動態化するよう機能するが、この層 1 2 にはオーミックコンタクトを形成する際の高温処理中に窒素の外部拡散の問題が生じる。

10

【0037】

ここで、図 1 B によると、層 1 2 に、オーミックコンタクト開口部 1 1 が開口され、オーミックコンタクトの蒸着のために層 1 0 へのアクセスを提供する。層 1 2 の選択部分のパターニングおよび除去は、周知の技術によって実現されてよい。

【0038】

ここで、図 1 C によると、オーミックコンタクト材料の蒸着の前に、素子 1 4 の上に、不揮発性かつ非拡散性の材料 1 6 が形成される。材料 1 6 は、オーミックコンタクト開口部 1 1 の外側の領域で層 1 2 の上に重なり、オーミックコンタクト開口部 1 1 の底部で層 1 0 の上に重なる。材料 1 6 は、AlN、HfN、Al GaN、高ドープ GaN、高ドープポリ GaN、LPCVD SiN、または、アニール工程中の外部拡散および損傷から半導体表面 1 2 を保護する他の適切な材料であってよい。層 1 6 として提供された高ドープポリ GaN の層は、約 300 から約 400 Å の厚さであってよい。いずれの場合でも、材料 1 6 の厚さは、約 50 Å 以上であってよい。

20

【0039】

材料 1 6 は、層 1 0 または 1 2 が形成される成長プロセスの間に形成されてよい。また、材料 1 6 は、前もって形成された構造が層 1 0 または 1 2 を含む場合に、別個の工程として蒸着されてもよい。エピタキシャル成長プロセスの間に形成された材料 1 6 は、成長された材料 1 6 の構造により素子の破壊電圧の改善に寄与するなど、後に形成される素子の性能に利点を提供する。

30

【0040】

層 1 6 が、層 1 2 の上と、オーミックコンタクト開口部 1 1 の範囲内の層 1 0 の上に蒸着されると、オーミックコンタクト 1 9 の材料が、層 1 6 の上に蒸着される。層 1 6 の上とオーミックコンタクト開口部 1 1 の中とに蒸着された材料 1 8 は、オーミック金属であってよく、例えば、アルミニウムからなっており、材料 1 8 の蒸着は、オーミックコンタクト材料を形成するための周知の技術によって実現されてよい。保護層 1 6 は、層 1 0 と接続するための導電路をオーミックコンタクト 1 9 に提供し、特に、層 1 0 と層 1 2 との間の界面への導電路を提供することで、界面における導電チャネルへの接続を可能にする。したがって、素子 1 4 の導電抵抗は、層 1 6 の導入によって大幅に増大することはない。

40

【0041】

オーミック材料 1 8 の蒸着中に、オーミック材料を処理してオーミックコンタクト 1 9 を形成するためのアニール工程が実行される。アニール工程では、通常、層 1 0 および 1 2 から窒素が拡散し、その結果、層 1 0 および 1 2 の表面の損傷と、それらの層の材料におけるドーパント作用とが引き起こされる。しかしながら、窒素リッチな保護層 1 6 の存在が、アニール工程中に通常生じる外部拡散プロセスに対抗する。したがって、層 1 0 および 1 2 の表面は、アニール工程の外部拡散プロセスで通常生じる損傷から保護される。層 1 0 および 1 2 からの窒素の外部拡散を防止するために保護を提供することにより、素子特性が大きく改善され、破壊電圧が高くなる。

50

【0042】

ここで、図1Dによると、ゲート15およびオーミックコンタクト17の形成を可能にするパターンで、レジスト材料13が蒸着される。フォトレジスト層13の蒸着後に、フォトレジスト13によって保護された部分を除いて、材料18がエッチングによって除去される。除去すなわちエッチング処理は、パターンニングされたフォトレジスト13の下の保護層16も除去してよい。

【0043】

図1Eによると、結果として形成されるゲートコンタクト15とオーミックコンタクト17とは、保護層16の残り部分を介して素子14の特定の領域に接続されている。保護層16の残り部分は、オーミックコンタクト17と層10の導電チャネルとの間で低抵抗の接続を形成する。ゲートコンタクト15も、保護層16の上に形成されることに注意されたい。しかしながら、ゲートコンタクト15は、他の技術に従って形成されてもよく、その場合、保護層16には依存しない。

【0044】

フォトレジスト13によって被覆されていない領域で、素子14から材料18が除去されると、フォトレジスト13が剥離され、その結果の構造に、低温アニール工程が施される。アニール工程の温度は、約850℃より低く、約600℃であることが好ましい。低温アニール工程は、層10に形成された導電チャネルとコンタクト17との間に低抵抗の接続点を提供するよう、オーミックコンタクト17を活性化する。低温アニール工程は、層10および12からの窒素の外部拡散をほとんどもしくは全く引き起こさないため、高温アニール工程で通常生じる損傷が回避される。

【0045】

ここで、図2Aないし2Eによると、本発明に従った素子の別の実施形態が、素子24として図示されている。素子24の形成は、図2AにおいてIII族窒化物層20から始まり、III族窒化物層20は、例えば、緩衝層、超格子構造、または、傾斜組成層などを備える多層のIII族窒化物構造として形成されてよい。図2Aに示す最初の工程で、層20の上に、保護層22が蒸着される。保護層22は、PECVD、LPCVD、および、スパッタリングなど、任意の周知の技術によって形成されてよい。保護層22は、AlN、HfN、高ドープGaN、高ドープポリGaN、LPCVD SiN、または、AlGaNを含む他のIII族窒化物材料など、多くの材料から構成されてよい。層22は、比較的薄いため、保護層22と上層のオーミック材料との間の界面におけるトンネル効果により、オーミック材料との低抵抗の接触の形成を可能にする。保護層は、300ないし400Å程度の厚さ、もしくは、約50Å以上の厚さを有してよく、それにより、低抵抗の接触を形成して、界面におけるトンネル効果を利用することが可能になる。

【0046】

保護層22は、層20が形成される成長プロセスの間に形成されてよい。また、保護層22は、前もって形成された構造が層20を含む場合に、別個の工程として蒸着されてもよい。保護層22が、エピタキシャル成長プロセスの間に形成されると、保護層22の構造により素子の破壊電圧の改善に寄与するなど、後に形成される素子の性能において、いくつかの利点が見られる。

【0047】

ここで、図2Bによると、保護層22に、オーミックコンタクト開口部21が開口され、オーミックコンタクトの形成が可能になる。オーミックコンタクト開口部21を開くには、任意の周知のパターンニングおよび材料除去の技術を用いてよい。オーミックコンタクト開口部21は、III族窒化物層20へのアクセスと、III族窒化物層20の導電チャネルへのアクセスとを可能にする。

【0048】

ここで、図2Cによると、オーミックコンタクト開口部21を通してIII族窒化物層20との接触が形成されるように、保護層22とIII族窒化物層20との上に、オーミックコンタクト26が蒸着される。オーミックコンタクト26の形成処理は、III族窒

10

20

30

40

50

化物層 20 の表面領域の損傷または欠陥の原因となる窒素の外部拡散を I I I 族窒化物層 20 で生じさせる高温の工程を備える。しかしながら、保護層 22 の存在により、I I I 族窒化物層 20 からの窒素の外部拡散が低減または排除され、保護層がない場合に層 20 の表面層で観察される損傷が低減または排除される。

【0049】

ここで、図 2D によると、オーミックコンタクト 26 の形成後に、I I I 族窒化物層 20 を露出させるショットキコンタクト開口部 25 が、保護層 22 に開口される。図 2E では、ショットキコンタクト開口部 25 を通して、ショットキコンタクト 28 が蒸着され、I I I 族窒化物層 20 によって形成された導電チャネルへの接続を提供する。この場合にも、保護層 22 は、I I I 族窒化物層 20 からの外部拡散を防止して、素子 24 の特性を高める。例えば、I I I 族窒化物層 20 からの窒素の外部拡散によって通常生じる表面破壊やドーパント作用から、ドリフト領域 27 が保護される。さらに、I I I 族窒化物層 20 からの窒素の外部拡散のドーパント作用に起因する電界集中から、領域 29 が保護される。通例、オーミックコンタクト 26 を活性化するためにアニール工程が実行される。その際、保護層 22 の存在により、例えば、850℃（好ましくは600℃）のような比較的低温で、アニール工程を実行できる。

【0050】

上述の不動態化／保護層は、PECVDおよびスパッタリング蒸着など、化学量論的な方法または非化学量論的な方法によって蒸着されてよい。保護層は、 $n + GaN$ の薄膜からなることが好ましいが、多くの他の材料を用いてもよい。結果として形成される素子の電圧遮断特性は、表面保護層を持たない周知のショットキ整流器や窒化ガリウム素子など、保護層を備えない素子の特性よりも数倍大きい。不動態化／保護層は、外部拡散を低減または完全に排除することにより、もしくは、外部拡散した窒素を補給することにより、下層からの窒素の外部拡散を防止するよう機能することができる。不動態化／保護層は、高窒素源として機能することで、自身の窒素の外部拡散を供給することにより外部拡散の均衡を保ってもよい。したがって、不動態化／保護層は、結果として形成される素子の表面の保護および不動態化のための封止材として考えることができる。不動態化層は、完成した素子から除去される必要はなく、それにより、結果として形成される素子の露出面全体が不動態化される。

【0051】

ショットキダイオード、FET、ピンチ抵抗器のような限流器など、本発明の技術によって多くの素子が形成されてよい。通例、本発明は、処理中に窒素の外部拡散を受けて絶縁破壊の閾値が下がる任意の種類の半導体素子に有用である。本発明は、AlN、GaN、InN、および、これらの材料の合金など、I I I 族窒化物材料系で用いられる。これらの保護層は、AlN、HfN、または、その他の適切な材料から形成され、露出面に蒸着されてよく、アニール工程や、その他の高温処理中の窒素の外部拡散から、半導体表面を保護する。

【0052】

素子 14 の層 10 は、層 12 よりも大きい面内格子定数を有する。界面が、導電のためのチャネルの形成を許容する限り、素子 14 の形成に、多くの I I I 族窒化物材料を用いてよいことは明らかである。素子 14 は、炭化ケイ素、シリコン、サファイア、および、その他の周知の基板材料など、周知の材料から形成される絶縁または高抵抗の基板の上に形成されてよい。

【0053】

素子 14 および 24 は、オーミックコンタクト 17 および 26 と、ショットキコンタクト 28 とについて、多くの異なる形状で形成されてよい。例えば、コンタクト 28 は、オーミックコンタクト 26 を取り囲むショットキコンタクトであってよい。コンタクト 28 は、素子 24 において特定の方向の電流または特定の領域への電流を制限するために形成されたギャップすなわちエッチングされた領域を備えて、オーミックコンタクト 26 の一部を囲むよう形成されてよい。オーミックコンタクト 26 と、ショットキコンタクトと

して形成されたコンタクト２８とを、互いに様々な距離で離間させて、破壊電圧およびオン抵抗のパラメータを増減させることができる。

【００５４】

ここで、図３によると、本発明の別の実施形態が、素子３１として図示されている。素子３１は、コンタクト３８が、絶縁層３４の上に導電材料で形成されていることを除いて、素子２４（図２Ａないし２Ｅ）とほぼ同様である。したがって、コンタクト３８は、ショットキコンタクトと違って、絶縁されたコンタクトであり、素子３１を作動されるための任意の種類の金属導体を備えてよい。保護層３２は、素子２４と同様に、Ⅲ族窒化物層３０からの外部拡散を抑える特徴を有する。

【００５５】

オーミックコンタクト１４、２６、および、３６は、蒸着前のインプラメンテーション、オーミック蒸着の前の層１０、１２、または、２０、２２、または、３０、３２の上への高ドーピングⅢ族窒化物材料の蒸着、オーミックコンタクト１９、２６、および、３６の下でのⅢ族窒化物超格子構造の形成、１２、２２、または、３２のエッチング、上述の蒸着の組み合わせなど、多くの方法で加工されてよい。

【００５６】

本発明は、双方向の素子に適用可能であり、それらの素子の柔軟性と、適した用途の数とを改善する。本発明は、ゲート電極がソース／ドレイン電極に短絡されたＨＦＥＴにも適用可能である。オーミックコンタクトとショットキコンタクトとの間の距離を変更して、オン抵抗や破壊電圧などの素子パラメータを変更することができる。コンタクトの形状は、オーミックコンタクトを取り囲むショットキ材料、各オーミックコンタクトを取り囲む２つのショットキコンタクト、素子上の特定の領域への電流を制限するためのエッチングされた領域を備えた全周を囲まないショットキなど、様々な構成で実現可能である。

【００５７】

ここで、図４によると、本発明の別の実施形態が、素子７０として図示されている。素子７０は、サファイア、シリコン、炭化ケイ素、または、その他の適切な材料など、絶縁または高抵抗の材料からなる基板７２を備える。抵抗性のⅢ族窒化物材料層７４が、基板７２の上に配置され、必要に応じて、層７４と層７２との間に緩衝層７３が配置される。緩衝層７３は、層７４と層７２との間に挿入されることで、層７２と層７４との間の格子不整合に関連する歪み力を低減または緩和することができる。層７４の上には、別のⅢ族窒化物材料層７５が重ねられており、層７５は、層７４よりも小さい面内格子定数を有する。Ⅲ族窒化物材料の性質により、多量の電流を伝達することができる２ＤＥＧが、層７４と層７５との間で形成される。図４に示すように、層７４および７５は、ＧａＮ／ＡｌＧａＮからなっている。

【００５８】

素子７０は、さらに、下層を保護する保護層７６を備え、コンタクトおよび電極を形成するために素子をパターニングする手段を提供する。素子７０は、さらに、コンタクト７７および７８を備え、コンタクト７７はショットキコンタクトであり、コンタクト７８はオーミックコンタクトである。コンタクト７７および７８は、フィールドプレート設計で構成されており、コンタクトの一部が、絶縁層７６を通して伸びて、層７５に接触している。保護層７６は、素子７０の形成の際の高温処理工程中に窒素の外部拡散を防止する。

【００５９】

その結果として形成される素子は、層７４と層７５との間の界面における高密度高移動度の２ＤＥＧの形成により、ノミナリーオン型の整流器になる。２ＤＥＧは、圧電分極力と自発分極力との組み合わせによって形成され、その結果、極度に薄く導電性の高い層と、高抵抗の層とが形成される。層７４と層７５との間の界面に形成されるチャンネルは、従来の素子のように高ドーピング領域を用いることなく、非常に大きい電流を伝導することができる。したがって、素子が導電する順バイアス方向では、チャンネルを通して、多量の電流を伝導することができる。

【００６０】

逆バイアス条件では、チャネルにおける移動電荷が枯渇する結果、チャネルでは電流が流れず、さらに、下層 74 の高抵抗の性質により、その層で電荷が流れることが防止される。素子 70 の形成において保護層 76 を用いると、処理中の I I I 族窒化物材料の表面への損傷を回避することにより、素子の逆バイアス動作が改善される。層 74 および 75 は、ドーピングされていないため、素子の逆バイアス条件により、低電界が生成される。電界が低い値であるため、素子は、高電圧に耐えることができるが、それでも、低い順バイアス抵抗が生じる。ドーピングされた電流キャリアではなく導電性の高い 2 D E G を用いることで、素子 70 は、所定の破壊電圧に対する R A 積が大きく改善する。素子 70 の別の特徴は、層 74 の抵抗特性により、層 75 をエッチングすることで素子を分離できることである。これらの特徴および利点により、面積当たり少ないコストで、1 つのチップに多くの素子を集積することができるため、従来よりも小さい空間に、ある程度の複雑さを有する高出力素子を形成することができる。

10

【0061】

オーミックコンタクト、ショットキコンタクト、絶縁層、および、金属化コンタクトの形成は、周知の技術に従って実行されてよい。さらに、素子の完成品を提供するために、導電電極およびゲートへのコンタクトを形成する技術だけでなく、本明細書に記載の素子に対して、さらなる不動態化層やクラッドを適用してもよい。

【0062】

素子 14、24、31、および、70 を形成するために用いられる I I I 族窒化物材料は、通例、従来の材料よりもはるかに良好な遮断特性を示すため、動作パラメータ値を維持しつつ、従来の材料で可能であったよりも小さいサイズで、素子を形成することができる。素子は、従来の素子よりも小さいサイズで匹敵する機能を有するよう形成可能であるため、オン抵抗を低減して、電力効率を改善することが可能である。本発明によって実現される破壊電圧特性の改善により、より良好な電力効率と、さらなるサイズの低減が可能になる。

20

【0063】

さらに、本明細書に記載された電極は、記載された素子の動作特性をさらに改善する低抵抗オーミックコンタクト処理で形成されてよい。

【0064】

本発明は、具体的な実施形態に関連して説明されているが、多くの他の変更例および変形例、他の用途が存在することは、当業者にとって明らかなことである。したがって、本発明は、本明細書の具体的な開示によって限定されず、添付の特許請求の範囲によってのみ限定されることが好ましい。

30

【図面の簡単な説明】

【0065】

【図 1 A】本発明に従って形成された不動態化層を備える I I I 族窒化物素子の断面図。

【図 1 B】本発明に従って形成された不動態化層を備える I I I 族窒化物素子の断面図。

【図 1 C】本発明に従って形成された不動態化層を備える I I I 族窒化物素子の断面図。

【図 1 D】本発明に従って形成された不動態化層を備える I I I 族窒化物素子の断面図。

【図 1 E】本発明に従って形成された不動態化層を備える I I I 族窒化物素子の断面図。

40

【図 2 A】本発明に従って形成された不動態化層を備える I I I 族窒化物素子の断面図。

【図 2 B】本発明に従って形成された不動態化層を備える I I I 族窒化物素子の断面図。

【図 2 C】本発明に従って形成された不動態化層を備える I I I 族窒化物素子の断面図。

【図 2 D】本発明に従って形成された不動態化層を備える I I I 族窒化物素子の断面図。

【図 2 E】本発明に従って形成された不動態化層を備える I I I 族窒化物素子の断面図。

【図 3】本発明に従った I I I 族窒化物素子の断面図。

【図 4】本発明に従った I I I 族窒化物素子の断面図。

【図 1 A】

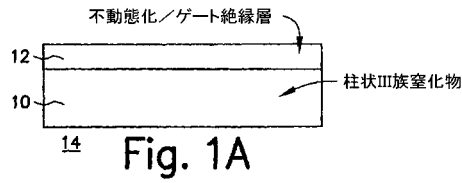


Fig. 1A

【図 1 B】

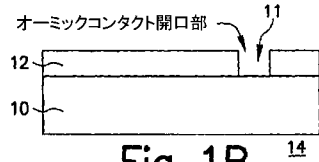


Fig. 1B

【図 1 C】

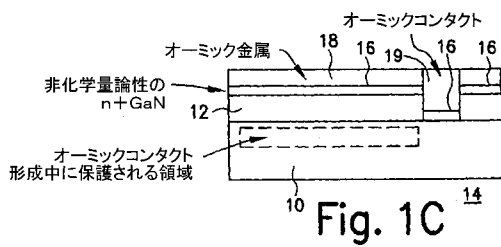


Fig. 1C

【図 1 D】

レジストでオーミックおよびゲートが規定された様子

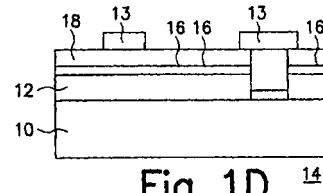


Fig. 1D

【図 1 E】

オーミックコンタクトおよびゲートの形成のために、金属およびn+GaNが除去された様子

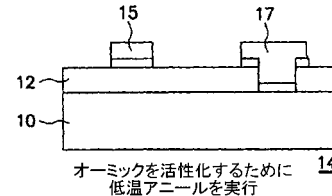


Fig. 1E

オーミックを活性化するために低温アニールを実行

【図 2 A】

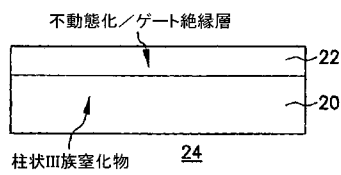


Fig. 2A

【図 2 B】

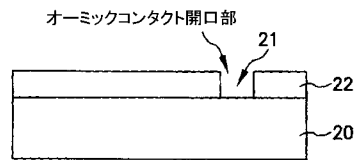


Fig. 2B

【図 2 C】

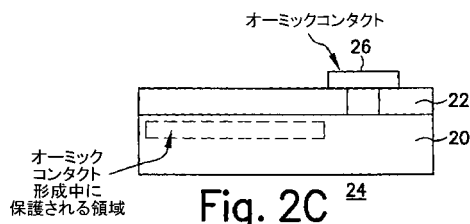


Fig. 2C

【図 2 D】

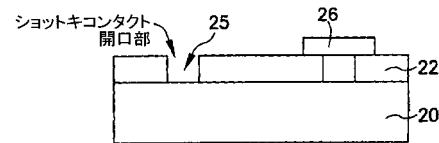


Fig. 2D

【図 2 E】

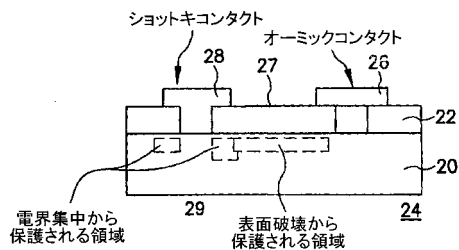


Fig. 2E

【図 3】

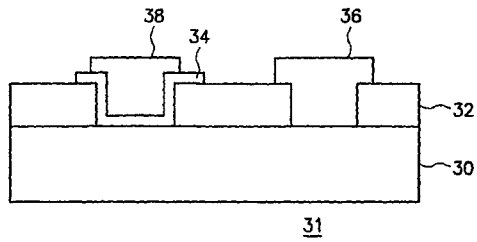


Fig. 3

【図 4】

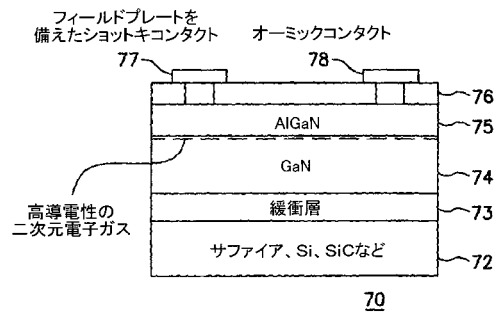


Fig. 4

フロントページの続き

(51)Int.Cl. F I
H 0 1 L 29/812 (2006.01) H 0 1 L 29/80 H
H 0 1 L 29/778 (2006.01)

(31)優先権主張番号 11/004,212

(32)優先日 平成16年12月3日(2004.12.3)

(33)優先権主張国 米国(US)

合議体

審判長 新海 岳

審判官 加藤 友也

審判官 松岡 美和

(56)参考文献 特開2002-359256(JP, A)

特開2003-258005(JP, A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H01L21/28

H01L29/47

H01L29/417

H01L21/338