

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第4986472号
(P4986472)

(45) 発行日 平成24年7月25日(2012.7.25)

(24) 登録日 平成24年5月11日(2012.5.11)

(51) Int. Cl.	F I
HO 1 L 29/868 (2006.01)	HO 1 L 29/91 F
HO 1 L 29/861 (2006.01)	HO 1 L 21/28 3 O 1 R
HO 1 L 21/28 (2006.01)	HO 1 L 29/48 D
HO 1 L 29/47 (2006.01)	HO 1 L 29/91 D
HO 1 L 29/872 (2006.01)	

請求項の数 9 (全 14 頁)

(21) 出願番号	特願2006-35635 (P2006-35635)	(73) 特許権者	000004226
(22) 出願日	平成18年2月13日 (2006.2.13)		日本電信電話株式会社
(65) 公開番号	特開2007-214515 (P2007-214515A)		東京都千代田区大手町二丁目3番1号
(43) 公開日	平成19年8月23日 (2007.8.23)	(74) 代理人	110001243
審査請求日	平成20年1月30日 (2008.1.30)		特許業務法人 谷・阿部特許事務所
		(74) 代理人	100077481
			弁理士 谷 義一
		(74) 代理人	100115624
			弁理士 濱中 淳宏
		(72) 発明者	西川 敦
			東京都千代田区大手町二丁目3番1号 日
			本電信電話株式会社内
		(72) 発明者	牧本 俊樹
			東京都千代田区大手町二丁目3番1号 日
			本電信電話株式会社内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】窒化物半導体構造

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

導電性の SiC 基板と、
前記 SiC 基板の上、前記 SiC 基板と同じ第1の導電型を有する第1の AlGa N 層と、

前記第1の AlGa N 層上の、前記第1の導電型を有する第2の AlGa N 層と、
前記第2の AlGa N 層上の、前記第1の導電型を有する第3の AlGa N 層と、
前記第3の AlGa N 層上の、前記第1の導電型と異なる第2の導電型を有する InGa N 層と

を備え、

前記第1の AlGa N 層の Al 組成は、前記第2の AlGa N 層の Al 組成を超え、
前記第2の AlGa N 層の Al 組成は、前記第3の AlGa N 層の Al 組成と同一であり、

前記 SiC 基板の裏面に前記第1の導電型のオーミック電極を備えることを特徴とする電子デバイス。

【請求項2】

導電性の SiC 基板と、
前記 SiC 基板の上、前記 SiC 基板と同じ第1の導電型を有する第1の AlGa N 層と、

前記第1の AlGa N 層上の、前記第1の導電型を有する第2の AlGa N 層と、

前記第2のAlGaIn層上の、前記第1の導電性を有する第3のAlGaIn層とを備え、

前記第1のAlGaIn層のAl組成は、前記第2のAlGaIn層のAl組成を超え、

前記第2のAlGaIn層のAl組成は、前記第3のAlGaIn層のAl組成と同一であり、

前記第3のAlGaIn層上にショットキー電極を備え、

前記SiC基板の裏面に前記第1の導電型のオーミック電極を備えることを特徴とする電子デバイス。

【請求項3】

導電性のSiC基板と、

前記SiC基板上の、前記SiC基板と同じ第1の導電性を有する第1のAlGaIn層と、

前記第1のAlGaIn層上の、前記第1の導電性を有する第2のAlGaIn層と、

前記第2のAlGaIn層上の、前記第1の導電性を有する第3のAlGaIn層と、

前記第3のAlGaIn層上の、前記第1の導電型と異なる第2の導電性を有するInGaIn層と

を備え、

前記第1のAlGaIn層のAl組成は、前記SiC基板側から前記第2のAlGaIn層側へ漸次減少しており、

前記第2のAlGaIn層のAl組成は、前記第1のAlGaIn層との界面で、前記第1のAlGaIn層のAl組成と同一であり、

前記第2のAlGaIn層のAl組成は、前記第3のAlGaIn層のAl組成と同一であり、

前記SiC基板の裏面に前記第1の導電型のオーミック電極を備えることを特徴とする電子デバイス。

【請求項4】

導電性のSiC基板と、

前記SiC基板上の、前記SiC基板と同じ第1の導電性を有する第1のAlGaIn層と、

前記第1のAlGaIn層上の、前記第1の導電性を有する第2のAlGaIn層と、

前記第2のAlGaIn層上の、前記第1の導電性を有する第3のAlGaIn層と、

前記第3のAlGaIn層上の、前記第1の導電型と異なる第2の導電性を有するInGaIn層と

を備え、

前記第1のAlGaIn層のAl組成は、前記第2のAlGaIn層のAl組成と界面で同一であり、

前記第2のAlGaIn層のAl組成は、前記第1のAlGaIn層側から前記第3のAlGaIn層側へ漸次減少しており、

前記第3のAlGaIn層のAl組成は、前記第2のAlGaIn層のAl組成と界面で同一であり、

前記SiC基板の裏面に前記第1の導電型のオーミック電極を備えることを特徴とする電子デバイス。

【請求項5】

導電性のSiC基板と、

前記SiC基板上の、前記SiC基板と同じ第1の導電性を有する第1のAlGaIn層と、

前記第1のAlGaIn層上の、前記第1の導電性を有する第2のAlGaIn層と、

前記第2のAlGaIn層上の、前記第1の導電性を有する第3のAlGaIn層と

を備え、

前記第1のAlGaIn層のAl組成は、前記SiC基板側から前記第2のAlGaIn層

10

20

30

40

50

側へ漸次減少しており、

前記第2のAlGaIn層のAl組成は、前記第1のAlGaIn層との界面で、前記第1のAlGaIn層のAl組成と同一であり、

前記第2のAlGaIn層のAl組成は、前記第3のAlGaIn層のAl組成と同一であり、

前記第3のAlGaIn層上にショットキー電極を備え、

前記SiC基板の裏面に前記第1の導電型のオーミック電極を備えることを特徴とする電子デバイス。

【請求項6】

前記第1のAlGaIn層の不純物ドーピング濃度は、 $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 以上であることを特徴とする請求項1から5のいずれかに記載の電子デバイス。

10

【請求項7】

前記第3のAlGaIn層の不純物ドーピング濃度は、 $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 未満であることを特徴とする請求項1から6のいずれかに記載の電子デバイス。

【請求項8】

前記第3のAlGaIn層は、アンドープ層であることを特徴とする請求項1から7のいずれかに記載の電子デバイス。

【請求項9】

前記SiC基板の導電型は、n型であることを特徴とする請求項1から8のいずれかに記載の電子デバイス。

20

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、一般に窒化物半導体の構造に関し、さらに詳細には、熱伝導率の高いSiC基板上に作製した窒化物半導体において、特に素子抵抗を低く抑えたまま、降伏電圧を高くするための構造に関する。

【背景技術】

【0002】

GaNやAlNなどの窒化物半導体は、ワイドバンドギャップを有するため、電子デバイスとして低損失かつ高い電圧で動作することが期待でき、パワーエレクトロニクス用の半導体材料として有望視されている。

30

【0003】

一般に、降伏電圧（ブレイクダウン電圧）は、電圧を保持する層の半導体材料の絶縁破壊電界と層厚によって決まる。従って、層厚を増加することで、高い降伏電圧を得ることができる。しかし、GaNは残留キャリア密度が高く、層厚を増加させていくと、GaN層が完全に空乏化する前に降伏が起こるため、層厚の増加による高耐圧化が制限されていた。そこで、半導体材料をGaNよりもバンドギャップが大きく、絶縁破壊電界の大きなAlGaInに変更することにより、高い降伏電圧を有する電子デバイスの作製が検討されている。

【0004】

40

図1に、電圧を保持する層としてAlGaIn層を使用し、降伏電圧を増加させた例として、ショットキーダイオードの構造を示す（非特許文献1参照）。このショットキーダイオード100は、半絶縁性サファイア基板102上に20nm厚のAlN層104と、不純物ドーピングを行わない（アンドープ）2.5μm厚のAlGaIn層106とを順次形成し、その表面上にPt/Ti/Auのショットキー電極120およびTi/Al/Pt/Auオーミック電極130を形成している。オーミック電極130を形成するために電極層の近傍108にはSiイオンを打ち込んでいる。アンドープAlGaIn層106のAl組成を0%から25%まで変化させることにより、降伏電圧を2.3kVから4.3kVまで増加させている。

【0005】

50

図1に示す構造では、AlGaIn層を用いることによって降伏電圧を増加しているが、電流はAlGaIn層の表面近傍を横方向に流れるため、表面欠陥の影響によりアンドープAlGaIn層の絶縁破壊電界は理論的に予想されている値の1/30程度と低く、電極間距離を長くすることによって高耐圧を実現している。そのため、アンドープAlGaIn層を横方向に流れる電流の抵抗が無視できず、またAlGaIn層の表面にオーミック電極を形成するため、AlGaIn層と電極層との接触抵抗の増大が避けられない。その結果、オン抵抗は 3.2 cm^2 と高くなっている。このように、図1に示す構造では、AlGaInの持つ優れた特性が十分に発揮されておらず、低い素子抵抗と高い降伏電圧の両方を実現できていなかった。

【0006】

図2に、pinダイオードの降伏電圧を増大させることを目的として、AlGaIn層を利用した例を示す(非特許文献2)。このpinダイオード200は、サファイア基板202上にAlNバッファ層204と、 $0.5 \mu\text{m}$ 厚のn型AlGaIn層206と、 $1.5 \mu\text{m}$ 厚のアンドープAlGaIn層208と、 $0.5 \mu\text{m}$ 厚のMgドーピングGaN層210とを順次形成している。n型AlGaIn層206およびアンドープAlGaIn層208のAl組成は同一であり、それぞれ0%、20%、40%の3通りである。サファイア基板202は半絶縁性であるため、n型のオーミック電極220は、n型AlGaIn層206の表面に形成する必要がある。電流は、図2に示したn型AlGaIn層206中を横方向に流れることになる。ここで、AlGaInはGaNよりも抵抗が高いため、n型GaN層を用いた場合に比べてn型AlGaIn層206を用いた図2の構造では素子抵抗が増大する。さらに、n型AlGaIn層と電極層との接触抵抗も高くなるため、この構造では低抵抗を実現できない。また、アンドープAlGaIn層のAl組成を増大させるにつれて結晶欠陥が増大しており、逆方向電流-電圧特性(I-V特性)におけるリーク電流が増大するため、Al組成を増加させると降伏電圧の低下も起きている。

【0007】

【非特許文献1】A. P. Zhang, et al. "Al composition dependence of breakdown voltage in AlXGa1-XN Schottky rectifiers," Appl. Phys. Lett., Vol.76, No.13, pp.1767-1769, March 2000.

【非特許文献2】T. G. Zhu, et al. "GaN and AlXGa1-XNp-i-n High-Voltage Rectifiers Grown by Metalorganic Chemical Vapor Deposition," Phys. Stat. Sol. A, vol.188, No.1, pp.301-305, 2001.

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0008】

以上、従来構造として、電圧を保持する層としてAlGaIn層を利用した例を示した。しかしながら、GaN層の代わりにAlGaIn層を用いることによって、高い降伏電圧を実現することはできるが、AlGaIn層を横方向に流れる電流の抵抗および電極層との接触抵抗が高くなり、ショットキーダイオードまたはpn接合ダイオード全体の抵抗が高くなるという問題が発生する。また、AlGaIn層は混晶層であることから結晶欠陥が混入しやすく、リーク電流が増大すると降伏電圧の低下を招く。

【0009】

ここで、図3に示すように、n型のオーミック電極220を形成するためにn型AlGaIn層206ではなく、n型GaN層306を用いると、横方向を流れる電流の抵抗および接触抵抗は小さくなるが、n型GaN層306とアンドープAlGaIn層208の間の格子定数や熱膨張係数が異なるために、アンドープAlGaIn層208にクラックが発生しやすくなり降伏電圧は低下する。従って、従来構造では、素子の抵抗を低く抑えたまま、降伏電圧を高くすることは不可能であった。

【0010】

本発明の目的は、電圧を保持する層としてAlGaIn層を使用した窒化物半導体素子において、素子の抵抗を低く保ったまま、高い降伏電圧を実現することができる構造を提供

10

20

30

40

50

することにある。

【課題を解決するための手段】

【0011】

このような目的を達成するために、本発明の第1の態様は、導電性のSiC基板と、前記SiC基板上の、前記SiC基板と同じ第1の導電性を有する第1のAlGaN層と、前記第1のAlGaN層上の、前記第1の導電性を有する第2のAlGaN層と、前記第2のAlGaN層上の、前記第1の導電性を有する第3のAlGaN層と、前記第3のAlGaN層上の、前記第1の導電型と異なる第2の導電性を有するInGaN層とを備え、前記第1のAlGaN層のAl組成は、前記第2のAlGaN層のAl組成を超え、前記第2のAlGaN層のAl組成は、前記第3のAlGaN層のAl組成と同一であり、前記SiC基板の裏面に前記第1の導電型のオーミック電極を備えることを特徴とする電子デバイスである。

10

【0012】

また、本発明の第2の態様は、導電性のSiC基板と、前記SiC基板上の、前記SiC基板と同じ第1の導電性を有する第1のAlGaN層と、前記第1のAlGaN層上の、前記第1の導電性を有する第2のAlGaN層と、前記第2のAlGaN層上の、前記第1の導電性を有する第3のAlGaN層とを備え、前記第1のAlGaN層のAl組成は、前記第2のAlGaN層のAl組成を超え、前記第2のAlGaN層のAl組成は、前記第3のAlGaN層のAl組成と同一であり、前記第3のAlGaN層上にショットキー電極を備え、前記SiC基板の裏面に前記第1の導電型のオーミック電極を備えることを特徴とする電子デバイスである。

20

【0013】

また、本発明の第3の態様は、導電性のSiC基板と、前記SiC基板上の、前記SiC基板と同じ第1の導電性を有する第1のAlGaN層と、前記第1のAlGaN層上の、前記第1の導電性を有する第2のAlGaN層と、前記第2のAlGaN層上の、前記第1の導電性を有する第3のAlGaN層と、前記第3のAlGaN層上の、前記第1の導電型と異なる第2の導電性を有するInGaN層とを備え、前記第1のAlGaN層のAl組成は、前記SiC基板側から前記第2のAlGaN層側へ漸次減少しており、前記第2のAlGaN層のAl組成は、前記第1のAlGaN層との界面で、前記第1のAlGaN層のAl組成と同一であり、前記第2のAlGaN層のAl組成は、前記第3のAlGaN層のAl組成と同一であり、前記SiC基板の裏面に前記第1の導電型のオーミック電極を備えることを特徴とする電子デバイスである。

30

【0014】

また、本発明の第4の態様は、導電性のSiC基板と、前記SiC基板上の、前記SiC基板と同じ第1の導電性を有する第1のAlGaN層と、前記第1のAlGaN層上の、前記第1の導電性を有する第2のAlGaN層と、前記第2のAlGaN層上の、前記第1の導電性を有する第3のAlGaN層と、前記第3のAlGaN層上の、前記第1の導電型と異なる第2の導電性を有するInGaN層とを備え、前記第1のAlGaN層のAl組成は、前記第2のAlGaN層のAl組成と界面で同一であり、前記第2のAlGaN層のAl組成は、前記第1のAlGaN層側から前記第3のAlGaN層側へ漸次減少しており、前記第3のAlGaN層のAl組成は、前記第2のAlGaN層のAl組成と界面で同一であり、前記SiC基板の裏面に前記第1の導電型のオーミック電極を備えることを特徴とする電子デバイスである。

40

また、本発明の第5の態様は、導電性のSiC基板と、前記SiC基板上の、前記SiC基板と同じ第1の導電性を有する第1のAlGaN層と、前記第1のAlGaN層上の、前記第1の導電性を有する第2のAlGaN層と、前記第2のAlGaN層上の、前記第1の導電性を有する第3のAlGaN層とを備え、前記第1のAlGaN層のAl組成は、前記SiC基板側から前記第2のAlGaN層側へ漸次減少しており、前記第2のAlGaN層のAl組成は、前記第1のAlGaN層との界面で、前記第1のAlGaN層のAl組成と同一であり、前記第2のAlGaN層のAl組成は、前記第3のAlGaN

50

層の Al 組成と同一であり、前記第 3 の Al Ga N 層上にショットキー電極を備え、前記 Si C 基板の裏面に前記第 1 の導電型のオーミック電極を備えることを特徴とする電子デバイスである。

【0015】

また、本発明の第 6 の態様は、第 1 から第 5 のいずれかの態様であって、前記第 1 の Al Ga N 層の不純物ドーピング濃度は、 $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 以上であることを特徴とする。

【0016】

また、本発明の第 7 の態様は、第 1 から第 6 のいずれかの態様であって、前記第 3 の Al Ga N 層の不純物ドーピング濃度は、 $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 未満であることを特徴とする。

10

【0017】

また、本発明の第 8 の態様は、第 1 から第 7 のいずれかの態様であって、前記第 3 の Al Ga N 層は、アンドープ層であることを特徴とする。

【0018】

また、本発明の第 9 の態様は、第 1 から第 8 のいずれかの態様であって、前記 Si C 基板の導電性は、n 型であることを特徴とする。

【発明の効果】

【0019】

本発明によれば、オーミック電極層を導電性 Si C 基板の裏面に形成することによって、電極を形成するための窒化物半導体層が必要なくなり、素子抵抗を小さくできる。また、Al Ga N 層の結晶欠陥によるリーク電流の増大に対して、Al Ga N 層の Al 組成以上の Al 組成を有する Al Ga N バッファ層を Al Ga N 層と Si C 基板の間に挿入することで、両者の格子定数差および熱膨張係数差により発生する結晶欠陥を低減でき、Al Ga N 層のクラックおよび結晶欠陥によるリーク電流を低減し、高い降伏電圧を実現することができる。これにより、素子の抵抗を低く保ったまま、降伏電圧を高くすることができる。

20

【発明を実施するための最良の形態】

【0020】

本発明は、導電性 Si C 基板に導電性の Al Ga N バッファ層を形成し、その上に Al Ga N 層よりも不純物濃度および Al 組成の低い Al Ga N 層を形成するとともに、導電性 Si C 基板の裏面にオーミック電極を形成するように構成する。Al Ga N バッファ層を挿入することにより、Al Ga N 層の結晶欠陥を低減し、高い降伏電圧を実現することができる。また、基板に半絶縁性のサファイアではなく、導電性の Si C 基板を用い、さらにその裏面にオーミック電極を形成することで素子の抵抗を低く保つことができる。

30

【0021】

以下、図面を参照しながら本発明の実施形態について詳細に説明する。

【実施例 1】

【0022】

図 4 に、本発明による pn 接合ダイオードの構造の一例を示す。この pn 接合ダイオード 400 は、有機金属気相成長 (MOVPE) 法により、n 型導電性 Si C 基板 402 の表面上に 100 nm 厚の n⁺ 型 Al Ga N バッファ層 404 と、500 nm 厚の n⁺ 型 Al Ga N 層 406 と、225 nm 厚の n 型 Al Ga N 層 408 と、140 nm 厚の p 型 In Ga N 層 410 とを順次成長させて作製した。n 型および p 型の不純物にはそれぞれ Si および Mg を用いた。また、n⁺ 型 Al Ga N バッファ層 404、n⁺ 型 Al Ga N 層 406 および n 型 Al Ga N 層 408 の Si 不純物ドーピング濃度は、それぞれ $2 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 、 $2 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 、 $1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ であり、p 型 In Ga N 層の Mg 不純物濃度は、 $4 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ である。ここで、高濃度 Si 不純物ドーピング層と低濃度 Si 不純物ドーピング層を意図的に区別するために、高濃度の Si 不純物層には「n⁺」の記号を、低濃度の不純物層には「n」の記号を用いることにする。

40

50

【0023】

n⁺型AlGa_{0.4}Nバッファ層404のドーピング濃度を $2 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ と高くした理由は、n型SiC基板との接合面における結晶性を損なわない範囲でキャリア濃度を高くして、接合面の異種接合によるバンドオフセットやバリアに対する導電性を確保するためである。また、n型AlGa_{0.8}N層408のドーピング濃度を $1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ と低くした理由は、キャリア濃度を低くしてこの層における耐圧を確保するためである。

【0024】

n⁺型AlGa_{0.4}Nバッファ層404のAl組成を15%とした。n⁺型AlGa_{0.6}N層406およびn型AlGa_{0.8}N層408のAl組成は同一であり、0~25%とし、p型InGa_{0.4}N層410のIn組成は10%とした。なお、メサ構造の作製にはECREッチング法を用いた。また、電子ビーム蒸着により、p型InGa_{0.4}N層410上にはPd/Auのオーミック電極420を、導電性n型SiC基板402の裏面にはTi/Auのオーミック電極430を形成した。p型InGa_{0.4}N層上に形成したPd/Auのオーミック電極の大きさは $100 \mu\text{m} \times 100 \mu\text{m}$ である。

【0025】

本発明では、n型SiC基板の裏面にn型のオーミック電極を形成し、電流を基板の表面から基板の裏面へ流しているため、図1または図2のように、n型AlGa_{0.4}N層の横方向の抵抗および電極層との接触抵抗がなく、素子抵抗を低くできる。また、AlGa_{0.4}N層のリーク電流をサファイア基板ではなく、格子定数差の小さいSiC基板を用い、さらにAl組成がAlGa_{0.4}N層のAl組成以上であるAlGa_{0.4}Nバッファ層を挿入することで、格子定数および熱膨張係数差によるAlGa_{0.4}N層内のクラックおよび結晶欠陥を低減している。

【0026】

図5に、図4の構造におけるpn接合ダイオードの降伏電圧とn型AlGa_{0.4}N層のAl組成の関係を示す。降伏電圧は、逆方向I-V特性において1μAの電流が流れる電圧と定義した。図4に示した構造では、降伏電圧はn型AlGa_{0.8}N層408によって決まる。pn接合ダイオードの降伏電圧はn型AlGa_{0.4}N層のAl組成が10%以下のときには、膜厚が225nmと小さいためGa_{0.4}N層を用いた場合との顕著な差は現れない。また、n⁺型AlGa_{0.4}Nバッファ層404のAl組成よりもn型AlGa_{0.7}N層407のAl組成が大きくなるとAlGa_{0.4}Nのバンドギャップが大きくなるにも関わらず、降伏電圧は急激に低下する。この理由は次の通りである。まず、n⁺型AlGa_{0.4}Nバッファ層のAl組成に対してn型AlGa_{0.4}N層のAl組成が大きくなるとn型AlGa_{0.4}N層の格子定数がn⁺型AlGa_{0.4}Nバッファ層の格子定数より小さくなるため、n型AlGa_{0.4}N層内に引っ張り応力がかかることになる。一般にクラックや結晶欠陥の混入する臨界膜厚は、圧縮応力よりも引っ張り応力がかかるときのほうが小さい。よって、n型AlGa_{0.4}N層内の引っ張り応力によって、クラックや結晶欠陥が混入しやすく、n型AlGa_{0.4}N層内のリーク電流が増加するため、降伏電圧の低下が起こると考えられる。従って、n⁺型AlGa_{0.4}Nバッファ層のAl組成は、n型AlGa_{0.4}N層のAl組成以上であることが必要である。図5を参照すると、n型AlGa_{0.4}N層のAl組成がn⁺型AlGa_{0.4}Nバッファ層のAl組成(15%)以上になる点線の右側の領域で、降伏電圧が急速に低下していることが分かる。しかし、AlGa_{0.4}NはAl組成が高くなるほど、Si不純物が活性化しにくくなり、かつ電子の移動度が減少するために抵抗率が高くなるので、素子抵抗を低く保ったまま降伏電圧を高くするためには設計に注意が必要である。

【実施例2】

【0027】

図6に、本発明によるpn接合ダイオードの構造の一例を示す。このpn接合ダイオード600は、実施例1と同様に、MOVPE法により、導電性n型SiC基板602の表面上に100nm厚のn⁺型AlGa_{0.4}Nバッファ層604と、500nm厚のn⁺型AlGa_{0.6}N層606と、225nm厚のn型AlGa_{0.8}N層608と、140nm厚のp型InGa_{0.4}N層610とを順次成長させて作製した。n⁺型AlGa_{0.4}Nバッファ層のAl組成は

25%とした。 n^+ 型AlGaIn層およびn型AlGaIn層のAl組成はそれぞれ15%とし、p型InGaIn層のIn組成は10%とした。各AlGaIn層のAl組成以外は実施例1と同一である。

【0028】

この構造における降伏電圧は60Vである。このとき、n型AlGaIn層の絶縁破壊電界は2.7MV/cmとなり、n型GaIn層を用いたときに得られた絶縁破壊電界2.1MV/cmから増加している。この降伏電圧の増加は、n型AlGaIn層608内のリーク電流を抑えるために n^+ 型AlGaInバッファ層604のAl組成を n^+ 型AlGaIn層606のAl組成よりも10%高くしたことによる。順方向I-V特性における100mAでの微分抵抗をオン抵抗と定義すると、 $1.3\text{ m}\Omega\text{ cm}^2$ と十分に低い値を示した。同様の構造で、 n^+ 型AlGaIn層およびn型AlGaIn層をそれぞれ n^+ 型GaIn層およびn型GaIn層としたときのオン抵抗は $1.2\text{ m}\Omega\text{ cm}^2$ であるから、AlGaIn層を用いたことによる大きな抵抗の増加は見られない。従って、AlGaIn層による降伏電圧の増加と低抵抗を同時に実現している。

10

【実施例3】

【0029】

図7に、本発明によるpn接合ダイオードの構造の一例を示す。このpn接合ダイオード700は、実施例2と同様に、MOVPE法により、導電性n型SiC基板702の表面上に100nm厚の n^+ 型AlGaInバッファ層704と、500nm厚の n^+ 型AlGaIn層706と、225nm厚のn型AlGaIn層708と、140nm厚のp型InGaIn層710とを順次成長させて作製した。 n^+ 型AlGaInバッファ層704のAl組成は、SiC基板との界面では25%とし、 n^+ 型AlGaIn層706へ向かって漸次減少させ、 n^+ 型AlGaIn層706との界面では15%とした。 n^+ 型AlGaIn層706およびn型AlGaIn層708のAl組成は、ともに15%とし、p型InGaIn層710のIn組成は、10%とした。 n^+ 型AlGaInバッファ層のAl組成がSiC基板界面から n^+ 型AlGaIn層界面に向かって漸次減少している以外は実施例2と同一である。

20

【0030】

この構造における降伏電圧はn型AlGaIn層708によって決まるため、60Vと実施例2と変わらないが、オン抵抗は $1.0\text{ m}\Omega\text{ cm}^2$ と減少する。この抵抗の減少は、 n^+ 型AlGaInバッファ層のAl組成をSiC基板界面から n^+ 型AlGaIn層界面へと漸次減少させることによって、 n^+ 型AlGaInバッファ層と n^+ 型AlGaIn層との界面でのバンド不連続の影響を小さくしているためである。

30

【実施例4】

【0031】

図8に、本発明によるpn接合ダイオードの構造の一例を示す。このpn接合ダイオード800は、実施例2と同様に、MOVPE法により、導電性n型SiC基板802の表面上に100nm厚の n^+ 型AlGaInバッファ層804と、500nm厚の n^+ 型AlGaIn層806と、225nm厚のn型AlGaIn層808と、140nm厚のp型InGaIn層810とを順次成長させて作製した。 n^+ 型AlGaInバッファ層804のAl組成は25%とした。 n^+ 型AlGaIn層806のAl組成は、 n^+ 型AlGaInバッファ層804との界面では25%とし、n型AlGaIn層808へ向かって漸次減少させ、n型AlGaIn層808との界面では15%とした。n型AlGaIn層808のAl組成は15%とし、p型InGaIn層810のIn組成は10%とした。 n^+ 型AlGaIn層のAl組成が n^+ 型AlGaInバッファ層界面からn型AlGaIn層界面に向かって漸次減少している以外は実施例2と同一である。

40

【0032】

この構造における降伏電圧はn型AlGaIn層808によって決まるため、60Vと実施例2と変わらない。オン抵抗は $1.1\text{ m}\Omega\text{ cm}^2$ と実施例2と比べて減少するが、実施例3よりも高くなる。この理由は次の通りである。 n^+ 型AlGaIn層のAl組成を n^+

50

型 AlGaIn バッファ層界面から n 型 AlGaIn 層界面に向かって漸次減少させることによって、n⁺ 型 AlGaIn 層と n 型 AlGaIn 層の界面でのバンド不連続の影響を小さくなり、実施例 2 と比べて抵抗は低くなるが、実施例 3 と比べると Al 組成が高い AlGaIn 層の部分が長くなるため抵抗が高くなる。

【実施例 5】

【0033】

図 9 に、本発明による pn 接合ダイオードの構造の一例を示す。この pn 接合ダイオード 900 は、実施例 3 と同様に、MOVPE 法により、導電性 n 型 SiC 基板 902 の表面上に 100 nm 厚の n⁺ 型 AlGaIn バッファ層 904 と、500 nm 厚の n⁺ 型 AlGaIn 層 906 と、225 nm 厚のアンダー層 AlGaIn 層 908 と、140 nm 厚の p 型 InGaIn 層 910 とを順次成長させて作製した。アンダー層 AlGaIn 層には意図的に不純物ドーピングをしていないこと以外は実施例 3 と同一である。

10

【0034】

この構造における降伏電圧は 70 V と高くなる。これは、アンダー層 AlGaIn 層に不純物ドーピングを行わないことによってキャリア濃度が下がり、空乏層幅が大きくなるため、AlGaIn 層 908 により均一に電界がかかるためである。このときの絶縁破壊電圧は、3.1 MV/cm である。オン抵抗は、AlGaIn 層のキャリア濃度が下がることにより抵抗が高くなるため、 $1.2 \text{ m}\Omega \cdot \text{cm}^2$ となった。しかし、依然として素子抵抗を低く保ったまま、降伏電圧を高くすることができる。

20

【実施例 6】

【0035】

図 10 に、本発明による pn 接合ダイオードの構造の一例を示す。この pn 接合ダイオード 1000 は、実施例 5 と同様に、MOVPE 法により、導電性 n 型 SiC 基板 1002 の表面上に 100 nm 厚の n⁺ 型 AlGaIn バッファ層 1004 と、200 nm 厚の n⁺ 型 AlGaIn 層 1006 と、2.0 μm 厚のアンダー層 AlGaIn 層 1008 と、140 nm 厚の p 型 InGaIn 層 1010 とを順次成長させて作製した。n⁺ 型 AlGaIn バッファ層 1004 の Al 組成は、SiC 基板 1002 との界面では 35% とし、n⁺ 型 AlGaIn 層 1006 へ向かって漸次減少させ、n⁺ 型 AlGaIn 層 1006 との界面では 25% とした。n⁺ 型 AlGaIn 層 1006 の Al 組成は 25% とし、アンダー層 AlGaIn 層 1008 には意図的なドーピングは行っていない。また、p 型 InGaIn 層 1010 の In 組成は 10% とした。n⁺ 型 AlGaIn バッファ層および n⁺ 型 AlGaIn 層の Al 組成、そしてアンダー層 AlGaIn 層の膜厚以外は実施例 4 と同一である。

30

【0036】

この構造における降伏電圧は 640 V である。このとき、Al 組成が 25% のアンダー層 AlGaIn 層の絶縁破壊電界は 3.6 MV/cm である。Al 組成の高い AlGaIn 層 1008 を用いることにより、SiC 基板との格子定数差、熱膨張係数差が小さくなるため、クラックが発生しにくく、1.8 μm までアンダー層 AlGaIn 層の膜厚を増加させることができたため、高い降伏電圧が実現された。また、このときのオン抵抗は、 $3.8 \text{ m}\Omega \cdot \text{cm}^2$ であり、アンダー層 AlGaIn 層厚が増大することによって若干高くなったが許容範囲内である。

40

【実施例 7】

【0037】

図 11 に、本発明によるショットキーダイオードの構造の一例を示す。このショットキーダイオード 1100 は、実施例 5 と同様に、MOVPE 法を用いて、導電性 n 型 SiC 基板 1102 の表面上に 100 nm 厚の n⁺ 型 AlGaIn バッファ層 1104 と、500 nm 厚の n⁺ 型 AlGaIn 層 1106 と、225 nm 厚のアンダー層 AlGaIn 層 1108 とを順次成長させて作製した。n⁺ 型 AlGaIn バッファ層 1104、n⁺ 型 AlGaIn 層 1106 の Si 不純物ドーピング濃度は、それぞれ $2 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 、 $2 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ である。実施例 4 と異なる点は、140 nm 厚の p 型 InGaIn 層を成長していない点である。この後、電子ビーム蒸着により、アンダー層 AlGaIn 層 1108 上

50

にはPd/Auのショットキー電極1120、そして導電性n型SiC基板1102の裏面にはTi/Auのオーミック電極1130を形成した。メサ構造の作製にはECREツチング法を用いた。ここで、Pd/Au電極は、p型InGaN層に対してはオーミック電極となり、アンドープAlGaN層に対してはショットキー電極となる。

【0038】

この構造における降伏電圧は65Vであり、実施例5で示したように、同じ膜厚(225nm)のアンドープAlGaN層を用いたpn接合ダイオードの降伏電圧(70V)とほぼ等しい値が得られた。降伏電圧の大きさは、ダイオードの種類(pn接合ダイオードあるいはショットキーダイオード)に依存せず、電圧を保持するアンドープAlGaN層に依存するからである。また、順方向I-V特性からは、 $1.1\text{ m}\Omega\text{ cm}^2$ という低いオン抵抗が得られている。同じ膜厚(225nm)のアンドープAlGaN層を用いたpn接合ダイオードのオン抵抗($1.2\text{ m}\Omega\text{ cm}^2$)よりも若干低い理由は、p型InGaN層に関連する抵抗成分が無くなったためと考えられる。

10

【0039】

このように、ショットキーダイオードにおいても、ダイオードの抵抗を低く保ったまま、高い降伏電圧を得ることができる。

【0040】

以上、本発明について、具体的にいくつかの実施例について説明したが、本発明の原理を適用できる多くの実施可能な形態に鑑みて、ここに記載した実施例は、単に例示に過ぎず、本発明の範囲を限定するものではない。例えば、本発明の原理は、例示したpn接合ダイオード、ショットキーダイオードに限らず、バイポーラトランジスタ、電界効果トランジスタなどの半導体デバイスに適用することができる。また、ここに例示した実施例は、本発明の趣旨から逸脱することなくその構成と詳細を変更することができる。さらに、説明のための構成要素および手順は、本発明の趣旨から逸脱することなく変更、補足、またはその順序を変えてもよい。

20

【図面の簡単な説明】

【0041】

【図1】降伏電圧を増加させるために、AlGaN層を使用したショットキーダイオードの構造の一例を示す図である。

【図2】降伏電圧を増加させるために、AlGaN層を使用したpn接合ダイオードの構造の一例を示す図である。

30

【図3】図2において、AlGaN層に代えてGaN層を使用したpn接合ダイオードの構造の一例を示す図である。

【図4】本発明の実施例1によるpn接合ダイオードの構造の一例を示す図である。

【図5】図4のpn接合ダイオードにおける降伏電圧とn型AlGaN層のAl組成の関係を示すグラフである。

【図6】本発明の実施例2によるpn接合ダイオードの構造の一例を示す図である。

【図7】本発明の実施例3によるpn接合ダイオードの構造の一例を示す図である。

【図8】本発明の実施例4によるpn接合ダイオードの構造の一例を示す図である。

【図9】本発明の実施例5によるpn接合ダイオードの構造の一例を示す図である。

40

【図10】本発明の実施例6によるpn接合ダイオードの構造の一例を示す図である。

【図11】本発明の実施例7によるショットキーダイオードの構造の一例を示す図である。

【符号の説明】

【0042】

100 ショットキーダイオード

200 pinダイオード

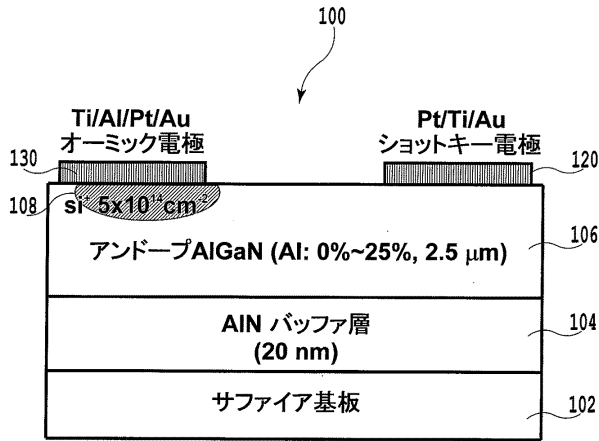
300 pinダイオード

400, 600, 700, 800, 900, 1000 pn接合ダイオード

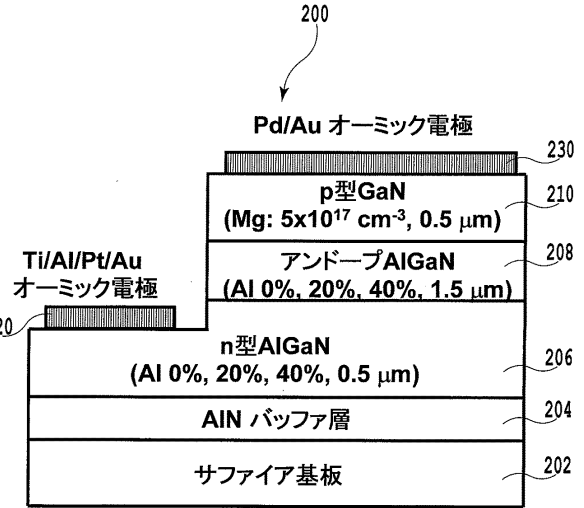
1100 ショットキーダイオード

50

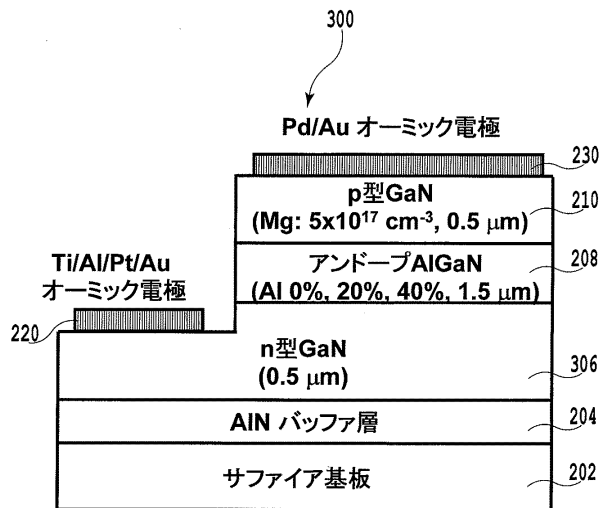
【図1】



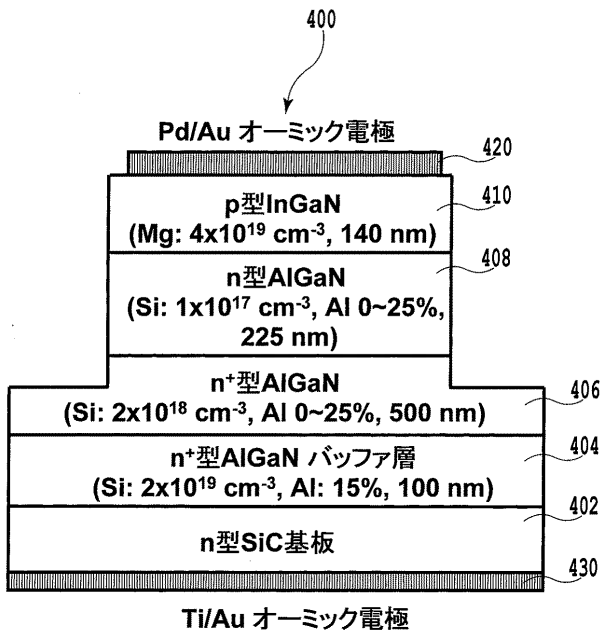
【図2】



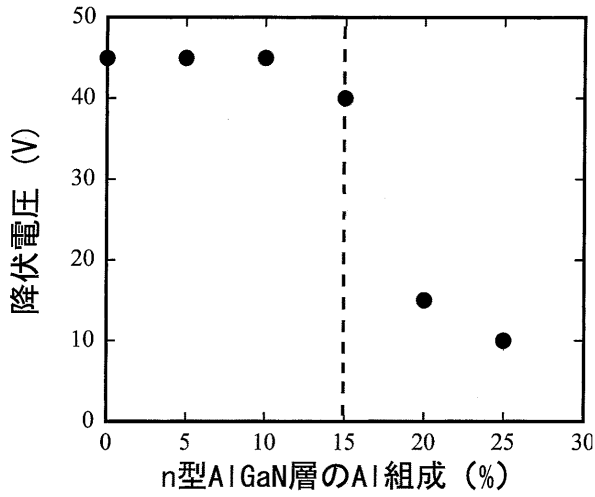
【図3】



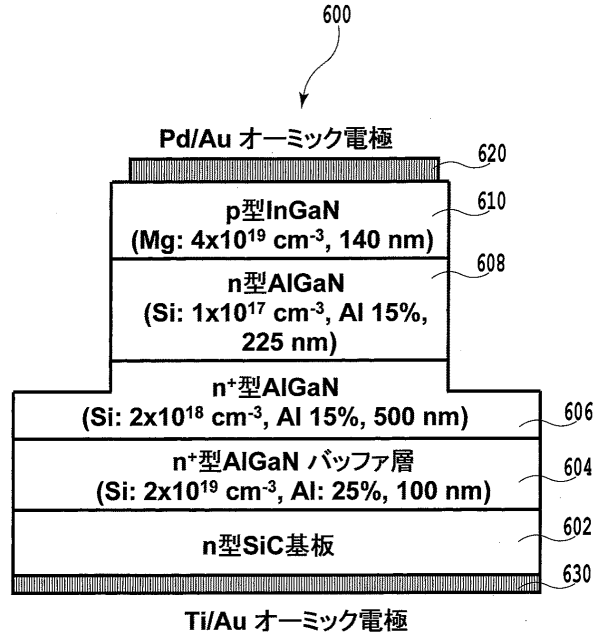
【図4】



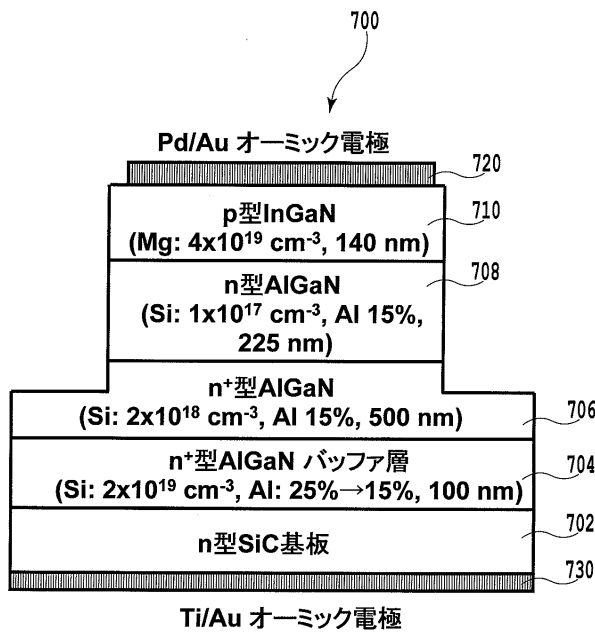
【 図 5 】



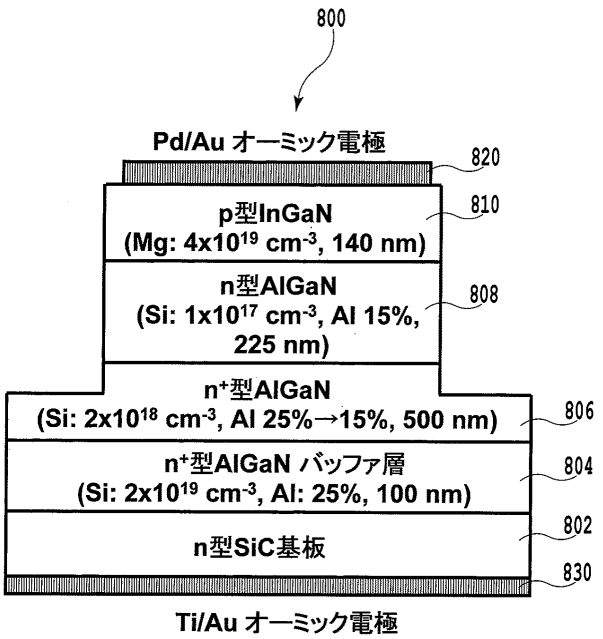
【 図 6 】



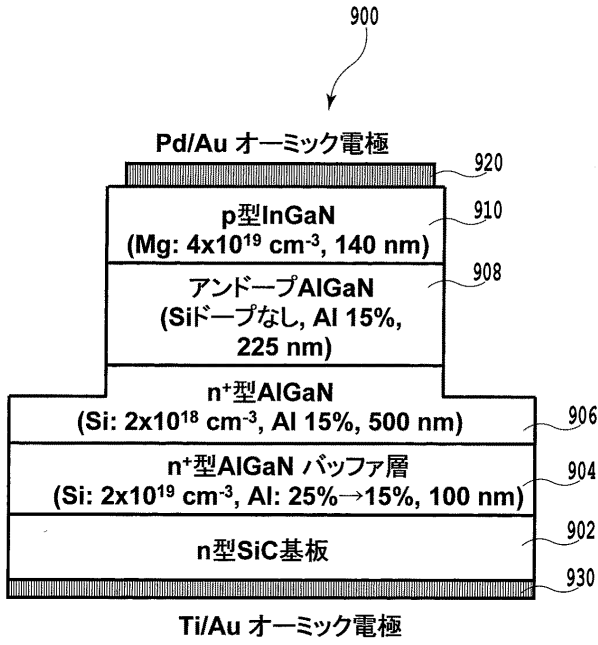
【 図 7 】



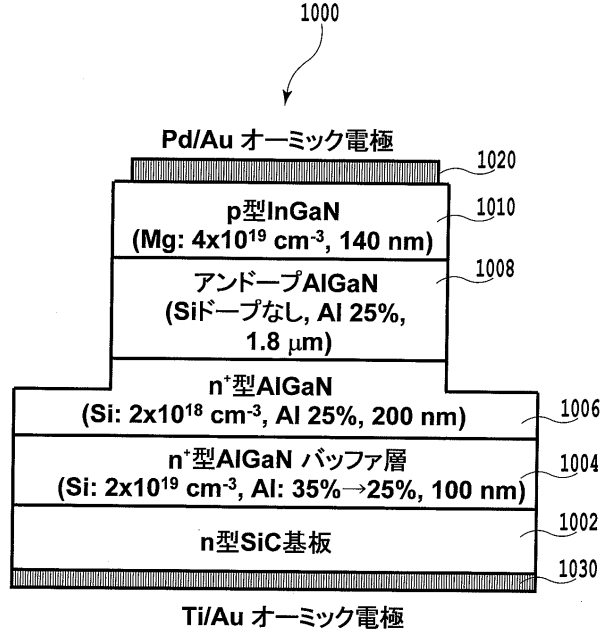
【 図 8 】



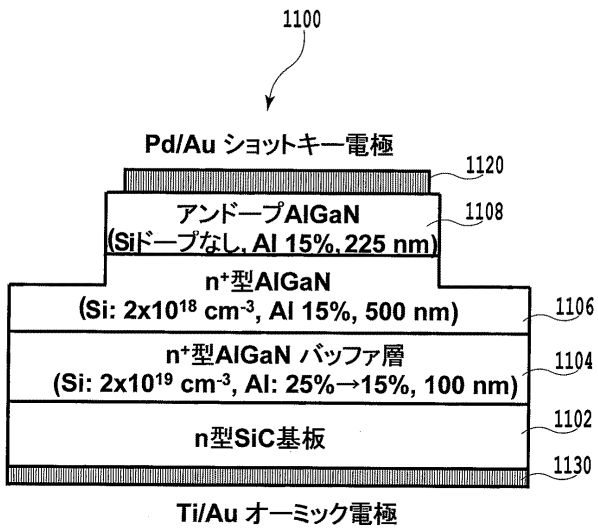
【 図 9 】



【 図 10 】



【 図 11 】



フロントページの続き

- (72)発明者 熊倉 一英
東京都千代田区大手町二丁目3番1号 日本電信電話株式会社内
- (72)発明者 赤坂 哲也
東京都千代田区大手町二丁目3番1号 日本電信電話株式会社内

審査官 村岡 一磨

- (56)参考文献 特開2002-026385(JP,A)
特開2003-273398(JP,A)
特開2003-059938(JP,A)
特開2003-060212(JP,A)
特開2003-229566(JP,A)
T.G. Zhu, U. Chowdhury, M.M. Wong, K.S. Kim, J.C. Denyszyn, R.D. Dupuis, GaN and AlxGa
1-xN p-i-n High-Voltage Rectifiers Grown by Metalorganic Chemical Vapor Deposition, ph
ysica status solidi (a), 2001年11月, Volume 188, Issue 1, pages 301-305

- (58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
- | | |
|------|--------|
| H01L | 29/861 |
| H01L | 21/28 |
| H01L | 29/47 |
| H01L | 29/872 |