

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B1)

(11) 特許番号

特許第4681684号
(P4681684)

(45) 発行日 平成23年5月11日(2011.5.11)

(24) 登録日 平成23年2月10日(2011.2.10)

(51) Int.Cl.	F I	
HO 1 L 33/04 (2010.01)	HO 1 L 33/00	1 1 0
HO 1 L 33/32 (2010.01)	HO 1 L 33/00	1 8 6
HO 1 S 5/323 (2006.01)	HO 1 S 5/323	6 1 0
HO 1 L 29/812 (2006.01)	HO 1 L 29/80	H
HO 1 L 29/778 (2006.01)	HO 1 L 21/205	
請求項の数 11 (全 23 頁) 最終頁に続く		

(21) 出願番号	特願2010-183420 (P2010-183420)	(73) 特許権者	506334182
(22) 出願日	平成22年8月18日 (2010.8.18)		DOWAエレクトロニクス株式会社
審査請求日	平成22年8月27日 (2010.8.27)		東京都千代田区外神田四丁目14番1号
(31) 優先権主張番号	特願2009-193090 (P2009-193090)	(74) 代理人	100147485
(32) 優先日	平成21年8月24日 (2009.8.24)		弁理士 杉村 憲司
(33) 優先権主張国	日本国(JP)	(74) 代理人	100114292
(31) 優先権主張番号	特願2010-44744 (P2010-44744)		弁理士 来間 清志
(32) 優先日	平成22年3月1日 (2010.3.1)	(74) 代理人	100149700
(33) 優先権主張国	日本国(JP)		弁理士 高梨 玲子
早期審査対象出願		(72) 発明者	大鹿 嘉和
			東京都千代田区外神田4-14-1 DO
			WAエレクトロニクス株式会社内
		(72) 発明者	松浦 哲也
			東京都千代田区外神田4-14-1 DO
			WAエレクトロニクス株式会社内
			最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 窒化物半導体素子およびその製造方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

基板と、該基板上に形成されたAlNからなるAlN歪緩衝層と、該AlN歪緩衝層上に形成された超格子歪緩衝層と、該超格子歪緩衝層上に形成された窒化物半導体層とを備える窒化物半導体素子であって、

前記超格子歪緩衝層は、 $Al_xGa_{1-x}N$ ($0 < x < 0.25$) よりなり、且つ、Mgを含む第1の層と、AlNよりなり、意図的にMgを含んでいない第2の層とを交互に積層して超格子構造を形成したものであることを特徴とする、窒化物半導体素子。

【請求項2】

基板と、該基板上に形成されたAlNからなるAlN歪緩衝層と、該AlN歪緩衝層上に形成された超格子歪緩衝層と、該超格子歪緩衝層上に形成されたn型窒化物半導体層と、該n型窒化物半導体層上に形成された発光層と、該発光層上に形成されたp型窒化物半導体層と、前記n型窒化物半導体層に電氣的に連結されたn側電極と、前記p型窒化物半導体層に電氣的に連結されたp側電極とを備える窒化物半導体素子であって、

前記超格子歪緩衝層は、 $Al_xGa_{1-x}N$ ($0 < x < 0.25$) よりなり、且つ、Mgを含む第1の層と、AlNよりなり、意図的にMgを含んでいない第2の層とを交互に積層して超格子構造を形成したものであることを特徴とする、窒化物半導体素子。

【請求項3】

前記超格子歪緩衝層全体としてのMg濃度が $1 \times 10^{-18} \text{ cm}^{-3}$ 以下であることを特徴とする、請求項1または2に記載の窒化物半導体素子。

【請求項 4】

前記第 1 の層の厚さが $0.1 \sim 3 \text{ nm}$ であることを特徴とする、請求項 1 ~ 3 の何れかに記載の窒化物半導体素子。

【請求項 5】

前記第 1 の層中の前記 Mg の濃度が $5 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ 以上 $2 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 未満であることを特徴とする、請求項 1 ~ 4 の何れかに記載の窒化物半導体素子。

【請求項 6】

基板上に AlN からなる AlN 歪緩衝層を形成する工程と、該 AlN 歪緩衝層上に超格子歪緩衝層を形成する工程と、該超格子歪緩衝層上に窒化物半導体層を形成する工程とを含む窒化物半導体素子の製造方法であって、

前記超格子歪緩衝層を形成する工程は、 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ ($0 < x < 0.25$) よりなり、且つ、Mg を含む第 1 の層と、AlN よりなり、意図的に Mg を含んでいない第 2 の層とを交互に積層して超格子構造を形成する工程であることを特徴とする、窒化物半導体素子の製造方法。

【請求項 7】

基板上に AlN からなる AlN 歪緩衝層を形成する工程と、該 AlN 歪緩衝層上に超格子歪緩衝層を形成する工程と、該超格子歪緩衝層上に n 型窒化物半導体層を形成する工程と、該 n 型窒化物半導体層上に発光層を形成する工程と、該発光層上に p 型窒化物半導体層を形成する工程と、前記 n 型窒化物半導体層に電氣的に連結された n 側電極を形成する工程と、前記 p 型窒化物半導体層に電氣的に連結された p 側電極を形成する工程とを含む窒化物半導体素子の製造方法であって、

前記超格子歪緩衝層を形成する工程は、 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ ($0 < x < 0.25$) よりなり、且つ、Mg を含む第 1 の層と、AlN よりなり、意図的に Mg を含んでいない第 2 の層とを交互に積層して超格子構造を形成する工程であることを特徴とする、窒化物半導体素子の製造方法。

【請求項 8】

前記 n 側電極を形成する工程は、前記発光層上に p 型窒化物半導体層を形成した後に、前記 n 型窒化物半導体層の前記発光層側の一部を露出させ、該露出させた一部に n 側電極を形成することを含むことを特徴する、請求項 7 に記載の製造方法。

【請求項 9】

前記超格子歪緩衝層全体としての Mg 濃度が $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 以下であることを特徴とする、請求項 6 ~ 8 の何れかに記載の製造方法。

【請求項 10】

前記第 1 の層の厚さを $0.1 \sim 3 \text{ nm}$ とすることを特徴とする、請求項 6 ~ 9 の何れかに記載の製造方法。

【請求項 11】

前記第 1 の層中の前記 Mg の濃度を $5 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ 以上 $2 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 未満とすることを特徴とする、請求項 6 ~ 10 の何れかに記載の製造方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、窒化物半導体素子および窒化物半導体素子の製造方法に関するものである。

【背景技術】

【0002】

近年、殺菌、浄水、医療、照明、高密度光記録などの分野で好適に用いることができる発光ダイオード (LED) として、紫外線領域で発光する LED、特に発光波長が 365 nm 未満の紫外 LED が着目されている。また、近年では、化合物半導体を用いた HEMT 等の電子デバイスも、注目されている。

【0003】

ここで、このような紫外 LED としては、素子材料として AlGaN 系薄膜を用いて素

10

20

30

40

50

子構造を形成したものが知られている。そして、このようなAlGaIn系薄膜を用いて素子構造を形成した紫外LEDでは、高品質なAlGaIn系薄膜を得て紫外LEDの発光出力を向上させるための様々な取り組みがなされている。

【0004】

具体的には、基板上にAlN歪緩衝層（AlNテンプレート）を設けると共に、該AlN歪緩衝層とn型窒化物半導体（n型AlGaIn層）との間に $Al_aGa_{1-a}N/Al_bGa_{1-b}N$ （ $0 < a, b < 1$ 、 $a > b$ ）の超格子歪緩衝層を設けることにより、薄膜応力を制御すると共にn型AlGaIn層でのクラック発生を抑制し、発光出力を向上させた紫外LEDが開発されている（例えば、非特許文献1参照）。

【0005】

しかしここで、上述した紫外LED（窒化物半導体素子）の発光出力は十分ではなかった。

【0006】

また、上述したような化合物半導体を用いたHEMT等の電子デバイスとしては、窒化物半導体を用いた窒化物半導体素子が知られている。そして、このような窒化物半導体を用いたHEMTでは、電流特性を向上させるための様々な取り組みがなされている。

【0007】

具体的には、基板上にバッファ層（GaN層）を形成し、該バッファ層上にノンドープ窒化物半導体（i型AlGaIn層）からなるチャンネル層およびバリア層を設けると共に、ソース/ドレイン領域にSiを注入して、低接触抵抗を実現したHEMTが開発されている（例えば、非特許文献2参照）。

【0008】

しかしここで、上述したHEMTでは、GaNよりなるバッファ層の上に形成したチャンネル層（i型AlGaIn層）の表面の平坦性が十分ではなく、十分な電流特性を得ることができなかった。

【先行技術文献】

【非特許文献】

【0009】

【非特許文献1】ヴィノッド・アディバラハン（Vinod Adivarahan）他、“パルス横方向過成長AlN上の強固な290nm発光LED（Robust 290nm Emission Light Emitting Diodes over Pulsed Laterally Overgrown AlN）”、ジャパニーズ・ジャーナル・オブ・アプライド・フィジクス（Japanese Journal of Applied Physics）、2007年、第46巻、第36号、P. 877

【非特許文献2】ナンジョウ・タクマ他、“AlGaInチャンネルHEMTの初運転（First Operation of AlGaIn Channel High Electron Mobility Transistors）”、アプライド・フィジクス・エクスプレス（Applied Physics Express）、第1巻、2008年

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0010】

ここで、上述したような窒化物半導体素子（HEMTなどの電子デバイス）の電流特性の問題に対し、本発明者らは、GaNやAl含有率が低いAlGaInと、AlNとを組み合わせた超格子歪緩衝層を基板上に平坦性良く形成し、該超格子歪緩衝層上に積層する窒化物半導体層の結晶性を改善することで、窒化物半導体素子の電流特性、例えばシート抵抗などを改善できることを見出した。

【0011】

そのため、本発明者らは、基板の上にAl含有率が低いAlGaIn層やGaN層を用いた超格子歪緩衝層を平坦性良く形成すると共に、該超格子歪緩衝層上に平坦性および結晶性が良好な窒化物半導体層を形成した、電流特性の良好な窒化物半導体素子、および、そのような素子の製造方法を開発することを目指し、鋭意研究を行った。

【0012】

10

20

30

40

50

また、上述したような窒化物半導体素子（紫外LED）の発光出力の問題に対し、本発明者らは、GaNやAl含有率が低いAlGaNと、AlNとを組み合わせた超格子歪緩衝層が、その上に積層する層の結晶性を改善して窒化物半導体素子の発光出力を向上させるのに有効であることを見出した。しかしながら、紫外領域の発光波長よりもバンドギャップの狭いGaNやAl含有率が低いAlGaNは、発光素子としては光吸収要素となるため、超格子歪緩衝層中のGaNやAl含有率が低いAlGaNの量はできるだけ減らすことが好ましい。そのため、本発明者らは、超格子歪緩衝層中の、GaNやAl含有率が低いAlGaNからなる層の厚さを可能な限り薄くすることを目指した。

【0013】

しかしここで、AlNテンプレート上においては、AlN層は比較的平坦に成長するが、GaNやAl含有率が低いAlGaNは、横方向への結晶成長速度が小さく、層厚を薄くするほど平坦性が良好な結晶を得ることが非常に困難である。そのため、GaNやAl含有率が低いAlGaNからなる層を用いた超格子歪緩衝層では、平坦性が悪化し、超格子構造の面内バラつきが大きくなり、超格子歪緩衝層の上に積層する層の結晶性が悪くなることが分かった。

【0014】

そのため、本発明者らは、AlNテンプレート基板の上にAl含有率が低いAlGaN層やGaN層を用いた超格子歪緩衝層を平坦性良く形成すると共に、該超格子歪緩衝層上に平坦性および結晶性が良好なn型窒化物半導体層を形成した、発光出力の高い窒化物半導体素子、および、そのような素子の製造方法を開発することを目指し、鋭意研究を行った。

【課題を解決するための手段】

【0015】

この発明は、上記電流特性の課題を有利に解決することを目的とするものであり、本発明の窒化物半導体素子は、基板と、該基板上に形成されたAlNからなるAlN歪緩衝層と、該AlN歪緩衝層上に形成された超格子歪緩衝層と、該超格子歪緩衝層上に形成された窒化物半導体層とを備える窒化物半導体素子であって、前記超格子歪緩衝層は、 $Al_xGa_{1-x}N$ ($0 < x < 0.25$) よりなり、且つ、Mgを含む第1の層と、AlNよりなり、意図的にMgを含んでいない第2の層とを交互に積層して超格子構造を形成したものであることを特徴とする。このように、基板と超格子歪緩衝層との間にAlN歪緩衝層を形成すれば、基板と超格子歪緩衝層との間の転位の発生を抑制すると共に、窒化物半導体層における歪の発生を抑制して転位の発生をさらに低減することができる。また、Alの含有率が低い第1の層にp型不純物としてMgを含有させた超格子歪緩衝層の上に窒化物半導体層を形成すれば、該窒化物半導体層をベースに半導体素子として機能する層を積層することにより、電流特性の良好な窒化物半導体素子を得ることができる。因みに、本発明においては、窒化物半導体層は、特に限定されることなく、p型窒化物半導体層、n型窒化物半導体層、i型窒化物半導体層などの任意の窒化物半導体層とすることができる。なお、本発明において、i型窒化物半導体層とは、MgやSi等の特定の不純物を意図的には添加していない窒化物半導体層（アンドープ層ともいう）を指し、i型窒化物半導体層は、理想的には不純物を全く含まない半導体層であるのが好ましいが、電氣的にp型またはn型として機能しない半導体層であれば良い。そのため、本発明では、キャリア密度が小さいもの（例えば、 $5 \times 10^{16} / \text{cm}^3$ 未満のもの）をi型と称することができる。

【0016】

また、この発明は、上記発光出力の課題を有利に解決することを目的とするものであり、本発明の窒化物半導体素子は、基板と、該基板上に形成されたAlNからなるAlN歪緩衝層と、該AlN歪緩衝層上に形成された超格子歪緩衝層と、該超格子歪緩衝層上に形成されたn型窒化物半導体層と、該n型窒化物半導体層上に形成された発光層と、該発光層上に形成されたp型窒化物半導体層と、前記n型窒化物半導体層に電氣的に連結されたn側電極と、前記p型窒化物半導体層に電氣的に連結されたp側電極とを備える窒化物半

10

20

30

40

50

導体素子であって、前記超格子歪緩衝層は、 $Al_xGa_{1-x}N$ ($0 < x < 0.25$) よりなり、且つ、Mgを含む第1の層と、AlNよりなり、意図的にMgを含んでいない第2の層とを交互に積層して超格子構造を形成したものであることを特徴とする。このように、基板と超格子歪緩衝層との間にAlN歪緩衝層を形成すれば、基板と超格子歪緩衝層との間の転位の発生を抑制すると共に、n型窒化物半導体層～p型窒化物半導体層における歪の発生を抑制して転位の発生をさらに低減することができる。また、Alの含有率が低い第1の層にp型不純物としてMgを含有させた超格子歪緩衝層の上にn型窒化物半導体層を形成して窒化物半導体素子とすれば、平坦な超格子歪緩衝層上に平坦性および結晶性が良好なn型窒化物半導体層を形成して、発光出力の高い窒化物半導体素子を得ることができる。

10

【0017】

ここで、本発明の窒化物半導体素子は、前記p型不純物としてMgを含む。窒化物半導体に対する偏析効果の観点からは、p型不純物としてMg、Zn、CaまたはBeを用いることができる。Mgは、AlGa_xNやGa_xNの横方向の結晶成長を促進するための横方向結晶成長促進物質として特に適しているからである。なお、本発明では、アンチサーファクタント効果により3次元で結晶成長が促進されるSi (n型不純物) やC等ではなく、横方向の結晶成長が促進されるMg (p型不純物) を第1の層に含ませているので、平坦な超格子歪緩衝層上に平坦性および結晶性が良好なn型窒化物半導体層を形成することができる。なお、本発明では、「p型不純物」と記載しているが、本発明の窒化物半導体素子においては、上記の不純物が活性化しているかどうかは重要ではなく、活性化していなくても良い。

20

【0018】

更に、本発明の窒化物半導体素子は、前記第1の層の厚さが0.1～3nmであることが好ましい。超格子歪緩衝層を形成する層の厚みが薄いほど窒化物半導体素子の発光出力は高くなると、第1の層の厚さを3nm以下、より好ましくは2nm以下とすれば、発光出力の高い窒化物半導体素子を得ることができるからである。また、超格子歪緩衝層を形成する層の厚みが薄いほど窒化物半導体素子の電流特性が向上するからである。一方、厚さ0.1nm未満の層を製膜制御するのは困難だからである。

【0019】

また、本発明の窒化物半導体素子は、前記第1の層中の前記Mgの濃度が、 $5 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ 以上 $2 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 未満であることが好ましく、 $7 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ ～ $1.7 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ とすることがより好ましい。Mgの濃度を $5 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ 以上とすれば、超格子歪緩衝層の平坦性をより向上させて平坦性および結晶性が良好な窒化物半導体層やn型窒化物半導体層を形成することができるからである。また、Mgの濃度が $2 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 以上では、不純物の凝縮が起こって超格子歪緩衝層の結晶性が悪化し、続いて積層する窒化物半導体層やn型窒化物半導体層等の平坦性および結晶性に悪影響を及ぼすからである。なお、本発明において、Mg濃度とは、SIMSによる測定値を示す。

30

【0020】

ここで、本発明の窒化物半導体素子の製造方法は、基板上にAlNからなるAlN歪緩衝層を形成する工程と、該AlN歪緩衝層上に超格子歪緩衝層を形成する工程と、該超格子歪緩衝層上に窒化物半導体層を形成する工程とを含む窒化物半導体素子の製造方法であって、前記超格子歪緩衝層を形成する工程は、 $Al_xGa_{1-x}N$ ($0 < x < 0.25$) よりなり、且つ、Mgを含む第1の層と、AlNよりなり、意図的にMgを含んでいない第2の層とを交互に積層して超格子構造を形成する工程であることを特徴とする。このように、基板と超格子歪緩衝層との間にAlN歪緩衝層を形成すれば、基板と超格子歪緩衝層との間の転位の発生を抑制すると共に、窒化物半導体層における歪の発生を抑制して転位の発生をさらに低減することができる。また、Alの含有率が低い第1の層にp型不純物としてMgを含有させて超格子歪緩衝層を形成すると共に、該超格子歪緩衝層の上に窒化物半導体層を形成して窒化物半導体素子とすれば、該窒化物半導体層をベースに半導体

40

50

素子として機能する層を更に積層することにより、電流特性の良好な窒化物半導体素子を得ることができる。因みに、本発明においては、窒化物半導体層は、特に限定されることなく、p型窒化物半導体層、n型窒化物半導体層、i型窒化物半導体層などの任意の窒化物半導体層とすることができる。なお、本発明において、i型窒化物半導体層とは、MgやSi等の特定の不純物を意図的には添加していない窒化物半導体層（アンドープ層ともいう）を指し、i型窒化物半導体層は、理想的には不純物を全く含まない半導体層であるのが好ましいが、電氣的にp型またはn型として機能しない半導体層であれば良い。そのため、本発明では、キャリア密度が小さいもの（例えば、 $5 \times 10^{16} / \text{cm}^3$ 未満のもの）をi型と称することができる。

【0021】

また、本発明の窒化物半導体素子の製造方法は、基板上にAlNからなるAlN歪緩衝層を形成する工程と、該AlN歪緩衝層上に超格子歪緩衝層を形成する工程と、該超格子歪緩衝層上にn型窒化物半導体層を形成する工程と、該n型窒化物半導体層上に発光層を形成する工程と、該発光層上にp型窒化物半導体層を形成する工程と、前記n型窒化物半導体層に電氣的に連結されたn側電極を形成する工程と、前記p型窒化物半導体層に電氣的に連結されたp側電極を形成する工程とを含む窒化物半導体素子の製造方法であって、前記超格子歪緩衝層を形成する工程は、 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ ($0 < x < 0.25$) よりなり、且つ、Mgを含む第1の層と、AlNよりなり、意図的にMgを含んでいない第2の層とを交互に積層して超格子構造を形成する工程であることを特徴とする。このように、基板と超格子歪緩衝層との間にAlN歪緩衝層を形成すれば、基板と超格子歪緩衝層との間の転位の発生を抑制すると共に、n型窒化物半導体層～p型窒化物半導体層における歪の発生を抑制して転位の発生をさらに低減することができる。また、Alの含有率が低い第1の層にp型不純物としてMgを含有させて超格子歪緩衝層を形成すると共に、該超格子歪緩衝層の上にn型窒化物半導体層を形成して窒化物半導体素子とすれば、平坦な超格子歪緩衝層上に平坦性および結晶性が良好なn型窒化物半導体層を形成して、発光出力の高い窒化物半導体素子を得ることができる。

【0022】

ここで、本発明の窒化物半導体素子の製造方法は、前記n側電極を形成する工程は、前記発光層上にp型窒化物半導体層を形成した後に、前記n型窒化物半導体層の前記発光層側の一部を露出させ、該露出させた一部にn側電極を形成することを含むことが好ましい。

【0023】

更に、本発明の窒化物半導体素子の製造方法は、前記p型不純物としてMgを含む。窒化物半導体に対する偏析効果の観点からは、p型不純物としてMg、Zn、CaまたはBeを用いることができるところ、Mgは、AlGa_xNやGa_xNの横方向の結晶成長を促進するための横方向結晶成長促進物質として特に適しているからである。なお、本発明では、アンチサーファクタント効果により3次元で結晶成長が促進されるSi（n型不純物）やC等ではなく、横方向の結晶成長が促進されるMg（p型不純物）を第1の層に含ませているので、平坦な超格子歪緩衝層上に平坦性および結晶性が良好なn型窒化物半導体層を形成することができる。なお、本発明では、「p型不純物」と記載しているが、本発明の窒化物半導体素子においては、上記の不純物が活性化しているかどうかは重要ではなく、活性化していなくても良い。

【0024】

また、本発明の窒化物半導体素子の製造方法は、前記第1の層の厚さを0.1～3nmとすることが好ましい。超格子歪緩衝層を形成する層の厚みが薄いほど窒化物半導体素子の発光出力は高くなる。第1の層の厚さを3nm以下、より好ましくは2nm以下とすれば、発光出力の高い窒化物半導体素子を得ることができるからである。また、超格子歪緩衝層を形成する層の厚みが薄いほど窒化物半導体素子の電流特性が向上するからである。一方、厚さ0.1nm未満の層を成膜制御するのは困難だからである。

【0025】

更に、本発明の窒化物半導体素子の製造方法は、前記第1の層中の前記Mgの濃度を $5 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ 以上 $2 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 未満とすることが好ましい。Mgの濃度を $5 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ 以上とすれば、超格子歪緩衝層の平坦性をより向上させて平坦性および結晶性が良好な窒化物半導体層やn型窒化物半導体層を形成することができるからである。また、Mgの濃度が $2 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 以上では、不純物の凝縮が起こって超格子歪緩衝層の結晶性が悪化し、続いて積層する窒化物半導体層やn型窒化物半導体層等の平坦性および結晶性に悪影響を及ぼすからである。なお、本発明において、Mg濃度とは、SIMSによる測定値を示す。

【発明の効果】

【0026】

本発明によれば、Al含有率が低いAlGaN層やGaN層を用いた超格子歪緩衝層を基板上のAlN歪緩衝層の上に平坦性良く形成すると共に、該超格子歪緩衝層上に平坦性および結晶性が良好な窒化物半導体層を形成した、電流特性の良好な窒化物半導体素子を提供することができる。

【0027】

また、本発明によれば、Al含有率が低いAlGaN層やGaN層を用いた超格子歪緩衝層を基板上のAlN歪緩衝層の上に平坦性良く形成すると共に、該超格子歪緩衝層上に平坦性および結晶性が良好なn型窒化物半導体層を形成した、発光出力の高い窒化物半導体素子を提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【0028】

【図1】本発明の窒化物半導体素子の一例を模式的に示す断面図である。

【図2】(a)および(b)は、本発明の窒化物半導体素子の製造方法の一例を説明する説明図である。

【図3】本発明の窒化物半導体素子の他の例を模式的に示す断面図である。

【図4】(a)は、本発明の実施例の窒化物半導体素子の超格子歪緩衝層の最表面AFM像であり、(b)は、本発明の比較例の窒化物半導体素子の超格子歪緩衝層の最表面AFM像である。

【図5】(a)は、本発明の参考例で作製したGaN単膜層のSIMSプロファイルであり、(b)は、本発明の実施例の窒化物半導体素子のSIMSプロファイルである。

【図6】(a)は、本発明の実施例の窒化物半導体素子のi型窒化物半導体層の最表面AFM像であり、(b)は、本発明の比較例の窒化物半導体素子のi型窒化物半導体層の最表面AFM像である。

【図7】 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ 結晶のフォトルミネッセンス発光波長と強度との関係を示すグラフである。

【発明を実施するための形態】

【0029】

以下、図面を参照して本発明の実施の形態を詳細に説明する。ここに、本発明の窒化物半導体素子の一例は、図1にその断面を模式的に示すように、基板1と、基板1上に形成されたAlN歪緩衝層2と、AlN歪緩衝層2の上に形成された超格子歪緩衝層3と、超格子歪緩衝層3上に形成されたn型窒化物半導体層4と、n型窒化物半導体層4上に形成された発光層5と、発光層5上に形成されたp型窒化物半導体層6と、n型窒化物半導体層4に電氣的に連結されたn側電極7と、p型窒化物半導体層6に電氣的に連結されたp側電極8とを備える窒化物半導体素子10である。そして、この窒化物半導体素子10の超格子歪緩衝層3は、 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ ($0 < x < 0.25$) よりなり、且つ、p型不純物を含む第1の層31と、AlNよりなる第2の層32とを交互に積層して超格子構造を形成したものである。なお、図1では超格子歪緩衝層3の積層構造の一部を省略している。

【0030】

ここで、基板1としては、例えば、サファイア基板、シリコンカーバイド(SiC)基

10

20

30

40

50

板、シリコン (Si) 基板、ゲルマニウム (Ge) 基板、窒化ガリウム (GaN) 基板、窒化アルミニウムガリウム (AlGaIn) 基板または窒化アルミニウム (AlN) 基板などを用いることができる。

【 0031 】

また、AlN歪緩衝層2としては、MOCVD法、MOVPE法、HVPE法、MBE法等の既知の手法を用いて基板1上にエピタキシャル成長させた、例えば厚さ20~1500nm、好ましくは500~1500nm、より好ましくは800~1000nmのAlNからなる層を用いることができる。

【 0032 】

超格子歪緩衝層3としては、第1の層31と、第2の層32とを既知の手法を用いて交互にエピタキシャル成長させ、超格子構造にしたものを用いることができる。なお、第1の層31および第2の層32を交互に積層して超格子構造とする際の第1の層31の各層の厚さは、例えば0.1~3nm、好ましくは2nm以下とすることができ、第2の層32の各層の厚さは、例えば0.1~9nm、好ましくは0.9~9nmとすることができる。また、第1の層31および第2の層32の積層数は、例えば第1の層31と第2の層32との組合せが20~70組、好ましくは20~50組となるようにすることができる。このような積層数とすれば、転位の発生を十分に抑制することができるからである。

10

【 0033 】

なお、超格子歪緩衝層3は、AlN歪緩衝層2側ではAlNよりなる第2の層の厚さが厚く(第2の層の割合が多く)、n型窒化物半導体層4側にかけて第1の層に対する第2の層の割合が次第に減少することが好ましい。このような構成とすれば、n型窒化物半導体層4の結晶性のさらなる向上が得られるからである。

20

【 0034 】

また、超格子歪緩衝層3は、全体としては導電性が実質的には無く(例えばシート抵抗測定装置で測定した比抵抗が $10 \cdot \text{cm} /$ 以上であり)、SIMSで測定した超格子歪緩衝層3全体としての不純物濃度は $1 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ 以下であることが好ましく、 $7 \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$ 以下であることが更に好ましい。不純物濃度が $1 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ 超となると、窒化物半導体素子にサイリスタ不良を引き起こす恐れがあるからである。

【 0035 】

ここで、一般にAlN層に対するp型不純物の導入は困難であり、結晶性の劣化を伴う。これに対し、本発明での超格子歪緩衝層は導電性を要求していないため、第2の層32中の不純物の量は、第1の層31からの不可避免的な不純物拡散分を除き、通常の不純物ドーパ量程度よりもかなり小さいことが好ましい。

30

【 0036 】

ここで、第1の層31としては、 $\text{Al}_x \text{Ga}_{1-x} \text{N}$ ($0 < x < 0.25$)、より好ましくは $\text{Al}_x \text{Ga}_{1-x} \text{N}$ ($0 < x < 0.23$)よりなり、且つ、p型不純物を含む、Al含有率が低い層を用いることができる。なお、p型不純物としては、例えばMg、Zn、CaまたはBeを用いることができ、該p型不純物は、第1の層31中に原料ガスと同時に供給することにより、或いは、AlN歪緩衝層2や第2の層32上に間欠的に供給した後に第1の層31を形成し、p型不純物を第1の層31中に拡散させることにより、第1の層31中に含有させることができる。また、第1の層31中のp型不純物の濃度は、例えば $5 \times 10^{16} \text{cm}^{-3}$ 以上 $2 \times 10^{19} \text{cm}^{-3}$ 未満、好ましくは $7 \times 10^{17} \sim 1.7 \times 10^{19} \text{cm}^{-3}$ 、より好ましくは $7 \times 10^{18} \sim 1.7 \times 10^{19} \text{cm}^{-3}$ とすることができる。

40

【 0037 】

なお、例えば基板1上に大気中の酸素等が付着している状態でAlN歪緩衝層2および超格子歪緩衝層3を積層した場合などには、拡散等により第1の層31中に酸素(O)が混入する場合がある。しかし、このような酸素は、窒化物半導体素子10の発光出力の低下の原因となるため、第1の層31中の酸素の濃度は、 $1 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ 以下であることが好ましい。

50

【0038】

そして、 n 型窒化物半導体層4としては、 Si 等をドーブした $Al_cGa_{1-c}N$ （但し、 $0 < c < 1$ ）よりなる層を用いることができ、発光層5としては、 $Al_dIn_eGa_{1-d-e}N$ （但し、 $0 < d < 1$ 、 $0 < e < 1$ 、 $0 < d+e < 1$ ）よりなる層を用いることができ、 p 型窒化物半導体層6としては、 Mg 、 Zn 、 Ca または Be をドーブした $Al_fGa_{1-f}N$ （但し、 $0 < f < 1$ ）よりなる層を用いることができる。また、各層の厚みは、例えば n 型窒化物半導体層4は $1300 \sim 1400$ nm、発光層5は $50 \sim 80$ nm、 p 型窒化物半導体層6は $200 \sim 300$ nmとすることができる。なお、これらの層は既知の手法を用いてエピタキシャル成長させることにより形成することができる。

【0039】

また、 n 側電極7としては、たとえば真空蒸着法により Ti 含有膜および Al 含有膜を順次蒸着させた $TiAl$ 電極を用いることができ、 p 側電極8としては、たとえば真空蒸着法により Ni 含有膜および Au 含有膜を順次蒸着させた $NiAu$ 電極を用いることができる。

【0040】

そして、窒化物半導体素子10は、例えば以下のようにして製造することができる。

【0041】

まず、図2(a)に示すように、基板1上に、例えばMOCVD法を用いて、 AlN 歪緩衝層2、超格子歪緩衝層3、 n 型窒化物半導体層4、発光層5、 p 型窒化物半導体層6を順にエピタキシャル成長させてエピタキシャル積層体を形成する。次に、図2(b)に示すように、ドライエッチング法を用いて、 n 型窒化物半導体層4、発光層5、 p 型窒化物半導体層6の一部をエッチングし、 n 型窒化物半導体層4の発光層5側（図2(b)では上側）の一部を露出させる。そして、最後に、 n 側電極7および p 側電極8を真空蒸着法により形成して n 型窒化物半導体層4および p 型窒化物半導体層6と電氣的に連結させ、図1に示すような窒化物半導体素子10とする。

【0042】

そして、このようにして製造した窒化物半導体素子10では、超格子歪緩衝層3を形成する第1の層31および第2の層32のうち、 Al 含有率が低い層（第1の層31）に p 型不純物を含有させているので、第1の層31の横方向結晶成長が促進されて超格子歪緩衝層3の平坦性が向上している。よって、超格子歪緩衝層3の上に形成された n 型窒化物半導体層4の平坦性および結晶性が向上するので、その上の発光層5および p 型窒化物半導体層6の結晶性も向上し、高い発光出力の窒化物半導体素子10を得ることができる。

【0043】

なお、本発明の窒化物半導体素子は、 AlN 歪緩衝層を有する AlN テンプレート基板を用いて、その上にエピタキシャル成長層を形成する際は、超格子歪緩衝層と AlN テンプレート基板との間に、初期層として AlN 層を形成しても良い。また、本発明の窒化物半導体素子の n 型窒化物半導体層および p 型窒化物半導体層は、積層体としても良い。具体的には、 n -クラッド層、 n -コンタクト層の積層体や、 p -クラッド層、 p -コンタクト層の積層体としても良い。更に、基板の上に形成する AlN 歪緩衝層は、例えば GaN や $AlGaN$ など他の窒化物半導体からなる窒化物半導体層を用いた歪緩衝層としても良い。

【0044】

以上、本発明の窒化物半導体素子について、窒化物半導体発光素子を例に説明したが、本発明の窒化物半導体素子は、上記一例の窒化物半導体発光素子に限定されることは無い。

【0045】

具体的には、本発明の窒化物半導体素子の他の例は、図3にその断面を模式的に示すように、基板1と、基板1上に形成された AlN 歪緩衝層2と、 AlN 歪緩衝層2の上に形成された超格子歪緩衝層3と、超格子歪緩衝層3上に形成された窒化物半導体層4'とを備える窒化物半導体素子20であり、この窒化物半導体素子20の超格子歪緩衝層3は、

10

20

30

40

50

$Al_xGa_{1-x}N$ ($0 < x < 0.25$) よりなり、且つ、p型不純物を含む第1の層31と、 AlN よりなる第2の層32とを交互に積層して超格子構造を形成したものである。そして、この窒化物半導体素子20は、例えばHEMTなどの電子デバイスに用いることができる。なお、図3では超格子歪緩衝層3の積層構造の一部を省略している。また、図3では、先の一例の窒化物半導体素子と同様の構成を有する部位は、同一の符号を用いて表している。

【0046】

ここで、この窒化物半導体素子20の基板1、 AlN 歪緩衝層2および超格子歪緩衝層3は、先の一例と同様の構成および組成とすることができる。

【0047】

窒化物半導体層4'は、複数層のIII族窒化物層をエピタキシャル成長させて形成されており、 $B_{a_1}Al_{b_1}Ga_{c_1}In_{d_1}N$ ($0 < a_1 < 1, 0 < b_1 < 1, 0 < c_1 < 1, 0 < d_1 < 1, a_1 + b_1 + c_1 + d_1 = 1$)材料からなるチャネル層4'aおよびチャネル層4'aよりバンドギャップの大きい $B_{a_2}Al_{b_2}Ga_{c_2}In_{d_2}N$ ($0 < a_2 < 1, 0 < b_2 < 1, 0 < c_2 < 1, 0 < d_2 < 1, a_2 + b_2 + c_2 + d_2 = 1$)材料からなる電子供給層4'bを有することができる。なお、チャネル層4'aおよび電子供給層4'bの両層は、単一もしくは複数の組成で構成することができる。また、合金散乱をさげ、電流導通部分の比抵抗を下げるためには、チャネル層4'aの少なくとも電子供給層4'bと接する部分は、 GaN 材料で構成することが好ましい。因みに、この窒化物半導体20をHEMTに用いる場合には、電子供給層4'bの表面にソース電極、ドレイン電極およびゲート電極を配設してHEMTを形成することができる。

【0048】

そして、窒化物半導体素子20は、例えばMOCVD法を用いて、 Si 基板などの基板1上に、 AlN 歪緩衝層2、超格子歪緩衝層3および窒化物半導体層4'を順にエピタキシャル成長させてエピタキシャル積層体を形成することにより、製造することができる。

【0049】

そして、このようにして製造した窒化物半導体素子20では、超格子歪緩衝層3を形成する第1の層31および第2の層32のうち、 Al 含有率が低い層(第1の層31)にp型不純物を含有させているので、第1の層31の横方向結晶成長が促進されて超格子歪緩衝層3の平坦性が向上している。よって、超格子歪緩衝層3の上に形成された窒化物半導体層4'の平坦性および結晶性が向上するので、電流特性の良好な窒化物半導体素子20を得ることができる。

【0050】

なお、本発明の窒化物半導体素子は、 AlN 歪緩衝層を有する AlN テンプレート基板を用いて、その上にエピタキシャル成長層を形成する際は、超格子歪緩衝層と AlN テンプレート基板との間に、初期層として AlN 層を形成しても良い。また、本発明の窒化物半導体素子は、用途に合わせて任意の構造および組成とすることができる。

【実施例】

【0051】

以下、実施例を用いて本発明を更に詳細に説明するが、本発明は下記の実施例に何ら限定されるものではない。なお、以下の実施例および比較例に記載の Al 組成は基板中央部の値を記載した。

【0052】

(実施例1)

サファイア基板(0001)面上に AlN 歪緩衝層を有する AlN テンプレートの上に、MOCVD法により、初期層として AlN 層(厚さ27nm)を積層後、超格子歪緩衝層、n型窒化物半導体層、発光層、p型窒化物半導体層を順次エピタキシャル成長させ、エピタキシャル積層体を形成した。その後、ドライエッチング法によりn型窒化物半導体層を一部露出させ、n側電極(Ti/Al)をn型窒化物半導体層上に形成し、p側電極(Ni/Au)をp型窒化物半導体層上に形成して窒化物半導体素子を作製した。なお、 A

10

20

30

40

50

1 N歪緩衝層は厚さが800 nmであり転位密度が $1 \times 10^{10} \text{ cm}^{-2}$ 以下のものを使用した。なお、超格子歪緩衝層は第1の層をGaNとし、AlN層(厚さ9 nm)とGaN層(厚さ2.1 nm)とを交互に20組積層した超格子層Iと、AlN層(厚さ2.7 nm)とGaN層(厚さ2.1 nm)とを交互に30組積層した超格子層IIと、AlN層(厚さ0.9 nm)とGaN層(厚さ2.1 nm)とを交互に50組積層した超格子層IIIとを順次積層した構造とし、GaN層(第1の層)には、Mgを添加した。その他、作製した窒化物半導体素子の構造を表1に、超格子歪緩衝層およびAlN初期層の作製条件を表2に示す。

なお、実施例1の超格子歪緩衝層における比抵抗を測定するため、超格子歪緩衝層を形成した段階のサンプルに対し、シート抵抗測定装置で比抵抗を測定した結果、比抵抗は $15.2 \cdot \text{cm} / \text{}$ であった。

【0053】

【表1】

素子構造		Al 組成 (xの値)	積層数 (組)	一層あたりの厚み (nm)	総厚み (nm)
p型窒化物 半導体層	p-コンタクト層	0	1	20	20
	p-クラッド層	0.22	1	160	160
	p-ガイド層	0.22	1	60	60
	p-ブロック層	0.43	1	10	10
	i-ガイド層	0.17	1	10	10
発光層	井戸層	0.15	5	3	15
	i-バリア層	0.17		3.3	16.5
	n-バリア層	0.17		3.3	16.5
	i-バリア層	0.17		3.3	16.5
n型窒化物 半導体層	n-ガイド層	0.2	1	60	60
	n-クラッド層	0.23	1	300	300
	n-コンタクト層	0.23	1	1000	1000
	i-表面層	0.23	1	200	200
超格子歪緩衝層	超格子層III	0	50	2.1	105
		1		0.9	45
	超格子層II	0	30	2.1	63
		1		2.7	81
	超格子層I	0	20	2.1	42
		1		9	180
AlN初期層		1	1	27	27

【0054】

【表2】

素子構造		Al 組成 (xの値)	TMG (sccm)	TMA (sccm)	NH ₃ (slm)	Cp ₂ Mg (sccm)
超格子歪緩衝層	超格子層III	0	20	-	10	25
		1	-	10	0.5	-
	超格子層II	0	20	-	10	25
		1	-	10	0.5	-
	超格子層I	0	20	-	10	25
		1	-	10	0.5	-
AlN初期層		1	-	10	0.5	-

【0055】

(比較例1)

超格子歪緩衝層中の GaN 層に Mg を添加しなかった以外は、実施例 1 と同様にして窒化物半導体素子を作製した。

【0056】

(実施例 2 - 1)

超格子歪緩衝層中の第 1 の層を GaN ではなく $Al_x Ga_{1-x} N$ ($x = 0.15$) とした以外は、実施例 1 と同様にして窒化物半導体素子を作製した。

【0057】

(比較例 2 - 1)

超格子歪緩衝層中の $Al_x Ga_{1-x} N$ ($x = 0.15$) 層に Mg を添加しなかった以外は、実施例 2 - 1 と同様にして窒化物半導体素子を作製した。

10

【0058】

(実施例 2 - 2)

超格子歪緩衝層中の第 1 の層を GaN ではなく $Al_x Ga_{1-x} N$ ($x = 0.23$) とした以外は、実施例 1 と同様にして窒化物半導体素子を作製した。

【0059】

(比較例 2 - 2)

超格子歪緩衝層中の $Al_x Ga_{1-x} N$ ($x = 0.23$) 層に Mg を添加しなかった以外は、実施例 2 - 2 と同様にして窒化物半導体素子を作製した。

【0060】

(比較例 3)

超格子歪緩衝層中の第 1 の層を $Al_x Ga_{1-x} N$ ($x = 0.43$) とし、エピタキシャル積層体を形成するまでは実施例 2 - 1 と同様の操作を行った。発光出力は確認していない。

20

【0061】

(比較例 4)

超格子歪緩衝層中の $Al_x Ga_{1-x} N$ ($x = 0.43$) に Mg を添加しなかった以外は、比較例 3 と同様にしてエピタキシャル積層体を形成した。

【0062】

(超格子歪緩衝層の平坦性評価)

実施例 1、2 - 1、2 - 2 および比較例 1、2 - 1、2 - 2、3、4 において、超格子歪緩衝層を形成した段階のサンプルに対し、原子間力顕微鏡 (AFM) を用いて超格子歪緩衝層の表面を観察し、n 型窒化物半導体層の表面粗さ Ra を求めた。結果を表 3 に示す。また、実施例 1 および比較例 1 に関し、超格子歪緩衝層の最表面の状態を図 4 (a) および (b) に示す。

30

【0063】

(n 型窒化物半導体層の結晶性の評価)

実施例 1、2 - 1、2 - 2 および比較例 1、2 - 1、2 - 2、3、4 において、エピタキシャル積層体を形成した段階のサンプルを X 線回折装置で分析し、n 型窒化物半導体層 ~ p 型窒化物半導体層を形成している結晶の (002) 面および (102) 面に相当するピークの半値幅を求めた。結果を表 3 に示す。なお、半値幅は小さいほど結晶性が良好であり、特に、(102) 面が発光層に影響を与えやすいので、(102) 面に相当するピークの半値幅が小さいことが好ましい。

40

【0064】

(窒化物半導体素子の発光出力の評価)

実施例 1、2 - 1、2 - 2 および比較例 1、2 - 1、2 - 2 において、エピタキシャル積層体を形成した段階で、成長面をダイヤペンで罫書き、n 型窒化物半導体層を露出させた点と、該露出させた点から 1.5 mm 離れた点とにドット状 In を物理的に押圧して成形した 2 点を n 型および p 型電極として簡易的な窒化物半導体素子を作製した。そして、それらにプローブを接触し、通電後の光出力を裏面より射出させ、光ファイバを通じてマルチ・チャンネル型分光器へ導光し、スペクトルのピーク強度を W 換算して発光出力 Po を

50

求めた。結果を表3に示す。

【0065】

【表3】

	第1の層の条件		表面粗さ	半値幅(秒)		P _o (μW)
	Mg添加	xの値	Ra (nm)	(002)面	(102)面	
実施例1	あり	0	0.21	268	482	178.8
比較例1	なし	0	0.49	329	611	10.6
実施例2-1	あり	0.15	0.26	310	512	168.2
比較例2-1	なし	0.15	0.52	253	581	30.7
実施例2-2	あり	0.23	0.40	426	549	45.1
比較例2-2	なし	0.23	0.53	232	553	44.8
比較例3	あり	0.43	2.63	273	3474	-
比較例4	なし	0.43	0.79	290	1614	-

【0066】

表3より、超格子歪緩衝層中のGaN層にMgを添加した実施例1、2-1および2-2では、n型窒化物半導体層の平坦性および結晶性が向上して、窒化物半導体素子の発光出力が著しく向上していることが分かる。

【0067】

また、第1の層へMgを添加することによる平坦性および結晶性の向上、並びに出力の向上効果は、第1の層のAl組成がx=0で大きく、x=0.43では逆に悪化することが分かる。従って、第1の層を形成するAl_xGa_{1-x}Nの組成は0<x<0.25とし、0<x<0.15とするのがより好ましい。

【0068】

なお、x=0.25を越えると、欠陥が多く導入され始め、結晶性の値も飛躍的に悪くなる。図7にAl_xGa_{1-x}Nにおけるフォトルミネッセンス評価の結果を示す。当測定はArレーザーとSHG結晶を用い、244nmなるレーザーを発生させ、ウェハ中央部分を測定した。当該評価によって、Al_xGa_{1-x}Nにおけるxの値や、結晶中に存在する欠陥の量の増減を見ることが出来る。フォトルミネッセンスにおける発光波長からx(Al組成)への変換については、Yun F. et al, J. Appl. Phys. 92,4837(2002)に記載されたボーイングパラメータを用いた。

【0069】

所定のAl_xGa_{1-x}Nを成長し、x=0.21、0.25、0.30におけるフォトルミネッセンス発光波長について、Al_xGa_{1-x}Nのピーク(最短波長で見られるピーク)強度にて規格化したもので比較すると、x=0.21では長波長側では特に大きなピークが見られない。長波長側で見られるピークはAl_xGa_{1-x}Nのバンドギャップとは異なる別のエネルギー準位があることを示すため、結晶中に欠陥、特に点欠陥が導入されていることを示唆する。すなわち、Al_{0.21}Ga_{0.79}Nは結晶欠陥が少ないことを示している。それに対し、x=0.25なるAl_{0.25}Ga_{0.75}Nでは380nm付近にピークが出現し出している。さらに、x=0.30なるAl_{0.30}Ga_{0.70}NではAl_{0.30}Ga_{0.70}Nのピーク強度よりも最大で6倍程度の欠陥起因のピークが出現している。このことから、x=0.43では急激にAl_xGa_{1-x}N結晶内に欠陥が導入され、結果、X線測定における半値幅の値も急激に悪化しているものと考えられる。

【0070】

(実施例3)

超格子歪緩衝層のGaN層を形成する際のMgガス流量を2倍にした以外は、実施例1と同様にして窒化物半導体素子を作製した。そして、実施例1と同様にして、超格子歪緩衝層の平坦性、エピタキシャル積層体の結晶性および窒化物半導体素子の発光出力を評価

10

20

30

40

50

した。結果を表4に示す。

【0071】

【表4】

	GaN層の形成条件	表面粗さ	半値幅(秒)		Po (μ W)
	Cp ₂ Mg流量(sccm)	Ra (nm)	(002)面	(102)面	
実施例1	25	0.21	268	482	178.8
比較例1	—	0.49	329	611	10.6
実施例3	50	0.40	253	513	58.3

【0072】

表4の結果から、Mg量が多い実施例3では、Mgをドーブしない比較例1よりも結晶性の向上が見られるものの、実施例1に比べて効果は小さくなり、Mgドーブ量に適正な範囲があることが分かる。

【0073】

(参考例1)

実施例1の第1の層に含まれるMg量を測定するため、実施例1の第2の層(AlN)の原料ガスを流さないで、第1の層(GaN)のみの積層体を作成し、SIMSによる不純物濃度の測定を行った。図5(a)にその結果を示す。これより、実施例1における第1の層に含まれるMgの濃度は $7 \times 10^{17} \sim 1.7 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ であることが分かる。また、拡散の影響を排除した層形成時の第1の層に含まれるMgの濃度は、 $7 \times 10^{18} \sim 1.7 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ であることも分かる。

【0074】

(参考例2)

また、実施例1の超格子歪緩衝層全体でのMg濃度を測定するため、エピタキシャル積層体のSIMSによる不純物濃度の測定を行った。図5(b)にその結果を示す。図5(b)の破線で囲まれた部分が超格子歪緩衝層に当たる。これより、実施例1における超格子に該当する領域に含まれるMg量は全体として $7 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 以下であることが分かる。なお、SIMSでは超格子歪緩衝層の第1の層と、第2の層とを分離して測定することは不可能であり、図5(b)では、第1の層からの信号と第2の層からの信号が合わさり第1の層のMg濃度が薄まって検出されている。ここで、第1の層から第2の層への拡散の度合いは不明であるが、Mgは主として第1の層にとどまっており、第2の層との間でドーブ量は平坦化していないと推測される。

【0075】

(実施例4)

サファイア基板(0001)面上にAlN歪緩衝層を有するAlNテンプレートの上に、MOCVD法により、初期層としてAlN層(厚さ27nm)を積層後、超格子歪緩衝層と、Al_{0.35}Ga_{0.65}Nからなるi型窒化物半導体層とを順次エピタキシャル成長させ、エピタキシャル積層体を作製した。なお、AlN歪緩衝層は厚さが800nmであり転位密度が $1 \times 10^{10} \text{ cm}^{-2}$ 以下のものを使用した。ここで、超格子歪緩衝層は第1の層をGaNとし、AlN層(厚さ9nm)とGaN層(厚さ2.1nm)とを交互に20組積層した超格子層Iと、AlN層(厚さ2.7nm)とGaN層(厚さ2.1nm)とを交互に30組積層した超格子層IIと、AlN層(厚さ0.9nm)とGaN層(厚さ2.1nm)とを交互に50組積層した超格子層IIIとを順次積層した構造とし、GaN層(第1の層)には、Mgを添加した。因みに、超格子歪緩衝層およびAlN初期層の作製条件は実施例1と同様である。

そして、作製したエピタキシャル積層体に対し、AFMを用いてi型窒化物半導体層の表面を観察し、表面の平坦性を確認したところ、図6(a)に示すように原子一層あるいは二層分の原子ステップのみが観察され、表面粗さRaは、0.73nmであった。

【0076】

(比較例5)

超格子歪緩衝層中のGaN層にMgを添加しなかった以外は、実施例4と同様にしてエピタキシャル積層体を作製した。

そして、作製したエピタキシャル積層体に対し、AFMを用いてi型窒化物半導体層の表面を観察し、表面の平坦性を確認したところ、図6(b)に示すように原子三層分以上の段差であるバンチングが多く観察され、Ra値は、2.87nmであった。

【0077】

実施例4および比較例5より、第1の層(GaN層)へのMgの添加により、超格子歪緩衝層上に形成したi型窒化物半導体層の平坦性が向上できることが確認できた。従って、受発光素子や電子デバイスなどの一般的な半導体素子に対して、本発明が有効であることが確認された。

10

【産業上の利用可能性】

【0078】

本発明によれば、基板上的AlN歪緩衝層の上にAl含有率が低いAlGaN層やGaN層を用いた超格子歪緩衝層を平坦性良く形成すると共に、該超格子歪緩衝層上に平坦性および結晶性が良好なn型窒化物半導体層を形成した、発光出力の高い窒化物半導体素子を提供することができる。

また、本発明によれば、基板上的AlN歪緩衝層の上にAl含有率が低いAlGaN層やGaN層を用いた超格子歪緩衝層を平坦性良く形成すると共に、該超格子歪緩衝層上に平坦性および結晶性が良好な窒化物半導体層を形成した、良好な電流特性を有する窒化物半導体素子を提供することができる。

20

【符号の説明】

【0079】

- 1 基板
- 2 AlN歪緩衝層
- 3 超格子歪緩衝層
- 4 n型窒化物半導体層
- 4' 窒化物半導体層
- 4' a チャンネル層
- 4' b 電子供給層
- 5 発光層
- 6 p型窒化物半導体層
- 7 n側電極
- 8 p側電極
- 10 窒化物半導体素子
- 20 窒化物半導体素子
- 31 第1の層
- 32 第2の層

30

【要約】

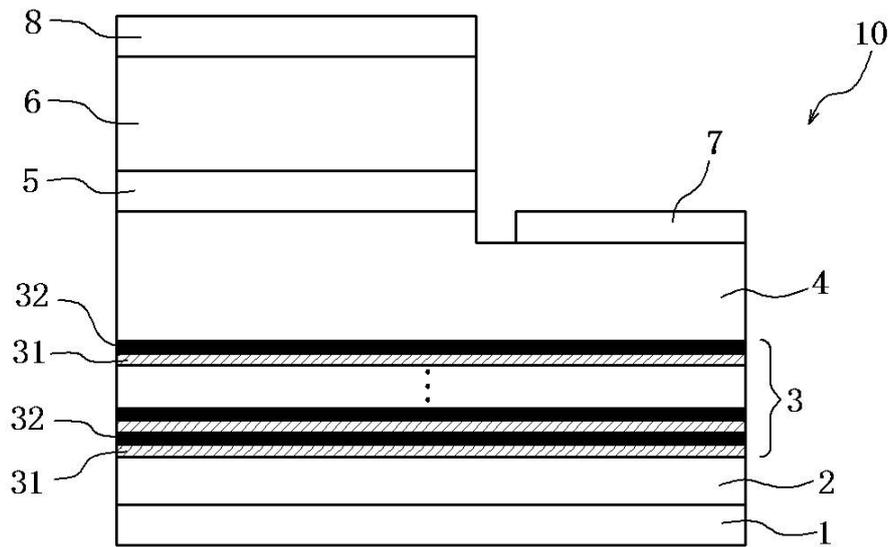
【課題】Al含有率が低いAlGaN層やGaN層を用いた超格子歪緩衝層を平坦性良く形成すると共に、該超格子歪緩衝層上に平坦性および結晶性が良好な窒化物半導体層を形成した窒化物半導体素子を提供する。

40

【解決手段】基板と、基板上に形成されたAlNからなるAlN歪緩衝層と、AlN歪緩衝層上に形成された超格子歪緩衝層と、超格子歪緩衝層上に形成された窒化物半導体層とを備える窒化物半導体素子であって、超格子歪緩衝層は、 $Al_xGa_{1-x}N$ ($0 < x < 0.25$) よりなり、且つ、p型不純物を含む第1の層と、AlNよりなる第2の層とを交互に積層して超格子構造を形成したものであることを特徴とする、窒化物半導体素子である。

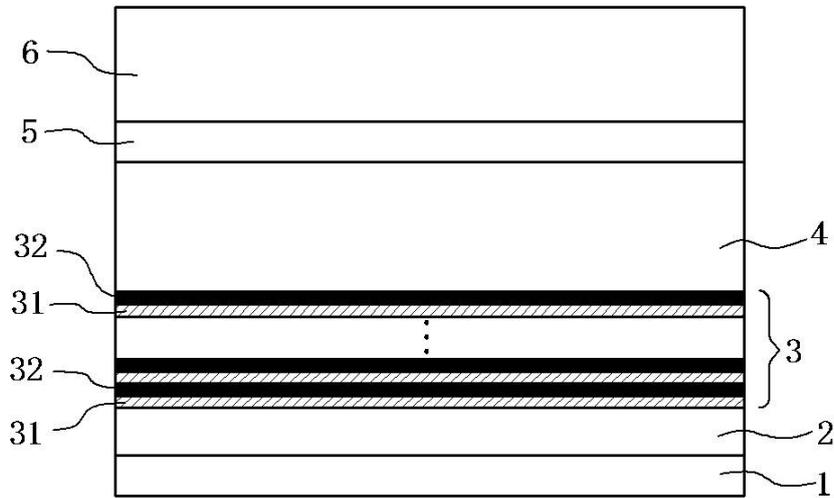
【選択図】図3

【図 1】

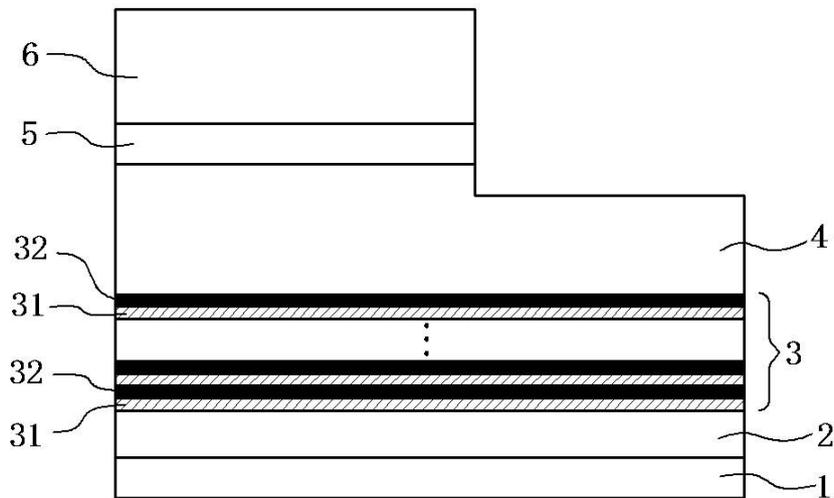


【 図 2 】

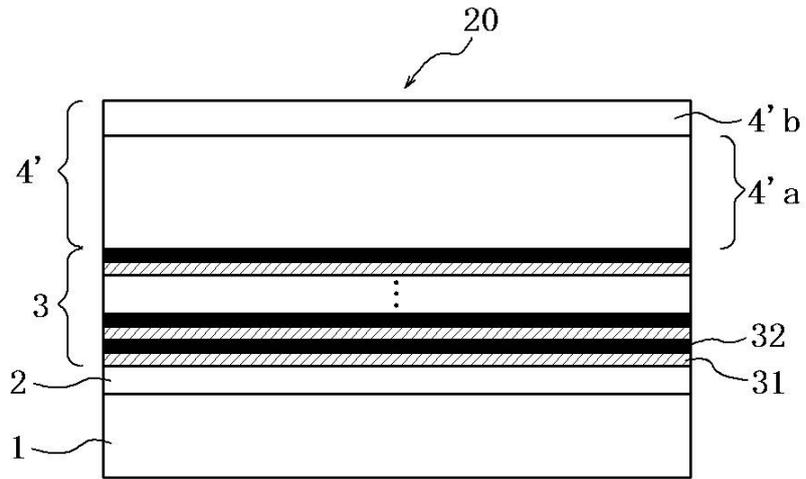
(a)



(b)

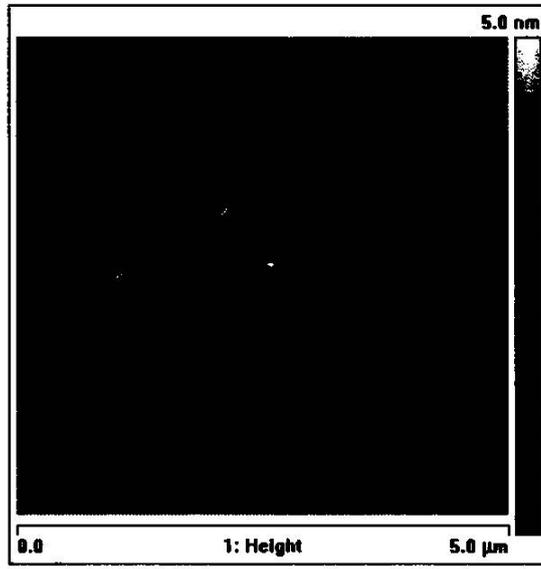


【図3】

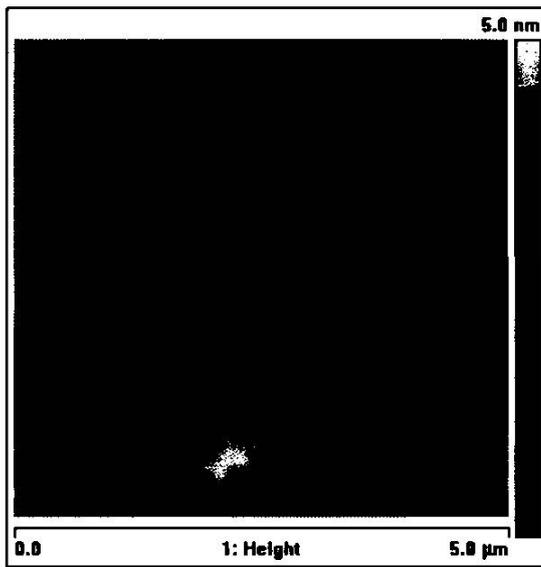


【 図 4 】

(a)

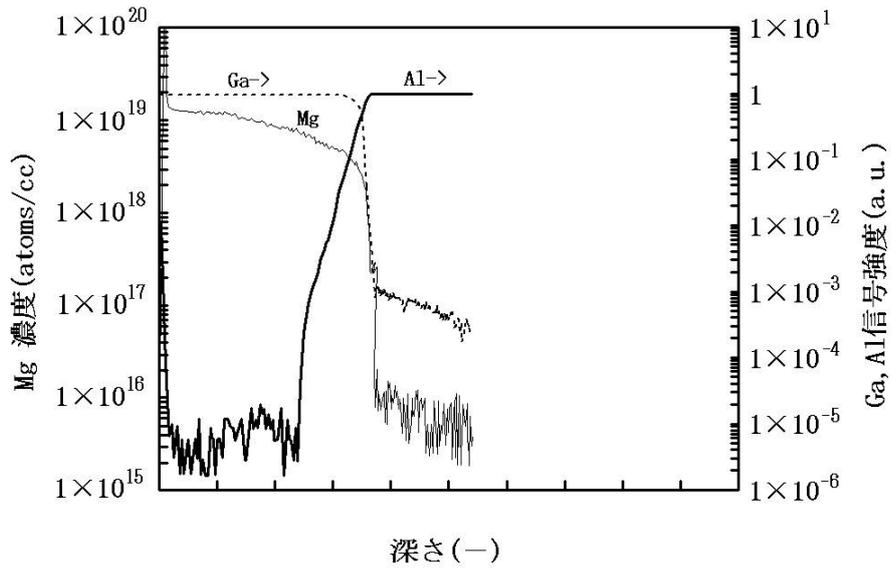


(b)

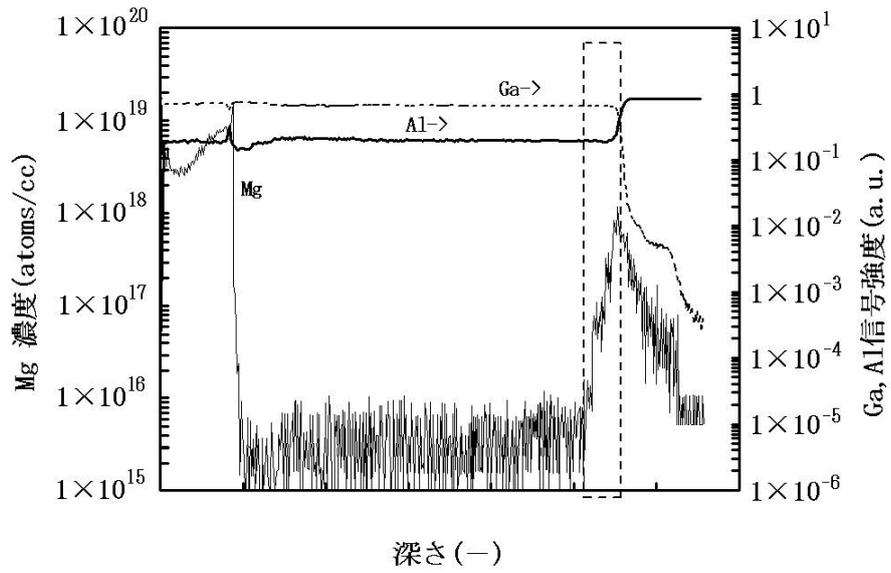


【 図 5 】

(a)

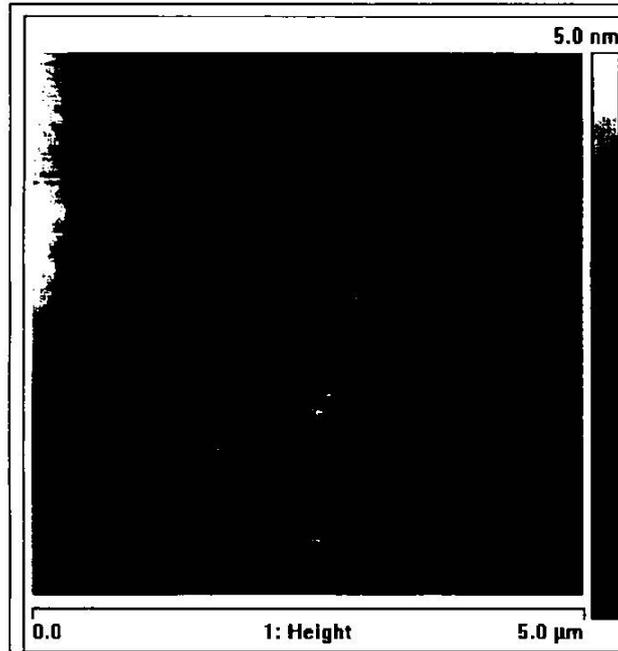


(b)

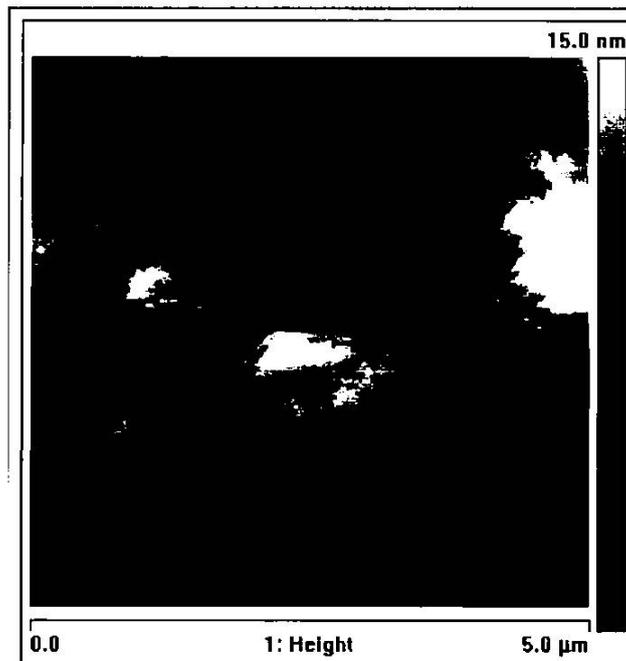


【 図 6 】

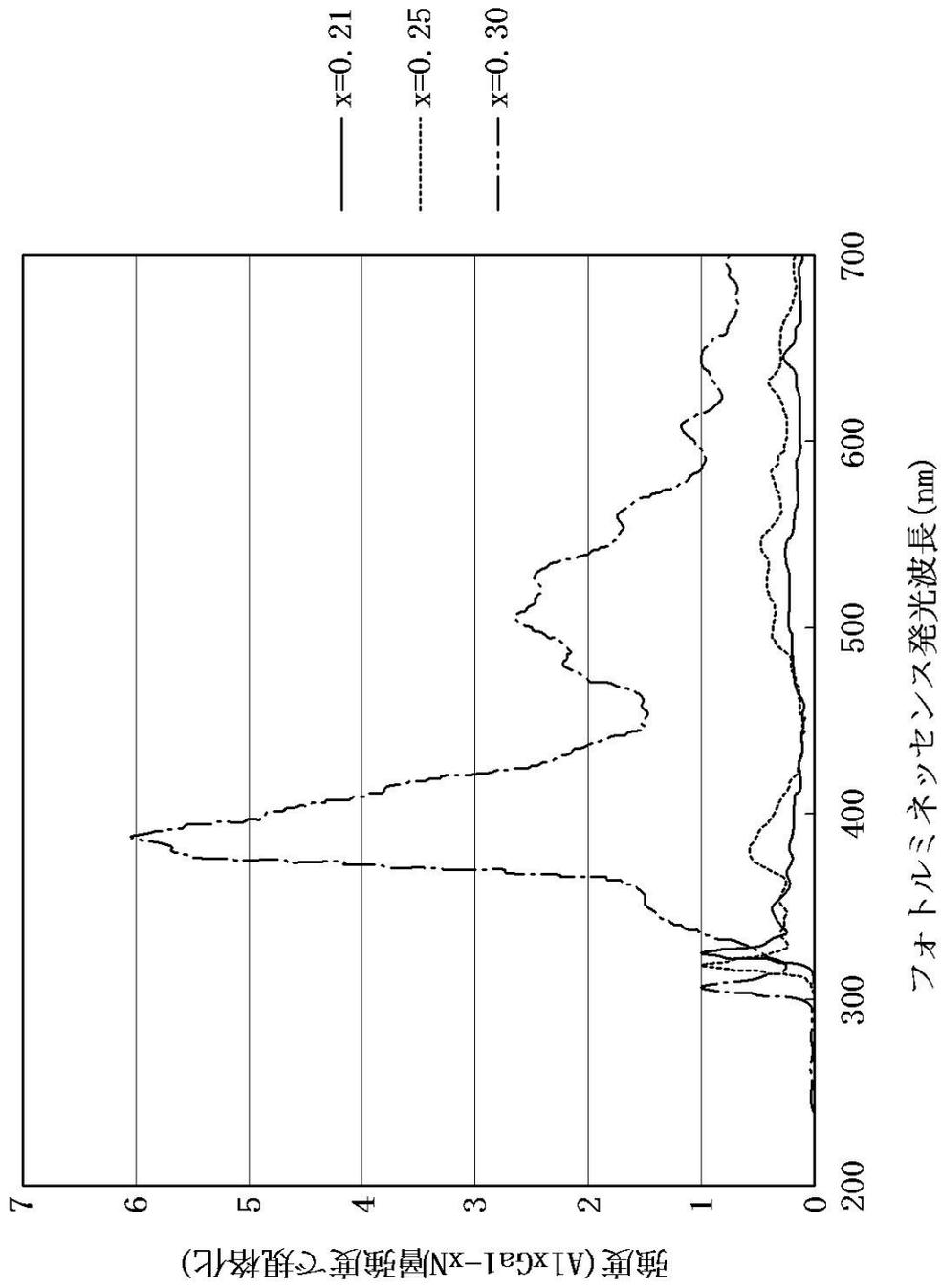
(a)



(b)



【 図 7 】



フロントページの続き

(51)Int.Cl. F I

H 0 1 L 21/338 (2006.01)

H 0 1 L 21/205 (2006.01)

審査官 角地 雅信

(56)参考文献 特開2009-158804(JP,A)

国際公開第2006/030845(WO,A1)

特開2001-077412(JP,A)

特開2008-258561(JP,A)

Vinod Adivarahan, Robust 290nm Emission Light Emitting Diodes over Pulsed Laterally Overgrown AlN, Japanese Journal of Applied Physics, 日本, The Japan Society of Applied Physics, 2007年 9月14日, Vol.46, No.36, L877-L879

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H 0 1 L 33/00 - 33/64

H 0 1 S 5/00 - 5/50

H 0 1 L 21/205