

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公表特許公報(A)

(11) 特許出願公表番号
特表2007-504682
(P2007-504682A)

(43) 公表日 平成19年3月1日(2007.3.1)

(51) Int.Cl.

F I

テーマコード (参考)

HO 1 L 33/00 (2006.01)

HO 1 S 5/343 (2006.01)

HO 1 L 33/00 C

HO 1 S 5/343 6 1 O

5 F O 4 1
5 F 1 7 3

審査請求 未請求 予備審査請求 有 (全 15 頁)

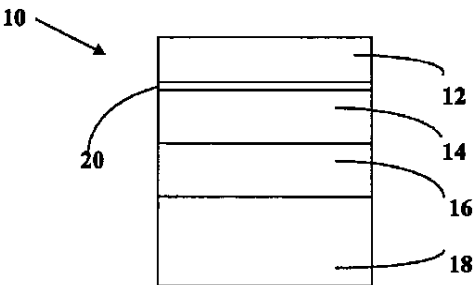
(21) 出願番号	特願2006-532828 (P2006-532828)	(71) 出願人	592054856
(86) (22) 出願日	平成16年5月6日 (2004.5.6)		クリー インコーポレイテッド
(85) 翻訳文提出日	平成17年10月21日 (2005.10.21)		C R E E I N C .
(86) 国際出願番号	PCT/US2004/014171		アメリカ合衆国 ノースカロライナ州 2
(87) 国際公開番号	W02004/102153		7 7 0 3 ダラム シリコン ドライブ
(87) 国際公開日	平成16年11月25日 (2004.11.25)		4 6 0 0
(31) 優先権主張番号	60/469,316	(74) 代理人	100079108
(32) 優先日	平成15年5月9日 (2003.5.9)		弁理士 稲葉 良幸
(33) 優先権主張国	米国 (US)	(74) 代理人	100093861
			弁理士 大賀 真司
		(74) 代理人	100109346
			弁理士 大賀 敏史

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 高Al含量AlGa_xN拡散バリアを有するIII族窒化物電子素子構造

(57) 【要約】

ドーピング材料から活性領域内へのドーパントの移動を抑制すべく組成されたドーピング材料、活性領域、およびバリア材料を含むIII族窒化物電子素子構造において、当該バリア材料は高Al含量Al_xGa_yNを含み、ここで、 $x + y = 1$ かつ $x \geq 0.50$ である。特定の態様において、AlNを厚さ約5〜約200オングストロームの移動/拡散バリア層として用いて、例えばUV-LED光電子素子等のIII族窒化物電子素子の活性領域内へのマグネシウムおよび/またはシリコン・ドーパント材料の流入を抑制する。



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

ドーパ化Ⅲ族窒化物層および活性領域を含むⅢ族窒化物光電子素子構造であって、前記ドーパ化Ⅲ族窒化物層と前記活性領域の間にバリア層が配置されていて、前記バリア層が、AlとGaの総量を基準にして少なくとも50%のAlを有するAlGa_{1-x}Nを含む材料で形成され、もって、前記AlGa_{1-x}N層が、前記ドーパ化Ⅲ族窒化物層から、前記素子の活性領域内へのドーパント種の移動または拡散に対するバリアを提供する、素子構造。

【請求項 2】

前記Alの濃度が、約60%～100%の範囲にある、請求項1に記載のⅢ族窒化物光電子素子。 10

【請求項 3】

前記Alの濃度が、約75%～100%の範囲にある、請求項1に記載のⅢ族窒化物光電子素子。

【請求項 4】

前記Alの濃度が、約80%～100%の範囲にある、請求項1に記載のⅢ族窒化物光電子素子。

【請求項 5】

前記Alの濃度が、約90%～100%の範囲にある、請求項1に記載のⅢ族窒化物光電子素子。 20

【請求項 6】

前記Alの濃度が、約95%～100%の範囲にある、請求項1に記載のⅢ族窒化物光電子素子。

【請求項 7】

前記AlGa_{1-x}N層の厚さが、約50nm～約200nmである、請求項1に記載のⅢ族窒化物光電子素子構造。

【請求項 8】

前記AlGa_{1-x}N層の厚さが、約10nm～約100nmである、請求項1に記載のⅢ族窒化物光電子素子構造。

【請求項 9】

前記AlGa_{1-x}N層の厚さが、約10nm～約75nmである、請求項1に記載のⅢ族窒化物光電子素子構造。 30

【請求項 10】

前記AlGa_{1-x}N層の厚さが、約10nm～約60nmである、請求項1に記載のⅢ族窒化物光電子素子構造。

【請求項 11】

前記素子が、UV-LEDを含む、請求項1に記載のⅢ族窒化物光電子素子。

【請求項 12】

前記素子が、MQW-UV-LEDを含む、請求項1に記載のⅢ族窒化物光電子素子。 40

【請求項 13】

前記素子が、青色または緑色LEDを含む、請求項1に記載のⅢ族窒化物光電子素子。

【請求項 14】

前記素子が、青色レーザーダイオードを含む、請求項1に記載のⅢ族窒化物光電子素子。

【請求項 15】

前記素子が、HBTを含む、請求項1に記載のⅢ族窒化物光電子素子。

【請求項 16】

前記AlGa_{1-x}N層が、AlNを含む、請求項1に記載のⅢ族窒化物光電子素子。 50

【請求項 17】

前記ドーパ化 III 族窒化物層が、 n -AlGa N 層を含む、請求項 1 に記載の III 族窒化物光電子素子構造。

【請求項 18】

前記ドーパ化 III 族窒化物層が、Mgドーパ化 p -AlGa N 層を含む、請求項 1 に記載の III 族窒化物光電子素子構造。

【請求項 19】

サファイア基板をさらに含む、請求項 1 に記載の III 族窒化物光電子構造。

【請求項 20】

Ga N 基板をさらに含む、請求項 1 に記載の III 族窒化物光電子構造。

10

【請求項 21】

前記ドーパ化 III 族窒化物層が、Si、Mg、Be、Fe、Zn、O、およびGeからなる群から選択された少なくとも 1 個のドーパント種を含む、請求項 1 に記載の III 族窒化物光電子素子構造。

【請求項 22】

前記ドーパ化 III 族窒化物層が、MgおよびSiからなる群から選択された少なくとも 1 個のドーパント種を含む、請求項 1 に記載の III 族窒化物光電子構造。

【請求項 23】

活性領域および前記活性領域に重なるドーパ化 III 族窒化物層を含む III 族窒化物光電子素子構造を形成する方法であって、前記活性領域と前記ドーパ化 III 族窒化物層の中間にAlGa N 層を形成し、前記ドーパ化 III 族窒化物層から前記活性領域内へのドーパントの移動または拡散を抑制すべくバリア層を形成するステップ、を含む方法。

20

【請求項 24】

ドーパ化材料、活性領域およびバリア材料を含む III 族窒化物電子素子構造であって、前記ドーパ化材料から前記活性領域内へのドーパントの移動を抑制すべく組成されていて、前記バリア材料が高Al含量 $Al_x Ga_y N$ を含み、ここで、 $x + y = 1$ 、かつ、 $x \geq 0.50$ である、素子構造。

【請求項 25】

ドーパ化材料および活性領域材料を含む微細電子素子構造内に極めて高レベルにドーパ化された領域を生成する方法であって、

30

(i) 前記ドーパ化材料と前記活性領域材料の間に中間層を形成して、前記中間層を有しない対応微細電子素子構造に関して、歪みが増した界面領域を生成し、前記ドーパ化材料と前記活性領域材料が互いに隣接するようにさせるステップと、(ii) 前記ドーパ化材料から活性領域材料へドーパントを移動させて、前記歪みが増した当該界面領域に前記ドーパントが堆積されるようにするステップと、を含む方法。

【請求項 26】

前記中間層が、高Al含量 $Al_x Ga_y N$ を含み、ここで、 $x + y = 1$ 、かつ、 $x \geq 0.50$ である、請求項 25 に記載の方法。

【請求項 27】

前記微細電子素子構造が、III 族窒化物光電子素子構造を含む、請求項 25 に記載の方法。

40

【請求項 28】

前記ドーパントが、Si、Mg、Be、Fe、Zn、O、およびGeからなる群から選択されたドーパント種を含む、請求項 25 に記載の方法。

【請求項 29】

前記ドーパ化材料が、III 族窒化物材料を含む、請求項 28 に記載の方法。

【請求項 30】

前記ドーパ化材料から前記活性領域材料へ前記ドーパントを移動させる前記ステップ(ii)が、前記微細電子素子構造のチャンネル画定を実現する、請求項 25 に記載の方法。

【請求項 31】

50

前記ドーピング材料から前記活性領域材料へ前記ドーパントを移動させる前記ステップ (i i) が、前記ドーパントに付随する電荷寄与を排除することなく、前記ドーピング材料からドーパントを除去するのに十分な時間遂行される、請求項 25 に記載の方法。

【請求項 32】

前記ドーピング材料から前記活性領域材料へ前記ドーパントを移動させて、前記歪みが増大した界面領域にドーパントが堆積されるようにする前記ステップ (i i) が、高温状態により遂行される、請求項 25 に記載の方法。

【請求項 33】

ドーピングおよび活性領域を含む I I I 族窒化物素子を、当該素子のバンド・エネルギー構造に関して設計する方法であって、前記ドーピングおよび活性領域の間に高 Al 含量 $Al_x Ga_y N$ を含む層を挟むステップを含み、ここで、 $x + y = 1$ かつ $x \geq 0.50$ であって、 x 、 y 、挟まれる層の厚さ、および挟まれる層の形成条件が、所定のバンド・エネルギー構造を有する前記 I I I 族窒化物素子を生成すべく選択されているようにする方法。

10

【請求項 34】

間に不純物拡散バリア層を有するドーピングおよび活性領域を含む I I I 族窒化物素子の不純物拡散バリア層内における担体のトンネル確率を設計する方法であって、前記不純物拡散バリア層として高 Al 含量 $Al_x Ga_y N$ を含む層を形成するステップを含み、ここで、 $x + y = 1$ かつ $x \geq 0.50$ であって、 x 、 y 、不純物拡散バリア層の厚さ、および不純物拡散バリア層の形成条件が、不純物拡散バリア層内において担体の所定の設計トンネル確率を有する前記 I I I 族窒化物素子を生成すべく選択されているようにする方法。

20

【請求項 35】

Mg ドーピング p - $Al Ga N$ 層と活性領域、およびその間にマグネシウム拡散バリア層を含み、前記マグネシウム拡散バリア層が $Al N$ を含む多量子井戸 UV - LED 構造。

【請求項 36】

前記素子が UV レーザーダイオードを含む、請求項 1 に記載の I I I 族窒化物光電子素子。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

発明の分野

30

本発明は、I I I 族窒化物電子および光電子素子に関し、具体的には、高 Al 含量 $Al_x Ga_y N$ 拡散バリアを有する I I I 族窒化物電子および光電子素子構造、およびその製造方法に関する。ここで、 $x + y = 1$ 、かつ、 $x \geq 0.50$ である。高 Al 含量 $Al_x Ga_y N$ 層は、電子および光電子素子が、エピタキシャル成長および素子製造を含む当該電子および光電子素子の製造に関わる高温加工の間、ドーパント種（例えば、マグネシウム、シリコン等）の移動または拡散により損なわれないように、活性素子領域内に作り込まれることを可能にする。

【背景技術】

【0002】

関連技術の説明

40

I I I 族窒化物光電子素子の製造において、シリコンやマグネシウム等の一般的に利用されるドーパントは、有機金属化学蒸着 (MOCVD) および蒸着後処理工程等の高温処理状態にある間、素子構造の活性領域内に容易に移動または拡散する。活性領域内へのドーパント種のこのような移動は、I I I 族窒化物光電子素子の最終的な性能および効率に極めて有害である。

【0003】

具体的には、光電子素子の活性領域へドーパント種が移動すると、非放射中心および好ましくない波長特性（すなわち、所望の発光波長からの偏差）を有する放射中心の形成、並びに微細な形状欠陥の発生により素子の発光効率が低下し、それに伴い製品素子の効率が実質的に低下する。

50

【0004】

更に、活性領域内へのドーパント種のそのような移動、およびその結果素子内に発生する欠陥は、活性領域のドーパントによる汚染に帰すべき工程中の過剰な熱発生の結果として製品寿命の短縮につながる。

【0005】

III族窒化物光電子素子を製造する間に活性領域内へドーパントが移動することに伴うこれらの課題は、光電子素子アーキテクチャを改良する研究および努力の動機を与えた。例えば、チャン・インラン (Chang, Ying-Lan) 他による「GaNおよびAlGaNのメタ有機化学蒸着の間におけるMg拡散の研究 (Study of Mg Diffusion During Metalorganic Chemical Vapor Deposition of GaN and AlGaN)」、応用物理学会会報 (Applied Physics Letters) Vol. 74、No. 5、pp. 688~690、特開2001-36196号公報 (2001年2月9日公開)、および特開2001-77480号公報 (2001年3月23日公開) を参照されたい。これら各種参考文献の開示は、各々その全文を本明細書に援用している。

【0006】

光電子素子の活性領域内へのドーパント種の移動と拡散に伴う問題の克服を目指す上述の先行的な研究や試みにもかかわらず、このような課題に対する有効な解決となる技術が依然として必要とされている。このような解決策は、III族窒化物光電子素子の製造工程において容易に実装可能であって、移動や拡散による光電子素子構造の活性領域の汚染を極めて有効に回避でき、かつ、費用対効果が良好であることが望ましい。

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0007】

発明の概要

本発明は、III族窒化物電子および光電子素子、ならびにその製造方法に関する。

【課題を解決するための手段】

【0008】

一の態様において、本発明は、ドーパ化材料、活性領域およびドーパ化材料から活性領域内へのドーパントの移動を抑制するバリア材料を含むIII族窒化物電子素子構造に関するものであり、当該バリア材料は高Al含量 Al_xGa_yN を含み、ここで、 $x+y=1$ 、かつ、 $x \geq 0.50$ である。

【0009】

本発明の別の態様は、ドーパ化III族窒化物層および活性領域を含むIII族窒化物光電子素子構造に関するものであり、ドーパ化III族窒化物層と活性領域の間にバリア層が配置されていて、当該バリア層が、AlとGaの総量を基準にして少なくとも50%のAlを有するAlGaNを含む材料で形成されていることにより、AlGaN層はドーパ化III族窒化物層から素子の活性領域内へのドーパント種の移動または拡散に対するバリアを提供する。

【0010】

本発明の更に別の態様は、活性領域および当該活性領域上に重なったドーパ化III族窒化物層を含むIII族窒化物光電子素子構造を形成する方法に関するものであり、当該方法は、活性領域とドーパ化III族窒化物層との間にAlGaN層中間体を形成して、ドーパ化III族窒化物層から活性領域内へのドーパントの移動または拡散を抑制するバリア層を形成するステップを含む。

【0011】

本発明は、別の態様において、ドーパ化材料および活性領域材料を含む微細電子素子構造内に高ドーパ化領域を生成する方法に関し、その方法は、(i) ドーパ化材料と活性領域材料の間に中間層を形成して、そのような中間層を有しない対応微細電子素子構造に関して、歪みが増した界面領域を生成し、ドーパ化材料と活性領域材料が互いに隣接するよ

うにさせるステップと、(i i) ドープ化材料から活性領域材料へドーパントを移動させて、歪みが増した当該界面領域にドーパントが堆積されるようにするステップとを含む。

【 0 0 1 2 】

本発明の追加的な態様は、ドープ化および活性領域を含む I I I 族窒化物素子を、当該素子のバンド・エネルギー構造に関して設計する方法に関し、当該方法は、ドープ化および活性領域の間に高 Al 含量 $Al_x Ga_y N$ を含む層を挟むステップを含み、ここで、 $x + y = 1$ 、かつ、 $x \geq 0.50$ であって、 x 、 y 、挟まれる層の厚さ、および挟まれる層の形成条件が、所定のバンド・エネルギー構造を有する I I I 族窒化物素子を生成すべく選択されているようにする。

【 0 0 1 3 】

本発明の更なる態様は、間に不純物拡散バリア層を有するドープ化および活性領域を含む I I I 族窒化物素子の不純物拡散バリア層内における担体のトンネル確率を設計する方法に関し、当該方法は、不純物拡散バリア層として高 Al 含量 $Al_x Ga_y N$ を含む層を形成するステップを含み、ここで、 $x + y = 1$ かつ $x \geq 0.50$ であって、 x 、 y 、不純物拡散バリア層の厚さ、および不純物拡散バリア層の形成条件が、不純物拡散バリア層内において担体の所定の設計トンネル確率を有する I I I 族窒化物素子を生成すべく選択されているようにする。

【 0 0 1 4 】

本発明の更に別の態様は、Mg ドープ化 p - $Al Ga N$ 層と活性領域、およびその間にマグネシウム拡散バリア層を含む、多量子井戸 UV - LED 構造に関し、当該マグネシウム拡散バリア層は Al N を含む。

【 0 0 1 5 】

本発明の他の態様、特徴、および利点は、以下の開示および添付の請求項から明らかになる。

【発明を実施するための最良の形態】

【 0 0 1 6 】

発明およびその好適な実施形態の詳細な説明

本発明は、I I I 族窒化物光電子素子構造を、高 Al 含量 $Al_x Ga_y N$ を含むバリア材料を有する素子構造を生成することにより、当該素子構造の活性領域内へのドーパント（例えば Si、Mg、Be、Fe、Zn、O、Ge 等）の移動および / または拡散が大幅に削減または排除可能でもあるとの発見に基づいており、ここで、 $x + y = 1$ 、かつ、 $x \geq 0.50$ であって、当該バリア材料は、活性領域内へのドーパントの移動または拡散を含む、汚染要因となるドーパントの移動から素子構造の活性領域を保護すべく組成されている。

【 0 0 1 7 】

$Al_x Ga_y N$ バリア材料は、高い Al 濃度を有し、アルミニウムとガリウムの総量を基準にして少なくとも 50 % 以上 100 % 以下の Al 濃度を含む。このような高 Al 含量 $Al_x Ga_y N$ 材料が、ドープ層から I I I 族光電子素子構造の活性領域内へのドーパント種の拡散および移動を効果的に阻止することが発見された。このような材料で形成されたバリア層は、マグネシウムやシリコン等のドーパント種による活性領域の汚染を抑制することに特に効果的である。

【 0 0 1 8 】

本発明の広範な実施に際して $Al_x Ga_y N$ バリアは、製品 I I I 族窒化物光電子素子製造の処理フロー・シーケンスの一部として、適当な処理条件下で、有機金属化学蒸着 (MOCVD)、分子線エピタキシー (MBE)、ハイドライド気相成長 (HVPE) 等の蒸着技術を含む任意の適当な薄膜構造技術により容易に形成することができる。

【 0 0 1 9 】

特定の比較例として、340 ナノメートル (nm) の UV 波長で動作すべく生成された UV - LED 素子構造の活性領域と p - $Al Ga N$ クラディングの間に、厚さが約 30 オングストロームの Al N 層を形成することにより、そのような Al N バリア層を有しな

10

20

30

40

50

い対応UV-LED素子構造に比べて、素子の最上位p-クラディング層から活性領域内へのマグネシウム(Mg)の拡散が効果的に抑制されることが示された。

【0020】

図1は、基板18上のN-AlGaIn16、活性領域材料14、およびp-AlGaIn12の連続する層を含む紫外線発光ダイオード(UV-LED)構造10の層構造の模式図である。基板18は、例えば、サファイア、尖晶石、SiC、GaN等、任意の適当な種類であってよい。裏側層18または層12に接点を設けて素子の接点要素を形成することができる。

【0021】

図2は、図1と同様のUV-LED構造の層構造の模式図であり、同じ層は対応して付番されているが、構造10の活性領域14とp-AlGaIn層12の間にAlNバリア層20を用いている。 10

【0022】

図3は、マグネシウムおよびアルミニウム原子の濃度を、これらのUV-LEDのサンプルの深さの関数として、各々の比較用サンプルのAlNバリア層が有る場合と無い場合について示すグラフである。図3に示すドーパント分析結果は、2次イオン質量スペクトル分析(SIMS)で決定され、AlNバリア層の効果を示している。

【0023】

図1および図2に示す種類の各素子構造において、AlN層を含まない素子構造の活性領域におけるマグネシウム領域密度は、 $5.1 \times 10^{12} \text{ cm}^{-2}$ であり、一方、活性領域とp-AlGaInクラディングの間にAlN層を含む対応素子構造の活性領域のマグネシウム領域密度は $1.5 \times 10^{12} \text{ cm}^{-2}$ であった。 20

【0024】

これらの経験的に決定された値は、素子の活性領域のMgドーパント汚染を抑制するAlNバリア層の有効性を示すものの、抑制効果の相対的な効果を低く評価する。その理由は、AlNバリア層を含む素子構造のp-クラディング層のマグネシウム・ドーパント濃度が、そのようなAlNバリア層を有しない素子構造のp-クラディング層のMgドーパントの濃度より30%高かったためである。

【0025】

本発明の高Alバリア層構造により、AlGaIn層に高レベルのマグネシウムを含ませることが可能になり、それにより現在可能なレベルよりも高い素子性能のMg濃度レベルが得られるようになる。 30

【0026】

本発明は、微細電子の素子構造の製造における高温でのドーパントの移動/拡散に起因して素子の活性領域がドーパントで汚染されるといふ、本発明のバリア層を有しない光電子素子の従来の製造過程で遭遇する問題を伴うことなく、素子構造のドーパント密度を高めることが可能な移動/拡散バリア層を提供する。

【0027】

素子の活性領域内へのドーパントの移動が抑制される結果、本発明のバリア層構造により、本発明の移動/拡散バリア層を有しない対応光電子素子で実現可能なものよりも素子寿命が大幅に伸び、発光効率が高くなり、かつ動作時の熱発生が低いIII族窒化物光電子素子の製造が可能になる。 40

【0028】

AlN移動/拡散バリア層を有する上述のUV-LED品目を経験的に特徴付けた際に、マグネシウム濃度の分析から、バリア層とp-AlGaIn層の間の界面において局所的にマグネシウムが堆積されていることが明らかになった。

【0029】

このようなマグネシウムの局在性は、バリア層/p-AlGaIn界面で互いに接する、バリア層材料とp-AlGaIn材料の間での微細モーフロジーおよび物理的特性(例えば、結晶構造の違い、歪の違い等)の違いに符合する。p-AlGaInと $\text{Al}_x\text{Ga}_y\text{N}$ 50

バリアとの界面で堆積されたマグネシウムは、S I M S データ内に、重ね合わされたガウス分布状のドーパント特徴を形成した。

【 0 0 3 0 】

対照的に、 $Al_x Ga_y N$ バリア層が存在しない対応 UV - L E D 素子構造において、UV - L E D 構造の活性領域内へのマグネシウム原子の拡散により、0.2 ~ 0.3 マイクロメートル（表層から活性領域まで測定）の深さにおいて僅かに先細りとなっている濃度特徴が得られる。あるケースでは濃度は約 30 % 減少しただけである。

【 0 0 3 1 】

上記から、歪みその他の材料特性の極端な違いが存在し得る界面領域にドーパント種が堆積したことが示される。そのようなドーパントの堆積傾向は従って、接点形成用に高ドーパント領域を得る手段を提供する。 10

【 0 0 3 2 】

また、このような界面領域でのドーパント堆積傾向を利用してチャネル画定を実現、または光電子素子の性能を最適化する技術として、付随する電荷寄与を排除することなく、層からドーパントを除去することができる。

【 0 0 3 3 】

更に、ドーパント種の界面領域におけるドーパント堆積傾向を利用して、位置を固定した仕方でドーパントを層に導入することができる。

【 0 0 3 4 】

本発明に従い $Al_x Ga_y N$ 移動 / 拡散バリア層を提供することにより、III 族窒化物素子（例えば（Al、Ga、In）N その他の窒化物合金素子であり、（Al、Ga、In）は、金属部分がアルミニウム、ガリウムおよびアルミニウムのうち一つ以上を含む任意の化学量論的に適切な窒化物を表わす）のバンド構造に関して素子構造の設計が容易になる。本発明に従い $Al_x Ga_y N$ 移動 / 拡散バリア層を用いることにより、不純物拡散バリア層における担体のトンネル確率の設計も可能になる。 20

【 0 0 3 5 】

p - Al Ga N 層と活性領域の間に Al N マグネシウム拡散バリア層を有する、多量子井戸（MQW）UV - L E D 構造について、圧電効果の調整が無いバンド線図の簡略図を図 4 に示す。

【 0 0 3 6 】

図 4 から、適切に設計されていない場合、Al N 層の存在に起因する荷電子帯オフセットが正孔移動を阻害することは明白である。適切な設計とは、不純物拡散バリア層（各層の化学量論を含む）のバンド構造、各層の厚さ、および担体のエネルギー（例えば、光電子素子の駆動電圧の考慮に基づく）を考慮に入れたものである。 30

【 0 0 3 7 】

正方形のバリアを貫通する粒子のトンネル確率（T）は、以下の式（1）により設定される。

【数 1】

$$T = \frac{4k^2 k'^2}{(k^2 + k'^2) Sh^2(k'a) + 4k^2 k'^2} \quad \text{式 (1)}$$

40

【 0 0 3 8 】

ここに、

【数 2】

$$k = \sqrt{\frac{2mE}{h^2}} \quad \text{式 (2)}$$

50

である。

【 0 0 3 9 】

また、

【 数 3 】

$$k' = \sqrt{\frac{2m(V_0 - E)}{h^2}} \quad \text{式 (3)}$$

10

である。

【 0 0 4 0 】

また、 $V_0 = E_v$ 、すなわち、AlNと隣接するAlGaIn層の間の荷電子帯・オフセット、 a = Al層の厚さ、 h = プランク定数、 m = 隣接するAlGaIn層の正孔有効質量、 E = 担体のエネルギー（～光電子素子の駆動電圧）である。

【 0 0 4 1 】

$k'a \gg 1$ と仮定すれば、式(1)は以下のように簡素化できる。

【 数 4 】

$$T \approx \frac{16E(V_0 - E)}{V_0^2} e^{\frac{2a}{h} \sqrt{2m(V_0 - E)}} \quad \text{式 (4)}$$

20

【 0 0 4 2 】

式(4)から、バリアの厚さが増すにつれて T が指数的に減少することが明らかである。AlGaIn層内に未知の正孔有効質量があるために、正確なトンネル確率をAlNの厚さの関数として決定することは困難である。それにもかかわらず、相対的な比較は、本発明の光電子素子構造内のバリア層の効果を評価するのに役立つ。

【 0 0 4 3 】

異なる正孔エネルギー(E)を有する正孔有効質量(m_0)の異なる値に対するトンネル確率をAlNの厚さの関数としてシミュレーションした結果を図5に示す。

30

【 0 0 4 4 】

図5を参照するに、(AlNバリア層の)一定のバリア高に対して、最適なAlNの厚さを容易に決定することができ、これにより活性領域内へのドーパントの拡散を効果的に抑制しながら正孔トンネル確率が增大する。

【 0 0 4 5 】

例えば、厚さが2.5オングストローム程度であるAlNの単分子層は、 $m_0 = 1.0$ かつ $E = 50 \text{ meV}$ の場合に40%超の正孔トンネル確率を与える。更に、素子の駆動電圧(すなわち E)を増大させることにより、考慮している特定の例で約20%と、トンネル確率を大幅に増大される。このように、厚さが極めて薄いバリア層を用いることにより、マグネシウムおよび他のドーパント種の移動/拡散を防止することができる。

40

【 0 0 4 6 】

上記と整合して、本発明は別の態様において、ドーパ化材料および活性領域材料を含む微細電子素子構造の高度にドーパ化された領域を生成する方法を考察するものであり、当該方法は、(i)ドーパ化材料と活性領域材料の間に、ドーパ化材料と活性領域材料が互いに隣接するように中間層を形成して、そのような中間層を有しない対応微細電子素子構造に比べて歪みが増大した界面領域を生成するステップと、(ii)ドーパ化材料から活性領域材料へドーパントを移動させて、歪みが増大している界面領域にドーパントが堆積されるようにするステップと、を含む。

【 0 0 4 7 】

50

このような方法による中間層は好適には、高 Al 含量 Al_xGa_yN (ここで、 $x + y = 1$ かつ $x \geq 0.50$) を含む。微細電子素子構造は、例えば、III 族窒化物材料を含む III 族窒化物光電子素子構造等、任意の適切な種類であってよく、またドーパントは例えば、Si、Mg、Be、Fe、Zn、O、Ge 等の任意の適切な種を含んでいてよい。

【0048】

微細電子素子構造内に高度にドーパ化された領域を生成する当該方法において、ドーパ化材料から活性領域材料へドーパントを移動させるステップ (ii) を用いて、微細電子素子構造のチャネル画定を実現する。

【0049】

ドーパ化材料から活性領域材料へドーパントを移動させる当該ステップ (ii) は別の態様において十分な時間実行されて、ドーパントに付随する電荷寄与を排除することなく、ドーパ化材料からドーパントを除去することができる。

【0050】

歪みが増大した界面領域にドーパントが堆積されるように、ドーパ化材料から活性領域材料へドーパントを移動させ当該ステップ (ii) は、ドーパントをそのように移動させるのに動力学的に好都合な、高温状態で実施することができる。

【0051】

本発明は別の態様において、ドーパ化および活性領域を含む III 族窒化物素子を設計する方法を、当該素子のバンド・エネルギー構造に関して考察するものであり、当該方法は、ドーパ化および活性領域の間に、高 Al 含量 Al_xGa_yN を含む層を挟むステップを含み、ここで、 $x + y = 1$ かつ $x \geq 0.50$ であって、 x 、 y 、挟まれる層の厚さ、および挟まれる層の形成条件が、所定のバンド・エネルギー構造を有する III 族窒化物素子を生成すべく選択されているようにする。

【0052】

本発明の更なる態様は、間に不純物拡散バリア層を有するドーパ化および活性領域を含む III 族窒化物素子の不純物拡散バリア層内における担体のトンネル確率を設計する方法を考察するものであり、当該方法は、不純物拡散バリア層として高 Al 含量 Al_xGa_yN を含む層を形成するステップを含み、ここで、 $x + y = 1$ かつ $x \geq 0.50$ であって、 x 、 y 、不純物拡散バリア層の厚さ、および不純物拡散バリア層の形成条件が、不純物拡散バリア層内において担体の所定の設計トンネル確率を有する III 族窒化物素子を生成すべく選択されているようにする。

【0053】

更に特定の素子態様において、本発明は Mg ドーパ化 p-AlGaIn 層と活性領域、およびその間にマグネシウム拡散バリア層を含む、多量子井戸 UV-LED 構造を考察するものであり、当該マグネシウム拡散バリア層は AlN を含む。

【0054】

これまで本発明の方式について p 型層の利用に関して述べてきたが、n 層においても利用することができる。

【0055】

一般に、本発明のバリア方式は、広範な微細電子素子に役立つべく採用され、青色発光ダイオード (LED)、緑色 LED、青色レーザーダイオード (LD)、UV-LED、UV-LD、ヘテロ接合バイポーラトランジスタ (HBT) 等を含むが、これに限定されるものではない。

【0056】

当業者であれば必要以上に実験せずとも容易に判断できるように、高 Al 含量 Al_xGa_yN 層の厚さは、本発明の広範な実施において大幅に変更することができる。特定の応用において、ドーパント種の移動/拡散を抑制するために約 5 ~ 約 200 オングストロームの範囲の厚さを採用することに利点がある。他の応用において、バリア層の厚さは、約 10 オングストローム ~ 100 オングストロームの範囲にあることが望ましく、より好適

10

20

30

40

50

には約 10 ~ 約 75 オングストローム、最も好適には約 10 ~ 約 60 オングストロームである。

【0057】

本発明によるバリア層は、化学式 (Al_xGa_y)N 材料を含み、ここで、 $x + y = 1$ 、かつ、 x は約 0.5 ~ 1 の範囲にある。本発明によるバリア層を用いる特定の実施形態において、 x の値は少なくとも 0.60、0.75、0.80、0.90 または 0.95 であってよい。必要とされる最小アルミニウム濃度は、部分的に素子の処理要件、特に素子の熱指標 (時間および温度) に依存する。本発明の所与の応用において移動および拡散を効果的に防止すべくバリア層において必要なアルミニウムの特定の組成および量は、本開示に基づいて、当業者には容易に判断可能である。

10

【0058】

本発明によるバリア層成長に役立つべく用いられる例示的な処理条件として、温度が約 900 ~ 約 1500 の範囲、圧力が約 1 ~ 約 1000 torr の範囲、 V/III 比が約 1 ~ 約 100,000 の範囲、および成長率が約 0.01 $\mu m/hr$ ~ 10 $\mu m/hr$ にあることが含まれる。

【0059】

本発明の特徴および利点を、以下の非限定的な例を以って、より完全に示す。

【実施例】

【0060】

実施例 1

本発明に従い製造された UV-LED 素子の成長条件の具体例を以下に提供する。

ステップ 1) $> 0.05 \mu m$ AlGaIn の n 層 ($Al\% > 5$ 、(Si ドーピング $> 5 \times 10^{17} cm^{-3}$) を、 $T = 1220$ 、 $P = 100 mbar$ 、 $V/III = 2500$ 、かつ成長率 1.5 $\mu m/hr$ で成長させる。

ステップ 2) < 2000 オングストローム AlGaIn MQW の活性領域 ($Al\% > 1$ 、ドーピングまたは非ドーピング) を、 $T = 1220$ 、 $P = 100 mbar$ 、 $V/III = 2500$ 、かつ成長率 1.5 $\mu m/hr$ で成長させる。

ステップ 3) 30 オングストローム AlN バリア層 ($Al\% > 50$ 、ドーピングまたは非ドーピング) を、 $T = 1220$ 、 $P = 100 mbar$ 、 $V/III = 2500$ 、かつ成長率 0.18 $\mu m/hr$ で成長させる。

30

ステップ 4) $< 0.5 \mu m$ AlGaIn の p 型層 ($Al\% > 5$ 、Mg ドーピング $> 1 \times 10^{19} cm^{-3}$) を、 $T = 1220$ 、 $P = 100 mbar$ 、 $V/III = 2500$ 、かつ成長率 1.5 $\mu m/hr$ で成長させる。

【産業上の利用可能性】

【0061】

本発明の高 Al 含量 AlGaIn バリア層技術が、III 族窒化物電子素子構造の製造に役立つべく採用されており、当該バリア層の提供により III 族窒化物素子構造の活性領域内へのドーパント種等の不要な材料の移動および/または拡散が大幅に減少、または除去される。当該バリア層構造は、電子素子の極めて効率的な製造を可能にし、本発明のバリア層構造を有しない対応光電子素子に比べて素子寿命の大幅な延長、発光効率の向上、熱発生の低減、動作性能の向上が得られる。特定の応用において、本発明のバリア層構造を用いて、多量子井戸 (MQW) 紫外線発光ダイオード素子等の素子における不純物拡散バリア層内の担体のトンネル確率を設計することができる。本発明のバリア層はまた、高い歪みその他の材料差異が存在し得る界面領域のドーパントを局在化する特定の素子への応用に用いて、接点形成のための極めて高ドーピングされた領域を生成することができる。本発明のバリア層構造はまた、当該バリア層を含む素子の性能を最適化すべく、チャネル画定に用いることができる。

40

【図面の簡単な説明】

【0062】

【図 1】基板上に N-AlGaIn、活性領域材料、および p-AlGaIn の一連の層を含

50

む紫外線発光ダイオード（UV-LED）の層構造を表わす模式図である。

【図2】図1と同様であるが、活性領域とp-AlGa_N層の間にAlNバリア層を用いた、UV-LED構造の層構造を表わす模式図である。

【図3】二次イオン質量分析（SIMS）により定められた、マグネシウムおよびアルミニウム原子の濃度をUV-LEDサンプルの深さの関数として、各々の比較用サンプルにAlNバリア層が有る場合と無い場合について表わしたグラフであり、AlNバリア層の効果を示す。

【図4】（MQW）UV-LED素子構造において当該構造の活性領域とp型クラッド層の間にAlN層が挿入された状態でのエネルギー・バンド図である。

【図5】異なる相対有効質量（ m_0 ）および正孔エネルギー（ E_v ）に対する、AlN厚の関数としてのトンネル確率（%）をオングストローム単位で示すグラフである。

【図1】

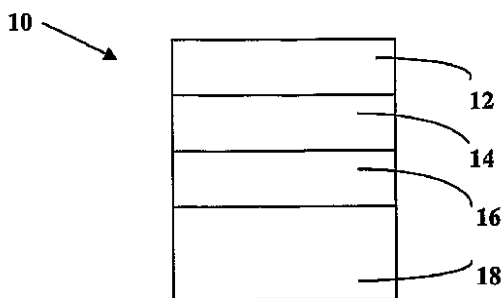


FIG. 1

【図2】

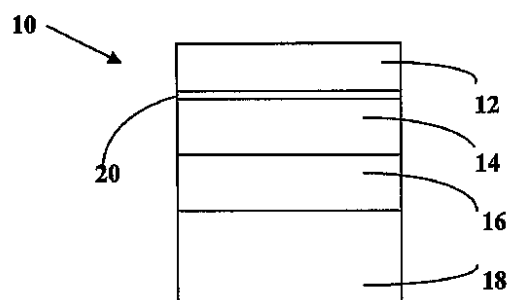


FIG. 2

【図3】

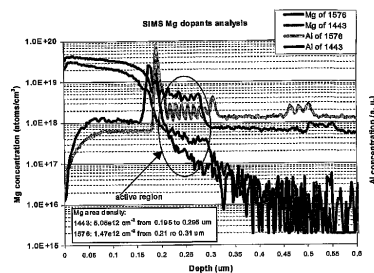


FIG. 3

【 図 4 】

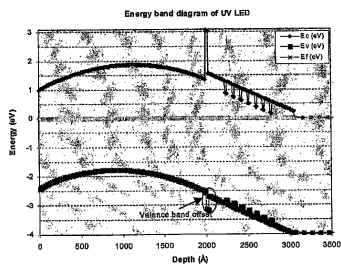


FIG. 4

【 図 5 】

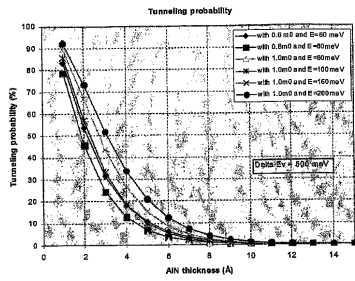
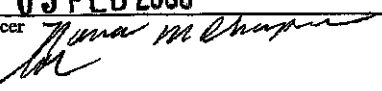


FIG. 5

【 国際調査報告 】

INTERNATIONAL SEARCH REPORT		International application No. PCT/US04/14171
A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER IPC(7) : H01L 33/00 US CL : 257/094 According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
B. FIELDS SEARCHED Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) U.S. : 257/094, 96, 102, 103		
Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched NONE		
Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used) NONE		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	US 6,153,894 A (UDAGAWA) 28 November 2000 (28.11.2000) see entire document.	1-36
A, E	US 6,800,876 B2 (EDMOND et al) 05 October 2004 (05.10.2004) see entire document.	1-36
A	JP 10321042 (KAMIMURA) 04 December 1998 (04.12.1998) see entire document.	1-36
<input type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input type="checkbox"/> See patent family annex.		
* Special categories of cited documents:		
"A"	document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance	"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
"B"	earlier application or patent published on or after the international filing date	"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
"L"	document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)	"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
"O"	document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means	"&" document member of the same patent family
"P"	document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed	
Date of the actual completion of the international search 21 January 2005 (21.01.2005)		Date of mailing of the international search report 03 FEB 2005
Name and mailing address of the ISA/US Mail Stop PCT, Attn: ISA/US Commissioner for Patents P.O. Box 1450 Alexandria, Virginia 22313-1450 Facsimile No. (703) 305-3230		Authorized officer Jose Dees  Telephone No. 571-272-1569

フロントページの続き

(81)指定国 AP(BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), EA(AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), EP(AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IT, LU, MC, NL, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OA(BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG), AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NA, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW

(72)発明者 フリン, ジェフリー, エス.

アメリカ合衆国, ノースカロライナ州 27614, ローリー, キルケイン コート 12304

(72)発明者 シン, フオピン

アメリカ合衆国, カリフォルニア州 92821, プレア, ナンバー 710, ダブリュー セン
トラル アベニュー 250

(72)発明者 ブランデス, ジョージ

アメリカ合衆国, ノースカロライナ州 27614, ローリー, ワインフォード ウェイ 502
0

F ターム(参考) 5F041 AA31 CA05 CA40 CA57
5F173 AG08 AH22 AJ04 AR79