

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第3763701号

(P3763701)

(45) 発行日 平成18年4月5日(2006.4.5)

(24) 登録日 平成18年1月27日(2006.1.27)

(51) Int. Cl.

H01L 33/00 (2006.01)

F I

H01L 33/00

C

請求項の数 2 (全 5 頁)

(21) 出願番号	特願平11-135354	(73) 特許権者	000003078
(22) 出願日	平成11年5月17日(1999.5.17)		株式会社東芝
(65) 公開番号	特開2000-332288(P2000-332288A)		東京都港区芝浦一丁目1番1号
(43) 公開日	平成12年11月30日(2000.11.30)	(74) 代理人	100109900
審査請求日	平成15年1月30日(2003.1.30)		弁理士 堀口 浩
		(72) 発明者	菅原 秀人
			神奈川県川崎市幸区堀川町72番地 株式
			会社東芝 川崎事業所内
		審査官	土屋 知久
		(56) 参考文献	特開平10-126006(JP,A)
			特開平6-151963(JP,A)
		(58) 調査した分野(Int.Cl., DB名)	
			H01L 33/00

(54) 【発明の名称】窒化ガリウム系半導体発光素子

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

基板上に形成されたバッファ層と、前記バッファ層上に形成された第一のn型半導体層と、前記第一のn型半導体層上面に接して形成された第二のn型半導体層と、前記第二のn型半導体層上面に接して形成された活性層と、前記活性層上に形成されたp型半導体層と、前記第一のn型半導体層上に形成された電極と、を具備し、前記第一のn型半導体層及び前記活性層はインジウムを含み、前記第二のn型半導体層はAlGaInからなることを特徴とする窒化ガリウム系半導体発光素子。

【請求項2】

前記第一のn型半導体層は1μm以上の層厚を有することを特徴とする請求項1に記載の窒化ガリウム系半導体発光素子。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は窒化ガリウム系半導体発光素子に関し、特に窒化ガリウム系半導体発光素子構造中のn型半導体層に関する。

【0002】

【従来の技術】

窒化ガリウム系半導体は直接遷移型の光学遷移を行うため高効率発光再結合を可能とし、半導体レーザーあるいは高輝度LEDなどの高効率発光素子材料として開発されている。窒

10

20

化ガリウム系半導体発光素子を用いた青色から緑色までのLEDは、実用化されている。図2は従来の窒化ガリウム系半導体発光素子の構造を示した断面図である。従来の窒化ガリウム系半導体発光素子は、サファイア基板21上にバッファ層22、 n^- GaNコンタクト層23、InGa n 活性層24、 p^- AlGa n クラッド層25、 p^- GaNコンタクト層26を順次形成している。そして p^- GaNコンタクト層26上に p^- 側電極27を有し、 n^- GaNコンタクト層23上の一部に n^- 側電極28を有している。

【0003】

【発明が解決しようとする課題】

図2に示す従来の窒化ガリウム系半導体発光素子において、その動作電圧は低く、青色発光LED(450nm)を例にとれば、活性層のエネルギーギャップ(約2.7V)と素子構造内部の抵抗成分から約3V程度と見積もられる。しかしながら実用化されている素子は3.6~4.0V程度の高い動作電圧を示す。この原因はp型半導体層の電流注入用金属電極との高コンタクト抵抗や、n型半導体層における高抵抗率である。 n^- GaNコンタクト層23中の電圧は動作電圧の増加の一因である。図2に示したような表面コンタクト型(素子表面からp、nの電極を取る)の素子は、上下コンタクト型(基板裏面に一方の電極を取る)の素子に比べn型コンタクト層23中におけるキャリアの移動距離が数百倍にもなり、 n^- GaNコンタクト層23中での電圧降下が比較的大きくなる。形状と結晶特性から見積もられる抵抗成分は約30 Ω であり20mAでの電圧降下は0.6Vと大きな値になる。n型コンタクト層23には主にGa n やAlGa n が用いられている。これらの材料へ不純物をドーピングして抵抗率を低減することができる。通常n型の不純物にはSiが用いられる。しかしながら高濃度のドーピングは欠陥結晶の発生の原因となる。濃度約 $5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ を超えると、結晶に六角錐状のピットがあらわれ平坦性を損なう原因となる。従って不純物をn型コンタクト層中へ高濃度ドーピングできないため、n型コンタクト層における電圧降下は動作電圧を高める原因となる。

【0004】

また、従来構造では発光の均一性が低いという問題がある。一般に窒化ガリウム系半導体はGaAs、GaP等の3、4族化合物半導体に比べて電流を流しにくい性質を持つ。従って n^- 側電極から供給される電子は n^- GaNコンタクト層23内において横方向へ広がりにくく、 n^- 側電極からの最短距離を通過して達する活性層の一部分に集中してしまうからである。そこでn型半導体中にInを有する高キャリア濃度半導体層を設けて、活性層へのキャリア注入を均一にすることにより発光を均一に行う化合物半導体発光素子が考案されている(特開平8-23124)。図3はその窒化ガリウム系半導体発光素子の構造を示す断面図である。サファイア基板31上にバッファ層32、 n^- GaNコンタクト層33を順次有し、 n^- GaNコンタクト層33上に、 n^- InAlGa n 層34を有している。 n^- InAlGa n 層34上には n^- AlGa n クラッド層35、InGa n 活性層36、 p^- AlGa n クラッド層37、 p^- GaNコンタクト層38を順次形成している。 p^- GaNコンタクト層38上に p^- 側電極39を有し、 p^- GaNコンタクト層38、 p^- AlGa n クラッド層37、InGa n 活性層36、 n^- AlGa n クラッド層35、 n^- InAlGa n 層34および n^- GaNコンタクト層33の一部をエッチングし露出した n^- GaNコンタクト層33上に n^- 側電極40を有している。なお、この窒化ガリウム系半導体発光素子の層厚は n^- GaNコンタクト層33が $1 \mu\text{m} \sim 5 \mu\text{m}$ 、 n^- InAlGa n 層34が $10 \text{ nm} \sim 1 \mu\text{m}$ 、 n^- AlGa n クラッド層35及び p^- AlGa n クラッド層37及び p^- GaNコンタクト層38が $50 \text{ nm} \sim 1 \mu\text{m}$ 、InGa n 活性層36が $50 \text{ nm} \sim 0.5 \mu\text{m}$ である。この構造ではn型コンタクト層から供給された電子がキャリア濃度の高いn型InAlGa n 中を通過して均一に広がり、活性層での発光の均一性を向上することができている。しかしながら、n型InAlGa n 層34は $1 \mu\text{m}$ 以下の薄膜であるため、この層中における抵抗成分も比較的大きく、この素子の20mAにおける動作電圧は3.3Vである。従ってこの構造においても動作電圧に対する改善効果はまだ不十分である。

【0005】

10

20

30

40

50

また図2及び図3に示した従来構造では、活性層のInGa_{0.9}N_{0.1}及び36は膜厚が薄いために比較的厚いn⁻GaNコンタクト層3及び33に格子整合して成長しており、結晶中に歪を含んで形成されている。InGa_{0.9}N_{0.1}はGaNよりも格子定数が大きいため、GaNコンタクト層に格子整合したInGa_{0.9}N_{0.1}活性層の結晶中には圧縮歪が生じる。これによりInGa_{0.9}N_{0.1}内にはピエゾ電界が発生し、結晶内に存在するキャリア（電子と正孔）を空間的に分離するため、再結合確率の低下を伴う。これはLED内の内部量子効率を低下させるものであり、望ましくない。以上において従来の窒化ガリウム系発光素子ではいくつかの問題を含んでいた。本発明は上記事情に顧みてなされたものであり、その目的は動作電圧が低く発光が均一で、且つ発光効率の高い窒化ガリウム系発光素子並びにこれらの製造方法を提供することにある。

10

【0006】

【課題を解決するための手段】

本発明における窒化ガリウム系半導体発光素子は、基板上に形成されたバッファ層と、前記バッファ層上に形成された第一のn型半導体層と、前記第一のn型半導体層上に形成された第二のn型半導体層と、前記第二のn型半導体層上に形成された活性層と、前記活性層上に形成されたp型半導体層と、前記第一のn型半導体層上に形成された電極とを具備し、前記第一のn型半導体層はインジウムを含み、且つ前記第二のn型半導体層より電子キャリア濃度及び層厚が大きいことを特徴とする。

前記第一のn型半導体層は1μm以上の層厚を有することを特徴とする。

本発明における窒化ガリウム系半導体発光素子の製造方法において、有機金属気相成長法により成長速度0.5μm/h以上、温度800以上1000以下の範囲において窒化インジウムガリウムからなる層を形成することを特徴とする。

20

【0007】

【発明の実施の形態】

本発明における実施の形態を実施例を用いて説明する。図1は本発明における窒化ガリウム系半導体発光素子の構造を示す断面図である。本実施例はInを含むn⁻コンタクト層を有し、そのn⁻コンタクト層上にn⁻側電極を有している点で従来例と異なる。構造について詳しく説明する。サファイア基板1上にバッファ層2を有し、バッファ層2上にInを含むn⁻InGa_{0.9}N_{0.1}コンタクト層3を形成している。n⁻InGa_{0.9}N_{0.1}コンタクト層3上に、n⁻AlGa_{0.9}N_{0.1}クラッド層4を有している。n⁻AlGa_{0.9}N_{0.1}クラッド層4上にはInGa_{0.9}N_{0.1}活性層5、p⁻AlGa_{0.9}N_{0.1}クラッド層6、p⁻GaNコンタクト層7を順次形成している。p⁻GaNコンタクト層7上にアノード電極8を有し、p⁻AlGa_{0.9}N_{0.1}クラッド層7、InGa_{0.9}N_{0.1}活性層5、n⁻AlGa_{0.9}N_{0.1}クラッド層4およびn⁻InGa_{0.9}N_{0.1}コンタクト層3の一部をエッチングし露出したn-InGa_{0.9}N_{0.1}コンタクト層3上にn⁻側電極9を有している。なお層厚について、n⁻InGa_{0.9}N_{0.1}コンタクト層3は4μm、n⁻AlGa_{0.9}N_{0.1}クラッド層4及びp⁻AlGa_{0.9}N_{0.1}クラッド層6及びp⁻GaNコンタクト層7は0.1μm、InGa_{0.9}N_{0.1}活性層5は20nmである。n-InGa_{0.9}N_{0.1}コンタクト層3の組成比はGaが0.9、Inは0.1である。

30

【0008】

次に本実施例における窒化ガリウム系半導体発光素子の製造方法について説明する。本実施例における窒化ガリウム系半導体発光素子は有機金属気相成長法(MOCVD法)により形成した。詳しくは以下のプロセスにより結晶成長を行っている。まずサファイア基板1を水素雰囲気中、1100℃で10分間クリーニングする。サファイア基板1を500℃に降温し、成長原料を水素キャリアガスで供給してバッファ層2を形成する。基板温度を1000℃に昇温し、TMG、TMI、NH₃、SiH₄を窒素キャリアガスで供給してn⁻InGa_{0.9}N_{0.1}コンタクト層3を形成する。なおn⁻InGa_{0.9}N_{0.1}コンタクト層3を4μmの層厚に形成するために、成長速度を通常よりも大きくする必要がある。InGa_{0.9}N_{0.1}層の成長においてTMGの供給量がほぼ成長速度を決めるため、本実施例において1μm/hの成長速度に対し8.3×10⁻⁵mol/minとしている。形成されるInGa_{0.9}N_{0.1}コンタクト層の電子キャリア濃度は5×10¹⁹cm⁻³である。次に基板温度を105

40

50

0 に昇温し、TMG、TMA、 NH_3 、 SiH_4 を水素キャリアガスで供給してn⁻AlGa_{0.1}Nクラッド層4を形成する。その後基板温度を750℃に降温し、TMG、TMI、 NH_3 を窒素キャリアガスで供給してInGa_{0.1}N活性層5を形成する。基板温度を1050℃に昇温し、TMG、TMA、 NH_3 、 Cp_2Mg を水素キャリアガスで供給してp⁻AlGa_{0.1}Nクラッド層6を形成する。基板温度を変えずにTMG、 NH_3 、 Cp_2Mg を水素キャリアガスで供給してp⁻GaNコンタクト層7を形成する。次に得られた構造に対しエッチングによりp⁻GaNコンタクト層7、p⁻AlGa_{0.1}Nクラッド層6、InGa_{0.1}N活性層5、n⁻AlGa_{0.1}Nクラッド層4、及びn⁻InGa_{0.1}Nコンタクト層3の一部を除去して露出したn⁻InGa_{0.1}Nコンタクト層3上にn⁻側電極を形成する。p⁻GaNコンタクト層7上にはp⁻側電極を形成して素子構造とした。

10

【0009】

本実施例における窒化ガリウム系半導体発光素子の構造が従来例と異なる点はn⁻コンタクト層3にInを含んだInGa_{0.1}N混晶を用いており、4μmの層厚を有することである。

図3に示した従来例ではIn含有n型層34の結晶品質の観点からその膜厚を1μm以下に制限しているため、動作電圧の十分な低減を図れないことは上述の通りである。本実施例におけるn⁻InGa_{0.1}Nコンタクト層において、その電气的特性はキャリア濃度が $5 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ で抵抗率が0.001Ωcmであり、従来用いられていたGaNコンタクト層の0.008Ωcm(キャリア濃度： $5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$)より良好である。従ってn⁻コンタクト層3における電圧降下を低減でき、素子の動作電圧を低減できる。

20

更にn⁻InGa_{0.1}Nコンタクト層3とn⁻AlGa_{0.1}Nクラッド層4の積層構造も抵抗を低減している。InGa_{0.1}NとAlGa_{0.1}Nとの大きなエネルギーギャップの差により、界面方向へのキャリアの移動が促進されるためである。界面方向、すなわち横方向への電流の広がり易くなるため、活性層への均一なキャリア注入が行われる。この結果素子の均一発光が実現できる。

【0010】

n⁻InGa_{0.1}Nコンタクト層3(In組成0.1)上に格子整合して成長したInGa_{0.1}N活性層5(In組成0.25)はそのIn組成差分だけ圧縮歪が生じている。しかしながら、GaNを下地とした従来例の構造と比べると活性層中の歪量は小さい。n⁻InGa_{0.1}Nコンタクト層3はインジウムを含有するため柔らかい結晶を有し、InGa_{0.1}N活性層5に生じる圧縮歪を緩和するためである。従って活性層内に発生するピエゾ電界は小さくなり、電子と正孔の再結合確率が高くなり、効率の高い発光が可能となる。

30

本実施例における発光素子に対しバイアスを印加して電流を注入したところ、活性層からの主発光波長450nmの均一な発光が観察された。順方向電流20mAにおいて動作電圧は3.0Vであり、発光出力は8mWであった。

本発明における窒化ガリウム系半導体発光素子の製造方法において従来例と異なる点は1μm/hの成長速度と高い成長温度でインジウムを含むコンタクト層を結晶成長していることである。これにより膜の厚い高品質なInGa_{0.1}N結晶を形成することができる。膜の厚いn⁻InGa_{0.1}Nコンタクト層3を形成することによりn⁻側電極9を形成するためのエッチングの遊度が大きくなり、n⁻InGa_{0.1}Nコンタクト層への電極形成が可能になる。

40

【0011】

本発明における実施の形態は以上に示したものに限定されない。n⁻InGa_{0.1}Nコンタクト層3の不純物はSiを用いたが、代わりにGe、O、C等を用いても同様の効果を得られる。n⁻InGa_{0.1}Nコンタクト層3の電子キャリア濃度は $5 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ としたが、 $1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 乃至 $1 \times 10^{22} \text{ cm}^{-3}$ の範囲で変更可能である。本実施例における窒化ガリウム系半導体発光素子はn⁻AlGa_{0.1}Nクラッド層4を有しているが、n⁻InGa_{0.1}Nコンタクト層3上に直接InGa_{0.1}N活性層5を形成することも可能である。しかしこの場合、InGa_{0.1}N活性層5のIn組成はn⁻InGa_{0.1}Nコンタクト層3よりも大きくする必要がある。本発明はInを含有し1μm以上の層厚を有するn型半導体層と、その上面にn⁻側電極を有する窒化ガリウム系半導体発光素子に関するものであり

50

、この構造を満たすものであれば素子形成上問題のない範囲で構造の変更は可能である。
 n^- InGa N コンタクト層3の成長速度は $1 \mu\text{m}/\text{h}$ としたがこれに限るものではなく、
 素子形成上問題のない範囲で変更可能である。 n^- InGa N コンタクト層3の成長温
 度は 1000 としたが、同様に素子形成上問題のない範囲で変更可能である。本実施例
 は窒化ガリウム系LEDに関するものであるが、窒化ガリウム系LEDへの適用も可能であ
 る。その他本発明の要旨を逸脱しない範囲で変更して実施可能である。

【0012】

【発明の効果】

本発明における窒化ガリウム系半導体発光素子の構造により動作電圧が低く、活性層の均
 一発光が得られ、かつ発光出力の向上した素子を実現することができる。

10

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明における窒化ガリウム系半導体発光素子の構造を示す断面図、

【図2】従来の窒化ガリウム系半導体発光素子の構造を示す断面図、

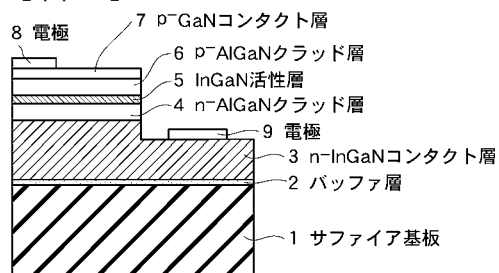
【図3】従来の窒化ガリウム系半導体発光素子の構造を示す断面図。

【符号の説明】

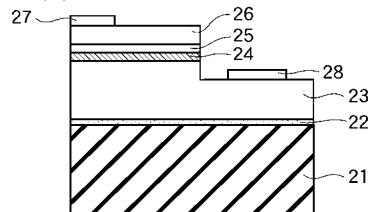
- 1 ... サファイア基板
- 2 ... バッファ層
- 3 ... n^- InGa N コンタクト層
- 4 ... n^- AlGa N クラッド層
- 5 ... InGa N 活性層
- 6 ... p^- AlGa N クラッド層
- 7 ... p^- Ga N コンタクト層
- 8、 9 ... 電極

20

【図1】



【図2】



【図3】

