

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第4209097号
(P4209097)

(45) 発行日 平成21年1月14日(2009.1.14)

(24) 登録日 平成20年10月31日(2008.10.31)

(51) Int.Cl. F I
H O 1 L 31/10 (2006.01) H O 1 L 31/10 A

請求項の数 8 (全 13 頁)

(21) 出願番号	特願2001-266930 (P2001-266930)	(73) 特許権者	000004064
(22) 出願日	平成13年9月4日(2001.9.4)		日本碍子株式会社
(65) 公開番号	特開2003-46111 (P2003-46111A)		愛知県名古屋市瑞穂区須田町2番56号
(43) 公開日	平成15年2月14日(2003.2.14)	(74) 代理人	100147485
審査請求日	平成15年2月4日(2003.2.4)		弁理士 杉村 憲司
審査番号	不服2007-10714 (P2007-10714/J1)	(74) 代理人	100072051
審査請求日	平成19年4月12日(2007.4.12)		弁理士 杉村 興作
(31) 優先権主張番号	特願2001-155134 (P2001-155134)	(74) 代理人	100114292
(32) 優先日	平成13年5月24日(2001.5.24)		弁理士 来間 清志
(33) 優先権主張国	日本国(JP)	(74) 代理人	100107227
			弁理士 藤谷 史朗
		(74) 代理人	100134005
			弁理士 澤田 達也

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 半導体受光素子

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

サファイア単結晶基板上にMOCVD法を用いて窒化物半導体からなる受光素子構造を製造する方法であって、

前記サファイア単結晶基板に表面窒化処理を施す第1の工程と、

表面窒化処理を施したサファイア単結晶基板を 1100 以上に昇温し、転位密度が $10^{11}/\text{cm}^2$ 以下であり、Al含有量が50原子%以上である窒化物半導体からなる膜厚が $0.5 \sim 3 \mu\text{m}$ の地下層を形成する第2の工程と、

前記地下層上に、転位密度が地下層よりも少なくかつ $10^{10}/\text{cm}^2$ 以下であり、前記地下層を構成する窒化物半導体よりも少ない含有量でAlを含む受光素子構造を構成する窒化物半導体層群を形成する第3の工程とを有することを特徴とする受光素子の製造方法。

【請求項2】

前記地下層を構成する前記窒化物半導体は、AlNであることを特徴とする、請求項1に記載の受光素子の製造方法。

【請求項3】

前記地下層を構成する前記窒化物半導体を、 $1100 \sim 1250$ の温度で形成することを特徴とする、請求項1又は2に記載の受光素子の製造方法。

【請求項4】

前記受光素子構造を構成する前記窒化物半導体層群は、導電層及び受光層を含み、前記

10

20

導電層及び前記受光層は、前記基板上においてこの順に積層されていることを特徴とする、請求項 1 ~ 3 のいずれか一に記載の受光素子の製造方法。

【請求項 5】

前記受光素子構造を構成する前記窒化物半導体層群は、n型導電層、p型導電層、及び受光層を含み、前記受光層は、前記基板上において前記n型導電層及び前記p型導電層で挟まれるようにして位置することを特徴とする、請求項 1 ~ 4 のいずれか一に記載の受光素子の製造方法。

【請求項 6】

前記受光素子構造を構成する前記窒化物半導体層群は、n型導電層及びp型導電層を含み、前記n型導電層又は前記p型導電層は、前記基板上において、他方の前記p型導電層又はn型導電層で挟まれるようにして位置することを特徴とする、請求項 1 ~ 4 のいずれか一に記載の受光素子の製造方法。

10

【請求項 7】

前記受光素子構造を構成する前記窒化物半導体層群は、導電層及び半導体層を含み、前記導電層及び前記半導体層は前記基板上においてこの順に積層され、前記導電層は、前記半導体層との界面近傍においてキャリア易動性の表面層を有することを特徴とする、請求項 1 ~ 4 のいずれか一に記載の受光素子の製造方法。

【請求項 8】

前記下地層を構成する前記窒化物半導体中の Al 成分含有量を、前記下地層の、前記基板側から前記受光素子構造側に向かって連続的又はステップ状に変化させることを特徴とする、請求項 4 ~ 7 のいずれか一に記載の受光素子の製造方法。

20

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、半導体受光素子の製造方法に関し、詳しくはフォトダイオードなどとして好適に用いることのできる半導体受光素子の製造方法に関する。

【0002】

【従来の技術】

近年においては、自動制御器、光計測器、光通信のみならず、テレビ、ビデオ、ステレオ、エアコンなどの日用品の中にも、光検出器としてのフォトダイオードなどの半導体受光素子が組み込まれている。このような半導体受光素子としては、直接遷移型で大きなバンド間ギャップを有するとともに、組成制御によってバンド間ギャップを自在に変化させることができることから、Ga系の窒化物半導体が用いられていた。

30

【0003】

図1は、従来のいわゆるPIN型の半導体受光素子の一例を示す構成図である。

【0004】

図1に示す半導体受光素子10においては、サファイア、ZnO、SiC、Si、GaAs、及びGaNなどの単結晶からなる基板1上において、AlNからなるバッファ層6、i-GaNからなる下地層2、n-AlGaNからなるn型導電層3、i-AlGaNからなる受光層4、p-GaNからなるp型導電層5がこの順に形成されている。n型導電層3の一部は露出しており、この露出した部分にAl/Tiなどのn型電極7が形成されるとともに、p型導電層5上にはAu/Niなどのp型電極8が形成されている。

40

【0005】

そして、半導体受光素子10に対して検出すべきカットオフ波長以下の波長の光が入射すると、この光によって受光層4が励起され、n型電極7及びp型電極8を介して、半導体受光素子10を含む所定の電気回路中を所定の電流が流れるようになる。そして、この電流を検出することによって前記受光した光を検出するように構成されている。

【0006】

【発明が解決しようとする課題】

図1に示す半導体受光素子10において、バッファ層6は、基板1と下地層2との格子定

50

数差を補完して、基板 1 上に下地層 2 や導電層 3 及び 5、受光層 4 をエピタキシャル成長させるべく、緩衝層としての作用を果たすものである。したがって、通常はその結晶性を無視して 500 ~ 700 の低温において、アモルファス状に形成される。

【0007】

この結果、バッファ層 6 中には比較的少量の転位が含有されてしまい、この転位の一部が貫通転位として下地層 2、n 型導電層 3、受光層 4 及び p 型導電層 5 中に伝搬する。結果としてこれらの層中にも $10^{10} / \text{cm}^2$ を超える量の転位が含まれてしまい、結晶性が劣化してしまっていた。特に、短波長用の半導体受光素子、すなわち n 型導電層 3 及び受光層 4 が Al をより多く含む場合において上記傾向は顕著になる。

【0008】

このような高転位で低結晶性の層から半導体受光素子を構成すると、各層の転位を通じていわゆる比較的大きな暗電流が流れることになる。したがって、前記半導体受光素子に光を入射させ、受光層を励起して得た電流を検出した場合に、検出電流の誤差が前記暗電流に起因して大きくなってしまい、S/N 比あるいは検出感度が著しく劣化してしまうという問題があった。

【0009】

本発明は、暗電流を低減し、高い検出感度を有する半導体受光素子を提供することを目的とする。

【0010】

【課題を解決するための手段】

上記目的を達成すべく、本発明の受光素子構造の製造方法は、サファイア単結晶基板上に MOCVD 法を用いて窒化物半導体からなる受光素子構造を製造する方法であって、前記サファイア単結晶基板に表面窒化処理を施す第 1 の工程と、表面窒化処理を施したサファイア単結晶基板を 1100 以上に昇温し、転位密度が $10^{11} / \text{cm}^2$ 以下であり、Al 含有量が 50 原子% 以上である窒化物半導体からなる膜厚が $0.5 \sim 3 \mu\text{m}$ の下地層を形成する第 2 の工程と、前記下地層上に、転位密度が下地層よりも少なくかつ $10^{10} / \text{cm}^2$ 以下であり、前記下地層を構成する窒化物半導体よりも少ない含有量で Al を含む受光素子構造を構成する窒化物半導体層群を形成する第 3 の工程とを有することを特徴とする。

【0011】

本発明者らは、上記目的を達成すべく鋭意検討を実施した。上述した暗電流は、半導体受光素子を構成する各層の低結晶性に基づく高転位の結果として生じるものであることから、本発明者らは、半導体受光素子を構成する各層の転位量を減らして結晶性を向上させることを試みた。

【0012】

上述したように、半導体受光素子を構成する各層中における転位は、低結晶性のバッファ層に起因するものである。しかしながら、図 1 に示す従来の半導体受光素子においては、基板 1 としてはサファイア単結晶が用いられ、下地層 2 としては GaN が用いられていたため、下地層上に形成した導電層に転位が貫通してしまうという問題があった。特に、Al を含む導電層を成膜するとその界面で転位が増加し、さらにはクラックを発生させてしまうという問題もあった。これは、導電層が Al を含むことによってその格子定数が縮小されるため、導電層内に引張応力が発生することに起因する。

【0013】

そこで、バッファ層のみならず、下地層についても種々検討を行った。図 1 に示す従来の半導体受光素子においては、その構成から明らかなように、導電層及び受光層ともに Ga を主とした窒化物半導体から構成されている。したがって、これら各層に対する下地層についても Ga 系を主とした、例えば GaN から構成することが当然と考えられていた。その結果、基板との格子不整合が生じ、これを緩和するために低温形成のバッファ層が必要とされていた。

【0014】

しかしながら、本発明者らは、当然と思われていた下地層の組成に着目し、この組成を変化させることを試みた。その結果、下地層を低転位で大きな結晶性のAlを主とする窒化物半導体から構成することを想到した。この下地層はバッファ層が存在しない場合においても、サファイアなどの基板上に大きな格子定数差を補完してエピタキシャル成長することができる。また、下地層の高い結晶性に基づいて、下地層上に形成された導電層及び受光層の結晶性も改善され、それらの転位量が低減される。

【0015】

結果として、半導体受光素子を構成する各層中に転位量が低減され、高い転位量に基づく高い暗電流の生成を効果的に抑制することができる。このため、暗電流に基づく検出電流値の誤差が低減され、前記半導体受光素子の検出感度を向上させることができる。

10

【0016】

【発明の実施の形態】

以下、本発明を発明の実施の形態に即して詳細に説明する。

図2は、本発明の半導体受光素子の一例を示す構成図である。

図2に示す半導体受光素子20は、基板11上において、下地層12、n型導電層13、受光層14、p型導電層15を順次具えている。そして、図1に示す従来の半導体受光素子10と同様に、p型導電層15上には例えばAu/Niからなるp型電極18を有しており、n型導電層13の露出した部分においては例えばAl/Tiからなるn型電極17を有し、PIN型の半導体受光素子を構成している。

20

【0017】

図2において、n型導電層13、受光層14、p型導電層15は半導体受光素子における窒化物半導体層群を構成し、この窒化物半導体層群と、n型電極17及びp型電極18とから受光素子構造が構成される。

【0018】

下地層12は、本発明にしたがって、Alを含み、転位密度が $10^{11}/\text{cm}^2$ 以下の窒化物半導体から構成されていることが必要であり、さらには $10^{10}/\text{cm}^2$ 以下であることが好ましい。この場合においては、基板11との格子定数差を補完して、自らエピタキシャル成長されることができるとともに、その結果、下地層12上においてn型導電層13、受光層14、及びp型導電層15をもエピタキシャル成長させることができる。

30

【0019】

また、窒化物半導体層群を構成するn型導電層13、受光層14、及びp型導電層15は、下地層2よりも少ない含有量でAlを含み、転位密度が $10^{10}/\text{cm}^2$ 以下の窒化物半導体から構成されていることが必要である。これによって、半導体受光素子20の暗電流を効果的に抑制することができる。

【0020】

これは、下地層12とn型導電層13との間のAl組成差に起因して貫通転位の割合が減少し、n型導電層13、受光層14、及びp型導電層15中の転位密度を低減することができる。これによって、n型導電層13などの結晶性が向上するためである。

【0021】

上述した効果は、下地層12を構成する前記窒化物半導体におけるAlの含有量が多いほど、具体的には50原子%以上で顕著になる。特に、下地層12を構成する前記窒化物半導体は、AlNから構成することが好ましい。

40

【0022】

このように、下地層12を上述した高Al含有量の窒化物半導体から構成することによって、n型導電層13の結晶性をさらに向上させることができる。その結果、下地層12上に形成されたn型導電層13、受光層14、及びp型導電層15の結晶性を向上させて、さらなる低転位化を達成することもできる。

【0023】

例えば、下地層12がAlNから構成され、下地層12上に直接的に形成されたn型導電層13がGaを比較的多く含有するAlGa_xNなどから構成される場合などにおいては、

50

下地層 1 2 と n 型導電層 1 3 との間の組成差が増大するために、下地層 1 2 の転位量に比較して n 型導電層 1 3 の転位量をより低減することができる。例えば、 $10^9 / \text{cm}^2$ 以下の転位密度を比較的簡易に得ることができ、現状においては $1 \times 10^8 / \text{cm}^2$ まで転位密度を低減することができる。

【 0 0 2 4 】

この結果、n 型導電層 1 3 上に形成された受光層 1 4 及び p 型導電層 1 5 中の転位量も当然に低減され、これらの層中においてもその転位密度を $10^9 / \text{cm}^2$ 以下にまで比較的簡易に低減することができる。さらに、現状においては、 $1 \times 10^8 / \text{cm}^2$ まで低減することができる。

【 0 0 2 5 】

Al を含み、低転位密度の高結晶性の窒化物半導体からなる下地層 1 2 は、例えば、MOCVD 法により、その成膜温度を制御することによって得ることができる。具体的には、成膜温度を 1100 以上、好ましくは 1250 以下に設定することによって、目的とする高結晶性の窒化物半導体からなる下地層 1 2 を簡易に得ることができる。なお、本特許の成膜温度は、基板温度を意味する。

【 0 0 2 6 】

なお、結晶性向上の観点から、下地層 1 2 の膜厚は大きいほど好ましいが、膜厚が大きくなり過ぎるとクラックの発生や剥離などが生じる。したがって、下地層 1 2 の膜厚は $0.5 \sim 3 \mu\text{m}$ とし、さらには $1 \sim 3 \mu\text{m}$ であることが好ましい。

【 0 0 2 7 】

このような低転位密度で高い結晶性の n 型導電層 1 3 などは、前述したような低転位で高結晶性の下地層 1 2 上に、例えば MOCVD 法などによってエピタキシャル成長させることにより、必然的に得ることができる。

【 0 0 2 8 】

基板 1 1 は、サファイア単結晶、ZnO 単結晶、LiAlO₂ 単結晶、LiGaO₂ 単結晶、MgAl₂O₄ 単結晶、MgO 単結晶などの酸化物単結晶、Si 単結晶、SiC 単結晶などの IV 族あるいは IV - IV 族単結晶、GaAs 単結晶、AlN 単結晶、GaN 単結晶、及び AlGaN 単結晶などの III - V 族単結晶、ZrB₂ などのホウ化物単結晶などの、公知の基板材料から構成することができるが、本発明では、サファイア単結晶基板を用いる。

【 0 0 2 9 】

本発明では、サファイア単結晶基板上に、下地層 1 2 を形成するに先立って表面窒化処理を施す。前記表面窒化処理は、前記サファイア単結晶基板をアンモニアなどの窒素含有雰囲気中に配置し、所定時間加熱することによって実施する。そして、窒素濃度や窒化温度、窒化時間を適宜に制御することによって、前記主面に形成される窒化層の厚さを制御する。

【 0 0 3 0 】

このようにして表面窒化層が形成されたサファイア単結晶基板を用いれば、その主面上に直接的に形成される下地層 1 2 の結晶性をさらに向上させることができる。さらに、より厚く、例えば上述した適正厚さの上限値である $3 \mu\text{m}$ まで、特別な成膜条件を設定することなく簡易に厚くすることができる。したがって、n 型導電層 1 3、さらにはこの n 型導電層 1 3 上に形成される受光層 1 4、及び p 型導電層 1 5 の高結晶化を図ることができ、それらの層中の転位量をさらに低減することができる。

【 0 0 3 1 】

また、この場合において、下地層 1 2 を形成する際の温度を、上記好ましい温度範囲において 1200 以下、あるいは 1150 程度まで低減しても、その結晶性を十分に高く維持することができ、例えば、 $10^{10} / \text{cm}^2$ 以下の転位密度を簡易に実現することができる。

【 0 0 3 2 】

さらに、上述した表面窒化層上に下地層 1 2 を形成することにより、その厚さを大きくし

10

20

30

40

50

ても剥離やクラックが発生しにくくなる。このため、成膜条件などに依存することなく、例えば上述したような $3\ \mu\text{m}$ 程度まで簡易に厚く形成することができる。したがって、下地層12の、表面窒化層に起因した結晶性の向上と、厚さ増大による結晶性の向上との相乗効果によって、その結晶性はさらに向上し、転位密度をより低減させることができる。

【0033】

前記表面窒化層は、比較的薄く、例えば $1\ \text{nm}$ 以下に形成する、又は比較的厚く、例えば、前記主面から $1\ \text{nm}$ の深さにおける窒素含有量が2原子%以上となるように厚く形成することが好ましい。

【0034】

なお、図2に示す本発明の半導体受光素子においては、受光層4下側の導電層をn型とし、上側の導電層をp型としているが、両者を逆転させて形成することもできる。

10

【0035】

図3は、本発明の半導体受光素子の他の例を示す構成図である。

【0036】

図3に示す半導体受光素子30は、基板21上において、下地層22、導電層23、及び受光層24を順次具えている。そして、受光層24上においては、InSbの酸化物などからなるショットキー電極27及び28が設けられて、いわゆるMIS型の半導体受光素子30を構成している。

【0037】

図3においては、導電層23及び受光層24が窒化物半導体層群を構成し、この窒化物半導体層群と、ショットキー電極27及び28とから受光素子構造が構成される。

20

【0038】

下地層22は、上述したように、Alを50原子%以上含み、転位密度が $10^{11}/\text{cm}^2$ 以下の窒化物半導体から構成されていることが必要であり、さらには $10^{10}/\text{cm}^2$ 以下であることが好ましい。さらに、下地層22は、AlNから構成されていることが好ましい。

【0039】

また、Alを含む高結晶性の窒化物半導体からなる上記下地層22は、図2に示す半導体受光素子の場合と同様に、MOCVD法などによって、 1100 以上、好ましくは 1250 以下に加熱して基板21上に成膜することによって簡易に得ることができる。また、図2に示すPIN型の半導体受光素子20の場合と同様の理由から、下地層22の膜厚は $0.5\sim 3\ \mu\text{m}$ であり、好ましくは $1\ \mu\text{m}\sim 3\ \mu\text{m}$ とする。

30

【0040】

また、窒化物半導体層群を構成する導電層23及び受光層24は、本発明にしたがって、下地層22を構成する窒化物半導体よりも少ない含有量でAlを含み、転位密度が $10^{10}/\text{cm}^2$ 以下の窒化物半導体から構成されていることが必要である。なお、図2に示す半導体受光素子の場合と同様に、下地層22と導電層23との間の組成差が大きくなることによって、導電層23中の転位密度が低減され、その結果、受光層24中の転位密度も低減することができる。具体的には、 $10^9/\text{cm}^2$ 以下にまで転位密度を低減することができる。

40

【0041】

図3に示すMIS型の半導体受光素子30においては、カットオフ波長以下の波長の光が入射することによって受光層24が励起され、ショットキー電極27及び28を介して、半導体受光素子30を含む所定の電気回路に電流が流れるようになる。したがって、この電流値を計測することによって入射した光の検出を行うことができる。

【0042】

なお、図3に示すMIS型の半導体受光素子30においても、基板21は、上述したサファイア単結晶から構成する。サファイア単結晶は、図2に示すPIN型の半導体受光素子20の場合と同様の理由から、下地層22を形成するに先立って、表面窒化処理を施す。

【0043】

50

図4は、本発明の半導体発光素子のその他の例を示す構成図である。

【0044】

図4に示す半導体発光素子40は、基板31上において、下地層32、n型導電層33-1及び33-2、並びにこれらn型導電層で挟まれるようにしてp型導電層35を具えている。下地層32の表面は部分的に露出しており、この露出した表面部分に電極37が設けられているとともに、n型導電層33-1上においてn型電極38が形成され、いわゆるヘテロ接合バイポーラ型トランジスタ構成の半導体受光素子を構成している。

【0045】

n型導電層33-1及び33-2、並びにp型導電層35は窒化物半導体層群を構成しており、この窒化物半導体層群と、電極37及びn型電極38とから受光素子構造が構成される。

10

【0046】

下地層32は、上述したように、Alを50原子%以上含み、転位密度が $10^{11}/\text{cm}^2$ 以下の窒化物半導体から構成されていることが必要であり、さらには $10^{10}/\text{cm}^2$ 以下であることが好ましい。下地層22は、AlNから構成されていることが好ましい。

【0047】

また、Alを含む高結晶性の窒化物半導体からなる上記下地層32は、図2及び図3に示す半導体受光素子の場合と同様に、MOCVD法などによって、1100以上、好ましくは1250以下に加熱して基板32上に成膜することによって簡易に得ることができる。また、図2に示すPIN型の半導体受光素子20の場合と同様の理由から、下地層32の膜厚は0.5~3 μm であり、好ましくは1 μm ~3 μm とする。

20

【0048】

また、窒化物半導体層群を構成するn型導電層33-1及び33-2、並びにp型導電層35は、本発明にしたがって、下地層32を構成する窒化物半導体よりも少ない含有量でAlを含み、転位密度が $10^{10}/\text{cm}^2$ 以下の窒化物半導体から構成されていることが必要である。なお、図2及び図3に示す半導体受光素子の場合と同様に、下地層32とn型導電層33-1との間の組成差が大きくなることによって、n型導電層33-1中の転位密度が低減され、その結果、その上方に位置するp型導電層35及びn型導電層33-2中の転位密度も低減することができる。具体的には、 $10^9/\text{cm}^2$ 以下にまで転位密度を低減することができる。

30

【0049】

図4に示すヘテロ接合バイポーラ型トランジスタ構成の半導体受光素子40においては、カットオフ波長以下の波長の光が受光素子構造に入射することによってn型導電層33-1及び33-2、並びにp型導電層35が励起され、電極37及び38を介して、半導体受光素子40を含む所定の電気回路に電流が流れるようになる。したがって、この電流値を計測することによって入射した光の検出を行うことができる。

【0050】

なお、図4に示すように、p型導電層をn型導電層で挟むような構成とする代わりに、n型導電層をp型導電層で挟むような構成とすることもできる。

【0051】

また、図4に示すヘテロ接合バイポーラ型トランジスタ構成の半導体受光素子40においても、基板31は、上述したサファイア単結晶から構成する。サファイア単結晶は、図2に示すPIN型の半導体受光素子20の場合と同様の理由から、下地層32を形成するに先立って、表面窒化処理を施す。

40

【0052】

図5は、本発明の半導体発光素子のさらに他の例を示す構成図である。

【0053】

図5に示す半導体発光素子50は、基板41上において、下地層42、導電層43、及び半導体層44を具えている。導電層43の表面は部分的に露出しており、この露出した表面部分に電極47が設けられているとともに、半導体層44上において電極48が形成さ

50

れ、いわゆるヘテロ接合FET型トランジスタ構成の半導体受光素子を構成している。

【0054】

導電層43及び半導体層44は窒化物半導体層群を構成しており、この窒化物半導体層群と、電極47及48とから受光素子構造が構成される。

【0055】

下地層42は、上述したように、Alを50原子%以上含み、転位密度が $10^{11}/\text{cm}^2$ 以下の窒化物半導体から構成されていることが必要であり、さらには $10^{10}/\text{cm}^2$ 以下であることが好ましい。下地層22は、AlNから構成されていることが好ましい。

【0056】

また、Alを含む高結晶性の窒化物半導体からなる上記下地層42は、図2～図4に示す半導体受光素子の場合と同様に、MOCVD法などによって、1100以上、好ましくは1250以下に加熱して基板42上に成膜することによって簡易に得ることができる。また、図2に示すPIN型の半導体受光素子20の場合と同様の理由から、下地層42の膜厚は0.5～3 μm であり、好ましくは1 μm ～3 μm とする。

【0057】

また、窒化物半導体層群を構成する導電層43及びキャリア層44は、本発明にしたがって、下地層42を構成する窒化物半導体よりも少ない含有量でAlを含み、転位密度が $10^{10}/\text{cm}^2$ 以下の窒化物半導体から構成されていることが必要である。なお、図2～図4に示す半導体受光素子の場合と同様に、下地層42と導電層43との間の組成差が大きくなることによって、導電層43中の転位密度が低減され、その結果、その上方に位置するキャリア層44中の転位密度も低減することができる。具体的には、 $10^9/\text{cm}^2$ 以下にまで転位密度を低減することができる。

【0058】

図5に示すヘテロ接合FET型トランジスタ構成の半導体受光素子50においては、受光素子構造にカットオフ波長以下の波長の光が入射することによってキャリア層44が励起され、キャリア層44から導電層43中に所定量のキャリアが注入される。すると、この注入されたキャリアは、導電層43の、キャリア層44との界面近傍に形成されたキャリア易動性の表面層43Aを流れて、電極47及び48を介して、半導体受光素子50を含む所定の電気回路に電流が流れるようになる。したがって、この電流値を計測することによって入射した光の検出を行うことができる。

【0059】

また、図5に示すヘテロ接合FET型トランジスタ構成の半導体受光素子50においても、基板41は、上述したサファイア単結晶から構成する。サファイア単結晶は、図2に示すPIN型の半導体受光素子20の場合と同様の理由から、下地層42を形成するに先立って、表面窒化処理を施す。

【0060】

図2～図4に示す半導体受光素子においては、基板がサファイア単結晶から構成され、下地層がAlNから構成され、導電層がGaを比較的多く含むAlGaInから構成されている場合においては、下地層中におけるAlの含有量を基板側から導電層側に向けて連続的又はステップ状に減少させることが好ましい。

【0061】

この場合、下地層中において、基板側のAl含有量は高く、導電層側のAl含有量は低くなるので、下地層の基板との格子定数差、並びに下地層の導電層との格子定数差が小さくなる。これによって、下地層を比較的厚く形成した場合においても、前記下地層内に発生する引張応力を補完して、下地層内におけるクラックの発生を抑制することができるようになる。

【0062】

また、高結晶性の窒化物半導体層から構成される本発明の半導体受光素子においては、その反り量が5cm当たり100 μm 以下にまで低減される。したがって、素子内における残留応力は極めて低くなり、上記半導体受光素子を長期間使用した場合においても、前記

10

20

30

40

50

残留応力に起因した破損や特性変化を抑制することができる。

【0063】

【実施例】

本実施例においては、図2に示すPIN型の半導体受光素子を作製した。

【0064】

基板11として2インチ径の厚さ500 μm のサファイア単結晶を用い、これをMOCVD装置の中に設置した。MOCVD装置には、ガス系として H_2 、 N_2 、TMA、TMG、 Cp_2Mg 、 NH_3 、 SiH_4 が取り付けられている。圧力を15 Torrに設定した後、 H_2 を平均流速3 m/secで流しながら、基板11を1150 $^\circ\text{C}$ まで昇温した。

【0065】

そして、アンモニアガス(NH_3)を水素キャリアガスとともに5分間流し、基板11の主面を窒化させた。なお、ESCAによる分析の結果、この表面窒化処理によって、前記主面には窒化層が形成されており、前記主面から深さ1 nmにおける窒素含有量が7原子%であることが判明した。

【0066】

その後、TMAと NH_3 とを、供給ガスモル比が450対1となるようにして、下地層12としてのAlN層を厚さ1 μm まで成長させた。この際、成膜速度を1 $\mu\text{m/hr}$ となるように、TMA及び NH_3 の供給量を設定した。このAlN層中の転位密度をTEMによって観察したところ、 $8 \times 10^9 / \text{cm}^2$ であった。

【0067】

次いで、基板温度を1120 $^\circ\text{C}$ に設定した後、TMA、TMG、 NH_3 、 SiH_4 を全ガス平均流速3 m/secで流して、n型導電層13としてSiをドープした $n\text{-Al}_{0.4}\text{Ga}_{0.6}\text{N}$ 層を厚さ2 μm 成長させた。この際、 NH_3 、TMA、及びTMGの平均供給ガスモル比は、600対2対8となるようにし、供給量は成膜速度が1.5 $\mu\text{m/hr}$ となるように設定した。なお、 SiH_4 は、キャリア濃度が $3 \times 10^{17} / \text{cm}^3$ となるように供給した。

【0068】

次いで、 SiH_4 ガスの供給を停止し、前記 $n\text{-Al}_{0.4}\text{Ga}_{0.6}\text{N}$ 層上に、受光層14としての $i\text{-Al}_{0.4}\text{Ga}_{0.6}\text{N}$ 層を厚さ0.005 μm に形成した。ここでTMAの供給を停止するとともに、 Cp_2Mg をキャリア濃度が $3 \times 10^{17} / \text{cm}^3$ となるようにして供給し、p型導電層15としてのMgをドープした $p\text{-GaN}$ 層を厚さ0.5 μm に形成した。

【0069】

$n\text{-Al}_{0.4}\text{Ga}_{0.6}\text{N}$ 層、 $i\text{-Al}_{0.4}\text{Ga}_{0.6}\text{N}$ 層及び $p\text{-GaN}$ 層の転位密度をTEMによって観察したところ、それぞれ $5 \times 10^8 / \text{cm}^2$ 、 $5 \times 10^8 / \text{cm}^2$ 及び $3 \times 10^8 / \text{cm}^2$ であった。

【0070】

さらに、これらの各層を部分的にエッチング除去することによって、n型導電層13を構成する $n\text{-Al}_{0.4}\text{Ga}_{0.6}\text{N}$ 層の一部を露出させ、この露出部分に対してAl/Tiからなるn型電極17を形成した。また、p型導電層15を構成する $p\text{-GaN}$ 層上にAu/Niからなるp型電極18を形成した。

【0071】

このようにして作製した半導体受光素子20の暗電流を調べたところ、10 pA/mm²であることが判明した。

【0072】

(比較例)

本比較例においては、図1に示すPIN型の半導体受光素子を作製した。

最初に、基板1としてのサファイア単結晶基板を実施例と同様の前処理を施した後、実施例と同様のMOCVD装置内に設置した。

【0073】

10

20

30

40

50

圧力を100 Torrに設定した後、 H_2 を平均ガス流速1.5 m/secで流しながら、基板1の表面クリーニングを行うため、基板1を1100 まで昇温した後、10分間保持し、その後600 まで下げた。その後、TMGと NH_3 を供給ガスマル比が1500対1となるように供給して、バッファ層6としてのGa_{0.3}N層を厚さ0.03 μmに形成した。

【0074】

その後、一旦、TMG及び NH_3 の供給を中断し、基板温度を1050 に設定して、新たにバッファ層成膜時と同条件でTMG及び NH_3 を供給し、下地層2としてのi-GaN層を、成膜速度2 μm/hrで厚さ3 μmに形成した。このi-GaN層中の転位密度をTEM観察によって測定したところ、 $2 \times 10^{10} / cm^2$ であることが判明した。

10

【0075】

次いで、実施例と同様にして、厚さ0.5 μmのn-Al_{0.4}Ga_{0.6}N層、厚さ0.005 μmのi-Al_{0.4}Ga_{0.6}N層、及び厚さ0.5 μmのp-GaN層を、実施例と同様の条件で、それぞれn型導電層3、受光層4、及びp型導電層5として形成し、さらにAl/Ti₂N型電極7、Au/Ni₂P型電極8を形成することによって、半導体受光素子10を作製した。

【0076】

n型導電層3、受光層4、及びp型導電層5を構成するn-Al_{0.4}Ga_{0.6}N層、i-Al_{0.4}Ga_{0.6}N層、及びp-GaN層中における転位密度をTEM観察によって測定したところ、それぞれ $8 \times 10^{10} / cm^2$ 、 $8 \times 10^{10} / cm^2$ 及び $3 \times 10^{10} / cm^2$ であった。

20

【0077】

このようにして作製した半導体受光素子10の暗電流を測定したところ、30 pA/mm²であることが判明した。

【0078】

以上、実施例及び比較例から明らかなように、本発明に従って作製された半導体受光素子20は、下地層の高結晶性に起因して各層の結晶性も改善され、転位量が低減されているため、これによって暗電流が減少していることが分かる。したがって、実施例に示す半導体受光素子は、比較例に示す半導体受光素子と比較して、実際の光検出装置などとして用いた場合に、極めて良好な検出感度を呈することが分かる。

30

【0079】

以上、具体例を挙げながら、本発明を発明の実施の形態に即して詳細に説明してきたが、本発明は上記内容に限定されるものではなく、本発明の範疇を逸脱しない限りにおいてあらゆる変形や変更が可能である。例えば、導電層や受光層などの結晶性をさらに向上させる目的で、下地層と導電層との間などにバッファ層やひずみ超格子などの多層積層構造を温度、流量、圧力、原料供給量、及び添加ガスなどの成長条件を変化させることにより、挿入することもできる。

【0080】

また、上記下地層は、Ge、Si、Mg、Zn、Be、P、及びBなどの添加元素を含有することもできる。さらに、意識的に添加した元素に限らず、成膜条件などに依存して必然的に取り込まれる微量元素、並びに原料、反応管材質に含まれる微量不純物を含むこともできる。

40

【0081】

また、本発明の半導体受光素子は、上述したPIN型やMIS型などの半導体受光素子のみならず、あらゆる型の半導体受光素子に対して用いることができる。

【0082】

【発明の効果】

以上説明したように、本発明の半導体受光素子の製造方法は、特に、表面窒化処理を施したサファイア単結晶基板を1100 以上に昇温し、転位密度が $10^{11} / cm^2$ 以下であり、Al含有量が50原子%以上である窒化物半導体からなる膜厚が0.5 ~ 3 μm

50

の下地層を形成しているため、従来のようなバッファ層を必要とせずに、基板との格子定数差を補完して導電層や受光層などのエピタキシャル成長を可能とする。さらには、下地層の高結晶性に基づいて前記導電層や前記受光層などの結晶性を改善し、低転位化することができる。

【0083】

この結果、本発明の半導体受光素子は、低転位密度の窒化物半導体層群から構成される受光素子構造を有するようになるため、実際の使用において、暗電流を抑制して光検出感度を向上させることができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】従来の半導体発光素子の一例を示す構成図である。

10

【図2】本発明の半導体発光素子の一例を示す構成図である。

【図3】本発明の半導体発光素子の他の例を示す構成図である。

【図4】本発明の半導体発光素子のその他の例を示す構成図である。

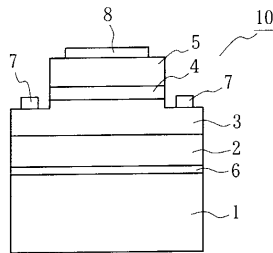
【図5】本発明の半導体発光素子のさらに他の例を示す構成図である。

【符号の説明】

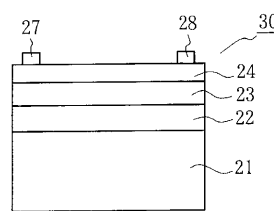
- 1、11、21、31、41 基板、2、12、22、32、42 下地層、3、13、33-1、33-2 n型導電層、4、14、24 受光層、5、15、35 p型導電層、6 バッファ層、7、17、37 n型電極、8、18 p型電極、10、20、30、40、50 半導体受光素子、23、43 導電層、27、28 ショットキー電極、38、47、48 電極、44 キャリア層

20

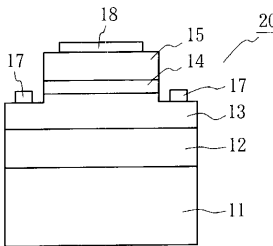
【図1】



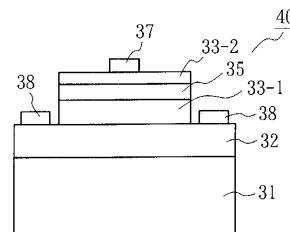
【図3】



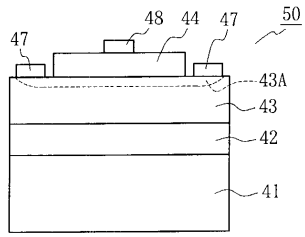
【図2】



【図4】



【図5】



フロントページの続き

- (72)発明者 柴田 智彦
愛知県名古屋市瑞穂区須田町2番56号 日本碍子株式会社内
- (72)発明者 角谷 茂明
愛知県名古屋市瑞穂区須田町2番56号 日本碍子株式会社内
- (72)発明者 浅井 圭一郎
愛知県名古屋市瑞穂区須田町2番56号 日本碍子株式会社内
- (72)発明者 田中 光浩
愛知県名古屋市瑞穂区須田町2番56号 日本碍子株式会社内

合議体

- 審判長 稲積 義登
審判官 吉野 公夫
審判官 岩本 勉

- (56)参考文献 特開昭61-007621(JP,A)
特開平11-154763(JP,A)
特開平03-203388(JP,A)
特開平05-041541(JP,A)
特開2001-057341(JP,A)
特開2000-294824(JP,A)
特開2000-101130(JP,A)
特開2001-127334(JP,A)
特開平09-064477(JP,A)
特開平09-148626(JP,A)
特開2000-031588(JP,A)
特開2000-228535(JP,A)
特許第3626423(JP,B2)
特許第4001262(JP,B2)
特許第4131618(JP,B2)
特許第3954335(JP,B2)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

- H01L 31/10 - 31/119
H01L 33/00