

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公 開 特 許 公 報(A)

(11) 特許出願公開番号
特開2009-231602
(P2009-231602A)

(43) 公開日 平成21年10月8日(2009.10.8)

(51) Int.Cl.
H O 1 S 5/343 (2006.01)
H O 1 S 5/22 (2006.01)

F I
H O 1 S 5/343
H O 1 S 5/22

テーマコード (参考)
5 F 1 7 3

審査請求 有 請求項の数 6 O L (全 13 頁)

(21) 出願番号	特願2008-76331 (P2008-76331)	(71) 出願人	000002130
(22) 出願日	平成20年3月24日 (2008. 3. 24)		住友電気工業株式会社
			大阪府大阪市中央区北浜四丁目5番33号
		(74) 代理人	100088155
			弁理士 長谷川 芳樹
		(74) 代理人	100092657
			弁理士 寺崎 史朗
		(74) 代理人	100113435
			弁理士 黒木 義樹
		(74) 代理人	100108257
			弁理士 近藤 伊知良
		(72) 発明者	石塚 貴司
			兵庫県伊丹市昆陽北一丁目1番1号 住友
			電気工業株式会社伊丹製作所内
		Fターム(参考)	5F173 AA08 AG12 AH04 AP05 AP62
			AQ12 AR83

(54) 【発明の名称】 半導体光素子を作製する方法

(57) 【要約】

【課題】結晶性を向上させることができる半導体光素子を作製する方法を提供する。

【解決手段】本発明は半導体光素子を作製する方法であって、III族としてGa、V族としてAsを含む第1のIII－V化合物半導体層をMOVPE法で成長する第1の工程と、I II族としてGa及びIn、V族としてAs及びNを含む第2のI II－V化合物半導体層をMOVPE法で成長する第2の工程と、III族としてGa、V族としてAsを含む第3のIII－V化合物半導体層をMOVPE法で成長する第3の工程と、第1～第3のIII－V化合物半導体層を成長した後に、当該成長した第1～第3のIII－V化合物半導体層に対して熱アニールを行う第4の工程と、熱アニールを行った後に、2度／秒以下の速度で、当該熱アニール後の第1～第3のIII－V化合物半導体層の温度を低下させる第5の工程と、を備えることを特徴とする。

【選択図】 図1 0

条件	アニール温度 [℃]	低下速度 [℃/sec]	PLピーク波長 [nm]	PL強度 (相対比)	PLピークの 半値幅 [meV]
条件1	650	2	1215	4.5	52
条件2	700	2	1204	4.8	49
条件3	620	0.5	1217	13	49
条件4	670	0.5	1204	14	47

【特許請求の範囲】

【請求項 1】

半導体光素子を作製する方法であって、

III族としてガリウムを含むと共にV族としてヒ素を含む第1のIII-V化合物半導体層を有機金属気相成長法で成長する第1の工程と、

III族としてガリウム及びインジウムを含むと共にV族としてヒ素及び窒素を含む第2のIII-V化合物半導体層を有機金属気相成長法で成長する第2の工程と、

III族としてガリウムを含むと共にV族としてヒ素を含む第3のIII-V化合物半導体層を有機金属気相成長法で成長する第3の工程と、

前記第1～第3のIII-V化合物半導体層を成長した後に、当該成長した第1～第3のIII-V化合物半導体層に対して熱アニールを行う第4の工程と、 10

前記熱アニールを行った後に、2度/秒以下の速度で、当該熱アニール後の第1～第3のIII-V化合物半導体層の温度を低下させる第5の工程と、

を備えることを特徴とする方法。

【請求項 2】

前記第5の工程では、前記熱アニールを行った後に、0.5度/秒以下の速度で、当該熱アニール後の第1～第3のIII-V化合物半導体層の温度を低下させる、ことを特徴とする請求項1に記載された方法。

【請求項 3】

前記第2のIII-V化合物半導体層は、GaInNAs、GaInNAsP、GaInNAsSbのいずれかからなる、ことを特徴とする請求項1又は請求項2に記載された方法。 20

【請求項 4】

前記第1のIII-V化合物半導体層は、GaAsおよびGaNAsのいずれかからなり、

前記第3のIII-V化合物半導体層は、GaAsおよびGaNAsのいずれかからなる、ことを特徴とする請求項3に記載された方法。

【請求項 5】

前記第2のIII-V化合物半導体層は、量子井戸構造における井戸層である、ことを特徴とする請求項1～4の何れかに記載された方法。

【請求項 6】

前記第1及び第3のIII-V化合物半導体層は、量子井戸構造における障壁層または光閉じ込め層である、ことを特徴とする請求項5に記載された方法。 30

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、半導体光素子を作製する方法に関する。

【背景技術】

【0002】

非特許文献1には、分子線エピタキシー成長(MBE)法で、GaInNAs結晶を成長する方法が記載されている。非特許文献1において、GaInNAs結晶成長時の窒素原料としては、Nラジカルが用いられる。 40

【0003】

非特許文献2には、有機金属気相成長(MOVPE)法で、GaInNAs結晶を成長する方法が記載されている。非特許文献2において、GaInNAs結晶成長時の窒素原料としては、ジメチルヒドラジン(UDMHy:1,1-dimethylhydrazine)が用いられる。

【0004】

特許文献1には、GaInNAs結晶成長において、良好な結晶特性を得るための熱処理方法が記載されている。

【非特許文献1】Jpn. J. Appl. Phys. (1996) 35, pp.1273-1275

【非特許文献2】Jpn. J. Appl. Phys. (1997) 36, pp.2671-2675

【特許文献1】特開2002-319548号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

$\text{Ga}_{0.66}\text{In}_{0.34}\text{N}_{0.01}\text{As}_{0.99}$ 活性層を有する半導体光素子（例えば、レーザダイオード）の開発が行われている。この組成のGaInNAs結晶は、波長1.3マイクロメートル帯で発光可能である。しかしながら、良好なレーザ特性を実現するGaInNAs結晶を得ることは容易ではない。また、十分な発光強度を得ることも容易でなく、レーザダイオードの発振閾値電流密度が高かったり、長期信頼性に関しても、レーザダイオードの十分な寿命が得られない場合が多い。これらの要因の一つとして、GaInNAsとしての窒素の混晶化の難しさが挙げられる。

10

【0006】

半導体光素子の結晶性を向上させるために、GaInNAs層を成長した後に熱処理（熱アニール）を行うことが行われている。しかしながら、当該熱処理後においても半導体光素子の結晶性は製品に適用可能な程度までには及ばず、結晶性に関して更なる向上が望まれていた。例えば、特許文献1は、熱アニールを行う際における処理温度の範囲や温度変化の条件等について開示しているが、本発明者がそれらの条件等を実験で確認した結果、製品化できるほどの特性向上は得られなかった。

【0007】

そこで、本発明は、このような事情を鑑みて為されたものであり、半導体光素子の結晶性を向上可能な、半導体光素子を作製する方法を提供することを目的とする。

20

【課題を解決するための手段】

【0008】

本発明の一側面は、半導体光素子を作製する方法である。この方法は、III族としてガリウムを含むと共にV族としてヒ素を含む第1のIII-V化合物半導体層を有機金属気相成長法で成長する第1の工程と、III族としてガリウム及びインジウムを含むと共にV族としてヒ素及び窒素を含む第2のIII-V化合物半導体層を有機金属気相成長法で成長する第2の工程と、III族としてガリウムを含むと共にV族としてヒ素を含む第3のIII-V化合物半導体層を有機金属気相成長法で成長する第3の工程と、第1～第3のIII-V化合物半導体層を成長した後に、当該成長した第1～第3のIII-V化合物半導体層に対して熱アニールを行う第4の工程と、熱アニールを行った後に、2度/秒以下の速度で、当該熱アニール後の第1～第3のIII-V化合物半導体層の温度を低下させる第5の工程と、を備えることを特徴とする。

30

【0009】

この方法によれば、熱アニールを行った後に、2度/秒以下の低速で、当該熱アニール後の第1～第3のIII-V化合物半導体層の温度を低下させることにより、半導体光素子の結晶性を向上することができる。

【0010】

本発明に係る方法では、第5の工程では、熱アニールを行った後に、0.5度/秒以下の速度で、当該熱アニール後の第1～第3のIII-V化合物半導体層の温度を低下させることが好ましい。この方法によれば、0.5度/秒以下の低速で、当該熱アニール後の第1～第3のIII-V化合物半導体層の温度を低下させることにより、半導体光素子の結晶性を更に向上することができる。

40

【0011】

本発明に係る方法では、第2のIII-V化合物半導体層は、GaInNAs、GaInNAsP、GaInNAsSbのいずれかからなることができる。この方法は、上記のIII-V化合物半導体層の成長に好適である。

【0012】

本発明に係る方法では、第1及び第3のIII-V化合物半導体層は、GaAsおよびGaNAsのいずれかからなることができる。この方法は、上記の第2のIII-V化合物半導体層と共に用いられる上記の第1及び第3のIII-V化合物半導体層の成長に好適である。

50

【0013】

本発明に係る方法では、第2のIII-V化合物半導体層は、量子井戸構造における井戸層であっても良い。この発明によれば、第2のIII-V化合物半導体層を用いて、結晶性が向上された単一量子井戸構造または多重量子井戸構造における活性層を作製できる。

【0014】

本発明に係る方法では、第1及び第3のIII-V化合物半導体層は、量子井戸構造における障壁層または光閉じ込め層であっても良い。この発明によれば、第2のIII-V化合物半導体層と、これと組み合わせて用いられる第1及び第3のIII-V化合物半導体層とを用いて、結晶性が向上された多重量子井戸構造を実現できる。

【0015】

本発明の上記の目的および他の目的、特徴、並びに利点は、添付図面を参照して進められる本発明の好適な実施の形態の以下の詳細な記述から、より容易に明らかになる。

【発明の効果】

【0016】

以上説明したように、本発明によれば、半導体光素子の結晶性を向上可能な、半導体光素子を作製する方法が提供される。

【発明を実施するための最良の形態】

【0017】

本発明の知見は、例示として示された添付図面を参照して以下の詳細な記述を考慮することによって容易に理解できる。引き続いて、添付図面を参照しながら、本発明の半導体光素子を作製する方法に係る実施の形態を説明する。可能な場合には、同一の部分には同一の符号を付する。

【0018】

[単一量子井戸構造の半導体光素子を作製する方法]

まず、本発明の実施の形態に係る単一量子井戸構造(SQW)の半導体光素子を作製する方法について説明する。図1～図4は、この方法の主要な工程を示す図面である。この方法により作製される半導体光素子はIII-V化合物半導体からなり、III-V化合物半導体の結晶成長は有機金属気相成長法を用いて行われる。また、この半導体光素子は、III族としてガリウムを含むと共にV族としてヒ素を含むIII-V化合物半導体層(第1および第3のIII-V化合物半導体層)、およびIII族としてガリウム及びインジウムを含むと共にV族としてヒ素及び窒素を含むIII-V化合物半導体層(第2のIII-V化合物半導体層)を含む。第2のIII-V化合物半導体層は半導体光素子の単一量子井戸構造における井戸層であり、第1及び第3のIII-V化合物半導体層は光閉じ込め層である。引き続く説明では、半導体光素子の一例として端面発光型レーザダイオードを作製する方法を説明する。

【0019】

成長炉111に半導体基板113をセットする。ガリウム原料、インジウム原料、アルミニウム原料、窒素原料、リン原料およびヒ素原料として、それぞれ、例えば、トリエチルガリウム(TEGa)、トリメチルインジウム(TMIn)、トリメチルアルミニウム(TMAI)、ジメチルヒドラジン(DMH₂)、ターシャリブチルホスフィン(TBP)およびターシャリブチルアルシン(TBAs)を使用することができる。

【0020】

半導体基板113は、第1導電型III-V化合物半導体からなり、例えばSiドープのn型GaAs基板である。図1(a)に示されるように、半導体基板113の主面113a上に、バッファ層115、クラッド層117および光閉じ込め層119を形成する。バッファ層115およびクラッド層117は第1導電型III-V化合物半導体からなり、また光閉じ込め層119はIII族としてガリウムを含むと共にV族としてヒ素を含むIII-V化合物半導体からなる。一例のn型GaAs基板上には、n型GaAsバッファ層、n型AlGaAsクラッド層、およびアンドープGaAs光閉じ込め層を順に成長する。GaAsバッファ層の成長温度は例えば摂氏550度であり、AlGaAsクラッド層の成長温度は例えば摂氏650度であり、Ga

10

20

30

40

50

As光閉じ込め層の成長温度は例えば摂氏550度である。光閉じ込め層119の材料は、GaAsに限定されることなく、GaNAs、GaAsPのいずれかから成ることができる。

【0021】

次いで、図1(b)に示されるように、活性層のための井戸層121を成長温度T11で光閉じ込め層119上に形成する。井戸層121は、III族としてガリウム及びインジウムを含むと共にV族としてヒ素及び窒素を含むIII-V化合物半導体からなる。井戸層121は、例えばアンドープのGaInNAs層からなることができ、成長温度T11は例えば摂氏490度以上であり、また摂氏540度以下である。

【0022】

引き続く工程では、活性層のための井戸層121を成長した後に、図2(a)に示されるように、光閉じ込め層123を井戸層121上に成長温度T12で形成する。光閉じ込め層123はIII族としてガリウムを含むと共にV族としてヒ素を含むIII-V化合物半導体からなる。一例の光閉じ込め層123は、例えばアンドープGaAsであることができ、成長温度T12は例えば摂氏490度以上であり、また摂氏550度以下である。光閉じ込め層123の材料は、GaAsに限定されることなく、GaNAs、GaAsPのいずれかから成ることができる。

10

【0023】

次いで、図2(b)に示されるように、第2導電型III-V化合物半導体からなるクラッド層125を光閉じ込め層123上に成長温度T13で形成する。一例のクラッド層125は、例えばp型AlGaAsであることができ、成長温度T13は例えば摂氏550度以上であり、また摂氏650度以下である。

20

【0024】

次いで、図3(a)に示されるように、第2導電型III-V化合物半導体からなるコンタクト層127をクラッド層125上に成長温度T14で形成する。一例のコンタクト層127は、例えばp型GaAsであることができ、成長温度T14は例えば摂氏500度以上であり、また摂氏550度以下である。これらの工程により、エピタキシャル基板E11が形成された。

【0025】

次いで、図3(b)に示されるように、成長炉111を用いてエピタキシャル基板E11のアニール129を温度T15で行う。アニール温度T15は例えば摂氏550度以上であり、また摂氏750度以下である。アニール129は、例えばターシャリブチルアルシン(TBAs)等の雰囲気で行われる。この熱処理により、エピタキシャル基板E12が形成された。

30

【0026】

アニール129を行った後には、2度/秒以下の速度で、当該熱アニール129後のエピタキシャル基板E12の温度を低下させる。好ましくは、0.5度/秒以下の速度で、当該熱アニール129後のエピタキシャル基板E12の温度を低下させる。

【0027】

この後に、図4(a)に示されるように、温度低下後のエピタキシャル基板E12のコンタクト層127上に絶縁膜131をCVD成膜装置133を用いて形成すると共に、該絶縁膜131に開口を形成して保護層131aを形成する。絶縁膜131の開口は、フォトリソグラフィにより形成される。

40

【0028】

次いで、図4(b)に示されるように、電極135、137をエピタキシャル基板上に形成する。一例では、電極135、137のうちのp電極をコンタクト層127上に形成すると共に、電極135、137のうちのn電極を基板213の裏面113b上に形成する。

【0029】

電極を形成した後に、ウェハの壁開によって半導体レーザを作製した。この半導体レーザの共振器長は、例えば600μmである。これらの工程により作製された半導体レーザ

50

の一例は、

半導体基板 1 1 3 : Si ドープ n 型 GaAs

バッファ層 1 1 5 : Si ドープ n 型 GaAs、厚さ 2 0 0 nm

クラッド層 1 1 7 : Si ドープ n 型 AlGaAs、厚さ 1.5 μ m

光閉じ込め層 1 1 9 : アンドープ GaAs、厚さ 1 4 0 nm

井戸層 1 2 1 : アンドープの GaInNAs、厚さ 7 nm

光閉じ込め層 1 2 3 : アンドープ GaAs、厚さ 1 4 0 nm

クラッド層 1 2 5 : Zn ドープ p 型 AlGaAs、厚さ 1.5 μ m

コンタクト層 1 2 7 : Zn ドープ p 型 GaAs、厚さ 2 0 0 nm

絶縁膜 1 3 1 : シリコン酸化物、厚さ 1 0 0 nm

である。

【0030】

活性層は、単一量子井戸構造を有しており、例えば、光閉じ込め層 1 1 9、井戸層 1 2 1、光閉じ込め層 1 2 3 からなることができる。この井戸層の成長で、有機金属原料の TE Ga、TMIn、DMHy、TBAs の流量は、それぞれ、 5×10^{-5} mol/分、 2×10^{-5} mol/分、 3×10^{-2} mol/分、 3×10^{-4} mol/分であった。この成長で、同じ V 族原子となる、DMHy と TBAs の供給モル数比は

$$[\text{DMHy}] : [\text{TBAs}] = 100 : 1$$

であった。また、In 組成および N 組成は、それぞれ、約 34% および約 1% であって、レーザ発光波長は 1.29 μ m であった。

【0031】

[多重量子井戸構造の半導体光素子を作製する方法]

引き続き、本発明の実施の形態に係る多重量子井戸構造 (MQW) の半導体光素子を作製する方法について説明する。図 5～図 9 は、この方法の主要な工程を示す図面である。この方法により作製される半導体光素子は III-V 化合物半導体からなり、III-V 化合物半導体の結晶成長は有機金属気相成長法を用いて行われる。また、この半導体光素子は、II I 族としてガリウムを含むと共に V 族としてヒ素を含む III-V 化合物半導体層 (第 1 および第 3 の III-V 化合物半導体層)、および III 族としてガリウム及びインジウムを含むと共に V 族としてヒ素及び窒素を含む III-V 化合物半導体層 (第 2 の III-V 化合物半導体層) を含む。第 2 の III-V 化合物半導体層は半導体光素子の多重量子井戸構造における井戸層であり、第 1 及び第 3 の III-V 化合物半導体層は障壁層または光閉じ込め層である。引き続き説明では、半導体光素子の一例として端面発光型レーザダイオードを作製する方法を説明する。

【0032】

成長炉 2 1 1 に半導体基板 2 1 3 をセットする。ガリウム原料、インジウム原料、アルミニウム原料、窒素原料、燐原料およびヒ素原料として、それぞれ、例えば、トリエチルガリウム (TEGa)、トリメチルインジウム (TMIn)、トリメチルアルミニウム (TMAl)、ジメチルヒドラジン (DMHy)、ターシャリブチルホスフィン (TBP) およびターシャリブチルアルシン (TBAs) を使用することができる。

【0033】

半導体基板 2 1 3 は、第 1 導電型 III-V 化合物半導体からなり、例えば Si ドープの n 型 GaAs 基板である。図 5 (a) に示されるように、半導体基板 2 1 3 の主面 2 1 3 a 上に、バッファ層 2 1 5、クラッド層 2 1 7 および光閉じ込め層 2 1 9 を形成する。バッファ層 2 1 5 およびクラッド層 2 1 7 は第 1 導電型 III-V 化合物半導体からなり、また光閉じ込め層 2 1 9 は III 族としてガリウムを含むと共に V 族としてヒ素を含む III-V 化合物半導体からなる。一例の n 型 GaAs 基板上には、n 型 GaAs バッファ層、n 型 AlGaAs クラッド層、および アンドープ GaAs 光閉じ込め層を順に成長する。GaAs バッファ層の成長温度は例えば摂氏 550 度であり、AlGaAs クラッド層の成長温度は例えば摂氏 650 度であり、GaAs 光閉じ込め層の成長温度は例えば摂氏 550 度である。光閉じ込め層 2 1 9 の材料は、GaAs に限定されることなく、GaNAs、GaAsP のいずれかから成ることができる。

10

20

30

40

50

【0034】

次いで、図5(b)に示されるように、活性層のための井戸層221aを成長温度T21で光閉じ込め層219上に形成する。井戸層221aは、III族としてガリウム及びインジウムを含むと共にV族としてヒ素及び窒素を含むIII-V化合物半導体からなる。井戸層221aは、例えばアンドープのGaInNAs層からなることができ、成長温度T21は例えば摂氏490度以上であり、また摂氏540度以下である。

【0035】

引き続く工程では、活性層のための井戸層221aを成長した後に、当該半導体光素子のための残りの複数のIII-V化合物半導体層をそれぞれの成長温度において成長して、エピタキシャル基板を形成する。井戸層221aの形成の後に、図6(a)に示されるように、井戸層221a上に障壁層223を成長温度T22で形成する。障壁層223はIII族としてガリウムを含むと共にV族としてヒ素を含むIII-V化合物半導体からなる。障壁層223は、例えばアンドープのGaAs層からなることができ、成長温度T22は例えば摂氏490度以上であり、また摂氏540度以下である。必要な場合には、障壁層223に所望のドーパントが添加される。障壁層223の材料は、GaAsに限定されることなく、GaInAs、GaAsPのいずれかから成ることができる。

10

【0036】

次いで、図6(b)に示されるように、井戸層221aと同様に井戸層221bを障壁層223上に成長温度T21で形成する。井戸層221bは、井戸層221aと同じく例えばアンドープのGaInNAs層からなることができる。井戸層221a、21bの材料は、GaInNAsに限定されることなく、GaInNAsP、GaInNAsSbのいずれかから成ることができる。

20

【0037】

次いで、図7(a)に示されるように、光閉じ込め層225を井戸層221b上に成長温度T23で形成する。光閉じ込め層225はIII族としてガリウムを含むと共にV族としてヒ素を含むIII-V化合物半導体からなる。一例の光閉じ込め層225は、例えばアンドープGaAsであることができ、成長温度T23は例えば摂氏490度以上であり、また摂氏550度以下である。光閉じ込め層225の材料は、GaAsに限定されることなく、GaInAs、GaAsPのいずれかから成ることができる。

【0038】

次いで、図7(b)に示されるように、第2導電型III-V化合物半導体からなるクラッド層227を光閉じ込め層225上に成長温度T24で形成する。一例のクラッド層227は、例えばp型AlGaAsであることができ、成長温度T24は例えば摂氏550度以上であり、また摂氏650度以下である。

30

【0039】

次いで、図8(a)に示されるように、第2導電型III-V化合物半導体からなるコンタクト層229をクラッド層227上に成長温度T25で形成する。一例のコンタクト層229は、例えばp型GaAsであることができ、成長温度T25は例えば摂氏500度以上であり、また摂氏550度以下である。これらの工程により、エピタキシャル基板E21が形成された。

【0040】

次いで、図8(b)に示されるように、成長炉211を用いてエピタキシャル基板E21のアニール231を温度T26で行う。アニール温度T26は例えば摂氏550度以上であり、また摂氏750度以下である。アニール231は、例えばターシャリブチルアルシン(TBAs)等の雰囲気で行われる。この熱処理により、エピタキシャル基板E22が形成された。

40

【0041】

アニール231を行った後には、2度/秒以下の速度で、当該熱アニール231後のエピタキシャル基板E22の温度を低下させる。好ましくは、0.5度/秒以下の速度で、当該熱アニール231後のエピタキシャル基板E22の温度を低下させる。

【0042】

50

この後に、図9(a)に示されるように、温度低下後のエピタキシャル基板E22のコンタクト層229上に絶縁膜233をCVD成膜装置235を用いて形成すると共に、該絶縁膜233に開口を形成して保護層233aを形成する。絶縁膜233の開口は、フォトリソグラフィにより形成される。

【0043】

次いで、図9(b)に示されるように、電極237、239をエピタキシャル基板上に形成する。一例では、電極237、239のうちのp電極をコンタクト層229上に形成すると共に、電極237、239のうちのn電極を基板213の裏面213b上に形成する。

【0044】

電極を形成した後に、ウェハの壁開によって半導体レーザを作製した。この半導体レーザの共振器長は、例えば600μmである。これらの工程により作製された半導体レーザの一例は、

半導体基板213：Siドープn型GaAs

バッファ層215：Siドープn型GaAs、厚さ200nm

クラッド層217：Siドープn型AlGaAs、厚さ1.5μm

光閉じ込め層219：アンドープGaAs、厚さ140nm

井戸層221a：アンドープのGaInNAs、厚さ7nm

障壁層223：アンドープGaAs、厚さ8nm

井戸層221b：アンドープのGaInNAs、厚さ7nm

光閉じ込め層225：アンドープGaAs、厚さ140nm

クラッド層227：Znドープp型AlGaAs、厚さ1.5μm

コンタクト層229：Znドープp型GaAs、厚さ200nm

絶縁膜233：シリコン酸化物、厚さ100nm

である。

【0045】

活性層は、多重量子井戸構造を有しており、例えば、光閉じ込め層219、井戸層221a、障壁層223、井戸層221b、光閉じ込め層225からなることができる。この井戸層の成長で、有機金属原料のTEGa、TMIn、DMHy、TBAsの流量は、それぞれ、 5×10^{-5} mol/分、 2×10^{-5} mol/分、 3×10^{-2} mol/分、 3×10^{-4} mol/分であった。この成長で、同じV族原子となる、DMHyとTBAsの供給モル数比は

$$[\text{DMHy}] : [\text{TBAs}] = 100 : 1$$

であった。また、In組成およびN組成は、それぞれ、約34%および約1%であって、レーザ発光波長は1.29μmであった。

【0046】

[実験結果]

以上、単一または多重量子井戸構造の半導体光素子を作製する方法について説明した。以下では、上記の方法により作製した半導体光素子の結晶性を確かめた実験の結果について説明する。

【0047】

発明者は、既述した「単一量子井戸構造の半導体光素子を作製する方法」により、GaInNAs/GaAs量子井戸構造を有する4種類の端面発光型発光ダイオード(LED)を作製した。Ga、In、N、As原料としては、それぞれ、TEGa、TMIn、DMHy、TBAsを用いた。基板はSiドープGaAs(100)の2°オフ基板である。GaAs基板上に、アンドープGaAsバッファ層を200nm成長し、その上にアンドープGaInNAs量子井戸層を7nm成長し、その上にアンドープGaAsキャップ層を100nm成長した。GaInNAs量子井戸層の成長温度は510度、成長速度は1ミクロン/hrs、DMHy/(DMHy+TBAs)比は0.97、成長圧力は76torrであった。GaInNAs量子井戸層の組成はGa66%、In34%であった。

【0048】

エピタキシャル成長後、このエピウェハをそれぞれ異なる条件で熱アニールおよび当該

10

20

30

40

50

熱アニール後の温度冷却を行った。熱アニールおよび当該熱アニール後の温度冷却の条件は以下の4通りである。なお、熱アニール時間は数分程度である。

条件1：熱アニール時の温度＝650度、熱アニール後の温度の低下速度＝2度/秒

条件2：熱アニール時の温度＝700度、熱アニール後の温度の低下速度＝2度/秒

条件3：熱アニール時の温度＝620度、熱アニール後の温度の低下速度＝0.5度/秒

条件4：熱アニール時の温度＝670度、熱アニール後の温度の低下速度＝0.5度/秒

【0049】

これらの4通りのGaInNAs/GaAs量子井戸構造結晶の光学特性を室温におけるPL (Photoluminescence) により評価した。図10にPLピーク波長、PL強度、PLピークの半値幅の結果を示す。なお、図10に示す実験結果では、GaInNAs/GaAs量子井戸構造結晶でのPLピーク波長とPLピーク強度との間の相関関係において、PLピーク波長が短くなるほどPL発光強度が増加する傾向があることを考慮すべきである。そこで、図10に示す実験結果を用いてGaInNAs/GaAs量子井戸構造結晶でのPL発光特性を比較する際には、同程度のPLピーク波長別のPL発光強度を比較する必要がある。つまり、条件1と条件3を比較し、且つ条件2と条件4を比較すべきである。

【0050】

条件1と条件3を比較すると、PLピーク波長は近い波長となっているが、PL強度は有意に条件3が大きい。図10に示すように、条件1ではPL強度が4.5であるが、条件3ではPL強度が13である。なお、条件1ではPLピークの半値幅が52meVであるが、条件3ではPLピークの半値幅が49meVである。また、条件2と条件4を比較すると、PLピーク波長は近い波長となっているが、PL強度は有意に条件4が大きい。図10に示すように、条件2ではPL強度が4.8であるが、条件4ではPL強度が14である。なお、条件2ではPLピークの半値幅が49meVであるが、条件4ではPLピークの半値幅が47meVである。

【0051】

これらの結果から考えると、最終的に得られるGaInNAs/GaAs量子井戸構造結晶の結晶性が、熱アニール後に温度を下げる際の低下速度により左右されることがわかる。図示はしないが、低下速度が2度/秒より速い場合には条件1または2よりも低いPL強度が表れるため、良好な結晶性を実現するためには、2度/秒以下の低速で温度を下げるのが好ましい。また、図示はしないが、低下速度が0.5度/秒より遅い場合には条件3または4よりも高いPL強度が表れるため、更に良好な結晶性を実現するためには、0.5度/秒以下の速度で温度を下げるのが好ましい。

【0052】

ここで、以上の実験結果について更に考察する。一般的に、GaInNAs/GaAs量子井戸構造結晶は、単純な単一量子井戸構造のエピウエハだけでなく、レーザの活性層に用いるための多重量子井戸構造やクラッド層を有する構造などのエピウエハでも、そのGaInNAs/GaAs量子井戸層を結晶成長した成長温度よりも高い温度で熱アニールすることが必要とされる。熱アニールすることで、商品化できるほどの良好な結晶性を持たせることができる。この熱アニールでは、GaInNAs/GaAs量子井戸層を結晶成長した成長温度よりも高い温度となることから、一旦結晶成長されたGaInNAsの各原子が熱アニールによって配列が入れ替わるなどの結晶構造の変化が起こっていると考えられる。一方、この熱アニールが終了した直後から温度が低下することになるが、温度が低下している時間帯でも結晶内部の構造の変化は存在すると考えられる。

【0053】

この際、この温度の低下速度が小さい場合は、温度が低下している時間帯での結晶内部の構造変化が小さいと考えられ、熱アニールすることによって得られた良好な結晶性を維持しやすいと考えられる。一方で、この温度の低下速度が大きい場合は、温度が低下している時間帯での結晶内部の構造変化が大きいと考えられ、熱アニールすることによって得られた良好な結晶性を維持できず、結晶性を劣化させていると考えられる。

【0054】

10

20

30

40

50

そこで、本発明では、熱アニールを行った後に、低速で、当該熱アニール後の半導体層の温度を低下させることにより、半導体光素子の結晶性を向上することができた。

【0055】

好適な実施の形態において本発明の原理を図示し説明してきたが、本発明は、そのような原理から逸脱することなく配置および詳細において変更され得ることは、当業者によって認識される。本発明は、本実施の形態に開示された特定の構成に限定されるものではない。したがって、特許請求の範囲およびその精神の範囲から来る全ての修正および変更に権利を請求する。

【図面の簡単な説明】

【0056】

【図1】本発明の実施の形態に係る〔単一量子井戸構造の半導体光素子を作製する方法〕の主要な工程を示す図面である。

【図2】本発明の実施の形態に係る〔単一量子井戸構造の半導体光素子を作製する方法〕の主要な工程を示す図面である。

【図3】本発明の実施の形態に係る〔単一量子井戸構造の半導体光素子を作製する方法〕の主要な工程を示す図面である。

【図4】本発明の実施の形態に係る〔単一量子井戸構造の半導体光素子を作製する方法〕の主要な工程を示す図面である。

【図5】本発明の実施の形態に係る〔多重量子井戸構造の半導体光素子を作製する方法〕の主要な工程を示す図面である。

【図6】本発明の実施の形態に係る〔多重量子井戸構造の半導体光素子を作製する方法〕の主要な工程を示す図面である。

【図7】本発明の実施の形態に係る〔多重量子井戸構造の半導体光素子を作製する方法〕の主要な工程を示す図面である。

【図8】本発明の実施の形態に係る〔多重量子井戸構造の半導体光素子を作製する方法〕の主要な工程を示す図面である。

【図9】本発明の実施の形態に係る〔多重量子井戸構造の半導体光素子を作製する方法〕の主要な工程を示す図面である。

【図10】〔単一量子井戸構造の半導体光素子を作製する方法〕で作製した半導体光素子の結晶性を確かめた実験の結果を示す図面である。

【符号の説明】

【0057】

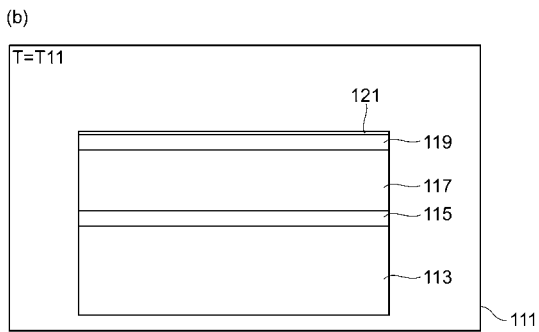
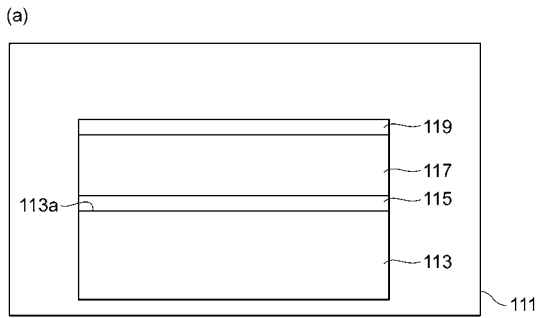
113, 213…半導体基板、115, 215…バッファ層、117, 125, 217, 227…クラッド層、119, 123, 219, 225…光閉じ込め層、121, 221a, 221b…井戸層、223…障壁層、127, 229…コンタクト層、131, 233…絶縁膜。

10

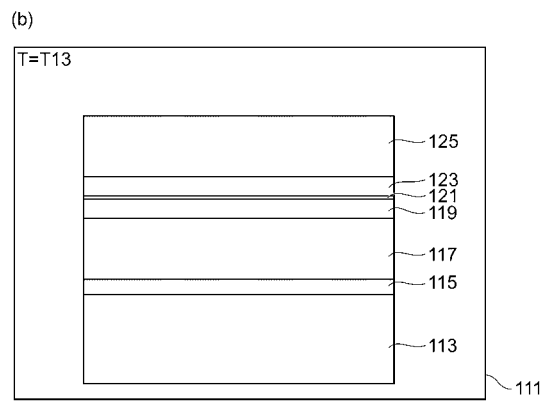
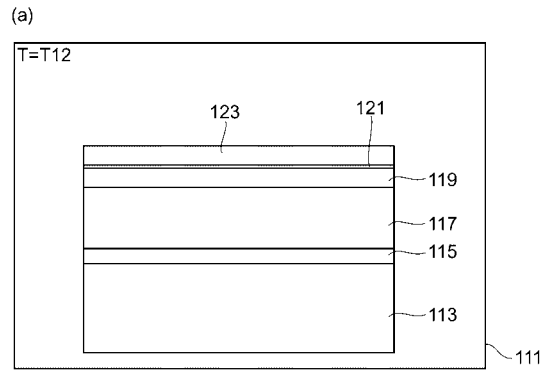
20

30

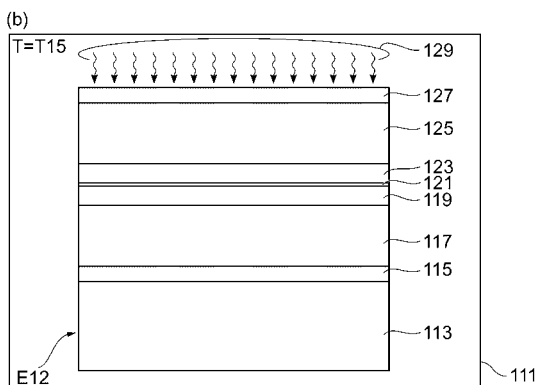
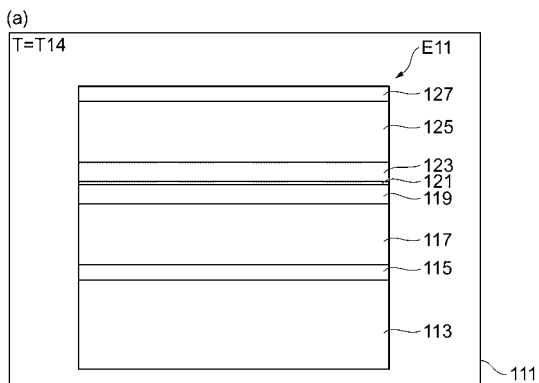
【図 1】



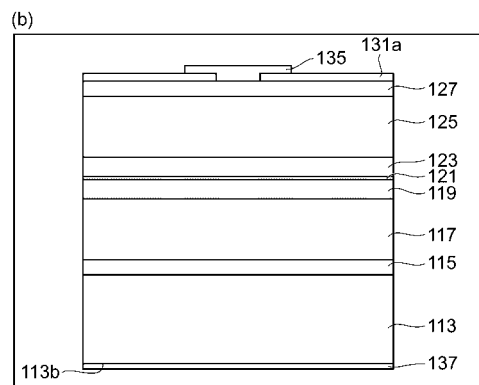
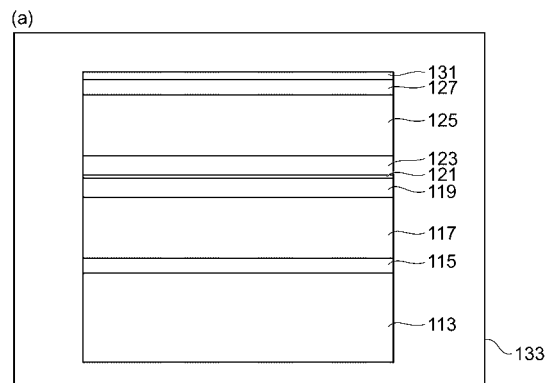
【図 2】



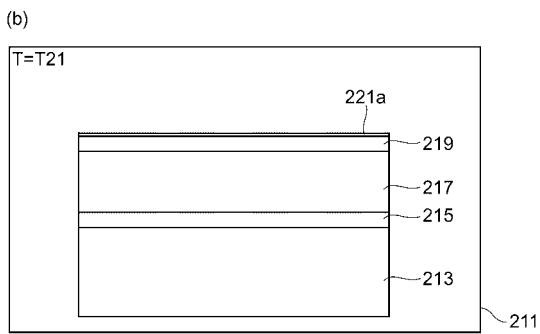
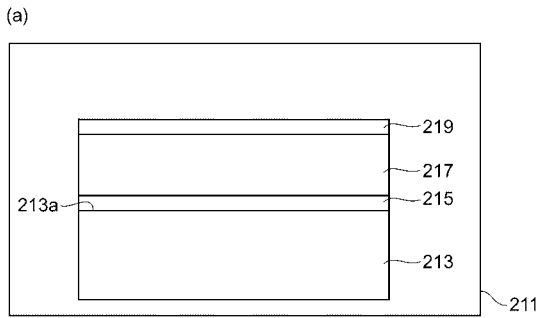
【図 3】



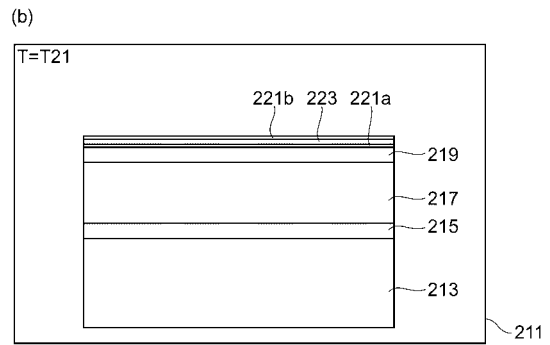
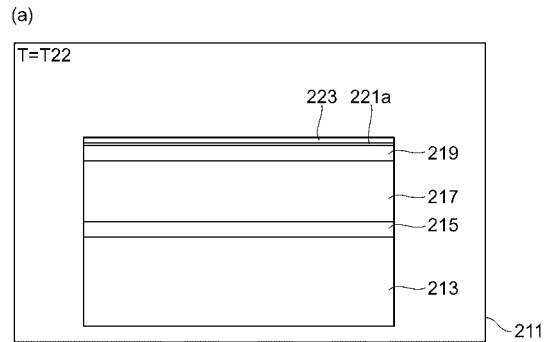
【図 4】



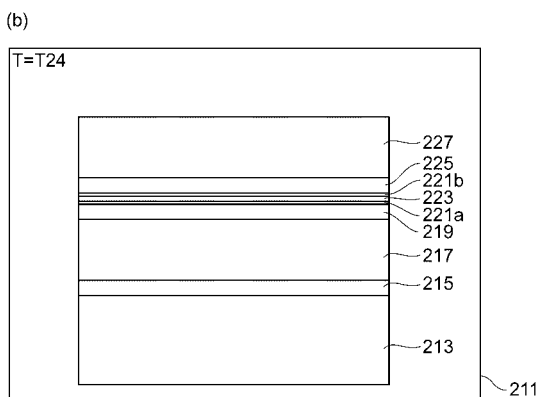
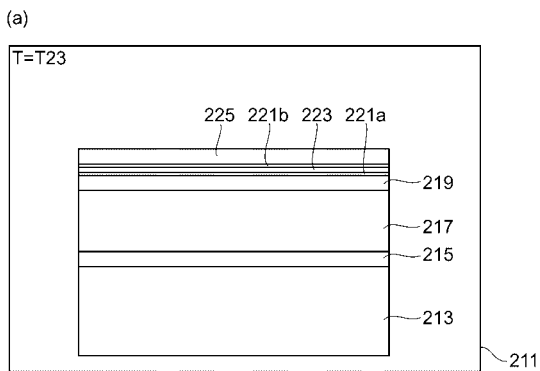
【図 5】



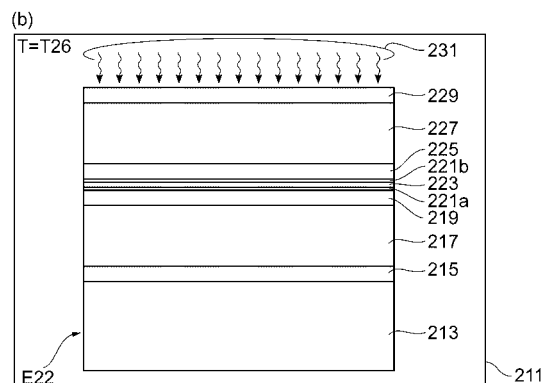
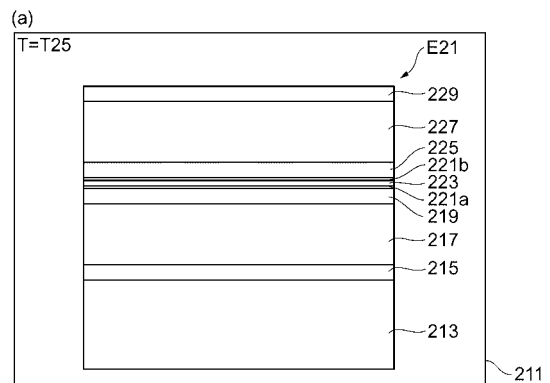
【図 6】



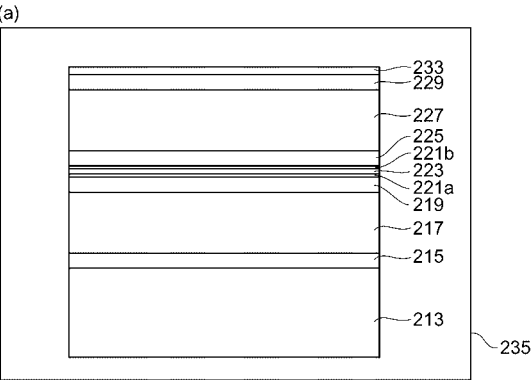
【図 7】



【図 8】



【図 9】



【図 10】

条件	アニール温度 [°C]	低下速度 [°C/sec]	PLピーク波長 [nm]	PL強度 (相対比)	PLピークの 半値幅 [meV]
条件1	650	2	1215	4.5	52
条件2	700	2	1204	4.8	49
条件3	620	0.5	1217	13	49
条件4	670	0.5	1204	14	47

