

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第4908453号
(P4908453)

(45) 発行日 平成24年4月4日(2012.4.4)

(24) 登録日 平成24年1月20日(2012.1.20)

(51) Int.Cl.

H01S 5/343 (2006.01)

F I

H01S 5/343 610

請求項の数 11 (全 23 頁)

(21) 出願番号	特願2008-115661 (P2008-115661)	(73) 特許権者	000002130
(22) 出願日	平成20年4月25日 (2008.4.25)		住友電気工業株式会社
(65) 公開番号	特開2009-267124 (P2009-267124A)		大阪府大阪市中央区北浜四丁目5番33号
(43) 公開日	平成21年11月12日 (2009.11.12)	(74) 代理人	100088155
審査請求日	平成20年11月26日 (2008.11.26)		弁理士 長谷川 芳樹
審判番号	不服2011-602 (P2011-602/J1)	(74) 代理人	100113435
審判請求日	平成23年1月11日 (2011.1.11)		弁理士 黒木 義樹
		(74) 代理人	100108257
			弁理士 近藤 伊知良
		(74) 代理人	100139000
			弁理士 城戸 博兒
		(74) 代理人	100152191
			弁理士 池田 正人

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 窒化物半導体レーザを作製する方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

窒化物半導体レーザを作製する方法であって、

第1の膜厚を有しており活性層のための第1のInGa_N膜を窒化ガリウム系半導体領域上に形成する工程と、

第2の膜厚を有しており前記活性層のための第2のInGa_N膜を形成する工程とを備え、

前記第1及び第2のInGa_N膜の一方は、前記第1及び第2のInGa_N膜の他方上に形成され、

前記第1のInGa_N膜を形成する前記工程は、

第1のガリウム原料、インジウム原料及び窒素原料を成長炉に供給して、前記第1のInGa_N膜の形成のために、第1の温度で前記第1の膜厚より薄いInGa_N薄膜の堆積を行うと共に前記第1のガリウム原料の供給を停止して前記堆積を停止する堆積工程と、

前記InGa_N薄膜の堆積の後に、前記インジウム原料及び前記窒素原料を含む雰囲気中で前記第1の温度から前記第2の温度に成長炉温度を変更する温度上昇工程と、

前記インジウム原料及び前記窒素原料を含む雰囲気中で前記第1の温度より高い第2の温度に前記成長炉温度を保ち前記InGa_N薄膜の熱処理を行う熱処理工程と、

前記第2の温度における前記熱処理の後に、前記インジウム原料及び前記窒素原料を含む雰囲気中で前記第2の温度から前記第1の温度に前記成長炉温度を変更する温度降下工程と、

10

20

前記温度降下工程の後に、前記第1の温度で前記第1の膜厚より薄い別のInGa_N薄膜の堆積、前記温度上昇工程、前記熱処理工程及び前記温度降下工程を少なくとも一回行って前記第1のInGa_N膜を形成する工程と、
を含み、

前記温度上昇工程における前記雰囲気は、前記第1のガリウム原料を前記成長炉に供給しないことにより該第1のガリウム原料を含まず、

前記熱処理工程における前記雰囲気は、前記第1のガリウム原料を前記成長炉に供給しないことにより該第1のガリウム原料を含まず、

前記温度降下工程における前記雰囲気は、前記第1のガリウム原料を前記成長炉に供給しないことにより該第1のガリウム原料を含まず、

前記第1の温度と前記第2の温度との差は50度以上であり、

前記第2のInGa_N膜を形成する前記工程は、

第3のガリウム原料、前記インジウム原料及び前記窒素原料を前記成長炉に供給して、前記第2のInGa_N膜の形成のために、第3の温度で前記第2の膜厚より薄いInGa_N薄膜の堆積を行う工程と、

前記InGa_N薄膜を堆積した後に、前記インジウム原料及び前記窒素原料を含む雰囲気
気で前記第3の温度より大きな第4の温度で熱処理を行う工程と、

前記少なくとも一回のInGa_N堆積及び前記熱処理を前記第2の膜厚の堆積が完了するまで行って、前記第2のInGa_N膜を前記第3の温度で形成する工程と
を含み、

前記第1及び第2のInGa_N膜の一方は、前記活性層の井戸層のために形成され、0.25以上0.35以下のインジウム組成を有し、

前記第1及び第2のInGa_N膜の他方は、前記活性層の障壁層のために形成され、0.02以上0.08以下のインジウム組成を有し、

前記第3の温度と前記第4の温度との差は50度以上であり、

前記堆積は有機金属気相成長法で行われ、

前記活性層は、490nm以上の発振波長を得るように形成される、ことを特徴とする方法。

【請求項2】

前記窒素原料はアミン類窒素原料を含み、

前記インジウム原料は有機金属である、ことを特徴とする請求項1に記載された方法。

【請求項3】

前記窒素原料はアンモニアを含む、ことを特徴とする請求項1または請求項2に記載された方法。

【請求項4】

前記第1のInGa_N膜は、前記活性層の井戸層及び障壁層のいずれか一方であり、

前記第1の温度と前記第2の温度との差は250度以下である、ことを特徴とする請求項1～請求項3のいずれか一項に記載された方法。

【請求項5】

六方晶系材料からなるウエハを準備する工程を更に備え、

前記ウエハの主面は、前記六方晶系材料のc面から15度以上30度以下の角度で傾斜している、ことを特徴とする請求項1～請求項4のいずれか一項に記載された方法。

【請求項6】

前記第1のInGa_N膜は、前記活性層の井戸層のために形成され、

前記第1の温度は、摂氏630度以上であり、摂氏780度以下である、ことを特徴とする請求項5に記載された方法。

【請求項7】

六方晶系材料からなるウエハを準備する工程を更に備え、

前記ウエハの主面は前記六方晶系材料の極性面である、ことを特徴とする請求項1～請求項4のいずれか一項に記載された方法。

10

20

30

40

50

【請求項 8】

前記第 1 の InGa_nN 膜は、前記活性層の井戸層のために形成され、
前記第 1 の温度は、摂氏 680 度以上であり、摂氏 830 度以下である、ことを特徴とする請求項 7 に記載された方法。

【請求項 9】

六方晶系材料からなるウエハを準備する工程を更に備え、
前記ウエハの主面は前記六方晶系材料の非極性面である、ことを特徴とする請求項 1 ~ 請求項 4 のいずれか一項に記載された方法。

【請求項 10】

前記第 1 の InGa_nN 膜は、前記活性層の井戸層のために形成され、
前記第 1 の温度は、摂氏 650 度以上であり、摂氏 800 度以下である、ことを特徴とする請求項 9 に記載された方法。

10

【請求項 11】

前記活性層は量子井戸構造を有しており、
前記活性層のフォトルミネッセンスの半値全幅は 40 nm 以下である、請求項 1 ~ 請求項 10 のいずれか一項に記載された方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、窒化物半導体レーザを作製する方法、エピタキシャルウエハを作製する方法
及び窒化物半導体レーザに関する。

20

【背景技術】

【0002】

特許文献 1 には、平坦で連続した GaN 膜を形成する方法が記載されている。GaN 膜の成長の期間の最初の部分では、ガリウム (Ga) が化学量論的に過剰な成膜条件下で膜の成長が行われる。成長期間の引き続く部分では、窒素 (N) が化学量論的に過剰な成膜条件下で膜の成長が行われる。いずれの期間でも、Ga 及び N が成長期間にわたって基板に同時に到着する。

【0003】

特許文献 2 には、良質な GaAsN 単結晶を形成する方法が記載されている。ミシビリ
ティギャップ組成の GaAsN 混晶の成長において、Ga 供給、窒化、Ga 供給、砒化の
サイクルを繰り返して GaAsN 混晶を成長する。

30

【0004】

特許文献 3 には、熱平衡状態において非混和領域の組成を有する GaInNAs 系化合物半導体混晶を成長する方法が記載されている。GaInNAs 系化合物半導体混晶を成長する工程中に、GaInNAs 化合物半導体混晶の結晶成長を中断し、GaAs 化合物半導体薄膜を結晶成長する。GaAs 化合物半導体は、GaInNAs 化合物半導体混晶の構成元素からなり、熱平衡状態において混和領域の組成を有する。

【0005】

特許文献 4 には、高品位の原子層を短時間で成長できる窒化物薄膜を形成する方法が記
載されている。この方法では、 $1 \times 10^{-3} \sim 1$ Pa のアンモニア雰囲気中で有機金属ガ
スを含む原料ガスを基板に吹き付けて、この基板上に金属元素層を形成する。この後に原
料ガスの吹付けを停止し、基板上に金属元素層の窒化物である窒化物薄膜を形成する。

40

【0006】

特許文献 5 には、窒化物系化合物半導体層を有機金属化学気相成長法を用いて製造する
方法が記載されている。この方法では、III 族源の有機金属を含む III 族原料ガスを間欠的
に基板上に供給すると共に、窒素を含むガスを基板上に供給する。

【特許文献 1】特願平 9 - 144291 号公報

【特許文献 2】特開 2000 - 49104 号公報

【特許文献 3】特開 2000 - 216101 号公報

50

【特許文献4】特開2004-165571号公報

【特許文献5】特開2003-68660号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0007】

III族窒化物半導体レーザにおいて長波長の発光を得るためには、大きなインジウム組成のInGa_N井戸層を用いる。インジウム組成の増加に伴って、InGa_N井戸層の結晶品質が低下する。InGa_N井戸層に非発光領域が増加して、発光効率が低下する。また、インジウム組成の増加に伴って、発光波長のブルーシフトが増加する。大きなブルーシフトを示すIII族窒化物半導体レーザでは、レーザ発振までに印加される電流の増加に伴って発光波長が変化するので、LEDモードにおいてブルーシフトを示す発光は、レーザ発振のための誘導放出に寄与しない。さらに、InGa_N井戸層のインジウム組成の増加に伴って、フォトルミネッセンススペクトルにおける半値全幅が大きくなる。半値全幅の増大により、光学的利得を示す波長範囲が大きくなる。レーザ発振に寄与しない波長でもLEDモードの発光が生じるので、レーザ発振の閾値電流が増大する。

10

【0008】

発明者の知見によれば、これらはInGa_N井戸層の空間的なゆらぎの増加に関連している。

【0009】

本発明は、このような事情を鑑みて為されたものであり、InGa_N井戸層のインジウム組成の均一性を向上可能な窒化物半導体レーザを作製する方法を提供することを目的とし、また、窒化物半導体レーザ用のエピタキシャルウエハを作製する方法を提供することを目的とし、さらに、InGa_N井戸層のインジウム組成の均一性が向上された窒化物半導体レーザ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】

【0010】

本発明の一側面は、窒化物半導体レーザを作製する方法である。この方法は、第1の膜厚を有しており活性層のための第1のInGa_N膜を窒化ガリウム系半導体領域上に形成する工程と、第2の膜厚を有しており前記活性層のための第2のInGa_N膜を形成する工程とを備える。前記第1及び第2のInGa_N膜の一方は、前記第1及び第2のInGa_N膜の他方上に形成され、前記第1のInGa_N膜を形成する前記工程は、(a)第1のガリウム原料、インジウム原料及び窒素原料を成長炉に供給して、前記第1のInGa_N膜の形成のために、第1の温度で前記第1の膜厚より薄いInGa_N薄膜の堆積を行うと共に前記第1のガリウム原料の供給を停止して前記堆積を停止する堆積工程と、(b)前記InGa_N薄膜の堆積の後に、前記インジウム原料及び前記窒素原料を含む雰囲気中で前記第1の温度から前記第2の温度に成長炉温度を変更する温度上昇工程と、(c)前記インジウム原料及び前記窒素原料を含む雰囲気中で前記第1の温度より高い第2の温度に前記成長炉温度を保ち前記InGa_N薄膜の熱処理を行う熱処理工程と、(d)前記第2の温度における前記熱処理の後に、前記インジウム原料及び前記窒素原料を含む雰囲気中で前記第2の温度から前記第1の温度に成長炉温度を変更する温度降下工程と、(e)前記温度降下工程の後に、前記第1の温度で前記第1の膜厚より薄い別のInGa_N薄膜の堆積、前記温度上昇工程、前記熱処理工程及び前記温度降下工程を少なくとも一回行って前記第1のInGa_N膜を形成する工程とを含む。前記温度上昇工程における前記雰囲気は、前記第1のガリウム原料を前記成長炉に供給しないことにより該第1のガリウム原料を含まず、前記熱処理工程における前記雰囲気は、前記第1のガリウム原料を前記成長炉に供給しないことにより該第1のガリウム原料を含まず、前記温度降下工程における前記雰囲気は、前記第1のガリウム原料を前記成長炉に供給しないことにより該第1のガリウム原料を含まない。前記窒素原料はアミン類窒素原料を含み、前記第1の温度と前記第2の温度との差は50度以上である。前記第2のInGa_N膜を形成する前記工程は、第3のガリウム原料、前記インジウム原料及び前記窒素原料を前記成長炉に供給して、前記第2の

30

40

50

InGaN膜の形成のために、第3の温度で前記第2の膜厚より薄いInGaN薄膜の堆積を行う工程と、前記InGaN薄膜を堆積した後に、前記インジウム原料及び前記窒素原料を含む雰囲気中で前記第3の温度より大きな第4の温度で熱処理を行う工程と、前記少なくとも一回のInGaN堆積及び前記熱処理を前記第2の膜厚の堆積が完了するまで行って、前記第2のInGaN膜を前記第3の温度で形成する工程とを含む。前記第1及び第2のInGaN膜の一方は前記活性層の井戸層のために形成され、0.25以上0.35以下のインジウム組成を有する。前記第1及び第2のInGaN膜の他方は前記活性層の障壁層のために形成され、0.02以上0.08以下のインジウム組成を有する。前記第3の温度と前記第4の温度との差は50度以上である。前記堆積は有機金属気相成長法で行われる。前記活性層は490nm以上の発振波長を得るように形成される。

10

【0011】

この方法によれば、第1のInGaN膜を形成するために、第1のInGaN膜の膜厚より薄いInGaNの堆積を行った後に、インジウム原料及び窒素原料を含む雰囲気中で、成長温度より高い第2の温度でInGaNの熱処理を行う。このため、InGaN堆積物における組成均一性が向上される。これ故に、良好な組成の均一性を有するInGaN膜を成長できる。インジウム原料及び窒素原料が成長後の熱処理中に供給されるので、InGaNからのInNの分解を抑制できる。

【0012】

本発明に係る方法では、前記第1のインジウム原料は有機金属であることが好ましい。この方法は、有機金属気相成長法による窒化物成長に適している。また、前記第2のインジウム原料は有機金属であることが好ましい。この方法は、有機金属気相成長法による窒化物成長に適している。

20

【0013】

本発明に係る方法では、前記第1の窒素原料は、アンモニア及びアミン類窒素原料の少なくともいずれかを含むことが好ましい。この方法は、有機金属気相成長法による窒化物成長に適している。また、前記第2の窒素原料は、アンモニア及びアミン類窒素原料の少なくともいずれかを含むことが好ましい。この方法は、有機金属気相成長法による窒化物成長に適している。

【0014】

この方法では、前記アミン類窒素原料は、モノメチルアミン、ジメチルアミン、トリメチルアミン、モノエチルアミン、ジエチルアミン、及びトリエチルアミンの少なくともいずれかを含むことができる。この方法によれば、アミン類窒素原料は、低温におけるInGaN成長に適している。

30

【0015】

本発明に係る方法では、前記第1のInGaN膜は、前記活性層の井戸層及び障壁層のいずれか一方であることができる。この方法によれば、良好な組成均一性を有するInGaN井戸層及びInGaN障壁層の形成が提供される。

【0016】

本発明に係る方法では、前記第1のInGaN膜は前記活性層の井戸層であり、前記InGaNの堆積を少なくとも一回行って前記第1のInGaN膜を形成する前記工程では、前記第1の膜厚のInGaNの堆積が完了するまで、前記InGaNの堆積及び前記InGaNの熱処理が繰り返されることができる。この方法によれば、複数回のInGaN薄膜の成長と該成長後の熱処理とにより、InGaN膜の組成均一性が向上される。また、本発明に係る方法では、井戸層及び障壁層がInGaNからなることができる。また、井戸層がInGaNからなり、障壁層がGaNからなることができる。

40

【0017】

本発明に係る方法では、前記第1のInGaN膜は前記活性層の井戸層であり、前記第1のInGaN膜のインジウム組成は0.25以上であり、前記第1のInGaN膜のインジウム組成は0.35以下であることが好ましい。この方法によれば、高In組成のInGaN井戸層を形成できる。したがって、本方法によれば、長波長の発光素子を提供で

50

きる。

【0018】

本発明に係る方法では、前記第1のInGa_nN膜は前記活性層の障壁層であり、前記第1のInGa_nN膜のインジウム組成は0.02以上であり、前記第1のInGa_nN膜のインジウム組成は0.08以下であることができる。この方法によれば、高In組成のInGa_nN井戸層に好適なInGa_nN障壁層を形成することができる。したがって、本方法によれば、長波長の発光素子を提供できる。

【0019】

本発明に係る方法は、第2の膜厚を有しており前記活性層のための第2のInGa_nN膜を形成する工程を更に備えることができる。前記第1及び第2のInGa_nN膜の一方は、前記第1及び第2のInGa_nN膜の他方上に形成されている。前記第2のInGa_nN膜を形成する前記工程は、(a)第3のガリウム原料、第3のインジウム原料及び第3の窒素原料を成長炉に供給して、前記InGa_nN膜の形成のために、第3の温度で前記第2の膜厚より薄いInGa_nNの堆積を行う工程と、(b)前記InGa_nNを堆積した後に、第4のインジウム原料及び第4の窒素原料を前記成長炉に供給しながら、前記第4の温度で熱処理を行う工程と、(c)少なくとも一回のInGa_nN堆積を前記第2の膜厚の堆積が完了するまで行って、前記第2のInGa_nN膜を形成する工程とを含むことができる。前記第1及び第2のInGa_nN膜の一方は前記活性層の井戸層のために形成され、前記第1及び第2のInGa_nN膜の他方は前記活性層の障壁層のために形成される。

【0020】

この方法によれば、第1及び第2のInGa_nN膜の一方が活性層の井戸層のために形成され、他方が障壁層のために形成されるので、優れた組成均一性の井戸層及び障壁層の活性層が提供される。なお、前記第3の窒素原料は、アンモニア及びアミン類窒素原料の少なくともいずれかを含むことが好ましい。この方法は、有機金属気相成長法による窒化物成長に適している。前記第3のインジウム原料は有機金属であることが好ましい。この方法は、有機金属気相成長法による窒化物成長に適している。前記第4の窒素原料は、アンモニア及びアミン類窒素原料の少なくともいずれかを含むことが好ましい。この方法は、有機金属気相成長法による窒化物成長に適している。前記第4のインジウム原料は有機金属であることが好ましい。この方法は、有機金属気相成長法による窒化物成長に適している。

【0021】

本発明に係る方法は、六方晶系材料からなるウエハを準備する工程を更に備えることができる。前記ウエハの主面は、前記六方晶系材料のc面から15度以上30度以下の角度で傾斜していることができる。この方法によれば、半極性六方晶系ウエハを用いて半導体レーザを作製できる。

【0022】

本発明に係る方法では、前記第1のInGa_nN膜は前記活性層の井戸層のために形成され、前記第1の温度は、摂氏630度以上であり、摂氏780度以下であることができる。この温度範囲によれば、高In組成を有する半極性InGa_nN層が提供される。

【0023】

本発明に係る方法は、六方晶系材料からなるウエハを準備する工程を更に備えることができる。前記ウエハの主面は、前記六方晶系材料の極性面であることができる。この方法によれば、極性六方晶系ウエハ上に半導体レーザを作製できる。

【0024】

本発明に係る方法では、記第1のInGa_nN膜は、前記活性層の井戸層のために形成され、前記第1の温度は、摂氏680度以上であり、摂氏830度以下であることができる。この温度範囲によれば、高In組成を有する極性InGa_nN層が提供される。

【0025】

本発明に係る方法は、六方晶系材料からなるウエハを準備する工程を更に備えることができる。前記ウエハの主面は、前記六方晶系材料の非極性面であることができる。この方

10

20

30

40

50

法によれば、非半極性六方晶系ウエハを用いて半導体レーザを作製できる。

【0026】

本発明に係る方法では、前記第1のInGa_nN膜は前記活性層の井戸層のために形成され、前記第1の温度は、摂氏650度以上であり、摂氏800度以下であることができる。この温度範囲によれば、高In組成を有する非極性InGa_nN層が提供される。

【0027】

本発明に係る方法では、前記活性層は量子井戸構造を有しており、前記活性層のフォトルミネッセンスの半値全幅は40nm以下であることができる。この方法によれば、InGa_nN膜の組成均一性が向上されるので、半値全幅がレーザ発振に好適な程度に小さくできる。

10

【0028】

本発明に係る方法では、前記III族窒化物半導体レーザの発振波長は490nm以上であることができる。この方法によれば、III族窒化物半導体レーザは長波長のレーザ発振に好適な構造を有する。

【0029】

本発明の別の側面は、窒化物半導体レーザ用のエピタキシャルウエハを作製する方法である。この方法は、(a)ウエハ上に第1導電型窒化ガリウム系半導体領域を形成する工程と、(b)前記第1導電型窒化ガリウム系半導体領域を形成した後に、所定の膜厚を有しており活性層のためのInGa_nN膜をウエハ上に形成する工程と、(c)前記活性層を形成した後に、第2導電型窒化ガリウム系半導体領域を形成する工程とを備える。前記InGa_nN膜を形成する前記工程は、(b1)第1のガリウム原料、インジウム原料及び窒素原料を成長炉に供給して、前記InGa_nN膜の形成ために、第1の温度で前記第1の膜厚より薄いInGa_nN薄膜の堆積を行うと共に前記第1のガリウム原料の供給を停止して前記堆積を停止する堆積工程と、(b2)前記InGa_nN薄膜の堆積の後に、前記インジウム原料及び前記窒素原料を含む雰囲気で前記第1の温度から前記第2の温度に成長炉温度を変更する温度上昇工程と、(b3)前記インジウム原料及び前記窒素原料を含む雰囲気で前記第1の温度より高い第2の温度に前記成長炉温度を保ち前記InGa_nN薄膜の熱処理を行う熱処理工程と、(b4)前記第2の温度における前記熱処理の後に、前記インジウム原料及び前記窒素原料を含む雰囲気で前記第2の温度から前記第1の温度に前記成長炉温度を変更する温度降下工程と、(b5)前記温度降下工程の後に、前記第1の温度で前記第1の膜厚より薄い別のInGa_nN薄膜の堆積、前記温度上昇工程、前記熱処理工程及び前記温度降下工程を少なくとも一回行って前記第1のInGa_nN膜を形成する工程とを含むことができる。前記窒素原料はアミン類窒素原料を含み、前記第1の温度と前記第2の温度との差は50度以上である。

20

30

【0030】

この方法によれば、第1のInGa_nN膜を形成するために、第1のInGa_nN膜の膜厚より薄いInGa_nNの堆積を行った後に、インジウム原料及び窒素原料を含む雰囲気中で、成長温度より高い第2の温度でInGa_nNの熱処理を行う。このため、InGa_nN堆積物において組成均一性が向上される。これ故に、組成の良好な均一性を有するInGa_nN膜を成長できる。インジウム原料及び窒素原料が成長後の熱処理中に供給されるので、InGa_nNからのInNの分解を抑制できる。

40

【0031】

本発明に係る方法では、前記InGa_nN膜は前記活性層の井戸層であり、前記少なくとも一回のInGa_nN堆積を行って前記InGa_nN膜を形成する前記工程では、前記第1の膜厚のInGa_nNの堆積が完了するまで、前記InGa_nNの堆積及び前記InGa_nNの熱処理が繰り返される。この方法によれば、複数回のInGa_nN薄膜の成長と該成長後の熱処理とにより、InGa_nN膜の組成均一性が向上される。

【0032】

本発明の更なる別の側面に係るIII族窒化物半導体レーザは、(a)第1導電型III族窒化物半導体層と、(b)第2導電型III族窒化物半導体層と、(c)複数のIn_xGa_{1-x}

50

x N 井戸層と複数の障壁層とを有する活性層とを備えることができる。前記活性層は、前記第 1 導電型 III 族窒化物半導体層と前記第 2 導電型 III 族窒化物半導体層との間に設けられ、前記 $In_xGa_{1-x}N$ 井戸層のインジウム組成 x は 0.24 以上であり、前記 $In_xGa_{1-x}N$ 井戸層の各々のインジウム組成分布における最大値及び最小値は、前記インジウム組成分布の平均値の $-15\% \sim +15\%$ の範囲にある。

【0033】

この III 族窒化物半導体レーザによれば、 $In_xGa_{1-x}N$ 井戸層のインジウム組成分布における最大値及び最小値が該井戸層におけるインジウム組成分布の平均値の $-15\% \sim +15\%$ の範囲にあるので、 $In_xGa_{1-x}N$ 井戸層の組成均一性が向上される。故に、良好な組成均一性の $InGaN$ 膜によって、半値全幅がレーザ発振に好適な程度に縮小される。

10

【0034】

本発明に係る III 族窒化物半導体レーザは、前記井戸層は、複数の $In_xGa_{1-x}N$ 薄膜の積層を含み、各 $In_xGa_{1-x}N$ 薄膜のインジウム組成は互いに実質的に同じであることが好ましい。この III 族窒化物半導体レーザによれば、 $In_xGa_{1-x}N$ 薄膜の厚みが薄いので、個々の $In_xGa_{1-x}N$ 薄膜のインジウム組成の均一性を向上可能である。この結果、インジウム組成分布における最大値及び最小値が平均値の $-15\% \sim +15\%$ の範囲内にまで低減可能である。

【0035】

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。

20

【発明の効果】

【0036】

以上説明したように、本発明の一側面によれば、 $InGaN$ 井戸層のインジウム組成の均一性を向上可能な窒化物半導体レーザを作製する方法が提供される。また、本発明の別の側面によれば、窒化物半導体レーザ用のエピタキシャルウエハを作製する方法が提供される。さらに、本発明に係る更なる別の側面によれば、 $InGaN$ 井戸層のインジウム組成の均一性が向上された窒化物半導体レーザが提供される。

【発明を実施するための最良の形態】

【0037】

30

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。引き続き、添付図面を参照しながら、本発明の窒化物半導体レーザを作製する方法、窒化物半導体レーザ用のエピタキシャルウエハを作製する方法、及び窒化物半導体レーザ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。

【0038】

図 1 及び図 2 は、本実施の形態に係る窒化物半導体レーザを作製する方法及びエピタキシャルウエハを作製する方法の主要な工程を示す図面である。図 1 の工程フロー 100a を参照すると、工程 S101 では、六方晶系材料からなるウエハを準備する。六方晶系材料として、例えば GaN 、 $InGaN$ 、 $AlGaN$ 、 AlN 、 SiC 、サファイア等を用いることができる。引き続き工程において、ウエハの主面上に III 族窒化物半導体膜のエピタキシャル成長が行われる。

40

【0039】

ウエハの主面は、上記の六方晶系材料の c 面から傾斜している半極性面のウエハであることができる。傾斜角が、例えば 15 度以上であるとき、内部電界が小さいという利点がある。傾斜角が、例えば 30 度以下の角度であるとき、大口径のウエハを利用可能であるという利点がある。この半極性六方晶系ウエハを用いて、小さいブルーシフトを示す半導体レーザを作製できる。

【0040】

また、ウエハの主面は、六方晶系材料の極性面であることができる。六方晶系材料の極

50

性面として、GaNのc面を用いることができる。極性六方晶系ウエハ上に半導体レーザを作製できる。

【0041】

さらに、ウエハの主面は、六方晶系材料の非極性面であることができる。六方晶系材料の非極性面として、GaNのa面及びm面を用いることができる。非半極性六方晶系ウエハを用いて半導体レーザを作製できる。

【0042】

引き続き例示的な説明では、GaNウエハ上に半導体レーザを作製する。引き続き製造工程におけるエピタキシャル膜は、例えば有機金属気相成長法により作製される。原料にはトリメチルガリウム(TMG)、トリメチルアルミニウム(TMA)、トリメチルインジウム(TMIn)、アンモニア(NH₃)を用い、またドーパントとしてシラン(SiH₄)、ビスシクロペンタジエニルマグネシウム(CP₂Mg)を用いる。GaNウエハを成長炉にセットした後に、工程S102では、GaNウエハのサーマルクリーニングを行う。このために、成長炉に水素及びアンモニアを供給する。熱処理温度は、例えば摂氏1050度である。

【0043】

工程S103では、ウエハ主面上に、n型窒化ガリウム系半導体領域を成長する。このn型窒化ガリウム系半導体領域の成長では、工程S104において、例えばn型窒化ガリウム系半導体クラッド層を成長する。クラッド層は、例えばn型Al_{0.04}Ga_{0.96}Nからなることができ、その成長温度は、例えば摂氏1050度であることができる。n型AlGaNにはシリコンが添加されている。n型AlGaNの膜厚は、例えば2300nmであることができる。

【0044】

次いで、必要な場合には、工程S105においてクラッド層上にn型窒化ガリウム半導体層を成長する。n型窒化ガリウム系半導体層のバンドギャップはクラッド層のバンドギャップより小さく、この後に成長される光ガイド層のバンドギャップより大きい。また、n型窒化ガリウム系半導体層の屈折率はクラッド層の屈折率より大きく、この後に成長される光ガイド層の屈折率より小さい。このn型窒化ガリウム系半導体層は、例えばn型GaNからなることができる。成長温度は、例えば摂氏1050度であることができる。n型GaNの膜厚は、例えば50nmであることができる。本実施の形態におけるAlGaN及びGaNの成長では、[V]/[III]（流量モル比）として900～6000が用いられる。AlGaNの成長における炉内圧力は、例えば40～80kPaであり、GaN及びInGaNの成長における炉内圧力は、例えば100kPaである。

【0045】

工程S106では、クラッド層上にn側の光ガイド層を成長する。この光ガイド層は、例えばアンドープIn_{0.06}Ga_{0.94}Nからなることができる。成長温度は、例えば摂氏820度であることができる。このInGaNの膜厚は、例えば65nmであることができる。この光ガイド層の成長温度の範囲は、例えば摂氏750度以上であり、また摂氏900度以下であることができる。

【0046】

工程S107において活性層を形成する。III族窒化物半導体レーザを作製する方法では、例えば490nm以上の発振波長を得るように活性層が形成される。また、活性層は、例えば540nm以下の発振波長を得るように形成される。長波長のレーザ発振に好適な構造が以下の成長方法により提供される。活性層の形成では、工程S108における障壁層の成長と工程S109における井戸層の成長とが行われる。有機金属気相成長法による窒化物成長に適しているため、活性層の成長では、インジウム原料は有機金属を含み、窒素原料はアンモニア及びアミン類窒素原料の少なくともいずれかを含むことが好ましい。アミン類窒素原料は、モノメチルアミン、ジメチルアミン、トリメチルアミン、モノエチルアミン、ジエチルアミン、及びトリエチルアミンの少なくともいずれかを含むことができる。アミン類窒素原料は、低温におけるInGaN成長に適している。

10

20

30

40

50

【0047】

まず、第1層目の障壁層の組成が光ガイド層の組成と同じときは、膜厚を調整して、光ガイド層の成膜条件を用いて障壁層の成長を行うことができる。このとき、光ガイド層上に井戸層を成長することができる。他の場合には、工程S109においてInGa_N障壁層を成長する。このとき、障壁層上に井戸層を成長することができる。InGa_N障壁層は、例えばIn_{0.06}Ga_{0.94}Nであることができ、アンドープであることができる。

【0048】

工程S108の井戸層成長では、図3に示されるように、活性層のためのInGa_N膜11を窒化ガリウム系半導体領域13上に形成する。InGa_N膜11は膜厚D_{w0}を有する。このInGa_N膜11は、例えば以下のように成長される。工程S110では、時刻t₀~t₁の期間にInGa_N薄膜を成長する。この成長では、ガリウム原料(例えばTMG)、インジウム原料(例えばTMIn)及び窒素原料(例えばNH₃)を成長炉に供給して、第1の温度T₁で膜厚D_{w0}より薄いInGa_Nの堆積を行う。このInGa_Nの膜厚D_{w1}(D_{w1}<D_{w0})は、例えば1nm程度である。ガリウム原料の供給を停止して成長を終了する。

10

【0049】

工程S111では、図3に示されるように、時刻t₁~t₂の期間に、成長炉温度の温度T₁から温度T₂(T₁<T₂)に変更する。この温度変更中に、インジウム原料(例えばTMIn)及び窒素原料(例えばNH₃)が成長炉に供給される。この温度変更中には、InNといった成膜が生じない。TMInといったインジウム原料及びNH₃といった窒素原料の供給により、InGa_N薄膜の表面からInNの分離を熱処理の全期間にわたって避けることができる。温度T₁が摂氏600度以上であれば、InNの堆積は生じない。100~100000の範囲の[V族流量]/[III族流量]を用いることによって、結晶からのInNの分離を避けることができる。昇温時間は、例えば2分である。[V族流量]/[III族流量]として、例えば10000を用いる。成膜温度T₁と熱処理温度T₂との差は、例えば50度以上であることが好ましい。また、この差は、例えば250度以下であることが好ましい。

20

【0050】

工程S112では、時刻t₂~t₃の期間に成長炉を温度T₂に保つ。この温度保持中に、インジウム原料(例えばTMIn)及び窒素原料(例えばNH₃)が成長炉に供給される。このときも、InNといった成膜が生じない。TMInといったインジウム原料及びNH₃といった窒素原料の供給により、InGa_N薄膜の表面からInNの分離を避けることができる。保持時間は、例えば1分である。[V族流量]/[III族流量]として例えば10000を用いる。

30

【0051】

工程S113では、時刻t₃~t₄の期間に、成長炉温度の温度T₂から温度T₁(T₂>T₁)に変更する。この温度変更中に、インジウム原料(例えばTMIn)及び窒素原料(例えばNH₃)が成長炉に供給される。変更時間は、例えば2分である。[V族流量]/[III族流量]として、例えば10000を用いる。

40

【0052】

工程S110における成長の後の工程S111、S112、S113によって、堆積されたInGa_N薄膜が改質されて、改質されたInGa_N薄膜15aでは、その組成の均一性が向上されている。

【0053】

工程S114では、所望の厚さのInGa_Nが成長されるまで、上記の薄膜の成長と熱処置とを繰り返す。図3に示されるように、時刻t₄~t₅に工程S110を行い、時刻t₅~t₆の期間に工程S111を行い、時刻t₆~t₇の期間に工程S112を行う。この成長で、膜厚D_{w2}の別のInGa_N薄膜がInGa_N薄膜15a上に成長される。

50

本実施例では、繰り返しにより合計3nmのInGa_N膜11が成長される。

【0054】

この方法によれば、InGa_N膜11を形成するために、InGa_N膜11の膜厚より薄いInGa_N15aの形成、InGa_N15bの堆積を行った後に、ガリウム原料を供給することなく、インジウム原料及び窒素原料を含む雰囲気中で、成長温度T₁より高い温度T₂でInGa_Nの熱処理を行う。このため、InGa_N堆積物において組成の均一性が向上される。これ故に、良好な組成均一性を有するInGa_N膜11を成長できる。インジウム原料及び窒素原料が成長後の熱処理中に供給されるので、InGa_NからのInNの分解を抑制できる。

【0055】

工程S109における障壁層成長では、図4に示されるように、活性層のためのInGa_N膜17を井戸層上に形成する。障壁層のためのInGa_N膜17は膜厚D_{B1}を有する。このInGa_N膜17は、例えば以下のように成長される。工程S115では、時刻s₀~s₁の期間にInGa_N薄膜を成長する。この成長では、ガリウム原料(例えばTMG)、インジウム原料(例えばTMIn)及び窒素原料(例えばNH₃)を成長炉に供給して、第1の温度T₃で膜厚D_{B0}より薄い膜厚D_{B1}(D_{B1}<D_{B0})のInGa_Nの堆積を行う。このInGa_Nの膜厚D_{B1}は、例えば1nm程度である。ガリウム原料の供給を停止して成長を終了する。

【0056】

工程S116では、図4に示されるように、時刻s₁~s₂の期間に、成長炉温度の温度T₃から温度T₄(T₃<T₄)に変更する。この温度変更中に、インジウム原料(例えばTMIn)及び窒素原料(例えばNH₃)が成長炉に供給される。この温度変更中には、InNといった成膜が生じない。TMInといったインジウム原料及びNH₃といった窒素原料の供給により、InGa_N薄膜の表面からInNの分離を避けることができる。このための条件は、例えば井戸層のための用いた条件と同じ条件を用いることができる。昇温時間は、例えば2分である。[V族流量]/[III族流量]として、例えば1000を用いる。

【0057】

工程S117では、時刻s₂~s₃の期間に、成長炉を温度T₄に保つ。この温度保持中に、インジウム原料(例えばTMIn)及び窒素原料(例えばNH₃)が成長炉に供給される。このときも、InNといった成膜が生じない。TMInといったインジウム原料及びNH₃といった窒素原料の供給により、InGa_N薄膜の表面からInNの分離を避けることができる。保持時間は、例えば1分である。[V族流量]/[III族流量]として例えば10000を用いる。

【0058】

工程S118では、時刻s₃~s₄の期間に、成長炉温度の温度T₄から温度T₃(T₃<T₄)に変更する。この温度変更中に、インジウム原料(例えばTMIn)及び窒素原料(例えばNH₃)が成長炉に供給される。変更時間は、例えば2分である。[V族流量]/[III族流量]として、例えば10000を用いる。成膜温度T₃と熱処理温度T₄との差は、例えば50度以上であることが好ましい。また、この差は、例えば150度以下であることが好ましい。

【0059】

工程S115における成長の後の工程S116、S117、S118によって、堆積されたInGa_N薄膜が改質されて、改質されたInGa_N薄膜19aでは、その組成の均一性が向上される。

【0060】

工程S119では、所望の厚さのInGa_Nが成長されるまで、上記の薄膜の成長と熱処置とを繰り返す。図4に示されるように、時刻s₄~s₅に工程S115を行い、時刻s₅~s₆の期間に工程S116を行い、時刻s₆~s₇の期間に工程S117を行う。一回の成長で、InGa_N薄膜19bがInGa_N薄膜19a上に成長される。本実施例

10

20

30

40

50

では、繰り返しにより合計15nmのInGa_N膜17が成長される。一回の成長で、膜厚D_{B2}のInGa_N薄膜が成長される。或いは、障壁層のインジウム組成が井戸層のインジウム組成より小さいので、14回の繰り返しに替えて、所望の膜厚が得られるように、残りのInGa_N膜を行うことができる。本実施例では、一回の追加成長により合計15nmのInGa_N井戸層が成長される。障壁層は、InGa_Nに替えてGa_Nからなることができる。このときは、一回の成長で所望の膜厚のGa_N膜を成長できる。

【0061】

この方法によれば、InGa_N膜17を形成するために、InGa_N膜17の膜厚より薄いInGa_N19a、19bの各々を行った後に、インジウム原料及び窒素原料を含む雰囲気中で、成長温度T3より高い温度T4でInGa_N19a、19bの熱処理を行う。このため、InGa_N堆積物において組成の均一性が向上される。これ故に、良好な組成均一性を有するInGa_N膜17を成長できる。また、成膜温度よりも高い温度にInGa_Nがさらされるけれども、インジウム原料及び窒素原料が成長後の熱処理中に供給されるので、InGa_NからのInNの分解を抑制できる。

10

【0062】

この後の工程では、所望の構造の量子井戸構造が形成されるまで、工程S108及びS109を繰り返して活性層を形成できる。このように成長された量子井戸構造の活性層は、半値全幅40nm以下のフォトルミネッセンスを示す。InGa_N膜の組成均一性が向上されているので、半値全幅がレーザ発振に好適な程度に縮小される。半値全幅が縮小されたということは、レーザ発振に先立って、半導体レーザが発生するLEDモードの光のスペクトルも狭くなる。これ故に、印加される電流が、レーザ発振を引き起こすために効率的に消費される。

20

【0063】

InGa_N膜11、15a、15bのインジウム組成は0.25以上であり、InGa_N膜11、15a、15bのインジウム組成は0.35以下であることが好ましい。長波長の発光素子を提供できる高In組成のInGa_N井戸層を形成することができる。InGa_N膜17、19a、19bのインジウム組成は0.02以上であり、InGa_N膜17、19a、19bのインジウム組成は0.08以下であることができる。長波長の発光素子を提供できる高In組成のInGa_N井戸層に好適なInGa_N障壁層を形成することができる。

30

【0064】

活性層のInGa_N成長の温度は、例えば以下のような範囲であることが好ましい。

【0065】

半極性面の窒化ガリウム系半導体上への活性層の成長では、以下の条件が好ましい。井戸層のためのInGa_N膜11では、成膜温度T1は摂氏630度以上であることができ、これによって良好な発光特性を得ることができる。成膜温度T1は摂氏780度以下であることができ、これによって必要なIn組成を得ることができる。この温度範囲によれば、高In組成を有する半極性InGa_N層が提供される。また、障壁層のためのInGa_N膜11では、成膜温度T3は摂氏750度以上であることができ、これによって良質な結晶が得られる。成膜温度T3は摂氏900度以下であることができ、これによって井戸層の結晶品質の劣化が避けられる。この温度範囲によれば、高In組成を有する半極性InGa_N層が提供される。

40

【0066】

極性面の窒化ガリウム系半導体上への活性層の成長では、以下の条件が好ましい。井戸層のためのInGa_N膜11では、成膜温度T1は摂氏680度以上であることができ、これによって良好な発光特性を得ることができる。成膜温度T1は摂氏830度以下であることができ、これによって必要なIn組成を得ることができる。この温度範囲によれば、高In組成を有する半極性InGa_N層が提供される。また、障壁層のためのInGa_N膜11では、成膜温度T3は摂氏800度以上であることができ、これによって良質な結晶が得られる。成膜温度T3は摂氏900度以下であることができ、これによって井戸

50

層の結晶品質の劣化が避けられる。この温度範囲によれば、高 In 組成を有する半極性 InGa_{0.94}N 層が提供される。

【0067】

非極性面の窒化ガリウム系半導体上への活性層の成長では、以下の条件が好ましい。井戸層のための InGa_{0.94}N 膜 11 では、成膜温度 T₁ は摂氏 650 度以上であることができ、これによって良好な発光特性を得ることができる。成膜温度 T₁ は摂氏 800 度以下であることができ、これによって必要な In 組成を得ることができる。また、障壁層のための InGa_{0.94}N 膜 11 では、成膜温度 T₃ は摂氏 780 度以上であることができ、これによって良質な結晶が得られる。成膜温度 T₃ は摂氏 900 度以下であることができ、これによって井戸層の結晶品質の劣化が避けられる。この温度範囲によれば、高 In 組成を有する非極性 InGa_{0.94}N 層が提供される。

10

【0068】

図 2 の工程フロー 100b を参照すると、工程 S120 では、活性層上に p 側の光ガイド層を成長する。この光ガイド層は、例えばアンドープ In_{0.06}Ga_{0.94}N からなることができる。成長温度は、例えば摂氏 820 度であることができる。p 型 InGa_{0.94}N の膜厚は、例えば 50 nm であることができる。この光ガイド層の成長温度の範囲は、例えば摂氏 750 度以上であることができ、また摂氏 900 度以下であることができる。必要な場合には、工程 S120 において、InGa_{0.94}N 層上にアンドープ GaN 層を成長することができる。成長温度は、例えば摂氏 820 度であることができる。

【0069】

20

工程 S121 では、p 側の光ガイド層上に、p 型窒化ガリウム系半導体領域を成長する。この p 型窒化ガリウム系半導体領域の成長における工程 S122 において、例えば p 型窒化ガリウム系半導体電子ブロック層を成長する。電子ブロック層は、例えば p 型 Al_{0.18}Ga_{0.82}N からなることができ、その成長温度は、例えば摂氏 1050 度であることができる。p 型 AlGa_{0.82}N にはマグネシウムが添加されている。p 型 AlGa_{0.82}N の膜厚は、例えば 20 nm であることができる。

【0070】

工程 S123 において、例えば電子ブロック層上に p 型窒化ガリウム系半導体クラッド層を成長する。クラッド層は、例えば p 型 Al_{0.06}Ga_{0.94}N からなることができ、その成長温度は、例えば摂氏 1050 度であることができる。p 型 AlGa_{0.94}N にはマグネシウムが添加されている。p 型 AlGa_{0.94}N の膜厚は、例えば 400 nm であることができる。

30

【0071】

工程 S124 において、例えばクラッド層上に p 型窒化ガリウム系半導体コンタクト層を成長する。コンタクト層は、例えば p 型 GaN からなることができ、その成長温度は、例えば摂氏 1050 度であることができる。p 型 GaN にはマグネシウムが添加されている。p 型 GaN の膜厚は、例えば 50 nm であることができる。

【0072】

これらの工程によって、ウエハ上に成長された複数の窒化ガリウム系半導体エピタキシャル膜を含むエピタキシャルウエハ E が形成される。エピタキシャルウエハ E は、第 1 導電型窒化ガリウム系半導体ウエハ 31、第 1 導電型窒化ガリウム系半導体領域 33、光ガイド層 37、優れた In 組成均一性を有する井戸層を含む活性層 41、光ガイド層 51、53、第 2 導電型窒化ガリウム系半導体領域 55 を含む。第 1 導電型窒化ガリウム系半導体領域 33 は、例えば n 型クラッド層 35a 及び n 型 GaN 層 35b を含む。第 2 導電型窒化ガリウム系半導体領域 55 は、例えば p 型電子ブロック層 57a、p 型クラッド層 57b 及び p 型コンタクト層 57c を含む。

40

【0073】

活性層 41 は、交互に配置された井戸層 43a 及び障壁層 43b を含む多重量子井戸構造を有することができる。井戸層 43a は、InGa_{0.94}N 積層 45 からなり、InGa_{0.94}N 積層 45 は、実質的に同一の In 組成の複数の InGa_{0.94}N 薄膜 45a、45b、45c から

50

なる。個々のInGa_N薄膜45a、45b、45cの厚さは、例えば0.3nm~3.0nmの範囲にあることが好ましい。これによって、In組成の均一性が改善されるように、個々の薄膜45a、45b、45cを成長できる。InGa_N井戸層のインジウム組成分布における最大値及び最小値は、インジウム組成分布の平均値の-15%~+15%の範囲に入る。また、障壁層43bは、InGa_N積層47からなり、InGa_N積層47は、実質的に同一のIn組成の複数のInGa_N薄膜49a、49bからなる。この量子井戸構造の活性層は、半値全幅40nm以下のフォトルミネッセンスを示す。InGa_N膜の組成均一性が向上されているので、半値全幅がレーザ発振に好適な程度に縮小される。このエピタキシャルウエハEは、490nm以上の発振波長といった長波長のレーザ発振を提供する活性層を含むIII族窒化物半導体レーザに用いられる。

10

【0074】

再び図2を参照しながら、エピタキシャルウエハEを用いてIII族窒化物半導体レーザを作製する方法を説明する。工程S125では電極を形成する。電極の形成に先立って、レーザストライプのためのリッジ構造をエピタキシャルウエハEに形成する。リッジ幅は例えば1.5μmであり、リッジの深さは例えば500nmである。次いで、リッジ構造上にコンタクト窓を有する絶縁膜を形成する。絶縁膜は、例えばシリコン酸化物(例えばSiO₂)等からなることができる。コンタクト層及び絶縁膜上に第1の電極(例えば、アノード)を形成する。エピタキシャルウエハEの裏面を研削して、基板生産物を形成する。裏面研削の後に、レーザバーの裏面上に第2の電極(例えば、カソード)を形成する。次いで合金化アニールの処理を行う。基板生産物の劈開によりレーザバーを形成する。共振器長は、例えば600μmである。この後に、端面反射膜の形成を行う。さらに、チップ分離を行った後に、電気的な特性を評価するために、レーザチップをパッケージに収納した。

20

【0075】

図6は、作製されたIII族窒化物半導体レーザの構造の一例を示す図面である。III族窒化物半導体レーザLDは、第1導電型窒化ガリウム系半導体支持基体61、第1導電型窒化ガリウム系半導体領域63、光ガイド層67、優れたIn組成均一性を有する井戸層を含む活性層71、光ガイド層81、83、第2導電型窒化ガリウム系半導体領域85を含む。第1導電型窒化ガリウム系半導体領域63、光ガイド層67、優れたIn組成均一性を有する井戸層を含む活性層71、光ガイド層81、83、第2導電型窒化ガリウム系半導体領域85は、支持基体61の主面61a上に搭載されている。第1導電型窒化ガリウム系半導体領域63は、例えばn型クラッド層65a及びn型Ga_N層65bを含む。第2導電型窒化ガリウム系半導体領域85は、例えばp型電子ブロック層87a、p型クラッド層87b及びp型コンタクト層87cを含む。第1の電極89aが、絶縁膜91のコンタクト窓を介してコンタクト層87cに接続されている。第2の電極89bが、支持基体61の裏面61bに接続されている。

30

【0076】

活性層71の井戸層73aは、実質的に同一のIn組成の複数のInGa_N薄膜75a、75b、75cからなる。個々の薄膜75a、75b、75cのIn組成の均一性は改善されている。InGa_N井戸層のインジウム組成は例えば0.24以上である。InGa_N井戸層のインジウム組成分布における最大値及び最小値は、インジウム組成分布の平均値の-15%~+15%の範囲に入る。障壁層73bのInGa_N積層77は、実質的に同一のIn組成の複数のInGa_N薄膜79、79bからなる。この量子井戸構造の活性層は、半値全幅40nm以下のフォトルミネッセンススペクトルを示す。InGa_N膜の組成均一性が向上されているので、半値全幅がレーザ発振に好適な程度に縮小される。半値全幅が縮小されたということは、490nm以上の発振波長といった長波長のレーザ発振に先立って、半導体レーザが発生するLEDモードの光のスペクトルも狭くなる。これ故に、印加される電流が、効率的にレーザ発振を引き起こすことができる。

40

【0077】

(実施例1)

50

活性層の形成を除いて、c面GaNウエハを用いて上記の実施の形態と同様にIII族窒化物半導体レーザを作製した。成長炉の温度は、サセプタの抵抗加熱ヒータを用いて変更された。図7は、実施例1のIII族窒化物半導体レーザの活性層を形成する際の主要な工程を示す図面である。有機金属気相成長法を用いて、工程S207では、図7に示される製造方法に従って活性層を作製した。摂氏700度で厚さ3nmの $\text{In}_{0.30}\text{Ga}_{0.70}\text{N}$ 井戸層を作製した後に、工程S209で $\text{In}_{0.06}\text{Ga}_{0.94}\text{N}$ 障壁層を成長した。まず、工程S210で、摂氏700度において厚さ1nmの $\text{In}_{0.06}\text{Ga}_{0.94}\text{N}$ 薄膜を成長した。この薄膜成長の後に、工程S211では、TMIn及び NH_3 を成長炉に供給しながら、摂氏850度の温度に成長炉の温度を2分間かけて変更した。工程S212では、摂氏850度の温度に成長炉の温度を1分間保持した。保持の後に、工程S213では、TMG、TMIn及び NH_3 を成長炉に供給して摂氏850度において厚さ14nmの $\text{In}_{0.06}\text{Ga}_{0.94}\text{N}$ 薄膜を成長した。この結果、15nmの $\text{In}_{0.06}\text{Ga}_{0.94}\text{N}$ 障壁層が成長された。この昇温及び保持において、 $[\text{NH}_3]/[\text{TMIn}] = 10000$ を用いた。 $\text{In}_{0.06}\text{Ga}_{0.94}\text{N}$ 障壁層を成長した後に、工程S214では、 NH_3 を成長炉に供給しながら、摂氏700度の温度に成長炉の温度を2分間かけて変更した。工程S208では、摂氏700度で厚さ3nmの $\text{In}_{0.30}\text{Ga}_{0.70}\text{N}$ 井戸層を作製した。工程S215では、これらの工程を繰り返して、3層の井戸層及び4層の障壁層を交互に成長した。

【0078】

エピタキシャルウエハにおいて、波長405nmの励起レーザ光を用いてフォトルミネッセンス(PL)スペクトルを測定した。ピークPL波長は、570nmであり、半値全幅は38nmであった。実施の形態と同様にして、リッジ構造の半導体レーザを作製した。この半導体レーザの閾値電流密度 I_{th} は $18\text{kA}/\text{cm}^2$ であった。半導体レーザの発振波長は510nmであった。通電条件として、周期5マイクロ秒、及びデューティ0.5%が用いられた。

【0079】

(実施例2)

活性層の形成を除いて、c面GaNウエハを用いて上記の実施の形態と同様にIII族窒化物半導体レーザを作製した。成長炉の温度の変更は、サセプタの加熱用赤外線ランプを用いて行われた。抵抗加熱ヒータでは、摂氏700度から摂氏850度への温度上昇及び逆の温度降下に、3~5分程度の時間を要するけれども、赤外線ランプを用いると温度の上昇及び降下の各々を10秒から30秒で行うことができた。図8は、実施例2のIII族窒化物半導体レーザの活性層を形成する際の主要な工程を示す図面である。活性層の成長を工程S308で行った。まず、工程S310で、摂氏700度において厚さ1nmの $\text{In}_{0.30}\text{Ga}_{0.70}\text{N}$ 薄膜を成長した。この薄膜成長の後に、工程S311では、TMIn及び NH_3 を成長炉に供給しながら、摂氏850度の温度に成長炉の温度を約10秒間かけて変更した。工程S312では、摂氏850度の温度に成長炉の温度を約10秒間一定に保った。保持の後に、工程S313では、TMIn及び NH_3 を成長炉に供給しながら、摂氏700度の温度に成長炉の温度を約15秒間かけて変更した。この昇温及び保持において、 $[\text{NH}_3]/[\text{TMIn}] = 10000$ を用いた。工程S314では、上記の薄膜成長、昇温、熱処理及び降温の2回の繰り返しを行って2層の $\text{In}_{0.30}\text{Ga}_{0.70}\text{N}$ 薄膜を成長した。 $\text{In}_{0.30}\text{Ga}_{0.70}\text{N}$ 薄膜各々の厚さは1nmであった。この結果、3nmの $\text{In}_{0.30}\text{Ga}_{0.70}\text{N}$ 井戸層が成長された。工程S309では、TMG、TMIn及び NH_3 を成長炉に供給して摂氏850度において $\text{In}_{0.06}\text{Ga}_{0.94}\text{N}$ 障壁層を成長した。工程S315では、これらの工程を繰り返して、3層の井戸層及び4層の障壁層を交互に成長した。

【0080】

エピタキシャルウエハにおいて、波長405nmの励起レーザ光を用いてPLスペクトルを測定した。ピークPL波長は、570nmであり、半値全幅は35nmであった。実施の形態と同様にして、リッジ構造の半導体レーザを作製した。この半導体レーザの閾値

10

20

30

40

50

電流密度 I_{th} は 15 kA/cm^2 であった。半導体レーザの発振波長は 510 nm であった。

【0081】

(実施例3)

活性層の形成を除いて、a軸の方向にc面から21度の角度で傾斜した半極性面GaNウエハを用いて上記の実施の形態と同様にIII族窒化物半導体レーザを作製した。成長炉の温度は、サセプタの加熱用赤外線ランプを用いて変更された。図9は、実施例3のIII族窒化物半導体レーザの活性層を形成する際の主要な工程を示す図面である。工程S407で活性層が形成された。まず、工程S410で、摂氏670度において厚さ1nmの $\text{In}_{0.30}\text{Ga}_{0.70}\text{N}$ 薄膜を成長した。この薄膜成長の後に、工程S411では、TMIn及び NH_3 を成長炉に供給しながら、摂氏850度の温度に成長炉の温度を約10秒間かけて変更した。工程S412では、摂氏850度の温度に成長炉の温度を約10秒間一定に保った。保持の後に、工程S413では、TMIn及び NH_3 を成長炉に供給しながら、摂氏670度の温度に成長炉の温度を約15秒間かけて変更した。この昇温及び保持において、 $[\text{NH}_3]/[\text{TMIn}] = 10000$ を用いた。工程S414では、上記の薄膜成長、昇温、熱処理及び降温の2回の繰り返しを行って2層の $\text{In}_{0.30}\text{Ga}_{0.70}\text{N}$ 薄膜を成長した。 $\text{In}_{0.30}\text{Ga}_{0.70}\text{N}$ 薄膜各々の厚さは1nmであった。この結果、3nmの $\text{In}_{0.30}\text{Ga}_{0.70}\text{N}$ 井戸層が成長された。工程S409では、TMG、TMIn及び NH_3 を成長炉に供給して摂氏820度において $\text{In}_{0.06}\text{Ga}_{0.94}\text{N}$ 障壁層を成長した。工程S415では、これらの工程を繰り返して、3層の井戸層及び4層の障壁層を交互に成長した。

【0082】

エピタキシャルウエハにおいて、波長405nmの励起レーザ光を用いてPLスペクトルを測定した。ピークPL波長は、570nmであり、半値全幅は35nmであった。m面劈開を用いて、実施の形態と同様にしてリッジ構造の半導体レーザを作製した。この半導体レーザの閾値電流密度 I_{th} は 15 kA/cm^2 であった。半導体レーザの発振波長は510nmであった。

【0083】

(実施例4)

活性層の形成を除いて、a軸の方向にc面から21度の角度で傾斜した半極性面GaNウエハを用いて上記の実施の形態と同様にIII族窒化物半導体レーザを作製した。成長炉の温度は、サセプタの加熱用赤外線ランプを用いて変更された。図10は、実施例4のIII族窒化物半導体レーザの活性層を形成する際の主要な工程を示す図面である。工程S507で活性層を形成した。実施例4は、実施例1~3と以下の点で異なる。それは、InGaN井戸層が厚さ1.8nmを有し、インジウム組成は0.32を有する。まず、工程S510で、摂氏660度において厚さ1nmの $\text{In}_{0.32}\text{Ga}_{0.68}\text{N}$ 薄膜を成長した。この薄膜成長の後に、工程S511では、TMIn及び NH_3 を成長炉に供給しながら、摂氏850度の温度に成長炉の温度を約10秒間かけて変更した。工程S512では、摂氏850度の温度に成長炉の温度を約10秒間一定に保った。保持の後に、工程S513では、TMIn及び NH_3 を成長炉に供給しながら、摂氏660度の温度に成長炉の温度を約15秒間かけて変更した。この昇温及び保持において、 $[\text{NH}_3]/[\text{TMIn}] = 10000$ を用いた。工程S514では、上記の薄膜成長、昇温、熱処理及び降温の1回を行って2層の $\text{In}_{0.30}\text{Ga}_{0.70}\text{N}$ 薄膜を成長した。この結果、1.8nmの $\text{In}_{0.32}\text{Ga}_{0.68}\text{N}$ 井戸層が成長された。工程S509では、TMG、TMIn及び NH_3 を成長炉に供給して摂氏820度において $\text{In}_{0.06}\text{Ga}_{0.94}\text{N}$ 障壁層を成長した。工程S415では、これらの工程を繰り返して、3層の井戸層及び4層の障壁層を交互に成長した。

【0084】

エピタキシャルウエハにおいて、波長405nmの励起レーザ光を用いてPLスペクトルを測定した。ピークPL波長は、570nmであり、半値全幅は35nmであった。m

面劈開を用いて、実施の形態と同様にしてリッジ構造の半導体レーザを作製した。この半導体レーザの閾値電流密度 I_{th} は 10 kA/cm^2 であった。半導体レーザの発振波長は 510 nm であった。基板の主面が c 面から大きく傾斜しており、また井戸層の厚さが薄いので、レーザ光の主偏光方向を a 軸方向とすることができる。

【0085】

(実施例5)

活性層の形成を除いて、 a 軸の方向に c 面から 21 度の角度で傾斜した半極性面 GaInN ウエハを用いて上記の実施の形態と同様にIII族窒化物半導体レーザを作製した。成長炉の温度は、サセプタの加熱用赤外線ランプを用いて変更された。図11は、実施例5のIII族窒化物半導体レーザの活性層を形成する際の主要な工程を示す図面である。工程S607で活性層が成長された。窒素原料にアミン系ガスを用いたことにおいて、実施例5は実施例1~4と異なる。アンモニアに比べて、アミン系ガスの分解効率は低温において高い。アミン系ガスとしてモノメチルアミンを用いた。モノメチルアミンガスは、井戸層の成長にアンモニアと共に使用され、モノメチルアミン/アンモニアの供給比率は、モル比で 10% であった。解離平行定数を考慮すると、摂氏 500 度でアンモニアの 100 万倍の活性窒素 (NH_2) を供給すると期待される。

【0086】

まず、工程S610では、TMG、TMIn、 NH_3 及びモノメチルアミンを成長炉に供給して、摂氏 660 度において厚さ 1 nm の $\text{In}_{0.32}\text{Ga}_{0.68}\text{N}$ 薄膜を成長した。この薄膜成長の後に、工程S611では、TMIn、 NH_3 及びモノメチルアミンを成長炉に供給しながら、摂氏 850 度の温度に成長炉の温度を約 10 秒間かけて変更した。工程S612では、摂氏 850 度の温度に成長炉の温度を約 10 秒間一定に保った。保持の後に、工程S613では、TMIn、 NH_3 及びモノメチルアミンを成長炉に供給しながら、摂氏 660 度の温度に成長炉の温度を約 15 秒間かけて変更した。この昇温及び保持において、 $[\text{全窒素原料}] / [\text{TMIn}] = 10000$ を用いた。工程S614では、上記の薄膜成長、昇温、熱処理及び降温の1回を行って2層の $\text{In}_{0.30}\text{Ga}_{0.70}\text{N}$ 薄膜を成長した。この結果、 1.8 nm の $\text{In}_{0.32}\text{Ga}_{0.68}\text{N}$ 井戸層が成長された。工程S609では、TMG、TMIn及び NH_3 を成長炉に供給して摂氏 820 度において $\text{In}_{0.06}\text{Ga}_{0.94}\text{N}$ 障壁層を成長した。工程S415では、これらの工程を繰り返して、3層の井戸層及び4層の障壁層を交互に成長した。

【0087】

エピタキシャルウエハにおいて、波長 405 nm の励起レーザ光を用いてPLスペクトルを測定した。ピークPL波長は 530 nm であり、半値全幅は 32 nm であった。 m 面劈開を用いて、実施の形態と同様にしてリッジ構造の半導体レーザを作製した。この半導体レーザの閾値電流密度 I_{th} は 7 kA/cm^2 であった。

【0088】

一方、実施例1~5と別に、活性層の井戸層が単一の成膜で作製されたIII族窒化物半導体レーザ構造を作製した。活性層の成膜を除いて、 c 面 GaInN ウエハを用いて上記の実施の形態と同様にIII族窒化物半導体レーザを作製した。

【0089】

エピタキシャルウエハにおいて、波長 405 nm の励起レーザ光を用いてPLスペクトルを測定した。ピークPL波長は、 570 nm であり、半値全幅は 50 nm であった。この半導体レーザ構造は、電流密度 20 kA/cm^2 まで印加したけれども、レーザ発振を行わなかった。

【0090】

以上説明した実施例では、 InGaInN 薄膜として 1 nm 程度の厚みを利用したけれども、本実施の形態は、このような特定の値に限定されるものではない。所望の井戸厚よりも薄い InGaInN 薄膜の複数回の成長と改質を利用することによって、高い均一性の In 組成を高い In 組成の InGaInN に提供できる。

【0091】

10

20

30

40

50

(実施例6)

上記の実施例のように作製されたInGaN井戸層のインジウム組成の分布を調べた。透過型電子顕微鏡(TEM-EDX)を用いて組成分析を行った。20nm間隔で100個の測定値を収集した。EDX測定は、事前にX線回折法で平均組成を求めたInGaN単層膜を用いて作成した構成データを用いて、点分析で行われた。この結果、InGaN井戸層のインジウム組成分布は、その最大値及び最小値を用いて(最大値-最小値)/(最大値+最小値)により計算したとき、インジウム組成分布の平均値の-15%~+15%の範囲に入る。また、InGaN半導体のインジウム組成は、X線回折測定法により決定された。

【0092】

発明者は、上記の実施例とは異なる様々な実験を行った。これらの実験から、複数のInGaN薄膜の積層からなるInGaN井戸層を含む活性層において、このPLスペクトルの半値全幅が40nm以下になるとき、レーザ発振が可能であると判断した。また、レーザ発振可能な活性層の井戸層では、InGaN井戸層のインジウム組成分布における最大値及び最小値は、インジウム組成分布の平均値の-15%~+15%の範囲内であった。

【0093】

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権利を請求する。

【産業上の利用可能性】

【0094】

InGaN層のIn組成のゆらぎ(空間的な不均一)は、その成長温度が高いほど小さくなる。一方、インジウムは、成長温度が低くなるにつれてInGaNに取り込まれやすくなり、高いIn組成のInGaNを形成することが容易になる。以上説明したように、インジウムの取り込み量を増加できる低温においてInGaNを堆積すると共に、インジウム及び窒素を含む雰囲気中で高温の熱処理を行って、In組成のゆらぎを低減する。このゆらぎ低減は、薄いInGaNにおいて行うことが好適である。これ故に、InGaN薄膜の成長と熱処理によるIn組成の均一性の改良とを繰り返して、所望の厚さのInGaN層を形成する。複数のInGaN薄膜の積層からなる井戸層及び障壁層では、In組成のゆらぎが低減されており、これによって活性層のPLスペクトルの半値全幅が改善される。例えば、活性層の同一井戸層におけるIn組成のゆらぎが15%程度まで低減される。一方、単一の成長で作製されたInGaN井戸層のIn組成のゆらぎは15%を越える20%程度まで増加する。

【0095】

特に、490nm以上の発振波長のIII族窒化物半導体レーザでは、大きなインジウム組成(0.24以上の組成)の井戸層が必要である。本実施の形態では、In組成のゆらぎが、井戸層の構成するInGaN薄膜毎に低減されているので、井戸層の全体にわたってもIn組成のゆらぎが小さい。この結果、活性層は、40nm以下のPLスペクトルの半値全幅を有するように設けられる。

【0096】

窒化ガリウム系半導体レーザの発振には、小さい半値全幅のPLスペクトルの井戸層が求められている。発明者らの知見によれば、長波長の発振波長を得るためには、大きなインジウム組成の井戸層が必要である。このような井戸層の成長は低温で行う必要があり、この結果、In組成のゆらぎが増大する。故に、短波長の窒化ガリウム系半導体レーザのように小さいPLスペクトル半値全幅の活性層を成長することは容易ではない。40nm以下のPLスペクトルの半値全幅を有する活性層では、20kA/cm²までの印加電流の範囲でレーザ発振が観測された。

10

20

30

40

50

【図面の簡単な説明】

【0097】

【図1】図1は、本実施の形態に係る窒化物半導体レーザを作製する方法及びエピタキシャルウエハを作製する方法の主要な工程を示す図面である。

【図2】図2は、本実施の形態に係る窒化物半導体レーザを作製する方法及びエピタキシャルウエハを作製する方法の主要な工程を示す図面である。

【図3】図3は、活性層の作製のためのガス供給及び温度変更のタイミングを示す図面である。

【図4】図4は、活性層の作製のためのガス供給及び温度変更のタイミングを示す図面である。

【図5】図5は、エピタキシャルウエハの構造を示す図面である。

【図6】図6は、半導体レーザの構造を示す図面である。

【図7】図7は、実施例1における活性層の作製の主要な工程フローを示す図面である。

【図8】図8は、実施例2における活性層の作製の主要な工程フローを示す図面である。

【図9】図9は、実施例3における活性層の作製の主要な工程フローを示す図面である。

【図10】図10は、実施例4における活性層の作製の主要な工程フローを示す図面である。

【図11】図11は、実施例5における活性層の作製の主要な工程フローを示す図面である。

【符号の説明】

【0098】

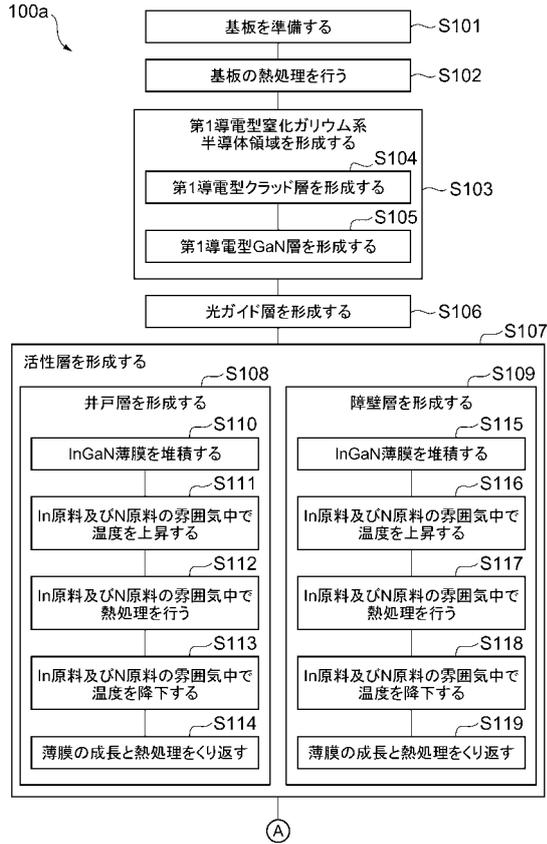
11、15a、15b... InGaN膜、17、19a、19b... InGaN膜、E...エピタキシャルウエハ、31...第1導電型窒化ガリウム系半導体ウエハ、33...第1導電型窒化ガリウム系半導体領域、37...光ガイド層、41...活性層、43a...井戸層、43b...障壁層、51、53...光ガイド層、55...第2導電型窒化ガリウム系半導体領域、35a...n型クラッド層、35b...n型GaN層、57a...p型電子ブロック層、57b...p型クラッド層、57c...p型コンタクト層、45...InGaN積層、45a、45b、45c...InGaN薄膜、47...InGaN積層、49a、49b...InGaN薄膜、LD...III族窒化物半導体レーザ、61...第1導電型窒化ガリウム系半導体支持基体、63...第1導電型窒化ガリウム系半導体領域、67...光ガイド層、71...活性層、81、83...光ガイド層、85...第2導電型窒化ガリウム系半導体領域、65a...n型クラッド層、65b...n型GaN層、73a...井戸層、73b...障壁層、75a、75b、75c...InGaN薄膜、77...InGaN積層、79、79b...InGaN薄膜、87a...p型電子ブロック層、87b...p型クラッド層、87c...p型コンタクト層、89a...第1の電極、89b...第2の電極

10

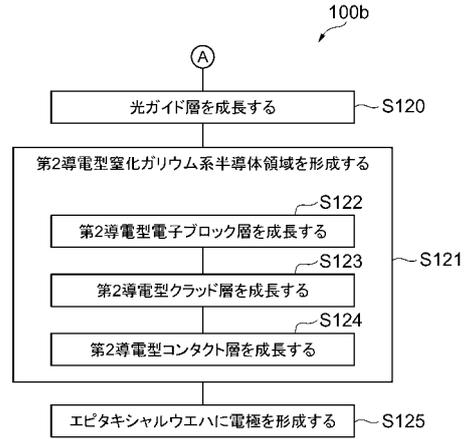
20

30

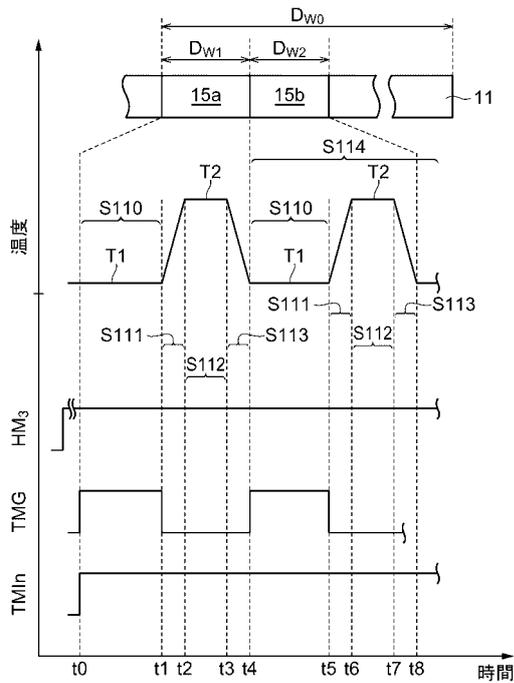
【図1】



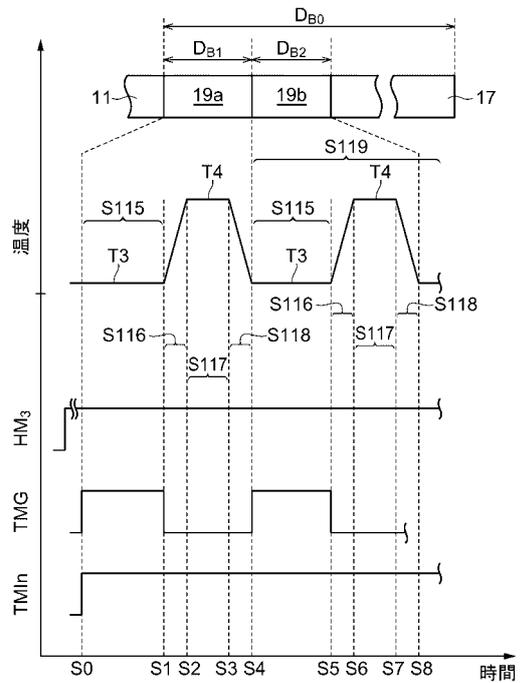
【図2】



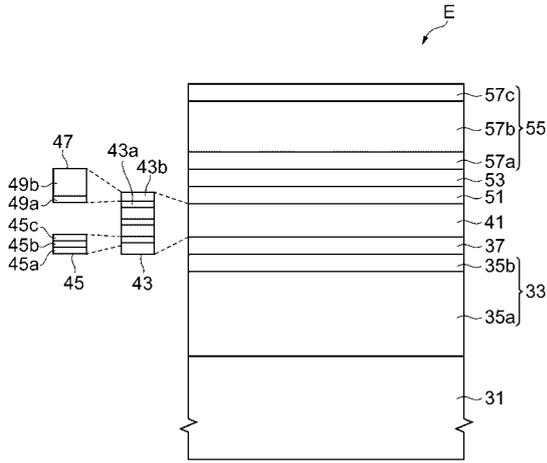
【図3】



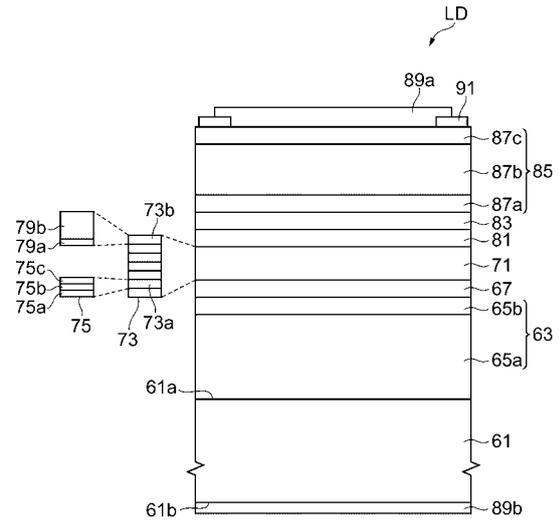
【図4】



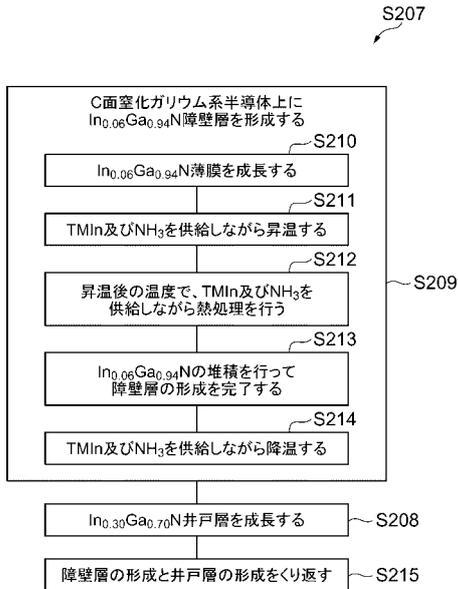
【図5】



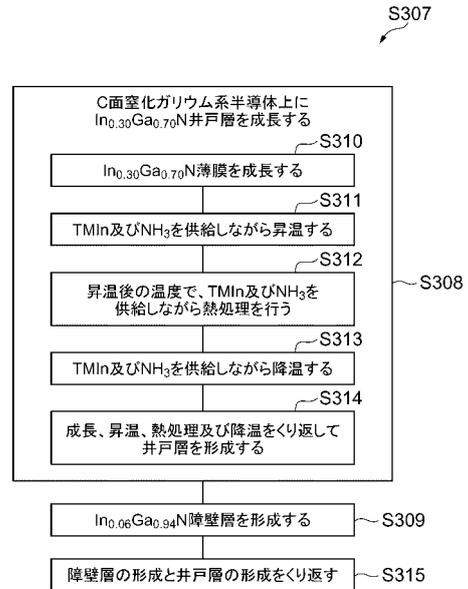
【図6】



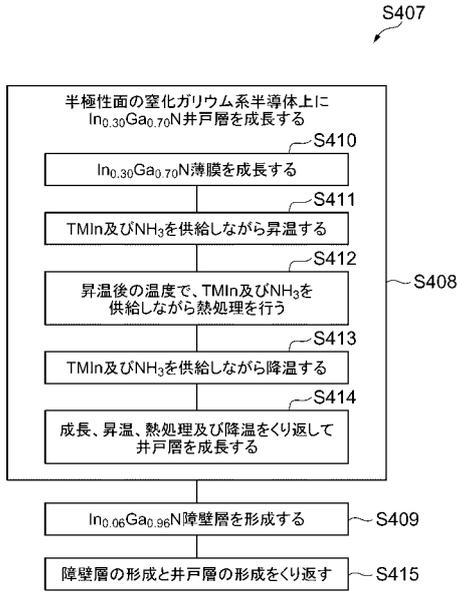
【図7】



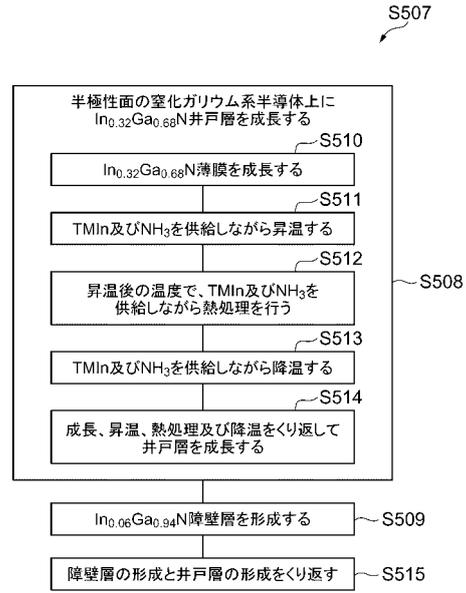
【図8】



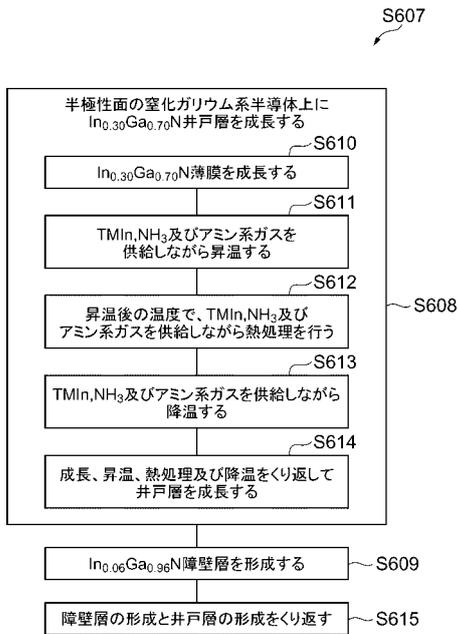
【図9】



【図10】



【図11】



フロントページの続き

- (72)発明者 上野 昌紀
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
- (72)発明者 京野 孝史
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

合議体

- 審判長 稲積 義登
審判官 江成 克己
審判官 岡 崎 輝雄

- (56)参考文献 特開2003-304034(JP,A)
特開2002-94113(JP,A)
特開2001-196632(JP,A)
特開2000-82676(JP,A)
特開2001-102633(JP,A)
特開2002-344089(JP,A)
特開2001-326385(JP,A)
特開2007-43215(JP,A)
特開2004-297098(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

- H01S 5/00-5/50
H01L 33/00-33/64