

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第4964271号
(P4964271)

(45) 発行日 平成24年6月27日 (2012. 6. 27)

(24) 登録日 平成24年4月6日 (2012. 4. 6)

(51) Int. Cl.	F I
HO 1 L 21/20 (2006. 01)	HO 1 L 21/20
HO 1 L 33/32 (2010. 01)	HO 1 L 33/00 1 8 6

請求項の数 3 (全 12 頁)

(21) 出願番号	特願2009-101474 (P2009-101474)	(73) 特許権者	000005049
(22) 出願日	平成21年4月17日 (2009. 4. 17)		シャープ株式会社
(62) 分割の表示	特願平10-135776の分割		大阪府大阪市阿倍野区長池町22番22号
原出願日	平成10年5月18日 (1998. 5. 18)	(74) 代理人	100078282
(65) 公開番号	特開2009-200513 (P2009-200513A)		弁理士 山本 秀策
(43) 公開日	平成21年9月3日 (2009. 9. 3)	(74) 代理人	100062409
審査請求日	平成21年4月17日 (2009. 4. 17)		弁理士 安村 高明
		(74) 代理人	100107489
			弁理士 大塩 竹志
		(72) 発明者	伊藤 茂穂
			大阪府大阪市阿倍野区長池町22番22号
			シャープ株式会社内
		(72) 発明者	近江 晋
			大阪府大阪市阿倍野区長池町22番22号
			シャープ株式会社内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 GaN系結晶膜の製造方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

アンモニアを含む雰囲気中で、Gaを含む原料を昇華させて、複数の開口部を有する、GaN系結晶の成長を抑制する膜が表面に設けられた基体上の、該開口部が埋め込まれるように、GaN系化合物を選択的に結晶化させることにより、基体上に複数の、該基体に垂直な面が発達する、島状のGaN系単結晶を得る第1の結晶成長工程と、

該基体上に、該複数の島状のGaN系単結晶を成長核として、GaN系結晶を、該第1の結晶成長工程とは異なるエピタキシャル成長法により形成することにより、GaN系結晶の連続膜を得る第2の結晶成長工程とを含むことを特徴とする、GaN系結晶膜の製造方法。

【請求項2】

前記基体に垂直な面は、(11-20)面または(1-100)面であることを特徴とする、請求項1に記載のGaN系結晶膜の製造方法。

【請求項3】

前記島状のGaN単結晶の形状が六角柱であることを特徴とする、請求項1に記載のGaN系結晶膜の製造方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、特にGaN系結晶の成長に用いるのに適した結晶基板、および、基体上にGaN系結晶膜を製造する方法に関する。

【背景技術】

【0002】

GaN系化合物は、様々な電子デバイスに適用されている半導体材料であるが、バルク単結晶を得ることが困難なため、従前より、異種材料基板上へのエピタキシャル成長により製造されていた。しかしながら、このようにして得られたエピタキシャル成長結晶膜は、 $10^9 \sim 10^{10} \text{ cm}^{-2}$ 程度の欠陥密度を持つものであり、必ずしも十分な結晶品質が得られるわけではなかった。よって、電子デバイスの高性能化のために、高品質のGaN単結晶基板を工業的に得ることが切望されていた。

10

【0003】

図7は、このような目的で開発された、非特許文献1に報告された、第1の従来例である。図7を参照すると、基体70は、サファイア基板71と、サファイア基板71の上に形成された SiO_2 膜パターン72とを有する。 SiO_2 膜パターン72には開口部73が設けられている。基体70上の全面には、MOVPE法で形成されたGaN結晶74が形成されている。第1の従来例においては、開口部73から結晶成長が開始されるような SiO_2 膜パターンによる成長制御を用いたことにより、 SiO_2 上のGaN結晶75において、欠陥密度 $10^5 \sim 10^6 \text{ cm}^{-2}$ が得られた。これは、従前得られていた結晶よりも、欠陥密度が4桁程度低減した結晶である。

【0004】

20

また、図8は、非特許文献2に報告された、同様の目的で開発された第2の従来例である。図8を参照すると、基体80は、サファイア基板81と、MOCVD法で形成されたGaN単結晶膜82と、 SiO_2 膜パターン83とを有する。 SiO_2 膜パターンには開口部84が設けられている。基体80上の全面には、Hydride-PE法で形成されたGaN結晶85が形成されている。第2の従来例もまた、Hydride-PE法でGaN結晶85を形成する際に、 SiO_2 パターンによる成長制御を用いられており、その結果、Hydride-PE法で形成されたGaN結晶85の表面付近において、欠陥密度 $6 \times 10^7 \text{ cm}^{-2}$ が得られた。これは、従前得られていた結晶よりも、欠陥密度が3桁程度低減した結晶である。

【0005】

30

このような、従来例に示されたGaN単結晶膜をGaN系半導体デバイスの成長用基板として使用すれば、電子デバイスが高性能化されることが期待されていた。

【先行技術文献】

【非特許文献】

【0006】

【非特許文献1】第58回応用物理学会学術講演会講演予稿集2p-Q-14, No. 1 (1997) p. 265

【非特許文献2】第58回応用物理学会学術講演会講演予稿集2p-Q-15, No. 1 (1997) p. 266

【発明の概要】

40

【発明が解決しようとする課題】

【0007】

しかしながら、上述の従来例によって得られたGaN単結晶基板の品質は、今だ十分なものではなかった。例えば、半導体レーザデバイスでは、発光領域付近に欠陥が存在しなければ、製品寿命に革新的な向上がもたらされるが、そのためには、欠陥密度 10^{-5} cm^{-2} 未満が要求される。この意味において、上述の従来の技術による結晶欠陥の低減は不十分であった。望ましくは、GaAs等の、他のIII-V族半導体基板と同様の、欠陥密度 10^{-4} cm^{-2} 未満が求められている。

【0008】

第1の従来例においては、欠陥密度の低減された高品質結晶は、 SiO_2 膜パターン上

50

に限られ、その他の領域は従前同様の結晶品質であったので、結晶成長用基板としては、使いにくいものであった。

【0009】

第2の従来例においては、Hydride-VP E法により、エピタキシャル成長結晶膜としては比較的厚い、数10 μ mの膜が形成された。その結果、その表面付近ではSiO₂パターンの影響が緩和されて欠陥が均一に分布するので、第1の従来例のような問題が無いが、欠陥密度の点からは、第1の従来例に劣っていた。

【0010】

本発明は、このような従来の問題点を解消することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

10

【0012】

本発明は、アンモニアを含む雰囲気中で、Gaを含む原料を昇華させて、複数の開口部を有する、Ga N系結晶の成長を抑制する膜が表面に設けられた基体上の、該開口部が埋め込まれるように、Ga N系化合物を選択的に結晶化させることにより、基体上に複数の、該基体に垂直な面が発達する、島状のGa N系単結晶を得る第1の結晶成長工程と、該基体上に、該複数の島状のGa N系単結晶を成長核として、Ga N系結晶を、該第1の結晶成長工程とは異なるエピタキシャル成長により形成することにより、Ga N系結晶の連続膜を得る第2の結晶成長工程とを含むことを特徴とする、Ga N系結晶膜の製造方法を提供する。

好適な実施形態では、前記基体に垂直な面は、(11-20)面または(1-100)面であることを特徴とする。

20

好適な実施形態では、前記島状のGa N単結晶の形状が六角柱であることを特徴とする。

【0017】

なお、本明細書において、Ga N系化合物／結晶とは、III族元素とV族元素よりなる化合物／結晶であって、III族元素としてGaを、V族元素としてNを含むものを表わす。

【0018】

本明細書において、Al N系化合物とは、III族元素とV族元素よりなる化合物であって、III族元素としてAlを、V族元素としてNを含むものを表わす。

30

【0019】

本明細書において、Zn O系化合物とは、II族元素とVI族元素よりなる化合物であって、II族元素としてZnを、VI族元素としてOを含むものを表わす。

【0020】

本明細書において、昇華再結晶法とは、アンモニアを含む雰囲気中で、Gaを含む原料を昇華させ、所定の基体上に結晶化させることにより、Ga N系結晶を得る結晶成長方法のことを表す。

【0021】

本明細書において、昇華とは、固相原料が、そのままの分子形態で気化する厳密な意味での昇華のみを指すものではなく、固相原料が分解／結合されて気化する場合、液相原料が蒸発、分解／結合されて気化する場合も含むものである。

40

【0022】

本明細書において、Gaを含む原料とは、金属ガリウムもしくはGa化合物、または、そのいずれかを含む混合物からなる原料のことを表している。

【0023】

本明細書において、島状の結晶とは、図2(c)もしくは図5(c)に示されるように、個々の島が完全に分離される場合のみを指すものではなく、各島の一部がつながっていてもよいものとする。

【0024】

50

本明細書において、エピタキシャル成長法とは、V P E（気相エピタキシャル）成長法、C V D（化学気相デポジション）成長法、M O V P E（有機金属化学気相エピタキシャル）成長法、M O C V D（有機金属化学気相デポジション）成長法、H a l l i d e－V P E（ハロゲン化物気相エピタキシャル）成長法、H y d r i d e－V P E（水素化物気相エピタキシャル）成長法、M B E（分子線エピタキシャル）成長法、M O M B E（有機金属分子線エピタキシャル）成長法、G S M B E（ガスソース分子線エピタキシャル）成長法、C B E（化学ビームエピタキシャル）成長法を含む。

【発明の効果】

【0025】

本発明の結晶基板をG a N系半導体デバイス形成用基板として用いることにより、デバイスの性能を向上することができる。また、本発明のG a N系結晶膜の製造方法によれば、欠陥密度が小さく、また、欠陥密度に面内の分布の無い、高品質のG a N系結晶連続膜を得ることができる。

【図面の簡単な説明】

【0026】

【図1】本発明の第1の実施の形態におけるG a N系結晶基板を示す断面模式図である。

【図2】本発明の第1の実施の形態における、G a N系結晶膜の製造方法を説明するための図である。

【図3】本発明の第1の実施の形態における、昇華再結晶成長装置を示す模式図である。

【図4】本発明の第2の実施の形態におけるG a N系結晶基板を示す断面模式図である。

【図5】本発明の第2の実施の形態における、G a N系結晶膜の製造方法を説明するための図である。

【図6】本発明の第2の実施の形態におけるG a N系結晶基板を示す断面模式図である。

【図7】第1の従来技術のG a N系結晶基板を示す断面模式図である。

【図8】第2の従来技術のG a N系結晶基板を示す断面模式図である。

【発明を実施するための形態】

【0027】

（実施の形態1）

図1は、本発明に係わる第1の実施の形態の結晶基板を示す断面模式図である。図1に示すように、基体10は、サファイア101とその表面に順次設けられたG a Nバッファ層102、エピタキシャル成長G a N層103、S i O₂膜104を有する。S i O₂膜104には開口部105が設けられている。基体10上のS i O₂膜の開口部105には昇華再結晶G a N結晶11が形成されており、さらに基体10上の全面に、G a N結晶連続膜12が設けられている。

【0028】

次に、図2（a）～（c）を参照して、本実施の形態の結晶基板の作製方法および、本発明のG a N系半導体膜の製造方法について説明する。

【0029】

始めに、図2（a）に示すように、C面を表面とするサファイア基板101上に、公知の手法にて、G a Nバッファ層102（厚さ50nm）、M O V P E成長法によるエピタキシャル成長G a N層103（厚さ4μm）を順次形成する。ここで、G a Nバッファ層102としては、M O V P E成長法にてG a N層103よりも低い成長温度で形成された層や、その他のエピタキシャル成長法で形成された層、スパッタにて形成された層、真空蒸着法にて形成された層、イオンプレーティングにて形成された層などを用いることができる。これらG a Nバッファ層102を用いることにより、比較的高品質のM O V P E成長法によるエピタキシャル成長G a N層103を得ることができた。このような、サファイア基板上に、M O V P E法によってG a N結晶層を得る技術は公知であるので、その詳細は省略する。ここでC面サファイアに変えてA面あるいは、R面あるいはM面サファイアを用いてもよい。

【0030】

次いで、図2(b)に示すように、GaN層103の表面に、複数の開口部105を持つ、SiO₂膜104(厚さ0.2μm)を形成する。このようなSiO₂膜104は、真空蒸着法、CVD法、スパッタ法などの成膜技術と、選択エッチング法もしくはリフトオフ法を適宜用いて形成できることは、当業者にとって周知の事実であるので、その詳細な作製方法の記載は省略する。ここで、SiO₂膜104のパターンは、GaN<1-100>方向に沿った、線幅0.1~30μmのストライプ状の開口部105が、ピッチ3~200μmで配置されるように形成すればよい。開口部105の、線幅は2μm、ピッチは10μmとする。こうして、複数の開口部105を持つGaN系結晶の成長を抑制する膜104を表面に備える基体10が得られる。

【0031】

次いで、図2(c)に示すように、昇華再結晶法により、基体10表面に、該開口部105にのみ選択的に昇華再結晶法GaN結晶11を形成する。

【0032】

ここで、GaN結晶の昇華再結晶法について、図3の断面図に示される成長装置を参照しつつ、詳細に説明する。図3に示すように、この昇華再結晶法成長装置130は、内部に密閉可能なチャンバーを有する成長装置の本体137と、加熱装置131と、ガス導入ライン134と、排気ライン135を備える。使用時には、昇華再結晶成長装置本体137のチャンバーの中に、GaN粉末133が充填されたボート132が配置され、そして、複数の開口部105を有するSiO₂膜104が表面に形成された基体10(図2(b))が、そのSiO₂膜面がボート132に向かい合うように配置される。ガス導入ライン134からは、アンモニアと窒素の混合ガス136が装置130内部に供給される。このような構成において、加熱装置131でボート132が900~1200℃に加熱されることにより、GaN粉末133が昇華によりもしくは分解されて昇華され、装置内部に連続的に供給されるアンモニアと窒素の混合ガス雰囲気中で、基体10表面に輸送される。ここで、基体10は加熱装置131により800~1100℃に保たれており、その表面にてGaN単結晶が再結晶化される。再結晶化の駆動力を得るために、ボートよりも基体の方が低温に保たれることが望ましい。なお、GaN単結晶の再結晶化は、基体表面にSiO₂膜104が形成されているために、その開口部105でのみ選択的に生じ、結果として、島状のGaN単結晶が形成された。得られた島状のGaN結晶は、例えば、幅2~6μm、高さ2~6μmのサイズであり、このようなサイズのGaN結晶を得るのに要した時間は、0.05~1時間であった。また、結晶の外形は、(11-20)面および(0001)面の発達した、断面が矩型の形態であった。なお、装置内に導入されるアンモニアと窒素の混合ガスとしては、アンモニア：窒素=1：1~15の体積比で混合されたものが好ましい。

【0033】

その後、図2(c)に示される基体10を酸洗浄または／およびアルカリ洗浄して、表面に付着した余分のGaN微結晶やGa金属(図には示されない)を除去し、次いでMOVPE成長法を用いて、さらに、GaN結晶を成長したところ、昇華再結晶法により形成された島状のGaN結晶を成長核として、GaN結晶の成長が進行し、最終的に、図1に示されるような連続膜が得られた。このとき、III族原料としてトリメチルガリウムを用い、V族原料としてアンモニアを用い、そしてキャリアガスとして水素を用いた。成長に先だて、MOVPE装置内部で、基体表面をアンモニアを含む気流中、1150℃で処理を行うことが望ましく、また、結晶の成長温度としては、950~1150℃の範囲が好ましく、特に1100℃程度の比較的高温が望ましかった。このとき、島状結晶の(11-20)面から横方向の成長が優先的に進行し、結果として図1のような連続膜が得られた。成長時間1~3時間で、SiO₂膜104より上方に、厚さ4~15μmのGaN単結晶連続膜12が得られた。

【0034】

このような、膜の品質をTEM(透過電子顕微鏡)で評価したところ、表面付近では、欠陥密度 $3 \times 10^{-3} \text{ cm}^{-2}$ 程度であり、従来の技術と比較して、向上が見られた。また、

10

20

30

40

50

S i O₂膜 1 0 4 の開口部 1 0 5 位置と、欠陥密度との間にはほとんど相関がなく、面内でほぼ一様に高品質膜を得ることができた。そのため、本発明の結晶基板を G a N 系半導体を用いた電子デバイスの結晶成長用基板に用いれば、基板上の種々の位置に形成した電子デバイスの性能を均一にできる。また、例えば、発光ダイオードのように、大きい（2 0 0 μ m × 2 0 0 μ m 程度）発光部を有するデバイスを作製しても、発光部に、結晶品質の差による発光ムラが生じてしまうような問題が起こらない。さらに、結晶基板自身の品質が高いので、その上に形成される電子デバイスの特性を向上できる。

【0 0 3 5】

従来の技術よりも高品質の結晶が得られる理由を、本発明者らは、以下のように推測している。

（１）第１の結晶成長で得られた島状結晶の結晶品質が良好なことによる：選択成長を用いた昇華再結晶法により欠陥密度 $1 0^{-5} \text{ cm}^{-2}$ 程度の高品質な島状結晶が得られた。これにより、第２の結晶成長における成長核の品質が高く、ここで得られる連続膜の結晶品質が向上する。

（２）第１の結晶成長で得られた島状結晶の形状による：基体 1 0 上に S i O₂膜 1 0 4 が突出しており、第２の結晶成長の際に、横方向への結晶成長が容易に起こる。これにより、従来の技術において、基体との界面より上方に延伸し、結晶表面にまで達していた欠陥が見られなくなった。

（３）第１の結晶成長で得られた島状結晶の結晶面による：基体 1 0 の表面に垂直な面である（1 1 - 2 0）面が発達しており、第２の結晶成長の初期過程では、このような面が常に表出するような結晶成長モードとなって、導入される欠陥が少なくなる。

【0 0 3 6】

なお、本実施の形態における昇華再結晶法により形成された島状結晶 1 1 は、図 2（c）に示されるように、個々の島が完全に分離している必要はなく、島の一部がつながったようなパターン（例えば、全体として、格子状の形態をした結晶）であってもよく、このような場合においても、本発明の効果が損なわれるものではない。

【0 0 3 7】

（実施の形態 2）

図 4 は、本発明に係わる第 2 の実施の形態の結晶基板を示す断面模式図である。図 4 に示すように、基体 2 0 は、S i C 基板 2 0 1 とその表面に順次設けられた A l N バッファ層 2 0 2、および S i N_x膜 2 0 3 を有する。S i N_x膜 2 0 3 には開口部 2 0 5 が設けられている。基体 2 0 上の膜の開口部 2 0 5 には昇華再結晶 G a N 結晶 2 1 が形成されており、さらに基体 2 0 上の全面に、G a N 結晶連続膜 2 2 が設けられている。

【0 0 3 8】

次に、図 5（a）～（c）を参照して、本実施の形態の結晶基板の作製方法および、本実施の形態の G a N 系半導体膜の製造方法について説明する。

【0 0 3 9】

始めに、図 5（a）に示すように、（0 0 0 1）面を表面とする S i C 基板 2 0 1 上に、基板温度 3 0 0 °C にて、スパッタ法にて A l N バッファ層 2 0 2（厚さ 2 0 0 n m）を形成する。なお、スパッタ法にかえて、エピタキシャル成長法、真空蒸着法にて形成された層、イオンプレーティング法等も用いることが可能であるが、ここでは、生産性の良好な点から、スパッタ法を選択した。

【0 0 4 0】

次いで、図 5（b）に示すように、A l N バッファ層 2 0 2 の表面に、複数の開口部 2 0 5 を有する、S i N_x膜 2 0 3（厚さ 0. 3 μ m）、S i O₂ 2 0 4（厚さ 0. 2 μ m）からなる多層膜を形成した。このような S i N_x膜 2 0 3、S i O₂ 2 0 5 は、真空蒸発法、C V D 法スパッタ法などの成膜技術と、選択エッチング法もしくはリフトオフ法を適宜用いて形成できることは当業者にとって周知の事実であるので、その詳細な作製方法の記載は省略する。ここで、該多層からなる G a N 系結晶の成長を抑制する膜に形成されるパターンは、円形の開口部 2 0 5 が多数設けられているものとした。開口部の大きさを Φ 0

10

20

30

40

50

． 1 ～ 3 0 μm 、中心間隔を 3 ～ 2 0 0 μm となるように配置すればよい。開口部 2 0 5 の、開口 Φ は 1 0 μm 、中心間隔は 1 0 0 μm とした。こうして、多層構造からなり、複数の開口部 2 0 5 を有する G a N 系結晶の成長を抑制する膜を備える、基体 2 0 が得られた。

【0041】

次いで、図 5 (c) に示すように、昇華再結晶法により、基体 2 0 表面に、該開口部 2 0 5 にのみ選択的に昇華再結晶法 G a N 結晶 2 1 を形成した。この工程については、実施の形態 1 と同様であるので、その詳細は省略する。こうして、島状の G a N 単結晶が形成され、得られた結晶は、例えば、直径 2 0 ～ 6 0 μm 、高さ 2 0 ～ 6 0 μm のサイズであり、このようなサイズの G a N 結晶を得るのに要した時間は、0 . 5 ～ 2 時間であった。また、結晶の外形は、{ 1 0 - 1 0 } 面および (0 0 0 1) 面の発達した、六角柱形態であった。

10

【0042】

その後、図 5 (c) に示された基体 2 0 を、H F 液で洗浄したところ、表面に付着した余分の G a N 微結晶や G a 金属 (図には示されない) が、S i O₂膜 2 0 4 と共に完全に除去された。さらに、H y d r i d e - V P E 成長法を用いて、さらに、G a N 結晶を成長したところ、昇華再結晶法により形成された島状の G a N 結晶を成長核として、G a N 結晶が成長し、最終的には、図 4 に示される連続膜 2 2 が得られた。このとき、I I I 族原料として金属ガリウムを用い、G a 原料の輸送担体として塩化水素を用い、V 族原料としてアンモニアを用い、そしてキャリアガスとして水素を用いた。成長温度としては、9 5 0 ～ 1 1 5 0 $^{\circ}\text{C}$ の範囲がよく、特に 1 1 0 0 $^{\circ}\text{C}$ 程度の比較的高温が望ましかった。このとき、島状結晶の { 1 0 - 1 0 } 面から横方向の成長が進行し、結果として図 4 に示すような連続膜 2 2 が得られた。成長時間を 1 ～ 3 時間とし、S i N_x膜 2 0 3 の上方に、厚さ 1 0 0 ～ 3 0 0 μm の G a N 単結晶連続膜 2 2 が得られた。

20

【0043】

このような、膜の品質を T E M で評価したところ、表面付近では、欠陥密度 $5 \times 10^{-3} \text{ cm}^{-2}$ 程度であり、従来の技術と比較して、向上が見られた。また、S i N_x膜 2 0 3 の開口部 2 0 5 位置と、欠陥密度との間には相関がなく、面内で一様に高品質膜を得ることができた。このように、実施の形態 1 と同様に、従来の技術と比較して、高品質の結晶基板が得られた。

30

【0044】

また、本実施の形態においては、昇華再結晶法で島状結晶を形成する工程において表面に付着した余分の G a N 微結晶や G a 金属が、S i O₂膜 2 0 4 とともに、完全に除去された。従って、連続結晶膜 2 2 を得るための結晶成長工程では、結晶は、そのような島状結晶を成長核として結晶が成長するので、得られる連続結晶膜の品質の低下が防止された。

【0045】

(実施の形態 3)

図 6 は、本発明に係わる第 3 の実施の形態の結晶基板を示す断面模式図である。図 6 に示すように、基体 3 0 は、表面に凹凸が設けられた A 面サファイア基板 3 0 1 と、その表面に設けられた S i N_x膜 3 0 2 を有する。S i N_x膜 3 0 2 には開口部 3 0 3 が設けられている。基体 3 0 上の S i N_x膜の開口部 3 0 3 には昇華再結晶 G a N 結晶 3 1 が形成されており、さらに基体 3 0 上の全面に、G a N 結晶連続膜 3 2 が設けられている。

40

【0046】

本実施の形態は、実施の形態 2 の変形例であり、基体の構成が異なる他は、実施の形態 2 と同様である。本実施の形態は、表面に凹凸が設けられた A 面サファイアを用いる点で実施の形態 2 と異なる。ここで、サファイア基板 3 0 表面に設けられた凹凸は、昇華再結晶成長における G a N 結晶成長開始の成長核となる。その結果、実施の形態 1 におけるエピタキシャル成長 G a N 層 1 0 3、または実施の形態 2 における A l N パッファ層 2 0 2 のような特別な層を設けなくても、良好な選択性をもって、S i N_x膜 3 0 2 の開口部 3

50

03にのみに島状結晶を形成し得る。ここで、凹凸の形状は、凹凸の平方二乗平均値(RMS)にして50nm、平均ピッチ50nm程度であった。本実施の形態の結晶基板の作製方法およびGaN系半導体膜の製造方法については、実施の形態1もしくは2を参照して容易に推測できるので、その詳細な説明は省略する。

【0047】

本実施の形態で得られたGaN連続成長膜の品質をTEMで評価したところ、表面付近において、欠陥密度は $7 \times 10^{-3} \text{ cm}^{-2}$ 程度であり、従来の技術と比較して、向上が見られた。また、 SiN_x 膜302の開口部303位置と、欠陥密度との間には相関がなく、面内で一様にこのような高品質膜を得ることができた。このように、実施の形態1もしくは2と同様に本実施の形態においても、従来の技術よりも、高品質の結晶基板を得ることができた。

10

【0048】

以上、実施の形態1ないし3により、本発明の実施様態を特定の例について説明したが、本発明の適用はこれに限定されるものでもなく、本発明の趣旨を逸脱しない範囲で、変更できる。例えば、実施の形態1ないし3の各構成要素／各工程は、互いに他の実施の形態に示された、対応する構成要素／工程に置換できる。

【0049】

本発明における、基体表面に設けられたGaN結晶、昇華再結晶法により形成されるGaN島状結晶、連続結晶膜を構成するGaN結晶は、それぞれ、その他のGaN系化合物結晶に置換することが可能である。例えば、構成元素の一部を、B, Al, In, Tl, P, As, Sb, Be, Mg, Cd, Zn, C, Si, Ge, Sn, O, S, Se, Te, H, Sc, Ti, V, Cr, Y, Zr, Nb, ランタノイド, 等で置換したり、もしくはこれらの一部を添加することにより、GaN系化合物結晶の、格子定数、エネルギーバンド構造、光吸収特性、導電型、導電率、単結晶成長温度を適宜調整することができる。

20

【0050】

また、各実施の形態における基体は、任意の結晶面を表面とするGaN系結晶成長用基板の上面に、直接、もしくはその表面を、バッファ層および／またはエピタキシャル成長GaN系結晶で被覆したものの上面に、GaN系結晶の成長を抑制する膜を形成したものである。ここで、GaN系結晶基板は、Si, Ge, SiC, GaN, GaP, GaAs, InN, InP, InAs, ZnO, ZnSe, ZnS, MgAl_2O_4 , MgGa_2O_4 , LiGaO_2 , LiAlO_2 , サファイア、ルビー等で置換してもよく、そしてバッファ層は、AlN, InN, GaAlN, InGaN, InAlN, InGaAlN, ZnO, MgF等で置換してもよい。

30

【0051】

各実施の形態におけるGaN系結晶の成長を抑制する膜は、 SiN_x , SiO_y , SiON, C, Si, Ge等やこれらを含む混合物材料に置換できる。また、そのパターンの形状・サイズ等は適宜変更してよい。

【0052】

各実施の形態における昇華再結晶によるGaN系結晶成長において、原料はGaNの粉末に限られるものではなく、針状結晶、エピタキシャル成長GaN結晶、表面窒化Ga金属、その他の形態をしたものでもよいことはいうまでもなく、Ga金属その他のGa化合物を混合した原料としてもよい。また、供給される雰囲気ガスは上述のものに限られるわけではなく、アルゴンやヘリウムなどの他の不活性ガスを混合してもよく、また、Ga原料の昇華を促進するために、水素などのガスを混合してもよい。さらには、GaNに添加・混合される種々の材料の原料ガス、例えば、シランガスやトリメチルガリウム、トリメチルアルミニウム等を混合してもよい。さらに、雰囲気ガスは、図3に示したように、装置外部から連続的に供給されるものである必要はなく、あらかじめ装置内部に封じ込めた、いわゆる閉管法を用いてもよい。また、図3において、原料を充填するポートと基体との間に、気流を制御するためのオリフィスを設けて対流を抑止する工夫を行うと、島状結晶が高品質化され得る。さらに、昇華再結晶成長装置は、図3に示されたように縦型であ

40

50

る必要はなく、原料、基体が水平に配置されたもの（いわゆる、横型）であってもよい。

【0053】

さらに、各実施の形態におけるGaN連続結晶を得るための成長法は、それぞれ、他のエピタキシャル成長法に置換することができる。

【符号の説明】

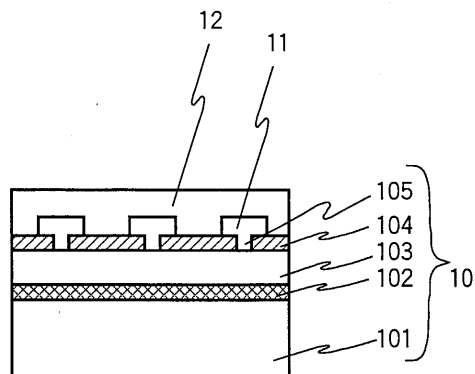
【0054】

- 10, 20, 30 基体
- 11, 21, 31 昇華再結晶法GaN島状結晶
- 12, 22, 32 GaN結晶連続膜
- 101 C面サファイア
- 102 GaNバッファ層
- 103 エピタキシャル成長GaN層
- 104, 204 SiO₂膜
- 105, 205 開口部
- 201 SiC
- 202 AlNバッファ層
- 203, 302 SiN_x膜
- 301 A面サファイア
- 303 開口部
- 130 昇華再結晶法成長装置

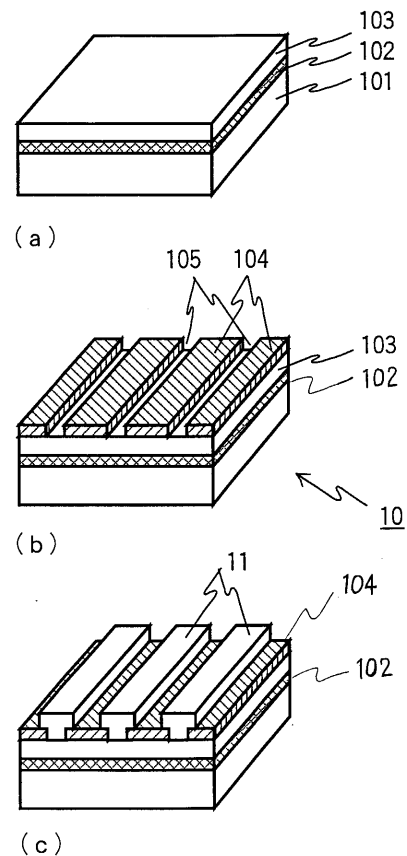
10

20

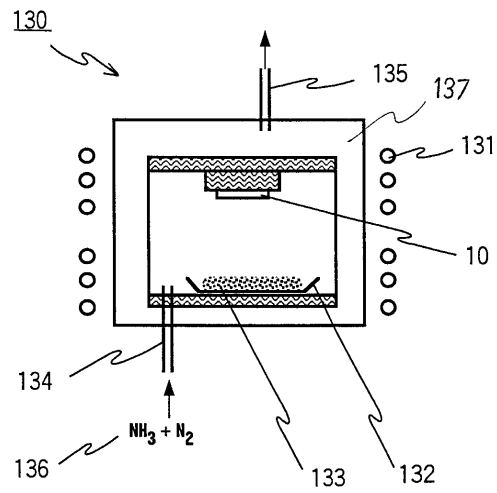
【図1】



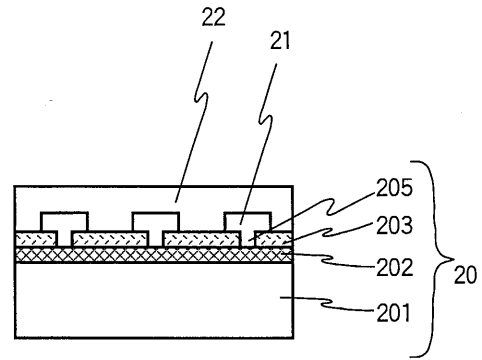
【図2】



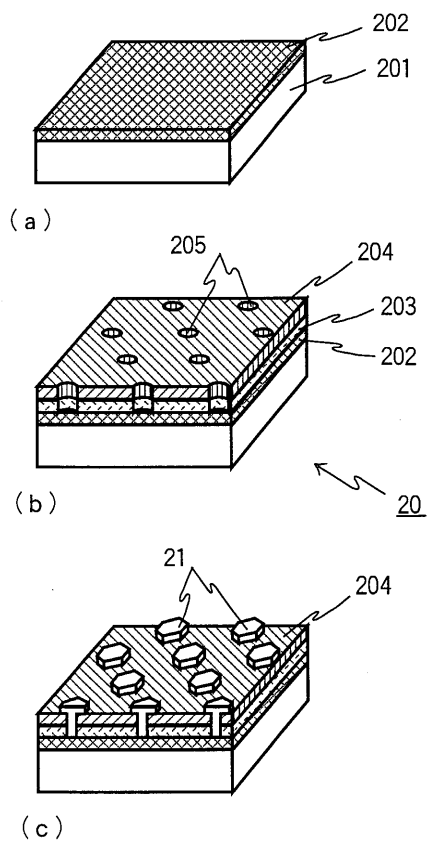
【図 3】



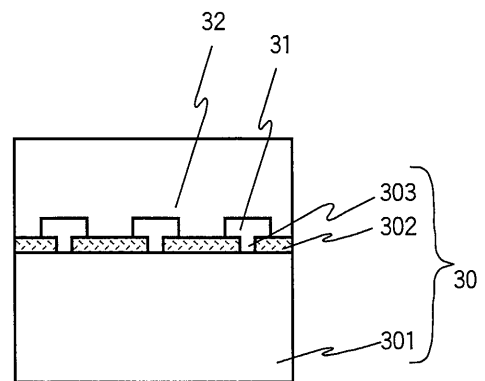
【図 4】



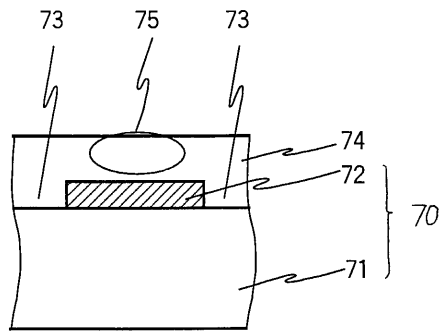
【図 5】



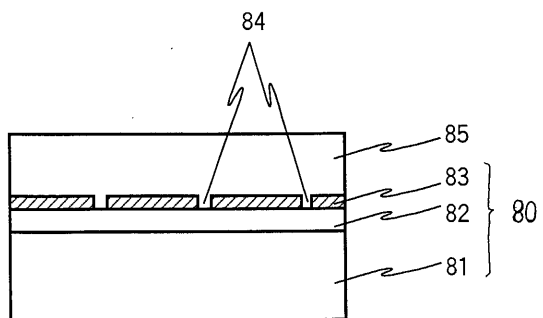
【図 6】



【図 7】



【図 8】



フロントページの続き

審査官 井原 純

(56)参考文献 特開平05-343741 (JP, A)

特開平04-297023 (JP, A)

特開平10-265297 (JP, A)

S.Kurai, et. al., Nucleation Control in the Growth of Bulk GaN by Sublimation Method, Jpn. J. Appl. Phys., 日本, JJAP, 1997年 2月15日, Part2, VOL.36, NO.2B, L184-L186

Ok-Hyun Nam, et. al, Lateral epitaxy of low defect density GaN layers via organometallic vapor phase epitaxy, Appl. Phys. Lett., 米国, American Institute of Physics, 1997年11月 3日, VOL. 71, NO. 18, pp.2638-2640

T. Akasaka, et. al., GaN hexagonal microprisms with smooth vertical facets fabricated by selective metalorganic vapor pha, Appl. Phys. Lett., 米国, American Institute of Physics, 1997年10月13日, VOL. 71, NO. 15, pp.2196-2198

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H01L 21/20

H01L 33/32