

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第5957771号
(P5957771)

(45) 発行日 平成28年7月27日(2016.7.27)

(24) 登録日 平成28年7月1日(2016.7.1)

(51) Int.Cl.	F 1
H01L 21/205	(2006.01)
C23C 16/34	(2006.01)
H01L 33/32	(2010.01)
H01S 5/323	(2006.01)
H01L 21/20	(2006.01)
	HO1L 21/20
	HO1L 33/32
	HO1S 5/323
	HO1L 21/20

請求項の数 17 (全 30 頁)

(21) 出願番号	特願2014-205827 (P2014-205827)
(22) 出願日	平成26年10月6日 (2014.10.6)
(65) 公開番号	特開2015-97261 (P2015-97261A)
(43) 公開日	平成27年5月21日 (2015.5.21)
審査請求日	平成26年10月6日 (2014.10.6)
(31) 優先権主張番号	特願2013-213903 (P2013-213903)
(32) 優先日	平成25年10月11日 (2013.10.11)
(33) 優先権主張国	日本国 (JP)

(73) 特許権者	314012076 パナソニックIPマネジメント株式会社 大阪府大阪市中央区城見2丁目1番61号
(74) 代理人	100101683 弁理士 奥田 誠司
(74) 代理人	100155000 弁理士 喜多 修市
(74) 代理人	100180529 弁理士 梶谷 美道
(74) 代理人	100125922 弁理士 三宅 章子
(74) 代理人	100135703 弁理士 岡部 英隆
(74) 代理人	100188813 弁理士 川喜田 徹

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】窒化物半導体積層構造、半導体発光素子および窒化物半導体積層構造を製造する方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

c 軸に対して 0° 以上 10° 以下のオフ角 を備えた m 面を主面として有するサファイア基板と、

前記サファイア基板の前記主面に複数の露出領域を設けるパターンを有するマスク層であって、前記サファイア基板の c 軸と平行な方向において、前記複数の露出領域のそれらを挟む第 1 の側面部および第 2 の側面部および上面を有するマスク層と、

前記主面の前記複数の露出領域上および前記マスク層の前記第 1 の側面部および前記第 2 の側面部および前記上面の上に設けられた、窒化物半導体からなるバッファ層と、

前記バッファ層上に設けられた窒化物半導体層と、

10

を備え、

前記サファイア基板の m 軸および c 軸に平行な断面において、

前記マスク層の前記第 1 の側面部および第 2 の側面部と前記サファイア基板の前記主面とが接する点がそれぞれ点 A、点 B と定義され、

前記点 B を通り、前記主面から角度 58° - をなす直線と前記第 1 の側面部が交わる点が点 C と定義され、

前記点 C を通り前記主面に垂直な直線と前記点 B を通り前記主面に垂直な直線との間隔が W と定義され、前記第 1 の側面部の高さが H と定義され、

$$H = W \cdot \tan(58^\circ -)$$

の関係を満たしている、窒化物半導体積層構造。

20

【請求項 2】

前記サファイア基板のm軸およびc軸に平行な断面において、

前記正面と、前記第1の側面部と、前記点Bおよび前記点Cを結ぶ直線とによって囲まれる領域が第1の領域と定義され、

前記第2の側面部と、前記点Bおよび前記点Cを結ぶ直線と、前記点Cを通り、前記正面に平行な直線とによって囲まれる領域が第2の領域と定義され、

前記点Cを通り、前記正面に平行な直線より上方の領域が第3の領域と定義され、

前記窒化物半導体層は、前記第1の領域において、前記第2の領域よりも高い転位密度を有する、

請求項1に記載の窒化物半導体積層構造。

10

【請求項 3】

前記窒化物半導体層は、前記第2の領域および前記第3の領域において、同じ転位密度を有する、

請求項2に記載の窒化物半導体積層構造。

【請求項 4】

前記窒化物半導体層は、前記第3の領域において 10^8 cm^{-2} 以下の転位密度を有する、

請求項2又は3に記載の窒化物半導体積層構造。

【請求項 5】

前記窒化物半導体層は、前記第1の領域において 10^{10} cm^{-2} 以上の転位密度を有する、

20

請求項2から4のいずれかに記載の窒化物半導体積層構造。

【請求項 6】

前記窒化物半導体層は、前記第2の領域において、 10^8 cm^{-2} 以下の転位密度を有する、

請求項2から5のいずれかに記載の窒化物半導体積層構造。

【請求項 7】

前記バッファ層は、前記正面の前記複数の露出領域上と前記マスク層上で異なる結晶構造を有する、

請求項1から6のいずれかに記載の窒化物半導体積層構造。

30

【請求項 8】

前記バッファ層は、前記正面の前記複数の露出領域上において、前記窒化物半導体層と同じ面方位を有する、

請求項1から7のいずれかに記載の窒化物半導体積層構造。

【請求項 9】

前記バッファ層は、アルミニウムを含む窒化物半導体によって構成されている、

請求項1から8のいずれかに記載の窒化物半導体積層構造。

【請求項 10】

前記マスク層は、前記サファイア基板のa軸方向に伸びるストライプ構造を有し、前記第1の側面部および第2の側面部は、前記ストライプ構造の隣接する一対のストライプの対向する側面である、

40

請求項1から9のいずれかに記載の窒化物半導体積層構造。

【請求項 11】

前記マスク層は、独立した複数の開口を有し、前記複数の開口の底部に、前記正面の複数の前記露出領域が位置している、

請求項1から9のいずれかに記載の窒化物半導体積層構造。

【請求項 12】

前記複数の開口のそれぞれは円形状を有する、

請求項11に記載の窒化物半導体積層構造。

【請求項 13】

50

前記複数の開口のそれぞれはストライプ形状を有する、
請求項 1 1 に記載の窒化物半導体積層構造。

【請求項 1 4】

請求項 1 から 1 3 のいずれかに規定される窒化物半導体積層構造を備えた電子素子。

【請求項 1 5】

請求項 1 から 1 3 のいずれかに規定される窒化物半導体積層構造を備えた窒化物半導体バルク基板。

【請求項 1 6】

請求項 1 から 1 3 のいずれかに規定される窒化物半導体積層構造と、

前記窒化物半導体積層構造上に位置している他の窒化物半導体積層構造であって、n 型窒化物半導体層と、p 型窒化物半導体層と、前記 n 型窒化物半導体層および前記 p 型窒化物半導体層に挟まれた活性層とを含む、他の窒化物半導体積層構造と、
10

前記 n 型窒化物半導体層に接し、かつ、電気的に接続された n 側電極と、

前記 p 型窒化物半導体層に接し、かつ、電気的に接続された p 側電極と、
を備えた発光素子。

【請求項 1 7】

c 軸に対して 0 ° 以上 10 ° 以下のオフ角 を備えた m 面を主面として有するサファイア基板を用意し、

前記サファイア基板の前記主面に複数の露出領域を設けるパターンを有するマスク層であって、前記サファイア基板の c 軸と平行な方向において、前記複数の露出領域のそれを挟む第 1 の側面部および第 2 の側面部 および上面 を有するマスク層を前記サファイア基板の前記主面上に形成し、
20

前記主面の前記複数の露出領域上および前記マスク層の前記第 1 の側面部および前記第 2 の側面部 および前記上面の上 に窒化物半導体によって構成されるバッファ層を形成し、

前記バッファ層上に窒化物半導体層をエピタキシャル成長させる窒化物半導体積層構造の製造方法であって、

前記サファイア基板の m 軸および c 軸に平行な断面において、

前記マスク層の前記第 1 の側面部および第 2 の側面部と前記サファイア基板の前記主面とが接する点がそれぞれ点 A、点 B と定義され、

前記点 B を通り、前記主面から角度 58 ° - をなす直線と前記第 1 の側面部が交わる点が点 C と定義され、
30

前記点 C を通り前記主面に垂直な直線と前記点 B を通り前記主面に垂直な直線との間隔が W と定義され、前記第 1 の側面部の高さが H と定義され、

$$H = W \cdot \tan(58^\circ - \alpha)$$

の関係を満たしている、窒化物半導体積層構造の製造方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本開示は、窒化物半導体積層構造およびそれを製造する方法に関する。

【背景技術】

【0002】

典型的に、III-V 族窒化物半導体はシリコン半導体に比べて高品位な半導体層を形成することが容易ではない。このため、高品位な半導体層を形成する種々の方法が提案されている。

【0003】

特許文献 1 は、高アスペクト比のストライプマスクを基板上に形成することによって、転位の成長を停止させ、欠陥の少ない III-V 族窒化物半導体層を形成し得る方法を開示している。

【0004】

特許文献 2 は、c 面から傾斜したいわゆる半極性面を主面とする基板上に誘電体マスク

を設け、基板上に窒化物半導体層を成長させることによって、窒化物半導体層中に生成する欠陥を抑制する方法を開示している。

【0005】

非特許文献1は、m面サファイア基板上に非極性面および半極性面を有する窒化物半導体層をエピタキシャル成長させることを開示している。成長された窒化物半導体層は、エピタキシャル成長の条件に依存して、(10-10)面、(11-22)面、および(10-1-3)面からなる群から選択される1つの主面を有すると開示している。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0006】

【特許文献1】米国特許第6809351号明細書（特開2002-270516号公報）

【特許文献2】米国特許第8330144号明細書

【非特許文献】

【0007】

【非特許文献1】Philippe Vennegues et al., "Study of the epitaxial relationships between III-nitrides and M-plane sapphire", Journal of Applied Physics, vol. 108, page 113521 (2010)

【非特許文献2】S.F.Chichibu et al., "Optional properties of nearly stacking-fault-free m-plane GaN homoepitaxial films grown by metal organic vapor phase epitaxy on low defect density freestanding GaN substrates", Applied Physics Letters, vol. 92, page 091912 (2008)

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0008】

本開示の限定的ではない、例示的なある実施形態は、低い転位密度を有する窒化物半導体積層構造およびそれを製造する方法を提供する。

【課題を解決するための手段】

【0009】

本開示の一実施形態による窒化物半導体積層構造は、c軸に対して0°以上10°以下のオフ角 θ を備えたm面を主面として有するサファイア基板と、前記サファイア基板の前記主面に複数の露出領域を設けるパターンを有するマスク層であって、前記サファイア基板のc軸と平行な方向において、複数の露出領域のそれぞれを挟む第1の側面部および第2の側面部を有するマスク層と、前記主面の前記複数の露出領域上および前記マスク層上に設けられた、窒化物半導体からなるバッファ層と、前記バッファ層上に設けられた窒化物半導体層とを備え、前記サファイア基板のm軸およびc軸に平行な断面において、前記マスク層の前記第1の側面部および第2の側面部と前記サファイア基板の前記主面とが接する点がそれぞれ点A、点Bと定義され、前記点Bを通り、前記主面から角度58°- α をなす直線と前記第1の側面部が交わる点が点Cと定義され、前記点Cを通り前記主面上に垂直な直線と前記点Bを通り前記主面上に垂直な直線との間隔がWと定義され、前記第1の側面部の高さがHと定義され、 $H = W \cdot \tan(58^\circ - \alpha)$ の関係を満たしている。

【発明の効果】

【0010】

本開示の一実施形態によれば、低い転位密度を有する窒化物半導体積層構造を得ることが可能となる。

【図面の簡単な説明】

【0011】

【図1】図1は、第1の実施形態による窒化物半導体積層構造の断面図である。

【図2A】図2Aは、第1の実施形態による窒化物半導体積層構造のマスク層の平面図である。

10

20

30

40

50

【図2B】図2Bは、第1の実施形態による窒化物半導体積層構造のマスク層の断面図である。

【図3】図3は、マスク層の他の形態例を示す平面図である。

【図4】図4は、第1の実施形態における窒化物半導体層を形成する途中の窒化物半導体積層構造の断面図である。

【図5】図5は、第1の実施形態における窒化物半導体層を形成する途中の窒化物半導体積層構造の他の断面図である。

【図6】図6は、第2の実施形態による発光素子の断面図である。

【図7】図7は、第3の実施形態による発光装置の断面図である。

【図8A】図8Aは、実施例による窒化物半導体積層構造を製造する方法の一工程における平面図である。 10

【図8B】図8Bは、図8AのL8-L8'断面図である。

【図9A】図9Aは、実施例による窒化物半導体積層構造を製造する方法の、他の一工程における平面図である。

【図9B】図9Bは、図9AのL9-L9'断面図である。

【図10A】図10Aは、実施例による窒化物半導体積層構造を製造する方法の、他の一工程における平面図である。 20

【図10B】図10Bは、図10AのL10-L10'断面図である。

【図11A】図11Aは、実施例による窒化物半導体積層構造を製造する方法の、他の一工程における平面図である。

【図11B】図11Bは、図11AのL11-L11'断面図である。

【図12】図12は、実施例1による、マスク層を備えた基板の断面写真を示す図である。 20

【図13】図13は、比較例1による窒化物半導体積層構造のX線回折プロファイルを示す図である。

【図14A】図14Aは、比較例1による窒化物半導体積層構造の断面走査型電子顕微鏡像(SEM像)を示す図である。

【図14B】図14Bは、実施例1による窒化物半導体積層構造の断面走査型電子顕微鏡像(SEM像)を示す図である。 30

【図14C】図14Cは、参考例Aによる窒化物半導体積層構造の断面走査型電子顕微鏡像(SEM像)を示す図である。

【図15】図15は、10Kの低温下における比較例1および実施例1による窒化物半導体層300の発光スペクトルを示す図である。

【図16A】図16Aは、参考例Aによる窒化物半導体積層構造の断面透過型電子顕微鏡像(以下、「TEM像」という)を示す図である。

【図16B】図16Bは、図16Aに描かれた破線によって囲まれた領域の拡大像を示す図である。

【図16C】図16Cは、図16Bに描かれた破線によって囲まれた領域の拡大像を示す図である。 40

【図17A】図17Aは、参考例Aによる窒化物半導体積層構造のサンプル面内の所定箇所における表面モフォロジーを示す図である。

【図17B】図17Bは、参考例Aによる窒化物半導体積層構造のサンプル面内の異なる箇所における表面モフォロジーを示す図である。

【図17C】図17Cは、参考例Aによる窒化物半導体積層構造のサンプル面内のさらに異なる箇所における表面モフォロジーを示す図である。

【図18A】図18Aは、実施例1による窒化物半導体積層構造の表面モフォロジーを示す図である。

【図18B】図18Bは、実施例1による窒化物半導体積層構造の表面モフォロジーの拡大図を示す図である。

【図19A】図19Aは、実施例1による窒化物半導体積層構造の断面TEM像を示す図 50

である。

【図19B】図19Bは、図19Aの中心付近の拡大像を示す図である。

【図19C】図19Cにおいて、(a)は図19Bの縮小像を示す図であり、(b)は、(a)の実線によって囲まれた領域の拡大像を示す図である。

【図20A】図20Aは、比較例1による窒化物半導体積層構造の表面モフォロジーを示す図である。

【図20B】図20Bは、参考例1による窒化物半導体積層構造の表面モフォロジーを示す図である。

【図20C】図20Cは、参考例2による窒化物半導体積層構造の表面モフォロジーを示す図である。

10

【発明を実施するための形態】

【0012】

(本開示に至った経緯)

本発明者は、特許文献2に開示された欠陥を抑制する方法を詳細に検討した。特許文献2に開示された方法によれば、下地層として窒化物半導体層を用いる。そのため、特許文献2に開示された方法は、サファイア基板上に半極性面の窒化物半導体層を形成し、その上に誘電体層を形成し、その上に半極性面の窒化物半導体層を成長させる。つまり、窒化物半導体層の結晶成長工程が二度必要であるため、製造コストが増大し、製造に要する時間が長くなる。

【0013】

20

本開示発明者はこのような課題に鑑み、新規な窒化物半導体積層構造を想到した。本開示の一実施形態にかかる窒化物半導体積層構造は、特許文献2とは異なり、サファイア基板上に直接誘電体マスクパターンを形成し、その上に半極性面の窒化物半導体層を成長する構造および方法を用いる。これにより、サファイア基板に誘電体マスクパターニングを施した後、結晶成長を行うことができるため、結晶成長工程が一度で済み、製造コストを大幅に低減することができる。また、サファイア基板と窒化物半導体層との界面で発生した斜め方向に伝搬する欠陥を、誘電体マスク側面においてロックし得るため、半極性面の窒化物半導体層の表面における欠陥密度を低減し、結晶品質を向上させることができる。具体的には、一実施形態による窒化物半導体積層構造は以下のとおりである。

【0014】

30

(実施形態の概要)

本開示の一実施形態による窒化物半導体積層構造は、c軸に対して0°以上10°以下のオフ角 θ を備えたm面を主面として有するサファイア基板と、前記サファイア基板の前記主面に複数の露出領域を設けるパターンを有するマスク層であって、前記サファイア基板のc軸と平行な方向において、前記複数の露出複数の領域のそれぞれを挟む第1の側面部および第2の側面部を有するマスク層と、前記主面の前記複数の露出領域上および前記マスク層上に設けられた、窒化物半導体からなるバッファ層と、前記バッファ層上に設けられた窒化物半導体層とを備え、前記サファイア基板のm軸およびc軸に平行な断面において、前記マスク層の前記第1の側面部および第2の側面部と前記サファイア基板の前記主面とが接する点がそれぞれ点A、点Bと定義され、前記点Bを通り、前記主面から角度58°- α をなす直線と前記第1の側面部が交わる点が点Cと定義され、前記点Cを通り前記主面に垂直な直線と前記点Bを通り前記主面に垂直な直線との間隔がWと定義され、前記第1の側面部の高さがHと定義され、 $H = W \cdot \tan(58^\circ - \alpha)$ の関係を満たしている。

40

【0015】

前記サファイア基板のm軸およびc軸に平行な断面において、前記主面と、前記第1の側面部と、前記点Bおよび前記点Cを結ぶ直線とによって囲まれる領域が第1の領域と定義され、前記第2の側面部と、前記点Bおよび前記点Cを結ぶ直線と、前記点Cを通り、前記主面に平行な直線とによって囲まれる領域が第2の領域と定義され、前記点Cを通り、前記主面に平行な直線より上方の領域が第3の領域と定義され、前記窒化物半導体層は

50

、例えば、前記第1の領域において、前記第2の領域よりも高い転位密度を有していてもよい。

【0016】

前記窒化物半導体層は、例えば、前記第2の領域および前記第3の領域において、同じ転位密度を有していてもよい。

【0017】

前記窒化物半導体層は、例えば、前記第3の領域において 10^8 cm^{-2} 以下の転位密度を有していてもよい。

【0018】

前記窒化物半導体層は、例えば、前記第1の領域において 10^{10} cm^{-2} 以上の転位密度を有していてもよい。 10

【0019】

前記窒化物半導体層は、例えば、前記第2の領域において、 10^8 cm^{-2} 以下の転位密度を有し

ていてもよい。

【0020】

前記バッファ層は、例えば、前記正面の前記複数の露出領域上と前記マスク層上で異なる結晶構造を有していてもよい。

【0021】

前記バッファ層は、例えば、前記正面の前記複数の露出領域上において、前記窒化物半導体層と同じ面方位を有していてもよい。 20

【0022】

前記バッファ層は、例えば、アルミニウムを含む窒化物半導体によって構成されていてもよい。

【0023】

前記マスク層は、例えば、前記サファイア基板の a 軸方向に伸びるストライプ構造を有し、前記第1の側面部および第2の側面部は前記ストライプ構造の隣接する一対のストライプの対向する側面であってもよい。

【0024】

前記マスク層は、例えば、独立した複数の開口を有し、前記複数の開口の底部に、前記正面の複数の前記露出領域が位置していてもよい。 30

【0025】

前記複数の開口のそれぞれは、例えば、円形状を有していてもよい。

【0026】

前記複数の開口のそれぞれは、例えば、ストライプ形状を有していてもよい。

【0027】

本開示の一実施形態による電子素子は、上記いずれかに規定される窒化物半導体積層構造を備える。

【0028】

本開示の一実施形態による窒化物半導体バルク基板は、上記いずれかに規定される窒化物半導体積層構造を備える。 40

【0029】

本開示の一実施形態による発光素子は、上記いずれかに規定される窒化物半導体積層構造と、前記窒化物半導体積層構造上に位置している他の窒化物半導体積層構造であって、n 型窒化物半導体層と、p 型窒化物半導体層と、前記 n 型窒化物半導体層および前記 p 型窒化物半導体層に挟まれた活性層とを含む、他の窒化物半導体積層構造と、前記 n 型窒化物半導体層に接し、かつ、電気的に接続された n 側電極と、前記 p 型窒化物半導体層に接し、かつ、電気的に接続された p 側電極とを備える。

【0030】

本開示の一実施形態による窒化物半導体積層構造の製造方法は、c 軸に対して 0° 以上

50

10°以下のオフ角を備えたm面を主面として有するサファイア基板を用意し、前記サファイア基板の前記主面に複数の露出領域を設けるパターンを有するマスク層であって、前記サファイア基板のc軸と平行な方向において、前記複数の露出領域のそれぞれを挟む第1の側面部および第2の側面部を有するマスク層を前記サファイア基板の前記主面上に形成し、前記主面の前記複数の露出領域上および前記マスク層上に窒化物半導体によって構成されるバッファ層を形成し、前記バッファ層上に窒化物半導体層をエピタキシャル成長させる窒化物半導体積層構造の製造方法であって、前記サファイア基板のm軸およびc軸に平行な断面において、前記マスク層の前記第1の側面部および第2の側面部と前記サファイア基板の前記主面とが接する点がそれぞれ点A、点Bと定義され、前記点Bを通り、前記主面から角度58°-をなす直線と前記第1の側面部が交わる点が点Cと定義され、前記点Cを通り前記主面に垂直な直線と前記点Bを通り前記主面に垂直な直線との間隔がWと定義され、前記第1の側面部の高さがHと定義され、 $H = W \cdot \tan(58^\circ -)$ の関係を満たしている。
10

【0031】

(第1の実施形態)

以下、図面を参照しながら本開示の実施形態の一例を説明する。

【0032】

図1は、本実施形態による窒化物半導体積層構造の断面図を示す。図1に示すように、窒化物半導体積層構造51は、基板100、バッファ層110、マスク層121(図2A)および窒化物半導体層300を備えている。以下、各構成要素の具体例を詳細に説明する。
20

【0033】

[基板100]

基板100は、m面を主面100aとするサファイア基板である。本開示において「m面」とは、(1-100)面およびそれと等価な面、ならびに、それらの面に対して10°以下のオフ角を備えた面を意味する。(1-100)面と等価な面は、(-1100)面、(01-10)面、(0-110)面、(10-10)面、および(-1010)面を含む。図1では、基板100は、主面100aの法線がm軸と一致しており、c軸に対して主面のオフ角が0°である。つまり、図1において、Y軸は、サファイア基板のc軸であり、Z軸はm軸であり、X軸はa軸である。サファイア基板は、c軸に対してオフ角を有するm面基板であってもよい。具体的には、m軸が主面100aの法線方向からc軸方向に0°以上10°以下の角度で傾斜している主面を有するサファイア基板であってもよい。本開示において、このようなオフ角を有する主面も「m面」と呼ぶことがある。
30

【0034】

また、基板100は、窒化物半導体基板であってもよい。この場合、基板100の<1-100>方向がX軸と一致し、<11-2-3>方向がY軸と一致し、<11-22>方向がZ軸と一致する。Z軸は、窒化物半導体積層構造51の積層方向に平行であり、X軸およびY軸は、積層方向に直交する。

【0035】

なお、窒化物半導体からなる基板100は、0°以上10°以下の角度で傾斜している主面を有していてもよい。その場合、主面の法線が、<11-22>軸から+c軸方向に、0度以上10度以下の範囲で傾斜している。ちなみに、主面の法線が、<11-22>軸から+c軸方向に、10度傾斜している場合、その主面は(11-23)面とほぼ等価である。
40

【0036】

[マスク層121]

マスク層121は、基板100の主面100a上に設けられる。図2Aは基板100の主面100a上に設けられたマスク層121の平面図である。図2Bは、図2AにおけるL2-L2'断面図である。図1、図2Aおよび図2Bに示すように、マスク層121は、主面100aの複数の領域100bを露出するパターンを有している。本実施形態では
50

、マスク層121は、ストライプ構造を備えている。具体的には、ストライプ構造は、X方向に伸びる棒状の単位パターンがY方向に所定の間隔を隔てて配置されたパターンを有する。マスク層121は、図1に示すように、各露出した領域100bを挟む第1の側面部122aおよび第2の側面部123bを含む。図1に示される例では、隣接する単位パターン121aおよび単位パターン121bにおいて、単位パターン121aの側面のうち単位パターン121bに対向する側面が、第1の側面部122aであり、単位パターン121bの側面のうち単位パターン121aに対向する側面が、第2の側面部123bである。隣接する単位パターン121aおよび単位パターン121bによって形成される開口121wにおいて、基板100の主面100aの領域100bが露出している。本開示では、この領域100bを「露出領域」と呼ぶことがある。

10

【0037】

マスク層121のパターンはストライプ構造に限られない。図3は、他のパターンを有するマスク層121の例の平面図を示す。図3に示すように、マスク層は、独立した複数の開口121wを有していてもよい。独立したとは、開口121w同志が接続されていないことをいう。図3では、開口121wは円形である。しかし、開口121wの形状は、正方形、長方形、多角形、または橢円であってもよい。開口121wの底部において主面100aの領域100bが露出する。複数の開口121wの配置に特に制限はなく、2次元に配列されておればよい。

【0038】

図3に示すように、開口121wを規定するマスクのうち、Y方向に面する部分が、第1の側面部122aおよび第2の側面部123bである。図3におけるL3-L3'断面は図1と同様の構造を有する。

20

【0039】

マスク層121の材料に特に制限はない。マスク層121が形成された後に、マスク層121を覆ってバッファ層110および窒化物半導体層300が形成される。そのため、マスク層121は、バッファ層110および窒化物半導体層300を形成するための温度や雰囲気によって、形状変化や組成変化が生じない材料によって構成することができる。たとえば、マスク層121は、酸化ケイ素、または窒化ケイ素などの誘電体無機材料によって構成してもよい。マスク層121は、たとえば、酸化ケイ素によって構成してもよい。

30

【0040】

図1に示すように、本実施形態では、単位パターン121aおよび単位パターン121bはY軸およびZ軸を含む平面において、台形形状を有する。単位パターン121aは、上面125a、底面124a、第2の側面部123bおよび第1の側面部122aを有する。同様に、単位パターン121bは、上面125b、底面124b、第2の側面部123bおよび第1の側面部122aを有する。

【0041】

第1の側面部122aと主面100aとがなす角度は、60°以上90°以下であってもよい。同様に、第2の側面部123bと主面100aとがなす角度も、60°以上90°以下であってもよい。ここで、角度は、台形形状の内角として規定する。角度が60°未満である場合、マスク層121の単位パターンの幅が広くなり、マスク層121が主面100aを覆う面積が広くなってしまう。一方、90°を超える角度を有するマスク層121を形成することは困難な場合がある。

40

【0042】

図1に示すように、Y軸およびZ軸に平行な断面において、マスク層121の第1の側面部122aと基板100の主面100aとが接する点を点Aと定義する。マスク層121の第2の側面部123bと基板100の主面100aとが接する点を点Bと定義する。また、点Bを通り主面100aから角度をなす直線L1と、第1の側面部122aとが交わる点を点Cと定義する。

【0043】

50

点Cを通り主面100aに垂直な直線L4と点Bを通り主面100aに垂直な直線L3との間隔をWと定義する。点Cを通り主面100aと平行な直線L2と第2の側面部123bとが交わる点を点Dと定義する。第1の側面部122aの高さをHと定義する。

高さHと間隔Wと角度 θ とは以下の関係式(1)、(2)を満たしている。つまり、マスク層121は、式(1)、(2)を満たす形状を備えている。

$$H = W \cdot \tan \theta \quad \dots \dots \dots (1)$$

$$48^\circ \quad 58^\circ \quad \dots \dots \dots (2)$$

なお、後述するように、基板100の主面が角度 θ のオフ角を備える場合において、 $48^\circ < \theta < 58^\circ$ の関係を満たす。

【0044】

[バッファ層110]

バッファ層110は、主面100aの露出した領域100bおよびマスク層121上に設けられる。バッファ層110は、窒化物半導体から形成される。本開示において「窒化物半導体」は、組成式 $A_{1-x}I_{ny}Ga_zN$ (ここで、 $0 < x < 1$ 、 $0 < y < 1$ 、 $0 < z < 1$ 、および $x + y + z = 1$)で示される半導体を意味する。

【0045】

また、この窒化物半導体は、半導体に導電性を付与するための不純物元素を含んでいてもよい。例えば、n型伝導制御のためにSiやGeを含んでいてもよく、p型伝導制御のためにMgを含んでいてもよい。また格子定数を制御するためにBを含んでいてもよい。

【0046】

バッファ層110において、主面100aの露出した領域100b上に位置する部分と、マスク層121(図1では、単位パターン121a、121b)上に位置する部分とは、互いに異なる結晶構造を有する。具体的には、バッファ層110のうち、主面100aの露出した領域100b上に位置する部分は単結晶構造を有し、マスク層121(単位パターン121a、121b)上に位置する部分は、多結晶構造、または、アモルファス構造を有する。特に、本実施形態では、主面100aの露出した領域100b上に位置する部分は、(11-22)面を主面とする結晶構造を有する。これは、本実施形態における結晶成長プロセスが、後述する比較例1と同様の結晶成長プロセスであることからも確認できる。バッファ層110のうち、主面100aの露出した領域100b上の部分は、基板100の結晶構造を反映したエピタキシャル成長によって形成される。一方、バッファ層110のうち、マスク層121上の部分はアモルファス構造あるいは、エピタキシャル成長せずに形成された結晶構造を備える。このため、上述した結晶構造の差異が生じる。

【0047】

バッファ層110は、マスク層121上および主面100aの露出した領域100b上に一様に、つまり、概ね均一な厚さおよびモフォロジーで形成されてもよい。例えば、比較的低温でバッファ層110を成長させてもよい。温度は、例えば、400以上800以下としてもよく、さらに、400以上650以下としてもよい。低温で成長させることにより、成長中の原料のマイグレーションを抑制し、下地を反映し、場所によって結晶構造が異なるバッファ層110を形成することができる。

【0048】

バッファ層110を構成する窒化物半導体層は、Al(アルミニウム)を含んでもよい。バッファ層110を構成する窒化物半導体層は、Alを含むことにより、例えばAlNまたはAlGaN三元混晶のように、GaNに比べてマイグレーションしにくい材料となりうる。

【0049】

なお、本実施形態において、バッファ層110は、基板100の表面、つまり露出した領域100b上にのみ形成されていてもよい。マスク層121表面に形成されるバッファ層110は、除去されてもよいし、意図的に露出した領域100bのみにバッファ層110を形成してもよい。例えば、バッファ層110を形成後、成長炉内で昇温して、熱処理によりマスク層121上に形成された多結晶ライクなバッファ層を除去することも可能である。もしくは、

10

20

30

40

50

マストランスポート法などにより、領域 100b にのみバッファ層 110 を形成してもよい。

【0050】

バッファ層 110 は、領域 100b 上において、1 nm 以上 500 nm 以下の厚さを有してもよい。領域 100b 上に位置する単結晶構造のバッファ層 110 は、サファイア基板 100 の表面に比べて、窒化物半導体結晶の核形成を生じやすくし、窒化物半導体の選択成長を促進する。よって、バッファ層 110 の厚さは、選択成長時に核形成が起きやすくなることができる範囲内で、可能なかぎり小さくてもよい。しかし、バッファ層 110 の厚さは、窒化物半導体層 300 の結晶性にも影響するため、適宜選択することができ、例えば、20 nm 以上 200 nm 以下であってもよい。

10

【0051】

[窒化物半導体層 300]

窒化物半導体層 300 は、バッファ層 110 上に位置し、窒化物半導体によって構成される。図 1 に示すように、窒化物半導体層 300 は、マスク層 121 の第 1 の側面部 122a および第 2 の側面部 123b、ならびに、それらの間に形成されたバッファ層 110 に接している。

【0052】

図 1 に示すように、Y 軸および Z 軸を含む断面において、第 1 の領域 G1、第 2 の領域 G2 および第 3 の領域 G3 を定義する。第 1 の領域 G1 は、正面 100a と、第 1 の側面部 122a と、点 B および点 C を結ぶ直線 L1 とによって囲まれる。第 2 の領域 G2 は、第 2 の側面部 123b と、直線 L1 と、点 C を通り、正面 100a に平行な直線 L2 とによって囲まれる。第 3 の領域 G3 は、直線 L2 より上方の領域である。

20

【0053】

窒化物半導体層 300 は、以下において詳細に説明するように、バッファ層 110 のうち領域 100b 上の部分の結晶性を反映したエピタキシャル成長層である。より具体的には、窒化物半導体層 300 は、(11-22) 面を正面に有する単結晶構造を備え、<11-22> 方向に配向している。窒化物半導体層 300 の上面の法線方向は Z 軸に平行であるので、窒化物半導体層 300 の <11-22> 方向が Z 軸に平行である。窒化物半導体層 300 の m 軸、すなわち、<1-100> 方向が X 軸に平行であり、窒化物半導体層 300 の <-1-123> 方向が Y 軸に平行である。

30

【0054】

なお、基板 100 が、角度 のオフ角を備える m 面サファイア基板である場合、窒化物半導体層 300 の <11-22> 方向は、Z 軸から -c 軸方向に角度 だけ傾斜しており、<1-100> 方向は X 軸にほぼ平行であり、<-1-123> 方向は、Y 軸から -c 軸方向に角度 だけ傾斜している。

【0055】

図 1 に示す断面において、窒化物半導体層 300 の c 軸は直線 L1 に垂直であり、a 軸は直線 L1 に平行である。窒化物半導体は、c 軸方向に対して反転対称性を有さない。図 1 に示される c 軸方向は、+c 軸方向を指し示す。

40

【0056】

なお、基板 100 が、角度 のオフ角を備える m 面サファイア基板である場合においても、窒化物半導体層 300 の c 軸は直線 L1 に垂直であり、a 軸は直線 L1 に平行である。別の言い方をすれば、m 面サファイア基板のオフ角が であるとき、正面 100a から角度 = 58° - をなす直線を直線 L1 と定義することにより、直線 L1 は窒化物半導体層 300 の c 軸に垂直かつ、a 軸は直線 L1 に平行となる。

【0057】

マスク層 121 の形状が、Y 軸および Z 軸を含む任意の断面において、上述した式(1)、(2)の関係を満たす場合、窒化物半導体層 300 は、第 1 の領域 G1、第 2 の領域 G2 および第 3 の領域 G3 において、異なる転位密度を有する。具体的には、窒化物半導体層 300 は、第 1 の領域 G1 において、第 2 の領域 G2 よりも高い転位密度を有する。

50

第2の領域G2および第3の領域G3における窒化物半導体層300の転位密度はほぼ等しい。例えば、窒化物半導体層300は、第1の領域G1において 10^{10} cm^{-2} 以上の転位密度を有し、第2の領域G2および第3の領域G3において、 10^8 cm^{-2} 以下の転位密度を有する。これは、窒化物半導体層300の形成初期に生成する転位がマスク層121によって遮断あるいは抑制されるからである。以下、窒化物半導体層300の形成と転位密度との関係を詳細に説明する。

【0058】

図4に示すようにバッファ層110上に窒化物半導体層300をエピタキシャル成長させる場合、バッファ層110のうち領域100b上の部分において、原料が優先的に分解し、核が形成される。一方、バッファ層110のうちマスク層121上の部分においては、核が形成されにくい。これは、上述したバッファ層110の結晶構造の違いによる。
10

【0059】

また、窒化物半導体層300は、基板100の主面100a、つまりm面を主面とするサファイア基板上に、バッファ層110を介して、エピタキシャル成長していく。このエピタキシャル成長層は+c軸方向に成長するが、成長後において主面が(11-22)面となる窒化物半導体層300が成長する。

【0060】

基板100がm面サファイア基板である場合、m面サファイア基板とバッファ層110との間の格子不整合、および、バッファ層110と窒化物半導体層300との間の格子不整合のため、第1の領域G1において形成された窒化物半導体層300は、多くの転位200を含む。言い換えると、基板100は、第1の領域G1に含まれる転位200を引き起こす。転位200は、図4において、破線で示されている。この破線は、転位線とも呼ばれる。転位200の密度は、 10^{10} cm^{-2} 以上である。
20

【0061】

これらの転位200は、窒化物半導体層300のc軸に直交する傾向を有する。言い換えると、これらの転位200は、窒化物半導体層300のc面に平行であり、c面内に形成される傾向がある。この場合、c面は、すべり面である。本開示における「転位」は、積層欠陥を含み得る。ただし、積層欠陥は面欠陥の1種であり、積層欠陥はc面に形成され得る。これに対し、転位は線欠陥の1種である。特許文献1に開示されているように、転位は、成長方向およびファセット面に応じて、屈曲し得る。一方、積層欠陥は屈曲しない。本開示における「転位」は、成長方向またはファセット面に応じて屈曲した転位を含む。
30

【0062】

窒化物半導体層300が成長し続けると、図5に示すように、直線L1を超えて、窒化物半導体層300が成長する。窒化物半導体層300の直線L1を超えた部分は、第2の領域G2に位置する。第2の領域G2に位置する窒化物半導体層300は、以下3つの理由のため、低い転位密度を有すると考えられる。

【0063】

《理由A》 第2の領域G2は、転位200を引き起こす基板100に接しない。

【0064】

《理由B》 第1の領域G1に含まれる転位200は、窒化物半導体層300のc軸に直交する。そのため、第1の領域G1に含まれる転位200は、窒化物半導体層300のc軸に平行な方向に沿ってエピタキシャル成長する第2の領域G2に現れない。言い換えると、第1の領域G1に含まれる転位200は、第2の領域G2に引き継がれない。
40

【0065】

《理由C》 マスク層121上に形成されたバッファ層110は転位をほとんど引き起こさない。

【0066】

このようにして、低い転位密度を有する窒化物半導体層300が第2の領域G2において成長する。より具体的には、上述したように、窒化物半導体層300は、例えば、第2
50

の領域 G 2 において 10^8 cm^{-2} 以下の転位密度を有する。

【 0 0 6 7 】

窒化物半導体層 300 はさらに第 3 の領域 G 3 においてエピタキシャル成長する。この際、マスク層 121 が式(1)、(2)の関係を満たしていることにより、Y 軸および Z 軸を含む任意の断面において、第 1 の領域 G 1 は、第 1 の側面部 122a によって区切れられ、第 3 の領域 G 3 とは実質的に接触しない。言い換えれば、Y 軸および Z 軸を含む任意の断面において、第 1 の領域 G 1 および第 2 の領域 G 2 は、マスク層 121 の開口内に位置する。これは、窒化物半導体層 300 の第 1 の領域 G 1 にある転位 200 が、第 3 の領域 G 3 から空間的に隔てられており、第 3 の領域 G 3 において成長する窒化物半導体層 300 には転位 200 が伝播しないことを意味する。ただし、厳密には Y 軸および Z 軸を含む任意の断面を見た場合、第 1 の領域 G 1 は第 3 の領域 G 3 と点 C を通り X 軸に平行な直線で接する。この直線は、数学的な意味での直線であるため、上述した転位 200 の伝播を生じさせるような実質的な面積を有しない。したがって、第 1 の領域 G 1 に含まれる転位 200 は、第 3 の領域 G 3 には引き継がれない。10

【 0 0 6 8 】

W の値は、例えば 100 nm 以上 5 μm 以下である。また、領域 100b の y 方向の幅は、例えば 100 nm 以上 5 μm 以下である。

【 0 0 6 9 】

このように、窒化物半導体層 300 は、第 2 の領域 G 2 において形成された後、第 3 の領域 G 3 において形成される。そのため、第 3 の領域 G 3 は、第 2 の領域 G 2 と同様、低い転位密度を有する。20

【 0 0 7 0 】

また、第 1 の領域 G 1 における窒化物半導体層 300 の成長面の法線は、+c 軸方向に平行である。このため、第 2 の領域 G 2 においては、-c 軸方向のエピタキシャル成長は起きない。同様に、第 3 の領域 G 3 においてもまた、-c 軸方向のエピタキシャル成長は起きない。+c 軸方向に沿ってエピタキシャル成長された層は、-c 軸方向に沿ってエピタキシャル成長された層よりも、高い表面平坦性および高い結晶性を有する。

【 0 0 7 1 】

このように、マスク層 121 が、窒化物半導体層 300 の第 1 の領域 G 1 に含まれる転位 200 が、第 2 の領域 G 2 および第 3 の領域 G 3 に引き継がれることを抑止する。従って、窒化物半導体層 300 は、第 2 の領域 G 2 および第 3 の領域 G 3 において、例えば 10^8 cm^{-2} 以下という低い転位密度を有する。このため、窒化物半導体層 300 の上にさらに他の窒化物半導体層を形成し、半導体素子を作製した場合でも、他の窒化物半導体層における転位密度を低減することができる。すなわち窒化物半導体層 300 の上に他の窒化物半導体層を形成した半導体素子は、優れた特性を有することが可能となる。30

【 0 0 7 2 】

なお、後述する参考例 1 に示すように、c 軸に対して 5° のオフ角を有する m 面サファイア基板を基板 100 として用いた場合、(11-22) 面の主面を有する窒化物半導体層 300 は、 53° ($= 58^\circ - 5^\circ$) の角度を有する。参考例 2 に示すように、c 軸に対して 10° のオフ角を有する m 面サファイア基板を基板 100 として用いた場合、(11-22) 面の主面を有する窒化物半導体層 300 は、 48° ($= 58^\circ - 10^\circ$) の角度を有する。 $\theta = 48^\circ$ とは、(11-23) 面を主面とする窒化物半導体層 300 でもある。従って、角度 θ は、 48° 以上 58° 以下の範囲に収まる。40

【 0 0 7 3 】

すなわち、c 軸に対して角度 θ のオフ角を有する m 面サファイア基板を基板 100 として用いた場合、角度 θ は $58^\circ - 5^\circ$ となる。そして、角度 θ が 0° 以上 10° 以下の範囲であるため、角度 θ は 48° 以上 58° 以下の範囲に収まる。したがって、上記式(1)および式(2)は、次の式(3)および式(4)と同じ範囲を示す。

$$\begin{aligned} H &= W \cdot \tan(58^\circ - \theta) \dots \dots (3) \\ 0^\circ &\leq \theta \leq 10^\circ \dots \dots (4) \end{aligned}$$

また、c 軸に対して角度 θ のオフ角を有するm面サファイア基板を基板100として用いた場合、実際には、窒化物半導体層の主面は(11-22)面から角度 θ だけ傾斜している。具体的には、窒化物半導体層の<11-22>方向が、主面の法線方向に対してc軸方向に角度 θ だけ傾斜している。本開示では、簡便のため、そのようなオフ角を有する窒化物半導体層に対しても、(11-22)面の主面を有する窒化物半導体層と呼ぶことがある。

【0074】

角度 θ は、図1に示したように、窒化物半導体の主面とc面との角度差で定義される。式(1)において明らかなように、本実施形態の効果を得るのに必要なマスク層121の高さHは、この θ に依存する。例えば、マスクの開口121W(つまり式(1)におけるW)が2 μm であって、かつ、c面との角度差 $\theta = 58^\circ$ である(11-22)面を主面とする窒化物半導体層の場合、必要なHは3.2 μm 以上となる。つまり、1.6以上の比較的高いアスペクト比を持つマスク層121を形成して、窒化物半導体層の選択成長を実現する必要がある。
10

【0075】

なお、本開示において、マスク層のアスペクト比は、マスク層の開口の幅Wに対する、マスク層の高さHを意味する。

【0076】

典型的に、アスペクト比が高いマスク構造を用いた選択成長では、原料が基板表面まで届きにくくなるため、選択成長が起き難くなったり、面内において不均一性が発生したりする場合がある。よって、選択成長を実施するという観点から、上記式(1)および式(2)を満たす範囲内で、アスペクト比が低くしてもよい。
20

【0077】

もし、角 θ が小さい半極性面の窒化物半導体層300を用いることができれば、マスク高さHも低くすることができる。

【0078】

例えば、 $\theta = 48^\circ$ の場合、必要なHは2.2 μm となり、アスペクト比を約1まで低減できる。

【0079】

後ほど、実施例1、ならびに、参考例Aおよび参考例Bにおいて、(11-22)面を主面とする窒化物半導体層構造を検討した結果を説明する。また、参考例1および参考例2において、(11-22)面を基準に角度 θ を10°までオフした窒化物半導体積層構造を検討した結果を説明する。上述した説明および後述する実験結果の説明から、半極性面の窒化物半導体層構造に対して本実施形態の構造や方法を適用した場合に、上述した効果と同様の効果が得られることがわかる。なお、半極性面の窒化物半導体層構造は、典型的に、c面が窒化物半導体層内に傾斜して存在し、且つ、結晶内に存在する転位や欠陥が主にc面内に形成されやすい。例えば、 $\theta = 39^\circ$ 付近の(11-24)面を主面とする窒化物半導体積層構造や、c面がm軸方向に傾斜した(30-31)面や(20-21)面を主面とする窒化物半導体積層構造に上述のマスク層を適用してもよい。
30

【0080】

ただし、(20-21)面を主面とする窒化物半導体層に本実施形態のマスク構造を適用した場合、 $\theta = 75^\circ$ となるため、本実施形態の効果と同様の効果を得るためにマスク構造の高さHは7.5 μm 以上(W=2 μm の場合)となる。すなわち、3.7という非常に高いアスペクト比のマスク構造が必要になる。
40

【0081】

[製造方法]

本実施形態による窒化物半導体積層構造は、基板上に、(11-22)面の主面を有する窒化物半導体層をエピタキシャル成長させる典型的な方法によって製造され得る。m面サファイア基板上に、(11-22)面の主面を有する窒化物半導体層をエピタキシャル成長させる方法については、例えば非特許文献1を参照することができる。本実施形態の
50

窒化物半導体積層構造の製造方法の一例は、以下の実施例において、詳細に説明する。

【0082】

(第2の実施形態)

第1の実施形態にかかる窒化物半導体積層構造は、発光素子の窒化物半導体バルク基板に使用されてもよい。

【0083】

図6は、第2の実施形態の発光素子52を模式的に示している。図6に示す発光素子52には、第1の実施形態の窒化物半導体積層構造51が適用されうる。

【0084】

発光素子52は、窒化物半導体積層構造51と窒化物半導体積層構造51上に位置している窒化物半導体積層構造30とを備える。図6において、窒化物半導体積層構造51のマスク層121およびバッファ層110は省略されている。窒化物半導構造30は、n型窒化物半導体層32と、p型窒化物半導体層35と、n型窒化物半導体層32およびp型窒化物半導体層35に挟まれた活性層34とを含む。p型窒化物半導体層35の活性層34側にアンドープの窒化物半導体層36が設けられていてもよい。

10

【0085】

窒化物半導構造30にはn型窒化物半導体層の一部を露出する凹部42が設けられ、凹部42の底部に、n型窒化物半導体層32に接し、かつ、電気的に接続されたn側電極40が設けられている。また、p型窒化物半導体層35に接し、かつ、電気的に接続されたp側電極37が設けられている。

20

【0086】

窒化物半導構造30は $A_{1-x}G_a_yI_{n_z}N$ ($0 \leq x, y, z \leq 1, x + y + z = 1$)によって構成される。n型ドーパントにはSiを用い、p型ドーパントにはMgを用いることができる。また、窒化物半導構造30は、窒化物半導体積層構造51と同様に種々のエピタキシャル成長技術を用いて形成することができる。

【0087】

窒化物半導構造30の各半導体層の正面は、窒化物半導体積層構造51の窒化物半導体層300と同じ面方位の正面を有し、転位密度が低い。したがって、本実施形態によれば、結晶性が良好な活性層を備えた発光素子を実現することができる。

30

【0088】

(第3の実施形態)

第2の実施形態に係る発光素子52は、そのまま光源として用いることができる。しかし、第2の実施形態に係る発光素子は、波長変換のための蛍光物質を備える樹脂などと組み合わせれば、波長帯域の拡大した光源として使用され得る。

【0089】

図7は、光源53の一例を示す模式図である。図7の光源53は、第2の実施形態の発光素子52と、この発光素子52から放射された光の波長を、他の波長帯域の光に変換する蛍光体が分散された樹脂層2000とを備えている。発光素子52は、表面に配線パターンが形成された支持部材2200上に搭載されており、支持部材2200上には発光素子52を取り囲むように反射部材2400が配置されている。樹脂層2000は、発光素子52を覆うように形成されている。

40

【0090】

(第1の実施形態に関する実験結果)

以下、第1の実施形態の窒化物半導体積層構造を作成し、特性を測定した結果を説明する。

【0091】

(実施例1)

図8Aおよび図8Bに示されるように、まず、基板100が準備された。基板100は、m面サファイア基板であり、京セラ株式会社より入手した。図8Aは、基板100の平面図を示す。図8Bは、図8Aに含まれる線L8-L8'の線に沿った基板100の断面

50

図を示す。

【0092】

この基板100は、およそ2インチの直径および0.43ミリメートルの厚みを有していた。基板100は、0.1°以下のオフ角を有していた。オフ角の傾斜方向は、基板100のc軸方向であった。

【0093】

[m面サファイア基板の洗浄]

基板100は、100に加熱された洗浄液を用いて10分間、洗浄された。洗浄液は、1:1の体積比を有する硫酸およびリン酸から構成されていた。続いて、基板100は、水を用いて洗浄された。

10

【0094】

[マスク層の形成]

次に、図9Aおよび図9Bに示されるように、およそ3.5μmの厚みを有するSiO₂膜140が、プラズマCVD法により、基板100上に形成された。

【0095】

次に、図10Aおよび図10Bに示されるように、複数の帯状のフォトレジスト層141が、SiO₂膜140上に形成された。これらの帯状のフォトレジスト層141は互いに平行であった。帯状の各フォトレジスト層141の長手方向は、基板100のa軸に平行であった。言い換れば、各フォトレジスト層141の長手方向は、X軸に平行であった。帯状の各フォトレジスト層141の幅W1は、2μmであった。隣接する2つのフォトレジスト層141の間隔は、2μmであった。

20

【0096】

図11Aおよび図11Bに示されるように、フォトレジスト層141に被覆されていない部分のSiO₂膜140がドライエッティングされた。その後、フォトレジスト層141が除去された。このようにして、図2Aおよび図2Bに示されるように、基板100上に、SiO₂からなるマスク層121が、複数の帯状のパターンで形成された。

【0097】

図2Aおよび図2Bから明らかなように、複数の帯状のマスク層121は、基板100のa軸に平行であった。言い換れば、複数の帯状のマスク層121は、X軸に平行であった。帯状の各マスク層121の幅W1は、2μmであった。隣接する2つのマスク層121の間隔は、2μmであった。各マスク層121の高さHは、およそ3.5μmであった。角度θは、およそ75°であった。

30

【0098】

図12は、実施例1による、複数の帯状のマスク層121を表面に具備する基板100の断面写真を示す図である。

【0099】

基板100上に窒化物半導体層300がエピタキシャル成長される場合、窒化物半導体層300は(11-22)面の主面を有する。言い換れば、窒化物半導体層300の主面の法線方向は、<11-22>方向である。図1に示されるように、基板100上には、(11-22)面の主面を有する窒化物半導体層300がエピタキシャル成長される。この場合、図1に示されるように、角度θは58°である。

40

【0100】

隣接する2つのマスク層121の間隔は、2μmであるため、式(1): H = W · t_anに基づき、マスク層121の高さHは、およそ3.2 (= 2 × よりも1.6) μm以上であることが必要とされる。上記のように、実施例1では、マスク層121の高さHは、およそ3.5μmであった。

【0101】

[バッファ層の成長]

マスク層121を具備する基板100は、MOCVD装置内にセットされた。MOCVD装置内では、水素および窒素がキャリアガスとして用いられた。また成長中、基板100

50

0は、3 r p mの回転速度で回転された。

【0102】

基板100は、MOCVD装置内で加熱された。基板100の温度が1120になつたときに、10分間熱処理を行つた。

【0103】

サファイア基板100の熱処理後降温を開始した。基板温度が550に到達した後、5分の時間が経過した。

【0104】

その後、トリメチルアルミニウム（以下、「TMA」という）のみをまず、m面サファイア基板表面に10秒間照射し、続けてアンモニアガスを供給した。このようにして、A 1Nから形成される窒化物半導体のバッファ層110を得た。
10

【0105】

本実施例に用いたバッファ層110の成長条件を表1に示す。

【0106】

【表1】

条件	値
TMAの流量	16マイクロ mol/分
アンモニアの流量	0.6リットル/分
バッファ層110の成長時間	16分
成長圧力	13kPa
TMA／アンモニアの供給比（モル比）	およそ1700

【0107】

バッファ層110の厚みは、約200nmに設定された。バッファ層110の成長後、基板温度が1020に到達した後、1分の時間が経過した。

【0108】

その後、トリメチルガリウム（以下、「TMG」という）およびアンモニアがMOCVD装置に供給され、(11-22)面の主面を有する窒化物半導体層300を基板100の表面に成長した。このようにして、GaNから形成される窒化物半導体積層構造を得た。
30 表2は、窒化物半導体層300の成長条件を示す。

【0109】

【表2】

条件	値
TMGの流量	136マイクロ mol/分
アンモニアの流量	0.5リットル/分
窒化物半導体層300の成長速度	3~4マイクロミリメートル/時
窒化物半導体層300の成長時間	1時間
成長圧力	13kPa
TMG／アンモニアの供給比（モル比）	およそ160

【0110】

窒化物半導体層300の膜厚は、およそ4~5μmであった。

【0111】

（参考例A）

表1に示されるバッファ層110を用いないこと、以下に示す昇温プロセス以外は、実施例1とほぼ同様の実験が行われた。

【0112】

10

20

30

40

50

基板 100 は、MOCVD 装置内で加熱された。基板 100 の温度が 500 になったときに、アンモニアガスが供給され始めた。このアンモニアガスは、基板 100 の表面を窒化したと考えられた。

【0113】

基板 100 の温度が、920 に到達した後、1 分の時間が経過した。

【0114】

その後、TMG およびアンモニアが MOCVD 装置に供給され、(11-22) 面の主面を有する窒化物半導体層 300 を基板 100 の表面に成長した。このようにして、GaN から形成される窒化物半導体積層構造を得た。成長は、実施例 1 の表 2 と同じ条件下で行なった。

10

【0115】

(参考例 B)

表 2 に示される成長条件に代えて、表 3 に示される成長条件が採用されたこと以外は、参考例 A と同様の実験が行われた。

【0116】

【表 3】

条件	値
TMG の流量	136 マイクロ mol/分
アンモニアの流量	3.0 リットル/分
窒化物半導体層 300 の成長速度	3~4 マイクロミリメートル/時
窒化物半導体層 300 の成長時間	1.5 時間
成長圧力	66 kPa
TMG/アンモニアの供給 (モル比)	およそ 985

20

【0117】

(比較例 1)

マスク層 121 が形成されなかつこと以外は、参考例 A と同様の実験が行われた。言い換れば、基板 100 が洗浄された後、マスク層 121 を形成することなく窒化物半導体層 300 が形成された。窒化物半導体層 300 は、3.3 μm の厚みを有していた。

30

【0118】

(結果および評価)

[X 線回折プロファイル]

図 13 は、比較例 1 による窒化物半導体積層構造の X 線回折プロファイルを示す。図 13 に示されるように、(30-30) 面の回折ピークおよび (11-22) 面の回折ピークが観測された。(30-30) 面の回折ピークは、基板 100 の m 面サファイア基板の主面からの回折に由来した。(11-22) 面の回折ピークは、窒化物半導体層 300 に由来した。他の回折ピークが観測されていないため、(11-22) 面の主面を有する窒化物半導体層 300 のみが成長されたことが見出された。言い換れば、窒化物半導体層 300 の主面の法線は、窒化物半導体の <11-22> 結晶軸と平行であった。

40

【0119】

このことは、本実施例による窒化物半導体層 300 の成長方法によって、基板 100 の表面に、(11-22) 面の主面を有する窒化物半導体層 300 をエピタキシャル成長させることができることを意味する。

【0120】

[SEM 像]

図 14A は、比較例 1 による窒化物半導体積層構造の断面走査型電子顕微鏡像 (SEM 像) を示す。図 14A に示されるように、基板 100 上に、(11-22) 面の主面を有する一様な窒化物半導体層 300 が形成されていた。窒化物半導体層 300 の表面は平坦であった。しかし、比較例 1 による窒化物半導体層 300 は、 10^{10} cm^{-2} 以上という高

50

い転位密度を有していた。

【0121】

図14Bは、参考例Aによる窒化物半導体積層構造の断面走査型電子顕微鏡像(SEM像)を示す。図14Bに示されるように、基板100上に、(11-22)面の主面を有する窒化物半導体層300が形成されていた。窒化物半導体層300の表面は、A面ファセットおよびC面ファセットを有していた。

【0122】

図14Cは、参考例Bによる窒化物半導体積層構造の断面走査型電子顕微鏡像(EM像)を示す。図14Cに示されるように、基板100上に、(11-22)面の主面を有する一様な窒化物半導体層300が形成されていた。窒化物半導体層300の表面は平坦であった。

10

【0123】

[低温フォトルミネセンス測定]

図15は、10Kの低温下における比較例1および参考例Aによる窒化物半導体層300の発光スペクトルを示す。およそ3.47eVの付近に観察されたピークは、バンド端付近の発光(ドナー束縛励起子発光強度)に対応する。およそ3.42eVの付近に観察されたピークは、積層欠陥に由来する発光(以下、「積層欠陥由来発光(stacking-fault-originated light emission)」という)に対応する。およそ3.3eVの付近に観察されたピークは、他の欠陥または転位に由来する発光に対応する。

【0124】

20

図15から明らかなように、参考例Aによる窒化物半導体積層構造は、比較例1による窒化物半導体積層構造よりも、バンド端付近の発光強度が大きかった。さらに、参考例Aによる窒化物半導体積層構造は、比較例1による窒化物半導体積層構造よりも、積層欠陥由来の発光強度が小さかった。

【0125】

非特許文献2によれば、バンド端付近発光のピークは、3.47eV付近(10Kでの測定時)に観測される。

【0126】

図15に示されるように、参考例Aによる窒化物半導体積層構造のバンド端付近のドナー束縛励起子発光のピークは、3.471eV付近に観測された。一方、比較例1のそれは、3.480eVに観測された。

30

【0127】

非特許文献2によるバンド端付近発光のピーク(3.47eV)と、比較例1によるバンド端付近発光のピーク(3.480eV)との間の差は、およそ0.01eVという比較的大きい値であった。これは、窒化物半導体層300が残留歪みを含んだからである。

【0128】

一方、非特許文献2によるバンド端付近発光のピーク(3.47eV)と、参考例Aによるバンド端付近発光のピーク(3.471eV)との間の差は、およそ0.001eVという小さい値であった。これは、窒化物半導体層300に含まれる歪みが緩和されたからである。このことは、参考例Aによる窒化物半導体積層構造は、本実施形態と同様の選択成長手法により、転位や積層欠陥密度の低減化がなされ、積極的に歪みが緩和されたことを意味する。また、参考例Aによる窒化物半導体積層構造は、比較例1による窒化物半導体積層構造よりも高い結晶性を有することを意味する。

40

【0129】

参考例Aにおける、積層欠陥由来発光強度に対するドナー束縛励起子発光強度の比(およそ1.79)は、比較例1の比(0.04)と比較して、大きい。このことは、実施例1による窒化物半導体積層構造に含まれる積層欠陥の密度が、比較例1による窒化物半導体積層構造に含まれる積層欠陥の密度よりも低いことを意味する。

【0130】

[TEM像]

50

図16Aは、参考例Aによる窒化物半導体積層構造の断面透過型電子顕微鏡像（以下、「TEM像」という）を示す。図16Bは、図16Aにおいて点線によって囲まれた領域の拡大像を示す。図16Cは、図16Bにおいて点線によって囲まれた領域の拡大像を示す。

【0131】

TEM像を得るために、窒化物半導体積層構造は、100ナノメートルの厚みを有するようにスライスされた。転位密度は、スライスされた窒化物半導体積層構造の厚み（100ナノメートル）、領域G1、G2、および領域G3の幅（およそ $1\text{ }\mu\text{m} \sim 2\text{ }\mu\text{m}$ ）、および転位の数から見積もられた。

【0132】

図16A、図16B、および図16Cから明らかなように、第1の領域G1では、窒化物半導体層は、数多くの転位および数多くの積層欠陥を有する。一方、第2の領域G2では、窒化物半導体層は、少ない転位および少ない積層欠陥を有する。これらの転位および積層欠陥は、c軸に直交する方向に形成されている。言い換えれば、これらの転位および積層欠陥は、c面に平行に形成されている。

【0133】

より具体的には、第1の領域G1では、窒化物半導体層は 10^{10} cm^{-2} 以上の転位密度を有していた。一方、第2の領域G2では、窒化物半導体層は、 10^8 cm^{-2} 以下の転位密度を有していた。

【0134】

図14Cに示されるとおり、参考例Bによる第3の領域G3は、第2の領域G2上にエピタキシャル成長された窒化物半導体層によって構成される。参考例Aによる第3の領域G3も同様に、第2の領域G2の上にエピタキシャル成長させることによって形成されるため、窒化物半導体層は、 10^8 cm^{-2} 以下の転位密度を有していたと考えられた。

【0135】

（バッファ層110を備えた実施例1とバッファ層110のない参考例Aの比較）

前述したように参考例Aおよび参考例Bの構造では、サファイア基板100の表面にマスク層121を形成し、窒化物半導体層300を直接成長することで、転位密度が低い、高品質な窒化物半導体層300を実現することができた。

【0136】

つまり、参考例Aおよび参考例Bの構造や方法を用いても、本実施形態と同様に、転位密度を低減することは可能である。しかし、本発明者の検討によると、参考例Aおよび参考例Bは、基板100の面内において、均一に同様な構造を実現する上で問題があることが明らかになった。

【0137】

図17A、図17B、および図17Cに、参考例Aの表面光学顕微鏡像を示す。図17A、図17B、および図17Cは、それぞれ倍率は一定（50倍）とし、サンプル面内の異なる箇所で測定した結果を示している。

【0138】

図14Bの断面SEM像、および図16A～図16Cの断面TEM像は、比較的良好な表面モフォロジーを有する領域を選択し、評価した結果を示している。

【0139】

つまり、サンプル面内において、本実施形態と同様の構造が得られている箇所も存在するが、そうでない箇所も多々存在し、面内均一性が極めて悪いことが、参考例Aおよび参考例Bの構造・方法において明らかになった。

【0140】

例えば、図17Aに示す領域においては、窒化物半導体層300がまったく形成されていない領域も確認された。

【0141】

実施例1では、この面内不均一の問題を解決できることが明らかになった。図18Aお

10

20

30

40

50

より図18Bに、実施例1の表面光学顕微鏡像を示す。

【0142】

図18Aおよび図18Bを、図17A、図17Bおよび図17Cと比較すると、実施例1は、面内均一性が大幅に向上了ることが分かる。参考例Aおよび参考例Bでは、場所によつては、窒化物半導体層300がまったく成長していない領域も見られた。一方、実施例1では、ほぼサンプル全面において良好な表面モフォロジーが得られ、かつ、本実施形態の構造が、サンプル面内において一様に得られることがわかった。

【0143】

(実施例1のTEM像)

図19Aは、実施例1による窒化物半導体積層構造の断面TEM像を示す。図19Bは、図19Aの中心付近の拡大像を示す。図19C(b)は、図19C(a)の実線によって囲まれた領域の拡大像を示す。図19A、図19B、および図19Cは、図16A、図16B、および図16Cに示した参考例AのTEM像と同様の手法により評価された。ただし、図19A、図19B、および図19Cは、図16A、図16B、および図16Cと比較すると、a軸とc軸の方向が逆になっている点に注意が必要である。これはTEM測定用にサンプリングしたサンプルの表裏が逆になつたためである。

10

【0144】

図16A、図16Bおよび図16Cに示される参考例Aと比較すると明らかなように、図19A、図19Bおよび図19Cに示される実施例1は、バッファ層110が、サファイア基板100およびマスク層121の表面に一様に形成された。このように、サファイア基板100の表面に形成されたバッファ層110が、図17A～図17Cに示した面内均一性を大幅に向上させた要因の一つであった。

20

【0145】

図19A、図19B、および図19Cから明らかなように、第1の領域G1では、窒化物半導体層は、高密度の転位および積層欠陥を有する。一方、第2の領域G2は、比較的少ない密度の転位および積層欠陥を有する。これらの転位および積層欠陥は、c軸に直交する方向に形成されている。言い換えれば、これらの転位および積層欠陥は、c面に平行に形成されている。

【0146】

つまり、バッファ層110を用いた実施例1の場合においても、参考例Aと同様に転位密度を低減する効果が得られ、且つ、面内均一性を大幅に向上させることができることが確認された。

30

【0147】

実施例1の構造においては、バッファ層110の結晶構造は、サファイア基板100の表面に形成された部分と、マスク層121の表面に形成された部分とで異なることがわかった。

【0148】

サファイア基板100の表面に形成されたバッファ層110は、転位および積層欠陥がおよそ界面から58°傾斜した方向に形成されていることから、参考例Aと同様に、(11-22)面を主面とする窒化物半導体層であることがわかった。

40

【0149】

一方、マスク層121表面に形成されたバッファ層110の構造は、図19Bに示されるように、柱状多結晶構造となっていた。これは、マスク層121に用いているSiO₂膜がアモルファスライクであり、マスク層121表面ではバッファ層110がエピタキシャル成長し難いことが原因である。

【0150】

よつて、実施例1では、サファイア基板100の表面に形成されたバッファ層110の結晶構造と、マスク層121表面に形成されたバッファ層110の結晶構造とが異なる。実施例1では、サファイア基板100の表面に形成された単結晶の(11-22)面を主面とするAINバッファ層110上にのみ、原料が付着し、選択的に成長が起こったと考

50

えられる。

【0151】

実施例1の窒化物半導体層300の面内均一性が、参考例Aに比べて、飛躍的に向上した原因も同様に考えることができる。つまり、本実施形態の選択成長を実施する場合、領域100b上におけるバッファ層110の表面、すなわち単結晶(11-22)面の窒化物半導体の表面は、サファイア基板100の表面、SiO₂マスク層121の表面、および、そのマスク層121上に形成された多結晶ライクな窒化物半導体の表面に比べて、その表面上での核形成が起こりやすく、選択成長が起きやすいと考えられる。

【0152】

本実施形態に用いたマスク層121は、アスペクト比が高いため、成長中に原料がサファイア基板100の表面まで到達しにくくなることが予想された。しかも、参考例Aの場合、選択成長は、サファイア基板100の表面が起点となる。サファイア基板100の表面は、窒化物表面に比べて、核形成が起こりにくい。よって、参考例Aでは、図17Aに示したように、窒化物半導体層300の形成において面内にムラが発生したと考えられる。10

【0153】

実施例1では、低温A1N層をバッファ層110として形成する。すなわち、実施例1において、成長起点はサファイア基板100の表面ではなく、バッファ層110を構成する窒化物半導体表面(A1N表面)である。このような構造を用いることで、実施例1は、飛来した原料が核形成しやすく、選択成長が飛躍的に起こりやすくなり、面内の均一性向上につながったと考えられる。20

【0154】

よって、本実施形態は、高アスペクト比マスクを用いた構造であるため、選択成長の起点となる領域を、選択成長が起こりやすい材料とする。具体的には、選択成長の起点となる領域を、サファイア基板100の表面ではなく、窒化物半導体からなるバッファ層110の表面にする。

【0155】

この点、基板100として、窒化物半導体層を表面に有する基板を用いれば、バッファ層を用いなくても、選択成長の基点となる領域が窒化物半導体層の表面となることがわかる。しかし、例えば特許文献2に開示される方法を用いる場合、前述したように、結晶成長プロセスを2度行なう必要があり、プロセスコストの増大につながる。30

【0156】

よって、本実施例1のように、サファイア基板100の表面に直接マスク層121を形成し、バッファ層110を低温で形成し、窒化物半導体層300を形成すれば、結晶成長プロセスは1度で、転位・欠陥密度の大幅な低減を実現できる。

【0157】

(参考例1)

c軸に対して5°のオフ角を有するm面サファイア基板によって構成される基板100が用いられたこと以外は、比較例1と同様の実験が行われた。この基板100は、京セラ株式会社より入手可能であった。40

【0158】

基板100が5°のオフ角を有するので、参考例1では、角度θは53°(=58°-5°)であった。

【0159】

(参考例2)

c軸に対して10°のオフ角を有する基板100が用いられたこと以外は、比較例1と同様の実験が行われた。この基板100は、京セラ株式会社より入手可能であった。

【0160】

基板100が10°のオフ角を有するので、参考例2では、θは48°(=58°-10°)であった。50

【0161】

図20Aは、比較例1による窒化物半導体積層構造の表面モフォロジーを示す。図20Bは、参考例1による窒化物半導体積層構造の表面モフォロジーを示す。図20Cは、参考例2による窒化物半導体積層構造の表面モフォロジーを示す。これらの表面モフォロジーは、レーザー顕微鏡を用いて観察された。

【0162】

図20A、図20B、および図20Cは、互いに類似する表面モフォロジーを示す。これらの図20A～図20Cから明らかなように、角度θが48°以上58°以下である場合、(11-22)面の主面を有する窒化物半導体積層構造がエピタキシャル成長されることが理解される。

10

【産業上の利用可能性】

【0163】

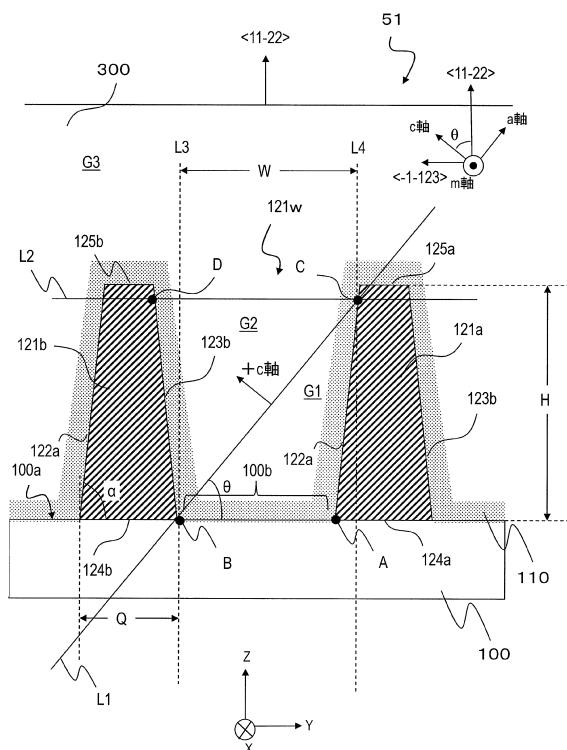
本開示に開示された窒化物半導体積層構造は、窒化物半導体発光素子および窒化物半導体レーザー用いられ得る。

【符号の説明】

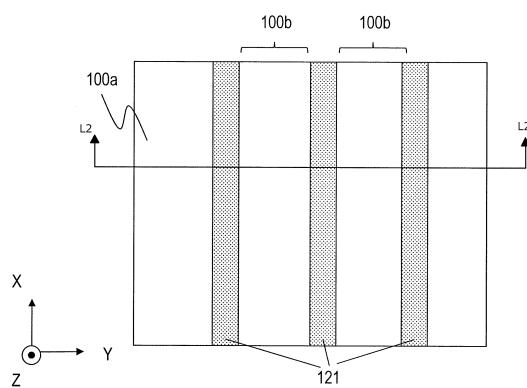
【0164】

3 0	窒化物半導構造	
3 2	n型窒化物半導体層	
3 4	活性層	
3 5	p型窒化物半導体層	20
3 6	窒化物半導体層	
3 7	p側電極	
4 0	n側電極	
4 2	凹部	
5 1	窒化物半導体積層構造	
5 2	発光素子	
5 3	光源	
1 0 0	基板(サファイア基板)	
1 0 0 a	主面	
1 0 0 b	領域(露出領域)	30
1 1 0	バッファ層	
1 2 1	マスク層	
1 2 1 a	単位パターン	
1 2 1 b	単位パターン	
1 2 1 w	開口	
1 2 2 a	第1の側面部	
1 2 3 b	第2の側面部	
1 2 4 a	底面	
1 2 4 b	底面	
1 2 5 a	上面	40
1 2 5 b	上面	
2 0 0	転位	
3 0 0	窒化物半導体層	
G 1	第1の領域	
G 2	第2の領域	
G 3	第3の領域	

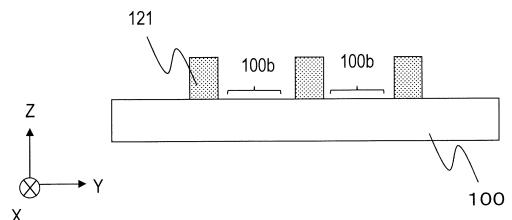
【図1】



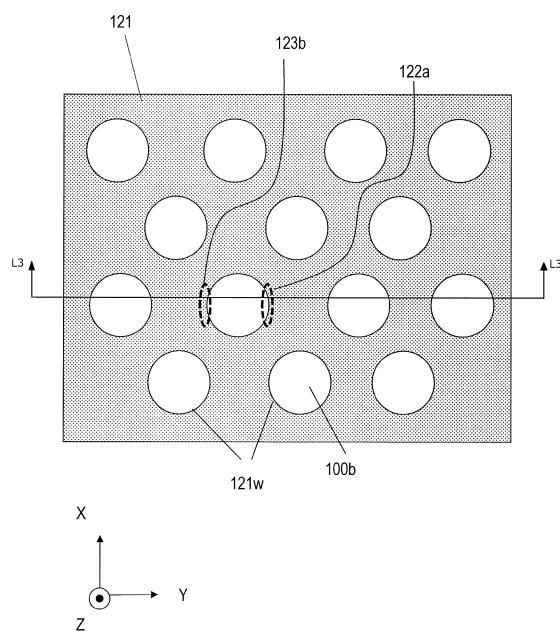
【図2A】



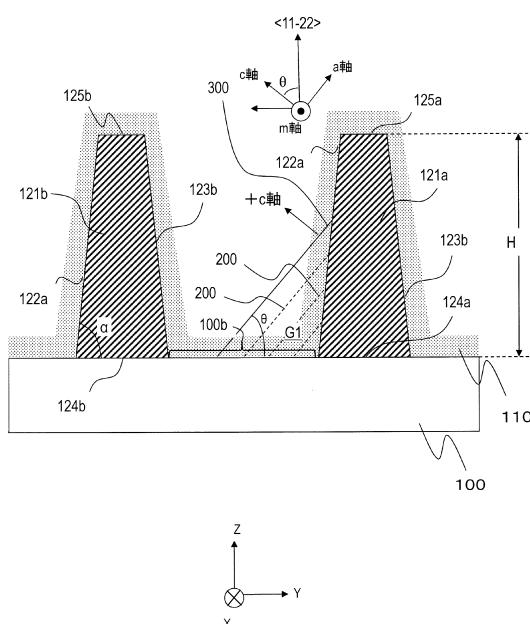
【図2B】



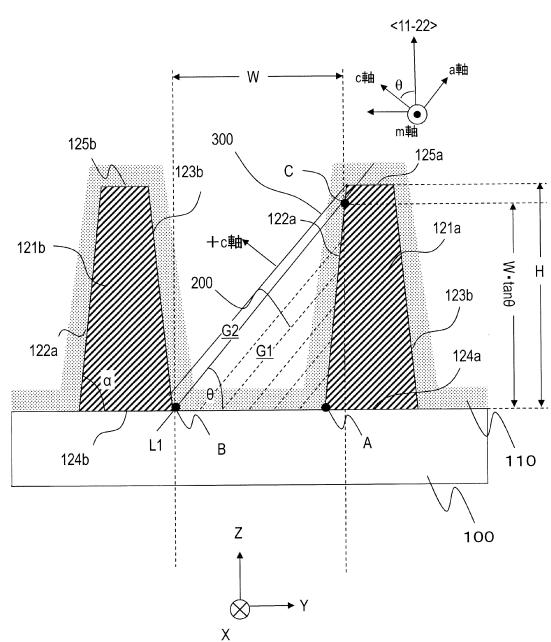
【図3】



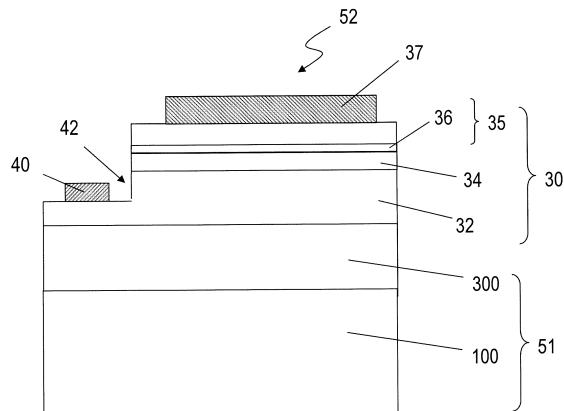
【図4】



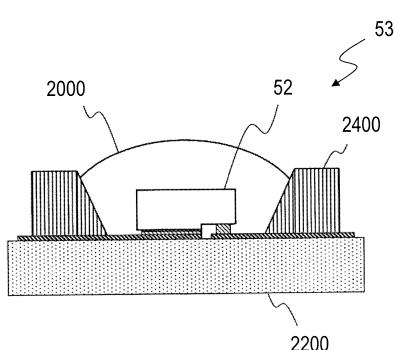
【図5】



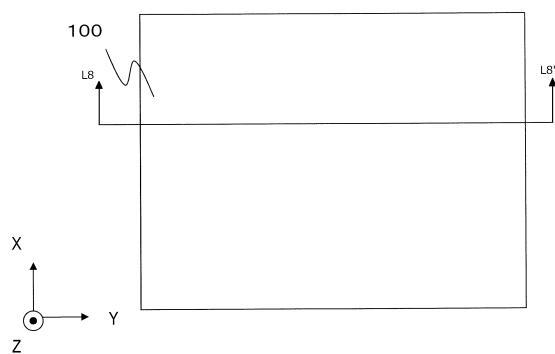
【図6】



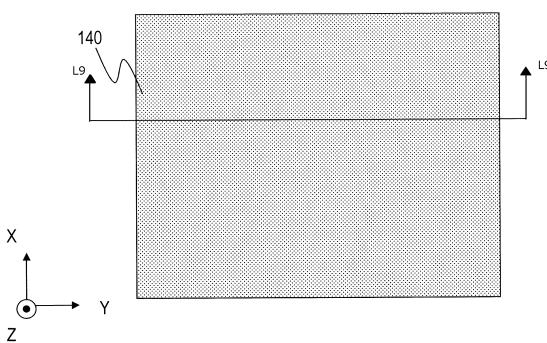
【図7】



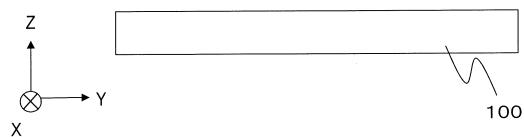
【図8A】



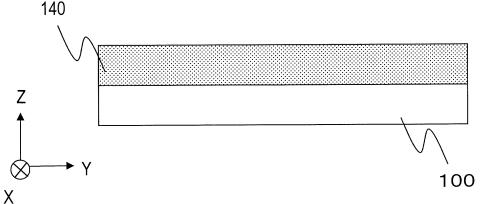
【図9A】



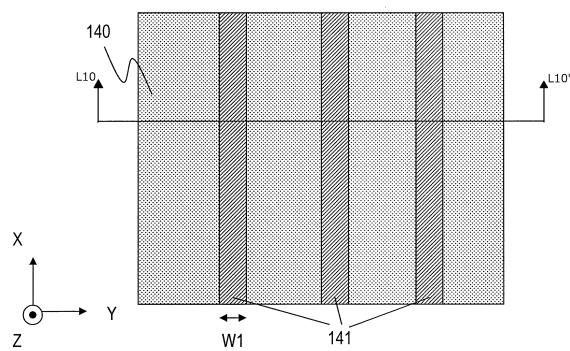
【図8B】



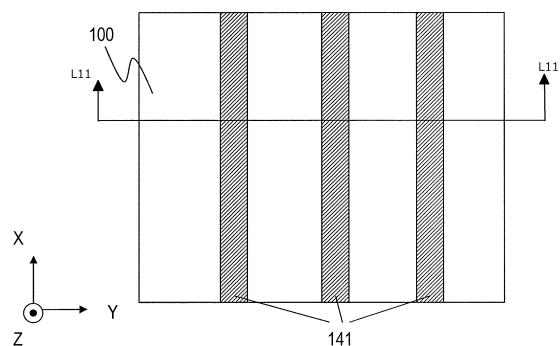
【図9B】



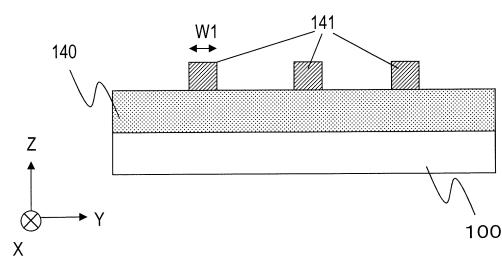
【図 10 A】



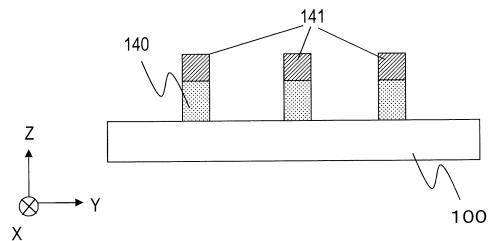
【図 11 A】



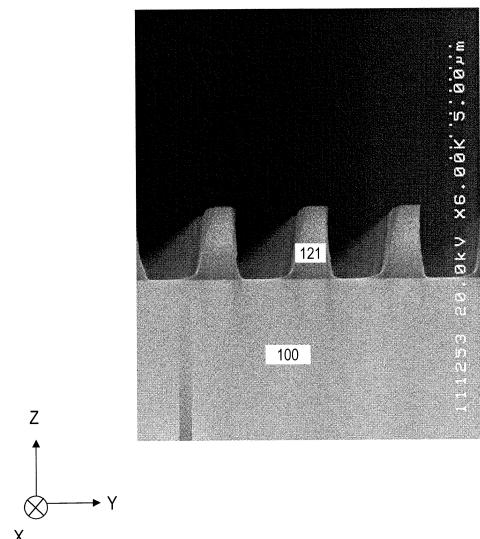
【図 10 B】



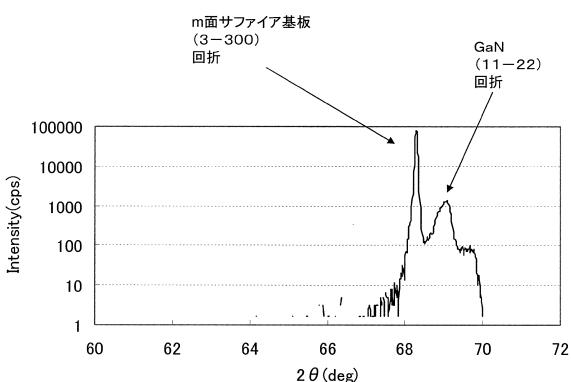
【図 11 B】



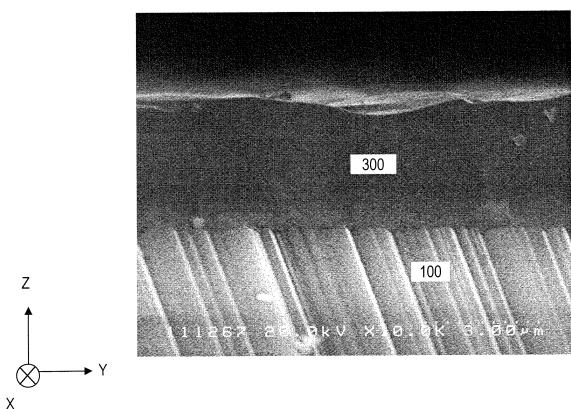
【図 12】



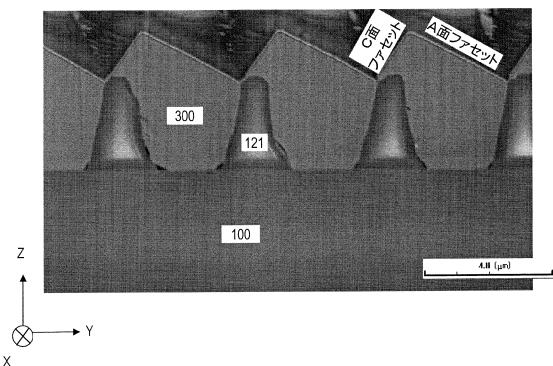
【図 13】



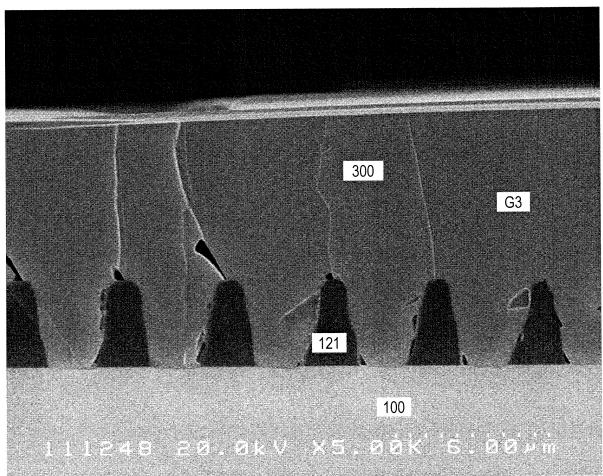
【図 14 A】



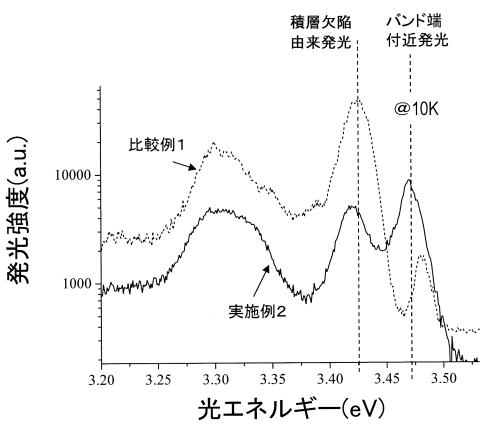
【図14B】



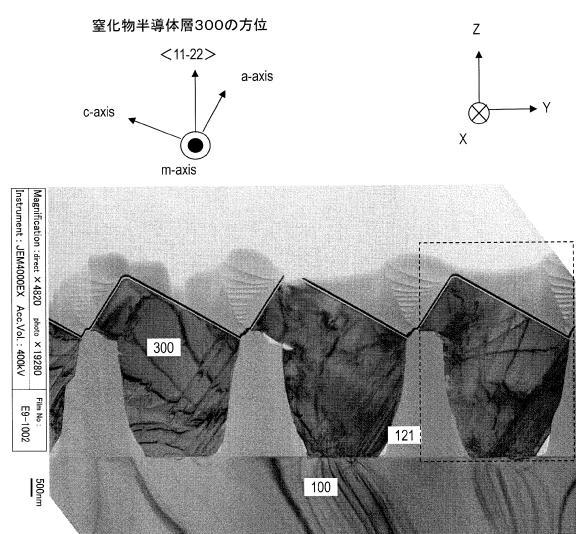
【図14C】



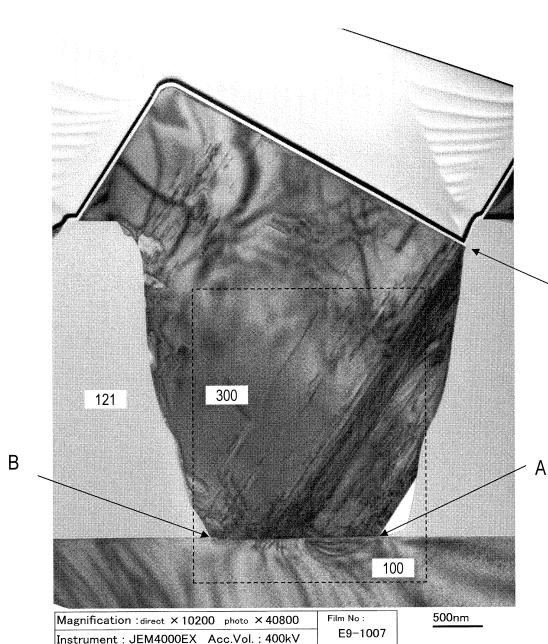
【図15】



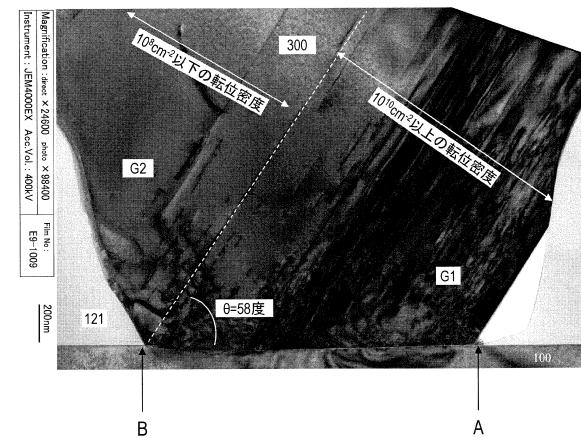
【図16A】



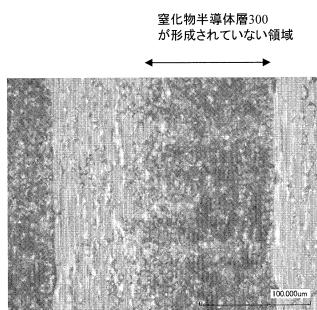
【図 16 B】



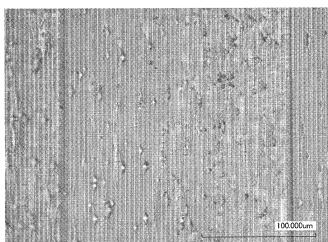
【図 16 C】



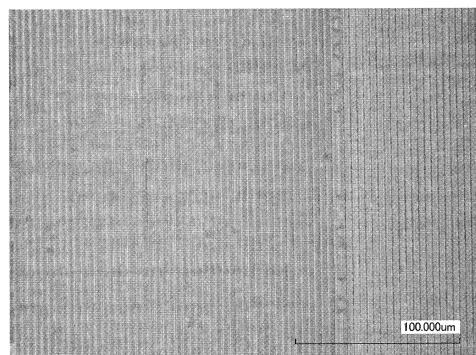
【図 17 A】



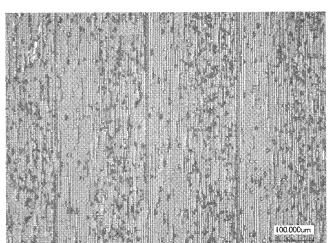
【図 17 B】



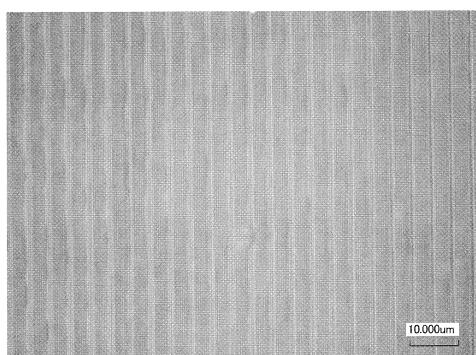
【図 18 A】



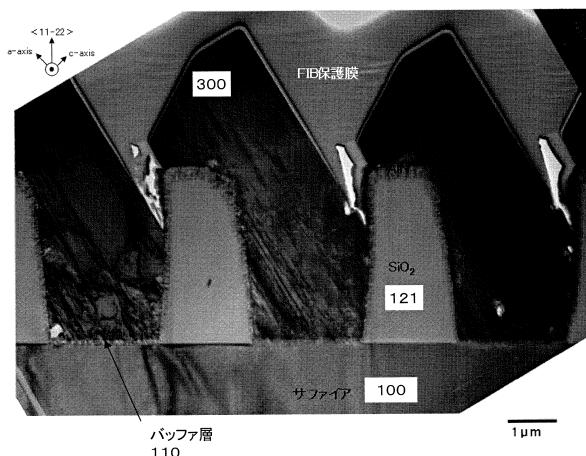
【図 17 C】



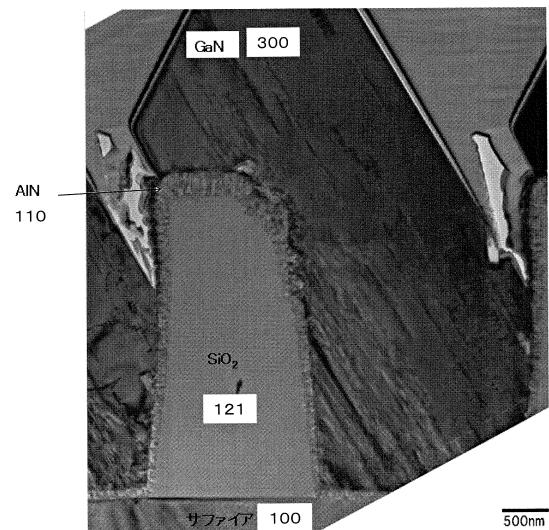
【図 18 B】



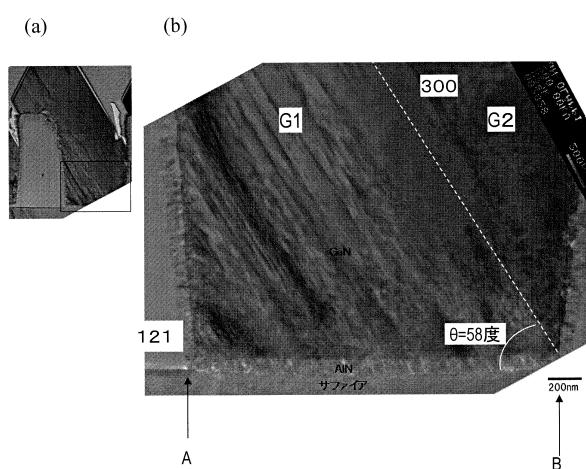
【図19A】



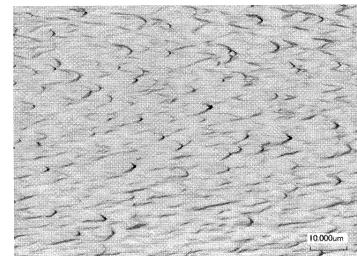
【図19B】



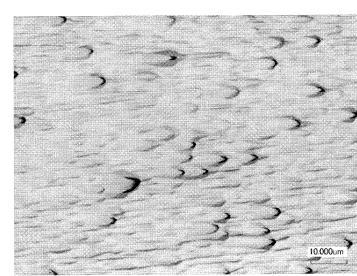
【図19C】



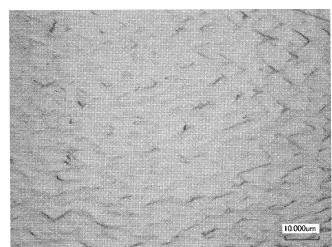
【図20B】



【図20C】



【図20A】



フロントページの続き

(74)代理人 100184985

弁理士 田中 悠

(72)発明者 崔 成伯

大阪府門真市大字門真1006番地 パナソニック株式会社内

審査官 小川 将之

(56)参考文献 米国特許出願公開第2011/0068347(US, A1)

特開2010-010692(JP, A)

特開2002-270516(JP, A)

特開2007-273659(JP, A)

特表2008-546181(JP, A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H01L 21/205

H01L 21/20

C23C 16/34