

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第4981079号
(P4981079)

(45) 発行日 平成24年7月18日(2012.7.18)

(24) 登録日 平成24年4月27日(2012.4.27)

(51) Int.Cl.

F I

H O 1 L 21/203 (2006.01)

H O 1 L 21/203

H O 1 L 21/205 (2006.01)

H O 1 L 21/205

H O 1 L 21/318 (2006.01)

H O 1 L 21/318

B

H O 1 L 33/32 (2010.01)

H O 1 L 33/00

1 8 6

請求項の数 4 (全 15 頁)

(21) 出願番号 特願2009-37272 (P2009-37272)
 (22) 出願日 平成21年2月20日(2009.2.20)
 (62) 分割の表示 特願平10-140321の分割
 原出願日 平成10年5月22日(1998.5.22)
 (65) 公開番号 特開2009-152627 (P2009-152627A)
 (43) 公開日 平成21年7月9日(2009.7.9)
 審査請求日 平成21年2月20日(2009.2.20)
 (31) 優先権主張番号 特願平10-18316
 (32) 優先日 平成10年1月16日(1998.1.16)
 (33) 優先権主張国 日本国(JP)

(73) 特許権者 000006264
 三菱マテリアル株式会社
 東京都千代田区大手町一丁目3番2号
 (73) 特許権者 594182580
 技術研究組合オングストロームテクノロジー
 研究機構
 東京都千代田区岩本町二丁目16番2号
 (73) 特許権者 301021533
 独立行政法人産業技術総合研究所
 東京都千代田区霞が関1-3-1
 (74) 代理人 100085372
 弁理士 須田 正義
 (72) 発明者 中田 嘉信
 埼玉県大宮市北袋町1丁目297番地 三
 菱マテリアル株式会社 総合研究所内
 最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 窒化物半導体層付き基板の製造方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

単結晶シリコン基板(11)上に窒化シリコン層(12)を形成する工程と、前記窒化シリコン層(12)上に窒化物半導体層(13)を形成する工程とを含む窒化物半導体層付き基板(10)の製造方法において、

前記窒化シリコン層(12)を前記基板(11)の表面全体にエピタキシャル成長法により700～950の温度で0.05～2000nmの厚さで均一に結晶質窒化シリコンとアモルファス窒化シリコンとが混在した窒化シリコン薄膜を形成し、前記窒化シリコン層(12)上に前記エピタキシャル成長法により単結晶の前記窒化物半導体層(13)を形成することを特徴とする窒化物半導体層付き基板の製造方法。

【請求項 2】

単結晶シリコン基板(11)上に窒化シリコン層(12)を形成する工程と、前記窒化シリコン層(12)上に窒化物半導体層(13)を形成する工程とを含む窒化物半導体層付き基板(10)の製造方法において、

前記窒化シリコン層(12)を前記基板(11)の表面全体にエピタキシャル成長法により950～1300の温度で0.15～50nmの厚さで均一に単結晶シリコン基板の結晶方位と整合性を有する結晶性窒化シリコン薄膜を形成し、前記窒化シリコン層(12)上に前記エピタキシャル成長法により単結晶の前記窒化物半導体層(13)を形成することを特徴とする窒化物半導体層付き基板の製造方法。

【請求項 3】

10

20

前記窒化シリコン層(12)の形成とこの窒化シリコン層(12)に続く窒化物半導体層(13)の形成をRF-分子線エピタキシャル成長法により一連に行い、かつ前記窒化シリコン層(12)及び前記窒化物半導体層(13)を形成するときの窒素源が主に励起状態の中性窒素原子又は分子である請求項1又は2記載の製造方法。

【請求項4】

前記窒化物半導体層(13)が窒化ガリウム層である請求項1ないし3いずれか1項に記載の製造方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

10

本発明は光電子デバイスや半導体発光素子に用いられる窒化物半導体層付き基板の製造方法に関する。更に詳しくは単結晶シリコン基板上に窒化物半導体層を形成した窒化物半導体層付き基板の製造方法に関するものである。

【背景技術】

【0002】

従来より、単結晶シリコン基板上にGaN、InN、AlN等の窒化物半導体層を形成する方法として、単結晶シリコン基板上に窒化物半導体層を直接形成する第1の方法が知られている。この方法には低温で窒化物半導体バッファ層を形成してこのバッファ層上に高温で窒化物半導体層を形成する方法が含まれる。

また別の第2の方法として、単結晶シリコン基板上にシリコンカーバイド(SiC)やヒ素化ガリウム(GaAs)からなる中間層を形成し、その上に窒化物半導体層を形成する方法が知られている。

20

【0003】

しかし上記第1の方法では、図18に示すように単結晶シリコン基板1上に例えばGaN層2を直接形成した場合、GaN層2の形成時にシリコン基板1表面の一部にランダムにアモルファス窒化シリコン層3が形成される。このアモルファス窒化シリコン層3は、シリコン基板1とGaN層2の界面の平坦度を悪化させ、GaN層2に結晶欠陥を生じさせ、更にはGaN層の多結晶化の原因となる等の問題がある。このように形成されたGaN層2の発光特性を示すフォトルミネッセンスを測定した場合には、3.4eVにフォトルミネッセンスのピークは現れるが、強度が低く、またそのピークの半値幅が広いため、発光特性が劣る。

30

また上記第2の方法では窒化物半導体層を構成する元素以外の元素の原料ソースが必要となり、窒化物半導体層を連続的に成長させることが困難である。また上記原料ソースからの元素が窒化物半導体層中に不純物として混入する問題が生じる。それを防ぐためにはSiCやGaAs等からなる中間層を形成した後、製造装置の内部を十分にクリーニングすることが必要になる。

【0004】

この点を解決するために、単結晶シリコン基板上に窒化シリコン膜のような絶縁膜を介して窒化ガリウム系化合物半導体層を形成する窒化物半導体発光素子の製造方法が開示されている(例えば、特許文献1参照。)。この窒化シリコン膜は、基板表面の自然酸化膜を除去した単結晶シリコン基板を窒素雰囲気中で500~900で熱処理を行って、基板表面のシリコンを窒化して形成される。

40

【先行技術文献】

【特許文献】

【0005】

【特許文献1】特開平8-64913号公報

【非特許文献】

【0006】

【非特許文献1】志村史夫著、"半導体シリコン結晶工学"、丸善、平成5年9月30日発行、第200~206頁

50

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0007】

しかし、一般的に窒素による直接の熱窒化では、1100～1300の高温で安定相の窒化シリコンとなる（例えば、非特許文献1参照。）ことから、上記特許文献1に示される500～900の低い温度での窒素による熱窒化では、安定な窒化シリコンは形成されていないことが十分に考えられる。そのため、窒化シリコン膜が平坦に形成されず、窒化シリコン膜上に平坦な窒化ガリウム系化合物半導体層が形成されない恐れがあった。また一方、上記窒化シリコン膜は部分的に膜が形成されない箇所を生じ易く、絶縁膜としての機能を十分果せない問題点もあった。

10

【0008】

本発明の目的は、完全に単結晶化した、結晶欠陥が極めて少ない、高品質で平坦な窒化物半導体層を比較的簡便に形成する窒化物半導体層付き基板の製造方法を提供することにある。

【課題を解決するための手段】

【0009】

本発明の第1の観点は、図1に示すように、単結晶シリコン基板11上に窒化シリコン層12を形成する工程と、この窒化シリコン層12上に窒化物半導体層13を形成する工程とを含む窒化物半導体層付き基板10の製造方法において、窒化シリコン層12を基板11の表面全体にエピタキシャル成長法により700～950の温度で0.05～2000nmの厚さで結晶質窒化シリコンとアモルファス窒化シリコンとが混在した窒化シリコン薄膜を形成し、窒化シリコン層12上に前記エピタキシャル成長法により単結晶の窒化物半導体層13を形成することを特徴とする。

20

本発明の第2の観点は、図1に示すように、単結晶シリコン基板11上に窒化シリコン層12を形成する工程と、この窒化シリコン層12上に窒化物半導体層13を形成する工程とを含む窒化物半導体層付き基板10の製造方法において、窒化シリコン層12を基板11の表面全体にエピタキシャル成長法により950～1300の温度で0.15～50nmの厚さで均一に単結晶シリコン基板の結晶方位と整合性を有する結晶性窒化シリコン薄膜を形成し、窒化シリコン層12上に前記エピタキシャル成長法により単結晶の窒化物半導体層13を形成することを特徴とする。

30

シリコン基板11上に窒化シリコン層12をエピタキシャル成長して形成することにより、基板の表面全体に均一な厚さの平坦な窒化シリコン層12を形成し、基板と窒化物半導体層の間にこの窒化シリコン層を介装することにより、シリコン基板と窒化物半導体層の界面における格子定数の差が緩和され、窒化シリコン層上により単結晶で高品質で平坦な窒化物半導体層を形成することができる。

【0010】

本発明の第3の観点は、第1又は第2の観点に基づく発明であって、更に窒化シリコン層12の形成とこの窒化シリコン層12に続く窒化物半導体層13の形成をRFプラズマ（radio frequency plasma）-分子線エピタキシャル成長（以下、RF-MBEという）法により一連に行い、かつ窒化シリコン層12及び窒化物半導体層13を形成するときの窒素源が主に励起状態の中性窒素原子又は分子であることを特徴とする。

40

窒化シリコン層12のエピタキシャル成長をRF-MBE法で行い、このときの窒素源として励起状態の中性窒素原子又は分子を用いることにより、反応性窒素となってシリコン基板上に平坦な結晶性の窒化シリコン層が形成される。この窒素源にクヌーセンセルからのGa, In, Al等の原料ソースを加えて、引き続き窒化物半導体層を形成すれば、より高品質で平坦な単結晶窒化物半導体層を窒化シリコン層上に簡便に形成することができる。

本発明の第4の観点は、第1ないし第3の観点に基づく発明であって、更に窒化物半導体層13が窒化ガリウム層であることを特徴とする。

50

【発明の効果】

【0011】

以上述べたように、本発明によれば、シリコン基板上に単結晶を含む結晶性窒化シリコン、又はアモルファス窒化シリコンと結晶性窒化シリコンが混在した窒化シリコンからなるエピタキシャル層を基板表面全体に均一な厚さで形成し、その上に窒化物半導体を成長するようにしたので、窒化物半導体層中に格子欠陥が少なく、シリコン基板上に単結晶で高品質で平坦な窒化物半導体層が得られる。

特に本発明のエピタキシャル成長した窒化シリコン層に引続いて窒化物半導体層を同一のエピタキシャル装置で積層できる利点がある。

【図面の簡単な説明】

10

【0012】

【図1】本発明の窒化物半導体層付き基板の断面構成図。

【図2】シリコン基板上に窒化ガリウム層を成長させる前のシリコン基板表面の結晶構造を示す反射型高速電子線回折像の写真図。

【図3】参考例1のアモルファス窒化シリコン層を形成した直後の窒化ガリウム層形成前の窒化シリコン層表面の結晶構造を示す反射型高速電子線回折像の写真図。

【図4】参考例1の窒化ガリウム層の成長開始して15秒後の窒化ガリウム層表面の結晶構造を示す反射型高速電子線回折像の写真図。

【図5】参考例1の窒化ガリウム層の成長開始して30秒後の窒化ガリウム層表面の結晶構造を示す反射型高速電子線回折像の写真図。

20

【図6】参考例1の窒化ガリウム層の成長開始して60秒後の窒化ガリウム層表面の結晶構造を示す反射型高速電子線回折像の写真図。

【図7】参考例1の窒化ガリウム層の成長開始して3時間後の窒化ガリウム層表面の結晶構造を示す反射型高速電子線回折像の写真図。

【図8】実施例1のアモルファスと結晶が混在した窒化シリコン層を形成した直後の窒化ガリウム層形成前の窒化シリコン層表面の結晶構造を示す反射型高速電子線回折像の写真図。

【図9】実施例1の窒化ガリウム層の成長開始して5分後の窒化ガリウム層表面の結晶構造を示す反射型高速電子線回折像の写真図。

【図10】実施例1の窒化ガリウム層の成長開始して3時間後の窒化ガリウム層表面の結晶構造を示す反射型高速電子線回折像の写真図。

30

【図11】実施例2の結晶性窒化シリコン層を形成した直後の窒化ガリウム層形成前の窒化シリコン層表面の結晶構造を示す反射型高速電子線回折像の写真図。

【図12】実施例2の窒化ガリウム層の成長開始して60秒後の窒化ガリウム層表面の結晶構造を示す反射型高速電子線回折像の写真図。

【図13】実施例2の窒化ガリウム層の成長開始して3時間後の窒化ガリウム層表面の結晶構造を示す反射型高速電子線回折像の写真図。

【図14】比較例1の窒化ガリウム層の成長開始して60秒後の窒化ガリウム層表面の結晶構造を示す反射型高速電子線回折像の写真図。

【図15】比較例1の窒化ガリウム層の成長開始して3時間後の窒化ガリウム層表面の結晶構造を示す反射型高速電子線回折像の写真図。

40

【図16】実施例1及び比較例1の窒化物半導体層付き基板から作製した発光素子のフォトルミネッセンス強度を示す図。

【図17】実施例1の窒化シリコン層のオージェ分析結果を示す図。

【図18】従来の窒化物半導体層付き基板の断面構成図。

【発明を実施するための形態】

【0013】

本発明の窒化物半導体層は、Ga₂N（窒化ガリウム系化合物半導体）、InN（窒化インジウム系化合物半導体）又はAlN（窒化アルミニウム系化合物半導体）からなる層である。単結晶シリコン基板とこの窒化物半導体層との間に介装される窒化シリコン層の厚

50

さは $0.05 \sim 2000 \text{ nm}$ である。 0.05 nm 未満では窒化シリコン層が均一でなく、部分的にシリコン基板上に形成されて、基板表面が露出する恐れがある。また 2000 nm を超えると窒化シリコン層に剥離やクラックを生じる不都合がある。窒化シリコン層を均一な厚さにし、かつ単結晶シリコン基板の結晶方位を保ったままの単結晶窒化物半導体層を作り出すためには、窒化シリコン層の厚さは $0.15 \sim 50 \text{ nm}$ が好ましい。特に窒化シリコン層においてアモルファスの割合が高い場合にはその厚さはシリコン基板の結晶方位を窒化物半導体層に引継ぐために $0.15 \sim 20 \text{ nm}$ 程度に薄い方が好ましい。反対に窒化シリコン層において結晶の割合が高い場合にはその厚さは $20 \sim 2000 \text{ nm}$ 程度に厚くてもよい。

【0014】

本発明の窒化物半導体層付き基板はシリコン基板の表面全体に均一な厚さで形成された窒化シリコン層の上にエピタキシャル成長で作られる。このエピタキシャル成長法としては、MBE（分子線エピタキシャル成長）法、MOCVD（有機金属気相成長）法、ALE（原子層エピタキシャル成長）法等が挙げられる。特に成膜に十分な量の励起状態の中性窒素原子又は分子（反応性窒素）が得られ、かつ平坦な窒化シリコン層が得られるRF-MBE法が好ましい。これらのエピタキシャル成長法は窒化シリコン層に続く窒化物半導体層の形成にも適用できる。従って、本発明の製造方法は、窒化シリコン層と窒化物半導体層とを一連に形成することができる利点がある。

窒化シリコン層のエピタキシャル成長時の温度は $100 \sim 1300$ の範囲から選ばれるこの温度の高低により、アモルファス窒化シリコン層又は結晶性窒化シリコン層、或いはアモルファス窒化シリコンと結晶性窒化シリコンが混在したエピタキシャル層のいずれかが形成され、また同時に窒化シリコン層の組成が変化する。温度が低いほどアモルファス窒化シリコンの割合が増加し、温度が高いほど結晶性窒化シリコンの割合が増加する。アモルファス窒化シリコンのエピタキシャル層を形成するためには $100 \sim 700$ 程度が、アモルファス窒化シリコンと結晶性窒化シリコンが混在したエピタキシャル層を形成するためには $700 \sim 950$ 程度が、更に結晶性窒化シリコンのエピタキシャル層を形成するためには $950 \sim 1300$ 程度がそれぞれ好ましい。窒化シリコン層の組成を Si_xN_y で表した場合に、本発明の窒化シリコン層の組成は、次式（1）の関係を満たす範囲にある。

$$0.8 \leq Y/X \leq 1.6 \quad \dots \dots (1)$$

例えば、窒化シリコン層の形成時の温度が 700 の場合には、 Si_3N_4 が生成し、 950 の場合には Si_1N_1 が生成する。

【0015】

単結晶シリコンの格子定数と単結晶窒化物半導体の格子定数とは大きな差が存在するが、シリコン基板を構成するシリコンと窒化物半導体層を構成する窒素を含む窒化シリコン層を基板と窒化物半導体層との間に介装することにより、基板と窒化物半導体層との界面における格子定数の差が大幅に緩和され、シリコン基板と窒化物半導体層との間の化学的親和性は向上する。特に窒化シリコン層が基板の表面全体に均一な厚さで平坦化されて成膜されたエピタキシャル層であると、この窒化シリコン層上に高品質で平坦な窒化物半導体層が形成される。

窒化シリコン層は均一な厚さでエピタキシャル成長したものであれば、アモルファス状でも結晶性の層でもよい。結晶性窒化シリコンからなる場合には単結晶シリコン基板の結晶方位と整合性を有し、単結晶シリコン基板の結晶方位を保ったままの、更により高品質な窒化物半導体層が得られる。

窒化シリコン層中のアモルファス窒化シリコンは窒化物半導体層の積層歪みを吸収し、一方窒化シリコン層中の結晶性窒化シリコンは単結晶シリコン基板の結晶方位を保ったままの単結晶窒化物半導体層を作り出す。

【実施例】

【0016】

次に本発明の実施例を図面を参照して説明する。

10

20

30

40

50

< 参考例 1 >

まず、自然酸化膜を除去した結晶方位が (111) の p 型シリコンウェーハを RF-MBE 装置の基板ホルダ（図示せず）に保持した後、窒素源として主に励起状態の中性窒素原子又は分子を用い、RF プラズマソースの出力を 250 W、窒素ガス流量を 1.5 CCM にして、650 で 2 分間窒化処理することにより、シリコンウェーハ上に窒化シリコン層をエピタキシャル成長させた。

この窒化シリコン層を形成したシリコンウェーハを同一の基板ホルダに保持したまま、700 で励起状態の中性窒素原子又は分子とクヌーセンセルからの Ga を 3 時間照射して、窒化シリコン層上に窒化ガリウム層を形成した。

【0017】

10

< 実施例 1 >

窒化シリコン層のエピタキシャル成長時の温度を 950 にした以外は、参考例 1 と同様にしてシリコンウェーハ上に窒化シリコン層を介して窒化ガリウム層を形成した。

< 実施例 2 >

窒化シリコン層のエピタキシャル成長時の温度を 800 、時間を 3 分にした以外は、参考例 1 と同様にしてシリコンウェーハ上に窒化シリコン層を介して窒化ガリウム層を形成した。

< 比較例 1 >

窒化シリコン層を設けない以外は参考例 1 と同様にしてシリコンウェーハ上に直接窒化ガリウム層を形成した。

20

【0018】

< 比較評価 >

(a) RHEED 像の観察

RF-MBE 装置の真空容器内に反射型高速電子回折装置 (RHEED) を挿入して、参考例 1、実施例 1～2 及び比較例 1 のエピタキシャル成長過程をその場 (in situ) 観察した。

図 2 は参考例 1、実施例 1～2 及び比較例 1 に共通する窒化シリコン層又は窒化ガリウム層をエピタキシャル成長させる前のシリコンウェーハの RHEED 像（反射型高速電子線回折像）である。図 2 にはシリコンの再配列構造に起因する 7×7 構造が現れ、このことからシリコンウェーハの表面酸化層は完全に除去され、この表面が清浄で平坦であることがわかる。

30

【0019】

(1) 参考例 1 (アモルファス窒化シリコン層) の RHEED 像の観察

図 3 は窒化シリコン層を形成した直後の窒化ガリウム層を形成する前の RHEED 像である。図 3 よりアモルファス窒化シリコンからなる窒化シリコン層が形成されていることがわかる。図 4 はアモルファス窒化シリコン層上に窒化ガリウム層を形成し始めて 15 秒後の RHEED 像、図 5 は 30 秒後の RHEED 像、図 6 は 60 秒後の RHEED 像、図 7 は 3 時間後の RHEED 像である。図 4 から窒化ガリウムの結晶化を示すスポットが現れ始め、図 5 から単結晶状のスポットが現れ始め、図 6 から単結晶窒化ガリウムのスポットが明瞭になってきたことがそれぞれわかる。窒化ガリウム層を 3 時間かけて成長させた後の図 7 からはスポットがほぼ消失し、ストリーク状になっていることが見られ、このことから非常に平坦で結晶性の良い窒化ガリウムが次式 (2) の方位関係を保って成長していることがわかる。

40

【0020】

【数 1】

$$\text{GaN}[\bar{1}\bar{1}20]//\text{Si}[1\bar{1}0], \text{GaN}(0001)//\text{Si}(111) \cdots (2)$$

【0021】

(2) 実施例 1 (アモルファスと結晶が混在した窒化シリコン層) の RHEED 像の観察

図 8 は窒化シリコン層を形成した直後の窒化ガリウム層を形成する前の RHEED 像で

50

ある。図 8 より下地のシリコン基板との格子の整合性を示す単結晶状の窒化シリコン層が形成されており、その格子定数はシリコンより約 2.9 % 小さく、窒化ガリウムの格子定数との差は約 9 % になり、その差が小さくなっていることがわかる。しかし、それらのストリークは十分明瞭であるとは言えず、背景がぼけていることからアモルファス状窒化シリコンが存在していると考えられる。

図 9 は窒化ガリウム層の成長開始から 5 分後の窒化ガリウム層の RHEED 像であって、図 9 からは窒化ガリウムのスポットが明瞭になっていて、ウルツ鉱型単結晶窒化ガリウム層が窒化シリコン層上に連続的にエピタキシャル成長していることがわかる。図 10 は窒化ガリウム層を 3 時間かけて成長させた後の RHEED 像であって、図 10 からは図 7 と同様にスポットがほぼ消失し、ストリーク状になっているのが見られ、このことから非常に平坦で結晶性の良い窒化ガリウムが形成できたことがわかる。

10

【 0 0 2 2 】

(3) 実施例 2 (結晶性窒化シリコン層) の RHEED 像の観察

図 11 は窒化シリコン層を形成した直後の窒化ガリウム層を形成する前の RHEED 像である。図 11 より単結晶状の窒化シリコンからなる窒化シリコン層が形成されており、その格子定数はシリコンより約 2.6 % 小さく、窒化ガリウムの格子定数との差は約 6 % になり、その差が小さくなっていることがわかる。図 12 は結晶性窒化シリコン層上に窒化ガリウム層を形成し始めて 60 秒後の RHEED 像、図 13 は 3 時間後の RHEED 像である。図 12 から単結晶窒化ガリウムのスポットが明瞭になり、図 13 からは図 7 及び図 10 と同様にスポットがほぼ消失し、ストリーク状になっていることが見られ、このことから非常に平坦で結晶性の良い窒化ガリウムが形成できたことがわかる。

20

【 0 0 2 3 】

(4) 比較例 1 (窒化シリコン層なし) の RHEED 像の観察

図 14 はシリコンウェーハ上に窒化ガリウム層を成長させてから 30 秒後の窒化ガリウム層の RHEED 像、図 15 は 3 時間後の RHEED 像である。図 14 からアモルファス状の窒化ガリウムが成長し始め、図 15 からはリングパターンが現れ、多結晶状の窒化ガリウムが形成されていることがわかる。

【 0 0 2 4 】

(b) フォトルミネッセンス強度

窒化ガリウム層を 3 時間かけて成長させた後の実施例 1 及び比較例 1 のフォトルミネッセンス強度を測定した。その結果を図 16 に示す。図 16 中に示す実線は実施例 1 のフォトルミネッセンス強度、破線は比較例 1 のフォトルミネッセンス強度である。図 16 から明らかなように比較例 1 では 3.43 eV (361 nm) でのピーク強度が低いのに対して、実施例 1 では 3.47 eV (358.8 nm) で非常に高いピーク強度が現れ、しかもそれ以外のピークが観察されていないことから紫外領域に強い発光をもつ高品質の窒化ガリウム層が成長していることがわかる。

30

【 0 0 2 5 】

(c) 窒化シリコン層及び窒化ガリウム層の平坦度及び厚さ

参考例 1、実施例 1 ~ 2 の窒化シリコン層及び窒化ガリウム層の平坦度と厚さ、並びに比較例 1 の窒化ガリウム層の平坦度と厚さを透過電子顕微鏡を用いて各層の断面を観察することにより測定した。平坦度に関して、比較例 1 の窒化ガリウム層が平坦でないのに対して、参考例 1、実施例 1 ~ 2 の窒化シリコン層及び窒化ガリウム層はともに平坦であった。厚さに関して、その結果を表 1 に示す。

40

【 0 0 2 6 】

【表 1】

	参考例 1	実施例 1	実施例 2	比較例 1
窒化シリコン層	約1.0nm	約1.3nm	約1.5nm	—
窒化ガリウム層	約1500nm	約1500nm	約1500nm	約1500nm

【0027】

(d) オージェ分析結果

10

実施例 1 の窒化シリコン層上に窒化ガリウム層を形成する前の窒化シリコン層についてそれぞれ表面分析法であるオージェ分析により窒化シリコン層の表面から深さ方向の組成を調べた。その結果を図 17 に示す。図 17 において、横軸はオージェ電子エネルギーを、縦軸はオージェ電子により検出される各元素の信号強度をそれぞれ示す。図 17 において 1612 eV のピークはシリコンウェーハに由来する Si - KLL のオージェ遷移を、1607 eV のピークは窒化シリコンに由来する Si - KLL のオージェ遷移を、また 377 eV のピークは窒化シリコンに由来する N - KLL オージェ遷移をそれぞれ示している。これらの結果から窒化シリコン層の Si と窒素の組成比（原子数）、即ち前述した式（1）の X / Y は、0.97 であった。

同様に参考例 1 の窒化シリコン層の Si と窒素の組成比（原子数）をオージェ分析したところ、X / Y = 1.4 であった。

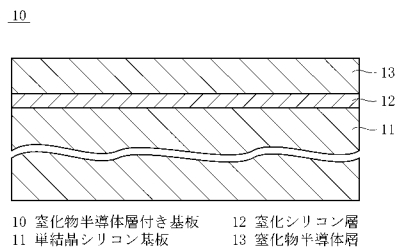
20

【符号の説明】

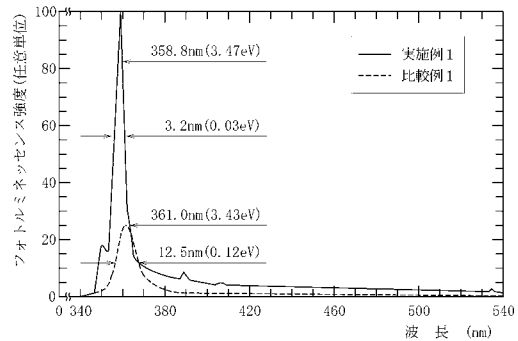
【0028】

- 10 窒化物半導体層付き基板
- 11 単結晶シリコン基板
- 12 窒化シリコン層
- 13 窒化物半導体層

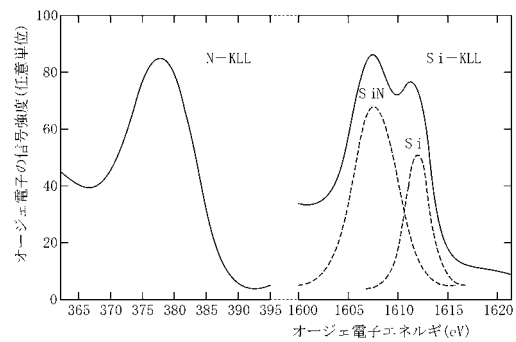
【図 1】



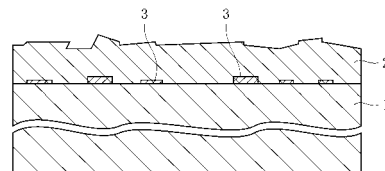
【図 16】



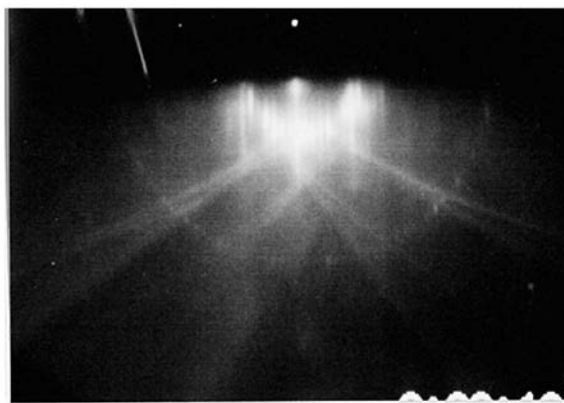
【図 17】



【図 18】



【図 2】



成長前 Si(111) - (7×7) 再配列構造

【図3】

参考例1(窒化处理 650℃ 2分間)

GaN層
成長直前

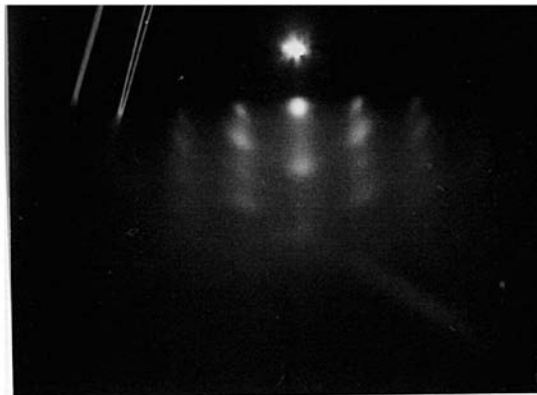
【図4】

参考例1(窒化处理 650℃ 2分間)

GaN層
成長15秒後

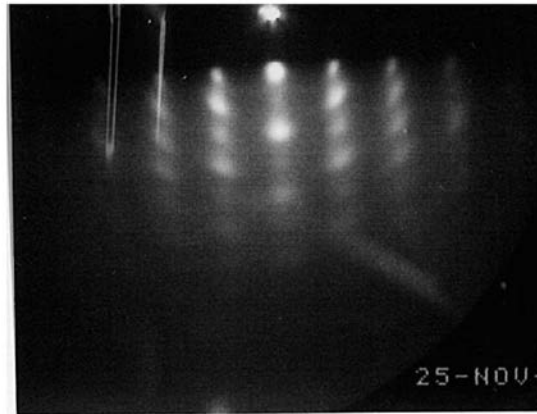
【図5】

参考例1(窒化处理 650℃ 2分間)

GaN層
成長30秒後

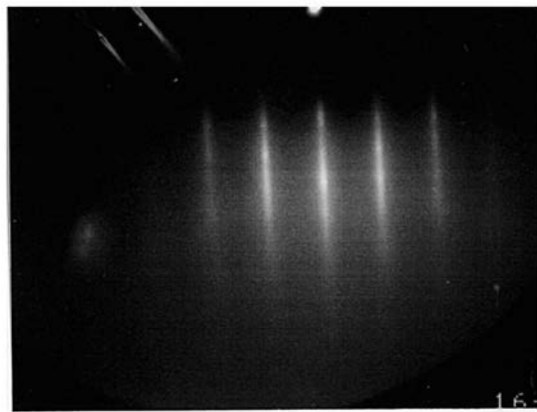
【図6】

参考例1(窒化处理 650℃ 2分間)

GaN層
成長60秒後

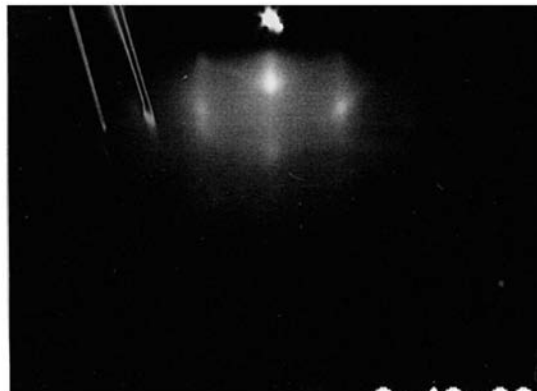
【図7】

参考例1(窒化处理 650℃ 2分間)

GaN層
成長3時間後

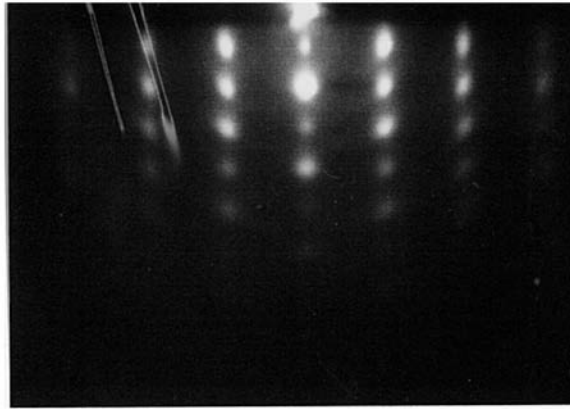
【図8】

実施例1(窒化处理 950℃ 2分間)

GaN層
成長直前

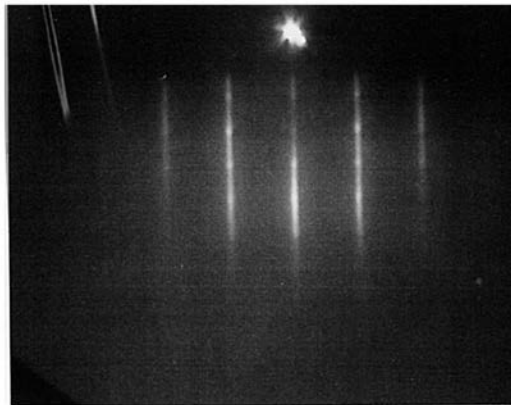
【図 9】

実施例1(窒化处理 950℃ 2分間)

GaN層
成長5分後

【図 10】

実施例1(窒化处理 950℃ 2分間)

GaN層
成長3時間後

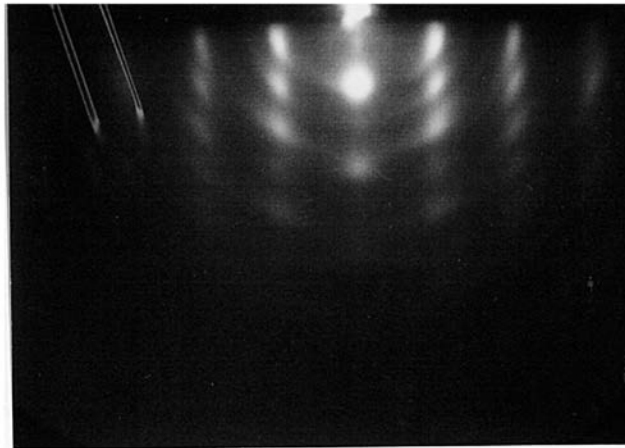
【図 11】

実施例2(窒化处理 800℃ 3分間)

GaN層
成長直前

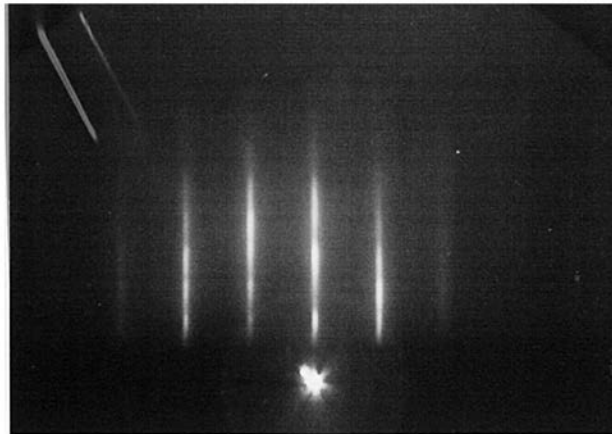
【図 1 2】

実施例2(窒化处理 800℃ 3分間)

GaN層
成長60秒後

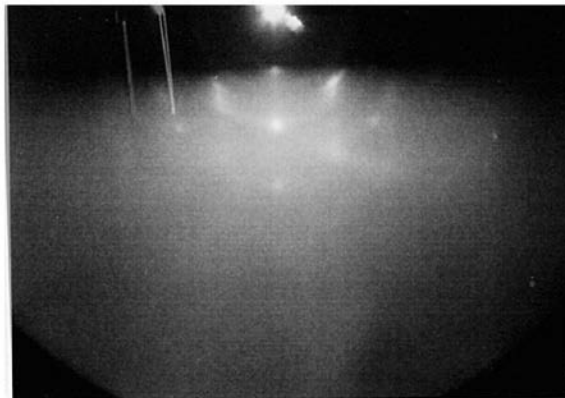
【図 1 3】

実施例2(窒化处理 800℃ 3分間)

GaN層
成長3時間後

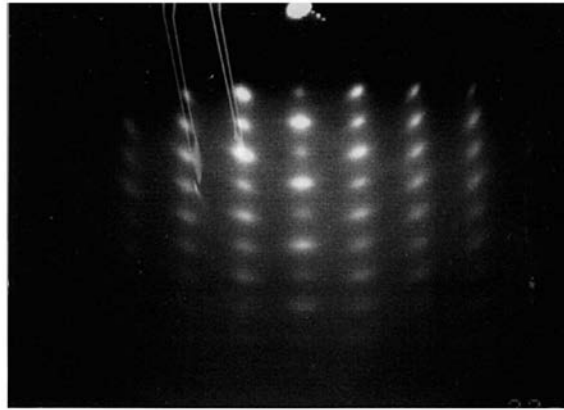
【図 1 4】

比較例1(窒化处理なし)

GaN層
成長60秒後

【図 15】

比較例1(窒化処理なし)

GaN層
成長3時間後

フロントページの続き

(72)発明者 奥村 元

茨城県つくば市東 1 - 1 - 4 工業技術院 産業技術融合領域研究所内

(72)発明者 イゴ アクセノフ

茨城県つくば市東 1 - 1 - 4 工業技術院 産業技術融合領域研究所内

審査官 山本 雄一

(56)参考文献 特開平 0 8 - 0 6 4 9 1 3 (J P , A)

特開平 0 9 - 2 2 7 2 9 6 (J P , A)

特開昭 6 3 - 1 2 7 5 2 8 (J P , A)

(58)調査した分野(Int.Cl. , D B 名)

H 0 1 L 2 1 / 2 0 3

H 0 1 L 2 1 / 2 0 5

H 0 1 L 3 3 / 0 0 - 3 3 / 6 4

C 2 3 C 1 4 / 0 0 - 1 4 / 5 8

C 2 3 C 1 6 / 0 0 - 1 6 / 5 6

C 3 0 B 1 / 0 0 - 3 5 / 0 0