

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2013-201326
(P2013-201326A)

(43) 公開日 平成25年10月3日(2013.10.3)

(51) Int.Cl.		F I	テーマコード (参考)	
HO 1 L	33/32	(2010.01)	HO 1 L 33/00 1 8 6	4 G O 7 7
C 3 O B	29/38	(2006.01)	C 3 O B 29/38 D	4 K O 3 O
C 3 O B	25/20	(2006.01)	C 3 O B 25/20	5 F O 4 5
C 2 3 C	16/34	(2006.01)	C 2 3 C 16/34	5 F 1 4 1
HO 1 L	21/205	(2006.01)	HO 1 L 21/205	

審査請求 未請求 請求項の数 4 O L (全 22 頁)

(21) 出願番号 特願2012-69353 (P2012-69353)
(22) 出願日 平成24年3月26日 (2012. 3. 26)

(71) 出願人 000005120
日立電線株式会社
東京都台東区浅草橋一丁目2番16号
(74) 代理人 100071526
弁理士 平田 忠雄
(74) 代理人 100099597
弁理士 角田 賢二
(74) 代理人 100119208
弁理士 岩永 勇二
(74) 代理人 100124235
弁理士 中村 恵子
(74) 代理人 100124246
弁理士 遠藤 和光
(74) 代理人 100128211
弁理士 野見山 孝

最終頁に続く

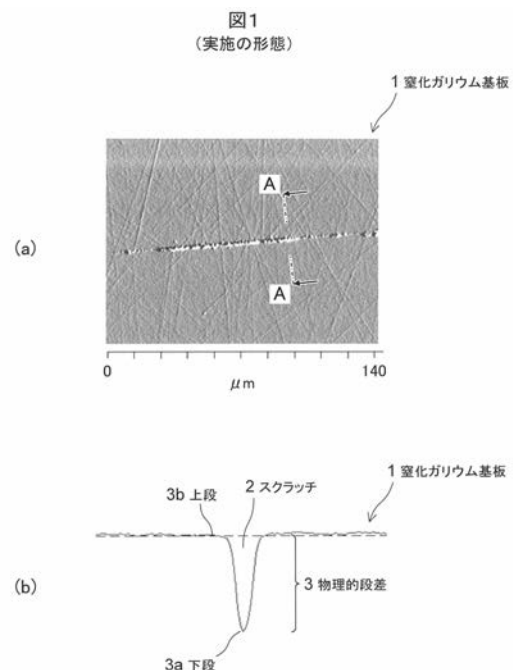
(54) 【発明の名称】 窒化ガリウム基板及びエピタキシャルウェハ

(57) 【要約】

【課題】表面に物理的段差を有していても、良質な結晶性を有するエピタキシャル成長層を成長させることができる窒化ガリウム基板、及びそれを用いて製造される表面の平坦性のよいエピタキシャルウェハを提供する。

【解決手段】本発明の一態様において、表面に複数の物理的段差3を有する窒化ガリウム基板1であって、表面に存在する全ての物理的段差3の大きさが4 μm以下であり、物理的段差の上段3bと下段3aにおいて測定される窒化ガリウム基板1のバンドギャップに対応する波長のカソードルミネッセンス発光強度のうち、高い方の数値と低い方の数値をそれぞれH、Lとすると、全ての物理的段差3において、 $(H - L) / H \times 100 \geq 80$ の関係が満たされる窒化ガリウム基板1を提供する。

【選択図】 図1



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

表面に複数の物理的段差を有する窒化ガリウム基板であって、
前記表面に存在する全ての物理的段差の大きさが $4 \mu\text{m}$ 以下であり、
前記物理的段差の上段と下段において測定される前記窒化ガリウム基板のバンドギャップに対応する波長のカソードルミネッセンス発光強度のうち、高い方の数値と低い方の数値をそれぞれ H、L とすると、前記全ての物理的段差において、 $(H - L) / H \times 100$
80 の関係が満たされる窒化ガリウム基板。

【請求項 2】

前記全ての物理的段差の大きさが $3 \mu\text{m}$ 以下である、
請求項 1 に記載の窒化ガリウム基板。

10

【請求項 3】

前記全ての物理的段差の大きさが $2 \mu\text{m}$ 以下である、
請求項 2 に記載の窒化ガリウム基板。

【請求項 4】

請求項 1 ~ 3 のうちのいずれか 1 項に記載された窒化ガリウム基板と、
前記窒化ガリウム基板上のバッファ層と、
前記バッファ層上の InGa_N 量子井戸層を含む量子井戸構造と、
を有するエピタキシャルウェハ。

【発明の詳細な説明】

20

【技術分野】

【0001】

本発明は、窒化ガリウム基板及びエピタキシャルウェハに関する。

【背景技術】

【0002】

良質で大型の窒化ガリウム基板の製造方法として、D E E P (Dislocation Elimination by the Epi-growth with Inverted-Pyramidal Pits: 例えば、特許文献 1 参照) 法や、V A S 法 (Void-Assisted Separation Method: 例えば、特許文献 2 参照) により窒化ガリウム基板を得る方法や、H V P E (Hydride Vapor Phase Epitaxy) 法により異種基板上に窒化ガリウム単結晶を厚く成長させ、異種基板から剥離することにより窒化ガリウムの自立基板を得る方法が知られている。

30

【0003】

これらの方法により製造された窒化ガリウム基板においては、裏面から表面に向かって厚さ方向で転位密度が変化し、格子定数が厚さ方向で変化するため、自立基板は反りを有する。さらに、窒化ガリウム基板には、窒化ガリウム単結晶を厚く成長させることによる数十 μm 以上の膜厚差が存在する。そのため、窒化ガリウム基板の表面側と裏面側を平坦にするための研磨処理が必要になる。研磨処理の後、所望の直径の円形にするための自立基板の外周加工が実施される。その後、洗浄が実施され、鏡面が得られる。

【0004】

窒化ガリウム基板の研磨方法として、定盤上に供給された遊離砥粒により基板を研磨する方法が知られている (例えば、特許文献 3 参照)。この方法では、遊離砥粒の粒径を徐々に小さくし、研磨速度を遅くしながら基板を研磨する。

40

【先行技術文献】

【特許文献】

【0005】

【特許文献 1】特許 3 8 6 4 8 7 0 号公報

【特許文献 2】特開 2 0 0 4 - 2 6 9 3 1 3 号公報

【特許文献 3】特開 2 0 0 1 - 3 2 2 8 9 9 号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

50

【 0 0 0 6 】

しかし、特許文献 3 に記載された方法を用いて、遊離砥粒の粒径を小さくし、研磨速度を遅くし、さらに長時間研磨を施しても、窒化ガリウム基板の全面においてスクラッチ等による物理的段差を無くす事は、非常に困難である。スクラッチ等による物理的段差がある表面上にエピタキシャル成長層を成長させた場合、たとえ物理的段差の大きさが数 nm であっても、エピタキシャル成長層が異常成長し、表面が平坦にならないおそれがある。このようなエピタキシャルウェハを用いて光デバイスを製造する場合には、発光強度低下による不良が発生し、歩留まりが低下するという問題が生じる。

【 0 0 0 7 】

したがって、本発明の目的の一つは、表面に物理的段差を有していても、良質な結晶性を有するエピタキシャル成長層を成長させることができる窒化ガリウム基板を提供することにある。また、本発明の目的の一つは、このような窒化ガリウム基板上にエピタキシャル成長層を成長させることにより、表面の平坦性のよいエピタキシャルウェハを提供することにある。

10

【課題を解決するための手段】

【 0 0 0 8 】

(1) 本発明の一態様によれば、上記目的を達成するため、表面に複数の物理的段差を有する窒化ガリウム基板であって、前記表面に存在する全ての物理的段差の大きさが $4 \mu\text{m}$ 以下であり、前記物理的段差の上段と下段において測定される前記窒化ガリウム基板のバンドギャップに対応する波長のカソードルミネッセンス発光強度のうち、高い方の数値と低い方の数値をそれぞれ H、L とすると、前記全ての物理的段差において、 $(H - L) / H \times 100 \leq 80$ の関係が満たされる窒化ガリウム基板が提供される。

20

【 0 0 0 9 】

(2) 上記窒化ガリウム基板において、前記全ての物理的段差の大きさが $3 \mu\text{m}$ 以下であることが好ましい。

【 0 0 1 0 】

(3) 上記窒化ガリウム基板において、前記全ての物理的段差の大きさが $2 \mu\text{m}$ 以下であることがより好ましい。

【 0 0 1 1 】

(4) また、本発明の他の態様によれば、上記の窒化ガリウム基板と、前記窒化ガリウム基板上のバッファ層と、前記バッファ層上の InGa_xN_{1-x} 量子井戸層を含む量子井戸構造と、を有するエピタキシャルウェハが提供される。

30

【発明の効果】

【 0 0 1 2 】

本発明の一態様によれば、表面に物理的段差を有していても、良質な結晶性を有するエピタキシャル成長層を成長させることができる窒化ガリウム基板を提供することができる。

【 0 0 1 3 】

また、このような窒化ガリウム基板上にエピタキシャル成長層を成長させることにより、表面の平坦性のよいエピタキシャルウェハを提供することができる。

40

【図面の簡単な説明】

【 0 0 1 4 】

【図 1】図 1 (a) は、実施の形態に係る窒化ガリウム基板の表面のスクラッチを表す二次元光学プロファイラ画像である。図 1 (b) は、図 1 (a) の線分 A - A における窒化ガリウム基板の断面のイメージ図である。

【図 2】図 2 は、実施例 1 に係る HVPE 成長装置の断面図である。

【図 3】図 3 は、実施例 1 に係るエピタキシャルウェハの断面図である。

【発明を実施するための形態】

【 0 0 1 5 】

〔実施の形態〕

50

本発明者等が鋭意調査した結果、窒化ガリウム基板の表面にスクラッチ等による物理的段差が存在する場合であっても、必ずしも良好なエピタキシャル結晶成長ができないわけではなく、物理的段差の大きさが比較的小さく、且つ、物理的段差の上段と下段において窒化ガリウム基板のバンドギャップに対応する波長のカソードルミネッセンス発光強度の差が小さいときには、基板上の結晶の異常成長を抑え、表面の平坦な結晶を成長させることが可能であることを見出した。

【0016】

カソードルミネッセンス発光強度は測定箇所の結晶の状態により変化するものであり、物理的段差の上段と下段のカソードルミネッセンス発光強度の差が大きい場合は、加工歪み等により上段と下段における結晶の状態が大きく異なることを表す。上段と下段における結晶の状態が大きく異なる場合、物理的段差上では結晶が異常成長し、上段と下段における結晶の状態が近い場合、物理的段差上であっても結晶の異常成長が抑えられるものと考えられる。

10

【0017】

ここで、物理的段差とは、基板表面を研磨処理又はエッチング処理した際に、窒化ガリウム基板の表面に生じるスクラッチ等による段差をいう。例えば、凹部による段差の場合は、凹部の底を下段、基板表面を上段とし、凸部による段差の場合は、基板表面を下段、凸部の頂点を上段とする。

【0018】

図1(a)は、窒化ガリウム基板の表面のスクラッチを表す三次元光学プロファイラ画像である。図1(b)は、図1(a)の線分A-Aにおける窒化ガリウム基板の断面のイメージ図である。図1(b)は、窒化ガリウム基板1の表面のスクラッチ2による物理的段差3を表す。この例においては、スクラッチ2の底が物理的段差3の下段3aに相当し、窒化ガリウム基板1の表面が物理的段差3の上段3bに相当する。下段3aから上段3bまでの高さが、物理的段差3の大きさである。

20

【0019】

(窒化ガリウム基板の製造)

以下に、V A S法による窒化ガリウム基板の製造工程の一例を示す。なお、D E E P法により窒化ガリウム基板を製造してもよい。

【0020】

まず、下地基板としてのサファイア基板上に、M O C V D (Metal Organic Chemical Vapor Deposition) によりG a N結晶を成長させ、G a N下地層を形成する。次に、G a N下地層上に金属T i薄膜を蒸着させる。次に、アンモニアと水素ガスの混合気流中で熱処理を施すことにより、金属T i薄膜を窒化して網目構造のT i N薄膜を形成する。また、熱処理と同時に、G a N下地層をエッチングして空隙を形成する。ここで、空隙を含むG a N下地層とその上の金属T i薄膜を含む、以上の工程により得られた基板をポイド形成基板と呼ぶ。

30

【0021】

次に、G a C l及びN H₃を原料として用いるH V P E法により、ポイド形成基板上にG a N結晶の初期核を形成した後、G a N結晶膜を任意の厚さに成長させる。次に、成長したG a N結晶膜をポイド形成基板から剥離した後、後述するような研磨等を施し、窒化ガリウムの自立基板を得る。

40

【0022】

ここで、自立基板とは、自らの形状を保持できるだけでなく、ハンドリングに不都合が生じない程度の強度を有する基板をいう。このような強度を有するためには、使用時の自立基板の厚さ(つまり、剥離後、研磨やエッチング等を施した後の自立基板の厚さ)を200 μm以上とするのが好ましい。また素子形成後の劈開の容易性等を考慮して、自立基板の厚さを1 mm以下とするのが好ましい。自立基板が厚すぎると劈開が困難となり、劈開面に凹凸が生じる。この結果、たとえば半導体レーザー等に適用した場合、反射のロスによるデバイス特性の劣化が問題となる。

50

【0023】

異種基板である下地基板上に厚くエピタキシャル成長した窒化ガリウム単結晶においては、裏面から表面に向かって厚さ方向で転位密度が変化する。このため、格子定数が厚さ方向で変化し、得られた窒化ガリウム基板は反りを有する。さらに、窒化ガリウム単結晶を厚く成長させることにより形成される窒化ガリウム基板は、基板面内で数十 μm 以上の膜厚差を有する。そのため、窒化ガリウム基板の表側の面及び裏側の面を平坦化するために研磨処理を施す必要がある。

【0024】

まず、窒化ガリウム基板のN極性面の研削及び機械研磨、Ga極性面の研削及び機械研磨を順に実施する。ここで、研磨処理として、例えば、片面高速精密ラッピングマシン機

10

【0025】

次に、窒化ガリウム基板をエッチング溶液に浸漬してウェットエッチングを実施する。次に、Ga極性面の2回目のドライエッチングを実施する。その後、窒化ガリウム基板を所望の直径の円形に加工するための外周加工及び洗浄が施される。

【0026】

得られた窒化ガリウム基板は、研磨処理又はエッチング処理によりスクラッチ、加工歪み等のダメージを表面に受け、スクラッチ等による物理的段差を表面に有する。本発明において、窒化ガリウム基板の表面の全ての物理的段差の大きさは $4\mu\text{m}$ 以下であり、好ましくは $3\mu\text{m}$ 以下であり、より好ましくは $2\mu\text{m}$ 以下である。基板表面の物理的段差が全

20

【0027】

また、物理的段差の上段と下段において測定される窒化ガリウム基板のバンドギャップに対応する波長のカソードルミネッセンス発光強度のうち、高い方の数値と低い方の数値をそれぞれH、Lとすると、全ての物理的段差において、 $(H - L) / H \times 100 \geq 80$ の関係が満たされる。 $(H - L) / H \times 100$ は、HとLの差のHに対する割合を百分率で表したものであり、物理的段差の上段と下段における結晶の状態の違い、すなわち物理的段差部分における加工歪みの大きさを表す指標として用いることができる。

30

【0028】

室温(20)における窒化ガリウム結晶のバンドギャップに対応する波長は、約365nmであり、この波長におけるカソードルミネッセンス発光強度を測定するために、例えば、332.6~397.3nmの波長範囲で測定を行う。

【0029】

窒化ガリウム基板の表面の物理的段差が上記の条件を満たすことにより、窒化ガリウム基板上にエピタキシャル成長層を成長させる際の異常成長を抑え、表面の平坦なエピタキシャル成長層を得ることができる。例えば、研磨時間の短縮のために粒径の大きい遊離砥粒を用いた研磨処理を実施する場合、スクラッチ等による物理的段差が特に生じやすいが、物理的段差が上記の条件を満たす場合は、表面の平坦なエピタキシャル成長層を得ること

40

【0030】

また、窒化ガリウム基板の直径は、25mm以上とするのが好ましい。大面積の下地基板を用いることにより、大面積の窒化ガリウム基板を得ることができる。

【0031】

(エピタキシャルウェハの製造)

得られた窒化ガリウム基板のGa極性面上に、窒化ガリウム基板上のGaNバッファ層と、窒化ガリウムバッファ層上のInGaN量子井戸層を含む量子井戸構造と、量子井戸構造上のGaNキャップ層等のエピタキシャル成長層を形成し、エピタキシャルウェハを製造する。量子井戸構造は、例えば、1層ずつ交互に積層された7層のInGaNバリア

50

層と6層のInGaN量子井戸層とから構成される。

【0032】

GaNバッファ層、量子井戸構造、及びGaNキャップ層は、例えば、アンモニア、トリメチルガリウム及びトリメチルインジウムを原料として用いて、MOVPE (Metal-Organic Vapor Phase Epitaxy) 法により形成される。

【0033】

このエピタキシャルウェハにおいて、窒化ガリウム基板の表面の大きさが $3\mu\text{m}$ 以下の物理的段差の直上の領域において測定されたInGaN量子井戸層のバンドギャップに対応する波長のフォトルミネッセンス強度(レーザーの出力 1mW 当たりの出力電圧)は、 $1.000\text{V}/\text{mW}$ 以上である。結晶表面の平坦性がよいほどフォトルミネッセンス強度が高いため、これは、大きさが $3\mu\text{m}$ 以下の物理的段差の直上の領域におけるエピタキシャルウェハの表面の平坦性がよいことを表す。

10

【0034】

フォトルミネッセンス測定は、エピタキシャルウェハの表面を縦 0.1mm ×横 0.1mm の面積が 0.01mm^2 の領域ごとに行う。また、エピタキシャルウェハの全領域の平坦性を評価するためには、エピタキシャルウェハの外周から 1mm の領域を除いた領域について測定を行えば十分である。

【0035】

また、大きさが $2\mu\text{m}$ 以下の物理的段差の直上の領域におけるInGaN量子井戸層のバンドギャップに対応する波長のフォトルミネッセンス強度は、 $2.000\text{V}/\text{mW}$ 以上である。これは、大きさが $2\mu\text{m}$ 以下の物理的段差の直上の領域におけるエピタキシャルウェハの表面の平坦性がさらによいことを表す。

20

【0036】

すなわち、窒化ガリウム基板の表面の大部分の物理的段差の大きさが $3\mu\text{m}$ 以下(例えば、全ての物理的段差が $4\mu\text{m}$ 以下)である場合は、エピタキシャルウェハの表面の平坦性がよく、窒化ガリウム基板の表面の全ての物理的段差の大きさが $3\mu\text{m}$ 以下である場合は、エピタキシャルウェハの表面の平坦性がよりよく、全ての物理的段差の大きさが $2\mu\text{m}$ 以下である場合は、エピタキシャルウェハの表面の平坦性がさらによい。

【0037】

本実施の形態のエピタキシャルウェハは表面の平坦性がよいため、エピタキシャルウェハを用いて光デバイスを製造する場合に、発光強度低下による歩留まりの低下を抑えることができる。

30

【実施例1】

【0038】

実施例1では、VAS法により25枚の窒化ガリウム基板を形成した。次に、各基板について三次元光学プロファイラーを用いて物理的段差を測定し、物理的段差の大きさごとに20箇所の評価領域を決定した。次に、各基板の各評価領域においてカソードルミネッセンス測定を行った。次に、各窒化ガリウム基板上にエピタキシャル成長層を成長させて量子井戸構造を形成し、エピタキシャルウェハを得た。次に、各エピタキシャルウェハについてフォトルミネッセンス測定を行い、各評価領域における平均測定値を求めて表面の平坦性を評価し、物理的段差の大きさ及びカソードルミネッセンス測定の結果との関係を調べた。以下に、具体的な工程を述べる。

40

【0039】

(窒化ガリウム基板の製造)

まず、MOCVDにより直径 3.5 インチのサファイア基板上に厚さ 500nm のGaN下地層を形成した。次に、GaN下地層の表面上に厚さ 30nm のTiを蒸着し、 H_2 と NH_3 の混合気流中で 1000 で30分間熱処理を加えて、網目状TiN膜を形成した。また、熱処理とともにGaN下地層にエッチングを施し、GaN下地層に空隙を形成した。その結果、ポイド形成基板を得た。

【0040】

50

次に、図2に示されるHVPE成長装置10を用いてボイド形成基板の上にGaN結晶膜を形成した。HVPE成長装置10は、ヒータ11、反応容器12、反応ガス導入管13、エッチングガス導入管14、反応ガス導入管15、基板ホルダ17、原料載置室20、排気口21を有する。反応ガス導入管15が通る原料載置室20には、金属Ga16が格納される。

【0041】

まず、形成されたボイド形成基板18をHVPE成長装置10内の基板ホルダ17にセットした。ここで、反応容器12内の圧力は常圧とし、ボイド形成基板18の基板温度を1050℃まで上げた。

【0042】

次に、反応ガス導入管13から 5×10^{-2} atmのNH₃ガスをキャリアガスである 6×10^{-1} atmのN₂ガスとともに反応容器12に導入し、反応ガス導入管15から 5×10^{-3} atmのGaCl₃ガスをキャリアガスである 2.0×10^{-1} atmのN₂ガスと 1.0×10^{-1} atmのH₂ガスとともに反応容器12に導入して、ボイド形成基板18上にGaN結晶を20分間成長させ、初期核を形成した。

【0043】

続けて、GaCl₃ガスの分圧及びNH₃ガスのキャリアガスであるN₂ガスの分圧をそれぞれ 1.5×10^{-2} atm、 5.85×10^{-1} atmに変更し、他の条件はそのままGaN結晶を成長させ、厚さ800 μmのGaN結晶膜を形成した。その後、GaN結晶膜をボイド形成基板18から剥離し、窒化ガリウム基板を得た。

【0044】

次に、横型平面研削機により、窒化ガリウム基板のN極性面の研削を実施した。ここで、この研削の実施条件を、使用砥石：メタルボンド#800、砥石径：150 mm、砥石回転数：2500 rpm、砥石送り速度：0.2 μm/秒、研削実施時間：20分間とした。

【0045】

次に、片面高速精密ラッピングマシン機により、窒化ガリウム基板のN極性面の機械研磨を実施した。ここで、この機械研磨の実施条件を、定盤回転数：150 rpm、圧力：0.2 MPa、研磨液：ダイヤモンドスラリー、研磨液供給量：0.3 L/min、研磨実施時間：15分間とした。

【0046】

次に、横型平面研削機により、窒化ガリウム基板のGa極性面の研削を実施した。ここで、この研削の実施条件を、使用砥石：メタルボンド#800、砥石径：200 mm、砥石回転数：2000 rpm、砥石送り速度：0.2 μm/秒、研削実施時間：25分間とした。

【0047】

次に、片面高速精密ラッピングマシン機により、窒化ガリウム基板のGa極性面の機械研磨を実施した。ここで、この機械研磨の実施条件を、定盤回転数：170 rpm、圧力：0.35 MPa、研磨液：ダイヤモンドスラリー、研磨液供給量：0.25 L/min、研磨実施時間：15分間とした。

【0048】

以上の工程を繰り返すことにより、25枚の窒化ガリウム基板を用意した。その後、この25枚の窒化ガリウム基板に対して、各々異なる条件のドライエッチング及びウェットエッチングを実施した。以下に、詳細を述べる。

【0049】

まず、ドライエッチング装置により、25枚の窒化ガリウム基板のGa極性面に1回目のドライエッチングを実施した。25枚の窒化ガリウム基板の1回目のドライエッチングの実施時間を表1に示す。ここで、表1において、25枚の窒化ガリウム基板に(1)～(25)の番号をそれぞれ付す。他の実施条件は窒化ガリウム基板(1)～(25)で共通させ、エッチングガス：Cl₂、電力：150 W、エッチングガス流量：70 sccm

10

20

30

40

50

、エッチング反応室内圧力：10 Paとした。

【0050】

次に、90℃、濃度5%の NH_4OH 溶液に窒化ガリウム基板(1)～(25)を浸漬させることにより、ウェットエッチングを行った。窒化ガリウム基板(1)～(25)のウェットエッチングの実施時間を表1に示す。

【0051】

次に、ドライエッチング装置により、窒化ガリウム基板(1)～(25)のGa極性面に2回目のドライエッチングを実施した。窒化ガリウム基板(1)～(25)の2回目のドライエッチングの実施時間を表1に示す。他の実施条件は窒化ガリウム基板(1)～(25)で共通させ、エッチングガス： Cl_2 、電力：150W、エッチングガス流量：40 sccm、エッチング反応室内圧力：20 Paとした。

10

【0052】

【表1】

GaN 基板 番号	1回目ドライ エッチング実 施時間(分)	ウェットエッ チング実 施 時間 (分)	2回目ドライ エッチング実 施時間(分)
(1)	20	8	20
(2)	24	11	24
(3)	28	14	28
(4)	32	17	32
(5)	36	20	36
(6)	40	23	40
(7)	44	26	44
(8)	48	29	48
(9)	52	32	52
(10)	56	35	56
(11)	60	38	60
(12)	64	41	64
(13)	68	44	68
(14)	72	47	72
(15)	76	50	76
(16)	80	53	80
(17)	84	56	84
(18)	88	59	88
(19)	92	62	92
(20)	96	65	96
(21)	100	68	100
(22)	104	71	104
(23)	108	74	108
(24)	112	77	112
(25)	116	80	116

20

30

40

50

【 0 0 5 3 】

(物理的段差の測定)

三次元光学プロファイラー（Z Y G O社製：New View 6 2 0 0）により、窒化ガリウム基板（1）～（25）の表面のスクラッチ等による物理的段差を測定し、物理段差の大きさごとに20箇所の評価領域d1～d20を決定した。評価領域は、窒化ガリウム基板のカソードルミネッセンス測定値及びエピタキシャルウェハのフォトルミネッセンス測定値を評価する領域である。窒化ガリウム基板（1）～（25）の20箇所の評価領域d1～d20の物理的段差の大きさを表2、3に示す。

【 0 0 5 4 】

【表2】

10

GaN 基板 番号	段差測定結果(nm)									
	d1	d2	d3	d4	d5	d6	d7	d8	d9	d10
	0 ～ 200 (nm)	200 ～ 400 (nm)	400 ～ 600 (nm)	600 ～ 800 (nm)	800 ～ 1000 (nm)	1000 ～ 1200 (nm)	1200 ～ 1400 (nm)	1400 ～ 1600 (nm)	1600 ～ 1800 (nm)	1800 ～ 2000 (nm)
(1)	109	301	506	698	915	1096	1295	1512	1703	1903
(2)	91	307	507	689	912	1105	1314	1495	1713	1891
(3)	98	310	514	688	885	1087	1309	1503	1714	1913
(4)	102	314	512	708	889	1106	1287	1510	1706	1906
(5)	107	307	511	692	904	1098	1305	1491	1715	1905
(6)	92	312	488	706	902	1103	1300	1498	1687	1888
(7)	92	300	492	693	904	1102	1297	1498	1693	1894
(8)	111	298	503	709	907	1099	1300	1506	1710	1897
(9)	92	287	508	692	906	1113	1287	1497	1713	1890
(10)	101	314	506	715	907	1098	1315	1486	1707	1901
(11)	111	309	502	689	914	1114	1300	1493	1702	1895
(12)	105	288	502	713	909	1099	1292	1509	1702	1889
(13)	97	291	501	686	889	1086	1302	1515	1693	1889
(14)	110	307	509	691	900	1101	1311	1494	1691	1906
(15)	97	291	514	690	888	1086	1313	1499	1696	1898
(16)	104	312	512	700	890	1092	1309	1504	1705	1897
(17)	98	315	487	697	891	1100	1289	1506	1685	1888
(18)	102	307	495	691	900	1089	1289	1490	1709	1889
(19)	102	309	488	705	907	1095	1290	1492	1708	1891
(20)	96	295	515	708	906	1088	1307	1492	1693	1891
(21)	101	301	497	712	893	1091	1304	1498	1713	1893
(22)	112	287	502	703	892	1100	1297	1496	1709	1885
(23)	86	290	497	708	908	1111	1310	1494	1695	1898
(24)	87	303	510	698	903	1085	1310	1491	1709	1889
(25)	88	294	489	691	893	1085	1313	1497	1704	1890

20

30

40

【 0 0 5 5 】

【表 3】

GaN 基板 番号	段差測定結果(nm)									
	d11 2000 ~ 2200 (nm)	d12 2200 ~ 2400 (nm)	d13 2400 ~ 2600 (nm)	d14 2600 ~ 2800 (nm)	d15 2800 ~ 3000 (nm)	d16 3000 ~ 3200 (nm)	d17 3200 ~ 3400 (nm)	d18 3400 ~ 3600 (nm)	d19 3600 ~ 3800 (nm)	d20 3800 ~ 4000 (nm)
(1)	2088	2309	2495	2700	2890	3093	3288	3498	3686	3909
(2)	2102	2308	2503	2696	2910	3088	3306	3503	3708	3902
(3)	2103	2290	2496	2690	2905	3103	3286	3494	3703	3891
(4)	2106	2294	2503	2694	2908	3110	3304	3497	3709	3898
(5)	2098	2311	2491	2699	2885	3097	3314	3488	3702	3891
(6)	2110	2304	2490	2709	2908	3097	3296	3491	3704	3902
(7)	2099	2287	2497	2692	2911	3113	3293	3508	3707	3886
(8)	2091	2289	2504	2691	2898	3113	3304	3497	3690	3906
(9)	2086	2293	2496	2691	2899	3085	3295	3507	3707	3903
(10)	2096	2310	2488	2707	2911	3107	3303	3498	3688	3906
(11)	2110	2307	2487	2697	2907	3095	3315	3512	3706	3898
(12)	2111	2289	2515	2691	2907	3097	3303	3501	3714	3890
(13)	2085	2290	2495	2708	2890	3108	3306	3500	3696	3889
(14)	2089	2311	2502	2703	2908	3115	3286	3487	3685	3885
(15)	2096	2291	2486	2710	2914	3110	3288	3512	3699	3911
(16)	2098	2298	2511	2689	2891	3107	3300	3495	3689	3885
(17)	2110	2296	2506	2686	2888	3112	3295	3506	3706	3885
(18)	2098	2297	2494	2711	2898	3088	3307	3499	3690	3886
(19)	2101	2288	2492	2706	2898	3105	3315	3494	3715	3894
(20)	2098	2310	2515	2696	2910	3111	3298	3499	3691	3904
(21)	2102	2311	2490	2696	2894	3094	3299	3491	3688	3895
(22)	2092	2311	2506	2693	2903	3112	3311	3485	3707	3907
(23)	2111	2295	2503	2714	2907	3093	3293	3501	3696	3891
(24)	2088	2311	2512	2695	2913	3101	3305	3498	3707	3914
(25)	2108	2314	2515	2685	2915	3101	3301	3509	3686	3888

【0056】

(カソードルミネッセンス測定)

窒化ガリウム基板(1)~(25)の評価領域d1~d20におけるカソードルミネッセンス発光強度の測定を実施した。このカソードルミネッセンス測定には、走査型電子顕微鏡(日立ハイテクノロジーズ製:S-3000N)に、カソードルミネッセンスによって得られた発光スペクトルを検出、分光する機器(堀場製作所製:MP-32M)を設置した装置を用いた。電子の加速電圧を5kVとして、窒化ガリウム結晶のバンドギャップに対応する波長、365nm、を中心とする波長範囲で測定を実施した。

【0057】

物理的段差の上段と下段において測定される窒化ガリウム結晶のバンドギャップに対応する波長のカソードルミネッセンス発光強度のうち、高い方の数値と低い方の数値をそれぞれH、Lとしたときの、窒化ガリウム基板(1)~(25)の評価領域d1~d20に

10

20

30

40

50

おける (H - L) / H × 100 の値を表 4、5 に示す。

【 0 0 5 8 】

【 表 4 】

GaN 基板 番号	カソードルミネッセンス測定(H-L)/H×100(%)									
	d1	d2	d3	d4	d5	d6	d7	d8	d9	d10
	0 ~ 200 (nm)	200 ~ 400 (nm)	400 ~ 600 (nm)	600 ~ 800 (nm)	800 ~ 1000 (nm)	1000 ~ 1200 (nm)	1200 ~ 1400 (nm)	1400 ~ 1600 (nm)	1600 ~ 1800 (nm)	1800 ~ 2000 (nm)
(1)	96	96	96	96	96	97	97	97	97	97
(2)	95	95	95	95	95	96	96	96	96	96
(3)	94	94	94	94	94	95	95	95	95	95
(4)	93	93	93	93	93	94	94	94	94	94
(5)	92	92	92	92	92	93	93	93	93	93
(6)	91	91	91	91	91	92	92	92	92	92
(7)	90	90	90	90	90	91	91	91	91	91
(8)	88	88	88	88	88	89	89	89	89	89
(9)	86	86	86	86	86	87	87	87	87	87
(10)	84	84	84	84	84	85	85	85	85	85
(11)	82	82	82	82	82	83	83	83	83	83
(12)	77	77	77	77	77	78	78	78	78	78
(13)	72	72	72	72	72	73	73	73	73	73
(14)	67	67	67	67	67	68	68	68	68	68
(15)	62	62	62	62	62	63	63	63	63	63
(16)	57	57	57	57	57	58	58	58	58	58
(17)	52	52	52	52	52	53	53	53	53	53
(18)	47	47	47	47	47	48	48	48	48	48
(19)	42	42	42	42	42	43	43	43	43	43
(20)	37	37	37	37	37	38	38	38	38	38
(21)	32	32	32	32	32	33	33	33	33	33
(22)	27	27	27	27	27	28	28	28	28	28
(23)	22	22	22	22	22	23	23	23	23	23
(24)	17	17	17	17	17	18	18	18	18	18
(25)	12	12	12	12	12	13	13	13	13	13

10

20

30

40

【 0 0 5 9 】

【表 5】

GaN 基板 番号	カソードルミネッセンス測定(H-L)/H×100(%)									
	d11 2000 ~ 2200 (nm)	d12 2200 ~ 2400 (nm)	d13 2400 ~ 2600 (nm)	d14 2600 ~ 2800 (nm)	d15 2800 ~ 3000 (nm)	d16 3000 ~ 3200 (nm)	d17 3200 ~ 3400 (nm)	d18 3400 ~ 3600 (nm)	d19 3600 ~ 3800 (nm)	d20 3800 ~ 4000 (nm)
(1)	98	98	98	98	98	99	99	99	99	99
(2)	97	97	97	97	97	98	98	98	98	98
(3)	96	96	96	96	96	97	97	97	97	97
(4)	95	95	95	95	95	96	96	96	96	96
(5)	94	94	94	94	94	95	95	95	95	95
(6)	93	93	93	93	93	94	94	94	94	94
(7)	92	92	92	92	92	93	93	93	93	93
(8)	90	90	90	90	90	91	91	91	91	91
(9)	88	88	88	88	88	89	89	89	89	89
(10)	86	86	86	86	86	87	87	87	87	87
(11)	84	84	84	84	84	85	85	85	85	85
(12)	79	79	79	79	79	80	80	80	80	80
(13)	74	74	74	74	74	75	75	75	75	75
(14)	69	69	69	69	69	70	70	70	70	70
(15)	64	64	64	64	64	65	65	65	65	65
(16)	59	59	59	59	59	60	60	60	60	60
(17)	54	54	54	54	54	55	55	55	55	55
(18)	49	49	49	49	49	50	50	50	50	50
(19)	44	44	44	44	44	45	45	45	45	45
(20)	39	39	39	39	39	40	40	40	40	40
(21)	34	34	34	34	34	35	35	35	35	35
(22)	29	29	29	29	29	30	30	30	30	30
(23)	24	24	24	24	24	25	25	25	25	25
(24)	19	19	19	19	19	20	20	20	20	20
(25)	14	14	14	14	14	15	15	15	15	15

【 0 0 6 0 】

表 4、5 は、ドライエッチング時間、ウェットエッチング時間の増加に伴い、(H-L)/H×100の値が減少することを示している。これは、ドライエッチング時間、ウェットエッチング時間の増加に伴い、窒化ガリウム基板の表面の加工歪みが減少することによると考えられる。

【 0 0 6 1 】

(エピタキシャルウェハの製造)

MOVPE法により、1020 に加熱した窒化ガリウム基板(1)~(25)のGa極性面上に、H₂キャリアガスにアンモニア及びトリメチルガリウムとトリメチルインジウムを供給し、図3に示されるエピタキシャルウェハ30を形成した。

【 0 0 6 2 】

エピタキシャルウェハ30は、窒化ガリウム基板31及び、窒化ガリウム基板31上のGaNバッファ層32、GaNバッファ層32上の量子井戸構造33、量子井戸構造33

上の GaN キャップ層 34 からなるエピタキシャル成長層 35 を含む。GaN バッファ層 32 は、厚さ約 3000 nm の GaN 結晶膜からなる。量子井戸構造 33 は、厚さ 6 nm の InGaN 結晶膜からなる 7 層の InGaN バリア層と厚さ約 4 nm の InGaN 結晶膜からなる 6 層の InGaN 量子井戸層が 1 層ずつ交互に積層された構造を有する。GaN キャップ層 34 は、厚さ約 20 nm の GaN 結晶膜からなる。

【0063】

エピタキシャルウェハ 30 は、発光ダイオード等の光デバイスとして用いることができる。例えば、エピタキシャルウェハ 30 を発光ダイオードとして用いる場合は、窒化ガリウム基板 31 と GaN キャップ層 34 の各々に電極が接続される。

【0064】

(フォトルミネッセンス測定)

フォトルミネッセンス測定装置 (ACCENT 社製 RPM2000) により、窒化ガリウム基板 (1) ~ (25) の Ga 極性面の評価領域 d1 ~ d20 における InGaN 量子井戸層のバンドギャップに対応する波長のフォトルミネッセンスピーク強度 (以下、発光強度と記す) を測定した。

【0065】

まず、窒化ガリウム基板の外周から 1 mm の領域を除いた領域内において縦 0.1 mm × 横 0.1 mm の領域ごとに発光強度を測定し、得られた測定値から、評価領域 d1 ~ d20 の各領域の直上の領域における平均発光強度を求めた。フォトルミネッセンス測定の条件は、レーザー光源: 波長 325 nm の He-Cd レーザー、受光スリット幅: 0.1 mm、測定波長範囲: 367.9 nm ~ 432.4 nm とした。

【0066】

段差部 d1 ~ d20 の直上の領域における平均発光強度を表 6、表 7 に示す。

【0067】

【表 6】

GaN 基板 番号	段差部フォトルミネッセンス平均発光強度(Volt/mW)									
	d1 0 ~ 200 (nm)	d2 200 ~ 400 (nm)	d3 400 ~ 600 (nm)	d4 600 ~ 800 (nm)	d5 800 ~ 1000 (nm)	d6 1000 ~ 1200 (nm)	d7 1200 ~ 1400 (nm)	d8 1400 ~ 1600 (nm)	d9 1600 ~ 1800 (nm)	d10 1800 ~ 2000 (nm)
(1)	0.078	0.075	0.073	0.077	0.076	0.063	0.064	0.065	0.064	0.066
(2)	0.083	0.085	0.084	0.087	0.086	0.075	0.077	0.076	0.075	0.074
(3)	0.096	0.095	0.097	0.093	0.092	0.085	0.082	0.083	0.083	0.087
(4)	0.103	0.108	0.106	0.107	0.105	0.097	0.093	0.094	0.095	0.096
(5)	0.115	0.118	0.115	0.113	0.117	0.106	0.104	0.105	0.106	0.104
(6)	0.126	0.126	0.123	0.128	0.126	0.116	0.112	0.117	0.118	0.115
(7)	0.135	0.133	0.135	0.137	0.133	0.124	0.126	0.127	0.122	0.127
(8)	0.147	0.144	0.146	0.145	0.143	0.138	0.134	0.135	0.133	0.132
(9)	0.156	0.158	0.153	0.154	0.158	0.146	0.144	0.143	0.148	0.147
(10)	0.177	0.177	0.174	0.173	0.176	0.165	0.164	0.163	0.162	0.166
(11)	0.195	0.195	0.193	0.198	0.197	0.186	0.182	0.184	0.187	0.186
(12)	3.980	2.510	2.801	2.718	2.760	3.708	2.125	2.118	2.829	3.073
(13)	3.624	3.134	2.303	3.280	3.328	3.964	2.843	2.674	3.007	3.674
(14)	3.367	3.001	3.422	2.271	3.305	3.325	2.690	3.922	2.536	3.085
(15)	2.354	4.000	2.543	2.722	2.971	3.168	2.418	3.082	2.940	3.002
(16)	3.037	2.178	2.532	2.263	2.098	3.283	3.071	3.360	3.885	3.680
(17)	3.824	3.433	2.522	3.164	3.519	2.561	2.129	2.118	2.148	2.345
(18)	3.164	2.214	3.367	3.552	2.066	2.875	3.389	2.057	3.139	3.940
(19)	3.096	3.249	3.162	2.487	3.306	2.175	2.974	3.538	3.512	3.967
(20)	3.066	3.351	2.912	3.715	3.315	3.238	2.175	3.383	3.230	2.335
(21)	2.837	3.341	3.916	3.781	2.328	2.912	3.417	3.325	2.093	3.513
(22)	3.618	3.574	3.644	2.087	2.786	2.527	3.724	2.631	3.820	2.110
(23)	2.639	3.684	3.669	2.292	3.271	3.130	3.607	3.366	2.379	2.807
(24)	3.409	3.963	3.267	3.013	2.453	3.352	3.545	3.181	2.069	2.088
(25)	3.197	3.859	2.714	3.042	2.492	3.558	2.015	2.814	3.085	3.591

【 0 0 6 8 】

10

20

30

【表 7】

GaN 基板 番号	段差部フォトルミネッセンス平均発光強度(Volt/mW)									
	d11 2000 ~ 2200 (nm)	d12 2200 ~ 2400 (nm)	d13 2400 ~ 2600 (nm)	d14 2600 ~ 2800 (nm)	d15 2800 ~ 3000 (nm)	d16 3000 ~ 3200 (nm)	d17 3200 ~ 3400 (nm)	d18 3400 ~ 3600 (nm)	d19 3600 ~ 3800 (nm)	d20 3800 ~ 4000 (nm)
	(1)	0.057	0.055	0.053	0.056	0.058	0.042	0.044	0.047	0.048
(2)	0.063	0.067	0.066	0.065	0.065	0.054	0.054	0.058	0.053	0.056
(3)	0.077	0.074	0.075	0.076	0.076	0.068	0.068	0.062	0.064	0.065
(4)	0.082	0.088	0.084	0.084	0.085	0.077	0.072	0.076	0.073	0.072
(5)	0.098	0.093	0.097	0.095	0.097	0.082	0.086	0.082	0.085	0.084
(6)	0.103	0.105	0.104	0.106	0.105	0.096	0.095	0.094	0.098	0.097
(7)	0.114	0.112	0.115	0.115	0.116	0.108	0.106	0.102	0.105	0.106
(8)	0.122	0.124	0.128	0.127	0.125	0.118	0.117	0.114	0.113	0.115
(9)	0.135	0.133	0.137	0.136	0.134	0.122	0.126	0.124	0.125	0.126
(10)	0.155	0.154	0.153	0.158	0.154	0.142	0.144	0.148	0.144	0.142
(11)	0.179	0.172	0.176	0.175	0.173	0.166	0.164	0.167	0.164	0.165
(12)	1.989	1.954	1.869	1.694	1.012	0.175	0.177	0.176	0.172	0.173
(13)	1.907	1.863	1.174	1.574	1.502	0.185	0.198	0.185	0.191	0.195
(14)	1.926	1.918	1.940	1.696	1.718	0.187	0.189	0.192	0.187	0.192
(15)	1.545	1.739	1.352	1.903	1.112	0.190	0.190	0.187	0.191	0.182
(16)	1.158	1.016	1.722	1.905	1.197	0.197	0.188	0.188	0.194	0.197
(17)	1.003	1.920	1.583	1.640	1.632	0.192	0.197	0.183	0.184	0.186
(18)	1.987	1.386	1.226	1.364	1.233	0.196	0.190	0.192	0.183	0.189
(19)	1.944	1.510	1.517	1.028	1.270	0.198	0.198	0.186	0.198	0.191
(20)	1.548	1.611	1.810	1.832	1.081	0.183	0.184	0.182	0.191	0.197
(21)	1.726	1.153	1.438	1.604	1.881	0.184	0.189	0.193	0.183	0.191
(22)	1.143	1.914	1.744	1.443	1.059	0.195	0.192	0.196	0.194	0.192
(23)	1.175	1.876	1.644	1.913	1.296	0.183	0.191	0.188	0.190	0.190
(24)	1.809	1.282	1.402	1.297	1.669	0.182	0.183	0.198	0.195	0.192
(25)	1.847	1.916	1.656	1.808	1.263	0.187	0.184	0.198	0.185	0.183

10

20

30

【0069】

表 6、7 によれば、窒化ガリウム基板 (1) ~ (11) の評価領域 d1 ~ d20 の直上の領域と窒化ガリウム基板 (12) ~ (25) の評価領域 d16 ~ d20 の直上の領域における発光強度は 0.200 V/mW 以下と小さく、窒化ガリウム基板 (12) ~ (25) の評価領域 d1 ~ d15 の直上の領域における発光強度は 1.000 Volt/mW 以上と大きい。すなわち、物理的段差が 3 μm 以下であり、且つ $(H-L)/H \times 100$ (%) が 80% 以下である領域において発光強度が高く、エピタキシャルウェハの表面の平坦性に優れていることがわかる。

【0070】

また、窒化ガリウム基板 (12) ~ (25) の評価領域 d1 ~ d10 の直上の領域における発光強度は、2.000 Volt/mW 以上と、特に大きい。すなわち、物理的段差が 2 μm 以下であり、且つ $(H-L)/H \times 100$ (%) が 80% 以下である領域において発光強度が特に高く、エピタキシャルウェハの表面の平坦性に特に優れていることがわかる。

40

【0071】

これらの結果から、表面の全ての物理的段差において $(H-L)/H \times 100$ 80 の関係が満たされ、表面の大部分の物理的段差の大きさが 3 μm 以下 (例えば、全ての物理的段差が 4 μm 以下) である窒化ガリウム基板を用いて形成されたエピタキシャルウェハは、発光強度の高い光デバイスとして用いることができることがわかる。

50

【 0 0 7 2 】

さらに、表面の全ての物理的段差において $(H - L) / H \times 100 \leq 80$ の関係が満たされ、表面の全ての物理的段差の大きさが $3 \mu\text{m}$ 以下、好ましくは $2 \mu\text{m}$ 以下である窒化ガリウム基板を用いて形成されたエピタキシャルウェハは、より発光強度の高い光デバイスとして用いることができることがわかる。

【 実施例 2 】

【 0 0 7 3 】

実施例 2 においては、実施例 1 における窒化ガリウム基板 (1) ~ (2 5) の製造工程における G a 極性面の機械研磨の実施条件を圧力: 0.45 MPa 、研磨実施時間: 25 分間にそれぞれ変更し、窒化ガリウム基板 (2 6) ~ (5 0) を製造した。その他の製造条件については、窒化ガリウム基板 (1) ~ (2 5) と同様である。

10

【 0 0 7 4 】

(物理的段差の測定)

実施例 1 と同様の方法により、窒化ガリウム基板 (2 6) ~ (5 0) の表面のスクラッチ等による物理的段差を測定し、物理段差の大きさごとに 10 箇所の評価領域 $d_1 \sim d_{10}$ を決定した。

【 0 0 7 5 】

窒化ガリウム基板 (2 6) ~ (5 0) においては、 $2 \mu\text{m}$ を超える大きさの物理的段差は発見されなかった。これは、G a 極性面の機械研磨の圧力を上げ、かつ研磨実施時間を長くすることで、より基板表面が平坦化されたことによると考えられる。このため、実施例 1 よりも少ない 10 箇所の評価領域 $d_1 \sim d_{10}$ において以降の評価を行った。窒化ガリウム基板 (2 6) ~ (5 0) の評価領域 $d_1 \sim d_{10}$ の物理的段差の大きさを表 8 に示す。

20

【 0 0 7 6 】

【表 8】

GaN 基板 番号	段差測定結果(nm)									
	d1	d2	d3	d4	d5	d6	d7	d8	d9	d10
	0 ~ 200 (nm)	200 ~ 400 (nm)	400 ~ 600 (nm)	600 ~ 800 (nm)	800 ~ 1000 (nm)	1000 ~ 1200 (nm)	1200 ~ 1400 (nm)	1400 ~ 1600 (nm)	1600 ~ 1800 (nm)	1800 ~ 2000 (nm)
(26)	84	302	509	718	899	1120	1320	1510	1713	1891
(27)	119	293	501	716	903	1113	1287	1501	1706	1911
(28)	125	308	496	716	908	1118	1302	1514	1690	1885
(29)	49	289	490	680	883	1101	1284	1520	1702	1880
(30)	47	289	495	703	900	1096	1297	1480	1692	1898
(31)	34	305	509	686	890	1107	1298	1513	1718	1899
(32)	50	298	500	682	909	1090	1286	1504	1715	1920
(33)	23	305	494	695	900	1110	1301	1488	1687	1891
(34)	20	317	490	703	903	1106	1294	1486	1688	1886
(35)	104	310	515	681	896	1117	1315	1491	1681	1900
(36)	37	307	505	680	895	1119	1288	1508	1706	1902
(37)	30	291	483	694	918	1094	1299	1499	1717	1904
(38)	47	296	501	709	906	1115	1301	1520	1680	1905
(39)	40	303	491	699	906	1112	1302	1488	1714	1895
(40)	76	312	480	697	897	1106	1288	1499	1714	1888
(41)	60	281	509	707	919	1080	1317	1487	1696	1900
(42)	137	306	520	686	888	1101	1294	1497	1693	1916
(43)	107	297	513	697	898	1109	1282	1495	1719	1887
(44)	51	292	497	700	903	1097	1282	1508	1690	1901
(45)	76	303	519	691	896	1085	1304	1505	1719	1902
(46)	27	313	490	697	907	1108	1299	1484	1701	1916
(47)	109	307	503	709	882	1092	1298	1484	1703	1880
(48)	100	318	496	682	881	1115	1281	1513	1696	1902
(49)	1	295	512	715	887	1100	1308	1483	1693	1888
(50)	38	295	503	719	904	1117	1302	1485	1701	1882

10

20

30

40

【0077】

(カソードルミネッセンス測定)

実施例1と同様の方法により、窒化ガリウム基板(26)~(50)の評価領域d1~d10におけるカソードルミネッセンス発光強度の測定を実施した。

【0078】

物理的段差の上段と下段において測定される窒化ガリウム結晶のバンドギャップに対応する波長のカソードルミネッセンス発光強度のうち、高い方の数値と低い方の数値をそれぞれH、Lとしたときの、窒化ガリウム基板(26)~(50)の評価領域d1~d10における $(H-L)/H \times 100$ の値を表9に示す。

【0079】

【表 9】

GaN 基板 番号	カソードルミネッセンス測定(H-L)/H×100(%)									
	d1	d2	d3	d4	d5	d6	d7	d8	d9	d10
	0 ~ 200 (nm)	200 ~ 400 (nm)	400 ~ 600 (nm)	600 ~ 800 (nm)	800 ~ 1000 (nm)	1000 ~ 1200 (nm)	1200 ~ 1400 (nm)	1400 ~ 1600 (nm)	1600 ~ 1800 (nm)	1800 ~ 2000 (nm)
(26)	95	95	95	95	95	96	96	96	96	96
(27)	94	94	94	94	94	95	95	95	95	95
(28)	93	93	93	93	93	94	94	94	94	94
(29)	92	92	92	92	92	93	93	93	93	93
(30)	91	91	91	91	91	92	92	92	92	92
(31)	90	90	90	90	90	91	91	91	91	91
(32)	89	89	89	89	89	90	90	90	90	90
(33)	87	87	87	87	87	88	88	88	88	88
(34)	85	85	85	85	85	86	86	86	86	86
(35)	83	83	83	83	83	84	84	84	84	84
(36)	81	81	81	81	81	82	82	82	82	82
(37)	76	76	76	76	76	77	77	77	77	77
(38)	71	71	71	71	71	72	72	72	72	72
(39)	66	66	66	66	66	67	67	67	67	67
(40)	61	61	61	61	61	62	62	62	62	62
(41)	56	56	56	56	56	57	57	57	57	57
(42)	51	51	51	51	51	52	52	52	52	52
(43)	46	46	46	46	46	47	47	47	47	47
(44)	41	41	41	41	41	42	42	42	42	42
(45)	36	36	36	36	36	37	37	37	37	37
(46)	31	31	31	31	31	32	32	32	32	32
(47)	26	26	26	26	26	27	27	27	27	27
(48)	21	21	21	21	21	22	22	22	22	22
(49)	16	16	16	16	16	17	17	17	17	17
(50)	11	11	11	11	11	12	12	12	12	12

【 0 0 8 0 】

表 9 は、ドライエッチング時間、ウェットエッチング時間の増加に伴い、(H-L)/H×100の値が減少することを示している。これは、実施例 1 と同様に、ドライエッチング時間、ウェットエッチング時間の増加に伴い、窒化ガリウム基板の表面の加工歪みが減少することによると考えられる。

【 0 0 8 1 】

(エピタキシャルウェハの製造)

実施例 1 と同様の方法により、窒化ガリウム基板(26)~(50)のGa極性面上に結晶をエピタキシャル成長させ、実施例 1 のエピタキシャルウェハ 30 と同様の構成を有するエピタキシャルウェハを製造した。

【 0 0 8 2 】

(フォトルミネッセンス測定)

実施例 1 と同様の方法により、窒化ガリウム基板(26)~(50)のGa極性面の評

10

20

30

40

50

価領域 d1 ~ d10 における InGaN 量子井戸層のバンドギャップに対応する波長のフォトルミネッセンスピーク強度（以下、発光強度と記す）を測定した。段差部 d1 ~ d10 の直上の領域における平均発光強度を表 10 に示す。

【 0 0 8 3 】

【 表 1 0 】

GaN 基板 番号	段差部フォトルミネッセンス平均発光強度(Volt/mW)									
	d1 0 ~ 200 (nm)	d2 200 ~ 400 (nm)	d3 400 ~ 600 (nm)	d4 600 ~ 800 (nm)	d5 800 ~ 1000 (nm)	d6 1000 ~ 1200 (nm)	d7 1200 ~ 1400 (nm)	d8 1400 ~ 1600 (nm)	d9 1600 ~ 1800 (nm)	d10 1800 ~ 2000 (nm)
(26)	0.070	0.069	0.071	0.067	0.072	0.061	0.061	0.063	0.059	0.063
(27)	0.077	0.083	0.077	0.077	0.078	0.067	0.068	0.070	0.073	0.070
(28)	0.089	0.088	0.087	0.089	0.092	0.083	0.080	0.082	0.080	0.082
(29)	0.101	0.098	0.097	0.097	0.100	0.091	0.091	0.087	0.088	0.090
(30)	0.108	0.108	0.111	0.108	0.111	0.097	0.098	0.100	0.100	0.097
(31)	0.123	0.119	0.123	0.121	0.121	0.112	0.108	0.109	0.109	0.112
(32)	0.127	0.130	0.130	0.132	0.130	0.117	0.119	0.120	0.121	0.120
(33)	0.138	0.139	0.137	0.143	0.142	0.131	0.133	0.131	0.133	0.129
(34)	0.148	0.148	0.152	0.150	0.151	0.143	0.137	0.143	0.141	0.143
(35)	0.167	0.169	0.172	0.168	0.172	0.158	0.162	0.159	0.157	0.161
(36)	0.193	0.192	0.191	0.188	0.193	0.178	0.180	0.179	0.181	0.178
(37)	2.458	3.462	2.783	2.806	2.924	2.155	2.857	2.748	3.437	3.671
(38)	3.700	2.091	3.413	2.928	2.707	2.643	2.618	2.010	3.697	2.760
(39)	2.547	2.618	2.971	2.558	2.459	2.857	3.150	3.219	3.073	3.239
(40)	2.810	2.936	2.432	3.698	2.972	2.793	2.017	2.354	3.524	2.431
(41)	3.964	2.042	2.306	2.716	3.037	3.354	3.067	2.816	3.000	3.791
(42)	2.488	3.162	3.489	2.822	2.385	2.505	3.939	2.593	3.912	3.581
(43)	2.053	2.261	3.244	3.497	2.124	2.148	3.743	2.873	3.927	2.017
(44)	2.263	3.677	2.499	3.301	3.633	3.869	3.899	3.446	3.633	2.090
(45)	3.186	3.472	2.512	3.745	2.344	2.143	2.598	2.016	3.924	3.385
(46)	2.313	2.001	2.061	2.574	3.826	3.296	3.579	3.148	3.260	2.126
(47)	3.779	2.319	2.195	2.648	3.842	2.535	2.416	2.440	2.981	3.180
(48)	3.960	2.635	3.665	2.726	2.615	3.329	2.465	2.408	2.732	3.667
(49)	3.067	3.604	2.192	2.747	3.608	3.653	3.208	2.463	3.678	2.304
(50)	3.726	2.767	3.723	2.145	3.165	2.837	2.952	2.022	3.968	3.011

10

20

30

40

50

【 0 0 8 4 】

表 10 によれば、窒化ガリウム基板（26）～（36）の評価領域 d1 ~ d10 の直上の領域における発光強度は 0.200 V/mW 以下と小さく、窒化ガリウム基板（37）～（50）の評価領域 d1 ~ d10 の直上の領域における発光強度は 2.000 Volt/mW 以上と大きい。すなわち、物理的段差が 2 μm 以下であり、且つ $(H - L) / H \times 100$ （%）が 80% 以下である領域において発光強度が高く、エピタキシャルウェハの表面の平坦性に優れていることがわかる。

【 0 0 8 5 】

この結果から、表面の全ての物理的段差において $(H - L) / H \times 100 \leq 80$ の関係が満たされ、表面の全ての物理的段差の大きさが 2 μm 以下である窒化ガリウム基板を用いて形成されたエピタキシャルウェハは、発光強度の高い光デバイスとして用いることができることがわかる。

【 0 0 8 6 】

以上、本発明の実施の形態及び実施例を説明したが、本発明は、上記実施の形態及び実施例に限定されず、発明の主旨を逸脱しない範囲内において種々変形実施が可能である。

【 0 0 8 7 】

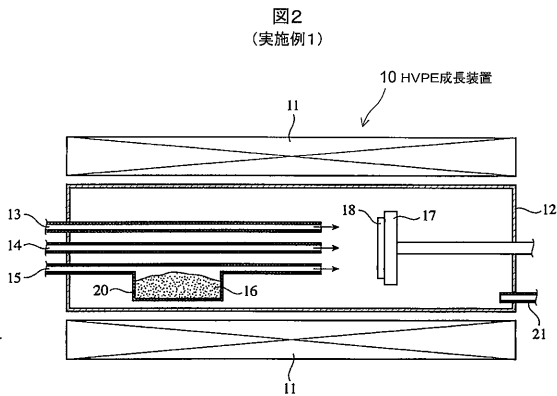
また、上記に記載した実施の形態及び実施例は特許請求の範囲に係る発明を限定するものではない。また、実施の形態及び実施例の中で説明した特徴の組合せの全てが発明の課題を解決するための手段に必須であるとは限らない点に留意すべきである。

【 符号の説明 】

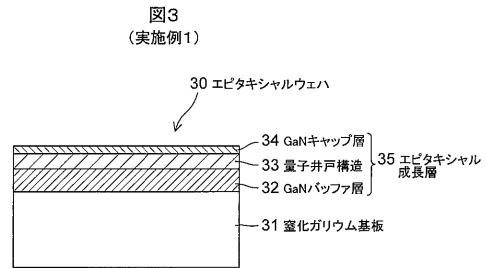
【 0 0 8 8 】

- 1、 3 1 窒化ガリウム基板
- 2 スクラッチ
- 3 物理的段差
- 3 a 下段
- 3 b 上段
- 3 0 エピタキシャルウェハ
- 3 2 GaNバッファ層
- 3 3 量子井戸構造
- 3 5 エピタキシャル成長層

【 図 2 】

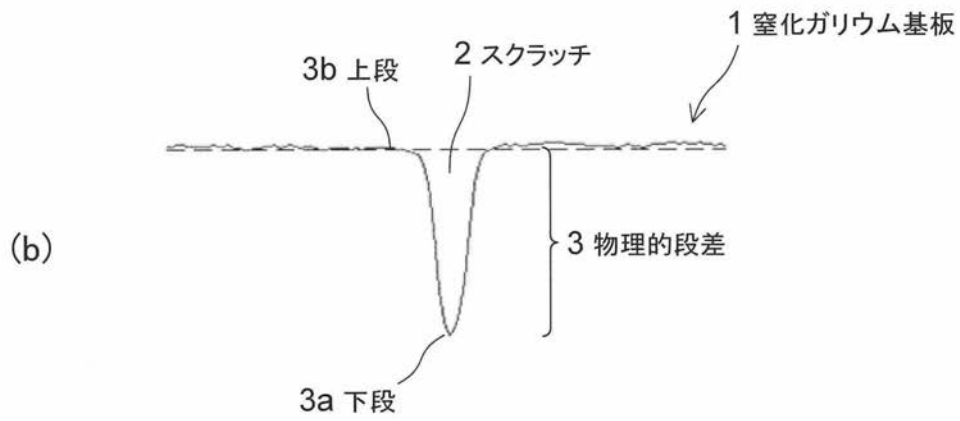
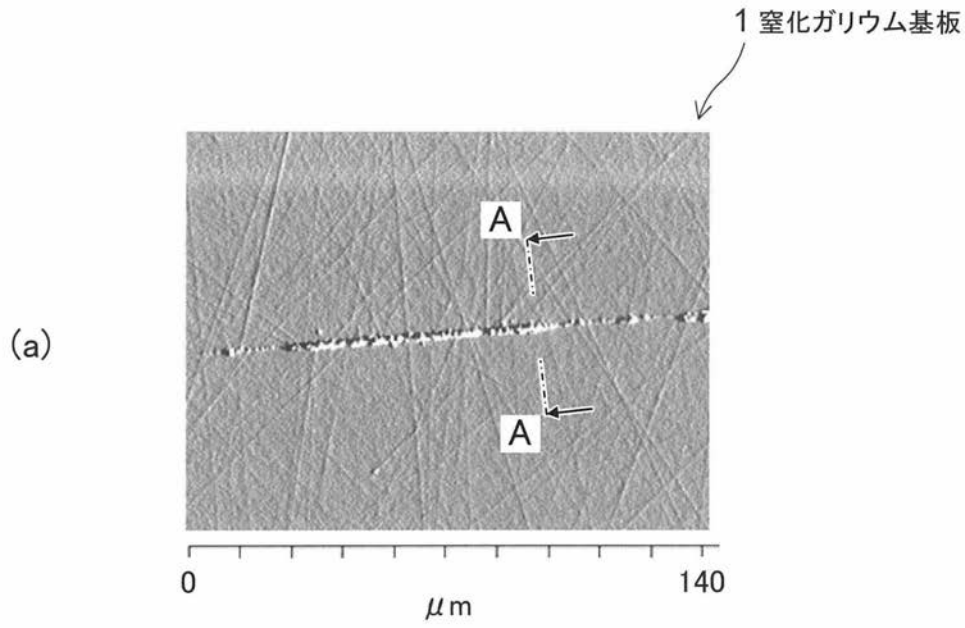


【 図 3 】



【 図 1 】

図 1
(実施の形態)



フロントページの続き

(74)代理人 100145171

弁理士 伊藤 浩行

(72)発明者 山本 俊輔

東京都千代田区外神田四丁目1 4 番 1 号 日立電線株式会社内

Fターム(参考) 4G077 AA03 BE15 DB08 ED04 ED06 HA06 TB05 TK01 TK04

4K030 AA11 AA13 AA17 BA08 BA11 BA38 BB02 BB12 CA04 CA12

FA10 LA14

5F045 AA04 AB14 AB17 AF12 BB02 CA10 DA53 DA55

5F141 AA40 CA04 CA05 CA22 CA40 CA65