

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第5743928号  
(P5743928)

(45) 発行日 平成27年7月1日(2015.7.1)

(24) 登録日 平成27年5月15日(2015.5.15)

(51) Int. Cl. F I  
 H O 1 L 21/205 (2006.01) H O 1 L 21/205  
 C 2 3 C 16/34 (2006.01) C 2 3 C 16/34

請求項の数 6 (全 13 頁)

(21) 出願番号 特願2012-48234 (P2012-48234)  
 (22) 出願日 平成24年3月5日(2012.3.5)  
 (65) 公開番号 特開2013-183149 (P2013-183149A)  
 (43) 公開日 平成25年9月12日(2013.9.12)  
 審査請求日 平成26年3月28日(2014.3.28)

(73) 特許権者 000005083  
 日立金属株式会社  
 東京都港区芝浦一丁目2番1号  
 (74) 代理人 100068021  
 弁理士 絹谷 信雄  
 (72) 発明者 鈴木 貴征  
 東京都千代田区外神田四丁目14番1号  
 日立電線株式会社内  
 審査官 殿川 雅也

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 窒化ガリウム系半導体エピタキシャルウェハ及びその製造方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

窒化ガリウム基板上に窒化ガリウムからなるバッファ層と1層以上の窒化物半導体層とを備える窒化ガリウム系半導体エピタキシャルウェハにおいて、

前記窒化ガリウム基板よりも前記窒化物半導体層の方がオフ角パラツキが小さいと共に

前記窒化ガリウム基板と前記バッファ層との間に、量子ドットからなる窒化インジウムガリウム中間層を備えることを特徴とする窒化ガリウム系半導体エピタキシャルウェハ。

【請求項 2】

前記中間層のインジウム組成が0.1以上0.4以下である請求項1に記載の窒化ガリウム系半導体エピタキシャルウェハ。

【請求項 3】

前記量子ドットの直径が10nm以上200nm以下である請求項1または2に記載の窒化ガリウム系半導体エピタキシャルウェハ。

【請求項 4】

前記窒化ガリウム基板の中心と、当該中心を通る40mmの第1線分の両端点と、前記中心を通ると共に前記第1線分と直交する第2線分の両端点との合計5点で前記窒化物半導体層のオフ角を測定した時に、前記窒化物半導体層のオフ角パラツキが0.2度以下である請求項1～3のいずれかに記載の窒化ガリウム系半導体エピタキシャルウェハ。

【請求項 5】

10

20

窒化ガリウム基板上に窒化ガリウムからなるバッファ層と1層以上の窒化物半導体層とをエピタキシャル成長させる窒化ガリウム系半導体エピタキシャルウェハの製造方法において、

前記窒化ガリウム基板上に窒化インジウムガリウムからなる中間層をエピタキシャル成長させる第1の工程と、

前記中間層上に窒化ガリウムからなるバッファ層をエピタキシャル成長させる第2の工程と、

前記バッファ層上に1層以上の窒化物半導体層をエピタキシャル成長させる第3の工程と、

を備え、

前記第1の工程では、インジウム組成を0.1以上0.4以下として、直径が10nm以上200nm以下の量子ドットからなる中間層をエピタキシャル成長させることを特徴とする窒化ガリウム系半導体エピタキシャルウェハの製造方法。

【請求項6】

前記第2の工程では、層厚が500nm以上のバッファ層をエピタキシャル成長させる請求項5に記載の窒化ガリウム系半導体エピタキシャルウェハの製造方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、窒化ガリウム系半導体エピタキシャルウェハ及びその製造方法に関するものである。

【背景技術】

【0002】

窒化ガリウム(GaN)系半導体は、高出力用途の高電子移動度トランジスタ(High Electron Mobility Transistor; HEMT)等の材料として広く用いられている。

【0003】

高電子移動度トランジスタ等を製造する際に用いる窒化ガリウム系半導体エピタキシャルウェハは、特許文献1に示されるようなボイド形成剥離(Void-Assisted Separation; VAS)法等によって得られた窒化ガリウム基板と、その窒化ガリウム基板上に形成された窒化ガリウムからなるバッファ層と、そのバッファ層上に形成された1層以上の窒化物半導体層と、を備える。

【0004】

窒化ガリウム系半導体エピタキシャルウェハを製造する際には、有機金属気相成長(Metal Organic Vapor Phase Epitaxy; MOVPE)法等により、窒化ガリウム基板上に各層をエピタキシャル成長させるが、図5に示すように、窒化ガリウム系半導体エピタキシャルウェハ50の表面には局所的な段差51が形成され、全面が平坦な表面とならないことがある。

【0005】

この局所的な段差51は、高電子移動度トランジスタ等の2次元電子ガスを形成する電子デバイスにおいて、段差51のあるところで2次元電子ガスの高さが変わってしまうので、電子デバイスの正常な動作を阻害し、動作不良の原因となっている。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0006】

【特許文献1】特開2006-052102号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0007】

窒化ガリウム系半導体エピタキシャルウェハの表面に局所的な段差が形成されるのは、

10

20

30

40

50

窒化ガリウム基板上に直接バッファ層をエピタキシャル成長させると、窒化ガリウム基板の面内におけるオフ角バラツキが大きいので、オフ角の微小な変化に対応しながらバッファ層がエピタキシャル成長され、オフ角のズレを面内の局所的な部分で解消しようとするのが原因である。

【0008】

これを解決する方法としては、オフ角が面内で均一な窒化ガリウム基板を用いて窒化ガリウム系半導体エピタキシャルウェハを製造することが考えられるが、現状ではそのような窒化ガリウム基板の入手は難しい。

【0009】

そこで、本発明の目的は、オフ角が面内で不均一な窒化ガリウム基板を用いた場合でも、窒化物半導体層の面内のオフ角バラツキを抑制した窒化ガリウム系半導体エピタキシャルウェハ及びそ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】

【0010】

この目的を達成するために創案された本発明は、窒化ガリウム基板上に窒化ガリウムからなるバッファ層と1層以上の窒化物半導体層とを備える窒化ガリウム系半導体エピタキシャルウェハにおいて、前記窒化ガリウム基板よりも前記窒化物半導体層の方がオフ角バラツキが小さい窒化ガリウム系半導体エピタキシャルウェハである。

【0011】

前記窒化ガリウム基板と前記バッファ層との間に窒化インジウムガリウムからなる中間層を備えると良い。

【0012】

前記中間層のインジウム組成が0.1以上0.4以下であると良い。

【0013】

前記中間層が量子ドットからなると良い。

【0014】

前記量子ドットの直径が10nm以上200nm以下であると良い。

【0015】

前記窒化物半導体層のオフ角バラツキが0.2度以下であると良い。

【0016】

また、本発明は、窒化ガリウム基板上に窒化ガリウムからなるバッファ層と1層以上の窒化物半導体層とをエピタキシャル成長させる窒化ガリウム系半導体エピタキシャルウェハの製造方法において、前記窒化ガリウム基板上に窒化インジウムガリウムからなる中間層をエピタキシャル成長させる第1の工程と、前記中間層上に窒化ガリウムからなるバッファ層をエピタキシャル成長させる第2の工程と、前記バッファ層上に1層以上の窒化物半導体層をエピタキシャル成長させる第3の工程と、を備え、前記第1の工程では、インジウム組成を0.1以上0.4以下として、直径が10nm以上200nm以下の量子ドットからなる中間層をエピタキシャル成長させる窒化ガリウム系半導体エピタキシャルウェハの製造方法である。

【0017】

前記第2の工程では、層厚が500nm以上のバッファ層をエピタキシャル成長させると良い。

【発明の効果】

【0018】

本発明によれば、オフ角が面内で不均一な窒化ガリウム基板を用いた場合でも、窒化物半導体層の面内のオフ角バラツキを抑制した窒化ガリウム系半導体エピタキシャルウェハ及びその製造方法を提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【0019】

【図1】本発明の一実施の形態に係る窒化ガリウム系半導体エピタキシャルウェハの構造

10

20

30

40

50

とその製造方法を説明する図である。

【図2】ボイド形成剥離法による窒化ガリウム基板の製造方法を説明する図である。

【図3】オフ角バラツキを測定する際の測定点を説明する図である。

【図4】中間層のインジウム組成と窒化物半導体層のオフ角バラツキの関係を示す図である。

【図5】窒化ガリウム系半導体エピタキシャルウェハの表面に形成される局所的な段差を示す図である。

【発明を実施するための形態】

【0020】

以下、本発明の好適な実施の形態を添付図面にしたがって説明する。

10

【0021】

図1に示すように、本実施の形態に係る窒化ガリウム系半導体エピタキシャルウェハ10は、窒化ガリウム基板11上に窒化ガリウムからなるバッファ層12と1層以上の窒化物半導体層13とを備え、窒化ガリウム基板11よりも窒化物半導体層13の方がオフ角バラツキが小さいことを特徴とする。

【0022】

「オフ角」とは、「表面と結晶面とのなす角度」のことであり、本発明における「オフ角バラツキ」は面内の複数箇所測定したオフ角(度)のうち最大オフ角と最小オフ角との差を2で割った値(度)とする。

【0023】

窒化ガリウム基板11としては特に規定はなく、面内のオフ角バラツキが不均一な基板であれば、本発明の効果を得やすい。例えば、後述するようなボイド形成剥離法により製造された窒化ガリウム基板を用いても良い。

20

【0024】

窒化ガリウム基板を取得する方法の一例として、ボイド形成剥離法による窒化ガリウム基板の製造方法を説明する。ボイド形成剥離法とは、図2に示すように、下地基板としてのサファイア基板21上に窒化ガリウム層22をエピタキシャル成長させた後、サファイア基板21を除去し、窒化ガリウム自立基板30を得る方法である。

【0025】

具体的には、まずサファイア基板21のC面上に、有機金属気相成長法により、トリメチルガリウム( $(\text{CH}_3)_3\text{Ga}$ )とアンモニア( $\text{NH}_3$ )とを原料としてアンドープ窒化ガリウムからなる窒化ガリウム層23をエピタキシャル成長させる(図2(a))。

30

【0026】

次いで、窒化ガリウム層23上にチタン(Ti)薄膜24を蒸着させた後、これを電気炉に入れてアンモニアと水素との混合ガス雰囲気中で熱処理を施す(図2(b))。

【0027】

これにより、窒化ガリウム層23の一部がエッチングされ、高密度のボイド(空隙)25が発生してボイド形成窒化ガリウム層26に変化すると共に、チタン薄膜24が窒化されて表面にサブミクロンの微細な穴27が高密度に形成された穴形成窒化チタン(TiN)層28に変化する(図2(c))。

40

【0028】

この基板29をハイドライド気相成長(Hydride Vapor Phase Epitaxy; HVPE)炉に入れ、水素( $\text{H}_2$ )と窒素( $\text{N}_2$ )との混合ガスをキャリアガスとして塩化水素( $\text{HCl}$ )ガスを加熱したガリウム(Ga)メタルのポットに供給し、これらを反応させて原料ガスとしての塩化ガリウム( $\text{GaCl}$ )ガスを生成し、同時にアンモニアガスを供給し、V族原料とIII族原料のモル比(V/III比)を調整しつつ、窒化ガリウムを堆積させる。

【0029】

そうすると、窒化ガリウムの核が穴形成窒化チタン層28上に3次元の島状に成長し、次いで、その島状の結晶同士が横方向に成長して互いに結合し、表面の平坦化が進行して

50

いき、窒化ガリウム層 22 となる ( 図 2 ( d ) ) 。

【 0 0 3 0 】

この窒化ガリウム層 22 は、ハイドライド気相成長炉を冷却する過程で、ポイド形成窒化ガリウム層 26 を境にサファイア基板 21 から自然に剥離し、窒化ガリウム自立基板 30 となる ( 図 2 ( e ) ) 。

【 0 0 3 1 】

その後、窒化ガリウム自立基板 30 をハイドライド気相成長炉から取り出すと共に研磨装置に移送し、ダイヤモンド研磨剤を用いて窒化ガリウム自立基板 30 に表裏面研磨を施し、窒化ガリウム基板 11 とする。

【 0 0 3 2 】

再び図 1 を参照し、得られた窒化ガリウム基板 11 上にバッファ層 12 と 1 層以上の窒化物半導体層 13 とをエピタキシャル成長させるのであるが、その前に第 1 の工程として、窒化ガリウム基板 11 上に窒化インジウムガリウム ( InGa<sub>N</sub> ) からなる中間層 14 をエピタキシャル成長させる。

【 0 0 3 3 】

つまり、窒化ガリウム系半導体エピタキシャルウェハ 10 の製造方法は、窒化ガリウム基板 11 上に窒化インジウムガリウムからなる中間層 14 をエピタキシャル成長させる第 1 の工程と ( 図 1 ( a ) )、中間層 14 上に窒化ガリウムからなるバッファ層 12 をエピタキシャル成長させる第 2 の工程と ( 図 1 ( b ) )、バッファ層 12 上に 1 層以上の窒化物半導体層 13 をエピタキシャル成長させる第 3 の工程と ( 図 1 ( c ) )、を備えるのである。

【 0 0 3 4 】

第 1 の工程では、インジウム組成を 0.1 以上 0.4 以下として ( In<sub>x</sub>Ga<sub>(1-x)</sub>N で表したとき 0.1 ≤ x ≤ 0.4 とする )、直径が 10 nm 以上 200 nm 以下の量子ドット 15 からなる中間層 14 をエピタキシャル成長させる。

【 0 0 3 5 】

これは、窒化インジウムガリウムが自発的にドット状に成長することを利用したものであり、このようにすることで中間層 14 とその後のバッファ層 12 と窒化物半導体層 13 とを連続的に成長させることができる。

【 0 0 3 6 】

この中間層 14 は、窒化ガリウム基板 11 の面内におけるオフ角バラツキの影響、即ち面内における面方位の微小な傾きの影響を緩和し、その上にエピタキシャル成長させるバッファ層 12 の面方位を揃える、言わば面方位調整層としての役割がある。

【 0 0 3 7 】

量子ドット 15 の直径を 10 nm 以上 200 nm 以下とするのは、この範囲を超えた直径とすると、中間層 14 の面方位調整層としての機能を発揮できなくなるためである。つまり、量子ドット 15 の直径が小さすぎると面方位の微小な傾きの影響を十分に緩和できず、大きすぎると量子ドット 15 が近接して通常の層と何ら変わらなくなり、面方位の微小な傾きの影響を緩和することができなくなり、最悪の場合、表面ピット等の別の欠陥を生じさせる原因となるためである。

【 0 0 3 8 】

これと同様の理由から、即ち量子ドット 15 の密度が小さいと面方位調整層としての機能を発揮できず、大きすぎると通常の層と何ら変わらなくなるから、量子ドット 15 は 1 平方センチメートル当たり 10<sup>8</sup> 個程度の密度で形成することが好ましい。

【 0 0 3 9 】

第 2 の工程では、層厚が 500 nm 以上のバッファ層 12 をエピタキシャル成長させることが好ましい。これにより、バッファ層 12 が十分に平坦化され、平坦な表面が得られるからである。つまり、バッファ層 12 の層厚が 500 nm 未満であると、中間層 14 のドット形状がバッファ層 12 に引き継がれてしまうからである。

【 0 0 4 0 】

10

20

30

40

50

第3の工程では、1層以上の窒化物半導体層13をエピタキシャル成長させるのであるが、例えば、窒化アルミニウムガリウムからなる窒化物半導体層13をエピタキシャル成長させる。

【0041】

以上の工程により、高電子移動度トランジスタ等の製造に適した窒化ガリウム系半導体エピタキシャルウェハ10が得られる。

【0042】

この窒化ガリウム系半導体エピタキシャルウェハ10によれば、窒化ガリウム基板11とバッファ層12との間に量子ドット状の窒化インジウムガリウムからなる中間層14を備えるため、窒化ガリウム基板11の面内におけるオフ角バラツキの影響、即ち面内における面方位の微小な傾きの影響が緩和され、窒化ガリウム基板11よりも窒化物半導体層13の方がオフ角バラツキが小さくなる。

10

【0043】

本発明によれば、例えば、オフ角バラツキが0.3度の窒化ガリウム基板11を用いた場合であっても、窒化物半導体層13におけるオフ角バラツキは0.2度以下まで低減される。

【0044】

その結果、窒化ガリウム系半導体エピタキシャルウェハ10の表面が平坦化され、局所的な段差も発生しにくくなる。

【0045】

これらの効果は、どのようなサイズ(直径)の窒化ガリウム系半導体エピタキシャルウェハ10であっても同様に得ることができるが、サイズが小さければ面内のオフ角バラツキが小さくなるのは自明であるので、実用的なサイズ以上のもの、特に2インチ以上のもので効果が発揮される。

20

【0046】

以上説明したように、本発明によれば、オフ角が面内で不均一な窒化ガリウム基板を用いた場合でも、窒化物半導体層の面内のオフ角バラツキを抑制した窒化ガリウム系半導体エピタキシャルウェハ及びその製造方法を提供することができる。

【実施例】

【0047】

中間層のインジウム組成が0.1以上0.4以下であることが好ましいとした理由を以下に説明する。

【0048】

まず、ボイド形成剥離法によって、窒化ガリウム系半導体エピタキシャルウェハを製造するための下地基板として窒化ガリウム基板を得た。

【0049】

具体的には、直径2インチのサファイア基板のC面上に、有機金属気相成長法により、トリメチルガリウムとアンモニアとを原料としてアンドープ窒化ガリウムからなる窒化ガリウム層を300nmの厚さにエピタキシャル成長させた。

【0050】

次いで、この窒化ガリウム層上にチタン薄膜を20nmの厚さに蒸着させた後、これを電気炉に入れて、20%のアンモニアと80%の水素との混合ガス雰囲気中で、1050で20分間の熱処理を施した。

40

【0051】

これにより、窒化ガリウム層の一部がエッチングされ、高密度のボイドが発生してボイド形成窒化ガリウム層に変化すると共に、チタン薄膜が窒化されて表面にサブミクロンの微細な穴が高密度に形成された穴形成窒化チタン層に変化した。

【0052】

この穴形成窒化チタン層を形成した基板をハイドライド気相成長炉に入れて1100に加熱し、5%の水素と95%の窒素との混合ガスをキャリアガスとして塩化水素ガスを

50

900 に加熱したガリウムメタルのボートに供給し、これらを反応させて原料ガスとしての塩化ガリウム ( $\text{GaCl}$ ) ガスを生成し、同時にアンモニアガスを供給し、成長の開始時にはV族原料とIII族原料のモル比が12になるように流量を調整しつつ、窒化ガリウムを全体で800  $\mu\text{m}$ の厚さに堆積させた。

【0053】

そうすると、窒化ガリウムの核が穴形成窒化チタン層上に3次元の島状に成長し、次いで、その島状の結晶同士が横方向に成長して互いに結合し、表面の平坦化が進行していき、窒化ガリウム層となった。この様子は、成長時間を変えてハイドライド気相成長炉外に取り出した基板表面及び断面を顕微鏡観察することにより確認した。

【0054】

800  $\mu\text{m}$ の厚さに堆積させた窒化ガリウム層は、ハイドライド気相成長炉を冷却する過程で、ボイド形成窒化ガリウム層を境にサファイア基板から自然に剥離し、800  $\mu\text{m}$ の厚さの窒化ガリウム自立基板を得た。

【0055】

その後、窒化ガリウム自立基板をハイドライド気相成長炉から取り出すと共に研磨装置に移送し、ダイヤモンド研磨剤を用いて窒化ガリウム自立基板に表裏面研磨を施し、下地基板として厚さ400  $\mu\text{m}$ の窒化ガリウム基板を得た。

【0056】

なお、本実施例においては、窒化ガリウム基板をボイド形成剥離法により形成したが、窒化ガリウム基板の取得法の一例として挙げており、これに限られたものではない。

【0057】

以上のようにして得られた窒化ガリウム基板における面内のオフ角バラツキを測定した後、その窒化ガリウム基板上に、有機金属気相成長法により、窒化物半導体層をエピタキシャル成長させた。

【0058】

「オフ角」の測定は、例えば、C面の回折角度で、(0002)面等の回折ピーク角度から得ることができる。また、表面の角度は、「入射角 = 反射角」となる位置で生じるX線の表面での全反射現象を利用して得られる回折ピーク角度から得ることができる。

【0059】

この2つの角度差を、全周囲方向(少なくとも90°おきに4方向)から測定することにより、測定位置における「表面と結晶面とのなす角度」、即ち「オフ角」を決定することができる。

【0060】

これらの測定を図3に示すように面内で5点、中心及び中心から20mm離れた位置で測定すると、オフ角はその位置によって大きさも方向も異なる場合がある。そこで、5点の測定結果のうち、そのオフ角の大きさが一番大きい値を最大オフ角、一番小さい値を最小オフ角とした場合、「最大オフ角 - 最小オフ角(度)」がバラツキの範囲の大きさを表し、それを2で割って「オフ角バラツキ」(±度)とした。

【0061】

その後のエピタキシャル成長では、先ず得られた窒化ガリウム基板上に、800 で窒化インジウムガリウムからなる量子ドット状の中間層をエピタキシャル成長させ、次いで、1050 でアンドープ窒化ガリウムからなるバッファ層を1  $\mu\text{m}$ の層厚でエピタキシャル成長させた。最後に、バッファ層上にアルミニウム組成が0.2の窒化アルミニウムガリウム、即ち $\text{Al}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{N}$ からなる厚さ30nmの窒化物半導体層13をエピタキシャル成長させた。

【0062】

このとき、有機金属原料として、トリメチルガリウム、トリメチルアルミニウム( $(\text{CH}_3)_3\text{Al}$ )、及びトリメチルインジウム( $(\text{CH}_3)_3\text{In}$ )を用いた。また、ガス原料として、アンモニアを、キャリアガスとして水素及び窒素を用いた。

【0063】

10

20

30

40

50

以上の工程により、中間層のインジウム組成を0から0.5まで変化させた複数枚の窒化ガリウム系半導体エピタキシャルウェハを得た。

【0064】

これらの窒化ガリウム系半導体エピタキシャルウェハについて最表面の窒化物半導体層におけるオフ角バラツキを調査したところ、表1及び図4に示す結果となった。表1は使用した窒化ガリウム基板のオフ角バラツキと、その窒化ガリウム基板を用いて得られた窒化物半導体層のオフ角バラツキを示す。また、図4は窒化ガリウム系半導体エピタキシャルウェハにおける中間層のIn組成と窒化物半導体層のオフ角バラツキの関係を示す。

【0065】

【表1】

In組成	窒化ガリウム基板			窒化物半導体層		
	面内のオフ角(5点測定)		オフ角バラツキ [(最大オフ角-最小オフ角)/2] [度]	面内のオフ角(5点測定)		オフ角バラツキ (最大オフ角-最小オフ角)/2 [度]
	最大オフ角 [度]	最小オフ角 [度]		最大オフ角 [度]	最小オフ角 [度]	
0	0.70	0.11	0.295	0.70	0.10	0.300
0.05	0.71	0.11	0.300	0.70	0.12	0.290
0.1	0.70	0.11	0.295	0.58	0.22	0.180
0.2	0.69	0.10	0.295	0.55	0.27	0.140
0.4	0.71	0.10	0.305	0.59	0.19	0.200
0.5	0.70	0.11	0.295	—	—	評価不可

【0066】

これらの結果を見ると、中間層のインジウム組成が0.05以上0.4以下のとき、窒化物半導体層におけるオフ角バラツキが下地となる窒化ガリウム基板におけるオフ角バラツキよりも小さくなるが、特に中間層のインジウム組成が0.1以上0.4以下のとき、その効果が顕著に現れることが分かる。なお、中間層のインジウム組成が0.5のときには、窒化物半導体層の表面荒れのため、評価ができなかった。

【0067】

本発明では、以上の根拠に基づいて、中間層のインジウム組成を0.1以上0.4以下の範囲内に規定した。

【符号の説明】

【0068】

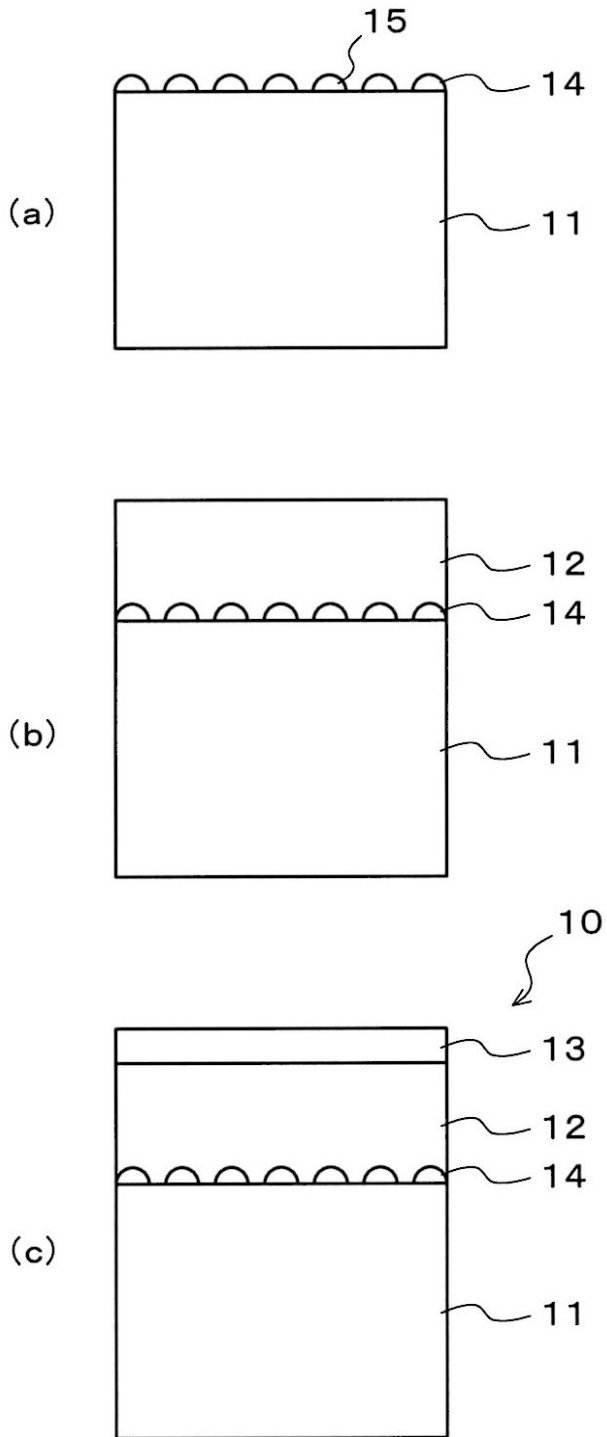
- 10 窒化ガリウム系半導体エピタキシャルウェハ
- 11 窒化ガリウム基板
- 12 パッファ層
- 13 窒化物半導体層
- 14 中間層
- 15 量子ドット

10

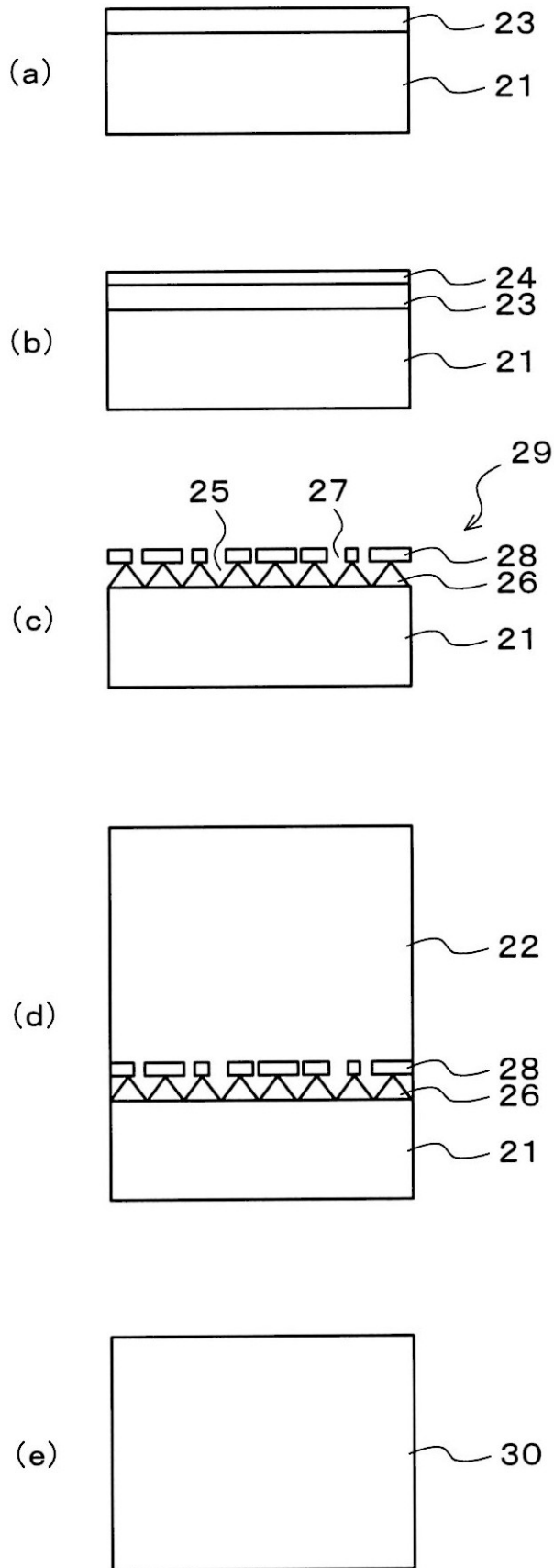
20

30

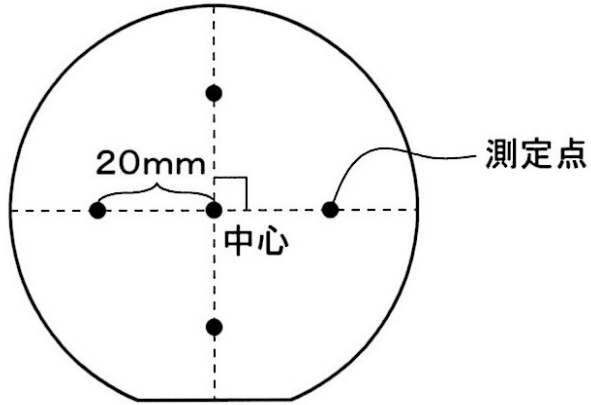
【図1】



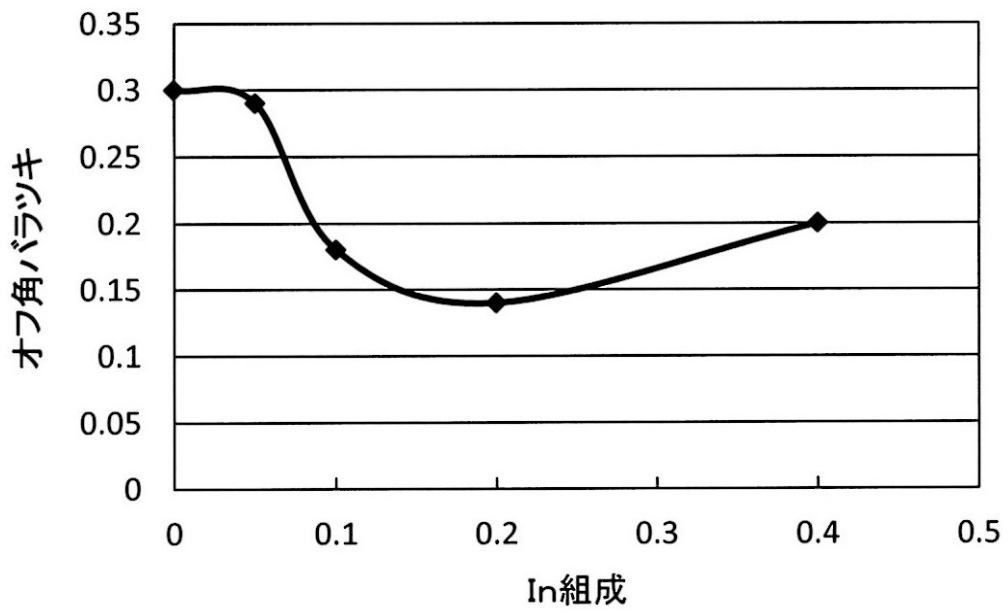
【図2】



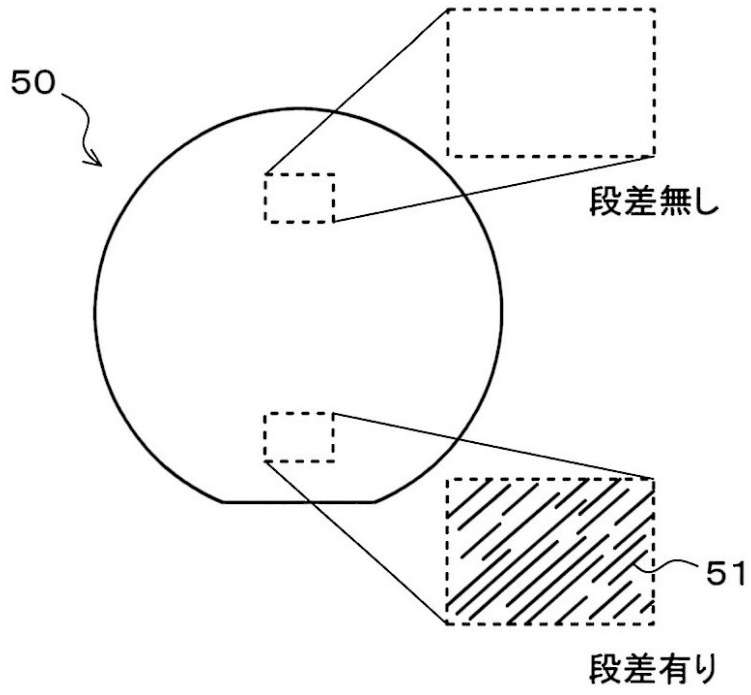
【図3】



【図4】



【図5】



---

フロントページの続き

- (56)参考文献 特開平07 - 022317 (JP, A)  
特開2004 - 207610 (JP, A)  
特開2005 - 109283 (JP, A)  
特開2005 - 159047 (JP, A)  
特開2008 - 227540 (JP, A)  
特開2009 - 167057 (JP, A)  
特開2009 - 208991 (JP, A)  
特開2011 - 063504 (JP, A)  
特開2011 - 109136 (JP, A)  
特開2012 - 023396 (JP, A)  
特表2012 - 533906 (JP, A)  
国際公開第2011/011111 (WO, A1)  
国際公開第2011/093481 (WO, A1)  
米国特許出願公開第2012/0112320 (US, A1)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H01L 21/205  
C23C 16/34