

(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2010-80764

(P2010-80764A)

(43) 公開日 平成22年4月8日(2010.4.8)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
H O 1 L 33/32 (2010.01)	H O 1 L 33/00 C	5 F O 4 1
H O 1 L 21/205 (2006.01)	H O 1 L 21/205	5 F O 4 5
H O 1 L 21/02 (2006.01)	H O 1 L 21/02 B	

審査請求 有 請求項の数 15 O L (全 28 頁)

(21) 出願番号	特願2008-248803 (P2008-248803)	(71) 出願人	000002130
(22) 出願日	平成20年9月26日 (2008.9.26)		住友電気工業株式会社
			大阪府大阪市中央区北浜四丁目5番33号
		(74) 代理人	100088155
			弁理士 長谷川 芳樹
		(74) 代理人	100092657
			弁理士 寺崎 史朗
		(74) 代理人	100113435
			弁理士 黒木 義樹
		(74) 代理人	100108257
			弁理士 近藤 伊知良
		(72) 発明者	善積 祐介
			兵庫県伊丹市昆陽北一丁目1番1号 住友電気工業株式会社伊丹製作所内

最終頁に続く

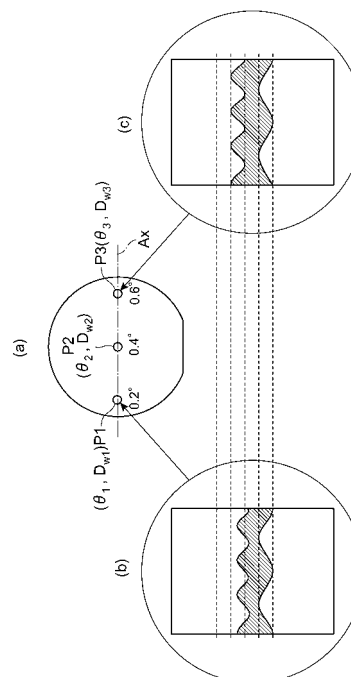
(54) 【発明の名称】窒化ガリウム系エピタキシャルウエハ、およびエピタキシャルウエハを作製する方法

(57) 【要約】

【課題】窒化ガリウム基板上の設けられた井戸層を含む活性層の発光波長の分布を縮小可能な構造の半導体素子を提供するための窒化ガリウム系エピタキシャルウエハを提供する。

【解決手段】窒化ガリウム系エピタキシャルウエハでは、軸Ax上の3点P1、P2、P3のオフ角は、それぞれ、 $\theta 1 = 0.2$ 度、 $\theta 2 = 0.4$ 度、 $\theta 3 = 0.6$ 度である。また、点P1近傍におけるInGa_N井戸層のインジウム組成は、点P3近傍におけるInGa_N井戸層のインジウム組成よりも大きい。図12を参照しながら説明された井戸層の厚さの平均値を軸Ax上の3点P1、P2、P3で求めると、井戸層の平均厚さ D_{W1} 、 D_{W2} 、 D_{W3} の値は、軸Ax上で単調に増加している。また、InGa_N層のインジウム組成は、点P1、P2、P3の順に単調に減少する。

【選択図】図13



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

窒化ガリウム系エピタキシャルウエハであって、
主面を有する窒化ガリウム基板と、
前記窒化ガリウム基板の前記主面上に成長された一または複数の窒化ガリウム系半導体膜と、

前記窒化ガリウム系半導体膜上に成長されており量子井戸構造を有する活性層とを備え、

前記活性層は、III族元素としてインジウムを含む窒化ガリウム系半導体からなる井戸層を含んでおり、

前記主面の法線と前記窒化ガリウム基板のC軸との成すオフ角は、前記主面において分布すると共に、前記主面のエッジ上の一点から該エッジ上の他点に向かい前記窒化ガリウム基板の前記主面の中心点を通る線分上において単調に増加しており、

前記一点から前記他点に向けて前記線分上に順に配列されたn個の点における前記井戸層のn個のインジウム組成は、前記線分上において単調に減少し、

前記n個の点における前記井戸層のn個の膜厚は、前記線分上において単調に増加している、ことを特徴とする窒化ガリウム系エピタキシャルウエハ。

【請求項 2】

前記線分上に、複数の窒化物半導体発光素子が配列されており、

前記複数の窒化物半導体発光素子は、前記n個の点のいずれか一個を含む、ことを特徴とする請求項 1 に記載された窒化ガリウム系エピタキシャルウエハ。

【請求項 3】

前記膜厚は、前記n個の点において規定された平均値であり、

前記平均値は、前記窒化ガリウム基板から前記活性層に向かう軸に垂直な方向に所定の幅Lで前記井戸層の断面写真において規定された井戸層の断面積Sと、前記所定の幅Lとから、値 (S/L) によって規定される、ことを特徴とする請求項 1 または請求項 2 に記載された窒化ガリウム系エピタキシャルウエハ。

【請求項 4】

前記主面上の第1の点におけるオフ角は、前記主面上の第2の点におけるオフ角より小さいと共に、前記第1の点上における井戸層の膜厚は、前記第2の点上における井戸層の膜厚より薄く、前記第1の点と前記第2の点は、互いに別の窒化物半導体発光素子に位置する、ことを特徴とする請求項 1 ～請求項 3 のいずれか一項に記載された窒化ガリウム系エピタキシャルウエハ。

【請求項 5】

前記線分は、 $\langle 1-100 \rangle$ および $\langle 11-20 \rangle$ のいずれか一の結晶軸と前記線分とによって規定される基準平面が前記主面に直交するように規定される、ことを特徴とする請求項 1 ～請求項 4 のいずれか一項に記載された窒化ガリウム系エピタキシャルウエハ。

【請求項 6】

前記窒化ガリウム基板は、オリエンテーションフラットと、前記中心点により規定される実質的な円弧からなる縁を有しており、

前記オリエンテーションフラットの方位は、 $\langle 1-100 \rangle$ および $\langle 11-20 \rangle$ のいずれか一の結晶方位に対応する、ことを特徴とする請求項 1 ～請求項 5 のいずれか一項に記載された窒化ガリウム系エピタキシャルウエハ。

【請求項 7】

前記窒化ガリウム基板は、前記中心点により規定される実質的な円形の縁を有しており、

前記窒化ガリウム基板は、 $\langle 1-100 \rangle$ および $\langle 11-20 \rangle$ のいずれか一の結晶方位に対応するマーカを含む、ことを特徴とする請求項 1 ～請求項 5 のいずれか一項に記載された窒化ガリウム系エピタキシャルウエハ。

【請求項 8】

前記窒化ガリウム基板の前記主面の前記中心点を通る軸に沿ったオフ角分布の最大値と最小値との差は、0.7度以下である、ことを特徴とする請求項1～請求項7のいずれか一項に記載された窒化ガリウム系エピタキシャルウエハ。

【請求項9】

窒化物半導体発光素子のためのエピタキシャルウエハを作製する方法であって、

有機金属気相成長炉のサセプタ上に配置された複数の窒化ガリウム基板の主面上に窒化ガリウム系半導体膜を一括して成長する工程と、

原料ガスを供給して、量子井戸構造を有する活性層を前記窒化ガリウム系半導体膜上に有機金属気相成長炉を用いて形成する工程と、

前記活性層上に、別の窒化ガリウム系半導体膜を有機金属気相成長炉を用いて形成する工程とを備え、

前記窒化ガリウム系半導体膜及び前記別の窒化ガリウム系半導体膜の一方には、n型ドーパントが添加されると共に、他方にはp型ドーパントが添加されており、

前記活性層は、III族元素としてインジウムを含む窒化ガリウム系半導体からなる井戸層を含んでおり、

各窒化ガリウム基板の前記主面の法線と前記窒化ガリウム基板のC軸との成すオフ角は、前記主面に亘って分布すると共に、前記主面のエッジ上の一点から該エッジ上の他点に向かい前記窒化ガリウム基板の前記主面の中心点を通る線分上において単調に変化しており、前記エッジ上の前記一点におけるオフ角は該エッジ上の前記他点におけるオフ角より大きく、

前記井戸層の成長は、前記サセプタを回転させながら行われ、

前記原料ガスの供給及び前記サセプタの回転により、当該原料ガス流の上流から下流に向かう流れ方向に応じた、前記活性層の前記井戸層の成長速度分布が生じており、前記エッジ上の前記一点が前記成長速度分布の大きい側に、且つ前記他点が前記成長速度分布の小さい側に位置する、ことを特徴とする方法。

【請求項10】

前記線分上に順に配列されたn個の点における前記井戸層のn個の膜厚は、前記n個の点において規定された平均値であり、

前記膜厚は、前記線分上において単調に増加しており、

前記平均値は、前記窒化ガリウム基板から前記活性層に向かう軸に垂直な方向に所定の幅Lで前記井戸層の断面写真において規定された井戸層の断面積Sと前記所定の幅Lとから、値 (S/L) によって規定される、ことを特徴とする請求項9に記載された方法。

【請求項11】

前記主面上の第1の点におけるオフ角は前記主面上の第2の点におけるオフ角より小さいと共に、前記第1の点上における井戸層の膜厚は前記第2の点上における井戸層の膜厚より薄く、前記第1の点と前記第2の点は、互いに別の窒化物半導体発光素子に位置する、ことを特徴とする請求項9または請求項10に記載された方法。

【請求項12】

前記活性層を形成するための原料ガスは、前記サセプタの主面の一端から他端を横切る方向に供給される、ことを特徴とする請求項9～請求項11のいずれか一項に記載された方法。

【請求項13】

前記活性層を形成するための原料ガスは、前記サセプタの主面に交差する軸の方向に供給される、ことを特徴とする請求項9～請求項12のいずれか一項に記載された方法。

【請求項14】

前記サセプタは、該サセプタの前記主面上に規定される円周上に設けられ窒化ガリウム基板のための複数のガイドを有しており、

前記サセプタの前記主面において各窒化ガリウムの前記線分は、前記円周の接線と交差する方向に向きづけられている、ことを特徴とする請求項9～請求項13のいずれか一項

10

20

30

40

50

に記載された方法。

【請求項 15】

前記窒化ガリウム基板を前記サセプタ上に配置する工程を更に備える、ことを特徴とする請求項 9～請求項 14 のいずれか一項に記載された方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、窒化ガリウム系エピタキシャルウエハ、および窒化ガリウム系半導体発光素子のためのエピタキシャルウエハを作製する方法に関する。

【背景技術】

10

【0002】

特許文献 1 には、良好な結晶品質の窒化ガリウム系半導体層を有する窒化ガリウム系半導体デバイスが記載されている。半導体発光デバイスの窒化ガリウム支持基体の主面上に、窒化ガリウム系半導体層が設けられている。窒化ガリウム支持基体の主面の法線と窒化ガリウム支持基体の C 軸とは角度（オフ角と称する）をなす。窒化ガリウム支持基体のオフ角がゼロ度に近づくにつれて、窒化ガリウム系半導体層の表面に六角錘状の突起が目立つようになる。また、この角度は、2 度未満であることが好ましい。

【特許文献 1】特開 2005-159047 号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

20

【0003】

発明者らの知見によれば、III 族元素としてインジウムを含有する窒化ガリウム系半導体井戸層、例えば InGa_N 井戸層を含む活性層を窒化ガリウム基板上に作製するとき、これらの窒化ガリウム系半導体発光素子、例えば発光ダイオードの発光ピーク波長は分布する。同様の量子井戸構造の活性層を有する発光ダイオードをサファイア基板上に作製したとき、これらの発光ダイオードの発光ピーク波長は、あまり大きな分布幅を示さない。つまり、この比較によれば、窒化ガリウム基板を用いることによって、窒化ガリウム系半導体発光素子の発光ピーク波長の分布は広がっていた。

【0004】

発明者らは、この分布の原因を調べるために様々な実験を行うと共に、この分布を小さくするための検討も行った。

30

【0005】

本発明は、このような事情を鑑みて為されたものであり、窒化ガリウム基板上の設けられた井戸層を含む活性層の発光波長の分布を縮小可能な構造の窒化ガリウム系半導体発光素子のためのエピタキシャルウエハを作製する方法を提供することを目的とし、またこのような半導体素子を提供するための窒化ガリウム系エピタキシャルウエハを提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0006】

本発明の一側面に係る窒化ガリウム系エピタキシャルウエハは、（a）主面を有する窒化ガリウム基板と、（b）前記窒化ガリウム基板の前記主面上に成長された一または複数の窒化ガリウム系半導体膜と、（c）前記窒化ガリウム系半導体膜上に成長されており量子井戸構造を有する活性層とを備える。前記活性層は、III 族元素としてインジウムを含む窒化ガリウム系半導体からなる井戸層を含んでおり、前記主面の法線と前記窒化ガリウム基板の C 軸との成すオフ角は前記主面において分布すると共に、前記主面のエッジ上の一点から該エッジ上の他点に向かい前記窒化ガリウム基板の前記主面の中心点を通る線分上において単調に増加している。前記一点から前記他点に向けて前記線分上に順に配列された n 個の点における前記井戸層の n 個のインジウム組成は、前記線分上において単調に減少している。前記 n 個の点における前記井戸層の n 個の膜厚は、前記線分上において単調に増加している。

40

50

【0007】

また、本発明に係る別の側面は、窒化物半導体発光素子のためのエピタキシャルウエハを作製する方法である。この方法は、(a)有機金属気相成長炉のサセプタ上に配置された複数の窒化ガリウム基板の主面上に窒化ガリウム系半導体膜を一括して成長する工程と、(b)原料ガスを供給して、量子井戸構造を有する活性層を前記窒化ガリウム系半導体膜上に有機金属気相成長炉を用いて形成する工程と、(c)前記活性層上に、別の窒化ガリウム系半導体膜を有機金属気相成長炉を用いて形成する工程とを備える。前記窒化ガリウム系半導体膜及び前記別の窒化ガリウム系半導体膜の一方には、n型ドーパントが添加されると共に、他方にはp型ドーパントが添加されている。前記活性層は、III族元素としてインジウムを含む窒化ガリウム系半導体からなる井戸層を含んでいる。各窒化ガリウム基板の前記主面の法線と前記窒化ガリウム基板のC軸との成すオフ角は、前記主面に亘って分布すると共に、前記主面のエッジ上の一点から該エッジ上の他点に向かい前記窒化ガリウム基板の前記主面の中心点を通る線分上において単調に変化している。前記エッジ上の前記一点におけるオフ角は該エッジ上の前記他点におけるオフ角より大きい。前記井戸層の成長は、前記サセプタを回転させながら行われる。前記原料ガスの供給及び前記サセプタの回転により、当該原料ガス流の上流から下流に向かう流れ方向に応じた、前記活性層の前記井戸層の成長速度分布が生じており、前記エッジ上の前記一点が前記成長速度分布の大きい側に、且つ前記他点が前記成長速度分布の小さい側に位置する。

10

【0008】

発明者らの検討によれば、基板主面におけるオフ角の分布によりインジウム組成が影響を受ける。オフ角の影響は、窒化ガリウム系半導体を成長する際には不可避である。ところが、主面におけるオフ角の分布を制御した窒化ガリウム基板を準備することにより、オフ角の影響は原料ガスの流れの影響により部分的にうち消されることが、発明者らの実験から見出された。

20

【0009】

窒化ガリウム系エピタキシャルウエハのための結晶成長を成長炉を用いて行うとき、原料ガスの流れの影響により、発光波長の分布が生じる可能性がある。しかしながら、発明者らの実験および検討の結果、このような要因は主要なものではないことが明らかになった。実験および検討の積み重ねの中でサファイア基板と窒化ガリウム基板との違いに着目したとき、次の事項が見出された。サファイア基板では主面の法線と該C軸の成すオフ角は、基板中心部のオフ角0.15度に対してウエハ面内で-0.1度~+0.1度の範囲で分布する。しかしながら、窒化ガリウム基板では、その製造方法に起因して、窒化ガリウム基板の主面の法線と該C軸との成すオフ角は主面全体にわたって分布する。

30

【0010】

上記の事項から、窒化ガリウム系エピタキシャルウエハによれば、制御されたオフ角分布を利用することにより、ウエハの中心を通り主面のエッジ上の一点から該エッジ上の他点に向かう線分上においてオフ角が単調に変化する。この窒化ガリウム基板を用いると共に、上記の線分上に順に配列されたn個の点を規定するとき、これらn個の点における井戸層のn個の膜厚は、線分上において単調に増加している。また、n個の点におけるn個のインジウム組成は、線分上において単調に減少している。このエピタキシャルウエハでは、窒化ガリウム基板を用いて活性層の発光波長の分布を縮小することが可能になる。

40

【0011】

また、上記の事項から、エピタキシャルウエハを作製する方法によれば、サセプタの回転により、結晶成長の均一性を向上できる。また、サセプタの公転により、非対称或いは不均一な原料ガス流の影響を平均化できる。成長速度の分布と制御されたオフ角分布とを利用することにより、主面のエッジ上の一点から該エッジ上の他点に向かってウエハの中心を通る線分上においてオフ角が単調に変化する窒化ガリウム基板を用いて、窒化ガリウム基板上の設けられた井戸層を含む活性層の発光波長の分布を縮小することが可能になる。

【0012】

50

本発明では、前記線分上に、複数の窒化物半導体発光素子が配列されており、前記複数の窒化物半導体発光素子は、前記 n 個の点のいずれか一個を含む。この発明によれば、窒化物半導体発光素子における活性層の発光波長の分布を縮小することが可能になる。

【0013】

本発明では、前記膜厚は、前記 n 個の点において規定された平均値であり、前記平均値は、前記窒化ガリウム基板から前記活性層に向かう軸に垂直な方向に所定の幅 L で前記井戸層の断面写真において規定された井戸層の断面積 S と、前記所定の幅 L とから、値 (S/L) によって規定されることができる。

【0014】

本発明では、前記主面上における第1の点におけるオフ角は、前記主面上における第2の点におけるオフ角より小さいと共に、前記第1の点上における井戸層の膜厚は、前記第2の点上における井戸層の膜厚より薄く、前記第1の点と前記第2の点は、互いに別の窒化物半導体発光素子に位置する。

【0015】

本発明に係る窒化ガリウム系エピタキシャルウエハでは、前記線分の向きは、 $\langle 1-100 \rangle$ および $\langle 11-20 \rangle$ のいずれか一の結晶方位に対応する。これらの結晶方位は、オフ角分布と井戸幅分布とを組み合わせることに好適である。

【0016】

本発明に係る窒化ガリウム系エピタキシャルウエハの好適な一形態では、前記窒化ガリウム基板は、オリエンテーションフラットと、実質的に円弧からなる縁を有しており、前記オリエンテーションフラットの方位は、 $\langle 1-100 \rangle$ および $\langle 11-20 \rangle$ のいずれか一の結晶方位に対応する。或いは、本発明に係る窒化ガリウム系エピタキシャルウエハの好適な別の形態では、前記窒化ガリウム基板は、実質的に円形の縁とを有しており、前記窒化ガリウム基板は、 $\langle 1-100 \rangle$ および $\langle 11-20 \rangle$ のいずれか一の結晶方位に対応するマーカを含む。

【0017】

本発明に係る窒化ガリウム系エピタキシャルウエハでは、前記窒化ガリウム基板の前記主面の中心を通る軸に沿ったオフ角分布の最大値と最小値との差は、 0.7 度以下であることが好ましい。これらの範囲は、オフ角分布と井戸幅分布とを組み合わせに好適である。

【0018】

また、本発明に係る作製方法の好適な一形態では、前記活性層を形成するための原料ガスは、前記有機金属気相成長炉のサセプタの主面の一端から他端を横切る方向に供給され、この原料ガスの供給により、前記流れ方向に応じた前記活性層の前記井戸層の成長速度分布が生じている。

【0019】

この原料ガス流には、オフ角が主面のエッジ上の一点から該エッジ上の他点に向かう線分上において単調に変化する窒化ガリウム基板を用いることができる。

【0020】

本発明に係る作製方法は、前記窒化ガリウム基板を前記サセプタ上に配置する工程を更に備えることができる。各窒化ガリウム基板の前記線分は、所定の軸の方向に向きづけられている。

【0021】

上記の向きづけで複数の窒化ガリウム基板を有機金属気相成長炉のサセプタ上に配置することによって、上記の原料ガスの流れに起因する影響を利用してオフ角分布の影響を縮小できる。

【0022】

本発明に係る作製方法の好適な別の形態では、前記活性層を形成するための原料ガスは、前記サセプタの主面に交差する軸の方向に供給され、この原料ガスの供給により、当該原料ガス流の上流から下流に向かう流れ方向に応じた、前記活性層の前記井戸層の成長速

10

20

30

40

50

度分布が生じている。

【0023】

この原料ガス流には、オフ角が主面のエッジ上の一点から該エッジ上の他点に向かう線分上において単調に変化する窒化ガリウム基板を用いることができる。

【0024】

本発明に係る作製方法では、前記サセプタは、該サセプタの前記主面上に規定される円周上に設けられ窒化ガリウム基板のための複数のガイドを有しており、前記サセプタの前記主面において各窒化ガリウムの前記線分は、前記円周の接線と交差する方向に向きづけられている。交差角は、例えば直角である。

【0025】

上記の向きづけで複数の窒化ガリウム基板を有機金属気相成長炉のサセプタ上に配置することによって、上記の原料ガスの流れに起因する影響を利用してオフ角分布の影響を縮小できる。

【0026】

本発明に係る作製方法では、窒化ガリウム基板の中心点はサセプタ上において規定される円周上に位置する。中心点における接線は、窒化ガリウム基板上において規定される線分に交差しており、好ましくはほぼ直交している。

【0027】

本発明の上記の目的および他の目的、特徴、並びに利点は、添付図面を参照して進められる本発明の好適な実施の形態の以下の詳細な記述から、より容易に明らかになる。

【発明の効果】

【0028】

以上説明したように、本発明によれば、窒化ガリウム基板上の設けられた井戸層を含む活性層の発光波長の分布を縮小可能な構造の窒化ガリウム系半導体発光素子のためのエピタキシャルウエハを作製する方法が提供される。また、本発明によれば、このような半導体素子を提供するための窒化ガリウム系エピタキシャルウエハが提供される。

【発明を実施するための最良の形態】

【0029】

本発明の知見は、例示として示された添付図面を参照して以下の詳細な記述を考慮することによって容易に理解できる。引き続いて、添付図面を参照しながら、本発明の窒化ガリウム系エピタキシャルウエハ、並びにエピタキシャルウエハおよび窒化ガリウム系半導体発光素子を作製する方法に係る実施の形態を説明する。可能な場合には、同一の部分には同一の符号を付する。

【0030】

（第1の実施の形態）

図1は、サファイア基板を用いたInGa_N活性層の成長を説明する図面である。図1(a)を参照すると、有機金属気相成長炉11のサセプタ13上に配置されたサファイア基板15の配置が示されている。サファイア基板15は、オリエンテーションフラット（以下、「OF」と記す）をサセプタ13のエッジに向けて配置されている。図1(b)を参照すると、サファイア基板15の「OF」から中心点Cを通る軸上における5点の測定点でのインジウム組成およびInGa_N層の成長速度が示されている。図1(b)において、「AOF」は、上記軸と基板エッジとの交点を示す。図1(b)に示されるように、インジウム組成は、基板の中心点CからエッジEに向けて僅かな増加が見られるが、基板主面上においてほぼ一定である。インジウム組成におけるこの振る舞いは、サファイア基板主面においてオフ角分布がないことに起因している。一方、InGa_Nの成長速度は、AOFからOFに向けて単調に増加している。成長速度におけるこの振る舞いは、成長炉における原料（フォローチャネルの上流から下流に流れる原料）の流れに関連している。

【0031】

成長速度の増加は井戸層の厚みの増加に結びつく。井戸層の膜厚の増加およびインジウム組成の増加は、共にPL波長を長波長にシフトさせる。

10

20

30

40

50

【0032】

発明者らは、以下に説明するように、窒化ガリウム系半導体を用いて有機金属気相成長法により、例えば発光ダイオードといった発光素子を作製した。有機金属気相成長のための原料として、トリメチルガリウム (TMGa)、トリメチルアルミニウム (TMAI)、トリメチルインジウム (TMIn)、アンモニア (NH₃)、シラン (SiH₄)、シクロペンタジエニルマグネシウム (Cp₂Mg) を用いた。有機金属気相成長炉 11 のサセプタ 13 上に以下のように基板を配置した。

エピタキシャル基板 基板の種類

基板の向き

E1: サファイア基板 (0001) n-GaN テンプレート : 通常

E2: GaN (0001) 基板、オフ角分布 0.1-0.6 度 : 通常

E3: GaN (0001) 基板、オフ角分布 0.1-0.6 度 : 通常から 90 度回転

サファイア基板では、サファイア基板中心のオフ角に対して、基板面内のオフ角が -0.1 度 ~ +0.1 度程度で非常によく制御されている。このため、オフ角 (基板主面の法線と C 軸との成す角) が主面内に亘って分布していない。GaN (0001) 基板では、基板表面を (0001) 面に合わせて基板主面を作製するけれども、オフ角が主面内に亘って分布する。このオフ角分布は、GaN 結晶を作製法に由来する。

【0033】

これらの基板のサーマルクリーニングを行う。このクリーニングは、例えば炉内の圧力を 101 kPa に制御しながら、摂氏 1050 度において炉内に NH₃ および H₂ を供給して行う。クリーニング時間は、例えば 10 分間である。

【0034】

次いで、AlGaIn 膜の堆積を行う。TMGa、TMAI、NH₃、SiH₄ を炉内に供給して、n-AlGaIn 膜を基板上に成長する。膜厚は、例えば 50 nm であり、成膜温度は、例えば摂氏 1050 度である。この AlGaIn 膜は、GaN 基板の表面に存在する微視的なラフネスを平坦にすることができる。

【0035】

この後に、炉内温度を摂氏 1100 度に変更する。そして、GaN 膜の堆積を行う。この膜の成長のために、TMGa、NH₃、SiH₄ を炉内に供給して、n-GaN 膜を基板上に成長する。膜厚は、例えば 2000 nm であり、平均の成膜速度は、例えば毎時 4 マイクロメートルである。この GaN 膜は、例えばクラッド層またはバッファ層として機能する。

【0036】

続いて、量子井戸構造を形成する。量子井戸構造のために TMGa、TMIn、NH₃ を炉内に供給して、InGaIn 膜を基板上に成長する。InGaIn 障壁層および InGaIn 井戸層を交互に成長する。InGaIn 障壁層は、例えば 15 nm であり、その組成は例えば In_{0.01}Ga_{0.99}N である。InGaIn 井戸層は、例えば 3 nm であり、その組成は例えば In_{0.14}Ga_{0.86}N である。量子井戸構造は例えば 6 周期からなる。

【0037】

次いで、AlGaIn 膜の堆積を行う。TMGa、TMAI、NH₃、Cp₂Mg を炉内に供給して、p-AlGaIn 膜を基板上に成長する。膜厚は、例えば 20 nm であり、成膜温度は、例えば摂氏 1000 度である。この Mg ドープ AlGaIn 膜は、クラッド層または電子ブロック層として機能することができる。また、GaN 膜の堆積を行う。TMGa、NH₃、Cp₂Mg を炉内に供給して、p-GaN 膜を基板上に成長する。膜厚は、例えば 50 nm であり、成膜温度は、例えば摂氏 1000 度である。この Mg ドープ GaN 膜は、コンタクト層として機能することができる。

【0038】

上記のように形成されたエピタキシャル基板 E1、E2、E3 のフォトルミネッセンス (PL) 波長の分布を測定した。この測定には、PL マッパー装置を用いた。

【0039】

図 2 は、中心を通り点 O F と点 A O F とを結ぶ線分上における、エピタキシャル基板 E 1 の P L 波長の分布を示す図面である。サファイア基板の主面におけるオフ角は、ほぼ一定であり、例えば 0. 1 5 度である。図 3 は、P L マッパー装置を用いて測定された P L 分布と、P L 分布のヒストグラムを示す図面である。ヒストグラムは、測定点の波長とサンプル数の関係を示す。P L 波長の平均値は 4 4 8. 8 7 n m であり、標準偏差は 2. 8 4 n m である。サファイア基板主面においてオフ角分布は無いけれども、P L 波長の分布は、比較的大きな井戸層の膜厚の分布と比較的小さなインジウム組成の分布との重なりにより生じる。

【0040】

図 4 は、中心 C を通りエッジ上の点 A P 点と点 B P 点とを結ぶ線分上における、エピタキシャル基板 E 2 の P L 波長の分布を示す図面である。G a N 基板の主面におけるオフ角は、上記線分に沿って単調に変化しており、例えば最小値 0. 2 度、最大値 0. 4 度である。図 5 は、P L マッパー装置を用いて測定された P L 分布と、P L 分布のヒストグラムを示す図面である。ヒストグラムは、測定点の波長とサンプル数の関係を示す。P L 波長の平均値は 4 6 9. 1 7 n m であり、標準偏差は 4. 5 5 n m である。G a N 基板主面においてオフ角分布が不可避免的に存在しており、このオフ角分布により、量子井戸構造における I n G a N 層のインジウム組成は影響を受け、オフ角が大きいとインジウム組成は小さい。また、この影響に加えて、フローチャネルの上流から下流に向かう原料の流れにより、量子井戸構造における I n G a N 層の膜厚は影響を受ける。

【0041】

図 6 は、中心 C を通りエッジ上の点 A P 点と点 B P 点とを結ぶ線分上における、エピタキシャル基板 E 3 の P L 波長の分布を示す図面である。G a N 基板の主面におけるオフ角は、上記線分に沿って単調に変化しており、例えば最小値 0. 2 度、最大値 0. 4 度である。図 7 は、P L マッパー装置を用いて測定された P L 分布と、P L 分布のヒストグラムを示す図面である。ヒストグラムは、測定点の波長とサンプル数の関係を示す。P L 波長の平均値は 4 6 6. 9 1 n m であり、標準偏差は 2. 7 6 n m である。G a N 基板主面に不可避免的に存在するオフ角分布により、量子井戸構造における I n G a N 層のインジウム組成は影響を受ける。また、この影響に加えて、フローチャネルの上流から下流に向かう原料の流れにより量子井戸構造における I n G a N 層の膜厚は影響を受け、オフ角が大きい領域では膜厚が大きい。

【0042】

エピタキシャル基板 E 2、E 3 の G a N 基板は共に、同じオフ角分布を有しているけれども、エピタキシャル基板 E 3 の P L 波長の標準偏差 (2. 7 6 n m) は、エピタキシャル基板 E 2 の P L 波長の標準偏差 (4. 5 5 n m) に比べて非常に小さい。これは、G a N 基板主面におけるオフ角分布および原料の流れによる成長速度分布を利用して、P L 波長の分布を小さくしているからである。

【0043】

図 8 は、本発明の実施の形態のための窒化ガリウム系エピタキシャルウエハを示す図面である。この窒化ガリウム系エピタキシャルウエハ E 4 は、窒化ガリウム基板 4 1 と、一または複数の窒化ガリウム系半導体膜 4 3 と、活性層 4 5 とを備える。窒化ガリウム系半導体膜 4 3 は、窒化ガリウム基板主面 4 1 a 上に成長されている。活性層 4 5 は、窒化ガリウム系半導体膜上に成長されており、また量子井戸構造 4 7 を有する。量子井戸構造 4 7 は、交互に配置された井戸層 4 7 a および障壁層 4 7 b を含む。井戸層 4 7 a は、III 族元素としてインジウムを含む窒化ガリウム系半導体からなる。井戸層 4 7 a の膜厚は主面 4 1 a の全体に亘って分布している。G a N 基板の窒化ガリウムの C 軸と G a N 基板主面の法線との成すオフ角は、基板主面 4 1 a において分布すると共に、図 6 に示されるように、基板主面 4 1 a のエッジ上の一点から該エッジ上の他点に向かう線分上において単調に変化している。基板主面 4 1 a 上における第 1 の点 P 1 におけるオフ角 (T H E T A 1) は、基板主面 4 1 a 上における第 2 の点 P 2 におけるオフ角 (T H E T A 2) より小さく (T H E T A 2 > T H E T A 1)、また第 1 の点 P 1 上における井戸層 4 1 a の膜厚

10

20

30

40

50

D 1は第2の点P 2上における井戸層4 7 aの膜厚D 2より薄い ($D 1 < D 2$)。窒化ガリウム系半導体膜4 3は、例えばn型クラッド層またはバッファ層であることができる。必要な場合には、窒化ガリウム系エピタキシャルウエハE 4は、活性層4 5上に設けられた一または複数の窒化ガリウム系半導体膜を含むことができ、窒化ガリウム系半導体膜は、例えばp型クラッド層4 9およびp型コンタクト層5 1を含むことができる。

【0044】

既に説明したように、窒化ガリウム系エピタキシャルウエハのための結晶成長を成長炉を用いて行うとき、原料ガスの流れの影響により発光波長の分布が生じる。サファイア基板と窒化ガリウム基板との違いに着目したとき、サファイア基板の主面には均一な結晶面が現れるけれども、窒化ガリウム基板ではオフ角が主面全体にわたって分布する。

10

【0045】

発明者らの検討によれば、このオフ角の分布によりGa N系半導体のインジウム組成が影響を受ける。オフ角の影響は、窒化ガリウム系半導体を作製する際には不可避である。ところが、主面におけるオフ角の分布を制御した窒化ガリウム基板を準備することにより、オフ角の影響は原料ガスの流れの影響により部分的にうち消されることが、発明者らの実験から見出された。

【0046】

すなわち、主面のエッジ上の一点から該エッジ上の他点に向かう線分上においてオフ角が単調に変化する窒化ガリウム基板を用いて、主面上における第1の点におけるオフ角が第2の点におけるオフ角より小さくなると共に、第1の点上における井戸層の膜厚が第2の点上における井戸層の膜厚より薄くなるような構造を実現できる。第1の点と第2の点は、互いに別の窒化物半導体発光素子に位置する。

20

【0047】

この窒化ガリウム系エピタキシャルウエハによれば、窒化ガリウム基板上の設けられた井戸層を含む活性層の発光波長の分布を縮小可能な構造の半導体素子を提供できる。

【0048】

窒化ガリウム系エピタキシャルウエハでは、線分の向きは、 $\langle 1-100 \rangle$ および $\langle 11-20 \rangle$ のいずれか一の結晶方位に対応する。これらの結晶方位は、オフ角分布と井戸幅分布とを組み合わせる際に好適である。

【0049】

窒化ガリウム系エピタキシャルウエハの好適な一形態では、窒化ガリウム基板は、オリエンテーションフラットと、実質的に円弧からなる縁とを有しており、オリエンテーションフラットの方位は、 $\langle 1-100 \rangle$ および $\langle 11-20 \rangle$ のいずれか一の結晶方位に対応する。或いは、窒化ガリウム系エピタキシャルウエハの好適な別の形態では、窒化ガリウム基板は、実質的に円形の縁を有しており、窒化ガリウム基板は、 $\langle 1-100 \rangle$ および $\langle 11-20 \rangle$ のいずれか一の結晶方位に対応するマーカを含む。

30

【0050】

窒化ガリウム系エピタキシャルウエハでは、窒化ガリウム基板の主面の中心を通る軸に沿ったオフ角分布の最大値と最小値との差は、0.7度以下であることが好ましい。これらの範囲は、オフ角分布と井戸幅分布とを組み合わせに好適である。

40

【0051】

(第2の実施の形態)

図9は、本発明の実施の形態に係る、窒化物半導体発光素子を作製する方法の主要な工程を含むフローチャートを示す。フローチャート100を参照すると、工程S101では、既に説明されたようなオフ角分布を有するGa N基板を準備する。オフ角は、主面において分布すると共に、主面のエッジ上のある一点から中心点を通り該エッジ上の他点に向かう線分上において単調に変化している。オフ角の極小点および極大点が基板主面内に存在しない。ある値のオフ角の等しい点を結ぶ等オフ角線は、Ga N基板のエッジの一点から他点まで伸びており、また曲線および/または線分である。一実施例では、等オフ角線の曲率半径は、Ga N基板の外形の曲率半径のよりも大きいことが好ましい。これに、主面

50

におけるオフ角分布は非常に緩やかに変化する。

【0052】

図10は、好適な一形態の有機金属気相成長炉を概略的に示す図面である。工程S103では、有機金属気相成長炉のサセプタ上に所定の配置でGaN基板27a、27b、27cを置く。図10(a)に示されるように、基板主面のエッジ上のある一点から該エッジ上の他点に向かう上記線分が、同じ方向に向けつけられている。GaN基板27a~27cの各々の向き付けは、図10(a)に示される例では、オリエンテーションフラットの向きにより示されている。サセプタのエッジからサセプタの中心に向かう方向に線分が向くように、GaN基板27a~27cがサセプタ上において向きづけられる。このとき、GaN基板27a~27cの中心を通る円Dがオリエンテーションフラットと交差している。

10

【0053】

有機金属気相成長炉21では、フローチャネル23に原料ガスが流れる。サセプタ25の主面25a上には、複数のGaN基板27a~27cが配置されている。これらのGaN基板27a~27cは、主面25aのガイドに置かれている。原料ガス（例えば、活性層を形成するための原料ガス）は、有機金属気相成長炉21のサセプタ25の主面25aの一端から他端を横切る方向（矢印Aの方向）に供給される。この原料ガスの供給により、図10(b)に示されるように、成長される半導体層の原料の流れ方向に応じた成長速度分布が生じる。オリエンテーションフラットは、成長速度分布に関連づけて向きづけられている。

20

つまり、原料ガスの供給及びサセプタの回転により、原料ガス流の上流から下流に向かう流れ方向に応じた、活性層の井戸層の成長速度分布が生じる。GaN基板27a~27cの各々は、そのエッジ上の一点が成長速度分布の大きい側に、且つ他点が成長速度分布の小さい側に位置するように、向きづけられている。これによって、オフ角の分布が、成長速度分布による井戸層の膜厚の分布により部分的に補償される。

【0054】

半導体層の成長は、サセプタ25を回転させながら行われる。サセプタ25の回転により、結晶成長の均一性を向上できる。また、サセプタ25の公転より、非対称或いは不均一な原料ガス流の影響を平均化できる。この回転により、図10(b)に示されるような成長速度分布は、図10(c)に示されるような実効的な成長速度分布になる。

30

【0055】

この原料ガス流には、基板主面のエッジ上の一点から該エッジ上の他点に向かい基板主面の中心点を通る線分上においてオフ角が単調に変化する窒化ガリウム基板27a~27cを用いることができる。各窒化ガリウム基板27a~27cの線分は、GaN基板27a~27cの中心を通る円Dに交差するように向きづけられている。この向きづけで複数の窒化ガリウム基板27a~27cを有機金属気相成長炉21のサセプタ25上に配置することによって、上記の原料ガスの流れによる影響を利用してオフ角分布の影響を縮小できる。この線分上においては、基板主面のエッジ上の一点から他点に向けてオフ角が単調に増加しており、上記の線分上において井戸層の膜厚は全体として増加している。

【0056】

例えば、上記の線分上に順に配列されたn個の点において井戸層のn個の膜厚は、該線分上において単調に増加している。また、線分上には、n個の窒化物半導体発光素子が配列されている。n個の点は、それぞれ、n個の窒化物半導体発光素子内に位置する。

40

【0057】

工程S105では、GaN基板には、GaN系半導体膜を成長する。このGaN系半導体膜は、量子井戸構造の形成に先立って行われるものであり、GaN系半導体膜として、例えばバッファ層またはクラッド層のためのn型半導体が堆積される。この半導体としては、GaN、AlGaN、AlInGaN等を使用できる。

【0058】

工程S107では、量子井戸構造を形成する。量子井戸構造の形成のために、工程S1

50

07aでは井戸層を成長すると共に、工程S107bでは障壁層を成長する。必要な場合には、工程S107cでは井戸層および障壁層の成長を繰り返す。井戸層は、III族としてインジウムを含む窒化ガリウム系半導体を成長することができ、この窒化ガリウム系半導体は、例えばInGa_N、AlInGa_N等である。また、障壁層は、例えばGa_N、InGa_N、AlInGa_N等である。原料ガスの流れに起因する影響により、井戸層の膜厚は主面において分布しており、インジウム組成はオフ角分布の影響により分布している。

【0059】

既に説明したように、このオフ角の分布によりインジウム組成が影響を受ける。オフ角の影響は、窒化ガリウム系半導体を作製する際には不可避である。ところが、主面におけるオフ角の分布を制御した窒化ガリウム基板を準備することにより、オフ角の影響は原料ガスの流れの影響により部分的にうち消される。

10

【0060】

窒化ガリウム系エピタキシャルウエハのための結晶成長を成長炉21を用いて行うとき、原料ガスの流れの影響により、発光波長の分布が生じる。この発光波長分布を、基板主面のエッジ上の一点から該エッジ上の他点に向かう線分上においてオフ角が単調に変化する窒化ガリウム基板を用いて、基板主面全体にわたるオフ角分布を原料ガスの流れの影響と組み合わせることによって低減できる。この結果、基板主面上における第1の点におけるオフ角が第2の点におけるオフ角より小さくなると共に、第1の点上における井戸層の膜厚が第2の点上における井戸層の膜厚より薄くなるような構造を実現できる。したがって、この窒化ガリウム系エピタキシャルウエハによれば、窒化ガリウム基板上の設けられた井戸層を含む活性層の発光波長の分布を縮小可能な構造の半導体素子を提供できる。

20

【0061】

工程S109では、量子井戸構造上には、Ga_N系半導体膜を成長する。Ga_N系半導体膜として、例えばクラッド層およびコンタクト層のためのp型半導体が堆積される。この半導体としては、Ga_N、AlGa_N、AlInGa_N等を使用できる。

【0062】

工程S111では、例えばアノードといった第1の電極をコンタクト層上に形成すると共に、例えばカソードといった第2の電極をGa_N基板の裏面上に形成する。

【0063】

図11は、好適な別の形態の有機金属気相成長炉を概略的に示す図面である。工程S103では、有機金属気相成長炉のサセプタ上に所定の配置でGa_N基板37a、37b、37cを置く。図11(a)に示されるように、基板主面のエッジ上のある一点から該エッジ上の他点に向かう線分が、原料ガスの流れの方向に向けつけられている。Ga_N基板37a、37b、37cの各々の向き付けは、図11(a)に示される例では、オリエンテーションフラットの向きにより示されている。Ga_N基板37a~37cの中心が同一の円D上に位置するように、Ga_N基板37a~37cがサセプタ上において向きづけられる。このとき、サセプタのエッジからサセプタの中心に向かう方向に線分が向くと共に、円Dがオリエンテーションフラットと交差している。

30

【0064】

有機金属気相成長炉31では、フローチャネル33に原料ガスが流れる。サセプタ35の主面35a上には、複数のGa_N基板37a~37cが配置されている。これらのGa_N基板37a~37cは、主面35aのガイドに置かれている。原料ガス（例えば、活性層を形成するための原料ガス）は、サセプタ35の主面35aに交差する軸B（矢印Cの方向）に沿って供給される。この原料ガスの供給により、当該原料ガス流の上流から下流に向かう流れ方向に応じて井戸層の成長速度分布が生じている。この原料ガスの供給により、図10(b)に示されるように、成長される半導体層の原料の流れ方向に応じた成長速度分布が生じる。オリエンテーションフラットは、成長速度分布に関連づけて向きづけられている。

40

【0065】

50

半導体層の成長は、サセプタ 35 を回転させながら行われる。サセプタ 35 の回転により、結晶成長の均一性を向上できる。また、サセプタ 35 の公転により、非対称或いは不均一な原料ガス流の影響を平均化できる。この回転により、図 11 (b) に示されるような成長速度分布は、図 11 (c) に示されるような実効的な成長速度分布になる。

【0066】

この原料ガス流には、基板主面のエッジ上の一点から該エッジ上の他点に向かう線分上においてオフ角が単調に変化する窒化ガリウム基板 37a~37c を用いることができる。サセプタ 35 は、該サセプタ 35 の主面 35a 上に規定される円周 D 上に設けられ窒化ガリウム基板のための複数のガイドを有する。サセプタ 35 の主面 35 において各窒化ガリウム 37a~37c の線分は、円周 D の接線に交差する線分の方

10

【0067】

上記の向きづけで複数の窒化ガリウム基板 37a~37c を有機金属気相成長炉のサセプタ上に配置することによって、上記の原料ガスの流れに起因する影響を利用してオフ角分布の影響を縮小できる。この向きづけで複数の窒化ガリウム基板 37a~37c を有機金属気相成長炉 31 のサセプタ 35 上に配置することによって、上記の原料ガスの流れに起因する影響を利用してオフ角分布の影響を縮小できる。

【0068】

発明者の観察によれば、成膜条件によっては、透過電子顕微鏡像において井戸層の厚さが空間的に揺らいでいることもある。図 12 は、障壁層の間に設けられた様々な井戸層を模式的に示している。図 12 (a) を参照すると、実質的な膜厚揺らぎがない井戸層の断面が示されており、井戸層の上面は実質的に平坦である。この井戸層の厚さ D_w は、例えば 3 nm である。この厚みは、斜線ハッチング領域の面積 S と井戸層の幅 L とを用いて、 S/L によって算出された値（以下、「平均厚み」として参照する）に一致する。図 12 (b) を参照すると、井戸層の上面は、ほぼ三角形の断面のリッジ構造のモフォロジを有する。この井戸層の平均厚みは、例えば $S/L = 2.5$ nm である。図 12 (c) を参照すると、井戸層の上面は、ほぼ波形の断面のリッジ構造のモフォロジを有する。この井戸層の平均厚みは、例えば $S/L = 2.5$ nm 程度である。図 12 (d) を参照すると、井戸層の上面は、ほぼ波形の断面のリッジ構造のモフォロジを有し、下側の障壁層の上面は、ほぼ波形の断面のリッジ構造のモフォロジを有する。この井戸層の平均厚みは、例えば $S/L = 2$ nm 程度である。発明者の検討によれば、このような平均厚みにも、成長速度分布に基づく膜厚分布が現れる。InGaN 層の厚みの平均値の算出には、上記の平均値とは別の方法を用いることができる。

20

30

【0069】

図 13 (a) は、ウェハ中心を通る軸上でオフ角分布を有するウェハを示している。軸 Ax 上の 3 点 P1、P2、P3 のオフ角は、それぞれ、 $\theta_1 = 0.2$ 度、 $\theta_2 = 0.4$ 度、 $\theta_3 = 0.6$ 度である。透過電子顕微鏡像によれば、点 P1 の近傍では、図 13 (b) に模式的に示される井戸層が観察され、点 P3 の近傍では、図 13 (c) に模式的に示される井戸層が観察された。また、点 P1 近傍における InGaN 井戸層のインジウム組成は、点 P3 近傍における InGaN 井戸層のインジウム組成よりも大きい。図 12 を参照しながら説明された平均厚さを軸 Ax 上の 3 点 P1、P2、P3 の井戸層で求めると、平均厚さ $D_{w1} = 1.5$ nm、 $D_{w2} = 1.8$ nm、 $D_{w3} = 2$ nm であった。つまり、平均厚さ D_{w1} 、 D_{w2} 、 D_{w3} の値は、軸 Ax 上で単調に増加している。また、InGaN 層のインジウム組成は、点 P1、P2、P3 の順に単調に減少する。したがって、井戸層の膜厚が空間的な揺らぎを有するときでも、平均厚みを用いることによって、本実施の形態で示された関係が InGaN のインジウム組成と InGaN 層の平均厚さとの間に満たされている。

40

【0070】

透過電子顕微鏡像における面積から、井戸層の平均値を算出する方法の具体例を説明する。コンピュータといった演算装置に透過電子顕微鏡像を取り込む。顕微鏡像は、走査型

50

透過電子顕微鏡像であっても好適である。図14(a)は、演算装置の表示装置に示された画像を示す。顕微鏡像のコントラストを調整して、高めのコントラストの画像を作成する。高コントラスト画像において二値化処理を行うと共に、必要に応じて、二値化処理された画像上において白黒の反転を行う。図14(b)は、井戸層を黒領域として表した画像を示す。演算装置において、面積計算エリアを指定して面積計算を実行する。面積計算エリアの指定により、井戸層の横幅Lが与えられているので、算出された面積値Sと横幅Lとから平均膜厚(S/L)が得られる。

【0071】

図15～図18は、いくつかのエピタキシャルウエハの多重量子井戸構造を示す透過電子顕微鏡像を示す。図15の顕微鏡像では、膜厚揺らぎを有する井戸層が示されている。目視の測定で最大膜厚が4.4nmであり、最小膜厚が0nmであった。演算装置によって算出された平均厚さは1.86nmであった。図16の顕微鏡像では、ほぼ均一な井戸層が示されている。目視の測定で膜厚が2.6nmであった。演算装置で求めた平均厚さは2.86nmであった。図17の顕微鏡像では、膜厚揺らぎを有する井戸層が示されている。目視の測定で最大膜厚が3.3nmであり、最小膜厚が0nmであった。演算装置で求めた平均厚さは2.53nmであった。図18の顕微鏡像では、膜厚揺らぎを有する井戸層が示されている。目視の測定で最大膜厚が4.5nmであり、最小膜厚が0nmであった。演算装置で求めた平均厚さは4.08nmであった。図19(a)～図19(d)は、それぞれ、図15～図18の二値化画像を示している。対応付けを明らかにするために、図19(e)～図19(f)は、二値化処理を行う前の原画像を示している。図15～図18は、それぞれ、図19(e)～図19(f)の拡大図である。

【0072】

このように、演算装置への取り込み処理、コントラスト処理、二値化処理、面積算出エリアの指定処理、及び面積計算処理によって、平均厚さを算出できる。

【0073】

好適な実施の形態において本発明の原理を図示し説明してきたが、本発明は、そのような原理から逸脱することなく配置および詳細において変更され得ることは、当業者によって認識される。本発明は、本実施の形態に開示された特定の構成に限定されるものではない。また、本実施の形態では、サセプタに3枚の基板を配置している例について説明しているけれども、これより多数の基板をサセプタに配置することもできる。したがって、特許請求の範囲およびその精神の範囲から来る全ての修正および変更権利を請求する。

【図面の簡単な説明】

【0074】

【図1】図1は、サファイア基板を用いたInGaN活性層を成長を説明する図面である。

【図2】図2は、OFとAOFとを結ぶ線分上における、エピタキシャル基板E1のPL波長の分布を示す図面である。

【図3】図3は、PLマッパー装置を用いて測定されたPL分布と、PL分布のヒストグラムを示す図面である。

【図4】図4は、中心Cを通りエッジ上のA点とB点とを結ぶ線分上における、エピタキシャル基板E2のPL波長の分布を示す図面である。

【図5】図5は、PLマッパー装置を用いて測定されたPL分布と、PL分布のヒストグラムを示す図面である。

【図6】図6は、中心Cを通りエッジ上のA点とB点とを結ぶ線分上における、エピタキシャル基板E3のPL波長の分布を示す図面である。

【図7】図7は、PLマッパー装置を用いて測定されたPL分布と、PL分布のヒストグラムを示す図面である。

【図8】図8は、本発明の実施の形態のための窒化ガリウム系エピタキシャルウエハを示す図面である。

【図9】図9は、本発明の実施の形態に係る、窒化物半導体発光素子を作製する方法の主

要な工程を含むフローチャートを示す。

【図 1 0】図 1 0 は好適な一形態の有機金属気相成長炉を概略的に示す図面である。

【図 1 1】図 1 1 は好適な別の形態の有機金属気相成長炉を概略的に示す図面である。

【図 1 2】図 1 2 は、障壁層の間に設けられた様々な井戸層を模式的に示す図面である。

【図 1 3】図 1 3 は、ウエハ中心を通る軸上でオフ角分布及び井戸層の膜厚分布を有するウエハを示す図面である。

【図 1 4】図 1 4 は、演算装置の表示装置に示された画像及び二値化処理された画像を示す図面である。

【図 1 5】図 1 5 は、エピタキシャルウエハの多重量子井戸構造を示す透過電子顕微鏡像を示す図面である。

【図 1 6】図 1 6 は、別のエピタキシャルウエハの多重量子井戸構造を示す透過電子顕微鏡像を示す図面である。

【図 1 7】図 1 7 は、更に別のエピタキシャルウエハの多重量子井戸構造を示す透過電子顕微鏡像を示す図面である。

【図 1 8】図 1 8 は、また更に別のエピタキシャルウエハの多重量子井戸構造を示す透過電子顕微鏡像を示す図面である。

【図 1 9】図 1 9 は、エピタキシャルウエハの多重量子井戸構造を示す透過電子顕微鏡像と二値化画像とを示す図面である。

【符号の説明】

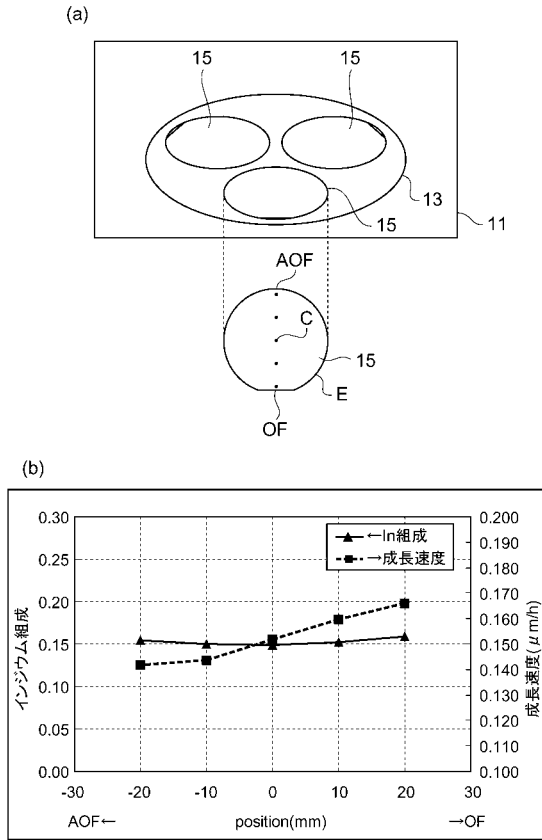
【0075】

E 1、E 2、E 3…エピタキシャルウエハ、E 4…窒化ガリウム系エピタキシャルウエハ、1 1…有機金属気相成長炉、1 3…サセプタ、1 5…サファイア基板、4 1…窒化ガリウム基板、4 1 a…窒化ガリウム基板主面、4 3…窒化ガリウム系半導体膜、4 5…活性層、4 7…量子井戸構造、4 7 a…井戸層、4 7 b…障壁層、4 9…p 型クラッド層、5 1…p 型コンタクト層、2 1…有機金属気相成長炉、2 3…フローチャネル、2 5…サセプタ、2 5 a…サセプタ主面、2 7 a、2 7 b、2 7 c…G a N 基板、3 1…有機金属気相成長炉、3 3…フローチャネル、3 5…サセプタ、3 5 a…サセプタ主面、3 7 a、3 7 b、3 7 c…G a N 基板

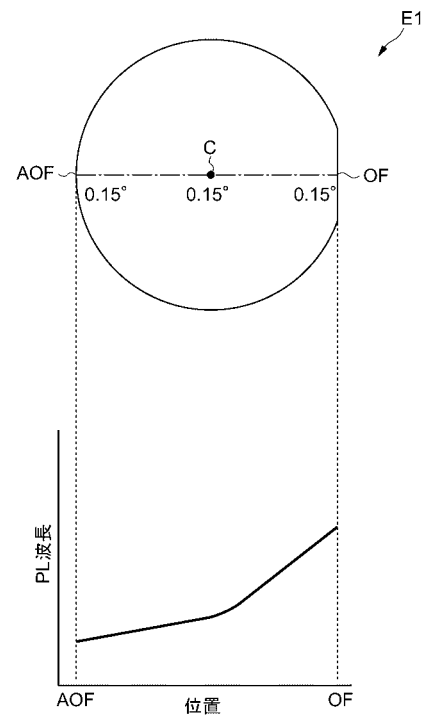
10

20

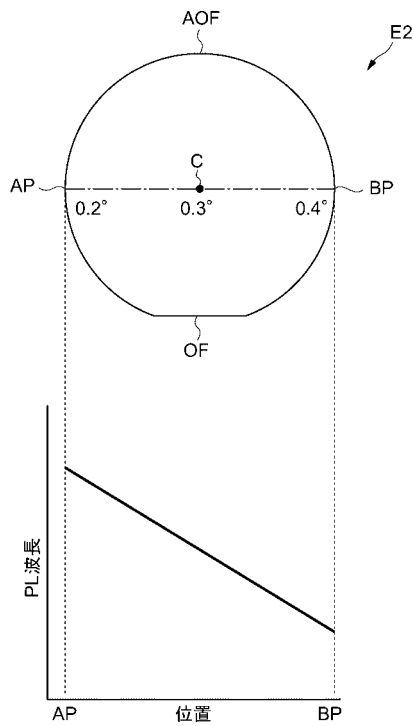
【図 1】



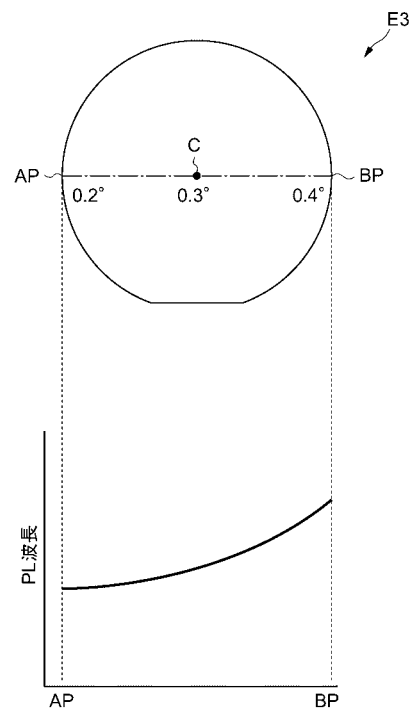
【図 2】



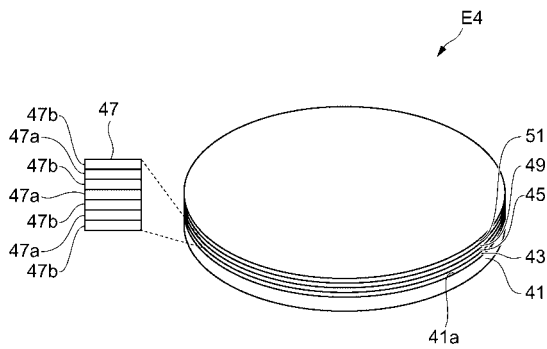
【図 4】



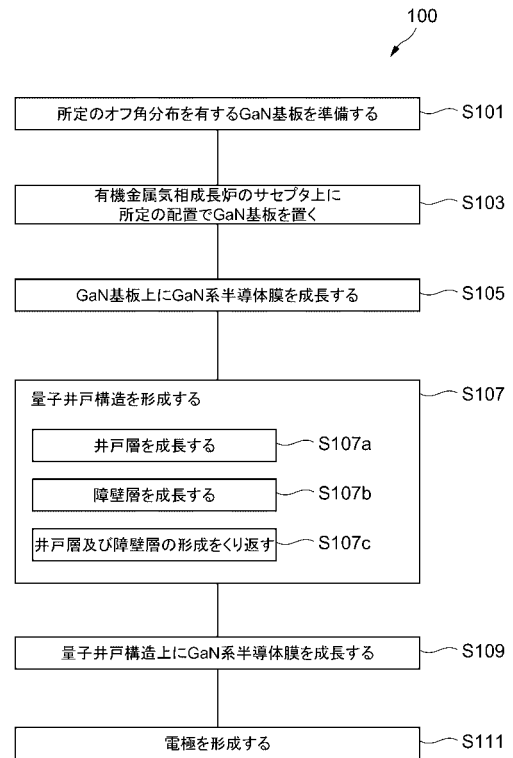
【図 6】



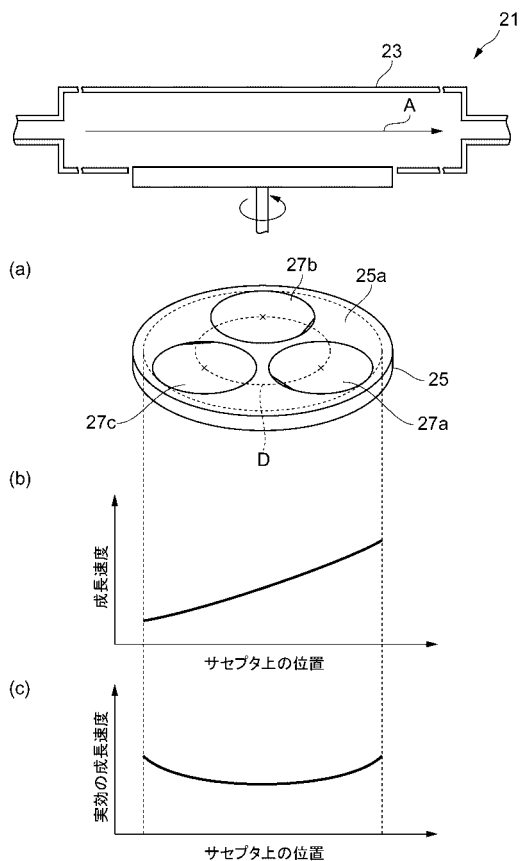
【図 8】



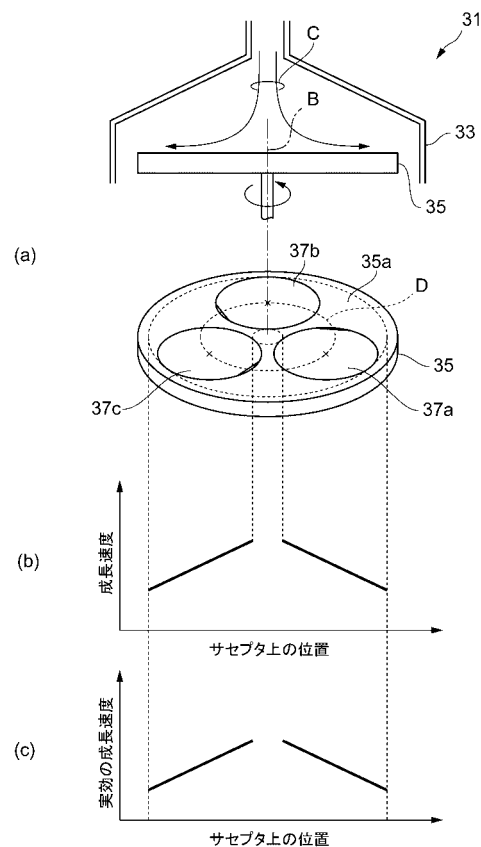
【図 9】



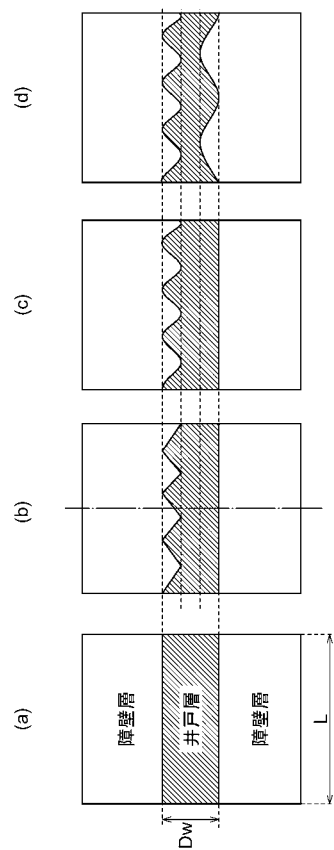
【図 10】



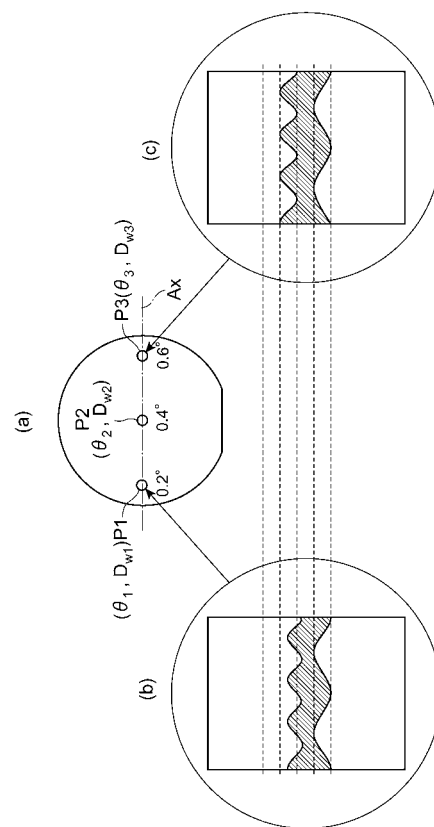
【図 11】



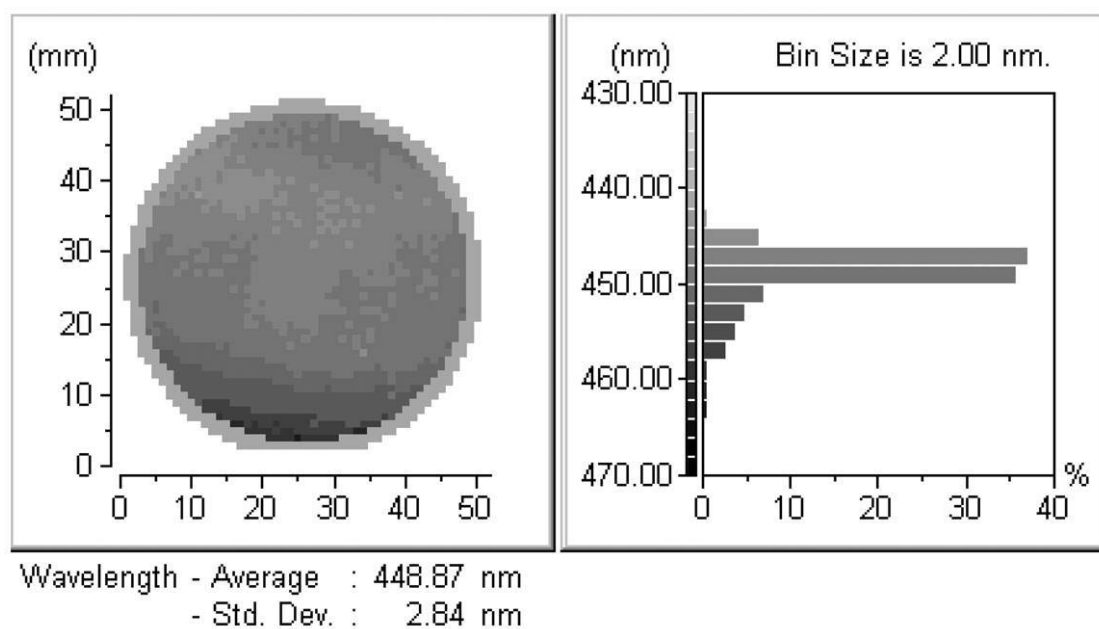
【図 1 2】



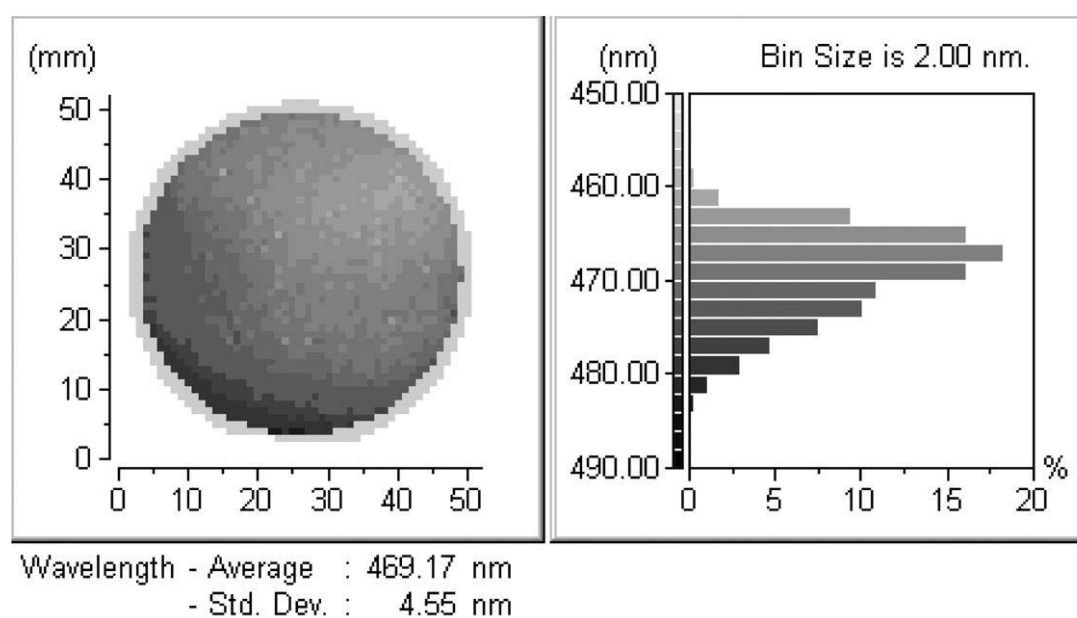
【図 1 3】



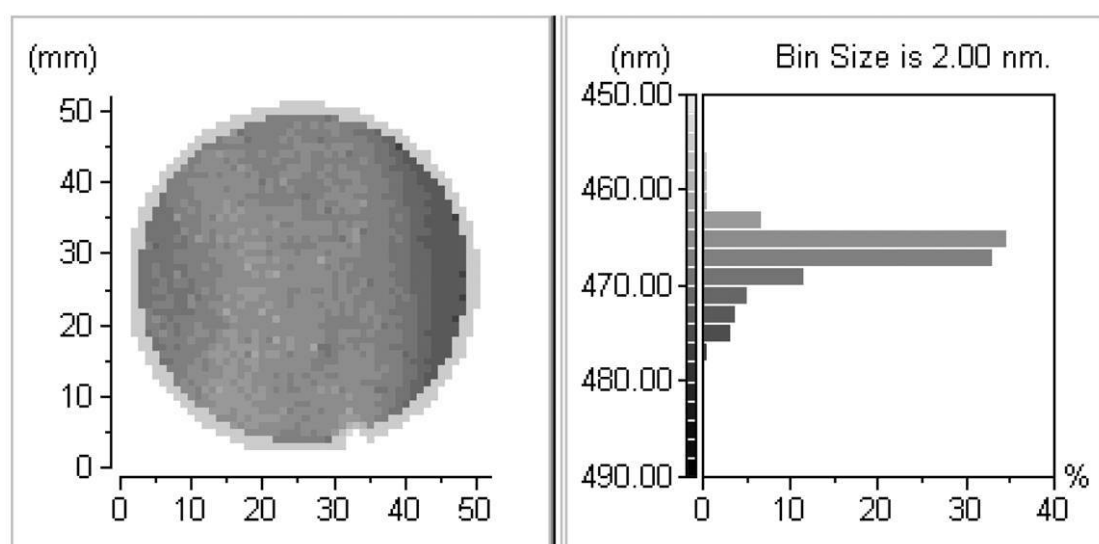
【図 3】



【図 5】



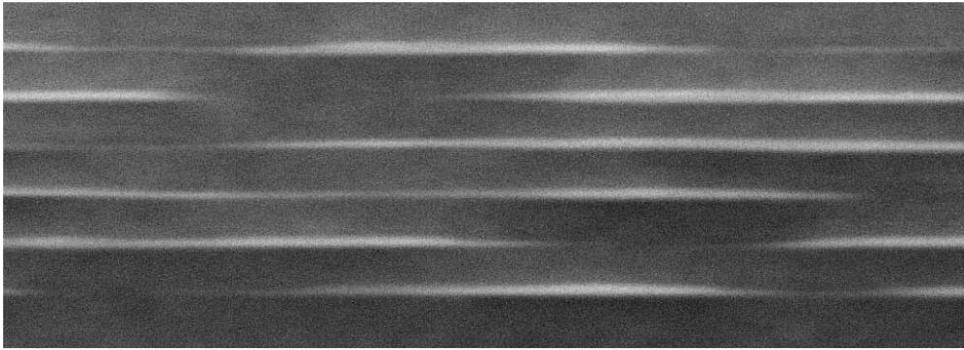
【図 7】



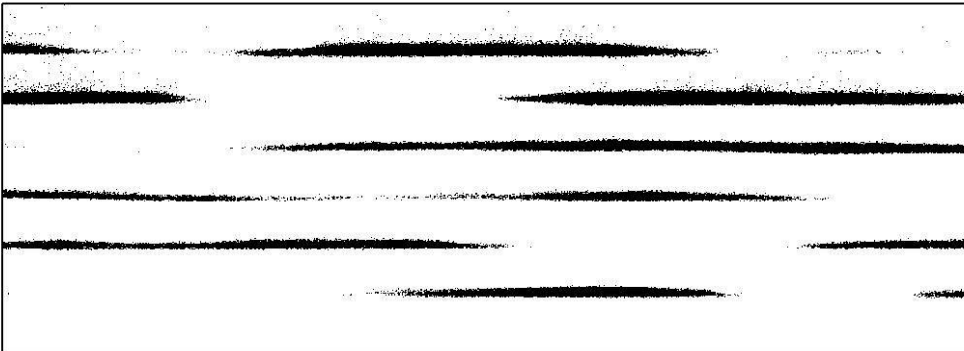
Wavelength - Average : 466.91 nm
- Std. Dev. : 2.76 nm

【図 14】

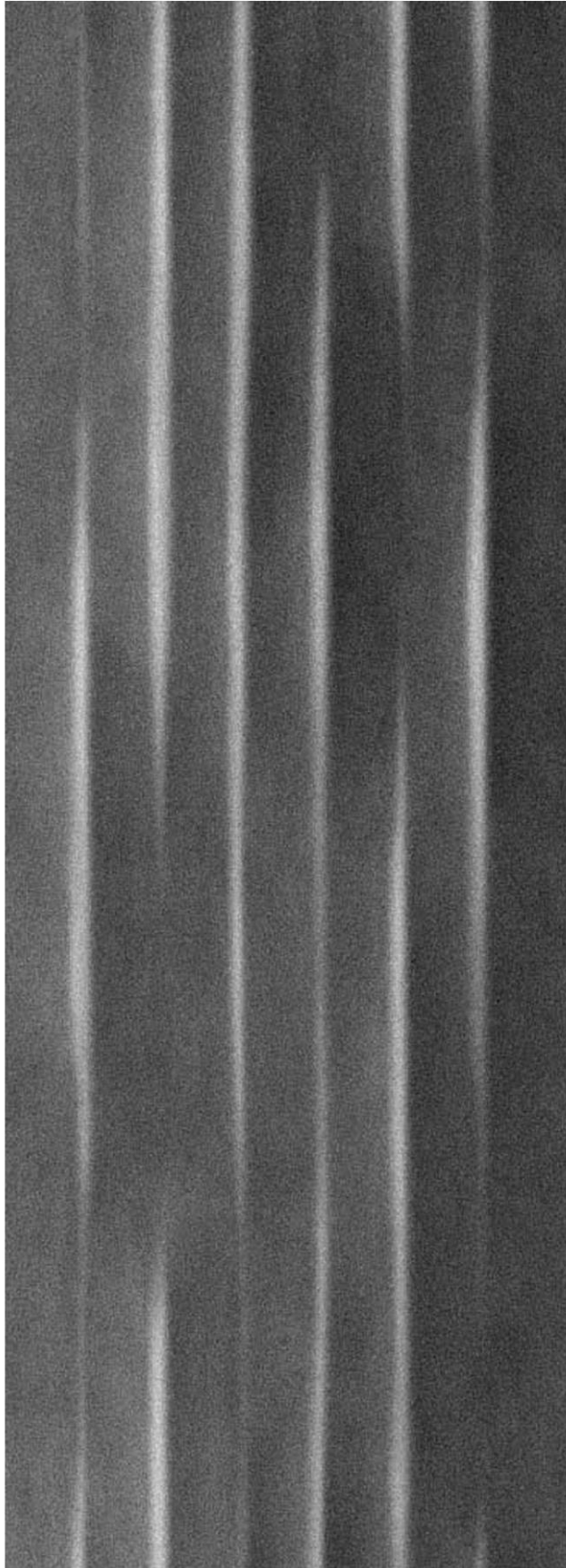
(a)



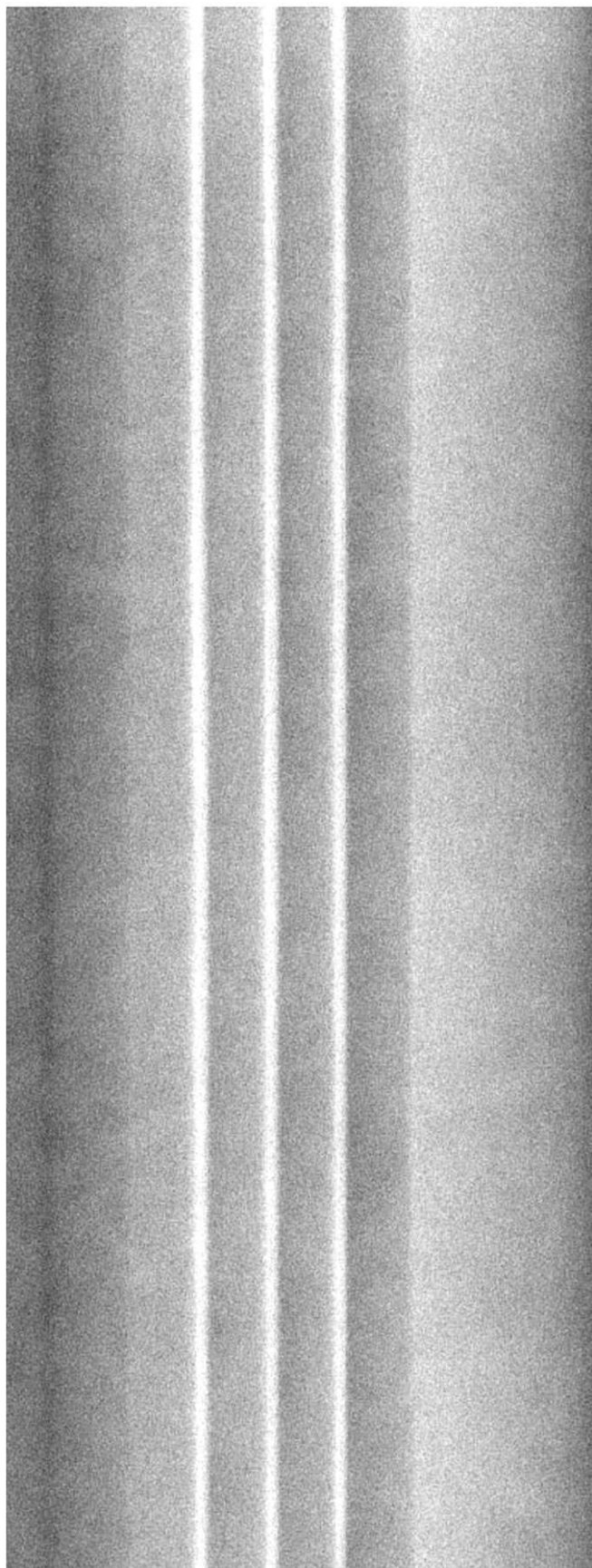
(b)



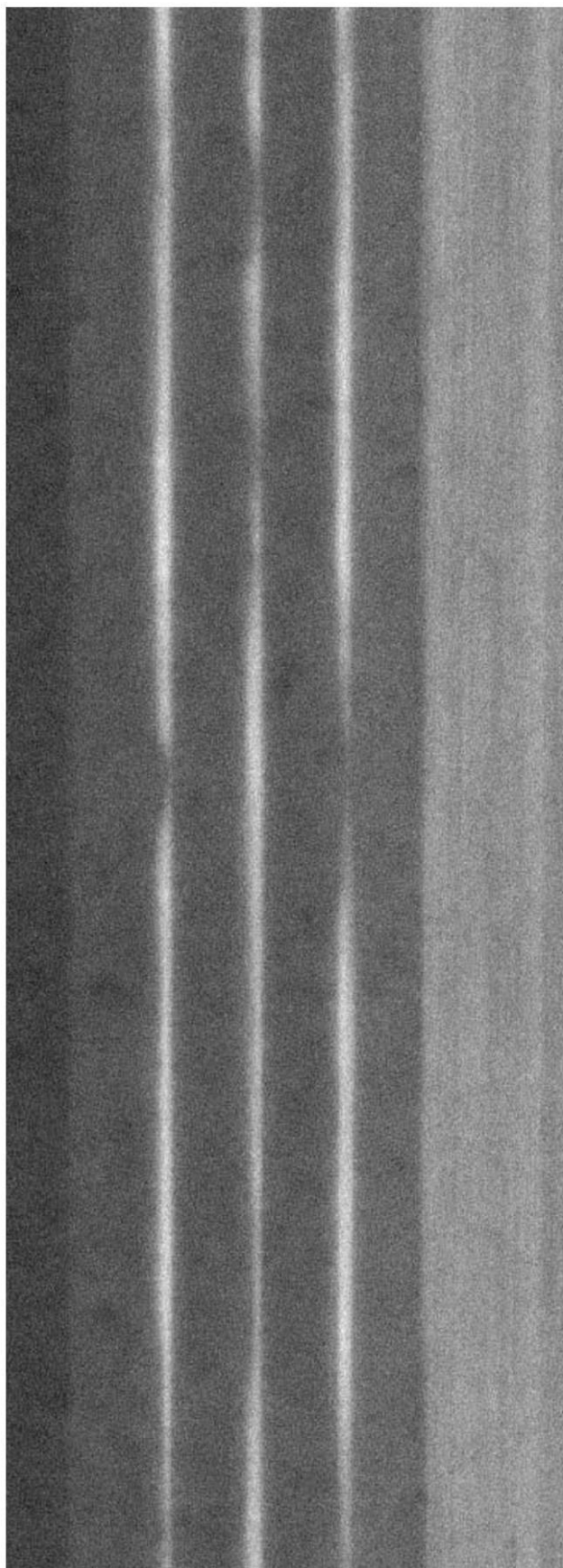
【図 15】



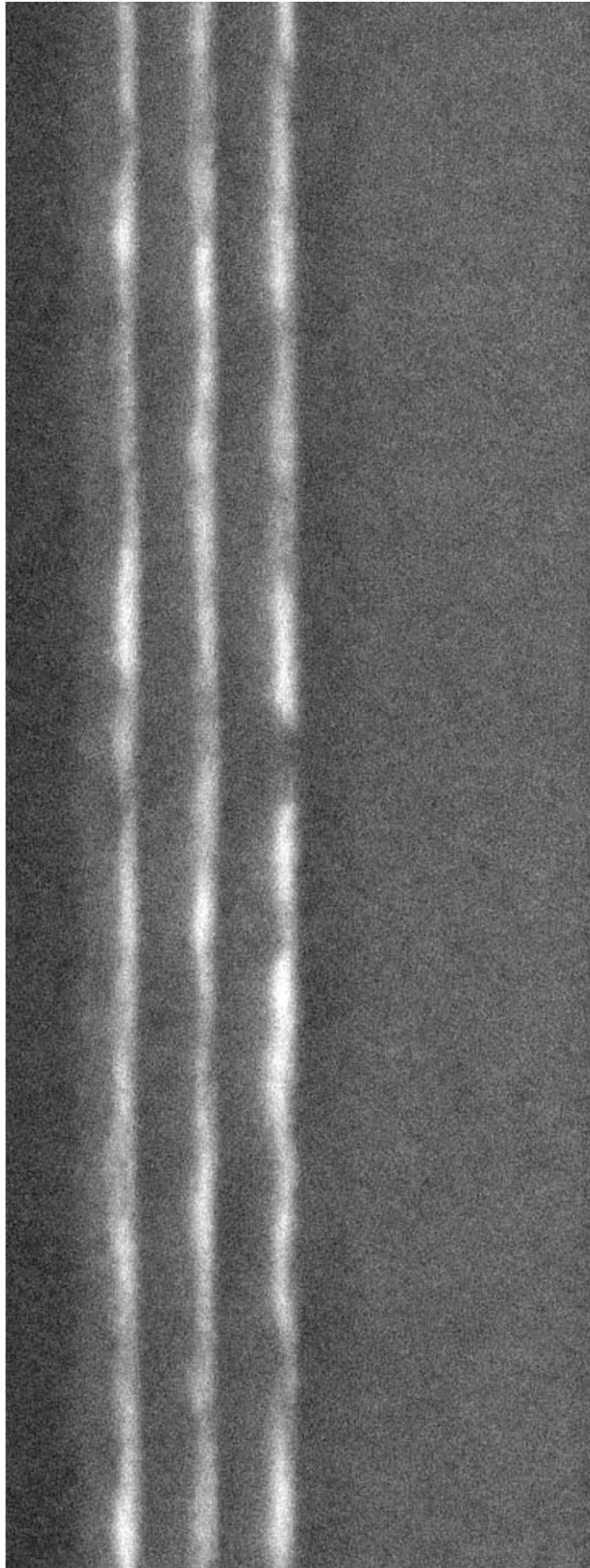
【図 16】



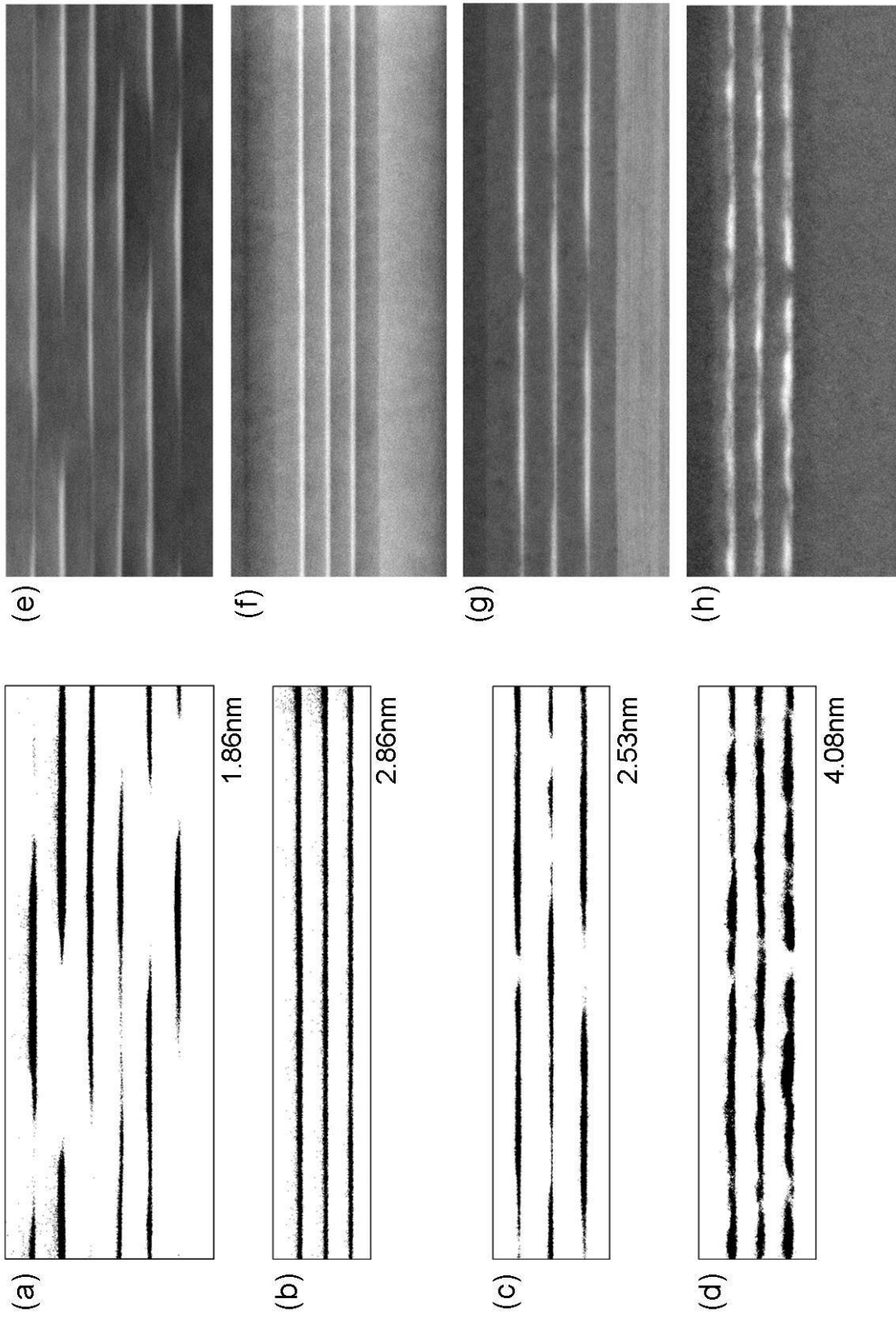
【図 17】



【図 18】



【図 19】



フロントページの続き

(72)発明者 上野 昌紀

兵庫県伊丹市昆陽北一丁目1番1号 住友電気工業株式会社伊丹製作所内

(72)発明者 中村 孝夫

兵庫県伊丹市昆陽北一丁目1番1号 住友電気工業株式会社伊丹製作所内

Fターム(参考) 5F041 AA11 CA05 CA23 CA40 CA65 CA77

5F045 AA03 AB14 AB17 AC01 AC08 AC12 AC19 AD15 AF09 AF13

BB16 CA10 DA55 DP15 DQ10