

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第5833988号
(P5833988)

(45) 発行日 平成27年12月16日(2015.12.16)

(24) 登録日 平成27年11月6日(2015.11.6)

(51) Int.Cl.

H01L 21/306 (2006.01)

F 1

H01L 21/306
H01L 21/306

B

U

請求項の数 5 (全 19 頁)

(21) 出願番号 特願2012-171055 (P2012-171055)
 (22) 出願日 平成24年8月1日 (2012.8.1)
 (65) 公開番号 特開2013-46063 (P2013-46063A)
 (43) 公開日 平成25年3月4日 (2013.3.4)
 審査請求日 平成27年7月31日 (2015.7.31)
 (31) 優先権主張番号 13/217,821
 (32) 優先日 平成23年8月25日 (2011.8.25)
 (33) 優先権主張国 米国(US)

早期審査対象出願

(73) 特許権者 502096543
 パロ・アルト・リサーチ・センター・イン
 コーポレーテッド
 Palo Alto Research
 Center Incorporated
 アメリカ合衆国、カリフォルニア州 94
 304、パロ・アルト、コヨーテ・ヒル・
 ロード 3333
 (74) 代理人 100079049
 弁理士 中島 淳
 (74) 代理人 100084995
 弁理士 加藤 和詳

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】窒化アルミニウム部分の除去

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

エッティング処理中はバルク窒化アルミニウム基板をエッティング液にさらすように構成されているチャンバーと、

前記バルク窒化アルミニウム基板の厚さを示す信号を生成するように構成されている計測ユニットと、

を含む装置であって、

前記バルク窒化アルミニウム基板は、前記バルク窒化アルミニウム基板の上に成長させた1層以上のエピタキシャル層を含むサブアセンブリの基板であり、

前記計測ユニットは、

前記バルク窒化アルミニウム基板によって吸収されるが前記1層以上のエピタキシャル層によって吸収されない波長の光を生成するように構成されている光源と、

前記サブアセンブリを透過した光を検出するように配置されている検出器と、

を含み、

前記検出器は、前記検出された光の波長範囲にわたって前記サブアセンブリのスペクトル応答を特徴づけるように構成されている、

装置。

【請求項 2】

前記計測ユニットは、前記サブアセンブリと電気接觸するように構成されている電気コントタクトを含み、

10

20

前記計測ユニットは、前記電気コンタクトを介して前記サブアセンブリの1つ以上の電気的特性を測定するように構成されている、

請求項1に記載の装置。

【請求項3】

前記計測ユニットは、前記サブアセンブリの近傍の前記チャンバの中のイオン濃度を感知するように構成されている化学センサを含み、

前記計測ユニットは、前記イオン濃度に基づいて前記信号を生成するように構成されている、

請求項1に記載の装置。

【請求項4】

前記信号は、前記バルク窒化アルミニウム基板の前記厚さを示すアナログ信号である、

請求項1に記載の装置。

【請求項5】

前記信号は、前記バルク窒化アルミニウム基板が前記サブアセンブリの領域において除去されていることを示す、請求項1に記載の装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、窒化アルミニウム部分を実質的に除去または薄膜化する方法に関し、より詳細には、この部分を約50μm未満の厚さまで完全に除去するかまたは化学的に薄膜化する方法に関する。また、本発明の装置は、エッティング処理中にエッティング液にバルク窒化アルミニウム(A1N)基板をさらすように構成されたチャンバを含む。

【背景技術】

【0002】

本発明は、窒化アルミニウム部分を実質的に除去または薄膜化する方法に関し、より詳細には、この部分を約50μm未満の厚さまで完全に除去するかまたは化学的に薄膜化する方法に関する。また、本発明の装置は、エッティング処理中にエッティング液にバルク窒化アルミニウム(A1N)基板をさらすように構成されたチャンバを含む。

【発明の概要】

【課題を解決するための手段】

【0003】

このバルクA1N基板は、このバルクA1N基板上に成長した1層以上のエピタキシャル層を含むサブアセンブリから成る基板である。この装置は、バルクA1N基板の厚さを示す信号を生成するように構成された計測ユニットも含む。

【0004】

また、本発明は、バルクA1N基板上に成長した1層以上のエピタキシャル層を含むサブアセンブリからバルク窒化アルミニウム(A1N)基板を実質的に除去する方法に関する。A1N基板をエッティング処理中にエッティング液にさらす。A1N基板の厚さを測定し、A1N基板の測定された厚さに基づいてエッティング処理を必要に応じて調整する。

【図面の簡単な説明】

【0005】

【図1】図1は、バルクA1N基板とバルク窒化アルミニウム(A1N)基板上に形成された1層以上のエピタキシャル層とを初期に含むサブアセンブリを示す図である。

【図2】図2は、サブアセンブリからバルクA1N基板を除去する方法を示す図である。

【図3】図3は、サブアセンブリを透過した光を使用してA1N基板の厚さを測定する工程を示す流れ図である。

【図4】図4は、リン酸中のエピタキシャルA1_xGa_(1-x)N層のエッティング時間をグラフで示す図である。

【図5】図5は、リン酸中のA1_xGa_(1-x)N層のエッティング速度を示すグラフである。

10

20

30

40

50

【図6】図6は、本明細書に開示されている方法を使用した基板の除去前後の試料サブアセンブリのX線回折測定の一例である。

【図7】図7は、湿潤エッティングによりサブアセンブリからAlN基板を除去するために使用することができる装置を示す図である。

【図8】図8は、本明細書に開示されている方法を用いて達成されるバルクAlNエッティングのエッティング速度を温度の関数として示す図である。

【図9】図9は、サブアセンブリのプロフィルメータ測定値の重畠されたグラフを示す図である。

【図10】図10は、AlN基板の厚さを示す信号を生成するために光を使用する装置を示す図である。

【図11】図11は、AlN基板の厚さを示す信号を生成するために光を使用する装置を例示する図である。

【図12】図12は、AlN基板の厚さを示す信号を生成するためにサブアセンブリによって生成される光を使用する装置を示す図である。

【図13】図13は、AlN層の厚さの関数としての光検出器によって生成された信号の一例を示す図である。

【図14】図14は、後で除去されるバルクAlN基板上で初期に成長させた紫外線(UV)発光ダイオード(LED)を示す図である。

【図15】図15は、エッティング低減層を含む紫外線発光ダイオードを示す図である。

【図16】図16は、基板が除去された表面にて裏面コンタクトを有する垂直方向の電気的注入LEDアーキテクチャを示す図である。

【図17】図17は、本明細書に説明されている処理に基づいて除去されたAlN基板を有するレーザダイオード設計のエネルギーバリアを示す図である。

【図18】図18は、得られたエピタキシャル成長させたテンプレート/基板を示す図である。

【図19】図19は、スタンドアロン型のエピタキシャル成長させたテンプレート/基板を形成する処理を示す図である。

【図20】図20は、界面層をエッティングすることにより基板からエピタキシャル成長させたヘテロ構造が分離した後に得られた構造を示す図である。

【図21】図21は、界面層をエッティングすることによりエピタキシャル成長させたヘテロ構造を形成してこのヘテロ構造を基板から分離させる処理を示す流れ図である。

【発明を実施するための形態】

【0006】

バルク結晶AlN基板は、種結晶から単結晶AlNボウルを成長させ、ボウルをウエハ基板にスライスすることによって形成される。材料の層、例えば、実質的にバルクAlN基板に格子整合されたIII族窒化物材料を、本明細書中に説明されているサブアセンブリを形成するために、高結晶質を有するウエハ基板上にエピタキシャル成長させてよい。サブアセンブリ層は、エピタキシャル成長の初期表面であるバルクAlN基板に最も近い表面を有している。バルクAlN基板を除去した後、エピタキシャル成長層は、バルク結晶AlN基板と実質的な格子整合によってエピタキシャル成長の初期表面の近傍で低い欠陥密度を有することができる。例えば、エピタキシャル層の欠陥密度は、 10^8 cm^{-3} より低いかまたはエピタキシャル成長の初期表面の約 100 nm 以内で約 10^{10} cm^{-3} ～約 10^3 cm^{-3} の範囲であってよい。エピタキシャル層の欠陥密度は、基板の欠陥密度に関連し得る。例えば、エピタキシャル層の欠陥密度は、基板の欠陥密度の約10～約1000倍の範囲であってよい。

【0007】

基板の実質的な除去は、エピタキシャル成長の初期表面の大部分に対して基板を除去する工程を含む。基板の実質的な除去は、たとえば、エピタキシャル成長の初期表面の大部分に対して化学的にエッティングすることにより、AlN基板を薄膜化する工程を含む。場合により、基板残部は、エッティング処理後のエピタキシャル成長の初期表面の大部分に対

10

20

30

40

50

して残留する。基板残部は、約 50 μm ~ 0 nm (完全に除去) または約 50 μm 未満の厚さを有する。

【0008】

バルク A1N 基板は、この材料における色中心、不純物、および他の欠陥により、ある波長範囲、たとえば、365 nm 以上の波長に対して、および / または、約 200 nm ~ 約 365 nm の UV 波長範囲において実質的に光吸収性である。発光素子の場合、バルク A1N 基板の実質的な除去によって素子の基板側 (本明細書中では素子の裏面として示す)、すなわち、このバルク A1N が実質的に除去された表面を介して光を射出することが可能となる。バルク A1N 基板の実質的な除去は、表面テクスチャリングおよび / または電気コンタクトなどの他の目的のために、この素子の裏面へのアクセスを提供することができる。スタンドアロン型のエピタキシャルテンプレート / 基板の場合、バルク A1N 基板の実質的な除去によってエピタキシャルテンプレート / 基板が約 365 nm 以上の波長を有する光に対しておよび / または約 200 nm ~ 約 365 nm の波長範囲の光に対して実質的に光透過性となることができる。

10

【0009】

一部の発光素子の設計において、アクティブな発光層の真上の層は少なくともある程度は光吸収性であるので、素子の裏面から光を抽出することが特に有用である。レーザダイオードの場合、光吸収性の基板は、導波管材料のロスを助長し、これによりレーザ処理を達成するために必要とされる利得が大きくなる。窒化アルミニウム基板は電気的に絶縁性であることから、素子上にこれらの基板を残すことにより、裏面コンタクトを有する垂直方向の注入レーザダイオードアーキテクチャを排除する。

20

【0010】

図 1 は、バルク結晶 A1N 基板 140 とこのバルク A1N 基板 140 上に形成させたエピタキシャル層 150 とを最初に含むサブアセンブリ 100 を示す図である。図 1 はいくつかのエピタキシャル層 150 を示しているが、サブアセンブリはこれより多いまたは少ないエピタキシャル層を含んでよいし、一部の実施においては 1 層のみのエピタキシャル層を含んでもよい。A1N 基板 140 は、第 1 の表面 141 と第 2 の表面 142 と有している。バルク結晶 A1N 基板は、第 1 と第 2 の表面 141、142 においてスライスされるインゴットとして成長させてよい。

【0011】

30

場合により、図 1 に示すように、エピタキシャル層 150 は、第 1 のヘテロ構造 110 と第 2 のヘテロ構造 130 に挟まれた 1 層以上の発光層 120 を含む。発光層 120 および / またはヘテロ構造 110、130 は、低欠陥密度で A1N 上にエピタキシャル成長させることができる材料系、GaN、AlGaN、InN、InGaN、および / または InAlGaN から形成されてよい。この例では、バルク A1N 基板 140 の真上に第 1 のヘテロ構造 110 をエピタキシャル成長させる。エピタキシャル層 150 の成長は、A1N 基板 140 の第 2 の表面 142 上でエピタキシャル成長する第 1 のヘテロ構造 110 の第 1 の表面 101 から進行する。第 1 のヘテロ構造 110 は、欠陥低減層、ひずみ管理層、および / または電流分布層を含む多層を備えてよい。次に、活性領域 120 を第 1 のヘテロ構造 110 の真上に実質的に成長させ、かつ、第 2 のヘテロ構造 130 を活性領域 120 の真上に成長させる。破線 160 で示すように、サブアセンブリ 100 の形成後、バルク A1N 基板 140 は実質的に除去される。

40

【0012】

図 2 は、サブアセンブリからバルク A1N 基板を除去する方法を示している。このサブアセンブリは、バルク A1N 基板と、このバルク A1N 基板上に 1 層以上のエピタキシャル成長層とを含む。たとえば、この 1 層以上のエピタキシャル層は、発光層を有する発光素子または発光層を含まないエピタキシャル層を含んでよい。

【0013】

バルク A1N 基板、たとえば、基板の窒素極性 (N 極) 面は、高温、たとえば、湿潤エッティング処理においてリン酸の沸点におけるリン酸を含むエッティング液にさらされる (2

50

20)。本明細書に記載されているLED構造において、たとえば、図1に概略的に示すように、バルクAlN基板の底面は、エッチング液にN極面を付与できる。約85%以上または約87%~約96%の濃度範囲および160~210の温度範囲におけるリン酸は適切な時間内でバルク単結晶AlNを溶解することができる。いくつかの構成において使用されるリン酸は、たとえば、約160~約180の温度範囲で87%~92%の濃度範囲を有することができる。この溶解はまた、表面の初期加水分解後にAlN極面を付与するAlN基板をエッチングするために使用することもできる。

【0014】

エッチング処理中、エッチング処理パラメータ、たとえば、リン酸の濃度および/または温度が監視され得(225)リン酸の濃度および/または温度が所定の濃度および/または温度範囲内に留まるように調整され得る。エッチング処理中、AlN基板の厚さを監視することができる(230)。場合により、AlN基板の厚さは移動位置において測定され、この厚さ測定は、エッチング処理からサブアセンブリを定期的に除去し、サブアセンブリの厚さおよび/または窒化アルミニウム基板の厚さを測定し、場合によっては測定後このサブアセンブリをエッチング処理へ戻す工程を含む。他のケースにおいて、以下に説明するように、サブアセンブリおよび/またはAlN基板の厚さは原位置で測定することができる。

【0015】

エッチング処理は、サブアセンブリおよび/またはAlN基板の測定厚さに基づいて必要に応じて調整することができる(240)。エッチング処理は、エッチング速度を変化させ(エッチング速度を増減させ)、エッチング処理を開始し、および/または、基板が所定の状態に入った後、たとえば、基板がサブアセンブリから実質的に除去された後、または、基板が所定の厚さ、たとえば、約50mmに達した時、または基板がサブアセンブリの領域内で実質的に除去された時、エッチング処理を停止するように、調整することができる。エッチング速度はエッチング液の濃度および/または温度を変化させることによって調整することができる。たとえば、AlNの厚さが所定の厚さに近づく(または基板の実質的な除去に近づく)につれて、エッチング速度はチャンバーに水を添加することによって遅延させてエッチング液の濃度を低下させることができる。これに代えてまたはこれに加えて、エッチング速度を遅延させるためにエッチング液の温度を下げてもよい。いくつかの実施において、エッチング処理を停止することは、手動または自動の除去技術のいずれかにより、エッチング液からサブアセンブリを除去して達成することが可能である。

【0016】

サブアセンブリおよび/または窒化アルミニウム基板の厚さ測定は、機械的、電気的、化学的、および/または光学的技術を含む様々な処理によって達成可能である。たとえば、いくつかの構成において、AlN基板の厚さ測定は電磁放射を使用する光学的技術によって達成可能である。これらの技術は、電磁放射をサブアセンブリへ方向付けるソースと、回折され、反射されおよび/またはサブアセンブリによって透過される電磁放射を検出するように構成されている検出器と、を必要とする。たとえば、サブアセンブリおよび/またはAlN基板の厚さは、X線回折、偏光解析法、および/または干渉分光法などの技術を用いて測定可能である。いくつかの構成において、計測ユニットは、エッチング処理中に原位置で厚さ測定されるように配置できる。他の構成において、厚さは、エッチング処理からサブアセンブリを除去し、測定し、このサブアセンブリをエッチング処理へ戻すことによって移動位置で測定される。

【0017】

いくつかの構成において、AlN基板の厚さ測定は、サブアセンブリを透過する光を検出する工程を含む。このような測定に使用される光の波長範囲は、バルクAlN基板によって実質的に吸収され、少なくともある程度エピタキシャル層によって透過される範囲のものである。図3の流れ図によって示すように、最初にエッチング処理が開始された時(320)、AlN基板は相対的に厚膜であり光に対して不透明である。(あれば)AlN基板を透過した光はエッチング処理中に検出される(330)。AlN基板がエッチング

10

20

30

40

50

によって除去されると、このAlN基板は、基板を通過して光透過が可能となる位に薄膜化される。AlN基板の透過光の量、エッチング処理において以前測定した基準量に比較した場合の光透過の変化および/またはAlN基板を通過する光透過の変化率が検出でき(340)かつこれらをエッチング処理を調整するために用いてよい(350)。

【0018】

Al_xGa_(1-x)N材料(X=0~1)のエッチング速度は、アルミニウム含有量の関数として変化する。図4および図5のグラフは各々、エピタキシャル成長させたAlGaN層のエッチング時間とエッチング速度を、アルミニウムのモル分率の関数として、示している。各試料について、エッチングされているAlGaN層の厚さは、エッチング液化学槽から定期的に試料を取り出してX線スキャンを実行してAlGaN層のX線信号強度を求ることにより監視された。図4は、91%濃度と180°の温度におけるリン酸(H₃PO₄)中でエッチングされた厚さ2.4μmのエピタキシャルAl_xGa_(1-x)N層のエッチング時間を示している。74%または67%のアルミニウムモル分率を有するAlGaNの層は5分以内で実質的に除去されたが、47%のアルミニウムモル分率を有するAlGaN層を除去するには30分以上もかかった。

【0019】

図5は、91%濃度および180°の温度におけるリン酸(H₃PO₄)中にエピタキシャル成長させたAl_xGa_(1-x)Nのエッチング速度をアルミニウムモル分率の関数として示すグラフである。このグラフは、アルミニウムモル分率が高くなるにつれてエッチング速度も速くなることを示している。図6は、基板の除去前(610)と基板の除去後(620)の試料サブアセンブリのX線回折測定の一例である。以下に詳細に説明するように、相対的に高いモル分率のエピタキシャル成長させたAlGaNの層は、バルクAlN基板を除去するための中間層として使用することができる。

【0020】

図7は、湿潤エッチングによりサブアセンブリからAlN基板を除去するために使用することができる装置を示す図である。この装置はエッチング液チャンバ710を含み、このチャンバはエッチング液を含有するとともにエッチングされているサブアセンブリを保持するように構成されている。この装置は必要に応じて計測ユニット720を含み、この計測ユニットはAlN基板の厚さおよび/またはAlN基板と1層以上のエピタキシャル層との両方を含むサブアセンブリの厚さとを示す信号を生成するように構成されている。この信号はエッチング処理中に計測ユニット720によって生成され一連の厚さ測定値を反映することが可能である。この信号はエッチング処理の1つ以上の側面を調整するためにコントロールユニット730によって使用され得る。

【0021】

エッチング処理の調整は、エッチング処理のさまざまな側面を調整するように配置されたコントロールユニット730の1つ以上のサブユニットによって達成される。たとえば、サブユニット731、732、733は、エッチング液の温度、エッチング液の濃度、および/または試料の位置を調整することが可能である。サブアセンブリのエッチング速度は、これらの1つ以上および/または他のパラメータを変更することによって調整可能である。濃度調整サブユニット732は、チャンバ710へより多くの水分を添加することによって、またはチャンバ710内の水分を減少させることによって、例えば、沸騰時に蒸発する水分を補給しないことによって、エッチング液の濃度を維持したり変更したりするように構成することができる。温度調整サブユニット731は、エッチング液を加熱および/または冷却するヒータおよびクーラの1つまたは両方を含んでよい。エッチング液の冷却および/またはエッチング液の濃度低下はエッチング速度を遅らせる。エッチング液の温度の上昇および/または濃度の増加はエッチング速度をあるポイントまで上昇させる。しかしながら、エッチング速度はAlN基板表面の加水分解に依存することがあり得る。エッチング速度は、エッチング液の濃度が高くなりすぎ、エッチング液中の水量が表面の加水分解を発生させるには不十分な場合、抑制される。図8はバルクAlNのエッチング速度を温度の関数として示す。理解されるように、エッチング速度は約85%の濃

10

20

30

40

50

度に対応する約 160 よりも高い温度に対しても横ばい（レベルオフ）であるように見える。この横ばいは、基板の表面を加水分解するには水分が不十分であることに起因し得る。

【0022】

いくつかの構成において、温度および／または濃度調整サブユニット 731、732 はエッティング液の温度および／または濃度を所定の範囲内に保つように設定される。基板の除去は、エッティング溶液を監視する工程を含む。リン酸の温度が沸点に保たれる場合、沸騰時の水分の損失は A1N の加水分解速度を減速させ、これによりエッティング速度を低下させる。リン酸の沸点は、酸の濃度に応じて変化する。たとえば、市販のリン酸は、約 85 % の酸の濃度を有し約 158 で沸騰する。沸騰中に水分が損失されるにつれて、酸の濃度と沸騰点は上昇する。調整されたエッティング速度の場合、エッティング液の濃度および／または温度は、所定の範囲内、たとえば、約 87 %～約 96 % の濃度範囲および 160～210 の温度範囲に保つことが可能である。相対的に一定した酸の濃度を保つために、損失した水分は、例えば、還流冷却器または自動ドリップシステムのいずれかにより補給することができる。

【0023】

計測ユニット 720 は、センサ／検出器からの信号を処理するように構成されている適切な処理回路 721 に結合された（図 7 においてセンサ／検出器 722 として示す）1 つ以上のセンサまたは検出器を含む。エッティング処理中、センサ／検出器 722 は、A1N 基板および／またはサブアセンブリの厚さに関するサブアセンブリおよび／またはエッティング液の特性における変化を検出する。前述したように、計測ユニット 720 は、厚さを示す信号を生成するために様々な技術を使用することができる。これらの技術は、エッティング処理中の A1N 基板、サブアセンブリおよび／またはエッティング液の光学的、機械的、化学的、または電気的パラメータを感知する工程を含んでよい。一例として、サブアセンブリの厚さの機械的な測定は、プロフィルメータを使用して行われてもよい。この場合、プロフィルメータの探り針（プローブ）は計測ユニットのセンサである。サブアセンブリはエッティング処理中に数回測定される。図 9 はサブアセンブリのプロフィルメータの測定値の重複したグラフを示す。厚さプロファイル I はサブアセンブリの A1N 基板がエッティングされる前の起動プロファイルである。この起動プロファイル（プロファイル I）を取得した後、第 1 の期間でサブアセンブリをエッティング槽に入れ、次に除去し厚さプロファイルを再測定した。プロファイル A は、第 1 の期間においてエッティング後のアセンブリの厚さを表している。プロファイル A を取得した後、第 2 の期間においてサブアセンブリをエッティングした。第 2 の期間を経た後、プロファイル B に示すように、サブアセンブリの厚さを再測定した。連続するプロファイル I、A、B は第 1 および第 2 の期間を経た後のエッティング処理の進行状況を示している。

【0024】

サブアセンブリの電気的特性は厚さを示す信号を生成するために使用される。たとえば、センサは、サブアセンブリの表面または部分に電気接触するように構成されている電気コンタクトを含んでよい。電気コンタクトは、1 つ以上の電気的特性処理を実施するように構成されている回路に結合される。サブアセンブリの電気的特性は、抵抗／コンダクタンス測定値、静電容量測定値、電流・電圧特性、および／または他の特性の 1 つ以上を含んでよい。サブアセンブリの厚さの薄膜化は、サブアセンブリの電気的特性における検出可能な変化を生成する。

【0025】

計測ユニットはサブアセンブリおよび／またはエッティング液における化学変化を検出するように構成されている化学センサとこれらに関連する回路とを含んでよい。化学センサは、サブアセンブリの上、および／または、エッティング液槽などのエッティングチャンバ内に配置することができる。場合により、化学センサとこれらに関連する回路は、エッティング槽中のイオン濃度を測定するように構成されている。この濃度は、エッティング液に溶解される状態になる A1N の量の関数として、エッティング処理中に変化し得る。よって、化

10

20

30

40

50

学センサによって検出されたイオン濃度は、A 1 N 基板の厚さを示す信号を生成するために使用可能である。いくつかの構成において、これは、エッチングされている表面にてイオン濃度に対する感度を高めるためにサブアセンブリの近傍、例えば、サブアセンブリの数mm以内に化学センサを配置するために有用であり得る。

【0026】

計測ユニットは、基板の厚さを示す信号を生成するためにサブアセンブリを透過した光を使用することができる。これらの実施において、計測ユニットは、光をサブアセンブリへ方向付けるように配置された光源と、透過した光を検出するように配置された検出器と、を含んでよい。光源は、1つ以上のランプ、LED、および／またはUV、可視光、赤外光、または広帯域光を放つレーザを含んでよい。サブアセンブリへ方向付けられた光は、A 1 N 基板に実質的に光学的に吸収されるがサブアセンブリのエピタキシャル層には実質的に吸収されない波長範囲を含む。たとえば、バルクA 1 N 基板とA 1 GaNエピタキシャル層とを含むサブアセンブリに対して、計測ユニットは、光源、例えば、約200nm～約365nmの波長範囲で発光するLEDと同範囲で光を検出する検出器とを含んでよい。いくつかの構成において、光源は発光し得、検出器は約250nm～約300nmの波長範囲の光を検出し得る。

【0027】

場合により、光源はある波長範囲を有する光を出力するように構成され、検出器は波長範囲にわたってサブアセンブリのスペクトル応答を特徴づけるように構成されている。スペクトル応答における変化は、エッチング処理を調整するために使用可能である。

【0028】

図10は、厚さを示す信号を生成するために光を使用する装置1000を示す図である。図10の構成例において、バルクA 1 N 基板1011とA 1 N 基板1011上の1層以上のエピタキシャル層1012とを含むサブアセンブリ1010は、エッチング液チャンバ1020内に配置されている。熱素子1030、たとえば、ヒータおよび／またはクーラはエッチング処理中にエッチング液の温度を調整するためにチャンバ1020の中、その上、またはその周りに配置することができる。これに加えてまたはこれに代えて、装置1000は、チャンバ内のエッチング液の濃度を調整するように構成されている構造（図示せず）を含んでよい。光源、たとえば、UVLED（紫外線発光ダイオード）は光がサブアセンブリへ向けて方向付けられるように配置される。図10に示すように、光は光ファイバ1050を介してサブアセンブリ1011に向けて方向付けることが可能である。エッチング処理に先立って、光源1040からの光はバルクA 1 N 基板1011により実質的に遮断されるが、エピタキシャル層1012により実質的に透過される。基板1011が薄膜化されるにつれて、光はサブアセンブリ1010を透過することが可能である。透過光1070は光検出器1080によって検出される。サブアセンブリ1010を透過した光1070に応答して、光検出器1080はA 1 N 基板1011の厚さを示す出力信号1090を生成する。

【0029】

エッチング処理中にA 1 N 基板の厚さを検出するために光を使用する装置1100の他の例を図11に示す。装置1100は、リン酸槽を含む石英タンク1120を備えるエッチング液チャンバを含む。A 1 N 基板とこの上に形成した1層以上のエピタキシャル層とを含むサブアセンブリ1110は試料ホルダ1121によりタンク1120内に位置決めされ保持される。装置1100は、各々が真空に結合されている2つのポート1122、1123を含む。この例において、ポート1122、1123は閉端された真空石英管を含む。光源1140からの光は、第1のポート1122を介して第1の光ファイバ1150によって導かれ、第1のミラー1124によってサブアセンブリ1110に向けて方向付けられる。サブアセンブリ1110を透過した光は第2のポートから第2の光ファイバ1151を介して第2のミラー1125によって方向付けられる。光検出器1180はサブアセンブリ1110を透過した光を検出するように配置される。検出された光に応答して、光検出器1180は、A 1 N 基板の厚さを示す信号1190を生成する。

10

20

30

40

50

【0030】

いくつかの実施において、サブアセンブリのエピタキシャル層はLEDなどの発光素子を形成する。これらの実施において、発光素子はA1N基板の厚さを示す信号を生成する際に使用される光のための光源であってよい。図12は、A1N基板の厚さを測定するために使用される光1270を生成するためにサブアセンブリ1210のエピタキシャル層1212を使用する装置1200を示す。装置1200は、図10に示した外部光源と光ファイバが図12に示した実施では使用されていないことを除いて、いくつかの点で図10の装置と同様である。サブアセンブリ1210はエッティング液チャンバ1220内に配置されるとともにA1N基板1211上にエピタキシャル成長させる層1212を含む。エピタキシャル層1212は発光素子を形成する。装置1200は、発光素子1212と接觸する電気コンタクト1232、1233と、これらの電気コンタクト1232、1233を電源1240に接続するリード1234、1235と、を含む。発光素子1212がリード1234、1235と電気コンタクト1232、1233を介して電源1240によって通電されると、発光素子1212は、基板が光1270を透過するために十分に薄膜化された時にA1N基板を透過する光1270を生成する。A1N基板1211がエッティングされると、この基板1211は增量する光1270を透過し、この光量は光検出器1280によって検出される。光検出器1280は、A1N基板の厚さを示す信号1290を生成する。

【0031】

図13は、たとえば、A1N基板の厚さを示す光検出器によって生成される、理想的な信号の一例を示す。最初にA1N基板はこのA1N基板に向けて透過される光を実質的に光学的に吸収している。エッティング処理が最初に開始されると、A1N基板に方向付けられた光の多くが基板によって吸収されてサブアセンブリから抜け出さない。この厚さ信号は、A1N基板の厚さがA1N層を光が透過する位に薄膜化されるまで、公称値のままである。窒化アルミニウム基板が光を透過する位に薄膜化されると、厚さ信号はA1Nが基板からエッティングされればされるほど、一層増え始める。信号の変化はA1N基板の厚さがかなりの光量を透過する値に達した時、極めて速くなる。

【0032】

場合により、計測ユニットにより生成された信号はエッティング処理を調整するために使用することができる。たとえば、コントロールユニットは急速な変化が検出されるポイントまで信号を監視してよい。その時点で、コントロールユニットはエッティング速度を変更させるように、たとえば、エッティング処理を遅延させたり停止させたりするように、動作してよい。計測ユニットにより生成された信号はエッティング処理を調整するために他の情報と組み合わせて使用される。たとえば、計測ユニットによって生成された信号に加えて、コントロールユニットは、エッティング処理期間、エッティング処理期間にわたるチャンバ内のエッティング液の濃度、および/またはエッティング処理期間にわたるエッティング液の温度などの要因を考慮に入れる。コントロールユニットは感熱ユニット、たとえば、ヒータやクーラの動作を調整し、および/またはエッティング処理の速度を変更するためにエッティング液の濃度を調整することができる。

【0033】

様々なタイプの発光素子は本明細書中に記載されているバルクA1N基板を除去するための処理を用いて形成されてよい。バルクA1N基板の除去や薄膜化は、約200nm～約365nmまたは約250nm～約320nmの波長範囲の光を放つ紫外線発光ダイオード(UVLED)と紫外線(UV)レーザダイオードに特に有用である。これらの発光素子の形成におけるバルクA1N基板の使用は、素子構造の低欠陥エピタキシャル層の成長を可能にするが、A1N基板は素子の基板側に向けた活性領域から放たれた光を実質的に吸収する。したがって、基板の除去は素子の基板側(裏面)から増加した発光を可能にする。いくつかの素子において、基板から活性層の反対側にある発光素子の上層(すなわち、素子の正面側にある層)は、素子によって生成された光の波長で光学的に吸収している状態であり得る。したがって、これは、A1N基板の除去によって実現可能となる素子

10

20

30

40

50

によって生成された光が基板側を通過して放たれる場合に有用である。

【0034】

図14は、バルクAlN基板1410上に初期に成長させたUVLED1400を示す図である。エピタキシャル層の成長は、例えば、ハイドライド気相成長法(HVPE)および/またはこれらの技術の任意の組み合わせにより、有機金属気相成長法(MOCVD)を用いて、達成される。次に、バルクAlN基板1410は、矢印1411で示されるように、除去されるかまたは薄膜化することが可能である。場合により、AlN基板1410は除去されてよい。場合により、AlN基板1410は、たとえば、機械的な技術を用いて可能とされる厚さよりも薄く、約50μm以下の厚さまで薄膜化されてよい。図14に示したUVLEDヘテロ構造1400は、有機金属気相成長法により以下を含むように成長可能である：

n側のAl_{1-x}Ga_{1-x}N遷移領域1420と、

nドープAl_{0.74}Ga_{0.26}Nのnコンタクト層1430と、

n側のAl_{0.74}Ga_{0.26}Nの分離した閉じ込めヘテロ構造(SCH)1440と、

例えは、中心周波数=250nmで発光するように設計された、多重量子井戸(MQW)発光層1450と、

電子遮断層1460と、

p側AlGaNのSCH1470、p型ドープAlGaN遷移領域1480と、

pドープGaNコンタクト層1490。

【0035】

n側のAl_{1-x}Ga_{1-x}Nの遷移領域1420は、AlN基板1410上に形成されたエピタキシャル成長の初期表面1405を含む。いくつかの構成において、n側遷移領域1420は、約0.90に等しいxから約0.80に等しいxまでの範囲の平均Al(アルミニウム)組成を有する一連の短周期超格子である。いくつかの構成において、遷移領域1420は、xが約100%から約74%までの範囲の線形グレード合金であってよい。nコンタクト層1430は、nコンタクト1435のためのコンタクト層であり、たとえば、約1.9μm厚さであってよい。量子井戸(MQW)発光層1450は3対の6nm厚さのAl_{0.68}Ga_{0.32}Nバリアと、2nm厚さのAl_{0.65}Ga_{0.35}Nウェルを含むことができる。電子遮断層(EBL)1460は、約83%のアルミニウムと約20nmの厚さであってよい。p-SCH1470は約0.3から約0.74までの範囲のアルミニウム組成xを有することができる。p遷移層1480は超格子であるかまたは約0.3から約0.74までの範囲xを有する合金であってよい。pコンタクト層1490は、GaNを含みかつp型金属コンタクト1495のためのコンタクト層である。記載した構造は一例にすぎない。層数、層の組成、実際のヘテロ構造の設計、および/または成長手順は大きく異なる。具体的には、これらの層はAlGaNに代えてInGaNまたはInAlGaNを形成するためにインジウムを含むことができる。

【0036】

LEDをバルクAlN基板上に最初に成長させて、次にこの基板を除去するかまたは薄膜化する。この処理は、たとえば、約10⁸cm⁻³または10⁷cm⁻³などの約10¹⁰cm⁻³～約10³cm⁻³の範囲において相対的に低くなるようにAlGaN遷移層のエピタキシャル成長の初期表面において欠陥密度を生成する。このように、素子はAlN基板に整合する実質的な格子によってもたらされる高品質のエピタキシャル成長を保持するが、この素子の基板側を通過する実質的な光透過を可能とすることもできる。

【0037】

たとえば、バルクAlN基板上にエピタキシャル成長させる約70%～80%未満のAlモル分率を有するAlGaNのn遷移層は基板にぴったり格子整合すると思われる。この場合、AlGaNのn遷移層は低欠陥密度を有するバルク結晶AlNの格子定数にぴったり整合するように不整合な状態である。AlN基板が除去されると、n遷移層の格子は緩むが、低欠陥密度は保持される。

【0038】

図15は、図14のLED1400にいくつかの点で類似しているLEDを示す。図15において参照符号で識別される要素は、図14におけるこれらの片われ（カウンターパート）に類似している。LED1500は、このLED1500がエッチング前にAlN基板1410とAlGaN遷移層1420との間で成長可能なエッチング低減層1510（エッチング停止層ともいう）を含む点で、図14のLED1400とは異なる。この例において、エッチング低減層1510は初期のエピタキシャル表面1505を含む。エッチング低減層1510は、AlN基板をエッチングするために使用されるエッチング液に不浸透性であるかまたはエッチング液中のエッチング低減層のエッチング速度は、AlN 1410のエッチング速度より低速であり得る。エッチング低減層1510は、相対的に薄層のGaN層であるかまたは約70%～約80%の範囲のアルミニウム含有量（Alモル分率）を有するAlGaN層であるかおよび/または、たとえば、エッチング低減能力を付与する他の適切な材料を含んでよい。

【0039】

約50μm未満の厚さを有する基板残部を残すための完全な除去または化学的なエッチングのいずれかによる基板の除去によってこの後の処理のために素子の裏面へのアクセスが可能となる。基板が除去された後は素子の裏面にある量の表面粗さやテクスチャリングが存在している。場合により、テクスチャリングは、この基板除去処理によって素子の裏面へ付与されてよい。この基板除去処理は、この基板除去処理中にこの素子の裏面のテクスチャリングを付与するように構成されてよい。化学エッチングから得られた表面粗さはエッチング槽温度、酸濃度、エッチング速度、および/またはウェハ裏面磨きなどの処理パラメータに依存する。適切な処理パラメータは、所望される表面粗さ特性を生成するために選択され得る。この場合、素子の裏面は、たとえば、イオンビームまたは化学処理によって、基板除去後にテクスチャリングすることができる。テクスチャリングは光抽出を向上させることができる。この場合、裏面のテクスチャリングを行わずに、実質的な発光量を全内部反射によってヘテロ構造に閉じ込めることができる。裏面のテクスチャリングは放たれた光を散乱させ、全内部反射を妨げ、かつ光抽出効率を向上させる。

【0040】

表面テクスチャリングは様々な湿式または乾式の処理技術によってパターン化することができる。たとえば、表面は水素化カリウム（KOH）溶液に浸漬することによりテクスチャリングすることができる。プラズマ処理技術は粗面処理するために使用することができる。たとえば、LED1400、1500の初期のエピタキシャル表面1405、1505はテクスチャリングされた表面であってよい。

【0041】

裏面のテクスチャリングは放たれた光がより短い波長でTM方向（平面に垂直な方向）において偏光状態が強くなるので、短波長のUVLEDにおいて特に重要である。これによって、光の大部分は裏面へ向けてよりもむしろ、素子の端部へ向けて伝搬しながら発光される。基板が除去されて、特性は裏面へ向けてかつ裏面を通過して放たれた光を再方向付けするようにパターン化することができる。

【0042】

基板の除去によって垂直方向の電気的注入LEDアーキテクチャも可能になる。図16はこのような構造1600を示す。このLEDは初期エピタキシャル表面1631を含むn型のヘテロ構造1630を含む。n型のヘテロ構造の初期のエピタキシャル表面からはじめて発光層1620とp型ヘテロ構造1610を連続的にエピタキシャル成長させて、LED1600をバルク結晶AlN基板（図16に図示せず）上に成長させた。エピタキシャル層1610～1630を形成した後、バルクAlN基板が除去された。

【0043】

垂直方向注入LED1600のpコンタクト1605は、ヒートシンクチップ1601のパッド1602へ半田付け1603される。電極1640は、1つ以上のリード1641とnコンタクト1642を介してヒートシンクチップ1601に電気的に結合される。

素子の動作中、電流は、pコンタクト1605、p側（p型ヘテロ構造1610）、発光層1620、およびn側（n型ヘテロ構造1630）を介して、外部電源（図示せず）から注入されるとともに素子1600の裏面に形成された電極1640にて集合される。電気的絶縁性のAlN基板を除去することによって裏面コンタクト1640を形成するためのn型ヘテロ構造層1630へのアクセスが可能となる。

【0044】

図16に示した垂直方向注入構造1600は、n型ヘテロ構造1630を形成する材料、たとえば、nドープAlGaNが大きく抵抗性を示す場合、特に有利になり得る。この状況において、AlN基板を除去しない場合、電流は、素子1600のpコンタクト1605と同じ側で、発光領域1620に並んだ領域において、集合される（たとえば、図14と図15のLED1400、1500、1600の構造を参照されたい）。より高い光出力パワーを得るために、発光層1620の面積は相対的に大きくなるように作られる。発光層の中心に注入される電流は、素子の周囲のnコンタクトに達する前に抵抗性のあるnドープ層内でより長い横方向の距離を移動する必要があると思われる。この横方向の距離に沿った電流経路は大きな電圧降下を生成しつつ不均一な電流注入を生じさせることができる。AlN基板の除去は、コンタクトを素子の裏面に形成することを可能にし、これによりpコンタクト1602と電流収集電極1640との間に直接的な電流経路とより低い電圧降下をもたらす。

【0045】

レーザダイオード（LD）もまた、AlN基板の除去や薄膜化を有利とすることができる。図17は関連する光学モードプロファイル（破線で示す）とともに典型的なレーザーダイオード設計（実線で示す）のエネルギーバリア図を示す。モードの中心周波数は、約250nmの波長に対応する。この設計において、光学モードと量子井戸1730の間のオーバーラップは、 $\alpha = 8.26\%$ で表される。LDは、nコンタクト1710、nSCH1720、多重量子井戸1730、pSCH1740、およびpコンタクト1760を含む。

【0046】

AlN基板上に作られた一般的なUVレーザダイオードにおいて、何らかの電界がAlN基板に浸透している場合、このAlN基板がレーザ処理波長において高く光吸収するので、実質的なモーダル損失が生じる。光吸収基板は、導波管材料の損失を助長し、これによりレーザ処理を達成するために必要とされる利得を増加させる。基板側のクラッド層は、活性領域内に光学モードをしっかりと閉じ込めるために十分に厚くする必要がある。しかしながら、厚膜のnクラッド層は素子の抵抗性を助長する。AlN基板を除去または薄膜化することは、モーダル損失を低減し、設計上のフレキシビリティを高める。AlN基板の除去および/または薄膜化はまた、LEDのケースにおいて説明した利益に類似した利益を提供する垂直方向の注入LD構造を可能にする。

【0047】

基板の除去および/または薄膜化は、裏面全体を横切ってというよりむしろ裏面のいくつかの部分においてのみ達成され得る。基板は化学エッティング液から保護することができ、選択領域における開口は、これらの領域のみをエッティングするためだけに形成される。たとえば、開口は発光層の真下の領域においてのみ形成され、これによりバルク基板の部分はエッティング処理後に残留し、これ以降の処理のために使用可能である。

【0048】

いくつかの実施において、本明細書において「テンプレート/基板」と総称されるエピタキシャル成長させたAlNまたはAlGaNテンプレートおよび/または基板は、スタンダードアロン型コンポーネントとして製造することができる。これらのテンプレート/基板は、たとえば、ピースパートとして売られ、その後、LEDやレーザーダイオードなどの光電子デバイスとヘテロ接合トランジスタや増幅器などの電子素子とを含む数多くの種類の素子を形成するために使用することができる。エピタキシャルテンプレートは、バルク結晶AlN基板上にエピタキシャルAlNまたはAlGaNを成長させ、次にこのAlN

10

20

30

40

50

基板を除去または薄膜化することによって形成することができる。この技術は、AlN、AlGaN、InN、InGaN、および/またはInAlGaNなどの窒化物系材料の高品質で光学的に透明なエピタキシャル成長させたテンプレート/基板を生成することができ、これ以降の処理ステップにおけるエピタキシャル成長のためのベースとして使用することができる。エピタキシャルテンプレート/基板は、相対的に高い成長率、たとえば、時間あたり約1μm以上で成長させて約30μm～約400μmの層を生成することができる。エピタキシャル成長させたテンプレート/基板は、有機金属気相成長法(MOCVD)、ハイドライド気相成長法(HVPE)、および/または、これらの技術の任意の組み合わせにより、形成してよい。高品質で光学的に透明なテンプレート/基板は、前述した理由からUVオプトエレクトロニクスデバイスに有用であり得る。最も一般的な配向はc平面のAlNであるが、m平面、a平面などの他の結晶配向や半極性配向も、エピタキシャル成長の開始前にAlNバルク基板を所望の配向において切断することによって得ることができる。
10

【0049】

図18および図19は、スタンドアロン型のエピタキシャル成長させたテンプレート/基板を形成する処理(図19)と、これにより得られる構造(図18)と、を示す。たとえば、エピタキシャルAlN、AlGaN、InN、InGaN、および/またはInAlGaNを含むエピタキシャル層をバルク結晶AlN基板上に成長させる(1910)。得られた構造1810を図18に示す。バルクAlN基板は、本明細書において前述した処理によって除去または薄膜化されて(1920)、スタンドアロン型のエピタキシャルテンプレート/基板1820を残す。
20

【0050】

いくつかの実施において、構造、たとえば、エピタキシャルテンプレート/基板、オプトエレクトロニクスデバイス、または他の構造またはヘテロ構造は、AlN、シリコン、サファイア、またはSiC(炭化ケイ素)などの様々な基板上に成長させた中間層上に成長させることができる。これらは中間層をエッチングすることによって基板から分離させて、これにより基板から構造を分離させることができる。図21は、中間層をエッチングすることによりその基板からスタンドアロン型のエピタキシャル成長させたヘテロ構造を形成する処理を示す。図20は、この構造の初期と最後の状態を示す。中間層2020は基板2010上にエピタキシャル成長させる(2110)。構造2030を界面層2020に成長させる(2120)。界面層2020は横方向にエッチングされ(2130)、基板2010から構造2030を分離させる。
30

【図1】

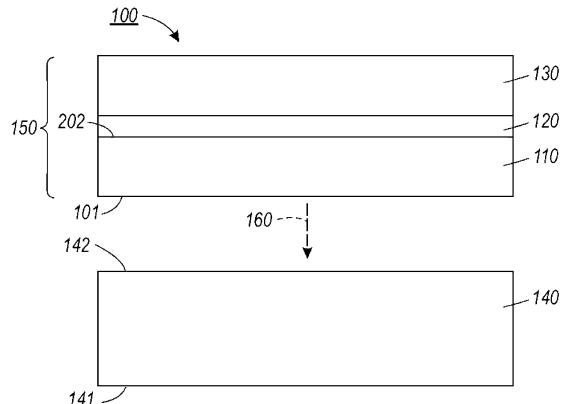


図1

【図2】

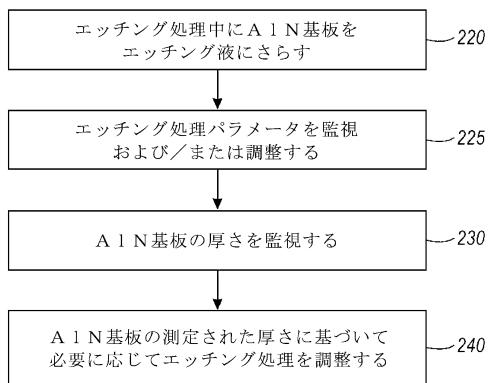


図2

【図3】

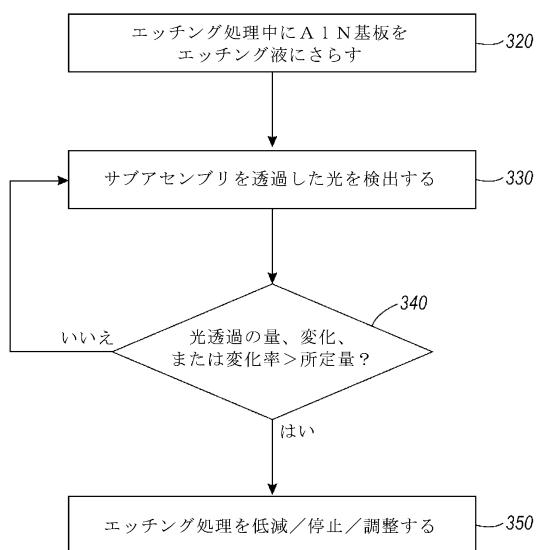


図3

【図4】

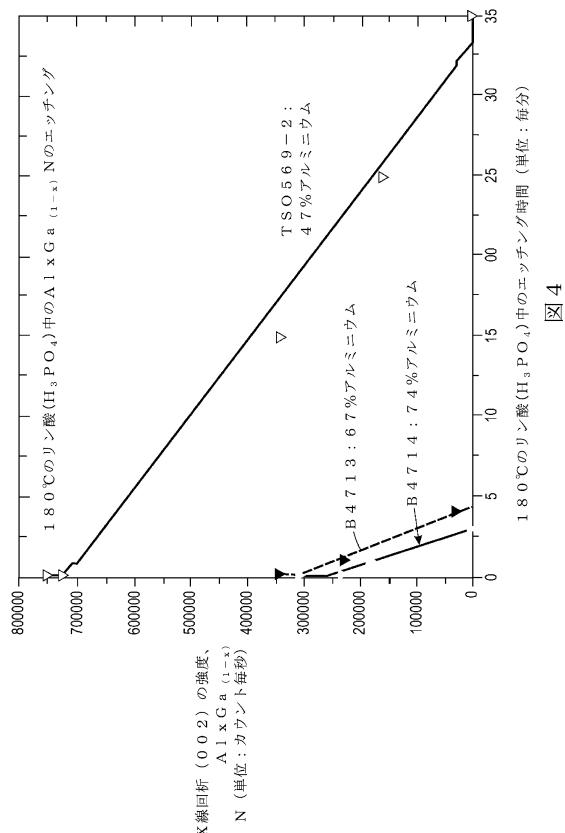
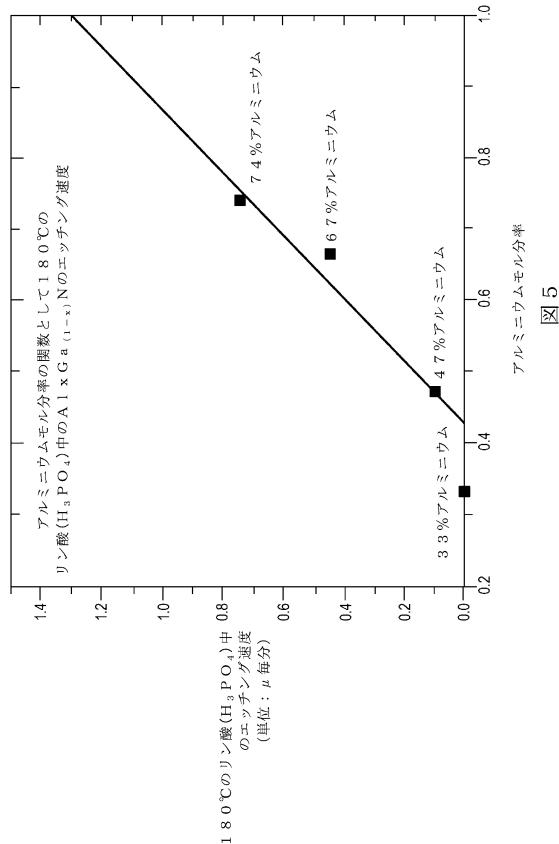


図4

【図5】



【図6】

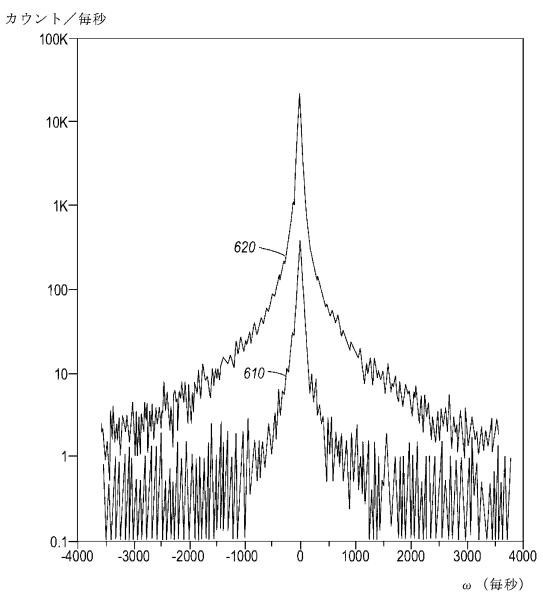


図6

【図7】

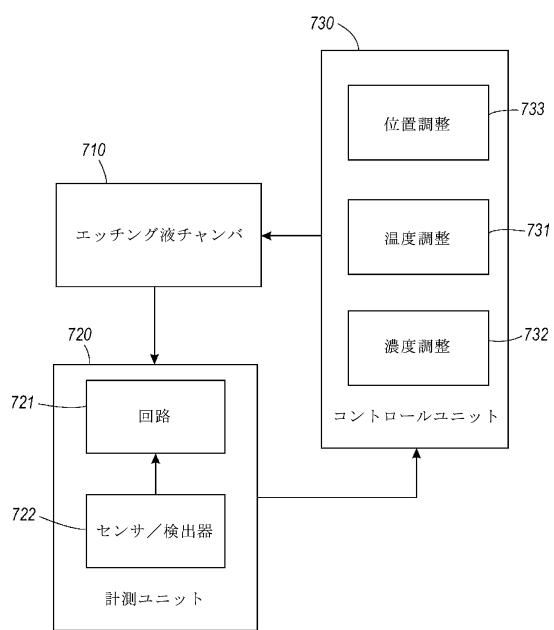


図7

【図8】

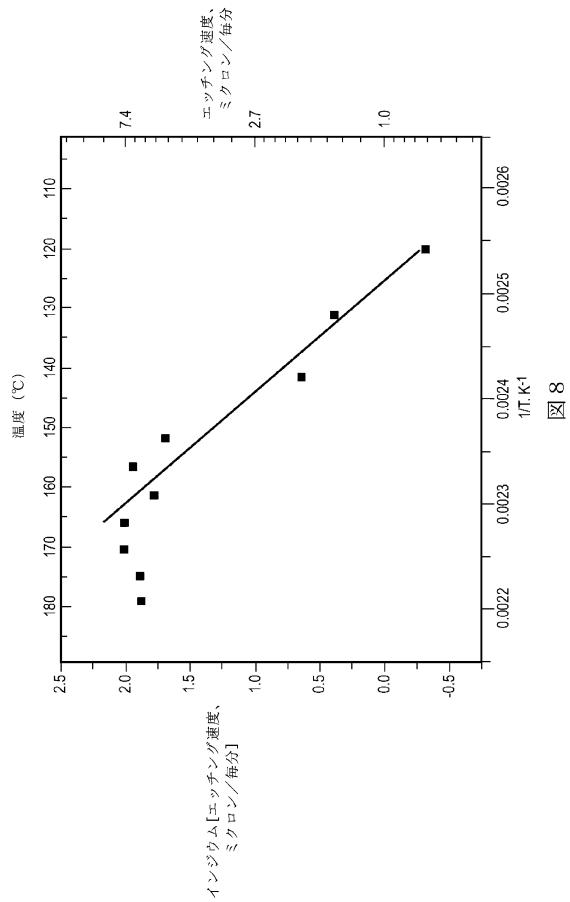
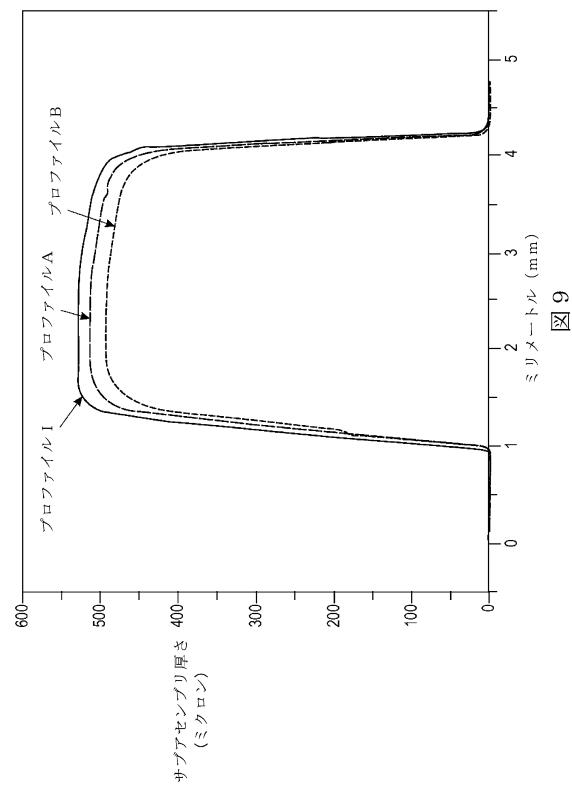
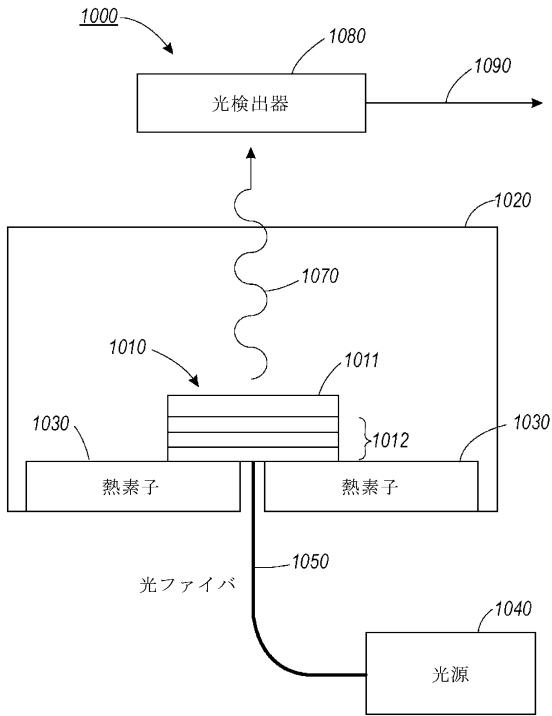


図8

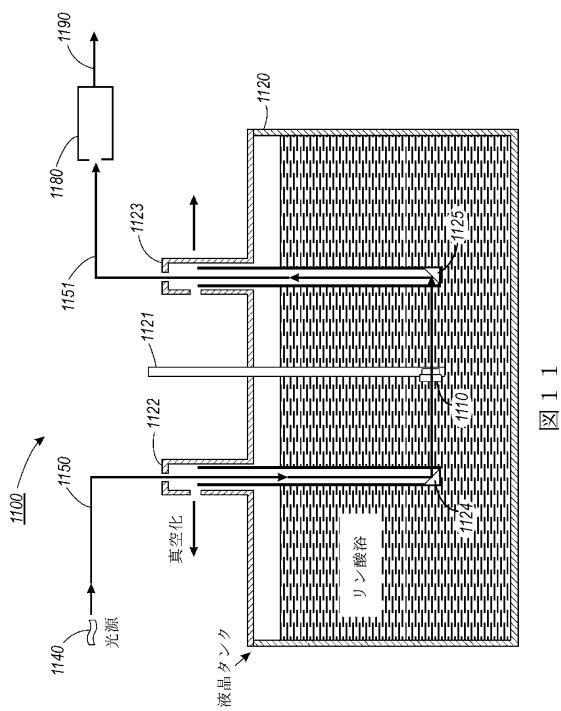
【図 9】



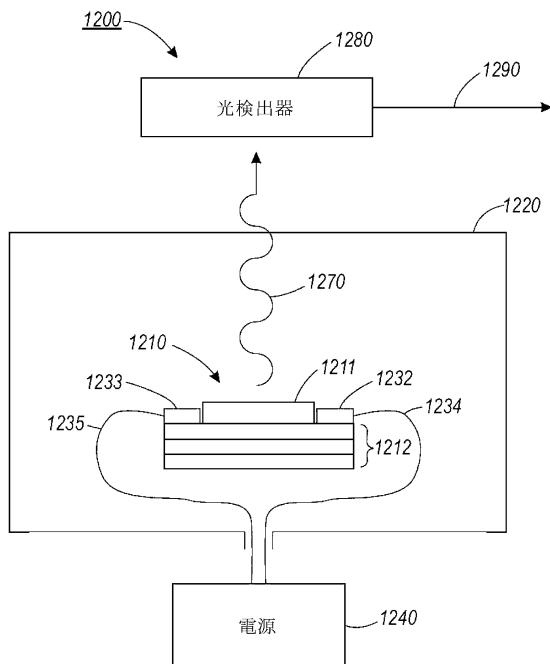
【図 10】



【図 11】



【図 12】



【図 1 3】

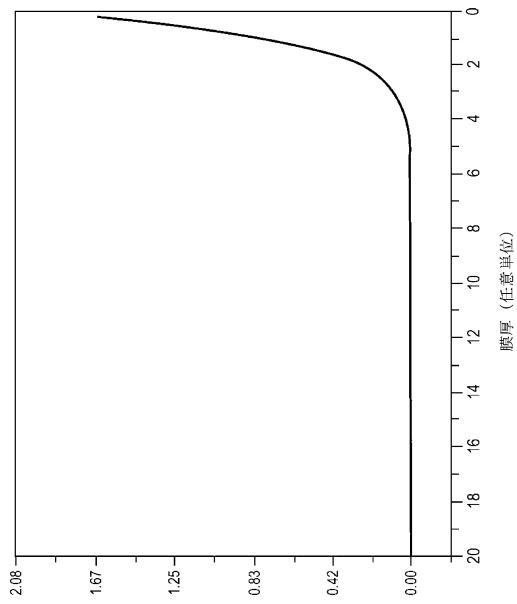


図 1 3

【図 1 4】

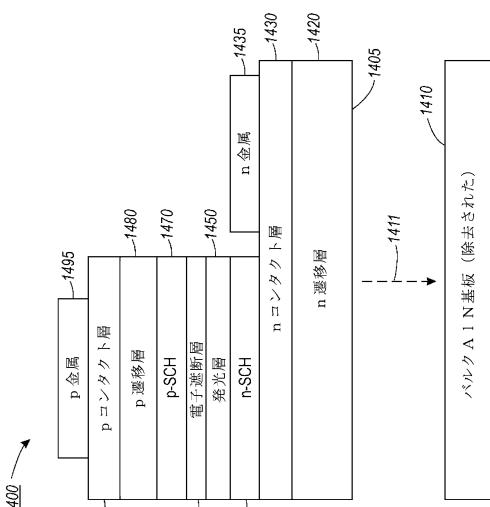


図 1 4

【図 1 5】

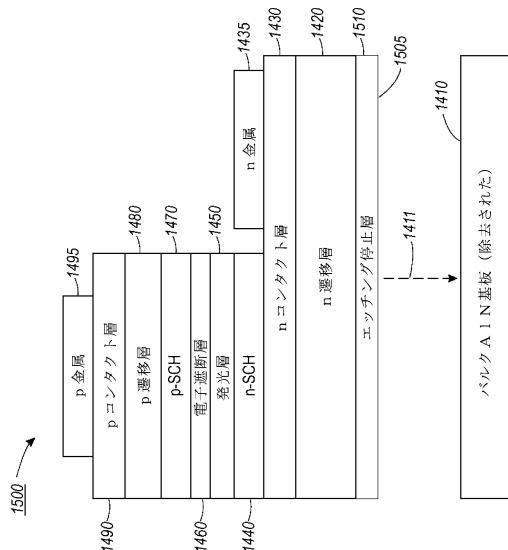


図 1 5

【図 1 6】

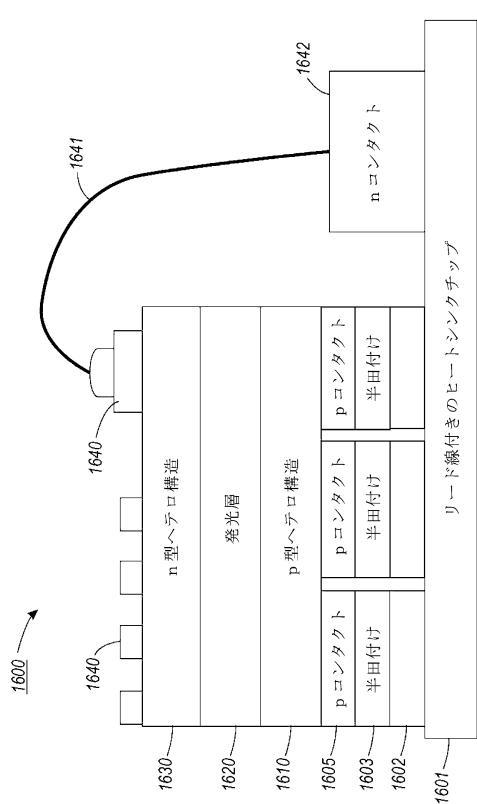


図 1 6

【図17】

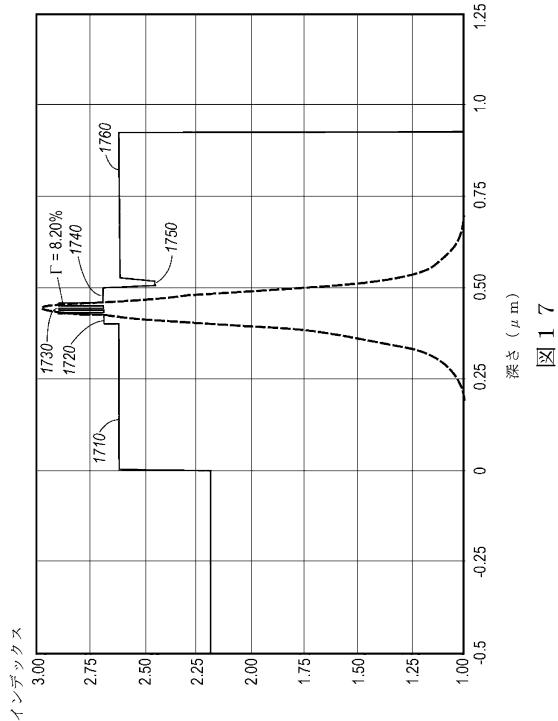


図17

【図18】

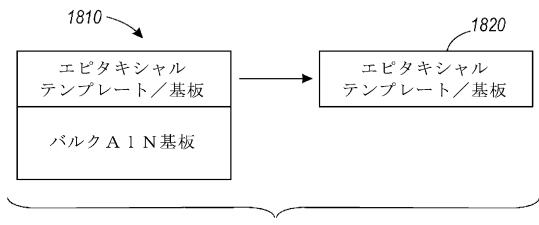


図18

【図19】

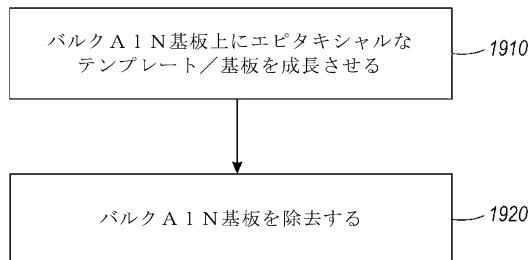


図19

【図20】

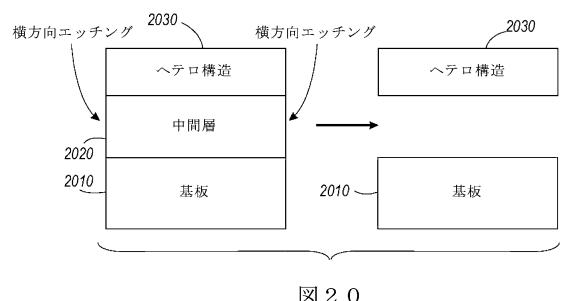


図20

【図21】

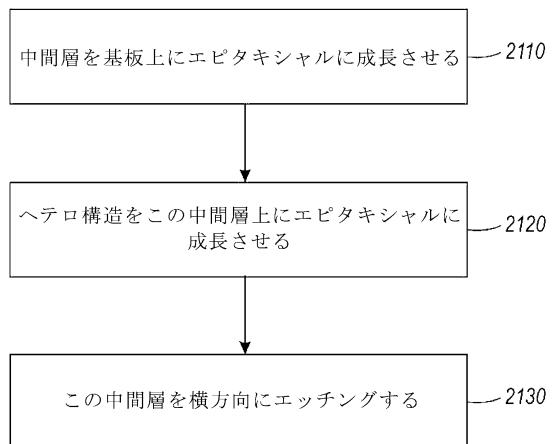


図21

フロントページの続き

- (72)発明者 ブレント・エス・クルーサー
アメリカ合衆国 カリフォルニア州 94536 フレモント コーニッシュ・ドライブ 352
15
- (72)発明者 クリストファー・エル・チュア
アメリカ合衆国 カリフォルニア州 95123 サンノゼ キューリー・ドライブ 636
- (72)発明者 トーマス・ウンデラー
アメリカ合衆国 カリフォルニア州 94301 パロ・アルト エベレット・アベニュー 71
5 アパートメント5
- (72)発明者 ノーブル・エム・ジョンソン
アメリカ合衆国 カリフォルニア州 94025 メンロー・パーク オーク・グローブ・アベニ
ュー 445 ナンバー1
- (72)発明者 ボーエン・チェン
アメリカ合衆国 カリフォルニア州 94306 パロ・アルト エル・キャピタル・プレイス
465

審査官 岸 哲次

- (56)参考文献 特開2005-294793(JP, A)
特表2008-538658(JP, A)
特開2006-060069(JP, A)
特開2009-026914(JP, A)
米国特許第5392124(US, A)
特開平02-051229(JP, A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H01L 21/306