

(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2012-209426
(P2012-209426A)

(43) 公開日 平成24年10月25日(2012.10.25)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
HO 1 L 21/3065 (2006.01)	HO 1 L 21/302 I O 5 A	5 F 0 0 4
HO 1 S 5/125 (2006.01)	HO 1 S 5/125	5 F 1 7 3

審査請求 未請求 請求項の数 3 O L (全 17 頁)

(21) 出願番号 特願2011-74041 (P2011-74041)
(22) 出願日 平成23年3月30日 (2011.3.30)

(71) 出願人 000004226
日本電信電話株式会社
東京都千代田区大手町二丁目3番1号
(74) 代理人 100078499
弁理士 光石 俊郎
(74) 代理人 100102945
弁理士 田中 康幸
(74) 代理人 100120673
弁理士 松元 洋
(72) 発明者 山本 知生
東京都千代田区大手町二丁目3番1号 日
本電信電話株式会社内

最終頁に続く

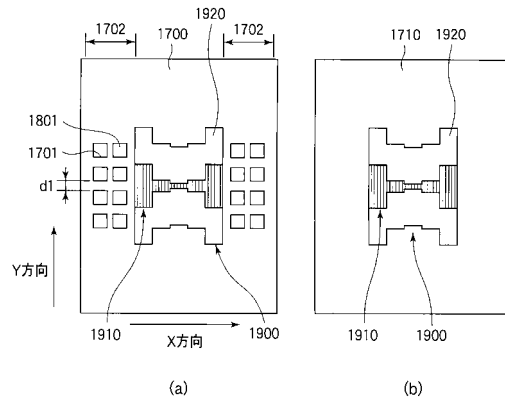
(54) 【発明の名称】 半導体素子の作製方法

(57) 【要約】

【課題】エッチング深さが異なる形状を簡単に、且つ精度よく加工できる半導体素子の作製方法を提供する。

【解決手段】開口部幅の異なる領域毎に、半導体のエッチングの進行、またはポリマーの生成のどちらか一方のみが発現するように前記開口部幅が設定された開口部を有するマスク1900を半導体表面に形成すると共に、マスクの周辺に周辺窓1701を有する周辺マスク1700を形成する第1の工程と、メタンプラズマおよび水素プラズマをマスクが形成された半導体表面に照射する第2の工程を有し、マスク1900が、第1のパターンを有す第1のマスク部1910と、第1のマスク部上に形成され、第1のマスク部のマスク厚よりも厚く、第1のパターンの開口部幅を画定する第2のパターンを有す第2のマスク部1920とからなり、周辺マスクの窓領域が第1のパターンの回折格子方向周辺に配されるようにした。

【選択図】 図1



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

炭化水素系プラズマと水素プラズマを、開口部幅が変化する開口部を有するマスクが形成された半導体表面に照射して、半導体表面を異なる複数の深さにエッチングする半導体素子の作製方法であって、

前記開口部幅の異なる領域毎に、前記半導体表面のエッチングが進行する第 1 の状態、または前記半導体表面にポリマーが生成される第 2 の状態のどちらか一方のみが発現するように前記開口部幅が設定された開口部を有するマスクを前記半導体表面に形成すると共に、前記マスクの周辺に前記マスクの開口部に供給される水素プラズマ濃度を制御するための窓領域を有する周辺マスクを形成する第 1 の工程と、

前記炭化水素系プラズマおよび前記水素プラズマを前記マスクが形成された前記半導体表面に照射する第 2 の工程を有し、

前記マスクが、前記半導体表面に形成された第 1 のパターンを有する第 1 のマスク部と、前記第 1 のマスク部上に形成され、前記第 1 のマスク部のマスク厚よりも厚く、前記第 1 のパターンの開口部幅を画定する第 2 のパターンを有する第 2 のマスク部とからなり、前記周辺マスクの前記窓領域が、前記第 1 のパターンの回折格子方向周辺に配されることを特徴とする半導体素子の作製方法。

10

【請求項 2】

請求項 1 に記載の半導体素子の作製方法において、

前記第 1 の工程において前記半導体表面に堆積した前記ポリマーを、酸素を有するプラズマ照射により除去する第 3 の工程を有することを特徴とする半導体素子の作製方法。

20

【請求項 3】

請求項 2 に記載の半導体素子の作製方法において、

前記第 2 の工程における、前記開口部幅の異なる領域のうち少なくとも 1 つの領域において発現する前記状態を、前記第 1 の状態および前記第 2 の状態のいずれかに変化させるように、プラズマ条件を変化させる第 4 の工程をさらに有し、

前記第 4 の工程の後に前記第 2 の工程をさらに行うことを特徴とする半導体素子の作製方法。

30

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、半導体素子の作製方法に関し、より詳細には、同一面内でエッチング深さが異なる形状を加工する半導体素子の作製方法に関する。

【背景技術】

【0002】

高性能・高機能デバイスの研究開発において、複雑なデバイスの構造の集積化が重要となり、加工（エッチング）、結晶再成長技術などによるデバイス作製プロセス技術が必要となる。とくに、複数の構造を集積化する場合、通常、複数回数のエッチングプロセスが必要となる。

40

【0003】

従来法による異なる深さのエッチングを施す場合のエッチング過程の一例を図 8 (a) ~ (f) に示す。試料（例えば InP 結晶）1110 に異なる深さのエッチングを施す場合には、初めのエッチングの際にエッチングしない部分をマスク（誘電体など）1120 で覆った（図 8 (a)）後にエッチングする（図 8 (b)）。次に、1 回目のエッチング用のマスクを除去した（図 8 (c)）後に、2 回目のエッチングのために再度エッチングしない部分をマスク 1130 で覆い（図 8 (d)）、さらにエッチングし（図 8 (e)）、マスクを除去する（図 8 (f)）というプロセスを繰り返さなくてはならない。

【0004】

半導体素子作製において、深さの異なるエッチングを要する場合には複数回のマスク形

50

成、エッチング、マスクの除去の工程が必須となるため、時間、コスト面での浪費につながるので問題となっていた。また、このような問題を考慮すると、深さが異なる微細かつ複雑な構造をエッチングにより形成することは実質的に困難であった。

【0005】

そこで、上述の課題を解決するために、異なる深さのエッチングを施す際に、エッチング深さに対応して面積の異なるマスクを用いることにより、1回のエッチングにより深さの異なるエッチングを可能にする方法が発明された（下記の特許文献1参照）。

【0006】

基本的なエッチング過程を図9(a)～(c)に示す。図9(a)～(c)に示すように、半導体のエッチングにプラズマ状態のガスを用いるドライエッチングの場合、半導体によるエッチング過程において半導体表面で半導体411とエッチング種（エッチングガス）412が反応することによりエッチングが進行する。

10

【0007】

エッチング種と反応しないマスクを用いた場合のエッチング過程を図10(a)～(c)に示す。図10(a)～(c)に示すように、エッチングをする際に半導体表面をエッチング種512と反応しない物質（例えば酸化シリコン、窒化シリコンなどの誘電体など）をマスク513に用いて覆った場合、マスク513上のエッチング種512は拡散してマスクで覆われていない半導体511の表面に到達する。この結果、マスク513近傍の半導体511の表面ではエッチング種512の密度が増加する。このエッチング種512の増加は半導体のエッチング速度を増加させる。

20

【0008】

このように、マスク上に飛来したエッチング種が半導体表面に拡散して半導体のエッチングを促進するので、マスク面積の増加にともない半導体のエッチングが増加する。したがって、この方法によれば、深さが変化する単純な溝構造を容易に作製することができる。

【0009】

とくに、半導体のエッチングにプラズマ状態のガスを用いるドライエッチングにおいて該ガスにメタンやエタンなどの炭化水素系のガスを用いる場合には、プラズマ状態においてガスが炭化水素基と水素に分解され、それぞれイオン化あるいは化学的に活性化（ラジカル化）される。なお、本願では、以降、イオン化あるいは化学的に活性化（ラジカル化）された炭化水素基を炭化水素プラズマ、同様の水素原子を水素プラズマと呼ぶこととする。

30

【0010】

この炭化水素プラズマと水素プラズマが半導体に接触すると、半導体をエッチングする過程と半導体をエッチングすることなく半導体上に重合体（ポリマー）を形成して堆積する過程が起こる。一般に水素プラズマが十分にある場合にはエッチング過程が主となり、水素プラズマが不足するとポリマーが堆積する過程が主となる。同時に誘電体（SiO₂など）マスク表面においては炭化水素プラズマと水素プラズマが誘電体と反応しないことから重合体（ポリマー）となって堆積する。

【0011】

ここで、上述のドライエッチングをマスクのある試料に施した場合について説明する。図11(a)、(b)に、メタンプラズマを用いたエッチングを施した場合にマスクのない領域において起きる現象を示し、図12(a)、(b)、(c)に、メタンプラズマを用いたエッチングを施した場合にマスクに囲まれた領域において起きる現象を示す。

40

【0012】

マスクのない領域ではメタンプラズマ621に対して水素プラズマ622は試料（InP）610の表面に均一に分布する（図11(a)）。この均一に分布した水素プラズマの濃度が低い場合、エッチングするには水素が不足するので、試料表面にはポリマー631が生成し、試料表面を覆うのでエッチングが進行しない（図11(b)）。この水素プラズマの不足によるポリマーの堆積は、マスクの開口部幅が広く、マスクからの距離が十

50

分にある領域においても起きる。

【0013】

一方、マスクがあって当該マスクで囲まれた領域、特にマスクの開口部幅が狭い領域では、まず、メタンプラズマ721に対して水素プラズマ722は試料(InP)710の表面に形成されたマスク711の上に、またマスク711のマスク開口部711aの試料710の表面にも均一に分布する(図12(a))。マスク上ではマスク材料(SiO₂)はエッチングされないのでメタンプラズマ721はエッチングに寄与することなくポリマー731が生成される。マスク上の水素プラズマ722はメタンプラズマ721と反応することなくマスク上を拡散してマスク開口部711aに凝集する。その結果、マスク開口部711aでの水素プラズマ722の濃度は増加する(図12(b))。したがって、マスク開口部711aでは水素プラズマ722の濃度がエッチングを生じさせるのに十分な濃度に達するのでエッチングが進行する(図12(c))。

10

【0014】

このようにマスクのない領域またはマスクの開口部幅が広い領域ではポリマーが生成してエッチングが進行せず、マスクの開口部幅の狭い領域ではエッチングが進行する。したがって、この方法によれば、1回のエッチング過程で深さの異なる形状を加工することができる。

【0015】

しかしながら、この方法を用いて回折格子を作製する場合には、図13に示すように回折格子外部部分のマスク82上に飛来したエッチング種84がマスク開口部幅方向(Y方向)に拡散するだけでなく回折格子部分のマスク81上に飛来したエッチング種83も回折格子方向(X方向)に拡散してエッチングに影響を与えるため、回折格子のエッチング形状の制御が困難になる。

20

【0016】

この問題を解消するために厚さの異なるマスクを用いる方法が発明された(例えば、下記の特許文献2参照)。以下にこの方法について、図14(a)および図14(b)を用いて説明する。図14(a)にマスク厚(膜厚)の薄いマスクを用いる場合におけるエッチング種の挙動を示し、図14(b)にマスク厚(膜厚)の厚いマスクを用いる場合におけるエッチング種の挙動を示す。

【0017】

図14(a)に示すように、マスク厚の薄いマスク1011を用いた場合には、エッチング種1012は半導体1010の表面からマスク端を越えてマスク1011上に拡散できるので半導体1010の表面上のエッチング種1012の密度は高くない。したがって、半導体のエッチング速度は増加しない。一方、図14(b)に示すように、マスク厚の厚いマスク1021を用いた場合には、エッチング種1022はマスク端が障壁となりマスク端を越えられないため、エッチング種1022が半導体1020の表面に閉じ込められて半導体1020の表面上におけるエッチング種1022の密度は増加する。したがって、マスクがより厚くなると、半導体のエッチング速度が増加する。

30

【0018】

または、マスク厚(膜厚)の薄いマスク(例えば、図14(a)に示すようなマスク1011)を用いる場合には、プラズマ照射時のマスクのチャージアップ量が少ないのでマスクに引き寄せられるエッチング種(主にイオン)が少ないため半導体のエッチング速度は増加しないとも考えられる。一方、マスク厚(膜厚)の厚いマスク(例えば、図14(b)に示すようなマスク1021)を用いる場合には、プラズマ照射時のマスクのチャージアップ量が増加するのでマスクに引き寄せられるエッチング種(主にイオン)が増加して半導体のエッチング速度が増加するとも考えられる。

40

【0019】

そこで、回折格子外部部分のマスク82(図13参照)の厚さを回折格子部分のマスク81(図13参照)の厚さに比べて厚くすれば、マスク厚の厚い回折格子外部から開口部へ開口部幅方向(Y方向)に拡散するエッチング種の寄与が大きく、マスク厚の薄い回折

50

格子部分から開口部へ回折格子方向（X方向）に拡散するエッチング種の寄与を小さくできる。したがって、厚層マスク幅（マスク厚が厚いマスクのマスク幅）の広い領域ではマスク上で反応しないエッチング種が多量に開口部に拡散することにより開口部でのエッチング種は高濃度になりエッチング速度が増加する。一方、厚層マスク幅の狭い領域ではマスク上で反応せずに開口部に拡散するエッチング種はマスク幅の広い領域に比べて少量となりエッチング速度は遅くなる。したがって、マスク幅の広い領域ではエッチング深さは深くマスク幅の狭い領域では浅くなる。

【0020】

または、厚層マスク幅を一定にしたとき、厚層マスク開口部幅（マスク厚が厚いマスクの開口部幅）の狭い領域では厚層マスク（マスク厚が厚いマスク）から拡散するエッチング種が開口部全域に行き渡るのでエッチング速度が増加する。一方、厚層マスク開口部幅の広い領域では厚層マスクから拡散するエッチング種が開口部全域に行き渡らないのでエッチング速度が減少する。

10

【0021】

前述の炭化水素プラズマと水素プラズマをエッチングガスに用いるとき、炭化水素プラズマが高濃度であれば厚層マスクから開口部への水素プラズマの拡散によって開口部においてエッチングが生じるか、ポリマーが生成されるか、が決定される。したがって、厚層マスク幅を一定にしたとき、厚層マスク開口部幅の狭い領域では厚層マスクから拡散する水素プラズマが開口部全域に行き渡るのでエッチングが進行する。一方、厚層マスク開口部幅の広い領域では厚層マスクから拡散する水素プラズマが開口部全域に十分行き渡らないのでポリマーが生成してエッチングが進行しない。

20

【先行技術文献】

【特許文献】

【0022】

【特許文献1】特開2004-247710号公報

【特許文献2】特開2006-32573号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0023】

上述の選択エッチング方法によっても、プラズマ条件によっては、例えばエッチング種が多い場合やプラズマ出力が高い場合など、回折格子部に飛来してX方向に拡散するエッチング種の影響を十分に抑制することができないので、回折格子部分の開口部への水素プラズマの供給を回折格子外部の厚層マスクの開口部幅によって制御できない。また、炭化水素系プラズマと水素プラズマを用いてエッチングする場合に回折格子部に飛来する水素の影響を十分に抑制することができないと、ポリマーを生成させてエッチングを抑制すべき領域でポリマーが十分に生成できないためエッチングが生じてしまう。このような場合にはエッチング深さを制御できなくなるので問題となる。

30

【0024】

以上のことから、本発明は上述したような課題を解決するために為されたものであって、エッチング深さが異なる形状を簡単に、且つ精度よく加工することができる半導体素子の作製方法を提供することを目的としている。

40

【課題を解決するための手段】

【0025】

前述した課題を解決する本発明に係る半導体素子の作製方法は、炭化水素系プラズマと水素プラズマを、開口部幅が変化する開口部を有するマスクが形成された半導体表面に照射して、半導体表面を異なる複数の深さにエッチングする半導体素子の作製方法であって、前記開口部幅の異なる領域毎に、前記半導体表面のエッチングが進行する第1の状態、または前記半導体表面にポリマーが生成される第2の状態のどちらか一方のみが発現するように前記開口部幅が設定された開口部を有するマスクを前記半導体表面に形成すると共に、前記マスクの周辺に前記マスクの開口部に供給される水素プラズマ濃度を制御するた

50

めの窓領域を有する周辺マスクを形成する第1の工程と、前記炭化水素系プラズマおよび前記水素プラズマを前記マスクが形成された前記半導体表面に照射する第2の工程を有し、前記マスクが、前記半導体表面に形成された第1のパターンを有する第1のマスク部と、前記第1のマスク部上に形成され、前記第1のマスク部のマスク厚よりも厚く、前記第1のパターンの開口部幅を画定する第2のパターンを有する第2のマスク部とからなり、前記周辺マスクの前記窓領域が、前記第1のパターンの回折格子方向周辺に配されることを特徴とする。

【0026】

また、前述した課題を解決する本発明に係る半導体素子の作製方法は、上述した半導体素子の作製方法において、前記第1の工程において前記半導体表面に堆積した前記ポリマーを、酸素を有するプラズマ照射により除去する第3の工程を有することを特徴とする。

10

【0027】

また、前述した課題を解決する本発明に係る半導体素子の作製方法は、上述した半導体素子の作製方法において、前記第2の工程における、前記開口部幅の異なる領域のうち少なくとも1つの領域において発現する前記状態を、前記第1の状態および前記第2の状態のいずれかに変化させるように、プラズマ条件を変化させる第4の工程をさらに有し、前記第4の工程の後に前記第2の工程をさらに行うことを特徴とする。

【発明の効果】

【0028】

本発明に係る半導体素子の作製方法によれば、エッチング深さが異なる形状を簡単に、且つ精度よく加工することができる。これにより、高速半導体光素子を提供することができる。

20

【図面の簡単な説明】

【0029】

【図1】本発明の第1の実施例に係る半導体素子の作製方法により作製される同一面内で層厚が変化する回折格子を作製するために使用するマスクの開口部へ供給される水素プラズマ濃度を制御するための周辺窓の説明図であって、図1(a)に周辺窓を配した状態の一例を示し、図1(b)に周辺窓を配しない状態の一例を示す。

【図2】本発明の第1の実施例に係る半導体素子の作製方法により作製される同一面内で層厚が変化する回折格子を作製するために使用するマスクを示す図である。

30

【図3】(a)~(d)は、本発明の第1の実施例に係る半導体素子の作製方法により作製される同一面内で層厚が変化する回折格子を作製するために使用する面内で厚さの異なるマスクの作製工程を示す図である。

【図4】(a)~(e)は、本発明の第1の実施例に係る半導体素子の作製方法により作製される同一面内で層厚が変化する回折格子の作製工程を示す図である。

【図5】本発明の第1の実施例に係る半導体素子の作製方法により作製される回折格子を用いたDBR半導体レーザの構造を示す図である。

【図6】(a)は本発明の第1の実施例に係る回折格子における回折格子の一端からの距離と結合係数との関係を示す図であり、(b)は本発明の第1の実施例に係る回折格子を用いた場合と結合係数が 100nm^{-1} 一定の回折格子を用いた場合の反射スペクトルを示す図である。

40

【図7】本発明に係る半導体素子の作製方法で用いるマスクの他例を示す図である。

【図8】(a)~(f)は、従来法による異なる深さのエッチングを施す場合のエッチング過程を示す図である。

【図9】(a)~(c)は、基本的なエッチング過程を示す図である。

【図10】(a)~(c)は、エッチング種と反応しないマスクを用いた場合のエッチング過程を示す図である。

【図11】(a)、(b)は、メタンプラズマを用いたエッチングを施した場合にマスクのない領域において起きる現象を示す図である。

【図12】(a)~(c)は、メタンプラズマを用いたエッチングを施した場合にマスク

50

に囲まれた領域において起きる現象を示す図である。

【図13】マスク上のエッチング種の手動を示す図である。

【図14】(a)はマスク厚(膜厚)の薄いマスクを用いる場合のエッチング種の手動を示す図であり、(b)はマスク厚(膜厚)の厚いマスクを用いる場合のエッチング種の手動を示す図である。

【発明を実施するための形態】

【0030】

本発明に係る半導体素子の作製方法を実施するための形態について、実施例にて具体的に説明する。

【実施例1】

【0031】

本発明の第1の実施例に係る半導体素子の作製方法について、図1～図4を参照して説明する。

図1(a)は、本発明の第1の実施例に係る半導体素子の作製方法により作製される同一面内で層厚が変化する回折格子を作製するために使用するマスクの開口部へ供給される水素プラズマ濃度を制御するための周辺窓の説明図であって、回折格子領域の回折格子方向(X方向)周辺に周辺窓(開口部)を配した周辺マスクを形成した場合を示す図である。参考のため、図1(b)にウエハの表面において、マスクの周辺に周辺窓が無い周辺マスクを形成した場合を示す。

【0032】

図2に、回折格子領域に形成する $\text{SiN}_x/\text{SiO}_2$ マスクを示す。図2に示すように、試料(InP)1801の表面にマスク開口部の格子幅(マスク開口部幅)1905が変化するマスク1900を形成する。マスク1900は、 SiO_2 で形成される回折格子部分のマスク(格子状マスク)1910の厚さ(マスク厚)が20nm、回折格子の長さ1907が500 μm 、格子幅1905が変化しており素子中央部から素子両端に向かって1.8 μm 、3.7 μm 、7.5 μm である。また、ピッチ(周期)1911は240nm(SiO_2 部:120nm、窓部:120nm)である。一方、 SiN_x で形成される回折格子外部のマスク(開口部幅調整マスク)1920の厚さ(マスク厚)が1 μm 、マスク幅1906は20 μm で一定である。なお、上記では、格子状マスク1910が第1のマスク部をなし、開口部幅調整マスク1920が第2のマスク部をなしている。

【0033】

ウエハ表面において、上述のマスク1900の周辺における所定の領域に窓部をなす周辺窓(開口部)を配する。具体的には、図1(a)に示すように、試料(InP)1801表面にて、上述のマスク1900の周辺に周辺マスク1700を形成し、マスク1900の周辺(周囲)における(回折格子方向(X方向)にてマスク1900の輪郭に沿う)100 μm の幅1702の領域に、窓部をなす周辺窓(開口部)1701を複数配する。各周辺窓1701は1辺が20 μm の正方形である。隣接する周辺窓1701間の間隔d1が5 μm である。

【0034】

図1(a)に示すように、周辺窓1701を配した試料(ウエハ)1801表面に炭化水素系プラズマと水素プラズマを照射した場合、炭化水素系プラズマはマスク上で互いが反応してポリマーを形成するが、周辺窓1701上に飛来した水素プラズマは試料(InP)1801表面上で炭化水素プラズマと反応して消費されるので水素プラズマがマスク1900の回折格子方向(X方向)周辺で減少する。

【0035】

したがって、X方向から回折格子部分1910への水素プラズマの供給が抑制できる。よって、回折格子部分1910への水素プラズマの供給は、回折格子外部の厚層マスク1920からの供給(Y方向)が支配的になり回折格子部分1910への水素プラズマの供給を回折格子外部の層厚マスク1920の開口部幅(回折格子部分1910の領域)によって制御できる。

10

20

30

40

50

【0036】

一方、図1(b)に示すように、試料表面にマスク1900を形成すると共に、当該マスク1900の周辺に、周辺窓を有さない周辺マスク1710を形成し、前記試料表面に炭素水素系プラズマと水素プラズマを照射した場合、周辺に飛来した水素プラズマは反応せずに消費されないので、X方向から回折格子部分1910への水素プラズマの供給が抑制できない。よって、回折格子部分1910への水素プラズマの供給を回折格子外部の層厚マスク1920の開口部幅(回折格子部分1910の領域)によって十分に制御できない。

【0037】

図3(a)~(d)に、本実施例における回折格子形成に用いる面内で厚さの異なるマスクの作製工程を示す。

初めに、InP基板上のInPクラッド層1310の表面に30nm厚の酸化シリコン(SiO₂)膜を形成する。SiO₂膜上にレジストを塗布した後に電子ビーム露光法により回折格子作製マスク用および周辺窓作製のレジストパターンを作製する。レジストパターンをマスクとしてフッ化炭素系(CF₄, C₂F₈など)を用いた反応性イオンエッチング(Reactive Ion Etching, RIE)によってSiO₂膜を加工することにより、レジストパターンをSiO₂膜に転写する。レジストパターンを除去することにより、InP上に回折格子部分1311aが形成された回折格子部分作製のSiO₂マスク1311が形成される。

【0038】

次に通常の写真レジストプロセスとフッ化炭素系(CF₄, C₂F₈など)を用いた反応性イオンエッチング(RIE)によって、図1(a)に示される周辺窓パターン1311bを形成する(図3(a)参照)。または、周辺窓を有さないパターン(図1(b))を形成する。

【0039】

次に、上述の回折格子部分SiO₂マスクを有するInP表面上に1μm厚の窒化シリコン(SiN_x)膜1321を形成する(図3(b)参照)。SiN_x膜上にレジストを塗布した後に回折格子外部のマスク用のレジストパターン1331を作製する(図3(c)参照)。このレジストパターンは電子ビーム露光だけでなく通常の写真リソグラフィによるレジスト露光により形成できる。レジストパターン1331をマスクとしてフッ化硫黄系ガス(SF₈など)を用いたRIEによってSiN_x膜を加工することにより、レジストパターンをSiN_x膜1341に転写する。このとき、回折格子部分のSiO₂マスクはフッ化硫黄系ガス(SF₈など)に耐性を有するのでエッチングされずに残る。この結果、レジストパターン1331を除去することにより、InP上に回折格子部分(格子状部分)と回折格子外部(開口部幅調整部分)で厚さの異なるマスクが形成される(図3(d)参照)。なお、上記では、SiO₂マスク1311が第1のマスク部をなし、SiN_x膜1341が第2のマスク部をなしている。

【0040】

図4(a)~(e)は、本実施例に係る半導体素子の作製方法により作製される回折格子の作製工程を示す図であって、SiO₂/SiN_xマスク部分における回折格子のエッチング過程を説明するための回折格子の一部を示す図である。

図4(a)に示すように、試料(InP)1801の表面に上述のマスク1900を形成する。ここで、図中には示さないが、マスク1900の周辺には、図2(a)に示すような周辺窓1701を有する周辺マスク1700が素子ごと(マスクごと)に配される。マスク1900は、マスク厚(膜厚)が薄く、格子状に複数のマスク開口部が形成された回折格子部分のマスク(格子状マスク)1910(図2参照)と、回折格子部分のマスク1910の上に形成され、回折格子部分のマスク1910よりもマスク厚(膜厚)が厚く、回折格子部分のマスク1910のマスク開口部の開口部幅を画定する回折格子外部のマスク(開口部調整マスク)1920(図1参照)とで構成される。ここで、マスク1900はマスク開口部を有する。マスク開口部は、第一の開口部1902と、これよりも幅広

10

20

30

40

50

の第二の開口部 1903 と、これよりも幅広の第三の開口部 1904 を備える。第一の開口部 1902 の開口部幅は $1.8 \mu\text{m}$ とし、第二の開口部 1903 の開口部幅は $3.7 \mu\text{m}$ とし、第三の開口部 1904 の開口部幅は $7.5 \mu\text{m}$ とする。

【0041】

この試料について、初めに、マスク 1900 上からメタンと水素の混合ガスを用いた RIE をメタン流量 40 sccm 、水素流量 5 sccm 、放電電力が 100 W 、ガス圧力が 10 Pa で施すと、図 4 (b) に示すように、開口部幅が $1.8 \mu\text{m}$ の第一の開口部 1902 においては、マスク 1900 上から水素の供給が十分あるのでポリマーが堆積することなくエッチングが進行する。一方、開口部幅が $1.8 \mu\text{m}$ より広い第二の開口部 1903 (開口部幅: $3.7 \mu\text{m}$) および第三の開口部 1904 (開口部幅: $7.5 \mu\text{m}$) においては、マスク 1900 上からの水素の供給が不足するので、ポリマー 1811 が堆積してエッチングが進行しない。

10

【0042】

引き続き、酸素プラズマを酸素流量 10 sccm 、ガス圧力 10 Pa 、放電電力 400 W で 1 分間照射すると、図 4 (c) に示すように、堆積したポリマーが除去される。

【0043】

次に、水素流量を増加させた条件 (メタン流量: 40 sccm 、水素流量: 10 sccm 、ガス圧力: 10 Pa 、放電電力: 100 W) で RIE を施すと、図 4 (d) に示すように、開口部幅が $3.7 \mu\text{m}$ 以下の第一の開口部 1902 および第二の開口部 1903 においては、水素の供給が増加するのでポリマーが堆積することなくエッチングが進行する。一方、開口部幅が $7.5 \mu\text{m}$ の第三の開口部 1904 においては、マスク 1900 上からの水素の供給が不足するので、ポリマー 1812 が堆積してエッチングが進行しない。したがって、開口部幅が $1.8 \mu\text{m}$ の第一の開口部 1902 においては初めの RIE によるエッチングの後にさらに 2 度目の RIE によるエッチングが進行するので、その深さは第二の開口部 1903 の深さよりも深くなる。

20

【0044】

引き続き酸素プラズマの照射によりポリマーを除去した後に、水素流量を変化させた条件での RIE (例えば、メタン流量: 40 sccm 、水素流量: 20 sccm 、ガス圧力: 10 Pa 、放電電力: 100 W)、酸素プラズマの照射を交互に繰り返すことにより、図 4 (e) に示すように、深さの異なる回折格子を形成することができる。

30

【0045】

その後、マスクを除去して、メサ構造加工を行い、次に、この回折格子上に有機金属気相成長法 (MOVPE) により積層することにより、例えば図 5 に示すような素子構造の回折格子部分が作製される。

【0046】

よって、本実施例に係る半導体素子の作製方法によれば、上述のように X 方向から回折格子部分への水素プラズマの供給が抑制できるので、回折格子部分への水素プラズマの供給は回折格子外部の厚層マスクからの供給 (Y 方向) が支配的になり回折格子部分への水素プラズマの供給を回折格子外部の厚層マスクの開口部幅によって制御できる。したがって、設計通りの深さを有する回折格子を作製できる。

40

【0047】

本実施例によらない場合、例えば上記の 1 回目の選択エッチング RIE 工程 (メタン流量: 40 sccm 、水素流量: 5 sccm 、ガス圧力: 10 Pa 、放電電力: 100 W) において X 方向から回折格子部分への水素プラズマの供給が抑制できず、開口部幅が $1.8 \mu\text{m}$ である第一の開口部 1902 だけでなく、開口部幅が $3.7 \mu\text{m}$ の第二の開口部 1903 および開口部幅が $7.5 \mu\text{m}$ の第三の開口部 1904 においても水素が X 方向から供給されエッチングが進行するので選択エッチングが得られない。したがって、作製された回折格子において最終的に設計した 3 段階で変化するエッチング深さを有する構造は得られず、エッチング深さが一定の構造になる。

【0048】

50

本実施例において窓領域で水素プラズマと炭化水素系プラズマとInPが反応するが、窓領域の面積は回折格子部分の面積よりも広いので水素プラズマ密度が高くない。そのため、窓領域における反応によるエッチング量は少なく素子特性には影響を与えない。あるいは、炭化水素系プラズマが十分に高濃度である場合にはポリマーの生成速度がエッチング速度を上回るので窓領域においてポリマーが生成してエッチングが進行しない。

【0049】

本実施例において、3つの開口部幅を用いた深さが3段階変化するエッチングについて説明したが、より多数の開口部幅を用いて、その開口部幅に応じた圧力（拡散距離）の条件下でメタン/水素RIEを施すことにより、より多段で深さが変化するエッチングを行うことができる。このように作製された回折格子は第一の実施例と同様の特性を有する。

10

【実施例2】

【0050】

本発明の第2の実施例に係る半導体素子の作製方法について、図5および図6を参照して説明する。

図5は、本実施例に係る半導体素子の作製方法により作製される同一面内で層厚が変化する回折格子を用いたDBR半導体レーザの構造を示す図であって、上述の図1(a)に示す周辺マスクを用いて作製された回折格子を有するDBR半導体レーザの断面図である。

【0051】

20

本実施例に係る回折格子を用いたDBR半導体レーザは、図5に示すように、n型InP基板150、n型InPバッファ層151、回折格子152、InGaAsP（組成波長：1.1 μm ）ガイド層153、8層のInGaAsP歪量子井戸（歪量：1.0%）層と5層のInGaAsP（組成波長：1.3 μm ）障壁層の多重量子井戸層からなる活性層（発光波長：1.55 μm 、活性層長：400 μm ）154、DBR回折格子領域InGaAsP（組成波長：1.4 μm ）ガイド層（回折格子長は活性層の前後それぞれ400 μm ）155、InGaAsP（組成波長：1.3 μm ）ガイド層156、p型InPクラッド層157、p型InGaAs（組成波長：1.85 μm ）コンタクト層158、n型オーミック電極1591、p型オーミック電極1592を備える。

【0052】

30

素子の発振波長は1.55 μm である。素子の長さは1500 μm である。回折格子152のピッチ（周期）は240nm（凸部：120nm、凹部：120nm）であり、深さは素子両端面で浅くなっており30nm、素子中央部で深くなっており65nmである。

【0053】

図6(a)および図6(b)に、図5に示すDBR半導体レーザにおける回折格子により得られる反射特性を示す。図6(a)は、この回折格子の一端からの距離と結合係数との関係を示す図である。回折格子の深さが素子両端部で30nm、中央部で65nmとなるように変化させることにより、図6(a)に示すように、結合係数は素子両端部で50 cm^{-1} 、中央部で100 cm^{-1} と変化する。

40

【0054】

図6(b)のL2に上述の回折格子を用いた場合の反射スペクトルを示す。比較のため、図6(b)のL3に、本実施例によらず周辺窓を有さない周辺マスクおよびマスク（図1(b)参照）を用いて作製された回折格子における、結合係数が100 nm^{-1} 一定の場合の反射スペクトルを示す。図6(b)に示すように、回折格子の深さ、すなわち、結合係数を変化させることにより反射スペクトルのサイドモードが抑制されることがわかる。このことは、この回折格子を用いたDBR半導体レーザを動作させたときの発振スペクトルにおけるサイドモードが抑制されることを示唆する。

【0055】

このように、本実施例に係る半導体素子の作製方法によれば、簡易に深さ（結合係数）

50

が変化する回折格子を作製することができる。

【0056】

本実施例では周辺窓に正方形を用いたが他の形状でもよく、また、他の大きさでも、間隔でもよい。

【0057】

本実施例では、 $\text{SiN}_x/\text{SiO}_2$ マスク1900の周囲の回折格子方向(X方向)に周辺窓(開口部)1701を配する領域の幅1702を $100\mu\text{m}$ としたが、この値に限るものではない。

【0058】

本実施例において、回折格子の開口部の両端部にはマスク上で反応に寄与しなかった水素(プラズマ)が流入する。この水素プラズマ分だけメタンが反応してエッチングが進行する。したがって、ポリマーが堆積する開口部においても両端の一部分のみでエッチングが進行する。このように、開口部全域において深さが均一にならないという問題が生じる場合がある。しかしながら、実際のデバイスにおいてはメサ構造が採用されるため、開口部の両端部はメサ形成時に切り落とされるので、実際のデバイス作製上における問題とはならない。

10

【0059】

本実施例ではマスクにおける開口部の外部のマスク幅を一定としたが、開口部に拡散する水素プラズマがマスク上を拡散する距離が無視できる程度の長さ(幅)であればマスク幅は一定である必要はない。例えば、図7に示すような形状のマスク2900でもよい。マスク2900は、回折格子部分のマスク開口部2901の開口部幅2905が導波路長2907に対し変化し、第一の開口部2902と、この開口部2902よりも幅広の第二の開口部2903と、この開口部2903よりも幅広の第三の開口部2904とを有する。マスク2900におけるマスク開口部外部のマスク幅2906は導波路長2907に対し変化している。

20

【0060】

また、本実施例では素子用半導体結晶として化合物半導体InP結晶を用いたが、GaAs、SiGeなどの化合物半導体結晶やInGaAsP、AlGaInAs、InGaN、GaInNAs、AlGaSbなどの混晶結晶を用いることも可能である。また、本発明による装置が対応するレーザ光の波長として $1.55\mu\text{m}$ を用いたが、InGaAsP結晶の組成などの構造、回折格子のピッチ(周期)を変えることにより波長が $1.0\mu\text{m}$ から $1.7\mu\text{m}$ までの長波長帯にも対応でき、活性層に他の材料(InGaAlN、AlGaInP、AlGaSbなど)を用いることにより波長が $1.0\mu\text{m}$ 未満の短波長帯や $1.7\mu\text{m}$ 以上の長波長帯にも対応できる。また、活性層における多重量子井戸構造には、8層、5nm厚のInGaAsP歪量子井戸層(歪量:1.0%)、5層、10nm厚のInGaAsP障壁層(組成波長: $1.1\mu\text{m}$)を用いたが、歪量、層数、層厚、結晶組成などの構造因子は変化させても構わない。

30

【0061】

また、本実施例では、回折格子等の半導体の加工のためのドライエッチングにおいて、エッチングガスとしてメタンを用いたが、エタン等の他の炭化水素系ガスを用いても構わない。また、エッチングガスとして混合ガスを用いる際の希釈ガスには水素ガスだけでなく水素ガスと共に窒素やアルゴンを用いても構わない。

40

【0062】

また、ポリマーを除去するために酸素プラズマを照射したが、酸素を含むプラズマでもよい。例えば、酸素と窒素、アルゴン等不活性ガスとの混合ガス、酸素と水素の混合ガス等でもよい。

【0063】

また、ドライエッチング法にRIE、RIE法を用いたが、イオンビームアシストエッチングなどを用いても加工できる。レジストパターン作製には電子ビーム露光法以外にも干渉露光法を用いることができる。エッチングの際に半導体表面に形成するマスクには

50

酸化シリコン (SiO_2) を用いたが、窒化シリコン、酸化チタンなどの誘電体や、金やチタンなどの金属を用いることもできる。

【産業上の利用可能性】

【0064】

本発明に係る半導体素子の作製方法は、表面の凹凸を抑制してエッチング深さが異なる形状を容易に加工することができ、これにより、高速半導体光素子を提供することができるため、通信産業等を始めとする各種産業において、極めて有益に利用することができる。

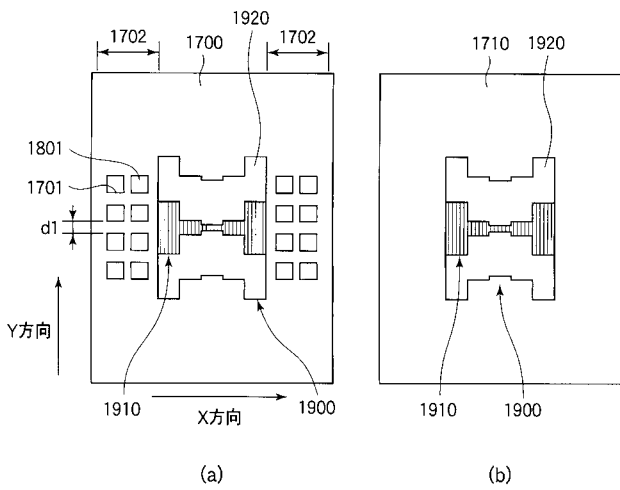
【符号の説明】

【0065】

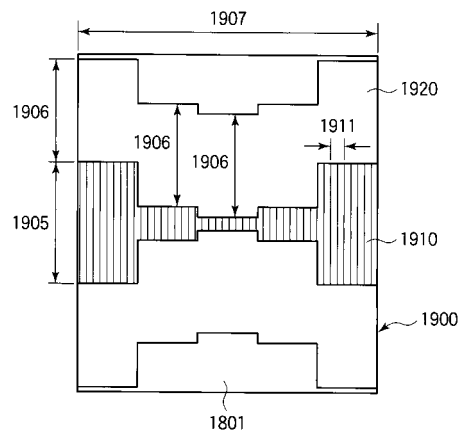
81, 82	マスク	
83, 84	エッチング種	
150	n型InP基板	
151	n型InPバッファ層	
152	回折格子	
153	InGaAsP (組成波長: 1.1 μm) ガイド層	
154	活性層 (発光波長: 1.55 μm、活性層長: 400 μm)	
155	DBR回折格子領域InGaAsP (組成波長: 1.4 μm) ガイド層	
156	InGaAsP (組成波長: 1.3 μm) ガイド層	
157	p型InPクラッド層	20
158	p型InGaAs (組成波長: 1.85 μm) コンタクト層	
411	半導体	
412	エッチング種	
511	半導体	
512	エッチング種	
513	マスク	
610	InP	
621	メタンプラズマ	
622	水素プラズマ	
631	ポリマー	30
710	InP	
711	マスク	
721	メタンプラズマ	
722	水素プラズマ	
731	ポリマー	
1010, 1020	半導体	
1011, 1021	マスク	
1012, 1022	エッチング種	
1110	半導体	
1120, 1130	マスク	40
1310	InPクラッド層	
1311	SiO_2 マスク	
1321, 1341	窒化シリコン (SiN_x) 膜	
1331	レジストパターン	
1591	n型オーミック電極	
1592	p型オーミック電極	
1700, 1710	周辺マスク	
1701	周辺窓 (開口部)	
1702	幅	
1801	試料 (InP)	50

- 1811, 1812 ポリマー
- 1900 マスク
- 1902 第一の開口部
- 1903 第二の開口部
- 1904 第三の開口部
- 1905 マスク開口部の格子幅 (マスク開口部幅)
- 1906 マスク幅
- 1907 回折格子の長さ
- 1910 回折格子部分のマスク (格子状マスク)
- 1920 回折格子外部のマスク (開口部幅調整マスク)

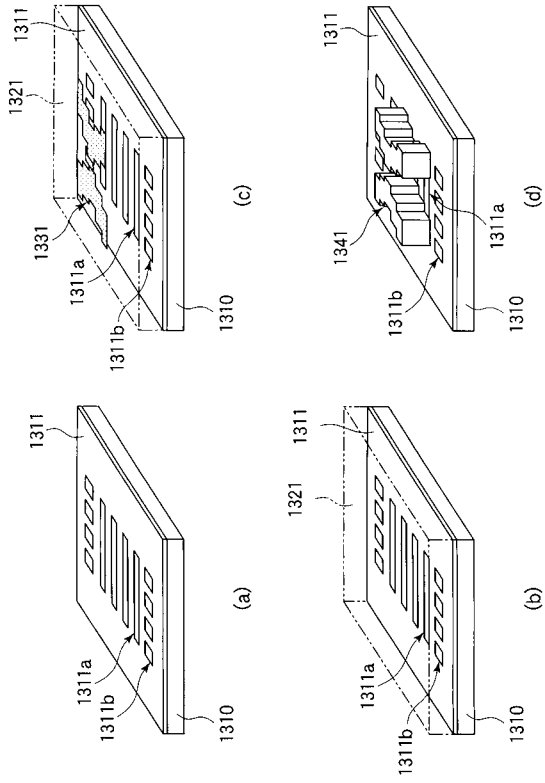
【図1】



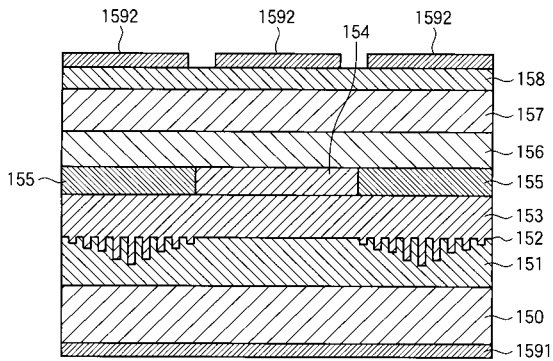
【図2】



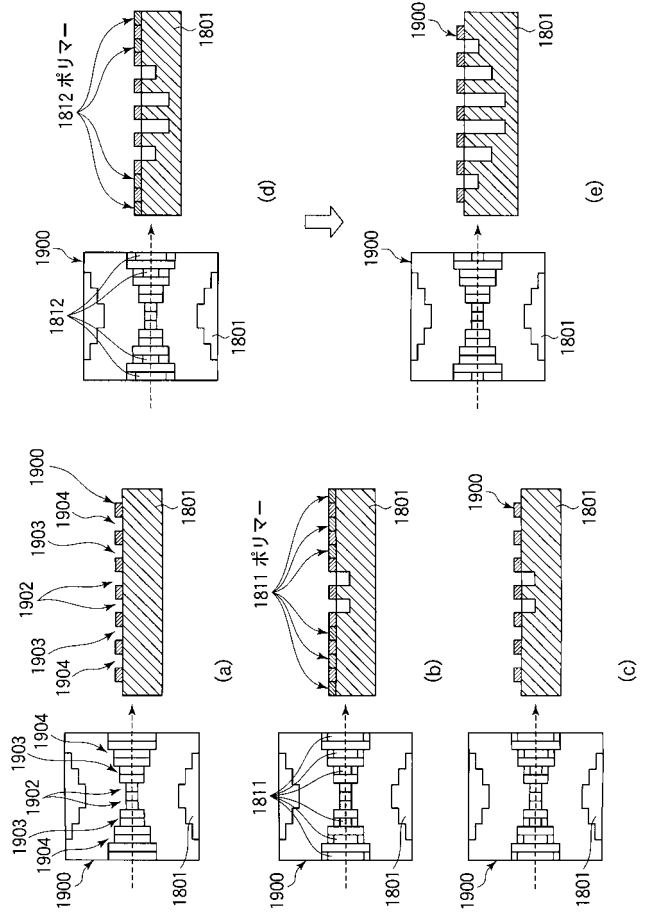
【図3】



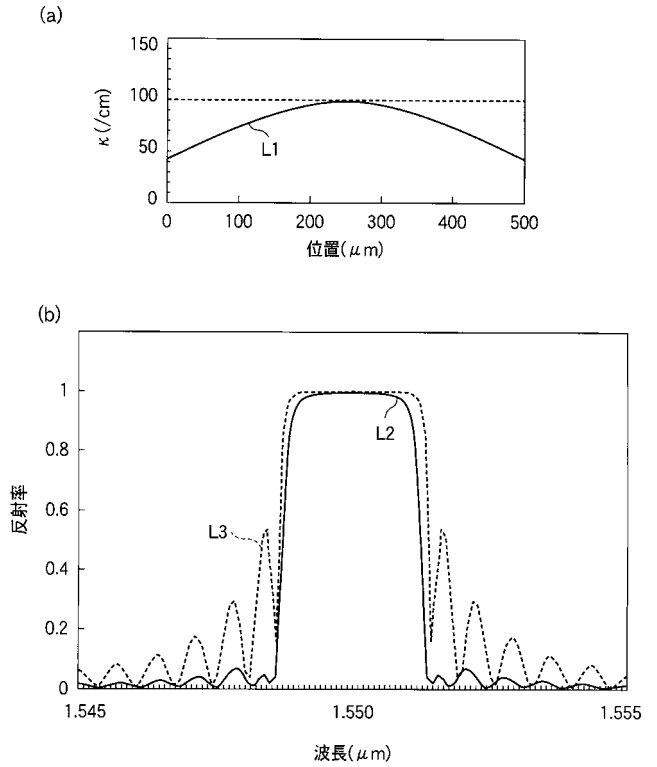
【図5】



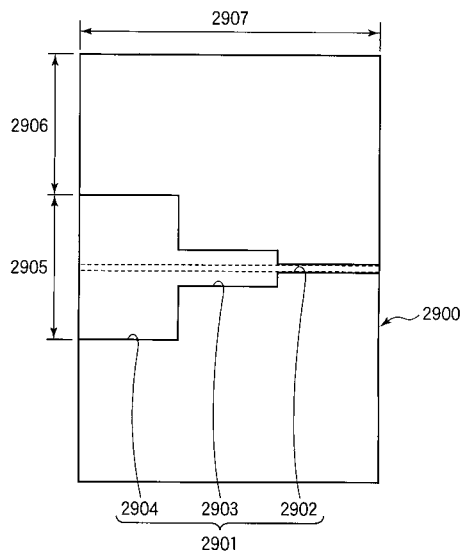
【図4】



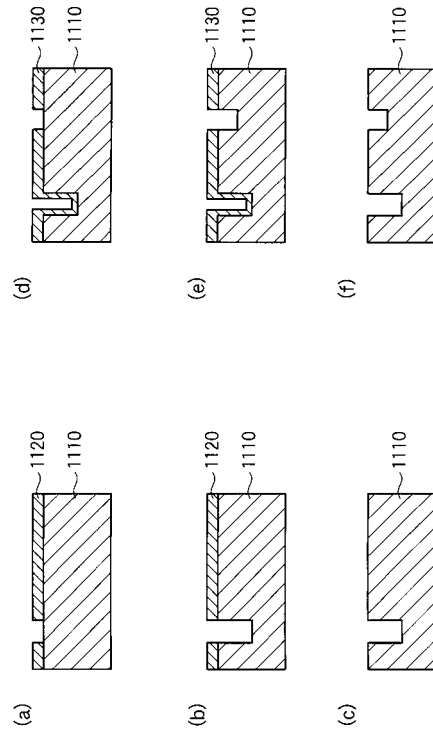
【図6】



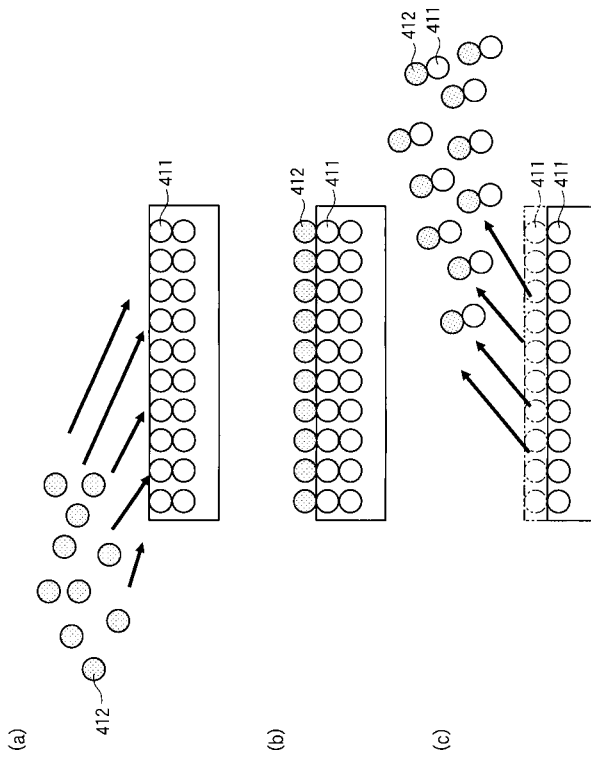
【 図 7 】



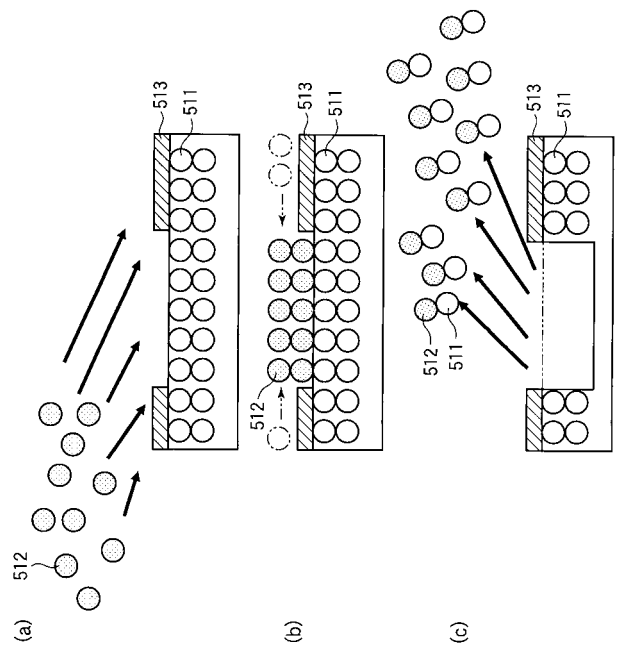
【 図 8 】



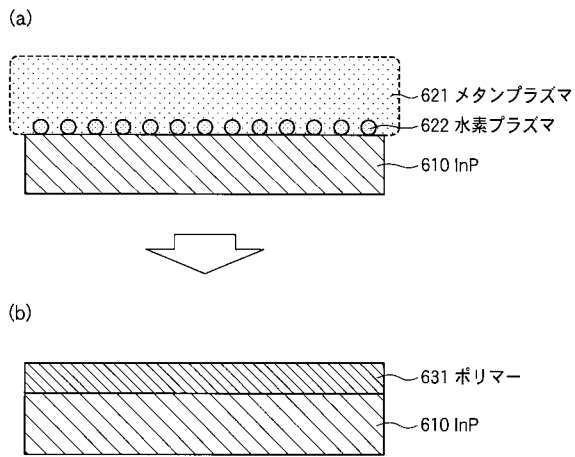
【 図 9 】



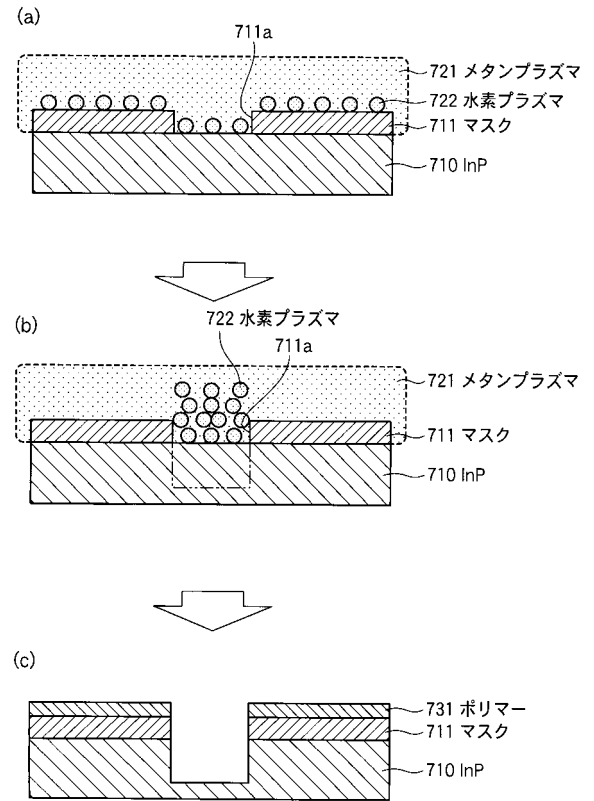
【 図 10 】



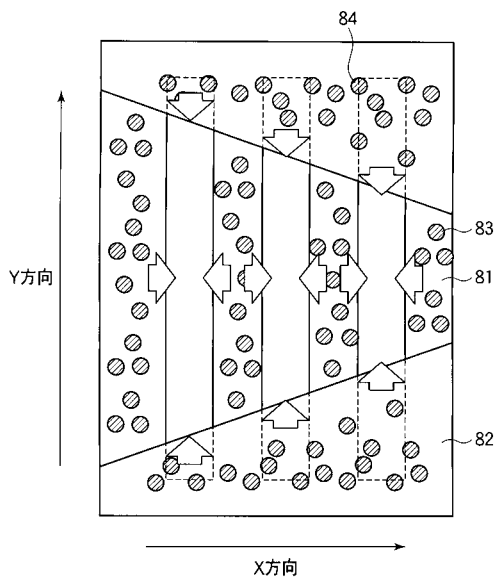
【 図 1 1 】



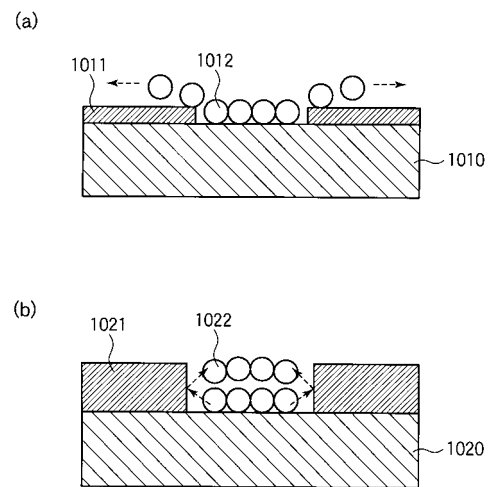
【 図 1 2 】



【 図 1 3 】



【 図 1 4 】



フロントページの続き

Fターム(参考) 5F004 AA02 AA04 AA05 BA04 BA11 BB28 DA00 DA24 DA26 DB19
DB22 EA03 EA05 EA06 EA07 EA28 EA32 EA37 EB06 EB08
5F173 AB03 AF04 AH14 AP13 AP33 AP36 AP42 AP47