

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第4171380号
(P4171380)

(45) 発行日 平成20年10月22日(2008.10.22)

(24) 登録日 平成20年8月15日(2008.8.15)

(51) Int.Cl. F I
H O 1 L 21/3065 (2006.01) H O 1 L 21/302 1 O 3

請求項の数 2 (全 11 頁)

(21) 出願番号	特願2003-314141 (P2003-314141)	(73) 特許権者	501387839 株式会社日立ハイテクノロジーズ 東京都港区西新橋一丁目24番14号
(22) 出願日	平成15年9月5日(2003.9.5)	(74) 代理人	100093492 弁理士 鈴木 市郎
(65) 公開番号	特開2005-85878 (P2005-85878A)	(74) 代理人	100078134 弁理士 武 顕次郎
(43) 公開日	平成17年3月31日(2005.3.31)	(72) 発明者	田中 潤一 茨城県土浦市神立町502番地 株式会社 日立製作所 機械研究所内
審査請求日	平成18年1月19日(2006.1.19)	(72) 発明者	山本 秀之 山口県下松市大字東豊井794番地 株式 会社 日立ハイテクノロジーズ 設計・製 造統括本部 笠戸事業所内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 エッチング装置およびエッチング方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

表面に所望のパターンのエッチング用マスクを形成したウエハをプラズマエッチング処理室内に搬入し、プラズマのエッチング作用により前記マスクをトリミング処理して細線化する機能を有するエッチング装置であって、

プラズマ処理室内のラジカル量を測定するプラズマモニタと、予め測定した前記パターン状マスクの幅寸法及びマスクエッジのエッジラフネス部のアスペクト比あるいはエッジラフネス部の形状のフーリエ周波数から演算したエッジラフネス量、並びに前記プラズマモニタが測定したラジカル量をもとに所望のマスク幅を得るために前記トリミング処理に要する時間を演算するトリミング条件演算手段とを備え、

トリミング条件演算手段が演算したトリミング時間、トリミング処理を施すことを特徴とするエッチング装置。

【請求項2】

表面に所望のパターンのエッチング用マスクを形成したウエハをプラズマエッチング処理室内に搬入した後、プラズマエッチング処理室内にプラズマを生成し、該プラズマにより前記マスクをトリミング処理して細線化するエッチング方法であって、

プラズマ処理室内のラジカル量を測定するプラズマモニタを備え、該モニタが測定したラジカル量、並びに予め測定した前記パターン状マスクの幅寸法、及びマスクエッジのエッジラフネス部のアスペクト比あるいはエッジラフネス部の形状のフーリエ周波数から演算したエッジラフネス量をもとに所望のマスク幅を得るために前記トリミング処理に要す

る時間を演算し、該演算したトリミング時間、トリミング処理を施すと共に該処理に引き続いて前記プラズマエッチング処理室でエッチング処理を行うことを特徴とするエッチング方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明はエッチング装置およびエッチング方法にかかり、特に所要のトリミング量を得ることのできるエッチング装置およびエッチング方法に関する。

【背景技術】

【0002】

半導体デバイスの製造プロセスに使用するプラズマエッチング装置は、リソグラフィ装置により所定のパターンに形成したレジスト等をマスクとして使用し、ウエハ上のポリシリコンなどをエッチングして、例えばCMOSデバイスのゲート電極等を形成する。

【0003】

プラズマエッチングは、プラズマ中のイオンとラジカル(radical)を利用したRIE(Reactive Ion Etching)と呼ばれるメカニズムを用いてウエハを加工する。RIEはウエハにバイアス電圧を印加することにより荷電粒子であるイオンをウエハに引き込むため、イオン流はウエハに垂直な方向に加速される。このため、異方性エッチング(anisotropic etching)が行われることになる。この異方性エッチングでは、マスクパターンが垂直方向に転写される方向にのみエッチングが進むため、マスクパターンに対応した所望のエッチング結果を得ることができる。

【0004】

一方、前記プラズマ中のラジカルは、電荷を帯びていないため、前記バイアスの影響を受けることなく等方的にウエハに入射する。このため、等方性エッチング(isotropic etching)が行われることになる。

【0005】

すなわち、RIEでは、プラズマ中にイオンとラジカルが共に存在するため、前記異方性エッチングと等方性エッチングが同時に進行する。例えば、等方性エッチングが強すぎると垂直に削られるはずのゲート電極の側壁が抉れてしまう。逆に等方性のエッチングが弱すぎると反応生成物等の付着により側壁が徐々にせり出してきてテーパ形状になってしまう。

【0006】

最適なゲート電極の形状は、異方性エッチングと等方性エッチングのバランスをうまく保つことにより得られる。できるだけ垂直な形状のゲート電極を作ろうと思えば、エッチング中に等方性エッチングも進行してマスク幅は小さくなっていく。すなわち、エッチングでは必ずしもマスク幅と同じ寸法のゲート幅が得られるわけではなく、プラズマの状態の変動によりエッチング後のゲート幅も変動する。

【0007】

ところで、近年の半導体デバイス寸法の縮小化の進展に伴い、プラズマエッチング装置に要求される加工寸法の許容誤差も僅少化されている。例えば、ゲート電極を加工する場合、デバイスの性能を決定するゲート幅(ゲート幅寸法をCD(Critical Dimension)と呼んで管理している)は、最先端のデバイスの場合は30nm未満であり、また、CDのばらつきの許容値は数nm以下である。

【0008】

このような寸法のパターンングは、現在のリソグラフィ装置では不可能であり、これを克服するためにレジストトリミング法が用いられている。

【0009】

図9は、レジストマスクのトリミングを説明するために、パターン付きウエハをウエハ面とマスクパターン方向に垂直に切断して見た側断面図である。図において、21はウエハ(結晶シリコン)、22はゲート絶縁膜、23はポリシリコン等からなるゲート電極、

10

20

30

40

50

24、24b、24cはレジストマスクであり、24はトリミング前のレジストマスク、24bはトリミング後のレジストマスクを、24cはトリミング後のエッチングマスクである。なお、トリミングに際しては前記ウエハ21を図示しない試料台上に載置する。またこの試料台にはプラズマ中のイオンを引き込むための高周波バイアスが印加される。

【0010】

レジストマスクのトリミング処理によるエッチングでは、例えば、図9(a)に示されるようなパターニングされたレジストマスクを、図9(b)に示すように、等方性のエッチングにより細線化し、さらに図9(c)に示すように細線化したマスクを用いて下層のポリシリコンなどを加工する。

【0011】

この技術は、リソグラフィ技術により作成できるマスクパターンの限界よりも細かいマスクパターンをトリミング法により実現する技術である。トリミングに際して、通常は、リソグラフィ技術によるパターニング後に得られたレジストマスクの寸法を測定し、この寸法と目標ゲート寸法との差からトリミング量を決定する。トリミング量はトリミング処理を実行する処理時間と比例関係にある。このため、前記トリミング量に応じたトリミング時間だけトリミング処理を行うことにより所望寸法のマスクパターンを得ることができる。なお、本明細書では単位時間当たりのトリミング量をトリミングレートと呼ぶ。

【0012】

ところで、リソグラフィ装置は、より細かいゲート幅をパターニングするため、従来のKrFエキシマレーザやF2エキシマレーザを用いるリソグラフィから、ArFエキシマレーザを用いるリソグラフィへと移行しつつある。ArFリソグラフィ用のレジスト材料はレジストマスクのエッジ部の粗さ(ラフネス)が大きく、ゲート幅の縮小と相まってエッジラフネスの寸法がゲート幅に対して無視できない大きさとなってくる。

【0013】

このため、エッチング装置を用いたトリミング処理に際しては、マスク寸法の細線化の外に、エッジラフネスを等方性エッチングにより緩和することが求められる。

【0014】

図10は、エッジラフネス緩和処理を説明する図である。図10(a)はトリミング前のマスクの上面図であり、図10(b)はトリミング後のマスクの上面図である。図10(b)に示すように、トリミング後はエッジラフネスが緩和されてマスクパターンがよりスムーズになっている。なお、図に示すように、トリミングすべき寸法の中に、エッジラフネスを取り去ることに起因する寸法の減少分が含まれる。エッジラフネスが数nmあると、エッチング加工に許されるCDのばらつきとエッジラフネスの寸法は同程度の大きさとなる。エッジラフネスの部分はバルクのマスク部分の外方で凹凸形状をしているため、このエッジラフネスの度合いによってトリミングレートが異なってくることになる。このため所望のトリミング量を得るために必要なトリミング時間を設定するには、エッジラフネスの度合いを考慮に入れる必要がある。なお、エッジラフネスがトリミングにより緩和されることは、例えば非特許文献1に開示されている。

【非特許文献1】Journal of Vacuum Science and Technology B, Vol.21, No.2, pp.655-659. Mar/Apr 2003

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0015】

前記非特許文献には、エッジラフネスがトリミングにより時間と共に緩和されることが開示されている。しかし、正確なトリミング後の寸法を得るためのトリミング方法を開示するものではない。

【0016】

プラズマエッチングにおけるトリミングレートは主としてプラズマ中のラジカル量に依存する。しかし、ラジカル量は、同一レシピであってもプラズマ処理チャンバの壁の状態により変化する。この壁の状態の変化は、エッチング反応による反応生成物が壁に付着し、

10

20

30

40

50

あるいはプラズマにさらされた石英や金属等のパーツ表面の状態が変化してラジカルの付着率や再結合確率が経時変化することにより発生するものである。

【0017】

また、プラズマエッチングにおけるトリミングレートがエッジラフネスの程度によって異なることは前述の通りである。

【0018】

従って、正確なトリミング量、あるいはトリミング時間を演算するためには、エッジラフネスの程度、及びトリミング時点におけるプラズマ中のラジカル量を正確に知る必要がある。本発明はこれらの問題点に鑑みてなされたもので、マスクエッジのラフネス量、あるいはプラズマ中のラジカル量等をもとに、正確なトリミング後の寸法を得ることのできるプラズマ処理装置及び処理方法を提供する。

10

【課題を解決するための手段】

【0019】

本発明は上記課題を解決するため、次のような手段を採用した。

【0020】

表面に所望のパターンのエッチング用マスクを形成したウエハをプラズマエッチング処理室内に搬入し、プラズマのエッチング作用により前記マスクをトリミング処理して細線化する機能を有するエッチング装置であって、プラズマ処理室内のラジカル量を測定するプラズマモニタと、予め測定した前記パターン状マスクの幅寸法及びマスクエッジのエッジラフネス部のアスペクト比あるいはエッジラフネス部の形状のフーリエ周波数から演算したエッジラフネス量、並びに前記プラズマモニタが測定したラジカル量をもとに所望のマスク幅を得るために前記トリミング処理に要する時間を演算するトリミング条件演算手段とを備え、トリミング条件演算手段が演算したトリミング時間、トリミング処理を施す。

20

【発明の効果】

【0021】

本発明は、以上の構成を備えるため、マスクエッジのラフネス量やプラズマ中のラジカル量等をもとに、正確なトリミング後の寸法を得ることのできるプラズマ処理装置及び処理方法を提供することができる。

【発明を実施するための最良の形態】

30

【0022】

以下、最良の実施形態を添付図面を参照しながら説明する。図1はトリミング処理機能を有するエッチング装置のシステム構成を説明する図である。図1において高周波電源100で生成された高周波電力は高周波伝送路101を通過してアンテナ102に供給され、プラズマ処理室103の内部に放射される。前記プラズマ処理室103内部には図示しないガス供給手段によりエッチングガスが導入されており、同様に図示しないターボ分子ポンプなどのガス排気手段によって低圧に保たれている。

【0023】

前記アンテナ102から放射された高周波電力は低圧に維持された前記プラズマ処理室100内にプラズマを生成する。ウエハ104は試料台105の上に設置され、前記試料台には高周波電源107で生成された高周波電力が高周波伝送路106を通してバイアス電力として印加されており、プラズマ中のイオンをウエハに向かって引き込む。

40

【0024】

14はプラズマモニタであり、例えば発光分光器によりプラズマ中のラジカル量を測定する。プラズマモニタ14は発光分光器を用いるのが最適であるが、プラズマインピーダンス等のプラズマの電気特性を測定し、測定した電気特性からラジカル量を推定してもよい。

【0025】

トリミング条件演算手段16はウエハ104のマスク幅とマスクエッジラフネスの計測結果を通常エッチング装置外部に設置されたマスク測定手段10から受け取る。マスク測

50

定手段10はSEM(Scanning Electron Microscopy)測定装置、AFM(Atomic Force Microscopy)測定装置、あるいはスキャタロメトリ(Scatterometry)測定装置などのマスク幅とマスクエッジラフネスを測定できる装置である。マスク測定手段10はエッチング装置に組み込まれているとなお良い。

【0026】

エッチング装置を制御するコントローラ108は、ウエハ104が試料台105に設置されると、プラズマ処理室内にエッチングガスを供給し、プラズマ処理室内が所定の圧力に安定すると高周波電源100から高周波電力を供給してプラズマを生成する。次いでコントローラ108は高周波電源107からバイアス電力を印加してウエハ104のトリミング処理を開始する。

10

【0027】

ウエハ104の処理が開始されるとプラズマモニタ14はプラズマ中のラジカル状態をモニタしてトリミング条件演算手段16に計測されたラジカル量を伝える。

【0028】

トリミング条件演算手段は受け取ったラジカル量とマスク幅とマスクエッジラフネスの量から所望のマスク幅を得るために必要なトリミング時間を計算し、コントローラ108に伝える。コントローラ108は計算されたトリミング時間が経過するとトリミング処理を停止する。

【0029】

所望のマスク幅が得られたのちに、ウエハ104は別のエッチング処理室で処理するために搬出されてもよいが、より効率的にエッチング加工を行うためにはトリミング処理終了後にコントローラ108がエッチング処理を継続しゲート電極のエッチング加工を完了すると良い。なお、本実施例ではトリミング条件演算手段エッチング装置の中に設置されているが、LANなどを介して外部に設置した形態であっても良い。

20

【0030】

図2は、図1に示すシステムを利用したトリミング方法を説明する図である。まず、表面にパターン状にマスクを形成したウエハをマスク測定装置に搬送し、パターン状マスクの幅寸法及びマスクエッジのラフネス量を測定する(ステップ1~2)。次いで、測定の完了したウエハをエッチング装置内に搬送し、トリミング(エッチング)を開始する(ステップ3~4)。このとき、プラズマモニタによるモニタリングを開始し、プラズマ処理室内のラジカル量あるいはイオン量を測定する(ステップ5)。次いで、トリミング条件演算手段は、後述のように、前記測定したマスクの幅寸法及びマスクエッジのラフネス量、並びにプラズマ処理室内のラジカル量あるいはイオン量を取得し、取得したマスクの幅寸法及びマスクエッジのラフネス量、並びにプラズマ処理室内のラジカル量あるいはイオン量をもとに、マスク寸法が目標値になるのに要するトリミング時間(エッチング時間)を演算する(ステップ6)。エッチング装置12は前記に演算したトリミング時間を取得し、トリミング時間が経過した時点でトリミングを終了する(ステップ7)。トリミングが終了したら、トリミングが終了したマスクを利用して下層膜(ゲート電極を構成するポリシリコン等)をエッチングする(ステップ8)。

30

【0031】

図3は、トリミング処理前のウエハ上のマスクパターンの一部を切り出して見た上面図である。図において、23は図示しないウエハ上に形成したポリシリコンであり、例えばウエハ上に形成するFETのゲート電極として利用する。24はポリシリコン23上に形成したマスクである。また、Aはマスクの最大幅、Bはマスク本体部の幅、Cはエッジラフネス部を示す。

40

【0032】

図4は、トリミング中におけるマスクの最大幅の変化を説明する図である。図において、30はマスク最大幅の初期値、32はマスクのエッジラフネス部トリミング量、33はマスク本体部トリミング量、34はマスク総トリミング量、36はマスク幅の目標値を示す。また、38はエッジラフネス部トリミング時間、40はマスク本体部トリミング時間

50

を示す。

【 0 0 3 3 】

図 5 は、マスクのエッジラフネス部のトリミングを説明する図である。

【 0 0 3 4 】

図 5 (a) は、ラジカルによるトリミングを説明する図である。ラジカルはイオンのように方向性を有しない。このため、ラフネスの先端部 5 4 等に衝突しやすく、先端部 5 4 の削られるレート(エッチングレート)が大きくなる。この結果、トリミング前のマスクエッジ 5 2 の先端部近傍がより多く削られてトリミング後のマスクエッジ 5 0 のような形状になる。これによりマスクエッジラフネスは緩和される。

【 0 0 3 5 】

図 5 (b) は、イオンによるトリミングを説明する図である。イオンは、ウエハを載置した試料台に印加した高周波バイアスにより紙面の垂直方向に加速され、このときエッジラフネス部の側壁に衝突する。

【 0 0 3 6 】

ラフネスの先端部 5 4 に衝突したイオンは、ここで反射されると再度マスクに衝突する可能性は低い。このためラフネスの先端部のイオンによるエッチング量は少なくなる。一方、ラフネスの谷部 5 6 に入射したイオンは、ここで反射されても再び近傍のマスク側壁に衝突してマスク側壁をエッチングする。このため、イオン性が強いと谷部がエッチングされ易くなる。なお、イオンによるエッチングレートはラジカルによるエッチングレートに比して小であるため、省略することができる。

【 0 0 3 7 】

図 5 (c) は、エッジラフネスが図 5 (b)、(c) に比して緩やかである場合におけるトリミングを説明する図である。この場合は、図 5 (b)、(c) に示すような特性は現れなくなり、図 4 におけるマスク本体部トリミングの特性に近似した特性が得られる。

【 0 0 3 8 】

図 6 は、エッジラフネス量(エッジラフネスの程度を表す量)を説明する図である。前述したように、エッジラフネス部におけるエッチング量は、ラフネス部の凹凸の程度に大きく影響される。従って、マスク測定手段により測定するエッジラフネス量はラフネスの凹凸の程度を示す量でなければならない。

【 0 0 3 9 】

従って、エッジラフネス量は、例えば 1 式、すなわちアスペクト比で表すことができる。

【 0 0 4 0 】

(エッジラフネス量) = a / b - - - - 1 式

なお、 a はマスクエッジ 5 2 の突出量、 b はマスクエッジ 5 2 の突出幅である。1 式に従うと、エッジラフネス量が大きくなるとエッジラフネス部が粗くなることになる。

【 0 0 4 1 】

また、エッジラフネス部の凹凸形状をモニタして、モニタした凹凸形状をフーリエ変換することにより、前記凹凸形状の空間周波数を得ることができる。この空間周波数の代表値、あるいは周波数分布をラフネス量とすることができる。また、エッジラフネスのフラクタル次元を演算してラフネス量を得ることもできる。

【 0 0 4 2 】

図 7 は、マスク本体部トリミング量とトリミングステップにおける処理時間の関係を説明する図である。図に示すように、マスク本体部トリミング量はトリミング時間に比例する。

【 0 0 4 3 】

次に、トリミング条件演算手段 1 6 の処理について説明する。まず、図 4 に示すエッジラフネス部トリミング量は、2 式で表すことができる。

【 0 0 4 4 】

(エッジラフネストリミング量 3 2) = F (エッジラフネス, ラジカル量, イオン量)

10

20

30

40

50

- - - 2 式

また、前記エッジラフネストリミング量 3 2 を得るに要するエッジラフネストリミング時間 3 8 は式 3 で表すことができる。

【 0 0 4 5 】

(エッジラフネストリミング時間 3 8) = G(エッジラフネス, ラジカル量, イオン量)

- - - 3 式

一方、マスク本体部トリミング量は図 7 に示すようにトリミング時間に比例する。このため 4 式が成立する。

【 0 0 4 6 】

(マスク本体トリミング量) = K × (マスク本体トリミング時間) - - - 4 式

ここで K は、図 7 に示す直線の傾きでマスク本体のトリミングレートである。なお、K もラジカル量とイオン量の関数である。

【 0 0 4 7 】

したがって、トリミング時間(総トリミング時間)は 5 式で求めることができる。

【 0 0 4 8 】

(トリミング時間) = G(エッジラフネス, ラジカル量, イオン量) + (トリミング後目標値 - F(エッジラフネス, ラジカル量, イオン量)) / K - - - 5 式

図 8 は、プラズマ発光のスペクトルを示す図である。前記ラジカルあるいはイオン量はプラズマモニタとして発光分光器を用いた場合には、図 8 に示すようなプラズマ発光スペクトルから計算できる。この発光スペクトルは、それぞれのラジカルあるいはイオンが発する固有の波長に対応するピークを有しており、このピークの高さをもとにラジカルあるいはイオンの量を測定することができる。また、発光スペクトルは多くのラジカルの情報を含み、またトリミングに寄与するラジカルも単一のラジカルではないため、複数のピークの高さを演算した値をトリミングに寄与するラジカル量あるいはイオン量とすることができる。

【 0 0 4 9 】

さらに、発光スペクトルを主成分解析や PLS 分析などの多変量解析によって分析してえられた主成分スコアなどをラジカルやイオン量を表す量として用いることもできる。主成分解析を用いた場合には、前記の F, G, K といった関数は事前実験で得られた発光スペクトルから主成分スコアを演算して説明変数とし、実測したトリミング量を目的変数とした重回帰分析により生成できる。

【 0 0 5 0 】

以上説明したように、本実施形態によれば、マスク測定手段で測定したマスクの幅寸法、及びマスクエッジのラフネス量、並びにプラズマモニタで測定したラジカル量及びイオン量をもとに、エッジラフネス部のエッチングレート及びマスク本体部のエッチングレートを演算し、この演算結果をもとにトリミング量が目標値に一致するようにトリミング時間を調整することができる。なお、この際にトリミングプロセスの他の条件(ラジカルあるいはイオンの生成量等)を制御することができる。

【図面の簡単な説明】

【 0 0 5 1 】

【図 1】トリミング処理機能を有するエッチング装置のシステム構成を説明する図である。

【図 2】トリミング方法を説明する図である。

【図 3】トリミング処理前のウエハ上のマスクパターンの一部を切り出して見た上面図である。

【図 4】トリミング中におけるマスクの最大幅の変化を説明する図である。

【図 5】マスクのエッジラフネス部のトリミングを説明する図である。

【図 6】エッジラフネス量を説明する図である。

【図 7】マスク本体部トリミング量とトリミングステップの処理時間の関係を説明する図である。

10

20

30

40

50

【図8】プラズマ発光のスペクトルを示す図である。

【図9】レジストマスクのトリミングを説明するために、パターン付きウエハをウエハ面とマスクパターン方向に垂直に切断して見た側断面図である。

【図10】エッジラフネス緩和処理を説明する図である。

【符号の説明】

【0052】

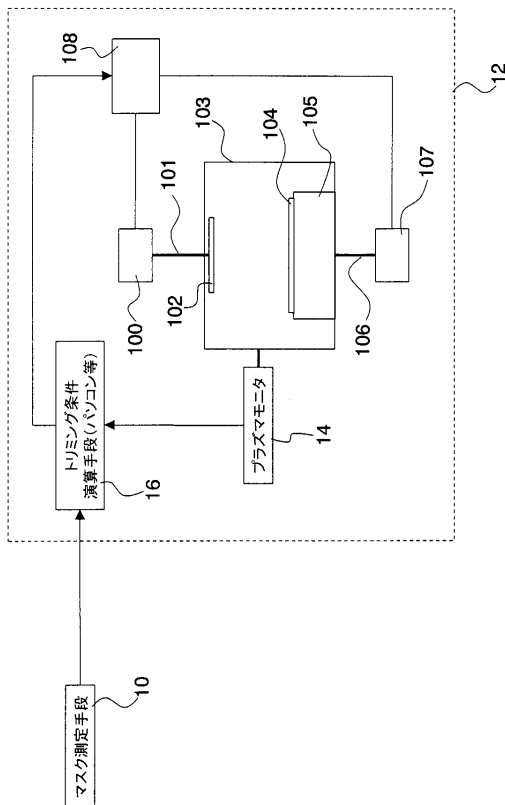
- 10 マスク測定手段
- 12 エッチング装置
- 14 プラズマモニタ
- 16 トリミング条件演算手段
- 21 ウエハ（結晶シリコン）
- 22 ゲート絶縁膜
- 23 ポリシリコン（ゲート電極）
- 24 レジストマスク
- 100、107 高周波電源
- 101、106 高周波伝送路
- 102 アンテナ
- 103 プラズマ処理室
- 104 ウエハ
- 105 試料台
- 108 コントローラ

10

20

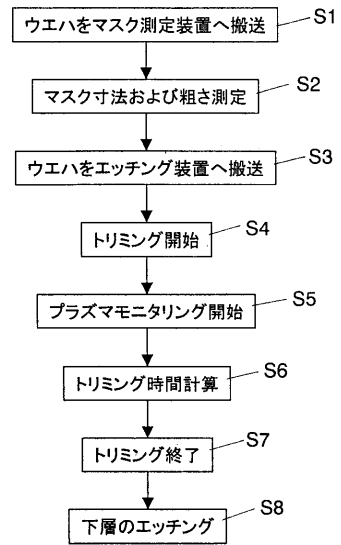
【図1】

図1



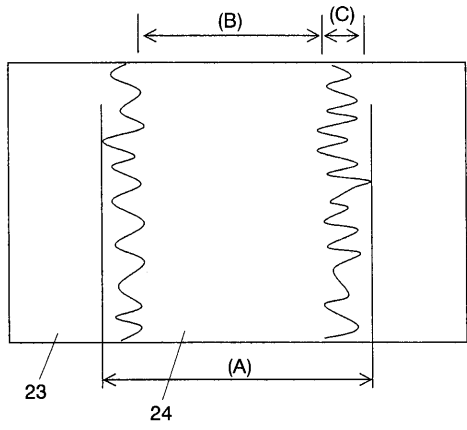
【図2】

図2



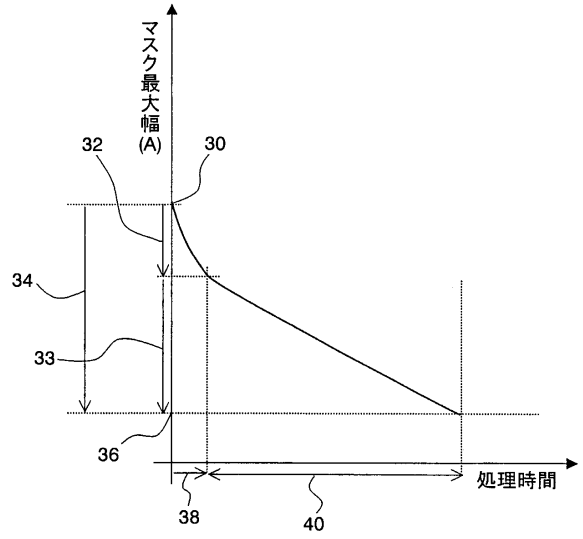
【図3】

図3



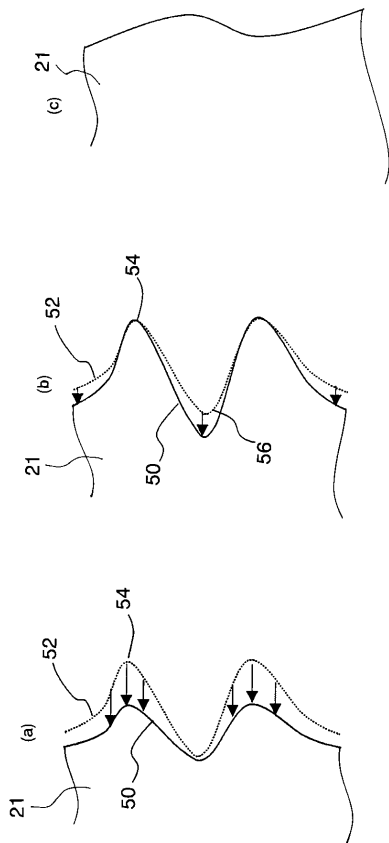
【図4】

図4



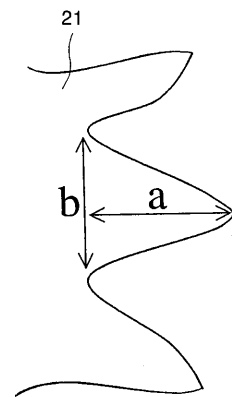
【図5】

図5

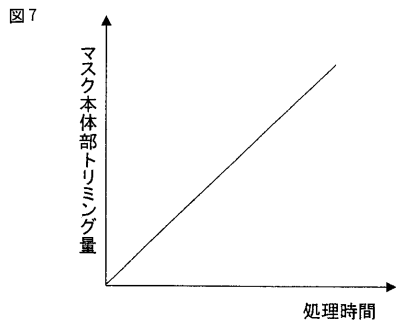


【図6】

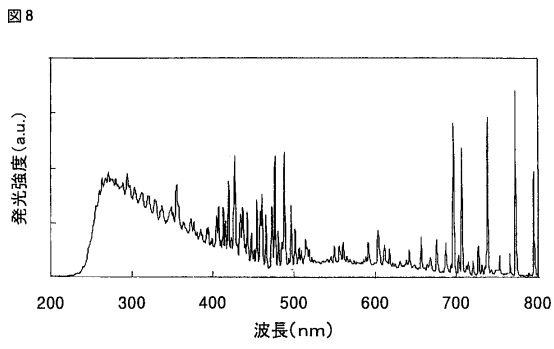
図6



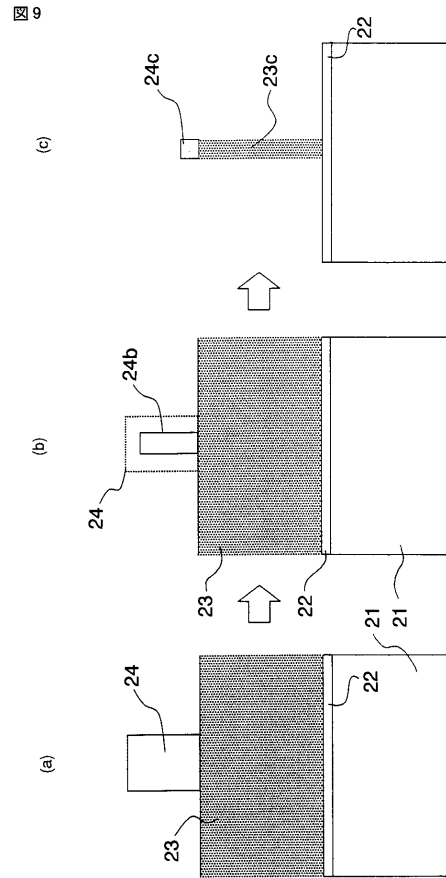
【図7】



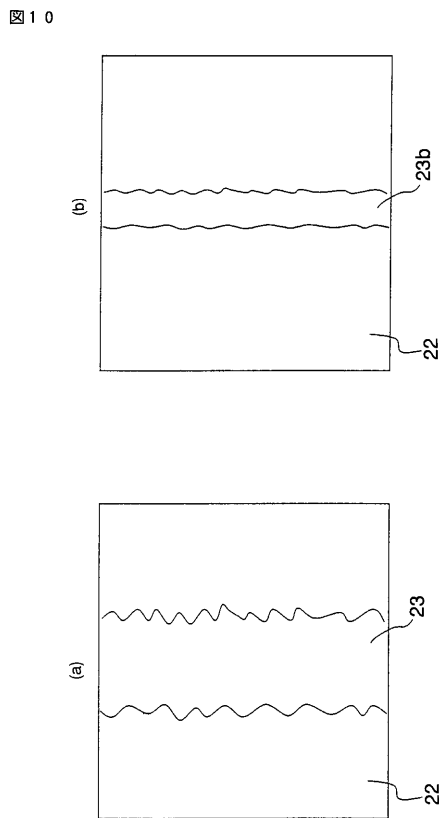
【図8】



【図9】



【図10】



フロントページの続き

(72)発明者 鹿子嶋 昭

山口県下松市大字東豊井794番地 株式会社 日立ハイテクノロジーズ 設計・製造統括本部
笠戸事業所内

(72)発明者 白石 大輔

山口県下松市大字東豊井794番地 株式会社 日立ハイテクノロジーズ 設計・製造統括本部
笠戸事業所内

審査官 今井 淳一

(56)参考文献 特開平11-162820(JP,A)

特開2001-085407(JP,A)

特開2002-100613(JP,A)

特開2003-077900(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H01L 21/3065