

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第4857010号
(P4857010)

(45) 発行日 平成24年1月18日(2012.1.18)

(24) 登録日 平成23年11月4日(2011.11.4)

(51) Int.Cl.

F 1

G03F 1/72 (2012.01)

G03F 1/08

V

C23F 4/00 (2006.01)

C23F 4/00

A

H01L 21/302 (2006.01)

H01L 21/302 201B

請求項の数 10 (全 17 頁)

(21) 出願番号

特願2006-105007 (P2006-105007)

(22) 出願日

平成18年4月6日(2006.4.6)

(65) 公開番号

特開2006-293361 (P2006-293361A)

(43) 公開日

平成18年10月26日(2006.10.26)

審査請求日

平成21年4月3日(2009.4.3)

(31) 優先権主張番号

11/102,602

(32) 優先日

平成17年4月8日(2005.4.8)

(33) 優先権主張国

米国(US)

(73) 特許権者

508349791

エコール ポリテクニク フェデラル ド
ウ ローザンヌ
スイス連邦、 シーエイチ-1015 ロ
ーザンヌ、 シーエム 2 スタシオン 1
O

(74) 代理人

100097490

弁理士 細田 益穂

(74) 代理人

100113354

弁理士 石井 総

(74) 代理人

100097504

弁理士 青木 純雄

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】ビーム誘起エッチング

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

石英基板の上において材料をビーム誘起選択エッチングする改良された方法であって、ビームが前記石英基板上の前記材料に向けられる方法において、

気体化合物を除去される前記材料に向けることを備え、前記気体化合物が、XをハロゲンとしてXNO、XNO₂もしくはXONO₂、またはyを整数としてC₁NO_yを含み、前記気体化合物が、前記石英基板を著しくエッチングせずに、前記過剰材料をエッチングするように、前記ビームが存在する状態で反応する方法。

【請求項 2】

請求項1に記載の方法であって、

除去される前記材料がクロム材料を有し、前記ビームが電子ビームを有する方法。

【請求項 3】

請求項1または2に記載の方法であって、

前記気体化合物が、約0.4デバイ(d e b y e)より大きい双極子モーメントを有する方法。

【請求項 4】

請求項1乃至3のいずれか一項に記載の方法であって、

前記気体化合物が、Xをハロゲン、yを整数として、以下の気体：XNO、XNO₂、XONO₂、またはC₁NO_yの内少なくとも2つの気体を有する混合物を備える方法。

【請求項 5】

10

20

請求項 1 乃至 4 のいずれか一項に記載の方法であって、
電子ビームを石英基板上の過剰クロム材料に向けることが、金属クロム、クロム酸素化合物、またはクロム窒素化合物に電子ビームを向けることを含む方法。

【請求項 6】

請求項 1 乃至 5 のいずれか一項に記載の方法であって、
電子ビームを石英基板上の過剰クロム材料に向けることが、電子ビームを石英基板上のクロム材料に向けることを含み、前記クロム材料が、前記石英基板がエッティングされるレートの少なくとも 2 倍のレートでエッティングされる方法。

【請求項 7】

請求項 1 乃至 6 のいずれか一項に記載の方法であって、
前記気体化合物の分子が、約 30 KJ / モルより大きい吸着エネルギーを前記石英基板上において有する方法。

【請求項 8】

請求項 1 乃至 7 のいずれか一項に記載の方法であって、
気体化合物を過剰クロム材料に向けることが、X をハロゲンとし、r、s、t、および u を整数とし、少なくとも r、s および t がゼロより大きいとして、 $X_r N_s O_t H_u$ の形態の化合物を向けることを含む方法。

【請求項 9】

請求項 1 乃至 8 のいずれか一項に記載の方法であって、
気体化合物を過剰クロム材料に向けることが、HCl を含む気体化合物を向けることを含む方法。

【請求項 10】

請求項 1 乃至 9 のいずれか一項に記載の方法であって、
気体化合物をクロム材料に向けることが、w、x、y、z、t、s、および r を整数とし、w、x、y、z の少なくとも 2 つがゼロより大きく、t および s もゼロより大きいとして、 $F_w C l_x B r_y I_z N_t O_s H_r$ の形態の化合物を向けることを含み、前記気体化合物が、前記クロム材料をエッティングするように、前記電子ビームが存在する状態で反応する方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、局所ビーム誘起エッティングの分野に関し、具体的には、微視的構造を創出または変更するためにビームを使用する方法および装置に関する。

【背景技術】

【0002】

フォトリソグラフィ・プロセスが集積回路の製造において広く使用されている。通常のフォトリソグラフィ・プロセスでは、「フォトレジスト」と呼ばれる光学活性材料の薄層が、シリコン・ウエハなどの半導体基板の表面の上に付着される。フォトレジストは、あるタイプの放射に暴露されるとき、化学的構造が変化するいくつかの異なる材料のいずれかからなることができる。この化学的構造の変化により、フォトレジストは、現像剤と呼ばれる化学溶液において、正のフォトレジストの場合はより可溶性になり、または、負のフォトレジストの場合はより不溶性になることがある。

【0003】

望ましい回路パターンの形状のフォトリソグラフィ・マスクが、回路パターンを半導体基板の表面に転写するために、テンプレートとして使用される。通常の透過マスクは、回路の層を製造するために使用される、表面上において繰り返される透明領域および不透明領域のパターンを有する。マスクは、適切な放射源とフォトレジスト・コーティング半導体基板との間に配置されると、影をフォトレジストの上に落とし、それにより、フォトレジストのどの領域が放射に暴露されるかを制御する。他のタイプのマスク反射光について、反射パターンは、光を半導体基板に向かって反射する。

10

20

30

40

50

【0004】

露光後、フォトレジストは、適切な現像剤で洗浄することによって、暴露領域または未暴露領域から除去される。これにより、エッチング、蒸着、または拡散など、その後のプロセス・ステップ中、ウエハの部分を保護するフォトレジストのパターン化層が、ウエハの上に残される。その後のプロセス・ステップが完了した後、残りのフォトレジストは除去される。このフォトリソグラフィ・プロセスにより、最終的に、実際の回路が半導体チップに集積されることが可能になる。

【0005】

明らかに、マスクは、このプロセスにおいて重要な要素であるが、その理由は、マスクが、半導体基板に転写される回路パターンを決定するからである。通常のマスクは、クロミウムまたはタンクステンの金属膜など、不透明吸収剤材料のパターン化層を石英などの透明材料の基板の上に備える。マスクの上の特徴は、数百万分の1インチ程度に小さくすることができる。フォトレジスト材料において望ましいマスク・パターンを露光するために、コンピュータ制御レーザまたは電子ビーム・システムを通常使用することによって、パターンがマスクの上において形成されるとき、マスクが欠陥を有することは珍しいことではない。不透明および透明の本質的に2つのタイプの欠陥がある。透明な欠陥は、不透明であるべき領域から吸収剤が失われている領域であり、不透明な欠陥は、透明であるべき領域に吸収剤材料が付着している領域である。マスクにおけるあらゆる欠陥は、そのマスクを使用して製造されるあらゆる半導体チップに最終的に転写されるので、これらの欠陥は、マスクを使用することができるようになる前に修復されなければならない。

10

【0006】

従来、集束イオン・ビーム・システム(FIB)が、フォトリソグラフィ・マスクの欠陥を修復するために使用してきた。液体金属イオン源からのガリウム・イオンの微細集束ビームが、表面の像を形成するために、マスク表面にわたって走査される。像の各点における強度は、基板上の対応する点においてイオン・ビームによって放出される2次電子の電流によって決定される。欠陥は、像の上において識別され、次いで、イオン・ビームは、マスク表面から過剰な吸収剤材料を除去するために、または失われている吸収剤材料を付着させるために、欠陥領域にわたって走査される。

20

【0007】

材料を除去するために使用されるとき、集束イオン・ビームの重いガリウム・イオンは、スパッタリングによって、すなわち、入射イオンから表面の原子に運動量を移動させることによって、マスク表面から原子または分子を物理的に放出させる。運動量移動機構は、基板格子の核と連続的に衝突することにより機能すると考えられ、このプロセスは、「衝突キャスケード」と呼ばれる。

30

【0008】

FIBが、透明な欠陥を修復する材料を付着させるために使用されるとき、気体が欠陥領域に向けられ、材料は、基板表面上に吸収された気体分子を分解するために、イオン・ビームを使用することによって付着される。FIBを使用して金属材料を付着させるプロセスは、たとえば、タオ(Tao)の米国特許第5104684号、名称「Ion Beam Induced Deposition of Metals」において記載されている。

40

【0009】

具体的には不透明な欠陥を修復するために使用されるとき、マスクを修復するためにガリウム・イオンFIBシステムを使用することには、いくつかの問題がある。第1に、ガリウム・イオンは、欠陥領域を囲む基板の中に埋め込まれる。一般に「汚染」と呼ばれるこの現象により、汚染基板は、透明性をいくらか失う。この透明性の損失は、半導体基板に転写されるマスク像において欠陥をもたらす。透明性の損失は、現在のフォトリソグラフィ・プロセスにおいて使用される非常に短い露光波長では特に甚大であり、透明性の損失は、通常3パーセントと10パーセントとの間である。

【0010】

50

第2に、集束イオン・ビームのスパッタリング・プロセスは、比較的非選択的である。不透明な欠陥がイオン・ビームによって除去されている間、欠陥の縁における基板材料も攻撃され、その結果、損傷された基板材料のトレンチ(trench)が欠陥の回りに生じる。このタイプの基板損傷は、「リバーベッド」として知られるが、その理由は、電子顕微鏡で見ると、エッチングされた縁が川床に似ているからである。リバーベッドにより、欠陥を囲む石英を横断する光について、強度および位相が変化する。

【0011】

第3に、イオン・ビームによって材料をスパッタリングすることにより、すべての方向において材料が放出され、この放出材料のいくらかは、隣接表面の上に載る。この効果は、再付着として知られ、微細構造製造の精度を限定する。

10

【0012】

最後に、マスク基板は、通常、絶縁材料で作成されるので、正のガリウム・イオンによって照射されるとき、正電荷が、絶縁欠陥の上に累積する傾向がある。正に帯電した各ガリウム・イオンは、正電荷を領域にもたらすだけでなく、質量の大きい各イオンは、表面から複数の電子を放出させる。この正電荷が累積する際に、欠陥の像が得られる原因である2次電子の放出が低減される。マスクの修復に使用されるイオン・ビーム・システムは通常、ドハーティ(Doherty)らの米国特許第4639301号、「Focused Ion Beam Processing」において記載されている電子フラッド銃など、電荷中和装置を通常含む。具体的には、吸収剤材料が除去される際に、照射されている表面の組成が変化するので、表面電荷をちょうど中和するようにフラッド銃を調節することは、困難なことがある。

20

【0013】

FIBシステムによるスパッタリングは、さらに改善することができ、以前に記述された問題のいくつかは、イオン・ビームの照射下において表面上に吸着して、表面原子と揮発性化合物を形成するように反応するエッチング気体を使用することによって、最小限に抑えることができる。次いで、表面の原子は、より容易に除去され、再付着する可能性は低い。気体原子は、エネルギーが入射イオンによって提供されるとき、表面の分子と反応する。入射イオンは、吸着された気体分子と直接には著しく反応しない。イオンは、通常、基板の原子と連続的に衝突して反応し、衝突は、表面から原子をたたき出して、吸着気体分子との化学反応を開始させるように、格子を経てエネルギーを提供する。いくつかの気体により、イオン・ビームは、1つの材料を順次優先的にエッチングする。気体の使用は、ガリウム・ベースのFIBシステムに関連して列挙された問題を軽減することができるが、問題は、依然として存在する。

30

【0014】

いくつかの材料が、電子ビームが存在する状態でエッチング剤化学物質によってエッチングされることが知られている。電子は、材料をスパッタリングすることはできないが、その理由は、通常の電子ビームの電子の運動量は、運動量の移動によって分子を表面から除去するには十分ではないからである。照射粒子と基板粒子との間において衝突中に移動される運動量の量は、照射粒子の運動量だけでなく、2つの粒子の相対質量にも依存する。2粒子が同じ質量を有するとき、最大の運動量が移動される。照射粒子の質量と基板粒子の質量とが整合しないとき、照射粒子の運動量のより少量が、基板粒子に移動される。集束イオン・ビーム・ミリングに使用されるガリウム・イオンは、電子の質量の130,000倍を超える質量を有する。通常の集束イオン・ビーム・システムでは、ガリウム・イオンは、25~50kVの電圧により加速され、一方、透過型電子顕微鏡の電子は、通常、100kVの電圧により加速される。したがって、FIBシステムの銅基板を照射する通常の30kVガリウム・イオンの運動量移動は、電子顕微鏡の100kV電子の場合より20,000倍大きい。

40

【0015】

したがって、電子ビームを使用する化学誘起エッチングは、イオン・ビーム・スパッタリングの機構とは異なる機構により行われる。電子ビームは、化学エッチング剤が存在し

50

ない状態ではエッチングせず、一方、イオン・ビームは、スパッタリングが気体によって促進または減衰される場合でも、常に材料をスパッタリングする。したがって、電子ビームは、電子ビームが存在する状態では材料をエッチングするが、電子ビームが存在しない状態では材料を著しくはエッチングしない化学物質が見つけられない限り、特定の材料をエッチングするために使用することはできない。

【0016】

いくつかのエッチング剤が、電子ビームとの使用について知られている。マツイら、「Electron Beam Induced Selective Etching and Deposition Technology」、Journal of Vacuum Science and Technology B、Vol. 7、No. 5 (1989) が、二フッ化キセノン、塩素、および ClF_3 を使用するシリコン、ヒ化ガリウム、およびポリメチルメタクリレートの電子ビーム誘起エッチングを記載している。マツイらは、電子ビームが存在する状態において六フッ化タンゲスタンを使用するタンゲスタンの付着も記載している。ワインクラー(Winkler)ら、「E-Beam Probe Station With Integrated Tool For Electron Beam Induced Etching」、Microelectronic Engineering 31、141～147ページ(1996)が、集積回路上の SiO_2 、 Si_3N_4 、およびポリイミドなど、絶縁層の電子ビーム誘起エッチングを記載している。マツイらの米国特許第6753538号、「Electron Beam Processing」は、タンタルおよびタンゲスタンを包含する膜をエッチングするために電子ビームを使用することを教示している。リアン(Liang)らの米国特許出願2003/0000921、「Mask Repair with Electron Beam-Induced Chemical Etching」は、 XeF_2 、 CF_4 、または F_2 を使用する窒化タンタルのエッチング、ならびに Cl_2 および O_2 を使用するクロム化合物のエッチングを記載している。ヒラチ(Hirachi)らの米国特許第5055696号、「Multilayered Device Micro Etching Method and System」は、反応気体、または様々なエッチング剤気体を使用する集束イオン・ビームを使用して材料を局所的にエッチングすることを記載している。ヒラチらは、イオン・ビームの代わりに電子ビームまたはレーザを使用することができると記載しているが、イオン・ビーム・スパッタリングが存在しない状態で、どのエッチング剤がエッチングするかを記載しておらず、端点の詳細な記述は、電子ビームではなく、イオン・ビームの処理を示している。

【0017】

上記において記述されたエッチング剤は、クロミウム材料など、望ましい速度および選択性でフォトリソグラフ・マスクの上において使用されるような種類の材料をエッチングしない。

【特許文献1】米国特許第5104684号明細書

【特許文献2】米国特許第4639301号明細書

【特許文献3】米国特許第6753538号明細書

【特許文献4】米国特許出願公報第2003/0000921号明細書

【特許文献5】米国特許第5055696号明細書

【特許文献6】米国特許第5149974号明細書

【特許文献7】米国特許第5851413号明細書

【特許文献8】米国特許第5435850号明細書

【非特許文献1】マツイら、「Electron Beam Induced Selective Etching and Deposition Technology」、Journal of Vacuum Science and Technology B、Vol. 7、No. 5 (1989)

【非特許文献2】ワインクラー(Winkler)ら、「E-Beam Probe Station With Integrated Tool For Electron

10

20

30

40

50

Beam Induced Etching」、Microelectronic Engineering 31、141~147ページ(1996)

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0018】

本発明の目的は、フォトリソグラフィ・マスクを修復するためなど、微視的構造を創出する、または変化させるために、ビーム誘起反応を使用して、ある材料を局所的にエッチングすることである。

【課題を解決するための手段】

【0019】

本発明の一態様によれば、電子ビームなどのビームが、ビームが存在する状態で材料をエッチングする気体と共に、処理される材料に向けられる。本発明は、フォトリソグラフィ・マスクの修復に特に有用であるが、任意のタイプの加工物 (work piece) の上において材料を処理するのにも有用である。

【0020】

本発明の主題は、本明細書の結論部分において具体的に指摘され、明確に主張される。しかし、動作の構成および方法、ならびに他の利点および目的は、同じ参照符号が同じ要素を指す添付の図面と関連して取り入れられる以下の記述を参照することによって、最適に理解されることが可能である。

【0021】

本発明およびその利点をより完全に理解するために、ここで、添付の図面と関連して取り入れられる以下の記述を参照する。

【発明を実施するための最良の形態】

【0022】

本発明は、ビームを使用して材料を局所的に除去する方法を提供する。本発明は、荷電粒子ビームまたはレーザ・ビームなど、活性化ビームの存在する状態においてある材料を選択的にエッチングするのに有用であるエッチング剤を提供する。いくつかの実施形態は、クロミウム材料をエッチングするのに特に有用であり、電子ビーム誘起エッチングに使用することができる。

【0023】

本明細書において使用される「クロミウム材料」は、金属クロミウム、部分酸化クロミウム、および部分窒化クロミウムなど、クロミウムを含む任意の材料を含む。そのようなクロミウム材料は、フォトリソグラフィ・マスクにおいて吸収層として一般に使用される。したがって、本発明は、フォトリソグラフィ・マスクの修復に特に有用である。本発明は、1つまたは複数の加工物の同じ領域または異なる領域に対して、単一ビームが順番に動作を実施する直列プロセスの一部、または複数ビームが1つまたは複数の加工物に対して同時に動作する並列プロセスの一部として使用することができる。本発明は、走査ビーム、または大きな領域を網羅し、かつ走査を必要としない成形ビームなどのビームを使用することができる。本発明は、不透明な欠陥の修復に有用であり、具体的には、マスク製造中に意図せずに生成される可能性がある突出および望ましくないピンスポットなど、過剰な材料を除去するのに有用である。

【0024】

本発明は、適切な気体反応剤と共に、集束ビーム、成形ビーム、または広幅ビームを使用することを含む。マスクの修復に電子ビーム・エッチングを使用することが知られているが、本出願人は、クロミウム材料および他の材料をエッチングする新しいエッチング剤を提供する。高分解能検査および修復が、ビームのサイズが小さく、かつナノメートル・レベルのエッチング・プロセスの活性化源として使用することによって可能になる。吸収層と基板との間のエッチングの選択性は、反応気体を慎重に選択することによって達成される。

【0025】

10

20

30

40

50

本発明のエッチング剤は、レーザまたは集束イオン・ビームと共に使用することもできるが、エッチング剤と共に電子ビームを使用することにより、マスクの修復において利点が提供される。電子ビーム誘起エッチングは、ガリウム・ベースの FIB システムによって生じる汚染、リバーベッド、および再付着を有さずに、かつ従来のレーザ・システムより高い分解能において、クロム吸収剤マスクの上のある不透明マスク欠陥を修復することができる。電子ビームは、電子ビームが存在する場合に表面をエッチングする気体が存在する状態において、欠陥領域に向けられる。電子ビームが領域に向けられる際に、過剰な材料は、電子ビームによって誘起される化学反応によって除去される。本発明は、任意のタイプの加工物の上の材料をエッチングするために、同じように使用することができる。

【0026】

10

電子ビームを使用してクロムをエッチングするのに適切なエッチング剤気体

以下の情報は、クロミウム材料の電子ビーム誘起エッチングに適切なエッチング剤気体がどのように選択されるかを示す。情報は、例として提供され、本発明は、クロミウム材料の電子ビーム誘起エッチングに限定されるものではない。

【0027】

好ましい反応剤気体は、以下の特性の 1 つまたは複数を有する。

【0028】

1) 気体分子が、電子ビームによって、揮発性 Cr 化合物を形成する断片に分解される能力。揮発性化学物質成分は、熱力学的な標準状態において気体の成分である。たとえば、いくつかのハロゲン化クロミウムは、揮発性であることが知られている。たとえば、フッ化クロミウム (CrF₅) および塩化クロミル (CrO₂Cl₂) は、両方とも 117 °C で沸騰するが、塩化クロミウム (CrCl₄) は、室温で気体である。

20

【0029】

2) 気体分子が加工物の表面に吸着される能力、すなわち、気体の吸着効率。残留時間、すなわち、気体分子が表面上に残存する時間は、エッチング・プロセスの効率に直接影響を与える。残留時間は、表面における化合物の吸着エネルギーに指數関数的に依存し、より大きな吸着エネルギーを有する分子ではより長い。吸着エネルギーは、分子と表面との間のファン・デア・ワールス相互作用によって与えられる。これらの相互作用は、以下の順序で弱くなる：イオン化合物 > 極性化合物 > 非極性化合物。

【0030】

30

室温における通常の残留時間は、約 15 KJ / モルの吸着エネルギーの数ピコ秒から（たとえば、O₂、CO、または希ガスの場合）、約 40 KJ / モルから約 65 KJ / モルの吸着エネルギーの数ミリ秒（この範囲は、多くの誘起物質の吸着エネルギーについて一般的である）まで変化する。ハロゲンの第 1 原子および第 1 原子とは異なる第 2 原子を有する多くの気体化合物が、多くの材料をエッチングするのに適切であるが、その理由は、そのような化合物は、通常、Cl₂などの純粋なハロゲン気体より大きいエネルギー、および長い残留時間を有するからである。ビーム活性化エッチングの気体化合物は、好ましくは約 25 KJ / モルより大きい、より好ましくは 30 KJ / モルより大きい、最も好ましくは 40 KJ / モルより大きい、または 50 KJ / モルより大きい吸着エネルギーを有する。

40

【0031】

より大きなエッチング率（レート）が、より高いファン・デア・ワールス力を通常表示する極性分子で達成可能である。以下の表 1 は、いくつかのサンプル化合物について双極子モーメントの例を示す。

【0032】

【表1】

化合物	双極子モーメント(デバイ)
ClNO ₂	0.53
ClNO	1.28
ClO ₂	1.78
Cl ₂	0.0
O ₂	0.0

10

【0033】

上記に示された ClNO₂、 ClNO、 および ClO₂の永久双極子モーメントは、 ゼロである Cl₂および O₂の永久双極子モーメントと比較して大きい。 本発明と共に使用されるのに好ましい化合物は、 0.4 デバイより大きい、 より好ましくは 0.5 デバイより大きい双極子モーメントを含む。 電子ビーム誘起エッチングの基本的な事象を考慮すると、 極性化合物の使用により、 電子ビームによって分離されるとき、 非極性分子よりはるかに長い時間接着し、 かつ反応剤（この場合は励起 Cl 原子）を送達する安定分子を反応サイトに送達することが可能になる。 Cl₂と O₂との混合物を使用する場合、 両分子の残留時間は、 極性分子 ClNO₂または ClNO、 および本明細書において記述される他の化合物分子の残留時間よりはるかに短い。 Cl₂および O₂は、 Cr 表面上においてさえも、 自発的に組み合わされて極性化合物を形成することはない。 したがって、 反応剤は同じはずであるが、 Cl₂および O₂の混合物のエッチング率は、 極性化合物のエッチング率よりも小さい。

20

【0034】

3) 石英 (SiO₂) 基板と比較して、 クロムを選択的にエッチングする気体分子の能力。 塩素包含気体が好ましいが、 その理由は、 第1に、 塩化ケイ素は、 フッ化ケイ素より揮発性ではないからである。 たとえば、 SiF₄および SiCl₄は、 それぞれ -86°C および 58°C で沸騰するので、 塩素化合物は、 フッ化化合物より低い率で石英基板を含むシリコンをエッチングする。 第2に、 選択性は、 熱力学によるからである。 SiF₄、 SiO₂、 および SiCl₄を形成する標準的な熱は、 それぞれ、 -1615、 -911、 および -657 KJ/mol である。 したがって、 SiO₂から気体の SiF₄を形成することが好ましいが、 その理由は、 発熱性であるからであり、 一方、 SiCl₄の形成は強く妨害されるが、 その理由は、 この反応がエネルギーを必要とするからである。 すなわち、 SiCl₄は、 SiO₂より安定ではなく、 したがって、 塩素の化学作用により、 クロミウムと石英との間のエッチング選択性が可能になり、 これは、 フッ素の化学作用では不可能である。

30

【0035】

いくつかのエッチング化合物の選択性は、 下にある材料のエッチングを妨害する不動態層 (a passivation layer) を形成することによって改善される。 たとえば、 ClNO₂または ClNO の窒素は、 境界面において SiO₂と組み合わされて、 石英表面上において SiN_xO_y材料を創出し、 これは、 放出された塩素によって攻撃されず、 それにより、 石英の上においてクロムをエッチングする選択性が改善される。

40

【0036】

4) 電子ビームによる分解中、 気体が炭素、 リン、 または硫黄などの不揮発性成分を含む不透明または他の汚染非不揮発性成分を形成しない能力。 気体が不透明または他の汚染不揮発性成分を形成した場合、 それらの成分は、 電子ビーム分解中に固体付着物をマスクの上に形成する。

【0037】

50

望ましい化合物は、通常、上記で記述された特性のいくつかを含むが、各特性が、すべての応用分野において必要とされる訳ではない。たとえば、 ClO_2 など、本明細書において記述されるいくつかの Cl-O 化合物は、窒素がなく、不動態層を形成しない可能性があるが、効率的な反応を促進するように、表面上における十分な残留時間を提供する双極子モーメントを有する。

【0038】

水素、ヘリウム、ネオン、アルゴン、臭素、クリプトン、ヨウ素、キセノン、窒素、または酸素など、 -200°C から $+600^{\circ}\text{C}$ の温度範囲に沸点を有する、またはこの温度範囲において真空下でポンピングすることができる揮発性成分を有するすべての極性塩素化合物を反応気体として使用することができる。本出願人は、化学量論 (stoichiometry) $\text{Cl}_x\text{N}_y\text{O}_z\text{H}_t$ (x 、 y 、 z 、 t は整数) に対応する気体化合物が適切である可能性が高いことを発見した。これは、以下の化合物のリストを含むが、これに限定されるものではない。

【0039】

ClNO (塩化ニトロシル)、 ClNO_2 (塩化ニトリル)、 ClONO_2 (硝酸塩素)、 HCCl (塩化水素)、 Cl_2O (一酸化二塩素)、 ClO_2 (二酸化塩素)、 Cl_2O_2 、 Cl_2O_4 (四酸化二塩素)、 Cl_2O_6 (六酸化二塩素)、 Cl_2O_7 (七酸化二塩素)、 ClO 、 ClOH 、 NCl_3 (三塩化窒素)、および NH_2Cl (クロラミン)。

【0040】

塩素だけでなく、フッ素、臭素、およびヨウ素を含む上記の化合物の類似物も、適切であると考えられる。適切な化合物は、ハロゲン間化合物 $\text{F}_w\text{Cl}_x\text{Br}_y\text{I}_z\text{N}_t\text{O}_s\text{H}_r$ (w 、 x 、 y 、 z 、 t 、 s 、 r は整数) をも含み、たとえば、 ClOF_3 、 ClO_2F 、 ICl 、 ICl_3 、 IBr 、および BrCl である。

【0041】

本発明の一実施形態によれば、電子ビーム活性化気体化合物の分子は、電子ビーム・システムにおいてマスクの表面上に吸着される。気体化合物により、マスクの表面上の金属クロミウムあるいは酸化クロミウムまたは窒化クロミウムなどのクロミウム化合物などのクロミウム材料が、電子ビームが存在する状態で選択的にエッチングされる。選択的エッチングにより、石英基板に与える影響を最小限に抑えながら、クロミウム材料を除去することが可能になる。エッチングは、主に化学的な性質であり、物理的なスパッタリングに依存しないので、高度に選択的であり、FIB エッチングには通常付随する修復により誘起される損傷を生じない。FIB マスク修復プロセスとは異なり、電子ビームを使用することにより、あらゆる外来原子が基板の中に導入されず、したがって汚染を回避する。

【0042】

図1は、本発明の1つの好ましい実施形態において使用される電子ビーム・システム98の一実施形態を示す。図1に示される電子ビーム・システムは、電子ビーム・カラム100、試料真空室200、反応剤材料送達システム300、および使用者制御局400を含む。

【0043】

電子ビーム101が、カソード110とアノード120との間に電圧を加えることによって、カソード110から放出される。電子ビーム101は、集光レンズ制御回路430によって制御される集光レンズ130、および対物レンズ制御回路450によって制御される対物レンズ150によって、微小スポットに集束される。電子ビーム101は、偏向制御回路440により制御される偏向コイル140によって、試料の上において2次元で走査される。集光レンズ制御回路430、対物レンズ制御回路450、および偏向コイル制御回路440の動作は、制御ユニット480によって制御される。

【0044】

電子ビーム101は、基板の上にパターン化された金属膜吸収剤材料を有するフォトリソグラフィ・マスクなど、加工物220の上に集束される。加工物220は、試料真空室200内の可動ステージ210の上に配置される。試料真空室200は、加工物の像を生

10

20

30

40

50

成するのに適切な2次粒子を検出する2次電子検出器160を含む。2次電子検出器160の動作は、制御ユニット480によって制御される。2次電子検出器160は、増幅器460にも接続される。増幅信号は、デジタル信号に変換され、信号プロセッサ・ユニット470による信号処理を受ける。結果として生ずるデジタル信号は、加工物220の像をモニタ490に表示するために、偏向制御回路440からの信号と共に、CPUなどの制御ユニット480によって使用される。

【0045】

制御ユニット480は、モニタ490に表示された像で偏向制御回路440を調節し、それにより、たとえば、オペレータが、ビームを走査すべき領域をモニタ490に示すために、入力デバイス492を使用することができる。次いで、制御ユニット480は、オペレータの入力に従ってビームを走査するために、偏向制御ユニット480に適切な電圧を偏向コイル140に加えさせることができる。制御ユニット480は、加工物220の表面上にある材料のタイプを区別するために、2次電子検出器160からの入力を自動的または半自動的に解釈することもでき、次いで、走査すべき領域を決定して、決定された領域を走査するように偏向制御ユニット480に命令することができる。

【0046】

図示される反応剤材料送達システム300は、送達導管340に接続されたリザーバ310を有し、導管は、反応剤材料を加工物220の表面に送達するためのノズルとして形成された末端部分を有する。図示される反応剤材料送達システム300は、加工物220の表面に送達されるあらゆる反応剤材料の送達導管340内における送達圧力を測定するために、送達導管340に結合された圧力計320を含む。圧力計320は、モータ・バルブ要素330にさらに結合される。モータ・バルブ要素330は、送達導管340を通るリザーバ310の反応剤材料の流れを増大または減少させるように、選択的に制御可能である。図1に示される圧力計320およびモータ・バルブ要素330の構成は、フィードバック制御システムを形成し、圧力計320は、送達導管340内の送達圧力を測定して、モータ・バルブ要素330を選択的に制御し、反応剤材料の流れを増大または減少させ、それにより、選択送達圧力を維持する。

【0047】

好ましいタイプの気体送達システムが、キルヒラの米国特許第5149974号、「Gas Delivery for Ion Beam Deposition and Etching」においてより詳細に記載されている。カセッラの米国特許第5851413号、「Gas Delivery Systems For Particle Beam Processing」、またはラスムッセンの米国特許第5435850号、「Gas Injection System」などに記載されている他の気体送達システムを使用することができる。電子ビームに適切な真空を維持しながら、適切な量のエッチング剤気体を加工物の表面に送達する限り、あらゆるタイプの気体送達システムを使用することができる。たとえば、エッチング剤供給が、真空室内または真空室外に配置されることが可能である。

【0048】

反応剤材料送達システム300の1つの好ましい実施形態が、図2に示されている。この実施形態は、加工物に対して選択的に近接して、ClNO₂などのエッチング剤610を送達するためのノズル350を含む。エッチング剤の流量は、モータ可変オリフィス620と変圧器630との間のフィードバック・ループによって制御される。

【0049】

ノズル350は、電子ビーム101が加工物の表面と相互作用する対象点に選択的に近接して配置される。追加のエッチング気体またはエッチング気体の化合物を送達するためには、複数のノズルを使用することもできる。対象点とノズル先端との距離の好ましい範囲は、X-Y面において50から600ミクロン、およびZ方向において50から400ミクロンである。ノズル350の端部の開口の内径は、約0.5mmであることが好ましい。

10

20

30

40

50

【0050】

システム100の代替として、本発明は、エフ・イー・アイ・カンパニーのESEM(登録商標)環境走査電子顕微鏡など、低真空走査電子顕微鏡において実施することができる。環境走査電子顕微鏡では、加工物は、最高で約10mbaより高い圧力を有する環境において維持され、2次粒子は、サンプル室における気体のカスケード・イオン化によって増幅される。エッティング気体は、加工物表面においてエッティング気体のより高い濃度を維持するために、撮像気体と組合わせることができる。

【0051】

図3は、本発明の1つの好ましい実施形態のステップを示すフロー・チャートである。ステップ500において、通常はフォトリソグラフィ・マスクである加工物220は、図1のシステム98など、電子ビーム・システムの真空室の可動ステージ210の上に取り付けられる。以下で記述されるステップを実施することができる任意のタイプの電子ビーム・システムを使用することができる。高輝度フィールド放出銃、ならびに側方距離およびビームの連続配置の時間間隔に対して精確な制御を有するデジタル・ビーム走査を装備し、低電子ビーム・ランディング(landing)・エネルギー(約500eVから約5keV)、および比較的不十分な真空(約 10^{-4} mba)下において動作することができるシステムを使用することが有利である。たとえば、適切な電子ビーム・システムは、走査電子顕微鏡として機能するように構成されたシステムと同様の電子ビーム・システムである。

【0052】

1つの好ましい実施形態では、可動ステージ210は、X座標およびY座標において移動することができ、それにより、加工物220の望ましい領域を電子ビーム101の下に配置することができる。加工物220は、クロミウム材料の膜など、パターン化された金属膜を表面上に有する、石英などの透明材料からなる基板を通常備える。真空室内の真空は、エッティング剤気体を導入する前は、約 1×10^{-7} mbaである。

【0053】

ステップ502において、可動ステージ210は、欠陥のおおよその座標に運ばれる。すなわち、欠陥は、ゼロ偏向において電子ビームとほぼ位置合わせされる。欠陥は、通常、欠陥の座標を電子ビーム・システム98の制御ユニット480に供給する自動検査機器によって事前に配置されている。

【0054】

動作ステップ503において、基板表面は、エッティング気体が存在する、または存在しない状態で、FIBスパッタリングによって事前に清浄される。このFIBエッティングは、基板の表面を清浄して、ステップ514および516の電子ビーム誘起エッティングの効果を低減する可能性があるあらゆる酸化層を除去するように作用する。多くの実施形態では、事前清浄ステップは必要ではなく、随意選択事前清浄ステップ中に埋め込まれた重イオンは、実際にはその後の電子ビーム・エッティングを損なう可能性がある。

【0055】

ステップ504において、加工物220の表面領域は、走査電子顕微鏡として機能する電子ビームによって走査される。電子は、約500eVと約5keVとの間のランディング・エネルギーを有することが好ましい。ステップ506において、走査1次電子ビームによって放出された2次電子は、電子ビーム101がステップ504において走査する際に2次電子検出器160によって検出される。次いで、欠陥の形状は、検出電子強度に基づいて決定され、モニタ490に表示される。

【0056】

ステップ508において、過剰材料欠陥が特定される。ステップ510において、オペレータが、通常、たとえば欠陥領域の回りに多角形を描くことによって、モニタ490の上において欠陥を識別する。走査される指定領域は、しばしば「ボックス」と呼ばれる。欠陥は、自動的に特定されて、識別されることも可能である。石英基板の直接暴露は、緩慢な電子ビーム誘起損傷の可能性がいくつかの化合物にはあるので、回避されるべきであ

10

20

30

40

50

るが、多角形内の全領域は、電子ビームによって走査されることが可能である。走査は、欠陥領域と非欠陥領域との像強度の対比によって決定される実際の欠陥領域に限定することもできる。

【0057】

随意選択ステップ512において、過剰材料欠陥の部分を除去して、ステップ514および516において電子ビームで除去される好ましくは約20~40nmの材料を残すために、集束イオン・ビームを随意選択で使用することができる。集束イオン・ビームは、上記で記述されたハロゲンに基づくエッティング気体のいずれかと共に、または他のエッティング気体と共に、あるいはエッティング気体を有さずに、使用することができる。集束イオン・ビームを使用して欠陥層のほとんどを除去することによって、欠陥は、より迅速に除去されるが、その理由は、イオン・ビームのエッティング率は、通常、電子ビームのエッティング率より大きいからである。集束イオン・ビームからのガリウム原子は、通常、対象において20~40nmの深さに埋め込まれる。イオン・ビームによってエッティングされていないほぼその厚さの材料を残し、次いで、残りの材料を除去するために電子ビームを使用することによって、わずかなガリウムがマスク自体に埋め込まれる、または、ガリウムはマスク自体に埋め込まれない。ステップ512が使用される場合、ステップ503は必要ではなく、走査される欠陥領域を特定するステップは、イオン・ビームが走査される前に実施される。修復ボックスを撮像して描く別々のステップが、イオン・ビームおよび電子ビームについて必要な可能性があるが、その理由は、ビームは、完全には位置合わせされない可能性があるからである。いくつかの場合、ステップ512におけるイオン・ビームからのイオンの埋込みは、その後の電子ビーム・エッティングに有害な影響を有し、ステップ512は、望ましくない可能性がある。

【0058】

ステップ514において、エッティング気体が、過剰材料欠陥に近接して、かつそれに向けて導入される。適切な気体の例は、上記で記述されている。真空のベース圧力は、 10^{-6} mbar 以下の大きさであることが好ましい。気体ノズルからの最大流量は、試料室における許容可能な気体圧力上昇によって限定されることが好ましい。したがって、流量は、 10^{-4} mbar を大きく超えて真空のベース圧力を上昇させない値に限定されるべきである。

【0059】

ステップ516において、ステップ514においてエッティング気体を導入するのと同時に、電子ビームは、エッティング気体の存在する状態で、除去される材料を繰り返して走査することによって欠陥を除去する。電子ビームの運動は、エッティング率を最大にするように調節される。電子ビームの運動は、滞留時間、すなわちビームが各点に留まる時間と、画素間隔、すなわち連続点間の距離と、リフレッシュ期間、すなわち電子ビームが各井戸(ドウェル(dwell))点に戻るのにかかる時間とによって特徴付けることができる。

【0060】

滞留時間は、電子ビームが、電子ビームによって誘起される化学反応が、表面に接着したエッティング気体を排出するのにちょうど十分な長さ、各点に留まるように調節される。リフレッシュ期間は、電子ビームによる活性化のために、十分なエッティング気体が表面に接着することを可能にするように、十分長くなるように調節される。当業者なら、エッティングが特定の気体の流れにおいて最大になるまで、滞留時間およびリフレッシュを変化させることによって、不適当な実験をせずに、適切な滞留時間およびリフレッシュ率を決定することができる。いくつかの実施形態では、除去される材料の上に広幅ビームまたは成形ビームを配置することができ、エッティング気体は、ビームが、走査されずに除去される領域に留まる間、補充される。本発明は、任意のビーム構成に限定されるものではない。たとえば、 $0.1\mu m$ 未満のビーム幅を有する走査電子顕微鏡において通常使用されるビームなどの狭幅の走査ビーム、あるいは走査せずに欠陥領域全体を包含することができ、かつミリメートルを超えるビーム幅を有することができる透過型電子顕微鏡において使用されるビーム形状などの広幅ビームまたは成形ビームを使用することができる。またさら

10

20

30

40

50

に、構造を生成するように、成形ビームを共にステップ形状にする、または重なり形状にすることもできる。

【0061】

約0.5 keVと約10 keVとの間の電子ランディング・エネルギーが好ましく、1 keVと3 keVとの間のエネルギーが最も好ましい。一般に、除去率の効率は、最大の2次電子歩留まりが得られるまで、ランディング・エネルギーを減少させるのに伴い増大する。この除去率の増大は、ランディング・エネルギーが低減されるとき、ビーム・サイズの同時増大、および横方向分解能の結果的な損失によって均衡されなければならない。好ましいビーム走査パラメータは、電子ビームのスポット・サイズおよび電流密度、ならびに電子照射領域にわたるエッチング気体の流量 (flux) に依存する。一般に、所与の過剰材料欠陥を除去するために必要な電荷量は、画素間隔をビーム・サイズと一致するよう10に調節し、表面上の吸着エッチング剤気体の飽和密度と電子のフラックスとの比と整合するように滞留時間を設定し、エッチング気体の単層を表面上に吸着するのにかかる時間に等しくリフレッシュ時間を固定することによって、最小限に抑えられることが可能である。エッチング剤の選択性のために、スポット・サイズは、回りの基板を損傷せずに、比較的大きくすることができる。

【0062】

一実施形態では、石英の上における90 nmの厚さのクロミウム・マスクの集束電子ビーム誘起選択性エッチングは、0.5 mmの直径を有する注入シリジンを使用する約200 mg / cm²・sの気体フラックスで、C₁N₂O₂を使用して実施された。室の圧力は、約10⁻⁴ mbarであり、サンプルは室温にあった。3 keVの1次電子ビーム加速電圧が使用された。加熱されたタンゲステン・フィラメントからのビームは、10 μmのスポット・サイズに集束された（完全幅最大半減（full width half maximum））。50 nAのビーム電流が、サンプルが室温にある状態で、90 nmのクロミウムを経て約60分間エッチングをするために加えられた。

【0063】

光学顕微鏡検査が、穴がCr膜において形成されたことを確認し、プロセスの効率を示した。電子分散X線分析が、穴における組成SiO₂を明らかにし、基板に到達したことを示した。原子力顕微鏡検査が、Cr石英境界が平坦であることを明らかにし、プロセスの選択性を示した。石英基板をさらに照射することは、効果がなく、緩慢な石英エッチングでさえ、観測することはできなかった。走査電子顕微鏡検査が、穴の縁が先鋒であることを明らかにし、高分解能表面プロセスを示す。

【0064】

当業者なら、最適な電子ビーム・パラメータは、エッチングされている材料および使用されているエッチング気体に関して異なることを理解するであろう。当業者なら、エッチングを最大にするために集束イオン・ビーム・システムにおいて使用された方式と同様に、除去率を監視および最大にすることによって、不適当な実験をせずに最適なパラメータを決定することができるであろう。

【0065】

本発明を実施するのに適切なシステムは、FEIカンパニーのモデル83S2重ビーム（イオン・ビームおよび電子ビーム）・システムである。電子ビームは、2重ビーム・システムの走査電子顕微鏡によって生成された。システムに関して調節されるパラメータは、上記で記述されたパラメータと同じであり、ビーム・エネルギー、ビーム電流、滞留時間、井戸点間隔（すなわち、井戸点から井戸点へのビームの重なり）、リフレッシュ率、およびエッチング気体の流量または圧力を含む。

【0066】

気体は、加工物の暴露層の表面上に吸着され、電子照射が、エッチングされる材料表面と吸着気体分子との反応を開始させるエネルギーを提供すると考えられる。分散する揮発性の生成物がその反応により生成され、それにより、加工物の表面から材料をエッチングまたは除去する。

【0067】

エッティング率は、異なる材料について変化すると考えられるが、その理由は、エッティング反応の強度は、異なる材料について変化する可能性があり、気体の粘着係数は、異なる材料について変化する可能性があり、反応生成物は異なり、かつ異なる揮発度を有する可能性があるからである。いくつかの気体は、揮発性ではなく、かつ2次層の上に保護膜を形成する反応生成物を生成することによって、いくつかの材料のエッティングを阻害する可能性がある。本発明の機構の理論的な基板が、より完全な理解を提供するために記述されたが、本発明は、提案される機構の精度に関係なく作用することが示された。

【0068】

本発明の電子ビームシステムは、集束イオン・ビームと同じ真空室に取り付けることができる、または独立システムとすることができる。システムは、X線またはオーガー電子分光計を含めて、エッティング生成物を特徴付けるために使用することができる、他のタイプの表面描写機器などの他のアクセサリを含むことができる。そのようなシステムは、欠陥材料が完全にいつ除去されたかを検出するために使用することができる。多くの実施形態において、端点検出は必須ではないが、その理由は、電子ビームは、エッティング気体が存在する状態でも、基板を著しくエッティングせず、またはその下層の材料を著しく遅い速度でエッティングするからである。クロミウム材料をエッティングするために上記で記述された気体のいくつかを使用することにより、エッティング・プロセスは、不透明材料に対して選択的になり、気体が存在する状態で電子ビームを基板に向け続けることにより、過剰エッティングにならず、または、フォトリソグラフィ・マスクにおいて欠陥が創出されない。

10

【0069】

本明細書において使用される「気体化合物」という用語は、気体の状態にある気体化合物である。気体化合物は、気体化合物を加工物に向けるのを促進するために、不活性キャリア気体によってなど、他の気体によって希釈することができる。異なる実施形態では、エッティング気体として上記で記述された複数の気体化合物を共に使用することができ、または、気体は、反応を促進するように、他の気体と共に使用することができる。化合物が好ましいが、ハロゲン包含気体および窒素包含気体を含むある混合物も適切である可能性がある。そのような混合物には、たとえばC₁₂とNO₂の混合物がある。

【0070】

上記で記述された実施形態は、マスクの修復に使用されるが、本発明は、任意の特定の加工物に限定されるものではない。たとえば、本発明は、リソグラフィ・マスクを作成するためなど、微細電気機械システムにおいて、または基板のパターン化において、クロミウム材料、他の金属材料および化合物、または他の材料を除去するために使用することができる。

20

【0071】

上記で記述された実施形態は、電子ビームを使用するが、本発明のエッティング剤は、イオン・ビームまたはレーザと共に使用することもできる。イオン・ビームは、石英マスクの修復についていくつかの欠点を有するが、いくつかの他の応用分野では、イオン・ビームは、特に基板の透明性が必要とされない場合、イオン・ビームより好ましい可能性がある。上記で記述されたように、イオン・ビームは、当初、材料を薄くするために使用されることが可能であり、電子ビームは、残りの材料を除去するために使用される。エッティング剤は、クロム以外のいくつかの材料についても有用である。

40

【0072】

本発明は、本発明を広範な応用分野に適切であらしめる複数の態様および利点を有する。本発明のすべての態様が、各実施形態において存在する必要がある訳ではない。

【0073】

本発明およびその利点について詳細に記述してきたが、添付の請求項によって確定される本発明の精神および範囲から逸脱せずに、本明細書において記述された実施形態に対して、様々な修正、代用、および変更を実施することができることを理解されたい。さらに、本出願の範囲は、本明細書において記述されたプロセス、機械、製造、物質の組成、手

50

段、方法、およびステップの特定の実施形態に限定されることを意図するものではない。当業者なら、本発明の開示から、本明細書において記述された対応する実施形態とほぼ同じ機能を実施し、またはほぼ同じ結果を達成し、現在存在する、または後に開発されるプロセス、機械、製造、物質の組成、手段、方法、またはステップが、本発明により使用されることが可能であることを容易に理解するであろう。したがって、添付の請求項は、そのようなプロセス、機械、製造、物質の組成、手段、方法、またはステップを範囲内に含むことを意図する。

【図面の簡単な説明】

【0074】

【図1】本発明の1つの好ましい実施形態において使用される通常の電子ビーム・システムの概略図である。 10

【図2】図1の電子ビーム・システムと共に使用される気体送達システムの一実施形態の概略図である。

【図3】本発明の1つの好ましい方法を示すフロー・チャートである。

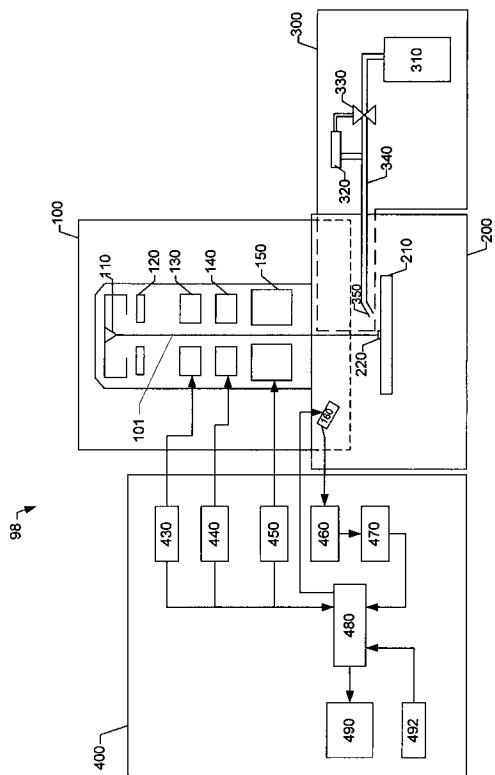
【図4】電子ビーム処理の走査法の一例を示す図である。

【符号の説明】

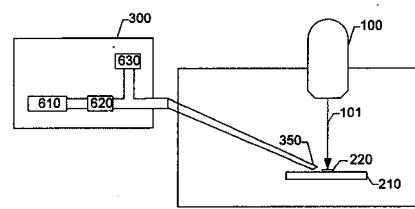
【0075】

9 8	電子ビーム・システム	
1 0 0	電子ビーム・カラム	
1 0 1	電子ビーム	20
1 1 0	カソード	
1 2 0	アノード	
1 3 0	集光レンズ	
1 4 0	偏向コイル	
1 5 0	対物レンズ	
1 6 0	2次電子検出器	
2 0 0	試料真空室	
2 0 2	加工物	
2 1 0	可動ステージ	
3 0 0	反応剤材料送達システム	30
3 1 0	リザーバ	
3 2 0	圧力計	
3 3 0	モータ・バルブ要素	
3 4 0	送達導管	
3 5 0	ノズル	
4 0 0	使用者制御局	
4 3 0	集光レンズ制御回路	
4 4 0	偏向制御回路	
4 5 0	対物レンズ制御回路	
4 6 0	増幅器	40
4 7 0	信号プロセッサ・ユニット	
4 8 0	制御ユニット	
4 9 0	モニタ	
4 9 2	入力デバイス	
6 1 0	エッティング剤	
6 2 0	モータ可変オリフィス	
6 3 0	変圧器	

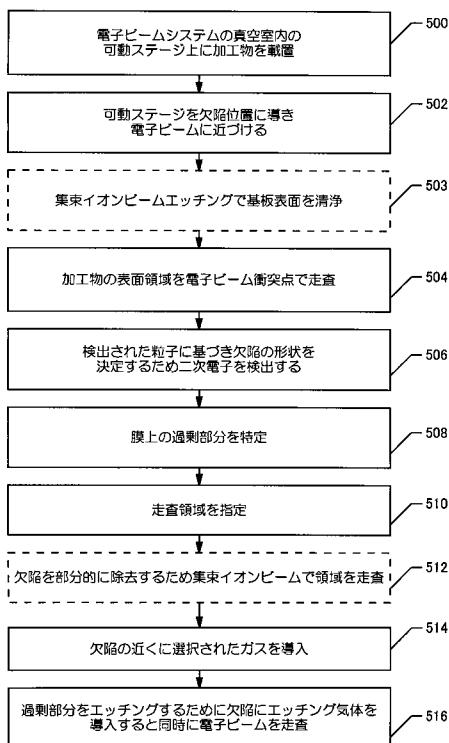
【図1】



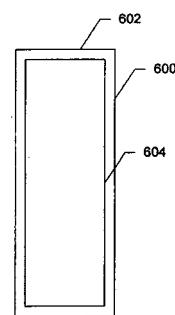
【図2】



【図3】



【図4】



フロントページの続き

(72)発明者 トリスタン・ブレット

スイス連邦 シーエイチ- 1003 (ヴォー、ヴィディー) ローザンヌ リュー・ド・ブルグ
6

(72)発明者 パトリック・ホフマン

スイス連邦 シーエイチ- 1066 (ヴォー、ヴィディー) エパランジュ グランド・シェマ
ン 76

(72)発明者 ミッセル・ロッシ

スイス連邦 シーエイチ- 1304 (ヴォー、ヴィディー) コソネー ジョンシェール 18

(72)発明者 ザビエル・マルトン

スイス連邦 シーエイチ- 1870 (ヴァリス、ヴィエス) モンテー クロシロン 2

審査官 岩本 勉

(56)参考文献 特開2003-195481 (JP, A)

特開平04-137532 (JP, A)

特開平05-326460 (JP, A)

特表2004-537758 (JP, A)

特表2007-503009 (JP, A)

米国特許第05104684 (US, A)

米国特許第04639301 (US, A)

米国特許第06753538 (US, B1)

米国特許出願公開第2003/0000921 (US, A1)

米国特許第05055696 (US, A)

米国特許第05149974 (US, A)

米国特許第05851413 (US, A)

米国特許第05435850 (US, A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G 03 F 1 / 08

H 01 L 21 / 302