

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第5808815号
(P5808815)

(45) 発行日 平成27年11月10日(2015.11.10)

(24) 登録日 平成27年9月18日(2015.9.18)

(51) Int.Cl.	F 1
HO 1 J 27/20 (2006.01)	HO 1 J 27/20
HO 1 J 37/08 (2006.01)	HO 1 J 37/08
HO 1 J 37/252 (2006.01)	HO 1 J 37/252 B

請求項の数 24 (全 25 頁)

(21) 出願番号	特願2013-533165 (P2013-533165)
(86) (22) 出願日	平成23年10月10日(2011.10.10)
(65) 公表番号	特表2013-541165 (P2013-541165A)
(43) 公表日	平成25年11月7日(2013.11.7)
(86) 國際出願番号	PCT/EP2011/067626
(87) 國際公開番号	W02012/049110
(87) 國際公開日	平成24年4月19日(2012.4.19)
審査請求日	平成26年8月18日(2014.8.18)
(31) 優先権主張番号	1017173.4
(32) 優先日	平成22年10月12日(2010.10.12)
(33) 優先権主張国	英國(GB)

(73) 特許権者	513092442 ヴィージー システムズ リミテッド イギリス シービー5 8ビーゼット ケ ンブリッジシャー ケンブリッジ マーサ ーズ ロー 19 ソラー ハウス
(74) 代理人	100092093 弁理士 辻居 幸一
(74) 代理人	100082005 弁理士 熊倉 賢男
(74) 代理人	100088694 弁理士 弟子丸 健
(74) 代理人	100103609 弁理士 井野 砂里
(74) 代理人	100095898 弁理士 松下 满

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】イオン銃の改良及びイオン銃に関連する改良

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

1つ又は複数の表面を処理する方法であって、

表面を照射する、実質的に電離ガスクラスタを含むイオンビームを生成するクラスタモード設定と、表面を照射する、実質的に電離ガス原子を含むイオンビームを生成する原子モード設定との間で切り替え可能な切り替え可能イオン銃を提供するステップと、

前記イオン銃内の電離チャンバ内でイオンを形成するステップと、

前記クラスタモードにおいて、可変質量セレクタを使用して、前記電離チャンバ内で形成された電離ガスクラスタを質量選択することにより、実質的に電離ガスクラスタで表面を照射するか、又は前記原子モードにおいて、前記可変質量セレクタを使用して、前記電離チャンバ内で形成された電離ガス原子を質量選択することにより、実質的に電離ガス原子で表面を照射するように、前記イオン銃を選択的に動作させるステップと、

前記質量選択されたイオンに湾曲路を辿らせて、中性ガス種を前記イオンビームから除去するステップと、

を含む、方法。

【請求項 2】

前記イオン銃を他方のモードに切り替え、その後、前記他方のモードで前記イオン銃を動作させることをさらに含む、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 3】

前記クラスタモードにおいて、電離ガスクラスタビームは、50 eV 以下の原子当たり

のエネルギーを有し、前記原子モードにおいて、電離ガス原子ビームは少なくとも 500 eV の原子当たりのエネルギーを有する、請求項 1 又は 2 に記載の方法。

【請求項 4】

クラスタモードにおいて、前記イオンビーム内の前記クラスタは、1 ~ 10 eV の範囲内の原子当たりのエネルギーを有する、請求項 1 ~ 3 のいずれか一項に記載の方法。

【請求項 5】

クラスタモードにおいて、前記イオンビーム内の前記クラスタの下限サイズは原子 50 ~ 400 個の範囲内にある、請求項 1 ~ 4 のいずれか一項に記載の方法。

【請求項 6】

前記電離ガスクラスタ及び電離ガス原子は、5 keV 以下のソースエネルギーで形成される、請求項 1 ~ 5 のいずれか一項に記載の方法。 10

【請求項 7】

前記ガスはアルゴンである、請求項 1 ~ 6 のいずれか一項に記載の方法。

【請求項 8】

1 つ又は複数の表面解析方法により前記 1 つ又は複数の表面を解析するステップを含む、請求項 1 ~ 7 のいずれか一項に記載の方法。

【請求項 9】

前記処理する方法は、前記 1 つ又は複数の表面を深度方向でエッティングすることを含み、前記 1 つ又は複数の表面解析方法は、X 線光電子分光法 (XPS) を含む、請求項 8 に記載の方法。 20

【請求項 10】

前記電離ガスクラスタ及び電離ガス原子は、ソースエネルギーで前記イオン銃内で形成され、前記イオン銃をクラスタモード又は原子モードで選択的に動作させるステップは、磁場を使用して前記電離ガスクラスタ及び電離ガス原子を質量選択すること、及び電離ガスクラスタ及び電離ガス原子が前記磁場にある間、ソースエネルギーと比較して前記電離ガスクラスタ及び電離ガス原子のエネルギーを変更することを含む、請求項 1 ~ 9 のいずれか一項に記載の方法。

【請求項 11】

ガス膨脹ノズルであって、前記ノズルを通してのガス膨脹によりガス原子の存在下でガスクラスタを生成するためのガス膨脹ノズルと。 30

前記ガスクラスタ及び前記ガス原子を電離させる電離チャンバーと、

前記電離ガスクラスタ及び前記電離ガス原子を質量選択して、実質的に電離ガスクラスタを含むイオンビームと実質的に電離ガス原子を含むイオンビームとの間で変更可能なイオンビームを生成する可変質量セレクタと、

を備え、

前記可変質量セレクタは、前記質量選択されたイオンに湾曲路を辿らせて、中性ガス種を前記イオンビームから除去する磁気セクタを備える、切り替え可能イオン銃。

【請求項 12】

前記ガス膨脹ノズルは微細加工金属膨脹ノズルを含む、請求項 1 1 に記載の切り替え可能イオン銃。 40

【請求項 13】

前記ガス膨脹ノズルは、直径 100 μm 以下の開口部を備える、請求項 1 1 又は 1 2 に記載の切り替え可能イオン銃。

【請求項 14】

前記可変質量セレクタは、前記磁気可変質量セレクタ内の前記イオンのエネルギーを調整する電気浮動イオン光学装置を備える、請求項 1 1 ~ 1 3 のいずれか一項に記載の切り替え可能イオン銃。

【請求項 15】

前記電気浮動イオン光学装置は、電気浮動飛行管を備える、請求項 1 4 に記載の切り替え可能イオン銃。 50

【請求項 16】

前記電気浮動イオン光学装置は、少なくとも部分的に前記磁気可変質量セレクタ内に配置される、請求項 14 又は 15 に記載の切り替え可能イオン銃。

【請求項 17】

実質的に電離ガスクラスタを含むイオンビームを生成するクラスタモードにおいて、電圧が前記浮動イオン光学装置に印加されて、イオンが前記磁気セクタを通過する際に前記イオンを遅らせ、且つ / 又は実質的に電離ガス原子を含むイオンビームを生成する原子モードにおいて、電圧が前記浮動イオン光学装置に印加されて、前記イオンが前記磁気セクタを通過する際に前記イオンを加速させる、請求項 14 ~ 16 のいずれか一項に記載の切り替え可能イオン銃。 10

【請求項 18】

前記可変質量セレクタは、使用中、0.2 テスラ未満の磁場強度を生成する、請求項 14 ~ 17 のいずれか一項に記載の切り替え可能イオン銃。

【請求項 19】

前記イオンは、6 keV 以下のソースエネルギーで前記電離チャンバ内で形成される、請求項 11 ~ 18 のいずれか一項に記載の切り替え可能イオン銃。

【請求項 20】

前記イオンの前記ソースエネルギーは、前記可変質量セレクタにより前記イオンのサイズの選択から独立して選択することができる、請求項 11 ~ 19 のいずれか一項に記載の切り替え可能イオン銃。 20

【請求項 21】

前記イオンは、抽出器電極により前記電離チャンバから抽出され、集光レンズにより集束してから、前記可変質量セレクタに入る、請求項 11 ~ 20 のいずれか一項に記載の切り替え可能イオン銃。

【請求項 22】

前記可変質量セレクタはハイパス質量セレクタとして動作可能である、請求項 11 ~ 21 のいずれか一項に記載の切り替え可能イオン銃。

【請求項 23】

前記磁気セクタは、前記磁気セクタにより選択された前記イオンの質量範囲を変更するプログラマブル電磁石を有する、請求項 11 ~ 22 のいずれか一項に記載の切り替え可能イオン銃。 30

【請求項 24】

前記湾曲路は、前記磁気セクタの入口と出口との間で 1 ~ 5 度の湾曲を有する、請求項 11 ~ 23 のいずれか一項に記載の切り替え可能イオン銃。

【発明の詳細な説明】**【技術分野】****【0001】**

本発明は、イオン銃の分野に関し、特に、表面解析のために表面のエッティングに使用することができるガスクラスタイオンビームを生成可能なイオン銃に関する。本発明は、そのようなイオン銃の使用及び表面処理方法にも関する。好ましい実施形態では、本発明は、例えば、XPS 解析による上記表面の解析前又は解析中に表面を清掃し、且つ / 又はエッティングするイオンビームの使用に関する。 40

【背景技術】**【0002】**

例えば、X 線光電子分光法 (XPS)、オージェ電子分光法 (AES)、又は二次イオン質量分析 (SIMS) 等の技法による表面解析では、イオン銃により生成されるイオンビーム、特にアルゴンイオンビームが、解析すべき表面に衝突するために広く使用されている。そのようなビームは、例えば、上述した技法による解析前に表面の汚染物を清掃し、且つ / 又は表面層をエッティングして、下にある構造を明らかにして、表面の深度方向解析を行えるようにするために使用される。エッティングプロセス中、いくつかの種類の表面 50

、特に有機材料の表面への破損を回避し、ひいては表面についての化学的情報及び分子情報の損失を回避するのに十分に低いエネルギーを有するアルゴンイオンビームを生成することは難しい。上述した破損を回避するために、非常に低いエネルギー、通常は10 eV未満の粒子を有するイオンビームを使用する必要があることが知られている。これは、空間電荷効果によりそのような低エネルギーの生成及び集束が難しい単純なアルゴンイオンビームを使用しては不可能である。本明細書では、アルゴンイオンビームという用語は、電離した単一のアルゴン原子(Ar^+)のビームを指す。

【0003】

初期はSIMS解析、近年はXPS解析に C_{60} 又は他のフラーレンのイオンビームを使用することにより改良がなされた。 C_{60} イオンビームを使用する装置及び方法が、英国特許出願公開第238674A号明細書及び米国特許出願公開第2008/0042057A1号明細書に開示されている。英国特許出願公開第2460855A号明細書に記載のように、コロネンイオンビーム等の大きな分子を利用する他のイオンビーム並びに他の多環芳香族炭化水素(PAH)分子を使用するイオンビームも利用されている。そのような大きな分子は、通常、10 keV以上の高エネルギーで生成されるが、衝突時に、個々に非常に低いエネルギーを有するより小さなクラスタ及び原子に碎ける。しかし、少なくともXPS解析では、炭素に基づくイオンビームを使用すると、表面に炭素が堆積することになり、これは、エッティングプロセスを中断させるとともに、試料の化学的性質を変更し、それにより、誤った結果に繋がる。金属クラスタを利用するイオンビームも試されたが、大きなクラスタを形成することは難しい。

10

【0004】

代替の手法は、ノズルを通してのアルゴンガスの超音波膨脹により生成されたアルゴンクラスタを電離し加速されることにより生成されるイオンビームを使用することである。このようにして、数百個のアルゴン原子から数万個のアルゴン原子のクラスタを容易に形成することができる。これはSIMSにおいて広く使用されており、XPSに関しては、特開平08-122283号公報、特開2008-116363号公報、及び国際公開第2009/131022号パンフレットにおいて提案されている。しかし、この技法はXPSでの適用に商業的に利用されておらず、それは、試料の化学的性質を破壊せずに、有用なエッティングレートを生成するために正確なサイズのアルゴンクラスタで集束ビームを生成することの工学的な難しさによるものであると考えられる。

20

【0005】

不活性ガスクラスタ源が一般に、1970年代から広く使用されている(Hagena and Obert, 'Cluster Formation in Expanding Supersonic Jets; Effect of Pressure, Temperature, Nozzle Size and Test Gas', The Journal of Chemical Physics Vol 56 No 5, 1972年3月, 1793頁参照)。商業的には、不活性ガスクラスタ源はウェーハの研磨に利用されている。しかし、そのような商業的開発の焦点は、比較的大きな膨脹ノズル源、通常は150 μmよりも大きな膨脹ノズル源を使用しての高電流イオンビーム(例えば、数μA)の生成に基づいている。これは、大きな高速真空ポンプの使用を必要とする。数千個の原子の大きな不活性ガスクラスタが通常、これらのウェーハ研磨用途では好ましい。そのようなガスクラスタ源は、XPSシステム等の表面解析システムと併用される小型の真空系との併用には一般に適さない。

30

【0006】

上記に鑑みて、本発明が作られた。

【発明の概要】

【課題を解決するための手段】

【0007】

本発明の態様によれば、1つ又は複数の表面を処理する方法が提供され、この処理方法は、表面を照射する、実質的に電離ガスクラスタを含むイオンビームを生成するクラスタ

40

50

モード設定と、表面を照射する、実質的に電離ガス原子を含むイオンビームを生成する原子モード設定を切り替え可能な切り替え可能イオン銃を提供するステップと、及びクラスタモードでイオン銃を選択的に動作させて、それにより、実質的に電離ガスクラスタで表面を照射するか、又は原子モードでイオン銃を選択的に動作させて、それにより、実質的に電離ガス原子で表面を照射するステップと、を含む。

【0008】

この方法は、イオン銃を他方のモードに切り替え、切り替え後、その他方のモードでイオン銃を動作させることも含み得る。そのようにして、銃は、クラスタモードの場合、実質的に電離ガスクラスタで表面を照射し、原子モードの場合、実質的に電離ガス原子で正面を照射するように動作し得る。本発明による1つ又は複数の表面の処理は、好ましくは、1つ又は複数の表面解析方法により1つ又は複数の表面の解析のためのものである。通常、処理は、例えば、1つ又は複数の表面解析方法により表面を分析するために、表面清掃プロセス又は表面エッティングプロセスを含み得る。表面解析方法の詳細について以下において説明する。

10

【0009】

本発明の別の態様によれば、
ガス膨脹ノズルであって、ノズルを通してのガス膨脹によりガス原子の存在下でガスクラスタを生成する、ガス膨脹ノズルと、
ガスクラスタ及びガス原子を電離させる電離チャンバと、
電離ガスクラスタ及び電離ガス原子を質量選択して、実質的に電離ガスクラスタを含むイオンビームと実質的に電離ガス原子を含むイオンビームとで変更可能なイオンビームを生成する可変質量セレクタと
を備える切り替え可能イオン銃が提供される。

20

【0010】

好ましくは、イオン銃は、磁気セクタ等の磁気可変質量セレクタと、磁気質量セレクタ内のイオンのエネルギーを調整する電気浮動イオン光学装置とを備え、電気浮動イオン光学装置は、好ましくは、電気浮動飛行管であり、好ましくは、少なくとも部分的に磁気可変質量セレクタ内に配置される。これら及び他の好ましい特徴についてさらに詳細に以下において説明する。

【0011】

30

本発明のさらに別の態様によれば、切り替え可能イオン銃が提供され、この切り替え可能イオン銃は、

ガス膨脹ノズルであって、ノズルを通してのガス膨脹によりガス原子の存在下でガスクラスタを生成する、ガス膨脹ノズルと、

ガスクラスタ及びガス原子を電離させる電離チャンバと、
電離ガスクラスタ及び電離ガス原子を質量選択して、選択された質量の電離ガスクラスタを含むイオンビーム及び/又は電離ガス原子を含むイオンビームを生成する可変質量セレクタであって、磁気可変質量セレクタ及び磁気質量セレクタ内にある間にイオンのエネルギーを調整する電気浮動イオン光学装置を備える、可変質量セレクタと、
を備える。

40

【0012】

浮動イオン光学装置は、例えば、磁気質量セレクタ内で、イオンが、イオンのソースエネルギーとは異なる、好ましくは実質的に異なる局所エネルギーを磁気質量セレクタ内で有することができるよう、イオンのソースエネルギーと比較してイオンのエネルギーを調整するためのものである。電気浮動イオン光学装置は、好ましくは、少なくとも部分的に磁気可変質量セレクタ内に配置される。

【0013】

本発明のさらに別の態様によれば、選択可能なクラスタモード設定及び原子モード設定を有して、イオンビームで表面を照射する切り替え可能イオン銃の使用が提供され、切り替え可能イオン銃は、クラスタモードでは、実質的に電離ガスクラスタを含むイオンビーム

50

ムを生成し、原子モードでは、実質的に電離ガス原子を含むイオンビームを生成する。

【0014】

本発明のさらなる態様によれば、切り替え可能イオン銃が提供され、この切り替え可能イオン銃は、実質的に電離ガスクラスタを含むイオンビームを生成し、表面を照射するクラスタモードと、実質的に電離ガス原子を含むイオンビームを生成して、表面を照射する原子モードを切り替え可能であり、以下、すなわち、

i) イオンビーム内のイオンの質量を選択する磁気可変質量セレクタ及び磁気質量セレクタ内にある間にイオンのエネルギーを調整する電気浮動イオン光学装置と、

i i) 金属膨脹ノズルと、

i i i) 微細加工金属膨脹ノズルと、

i v) 開口部が直径 $100\text{ }\mu\text{m}$ 以下である金属膨脹ノズルと
のうちの1つ又は複数を有する。

【0015】

本発明の追加の態様によれば、1つ又は複数の表面を処理する方法が提供され、この処理方法は、

表面を照射する、実質的に電離ガスクラスタを含むイオンビームを生成する切り替え可能イオン銃のクラスタモードと、表面を照射する、実質的に電離ガス原子を含むイオンビームを生成する切り替え可能イオン銃の原子モードを切り替え可能な切り替え可能イオン銃を提供するステップと、

イオン銃を使用して、クラスタモード及び/又は原子モードで1つ又は複数の表面を照射するステップと、

を含み、

方法は、以下、すなわち、

i) イオンビーム内のイオンの質量を選択する磁気可変質量セレクタ及び磁気質量セレクタ内にある間にイオンのエネルギーを調整する電気浮動イオン光学装置と、

i i) 金属膨脹ノズルと、

i i i) 微細加工金属膨脹ノズルと、

i v) 開口部が直径 $100\text{ }\mu\text{m}$ 以下である金属膨脹ノズルと、

v) ガスがアルゴンであることと、

v i) クラスタモードにおいて、イオンビーム内のクラスタは原子50個～2000個の範囲にサイズ下限を有することと、

v i i) クラスタモードにおいて、イオンビーム内のクラスタは、原子当たり $1\sim50\text{ eV}$ 、より好ましくは $1\sim10\text{ eV}$ の範囲内のエネルギーを有することと、

v i i i) イオンのソースエネルギーは 5 keV 以下であることと
のうちの1つ又は複数を有する。

【0016】

さらなる態様では、本発明は、表面を照射する電離ガスクラスタを含むイオンビームを生成するイオン銃を提供し、イオン銃は以下、すなわち、

i) イオンビーム内のイオンの質量を選択する磁気可変質量セレクタ及び磁気質量セレクタ内にある間にイオンのエネルギーを調整する電気浮動イオン光学装置と、

i i) イオンビーム内のイオンの質量を選択する磁気セクタを備える磁気可変質量セレクタ及び磁気セクタ内にある間にイオンのエネルギーを調整する電気浮動飛行管と、

i i i) 電離ガスクラスタを形成する金属ガス膨脹ノズルと、

i v) 電離ガスクラスタを形成する微細加工金属膨脹ノズルと、

v) 電離ガスクラスタを形成する金属膨脹ノズルであって、開口部が直径 $100\text{ }\mu\text{m}$ 以下である、金属膨脹ノズルと、

v i) 5 keV 以下のソースエネルギーを用いてイオンを形成する電離チャンバとのうちの1つ又は複数を有する。

【0017】

さらなる態様では、本発明は1つ又は複数の表面を処理する方法を提供し、この処理方

10

20

30

40

50

法は、表面を照射する電離ガスクラスタを含むイオンビームを生成するイオン銃を提供すること、及び

イオン銃を使用して、電離クラスタで1つ又は複数の表面を照射すること、
を含み、方法は、以下：

i) 磁気可変質量セレクタ及び磁気可変質量セレクタ内にある間にイオンのエネルギーを調整する電気浮動イオン光学装置を使用して、イオンビーム内のイオンの質量を選択すること、

i i) 金属膨脹ノズルを通してイオンを形成すること、

i i i) 微細加工金属膨脹ノズルを通してイオンを形成すること、

i v) 開口部が直径 100 μm 以下である膨脹ノズルを通してイオンを形成すること、

v) 5 keV 以下のソースエネルギーを用いてイオンを形成すること、

のうちの1つ又は複数を含む。

10

【0018】

切り替え可能イオン銃は、独立した質量及びエネルギー選択によりイオンビームを細かく制御して、ビーム内のイオンの原子当たりのエネルギーが、エッチングすべき試料に最も適切なエネルギーになるように選択することができるイオンビーム源である。

【0019】

有益なことに、本発明で使用されるイオン銃は、通常、原子当たりのエネルギーが比較的高い（例えば、原子当たり少なくとも 500 eV）電離ガス原子のビーム生成と、通常、原子当たりのエネルギーが比較的低い（例えば、原子当たり 50 eV 以下）電離ガスクラスタのビーム生成とを切り替え可能であるため、広く異なる種類の処理を生成することが可能である。したがって、有利なことに、本発明は、広く異なる種類の表面処理を行うために使用することができるデュアルモードイオン銃を提供する。これは、1つ又は異なる解析チャンバ内で別個に、高エネルギー清掃用に高エネルギー電離ガス原子を生成するイオン銃並びに / 或いは低エネルギー清掃及び / 又はエッチング用の電離ガスクラスタを生成するイオン銃の両方を提供する従来技術における必要性を回避する。したがって、本発明は、必要なイオン銃が1つのみであることにより、且つ必要な電源が1つのみであることにより、解析機器のコストを低減する。本発明は、通常、表面解析システムで利用可能な限られたスペースに原子イオンビーム及びクラスタイオンビームの両方の機能を収める能力も提供する。

20

【0020】

電離ガス原子は、クラスタ内エネルギーが多くの原子に分割されるため、電離ガスクラスタよりも高い原子当たりのエネルギーを有する。電離ガス原子での表面の照射は、電離ガスクラスタでの照射よりも積極的な清掃及び又は高速でのエッチングに適し得、様々な種類の無機表面、例えば、金属面又は酸化金属面等のより硬い表面に使用し得る。電離ガスクラスタは、より軟らかい表面及び / 又は高エネルギー照射から化学的な破損を受けやすい表面、例えば、有機表面に適し得る。処理し得る有機表面としては、ポリマー、生体材料等を挙げ得るが、これらに限定されない。したがって、本発明は、軟らかい材料及び硬い材料の両方の多層構造を通して深度方向分析する能力も提供する。従来技術による方法は対照的に、2つのイオン銃を必要とし、一方のソースは硬層への高エネルギー原子ビーム用であり、別個のソースはより軟らかい層への低エネルギークラスタビーム用である。多くの場合、コスト又はスペースの観点から、2つのイオンビームソースを提供することは実現可能ではなく、したがって、軟らかい材料及び硬い材料の両方のそのような多層構造の正確な解析は、従来技術では不可能であった。

30

【0021】

単一の切り替え可能イオン銃にデュアルモード機能を組み込むことで、全種類の材料を通して深度方向分析する柔軟性がユーザに提供される。例えば、切り替え可能イオン銃は、ガスクラスタイオンビームを使用して「軟らかい」ポリマー材料を通して深度方向分析する新しい機能及び金属材料のより厚い層を通して分析できるようにするために必要とされる場合、原子イオンビームに切り替わる能力を提供する。

40

50

【 0 0 2 2 】

本発明は、サイズ及びコストの観点からも、より小さなクラスタが利用される場合に効果的に効率的なイオン源を提供し得るという利点を有し、したがって、本発明の好ましい特徴は、ガスクラスタイオンビームへの選択された小サイズのガスクラスタの生成及び/又はガスクラスタイオンビームへの小サイズのガスクラスタの選択に関する。例えば、より小さなサイズのクラスタを使用することにより、イオンを加速させるソースに使用されるエネルギーを低くすることが可能になる。例えば、従来技術によるアルゴンクラスタイオン銃は通常、10 keV又は20 keVのソースエネルギーで動作したが、本発明は、6 keV以下、又は5 keV以下、又は4 keV以下のソースエネルギーで動作し得、それでもやはりエッティングに対する効率は高い。本発明の特定の特徴は、この点に関して、従来技術よりも小さなサイズのクラスタの優先的な生成に関する。例えば、有利なノズル特徴の利用が、この点に関して有用である。

10

【 0 0 2 3 】

電離ガスクラスタの原子当たりのエネルギーも、好ましくは低く、例えば、好ましくは1~50 eVの範囲であるが、1~100 eVを使用し得る。好ましくは、電離ガスクラスタの原子当たりのエネルギーは10 eV以下であり、例えば、1~10 eVの範囲である。本明細書での電離ガスクラスタの原子当たりのエネルギーとは、クラスタのエネルギーをクラスタ内に含まれる原子の数で割ったものを意味する。電離ガス原子の原子当たりのエネルギーは、当然、単純にその原子のエネルギーである。

20

【 0 0 2 4 】

原子モードで動作して、表面を照射する、実質的に電離原子を含むビームを生成する場合、原子当たりのエネルギーは通常、100 eV~10 keVの範囲、例えば、500 eV~10 keVの範囲にある。原子イオンビーム内で単に高エネルギーの電離原子を使用することで、影響をあまり受けにくい試料表面を通して高速エッティングし得る。

【 0 0 2 5 】

電離ガスクラスタ及びガス原子で表面を照射する効果は通常、1つ又は複数の表面を変更するために1つ又は複数の表面を処理することである。好ましくは、1つ又は複数の表面は照射により処理されて、1つ若しくは複数の表面から汚染物を除去し、且つ/又は1つ若しくは複数の表面をエッティングする。汚染物の除去(すなわち、清掃)は、好ましくは、表面解析方法による解析前に実行される。1つ又は複数の表面層を除去し、エッティングするエッティング手段は、例えば、表面解析方法による深度方向分析に有用である。エッティングは、表面解析方法中に実行し得る。

30

【 0 0 2 6 】

電離ガスクラスタで照射される表面は、電離ガス原子で照射される表面と同じ又は異なる表面であり得る。例として、厚い汚染層を有する第1の表面に、高エネルギー清掃プロセスにおいて電離ガス原子を照射して(すなわち、原子モードのイオン銃)、汚染物を除去し、その後、表面解析方法が第1の表面に対して実行されている間、低エネルギーエッティングステップにおいて電離ガスクラスタで照射し得る(すなわち、クラスタモードのイオン銃)。ガスクラスタを使用する低エネルギーエッティングステップは、低速でより優しいエッティングが必要とされる場合に有益であり得る。或いは、別の例として、汚染物は除去されるが、試料の除去がわずかであるか、又はないように、第1の表面に低エネルギー清掃プロセスにおいて電離ガスクラスタを照射して、非常に制御された様式で汚染物を除去し、その後、電離ガス原子で照射して、表面の高速又はより深いエッティングを行い得る。或いは、別の例として、第1の表面は、電離ガス原子のビームのみを使用して処理し得る(例えば、清掃及び/又はエッティングが行われ)(例えば、第1の表面が硬い材料である場合)、第1の表面と異なる第2の表面を、電離ガスクラスタのビームを使用して処理し得る(例えば、清掃及び/又はエッティングが行われる)(例えば、第2の表面が第1の材料よりも軟らかい材料である場合)。したがって、電離ガスクラスタ及び電離ガス原子のビームを使用して、同じ表面又は異なる表面を処理し得る。イオン銃が、クラスタモード設定又は原子モード設定のいずれかで、すなわち、クラスタイオンビームモード又は原子イ

40

50

オンビームモードのいずれかのどの時点においても動作することが明らかである。したがって、異なるイオン銃設定は同時には使用されない。

【0027】

電離ガス原子ビームの使用は、表面のより高速且つ／又はより深い処理を行うため、例えば、より高速且つ／又は深い清掃及び／又はエッティングのためであり得る。電離ガス原子ビームの使用は、例えば、特定の無機材料の、例えば硬い物質に対して処理を行うためであり得る。他方、電離ガスクラスタビームの使用は、表面のより低速且つ／又はより浅い処理、例えば、より高速且つ／又はより深い清掃及び／又はエッティングのためであり得る。電離ガスクラスタビームの使用は、例えば、特定の有機材料の、例えば、軟らかい物質に対して処理を行うためであり得る。

10

【0028】

1つ又は複数の表面は、低圧、すなわち、真空解析チャンバ、例えば、高又は超高（UHV）真空チャンバ内部の真空環境に配置される。本発明によるイオン銃は、好ましくは、真空チャンバに搭載されて、イオンビームを表面に向ける。

【0029】

イオン銃は、1つ又は複数の表面解析方法による解析のために1つ又は複数の表面を処理するのに適する。表面解析方法は、必要とされる解析を実行するために、表面の清掃及び／又は表面のエッティングを必要とする任意の表面解析方法であり得る。本発明は特に、表面の深度方向分析が必要であり、イオンビームを利用して、解析が表面に対して行われている間に表面をエッティングすることができる解析方法に有用である。そのようにして、解析を深度方向で行い、それにより、表面深度の関数として化学的情報（すなわち、深度方向分析）のために。

20

【0030】

適した表面解析方法は、X線光電子分光法（XPS）、オージェ電子分光法（AES）、二次イオン質量分析（SIMS）、紫外線光電子分光法（UPS）、並びに当該技術分野において既知の他の技法のうちの1つ又は複数であり得る。本発明は、XPSの場合に特に有用であり、より詳細には、表面の深度方向分析が必要とされ、イオンビームを使用して、XPS解析が表面に対して行われている間に表面をエッティングすることができるXPSの場合に有用である。

【0031】

30

ガスクラスタ又は原子ガスイオンビームを形成するイオン銃に利用されるガスは、好ましくは、例えば、ヘリウム、ネオン、アルゴン、クリプトン、又はキセノン等の不活性ガスである。より好ましくは、ガスはアルゴンである。ガスは、好ましくは、炭素含有ガスではなく、それにより、例えば、C₆₀を使用する従来技術によるイオン銃に伴う問題である炭素による表面汚染が回避される。使用可能な別の可能な非炭素含有ガスは酸素（O₂）である。他のガスを使用することもできる。

【0032】

イオン銃は、ガスクラスタソースの一部を形成する膨脹ノズルを備えて、供給されるガスからガスクラスタを生成する。イオン銃は、形成されたガスクラスタを電離させるとともに、存在する個々のガス原子を電離させる電離チャンバ又は電離装置をさらに備える。

40

【0033】

クラスタソースは、ノズルを通して、個々のガス原子、すなわち、クラスタを形成しない原子を伴うガスクラスタを生成する。

【0034】

膨脹ノズルは、ノズルを通してガスの超音波膨脹を行い、ガスクラスタを形成し得るノズルである。それに従って、ノズルはガス流入口及びガス出口を有する。当該技術分野で既知のように、ノズルは、ノズルを通してのクラスタソースの流入口側の加圧領域からクラスタソースの流出口側の低圧領域への膨脹により、ガスクラスタを生成する。膨脹ノズルはオリフィスを有し、ガスがオリフィスを通過してクラスタを形成し、オリフィスは、好ましくは、直径100μm以下、より好ましくは90μm以下、例えば、80μm又

50

は $8.5 \mu m$ のオリフィスである。好ましくは、オリフィスは略円形である。ノズルは、例えば、円錐形ノズル（円錐ノズル）、ラバルノズル、又は音速ノズル、好ましくは、ラバルノズルであり得る。ノズルは、ガラス又は金属から製造し得る。好ましくは、ノズルは金属で作られる。好ましくは、ノズルは微細加工されて、非常に小さく均一な形状のオリフィスをノズルに生成する。ノズルのそのような非常に小さく均一な形状のオリフィスは、比較的小型のプロファイルを有するクラスタを生成して、表面処理のためにクラスタをより効率的に利用するとともに、本発明によるイオン銃のイオン光学構成要素及び質量セレクタの特徴を利用する能力が向上する。そのようなノズルは、許容可能なノズルを生成するとともに、ノズル毎に均一な小型のサイズ及び形状を生成しようとする試みの失敗から生じる製造中の材料の無駄に悩まされ得る従来のガラスノズルと比較して改良である。

10

【0035】

クラスタモードでの動作では、クラスタソースの加圧領域、すなわち、ノズルの流入口側での圧力（流入口圧力）は、好ましくは、2~20バール、より好ましくは2~5バールの範囲であるが、通常、約3~4バールが効率的であることが分かっている。原子モードでの動作では、流入口圧力はクラスタモードで動作する場合と同じであり得、質量イレクタは単純に、電離クラスタではなくイオンビーム内の電離原子を選択する。しかし、原子モードで動作する場合、クラスタが形成されるよりも低い流入口圧力を使用することが好ましい。好ましくは、原子モード動作での流入口圧力は2バール未満であり、通常は1バール未満である。ノズルの流出口側の、ガスクラスタ又は原子が最初に導入される低圧領域は、好ましくは、1ミリバール（すなわち、 1×10^{-3} バール）未満である。

20

【0036】

ガスクラスタイオンビームを、例えば、XPS深度方向分析に適用する場合、比較的小さなクラスタ（例えば、クラスタ当たり最高で原子数百個、例えば、クラスタ当たり最高で原子500個）が好ましく、数十nAのビーム電流が、大半の使用のエッチングで十分である。通常、 $100 \mu m$ 未満というはるかに小さなノズル直径が本発明では好ましく、これは、ガスクラスタイオンビームソースでは従来技術によるノズルよりも小さなサイズのクラスタを優先的に形成することが分かっている。このようにして、より高い割合のより小さなガスクラスタを有することで、ビームがより多数のより小型のクラスタを有し、エッチングにあまり有効ではないより大きなクラスタがより少ないため、エッチングより効率的なビームにすることができる。そのような小型のノズルの使用は、本発明のイオン銃が、XPSシステムで実用的ではない大型ポンプを必要とせず、したがって、ポンピングの複雑性及びコストが低減するという利点も有する。再現可能なサイズ及び形状のノズルを設計し生産するために、好ましくは、必要とされる特徴の金属ノズルを生成するために、微細加工技法が利用される。したがって、クラスタサイズも、再現可能なサイズ及び形状であるノズルを使用することにより、より再現可能に制御される。単純な円錐形又は円錐形状の「音速ノズル」を利用し得るが、放物線ラバルノズルが好ましい。このようにして、差動ポンピング要件を単純化し、コストを低減することができ、そのようなノズルサイズに適した動作体制を選ぶことにより、イオン銃ソースを小さなガスクラスタの生成に最適化することができる。

30

【0037】

通常、様々なクラスタサイズがクラスタソースにより生成される。ソースにより生成されるクラスタサイズは、原子 $10 \sim 10,000$ 個以上の範囲内にあり得る。好ましくは、好ましくは少なくとも原子50個、より好ましくは少なくとも原子100個というクラスタサイズ下限（すなわち、選択され、送られるクラスタの最低サイズ）を有する電離ガスクラスタが、可変質量セレクタにより、イオンビームに出力されるものとして選択される。したがって、クラスタサイズ下限の例は200である（すなわち、原子200個以上のクラスタが選択される）。クラスタサイズ下限は、好ましくは、原子200個以下であり、より好ましくは、原子100個以下であり、さらに好ましくは、原子500個以下であり、最も好ましくは、原子400個以下である。したがって、望ましくは原子50~2000個、最も望ましくは原子50~400個の範囲のサイズ下限を有する電離ガス

40

50

クラスタが、可変質量セレクタによりイオンビームへの出力に選択される。これにより、より小型サイズのクラスタが選択されることが保証され、小さなノズルサイズが、より小型サイズのクラスタが高い割合で存在することを保証する。上述したクラスタサイズは、アルゴンである最も好ましいガスを使用する場合に特に好ましいサイズである。

【0038】

電離チャンバは、クラスタ及び／又は原子からイオンを形成する。電離チャンバは、当該技術分野で既知の典型的な電離装置である。通常、電離チャンバは、マイナスに電気バイアスされた1つ又は加熱可能なフィラメントと、高電圧（例えば、2～20 keV）に電気的にプラスにバイアスされたチャンバそれ自体等の陽極とを備えて、電子を加熱されたフィラメントから陽極に向けて発し、それにより、存在するクラスタ及び原子を電離させる。したがって、生成されるイオン（クラスタ及び原子）は通常、2～20 keV、好ましくは2～10 keV範囲の、本明細書ではソースエネルギーと呼ばれるエネルギーで形成されるが、エネルギーはこの範囲よりも高くてもよく、又は低くてもよい。ソースエネルギーは、イオンが、通常該当するように接地電位である試料の表面に衝突する際のイオンのエネルギーを定義する。これは、処理すべき特定の表面を清掃し、且つ／又はエッティングするために適切な原子当たりのエネルギーをイオンに提供することである。ソースエネルギーは一般に、従来技術で使用されるソースエネルギーよりも低くすることができる。好ましくは、イオンのエネルギーは6 keV以下であり、より好ましくは5 keV以下であり、最も好ましくは4 keV以下であり、例えば、2～6 keV、2～5 keV、又は2～4 keVの範囲である。より小型のクラスタの使用により、電離ガスクラスタ内で十分な原子当たりのエネルギーを維持しながら、より低いエネルギーを使用することができる。このエネルギー低減により、電源のコスト及びサイズが低減する。イオンは、好ましくは、可変質量セレクタに入る前に、好ましくは、抽出レンズにより電離チャンバから抽出され、集光レンズにより集光される。

【0039】

イオンのソースエネルギーは、より詳細に後述するように、イオン（クラスタ及び原子）の質量（サイズ）の選択から独立して選択することができる。それにより、イオンに提供されるエネルギーは、所望の値に選択することができ、質量は別個に、すなわち、独立して選択して、電離クラスタ又は原子の適切なサイズを選ぶことができる。それにより、原子当たりの所望のエネルギーを質量セレクタにより調整することができ、例えば、通常、1 eV～50 eV以下の値を有するようにイオンビーム内のクラスタの原子当たりのエネルギーを調整することができる。好ましくは、イオンの原子当たりのエネルギーは、表面下での化学的破損を生じさせずに表面からイオンをエッティングするのにちょうど十分なものである。

【0040】

磁気セクタは質量選択のために広く使用されており、特にウェーンフィルタ等の静電場と組み合わせられた場合、良好な質量分解能を与えることができる。しかし、アルゴンクラスタのような不活性ガスクラスタで遭遇するような高質量状況で動作する場合、そのような装置は、質量選択を達成するために大きな電気磁石を使用する必要があるため、大型化する必要がある。このために、従来のアルゴンクラスタイオン源は通常、永久磁石を使用して、アルゴン原子及び小さなサイズのアルゴンクラスタを偏向させ、一定範囲のクラスタサイズを選択するのに十分な強度の固定磁場を生成していた。しかし、永久磁石を有するそのような装置は、明確に定義される質量選択挙動を有さない。さらに、そのような場合、磁石が永久的であるため、質量選択は可変ではなく、又は少なくとも磁場に入力されるイオンのエネルギーから独立して可変ではない。

【0041】

本発明では、質量セレクタ（質量フィルタ）をイオン銃で使用して、イオンの原子当たりの所望のエネルギーを達成するために、エッティングすべき試料に最も適切なサイズの電離クラスタ及び／又は原子を選択し得る。イオン銃の質量セレクタは可変質量セレクタであり、これは、入力されるイオンのソースエネルギーから独立して、選択する質量を変更

10

20

30

40

50

可能なことを意味する。可変質量セレクタは、フィルタとして動作して、本明細書では、特定の質量又はより一般的には質量範囲を意味する、選択される質量を有する電離ガスクラスタ及び／又は原子を選択する。

【0042】

可変質量セレクタは、イオン銃のクラスタモードでのように、実質的に電離ガスクラスタを含むイオンビームが選択されるように、質量セレクタを通過できるイオンの質量範囲を選択し得、又はイオン銃の原子モードでのように、実質的に電離ガス原子を含むイオンビームが選択されるように、イオンの質量範囲を選択し得る。この程度の柔軟性は、従来技術によるクラスタイオン銃では達成されない。クラスタモードでは、イオンビームは実質的に電離クラスタを含む。このようにして、大量の電離原子がないことにより、電離原子が原因となり得るいかなる破損も低減する。クラスタモードでのイオンビームの電離原子含有率は、ビームが質量セレクタを通過した後、すべての電離粒子の1%未満であり得る。原子イオンモードでは、イオンビームは実質的に電離原子を含む。原子イオンビーム内にいくらか電離クラスタが存在することは問題ではない。磁場を含む好ましい質量セレクタでのクラスタ又は原子イオンの選択により、存在する場合には分析を非均一にするおそれがあるいかなる非荷電クラスタ又は原子もなくす。中性原子及びクラスタの含有率は、イオンビームの1%未満であり得る。10

【0043】

可変質量セレクタは、好ましくは、クラスタソース及び電離チャンバのイオン飛行方向においてイオン銃下流に配置される。可変質量セレクタはさらに、好ましくは、少なくとも1つのイオン抽出レンズ及び少なくとも1つの集光レンズの下流に配置される。可変質量セレクタは、好ましくは、照射すべき表面が配置される真空チャンバ（例えば、UHVチャンバ）の外部に配置される。20

【0044】

可変質量セレクタは、好ましくは、ハイパス質量セレクタとして動作可能であり（すなわち、所与の質量下限以上の質量を選択し）、又はバンドパス質量セレクタとして動作可能であり得る（すなわち、質量上限及び質量下限を有する所与の質量帯又は範囲内の質量を選択する）。

【0045】

本発明では、可変質量セレクタとして、磁気質量セレクタ、より好ましくは磁気セクタ、特に短い磁気セクタを使用することが好ましい。磁気セクタは、好ましくは、ハイパス質量セレクタとして動作可能であり（すなわち、所与の質量下限以上の質量を選択し）、且つ／又はバンドパス質量セレクタとして動作可能であり得る（すなわち、質量上限及び質量下限を有する所与の質量帯又は範囲内の質量を選択する）。30

【0046】

好ましくは、磁気セクタは、イオン銃内のイオン飛行路を大幅な量、増大させない長さ（すなわち、イオン飛行方向での長さ）を有し、例えば、磁気セクタの長さは、好ましくは、ソース（ノズル流入口）から試料までのイオン路長の約半分以下、さらにより好ましくは約1/3以下である。一実施形態では、例えば、ソースから試料までのイオン路は約600mmであり、そのうちの200mmのみが磁気セクタの長さである。ガスクラスタは常に崩壊しており、路長が短いほど、完全なままのクラスタが試料面に達する確率が高くなるため、磁気セクタは短いほど有利である。本発明では、クラスタの質量体制が低く（すなわち、比較的小さなクラスタが生成され質量選択される）、浮動飛行管が使用されるため、短い磁気セクタ長が可能である。40

【0047】

磁気セクタは、好ましくは、電磁石、より好ましくはプログラム可能な電磁石を備える。それに従って、磁気セクタは、好ましくは、選択する質量範囲を変更するようにプログラム可能である。磁気セクタの電磁石は、好ましくは、可変電源により制御又はプログラムすることができ、これは、好ましくは、コンピュータ制御等の電子回路の制御下にある。このようにして、磁気セクタはハイパス又はバンドパス（好ましくはハイパス）質量フ50

イルタとして機能して、特定のサイズ未満のクラスタ及び原子をなくすことができ、すなわち、ハイパス質量下限が様々であり得るクラスタモード設定でイオン銃を動作させるように機能することができる。ハイパスフィルタにプログラム可能な電磁石を使用することにより、原子イオン銃のより従来的なモードで銃を動作させることも可能である。ハイパスフィルタリングが、例えば、永久磁石を使用して得られるイオン銃で、これらのデュアルモードで動作することは不可能である。

【0048】

磁気セクタでは、選択されたイオンが湾曲路を辿る必要がある。湾曲の程度は通常、小さく、例えば、1～5度、好ましくは1.5～4度であり、最も好ましくは約2度である。より大きな角度を使用することもできるが、より長い磁気セクタ又はより高い磁場が必要になる。典型的な3mmのビーム開口部を使用すると、これよりも小さな角度では、イオンビームから効果的に中性ガス種をなくすことができない。したがって、好ましくは、湾曲路は、セクタの入口と出口との間で、例えば、1.5～4度の湾曲を有する。それにより、有利なことには、セクタを使用することで、中性ガス種をビームから除去することができ、したがって、中性ガス種は表面を照射しない。セクタを使用しない場合には、中性ガス種が、集束されスキャンされたイオンビームエリア外でエッティングを生じさせるおそれがある。本発明では、好ましくは、電磁石が、例えば、アルゴン原子50～400個の範囲内の最小質量（すなわち、質量下限）を選択することが可能である。そのようなクラスタサイズは、通常、他で使用されるものよりも小さく、材料の表面のエッティングに必要な原子当たりのエネルギーを同じに維持しながら、他のイオンソースよりもはるかに低いイオンエネルギーで動作するようにイオンソースを設計できるようにする。したがって、イオン銃の全体設計は、例えば、ソースエネルギーが低いため、より単純な磁気セクタ設計ではあるかに小さく且つはるかに安価にできることができ、通常、本発明のイオン銃は、他のソースでの通常の10keV又は20keVと比較して、約4keVのイオンエネルギーで動作可能である。したがって、本発明での好ましい質量セレクタは、安価で単純であり、プログラム可能であり得る。クラスタは短い寿命を有することが分かっているため、ガスクラスタの有効イオンビームを生成するために大きな利点である短い飛行路を提供することもできる。

【0049】

可変質量セレクタは、好ましくは、電気浮動イオン光学装置を備え、電気浮動イオン光学装置は、好ましくは、電気浮動飛行管である。動作に際して、電圧が可変エネルギーイオン光学装置に印加され、それにより、質量セレクタの磁場と併せて、質量セレクタのより柔軟な調整が可能になり、それにより、広く異なるクラスタ及び原子モードでの動作を達成することができる。浮動イオン光学装置への電圧は、ソースエネルギー又は電圧から独立して選択され印加される。このような質量セレクタの磁場は、イオンのソースエネルギーのみに依存する必要はなく、むしろ、質量セレクタの磁場内のイオンのエネルギーは、浮動イオン光学装置を使用して調整することができ、それにより、例えば、より低い磁場でより単純な磁気質量セレクタ設計が可能になる。したがって、浮動イオン光学装置は、磁気セクタでの高磁場又は長い飛行路のいずれに対する必要性も軽減する。浮動イオン光学装置は、好ましくは、少なくとも部分的に質量セレクタの磁場内、すなわち、好ましくは、少なくとも部分的に質量セレクタ内に配置される。より好ましくは、浮動イオン光学装置は、質量セレクタ内に配置され、磁気質量セレクタの長さにわたって延びる。このようにして、装置は、実質的に質量セレクタ内のイオン飛行路の長さに沿ってイオンエネルギーを制御することができる。

【0050】

したがって、電気浮動飛行管は、好ましくは、イオン銃内で使用され、それにより、イオンは浮動飛行管を通過する。電気浮動飛行管は、好ましくは、少なくとも部分的に質量セレクタの磁場（好ましくは、磁気セクタ）内、すなわち、好ましくは、少なくとも部分的に質量セレクタ内に配置され、それにより、イオンは、磁場（セクタ）を通過する際に浮動飛行管を通過する。より好ましくは、浮動飛行管は磁気セクタ内に配置され、実質的

10

20

30

40

50

に磁気セクタの長さにわたって延びる。浮動飛行管は、好ましくは、実質的に磁気質量セレクタ内部のイオンの飛行路の長さにわたって延び、例えば、浮動飛行管は実質的に磁気セクタの長さにわたって延びる場合である。動作に際して、電圧が浮動飛行管に印加され、それにより、質量セレクタの磁場と併せて、質量選択のより柔軟な調整が可能になり、それにより、広く異なるクラスタ及び原子モードでの動作を達成することができる。浮動飛行管の電圧は、ソースエネルギー又は電圧から独立して選択され印加される。

【0051】

浮動飛行管の使用について、磁気セクタを使用する好ましい実施形態の文脈の中により詳細に以下において説明する。電圧が浮動飛行管に印加されて、イオンが磁気セクタを通過する際にイオンのエネルギーを変更する。磁気セクタの磁場によるイオンの偏向度に依存する磁気セクタによるイオンの選択は、イオンエネルギー及び磁場強度に依存する。その他の点では、生成されるイオンのソースエネルギーが、必要とされる磁場の範囲を決めるが、浮動飛行管は、イオンが磁場にある間にイオンのエネルギーを変更することができ、例えば、比較的小さな範囲の磁場強度変動で単純な磁石を使用できるようにする。例えば、クラスタモードでは、浮動飛行管に印加される電圧は、イオンが磁気セクタを通過する際にイオンを減衰させ得る（すなわち、イオンのエネルギーを低減し得る）。これにより、プログラムされた磁場と組み合わせて、選択される質量の範囲に対する追加の制御が与えられる。原子モードでは、浮動飛行管に印加される電圧は、イオンが磁気セクタを通過する際にイオンを加速させ得、したがって、低電流での空間電荷効果を最低限に抑える。例えば、所与のイオンソースエネルギーで、浮動飛行管を使用して、近傍でのイオンエネルギーを調整する場合、磁気セクタを使用した質量選択は、磁気セクタのみを使用する場合と比較して良好な制御でより広範囲の質量にわたって変更可能である。

10

20

30

【0052】

既知のイオン銃では、イオンは、特定のソースエネルギーを用いて形成され、ビームは、質量フィルタリングされる間、このエネルギーに留まる。イオンのエネルギー変更は、試料エッティングプロセスの最適化に有益であることが分かっている。しかし、これは、続く質量フィルタリングの設計での柔軟性の欠如により完全には実現可能ではない。例えば、高イオンエネルギーが必要な場合、大きな磁場が必然的に必要とされ、これは実際には、特に費用効率的に達成することが困難であり得る。実際には、高価な磁性合金を使用せずに0.2テスラをはるかに超える磁場を生成することは困難である。逆に、低イオンエネルギーが必要とされる場合、小さな磁場が必然的に必要とされ、不良な質量選択性能に繋がる。磁場強度を細かく又は高速で制御することも複雑でコストがかかる。浮動飛行管を本発明に使用することにより、イオン銃は、イオンのソースエネルギー及び磁気セクタでのイオンのエネルギーを独立して変更して、イオンエネルギー及び質量選択の両方を最適化することができる。それにより、浮動飛行管を使用することで、独立した質量選択及び様々な質量にわたる質量選択を維持しながら、単純なハイパス磁気セクタを、例えば、異なるイオンエネルギーと共に使用することができ、それにより、イオン銃はクラスタ又は原子イオンを選択することができる。

【0053】

例えば、クラスタ又は原子イオンを選択する能力は、従来では、磁場強度を大きく変更する必要があり、小さくかつ安価な磁場では容易に達成することができない。しかし、本発明では、より単純でより小さな磁場磁気セクタを使用することができ、これは例えば、より低い磁場強度を有し、原子イオンビームの質量選択に適するが、浮動イオン光学装置を使用してイオンを減衰させる（イオンのエネルギーを低減する）ことができるため、同じ磁気セクタをクラスタイオンビームの質量選択にも使用できるようになる。所与の角度を通して所与の質量のイオンを偏向させるために必要な磁場は、イオンのエネルギーの平方根として測られる。したがって、本発明では、例えば、イオンは、浮動飛行管により4keVのソースエネルギーから飛行管内で1keVのエネルギーに減衰し得、それにより、必要な磁場は、浮動飛行管がない場合に必要とされる磁場強度の半分のみである。これにより、例えば、実際に、質量セレクタで0.2テスラ未満の磁場強度を使用することが

40

50

可能になる。これは、高価な磁性合金を使用せずには0.2テスラを超える磁場を生成することは難しいため、実用においての相当な利点である。この利点は、非常に繊細な材料の表面を処理するために必要とされ得るより大きなクラスタの場合にさらに大きくなる。

【0054】

磁気セクタを質量セレクタの好ましい実施形態として本明細書に記載したが、他の種類の可変質量セレクタ、特にハイパス又はバンドパスフィルタとして動作可能な質量セレクタを使用して、本発明の変形を実行し得ることが明らかであろう。以下は、好ましい磁気セクタの代わりに使用することができるが、磁気セクタと比較して様々な欠点を有する代替の質量セレクタの例である。ウェーンフィルタを使用し得るが、ウェーンフィルタは、利用できるスペースでの設計が難しい追加の静電電極並びに付随する追加の電子回路を必要とする。例えば、質量分光計で使用されるような集束磁気セクタを使用し得、集束磁気セクタは優れた質量分解能を与え、バンドパス質量フィルタとして動作する。しかし、これらは通常、ハイパス質量フィルタが適切な本用途には大きすぎるとともに、複雑である。RF四重極フィルタを使用し得るが、r.f.制御の電子工学のため製造及び構築が比較的高価である。さらに、RF四重極フィルタは高質量、例えば、500amuを超える場合には上手く機能しない。飛行時間質量セレクタが、SIMSのクラスタソースに使用され、SIMSでは短パルスが必要とされるが、飛行時間質量セレクタは連続ビームに適さない。好ましい質量セレクタの形成へのハイパス磁気セクタの使用は、安価であり、単純であり、プログラム可能である。

【0055】

したがって、イオン銃は可変質量セレクタを使用し、可変質量セレクタは、質量セレクタに入力されるイオンのエネルギーから独立して、質量セレクタにより選択される質量を変更することができ、好ましくは、可変エネルギーイオン光学装置を備え、好ましくは、可変エネルギーイオン光学装置は浮動飛行管である。したがって、イオン銃は、クラスタサイズから独立してクラスタエネルギーを変更でき、したがって、破片化したイオンのエネルギー（原子当たりのエネルギー）をエッティングすべき試料に最も適切なエネルギーになるように選択可能な可変エネルギーイオン光学系設計を備える。

【0056】

イオン銃は、好ましくは、表面にわたってイオンビームをスキャンする従来のイオン光学構成要素（例えば、X-Yスキャン電極対）、及び/又は処理すべき表面若しくはその近傍でビームが収束するようにイオンビームを集束させる従来のイオン光学構成要素、及び/又は表面で所望のイオンビームスポットサイズを達成する従来のイオン光学構成要素（例えば、対物レンズ）をさらに備える。

【0057】

本発明について、添付図を参照して非限定的な実施形態及び例により詳細にこれより説明する。

【図面の簡単な説明】

【0058】

【図1】本発明によるイオン銃の横からの概略図を示す。

【図2】本発明によるイオン銃のガス膨脹ノズルの横からの概略図を示す。

【図3】イオン銃質量セレクタの領域での図1に示される実施形態の横からの拡大概略図を示す。

【図4】概略的な電力接続及び制御が示される本発明によるイオン銃の横からの別の概略図である。

【図5】従来のアルゴンイオンビーム及び本発明によるイオン銃を使用したクラスタイオニンビームを用いた汚染されたPTFE表面の清掃結果を示す。

【図6】本発明によるイオン銃を使用する原子アルゴンイオンビームを用いたシリコンウエーハの酸化表面に対するエッティング及び深度方向分析の結果を示す。

【図7】PTFE表面に対するエッティング及び深度方向分析の結果を示す。

【発明を実施するための形態】

10

20

30

40

50

【0059】

図1を参照して、本発明によるイオン銃1の横からの概略図を示す。使用中のイオン銃は、フランジ22、この場合ではUHVコンフラットフランジによりUHV解析チャンバ(図示せず)のポートに固定される。UHV解析チャンバでは、試料24はイオン銃1の視線に配置される。UHVチャンバ内の圧力は 10^{-6} ミリバール未満であり、通常、XPS解析の場合では、例えば、 2×10^{-7} ミリバールである。UHVチャンバには解析ツールが構成され、XPS並びに任意選択的にAES及び/又は他の表面解析を試料24に対して実行できるようになる。本発明によるイオン銃は、高又は超高真空環境での使用との完全な互換性を有する。そのような使用に好ましい実施形態では、イオン銃は焼成され、使用前に真空チャンバと一緒に焼き出し得る。

10

【0060】

イオン銃1は一般に、上で説明したように配置される一連の構成要素を有するカラムの形態である。イオン銃は、上流端部に高圧ソースチャンバ4を有し、アルゴンガスが、例えば、加圧ガスシリンダ(図示せず)から、ガス流入管2の形態のガス流入口を通してソースチャンバ4に導入される。アルゴンは、イオン銃との併用に好ましいガスであるが、他のガスを使用してもよく、ガスの混合物を使用してもよい。流入口及びソースチャンバ4内のアルゴンの圧力は約4バールである。ソースチャンバ4の前壁8には、ノズルを通してソースチャンバ4からのアルゴンを超音波膨脹させる形状及び寸法のガス膨脹ノズル6がある。ノズルは微細加工された金属ノズルであり、その形状を図3により詳細に示す。図3に示されるようなノズル6は、ソースチャンバ4内の端部に円錐形状の流入口16と、ポンプ真空チャンバ10内で終端する円錐形状流出口18とを有し、流出口18は5度のテーパ半角を有する。流入口及び流出口は、直径 $100\mu m$ 以下の開口部14により接続される。代替の実施形態では、ラバルノズル又は音速ノズル等の他の形状のノズルを使用してもよく、音速ノズルは、ガス流を含むためのいかなる形状の部分もなく、開放された開口部からなる。

20

【0061】

アルゴンは、ノズル6を通してポンプ真空チャンバ10内で膨脹し、ポンプ真空チャンバ10は、真空ポンプ(図示せず)により約 0.5 ミリバール以下の低真空に常にポンピングされ、ポンプ開口部12を通してポンピングされる。ノズル6を通してアルゴンが膨脹する際、膨脹ガスは急冷し、アルゴン原子のクラスタが形成される。ガスは、膨脹により超音波速度まで加速する際、ビームを形成し、ノズルからある距離のところにマッハディスクを形成する。クラスタ及びクラスタ化された個々の原子は、超音波ビームの乱れを最低限に抑えるように入念に設計された円錐形プロファイルのスキマー20を使用して、マッハディスクの直前に膨脹ビームの中心から抽出される。

30

【0062】

解析チャンバ内で高真空を維持するために、ポンプ真空チャンバ28の形態の第2段階の差動ポンピングが利用され、このポンプ真空チャンバ28は、真空ポンプ(図示せず)により 10^{-3} ミリバール未満、通常は 4×10^{-4} ミリバールの中真空に常にポンピングされ、ポンピング開口部32を通してポンピングされる。第2のポンピング段階28後、ビームはコリメータ錐体34の小さな開口部を通って電離チャンバ38に入る。電離チャンバ38並びに下流イオン光学系及び質量選択段階は、ポンピング開口部33を通して高真空に常にポンピングされ、圧力は 10^{-4} ミリバール未満であり、通常は 10^{-5} ミリバールである。

40

【0063】

電離チャンバ38内で、加熱されたフィラメント42から熱的に生成される電子は、チャンバに対して負の電位、この場合 100 ボルト、でフィラメント42をバイアスすることにより電離チャンバ内に注入される。それにより、電離チャンバ内のクラスタ及び個々のアルゴン原子の両方のある割合が電子衝突により電離し、正に帯電したイオンが生成される。 $4 keV$ の正電圧が電離チャンバに印加され、電離チャンバ内でイオンが作成され、この正電圧により、イオンが試料24の表面に達する際のイオンの最終エネルギーが決

50

まる。したがって、この電圧はソース電圧と呼ばれる。イオンビームで照射される表面 2 4 は、この場合、接地電位に保たれる。例では、4 k e V 未満が正イオン源として使用されるが、2 ~ 20 k e V の範囲の電圧を使用することができるとはいえ、6 k e V 以下の電圧が好ましい。広範囲のサイズのアルゴンクラスタのイオン並びに個々のアルゴン原子のイオンがビームに存在し、電離チャンバ 3 8 よりもわずかに負の電位が印加される抽出器電極又はレンズ 4 4 により電離チャンバ 3 8 からイオン銃カラム内のさらに下流に抽出される。抽出されると、イオンは集光レンズ 4 6 により、イオンビームの有効サイズを定義する直径 3 mm のビーム開口部 4 8 に集束する。動作に際して、集光レンズを使用したぼかしにより、必要であれば、イオンビーム電流を低減することができる。

【0064】

10

次に、イオンビームは、全体的に 5 0 で示される質量セレクタに入る。質量セレクタは、イオン銃（図示せず）の真空系の外部に搭載される軟鉄磁石を備える磁気セクタの磁場 B 内に配置される電気浮動飛行管 5 2 を備える。磁場 B は、飛行管 5 2 を通してイオンビームの飛行方向を横切るように位置合わせされる。図 1 では、磁場 B は、+ 記号で示されるように、紙に入る方向に向けられる。磁場 B は、横磁場を生成する真空系の外部に搭載された電磁石 5 4 によりプログラム可能である。磁気セクタは、選ばれた質量のイオンを偏向させて、選択開口部 6 0 において、より詳細に後述するように、実質的に選択されたサイズ（質量）のアルゴンクラスタ又は実質的に原子アルゴンイオンを含むビームを選択するように、電磁石を使用してプログラムされる。

【0065】

20

ビーム開口部及び飛行管がそれぞれの電位である従来技術による設計では、飛行管を通るイオンのエネルギーは、ソース電圧により定義されるフルソースエネルギーである。そのようなイオン光学設計で実行される磁場によるいかなる質量選択も、このエネルギーで動作するように設計されなければならない。対照的に、本発明の設計では、飛行管 5 2 は、ソース電圧から独立した電圧に浮動することができる。示される実施形態では、ビーム画定開口部 4 8 及び飛行管 5 2 のすべての部分は、ソース電圧から独立した電圧に浮動することができる。通常、クラスタのビームを選択する場合、例えば、「より軟らかい」ポリマー材料をエッチングすべき場合、飛行管内で 1 k e V のエネルギーを有するビームを生成するために、ソース電圧よりも 1 k V 低い電圧に飛行管 5 2 を浮動させることが選ばれる（例えば、4 k e V のソース電圧及び 3 k e V の飛行管電圧を使用して）。この構成では、クラスタイオンは、ソースエネルギーよりも低いエネルギーで飛行管 5 2 を通過し、質量セレクタ及びその光学系の設計をはるかに単純にする。特に、クラスタのエネルギーを低くすることにより、必要とされる質量のクラスタ選択を達成するために、より強度の低い磁場を使用し得る。或いは、低ソースエネルギーが必要とされる場合、浮動飛行管 5 2 を使用して、質量選択のためにイオンを加速させることができる。飛行管を使用して、イオンエネルギーを適宜、ソースエネルギーから独立して調整することにより、質量セレクタの設計の柔軟性を向上させることができる。電磁石 5 4 により低い電流（ひいてはより低い磁場）をプログラムすることにより、原子アルゴンイオンを選択して、選択開口部 6 0 を通してビームを形成して、「より硬い」材料のエッチングを可能にすることができます。本発明の全体設計により、浮動飛行管を追加使用して、質量セレクタ内のイオンのエネルギーを調整し、特に、例えば、クラスタビームを選択する場合のイオンのエネルギーを低減するため、より低い強度の磁場をクラスタ又は原子イオンのいずれかの選択に使用することができる。それに代えて、従来技術による設計では、同様の効果を達成するために、非実用的でコストがかかる広範囲の磁場スキャンが必要とされる。従来技術による質量セレクタ設計は、必要とされる磁場を達成するためには、大きすぎ且つ重すぎて、典型的な X P S 解析チャンバのポートから搭載できないため、非実用的である。より高い磁場を生成することも、コストがかかり得るより高価な磁性合金の使用を必要とし得る。対照的に、本発明の質量セレクタは軟鉄磁石のみを使用して実施し得る。

【0066】

質量選択をより詳細に示す図 3 を参照すると、飛行管 5 2 は質量セレクタの一部をなし

50

、真空系の外部に搭載される磁気セクタ（図示せず）の電磁石 54 は、横磁場 B を生成する。クラスタモードでは、電磁石は、選ばれた質量（通常、質量下限原子 200 ~ 2000 個を超える質量を有する）のクラスタイオン 72 のビームを 2 度の角度だけ偏向させて、選択開口部 60 を通して出すようにプログラムされる。質量のより低いイオン 74 はより大きな角度で偏向され、選択開口部 60 を通過しない。より高い質量のイオン 76 は、より小さな角度で偏向され、十分に重い場合、開口部 60 を通過しない。同様に、イオン銃カラムに 2 度の偏向を組み込むことにより、中性クラスタ及び原子（例えば、非電離種又はより大きなクラスタの破碎により形成される種）が、磁場により偏向されないため、開口部 60 を通過しないことが保証される。このような中性種の除去なしでは、そのような種は、十分に低い質量の場合、試料に対して大きな破損を生じさせるおそれがある。試料の破損を引き起こさないであろう高質量の中性種もやはり、偏向電極によりスキャンすることができないため、試料の非均一なエッティングに繋がるおそれがある。この重要な利点は、永久磁石を質量フィルタとして使用する場合には不可能である。したがって、示される実施形態において説明される質量セレクタは、バンドパスフィルタを提供し得る。しかし、適宜設計される場合、この種のフィルタの性質の固有の非対称性により、この磁気セクタはハイパスフィルタとして有効に機能することができる。ハイパスフィルタは、より高いビーム電流を生成するため、この用途では、単純なナローバンドパスフィルタよりも好ましい。10

【0067】

選択開口部 60 を通過した後、質量選択されたイオンは、ビームを位置決めし、且つ／又はビームのラスタ化若しくはスキャン機能を試料面で実行する対になったスキャン偏向器又は偏向電極 62、64 を通過し、最後に、対物レンズ 68 を通過して、ビームを試料 24 に集束させる。対物レンズを通過した後、ビームのエネルギーは元のソース電圧に戻る。20

【0068】

一動作モードでは、偏向器 62、64 及び集束対物レンズ 68 が一緒に使用されて、ラスターパターンで試料 24 の表面にわたってビームを集束してスキャンし、ビームサイズよりも大きなクレーターにわたる均一なエッティングを保証する。深度方向分析では、この技法のほうが、面積の大きな非集束ビームを使用するよりも好ましいが、そのような非集束ビームは、試料清掃等の単純な用途で適し得る。30

【0069】

図 4 を参照して、概略的な電力接続と共に図 1 のイオン銃の構成要素を示す。システムコンピュータ（システム PC）110 が、USB インタフェースを介してコンピュータが接続された電源インターフェース 112 を介して構成要素の様々な高電圧電源 114 を制御する。電源インターフェース 112 は、フィラメント電流及び電磁石の磁気巻線への磁石電流も制御する。

【0070】

図 1 ~ 図 4 を参照して説明したイオン銃の各動作モードで使用することができる典型的な動作条件は以下である。

【0071】

アルゴンクラスタビームモード：

ガス流入口圧	3.5 バール
ソースエネルギー電圧	4000 V
抽出レンズ電圧	3600 V
集光レンズ電圧	3500 V
浮動飛行管電圧	2000 V
対物レンズ電圧	2300 V
電離エネルギー電圧	-120 V
セクタ内の磁場	0.13 テスラ

【0072】

50

20

30

40

50

原子アルゴンビームモード：

ガス流入口圧 · · · · · 0 . 6 バール
 ソースエネルギー電圧 · · · 4 0 0 0 V
 抽出レンズ電圧 · · · · · 3 0 0 0 V
 集光レンズ電圧 · · · · · 3 7 0 0 V
 浮動飛行管電圧 · · · · · 0 V
 対物レンズ電圧 · · · · · 2 3 0 0 V
 電離エネルギー電圧 · · · · - 7 0 V
 セクタ内の磁場 · · · · · 0 . 0 1 テスラ

【0073】

10

イオン銃を使用して、表面解析前に表面を清掃し得、又はイオン銃を使用して、試料の所望の深さまでエッティングし得る。特に、イオン銃は、深度方向分析 XPS 測定に適し得、XPS 解析は、試料の表面のある領域で実行され、その間、同時に、本発明のイオン銃を使用してその領域の表面をエッティングして、XPS の深度を増大させ、それにより、深度方向での試料の組成を明らかにする。本イオン銃では、そのような深度方向分析をクラスタイオンビーム又は原子イオンビームのいずれかの適宜選択により、軟らかい又は硬い試料に対して実行することができる。軟らかい材料、例えば、ポリマー材料の場合、表面に対する大きな破損なしで表面をエッティングするために必要な原子当たりのエネルギーは通常、数 eV ~ 数十 eV であり、その一方で、より硬い材料の場合、そのようなエネルギーははるかに高くなり得、原子イオンビームを選択し得る。エッティングする材料へのイオンエネルギーを調整する能力により、ユーザは、得られる化学的情報について分析を最適化することができる。

20

【実施例】

【0074】

以下の例は、本発明の様々な動作を示す。

【0075】

実施例 1

有効性を示すために、本発明によるイオン銃を使用して、図 5 A に示されるように、表面上の「外来の炭素」汚染層と共に、試料の C - F 2 フッ化炭素結合を示す XPS スペクトルを有する「受け取ったまま」の PTFE ポリマー試料のエッティングからデータを取得した。この表面汚染を従来のアルゴンイオンビーム (200 eV) を除去しようとする試みにより、図 5 B に示されるように、試料に化学的破損が生じた。しかし、クラスタモードで本発明によるイオン銃を用いて表面をエッティングした場合 (ソースエネルギー 4 keV、最小クラスタサイズ = 原子 200 個、原子当たりの最大エネルギー = 20 eV)、クラスタビームを用いたエッティングにより、図 5 C に示されるように、完全で破損のないスペクトルが生じた。

30

【0076】

実施例 2

図 6 を参照して、最初、酸化シリコンの薄い膜を有するシリコンウェーハに対する XPS の結果を示す。図 6 A は、エッティング前、すなわち、エッティング時間 = 0 秒且つエッティングレベル = 0 でのウェーハからの Si 2p XPS スキャンを示す。エッティングレベルは、エッティングの深度に関連する任意の単位であり、較正された試料を使用することによりエッティングレートが決まる。真の「深度」に変換することができる。エッティングされていないウェーハのスキャンでは、純粋な非酸化シリコン (大きなピーク) 及び酸化シリコン (小さなピーク) に別個のピークを見ることができる。次に、イオン銃をアルゴン原子イオンモードに設定し、4 keV のソースエネルギーで単一のアルゴン原子を電離したアルゴンイオンでウェーハの表面を照射し、酸化シリコン表面膜を通して深度方向分析した。図 6 B に示されるように、エッティングレベル 178 において、深度方向分析完了後のウェーハの XPS スペクトルは、非酸化シリコンのみを示す。図 6 C の XPS 深度方向プロファイルは、外来の炭素及び表面酸化の漸次的な除去を示す。単なるクラスタイオン

40

50

ビームを用いての、シリコン及び酸化シリコンのように比較的硬い材料を通しての深度方向分析は、実際に非常に遅い。

【0077】

実施例3

図7を参照して、実施例1と同じ設定でクラスタモードのイオン銃を使用した、別の非常に纖細な試料であるPTEF上のフッ素重合体膜に対する深度方向分析のXPSの結果を示す。PTEFがイオンビーム衝撃により容易に破損することは周知である。図7Aに示されるように、エッティング中、及び深度方向分析中、試料の化学的組成の詳細を示すよう分解されたフッ素重合体スペクトルが観察される。膜を通してのエッティング後、PTEFのC-F2結合炭素のみを示し、破損C-F又はC-C結合に対応するいかなるピークもない非破損PTEF基板の図7Bに示されるスペクトルが観測される。図7Cに示される深度方向分析は、非破損フッ素重合体膜を通しての非破損PTEF膜への遷移を示す。10

【0078】

本明細書において使用される場合、特許請求の範囲を含め、文脈が他のことを示す場合を除き、本明細書での単数形の用語は複数形を含むものとして解釈されるべきであり、この逆も同様である。例えば、文脈が逆のことを示す場合を除き、特許請求の範囲を含め、「a」又は「a n」等の本明細書での単数の言及は、「1つ又は複数」を意味する。

【0079】

本明細書の説明及び特許請求の範囲全体を通して、「備える」、「含む」、「有する」、及び「含む」という言葉並びにこれらの言葉の変形、例えば、「備えている」及び「備えた」等は、「～を含むが、～に限定されない」ことを意味し、他の構成要素の除外を意図しない（且つ他の構成要素を除外しない）。20

【0080】

本発明の上記実施形態への変形形態を、本発明の範囲内にありながら行うことができる事が理解されよう。本明細書において開示される各特徴は、別記される場合を除き、同じ、均等、又は同様の目的を果たす代替的な特徴により置換し得る。したがって、別記される場合を除き、開示される各特徴は、一連の均等物又は同様の特徴の单なる一例である。。

【0081】

本明細書に提供されるありとあらゆる例又は例示的な言葉（「例えば（for instance）」、「等」、「例えば（for example）」、及び同様の言葉）の使用は、本発明をよりよく示すためだけを目的とし、別のことが請求される場合を除き、本発明の範囲に対する限定を示さない。本明細書中の言葉は、請求されない任意の要素を、本発明の実施に必須であるものとして示すものとして解釈されるべきではない。30

【図2】

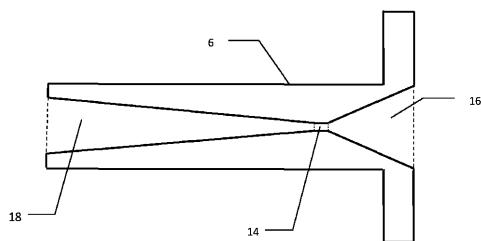


Fig. 2

【図3】

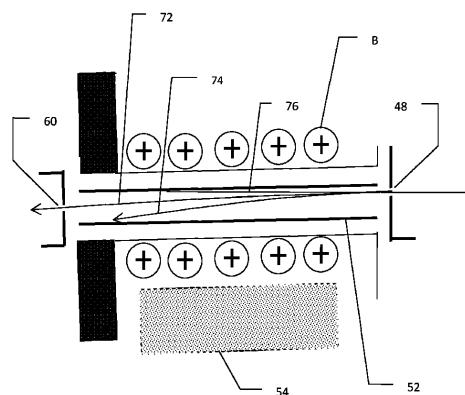


Fig. 3

【図4】

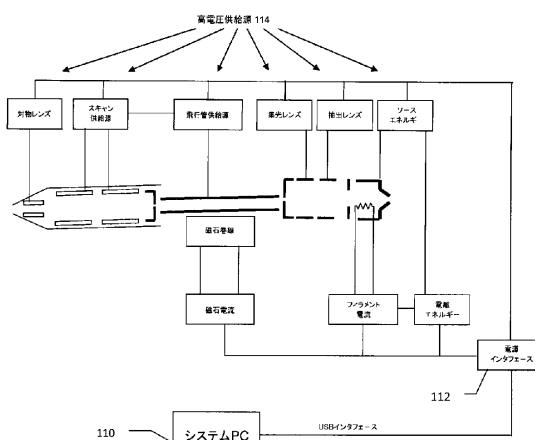


図4

【図5A】

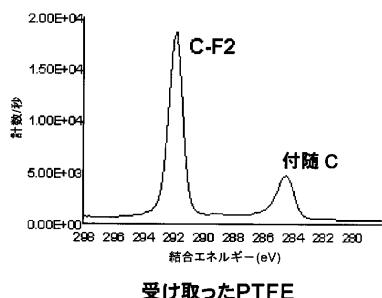


図5A

【図5B】

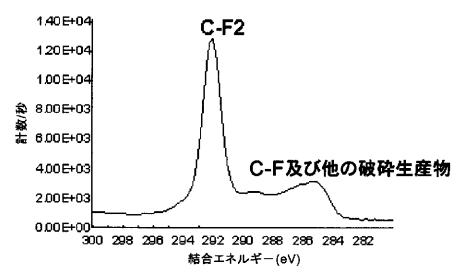


図5B

【図5C】

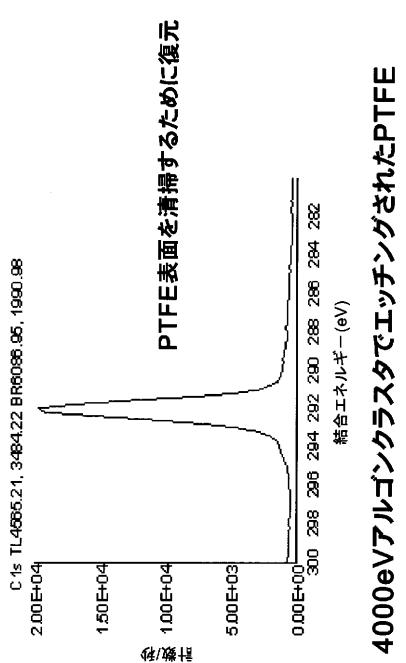


図5C

【図6A】

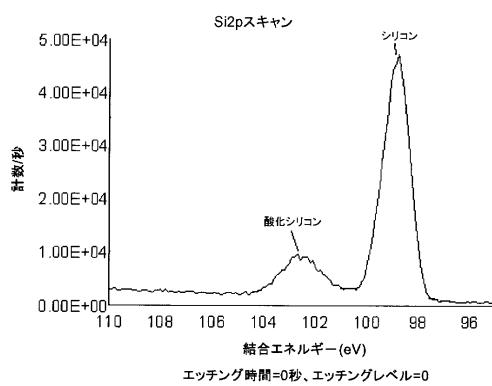


図6A

【図6B】

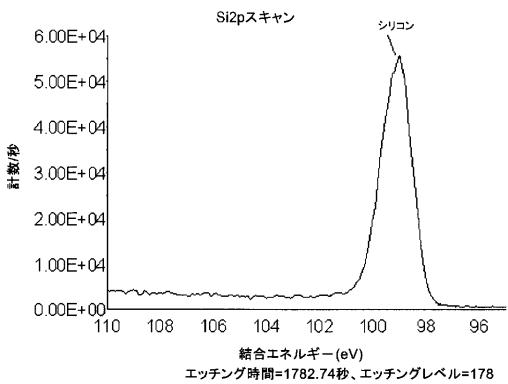


図6B

【図6C】

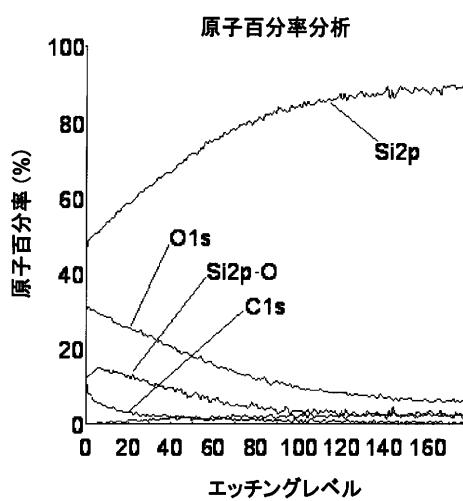
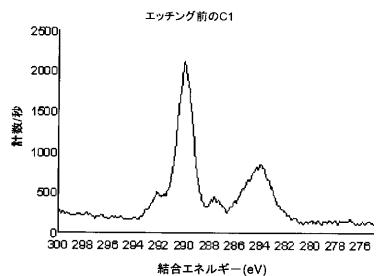


図6C

【図7A】



【図7B】

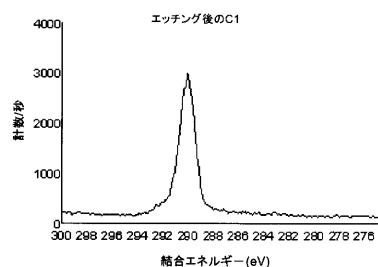


図7A

図7B

【図7C】

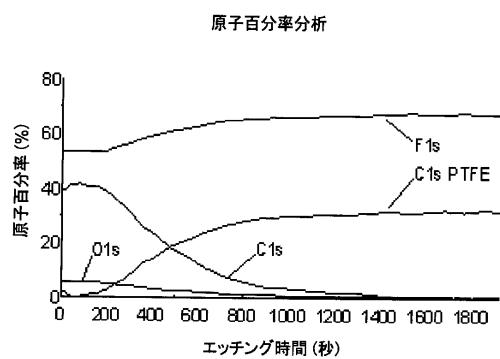


図7C

【図1】

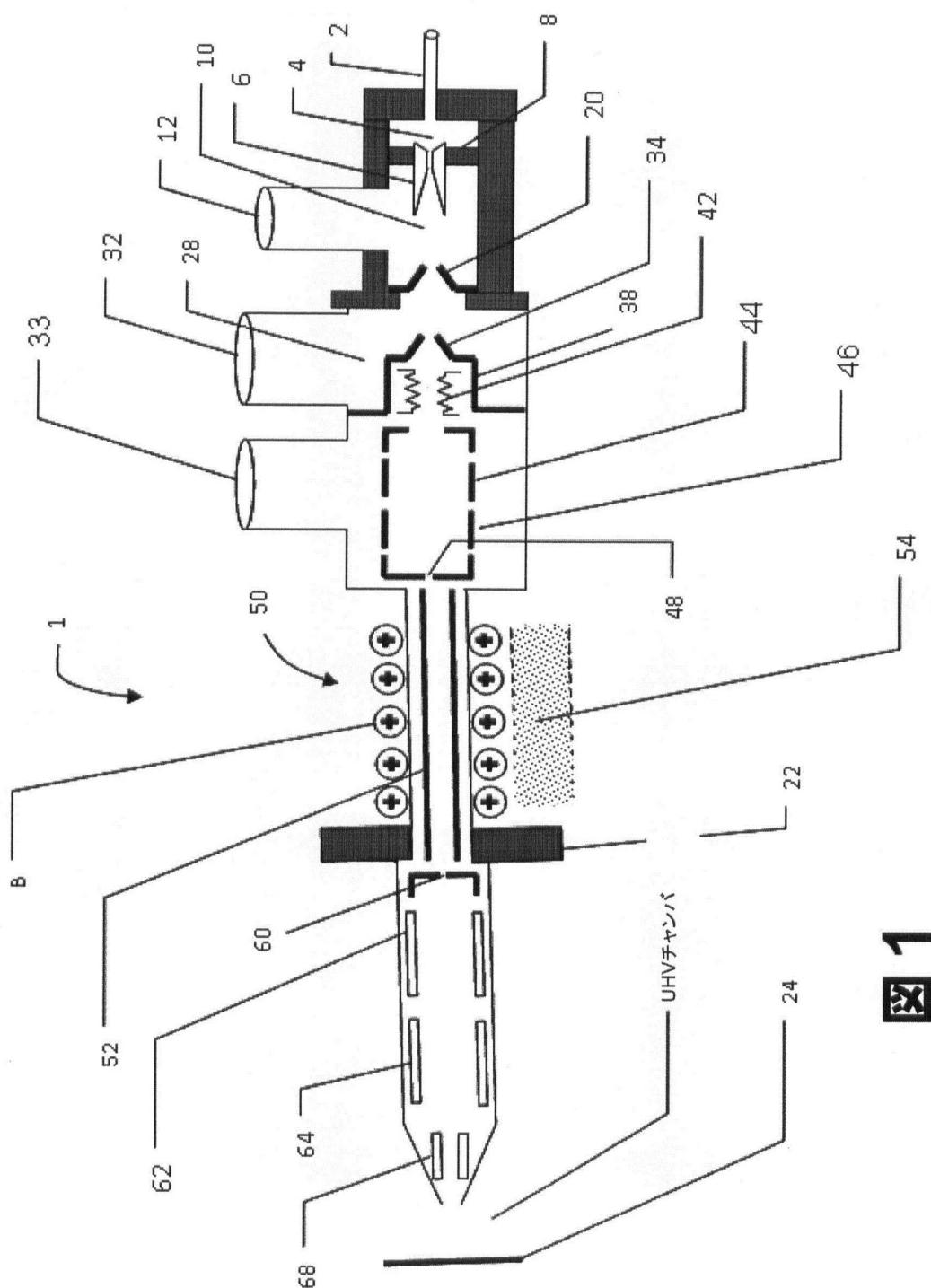


図1

フロントページの続き

(74)代理人 100098475

弁理士 倉澤 伊知郎

(74)代理人 100130937

弁理士 山本 泰史

(72)発明者 バーナード ブライアン

イギリス アールエイチ19 1エックスゼット サセックス イースト グリンステッド イン
バーホーン レーン ザ パーチズ インダストリアル エステイト サーモ フィッシュヤー サ
イエンティフィック内

審査官 桐畠 幸 廣

(56)参考文献 特開平08-122283(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H01J 27/20

H01J 37/08

H01J 37/252