

(19) 日本国特許庁(JP)

## (12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第5728728号  
(P5728728)

(45) 発行日 平成27年6月3日(2015.6.3)

(24) 登録日 平成27年4月17日(2015.4.17)

(51) Int.CI.

G O 1 L 21/32 (2006.01)

F 1

G O 1 L 21/32

請求項の数 24 (全 18 頁)

(21) 出願番号 特願2010-547736 (P2010-547736)  
 (86) (22) 出願日 平成21年2月19日 (2009.2.19)  
 (65) 公表番号 特表2011-513709 (P2011-513709A)  
 (43) 公表日 平成23年4月28日 (2011.4.28)  
 (86) 國際出願番号 PCT/US2009/034460  
 (87) 國際公開番号 WO2009/105506  
 (87) 國際公開日 平成21年8月27日 (2009.8.27)  
 審査請求日 平成24年2月10日 (2012.2.10)  
 (31) 優先権主張番号 61/066,631  
 (32) 優先日 平成20年2月21日 (2008.2.21)  
 (33) 優先権主張国 米国(US)

(73) 特許権者 592053963  
 エム ケー エス インストルメンツ イ  
 ンコーポレーテッド  
 M K S I N S T R U M E N T S, I N C  
 O R P O R A T E D  
 アメリカ合衆国マサチューセッツ州O 1 8  
 1 0, アンドーバー, テック・ドライブ  
 2, スイート 2 0 1  
 (74) 代理人 100087941  
 弁理士 杉本 修司  
 (74) 代理人 100086793  
 弁理士 野田 雅士  
 (74) 代理人 100112829  
 弁理士 堀 健郎

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】高圧力動作用に設計された動作パラメータと形状とを有する電離真空計

## (57) 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

電子を生成する少なくとも1つの電子源と、  
 前記電子と気体分子との衝突によって生成されたイオンを収集する収集電極と、  
 通常の高真空圧力測定動作中、初期陽極バイアス電圧と前記収集電極の収集バイアス電圧との間の初期電圧差を形成する初期陽極バイアス電圧で動作する陽極と、  
 通常の高真空圧力より高い圧力測定動作中に、スパッタ衝突の発生率を低減させるために、前記初期電圧差と180V未満である前記陽極バイアス電圧との関係に基づいて、前記陽極バイアス電圧と前記収集バイアス電圧との間の電圧差を減少させる制御器と、  
 を備え、圧力を測定する電離真空計。

10

## 【請求項 2】

請求項1において、前記陽極のバイアス電圧が、スパッタ衝突の発生率を低減するため、前記初期電圧差との関係に基づいて切り替えられる電離真空計。

## 【請求項 3】

請求項1において、前記陽極が、 $10^{-4}$ トール未満の圧力においては初期バイアス電圧で動作し、 $10^{-4}$ トール以上の圧力においては、初期バイアス電圧より低いバイアス電圧で動作する電離真空計。

## 【請求項 4】

請求項1において、さらに、前記電離真空計の圧力モードに基づいて、前記陽極の前記バイアス電圧を変更する制御器を備えた電離真空計。

20

## 【請求項 5】

請求項 1 において、前記陽極のバイアス電圧が、前記陽極と前記収集電極との間の電位差が 90 ボルト未満となるように切り替えられる電離真空計。

## 【請求項 6】

請求項 1 において、前記陽極のバイアス電圧が、前記陽極と前記収集電極との間の電位差が 80 ボルトとなるように切り替えられる電離真空計。

## 【請求項 7】

請求項 1 において、前記電子源が 20 ボルト未満のバイアス電圧で動作する電離真空計。

## 【請求項 8】

請求項 1 において、前記収集電極によって収集された電流が圧力信号を生成する電離真空計。

10

## 【請求項 9】

請求項 1 において、前記電子源は、前記陽極の内側に位置し、前記収集電極は前記陽極の外側に位置する電離真空計。

## 【請求項 10】

請求項 1 において、前記電離真空計はベイアード - アルパート型である電離真空計。

## 【請求項 11】

請求項 1 において、電離体積空間が、板状の陽極と板状の収集電極とによって形成され、電子を生成する前記電子源は、前記板状の陽極と前記板状の収集電極との間にある電離真空計。

20

## 【請求項 12】

少なくとも 1 つの電子源から電子を生成する工程と、

前記電子を陽極方向に移動させてイオンを生成し、通常の高真空圧力測定動作中、初期陽極バイアス電圧と収集電極の収集バイアス電圧との間の初期電圧差を形成する初期陽極バイアス電圧で前記陽極が動作する工程と、

前記収集電極において、電子と、気体分子および原子との衝突によって生成されたイオンを収集する工程と、

通常の高真空圧力より高い圧力測定動作中に、スパッタ衝突の発生率を低減させるために、前記初期電圧差と 180 V 未満である前記陽極バイアス電圧との関係に基づいて、前記陽極バイアス電圧と前記収集バイアス電圧との間の電圧差を減少させる工程と、

30

を含んだ、気体分子および原子の気体圧力を測定する方法。

## 【請求項 13】

請求項 12 において、さらに、イオンの衝突エネルギーを低減するために、前記初期電圧差との関係に基づいて前記陽極のバイアス電圧を切り替えることを含んだ方法。

## 【請求項 14】

請求項 12 において、さらに、前記収集されたイオンから圧力信号を生成することを含んだ方法。

## 【請求項 15】

請求項 12 において、さらに、 $10^{-4}$  トール未満の圧力において初期バイアス電圧で前記陽極を動作させることと、 $10^{-4}$  トール以上の圧力で前記バイアス電圧を低下させることとを含んだ方法。

40

## 【請求項 16】

請求項 12 において、さらに、測定する圧力に基づいて前記陽極のバイアス電圧を制御することを含んだ方法。

## 【請求項 17】

請求項 12 において、さらに、前記陽極と前記収集電極との間の電位差が、90 ボルト未満となるように前記バイアス電圧を切り替えることを含んだ方法。

## 【請求項 18】

請求項 12 において、さらに、20 ボルト未満で前記電子源を動作させることを含んだ

50

方法。

【請求項 19】

基板を準備する工程と、  
 ツール内の前記基板上で処理を実行するために前記ツールを真空排気する工程と、  
 電子を生成する少なくとも 1 つの電子源と、  
 電子と気体分子との衝突によって生成されたイオンを収集する収集電極と、  
通常の高真空圧力測定動作中、初期陽極バイアス電圧と前記収集電極の収集バイアス電圧との間の初期電圧差を形成する初期陽極バイアス電圧で動作する陽極と、  
通常の高真空圧力より高い圧力測定動作中に、スパッタ衝突の発生率を低減させるために、前記初期電圧差と 180 V 未満である前記陽極バイアス電圧との関係に基づいて、前記陽極バイアス電圧と前記収集バイアス電圧との間の電圧差を減少させる制御器と、  
 を設けることによって、圧力を測定する工程と、  
 処理基板を形成するために、真空雰囲気内で前記基板上において処理を実行する工程と、  
 を含んだプロセス。

【請求項 20】

請求項 19において、スパッタ衝突の発生率を低減するために、前記陽極が、前記所定の圧力に基づいて、前記初期電圧差との関係に基づいて前記バイアス電圧を切り替えるプロセス。

【請求項 21】

分析装置を用いてプロセスのパラメータを測定する工程と、  
 電子を生成する少なくとも 1 つの電子源と、  
 電子と気体分子との衝突によって生成されたイオンを収集する収集電極と、  
通常の高真空圧力測定動作中、初期陽極バイアス電圧と前記収集電極の収集バイアス電圧との間の初期電圧差を形成する初期陽極バイアス電圧で動作する陽極と、  
通常の高真空圧力より高い圧力測定動作中に、スパッタ衝突の発生率を低減させるために、前記初期電圧差と 180 V 未満である前記陽極バイアス電圧との関係に基づいて、前記陽極バイアス電圧と前記収集バイアス電圧との間の電圧差を減少させる制御器と、  
 を設けることによって、圧力を測定する工程と、  
 を含んだプロセス。

【請求項 22】

請求項 21において、スパッタ衝突の発生率を低減するために、前記陽極が、所定の圧力に基づいて、前記初期電圧差との関係に基づいて前記バイアス電圧を切り替えるプロセス。

【請求項 23】

請求項 5において、前記電子源が 20 ボルト未満のバイアス電圧で動作する電離真空計。

【請求項 24】

請求項 17において、前記電子源を 20 ボルト未満で動作させることを含んだ方法。

【発明の詳細な説明】

【関連出願】

【0001】

本願は、2008年2月21日付で出願された米国特許仮出願番号第 61/066,631 号の利益を主張するものであり、上記出願の全教示は参照により本明細書に引用したものとする。

【技術分野】

【0002】

本発明は、電離真空計、および気体圧力測定方法に関し、詳細には、電離真空計を用いて測定された気体の圧力に基づき、基板に対して処理を行う方法に関する。

【背景技術】

10

20

30

40

50

## 【0003】

電離真空計、より具体的には、ベイアード - アルパート ( B A ) 電離真空計は、極めて低い圧力を測定する最も一般的な非磁性手段である。この真空計は、世界中で広く用いられてきている。これらの真空計は、特許文献 1 で開示されており、その全内容は参照により本明細書に引用したものとする。典型的な電離真空計は、電子源と、陽極とイオン収集電極とを含んでいる。 B A 電離真空計に関しては、電子源は、電離空間または、円筒陽極のスクリーンによって形成される陽極体積空間の外側に置かれている。イオン収集電極は、陽極体積空間内に配置されている。電子は、電子源から陽極へ、および陽極を通って移動し、陽極を通過し、また陽極に戻って循環し、その結果、陽極内または陽極近くで保持される。

10

## 【0004】

電子は移動中に、測定される圧力を形成する気体雰囲気を構成する気体の分子および原子と衝突する。電子と気体とのこの衝突によってイオンが生成される。イオンは、典型的には接地されたイオン収集電極に引き付けられる。気体雰囲気内の気体の圧力は、イオンおよび電子電流から式  $P = (1/S) (I_{ion} / I_{electron})$  によって計算できる。ここで、S は、単位が 1 / トール ( Torr ) の係数であり、特定の真空計形状、電気パラメータおよび圧力範囲の特性である。

## 【先行技術文献】

## 【特許文献】

## 【0005】

20

【特許文献 1】米国特許第 2,605,431 号明細書

## 【発明の概要】

## 【発明が解決しようとする課題】

## 【0006】

典型的な電離真空計の動作寿命は、真空計が良好な環境で動作している場合には、約 10 年である。しかし、極めて高圧力下で、または電子源の放出特性を低下させる種類の気体内で動作させた場合、これらと同一の真空計および電子源 ( 陰極 ) は、数分または数時間で故障する。陰極が真空計の気体雰囲気と相互作用することで、動作寿命を減少させることになる。水蒸気に曝される場合には、陰極上の酸化物被膜は劣化する可能性がある。酸化物被膜の劣化は、陰極によって生成される電子数を急激に減少させる。水蒸気に曝されると、タンゲステン陰極であれば完全に焼き切れる。

30

## 【0007】

電離真空計を高圧力 ( 例えば  $10^{-4}$  トール以上 ) で動作させる場合には、スパッタリングも問題となる。高圧力においては電離する気体がより多く存在するため、スパッタリングが問題となる。このスパッタリングは、本発明者によって立証されているように、イオンと電離真空計の構成部品との間の高い衝突エネルギーによって引き起こされる。高エネルギーのイオンは、電離真空計の収集電極支柱 ( collector post ) を形成するタンゲステン材料と衝突する。この結果、原子が、収集電極支柱および外囲体の表面から放出されるようになる。この放出により、大きな内部運動エネルギーが運ばれる。放出された材料は、材料の見通し線内の他の表面へ自由に移動でき、陰極の表面を覆うことによって、または、真空計の貫通絶縁物の表面を覆うことによって、漏電を引き起こし、真空計が故障する原因となることがある。

40

## 【0008】

ベイアード - アルパート電離真空計で生成されるイオンの運動エネルギーは、陽極グリッドと収集電極支柱との間のバイアス電圧の差によって形成される。典型的には、陰極のバイアス電圧は 30 ボルトであり、陽極グリッドのバイアス電圧は、従来では、180 ボルトで動作している。収集電極電圧は、通常は、接地電位か、または接地電位に近い電圧に固定されている。これらの電圧差は、電子に 150 エレクトロンボルト ( eV ) のエネルギー量を提供するよう設定されている。このエネルギー量は、真空計の電離体積空間内に存在する全ての気体の化学種を効率的にイオン化することができる。この電位差もまた

50

、確実に、陰極から陽極体積空間へ電子を効率的に移動させる。効率的なイオン化には、低い気体密度レベルにおいて収集電極の適切な信号対雑音比を確保する必要がある。

【0009】

+ 180 ボルトで陽極グリッドを動作させると、高エネルギーイオンが、動作中に、接地された収集電極支柱に到達することになる。それらのイオンが、0 ~ 180 eV の範囲の運動エネルギーで収集電極表面に衝突する。この拡散によるこの大きなエネルギーにより大きなスパッタリング収率となる。

【0010】

例えば、0.2 原子 / イオン衝突もの大きなスパッタリング収率が、200 eV の運動エネルギーで、タンゲステンターゲットに衝突する Ar<sup>+</sup> イオンについて立証されている。陽極グリッドの外側で生成されたイオンもまた、180 eV もの大きな運動エネルギーを有して外団体の壁に到達できる。このような大きな運動エネルギーはまたスパッタリング収率を増加させ、これらの衝突によって、材料が外団体の壁および隣接する構造物から除去される。

【0011】

本発明では、スパッタの発生率を低減するために、高圧力レベルにおいて、陽極グリッド電圧を低下させる。本発明の電離真空計は、陽極グリッド電圧を約 80 ボルトまで低下させることにより、タンゲステン収集電極の表面に衝突する Ar<sup>+</sup> イオンについては、スパッタリング収率を約 1/5 に低減することができる。陰極電位を低下させることにより、陽極と陰極との電圧差によって、原子および分子を十分イオン化させることが可能な電子を供給できる。

【0012】

収集電極のスパッタ率に対するイオンエネルギーと電子放出電流との両方の効果が、長期間の研究を通して、発明者らの研究室で実験的に試験された。その研究では、35 ミリトルのアルゴンガス中での多数の Micro-Ion (登録商標) ゲージの動作を数ヶ月間追跡した。試験した真空計の全てが、小さな初期直径の二重タンゲステン収集電極を含んでいた。予想通り、収集電極の直径の侵食速度（すなわち、高エネルギーのアルゴンイオンとタンゲステン壁とのスパッタ衝突による）は、電子放出電流に比例し、イオンエネルギーに大きく依存していた。180 V から 80 V へグリッド電圧が変化したこと（180 から 80 eV へイオンエネルギーが減少していることを示す）によって、現在のスパッタリングモデルに基づいた理論計算の予測を越えて、スパッタリング収率が約 1/15 に低減した。放出電流が減少し、イオンエネルギーが低下した動作真空計は、収集電極侵食がほとんど検知できず、隣接する電極構造の金属化の兆候が検出できず、時間経過に伴うフィラメントの動作パラメータの変化が最小であった。低い電子放出電流と低いイオンエネルギーで動作することの利点は、この慎重に監視した試験によって十分に示されている。

【課題を解決するための手段】

【0013】

本発明は、高圧力で動作する場合に、スパッタリングを低減させて圧力を測定する電離真空計を提供する。この電離真空計は、電子を生成する少なくとも 1 つの電子源と、電子と気体分子との衝突によって生成されるイオンを収集する収集電極とを含んでいる。電離真空計はまた陽極も含んでいる。陽極は、スパッタ衝突の発生率を低減するために、所定の圧力において収集電極のバイアス電圧に応じてバイアス電圧を切り替えるように構成されている。

【0014】

一実施形態では、電離真空計は、1 つの圧力範囲（例えば、約 10<sup>-4</sup> トール未満）において、初期バイアス電圧で陽極が作動するように構成されている。また、高圧力（例えば、約 10<sup>-4</sup> トール以上の圧力）では、陽極は初期バイアス電圧より低いバイアス電圧で動作する。

【0015】

10

20

30

40

50

電離真空計は制御器を有してもよい。制御器は、電離真空計内の圧力の圧力範囲に基づいて、陽極のバイアス電圧を変化させる。陽極は、陽極と収集電極との間の電位差が90ボルト未満となるようにバイアス電圧を切り替えることができる。他の実施形態では、陽極のバイアス電圧は、陽極と収集電極との間の電位差が約80ボルトとなるように切り替えられてもよい。さらに他の実施形態では、真空計は、20ボルト未満で動作するか、または約10ボルトで動作する電子源を有してもよい。

【0016】

本発明のさらなる実施形態では、電離真空計は陽極グリッドを有し、陽極バイアス電圧は、約180ボルトから80ボルトへ切り替えることができる。あるいは、陽極バイアス電圧は、約180ボルトから他の陽極バイアス電圧へ切り替えられる。陽極は、約10<sup>-4</sup>トール以上の圧力においては低いバイアス電圧で動作し得る。

10

【0017】

電離真空計はさらに、三極管型電離真空計として、収集電極が陽極を取り囲んでいる構成を含んでもよい。あるいは、収集電極は陽極の外側に位置付けられてもよい。電離真空計はさらに第2の収集電極を含んでもよい。第2の収集電極は、高圧力で生成されたイオンを収集するために陽極の外側に位置付けることもできる。電離真空計は、ペイアード・アルパートタイプであってもよい。真空計はまた、冷陰極電子源を含んでもよい。

【0018】

本発明のさらに他の態様においては、気体の分子と原子の気体圧力を測定する方法が提供される。この方法は、少なくとも1つの電子源から電子を生成することと、イオンを生成するために電子を陽極方向に移動させることとを含んでいる。電子と、気体分子および原子が衝突することによって生成されたイオンが、収集電極で収集される。収集電極のバイアス電圧に対する陽極のバイアス電圧は、イオン収集電極へのイオンの衝突エネルギーを減少させるように切り替えられる。

20

【0019】

好ましくは、イオン収集電極電位は、イオン収集電極電流が比較的小さい場合に、特に低圧力の場合には、接地への漏れ電流を防ぐために、接地電位に近い低電位となるよう選択される。陰極フィラメントの電位は、所定のエネルギーでイオン収集電極に電子が到達することを防ぐために、典型的には、接地に対して、およびイオン収集電極電位に対しても、約30ボルトの電位に選択される。これは、高い放出電流と低いイオン収集電極電流との組み合わせに関係している。陽極電位は、典型的には、接地に対して約180ボルトとなるように選択される。

30

【0020】

陽極と陰極との間の電位差によって、電子が陽極に到達するときの電子のエネルギーが決まる。この電位差は、典型的には、約150ボルトとなるように選択される。気体の電離に利用可能な電子のエネルギーが約150eVとなるように、陽極電位は陰極よりも相対的に高電位にされている。150eVは、ほとんどの気体について、電離確率・電子エネルギー曲線のかなり低い傾斜部分にある。したがって、150eVでは、電子エネルギーに伴う電離真空計の感度のばらつきは最小となる。これは、特定の気体の化学種に依存することを理解できるであろう。電子は、約150eVのエネルギーで陰極から陽極へ加速される。一般に、この電位差がより低い値となることによって、空間電荷が陰極からの電子放出を始めることが理解できるであろう。空間電荷は、陰極からの電子放出を制限し、一般的な制御回路は、所望の特定の電子放出電流に達するまで、陰極に電力を供給しようとするので、高温での動作となり、陰極の故障を引き起こす。陰極電位を低下させることによって、より低い陽極電位であっても、空間電荷制限なしに、許容可能な陽極と陰極の電位差を達成することができる。

40

【0021】

第2に、陽極とイオン収集電極との間の電位差によって、イオンがイオン収集電極に到達するときのイオンの最大エネルギーが決まる。陽極近くで生成されたイオンは、最大エネルギーを有し、イオン収集電極の比較的近くで生成されたイオンは、比較的小さいエネ

50

ルギーを有する。陽極と陰極、または真空計の外囲体との間の電位差は、典型的には、約180ボルトである。これは、イオン化された原子および分子がイオン収集電極の表面に到達するときの、エネルギー、したがって衝撃を表す。陽極における電位分布は、陽極体積空間の大部分が陽極の電位近くにあり、イオン収集電極に到達するイオンの大部分が最大エネルギーを有するような形状を有している。陰極または真空計の外囲体に対する陽極の電位差はまた、イオンが、最終的には、比較的低い任意の電位表面（例えば、陰極、収集電極シールドまたは真空計の外囲体）に到達するときの、陽極体積空間の外側で生成されるイオンのエネルギーを表す。

#### 【0022】

上述の電位を変えることによって、より多くの電子をイオン収集電極に到達させ、測定されるイオン収集電極電流を低減することができる。しかし、イオン収集電極に到達する電子の数が増しても、イオン収集電極に到達する正のイオン電流は変化しない。測定される収集電極電流は、収集電極に到達する電子を差し引いた、収集電極に到達するイオンに等しいことは理解されるであろう。生成されるイオンの数（例えば、電離確率）を減少させる電位変化、または、収集される生成イオンの数を減少させる電位変化によって、イオン収集電極への実際のイオン電流が減少する

10

#### 【0023】

収集される生成イオンの数は、イオンエネルギーとイオン収集電極の直径またはイオン収集電極の形状に依存する。比較的低い電位表面では、スパッタリングは、生成されるイオンの数と、当該表面に到達するイオンの数と、それらのイオンのエネルギーとに直接関係する。スパッタ率は、単位時間当たりにスパッタされる原子数に関係し、単位時間当たりの入射イオンの数に関連している。スパッタリング収率は、入射イオン1個あたりにスパッタされる原子数と関係し、入射イオンのエネルギーに関連している。高圧力ではイオン電流が大きくなり、その結果、高圧力ではスパッタ率も大きくなる。イオンエネルギーを減少することによって、スパッタリング収率が低下し、これによって、比較的高圧力であってもスパッタリング収率を低減することができる。

20

#### 【0024】

本発明のさらに他の態様によると、基板を設けることと、ツールを真空排気して、ツール内で基板に処理を施すことと、圧力を測定することとを含んだプロセスが提供される。圧力を測定する方法は、電子を生成する電子源と電離体積空間とを含み、この電離体積空間内では、電子が気体分子と原子とを含む気体状物質に衝突する。スパッタ衝突の発生率を低減するために、高圧力レベルにおいて、陽極グリッド電圧が低減される。収集電極が、電子と気体状物質との衝突によって形成されたイオンを収集する。

30

#### 【0025】

プロセスの実行に真空計を用いることができる。このプロセスには、処理基板を形成するため、真空雰囲気において、基板上で工程を実行することを含む。他の実施形態では、プロセスには、フラットパネルディスプレイの製造に伴う工程、磁気媒体製造工程、太陽電池製造工程、光学コーティング工程、半導体製造工程およびそれらの組み合わせからなる群から選択される工程を含むことができる。作業にはまた、物理気相成長法、プラズマ気相成長法、化学気相成長法、原子層体積法、プラズマエッティング工程、注入工程、酸化、拡散、真空リソグラフィ工程、ドライ剥離工程、エピタキシー工程、急速熱処理工程、紫外線リソグラフィ工程およびそれらの組み合わせからなる群から選択される1つ以上のプロセスを含んでもよい。

40

#### 【0026】

好ましくは、圧力を測定するために、収集電極からの電流が圧力信号へ変換される。このプロセスはまた、分析装置を用いてプロセスのパラメータを測定することを含んでもよい。一実施形態においては、この分析装置は、ウェハのパラメータを測定してもよい。分析装置は、走査型電子顕微鏡、エネルギー分散型X線分析装置、走査型オージェ微小分析装置、グロー放電質量分析装置、電子分光装置、原子間力顕微鏡装置、走査プローブ顕微鏡装置、フーリエ変換赤外分光装置、波長分散型X線分析装置、誘導結合プラズマ質量分

50

析装置、蛍光X線分析装置、中性子放射化分析装置、計測装置(metrology instrument)、およびそれらの組み合わせからなる群から選択できる。プロセスのパラメータはまた、質量分析計を用いても測定できる。質量分析計は、ガスクロマトグラフ分析装置、液体クロマトグラフ分析装置、イオントラップ型質量分析装置、磁気セクター型分析装置、二重収束質量分析装置、飛行時間型質量分析装置、回転磁界型分析装置、イオン移動度型分析装置、線形四重極質量分析装置またはそれらの組み合わせのうちの1つであってもよい。このプロセスにおける電離真空計は、電流を収集電極から圧力信号に変換することが好ましい。

#### 【0027】

さらに他の実施形態では、プロセスは、製造プロセス工程を含み、次いで、分析装置を用いてそのプロセスのパラメータを測定し、圧力を測定することを含んでもよい。圧力測定は、高圧力でのスパッタ衝突の発生率を低減する間に、実行される。分析装置は、任意の質量分析計または上述の任意の装置であってもよい。

10

#### 【0028】

本発明の上記および他の目的、特徴ならびに利点は、添付の図面で示されているように、本発明の好ましい実施形態についての以下のより詳細な説明から明らかとなろう。なお、同一の参照符号は異なる図面であっても同一部品を指している。図面は、必ずしも縮尺通りではなく、代わりに、本発明の原理を説明すことに重点が置かれている。

#### 【図面の簡単な説明】

#### 【0029】

20

【図1】本発明の一般的な電離真空計の概略図である。

【図2】図1の収納型の電離真空計の詳細な概略図である。

【図3】本発明による、高圧力での電子衝突エネルギーを低減するために、陽極電圧電源に接続された陽極を含む、電離真空計の概略図である。

【図4】高圧力において第2の収集電極を用いてイオンを収集し、かつ電離真空計の測定範囲を拡大する、電離真空計の実施形態の概略図を示している。

【図5】高圧力において第2の収集電極を用いてイオンを収集し、かつ電離真空計の測定範囲を拡大する、電離真空計の実施形態の概略図を示している。

【図6】高圧力において第2の収集電極を用いてイオンを収集し、かつ電離真空計の測定範囲を拡大する、電離真空計の実施形態の概略図を示している。

30

【図7】本発明のシュルツ・フェルプス電離真空計の概略図を示している。

【図8】作業を処理するために、クラスタツールおよび分析装置と共に使用される図3の電離真空計の概略図を示している。

#### 【発明を実施するための形態】

#### 【0030】

本発明の好ましい実施形態を以下に説明する。

#### 【0031】

一般に、図1に示すように、本発明の電離真空計100は、少なくとも1つの電子源105と少なくとも1つの収集電極110とを有する。電子源105は、任意選択の絶縁材料115によって少なくとも1つの収集電極110から分離されてもよく、それによって、測定チャンバ117内の気体の分子および原子が、電子源(複数可)105を劣化させるのを防止する。電離真空計100はまた、電離体積空間、具体的には、陽極120を含んでいる。陽極120と収集電極110の構成部品は、種々の異なる構成を有し、電離真空計100は図1に限定されない。一実施形態では、電離真空計100は、ペイアード・アルパート型真空計であるか、または陽極グリッド体積空間120に向かって電子を放出するのに加熱陰極105を用いる電離真空計100である。しかし、電離真空計100は、任意の特定の電離真空計の構成に限定されず、本発明は、いくつかの異なるタイプの真空計を包含することは理解されるであろう。

40

#### 【0032】

ペイアード・アルパート型真空計100は、一定の電子流による気体分子のイオン化に

50

基づいている。参照符号 125 で示されている負電荷の電子が、加熱陰極 105 から、高精度で制御された選択可能な速度で放射され、正に帯電した陽極 120 に向かって放出、または加速される。電子 125 は、陽極 120 へ入り、陽極 120 を通り抜け、陽極 120 を通過し、また陽極に戻って循環する。次に、電子 125 が陽極 120 の電離体積空間内で保持される。この空間内で、電子 125 は気体分子と衝突して、正電荷のイオンが生成される。これらのイオンは 1 つ以上のイオン収集電極 110 によって収集される。収集電極 110 は、正電荷の陽極 120 に対して負の電位となる接地電位近くにある。しかし、この構成に限定されるものではなく、収集電極 110 は、陽極 120 と異なるいろいろな電位差を有してもよい。陽極電圧および電子放出電流に対して陰極を一定の電圧に維持する状態では、正イオンが生成される割合は、真空計 100 内の気体の密度に直接関連する。収集電極 110 からのこの信号は、電流計 135 によって検出される。この電流計は、全ての圧力読取値について圧力単位に換算される。

#### 【0033】

図 1 の実施形態は、ベイアード - アルパート型の真空計 100 の非収納型構成として示されている。収納型の電離真空計もまた可能であることは明らかである。図 2 は、本発明の実施形態である特定の収納型の電離真空計 200 を示している。電離真空計 200 は、上述の電離真空計 100 (図 1) と同様の構成部品に以下の追加構成部品を備えている。電離真空計 200 はチューブ 205 内に収納されている。チューブ 205 は、気体の分子および原子がシールド 220 を通って、測定チャンバ 117 に入れることが可能のように一端 225 で開放されている。シールド 220 とチューブ 205 とで、シールド体積空間を形成する。任意選択の第 2 のイオン収集電極 210 が、極めて短い平均自由行程の高圧力を測定するためつけ加えられる。

#### 【0034】

動作中、気体の分子および原子は、部分的に開いたシールド 220 を通って測定チャンバ 117 に入る。シールド 220 は、シールド 220 の外部の電位が、測定チャンバ 117 内の電荷分布を乱すのを防止する。シールド 220 は、参考電位に維持される。一実施形態においては、参考電位は接地電位である。

#### 【0035】

次に図 3 に移ると、電子源 (例えば陰極フィラメント) 105 が、外囲体 113 で形成されたチャンバ 117 内で電子 (電子ビーム 125 で表されている) を生成する。電子 125 は、測定チャンバ 117 内の気体分子をイオン化するのに用いられる。フィラメント 105 の幾何学的形状は、直線状のリボン、直線状のワイヤ、真っ直ぐなリボン、曲がったリボン、ヘアピンワイヤまたは当技術分野で公知の任意の他の形状であってもよい。一実施形態では、陰極 105 は、陰極加熱電源 113 からの電流で抵抗加熱されて、白熱光を発する。放出熱電子 125 が放出されるか、または、測定チャンバ 117 内へ陽極 130 に向かって加速もしくは方向付けられてもよい。電子は、電子を陽極 130 の電離体積空間にまで移動させるだけの十分なエネルギーを有し、陽極 130 に入るのに十分なエネルギーを有する。

#### 【0036】

制御器 105a が、陰極バイアス電源 105b に接続され、陰極 105 は、通常動作中、約 30 ボルトの陰極バイアス電圧と、陰極加熱電源 113 からの加熱電圧とを供給される。陰極 105 が十分に加熱されると、制御器 105a は、適正な電子電流を維持するように陰極 105 を制御する。陰極バイアス電圧によって、電子 125 を陽極グリッド 130 に向かって移動させるのに十分な差電圧が、陰極 105 と陽極 130 との間に与えられる。公称設計エネルギーよりも広範なエネルギーの広がりにより電離が生じる。Scientific Foundations of Vacuum Technique (Saul Dushman著、1962年) の電離真空計に関する第 5.7 節を参照のこと。なお、この全内容を参照により本明細書に引用したものとする。

#### 【0037】

制御器 105a はまた、バイアス電圧を陽極ワイヤグリッド 130 に供給する陽極電圧

10

20

30

40

50

電源 130a に接続されている。高真空条件で圧力を測定するとき、陽極ワイヤグリッド 130 には約 180 ボルトの陽極バイアス電圧が加えられている。この差 (180 ボルト - 30 ボルト) によって、電子に 150 eV のエネルギーが与えられる。これは、電子 125 が、陰極 105 と陽極グリッド 130 との間に形成される電位差を通過するときに、単一の自由電子 125 によって得られる運動エネルギーの量である。この 150 eV は、高真空条件において、電離真空計の体積空間内に存在する全ての気体の化学種をイオン化するのに十分である。

#### 【0038】

これらのイオン化された原子および分子は、イオン収集電極 110 に到達するときに、約 180 eV の最大エネルギーを有することができる。陽極ワイヤグリッド 130 の電離体積空間内で生成されるこれらのイオンは、収集電極表面 110 に衝突し、高圧力で動作するときは、この大量のイオンが過剰になり、単位時間あたりのスパッタ率を増加させる。上述のように、スパッタリング収率は、200 eV の運動エネルギーを有するタングステンターゲットに衝突する Ar<sup>+</sup> イオンについては、0.2 原子 / イオンの大きさとなる。この運動エネルギーは、電離真空計 100 の構成部品を損傷し、電離真空計 100 を劣化させる。高いスパッタ率を防止するために、スパッタリング収率を低下させるように電離真空計を設計する。

#### 【0039】

本発明の電離真空計 100 は、スパッタ衝突の発生率を低減するために、高圧力レベルにおいて収集電極 110 のバイアス電圧に応じて陽極グリッドのバイアス電圧レベルを低下させる。陽極グリッドのバイアス電圧を約 80 ボルトに低下させることによって、収集電極 110 のタングステン表面に衝突する Ar<sup>+</sup> イオンについては、スパッタリング収率を約 1/5 に低減することができる。陽極グリッド 130 のバイアス電圧を低下させても、電子のエネルギーは、電子が気体原子および分子と衝突して、陽極グリッド 130 内の電離体積空間内に存在する全ての気体の化学種をイオン化するのに十分な高い値を維持する。同時に、イオンの運動エネルギーが減少して、収集電極 110、外囲体の壁、および隣接して接地された電極構造（図示せず）に到達するイオンのエネルギーを減少させる。これは、陰極 105 と陽極 130 との間に十分な電位差を与える間に生じるので、電子 125 は、スパッタリング収率を低減する一方で、陽極グリッド 130 が形成する体積空間に入ることができる。

#### 【0040】

注目すべきことに、バイアス電圧を低下させる副作用として、電離真空計 100 の感度を低下させることができる。このバイアス電圧の低下は高圧力レベル（すなわち、10<sup>-4</sup> トール以上）で生じるので、収集電極 110 が受けるイオン電流信号は比較的大きい。収集電極 110 が受信するこの信号 / 騒音レベルは、電離真空計 100 の動作に適している。

#### 【0041】

第 1 の実施形態では、電離真空計 100 は、制御器 105a が、高圧力モードにおいて、陽極グリッド 130 のバイアス電圧を低下させることを含んでいる。図示した実施形態では、陽極電圧電源 130a を制御することによって、制御器 105a が、陽極グリッド 130 に供給されるバイアス電圧を十分に低下させることができ。陽極グリッド 130 は、180 ボルト未満の陽極バイアス電圧で動作する。この低下されたバイアス電圧によって、電子運動エネルギーが 150 eV から減少し、または、陰極 105 と陽極グリッド 130 との間の電位差が減少する。

#### 【0042】

注目すべきことに、このように電子運動エネルギーが 150 eV 未満に減少しても、依然として、電離真空計 100 の体積空間内に存在する全ての気体の化学種をイオン化するのに十分である。気体の化学種としての様々な単原子に必要な電離エネルギーのしきい値は 3.88 eV (Cs) から 24.58 eV (He) の範囲であり、また酸素、窒素および水素では 15 eV である。測定しようとする気体物質に応じて、それぞれいろいろのイ

10

20

30

40

50

オン化工エネルギーが可能であり、これらも本発明の範囲内にある。

【0043】

他の実施形態では、制御器 105a は制御信号を陽極電圧電源 130a に出力して 180 ボルトから 80 ボルトまたはそれ未満に供給する陽極バイアス電圧を低下させる。この実施形態では、電子エネルギーまたは陰極 125 と陽極 130 とのバイアス電圧の差は、50 eV のエネルギーである。この電圧差は、高いスパッタリング収率に起因する電離真空計 100 の劣化を起こすことなく、高圧力で気体をイオン化するのに十分である。この結果、タンゲステンの収集電極 110 の表面に衝突する Ar<sup>+</sup> イオンは、スパッタ衝突の発生率が低減し、この 50 eV という値によって、スパッタリング収率を 1/5 に減少し得る。他の陽極バイアス電圧もまた想定され、本発明の電離真空計 100 は、任意の特定の陽極バイアス電圧の低下に限定されることは理解されるであろう。 10

【0044】

一実施形態においては、電離真空計 100 は、陽極 130 が、ある圧力では、初期バイアス電圧で動作し、高圧力（例えば、約 10<sup>-4</sup> トール以上）では、初期バイアス電圧より低いバイアス電圧で自動的に動作するように構成されている。制御器 105a は、陽極 130 と収集電極 110 との電位差が 90 ボルト未満になるようにバイアス電圧を自動的に切り替えることができる。

【0045】

他の実施形態では、陽極 130 と収集電極 110 との電位差が約 80 ボルトとなるように、陽極 130 のバイアス電圧が、約 180 ボルトから約 80 ボルトへ切り替えられてもよい。陰極 105 と陽極 130 との十分な電圧差を維持するために、陰極フィラメント 105 に 20 ボルト未満の電圧を供給するか、または、約 10 ボルトの電圧を供給することができる。陽極 130 は、高圧力または約 10<sup>-4</sup> トール以上で、より低いバイアス電圧で動作できる。 20

【0046】

低圧力においては、高いスパッタリング収率が、上述の高圧力条件に関するほど問題ではないが、制御器 105a は、陽極バイアス電圧供給を増加するように陽極バイアス電圧電源 130a を制御してもよい。十分なイオン化工エネルギーを得るために、この電位差を大きくすることができる。これによって、電子は、確実に、極めて低密度の気体を効果的にイオン化するのに十分なエネルギーを有する。 30

【0047】

陰極 105 のバイアス電圧は極端に低い電圧にはできず、収集電極 110 と外囲体の壁 113 のバイアス電圧より高い電圧でなければならないことは理解されるであろう。好ましくは、陰極 105 のバイアス電圧は、収集電極 110 の電圧より約 10 ボルト高いのが好ましい。

【0048】

本発明の電離真空計 100 は、陽極グリッド 130 のバイアス電圧を制御することに限られる。フィラメント 105 および収集電極 110 のバイアス電圧は、制御器 105a によって変更してもよい。フィラメント 105 および収集電極 110 のバイアス電圧は、スパッタリング収率を最小限にするため、および電離真空計 100 の寿命を延ばすために、制御器 105a によっても変更できる。電離真空計 100 は、三極管型電離真空計（図示せず）または他の特定のタイプの真空計 100 として構成されてもよいことは理解されるであろう。本発明の電離真空計 100 は、BA 電離真空計に限らず、冷陰極電子放出源 105 を含んでもよいことは理解されるであろう。 40

【0049】

イオンのエネルギーは、イオン収集電極 110 と陽極 130 との電圧差によって決まる。ここで、陽極 130 は、一定の電圧に保たれ、収集電極 110 はイオンのエネルギーを減少させるために接地電位より高い電圧に保たれる。

【0050】

次に図 4 に移ると、本発明の他の実施形態が示されている。ここでは、電離真空計はベ

10

20

30

40

50

イアード - アルパート電離真空計 400 である。しかし、真空計 400 は、代替的に、冷電子放出源を備えた冷電子放出源型電離真空計 400 として製造されてもよい。真空計 400 は、陽極グリッド 430 と陰極フィラメント（電子源）405 と第 1 イオン収集電極 410a とを含んでいる。陽極 430 は、第 1 イオン収集電極 410a を取り囲んでいる。

【0051】

典型的には、ベイアード - アルパート電離真空計は、高真空および超高真空雰囲気の圧力を測定するのに用いられている。圧力測定能力は、高真空レベル、すなわち約  $10^{-4}$  トールで信頼性が低下し、約  $10^{-3}$  トールでさらに限界となる。観察された問題の 1 つは、高圧力においては、電子が陽極グリッド 430 に向かう途中で散乱することである。中性種との衝突による散乱によって、長い電子軌道が損なわれる。さらに、イオン密度が収集電極支柱 410a の周りで増加するため、陽極 130 内でイオンを効果的に収集する能力も低下する。

【0052】

本発明の電離真空計 400 は、好ましくは、高圧力において、陽極グリッド 430 の外側に位置するイオンを収集する。この収集により、効果的な圧力動作範囲を約  $10^{-4}$  トール以上に拡大する。

【0053】

本実施形態では、第 2 のイオン収集電極 410b を、陰極フィラメント 405 の近くまたはより近くの位置に配置する。収集電極 410b によって、高圧力では、電子源 405 近くに位置するイオンを、確実に、効果的に収集する。収集電極 410b は、高圧力において陽極 430 の外側で生成されるイオンを収集するために、もう 1 つの第 2 のイオン収集電極 410b として使用するように構成されている。第 2 の収集電極 410b は、 $10^{-5}$  トールの低い検出可能な最小圧力限界値を有しながら、100ミリトール以上のレベルにまで、真空計 400 の動作範囲を拡大する。これにより、真空計の組み合わせにおいて、熱損失または静電容量型ダイヤフラム圧力センサとうまく重ねて使用することができる。これによって、PVD、半導体およびハードディスク製造プロセスにおけるプロセスサイクルの間のセンサ切り替えに起因する損失時間もなくなる。また、これによって、真空計 400 に期待され、かつ装置の真空能力に必要な基本的定能力が維持される。

【0054】

電離真空計 400 はまた、第 2 のイオン収集電極 410b がフィラメント 405 近くに位置付けられ、追加のフィラメント支持柱（図示せず）内で支持されてもよい。これは、第 2 のイオン収集電極 410b を既存の真空計に追加設置するのに有利である。さらに他の代替的な実施形態では、第 2 の収集電極 410b は、他の支持構造物（例えば、陽極グリッド 430 近くに位置する支持柱）内で支持されている。様々な支持構造が可能である。

【0055】

第 2 のイオン収集電極 410b は、図 4 で示されているような支柱 410b もしくは電極板 410c（図 5）であってもよく、または、電極グリッドもしくは壁 410d（図 6）として形成されてもよい。図 5 の第 2 のイオン収集電極 410c は、電流計 435a に接続され、あるいは、電流計 435 に接続される収集電極 410a に動作可能に結合されてもよい。第 2 の収集電極 410b は、イオンを測定するために、異なる電流計 435a または収集電極 410a と同じ電流計 435 に接続される。真空計 400 は、任意の特定の構造に限定されない。

【0056】

図 6 に移ると、第 2 のイオン収集電極が、中間壁 410d として形成されてもよい。収集電極壁 410d が陽極 430 と第 1 のイオン収集電極 410a と陰極 405 とを取り囲んでいる。

【0057】

中間壁 410d はスイッチ 440（図 6）に接続されてもよい。スイッチ 440 は、イ

10

20

30

40

50

オンを収集する2つのモード、すなわち、高圧力動作モードと通常（高真空）動作モードとを備える。高圧力動作モードでは、電離真空計400は、第2のイオン収集電極グリッドまたは壁410dを用いてイオンを収集する。通常（高真空）動作モードでは、第1のイオン収集電極410aがイオンを収集する。真空計400は、スイッチ440を利用して、収集電極410aを用いてイオンを収集するか、または収集電極410dを用いてイオンを収集するか、を切り替えることができる。スイッチは、手動で制御するかまたは電子的に制御できる。制御器450に接続された電流計435が受信した検出信号を用いて、圧力が測定される。一方の収集電極が高圧力で用いられ、一方、異なる圧力では、他方の収集電極が圧力を測定するのに用いられる。

## 【0058】

10

中間壁410dは、好ましくは、既存のBA電離真空計400に、追加組み込み方式により、設置することができる。この実施形態においては、スイッチ440を追加組み込み方式で設置することができ、既存のBA電離真空計400内の電流計435と第1のイオン収集電極410aとの間に接続する。

## 【0059】

陰極放出レベルは一定に維持され、また陽極430の電圧バイアスも一定に維持されることを理解されるであろう。一実施形態では、電流計435は、 $1 \times 10^{-4}$ トールの圧力を検出し、次に、制御器450へ信号を出力する。これに応答して、次に、制御器450は、第1のイオン収集電極410aを用いるイオン収集から、第2のイオン収集電極410dを用いるイオン収集に切り替えて、フィラメント405のより近くで生成されたイオンを収集する。

20

## 【0060】

他の実施形態では、イオン電流測定は、一方の収集電極から他方の収集電極へ効果的に自己切り替えしてもよく、それによって、圧力が約 $10^{-3}$ トール以上に増加するにつれて、イオン電流は内側の収集電極から著しく減少し、また、圧力が約 $10^{-3}$ トール以下に減少すると、外側の収集電極から著しく減少する。外側の収集電極からのイオン電流は、一般に、 $10^{-4}$ トール未満では無視できる程度であることは理解されるであろう。

## 【0061】

電離真空計400は、2つのイオン収集電極410a、410dよりも多い収集電極を備えて形成されてもよいことは理解されるであろう。真空計400は、高圧力でイオンを収集するために、第2のイオン収集電極410dと、第3のイオン収集電極（図示せず）またはフィラメント405近くに配置されたより多くの収集電極とを含んでもよい。様々な構成が可能であり、それらの構成も本発明の範囲内にある。

30

## 【0062】

図7に示される他の実施形態では、電離真空計100は、平板として構成された陽極115と、陽極115に平行な平板として構成されたイオン収集電極110と、これらの2枚の平板110、115の間に位置付けられた電子源105とを備えた、シュルツ フェルプス（Schulz Phelps）形状で構成されてもよい。

## 【0063】

図8に移ると、電離真空計100は、処理工程を行うための、クラスタツール800または別のマルチチャンバツールと共に用いられることが好ましい。一実施形態では、クラスタツール800は、バルブ810aによって移送チャンバ810に接続されたロードロックチャンバ805を含んでいる。ロードロックチャンバ805は、バルブ810bによって大気条件から密封されている。単一のチャンバとマルチチャンバの両方のクラスタツール800が想定され、電離真空計100は、単一のチャンバまたはマルチチャンバのいずれのツール構成でも使用できる。電離真空計100は、真空チャンバでの使用に限定されず、当技術分野で公知の任意の製造チャンバ内で用いることができる。

40

## 【0064】

クラスタツール800はまた、プロセスマジュール815を含んでもよい。プロセスマジュール815は、バルブ810cによって移送チャンバ810にも接続されている。ク

50

ラスタツール 800 は、複数のプロセスモジュール 815 と、複数のロードロックチャンバ 805 を含んでもよいが、図示されたこの構成は限定的ではない。ロードロックチャンバ 805 は、バルブ V<sub>1</sub> によってロードロックチャンバ 805 に接続される粗引きポンプ R P 1 を含んでもよい。ロードロックチャンバ 805 と移送チャンバ 810 およびプロセスモジュール 815 はそれぞれ少なくとも 1 つの真空ポンプ V p<sub>1</sub>、V p<sub>2</sub>、V p<sub>3</sub> を含んでもよい。真空ポンプは、極低温真空ポンプ、または、例えばターボポンプもしくは水蒸気ポンプなどの他のポンプであってもよい。様々なポンプ形態が本発明の範囲内で可能である。

#### 【0065】

好ましくは、ウェハ（図示せず）がロードロックチャンバ 805 に導入され、チャンバ 805 は粗引きポンプ R p<sub>1</sub> と真空ポンプ V p<sub>1</sub> とを用いて真空引きを行い、真空条件に設定する。ウェハ操作用ロボット（図示せず）を用いて、ウェハをバルブ 810a を通して、移送チャンバ 810 まで移動することができ、次に、種々の積層工程を実施するためには、ウェハを、バルブ 810c を通してプロセスモジュール 815 内に置くことができる。一実施形態では、電離真空計 100 は、クラスタツール 800 のチャンバ 805、810 または 815 のうちの 1 つの内部に配置される。説明のために、電離真空計 100 は、プロセスモジュール 815 内に示されているが、任意の特定のチャンバまたは場所に限定されず、チャンバもしくはツール 800 の外側に配置されてもよい。

#### 【0066】

電離真空計 100 は、好ましくは、基準圧力（高真空）とより高い処理圧力（通常はミリトールの範囲内）との両方の圧力を測定できる。しかしながら、これは限定的ではなく、測定のための種々の動作パラメータが可能であり、それらパラメータも本発明の範囲内にある。電離真空計 100 は、フラットパネルディスプレイの製造、磁気媒体工程、太陽電池、光学コーティング工程、半導体製造工程およびその他の製造処理工程において、圧力測定に使用することができる。このようなプロセスには、物理気相成長法、プラズマ気相成長法（PVD）、化学気相成長法（CVD）、原子層体積法（ALD）、プラズマエッティング工程、注入工程、酸化／拡散、窒化物形成、真空リソグラフィ、ドライ剥離工程、エピタキシー工程（EPI）、急速熱処理（ RTP）工程、極紫外線リソグラフィ工程およびその他が含まれてもよい。好ましくは、電離真空計 100 は、例えば、顕微鏡または質量分析計などの 1 種以上の分析装置と共に操作可能であってもよい。質量分析計には、ガスクロマトグラフ分析装置（GC）、液体クロマトグラフ分析装置（LC）、イオントラップ型分析装置、磁気セクター型分析装置、二重収束質量分析装置、飛行時間型（TOF）質量分析装置、回転磁界型分析装置、イオン移動度型分析装置、線形四重極質量分析装置およびその他を含んでもよい。

#### 【0067】

また、電離真空計 100 およびクラスタツール 800 と共に（またはクラスタツール 800 なしに）用いられる表面分析装置 820 には、走査型電子顕微鏡、エネルギー分散型 X 線分析装置（EOS/XPS）、走査型オージェ微小分析装置（Auger/SAM）、グロー放電質量分析装置（GDMs）、電子分光装置（ESCA）、原子間力顕微鏡装置／走査プローブ顕微鏡装置（AFM/SPM）、フーリエ変換赤外分光装置（FTIR）、波長分散型 X 線分析装置（WDS）、誘導結合プラズマ質量分析装置（ICPMS）、蛍光 X 線分析装置（XRF）、中性子放射化分析装置（NAA）、計測装置およびその他が含まれてもよい。このリストは全てを網羅したものではなく、真空計 100 は、上記で挙げられていない他の装置と共に用いることも可能である。

#### 【0068】

本発明を、本発明の好ましい実施形態を参照して具体的に示し、説明してきたが、当業者であれば、添付の特許請求項に包含される本発明の範囲から逸脱することなく、形態および細部において様々な変更が可能なことを理解できるであろう。

#### 【符号の説明】

#### 【0069】

10

20

30

40

50

1 0 0 電離真空計  
 1 0 5 電子源  
 1 1 0 収集電極  
 1 2 0 陽極

【図1】

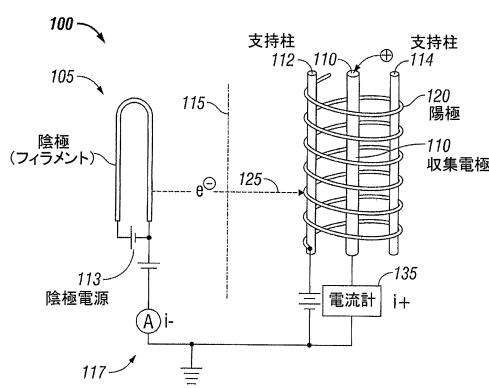


FIG. 1

【図2】

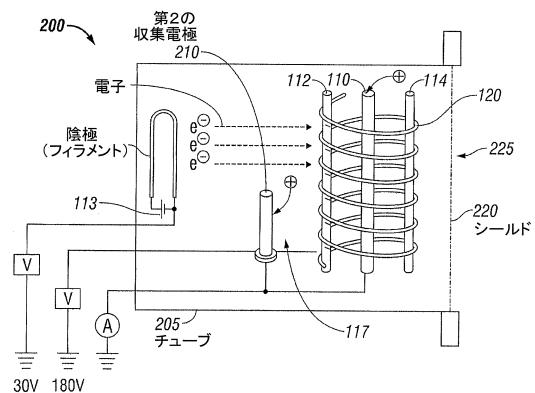


FIG. 2

【図3】

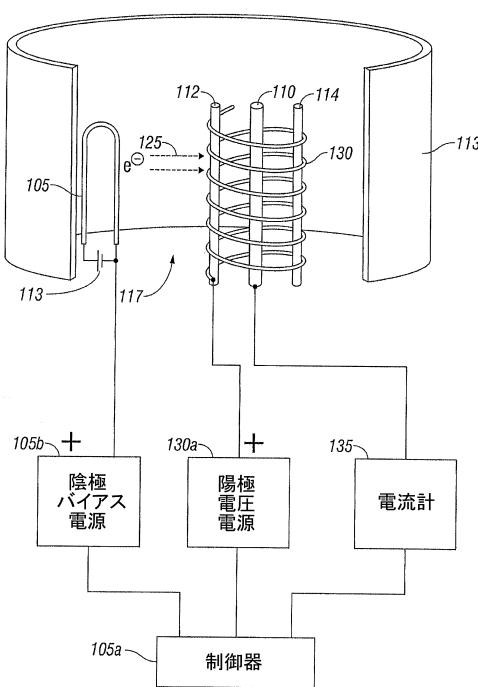


FIG. 3

【図4】

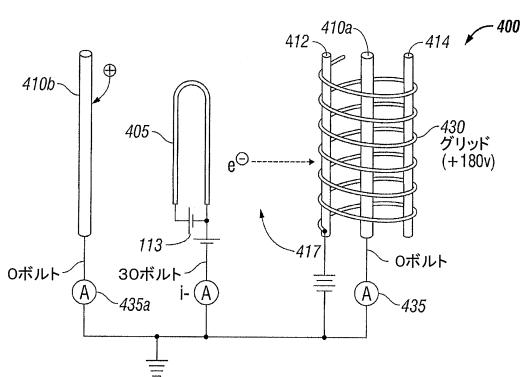


FIG. 4

【図5】

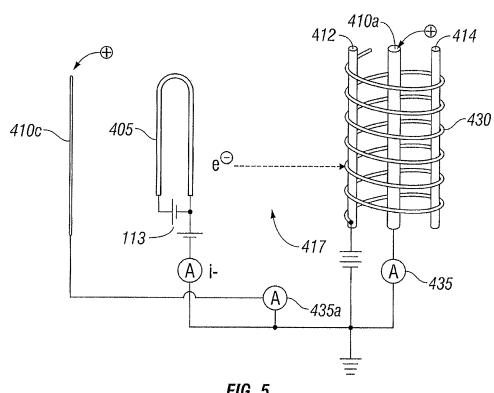


FIG. 5

【図6】

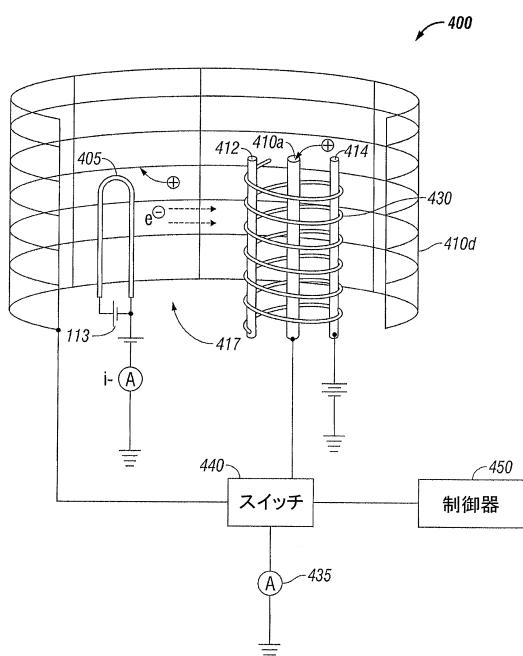


FIG. 6

【図7】

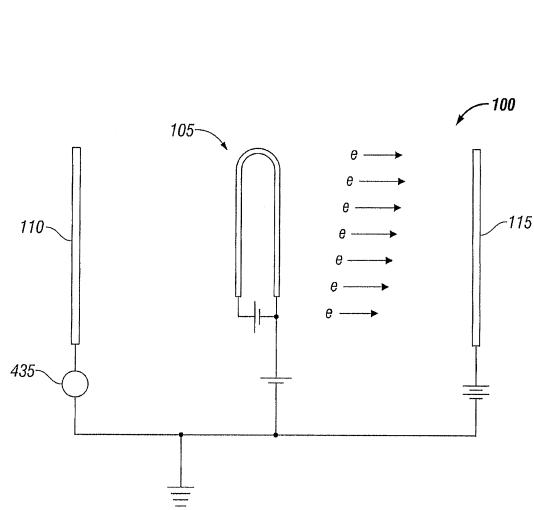


FIG. 7

【図8】

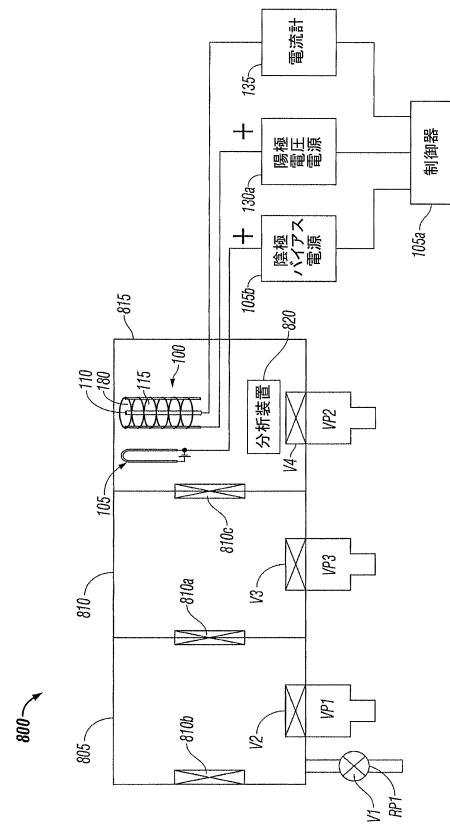


FIG. 8

---

フロントページの続き

(74)代理人 100144082  
弁理士 林田 久美子

(74)代理人 100154771  
弁理士 中田 健一

(74)代理人 100155963  
弁理士 金子 大輔

(72)発明者 ブルッカー・ジェラルド・エー  
アメリカ合衆国, コネチカット州 80503, ロングモント, ハーバード コート 2214

審査官 繩山 浩二

(56)参考文献 特表2005-534032 (JP, A)  
特開平10-281911 (JP, A)  
特開2004-349102 (JP, A)  
特開平07-181095 (JP, A)  
特開平10-213509 (JP, A)  
特開2000-241281 (JP, A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G01L 21/32