

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第5053359号  
(P5053359)

(45) 発行日 平成24年10月17日(2012.10.17)

(24) 登録日 平成24年8月3日(2012.8.3)

(51) Int. Cl. F I  
 HO 1 J 37/244 (2006.01) HO 1 J 37/244  
 HO 1 J 37/18 (2006.01) HO 1 J 37/18

請求項の数 31 (全 13 頁)

(21) 出願番号	特願2009-503072 (P2009-503072)	(73) 特許権者	501419107
(86) (22) 出願日	平成19年3月30日 (2007.3.30)		エフ・イー・アイ・カンパニー
(65) 公表番号	特表2009-532831 (P2009-532831A)		アメリカ合衆国オレゴン州97124, ヒルズバラ, ノースイースト・ドーソンクリーク・ドライブ5350
(43) 公表日	平成21年9月10日 (2009.9.10)	(74) 代理人	100103171
(86) 国際出願番号	PCT/US2007/008212		弁理士 雨貝 正彦
(87) 国際公開番号	W02007/117397	(72) 発明者	ラルフ・ウィリアム・ノウレス
(87) 国際公開日	平成19年10月18日 (2007.10.18)		アメリカ合衆国 オレゴン州 97166
審査請求日	平成22年2月7日 (2010.2.7)		フォレスト グローブ ピー・オー・ボックス356
(31) 優先権主張番号	60/787, 847	(72) 発明者	ミロス・トス
(32) 優先日	平成18年3月31日 (2006.3.31)		アメリカ合衆国 マサチューセッツ州 02139
(33) 優先権主張国	米国 (US)		キャンブリッジ ナンバー4
(31) 優先権主張番号	11/731, 743		マサチューセッツ アベニュー 850
(32) 優先日	平成19年3月30日 (2007.3.30)		最終頁に続く
(33) 優先権主張国	米国 (US)		

(54) 【発明の名称】 荷電粒子ビーム器具用の改善された検出器

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

試料を受け取るための試料室内に配置された試料ホルダと、  
 前記試料を照射するための光軸に沿って第1の荷電粒子の一次ビームを生成するために配置された粒子ソースと、

直径を有し、前記試料室内の圧力を電子光学カラム内の圧力よりも高圧に維持する圧力制限開口部と、

開口部を有し、前記照射に起因して試料から発生する電子信号を検出するために配置された第1の電極と、

前記試料ホルダより上に形成され、前記圧力制限開口部の上に延在する検出スペースと

10

、  
 前記試料ホルダの近傍に一次ビームを集束させるための磁界を提供するための磁気レンズと、

を備えた粒子光学装置であって、検出器スペースが前記検出器スペース内部に鞍点を有する電位界を含み、これに対応する電界が前記鞍点の周囲で電子を振動させ、前記電子振動の少なくとも1つが電子を前記圧力制限開口部の上に上げて検出効率を改善する、粒子光学装置。

【請求項2】

前記圧力制限開口部が前記圧力制限開口部を通過する二次電子の最大ラーモア半径よりも大きい半径を有する、請求項1に記載の装置。

20

## 【請求項 3】

前記圧力制限開口部が 1 ミリメートルより大きい半径を有する、請求項 1 に記載の装置。

## 【請求項 4】

前記圧力制限開口部が、前記圧力制限開口部の上の相当数の二次電子の最大半径方向変位よりも大きい半径を有する、請求項 1 に記載の装置。

## 【請求項 5】

前記圧力制限開口部が管状であり、前記電子カラム内に延在している、請求項 1 に記載の装置。

## 【請求項 6】

前記電子カラムの極片が試料室からのガス流を制限し、これにより前記圧力制限開口部として機能する、請求項 1 に記載の装置。

## 【請求項 7】

前記圧力制限開口部が、前記第 1 の電極からの十分な電界を前記圧力制限開口部の上に拡張して、前記鞍点周囲の前記電子振動を維持可能にするのに十分に大きい直径を有する、請求項 1 に記載の装置。

## 【請求項 8】

前記圧力制限開口部が電子のラーモア半径の 2 倍より大きい直径を有する、請求項 1 に記載の装置。

## 【請求項 9】

前記検出スペースが、電界が磁界（「B」）に対して横方向にある成分（「E」）を含み、 $2 \cdot m \cdot (E / B)^2 / q$ （「m」は電子の質量であり、「q」は電子の電荷である）がガスのイオン化エネルギーよりも大きい部分を含むように、前記第 1 の電極および界浸レンズが電界および磁界を提供するために配置され、前記試料からの電子信号の増幅をマグネトロンで強化する増幅ドメインで動作する、請求項 1 に記載の装置。

## 【請求項 10】

前記磁気レンズが界浸レンズを備え、検出器容量の有効部分が前記圧力制限開口部を越えて前記極片内へ延長された、請求項 1 に記載の装置。

## 【請求項 11】

前記試料室内の圧力が、前記二次電子のガス増幅を実現するのに十分に大きく、電子源の汚染を阻止するのに十分に小さい圧力に維持される、請求項 1 に記載の装置。

## 【請求項 12】

前記試料室内の圧力が約 1 Torr (133 Pa) 未満の圧力に維持される、請求項 1 に記載の装置。

## 【請求項 13】

前記試料室内の圧力が約 1 Torr (133 Pa) ~ 約 10 mTorr (1.3 Pa) の圧力に維持される、請求項 12 に記載の装置。

## 【請求項 14】

前記圧力制限開口部の上に位置決めされた第 2 の電極を更に備え、前記第 2 の電極が振動の第 2 周期中に前記圧力制限開口部を通過する電子の数を増大する電圧に維持される、請求項 1 に記載の装置。

## 【請求項 15】

前記第 2 の電極が前記圧力制限開口部に対して負にバイアスされる、請求項 14 に記載の装置。

## 【請求項 16】

高真空検出器が前記圧力制限開口部の上に位置決めされ、前記第 2 の電極が二次電子信号を前記高真空検出器に提供するためにバイアスされる、請求項 14 に記載の装置。

## 【請求項 17】

前記第 1 の電極がバイアスされて、荷電粒子を前記試料に提供して蓄積電荷を中和する、請求項 16 に記載の装置。

10

20

30

40

50

## 【請求項 18】

前記検出器スペース内の電子の一部が前記圧力制限開口部の上で検出され、前記検出器スペース内のイオンの一部が電荷中和のために使用される、請求項 14 に記載の装置。

## 【請求項 19】

前記電荷中和のために使用される前記イオンが、前記試料と衝突して負の電荷を中和する、請求項 18 に記載の装置。

## 【請求項 20】

圧力が 0.3 Torr (40 Pa) から 0.1 Torr (13 Pa) に低下するとき、前記二次電子信号の利得が 50% 未満だけ低減される、請求項 14 に記載の装置。

## 【請求項 21】

圧力が 0.3 Torr (40 Pa) から 0.1 Torr (13 Pa) に低下するとき、前記二次電子信号の利得が 25% 未満だけ低減される、請求項 14 に記載の装置。

## 【請求項 22】

圧力が 0.3 Torr (40 Pa) から 0.1 Torr (13 Pa) に低下するとき、前記二次電子信号の利得が 10% 未満だけ低減される、請求項 14 に記載の装置。

## 【請求項 23】

圧力が 0.3 Torr (40 Pa) から 0.1 Torr (13 Pa) に低下するとき、前記二次電子信号の利得が 5% 未満だけ低減される、請求項 14 に記載の装置。

## 【請求項 24】

前記圧力制限開口部の上にある電極が前記圧力制限開口部の電位より低い少なくとも 40 ボルトの電位に維持される、請求項 14 に記載の装置。

## 【請求項 25】

荷電粒子ビーム・システムを作動する方法であって、  
電子源を提供し、電子源周囲の環境を第 1 の圧力に維持するための電子源容量中に前記電子源を維持するステップと、

試料を保持する試料室を提供し、この試料室を第 2 の圧力に維持するステップと、  
源室と前記試料室との間に圧力制限開口部を設けて、前記源室と前記試料室との間の圧力差を維持するステップと、

前記電子源から発生する電子のビームを集束させるための磁気レンズを設けるステップと、

前記電子源からの荷電粒子のビームを前記磁気レンズを通して試料の方に向けるステップと、

前記試料から放出された二次電子を加速して、ガスと衝突させ追加の電子を生成するステップと、

電子の経路を増大して検出器スペース内の衝突の回数および収集される電子の数を増大するための磁界および電界を提供し、この電界と、ガスをイオン化して二次電子信号を増幅することのできる検出器スペースが、圧力制限開口部の上に延びて、相当数の電子の経路が前記圧力制限開口部の上に延びるようにし、これによってガス分子との電子の衝突回数および二次電子信号を増大させるステップと、を含む方法。

## 【請求項 26】

電界を提供するステップが、鞍点を有する電位界を検出器スペース内部に提供し、これに対応する電界が前記鞍点の周囲で電子を振動させ、相当数の電子の振動の少なくとも 1 つがそれらの電子を前記圧力制限開口部の上に向けて検出効率を測定可能に改善するステップを含む、請求項 25 に記載の方法。

## 【請求項 27】

磁気レンズを設けるステップが、前記検出スペース内に磁界を提供する界浸レンズを設けるステップを含み、

前記検出スペースが、電界の成分 (「E」) が磁界 (「B」) に対して横方向になっており、 $2 \cdot m \cdot (E/B) \geq 2/q$  (「m」は電子の質量であり、「q」は電子の電荷である) がガスのイオン化エネルギーよりも大きい少なくとも一部分を含むように電界およ

10

20

30

40

50

び磁界が提供され、装置が前記試料からの電子信号の増幅をマグネトロンで強化する増幅ドメインで動作し、前記検出スペースが圧力制限開口部の上に延在する、請求項 25 に記載の方法。

【請求項 28】

電界を提供するステップが、前記圧力制限開口部の上の電極に電位を提供するステップを含む、請求項 25 に記載の方法。

【請求項 29】

前記電子源室と前記試料室との間に圧力制限開口部を設けるステップが、圧力制限開口部を通過する二次電子の最大ラーモア半径よりも大きい半径を有する圧力制限開口部を設けるステップを含む、請求項 25 に記載の方法。

10

【請求項 30】

前記電子の経路を増大するための磁界および電界を提供するステップが、前記圧力制限開口部の上の電極を振動の第 2 の周期中に前記圧力制限開口部を通過する電子の数を増大する電圧に維持するステップを含む、請求項 25 に記載の方法。

【請求項 31】

圧力制限開口部を設けるステップが、前記第 1 の電極からの十分な電界を圧力制限開口部の上に延長して前記鞍点周囲の前記電子振動を維持可能にするのに十分に大きい直径を有する圧力制限開口部を設けるステップを含む、請求項 25 に記載の方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

20

【0001】

本願は 2006 年 3 月 31 日出願の米国仮出願第 60 / 787, 847 号および 2007 年 3 月 30 日出願の米国非仮出願第 11 / 731, 743 号からの優先権を主張するものであり、その開示を本願に参考として援用する。

【0002】

本発明は電子顕微鏡に関連する。

【背景技術】

【0003】

走査型電子顕微鏡 (SEM) においては、調査すべき試料のある領域が装置の光軸に沿って移動する電子の一次ビームによって検査される。試料に入射する電子は試料から他の荷電粒子を放出する。一次ビームの粒子のエネルギーよりも実質的に低いこれら二次粒子のエネルギーは、試料の性質、構造、および組成に関する情報を提供する。この理由のために、SEM はこの解放された粒子を検出するために二次粒子検出装置を備えていることが多い。従来の SEM はガス分子が一次ビームを散乱させ、二次粒子の収集に干渉するのを阻止するために真空中で動作する。

30

【0004】

例えば、二次粒子検出装置が正の電圧に保たれた電極を備えている場合、試料から放出された二次電子はこの電極の方に移動する。電極によって捕捉された二次電子は検出器において電流を生成し、この電流は増幅されて、試料についての情報を一次ビームの衝突地点に与えることができる。したがって、一次ビームによって走査される領域の各地点から得られる情報を編集することによって試料の画像を生成することが可能である。このようにして得られる像の質、特に像が記録される速度および信号対雑音比に関連し、できるだけ大きな検出電流を有することが有用であることは明白であろう。

40

【0005】

比較的高圧下の試料で動作する電子顕微鏡が、例えば米国特許第 4, 785, 182 号「Secondary Electron Detector for Use in a Gaseous Atmosphere」に記載されている。このようなデバイスは環境型走査電子顕微鏡または高圧走査型電子顕微鏡 (HPSEM) として知られている。HPSEM は、比較的高圧の試料室と電子集束カラムとの間の圧力制限開口部 (PLA) を用いてカラム内で高真空を維持する。PLA の直径は試料室内のガス分子が集束カラム

50

内へと急速に拡散するのを防ぐように十分に小さいので、高圧領域を通過する一次ビームの移動はPLAより下の経路に制限される。

【0006】

HPSEMにおいては、検査すべき試料は典型的には0.1 Torr (13 Pa) ~ 50 Torr (7000 Pa)、より典型的には1 Torr (130 Pa) ~ 10 Torr (1,300 Pa)の圧力を有するガスの雰囲気中に置かれるが、従来のSEMにおいては、試料は典型的には約 $10^{-6}$  Torr ( $1.3 \times 10^{-6}$  mbar)の真空中に置かれる。従来のSEMとは異なり、HPSEMは従来のSEMの典型的な真空条件下では画像が困難である、湿った試料または非導電性試料(例えば生体試料、プラスチック類、セラミック材料およびガラス繊維類)の電子光学画像を容易に形成することができる。このHPSEMは、乾燥、凍結、または真空コーティングの不利な効果に晒すことなく試料をその自然な状態に維持することを可能にする。これらの効果は従来のSEMを用いたそういった試料の研究に通常は必要となる。HPSEM試料室のガス雰囲気は、固有の電荷中和を、すなわち照射の結果として非導電性試料上に蓄積する表面電荷の消失をもたらす。消失する表面電荷は顕微鏡の分解能を増大させる。

10

【0007】

HPSEM中のガス雰囲気も改善された検出手段を可能にする。HPSEMでは、二次電子検出器の方向に移動する放出された二次電子はその経路の途中でガス分子と衝突する。この衝突の結果、「娘電子(daughter electrons)」と呼ばれる新しい電子がガス分子から放出されることになる。この娘電子はまた二次電子検出器の方向に移動する。次いで、この新しく解放された娘電子が再び他のガス分子と衝突するなどし、その結果、二次電子信号の増幅が起こる。用語「二次電子」とは、娘電子および反射された一次ビーム電子のほか、試料から直接放出された電子も包含する。二次電子が二次電子検出器まで移動する距離が長くなるほど、二次電子とガス分子との間で起こる衝突の回数が増えるので、達成される増幅はより大きくなる。他方では、存在するガス分子が一次ビーム電子を散乱させるので、加圧された試料室を通る一次ビーム経路はできるだけ短いことが望ましい。

20

【0008】

特開平5-174768号公報は粒子ソースからの一次ビームが磁気界浸レンズによって試料に集束されるHPSEMを記載している。界浸レンズは磁気双極子からなり、この双極子の極は試料の両側に配置されている。この磁界が試料から放出された二次電子を螺旋経路を辿らせて検出器まで至らせる。このようにして、二次電子が移動する距離は増し、その結果、衝突の確率は比例して増加し、検出装置の増幅率は増加すると言える。

30

【0009】

特開平5-174768号公報に記載の構成では、電子は磁界に対して平行に延びる軸の周囲の螺旋経路を辿る。試料から検出器まで電子が移動する距離は、検出器と試料との間の磁界方向の距離に直接依存する。したがって、できるだけ大きな増幅率を得るために、検出器電極は試料の上でできるだけ高く配置されなければならない。その結果、一次ビームがガス雰囲気を移動する距離も長くなり、一次ビームの散乱が増大する。検出装置のための増幅率の増大はこのように、例示のデバイスの分解能を犠牲にして達成される。

40

【0010】

改善された環境型走査電子顕微鏡が、Scholtzら(Scholtz)に授与された米国特許第6,972,412号「Particle-Optical Device and Detection Means」に記載されている。係る特許は本願に参考として援用されており、本発明の譲受人であるエフ・イー・アイ社に譲渡されている。Scholtzの発明では、検出器容量の一部は磁界に対して平行な成分を有する電界を含み、一部は磁界に対して直交する成分を有する電界を有する。二次電子は軸方向振動(すなわち、ペニング効果。「ヨーヨー」効果とも呼ばれる)および径方向振動(すなわち、「マグネトロン」効果)の両方を受ける。これらの振動は二次電子の経路長を大きく増大させ、ひいてはガス分子との衝突数を大きく増大させ、これにより二次電子信号の増幅が

50

増大する。この電界および磁界は、検出器スペースのかなりの数の電子がガス分子をイオン化するのに十分なエネルギーを有するのを保証するようなものである。

【 0 0 1 1 】

図 1 は S c h o l t z の原理による検出器 1 0 2 を用いた改善された H P S E M 1 0 0 の例を示す。試料室 1 0 4 においては、電極アセンブリ 1 0 6 がレンズ 1 1 2 の極片 1 1 0 を支持する極片支持体 1 0 8 の底部に取り付けられている。電極アセンブリ 1 0 6 は、アノード 1 2 0 と、イオン・トラップ 1 2 2 と、圧力制限開口部 P L A 1 2 6 を画定する穴を有する圧力制限開口部電極 1 2 4 とを含む。絶縁スペーサ 1 2 8 が種々の電極を分離する。一次電子ビーム 1 3 4 は P L A 1 2 6 を通って可動試料ステージ 1 3 8 上に置かれた試料 1 3 6 の方に導かれる。ガスがガス源 1 4 0 から試料室 1 0 4 に導入される。一次ビーム 1 3 4 が衝突すると、二次電子が試料 1 3 6 から放出される。この二次電子はアノード 1 2 0 の方向に向かって加速され、好ましくはマグネトロンとベニング振動との組合せを受ける。二次電子はガス分子と衝突するにつれてエネルギーを失い、最終的にアノード 1 2 0 によって収集される。イオン化されたガス分子はイオン・トラップ 1 2 2、試料 1 3 6、および P L A 1 2 6 によって収集される。ガス分子との衝突によって追加の電子を生み出すために、二次電子は試料と P L A 電極との間で利用可能な距離  $d$  を有する。S c h o l t z が記載した検出器では、P L A は極片の底部と同一平面にある。したがって、二次電子はガス分子との衝突によって追加の電子を生み出すのに利用可能な距離  $d_2$  のみを有する。P L A をレンズ内側に位置決めすることによって、この改善された構成は、作動距離、すなわちレンズと試料との間に距離を増大させることなく、ガスをイオン化して二次電子信号を増幅することのできる追加の検出器スペースを提供する。P L A をレンズ内側に位置決めすることによって追加の検出器スペースが得られるが、図 1 に示した実施形態にはまだ幾つかの不利がある。

【 0 0 1 2 】

1 . 検出器容量の有効部分の高さは、元の S c h o l t z の構成に比して延長されているものの、試料と P L A との間の距離「 $d$ 」によってまだ制限されており、これにより検出器スペースが制限されてしまう。

【 0 0 1 3 】

2 . 適切に増幅するために試料室は比較的高圧に維持されるので、P L A 径は電子ビーム・カラム内で十分な真空を維持するために比較的小さくしなければならない。直径が小さいことで一次ビームの偏向が制限され、これにより、用途によっては H P S E M の視野が制限される。

【 0 0 1 4 】

3 . 例えば極片が 4 mm 径を有する電子カラムでは図 1 に示した検出器の配置が有用であるが、2 mm 径を有する極片内にインレンズ型 P L A を収容することは難しい。したがって、小径を有するレンズのために、P L A はレンズの内側ではなくレンズの底部と同一平面に位置決めされ、検出スペースの高さは  $d_2$  まで低減される。次いで、作動距離、すなわちレンズとワーク・ピースとの間の距離、ガス圧、あるいはこの両方を増大することによって、分解能およびガス内でのビーム散乱を犠牲にして、この低減を補償しなければならない。また、図 1 に示した構成は同時発生する電子とイオン・ビーム用に最適化されたシステムに実装することはより難しい。

【 0 0 1 5 】

4 . S c h o l t z が記載したアノード周囲のヨーヨー振動の高さが P L A を越えて二次電子を移動させる場合、この二次電子は P L A の上の電極によって収集されることが多い(電子軌跡は電子光学カラム内部の電界および磁界の幾何学形状 ( g e o m e t r y ) ならびに強度によって決定される)。したがって、前記電子は増幅プロセスに更に関与するのにも、検出電流の一部としてアノードにより収集されるのにも利用できない。同様に、S c h o l t z が記載したアノード周囲のヨーヨー振動の高さが二次電子を P L A と接触させる場合、この二次電子は増幅プロセスに更に関与するのにも、検出電流の一部としてアノードにより収集されるのにも利用できない。電子は試料または P L A の上部から上

10

20

30

40

50

方へとその戻り経路を辿って検出器容量内へと移動しながら、P L Aの底部に衝突することがある。ヨーヨー振動の大きさは振動運動中のガスに対する電子エネルギー損失率によって決定される。このため、適切に増幅するためには、係るシステムは二次電子が最初の振動でP L Aに達しないように、ガス分子との衝突を通して十分なエネルギーを失う高い確率をもたらすような構成とすべきである。衝突の確率はガス圧および試料とP L Aとの間の距離に伴って増大する。したがって、最小使用可能チャンバ圧Pはdによって制限される。ヨーヨー振動の最初の半周期中に、二次電子がカラムへと失われるのを回避するとともに、P L Aによって収集されるのを回避するには、電子はその初期放出エネルギー以上であるエネルギー量 Eをガスに取られる。Eの大きさはPとdの積に伴って増大する。本発明の幾つかの実施形態では、P L A電極を越えて移動する二次電子の収集を阻止すべくP L A径を十分に大きくすることによって、dはP L Aより大きく増大され、P L A上の電界はカラムへの二次電子の喪失を防止するように構成される。

10

## 【0016】

5. Scholtzが記載したヨーヨー振動の高さは、負のバイアスをP L Aに印加することによって制限することができる。しかしこのような構成では、ヨーヨー振動の最初の全周期中にガスへ取られたエネルギー量 Eが初期二次電子放出エネルギーよりも小さい場合、試料から放出された二次電子は、ヨーヨー振動の最初の全周期後に元に戻って試料に衝突する。すなわち、増幅スペースを効果的に2倍にすることはできるが、この増大は未だ小さ過ぎて、低圧で作動距離が短い条件下で二次電子のかなりの部分が試料に失われるのを阻止できない。このことは極片内径が小さ過ぎて図1に示したような「インレンズ型」P L Aを実装できない場合に特に当てはまる。

20

## 【0017】

6. 荷電粒子ビームの一般的な作動中、ビームがワーク・ピースに衝突しないことが望ましい場合、ビームは「ブランク」にされる(blanked)。すなわち、ビームはカラム光軸側の固体障害物内へ向けられる。ビームがブランクされない場合、すなわちビームが試料の方に再方向付けされる場合、ビームは短時間ドリフトし易い。出願人らはこのドリフトがP L A電極上の電荷の蓄積、恐らくは、自然酸化物上あるいは存在し得るか薄い絶縁層を形成し得るあらゆる汚染層上の電荷の蓄積によって生じることを見出した。ドリフトの大きさはP L A径とは逆に変動する。十分な増幅を得るためには比較的高いガス圧が必要であるので、検出器102は典型的には、集束カラム内で低圧を維持するために比較的小さい径を有するP L Aを必要とし、その結果、小径のP L Aではドリフトの大きさが大きくなる。

30

【特許文献1】米国仮出願第60/787,847号

【特許文献2】米国非仮出願第11/731,743号

【特許文献3】米国特許第4,785,182号

【特許文献4】特開平5-174768号公報

【特許文献5】米国特許第6,972,412号

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

## 【0018】

40

本発明の目的は、荷電粒子ビーム器具のために低い試料室圧でガス増幅を改善することにある。

【課題を解決するための手段】

## 【0019】

本発明は検出器容量の有効部分を圧力制限開口部を越えて延長し、これにより、レンズと試料との間の距離を増大させることなく検出器容量を増大させる。

## 【0020】

上記は以下の本発明の詳細な説明がよく理解できるように、本発明の特徴および技術的利点をかかり大まかにまとめた。本発明の付加的な特徴および利点を以下に記載する。開示された概念および具体的な実施形態は、本発明の同じ目的を実行するための他の構造を

50

改変または設計する基礎として容易に利用できることを当業者は理解されたい。このような同等の構成は添付の特許請求の範囲に定めた本発明の精神および範囲から逸脱しないことも、当業者は理解されたい。

【 0 0 2 1 】

以下、本発明ならびにその利点を更に完全に理解するために、添付図面と共に以下の説明を参照する。

【発明を実施するための最良の形態】

【 0 0 2 2 】

本発明の実施形態は、P L A を通って極片に入る電子運動が使用可能なスペースを拡張することによって有効な検出器スペースを増大させ、これにより作動距離を増大させることなく有効な検出器スペースを増大させる。したがって、試料とP L A との間の距離による検出器性能の制限が取り除かれる。検出器スペースを作動距離よりも大きくすることができるので、十分な検出器スペースを提供するために大きな作動距離を有する必要がなく、したがって、本発明の実施形態は分解能を改善するより短い作動距離を有するカラム設計を可能にする。

10

【 0 0 2 3 】

ガス増幅の効率を増大することによって、本発明の実施形態は減圧での動作を可能にする。本発明の幾つかの実施形態では、P L A 径は従来技術のシステムの一般的なP L A 径に比して増大され、これによって、より多くの二次電子がP L A を通過することが可能となる。ガス圧は大きく、次いでその電子が更なる増幅に関与しアノードによって収集されるのに使用可能である場合、P L A より上に電極があることで、P L A より上の二次電子を試料の方に戻す電界を形成するのが容易になる。この改善された増幅効率のおかげでシステムはより低圧で動作することができ、より大きな径のP L A を使用することが可能となる。

20

【 0 0 2 4 】

本発明の実施形態は、図1に示すように、最終レンズ径が小さ過ぎてレンズ内へ延びるP L A を使用できないシステムに優れた増幅を提供することができる。

【 0 0 2 5 】

図2は本発明の好適な実施形態を示す。試料室202を有する好適なH P S E M 200では、電極アセンブリ204が極片208または試料室の屋根(図示せず)に取り付けられた極片支持体206の底部に取り付けられている。電極アセンブリ204はアノード210、イオン・トラップ212、およびP L A 216を画定する穴を有するP L A 電極214を備え、この電極は絶縁スペーサ218によって分離されている。電極220(第2の電極)がP L A 216より上に位置決めされ、極片208から電氣的に絶縁されている(図示せず)。一次電子ビーム222はP L A 216を通して可動試料ステージ232上に位置決めされた試料230の方に方向付けられる。ガスがガス源236から試料室202に導入される。二次電子は一次ビーム222が衝突すると、試料230から放出される。二次電子はアノード210の方に向けて加速され、電界および磁界の組合せの下では、S c h o l t z の特許に記載の運動を、すなわちマグネトロンとペニング振動との組合せを受けることが好ましい。この二次電子はガス分子と衝突するにつれてエネルギーを失い、最終的にはアノード210によって収集される。イオン化されたガス分子がイオン・トラップ212、試料230、およびP L A 電極214によって収集される。

30

40

【 0 0 2 6 】

電極220はP L A より上でレンズ内部に相当な電界を形成する。P L A 216は従来技術とは異なり、P L A を通して後方に電子を振動させるのに十分に大きい直径を有する。すなわち、電子はレンズに入り、次いで元に戻り、衝突を受けてより多くの自由電子を発生させ、最終的にはアノードによって収集され得る。P L A が大きいと圧力低下は更に緩やかになるので、幾つかの衝突もP L A より上で起こる。

【 0 0 2 7 】

本発明はどのような特定の電極配置にも限定されない。例えば、P L A 電極214は極

50



片208から電氣的に絶縁されてもよいし、PLA216より下または上の電界に合わせるためにバイアスされてもよい。例えば、図3は図2の実施形態と同様のHPSEM300の実施形態を示すが、アノードおよびPLAの機能は、絶縁スペーサ304によって極片208および極片支持体206から分離された単一電極302によって提供される。

#### 【0028】

図4は、極片208内に位置決めされた電極404がレンズ内に電界を提供し、圧力制限開口部406を画定するようにも機能するHPSEM400の実施形態を示す。電極404は電源(図示せず)に接続され、絶縁スペーサ408によって極片208から電氣的に絶縁されている。電極404は室410からカラム内に入るガス流を制限する。これは電極404の内径を十分小さく(例えば2mm未満)することによって、あるいは、例えば図4に示すように電極の基部を管状にすることによりガス伝導率を最小化するように402を成形することによって実現することができる。

#### 【0029】

好適な実施形態では、PLA半径はPLA電極による相当な二次電子収集を阻止するように十分に大きいことが好ましい。PLA最小半径は、PLAの中心とPLAを通過する二次電子の位置との間の最大半径方向距離よりも大きくなければならない。この距離は、典型的な適切な配置を有するシステムでは所与の圧力において、

a. PLAを通過する二次電子の最大ラーモア半径(Scholtzの特許に記載のように、電界および磁界における電子の運動は、ラーモア半径と呼ばれる半径を有する円運動を含む数種の単純な運動の重ね合わせとして説明することができる)および

b. PLAより上の磁界および電界の幾何学形状(磁界および電界はPLAより上の二次電子の最大可能半径方向変位を決定する。極先端を越える軸方向距離に伴って急速に磁界が減衰するカラムの場合、磁界の幾何学形状は特に重要である)によって決定される。

#### 【0030】

PLAの直径は典型的には従来技術のシステムの直径よりも大きい。検出器容量容量が増大されたことで所与の圧力でガス増幅が可能となるので、検出器は従来技術のシステムが可能にするよりも低圧で動作することができる。したがって、増大されたPLA径によって生じる電子ビーム・カラム内部のガス圧がどのように増大しても、試料室内部の圧力を低減することによって相殺することができる。

#### 【0031】

典型的なコンポーネント・サイズおよび動作パラメータを以下に示す。当業者であれば、異なる用途に適した実施形態用に適切な動作パラメータを決定することができる。Scholtzの特許に記載のように、コンポーネント(例えばアノード)を電圧および磁界強度に関連して、最適な用途のためにマグネトロンおよびペニング効果の両方を提供する電界および磁界を発生するようなサイズにすることが好ましい。以下に示す値は単なる例示であって、当業者が異なる用途のための適したパラメータを見つけるガイダンスを提供しようとするものである。実施形態はこれらの示唆した範囲外であってもよく、この示唆した範囲は本発明の範囲を制限しようとするものではない。特に、電極の機能は電極間の電位差によって決定される。したがって、電極バイアスは、本発明の範囲から逸脱することなく同等の電位差を生み出すように任意の量だけ相殺することができる。

#### 【0032】

PLAは0.1mm~約4mmの直径を有することが好ましく、最も好ましい直径は約1mmである。アノードおよびイオン・トラップは典型的には各々約0.1mm~約10mmの直径を有し、好ましい直径は約3mmである。

#### 【0033】

PLAは極片から電氣的に絶縁され、約-1000ボルト~約2000ボルトの電位に維持されることが好ましく、接地電位が典型的な電位である。アノードは約0ボルト~約2000ボルトの範囲内でバイアスされることが好ましく、約400ボルトの電位が最も好ましい。イオン・トラップは約-1000ボルト~約2000ボルトの範囲内でバイアスされることが好ましく、接地電位が最も好ましい。試料ステージは約-1000ボルト

10

20

30

40

50

～約1000ボルトの範囲内でバイアスされることが好ましく、接地電位が最も好ましい。

#### 【0034】

本発明の実施形態はより効率的な用途を提供するので、システムは低圧で動作することができ、さらにはこのことが電子ビームを弱めることなくより大きなPLAを使用し易くする。実施形態は典型的には、約1 Torr (0.13 Pa)～1 Torr (133 Pa)の圧力で動作し、約0.1 Torr (13 Pa)の圧力が好ましい。レンズの典型的な磁界強度は約0.1テスラである。より低い磁界強度(例えば0.01テスラ)の使用が可能であるが、結果的に二次電子閉じ込め効率が低減され、殆どの構成ではガス利得が低減される。大きな磁界強度の使用が可能であるが、実際には実現が困難である。検出器容量が増大されるため、検出器は低いガス圧で動作することができる。例えば、チャンバ圧は約1 Torr (133 Pa)～約10 Torr (.13 Pa)の範囲である。圧力が低いことで、電子源をファウリングしたり電子ビームを散乱させたりしなくても、大径のPLAの使用が可能となる。ガス・カスケードで発生する電子、イオン、または光子など、どの信号を用いても画像化を実施できる。

10

#### 【0035】

あるいは、図5に示すように、電子顕微鏡システム500は、試料室内の電極アセンブリ構造位置を荷電制御に用いながら、PLAの上に位置決めされた従来の高真空レンズ透過型(TTL)検出器を画像化のために用いることができる。図5は一次電子ビーム222を試料の方に向ける一方で、二次電子506をシンチレータ・光電子増倍管などの検出器508へ偏向させるウィーン・フィルタなどの偏向器502を示している。

20

#### 【0036】

レンズ透過型検出および荷電制御は、

a. ガス圧およびPLA径を十分に小さくしてTLD電極におけるガス損失(breakdown)を阻止すること、および

b. 二次電子の幾つかの部分がTLDによって収集される一方で、残りの二次電子が図3に示したような構造内でガス増幅されるように、TLD吸引管および偏向電極にバイアスを印加することによって達成される。このガス増幅は荷電制御用のイオンを発生させる。試料表面に入射するイオン断片はイオン・トラップの幾何学形状およびバイアスによって制御される。

30

#### 【0037】

上記のように、PLA上の入射絶縁層は電荷を蓄積し易く、ビームがブランクされないとき、蓄積された電荷は一次ビームをドリフトさせる。好適な実施形態では、PLAは電荷蓄積を最小にする材料から作成される。例えば、PLAは比較的導電性の酸化物を有する金属から作成してよい。「導電性」酸化物を有する金属の例はモリブデンである。自然酸化物はある種の臨界電圧が印加されると導電性になる。モリブデンの場合、この電圧は低いので、酸化物の充電によって生じるどのようなビーム・ドリフトも低い。電荷蓄積を最小化する材料から作成されるPLAの別の例は、炭素で被覆したPLA、あるいは黒鉛製のPLAである。

#### 【0038】

「導電性酸化物」を有する材料の使用は知られており、幾つかの用途、例えば電子カラムおよび分光計の設計などに用いられる。しかし、粒子は検出スペースでは正および負に充電されるため、HPSEMは試料の変質を低減することが知られているので、PLAが充電されることおよび充電が器具の動作に問題を引き起こすことは予期されなかった。

40

#### 【0039】

従来技術の検出器では、約0.3 Torr (40 Pa)未満の圧力においては、ガス利得は圧力低下に伴って急速に低下する。この利得の低下はPLA電極による二次電子の収集によって生じ、画像信号の90%を超える損失を占めることがある。すなわち、圧力が十分低いと、90%を超える電子がPLA電極によって収集されることがある。例えば0.1 Torr (13 Pa)では、電子の50%以上がPLA電極によって収集されること

50

がある。本発明の実施形態はこの数値を5%未満に低減することができ、ガス利得は他の要因によって制限されるようになる。

【0040】

このため、本発明の好適な実施形態では、圧力が0.3 Torrから0.1 Torr (40 Paから13 Pa)に低下するとき、二次電子信号の利得が50%未満だけ、より好ましくは25%未満だけ、更に好ましくは10%未満だけ、最も好ましくは5%未満だけ低減される。PLAによって収集される電子の割合は信号の低下にほぼ比例する。幾つかの実施形態では、圧力が0.3 Torrから0.1 Torr (40 Paから13 Pa)に低下するとき、相当な数の電子、好ましくは二次電子の15%より多い、より好ましくは25%より多い、最も好ましくは50%より多い電子がPLAを通過し、少なくとも1回はPLAより下に戻る。このため、好適な実施形態では、PLAの直径は十分に大きく、PLA上の電界は十分に強力であるので、信号損はこのパラグラフにおいて前述したレベルまで低減される。

10

【0041】

本発明およびその利点を詳細に説明してきたが、添付の特許請求の範囲によって定義される本発明の精神および範囲から逸脱することなく、本明細書において種々の変更、置換、および改変がなされてよいことを理解されたい。また、本願の範囲を本明細書に記載のプロセス、機械、製造物、組成物、手段、方法、またはステップの特定の実施形態に限定しようとするものではない。当業者であれば本発明の開示からすぐに理解できるように、本明細書に記載の相当する実施形態と実質的に同じ機能を実施するか、または実質的に同じ結果を達成する既存のあるいは将来開発されるプロセス、機械、製造物、組成物、手段、方法、またはステップが本発明に従って利用されてもよい。したがって、添付の特許請求の範囲は、このようなプロセス、機械、製造物、組成物、手段、方法、またはステップをその範囲内に包含するものとする。

20

【図面の簡単な説明】

【0042】

【図1】Scholtzらが記載したシステムの実施形態を示す図である。

【図2】本発明の第1実施形態を示す図である。

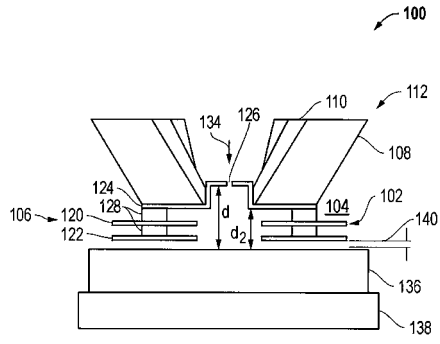
【図3】本発明の第2実施形態を示す図である。

【図4】本発明の第3実施形態を示す図である。

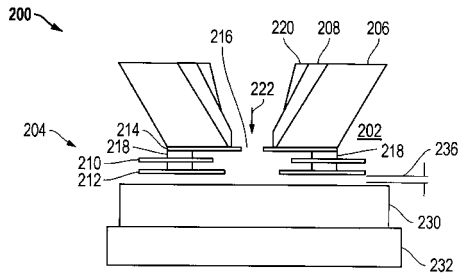
【図5】本発明の第4実施形態を示す図である。

30

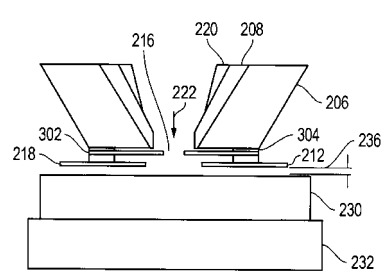
【図1】



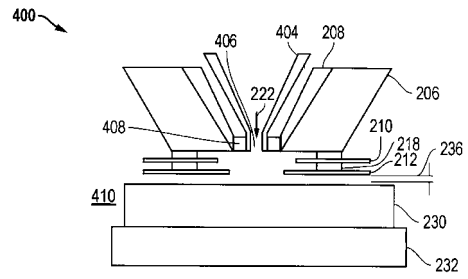
【図2】



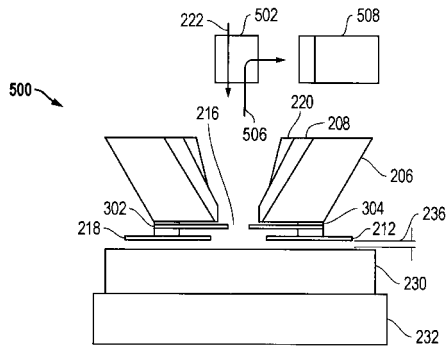
【図3】



【図4】



【図5】



---

フロントページの続き

審査官 遠藤 直恵

- (56)参考文献 特表2002-507045(JP,A)  
特表2005-539359(JP,A)  
特開平06-089686(JP,A)  
特開平10-134751(JP,A)  
特開2005-149733(JP,A)  
特開平07-262959(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H01J 37/00-37/02,37/05,37/09-37/18,37/21,37/24,37/244,37/252-37/295