

(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局

(43) 国際公開日
2019年11月28日(28.11.2019)



(10) 国際公開番号

WO 2019/224896 A1

(51) 国際特許分類:
H01J 37/153 (2006.01) H01J 37/244 (2006.01)
H01J 37/145 (2006.01)

(21) 国際出願番号: PCT/JP2018/019569

(22) 国際出願日: 2018年5月22日(22.05.2018)

(25) 国際出願の言語: 日本語

(26) 国際公開の言語: 日本語

(71) 出願人: 株式会社日立ハイテクノロ
ジーズ(HITACHI HIGH-TECHNOLOGIES
CORPORATION) [JP/JP]; 〒1058717 東京都港
区西新橋一丁目24番14号 Tokyo (JP).

(72) 発明者: 今井 悠太(IMAI Yuta); 〒1058717 東京
都港区西新橋一丁目24番14号 株式会社
日立ハイテクノロジーズ内 Tokyo (JP). 笹島
正弘(SASAJIMA Masahiro); 〒1058717 東京都
港区西新橋一丁目24番14号 株式会社日
立ハイテクノロジーズ内 Tokyo (JP). 高鉾 良
浩(TAKAHOKO Yoshihiro); 〒1058717 東京都

港区西新橋一丁目24番14号 株式会社日
立ハイテクノロジーズ内 Tokyo (JP).

(74) 代理人: ポレール特許業務法人(POLAIRE
I.P.C.); 〒1030025 東京都中央区日本橋茅場
町二丁目13番11号 Tokyo (JP).

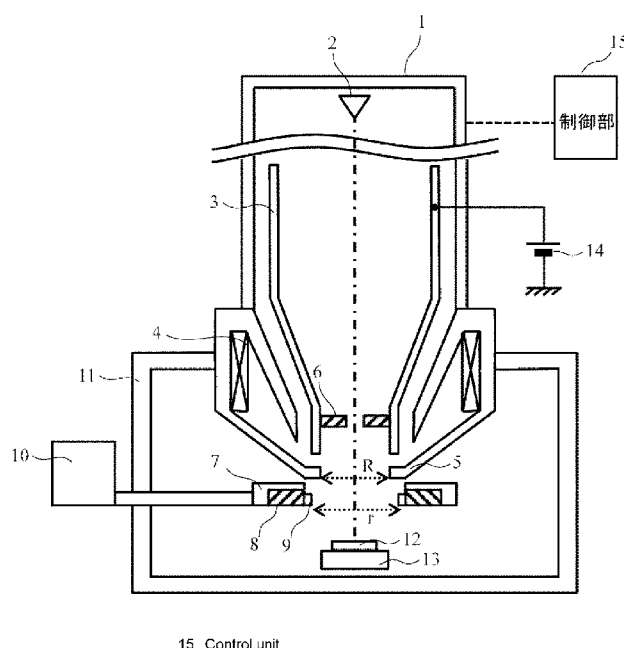
(81) 指定国(表示のない限り、全ての種類の国内保
護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ,
BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH,
CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO,
DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT,
HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, JP, KE, KG, KH,
KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY,
MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ,
NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT,
QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL,
SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA,
UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

(84) 指定国(表示のない限り、全ての種類の広域保
護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS,

(54) Title: CHARGED PARTICLE BEAM DEVICE AND DETECTOR POSITION ADJUSTMENT METHOD FOR CHARGED PARTICLE BEAM DEVICE

(54) 発明の名称: 荷電粒子線装置及び荷電粒子線装置の検出器位置調整方法

図1



(57) Abstract: By minimizing axial misalignment and changes in a decelerating field resulting from a structure between an objective lens and a sample in a charged particle beam device provided with a deceleration optical system, the present invention reduces adverse effects on an irradiation system and a detection system. This charged particle beam device comprises: an electron source 2; an objective lens 4 for focusing a probe electron beam from the electron source on a sample 12; an accelerating electrode 3 that accelerates the probe electron beam; a first detector 6 provided within the accelerating electrode; a decelerating electrode 5 that forms a decelerating field for the probe electron beam in the interval between said decelerating electrode 5 and the accelerating electrode and that has an opening through which the probe electron beam passes; and a second detector 7 inserted between the decelerating electrode and the sample. The second detector comprises an opening section 9 that is larger than the opening in the decelerating electrode, and a sensing surface 8 is provided around the opening section.

MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類：

一 国際調査報告（条約第21条(3)）

(57) 要約：減速光学系を備える荷電粒子線装置において、対物レンズ－試料間の構造物による減速電界の変化と軸ずれを抑制することで、照射系・検出系への悪影響を低減する。荷電粒子線装置は、電子源 2 と、電子源からのプローブ電子線を試料 1 2 に集束させる対物レンズ 4 と、プローブ電子線を加速させる加速電極 3 と、加速電極内に設けられる第 1 検出器 6 と、加速電極との間にプローブ電子線に対する減速電界を形成し、プローブ電子線がその開口を通過する減速電極 5 と、減速電極と試料との間に挿入される第 2 検出器 7 とを有し、第 2 検出器は、減速電極の開口よりも大きい開口部 9 を有し、開口部の周囲に感受面 8 が設けられる。

明 細 書

発明の名称：

荷電粒子線装置及び荷電粒子線装置の検出器位置調整方法

技術分野

[0001] 本発明は、荷電粒子線装置及び荷電粒子線装置の検出器位置調整方法に関する。

背景技術

[0002] 走査電子顕微鏡（SEM：Scanning Electron Microscope）は、集束させたプローブ電子線を試料上に照射及び走査した際に発生する信号電子を検出し、各照射位置の信号強度を照射電子線の走査信号と同期して表示することで、試料表面の走査領域の二次元画像を得るものである。

[0003] 近年、SEM観察時の電子線照射に伴う試料の帯電やダメージの回避、及び極表面の試料情報を得る目的で、照射エネルギーが約1keV以下の低加速観察の重要度が増している。しかし、一般的に低加速域では色収差が増大し、高分解能を得ることが難しい。この色収差を低減するため、プローブ電子線を加速して対物レンズを高速で通過させ、試料直前で減速して照射する減速光学系が知られている。

[0004] 減速光学系のうちブースティング法と呼ばれる手法では、SEMの対物レンズの内磁路の内壁に沿って正電圧を印加する筒状の電極を設け、試料は接地電位にする。また、リターディング法と呼ばれる手法ではSEMカラムの対物レンズ側は接地電位に保ち、試料に負電圧を印加する。いずれの手法においても対物レンズから電子源側のプローブ電子線の通過領域が試料よりも高電位であることが特徴であり、この電位差により形成される、プローブ電子線を試料に向かって減速させる電界をレンズ場として利用する。減速電界による静電レンズと対物レンズ磁場による磁場レンズを重畳させることで、低加速域で収差を低減でき、高分解能が得られる。

[0005] 一方、試料から発生した信号電子は試料－対物レンズ間の電界により加速

・集束されてSEMカラム内部に進入する。そのため、カラム内部に検出器を配置することで効率の良い検出が実現できる。特に、ブースティング電極内部の高電位空間に検出器を設置した構造がよく見られる。特許文献1には、このような減速光学系を備えたSEMにおいて、カラム内に配置された検出系で信号電子を検出する構成が開示されている。

[0006] 一方で、試料からの反射電子（BSE：Back Scattered Electron）を検出する方法として、SEMカラムと試料との間に検出器を配置する方法が知られている。試料近傍に検出面が位置することで比較的大きな検出立体角を取ることができ、また試料で低角度に散乱されたBSEを検出することに適している。これにより、例えば試料のチャネリングコントラストを明瞭に観察することが可能となる。特許文献2には、カラムと試料間に円環状のBSE用の検出器を設けた構成であり、BSEの放出角度を選択して検出可能な構成が開示されている。

先行技術文献

特許文献

[0007] 特許文献1：国際公開第2015／016040号

特許文献2：特開平7－65775号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0008] 減速光学系を備えたSEMにおいては、SEMカラム先端と試料との間に形成される電界が、照射系および検出系にとって重要な役割を果たす。一方で、試料からの信号取得のためにSEMカラムと試料との間に検出面を備えた構造物を配置することが行われる。カラム－試料間に配置された構造物は、カラムと試料間の電界に影響を及ぼす。その結果、プローブ電子線軌道及び信号電子軌道が変化し、照射系・検出系性能の悪化につながるおそれがある。

[0009] 例えば、対物レンズ内の加速電極から減速電極の開口を経て試料へ張り出

す電界が、対物レンズ下の構造物により遮蔽されることがある。この場合、電界によって形成される静電レンズの主面位置が試料から遠ざかることで、対物レンズ全体の収差が増大し分解能低下を引き起こす。加えて、信号電子の対物レンズ内への捕集効果が減衰しカラム内検出器での検出効率が低下する。

[0010] また、対物レンズ下の構造物が加速電極と減速電極で構成される電界の中心軸に対して対称性を欠く場合、試料近傍に軸非対称な電界が発生する。この時、電界の偏向作用により、プローブ電子線到達位置ずれや軸外収差の増大が引き起こされ、分解能やユーザビリティが悪化する。

課題を解決するための手段

[0011] 上記課題を解決するために、請求の範囲に記載の構成を採用する。例えば、一実施態様である荷電粒子線装置は、電子源と、電子源からのプローブ電子線を試料に集束させる対物レンズと、プローブ電子線を加速させる加速電極と、加速電極内に設けられる第1検出器と、加速電極との間にプローブ電子線に対する減速電界を形成し、プローブ電子線がその開口を通過する減速電極と、減速電極と試料との間に挿入される第2検出器とを有し、第2検出器は、減速電極の開口よりも大きい開口部を有し、開口部の周囲に感受面が設けられる。

発明の効果

[0012] 減速光学系を備える荷電粒子線装置において、対物レンズ－試料間の構造物による減速電界の変化と軸ずれを抑制することで、照射系・検出系への悪影響を低減する。

[0013] その他の課題と新規な特徴は、本明細書の記述および添付図面から明らかになるであろう。

図面の簡単な説明

[0014] [図1]実施例に係る荷電粒子線装置を示す概略断面図である。

[図2]減速光学系を備えたSEMにおける試料近傍の電位分布を示す図である。

[図3]比較例に係る対物レンズ下検出器を配置した場合における試料近傍の電位分布を示す図である。

[図4]実施例に係る対物レンズ下検出器を配置した場合における試料近傍の電位分布を示す図である。

[図5]実施例に係る対物レンズ下検出器を配置した場合における試料近傍の電位分布を示す図である。

[図6]対物レンズ下検出器の位置ずれ量に伴う非軸対称収差の変化を示す図である。

[図7]実施例に係る荷電粒子線装置の変形例を示す概略断面図である。

[図8]実施例に係る荷電粒子線装置の変形例を示す概略断面図である。

[図9]実施例に係る荷電粒子線装置の変形例を示す概略断面図である。

[図10]実施例に係る荷電粒子線装置の変形例を示す概略断面図である。

発明を実施するための形態

[0015] 以下、添付図面を参照しながら本発明の実施例を説明する。なお、添付図面は本発明の原理に則った具体的な実施例を示しているが、これらは本発明の理解のためのものであり、本発明を限定的に解釈するために用いられるものではない。なお、実施例および変形例を説明するための全図において、同一機能を有するものは同一符号を付け、その繰り返しの説明は省略する。

[0016] 図1は、本実施例に係る荷電粒子線装置を示す概略断面図である。荷電粒子線装置の例として、ブースティング法が適用されたSEMを示す。SEMカラム1は、試料12に対してプローブ電子線を照射するための機構を備えた電子源2、コンデンサレンズ（図示せず）や対物レンズ4などの電子レンズ、プローブ電子線を試料12上で走査するための偏向器（図示せず）や、試料12から発生する信号電子を検出するための第1検出器6を含む。対物レンズ4は例えばコイル等を用いて磁場を発生させ、プローブ電子線を試料12に集束させるための磁場レンズを形成する。なお、SEMカラム1は、上記以外に他の構成要素（レンズ、電極、検出器など）を含んでもよく、上述した構成に限定されるものではない。

- [0017] さらに、SEMは試料室11を備える。試料室11には、試料12を搭載する試料台13が設けられる。試料台13は、試料12を傾斜及び移動させるための機構を備え、この機構により試料12の観察領域を決めることができる。その他、SEMは試料室11およびSEMカラム1を真空排気するための真空排気設備（図示せず）を備える。
- [0018] また、SEMは、SEM全体を制御する制御部15を備える。制御部15は、SEMの各構成要素を制御するとともに、各種情報処理を実行する。制御部15は、画像表示装置（図示せず）を備え、検出器から得られた情報から生成されたSEM像を画像表示装置に表示する。
- [0019] 制御部15は、例えば、汎用のコンピュータを用いて実現されてもよく、コンピュータ上で実行されるプログラムの機能として実現されてもよい。コンピュータは、CPU（Central Processing Unit）などのプロセッサと、メモリなどの記憶部と、ハードディスクなどの記憶装置を少なくとも備える。制御部15の処理は、プログラムコードとしてメモリに格納し、プロセッサが各プログラムコードを実行することによって実現されてもよい。制御部15の一部が、専用の回路基板などのハードウェアによって構成されてもよい。
- [0020] SEMカラム1の対物レンズ4は、試料12に対し漏洩磁界が小さいアウトレンズ型である。また、SEMカラム1は減速光学系としてブースティング手段を備える。具体的には、SEMカラム1において、電子源2から光軸に沿って筒状の加速電極3が設置され、加速電極3にはブースティング電圧源14からの電圧が印加される。ブースティング電圧源14は制御部15によって制御される。加えて、対物レンズ先端部には減速電極5が設置される。加速電極3は、ブースティング電圧源14からの電圧印加により、減速電極5よりも高電位に設定される。これにより、加速電極3の試料側端部と減速電極5との間にプローブ電子線に対する減速電界が形成され、プローブ電子線はこの電界を通過する際にレンズ作用を受けて減速する。試料12と加速電極3との電位差は、例えば約10kVに設定され、SEMカラム1からの

漏洩電界が強いほど、試料 1 2 の近傍に焦点距離の短い静電レンズ作用を得ることができる。これにより収差が低減され、分解能の改善効果が大きくなる。

[0021] なお、図 1 の例では、減速電極 5 は磁性体で構成され、対物レンズ磁路及び減速電極 5 が一つの磁気回路として機能するように構成されている。これに対して、減速電極 5 を対物レンズ 4 とは独立した電極として構成しても良い。

[0022] 減速光学系では、試料 1 2 から放出された信号電子は、減速電極 5 からの電界により加速され、SEM カラム 1 内に捕集される。この電界による捕集効果は特に、エネルギーの低い信号電子にとってより効果的に働く。SEM カラム 1 内に進入した信号電子は SEM カラム内の加速電極 3 内部に設置される第 1 検出器 6 により検出される。第 1 検出器 6 の感受面は試料 1 2 よりも高電位とし、例えば加速電極 3 と同電位にされる。この場合、信号電子が試料 1 2 から放出されたときよりも加速されて第 1 検出器 6 の感受面に到達することにより、第 1 検出器 6 の信号検出効率を向上することが可能となる。例えば、感受面が半導体素子で構成される場合は、信号電子のエネルギーに比例して増幅率が増大し、効率のよい検出が行える。また、感受面にシンチレータのような蛍光体を利用する場合も、発光量は信号電子のエネルギーに比例するため、信号電子エネルギーを高めることで効率向上が見込める。

[0023] 加えて、減速電極 5 と試料 1 2 との間に第 2 検出器 7 を備える。第 2 検出器 7 はプローブ電子線が通過する開口部 9 を備えており、その周囲に試料からの信号電子に敏感な感受面 8 を持つ。第 2 検出器 7 の感受面 8 は半導体素子を利用してもよい。また、電子に敏感な蛍光体と発光を検出する光検出器からなる構造であってもよい。光検出にはホトダイオード、PMT（光電子増倍管：Photomultiplier Tube）、SiPM（シリコン光電子増倍管：Silicon Photomultiplier）等を用いても良い。また、蛍光体からの発光を光検出器に導く導光体を備えていてもよい。

[0024] ここで、第 2 検出器 7 は、開口部 9 の内径 r が減速電極 5 の開口部の内径

Rよりも大きい形状とされている。この、減速電極5の開口内径R及び第2検出器7の開口内径rは、カラムー試料間に形成される電界にとって大きな影響がある。

[0025] 図2は減速光学系を備えたSEMにおける試料近傍の電位分布を示す模式図である。ブースティング電圧が印加され高電位にある加速電極3と接地電位にある減速電極5とで主に形成される電界は、減速電極5の開口部から漏洩し、漏洩電界は試料12近傍まで広がっている。従来、かかる減速光学系に対物レンズ下検出器を設けることにより、漏洩電界の遮蔽が発生していた。図3を用いて説明する。

[0026] 図3は、従来の対物レンズ下検出器37をカラムー試料間に配置した場合における、試料近傍の電位分布を示す模式図である。従来の対物レンズ下検出器37においては、感受面38を広く取ることができるよう、プローブ電子線を通すための開口部の内径は小さくされている。このため、図3に示されるように、対物レンズ下検出器37により電界が遮蔽される。このため、検出器37のない場合（図2）と比べて電位分布は電子源側に寄った分布となる。この結果、静電レンズの主面位置が試料12から遠ざかることとなり、静電レンズの収差が増大する。このとき、電界が遮蔽される程度を決定付ける要素は、カラムー試料間に配置された構造物の開口部の内径が最小となる部分である。最小内径となる開口部以外の検出器の構造は電界の遮蔽の程度に影響を与えることはない。

[0027] これに対し、対物レンズ下検出器として本実施例の第2検出器7を配置したときの試料近傍での電位分布を図4に示す。第2検出器7の開口部の最小内径rは、減速電極5の開口径R以上とされている。このような構成とすることで、第2検出器7による電界の遮蔽効果は小さく、電位分布は第2検出器7のない場合と同様に試料近傍まで広がりを持つ。従って、第2検出器7による照射系への影響は最小限に抑えることが可能である。

[0028] なお、開口径に比べると依存性は小さいが、第2検出器7の開口部の厚みdも電界への影響がある。そのため、第2検出器7の開口径rは減速電極5

の開口径 R 以上であることが望ましいことに加え、第 2 検出器 7 の最小内径を取る開口部の厚みを d とすると、 $r \geq R + d$ とすることがさらに望ましい。

[0029] また、電界が変化することによる影響は照射系だけにとどまらない。減速光学系では高効率な検出を実現するために、コラム内検出器（第 1 検出器 6）を設けることがよく行われる。このとき、信号検出においても、第 2 検出器 7 の開口内径の構成で決まるコラム－試料間電界に、大きく影響を受ける。特に、図 3 に示されるように試料近傍に漏れ出す電界が対物レンズ下検出器により遮蔽されている状況においては、試料 12 から発生する信号電子を捕集することが困難となる。これにより、コラム内検出器の検出収量が著しく減少する。これに対して、図 4 に示される構造においては、試料近傍への電界は対物レンズ下検出器により遮蔽されない。これにより、十分な信号電子捕集効果を受けることができ、コラム内検出器は本来の検出性能を引き出すことが可能になる。

[0030] さらに、第 2 検出器 7 は位置移動機構 10 を備えている。図 1 に示す減速光学系において、コラム－試料間の電界は加速電極 3、減速電極 5、第 2 検出器 7 の開口部 9 の相対的な位置関係により決定される。加速電極 3 と減速電極 5 との間の電界による静電レンズ作用を利用する減速光学系では、軸近傍電界だけでなく、軸に対する電界分布の対称性も照射系・検出系性能に大きな影響を与える。

[0031] 図 5 は、第 2 検出器 7 の開口の軸が光学系の軸と一致していない場合における試料近傍の電位分布を示す図である。図 4 に示したように、第 2 検出器 7 の最小開口径を減速電極 5 の開口径より大きく取ったとしても、加速電極 3、減速電極 5、検出器開口部 9 の中心軸が不一致である場合、電界分布は非軸対称となる。非軸対称な電界にプローブ電子線が入射する場合、プローブ電子線の偏向による照射位置変化や、レンズ場の軸外を通過することによる軸外収差の増大など、照射系性能に悪影響が及ぼされる。

[0032] これを解消するためには、コラム－試料間に第 2 検出器 7 のような構造物

が配置されていない状態における加速電極 3 と減速電極 5 との位置・構造関係で決定される電界分布の軸と沿うように、第 2 検出器 7 の開口部 9 の軸の位置が調整される必要がある。位置移動機構 10 により、電界が軸対称となる位置に第 2 検出器 7 の位置を調整することが可能となり、第 2 検出器配置による悪影響を抑制できる。

[0033] 図 6 は典型的なカラム構成において、レンズ下検出器の開口位置のずれ量と非軸対称収差との関係の計算値例を示す図である。図 6 の縦軸は、レンズ下検出器が軸ずれしている場合における電界非軸対称性に由来する収差量（コマ収差量）を、対物レンズが本来持つ収差量（軸上収差量＋色収差量）で規格化して示している。図 6 から、検出器の軸ずれ量が大きくなるほど非軸対称収差が増大していくことが分かる。また、0.1mm 程度以上の軸ずれが存在すると、本来の対物レンズ性能以上の余分な収差が発生することがわかる。すなわち、この系において、最終的な位置調整は 0.1mm 程度の精度で行えることが望ましく、0.1mm 以下の微動が安定して行える位置移動機構であることが望ましい。また、位置移動機構 10 が退避可能な移動機構を備える場合、位置移動の再現性も 0.1mm 程度以下であることが望ましい。再現性よく移動可能な場合、後述する位置調整の回数を減らすことができるため、ユーザビリティの向上が期待できる。

[0034] 第 2 検出器 7 の位置調整は、像を視認しながら行うことが望ましい。このため位置移動機構 10 は、試料室内の真空を保持したままカラム 1 や試料室 11 の外側から位置調整が行える機構となっていることが望ましい。また、位置移動機構 10 は、第 2 検出器 7 を減速電極 5 による電界が及ばない位置に退避することが可能である機構を備えていればなお良い。これは、後述する検出器位置決定のための位置調整を容易にするためである。

[0035] 本実施例における、第 2 検出器の位置調整手順について説明する。

[0036] （１）まず、第 2 検出器 7 が配置されていない、もしくは減速電極 5 からの電界が及ばない位置に退避してある状態で、試料 12 上をプローブ電子線により走査し、信号電子を検出して SEM 像（荷電粒子線像）を取得する。

このとき、試料 1 2 は画像位置の判別が行いやすい構造物であることが望ましい。例えば、メッシュやナノスケール等、格子状の試料が適している。また、信号電子の検出は、第 1 検出器 6 のようにカラム内に設置されている検出器を用いる。試料室 1 1 に配置された別の検出器を用いてもよい。

[0037] (2) 次に、第 2 検出器 7 を検出位置へ移動し、プローブ電子線が第 2 検出器 7 の開口部 9 を通過する位置に大まかに調整した状態で、再度 S E M 像を取得する。第 2 検出器 7 配置前の S E M 像と配置後の S E M 像とを比較し、試料 1 2 の位置ずれがなくなるよう、第 2 検出器 7 の位置を位置移動機構 1 0 で調整する。

[0038] この位置調整は、比較的低加速電圧で行うことが望ましい。なぜなら、低加速電圧のプローブ電子線のほうが減速電界の非対称性の影響を受けた場合の偏向量が大きいことによる。例えば、5 k V 以下の加速電圧域で調整を行うことが望ましい。

[0039] さらに、調整手順 (2) において、プローブ電子線の加速電圧を周期変動させるための電圧源を備えることで、第 2 検出器 7 をより詳細な位置調整を行うことが可能となる。具体的には、加速電圧を周期変化させたときの像移動が最小になるように第 2 検出器 7 の位置を調整する。これにより、電界の非対称性による色収差を最小とする位置に、第 2 検出器 7 の位置を調整できる。

[0040] このとき、周期変化させるのはプローブ電子線の加速電圧でなく、加速電極 3 に印加する電圧でもよい。この場合、第 2 検出器 7 の位置調整に先立って、まず第 2 検出器 7 が配置されていない状態での加速電極 3 の電圧の周期変動で像移動がないよう、電子光学系の調整を行っておくことが望ましい。

[0041] S E M 像の移動量に基づいて検出器の位置調整を行う方法について説明したが、適切に調整が完了しているかの判別は、カラム内の第 1 検出器 6 による S E M 像の明るさや濃淡などの像質の比較によっても可能である。試料 1 2 から発生する信号電子は、カラムー試料間の電界によって軌道が変化する。そのため、適切な位置に調整できておらず、第 2 検出器 7 が配置されてい

ない場合と比較して電界分布が変化している状態であると、第1検出器6に到達する信号電子の量、放出角、エネルギーが変化する。これにより像質に変化が現れる。従って、第2検出器7の有無による、第1検出器6によるSEM像の像質の比較に基づいて、像質の差が最小となるように第2検出器7の位置を調整することも可能である。以下に説明する変形例においても同様である。

[0042] 以上、第2検出器7が電子線検出器である例で説明してきたが、第2検出器7で検出する信号種は、プローブ電子線と試料12との相互作用で発生する電子以外の信号であっても良い。例えば、第2検出器7の感受面8が半導体を利用している場合、検出素子の製作条件によっては、プローブ電子線と試料12の相互作用により発生する特性X線を検出することもできる。この特性X線は、試料12の組成を反映しており、組成分析を行うことができる。また、例えば、第2検出器7がライトガイド、光ファイバのような導光体を利用し、光検出するような検出器である場合、プローブ電子線と試料12との相互作用で発生する蛍光を検出することもできる。

[0043] 次に、実施例の第1変形例として、対物レンズ4として試料側に磁場を積極的に浸透させる方式の対物レンズを備えた構成を説明する。セミインレンズ型の対物レンズは、アウトレンズ型に比べ、磁場レンズの主面位置が試料に近い位置に形成される。そのため、ブースティング手段と組み合わせる場合、減速電界による静電レンズ主面もより試料の近い位置に形成する必要がある。この要請から、アウトレンズ型の場合に比べ試料近傍の電界はより強くなる傾向にある。このため、対物レンズ下検出器による影響はより顕在化しやすくなる。図7は、対物レンズをセミインレンズ型の対物レンズとした変形例を示す。この例では、減速電極5は、対物レンズ4の直下にプローブ電子線を透過させる開口を有する円盤状電極として設けられ、第2検出器7の開口部9の径は減速電極5の開口径よりも大きく取られている。このように、セミインレンズ型対物レンズと組み合わせた場合においても、位置移動機構10を用いて第2検出器7の位置を適切に調整することで、第2検出器

7の設置位置に起因する減速電界の変化による悪影響を抑制し、装置性能を最大化することが可能となる。

[0044] また、実施例の第2変形例として、第2検出器7に電圧を印加する電圧源16を備えた構成を図8に示す。第2検出器7に検出器電圧源16により電圧印加を行うことで、いくつかの利点を得られる状況が考えられる。例えば、第2検出器7の感受面として半導体素子が用いられている場合、数～数十V程度のバイアス電圧を印加することで、ゲイン増加や寄生容量の減少などの素子性能向上効果が期待できる場合がある。あるいは、第2検出器7へ所定の電圧を印加することにより、第2検出器7が検出する信号電子のエネルギーを所定の範囲に制御する場合も考えられる。

[0045] このような要請により、第2検出器7に電圧を印加する構成においても、第2検出器7の開口部9の内径を減速電極5の開口径よりも大きく取り、かつ、位置移動機構10で第2検出器7の位置調整を行うことで、第2検出器7の設置位置に起因する減速電界の変化による悪影響を抑制し、装置性能を最大化することが可能となる。

[0046] 位置調整は上述と同様に行うことができるが、調整手順(2)は、検出器電圧源16が印加する第2検出器電圧を変動させたときの像移動または像質の変化に基づいて行ってもよい。具体的には、第2検出器電圧を周期変化させたときの像移動または像質の変化が最小となる位置に、位置移動機構10により第2検出器7の位置を調整する。

[0047] また、実施例の第3変形例として、リターディング手段を更に備えたSEMの構成について説明する。SEMカラムと試料との間の電位差による減速電界を用いるという点で、ブースティング光学系とリターディング光学系に本質的な違いはない。リターディング光学系では試料の電位を直接変化させるため、試料近傍の電界がより強くなる状況となる。このため、ブースティング手段に加えてリターディング手段を持つ場合、対物レンズ下検出器による影響はより顕在化しやすくなる。

[0048] 図9はリターディング手段を備えた変形例であり、試料台13にリターデ

ィング電圧を印加するためのリターディング電圧源 17 を備えている。リターディング電圧はブースティング電圧とは逆極性の電圧となる。リターディング電圧源 17 の制御は制御部 15 によって行われる。第 2 検出器 7 の開口部 9 の内径を減速電極 5 の開口径よりも大きく取り、かつ、位置移動機構 10 で第 2 検出器 7 の位置調整を行うことで、第 2 検出器 7 の設置位置に起因する減速電界（減速電界は、加速電極 3、減速電極 5、試料 12 によって決定される）の変化による悪影響を抑制し、装置性能を最大化することが可能となる。

[0049] 位置調整は上述と同様に行うことができるが、調整手順（2）は、リターディング電圧源 17 が試料 12 に印加するリターディング電圧を変動させたときの像移動または像質の変化に基づいて行ってもよい。具体的には、リターディング電圧を周期変化させたときの像移動または像質の変化が最小となる位置に、位置移動機構 10 により第 2 検出器 7 の位置を調整する。

[0050] 図 10 は、カラムー試料間の第 2 検出器 7 が複数の検出器で構成される変形例である。複数の検出器を備えている場合も、それぞれの検出器の最小開口径が減速電極の径と比較して大きくなっていれば良い。

[0051] また、それぞれの検出器の開口は完全な孔形状である必要はない。その場合、検出器の最小開口径は、プローブ電子線の通過する光軸と感受面を含む構造体とが再近接する距離として定義される。

[0052] また、カラムー試料間の複数の検出器がそれぞれ位置移動機構 10 を備えていることが望ましいが、必ずしも全ての検出器が独立に位置調整可能である必要はなく、いくつかの検出器に移動機構が備わっていれば、最適な電界となるように位置調整は可能である。複数の検出器は 1 つの検出器を分割したものでも良いし、独立した検出器として構成されていても良い。複数の検出器は同種の信号を検出するためのものであってもよいし、異なる種類の信号を検出するものであっても良い。また検出器の検出原理はそれぞれ異なっても良い。

[0053] 本発明は上記した実施例に限定されるものではなく、様々な変形例が含ま

れる。上記実施例は本発明を分かりやすく説明するために詳細に説明したものであり、必ずしも説明した全ての構成を備えるものに限定されるものではない。また、ある実施例の構成の一部を他の実施例の構成に置き換えることもできる。また、ある実施例の構成に他の実施例の構成を加えることもできる。また、各実施例の構成の一部について、他の構成を追加・削除・置換することもできる。

[0054] また、荷電粒子線装置の例としてSEMを取り上げて説明したが、SEM以外の他の荷電粒子線装置にも適用可能であるし、複数の荷電粒子線装置を組み合わせた複合荷電粒子線装置にも適用可能である。

符号の説明

[0055] 1 : SEMカラム、2 : 電子源、3 : 加速電極、4 : 対物レンズ、5 : 減速電極、6 : 第1検出器、7 : 第2検出器、8 : 感受面、9 : 開口部、10 : 位置移動機構、11 : 試料室、12 : 試料、13 : 試料台、14 : ブースティング電圧源、15 : 制御部、16 : 検出器電圧源、17 : リターディング電圧源。

請求の範囲

- [請求項1] 電子源と、
前記電子源からのプローブ電子線を試料に集束させる対物レンズと、
、
前記プローブ電子線を加速させる加速電極と、
前記加速電極内に設けられる第1検出器と、
前記加速電極との間に前記プローブ電子線に対する減速電界を形成し、前記プローブ電子線がその開口を通過する減速電極と、
前記減速電極と前記試料との間に挿入される第2検出器とを有し、
前記第2検出器は、前記減速電極の開口よりも大きい開口部を有し、
、前記開口部の周囲に感受面が設けられる荷電粒子線装置。
- [請求項2] 請求項1において、
前記第2検出器の最小内径は、前記減速電極の開口径と前記第2検出器の最小内径をとる前記開口部の厚みとの和以上である荷電粒子線装置。
- [請求項3] 請求項1において、
前記第2検出器を移動させる位置移動機構を有する荷電粒子線装置。
- [請求項4] 請求項1において、
前記第2検出器に電圧を印加する電圧源を有する荷電粒子線装置。
- [請求項5] 請求項1において、
前記試料に前記加速電極に印加される電圧とは逆極性の電圧を印加する電圧源を有する荷電粒子線装置。
- [請求項6] 請求項1において、
前記第2検出器は複数の検出器から構成される荷電粒子線装置。
- [請求項7] 請求項6において、
複数の位置移動機構を有し、
前記複数の位置移動機構のそれぞれは、前記第2検出器を構成する

前記複数の検出器のいずれかの位置を移動させる荷電粒子線装置。

[請求項8]

プローブ電子線を試料に集束させる磁場レンズと前記プローブ電子線を減速させる静電レンズとが重畳された減速光学系と、位置移動機構によりその位置が移動される検出器とを有し、前記静電レンズを形成する減速電極の開口径よりも前記検出器の最小内径が大きくされた荷電粒子線装置の検出器位置調整方法であって、

前記位置移動機構により前記磁場レンズを形成する対物レンズ下から前記検出器を退避させた状態で、前記試料を前記プローブ電子線により走査して第1の荷電粒子線像を取得し、

前記位置移動機構により前記検出器を前記対物レンズ下に配置した状態で、前記試料を前記プローブ電子線により走査して第2の荷電粒子線像を取得し、

前記第1の荷電粒子線像と前記第2の荷電粒子線像との間での前記試料の位置ずれ、または像質の変化に基づき、前記位置移動機構により前記検出器の位置を移動させる検出器位置調整方法。

[請求項9]

請求項8において、

前記プローブ電子線は、5 kV以下の加速電圧のプローブ電子線である検出器位置調整方法。

[請求項10]

請求項8において、

前記第1の荷電粒子線像及び前記第2の荷電粒子線像は、前記減速光学系が内蔵されるカラム内の検出器により検出された信号電子から取得される検出器位置調整方法。

[請求項11]

請求項8において、

前記プローブ電子線の加速電圧を周期的に変動させたときの像の動きまたは像質の変化が最小になるように、前記位置移動機構により前記検出器の位置を移動させる検出器位置調整方法。

[請求項12]

請求項8において、

前記減速光学系は、前記プローブ電子線を加速させる加速電極を有

し、

前記加速電極に印加する電圧を周期的に変動させたときの像の動きまたは像質の変化が最小になるように、前記位置移動機構により前記検出器の位置を移動させる検出器位置調整方法。

[請求項13]

請求項8において、

前記検出器に電圧を印加する電圧源を有し、

前記検出器に印加する電圧を周期的に変動させたときの像の動きまたは像質の変化が最小になるように、前記位置移動機構により前記検出器の位置を移動させる検出器位置調整方法。

[請求項14]

請求項8において、

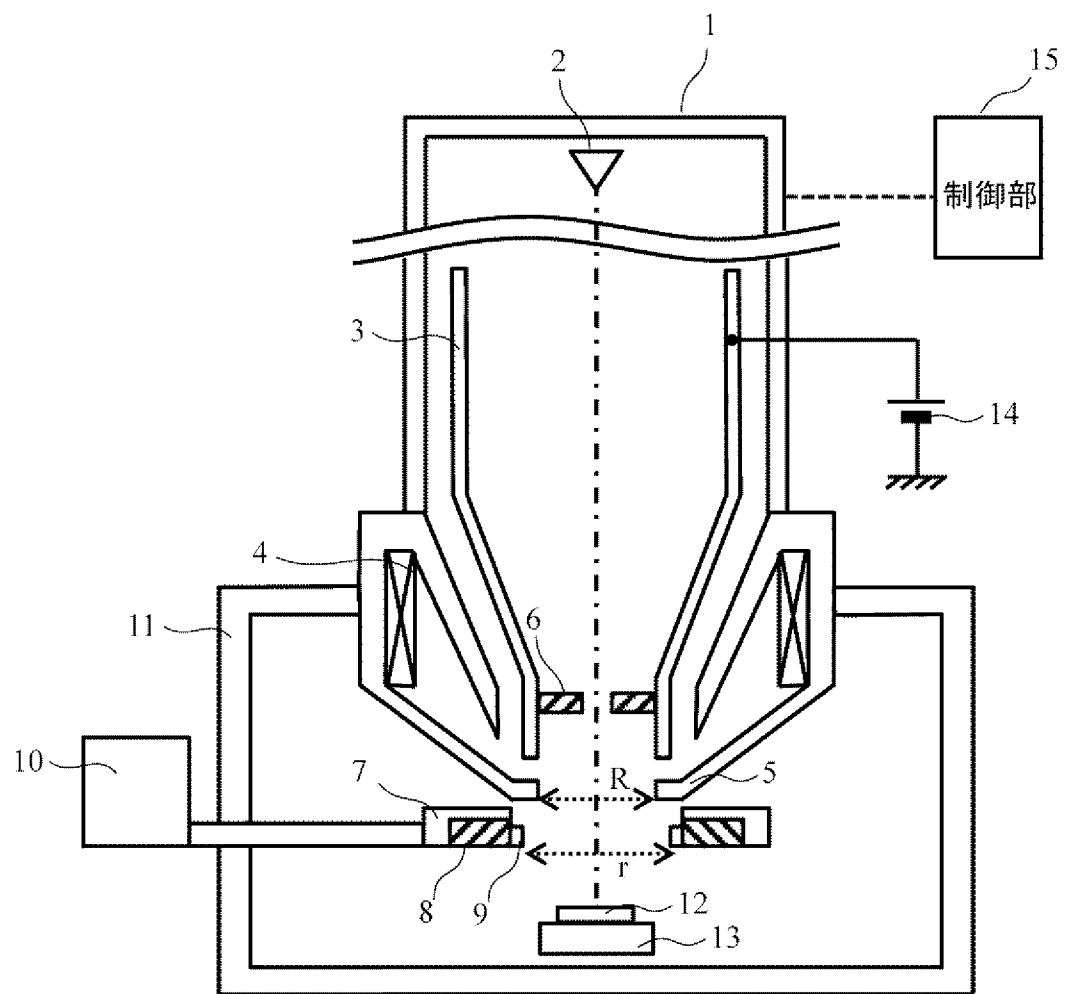
前記減速光学系は、前記プローブ電子線を加速させる加速電極を有し、

前記試料に前記加速電極に印加される電圧とは逆極性の電圧を印加する電圧源を有し、

前記試料に印加する電圧を周期的に変動させたときの像の動きまたは像質の変化が最小になるように、前記位置移動機構により前記検出器の位置を移動させる検出器位置調整方法。

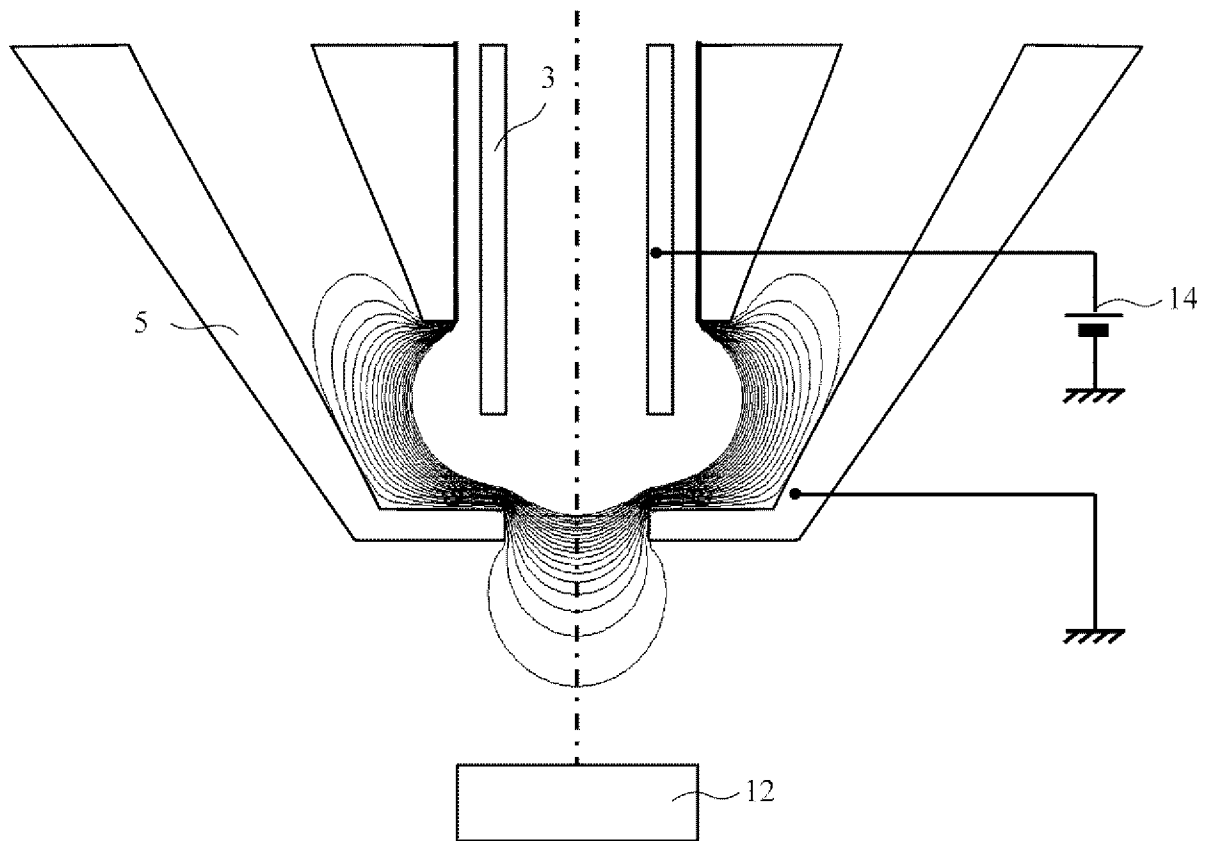
[図1]

图 1



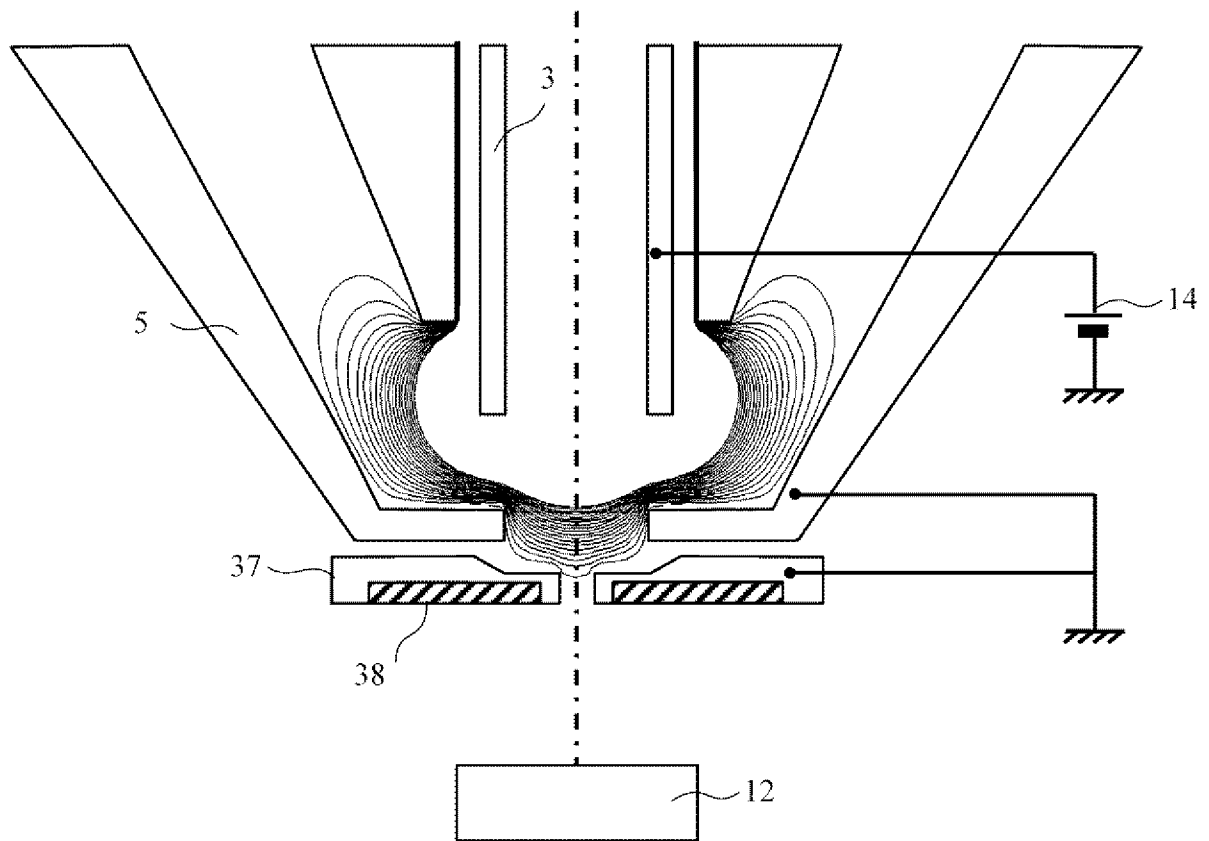
[図2]

図2



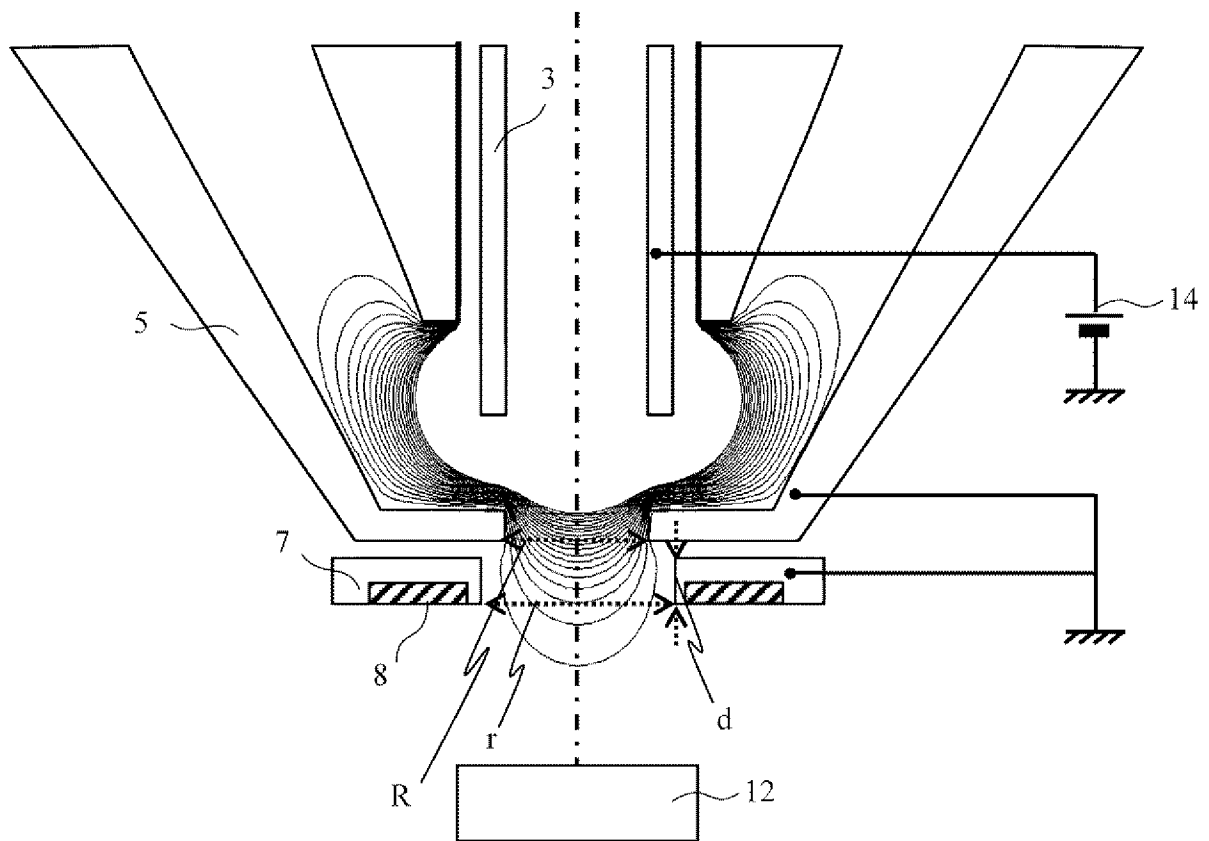
[図3]

図3



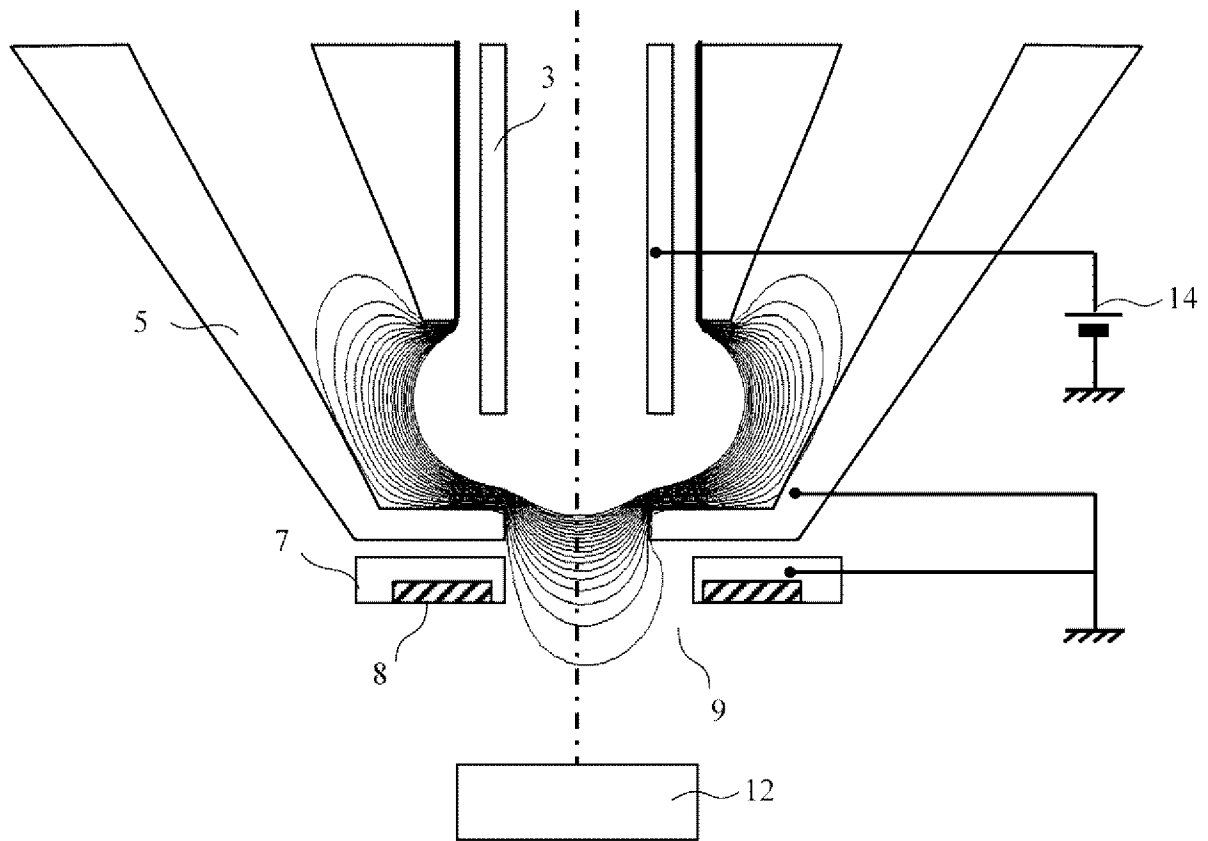
[図4]

図4



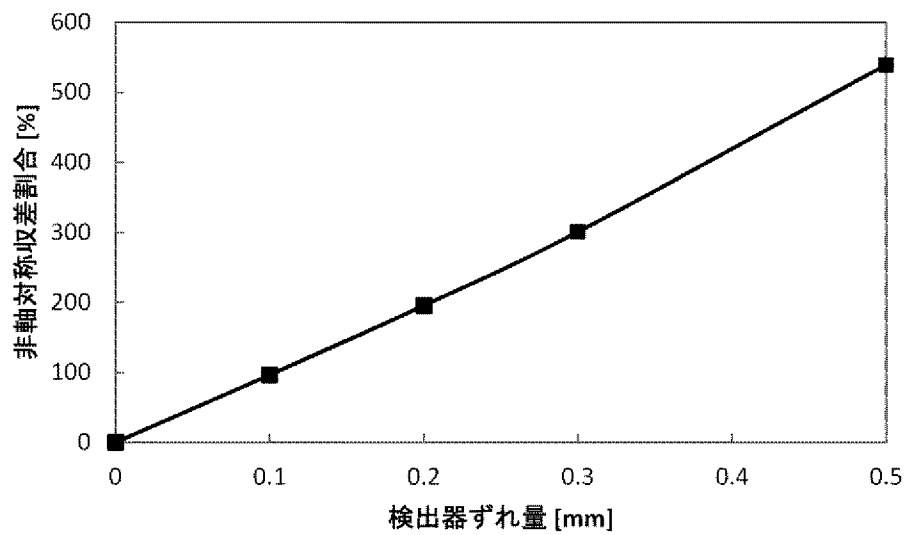
[図5]

図5



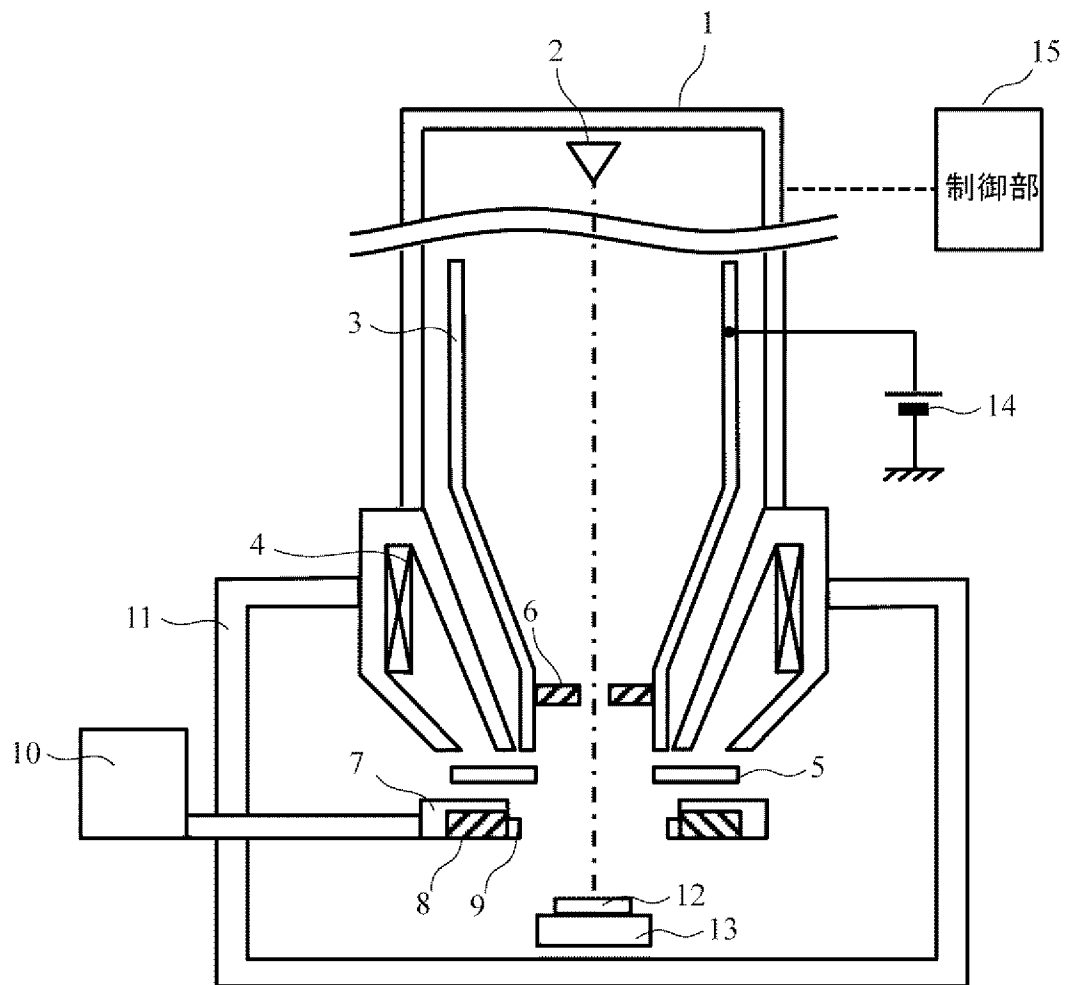
[図6]

図6



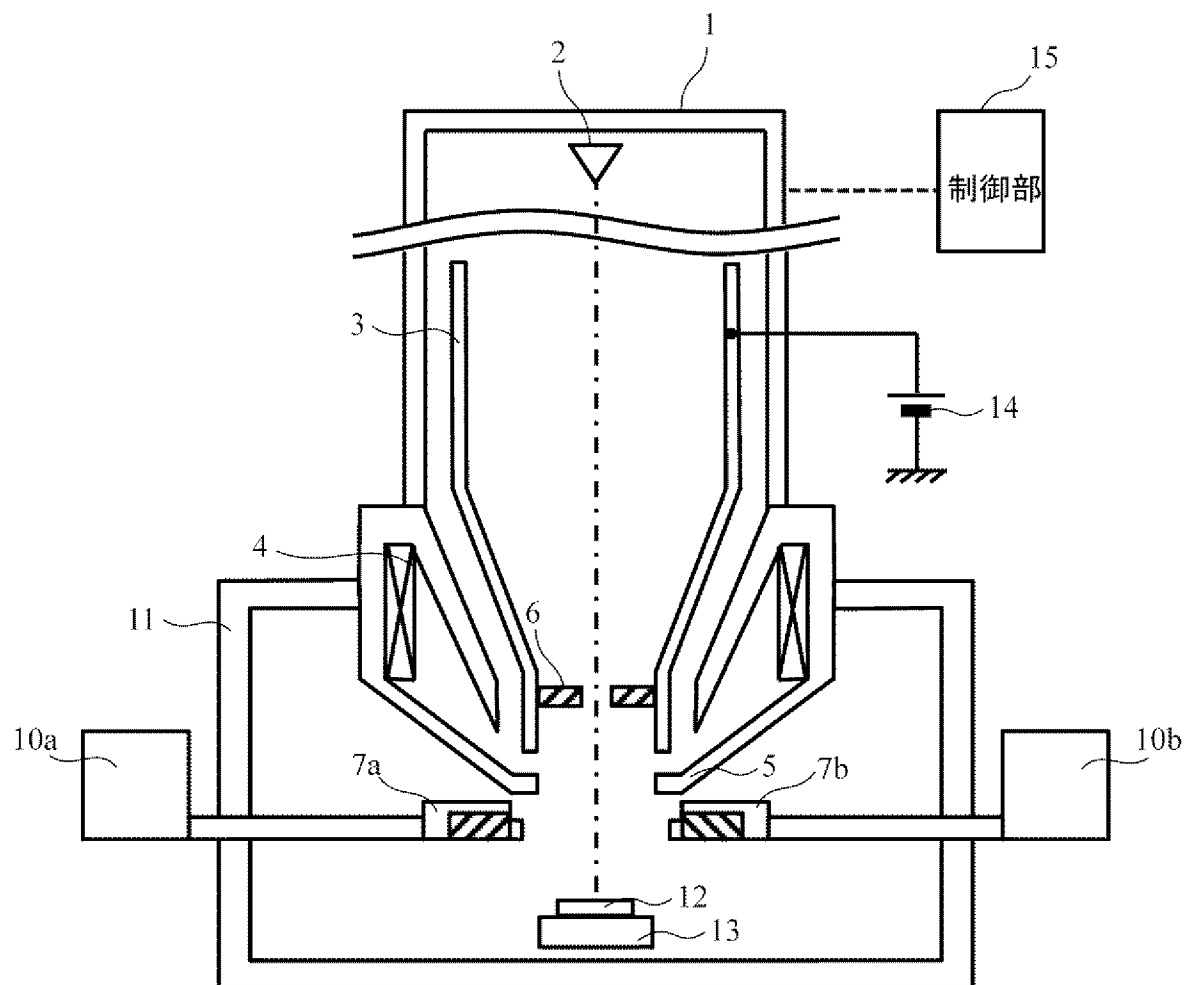
[図7]

図7



[図10]

図10



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2018/019569

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int. Cl. H01J37/153 (2006.01) i, H01J37/145 (2006.01) i, H01J37/244 (2006.01) i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

Int. Cl. H01J37/153, H01J37/145, H01J37/244

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Published examined utility model applications of Japan 1922-1996

Published unexamined utility model applications of Japan 1971-2018

Registered utility model specifications of Japan 1996-2018

Published registered utility model applications of Japan 1994-2018

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 1-221848 A (JEOL LTD.) 05 September 1989, page 2, lower right column, line 16 to page 3, upper left column, line 19, page 6, fig. 5 (Family: none)	1-14
A	WO 2015/016040 A1 (HITACHI HIGH-TECHNOLOGIES CORP.) 05 February 2015, paragraph [0045], fig. 3 & US 2016/0148782 A1, fig. 3, paragraph [0057] & CN 105340051 A	1-14
A	JP 7-65775 A (TOPCON CORP.) 10 March 1995, paragraphs [0002], [0009], fig. 5, 7 (Family: none)	1-14

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

“A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

“E” earlier application or patent but published on or after the international filing date

“L” document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

“O” document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

“P” document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

“T” later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

“X” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

“Y” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

“&” document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search
17.07.2018

Date of mailing of the international search report
31.07.2018

Name and mailing address of the ISA/
Japan Patent Office
3-4-3, Kasumigaseki, Chiyoda-ku,
Tokyo 100-8915, Japan

Authorized officer

Telephone No.

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC））

Int.Cl. H01J37/153(2006.01)i, H01J37/145(2006.01)i, H01J37/244(2006.01)i

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料（国際特許分類（IPC））

Int.Cl. H01J37/153, H01J37/145, H01J37/244

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	1922-1996年
日本国公開実用新案公報	1971-2018年
日本国実用新案登録公報	1996-2018年
日本国登録実用新案公報	1994-2018年

国際調査で使用した電子データベース（データベースの名称、調査に使用した用語）

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
A	JP 1-221848 A（日本電子株式会社）1989.09.05, 2頁右下欄16行-3頁左上欄19行、6頁図5（ファミリーなし）	1-14
A	W0 2015/016040 A1（株式会社日立ハイテクノロジーズ）2015.02.05, [0045]; 図3 & US 2016/0148782 A1, 図3; [0057] & CN 105340051 A	1-14
A	JP 7-65775 A（株式会社トプコン）1995.03.10, [0002], [0009]; 図5, 7（ファミリーなし）	1-14

C欄の続きにも文献が列挙されている。

パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの
「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの
「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す）
「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献
「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの
「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの
「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの
「&」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

17.07.2018

国際調査報告の発送日

31.07.2018

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁（ISA/J P）

郵便番号100-8915

東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官（権限のある職員）

右▲高▼ 孝幸

2G

9808

電話番号 03-3581-1101 内線 3226