

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第5723801号
(P5723801)

(45) 発行日 平成27年5月27日(2015.5.27)

(24) 登録日 平成27年4月3日(2015.4.3)

(51) Int.Cl.

H01J 37/20 (2006.01)
GO1N 1/28 (2006.01)

F 1

H01J 37/20
GO1N 1/28
GO1N 1/28F
W
F

請求項の数 14 (全 29 頁)

(21) 出願番号 特願2012-22637 (P2012-22637)
 (22) 出願日 平成24年2月6日 (2012.2.6)
 (65) 公開番号 特開2013-161647 (P2013-161647A)
 (43) 公開日 平成25年8月19日 (2013.8.19)
 審査請求日 平成26年10月15日 (2014.10.15)

早期審査対象出願

(73) 特許権者 501387839
 株式会社日立ハイテクノロジーズ
 東京都港区西新橋一丁目24番14号
 (74) 代理人 100100310
 弁理士 井上 学
 (74) 代理人 100098660
 弁理士 戸田 裕二
 (74) 代理人 100091720
 弁理士 岩崎 重美
 (72) 発明者 橋本 陽一朗
 茨城県ひたちなか市大字市毛882番地
 株式会社 日立ハイテクノロジーズ 那珂事業所内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】荷電粒子線装置および配線方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

試料に荷電粒子線を照射して、当該試料上に配線加工を行う配線方法において、前記配線加工を行う配線軌道上にイオン液体を配置し、当該配線軌道に沿って前記荷電粒子線の照射位置を移動することによって前記イオン液体を誘導することを特徴とする配線方法。

【請求項2】

請求項1において、前記試料上に前記イオン液体を滴下し、当該滴下されたイオン液体に前記荷電粒子線を照射することを特徴とする配線方法。

10

【請求項3】

請求項1において、前記試料を配置するための試料台上に、前記イオン液体を配置し、当該イオン液体が配置された位置から、前記試料に向かって前記荷電粒子線の照射位置を移動することを特徴とする配線方法。

【請求項4】

荷電粒子源と、
 荷電粒子線が照射される試料を配置するための試料台と、
 当該荷電粒子源から放出される荷電粒子線の照射位置を移動する移動機構を備えた荷電粒子線装置において、

20

前記試料台或いは前記試料上に配置されたイオン液体の移動軌道を設定する入力装置と、
 当該入力装置によって設定された移動軌道に沿って前記荷電粒子線を照射し、前記イオン液体を誘導するように前記移動機構を制御する制御装置を備えたことを特徴とする荷電粒子線装置。

【請求項 5】

請求項 4において、

前記制御装置は、前記移動軌道に沿って前記照射位置が時間の経過に従って順次移動するように前記移動機構を制御することを特徴とする荷電粒子線装置。

【請求項 6】

10

請求項 5において、

前記制御装置は、1の照射位置と、その後に照射される照射位置とが重なるように、前記照射位置を移動することを特徴とする荷電粒子線装置。

【請求項 7】

請求項 4において、

前記移動機構は、前記荷電粒子線の照射位置を偏向する偏向器であることを特徴とする荷電粒子線装置。

【請求項 8】

請求項 4において、

前記移動機構は、前記試料を移動するための試料ステージであることを特徴とする荷電粒子線装置。

20

【請求項 9】

請求項 4において、

イオン液体を試料の一部に滴下するプローブを備えることを特徴とする荷電粒子線装置。

。

【請求項 10】

請求項 4において、

前記試料台にイオン液体保持部を有することを特徴とする荷電粒子線装置。

【請求項 11】

請求項 10において、

30

前記制御装置は前記イオン液体保持部に保持されたイオン液体に前記荷電粒子線を照射し、前記保持されたイオン液体を前記試料へ誘導することを特徴とする荷電粒子線装置。

【請求項 12】

配線加工を行う配線軌道上にイオン液体を配置し、前記配線軌道に沿って前記荷電粒子線の照射位置を移動するステップと、

前記試料を配置するための試料台上に、前記試料を接地させるためのイオン液体を配置し、前記接地させるためのイオン液体が配置された位置から前記試料に向かって前記荷電粒子線の照射位置を移動するステップと、を含むことを特徴とする配線方法。

【請求項 13】

請求項 12に記載の配線方法において、

40

前記試料を前記試料台と電気的に接触していない状態とすることを特徴とする配線方法。

。

【請求項 14】

請求項 12に記載の配線方法において、

前記試料台の穴に予め前記接地のためのイオン液体を保持しておくことを特徴とする配線方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は荷電粒子線装置および配線方法に係り、特にイオン液体を用いた配線方法、お

50

およびイオン液体源を備えた荷電粒子線装置に関する。

【背景技術】

【0002】

電子顕微鏡を用いてナノレベル、マイクロレベルの微小領域を観察することが求められている。その観察法、或いは測定法として、試料の微小領域に電圧を印加して観察する観察法、微小領域の吸収電流を、電子顕微鏡を用いて測定する測定法または微小領域を接地した状態で電子顕微鏡を用いた観察を行う観察法などがある。

【0003】

以上のような観察や測定を行う場合、局所的な電圧印加や接地を可能とすべく、微小領域に局所的な配線を施すことがある。

10

【0004】

局所的な配線を行う手法として、特許文献4に開示されているような集束イオンビームを用いたガスデポジション法がある。

【0005】

また、特許文献1には、導電性粒子とイオン液体を含むインクを用い、インクジェット印刷によって導電性パターンを形成する手法が開示されている。イオン液体は、真空中であっても液体状態を維持する特徴がある。

【0006】

特許文献2には、含水試料にイオン液体を含浸または塗布することによって、真空下での水分の蒸発を抑制し、生体試料を原型のまま観察する手法が開示されている。

20

【0007】

また、特許文献3には、開口部を有する試料保持部材にイオン液体を保持し、イオン液体中に試料を浮かして観察する観察法が開示されている。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0008】

【特許文献1】特開2006-335995号公報

【特許文献2】WO2007/083756 (対応米国特許U.S.P.7,880,144)

【特許文献3】特開2009-266741号公報 (対応米国特許公開公報U.S.2011/0057100)

30

【特許文献4】特開2002-110680号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0009】

特許文献4に開示されているようなイオンビームを用いたガスデポジション法の場合、一旦、配線加工を施してしまうと、それを除去するために再度、イオンビームを照射して加工部分を削り取る必要があるため、その際のダメージが懸念される。また、特許文献1に開示されているようなインクジェット印刷を用いた配線形成法では、専用の印刷装置を用いた配線を行う必要があるため、電子顕微鏡等による観察を行いながら配線加工を行うことができない。更に、特許文献2、3には試料の局所領域に配線加工を行うことについての開示、示唆がない。

40

【0010】

以下に、荷電粒子線装置の真空室内でガスデポジション等を用いることなく配線加工を行うことを目的とする配線方法、及び荷電粒子線装置について説明する。

【課題を解決するための手段】

【0011】

上記目的を達成するための一態様として、以下に試料上にイオン液体を滴下、或いは予め試料を載置する試料台上にイオン液体を用意し、配線加工始点と配線加工終点との間の配線軌道上に、荷電粒子線を照射してイオン液体からなる配線を形成する配線方法、及び荷電粒子線装置を説明する。

50

【発明の効果】

【0012】

上記一態様によれば、ガスデポジション法等を用いることなく、荷電粒子線装置の真空室内にて配線加工を行うことが可能となる。

【図面の簡単な説明】

【0013】

【図1】荷電粒子線装置の構成図。

【図2】イオン液体導入機構の一例を示す図。

【図3】イオン液体導入機構のプローブ部の拡大図。

【図4】電子ビームの照射によって、イオン液体が移動する現象を説明する図。

10

【図5】電子ビームの照射位置の移動に伴って、イオン液体が移動する現象を説明する図。

【図6】配線方法の工程を示したフローチャート。

【図7】配線方法の工程の概要を示す図。

【図8】自動配線方法の工程を示すフローチャート1。

【図9】自動配線方法の工程を示すフローチャート2。

【図10】電子線照射領域の移動軌道を示す図(横方向)。

【図11】電子線照射領域の移動軌道を示す図(縦方向)。

【図12】電子線照射領域の移動軌道を示す図(斜め方向)。

【図13】試料交換室の一例を示す図。

20

【図14】配線加工条件を設定するGUT画面の一例を示す図。

【図15】試料回転棒先端と試料台底部の一例を示す図。

【図16】イオン液体用の液体浴の外観を示す図。

【図17】イオン液体の搭載が可能な試料台の一例を示す図。

【図18】イオン液体供給法を示す図。

【図19】配線加工条件を設定する設定装置と、電子顕微鏡の制御装置の一例を示す図。

【図20】配線加工条件設定時のSEM画像の一例を示す図。

【発明を実施するための形態】

【0014】

以下に、荷電粒子線装置において、試料室内にイオン液体を導入できる機構を配置し、イオン液体を試料上の任意の箇所に滴下し、滴下したイオン液体、及び/又は配線加工始点と配線加工終点との間の配線軌道上に荷電粒子線を照射することによって任意の箇所までイオン液体を誘導して、もう一箇所まで移動させ、任意の二箇所を電気的に配線する方法、及び装置について説明する。

30

【0015】

以下に、説明する方法、及び装置によれば、試料ダメージを抑えて微小領域の配線の作製、および除去ができる手法、および装置を実現できる。

【実施例1】

【0016】

以下、図面を参照してイオン液体を用いた配線加工法、及び装置を詳細に説明する。

40

【0017】

図1は、荷電粒子線装置の構成を示した模式図である。101は真空チャンバーであり、102の真空排気系によって真空状態を保持できる。103は試料交換機構であり、真空チャンバー101を真空状態に保持したまま、観察試料を装置の外から中に導入することができる。104は荷電粒子線源であり、荷電粒子線を発生させるための陰極や陽極、発生した荷電粒子線を収束するためのレンズや絞り、荷電粒子線を走査させるための走査コイルなど、必要な光学系を全て含むものとする。上記、荷電粒子線源104内の光学系により、荷電粒子線105を試料106上に収束させて任意の順序で走査することができる。

【0018】

50

荷電粒子線 105 の照射により試料 106 の表面において発生する二次信号 107 は、二次信号検出系 108 により検出され、画像データとして画像演算制御の機能も持たせた制御系 109 に入力される。試料 106 は試料台 110 上に導電性のテープやペーストなどで固定され、試料ステージ 111 により 3 次元方向全ての方向に移動可能である。

【0019】

制御系 109 は荷電粒子線源 104、二次信号検出系 108、試料ステージ 111、イオン液体導入機構 113、および画像表示装置 112 の制御も行う。二次信号検出系 108 で検出された信号は、制御系 109 内の信号増幅器で増幅された後、画像メモリに転送されて画像表示装置 112 に試料像として表示・記録される。113 はイオン液体導入機構であり、試料 106 上の任意の箇所にイオン液体を滴下することができる。

10

【0020】

イオン液体導入機構 113 の一例を図 2 の模式図に示す。201 は液槽であり、試料に滴下するためのイオン液体 202 を溜めておくことができる。203 は注入口であり、イオン液体 202 を液槽 201 内に注入することができる。また注入口 203 には、液槽 201 内の気密性を保つことのできる蓋が付いているものとする。204 は真空排気系であり、液槽 201 内を真空排気することができる。205 は、荷電粒子線装置内部と液槽 201 を区切るシャッターであり、液槽 201 内が大気圧のときには閉じて真空チャンバー 101 の真空を保つことができ、液槽 201 内が真空状態のときには開いて液槽 201 からイオン液体 202 を流出させることができる。その際、開き加減を調節することによって、イオン液体の流量を調整することができる。206 はプローブロッドであり、内部は空洞が存在し、中は真空状態または液槽 201 から流出したイオン液体を流すことができる。プローブロッド 206 の先端には、機械的な構造を用いた粗動機構 207 と圧電素子を用いた微動機構 208 を介してプローブ 209 が取り付けられており、試料に精度よく接近、または退避させることができる。粗動機構 207 と微動機構 208 の内部には、プローブロッド 206 同様に空洞が存在し、液槽 201 から流出しプローブロッド 206 内を流れてきたイオン液体を、プローブ 209 まで流すことができる。真空排気系 204、シャッター 205、粗動機構 207、微動機構 208 は、図 1 の制御系 109 によって制御される。また、プローブ 209 の先端と接地された試料台との間に、電位差を生じさせることや、電流を測定する機構を有し、その制御は制御系 109 を用いて行う。

20

【0021】

図 3 に、プローブ 209 の拡大図を示す。プローブ 209 は、プローブ固定部 301 に固定されており、自由に取り外し交換が行える。プローブ固定部 301 には穴 302 が開いており、液槽 201 から流出して、プローブロッド 206、粗動機構 207、微動機構 208 内を流れてきたイオン液体をプローブ 209 表面に伝わらせることができる。プローブ 209 の表面を伝わったイオン液体 303 は、プローブ 209 先端から試料 106 の表面に滴下できる。穴 302 からプローブ 209 の先端に向かって、ごく浅い溝を設けてイオン液体を先端に伝わりやすくしても良い。また、イオン液体とのぬれ性が向上するように、プローブ 209 の表面の粗さを調整しても良い。

30

【0022】

以上から、本実施例の荷電粒子線装置は、観察試料にプローブを接近させて、試料表面に観察しながらイオン液体を滴下することができる。また、滴下後は観察に支障のないようにプローブを退避することもできる。

40

【実施例 2】

【0023】

図 4 に、走査形電子顕微鏡を用いて、Si 基板上のイオン液体の液滴に電子線を照射する前 (a) および照射した後 (b) に観察した二次電子像を示す。図 4 (a) 中、401 の黒い領域がイオン液体の液滴、それ以外の 402 の領域は Si 基板である。電子線を照射する領域 403 に電子線を照射すると図 4 (b) のように電子線照射した領域 404 にイオン液体が広がる様子が観察された。また、図 5 はイオン液体の液滴に電子線を照射し、照射領域を液滴から徐々に離していく後に観察した二次電子像である。図 4 と同じく

50

、501の黒い領域がイオン液体の液滴、それ以外の502の領域はSi基板である。電子線照射した領域503に電子線を照射し、矢印の方向に徐々に動かしていった結果、イオン液体は電子線照射領域に引き付けられるように移動する様子が観察された。以上の結果から、電子線照射によりイオン液体を誘導できることがわかった。

【0024】

この現象は、電子線照射による電位変化の影響によって、もしくは電子線のエネルギーを受けたイオン液体が対流したことによって起こると考えられ、電子線のみに限らず荷電粒子線全般で起こる可能性がある。また電子線のエネルギーや電流量が大きい方が電位変化や対流が起こりやすく、誘導速度が上昇すると考えられるが、過剰に高いエネルギーや電流量を与えるとイオン液体自身が変質してしまい流動性が損なわれる可能性がある。電子線のエネルギーは1～30kV程度、電流量は1～50pA程度が好ましい。

10

【0025】

また、ビーム照射によって試料に帯電が起こり、その帯電によって、イオン液体が引き寄せられる場合、帯電の電界が及ぶ範囲であれば、イオン液体自体ではなく、イオン液体より離間した位置であって、イオン液体を導く軌道上（配線加工を行う場合は、配線加工始点と配線加工終点との間の配線軌道上）にビームを照射することによってもイオン液体を所望の方向に導くことが可能となる。但し、ビームの照射位置とイオン液体が離間し過ぎると、イオン液体を導くための電界が、イオン液体に及ばなくなる可能性があるため、例えば自動加工を行う場合には、ビーム照射位置とイオン液体との距離が、電界の影響が及ぶと考えられる所定値以下となるように、加工条件を設定することが望ましい。一方で、ビームの照射領域間が離間していると、断線の可能性があるため、配線の接続を確実にする目的から鑑みれば、図10～図12に例示するように、前後の視野間に重なりを設けることが望ましい。また、連続的にビーム照射を行いつつ、その照射位置を移動することも可能である。

20

【0026】

図6は、配線方法の工程を示したフローチャートである。図7は、配線方法の工程を図示した模式図である。荷電粒子線装置に観察試料を挿入し、観察を開始する（ステップ601）。次に、試料上の目的箇所A701に視野をステージ移動する（ステップ602）。次に、実施例1で説明した粗動機構、微動機構を用いてプローブ209を試料106に接近させる（ステップ603）。プローブ209を用いて目的箇所A701にイオン液体702を滴下する（ステップ604）。プローブ209を試料106から退避する（ステップ605）。所望の線幅に合わせて、倍率を上げる（ステップ606）。イオン液体の液滴704のエッジ部にかかるように視野を調整し、荷電粒子線を照射する（ステップ607）。荷電粒子線照射領域にイオン液体が広がったら次の視野に移動する。その際、前の視野と20～50%程度の重なりを設ける（ステップ608）。ステップ607とステップ608を繰り返してイオン液体を誘導していく（ステップ609）。目的箇所B703にイオン液体が到達したら荷電粒子線照射を終了する（ステップ610）。以上の工程により、目的箇所AとBはイオン液体を介して電気的に配線される。

30

【0027】

本装置では、以上の操作を観察しながら行うことができ、マイクロ～ナノレベルの微小領域に対して配線することができる。また荷電粒子線105として電子線を用いることによって、収束イオンビームによるガスデポジションを用いる方法で懸念される試料ダメージを軽減することができる。

40

【実施例3】

【0028】

本実施例にて説明する荷電粒子線装置は、実施例2に示した配線方法において、荷電粒子線照射によるイオン液体の誘導を自動で実施することができる。ここでは、視野移動のタイミングをどのように制御するかによって、2通りの自動配線方法を説明する。

【0029】

図8は、視野移動のタイミングを時間で制御するときの工程を示したチャートである。

50

まず、1照射領域あたりの照射時間を設定する(ステップ801)。次に、所望の線幅に合わせて照射領域の倍率を決定し、目的箇所A、B間の距離に応じて視野数を設定する(ステップ802)。自動配線を開始する(ステップ803)。照射領域Aを始点として、設定した倍率で自動的に荷電粒子線照射を開始する(ステップ804)。設定した照射時間により自動的に荷電粒子線照射を終了する(ステップ805)。照射領域Bへ自動的にステージ移動し、再び自動的に荷電粒子線照射を開始する(ステップ806)。設定した照射時間により自動的に荷電粒子線照射を終了する(ステップ807)。自動的に照射領域C、D…とステージ移動、荷電粒子線照射を繰り返す(ステップ808)。設定した視野数に到達する(ステップ809)。以上の工程から、視野移動のタイミングを時間で制御して、荷電粒子線照射によるイオン液体の誘導を自動で行うことができる。

10

【0030】

図9は、視野移動のタイミングを視野全体にイオン液体が広がっていくことによるコントラスト変化によって制御するときの工程を示したチャートである。図4、図5に示した二次電子像ではSi基板に比べてイオン液体部が暗いコントラストで観察されたが、イオン液体やSi基板の種類によって、コントラストは変化する。従って、まずはイオン液体とSi基板のコントラスト比の測定を都度行う(ステップ901)。ステップ901で測定したコントラスト比を基に、視野中の何パーセントにイオン液体が広がったら視野移動するのかを設定する(ステップ902)。所望の線幅に合わせて照射領域の倍率を決定し、目的箇所A、B間の距離に応じて視野数を設定する(ステップ903)。自動配線を開始する(ステップ904)。照射領域Aを始点として、設定した倍率で自動的に荷電粒子線照射を開始する(ステップ905)。イオン液体の広がりによるコントラスト変化を検出し、設定したパーセンテージにより自動的に荷電粒子線照射を終了する(ステップ906)。照射領域Bへ自動的にステージ移動し、再び自動的に荷電粒子線照射を開始する(ステップ907)。イオン液体の広がりによるコントラスト変化を検出し、設定したパーセンテージにより自動的に荷電粒子線照射を終了する(ステップ908)。自動的に照射領域C、D…とステージ移動、荷電粒子線照射を繰り返す。設定した視野数に到達する(ステップ909)。以上の工程から、視野移動のタイミングを視野全体にイオン液体が広がっていくことによるコントラスト変化によって制御して、荷電粒子線照射によるイオン液体の誘導を自動で行うことができる。

20

【0031】

30

図10～図12は、自動配線における照射領域の移動を表した模式図である。図10は横方向に移動する場合、図11は縦方向に移動する場合、図12は斜め方向に移動する場合を示す。1001、1101、1201は照射領域A、1002、1102、1202は照射領域B、1003、1103、1203は照射領域Cである。802、903で設定した視野数に応じて、照射領域D、E…と続く。前述のように、照射領域AとB、BとCのように隣り合う領域同士には、20～50%程度の重なりを設ける。図8、図9のチャートでは、AからCに向かう方向に移動する場合を説明したが逆の方向に移動しても良い。また、横方向、縦方向、斜め方向を組み合わせても良く、状況に応じてフレキシブルに配線することができる。それぞれの照射領域で倍率を変化させても良く、状況に応じて配線の線幅を途中から変化させることもできる。

40

【0032】

以上で説明した照射領域の移動をソフト制御により自動化することによって、自動で配線を行うことができる。横方向と縦方向の移動は、SEMに設けられる画像の連続取り込み機能を用いることによって自動化を行うこともできる。

【実施例4】

【0033】

本実施例では、必要に応じて配線に用いたイオン液体を除去することもできる。図13は図1の試料交換機構103の構成を示した模式図である。1301は試料であり、試料台1302に固定される。試料1301を固定した試料台1302を試料交換棒1303の先端に装着し、試料交換棒1303を左右に移動することにより、試料室と試料交換室

50

の間で試料の出し入れを可能とする。1304は試料交換室であり、試料を試料室に挿入するための前段として真空排気を行う。試料交換棒1303の先端はバナナクリップ方式または2本の棒状構造となっている。

【0034】

試料台1302には試料交換棒を受ける受け部が設けられている。また試料交換棒1303は軸を中心に回転することもできる。1305は試料回転棒であり、上下に移動することができる。また試料回転棒制御部1306により軸を中心に回転させることができる。

【0035】

図15に試料回転棒先端1501と試料台底部1502の装着の模式図を示す。試料回転棒先端1501は円柱の形状となっており内側は空洞でネジ溝1503が加工してある。試料台底部(裏面)1502にはネジ溝1504(受け側)があり、試料回転棒先端が試料台底部に装着できるようになっている。

【0036】

このときネジを締める方向と試料が実際に回転するときの方向は同一であるため、試料回転棒1305の軸が回転しても試料台底部1502と試料回転棒先端1501が外れることはない。試料台底部1502と試料回転棒先端1501を外すときには、1303試料交換棒を装着した状態で、1305試料回転棒を緩める方向に回せば、試料台が回転してしまうことなく、試料回転棒1305を外すことができる。当然試料台が落下することもない。

【0037】

1307は液体浴であり、除去したイオン液体を捕集する役割を果たす。1308はアタッチメントであり、液体浴1307を試料交換室底部に脱着するための構造である。図16のように液体浴底部1601と試料交換室底部1602がアタッチメント1308で装着、固定される。1309は試料交換室と試料室を区切るゲートバルブであり、試料室、試料交換室の間で試料台を出し入れするときのみ開閉する。

【0038】

試料交換棒を180度回転(反転)させ、試料台の上下を反転する。次に試料回転棒を試料台の底部にあるネジ式の溝に装着し試料交換棒を外す(退避する)。試料回転棒の上下機構を利用し液体浴の中に試料表面が入るように試料台を下げる。試料回転棒の回転機構を利用し遠心力でイオン液体を飛ばす。回転機構は手動でもモーターなどを用いた自動駆動でも良い。

【0039】

このとき飛散したイオン液体は液体浴の側壁に付着し液体浴に捕集される。試料回転棒の上下機構を利用し試料台を上げ、試料交換棒を装着し、試料回転棒を取り外す。試料交換棒を軸中心に回転させ、試料の上下を反転する。試料室と試料交換室の間のバルブを開け試料台を試料室に挿入し試料交換棒のみ引き出す。試料室と試料交換室の間のバルブを閉じ荷電粒子線装置の荷電粒子線を照射し観察を行う。

【0040】

局所的な配線の除去方法として集束イオンビームが用いられるが、観察にも収束イオンビームを用いるため、観察中の試料ダメージが懸念される。また集束イオンビームで配線を削る際にも、試料ダメージが生じる可能性がある。本実施例の荷電粒子線装置では、荷電粒子として電子線を用いることによって、集束イオンビームで懸念されるような試料ダメージを軽減し、局所的な配線の除去が行える。

【実施例5】

【0041】

本実施例では、イオン液体と試料が配置される試料台の一例について説明する。試料台の模式図を図17に示す。試料台1701の材料はアルミ、またはカーボン製で形状はスタブ状のものであっても、これ以外の導電性材料、形状でもかまわない。試料台1701は図1の試料ステージ111を介して接地されているものとする。試料台1701上に固

10

20

30

40

50

定された試料 1702 は、ガラス基板上のパターンなど、試料台に電気的に接触していない状態とする。そのような試料に荷電粒子線を照射すると、試料表面に電荷が蓄積し、電子顕微鏡観察の場合は像ドリフトや異常コントラストなどの影響が出る。そのような試料を接地することによって帯電を抑制する場合について説明する。試料台 1701 の表面には 1 ~ 5 mm、深さ 1 ~ 5 mm 程度の穴 1703 が存在し、ここに予めイオン液体 1704 を保持しておく。保持したイオン液体 1704 に荷電粒子線 1705 を照射し、誘導して試料の目的の箇所まで移動させる。以上から、試料 1702 はイオン液体 1704 と試料台 1701 を介して接地され、前述のような帯電による影響を抑えることができる。

【実施例 6】

【0042】

10

本実施例では、イオン液体導入機構を、実施例 5 で示した試料台 1701 上に設ける例について説明する。実施例 5 と同様に、試料台 1701 の表面には 1 ~ 5 mm、深さ 1 ~ 5 mm 程度の穴 1703 が存在し、ここに予めイオン液体 1704 を保持しておく。プローブ 209 を移動させ、穴 1703 に保持されたイオン液体 1704 に接触させて少量のイオン液体 1801 をプローブ先端に付着させる。その後、プローブ 209 を移動させ、試料の目的箇所にイオン液体 1801 を付着させる。以上の手段により、実施例 1 のイオン液体導入機構における液層 201 は必要なくなり、イオン液体の流量調節などをすることなく試料にイオン液体を導くことができる。

【実施例 7】

【0043】

20

電子顕微鏡で絶縁体試料を観察する際には、試料の帯電を防ぐために、試料を金属コーティングなどの導電処理をしてから観察する。しかし、高倍率では金属の粒子が見えてしまうため、試料構造を忠実に観察したい場合には適さない。金属コーティングをせずに観察する場合は、電子線のエネルギーや電流量などを調整して帯電を抑えることに加えて、観察箇所の近傍まで導電性ペーストを塗るなど、電荷を逃がしやすい状況を作るといった工夫が必要となる場合がある。例えば、ガラス基板上のパターンなどは、観察箇所に存在するパターンがミリメートルオーダーの距離まで連続している場合は、パターンの端に導電性ペーストを塗って接地することによって帯電を抑えることができる。しかし、観察箇所が孤立したパターンの場合、導電性ペーストを用いて局所的に接地することは困難である。そこで、実施例 1 で説明した配線手法を用いることによって、接地された箇所から観察箇所付近までイオン液体を誘導し、例えば観察箇所を囲むようにイオン液体を誘導させることによって、電荷が逃げやすくなり、帯電を抑えて観察することが可能となる。

【実施例 8】

【0044】

30

電子顕微鏡を用いた観察手法として、試料の吸収電流を測定する手法がある。また、その応用として、例えば太陽電池などの P N ジャンクションにおける電子線誘起電流測定などを行うことができる。しかし、近年の電子デバイスは微細化、複雑化が進んでおり、微小な配線が必要となる場合が多く、ハンダや導電性ペーストでは配線が困難なケースがある。

【0045】

40

上述のような配線手法を用いることによって、局所的な配線が行え、吸収電流を測定することができ、上記課題を解決することができる。

【0046】

また、実施例 1 で記述したように、イオン液体導入機構は、プローブ 209 の先端と接地された試料台との間に、電位差を生じさせることや、電流を測定する機構を有する。従って、電極部または電極部から配線した箇所にプローブ 209 の先端を接触させて上述のような電子線誘起電流測定などを行うことができる。また、イオン液体導入機構を複数台配置することによって、各プローブ間の電圧電流特性を測定することが可能となり、2 端子法や 4 端子法など、より複雑な電気特性測定が行える。イオン液体を用いた配線と組み合わせて用いることにより、状況に応じたフレキシブルな測定を行える。

50

【実施例 9】

【0047】

電子顕微鏡を用いた観察手法として、例えばセラミックコンデンサなどの特性評価や故障解析を目的として、電極間に電圧を印加して積層構造に電位コントラストを生じさせた状態で観察するなど、電圧印加しながら観察したいというニーズがある。しかし、局所的な評価をする場合には、微細な配線が必要となり、ハンダや導電性ペーストでは配線が困難なケースがある。上述のような配線手法を用いることにより、局所的な配線が行え、局所的に電圧印加することができるため、上記課題を解決することができる。

【0048】

また、実施例 8 で説明した吸収電流測定と電圧印加を組み合わせて用いることもできる。また、イオン液体導入機構を複数台設置すれば、試料台とプローブ間だけでなく、各プローブ間に電圧を印加することも可能である。 10

【実施例 10】

【0049】

電子顕微鏡では、例えば金属や結晶材料などの熱特性評価を目的として、試料を加熱や冷却しながら観察したいというニーズがある。イオン液体は、一般的に熱伝導も良好であり、電気伝導媒体だけでなく熱伝導媒体としても利用可能であると言われている。また、幅広い温度領域（-50 ~ 300 度）で安定して液体状態を取るため、300 度までの加熱、-50 度までの冷却が行える。既存の装置で過熱・冷却する場合には、試料全体が加熱・冷却されてしまうが、例えば、熱に弱い材料で囲まれた試料の、一部分の熱に強い箇所のみを加熱したい場合には、局所的な加熱が必要となる。本発明の荷電粒子線装置では、イオン液体を電気伝導配線としてだけでなく、熱伝導配線として用いることができ、局所的な加熱・冷却が行えるため、上記のような課題を解決することができる。 20

【実施例 11】

【0050】

図 14 は、イオン液体を用いた配線加工条件を設定する GUI (Graphical User Interface) 画面の一例を示す図である。図 19 は、図 14 に例示した GUI 画面を表示する表示装置を備えた入力装置 1910、当該入力装置 1910 にて設定した配線条件に基づいて、走査電子顕微鏡本体 1901 を制御するための信号を生成する制御装置 1903 を備えた配線加工システムの一例を示す図である。走査電子顕微鏡本体 1901 と、制御装置 1903との間には、信号のアナログ-デジタル変換を実行するための A / D 変換器 1902 が接続されている。また、GUI 画面上の任意の位置を設定できるポインティングデバイス 1911 が入力装置 1910 に接続されている。 30

【0051】

図 14 に例示する GUI 画面上には、SEM 画像を表示する表示領域 1401 と、加工条件入力ウィンドウ 1407 が設けられている。

【0052】

加工条件入力ウィンドウ 1407 は例えば、イオン液体の供給量 (Amount of Ionic Liquid)、配線加工始点 (Starting Point)、配線加工終点 (End Point)、ビーム照射領域の大きさ (FOV(Field Of View)Size)、電子ビームのビーム電流 (Beam Current)、及び電子ビームの加速電圧 (Acceleration Voltage) のような配線加工に要する装置パラメータを入力するために設けられている。また、加工条件入力ウィンドウ 1407 への入力に併せて、或いは加工条件入力ウィンドウ 1407 への入力に替えて、表示領域 1401 にて加工条件を入力できるようになっている。 40

【0053】

図 14 に例示する SEM 画像には 2 つの配線 1403、1404 が表示されており、この 2 つの配線間の接続処理を例にとって、本実施例の説明を行う。まず、イオン液体の滴下位置とイオン液体の量を “Amount of Ionic Liquid”、“Starting Point” の入力に基づいて実行する。なおイオン液体の量は、予め記憶された規定量があるのであればそれに 50

基づいて滴下するようにしても良いし、滴下位置はポインター 1402 によってその位置を設定するようにしても良い。このような設定に基づいて、図 19 に例示する制御装置 1903 内に含まれるイオン液体吐出制御部 1906 は、指定された位置にイオン液体 1405 を吐出できるように、プローブ 209、試料ステージ 111 の位置を制御する信号を発生する。また、指定量のイオン液体を吐出できるように、イオン液体導入機構 113 を制御する。また、ポインター 1402 を用いて滴下位置を設定する場合には、表示領域 1401 における指定位置を位置検出部 1907 が認識し、それを座標変換部 1908 がステージ座標、或いはイオン液体吐出制御機構 1906 の制御信号に変換して、制御信号を生成する。

【0054】

上記の入力の上で、“End Point”を入力すると加工始点と加工終点が決定できるので、光学条件設定部 1905 は、両者間を結ぶように照射位置の移動軌道 1408 を設定するようにしても良いし、ポインター 1402 を用いて、任意の軌道を設定するようにしても良い。光学条件設定部 1905 は、上記設定に基づいて、加工始点から加工終点に向かって、ビーム照射位置を時間の経過に従って移動するための偏向器（図示せず）への偏向信号、或いは試料ステージ 111 への制御信号を生成する。このような照射領域移動手段を設けることにより、自動的に配線加工を行うことができる。メモリ 1909 には、入力条件に基づく制御信号の生成条件が予め記憶されており、この生成条件に従って、制御信号を生成する。なお、加工配線の大きさはビームの照射領域 1406 の大きさによって決定されるため、“FOV size”への入力によって決定することができる。光学条件設定部 1906 は、“FOV size”の設定によって、走査偏向器（図示せず）の走査信号を生成する。

【0055】

なお、加工始点、加工終点、及び“FOV size”が決まれば、イオン液体を塗布すべき領域の大きさが決定できるため、当該大きさとイオン液体の量を関連付けて記憶するテーブル、或いは関係式を予めメモリ 1909 に登録しておき、加工始点、加工終点、及び“FOV size”の設定によって、自動的にイオン液体の吐出量を求めるようにしても良い。また、1ヶ所に多くのイオン液体を吐出すると、隣接するパターン間の間隔が狭い試料の場合、隣接するパターン同士が導通してしまう可能性もあるため、図 20 に例示するようにイオン液体吐出領域 2001 の大きさを任意に設定できるようにすることが望ましい。この場合、吐出領域の大きさと吐出量の関係を示すテーブル、あるいは関係式を予めメモリ 1909 に記憶しておき、そのテーブル、或いは関係式に基づいて、吐出量を自動的に決定するようにしても良い。

【0056】

また、加工始点位置、加工終点位置、及び“FOV size”的大きさによって決定される吐出量 (D1) と、イオン液体吐出領域 2001 の大きさによって決定される吐出量 (D2) が「D1 > D2」の関係にある場合、配線に要する液体イオンが足りないことになるため、例えば図 20 に例示するように、新たなイオン液体吐出領域 2002 を設定し、必要量を確保するようにしても良い。イオン液体吐出領域 2001 を加工始点として加工を進めた場合、加工終点に至るまでにイオン液体吐出領域 2002 を通過することになるため、イオン液体吐出領域 2002 を新たな加工始点（イオン液体補給点）として、加工を継続することが可能となる。

【0057】

図 14 に例示する G U I 画面では、上述のような加工条件を設定した後、開始 (Start) ボタンを押下することによって加工を開始することができる。また、照射位置の移動速度が早すぎると配線が途切れてしまう可能性があるため、ビーム照射位置の移動速度を制御するようにしても良い。更に加工の過程を目視にて確認できるように、表示領域 1401 に表示された試料領域への走査（広範囲走査）と、ビーム照射領域 1406 への走査（狭範囲走査）を連続的に切り換えるように制御しても良い。このような制御によれば、加工の過程を動画にて確認することが可能となる。また、図 14 に例示するようにビーム照射領域 1406 の設定領域を目視可能とすることによって、設定加工領域と実際の加工

10

20

30

40

50

状態を目視で比較することが可能となる。

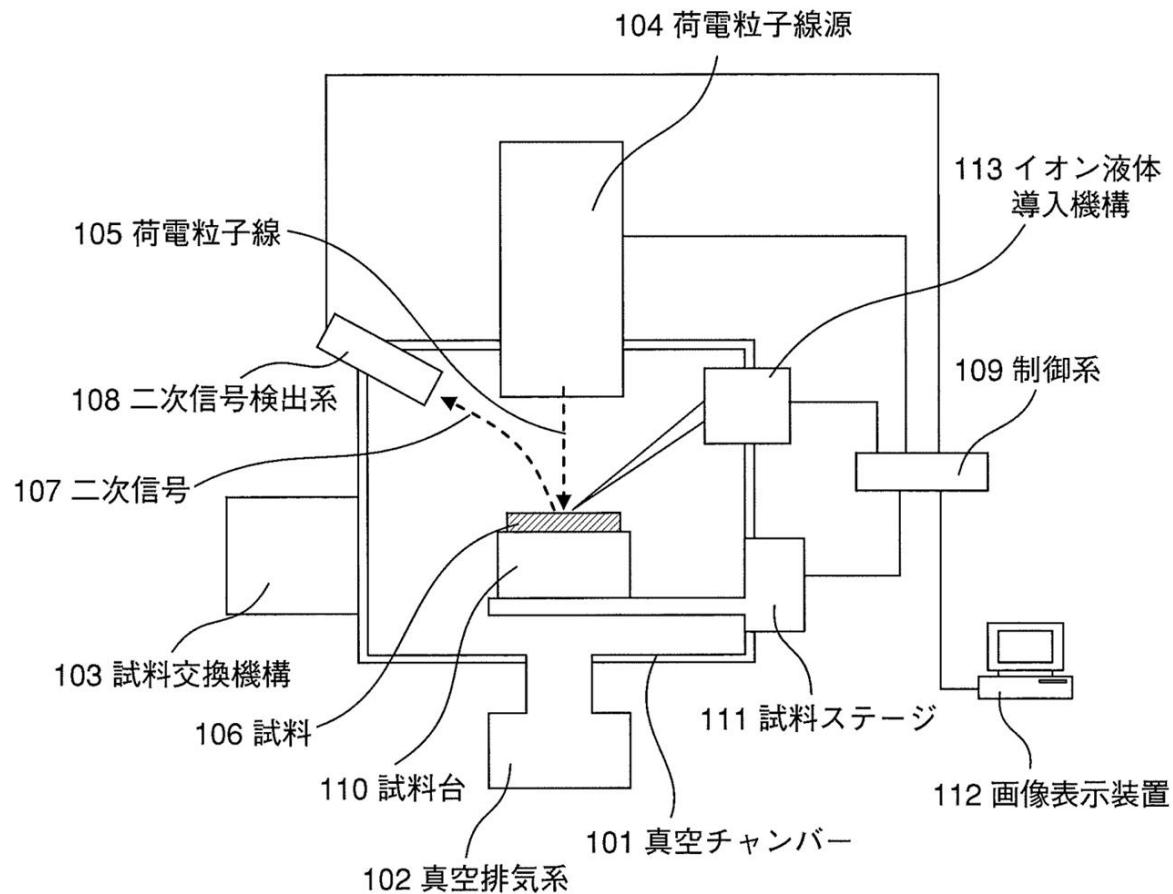
【符号の説明】

【0058】

101	真空チャンバー	
102、204	真空排気系	
103	試料交換機構	
104	荷電粒子線源	
105、1705	荷電粒子線	
106、1301、1702	試料	
107	二次信号	10
108	二次信号検出系	
109	制御系	
110、1302、1701	試料台	
111	試料ステージ	
112	画像表示装置	
113	イオン液体導入機構	
201	液槽	
202、303、702、1704	イオン液体	
203	注入口	
205	シャッター	20
206	プローブロッド	
207	粗動機構	
208	微動機構	
209	プローブ	
301	プローブ固定部	
302、1703	穴	
401、501、704	イオン液体の液滴	
402、502	Si基板	
403	電子線を照射する領域	
404、503	電子線照射した領域	30
701	目的箇所A	
703	目的箇所B	
1001、1101、1201	照射領域A	
1002、1102、1202	照射領域B	
1003、1103、1203	照射領域C	
1303	試料交換棒	
1304	試料交換室	
1305、1505	試料回転棒	
1306	試料回転棒制御部	
1307	液体浴	40
1308	アタッチメント	
1309	ゲートバルブ	
1501	試料回転棒先端	
1502	試料台底部	
1503、1504	ネジ溝	
1801	イオン液体	

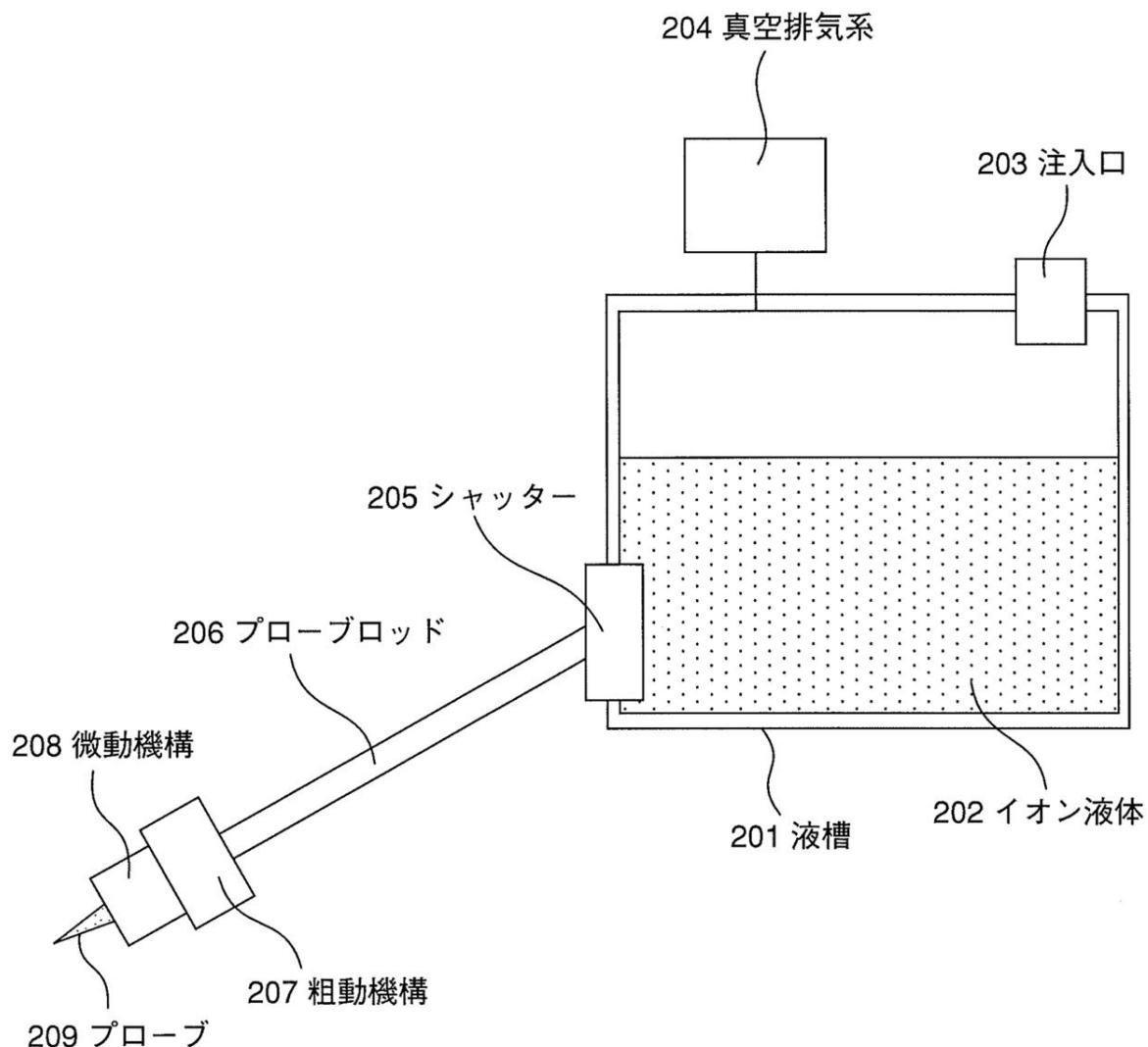
【図1】

図 1



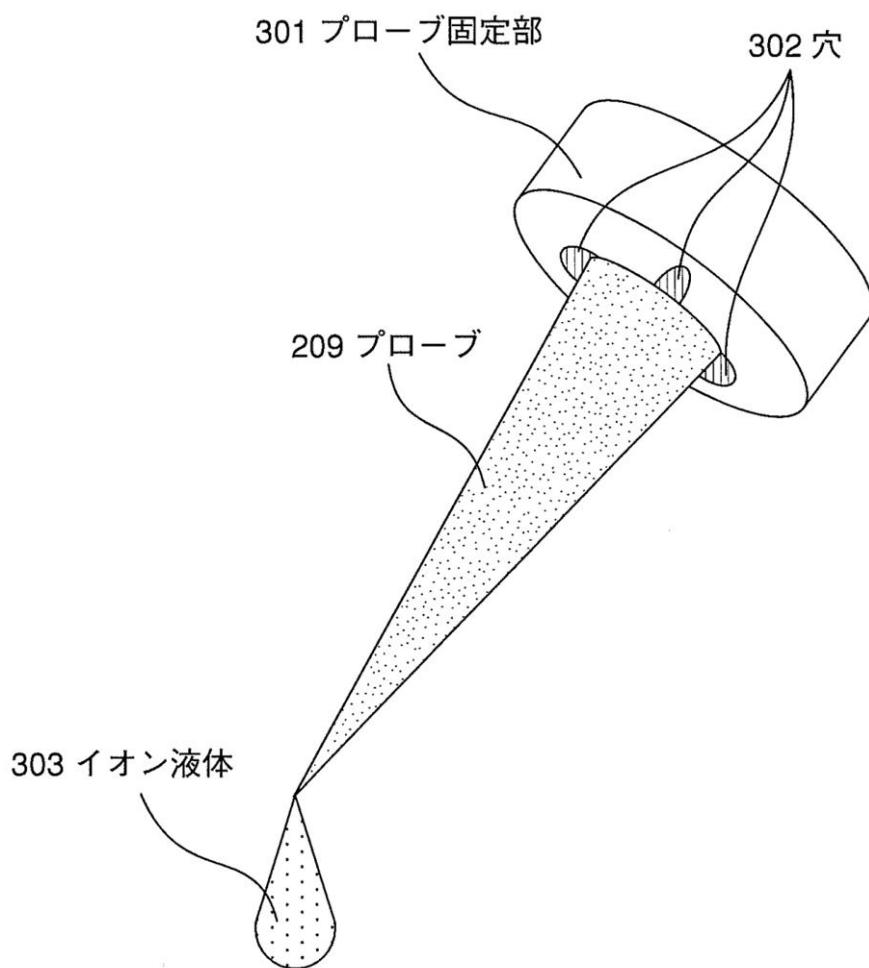
【図2】

図 2



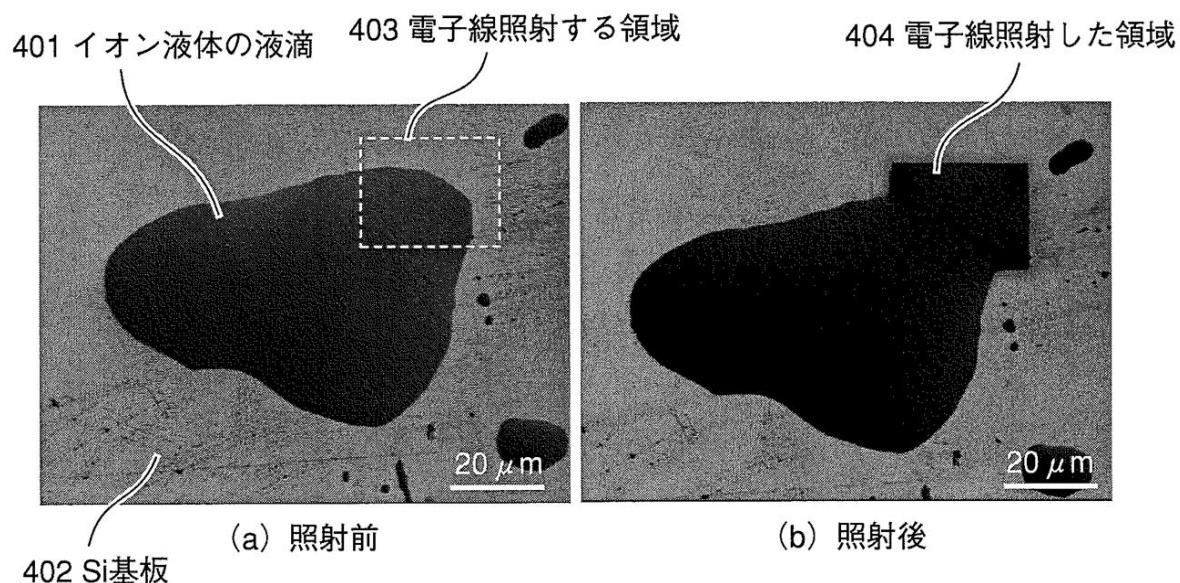
【図3】

図 3



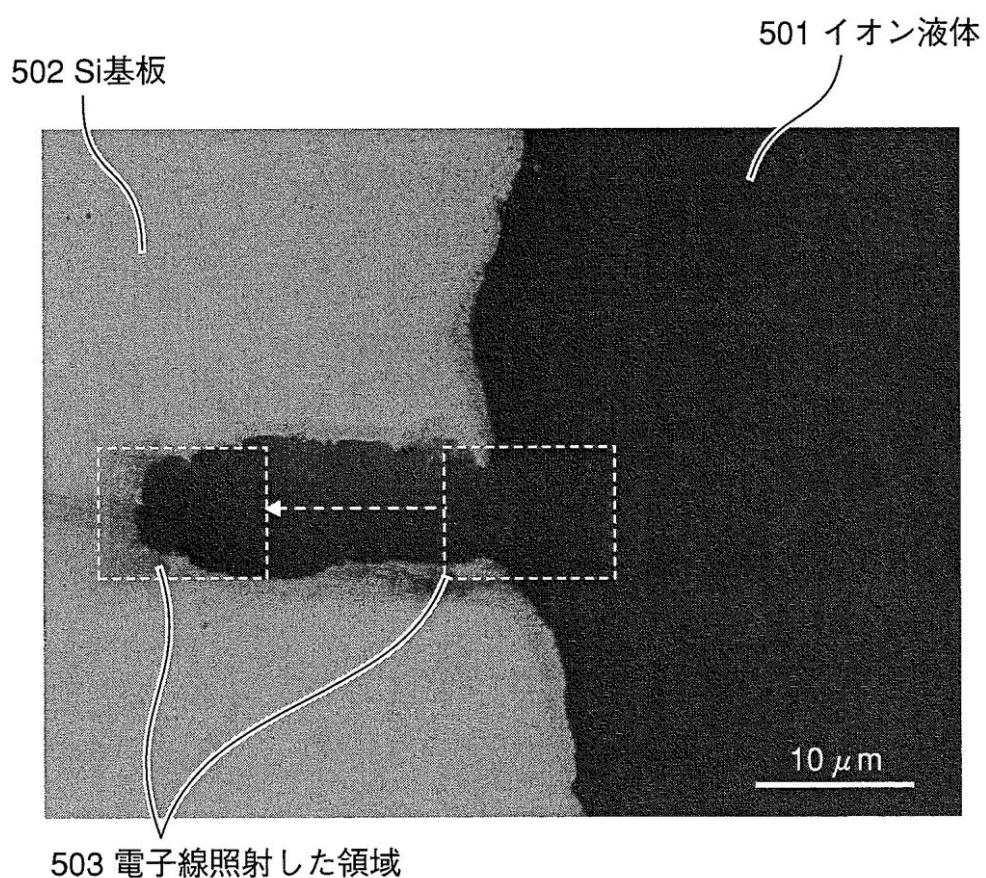
【図4】

図 4



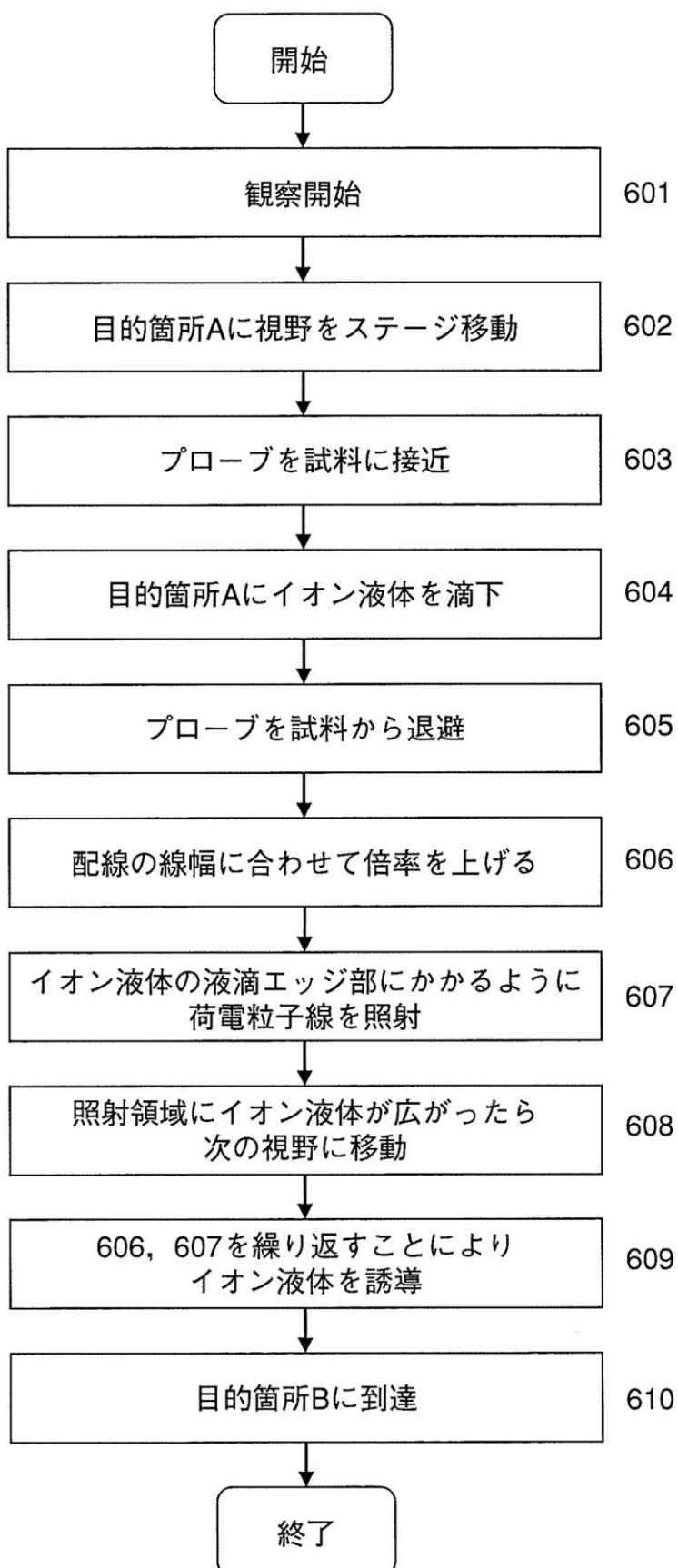
【図5】

図 5



【図6】

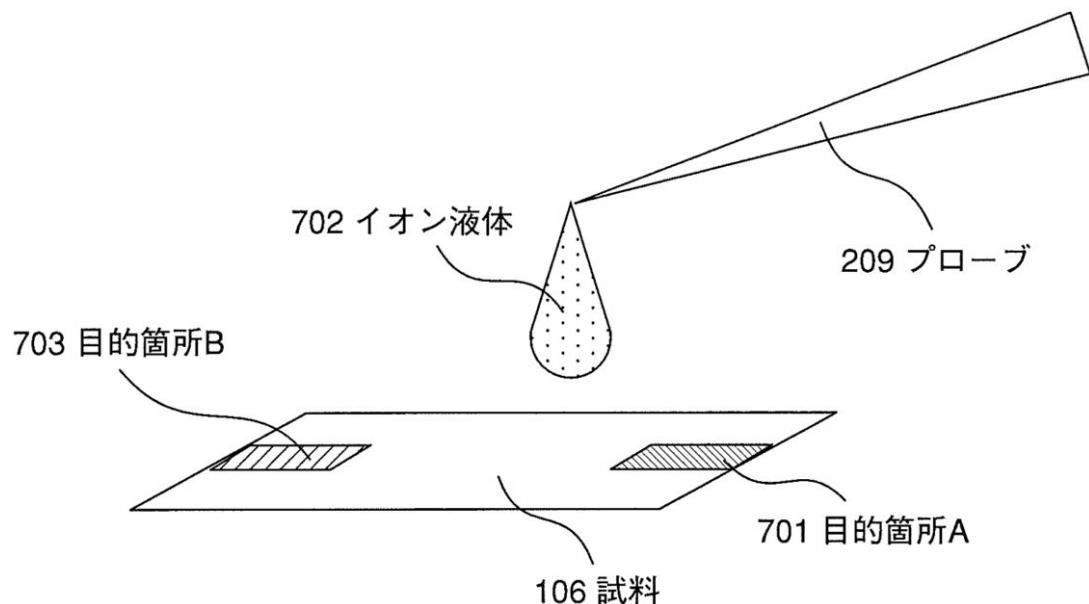
図 6



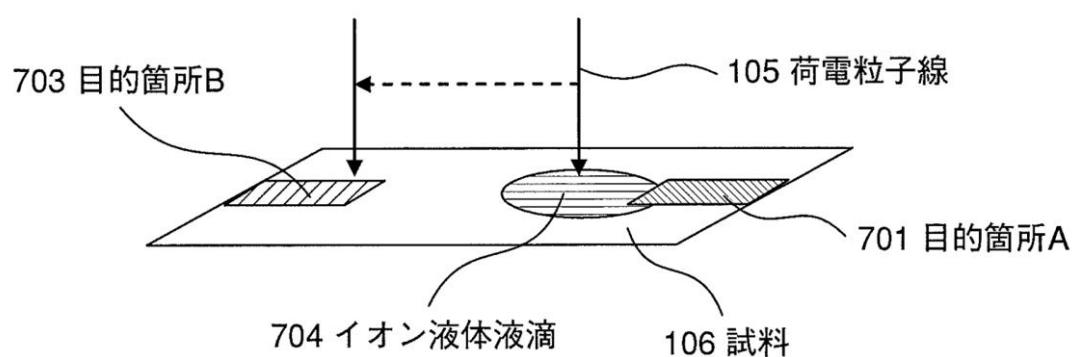
【図7】

図 7

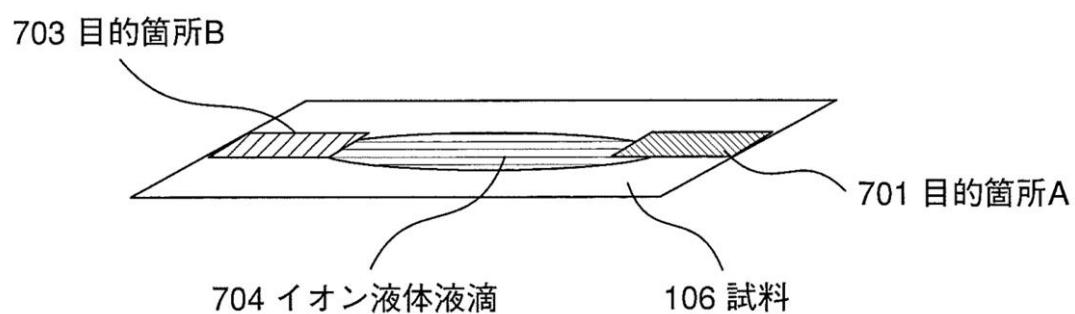
(a)



(b)

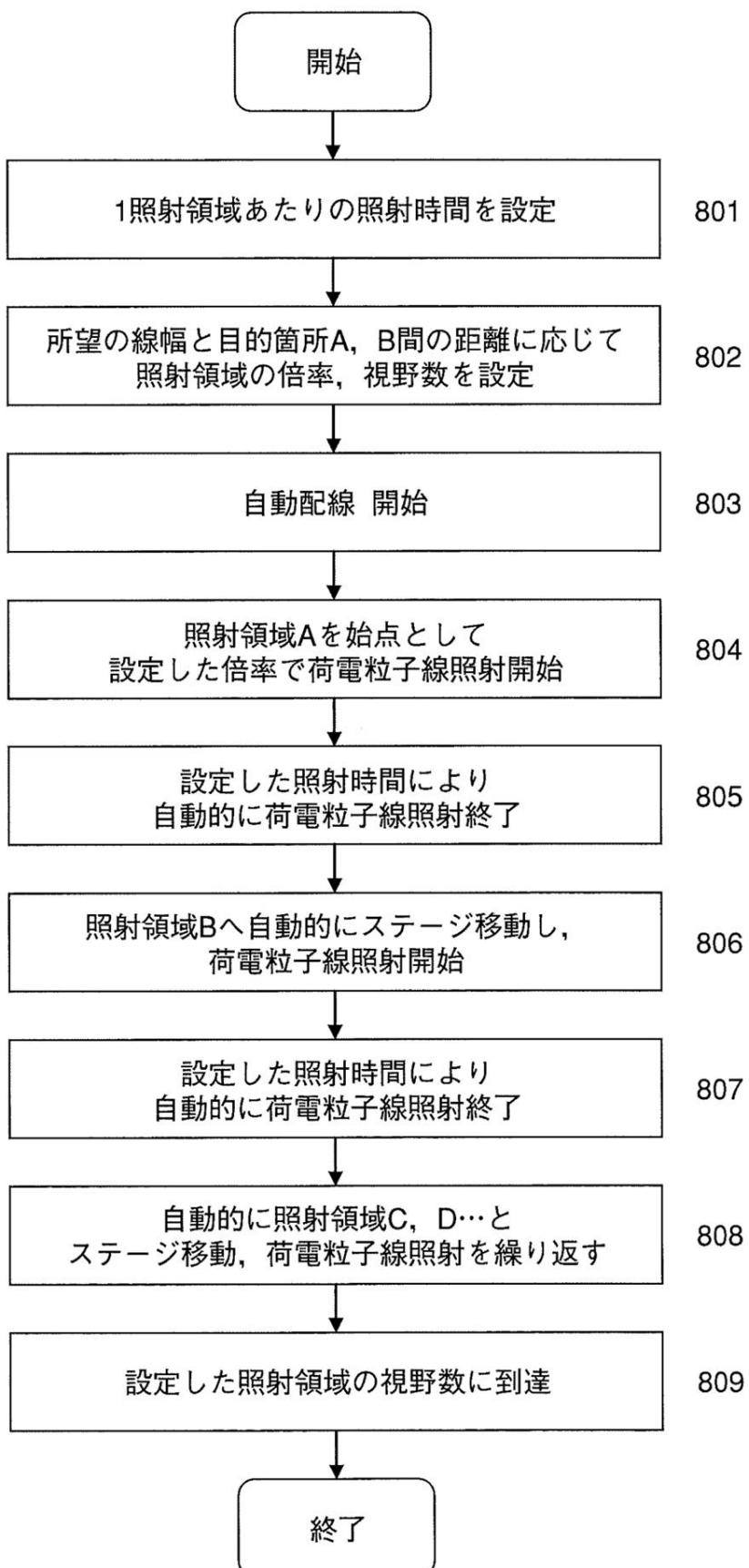


(c)



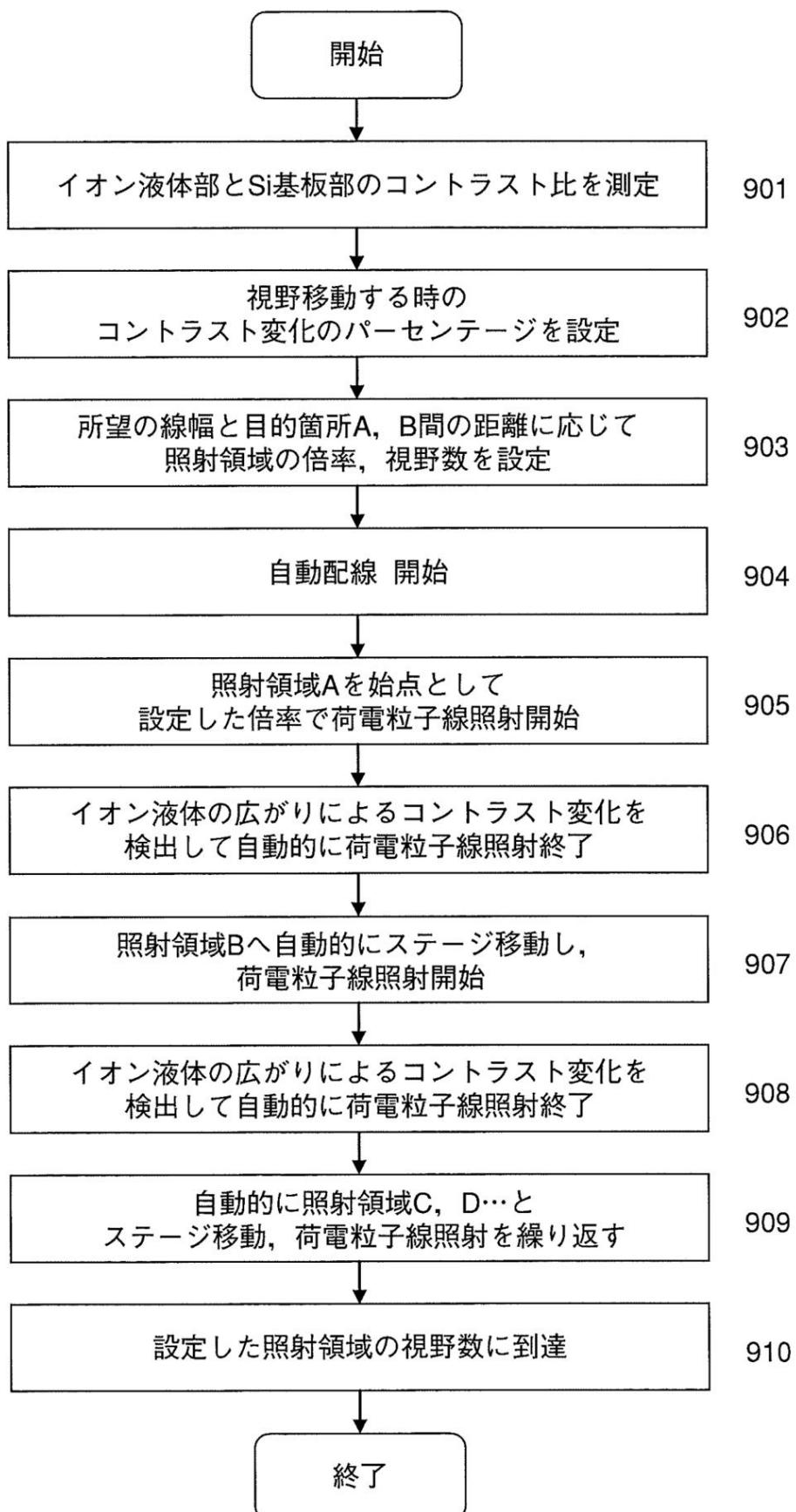
【図8】

図 8



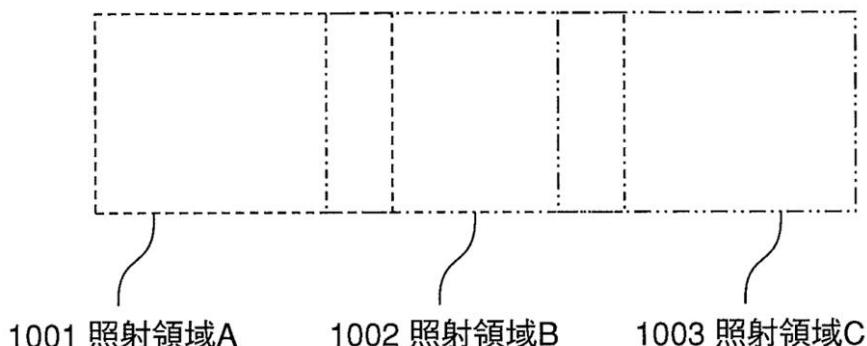
【図9】

図 9



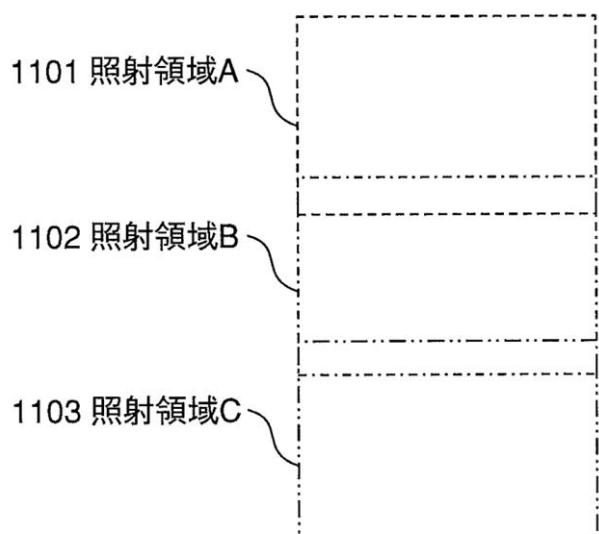
【図10】

図 10



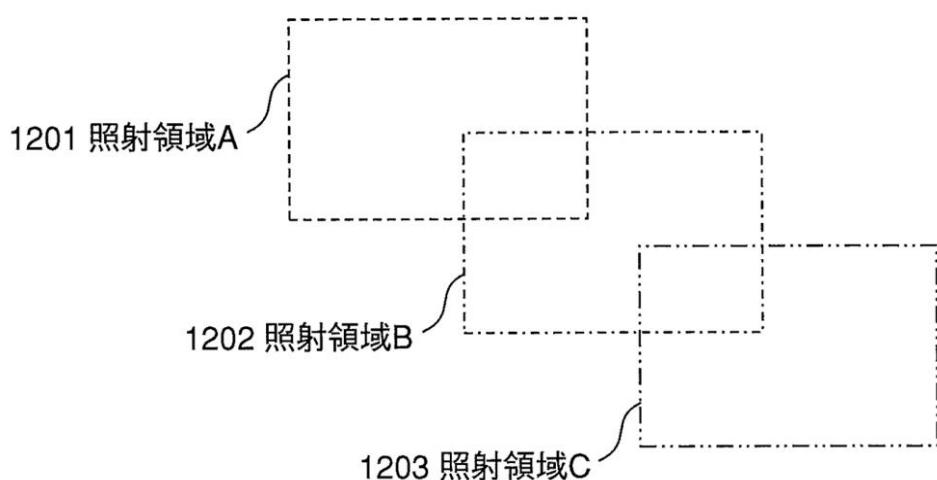
【図11】

図 11



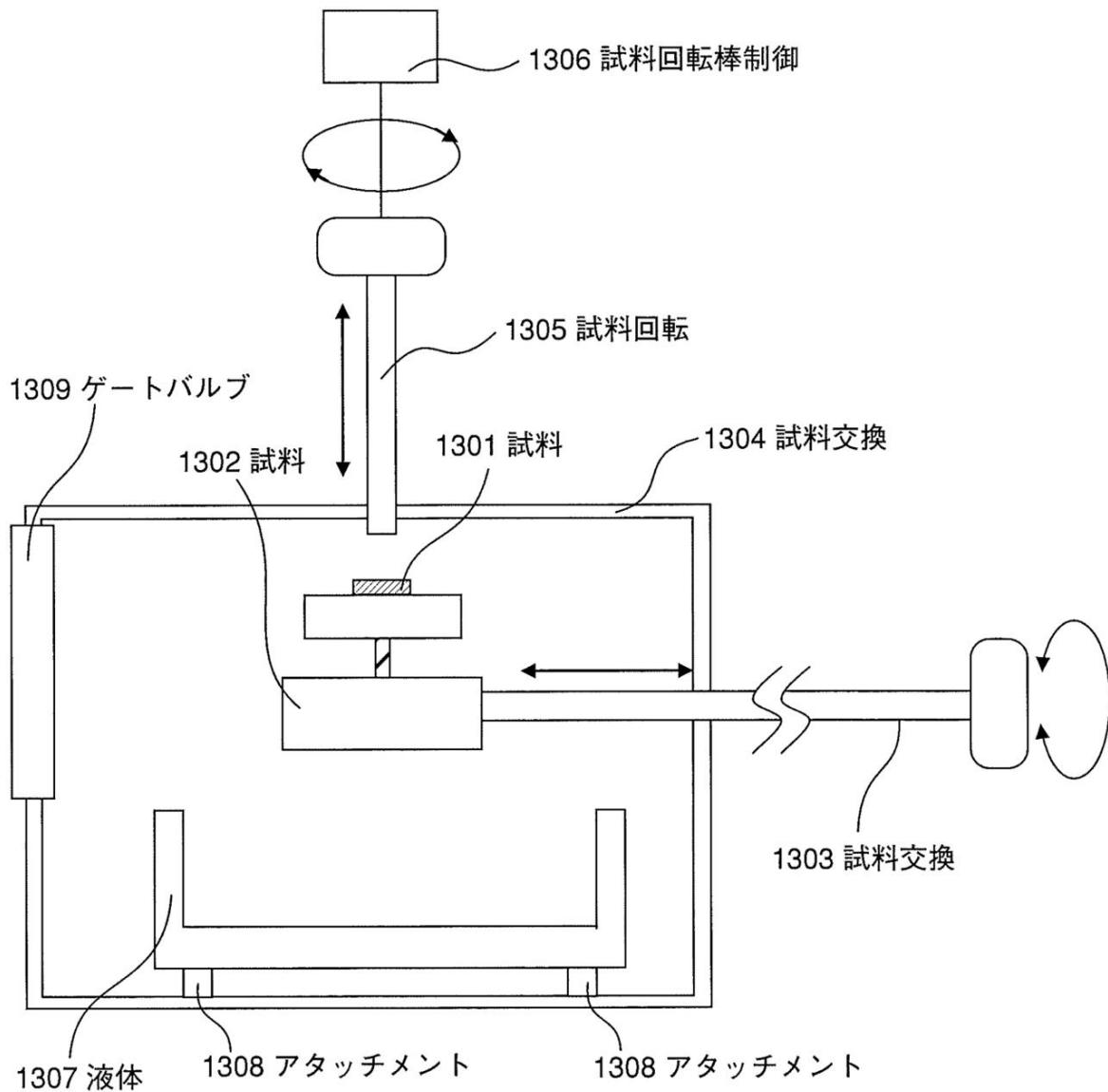
【図12】

図 12



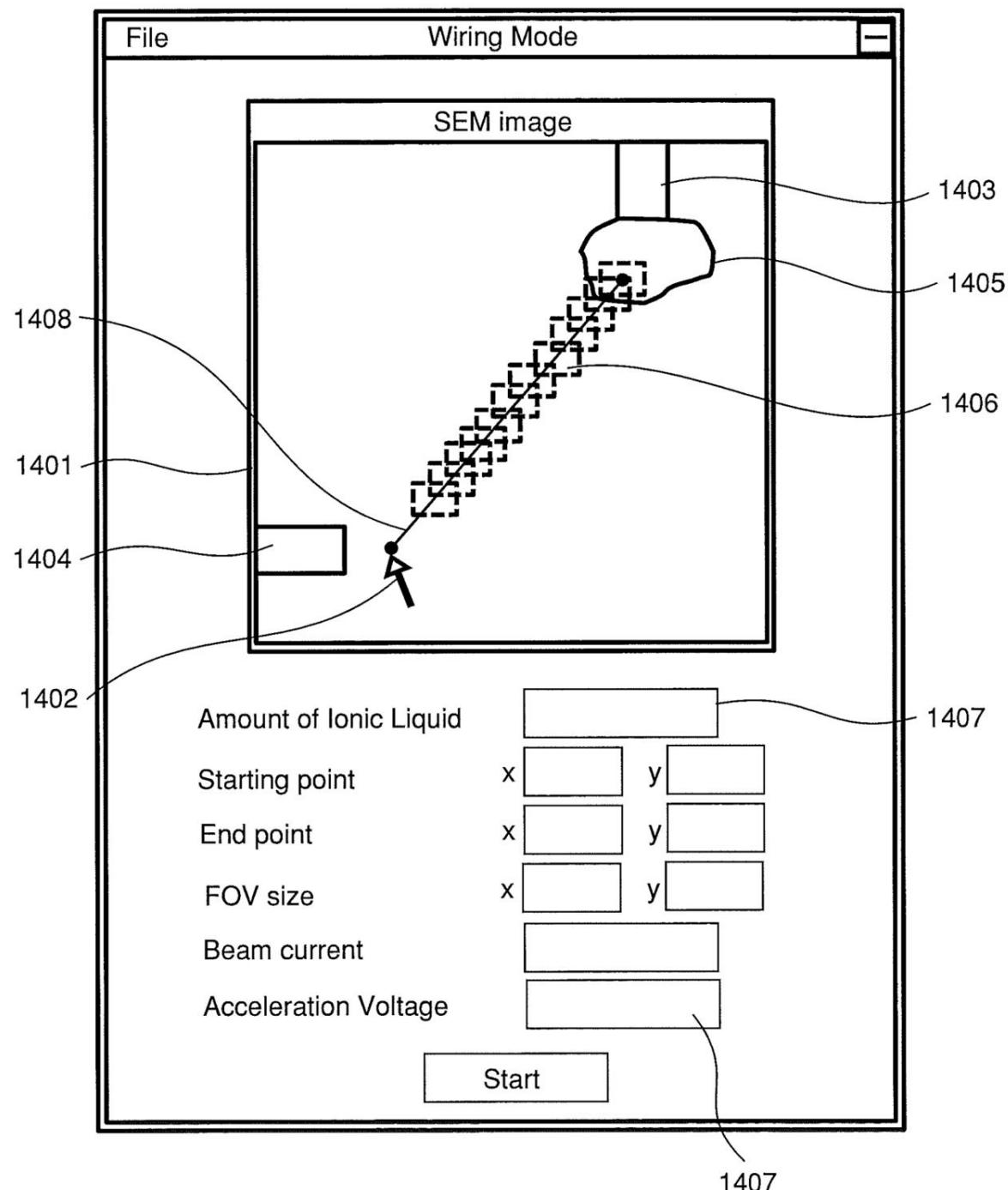
【図13】

図 13



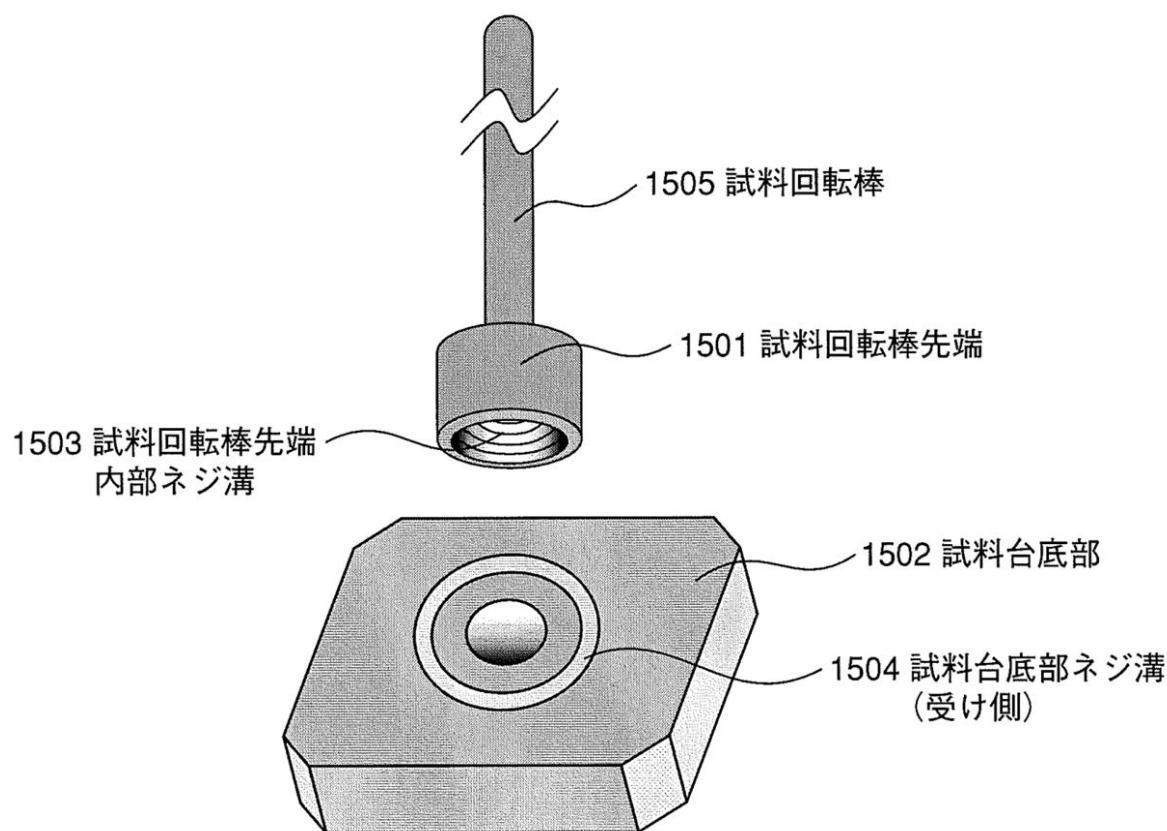
【図14】

図 14



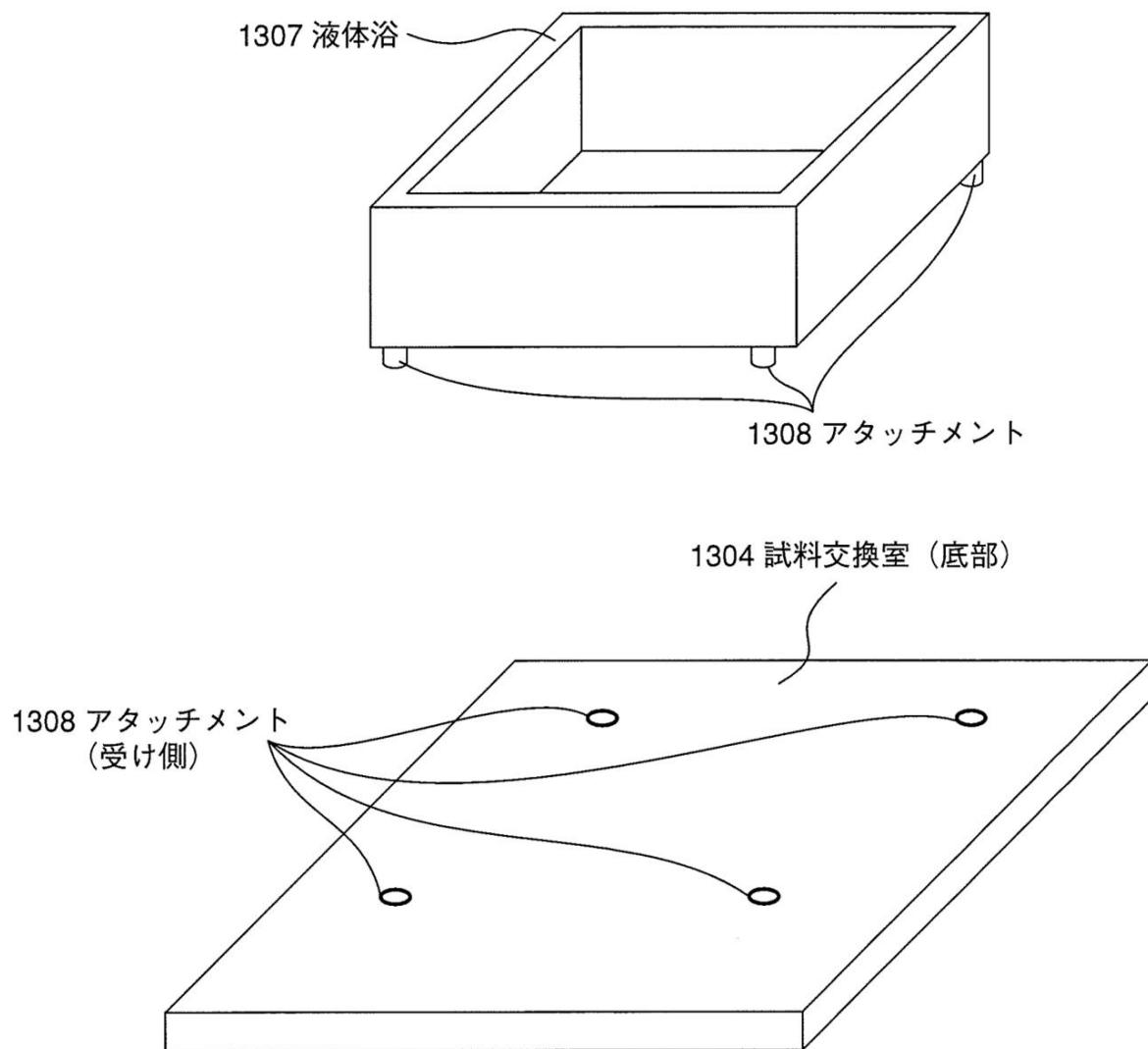
【図15】

図 15



【図16】

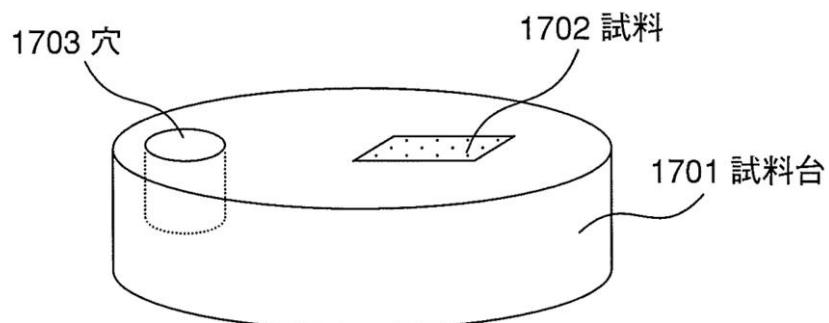
図 16



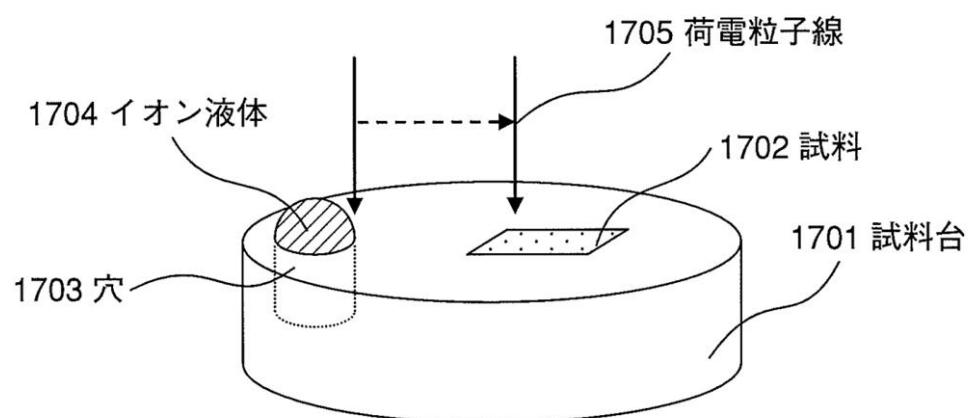
【図17】

図 17

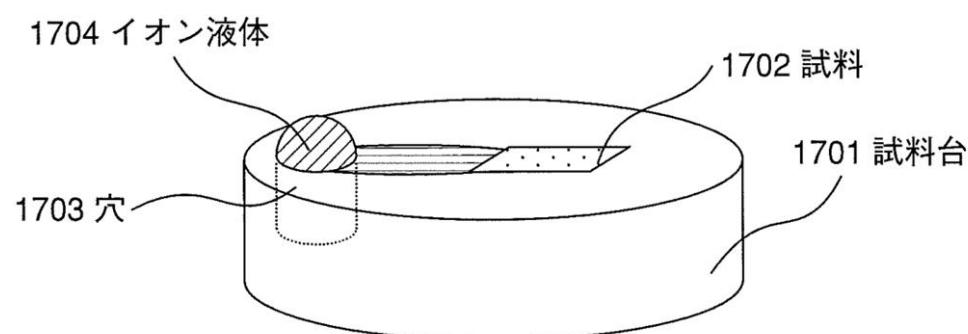
(a)



(b)

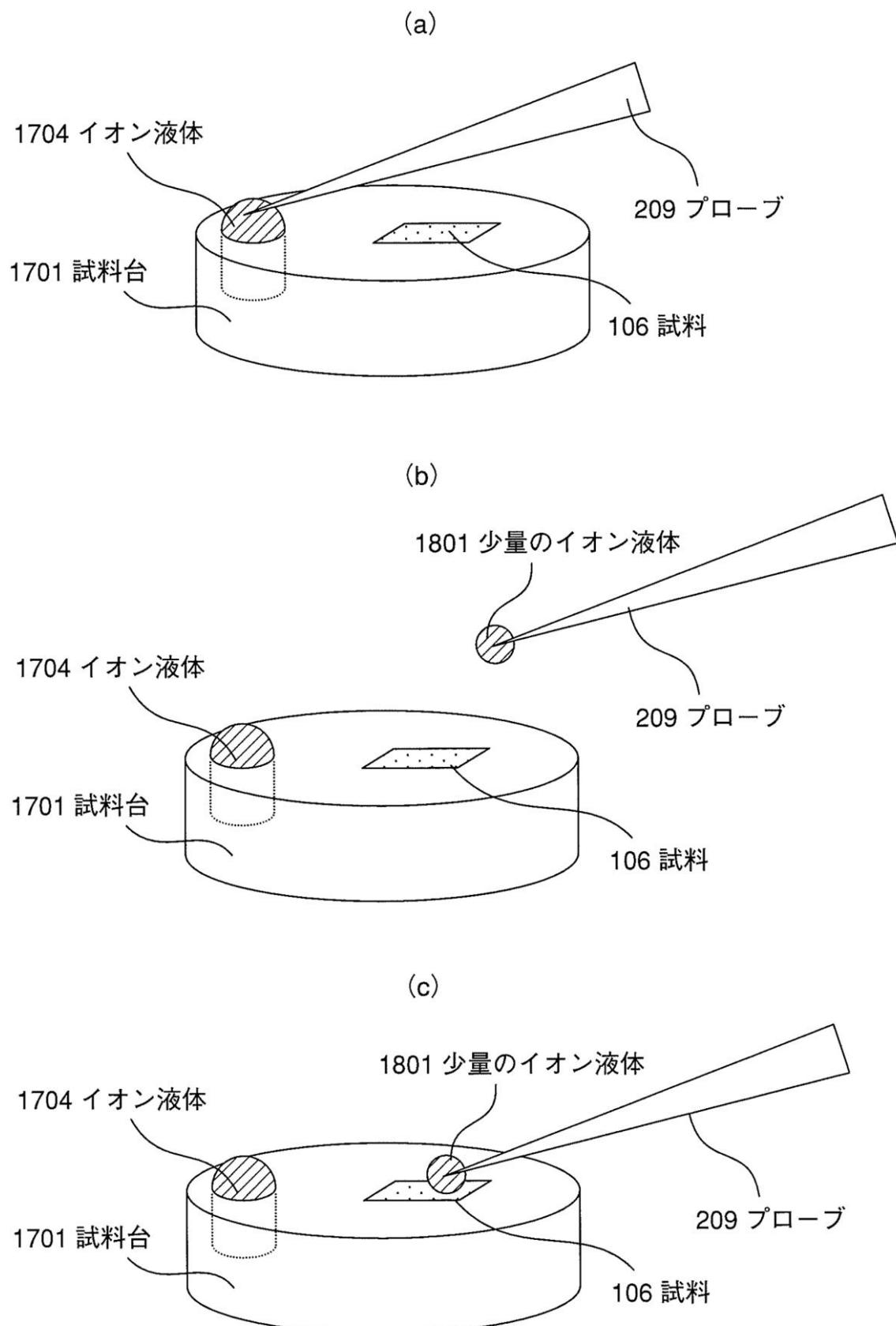


(c)



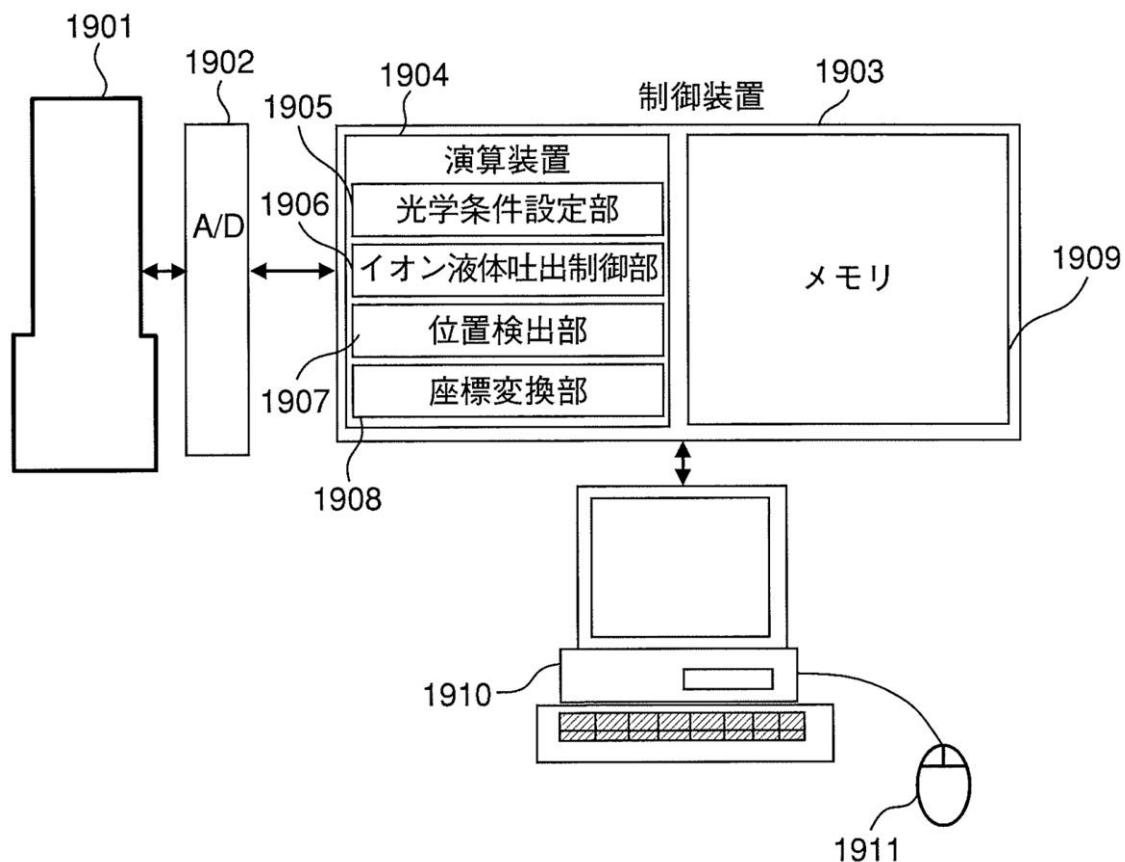
【図18】

図 18



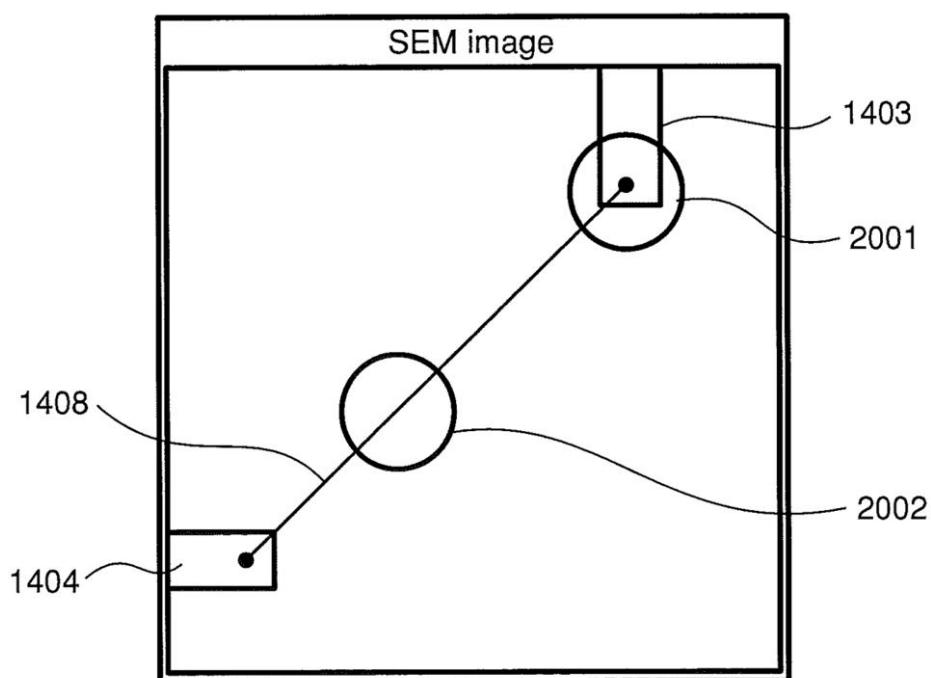
【図19】

図 19



【図20】

図 20



フロントページの続き

(72)発明者 中澤 英子

茨城県ひたちなか市大字市毛882番地
ズ 那珂事業所内

株式会社 日立ハイテクノロジー

(72)発明者 許斐 麻美

茨城県ひたちなか市大字市毛882番地
ズ 那珂事業所内

株式会社 日立ハイテクノロジー

(72)発明者 竹内 秀一

茨城県ひたちなか市大字市毛882番地
ズ 那珂事業所内

株式会社 日立ハイテクノロジー

審査官 佐藤 仁美

(56)参考文献 特開平02-205682 (JP, A)

米国特許出願公開第2011/0293847 (US, A1)

特開2011-124162 (JP, A)

特開2011-216426 (JP, A)

特開2010-133710 (JP, A)

国際公開第2007/083756 (WO, A1)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G01N 23/00 - 23/227、

G03F 1/74、

H01J 37/00 - 37/02、37/05、

37/09 - 37/244、37/252 - 37/36