(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7614351号
(P7614351)

(45)発行日　令和7年1月15日(2025.1.15)

(24)登録日　令和7年1月6日(2025.1.6)

(51)国際特許分類

		FI		
H01L 21/66 (2006.01)		H01L	21/66	B
G01R 31/28 (2006.01)		G01R	31/28	K

請求項の数　14　（全22頁）

(21)出願番号　特願2023-531203(P2023-531203)
(86)(22)出願日　令和3年6月29日(2021.6.29)
(86)国際出願番号　PCT/JP2021/024581
(87)国際公開番号　WO2023/276002
(87)国際公開日　令和5年1月5日(2023.1.5)
審査請求日　令和5年12月27日(2023.12.27)

(73)特許権者　501387839
株式会社日立ハイテク
東京都港区虎ノ門一丁目１７番１号
(74)代理人　110000350
ポレール弁理士法人
(72)発明者　佐村 直樹
東京都港区虎ノ門一丁目１７番１号 株式会社日立ハイテク内
(72)発明者　奈良 安彦
東京都港区虎ノ門一丁目１７番１号 株式会社日立ハイテク内
審査官　安田 雅彦

最終頁に続く

(54)【発明の名称】　プローブ装置

(57)【特許請求の範囲】

【請求項１】

試料を支持する試料ステージと、

前記試料の所定の試料面に接触させるプローブが取り付けられるプローブユニットと、

前記試料と前記プローブを撮像する第１のカメラと、

前記第１のカメラの光軸を調整する第１のカメラ光軸調整ステージとを有し、

前記第１のカメラの光軸は前記試料面と平行であり、

前記第１のカメラ光軸調整ステージは、前記第１のカメラの光軸を前記試料面と垂直な方向に移動可能とするプローブ装置。

【請求項２】

請求項１において、

前記試料ステージ及び前記プローブユニットを制御するステージ制御部を有し、

前記ステージ制御部は、前記第１のカメラの光軸の高さを前記試料面の高さにあわせた状態での前記第１のカメラの光学像に基づき、前記プローブが前記試料面の所定の位置に近接するように、前記試料ステージまたは前記プローブユニットを制御するプローブ装置。

【請求項３】

請求項２において、

前記第１のカメラが撮像する光学像を出力するカメラ画像処理部と、

前記第１のカメラの光学像に基づき前記第１のカメラの光軸調整ステージを制御するカメラ光軸調整ステージ制御部とを有するプローブ装置。

【請求項４】
請求項３において、
前記カメラ光軸調整ステージ制御部は、前記第１のカメラの光軸が前記試料面よりも高い位置となるように前記第１のカメラ光軸調整ステージを制御し、
前記カメラ画像処理部は、前記第１のカメラの光軸が前記試料面よりも高い位置にある状態での前記第１のカメラの光学像から、前記第１のカメラの投影面における前記試料の前記第１のカメラに近い側の第１の試料端と前記試料の前記第１のカメラから遠い側の第２の試料端との離間距離を算出し、
前記カメラ光軸調整ステージ制御部は、前記試料の前記第１の試料端と前記第２の試料端との離間距離に基づき、前記第１のカメラの光軸の高さを前記試料面の高さにあわせるよう前記第１のカメラ光軸調整ステージを制御するプローブ装置。
【請求項５】
請求項３において、
前記プローブユニットを複数有し、
前記カメラ光軸調整ステージ制御部は、前記第１のカメラの光軸が前記試料面よりも高い位置となるように前記第１のカメラ光軸調整ステージを制御し、
前記ステージ制御部は、前記第１のカメラの光軸が前記試料面よりも高い位置にある状態での前記第１のカメラの光学像において、複数の前記プローブユニットに取り付けられた前記プローブの先端が揃うように、複数の前記プローブユニットを制御し、
前記ステージ制御部は、前記第１のカメラの光学像に基づき、複数の前記プローブのうち、前記第１のカメラから最も遠いプローブを前記試料面に近接させるように当該プローブが取り付けられたプローブユニットを制御するとともに、他の前記プローブを前記第１のカメラから最も遠いプローブに同期させて前記試料面に近接させるよう当該他のプローブが取り付けられたプローブユニットを制御するプローブ装置。
【請求項６】
請求項３において、
前記試料と前記プローブを撮像する第２のカメラと、
前記第２のカメラの光軸を調整する第２のカメラ光軸調整ステージとを有し、
前記第２のカメラの光軸は前記試料面と垂直であり、
前記第２のカメラ光軸調整ステージは、前記第２のカメラの光軸を前記試料面と平行な面内で移動可能とし、
前記カメラ画像処理部は、前記第２のカメラが撮像する光学像を出力し、
前記カメラ光軸調整ステージ制御部は、前記第２のカメラの光学像に基づき前記第２のカメラの光軸調整ステージを制御するプローブ装置。
【請求項７】
請求項６において、
前記ステージ制御部は、前記第２のカメラの投影面が前記試料面と一致するよう前記試料ステージを制御し、
前記カメラ光軸調整ステージ制御部は、前記第２のカメラの光軸と前記プローブの先端とが一致するように前記第２のカメラ光軸調整ステージを制御し、
前記カメラ画像処理部は、前記第２のカメラの光軸と前記プローブの先端とが一致した状態での前記第２のカメラの光学像から、前記第２のカメラの投影面における前記プローブの先端と前記試料面上のマーカとの第１の離間距離を算出し、
前記カメラ光軸調整ステージ制御部は、前記第２のカメラの光軸と前記マーカとが一致するように前記第２のカメラ光軸調整ステージを制御し、
前記カメラ画像処理部は、前記第２のカメラの光軸と前記マーカとが一致した状態での前記第２のカメラの光学像から、前記第２のカメラの投影面における前記プローブの先端と前記マーカとの第２の離間距離を算出し、
前記カメラ画像処理部は、前記第１の離間距離及び前記第２の離間距離に基づき、前記プローブの先端と前記試料面との鉛直距離を算出するプローブ装置。

【請求項８】
請求項６において、
前記ステージ制御部は、前記第２のカメラの投影面が前記試料面と一致するよう前記試料ステージを制御し、
前記カメラ光軸調整ステージ制御部は、前記第２のカメラの光軸と前記プローブの先端とが一致するように前記第２のカメラ光軸調整ステージを制御し、続いて前記第２のカメラの光軸と前記試料面上のマーカとが一致するように前記第２のカメラ光軸調整ステージを制御するとともに、前記第２のカメラの光軸の移動量を出力し、
前記カメラ画像処理部は、前記第２のカメラの光軸と前記マーカとが一致した状態での前記第２のカメラの光学像から、前記第２のカメラの投影面における前記プローブの先端と前記マーカとの離間距離を算出し、
前記カメラ画像処理部は、前記第２のカメラの光軸の移動量及び前記離間距離に基づき、前記プローブの先端と前記試料面との鉛直距離を算出するプローブ装置。
【請求項９】
請求項８において、
前記マーカは、前記第２のカメラの光学像にて確認可能な、前記試料面上の特異な構造物または印、あるいは前記試料面に付着した異物であるプローブ装置。
【請求項１０】
請求項６において、
前記プローブユニットを複数有し、
前記プローブユニットは、第１のプローブが取り付けられたプローブユニットと第２のプローブが取り付けられたプローブユニットとを含み、
前記ステージ制御部は、前記第２のカメラの投影面が前記試料面と一致するよう前記試料ステージを制御し、
前記カメラ光軸調整ステージ制御部は、前記第２のカメラの光軸と前記第１のプローブの先端とが一致するように前記第２のカメラ光軸調整ステージを制御し、
前記カメラ画像処理部は、前記第２のカメラの光軸と前記第１のプローブの先端とが一致した状態での前記第２のカメラの光学像から、前記第２のカメラの投影面における前記第１のプローブの先端と前記第２のプローブの先端との第１の離間距離を算出し、
前記カメラ光軸調整ステージ制御部は、前記第２のカメラの光軸と前記第２のプローブの先端とが一致するように前記第２のカメラ光軸調整ステージを制御するとともに、前記第２のカメラの光軸の移動量を出力し、
前記カメラ画像処理部は、前記第２のカメラの光軸と前記第２のプローブの先端とが一致した状態での前記第２のカメラの光学像から、前記第２のカメラの投影面における前記第１のプローブの先端と前記第２のプローブの先端との第２の離間距離を算出し、
前記カメラ画像処理部は、前記第１の離間距離、前記第２の離間距離及び前記第２のカメラの光軸の移動量に基づき、前記第１のプローブの先端と前記試料面との鉛直距離及び前記第２のプローブの先端と前記試料面との鉛直距離を算出するプローブ装置。
【請求項１１】
請求項２において、
荷電粒子ビームを照射する荷電粒子ビームカラムと、
前記試料ステージと前記プローブユニットとが搭載されるベースステージと、
観察エリアとプローブ調整エリアとを含む試料室とを有し、
前記ベースステージは前記試料室内に配置され、前記観察エリアと前記プローブ調整エリアとの間を水平移動可能とされ、
前記ベースステージが前記観察エリアに位置するときに前記荷電粒子ビームカラムから前記試料に前記荷電粒子ビームが照射され、前記ベースステージが前記プローブ調整エリアに位置するときに、前記第１のカメラにより前記試料と前記プローブとが撮像されるプローブ装置。
【請求項１２】

請求項１１において、
前記ステージ制御部は、前記試料の検査位置を変更するとき、または前記試料を変更するとき、または前記荷電粒子ビームの作動距離を変更するとき、前記プローブ調整エリアに移動するように前記ベースステージを制御するプローブ装置。
【請求項１３】
請求項１１において、
前記荷電粒子ビームが前記試料に照射されることにより放出される荷電粒子を検出する検出器と、
前記検出器からの検出信号から荷電粒子像を出力する検出器信号処理部と、
前記ステージ制御部は、前記荷電粒子像に基づき、前記プローブが前記試料面の前記所定の位置に接触するように、前記プローブユニットを制御するプローブ装置。
【請求項１４】
請求項１１において、
前記試料の高さを測定する試料高さ測定部を有するプローブ装置。
【発明の詳細な説明】
【技術分野】
【０００１】
本発明は、機械的プローブを試料表面に接触させて試料特性を測定するプローブ装置に関する。
【背景技術】
【０００２】
近年微細化および高集積化が進む半導体素子に対しては、その配線の欠陥を検出するため、プローブを半導体素子に接触（触針）させ、その電気特性を測定するプローブ装置（不良検査装置）が広く用いられている。微細化された半導体素子の所望の位置（例えば、コンタクト、プラグなどの電極）に接触させるプローブもまた微細化され、不良検査装置においてプローブを半導体素子の所望の位置に正確に触針させるには、高い空間分解能でプローブの先端をリアルタイム観察する必要がある。そのため、走査型電子顕微鏡（ＳＥＭ：Scanning Electron Microscope）を用いてプローブを半導体素子に触針させる手法が広く用いられている。
【０００３】
ＳＥＭは高い空間分解能を有する半面、広範囲を低倍率で撮像することには向かず、焦点深度も浅い。検査のスループットを向上させるため、プローブの試料へのアプローチは高速化させることが望ましいものの、触針の瞬間はプローブを試料に軟着陸させることにより、試料およびプローブの破損を防ぐ必要がある。
【０００４】
特許文献１には、プローブの位置決めを迅速に行うため、ＳＥＭによるプローブの触針の前に、光学像による粗調整（粗寄せ）によってプローブと試料とをアプローチさせるためのプローブ粗寄せ画像取得装置を電子光学系装置に並列して設けた不良検査装置が開示されている。
【先行技術文献】
【特許文献】
【０００５】
【文献】特開２００５－１８９２３９号公報
【発明の概要】
【発明が解決しようとする課題】
【０００６】
特許文献１の不良検査装置においては、プローブ粗寄せ画像取得装置は試料室に固定されている。しかしながら、試料によってその厚みが異なれば、試料ごとに試料面と側面観察カメラの光軸の位置関係が異なるため、光学像における試料面とプローブ先端の見え方が異なる。さらに、ＳＥＭの作動距離を変更して不良検査を実施する場合には、試料が載

置される試料ステージの高さが作動距離にあわせて変更されるため、同じ試料であっても、試料面と側面観察カメラの光軸の位置関係が変化し、光学像における試料面とプローブ先端の見え方が変わってしまう。

【０００７】

プローブを不用意に試料面に接触させてしまうとその衝撃によりプローブを破損させてしまうおそれがあるため、低倍率な光学像によりプローブを近接させる粗寄せ段階においてプローブを試料に近接させられる距離に元々限界があるのはやむを得ない。しかしながら、前述のような光学像における見え方の違いがあると、試料とプローブとの正確な離間距離を測定することができず、限界までプローブを試料にアプローチさせることができない。粗寄せの精度が低いと、ＳＥＭ像によるプローブ位置微調整の時間が増大することになる。このことは、検査のスループットを低下させ、より長い時間電子線を試料にあて続けることによるコンタミ量増加やダメージをもたらすおそれがある。

【０００８】

本発明は、プローブの試料へのアプローチを迅速かつ安全に行うことのできるプローブ装置を提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【０００９】

本発明の一実施の態様であるプローブ装置は、試料を支持する試料ステージと、試料の所定の試料面に接触させるプローブが取り付けられるプローブユニットと、試料とプローブを撮像する第１のカメラと、第１のカメラの光軸を調整する第１のカメラ光軸調整ステージとを有し、第１のカメラの光軸は試料面と平行であり、第１のカメラ光軸調整ステージは、第１のカメラの光軸を試料面と垂直な方向に移動可能とする。

【発明の効果】

【００１０】

プローブの触針プロセスのスループットを向上し、試料およびプローブが荷電粒子ビーム照射によるダメージを受ける時間を低減させることができる。

【００１１】

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】

【００１２】

【図１】不良検査装置の概略図である。

【図２】試料およびプローブ周りの構成を示す正面図である。

【図３】プローブの構成を示す平面図である。

【図４】側面観察カメラの光軸の高さが試料面と一致している場合の光学像である。

【図５】側面観察カメラの光軸が試料面より高い位置に位置している場合の光学像である。

【図６】側面観察カメラの光軸が試料面より低い位置に位置している場合の光学像である。

【図７】プローブの触針プロセスの一例を示すフローチャートである。

【図８】ＳＥＭ像の例（模式図）である。

【図９】光学像による粗調整プロセスの一例を示すフローチャートである。

【図１０】光学像による粗調整プロセスにおけるカメラ位置アライメント方法を示す側面図である。

【図１１】複数プローブの近接プロセスの一例を示すフローチャートである。

【図１２】側面観察カメラ１１１Ａにて撮像される光学像である。

【図１３】図１１のステップＳ１１０３における各プローブの位置関係を示す側面図である。

【図１４】上面観察カメラを用いたプローブの位置関係取得プロセスの一例を示すフローチャートである。

【図１５】上面観察カメラ１１１Ｂにて撮像される光学像である。

【図１６】プローブおよびマーカの位置関係を示す前面図である。

【図１７】プローブおよびマーカの位置関係を示す前面図である。
【図１８】プローブ同士の位置関係を示す前面図である。
【発明を実施するための形態】
【００１３】
以下、本発明の実施の形態について図面を参照しながら説明する。各図において、共通の構成要素に関しては同一の参照番号を付し、重複する説明は省略する。
【００１４】
＜不良検査装置の装置構成＞
図１は、プローブ装置の一例である不良検査装置の概略図である。不良検査装置１００は、主要な構成として、電子ビームカラム１０１、電子ビームカラム制御器１０２、荷電粒子検出器１０３、荷電粒子検出器用制御器１０４、カメラ１１１、カメラ光軸調整ステージ１１２、カメラ光軸調整ステージ制御器１１３、試料室１２１、ベースステージ１２２、ベースステージガイド１２３、ベースステージ制御器１２４、試料ステージ１２５、試料ステージ制御器１２６、プローブ１４１、プローブユニット１４３、プローブユニット制御器１４４、制御コンピュータ１５１、入力デバイス１５２およびディスプレイ１５３を備えている。
【００１５】
電子ビームカラム１０１は、電子ビームを発生させるための電子源や、電子ビームを集束させるレンズや、電子ビームを走査させる偏光器などを含んで構成される電子光学系を内蔵する。電子ビームカラム制御器１０２は、電子ビームカラム１０１を駆動するために必要となる制御全般を担う。電子ビームに代えてイオンビームなどを用いてもよく、この場合、観察に用いる荷電粒子ビームに応じた荷電粒子光学系が内蔵された荷電粒子ビームカラムを備える。
【００１６】
荷電粒子検出器１０３は、電子ビームカラム１０１が生成する電子ビームを試料１３１に照射することにより、試料１３１から放出される荷電粒子を検出する。荷電粒子検出器１０３は、例えば二次電子検出器、反射電子検出器、ＳＴＥＭ検出器、低エネルギー損失電子検出器あるいはＥＤＸ検出器などの検出器である。荷電粒子検出器１０３を複数備えていてもよい。荷電粒子検出器用制御器１０４は、荷電粒子検出器１０３が検出する信号を演算処理し、画像化する。
【００１７】
検査対象である試料１３１が載置される試料室１２１には、ロータリーポンプ、ターボ分子ポンプ、イオンポンプあるいはクライオポンプなどの、真空排気するための減圧装置が接続されている。試料室１２１の真空度を維持しながら、試料１３１あるいはプローブ１４１の交換を容易かつ迅速に行うため、試料交換室あるいはプローブ交換室を接続してもよい。
【００１８】
試料１３１にプローブ１４１を粗寄せするため、カメラ１１１が試料室１２１に取り付けられている。カメラ１１１は、例えば光学顕微鏡、ＣＣＤカメラあるいはＣＭＯＳカメラなどの撮像装置である。図１では、試料１３１が試料室１２１内の電子ビームカラム１０１直下のＳＥＭ観察エリアに位置している状態を示しているが、ベースステージガイド１２３により、試料１３１をベースステージ１２２ごと、試料室１２１内のプローブ調整エリアに移動させることができる。プローブ調整エリアにおいて、カメラ１１１は、試料１３１およびプローブ１４１の位置関係を把握するための撮像を行う。カメラ１１１は、その光軸を調整可能とするカメラ光軸調整ステージ１１２に搭載され、カメラ光軸調整ステージ１１２は、カメラ光軸調整ステージ制御器１１３によって駆動される。
【００１９】
不良検査装置１００は、側面観察カメラ１１１Ａと上面観察カメラ１１１Ｂとを備えている。側面観察カメラ光軸調整ステージ１１２Ａは、側面観察カメラ１１１Ａの光軸を調整可能とするカメラ光軸調整ステージである。側面観察カメラ１１１Ａの光軸は水平面（

ＸＹ面）と平行であり、少なくとも垂直移動（Ｚ方向への移動）が可能とされている。この例では、側面観察カメラ１１１Ａの光軸はＹ方向に伸びている。また、上面観察カメラ光軸調整ステージ１１２Ｂは、上面観察カメラ１１１Ｂの光軸を調整可能とするカメラ光軸調整ステージである。上面観察カメラ１１１Ｂの光軸は鉛直方向（Ｚ方向）に伸びており、水平移動が可能とされている。図１は、２方向から試料１３１およびプローブ１４１の位置関係を把握できるよう、２つのカメラ１１１を備える例であるが、側面観察カメラ１１１Ａのみの構成とすることも可能である。この場合は、上面観察カメラ１１１Ｂおよび上面観察カメラ光軸調整ステージ１１２Ｂをなくしてよい。

【００２０】

ベースステージ１２２は、ベースステージ制御器１２４によって駆動され、ベースステージガイド１２３に沿って水平移動が可能とされる。ベースステージ１２２を試料室１２１のプローブ調整エリアに移動させて、カメラ１１１により撮像された光学像に基づき、プローブ１４１を試料１３１に可能な限り近づける。この状態で、ベースステージ１２２をＳＥＭ観察エリアに移動させて、電子顕微鏡像に基づき、プローブ１４１を試料１３１に接触させる。

【００２１】

図２は、試料１３１およびプローブ１４１周りの構成を示す正面図であり、図３はプローブの構成を示す平面図である。ベースステージ１２２には、試料ステージ１２５およびプローブユニット１４３が搭載されている。ベースステージ１２２、試料ステージ１２５およびプローブユニット１４３は、それぞれステッピングモータやピエゾモータなどの微小変位制御が可能な駆動機構を有している。すなわち、ベースステージ１２２上の試料ステージ１２５およびプローブユニット１４３は、それぞれ独立した駆動系で動作する。

【００２２】

試料ステージ１２５は、試料ステージ制御器１２６によって駆動され、少なくとも水平移動および垂直移動が可能である。試料ステージ１２５の上には、試料ホルダ受け１２７が搭載されている。試料ホルダ受け１２７は、試料１３１が載置される試料ホルダ１３２を支持する。なお、電気的特性の評価において試料１３１の絶縁性を確保するため、試料ステージ１２５と試料ホルダ受け１２７との間に絶縁材を配してもよい。試料１３１はプローブ１４１が接触される試料面が水平面（ＸＹ面）と平行となるように試料ステージ１２５によって支持される。

【００２３】

プローブ１４１は、プローブホルダ１４２を介してプローブユニット１４３に取り付けられている。図３に示されるように、１つのプローブ１４１につき、１つのプローブユニット１４３が設けられている。プローブユニット１４３はプローブユニット支持台１４５によって支持されている。プローブユニット１４３は、プローブユニット制御器１４４によって駆動され、少なくとも水平移動および垂直移動が可能である。

【００２４】

プローブユニット制御器１４４は、プローブユニット１４３を駆動してプローブ１４１を試料１３１の所望の位置に接触させ、プローブ１４１で検出される電気信号を取り出す。得られた電気信号を基にして、例えば半導体パラメータアナライザなどの電気特性計測装置によって試料１３１の電気特性を測定することができる。

【００２５】

制御コンピュータ１５１（図１）は、不良検査装置１００全体の動作を制御する。制御コンピュータ１５１には入力デバイス１５２とディスプレイ１５３が接続されている。

【００２６】

入力デバイス１５２は、ユーザが不良検査装置１００に各種指示を入力するデバイスであり、例えば、キーボードやマウス等を用いることができる。指示には、例えば電子ビームカラム１０１による電子ビームの照射条件の変更や、ベースステージ１２２、試料ステージ１２５およびプローブユニット１４３の移動といった指示が含まれる。

【００２７】

ディスプレイ１５３は、制御コンピュータ１５１が出力するユーザインタフェース等を表示する。ユーザインタフェースは、不良検査装置１００の制御状態を表示するとともに、入力デバイス１５２によってユーザが指示を入力することにより制御状態を変更するための画面である。ディスプレイ１５３は、１つであっても複数設けられていてもよく、タッチパネルのようにディスプレイ１５３が入力デバイス１５２の機能を有していてもよい。

【００２８】

制御コンピュータ１５１は電子ビームカラム制御部１６１、検出器信号処理部１６２、カメラ画像処理部１６３、カメラ光軸調整ステージ制御部１６４およびステージ制御部１６５を備えている。これら制御部、処理部の役割については後述するが、これら制御部の制御条件はユーザインタフェース画面を介してユーザに設定され、これら処理部が生成した像や情報はユーザインタフェース画面を介してユーザに表示される。

【００２９】

制御コンピュータ１５１は、電子ビームカラム制御器１０２、荷電粒子検出器用制御器１０４、カメラ１１１、カメラ光軸調整ステージ制御器１１３、ベースステージ制御器１２４、試料ステージ制御器１２６およびプローブユニット制御器１４４のそれぞれと相互通信可能とされている。制御コンピュータ１５１の各制御部が各制御器の動作を制御することで、検査を実行する。なお、制御コンピュータ１５１は、全ての制御機能を１台のコンピュータで担うだけではなく、複数台のコンピュータが制御機能を分担してもよい。

【００３０】

電子ビームカラム制御部１６１は、電子ビームカラム制御器１０２を制御する。検出器信号処理部１６２は、荷電粒子検出器用制御器１０４を制御し、ＳＥＭ像（荷電粒子像）を出力する。カメラ画像処理部１６３は、側面観察カメラ１１１Ａおよび上面観察カメラ１１１Ｂが撮像する光学像を出力する。カメラ光軸調整ステージ制御部１６４は、カメラ光軸調整ステージ制御器１１３を制御し、側面観察カメラ光軸調整ステージ１１２Ａおよび上面観察カメラ光軸調整ステージ１１２Ｂの位置を変更する。ステージ制御部１６５は、ベースステージ制御器１２４、試料ステージ制御器１２６およびプローブユニット制御器１４４を制御し、ベースステージ１２２、試料ステージ１２５およびプローブユニット１４３の位置を変更する。

【００３１】

検出器信号処理部１６２およびカメラ画像処理部１６３は、出力される像を画像処理あるいは機械学習を用いて解析し、その解析結果、例えば試料１３１、プローブ１４１あるいはカメラ１１１の位置情報などを出力するようにしてもよい。

【００３２】

電子ビームカラム制御部１６１、カメラ光軸調整ステージ制御部１６４およびステージ制御部１６５の制御条件は、検出器信号処理部１６２あるいはカメラ画像処理部１６３からディスプレイ１５３に表示される像を基に、ユーザが入力デバイス１５２から入力してもよいし、検出器信号処理部１６２あるいはカメラ画像処理部１６３からの解析結果に基づき、各制御部が自動で制御条件を設定してもよい。

【００３３】

図１には図示していないが、試料室１２１内に試料１３１の高さ情報を取得するための試料高さ測定部を有していてもよい。試料高さ測定部は、試料１３１の高さの座標値を出力する。ＳＥＭのフォーカスを用いるもの、レーザおよびセンサを用いるものであってもよい。試料高さ測定部は、試料１３１を取り換えた場合や試料１３１の観察対象位置を変更した際に高さの差分を測ることで、側面観察カメラ光軸調整ステージ１１２Ａの移動量を容易に見積もることができるため、検査のスループットを向上させることができる。

【００３４】

＜プローブ触針プロセス＞

プローブ１４１を試料１３１上の所望の位置に接触させるプローブ触針プロセスについて説明する。図７は、不良検査装置１００におけるプローブ触針プロセスＳ７００の一例を示すフローチャートである。

【００３５】
　Ｓ７０１：
　ステージ制御部１６５は、カメラ画像処理部１６３が出力する光学像を確認しながら、試料１３１およびプローブ１４１がプローブ調整エリアに入るように、ベースステージ制御器１２４を制御する。
【００３６】
　Ｓ７０２：
　カメラ光軸調整ステージ制御部１６４は、カメラ画像処理部１６３が出力する光学像を確認しながら、カメラ光軸調整ステージ１１２を制御して、カメラ１１１の光軸を調整する。また、ステージ制御部１６５は、カメラ画像処理部１６３が出力する光学像に基づき、試料１３１とプローブ１４１との距離を可能な限り近づけるように、試料ステージ制御器１２６およびプローブユニット制御器１４４をそれぞれ制御する。本ステップの詳細については後述する。
【００３７】
　Ｓ７０３：
　ステージ制御部１６５は、試料１３１およびプローブ１４１がＳＥＭ観察エリアに入るように、ベースステージ制御器１２４を制御する。
【００３８】
　Ｓ７０４：
　電子ビームカラム制御部１６１は、検出器信号処理部１６２からの信号を確認しながら、電子ビームカラム制御器１０２を制御して、電子ビームカラム１０１の電子ビームの光軸を調整する。
【００３９】
　Ｓ７０５：
　ステージ制御部１６５は、検出器信号処理部１６２が出力するＳＥＭ像を確認しながら、プローブユニット制御器１４４を制御し、試料１３１とプローブ１４１とを近づける。ただし、プローブ１４１が試料１３１に高速で衝突するとプローブ１４１が破損するおそれがある。このため、ステージ制御部１６５は、試料１３１とプローブ１４１との離間距離が近づくほど、アプローチ速度を低下させるように制御する。離間距離の把握には、試料１３１に投影されるプローブ１４１の影を確認したり、ＳＥＭ像における試料１３１およびプローブ１４１それぞれの合焦点位置の差を利用したりしてもよい。
【００４０】
　図８に、ステップＳ７０５において検出器信号処理部１６２が出力するＳＥＭ像（模式図）を示す。試料１３１表面には、測定対象構造物８０１が含まれている。例えば、測定対象構造物８０１はプラグであり、プラグ形成層の下層に形成されたトランジスタのゲート、ソース、ドレイン等の電極に接続されている。ステージ制御部１６５は、プローブ１４１の先端と測定対象構造物８０１とが像中で重なるように、プローブユニット制御器１４４を制御し、それぞれのプローブ１４１を水平移動させる。
【００４１】
　Ｓ７０６：
　ステージ制御部１６５は、検出器信号処理部１６２が出力するＳＥＭ像を確認しながら、プローブユニット制御器１４４を制御し、プローブ１４１を降下させ、目標の測定対象構造物８０１に接触したかを判定する。接触していれば、プローブ触針プロセスＳ７００は終了し、接触していなければ、ステップＳ７０５を再度実行する。
【００４２】
　プローブ１４１の触針の検知には、触針後にプローブ１４１の先端が測定対象構造物８０１の面上を滑るように移動する挙動をＳＥＭ像から検知してもよいし、プローブ１４１の測定対象構造物８０１へのアプローチおよび触針によって生じる電気的特性の変化から検知してもよい。
【００４３】

プローブの触針プロセスＳ７００は、試料１３１の検査位置、または試料１３１自体を変更する場合、電子ビームカラム１０１による電子ビームの作動距離を変更して検査を行うため試料ステージ１２５を駆動する場合に実行する。電子ビームの作動距離を変更する場合とは、例えば、電子ビームの加速電圧を変更するような場合である。加速電圧等の光学条件を異ならせることによりＳＥＭ像に含まれる情報を変化させることができるので、検査によって電子光学系の光学条件が異なる場合がある。

【００４４】

＜光学像による粗調整プロセス＞

光学像による粗調整プロセス（ステップＳ７０２）について説明する。

【００４５】

図４～６は、側面観察カメラ１１１Ａにて撮像される光学像である。側面観察カメラ１１１Ａの光軸の高さに依存して、光学像における試料１３１およびプローブ１４１の位置関係の見え方が異なる。図４は側面観察カメラ１１１Ａの光軸の高さが試料面４０１と一致している場合を、図５は側面観察カメラ１１１Ａの光軸が試料面４０１より高い位置に位置している場合を、図６は側面観察カメラ１１１Ａの光軸が試料面４０１より低い位置に位置している場合を示す。

【００４６】

側面観察カメラ１１１Ａの光軸が試料面４０１より高い位置に位置している場合（図５）は、試料１３１の側面観察カメラ１１１Ａに近い側の試料端５０１と遠い側の試料端５０２とを、側面観察カメラ１１１Ａの取得像中にて確認することができる。これに対して、側面観察カメラ１１１Ａの光軸が試料面４０１と一致している場合（図４）、あるいはより低い位置に位置している場合（図６）には、試料１３１の側面観察カメラ１１１Ａに近い側の試料端５０１のみが側面観察カメラ１１１Ａの取得像中にて確認することができる。本実施例では、図５に示される状態における試料端５０１および試料端５０２の位置関係を基にして、側面観察カメラ１１１Ａの光軸の高さを調整する。

【００４７】

図９は、プローブの触針プロセスＳ７００（図７）におけるステップＳ７０２、すなわち光学像による粗調整プロセスの一例を示すフローチャートである。また、図１０は、光学像による粗調整プロセスにおけるカメラ位置アライメント方法を示す側面図である。カメラの投影面は、カメラの光学中心から焦点距離離れた位置にあり、かつ光軸に対して垂直な面である。レンズ歪みなどの影響に関しては、事前にカメラキャリブレーションによってキャンセルされているものとする。

【００４８】

Ｓ９０１：

ステージ制御部１６５は、カメラ画像処理部１６３が出力する上面観察カメラ１１１Ｂの光学像を確認しながら、試料１３１の中心位置が側面観察カメラ１１１Ａの投影面１００１と一致するよう、ベースステージ制御器１２４を制御する。

【００４９】

Ｓ９０２：

カメラ光軸調整ステージ制御部１６４は、カメラ画像処理部１６３が出力する側面観察カメラ１１１Ａの光学像を確認しながら、図５に示したように光学像中で試料面４０１が確認できる位置に側面観察カメラ１１１Ａが位置するよう、カメラ光軸調整ステージ制御器１１３を制御する。例えば、側面観察カメラ１１１Ａが最も高い位置となるように、あるいは光学像中にて指定した基準位置と試料１３１が一致するよう、側面観察カメラ光軸調整ステージ１１２Ａを制御する。制御完了後の側面観察カメラ１１１Ａの光学中心は、光学中心位置１００２（図１０）に位置するものとする。

【００５０】

Ｓ９０３：

カメラ画像処理部１６３は、側面観察カメラ１１１Ａの光学像から、試料１３１の試料端５０１と試料端５０２を認識し、光学像、すなわち側面観察カメラ１１１Ａの投影面に

おける試料端５０１と試料端５０２との離間距離を出力する。
【００５１】
　Ｓ９０４：
　カメラ光軸調整ステージ制御部１６４は、カメラ画像処理部１６３が出力する側面観察カメラ１１１Ａの光学像を確認しながら、光学像中に試料面４０１が確認できる位置に側面観察カメラ１１１Ａが位置し、かつステップＳ９０２におけるカメラ位置からは一定量降下した位置となるように、カメラ光軸調整ステージ制御器１１３を制御する。このとき、ステップＳ９０２における側面観察カメラ１１１Ａの位置からの変位ａを出力する。制御完了後の側面観察カメラ１１１Ａの光学中心は、光学中心位置１００３に位置するものとする。
【００５２】
　Ｓ９０５：
　ステップＳ９０３と同様に、カメラ画像処理部１６３は、側面観察カメラ１１１Ａの光学像から、試料１３１の試料端５０１と試料端５０２を認識し、光学像、すなわち側面観察カメラ１１１Ａの投影面における試料端５０１と試料端５０２との離間距離を出力する。
【００５３】
　Ｓ９０６：
　カメラ画像処理部１６３は、ステップＳ９０３～Ｓ９０５にて出力された値を基にして、試料１３１の試料端５０１と試料端５０２の間の距離がゼロとなるとき、すなわち側面観察カメラ１１１Ａの光軸と試料面４０１が揃うとき（図４の状態）の側面観察カメラ１１１Ａの光学中心位置１００４を出力する。
【００５４】
　図１０では、側面観察カメラ１１１Ａの光学中心が光学中心位置１００２に位置する場合における透視投影カメラモデルに基づく光学像を示している。光学像（投影面１００１）における試料端の離間距離ｂ（b_{1002}）の値がステップＳ９０３で算出される。投影面１００１と試料端との離間距離ｄ、カメラの焦点距離Ｌ、光学中心位置１００３と光学中心位置１００４との離間距離ｘ、光学像における試料端５０１と試料中心との距離ｂ１、試料端５０２と試料中心との距離ｂ２とすると、以下のように立式される。
$b = b1 + b2$
$b1 / d = (x + a) / (L + d)$
$b2 / d = (x + a) / (L - d)$
したがって、側面観察カメラ１１１Ａの光学中心が光学中心位置１００２にある場合、
$b_{1002} = (x + a) \{d / (L + d) + d / (L - d)\}$　・・（式１）
と表せる。
【００５５】
　同様にして、側面観察カメラ１１１Ａの光学中心が光学中心位置１００３にある場合、
$b_{1003} = x \{d / (L + d) + d / (L - d)\}$　・・（式２）
と表せる。
【００５６】
　ここで、未知数なのは、光学中心位置１００３と光学中心位置１００４との離間距離ｘ、および試料端５０１あるいは試料端５０２と投影面１００１との離間距離ｄであるから、（式１）と（式２）の２つの方程式により、光学中心位置１００３と光学中心位置１００４との離間距離ｘを算出することができる。
【００５７】
　なお、以上の算出方法は一例である。例えば、試料端５０１（試料端５０２）と投影面１００１の離間距離ｄがあらかじめ既知である場合、またはカメラ画像処理部１６３が出力する上面観察カメラ１１１Ｂの光学像を用いて離間距離ｄを測定する場合には、ステップＳ９０４～Ｓ９０５を実行することなく、光学中心位置１００２と光学中心位置１００４の離間距離を算出することができる。
【００５８】

また、側面観察カメラ１１１Ａの光軸、試料ステージ１２５の水平方向の駆動面、試料ホルダ１３２の上面および試料１３１の表面は、組み立て誤差等により図１０に示すような互いに平行な関係には厳密にはなっていない可能性がある。この場合、２点よりも多くの光学中心位置における試料端５０１と試料端５０２の離間距離を基にして光学中心位置１００４を算出することで、これらの誤差の影響を織り込むことができる。

【００５９】

Ｓ９０７：

カメラ光軸調整ステージ制御部１６４は、側面観察カメラ１１１Ａの光学中心がステップＳ９０６で出力された光学中心位置１００４と一致するように、カメラ光軸調整ステージ制御器１１３を制御する。これにより、側面観察カメラ１１１Ａの光軸の高さが試料面４０１に揃うため、プローブ１４１の先端と試料１３１との離間距離が確認しやすくなり、よりプローブ１４１を試料１３１に近接させやすくなる。

【００６０】

Ｓ９０８：

ステージ制御部１６５は、カメラ画像処理部１６３が出力する上面観察カメラ１１１Ｂの光学像を確認しながら、試料１３１の観察対象箇所が像中に入るように、試料ステージ制御器１２６を制御する。

【００６１】

Ｓ９０９：

ステージ制御部１６５は、カメラ画像処理部１６３が出力する上面観察カメラ１１１Ｂの光学像を確認しながら、プローブ１４１の先端が試料１３１の観察対象箇所に位置するように、プローブユニット制御器１４４を制御する。

【００６２】

Ｓ９１０：

ステージ制御部１６５は、複数本のプローブ１４１と試料１３１との離間距離を一定にするために、カメラ画像処理部１６３が出力する側面観察カメラ１１１Ａの光学像を確認しながら、光学像における複数本のプローブ１４１の高さが一定に揃うように、プローブユニット制御器１４４を制御する。

【００６３】

Ｓ９１１：

ステージ制御部１６５は、カメラ画像処理部１６３が出力する側面観察カメラ１１１Ａの光学像を確認しながら、試料１３１がプローブ１４１に近接するように、試料ステージ制御器１２６を制御する。このとき、カメラ光軸調整ステージ制御部１６４は、側面観察カメラ１１１Ａの光軸が試料面４０１の移動にあわせて移動するように、カメラ光軸調整ステージ制御器１１３を制御する。

【００６４】

Ｓ９１２：

ステージ制御部１６５は、カメラ画像処理部１６３が出力する側面観察カメラ１１１Ａの光学像を確認しながら、プローブ１４１を試料１３１に近接させるよう、プローブユニット制御器１４４を制御する。

【００６５】

Ｓ９１３：

カメラ画像処理部１６３は、プローブ１４１と試料１３１が十分に近接したかを判定する。十分に粗寄せできていた場合、光学像による粗調整プロセスＳ７０２を終了する。十分に粗寄せできていなかった場合、ステップＳ９０８～Ｓ９１２を再度実行する。

【００６６】

なお、側面観察カメラ１１１Ａの光軸の高さを試料面４０１にあわせるためのステップＳ９０１～Ｓ９０７は、必要に応じて任意のタイミングで繰り返し実行してもよい。

【００６７】

ステップＳ９０１～Ｓ９０７に代えて、カメラ光軸調整ステージ制御部１６４は、光学

像中に試料面４０１が確認できる状態（図５）から、カメラ画像処理部１６３が出力する側面観察カメラ１１１Ａの光学像を確認しながら光学中心を降下させていき、光学像中の試料端５０１と試料端５０２とが重なった位置で側面観察カメラ１１１Ａを停止させるよう、側面観察カメラ光軸調整ステージ１１２Ａを制御してもよい。

【００６８】

不良検査装置１００が前述した試料高さ測定部を備えている場合には、ステップＳ９０１～Ｓ９０７に代えて、試料高さ測定部による高さ情報を基にして側面観察カメラ光軸調整ステージ１１２Ａを制御してもよい。

【００６９】

本実施例では、側面観察カメラ１１１Ａの光軸の高さを試料面に揃えるために、側面観察カメラ光軸調整ステージ１１２Ａを利用する。これに対して、側面観察カメラ１１１Ａを試料室１２１に固定し、ベースステージ１２２を水平移動のみならず垂直移動可能な構造とすることも考えられる。しかしながら、前述のようにプローブ１４１は微小な部材であるため、プローブ１４１と試料１３１とを近接させた状態でベースステージ１２２を大きな振動等を与えることなく上下動させることができなければならず、現実的には実装困難である。これに対して、本実施例では側面観察カメラ光軸調整ステージ１１２Ａを用いることで、光学像中の試料１３１とプローブ１４１との位置関係を、試料１３１およびプローブ１４１を移動させることなく調整することができる利点がある。

【００７０】

＜複数プローブの近接プロセス＞

複数プローブの近接プロセス（ステップＳ９１２）について、図１１～図１３を参照して説明する。図１１は、複数プローブの近接プロセスＳ９１２の一例を示すフローチャートである。図１２は、側面観察カメラ１１１Ａにて撮像される光学像である。ここでの、各プローブの位置関係は、ステップＳ１１０３における調整後の状態である。また、図１３はステップＳ１１０３における各プローブの位置関係を示す側面図である。なお、図の単純化のため、図１２、図１３においては２本のプローブのみを示しているが、試料に接触させる複数のプローブ１４１が本プロセスでの制御対象となるプローブである。

【００７１】

Ｓ１１０１：

カメラ光軸調整ステージ制御部１６４は、カメラ画像処理部１６３が出力する側面観察カメラ１１１Ａの光学像を確認しながら、図５に示したように光学像中で試料面４０１を確認できる位置に側面観察カメラ１１１Ａが位置するよう、カメラ光軸調整ステージ制御器１１３を制御する。制御完了後の側面観察カメラ１１１Ａの光学中心は、試料面よりも高い光学中心位置１３０１（図１３）に位置するものとする。

【００７２】

Ｓ１１０２：

カメラ画像処理部１６３は、側面観察カメラ１１１Ａおよび上面観察カメラ１１１Ｂの光学像から、側面観察カメラ１１１Ａから最も距離が離れているプローブ１２０１とそのプローブ先端位置１２０２、およびそれ以外のプローブ１２０３とそのプローブ先端位置１２０４を認識し、位置座標を出力する。

【００７３】

Ｓ１１０３：

ステージ制御部１６５は、カメラ画像処理部１６３が出力する側面観察カメラ１１１Ａの光学像を確認しながら、光学像中にてプローブ先端位置１２０２およびプローブ先端位置１２０４の高さが基準高さ１２０５と揃うように、プローブユニット制御器１４４を制御する。

【００７４】

なお、次のステップＳ１１０４でプローブを降下させる前に、カメラ光軸調整ステージ制御部１６４は、側面観察カメラ１１１Ａの光軸の高さを試料面４０１の高さにあわせるように側面観察カメラ光軸調整ステージ１１２Ａを制御してもよいし、ステップＳ１１０

１での試料面４０１よりも高い位置のままとしてもよい。側面観察カメラ１１１Ａの光軸の高さを試料面４０１の高さにあわせた場合には、プローブ先端位置と試料との離間距離がより正確に確認できるため、プローブを試料により近接させることができる。

【００７５】

Ｓ１１０４：

ステージ制御部１６５は、カメラ画像処理部１６３が出力する側面観察カメラ１１１Ａの光学像を確認しながら、プローブ１２０１を試料１３１に近接させるよう、プローブユニット制御器１４４を制御する。このとき、ステージ制御部１６５は、プローブ１２０３についても、プローブ１２０１の制御と同期して制御することにより、プローブ１２０１の降下量と同じだけプローブ１２０３についても降下させる。

【００７６】

図１３に示すように、最初に試料１３１に接触するプローブ１４１は側面観察カメラ１１１Ａから最も遠いプローブ１２０１であるため、他のプローブ１２０３が試料面４０１に衝突するリスクを抑制することができる。また、複数本のプローブ１４１を同時に試料１３１に近接させることができるため、プロセスのスループットを向上させることができる。

【００７７】

Ｓ１１０５：

カメラ画像処理部１６３は、側面観察カメラ１１１Ａの光学像に基づき、プローブ１２０１と試料１３１とが十分に近接したかを判定する。十分に粗寄せできていた場合、ステップＳ１１０６に進む。十分に粗寄せできていなかった場合、ステップＳ１１０４を再度実行する。

【００７８】

Ｓ１１０６：

ステージ制御部１６５は、カメラ画像処理部１６３が出力する側面観察カメラ１１１Ａの光学像を確認しながら、プローブ１２０３を試料１３１に近接させるよう、プローブユニット制御器１４４を制御する。

【００７９】

制御対象となる試料に接触させるプローブ１４１が複数本存在する場合には、近接制御（ステップＳ１１０４）未了のプローブ１４１の中から側面観察カメラ１１１Ａから最も距離が離れているプローブ１４１を選択して、ステップＳ１１０２～Ｓ１１０５を繰り返し実行するとよい。

【００８０】

＜上面観察カメラを用いたプローブの位置関係取得プロセス＞

上面観察カメラを用いたプローブの位置関係取得プロセスについて、図１４～１７を参照して説明する。本方法を、例えば、光学像による粗調整プロセス（図９）におけるステップＳ９１２において適用し、プローブ１４１を試料１３１に近づけることができる。

【００８１】

図１４は、上面観察カメラを用いたプローブの位置関係取得プロセスの一例を示すフローチャートである。また、図１５は上面観察カメラ１１１Ｂにて撮像される光学像であり、図１６は、ステップＳ１４０２～Ｓ１４０３におけるプローブ１５０１とマーカ１５０３との位置関係を示す前面図であり、図１７は、ステップＳ１４０４～Ｓ１４０５におけるプローブ１５０１およびマーカ１５０３の位置関係を示す前面図である。マーカ１５０３は、光学像にて確認することができる試料面４０１上の特異な構造物や専用の印であり、試料面４０１に付着した異物などであってもよい。カメラの投影面は、カメラの光学中心から焦点距離離れた位置にあり、かつ光軸に対して垂直な面である。レンズ歪みなどの影響に関しては、事前にカメラキャリブレーションによってキャンセルされているものとする。

【００８２】

Ｓ１４０１：

ステージ制御部１６５は、カメラ画像処理部１６３が出力する上面観察カメラ１１１Ｂの光学像を確認しながら、上面観察カメラ１１１Ｂの投影面１６０１が試料面４０１と一致するように、試料ステージ制御器１２６を制御する。上面観察カメラ光軸調整ステージ１１２Ｂが垂直移動可能である場合には、カメラ光軸調整ステージ制御部１６４によって、上面観察カメラ１１１Ｂの投影面１６０１が試料面４０１と一致するように、カメラ光軸調整ステージ制御器１１３を制御してもよい。

【００８３】

これ以降のステップでは、上面観察カメラ１１１Ｂは試料面４０１に対して平行な面内で制御することとする。したがって、以降のステップでは投影面１６０１と試料面４０１とは一致している。

【００８４】

Ｓ１４０２：

カメラ光軸調整ステージ制御部１６４は、カメラ画像処理部１６３が出力する上面観察カメラ１１１Ｂの光学像を確認しながら、光学像中にて上面観察カメラ１１１Ｂの光軸とプローブ１５０１のプローブ先端位置１５０２とが一致するように、カメラ光軸調整ステージ制御器１１３を制御する。制御完了後の上面観察カメラ１１１Ｂの光学中心は、光学中心位置１６０２に位置する（図１６）。

【００８５】

Ｓ１４０３：

カメラ画像処理部１６３は、上面観察カメラ１１１Ｂの光学像から、光学像、すなわち上面観察カメラ１１１Ｂの投影面におけるプローブ先端位置１５０２とマーカ１５０３との離間距離m_1を出力する。

【００８６】

Ｓ１４０４：

カメラ光軸調整ステージ制御部１６４は、カメラ画像処理部１６３が出力する上面観察カメラ１１１Ｂの光学像を確認しながら、光学像中にて上面観察カメラ１１１Ｂの光軸とマーカ１５０３とが一致するように、カメラ光軸調整ステージ制御器１１３を制御する。制御完了後の上面観察カメラ１１１Ｂの光学中心は、光学中心位置１７０１に位置する（図１７）。カメラ光軸調整ステージ制御部１６４は、ステップＳ１４０２からの上面観察カメラ１１１Ｂの光軸の移動量m_2を出力する。

【００８７】

Ｓ１４０５：

カメラ画像処理部１６３は、上面観察カメラ１１１Ｂの光学像から、光学像、すなわち上面観察カメラ１１１Ｂの投影面におけるプローブ先端位置１５０２とマーカ１５０３との離間距離m_3を出力する。

【００８８】

Ｓ１４０６：

カメラ画像処理部１６３は、ステップＳ１４０３，Ｓ１４０５にて出力された値を基にして、プローブ先端位置１５０２の試料面４０１に対して垂直な方向の距離（鉛直距離）を出力する。

【００８９】

図１７では、上面観察カメラ１１１Ｂの光学中心が光学中心位置１７０１に位置する場合における透視投影カメラモデルに基づく光学像を示している。プローブ先端位置１５０２の試料面４０１に対して垂直な方向の距離（鉛直距離）H_2、カメラの焦点距離Ｈとするとき、以下の関係が成立する。

$m_2 = m_1$

$H_1 = H \times (m_2 / m_3) = H \times (m_1 / m_3)$

$H_2 = H - H_1 = H \times (1 - m_2 / m_3) = H \times (1 - m_1 / m_3)$

ステップＳ１４０６で出力される、プローブ先端位置１５０２と試料面４０１との間の鉛直距離に基づきプローブ１５０１の粗寄せを実行してもよいし、プローブ先端位置１５

０２あるいはマーカ１５０３の絶対位置座標を算出してもよい。
【００９０】
上記の式に示されるように、ステップＳ１４０３で算出される離間距離m_1は、ステップ１４０４の出力である上面観察カメラ１１１Ｂの光軸の移動量m_2と等しい。このため、光学像から離間距離m_1を求めることなく、移動量m_2を用いてもよい。
【００９１】
以上の説明では、上面観察カメラ１１１Ｂの光学像中の水平線（図１５中に点線で示す）上にプローブ先端位置１５０２およびマーカ１５０３が位置する場合を示したが、２点を結ぶ直線が任意のどの方向に向いていても成り立つ。
【００９２】
また、試料面４０１上にマーカ１５０３を設定する代わりにプローブ１５０１とは、別のプローブ１４１の先端位置を用いて、各プローブの先端位置の鉛直距離を出力してもよい。図１８は、２つのプローブの先端位置１５０２，１８０１の位置関係を示す前面図である。マーカ１５０３をプローブの先端位置１８０１に読み替えて、図１４のフローを実行する。光学像中で上面観察カメラ１１１Ｂの光軸とプローブ先端位置１８０１とが一致したときの上面観察カメラ１１１Ｂの光学中心は、光学中心位置１８０２に位置する（図１８）。プローブ先端位置１８０１の試料面４０１に対して垂直な方向の距離（鉛直距離）H_4とするとき、以下の関係が成立する。

$$H_1 = H \times (m_2 / m_3)$$
$$H_2 = H - H_1 = H \times (1 - m_2 / m_3)$$
$$H_3 = H \times (m_2 / m_1)$$
$$H_4 = H - H_3 = H \times (1 - m_2 / m_1)$$

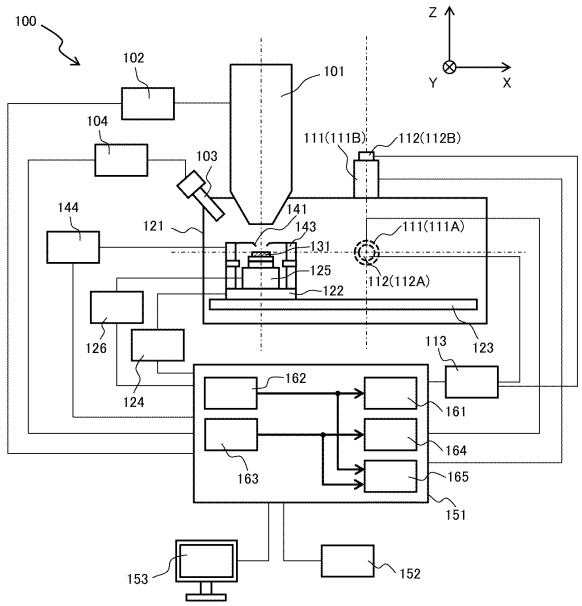
なお、図１８から明らかなように、この場合はm_1とm_2の値は等しくならない。
【００９３】
また、ステップＳ１４０１において、マーカ１５０３とは別に、試料面４０１上に別のマーカを設定し、光学像上のマーカ間の離間距離m_αと、光学像中にて上面観察カメラ１１１Ｂの光軸と各マーカとが一致するときの上面観察カメラ１１１Ｂの光学中心間の離間距離m_βが一致したときに、上面観察カメラ１１１Ｂの投影面１６０１と試料面４０１とが一致するとして、一致判定を行うことができる。
【００９４】
本フローでも、上面観察カメラ１１１Ｂの光軸をマーカやプローブの先端位置上に移動させるために、上面観察カメラ光軸調整ステージ１１２Ｂを利用する。これに対して、上面観察カメラ１１１Ｂを試料室１２１に固定し、ステージ制御部１６５がマーカ１５０３を移動させるために試料ステージ制御器１２６を制御する、あるいはステージ制御部１６５がプローブ先端位置１５０２を移動させるためにプローブユニット制御器１４４を制御するフローも考えられる。または、ステージ制御部１６５がベースステージ１２２を水平移動させるためにベースステージ制御器１２４を制御するフローも考えられる。しかしながら、いずれの場合であっても、試料面４０１とプローブ１４１とが近接した状態にあると、両者が衝突し、試料１３１あるいはプローブ１４１の破損を招くおそれがある。これに対して、本フローでは上面観察カメラ光軸調整ステージ１１２Ｂを用いることで、光学像中の光軸の位置を、試料１３１およびプローブ１４１を移動させることなく調整することができる利点がある。
【符号の説明】
【００９５】
１０１：電子ビームカラム、１０２：電子ビームカラム制御器、１０３：荷電粒子検出器、１０４：荷電粒子検出器用制御器、１１１：カメラ、１１１Ａ：側面観察カメラ、１１１Ｂ：上面観察カメラ、１１２：カメラ光軸調整ステージ、１１２Ａ：側面観察カメラ光軸調整ステージ、１１２Ｂ：上面観察カメラ光軸調整ステージ、１１３：カメラ光軸調整ステージ制御器、１２１：試料室、１２２：ベースステージ、１２３：ベースステージガイド、１２４：ベースステージ制御器、１２５：試料ステージ、１２６：試料ステージ制

御器、１２７：試料ホルダ受け、１３１：試料、１３２：試料ホルダ、１４１，１２０１，１２０３，１５０１：プローブ、１４２：プローブホルダ、１４３：プローブユニット、１４４：プローブユニット制御器、１４５：プローブユニット支持台、１５１：制御コンピュータ、１５２：入力デバイス、１５３：ディスプレイ、１６１：電子ビームカラム制御部、１６２：検出器信号処理部、１６３：カメラ画像処理部、１６４：カメラ光軸調整ステージ制御部、１６５：ステージ制御部、４０１：試料面、５０１，５０２：試料端、８０１：測定対象構造物、１００１，１６０１：投影面、１００２，１００３，１００４，１３０１，１６０２，１７０１，１８０２：光学中心位置、１２０２，１２０４，１５０２，１８０１：プローブ先端位置、１２０５：基準高さ、１５０３：マーカ。

【図面】

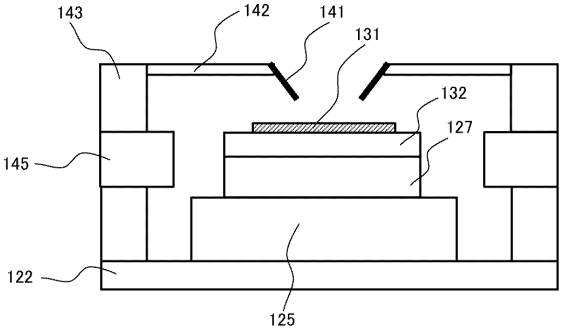
【図１】

図1



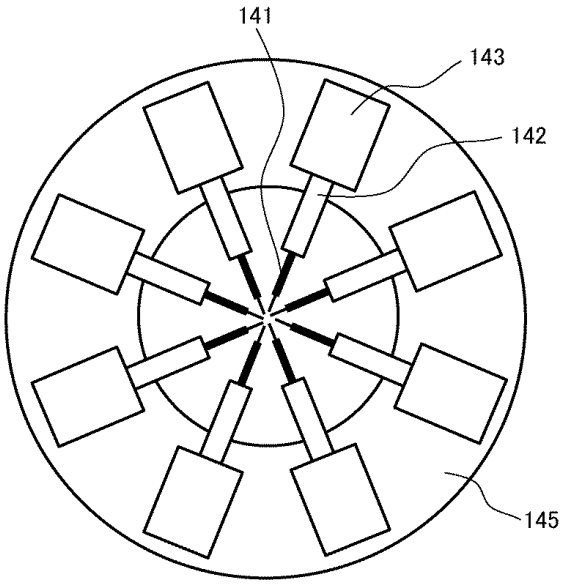
【図２】

図2



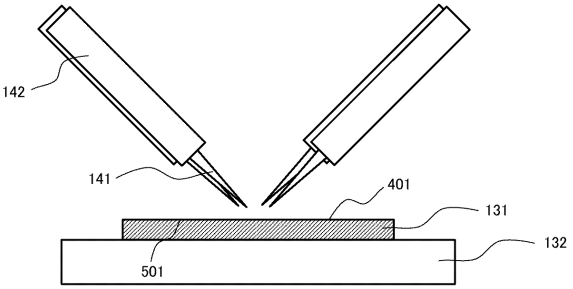
【図３】

図3



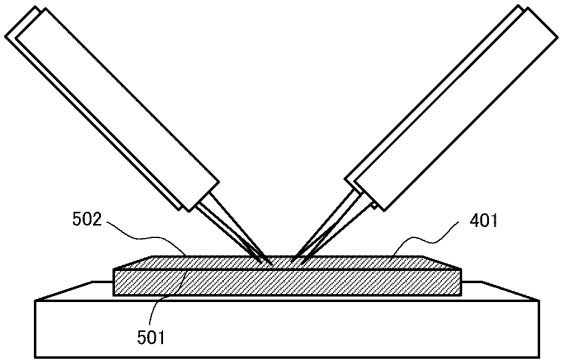
【図４】

図4



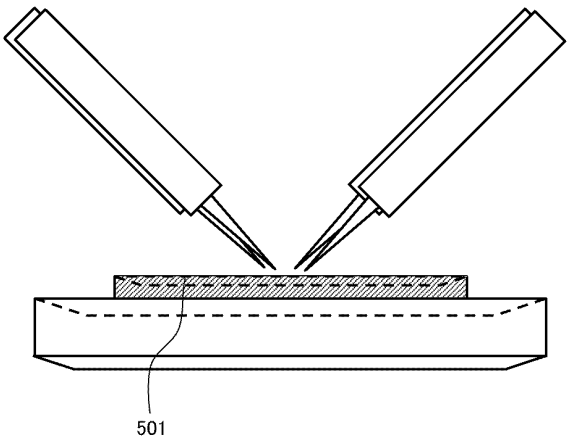
【図５】

図5



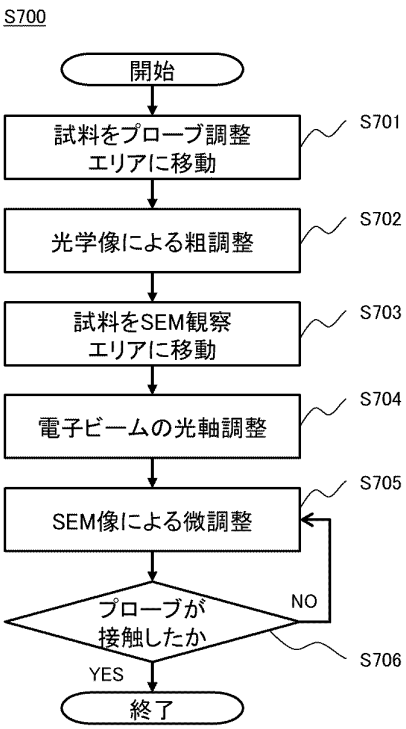
【図６】

図6



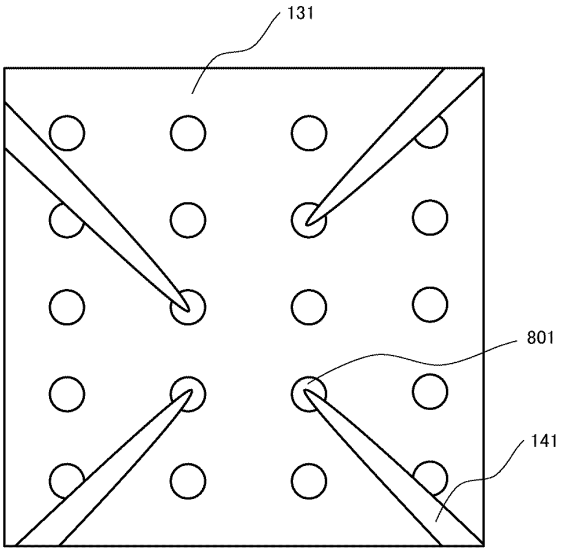
【図７】

図7



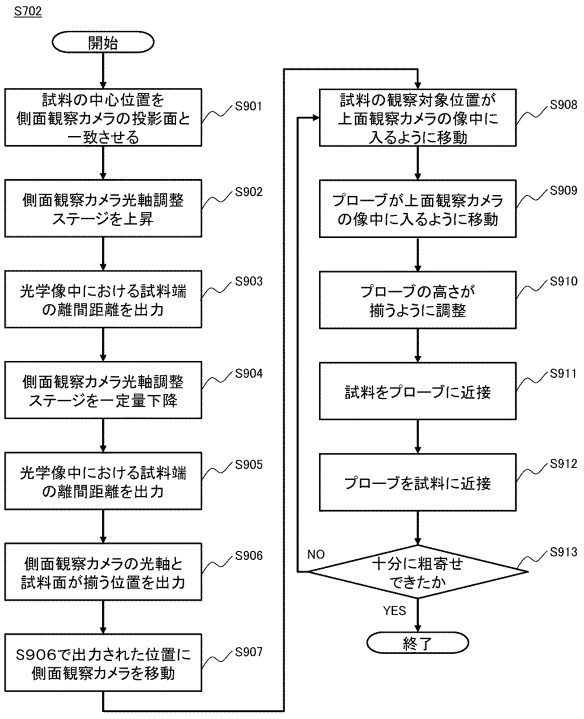
【図８】

図8



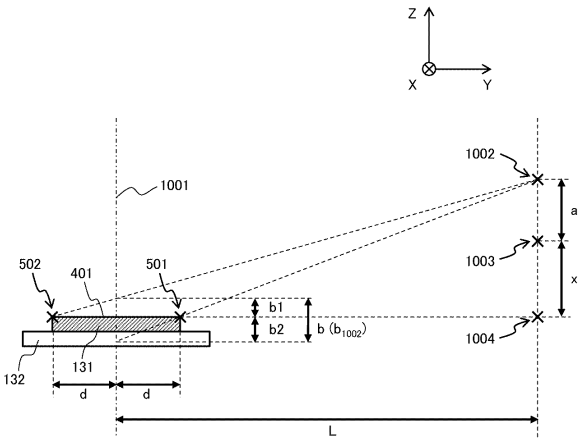
【図９】

図9



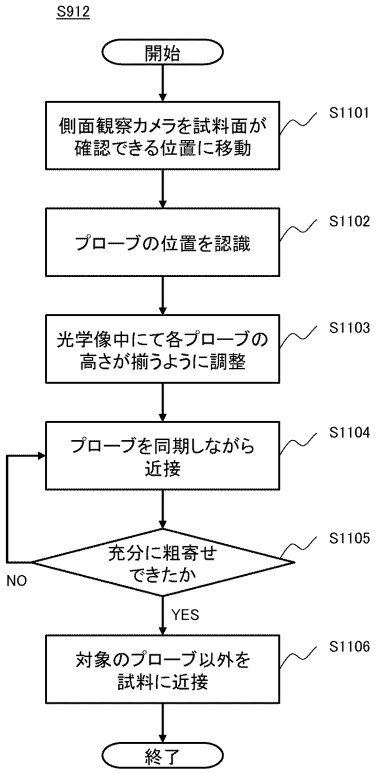
【図１０】

図10



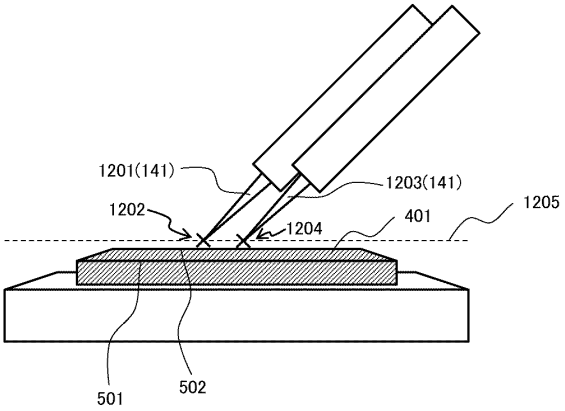
【図１１】

図11



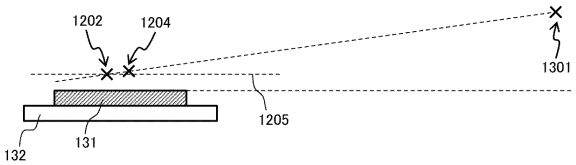
【図１２】

図12



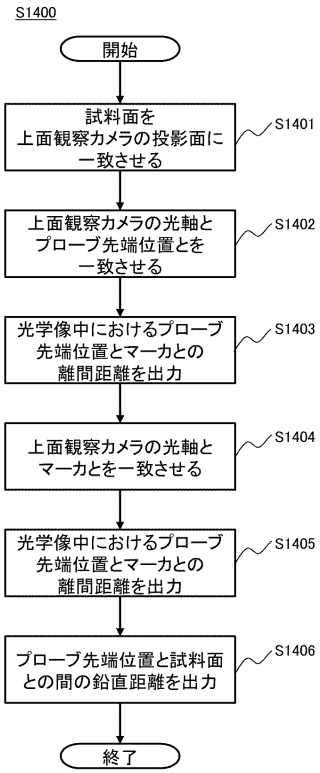
【図１３】

図13



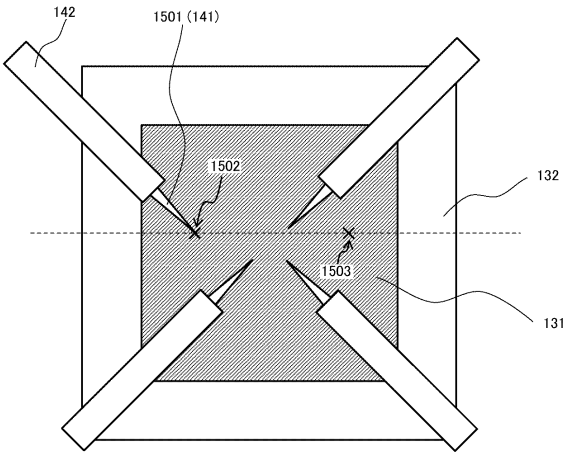
【図１４】

図14



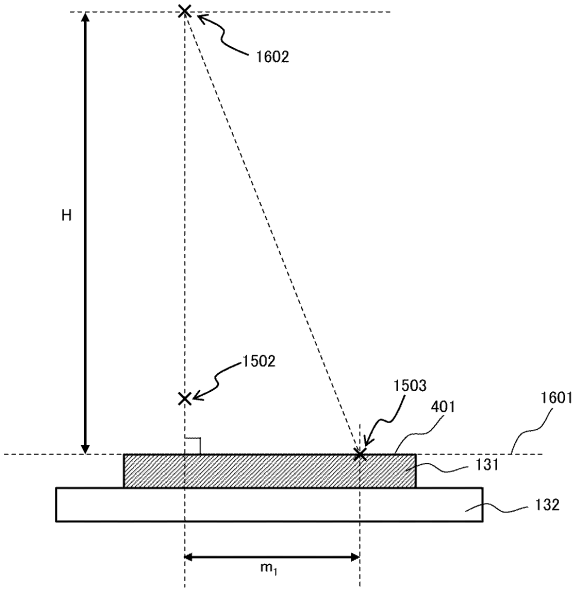
【図１５】

図15



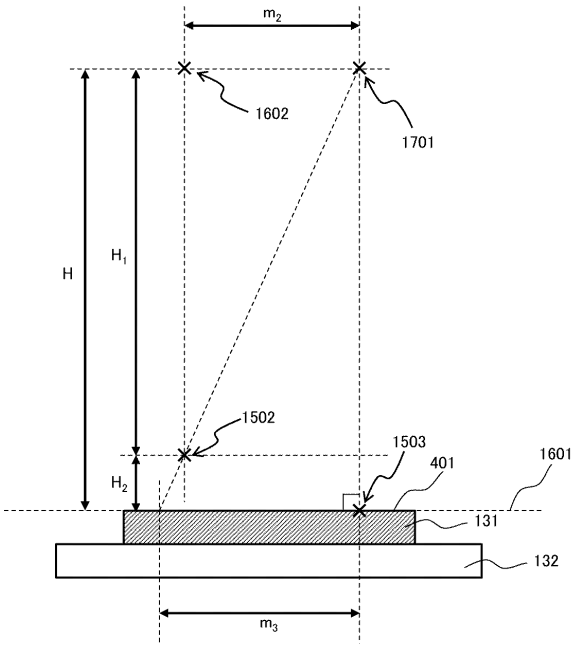
【図１６】

図16



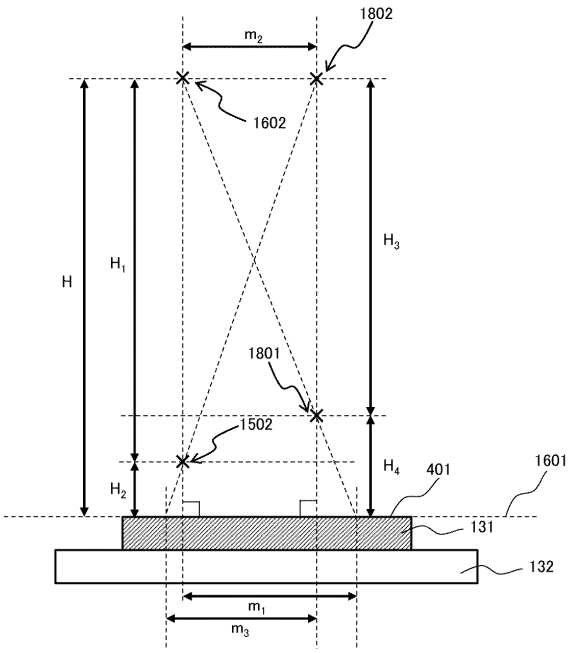
【図１７】

図17



【図１８】

図18



フロントページの続き

(56)参考文献 特開２０１８－０８４５８２（ＪＰ，Ａ）
特開２０１９－０３５７４１（ＪＰ，Ａ）
特開２００６－２９４４８１（ＪＰ，Ａ）
特開２００６－０９３１０２（ＪＰ，Ａ）
特開２０１３－２４３０２７（ＪＰ，Ａ）

(58)調査した分野 (Int.Cl.，ＤＢ名)

Ｈ０１Ｌ ２１／６６
Ｇ０１Ｒ ３１／２８－３１／３１９３
Ｇ０１Ｒ ３１／２６－３１／２７
Ｇ０１Ｒ １／０６－１／０７３
Ｇ０１Ｎ ２１／８８－２１／９５８
Ｇ０１Ｎ ２３／２２－２３／２２７６
Ｈ０１Ｊ ３７／０４－３７／１５３
Ｈ０１Ｊ ３７／２６－３７／２９５
Ｇ０１Ｑ １０／００－１０／０６
Ｇ０１Ｑ ３０／０２