

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7308710号
(P7308710)

(45)発行日 令和5年7月14日(2023.7.14)

(24)登録日 令和5年7月6日(2023.7.6)

(51)国際特許分類		F I		
H 0 1 J	37/317 (2006.01)	H 0 1 J	37/317	D
H 0 1 J	37/20 (2006.01)	H 0 1 J	37/20	D

請求項の数 5 (全14頁)

(21)出願番号	特願2019-174442(P2019-174442)	(73)特許権者	503460323 株式会社日立ハイテクサイエンス 東京都港区虎ノ門一丁目17番1号
(22)出願日	令和1年9月25日(2019.9.25)	(74)代理人	100113022 弁理士 赤尾 謙一郎
(65)公開番号	特開2021-51922(P2021-51922A)	(74)代理人	下田 昭
(43)公開日	令和3年4月1日(2021.4.1)	(74)代理人	栗原 和彦
審査請求日	令和4年6月8日(2022.6.8)	(72)発明者	石井 晴幸 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サイエンス内
		(72)発明者	上本 敦 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サイエンス内 最終頁に続く

(54)【発明の名称】 集束イオンビーム装置

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

試料に電子ビームを照射するための電子ビーム鏡筒と、
前記試料に集束イオンビームを照射するための集束イオンビーム鏡筒と、
前記試料が直接又は間接的に載置され、前記電子ビームと前記集束イオンビームとに直交するチルト軸を中心にチルト可能で、かつ高さ方向に移動可能な試料ステージと、
を有する集束イオンビーム装置において、
前記試料に対し、前記集束イオンビームを照射する複数の照射位置を指定したとき、各照射位置の平面座標を取得する座標取得手段と、
前記平面座標に基づき、前記各照射位置において前記電子ビームと前記集束イオンビームとが一致する交差位置に、ユーセントリック高さZsが一致するよう、前記試料ステージを前記ユーセントリック高さZsに移動させる移動量を算出する移動量算出手段と、
前記各照射位置において、前記移動量に応じて前記試料ステージをユーセントリック高さZsに移動させる試料ステージ移動制御手段と、
をさらに有し、

前記試料ステージ移動制御手段は、前記試料ステージの水平面に平行で前記チルト軸に直交するY軸方向への前記照射位置のズレ量Lを補償するよう、前記試料ステージを前記Y軸方向に移動させ、

前記試料ステージ移動制御手段は、前記ズレ量Lに由来する前記ユーセントリック高さZsの変動を反映させて前記移動量を算出することを特徴とする集束イオンビーム装置。

10

20

【請求項 2】

前記ズレ量Lは見積もられた所定の値であるか、又は前記移動量算出手段が前記ユーセントリック高さZsを算出する際に求めた計算値である請求項 1 に記載の集束イオンビーム装置。

【請求項 3】

前記試料ステージに配置された前記試料表面の所定の平面座標における前記ユーセントリック高さZseを記憶する記憶部をさらに備え、

前記移動量算出手段は、前記記憶部に記憶された前記ユーセントリック高さZseを参照し、前記所定の平面座標と前記各照射位置との間の座標の差に基づき、前記各照射位置における前記ユーセントリック高さZsを推定する請求項 1 又は 2 に記載の集束イオンビーム装置。

10

【請求項 4】

前記記憶部は、前記所定の平面座標におけるズレ量Leを前記ユーセントリック高さZseに関連付けて記憶し、

前記移動量算出手段は、前記記憶部に記憶された前記ズレ量Leを参照し、前記所定の平面座標と前記各照射位置との間の座標の差に基づき、前記各照射位置における前記ズレ量Lをさらに推定する請求項 3 に記載の集束イオンビーム装置。

【請求項 5】

前記記憶部は、前記所定の平面座標における前記ユーセントリック高さZseの測定時の当該平面に直交する軸回りの回転角R値を、前記ズレ量Leを前記ユーセントリック高さZseに関連付けて記憶し、

前記移動量算出手段は、前記記憶部に記憶された前記R値を参照し、前記所定の平面座標の前記R値と前記各照射位置の前記R値の間の類似度に基づき、前記各照射位置における前記ズレ量Lを推定する請求項 4 に記載の集束イオンビーム装置。

20

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、電子ビーム鏡筒と集束イオンビーム鏡筒とを備えた集束イオンビーム装置に関する。

【背景技術】

30

【0002】

従来から、走査型電子顕微鏡（SEM）に対し、さらに試料に集束イオンビーム（FIB）を照射して断面を形成する集束イオンビーム鏡筒を実装したFIB-SEM装置が用いられている。これにより、集束イオンビームで加工した断面にSEMから電子ビームを照射し、一つの装置内で試料の断面加工と、断面の観察や測定をその場で行うことができる。

ところで、FIB装置を用いてステージ駆動により試料を傾斜（チルト）させて試料の特定位置の加工や観察を行う場合、傾斜動作によって特定位置が視野から外れることがある。

【0003】

そこで、傾斜動作によっても特定位置が視野から外れないよう、ユーセントリック高さ

40

に試料を配置するステージ機構を備えたFIB装置が開発されている（特許文献1）。ここで、「ユーセントリック高さ」とは、試料ステージ上に試料を載置した状態で、観察中に試料を傾斜させても観察像上の特定位置が動かないときの試料ステージの高さである。FIB-SEM装置の場合、集束イオンビームと電子ビームの交差位置が、ユーセントリック高さにおけるステージ上の試料位置（ユーセントリック位置）に一致するように当該ステージの高さを調整する。つまり、ユーセントリック位置は、ユーセントリック高さに試料の厚み（試料ホルダを用いる場合はさらに試料ホルダの厚み）を加算した高さである。

これにより、傾斜動作をしながら試料の特定位置のFIB加工及びSEM観察を行っても、傾斜動作の前後でFIB及びSEMの視野から特定位置が外れることがない。よって

50

、効率よく加工観察を行うことができる。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0004】

【文献】特開2016-72089号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

しかしながら、集束イオンビームで試料を加工する際には、試料表面の複数の位置で加工を行いたいという要望があり、各位置に試料ステージを移動させる毎に、ユーセントリック高さに試料ステージのチルト軸を合わせるのは煩雑である。

10

又、最初の位置で合わせ込んだユーセントリック高さを、他の位置でも一定であるとみなして測定することもある。しかしながら、試料の凹凸等によりユーセントリック高さは変化するので、試料をチルトさせた際に視野から対象部位が外れるおそれがある。

【0006】

本発明は上記の課題を解決するためになされたものであり、試料における集束イオンビームの複数の照射位置のそれぞれに対し、ユーセントリック高さに自動で精度よく合わせることができる集束イオンビーム装置の提供を目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0007】

20

上記の目的を達成するために、本発明の集束イオンビーム装置は、試料に電子ビームを照射するための電子ビーム鏡筒と、前記試料に集束イオンビームを照射するための集束イオンビーム鏡筒と、前記試料が直接又は間接的に載置され、前記電子ビームと前記集束イオンビームとに直交するチルト軸を中心にチルト可能で、かつ高さ方向に移動可能な試料ステージと、を有する集束イオンビーム装置において、前記試料に対し、前記集束イオンビームを照射する複数の照射位置を指定したとき、各照射位置の平面座標を取得する座標取得手段と、前記平面座標に基づき、前記各照射位置において前記電子ビームと前記集束イオンビームとが一致する交差位置に、ユーセントリック高さ Z_s が一致するよう、前記試料ステージを前記ユーセントリック高さ Z_s に移動させる移動量を算出する移動量算出手段と、前記各照射位置において、前記移動量に応じて前記試料ステージをユーセントリック高さ Z_s に移動させる試料ステージ移動制御手段と、をさらに有し、前記試料ステージ移動制御手段は、前記試料ステージの水平面に平行で前記チルト軸に直交するY軸方向への前記照射位置のズレ量Lを補償するよう、前記試料ステージを前記Y軸方向に移動させ、前記試料ステージ移動制御手段は、前記ズレ量Lに由来する前記ユーセントリック高さ Z_s の変動を反映させて前記移動量を算出することを特徴とする。

30

【0008】

この集束イオンビーム装置によれば、試料表面の照射位置をユーセントリック位置にした状態で、集束イオンビームを照射して各種加工やデポジション等を行った後、照射位置を所定角度チルトさせて観察等を行うことができる。

そして、照射位置の加工、観察が終了すると、次の照射位置でそれぞれ自動的にユーセントリック高さに合わせられるので、作業効率が向上する。又、手動でユーセントリック高さを設定する場合に比べ、各照射位置がユーセントリック高さから外れることを抑制でき、試料をチルトさせた際に視野から各照射位置が外れることを抑制できる。

40

【0009】

また、この集束イオンビーム装置によれば、ズレ量Lを補償するので、試料の観察位置等から外れることを抑制できる。

【0010】

また、この集束イオンビーム装置によれば、ズレ量Lを補償するので、ユーセントリック高さ Z_s の測定精度が向上する。

【0011】

50

本発明の集束イオンビーム装置において、前記ズレ量 L は見積もられた所定の値であるか、又は前記移動量算出手段が前記ユーセントリック高さ Z_s を算出する際に求めた計算値であってもよい。

【0012】

本発明の集束イオンビーム装置は、前記試料ステージに配置された前記試料表面の所定の平面座標における前記ユーセントリック高さ Z_{se} を記憶する記憶部をさらに備え、前記移動量算出手段は、前記記憶部に記憶された前記ユーセントリック高さ Z_{se} を参照し、前記所定の平面座標と前記各照射位置との間の座標の差に基づき、前記各照射位置における前記ユーセントリック高さ Z_s を推定してもよい。

この集束イオンビーム装置によれば、複数の照射位置について加工の都度ユーセントリック高さ Z_s を算出する必要がなく、複数の照射位置についての連続的な加工及び観察を自動化することが可能となる。

【0013】

本発明の集束イオンビーム装置において、前記記憶部は、前記所定の平面座標におけるズレ量 L_e を前記ユーセントリック高さ Z_{se} に関連付けて記憶し、前記移動量算出手段は、前記記憶部に記憶された前記ズレ量 L_e を参照し、前記所定の平面座標と前記各照射位置との間の座標の差に基づき、前記各照射位置における前記ズレ量 L をさらに推定してもよい。

この集束イオンビーム装置によれば、複数の照射位置について加工の都度ユーセントリック高さ Z_s を算出しなくても、ズレ量 L を推定できる。

【0014】

本発明の集束イオンビーム装置において、前記記憶部は、前記所定の平面座標における前記ユーセントリック高さ Z_{se} の測定時の当該平面に直交する軸回りの回転角 R 値を、前記ズレ量 L_e を前記ユーセントリック高さ Z_{se} に関連付けて記憶し、前記移動量算出手段は、前記記憶部に記憶された前記 R 値を参照し、前記所定の平面座標の前記 R 値と前記各照射位置の前記 R 値の間の類似度に基づき、前記各照射位置における前記ズレ量 L を推定してもよい。

この集束イオンビーム装置によれば、ズレ量 L に影響を与える R 値の類似度を考慮して、所定の平面座標を記憶部から抽出するので、ズレ量 L の推定精度が向上する。

【発明の効果】

【0015】

本発明によれば、試料における集束イオンビームの複数の照射位置のそれぞれに対し、ユーセントリック高さに自動で精度よく合わせることができる。

【図面の簡単な説明】

【0016】

【図1】本発明の実施形態に係る集束イオンビーム装置の全体構成を示す図である。

【図2】試料ステージの拡大斜視図である。

【図3】本発明の第1の実施形態に係る集束イオンビーム装置による処理フローを示す図である。

【図4】第1の実施形態におけるユーセントリック高さ Z_s の算出方法の一例を示す図である。

【図5】チルト前後の照射位置を示す図である。

【図6】ユーセントリック高さ Z_s 、及び高さ方向の移動量の算出順序の一例を示す図である。

【図7】 Y 軸方向のズレ L が生じたときの、チルト前後の照射位置を示す図である。

【図8】第2の実施形態におけるユーセントリック高さ Z_s の算出方法の一例を示す図である。

【図9】2つのチルト角で試料表面をチルトさせて Z_s 及び L を共に算出する方法を示す図である。

【図10】 L を見積もるためのテーブル(マッピング)を示す図である。

【図11】試料ステージに載置した試料の XY 平面図である。

10

20

30

40

50

【図 1 2】記憶部に記憶された試料の所定の平面座標におけるユーセントリック高さ及びズレ量を示すテーブルのデータ構成を示す図である。

【図 1 3】図 1 2 のテーブルの R 値を用いたユーセントリック高さの推定方法を示す図である。

【発明を実施するための形態】

【0017】

以下、本発明の実施形態について、図面を参照して説明する。

図 1 は本発明の実施形態に係る集束イオンビーム装置 100 の全体構成を示すブロック図である。図 1 において、集束イオンビーム装置 100 は、電子ビーム鏡筒 (SEM 鏡筒) 10 と、集束イオンビーム鏡筒 (FIB 鏡筒) 20 と、気体イオンビーム鏡筒 30 と、二次電子検出器 4 と、ガス銃 5 と、制御手段 6 と、表示手段 7 と、入力手段 8 と、試料ステージ 50 及びその上に配置された試料台 (試料ホルダ) 51 と、を備えている。

10

集束イオンビーム装置 100 の各構成部分の一部又は全部は真空室 40 内に配置され、真空室 40 内は所定の真空度まで減圧されている。

【0018】

試料ステージ 50 は、試料台 51 を移動可能に支持し、試料台 51 上には試料 200 が載置されている。そして、試料ステージ 50 は、試料台 51 を 5 軸で変位させることができる移動機構を有している。

具体的には、この移動機構は、試料台 51 を水平面に平行で且つ互いに直交する X 軸及び Y 軸とに沿ってそれぞれ移動させる XY 移動機構 50x y と、X 軸及び Y 軸に直交する Z 軸 (高さ方向) に沿って移動させる Z 移動機構 50z と、試料台 51 を Z 軸回りに回転させるローテーション機構 50r と、試料台 51 を X 軸に平行なチルト軸 TA 周りに回転させるチルト機構 50t とを備えている。なお、チルト軸 TA は、電子ビーム 10A 及び集束イオンビーム 20A の照射方向に直交する

20

上記移動機構は、ピアソ素子、ステッピングモータ等の各種アクチュエータにより実現することができる。

試料ステージ 50 は、試料台 51 を 5 軸に変位させることで、試料 200 を電子ビーム 10A、イオンビーム 20A、及び気体イオンビーム 30A の複数の照射位置 (図 2 に示す各照射ビーム 10A ~ 30A が交差する照射点 P1、P2、P3) に移動させる。

照射点 P1 ~ P3 にて試料 200 の表面 (断面) に、電子ビーム 10A、集束イオンビーム 20A、及び気体イオンビーム 30A (図 2 では、電子ビーム 10A、集束イオンビーム 20A のみ表示) が照射され、加工や SEM 観察が行われる。

30

【0019】

制御手段 6 は、中央演算処理装置としての CPU と、データやプログラムなどを格納する記憶部 6M (RAM および ROM) と、外部機器との間で信号の入出力を行う入力ポートおよび出力ポートとを備えるコンピュータで構成することができる。制御手段 6 は、記憶部 6M に格納されたプログラムに基づいて CPU が各種演算処理を実行し、集束イオンビーム装置 100 の各構成部分を制御する。そして、制御手段 6 は、電子ビーム鏡筒 1、集束イオンビーム鏡筒 2、気体イオンビーム鏡筒 30、二次電子検出器 4、及び試料ステージ 50 の制御配線等と電氣的に接続されている。

40

制御手段 6 は、後述する座標取得手段 6A、移動量算出手段 6B、及び試料ステージ移動制御手段 6C を有する。

また制御手段 6 は、ソフトウェアの指令やオペレータの入力に基づいて試料ステージ 50 を駆動し、試料 200 の位置や姿勢を調整して試料 200 表面への電子ビーム 10A、イオンビーム 20A、及び気体イオンビーム 30A の照射位置や照射角度を調整できるようになっている。

なお、制御手段 6 には、オペレータの入力指示を取得するキーボード等の入力手段 8 と、試料の画像等を表示する表示手段 7 とが接続されている。

【0020】

SEM 鏡筒 10 は、図示はしないが、電子を放出する電子源と、電子源から放出された

50

電子をビーム状に成形するとともに走査する電子光学系とを備えている。電子ビーム鏡筒 10 から射出される電子ビーム 10 A を試料 200 に照射することによって、試料 200 からは二次電子が発生する。この発生した二次電子を、鏡筒内の二次電子検出器（図示せず）、又は鏡筒外の二次電子検出器 4 で検出して試料 200 の像を取得することができる。又、鏡筒内の反射電子検出器 14 で反射電子を検出して試料 200 の像を取得することができる。

電子光学系は、例えば、電子ビーム 10 A を集束するコンデンサーレンズと、電子ビーム 10 A を絞り込む絞りと、電子ビーム 10 A の光軸を調整するアライナと、電子ビーム 10 A を試料 200 に対して集束する対物レンズと、試料 200 上で電子ビーム 10 A を走査する偏向器とを備えて構成される。

10

【0021】

FIB 鏡筒 20 は、図示はしないが、イオンを発生させるイオン源と、イオン源から放出したイオンを集束イオンビームに成形するとともに走査させるイオン光学系とを備えている。FIB 鏡筒 20 から荷電粒子ビームである集束イオンビーム 20 A を、試料 200 に照射すると、試料 200 からは二次イオンや二次電子等の二次荷電粒子が発生する。この二次荷電粒子を二次電子検出器 4 で検出して試料 200 の像が取得される。また、FIB 鏡筒 20 は、集束イオンビーム 20 A の照射量を増すことで、照射範囲の試料 200 をエッチング加工（断面加工）する。

イオン光学系は公知の構成を有し、例えば、集束イオンビーム 20 A を集束するコンデンサーレンズと、集束イオンビーム 20 A を絞り込む絞りと、集束イオンビーム 20 A の光軸を調整するアライナと、集束イオンビーム 20 A を試料に対して集束する対物レンズと、試料上で集束イオンビーム 20 A を走査する偏向器とを備えて構成される。

20

【0022】

気体イオンビーム鏡筒 30 は、図示はしないが、例えばアルゴンイオンであるイオンを発生させるイオン源と、イオン源からのイオンビームを集束するコンデンサーレンズと、ブランキングと、イオンビームを絞り込むアパーチャと、イオンビームを集束する対物レンズと、を備えている。

【0023】

ガス銃 5 は、試料 200 へエッチングガス等の所定のガスを放出する。ガス銃 5 からエッチングガスを供給しながら試料 200 に電子ビーム 10 A、集束イオンビーム 20 A または気体イオンビーム 30 A を照射することで、ビーム照射による試料のエッチング速度を高めることができる。又、ガス銃 5 から化合物ガスを供給しながら試料 200 に電子ビーム 10 A、集束イオンビーム 20 A 又は気体イオンビーム 30 A を照射することで、ビームの照射領域近傍に局所的なガス成分の析出（デポジション）を行うことができる。

30

【0024】

< 第 1 の実施形態 >

次に、図 3 を参照し、本発明の第 1 の実施形態に係る集束イオンビーム装置 100 による処理フローについて説明する。

まず、図 2 に示すように、ユーザは、試料 200 に対し、集束イオンビーム 20 A を照射する複数の照射位置 P1 ~ P3 を指定する。この指定は、例えば表示手段 7 上でユーザが試料 200 の SEM 像上で所定位置をクリックすると、制御手段 6 がこの位置を取得することができる。

40

制御手段 6（座標取得手段 6A）は、指定された照射位置 P1 ~ P3 を取得すると、各照射位置 P1 ~ P3 の平面（XY）座標を取得する（ステップ S2）。

【0025】

次に、制御手段 6（移動量算出手段 6B）は、各照射位置 P1 ~ P3 におけるユーセントリック高さ Zs、及び高さ方向の移動量を算出する（ステップ S4）。

この移動量は、試料ステージ 50 をユーセントリック高さ Zs になるよう高さ方向に移動させる量であり、これにより試料の各照射位置 P1 ~ P3（図 2）がユーセントリック位置になる。

50

【0026】

ここで、図4を参照し、各照射位置P1～P3での各ユーセントリック高さZsの算出方法の一例について説明する。なお、図4の方法は、ユーセントリック高さZsの算出の際にY軸方向のズレLが生じない(又は無視できる)とみなした場合に適用される。

図4において、まず、チルト前の試料表面S0において、所定方向(図4では垂直方向)から電子ビーム10Aを照射して照射位置P1のY座標(Y0)を取得する。Y座標の取得は図3のステップS2に相当する。

【0027】

次に、制御手段6はチルト軸TAに沿って試料を角度θだけ傾けさせ、試料表面がS0tに傾く。このとき、照射位置P1のY座標はY0にY'だけ移動する(図4では右側へ移動)。

このときの移動量は、

$$\text{式2: } Y' = Y_0 - Z_s \times \sin \theta$$

、で近似でき、Y0、θは既知である。従って、

$$\text{式3: } Z_s = (Y_0 - Y') / \sin \theta$$

、でZsを求めることができる。なお、式2は記憶部6Mに記録されているか、ユーセントリック高さZsの算出プログラムに記録されており、制御手段6はこの式を読み出す。

そして、制御手段6(試料ステージ移動制御手段6C)は、Z移動機構50zを制御して試料表面S0を高さ方向にユーセントリック高さ(+Zs)だけ移動させ、試料表面S1(照射位置P1)をユーセントリック位置にする(図3のステップS6、S8)。

【0028】

なお、Y'そのものはSEM像を見ても通常は判別できない。そこで、P1そのものに特徴形状(周囲と区別できる凹みなど)がある場合はその特徴形状のチルト前後のY軸方向の移動量を算出すればよい。

又、図5に示すように、P1そのものに特徴形状が無い場合は、P1付近の特徴形状PFのチルト前後のY軸方向の変位を算出すればよい。

【0029】

このようにして、試料表面の照射位置P1をユーセントリック位置にした状態で、集束イオンビーム20Aを照射して各種加工やデポジション等を行った後、照射位置P1を所定角度チルトさせて電子ビーム10Aを照射し、照射位置P1を観察することができる。

そして、照射位置P1の加工、観察が終了すると、次の照射位置P2、P3でそれぞれ自動的にユーセントリック高さZsに合わせられるので、作業効率が向上する。又、手動でユーセントリック高さを設定する場合に比べ、各照射位置P1～P3がユーセントリック高さZsから外れることを抑制でき、試料をチルトさせた際に視野から各照射位置P1～P3が外れることを抑制できる。

【0030】

なお、図3のステップS4において、ユーセントリック高さZs、及び高さ方向の移動量の算出は、図6(A)に示すように、図3のステップS2で各照射位置P1～P3のXY座標を取得した後、P1でのFIB照射やSEM像測定の前に、一度に各P1～P3のユーセントリック高さZsを算出してもよい。

又、図6(B)に示すように、図3のステップS2で各照射位置P1～P3のXY座標を取得した後、P1でのFIB照射やSEM像測定の前に、P1のユーセントリック高さZsを算出し、P1でのFIB照射やSEM像測定が終了した後、P2のユーセントリック高さZsを逐次算出してもよい。

【0031】

<第2の実施形態>

次に、図7、図8を参照し、本発明の第2の実施形態に係る集束イオンビーム装置100におけるユーセントリック高さZsの算出方法(図3のステップS4)について説明する。なお、第2の実施形態は、上記ステップS4のユーセントリック高さZsの算出方法が異なること以外は、第1の実施形態と同一である。

【 0 0 3 2 】

第2の実施形態は、ユーセントリック高さ Z_s の算出の際に Y 軸方向のズレ L が生じる場合に適用され、図4の方法よりも Z_s の算出精度が高まる。

ここで、ズレ L は、例えば個々の集束イオンビーム装置における試料ステージ50の取付け誤差(機差)による各照射位置 $P_1 \sim P_3$ に試料ステージ50の移動機構を移動させたときのズレや、移動機構を構成するピアソ素子、ステッピングモータ等のアクチュエータの実際の移動量のズレの他、上述の Y_0 や Y_1 を求める際の SEM 画像を生成する電子ビーム10Aのビーム軸からの曲がり等に起因する。

又、電子ビーム10Aのビーム軸からの曲がりや、加速電圧やアパーチャー等の測定条件に起因する。

10

【 0 0 3 3 】

図7は、Y軸方向のズレ L が生じたときの、角度 θ チルトさせた前後の照射位置 P_1 の変化を示す模式図、図8はY軸方向のズレ L が生じたときのユーセントリック高さ Z_s の算出方法を示す図である。

図7に示すように、Y軸方向のズレ L が生じると、チルト前の試料表面 S_0 において、ズレ L により電子ビーム10Aの照射位置は V_1 にズレる。そして、チルト前の照射位置 P_1 のY座標は Y_0 (ズレ L が無い場合の理想位置、図4に相当) から L だけ移動した Y_1 となる。そして、チルト後の照射位置 P_1 のY座標は Y_0 (ズレ L が無い場合の理想位置、図4に相当) から $L \times \cos \theta$ だけ移動した Y_1 となる。

【 0 0 3 4 】

これらの位置関係の詳細について図8を参照して説明する。

まず、チルト前の試料表面 S_0 において、ズレ L により電子ビーム10Aの照射位置は V_1 にズレ、照射位置 P_1 のY座標は、

$$\text{式4: } Y_1 = Y_0 + L,$$

となる。

次に、角度 θ チルトさせた試料表面 S_0 における照射位置 P_1 は、ズレ L も角度 θ 傾くから、ズレ L のY軸成分は $L \times \cos \theta$ となる。従って、チルト後の照射位置 P_1 のY座標は、

$$\text{式5: } Y_1 = Y_0 + L \times \cos \theta$$

、となる。

【 0 0 3 5 】

ここで、式5に式2、式4を代入すると、

$$\begin{aligned} \text{式1: } Y_1 &= (Y_0 - Z_s \times \sin \theta) + L \times \cos \theta \\ &= Y_1 - L - Z_s \times \sin \theta + L \times \cos \theta \\ &= Y_1 - Z_s \times \sin \theta + (\cos \theta - 1) \times L \end{aligned}$$

、となる。

【 0 0 3 6 】

式1において、 Y_1 、 $\sin \theta$ 、 $\cos \theta$ は既知であり、 Z_s 及び L が未知である。

そこで、図9に示すように、同一の照射位置 P_1 について、異なる2つのチルト角 (θ_1 、 θ_2) でチルトさせた試料表面 S_0 t1、 S_0 t2におけるそれぞれの Y_1 (Y_{11} 、 Y_{12}) を取得すれば、式1が2つ得られる。

従って、2つの連立方程式で未知数が2個 (Z_s 及び L) であるから、 Z_s 及び L を共に算出することができる。

【 0 0 3 7 】

そして、この Z_s 及び L により、精度の高いユーセントリック高さ Z_s が得られると共に、Y軸方向のズレ L がわかるので、試料ステージ移動制御手段6Cは、ズレ量 L を補償するよう、試料ステージ50をY軸方向に L だけ移動させてからチルトすればよい。

これにより、Y軸方向のズレ L が生じても、試料をチルトさせた際に視野から対象部位が外れることを抑制できる。

【 0 0 3 8 】

20

30

40

50

なお、 L は Z_s に比べて十分小さいため、 L を既知の値として割り当てることで、式1にて1つのチルト角のみで Z_s を簡便に求めることもできる。

ここで、上述のように、 L は、個々の集束イオンビーム装置における試料ステージ50の取付け誤差（機差）や、電子ビーム鏡筒10の測定条件（加速電圧等）に起因する。

従って、例えば図10に示すように、個々の集束イオンビーム装置毎に、機差に応じた L の見込み量や、加速電圧と L との関係等をテーブル、マッピングや関係式等で記憶部6Mに記憶しておき、図3のステップS4にて、制御手段6がこれらのテーブルや関係式を読み出して L を見積もるようにしてもよい。

なお、例えば図10(A)のように、集束イオンビーム装置固有の機差に基づく見込み L のみを採用してもよいし、図10(B)のように、SEMの加速電圧に基づく見込み L のみを採用してもよい。又、図10(A)、(B)の双方の見込み L の値を単純に加算したり、所定の重みづけをして両者を加算してもよい。

【0039】

これにより、式1が1つの連立方程式で未知数が1個(Z_s)であるから、 Z_s を算出することができる。

勿論、 L の代わりに Z_s を既知の値として割り当て、未知の L を算出するようにしてもよい。

【0040】

次に、図11～図13を参照し、ユーセントリック高さ Z_s を簡便に見積もる方法について説明する。

上述のように、例えば第1の実施形態における式3や、第2の実施形態における式1を用いて、各照射位置 P_1 ～ P_3 におけるユーセントリック高さ Z_s を具体的に算出することはできるが、照射位置の数が多くなる場合等に計算に時間を要し、作業効率が低下することがある。

又、複数の照射位置 P_1 ～ P_3 でFIB加工及び観察等を行う場合、照射位置 P_1 でユーセントリック高さに合わせて加工した後、試料ステージ50を移動し、照射位置 P_2 で改めてユーセントリック高さに合わせて加工する必要があり、複数の照射位置 P_1 ～ P_3 の連続的な加工及び観察を自動化することが困難である。

【0041】

そこで、試料ステージ50(の試料台51)上に載置された試料200の所定の平面座標について、予めユーセントリック高さ Z_{se} を算出してマッピング(テーブル)等に記憶しておき、実際の各照射位置 P_1 ～ P_3 におけるユーセントリック高さ Z_s を、ユーセントリック高さ Z_{s0} から推定できれば、作業効率が向上する。又、複数の照射位置 P_1 ～ P_3 について加工の都度ユーセントリック高さ Z_s を算出する必要がなく、複数の照射位置 P_1 ～ P_3 についての連続的な加工及び観察を自動化することが可能となる。

【0042】

なお、ユーセントリック高さ Z_s のみを推定してもよいが、ズレ量 L が生じる場合はズレ量 L も合わせて推定することが好ましいので、以下ではユーセントリック高さ Z_s 及びズレ量 L を共に推定した場合について説明する。

【0043】

図11は、試料ステージ50(上の試料台51)に載置した試料200のXY平面図、図12は記憶部6Mに記憶されたテーブル6Tを示す。

図11に示すように、試料ステージ50上の試料200の所定の平面座標 E_{u1} , E_{u2} , E_{u3} , E_{u4} ...におけるユーセントリック高さ Z_{se} とズレ量 L_e を予め算出しておき、図12に示すテーブル6Tとして平面座標(X , Y)とともに記憶部6Mに記憶する。なお、図12の Re 値については後述する。

【0044】

次に、移動量算出手段6Bは、記憶部6Mのユーセントリック高さ Z_{se} 、ズレ量 L_e を参照し、実際の照射位置 P_1 におけるユーセントリック高さ Z_s 、ズレ量 L を推定する。

この推定は、例えば図11に示すように、照射位置 P_1 にXY方向の距離が近い順に2

10

20

30

40

50

つの平面座標 $E u 3$ 、 $E u 4$ をテーブル 6 T から抽出し、例えば Y 座標の $E u 3$ 、 $E u 4$ 、 $P 1$ の並び順に基づいて外挿法や内挿法により、 Zse 、 Le から Zs 、 L を推定することができる。

他の照射位置 $P 2$ 、 $P 3 \dots$ も同様に推定できる。

これにより、図 1 1 に示すように、複数の照射位置 $P 1 \sim P 3$ について連続的な加工及び観察を自動化できる。

なお、試料 2 0 0 を交換する毎に、ユーセントリック高さ Zse の測定を再度行い、テーブル 6 T の生成も試料毎に行うことになる。

【0045】

ところで、照射位置 $P 1 \dots$ における FIB 加工や観察において、見やすくするためや、XY 平面上で試料 2 0 0 を斜めにした状態でイオンビーム 2 0 A を照射して加工したい場合がある。この場合には、試料台 5 1 を Z 軸回りに回転させるローテーション機構 5 0 r を用いて試料 2 0 0 を XY 平面上で回転させる。

しかしながら、図 1 3 に示すように、例えば回転角 θ で回転した場合、Y 方向のズレ量 L が回転しない場合と異なってしまうという問題がある。つまり、回転角 $= 0$ の場合、ズレ量 $L1$ は Y 方向に沿った値である。一方、回転角 $= \theta$ の場合、ズレ量 $L1$ は Y 方向と角度 θ なす方向に沿った値となり、Y 軸方向の成分は $L1 \times \cos \theta$ となって $L1$ と異なる。

そして、このような場合にテーブル 6 T における回転角 $= 0$ で測定したズレ量 Le を参照すると、実際の照射位置 $P 1$ におけるズレ量 L の推定精度が低下する。

【0046】

そこで、図 1 2 のテーブル 6 T において、異なる R 値（回転角）で、平面座標 $E u 1$ 、 $E u 2$ 、 $E u 3$ 、 $E u 4 \dots$ におけるユーセントリック高さ Zse とズレ量 Le を予め算出しておき、実際の照射位置 $P 1$ におけるズレ量 L の推定の際、照射位置 $P 1$ における R 値を取得し、その R 値に近い R を持つデータをテーブル 6 T から抽出して推定に用いることで、推定精度が向上する。

例えば、 $E u 2$ と $E u 7$ は同一の XY 座標につき、R 値が異なる。従って、 $E u 2$ と $E u 7$ のうち、実際の照射位置 $P 1$ の R 値に近い方のユーセントリック高さ Zse とズレ量 Le を用いて推定を行えばよい。

又、照射位置 $P 1$ に XY 方向の距離が近い順に 2 つの平面座標 $E u 3$ 、 $E u 4$ をテーブル 6 T から抽出する旨を既に説明したが、XY 方向の距離と、R 値の類似度を総合的に見積もって抽出するデータを決定してもよい。

【0047】

本発明は上記実施形態に限定されず、本発明の思想と範囲に含まれる様々な変形及び均等物に及ぶことはいうまでもない。

例えば、ユーセントリック高さの算出方法は上記に限定されない。

【符号の説明】

【0048】

- 6 制御手段
- 6 A 座標取得手段
- 6 B 移動量算出手段
- 6 C 試料ステージ移動制御手段
- 6 M 記憶部
- 1 0 電子ビーム鏡筒
- 1 0 A 電子ビーム
- 2 0 集束イオンビーム鏡筒
- 2 0 A 集束イオンビーム
- 5 0 試料ステージ
- 1 0 0 集束イオンビーム装置
- 2 0 0 試料
- $P 1$ 、 $P 2$ 、 $P 3$ 照射位置

10

20

30

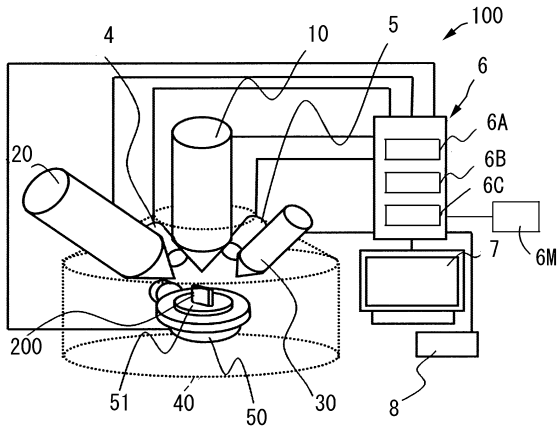
40

50

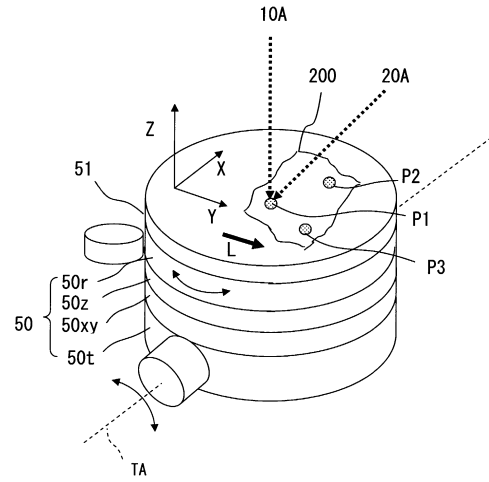
TA チルト軸

【図面】

【図 1】



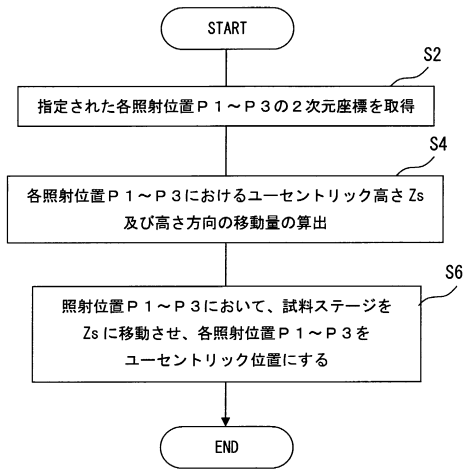
【図 2】



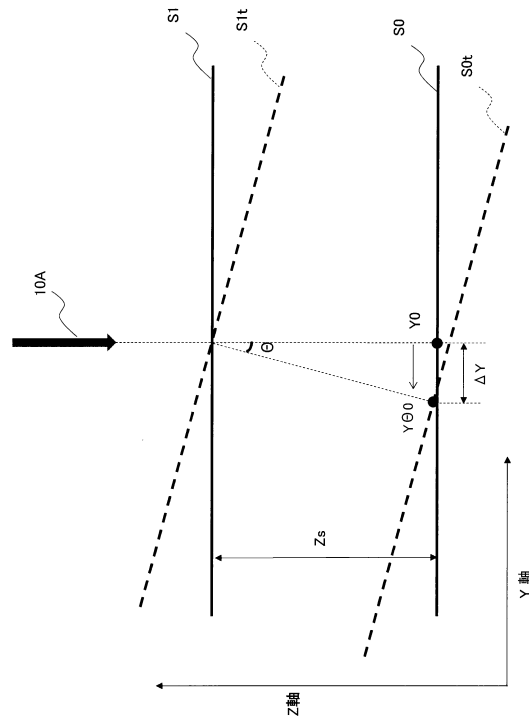
10

20

【図 3】



【図 4】

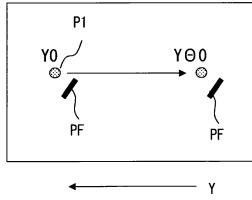


30

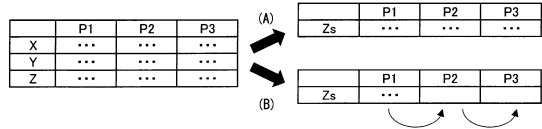
40

50

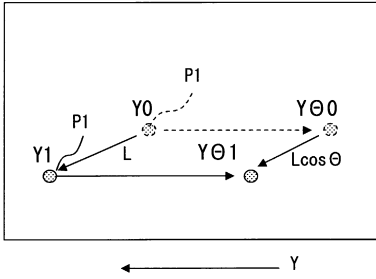
【図 5】



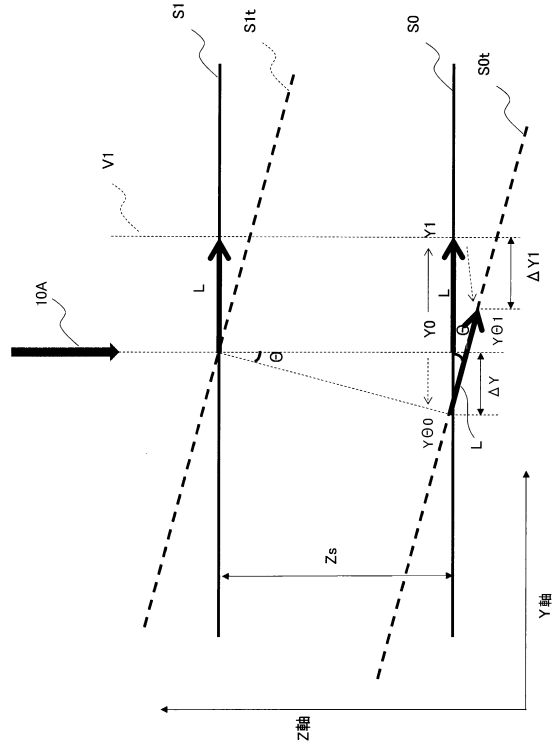
【図 6】



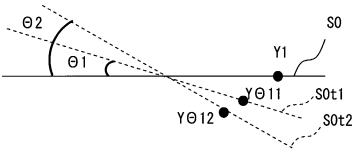
【図 7】



【図 8】



【図 9】



【図 10】

(A)	見込みL
装置番号○	...
(B)	SEMの加速電圧
○~△	...
△~x	...

10

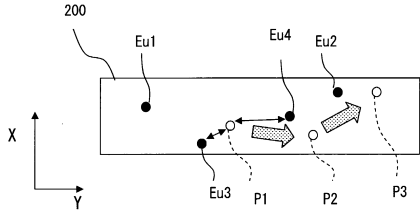
20

30

40

50

【 1 1 】

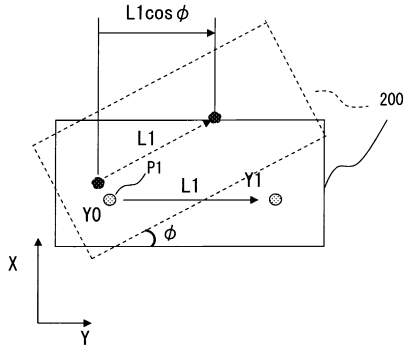


【 1 2 】

	X	Y	R	Le	Zse
Eu1	77.5	77.5	12.00	0.2	12.00
Eu2	125	100	12.50	0.5	12.50
Eu3	...	...	...	...	...
Eu4	...	...	...	...	...
Eu5	...	...	...	...	...
Eu6	...	...	...	...	...
Eu7	77.5	77.5	90.00	0.4	11.95
Eu8	125	100	90.00	0.1	12.10
...

6T

【 1 3 】



10

20

30

40

50

フロントページの続き

(72)発明者 麻畑 達也

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サイエンス内

審査官 鳥居 祐樹

(56)参考文献 特開2006-294354(JP,A)

特開2006-236836(JP,A)

特開2010-123354(JP,A)

特開平10-134750(JP,A)

(58)調査した分野 (Int.Cl., DB名)

H01J 37/20

H01J 37/28

H01J 37/317