

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第6002489号
(P6002489)

(45) 発行日 平成28年10月5日(2016.10.5)

(24) 登録日 平成28年9月9日(2016.9.9)

(51) Int.Cl.	F 1
HO 1 J 37/317 (2006.01)	HO 1 J 37/317 D
HO 1 J 37/22 (2006.01)	HO 1 J 37/22 502H
HO 1 J 37/20 (2006.01)	HO 1 J 37/20 Z
HO 1 J 37/30 (2006.01)	HO 1 J 37/30 Z
GO 1 N 1/28 (2006.01)	GO 1 N 1/28 G

請求項の数 9 (全 16 頁)

(21) 出願番号 特願2012-162256 (P2012-162256)
 (22) 出願日 平成24年7月23日 (2012.7.23)
 (65) 公開番号 特開2014-22296 (P2014-22296A)
 (43) 公開日 平成26年2月3日 (2014.2.3)
 審査請求日 平成27年2月25日 (2015.2.25)

(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 佐藤 高広
 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】荷電粒子線装置及び試料作製方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

試料を設置する試料ステージと、
 イオンビームを発生させ試料面上に集束させて走査させるイオンビーム照射系と、
 電子ビームを発生させて試料面上に集束させて走査させる電子ビーム照射系と、
 前記試料から発生する二次荷電粒子を検出する検出器と、
 前記検出器で検出された二次荷電粒子から二次荷電粒子像を形成し、複数の断面二次荷電粒子像から三次元再構築データを取得する演算部と、を備え、

前記三次元再構築データから所定の断面像を抽出し、当該抽出された断面像と前記試料の加工部分の加工断面像との比較情報に基づき、加工を停止する荷電粒子線装置であって

三次元再構築データから加工終点となる断面Aを抽出し、現在の加工断面Bと照合し、
 三次元再構築データから一致する断面Cを抽出し、断面Aに対する断面Cの試料回転角度
 及び試料傾斜角度を算出し、算出した試料回転角度と傾斜角度を現在の試料ステージに反映することを特徴とする荷電粒子線装置。

【請求項 2】

試料を設置する試料ステージと、
 イオンビームを発生させ試料面上に集束させて走査させるイオンビーム照射系と、
 電子ビームを発生させて試料面上に集束させて走査させる電子ビーム照射系と、
 前記試料から発生する二次荷電粒子を検出する検出器と、

10

20

前記検出器で検出された二次荷電粒子から二次荷電粒子像を形成し、複数の断面二次荷電粒子像から三次元再構築データを取得する演算部と、を備え、

前記三次元再構築データから所定の断面像を抽出し、当該抽出された断面像と前記試料の加工部分の加工断面像との比較情報に基づき、加工を停止する荷電粒子線装置であって、

前記試料を透過した透過電子を検出する透過電子検出器と、
前記透過電子から形成される透過電子像を表示する手段と、
微小試料片を傾斜しながら連続傾斜透過電子像を取得する手段と、
前記連続傾斜透過像を用いて三次元再構成する三次元再構成システムとを具備し、
連続傾斜透過像を用いて三次元再構成した三次元再構成データから加工終点となる断面像を抽出し、現在の加工断面像と照合し、一致した際に加工終点と判断し、加工を停止することを特徴とする荷電粒子線装置。

【請求項 3】

請求項2記載の荷電粒子線装置において、イオンビームによる加工断面の二次荷電粒子像を取得し、取得した二次荷電粒子像と三次元再構成データから抽出した全断面像を照合し、一致する断面が検出された場合、イオンビームによる加工と電子ビームによる観察を繰り返すことを特徴とする荷電粒子線装置。

【請求項 4】

請求項3記載の荷電粒子線装置において、一致する断面が検出されなかった場合、その加工断面を不良部分と認識し、加工を停止することを特徴とする荷電粒子線装置。

【請求項 5】

請求項2～4のいずれかに記載の荷電粒子線装置において、前記試料はメカニカルプローブで摘出した微小試料片であり、当該微小試料片を加工して薄膜試料を作製することを特徴とする荷電粒子線装置。

【請求項 6】

請求項2記載の荷電粒子線装置において、三次元再構成データから加工終点となる断面Aを抽出し、現在の加工断面Bと照合し、三次元再構成データから一致する断面Cを抽出し、断面Aに対する断面Cの試料回転角度及び試料傾斜角度を算出し、算出した試料回転角度と傾斜角度を現在の試料ステージに反映することを特徴とする荷電粒子線装置。

【請求項 7】

請求項5記載の荷電粒子線装置において、前記薄膜試料の両断面の二次荷電粒子像を三次元再構成データから抽出し、当該両断面の二次荷電粒子像に基づいて前記薄膜試料の試料厚さを算出することを特徴とする荷電粒子線装置。

【請求項 8】

試料を設置する試料ステージと、
イオンビームを発生させ試料面上に集束させて走査させるイオンビーム照射系と、
電子ビームを発生させて試料面上に集束させて走査させる電子ビーム照射系と、
前記試料から発生する二次荷電粒子を検出する検出器と、
前記検出器で検出された二次荷電粒子から二次荷電粒子像を形成し、複数の断面二次荷電粒子像から三次元再構築データを取得する演算部と、を備え、

前記三次元再構築データから所定の断面像を抽出し、当該抽出された断面像と前記試料の加工部分の加工断面像との比較情報に基づき、加工を停止する荷電粒子線装置であって、

前記試料はメカニカルプローブで摘出した微小試料片であり、当該微小試料片を加工して薄膜試料を作製し、前記薄膜試料の両断面の二次荷電粒子像を三次元再構築データから抽出し、当該両断面の二次荷電粒子像に基づいて前記薄膜試料の試料厚さを算出することを特徴とする荷電粒子線装置。

【請求項 9】

試料を設置する試料ステージと、
イオンビームを発生させ試料面上に集束させて走査させるイオンビーム照射系と、

10

20

30

40

50

電子ビームを発生させて試料面上に集束させて走査させる電子ビーム照射系と、
前記試料から発生する二次荷電粒子を検出する検出器と、
前記試料を透過した透過電子を検出する透過電子検出器と、
前記透過電子から形成される透過電子像を表示する手段と、
微小試料片を傾斜しながら連続傾斜透過電子像を取得する手段と、
前記連続傾斜透過像を用いて三次元再構成できる三次元再構成システムと、を備え、
連続傾斜透過像を用いて三次元再構成した三次元再構成データから加工終点となる断面
像を抽出し、現在の加工断面像と照合し、一致した際に加工終点と判断し、加工を停止す
ることを特徴とする荷電粒子線装置。

【発明の詳細な説明】

10

【技術分野】

【0001】

本発明は、荷電粒子線装置及び試料作成方法に係り、特にイオンビームを用いて試料の特定箇所の微細加工を行い、加工した断面を電子ビームで観察する荷電粒子線装置に関する。

【背景技術】

【0002】

イオンビームを照射し、試料を加工するFIB装置と電子線照射により試料を観察するSEMまたはSTEMとの組み合わせに関する技術は、特許文献1に開示されている。FIB-SEM装置は、FIB照射軸と電子ビーム照射軸が鋭角に配置しており、その交点に試料が設置してある。そのため、FIB加工した断面をそのままSEM観察できる特徴がある。

20

【0003】

また、特許文献2によると、FIB加工とSEM観察を繰返し行う三次元構造解析法が述べられている。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0004】

【特許文献1】特開平11-273613号公報

【特許文献2】特開2009-26621号公報

【発明の概要】

30

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

従来、FIB加工とSEM/(S)TEM観察は、別々の装置で行うことが多かった。FIB加工装置で作製した試料を、SEM/(S)TEM装置に入れて観察する。このFIB加工とSEM/(S)TEM観察の繰返しにより、徐々に加工位置を特定していく。しかし、別々の装置で各自業を行つたため、目標物を削りすぎてしまい、消失してしまうなどの問題があった。そこで、加工精度向上の観点から、FIB装置とSEM装置を一体型にしたFIB-SEM装置が発表され、改善が計られている。

【0006】

一般的な半導体デバイスの断面SEM観察用加工やTEM/STEM観察用薄膜加工は、FIB加工とSEM観察を何度も繰返し、目標物が加工断面に露出するまで行う。すなわち、FIB加工後、ユーザーが試料断面構造を確認し、目標物が現れているか否かを判断し、目標物が現れるまでこの一連の作業を続ける。FIB加工量は、ユーザーが任意に決めることができる。しかし、これは経験や勘に頼ることが多く、加工量を多目に設定してしまい、目標物を損失してしまうという問題もあった。また、微細化したデバイスの構造は複雑であり、半導体の知識が浅いユーザーは、加工毎に変化する試料構造を正しく判断できず、加工終点を誤るという問題があった。また、不良解析においては、不良部分などの特定箇所を残したまま断面加工や薄膜加工する必要がある。通常、加工前に不良部分にマーキングを付け、このマーキングを目印として加工を行う。しかし、人為的ミスなどの原因によりマーキング位置がずれてしまうと、不良部分を削りすぎてしまい損失してしまうという問題があつた

40

50

。

【0007】

本発明の目的は、荷電粒子線装置により、試料中の所望部分を適切に加工することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0008】

上記課題に鑑み、本発明は、例えば、試料を設置する試料ステージと、イオンビームを発生させ試料面上に集束させて走査させるイオンビーム照射系と、電子ビームを発生させて試料面上に集束させて走査させる電子ビーム照射系と、前記試料から発生する二次荷電粒子を検出する検出器と、前記検出器で検出された二次荷電粒子から二次荷電粒子像を形成し、複数の断面二次荷電粒子像から三次元再構築データを取得する演算部と、を備えた荷電粒子線装置であって、前記三次元再構築データから所定の断面像を抽出し、当該抽出された断面像と前記試料の加工部分の加工断面像との比較情報に基づき、加工を停止する、との構成を有する。

10

【発明の効果】

【0009】

本発明によれば、高位置精度でSEM/(S)TEM観察用試料を作製できる。

【図面の簡単な説明】

【0010】

20

【図1】本発明の一実施例の荷電粒子線装置の構成を示した模式図。

【図2】一般的な連続断面FIB加工・SEM観察による三次元再構築手順を示す概略図。

【図3】一般的な連続断面FIB加工・SEM観察による三次元再構築手順を示すフローチャート。

【図4】本発明による三次元再構築データから加工終点を自動検知する加工方法のフローチャート。

【図5】本発明による三次元再構築データから加工終点を自動検知する加工方法を示す概略図。

【図6】本発明による三次元再構築データから不良部分を自動検知する加工方法のフローチャート。

30

【図7】本発明による三次元再構築データから不良部分を自動検知する加工方法を示す概略図。

【図8】バルク試料からメカニカルプローブを用いて、微小試料片を摘出する手順を示す概略図。

【図9】メカニカルプローブを用いて摘出した微小試料片に対する、連続断面FIB加工・SEM観察による三次元再構築手順を示す概略図。

【図10】メカニカルプローブを用いて摘出した微小試料片において、本発明による三次元再構築データから加工終点を自動検知し、薄膜試料を作製する加工方法のフローチャート。

【図11】メカニカルプローブを用いて摘出した微小試料片において、本発明による三次元再構築データから加工終点を自動検知し、薄膜試料を作製する加工方法を示した概略図。

40

【図12】メカニカルプローブを用いて摘出した微小試料片において、本発明による三次元再構築データから不良部分を自動検知し、薄膜試料を作製する加工方法のフローチャート。

【図13】メカニカルプローブを用いて摘出した微小試料片において、本発明による三次元再構築データから不良部分を自動検知し、薄膜試料を作製する加工方法を示す概略図。

【図14】本発明による荷電粒子線装置を用いた試料回転角度と試料傾斜角度を試料ステージ座標に反映させる方法を示した概略図。

【図15】本発明の一実施例の荷電粒子線装置の構成を示した模式図。

50

【図16】一般的な連続傾斜透過像による三次元再構成手順を示す概略図。

【図17】一般的な連続傾斜透過像による三次元再構成手順を示すフローチャート。

【発明を実施するための形態】

【0011】

〔装置構成〕

図1は、FIB加工による微細加工と同一チャンバー内でSEM像観察が可能であり、連続断面SEM像の取得が可能な荷電粒子線装置の構成を示した模式図である。イオンビーム照射系1は、イオン源2、集束レンズ3、偏向器4、対物レンズ5から構成され、イオンビーム6を形成し、試料面上に集束・走査させる機能を有する。電子ビーム照射系7は、電子源8、集束レンズ9、偏向器10、対物レンズ11から構成され、電子ビーム12を形成し、試料13面上に集束・走査させる機能を有する。上記、イオンビーム照射系1と電子ビーム照射系7は、チャンバー14を共用し、試料ステージ15に設置された試料13上の同一箇所を走査可能である。10

【0012】

イオンビーム6及び電子ビーム12照射により発生した二次荷電粒子16は、二次荷電粒子検出器17により検出される。チャンバー14は、真空ポンプ21により真空引きされている。なお、チャンバー14には、イオンビーム照射系1及び電子ビーム照射系7の他に、試料13から微小試料片を摘出可能なメカニカルプローブ18、ガスを噴出しデポジション可能なデポジションノズル19、試料ステージ15、透過電子検出器20、を取り付けることも可能である。20

【0013】

イオンビーム照射系1と電子ビーム照射系7、二次荷電粒子検出器17、透過電子検出器20、試料ステージ15、メカニカルプローブ18、デポジションノズル19は制御部23により制御される。三次元再構築システム22のプログラムも制御部23上で実行されるが、別の演算部等で実行されてもよい。光学系の設定ウインドウ、二次荷電粒子線像、透過電子像、三次元再構築結果は、CRT24上に表示される。

【0014】

図2に一般的な連続断面FIB加工・SEM観察による三次元再構築手順、図3にフローチャートを示す。以下一連の作業は制御部23で行われ、CRT24上に表示される。初めに試料13に穴25をFIB26で作製して断面27を露出させる(図2a)。この露出させた断面27は、電子線ビーム12を用いたSEM観察の対象断面になる。この断面部分にスライス加工領域[1]を設定し、FIB加工をする。次に、この断面をSEM観察し、荷電粒子線像を取得する。スライス加工領域をZ方向にシフトさせて領域[2]をFIB加工し、SEMにて断面の荷電粒子線像を取得する。加工・観察領域を[2] [3] [4] [5] . . . のように一定間隔づつZ方向へ連続的にシフトさせながら繰り返すと、複数枚の連続断面荷電粒子線像28が取得できる(図2b)。これを制御部23で三次元再構築処理することにより、三次元再構築データ29を形成することができる(図2c)。三次元再構築処理は、SEM像を取得するたびに行っても良いし、全測定終了後に行っても良い。三次元再構築データ29からは、任意の断面30(点線)を抽出したり(図2d)、任意方向から観察することができる。三次元再構築データ29の分解能は、取得するSEM像の画素数と加工ピッチに関係する。すなわち、単位画素当たりの長さを短くするため、高画素数のSEM像を短ピッチで加工しながら取得することが良い。また、SEM像に試料奥行き情報が含まれてしまうと、三次元再構築時のアーティファクトの原因になり、三次元再構築データの精度が低下する。そのため、SEMの加速電圧は、試料奥行き情報を含まないように設定するのが望ましい。高分解能で形成した三次元再構築データ29であれば、斜めに断面像を抽出しても分解能は低下しない。三次元再構築データ作成には、斜めから取得した断面像を垂直方向から照射した場合の断面像に変換してから三次元再構築データを作成することもできる。3040

〔加工終点の自動検知方法〕

図4に、本発明による三次元再構築データ29から加工終点を自動検知する加工方法のフローチャートを示す。試料13の観察対象を含まない領域で連続断面荷電粒子線像28を取得50

し、三次元再構築データ29を形成する。三次元再構築データ29内から加工終点となる断面像をユーザーが抽出し、参照像40とする。

【0015】

次に観察対象を含む領域に試料13を移動する。FIB断面加工を行い、断面27をSEM観察する。参照40像と撮影したSEM像41を照合する。画像照合のアルゴリズムは、精度良く照合できれば何でもよい。例えば、エッジを強調する方法、特徴点を抽出する方法、形状情報による照合方法などがある。像が一致しない場合、加工位置を設定値分だけZ方向にシフトしFIB加工とSEM観察を繰り返す。一方、一致した場合、この加工位置を加工終点と判断し、加工が自動停止する。その後、目標物の解析を行っていく。

【0016】

図5に、上記手順を模式図を用いて説明する。三次元再構築データ29から加工終点となる断面像をユーザーが抽出し、参照像40とする(図5a)。観察対象を含む領域でFIB加工とSEM観察を行い(図5b)、SEM像41を取得する(図5c)。参照像40とSEM像41を照合する(図5d)。本実施例では一致していないので、FIB加工位置を設定値分だけZ方向にシフトし、FIB加工・SEM観察を行なう(図5e)。SEM像41を取得する(図5f)。参照像40とSEM像41を照合する(図5g)。画像が一致したので、加工終点と判断し、加工を自動停止する。本実施例では、FIB加工・SEM観察を2回繰り返したが、実際の作業では、参照像40とSEM像41が一致するまで繰り返す。

【0017】

このように、観察対象物を含まない領域を用いて三次元再構築を行い、加工終点画像を抽出してから、観察対象物を含む領域で加工を行い、抽出した加工終了画像と加工断面を比較することで、観察対象物を失うことなく自動的に加工を終了することができる。

(不良部分の自動検知方法)

図6に、本発明による三次元再構築データから不良60部分を自動検知する加工方法のフローチャートを示す。試料13の不良60部分を含まない領域で連続断面荷電粒子線像28を取得し、三次元再構築データ29を形成する。不良60を含む領域に試料13を移動する。FIB断面加工を行い、断面をSEM観察する。三次元再構築データ29内の断面像61と撮影したSEM像41の照合を、全ての断面像61に対して実行する。三次元再構築データ29内の断面は、三点、 (X_1, Y_1, Z_1) 、 (X_2, Y_2, Z_2) 、 (X_3, Y_3, Z_3) が指定されれば決定できる。三点の各座標を連続的に変化させながら、断面像61を抽出し、SEM像41との照合を行っていく。照合のアルゴリズムは、図4の説明に述べた方法と同じでよい。一致する断面が検出された場合、加工位置を設定値分だけZ方向にシフトしFIB加工とSEM観察を繰り返す。一致しない場合、この加工位置を不良60部分と判断し、加工が自動停止する。

【0018】

図7に、上記手順を模式図を用いて説明する。不良60を含まない領域で三次元再構築データ29を形成する(図7a)。不良60部分を含む領域でFIB加工とSEM観察を行い(図7b)、SEM像41を取得する(図7c)。三次元再構築データ29内の全ての断面像61とSEM像41を照合する(図7d)。ここでは、簡略のため5つの断面像61を抽出した。一致する断面像61(断面2)が検出されたので、FIB加工位置を設定値分だけZ方向にシフトし、FIB加工・SEM観察を行い(図7e)、SEM像41を取得する(図7f)。一致する断面像61が検出されなかつたので、この加工位置を不良60部分と判断し、加工が自動停止する(図7g)。本実施例では、FIB加工・SEM観察を2回繰り返したが、不良60部分が検出されるまで繰り返す。

【0019】

このように、不良部分を含まない領域で三次元再構築を行い、あらゆる断面の画像が得られるようにしておき、一方で不良が含まれると考えられる領域の加工断面と前記三次元再構築のあらゆる断面を比較し、一致することが無ければその部分を不良と判断することにより、不良部分を含む断面を自動的に抽出することができる。

【0020】

なお、不良が含まれると考えられる領域の加工断面と三次元再構築によるあらゆる断面のうち、一致する断面が存在すれば、三次元再構築画像からの断面の抽出も、加工のシフ

10

20

30

40

50

ト方向と一致する方向にシフトして抽出すればよい。そのようにすれば、三次元再構築による断面の抽出の計算を著しく省略することができる。

【微小試料片の抽出】

図8に、バルク試料80からメカニカルプローブ18を用いて、微小試料片81を抽出する手順を示す。バルク試料80を荷電粒子線装置内に挿入し、デポジション機能により試料表面にデポジション膜82を形成する(図8a)。次に、FIB26で、その周囲を一部残して加工し、試料傾斜して底部を加工、試料傾斜を戻す(図8b)。デポジション機能を用いてメカニカルプローブ18を試料表面に固定する(図8c)。FIB26で微小試料片81とバルク試料80の接続部分を切り離し、微小試料片81を抽出する(図8d)。試料台83に微小試料片81をデポジション機能を用いて固定する(図8e)。メカニカルプローブ18をFIB26で切断する(図8f)。FIB26を用いて微小試料片81を薄膜加工し、薄膜試料84を作製する(図8g)。
10

【0021】

図9に、メカニカルプローブ18を用いて抽出した微小試料片81に対する、連続断面FIB加工・SEM観察による三次元再構築手順を示す。微小試料片81(図9a)をFIB加工して断面27を露出させる(図9b)。この断面部分にスライス加工領域[1]を設定し、FIB加工をする。次に、この断面をSEM観察し、荷電粒子線像を取得する。スライス加工領域をZ方向に設定値分シフトさせて領域[2]をFIB加工し、SEMにて断面の荷電粒子線像を取得する。加工・観察領域を[2] [3] [4] [5] . . . のように一定間隔づつZ方向へ連続的にシフトさせながら繰り返すと、複数枚の連続断面荷電粒子線像28が取得できる(図9c)。これを制御部23で三次元再構築処理することにより、三次元再構築データ29を形成することができる(図9d)。三次元再構築データ29からは、任意の断面像61(点線)を抽出したり(図2d)、任意方向から観察することができる(図9e)。
20

【微小試料片の加工終点検知】

図10に、メカニカルプローブ18を用いて抽出した微小試料片81において、本発明による三次元再構築データから加工終点を自動検知し、薄膜試料84を作製する加工方法のフローチャートを示す。試料13の目標物を含まない任意箇所で連続断面荷電粒子線像28を取得し、三次元再構築データ29を形成する。三次元再構築データ29内から加工終点となる断面像61を抽出し、参照像40とする。目標物を含む領域に試料13を移動する。FIB断面加工を行い、断面27をSEM観察する。参照像40と撮影したSEM像41を照合する。照合のアルゴリズムは、図4の説明で述べた方法と同じでよい。像が一致しない場合、加工位置をシフトしFIB加工とSEM観察を繰り返す。一致した場合、この加工位置を加工終点と判断し、加工が自動停止する。試料13の表裏を反転する。FIB断面加工を行い、断面をSEM観察する。参照像40と撮影したSEM像41を照合する。照合のアルゴリズムは、図4の説明で述べた方法と同じでよい。一致しない場合、加工位置をシフトしFIB加工、SEM観察、参照像40との照合を、像が一致するまで繰り返す。一致した場合、STEM観察を行ない、試料厚さが十分であるか確認する。SEM観察方向は、試料断面に対して斜めであるため、透過電子を観察すると、試料内部の構造物数を数えることができる。三次元再構築データ29内の単位画素当たりの長さは既知であるため、両断面のSEM像とSTEM像から試料厚さを見積もることができる。試料厚さが目的厚さに達していれば、加工終点と判断し加工を自動停止する。試料厚さが不十分であれば、連続FIB加工・SEM観察、参照像との照合及びSTEM観察を、目的厚さに達するまで繰り返す。
30
40

【0022】

図11に、上記手順を模式図を用いて説明する。取得した三次元再構築データ29から加工終点となる断面像を抽出し、参照像40とする(図11a)。目標物を含む領域に移動し、FIB加工とSEM観察を行い(図11b)、SEM像41を取得する(図11c)。参照像40とSEM像41を照合する(図11d)。本実施例では一致していないので、FIB加工位置を設定値分だけシフトし、FIB加工・SEM観察を行なう(図11e)。SEM像41を取得する(図11f)。参照像40とSEM像41を照合する(図11g)。画像が一致したので、試料13の表裏を反転する(図11h)。断面27をFIB加工・SEM観察する(図11i)。参照像40と取得したSEM像41を照合する(図11j)。一致したので、STEM像110を撮影し内部構造を確認する(図11k)。本実施例では、横
50

方向の構造物111が2本あるため、薄膜試料84が厚く、目的厚さに達していない。次の一致する断面27が検知されるまで、連続FIB加工・SEM観察を繰り返す(図11l)。STEM像110を撮影する(図11m)。横方向の構造物111が一本になったので、薄膜試料の厚さが薄くなり、目的厚さに達した。加工終点と判断し、加工を自動停止する。

[微小試料片の不良部分の自動検知]

図12に、メカニカルプローブ18を用いて摘出した微小試料片81において、本発明による三次元再構築データから不良60部分を自動検知し、薄膜試料84を作製する加工方法のフローチャートを示す。はじめに、メカニカルプローブ18を用いて、試料13内の不良60を含む部分から微小試料片81を摘出し、試料台83に固定しておく。微小試料片81又はバルク試料80の不良60を含まない任意箇所で連続断面荷電粒子線像28を取得し、三次元再構築データ29を形成する。不良60を含む領域に試料13を移動する。FIB断面加工を行い、断面27をSEM観察する。三次元構築データ29内の断面像61と撮影したSEM像41を全ての断面像61に対して実行する。また、断面像61の抽出方法、照合のアルゴリズムは、図6の説明で述べた方法と同一でよい。一致する断面像61が検出された場合、加工位置を設定値分だけシフトしFIB加工とSEM観察を繰り返す。一致しない場合、この加工位置を不良部分と判断し、加工終点となり、加工が自動停止する。試料13の表裏を反転する。FIB断面加工を行い、断面27をSEM観察する。三次元再構築データ29内の断面像61と撮影したSEM像41を全ての断面像61に対して実行する。また、断面像61の抽出方法、照合のアルゴリズムは、図6の説明で述べた方法と同一でよい。一致する断面像61が検出された場合、加工位置を設定値分だけシフトしFIB加工、SEM観察を繰り返す。一致しない場合、この加工位置を不良60部分と判断し、加工が自動停止する。

【0023】

図13に、上記手順を模式図を用いて説明する。不良を含まない領域で三次元再構築データ29を形成する(図13a)。不良60を含む領域でFIB加工とSEM観察を行い(図13b)、SEM像41を取得する(図13c)。三次元再構築データ29内の全ての断面像61とSEM像41を照合する(図13d)。一致する断面像61が検出された場合、FIB加工位置を設定値分だけシフトし、FIB加工とSEM観察を、一致する断面像61が検出されなくなるまで繰り返す。本実施例では一致する断面が検出されなかったので、この断面27に不良60が含まれていると判断し、加工が自動停止する。試料13の表裏を反転する(図13e)。FIB加工・SEM観察を行なう(図13f)。SEM像41を取得する(図13g)。三次元構築データ29内の全ての断面像40とSEM像41を照合する(図13h)。一致する断面像61が検出された場合、FIB加工位置を設定値分だけシフトし、FIB加工とSEM観察を、一致する断面像61が検出されなくなるまで繰り返す。本実施例では一致する断面像61が検出されなかったので、この断面26に不良60が含まれていると判断し、加工を自動停止する。

[試料回転角度、試料傾斜角度の自動調整]

図14に、本発明による荷電粒子線装置を用いた試料回転角度と試料傾斜角度を試料ステージに反映させる方法の一実施例を示す。三次元再構築データ29から加工終点となる断面像61(断面Aとする)を抽出する(図14a)。試料13の目標物を含む箇所に移動する。FIB加工とSEM観察を行う(図14b)。SEM像41(断面Bとする)を取得する(図14c)。試料傾斜が構造物に対してずれているため、プラグが-Y軸方向に向って鋭角になっている。また、試料回転が構造物に対してずれているため、基板141と酸化膜142がX方向に交互に観察されている。三次元再構築データ29内から一致する断面像61(断面C)を抽出する(図14d)。まず、断面Aに対する断面Cの回転角度を算出する。三次元再構築データ29に断面Aと断面Cを表示し(図14e)、X-Z面143を観察する(図14f)。断面Aと平行で、断面Cと一部交わる断面像61(断面D)を抽出し、断面Cとのなす角度144を算出する(図14g)。次に、断面Aに対する断面Cの傾斜角度を算出する。三次元再構築データ29に断面Aと断面Cを表示し(図14e)、Y-Z面145を観察する(図14h)。断面Aと平行で、断面Cと一部交わる断面像61(断面E)を抽出し、断面Cとのなす角度146を算出する(図14i)。上記手法により算出した試料回転角度、試料傾斜角度を制御部23に反映させ、試料ステージ15にフィードバックし、現在の座標に反映させる。この操作により加工面は、断面Aと平行な面になる

10

20

30

40

50

。以降の操作には、図4から図13に示す加工方法を適用できる。

【0024】

図15に本発明の一実施例の荷電粒子線装置の構成を示した模式図を示す。図1に示す構成に加えて、試料ホルダー150、サイドエントリーステージ151、三次元再構成システム152を備えている。試料ホルダー150、サイドエントリーステージ151、三次元再構成システム152は制御部23により制御される。

〔回転式試料台を用いた三次元再構成方法〕

図16に一般的な連続傾斜透過像による三次元再構成手順、図17にフローチャートを示す。以下、一連の作業は、制御部23で行なわれ、CRT24上に表示される。試料13からメカニカルプローブ18で摘出した微小試料片81をFIB26で薄膜試料84又はピラー状試料160に加工する。微小試料片81は、試料ホルダー31に取付けられた試料台83に固定されている。試料台83形状は、薄膜試料84作製時には図8で示した半円形試料台161、ピラー状試料160の作製時には360°回転可能な針状試料台162が望ましい。以下では、ピラー状試料160を用いて説明する。ピラー状試料160の回転軸164が電子ビーム12入射方向に対して垂直になるように配置する(図15a)。試料を一定間隔で傾斜しながらSTEM像110を撮影し、連続傾斜透過像163を取得する(図15b)。これを制御部23で三次元再構成処理することで、三次元再構成データ165を形成することができる(図15c)。三次元再構成データ165からは、任意の断面30(点線)を抽出したり(図15d)、任意方向から観察することができる。

【0025】

三次元再構成データ165の精度は、傾斜角度や撮影範囲に影響する。可能な限り、傾斜角度は細かく、撮影範囲は広くするのが望ましい。薄膜試料84では、試料ホルダー31や半円形試料台161の影になり観察できない範囲(ミッシングゾーン)が存在し、再構成精度が低下する。針状試料台162では、ミッシングゾーンが無く、0°から360°の全範囲が観察できるため、再構成精度が高い。STEM像には、試料の結晶情報を含む明視野STEM像、組成情報を含む暗視野STEM像がある。結晶情報である回折コントラストは、結晶の向きにより変化するため、傾斜毎に異なるコントラスト像になる。一方、暗視野STEM像は、傾斜によりコントラストが変化しない。再構成精度は、暗視野-STEM像で行なった方が高くなる。

【0026】

二次荷電粒子像には、二次電子像と反射電子像がある。前者は、試料の形状や凹情報、後者は、組成情報である。暗視野STEM像と反射電子像は、共に組成情報であるため、比較・照合することが可能である。以上、連続傾斜透過像163の三次元再構成データ165から抽出した参照像40に対して、図4から図14に示す加工方法が適用できる。

【符号の説明】

【0027】

- 1 イオンビーム照射系
- 2 イオン源
- 3 集束レンズ
- 4 偏向器
- 5 対物レンズ
- 6 イオンビーム
- 7 電子ビーム照射系
- 8 電子源
- 9 集束レンズ
- 10 偏向器
- 11 対物レンズ
- 12 電子ビーム
- 13 試料
- 14 チャンバー

10

20

30

40

50

15	試料ステージ	
16	二次荷電粒子	
17	二次荷電粒子検出器	
18	メカニカルプローブ	
19	デポジションノズル	
20	透過電子検出器	
21	真空ポンプ	
22	三次元再構築システム	
23	制御部	
24	CRT	10
25	穴	
26	FIB	
27	断面	
28	連続断面荷電粒子線像	
29	三次元再構築データ	
30	任意の断面	
31	試料ホルダー	
32	サイドエントリーステージ	
33	三次元再構成システム	
40	参照像	20
41	SEM像	
60	不良	
61	断面像	
80	バルク試料	
81	微小試料片	
82	デポジション膜	
83	試料台	
84	薄膜試料	
110	STEM像	
111	横方向の構造物	30
140	プラグ	
141	基板	
142	酸化膜	
143	X-Z面	
144	角度	
145	Y-Z面	
146	角度	
150	試料ホルダージ	
151	サイドエントリーステー	
152	三次元再構成システム	40
160	ピラー状試料	
161	半円形試料台	
162	針状試料台	
163	連続傾斜透過像	
164	回転軸	

【図1】

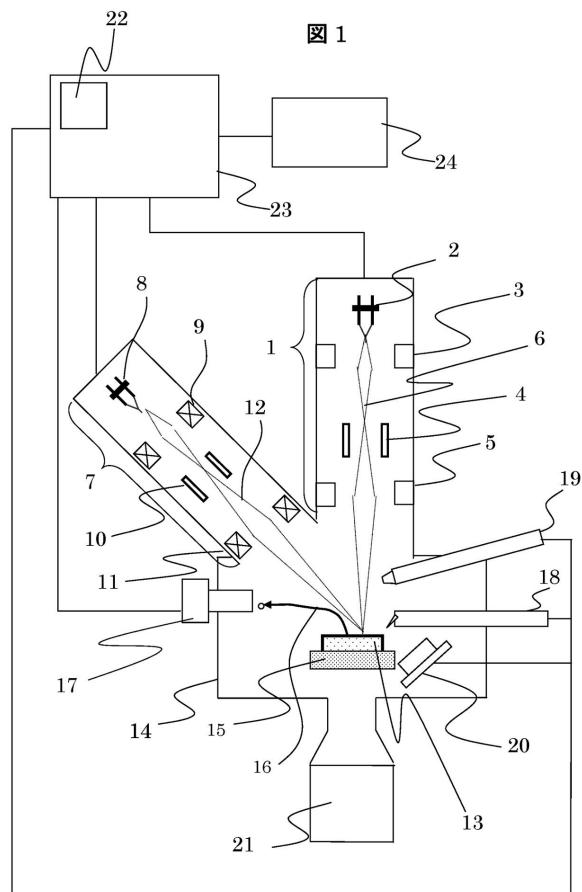


図1

【図2】

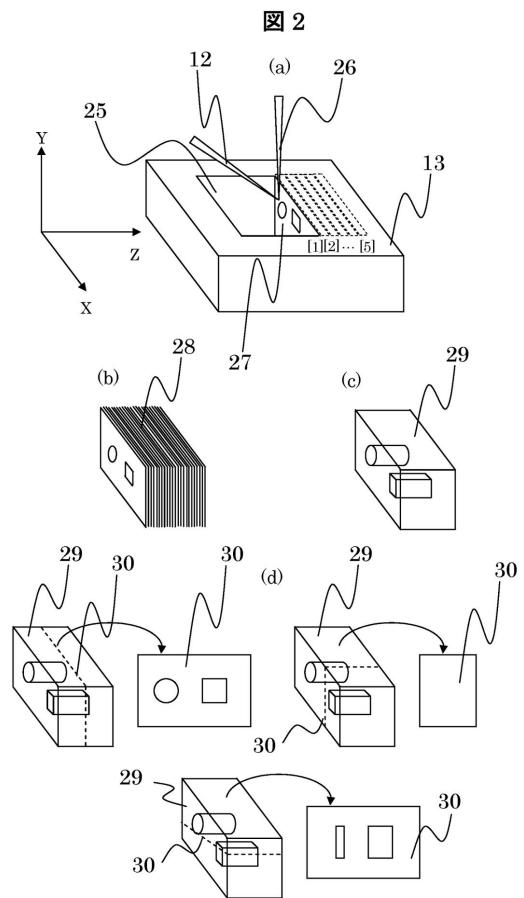
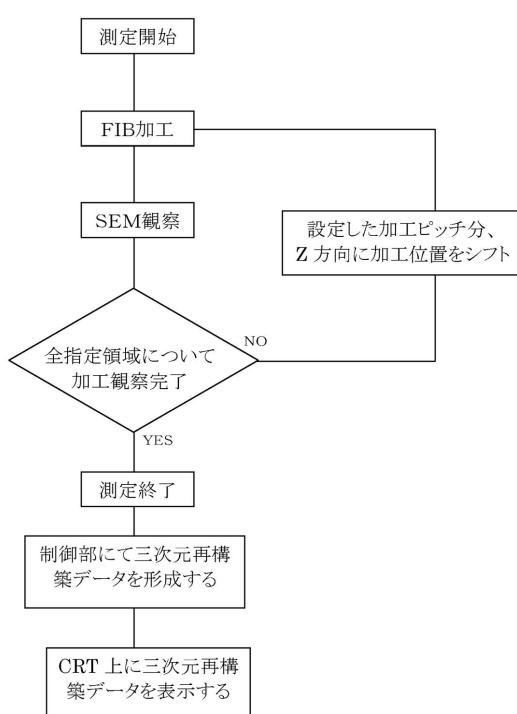


図2

【図3】

図3



【図4】

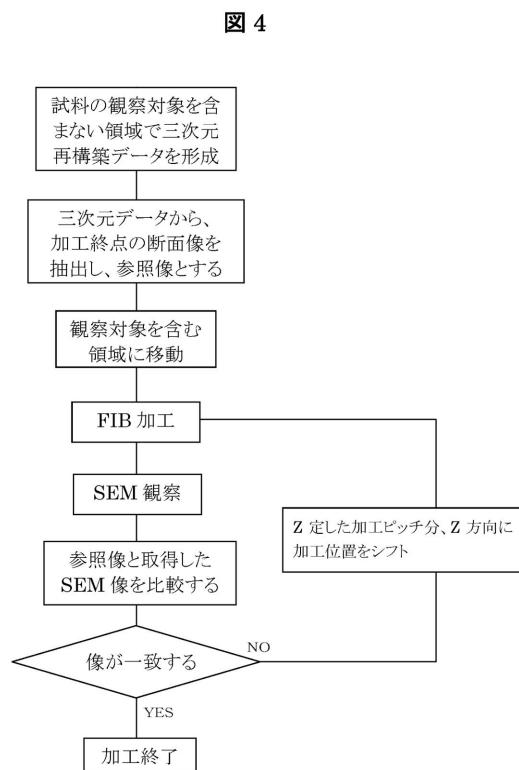
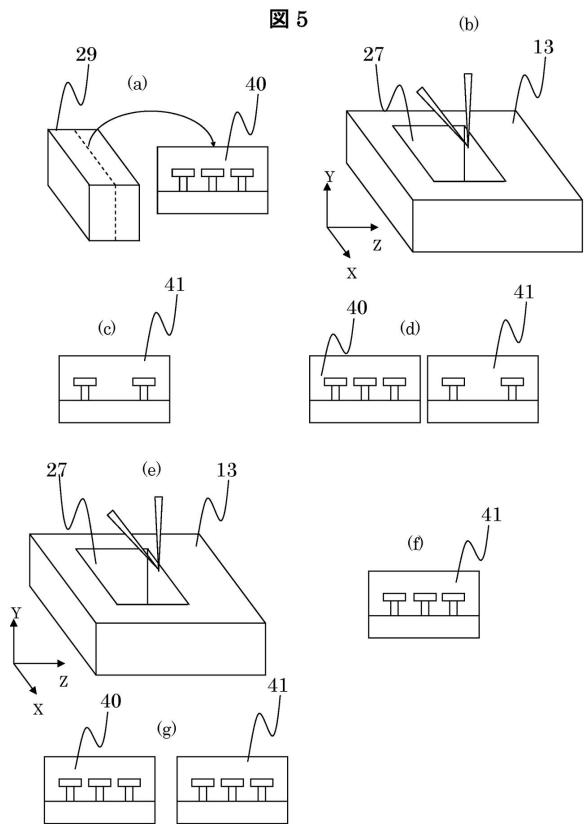
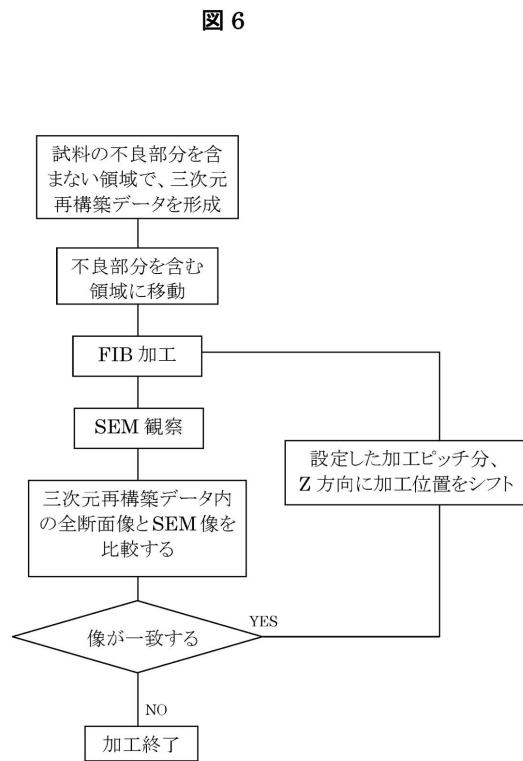


図4

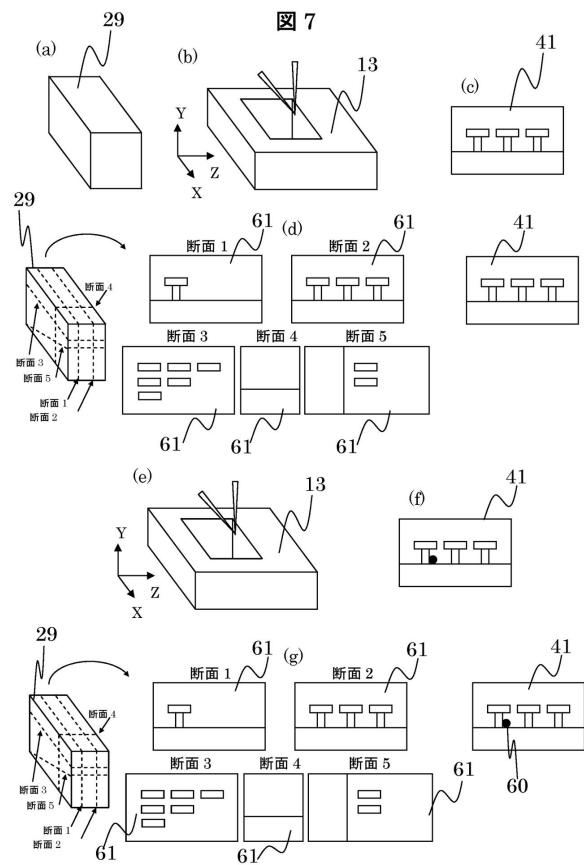
【図5】



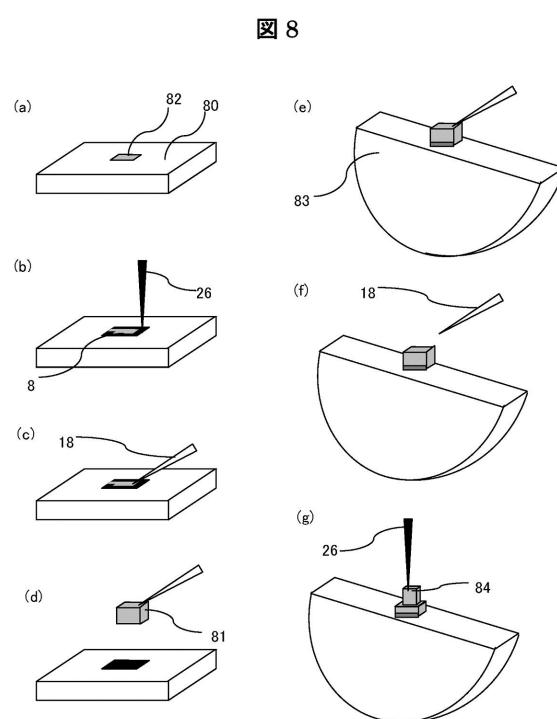
【図6】



【図7】

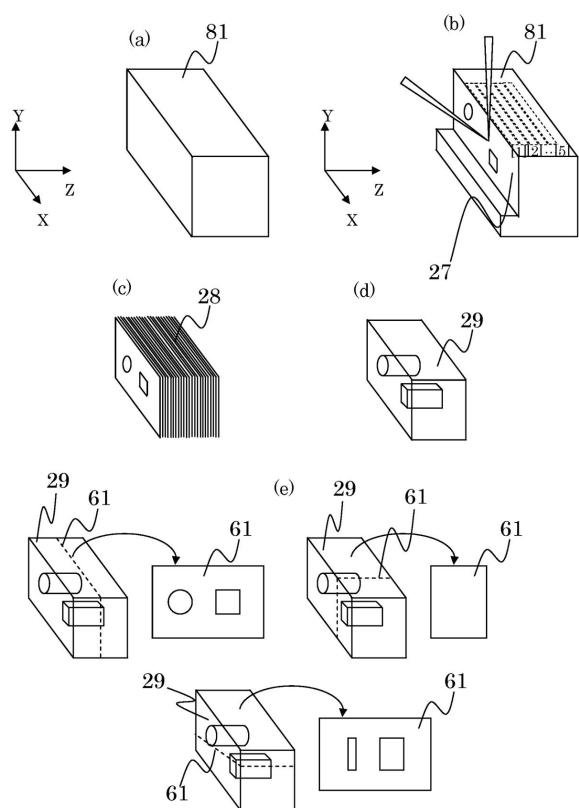


【図8】



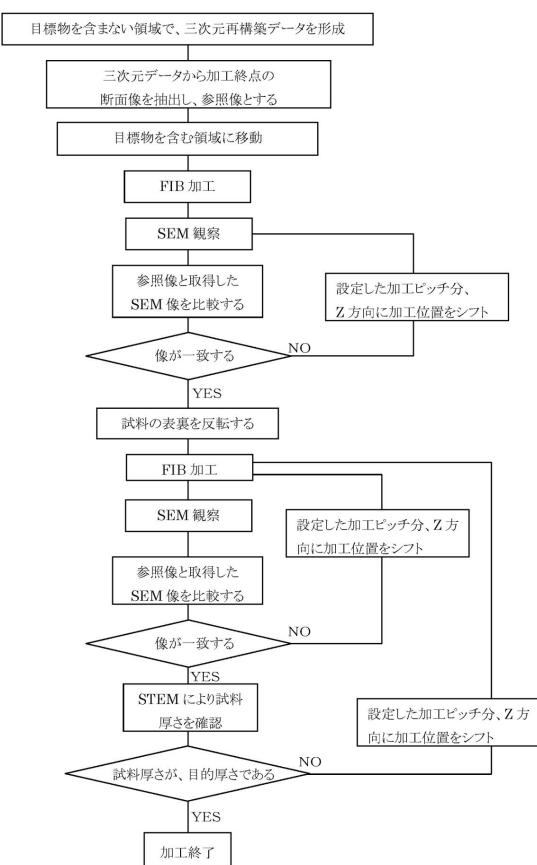
【図9】

図9



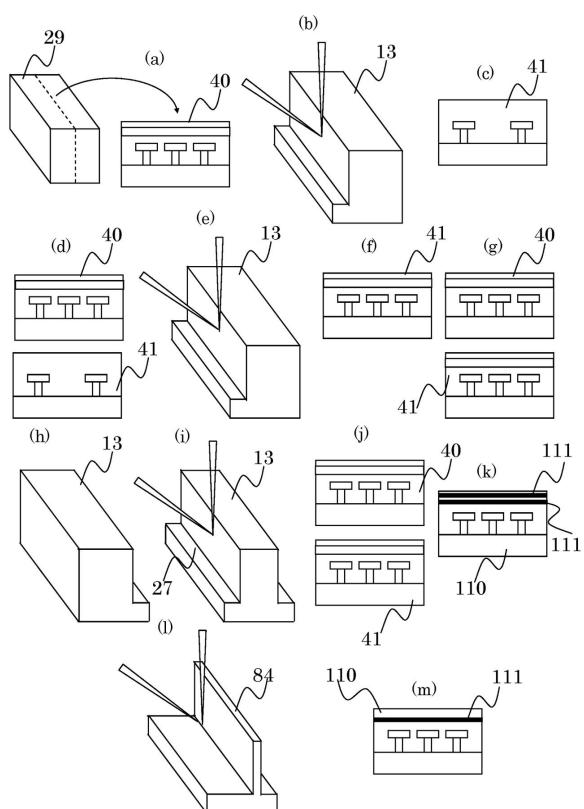
【図10】

図10



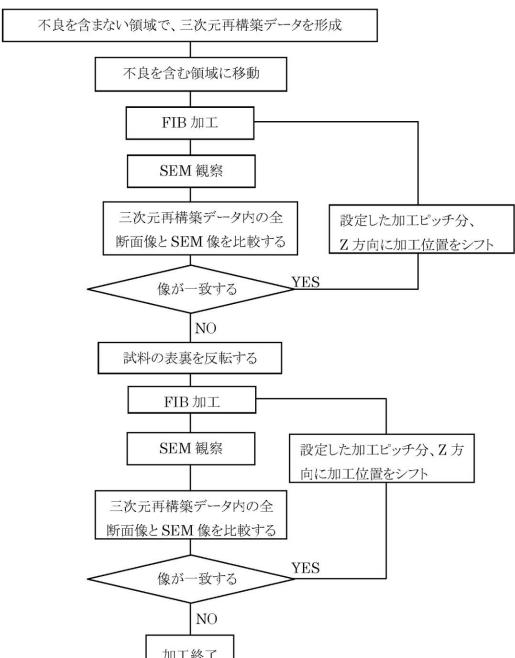
【図11】

図11

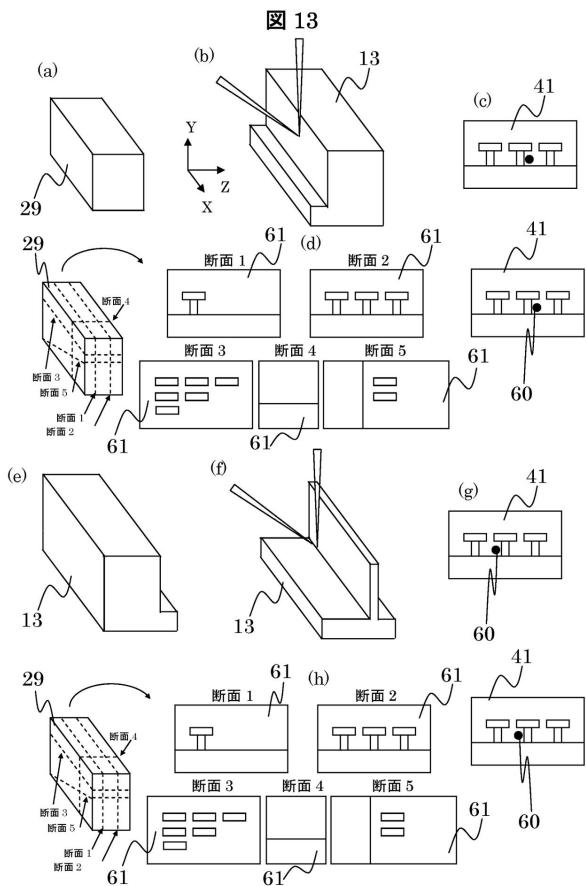


【図12】

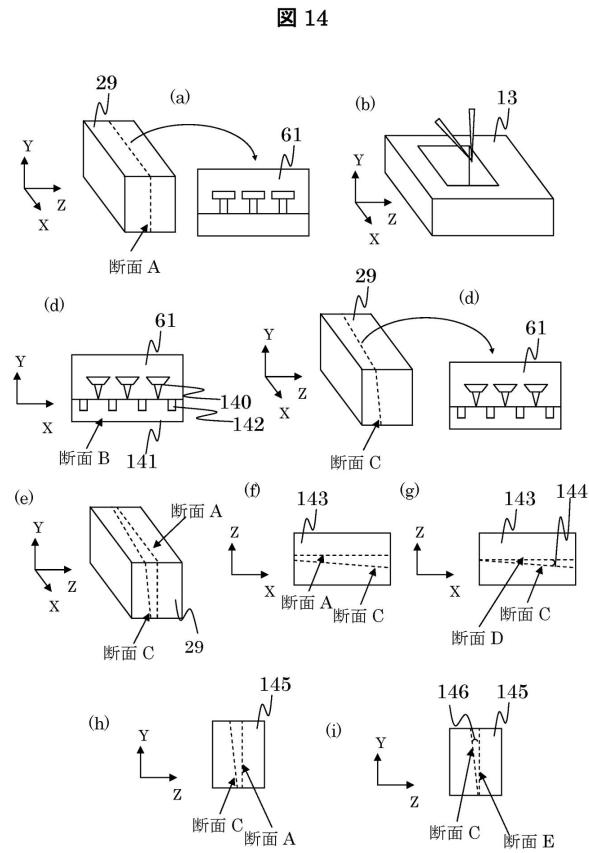
図12



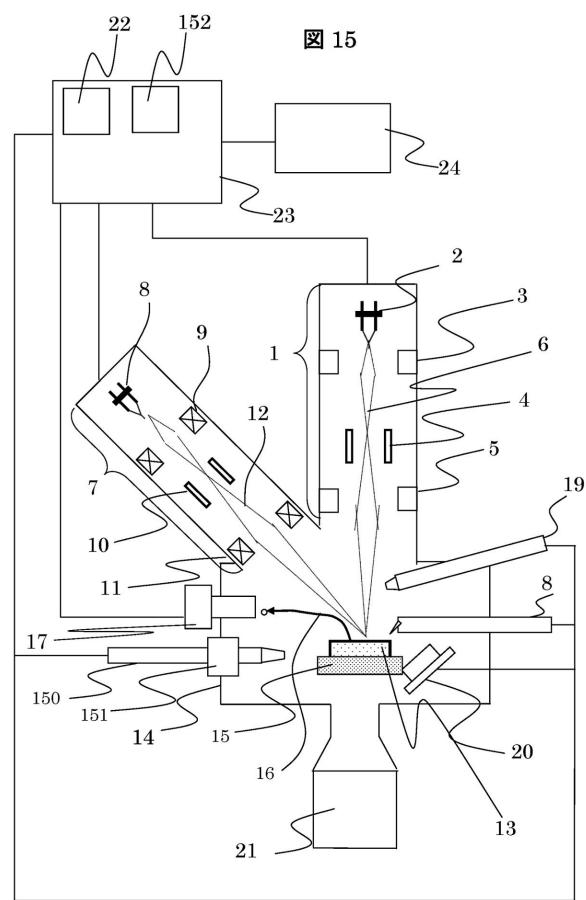
【図13】



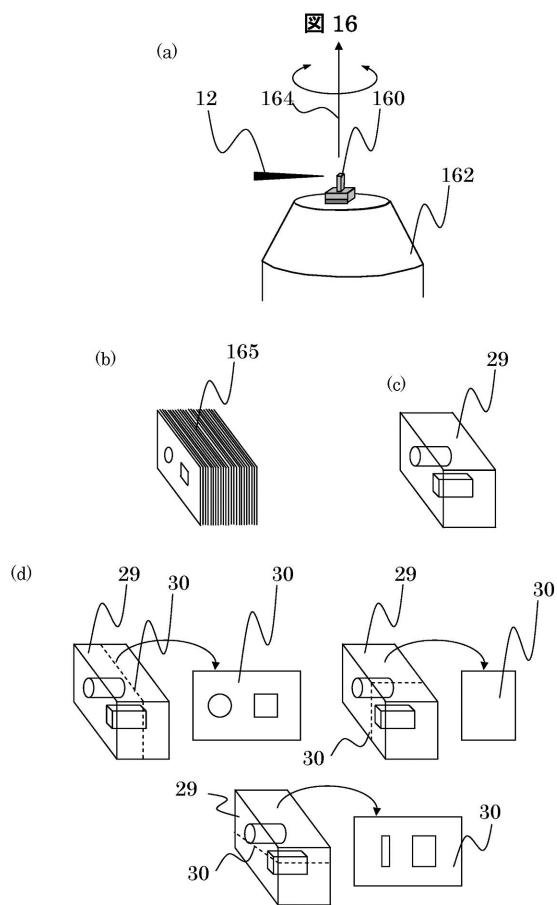
【 図 1 4 】



【図15】

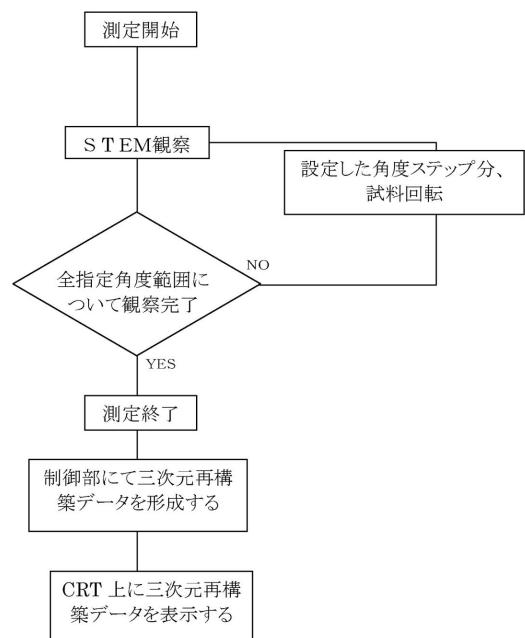


【図16】



【図17】

図17



フロントページの続き

(72)発明者 黒田 靖

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 森川 晃成

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 植木 隆和

(56)参考文献 特開2011-204570(JP,A)

特開2009-192428(JP,A)

特開2011-086470(JP,A)

特開2009-026621(JP,A)

特開2008-041503(JP,A)

特開2009-111318(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H01J 37/317

H01J 37/22

H01J 37/20

H01J 37/30

G01N 1/28