

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第6385899号
(P6385899)

(45) 発行日 平成30年9月5日 (2018.9.5)

(24) 登録日 平成30年8月17日 (2018.8.17)

(51) Int. Cl.

F I

HO 1 J 37/20 (2006.01)
 GO 1 N 1/28 (2006.01)
 HO 1 J 37/26 (2006.01)
 HO 1 J 37/315 (2006.01)

HO 1 J 37/20 A
 GO 1 N 1/28 W
 GO 1 N 1/28 F
 GO 1 N 1/28 G
 HO 1 J 37/26

請求項の数 14 外国語出願 (全 14 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号 特願2015-142246 (P2015-142246)
 (22) 出願日 平成27年7月16日 (2015.7.16)
 (65) 公開番号 特開2016-25085 (P2016-25085A)
 (43) 公開日 平成28年2月8日 (2016.2.8)
 審査請求日 平成29年10月15日 (2017.10.15)
 (31) 優先権主張番号 62/027, 035
 (32) 優先日 平成26年7月21日 (2014.7.21)
 (33) 優先権主張国 米国 (US)

早期審査対象出願

(73) 特許権者 501419107
 エフ・イー・アイ・カンパニー
 アメリカ合衆国オレゴン州97124, ヒ
 ルズバラ, ノースイースト・ドーソンクリ
 ーク・ドライブ5350
 (74) 代理人 100103171
 弁理士 雨貝 正彦
 (72) 発明者 デイヴィッド・フォード
 アメリカ合衆国 97229 オレゴン州
 ポートランド エヌダブリュー チップ
 モンク・レーン 11826

審査官 右▲高▼ 孝幸

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 TEM試料取付け構造

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

荷電粒子ビーム装置において試料の直交画像を得るための方法であって、
 互いに平行でない3つの直交面を有する試料を回転試料ホルダに連結することと、
 複数の角度のそれぞれにつき前記3つの直交面のうちの異なる1つの直交面が前記荷電
 粒子ビーム装置によって生成された電子ビームにさらされかつ前記電子ビームに対して垂
 直になるように、前記回転試料ホルダを前記複数の角度に回転させることと、
 前記複数の角度のそれぞれにおいて、前記3つの直交面のそれぞれを透過した前記電子
 ビームからの前記電子を検出することと、
 前記3つの直交面のそれぞれにおいて前記試料を透過した前記検出された電子から前記
 試料の3つの直交する画像を生成することと

を含み、

前記試料は立方体試料であり、

前記立方体試料は、針の軸が前記立方体試料の対蹠的な頂点を通過するように前記回転
 試料ホルダに連結された針に取り付けられる、方法。

【請求項 2】

前記回転試料ホルダを複数の角度に回転させることが、ゼロ度、+/-120度、およ
 び240度からなる群から選択された少なくとも2つの角度に前記回転試料ホルダを回転
 させることを含む、請求項1に記載の方法。

【請求項 3】

10

20

前記針を前記回転試料ホルダに連結することが、前記針を前記回転試料ホルダに溶接することを含む、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 4】

荷電粒子ビーム装置において試料の直交画像を得るための方法であって、

針の軸が立方体試料の対蹠的な頂点を通過するように前記立方体試料を前記針に取り付けることと、前記針を回転試料ホルダに連結することとによって、互いに平行でない 3 つの直交面を有する前記立方体試料を前記回転試料ホルダに連結することと、

複数の角度のそれぞれにつき前記 3 つの直交面のうちの異なる 1 つの直交面が前記荷電粒子ビーム装置によって生成された電子ビームにさらされかつ前記電子ビームに対して垂直になるように、前記回転試料ホルダを前記複数の角度に回転させることと、

前記複数の角度のそれぞれにおいて、前記 3 つの直交面のそれぞれを透過した前記電子ビームからの前記電子を検出することと、

前記 3 つの直交面のそれぞれにおいて前記立方体試料を透過した前記検出された電子から前記立方体試料の 3 つの直交する画像を生成することと

を含み、

前記立方体試料を前記針に取り付けることが、

前記荷電粒子ビーム装置において環状集束イオン・ビーム・ミリングにより前記針を作ることと、

前記荷電粒子ビーム装置において集束イオン・ビームを使用してより大きい試料から前記立方体試料を作ることと、

前記針の軸が前記立方体試料の対蹠的な頂点を通過するように、前記針を前記立方体試料に溶接することと、

前記針に取り付けられた前記立方体試料を前記より大きい試料から分離することとをさらに含む、方法。

【請求項 5】

荷電粒子ビーム装置において試料の直交画像を得るための方法であって、

互いに平行でない 3 つの直交面を有する試料を回転試料ホルダに連結することと、

複数の角度のそれぞれにつき前記 3 つの直交面のうちの異なる 1 つの直交面が前記荷電粒子ビーム装置によって生成された電子ビームにさらされかつ前記電子ビームに対して垂直になるように、前記回転試料ホルダを前記複数の角度に回転させることと、

前記複数の角度のそれぞれにおいて、前記 3 つの直交面のそれぞれを透過した前記電子ビームからの前記電子を検出することと、

前記 3 つの直交面のそれぞれにおいて前記試料を透過した前記検出された電子から前記試料の 3 つの直交する画像を生成することと

を含み、

前記回転試料ホルダが、前記荷電粒子ビーム装置内の壁を斜めの角度で通過する、方法

。

【請求項 6】

前記回転試料ホルダが、歯車を介して斜めの角度で回転アームに連結され、また、前記回転アームが、前記荷電粒子ビーム装置内の壁を直角に通過する、請求項 1 に記載の方法

。

【請求項 7】

前記回転試料ホルダを複数の角度に回転させることが、前記回転アームの複数の角度への回転が前記歯車により前記回転試料ホルダの前記複数の角度への回転に伝達されるように前記回転アームを前記複数の角度に回転させることを含む、請求項 6 に記載の方法。

【請求項 8】

前記歯車が、斜交かさ歯車またはねじ歯車のうちの少なくとも 1 つである、請求項 6 に記載の方法。

【請求項 9】

電子ビームを使用して多方向の観察を行う透過電子顕微鏡用の試料アセンブリであって

10

20

30

40

50

、
互いに平行でない少なくとも3つの観察面を有する立方体試料であって、前記観察面のそれぞれに直交する厚さが200nm未満である立方体試料と、

前記立方体試料が取り付けられる針であって、前記針の軸が前記立方体試料の対蹠的な頂点を通過するように取り付けられ、2つ以上の軸の周りで回転可能であり、そのため前記観察面のうちの少なくとも3つの観察面を透過電子顕微鏡の電子ビームに対して垂直に配向することができる針を含む試料保持装置と
を備える、試料アセンブリ。

【請求項10】

互いに平行でない少なくとも3つの観察面を有する試料に電子ビームを透過させるための電子ビーム源を備える電子顕微鏡と、

前記試料を保持するための試料ホルダであって、前記試料ホルダは前記試料を取り付けるための針を含み、前記針が、2つ以上の軸の周りで回転可能であり、前記試料を前記針に取り付けている間に、少なくとも3つの観察面のそれぞれを前記電子顕微鏡の前記電子ビームに対して垂直に配向することができる試料ホルダと、

前記電子ビームが、前記少なくとも3つの観察面のうちの1つの観察面に対して垂直な前記試料のそれぞれの配向において、前記試料を透過し前記試料から放出された前記電子ビームの電子を検出するよう構成された少なくとも1つの検出器と
を備え、

前記試料ホルダが、前記荷電粒子ビーム装置内の壁を斜めの角度で通過する、荷電粒子ビーム装置。

【請求項11】

前記針が、ゼロ度、+/-120度、および240度からなる群から選択された少なくとも2つの角度に回転可能である、請求項10に記載の荷電粒子ビーム装置。

【請求項12】

前記試料が、前記針に溶接される、請求項10に記載の荷電粒子ビーム装置。

【請求項13】

前記試料ホルダが回転可能な軸を含み、

前記針が、前記回転可能な軸に溶接され、前記回転可能な軸の回転が前記針を回転させる、請求項10に記載の荷電粒子ビーム装置。

【請求項14】

3つの直交面を有する試料の透過電子顕微鏡画像化の方法であって、

集束イオン・ビームを用いて、より大きい材料片から関心領域を含む試料を抽出することであって、抽出された前記試料は3つの直交面を有し、前記直交面のそれぞれを透過する電子に対して部分的に透過性であることと、

抽出された前記試料を細い針に取り付けることと、

電子ビームに第1の直交面を透過させることによって前記試料の第1の画像を得ることと、

前記電子ビームに第2の直交面をさらすために前記試料を回転することと、

前記電子ビームに前記第2の直交面を透過させることによって前記試料の第2の画像を得ることと、

前記電子ビームに第3の直交面を曝すために前記試料を回転することと、

前記電子ビームに前記第3の直交面を透過させることによって前記試料の第3の画像を得ることと、

前記第1、第2および第3の画像を用いて断層撮影再構成を実行することなく、前記第1、第2および第3の画像を観察することと、

を含む、方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

10

20

30

40

50

本発明は、透過電子顕微鏡分析のための方法、および取り付けられた試料の直交画像を得るための方法に関する。

【背景技術】

【0002】

集積回路（IC）の密度は、回路の特徴および構成部品（例えば、トランジスタ）の寸法、ならびにそれらのピッチすなわち間隔の両方における縮小により、劇的に高まり続けている。確実なIC製造工程を開発し、特徴的な特徴部分のサイズを測定し、製造欠陥を診断し、そして品質管理を行うために、集積回路製造業者らは通常、透過電子顕微鏡または走査型透過電子顕微鏡（TEM）を介して、集積回路または集積回路の一部を検査する。本明細書において、透過電子顕微鏡という用語は、走査型透過電子顕微鏡を含むことが意図されている。

10

【0003】

大抵のICデバイスの構成部品は、特徴的な長さ、幅、および深さを有する、構造的に直交性のものである。通常、画像すなわち解析マップ（analytical map）は、これらの直交方向のうちの1つから取得され、必要な最終データを提供する。そのような構成部品の現在の寸法を考慮すると、ICデバイスの特徴および構成部品を視覚化し、検査し、測定するのには、透過電子顕微鏡検査が唯一の効果的な方法とされることが多い。現在のところ、そのような測定は、ICから抽出された薄い断面積の切片または薄片を検査することでなされる。抽出される薄片は、通常、観察方向（すなわち、透過する電子ビームの方向）において30～100nmの厚さであるが、最新のテクノロジー・ノードに対しては10nm以下ほどに薄くすることができ、また、約 $4\mu\text{m}^2$ から $16\mu\text{m}^2$ の間の断面積を有する。加工されたSiウェハから薄片を抽出しようとするときには、反り、曲り、オーバ・ミリング、非晶質化、および所謂カーテニング（curtaining）を含めて、様々な問題が生じ得る。これらの問題は、ICデバイスの特徴または構成部品の特徴的な寸法の測定不良などの、ICデバイスの特性評価不良をもたらす可能性がある。さらに、ICデバイスの特徴および構成部品は三次元的であるので、それらの適切な特性評価は、3つの次元の全てにおける検査を必要とし、多くの場合、3つの異なる観察方向において別々の薄片を抽出することを必要とする。異なる配向における別々の薄片は、同一のメモリセル群のうちの異なるメモリセルなどの、同じ特徴の異なる例から抽出される。

20

30

【0004】

TEM試料は、試料に電子のビームを透過させ、そして透過した電子を反対側で検出して画像を形成することにより、観察される。ビームは通常、薄片の面に直交する。電子断層撮影法では、試料（またはビーム）は、異なる傾斜角のそれぞれにおいて画像が形成されるようにして一連の傾斜角にわたって傾斜されて、三次元画像を数学的に再構成するのに使用することができるデータを提供する。薄片の完全な180度の連続傾斜像を得るのは不可能なので、柱形状の試料が電子断層撮影法に使用されることがある。柱形状の試料は、任意の方向から観察したときに試料の厚さが一様でないという欠点を有する。

【先行技術文献】

【特許文献】

40

【0005】

【特許文献1】米国特許第4,876,112号明細書

【特許文献2】米国特許第5,104,684号明細書

【特許文献3】米国特許第7,442,924号明細書

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

本発明の目的は、薄い試料の三次元画像化法を提供することである。

【課題を解決するための手段】

【0007】

50

いくつかの実施形態は、互いに平行でない少なくとも3つの観察面を有する試料であって、観察面のそれぞれに直交する厚さが200nm未満である試料と、試料が取り付けられる針であって、2つ以上の軸の周りで回転可能であり、そのため観察面のうちの少なくとも3つの観察面を電子顕微鏡の電子ビームに対して垂直に配向することができる針とを備える、透過電子顕微鏡において電子ビームを使用して複数の方向で試料を観察するための試料および試料保持装置を含む。

【0008】

いくつかの実施形態は、複数の直交面を有する試料を回転試料ホルダに連結し、複数の角度のそれぞれに対して試料の複数の直交面のそれぞれの面が荷電粒子ビーム装置によって生成される電子ビームにさらされかつ電子ビームに垂直にされるように、回転試料ホルダを複数の角度に回転させ、複数の角度のそれぞれにおいて、試料の複数の直交面のそれぞれを透過した電子ビームからの電子を検出し、試料の複数の直交面のそれぞれにおいて試料を透過した検出された電子から試料の複数の直交画像を生成するための、方法および試料を含む。

10

【0009】

以下に続く本発明の詳細な説明がより良く理解され得るように、本発明の特徴および技術上の利点を上記においてやや広範わたって概説した。本発明の追加的な特徴および利点を以下に説明する。開示された着想および特定の実施形態は、本発明の同じ目的を達成するために他の構成を変更または設計する基礎として容易に利用できることが、当業者には理解されるべきである。そのような等価な構造は、添付の特許請求の範囲に記載の本発明の精神および範囲から逸脱しないこともまた、当業者には理解されるべきである。

20

【0010】

次に、本発明および本発明の利点のより完全な理解のため、添付の図面と併用される以下の説明を参照する。

【図面の簡単な説明】

【0011】

【図1】軸を回転させることによりTEMにおいて試料の3つの直交する側面を観察できるようにするために回転可能な軸上にバルク試料を設置する方法の図である。

【図2A】3組の直交面を含んで6つの面を有する試料の、様々な回転配向を示す図である。

30

【図2B】3組の直交面を含んで6つの面を有する試料の、様々な回転配向を示す図である。

【図2C】3組の直交面を含んで6つの面を有する試料の、様々な回転配向を示す図である。

【図3】試料ホルダへの試料の取付け法の一実施形態の図である。

【図4】試料ホルダへの試料の取付け法の第2の実施形態の図である。

【図5】試料を抽出し試料ホルダに取り付けるための一代替実施形態の図である。

【図6】画像化領域内でのある角度でのピン・ホルダへの試料の取付け法の一実施形態の図である。

【図7】歯車を介してアームに回転可能に連結されるマニピュレータへの試料の取付け法の一実施形態の図である。

40

【図8A】本発明のいくつかの実施形態で使用され得る2つのタイプの歯車の概略図である。

【図8B】本発明のいくつかの実施形態で使用され得る2つのタイプの歯車の概略図である。

【発明を実施するための形態】

【0012】

ICデバイスの所与の特徴または構成部品の特性を明らかにするためにデバイスから3つの直交する薄片を抽出することに伴う様々な問題を克服する1つの方法は、所望の特徴または構成部品を含むデバイスから厚いバルク試料を代わりに抽出し、TEMを使用して

50

厚いバルク試料を断層撮影的に再構成することである。しかし、完全な断層撮影は、複数の角度から複数の画像を得て、そして複数の画像投影に含まれる情報を時間のかかる画像再構成アルゴリズムを使用して数学的に合成することを必要とする。幸いに、ICデバイス製造業者は、大抵の場合、構成部品を含む抽出されたバルク試料の3つの直交方向からのTEM画像を観察するだけで、迅速かつ容易に構成部品の測定を行うかまたは構成部品の欠陥およびその構成部品の欠陥の原因を診断することができる。断層撮影的に再構成された完全な画像ではなく3つの直交するTEM画像を得ることは、個々のTEM画像はTEM連続断層画像から再構成された画像よりも高い解像度を有し、また、はるかに迅速に得られ得るので、有利である。

【0013】

図1は、軸を回転させることによりTEMにおいて試料の3つの直交する側面の観察を可能にするための、回転可能な軸へのバルク試料の取付け方法の図である。試料102は、任意の材料で作ることができる。例えば、試料102は、集積回路から得ることができる、また、集積回路を作るために使用される材料から作ることができる。試料102は、従来のTEM試料作成技法を使用して、より大きい材料片から抽出することができる。例えば、試料102は、より大きい材料片から薄片を抽出するための使用される技法のような従来のイオン・ビーム・ミリング技法を使用して、集束イオン・ビーム(focused ion beam、FIB)機械、またはデュアルFIB/SEM機械で抽出することができる。一般に、試料102は、試料に電子を透過させることにより試料のTEM画像を得ることができるように、TEM電子ビームからの電子に対して部分的に透過性である寸法となされるべきである。1つの実施形態では、試料102は、約20nmから200nmの間の特徴寸法を有する概ね立方体の形状に抽出される。

【0014】

試料102は、針105の対称軸120が立方体試料102の任意の2つの対蹠的な頂点を通過するようにして、細い針105に取り付けられる。試料102は、従来の集束イオン・ビーム溶接技法などの従来の方法を使用して、細い針105に取り付けることができる。例えば「Process for Forming Metallic Patterned Film」に対するKaitoらへの米国特許第4,876,112号明細書、および「Ion Beam Induced Deposition of Metals」に対するTaoらへの米国特許第5,104,684号明細書に記載されるような集束イオン・ビーム溶接では、試料102および針105は、イオン・ビームの焦点の近傍に間近に近づけられる。有機金属ガスなどの適切なガス前駆体が、試料102と針105とイオン・ビームとによって画定された領域に導入される。イオン・ビームは、ガス前駆体を直接または間接的に(例えば、試料102または針105を加熱することにより)活性化して、前駆体を揮発性成分と不揮発性成分とに分離させる。揮発性成分はFIB機械の真空システムによって除去されるが、不揮発性成分は試料102および針105上に堆積し、それにより、試料102と針105との間に材料の橋を架けてそれらを連結する。

【0015】

図2Aに示されるように、試料102は、初期上面130、初期前面140、および初期側面150(今のところ隠されている)によって便宜上説明される3組の直交面を含めて、6つの面を有する。図2Aに示された最初の配置では、電子ビーム101に第1の直交面130を透過させることにより、第1の直交面130に沿った試料102の画像を得ることができる。次に、試料102は、試料102が取り付けられた針105の対称軸の周りで120度の角度にわたって回転される。図2Bに示されるように、この回転は、試料102の第2の直交面140を電子ビーム101にさらして、第2の直交面140に沿った試料102の画像を得られるようにする。最後に、試料102は、試料102が取り付けられた針105の対称軸の周りでさらに120度の角度にわたって回転される。図2Cに示されるように、この回転は、試料102の第3の直交面150を電子ビーム101にさらして、第3の直交面150に沿った試料102の画像を得られるようにする。

【 0 0 1 6 】

図 3 は、試料ホルダ 3 0 0 への試料 1 0 2 の取付け法の一実施形態の図である。試料ホルダ 3 0 0 は、薄片 1 1 0 が取り付けられそしてその薄片 1 1 0 に極細の針 1 0 5 が取り付けられた、従来の断層撮影ピン・ホルダ 1 1 5 で構成される。1 つの実施形態では、試料ホルダは以下のように形成され得る。幅約 5 0 0 nm、高さ約 5 ミクロン、初期長さ約 1 5 ミクロンの薄片 1 1 0 が、イオン・ビーム・ミリングなどの従来の F I B 薄片製造方法を使用して F I B 機械で作られ得る。次に、半径約 3 0 nm の先端を有する細い円錐形の針 1 0 5 を作るために、薄片の上部または約 5 ミクロンの長さがミリングされ得る。針 1 0 5 は、例えば、断層撮影ピラーまたは原子プローブ顕微鏡試料の製造に使用される技法によく似た従来の F I B 環状ミリング技法を使用して作られ得る。例えば「Repetitive Circumferential Milling for Sample Preparation」に対する Giannuzzi への米国特許第 7, 442, 924 号明細書に記載される環状ミリングでは、ある内半径および外半径を有する環に限定された一連の円形経路をエッチングするために、F I B が使用される。所与の円形経路に沿った F I B のドウェル時間は、経路の半径に依存し、したがって、ドウェル時間は、短い半径の経路よりも大きい半径の経路のほうがより長くなる。F I B によって取り除かれる材料の量がドウェル時間の関数となるので、小さい半径の経路からよりも大きい半径の経路からのほうがより多くの材料が取り除かれ、またそれにより、円錐状の針が作り出される。環の外半径が約 5 0 0 nm であり、内半径が約 3 0 nm であり、かつ、5 0 0 nm の半径の経路を横断している間は材料の約 3 0 0 0 nm をミリングし、3 0 nm の半径の経路を横断している間は材料をほとんどミリングしないようにドウェル時間が選択される場合に、針 1 0 5 が作られ得る。あるいは、針 1 0 5 および薄片 1 1 0 は、上述のように別々に作られてから F I B および適切なガス前駆体を使用して互いに溶接されてもよい。

【 0 0 1 7 】

薄片 1 1 0 および針 1 0 5 は、いったん作られるかまたは継合されると、従来の技法を使用して従来のマニピュレータ針または断層撮影ピン・ホルダ 1 1 5 に溶接され得る。上記のように、薄片 1 1 0 および断層撮影ピン・ホルダ 1 1 5 は、それらをイオン・ビームと有機金属ガスなどの適切な前駆体との存在下で間近に近づけることにより、互いに溶接され得る。イオン・ビームの存在下では、前駆体は揮発性成分と不揮発性成分とに分離することになり、揮発性成分は、F I B 機械の真空システムによって除去され、不揮発性成分は、薄片 1 1 0 および / またはピン・ホルダ 1 1 5 上に堆積し、それらの間に橋を架けてそれらを連結する。

【 0 0 1 8 】

図 4 は、試料ホルダ 4 0 0 への試料 1 0 2 の取付け法の第 2 の実施形態の図である。試料ホルダ 4 0 0 は、複数の取付けフィンガ 4 1 9 ~ 4 2 1 を持った直径 3 mm の従来の銅製 T E M 1 / 2 格子で構成され、取付けフィンガのうちの 1 つである取付けフィンガ 4 2 0 には薄片 1 1 0 が溶接されている。次いで、細い針 1 0 5 が同じように薄片 1 1 0 に取り付けられる。薄片 1 1 0 および針 1 0 5 は、上述のように、すなわち従来のイオン・ビーム・ミリング技法を使用して、単一の部品または互いに溶接される別々の部品として作ることができる。次いで、試料 1 0 2 は、針の先端に F I B 溶接され得る。

【 0 0 1 9 】

図 5 は、試料を抽出し試料ホルダに取り付けるための一代替実施形態の図である。図 5 に示されるように、短い円筒柱の形態の試料 5 0 2 が、イオン・ビーム・ミリングなどの従来の T E M ピラー試料作製技法を使用して、より大きい材料片から抽出され得る。より大きい材料片は、関心領域 1 0 2 (ここでは、その直交方向に関する関心領域の配向を最もよく示す例として、立方体の形状によって画定されている) を内部に有することができる。「仮想立方体」によって境界される関心領域は、円筒の最大直径および最大長さを決定する。例えば、円筒は、関心領域 1 0 2 としてトランジスタなどの特徴または構成部品を有する集積回路から抽出することができる。

10

20

30

40

50

【 0 0 2 0 】

円筒柱形試料 5 0 2 は、関心領域 1 0 2 を含むことができ、また、その高さ、直径、および長さが関心領域 1 0 2 の 3 つの直交方向を適切に包含できるような寸法とすることができる。円筒柱形試料 5 0 2 は、関心領域 1 0 2 を包含する仮想立方体の対蹠的な 2 つの頂点を通過する主軸 5 0 5 を有するように、従来の TEM ピラー試料作製技法に使用される方法に類似した方法を使用して、より大きい材料片から抽出することができる。つまり、円筒柱形試料 5 0 2 は、その主軸 5 0 5 が関心領域 1 0 2 の上面 1 3 0 から約 3 5 . 2 6 度の角度だけ鉛直方向に変位するように、また、関心領域 1 0 2 の上面 1 3 0 上への主軸 5 0 5 の投影が上面 1 3 0 をおおよそ二等分するように主軸 5 0 5 が方位角的に変位される（すなわち、約 4 5 度の角度だけ方位角的に変位される）ように、抽出することができる。図 5 に示されるように、このようにして抽出される円筒柱形試料 5 0 2 は、従来のピン・ホルダ 1 1 5 の平坦な端部 1 1 6 に溶接され得る平坦面 5 0 4 を有するので、従来の FIB 溶接技法を使用して、はるかに容易かつ正確に、標準的な TEM 断層撮影ピン・ホルダ 1 1 5 に取り付けることができる。

10

【 0 0 2 1 】

図 6 に示されるように、いくつかの実施形態では、試料 1 0 2 または円筒柱形試料 5 0 2（関心領域 1 0 2 を含む）を、TEM 対物磁極片（画像化）領域内で（水平面から）約 3 5 . 6 2 度の角度に位置する従来の TEM 断層撮影ピン・ホルダ 1 1 5 または類似のものに取り付けることができる。そのような実施形態では、試料 1 0 2 / 円筒柱形試料 5 0 2 を、従来の TEM 試料回転技法を使用して単純にマニピュレータまたはピン・ホルダ 1 1 5 を回転させることにより、対称軸 1 2 0 の周りで容易に回転させることができる。上記のように、試料 1 0 2 / 円筒柱形試料 5 0 2 を 1 2 0 度刻みで連続して回転させることにより、試料（または関心領域）1 0 2 の 3 つの直交面が電子ビーム 1 0 1 にさらされ、それにより、TEM が試料（または関心領域）1 0 2 の 3 つの直交画像を取得することが可能になる。

20

【 0 0 2 2 】

図 7 に示されるように、他の実施形態では、試料 1 0 2 または円筒柱形試料 5 0 2 は、歯車 7 1 0 を介してアーム 7 1 5 に回転可能に連結されたマニピュレータ 7 0 5 に取り付けことができ、アーム 7 1 5 は、TEM 試料チャンバの側面 6 0 0 に直角に入る。アーム 7 1 5 がその回転軸 7 2 0 の周りで連続して 1 2 0 度の角度ずつ回転されると、歯車 7 1 5 は、軸 7 2 0 から、図示のように試料（または関心領域）1 0 2 の対蹠的な頂点を通過するマニピュレータ 7 0 5 の回転軸 1 2 0 に、回転運動を伝達する。したがって、歯車 7 1 0 は、アーム 7 1 5 の連続的な 1 2 0 度の回転を試料（または関心領域）1 0 2 の回転軸 1 2 0 の周りで連続的な 1 2 0 度の回転に変換して、試料（または関心領域）1 0 2 の 3 つの直交面を電子ビーム 1 0 1 にさらし、それにより、TEM が試料（または関心領域）1 0 2 の 3 つの直交画像を取得することを可能にする。

30

【 0 0 2 3 】

図 8 A および 8 B は、第 1 の軸から第 2 の軸へ回転運動を伝達するために使用することができるちょうど 2 つのタイプの歯車の概略図である。当業者であれば、他のそのような機構を特定することができるであろう。図 8 A に示されるように、回転運動をアーム 7 1 5 / 7 1 5 A から試料（または関心領域）1 0 2 が取り付けられるマニピュレータ 7 0 5 / 7 0 5 A に伝達するために、斜交かさ歯車 7 1 0 A が使用することができる。あるいは、図 8 B に示されるように、回転運動をアーム 7 1 5 / 7 1 5 B から試料（または関心領域）1 0 2 が取り付けられるマニピュレータ 7 0 5 / 7 0 5 B に伝達するために、ねじ歯車 7 1 0 B が使用することができる。

40

【 0 0 2 4 】

本発明のいくつかの実施形態によれば、荷電粒子ビーム装置において試料の直交画像を得るための方法が、複数の直交面を有する試料を回転試料ホルダに連結することと、複数の角度のそれぞれにつき試料の複数の直交面のうちの異なる 1 つの直交面が荷電粒子ビーム装置によって生成された電子ビームにさらされかつ電子ビームに対して垂直になるよう

50

に、回転試料ホルダを複数の角度に回転させることと、複数の角度のそれぞれにおいて、試料の複数の直交面を透過した電子ビームからの電子を検出することと、複数の角度のそれぞれにおいて検出された試料を透過した電子から試料の複数の画像を生成することと、を含む。

【0025】

いくつかの実施形態では、回転試料ホルダを複数の角度に回転させることは、ゼロ度、 $+/-120$ 度、および 240 度からなる群から選択された少なくとも2つの角度に回転試料ホルダを回転させることを含む。いくつかの実施形態では、複数の直交面を有する試料を回転試料ホルダに連結することは、複数の直交面を有する立方体関心領域を含む円筒柱を、円筒柱の軸が立方体関心領域の対蹠的な頂点を通過するように、回転試料ホルダに連結することを含む。いくつかの実施形態では、円筒柱を回転試料ホルダに連結することは、円筒柱を回転試料ホルダに溶接することを含む。

10

【0026】

いくつかの実施形態では、複数の直交面を有する試料を回転試料ホルダに連結することは、針の軸が立方体試料の対蹠的な頂点を通過するように立方体試料を針に取り付けることと、その針を回転試料ホルダに連結することとを含む。いくつかの実施形態では、針を回転試料ホルダに連結することは、針を回転試料ホルダに溶接することを含む。いくつかの実施形態では、立方体試料を針に取り付けることは、荷電粒子ビーム装置において環状集束イオン・ビーム・ミリングにより針を作ることと、荷電粒子ビーム装置において集束イオン・ビームを使用してより大きい試料から立方体試料を作ることと、針の軸が立方体試料の対蹠的な頂点を通過するように針を立方体試料に溶接することと、針に取り付けられた立方体試料をより大きい試料から分離することと、をさらに含む。

20

【0027】

いくつかの実施形態では、回転試料ホルダは、荷電粒子ビーム装置内の壁を斜めの角度で通過する。いくつかの実施形態では、回転試料ホルダは、歯車を介して斜めの角度で回転アームに連結され、また、回転アームは、荷電粒子ビーム装置内の壁を直角に通過する。いくつかの実施形態では、回転試料ホルダを複数の角度に回転させることは、回転アームの複数の角度への回転が歯車により回転試料ホルダの複数の角度への回転に伝達されるように回転アームを複数の角度に回転させることを含む。いくつかの実施形態では、歯車は、斜交かさ歯車またはねじ歯車のうちの少なくとも1つである。

30

【0028】

本発明のいくつかの実施形態によれば、透過電子顕微鏡において電子ビームを使用して複数の方向で試料を観察するための試料および試料保持装置が、互いに平行でない少なくとも3つの観察面を有する試料であって、観察面のそれぞれに直交する厚さが 200 nm 未満である試料と、試料が取り付けられる針であって、2つ以上の軸の周りで回転可能であり、そのため観察面のうちの少なくとも3つの観察面を電子顕微鏡の電子ビームに対して垂直に配向することができる針と、を備える。

【0029】

本発明のいくつかの実施形態によれば、荷電粒子ビーム装置が、試料の一部を照射するための荷電粒子ビーム源と、試料の照射部分から放出された放射を検出するための少なくとも1つの検出器と、試料を保持するための試料ホルダであって、試料を取り付けるための針を含み、針が2つ以上の軸の周りで回転可能であり、そのため針が観察面のうちの少なくとも3つが電子顕微鏡の電子ビームに対して垂直になるように試料を配向することができる試料ホルダと、を備える。

40

【0030】

いくつかの実施形態では、回転試料ホルダは、ゼロ度、 $+/-120$ 度、および 240 度からなる群から選択された少なくとも2つの角度に回転可能である。いくつかの実施形態では、試料は、回転試料ホルダに溶接される。いくつかの実施形態では、針は、回転試料ホルダに溶接される。いくつかの実施形態では、回転試料ホルダは、荷電粒子ビーム装置内の壁を斜めの角度で通過する。

50

【0031】

いくつかの実施形態では、回転試料ホルダは、歯車を介して斜めの角度で回転アームに連結され、また、回転アームは、荷電粒子ビーム装置内の壁を直角に通過する。いくつかの実施形態では、回転アームの複数の角度への回転は、歯車により回転試料ホルダの複数の角度への回転に伝達される。いくつかの実施形態では、歯車は、斜交かさ歯車またはねじ歯車のうちの少なくとも1つである。

【0032】

以上の説明の多くは、ICデバイスの特徴および構成部品を対象としているが、本発明は、任意の適切な材料のバルク試料を視覚化するために使用することができる。「被加工物」、「試料」、「基板」、および「試験体」という用語は、特記しない限り、本出願においては相互に交換可能に使用されている。さらに、本明細書において、用語「自動」、「自動化された」または類似の用語が使用されるとき、これらの用語は、自動プロセスもしくは自動ステップまたは自動化されたプロセスもしくは自動化されたステップの手動による開始を含むものと理解されるであろう。

10

【0033】

論述および特許請求の範囲において、「含む(including)」および「備える(comprising)」という用語は、オープン・エンド様式で使用されており、「～を含むがそれ限定されない」ことを意味するものと解釈されるべきである。いかなる用語も、本明細書において特に定義されていない限り、その用語は、その一般的かつ通常の意味が与えられることが意図されている。添付の図面は、本発明の理解を助けることが意図されており、特に指示のない限り、一定の比例に応じては描かれていない。本発明を実施するのに適した粒子ビーム・システムは、例えば、本出願の譲受人であるFEI Companyから市販されている。

20

【0034】

本発明および本発明の利点を詳細に説明したが、添付の特許請求項の範囲によって定義された本発明の精神および範囲から逸脱することなく、本明細書に記載の実施形態に様々な変更、置換、および改変がなされ得ることが、理解されるべきである。さらに、本出願の範囲は、本明細書に記載の特定の実施形態に限定されるものではない。当業者であれば本開示から容易に理解するであろうように、本明細書に記載の対応する実施形態と実質的に同じ機能を実行するかまたは実質的に同じ結果を達成する既存のまたは今後開発されるプロセス、機械、製造、組成物、手段、方法、もしくはステップが、本発明に従って利用され得る。したがって、添付の特許請求の範囲は、そのようなプロセス、機械、製造、組成物、手段、方法、またはステップをその範囲に含むことが意図されている。

30

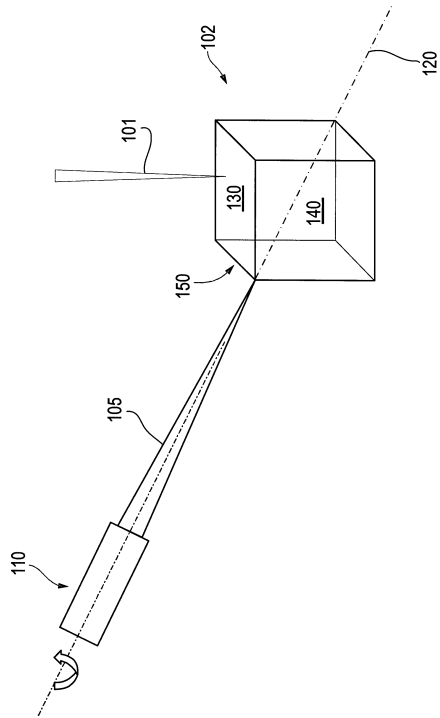
【符号の説明】

【0035】

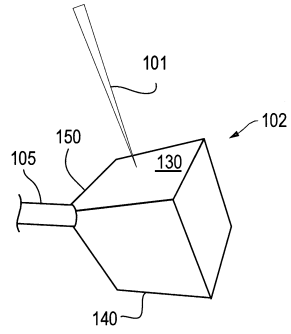
- 101 電子ビーム
- 102 試料
- 105 針
- 110 薄片
- 115 断層撮影ピン・ホルダ

40

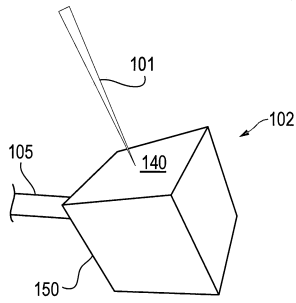
【図 1】



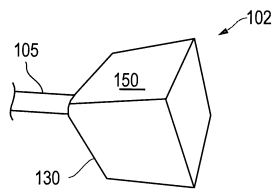
【図 2 A】



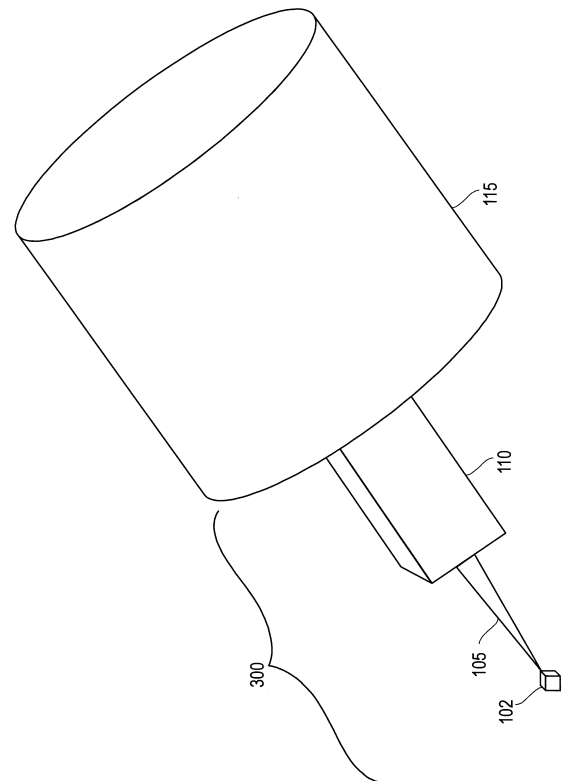
【図 2 B】



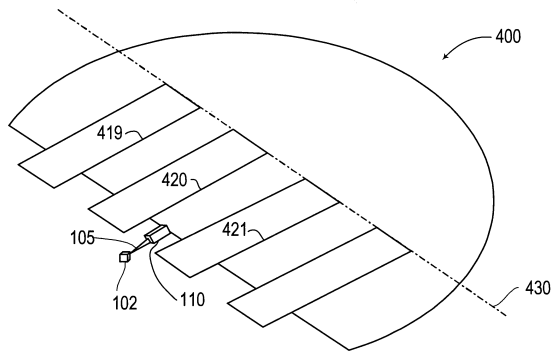
【図 2 C】



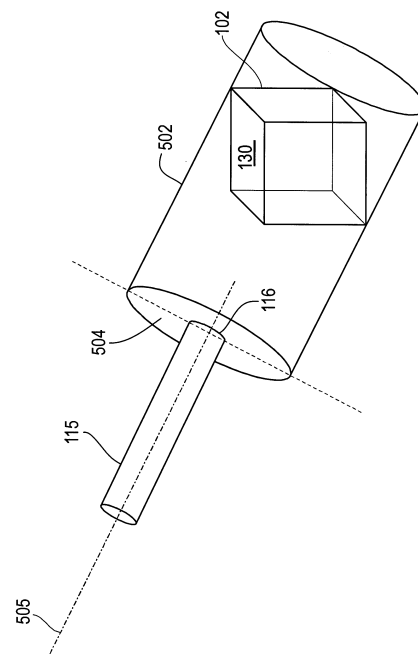
【図 3】



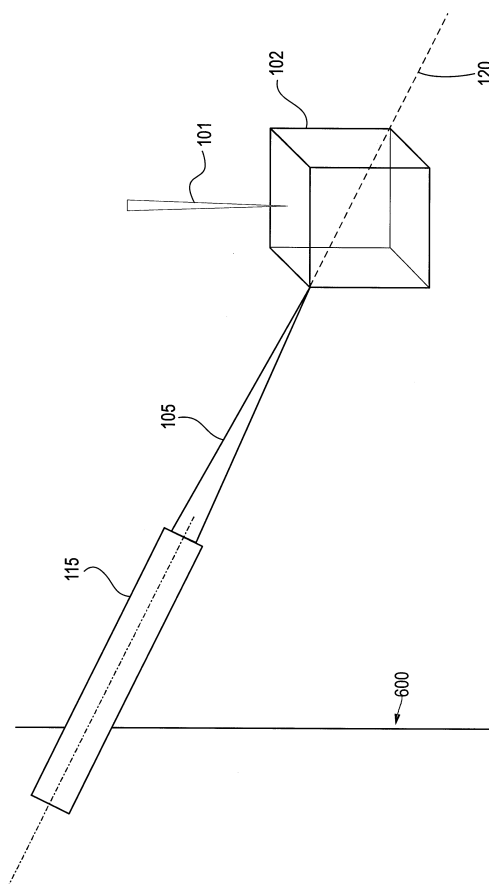
【図 4】



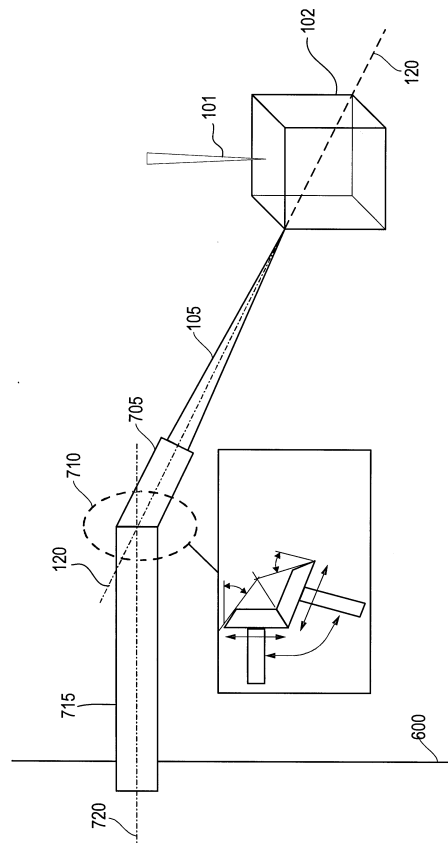
【図 5】



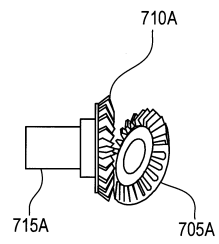
【図 6】



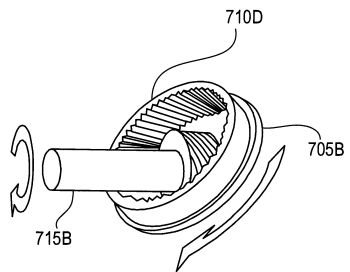
【図 7】



【図 8 A】



【図 8 B】



フロントページの続き

(51)Int.Cl. F I
H 0 1 J 37/315

(56)参考文献 特開平8-304243 (J P , A)
特開2009-110734 (J P , A)
特開2013-149507 (J P , A)
国際公開第2014/195998 (WO , A 1)

(58)調査した分野(Int.Cl. , D B 名)
H 0 1 J 3 7 / 2 0
G 0 1 N 1 / 2 8
H 0 1 J 3 7 / 2 6
H 0 1 J 3 7 / 3 1 5