

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第5492364号
(P5492364)

(45) 発行日 平成26年5月14日(2014.5.14)

(24) 登録日 平成26年3月7日(2014.3.7)

(51) Int. Cl.		F I		
HO 1 J 37/305	(2006.01)	HO 1 J 37/305	A	
HO 1 J 37/28	(2006.01)	HO 1 J 37/28	B	
B 2 3 K 15/00	(2006.01)	B 2 3 K 15/00	5 0 8	

請求項の数 27 外国語出願 (全 20 頁)

<p>(21) 出願番号 特願2013-121959 (P2013-121959)</p> <p>(22) 出願日 平成25年6月10日 (2013.6.10)</p> <p>(65) 公開番号 特開2014-6524 (P2014-6524A)</p> <p>(43) 公開日 平成26年1月16日 (2014.1.16)</p> <p>審査請求日 平成25年12月29日 (2013.12.29)</p> <p>(31) 優先権主張番号 13/533,870</p> <p>(32) 優先日 平成24年6月26日 (2012.6.26)</p> <p>(33) 優先権主張国 米国 (US)</p> <p>早期審査対象出願</p>	<p>(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</p> <p>(74) 代理人 100103171 弁理士 雨貝 正彦</p> <p>(72) 発明者 クリフ・バッジ アメリカ合衆国 オレゴン州 97230 ポートランド エヌイー 134番アベニュー 4123</p> <p>(72) 発明者 グレグ・クラーク アメリカ合衆国 オレゴン州 97123 ヒルズバラ エスイー プエプロ 5393</p> <p style="text-align: right;">最終頁に続く</p>
---	---

(54) 【発明の名称】 3次元基準マーク

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

試料上に基準マークを形成し、前記基準マークを使用して、前記試料上の関心領域の位置を突き止める方法であって、

試料上の、前記試料上の関心領域に隣接した位置に、前記試料の表面から前記試料の表面の上方へ検出可能なある大きさで広がる材料ブロックを付着させ、

前記材料ブロックの少なくとも2つの露出した面に、荷電粒子ビームを使用して所定のパターンをミリングする

ことによって基準マークを形成するステップと、

前記基準マークを形成した後に、前記基準マークの位置を検出することによって、前記関心領域の位置を検出するステップと、

前記関心領域の位置を検出した後に、荷電粒子ビームを使用して、前記関心領域を画像化またはミリングするステップと

を含む方法。

【請求項2】

前記基準マークの位置を検出することが、

前記試料の表面の少なくとも一部分を荷電粒子ビームを使用して画像化すること、および

前記試料の前記一部分の画像中の前記基準マークの前記所定のパターンを検出することを含む、請求項1に記載の方法。

10

20

【請求項 3】

前記試料の前記一部分の画像中の前記基準マークの前記所定のパターンが、画像認識ソフトウェアによって自動的に検出される、請求項 2 に記載の方法。

【請求項 4】

前記基準マークを荷電粒子ビームによって画像化したときに、前記基準マークが、前記材料ブロックとははっきりと異なる輝度値またはコントラスト値を有するように、前記所定のパターンが前記基準マークにミリングされる、請求項 1 から 3 のいずれか一項に記載の方法。

【請求項 5】

付着させた前記材料ブロックを、荷電粒子ビームによって、少なくとも 2 つの次元で画像化またはミリングすることが可能である、請求項 1 から 4 のいずれか一項に記載の方法。

10

【請求項 6】

少なくとも 2 つの荷電粒子ビームによって前記基準マークを同時に画像化することができる位置に、前記基準マークが配置される、請求項 1 から 5 のいずれか一項に記載の方法。

【請求項 7】

画像化が電子ビームによって実行され、ミリングが集束イオン・ビームによって実行される、請求項 1 から 6 のいずれか一項に記載の方法。

【請求項 8】

付着させた前記材料ブロックの幾何形状が実質的に平行六面体である、請求項 1 から 7 のいずれか一項に記載の方法。

20

【請求項 9】

試料上の関心領域の位置を突き止めるための基準マークであって、
試料上の関心領域に隣接した位置に付着させた材料ブロックであり、前記試料の表面から前記試料の表面の上方へ検出可能なある大きさで広がる材料ブロックと、
前記材料ブロックの少なくとも 2 つの露出した面にミリングされた所定のパターンとを含む基準マーク。

【請求項 10】

最大寸法が 100 マイクロメートル (100 μm) 以下である、請求項 9 に記載の基準マーク。

30

【請求項 11】

最大寸法が 10 マイクロメートル (10 μm) 以下である、請求項 9 または 10 に記載の基準マーク。

【請求項 12】

最大寸法が 1 マイクロメートル (1 μm) 以下である、請求項 9 から 11 のいずれか一項に記載の基準マーク。

【請求項 13】

前記材料ブロックが、一段高い白金パッドを含む、請求項 9 から 12 のいずれか一項に記載の基準マーク。

40

【請求項 14】

前記基準マークを荷電粒子ビームによって画像化したときに、前記基準マークが、前記材料ブロックとははっきりと異なる輝度値またはコントラスト値を有するように、前記所定のパターンが前記基準マークにミリングされた、請求項 9 から 13 のいずれか一項に記載の基準マーク。

【請求項 15】

少なくとも 2 つの荷電粒子ビームによって前記基準マークを同時に画像化することができる位置に配置された、請求項 9 から 14 のいずれか一項に記載の基準マーク。

【請求項 16】

付着させた前記材料ブロックの幾何形状が実質的に平行六面体である、請求項 9 から 1

50

5 のいずれか一項に記載の基準マーク。

【請求項 17】

少なくとも1つの荷電粒子ビームと、
試料ステージと、
前記試料ステージ上に配置された試料と、
前記試料上に配置された基準マークと
を備え、前記基準マークが、

試料上の関心領域に隣接した位置に付着させた材料ブロックであり、前記試料の表面から前記試料の表面の上方へ検出可能なある大きさで広がる材料ブロックと、

前記材料ブロックの少なくとも2つの露出した面にミリングされた所定のパターンとを含むシステム。

10

【請求項 18】

前記基準マークの最大寸法が100マイクロメートル(100 μm)以下である、請求項17に記載のシステム。

【請求項 19】

前記基準マークの最大寸法が10マイクロメートル(10 μm)以下である、請求項17または18に記載のシステム。

【請求項 20】

前記基準マークの最大寸法が1マイクロメートル(1 μm)以下である、請求項17から19のいずれか一項に記載のシステム。

20

【請求項 21】

前記材料ブロックが、一段高い白金パッドを含む、請求項17から20のいずれか一項に記載のシステム。

【請求項 22】

前記基準マークを荷電粒子ビームによって画像化したときに、前記基準マークが、前記材料ブロックとははっきりと異なる輝度値またはコントラスト値を有するように、前記所定のパターンが前記基準マークにミリングされた、請求項17から21のいずれか一項に記載のシステム。

【請求項 23】

少なくとも2つの荷電粒子ビームによって前記基準マークを同時に画像化することができる位置に、前記基準マークが配置された、請求項17から22のいずれか一項に記載のシステム。

30

【請求項 24】

付着させた前記材料ブロックの幾何形状が実質的に平行六面体である、請求項17から23のいずれか一項に記載のシステム。

【請求項 25】

試料上の関心領域の位置を突き止めるための基準マークを前記試料上に形成する方法であって、

前記試料を画像化位置から実質的に90度回転させるステップと、

前記試料を前記画像化位置から実質的に90度回転させた後に、前記試料の表面に対して垂直でないある角度で前記試料の表面に向かって導かれた荷電粒子ビームを使用して、前記関心領域上または前記関心領域の近くに材料ブロックを付着させるステップと、

前記材料ブロックを付着させた後、前記関心領域の位置を検出する前に、前記試料を実質的に90度回転させて、前記試料をその最初の位置に戻すステップと

を含む方法。

40

【請求項 26】

前記荷電粒子ビームが走査電子顕微鏡の電子ビームであり、前記電子ビームが、前記試料の表面に対して直角でないある角度で前記試料の表面に導かれる、請求項25に記載の方法。

【請求項 27】

50

前記基準マークを形成した後に、前記基準マークの位置を突き止めることによって前記関心領域の位置を突き止めるステップと、前記関心領域に向かって集束イオン・ビームを導くステップとをさらに含み、前記集束イオン・ビームが、前記試料の表面に対して実質的に直角なある角度で前記試料の表面に導かれる、請求項 26 に記載の方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、荷電粒子ビーム画像化および荷電粒子ビーム・ミリングに関する。

【背景技術】

【0002】

荷電粒子ビーム、レーザ・ビームおよび中性粒子ビームは、半導体回路の製造、マイクロエレクトロメカニカル・アセンブリの製造など、さまざまなマイクロファブ리케이션用途で使用されている。用語「マイクロファブ리케이션」の使用は、ナノファブ리케이션・プロセスを含む、寸法が数十ミクロン以下の構造物の形成および改変を含む。試料の「処理」は、その試料上での構造物のマイクロファブ리케이션を指す。製造する構造物が小さければ小さいほど、ビームをより正確に導くことが必要になる。

【0003】

ビームの位置を正確に決める 1 つの方法は、試料上の、関心領域の近くに、フィデューシャル (fiducial)、すなわち基準マークを配置またはミリングし、その基準マークに対してビームの位置を相対的に決める方法である。用語基準マークの使用は、広く、任意のタイプの基準マークを含む。最初に、ビームを導いて基準マークを画像化し、所望の位置からの初期のずれを決定する。続いて、そのビームを定期的に導いて基準マークを画像化し、基準マークの観察された座標と基準マークの元の座標との間のずれを決定することによって、ビームの位置を、所望の位置に対して補正する。次いで、そのずれをビーム位置決め命令に追加し、ビームが所望の位置に当たるようにする。

【0004】

図 1A は、関心領域 102 と基準マーク 104 とを含む試料 100 の上面図である。関心領域 102 は、画像化操作またはミリング操作が実行される試料 100 の部分である。例えば、試料 100 は半導体ウェーハを含み、関心領域 102 は、その特徴部分が仕様の範囲内で製造されたかどうかを確認するために、走査電子顕微鏡または集束イオン・ビームによって画像化される特定の集積回路特徴部分を含む。一般に、試料の表面の多くの異なる特徴部分の中から関心領域の位置を迅速にかつ容易に突き止めることができるように、試料の表面の関心領域 102 の近くに、荷電粒子ビームを使用して、基準マーク 104 がミリングされる。続いて試料 100 の表面に対して垂直な角度で画像化したときに (すなわち「トップダウン図 (top down view)」において)、機器のオペレータ (またはその機器を制御する自動化ソフトウェア) は、基準マーク 104 を、関心領域 102 よりも容易にまたはより迅速に識別することができる。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0005】

【特許文献 1】米国特許第 5,851,413 号明細書

【特許文献 2】米国特許第 5,435,850 号明細書

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

しかしながら、試料 100 の上面に対して垂直でない角度で基準マーク 104 を画像化するときには、基準マーク 104 がより識別しにくくなる。試料 100 の上面に対してほぼ平行な角度では、基準マーク 104 を全く識別できないこともある。試料 100 の上面とは、試料 100 を保持した試料ステージと接触した表面とは反対側の表面である。図 1B は試料 100 の側面図であり、この図では、基準マーク 104 を見ることはできない。

10

20

30

40

50

画像化するためのビームまたはミリングするためのビームの位置決めをこの角度で実行するためには、第2の基準マークが必要となる。

【課題を解決するための手段】

【0007】

本発明の実施形態は、試料上に基準マークを形成し、その基準マークを使用して、試料上の関心領域の位置を突き止める方法を対象とする。この方法の実施形態は、試料上の、試料上の関心領域に隣接した位置に、試料の表面から試料の表面の上方へ検出可能なある大きさで広がる材料ブロックを付着させ、その材料ブロックの少なくとも2つの露出した面に、荷電粒子ビームを使用して所定のパターンをミリングすることによって基準マークを形成するステップと、基準マークを形成した後に、基準マークの位置を検出することによって、関心領域の位置を検出するステップと、関心領域の位置を検出した後に、荷電粒子ビームを使用して、関心領域を画像化またはミリングするステップとを含む。

10

【0008】

本発明の実施形態はさらに、少なくとも1つの荷電粒子ビームと、試料ステージと、試料ステージ上に配置された試料と、試料上に配置された基準マークとを備えるシステムを対象とする。この基準マークは、試料上の関心領域に隣接した位置に付着させた材料ブロックであり、試料の表面から試料の表面の上方へ検出可能なある大きさで広がる材料ブロックと、材料ブロックの少なくとも2つの露出した面にミリングされた所定のパターンとを含む。

【0009】

20

本発明の実施形態はさらに、試料上の関心領域の位置を突き止めるための基準マークを試料上に形成する方法を対象とする。この方法の実施形態は、試料を画像化位置から実質的に90度回転させるステップと、試料を画像化位置から実質的に90度回転させた後に、試料の表面に対して垂直でないある角度で試料の表面に向かって導かれた荷電粒子ビームを使用して、関心領域上または関心領域の近くに材料ブロックを付着させるステップと、材料ブロックを付着させた後、関心領域の位置を検出する前に、試料を実質的に90度回転させて、試料をその最初の位置に戻すステップとを含む。

【0010】

以上では、以下の本発明の詳細な説明をより十分に理解できるように、本発明の特徴および技術上の利点をかなり広く概説した。以下では、本発明の追加の特徴および利点を説明する。開示される着想および特定の実施形態を、本発明の同じ目的を達成するために他の構造を変更または設計するベースとして容易に利用することができることを当業者は理解すべきである。さらに、このような等価の構造は、添付の特許請求の趣旨および範囲に記載された本発明の範囲を逸脱しないことを当業者は理解すべきである。

30

【0011】

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、添付図面に関して書かれた以下の説明を参照する。

【図面の簡単な説明】

【0012】

【図1A】関心領域102と基準マーク104とを含む試料100の上面図である。

40

【図1B】試料100の側面図である。

【図2A】関心領域202と3次元基準マーク204とを含む試料200の上面図である。

【図2B】3次元基準マーク204を含む試料200の側面図である。

【図3】本発明の1つまたは複数の実施形態に基づく3D基準マークの等角図である。

【図4】3次元基準マークを形成する方法を示す流れ図である。

【図5】3次元基準マークを使用して試料上の関心領域の位置を突き止める方法を示す流れ図である。

【図6】本発明の1つまたは複数の実施形態に基づく典型的な3D基準マークの顕微鏡写真である。

50

【図7】本発明の1つまたは複数の実施形態に基づく典型的な3D基準マークの顕微鏡写真である。

【図8】荷電粒子ビームをx軸方向に掃引(sweep)することによって形成された3D基準マークの「x方向」の側面図である。

【図9】荷電粒子ビームを図8のx軸方向に掃引することによって形成された3D基準マークの「y方向」の側面図である。

【図10】直角でない付着プロファイル(profile)を有する3D基準マークに対する補正方法を示す流れ図である。

【図11】本発明の好ましい実施形態を実施する目的に使用することができる典型的なデュアル・ビームFIB/SEMシステム1110を示す図である。

【図12】画像化位置にある、関心領域801を含む試料800の平面図である。

【図13】基準マークを付着させる前に画像化位置から付着位置へ90度回転させた試料800の平面図である。

【図14】付着した基準マーク804を含む、付着位置にある試料800の平面図である。

【図15】付着した基準マーク804を含む、回転させて画像化位置に戻した試料800の平面図である。

【図16】SEMカラム1606が試料1602の表面に対して直角でなく、FIBカラム1604が試料1602の表面に対して直角な、デュアル・ビーム・システム1600の平面図である。

【図17】SEMカラム1606が試料1602の表面に対して直角でなく、FIBカラム1604が試料1602の表面に対して直角な、デュアル・ビーム・システム1600の側面図である。

【発明を実施するための形態】

【0013】

本発明の実施形態は、2つ以上のビーム位置またはステージ位置を含む画像化操作およびミリング操作を自動化するために必要な正確なビーム配置を提供する基準マークを対象とする。この基準マークは、試料の表面の上方へ、3つの次元に沿った検出可能なある大きさで広がる。3次元(「3D」)基準マークは、異なる角度から同時に認識することができる単一の基準点である。このような3D基準マークは例えば、電子ビームとイオン・ビームとを含む、本出願の譲受人である、米オレゴン州HillsboroのFEI Companyから販売されているDual Beam(商標)機器群などのデュアル・ビーム・システムで使用することができる。3D基準マークは、電子ビーム画像認識とイオン・ビーム画像認識の両方に対して使用することができ、それにより必要な可動部品の数がより少なくなるため、手順が単純になる。しかしながら、3D基準マークはデュアル・ビーム・システムだけに限定されず、単一ビーム・システムと多ビーム・システムの両方で使用することができる。3D基準マークは、いずれもFEI Companyから販売されている自動化されたSlice and View(商標)機器ならびにAutoTEM(商標)ソフトウェアおよびiFAST(商標)ソフトウェアを使用する機器を含む、画像認識を必要とする任意の自動操作に対しても使用することができる。

【0014】

3D基準マークは、試料上の、関心領域の近くに材料ブロックを付着させ、次いで材料ブロックの上面および側面に固有のパターンをミリングすることによって構築される。これらのパターンは、画像認識を可能にする、背景のブロック材料とははっきりと異なる輝度値およびコントラスト値を有する。この基準マークは、ユーセントリック(eucentric)な位置またはユーセントリックな高さで、1つまたは複数のビームから、ならびにさまざまなステージ傾斜位置およびステージ回転位置から認識することができる。ユーセントリックな高さとは、試料を傾けても試料の像が横方向に移動しない試料の高さである。3D基準マークは、ほぼ垂直な平面上での画像認識を使用して、FIBによる切削を配置することを可能にする。伝統的に、入射ビームに対する画像および切削の配置は、

10

20

30

40

50

トップダウン型の基準マークを使用して実行されてきた。平面を掘り下げている間、FIBはほぼ垂直にその平面を見ているため、この先行技術のトップダウン法では、かすめ角（すなわちミリング中または画像化中の試料の表面に対してほぼ平行な角度）でミリングすることはできない。例えば、一段高い白金パッドの上面および側面に、基準マークを切削し、それによって、このかすめ角からのイオン・ビーム画像認識を可能にすることができる。予め45°に傾けられたスタブ(stub)の使用は、そのたの複数の角度からのビーム画像認識を可能にする。

【0015】

3D基準マークは、基準マークが必要な自動化されたどの用途でも使用することができる。自動化のために1つまたは複数のビームおよび1つまたは複数のステージ位置が必要
10
なとき、3D基準マークは、単一の基準点による解決策を提供する。3D基準マークは、走査電子顕微鏡法(SEM)、透過型電子顕微鏡法(TEM)および透過型走査電子顕微鏡法(STEM)、ならびに集束イオン・ビーム(FIB)システムを使用した画像化およびミリングなどの荷電粒子ビーム用途において特に有用である。

【0016】

次に図面を参照する。図2Aは、関心領域202と3D基準マーク204とを含む試料200の上面図である。図2Bは、3D基準マーク204を含む試料200の側面図である。関心領域202は、画像化操作またはミリング操作が実行される試料200の一部
20
である。試料200は、限定はされないが、集積回路特徴部分を含む半導体ウェーハ、固定された生物試料、または透過型電子顕微鏡(TEM)試料を調製するためのバルク材料を含むことができる。例えば、試料200は半導体ウェーハを含み、関心領域202は、その特徴部分が仕様の範囲内で製造されたかどうかを確認するために走査電子顕微鏡または集束イオン・ビームによって画像化される特定の集積回路特徴部分を含む。このような用途では、関心領域202の最大寸法が1マイクロメートル(1μm)未満であることがある。本発明の一実施形態では、3D基準マーク204の最大寸法が100μm以下である。本発明の他の実施形態では、3D基準マーク204の最大寸法が10μm以下である。本発明の他の実施形態では、3D基準マーク204の最大寸法が1μm以下である。

【0017】

3D基準マーク204は、画像化またはミリングされる試料の表面の上方へ、3つの次元に沿った検出可能なある大きさで広がる。本明細書で使用する用語「~の上方へ」は、
30
試料材料の内部から試料材料のない空間に向かう方向へ広がっていることを意味する。用語「検出可能な」は、荷電粒子ビーム・システムを使用して分析することができることを意味する。3D基準マーク204は、試料の表面の上方へ、3つの次元に沿った検出可能なある大きさで広がっているため、3D基準マーク204は、試料200に向かって導かれた荷電粒子ビームによって、試料200の上面と実質的に同じ面の基準マークまたは試料200の表面から内部へミリングされた基準マークよりもはるかに広い範囲の一組の角度で見ることができる。荷電粒子ビームには、限定はされないが、電子ビーム、イオン・ビームおよびレーザー・ビームが含まれる。3D基準マーク204は、試料200の上面
40
に対して垂直な角度(90度)、試料200の上面と共面をなす角度(0度)、または試料200の上面に対して0度から90度の間の任意の角度から見ることができる。3D基準マーク204は、試料200の上面の平面の上方へ検出可能なある大きさで広がっているため、試料200の上面に近いかすめ角で導かれた荷電粒子ビーム、例えば10度未満の角度で導かれた荷電粒子ビームは、3D基準マーク204の識別可能な画像をより容易に形成することができる。

【0018】

3D基準マーク204は、所定のパターン206などの固有の所定のパターンを3D基準
50
マーク204の少なくとも2つの露出した面に有するようにミリングされることが好ましい。3D基準マーク204の画像認識および位置検出を容易にするため、所定のパターン206は、背景のブロック材料とははっきりと異なる輝度値およびコントラスト値を有するようにミリングされる。本発明の好ましい実施形態では、試料200の表面に荷電粒

子ビームを導くことによって形成された画像を分析することによって、画像認識ソフトウェアが、3D基準マーク204の位置を自動的に突き止める。3D基準マーク204の少なくとも2つの面に所定のパターンを配置すると、ステージのさまざまな傾斜位置および回転位置において、3D基準マーク204を、2つ以上の荷電粒子ビームによって同時に画像化することができる。

【0019】

図3は、本発明の1つまたは複数の実施形態に基づく3D基準マーク204の3次元図である。3D基準マーク204は、試料200上の関心領域202に実質的に隣接して配置される。3D基準マーク204は、3つの次元(x、y、z)に沿った検出可能なある大きさで広がる。3D基準マーク204は、荷電粒子ビームによって、これらの3つの次元のうち少なくとも2つの次元内で画像化またはミリングすることができる。例えば、荷電粒子ビームが、y方向に、試料200の表面に対して平行に導かれる場合、3D基準マーク204は、少なくともxz平面で見ることができる。試料100の表面にミリングされたマークである先行技術の基準マークは、試料の表面の上方へ検出可能なある大きさで広がっていないため、試料200の表面に対してほぼ平行な角度からは全く見えないかまたはわずかにしか見えず、このことは、先行技術の基準マークの位置を検出すること、特に自動画像認識ソフトウェアが先行技術の基準マークの位置を検出することを困難にまたは不可能にする。

【0020】

図4は、3次元基準マークを形成する方法を示す流れ図である。試料200上の関心領域202に隣接した位置に材料ブロックを付着させることによって3D基準マーク204を形成する(ステップ404)。この材料ブロックは、試料の表面から試料の表面の上方へ検出可能なある大きさで広がるように付着させる。この材料ブロックは、画像化中またはミリング中の試料の表面と共面をなす角度と画像化中またはミリング中の試料の表面に対して垂直な角度との間の一組の角度のうちのある角度で導かれた荷電粒子ビームによって、少なくとも2つの次元内で画像化またはミリングすることができるように付着させる。試料上に付着物を形成する任意の方法を使用することができる。例えば、荷電粒子ビームの存在下での前駆体ガスの分解を使用して、試料200上に材料ブロックを付着させることができる。次いで、荷電粒子ビームを使用して、材料ブロックの少なくとも2つの露出した面に所定のパターンをミリングする(ステップ406)。形成された基準マークは、所定のパターンを有するようにミリングされた材料ブロックを含む。

【0021】

図5は、3次元基準マークを使用して試料上の関心領域の位置を突き止める方法を示す流れ図である。図4に示した方法を使用して3D基準マーク204を形成した後、3D基準マーク204の位置を検出することによって関心領域202の位置を検出する。本発明の1つまたは複数の実施形態では、試料200の表面の少なくとも一部分を荷電粒子ビームで走査し、試料200の表面の画像を形成する(ステップ504)ことによって、基準マークの位置を検出する。本発明の少なくとも1つの実施形態では、少なくとも2つの荷電粒子ビームによって3D基準マーク204を同時に画像化することができる位置に、3D基準マーク204が配置される。試料の表面の画像中の3D基準マーク204の所定のパターン206を検出する(ステップ506)ことによって、その画像中の3D基準マーク204を識別する。少なくとも1つの実施形態では、3D基準マーク204の露出した1つまたは複数の面にミリングされた所定のパターンを含む、試料200の表面の画像中の3D基準マーク204の像をオペレータが検出するまで、荷電粒子ビーム機器のオペレータが、試料200の表面の画像を人力で監視する。本発明の好ましい一実施形態では、コンピュータが、試料200の表面の画像を自動的に分析し、基準マーク204の所定のパターン206を、例えば所定のパターン206に関連したはっきりと異なる輝度値および/またはコントラスト値を検出することによって自動的に検出する。検出された所定のパターン206および3D基準マーク204の位置に基づいて関心領域202の位置を決定する(ステップ508)。ステップ508で関心領域202の位置を決定した後、荷電

10

20

30

40

50

粒子ビームを使用して関心領域 202 を画像化またはミリングする (ステップ 510)。

【0022】

図6は、本発明の1つまたは複数の実施形態に従って形成した例示的な3D基準マークの顕微鏡写真である。顕微鏡写真600は、試料200の上面に対して垂直な垂線に対して約52度の角度で電子ビームを試料200の表面に向かって導くことによって撮影した。関心領域202に隣接した位置に3D基準マーク204が付着している。3D基準マーク204の上面に所定のパターン206aがミリングされている。この「上面」は、3D基準マーク204を付着させた表面に対して実質的に平行だが、試料200とは接触していない3D基準マーク204の表面である。3D基準マーク204の側面に所定のパターン206bがミリングされている。「側面」は、3D基準マーク204を付着させた表面に対して実質的に垂直な3D基準マーク204の表面である。したがって、3D基準マーク204は、その少なくとも2つの露出した表面に図4のステップ406に従ってミリングされた所定のパターン206a~bを有する。3D基準マーク204の背景のブロック材料とははっきりと異なる所定のパターン206a~bの輝度値およびコントラスト値は、3D基準マーク204を、関心領域202よりも容易に識別することを可能にする。3D基準マーク204を使用して関心領域202の位置を突き止めた後、関心領域202の周囲にトレンチ602をミリングした。

10

【0023】

図7は、本発明の1つまたは複数の実施形態に基づく例示的な3D基準マークの別の顕微鏡写真である。顕微鏡写真700は、試料200の上面に対して垂直な垂線に対して約90度の角度で電子ビームを試料200の表面に向かって導くことによって撮影した。関心領域202に隣接した位置に3D基準マーク204が付着している。3D基準マーク204の上面に所定のパターン(図示せず)がミリングされている。3D基準マーク204の側面に所定のパターン206bがミリングされている。3D基準マークの側面の所定のパターン206bだけが荷電粒子ビームによって画像化されているが、3D基準マーク204は、その少なくとも2つの露出した表面に図4のステップ406に従ってミリングされた所定のパターンを有する。これは、荷電粒子ビームがかすめ角で導かれており、この例では荷電粒子ビームが試料200の上面に対して平行に導かれており、3D基準マーク204の上面が見えないためである。3D基準マークの上面の所定のパターンが見えないのと同じ理由で、試料200の上面にミリングされた先行技術の基準マークも、試料200の表面に向かってかすめ角で導かれた荷電粒子ビームからは見えないであろう。すなわち、トップダウン図すなわち平面図では見える表面特徴部分も、側面図すなわち立面図では全く見えないかまたは容易には見えない。しかしながら、3D基準マークは、画像化またはミリングする試料の表面の上方へ、3つの次元に沿った検出可能なある大きさで広がっているため、試料200の表面に向かってかすめ角で導かれた荷電粒子ビームには、所定のパターン206bを含む3D基準マークの側面が見える。すなわち、3D基準マーク204は、トップダウン図/平面図と側面図/立面図の両方において見ることができ、およびその間の任意の角度から見ることができる。

20

30

【0024】

場合によっては、試料の表面に対して直角でないある角度で試料200の表面に向かって導かれた荷電粒子ビームを使用して、材料ブロックを付着させた方が望ましいことがある。例えば、一部のデュアル・ビーム・プラットフォームでは、走査電子顕微鏡(SEM)を使用して縁が直角な付着物を形成するためにステージを傾けることができない。また、ステージ傾斜機能を有する小型のデュアル・ビーム・システムを使用するとき、オペレータは、SEM付着を実行するときにステージを傾斜させることを回避したいことがある。しかしながら、直角でないSEMビームを使用して(ほぼ無損傷で)「x方向」の3D基準マークを形成すると、「x方向」に沿ってウェーハの表面に対して直角でない付着プロファイルが形成される。ウェーハの表面に対して垂直なFIBビームを使用して後続の付着を画像化したとき、「z方向」の付着プロファイルすなわち「トップダウン図」の付着プロファイルは、「y方向」には直角だが、「x方向」には直角ではない。自動化された

40

50

「無損傷」の用途では、関心領域を画像化し、同時に、「y方向」の関心領域の位置を正確に示す基準マークを形成することが決定的に重要である。

【0025】

図12は、画像化位置にある、関心領域801を含む試料800の平面図である。画像化位置は、荷電粒子ビームを使用して関心領域を画像化するとき使用する試料の位置である。この例では、直角でない荷電粒子ビームを使用して、関心領域801の上に3D基準マークを付着させる。この荷電粒子ビームは、試料800の表面に対して直角でないある角度で導かれるため、荷電粒子ビームの方向の基準マークの付着プロファイルは、試料の表面に対して直角にならない。これを補償するため、本発明の1つまたは複数の実施形態では、基準マークを付着させる前に、試料800を、画像化位置から付着位置へ+90°回転させる。図13は、基準マークを付着させる前に画像化位置から付着位置へ90度回転させた試料800の平面図である。

10

【0026】

図14は、付着位置へ回転させた、付着した3D基準マーク804を含む試料800の平面図である。画像化位置から付着位置へ試料800を90度回転させた後、試料800の表面の関心領域の上に荷電粒子ビーム802を導いて、基準マーク804を付着させる。荷電粒子ビーム802で、ラスタ・パターンに従って走査することが好ましい。すなわち、荷電粒子ビーム802で、x方向では左から右へ、y方向では上から下へ、複数の列に沿って走査する。x方向では、荷電粒子ビーム802が試料の表面に対して直角でないため、x方向の基準マークの付着プロファイルは試料の表面に対して直角にならない。y方向では、荷電粒子ビーム802が試料の表面に対して直角なため、y方向の基準マークの付着プロファイルは試料の表面に対して直角になる。基準マークを付着させる前に、試料802を、画像化位置から付着位置へ回転させることによって、y方向の基準マークの付着プロファイルが試料の表面に対して直角になるため、y方向に関して、基準マークを正確に配置することができる。これについては、図8～9の側面図でより詳細に説明する。

20

【0027】

図15は、回転させて画像化位置に戻した、付着した3D基準マーク804を含む試料800の平面図である。基準マーク804を付着させた後に、試料800を-90°回転させて画像化位置に戻す。基準マーク804の側面806および808は試料800の表面に対して直角でなく、関心領域801に対する正確な配置にはあまり適さない。側面906および908は試料800の表面に対して直角であり、関心領域801に対する正確な配置によく適する。

30

【0028】

図8は、付着位置にある3D基準マーク804の「x方向」のプロファイルの側面図である。荷電粒子ビーム802で、ラスタ・パターンに従って、好ましくは付着前駆体ガスの存在下で走査して、3D基準マーク804用の材料ブロックを試料200上に付着させる。荷電粒子ビーム802は最初に側面806を形成し、最後に側面808を形成する。荷電粒子ビーム802は、x方向において、試料200の表面に対して直角でないある角度で導かれるため、3D基準マーク804の側面806および808も、x方向において、試料200の表面に対して直角にならない。3D基準マーク804の側面806および808は、x方向において試料200の表面に対して直角でないため、関心領域のx方向の位置を示す目的には適さない。すなわち、側面806および808はx方向において「傾いて」おり、そのため、x方向において、3D基準マーク804の頂部の位置は3D基準マーク804の底部の位置と異なる。

40

【0029】

図9は、付着位置にある3D基準マーク804の「y方向」のプロファイルの側面図である。荷電粒子ビーム(図示せず)で、ラスタ・パターンに従って、好ましくは付着前駆体ガスの存在下で走査して、3D基準マーク804用の材料ブロックを試料200上に付着させる。荷電粒子ビーム802で側面906から側面908に向かって走査し、次いで

50

側面 906 に戻り、図 9 の平面からわずかに移動して、別の列を形成する。荷電粒子ビーム 802 は、y 方向において、試料 200 の表面に対して直角なある角度で導かれるため、3D 基準マーク 804 の側面 906 および 908 も、試料 200 の表面に対して実質的に直角になる。3D 基準マーク 804 の側面 906 および 908 は、試料 200 の表面に対して実質的に直角であるため、関心領域の位置を示すのに適する。すなわち、側面 906 および 908 は y 方向において「傾いて」おらず、そのため、y 方向において、3D 基準マーク 804 の頂部の位置は 3D 基準マーク 804 の底部の位置と実質的に同じである。

【0030】

図 10 は、直角でない付着プロファイルを有する 3D 基準マークに対する補正方法を示す流れ図である。最初に、試料 200 を、関心領域 202 を画像化するために使用するステージの向きである画像化位置に対して 90 度回転させる（ステップ 1004）。試料を +90 度回転させて付着位置に置いた後、y 方向に材料ブロックを付着させる（ステップ 1006）。次いで、試料を -90 度回転させて、その元の向きである画像化位置に戻し（ステップ 1008）、FIB または SEM を使用して試料を画像化する（ステップ 1010）。付着の中心は 3D 基準マークの中心であり、付着時間または付着厚さとは無関係である。このとき、この x 方向の 3D 基準マークは z 方向の直角なプロファイルを有する。

【0031】

図 11 は、本発明の好ましい実施形態を実施する目的に使用することができる例示的なデュアル・ビーム FIB / SEM システム 1110 を示す。デュアル・ビーム・システムを参照するが、本発明の態様はデュアル・ビーム・システムだけに限定されず、単一ビーム・システムなどの他の荷電粒子ビーム・システムで実施することもできる。本発明の一実施形態は、試料の表面の平面に対して垂直なまたは試料の表面の平面に対して数度傾いたイオン・ビームと、イオン・ビームの軸から例えば 52 度傾いた軸を有する電子ビームとを使用するデュアル・ビーム FIB / SEM システム 1110 を利用する。いくつかの実施形態では、イオン・ビームの視野と電子ビームの視野が互いから数ミクロン以内に位置するように、これらの両方のビームが互いに整列することができる。イオン・ビームは一般に加工物を画像化する目的および加工する目的に使用され、電子ビームは主に画像を形成する目的に使用されるが、加工物を改変する目的に電子ビームを使用することもできる。電子ビームは一般に、イオン・ビーム画像よりも高分解能の画像を生成し、イオン・ビームとは違い、入射した表面を傷つけない。これらの 2 つのビームによって形成される画像は異なって見えることがあり、したがってこれらの 2 つのビームは、単一のビームよりも多くの情報を提供することができる。

【0032】

このようなデュアル・ビーム・システムは、別個の構成要素から製作することができ、あるいは米オレゴン州 Hillsboro の FEI Company から販売されている Altura（商標）または Expida（商標）システムなどの従来の装置を基にして構成することもできる。本発明は、例えば FIB だけのシステム、SEM だけのシステムなどの単一ビーム・システム、または 2 つの FIB カラムを有するデュアル・ビーム・システムを含む、他の粒子ビーム・システムを使用して実現することもできる。

【0033】

集束イオン・ビーム・システム 1110 は、上部ネック部分 1112 を有する排気された囲い 1111 を含み、上部ネック部分 1112 内にはイオン源 1114 および集束カラム 1116 が位置し、集束カラム 1116 は、引出し電極および静電光学系を含む。イオン源 1114 を出たイオン・ビーム 1118 は、カラム 1116 を通過し、1120 に概略的に示されている静電偏向手段間を通り抜けて、下室 1126 内の可動 X - Y - Z ステージ 1124 上に配置された試料 1122、例えば半導体デバイスを含む試料 1122 に向かって進む。イオン・ポンプまたは他のポンピング・システム（図示せず）を使用してネック部分 1112 を排気することができる。室 1126 は、真空コントローラ 1132

10

20

30

40

50

の制御の下、ターボ分子/機械ポンピング・システム 1 1 3 0 によって排気される。この真空システムは、室 1 1 2 6 に、約 1×10^{-7} トルから 5×10^{-4} トルの間の真空を提供する。エッチング支援ガス、エッチング遅延ガスまたは付着前駆体ガスを使用する場合、室のバックグラウンド圧力は典型的には約 1×10^{-5} トルまで上昇することがある。

【 0 0 3 4 】

イオン源 1 1 1 4 と、イオン・ビーム 1 1 1 8 を形成し下方へ導く集束カラム 1 1 1 6 内の適当な電極とに高圧電源 1 1 3 4 が接続される。パターン発生器 1 1 3 8 によって提供される決められたパターンに従って動作する偏向コントローラおよび増幅器 1 1 3 6 が偏向板 1 1 2 0 に結合され、それによって対応するパターンを試料 1 1 2 2 の上面に描くようにビーム 1 1 1 8 を制御することができる。いくつかのシステムでは、当技術分野ではよく知られているように、偏向板が、最後のレンズの前に配置される。

10

【 0 0 3 5 】

イオン源 1 1 1 4 は一般にガリウムの金属イオン・ビームを提供するが、マルチカスプ (m u l t i c u s p) イオン源、他のプラズマ・イオン源など、他のイオン源を使用することもできる。イオン・ミリング、強化されたエッチングもしくは材料付着によって試料 1 1 2 2 を改変するため、または試料 1 1 2 2 を画像化するために、イオン源 1 1 1 4 を一般に、試料 1 1 2 2 の位置における幅が $1 / 10$ ミクロン未満のビームに集束させることができる。画像化のために 2 次イオンまたは 2 次電子の放出を検出する目的に使用される荷電粒子増倍器 1 1 4 0 が信号処理装置 1 1 4 2 に接続されており、荷電粒子増倍器 1 1 4 0 からの信号は信号処理装置 1 1 4 2 で増幅され、デジタル信号に変換され、信号処理にかけられる。その結果生成されるデジタル信号は、試料 1 1 2 2 の画像をモニター 1 1 4 4 に表示する。

20

【 0 0 3 6 】

F I B / S E M システム 1 1 1 0 はさらに、走査電子顕微鏡 1 1 4 1、電源および制御ユニット 1 1 4 5 を備える。陰極 1 1 5 2 と陽極 1 1 5 4 の間に電圧を印加することによって、陰極 1 1 5 2 から電子ビーム 1 1 4 3 が放出される。電子ビーム 1 1 4 3 は、集光レンズ 1 1 5 6 および対物レンズ 1 1 5 8 によって微細なスポットに集束する。電子ビーム 1 1 4 3 は、偏向コイル 1 1 6 0 によって試料の表面を 2 次元的に走査する。集光レンズ 1 1 5 6、対物レンズ 1 1 5 8 および偏向コイル 1 1 6 0 の動作は電源および制御ユニット 1 1 4 5 によって制御される。

30

【 0 0 3 7 】

電子ビーム 1 1 4 3 を、下室 1 1 2 6 内の可動 X - Y - Z ステージ 1 1 2 4 上にある試料 1 1 2 2 の表面に集束させることができる。走査電子顕微鏡 1 1 4 1 は、微細な集束電子ビーム 1 1 4 3 を生成し、微細な集束電子ビーム 1 1 4 3 は、構造体の表面を、好ましくはあるラスタ・パターンに従って走査する。電子ビーム 1 1 4 3 中の電子が加工物 1 1 2 2 の表面に衝突すると、2 次電子および後方散乱電子が放出される。この 2 次電子および後方散乱電子はそれぞれ、2 次電子検出器 1 1 4 0 または後方散乱電子検出器 1 1 6 2 によって検出される。2 次電子検出器 1 1 4 0 または後方散乱電子検出器 1 1 6 2 によって生成されたアナログ信号は、信号処理ユニット 1 1 4 2 によって増幅され、デジタル輝度値に変換される。その結果生成されるデジタル信号を、試料 1 1 2 2 の画像としてモニター 1 1 4 4 に表示することができる。

40

【 0 0 3 8 】

ステージ 1 1 2 4 上に試料 1 1 2 2 を挿入するため、および内部ガス供給リザーバが使用される場合には内部ガス供給リザーバを使用するために、扉 1 1 7 0 が開かれる。ステージ 1 1 2 4 は加熱または冷却されていることがある。システムが真空状態にある場合に開かないように、この扉はインタロックされる。イオン・ビーム 1 1 1 8 にエネルギーを与え集束させるため、高電圧電源は、イオン・ビーム・カラム 1 1 1 6 内の電極に適当な加速電圧を印加する。

【 0 0 3 9 】

50

ガス蒸気を導入し試料1122に向かって導くためにガス送達システム1146が下室1126内へ延びている。本発明の譲受人に譲渡されたCase11a他の「Gas Delivery Systems for Particle Beam Processing」という名称の米国特許第5,851,413号明細書は適当なガス送達システム1146を記載している。別のガス送達システムが、やはり本発明の譲受人に譲渡されたRasmussenの「Gas Injection System」という名称の米国特許第5,435,850号明細書に記載されている。例えば、ヨウ素を送達してエッチングを強化することができ、または金属有機化合物を送達して金属を付着させることができる。

【0040】

システム・コントローラ1119は、デュアル・ビーム・システム1110のさまざまな部分の動作を制御する。従来のユーザ・インタフェース(図示せず)にコマンドを入力することによって、ユーザは、システム・コントローラ1119を介してイオン・ビーム1118または電子ビーム1143で思い通りに走査することができる。システム・コントローラ1119は、コンピュータ可読の記憶装置1121をさらに備えることができ、記憶装置1121に記憶された、データまたはプログラムされた命令に従って、デュアル・ビーム・システム1110を制御することができる。記憶装置1121に記憶された試料/半導体に関するCADデータを使用して、前述のように関心の特徴部分および位置合せ点の位置を突き止めまたは基準マークを転写する目的に使用するCAD多角形オーバーレイまたは他の位置データを生み出すことができる。

【0041】

代替実施形態では、FIBカラムが、試料の表面に対して直角にイオン・ビームが導かれるように配置され、SEMカラムが、試料の表面に対して直角でないある角度で電子ビームが導かれるように配置される。例えば、図8~10および12~15に示した本発明の実施形態によれば、試料の表面に対して45°の角度で電子ビームが導かれるようにSEMを配置することが好ましい。図16~17は、FIBカラムが、試料の表面に対して直角にイオン・ビームが導かれるように配置され、SEMカラムが、試料の表面に対して直角でないある角度で電子ビームが導かれるように配置された代替実施形態を示す。図16は、SEMカラム1606が試料1602の表面に対して直角でなく、FIBカラム1604が試料1602の表面に対して直角な、デュアル・ビーム・システム1600の平面図である。図17は、EMカラム1606が試料1602の表面に対して直角でなく、FIBカラム1604が試料1602の表面に対して直角な、デュアル・ビーム・システム1600の側面図である。

【0042】

本発明のいくつかの実施形態によれば、試料上に基準マークを形成し、その基準マークを使用して、試料上の関心領域の位置を突き止める方法は、試料上の、試料上の関心領域に隣接した位置に、試料の表面から試料の表面の上方へ検出可能なある大きさで広がる材料ブロックを付着させることによって基準マークを形成するステップと、その材料ブロックの少なくとも2つの露出した面に、荷電粒子ビームを使用して所定のパターンをミリングするステップと、基準マークを形成した後に、基準マークの位置を検出することによって、関心領域の位置を検出するステップと、関心領域の位置を検出した後に、荷電粒子ビームを使用して、関心領域を画像化またはミリングするステップとを含む。

【0043】

いくつかの実施形態では、基準マークの位置を検出することが、試料の表面の少なくとも一部分を荷電粒子ビームを使用して画像化すること、および試料の前記一部分の画像中の基準マークの前記所定のパターンを検出することを含む。いくつかの実施形態では、試料の前記一部分の画像中の基準マークの前記所定のパターンが、画像認識ソフトウェアによって自動的に検出される。

【0044】

いくつかの実施形態では、基準マークを荷電粒子ビームによって画像化したときに、基

10

20

30

40

50

準マークが、材料ブロックとははっきりと異なる輝度値またはコントラスト値を有するように、前記所定のパターンが基準マークにミリングされる。いくつかの実施形態では、付着させた材料ブロックを、荷電粒子ビームによって、少なくとも2つの次元で画像化またはミリングすることが可能である。いくつかの実施形態では、少なくとも2つの荷電粒子ビームによって基準マークを同時に画像化することができる位置に、基準マークが配置される。いくつかの実施形態では、画像化が電子ビームによって実行され、ミリングが集束イオン・ビームによって実行される。いくつかの実施形態では、付着させた材料ブロックの幾何形状が実質的に平行六面体である。

【0045】

本発明のいくつかの実施形態によれば、試料上の関心領域の位置を突き止めるための基準マークは、試料上の関心領域に隣接した位置に付着させた材料ブロックであり、試料の表面から試料の表面の上方へ検出可能なある大きさで広がる材料ブロックと、材料ブロックの少なくとも2つの露出した面にミリングされた所定のパターンとを含む。

10

【0046】

いくつかの実施形態では、基準マークの最大寸法が100マイクロメートル(100 μ m)以下である。いくつかの実施形態では、基準マークの最大寸法が10マイクロメートル(10 μ m)以下である。いくつかの実施形態では、基準マークの最大寸法が1マイクロメートル(1 μ m)以下である。いくつかの実施形態では、材料ブロックが、一段高い白金パッドを含む。

【0047】

20

いくつかの実施形態では、基準マークを荷電粒子ビームによって画像化したときに、基準マークが、材料ブロックとははっきりと異なる輝度値またはコントラスト値を有するように、前記所定のパターンが基準マークにミリングされている。いくつかの実施形態では、少なくとも2つの荷電粒子ビームによって基準マークを同時に画像化することができる位置に、基準マークが配置される。いくつかの実施形態では、付着させた材料ブロックの幾何形状が実質的に平行六面体である。

【0048】

本発明のいくつかの実施形態によれば、システムが、少なくとも1つの荷電粒子ビームと、試料ステージと、試料ステージ上に配置された試料と、試料上に配置された基準マークとを備え、この基準マークが、試料上の関心領域に隣接した位置に付着させた材料ブロックであり、試料の表面から試料の表面の上方へ検出可能なある大きさで広がる材料ブロックと、材料ブロックの少なくとも2つの露出した面にミリングされた所定のパターンとを含む。

30

【0049】

いくつかの実施形態では、基準マークの最大寸法が100マイクロメートル(100 μ m)以下である。いくつかの実施形態では、基準マークの最大寸法が10マイクロメートル(10 μ m)以下である。いくつかの実施形態では、基準マークの最大寸法が1マイクロメートル(1 μ m)以下である。いくつかの実施形態では、材料ブロックが、一段高い白金パッドを含む。

【0050】

40

いくつかの実施形態では、基準マークを荷電粒子ビームによって画像化したときに、基準マークが、材料ブロックとははっきりと異なる輝度値またはコントラスト値を有するように、前記所定のパターンが基準マークにミリングされている。いくつかの実施形態では、少なくとも2つの荷電粒子ビームによって基準マークを同時に画像化することができる位置に、基準マークが配置されている。いくつかの実施形態では、付着させた材料ブロックの幾何形状が実質的に平行六面体である。

【0051】

本発明のいくつかの実施形態によれば、試料上の関心領域の位置を突き止めるための基準マークを試料上に形成する方法は、試料を画像化位置から実質的に90度回転させるステップと、試料を画像化位置から実質的に90度回転させた後に、試料の表面に対して垂

50

直でないある角度で試料の表面に向かって導かれた荷電粒子ビームを使用して、関心領域上または関心領域の近くに材料ブロックを付着させるステップと、材料ブロックを付着させた後、関心領域の位置を検出する前に、試料を実質的に90度回転させて、試料をその最初の位置に戻すステップとを含む。

【0052】

いくつかの実施形態では、前記荷電粒子ビームが走査電子顕微鏡の電子ビームであり、この電子ビームが、試料の表面に対して直角でないある角度で試料の表面に導かれる。いくつかの実施形態では、この方法が、基準マークを形成した後に、基準マークの位置を突き止めることによって関心領域の位置を突き止めるステップと、関心領域に向かって集束イオン・ビームを導くステップとをさらに含み、この集束イオン・ビームが、試料の表面に対して実質的に直角なある角度で試料の表面に導かれる。

10

【0053】

本発明および本発明の利点を詳細に説明したが、添付の特許請求の範囲によって定義された本発明の趣旨および範囲から逸脱することなく、本明細書に、さまざまな変更、置換および改変を加えることができることを理解すべきである。さらに、本出願の範囲が、本明細書に記載されたプロセス、機械、製造、組成物、手段、方法およびステップの特定の実施形態に限定されることは意図されていない。当業者なら本発明の開示から容易に理解するように、本明細書に記載された対応する実施形態と実質的に同じ機能を実行し、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、方法またはステップを、本発明に従って利用することができる。したがって、添付の特許請求の範囲は、その範囲内に、このようなプロセス、機械、製造、組成物、手段、方法またはステップを含むことが意図されている。

20

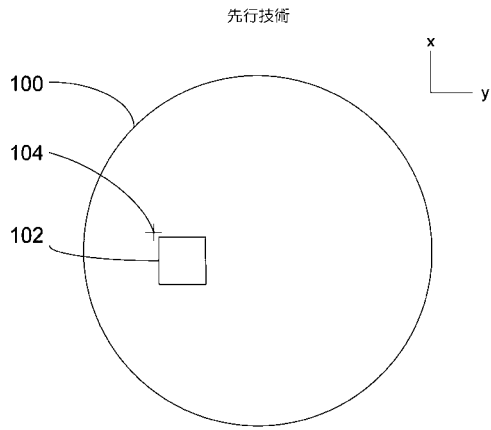
【符号の説明】

【0054】

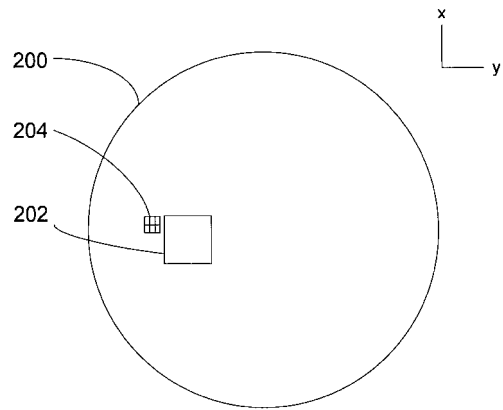
- 1110 デュアル・ビームFIB/SEMシステム
- 1114 イオン源
- 1116 集束カラム
- 1119 システム・コントローラ
- 1121 記憶装置
- 1122 試料
- 1124 可動X-Y-Zステージ

30

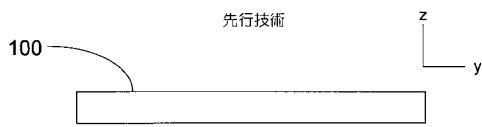
【図 1 A】



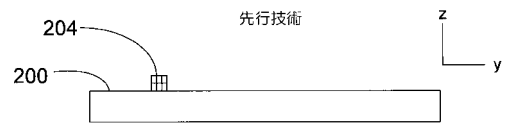
【図 2 A】



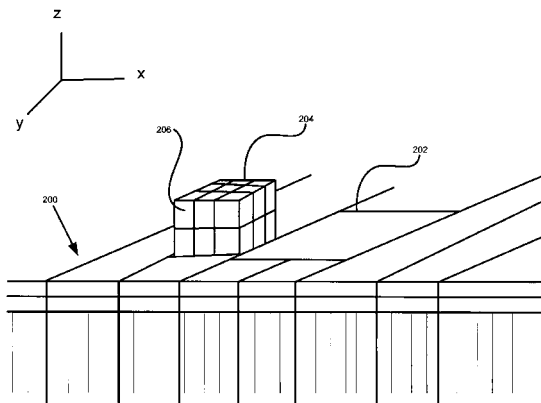
【図 1 B】



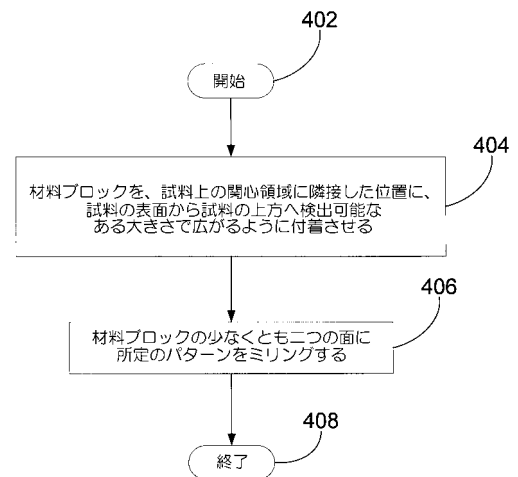
【図 2 B】



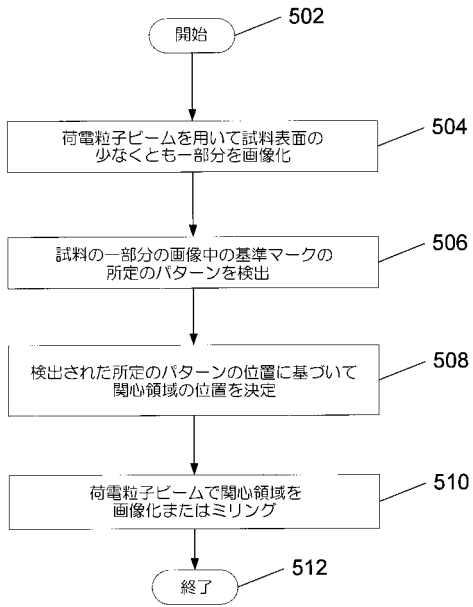
【図 3】



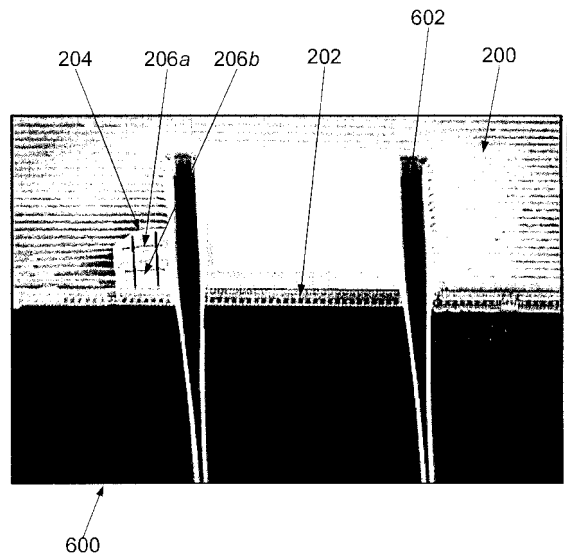
【図 4】



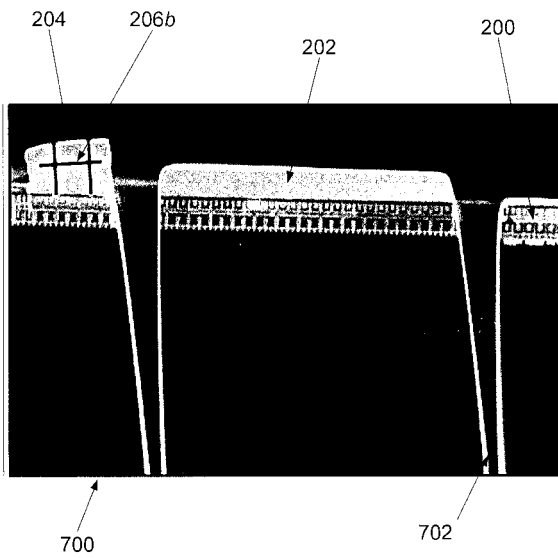
【図5】



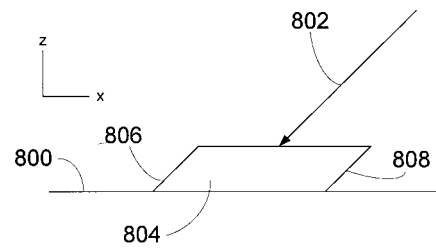
【図6】



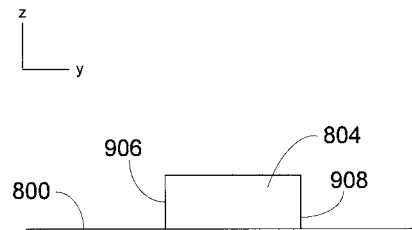
【図7】



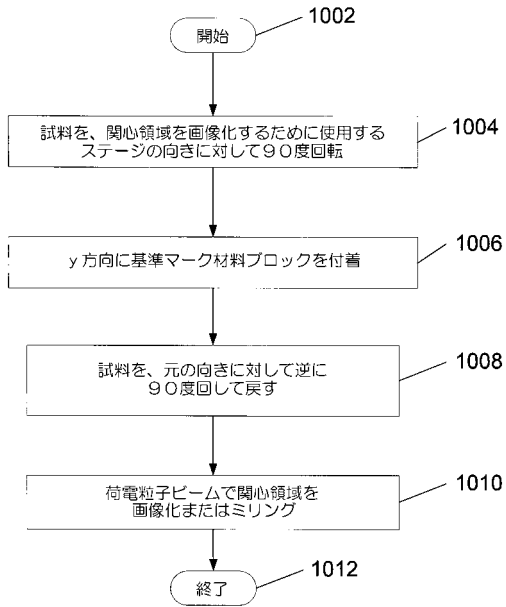
【図8】



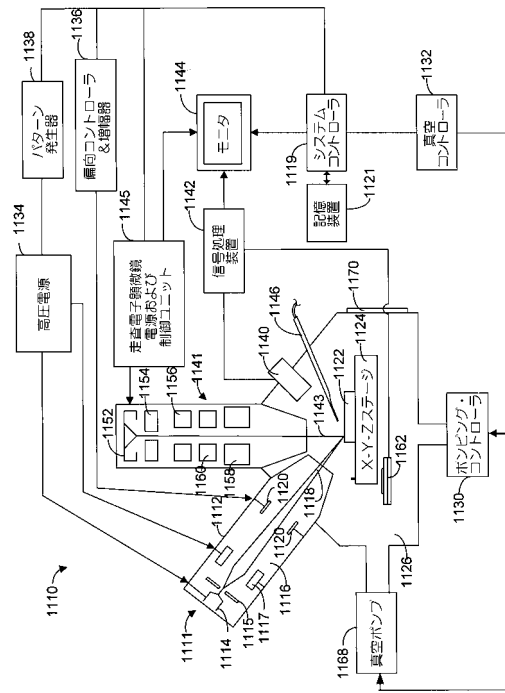
【図9】



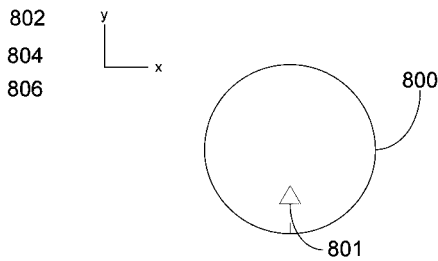
【図10】



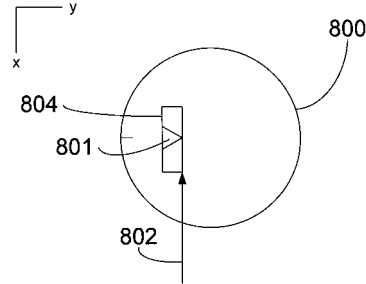
【図11】



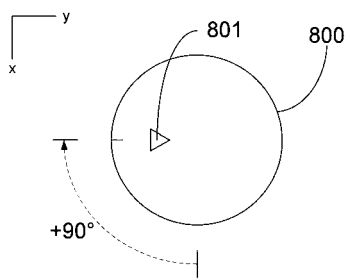
【図12】



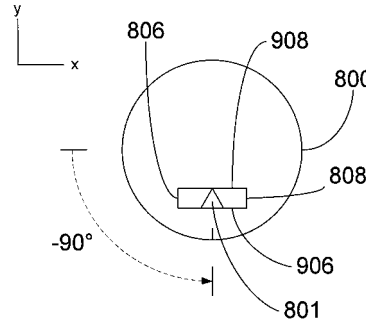
【図14】



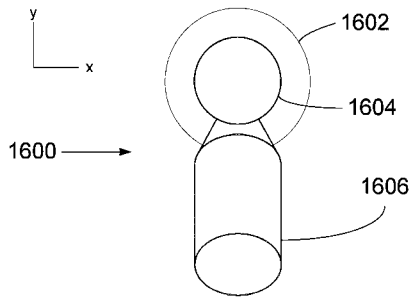
【図13】



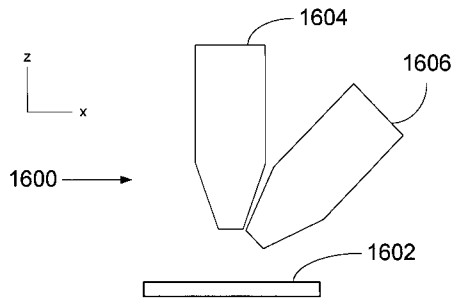
【図15】



【 図 1 6 】



【 図 1 7 】



フロントページの続き

- (72)発明者 トッド・ハンソン
アメリカ合衆国 オレゴン州 97008 ビーバートン エス・ダブリュー カムデン・レーン
12069
- (72)発明者 スコット・エドワード・フラー
アメリカ合衆国 オレゴン州 97219 ポートランド エスダブリュー ヴェスタ・ストリー
ト 3035
- (72)発明者 ジェイソン・ドナルド
アメリカ合衆国 オレゴン州 97229 ポートランド エヌダブリュー オークリッジ・ドラ
イブ 16686

審査官 桐畑 幸 廣

(56)参考文献 特開2012-243726(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H01J 37/305

H01J 37/28

B23K 15/00