

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第6199979号  
(P6199979)

(45) 発行日 平成29年9月20日 (2017.9.20)

(24) 登録日 平成29年9月1日 (2017.9.1)

(51) Int.Cl.

F I

H O 1 J 37/317 (2006.01)

H O 1 J 37/317

D

G O 1 N 1/28 (2006.01)

G O 1 N 1/28

F

B 2 3 K 15/00 (2006.01)

G O 1 N 1/28

G

B 2 3 K 15/00

5 0 8

請求項の数 20 (全 23 頁)

(21) 出願番号 特願2015-535869 (P2015-535869)  
 (86) (22) 出願日 平成25年10月7日 (2013.10.7)  
 (65) 公表番号 特表2015-533256 (P2015-533256A)  
 (43) 公表日 平成27年11月19日 (2015.11.19)  
 (86) 国際出願番号 PCT/US2013/063704  
 (87) 国際公開番号 W02014/055982  
 (87) 国際公開日 平成26年4月10日 (2014.4.10)  
 審査請求日 平成28年10月2日 (2016.10.2)  
 (31) 優先権主張番号 61/710,376  
 (32) 優先日 平成24年10月5日 (2012.10.5)  
 (33) 優先権主張国 米国 (US)

(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 スターシー・ストーン  
 アメリカ合衆国 97006 オレゴン州  
 ビーバートン エスタブリュー ソーサ  
 ・プレイス 795

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 傾斜ミリング保護のためのバルク付着

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

試料中の関心の特徴部分を露出させるため、荷電粒子ビームを使用する方法であって、  
 前記試料の表面で前記関心の特徴部分に隣接した位置にトレンチをミリングすること、  
 ビーム誘起付着を使用して前記トレンチに材料を充填すること、  
 前記関心の特徴部分を露出させるために、付着させた前記材料を通してミリングする必  
 要がある角度から、イオン・ビームを導くことであって、前記角度は、前記表面と前記イ  
 オン・ビームの間の45度以下の角度であること、および  
 露出させた前記関心の特徴部分を観察すること  
 を含む方法。

【請求項 2】

ビーム誘起付着を使用して前記トレンチに材料を充填することが、前記関心の特徴部分  
 に隣接した位置に材料を付着させ、前記関心の特徴部分の上には材料を付着させないこと  
 を含む、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 3】

前記角度は、前記表面と前記イオン・ビームの間の10度以下の角度である、請求項 1  
 または請求項 2 に記載の方法。

【請求項 4】

充填された前記トレンチがバルクヘッドを含み、  
 前記バルクヘッドが、前記関心の特徴部分に最も近い近位縁を有し、

前記バルクヘッドが、前記関心の特徴部分を露出させるためにイオン・ビームを導くことによって前記近位縁上のそれぞれの点が異なる深さにミリングされるように構成された、

請求項 1 から 3 のいずれか一項に記載の方法。

【請求項 5】

前記関心の特徴部分が同一の複数の特徴部分を含み、イオン・ビームを導くことが、前記バルクヘッドに隣接した複数の関心の特徴部分を、露出させた 1 つの面内の異なる深さのところに露出させる、請求項 4 に記載の方法。

【請求項 6】

前記関心の特徴部分を露出させるために、付着させた前記材料を通してミリングする必要がある角度から、イオン・ビームを導くことが、前記関心の特徴部分の側面視を提供するために、ビーム方向に対して平行な垂直面を露出させることを含む、請求項 1 または請求項 2 に記載の方法。

10

【請求項 7】

前記関心の特徴部分を露出させるために、付着させた前記材料を通してミリングする必要がある角度から、イオン・ビームを導くことが、前記関心の特徴部分のほぼ上面視を提供するために、水平から 10 度未満でかつビーム方向に対して平行な面を露出させることを含む、請求項 1 から 5 のいずれか一項に記載の方法。

【請求項 8】

元の表面よりも下方の複数の深さにおける前記関心の特徴部分に関する情報を提供するため、前記関心の特徴部分を露出させるために付着させた前記材料を通してミリングする必要がある角度からイオン・ビームを導く前記ステップ、および、露出させた前記関心の特徴部分を観察する前記ステップが繰り返される、請求項 7 に記載の方法。

20

【請求項 9】

第 1 の材料を含む試料中の関心の特徴部分を荷電粒子ビームを用いて露出させる方法であって、

前記試料の表面で前記関心の特徴部分に隣接した位置に穴をミリングすること、

前記穴に第 2 の材料を充填すること、および

前記関心の特徴部分を露出させるために、前記第 2 の材料を通してミリングする必要がある角度から、イオン・ビームを導くこと

30

を含み、

前記角度は、前記表面と前記イオン・ビームの間の 45 度以下の角度である、方法。

【請求項 10】

前記関心の特徴部分に隣接した位置に穴をミリングすることが、前記表面に対して垂直の方向に前記穴をミリングすることを含む、請求項 9 に記載の方法。

【請求項 11】

前記穴に第 2 の材料を充填することが、荷電粒子ビーム付着を使用して前記穴に充填することを含む、請求項 9 または請求項 10 に記載の方法。

【請求項 12】

前記関心の特徴部分を露出させるためにイオン・ビームを導くことが、視射角ミリングを実行することを含む、請求項 9 から 11 のいずれか一項に記載の方法。

40

【請求項 13】

前記視射角ミリングを実行する前に前記試料の向きを再調整すること、および

走査電子顕微鏡を用いて前記試料を画像化すること

をさらに含む、請求項 12 に記載の方法。

【請求項 14】

前記穴に充填するのに使用される前記第 2 の材料が、前記第 1 の材料のエッチング速度の 30 % 以内のエッチング速度を有する、請求項 9 から 13 のいずれか一項に記載の方法。

【請求項 15】

50

前記関心の特徴部分が高アスペクト比構造体である、請求項 9 から 14 のいずれか一項に記載の方法。

【請求項 16】

前記穴に充填するのに使用される前記第 2 の材料がタングステン、白金または酸化物を含む、請求項 9 から 15 のいずれか一項に記載の方法。

【請求項 17】

視射角ミリングを実行する前記ステップおよび走査電子顕微鏡を用いて前記試料を画像化する前記ステップを少なくとも一度繰り返すことをさらに含む、請求項 13 に記載の方法。

【請求項 18】

前記試料の 3 次元情報を生成するために、前記試料を画像化することによって得られた情報が結合される、請求項 17 に記載の方法。

【請求項 19】

前記関心の特徴部分に隣接した位置に穴をミリングすることが、前記関心の特徴部分に対して斜めの近位縁を有する前記穴をミリングすることを含む、請求項 9 に記載の方法。

【請求項 20】

試料中の関心の特徴部分を露出させるシステムであって、  
集束イオン・ビームを供給するイオン光学カラムと、  
集束電子ビームを供給する電子光学カラムと、  
前記試料から放出された 2 次粒子を検出する粒子検出器と、  
コンピュータ・メモリと通信するコントローラと  
を備え、前記コンピュータ・メモリが、

前記試料の表面で前記関心の特徴部分に隣接した位置に穴をミリングする命令、  
荷電粒子ビーム付着を使用して前記穴に第 2 の材料を充填する命令、

前記関心の特徴部分を露出させるために、付着させた前記第 2 の材料を通してミリングする必要がある角度から、イオン・ビームを導く命令であり、前記角度は、前記表面と前記イオン・ビームの間の角度であり、付着させた前記第 2 の材料を通してミリングすることが、視射角ミリングを実行すること、および前記視射角ミリングを実行する前に前記試料の向きを再調整することを含む命令、ならびに

走査電子顕微鏡を使用して前記試料を画像化する命令  
を記憶している  
システム。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、構造体の荷電粒子ビーム処理に関する。

【背景技術】

【0002】

プロセス監視および不良解析のために微視的構造体（ナノメートル規模のものを含む）を調べる一般的な方法は、集束イオン・ビーム（FIB）を用いて構造体内にトレンチを切削して、表面に対して直角な断面を露出させ、次いで走査電子顕微鏡（SEM）を用いてその断面を観察する方法である。他の技法は、構造体から薄い試料を抜き出して透過電子顕微鏡（TEM）で観察するものである。しかしながら、イオン・ビーム・ミリング・アーチファクトが露出した構造体を歪め、そのため、電子ビーム像が元の構造体を正確に表さないことがある。

【0003】

あるタイプのアーチファクトは「カーテニング（curtaining）」と呼ばれるが、これはそのアーチファクトがカーテンのように見えるためである。カーテニングは、イオン・ビームによって異なる速度でミリングされる材料から試料になるときなど、異なる材料が異なる速度で除去されるときに生じる。充填されていない穴（hole）がカー

10

20

30

40

50

テニングを引き起こすことがあり、ガウス形のイオン・ビームの「尾」によるミリングがカーテニングを引き起こすこともある。カーテニングは、不規則な形状を有する表面をミリングするときにも生じることがある。時には、例えばともに本発明の譲受人に譲渡された「Methods for Preparing Thin Samples for Tem Imaging」という名称の米国特許出願公開第2013/0143412号明細書および「Method and Apparatus for Controlling Topographical Variation on a Milled Cross-Section of a Structure」という名称の米国特許出願公開第2012/0199923号明細書に記載されているように、ガウス形ビームの尾に起因するミリングによるカーテニングを低減させるために、関心領域の上に保護層を付着させることもある。

10

#### 【0004】

高さが幅よりもはるかに大きい特徴部分を露出させるときには深刻なアーチファクトが生み出されることがある。このような構造体は「高アスペクト比」特徴部分と呼ばれる。例えば、高さが幅の4倍ある特徴部分は高アスペクト比特徴部分とみなされることになる。集積回路の層間のホールまたはコンタクト(contact)はしばしば、幅の数倍の高さを有する高アスペクト比構造体である。

#### 【0005】

半導体製造プロセスでは、より多くの回路がより小さなパッケージに詰め込まれるため、集積回路設計はますます3次元(3D)的なものとなっており、より多くの高アスペクト比特徴部分を含む。3D NAND回路などの3D集積回路(IC)構造体の高アスペクト比構造体、特に、充填されていないコンタクト・ホールを分析する際、従来のイオン・ビーム試料調製は、歪み、カーテニングなどの受け入れがたいアーチファクトを生じさせる。

20

#### 【0006】

充填されていない高アスペクト比ホールが試料上にあるとき、中実領域と充填されていないホールに隣接した領域との間にはミリング速度に大きな差がある。ミリング速度のこの大きな差の結果、カーテニング効果、またはホールの形状を歪める別のアーチファクトであるウォーターフォール(waterfall)効果が生じる。イオン・ビーム・ミリング・プロセスに起因する構造体の損傷およびアーチファクトは、高アスペクト比垂直構造体の分析を困難にする。

30

#### 【0007】

プロセス・エンジニアが観察する必要がある1つの構造的な特徴部分は、スルー・シリコン・パイア(through-silicon via:TSV)である。TSVの断面を形成することは、ポイドおよび境界面の特性を評価するために半導体研究室において一般的に実施されている作業である。一般に50~300nmであるTSVの深さのため、イオン・ビームを用いてTSVの断面をミリングするとかなりのカーテニングが生じることがある。

#### 【0008】

特徴部分を露出させるためのイオン・ビーム・ミリングの使用に起因する損傷およびアーチファクトのため、画像は、製造プロセスの結果を忠実に示さない。それらのアーチファクトは、測定を妨げ、製造プロセスの評価を妨げる。それらの画像および測定値は、本来の製造プロセスの結果だけでなく、試料調製の影響をも示すためである。

40

#### 【0009】

さらに、複雑な材料スタックを有する高アスペクト比ホールまたは高アスペクト比トレンチは、スキャッタロメトリ(scatterometry)、測長走査電子顕微鏡法(CD-SEM)などの知られている他の方法を用いて測定することが難しい。

#### 【0010】

求められているのは、調査および/または測定のために関心領域を露出させ、製造プロセスを表す正確な画像を生成する方法であって、関心領域を傷つけたり、または露出させ

50

た表面にアーチファクトを生じさせたりすることのない方法である。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0011】

【特許文献1】米国特許出願公開第2013/0143412号明細書

【特許文献2】米国特許出願公開第2012/0199923号明細書

【特許文献3】米国特許出願第13/609,811号

【特許文献4】米国特許第6,373,070号明細書

【特許文献5】米国特許第5,851,413号明細書

【特許文献6】米国特許第5,435,850号明細書

10

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0012】

本発明の目的は、調査のために埋込まれた特徴部分を露出させ、同時にそれらの特徴部分に対する損傷を最小限に抑えることにある。

【課題を解決するための手段】

【0013】

本発明の実施形態は、関心の特徴部分に隣接した位置の材料を除去して穴を残し、その穴に、付着させた材料を充填し、それによって「バルクヘッド(bulkhead)」を形成する。この付着させた材料を部分的に通して導かれたイオン・ビームが関心の特徴部分の一部分を露出させる。この付着させた材料を通してビームを導くことによってアーチファクトが低減し、露出した表面は、その構造体を、露出前と同じように見えるようにより正確に表す。いくつかの実施形態では、関心の特徴部分の一部分が、表面に対してある視射角(glancing angle)でミリングすることによって露出される。

20

【0014】

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大まかに概説した。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、本発明の目的と同じ目的を達成するために他の構造体を変更しまたは設計するための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体は、添付の特許請求の範囲に記載された本発明の趣旨および範囲を逸脱しないことを当業者は理解すべきである。

30

【0015】

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】

【0016】

【図1】本発明の方法を示す流れ図である。

【図2A】図1の流れ図の実行を示す図である。

【図2B】図1の流れ図の実行を示す図である。

40

【図2C】図1の流れ図の実行を示す図である。

【図2D】図1の流れ図の実行を示す図である。

【図2E】図1の流れ図の実行を示す図である。

【図3A】処理前の試料の上面図である。

【図3B】図3Aの試料の断面図である。

【図4A】ミリングされた穴を有する試料の上面図である。

【図4B】図4Aの試料の断面図である。

【図5A】付着させた材料が充填された穴を有する試料の上面図である。

【図5B】図5Aの試料の断面図である。

【図6A】試料上で実行された視射角ミリングの上面図である。

50

【図 6 B】図 6 A の試料の断面図である。

【図 7 A】追加の視射角ミリングが実行された図 6 A の試料の上面図である。

【図 7 B】図 7 A の試料の断面図である。

【図 8 A】追加の視射角ミリングが実行された図 7 A の試料の上面図である。

【図 8 B】図 8 A の試料の断面図である。

【図 9】斜め付着 (angled deposition) を使用する本発明の第 2 の実施形態の流れ図である。

【図 10 A】漸進的 (progressive) 視射角ミリングの上面図である。

【図 10 B】図 10 A の断面図である。

【図 11】図 10 A の別の断面図である。

10

【図 12】図 10 A の別の断面図である。

【図 13】バルクヘッド付着保護および斜めミリングを使用する本発明の第 3 の実施形態の諸ステップを示す流れ図である。

【図 14 A】斜めミリングのためのバルクヘッド付着保護の上面図である。

【図 14 B】斜めミリングのためのバルクヘッド付着保護の断面図である。

【図 14 C】斜めミリングのためのバルクヘッド付着保護の別の断面図である。

【図 15】本発明の実施形態を実施することができる典型的なデュアル・ビーム・システムを示す図である。

【図 16】アーチファクトのない断面を効率的に生み出すバルク・ヘッドを示す図である。

20

【図 17】最適でないバルク・ヘッドを示す図である。

【発明を実施するための形態】

【0017】

本発明の実施形態は、イオン・ビームを使用して、関心領域または関心の特徴部分に隣接した試料の一部分をミリングし、それによってトレンチを形成し、その中に「バルクヘッド」を付着させる。「バルクヘッド」は、関心領域をミリングする前にイオン・ビームが通る材料である。バルクヘッドは通常、中実の材料ブロックである。関心領域の上ではなく関心領域に隣接して位置するこの付着物は、ミリングの間、ビーム方向の関心領域の縁を保護する。いくつかの実施形態は、傾斜角ミリングと隣接する保護付着物との組合せを提供する。先行技術は、既存の表面の特徴部分の上に保護層を付着させることを教示しているが、本発明のミリングの実施形態は、関心の特徴部分の上ではなく関心の特徴部分に隣接した位置に材料を付着させる新しい表面を生み出す。本明細書では、用語「関心領域」、「関心の構造体」および「関心の特徴部分」が相互に交換可能に使用される。

30

【0018】

本発明のいくつかの実施形態は、充填されていない高アスペクト比ホールまたは高アスペクト比トレンチを有する試料に対して特に有利である。いくつかの実施形態は、特性評価の対象の 1 つまたは複数の深いホールに隣接した位置に、FIB を用いて穴をミリングする。ミリングしたこの穴に、付着させた材料を充填する。付着させた材料は、バルク・ヘッドを横切って傾いた向きに、視射角または傾いた断面形成によってミリングするときカーテニングの形成を防ぐマスクの役目を果たす。この付着させた材料は、バルクヘッドの全体を通じて実質的に均一であり、そのためカーテニングを低減させる。

40

【0019】

このバルクヘッドの実施形態は通常、関心領域の上ではなく、ある水平面において関心領域の隣に配置された厚い付着物であり、通常は、この目的のためにミリングされた穴またはトレンチの中に材料を付着させる。次いで、関心領域を露出させるミリングは、上面から下方へ (top down) ではなく、バルクヘッドを通る水平成分を有する。下記の例ではイオン・ビーム誘起付着が使用されるが、適当な任意の付着方法を使用することができる。例えば、レーザ・ビーム、電子ビームなどのビームが前駆体を分解して材料を付着させる他の異なるタイプの誘起付着、および前駆体の分解なしに材料を付着させるクラスター・ビーム付着などの直接付着を使用することができる。

50

## 【 0 0 2 0 】

バルクヘッドの好ましい寸法は、ミリングの深さおよび角度に依存し、これは、露出させる関心の特徴部分によって決まる。バルクヘッドの幅は、少なくとも関心領域の幅と同じであるべきである。ビームは、関心の特徴部分の全部またはかなりの部分をミリングする前に均一な材料の中を通過することが好ましい。ミリングのある時点でバルクヘッドがあまりに薄くなる場合には、カーテニングが生じうる。バルクヘッドの形状は、ビームが関心領域に入る前にビームに均一な材料を提示する最小体積であることが好ましい。すなわち、斜めのビームが関心領域の底に接触したときでも、ビームが依然として、バルクヘッドのかなりの長さの中を進んでいるように、バルクヘッドは十分に長く十分に深くあるべきである。

10

## 【 0 0 2 1 】

バルクヘッドが長方形の箱形である必要はない。傾斜したパターンが最も効率的であるが、作製がより複雑になる。例えば、図 1 6 は、過剰な付着なしでカーテニングを低減させる効率的なバルクヘッド設計を示す。試料 1 6 0 2 は、付着させたバルクヘッド 1 6 0 4 および関心の特徴部分 1 6 0 6 を含む。矢印 1 6 0 8 によって示されているように、ビームが関心の特徴部分の底をミリングしているとき、ビームはバルクヘッドの中を通過している。ビームが通らない領域 1 6 1 0 などのエリア内にバルクヘッドを拡張してもミリングは改善せず、処理時間が不必要に増大する。図 1 7 は、最適でないバルクヘッド 1 7 0 4 および関心の特徴部分 1 7 0 6 を有する試料 1 7 0 2 を示す。ビーム 1 7 0 8 は、その経路上の特徴部分 1 7 1 0 の底のところで不均一な密度に遭遇し、この不均一な密度は、バルクヘッドの不均一なミリングを引き起こし、このバルクヘッドの不均一なミリングが、バルクヘッドの反対側の関心の特徴部分の不均一なミリングを引き起こすことがある。

20

## 【 0 0 2 2 】

C D - S E M、スカッターロメトリおよび T E M を含む既存の方法は、それぞれ深さ、複雑すぎる / 多すぎる変数および試料の完全性に関わる理由から、複雑な材料スタック上の空のホール（オープン・ホール（open hole））の寸法の特性をうまく評価することができない。記載された本発明の実施形態は、複雑な材料スタック上のオープン・ホールの寸法の特性を評価する能力を提供する。

## 【 0 0 2 3 】

空の構造体の試料を調製するためのバルクヘッド付着に使用する 3 つの実施形態を下に示す。

30

## 【 0 0 2 4 】

- 1 . スライス・アンド・ビュー（slice and view）型の斜め型ミリング・プロセス
- 2 . 斜め型ミリングのための斜め付着プロセス
- 3 . 視射角平面ではなく垂直平面を観察のために露出させる斜めミリング・プロセス。

## 【 0 0 2 5 】

方法 1 - 視射角ミリングを用いたスライス・アンド・ビュー

以下で説明するプロセスでは、S E M の電子カラムが垂直に装着され、F I B が 5 2 度に装着される。このようなシステムが図 1 5 に示されており、このシステムについては後に詳細に説明する。以下に記載される角度はこのシステムの構成についてのものである。他の構成を使用するときには異なる角度が使用されるが、いくつかの実施形態では同じ相対角度が使用される。

40

## 【 0 0 2 6 】

図 1 は、本発明の一実施形態を示す流れ図である。図 2 A ~ 2 E は、それぞれのステップにおけるイオン・ビームおよび電子ビームを示す。図 3 A は、このプロセスを受ける試料 3 0 2 の上面図を示し、図 3 B は、図 3 A の線 3 B - 3 B に沿って切った側断面図を示す。断面を識別するこの規定はこの説明の全体を通して使用される。試料 3 0 2 は、オープン・ホール 3 0 4、トレンチまたは充填されていない他の高アスペクト比構造体などの

50

複数の高アスペクト比構造体を含む。ステップ 102 で、図 2 A に示されているように、FIB を使用して、関心の構造体に隣接した位置に、上面から下方へ、すなわち加工物表面に対して垂直に、穴をミリングする。図 4 A および 4 B は、関心の構造体 404 の隣の穴 402 を示す。図 4 B では、穴がミリングされた領域の背景にオープン・ホール 406 が見える。ステップ 104 で、図 2 B に示されているように、この穴に、試料の上面から下へ、例えばイオン・ビーム誘起付着を使用して、充填を実施する。図 5 A および 5 B は付着させた材料 502 を示す。付着材料の一部はおそらく関心領域の上に付着する。この穴には、例えばタングステン、白金、酸化物、またはイオン・ビーム誘起付着を使用して付着させることができる他の材料を充填することができる。この付着させた材料は、同じエッチング速度、例えば 30 % 以内の同じエッチング速度、または加工物材料よりも低いエッチング速度を有することが好ましい。付着前駆体についてはよく知られている。

10

#### 【0027】

ステップ 106 で、視射角ミリングのために試料の向きを再調整し、試料をミリングする。視射角ミリングは、参照によって本明細書に組み込まれる、2012 年 9 月 11 日に出願された「Glancing Angle Mill」という名称の米国特許出願第 13/609,811 号に詳細に記載されている。ステップ 108 で、視射角ミリングを、図 2 C ~ 2 E に示されているように実行する。視射角は  $10^{\circ}$  以下であることが好ましく、 $5^{\circ}$  以下であるとより好ましく、 $3^{\circ}$  以下であるとよりいっそう好ましく、いくつかの場合には  $1^{\circ}$  以下である。本明細書で使用されるとき、視射角ミリングは、イオン・ビームと試料の上面の間との角度を  $10^{\circ}$  以下にして試料をミリングすることを指す。本発明は視射角ミリングだけに限定されない。用途によっては、 $45^{\circ}$  までのビーム角またはよりいっそう大きなビーム角が有効である。

20

#### 【0028】

使用する実際の角度は、使用するシステム上で使用可能な構成および実施する測定の高さに依存する。例えば、典型的な銅の相互接続トレンチの深さは 12 nm である。試料ステージの傾きは、イオン・ビームと試料の間の角度が、ターゲット・エリアの遠端に深さ 12 nm の切削部を生み出すように調整される。すなわち、特徴部分を完全に露出させるように角度および深さを設定することができる。図 2 C ~ 2 E の実施形態ではイオン・ビームがまさしく試料の上面に導かれるが、好ましいいくつかの実施形態では、ほとんど同じ方法で、ビームを試料中のより深い位置まで導いて、より深い位置に埋め込まれた特徴部分を露出させることもできる。

30

#### 【0029】

図 6 A および 6 B は視射角ミリングの結果を示す。ビーム方向の水平成分が矢印 602 によって示されており、ビーム方向の垂直成分は図面を貫く方向である。ミリングの深さは、バルクヘッド付着物を横切って関心領域内へ向かって左から右へ増大しており、図 6 A のミリングされた領域では、このことが、陰影が左から右へ次第に濃くなっていることによって示されている。ステップ 108 での視射角ミリングの後、ステップ 110 で、SEM を使用して断面を観察して、上面から下方へ試料を画像化する。作動距離を短くすることによって高品質の画像を維持するため、SEM の向きは構造体に対してほぼ直角にする。付着物から比較的に遠くに位置するミリングされた領域はカーテニング効果を受けやすく、付着させた領域により近い試料領域は、カーテニングまたは他の変形をほとんどまたは全く示さない。したがって、バルクヘッドは関心の特徴部分に非常に近いことが望ましい。

40

#### 【0030】

ステップ 108 および 110 を繰り返して「スライス・アンド・ビュー」を実行し、それによってさまざまな深さにおける特徴部分の画像を提供する。それらの画像を結合して 3 次元情報を得ることができる。図 2 D は、構造体から材料をさらに除去して図 7 A および 7 B に示された結果を生み出す後続の視射角ミリングを示す。図 2 E は、構造体から材料をさらに除去して図 8 A および 8 B に示された結果を生み出す後続の視射角ミリングを示す。

50



## 【 0 0 3 1 】

この繰返し「スライス・アンド・ビュー」プロセスは異なる深さにおける情報を提供する。後続のそれぞれのスライスは、バルク・ヘッドに近い関心の特徴部分のわずかにより深い部分を露出させる。この視射角ミリングはビームの方向により深いミリングを生み出すため、図 5 B ~ 8 B に示した一連の関心の特徴部分がある場合、このミリングは、ビーム経路上の異なる関心の特徴部分を、異なる深さのところに露出させる。しかしながら、特徴部分がバルクヘッドから遠いほど、より多くのアーチファクトが生じる傾向がある。最良の画像は、バルクヘッドに最も近い特徴部分から形成される。複数の「スライス・アンド・ビュー」ステップの使用は、単一の構造体の異なる深さにおける複数の画像を提供する。スライス・アンド・ビューは、構造体のより良好な真円度を通したミリング品質のより良好な制御、直径ミリング・サイズのより優れた制御を提供し、ミリングしているときの深さに対するより優れた相関を生み出す。これらの繰返しスライス・アンド・ビュー画像を結合して、特徴部分の 3 次元画像を形成することができる。

10

## 【 0 0 3 2 】

## 方法 2 - 斜めバルクヘッド付着

いくつかの試料では、関心領域が、同一の特徴部分からなる複数の列を有する。上で示したとおり、例えば図 6 B に示したように、視射角ミリングは、それらの同一の特徴部分のうちの異なる特徴部分を、表面下の異なる深さのところに露出させる。バルクヘッドに隣接していない列の特徴部分ではカーテニングが生じ、特に、バルクヘッドと関心の特徴部分との間に特徴部分が介在する場合にはカーテニングが生じる。バルクヘッドに最も近い列の特徴部分だけが最良の画像を生み出す。上記の実施形態ではそれらの特徴部分が全て同じ深さに切削される。

20

## 【 0 0 3 3 】

関心領域に最も近いバルクヘッドの縁を「近位縁」と呼ぶ。いくつかの実施形態では、ミリング・プロセス中の近位縁上の異なる点の元の表面からの深さが異なるように近位縁がミリングされるような態様で、イオン・ビーム・ミリングが実施される。いくつかの実施形態では、近位縁のいくつかの部分が他の部分よりもビーム源から遠く、そのため、加工物に斜めに入射するビームによって、ビーム源から遠い近位縁の点がビーム源に近い部分よりも深くミリングされる。すなわち、バルクヘッドの近位縁が、イオン・ビーム・ミリングによって形成された傾斜した表面のミリングの等深線に対して平行ではない。いくつかの用途では、このことが、視射角ミリングのビームの走査方向に対して近位縁が平行でないことを意味する。ミリング・プロセス中の近位縁上の異なる点の元の表面からの深さが異なるようにミリングされるバルクヘッドを、「斜めバルクヘッド」と呼ぶ。これは、近位縁がビーム方向に対して直角でないためである。

30

## 【 0 0 3 4 】

バルクヘッドの近位縁上の点が異なる深さにミリングされる場合には、近位縁バルクヘッドに隣接するそれぞれの関心の特徴部分も異なる深さにミリングされ、それにより、異なる深さのアーチファクトのない視野が、1 回のミリング操作によって提供される。

## 【 0 0 3 5 】

この実施形態では、F I B が穴の上方からミリングして穴を形成し、この穴に充填が実施されて斜めバルクヘッドが形成される。この実施形態は、1 回の視射角ミリングで、特徴部分の真円度、直径などの特性を深さに相関させることを可能にする。この実施形態をスライス・アンド・ビューとともに使用して、同じ特徴部分の異なる深さの複数の画像を提供することもできる。

40

## 【 0 0 3 6 】

図 9 は、この方法の諸ステップを示す流れ図であり、図 1 0 A、1 0 B、1 1 A、1 1 B、1 2 A および 1 2 B は、エッチング後の充填されていない構造体 1 0 0 4 を、観察すべき関心領域 1 0 0 8 として含む加工物 1 0 0 2 を示す。ステップ 9 0 1 で、イオン・ビームの走査方向に対して斜めに、穴を、上から下へミリングする。ステップ 9 0 2 で、材料のイオン・ビーム誘起付着によってこの穴に上から下へ充填を実施して、斜めバルクヘ

50

ッド１００６を形成する。ステップ９０３で、視射角ミリングのために試料の向きを再調整する。

【００３７】

ステップ９０４で、視射角ミリングを、第１の実施形態に関して上で説明したとおりに実行する。図１０Ａは、この視射角ミリングの結果の上面図を示す。矢印１０１０はビーム方向の水平成分を示し、ビーム方向はさらに図面を貫く方向の成分を有する。矢印１０１２はビームの走査方向を示す。図面上の垂直線はミリングの等深線に対応することになる。ミリングの深さは、陰影によって示されているように左から右に行くにつれて深くなる。バルクヘッドの近位縁１０１６はミリングの等深線を横切る。すなわち、バルクヘッドの近位縁１０１６はミリングの等深線に対して斜めである。充填されていない構造体１００４Ａ、１００４Ｂ、１００４Ｃ、１００４Ｄおよび１００４Ｅは全てバルクヘッドに隣接しており、それらの断面にカーテニング・アーチファクトはほとんどまたは全くない。充填されていない構造体１００４Ｆなどの充填されていない別の構造体はカーテニングを有する。バルクヘッドと構造体１００４Ｆの間には充填されていない別の２つの構造体があるためである。

10

【００３８】

図１０Ｂ、１１および１２は、図１０Ａの異なる平面に沿って切った断面を示す。これらの異なる断面は、１回の視射角ミリング・ステップによって、充填されていないそれぞれの構造体１００４Ａ、１００４Ｂ、１００４Ｃ、１００４Ｄおよび１００４Ｅが、表面下の異なる深さのところに露出することを示している。逐次的な数回のミリング・ステップ後の試料を図６～８が表す上記の実施形態とは違い、図１０Ａ、１０Ｂ、１１および１２は、斜めバルクヘッドを使用した１回のミリング・ステップの後の試料の異なる断面を表す。

20

【００３９】

任意選択のステップ９０５で試料の向きを再調整し、ステップ９０６で電子ビームによる画像化を実施する。視射角ミリングのための試料の向きはＳＥＭの向きによって制限されない。さまざまな所望のミリング視射角が可能であることは、ＳＥＭに対するさまざまな向きを可能にする。本発明の一実施形態は、ＳＥＭが上面視（top down view）を有することを可能にするであろう。ＳＥＭの向きが垂直であることは、ＳＥＭレンズを構造体に近づけて作動距離を短くし、より高品質の画像化を提供することを可能にする。

30

【００４０】

この方法を利用することの利点は、１回の切削で異なる深さの分析を正確に実施することができること、および真円度、直径などの特性を深さに相関させることができることである。この実施形態を、繰返しスライス・アンド・ビューとともに使用して、同じ特徴部分の異なる深さにおける情報を提供することもできる。

【００４１】

方法３ - 斜めミリングのためのバルクヘッド付着保護

図１３は、本発明の他の実施形態の諸ステップを示す。図１４Ａは、図１３のステップに従って処理されている加工物１４０２の上面図を示し、図１４Ｂおよび１４Ｃは、オープン・ホール１４０６、トレンチまたは充填されていない他の高アスペクト比構造体などの複数の高アスペクト比構造体を含む加工物１４０２の断面を示す。ステップ１３０１で、イオン・ビーム、典型的には表面に対して垂直方向を向いたイオン・ビームを使用して、試料に穴をミリングする。ステップ１３０２で、関心領域１４０８に隣接して位置するこの穴に、付着させた材料を充填して、上記の実施形態に関して説明したとおりにバルクヘッド１４０４を形成する。

40

【００４２】

上記の実施形態では、表面に対してある視射角を有するように向けられたミリングが、加工物内へ、上面から下方へ、ミリング・エリアの全体にわたって均一に進行した。すなわち、ビームがミリング・エリアを往復で走査し、後続の走査では走査線が下方へ移動し

50

て加工物のより深くまで入って、次第に深くなる斜めのトレンチを形成した。

【 0 0 4 3 】

この実施形態では、関心領域の側面に、傾斜した線が、所望のミリング深さまでミリングされ、次いで、ミリングされた面が関心領域に向かって横に進むようにビームが走査される。上記の実施形態と同様に、関心領域の前のビーム経路に付着させたバルクヘッドは関心領域のカーテニングを防ぐ。このプロセスの結果、上記の実施形態の視射角上面視の代わりに、関心の特徴部分の側面視を示す垂直面が露出する。すなわち、関心の特徴部分が充填されていない管である場合、上記の実施形態は、1つの深さのところで管を横切る、上面から下方へ観察するための円形のスライスを露出させ、それに対して、この実施形態は、側面から観察するためにホールをその全長にわたって示す、管を縦断する縦のスライスを露出させる。この実施形態は、上面視を生み出さないため、加工物表面に対するビームの角度をより大きくすることができる。ステップ1303で、イオン・ビームが、傾いたミリングの向きで断面をミリングする。ステップ1304で、試料の向きを再調整し、SEMを用いて試料を観察する。

10

【 0 0 4 4 】

図14Aは、バルクヘッド1404の上面図を示す。矢印1410はイオン・ビームの水平成分の方向を示し、イオン・ビームは図面内へも斜めに入射している。陰影によって示されているように、このミリングは、左へ行くほど浅く、右へ行くほど深い。図14Bは、線14B-14Bにおける図14Aの断面を示す。この図ではミリングが完了しており、露出した特徴部分1406Aおよび1406Bを図面に対して垂直な位置から観察する準備ができています。図14Cは、観察する平面の手前の既にミリングされた平面から見た断面を示す。

20

【 0 0 4 5 】

図14Cの線1410は、ミリングされたトレンチの底の平面を示し、そのため線1410の直上に材料はない。このミリング線よりも下のバルクヘッド1404の部分はミリング後も残る。図14Cの背景には、ミリングされていないバルクヘッド1404、および観察するために露出させた試料のミリングされていない部分が見えており、この試料のミリングされていない部分は、断面形成された特徴部分1046Aおよび1406Bを含む。

【 0 0 4 6 】

最終的な断面の前方に十分に深いトレンチを形成して、電子ビームが断面を走査することができ、トレンチから2次電子が抜け出ることができ、それらの2次電子を集めて画像を形成することができるようにするために、このミリングは、関心領域から十分に遠い位置から始まるのが好ましい。ステップ1303および1304を繰り返して「スライス・アンド・ビュー」を実行し、それによって関心領域が側面からミリングされたときに複数の画像を得ることができる。

30

【 0 0 4 7 】

デュアル・ビーム・システム

図15は、垂直に装着されたSEMカラムと、垂直から約52°の角度に装着されたFIBカラムとを備える、本発明を実施するのに適した典型的なデュアル・ビーム・システム1510を示す。適当なデュアル・ビーム・システムは例えば、本出願の譲受人である、米オレゴン州HillsboroのFEI Companyから市販されている。適当なハードウェアの一例を以下に示すが、本発明は、特定のタイプのハードウェアで実現されることだけに限定されない。

40

【 0 0 4 8 】

走査電子顕微鏡1541と電源および制御ユニット1545はデュアル・ビーム・システム1510に備わっている。陰極1552と陽極1554の間に電圧を印加することによって、陰極1552から電子ビーム1543が放出される。電子ビーム1543は、集光レンズ1556および対物レンズ1558によって微細なスポットに集束する。電子ビーム1543は、偏向コイル1560によって試料上で2次元的に走査される。集光レン

50

ズ 1 5 5 6、対物レンズ 1 5 5 8 および偏向コイル 1 5 6 0 の動作は電源および制御ユニット 1 5 4 5 によって制御される。

【 0 0 4 9 】

電子ビーム 1 5 4 3 を、下室 1 5 2 6 内の可動式ステージ 1 5 2 5 上にある基板 1 5 2 2 上に集束させることができる。電子ビーム中の電子が基板 1 5 2 2 に当たると、2 次電子が放出される。この 2 次電子は、後に論じる 2 次電子検出器 1 5 4 0 によって検出される。

【 0 0 5 0 】

デュアル・ビーム・システム 1 5 1 0 は集束イオン・ビーム ( F I B ) システム 1 5 1 1 をさらに含み、F I B システム 1 5 1 1 は、上部 1 5 1 2 を有する排気された室を含み、上部 1 5 1 2 内にはイオン源 1 5 1 4 および集束カラム 1 5 1 6 が位置し、集束カラム 1 5 1 6 は、引出し電極および静電光学系を含む。集束カラム 1 5 1 6 の軸は、電子カラムの軸から 5 2 度傾いている。上部 1 5 1 2 は、イオン源 1 5 1 4、引出し電極 1 5 1 5、集束要素 1 5 1 7、偏向要素 1 5 2 0 および集束イオン・ビーム 1 5 1 8 を含む。イオン源 1 5 1 4 を出たイオン・ビーム 1 5 1 8 は、集束カラム 1 5 1 6 を通過し、静電偏向器 1 5 2 0 間を通り抜けて、下室 1 5 2 6 内の可動式ステージ 1 5 2 5 上に配置された基板 1 5 2 2、例えば半導体デバイスを含む基板 1 5 2 2 に向かって進む。

【 0 0 5 1 】

ステージ 1 5 2 5 は、水平面 ( X 軸および Y 軸 ) 内で移動することができ、かつ垂直に ( Z 軸 ) 移動することができることが好ましい。ステージ 1 5 2 5 はさらに約 6 0 ° 傾くことができ、Z 軸を軸にして回転することができる。X - Y ステージ 1 5 2 5 上に基板 1 5 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の整備作業のために、扉 1 5 6 1 が開かれる。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。

【 0 0 5 2 】

上部 1 5 1 2 を排気するためにイオン・ポンプ ( 図示せず ) が使用される。室 1 5 2 6 は、真空コントローラ 1 5 3 2 の制御の下、ターボ分子および機械ポンピング・システム 1 5 3 0 によって排気される。この真空システムは、室 1 5 2 6 に、約  $1 \times 10^{-7}$  トルから  $5 \times 10^{-4}$  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  $1 \times 10^{-5}$  トルまで上昇することがある。

【 0 0 5 3 】

イオン・ビーム 1 5 1 8 にエネルギーを与え集束させるため、高圧電源が、イオン・ビーム集束カラム 1 5 1 6 内の電極に適当な加速電圧を印加する。イオン・ビーム 1 5 1 8 が基板 1 5 2 2 に当たると、材料がスパッタリングされる。すなわち試料から材料が物理的に追い出される。あるいは、イオン・ビーム 1 5 1 8 が前駆体ガスを分解して、材料を付着させることもできる。

【 0 0 5 4 】

液体金属イオン源 1 5 1 4 と、約 1 k e V から 6 0 k e V のイオン・ビーム 1 5 1 8 を形成しそれを試料に向かって導くイオン・ビーム集束カラム 1 5 1 6 内の適当な電極とに高圧電源 1 5 3 4 が接続されている。パターン発生器 1 5 3 8 によって提供される所定の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 5 3 6 が偏向板 1 5 2 0 に結合されており、それによって、対応するパターンを基板 1 5 2 2 の上面に描くようにイオン・ビーム 1 5 1 8 を手動または自動で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。イオン・ビーム集束カラム 1 5 1 6 内のビーム・ブランキング ( b l a n k i n g ) 電極 ( 図示せず ) は、ブランキング・コントローラ ( 図示せず ) がブランキング電極にブランキング電圧を印加したときに、イオン・ビーム 1 5 1 8 を、基板 1 5 2 2 ではなくブランキング絞り ( 図示せず ) に衝突させる。

【 0 0 5 5 】

10

20

30

40

50

液体金属イオン源 1514 は通常、ガリウムの金属イオン・ビームを提供する。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基板 1522 を改変するため、または基板 1522 を画像化するために、この源は通常、基板 1522 の位置における幅が 1 / 10 マイクロメートル未満のビームに集束させることができる。プラズマ・イオン源などの他のイオン源を使用することもできる。

#### 【0056】

任意選択のプローブ・アセンブリは、プローブ運動機構 1580、および露出した導体に電圧を印加し、または露出した導体の電圧を感知することを可能にするプローブ・チップ (probe tip) 1581 を含む。プローブ・チップを、所望の位置まで個別に移動させ、下ろして、基板 1522 に接触させることができる。3つのプローブ・チップが示されているが、プローブ・チップの数は変更することができる。複数のプローブ運動機構を使用して、任意の数のプローブを制御することができる。プローブ・チップは、基板 1522 の正確な位置に電圧または電流を印加することができ、かつ/または電圧または電流を感知することができる。

#### 【0057】

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エバーハート・ソーナリー (Everhart Thornley) 検出器、マルチチャンネル・プレートなどの荷電粒子検出器 1540 がビデオ回路 1542 に接続されており、ビデオ回路 1542 は、ビデオ・モニタ 1544 に駆動信号を供給し、コントローラ 1519 から偏向信号を受け取る。下室 1526 内における荷電粒子検出器 1540 の位置は実施形態によって変更することができる。例えば、荷電粒子検出器 1540 はイオン・ビームと同軸とすることができ、イオン・ビームが通り抜けることを可能にする穴を含むことができる。他の実施形態では、最終レンズを通過させ、次いで軸から逸らした 2 次粒子を集めることができる。

#### 【0058】

光学顕微鏡 1551 は、試料 1522 およびプローブ 1581 の観察を可能にする。この光学顕微鏡は、例えば本出願の出願人が所有する Rasmussen の「Method apparatus for a coaxial optical microscope with focused ion beam」という名称の米国特許第 6,373,070 号明細書に記載されているように、一方の荷電粒子ビームと同軸とすることができ、

#### 【0059】

ガス蒸気を導入し基板 1522 に向かって導くためにガス送達システム 1546 が下室 1526 内へ延びている。本発明の譲受人に譲渡された Casella 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 1546 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、イオン・ビームまたは電子ビームの衝突時に金属を付着させるため、ビーム衝突位置に金属有機化合物を送達することができる。白金を付着させるための  $(CH_3)_3Pt(C_6H_5)$ 、タングステンを付着させるためのタングステンヘキサカルボニルなどの前駆体ガスを送達し、電子ビームによって分解して、ステップ 108 の保護層を提供することができる。

#### 【0060】

システム・コントローラ 1519 は、デュアル・ビーム・システム 1510 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り、ユーザは、システム・コントローラ 1519 を介して、イオン・ビーム 1518 または電子ビーム 1543 を所望の通りに走査することができる。あるいは、システム・コントローラ 1519 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 1510 を制御することができる。好ましいコントローラは、図 1、9 または 1

3のステップを自動的に実施する命令を記憶した記憶装置と通信し、または図1、9または13のステップを自動的に実施する命令を記憶した記憶装置を含む。システム・コントローラ1519を使用して、プローブ運動アセンブリ1580を制御することができる。いくつかの実施形態では、デュアル・ビーム・システム1510が、関心領域を自動的に識別する、米マサチューセッツ州NatickのCognex Corporationから市販されているソフトウェアなどの画像認識ソフトウェアを含み、システムは、本発明に従って画像化する断面を手動でまたは自動的に露出させることができる。例えば、このシステムは、複数のデバイスを含む半導体ウェーハ上の同様の特徴部分の位置を自動的に突き止め、異なる（または同じ）デバイス上の関心の特徴部分を露出させ、それらの特徴部分の画像を形成することができる。

10

#### 【0061】

本発明は、幅広い適用可能性を有し、上記の例において説明し示した多くの利点を提供することができる。本発明の実施形態は、具体的な用途によって大きく異なる。全ての実施形態が、これらの全ての利点を提供するわけではなく、全ての実施形態が、本発明によって達成可能な全ての目的を達成するわけでもない。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。

#### 【0062】

本明細書の説明では、ウェーハまたは他の加工物に対して水平、およびウェーハまたは他の加工物に対して垂直という用語が使用される。「水平」は通常、加工物表面および加工物上に付着した導電性の平面に対して水平であることを意味するために使用され、「垂直」は通常、加工物表面に対して直角であることを意味するために使用されることが理解される。

20

#### 【0063】

本発明は、幅広い適用可能性を有し、上記の例において説明し示した多くの利点を提供することができる。本発明の実施形態は、具体的な用途によって大きく異なる。全ての実施形態が、これらの全ての利点を提供するわけではなく、全ての実施形態が、本発明によって達成可能な全ての目的を達成するわけでもない。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。

30

#### 【0064】

本明細書は、方法とその方法の操作を実行する装置の両方を開示する。このような装置は、必要な目的に合わせて特に構築することができ、または、コンピュータに記憶されたコンピュータ・プログラムによって選択的に起動されもしくは再構成される汎用コンピュータもしくはその他のデバイスを備えることができる。さまざまな汎用荷電粒子ビーム・システムを、本明細書の教示に基づくプログラムとともに使用することができる。あるいは、必要な方法ステップを実行するより専門化された装置を構築した方が適切なこともある。

#### 【0065】

加えて、本明細書に記載された方法の個々のステップをコンピュータ・コードによって実行に移すことができることは当業者には明白であるため、本明細書は、コンピュータ・プログラムも暗に開示する。このコンピュータ・プログラムは、特定のプログラム言語および特定のプログラム言語の実装だけに限定されることは意図されていない。さまざまなプログラム言語およびさまざまなプログラム言語コーディングを使用して、本明細書に含まれる開示の教示を実現することができることが理解される。さらに、このコンピュータ・プログラムが、特定の制御フローだけに限定されることは意図されていない。このコンピュータ・プログラムには他の多くの変型があり、それらの変型プログラムは、本発明の趣旨または範囲を逸脱しないさまざまな制御フローを使用することができる。

40

#### 【0066】

このようなコンピュータ・プログラムは任意のコンピュータ可読媒体上に記憶すること

50

ができる。このコンピュータ可読媒体は、磁気もしくは光ディスク、メモリ・チップなどの記憶デバイス、または汎用コンピュータとインタフェースするのに適した他の記憶装置デバイスを含むことができる。このコンピュータ可読媒体はさらに、インターネット・システムにおいて例証されている媒体などのハード・ワイヤード媒体、またはG S M（登録商標）移動電話システムにおいて例証されている媒体などの無線媒体を含むことができる。このコンピュータ・プログラムは、このような汎用コンピュータまたは荷電粒子ビーム用のコントローラ上にロードされ実行されたときに、好ましい方法の諸ステップを実現する装置を効果的に構成する。

【 0 0 6 7 】

本発明は、ハードウェア・モジュールとして実現することもできる。より具体的には、ハードウェアに関して、モジュールは、他の構成要素または他のモジュールと一緒に使用されるように設計された機能ハードウェア・ユニットである。例えば、モジュールは、別個の電子構成部品を使用して実現することができ、または特定用途向け集積回路（A S I C）などの全体電子回路の一部分を形成することができる。この他にも数多くの可能性が存在する。このシステムは、ハードウェア・モジュールとソフトウェア・モジュールの組合せとして実現することもできることを当業者は理解するであろう。

【 0 0 6 8 】

以上の説明の多くは半導体ウェーハを対象としているが、本発明は、適当な任意の基板または表面に対して使用することができる。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。以下の議論および特許請求の範囲では、用語「含む（including）」および「備える（comprising）」が、オープン・エンド（open-ended）型の用語として使用されており、したがって、これらの用語は、「...を含むが、それらだけに限定されない（including, but not limited to...）」ことを意味すると解釈すべきである。

【 0 0 6 9 】

ある用語が本明細書で特に定義されていない場合、その用語は、その通常の一般的な意味で使用されることが意図されている。添付図面は、本発明の理解を助けることが意図されており、特記しない限り、一定の比率では描かれていない。

【 0 0 7 0 】

用語「集積回路」は、マイクロチップの表面にパターン形成された一組の電子構成部品およびそれらの相互接続（ひとまとめにして内部電気回路要素）を指す。用語「半導体チップ」は、総称的に集積回路（I C）を指し、この集積回路（I C）は、半導体ウェーハと一体でも、またはウェーハから切り離されていても、または回路板上で使用するためにパッケージングされていてもよい。本明細書では用語「F I B」または「集束イオン・ビーム」が、イオン光学部品によって集束させたビームおよび整形されたイオン・ビームを含む、平行イオン・ビームを指すために使用される。

【 0 0 7 1 】

上記の実施形態は3 D N A N D型の構造体を記載しているが、本発明は、このような構造体だけに限定されず、例えばD R A Mに対して、また、トレンチおよび他の構造体ならびに円形のホールの特性評価に対して有用である。

【 0 0 7 2 】

ある用語が本明細書で特に定義されていない場合、その用語は、その通常の一般的な意味で使用されることが意図されている。添付図面は、本発明の理解を助けることが意図されており、特記しない限り、一定の比率では描かれていない。

【 0 0 7 3 】

本発明のいくつかの実施形態は、関心の特徴部分を露出させるため、荷電粒子ビームを使用する方法であって、

関心の特徴部分に隣接した位置にトレンチをミリングすること、

ビーム誘起付着を使用してトレンチに材料を充填すること、  
関心の特徴部分を露出させるために、付着させた材料を通してミリングする必要がある  
角度から、イオン・ビームを導くこと、および  
露出させた関心の特徴部分を観察すること  
を含む方法を提供する。

【0074】

いくつかの実施形態によれば、ビーム誘起付着を使用してトレンチに材料を充填すること  
が、関心の特徴部分に隣接した位置に材料を付着させ、関心の特徴部分の上には材料を  
付着させないことを含む。

【0075】

いくつかの実施形態によれば、関心の特徴部分を露出させるために、付着させた材料を  
通してミリングする必要がある角度から、イオン・ビームを導くことが、関心の特徴部分  
を露出させるために、10度未満の角度からイオン・ビームを導くことを含む。

【0076】

いくつかの実施形態によれば、  
充填されたトレンチがバルクヘッドを含み、  
バルクヘッドが、関心の特徴部分に最も近い近位縁を有し、  
バルクヘッドが、関心の特徴部分を露出させるためにイオン・ビームを導くことによっ  
てそれぞれの点が異なる深さにミリングされるように構成されている。

【0077】

いくつかの実施形態によれば、関心領域が同一の複数の特徴部分を含み、イオン・ビー  
ムを導くことが、バルクヘッドに隣接した複数の関心の特徴部分を、露出させた1つの面  
内の異なる深さのところに露出させる。

【0078】

いくつかの実施形態によれば、関心の特徴部分を露出させるために、付着させた材料を  
通してミリングする必要がある角度から、イオン・ビームを導くことが、関心の特徴部分  
の側面視を提供するために、ビーム方向に対して平行な垂直面を露出させることを含む。

【0079】

いくつかの実施形態によれば、関心の特徴部分を露出させるために、付着させた材料を  
通してミリングする必要がある角度から、イオン・ビームを導くことが、関心の特徴部分  
のほぼ上面視(nearly top-down view)を提供するために、水平か  
ら10度未満でかつビーム方向に対して平行な面を露出させることを含む。

【0080】

いくつかの実施形態によれば、元の表面よりも下方の複数の深さにおける特徴部分に関  
する情報を提供するため、関心の特徴部分を露出させるために付着させた材料を通してミ  
リングする必要がある角度からイオン・ビームを導くステップ、および、露出させた関心  
の特徴部分を観察するステップが繰り返される。

【0081】

本発明のいくつかの実施形態は、第1の材料を含む試料中の関心の特徴部分を荷電粒子  
ビームを用いて露出させる方法であって、

関心の特徴部分に隣接した位置に穴をミリングすること、

穴に第2の材料を充填すること、および

関心の特徴部分を露出させるために、付着させた材料を通してミリングする必要がある  
角度から、イオン・ビームを導くこと

を含む方法を提供する。

【0082】

いくつかの実施形態によれば、関心の特徴部分に隣接した位置に穴をミリングすること  
が、試料表面に対して垂直の方向に穴をミリングすることを含む。

【0083】

いくつかの実施形態によれば、穴に材料を充填することが、荷電粒子ビーム付着を使用

10

20

30

40

50



して穴に充填することを含む。

【0084】

いくつかの実施形態によれば、関心の特徴部分を露出させるためにイオン・ビームを導くことが、視射角ミリングを実行することを含む。

【0085】

いくつかの実施形態によれば、この方法がさらに、  
視射角ミリングを実行する前に試料の向きを再調整すること、および  
走査電子顕微鏡を用いて試料を画像化すること  
を含む。

【0086】

いくつかの実施形態によれば、穴に充填するのに使用される第2の材料が、第1の材料のエッチング速度の30%以内のエッチング速度を有する。

【0087】

いくつかの実施形態によれば、関心の特徴部分が高アスペクト比構造体である。

【0088】

いくつかの実施形態によれば、穴に充填するのに使用される第2の材料がタングステン、白金または酸化物を含む。

【0089】

いくつかの実施形態によれば、この方法がさらに、視射角ミリングを実行するステップおよび走査電子顕微鏡を用いて試料を画像化するステップを少なくとも一度繰り返すこと  
を含む。

【0090】

いくつかの実施形態によれば、試料の3次元情報を生成するために、試料を画像化することによって得られた情報が結合される。

【0091】

いくつかの実施形態によれば、関心の特徴部分に隣接した位置に穴をミリングすることが、関心領域に対して斜めの近位縁を有する穴をミリングすることを含む。

【0092】

いくつかの実施形態は、試料中の関心の特徴部分を露出させるシステムであって、  
集束イオン・ビームを供給するイオン光学カラムと、  
集束電子ビームを供給する電子光学カラムと、  
試料から放出された2次粒子を検出する粒子検出器と、  
コンピュータ・メモリと通信するコントローラと  
を備え、このコンピュータ・メモリが、  
関心の特徴部分に隣接した位置に穴をミリングする命令、  
荷電粒子ビーム付着を使用して穴に第2の材料を充填する命令、  
関心の特徴部分を露出させるため、付着させた材料を通してミリングする必要がある角度から、イオン・ビームを導く命令であり、付着させた材料を通してミリングすることが、  
視射角ミリングを実行すること、および視射角ミリングを実行する前に試料の向きを再調整することを含む命令、ならびに  
走査電子顕微鏡を使用して試料を画像化する命令  
を記憶している  
システムを提供する。

【0093】

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

10

20

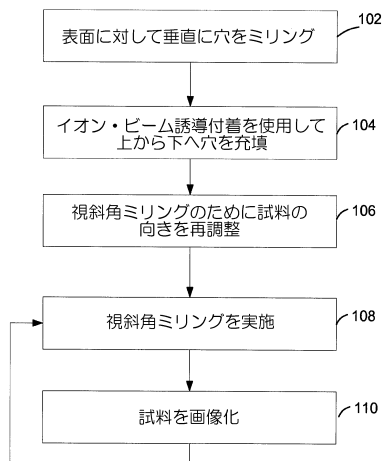
30

40

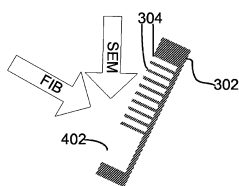
50

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。

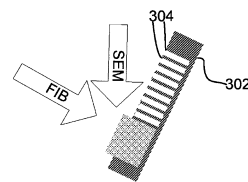
【図 1】



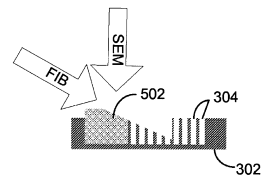
【図 2 A】



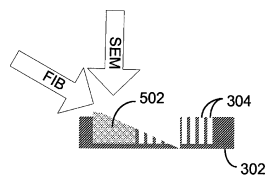
【図 2 B】



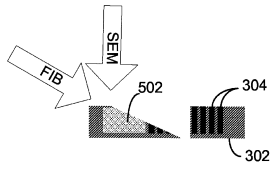
【図 2 C】



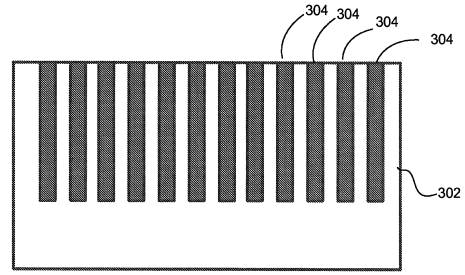
【図 2 D】



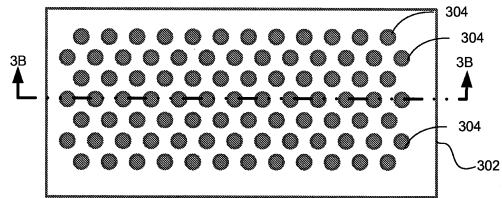
【図 2 E】



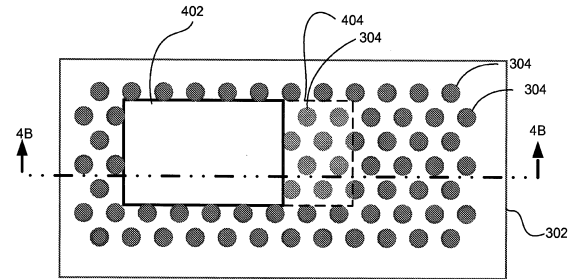
【図 3 B】



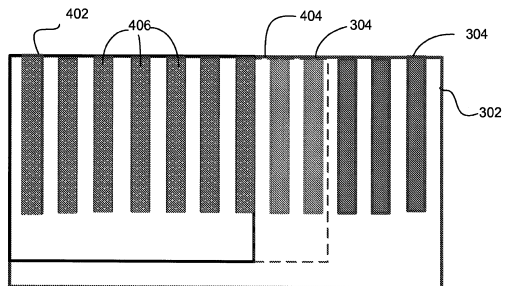
【図 3 A】



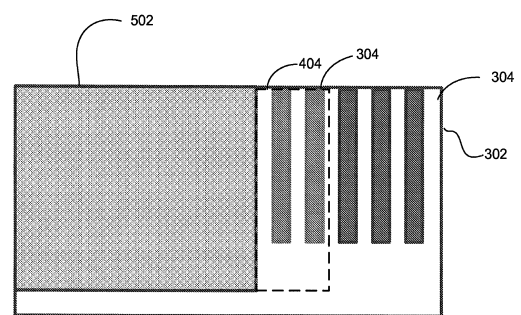
【図 4 A】



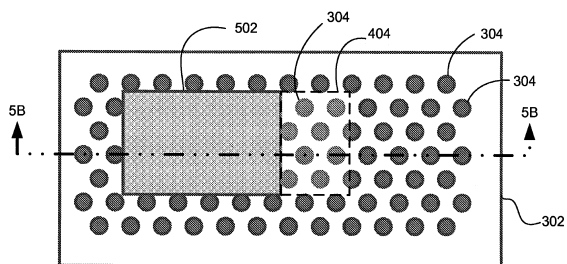
【図 4 B】



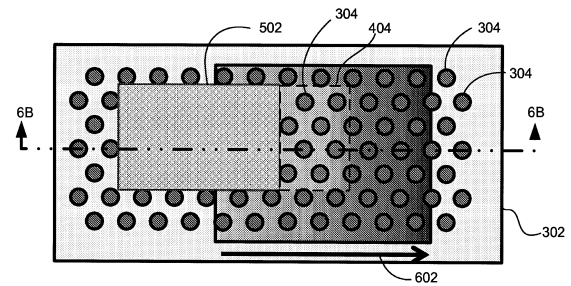
【図 5 B】



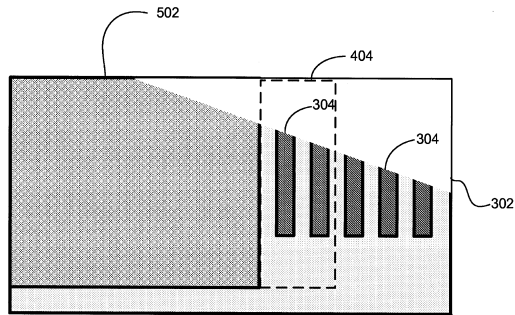
【図 5 A】



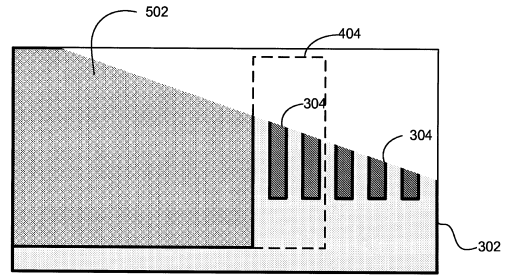
【図 6 A】



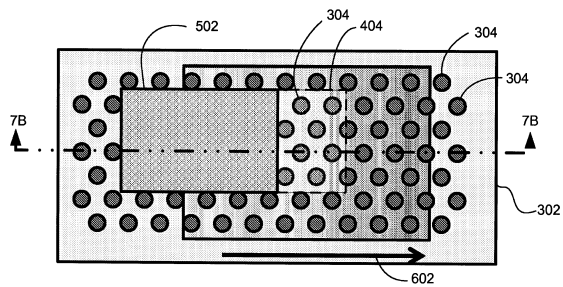
【図 6 B】



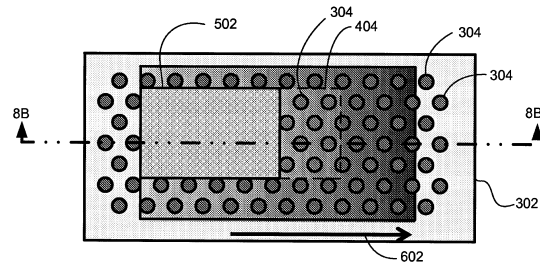
【図 7 B】



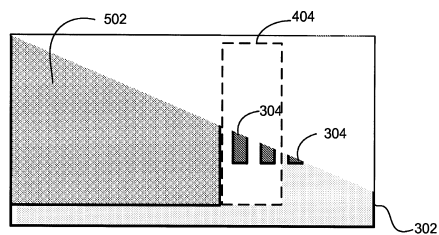
【図 7 A】



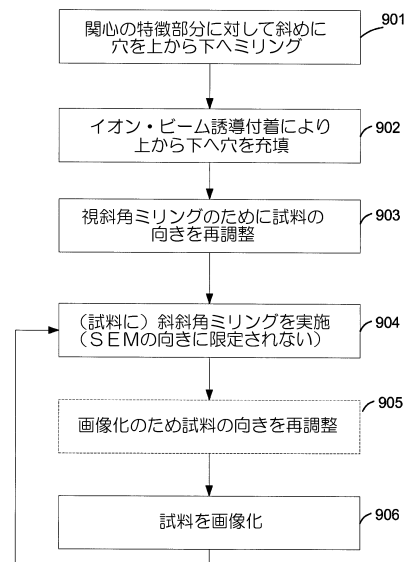
【図 8 A】



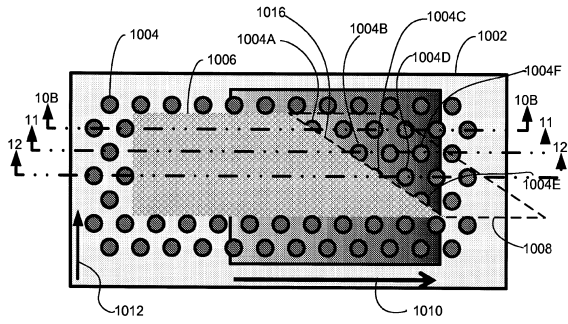
【図 8 B】



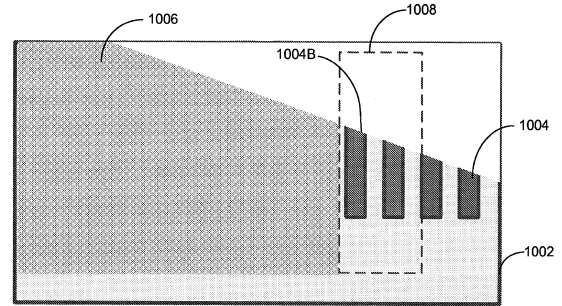
【図 9】



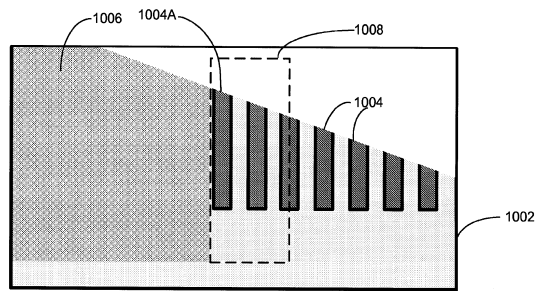
【図 10 A】



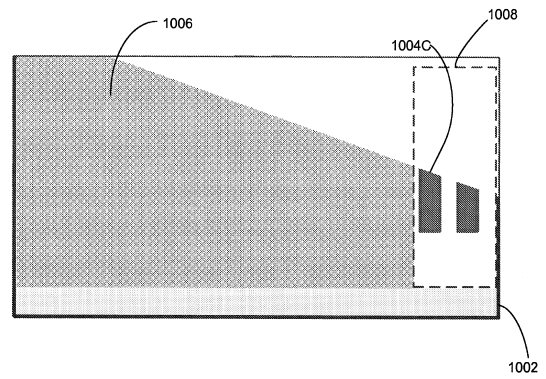
【図 11】



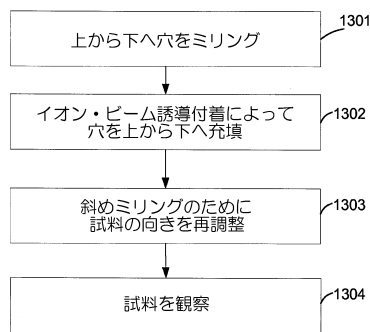
【図 10 B】



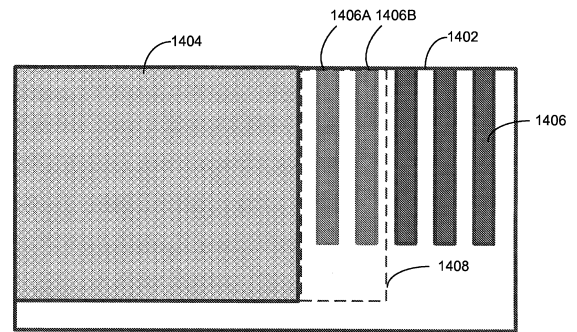
【図 12】



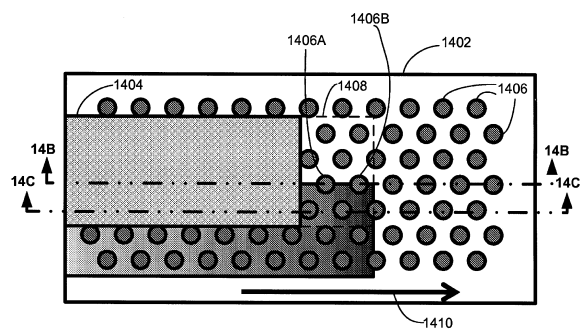
【図 13】



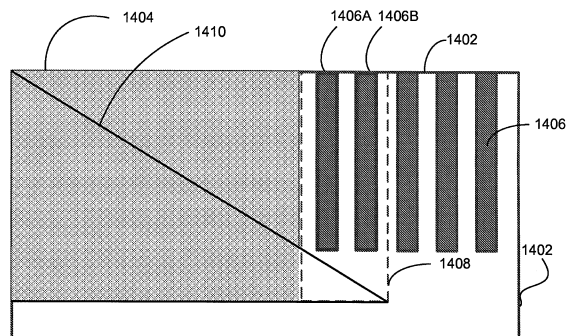
【図 14 B】



【図 14 A】



【図 14 C】





## フロントページの続き

(72)発明者 サンフン・リー

アメリカ合衆国 97124 オレゴン州 ヒルズバラ エヌイー オレンコ・ステーション・パークウェイ #D320 1053

(72)発明者 ジェフリー・ブラックウッド

アメリカ合衆国 97206 オレゴン州 ポートランド エスイー 75番アベニュー 3203

(72)発明者 マイケル・シュミット

アメリカ合衆国 97080 オレゴン州 グレシャム エスイー ハチェンダ・レーン 1003

審査官 鳥居 祐樹

(56)参考文献 特開2006-228593(JP,A)

米国特許出願公開第2012/0112063(US,A1)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H01J 37/317

B23K 15/00

G01N 1/28

G01N 1/32