(19)日本国特許庁(JP)　(12)公表特許公報(A)　(11)特許出願公表番号
特表2005-518552
(P2005-518552A)
(43)公表日　平成17年6月23日(2005.6.23)

(51)Int.Cl.[7]	F I		テーマコード（参考）
G01N 23/20	G01N	23/20	2G001
G01N 23/225	G01N	23/225	
H01L 21/304	H01L	21/304　622R	

審査請求 未請求　予備審査請求 未請求　（全 47 頁）

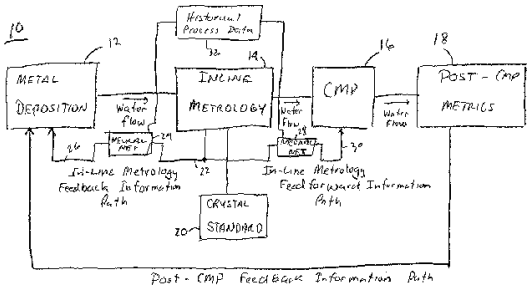
(21)出願番号　特願2003-572079 (P2003-572079)
(86)(22)出願日　平成15年2月24日 (2003.2.24)
(85)翻訳文提出日　平成16年8月20日 (2004.8.20)
(86)国際出願番号　PCT/US2003/007264
(87)国際公開番号　WO2003/073481
(87)国際公開日　平成15年9月4日 (2003.9.4)
(31)優先権主張番号　60/359,222
(32)優先日　平成14年2月22日 (2002.2.22)
(33)優先権主張国　米国 (US)

(71)出願人　500587067
アギア　システムズ　インコーポレーテッド
アメリカ合衆国．１８１０９　ペンシルヴァニア，アレンタウン，アメリカン　パークウェイ　エヌイー　１１１０
(74)代理人　100064447
弁理士　岡部　正夫
(74)代理人　100085176
弁理士　加藤　伸晃
(74)代理人　100106703
弁理士　産形　和央
(74)代理人　100096943
弁理士　臼井　伸一

最終頁に続く

(54)【発明の名称】二次電子顕微鏡法と収束イオンビーム・システムを使用した半導体製造方法のフィードフォワードおよびフィードバック制御

(57)【要約】
結晶学のためのシステム（７０）はサンプル・ホルダ（７４）、電子ビームを発生させるための電子源（７６）、電子ビームと結晶サンプルの間の相対的移動を制御するための走査用アクチュエータ（８０）を含み、走査用アクチュエータはサンプル領域内で間隔を置いた一連の点に電子ビームを方向付けるように制御可能である。本システムはまた、結晶サンプルからの電子線回折に基づいて結晶学的データを作り出すため、およびサンプル領域を特徴付けるために充分なデータが入手されたかどうかを判定するための画像プロセッサ（８４）も含む。本システムはさらに、入手されるデータが結晶サンプル内の様々な粒子を表わすように点の間隔を設けるように走査用アクチュエータを制御するための制御器（８６）を含む。他の実施形態では、本発明は結晶学のための１つまたは複数のイオンビーム（１７８、１８８）およびイオンビーム／電子ビーム（２１８、２２８）の組合せを含む。結晶学的測定データは粒子サイズおよび配向であることが可能であり、それらは半導体の製造工程のインライン制御のために（ＣＶＤステーションのような）蒸



【特許請求の範囲】
【請求項１】
結晶学のためのシステムであって、
サンプル領域の特徴付けのための結晶サンプルを保持するサンプル・ホルダ、
電子ビームを発生させるための電子源、
電子ビームと結晶サンプルの間の相対的移動を制御するための走査用アクチュエータを含み、走査用アクチュエータがサンプル領域内で間隔を置いた一連の点に電子ビームを方向付けるように制御可能であり、
結晶サンプルから由来する電子線回折に基づいて結晶学的データを作り出すための第１の処理システム、
サンプル領域を特徴付けるために充分なデータが入手されたかどうかを判定するように構成される第２の処理システム、および
入手されるデータが結晶サンプル内の様々な粒子を表わすように点の間隔を設けるように走査用アクチュエータを制御するための制御器を含むシステム。
【請求項２】
間隔を置いた点の同心円に交差する粒界を計数することによってサンプル領域内の粒子サイズを判定するための第３の処理システムをさらに含む、請求項１に記載のシステム。
【請求項３】
間隔を置いた点の直列の線に沿った粒界を計数することによってサンプル領域内の粒子サイズを判定するための第３の処理システムをさらに含む、請求項１に記載のシステム。
【請求項４】
結晶学的データに基づいて化学機械研磨ステーションに制御パラメータを供給するためのフィードフォワード・ループをさらに含む、請求項１に記載のシステム。
【請求項５】
結晶学的データに基づいて蒸着ステーションに制御パラメータを供給するためのフィードバック・ループをさらに含む、請求項１に記載のシステム。
【請求項６】
約２０度の角度でサンプルを迎え撃つように電子ビームが位置決めされる、請求項１に記載のシステム。
【請求項７】
処理システムへの基準を設けるための結晶標準をさらに含む、請求項１に記載のシステム。
【請求項８】
インラインの結晶学的測定のためのシステムであって、
結晶サンプルを保持するためのサンプル・ホルダ、
第１のイオンビームを発生させるための第１のイオン源、
第１のイオンビームと結晶サンプルの間の相対的移動を制御するための走査用アクチュエータを含み、走査用アクチュエータが結晶サンプルの所望の領域内に第１のイオンビームを方向付けるように制御可能であり、
結晶サンプルから発射される二次電子を検出するための電子検出器、
結晶サンプルからの二次電子発射に基づいてコントラスト強度画像を作り出すための第１の処理システム、
コントラスト画像の強度データに基づいて結晶学的情報を供給するようにプログラムされた第２の処理システム、および
第１のイオンビームを走査するように走査用アクチュエータを制御するための制御器を含むシステム。
【請求項９】
入手されたデータに基づいて化学機械研磨ステーションに制御パラメータを供給するためのフィードフォワード・ループをさらに含む、請求項８に記載のシステム。
【請求項１０】

入手されたデータに基づいて蒸着ステーションに制御パラメータを供給するためのフィードバック・ループをさらに含む、請求項８に記載のシステム。
【請求項１１】
約９０度の角度で結晶サンプルを迎え撃つように第１のイオンビームが位置決めされる、請求項８に記載のシステム。
【請求項１２】
処理システムへの基準を設けるための結晶標準をさらに含む、請求項８に記載のシステム。
【請求項１３】
第２のイオンビームを発生させるための第２のイオン源をさらに含み、第２のイオン源が走査用アクチュエータによって制御可能である、請求項８に記載のシステム。
【請求項１４】
０と９０度の間の角度で結晶サンプルを迎え撃つように第２のイオンビームが位置決めされる、請求項１３に記載のシステム。
【請求項１５】
インラインの結晶学的測定のためのシステムであって、
結晶サンプルを保持するためのサンプル・ホルダ、
第１のイオンビームを発生させるための第１のイオン源、
電子ビームを発生させるための電子源、
第１のイオンビーム、電子ビーム、および結晶サンプルの間の相対的移動を制御するための走査用アクチュエータを含み、走査用アクチュエータが結晶サンプルの所望の領域内に第１のイオンビームを方向付け、かつサンプル領域内の一連の点に電子ビームを方向付けるように制御可能であり、
結晶サンプルからの二次電子発射を検出するための電子検出器、
結晶サンプルからの二次電子発射に基づいてコントラスト強度画像を作り出し、結晶サンプルから由来する電子線回折に基づいて結晶学的データを作り出すための第１の処理システム、
コントラスト画像の強度データに基づいて結晶学的情報を供給するようにプログラムされ、かつサンプル領域を特徴付けるために充分なデータが入手されたかどうかを判定するように構成された第２の処理システム、および
各々のイオンチャネル化画像が結晶サンプル内のチャネル化方向を表わすように第１のイオンビームを所望の領域に方向付け、かつ入手されるデータが結晶サンプル内の様々な粒子を表わすように点の間隔を設けるように走査用アクチュエータを制御するための制御器を含むシステム。
【請求項１６】
入手されたデータに基づいて化学機械研磨ステーションに制御パラメータを供給するためのフィードフォワード・ループをさらに含む、請求項１５に記載のシステム。
【請求項１７】
入手されたデータに基づいて蒸着ステーションに制御パラメータを供給するためのフィードバック・ループをさらに含む、請求項１５に記載のシステム。
【請求項１８】
約２０度の角度でサンプルを迎え撃つように電子ビームが位置決めされる、請求項１６に記載のシステム。
【請求項１９】
処理システムへの電子線回折基準を設けるための結晶標準をさらに含む、請求項１６に記載のシステム。
【請求項２０】
処理システムへのイオンチャネル化基準を設けるための結晶標準をさらに含む、請求項１６に記載のシステム。
【請求項２１】

約９０度の角度で結晶サンプルを迎え撃つように第イオンビームが位置決めされる、請求項１６に記載のシステム。

【請求項２２】

結晶サンプルのイオンチャネル化分析の設定を確立するために主チャネル化方向および脱チャネル化方向で結晶配向を有する結晶学的標準。

【請求項２３】

第１の主チャネル化方向と第２の主チャネル化方向を有する結晶サンプルのチャネル化分析のための結晶学的標準であって、第１の主チャネル化方向と第２の主チャネル化方向によって規定されるそれぞれの境界の回転角度を有するバイクリスタルを含む標準。

【請求項２４】

回転の合否の余裕度を設定するために複数の異なるファイバ・テクスチャ成分を含む結晶サンプルのイオンチャネル化分析のための結晶学的標準。

【請求項２５】

回転の合否の余裕度を設定するために複数の異なるファイバ・テクスチャ成分を含む結晶サンプルのイオンチャネル化分析のための結晶学的標準。

【請求項２６】

共通軸方向の結晶方向を有する結晶サンプルの軸外れのイオンチャネル化分析のための結晶学的標準。

【請求項２７】

ランダムの回転成分をさらに含む、請求項２６に記載の結晶学的標準。

【請求項２８】

固定の回転成分をさらに含む、請求項２６に記載の結晶学的標準。

【請求項２９】

結晶サンプルの大部分の結晶学を判定するための方法であって、

サンプル領域の特徴付けのために結晶サンプルを保持するサンプル・ホルダを供給する工程、

電子ビームを発生させる工程、

電子ビームと結晶サンプルの間の相対的移動を制御することで電子ビームをサンプル領域内の間隔を置いた一連の点に方向付ける工程、

結晶サンプルから由来する電子線回折に基づいて結晶学的データを作り出す工程、

サンプル領域を特徴付けるために充分なデータが入手されたかどうかを判定する工程、および

入手されたデータが結晶サンプル内の様々な粒子を表わすように点の間隔を設ける工程を含む方法。

【請求項３０】

間隔を置いた点の同心円に交差する粒界を計数することによってサンプル領域内の粒子サイズを判定する工程をさらに含む、請求項２９に記載の方法。

【請求項３１】

間隔を置いた点の直列の線に沿って粒界を計数することによってサンプル領域内の粒子サイズを判定する工程をさらに含む、請求項２９に記載の方法。

【請求項３２】

結晶学的データに基づいて化学機械研磨ステーションに制御パラメータを供給するためのフィードフォワード・ループを供給する工程をさらに含む、請求項２９に記載の方法。

【請求項３３】

結晶サンプルの様々な結晶平面から材料を除去する相対速度を変えることで化学機械研磨処理の一致した終了点予測を可能にするように化学機械研磨用スラリの極性を制御する工程をさらに含む、請求項２９に記載の方法。

【請求項３４】

入手されたデータに基づいて蒸着処理工程に制御パラメータを供給するためのフィードバック・ループを供給する工程をさらに含む、請求項２９に記載の方法。

【請求項３５】
約２０度の角度でサンプルを迎え撃つように電子ビームを位置決めする工程をさらに含む、請求項２９に記載の方法。
【請求項３６】
結晶学的標準に基づいてデータ処理パラメータを設定する工程をさらに含む、請求項２９に記載の方法。
【請求項３７】
結晶サンプルの大部分の結晶学を判定するための方法であって、
結晶サンプルを保持するためのサンプル・ホルダを供給する工程、
第１のイオンビームを発生させる工程、
第１のイオンビームと結晶サンプルの間の相対的移動を制御することで第１のイオンビームを結晶サンプルの所望の領域に方向付ける工程、
結晶サンプルから発射される二次電子を検出する工程、
結晶サンプルからの二次電子発射に基づいてコントラスト強度画像を作り出す工程、
コントラスト画像の強度データに基づいて結晶学的情報を供給する工程、および
第１のイオンビームを走査するように走査用アクチュエータを制御する工程を含む方法。
【請求項３８】
処理された発射データに基づいて制御パラメータを化学機械研磨処理工程に供給する工程をさらに含む、請求項３７に記載の方法。
【請求項３９】
結晶サンプルの様々な結晶平面から材料を除去する相対速度を変えることで化学機械研磨処理の一致した終了点予測を可能にするように化学機械研磨用スラリの極性を制御する工程をさらに含む、請求項３８に記載の方法。
【請求項４０】
処理された発射データに基づいて制御パラメータを蒸着処理工程に供給する工程をさらに含む、請求項３７に記載の方法。
【請求項４１】
約９０度の角度で結晶サンプルを迎え撃つように第１のイオンビームを位置決めする工程をさらに含む、請求項３７に記載の方法。
【請求項４２】
処理された発射データが結晶サンプル内のチャネル化方向を表わすように所望の方向で第１のイオンビームを結晶サンプルの所望の領域に方向付ける工程をさらに含む、請求項３７に記載の方法。
【請求項４３】
第１のイオンビームをサンプルのチャネル化方向と揃えるために入射する第１のイオンビームの軸の周りでサンプルを回転させる工程をさらに含む、請求項４２に記載の方法。
【請求項４４】
結晶学的標準に基づいて発射データ処理パラメータを設定する工程をさらに含む、請求項３７に記載の方法。
【請求項４５】
第２のイオンビームを発生させるための第２のイオン源を供給する工程をさらに含む、請求項３７に記載の方法。
【請求項４６】
０と９０度の間の角度で結晶サンプルを迎え撃つように第２のイオンビームを位置決めする工程をさらに含む、請求項４５に記載の方法。
【請求項４７】
第１のイオンビームの経線方向の軸の周りで結晶サンプルを回転させること、
第１と第２のイオンビームによって作り出される一連のコントラスト強度画像を収集すること、および

結晶サンプルの結晶学を再構成するために収集されたコントラスト強度画像を比較することによって基準コントラストの設定を判定する工程をさらに含む、請求項４５に記載の方法。

【請求項４８】

単一のファイバ・テクスチャ強度、二重のファイバ・テクスチャ強度、領域画分、領域画分対膜を貫通する厚さ、配向データから得られるＣＭＰ除去速度曲線の再構成、および結晶学的変化対深さプロファイルから成るグループから選択される結晶サンプルの大部分の結晶学的パラメータを判定するために結晶学的情報を使用する工程をさらに含む、請求項３７に記載の方法。

【請求項４９】

結晶サンプルの大部分の結晶学を判定するための方法であって、

結晶サンプルを保持するためのサンプル・ホルダを供給する工程、

第１のイオンビームを発生させる工程、

電子ビームを発生させる工程、

第１のイオンビームを結晶サンプルの所望の領域に方向付けるため、および電子ビームをサンプル領域内の一連の点に方向付けるために第１のイオンビーム、電子ビーム、および結晶サンプルの間の相対的移動を制御する工程、

結晶サンプルから発射される二次電子を検出する工程、

結晶サンプルからの二次電子発射に基づいてコントラスト強度画像を作り出し、かつ結晶サンプルから由来する電子線回折に基づいて結晶学的情報を作り出す工程、

コントラスト画像の強度データに基づいて結晶学的情報を供給し、かつサンプル領域を特徴付けるために充分なデータが入手されたかどうかを判定するように構成される工程、および

各々のイオンチャネル化画像が結晶サンプル内のチャネル化の方向を表わすように所望の領域に第１のイオンビームを方向付けるために走査用アクチュエータを制御し、かつ入手されたデータが結晶サンプル内の様々な粒子を表わすように点の間隔を設ける工程を含む方法。

【請求項５０】

複数の点から受け取られる回折データが結晶サンプルの様々な粒子から発するように充分な距離で点に間隔を設ける工程をさらに含む、請求項４９に記載の方法。

【請求項５１】

発射データが結晶サンプル内のチャネル化方向を表わすように所望の方向で第１のイオンビームを結晶サンプルの所望の領域に方向付ける工程をさらに含む、請求項４９に記載の方法。

【請求項５２】

第１のイオンビームをサンプルのチャネル化方向と揃えるために入射する第１のイオンビームの軸の周りでサンプルを回転させる工程をさらに含む、請求項５１に記載の方法。

【請求項５３】

処理された発射データと回折データに基づいて制御パラメータを化学機械研磨処理工程に供給する工程をさらに含む、請求項４９に記載の方法。

【請求項５４】

結晶サンプルの様々な結晶平面から材料を除去する相対速度を変えることで化学機械研磨処理の一致した終了点予測を可能にするように化学機械研磨用スラリの極性を制御する工程をさらに含む、請求項５３に記載の方法。

【請求項５５】

処理された発射データと回折データに基づいて制御パラメータを蒸着処理工程に供給する工程をさらに含む、請求項４９に記載の方法。

【請求項５６】

約２０度の角度でサンプルを迎え撃つように電子ビームを位置決めする工程をさらに含む、請求項４９に記載の方法。

【請求項５７】
結晶学的標準に基づいてデータ処理パラメータを設定する工程をさらに含む、請求項４９に記載の方法。
【請求項５８】
約９０度の角度で結晶サンプルを迎え撃つように第１のイオンビームを位置決めする工程をさらに含む、請求項４９に記載の方法。
【請求項５９】
単一のファイバ・テクスチャ強度、二重のファイバ・テクスチャ強度、領域画分、領域画分対膜を貫通する厚さ、配向データから得られるＣＭＰ除去速度曲線の再構成、および結晶学的変化対深さプロファイルから成るグループから選択される結晶サンプルの大部分の結晶学的パラメータを判定するために結晶学的情報を使用する工程をさらに含む、請求項４９に記載の方法。
【発明の詳細な説明】
【技術分野】
【０００１】
本発明は結晶学に関し、さらに特定するとインライン測定および工程制御のための結晶学的システムおよび方法に関する。
【背景技術】
【０００２】
本出願は、ここに参照で組み入れる出願日付２００２年２月２２日の米国仮特許出願番号６０／３５９，２２２号の恩典を権利主張するものである。
半導体デバイスの製造で第１の関心事は半導体デバイス内で電子を搬送するために使用されるメタライゼーションの機械的および電気的特性である。半導体の製造技術が一層洗練されるにつれて、多結晶微細構造の優先配向の複雑さといった半導体デバイスに使用される材料の物理学的特性がますます重要になる。結晶学的配向、粒子サイズおよび形態学は信頼性、品質保証、電気的マイグレーション耐性、電気的特性、化学機械研磨（ＣＭＰ）の材料除去速度、ＣＭＰの終点検出能に主要な役割りを果たす。特に、結晶学はＣＭＰ速度曲線、研磨時間、ウェハとパッドの圧力、回転速度およびスラリの供給速度と極性のような化学といったＣＭＰ工程の多くの態様の中で役割りを果たす。ここに参照で組み入れる米国特許出願番号１０／１２１，３７０号は除去の差速を補償するためにＣＭＰスラリの溶剤の極性を調整する方法を記述している。
【特許文献１】米国仮特許出願番号６０／３５９，２２２号
【特許文献２】米国特許出願番号１０／１２１，３７０号
【特許文献３】米国特許第５，６５３，８９４号
【特許文献４】米国特許第５，７３７，４９６号
【非特許文献１】Ｋｏｈｏｎｅｎ，ＴのＳｅｌｆ－ｏｒｇａｎｉｚａｔｉｏｎ ａｎｄ Ａｓｓｏｃｉａｔｉｖｅ Ｍｅｍｏｒｙ、Ｓｐｒｉｎｇｅｒ－Ｖｅｒｌａｇ、Ｂｅｒｌｉｎ（１９８４）
【非特許文献２】Ｂａｌｌａｒｄ，Ｄ．Ｈ．のＡｎ Ｉｎｔｒｏｄｕｃｔｉｏｎ ｔｏ Ｎａｔｕｒａｌ Ｃｏｍｐｕｔａｔｉｏｎ、ＭＩＴ Ｐｒｅｓｓ、Ｃａｍｂｒｉｄｇｅ、ＭＡ（１９９７）
【非特許文献３】Ｈａｓｓｏｕｎ，Ｍ．Ｈ．のＦｕｎｄａｍｅｎｔａｌｓ ｏｆ Ａｒｔｉｆｉｃｉａｌ Ｎｅｕｒａｌ Ｎｅｔｗｏｒｋｓ、ＭＩＴ Ｐｒｅｓｓ、Ｃａｍｂｒｉｄｇｅ、ＭＡ（１９９５）
【非特許文献４】Ｒｅｅｄ，Ｒ．Ｄ．とＭａｒｋｓ，ＩＩ，Ｒ．Ｊ．のＮｅｕｒａｌ Ｓｍｉｔｈｉｎｇ－Ｓｕｐｅｒｖｉｓｅｄ Ｌｅａｒｎｉｎｇ ｉｎ Ｆｅｅｄｆｏｒｗａｒｄ Ａｒｔｉｆｉｃｉａｌ Ｎｅｕｒａｌ Ｎｅｔｗｏｒｋ、ＭＩＴ Ｐｒｅｓｓ、Ｃａｍｂｒｉｄｇｅ（１９９９）
【特許文献５】米国特許第６，３２６，６１９号
【非特許文献５】Ｖａｎｄｅｒ Ｖｏｏｒｔの「Ｃｏｍｍｉｔｅｅ Ｅ－４ ａｎｄ Ｇ

ｒａｉｎ Ｓｉｚｅ Ｍｅａｓｕｒｅｍｅｎｔｓ：７５ Ｙｅａｒｓ ｏｆ Ｐｒｏｇｒｅｓｓ」、ＡＳＴＭ Ｓｔａｂｄａｒｄｉｚａｔｉｏｎ Ｎｅｗｓ（１９９１年、５月）
【非特許文献６】Ｔｈｅ Ｊｏｕｒｎａｌ ｏｆ Ｖａｃｕｕｍ Ｓｃｉｅｎｃｅ ａｎｄ Ｔｅｃｈｎｏｌｏｇｙ

【発明の開示】
【発明が解決しようとする課題】
【０００３】
現在の製造システムに伴う問題の１つは、半導体ライン内の処理工程が個別の工程として処理され、それらが前の工程または後の工程と無関係であると考えられていることである。ＣＭＰは１つのそのような工程である。化学機械的平坦化が蒸着工程時に置かれる金属の形態学的および結晶学的性質に大幅に依存することは当該技術で概して知られていない。
【０００４】
結晶学的微細構造は様々な技術で試験されることが可能である。結晶学的および形態学的データの多相二次元マップ化は結晶サンプルの結晶学的粒子配向、粒子サイズおよび粒界を判定することに難題を与える。この情報を得る方式は数多く存在するが、しかしそれらの方法の各々はその他には無い少し異なる情報を呈示する。
【０００５】
さらに微細な幾何学構造を達成するための半導体産業の材料処理工程は、粒子構造間の境界および境界の配向がさらに決定的になるので新たな問題を導入する。例えば、走査領域にわたる菊池回折を指標化する従来式の方法はサンプル表面上の薄膜の結晶学的配向と粒子形態の両方を判定する１つの方法である。走査型電子顕微鏡（ＳＥＭ）における後方散乱菊池回折（ＢＫＤ）はプローブ径のサイズに近い多結晶粒子から菊池バンドを作り出すことが可能である。菊池バンドに点群対称の法則を適用することによって、標本内の結晶学的粒子配向および粒子サイズといった特徴が判定されることが可能である。
【０００６】
概して、多結晶内の粒子は粒子毎に異なる配向を有する。大部分の標本の領域にわたって考えると、このばらつきは或る結晶学的軸に関する特定結晶平面の配向のグループ化につながる可能性がある。多結晶サンプルの「優先配向」は粒子の配向の平均または全体に関する。多数の優先配向がサンプルの中に同時に存在する可能性もやはりある。多結晶微細構造の優先配向の複雑さは、ＢＫＤパターンの収集体を分析するＯｒｉｅｎｔａｔｉｏｎ Ｉｍａｇｉｎｇ Ｍｉｃｒｏｓｃｏｐｙとして知られている技術で調べられることが可能である。この技術は透過型電子顕微鏡法（ＴＥＭ）の点配向の利点を充分に大きい領域にわたる形態学的情報と組み合わせて統計学的関連性を与える。
【０００７】
例えば、化学的気相蒸着法（ＣＶＤ）によって蒸着されるアルミニウムはシリコン基板に直交する（１１１）ファイバ・テクスチャに沿った優先配向で堆積する。この幾何学構造はエレクトロマイグレーションを低減させるために好ましい。ＢＫＤパターン分析は、優先される結晶学的軸に沿ったアルミニウムの堆積の品質を定量化するために使用されることが可能である。
【０００８】
銅のメタライゼーションへの半導体産業の動きは、例えば、シード層および窒化タンタルから作製されたバリヤ層を必要とするであろう。ＣＶＤによる銅の蒸着は優先配向を示すように見えない。これは蒸着される銅の膜ごとに異なる可能性のある変動に結果的につながる。ＢＫＤ分析は、膜を二次元マップ化アレーの配向分析について定量化する方式を供給し、それにより、優先される粒子配向が１つの膜と他の膜で比較されることが可能となる。
【０００９】
ＢＫＤパターン分析はサンプル表面上の特定の場所で菊池パターンを収集し、各々の線がスポットとして表わされるＨｏｕｇｈ空間へとそのパターンを変換し、スポット間の角

度偏差を使用してその場所の結晶の結晶学的配向を計算することによって役立つ。その後、走査型電子顕微鏡のビームまたはサンプル・ステージが次の地点へと段送りされ、処理が繰り返される。段送りは走査領域全体にわたって固定の段階サイズでラスタ・パターンで起きる。残念ながら、この方法は極めて時間を消費する。例えば、１０平方マイクロメートルの面積から５０ｎｍの段階サイズでパターンを得るために、約４０，０００の個別の菊池パターンが収集されて分析される必要がある。通常、各々の菊池パターンで約０．５秒かかり、これは全領域については約１１時間の走査時間を生じる。

【００１０】

パターンはまた、５０ｎｍの最大粒界分解能を有する。これらのパターンの冗長な収集時間は自動ＢＫＤパターン分析を労働集約型でかつ時間消費型にする。段階サイズを増大させることは、多結晶材料の或る特徴に関してデータを入手して分析することに含まれる時間要素を減少させる。

【００１１】

イオンチャネル化は、例えば結晶中の欠陥集中を研究するために使用されるまた別の技術である。イオンビームが主結晶軸もしくは平面に沿って位置合わせされるとき、イオン－原子の相互作用の確率は有意に低下し、結果として散乱事象および結晶構造内へのイオンの深い浸透の大幅な削減につながる。したがって、二次電子が検出されて分析されることが可能となってチャネルの場所が判定され、その結果、例えば基準の結晶との比較によって結晶のいくつかの基礎的形態が判定される。様々な軸についての結晶平面の角度分解チャネル化（ＡＲＣ）は、繰り上がる角度段階の中でサンプルの配向を調整することによって得られる可能性がある。データは各々の角度で取得され、結晶構造の画像を作り出すために各々の角度の後方散乱スペクトルの蓄積データ・セットが使用される。イオンチャネル化から個別の結晶学的情報を分析還元することに伴う主な難題は様々な結晶配向に関するコントラスト強度の重複に起因する。

【００１２】

前述の測定学的技術はオフラインで、すなわち半導体デバイスを含めて製造において作製順序から部分的に作製された構造を取り出して実行される。しかしながら、多結晶膜の粒子サイズまたは優先配向を識別するインラインの測定学技術は存在しない。半導体デバイスは通常、時間を消費する電子線回折およびｘ線回折の技術によってオフラインで破壊的に測定される。これらのオフライン技術の欠点はそれらが破壊的であり、かつ検査構造とウェハへの定常的なモニタリングを必要とすることであり、それは問題が発生する時と問題が検出される時の時間枠に結びつく。

【００１３】

現在のマイクロエレクトロニクス製造方法は、下流にある品質管理の目的のために上述した方法のような測定学の手法を取り入れる。例えば、いったんフォトレジスト工程が完了すると、フォトレジスト・マスクがどの程度密接にその意図された構造に対応しているかを測定するために走査型電子顕微鏡または他の測定学技術を使用することが知られている。ゴー／ノーゴーのパラメータが確立される可能性があり、受容可能限界から外れるフォトレジスト・パターンを有する半導体ウェハはその後の再加工のために生産ラインから除外される。その後、受容可能なフォトレジスト・マスクを有するウェハが、例えばエッチング工程といったさらなる製造工程を通して処理される。その後、結果的に得られたハードマスク製品が所定の受容可能限界内に入ることを確認するために第２の測定学的工程が使用される可能性がある。

【００１４】

マイクロエレクトロニクス製造技術の中の数多くの進歩にもかかわらず、当業者に充分に理解されていない様々な処理工程の多くの態様がそのまま残されている。多くのマイクロエレクトロニクス製造技術の制御には多量の不確実性が含まれる。プラズマ・エッチング処理は概して制御することが難しく、ウェハ毎およびロット毎にばらつきが生じる。機械のエージングとクリーニングのリードタイム、運行から運行の間のウェハ特性の変動、およびプラズマの化学反応によって不確実性が誘導される可能性がある。品質管理は本質

的にフィードバック処理であり、すなわち受容可能であるか、および受容不可能であるか判定するために産出製品が測定されて制御パラメータが変更される。その後、所望の補正効果が達成されたかどうかを知るために再び産出製品が測定される。受容可能な産出製品が達成されるまでこのサイクルが繰り返される。製造方法な中の各々の工程は同様の方式で制御される。例えば、所望のエッチング・パターンを達成するために、最初にフォトレジスト現像工程があり、その後にエッチング工程があるはずである。現在の品質管理方法は現像されたフォトレジスト・パターンへの第１の測定工程、その後、エッチングされたウェハ表面への第２の測定工程を含む。これらの工程の各々は別々に処理され、理想的な設計値から各々が独自の受容可能変動範囲を有する。これらの処理法は両方共に複雑であり、かつ完全に理解されていないので、製造法全体の品質管理態様を一体化させるための努力は業界で為されてこなかった。そのような制御の仕組みは精密であり、好ましくない許容差の形成を許容し、１つの処理工程内の欠陥を他の処理工程内の釣り合いのとれた変動で順応させる能力を供給しない。

【００１５】

半導体ウェハのエッチング方法の制御に神経ネットワークを応用することが知られている。Ｉｂｂｏｔｓｏｎらに発行された米国特許第５，６５３，８９４号およびＦｒｙｅらに発行された米国特許第５，７３７，４９６号の両方はプラズマ・エッチング法で終点を制御するための神経ネットワークの使用法を記述している。そのようなシステムはエッチング処理工程にある程度の工程内管理を提供するが、さらなる改善が望まれる。

【課題を解決するための手段】

【００１６】

結晶学と工程管理のためのシステムは、サンプル領域の特徴付けのために結晶サンプルを保持するサンプル・ホルダ、電子ビームを発生させるための電子源、電子ビームと結晶サンプルの間の相対的移動を制御するための走査用アクチュエータを含むものとしてここで説明され、走査用アクチュエータは電子ビームをサンプル領域内の間隔を置いた一連の点に方向付けるように制御可能である。本システムはまた、結晶サンプルから生じる電子線回折に基づいて結晶学的データを作り出すための第１の処理システム、サンプル領域を特徴付けるために充分なデータが入手されたかどうかを判定するように構成された第２の処理システム、および入手されたデータが結晶サンプル内の様々な粒子を表わすように走査用アクチュエータを制御して点の間隔を設けるための制御器を含む。本システムはまた、第１のイオンビームを発生させるための第１のイオン源、結晶サンプルから発射される二次電子を検出するための電子検出器、および結晶サンプルからの二次電子発射に基づいてデータを入手するための処理システムを含む。本システムはさらに、チャネル化コントラスト基準を供給するための結晶標準を含むことも可能である。

【００１７】

付け加えると、結晶学のためのシステムは、結晶サンプルを保持するためのサンプル・ホルダ、第１のイオンビームを発生させるための第１のイオン源、第１のイオンビームと結晶サンプルの間の相対的移動を制御するためのものであって第１のイオンビームを結晶サンプルの所望の領域に方向付けるように制御可能である走査用アクチュエータ、および結晶サンプルから発射される二次電子を検出するための電子検出器を含むものとしてここで説明される。本システムはまた、結晶サンプルからの二次電子発射に基づいてコントラスト強度画像を作り出すための第１の処理システム、コントラスト画像強度データに基づいて結晶学的情報を供給するようにプログラムされた第２の処理システム、および第１のイオンビームを走査させるために走査用アクチュエータを制御する制御器を含む。本システムはまた、第２のイオンビームを発生させるための第２のイオン源を含むことも可能である。本システムはまた、処理システムにイオンチャネル化基準を供給するための結晶標準を含むことも可能である。

【００１８】

結晶サンプルの大部分の結晶学を判定するための方法は、サンプル領域の特徴付けのために結晶サンプルを保持するサンプル・ホルダを供給する工程、電子ビームを生じさせる

工程、電子ビームと結晶サンプルの間の相対的移動を制御して電子ビームをサンプル領域内の間隔を置いた一連の点に方向付ける工程を含むものとしてここで説明される。本方法はまた、結晶サンプルから生じる電子線回折に基づいて結晶学的データを作り出す工程、サンプル領域を特徴付けるために充分なデータが入手されたかどうかを判定する工程、および入手されるデータが結晶サンプル内の様々な粒子を表わすように点の間隔を設ける工程を含む。

【００１９】

結晶サンプルの大部分の結晶学を判定するための方法は、結晶サンプルを保持するためのサンプル・ホルダを供給する工程、第１のイオンビームを生じさせる工程、第１のイオンビームを結晶サンプルの所望の領域に方向付けるために第１のイオンビームと結晶サンプルの間の相対的移動を制御する工程、結晶サンプルから発射される二次電子を検出する工程を含むものとしてここで説明される。本方法はさらに、結晶サンプルからの二次電子発射に基づいてコントラスト強度画像を作り出す工程、コントラスト画像強度データに基づいて結晶学的情報を供給する工程、および第１のイオンビームを走査させるために走査用アクチュエータを制御する工程を含む。

【００２０】

付け加えると、結晶サンプルの大部分の結晶学を判定するための方法は、結晶サンプルを保持するためのサンプル・ホルダを供給する工程、第１のイオンビームを生じさせる工程、電子ビームを生じさせる工程、第１のイオンビームを結晶サンプルの所望の領域に方向付け、かつ電子ビームをサンプル領域内の一連の複数点に方向付けるために第１のイオンビーム、電子ビーム、および結晶サンプルの間の相対的移動を制御する工程を含むものとしてここで説明される。本方法はまた、結晶サンプルからの二次電子発射を検出する工程、結晶サンプルからの二次電子発射に基づいてコントラスト強度画像を作り出し、かつ結晶サンプルからの電子線回折に基づいて結晶学的データを作り出す工程、コントラスト画像強度データに基づき、かつサンプル領域を特徴付けるために充分なデータが入手されたかどうかを判定するように構成される結晶学的情報を供給する工程、各々のイオンチャネル化画像が結晶サンプル内のチャネル化の方向を表わすように第１のイオンビームを所望の領域へ方向付けるように走査用アクチュエータを制御し、かつ入手されたデータが結晶サンプル内の様々な粒子を表わすように点の間隔を設ける工程を含む。

【００２１】

新規性があると考える本発明の特徴は添付の特許請求項に特に述べられている。しかしながら本発明自体、その構造と動作の方法は以下の説明と添付の図面類を参照することによって最もよく理解されることが可能である。

【発明を実施するための最良の形態】

【００２２】

Ｉ．インライン測定システム

図１は半導体デバイスの製造方法を制御する方法を導入するために使用されることが可能なシステム１０を例示している。本発明の態様によると、本システムは処理される半導体ウェハの結晶学的測定に基づいた金属蒸着処理およびＣＭＰ処理のフィードフォワードとフィードバックのインライン制御を供給する。都合の良いことに、本システムは金属蒸着、インライン測定、およびＣＭＰ処理の機能を集積化することで全体的な処理時間を削減し、かつデバイス製造方法にわたって改善された制御を供給する。結果として、本システムは、別のやり方で先行技術のフィードバック・システムで適応され得るよりも広い範囲の入力形態範囲から受容可能な最終製品を作り出すことが可能となる。本発明のさらなる態様では、適宜フィードバックおよびフィードフォワード・データを調整するために神経ネットワークのアルゴリズムがフィードバックとフィードフォワードのループに設けられることが可能である。

【００２３】

図１に描かれているように、半導体ウェハは最初に金属蒸着要素１２を通して処理されて、例えば半導体ウェハの表面上に金属の層を形成する。金属蒸着要素１２は、化学的気

相蒸着（ＣＶＤ）方法またはシステムのような、どのような知られている金属堆積進展のシステムまたは方法であることも可能である。その後、層の結晶構造といった蒸着層の幾何学構造と品質を測定するためにウェハはインライン測定要素１４を通して処理される。インライン測定要素１４は知られているどのような装置もしくは技術である可能性もあり、走査型電子顕微鏡（ＳＥＭ）または収束イオンビーム（ＦＩＢ）による検査データを使用した半導体ウェハの結晶学的特徴の進展を含み得ることが好ましい。

【００２４】

図１の実施形態では、インライン測定要素１４は、例えば蒸着、ＲＦ電力、ガス流量およびその他の金属蒸着工程の制御可能なパラメータを制御するためにウェハ表面の多重パラメータ特徴２２をフィードバック信号として金属蒸着要素１２へと供給することが可能である。ウェハ上で実行された測定を指標化してウェハ表面の適切な多重パラメータ特徴２２を確立するためにインライン測定要素１４は結晶標準２０にアクセスすることが可能である。本発明の態様では、ウェハ表面の適切な多重パラメータ特徴２２はフィードバック用神経ネットワーク２４への入力として供給されることが可能である。フィードバック用神経ネットワーク２４はフィードバック制御信号２６を供給するように自己組織化または教師付き学習によって養成されることで金属蒸着工程のパラメータを適宜調整することが可能である。付け加えると、フィードバック用神経ネットワーク２４は蒸着処理に関する履歴となる処理データ３２を供給されることが可能である。フィードバック用神経ネットワーク２４は、例えば、インライン測定要素で判定されたウェハのそれぞれの結晶学に従ってＣＶＤの中のウェハの蒸着による一様な結晶配向を達成するためにウェハ表面の多重パラメータ特徴２２から複数パラメータへとマップ化することを見出すように設計される。神経ネットワークはウェハ表面の多重パラメータ特徴２２と、例えばＣＶＤ処理で使用されるＲＦ電力の間の関係を規定するために使用されることが好都合であるが、なぜならばこれら２つの変数の間の関係に関して利用可能なデータの量は限られる可能性があり、かつその関係を理解するレベルもまた限られる可能性があるからである。システム１０を通してウェハを処理することによって履歴データベース３２に経験が加えられるとき、このマップ化操作の精度はそれに応じて向上するであろう。

【００２５】

インライン測定要素１４内の検査の後、ウェハはＣＭＰ要素１６、例えばどのような知られているＣＭＰシステムもしくは工程で処理されることも可能である。ウェハ表面の多重パラメータ特徴２２はフィードフォワード・ループでＣＭＰ処理へと供給されることが可能であり、あるいは本発明の態様では、インライン測定フィードフォワード情報経路内のフィードフォワード用神経ネットワーク２８への入力として供給されることが可能である。その後、フィードフォワード用神経ネットワーク２８は使用される研磨用化学物質の量、除去速度曲線、およびＣＭＰ処理で使用されるその他の調整可能なパラメータといったＣＭＰ処理のパラメータを適宜調整するためにフィードフォワード制御信号３０を供給する。付け加えると、フィードフォワード用神経ネットワーク２４は蒸着処理に関する履歴となる処理データ３２を供給されることが可能である。フィードフォワード用神経ネットワーク２８は、例えば、インライン測定要素で判定されたウェハのそれぞれの結晶学に従ってウェハの一様な研磨を達成するためにウェハ表面の多重パラメータ特徴２２から複数パラメータへとマップ化することを見出すように設計される。神経ネットワークはウェハ表面の多重パラメータ特徴２２と、例えばＣＭＰの除去曲線の間の関係を規定するために使用されることが好都合であるが、なぜならばこれら２つの変数の間の関係に関して利用可能なデータの量は限られる可能性があり、かつその関係を理解するレベルもまた限られる可能性があるからである。システム１０を通してウェハを処理することによって履歴データベース３２に経験が加えられるとき、このマップ化操作の精度はそれに応じて向上するであろう。

【００２６】

神経ネットワーク２４、２８は、Ｋｏｈｏｎｅｎ，ＴのＳｅｌｆ－ｏｒｇａｎｉｚａｔｉｏｎ ａｎｄ Ａｓｓｏｃｉａｔｉｖｅ Ｍｅｍｏｒｙ、Ｓｐｒｉｎｇｅｒ－Ｖｅｒｌ

ａｇ、Ｂｅｒｌｉｎ（１９８４）に述べられているタイプの自己組織化アルゴリズムを含む、当該技術で知られているどのような方法によって養成されることも可能である。Ｋｏｈｏｎｅｎのアルゴリズムは、Ｂａｌｌａｒｄ，Ｄ．Ｈ．のＡｎ　Ｉｎｔｒｏｄｕｃｔｉｏｎ　ｔｏ　Ｎａｔｕｒａｌ　Ｃｏｍｐｕｔａｔｉｏｎ、ＭＩＴ　Ｐｒｅｓｓ、Ｃａｍｂｒｉｄｇｅ、ＭＡ（１９９７）およびＨａｓｓｏｕｎ，Ｍ．Ｈ．のＦｕｎｄａｍｅｎｔａｌｓ　ｏｆ　Ａｒｔｉｆｉｃｉａｌ　Ｎｅｕｒａｌ　Ｎｅｔｗｏｒｋｓ、ＭＩＴ　Ｐｒｅｓｓ、Ｃａｍｂｒｉｄｇｅ、ＭＡ（１９９５）によって総説された多くの自己組織化学習アルゴリズムのうちの１つに過ぎない。入力ノード４２を有する自己組織化ネットワーク４０は図２に例示されており、以下のように養成されることが可能である。入力ベクトルがウェハ表面の多重パラメータ特徴であると想定する。このベクトルを記号Ｍで表わし、分類ノードからの出力を記号Ｙで表わし、Ｗは入力４２と分類ノード４４の間の接続マトリックス４６を表わすであろう。Ｙベクトル内のいかなる所定の要素に関する値も、

【数１】

$$y_j = f(\sum_i W_{ij} x_i) \qquad [1]$$

で与えられる。接続マトリックスＷの中で小さい正のランダムの数で出発するならば、各々の分類ノードは同じ入力ベクトルについて同じ出力値を生じるであろう。関数ｆは、例えば、

【数２】

$$f(z) = \frac{1}{(1 + \exp(-z))} \qquad [2]$$

という単純なロジスティック関数である可能性がある。このアルゴリズムでもって、出力ベクトル要素のうちの１つがその他よりも大きい値を有するであろう（例えばｙ１＜ｙ２　ｙ１＜ｙ３　ｙ２＞ｙ３）。それらの値を増加または減少させることによって、計算の目的で個々の出力ベクトル要素間の差異を利用することが可能である。記述した範例では、２番目の要素が最大値もしくは当選者である。しかしどの値が最大でどの値が最小であるか明確に判定する必要はない。入力ノードと分類ノードの間の重みを更新するために単純に以下のアルゴリズム、すなわち

$W_{ij}(t+1) = W_{ij}(t) + \delta W_{ij} x_i$　　（３）

を使用することが可能である。このアルゴリズムの利点は、分類出力を明確に調べる必要がないことである。ネットワークの自己組織化が収束したかどうかを判定するために、接続マトリックス４６内で生じる変化の大きさを単純にモニタすればよい。

【００２７】

ネットワークを養成した後、分類ノードの実際の出力は好ましいほど強くはないが、それらが互いから差別化されることを見出すことが可能である。自己組織化分類の最終段階で勝者独占ネットワーク４８を使用することによってこの差別化をさらに促進することが可能である。これは、最大出力を選択するために「Ｉｆ」命令文を使用することによって、あるいは出力ノード５０に到着するＭＡＸ（ｙ）関数によって為され得る。この局面で、図１のシステム１０はネットワークから優秀な等級を供給し、これは例えばウェハ表面の多重パラメータ特徴２２の品質を表わす。

【００２８】

フィードバック用神経ネットワーク２４とフィードフォワード用神経ネットワーク２８に類似性が存在する可能性があり、存在することが好ましい。誤差逆伝搬法として知られている教師付き学習アルゴリズムは両方を養成することが可能である。このアルゴリズム

は当該技術でよく知られており、多くの発表論文がそれおよびその使用法を記述している。このアルゴリズムに関する２つの公表された供給源はＨａｓｓｏｕｎ，Ｍ．Ｈ．のＦｕｎｄａｍｅｎｔａｌｓ ｏｆ Ａｒｔｉｆｉｃｉａｌ Ｎｅｕｒａｌ Ｎｅｔｗｏｒｋｓ、ＭＩＴ Ｐｒｅｓｓ、Ｃａｍｂｒｉｄｇｅ、ＭＡ（１９９５）、およびＲｅｅｄ，Ｒ．Ｄ．とＭａｒｋｓ，ＩＩ，Ｒ．Ｊ．のＮｅｕｒａｌ Ｓｍｉｔｈｉｎｇ－Ｓｕｐｅｒｖｉｓｅｄ Ｌｅａｒｎｉｎｇ ｉｎ Ｆｅｅｄｆｏｒｗａｒｄ Ａｒｔｉｆｉｃｉａｌ Ｎｅｕｒａｌ Ｎｅｔｗｏｒｋ、ＭＩＴ Ｐｒｅｓｓ、Ｃａｍｂｒｉｄｇｅ（１９９９）である。以下は、図３に示したような、養成アルゴリズムとそれが本発明に応用され得る方法の簡単な説明である。

【００２９】

神経ネットワークの出力ｒは、

【数３】

$$r_k = \sum_j \left[W_{jk} \bullet \tanh\left(\sum_i W_{ij} \bullet x_i \right) \right] \qquad [4]$$

によって与えられる。この式は、入力ベクトルｘのｉ番目の要素が接続の重みＷ$_{ij}$で乗算されることを述べている。そのとき、この積は双曲正接関数の偏角であって結果的に別のベクトルにつながる。結果的に得られるベクトルは接続の重みＷ$_{jk}$の別のセットで乗算される。下付き文字ｉは入力空間を補う。下付き文字ｊは「隠れノード」の空間を補い、下付き文字ｋは出力空間を補う。接続の重みはマトリックスの要素であり、マトリックス要素に関する誤差空間の勾配検索によって見出される。出力応答誤差の最小化に関する費用関数は、

【数４】

$$C = \left[\sum_j (t - r)^2 \right]^{1/2} + \gamma \|W\|^2 \qquad [5]$$

によって与えられる。最初の項は目標値ｔと応答値ｒの間のＲＭＳ誤差を表わす。第２の項は接続の重みＷの大きさを最小にする束縛条件である。もしも（正規化係数と呼ばれる）γが大きい場合、それは重みに小さい等級の値を帯びることを強いるであろう。これは出力応答が低い変動を有し、かつモデルが直線的挙動をとる原因となる可能性がある。この重みの束縛条件で、費用関数は誤差を最小化しようとし、この誤差をすべての養成の実例に強いるであろう。その影響はネットワークを強く偏らせることである。したがって係数γはモデルの非線形性の望ましい程度について調整可能なパラメータとしてはたらく。

【００３０】

この手法を例えばフィードフォワード用神経ネットワーク２８を養成することに応用するために、ウェハ表面の多重パラメータ特徴２２を入力ベクトルＸとして使用し、ＣＭＰの除去速度曲線を例えば出力目標値Ｔとして使用する。この検討は具体的例示だけのために与えられるものであって、ＣＭＰまたはＣＶＤ処理で使用されるその他の制御パラメータへの本発明の応用を制限するものではない。同様に、ここで説明する方法はエッチング処理工程あるいはフォトリソグラフィ処理工程といった他の処理工程に直接応用されることが可能である。入力ベクトルＸと目標値Ｔの選択後に、ネットワーク２８は前述したよく知られているアルゴリズムを使用して、かつ／または履歴の処理データ３２を使用して養成される。ネットワーク２８の目的はＣＭＰ処理工程を走らせるためのＣＭＰの除去速度曲線を計算することである。神経ネットワーク２８への入力はウェハ表面の多重パラメータ特徴２２であり、ネットワーク２８はウェハ表面の多重パラメータ特徴２２のマップ

化の処理をＣＭＰの除去速度曲線へとモデル化するであろう。追加的データが蓄積されると、神経ネットワーク２８内の接続は処理の変化として更新されることが可能であり、それによって神経ネットワーク２８が実在の変化に順応することを補助する。

【００３１】

したがって、システム１０は半導体製造方法のオンラインの自動化に使用されることが可能であり、測定されるウェハの幾何学構造を目標の許容範囲に向けて動かすであろう制御パラメータの選択を可能にする。そのようなフィードフォワードとフィードバック制御は工程内測定を通して入手される情報を下流と上流の工程へとそれぞれ応用する。或る実施形態では、フィードフォワードとフィードバック制御は入力デバイス形態の多重パラメータ特徴を入力として有する神経ネットワークを介してそれぞれの製造工程に供給される。この一体化された金属蒸着－インライン測定－ＣＭＰ処理は、入力プロファイルおよび所望のエッチング後プロファイルに応じて処理を調整するために適切にモニタされることが可能ではなく、またはその影響が充分にされることが可能ではない変数の変化に対して適応することが可能である。

【００３２】

ＩＩ．インライン測定要素

前述したように、インライン測定要素１４はどのような知られている装置もしくは技術、あるいは技術と装置と組合せを含む可能性もあり、走査型電子顕微鏡（ＳＥＭ）または収束イオンビーム（ＦＩＢ）検査データを使用した半導体ウェハの結晶学的特徴の進展を含む可能性がある。都合のよいことに、本発明はオフラインおよび／または破壊的検査を伴わずに従来可能であったよりも高速で結晶学的配向、粒子サイズおよび粒子形態を測定する新式のインライン測定システムおよび方法を提供する。ここで使用する領域画分とは、特定の方向に関する多結晶材料表面に沿った粒子配向の画分のパーセンテージを意味する。

【００３３】

Ａ．走査型電子顕微鏡（ＳＥＭ）

ここで図４を参照して、半導体ウェハ上に蒸着された銅膜のような結晶サンプル７２を走査するためのインライン測定要素７０の実施形態がここで説明されるであろう。測定要素７０は電子ビーム７８に対する視射角θでサンプル７２を保持するためのサンプル・ホルダ７４を含む。電子ビーム７８は電子源７６によって作り出される。電子ビーム７８とサンプル・ホルダ７４上の結晶サンプル７２の間の相対的移動を制御するために走査用アクチュエータ８０が設けられる。走査用アクチュエータ８０は電子ビーム７８を結晶サンプル７２の間隔を置いた一連の点に方向付けるように制御可能である。言い換えると、走査用アクチュエータ８０はサンプル・ホルダ７４上のサンプル７２に関して電子ビーム７８を移動させるように電子源７６の移動を制御することが可能であるか、または走査用アクチュエータは電子ビームに関してサンプル・ホルダの移動を制御することが可能であるか、または両方である。

【００３４】

蛍光スクリーン８２上に、例えば画像を増強および／または増幅することによって形成された画像を処理するために、画像処理プロセッサ８４のような処理システムが設けられる。画像処理プロセッサ８４は画像を捕捉するための高感度カメラまたは電荷結合素子（ＣＣＤ）カメラ８８を含むことが可能である。蛍光スクリーン８２は入射電子ビーム７８と平行になるようにサンプル・ホルダ７４の隣りに装着される。サンプル７２から回折した電子は蛍光スクリーン８２上に画像を形成する。これらの画像は菊池回折パターンとして知られており、サンプル７２の走査領域内の点で結晶学的粒子配向を判定するために使用されることが可能な菊池バンドを含む。パターンの中心は最大バンド形成のために蛍光スクリーン８２の最上部付近に配置されることが好ましい。

【００３５】

画像プロセッサ８４は、当業者によく知られているように、バンド構造を識別するためにＨｏｕｇｈ変換を通じて菊池回折パターンを数学的に分解する。例えば米国特許第６，

３２６，６１９号を参照されたい。バンド構造の幾何学的対称性は現在の点の結晶サンプルの結晶学的粒子配向を判定するために使用される。制御器８６は現在の点の結晶学的粒子配向を前回の点から得られた結晶学的粒子配向と比較する。その後、電子ビーム７８もしくはサンプル・ホルダ７４が次の点へと段送りされて処理が繰り返される。段送りは走査領域全体にわたって所定の段階サイズでラスタ・パターンで起きる。

【００３６】

結晶相の結晶学的配向は狭い許容差内で変化する。通常、この許容差は結晶平面間の角度間隔へのＨｏｕｇｈ変換によって示されるノイズよりも小さい。したがって、各々の点について一回の結晶学的粒子配向の判定を必要とするだけである。一態様では、サンプル点間の段階サイズもしくは間隔は、各々の点が結晶サンプル７２の走査領域内で異なる粒子からとられるように設定される。本開示で使用される「段階サイズ」という用語は、粒子配向の分析のために電子ビーム１８が方向付けられる連続したサンプル点の間の距離である。

【００３７】

段階サイズは結晶サンプルの「判っている粒子サイズ」よりも大きく、かつ／または少なくとも「判っている粒子サイズ」の大きさであることが可能である。本開示で使用される「粒子サイズ」という用語は当業者に知られている技術、例えばインターセプト法（ＡＳＴＭ Ｔｅｓｔ Ｍｅｔｈｏｄ Ｅ １１２）またはプラニメータ法（ＡＳＴＭ Ｔｅｓｔ Ｍｅｔｈｏｄ Ｅ－２）またはその他の方法を使用した粒子の測定値に関する。そのような検査方法の記述についてはＶａｎｄｅｒ Ｖｏｏｒｔの「Ｃｏｍｍｉｔｅｅ Ｅ－４ ａｎｄ Ｇｒａｉｎ Ｓｉｚｅ Ｍｅａｓｕｒｅｍｅｎｔｓ：７５ Ｙｅａｒｓ ｏｆ Ｐｒｏｇｒｅｓｓ」、ＡＳＴＭ Ｓｔａｂｄａｒｄｉｚａｔｉｏｎ Ｎｅｗｓ（１９９１年、５月）を参照されたい。

【００３８】

判っている粒子サイズは結晶の特定の結晶相について標準化された粒子サイズとして特徴付けされることが可能であり、かつ様々な材料について標準化された粒子サイズをリストアップした出版物から得られることも可能である。１つのそのような出版物はＴｈｅ Ｊｏｕｒｎａｌ ｏｆ Ｖａｃｕｕｍ Ｓｃｉｅｎｃｅ ａｎｄ Ｔｅｃｈｎｏｌｏｇｙである。本発明の操作に関する段階サイズは、粒子サイズの１０倍といった粒子サイズの関数である。

【００３９】

図５と６Ａを参照すると、先行技術（図５）と本発明（図６Ａ）の範例の図式的な走査線（ＳＬ）がここで比較される。図５と６に描かれた走査線の各々は直線として図式的に表わされている。ここで図５と６Ａに開示された走査線はサンプルから得られる間隔を置いた一連の点を表わし、どのような所定のパターン、ランダム・パターンにも従うことが可能であり、どのような所望の間隔距離を有する可能性もある。例えば、本発明では、最初の点はサンプル７２の走査領域内でランダムに選択されることが可能であり、次の点はサンプル７２の判っている粒子サイズと少なくとも同じである距離で間隔を置かれる可能性がある。連続する点に関して前もって選択される方向は本発明の操作にとって厳密ではないが、しかし走査領域内のサンプルの様々な粒子の粒子配向を得ることが好ましい。

【００４０】

図５の先行技術の走査線ＳＬは間隔を置かれた点Ｐ１～ＰＮを含み、そこでデータが取られる。点Ｐ１～ＰＮは固定の段階サイズＳ、例えば５０ナノメートルで間隔を置かれる。例示したように、粒界（ＧＢ）はこのサンプルの走査線ＳＬの中に存在し、データ点Ｐ１～ＰＮの数は固定の段階サイズＳに基づいて一定である。

【００４１】

本発明による図６Ａに例示された走査線ＳＬは間隔を置かれた点Ｐ１からＰ７を含み、そこでデータが取られる。粒界（ＧＢ）はサンプル走査線ＳＬの中で粒子（Ｇ１～Ｇ７）の間に存在するが、しかし点間の間隔はサンプル７２の走査領域内で異なる粒子からとられる点を反映するように大きくされている。例えば、点Ｐ１からＰ７の各々の間の間隔は

粒子Ｇ１～Ｇ７のサイズの２倍である。この方式で、粒子配向の分析は各々の所定の点について異なる粒子から為されることが可能である。

【００４２】

図７を参照すると、結晶サンプル７２を走査するための本発明による方法の基本的な工程がここで説明される。本発明によると、本発明は（ブロック９０で）始まり、サンプル７２、例えば半導体ウェハ上に蒸着された銅膜が電子ビーム７８に対して或る視射角で保持される。例えば、サンプル７２は図４に示されたように実質的に水平の位置でサンプル・ホルダ７４もしくはステージによって保持されることが可能である。視射角θは約２０度であることが好ましい。ブロック９２で、電子ビーム７８がサンプル７２に作り出され、ブロック９４でサンプル７２と電子ビームの間の相対的移動が電子ビームを結晶サンプルの間隔を置いた一連の点に向けるように制御される。

【００４３】

結晶サンプル７２から回折した電子は画像を規定し、それが、例えば高感度カメラもしくはＣＣＤカメラを含むことが好ましい画像プロセッサによって（ブロック９６で）処理される。画像は蛍光スクリーン８２上に形成されることが可能であり、菊池回折パターンを含む。画像を処理する工程（ブロック９６）は菊池回折パターンをＨｏｕｇｈ空間へと変換することで結晶サンプル７２内の現在の点の菊池バンドを識別する工程を含む可能性がある。画像を処理する工程（ブロック９６）はまた、菊池バンドに基づいて結晶サンプル７２内の現在の点の結晶学的粒子配向を判定する工程を含む可能性がある。

【００４４】

本方法は現在の点から得られる結晶学的粒子配向を前回の点から得られる結晶学的粒子配向と比較する工程（ブロック９８）を含むことが好ましい。ブロック１００で、現在の点と前回の点の間の平均粒子配向が判定される。例えば、図５に関すると、もしもＰ１の粒子配向が（１，１，１）であり、かつＰ２の粒子配向が（０，０，１）であれば、平均の粒子配向は（１，１，１）および（０，０，１）平面の方向ベクトルを２等分するベクトルである。

【００４５】

ブロック１０２では、もしも２つの点だけの平均粒子配向がとられている場合、第３の点に関する結晶学的粒子配向が判定されるはずである。いったん第３の点Ｐ３（図６）について粒子配向がとられると、それが点Ｐ１とＰ２の粒子配向と比較される。ブロック１００では、例えば点Ｐ１、Ｐ２およびＰ３について平均粒子配向が判定される。次の工程（ブロック１０４）で、制御器９６が点Ｐ１～Ｐ２に関する平均粒子配向と点Ｐ１、Ｐ２およびＰ３について算出された平均粒子配向の間の変化を判定する。

【００４６】

ブロック１０４で、点Ｐ１とＰ２について判定された平均粒子配向間の変動が点Ｐ１、Ｐ２およびＰ３に関する平均粒子配向と比較されることで平均粒子配向の変動が判定される。この開示で使用される「変動」という用語は平均粒子配向の変動もしくは標準偏差を含むべきであり、その変動および／または標準偏差は粒子配向および／または平均粒子配向を比較するデータの統計学的分析から算出される。その数学的公式は当業者によく知られている。

【００４７】

次の工程（ブロック１０６）で、サンプル７２の平均粒子配向の変動が所定の値と比較される。もしも変動が所定の値に近づくかまたは等しければ、ブロック１０８で走査は終了される。もしも変動が所定の値に近づくかまたは等しくなることがなければ、サンプル７２の走査は次の点へと続く。走査処理は点Ｐ４とＰ５について繰り返される。粒子配向の変動は走査手順の間、または変動が所定の値に近づくかまたは等しくなるまでモニタされ、その工程（ブロック１０８）で走査は終了される。通常、所定の値はゼロであろう。

【００４８】

本発明の方法の利点はさらに速い収集を提供することである。本方法によると、粒子構造内のデータ点の数は、例えば結晶サンプルの判っている粒子サイズよりも大きい段階サ

イズでとられた点が必要とされる場合に減らされることが可能である。適切なデータ・サンプルが最少量の時間で結晶サンプルの評価のために収集される。半導体デバイスの製造に関すると、それぞれの走査点の各々の結晶学的粒子配向はサンプルの優先粒子配向を計算するために使用されることが可能であり、その計算は当業者によく知られている。

【００４９】

図６Ｂは結晶サンプルの上に重ねられた範例となる同心円走査線を描いている。本発明のまた別の態様では、光学的方法に基づいて粒子サイズを判定する統計学的方法が、それを電子ビーム手段に適応させて走査方法を応用することによって使用されることが可能であり、それにより、ビームは同心円または直列の線のいずれかで動くように方向付けられ、粒界が計数される。同心円のサイズまたは線の長さに対する粒界の数の比率が粒子サイズの統計学的判定を行なうために使用されることが可能である。本発明の新たな態様は、一連の円または線に沿って粒界の位置を見分けることを可能にするために充分に小さい段階サイズで電子ビーム手段を利用することにある。結合点の数から統計学的粒子サイズを判定するための数学的方法は当業者に知られている。

【００５０】

したがって、様々な走査方法を使用する電子ビーム・システムは結晶サンプルの統計学的配向および統計学的粒子サイズを供給することが可能である。大幅に削減される収集のための時間枠が理由で、本方法は粒子サイズおよび結晶学的情報を判定するためにインラインで使用されることが可能である。

【００５１】

Ｂ．単一収束電子ビーム（ＦＩＢ）

ここで図８を参照すると、結晶サンプル１１２を走査するためのインライン測定要素１１０のイオンビームの実施形態がここで説明されるであろう。測定要素１１０はサンプル１１２をイオンビーム１１８に対して角度θに保持するためのサンプル・ホルダ１１４を含む。本発明の一態様では、この角度は、同様の配向の結晶が同様の強度で検出されるようにファイバ・テクスチャ配向と揃えられる結晶サンプル１１２の面から９０度である。イオンビーム１１８は収束イオンビーム（ＦＩＢ）のようなイオン源１６によって作り出される。本発明のまた別の態様では、角度θは、イオンビーム１１８がファイバ・テクスチャ配向と揃えられないように結晶サンプル１１２の面からやく８５度である可能性がある。この角度構成では、同様の配向の結晶が変化する強度で検出され、それにより、境界が識別されることが可能となる。

【００５２】

走査用アクチュエータ１２４はイオンビーム１１８とサンプル・ホルダ１１４上の結晶サンプル１１２の間の相対的移動を制御するために設けられる。走査用アクチュエータ１２４は結晶サンプル１１２の選択された領域にイオンビーム１１８を方向付けるように制御可能である。言い換えると、走査用アクチュエータ１２４はサンプル・ホルダ１１４上のサンプル１１２に関してイオンビーム１１８を移動させるようにイオン源１１６の移動を制御することが可能であるか、または走査用アクチュエータはイオンビームに関してサンプル・ホルダの移動を制御することが可能であるか、または両方である。イオン源１１６がサンプル１１２を横切ってイオンビーム１１８を走査させるときにサンプル１１２の表面から発射される電子１２６を検出するために電子検出器１２０が設けられる。本発明の一態様では、電子検出器１２０は図８に示したようにサンプルのエッジ付近でイオンビーム１１８に対して直角に装着される。

【００５３】

電子検出器１２０によって受け取られたコントラスト画像を、例えば画像を増強および／または増幅することによって処理するために画像プロセッサ１２１が設けられることが可能である。いったん画像が特定の領域について処理されると、イオンビーム１１８またはサンプル・ホルダ１１４をサンプル１１２の他の所望の領域に移動させるために制御器１２２が制御信号を走査用アクチュエータ１２４へと供給する。

【００５４】

当該技術で知られているように、結晶材料からの電子の発射は入射イオンとサンプル表面の核の間の衝突の統計学的尤度によって変わる。核の衝突が起こる表面への距離が近くなるにつれて、表面からの二次電子の発射は一層激しくなる。結晶材料では、表面近傍の衝突の尤度は結晶構造の整列領域、またはチャネル化方向に沿って減少する。すなわち、イオンビームは非チャネル化方向よりもチャネル化方向にさらに浸透する。

【００５５】

ＦＩＢ機器は画像化操作を実行するために、例えばＧａ液化金属イオン源（ＬＭＩＳ）から得られる精密収束イオンビームを利用する。精密収束イオンビームとターゲット材料の相互作用は二次電子、二次イオン、および二次中性子の放出を生じるであろう。イオンおよび中性子は個々の原子、分子、またはクラスタとして放出される可能性がある。ＦＩＢの画像化能力は画像形成のための二次電子または二次イオンのいずれかの使用を可能にする。

【００５６】

図９はイオンビームに晒されるターゲット材料からの二次電子の発射およびスパッタリングを描いている。ターゲット材料１３２に衝突すると入射イオン１３０がターゲット材料１３０内のカスケード衝突を生じさせるであろうことはよく知られている。もしも表面原子がカスケード衝突から充分なモーメントの直角成分を受けるてターゲット材料１３２の表面結合エネルギーを乗り越えると、スパッタされた粒子１３８のような表面原子がターゲット材料１３２の表面１３４から離れる。スパッタリングに影響を与える因子には原子番号、エネルギー、イオンビームの入射角度、ターゲット材料１３２の原子密度、ターゲット材料１３２の表面結合エネルギー、およびターゲット材料１３２の結晶学的配向が含まれる。付け加えると、入射イオン１３０はまた、ターゲット材料１３２の表面から二次電子１３６の発射を生じさせる。この二次電子１３６の発射は入射イオン１３０の浸透の深さの関数である。したがって、サンプル表面から発射される生成二次電子の強度を調べることによって入射イオンの浸透のおよその深さを判定することが可能である。

【００５７】

図１０は、無秩序構造、および＜１１２＞、＜１００＞、および＜１１０＞のミラー指数をそれぞれ有する結晶構造にある銅とシリコンの主なチャネル化方向の図式的な表現を示している。入射イオンの統計学的深さは浸透深さの断面積の圧縮密度の関数である。したがって、広い原子チャネルが存在する軸方向のチャネル化の方向については、一次イオンはサンプル表面の中にさらに深く浸透し、それにより、サンプル表面の最上層から少ない二次電子を生じさせるであろう。チャネル化の方向と一致しない方向については、入射イオンとサンプル表面の核の衝突の一層大きな統計学的確率が存在し、したがって、一層多量の電子がサンプル表面のチャネル化の方向と一致しないサンプル方向で発射されるであろう。

【００５８】

図１１は００１銅のチャネル化マップを示している。このマップは銅の中の一次方向と二次方向に関する実効チャネル幅を描いている。図１１のチャネル化マップの特定の方向に沿った分析は図１２Ａと１２Ｂのコントラスト強度グラフを与える。したがって、図１２Ａと１２Ｂは傾斜角度対＜１１０＞と＜１００＞のミラー指数をそれぞれ有する００１銅に関する非チャネル化画分をプロットするコントラスト強度のグラフを示している。

【００５９】

したがって、結晶のチャネル化が理由で、多結晶サンプルの二次電子発射の強度を記録する電子検出器によって捕捉される二次電子画像からイオンチャネル化のコントラストのプロットを作り出すためにＦＩＢが使用されることが可能である。二次電子の収率がサンプル内の結晶学的配向の関数として変わるのでイオンチャネル化のコントラストが発生する。特定の粒子の結晶学的軸が入射イオンビームと揃うとチャネル化が生じることが可能である。結果として、作り出される二次電子の数が減少するせいでその粒子は暗く見えるであろう。都合のよいことに、イオンチャネル化が解釈されることでサンプル内の結晶の配向を判定することが可能である。

【００６０】
イオンビーム１１８はサンプル１１２に対して表面を横切って走査するので、イオンビーム１１８がチャネル化の方向を横切るときに比較的少ない電子がサンプル１１２から発射され、イオンビームが非チャネル化の方向を横切るときに比較的多数の電子がサンプル１１２から発射されるであろう。したがって、入射イオンビーム１１８に関するサンプル１１２の配向ならびにサンプル１１２内のチャネル化の方向の両方がサンプル１１２の表面からの電子１２６の発射に影響を与える。
【００６１】
したがって、サンプル１１２から発射された電子１２６を電子検出器１２０が検出すると、発射強度が制御器１２２に供給されることで発射強度とサンプル１１２上のターゲットになった位置を相関させる。補正された発射強度とターゲットになった位置の情報を使用して、サンプル１１２内の結晶のチャネル化領域に対応するサンプル１１２のコントラスト・マップを作成することが可能である。結果的に得られるコントラスト・マップはサンプル１１２の走査領域内の点での結晶学的粒子配向を判定するために使用されることが可能である。本発明の一実施形態では、ＦＩＢを使用して作成されたコントラスト・マップは、例えば、処理工程をモニタするために使用されることが可能であり、半導体金属のファイバ・テクスチャの性質の利点を活用することによって工程管理を提供する。
【００６２】
結晶学的配向を判定することへのイオンチャネル化のコントラストの能力を実証するために、ここにいくつかの範例が与えられる。付け加えると、結晶学的配向を判定するための知られているＳＥＭ技術への対応する比較もまた処理の検証のために与えられる。
【００６３】
図１３Ａは、時間ランダムのファイバ・テクスチャの配向に関する約１度（半値全幅）ＦＷＨＭの公称アルミニウム膜のＦＩＢ画像であって１０マイクロメートルのメモリを有している。通常、アルミニウムは１１１の強いファイバ・テクスチャ配向を有する。したがって、＜１１１＞の主要方向が注目され、配向の変化は１１１のチャネル化方向から離れる動きとして反映され、すなわち、入射イオンとサンプル表面の核の間の衝突のさらに大きな尤度に起因して画像はチャネル化方向から離れるほどさらにコントラストを示す。わずかに明るく見える或る領域を除いて画像はすべて同じコントラストを有するように見える。これらの領域は粒界であって、そこでは粒界での不規則性が、例えばＦＩＢを使用する核の衝突の局所的に増加した尤度を作り出している。
【００６４】
図１３Ｂは図１３Ａの同じアルミニウムのサンプルの電子線回折画像であり、この画像は５マイクロメートルの目盛りを有している。画像の右下隅の挿入画は逆極点図の凡例１４２であり、そこではグレーの影は、当該技術で知られているような逆極点図の単位三角形の自動タイル張り機能に相当する。例えば、逆極点図の凡例１４２の右上部分は＜１１１＞の結晶方向に割り当てられ、右下部分は＜１０１＞の結晶方向に割り当てられ、左下部分は＜００１＞の結晶方向に割り当てられる。したがって、画像のグレー・スケールは逆極点図の凡例１４２の規定された方向による結晶方向に対応する。理解され得るように、実質的に画像全体が＜１１１＞の結晶方向に対応している。
【００６５】
図１４は図１３Ａの＜１１１＞アルミニウム・サンプルに関する極点プロットのチャートを示している。アルミニウム・サンプルの＜１１１＞配向の時間ランダム成分を分析するために極点プロットのチャートが電子線回折情報から作成されることが可能である。極点プロットは回転方向と横軸方向、ウェハの平面内の２方向に沿ったサンプルのランダム性、およびファイバ・テクスチャの配向の相対的強度の両方を示している。例えば、描画される極点は対象の所望の格子面についてｈｋｌミラー指数を入れることによって特定される。極点プロットから、画像化されたアルミニウム・サンプルが極めて密なテクスチャの配向を示すことは０度の角度軸からの急峻な落ち込みから明らかである。
【００６６】

極点プロットはまた、サンプルの基準平面に関する極点（格子面に対して直角）の位置も示している。例えば、描画される極点は対象の所望の格子面についてｈｋｌミラー指数を入れることによって特定される。極点図は多結晶サンプル内で優先配向を識別する手段である。密で良好に形成された＜１１１＞方向の円で示したように、極点プロット１４４は＜１１１＞方向に強い配向を示している。

【００６７】

図１６Ａは欠陥処理されたアルミニウム膜のＦＩＢ画像であり、この画像は１０マイクロメートルの目盛りを有している。アルミニウム膜を処理するのに使用された方法はバリヤ工程を除いており、結果として欠陥処理されたサンプルの一層弱いファイバ・テクスチャに結びついた。したがって、画像は弱いファイバ・テクスチャによって引き起こされる顕著なコントラストの差異を示している。都合のよいことに、これはＦＩＢ画像化処理がバリヤ工程ならびにメタライゼーション工程の過ちによって引き起こされる問題を検出することが可能であることを実証している。

【００６８】

図１６Ｂは図１６Ａの同じアルミニウム・サンプルの電子線回折画像であり、この画像は５マイクロメートルの目盛りを有し、挿入画の逆極点図の凡例１４６を含む。この回折画像は画像内の一層明るい領域１４８によって示されるように結晶の非対称性を示し、したがって得られるＦＩＢ画像を有効化している。

【００６９】

図１７は図１６Ａのアルミニウム・サンプルに関する極点プロットのチャートを示している。この極点プロットのチャートは０度の角度基準から離れた極点の広がりによって示されるように極めて弱いファイバ・テクスチャの配向を示している。この弱まったファイバ・テクスチャ配向はアルミニウムのメタライゼーションで低下した平均故障時間（ＭＴＦ）の率に結果的につながる。

【００７０】

図１８は図１６Ａのアルミニウム・サンプルに関する極点図形のプロットを示している。図示したように、極点図形のプロット内の歪曲して緩んだ円形は図１６Ａのアルミニウム・サンプル内の弱いファイバ配向をさらに示している。したがって、ファイバ・テクスチャ材料の配向がＦＩＢチャネル化コントラスト画像を使用して示され得ることを電子線後方散乱回折データが有効化する。

【００７１】

ここで銅のシード層の範例を参照すると、図１９Ａはブランケット銅シード層に関するＦＩＢ画像を示しており、この画像は２０マイクロメートルの目盛りを有している。銅シード層に関すると、＜１１１＞の銅（Ｃｕ）について他の配向標準と比較するとエレクトロマイグレーション抵抗性があることが知られている。図１９ＡのＦＩＢ画像は銅シード層内の＜１１１＞配向を示すグレーの領域を主に含む。画像内のさらに小さい白色または黒色を増した領域は＜１１１＞Ｃｕの「３σの」焼きなまし双晶である。画像の下部付近の２つの黒色を帯びた粒子１５０、１５２は目につくほどにサンプルの残り部分とは異なる配向を有する粒子である。

【００７２】

図１９Ｂは図１９Ａのブランケット銅シード層のまた別のＦＩＢ画像であり、そこではＦＩＢは異なる入射角度を有する。図示したように、画像化されるサンプルのファイバ・テクスチャの中心軸と一致しない入射イオンの角度を使用することによって粒子サイズが容易に識別されて算出されることが可能である。

【００７３】

図２０は図９Ａの同じ銅シード層の電子線回折画像であり、この画像は４．５マイクロメートルの目盛りを有している。この電子線回折画像は期待通りにほぼ＜１１１＞配向を露呈しており、いくらかの粒子が軸外れの配向を有する。＜１１１＞配向を有する銅シード層の大部分は黒色で画像化され、その一方で＜１１１＞Ｃｕの焼きなまし双晶である３σの粒界はさらに明るい領域で画像化されている。

【００７４】
ここでＦＩＢとＳＥＭ技術を使用するタングステン画像化の比較を参照すると、図２１は部分的にＣＭＰ処理されたタングステン層に関するＦＩＢ画像を示しており、この画像は５マイクロメートルの目盛りを有している。電子線後方散乱回折によって確認すると、一層暗い領域１５４、１５６は１１０配向の領域に対応し、その一方で全体的に明るい領域１５８、１６０は１１４配向に対応する。特にＣＭＰ処理に関すると、１１４配向は１１０配向よりも２～４倍速く研磨される。図２２はタングステン層に関するＦＩＢ画像を示しており、この画像は１０マイクロメートルの目盛りを有している。この画像では、明るい領域（１１４配向）が暗い領域（１１０配向）以上に支配的であることは容易に理解することが可能である。配向成分の比率に起因するＣＭＰの除去速度の変化および終点検出に関するウェハ・ロットのいくつかの支障の主な原因の１つが、図２２のタングステン結晶の１１４と１１０配向といった配向面の大幅に差異のある酸化反応速度であることは知られている。上述した新規的なＦＩＢ技術はそれぞれの配向成分の領域画分を定量化し、かつその定量化から、必要なＣＭＰの除去速度を直接判定する能力を供給する。ＦＩＢ技術はまた、蒸着時にウェハをモニタして処理の安定性、例えば所望の配向で結晶が蒸着されているかどうかを判定することを可能にする。

【００７５】
したがって、単一のファイバ・テクスチャ強度と２つのファイバ・テクスチャ強度および領域画分を判定することにイオンチャネル化コントラスト画像が使用されることが可能である。イオンチャネル化は結晶構造内の深さに対応するので、例えば、金属膜内で深さに対する領域画分と結晶学的偏差が判定されることが可能である。例えば、深さを変えてサンプルの特定の領域について結晶学的構造を判定することによって、サンプル表面の結晶学の三次元的再構成が為されることが可能である。結晶配向データに関する情報を使用することで、ＣＭＰの除去速度曲線の再構成がインラインで画像化されるサンプルのさらに効率的なＣＭＰのために達成されることが可能である。

【００７６】
Ｃ．二重ＦＩＢ
ここで図２３を参照すると、結晶サンプル１７２を軸上および軸外れのチャネル化応答のために走査するためのインライン測定要素１７０のイオンビームの実施形態がここで説明されるであろう。測定要素１７０はサンプル１７２をイオンビーム１７８に対して軸上チャネル化角度といった視射角θ１で、かつイオンビーム１８８に対して軸外れチャネル化角度といった第２の視射角θ２で保持するためのサンプル・ホルダ１７４を有する。本発明の一態様では、視射角θ１は結晶サンプル１７２の面から９０度であり、その一方で視射角θ２は０～９０度で変えられることが可能である。イオンビーム１７８、１８８はＦＩＢ源のようなそれぞれのイオン源１７６、１９０によって作り出される。イオンビーム１７８、１８８とサンプル・ホルダ１７４上の結晶サンプル１７２の間の相対的移動を制御するために走査用アクチュエータ１８４が設けられる。走査用アクチュエータ１８４は結晶サンプル１７２の選択された領域にイオンビーム１７８、１８８を方向付けるように制御可能である。言い換えると、走査用アクチュエータ１８４はサンプル・ホルダ１７４上のサンプル１７２に関してイオンビーム１７８、１８８を移動させるようにイオン源１７６、１９０の移動を制御することが可能であるか、または走査用アクチュエータ１８４はイオンビーム１７８、１８８に関してサンプル・ホルダ１７４の移動を制御することが可能であるか、あるいは両方である。本発明の一態様では、イオンビーム１７８、１８８は選択されたスポットについて軸上と軸外れのチャネル化応答を供給するためにサンプル１７２上の同じスポットに照準を合わせるように位置決めされる。イオン源１７６、１９０がサンプル１７２を横切ってそれぞれのイオンビーム１７８、１８８を走査させるときにサンプル１７２の表面から発射される電子１８６を検出するために電子検出器１８０が設けられる。本発明の一態様では、電子検出器は図２３に示されるようにサンプルのエッジ付近でイオンビーム１７８に対して直角に装着される。

【００７７】

電子検出器１８０によって受け取られたコントラスト画像を、例えば画像を増強し、かつ／または増幅することによって処理するために画像プロセッサ１８１が設けられることが可能である。いったん画像が特定の領域について処理されると、イオンビーム１７８、１８８またはサンプル・ホルダ１７４をサンプル１７２の他の所望の領域に移動させるために制御器１８２が制御信号を走査用アクチュエータ１８４へと供給する。本発明の一態様では、イオン源１７６、１９０はサンプル１７２上の単一の所望のスポットに照準の合った状態を保つために一致して動かされることが可能であり、あるいは独立して動かされることも可能である。

【００７８】

サンプルに対して直角に装着される単一ＦＩＢの実施形態に関して上記で説明したように、多結晶サンプル内の二次電子発射の強度はイオンビーム１７８、１８８がサンプル１７２を横切って走査されるときに電子検出器１８０によって捕捉されることが可能である。したがって、イオンビーム１７８のように表面に対して直角であり、かつサンプル１７２のチャネル化の方向に関して軸上にあるイオンビームが粒子の位置を画像化するために使用されることが可能である。付け加えると、イオンビーム１８８のようにウェハ表面に対して直角ではなく、かつサンプル１７２のチャネル化の方向に関して軸外れのイオンビームは粒子サイズを画像化するために使用されることが可能である。したがって、ウェハの粒子サイズと粒子位置の両方が、例えば、一対のＦＩＢを使用して画像化されることが可能であり、それによって金属蒸着処理とＣＭＰ処理の両方を制御するために使用されることが可能なウェハ処理のインライン分析を提供する。

【００７９】

２つのイオンビームを有することの追加的な特徴は、サンプル表面に対する直角と平行に位置決めされた一方のイオンビーム１７８が１つの基準として使用され得ることである。サンプル表面に対して直角に揃えられていない他方のイオンビーム１８８は二次的コントラスト強度を判定するために使用されることが可能である。そのとき、イオンビーム１７８に関してサンプルを回転させることにより、サンプル表面の個別の結晶学的構造を再構成するために結晶の対称性データと共に収集して使用されることが可能な一連のコントラスト強度画像を収集するためにイオンビーム１８８が使用されることが可能である。この方法は、結晶基準のようなチャネル化の基準を必要とすることなく、コントラスト強度を設定するためのサンプルの結晶学の判定を可能にし得る。

【００８０】

Ｄ．ＳＥＭ／ＦＩＢの組合せ

ここで図２４を参照すると、結晶サンプル２１２を走査するために電子源２３０とイオン源２１６を組み合わせるインラインの測定要素２００がここで説明されるであろう。測定要素２１０はイオンビーム２１８に対する視射角θ１および電子源２３０に対する視射角θ２でサンプル２１２を保持するためのサンプル・ホルダ２１４を含む。本発明の一態様では、視射角θ１は結晶サンプル２１２の表面から９０度である。また別の実施形態では、視射角θ１は０と９０度の間であることが可能である。イオンビーム２１８は収束イオンビーム（ＦＩＢ）のようなイオン源２１６によって作り出される。イオンビーム２１８とサンプル・ホルダ２１４上の結晶サンプル２１２の間の相対的移動を制御するために走査用アクチュエータ２２４が設けられる。走査用アクチュエータ２２４はイオンビーム２１８を結晶サンプル２１２の選択された領域に方向付けるように制御可能である。言い換えると、走査用アクチュエータ２２４はサンプル・ホルダ２１４上のサンプル２１２に関してイオンビーム２１８を移動させるようにイオン源２１６の移動を制御することが可能であるか、または走査用アクチュエータはイオンビームに関してサンプル・ホルダの移動を制御することが可能であるか、または両方である。イオン源２１６がサンプル２１２を横切ってイオンビーム２１８を走査させるときにサンプル２１２の表面から発射される電子２２６を検出するために電子検出器２２０が設けられる。本発明の一態様では、電子検出器２２０は図２４に示したようにサンプルのエッジ付近でイオンビーム２１８に対して直角に装着される。

【００８１】
電子ビーム２２８は電子源２３０によって作り出される。電子ビーム２２８とサンプル・ホルダ１４上の結晶サンプル２１２の間の相対的移動を制御するために走査用アクチュエータ２２４が設けられる。本発明の一態様では、視射角θ２は２０度である。走査用アクチュエータ２２４は電子ビーム２２８をサンプル２１２、例えば結晶サンプル２１２の間隔を置いた一連の点に方向付けるように制御可能である。言い換えると、走査用アクチュエータ２２４はサンプル・ホルダ２１４上のサンプル２１２に関して電子ビーム２１８を移動させるように電子源２１６の移動を制御することが可能であるか、または走査用アクチュエータは電子ビームに関してサンプル・ホルダの移動を制御することが可能であるか、または両方である。

【００８２】
蛍光スクリーン２３２上に、例えば画像を増強および／または増幅することによって形成された画像を処理するために、画像処理プロセッサ２３６が設けられる。画像処理プロセッサ２３６は画像を捕捉するための高感度カメラまたは電荷結合素子（ＣＣＤ）カメラ２３４を含むことが可能である。蛍光スクリーン２３２は入射電子ビーム２１８と平行になるようにサンプル・ホルダ２１４の隣りに装着される。サンプル２１２から回折した電子は、図１に関して説明したように蛍光スクリーン２３２上に画像を形成する。これらの画像は菊池回折パターンとして知られており、サンプル２１２の走査領域内の点で結晶学的粒子配向を判定するために使用されることが可能な菊池バンドを含む。付け加えると、電子検出器２２０によって受け取られたコントラスト画像を、例えば画像を増強および／または増幅することによって処理するために、別の画像処理プロセッサ２２１が設けられることが可能である。いったん画像が特定の領域について処理されると、イオンビーム２１８またはサンプル・ホルダ２１４をサンプル２１２の他の所望の領域に移動させるために制御器２２２が制御信号を走査用アクチュエータ２２４へと供給する。本発明の一態様では、イオン源２１６と電子源２３０はサンプル２１２上の単一の所望のスポットに照準の合った状態を保つために一致して動かされることが可能であり、あるいは独立して動かされることも可能である。

【００８３】
したがって、電子源２３０とイオン源２１６の両方を二重構成で使用することによって、効率的な結晶学的インライン分析が実行されることが可能である。例えば、イオンビームが粒子の識別のために使用されることが可能であり、電子ビームが結晶内の配向を判定するために点回折モードで使用されることが可能である。本発明の一態様では、イオンビームは巨視的に粒界の位置を判定するために使用されることが可能であり、その一方で電子ビーム２２８は、例えば回折パターンを使用することによるさらに精密な結晶学的分析が必要であれば分析モードで使用されることが可能である。例えば、（１１１）の優先配向を備えたアルミニウムのサンプルは軸外れのチャネル化測定（すなわち、入射イオンビームと表面の垂線の間で例えば５度の角度を備えるかまたはθ２が９０度に等しい）で分析されることが可能である。軸外れの構成では、粒子は異なったコントラスト強度を生じるであろう。イオンチャネル化のコントラスト画像から粒界が識別され、かつ個々の粒子が判定されることが可能である。その後、イオンビームが外され、識別された粒子の各々の中心から電子ビームが回折測定を行なうことが可能である。したがって、チャネル化コントラスト画像からの形態学的情報、および電子ビーム測定からの個別の結晶学的情報の両方が供給されることが可能である。２つのデータ源の組合せはサンプル表面の完全な結晶学的特徴付けを可能にする。

【００８４】
本発明の別の態様では、上述した軸外れの測定技術はイオンチャネル化コントラスト判定の軸上（θ１が９０度に等しい）の方法に中心を設けるか、または基準を設けるために使用されることが可能である。したがって、２ビーム法は単一のイオンビーム測定のパラメータを設定するか、またはそれに基準を設けるために使用されることが可能である。実際では、最初のサンプルは軸外れの粒子識別によって個別に解決され、それに続いて結晶

学的情報が軸上で個別に解決される可能性がある。その後、サンプルは軸上の方法を使用して測定されることが可能であり、軸外れの方法は基準を供給する。いったん基準が決定され、かつ様々な結晶学的配向についてコントラスト・レベルが設定されると、サンプル・セットの残りは結晶学のために単一のイオンビームの使用を必要とするだけである。これは、サンプル表面の完全な結晶学的特徴付けを可能にしながらなおもサンプル・セットの処理能力を上げることを可能にする。

【００８５】

本発明のまた別の態様では、形態学と結晶学の完全な判定はサンプルを通る各々の断面の平面で実行されることが可能であり、それに続いて三次元的な結晶学的再構成が為される。

【００８６】

ＩＩＩ．ＦＩＢの結晶標準

イオンビーム画像化技術では、トライアル・アンド・エラー技術を使用するコントラスト段階の設定は問題が生じる可能性がある。特に、サンプル内の結晶学的配向を判定するために二次電子発射画像についてコントラストの段階に中心を設定することは達成することが困難である可能性がある。本発明の発明人らは、基準を設けるために二重配向ファイバ・テクスチャ測定標準を作成することによってイオン画像化にコントラストの段階を設定することを画期的に実現した。例えば、２つの配向の間の回転角の境界に特異的な粒界を備えたバイクリスタルが標準として使用されることが可能である。

【００８７】

図２５は本発明によるバイクリスタルを成長させるためのＢｒｉｄｇｍａｎ真空炉システム２５０を描いている。図２６はランダム配向の純粋の単結晶を成長させるための核生成部位を有するグラファイトの鋳型２５２を描いている。図２７は、ずれた配向角で純粋の単結晶２５６から抽出されることが可能な種結晶２５４を示している。図２７に描かれるように、種結晶２５４は、種結晶２５６の配向が００１軸の周りで回転された配向角ずれの半分を組み入れるように、鋳型２５２内で成長したランダム配向の第１の結晶２５６から切り出されることが可能である。その後、００１軸に関する垂線が配向角ずれの半分となるように種結晶２５４は基準面で削られ、研磨されることが可能である。図２８は純粋の単結晶種結晶から種成長結晶を形成するためのグラファイトの鋳型２５８を描いている。種結晶２５６が他のグラファイト鋳型２５８に設置され、特異的な配向を有する種成長結晶が成長させられる。図３０は種成長結晶２６０を２つのバイクリスタル種半分２６２、２６４へと切断する場面を描いている。図２９に示されるように、種成長結晶２６０は成長方向と平行の方向で２つのバイクリスタル種半分２６２、２６４へと切断され、一方の半分２６４は１８０度回転させられ、対称的なねじれた粒界が２つの結晶半分２６２、２６４を分けるように他方の半分２６２に関して配向させられる。

【００８８】

図３０はバイクリスタルの種半分２６２、２６４からバイクリスタルを形成するためのグラファイトのバイクリスタル鋳型２６６を描いている。図３０に示されるように、グラファイトのバイクリスタル鋳型２６６は、成長工程の間を通してバイクリスタルの種半分２６２、２６４を分離して保ち、かつ各々のバイクリスタルの種半分２６２、２６４について正しい配向を強制するグラファイトのスリーブ２６８を収容している。結果として得られるバイクリスタルは特異的な粒界を示す。

【００８９】

バイクリスタルの配向ずれは前述したようにＢＫＤ法を使用することによって特徴付けられることが可能である。パターンは判定されたバイクリスタルの各々の結晶の配向に関して指標化されることが可能である。配向のずれは、もしも共通の軸に関する一方の結晶の回転として説明されるならば、第２の結晶の軸／角度と一致するに至る。配向ずれに関する計算式は以下のマトリックスの項で書かれることが可能である。

［Ｘ］１＝［Ｒ］［Ｘ］２　　［６］

【００９０】

上記の式で、［Ｘ］１と［Ｘ］２はそれぞれバイクリスタルの構成成分の結晶１と２（例えば結晶２６２と２６４）に関する正規化された配向ベクトルであり、［Ｒ］は回転マトリックスである。回転マトリックスから、軸／角度の対は以下のように計算されることが可能であり、そこでは回転の角度は

ｑ＝ｃｏｓ－１［０．５（Ｒ１１＋Ｒ２２＋Ｒ３３－１）］　［７］

回転軸（ｈｋｌ）は

ｈ＝（Ｒ３２－Ｒ２３）／（２ｓｉｎｑ）、

ｋ＝（Ｒ１３－Ｒ３１）／（２ｓｉｎｑ）、および

ｌ＝（Ｒ２１－Ｒ１２）／（２ｓｉｎｑ）　［９］

である。

【００９１】

いったんバイクリスタルが成長させられると、コントラストのレベルをチャネル化コントラストによって画像化された粒子と相関させるためにバイクリスタルが使用されることが可能である。例えば、図示したように割り当てられて段階付けられたコントラストのレベルは１１４粒子配向の明るい領域２７２の特徴と１１０粒子配向の暗い領域２７０の特徴を明らかにしている。

【００９２】

ＩＶ．インライン測定のための方法

ＳＥＭの使用に関連して上述したように、統計学的な結晶学的配向、統計学的粒子サイズ、電子線の差動を含む蒸着過程をモニタして結晶基板内の境界を判定するためにいくつかの新式の可変走査方法が使用されることが可能である。付け加えると、ＦＩＢの使用に関連して前述したように、単一のファイバ・テクスチャ強度、二重ファイバ・テクスチャ強度、領域画分ｖ．膜を貫通する厚さ、配向データからのＣＭＰ除去速度曲線の再構成、および結晶学的変化対深さプロファイルを判定するために新式のイオンチャネル化技術が使用されることが可能である。前述した二重イオンビーム／電子ビーム装置の中で、配向に関する粒子の位置と点の電子線回折のチャネル化コントラスト、および問題識別の高速のインラインの方法論と詳細分析のための低速の分析モードの新式の方法が説明された。付け加えると、そのような測定から派生する情報はＣＭＰ処理工程および金属蒸着処理工程といった他の処理工程に制御パラメータを供給するために使用されることが可能である。工程のモニタリングおよび半導体製造方法の制御のための他の方法がここで説明されるであろう。

【００９３】

Ａ．粗さ相関反射率

優先結晶面配向を有する多結晶材料が異なる配向について異なる速度で成長することは知られている。サンプル基板上で多結晶材料が核形成および成長を始めるとき、Ｇｉｂｂｓ表面エネルギーとして知られている材料の特性が、結晶表面が成長するであろう速度を規定する。表面の配向が結合に関する軌道の角度を規定するので、異なる配向ではＧｉｂｂｓ表面エネルギーが異なる。アルミニウムのように単一の方向で核を形成し、成長する傾向を有する表面については、特定の平面配置に関する表面エネルギーは比較的平衡化しているはずであって、結果的にまったく一様な表面成長速度につながる。タングステンのような多様な配向で核形成して成長する多結晶材料からの、多様な表面エネルギーは多様な多結晶の配向の各々に関する多様な成長速度に結びつく。この多様な成長速度は効果的に表面粗さを作り出し、それは反射率、ＳＥＭ分析、および原子間力顕微鏡といった様々なモニタリング技術を通じてモニタされることが可能である。

【００９４】

図３２Ａは電子線後方散乱を使用して画像化された比較的粗いタングステン・サンプルの逆極点マップである。図３３Ｂは電子線後方散乱を使用して画像化された比較的滑らかなタングステン・サンプルの逆極点マップである。図３２Ｂに示されるように、減少した粗さはタングステンの１１０ファイバ・テクスチャの増加した画分２７４に相関させられることが可能である。

【００９５】
図３３Ａは領域画分の説明の挿入図を有する比較的粗いタングステン・サンプルの反射率画像である。図３４Ｂは領域画分の説明の挿入図を有する比較的滑らかなタングステン・サンプルの反射率画像である。反射率画像およびそれに対応する領域画分の説明の比較によって示されるように、１１４にテクスチャ化した配向の領域画分の増加（図３３Ａの．０２から図３３Ｂの０．１４）は反射率を低下させ、それは膜の粗さの増大によって引き起こされる。
【００９６】
Ｂ．差別化した滞留時間を介した一様な粒子除去速度
イオン（通常ではガリウム）の収束ビームを利用するＦＩＢ手段が、入射イオンビームの衝突カスケードに起因して表面から材料を除去することは知られている。多結晶構造内のチャネル化効果のせいで、入射イオンビームに相対する或る配向は他の配向よりも高速または低速で削れることが可能であり、それにより、ミリング操作時に表面粗さまたは不均一な除去速度を引き起こす。イオンビームによる材料の除去はサンプルを調製するかまたは材料を除去するかいずれかへの一方通行である。したがって、ＦＩＢは半導体欠陥の再調査、走査型電子ビームおよび走査透過型電子ビームのサンプル調製、および局所測定の能力のために使用されることが可能である。
【００９７】
チャネルのような構造間で除去速度の不均一性の問題を解決する以前の試みは、入射ビームの角度に相対してサンプルを回転させることであった。しかしながら、ミリングを制御するために表面への焦点を保ちながらサンプル／ウェハを回転させることは困難である。この技術は巨視的なイオン・エッチングでさらに広く使用されてきており、それにより、除去領域は滑らかであるはずであり、配向は不明であるか、または局所領域に関して変わることが不明である。
【００９８】
発明人らは、配向およびチャネル化コントラストに関して異なる除去速度を特徴付けることによって、不均一な除去速度を補償するように滞留時間が調整されることが可能であることを画期的に実現した。したがって、配向が判っているかまたは不明である多結晶材料が均一な速度で削られることが可能である。
【００９９】
近年、収束イオンビーム（ＦＩＢ）機器はマイクロエレクトロニクス産業で極めて有用になった。ＦＩＢ機器の決定的な応用法の１つは、引き続く走査型電子顕微鏡法（ＳＥＭ）、透過型電子顕微鏡法（ＴＥＭ）、走査透過型電子顕微鏡法（ＳＴＥＭ）、二次イオン質量分析法（ＳＩＭＳ）、およびオージェ電子顕微鏡法（ＳＡＭ）による分析のための試料調製手段である。Ｓｉを主原料とする集積回路（ＩＣ）の遍在する用途およびＩＣのメタライゼーションでのＣｕの推進される使用が理由となって、ＳｉとＣｕのＦＩＢによるミリング特性へと関心が向いてきた。Ｓｉが例外的なＦＩＢミリング特性を示し、その一方でＣｕのミリングが問題であったことはよく知られている。
【０１００】
画像化およびミリング操作を実行するためにＦＩＢ機器は、例えばＧａ液化金属イオン源（ＬＭＩＳ）から得られる精密に収束したイオンビームを利用する。精密に収束したイオンビームとターゲット材料の相互作用は二次電子、二次イオン、および二次中性子の放出を生じるであろう。イオンと中性子は個別の原子、分子、またはクラスタとして放出される可能性がある。ＦＩＢの画像化能力は画像形成のための二次電子または二次イオンのいずれかの使用を可能にする。ミリング操作は、ＦＩＢインライン測定要素に関して前述したようなターゲット材料の（ＦＩＢインライン測定要素に関して前述したような）部位特異的なスパッタリングを通じて達成される。
【０１０１】
ＦＩＢのまた別の特定の興味深い能力は、それが多結晶のサンプルについて二次電子画像内にイオンチャネル化コントラストを作り出すことである。二次電子の収率はサンプル

内の結晶学的配向の関数として変化するのでイオンチャネル化コントラストが生じる。特定の粒子の結晶学的軸が入射イオンビームと揃うとチャネル化が生じることが可能である。結果として、作り出される二次電子の数の減少に起因して粒子は電子検出器画像内で当然暗く見えるであろう。

【０１０２】

スパッタリングの収率が結晶学的配向の関数であることははっきりと立証された。イオンビームがチャネル化方向への入射となるとき、スパッタリング収率は低下するであろう。スパッタリング収率の低下の主な理由は、チャネル化したイオンが核のエネルギー損失ではなく殆ど電子エネルギーの損失を被ること、および結晶格子内に深く浸透することが可能であることである。深い浸透および表面近傍での核の衝突の低い確率は、表面原子のスパッタリングに寄与するであろう衝突カスケードをイオンが引き起こす確率を極端に制限する。

【０１０３】

単結晶のスパッタリングに関するＬｉｎｄｈａｒｄ－Ｏｎｄｅｒｄｅｌｉｎｄｅｎの手法を使用し、下記の７つの式を使用して３０ｋｅＶ、Ｃｕ中へのＧａ＋に関してチャネル化方向と臨界角が計算される。チャネル化したスパッタリングの収率Ｙｕｖｗは、式１に示したように、非チャネル化画分χｕｖｗとフィッティング・パラメータηｈｋｌを伴うアモルファスのスパッタリング収率Ｙａｍｏｒｐｈと関係する。

$$Y_{uvw} = \eta_{hkl} \chi_{uvw} Y_{amorph} \qquad (1)$$

アモルファスのスパッタリング収率Ｙａｍｏｒｐｈは入射の角度θおよび入射イオンのエネルギーＥによって決まる。非チャネル化画分χｕｖｗはまさに、軸方向のチャネル化方向のスパッタリングに寄与するビームの統計学的画分であり、臨界チャネル化角度Ψｃおよび入射イオンのエネルギーＥによって決まる。フィッティング・パラメータηｈｋｌは単にチャネル化の効果を分析するために１と想定されるであろう。Ｌｉｎｄｈａｒｄ－Ｏｎｄｅｒｄｅｌｉｎｄｅｎの手法によると、式２に示したように、イオン－原子の相互作用についてＴｈｏｍａｓ－Ｆｅｒｍｉ準位を使用して法線入射χｏｕｖｗの非チャネル化画分が計算されることが可能である。

【数５】

$$\chi^{o}_{uvw} = \pi N t^{3/2}_{uvw} \left[\frac{3A^2 Z_1 Z_2 \left(\frac{e^2}{4\pi\varepsilon_o} \right)}{E} \right]^{1/2} \qquad (2)$$

添え字方向［ｕｖｗ］に沿った原子の位置の間の距離がｔｕｖｗである。基本的電荷ｅは１．６０×１０－１９Ｃであり、誘電率ε０は８．８５×１０－１２Ｃ２／Ｎ・ｍ２である。非チャネル化画分はターゲット材料の原子密度Ｎと原子番号Ｚ２の両方、入射イオンの原子番号Ｚ１とエネルギーＥ、および式３に示されるＴｈｏｍａｓ－Ｆｅｒｍｉスクリーニング長さＡによって決まる。（このモデルが平面方向のチャネル化を無視していることに再度留意すべきである。）

【数６】

$$A = \frac{\left(\frac{9\pi^2}{128} \right)^{1/3} a_o}{\left(Z_1^{2/3} + Z_2^{2/3} \right)^{1/2}} \qquad (3)$$

Ｔｈｏｍａｓ－Ｆｅｒｍｉスクリーニング長さＡは入射イオンとターゲット材料両方の原子番号Ｚ１とＺ２、およびボーア半径ａ０によって決まる。

【数７】

$$a_o = \frac{\eta^2}{m_e \frac{e^2}{4\pi\varepsilon_o}} = 0.529177\,\text{Å} \qquad (4)$$

２πηで除算したプランク定数は１．０５×１０－３４Ｊ・ｓであり、電子の質量ｍｅは９．１１×１０－３１ｋｇである。法線入射χｏｕｖｗでの非チャネル化画分を固定すると、所定のエネルギーの入射イオンとターゲット材料についてチャネル化方向が算出されることが可能である。次に、臨界角Ψｃと呼ばれるチャネル化方向の角度幅が計算されることが可能である。

【数８】

$$\psi_c = \left[\frac{3A^2 Z_1 Z_2 \left(\frac{e^2}{4\pi\varepsilon_o}\right)}{E t_{uvw}^3}\right]^{1/4} \qquad (5)$$

【数９】

$$E < E_1 = \frac{2Z_1 Z_2 \left(\frac{e^2}{4\pi\varepsilon_0}\right) t_{uvw}}{A^2} \qquad (6)$$

式５は、入射イオンのエネルギーが式６によるＬｉｎｄｈａｒｄの低エネルギー近似に関する上限であるＥ１よりも小さい限り有効である。Ｃｕ中へのＧａ、３０ｋｅＶのケースについて算出された上限は～５．８ＭｅＶである。イオンビームは直接チャネル化の方向からそれているので、チャネル化が統計学的に起こりにくくなると非チャネル化画分は１に向かって増加するであろう。そのとき、極角分解された非チャネル化画分は、式７に示されるようにχｕｖｗで示される。

【数１０】

$$\chi_{uvw} = \frac{\chi^o_{uvw}}{1 - \left(1 - \chi^o_{uvw}\right)\left(\frac{\psi}{\int\psi_c}\right)^2} \qquad (7)$$

【０１０４】

チャネル化方向［ｕｖｗ］に沿った法線入射からの極角はΨである。モデルを実験データに正確に適合させるためにフィッティング・パラメータｆが含まれる。境界を横切るイオンチャネル化コントラストは一様ではなく、その結果がスパッタリングの差異ならびに試料の半分への再蒸着から由来するトレンチの壁の傾斜である。ＴＥＭの試料は一様な厚さでなければならないので、ＴＥＭ　Ｌｉｆｔ－Ｏｕｔ試料品質を達成するために修正型ミリング技術が使用されなければならない。イオンチャネル化コントラストを手引きとして使用して、境界を横切るイオンチャネル化コントラストが一様になるまでサンプルが数度傾けられることが可能である。所望の一様な厚さの試料を達成するためにスパッタリングの差異は取り除かれ、再蒸着の効果が削減された。したがって、

【数１１】

$$Y = 4\frac{C}{X} - 3Y_{amorph}$$

Ｃ＝コントラスト・レベル
Ｘ＝倍率
であり、ここでＸは

【数１２】

$$X = \frac{C_0}{Y_{uvw}(\theta = 0)}$$

の値として規定され、
Ｙａｍｏｒｐｈ＝法線入射でのアモルファスのスパッタリング収率
である。

【０１０５】

したがって、スパッタリング収率がイオンチャネル化コントラストに関連付けられることが可能であるので、補償のメカニズムが開発されることが可能であり、それにより、除去される材料の深さは特定の位置でのスパッタリング収率と滞留時間の関数となる。例えば、サンプル内で様々な粒子構造が容易に見られることが可能である。銅粒子の双晶成分もやはり良好に可視化される。図３４は一次の入射イオンビームの二次電子出力をモニタすることによって作成される。したがって、図３４の画像は本質的にサンプル表面のイオンチャネル化コントラストのマップである。

【０１０６】

入射イオンビームは走査に沿った各々の点に（一次イオンビームがいかなる特定の位置でも費やす時間の長さ）滞留するように命令されることが可能である。滞留時間の差異が使用されることが可能であり、それはイオンチャネル化コントラストのスケーリング関数を通じて算出される。例えば、図３５の画像に示された銅の選択された領域に関すると、特異な粒子を見受けることが可能であり、３σのＦＣＣ焼きなまし双晶が暗い方のコントラストの領域として見られることが可能である。暗い方の領域に関すると、暗い方のイオンチャネル化コントラストでスパッタリング収率が少ないことをコントラスト－スパッタリング収率の式が語っているのでイオンビームは長い時間滞留するように指示される可能性がある。例えば、図３７Ａは銅のバイクリスタルの画像を示しており、それによると結晶の右側２７６と結晶の左側２７８の間のコントラスト・レベルの差異は粒界２８０である。コントラストをチャネル化すると、切断の深さの劇的な差異が明らかである。

【０１０７】

その後、ミリング手順の前に、図３６Ｂの画像のようにコントラストが等化されると、境界の異なる側が目に見えて異なる配向を有するにもかかわらず同等の除去速度が粒界を越える。したがって、イオンチャネル化コントラストを使用することによって、滞留時間の差異が様々な領域についてプログラムされることで多結晶材料にわたって一定の収率を維持することが可能である。

【０１０８】

Ｃ．ＣＭＰ処理

ＣＭＰ処理はここに説明される実施形態を使用して制御されることが可能である。開示した方法は、強度コントラストと除去速度の異なるサンプルであるけれども材料除去の等しい平面を維持するために使用されることが可能である。いったん各々の平面で結晶学を判定する効果的な方法でもって材料が平面方式で除去され得ると判定されると、サンプル

表面の結晶学的構造の三次元的再構成が得られることが可能である。本方法はまた、除去表面の結晶の配向に基づいて材料の除去を止める時間の判定も含む。

【０１０９】

本発明の好ましい実施形態がここに示され、かつ説明されてきたが、そのような実施形態が範例の方式で供給されただけであることは明らかであろう。したがって、本発明は添付の特許請求項の精神と範囲によってのみ制限されることを意図する。

【図面の簡単な説明】

【０１１０】

【図１】半導体処理工程のインライン測定およびフィードフォワード／フィードバック制御のためのシステムを例示するブロック図である。

【図２】自己組織化神経ネットワークを図式的に表わす図である。

【図３】教師付き神経ネットワークのアーキテクチャを図式的に表わす図である。

【図４】結晶サンプルを走査するための電子源を含むインライン測定要素の実施形態を示す図である。

【図５】先行技術の図式的な走査線（ＳＬ）の範例を描いた図である。

【図６Ａ】本発明（図４）の図式的な走査線（ＳＬ）の範例を描いた図である。

【図６Ｂ】結晶サンプルの上に重ねられる範例の同心円走査線を描いた図である。

【図７】結晶サンプルを走査するための方法の基本的工程のフローチャートを示す図である。

【図８】結晶サンプルを走査するためのインライン測定要素のイオンビームの実施形態を描いた図である。

【図９】イオンビームに晒されたターゲット材料からの二次電子発射とスパッタリングを描いた図である。

【図１０】ランダム構造および＜１１２＞、＜１００＞、および＜１１０＞のミラー指数を有する結晶構造の銅とシリコンの主チャネル化方向の図式的表現を示す図である。

【図１１】００１の銅についてチャネル化マップを示す図である。

【図１２Ａ】ミラー指数＜１１０＞を有する００１の銅について傾斜角度対非チャネル化画分をプロットしたコントラスト強度のグラフを示す図である。

【図１２Ｂ】ミラー指数＜１００＞を有する００１の銅について傾斜角度対非チャネル化画分をプロットしたコントラスト強度のグラフを示す図である。

【図１３Ａ】時間ランダムのファイバ・テクスチャ配向について約１度（半値全幅）ＦＷＨＭの公称アルミニウム膜のＦＩＢ画像を示す図である。

【図１３Ｂ】図１３Ａの同じアルミニウム・サンプルの電子線回折画像を示す図である。

【図１４】図１３Ａの１１１アルミニウム・サンプルに関する極点プロットのチャートを示す図である。

【図１５】図１３Ａの１１１アルミニウム・サンプルに関する極点図形のプロットを示す図である。

【図１６Ａ】欠陥処理されたアルミニウム膜のＦＩＢ画像を示す図である。

【図１６Ｂ】図１６Ａの同じアルミニウム・サンプルの電子線回折画像を示す図である。

【図１７】図１６Ａのアルミニウム・サンプルについて極点プロットのチャートを示す図である。

【図１８】図１６Ａのアルミニウム・サンプルについて極点図形のプロットを示す図である。

【図１９Ａ】ブランケット銅シード層に関するＦＩＢ画像を示す図である。

【図１９Ｂ】図１９Ａのブランケット銅シード層のまた別のＦＩＢ画像を示す図であって、ＦＩＢが異なる入射角度を有する。

【図２０】図１９Ａの同じ銅シード層の電子線回折画像を示す図である。

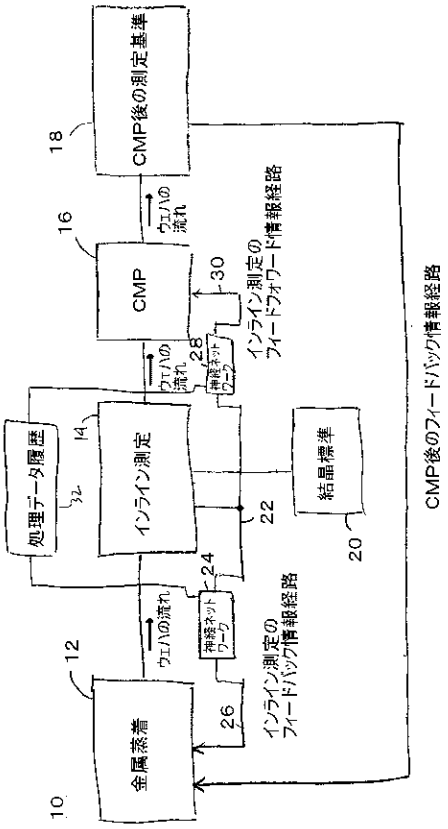
【図２１】部分的にＣＭＰ処理したタングステン層のＦＩＢ画像を示す図である。

【図２２】タングステン層に関するＦＩＢ画像を示す図である。

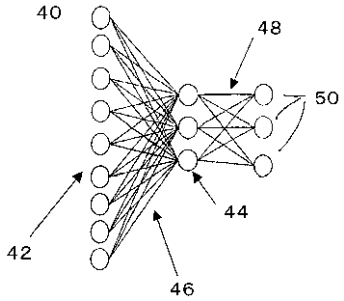
【図２３】軸上および軸外れのチャネル化応答を検出するように結晶サンプルを走査する

ためのインライン測定要素のイオンビームの実施形態を示す図である。
【図２４】結晶サンプルの走査のための電子源とイオン源を組み合わせるインライン測定要素を示す図である。
【図２５】バイクリスタル標準を成長させるための縦型Ｂｒｉｄｇｍａｎ真空炉システムを描いた図である。
【図２６】ランダム配向の純粋の単結晶を成長させるための単一の核形成部位を有するグラファイトの鋳型を描いた図である。
【図２７】配向角ずれで純粋の単結晶から抽出されることが可能な種結晶を示す図である。
【図２８】純粋の単結晶種結晶から種成長結晶を形成するためのグラファイトの鋳型を描いた図である。
【図２９】種成長結晶を２つのバイクリスタル種半分へと切断する場面を描いた図である。
【図３０】バイクリスタル種半分からバイクリスタルを形成するためのグラファイトのバイクリスタル鋳型を描いた図である。
【図３１】タングステンのイオンビームによるチャネル化コントラスト画像を示す図である。
【図３２Ａ】電子線後方散乱を使用して画像化した比較的粗いタングステン・サンプルの逆極点マップを示す図である。
【図３２Ｂ】電子線後方散乱を使用して画像化した比較的滑らかなタングステン・サンプルの逆極点マップを示す図である。
【図３３】Ａは領域画分の説明の挿入図を有する比較的粗いタングステン・サンプルの反射率画像を示す図であり、Ｂは領域画分の説明の挿入図を有する比較的滑らかなタングステン・サンプルの反射率画像を示す図である。
【図３４】多結晶に再結晶化された銅のイオンチャネル化コントラスト画像を示す図である。
【図３５】図３４のイオンチャネル化コントラスト画像の選択された領域を示す拡大図である。
【図３６Ａ】銅のバイクリスタルのイオンチャネル化画像を示す図である。
【図３６Ｂ】銅のバイクリスタルのイオンチャネル化画像を示す図である。

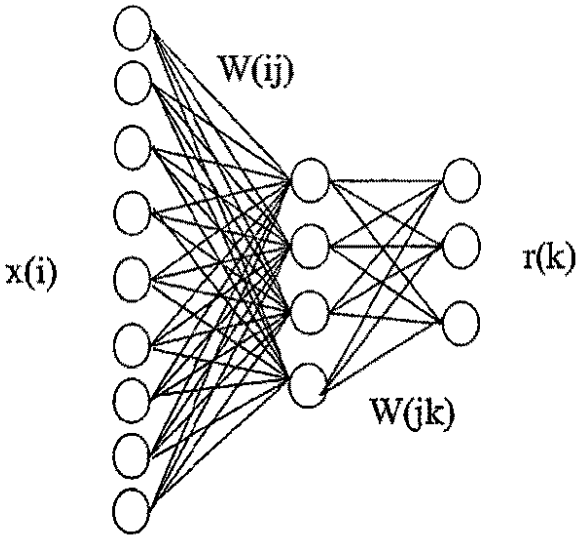
【図１】


CMP後の測定基準
18
CMP
16
ウェハの流れ
30
インライン測定のフィードフォワード情報経路
28
神経ネットワーク
処理データ履歴
32
インライン測定
14
結晶標準
22
20
24
神経ネットワーク
ウェハの流れ
12
金属蒸着
26
インライン測定のフィードバック情報経路
10
CMP後のフィードバック情報経路

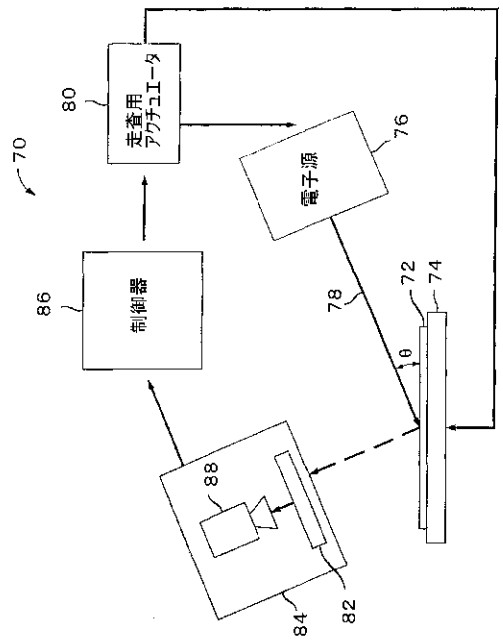
【図２】


40
48
50
44
42
46

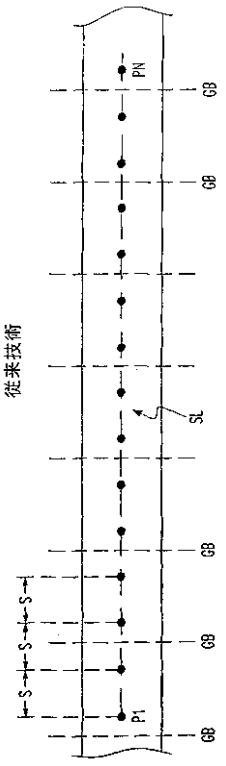
【図３】


W(ij)
x(i)
r(k)
W(jk)

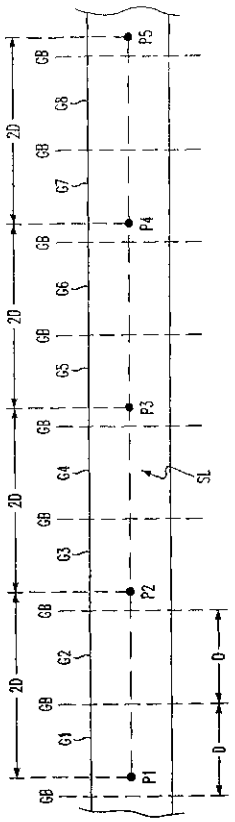
【図４】


70
走査用アクチュエータ
80
電子源
76
制御器
86
78
72
74
θ
88
84
82

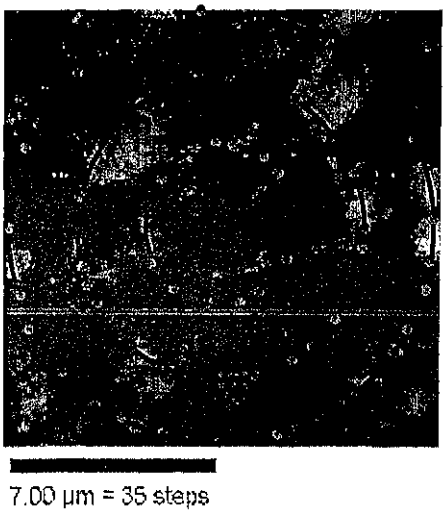
【図５】


従来技術
PN
GB
SL
S
P1

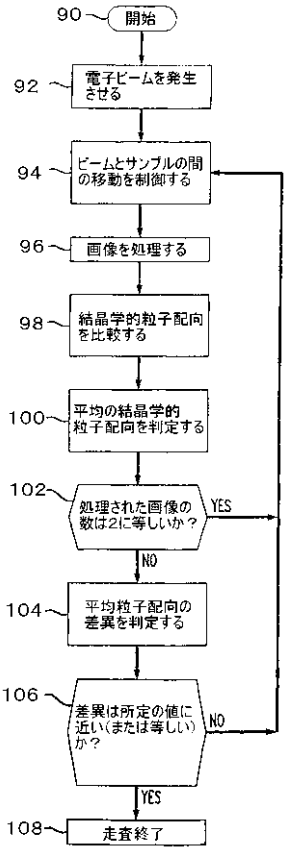
【図６Ａ】



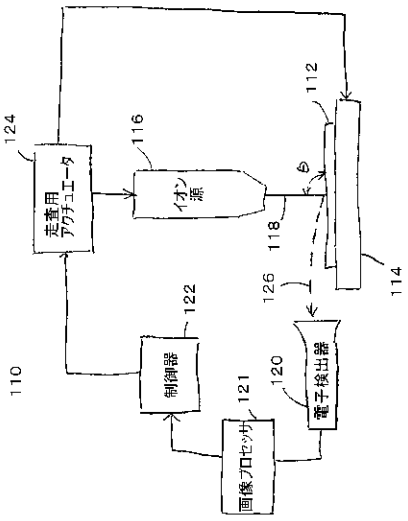
【図６Ｂ】



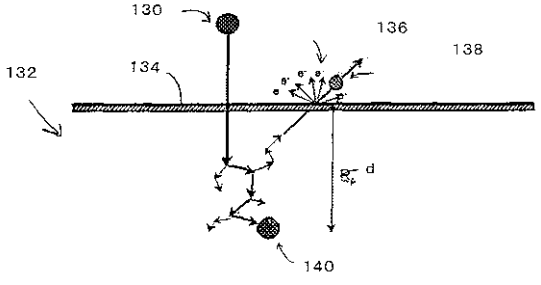
【図７】



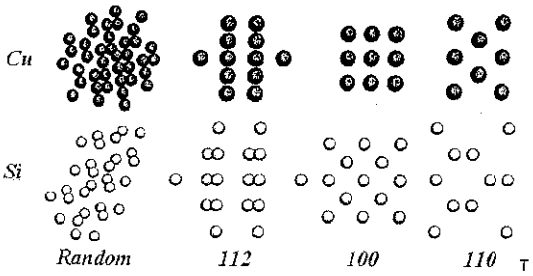
【図８】



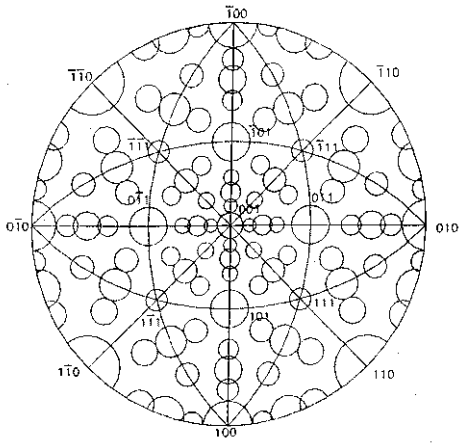
【図９】



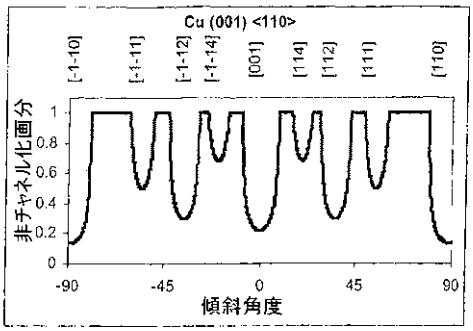
【図１０】



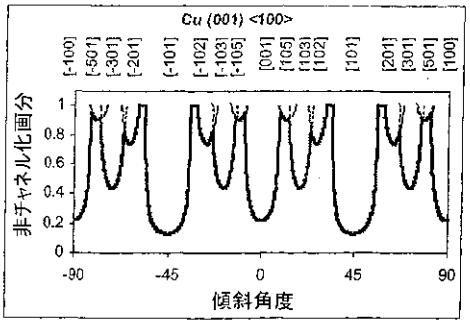
【図１１】



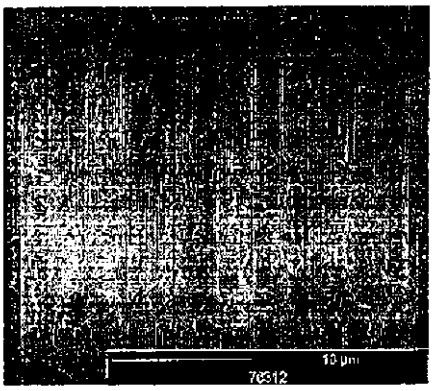
【図１２Ａ】



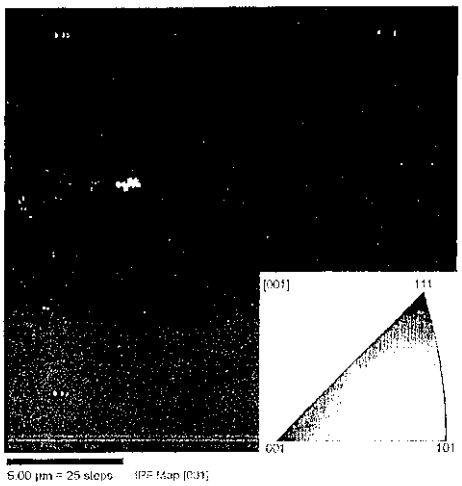
【図１２Ｂ】



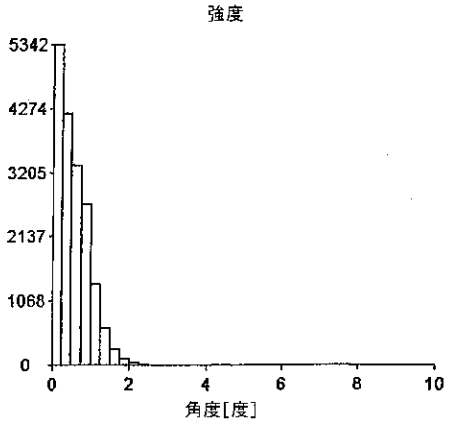
【図１３Ａ】



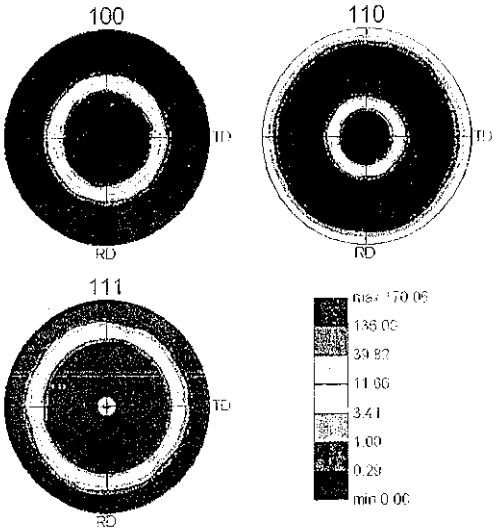
【図１３Ｂ】



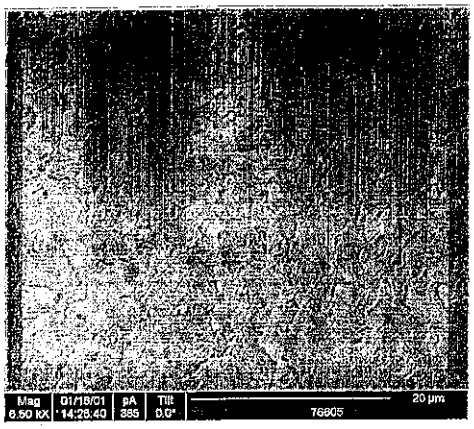
【図１４】



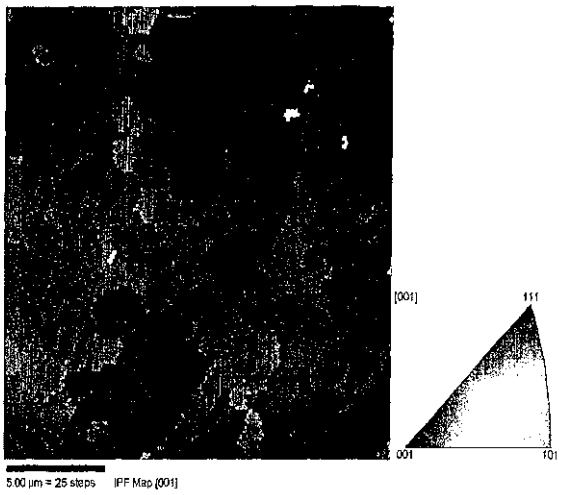
【図１５】



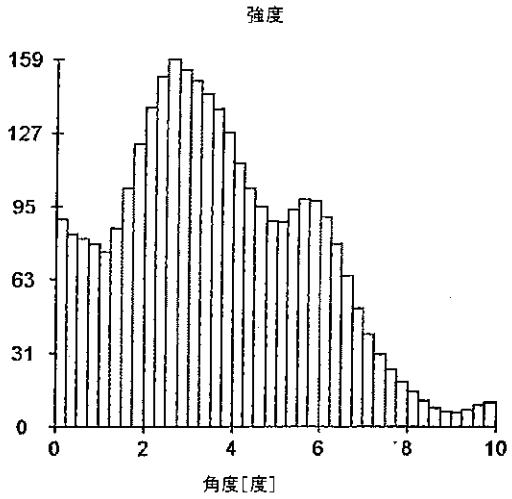
【図１６Ａ】



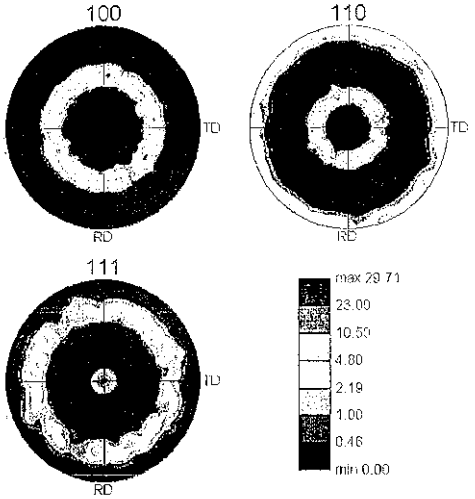
【図１６Ｂ】



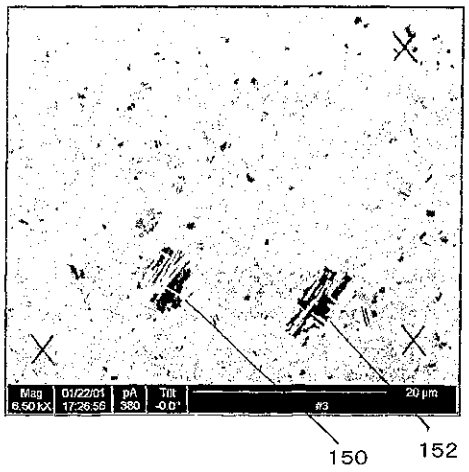
【図１７】



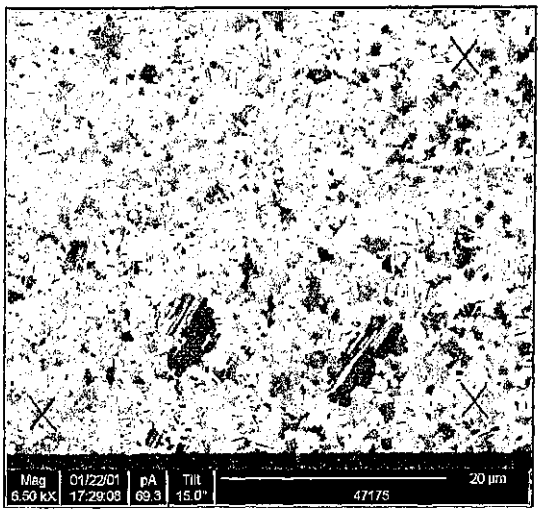
【図１８】



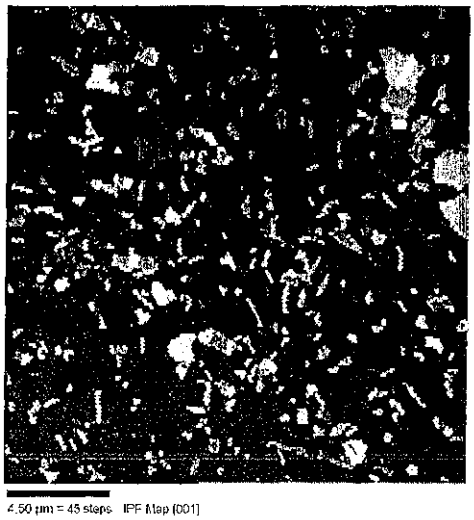
【図１９Ａ】



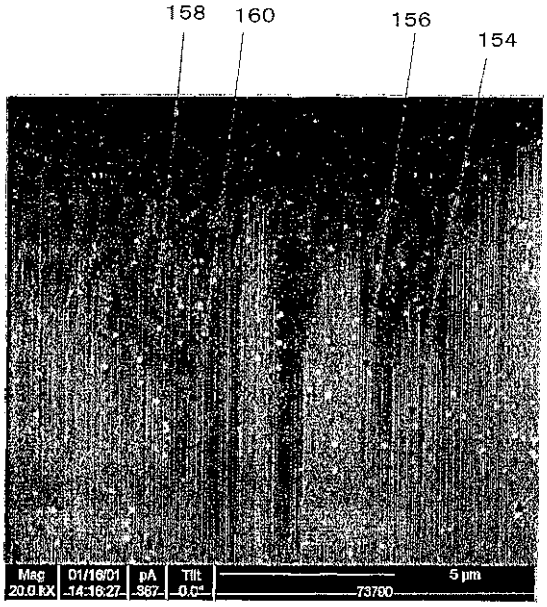
【図１９Ｂ】



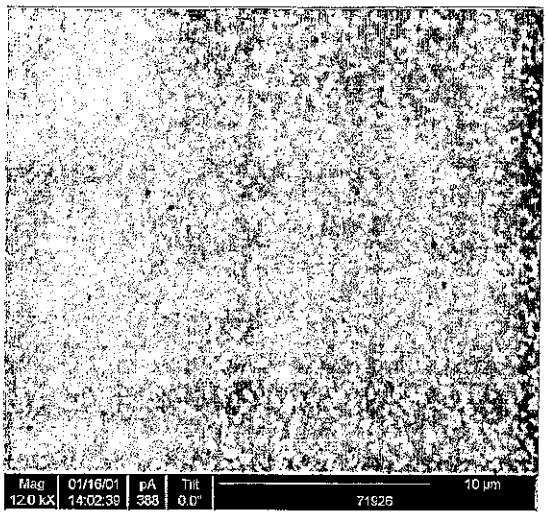
【図２０】



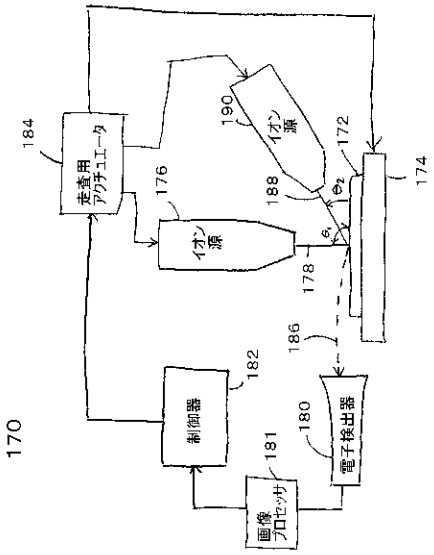
【図２１】



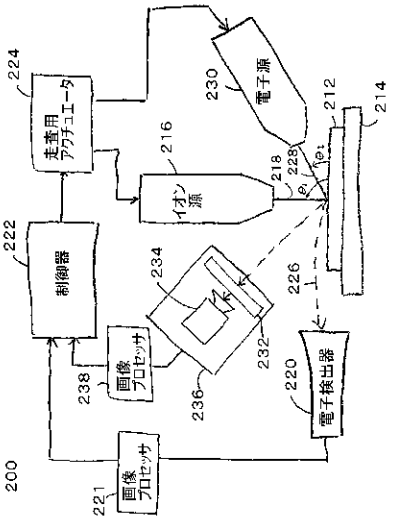
【図２２】



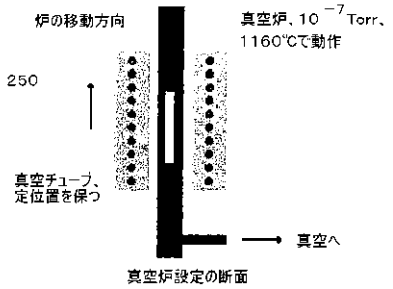
【図２３】



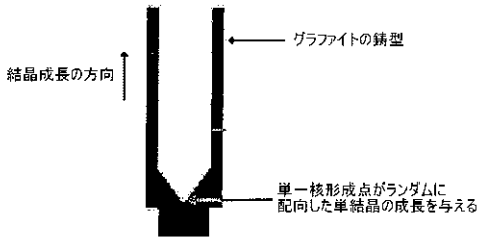
【図２４】



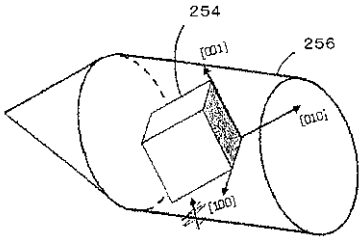
【図２５】



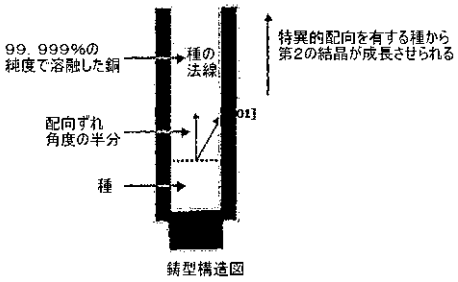
【図２６】



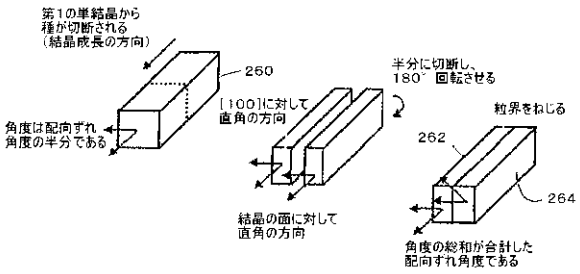
【図２７】



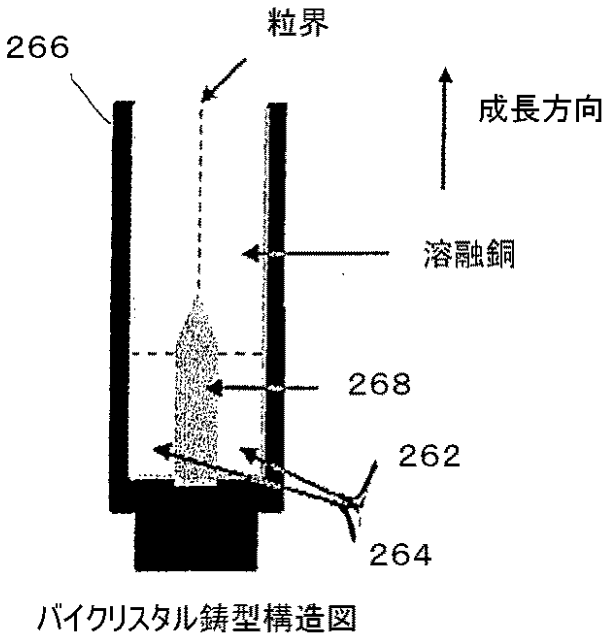
【図２８】



【図２９】

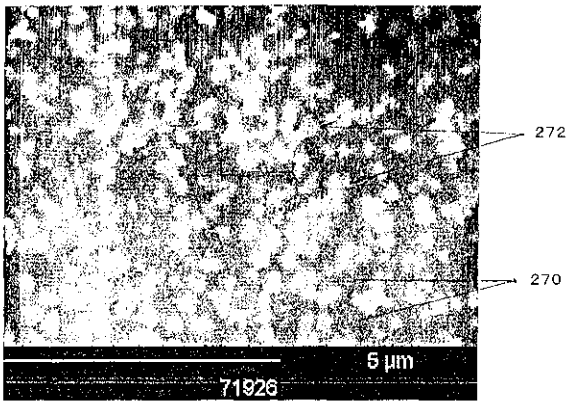


【図３０】

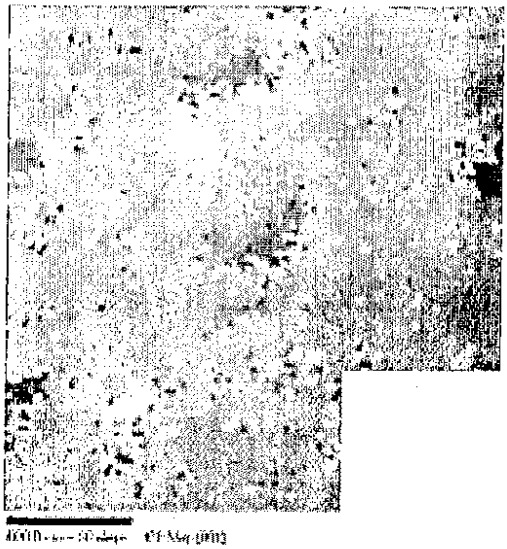


バイクリスタル鋳型構造図

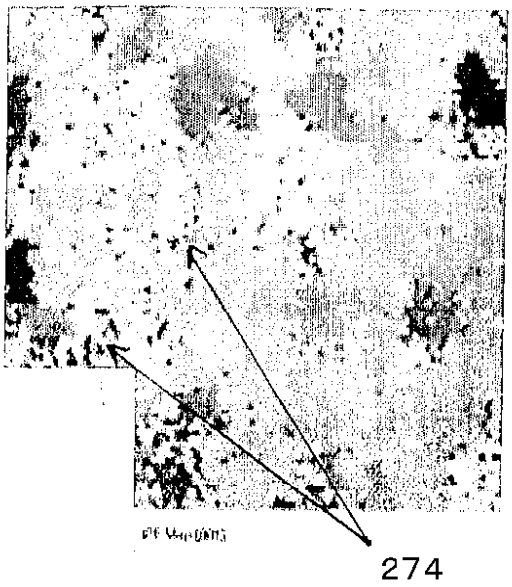
【図３１】



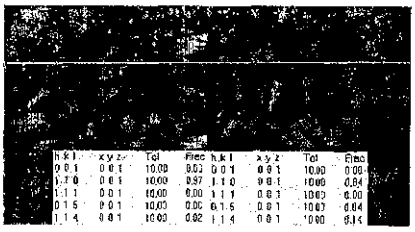
【図３２Ａ】



【図３２Ｂ】



【図３３】



【図３４】



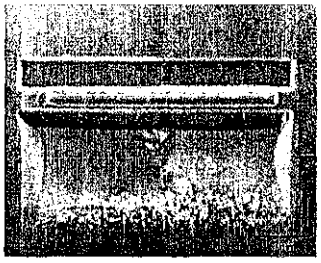
【図３５】



【図３６Ａ】



【図３６Ｂ】



【国際調査報告】

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Inter nal Application No
PCT/US 03/07264

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
IPC 7 G01N23/225 G01N23/203 H01L21/66

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
IPC 7 G01N H01L

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)
EPO-Internal, WPI Data, PAJ, INSPEC, COMPENDEX

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category °	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X Y	US 5 466 934 A (ADAMS BRENT L ET AL) 14 November 1995 (1995-11-14) column 2, line 66 - column 8, line 8	1-3,7, 30-32,37 6,36
X	US 5 557 104 A (FIELD DAVID P ET AL) 17 September 1996 (1996-09-17) column 2, line 66 - column 6, line 51	1-3, 30-32
X	MCINTOSH J: "Using CD-SEM metrology in the manufacture of semiconductors" JOM, MARCH 1999, MINERALS, METALS & MATER. SOC, USA, vol. 51, no. 3, March 1999 (1999-03), pages 38-39, XP001153203 ISSN: 1047-4838 page 38	1,4,5, 30,33-35

-/--

[X] Further documents are listed in the continuation of box C. [X] Patent family members are listed in annex.

° Special categories of cited documents :

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
"E" earlier document but published on or after the international filing date
"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed
"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.
"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search	Date of mailing of the international search report
4 November 2003	02. 04. 2004
Name and mailing address of the ISA European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl, Fax: (+31-70) 340-3016	Authorized officer Huenges, A

Form PCT/ISA/210 (second sheet) (July 1992)

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Interr ... al Application No
PCT/US 03/07264

C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category °	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	EL CHEMALI C AND AL: "Multizone uniformity control of a chemical mechanical polishing process utilizing a pre- and postmeasurement strategy" JOURNAL OF VACUUM SCIENCE AND TECHNOLOGY: PART A, AMERICAN INSTITUTE OF PHYSICS. NEW YORK, US, vol. 18, no. 4, pt 1-2, July 2000 (2000-07), pages 1287-1296, XP002217674 ISSN: 0734-2101 page 1289	4,5
A	BENNETT M H ET AL: "IN-PROCESS INSPECTION AND METROLOGY OF SEMICONDUCTOR WAFERS WITH THE USE OF AN AUTOMATED LOW-VOLTAGE SEM" MICROBEAM ANALYSIS, SAN FRANCISCO PRESS INC., SAN FRANCISCO, CA, US, 1986, pages 649-652, XP000567217 ISSN: 1061-3420 page 649	4,5
A	US 6 298 470 B1 (BREINER LYLE ET AL) 2 October 2001 (2001-10-02) column 6, line 44 - column 7, line 38	4,5
Y	BARR D L ET AL: "MICROTEXTURE MEASUREMENTS OF ALUMINUM VLSI METALLIZATION" MATERIALS RESEARCH SOCIETY SYMPOSIUM PROCEEDINGS, MATERIALS RESEARCH SOCIETY, PITTSBURG, PA, US, vol. 391, 17 April 1995 (1995-04-17), pages 347-352, XP000992306 ISSN: 0272-9172 page 347 - page 348; figure 1	6,36
A	EP 0 727 659 A (SEIKO INSTR INC ;MITSUBISHI ELECTRIC CORP (JP)) 21 August 1996 (1996-08-21) column 1	7,37

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/US 03/07264

Box I Observations where certain claims were found unsearchable (Continuation of item 1 of first sheet)

This International Search Report has not been established in respect of certain claims under Article 17(2)(a) for the following reasons:

1. ☐ Claims Nos.:
because they relate to subject matter not required to be searched by this Authority, namely:

2. ☐ Claims Nos.:
because they relate to parts of the International Application that do not comply with the prescribed requirements to such an extent that no meaningful International Search can be carried out, specifically:

3. ☐ Claims Nos.:
because they are dependent claims and are not drafted in accordance with the second and third sentences of Rule 6.4(a).

Box II Observations where unity of invention is lacking (Continuation of item 2 of first sheet)

This International Searching Authority found multiple inventions in this international application, as follows:

see additional sheet

1. ☐ As all required additional search fees were timely paid by the applicant, this International Search Report covers all searchable claims.

2. ☐ As all searchable claims could be searched without effort justifying an additional fee, this Authority did not invite payment of any additional fee.

3. ☐ As only some of the required additional search fees were timely paid by the applicant, this International Search Report covers only those claims for which fees were paid, specifically claims Nos.:

4. ☒ No required additional search fees were timely paid by the applicant. Consequently, this International Search Report is restricted to the invention first mentioned in the claims; it is covered by claims Nos.:

1-7, 30-37

Remark on Protest

☐ The additional search fees were accompanied by the applicant's protest.

☐ No protest accompanied the payment of additional search fees.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No. PCT/US 03/07264

FURTHER INFORMATION CONTINUED FROM PCT/ISA/ 210

This International Searching Authority found multiple (groups of) inventions in this international application, as follows:

1. claims: 1-7,30-37

   Scanning electron microscope (SEM) adapted to generate crystallographic data from different grains within the crystalline sample; method of using the apparatus.

   ---

2. claims: 8-14,38-49

   Focused ion beam (FIB) apparatus adapted to provide a contrast image; method of using the apparatus.

   ---

3. claims: 15-22,50-60

   Combined SEM and FIB apparatus adapted to provide a contrast image and crystallographic data from different grains within the sample; method of using the apparat.

   ---

4. claims: 23-29

   Crystallographic standard sample for ion channeling analysis of a crystalline sample.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International Application No
PCT/US 03/07264

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 5466934 A	14-11-1995	NONE	
US 5557104 A	17-09-1996	AU 7463596 A	15-05-1997
		WO 9715824 A1	01-05-1997
US 6298470 B1	02-10-2001	US 2002083401 A1	27-06-2002
EP 0727659 A	21-08-1996	JP 2813147 B2	22-10-1998
		JP 8220005 A	30-08-1996
		EP 0727659 A2	21-08-1996
		US 6355495 B1	12-03-2002
		US 6124142 A	26-09-2000

Form PCT/ISA/210 (patent family annex) (July 1992)

フロントページの続き

(81)指定国 AP(GH,GM,KE,LS,MW,MZ,SD,SL,SZ,TZ,UG,ZM,ZW),EA(AM,AZ,BY,KG,KZ,MD,RU,TJ,TM),EP(AT,BE,BG,CH,CY,CZ,DE,DK,EE,ES,FI,FR,GB,GR,HU,IE,IT,LU,MC,NL,PT,SE,SI,SK,TR),OA(BF,BJ,CF,CG,CI,CM,GA,GN,GQ,GW,ML,MR,NE,SN,TD,TG),AE,AG,AL,AM,AT,AU,AZ,BA,BB,BG,BR,BY,BZ,CA,CH,CN,CO,CR,CU,CZ,DE,DK,DM,DZ,EC,EE,ES,FI,GB,GD,GE,GH,GM,HR,HU,ID,IL,IN,IS,JP,KE,KG,KP,KR,KZ,LC,LK,LR,LS,LT,LU,LV,MA,MD,MG,MK,MN,MW,MX,MZ,NO,NZ,OM,PH,PL,PT,RO,RU,SC,SD,SE,SG,SK,SL,TJ,TM,TN,TR,TT,TZ,UA,UG,US,UZ,VC,VN,YU,ZA,ZM,ZW

(74)代理人 100101498
弁理士 越智 隆夫
(74)代理人 100096688
弁理士 本宮 照久
(74)代理人 100104352
弁理士 朝日 伸光
(74)代理人 100128657
弁理士 三山 勝巳
(72)発明者 ホック，エリック，シー.
アメリカ合衆国 ３２８２２ フロリダ，オーランド，ベント パイン ドライヴ ６２３７
(72)発明者 ケンプシャル，ブリアン
アメリカ合衆国 ３２７０７ フロリダ，キャッセルベリー，イースト メリーランド プレイス ４０４９
(72)発明者 シュワルツ，スチーヴ
アメリカ合衆国 ３２９３１ フロリダ，ココア ビーチ，ブリッジウォーター ドライヴ ３９４
(72)発明者 スチーヴィー，エフ. ，エー.
アメリカ合衆国 ２７５１１ ノースカロライナ，カリー，コリンスバーグ コート １０２

Ｆターム(参考) 2G001 AA03 AA05 AA10 BA07 BA15 BA18 BA30 CA03 CA05 CA10
DA01 DA09 FA01 FA02 FA29 GA04 GA06 GA13 GA14 HA12
HA14 JA01 JA03 JA07 JA08 JA13 JA15 KA08 KA20 LA11
MA05 NA06 NA13 NA17 PA11 PA12 QA01 RA01 RA02 RA04

【要約の続き】
着ステーションおよび化学機械的平坦化ステーションにそれぞれフィードバックおよびフィードフォワードされる。