

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第6362782号

(P6362782)

(45) 発行日 平成30年7月25日(2018.7.25)

(24) 登録日 平成30年7月6日(2018.7.6)

(51) Int.Cl.

F I

GO 1 N 23/2251 (2018.01)

GO 1 N 23/2251

GO 1 N 23/2252 (2018.01)

GO 1 N 23/2252

GO 1 N 23/203 (2006.01)

GO 1 N 23/203

GO 1 N 23/2206 (2018.01)

GO 1 N 23/2206

請求項の数 5 (全 8 頁)

(21) 出願番号 特願2017-528815 (P2017-528815)
 (86) (22) 出願日 平成27年12月3日(2015.12.3)
 (65) 公表番号 特表2017-536551 (P2017-536551A)
 (43) 公表日 平成29年12月7日(2017.12.7)
 (86) 国際出願番号 PCT/CZ2015/000145
 (87) 国際公開番号 W02016/086908
 (87) 国際公開日 平成28年6月9日(2016.6.9)
 審査請求日 平成29年6月20日(2017.6.20)
 (31) 優先権主張番号 PV2014-852
 (32) 優先日 平成26年12月3日(2014.12.3)
 (33) 優先権主張国 チェコ(CZ)

(73) 特許権者 516050810
 アドヴァカム エス. アール. オー.
 ADVACAM S. R. O.
 チェコ共和国、ブラハ 7、ユー ペルガ
 メンキ 12/1145
 (74) 代理人 100130111
 弁理士 新保 育
 (72) 発明者 ソハー、ジャン
 チェコ共和国 リビンスカ 33 ヒスコ
 フ

審査官 嶋田 行志

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 X線ナノラジオグラフィ及びナノトモグラフィの方法及び装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

走査型電子顕微鏡(1)を用いたX線ナノラジオグラフィ及びナノトモグラフィの方法であって、最初に、走査型電子顕微鏡(1)から投射される電子ビーム(2)を試料(3)の表面上の点に誘導することと、さらに、所与の点の反射及び放出パラメータに関するデータを記録することを伴って、少なくとも1つの検出器(5)によって反射粒子及び二次粒子(4)を検出することと、さらに、前記試料(3)の被走査面のすべての点で走査を繰り返すことと、を含む方法において、

前記試料(3)の被走査面上の点に前記電子ビーム(2)が衝突するのと同時に、制動放射X線及び蛍光放射X線(6)が放出されることであって、このとき、前記衝突点は、前記放出される制動放射X線及び蛍光放射X線(6)の焦点でもあることと、

前記試料(3)から発射される前記制動放射X線及び蛍光放射X線(6)を、前記電子ビーム(2)の投射方向における前記試料(3)の先に配置された少なくとも1つのイメージング検出器(7)によって検出することであって、このとき、前記制動放射X線及び／または蛍光放射X線(6)の減弱の像を記録し、すべての焦点の像を記録した後に、コンピュータトモグラフィを用いて、前記試料(3)の内部構造をモデル化する

ことを特徴とする方法。

【請求項2】

前記電子ビーム(2)の投射方向において非平坦面を有する前記試料(3)の先で、前記試料(3)と前記イメージング検出器(7)との間の領域に、既知の寸法を有する少な

10

20

くとも1つのパターン対象物(8)を配置し、各々の焦点について、前記試料(3)及び前記既知のパターン対象物(8)の構造を示す前記制動放射X線及び／または蛍光放射X線(6)の減弱の像を記録し、前記パターン対象物(8)での放射X線(6)の減弱の像のサイズから、放射ジオメトリを用いて、前記試料からの該焦点の距離を計算し、その後、すべての焦点の像を記録した後に、前記試料(3)の表面の3Dモデル及び／または前記試料(3)のボリュームの3Dモデルを構築する

請求項1に記載の方法。

【請求項3】

請求項1または2に記載の走査型電子顕微鏡(1)を用いたX線ナノラジオグラフィ及びナノトモグラフィの方法のための装置(9)であって、

10

電子ビーム(2)の発生源(10)と、前記電子ビーム(2)を試料(3)の被走査面上の点に集束させるための電子光学系(11)と、反射粒子及び二次粒子(4)を検出するための少なくとも1つの検出器(5)と、で構成された走査型電子顕微鏡(1)を備え、さらに、制御ユニット(12)を備える、装置において、

前記試料(3)の被検出面上の点は、制動放射X線及び蛍光放射X線(6)が放出される焦点であり、前記電子ビーム(2)の投射方向における前記試料(3)の先に、前記試料(3)での前記制動放射X線及び蛍光放射X線の減弱を検出するための少なくとも1つのイメージング検出器(7)が配置されており、前記イメージング検出器は、制御ユニット(12)に接続されている

ことを特徴とする装置。

20

【請求項4】

前記制御ユニット(12)は、データ記憶モジュール(13)、計算モジュール(14)、表示モジュール(15)、記録モジュール(16)、及び分配モジュール(17)、からなるモジュール群からの少なくとも1つのモジュールを有する

請求項3に記載の装置。

【請求項5】

前記試料(3)と前記イメージング検出器(7)との間に、既知の寸法を有する少なくとも1つのパターン対象物(8)が配置されており、前記制御ユニット(12)は、前記制動放射X線及び蛍光放射X線(6)の強度の減弱によって取得された前記試料の像の拡大率を評価するように構成されている

30

請求項3または4に記載の装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、走査型電子顕微鏡を用いてナノラジオグラフィ及びナノトモグラフィを実施するための方法及び装置に関する。本発明は、走査試料の内部構造の厳密モデルを含む表面モデルの構築を可能とするものである。

【背景技術】

【0002】

走査型電子顕微鏡は、走査試料の表面をナノメートルオーダの精度でマッピングするために使用される。通常、走査型電子顕微鏡は、電子ビームを発生させる電子源を備える。電子光学系を用いて、電子ビームを、走査試料の表面上の一点に集束させる。試料の特定の点に電子ビームが衝突すると、いくつかの電子が反射され、さらに／または二次電子が放出され、さらに／または特性X線が放出される。これらの粒子を少なくとも1つの検出器で記録すると、その結果は、粒子を反射または二次粒子を放出する試料表面の試料点の値を記述している。試料表面の一点ごとの走査が完了すると、その結果から試料表面の画像が構築される。

40

【0003】

X線透過型ラジオグラフィの場合は、試料を透過した放射X線強度の減弱を観測する。X線放射源としてX線管を使用する。X線経路内に試料が配置される。その後、X線は、

50

その強度を記録する検出器に衝突する。その結果は、X線を減弱させる能力の観点から試料の内部構造を示す画像である。

【0004】

様々に異なる照射角度で取得された、より多くの試料画像セットを記録した場合には、コンピュータトモグラフィ法を用いて、走査試料の内部構造の3次元記述をモデル化することが可能である。

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

本発明の課題は、ナノラジオグラフィ、ナノトモグラフィ、顕微鏡法の実施、さらに場合によっては試料表面のトポグラフィの実施を、単一作業工程で可能にする方法及び装置を構築することである。

【課題を解決するための手段】

【0006】

本発明の目的は、本発明により、走査型電子顕微鏡を用いてナノラジオグラフィ及びナノトモグラフィを実施するための方法及び装置を構築することによって解決される。

【0007】

走査型電子顕微鏡を用いたX線ナノラジオグラフィ及びナノトモグラフィの方法は、最初に、走査型電子顕微鏡から発せられる電子ビームを試料の被走査面上の点に誘導することを伴う。これに続いて、少なくとも1つの検出器によって、反射粒子及び二次粒子を検出するとともに、その所与の点の反射及び放出パラメータに関するデータを記録する。本方法は、試料の被走査面のすべての点について走査を繰り返すことを含む。

【0008】

本発明の本質は、試料の被走査面上の点に電子ビームが衝突するのと同時に、制動放射線及び蛍光放射線が放出されることにあり、このとき、その衝突点は、このように放出される放射X線の焦点でもある。この放射X線は、焦点から全方向に放出されて、その一部は試料内にも透過する。この放射の強度は、試料のボリューム中の密度及び物質分布に応じて、試料で一部減弱される。減弱されることなく試料から抜け出る放射X線は、試料の背後に配置された少なくとも1つのイメージング検出器によって検出される。この検出器で取得した像は、試料の内部構造を示しているので、試料構造の様々な部分は、それらが、透過するX線を減弱させる能力に応じて識別される。この像は、試料表面上の焦点のすべての位置について繰り返し記録されて、コンピュータトモグラフィ法を用いて、試料の内部構造が3Dでモデル化される。

【0009】

対象物の表面の所与の点で粒子を放出または反射する能力は依然として検出されるので、走査型電子顕微鏡の機能に変わりはない。新たに利用されるのは、電子ビームの衝撃によって制動放射X線が放出されるという随伴現象である。この放射X線は、電子ビームよりも透過性が高いため、試料のボリューム全体を透過することが可能である。試料の背後にイメージング検出器を配置して、これにより、試料の様々な部分の背後で、透過した放射X線強度の変化の像を記録する。これによって、試料の内部構造の拡大像が構築される。試料構造の個々の部分の拡大率は、焦点からのそれらの距離に依存する。表面の直下に位置する構造、ひいては焦点に近い構造は、最も大きく拡大され、この場合のその放射線画像の解像度は電子顕微鏡の分解能に近くなり、数十ナノメートルの単位に相当する。この理由で、ナノラジオグラフィという用語が使用される。

【0010】

このようにして記録される放射線画像がすべて、走査試料の表面上の焦点の様々な位置で取得されると、そのデータを使用して、数十ナノメートルまでの分解能で、試料構造の3次元モデルを計算することが可能である。この場合、ナノトモグラフィという用語が適切である。放射線画像データは、電子顕微鏡による走査と同時に収集される。

【0011】

本発明によるナノラジオグラフィ及びナノトモグラフィの方法の他の好ましい実施形態では、試料とイメージング検出器との間の空間に、既知の寸法を有する平坦パターン対象物を配置する。このパターン対象物は、例えば、薄金属グリッドであってよい。放射線撮像の過程で、既知のパターン対象物の像を、試料の像にスーパーインポーズし、このとき、既知の試料の拡大率は、既知のパターン対象物からの焦点の距離に依存する。記録された画像データから、既知のパターン対象物の拡大率を特定することができ、次いで、このパターン対象物からの焦点の距離を計算することができる。この手順を、走査中の焦点のすべての位置に順次適用する。特定された距離を用いて、試料の表面形状すなわちそのトポグラフィの3Dモデルを構成する。特定された試料の表面形状は、その後、試料のトモグラフィ再構成を改善するために用いることができる。

10

【0012】

さらに、本発明の一部として、上記方法を実施するための装置を含む。

【0013】

走査型電子顕微鏡を備える、X線ナノラジオグラフィ及びナノトモグラフィのための装置は、電子ビーム源と、電子ビームを走査試料の表面上の点に集束させるための電子光学系と、その後に続いて、反射粒子及び二次粒子を検出するための少なくとも1つの検出器と、で構成されている。装置は、さらに、制御ユニットを備える。

【0014】

本発明の本質は、電子ビームを集束させる走査試料の表面上の点が、制動放射X線及び蛍光放射X線が放出される焦点であることにある。さらに、試料の背後に、試料内での制動放射X線及び蛍光放射X線の減弱を検出するためのイメージング検出器が配置されており、これは制御ユニットに接続されている。

20

【0015】

イメージング検出器は、制動放射X線の強度の減弱を記録することが可能である。検出結果は、制御ユニットに送られて、制御ユニットはそれら进行处理してモデルを構成する。制動放射は随伴現象であるため、その専用の光源または独立した光学系は必要ない。

【0016】

本発明によるX線ナノラジオグラフィ及びナノトモグラフィのための装置の他の好ましい実施形態では、制御ユニットは、データ記憶モジュール、計算モジュール、表示モジュール、記録モジュール、及び分配モジュール、からなるモジュール群からの少なくとも1つのモジュールを有する。計算ユニットは、コンピュータを含む。データ記憶モジュールはデータ記憶ユニットによって実現され、計算モジュールはプロセッサによって実現され、記録モジュールは接続プリンタによって実現される。表示モジュールはコンピュータディスプレイであり、分配モジュールは、リモートシステムとの通信を実現するネットワークカードである。これらのモジュールは、コンピュータのオペレーティングプログラム内の仮想デバイスとして実装することができる。

30

【0017】

本発明によるX線ナノラジオグラフィ及びナノトモグラフィのための装置の他の好ましい実施形態では、試料とイメージング検出器との間に、既知の寸法を有する少なくとも1つのパターン対象物が配置されており、制御ユニットは、その試料の像の拡大率を評価するように構成されている。そのパターンの制動放射X線の強度の減弱の像及びその既知の寸法によって、焦点の位置の計算が可能である。焦点の位置は、例えば試料表面のトポグラフィのためなど、試料のさらなるモデル化のために重要である。

40

【発明の効果】**【0018】**

本発明の主な利点として、高分解能、及び作業工程における時間節約が挙げられる。1回の走査で、ナノトモグラフィ、ナノラジオグラフィ、及びトポグラフィのためのデータを特定し、電子顕微鏡による実際の表面走査が影響を受けることはない。

【0019】

本発明について、以下の図面によってさらに説明する。

50

【図面の簡単な説明】

【0020】

【図1】 試料内部の欠陥に対する制動放射X線の強度の像の、制動放射線の焦点に応じた変化の概略説明図

【図2】 試料表面のトポグラフィのための装置の概略説明図

【図3】 ナノラジオグラフィ及びナノトモグラフィのための装置の概略説明図

【発明を実施するための形態】

【0021】

本発明の実現について例示目的で個別の具体例を提示しているが、それらは、本明細書で示すケースに本発明を限定するものではない。現状技術に精通している専門家であれば、本明細書に具体的に記載している本発明の特定の実現に対する多くの均等物を、想到するか、または日常的な実験によって特定することができる。それらの均等物も、特許請求の範囲に含まれる。

【0022】

本発明を図1に提示しており、これは、本発明のオペレーションの方法を概略的に示している。本方法は、走査型電子顕微鏡1を使用し、その内部で電子ビーム2を発生させる。電子ビーム2を、走査試料3の表面上の点に誘導する。その衝突点から、二次放射線4及び反射粒子4が発生して、全方向に広がる。この二次放射線4を、反射粒子及び二次粒子4用の少なくとも1つの関連した検出器5によって検出し、そのデータから、衝突点における試料3の特性を特定する。

【0023】

また、衝突点は、制動放射線及び蛍光放射線6のいわゆる焦点も成しており、そこから、制動放射線及び蛍光放射線6が空間に広がる。この放射線6は、透過性が高く、このため走査試料3を透過する。試料3の背後で、制動放射線6の進行方向に、制動放射線6の強度を記録することが可能な少なくとも1つのイメージング検出器7が配置される。試料3が放射線6の吸収に関して不均一な構造であると、直ちに、この内部構造が放射線6の出力強度に影響を及ぼし、走査試料3の内部構造の像が検出器7で記録される。

【0024】

焦点が移ると（図1を参照）、出力画像も変化する。焦点のすべての位置で取得された画像セットから、コンピュータトモグラフィによって、試料3の3Dモデル構造を計算する。

【0025】

走査試料3の表面の3次元モデルを構築するために、走査試料3の背後で、焦点からの制動放射線6の方向に、既知の寸法のパターン対象物8を配置する。これにより、透過する放射線X線によって、試料3及びパターン対象物8の構造の像がイメージング検出器7に投影される。このようにして取得された合成画像において、例えば画像相関法を用いて、パターン8の像を識別して、その拡大率を特定する。パターン8の既知の寸法、及びパターン8を透過した制動放射線6の強度の減弱の像から、パターン対象物8からの焦点の距離を計算し、ひいては走査点における試料3の表面の高さを計算する。すべての走査点を並べて配列することにより、試料3の表面の3Dモデルを構築する。

【0026】

装置9は、標準的な走査型電子顕微鏡1を備え、これは、電子ビーム2の発生源10と、電子ビーム2を誘導して集束させるための電子光学系11と、走査試料3からの反射粒子及び二次粒子4用の少なくとも1つの関連した検出器5と、を有する。さらに、走査試料3の背後で、制動放射線6の方向に、既知の寸法のパターン8を形成する金属グリッドと、イメージング検出器7が配置されている。イメージング検出器7は、例えば、Timepixピクセル型検出器によって形成することができる。

【0027】

走査型電子顕微鏡1及びイメージング検出器7は、コンピュータで実現される制御ユニット12に接続されている。制御ユニット12は、データ記憶モジュール13を有する。

モジュール１３は、制御ユニット１２のコンピュータに接続されたデータストレージで構成されている。さらに、制御ユニット１２の一部として、制御ユニット１２のオペレーティングシステム内で動作するコンピューティングソフトウェア手段で構成される計算モジュール１４が含まれる。計算モジュール１４は、コンピュータのプロセッサを使用する。表示モジュール１５は、コンピュータディスプレイで構成されており、記録モジュール１６は、コンピュータに接続されたプリンタで構成されている。分配モジュール１７は、データを共有するためにデータネットワークに接続するためのネットワークアダプタで構成されている。

【産業上の利用可能性】

【００２８】

10

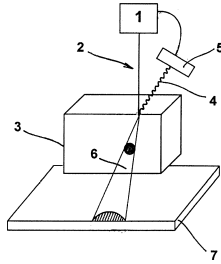
本発明は、生物学的及び医学的応用、製品品質検査での応用、新種材料を扱う分野、半導体産業におけるチップ品質検査、考古学、損傷を伴うことなく試料の３Ｄ内部構造を知ることが必要となる他の分野において用途が見出される。

【符号の説明】

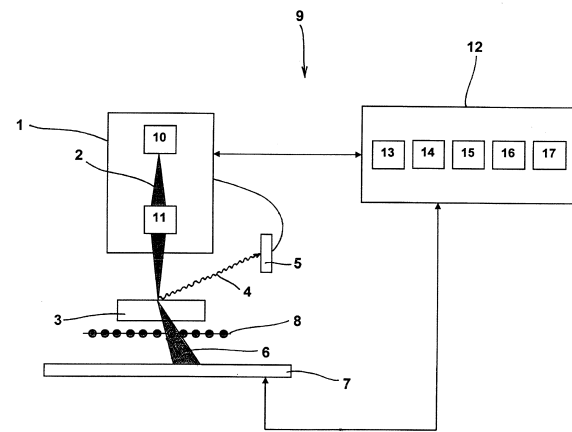
【００２９】

- | | | |
|----|---|----|
| 1 | 走査型電子顕微鏡 | |
| 2 | 電子ビーム | |
| 3 | 試料 | |
| 4 | 反射粒子及び二次粒子 | |
| 5 | 反射粒子及び二次粒子の検出器 | 20 |
| 6 | 制動放射Ｘ線及び蛍光放射Ｘ線 | |
| 7 | イメージング検出器 | |
| 8 | 既知の寸法を有するパターン対象物 | |
| 9 | 走査型電子顕微鏡を用いたＸ線ナノラジオグラフィ及びナノトモグラフィのための装置 | |
| 10 | 電子ビーム源 | |
| 11 | 電子光学系 | |
| 12 | 制御ユニット | |
| 13 | データ記憶モジュール | |
| 14 | 計算モジュール | 30 |
| 15 | 表示モジュール | |
| 16 | 記録モジュール | |
| 17 | 分配モジュール | |

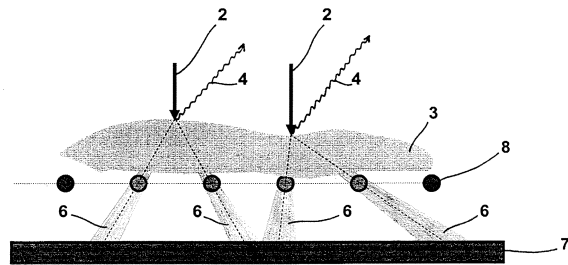
【図 1】



【図 3】



【図 2】



フロントページの続き

- (56)参考文献 特開2005-091199 (JP, A)
特開2001-307672 (JP, A)
欧州特許出願公開第02605005 (EP, A1)
特開2009-300232 (JP, A)
特開平09-082261 (JP, A)
特開2002-310954 (JP, A)
特開2014-056820 (JP, A)
国際公開第1996/024860 (WO, A1)
- (58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
G01N 23/00-23/2276
JSTPlus/JMEDPlus/JST7580 (JDreamIII)