

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第5764455号
(P5764455)

(45) 発行日 平成27年8月19日 (2015. 8. 19)

(24) 登録日 平成27年6月19日 (2015. 6. 19)

(51) Int. Cl.	F 1
GO 2 B 21/06 (2006. 01)	GO 2 B 21/06
GO 2 B 21/10 (2006. 01)	GO 2 B 21/10
GO 2 B 21/36 (2006. 01)	GO 2 B 21/36

請求項の数 30 (全 22 頁)

(21) 出願番号 特願2011-221747 (P2011-221747)
 (22) 出願日 平成23年10月6日 (2011. 10. 6)
 (65) 公開番号 特開2012-83755 (P2012-83755A)
 (43) 公開日 平成24年4月26日 (2012. 4. 26)
 審査請求日 平成26年9月24日 (2014. 9. 24)
 (31) 優先権主張番号 10 2010 042 351.3
 (32) 優先日 平成22年10月12日 (2010. 10. 12)
 (33) 優先権主張国 ドイツ (DE)

早期審査対象出願

(73) 特許権者 500178876
 ライカ マイクロシステムス ツェーエム
 エス ゲーエムペーハー
 ドイツ連邦共和国 デー・35578 ヴ
 ェツラー エルンスト・ライツ・シュトラ
 ーセ 17-37
 (74) 代理人 100091867
 弁理士 藤田 アキラ
 (74) 代理人 100154612
 弁理士 今井 秀樹
 (72) 発明者 アルブレヒト ヴァイス
 ドイツ連邦共和国 35440 リンデン
 シラーシュトラーセ 18

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 顕微鏡照明システム、顕微鏡および傾斜入射照明方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

光源 (2、3) と、光軸 (16) を中心として延びる照明ビーム経路 (15') を生成するための開口部 (9) を有する開口装置と、を含む顕微鏡照明システム (1) であって、前記光軸 (16) から偏心して延びる照明ビーム経路 (15) が、前記開口部 (9) を変位することによって傾斜入射照明用に生成可能であるシステムにおいて、

前記開口装置が、回転軸 (11) を中心に回転可能でありかつ異なるサイズの複数の開口部 (9) を周方向に形成した開口ホイール (8) を含み、前記開口部のそれぞれが、前記開口ホイール (8) を回転させることによって、前記光軸 (16) を中心におくように配置可能だけでなく、前記光軸 (16) の回りの所定領域内で前記光軸 (16) から偏

10

心するようにも、配置可能であり、
 前記開口ホイール (8) の前記回転軸 (11) が、前記光軸 (16) と平行で、かつ前記回転軸 (11) および光軸 (16) と前記開口ホイール (8) との交点間の接続線が水平線 (x) と 35 ~ 55 度の角度を形成するように、配置され、

固定開口絞り (12) が、前記光軸 (16) を中心にして、前記開口ホイール (8) の前または後に位置付けられている、顕微鏡照明システム (1)。

【請求項 2】

前記開口ホイール (8) が駆動モータ (10) によって回転させられる、請求項 1 に記載の顕微鏡照明システム。

【請求項 3】

20

前記開口ホイール(8)の前記回転軸(11)が、少なくとも一方向において、前記光軸(16)に対して垂直に移動可能である、請求項1または2に記載の顕微鏡照明システム。

【請求項4】

前記光源(3)が、紫外線波長領域におけるスペクトルを有する、請求項1～3のいずれか一項に記載の顕微鏡照明システム。

【請求項5】

前記顕微鏡照明システムが、異なる波長領域を有する2つの光源(2、3)を有し、前記光源の1つが、前記紫外線波長領域の少なくとも一部を含む、請求項1～4のいずれか一項に記載の顕微鏡照明システム。

10

【請求項6】

前記2つの光源(2、3)の1つまたは両方が、2色ビームスプリッタ(4)を介して、常に前記照明ビーム経路(15')に結合され得る、請求項5に記載の顕微鏡照明システム。

【請求項7】

前記光源(2、3)がLEDの形態を取る、請求項5または6に記載の顕微鏡照明システム。

【請求項8】

前記開口ホイール(8)が、前記顕微鏡照明システム(1)の前記光源(2、3)と共役な平面に位置する、請求項1～7のいずれか一項に記載の顕微鏡照明システム。

20

【請求項9】

少なくとも1つの光源(2、3)を含む、請求項1～8のいずれか一項に記載の顕微鏡照明システム(1)を有し、さらに少なくとも1つの顕微鏡対物レンズ(31)を有する顕微鏡(30)。

【請求項10】

前記顕微鏡照明システム(1)の前記開口ホイール(8)が、前記顕微鏡対物レンズ(31)の入射瞳と共役な平面に位置する、請求項9に記載の顕微鏡。

【請求項11】

前記顕微鏡照明システム(1)の前記開口ホイール(8)における特定サイズの開口部(9)に顕微鏡対物レンズ(31)が対象物の顕微鏡画像のために割り当てられ選択される、請求項9または10に記載の顕微鏡。

30

【請求項12】

複数の顕微鏡対物レンズ(31)を有し、いくつかの顕微鏡対物レンズ(31)が、前記顕微鏡照明システム(1)の前記開口ホイール(8)における特定サイズの開口部(9)に対象物の顕微鏡画像のために割り当てられ選択されるか、または前記顕微鏡対物レンズ(31)の少なくとも1つが、いくつかの開口部(9)に対象物の顕微鏡画像のために割り当てられ選択される、請求項11に記載の顕微鏡。

【請求項13】

前記顕微鏡照明システム(1)の前記開口ホイール(8)を回転させるための駆動ユニット(10)に、および/または前記顕微鏡照明システム(1)の少なくとも1つの光源(2、3)に動作可能に接続された制御ユニット(40)が設けられる、請求項9～12のいずれか一項に記載の顕微鏡。

40

【請求項14】

対象物の顕微鏡画像をカメラ画像の形態で生成するためのカメラ(34)を有し、前記制御ユニット(40)が、前記カメラ画像を解析するために、前記カメラ(34)に動作可能に接続される、請求項13に記載の顕微鏡。

【請求項15】

前記顕微鏡照明システム(1)の前記少なくとも1つの光源(2、3)および/または前記開口ホイール(8)の前記駆動ユニット(10)を制御することによって、前記カメラ画像が、少なくとも解像度および/またはコントラストに関して最適化され、前記駆動

50

ユニットが、選択された開口部（９）を、前記照明ビーム経路（１５'）に挿入できるように、かつ前記光軸（１６）に対して所定位置へ再現可能に合わせることができるよう、前記制御ユニット（４０）が設計されている、請求項１３または１４に記載の顕微鏡。

【請求項 １６】

少なくとも解像度および／またはコントラストに関する前記カメラ画像の最適化が、カメラ画像の選択に基づいてユーザにより実行されるように、前記制御ユニット（４０）が設計されている、請求項１５に記載の顕微鏡。

【請求項 １７】

少なくとも解像度および／またはコントラストに関する前記カメラ画像の最適化が、画像解析装置によって自動的に実行されるように、前記制御ユニット（４０）が設計されている、請求項１５に記載の顕微鏡。

10

【請求項 １８】

自動的にまたはユーザ入力に応じて、紫外線波長領域におけるスペクトルを有する光源（３）を前記照明ビーム経路（１５'）において活性化させ、かつ前記開口ホイール（８）の前記駆動ユニット（１０）によって、ユーザ選択可能開口部（９）を、前記光軸に対する１つまたは複数の所定位置へ再現可能に合わせるように、前記制御ユニット（４０）が設計されている、請求項１４～１７のいずれか一項に記載の顕微鏡。

【請求項 １９】

顕微鏡で検査されるべき対象物（３６）の傾斜入射照明のための方法であって、顕微鏡照明システム（１）の光軸（１６）から偏心して延びる照明ビーム経路（１５）が、顕微鏡照明システム（１）のビーム経路に位置する開口部（９）を、前記光軸（１６）に関する中心合わせされた位置から移動させることによって、傾斜入射照明用に生成され、

20

開口部（９）をその中心合わせされた位置から変位させるために、前記光軸（１６）と平行な回転軸（１１）を中心に回転可能でかつ異なるサイズの複数の開口部（９）を周方向に形成した開口ホイール（８）が、次のようなやり方、すなわち、前記回転軸（１１）および光軸（１６）と前記開口ホイール（８）との交点間の接続線が水平線（x）と35～55度の角度を形成するように、かつ前記光軸（１６）を中心にして前記開口ホイール（８）の前または後に固定開口絞り（１２）を位置付けるように、さらに前記開口ホイール（８）を回転させることによって、各開口部（９）を初期位置において前記光軸（１６）を中心に配置でき、かつさらなる回転によって、かかる開口部を、前記光軸の回りの所定領域内で前記光軸（１６）から偏心して配置できるようなやり方で、前記顕微鏡照明システム（１）の前記光軸（１６）に対して配置される、方法。

30

【請求項 ２０】

前記開口ホイール（８）の回転が、前記光軸（１６）に対して定義された位置に前記開口部（９）を再現可能に合わせることができ駆動モータ（１０）を用いて達成される、請求項１９に記載の方法。

【請求項 ２１】

紫外線波長領域におけるスペクトルを有する光源（３）が、前記顕微鏡照明システム（１）用の光源（２、３）として用いられる、請求項１９または２０に記載の方法。

【請求項 ２２】

40

紫外線波長領域におけるスペクトルを有する光源（３）、および可視波長領域におけるスペクトルを有する追加光源（２）が用いられ、これら光源がそれぞれ、２色ビームスプリッタ（４）を介して前記顕微鏡照明システム（１）のビーム経路に結合されている、請求項１９～２１のいずれか一項に記載の方法。

【請求項 ２３】

前記光軸（１６）を中心にまたは光軸に対して偏心して伝播する前記照明ビーム（１５）が、顕微鏡対物レンズ（３１）を通して、検査されるべき前記対象物（３６）上に導かれ、

選択された前記顕微鏡対物レンズ（３１）に応じて、それに関連付けられた開口部（９）が、前記光軸（１６）に対して中心合わせされた前記初期位置へ移動される、請求項１

50

9 ~ 22 のいずれか一項に記載の方法。

【請求項 24】

対象物の顕微鏡画像を生成するためのカメラ(34)が、カメラ画像を生成し、前記カメラ画像が、少なくとも解像度および/またはコントラストに関して解析され、かつ前記光軸(16)の回りの前記所定領域内で前記開口ホイール(8)を回転させることによって最適化される、請求項19 ~ 23 のいずれか一項に記載の方法。

【請求項 25】

対象物の顕微鏡画像を生成するためのカメラ(34)が、カメラ画像を生成し、前記カメラ画像が、少なくとも解像度および/またはコントラストに関して解析され、かつ開口部(9)および/または顕微鏡対物レンズ(31)を選択することによって最適化される、請求項19 ~ 24 のいずれか一項に記載の方法。

【請求項 26】

対象物の顕微鏡画像を生成するためのカメラ(34)が、カメラ画像を生成し、前記カメラ画像が、少なくとも解像度および/またはコントラストに関して解析され、かつ前記顕微鏡照明システム(1)の前記光源(2、3)を選択することによって最適化される、請求項19 ~ 25 のいずれか一項に記載の方法。

【請求項 27】

少なくとも解像度および/またはコントラストに関する前記カメラ画像の最適化が、カメラ画像の選択に基づいてユーザによって実行される、請求項24 ~ 26 のいずれか一項に記載の方法。

【請求項 28】

少なくとも解像度および/またはコントラストに関する前記カメラ画像の最適化が、画像解析装置を用いて自動的に実行される、請求項24 ~ 26 のいずれか一項に記載の方法。

【請求項 29】

自動的にか、またはユーザ入力に応じて、紫外線波長領域におけるスペクトルを有する光源が、前記照明ビーム経路(15')において活性化され、選択可能なまたは所定の開口部(9)が、前記光軸に対する、1つまたはいくつかの連続的な所定位置に再現可能に合わせられる、請求項19 ~ 28 のいずれか一項に記載の方法。

【請求項 30】

前記顕微鏡(30)および/または前記顕微鏡照明システム(1)に関して変更できる設定のうちの異なる設定を用いて同じ対象物領域の様々なカメラ画像を捕捉することによって、かつ前記カメラ画像のそれぞれにおける所定エリア(51)用の強度プロファイル(52)を生成することによって、かつ強度プロファイル(52)のフランクの数および/または強度プロファイル(52)における極値の数を含む或る基準に対して、前記生成された強度プロファイル(52)を解析し比較することによって、前記カメラ画像の最適化が達成される、請求項24 ~ 28 のいずれか一項に記載の方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、請求項1のプリアンブル部分(所謂おいて書き部分、前提部分)に定義されているような顕微鏡照明システムに関する。かかるシステムは、光源と、光軸を中心にして延びる中心照明ビーム経路を生成するための開口部を有する開口装置と、を含み、かつ光軸から偏心して延びる照明ビーム経路(「偏心照明ビーム経路」)を、開口部を変位させることによって生成できるようにする。入射照明を備えた顕微鏡において、かかる顕微鏡照明システムは、傾斜入射光で対象物を照明するために用いることができる。本発明はまた、対応する方法に関する。

【背景技術】

【0002】

検査される対象物の傾斜入射照明は、例えば、試料の表面構造を高コントラストで結像

10

20

30

40

50

するウエハ検査、および前記表面構造においてもたらされる回折効果を利用する三次元の外観において用いられる。特許文献1において、この目的のために使用できて傾斜入射照明を提供するように構成され、かつ可変サイズの開口絞りを有する顕微鏡用入射光照明装置が説明されている。この特許は、光軸から横へ両方向に開口絞りを変位できる開口絞り装置を提示する。光軸からの距離の増加は、いわゆる「入射光角度」、すなわち照明ビーム経路の軸が、顕微鏡対物レンズの通過後に、（対物面に対して直角に）対物面に当たる「入射光角度」における増加に関連付けられる。

【0003】

しかしながら、前述の文献で提案された入射光照明装置の設計は、機械的に複雑であることが判明し、かつ現場でうまく用いるためにはユーザの訓練および経験を必要とする。さらに、文献で説明されているように、回転範囲は、スタンド内の位置に依存して制限される可能性がある。最後に、同様に文献で説明されているように、（開口絞り装置の回転移動に応じて）光入射方向の再現性が制限される。入射光角度を変更するために必要な調整ナットの回転は、顕微鏡検査中に前記角度を連続的に変更することを事実上不可能にする。

【0004】

位相物体に有利に用いられる、技術的に単純であり、したがって経済的な、干渉顕微鏡検査の代替が、特に表面レリーフ観察に特に適した、傾斜照明を備えた反射光顕微鏡法によって提供される。この目的のために、一般に、入射光ケーラー照明が用いられる。これに関連して、片側だけの傾斜照明が、開口絞りを偏心して配置することによって得られ（特許文献1を参照）、一方で全ての側からの傾斜照明が、開口絞りの平面に中心または環状絞りを挿入することによって得られる。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0005】

【特許文献1】DE 3 527 426 C1

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

本発明の目的は、可変開口サイズおよび可変入射光角度を備えた傾斜入射照明に提供する技術的に単純で、使いやすく、再現可能な方法をもたらし顕微鏡照明システムを提供することである。別の目的は、対応する顕微鏡、および傾斜照明を用いた入射光顕微鏡検査のための方法を提供することである。

【課題を解決するための手段】

【0007】

この目的は、請求項1の特徴を有する顕微鏡照明システムによって達成される。対応する顕微鏡は、請求項9の主題であり、傾斜照明を用いる入射光顕微鏡検査用の対応する方法は、請求項19の主題である。有利な実施形態は、対応する従属クレームおよび以下の説明から明らかになる。

【0008】

本発明によれば、開口装置には、回転軸を中心に回転可能で、かつ異なるサイズの複数の開口部が円周方向に形成された開口ホイールまたはディスクが含まれる。開口ホイールを回転させることによって、これらの開口部のそれぞれは、光軸を中心として、または光軸の回りの所定領域内で光軸から偏心して配置することができる。もちろん、これには、開口ホイールの回転軸が、光軸からオフセットされることを必要とする。別段の定めがない限り、かつ一般性を制限することなく、照明は垂直照明であると仮定されるが、この場合に、照明ビームは、ビームスプリッタおよび顕微鏡対物レンズを通して、検査される対象物上に導かれる。中心照明ビーム経路は、軸入射明視野照明（axial incident bright-field illumination）を提供し、一方で偏心照明ビーム経路は、「傾斜照明」とも呼ばれる、一側からの角度入射照明をもたらし。

【0009】

本出願に用いられる用語「光入射方向」および「入射光角度」を明確にするために、周知の球座標系およびその球座標が参照される。入射光角度、すなわち、対物面に対する垂線と、照明ビームの入射方向との間の角度は、極角に対応し、一方で光入射方向は、球座標系における方位角に対応する。

【0010】

初期位置において、特定の開口部が、顕微鏡照明システムの光軸を中心とした位置にあるものとする。この位置からスタートして、開口ホイールをその回転軸を中心に右回りまたは左回りに回転させることによって、開口部は、光軸に対して偏心した位置に移動させることができる。このプロセスにおいて、最初に入射光角度が変化し、かつ開口ホイールの移動中に開口部がたどる円形経路ゆえに、光入射方向が同様に变化する。しかしながら、光入射方向は、わずかしき変化しない。なぜなら、光軸からのわずかな変位に対して、円形経路は、直線で近似することができ、光軸と開口ホイールの回転軸との間の距離が大きい場合には特にそうである。

10

【0011】

開口ホイールが、それ自体の中に、円周方向に配置された異なるサイズの複数の開口部を形成しているという事実ゆえに、適宜に開口ホイールを配置することによって、所定の開口サイズ間で容易に切り替えることが可能である。

【0012】

定義された位置へと開口部のそれぞれを再現可能に合わせる能力ゆえに、本発明は、技術的に単純で使いやすい方法で、特に、光軸の両側において入射光角度の容易に再現可能な変更を可能にし、一方で同時に、異なる開口サイズの利用を可能にする。

20

【0013】

「光軸の回りの所定領域」、すなわち、請求項1で言及され、かつその内側では特定の開口部を光軸から偏心して配置可能な「光軸の回りの所定領域」は、円周方向における開口部間の間隔によって、およびまた開口ホイールのエッジに対するそれぞれの開口部の位置によって、原則として、範囲を制限される。しかしながら、実際には、前記制限は、主として、開口部の上流の光源および照明光学装置によって生成された照明ビームの直径によって課される。光軸を中心として配置され、かつ開口ホイール前に、特に直前に配置された固定開口絞りは、かかる領域を光軸の回りで固定して画定/規定できるようにする。これに関連して、「開口ホイールの直前に配置される」は、固定開口絞りが、光源に向かう方向において、開口ホイールに隣接した位置することを意味する。固定開口絞りと開口ホイールとの間に他の光学的に活性な要素が存在すべきではない。

30

【0014】

開口ホイールの極めて可変な回転をできる限り可能にするために、ステッパモータを用いて開口ホイールを駆動することが好都合である。駆動装置はまた、DCモータまたは磁気駆動装置などの他のモータによって設けてもよい。モータおよび開口ホイールを動作位置に導くために、ギア機構、ベルト駆動装置、歯付きリングなどを取り付けることが可能である。適切な制御が与えられたとすると、開口ホイールは、代替としてモータシャフト上に直接取り付けられてもよい。最小のステップサイズで動作するステッパモータによって、開口ホイールのほぼ連続的な回転が可能になる。特に、ステッパモータを用いれば、傾斜入射照明、特に特定の対象物に依存する入射光角度における特定の設定の信頼できる再現が可能になる。

40

【0015】

有利なことに、開口ホイールの回転軸は、顕微鏡照明システムにおける光軸と平行に配置され、かつ回転軸および光軸と開口ホイールとの交点間の接続線17が水平線とほぼ45度の角度を形成するような方法で、配置される。用語「ほぼ」は、約10度の精度を意味すると理解され、その結果、前記角度は、35度～55度までの範囲にあるべきである。用語「水平線」は、実際には、照明ビーム経路の光軸を通る水平線と理解される。

【0016】

50

デカルト座標系の原点が、開口ホイールの回転軸と一致し、 x 軸が水平軸を表し、 y 軸が垂直軸を表すように、デカルト座標系を開口ホイール上に課する場合には、光軸に対する回転軸の上記の有利な配置は、選択された開口部が、開口ホイールの回転に応じ、 x 軸および y 軸に対して約 45° の角度で、固定開口絞り内（またはより一般的には、光軸の回りの所定領域内）の円弧に沿って移動されることに帰着する。実際的な用途において固定開口絞りの寸法が与えられたとすると、前述の円弧は、直線で適切に近似することができる。かかる照明ビームが、ケーラー照明の原理に従って入射照明を提供するために、顕微鏡対物レンズを通して対物面上に導かれた場合には、（対応する $x' - y'$ 座標系のように）対物面において傾斜入射照明を得ることが可能であり、この場合に、光入射方向（方位角）は約 45° であり、入射光角度は、（回転軸を中心に開口ホイールを回転させることにより）光軸から離れるように開口部を移動させることによって調整可能である。

10

【0017】

このように、南北方向に（ x' 軸と平行に）延びるサンプル表面構造、および東西方向（ y' 軸）に延びる構造は、同時に効果的に可視化することができる。これらの構造は、例えば、ウエハ上の構造、マイクロエレクトロニクスコンポーネント、太陽電池パネル等であってもよく、コンポーネントが完成されたときかまたは製造中に検査してもよい。例えば、開口部が、光軸に対して垂直方向にのみ、すなわち開口ホイールにおける前述のデカルト座標系による南北方向においてのみ移動可能な場合には、これは、以下でさらに説明するケーラー型入射顕微鏡照明システムにおいて、対物面に対して水平方向における（すなわち、対物面の対応するデカルト座標系における東西方向における）入射光角度の変化に帰着する。この種の可変傾斜入射照明を用いれば、南北方向に延びる試料の表面構造を効果的に可視化することが実際に可能であるが、しかし特に東西方向に、すなわち変位方向と平行に延びる構造は、入射光角度を変えた後でも少しもよりよく見ることができない。対照的に、提案される 45° 傾斜入射照明によって、南北方向を有する構造および東西方向を有する構造の両方の効果的な可視化が可能になる。特に、かかる構造をよりよく可視化するためには、顕微鏡ステージを例えば 45° だけ回転させる必要はない。かかる回転ステージは高価であり、さらに貧弱な再現性しか可能にしないであろう。

20

【0018】

本発明の別の実施形態において、開口ホイールの回転軸が、少なくとも一方向で光軸に対して垂直に移動可能なことは、有利になり得る。この目的のために、例えば、前述のステッパモータは、回転軸を中心に開口ホイールを回転させることができるが、例えば x および y 方向において、開口ホイールの $x - y$ 座標系内で移動してもよい。このように、 45° 傾斜照明に加えて、南北方向および y または東西方向に変位を実行することが可能であろう。

30

【0019】

スペクトルの紫外線領域における照明（「傾斜UV」）中に、傾斜入射照明のコントラストおよび解像度を向上させることがまた、特に有利であると分かった。物理法則によれば、UVスペクトルの短波長を用いた照明は、可視領域における照明より高い解像度をもたらす。適切な光源は、特に、（「iライン」と呼ばれる） 365 nm の波長を有する光を発光するLEDである。紫外線スペクトル領域は、 $400 \sim 約185\text{ nm}$ に及ぶ。UV照明は、軸入射明視野照明において既により高い解像度を提供し、かつ傾斜入射照明に変化した場合に、さらに、三次元の外観で対象物構造を表現できるようにする。傾斜UV照明を用いれば、より大きな形態の要素を、向上した解像度で検査することができる。例えばベアウエハの微細な搔き傷、または半導体構造のフォトレジスト腐食の程度を、このようにして可視化することができる。

40

【0020】

UVビームスプリッタおよびUV感受性カメラと共に、この傾斜UV照明用に特に適合したUV対物レンズによって、ユーザは、カメラが捕捉したUV画像を、例えばPCのモニタ上で可視化し、それを最適化することができる。しかしながらまた、（本出願人から入手可能なような）UV対物レンズがあり、それらは、入射明視野照明、入射暗視野照明

50

(incident dark-field illumination) および D I C 照明のような従来の方法に適しており、かつまた i ライン照明 (すなわち 3 6 5 n m の U V 光) を用いて同じ方法を実行するために用いることができる。さらに、実際には「U V 最適化されている」が、しかし可視光におけるそれぞれの方法にもまた適しているビームスプリッタがある。

【 0 0 2 1 】

本発明の別の重要な態様は、光源と、一方では中心照明ビーム経路、および他方では代替として偏心照明ビーム経路を生成するための開口装置と、を有する顕微鏡照明システムであって、簡単な方法で照明光のスペクトル領域を変更できる顕微鏡照明システムに関する。この態様に対しては別個の保護が請求されるが、しかし明確にするために、この態様は、上記の顕微鏡照明システムの有利な実施形態として、以下で説明する。様々なランプハウジングおよび光源としての異なるタイプのランプが、通常、周知の顕微鏡照明システムにおける光源として用いるために利用可能である。フィルタが、特定のスペクトル領域を取り出すために用いられる。例えば、従来、可視スペクトルから紫外線スペクトルへの切り替えは、手動またはモータ手段によるフィルタの挿入または除去を常に伴っていた。スペクトル領域間のかかる切り替えは、異なるスペクトルまたは異なる波長領域を有する 2 つの光源を顕微鏡照明システムに設けることによって、技術的に単純な方法で達成可能である。次に、照明スペクトルは、フィルタを用いる必要なしに、単に光源間を切り替えることによって簡単に変更することができる。もちろん、これには、光源およびそれらによって生成された光の経路が、顕微鏡照明システムの照明ビーム経路に適切に結合されることを必要とする。これは、2 色ビームスプリッタ、すなわち、それを介して 2 つの光源を照明ビーム経路に結合できる 2 色ビームスプリッタを用いて容易に達成することができる。もちろん、この態様はまた、2 を超える光源に適用可能である。

【 0 0 2 2 】

光源は、特に出力電力において制御可能な L E D の形態を取ってもよい。したがって、異なる L E D を交互にオンにすることができ、これによって、例えば、可視スペクトルと、紫外線スペクトル (または紫外線波長領域の少なくとも一部を含むスペクトル) との間の容易な切り替えが可能になる。電力制御はまた、異なるスペクトルの特定の部分を、特定の強度で照明ビーム経路に同時に結合できるように、実行してもよい。

【 0 0 2 3 】

ケーラーの原理に従って入射照明を提供するために、開口ホイールは、顕微鏡照明システムの光源と共役な平面に位置してもよい。この場合に、光源は、開口ホイールに、すなわち開口ホイールの直前に位置する固定開口絞りに結像される。さらに、顕微鏡照明システムの開口ホイールは、顕微鏡対物レンズの入射瞳と共役な平面に位置する。これによって、対物面の均一照明が可能になる。

【 0 0 2 4 】

本発明の別の目的は、上記したように、少なくとも 1 つの光源を含む顕微鏡照明システムと、さらに少なくとも 1 つの顕微鏡対物レンズと、を有する顕微鏡である。典型的には実際に、選択するための基となる複数の顕微鏡対物レンズを担持するノーズピースが設けられる。さらに、顕微鏡には、チューブ光学系、アイピースおよび / またはカメラなどの通常のコンポーネントが含まれる。別段の定めがない限り、これらのコンポーネントは、以下では一緒に「結像光学装置」と呼ばれる。かかる顕微鏡において、入射光照明は、好ましくは顕微鏡対物レンズと結像光学装置との間に配置されたビームスプリッタを介して、顕微鏡照明システムの照明ビームを顕微鏡の光学経路に結合することによって達成することができ、その結果、対物レンズは、光ビームを試料上に合焦させる。ビームは、対象物から、結像ビーム経路に沿って対物レンズ、ビームスプリッタおよびチューブ光学系を通過し、カメラ上に結像される。

【 0 0 2 5 】

異なる開口部を有する開口ホイールの使用には、例えば虹彩絞りをを用いるときに可能であるよりかはるかに小さな開口直径を可能にするという利点がある。虹彩絞りが約 1 m m だけの直径に閉じることができるのに対して、開口ホイールにおける開口部は、さらに小

10

20

30

40

50

さな直径さえ有することができる。例えば、 $150 \times / 0.90$ 対物レンズは、 2.4 mm の瞳直径を有する。開口絞りが、対物レンズの瞳に $1/2$ で結像される場合には、わずかに $2.4 \text{ mm} / 2 = 1.2 \text{ mm}$ の開口直径が、この対物レンズの完全な照明開口部用に必要とされる。この対物レンズの場合に、照明側でレンズを絞りたい場合には、開口直径は、 1.2 mm より著しく小さく、好ましくは 1 mm 未満でなければならないが、しかしながら、これは、従来の虹彩絞りをを用いては不可能である。さらに、直径が完全に光軸の外側に位置する偏心照明ビームが、本発明に従って生成されることになる場合には、前述の対物レンズの開口直径は、 0.6 mm 以下でなければならない、これもまた、従来の虹彩絞りをを用いては不可能である。

【0026】

複数の対物レンズを有する前述の顕微鏡において、各顕微鏡対物レンズが、顕微鏡照明システムの開口ホイール上の開口部と関連付けられるか、または関連付けられ得る場合には有利である。用いられる顕微鏡対物レンズに依存して、適切な直径の特定の開口部を、入射照明用を選択することができる。この関連は、例えばそれぞれのコンポーネントをそれぞれ相応に制御することによって、ユーザが行うか、または工場において行ってもよい。別の実施形態において、かかる顕微鏡は、顕微鏡照明システムの開口ホイール上の特定サイズの開口部と関連付けられるか、または関連付けられ得る複数の顕微鏡対物レンズを有する。代替として、顕微鏡対物レンズの少なくとも1つは、いくつかの開口部と関連付けられるか、または関連付けられ得る。好ましくは、関連は、対物レンズを変更する場合に、関連する開口部または関連する開口部の1つが、それに応じて開口ホイールを回転させることによって、目標位置に、すなわち光軸上へ回転されることである。

【0027】

異なるサイズの開口部を、有利には直径の昇順で開口ホイールの周面に沿って分配することによって、開口面における虹彩絞りを開閉することにより得られるのと同じ効果が提供される。しかしながら、この方法によって提供される再現性は、虹彩絞りにによって提供される再現性よりはるかに高い。隣接する開口部の直径における差に依存して、2以上の開口部を特定の顕微鏡対物レンズに関連付けることが考えられる。開口部のサイズは、照明開口部のサイズを決定する。一般に周知のように、照明開口サイズの減少と共に、光学解像度は低下し、コントラストは向上する。大きな開口部は、より高い解像度およびより低いコントラストを伴うより大きな照明開口部に帰着する。

【0028】

顕微鏡で得られた画像を、解像度およびコントラストの点で最適化するために、制御ユニット、すなわち、顕微鏡照明システムの開口ホイールを回転させるための駆動ユニットに動作可能に接続され、かつまた顕微鏡照明システムの少なくとも1つの光源に随意に接続される制御ユニットを設けることが特に有利である。制御ユニットは、次のような方法で設計してもよい。すなわち、提供される照明がUV領域または可視領域にあるかどうかによって、対応する顕微鏡対物レンズおよびそれに関連付けられた開口部が、それらのそれぞれの初期または目標位置へ移動されるような方法で設計してもよい。例えば、光源の選択されたスペクトルに依存して、関連する開口部はまた、大なり小なり偏心して変位される照明ビーム経路を提供するように配置してもよい。

【0029】

カメラ画像を解析するために、制御ユニットが、対象物の顕微鏡画像をカメラ画像の形態で生成するカメラに動作可能に接続される場合には特に有利である。カメラ画像は、以下でさらに説明する方法を用いて、解像度および/またはコントラストに関して解析することができる。制御ユニットを用いて、調整可能なパラメータ（顕微鏡対物レンズのタイプと同様に、光源のスペクトル、照明の強度、開口部の直径、入射光角度および光入射方向）の1つまたは複数を変更することによって、カメラ画像を最適化することができる。それに応じて、見つけられた対応パラメータは、後で同じタイプの検査用に再選択することができ、これによって、高い再現性が提供される。

【0030】

例えば、照明のスペクトルまたは波長領域、および照明の強度は、少なくとも1つの光源の制御を通じ、定義した方法で調整することができる。開口ホイールの駆動ユニットの制御によって、例えば、開口部の直径、入射光角度（光軸からの開口部の距離）、および光入射方向（同じ距離に関して光軸に対する開口部の位置）の定義された調整が可能になる。

【0031】

カメラ画像は、様々な方法で最適化可能である。一方で、表示された特定のカメラ画像は、言及した調整可能なパラメータの1つまたは複数を変更することによって最適化することができる。他方で、一連のカメラ画像は、異なる設定（前記パラメータの変化）を用いて捕捉してもよく、最適な画像は、前記一連のカメラ画像から自動的にまたはユーザが選択してもよい。最適なカメラ画像に関連する設定は、この対象物または類似対象物の追加カメラ画像を撮るために選択してもよい。

10

【0032】

言及したパラメータの対応する調整を通してカメラ画像を最適化するプロセスは、制御ユニットの一部を形成する画像解析装置を用いて自動的に実行するのが好ましい。次に、カメラ画像のこの自己最適化は、閉ループ制御システムに似た方法で実行されるが、この場合に、言及した調整可能なパラメータは入力変数であり、一方でカメラ画像用の1つまたは複数の解析基準、すなわち少なくとも解像度および/またはコントラストは、結果としての出力変数である。

【0033】

20

最後に、スペクトルのUV領域における前述の照明（「傾斜UV」）に関して、制御ユニットは、自動的にまたはユーザ入力に応じて、紫外線波長領域におけるスペクトルを有する光源を照明ビーム経路において活性化させるように、かつユーザ選択可能な開口部（または代替として固定した所定の開口部）を、開口ホイールの駆動ユニットによって、光軸に関連する位置へ再現可能に合わせるように、設計されるのが有利である。最適位置を選択するための基となる様々な定義された位置を連続的に調整することがまた有用になり得る。

【0034】

本発明のさらに別の目的は、顕微鏡で検査される対象物の傾斜入射照明用の方法である。この方法の多くの態様は、本発明による顕微鏡照明システムおよび顕微鏡に関連して本明細書において前に説明した。したがって、上記の開示はまた、本発明の方法に明白に関連する。顕微鏡で検査される対象物の傾斜入射照明用の方法は、回転軸を中心に回転可能であり、かつ異なるサイズの複数の開口部が円周方向に形成された開口ホイールが、次のようなやり方で、顕微鏡照明システムの光軸に対して配置されるといふ基本的特徴を有する。すなわち、各開口部が、開口ホイールを回転させることにより初期位置において光軸を中心として配置可能であり、かつさらなる回転によって、かかる開口部が、光軸の回りの所定領域内で光軸から偏心して配置可能であるようなやり方である。この方法の利点に関しては、本発明による顕微鏡照明システムおよび顕微鏡に関連して上記で提示した説明が明示的に参照される。

30

【0035】

40

顕微鏡照明システムの光源として紫外線波長領域におけるスペクトルを有する光源を用いることが有利である。特に、紫外線領域および可視領域における（少なくとも）2つの光源をそれぞれ用いることが有利であり、これらの光源は、それぞれ、2色ビームスプリッタを介して顕微鏡照明システムのビーム経路に結合される。これらの実施形態は、本明細書において前に詳細に説明した。したがって、その説明は、重複を避けるために、ここでは繰り返さない。同じことは、実施形態、すなわち、それによれば、開口ホイールの回転が、開口ホイールの回転軸と自身のシャフトが一致する駆動モータを用いて達成される実施形態にも当てはまる。用語「一致する」は、回転軸およびシャフトの接続または単一ピース設計を含むように意図されている。

【0036】

50

光軸を中心にまたは光軸に対して偏心して伝播する照明ビームが、顕微鏡対物レンズを通して、検査される対象物上に導かれる本発明の方法では、選択された顕微鏡対物レンズに依存して、その対物レンズに関連付けられた開口部が、光軸に中心が合わせられた前記初期位置に移動される場合には有利である。開口部と顕微鏡対物レンズとの間の関連は、工場ですべてプログラムして、例えば制御ユニットによって実行してもよい。代替として、関連は、ユーザが定義してもよい。これは、適切な入射光角度を調整するための開始位置として用いられることになる開口ホイールの初期位置を定義するための別の方法をユーザに提供する。

【0037】

本発明による方法は、特に、顕微鏡で検査されている対象物のカメラ画像を最適化するために用いることができる。この目的のために、カメラ画像は、少なくとも解像度および/またはコントラストに関して解析される。この解析は、周知の画像処理方法を用いるかまたは本明細書で提案する解析技術を用いて実行することができるが、この解析技術は、以下でさらに説明する。画像の三次元の外観は、光軸の回りの所定領域内で開口ホイールを回転させることによって、または換言すれば入射光角度を変更することによって最適化することができる。

【0038】

カメラ画像を最適化する代替または追加の方法は、適切な開口部および/または適切な顕微鏡対物レンズを選択することである。例えば、所与の顕微鏡対物レンズに対して、絞りの開閉は、この顕微鏡対物レンズに関連付けられた開口部からスタートして、より小さいかまたはより大きな開口部をそれぞれ選択することによって達成することができる。より大きな照明開口部と比較して、より小さな照明開口部は、より低い解像度だが、より高コントラストをもたらす、一方でより大きな照明開口部は、より小さな照明開口部と比較して、向上した解像度だが、より低いコントラストにつながる。適切な顕微鏡対物レンズは、対象物の所望の倍率に従って選択される。可視光を用いた照明からUV光に変わる場合には、対物レンズを変更することがまた必要になり得る。

【0039】

カメラ画像を最適化する別の代替または追加の方法は、顕微鏡照明システムの光源を選択することによる。本明細書で前に説明したように、スペクトルの可視領域における観察は、十分かつ有利であり得るが、しかしより高い解像度のためには、UV照明に切り替えることが好都合である。

【0040】

カメラ画像を最適化するための可能な方法は、本発明の顕微鏡およびその制御ユニットに関連して本明細書で前に説明した。繰り返しを避けるために、そこで提示された説明はまた、カメラ画像の最適化における任意の可能な形態に関連して本発明の方法をサポートするように意図されている。

【0041】

カメラ画像の最適化は、特に、顕微鏡および/または顕微鏡照明システム上で変更できる設定のうちの異なる設定、すなわち、入射光角度、開口部、顕微鏡対物レンズ、および/または光源を変更する、ちょうど説明した選択肢を用いて、選択された対象物領域の様々なカメラ画像を捕捉することによって、およびこれらのカメラ画像それぞれのための代表的エリアの強度プロファイルを生成することによって、達成される。かかる強度プロファイルは、例えば画素数としての対応する画像ライン上にプロットされた、画像ラインのグレースケール値によって特に形成される。対象物のタイプに依存して、三次元強度プロファイルを作成することがまた可能である。続くステップにおいて、解析基準が、得られた強度プロファイル用に定義される。特に適切な解析基準の例は、強度プロファイルにおけるフランク/側面の数および傾斜、または強度プロファイルにおける極値の数である。フランクの数が、観察される画像エリアのコントラストに関する情報を提供するのに対して、極値(強度プロファイルまたはグレースケール値の最大値および最小値)の数は、観察される画像エリア内における解像度に関する情報を提供する。強度プロファイルに基づ

10

20

30

40

50

いて解析を実行する代わりに、その第1の数学的導関数を用いることがまた可能であり、この場合には、強度プロファイルのフランクは、極値によって識別することができ、強度プロファイルの極値は、ゼロ交差によって識別することができる。次に、個別カメラ画像の強度プロファイルは、解析基準に対して比較することができ、最適強度プロファイルおよび関連するカメラ画像は、比較に基づいて決定することができる。この決定は、実行される特定のタスクに従って行われる。このタスクは、できるだけ高い解像度を備えた画像、または高解像度と高コントラストとの間の最適な妥協をもたらす画像を生成することであってもよい。

【0042】

カメラ画像の最適化における別の方法は、顕微鏡および/または顕微鏡照明システムに関して変更できる設定の記憶されたパラメータを用いて、異なるカメラ画像を生成すること、およびユーザに最適なカメラ画像を選択させることである。この場合には、カメラ画像は、ユーザによって視覚的に評価されることになる。繰り返すと、記憶されるパラメータには、入射光角度（すなわち所与の開口部を備えた開口ホイールの回転）、光入射方向（すなわち開口ホイールの回転方向）、照明開口部（すなわち動作位置に位置する開口部）、照明スペクトル（すなわち所定のスペクトル領域を備えた活性光源）、光源の強度、および顕微鏡対物レンズのタイプが含まれる。

【0043】

本発明のさらなる利点および実施形態は、以下の説明および添付の図面から明らかになる。

【0044】

前述の特徴および以下で説明する特徴は、特定の組み合わせにおいてだけでなく、本発明の範囲から逸脱せずに、他の組み合わせにおいて、または単独で 사용할ことが理解されよう。

【0045】

本発明は、例示的な実施形態を用いて図面で概略的に説明され、かつ図面に関連して以下で詳細に説明される。

【図面の簡単な説明】

【0046】

【図1】本発明の顕微鏡照明システムおよび関連する顕微鏡の実施形態における基本設計の概略斜視図である。

【図2】第2の光源およびカメラ画像を最適化するための制御ユニットを含む、図1の設計の別の実施形態における概略側面図である。

【図3】3つの異なる回転位置における、顕微鏡照明システムの開口ホイールの実施形態を示す。

【図4】軸（中心）入射光で対象物を照明している間に捕捉された、選択された画像エリアの対象物領域および強度プロファイルの顕微鏡画像を示す。

【図5】図4の図と似ているが、しかし片側だけの照明が、第1の光入射方向から傾斜して入射する光によって提供される図である。

【図6】図4および5の図と似ているが、しかし片側だけの傾斜入射照明が、図5の方向と反対の光入射方向からである図である。

【発明を実施するための形態】

【0047】

図1は、顕微鏡照明システム1を概略斜視図に示す。顕微鏡照明システム1には、光源2と、光源2の下流に位置し、かつ顕微鏡照明システム1の光軸16に配置された2つのレンズ5および6と、が含まれる。レンズ5および6は、照明光学装置とも呼んでもよく、光源2を開口面に結像するために用いられるが、この開口面には、固定開口絞り12が配置される。固定開口絞りのすぐ後ろの平面に、円周方向に開口部9を配置した開口ホイール8が位置する。開口ホイール8は、この場合にはステッパモータ10のシャフト11と一致する回転軸11を中心に回転可能である。ステッパモータの代わりに、例えばD

10

20

30

40

50

Cモータまたは磁気駆動装置などの他の駆動装置を用いる代替解決法がまた可能である。代替として、機械的結合は、ギア機構、ギアホイール、歯付きベルト等を介して達成してもよい。図1から明らかなように、回転軸11を中心とした開口ホイール8の回転によって、開口部9は、固定開口絞り12によって画定/規定された領域を通過する。このように、固定開口絞り12の前の照明ビーム15'は、マスキングによって、開口部9の後ろで照明ビーム15に変換される。

【0048】

顕微鏡照明システム1の光軸16上にはまた、レンズ13および14が配置され、これらのレンズは、照明ビーム15をビームスプリッタ20に中継する。一方では、ビームスプリッタ20は、それが照明ビーム15を対物面上の対象物36上へ偏向させるように機能する場合には、顕微鏡照明システム1の一部を形成し、他方では、ビームスプリッタ20は、対象物36から来る結像ビーム(図示せず)の一部が、光学装置33に向かってビームスプリッタ20を通過できるようにする場合には、顕微鏡30の一部である。

【0049】

図1は、対物レンズ31および結像光学装置33を不可欠なコンポーネントとして含む顕微鏡30を非常に概略的に示す。結像光学装置33には、チューブ光学系、アイピースおよび/またはカメラなどの通常のコンポーネントが含まれる。これらのコンポーネントの詳細は、ここでは重要でないため、これらの顕微鏡コンポーネントの設計および機能のためには、先行技術が参照される。顕微鏡30にはさらに、 $x'-y'$ 顕微鏡ステージ35が含まれ、このステージ35上では、顕微鏡で検査される対象物36は、対物面において支持される。例示的な本実施形態において、この対象物は、例えば掻き傷または欠陥構造に対して検査されることになるウエハである。対象物36の観察領域の顕微鏡画像が、対物レンズ31および結像光学装置33によって、周知の方法で生成される。この顕微鏡画像は、アイピースを通してユーザが見るか、またはカメラで捕捉してモニタ(図示せず)に表示してもよい。後者の選択肢に関しては、図2に示す実施形態が参照される。

【0050】

下記は、図1に示す設計の動作を説明する。光学的に言うと、図1に示す画像形成ビーム経路は、垂直入射光を用いたケーラー照明を提供する(照明ビームは、顕微鏡対物レンズを通して対物面上に結合される)。この目的のために、開口ホイール8が、光源2と共役な平面に位置する。さらに、開口ホイール8は、顕微鏡対物レンズ31の入射瞳と共役な平面に位置する。これによって、対物面の、およびしたがって観察されている試料エリアの均一な照明が可能になる。光源2は、レンズ5および6によって形成された結像光学装置を通して開口絞り平面に結像される。光軸16を中心として配置された固定開口絞り12は、開口部の最大直径を画定/規定する。固定開口絞り12によって画定/規定された領域内に位置する開口部9が、照明ビーム15'を、照明ビーム15に変換する。照明ビーム15は、中心合わせされるかまたは偏心してもよい。開口ホイール8における開口部9のいずれかを光軸16上に正確に配置することによって、中心明視野照明(軸入射明視野照明とも呼ばれる)を提供することができる。開口部9のサイズによって、照明開口部のサイズが決定される。中心照明から傾斜照明に変わる場合には、開口部9は、光軸16に対して、その最初の中心合わせされた位置から変位される。図示の例示的な実施形態において、この移動は、開口ホイール8を、その回転軸11を中心に回転させることによって得られるが、回転軸11はまた、ステッパモータ10の軸またはシャフト11'である。ステッパモータ10の回転方向に依存して、開口部9は、所望の目標位置へと、上方または下方に角度を付けて移動される。

【0051】

図1において、開口ホイール8の回転軸11が、顕微鏡照明システム1の光軸16と平行に延び、かつこの光軸16から「45度オフセット」されていることが分かる。より正確には、これは、次のことを意味する。すなわち、光軸16および回転軸11と開口ホイール8との交点間の接続線17が、照明ビーム経路の水平線およびしたがって図示の座標系の x 軸と45度の角度を形成することを意味する(図3も参照)。45度の角度はまた

10

20

30

40

50

、図に示すy軸とも形成される。もちろん、前述の45度の角度は、正確に45度の角度である必要はない。偏移は、可能であり、結像されることになる対象物36の特定の構造に依存して望ましくさえなり得る。しかしながら、対象物36上に存在する構造がx'および/またはy'方向に延びるように、対象物36が、通常、顕微鏡ステージ35に配置されるので、45度のオフセット配置は便利である。なぜなら、それは、光入射方向、すなわち次には対物面における座標系のx'およびy'軸と45度の角度を形成する光入射方向に帰着するからである。したがって、x'方向(N-S方向)およびy'方向(E-W方向)の両方に延びる構造は、三次元の外観で同様にうまく結像することができる。

【0052】

開口ホイール8の回転は、回転軸11から光軸16までの距離に半径が対応する円弧に沿い、固定開口絞り12によって画定された領域を通して開口部9を移動させる。これを、図3に関連して、より詳細に説明する。開口部9のこの移動の結果として、対象物36に対する入射光角度は、光軸16からの距離の増加と共に増加する。光入射方向は、ほぼ45度の方位角のままである。なぜなら、前述の円弧は、直線で優れた精度に近似することができるからである。この線は、水平線に対して、したがってX軸に対して、45度の角度で延びる。

【0053】

別の実施形態において、開口ホイール8は、開口絞り平面内において全体として移動させることができる。これを達成する一方法は、ステッパモータ10がx-y平面において移動可能のようにステッパモータ10自体を支持することによる。Y方向におけるステッパモータ10の移動によって、照明ビーム15は、対物面におけるy'方向において変位される。反対に、x方向におけるステッパモータ10の移動によって、照明ビーム15は、対物面においてx'方向に変位される。

【0054】

かかるUV光源の短い波長ゆえに、UVスペクトルにおける放射を伴う光源2(例えば、iライン(365nm)放射線を放射するLED)の使用によって、可視領域における照明を用いるよりも高い解像度の達成が可能になる。同時に、偏心照明ビーム15'の説明した生成によって、対象物36上の構造を三次元の外観で表すことが可能になる。これによって、例えば、ベアウエハ上の微細な掻き傷または半導体構造上のフォトレジスト腐食の程度を可視化することが可能になる。UV光を用いた角度照明はまた、「傾斜UV」と呼ばれる。

【0055】

図2は、2つの光源間の簡単な切り替えを可能にする構成を示す。さらに、図2は、対象物36上の構造の顕微鏡表現を含むカメラ画像を最適化するための配置を示す。図2は、基本的には図1と同じ要素を示し、かつ同様の要素には同じ参照数字を用いる。したがって、図1から周知の要素の説明は、ここでは繰り返さない。追加的な要素だけを以下で論じる。

【0056】

光源2に加えて、顕微鏡照明システム1には、さらなる光源3が含まれるが、この光源3は、レンズ7および2色スプリッタ4を介して照明ビーム15'の経路に結合される。他のレンズ6は、図1から変化していない。したがって、レンズ5および6は、光源2用の照明光学装置を形成し、レンズ7および6は、光源3用の照明光学装置を形成する。また、図2には、顕微鏡30の結像光学装置33の要素が示されているが、それらは、図1から周知である。これらの要素は、チューブ光学系32、およびチューブ光学系32の下流に配置されたカメラ34である。カメラ34は、顕微鏡画像を電子的に捕捉する。カメラ画像は、一方では視覚的に表示してもよく、他方では画像処理方法を用いて電子的に処理し解析してもよい。対物レンズ31、チューブ光学系32およびカメラ34を含む顕微鏡30の図示の構成は、それ自体は当業者に周知である。

【0057】

図2では、また、制御ユニット40が示されている。制御ユニット40は、得られたカ

10

20

30

40

50

メラ画像を、完全自動および半自動の両方で最適化できるようにする。そうするための一方法を、本出願の一般的な説明の部で論じる様々な選択肢を制限せずに例として以下で説明する。

【0058】

図2において明らかなように、制御ユニット40は、光源2および3の両方、ステッパモータ10、ならびにカメラ34に接続される。それは、特に、適切な対物レンズ31を選択するための基となる複数の対物レンズを担持する対物レンズタレット（図示せず）など、追加コンポーネントを制御するのに便利になり得る。制御ユニット40は、前記光源を少なくとも交互に動作させることができるような、すなわちオンおよびオフに切り替えることができるような方法で、光源2および3に接続される。さらなる実施形態において、光源2および3の強度または出力電力もまた、制御ユニット40を介して制御することができる。制御ユニット40は、次のような方法でステッパモータ10に接続される。すなわち開口ホイール8を回転させることによって、開口ホイール8上に設けられた特定の開口部9を初期位置、つまり顕微鏡照明システム1の光軸16を中心として開口部9が置かれる初期位置へ移動できるような方法で、接続される。続いて、制御ユニット40は、ステッパモータ10を駆動して微調整を行ってもよく、その間に、開口部9は、その初期位置から変位されて、（図1に関連して詳細に説明したように）固定開口絞り12によって画定／規定された領域内の画定／規定された目標位置に移動される。最後に、制御ユニット40は、制御ユニット40においてカメラ画像を解析できるような方法で、カメラ34に接続される。この解析には、少なくとも解像度および／またはコントラストの基準が含まれる。もちろん、制御ユニット40はまた、ある画像捕捉設定をカメラ34に対して行うことができる。

【0059】

ここでは、光源3が、スペクトルの紫外線領域で放射し、光源2が、スペクトルの可視領域で放射するという仮定がなされる。光源2および3としてLEDを用いることが有利である。制御ユニット40は、光源2および3を互いに独立して制御すること、すなわちオンおよびオフに切り替えること（ならびに恐らくそれらの出力電力を制御すること）ができるようにする。適切な光源を選択することによって、検査される対象物36上の構造の微細さに依存した、顕微鏡カメラ画像における所望の解像度に対処することが可能になる。光源間の切り替えは、フィルタを介在させることもフィルタを動作させこともなく、容易に行うことができる。開口ホイールは、6つの異なる開口部9を有してもよく、または別の実施形態において、それは、14の（もしくは任意の他の数の）異なる開口部9を有してもよい。開口部9は、異なるサイズの直径を有し、かつ円周方向に、好ましくは直径の昇順にホイール上に配置される。実際には、対物レンズタレットを有する顕微鏡30が用いられ、その結果、異なる対物レンズ31を、顕微鏡30の結像ビーム経路に挿入することができる。対物レンズの選択は、所望の倍率および他のパラメータに依存するが、次にこれらの倍率および他のパラメータは、一方では対象物36上の構造に依存し、他方では用いられる光源に依存する。UV照明の場合には、UV対応の対物レンズ31が、有利に用いられる。特定の対物レンズ31を1つまたは複数の開口部9に関連付けてもよい。次に、開口部の変更は、開口面における虹彩絞りの開または閉と同じ効果を有する。しかしながら、本明細書の他のところで説明するように、この方法は、虹彩絞りよりはるかに高い再現性を提供し、かつ虹彩絞りで達成可能な開口直径よりはるかに小さな開口直径の達成を可能にする。ここで、一般性を制限せずに、各対物レンズ31が、開口ホイール8上のまさに1つの開口部9と関連付けられると仮定する。有利なことに、この関連付けは、制御ユニット40においてソフトウェアによって記憶され、その結果、対物レンズが変更された場合には、関連する開口部9が、顕微鏡照明システム1の光軸16を中心として開口部9が置かれたその初期位置に自動的に移動される。この目的のために、開口ホイール8は、ステッパモータ10によって回転軸11を中心に適切に回転される。したがって、例えば、1つの光源2、3から別の光源3、2へ切り替える場合には、対応する対物レンズ31は、制御ユニット40の制御下における対物レンズタレットの回転によって、

10

20

30

40

50

顕微鏡 30 の結像ビーム経路の光軸 37 上に移動させることができ、同時に、それに応じて、関連する開口部 9 は、ステッパモータ 10 を駆動することによって、その初期位置に移動させることができる。

【0060】

次に、検査されることになる対象物 36 上の顕微鏡で結像された構造のカメラ画像を生成することが可能である。例えば、最初に、画像が、選択されたパラメータ（光源、開口部、対物レンズ）を用いて、軸入射照明下で捕捉される。かかる画像の一例が図 4 に示されているが、図 4 は、南北方向に延び、かつ東西方向に繰り返される構造を示す。この画像は、ウエハの並列構造を示す。片側だけの 45° 傾斜入射照明において、入射光角度は、光軸 16 の回りの、固定開口絞り 12 によって画定 / 規定された領域内の方向において、選択された開口部 9 を回転させることによって、変更することができる。図 5 は、ある入射光角度で、（図 4 におけるのと）同じ対象物領域の捕捉された画像を示す。図 6 は、図 5 と比較して、似ているが、しかし開口ホイールが反対方向に同じ角度だけ回転されたので、反対入射光角度で捕捉された画像を示す。ここでは、カメラ画像の差は、もはや非常にはっきりと分かる。したがって、入射光角度および光入射方向を変更しながら多数のカメラ画像を捕捉してもよく、このようにして最適なカメラ画像を決定することができる。一般に、最適なカメラ画像に関連付けられた設定は、結像される構造に非常に依存する。

10

【0061】

入射光角度および光入射方向を変更することに加えて、対物レンズ 31 のタイプ、開口部 9、光源 2、3 など、他のパラメータを変更することがもちろん可能である。

20

【0062】

カメラ画像 50 の所定エリア 51 用の強度プロファイル 52 を生成すること、およびそれを、図 4 ~ 6 におけるそれぞれのカメラ画像 50 上の中心に配置することによって、図 4 ~ 6 に示すように、カメラ画像の自動最適化を有利に達成することが可能である。この場合に、強度プロファイル 52 は、エリア 51（画素距離）の両端にわたるグレースケール値を表す。明るいグレースケール値の領域から暗いグレースケール値の領域への遷移は、急なフランクによってマークされる。急なフランクは、高コントラストを示し、一方で強度プロファイル 52 における極値（最大値および最小値）の数は、観察されているエリア 51 における解像度を示す。図 4 において、多くの極値の存在は、高解像度を示すが、これは、画像コントラストを犠牲にしている。それに比べて、図 5 は、明らかにより少ない極値、およびしたがってより低い解像度、ならびに高コントラストを意味する少数の急なフランクを示す。同様の状態が、図 6 に示されている。図 5 において、（目盛りでは約 130 の）平均グレースケール値からの偏差が、両方向に比較的大きいものに対して、図 6 は、（約 120 の）平均グレースケール値から、小さな上向きの偏差およびほんのわずかなだけより大きな下向きの偏差を示す。これは、今度は、図 5 における明 - 暗コントラストが、図 6 におけるよりも高いことを示す。

30

【0063】

本明細書で論じるように、一連の捕捉されたカメラ画像 50 用の強度プロファイル 52 の解析は、制御ユニット 40 において自動的に実行することができる。これによって、例えばコントラストに関して最適化されたカメラ画像につながるパラメータを決定することが可能になる。次に、これらのパラメータを選択した後で、サンプル全体、または同じタイプの一連のサンプルを検査することが可能である。

40

【0064】

図 3 は、合計 6 つの開口部 9 を有する開口ホイール 8 を概略立面図で示す。再び、回転軸は、11 で示される。図 3 b は、中心照明（または軸入射照明）用に用いられる位置における開口ホイール 8 を示し、一方で図 3 a および 3 c は、傾斜入射照明用に用いられる位置を示す。図 4 に示すカメラ画像 50 は、例えば、図 3 b に示す位置の開口ホイール 8 で生成することができ、一方で図 5 および 6 に示すカメラ画像 50 は、それぞれ図 3 c および 3 a に示す開口ホイール位置を用いて生成することができる。

50

【 0 0 6 5 】

固定開口絞り は、12 で示される。それは、所定領域、すなわちその内側では入射光角度を変更するために、選択された開口部9を移動することができる所定領域を取り出す。この所定領域を超えた移動は、完全なシェーディングに帰着する。円周方向における次の開口部9が、固定開口絞り12によって画定/規定された領域に入るのは、さらなる回転の後だけである。

【 0 0 6 6 】

再び、顕微鏡照明システム1の光軸は、16で示される。図3からはっきりと明らかのように、図3の平面において光軸16と回転軸11との間の接続線17は、x軸と45度の角度を形成する。開口ホイール8の回転中に開口部9が沿って移動する円弧が、破線として引かれている。残りの開口部9は、この破線に沿って配置されなければならない。開口ホイール8の微細な回転によって、選択された開口部9は、X軸に対して同様に約45°の角度におけるその初期位置からある程度変位される。すなわち、破線円形経路に沿ったこの移動が、対応する直線に沿った移動によって近似される程度に変位される。

【 符号の説明 】

【 0 0 6 7 】

- 1 顕微鏡照明システム
- 2 光源
- 3 光源
- 4 2色スプリッタ
- 5 レンズ
- 6 レンズ
- 7 レンズ
- 8 開口ホイール
- 9 開口部
- 10 駆動モータ
- 11 回転軸
- 11' シャフト
- 12 固定開口絞り
- 13 レンズ
- 14 レンズ
- 15、15' 照明ビーム経路
- 16 光軸
- 17 接続線
- 20 ビームスプリッタ
- 30 顕微鏡
- 31 対物レンズ
- 32 チューブ光学系
- 33 結像光学装置
- 34 カメラ
- 35 顕微鏡ステージ
- 36 対象物
- 37 光軸
- 40 制御ユニット
- 50 カメラ画像
- 51 エリア
- 52 強度プロファイル

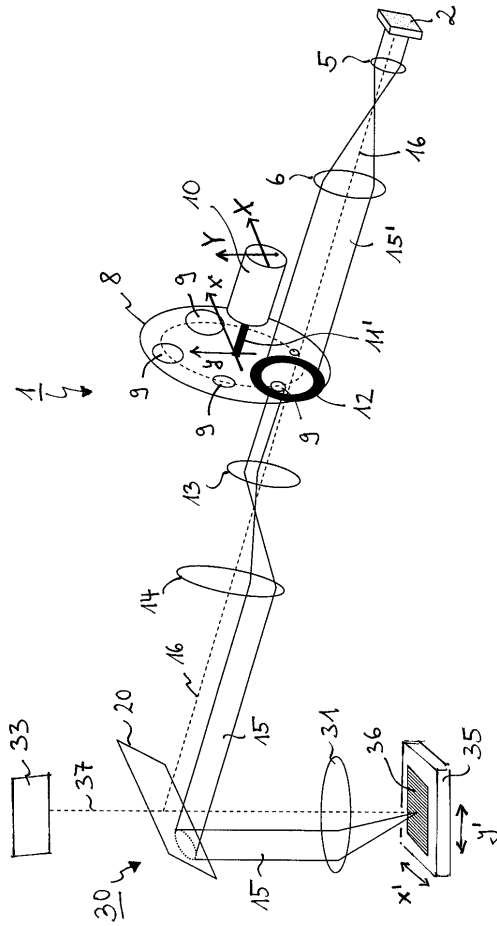
10

20

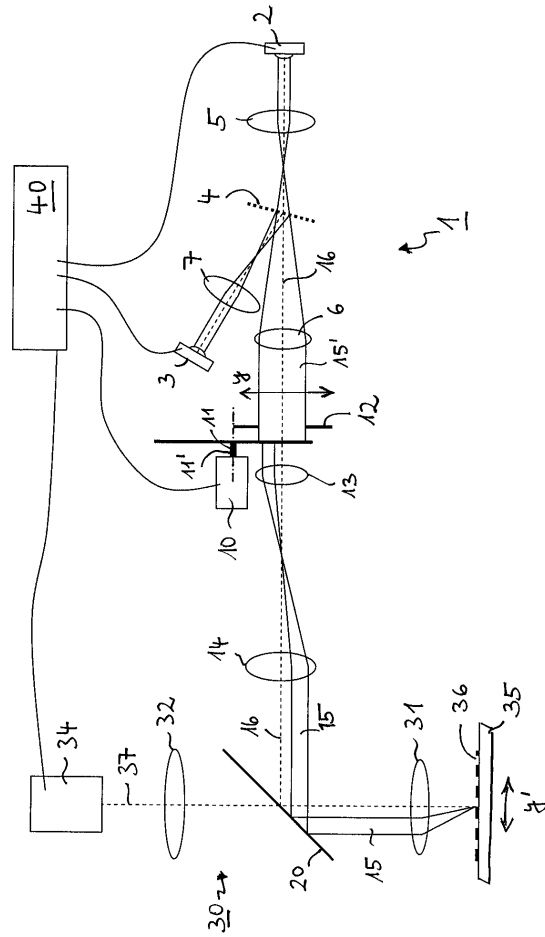
30

40

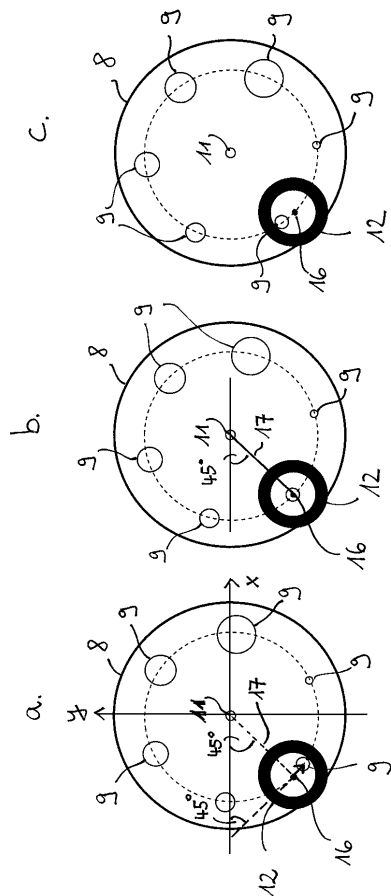
【 図 1 】



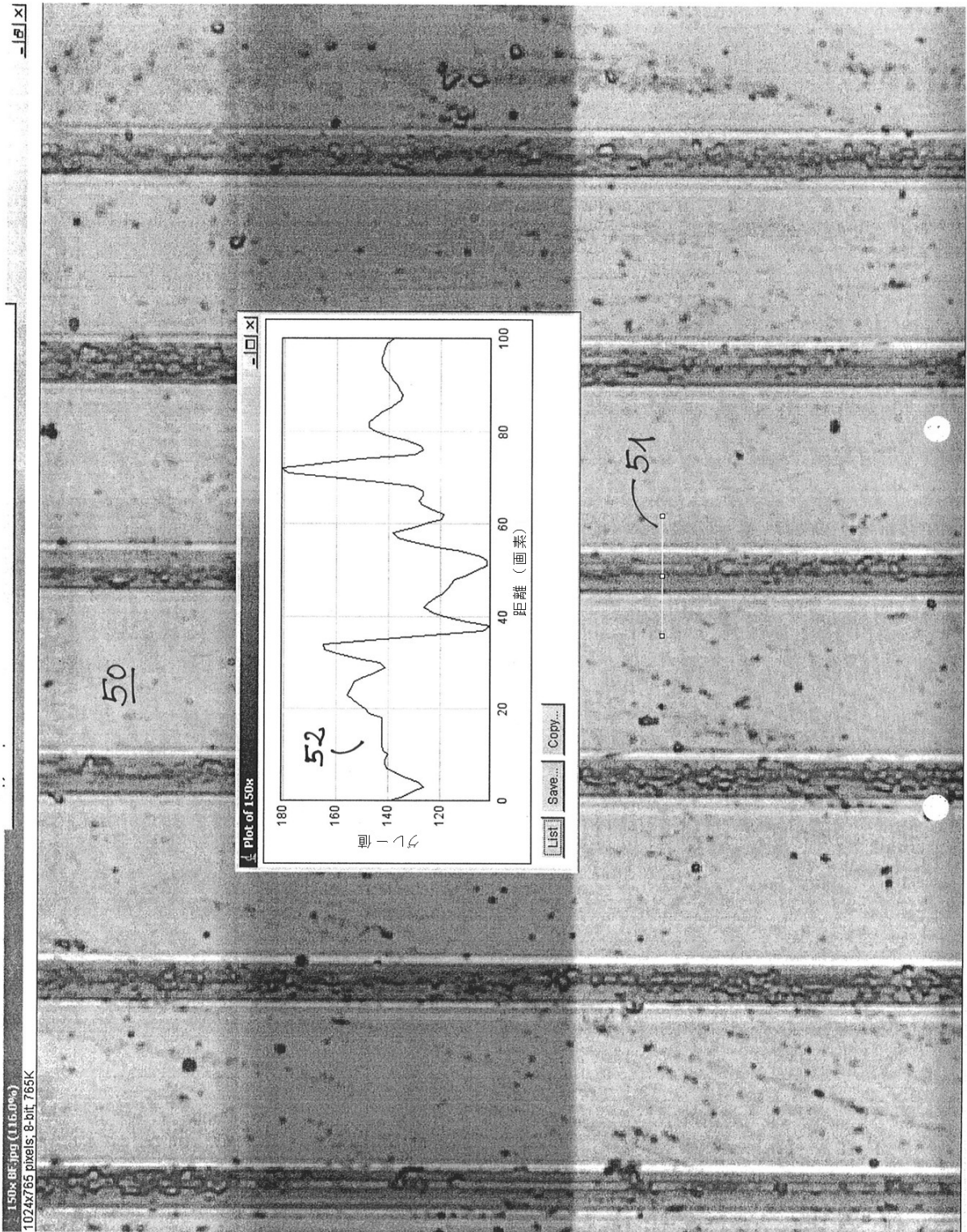
【 図 2 】



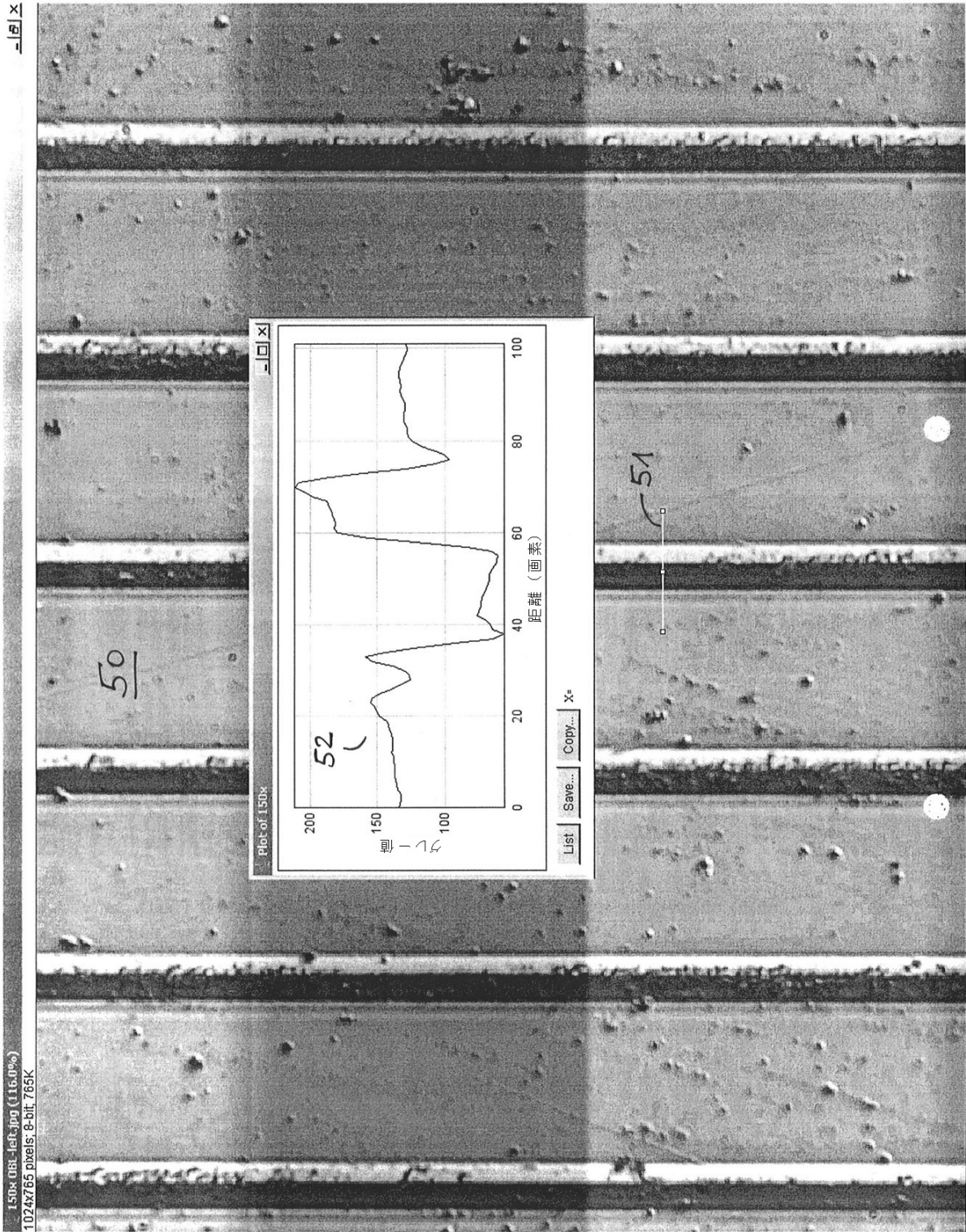
【 図 3 】



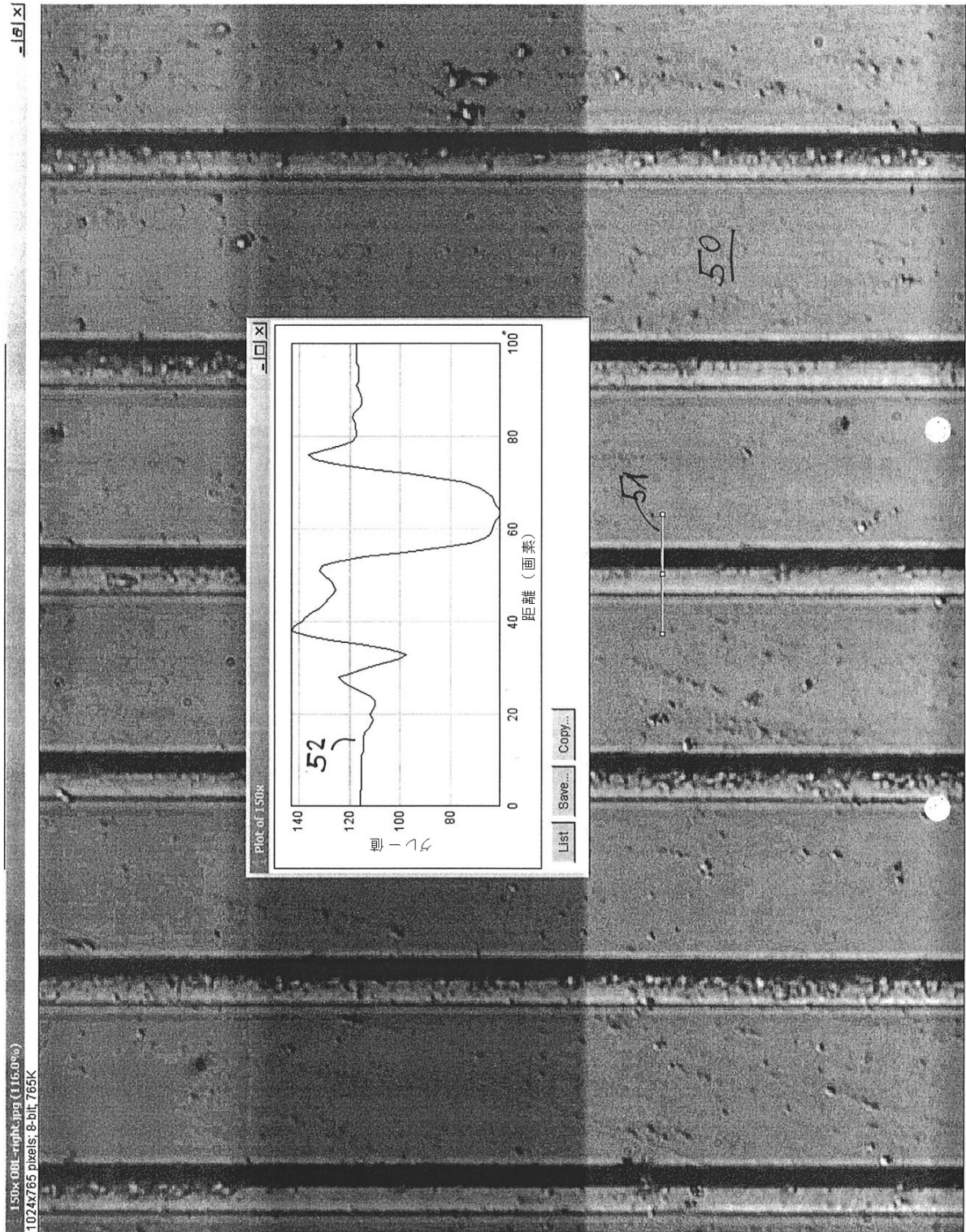
【 図 4 】



【図 5】



【 図 6 】



フロントページの続き

(72)発明者 アルノルト ミュラー・レンツ

ドイツ連邦共和国 6 5 6 1 1 ブレッヘン レハールシュトラッセ 1 0

(72)発明者 クラウス・ペーター シュヴァーブ

ドイツ連邦共和国 3 5 6 1 9 ブラウンフェルス ヴィントミュールンヴェーク 1 8

(72)発明者 シュテファン モティカ

ドイツ連邦共和国 3 5 6 1 9 ブラウンフェルス フィンケンヴェーク 1 1

審査官 殿岡 雅仁

(56)参考文献 特開平 1 1 - 1 0 9 2 5 4 (J P , A)

特開 2 0 1 0 - 1 6 4 6 4 7 (J P , A)

特開 2 0 0 0 - 3 3 8 4 0 6 (J P , A)

特開平 0 8 - 1 2 2 6 4 9 (J P , A)

特開 2 0 0 3 - 1 4 9 5 5 9 (J P , A)

特開平 0 9 - 1 9 7 2 8 9 (J P , A)

特開 2 0 0 9 - 1 7 5 3 1 6 (J P , A)

特開 2 0 0 9 - 1 2 8 8 8 1 (J P , A)

米国特許出願公開第 2 0 0 5 / 0 2 3 7 6 0 6 (U S , A 1)

(58)調査した分野(Int.Cl. , D B 名)

G 0 2 B 2 1 / 0 0

G 0 2 B 2 1 / 0 6 - 2 1 / 3 6