

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7171561号
(P7171561)

(45)発行日 令和4年11月15日(2022.11.15)

(24)登録日 令和4年11月7日(2022.11.7)

(51)国際特許分類

G 0 1 T	1/20 (2006.01)	F I	G 0 1 T	1/20	B
G 0 1 N	23/041 (2018.01)		G 0 1 T	1/20	E
A 6 1 B	6/00 (2006.01)		G 0 1 T	1/20	G
			G 0 1 N	23/041	
			A 6 1 B	6/00	3 0 0 Q

請求項の数 14 (全17頁)

(21)出願番号 特願2019-523746(P2019-523746)
 (86)(22)出願日 平成29年11月9日(2017.11.9)
 (65)公表番号 特表2020-512527(P2020-512527)
 A)
 (43)公表日 令和2年4月23日(2020.4.23)
 (86)国際出願番号 PCT/EP2017/078684
 (87)国際公開番号 WO2018/087195
 (87)国際公開日 平成30年5月17日(2018.5.17)
 審査請求日 令和2年11月4日(2020.11.4)
 (31)優先権主張番号 16198076.8
 (32)優先日 平成28年11月10日(2016.11.10)
 (33)優先権主張国・地域又は機関
 欧州特許庁(EP)

(73)特許権者 590000248
 コーニンクレッカ フィリップス エヌ
 ヴェ
 Koninklijke Philips
 N.V.
 オランダ国 5656 アーヘー アイン
 ドーフェン ハイテック キャンパス 52
 High Tech Campus 52,
 5656 AG Eindhoven, N
 etherlands
 (74)代理人 110001690
 特許業務法人M & Sパートナーズ
 デア ハイナー
 オランダ国 5656 アーヘー アイン
 ドーフェン ハイ テック キャンパス 5
 最終頁に続く

(54)【発明の名称】 格子ベースの位相コントラスト画像化

(57)【特許請求の範囲】**【請求項1】**

位相コントラスト画像化システム用のX線検出器であって、前記X線検出器が、
 シンチレーション装置と、
 前記シンチレーション装置に光学的に結合された複数の感光性ピクセルを含む光検出器と
 を備え、
 前記X線検出器が、前記シンチレーション装置の表面法線ベクトルに対して平行な主軸
 を有し、

前記シンチレーション装置が、互いに間隔をあけて配置された複数の溝を有するウェー
 ハ基板を含み、

位相コントラスト画像化のための分析格子の機能が、前記X線検出器に統合されるよう
 に、それぞれの前記溝が、前記シンチレーション装置の第1の面から前記ウェーハ基板内
 への第1の方向に沿った深さまで延び、それぞれの前記溝が、シンチレーション材料で少
 なくとも部分的に満たされており、それぞれの前記溝が、長手の延伸方向に沿って複数の
 区画に分割され、

前記複数の溝のうちの少なくとも一部の溝が前記主軸に対して傾くような態様で、前記
 複数の溝のうちの少なくとも一部の溝の前記第1の方向が、前記主軸とは異なっており、

前記シンチレーション装置の中心領域に配置された溝の前記第1の方向と前記主軸との
 間の角度が、前記シンチレーション装置の外側領域に配置された溝の前記第1の方向と前
 記主軸との間の角度よりも小さい、

X線検出器。

【請求項 2】

前記外側領域に配置された溝の方が、前記中心領域に配置された溝よりも前記主軸に対して傾いている。

請求項 1 に記載の X 線検出器。

【請求項 3】

前記シンチレーション装置が、前記主軸に対して平行な第 1 の方向を有する少なくとも 1 つの溝を有し、

当該少なくとも 1 つの溝が、前記シンチレーション装置の中心領域に配置された、

請求項 1 又は 2 に記載の X 線検出器。

10

【請求項 4】

前記溝の前記第 1 の方向と前記主軸との間の角度が、前記溝から前記シンチレーション装置の中心領域までの距離の増大とともに増大する、

請求項 1 から 3 のいずれか一項に記載の X 線検出器。

【請求項 5】

それぞれの前記溝が、シンチレーション材料で完全に満たされている、

請求項 1 から 4 のいずれか一項に記載の X 線検出器。

【請求項 6】

前記溝の少なくとも一部の溝が、長方形、台形、管形、円筒形、円錐形又は非対称形の形状を有する、

20

請求項 1 から 5 のいずれか一項に記載の X 線検出器。

【請求項 7】

平面検出器である、

請求項 1 から 6 のいずれか一項に記載の X 線検出器。

【請求項 8】

前記ウェーハ基板がシリコンを含み、且つ / 又は

前記シンチレーション材料が、CsJ、NaJ、CsI(Tl)、CsI(Na)、CsI(pure)、CsF、KI(Tl)、LiI(Eu)及び酸硫化ガドリニウムのうちの少なくとも 1 つを含む、

請求項 1 から 7 のいずれか一項に記載の X 線検出器。

30

【請求項 9】

それぞれの前記溝が、0.5 mm から 5 mm の深さを有し、且つ / 又は

それぞれの前記溝が、1 μm から 200 μm の幅を有する、

請求項 1 から 8 のいずれか一項に記載の X 線検出器。

【請求項 10】

それぞれの前記溝が、長手の延伸方向に沿った長さを有し、前記長さが、前記光検出器の単一の感光性ピクセルの長さと一致する、

請求項 1 から 9 のいずれか一項に記載の X 線検出器。

【請求項 11】

位相コントラスト画像化システム内での請求項 1 から 10 のいずれか一項に記載の X 線検出器の使用。

40

【請求項 12】

位相コントラスト画像化システムの光軸周りに中心を有する X 線のビームを放出する X 線源と、

請求項 1 から 10 のいずれか一項に記載の X 線検出器と、

前記 X 線源と前記 X 線検出器との間に配置された少なくとも 1 つの格子とを備え、

前記 X 線検出器の前記主軸が、前記位相コントラスト画像化システムの前記光軸に対して平行である、

位相コントラスト画像化システム。

50

【請求項 1 3】

それぞれの前記溝の前記第 1 の方向が、前記位相コントラスト画像化システムの焦点スポット及び / 又は前記 X 線源の方を向くように、前記 X 線検出器が配置された、

請求項 1_2 に記載の位相コントラスト画像化システム。

【請求項 1 4】

位相コントラスト画像化システム用の X 線検出器を製造する方法であって、前記方法は、

ウェーハ基板に複数の溝を形成するステップであって、前記溝が互いに間隔をあけて配置されるように、及びそれぞれの前記溝が、前記ウェーハ基板の表面から前記ウェーハ基板内への第 1 の方向に沿った深さまで延びるように、前記溝を形成するステップと、

位相コントラスト画像化のための分析格子の機能が前記 X 線検出器に統合されるように、それぞれの前記溝を、シンチレーション材料で少なくとも部分的に満たし、且つ長手の延伸方向に沿って複数の区画に分割させるステップと、

少なくとも部分的に満たされた前記溝を有する前記ウェーハ基板を光検出器上に配置するステップと

を有し、

前記 X 線検出器が、前記ウェーハ基板の表面法線ベクトルに対して平行な主軸を有し、

前記複数の溝のうちの少なくとも一部の溝が前記主軸に対して傾くような態様で、前記複数の溝のうちの少なくとも一部の溝の前記第 1 の方向が、前記主軸とは異なっており、

シンチレーション装置の中心領域に配置された溝の前記第 1 の方向と前記主軸との間の角度が、前記シンチレーション装置の外側領域に配置された溝の前記第 1 の方向と前記主軸との間の角度よりも小さい、

方法。

【発明の詳細な説明】**【技術分野】****【0 0 0 1】**

本発明は一般に、格子ベースの位相コントラスト画像化に関する。詳細には、本発明は、位相コントラスト画像化システム用の X 線検出器、位相コントラスト画像化システム内での該 X 線検出器の使用、該 X 線検出器を備える位相コントラスト画像化システム、及び位相コントラスト画像化システム用の X 線検出器を製造する方法に関する。

【背景技術】**【0 0 0 2】**

X 線位相コントラスト画像化及び / 又は微分位相コントラスト画像化 (d i f f e r e n t i a l p h a s e c o n t r a s t i m a g i n g : D P C I) では、関心の物体を通過したコヒーレントな X 線の位相情報が視覚化される。従来の X 線透過画像化法とは違い、D P C I では、投影線に沿った関心の物体の吸収特性だけでなく、関心の物体を透過した X 線の位相シフト及び / 又は物体の小角散乱特性も決定される。これは追加の情報を提供し、この情報は例えば、コントラストの増強、物質組成の決定、微小構造の顕現化及び / 又は線量の低減に使用される。

【0 0 0 3】

D P C I では普通、単色性が高く、高コヒーレントな X 線放射が求められる。そのため、例えば X 線管などの従来の X 線源が、X 線源と関心の物体との間に置かれた源格子と組み合わせて使用される。この源格子は、X 線ビームが通過する小さな開口を提供することによってコヒーレンスを保証する。関心の物体の後のビーム方向には普通、位相格子 (G 1) としても知られる位相シフト格子が置かれる。この位相シフト格子は「ビーム・スプリッタ」の機能を有する。X 線ビームがこの位相格子を通過すると干渉縞が発生する。この干渉縞は、X 線ビームの位相シフトに関する必要な情報を、ビーム強度の極小と極大との相対位置として含む。典型的には、極小と極大との相対位置は数マイクロメートル程度である。1 5 0 μm 程度の典型的な分解能を有する一般的な X 線検出器は、このような微細な構造を分解することができないため、この干渉縞は普通、吸収格子 (G 2) としても知られる位相分析格子を用いてサンプリングされる。この位相分析格子は、干渉縞の周期

10

20

30

40

50

性に類似した周期性及び／又は干渉縞の周期性と整合した周期性を有する透過帯（s t r i p）と吸收帯との周期的なパターンを特徴とする。吸收格子のこの類似した周期性のために、吸收格子の後ろにモアレ・パターンが発生する。このモアレ・パターンははるかに大きな周期性を有し、したがってこのモアレ・パターンは従来のX線検出器によって検出可能である。

【0004】

最終的に微分位相シフトを取得するため、少なくとも1つの格子を、格子ピッチの小部分だけ横方向に移動させる。この小部分は典型的には1μm程度である。この技法は「位相ステッピング」とも呼ばれる。次いで、分析格子の位置ごとに測定された特定のモアレ・パターンから位相シフトを抽出することができる。

10

【0005】

さらなる展開では、硬X線を用いた位相シフトのコンピュータ連動断層撮影も実行される。しかしながら、特に円錐ビーム・ジオメトリの場合に、視野の中心の外側の領域にかなり強い位相コントラスト歪みが生じることがある。

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

位相コントラスト画像化システム用のロバストで費用効率が高いX線検出器を提供すること、及びそのようなX線検出器を使用した位相コントラスト画像化であって、位相コントラスト歪みが低減した改良された画像を生成する位相コントラスト画像化を提供することが望ましい。

20

【課題を解決するための手段】

【0007】

この課題は、独立請求項の主題によって解決され、他の実施形態は、従属請求項及び以下の説明に組み込まれている。

【0008】

例えばX線検出器に関して以下で説明する特徴が、位相コントラスト画像化システムの部分にあること、及び、その逆に、例えば位相コントラスト画像化システムに関して以下で説明する特徴がX線検出器の部分にあることに留意すべきである。さらに、X線検出器及び／又は画像化システムに関して以下で説明する特徴は全て、X線検出器を製造する方法の対応するそれぞれのステップに相互に関係する。

30

【0009】

本発明の第1の態様は、位相コントラスト画像化システム用のX線検出器に関する。このX線検出器は、暗視野画像化に対しても等しく使用されることに留意したい。このX線検出器は、シンチレーション装置と、シンチレーション装置に光学的に結合された複数の感光性ピクセルを含む光検出器とを備える。X線検出器は、シンチレーション装置の表面法線ベクトルに対して平行な主軸を有し、シンチレーション装置は、互いに間隔をあけて配置された複数の溝を有するウェーハ基板を含む。それぞれの溝は、シンチレーション装置の第1の面及び／又は第1の表面からウェーハ基板内への第1の方向に沿った深さままで延びており、それぞれの溝は、シンチレーション材料で少なくとも部分的に満たされている。さらに、少なくとも一部の溝が主軸に対して及び／又は主軸に関して傾くような態様で、少なくとも一部の溝の第1の方向が主軸及び／又は表面法線ベクトルとは異なっている。

40

【0010】

一例によれば、複数の溝のうちの少なくとも1つのサブセット及び／又は複数の溝のうちの少なくとも一部の溝が主軸に対して傾くような態様で、複数の溝のうちの少なくとも1つのサブセット及び／又は複数の溝のうちの少なくとも一部の溝の第1の方向は、主軸及び／又は主軸の方向とは異なっている。言い換えると、複数の溝のうちの少なくともいくつかの溝が主軸に対して傾くような態様で、複数の溝のうちの少なくともいくつかの溝の第1の方向は、主軸及び／又は主軸の方向とは異なっている。

50

【 0 0 1 1 】

他の例によれば、シンチレーション装置の中心領域に配置された溝の第1の方向と主軸との間の角度は、シンチレーション装置の外側領域に配置された溝の第1の方向と主軸との間の角度よりも小さい。言い換えると、シンチレーション装置の中心領域に配置された少なくとも1つの溝の第1の方向と主軸との間の角度は、シンチレーション装置の外側領域に配置された別の少なくとも1つの溝の第1の方向と主軸との間の角度よりも小さい。

【 0 0 1 2 】

「シンチレーション装置」は、シンチレータ及び／又はシンチレータ配列を指す。主軸は、X線検出器の軸であって、X線検出器が位相コントラスト画像化システム内に設置されたときにX線源に向かう方向に配置される軸を指す。それに加えて又はその代わりに、主軸は、画像化システムの光軸及び／又はX線ビームの中心軸に対して平行である。この点に関して、主軸はさらに、画像化システムの光軸に沿ったビーム方向も指す。表面法線ベクトルは、シンチレーション装置の第1の面の表面法線ベクトルを指す。或いは、表面法線ベクトルは、第1の面の反対側に配置されたシンチレーション装置の第2の面の表面法線ベクトルを指す。第1の面は、X線検出器が画像化システム内に設置されたときに光検出器の方を向く面であり、第2の面は、X線源の方を向く面である。

10

【 0 0 1 3 】

シンチレーション装置は溝の配列を有する。溝は、トレンチとも呼ばれる。それぞれの溝は、対応するそれぞれの溝がシンチレーション装置の第1の面からウェーハ基板内へ延びる特定の第1の方向及び／又は溝方向を有する。したがって、それぞれの溝の第1の方向は、対応するそれぞれの溝の中心軸及び／又は中心平面に対して実質的に平行である。一例として、それぞれの溝の第1の方向は、対応するそれぞれの溝の中心軸及び／又は中心平面によって規定される。それぞれの溝は、第1の方向に沿ったある深さを有し、それぞれの溝は、それぞれの溝の延伸方向に沿って延びるウェーハ基板内の細長い空腔として形成され、この延伸方向は、表面法線ベクトルに対する垂直方向であり、且つ／又は第1の方向に対する横断方向である。したがって、それぞれの溝は、長手の延伸方向にウェーハ基板を部分的に又は完全に横断する。さらに、それぞれの溝は、主軸と対応するそれぞれの溝の第1の方向との間の角度を有し、以下では、この角度が、表面法線ベクトルとそれぞれの溝の第1の方向との間でも測定される。

20

【 0 0 1 4 】

30

少なくとも一部の溝を、主軸及び／又は表面法線ベクトルに対して傾くように形成することにより、位相コントラスト歪みが有利に低減する。このようにすると、例えば円錐ビーム・ジオメトリでは、溝の有効アスペクト比を大きくすることによって、強度の損失が低減する。それにより、位相シフト及び／又は暗視野信号が、より高い信頼性でより精確に検出される。したがって、全体的な画像品質が向上する。

【 0 0 1 5 】

本発明は、少なくとも部分的に、以下の考察及び知見に基づくとみなされる。一般に、格子ベースの微分位相コントラスト画像化及び／又は暗視野画像化は、特に胸部画像化の領域において、診断上の追加の価値をおそらく追加する有望な技術である。胸部画像化領域において、暗視野信号チャネルは、肺組織の微小構造の変化に非常に敏感である。この技術に関する最も困難な課題の1つは、大面積格子、特に吸収格子G2の製造であり、吸収格子G2は普通、X線検出器の前に直接に置かれる。現在、この格子は通常、金格子である。しかしながら、G2格子に対する金格子の使用を回避する必要があることがある。これは、金が、医学的に重要なエネルギー範囲、例えば約65keVから約82keVの範囲においてかなり弱い減衰を有するためである。その結果として、G2格子は、かなり大きな厚さ及び／又は長さを有することがあり、したがってG2格子がかなり高価になることがある。

40

【 0 0 1 6 】

ウェーハ基板の溝をシンチレーション材料で少なくとも部分的に満たすことによりシンチレータ構造が形成されたシンチレーション装置を備える本発明のX線検出器を使用する

50

ことによって、吸収格子を省くことができる。これは、X線検出器自体及び／又はシンチレーション装置によって吸収格子の機能が提供されるためである。これにより、X線検出器及び／又は画像化システムのコストが節減される。本発明のX線検出器及び／又はシンチレーション装置によって、位相格子（G1）によって発生する干渉縞の部分など、関連する位相シフト情報を含むX線放射の所望の部分だけが検出される。

【0017】

本発明の一実施形態によれば、シンチレーション装置の外側領域に配置された溝の方が、シンチレーション装置の中心領域に配置された溝よりも主軸に対して傾いている。

【0018】

本発明の一実施形態によれば、シンチレーション装置の第1の面は光検出器と直接に接觸している。このようにすると、間に吸収性の材料がないため、溝から及び／又は溝に含まれるシンチレーション材料から放出された光が、X線検出器の感光性ピクセルに直接に透過する。これによって検出器の全体的な効率が増大する。

10

【0019】

本発明の一実施形態によれば、シンチレーション装置の中心領域に配置された溝の第1の方向と主軸との間の角度は、シンチレーション装置の外側領域に配置された溝の第1の方向と主軸との間の角度よりも小さい。X線検出器は、中心領域及び／又は中心エリア、並びに境界領域及び／又は境界エリアを有する。中心領域は、X線検出器が画像化システム内に設置されたときに、例えば画像化システムの光軸のところに又は画像化システムの光軸に隣接して配置され、外側領域は、光軸からある距離のところに配置された検出器の周辺領域及び／又は境界領域を指す。すなわち、外側領域は、光軸から横方向に間隔をあけて配置される。中心領域の溝の方が外側領域の溝よりも主軸に対して傾いていらないような態様で、中心領域に配置された溝の第1の方向と主軸との間の角度は、外側領域に配置された溝の第1の方向の角度よりも小さい。例えば、円錐ビーム・ジオメトリでは、検出器の表面法線ベクトル及び／又は主軸に対する異なる方向からX線粒子がX線検出器に衝突するようなある広がりを、ビームは有する。外側領域に配置された溝を中心領域に配置された溝よりも傾けることにより、X線粒子の異なる衝突角度及び／又はビームの広がりが補償され、したがって強度の損失が低減される。

20

【0020】

本発明の一実施形態によれば、シンチレーション装置は、主軸に対して平行な第1の方向を有する少なくとも1つの溝を有し、その少なくとも1つの溝は、シンチレーション装置の中心領域に配置されている。その少なくとも1つの溝は、シンチレーション装置の中心に配置されてもよく、画像化システムの主軸及び／又は光軸と整列していてもよい。その代わりに又はそれに加えて、中心領域に配置された複数の溝が、互いに平行で且つ／又は主軸に対して平行な第1方向を有していてもよい。

30

【0021】

本発明の一実施形態によれば、溝の第1の方向と主軸との間の角度は、溝からシンチレーション装置の中心領域までの距離の増大とともに増大する。中心領域までの距離は横方向に測定する。すなわち主軸、表面法線ベクトル及び／又は光軸に対して垂直方向及び／又は横断方向に測定する。言い換えると、中心領域までの距離の増大とともに、溝は、主軸に対して順々に且つ／又はますます傾く。このことは、少なくとも一部の溝又は全ての溝が、X線源の方向、画像化システムの焦点スポットの方向及び／若しくは所定のビーム方向の向きに整列し、且つ／又はX線源の方向、画像化システムの焦点スポットの方向及び／若しくは所定のビーム方向の方向を向くことを可能にする。このようにすると、検出器によって検出されるX線放射の全体強度が増大する。さらに、有効アスペクト比も増大し、それによってX線検出器によって取得される画像の全体的な画像品質が向上する。

40

【0022】

本発明の一実施形態によれば、それぞれの溝は、シンチレーション材料で完全に満たされている。これによって、シンチレーション材料で満たされた溝の全体的な光出力がさらに増大し、それにより検出器の全体的な効率が増大する。

50

【 0 0 2 3 】

本発明の一実施形態によれば、それぞれの溝及び／又はそれぞれの溝の中に含まれるシンチレーション材料は、それぞれの溝の長手の延伸方向に沿って複数の区画に分割されている。言い換えると、それぞれの溝の中のシンチレーション材料は構造化されている。この構造は、シンチレーション装置の第1の面から、それぞれの溝の内部ボリューム内及び／又はウェーハ基板内へそれぞれの溝の深さまで延びる、1つ又は複数のバリヤによって形成され、それらのバリヤは、隣接して配置され且つ／又は直接に隣り合う区間を分離する。それらのバリヤは、单一の区画に含まれるシンチレーション材料によって発生する光を遮るように構成される。したがって、单一の区画内に放出された光はその区画内に閉じ込められる。

10

【 0 0 2 4 】

本発明の一実施形態によれば、それぞれの溝は、シンチレーション装置の第1の面からウェーハ基板の内部ボリューム内へ延びる。その代わりに又はそれに加えて、シンチレーション装置はさらに、シンチレーション装置の第1の面の反対側のシンチレーション装置の第2の面に配置されたウェーハ基板の層を含む。言い換えれば、溝は、ウェーハ基板を第1の方向に連続的には横断しておらず、むしろウェーハ基板内へある深さまで延びている。このことは一般に、X線検出器の製造プロセスを単純にする。

【 0 0 2 5 】

本発明の一実施形態によれば、少なくとも一部の溝は、長方形、台形、管形、円筒形、円錐形又は非対称形の形状を有する。したがって、少なくとも一部の溝の断面も長方形、円形、橢円形又は長円形である。集束ジオメトリにおける台形の溝のように、ビーム・ジオメトリによっては、溝の特定のジオメトリが、特定の利点を有する。

20

【 0 0 2 6 】

本発明の一実施形態によれば、X線検出器は平面検出器である。その代わりに又はそれに加えて、検出器は、画像化システムの集束ジオメトリに適合するように構成される。集束ジオメトリでは普通、検出器の周辺領域及び／又は外側領域における検出X線強度の低減を補償するために、検出器及び／又は格子が曲がっている。本発明のX線検出器を用いると、このような曲がりが不要となり、X線検出器の製造プロセスが単純になる。

【 0 0 2 7 】

本発明の一実施形態によれば、ウェーハ基板はシリコンを含む。シリコンの使用が有利なのは、かなり大きく均質なウェーハ基板を低成本で利用できるためである。その代わりに又はそれに加えて、シンチレーション材料が、CsJ、NaJ、CsI(Tl)、CsI(Na)、CsI(pure)、CsF、KI(Tl)、LiI(Eu)及び酸硫化ガドリニウムのうちの少なくとも1つを含む。他の無機結晶もシンチレーション材料として使用される。これらの材料はかなり高い光出力を有し、低成本で入手可能である。

30

【 0 0 2 8 】

本発明の一実施形態によれば、それぞれの溝は、0.5mmから5mm、特に1mmから3mmの深さを有する。この深さは、それぞれの溝の第1の方向に沿って測定される。その代わりに又はそれに加えて、それぞれの溝が、1μmから200μm、特に2μmから100μmの幅を有する。この幅は、対応するそれぞれの溝の第1の方向に対して垂直方向及び／又は横断方向に測定される。溝の上述の寸法は、微分位相コントラスト画像化用途に対して適しており、特に、位相格子によって発生した干渉縞を効率的に検出するのに適している。この点に関して、溝の寸法は、位相格子(G1)の周期性及び／若しくは位相格子によって発生する対応する干渉縞の周期性と同様であり、それらの周期性とバランスがとれており、且つ／又はそれらの周期性と相關している。

40

【 0 0 2 9 】

一例として、溝のアスペクト比及び／又はそれぞれの溝のアスペクト比は5から1000、特に約10から100までの範囲にある。この点に関して、このアスペクト比は、検出する放射、例えばX線のタイプ及び／又はエネルギーに依存する。したがって、溝は、放射及び／又はX線光子を十分に吸収する十分な深さを有するべきである。CT用途では

50

、約3mmの阻止能が適当であり、マンモグラフィ用途では、約1mmの阻止能が適当である。したがって、それぞれの溝の深さもこの範囲にすることができる。他方、溝の幅は、位相コントラスト画像化システムの設計に依存する。溝のピッチ、溝間隔、及び／又は隣接する2つの溝と溝の間の距離は約1μmから約500μm、特に約2μmから約100μmであり、ウェーハ基板によって形成され、隣接する2つの溝を分離する壁の壁厚はピッチの約半分である。

【0030】

本発明の一実施形態によれば、それぞれの溝は、それぞれの溝の長手の延伸方向に沿った長さを有し、この長さは、光検出器の単一の感光性ピクセルの長さと一致している。この長さは、それぞれの溝の第1の方向に対して垂直方向及び／又は横断方向に測定される。言い換えると、ウェーハ基板及び／又はシンチレーション装置は、単一の感光性ピクセルが単一の溝をカバーするように形成される。感光性ピクセルの典型的な長さは約100μmから約300μmである。したがって、長手の延伸方向の溝の長さも約100μmから約300μmである。本発明の第2の態様は、前述及び後述の、位相コントラスト画像化システム内でのX線検出器の使用に関する。この画像化システムは例えば、集束ジオメトリ及び／又は円錐ビーム・ジオメトリを有する画像化システムを指す。この画像化システムはさらに、コンピュータ連動断層撮影システム及び／又はCアーム・システムを指す。

【0031】

本発明の第3の態様は、位相コントラスト画像化システムに関し、この位相コントラスト画像化システムは、位相コントラスト画像化システムの光軸周りに中心を有するX線のビームを放出するX線源と、前述及び後述のX線検出器と、X線源とX線検出器との間に配置された少なくとも1つの格子とを備える。光軸は例えば、X線ビームの中心軸及び／又は対称軸を指す。光軸は、主軸及び／又は検出器の表面法線ベクトルに対して平行にX線検出器を直接に指す。画像化システムはさらに、2つの格子をさらに備え、第1の格子は、X線源と検査する関心の物体との間に配置される。第1の格子は、コヒーレントなX線ビームを提供し、且つ／又は大きな焦点スポットをより小さないくつかの焦点スポットに分割し、より小さなそれぞれの焦点スポットは、干渉縞を発生させるのに十分な大きさの空間的コヒーレンス及び／又はコヒーレンス長を有する。さらに、第2の格子は、関心の物体とX線検出器との間に配置される。第2の格子は、干渉縞を発生させるように構成された位相格子である。さらに、X線検出器の主軸は、位相コントラスト画像化システムの光軸に対して平行である。

【0032】

本発明の一実施形態によれば、それぞれの溝の第1の方向が、位相コントラスト画像化システムの焦点スポット及び／若しくはX線源の方を向き、且つ／又は位相コントラスト画像化システムの焦点スポット及び／若しくはX線源へ向かう方向と整列するように、X線検出器は配置されている。X線源は点光源であり、したがって焦点スポットはX線源の位置を指す。全ての溝を焦点スポットの方向へ整列させることにより、検出される全体強度がさらに増大する。

【0033】

本発明の第4の態様は、X線検出器を製造及び／又は製作する方法に関する。この方法は、

- ウェーハ基板に複数の溝を形成するステップであり、溝が互いに間隔をあけて配置されるように、及びそれぞれの溝が、ウェーハ基板の表面からウェーハ基板内への第1の方向に沿った深さまで延びるように、溝を形成するステップと、
- それぞれの溝を、シンチレーション材料で少なくとも部分的に満たすステップと、
- 少なくとも部分的に満たされた溝を有するウェーハ基板を光検出器上に配置するステップと
を有する。

【0034】

この点に関して、X線検出器は、ウェーハ基板の表面法線ベクトルに対して平行な主軸

10

20

30

40

50

を有し、溝の少なくとも一部が主軸に対して傾くような態様で、溝の少なくとも一部の溝の第1の方向は、主軸とは異なっている。

【0035】

この第4の態様の一例によれば、複数の溝のうちの少なくとも1つのサブセット及び／又は複数の溝のうちの少なくとも一部の溝が主軸に対して傾くような態様で、複数の溝のうちの少なくとも1つのサブセット及び／又は複数の溝のうちの少なくとも一部の溝の第1の方向は、主軸とは異なっている及び／又は主軸の方向とは異なっている。言い換えると、複数の溝のうちの少なくともいくつかの溝が主軸に対して傾くような態様で、複数の溝のうちの少なくともいくつかの溝の第1の方向は、主軸とは異なっている及び／又は主軸の方向とは異なっている。

10

【0036】

この第4の態様の他の例によれば、シンチレーション装置の中心領域に配置された溝の第1の方向と主軸との間の角度は、シンチレーション装置の外側領域に配置された溝の第1の方向と主軸との間の角度よりも小さい。言い換えると、シンチレーション装置の中心領域に配置された少なくとも1つの溝の第1の方向と主軸との間の角度は、シンチレーション装置の外側領域に配置された別の少なくとも1つの溝の第1の方向と主軸との間の角度よりも小さい。

【0037】

本発明のこれらの態様及びその他の態様は、以下で説明する実施形態から明白となり、それらの実施形態を参照することによって解明される。

20

【0038】

以下では、添付図に示された例示的な実施形態を参照して本発明の主題をより詳細に説明する。

【図面の簡単な説明】

【0039】

【図1】本発明の例示的な実施形態に基づく位相コントラスト画像化システムを示す図である。

30

【図2a】本発明の例示的な実施形態に基づくX線検出器の断面図である。

【図2b】本発明の例示的な実施形態に基づくX線検出器の下面図である。

【図3】本発明の例示的な実施形態に基づく位相コントラスト画像化システムの断面図である。

【図4】本発明の例示的な実施形態に基づくX線検出器を製造する方法のステップを示す流れ図である。

【発明を実施するための形態】

【0040】

原則として、これらの図中、同一の部分、類似の部分及び／又は機能的に類似の部分は同じ参照符号を用いて示される。図は略図であり、一様な倍率では描かれていない。

【0041】

図1は、本発明の例示的な実施形態に基づく位相コントラスト画像化システム100を示す。画像化システム100は、例えば微分位相コントラスト画像化に使用される。

40

【0042】

画像化システム100は、X線、X線放射及び／又はX線光子のビーム104を放出するX線源102を備える。X線源102は、X線管及び／又は点源である。画像化システム100はさらに焦点スポット103を有する。X線ビーム104は円錐状の形状を有することができ、且つ／又は、画像化システム100の光軸106周りに中心を有する。光軸106は、光軸106に対して垂直な平面から測定されたX線源102までの最短距離の方向を示す。X線ビーム104は、図1に示されたz方向に放出される。

【0043】

ビーム104の空間的コヒーレンスを提供するため、及び／又は空間的にコヒーレントなX線ビーム104を発生させるために、画像化システム100はさらに、X線源102

50

と関心の物体 110 との間に配置された源格子 108 を備える。関心の物体 110 は、ビーム 104 の内側に置かれ、画像化システム 100 によって検査される。源格子 108 は、平行な複数のストリップを含む 1 次元グリッドである。関心の物体 110 は例えば患者、患者の部分及び / 又は他の任意の物体である。ビーム 104 の空間的コヒーレンスは或いは、源格子 108 を必要としないような特殊なタイプの X 線源 102 によって提供される。

【 0 0 4 4 】

画像化システム 100 はさらに、位相格子 112 及び X 線検出器 10 を備える。位相シフト格子及び / 又は G1 格子とも呼ばれる位相格子 112 は、関心の物体 110 と X 線検出器 10 との間及び / 又は X 線源 102 と物体 110 との間に配置される。位相格子 112 は、平行な複数のストリップを含む 1 次元グリッドである。後続の図で詳細に説明するように、X 線検出器 10 は、シンチレーション装置 12 と、複数の感光性ピクセルを含む光検出器 14 とを備える。

10

【 0 0 4 5 】

位相格子 112 は一般に、干渉縞を発生させるように構成される。干渉縞は、X 線ビーム 104 の位相シフトに関する情報を、ビーム強度の極小と極大の相対位置として含む。言い換えると、極小と極大の相対位置は、位相格子 112 に入射した波面の位相シフトに依存する。関心の物体 110 を通過する X 線の位相は、例えば関心の物体 110 に含まれる物質の密度及び / 又は厚さなどの関心の物体 110 の物理的特性に従って変化するため、位相格子 112 によって発生する干渉縞も、関心の物体 110 の物理的特性に従って変化する。したがって、干渉縞を分析することにより位相シフト情報が抽出される。この情報は例えば、X 線吸収画像のコントラストを増大及び / 又は向上させるために使用される。従来の位相コントラスト画像化システムでは、位相格子 112 によって発生する干渉縞が、X 線検出器 10 の前に配置され且つ / 又は置かれた分析格子 (G2 格子) によって分析される。本発明に基づく画像化システム 100 では、後続の図で詳細に説明するように、分析格子の機能が、X 線検出器 10 に有利に統合されている。

20

【 0 0 4 6 】

画像化システム 100 はさらに、画像化システム 100 の X 線検出器 10、X 線源 102 及び / 又は他の構成要素を制御するように構成された制御ユニット、制御モジュール、コントローラ及び / 又は制御回路 114 を備える。制御ユニット 114 はさらに、X 線検出器 10 から読み出されたデータを信号処理するように、且つ / 又は X 線検出器 10 によって収集されたデータをデータ処理するように構成されている。

30

【 0 0 4 7 】

任意選択で、画像化システム 100 は、位相格子 112、X 線検出器 10 及び / 又は源格子 108 を横方向に、すなわち光軸 106 に対して垂直方向及び / 又は横断方向に移動させるように構成された、アクチュエータ 120、圧電アクチュエータ 120、ステッパー 120 及び / 又はステッピングモータ 120 を備える。この移動は、微分位相シフトを取得することを可能にし、「位相ステッピング」とも呼ばれる。次いで、それぞれの位置の特定の測定値から実際の位相シフトを抽出することができる。

【 0 0 4 8 】

図 2 a は、位相コントラスト画像化システム 100 用の本発明の例示的な実施形態に基づく X 線検出器 10 の断面図を示す。図 2 b は、位相コントラスト画像化システム 100 用の本発明の例示的な実施形態に基づく X 線検出器 10 の下面図を示す。特段の記載がない限り、図 2 a 及び図 2 b の X 線検出器 10 は、図 1 の X 線検出器 10 と同じ要素及び特徴を含む。

40

【 0 0 4 9 】

X 線検出器 10 は平面 X 線検出器 10 であり、シンチレーション装置 12 と、シンチレーション装置 12 に光学的に結合された複数の感光性ピクセル 15 を含む光検出器 14 とを備える。図 2 b では、感光性ピクセル 15 が概略的に長方形 15 として示されている。X 線検出器 10 は、X 線検出器 10 の表面法線ベクトル及び / 若しくはシンチレーション

50

装置 1 2 の表面法線ベクトルに対して平行に向けられ、且つ / 又は X 線検出器 1 0 の表面法線ベクトル及び / 若しくはシンチレーション装置 1 2 の表面法線ベクトルに対して平行に整列した、主軸を有する。画像化システム 1 0 0 内に X 線検出器 1 0 が設置されたときに、主軸 1 6 は、画像化システムの光軸 1 0 6 と整列する。すなわち、主軸 1 6 は、焦点スポット 1 0 3 及び / 又は X 線源 1 0 2 の方を向く。表面法線ベクトルは、シンチレーション装置 1 2 の第 1 の表面 1 3 及び / 又は第 1 の面 1 3 のベクトルを表す。しかしながら、表面法線ベクトルは、第 1 の面 1 3 の反対側のシンチレーション装置の別の面 / 表面上の対応するそれぞれのベクトルも表してもよい。

【 0 0 5 0 】

シンチレーション装置 1 2 はウェーハ基板 1 8、例えばシリコンウェーハ基板を含み、ウェーハ基板 1 8 は、主軸 1 6 に対して垂直方向及び / 又は横断方向に互いに間隔をあけて配置された複数の溝 2 0 及び / 又はトレンチ 2 0 を有する。図 2 a 及び図 2 b に示されているように、溝 2 0 は、x 方向に互いに間隔をあけて配置されており、隣接する 2 つの溝 2 0 と溝 2 0 との間にはウェーハ基板 1 8 が配置されている。溝 2 0 は、x 方向に互いに等しい間隔をあけて配置されており、且つ / 又は隣接する 2 つの溝 2 0 と溝 2 0 との間の距離が異なるように配置されている。これにより、溝 2 0 は、ウェーハ基板 1 8 によって互いに間隔をあけて配置されている。それぞれの溝 2 0 は、シンチレーション装置 1 2 の第 1 の面 1 3 からウェーハ基板 1 8 の内部ボリューム 1 9 内への第 1 の方向 2 1 に沿った深さ 2 2 まで延びている。図 2 a では、第 1 の方向 2 1 が、複数の溝 2 0 のうちの 2 つの溝 2 0 について矢印 2 1 によって概略的に示されている。したがって、それぞれの溝 2 0 は、それぞれの溝 2 0 の溝方向 2 1 を指す、特定の第 1 の方向 2 1 及び / 又は特定の深さ 2 2 を有する。

【 0 0 5 1 】

少なくとも一部の溝 2 0 が主軸 1 6 に対して傾くような態様で、少なくとも一部の溝 2 0 の第 1 の方向 2 1 は、主軸 1 6 及び / 又は X 線検出器 1 0 の表面法線ベクトルとは異なっている。言い換えると、少なくとも一部の溝 2 0 の第 1 の方向 2 1 は、X 線検出器 1 0 の表面法線ベクトルに対して横断方向に向けられており、且つ / 又は X 線検出器 1 0 の表面法線ベクトルに対して横断方向の成分を有する。

【 0 0 5 2 】

具体的には、シンチレーション装置 1 2 の中心及び / 又は中央領域 2 4 に配置された溝の第 1 の方向と主軸 1 6 との間の角度は、シンチレーション装置 1 2 の外側領域 2 6 及び / 又は周辺領域 2 6 に配置された溝 2 0 の第 1 の方向 2 1 と主軸 1 6 との間の角度よりも小さい。したがって、外側領域 2 6 に配置された溝 2 0 の方が、中心領域 2 4 に配置された溝 2 0 よりも主軸 1 6 に対して傾いている。

【 0 0 5 3 】

さらに、中心領域 2 4 に配置された少なくとも 1 つの溝 2 0 a は、主軸 1 6 及び / 又は検出器 1 0 の表面法線ベクトルに対して平行な第 1 の方向 2 1 a を有する。さらに、中心領域 2 4 の複数の溝 2 0 が、主軸 1 6 及び / 又は検出器 1 0 の表面法線ベクトルに対して平行な第 1 方向 2 1 a を有してもよい。

【 0 0 5 4 】

さらに、溝 2 0 は、溝 2 0 の第 1 の方向 2 1 と主軸 1 6 との間の角度が溝 2 0 からシンチレーション装置 1 2 の中心領域 2 4 までの距離の増大とともに増大するような態様で、ウェーハ基板 1 8 に形成されている。言い換えると、溝 2 0 からシンチレーション装置 1 2 の中心領域 2 4 及び / 又は中心までの距離が大きいほど、対応するそれぞれの溝 2 0 は主軸 1 6 に対してより傾いている。したがって、中心領域 2 4 までの距離の増大とともに、溝 2 0 はますます傾いている。

【 0 0 5 5 】

それぞれの溝 2 0 は、第 1 の方向 2 1 に沿って測定された約 0 . 5 mm から約 5 mm 、特に約 1 mm から約 3 mm の深さ 2 2 を有する。さらに、それぞれの溝 2 0 は、図 2 a に示された x 方向に沿って主軸 1 6 に対して垂直に測定された約 1 μm から約 2 0 0 μm 、

10

20

30

40

50

特に約 2 μm から約 100 μm の幅 23 を有する。

【0056】

図 2 b を参照すると、それぞれの溝は、長手の延伸方向 27 に沿った長さ 25 を有し、長さ 25 は、単一の感光性ピクセル 15 の長さと一致し、且つ / 又は単一の感光性ピクセル 15 の長さと相関する。溝 20 の典型的な長さ 25 は、約 100 μm から約 300 μm の範囲にある。それぞれの溝 20 の延伸方向 27 は、図 2 b の y 軸に対して逆平行に向かっている。それぞれの溝 20 は、長手の延伸方向 27 に沿ってウェーハ基板 18 を完全に横断している。すなわち、図 2 b に示された例では、単一の溝 20 の長さが、感光性ピクセル 15 の長さの 2 倍である。或いは、単一の溝 20 は、感光性ピクセル 15 の長さとほぼ等しい長さ 25 を有する。すなわち、図 2 b に示された y 方向では、2 つの溝 20 が、y 方向及び / 又は長手の延伸方向 27 に互いに隣り合って配置される。さらに、図 2 b から分かるように、溝 20 の延伸方向 27 は互いに平行であり、溝 20 は、ウェーハ基板 18 によって、延伸方向 27 に対して垂直な方向、すなわち x 方向に分離されている。10

【0057】

それぞれの溝 20 は、シンチレーション材料で少なくとも部分的に、好ましくは完全に満たされている。シンチレーション材料は、CsJ、NaJ、CsI(Tl)、CsI(Na)、CsI(pure)、CsF、KI(Tl)、LiI(Eu) 及び酸硫化ガドリニウムのうちの少なくとも 1 つを含む、他の結晶もシンチレーション材料として使用される。20

【0058】

X 線源 102 から放出され、源格子 108、関心の物体 110 及び / 又は位相格子 112 を通過した X 線光子は、X 線検出器 10 及び溝 20 に衝突する。溝 20 の内で X 線光子は可視光に変換され、可視光は、感光性ピクセル 15 によって電気信号に変換される。最終的に、この電気信号は、制御ユニット 114 によって処理及び / 又は評価される。シンチレータ装置 12 のシンチレーション材料に衝突した X 線光子によって発生した光は全方向に放出されるため、それぞれの溝 20 及び / 又はそれぞれの溝 20 に含まれるシンチレーション材料は、長手の延伸方向 27 に沿っていくつかの区画 28 に分割されている。言い換えると、それぞれの溝 20 の中のシンチレーション材料は構造化されている。区画 28 は、それぞれの溝 20 のシンチレーション材料中に適切なバリヤ 29 を形成することによって提供される。バリヤ 29 は、シンチレーション装置 12 の第 1 の面 13 からそれぞれの溝 20 の深さ 22 まで延びる。単一の区画 28 内で X 線光子によって発生した光が、対応するそれぞれの区画 28 内で平行になり、且つ / 又は細分されることが、区画 28 及び / 又はバリヤ 29 によって保証される。したがって、特定の区画 28 内で発生した光はバリヤ 29 を横切らない。このことはさらに、X 線検出器 10 の分解能を増大させる。区画 28 は、延伸方向 27 において、単一の感光性ピクセル 15 がカバーする延伸方向 27 のエリアと同じくらいの大きさで延びる。言い換えると、区画 28 と単一の感光性ピクセル 16 とは、延伸方向 27 において同一の延伸及び / 又は寸法を有する。30

【0059】

図 2 a を参照すると、溝 20 の断面形状は台形である。しかしながら、長方形、管形、円筒形、円錐形又は非対称形など他の形状も、例えばビーム・ジオメトリによっては実施可能である。40

【0060】

X 線検出器 10 に対して、溝 20 を有する 2 次元グリッドも製造及び / 又は使用されることに留意されたい。したがって、溝 20 は、ウェーハ基板 18 内に、パターン、2 次元グリッド及び / 又はアレイとして配置される。このことは、X 線検出器 10 を用いて 2 次元位相シフト情報を抽出することを可能にする。

【0061】

図 3 は、本発明の例示的な実施形態に基づく位相コントラスト画像化システム 100 の断面図を示す。特段の記載がない限り、図 3 の画像化システム 100 は、図 1 の画像化システム 100 並びに / 又は図 2 a 及び図 2 b を参照して説明した X 線検出器 10 と同じ要

10

20

30

40

50

素及び特徴を含む。

【 0 0 6 2 】

見やすくするために、図3に示されたX線検出器10は3つの溝20、20aだけを有する。しかしながら、X線検出器10はそれよりも多くの溝20を有する。

【 0 0 6 3 】

本発明のX線検出器10及び/又は画像化システム100の利点を示すため、図3には、X線ビーム104の3つの異なる衝突方向104a、104b、104cが概略的に示されている。図3に示されたこの集束ジオメトリでは、それぞれの溝20、20a及び/又はそれぞれの溝20、20aの対応するそれぞれの第1の方向21、21aが、画像化システム100の焦点スポット103及び/若しくはX線源102の方を向いており、且つ/又は 画像化システム100の焦点スポット103及び/若しくはX線源102へ向かう方向と整列している。したがって、それぞれの溝20、20aの第1の方向21、21aは、X線の対応するそれぞれの衝突方向104a、104b、104cに対して逆方向に向けられている。この設計は、有利には、X線検出器10によって検出される強度の損失を低減させることを、有効アスペクト比を大きくすることにより可能にする。したがって、位相コントラスト歪みは低減し、全体的な画像品質は向上する。

10

【 0 0 6 4 】

典型的には、大面積の検出器10は約50cm×50cmのサイズを有し、このサイズが、約50cmから200cmの距離DのところにあるX線源102によって照射される。このことは、X線検出器10の表面法線ベクトル及び/又は対応するそれぞれの検出器平面の表面法線ベクトルに対してある角度で入射するX線光子は、光軸106までの距離が増大するにつれて増加することを含意する。検出器10の境界付近及び/又はX線検出器10の外側領域26では、最大角度が、 $\arctan(a/2)/D$ に等しい。ここで、aは、光軸16に対して垂直な方向の検出器10の寸法を指す。したがって、検出器10の周辺エリア26及び/又は外側領域26の鮮明度、さらには検出強度が低減する。本発明の検出器10を用いると、この問題は大幅に軽減し、且つ/又は完全に解決される。

20

【 0 0 6 5 】

図4は、本発明の例示的な実施形態に基づくX線検出器10を製造する方法のステップを示す流れ図を示す。

30

【 0 0 6 6 】

ステップS1で、ウェーハ基板18に複数の溝20を形成する。溝20は、溝20が互いに間隔をあけて配置されるように、並びにそれぞれの溝20が、ウェーハ基板18の表面13及び/又は第1の面13からウェーハ基板18内への第1の方向21に沿った深さ22まで延びるように、形成する。

【 0 0 6 7 】

第2のステップS2で、それぞれの溝20を、シンチレーション材料で少なくとも部分的に満たす。

【 0 0 6 8 】

第3のステップS3で、少なくとも部分的に満たされた溝20を有するウェーハ基板18を光検出器14上に配置する。

40

【 0 0 6 9 】

この方法によって製造及び/又は製作されたX線検出器10は、以前の図1から図3に記載されたX線検出器10と同じ特徴及び/又は要素を含む。

【 0 0 7 0 】

具体的には、X線検出器10は、ウェーハ基板18の表面法線ベクトルに対して平行な主軸16を有し、少なくとも一部の溝20の第1の方向21は、少なくとも一部の溝20が主軸16に対して傾くような態様で主軸16とは異なっている。

【 0 0 7 1 】

ステップS1では、例えばエッティング及び/又はドリリングによってウェーハ基板18

50

に溝 2 0 を形成する。一例として、レーザを用いて溝 2 0 を形成し、任意選択で、エッチング・プロセスを用いて溝 2 0 の表面を平滑化する。

【 0 0 7 2 】

それぞれの溝 2 0 の第 1 の方向 2 1 を決定するため、シャドー・マスクと組み合わせてレーザ及び / 又は X 線源が使用される。これによって、X 線検出器 1 0 上への X 線の衝突方向 1 0 4 a、1 0 4 b、1 0 4 c をシミュレートすること、及び / 又はビーム・ジオメトリをシミュレートすることができる。これによって、図 3 に示されているように、それぞれの溝 2 0 及び / 又はそれぞれの第 1 の方向 2 1 を、X 線の対応するそれぞれの所定の衝突方向 1 0 4 a、1 0 4 b、1 0 4 c と整列させることができる。

【 0 0 7 3 】

図面及び上記の説明において本発明を詳細に示し、説明したが、そのような図示及び説明は、例証又は例示のためであると考えるべきであり、限定のためと考えるべきではない。本発明は、開示された実施形態だけに限定されない。特許請求項に記載された発明を実施した当業者は、図面、本開示及び添付の特許請求項を検討することによって、開示された実施形態の他の変形実施形態を理解し、実施することができる。

【 0 0 7 4 】

特許請求項では、語「備える（c o m p r i s i n g ）」が他の要素又はステップを排除せず、不定冠詞「 a 」又は「 a n 」が複数を排除しない。互いに異なる従属請求項中に、ある尺度が単に列挙されていることは、それらの尺度の組合せを有利に使用することができないことを示すものではない。特許請求項中の参照符号を、範囲を限定するものと解釈すべきではない。

10

20

30

40

50

【四面】

【 四 1 】

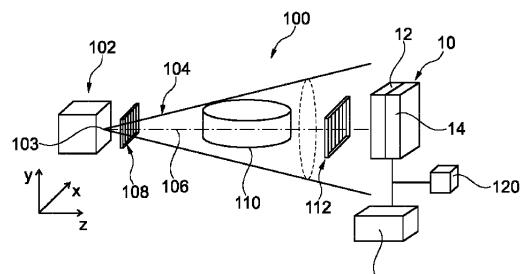


Fig. 1

【図2a】

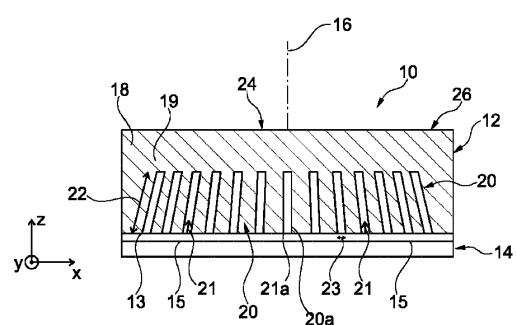


Fig. 2a

【図2b】

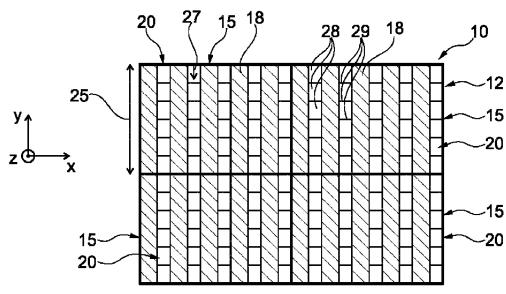


Fig. 2b

【図3】

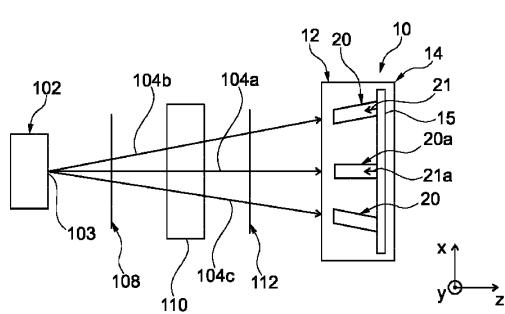
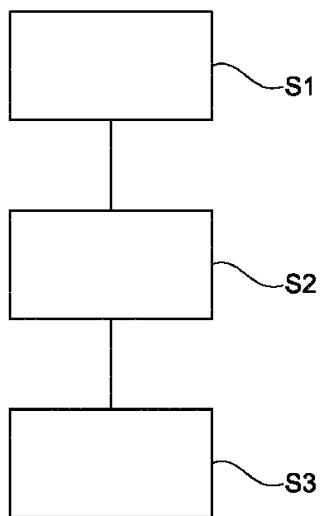


Fig. 3

【図 4】



10

Fig. 4

20

30

40

50

フロントページの続き

(72)発明者 ケーラー トーマス

オランダ国 5 6 5 6 アーエー アインドーフェン ハイ テック キャンパス 5

審査官 右 高 孝幸

(56)参考文献 特開2012-150144 (JP, A)

特開2017-227520 (JP, A)

Naoki Morimoto et al. , Design and demonstration of phase gratings for 2D single grating interferometer , Optics Express , volume 23, issue 23 , Optical Society of America , 2015

年11月 , pages 29399-29412

(58)調査した分野 (Int.Cl. , D B名)

G 0 1 T 1 / 2 0

A 6 1 B 6 / 0 0

G 0 1 N 2 3 / 0 4 1