

(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2005-519299

(P2005-519299A)

(43) 公表日 平成17年6月30日(2005.6.30)

(51) Int. Cl. <sup>7</sup>	F I	テーマコード (参考)
GO 1 M 11/02	GO 1 M 11/02	2 G O 8 6
HO 1 L 21/027	HO 1 L 21/30	5 1 6 A
		5 F O 4 6

審査請求 未請求 予備審査請求 未請求 (全 24 頁)

(21) 出願番号	特願2003-575066 (P2003-575066)	(71) 出願人	503263355 カール・ツァイス・エスエムティー・アー ゲー ドイツ連邦共和国、ディーラー 7 3 4 4 7 オベルコッヘン、カール・ツァイス・シュ トラッセ 2 2
(86) (22) 出願日	平成15年3月6日 (2003.3.6)	(74) 代理人	100074538 弁理士 田辺 徹
(85) 翻訳文提出日	平成16年10月21日 (2004.10.21)	(72) 発明者	ウルリッヒ ヴェークマン ドイツ連邦共和国、8 9 5 5 1 ケーニッ ヒスブロン、エルレンヴェーク 5
(86) 国際出願番号	PCT/EP2003/002283	(72) 発明者	ウーヴェ シェルホルン ドイツ連邦共和国、7 3 4 3 1 アーレン 、ヘーゲルストラッセ 4 0
(87) 国際公開番号	W02003/076891		
(87) 国際公開日	平成15年9月18日 (2003.9.18)		
(31) 優先権主張番号	60/362, 552		
(32) 優先日	平成14年3月8日 (2002.3.8)		
(33) 優先権主張国	米国 (US)		

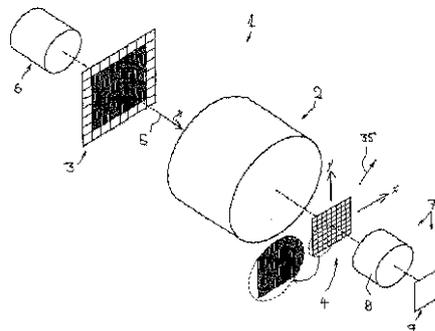
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 光学画像形成システムのゆがみを測定するモアレ方法及び測定システム

(57) 【要約】

【課題】 複数の異なる像方向のゆがみを迅速かつ高い測定精度で測定することができるようにするモアレ方法及び対応の測定システムを提供する。

【解決手段】 光学画像形成システムの収差を測定するモアレ方法及び測定システムにおいて、画像形成システムの物体面上に物体パターンを有する物体格子を配置する。画像形成システムの像面上に像パターンを有する像格子を配置する。物体パターン及び像パターンはそれぞれ、異なる格子特性の小格子を設けた多数のセルを有し、物体パターンを画像形成システムによって像パターン上に投影すると、物体パターンの前記小格子の像が、それぞれ像パターンの対応の小格子に少なくとも部分的に重ね合わされて、それに伴ってモアレ小模様を生じるように、物体パターン及び像パターンを互いに適応させている。モアレ小模様を検出する。モアレ小模様を評価する。



## 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

光学画像形成システムの収差を測定するモアレ方法であって、  
画像形成システムの物体面上に物体パターンを有する物体格子を配置することと、  
画像形成システムの像面上に像パターンを有する像格子を配置することとを含み、  
前記物体パターン及び前記像パターンはそれぞれ、異なった格子特性の小格子を設けた  
多数のセルを有し、

前記物体パターンを画像形成システムによって前記像パターン上に投影すると、前記物  
体パターンの前記小格子の像が、それぞれ前記像パターンの対応の小格子に少なくとも部  
分的に重ね合わされて、それに伴ってモアレ小模様を生じるように、前記物体パターン及  
び前記像パターンを互いに適応させており、さらに、

10

モアレ小模様を検出することと、  
モアレ小模様を評価することと、  
を含む方法。

## 【請求項 2】

モアレ小模様の評価は、

モアレ小模様から第 1 ゆがみ成分及び少なくとも 1 つの第 2 ゆがみ成分を決定するステ  
ップを含み、該第 1 ゆがみ成分は、像面の第 1 像方向に割り当てられ、前記第 2 ゆがみ成  
分は、像面の、前記第 1 像方向に直角に延びる第 2 像方向に割り当てられる、請求項 1 に  
記載の方法。

20

## 【請求項 3】

少なくとも 2 つの異なった像方向のゆがみ成分は、測定中に同時に決定される、請求項  
2 に記載の方法。

## 【請求項 4】

画像形成システムの物体面または像面に平行に延びる少なくとも 1 つの変位方向に前記  
物体パターン及び前記像パターンを相対的に変位させて、異なった位相角でモアレ小模様  
を生じることと、

前記モアレ小模様の少なくとも 1 つの像位置で前記モアレ小模様の強度を局部的に検出  
して、前記像位置に割り当てられた、時間的に交互する位相シフト信号を決定することと  
、

30

を含む、請求項 1 に記載のモアレ方法。

## 【請求項 5】

時間的に交互する位相シフト信号の初期位相を決定するステップと、

初期位相に基づいて少なくとも 1 つのゆがみ成分を決定するステップと、  
を含む、請求項 4 に記載のモアレ方法。

## 【請求項 6】

前記物体パターン及び前記像パターンはそれぞれ、第 1 周期性方向の第 1 小格子を設け  
た第 1 セル群と、該第 1 周期性方向に直角に延びる第 2 周期性方向の第 2 小格子を設けた  
少なくとも 1 つの第 2 セル群とを有し、相対変位は、前記第 1 及び第 2 周期性方向に直角  
に延びる変位方向に行われる、請求項 4 に記載のモアレ方法。

40

## 【請求項 7】

前記相対変位は、前記物体格子及び前記像格子の周期性方向の間に対称的に位置しない  
変位方向に行われる、請求項 6 に記載のモアレ方法。

## 【請求項 8】

前記相対変位は、像方向に割り当てられた交互位相シフト信号について異なった周期性  
長さを生じるように行われる、請求項 3 に記載のモアレ方法。

## 【請求項 9】

前記相対変位は、最初は完全に第 1 変位方向に、その後完全に前記第 1 変位方向に直  
角に延びる第 2 変位方向に、時間的にずらして行われるか、または、変位方向を何度も交  
互させる、請求項 3 に記載のモアレ方法。

50

## 【請求項 10】

前記第1変位方向及び前記第2変位方向の前記物体パターン及び前記像パターン間の所定の相対位置を異なった順序で設定し、それにより、相対位置の置換を行なう、請求項3に記載のモアレ方法。

## 【請求項 11】

1つの像位置に割り当てられた位相シフト信号のフーリエ変換を行なって、第1及び少なくとも1つの第2周期性方向について周波数スペクトルを決定するステップと、

フーリエ空間内で周期性方向の周波数スペクトルを分離するステップと、

周期性方向間のクロストークによって生じる周波数を取り除いて、浄化周波数スペクトルを生成するステップと、

周波数スペクトルからさまざまな周波数方向について初期位相を決定するステップと、を含む、請求項3に記載のモアレ方法。

10

## 【請求項 12】

1つの像位置に割り当てられた位相シフト信号のフーリエ変換を行なって、第1及び少なくとも1つの第2周期性方向について周波数スペクトルを決定するステップと、

フーリエ空間内で周期性方向の周波数スペクトルを分離するステップと、

周期性方向間のクロストークによって生じる周波数を取り除いて、浄化周波数スペクトルを生成するステップと、

浄化周波数スペクトルの逆変換を行なって、浄化位相シフト信号を決定するステップと、

20

逆変換によって得られた浄化位相シフト信号からさまざまな周波数方向について初期位相を決定するステップと、

を含む、請求項3に記載のモアレ方法。

## 【請求項 13】

横方向間隔が間に存在するセルの領域だけが、モアレ小模様の形成に使用される、請求項1に記載のモアレ方法。

## 【請求項 14】

横方向間隔が隣接セル間に存在する物体パターン及び/または像パターンが使用される、請求項1に記載のモアレ方法。

## 【請求項 15】

同一の周期性方向の隣接セルの小格子が互いに対して位相シフトを起こし、それにより、それらが異なった初期位相を有するように形成された物体パターン及び/または像パターンが使用される、請求項1に記載のモアレ方法。

30

## 【請求項 16】

少なくとも1つの像方向のモアレ模様全体を同一方向のモアレ小模様から補間するステップと、

前記少なくとも1つのモアレ像全体を光学的に表示するステップと、

を含む、請求項1に記載のモアレ方法。

## 【請求項 17】

光学画像形成システムの収差をモアレ模様によって測定する測定システムであって、

画像形成システムの物体面上に配置することができ、異なった格子特性の小格子を設けた多数のセルを有する物体パターンを有する物体格子と、

画像形成システムの像面上に配置することができ、異なった格子特性の小格子を設けた多数のセルを有する像パターンを有する像格子とを備えており、

前記物体パターンを画像形成システムによって前記像パターン上に投影すると、前記物体パターンの前記小格子の像が、それぞれ前記像パターンの対応の小格子に重ね合わされて、それに伴ってモアレ小模様を生じるように前記物体パターン及び前記像パターンを互いに適応させており、さらに、

40

モアレ小模様を生じるために前記物体パターンを前記像パターン上に投影する装置と、

モアレ小模様を検出する装置と、

50

モアレ小模様を評価する装置と、  
を備えた測定システム。

【請求項 18】

モアレ小模様を評価する前記装置は、モアレ小模様から第1ゆがみ成分及び少なくとも1つの第2ゆがみ成分を決定する装置を有し、前記第1ゆがみ成分は、像面の第1像方向に割り当てられ、前記第2ゆがみ成分は、像面の、前記第1像方向に直角に延びる第2像方向に割り当てられる、請求項17に記載の測定システム。

【請求項 19】

画像形成システムの物体面及び像面に平行な変位方向に前記物体パターン及び前記像パターンを相対的に変位させる変位装置が設けられている、請求項17に記載の測定システム。 10

【請求項 20】

前記変位装置は、前記物体パターン及び前記像パターンの第1周期性方向及び第2周期性方向に直角に並べられた変位方向を設定することができるように構成されている、請求項18に記載の測定システム。

【請求項 21】

前記変位装置は、前記物体パターン及び前記像パターンの第1周期性方向及び少なくとも1つの第2周期性方向間に非対称的に位置する変位方向を設定することができるように構成されている、請求項18に記載の測定システム。

【請求項 22】

前記物体格子及び前記像格子は、それぞれ周期性方向が交互に異なった線格子である小格子を設けた多数のセルを有する、請求項17に記載の測定システム。 20

【請求項 23】

前記物体格子及び前記像格子は、異なった格子周期を有する小格子を設けた多数のセルを有する、請求項17に記載の測定システム。

【請求項 24】

前記物体格子及び前記像格子は、互いに直交する2つの周期性方向を交互に有する小格子を設けた多数のセルを有する、請求項17に記載の測定システム。

【請求項 25】

前記物体格子及び前記像格子は、小格子を設けた多数のセルに細分割され、2つ、3つ、4つ、または6つの異なった周期性方向を有する小格子が設けられる、請求項17に記載の測定システム。 30

【請求項 26】

前記物体格子及び前記像格子の少なくとも一方が、表面を埋め尽くすように配置された多数のセルを有する、請求項17に記載の測定システム。

【請求項 27】

前記セルは、2つ、3つ、4つまたは6つ折り対称の多角形の形状を有する、請求項17に記載の測定システム。

【請求項 28】

物体パターン及び像パターンの少なくとも一方が、隣接セル間に横方向間隔が存在するようにして設けられている、請求項17に記載の測定システム。 40

【請求項 29】

物体パターン及び像パターンの少なくとも一方が、同一の周期性方向の隣接セルの小格子が相対的に位相シフトを起こし、それにより、それらが異なった初期位相を有するように形成されている、請求項17に記載の測定システム。

【請求項 30】

光学画像形成システムのゆがみを測定するモアレ方法であって、

画像形成システムの物体面上に物体パターンを有する物体格子を配置することと、

画像形成システムの像面上に像パターンを有する像格子を配置することとを含み、

前記物体パターン及び前記像パターンはそれぞれ、第1周期性方向及び少なくとも1つ 50

の第2周期性方向を有する多次元格子を有し、

前記物体パターンを画像形成システムによって前記像パターン上に投影すると、前記物体パターンの像が前記像パターンに少なくとも部分的に重ね合わされて、多次元モアレ模様を生じるように、前記物体パターン及び前記像パターンを互いに適応させており、さらに、

画像形成システムの物体面または像面に平行に延びる少なくとも1つの変位方向に前記物体パターン及び前記像パターンを相対的に変位させて、異なった位相角で多次元モアレ小模様を生じ、前記変位方向は、前記物体格子及び前記像格子の周期性方向間に非対称的に位置することと、

前記モアレ模様の少なくとも1つの像位置で前記モアレ模様の強度を局部的に検出して、前記像位置に割り当てられた、時間的に交互する位相シフト信号を決定することと、  
10  
を含む、モアレ方法。

【請求項31】

前記位相シフト信号から第1ゆがみ成分及び少なくとも1つの第2ゆがみ成分を同時に決定することを含み、前記第1ゆがみ成分は、像面の第1像方向に割り当てられ、前記第2ゆがみ成分は、像面の前記第1像方向に直角に延びる第2像方向に割り当てられる、請求項30に記載のモアレ方法。

【請求項32】

時間的に交互する位相シフト信号の初期位相を決定することと、

該初期位相に基づいて少なくとも1つのゆがみ成分を決定することと、  
20  
を含む、請求項30に記載のモアレ方法。

【請求項33】

1つの像位置に割り当てられた位相シフト信号のフーリエ変換を行なって、第1及び少なくとも1つの第2周期性方向について周波数スペクトルを決定することと、

フーリエ空間内で周期性方向の周波数スペクトルを分離することと、

周期性方向間のクロストークによって生じた周波数を除去して、浄化周波数スペクトルを生じることと、

浄化周波数スペクトルの逆変換を行なって、浄化位相シフト信号を決定することと、

浄化位相シフト信号を決定することと、

逆変換によって得られた浄化位相シフト信号からさまざまな周期性方向について初期位相を決定することと、  
30  
を含む、請求項30に記載のモアレ方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、光学画像形成システムの収差、特にゆがみを測定するモアレ方法、及びその方法を実施するのに適した測定システムに関する。

【背景技術】

【0002】

多くの技術及び研究分野で光学画像形成システムが利用されており、これには画像形成品質に関してさらにより高い要求が課せられている。一例は、半導体部品及び他の微細構造部品のフォトリソグラフィック製造であり、その場合、サブミクロン程度の構造体を高出力投影対物レンズによって作製することができる。許容できない大きいひずみのある画像形成光学素子は、たとえば、集積回路に不良箇所を発生し、半導体作製の場合、これは製品歩留まりを低下させ、それにより製造コストが高くなる。そのような投影対物レンズは、多数の不完全レンズを含む複雑な光学構造を有し、そのため、一般的にはすべての光学特性を理論計算から導き出すことが不可能になる。したがって、画像形成システムの光学特性を確実に測定しなければならない。光学画像形成システムの試験に使用される試験方法の精度に対するさらにもっと重荷になる要求は、これらのシステムの画像形成精度に  
40  
50

課せられる高い要求に該当する。特に、非常に正確なゆがみ測定が必須である。

【0003】

光学系のゆがみを測定する多くの試験方法が、モアレ効果の利用に基づく。したがって、たとえば、対物レンズのゆがみを決定するために、二次元像視野の像方向において、線形格子によって発生するモアレ模様を評価することは既知である。この場合、被験画像形成システムの物体面上に、たとえば、いわゆる物体格子を配置し、この物体格子は、物体パターンを形成する多数の平行な不透明線を付けた透明キャリアを有する。対物レンズの像面上に、物体パターンに似せた像パターンを有する像格子を配置する。格子は、画像形成システムの光学軸に垂直に配置される。画像形成システムによって物体パターンが像パターン上に投影された時、モアレ縞を有するモアレ模様が生じるように、物体パターン及び像パターンを互いに適応させる。

10

【0004】

像格子及び物体格子の格子定数の比が対物レンズの所定の復元倍率に正確に対応するように構成することによって、モアレ模様を生じることができる。一方の格子を他方の格子に対して光学軸を中心に回転させると、その結果として物体及び像格子の格子線にほぼ垂直に延びる明暗縞からなるモアレ模様が生じる。縞の対の数は、一方の格子の格子線が交差する他方の格子の格子線の数に等しい。復元倍率を考慮して、物体格子及び像格子の格子定数をわずかに、たとえば、2～3%だけ異なるように構成することによっても、モアレ模様を生じることができる。この形式のモアレ方法が、たとえば、米国特許第5,767,959号または内容的にほぼ同一の米国特許第5,973,773号に記載されている。

20

【0005】

像格子の格子定数に比べて一般的に小さい対物レンズのゆがみは、たとえば、位相シフトによって決定することができる。この場合、格子周期の何分の1だけ格子線に垂直に相対的に変位させた格子でのさまざまなモアレ模様をカメラによって連続的に記録する。位相シフト中に各像位置で周期的強度分布構造を観察する。さまざまな測定場所でのこの信号の相対位相が、格子線に垂直な対物レンズゆがみの測定値である。

【0006】

上記方法は、光学軸に垂直な単一の像方向、具体的には格子線に垂直な方向のゆがみを決定するために使用することができる。他の像方向のゆがみ成分を決定しようとする場合、さらなる測定を行なう前に、対物レンズを軸方向に、たとえば、90°だけ回転させるのが一般的である。この目的のため、機械的に複雑な測定機構が必要である。

30

【0007】

ヨーロッパ特許第0418054号は、2つの連続ステップで、最初に1つの像方向のゆがみ成分を決定し、その後でそれに垂直な像方向のゆがみ成分を決定することができるモアレ方法を記載している。この目的のため、一実施形態では、物体格子が交差格子の形の二次元物体パターンを含むことが提案されている。それに対して、像パターンは1組の平行線の一次元パターンである。さらに、測定すべき投影対物レンズ内に、変位可能なひとみフィルタが設けられ、これにより、X方向またはY方向の一次回折反射を任意に通過させることができ、残りの反射を任意に遮ることができる。測定方向を交互させるために、一方ではひとみフィルタを変位させ、他方では像格子を90°だけ回転させる。これにより、このシステムの場合、対物レンズの回転を省くことができる。しかし、適当なひとみフィルタを取り付けるために投影対物レンズに介入する必要があり、また、像格子用のホルダは、像格子を90°だけ回転させることができなければならない複雑な構造を必要とする。

40

【特許文献1】米国特許第5,767,959号

【特許文献2】米国特許第5,973,773号

【特許文献3】ヨーロッパ特許第0418054号

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

50

## 【0008】

本発明の1つの目的は、複数の異なった像方向のゆがみを迅速かつ高い測定精度で測定することができるようにするモアレ方法及び対応の測定システムを提供することである。

## 【課題を解決するための手段】

## 【0009】

上記及び他の目的に対する解決手段の1つとして、本発明は、1つの形態によれば、光学画像形成システムの収差を測定するモアレ方法であって、画像形成システムの物体面上に物体パターンを有する物体格子を配置することと、画像形成システムの像面上に像パターンを有する像格子を配置することとを含み、物体パターン及び像パターンはそれぞれ、異なった格子特性の小格子を設けた多数のセルを有し、物体パターンを画像形成システムによって像パターン上に投影すると、物体パターンの小格子の像が、それぞれ像パターンの対応の小格子に少なくとも部分的に重ね合わされて、それに伴ってモアレ小模様を生じるように、物体パターン及び像パターンを互いに適応させており、さらに、モアレ小模様を検出することと、モアレ小模様を評価することとを含む方法を提供している。

10

## 【0010】

この場合、評価は、特に、モアレ小模様から第1ゆがみ成分及び少なくとも1つの第2ゆがみ成分を決定することを含み、第1ゆがみ成分は、像面の第1像方向に割り当てられ、第2ゆがみ成分は、像面の、第1像方向に直角に延びる第2像方向に割り当てられる。

## 【0011】

光学画像形成システムのゆがみ及び/または収差をモアレ模様によって測定する対応の測定システムは、画像形成システムの物体面上に配置することができ、異なった格子特性の小格子を設けた多数のセルを有する物体パターンを有する物体格子と、画像形成システムの像面上に配置することができ、異なった格子特性の小格子を設けた多数のセルを有する像パターンを有する像格子とを備えており、物体パターンを画像形成システムによって像パターン上に投影すると、物体パターンの小格子の像が、それぞれ像パターンの対応の小格子に少なくとも部分的に重ね合わされて、それに伴ってモアレ小模様を生じるように物体パターン及び像パターンを互いに適応させており、さらに、モアレ小模様を生じるために物体パターンを像パターン上に投影する装置と、モアレ小模様を検出する装置と、モアレ小模様を評価する装置とを備えている。

20

## 【発明の実施の形態】

30

## 【0012】

好適な構造では、物体格子を照明装置によって照明し、物体パターンによって変更される放射光を画像形成システムによって像格子にはっきり投射することが実現される。用途に応じて、適当な格子を、たとえば、透過型格子、位相格子または反射型格子として形成することができる。本出願に従った「格子」は、使用放射光の波長に比べて大きい一般寸法を有する格子状パターンである。したがって、格子は一般的に回折格子ではない。多数の線形モアレ小模様を検出する好適な装置は、たとえば、CCDチップを備えた二次元検出器を有することができ、これにより、結像された物体パターン及び像パターンの重なり合いが検出される。好ましくは像格子及び検出器間に画像形成光学素子が存在するが、それを省くこともできる。

40

## 【0013】

好適な測定システムの場合、物体格子及び像格子は多数のセルまたはパッチを有し、その小格子がそれぞれ、直接的に隣接するセル間で交互する、交互に異なる格子向きの線格子である。格子向きは、格子線に垂直に延びる格子ベクトルまたは周期性方向によって説明することができる。そのようにはめ合わされた小格子を本明細書では寄木状格子と呼び、セルも同様に寄木状セルと呼ぶ。2つ以上の異なった周期性方向が存在することができる。2つの周期性方向を有する好適な基本パターンは、正方形に構成されてチェス盤のように表面を埋め尽くし、互いに垂直に交互する向きの線格子で満たされるセルからなる。たとえば、 $120^\circ$ 、 $90^\circ$ または $60^\circ$ の角度をなすことができる、たとえば、3つ、4つまたは6つの異なった周期性方向を有する格子も可能である。

50

## 【0014】

個々の寄木状セルの小格子は、異なった格子定数を有することもできる。このため、たとえば、ゆがみの測定中、小さい構造、すなわち、小さい格子定数を有する構造はより大きい空間周波数に対応するので、ひとみのより大きい部分を走査することができる。

## 【0015】

像面の領域で割り当てられた小パターンの重なり合いによって生じるモアレ小模様は、互いに隣り合って位置するセルで寄木状に存在する。異なった向きのモアレ縞またはモアレ縞部分を隣接セル内に位置させることができる。1つのモアレ縞を複数の隣接セルにわたって分布させ、それにより、1つのセルに縞をまったく検出することができず、それらのセルをほぼ均一に照明することも可能である。そのような寄木状のモアレ模様は、たと

10

## 【0016】

えば、互いに直交して延びる少なくとも2つの像方向のゆがみ情報を含む。本発明に従った方法の場合、この前波の単波のゆがみ情報を1回の測定または一連の測定から、適当であれば、複数の像方向について同時に導き出すことができ、この目的のために物体格子及び/または像格子を交換するか、または測定すべき画像形成対物レンズを回転させる必要がない。

20

## 【0017】

ゆがみは、本発明に従った測定システムによって好都合に決定することができる画像形成システムの光学特徴である。しかし、モアレ小模様から他の光学特徴も、たとえば、コマ、画像形状、非点収差、コントラスト、散乱光などを導き出すことも可能である。コマの場合の評価、及び画像形成表面及び非点収差の測定を容易にするために、軸方向の変位を行なうことが可能である。

モアレ模様に含まれる情報の評価には幾つかの可能な策がある。たとえば、1つのセル内で複数のモアレ縞を発生させることができ、これらを、たとえば、縞の方向に直角に走査することによって、空間的に評価することができる。縞のシフトを直接的に評価することも可能である。位相シフトの利用が好ましい。この場合、画像形成システムの物体面または像面に平行に延びる少なくとも1つの変位方向に物体パターン及び像パターンを相対的に変位させて、それにより、異なった位相角のモアレ小模様を発生し、また、モアレ小模様の少なくとも1つの像位置でモアレ小模様の強度を局部的に検出し、それによってその像位置に割り当てられた、時間的に交互する位相シフト信号を、好ましくは強度信号を

30

## 【0018】

決定する。格子を小さいステップで、または連続的に相対移動させて、移動モアレ小模様を生じることができる。これらは、たとえば、モアレ模様を検出する検出器の各像位置にほぼ周期的な強度分布構造を生じ、これは、たとえば、ほぼ正弦波であることができる。周期信号の初期位相は、重なり合った小格子の周期性方向に対応する格子固有の変位方向の方向のゆがみを計算するための情報を含む。変位方向の他の光学特徴を振幅から導き出すことができる。たとえば、コントラストは、周期的強度分布構造の振幅から決定することができる。非点収差は、さまざまな向き方向間の最良のコントラストのZ差から決定することができる。散乱光は、寄木状ギャップの強度から決定することができる。

40

## 【0019】

本発明の測定システムは、測定中に少なくとも2つの異なった像方向のゆがみ成分を簡単に同時に決定することができる。この目的のため、物体パターン及び像パターンはそれぞれ、第1周期性方向の第1小格子を設けた第1セル群と、第1周期性方向に直角に延びる第2周期性方向の第2小格子を設けた少なくとも1つの第2セル群とを有し、相対変位は、第1及び第2周期性方向に直角に延びる変位方向に行われ、したがって、いずれの周期性方向とも一致しないようにすることができる。したがって、移動で、小格子に固有の第1及び第2周期性方向の対応変位成分が同時に実施され、それにより、互いに角度をなして延びる複数の像方向で変位及び測定を同時に行なうことができる。

50

方向間で対称的に位置しない変位方向に相対変位を行なうことが好ましい。特に同一の格子定数であるとする、この場合、像方向に割り当てられた位相シフト信号の異なった周期性長さが周期性方向に生じる。その結果、さまざまな方向成分間のクロストークが抑制されて、高い測定精度を達成することができる。

#### 【0020】

パーセル化されていない他の多次元物体/像パターンの場合、たとえば、(直角または斜角の)交差格子、すなわち、直角または斜角チェス盤格子を有する物体/像パターンを使用する時も、周期性方向間に非対称的に位置する変位方向の相対変位が好都合であろう。

#### 【0021】

相対変位を時間的にずらして、第1周期性方向に割り当てられた第1変位方向及び第2周期性方向に割り当てられた第2変位方向に行なうことも可能である。特に最初に一方の変位方向に完全信号を検出することができ、その後、第2変位方向に完全信号を検出することができる。変位方向を何度も交互させることも可能である。第1変位方向及び第2変位方向の物体パターン及び像パターン間の所定の相対位置を異なった順序で設定し、それにより、このようにして相対位置の置換を行なうことができる。それにより、異なった像方向に対する信号間のクロストークも回避することができる。

#### 【0022】

相対変位中に掃引された格子周期の数がさまざまな周期性方向で異なる場合、クロストークの影響を受けた信号をフーリエ変換によって分離することができる。好適な評価方法も同様に、像位置に割り当てられた位相シフト信号のフーリエ変換を行ない、それによって第1及び少なくとも1つの第2周期性方向について周波数スペクトルを決定し、また、フーリエ空間内で周期性方向の周波数スペクトルを分離する。それにより、クロストークによって生じる周波数を取り除くことができる。周波数領域内の評価が好ましい。空間領域内の逆変換の後に評価することも可能である。それぞれ、妨害信号によって損なわれることなく、さまざまな周期性方向について初期位相を決定することができ、これは、クロストーク信号を除去することによって浄化された位相シフト信号に基づいて行われる。

#### 【0023】

個々の「寄木状セル」は、それらが互いに遠く離れるほど、互いの影響が小さくなることがわかっている。異なった周期性方向間のクロストークを減少させるために、好適な実施形態では、セルの使用される領域間に横方向間隔が存在することが提案されている。これは、たとえば、互いに直接的に隣接したセルの場合、セルの中央領域だけがそれぞれ評価されて、縁部領域の格子構造はなくてもよいという事実によって達成することができる。それにより、セルの空間分解能の低下を伴うことなく、クロストーク距離が増加される。

#### 【0024】

隣接したセル間に横方向間隔、すなわち格子のないギャップが存在するように、物体パターン及び/または像パターンを形成することも可能である。これにより、セルは表面を埋め尽くすのではなく、個々の小格子領域間に間隔をあけて配置される。ギャップのさらなる利点が、他の測定技術、たとえば、画像品質または散乱光の測定技術用の構造をセル間のすきまに導入することができることから生じる。

#### 【0025】

同一の周期性方向の小格子が、位相シフトを伴うことなく中断しないで連続する正則格子内で、複数の寄木状セルのクロストークが単一のセルに発生する可能性がある。これを避けるために、好適な格子は、同一の周期性方向で等価対称のセルの小格子が互いに対して位相シフトを起こし、それによって異なった初期位相を有するように形成される。これは、直接的に隣接した近くのセル及びもっと遠い隣接セルに当てはまることができる。等価セルの変調信号が少なくとも部分的に互いに補償するように、小格子及びそれに対して等価対称的なセルの小格子の位相角を互いに適応させる時、この方法が特に有効である。クロストーク基本波、または基本波及び第1高調波を補償するために及び/2の倍数

10

20

30

40

50

の位相シフトを有するそのような物体格子及び像格子の例を、例示的な実施形態に関連してさらに詳細に説明する。

【0026】

さらなる処理を行わなければ、多数のモアレ小模様からなる情報を含んだ重なり合いパターンは、一般的に解釈が非常に困難であろう。モアレ模様の視覚的評価を行なうことができるようにするため、好適な変更例では、セルの同一の格子向きのもアレ小模様から少なくとも1つの像方向のモアレパターン全体の補間を行なって、計算したモアレ模様全体を光学的に表示することができる。このように、各周期性方向についてオペレータが慣れている線形格子のモアレ模様を再現することができる。再現は、各周期性方向について個別に行なうことができる。再現されたモアレ模様全体を順次、または所望ならば、同時に表示することができる。

10

【0027】

上記及びさらなる特徴は、特許請求範囲から明らかになるのに加えて、以下の説明及び図面からもわかり、本発明の実施形態または他の分野において、個々の特徴をそれぞれ個別に、または幾つかを部分組み合わせの形で実施して、保護することができると共に好都合である構造を構成することが可能である。

【0028】

次に、マイクロリソグラフィック投影対物レンズの場合のゆがみ測定によって本発明を以下に説明するが、他の光学画像形成システム、たとえば、写真レンズなどの測定や、他の画像形成特性、たとえば、コントラスト、非点収差、画像形状などの測定にも使用することが

20

【実施例】

【0029】

図1に示された、投影対物レンズ2のゆがみを測定するゆがみ測定システム1は、投影対物レンズ2の物体面上に配置された物体格子3、及び物体面と対になった投影対物レンズの像面上に配置された像格子4を有する。透過型格子3及び4はそれぞれ、測定システムの光学軸5(z軸)に垂直に配置されており、この光学軸5は、対物レンズ2の光学軸に平行に配列させる必要があり、図示の例では、この光学軸と一致している。像格子4は、光学軸に垂直に位置するx-y平面上を変位可能に保持されており、二次元で動作する変位装置を有する操作装置(図示せず)が設けられている。物体格子3に追加するか、その代替として、適当な変位装置を配置することができる。概略的に図示された照明装置6が、測定システムの投影対物レンズから遠い側に配置されている。像格子4の投影対物レンズ2から遠い側に、像面上に生じるモアレ模様を検出する装置7が配置されており、この装置7は、図示の例では、結像光学素子8と、センサ表面としてCCDチップを有する二次元検出器9とを有する。測定システムのコントローラ(図示せず)が、像格子4をx-y平面上で変位させる装置と、画像処理に適した評価プログラムを有する、検出装置7に接続された画像評価装置とを有し、その作動モードを以下にさらに詳細に説明する。

30

【0030】

物体格子3を照明装置6によって照明すると、物体パターンが投影光学素子2によってその像面上に配置された像パターン上に投影されて、このようにしてそれに重ね合わされて、モアレ模様を生じる。この重なり合いを結像光学素子7によって検出器9上に投影し、それによって画像評価に利用することができる。物体格子の像をそれに対応付けられた像格子と同一寸法にする必要はない。たとえば、調節の理由から、結像された物体寄木状セルが像寄木状セルより大きい面積を有して、全側部でそれを越えて延出させれば、好都合であろう。部分的な重なり合いでも十分である。

40

【0031】

物体格子3の好適な実施形態の詳細が図2に示されている。物体格子3は、多数の正方形セル15、16に細分割された物体パターンを含み、そのセルはそれぞれ異なった周期性方向を有する線形小格子を有して、寄木状に互いに直接的に隣接している。線は、各セル内で等間隔であると共に平行であり、それらの線に垂直な方向が、格子ベクトルと一致

50

する、割り当てられた周期性方向を規定する。x方向及びy方向に直接的に隣接したセル15、16の線は、互いに直角に配置されている。異なった格子特性、特に異なった構造向きの小格子を有するセルから構成されているそのような格子を本明細書では「寄木状格子」と呼ぶ。

#### 【0032】

本例では、物体格子は、透明キャリア、たとえば、水晶板からなり、たとえば、クロムからなる不透明の線が付けられている。透過型格子に加えて、位相または反射型格子も考えられる。

#### 【0033】

同様に構成された像格子4も、2つの構造向きを有する直交寄木状格子を有し、像格子に対する物体格子の小格子の格子定数の比を投影対物レンズ2の復元倍率に対応させることが可能である。画像形成システム2によって物体パターンを像パターン上に投影すると、物体パターンの小格子15、16の像が、それぞれ像パターンの同一の構造方向の対応の小格子と重なり合い、それに伴ってモアレ小模様を生じるように、物体格子及び像格子を互いに適応させる。これらのモアレ小模様も同様に、物体及び像格子のセルに対応するように隣接配置セルの形に配置されて、寄木状モアレ模様を生じる。

#### 【0034】

モアレ模様の生成は、物体格子及び像格子の格子定数の比が投影対物レンズの復元倍率に正確には対応しないで、たとえば、それから2~3パーセントずれることによって達成することができる。代わりに、または追加して、一方の格子、たとえば、像格子4を他方の格子3に対してz軸を中心にして回転させることによってモアレ模様を生じることも可能である。この目的のため、像格子及び/または物体格子用の適当な回転装置を設けることができる。非常に大きい幅の、理想的には無限大の幅のモアレ縞を生じるように、測定中に格子線を互いにほぼ平行に整列させる調節のために相対回転を利用することが好ましい。

#### 【0035】

図2に従った正方形格子では、互いに直交する2つの構造向きすなわち周期性方向が生じる。特定の測定作業用に他の配置及び構造方向も可能である。一例として、図3は、正方形のセルと4つの構造向きを有する直交寄木状格子20の実施形態を示し、隣接するセルの周期性方向が、それぞれ格子平面に垂直に延びる方向を中心して45°またはその倍数だけ回転している。図4の寄木状格子25は、6つの構造方向を有する三角形寄木状格子として構成されている。個々のセルは、構造表面を隙間なく埋め尽くす正三角形の形を有する。全体構造は、それぞれ共通のコーナー部分で当接する6つのセルが正多角形を形成するように構成され、六角形内の領域について言えば、時計回り方向または反時計回り方向に隣接した小格子がそれぞれ互いに対して30°だけ回転している。図5は、それぞれ互いに対して120°だけ回転している3つの周期性方向を有する六角形寄木状格子30の例示的な実施形態を示している。表面を埋め尽くすように配置されたセルは、正六角形の形状を有し、隣接した六角形セルの小格子はそれぞれ互いに対して60°だけ回転している。

#### 【0036】

したがって、好適な格子は、それぞれ同一の形状及び寸法で、その小格子が同一向きであるセルが、正則二次元配置内で互いに間隔を置いて位置して、群を形成していることを特徴とする。同一の構造方向のセルの間に、それらの部分に対して、互いに間隔を置いて規則的に配置された同一構造方向のセルの群を形成する他の構造方向のセルが位置している。これらは好ましくは、互いにはまり合う同一格子周期の線格子である。

#### 【0037】

対物レンズ2のゆがみ及び、適当であれば、他の収差を決定するために、位相シフト方法を使用することが好ましい。この目的のため、格子3、4の一方か、または両方の格子を、光学軸に垂直に延びる変位方向に沿って相対的に同時に変位させる。パーセル化したモアレ模様の各寄木状セル内で検出器9によってモアレ小模様の強度を局部的に検出する

10

20

30

40

50

ことによって、この場合、検出器表面の一部に当たる放射光の時間的交互強度に基づいた周期的位相シフト信号を検出することができる。格子の位相は、所定の相対位置に関連した不連続的なステップか、または連続的に変位させることができ、連続変位の場合、信号検出、たとえば、カメラの露光を移動に同期させる。記録された信号の初期位相は、それぞれのセルに割り当てられた構造向きにおけるゆがみを含む。

【0038】

初期位相は、それに適した任意の評価方法を使用して決定することができる。たとえば、ゼロ点での信号の位相角は、少なくとも1つの周期を進み、その周期内で複数回、たとえば5回サンプリングされる周期信号から決定することができる(Schwider方法)。初期位相を決定するための、当業者に既知の幾つかの方法が以下の出版物に記載され、それらの内容は参照によって本説明に援用される。

10

【0039】

J.Schwider、R. Burow、K-E. Elssner、J.Grzanna、R. Splanzyk 及びK. Merkel著の"Digital Wavefront Measuring Interferometry - Some Systematic Error Sources"(デジタル波面測定干渉分光法 - 幾つかの系統的誤差源) 応用光学 22 (1988年) 3421頁、

K. Hibino、B.F. Oreb、D.I. Farrant、K.G. Larkin著の"Phase-Shifting Algorithms for Nonlinear and Spatially Nonuniform Phase Shifts(非線形及び空間的不等位相シフト用の位相シフトアルゴリズム) アメリカ光学協会ジャーナル A 14 (1997年) 918頁、

20

J. Schmit、K. Creath 著 "Window Function Influence on Phase Error on Phase-Shifting Algorithms" (位相シフトアルゴリズムにおける位相誤差に対するウィンドー機能の影響) 応用光学 35 (1996年) 5642頁。

【0040】

本発明の測定方法の幾つかの特に有益な変更形を例示的な実施形態によって以下に説明するが、その実施形態では、物体格子3及び像格子4がそれぞれ、直交寄木状格子として構成され、これは、図2に従った格子に対応する正方形のセル及び互いに垂直な2つの構造向きを有する。

【0041】

相対変位は原則的に、(x及びy方向に対応する)さまざまな周期性方向に交互に変位によって行なうことができる。しかし、発生する両方の周期性方向に同時に変位することが好ましい。これは、たとえば、変位方向が構造向きに対して対角線状に、すなわち、第1及び第2周期性方向間の角の二等分線方向に延びることによって達成することができる。周期性方向とは、同一変位長さによる同時変位を意味し、そのため、その周期性方向に割り当てられたモアレ信号は、ほぼ同一の周期性長さを有する。これは、個々の周期性方向に割り当てられた信号間のクロストークをもたらす可能性があり、それによって測定精度が低下する。

30

【0042】

したがって、周期性方向間に非対称的に、すなわち、角の二等分線からずれた方向に位置する変位方向35に変位することが好ましい。たとえば、図2のように、変位方向35がx方向に対して約 $26.6^\circ$ 、y方向に対して約 $63.4^\circ$ の角度をなして位置する場合、x方向に関する格子の相対変位は、y方向の場合の2倍の速さで起きる。が基本周期またはピッチである場合、等距離のステップでの段階的な相対変位であるとする、x方向の経路 $x$ 及びy方向の経路 $y$ の差を生じさせて、それにより、たとえば、 $x$ に対して位相ステップ $1 \cdot \lambda / 8$ 、 $2 \cdot \lambda / 8$ 、 $3 \cdot \lambda / 8$ ・・・などを考える一方、同時に $y$ に対して位相ステップ $1 \cdot \lambda / 16$ 、 $2 \cdot \lambda / 16$ 、 $3 \cdot \lambda / 16$ ・・・などを考えることができる。16ステップの後、2倍の基本周期をx方向に考えて、単一基本周期をy方向に考える。

40

【0043】

それぞれの周期性方向の変位長さの比は、一般的に寄木状格子の周期性方向に対する、

50

変位方向 3 5 に延びる単位ベクトルの射影の長さの比によって決定される。それは 1 から外れる必要があり、任意の有理数、たとえば、1 : 2、1 : 3、1 : 4、2 : 3、3 : 2、4 : 2 などに行うことができる。これは、必要に応じて変更を加えて、3 つ以上の構造向きすなわち周期性方向を有する寄木状格子、たとえば、図 3 ~ 図 5 に示されているような種類の格子についても当てはまる。

#### 【 0 0 4 4 】

相対変位中に掃引された格子周期の数、理想的には整数がさまざまな構造向きで異なる場合、フーリエ変換によってクロストーク信号を分離することができる。説明のため、図 6 ( a ) は、非対角位相シフトと組み合わせた、順次続く一連の格子位置の例を示し、その場合、順序変位が x 方向では y 方向の 2 倍の速さである。4 周期 ( 8 に対応 ) 間の位相をそれぞれ軸上にラジアン ( r a d ) で示す。図 6 ( b ) は、変調モアレ強度の、非対角変位方向によって行われた周波数分離を示し、変位ステップの番号を横座標に示し、正規化信号強度を縦座標に示している。x 方向の場合の周波数が y 方向の周波数の 2 倍の高さであることがわかるであろう。それにより、さまざまな周期性方向に割り当てられた信号を分離するために、フーリエ変換を使用することが容易に可能である。

10

#### 【 0 0 4 5 】

個々の周期性方向に割り当てられた信号間のクロストークを防止する別の可能性は、物体パターン及び像パターン間の所定の相対位置を、周期性方向にそれぞれ割り当てられた変位方向に異なった順序で設定することにある。クロストーク信号の周波数も同様に、このように置換された位相ステップ順序によって有用信号と比較することによってシフトさせることができる。説明のため、図 7 ( a ) は、y 方向の位相シフトでの置換位相プランの簡単な一例を示し、この場合、y 方向のステップ 1、2、3 に従って考察すると、ステップ 1、2、3、 $\dots$  16、17、18、19、 $\dots$  31、32 が考えられる一方、x 方向ではステップ順序が 17、1、18、2、19、3、 $\dots$  15、32、16 である。y 及び x 方向の寄木について関連した合成信号強度をステップの関数として描いたグラフが、図 7 ( b ) に正規化して示されている。y 方向には滑らかな正弦関数が生じることがわかり、これは位相ステップの正確な順序で考えられる。正弦から外れる信号振幅の関数は、x 方向では位相ステップの関数になる。信号振幅のフーリエ分解により、図 7 ( c ) に示された周波数がフーリエ空間内に生じる。y 方向の正弦関数には 1 つの周波数 ( 周波数 = 2 ) だけが生じる一方、非正弦 x 信号振幅の分解には、異なった振幅の多数の周波数が含まれるが、いずれも y 信号の周波数にないことがわかるであろう。それにより、同一数の周期であっても、直交する周期性方向のベクトルは重なり合わず、したがって、周波数領域内で互いに分離することができる。

20

30

#### 【 0 0 4 6 】

図 7 ( d ) は、別の位相シフトプランを示し、この場合、位相シフトが x 方向に行われる。x 方向に見て、順次続くステップ 1、2、3、4 は、順次上昇する位相で正確な順序に位置するが、y 方向の位相では、順次続く位置の間にそれぞれ大きい絶対量の飛躍がある。図 7 ( e ) のそれに対応した正規化信号強度振幅も同様に、x 寄木について滑らかな正弦関数をステップの関数として示す一方、y 寄木についてはより低い周波数のほぼ正弦波のステップ関数が生じる。対応の周波数スペクトルが図 7 ( f ) に示されている。x 寄木の場合の結果は、値が 2 の周波数だけであるのに対して、y 信号強度は、異なった振幅の 2 つの周波数からなる。この場合も、フーリエ空間内で x 及び y 方向を分離することができる。

40

#### 【 0 0 4 7 】

図 7 ( a ) 及び図 7 ( d ) では、同一の二次元位相ステップ  $x / y$  に達する。したがって、測定データを評価前に必要な順序で置換すれば、1 回の測定から図 7 ( b ) 及び図 7 ( e ) を得ることができる。したがって、互いにクロストークの影響を受けることなく、2 つの格子方向 x 及び y を同一周波数について、たとえば、この場合には 2 について評価することができる。

#### 【 0 0 4 8 】

50

基本周期 の上記表記に従って、( 任意の所望順序内の ) すべての位置に少なくとも 1 回接近するまで、各方向の位相ステップを、たとえば、ランダム原理に従って  $15 \cdot / 16$ 、 $13 \cdot / 16$ 、 $3 \cdot / 16$  などに従って置換することができる。基本周期を 16 ステップより多く、または少なく細分割することもできる。

#### 【 0 0 4 9 】

個々の寄木状セルが互いに遠く離れるほど、それらが互いに及ぼす影響が少なくなるのがわかっている。横方向間隔でクロストークがこのように減少することは、その原因に関係なく観察され、その原因は、たとえば、検出器、たとえば、カメラが 1 つの特定の空間周波数だけを透過することができることか、または、格子キャリアが限定的な空間分解能を有するだけであることにある。( 図 8 のように寄木状セルが直接的に境界を接すると共に ) 小格子のそれぞれの縁部領域が使用されないで、セルのそれぞれの中央領域 40 だけが評価される時、クロストークを減少させることができる。このように、隣接したセルの評価領域 40 とクロストーク格子領域との間の間隔を増加させることが、矢印からわかるであろう。

10

#### 【 0 0 5 0 】

格子の特に好都合な形式を図 9 によって説明する。格子 50 は、異なった小格子向きの隣接セル 51, 52 間には x 及び y 方向に横間隔が存在し、格子のないギャップがセル間に存在することを特徴とする。ギャップの幅は、正方形のセルの径の大きさ程度にすることができる。物体格子内のギャップを暗色にするか、またはそれらを不透明にして、回折されるビームと共に干渉光が測定すべき光学素子 2 に入射しないようにすることが好都合であろう。さらに、このようにして、吸収によるレンズ 2 か、または格子 3 及び 4 の加熱を減少させることができる。像格子内のギャップ及び縁部領域は、好ましくは透明である。反射を減少させるために、格子線を構成することができる金属クロムなどで形成することができる反射防止コーティングを像格子に設けることが好ましい。妨害反射はクロストークに寄与する可能性があるので、反射の減少が好ましい。たとえば、画像品質または散乱光のための他の測定技術用の構造をセル間のギャップまたはすきまに導入することができる。それにより、適当であれば、格子キャリアの交換及びそれらの調節を省くことができる。

20

#### 【 0 0 5 1 】

小格子を備えたセル間のギャップ ( 格子がない部分 ) をこのように設けることを、ここではパーセル化と呼ぶ。

30

#### 【 0 0 5 2 】

寄木状格子を使用する場合にクロストーク信号を抑制するさらなる可能性を図 10 によって説明する。正則格子内で、等価対称の複数の寄木状セルが単一のセルにクロストークする。たとえば、図 2 に従った直交寄木状格子では、格子線が y 方向に並んだセル 16 内へ、x 方向及び y 方向に隣接した他方の構造方向のセル 15 から、また適当であれば、さらに遠くに離れたセルからクロストークが起きる。好適な実施形態では、個々のセル内の小格子の初期位相をうまく選択することにより、そのような等価セルからのクロストーク変調信号が部分的または完全に互いに補償する結果が生じる。その補償は、セルが最も近くで隣接したものであるかどうか、またはそれらがさらに遠くに離れた位置にあるかどうかに関係なく、有効である。説明のため、図 10 ( a ) は、パーセル化した寄木状格子 60 を示し、それでは、一方向に順次続いたセル 62、61、62 の同一向きの小格子が、それぞれ位相シフト に対応する半分の格子周期だけ互いに対して変位している。ある選択されたセル 61' の信号に対する初期位相分布の作用が図 10 ( b ) に示されている。x 方向に直接的に隣接するセル 62 からの信号及び y 方向に直接的に隣接するセル 62 からの信号の両方が、 の位相シフトを有する。これは、そのような 格子のクロストーク基本波の補償を行なう。

40

#### 【 0 0 5 3 】

1 格子 ( 図 10 ( a ) 及び図 10 ( b ) ) の場合、基本波は互いに補償するが、2 の組み込み初期位相の影響を受ける第 1 高調波は補償しない。これらの第 1 高調波のクロ

50

ストークも排除されるように、最適格子構造、たとえば、 $\sqrt{2}$ 格子（図10(c)及び図10(d)）などを使用することができる。

【0054】

図10(c)及び図10(d)の $\sqrt{2}$ 格子70の実施形態では、セル71'を基準にして、x方向及びy方向に隣接した他方の構造方向のセル72は、互いにそれぞれだけ位相シフトしている。しかし、コーナーを介して隣接しているセル72は、 $\sqrt{2}$ の相対位相シフトを有する。その結果、クロストーク基本波に加えて、セル71'にクロストークする信号の第1高調波も補償される。

【0055】

クロストーク信号振幅が、たとえば、製造許容誤差のために正確に一致しないか、または初期位相差が正確に観察されない場合でも、異なった初期位相をうまく選択することによって、実際に有効なクロストークが相当に減少する。位相シフトは、同一の位相の大きさを物体格子及び像格子内に存在することが禁止され、そうでなければ所望の作用が生じないからである。好ましくは、位相は物体格子内だけで変化させる。

【0056】

（寄木状格子の場合に）セルの初期位相を変化させることによって、異なった向きの構造方向のクロストークを補償できるだけではない。このようにして、平行に並んだ格子領域間の、測定空間分解能を低下させる平滑化を抑制することも可能である。したがって、例示として本明細書に記載した形式の変初期位相は、個々のセルの小格子が同一の格子向きを有するパーセル化線形格子にも適している。個々のセルは、互いの間に横方向間隔を置いて、または置かないで配置することもできる。同じことが、交差格子すなわちチェス模様格子にも当てはまる。

【0057】

寄木状格子の場合、従来の線形格子と比較して、物体格子及び像格子を互いに正確に並べなければならない。パーセルのエッジングによって調節を行なうことができる。特にスケリング及びねじれに関する整合位置を引き上げるために、格子に付けられた個別の調節マークが好ましい。さらに、観察システム、たとえば、カメラのモニタに溶け込む同等の調節マークは、検出及び観察システム7に対する寄木状格子対3、4の正確な調節を促進することができる。この手順は、評価ウィンドーの位置が一義的に固定されるので、複雑で誤りを起こしやすいパターン認識方法を省く。

【0058】

個々の構造方向の成分が分離されるだけでなく、同一の構造向きの個々のセル間のギャップの値が補間されて、存在しうるさまざまな初期位相が適当なアルゴリズムによって逆算されれば、モアレ模様の視覚的評価にとって好都合である。ギャップとしてここに含まれるものは、それぞれ他方の構造方向のセルを取り除いた場合に発生しうるギャップである。図11は、これのための例示として、初期位相の寄木状セル内の強度の、 $\sqrt{2}$ 格子における初期位相0への補間を示す（図10(c)、図10(d)を比較）。この寄木状セルの場合、補間強度は、たとえば次式に従って計算される。

【数1】

$$\tilde{I}_0 = \frac{1}{2}(I_{++} + I_{-+} + I_{--} + I_{+-}) - I_0$$

【0059】

その他のセルも同様に、同一の構造方向を有する隣接のものの適当な一次結合によって計算される。

【0060】

（セルに細分割された）寄木状モアレ模様からオペレータに馴染みがあるモアレ縞の再現の一例を図12に示す。この目的のため、図12(a)は、図10(c)に例示として

10

20

30

40

50

示された / 2 格子の寄木状モアレ模様を示す。寄木模様が存在する（それぞれ x 及び y 方向に平行な）2つの構造向きに対して図 12（b）及び図 12（c）に示されたモアレ模様全体がそれから計算されて、測定すべきレンズ 2 を回転させる必要なく、表示画面上に表示される。x 方向（図 12（b））及び y 方向（図 12（c））についての再現モアレ模様は、単一線形格子の見慣れたモアレ模様に対応し、当業者であれば短時間で確実に解釈することができ、それにより、たとえば、対物レンズを調節する時、対物レンズの個々のレンズ素子を、特に対物レンズの全体的ゆがみを減少させるように設定することができる。再現モアレ模様を表示するために使用することができるデータは、収差の数値表示を計算する際の基盤としても役立つことができる。

【0061】

10

好適な実施形態に関する以上の記載は、例示のために与えられたものである。以上の開示から、当業者は、本発明及びそれに付随した利点を理解するだけでなく、開示された構造及び方法に対する明らかなさまざまな変化及び変更を見出すであろう。したがって、請求項及びその同等のものによって定義される本発明の精神及び範囲内に入るすべての変化及び変更を対象として含むことが求められる。

【0062】

なお、2002年3月8日に出願された米国特許仮出願第60/362,552号の開示内容は、本明細書の一部を構成する。

【図面の簡単な説明】

【0063】

20

【図1】投影対物レンズのゆがみを測定するための本発明の測定システムの1つの実施形態の概略的な斜視図である。

【図2】2つの直交する周期性方向を有する直交寄木状格子の例示的な実施形態の概略図である。

【図3】4つの周期性方向を有する直交寄木状格子の例示的な実施形態を示す図である。

【図4】6つの周期性方向を有する三角形寄木状格子の例示的な実施形態を示す図である。

【図5】3つの周期性方向を有する六角形寄木状格子の例示的な実施形態を示す図である。

【図6a】非対角位相シフトの場合の物体及び像格子が達するさまざまな相対位置を説明する図である。

30

【図6b】非対角位相シフトによって行われる変調モアレ強度の周波数分離を説明する概略図である。

【図7a】位相時間割に従って物体及び像格子の異なった相対位置の設定の一例を説明する図である。

【図7b】位相時間割から生じる信号強度分布構造に従って物体及び像格子の異なった相対位置の設定を説明する図である。

【図7c】位相シフトから生じるフーリエスペクトルに従って物体及び像格子の異なった相対位置の設定を説明する図である。

【図7d】位相時間割に従って物体及び像格子の異なった相対位置の設定の他の例を説明する図である。

40

【図7e】位相時間割から生じる信号強度分布構造に従って物体及び像格子の異なった相対位置の設定を説明する図である。

【図7f】位相シフトから生じるフーリエスペクトルに従って物体及び像格子の異なった相対位置の設定を説明する図である。

【図8】各セルの中央領域だけが使用される場合の直交寄木状格子の詳細を示す図である。

【図9】セル間にギャップを有する直交寄木状格子のパーセル化の例示的な実施形態を示す図である。

【図10】さまざまな初期位相の寄木状格子の例示的な実施形態を示し、(a)は格子

50

の格子線のオフセット位置を示し、(b)は 格子の初期位相の分布を示し、(c)は / 2 格子の格子線のオフセット位置を示し、(d)は / 2 格子の場合の初期位相の分布を示す。

【図 1 1】 寄木状セル内の強度の補間を説明する概略図である。

【図 1 2】 / 2 格子の寄木状モアレ模様 (図 1 2 a) からのさまざまな像方向のモアレ縞の再現 (図 1 2 b 及び図 1 2 c) の概略図である。

【符号の説明】

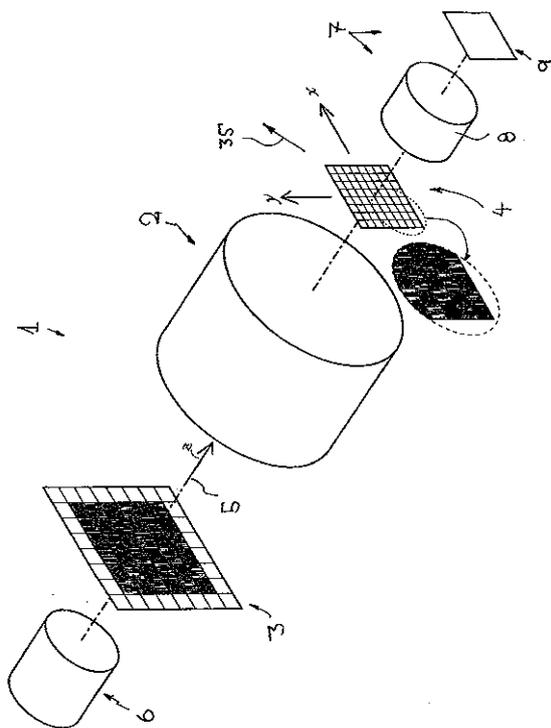
【 0 0 6 4 】

- 1 測定システム
- 2 投影対物レンズ
- 3 物体格子
- 4 像格子
- 5 光学軸
- 6 照明装置
- 7 検出装置、結像光学素子
- 8 結像光学素子
- 9 二次元検出器
- 15、16 正方形セル
- 20 直交寄木状格子
- 25 寄木状格子
- 30 六角形寄木状格子
- 35 変位方向
- 60 寄木状格子

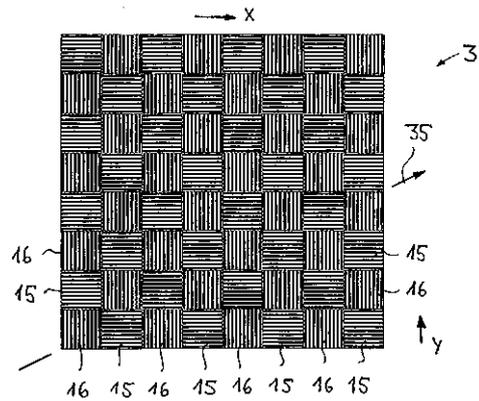
10

20

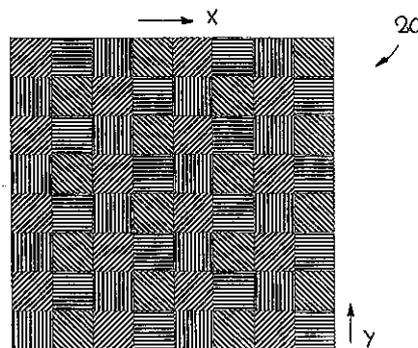
【 図 1 】



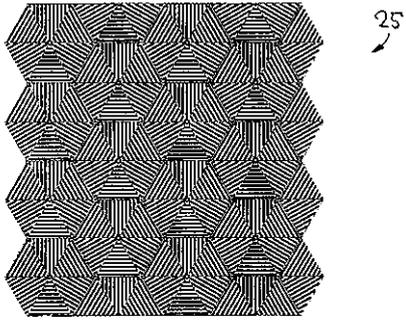
【 図 2 】



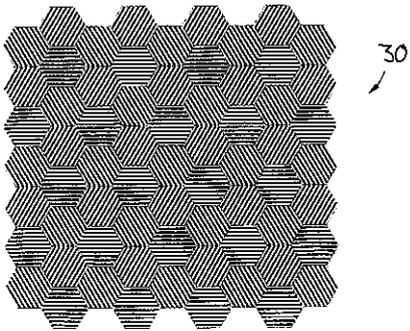
【 図 3 】



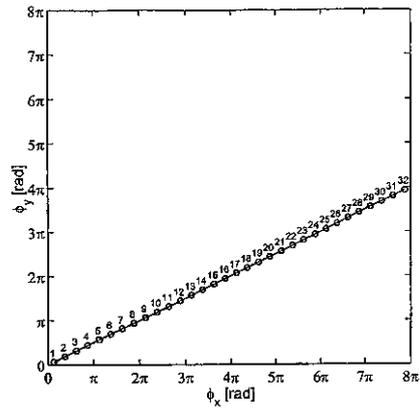
【 図 4 】



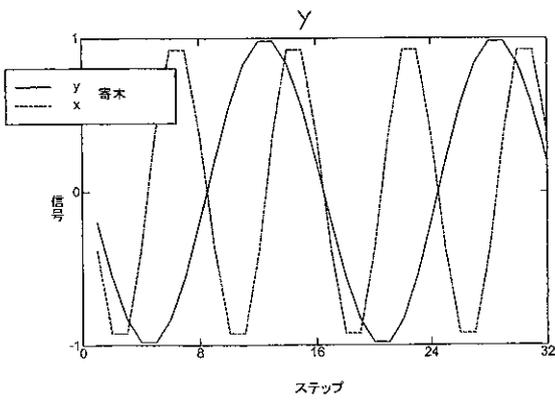
【 図 5 】



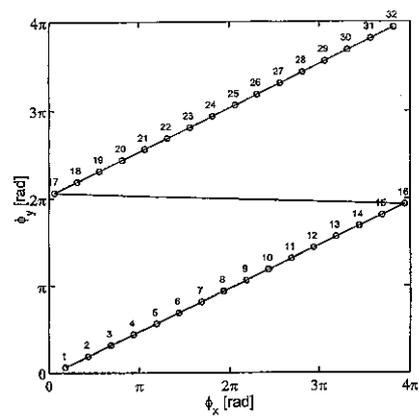
【 図 6 a 】



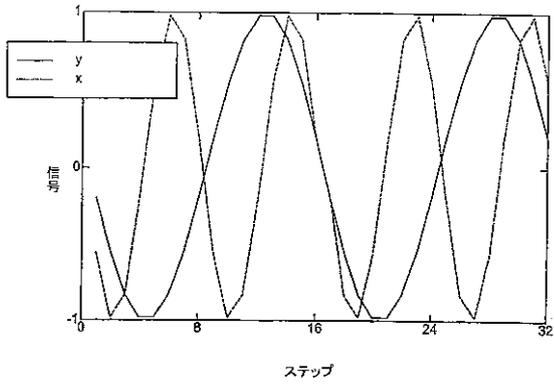
【 図 6 b 】



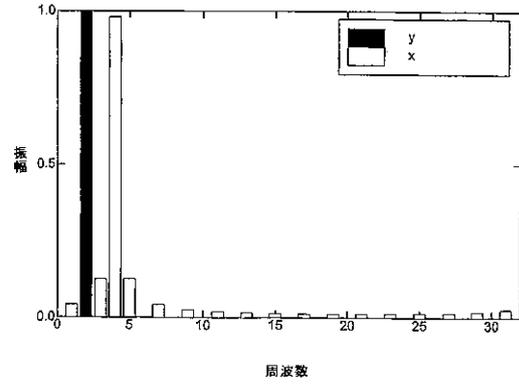
【 図 7 a 】



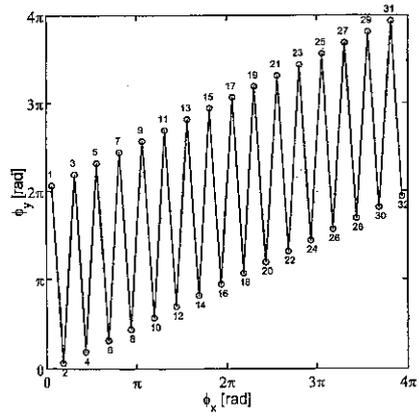
【図 7 b】



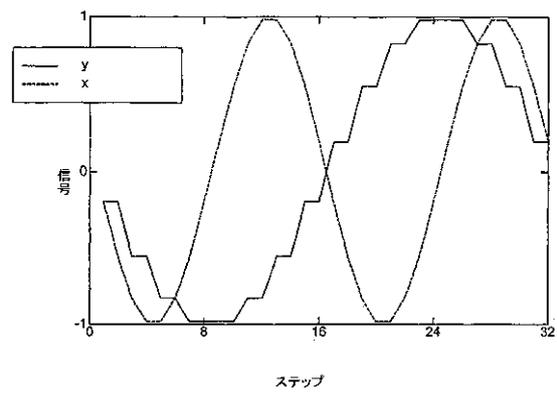
【図 7 c】



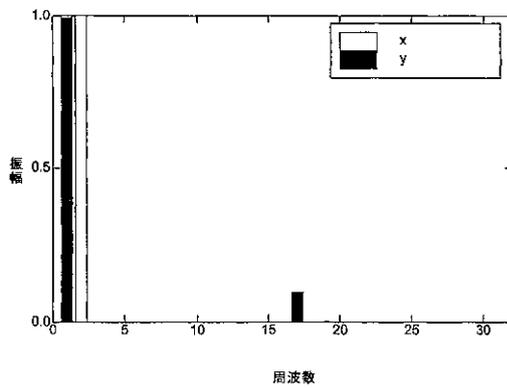
【図 7 d】



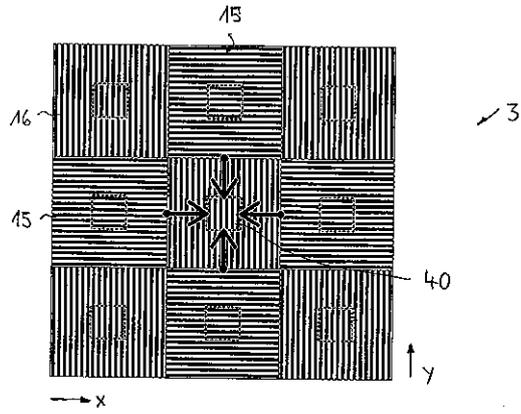
【図 7 e】



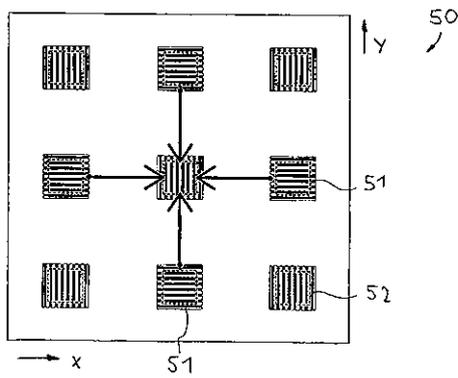
【図 7 f】



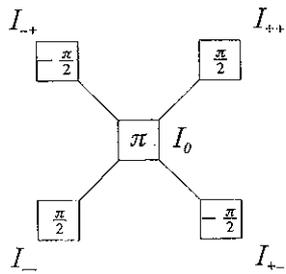
【 図 8 】



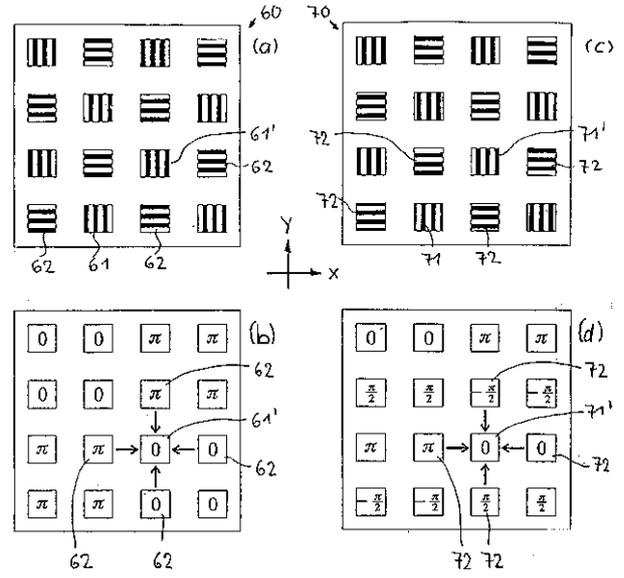
【 図 9 】



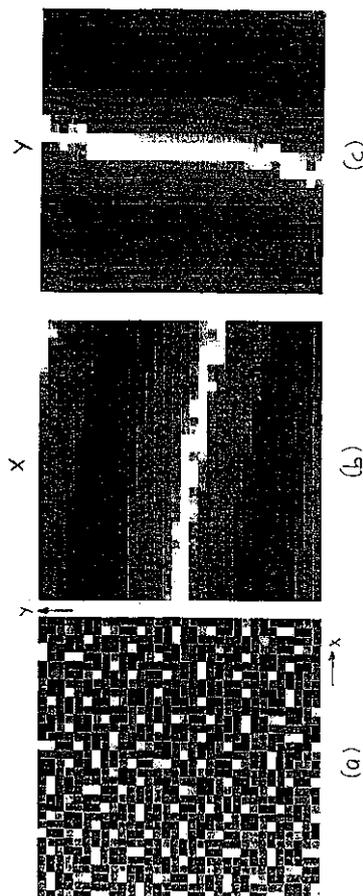
【 図 1 1 】



【 図 1 0 】



【 図 1 2 】



## 【 国際調査報告 】

INTERNATIONAL SEARCH REPORT		International No. PCT/EP 03/02283
<b>A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER</b> IPC 7 G01M1/02  According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
<b>B. FIELDS SEARCHED</b> Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) IPC 7 G01M  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, PAJ, WPI Data		
<b>C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT</b>		
Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	EP 0 418 054 A (MATSUSHITA ELECTRIC IND CO LTD) 20 March 1991 (1991-03-20) column 3 - column 12	1,17,30
Y	US 4 386 849 A (HAEUSLER GERD ET AL) 7 June 1983 (1983-06-07) column 3 - column 6	1
Y	US 6 236 448 B1 (OTA KAZUYA) 22 May 2001 (2001-05-22) claims 1-24	17
Y	US 5 621 497 A (OKAZAKI SHINJI ET AL) 15 April 1997 (1997-04-15) column 8 - column 12	30
	-/--	
<input checked="" type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of box C.		<input checked="" type="checkbox"/> 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  26 January 2004		Date of mailing of the international search report  03/02/2004
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  Dietrich, A

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

 International Application No.  
 PCT/EP 03/02283

C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	US 5 834 767 A (HASEGAWA MASANOBU ET AL) 10 November 1998 (1998-11-10) column 3 - column 7	17-29
A	US 5 973 773 A (KOBAYASHI NAUYUKI) 26 October 1999 (1999-10-26) column 3 - column 8	1,17,30
A	US 5 759 744 A (BRUECK STEVEN R J ET AL) 2 June 1998 (1998-06-02) claims 1-22	1-33
A,P	US 2002/033936 A1 (SHIRAISHI NAOMASA) 21 March 2002 (2002-03-21) claims 30-35	1-16, 30-33
A,P	US 2002/080365 A1 (MONSHOUWER RENE ET AL) 27 June 2002 (2002-06-27) page 4 - page 9	1-33

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International. n No

PCT/EP 03/02283

Patent document cited in search report		Publication date		Patent family member(s)	Publication date	
EP 0418054	A	20-03-1991	JP	2543200 B2	16-10-1996	
				3100432 A	25-04-1991	
				3134537 A	07-06-1991	
				3134538 A	07-06-1991	
				69014180 D1	22-12-1994	
				0418054 A2	20-03-1991	
				5062705 A	05-11-1991	
US 4386849	A	07-06-1983	DE	3019930 A1	03-12-1981	
				3162343 D1	29-03-1984	
				0040704 A1	02-12-1981	
US 6236448	B1	22-05-2001	JP	3379237 B2	24-02-2003	
				8078313 A	22-03-1996	
				3379238 B2	24-02-2003	
				8078314 A	22-03-1996	
				6388735 B1	14-05-2002	
				6249336 B1	19-06-2001	
				6018384 A	25-01-2000	
US 5621497	A	15-04-1997	JP	7326573 A	12-12-1995	
US 5834767	A	10-11-1998	JP	9210629 A	12-08-1997	
US 5973773	A	26-10-1999	US	5767959 A	16-06-1998	
US 5759744	A	02-06-1998	AU	5298196 A	11-09-1996	
				WO	9626468 A1	29-08-1996
US 2002033936	A1	21-03-2002	JP	3148818 B2	26-03-2001	
				4180612 A	26-06-1992	
				3268501 B2	25-03-2002	
				4180613 A	26-06-1992	
				3049774 B2	05-06-2000	
				4225357 A	14-08-1992	
				3049775 B2	05-06-2000	
				4225358 A	14-08-1992	
				3049776 B2	05-06-2000	
				4225359 A	14-08-1992	
				3049777 B2	05-06-2000	
				4225514 A	14-08-1992	
				US	5638211 A	10-06-1997
				US	2002196416 A1	26-12-2002
				DE	69132120 D1	25-05-2000
				DE	69132120 T2	21-09-2000
				EP	0486316 A2	20-05-1992
				EP	0967524 A2	29-12-1999
				US	2002101572 A1	01-08-2002
				US	2003043356 A1	06-03-2003
US	6211944 B1	03-04-2001				
US	6252647 B1	26-06-2001				
US	6233041 B1	15-05-2001				
US	6636293 B1	21-10-2003				
US 2002080365	A1	27-06-2002	EP	1348149 A1	01-10-2003	
				WO	02052350 A1	04-07-2002

## 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,RO,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,M W,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

(72)発明者 ラルフ クラエスゲス

ドイツ連邦共和国、7 3 4 3 1 アーレン、ブランデンブルガー ストラッセ 4 1

(72)発明者 ヨアヒム シュトゥエーラー

ドイツ連邦共和国、7 3 4 3 1 アーレン、ハナー・アレント・ストラッセ 9

Fターム(参考) 2G086 HH06

5F046 CB12 CB25 DA13 DB01 DC10