

(43) 国際公開日
2006年5月4日 (04.05.2006)

PCT

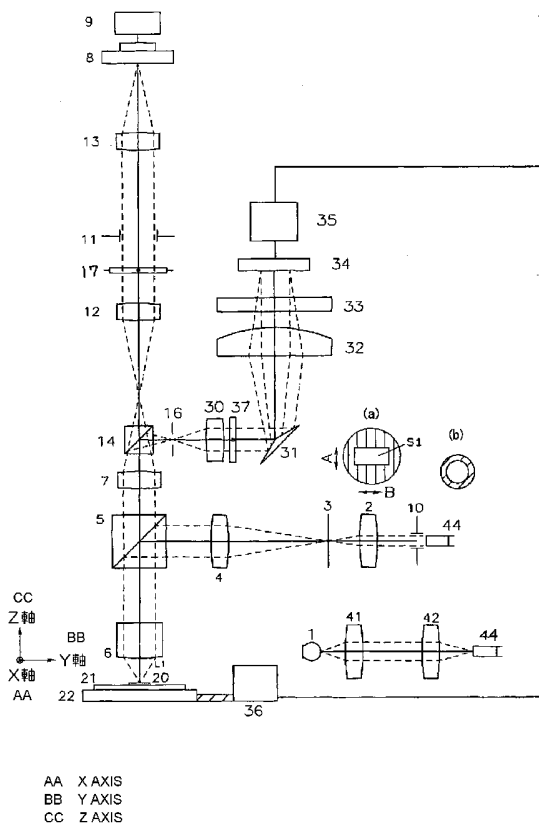
(10) 国際公開番号
WO 2006/046428 A1

- (51) 国際特許分類:
G01B 11/00 (2006.01) H01L 21/027 (2006.01)
G03F 9/00 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2005/019049
- (22) 国際出願日: 2005年10月17日 (17.10.2005)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:
特願 2004-316642
2004年10月29日 (29.10.2004) JP
- (71) 出願人(米国を除く全ての指定国について): 株式会社ニコン (NIKON CORPORATION) [JP/JP]; 〒1008331 東京都千代田区丸の内三丁目2番3号 Tokyo (JP).
- (72) 発明者; および
- (75) 発明者/出願人(米国についてのみ): 持田 大作
- (74) 代理人: 古谷 史旺, 外(FURUYA, Fumio et al.); 〒1600023 東京都新宿区西新宿1丁目19番5号 第2明宝ビル9階 Tokyo (JP).
- (81) 指定国(表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, KE, KG, KM, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, LY, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW.
- (84) 指定国(表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AT, BE, BG,

[続葉有]

(54) Title: MARK POSITION DETECTION DEVICE, DESIGN METHOD, AND EVALUATION METHOD

(54) 発明の名称: マーク位置検出装置及び設計方法及び評価方法



(57) Abstract: It is possible to configure a highly-accurate mark position detection device. Moreover, it is possible to provide an evaluation method capable of evaluating characteristics of the image formation optical system with a high sensitivity. For this, the mark position detection device includes: an image formation optical system for image formation of reflected light from the mark configured by a plurality of steps formed on a substrate; imaging means for acquiring the image formed by the image formation optical system; and detection means for detecting the step position according to an output signal from the imaging means. When the wave aberration of the image formation optical system is expressed by a Zernike polynomial, the change amount by an object height of Z4 in the polynomial is within a predetermined range by the position detection accuracy of the mark position detection device.

(57) 要約: 本発明は、測定精度の高いマーク位置検出装置を構成することを目的とする。さらには、結像光学系の特性を、感度よく評価することができる評価方法を提供することを目的とする。そのため、基板に形成された複数の段差から構成されるマークからの反射光を結像させる結像光学系と、前記結像光学系によって形成された像を取り込む撮像手段と、前記撮像手段からの出力信号に基づいて前記段差の位置を検出する検出手段とを有し、前記結像光学系は、前記結像光学系の波面収差をZernike多項式で表したとき、該多項式のうちZ4の物体高による変化量が、前記マーク位置検出装置の位置検出精度により所定の範囲になっている。



CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE,
IS, IT, LT, LU, LV, MC, NL, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR),
OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML,
MR, NE, SN, TD, TG).

2文字コード及び他の略語については、定期発行される
各PCTガゼットの巻頭に掲載されている「コードと略語
のガイダンスノート」を参照。

添付公開書類:

— 国際調査報告書

明 細 書

マーク位置検出装置及び設計方法及び評価方法

技術分野

- [0001] 本発明は、半導体ウェハ等の被検基板上の重ね合わせマークやアライメント用マークなどを計測する重ね合わせ測定装置などのマーク位置検出装置及び設計方法及び評価方法に関するものである。

背景技術

- [0002] 半導体製造工程のフォトリソグラフィ工程において、その工程を管理するため形成されたレジストパターンと下地パターンとの重ね合わせずれ量を測定する必要がある。この測定に用いられるのが重ね合わせ測定装置である。この種の装置は被検マークに対して照明光を照射し、マークからの反射光を結像してCCDカメラ等で撮像し、画像処理を経て重ね合わせずれ量を測定する。近年、半導体デバイスの微細化に伴い、ウェハアライメント精度や、露光時の重ね合わせずれ量の精度も向上させる必要があり、重ね合わせ測定装置などのマーク位置検出装置の測定精度に対する要求仕様も厳しくなっている。そこで従来は例えば特許文献1などに開示された調整方法を用いてできる限り装置の精度を上げる工夫をしてきた。

特許文献1:特開2002-25879号公報

発明の開示

発明が解決しようとする課題

- [0003] 上記従来の手法は重ね合わせ測定装置の最適な視野位置を定める方法である。この方法を使用することで、製造された装置の最高のパフォーマンスを引き出すことが可能となる。しかしこれらの調整方法はあくまでもその装置が潜在的にもつパフォーマンスを引き出すに過ぎず、装置そのものの出来が悪い場合にはいかに調整しようとも精度を向上できないという限界があった。また装置そのものの出来をよくするためには、設計段階で予め収差を抑えるとともに、製造時に仕様値以内に製造公差を抑える必要があるが、マーク位置検出の精度を低下させる全ての要因を完全に克服することは非常に困難である。

[0004] 本発明では上記問題を解決するために、マーク位置検出装置においてマーク位置検出の精度に最も影響する収差は何か、また、その収差がどのような分布を有する時に最も影響するかを突き止め、この収差および収差分布に着目して、測定精度の高いマーク位置検出装置を構成することを目的とする。さらには、結像光学系の特性を、感度よく評価することができる評価方法を提供することを目的とする。

課題を解決するための手段

[0005] 本発明のマーク位置検出装置は、基板に形成された複数の段差から構成されるマークからの反射光を結像させる結像光学系と、前記結像光学系によって形成された像を取り込む撮像手段と、前記撮像手段からの出力信号に基づいて前記段差の位置を検出する検出手段とを有し、前記結像光学系は、前記結像光学系の波面収差をZernike多項式で表したとき、該多項式のうちZ4の物体高による変化量が、前記マーク位置検出装置の位置検出精度により所定の範囲になっているものである。

[0006] また、上記のマーク位置検出装置において、前記結像手段の光学系が以下の条件式を満たすものである。

$$| -0.0012 \Delta X \cdot \Delta Z \cdot (a + b) / N.A. | < TIS設計$$

a: 使用するTIS測定マークの中心から外エッジまでの距離 (μm)

b: 使用するTIS測定マークの中心から内エッジまでの距離 (μm)

N.A.: 結像手段の物体側の結像N.A.

ΔX : 製造誤差等による光軸中心と測定マーク中心との段差の検出方向でのずれ量

(μm)

ΔZ : 光軸中心と物体高30 μm での波面収差Zernike係数Z4の差 ($m \lambda$)

ここでZ4は関数($2\rho^2 - 1$)に掛かる係数である

TIS設計: 重ね合せずれ量がゼロの測定マークを測定したときの、重ね合せずれ量の設計仕様 (nm)

また、上記のマーク位置検出装置において、前記結像手段の光学系が以下の条件式を満たすものである。

$$| 0.0012 \cdot L \cdot \Delta Z \cdot (a + b) / N.A. | < \Delta TIS設計$$

a:使用するTIS測定マークの中心から外エッジまでの距離(μm)

b:使用するTIS測定マークの中心から内エッジまでの距離(μm)

N.A.:結像手段の物体側の結像N.A.

L:視野のサイズ(μm)

ΔZ :光軸中心と物体高 $30\mu\text{m}$ での波面収差Zernike係数 Z_4 の差($\text{m}\lambda$)

ここで Z_4 は関数($2\rho^2 - 1$)に掛かる係数である

$\Delta\text{TIS設計}$:装置の視野内におけるTIS平坦度(最大のTISと最小のTISの差)の設計仕様(nm)

本発明のマーク位置検出装置の結像光学系の設計方法は、前記結像光学系が以下の条件式を満たすように設計されるものである。

[0008]
$$| -0.0012 \Delta X \cdot \Delta Z \cdot (a + b) / \text{N.A.} | < \text{TIS設計}$$

a:使用するTIS測定マークの中心から外エッジまでの距離(μm)

b:使用するTIS測定マークの中心から内エッジまでの距離(μm)

N.A.:結像手段の物体側の結像N.A.

ΔX :製造誤差等による光軸中心と測定マーク中心との段差の検出方向でのずれ量
(μm)

ΔZ :光軸中心と物体高 $30\mu\text{m}$ での波面収差Zernike係数 Z_4 の差($\text{m}\lambda$)

ここで Z_4 は関数($2\rho^2 - 1$)に掛かる係数である

TIS設計:重ね合せずれ量がゼロの測定マークを測定したときの、重ね合せずれ量の設計仕様(nm)

本発明のマーク位置検出装置の結像光学系の設計方法は、前記結像光学系が以下の条件式を満たすように設計されるものである。

[0009]
$$| 0.0012 \cdot L \cdot \Delta Z \cdot (a + b) / \text{N.A.} | < \Delta\text{TIS設計}$$

a:使用するTIS測定マークの中心から外エッジまでの距離(μm)

b:使用するTIS測定マークの中心から内エッジまでの距離(μm)

N.A.:結像手段の物体側の結像N.A.

L:視野のサイズ(μm)

ΔZ : 光軸中心と物体高 $30\ \mu\text{m}$ での波面収差Zernike係数 Z_4 の差($\text{m}\lambda$)

ここで Z_4 は関数($2\rho^2 - 1$)に掛かる係数である

ΔTIS 設計: 装置の視野内におけるTIS平坦度(最大のTISと最小のTISの差)の設計仕様(nm)

本発明の結像光学系の評価方法は、前記結像光学系によって、所定の軸に対して対称に配置された少なくとも2つの段差組を有するマークが形成された基板の像を形成して、この像に基づいて前記それぞれの段差組の中心位置どうしのずれ量を計測し、前記計測された中心位置どうしのずれ量と、前記中心位置どうしの真のずれ量と、前記結像光学系の視野でのマークの中心位置と前記結像光学系の光軸中心との距離と、前記結像光学系の開口数とを指標にして、前記結像光学系の性能を評価するものである。

[0010] また、上記の結像光学系の評価方法において、前記結像光学系で測定されたマークの計測値情報をもとに、以下の関係式から導かれる ΔZ の値に基づいて前記結像光学系の特性を評価することが好ましい。

$$\Delta Z = \left| -830 \cdot \text{TIS測定} \cdot \text{N.A.} / [\Delta X \cdot (a + b)] \right|$$

a: 段差組1の中心位置から段差までの距離(μm)

b: 段差組2の中心位置から段差までの距離(μm)

N.A.: 結像手段の物体側の結像N.A.

ΔX : 光軸中心と測定マーク中心との段差の検出方向に対する距離(μm)

ΔZ : 光軸中心と物体高 $30\ \mu\text{m}$ での波面収差Zernike係数 Z_4 の差の絶対値

($\text{m}\lambda$)、ここで Z_4 は関数($2\rho^2 - 1$)に掛かる係数である

TIS測定: 対称な段差間で測定された中心位置と、これ以外の対称な段差間で測定

された中心位置との測定値の差(nm)

また、上記の結像光学系の評価方法において、さらに、前記結像光学系の視野内で測定マークを走査して、前記視野内の複数の位置での前記測定マークの中心位置と前記結像光学系の光軸中心との距離と、前記計測された中心位置どうしのずれ量とを求め、前記結像光学系視野内の測定マークの計測値情報をもとに、以下の関

係式から導かれる ΔZ の値に基づいて前記結像光学系の特性を評価することが好ましい。

[0011]
$$\Delta Z = \left| 830 \cdot \Delta \text{TIS測定} \cdot \text{N.A.} / [L \cdot (a + b)] \right|$$

a: 段差組1の中心位置から段差までの距離 (μm)

b: 段差組2の中心位置から段差までの距離 (μm)

N.A.: 結像手段の物体側の結像N.A.

L: 視野のサイズ (μm)

ΔZ : 光軸中心と物体高 $30\mu\text{m}$ での波面収差Zernike係数Z4の差の絶対値

($\text{m}\lambda$), ここでZ4は関数($2\rho^2 - 1$)に掛かる係数である

$\Delta \text{TIS測定}$: 測定マークを視野内で走査する手段により求めた視野内のTIS変動を、一次関数でフィッティングした時の関数から求めた視野両端でのTISの差(nm)

本発明のマーク位置検出装置は、基板に形成された複数の段差から構成されるマークからの反射光を結像させる結像光学系と、前記結像光学系によって形成された像を取り込む撮像手段と、前記撮像手段からの出力信号に基づいて前記段差の位置を検出する検出手段とを有し、前記結像光学系は、前記結像光学系の波面収差をZernike多項式で表したとき、前記信号処理手段によって検出される前記段差の位置が真の前記段差位置よりもずれる方向が、前記段差の向きに拠らず同じ方向にずれるように作用する収差の項の総和が所定の値に収まる様に設計されたものである。

[0012] 本発明の結像光学系の設計方法は、基板に形成された複数の段差から構成されるマークからの反射光を結像光学系によって結像させ、前記結像光学系によって形成された像を撮像手段に取り込んで、前記撮像手段からの出力信号に基づいて前記段差の位置を検出するマーク位置検出装置の前記結像光学系の設計方法において、前記結像光学系は、前記結像光学系の波面収差をZernike多項式で表したとき、前記Zernike多項式の各項のうち、前記段差の向きに応じて異なる方向にずれるように作用する項と、前記段差の向き拠らず同じ方向にずれるように作用する項とを選択し、前記段差の向きに応じて異なる方向にずれるように作用する項は、少なくとも前記収差の分布が、前記結像光学系の視野内において均一になるように、前記段

差の向きに拠らず同じ方向にずれるように作用する項は、少なくとも前記収差の分布が、前記結像光学系の視野内において直線分布となる特性を有するように、設計されるものである。

発明の効果

- [0013] 本発明によれば、マークの位置を精度よく検出することができるマーク位置検出装置を提供することができる。また本発明によれば、結像光学系の特性を、感度よく評価することが可能になる。

図面の簡単な説明

- [0014] [図1]重ね合わせ測定装置の構成図である。
[図2]シミュレーションで使用した測定マークを示す図である。
[図3]マーク及びシミュレーションから求めた強度分布を示す図である。
[図4]フォーカス及びデフォーカス状態の光線とマークを示す図である。
[図5]デフォーカス量、N.A.と検出される段差位置のずれ量との関係を示す図である。
[図6]シミュレーションで使用した収差の分布を示す図である。
[図7]収差分布の模式図である。
[図8]マーク位置と収差の分布を示す図である。
[図9]単位収差あたりのエッジの平均ずれ量をプロットした図である。
[図10]上記のプロットとこれにフィットした関数を示す図である。

発明を実施するための最良の形態

- [0015] 以下図面を用いて本発明の実施形態を詳細に説明する。

(第1実施形態)

図1は重ね合わせ測定装置の例である。本装置における光路の詳細に関しては図1に示す如く、光源1から射出した広帯域波長の照明光束はコレクタレンズ41、光源リレーレンズ42を経て、ライトガイドファイバー44に入射する。ライトガイドファイバー44から出射した光束は照明開口絞り10によって光束径が制限され、コンデンサーレンズ2によって集光され視野絞り3を均一に照明する。視野絞り3は(a)に示すようにS1の開口を有する。照明開口絞り10の形状は(b)に示すような輪帯形状を有している。

視野絞り3を射出した光束は照明リレーレンズ4によってコリメートされ、ビームスプリッター5により分岐される。さらに、対物レンズ6によって集光されウエハ21を垂直に照射する。ここで視野絞り3とウエハ21とは共役な位置にある為、スリットS1の像は照明リレーレンズ4、対物レンズ6を介してウエハ21上に結像する。

[0016] ウエハ上に存在するストリートパターンが視野絞りの長手もしくは短手方向と45度の角度を成すようにウエハを搬送する。これはパターンの影響によるオートフォーカス動作の誤差を低減するためである。前記S1の像が投影されている位置のほぼ中心に測定マークが来るようにステージを移動する。S1の像はウエハ上のマーク20を照射する。ここで、S1の像からの反射光をL1とする。この時、ウエハ21表面から反射する光束L1は対物レンズ6によってコリメートされ、ビームスプリッター5を透過し、結像レンズ7によって再び集光される。ビームスプリッター14によって透過分岐される光束は、結像開口絞り11により光束系を制限され、収差補正用の結像系平行平板17を経て、第1リレーレンズ12及び第2リレーレンズ13によって撮像素子CCD8表面にウエハマークの像を結像する。撮像素子CCD8からの出力信号は画像処理手段9により処理され、ウエハ上のマークの位置検出や重ね合わせ量の計測及びテレビモニターによる観察を行う。

[0017] 一方、ビームスプリッター14を反射分岐された光束はAF系視野絞り16を透過し、AF第一リレーレンズ30によってコリメートされた後、平行平板37を透過し、瞳分割ミラー31上に照明開口絞り10の像を結像する。平行平板37は照明開口絞り像を瞳分割ミラーの中心に位置調整するためのものであり、チルト調整が可能に構成されている。光束L1は瞳分割ミラーによって二光束に分離され、AF第二リレーレンズ32により再び集光される。さらに、シリンдриカルレンズ33を介してAFセンサー34上の2個所に光束L1を計測方向に関して結像する。また、非計測方向に関してはシリンдриカルレンズ33が屈折力を持ち、L1の光束はAFセンサー34上に光源像を結像する。オートフォーカスの動作原理は例えば特開2002-40322にその詳細が記載されているので本実施形態では省略する。

[0018] 次に、測定光学系の設計手順の概略について説明する。物体側から、対物レンズ6、ビームスプリッター5、結像レンズ7、ビームスプリッター14、第1リレーレンズ12、

平行平板17、結像開口絞り11、第2リレーレンズ13から構成される測定光学系の設計は以下の手順で行われる。まず、測定光学系を構成する全ての光学素子のそれぞれの面形状と内部屈折率、及び光学素子間の間隔を設定し、光線収差が所定の値になるように各パラメータを再度設定し直して、光線収差が所望の範囲に収まるまで同手順を繰り返す。次に先の設計で得られた測定光学系の波面収差を、光軸周りの射出瞳を1として規格化した半径 ρ と、動径角 θ をパラメータとするzernike多項式にフィッティングさせる。Zernike多項式へのフィッティングは光軸中心の光線に加えて、任意の物体高の光線に対しても行う。このようにして求められたzernike多項式の物体高による変動から光学系全体の波面収差を評価し、変動量が所定の値に収まっていなければ、各光学素子のパラメータを微調整し、変動量が所望の範囲に収まるまで同手順を繰り返す。

[0019] 次に、本発明を導くために発明者が行った重ね合わせ測定シミュレーションについて説明する。使用した被検マークは図2に示す $10\mu\text{m}$ □のbox in box マークである。本マークは段差の向きがマーク中心に向かって凸から凹となる2つの段差e1、e4からなる $10\mu\text{m}$ □の外マークと、段差の向きがマーク中心に向かって凹から凸となる2つの段差e2、e3からなる $5\mu\text{m}$ □の内マークとで構成されている。シミュレーション手法には結像シミュレーションを用いた。また、波面収差として、zernike多項式を用いた。シミュレーションの各パラメータは表1に示すとおりである。

[0020] [表1]

N.A.	0. 50
波長 λ	0. 6563 (μm)

まず重ね合わせずれの測定光学系(結像光学系)の設計値から各物体位置における波面収差をzernike多項式として求め、物体位置による各zernike次数の変動を調べる。後述するが、この分布が重ね合わせずれ量の誤差TIS(Tool Induced Shift)を発生させる。シミュレーション上で測定光学系の光軸から $60\mu\text{m}$ の位置にマークを配置し、図2で示す各段差e1, e2, e3, e4それぞれに対応する波面収差を入力して結像シミュレーションを行う。なお物体位置は $60\mu\text{m}$ である必要はないが、値が大きいほ

どTISが大きくなることをふまえて、ここでは60 μ mを採用する。

- [0021] このシミュレーションの結果、図3に示すような強度分布が得られた。それぞれの段差位置に対応する信号強度のボトム位置を検出することで、設定した収差による各段差の移動量を求め、これらの値から、1式を用いてTISを求めることができる。なお図3はエッジの移動量を誇張して描いており、実際の移動量はnmのオーダーである。

$$\text{TIS} = (x_2 + x_3)/2 - (x_1 + x_4)/2 \quad \cdots (1\text{式})$$

x1 : 段差e1の移動量

x2 : 段差e2の移動量

x3 : 段差e3の移動量

x4 : 段差e4の移動量

このようにして求めたTISは0にはならず、何らかの値を持つ。そこでこのTISに最も効くzernike次数は何かを確かめるため、各エッジ位置での波面収差から任意のzernike次数のみを抜き出して、それを新たな収差として入力し再び結像シミュレーションを行った。そこで得られた特定のzernike次数によるTISと全波面収差によるTISを見比べて、各zernike次数がどの程度寄与しているのかを調べた。この結果、TISに最も影響を及ぼすzernike次数はZ4であることが判明した。Z4はデフォーカスを表す項であり、各像面によるデフォーカス差すなわち像面湾曲がTISに影響を及ぼすのである。ここでTISの発生には様々な光学的な要因が考えられるが、本実施形態においては前記マーク形状、及びパラメータを用いた場合であり、各物体位置における波面収差をTISの発生要因として考えた場合である。

- [0022] TISは各段差位置が収差等によりずれることにより生じる。以下でzernike係数Z4(デフォーカス)がある場合に各段差位置がずれることをシミュレーション結果を元に立てた仮説を用いて説明する。図4(a)、(b)はそれぞれマークの段差部分を拡大したもので、(a)はデフォーカスがない場合、(b)は対物レンズをマークから離す方向にデフォーカスした場合を示している。光線A1はマークの上部、光線A2は段差部分、光線A3はマーク下部でそれぞれ回折した光線を示している。(a)では、A1からA2までは同じ位相状態であるが、A2で段差部分をまたぎ急激に位相の変化が生じる。その

ため結像計算での強度にも変化が起こり、この位置がエッジとして認識される。

[0023] 一方(b)では、光線B2が示すように段差より手前側で光線の一部が段差にかかり始める。そのため光線の位相に変化が生じ始め、結像計算での強度にも変化が起こる。シミュレーションによると回折光線の概ね2 / 5が段差部分から出たところで信号強度は最小値となり、ここがエッジとして認識される。即ちエッジ位置が段差の手前側にずれて観察される。

[0024] 図5(a)にデフォーカス量が異なる場合、(b)にN.A.が異なる場合の光の様子を示す。光線C1に対してC2はzernike係数Z4の収差量が多く、デフォーカスが大きくなっている。また光線D1に対してD2は光線のN.A.が大きくなっている。光線C2、D2共に光線の一部が段差にかかる位置がより段差の手前側(凸側)に移り、強度のボトムから見積もった段差位置はより段差の手前側(凸側)にずれて観察される。シミュレーション結果からエッジ位置のずれ量はほぼデフォーカス量、N.A.に比例することが確認されている。図5では図面左から、凸から凹への段差について説明したが、凹から凸への段差でも同様に説明することができ、凹から凸にずれる場合には検出される段差位置がずれる方向は図5に示す方向とちょうど正反対の方向になる。

[0025] また、対物レンズがマークから遠ざかる方向にデフォーカスされた場合と、対物レンズがマークに近づく方向にデフォーカスされた場合とでは、検出される段差位置のずれ方向が反対になる。すなわち、対物レンズがマークに近づく方向にデフォーカスされた場合、検出される段差位置は段差の凹側にずれて観察される。

マークの全ての段差位置が同じデフォーカス量、即ちzernike係数Z4の収差量が等しければ、1式で $x_1 = -x_2 = x_3 = -x_4$ となり、それぞれのエッジ位置のずれが相殺してTISは0となる。しかし各エッジの位置でzernike係数Z4が変化していれば相殺することができずTISが発生する。これが像面湾曲があるときのTISの発生メカニズムである。

[0026] 以上、測定光学系の設計値から求めた波面収差において、zernike係数Z4がTIS測定に影響を及ぼすことを説明した。

次に波面収差の物体位置による変動を仮定して、どのような分布のときにTISが出やすいのかについて検討結果の説明を行う。この検討の過程でzernike多項式の各

次数は、測定光学系で検出されるマークの段差のずれ方向に関して2つのタイプに分類できることが分かった。1つはマーク全面で均一の収差量のときに、段差の向きによらずどの段差も同じ方向にほぼ同じ量ずれて検出されるタイプの収差で、zernike係数 Z2、Z7などがこれに相当する。もう1つはマーク全面で均一の収差量のときに、段差のずれ量の絶対値はほぼ等しいが、段差の向きによって検出される段差位置のずれ方向が異なって検出されるタイプの収差で、zernike係数Z4、Z5などがこれに相当する。

[0027] 以下に、上記2タイプの収差の代表としてZ4、Z7に注目してシミュレーションを行った結果を示す。

シミュレーションで設定した各zernike次数の収差分布を図6(a)、(b)に示す。

(a)において、type1はマークの中心で収差量0、両端で $20\text{m}\lambda$ の差となる物体位置に比例する収差分布、type2は中心で $-30\text{m}\lambda$ 、type1と同じ傾きをもつ収差分布、Type 3は左外側のエッジ位置でtype2と同じ $-20\text{m}\lambda$ 、両端で $40\text{m}\lambda$ の差となるtype1の2倍の傾きをもつ収差分布である。また、(b)において、type4はtype2の両外側のエッジ位置で収差量をプラス側に $3\text{m}\lambda$ 変化させた湾曲した収差分布、type5はtype2の左外側のエッジ位置を $+3\text{m}\lambda$ 、右外側のエッジ位置を $-3\text{m}\lambda$ 変化させた中心に対して点対称となる収差分布である。

[0028] 表2にzernike係数Z4が上記収差分布となる測定光学系、表3にZ7が上記収差分布となる測定光学系において検出される各段差e1、e2、e3、e4の移動量x1～x4、内側段差、外側段差の平均移動量、TISをまとめて記す。

[0029] [表2]

収差： Z4	x 1 (nm)	x 2 (nm)	x 3 (nm)	x 4 (nm)	内側段差 平均移動 量(nm)	外側段差 平均移動 量(nm)	TIS (nm)
Type 1	12.8	-7.4	-3.5	8.9	-5.5	10.9	-16.4
Type 2	-19.8	25.3	-36.1	41.7	-5.4	11.0	-16.4
Type 3	-19.8	30.8	-52.3	63.4	-10.8	21.8	-32.6
Type 4	-16.5	25.3	-36.1	38.4	-5.4	11.0	-16.4
Type 5	-16.5	25.3	-36.1	44.9	-5.4	14.2	-19.6

[0030] [表3]

収差 : Z7	x 1 (nm)	x 2 (nm)	x 3 (nm)	x 4 (nm)	内側段差 平均移動 量(nm)	外側段差 平均移動 量(nm)	TIS (nm)
Type 1	9.9	2.0	-2.0	-9.9	0.0	0.0	0.0
Type 2	-13.8	-21.8	-26.0	-33.6	-23.9	-23.7	-0.2
Type 3	-13.8	-25.7	-38.1	-49.5	-31.9	-31.7	-0.2
Type 4	-11.4	-21.8	-26.0	-31.2	-23.9	-21.3	-2.6
Type 5	-11.4	-21.8	-26.0	-36.0	-23.9	-23.7	-0.2

この結果から次のことが分かる。

1. 収差がない場合にも各段差位置はわずかにずれて観察され、 $x_1 = 2$ 、 $x_2 = -2$ 、 $x_3 = 2$ 、 $x_4 = -2$ nmとなる。これは隣り合う段差からの干渉によるものである。初期状態でのこのずれ量を考慮すると収差量と検出される段差位置のずれ量にはほぼ比例の関係が見られる。即ち $x_1' = x_1 - 2$ 、 $x_2' = x_2 + 2$ 、 $x_3' = x_3 - 2$ 、 $x_4' = x_4 + 2$ とすると、2式となる。

[0031] $x_1' \ x_2' \ x_3' \ x_4' \propto (\text{各段差位置での収差量}) \quad \dots (2\text{式})$

2. Zernike係数Z4を代表とする、段差の向きにより検出される段差の移動方向が逆になるタイプの収差では、物体位置での収差変動が大きいほどTISも大きくなる。変動量とTISにはほぼ比例の関係が見られる。

3. Zernike係数 Z7を代表とする、段差の向きによらず検出される段差の移動方向が同じタイプの収差では、物体位置での収差変動が直線的であればTISはほぼ発生しない。また直線的な分布から外れても、マーク中心に対して点对称となる収差分布であればTISはほぼ発生しない。つまりマーク中心に対して収差が点对称な分布から外れるほどTISは大きく発生する。

- [0032] 以下で上記の事実を1式を用いて説明する。まず段差の向きにより検出される段差の移動方向が逆になるタイプの収差に関して、もとの収差分布が図7(a)の収差分布1であったとする。このとき各段差の移動量は $x_1 = -a$ 、 $x_2 = a$ 、 $x_3 = -a$ 、 $x_4 = a$ ($a > 0$)となり1式を用いて、次の式となる。

$$TIS1 = (a - a) / 2 - (-a + a) / 2 = 0$$

この分布1から分布2への変化を考えると、マークのエッジ位置 e_2 、 e_3 、 e_4 での収差の絶対値がどれも増加する方向になる。収差が大きいほど段差の移動量は大きく

なるため、各エッジの移動量は $x_1 = -a$ 、 $x_2 = a + b$ 、 $x_3 = -a - c$ 、 $x_4 = a + d$ ($a > 0$ 、 $d > c > b > 0$)と書け、1式を用いて、次の式となる。

$$\begin{aligned} [0033] \quad TIS2 &= [(a + b) + (-a - c)] / 2 - [-a + (a + d)] / 2 \\ &= (b - c) / 2 - d / 2 \end{aligned}$$

$(b - c) / 2 < 0$ (内側段差平均) , $d / 2 > 0$ (外側段差平均)より内側、外側段差平均で移動量の符号が逆になり、より大きなTISが発生することが分かる。このような収差タイプの際にTISを小さく抑えるためには $(b - c)$ 、 d の両方を0に近づけることが必要であり、内エッジ間、外エッジ間の収差変動を共に小さくすることが必要となる。即ちマーク全域にわたって収差がフラットであることが要求される。

[0034] 次に段差の向きによらず検出される段差の移動方向が同じタイプの収差に関して、もとの収差分布が図7(b)の分布3であったとする。このとき各段差の移動量を $x_1 = -a$ 、 $x_2 = -b$ 、 $x_3 = -c$ 、 $x_4 = -d$ ($a, b, c, d > 0$)として、1式を用いて、次の式となる。

$$\begin{aligned} TIS3 &= (-b - c) / 2 - (-a - d) / 2 \\ &= [(-b + 2) + (-c - 2)] / 2 - [(-a - 2) + (-d + 2)] / 2 \end{aligned}$$

収差なしでのずれ量を考慮すると、各段差のずれ量と収差量にはほぼ比例の関係があるため、2式を用いて $(-a - 2) \propto$ (e1での収差量)、 $(-b + 2) \propto$ (e2での収差量)、 $(-c - 2) \propto$ (e3での収差量)、 $(-d + 2) \propto$ (e4での収差量)とそれぞれ書ける。従って収差の分布が物体位置に対して直線であることを考慮すると、次の式となり、直線的な分布ではTISがほとんど発生しないことが分かる。

$$\begin{aligned} [0035] \quad TIS3 &\propto [(e2での収差量) + (e3での収差量)] / 2 \\ &\quad - [(e1での収差量) + (e4での収差量)] / 2 \\ &= (\text{マーク中心での収差量}) - (\text{マーク中心での収差量}) \\ &= 0 \end{aligned}$$

この分布3から分布4への変化を考える。図7(b)ではマークの段差位置e1、e4で収差の絶対値が共に減少する方向を示しているが、増加する方向であってもよい。検出される各段差の移動量は $x_1 = -a + e$ 、 $x_2 = -b$ 、 $x_3 = -c$ 、 $x_4 = -d + f$ ($a, b, c, d > 0$ 、 $e, f; > 0$ (図の変化時)、 < 0 (図と逆向きの変化時))と書け、1式を用いて、次

の式となり、TISが発生する。

$$\begin{aligned}
 [0036] \quad TIS4 &= (-b - c)/2 - [(-a + e) + (-d + f)] / 2 \\
 &= (-b - c)/2 - (-a - d) / 2 - (e + f) / 2 \\
 &= TIS3 - (e + f) / 2 = - (e + f) / 2
 \end{aligned}$$

このような収差タイプのためにTISを小さく抑えるためには、e とfが異符号になる、すなわち収差の直線的な分布からの外れ方が逆方向であることが必要である。つまり収差の分布がマーク中心に対して点対称に近いことが要求される。

[0037] 以上をまとめると、TISを小さく抑えるためには次のことが要求される。

1. Zernike係数Z4を代表とする、段差の向きにより検出される段差の移動方向が逆になるタイプの収差では、マーク全域にわたって収差ができる限りフラットでなければならない。また表には示していないが、このタイプの収差では同じ収差分布のときZ4(デフォーカス)が最もTISを発生させ、ついでZ5(アス)がその5割ほどのTISを発生させるという結果が得られている。

2. Zernike係数Z7を代表とする、段差の向きによらず検出される段差の移動方向が同じタイプの収差では、マークの中心に対して収差の分布が点対称に近くなければならない。しかし現実的には点対称に制御することは困難であるため、収差分布にうねりが起こらないように設計、製造及び調整を行う。またこのタイプの収差では同じ収差分布のときZ2(横ずれ)が最もTISを発生させ、ついでZ7(コマ)がその6割ほどのTISを発生させるという結果が得られている。

[0038] 以上の結果を踏まえて、実際の測定装置でbox in box マークを使用する際にTISが発生する様子を考察する。シミュレーションによるとTISが2.5 (nm) 発生するにはZ4ではマークの両端で約3 (mλ) の差となる収差の直線成分が必要であり、一方Z7では直線分布からのずれが3 (mλ) となるうねり成分が必要である。測定光学系の設計値から波面収差の分布を求めるとzernikeの各次数で値の大小、分布のうねり方など傾向は異なるが、マークスケールで見ると収差分布はほぼ直線成分の方がうねり成分よりも支配的である。事実、先に述べたとおり設計値の波面収差を用いたシミュレーションではTISはほぼZ4のみで発生している。なおシミュレーションでは光軸上にマークを配置するとTISは0になる。これはzernike 成分Z4が光軸に関して対称性を有するため

、収差の分布が完全にフラットでない場合であっても内側段差位置どうし、外側段差位置どうしでそれぞれ収差量が等しくなるためである。しかし実機では、製造誤差等により望ましい視野の中心からずれた位置において測定する可能性があるため、少なくともZ4の収差成分によるTISへの影響は必ず存在する。また前述したように、TISに対する収差のうねり成分の影響はあまり支配的でないことを考慮しても、Z4からの寄与の割合は少なくはないと考えられる。

[0039] そこで、あるzernike係数Z4の分布のときに、視野位置にずれが起こると、TISがいくら発生するかをシミュレーションにより求めた。この結果により、あるTISの仕様を達成するためには、少なくともZ4の収差量、及び視野位置のずれ量をいくら以下に抑えて設計すればよいか分かる。

以下に検討結果を説明する。図8にzernike係数Z4の分布と中心からずれてマークが配置されている様子を示す。Z4の分布は設計値の検討から2次関数でよくフィットできることが分かっているので、本シミュレーションでも2次関数分布とした。また、Z4の分布を表す指標として光軸中心でのZ4の収差量と、光軸中心から段差の検出方向に30 μ mずれた位置でのZ4の収差量との差 $\Delta Z(m\lambda)$ の値を採用した。なお、ここでは光軸中心位置と、光軸中心から段差の検出方向に30 μ mずれた位置でのZ4の差分をZ4の分布の指標としたが、任意の物体位置でも同様の議論が可能であり、またZ4の分布にフィッティングさせた関数を指標として用いてもよいことはいうまでもない。

[0040] 測定するマークは、外側段差間の距離2a(μ m)、内側段差間の距離2b(μ m)のbox in boxマークとし、光軸中心位置と対するマーク中心位置との段差の測定方向でのずれ量を $\Delta X(\mu$ m)とする。外側段差どうし、内側段差どうしの収差量の差 $\Delta z(\text{外})$ 、 $\Delta z(\text{内})$ は、次の式となる。

$$\begin{aligned}\Delta z(\text{外}) &= [-\Delta Z \times [(a + \Delta X) / 30]^2] - [-\Delta Z \times [(-a + \Delta X) / 30]^2] \\ &= -4 \Delta X \cdot \Delta Z \cdot a / 900 (m\lambda) \\ \Delta z(\text{内}) &= [-\Delta Z \times [(b + \Delta X) / 30]^2] - [-\Delta Z \times [(-b + \Delta X) / 30]^2] \\ &= -4 \Delta X \cdot \Delta Z \cdot b / 900 (m\lambda)\end{aligned}$$

シミュレーションによると単位収差量あたりの段差位置の平均ずれ量と測定光学系

の開口数とには、次の関係(後述)がある。

[0041] 外側段差間: $-0.27 / \text{N.A. (nm / m}\lambda\text{)}$

内側段差間: $0.27 / \text{N.A. (nm / m}\lambda\text{)}$

このため、3式となる。

$$\begin{aligned} \text{TIS} &= (-4 \Delta X \cdot \Delta Z \cdot b / 900 \times 0.27 / \text{N.A.}) \\ &\quad - [-4 \Delta X \cdot \Delta Z \cdot a / 900 \times (-0.27 / \text{N.A.})] \\ &= -0.0012 \Delta X \cdot \Delta Z \cdot (a + b) / \text{N.A. (nm)} \quad \cdots (3\text{式}) \end{aligned}$$

装置におけるTISの設計仕様TIS設計を満足するためには、少なくともここで求めたZ4によるTISが設計仕様内に収まる必要があるため、 ΔZ は、以下の条件式を満たさなければならない。

[0042] $|-0.0012 \Delta X \cdot \Delta Z \cdot (a + b) / \text{N.A.}| < \text{TIS設計 (nm)} \quad \cdots (4\text{式})$

例としてN.A.=0.5、通常よく用いる外エッジ幅30(μm)、内エッジ幅15(μm)のbox in boxマークを仮定して計算すると $|-0.054 \Delta X \cdot \Delta Z| < \text{TIS設計 (nm)}$ であり、TISの設計仕様が3(nm)のとき、 $|\Delta X \cdot \Delta Z| < 56 (\mu\text{m} \cdot \text{m}\lambda)$ となる。これよりマーク位置が25 μm ずれる可能性があるとき、光軸から30(μm)離れた位置でのzernike係数Z4の変動は2(m λ)未満でなければならない。

[0043] シミュレーションから、単位収差量あたりの検出される段差位置の平均ずれ量Xaveと収差量の差にはN.A.を用いて、以下の関係があることが分かった。

$$X_{\text{ave(外)}} = -0.27 / \text{N.A. (nm / m}\lambda\text{)}$$

$$X_{\text{ave(内)}} = 0.27 / \text{N.A. (nm / m}\lambda\text{)}$$

以下でこれを説明する。

[0044] 使用した収差はzernike係数Z4である。このZ4の分布が直線的であり、かつマークの一方の端での収差の値ともう一方の端での値との差が5、20、40m λ となる直線的な分布の3つの収差タイプを用いてシミュレーションを行った。マーク形状は図2に示したものをを用いている。この収差タイプそれぞれについてN.A.0.3、0.5、0.6、0.7の条件でシミュレーションを行い、内、外側段差位置の平均移動量を求めた。この値を各段差位置での収差量の差で割ったものをプロットしたものが図9である。横軸はN.A.、縦軸は単位収差あたりのエッジの平均移動量 δ を表す。このデータを $\delta = a \times (\text{N.A.})$

.)bの関数を用いてフィッティングした結果、内、外マークともほぼ近い値が得られたためこれらを平均し、 $a = 0.27$ 、 $b = 1.0$ の値を得た。尚、図9のデータは、図2のマークの上下が反転したマークを用いた場合、すなわちマークの中心に向かって外側段差が凹から凸に向かい、内側段差が凸から凹に向かうマークの場合には内マークと外マークとで符号が逆転する。

- [0045] 図10に外側段差データの符号を反転したものと内側段差データからなる測定データと上記関数をプロットしたものを示す。この結果はN.A.に反比例することを示している。以下でこれについて考察する。

zernike係数Z4は $2\rho^2 - 1$ (ρ はN.A.とほぼ等価)と表され、最大のN.A.で ρ は規格化されている。つまり $5m\lambda$ の収差量というときN.A.0.5ではこのN.A.での理想波面からのずれ量が $5m\lambda$ ということで、N.A.0.7ではそのときの理想波面からのずれ量が $5m\lambda$ ということになる。N.A.が大きいほど ρ も大きくなるので、あるN.A.で見たときにはN.A.0.5での $5m\lambda$ の方がN.A.0.7での $5m\lambda$ よりもデフォーカスへの効きは大きいことになる。具体的には ρ^2 の項が効いて、zernike係数Z4が等量のときデフォーカス量は $1 / N.A.$ に比例する。

- [0046] またエッジのずれ量は図5a、5bを用いて既に説明したとおり、デフォーカス量、N.A.の両方に比例する。したがってzernike係数Z4の収差量が等しいとき、次の関係となる。

$$(\text{デフォーカス量}) \propto 1 / N.A.^2$$

$$(\text{検出される段差位置のずれ量}) \propto (\text{デフォーカス量}) \times N.A.$$

このため、次の関係となり、N.A.の一乗に反比例する結果となる。

- [0047] $(\text{検出される段差位置のずれ量}) \propto 1 / N.A.^2 \times N.A. = 1 / N.A.$

(第2実施形態)

上記の第1実施形態では測定光学系の所定の像高における収差量から、装置のTISの仕様値に応じてZ4をどのくらいの値に抑えるべきかを導いたが、本実施形態では、前記3式の関係を用いて、視野内におけるTIS平坦度(TISの最大値と最小値の差)の仕様から満たすべきzernike係数Z4の許容変動量を導く。以下、説明する。

- [0048] 重ね合わせ測定装置で使用するマークには様々な大きさのものがあ、これらのマ

ークを視野内のどの位置で測定してもできる限り小さいTISとなることが望ましい。そのため図2に示すようなマークを測定光学系の視野内で動かしながら順次TISの測定を行い、視野領域でTISの変化特性を調べ、この特性を手がかりにTISが良好な位置を視野中心に持っていく調整が行われている。これにより視野の中心に対して収差を視野内でほぼ対称な分布に近づけることができるが、完全にフラットにはならず必ず傾斜成分が残る。この傾斜成分は光学調整によりある程度は改善できるが、調整によって改善できる限界があり、ある値以下に小さくすることは出来ない。この主な原因がzernike係数Z4である。TISの平坦度には装置の仕様に見合った基準が設けられるが、第1実施形態に示したように、3式を用いることでこの基準から装置の設計においてzernike係数Z4の変動量をいくら以下に抑えなければならないかを導出することができる。

[0049] 今、式3において、光軸中心とマーク中心の距離 ΔX とTIS以外は定数とし、 ΔX とTISとの関係を示すと以下ようになる。

$$TIS = (-0.0012 \cdot \Delta Z \cdot (a + b) / N.A.) \cdot \Delta X \quad \cdots (5式)$$

これはマークを視野位置で動かしていくときのTISの値、すなわちTISの変化特性を表している。この式から変化量は一次関数になり、視野の両端でもっとも大きなTIS差が出るのがわかる。そこで視野サイズを $L(\mu m)$ とするとTISの平坦度 $\Delta TIS(nm)$ は、6式となる。

$$\begin{aligned} [0050] \quad \Delta TIS &= |(-0.0012 \cdot \Delta Z \cdot (a + b) / N.A.) \cdot (-L / 2) \\ &\quad - (-0.0012 \cdot \Delta Z \cdot (a + b) / N.A.) \cdot (L / 2)| \\ &= |0.0012 \cdot L \cdot \Delta Z \cdot (a + b) / N.A| (nm) \quad \cdots (6式) \end{aligned}$$

TISの平坦度の設計仕様 ΔTIS 設計を満足するためには、少なくともここで求めた ΔTIS が設計仕様内に収まる必要があるので、 ΔZ が以下の条件式を満たさなければならない。

$$[0051] \quad |0.0012 \cdot L \cdot \Delta Z \cdot (a + b) / N.A.| < \Delta TIS \text{設計}(nm) \quad \cdots (7式)$$

例えば $N.A. = 0.5$ とし、測定するマークを図2に示す形状のマークであって外側段差間の距離 $10 \mu m$ 、内側段差間の距離 $5 \mu m$ のマークとし、視野サイズを $50 \mu m$ とすると、 $|0.9 \Delta Z| < \Delta TIS \text{設計}(nm)$ となる。この場合、視野内のTIS平坦度の仕様を $2 nm$

とすると、光軸から30 μ m離れた位置でのzernike係数Z4の変動は2m λ 未満でなければならない。

(第3実施形態)

また実際の装置において任意の視野位置に測定マークを配置し、TISの測定値TIS測定を得たとする。このTIS測定は様々な要因により生じているが、この要因が主にZ4である場合にはZ4の大きさは、3式を変形して、以下のように表せる。

$$|\Delta Z| = |-830 \cdot \text{TIS測定} \cdot \text{N.A.} / [\Delta X \cdot (a + b)]| \text{ (m}\lambda\text{)} \cdots (8\text{式})$$

この式から直接測定が困難な物体位置によるzernike係数Z4の変動を推定することが可能であり、光学系の特性を評価することが出来る。8式は、TISの要因が主にZ4である場合であり、マーク全体が光軸中心からはずれる、すなわち $\Delta X > a$ である場合には特に有効に用いることができる。

(第4実施形態)

上記評価方法をさらに信頼性高く行うためには、視野位置で小型の測定マークを走査して視野内でのTISの変動を調べる方法が有効である。以下にこの方法を説明する。

- [0052] 視野内で小型の測定マークを走査し順次TISを測定して、視野内におけるTISの変動を求める。この変動の原因が主にZ4である。次にこの変動を一次関数でフィッティングし、この関数から求めた視野両端でのTISの差を $\Delta \text{TIS測定}$ とすると6式を変形し、次の式となる。

$$|\Delta Z| = |830 \cdot \Delta \text{TIS測定} \cdot \text{N.A.} / [L \cdot (a + b)]| \text{ (m}\lambda\text{)} \cdots (9\text{式})$$

この式を用いることにより直接測定が困難な物体位置によるzernike係数Z4の変動を推定することが可能であり、光学系の特性を評価することが出来る。

(第5実施形態)

以上の第2実施形態から第4実施形態ではzernike多項式のうち、Z4に注目して、説明したが、これらの説明は、zernike多項式の収差の項のうち、段差の向きによって検出される段差の位置のずれ方向が異なる全ての収差の項を適用できることは言うまでもない。設計時の指標として、上記特性を示す全ての収差の項を指標として用いてもよいし、また、TISのずれ量に対して影響の大きい項をいくつか選択して指標として

用いてもよい。

[0053] 第1実施形態で述べたように、さらに、検出される段差の位置のずれ方向が段差の向きによらない収差項についても、その収差分布が直線分布となるように設計の段階から構成することによって、更にその測定光学系のTISを小さい値に抑えることができる。

また、本実施形態ではbox in boxマークを例にとって説明を行ったが、使用するマークはこれにとらわれない。複数の凸ラインや凹ライン、それらの組合せ、またラインマークとboxマークとの組合せ等、少なくとも対称に配置された少なくとも2組の段差で構成されていれば形状は問わない。ただし、光学系を設計する場合や、光学系の評価を行う場合には、収差によって発生するTIS量の大きい、すなわち収差に対する感度の高いマークを用いることが好ましい。

請求の範囲

- [1] 基板に形成された複数の段差から構成されるマークからの反射光を結像させる結像光学系と、
 前記結像光学系によって形成された像を取り込む撮像手段と、
 前記撮像手段からの出力信号に基づいて前記段差の位置を検出する検出手段とを有し、
 前記結像光学系は、前記結像光学系の波面収差をZernike多項式で表したとき、該多項式のうちZ4の物体高による変化量が、前記マーク位置検出装置の位置検出精度により所定の範囲になっていることを特徴とするマーク位置検出装置。
- [2] 請求項1に記載のマーク位置検出装置において、
 前記結像手段の光学系が以下の条件式を満たす

$$| -0.0012 \Delta X \cdot \Delta Z \cdot (a + b) / \text{N.A.} | < \text{TIS設計}$$

$$a: \text{使用するTIS測定マークの中心から外エッジまでの距離} (\mu\text{m})$$

$$b: \text{使用するTIS測定マークの中心から内エッジまでの距離} (\mu\text{m})$$

$$\text{N.A.}: \text{結像手段の物体側の結像N.A.}$$

$$\Delta X: \text{製造誤差等による光軸中心と測定マーク中心との段差の検出方向でのずれ量}$$

$$(\mu\text{m})$$

$$\Delta Z: \text{光軸中心と物体高} 30 \mu\text{m} \text{での波面収差Zernike係数Z4の差} (\text{m}\lambda)$$

$$\text{ここでZ4は関数}(2\rho^2 - 1)\text{に掛かる係数である}$$

$$\text{TIS設計: 重ね合せずれ量がゼロの測定マークを測定したときの、重ね合せずれ量の設計仕様} (\text{nm})$$
 ことを特徴とするマーク位置検出装置。
- [3] 請求項1に記載のマーク位置検出装置において、
 前記結像手段の光学系が以下の条件式を満たす

$$| 0.0012 \cdot L \cdot \Delta Z \cdot (a + b) / \text{N.A.} | < \Delta \text{TIS設計}$$

$$a: \text{使用するTIS測定マークの中心から外エッジまでの距離} (\mu\text{m})$$

b:使用するTIS測定マークの中心から内エッジまでの距離(μm)

N.A.:結像手段の物体側の結像N.A.

L:視野のサイズ(μm)

ΔZ :光軸中心と物体高 $30\mu\text{m}$ での波面収差Zernike係数 Z_4 の差($\text{m}\lambda$)

ここで Z_4 は関数($2\rho^2 - 1$)に掛かる係数である

$\Delta\text{TIS設計}$:装置の視野内におけるTIS平坦度(最大のTISと最小のTISの差)の設計仕様(nm)

ことを特徴とするマーク位置検出装置。

- [4] マーク位置検出装置の結像光学系の設計方法において、
前記結像光学系が以下の条件式を満たすように設計される

$$| -0.0012 \Delta X \cdot \Delta Z \cdot (a + b) / \text{N.A.} | < \Delta\text{TIS設計}$$

a:使用するTIS測定マークの中心から外エッジまでの距離(μm)

b:使用するTIS測定マークの中心から内エッジまでの距離(μm)

N.A.:結像手段の物体側の結像N.A.

ΔX :製造誤差等による光軸中心と測定マーク中心との段差の検出方向でのずれ量
(μm)

ΔZ :光軸中心と物体高 $30\mu\text{m}$ での波面収差Zernike係数 Z_4 の差($\text{m}\lambda$)

ここで Z_4 は関数($2\rho^2 - 1$)に掛かる係数である

$\Delta\text{TIS設計}$:重ね合せずれ量がゼロの測定マークを測定したときの、重ね合せずれ量の設計仕様(nm)

ことを特徴とする結像光学系の設計方法。

- [5] マーク位置検出装置の結像光学系の設計方法において、
前記結像光学系が以下の条件式を満たすように設計される

$$| 0.0012 \cdot L \cdot \Delta Z \cdot (a + b) / \text{N.A.} | < \Delta\text{TIS設計}$$

a:使用するTIS測定マークの中心から外エッジまでの距離(μm)

b:使用するTIS測定マークの中心から内エッジまでの距離(μm)

N.A.:結像手段の物体側の結像N.A.

L:視野のサイズ(μm)

ΔZ :光軸中心と物体高 $30\mu\text{m}$ での波面収差Zernike係数 Z_4 の差($\text{m}\lambda$)

ここで Z_4 は関数($2\rho^2 - 1$)に掛かる係数である。

ΔTIS 設計:装置の視野内におけるTIS平坦度(最大のTISと最小のTISの差)の設計仕様(nm)

ことを特徴とする結像光学系の設計方法。

[6] 結像光学系の評価方法において、

前記結像光学系によって、所定の軸に対して対称に配置された少なくとも2つの段差組を有するマークが形成された基板の像を形成して、この像に基づいて前記それぞれの段差組の中心位置どうしのずれ量を計測し、

前記計測された中心位置どうしのずれ量と、前記中心位置どうしの真のずれ量と、前記結像光学系の視野でのマークの中心位置と前記結像光学系の光軸中心との距離と、前記結像光学系の開口数とを指標にして、前記結像光学系の性能を評価することを特徴とする結像光学系の評価方法。

[7] 請求項6に記載の結像光学系の評価方法において、

前記結像光学系で測定されたマークの計測値情報をもとに、以下の関係式から導かれる ΔZ の値に基づいて前記結像光学系の特性を評価する

$$\Delta Z = | -830 \cdot \text{TIS測定} \cdot \text{N.A.} / [\Delta X \cdot (a + b)] |$$

a:段差組1の中心位置から段差までの距離(μm)

b:段差組2の中心位置から段差までの距離(μm)

N.A.:結像手段の物体側の結像N.A.

ΔX :光軸中心と測定マーク中心との段差の検出方向に対する距離(μm)

ΔZ :光軸中心と物体高 $30\mu\text{m}$ での波面収差Zernike係数 Z_4 の差の絶対値

($\text{m}\lambda$) , ここで Z_4 は関数($2\rho^2 - 1$)に掛かる係数である

TIS測定:対称な段差間で測定された中心位置と、これ以外の対称な段差間で測定

された中心位置との測定値の差(nm)

ことを特徴とする結像光学系の評価方法。

- [8] 請求項6に記載の結像光学系の評価方法において、
さらに、前記結像光学系の視野内で測定マークを走査して、前記視野内の複数の位置での前記測定マークの中心位置と前記結像光学系の光軸中心との距離と、前記計測された中心位置どうしのずれ量とを求め、前記結像光学系視野内の測定マークの計測値情報をもとに、以下の関係式から導かれる ΔZ の値に基づいて前記結像光学系の特性を評価する

$$\Delta Z = | 830 \cdot \Delta \text{TIS測定} \cdot \text{N.A.} / [L \cdot (a + b)] |$$

a: 段差組1の中心位置から段差までの距離 (μm)

b: 段差組2の中心位置から段差までの距離 (μm)

N.A.: 結像手段の物体側の結像N.A.

L: 視野のサイズ (μm)

ΔZ : 光軸中心と物体高 $30\mu\text{m}$ での波面収差Zernike係数 Z_4 の差の絶対値

($\text{m}\lambda$), ここで Z_4 は関数($2\rho^2 - 1$)に掛かる係数である

$\Delta \text{TIS測定}$: 測定マークを視野内で走査する手段により求めた視野内のTIS変動を、一次関数でフィッティングした時の関数から求めた視野両端でのTISの差(nm)

ことを特徴とする結像光学系の評価方法。

- [9] 基板に形成された複数の段差から構成されるマークからの反射光を結像させる結像光学系と、

前記結像光学系によって形成された像を取り込む撮像手段と、

前記撮像手段からの出力信号に基づいて前記段差の位置を検出する検出手段とを有し、

前記結像光学系は、前記結像光学系の波面収差をZernike多項式で表したとき、前記信号処理手段によって検出される前記段差の位置が真の前記段差位置よりもずれる方向が、前記段差の向きに拠らず同じ方向にずれるように作用する収差の項の総和が所定の値に収まる様に設計された

ことを特徴とするマーク位置検出装置。

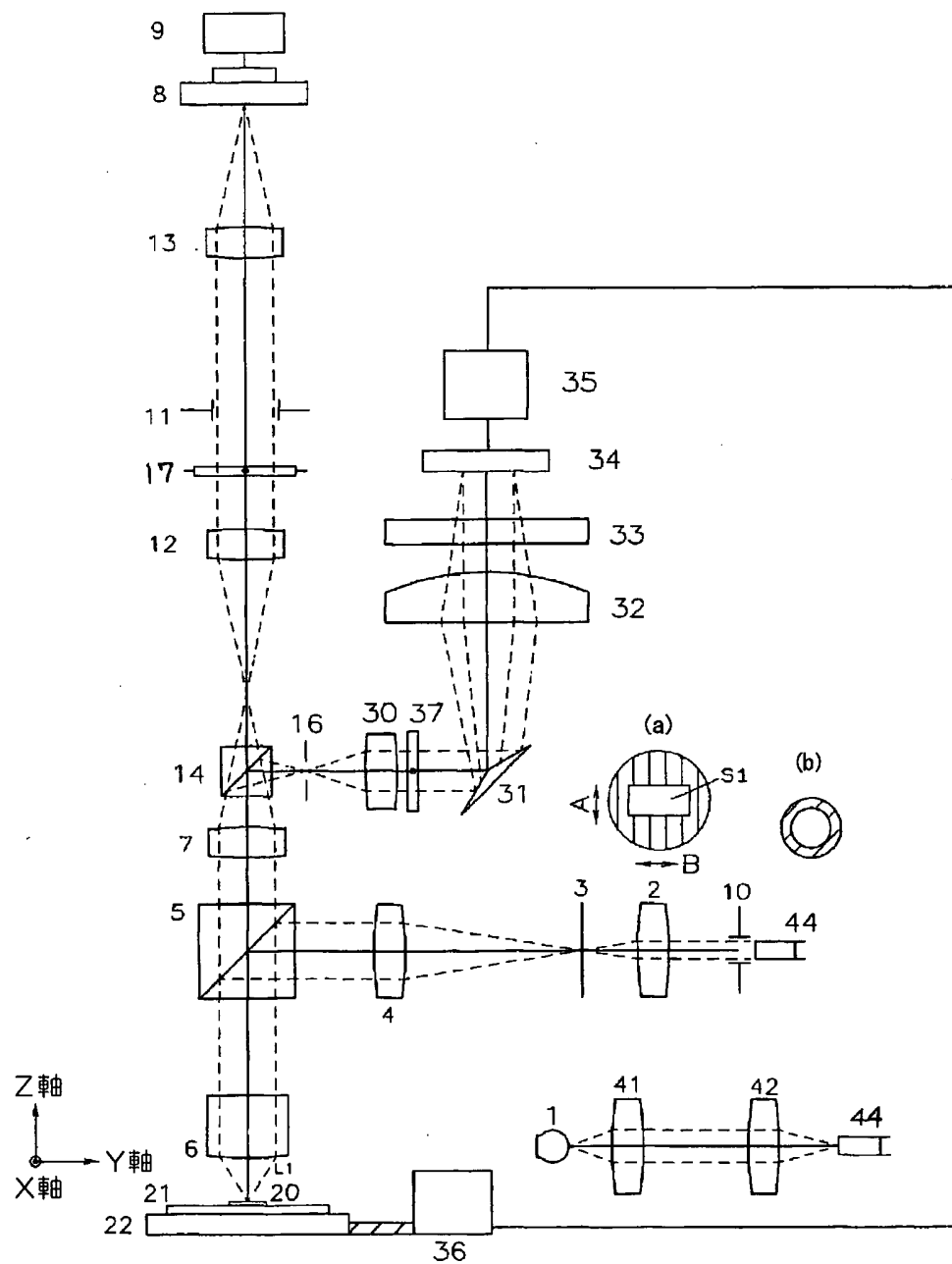
- [10] 基板に形成された複数の段差から構成されるマークからの反射光を結像光学系に

よって結像させ、前記結像光学系によって形成された像を撮像手段に取り込んで、前記撮像手段からの出力信号に基づいて前記段差の位置を検出するマーク位置検出装置の前記結像光学系の設計方法において、

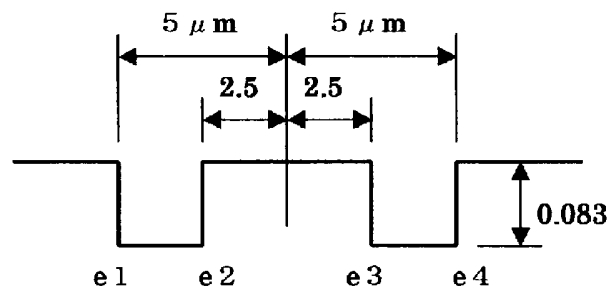
前記結像光学系は、前記結像光学系の波面収差をZernike多項式で表したとき、前記Zernike多項式の各項のうち、前記段差の向きに応じて異なる方向にずれるように作用する項と、前記段差の向き拠らず同じ方向にずれるように作用する項とを選択し、

前記段差の向きに応じて異なる方向にずれるように作用する項は、少なくとも前記収差の分布が、前記結像光学系の視野内において均一になるように、前記段差の向きに拠らず同じ方向にずれるように作用する項は、少なくとも前記収差の分布が、前記結像光学系の視野内において直線分布となる特性を有するように、設計されることを特徴とする結像光学系の設計方法。

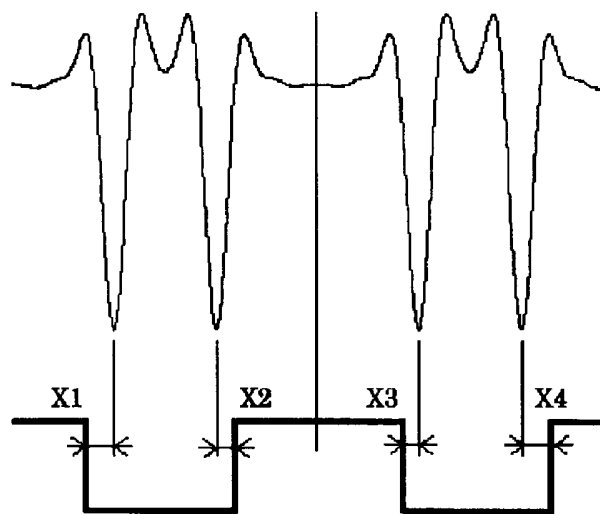
[図1]



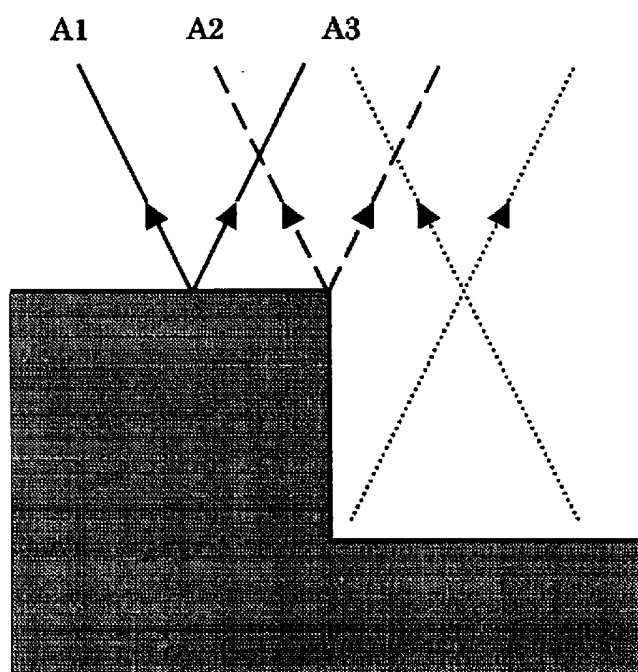
[図2]



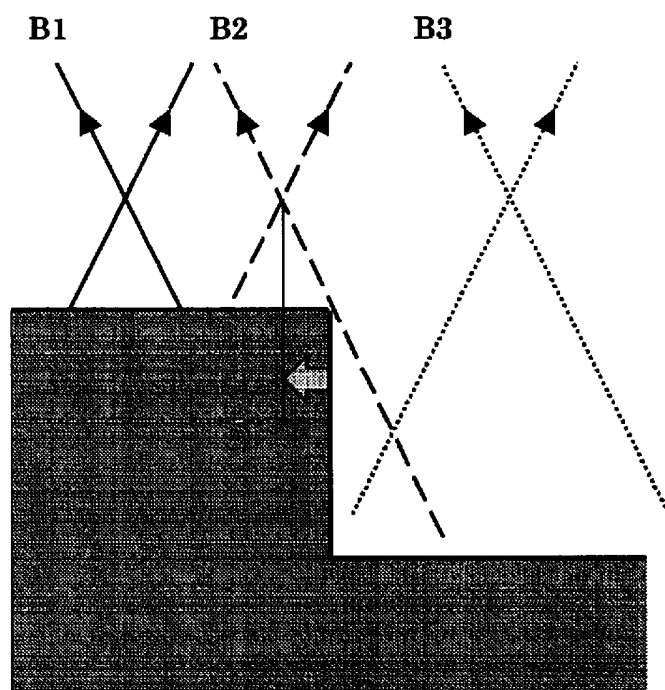
[図3]



[図4]

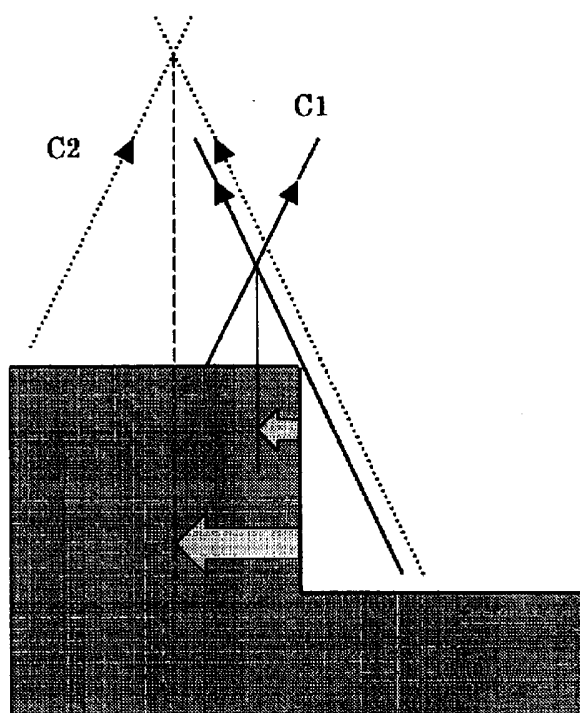


(a)

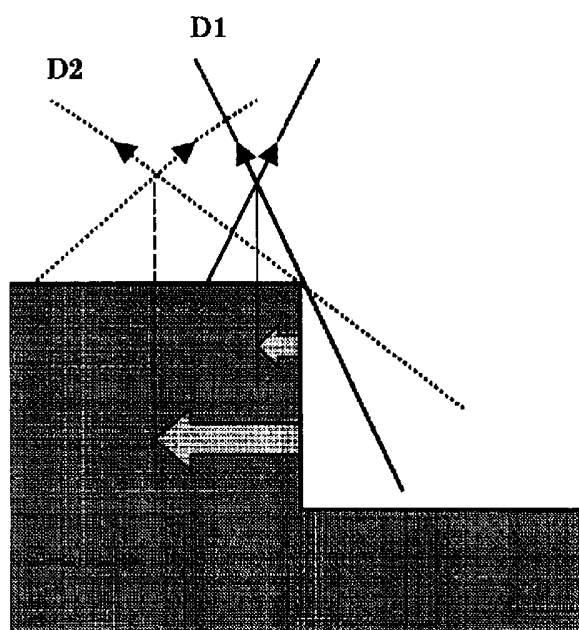


(b)

[図5]

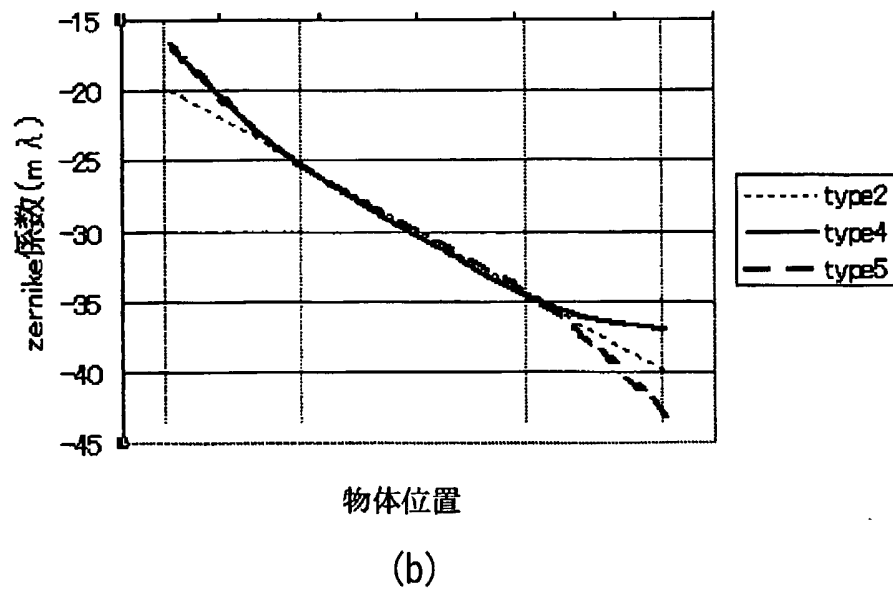
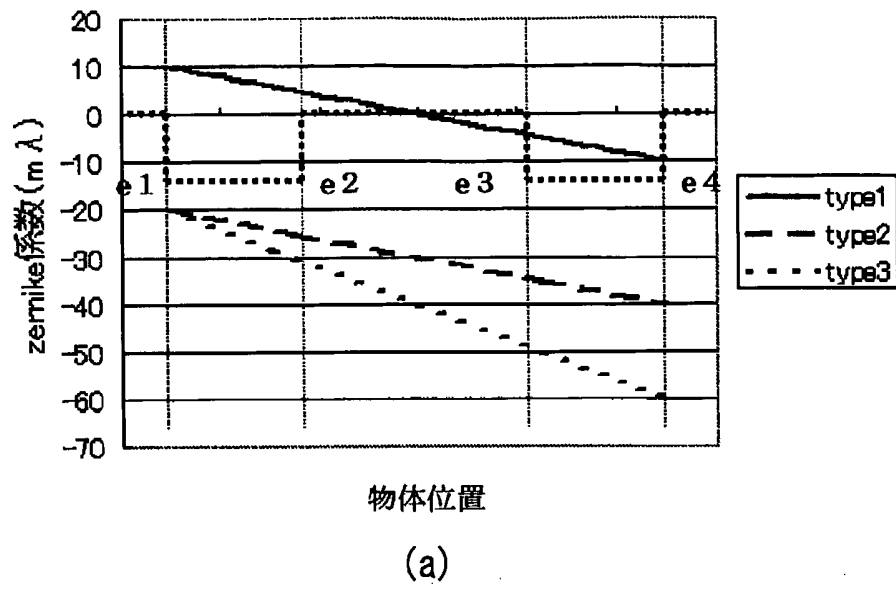


(a)

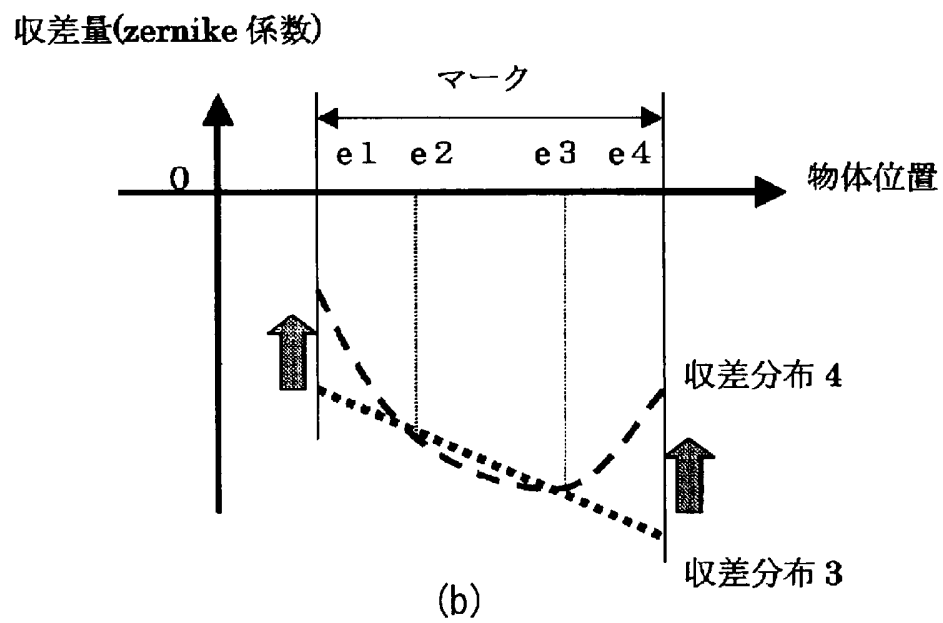
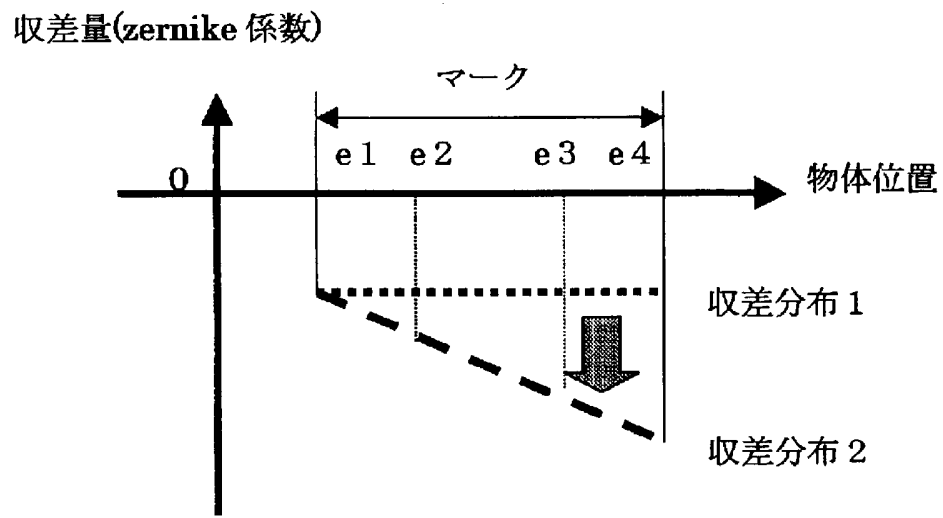


(b)

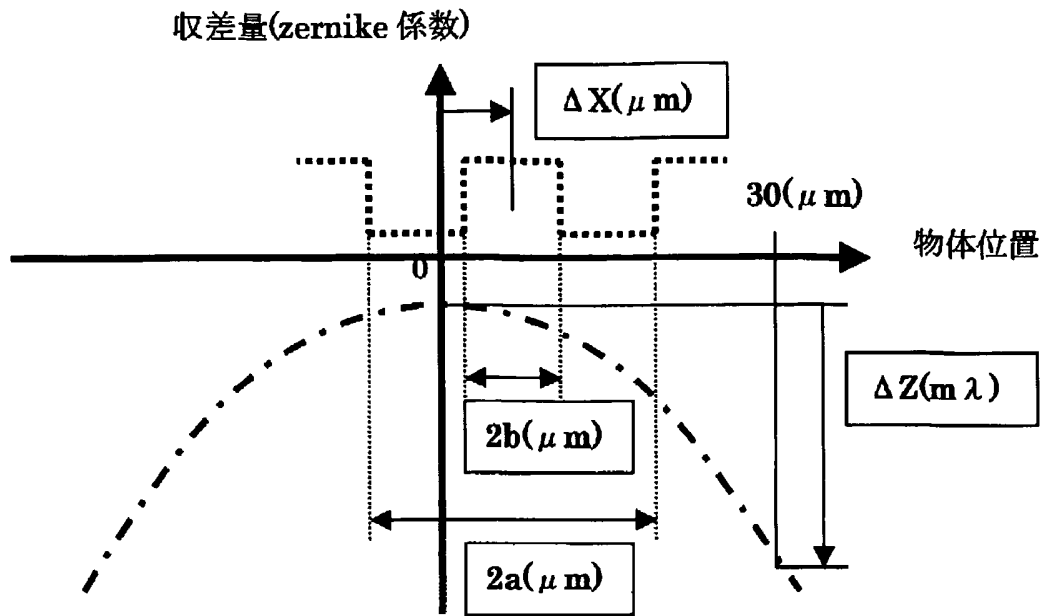
[図6]



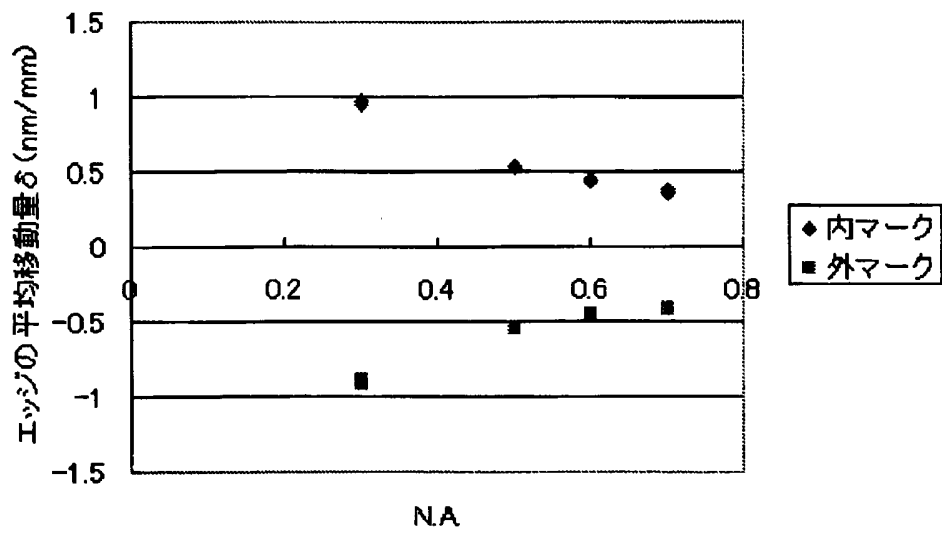
[図7]



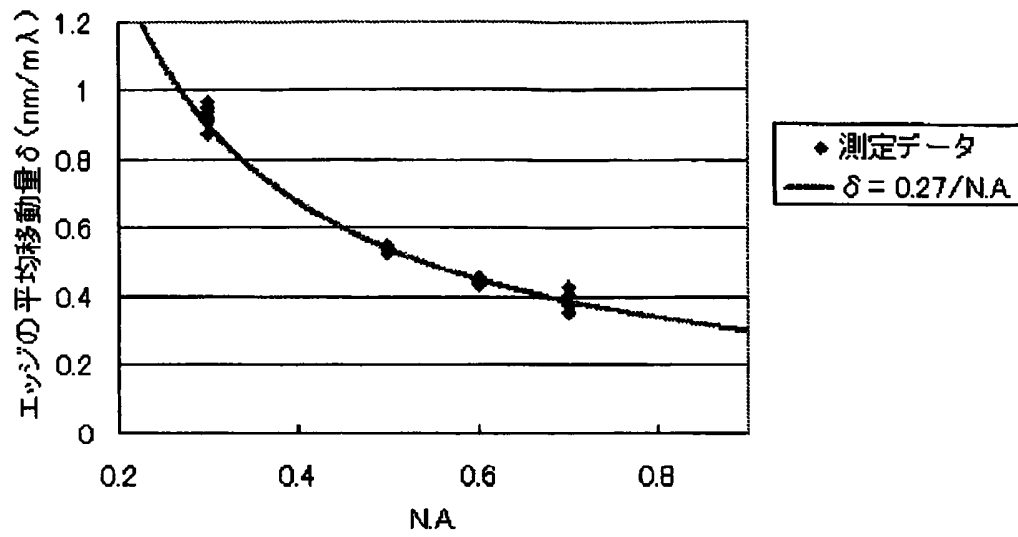
[図8]



[図9]



[図10]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2005/019049

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER G01B11/00 (2006.01) , G03F9/00 (2006.01) , H01L21/027 (2006.01)		
According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
B. FIELDS SEARCHED Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) G01B11/00 (2006.01) - G01B11/30 (2006.01) , G03F9/00 (2006.01) , H01L21/027 (2006.01)		
Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched Jitsuyo Shinan Koho 1922-1996 Jitsuyo Shinan Toroku Koho 1996-2006 Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-2006 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-2006		
Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP 2000-146528 A (Fujitsu Ltd.), 26 May, 2000 (26.05.00), Par. Nos. [0027] to [0028], [0035] to [0047], [0067] to [0077]; Figs. 1, 2, 5 to 9, 14 to 16 & JP 3634198 B2	1-10
Y	JP 2951366 B2 (Olympus Optical Co., Ltd.), 20 September, 1999 (20.09.99), Column 4, line 15 to column 6, line 44 & JP 4-43902 A	1-10
☐ Further documents are listed in the continuation of Box C. ☐ See patent family 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 application or patent 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 10 January, 2006 (10.01.06)		Date of mailing of the international search report 24 January, 2006 (24.01.06)
Name and mailing address of the ISA/ Japanese Patent Office		Authorized officer
Facsimile No.		Telephone No.

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (I P C))

Int.Cl. G01B11/00 (2006.01), G03F9/00 (2006.01), H01L21/027 (2006.01)

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (I P C))

Int.Cl. G01B11/00 (2006.01)- G01B11/30 (2006.01), G03F9/00 (2006.01), H01L21/027 (2006.01)

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	1922-1996年
日本国公開実用新案公報	1971-2006年
日本国実用新案登録公報	1996-2006年
日本国登録実用新案公報	1994-2006年

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
Y	JP 2000-146528 A (富士通株式会社) 2000.05.26, [0027]段-[0028]段、[0035]段-[0047]段、[0067]段-[0077]段、第1, 2, 5-9, 14-16 図 & JP 3634198 B2	1-10
Y	JP 2951366 B2 (オリンパス光学工業株式会社) 1999.09.20, 第4欄第15行目-第6欄第44行目 & JP 4-43902 A	1-10

☐ C欄の続きにも文献が列挙されている。☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの
「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの
「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)
「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献
「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの

「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの

「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの

「&」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

10.01.2006

国際調査報告の発送日

24.01.2006

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/J P)

郵便番号100-8915

東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)

山下 雅人

電話番号 03-3581-1101 内線 3258

2 S

9303