

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2007-17285

(P2007-17285A)

(43) 公開日 平成19年1月25日(2007.1.25)

(51) Int. Cl. F I テーマコード (参考)
GO 1 B 11/00 (2006.01) GO 1 B 11/00 A 2 F O 6 5

審査請求 未請求 請求項の数 9 O L (全 16 頁)

(21) 出願番号	特願2005-199084 (P2005-199084)	(71) 出願人	000001199 株式会社神戸製鋼所 兵庫県神戸市中央区脇浜町二丁目10番26号
(22) 出願日	平成17年7月7日(2005.7.7)	(74) 代理人	100084135 弁理士 本庄 武男
		(72) 発明者	迫田 尚和 兵庫県神戸市西区高塚台1丁目5番5号 株式会社神戸製鋼所神戸総合技術研究所内
		(72) 発明者	森本 勉 兵庫県神戸市西区高塚台1丁目5番5号 株式会社神戸製鋼所神戸総合技術研究所内
		(72) 発明者	高松 弘行 兵庫県神戸市西区高塚台1丁目5番5号 株式会社神戸製鋼所神戸総合技術研究所内

最終頁に続く

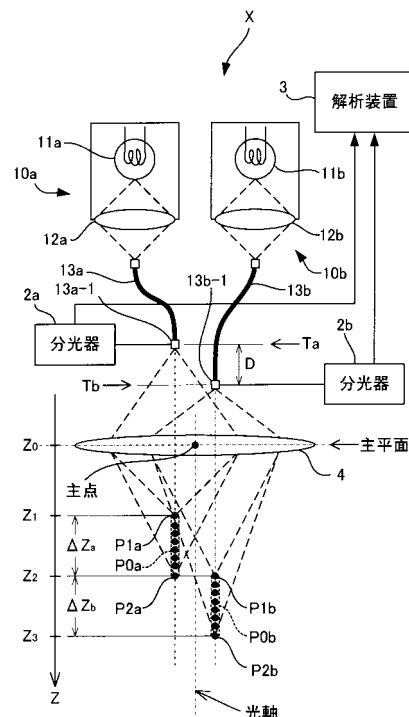
(54) 【発明の名称】 変位測定装置及び変位測定方法

(57) 【要約】

【課題】 測定分解能の低下を伴わずに広範な測定幅をもって試料の変位を測定することが可能な変位測定装置及び変位測定方法を提供すること。

【解決手段】 光源10aから出射される光の出射位置をTaに設定し、光源10bから出射される光の出射位置を上記出射位置Taよりもレンズ4側へずらした位置Tbに設定し、上記各光源10a、10bから出射された光が色収差を有するレンズ4によって試料に照射され、そして、上記試料からの反射光を受光し、その受光した反射光に含まれる複数の波長光(波長帯域1~2)それぞれの光強度に基づいて上記試料の上記レンズ4の光軸方向の変位を測定する。上記各光源の出射位置がずらされたことにより結像点(結像点の分散領域)の位置が異なることを利用することにより、当該装置の測定レンジを拡大させる。

【選択図】 図1



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

複数の波長光からなる多波長光を出射する光源と，
 上記光源から出射された上記多波長光を収束すると共に収束された多波長光を試料に向けて照射する色収差を有する第 1 の光学系と，
 上記第 1 の光学系により収束された多波長光の上記試料からの反射光を受光する受光手段と，を備え，
 上記受光手段により受光された反射光に含まれる複数の波長光それぞれの光強度に基づいて上記試料の上記第 1 の光学系の光軸方向の変位を測定する変位測定装置であって，
 上記光源により出射される上記多波長光の出射位置が，上記第 1 の光学系の光軸方向に所定間隔ずらされて複数設定されてなることを特徴とする変位測定装置。

10

【請求項 2】

上記複数の出射位置それぞれから出射されたそれぞれの多波長光が上記第 1 の光学系によって収束されることにより像を結ぶ各波長毎の結像点を含む上記多波長光毎の分散領域が連続するように上記出射位置が設定されてなる請求項 1 に記載の変位測定装置。

【請求項 3】

上記第 1 の光学系の光軸方向に隣接して設定された第 1 の出射位置と第 2 の出射位置が，上記第 1 の出射位置から出射された多波長光が上記第 1 の光学系によって収束されることにより像を結ぶ各波長毎の結像点を含む分散領域の上記第 1 の光学系の光軸方向の分散長さを Z とし，上記第 1 の光学系の横倍率を M とした場合に，上記第 1 の光学系の光軸方向に次式により導出される間隔 D を隔てて設定されてなる請求項 1 又は 2 のいずれかに記載の変位測定装置。

20

$$D = Z / M^2$$

【請求項 4】

上記光源が上記複数の出射位置それぞれに配設されてなる請求項 1 ~ 3 のいずれかに記載の変位測定装置。

【請求項 5】

上記光源が上記複数の出射位置それぞれの間を移動自在に支持されてなる請求項 1 ~ 3 のいずれかに記載の変位測定装置。

【請求項 6】

上記光源が，上記多波長光を発光する発光器と，該発光器から発光された多波長光を伝播して上記第 1 の光学系に出射する可撓性ある光伝播ケーブルとを備えてなる請求項 1 ~ 5 のいずれかに記載の変位測定装置。

30

【請求項 7】

上記複数の出射位置に対応して複数の上記光伝播ケーブルが設けられてなり，上記発光器が複数の上記光伝播ケーブル間を移動自在に支持されてなる請求項 6 に記載の変位測定装置。

【請求項 8】

上記光源から出射された多波長光を上記複数の出射位置それぞれで結像するように収束する第 2 の光学系を備えてなる請求項 1 ~ 3 のいずれかに記載の変位測定装置。

40

【請求項 9】

色収差を有する光学系の光軸方向に所定間隔ずらされた複数の出射位置から複数の波長光からなる多波長光を上記光学系に対して出射する多波長光出射工程と，
 上記光学系により収束された多波長光の上記試料からの反射光を受光する受光工程と，
 上記受光工程で受光された反射光に含まれる複数の波長光それぞれの光強度に基づいて上記試料の上記光学系の光軸方向の変位を測定する測定工程と，
 を具備してなることを特徴とする変位測定方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

50

本発明は、試料から反射した反射光の光強度に基づいて試料の変位を測定する技術に関し、特に、色収差を有するレンズ等の光学系を透過した多波長光が各波長毎に異なる位置で結像するという性質を利用して上記試料の変位を測定する変位測定装置及び方法に関するものである。

【背景技術】

【0002】

従来、試料の高さの変位を測定する変位測定法として、三角測量を応用した光学的三角測距方式の変位測定法が公知である。この変位測定法は、可干渉性のある指向性の強い半導体レーザなどのレーザ光を測定対象試料に照射させた場合に、上記試料から拡散反射された光線の一部をCCDやPSDなどの受光素子上でスポットを結ぶように光学系機器を配置させ、上記試料表面の起伏などにより変動する該試料表面までの照射距離に応じて移動する上記受光素子上のスポットの移動量を測定し、その測定された移動量を上記試料の高さの変位量に換算する手法である。

10

【0003】

また、共焦点光学系を用いて試料の高さ変位を測定する共焦点方式の変位測定法として、多波長光を色収差のあるレンズ（以下「色収差レンズ」と称す）に透過させた場合に、上記色収差レンズを透過した各波長光が光軸方向に異なる位置で結像するという性質を利用して、試料から反射した反射光を各波長毎に受光し、最も強い受光量の受光位置から特定波長の結像位置を求め、この結像位置を上記試料の高さ位置とする公知の方法がある。このような公知の方法を用いて試料の高さ変位を測定する変位測定装置が特許文献1（試料高さ判別装置）及び特許文献2（Distance measuring confocal microscope（共焦点方式の距離測定顕微鏡））に開示されている。

20

【0004】

ここで、図7及び図8を用いて、上記色収差レンズを用いた従来の共焦点方式の変位測定装置の一例である上記特許文献1に記載の試料高さ判別装置Yの動作原理について説明する。ここに、図7は上記試料高さ判別装置Yの概略構成図、図8は高さの異なる試料に光が照射されたときの様子を示す模式図である。

図7に示すように、従来の試料高さ判別装置Yは、Xeランプ等からなる複数の波長成分（例えば3つの波長 λ_1 、 λ_2 、 λ_3 ）を含むランプ光（多波長光に相当）を出射する光源101と、ピンホール102、106と、ハーフミラーなどからなるビームスプリッタ103と、色収差を有するレンズ104と、処理部110と、レンズ111、113と、プリズム112と、ラインセンサ114とを備えて概ね構成される。

30

【0005】

このように構成された試料高さ判別装置Yでは、上記レンズ104の光軸上に配置された光源101から発せられたランプ光はピンホール102を通過した後、上記ビームスプリッタ103を透過し、更にレンズ104で収束されて、試料105に照射される。そして、上記試料105で反射した光はレンズ104を透過した後、上記ビームスプリッタ103で反射される。その後、上記ビームスプリッタ103からの反射光に含まれる特定の波長光のみがピンホール106で結像することにより該ピンホール106を通過して、レンズ111により平行光に変換される。上記レンズ111で変換された平行光は、プリズム112によって該平行光に含まれる複数の波長成分に分光（分離）され、その後、レンズ113を介して上記ラインセンサ114上の各波長 λ_1 、 λ_2 、 λ_3 に対応する入射位置 Q_{11} 、 Q_{12} 、 Q_{13} に導かれる。例えば、波長 λ_1 の光が試料105の頂部で結像して反射した場合は、波長 λ_1 の光が入射位置 Q_{11} に最も多く照射される。

40

【0006】

いま、上記試料高さ判別装置Yにおいて、上記光源101から3つの波長 λ_1 、 λ_2 、 λ_3 （ $\lambda_1 < \lambda_2 < \lambda_3$ の関係を有する）を有する光が出射されたと仮定する。この場合、色収差を有する上記レンズ104によって、該レンズ104を透過した光は上記波長毎に分散され、上記レンズ104の主点Oから各波長 λ_1 、 λ_2 、 λ_3 に対応した距離 Z_{11} 、 Z_{12} 、 Z_{13} だけ進んだ地点 P_{11} 、 P_{12} 、 P_{13} で結像する（共役像を結

50

ぶ) ことになる。即ち、図示するように、上記レンズ 104 によって分散された波長 λ_1 , λ_2 , λ_3 それぞれ光は、光軸上において光軸方向 Z に分散された位置 P_{11} , P_{12} , P_{13} で結像される。

なお、一般にレンズの焦点距離 f は、レンズの肉厚を d 、レンズの屈折率を n 、レンズの局率半径を r_1 , r_2 とすると、以下の近似式 (1) で表すことができる。

【数 1】

$$\frac{1}{f} = (n-1) \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) + \frac{(n-1)^2 d}{nr_1 r_2} \doteq (n-1) \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) \quad \dots\dots (1)$$

上式 (1) によれば、焦点距離 f はレンズの屈折率 n に依存していることが分かる。また、この屈折率 n は光の波長が短いほど大きくなることが周知である。このような周知事項と上式 (1) から、波長が短い光ほどその焦点距離が短くなることが理解できる。

したがって、図 7 に示すように、上記色収差を有するレンズ 104 を通過した光のうち、最も短い波長 λ_1 の光は上記レンズ 104 に最も近い位置 P_{11} で結像し (共役像を結び)、最も長い波長 λ_3 を有する光は上記レンズ 104 から最も遠い位置 P_{13} で結像することになる。

【0007】

上記結像位置の異なる 3 つの波長 λ_1 , λ_2 , λ_3 を有する光 (多波長光) が、例えば、図 8 (a) に示す試料 105 a に照射され、図示するように波長 λ_2 の光の結像点 P_{12} と一致する上記試料の頂部で反射したとする。この場合、波長 λ_1 及び λ_3 と較べて波長 λ_2 の光が多く上記レンズ 104 へ向けて反射されるため、上記ラインセンサ 114 (図 7 参照) に上記波長 λ_2 の光が最も多く入射されることになる。上記ラインセンサ 114 に入射された光は該ラインセンサ 114 により各波長 λ_1 , λ_2 , λ_3 毎の位置 Q_{11} , Q_{12} , Q_{13} でそれぞれ波長光の受光量が求められ、その後、上記処理部 110 によって、最も受光量の多い波長 λ_2 が特定される。この特定された波長 λ_2 の光の結像点 P_{12} の位置が試料 105 a の高さに決定される。

また、図 8 (b) に示すように、照射された光が波長 λ_3 の光の結像点 P_{13} と一致する試料台の表面 (試料の存在しない位置) で反射した場合は、上記結像点 P_{13} で反射した波長 λ_3 の光が上記ラインセンサ 114 に最も多く入射されるため、上記波長 λ_3 の光の結像点 P_{13} の位置が試料の高さに決定される。更にまた、図 8 (c) に示すように、照射された光が波長 λ_1 の光の結像点 P_{11} と一致する上記試料 105 c の頂部で反射した場合は、この波長 λ_1 の光が上記ラインセンサ 114 に最も多く入射されるため、上記波長 λ_1 の光の結像点 P_{11} の位置が試料 105 c の高さに決定される。

【特許文献 1】特開平 10 - 9827 号公報

【特許文献 2】米国特許第 5785651 号明細書

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0008】

上述した従来公知の試料高さ判別装置 Y においては、図 7 に示す各波長光の結像点を含む分散領域 P_0 (破線で囲まれた領域) の光軸方向 Z の長さ Z_{10} (以下「分散長さ」と称す) は、当該試料高さ判別装置 Y で測定し得る試料高さの測定幅 (測定レンジ) を示すものである。しかしながら、上記分散領域 P_0 の分散長さ Z_{10} は有限であるため、従来の試料高さ判別装置 Y では、上記分散長さ Z_{10} を超える試料の変位量を測定することができないという問題点があった。特に、LED (Light Emitting Diode) や SLD (Super Luminescent Diode) などのように、寿命が長く、電力消費量の極めて低い半導体発光素子を光源として用いた場合は、発光される光の波長帯域が狭いため、必然的に測定幅 (測定レンジ) がランプ系の光源と較べて一層狭くなるという問題がある。

一方、上記分散長さ Z_{10} がレンズの光学特性に応じて異なることは自明である。例えば、図 9 に示すように、分散率の高い高分散レンズを用いたときの波長帯域 $\lambda_1 \sim \lambda_3$ における分散長さ Z_{Hi} は分散率の低い低分散レンズを用いたときの分散長さ Z_{Low}

10

20

30

40

50

よりも長くなる。なお、図9はレンズの分散率に応じた波長と分散長さとの相関特性を示す相関特性図であり、実線は高分散レンズ、破線は低分散レンズの相関特性を示す。

したがって、上記高分散レンズを用いることにより、装置の測定幅（測定レンジ）を広げることができる。しかしながら、高分散レンズを用いた場合は、測定分解能（測定精度）が著しく低下するという問題を伴う。即ち、図9の相関特性曲線の傾き Z/λ は高分散レンズのほうが大きいため、 λ をラインセンサなどで検出されるピーク波長の誤差或いは揺らぎとして捉えると、高分散レンズを用いた場合はピーク波長の検出誤差（ $\Delta\lambda$ ）が分散長さに与える影響が低分散率の場合に較べて大きくなり、高い測定精度を得ることができない。要するに、広い測定範囲の確保という観点からは高分散レンズは適しているが、その反面、測定誤差の影響を強く受けるため、十分な測定精度を得ることができないという問題がある。

10

従って、本発明は上記事情に鑑みてなされたものであり、その目的とするところは、測定分解能の低下を伴わずに広範な測定幅をもって試料の変位を測定することが可能な変位測定装置及び変位測定方法を提供することにある。

【課題を解決するための手段】

【0009】

上記目的を達成するために本発明は、光源より出射され、色収差を有するレンズなどの第1の光学系によって試料に照射された多波長光の上記試料からの反射光を受光し、その受光した反射光に含まれる複数の波長光それぞれの光強度に基づいて上記試料の上記第1の光学系の光軸方向の変位を測定する変位測定装置に適用され、上記光源により出射される上記多波長光の出射位置が、上記第1の光学系の光軸方向に所定間隔ずらされて複数設定されてなる変位測定装置として構成される。

20

このように構成されることにより、異なる出射位置それぞれから多波長光を出射させて上記第1の光学系に入射させることで、上記出射位置に応じた位置（領域）に各波長光の結像を出現させることができる。これにより、異なる出射位置から出射されたそれぞれの多波長光に対応する分散された結像を試料の変位測定に用いることで、当該変位測定装置の測定幅（測定レンジ）を広げることが可能となる。このとき、上記第1の光学系の分散率を大きくすることなく測定幅が広げられるため、測定分解能（測定精度）の低下という不具合を招くことはない。

なお、上記複数の出射位置は、上記第1の光学系を透過した光を収束させるため、上記第1の光学系の焦点より該第1の光学系から離れた位置、即ち、上記第1の光学系の焦点よりも後方に設定されたものであることが望ましい。ここに、上記第1の光学系の焦点とは、上記第1の光学系に太陽光などの平行光を照射させたときに像を結ぶ点（焦点）のことをいう。

30

【0010】

ここで、上記複数の出射位置それぞれから出射されたそれぞれの多波長光が上記第1の光学系によって収束されることにより像を結ぶ各波長毎の結像点を含む分散領域が連続するように上記出射位置が設定されてなることが望ましい。もちろん、上記分散領域が途切れてさえいなければ、一部重複した状態で連続していてもよい。なお、上記分散領域が途切れていた場合は、途切れ区間における試料の変位を測定することができなくなり、測定精度が低下するため好ましくない。

40

また、上記第1の光学系の光軸方向に隣接して設定された第1の出射位置と第2の出射位置が、上記第1の出射位置から出射された多波長光が上記第1の光学系によって収束されることにより像を結ぶ各波長毎の結像点を含む分散領域の上記第1の光学系の光軸方向の分散長さを Z とし、上記第1の光学系の横倍率を M とした場合に、上記第1の光学系の光軸方向に次式（2）により導出される間隔 D を隔てて設定されてなることが考えられる。

$$D = Z / M^2 \dots \dots (2)$$

このように、少なくとも上式（2）により導き出される間隔 D だけずらして上記出射位置を設定すれば、上記分散領域を連続して出現させることが可能となる。

50

【0011】

また、上記複数の出射位置から多波長光を出射する手法としては、例えば、上記光源を上記複数の出射位置それぞれに配設することが考えられる。

或いは、少なくとも一つ光源を上記複数の出射位置それぞれの間で移動自在に支持し、上記複数の出射位置を移動しながら上記光源から上記多波長光を出射することも考えられる。

前者の手法は、複数の光源を要するものの光源を移動させる必要がないため、一旦光源が配設されればその出射位置の調整を行う必要がない点で有利であり、また、後者の手法は、上記複数の出射位置全てに光源を設ける必要がないためコストの削減、構成の簡素化という点で有利である。

10

【0012】

ここで、上記光源は、上記多波長光を発光する発光器と、該発光器から発光された多波長光を伝播して上記第1の光学系に出射する可撓性ある光ファイバーなどの光伝播ケーブルとを備えたものであることが望ましい。

本来、上記第1の光学系の光軸上に光の出射位置を設定することが好ましいが、本発明では複数の出射位置が上記第1の光学系の光軸方向に所定間隔ずらされて設定されるため、上記光軸上に全ての出射位置を設定することはできず、上記第1の光学系の光軸から焦平面方向（即ち光軸に垂直な方向）へずらされて設定されることになる。上記焦平面方向へのずれは、測定分解能を低下させる要因となるため、最小限に抑えることが好ましい。そのため、光ファイバーなどのように照射径の極小な光伝播ケーブルを用いて上記複数の出射位置を設定すれば、上記複数の出射位置の配置間隔を多くともケーブルの直径程度に抑えることができ、ひいては測定分解能（測定精度）を向上させることができる。

20

この場合、上記複数の出射位置に対応して複数の上記光伝播ケーブルが設けられてなり、上記発光器が複数の上記光伝播ケーブル間を移動自在に支持されてなる構成を採用した場合は、上記発光器の設置数を減少させて、コスト削減を実現すると共に、装置を簡素化することができる。

【0013】

また、上記光源から出射された多波長光を上記複数の出射位置それぞれで結像するように収束する第2の光学系を備えた構成も考えられる。即ち、上記第2の光学系によって収束され像を結んだ結像点が上記出射位置となる。

30

【0014】

また、本発明を変位測定方法と捉えることもできる。即ち、色収差を有する光学系の光軸方向に所定間隔ずらされた複数の出射位置から複数の波長光からなる多波長光を上記光学系に対して出射する多波長光出射工程と、上記光学系により収束された多波長光の上記試料からの反射光を受光する受光工程と、上記受光工程で受光された反射光に含まれる複数の波長光それぞれの光強度に基づいて上記試料の上記光学系の光軸方向の変位を測定する測定工程と、を具備してなる変位測定方法として捉えることができる。このような変位測定方法であっても上述の変位測定装置で発揮される効果が奏される。

【発明の効果】

【0015】

本発明によれば、光軸方向に異なる複数の出射位置それぞれから多波長光を出射させて上記第1の光学系に入射させることで、上記出射位置に応じた位置（領域）に各波長光の結像を出現させることができる。これにより、異なる出射位置から出射されたそれぞれの多波長光に対応する分散された結像を試料の変位測定に用いることで、上記第1の光学系の分散率を大きくすることなく、当該変位測定装置の測定幅（測定レンジ）を広げることが可能となる。

40

【発明を実施するための最良の形態】

【0016】

以下添付図面を参照しながら、本発明の実施の形態及び実施例について説明し、本発明の理解に供する。なお、以下の実施の形態及び実施例は、本発明を具体化した一例であっ

50

て、本発明の技術的範囲を限定する性格のものではない。

ここに、図1は本発明の実施の形態に係る変位測定装置Xの概略構成図、図2は光源の概略構成を説明する図、図3は分光器で分光された各波長光のスペクトルの挙動を示す図、図4は本発明の第1の実施例に係る変位測定装置X1の概略構成図、図5は本発明の第2の実施例に係る変位測定装置X2の概略構成図、図6は本発明の第3の実施例に係る変位測定装置X3の概略構成図、図7は従来試料高さ判別装置Yの概略構成図、図8は従来試料高さ判別装置Yにおいて高さの異なる試料に光が照射されたときの様子を示す模式図、図9はレンズの分散率に応じた波長と分散長さとの相関特性を示す相関特性図である。

【0017】

まず、図1を用いて、上記変位測定装置Xの概略構成及び概略動作について説明する。なお、当該変位測定装置Xの具体例としては、例えば、半導体材料（ウエハなど）や圧延板などのシート状の試料の高さ或いは厚さを測定する装置、上記試料の表面粗さを測定する装置、上記試料の平坦度を測定する装置などが該当する。

上記変位測定装置Xは、試料から反射した反射光に含まれる複数の波長光それぞれの光強度を示すスペクトルに基づいて上記試料の高さ変位を測定するものであって、大別して、2つの光源10a、10bと、色収差を有し且つ横倍率Mのレンズ4（第1の光学系の一例）と、2つの分光器2a、2b（受光手段の一例）と、解析装置3とを備えて概略構成される。

【0018】

上記光源10a、10bは、複数の波長光からなる多波長光を出射するXeランプやハロゲンランプなどの発光器11a、11bを含む点光源である。ここでは説明の便宜上、上記光源10a、10bは波長 $1 \sim 2$ （ $1 < 2$ ）の波長帯域を有する光を多波長光として光軸方向Zへ出射するものとして説明するが、もちろん、これに限られることはなく、上記レンズ4によってその光軸方向Zに異なる位置で共役像を結ぶ2以上の複数の波長光が含まれた光であれば足りる。

なお、この実施の形態では、Xeランプやハロゲンランプなどの発光器11a、11bを含む点光源を例示するが、上記Xeランプやハロゲンランプなどの発光器よりも長寿命、低消費電力のLED、SLDなどの半導体発光素子などの発光器を含む点光源を用いてもかまわない。

【0019】

上記光源10aとしては、上記多波長光を発光する発光器11aと、該発光器11aが発光することにより出射された多波長光（波長帯域 $1 \sim 2$ ）を収束する色収差のない（色収差が補正された）レンズ12aと、上記レンズ12aにより収束された光の結像点において収束された光を一端で受光し、受光した光を出射位置Ta（出射位置に相当）に配置された他端の出射口13a-1まで伝播して、上記出射位置Taにおいて上記出射口13a-1から上記レンズ4に向けて光を出射する光ファイバーケーブル13a（以下「光ファイバー」と略す）と、を備えて構成されたものを用いる。上記光ファイバーケーブル13aは、後述するように、試料の頂部で結像して反射した光を最も多く受光して上記分光器2aに案内する役割をも担う。なお、上記光ファイバーケーブル13aが光伝播ケーブルの一例である。

また、上記光源10bは、上記光源10aとほぼ同様に構成されている。そのため、ここでは上記光源10aの各構成要素を示す符号に付された“a”を“b”に置き換えることで上記光源10bの構成要素の説明を省略するが、上記光源10bの光ファイバーケーブル13bの出射口13b-1から出射される光の出射位置Tbが、上記光ファイバーケーブル13aの出射位置Taから上記レンズ4の光軸方向Zに所定間隔ずらされて設定されている点において上記光源10aとは異なる。言い換えれば、本変位測定装置Xにおいては、上記レンズ4の光軸方向Zに所定間隔ずらされて複数の出射位置Ta、Tbが設定されている。

具体的には、上記光源10bの出射位置Tbは上記光源10aの出射位置Taよりも上

10

20

30

40

50

記レンズ4に近い位置に設定されている。即ち、上記出射位置T aは上記出射位置T bよりも上記レンズの光軸に沿って後方に設定されている。そのため、上記出射口13 b - 1は上記出射口13 a - 1よりも上記レンズの光軸に沿って上記レンズ4側に配置されている。これは、色収差を有する上記レンズ4に多波長光が入射した場合に、上記レンズ4によって収束された多波長光の結像点の分散領域を上記レンズ4の光軸方向Zにずらして出現させるためである。

なお、この実施の形態では、2つの出射位置T a、T bが設定されている例について説明するが、例えば、2以上の複数の出射位置それぞれが光軸方向Zにずらされて設定された場合にも本発明を適用することができることはいうまでもない。

また、上記光ファイバケーブル13 a、13 bを用いずに、上記発光器11 a、11 bが点光源として上記出射位置T a、T bに配設された実施例も考えられる。この場合は、前記した試料高さ判別装置Y(図7参照)と同じように、試料の頂部で結像して反射した光を最も多く分光器2 a、2 bに案内するビームスプリッタやピンホールを要する。

また、上記光源10 a、10 bに代えて、図2に示すように、屈折率の異なるレンズ7 a及び7 b(第2の光学系の一例)を用いて、上記発光器11 aから出射された多波長光を上記出射位置T aで結像するように上記レンズ7 aを配置し、上記発光器11 bから出射された多波長光を上記出射位置T bで結像するように上記レンズ7 bを配置した構成の光源を採用してもよい。この場合、上記レンズ7 a、7 bによって多波長光が像を結ぶ結像点が出射位置T a、T bとみなされる。

【0020】

上記出射口13 a - 1(即ち出射位置T a)及び上記出射口13 b - 1(即ち出射位置T b)は、上記レンズ4に入射した光が該レンズ4を透過した後に結像せずに発散することを回避するべく、いずれも上記レンズ4の焦点(不図示)よりも該レンズ4から離れた位置、即ち、上記レンズ4の焦点の後方位置に配置されている。

更にまた、上記出射口13 a - 1及び13 b - 1それぞれは、上記レンズ4の光軸を中心にして上記レンズ4の焦平面方向(即ちレンズ4の光軸に垂直な方向)に近接するように配置されている。これにより、上記出射口13 a - 1及び13 b - 1は上記レンズ4の光軸上に概ね配置される。なお、図1では、説明の便宜上、上記出射口13 a - 1及び13 b - 1の焦平面方向の配置間隔を大きく表している。

【0021】

上記レンズ4は、上記光源10 a、10 bから出射された波長帯域 1 ~ 2の光(多波長光)を収束する色収差を有するレンズである。本実施の形態では、横倍率がMのレンズを用いる。上記光源10 a及び10 bから上記レンズ4に向けて光が出射されると、その光に含まれる波長帯域 1 ~ 2の光は、上記レンズ4を透過することにより、該レンズ4によって上記波長帯域 1 ~ 2に含まれる各波長に応じて光軸方向に分散された結像点で共役像を結ぶように収束される。

具体的には、図1に示すように、上記光源10 aから出射された最も短い波長 1の光は、上記レンズ4によって、該波長 1に応じた結像点P 1 aで結像するように収束され、最も長い波長 2の光は該波長 2に応じた結像点P 2 aで結像するように収束される。また、上記光源10 bから出射された最も短い波長 1の光は、上記レンズ4によって、該波長 1に応じた結像点P 1 bで結像するように収束され、最も長い波長 2の光は該波長 2に応じた結像点P 2 bで結像するように収束される。もちろん、上記波長 1 ~ 2に含まれるその他の波長の光は、上記結像点P 1 a ~ P 2 a間、或いは上記結像点P 1 b ~ P 2 b間において該当する波長に応じた結像点で結像するように収束される。

なお、上記結像点P 1 aは上記レンズ4の主平面Z₀から距離Z₁だけ進んだ地点であり、上記結像点P 2 a及びP 1 bは上記主平面Z₀から距離Z₂だけ進んだ地点であり、更に、上記結像点P 2 bは上記主平面Z₀から距離Z₃だけ進んだ地点とする。

以下、上記光源10 aから出射されて上記レンズ4によって共役像を結ぶ結像点P 1 a ~ P 2 aの集合を分散領域P 0 a(図1)とし、同様に結像点P 1 b ~ P 2 bの集合を分散領域P 0 b(図1)とする。

10

20

30

40

50

【0022】

上記分散領域 P 0 a 及び P 0 b は、図 1 に示すように、それぞれの分散領域 P 0 a , P 0 b が光軸方向 Z に沿って連続して出現している。このように分散領域 P 0 a , P 0 b が連続して出現するように、上記出射口 1 3 b - 1 (即ち出射位置 T b) は上記出射口 1 3 a - 1 (即ち出射位置 T a) よりも所定間隔 D だけ上記レンズ 4 側へ離れた位置に配置されている。即ち、上記出射口 1 3 a - 1 と上記出射口 1 3 b - 1 とは上記レンズ 4 の光軸方向 Z に所定間隔 D だけずらされて配置されている。

【0023】

ここで、上記所定間隔 D は、以下のようにして導くことができる。

即ち、上記所定間隔 D を上記レンズ 4 の光軸上の光源側に配置された共役点 (以下「物点」と称す) が上記レンズ 4 の光軸に沿って上記レンズ 4 に近づく方向へ移動した距離とみなし、この移動により上記レンズ 4 による上記移動する前の上記物点の共役像側の共役点 (以下「像点」と称す) が X だけ移動したとすると、上記レンズ 4 の縦倍率は、上記各移動距離 D 及び X を用いて下記式 (3) のように表すことができる。なお、一般に縦倍率とは、レンズの光軸上の物点が光軸上に沿って所定量だけ移動した場合の、上記像点の移動量と上記物点の移動量との比のことをいう。

$$= X / D \quad \dots \dots (3)$$

また、上記縦倍率は上記レンズ 4 の横倍率 M を用いて次式 (4) のように表される。

$$= M^2 \quad \dots \dots (4)$$

上式 (3) 及び (4) から、次式 (5) を導くことができる。

$$D = X / M^2 \quad \dots \dots (5)$$

ここで、上記像点の移動量を示す X を、上記光源 1 0 a の出射口 1 3 a - 1 が出射位置 T a から T b に移動した場合に上記出射口 1 3 a - 1 から出射された波長 λ の光の結像点 P 1 a (上記分散領域 P 0 a の始点 Z₁) が移動した移動量とすると、上記 X が上記分散領域 P 0 a の光軸方向 Z の分散長さ Z a (= Z₂ - Z₁) のときに、上記分散領域 P 0 a の終端地点 Z₂ (結像点 P 2 a のある地点) から移動後の光源 1 0 a による別なる分散領域が出現することになる。このとき、移動後の光源 1 0 a を上記光源 1 0 b とすると、上記所定間隔 D は、上式 (5) の X を Z a に置き換えることにより、下記式 (6) のように表すことができる。

$$D = Z a / M^2 \quad \dots \dots (6)$$

上記 (6) 式により導き出された所定間隔 D だけ隔てて上記出射口 1 3 a - 1 及び 1 3 b - 1 を配置することにより、上記分散領域 P 0 a 及び P 0 b とを連続して光軸方向 Z に出現させることができる。なお、上記分散領域 P 0 a 及び P 0 b が必ずしも完全に連続している必要はない。少なくとも、上記分散領域 P 0 a 及び P 0 b が途切れない状態で連続していれば足りる。例えば、一部重なった状態で連続していてもよい。そのためには、少なくとも、上記所定間隔 D は下記式 (7) を満足すればよい。

$$D \geq Z a / M^2 \quad \dots \dots (7)$$

【0024】

上記分光器 2 a , 2 b は、試料から反射され上記レンズ 4 により収束されて再び上記光ファイバケーブル 1 3 a , 1 3 b の各出射口 1 3 a - 1 , 1 3 b - 1 に入射され、上記光ファイバケーブル 1 3 a , 1 3 b の途中経路に設けられた図示しない分岐器により分岐された反射光を受光して、その受光した光をプリズムなどにより該光に含まれる波長光毎に分光し、分光された各波長光の光強度 (例えば光子量や輝度) を測定して電気的な信号 (デジタルデータや電流或いは電圧信号など) に変換するものである。例えば、分光された各波長光の画像をライン CCD や二次元 CCD などの撮像手段で撮像して、該撮像された画像データから求められた各波長光の輝度をデジタルデータに変換する装置や、フォトダイオードなどの受光素子を備え、分光された各波長光の輝度に応じた電流又は電圧を生成する装置などが該当する。また、分光された各波長光の入射位置を検出して該入射位置に入射した光量を求めて電子データに変換する一次元或いは二次元の PSD (位置検出素子) などを用いたものであってよい。

10

20

30

40

50

なお、上記分光器 2 a は上記光源 1 0 a により出射された光の試料からの反射光を分光するものであり、上記分光器 2 b は上記光源 1 0 b により出射された光の試料からの反射光を分光するものである。

【 0 0 2 5 】

上記各分光器 2 a , 2 b で生成された各波長光分光の光強度を示す電気信号は解析装置 3 に伝送される。そして、該解析装置 3 において所定の解析処理に供される。

上記解析装置 3 は、上記分光器 2 a , 2 b から伝送された各波長光に対応する電気信号に基づいて所定の解析処理に必要な種々の演算処理を実行する CPU , RAM , ROM などを備えた電子計算機や、解析結果を表示する液晶表示装置などを含んで構成される。

この解析装置 3 に上記電気信号が入力されると、該解析装置 3 によって、入力された電気信号から各波長毎の光強度を示すスペクトル（光強度の分布状態）が求められる。なお、このスペクトルは、上記各分光器 2 a , 2 b 毎に求められる。上記解析装置 3 で求められたスペクトルの一例を図 3 に示す。 10

例えば、上記レンズ 4 の光軸方向 Z の位置 Z_1 に試料の表面がある場合は、上記位置 Z_1 で結像して反射した波長光 1 が最も多く上記分光器 2 a へ入射され、上記解析装置 3 によって、上記各分光器 2 a からの電気信号に基づいて図 3 (a) 左側のスペクトルが求められ、上記各分光器 2 b からの電気信号に基づいて図 3 (a) 右側のスペクトルが求められる。この場合、図 3 (a) 左側のスペクトル図から上記結像点 P 1 a で反射した波長 1 の光強度が最も強く現れていることから、上記結像点 P 1 a の位置 Z_1 が試料表面の高さ位置と判定される。 20

また、上記レンズ 4 の光軸方向 Z の位置 Z_2 に試料の表面がある場合は、同様にして、上記各分光器 2 a からの電気信号に基づいて図 3 (b) 左側のスペクトルが求められ、上記各分光器 2 b からの電気信号に基づいて図 3 (b) 右側のスペクトルが求められる。この場合、図 3 (b) 左側のスペクトル図から上記結像点 P 2 a で反射した波長 2 の光強度が最も強く現れていること、そして、図 3 (b) 右側のスペクトル図から上記結像点 P 1 b で反射した波長 1 の光強度が最も強く現れていることから、上記結像点 P 2 a 及び P 1 b の位置 Z_2 が試料表面の高さ位置と判定される。

更にまた、上記レンズ 4 の光軸方向 Z の位置 Z_3 に試料の表面がある場合は、上記各分光器 2 a からの電気信号に基づいて図 3 (c) 左側のスペクトルが求められ、上記各分光器 2 b からの電気信号に基づいて図 3 (c) 右側のスペクトルが求められ、図 3 (b) 右側のスペクトル図から上記結像点 P 2 b で反射した波長 2 の光強度が最も強く現れていることから、上記結像点 P 2 b の位置 Z_3 が試料表面の高さ位置と判定される。 30

このように、一つの光源を用いた従来の装置に較べて、本変位測定装置 X では二つの光源 1 0 a , 1 0 b を設け、更に、各光源から出射される多波長光の出射位置 T a , T b を上記所定間隔 D だけ光軸方向 Z にずらして配置しているため、出射位置 T a から出射されて光軸方向に結像が分散した分散領域 P 0 a と、該分散領域 P 0 a の終端地点 Z_2 から始まり、出射位置 T b から出射されて光軸方向に結像が分散した分散領域 P 0 b とを試料の変位測定に用いることができるため、高分散レンズを用いることなく当該変位測定装置 X の測定レンジを広くすることが可能となる。

【 0 0 2 6 】

なお、上述した実施の形態では、色収差を有する第 1 の光学系の一例として上記レンズ 4 を例示して説明してきたが、少なくとも色収差があり、入射された光を収束するものであれば、凸レンズ、球面レンズ、フレネルレンズ（PF レンズ）などの如何なるレンズでも用いることが可能である。ただし、上記レンズ 4 に代えてフレネルレンズを用いる場合は、このフレネルレンズは波長の短い光ほどレンズから結像点までの距離が長くなり、波長の長い光ほどレンズから結像点までの距離が短くなる通常のレンズとは反対の性質を有するため、この点を考慮して解析処理を行う必要がある。

【 実施例 1 】

【 0 0 2 7 】

上述の実施の形態では、2 つの分光器 2 a , 2 b を含んで構成された変位測定装置 X (50

図 1 参照) を例示して説明してきた。ここでは、上記変位測定装置 X の構成とは若干異なる構成の変位測定装置 X 1 について図 4 をもちいて説明する。ここに、図 4 は上記変位測定装置 X 1 の概略構成図である。なお、以下の説明において、上記実施の形態に係る変位測定装置 X と共通する構成要素については、上記変位測定装置 X の構成要素に付された符号と同じ符号を付すことによりその説明を省略する。

図 4 に示すように、上記変位測定装置 X 1 は、一つの分光器 2 が設けられている点において二つの分光器 2 a, 2 b を備える上記変位測定装置 X とはその構成が異なる。また、光ファイバケーブル 1 3 a, 1 3 b から分岐された反射光の光強度(光量)に応じた信号(電流又は電圧などの電気信号)を出力するフォトダイオード 5 a, 5 b (光検出手段の一例)が新たに配設されている点も相違する。

10

この変位測定装置 X 1 は、装置の構成を簡素化するために分光器を共有する実施例であるが、分光器を共有にした場合は、光源 1 0 a から出射された光の反射光と光源 1 0 b から出射された光の反射光との区別ができなくなるため、上記光ファイバケーブル 1 3 a, 1 3 b 毎にフォトダイオード 5 a, 5 b を設けている。

上記フォトダイオード 5 a, 5 b から出力された出力信号は前記した解析装置 3 に伝送され、この解析装置 3 において、該解析装置 3 側で予め設定された閾値以上の出力があるかどうかを判定する判定処理に供される。なお、上記解析装置 3 は上記判定処理を実行可能なようにプログラムされている。

このように構成された変位測定装置 X 1 では、一つの分光器 2 から得られた信号に基づいてスペクトルが求められることになるが、例えば、求められたスペクトルに強い光強度を示すものがある場合は、上記フォトダイオード 5 a, 5 b のいずれかの出力信号が上記閾値以上となるため、その強い光強度を示すスペクトルがいずれの光源から出射された光の反射光に含まれたものであるかどうかを判別することができる。

20

【実施例 2】

【0028】

また、上述の実施の形態では、2つの光源 1 0 a, 1 0 b を備えた例について説明したが、例えば、図 5 に示す第 2 の実施例に係る変位測定装置 X 2 のように、上述変位測定装置 X と同様に二つ光ファイバケーブル 1 3 a, 1 3 b を配設し、上記光ファイバケーブル 1 3 a と 1 3 b との間を前記発光器 1 1 a などを移動自在に支持するようにして、一つの発光器 1 1 a を用いて上記二つ光ファイバケーブル 1 3 a, 1 3 b それぞれに交互

30

に光を照射させるようにする実施例が考えられる。
或いは、図示しないが、一つの光源のみを設け、この光源を前記した出射位置 T a, T b 間で移動自在となるように支持して、出射位置 T a 及び T b から交互に光を出射する実施例も考えられる。

このように構成すれば、装置を簡素化することができ、且つ、コスト削減に寄与することができる。

【実施例 3】

【0029】

ここでは、図 6 を用いて、本発明の第 3 の実施例に係る変位測定装置 X 3 について説明する。なお、図 6 は上記変位測定装置 X 3 の概略構成図である。

40

上記変位測定装置 X 3 は、上述した実施の形態に係る変位測定装置 X の構成に加えて、前記した従来の高さ変位測定装置 Y (図 7) が具備するビームスプリッタ 1 0 3 と同様のハーフミラーなどからなるビームスプリッタ 6 を具備して構成されている。

光源 1 0 b の出射位置 T b は、上述の変位測定装置 X とは異なり、図 6 に示すように、上記レンズ 4 の光軸に直交する方向へ該光軸から距離 L 2 だけ離れた位置に設定されており、該出射位置 T b から出射される多波長光の出射軸が上記レンズ 4 の光軸と直交するように上記出射口 1 3 b - 1 が配置されている。ここで、上記出射位置 T b から出射される多波長光の出射軸と上記光軸との交点を S とする。

また、光源 1 0 a の出射位置 T a は、上記レンズ 4 の光軸上の上記交点 S から距離 L 1 だけ上記レンズ 4 から遠ざかる方向に離れた位置に設定されており、上記出射位置 T a か

50

ら出射される多波長光の出射軸が上記レンズ4の光軸を通るように上記出射口13a-1が配置されている。

上記ビームスプリッタ6は、上記レンズ4の主平面に対して45°の角度の傾斜角で、上記交点Sにおいて上記光源10bから出射された多波長光を上記レンズ4に向けて反射させる位置に配置されている。

上述した実施の形態では、上記出射位置Ta及びTbの上記レンズ4の焦平面方向（即ちレンズ4の光軸に垂直な方向）へのずれにより測定分解能が低下するというおそれがあったが、本変位測定装置X3が上述の如く構成されることにより、上記出射位置Taから出射される多波長光の出射軸と上記出射位置Tbから出射され上記ビームスプリッタ6で反射された多波長光の出射軸とを一致させることができるため、測定分解能の低下を解消することができる。

【0030】

なお、上記変位測定装置X3においては、上記光源10aから出射された光は上記ビームスプリッタ6を透過し、更にレンズ4で収束されて、図示しない試料に照射される。そして、上記試料で反射した光は上記レンズ4を透過した後、上記ビームスプリッタ6を透過して再び上記出射口13a-1に入射する。上記出射口13a-1に入射した光は図示しない分岐器などにより分岐され、分光器2aに導かれる。

また、上記光源10bから出射された光は上記ビームスプリッタ6で上記レンズ4の方向へ反射され、その後、レンズ4で収束されて、図示しない試料に照射される。そして、上記試料で反射した光は上記レンズ4を透過した後、上記ビームスプリッタ6で反射され、再び上記出射口13b-1に入射して、図示しない分岐器などにより分岐されて、分光器2bに導かれる。

そして、各分光器2a、2bからの信号に基づいて解析装置3で求められたスペクトルから資料の高さ変位が求められる。

【産業上の利用可能性】

【0031】

本発明は、半導体材料（ウエハ）や圧延板などのシート状の試料の高さ或いは厚さを測定する装置、上記試料の表面粗さを測定する装置、上記試料の平坦度を測定する装置など、試料の高さ変位を測定する変位測定装置全般に利用可能である。

【図面の簡単な説明】

【0032】

【図1】本発明の実施の形態に係る変位測定装置Xの概略構成図。

【図2】光源の概略構成を説明する図。

【図3】分光器で分光された各波長光のスペクトルの挙動を示す図。

【図4】本発明の第1の実施例に係る変位測定装置X1の概略構成図。

【図5】本発明の第2の実施例に係る変位測定装置X2の概略構成図。

【図6】本発明の第3の実施例に係る変位測定装置X3の概略構成図。

【図7】従来試料高さ判別装置Yの概略構成図。

【図8】従来試料高さ判別装置Yにおいて高さの異なる試料に光が照射されたときの様子を示す模式図。

【図9】レンズの分散率に応じた波長と分散長さとの相関特性を示す相関特性図。

【符号の説明】

【0033】

2a、2b...分光器（受光手段の一例）

3...解析装置

4...レンズ（第1の光学系の一例）

5...フォトダイオード（PD）

6...ビームスプリッタ

7a、7b...レンズ（第2の光学系の一例）

10a、10b...光源

10

20

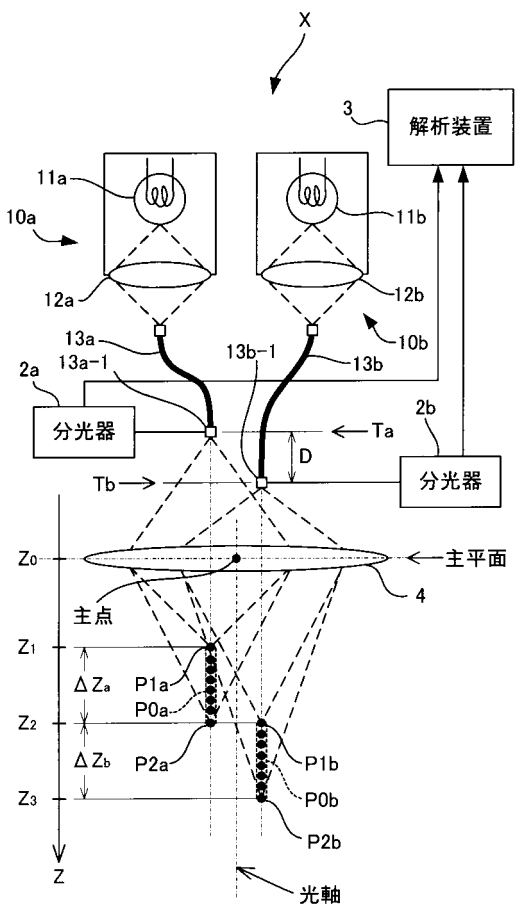
30

40

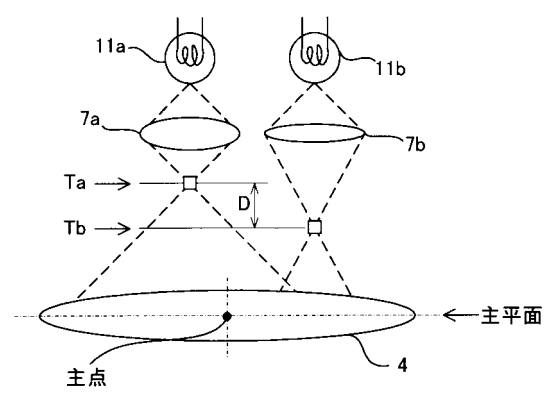
50

- 1 1 a , 1 1 b ... 発光器
- 1 2 a , 1 2 b ... レンズ
- 1 3 a , 1 3 b ... 光ファイバーケーブル (光伝播ケーブルの一例)

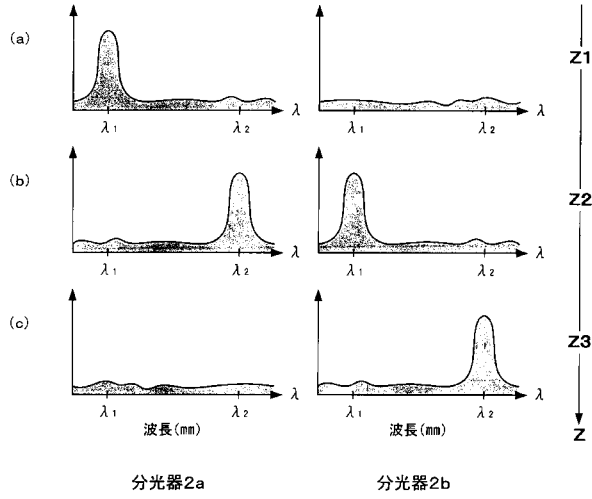
【 図 1 】



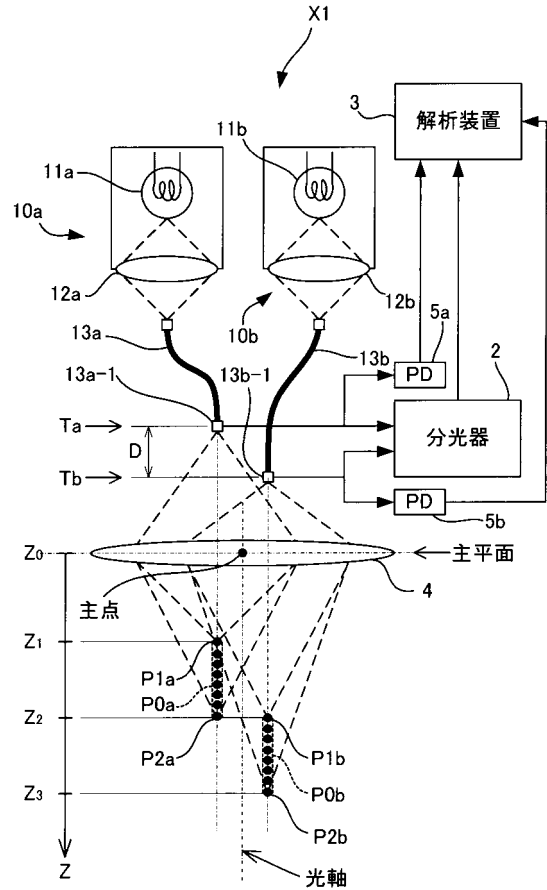
【 図 2 】



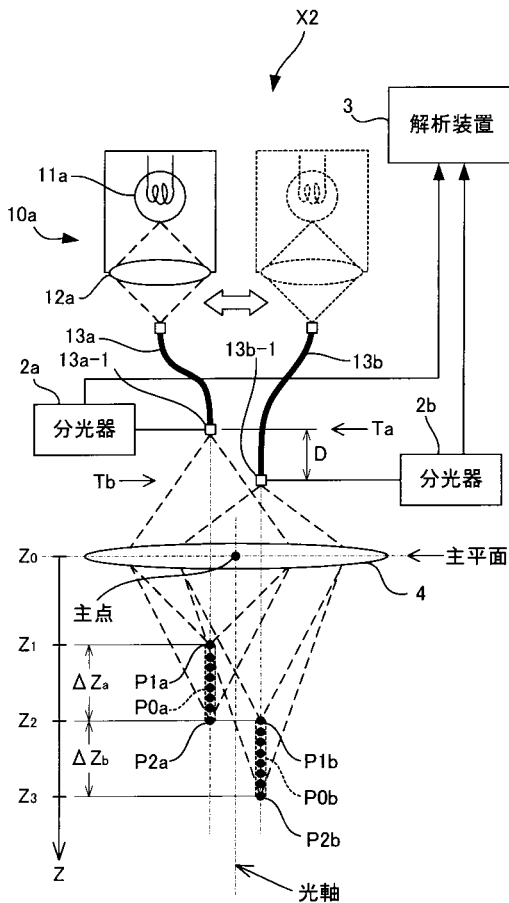
【 図 3 】



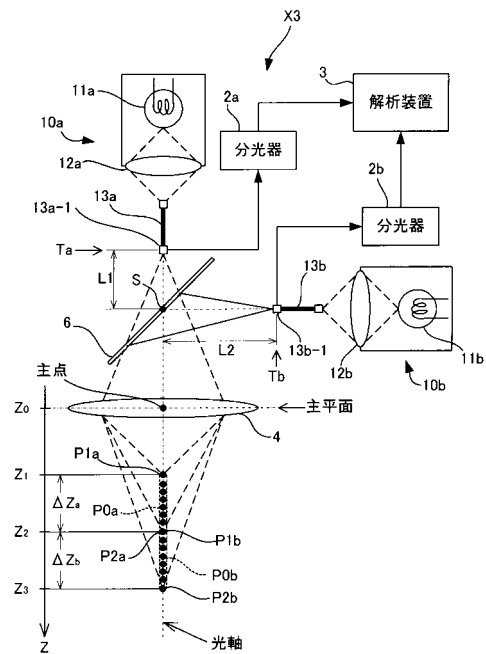
【 図 4 】



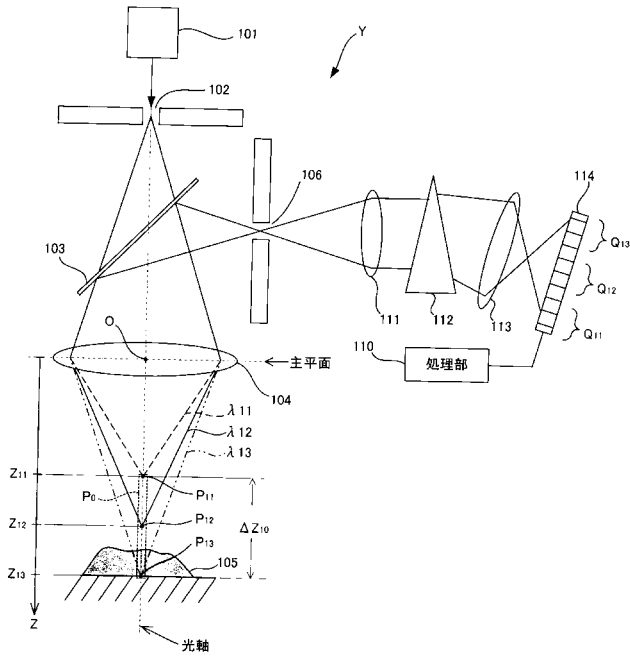
【 図 5 】



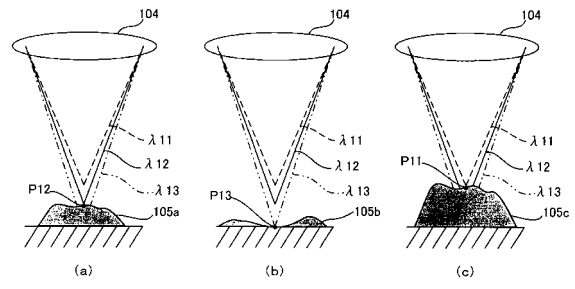
【 図 6 】



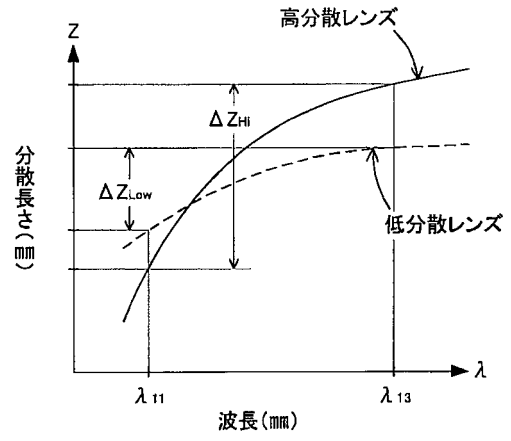
【 図 7 】



【 図 8 】



【 図 9 】



フロントページの続き

(72)発明者 高橋 英二

兵庫県神戸市西区高塚台1丁目5番5号 株式会社神戸製鋼所神戸総合技術研究所内

Fターム(参考) 2F065 AA24 AA30 AA50 GG02 GG03 GG07 GG12 JJ02 JJ03 JJ05

JJ16 JJ18 JJ25 JJ26 LL00 LL02 LL10 LL30 LL46 LL67

QQ03