

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第5060678号
(P5060678)

(45) 発行日 平成24年10月31日(2012.10.31)

(24) 登録日 平成24年8月10日(2012.8.10)

(51) Int.Cl. F I
GO 1 B 11/00 (2006.01) GO 1 B 11/00 G
GO 1 B 9/02 (2006.01) GO 1 B 9/02

請求項の数 8 (全 16 頁)

<p>(21) 出願番号 特願2008-121755 (P2008-121755) (22) 出願日 平成20年5月8日(2008.5.8) (65) 公開番号 特開2009-270939 (P2009-270939A) (43) 公開日 平成21年11月19日(2009.11.19) 審査請求日 平成23年3月18日(2011.3.18)</p>	<p>(73) 特許権者 000129253 株式会社キーエンス 大阪府大阪市東淀川区東中島1丁目3番1 4号 (74) 代理人 100107847 弁理士 大槻 聡 (72) 発明者 秋柴 雄二 大阪府大阪市東淀川区東中島1丁目3番1 4号 株式会社キーエンス内 審査官 櫻井 仁</p>
---	--

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 光学式変位計

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

計測用の検出光として広帯域光を生成する広帯域光源装置と、
 上記検出光を集光し、測定対象物に向けて出射する出射側端面が平面の集光レンズと、
 上記集光レンズに入射された上記測定対象物による反射光及び上記出射側端面による反
 射光を分光し、波長分布の特性曲線の周波数を求めて上記測定対象物及び上記出射側端面
 間の距離を算出する分光装置とを備え、
 上記集光レンズは、上記出射側端面から遠ざかるに従って照射スポットが広がる上記
 検出光を出射するレンズであることを特徴とする光学式変位計。

【請求項2】

上記検出光を伝送する光ファイバーと、
 上記広帯域光源装置から伝送された検出光を上記光ファイバーに入射させるとともに、
 上記集光レンズを介して上記光ファイバーに入射された上記測定対象物による上記反射光
 及び上記出力側端面による上記反射光を上記分光装置へ伝送するビームスプリッタとを備
 えたことを特徴とする請求項1に記載の光学式変位計。

【請求項3】

上記集光レンズが、中心部から周縁部にかけて屈折率を変化させたロッドレンズである
 ことを特徴とする請求項1又は2に記載の光学式変位計。

【請求項4】

上記光ファイバーが、単一モードで上記検出光を伝送するシングルモードファイバーで

あることを特徴とする請求項 2 に記載の光学式変位計。

【請求項 5】

上記広帯域光源装置が、上記広帯域光として近赤外光を生成することを特徴とする請求項 4 に記載の光学式変位計。

【請求項 6】

上記検出光の照射位置を上記測定対象物上に表示するためのガイド光として、可視光を生成するガイド光源装置を備えたことを特徴とする請求項 5 に記載の光学式変位計。

【請求項 7】

上記集光レンズが、上記出射側端面付近に焦点を有することを特徴とする請求項 1 又は 2 に記載の光学式変位計。

【請求項 8】

上記分光装置が、上記測定対象物における膜の表面で反射された反射光と膜の裏面で反射された反射光とを分光し、この分光結果に基づいて上記膜の厚さを算出することを特徴とする請求項 1 又は 2 に記載の光学式変位計。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、光学式変位計に係り、さらに詳しくは、広帯域光を計測用の検出光として用い、検出光を測定対象物に向けて出射する集光レンズの出射側端面及び測定対象物間の距離を測定対象物による反射光と出射側端面による反射光との干渉を利用して計測する光学式変位計に関する。

【背景技術】

【0002】

様々な波長を含む広帯域光を計測用の検出光として透明膜に照射し、透明膜の表面で反射された反射光と裏面で反射された反射光との干渉光を分光することによって透明膜の厚さを測定する膜厚測定装置が従来から知られている（例えば、特許文献 1）。透明膜の表面による反射光と裏面による反射光とからなる干渉光は、回折格子、プリズムなどの分散素子を用いて分光され、多数の受光素子が直線上に配置されたイメージセンサーに入射される。膜厚は、このイメージセンサーによって検出される素子ごとの受光量データに基づいて算出される。

【0003】

特許文献 1 に記載の膜厚測定装置では、光源装置から出射された検出光がコリメータレンズに入射され、コリメータレンズの中心軸に略平行な光として出射される。このコリメータレンズから出射された検出光は、ビームスプリッタを介して測定対象物に照射される。ビームスプリッタは、測定対象物による反射光を取り出し、イメージセンサーへ出射する方向性結合器（カプラ）である。この様な従来の膜厚測定装置では、コリメータレンズによって検出光を平行光に変換してからビームスプリッタに入射しなければならないので、装置が大型化してしまうという問題があった。

【特許文献 1】特開昭 62 - 71804 号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

本発明は、上記の事情に鑑みてなされたものであり、広帯域光を計測用の検出光として用い、検出光を測定対象物に向けて出射する集光レンズの出射側端面及び測定対象物間の距離を測定対象物による反射光と出射側端面による反射光との干渉を利用して計測することができる光学式変位計を提供することを目的とする。特に、集光レンズの出射側端面と測定対象物との間の距離を高い精度で計測することができる光学式変位計を提供することを目的とする。また、広帯域光源装置から伝送された検出光を測定対象物に向けて出射するヘッド部を小型化した光学式変位計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】

10

20

30

40

50

【 0 0 0 5 】

第1の本発明による光学式変位計は、計測用の検出光として広帯域光を生成する広帯域光源装置と、上記検出光を集光し、測定対象物に向けて出射する出射側端面が平面の集光レンズと、上記集光レンズに入射された上記測定対象物による反射光及び上記出射側端面による反射光を分光し、波長分布の特性曲線の周波数を求めて上記測定対象物及び上記出射側端面間の距離を算出する分光装置とを備え、上記集光レンズが、上記出射側端面から遠ざかるに従って照射スポットが広がる上記検出光を出射するレンズであるように構成される。

【 0 0 0 6 】

この光学式変位計では、集光レンズから測定対象物に向けて出射される検出光のうち、測定対象物によって反射され、その後、集光レンズに入射された反射光と、集光レンズの出射側端面によって反射された反射光との間に光路差が生じる。この光路差に起因する光の干渉により、反射光は、波長に応じてその強度が周期的に変化することとなる。従って、このような反射光を分光して波長分布の特性曲線における周波数を求めることによって、測定対象物及び出射側端面間の距離を算出することができる。その際、集光レンズの出射側端面から遠ざかるに従って照射スポットが広がるような検出光を出射させているので、測定対象物と出射側端面との間の距離を高い精度で計測することができる。

10

【 0 0 0 7 】

第2の本発明による光学式変位計は、上記構成に加え、上記検出光を伝送する光ファイバーと、上記広帯域光源装置から伝送された検出光を上記光ファイバーに入射させるとともに、上記集光レンズを介して上記光ファイバーに入射された上記測定対象物による上記反射光及び上記出力側端面による上記反射光を上記分光装置へ伝送するビームスプリッタとを備えて構成される。この光学式変位計では、広帯域光源装置から伝送された検出光が光ファイバーを介して集光レンズに伝送される。一方、集光レンズを介して光ファイバーに入射された測定対象物による反射光と集光レンズの出力側端面による反射光とがビームスプリッタによって分光装置へ伝送される。このような構成によれば、平行光に変換してからビームスプリッタを介して測定対象物に向けて検出光を出射させる場合に比べて、広帯域光源装置から伝送された検出光を測定対象物に向けて出射するヘッド部を小型化することができる。

20

【 0 0 0 8 】

第3の本発明による光学式変位計は、上記構成に加え、上記集光レンズが、中心部から周縁部にかけて屈折率を変化させたロッドレンズであるように構成される。このような構成によれば、集光レンズを一体的に形成することができるので、ヘッド部をさらに小型化することができる。

30

【 0 0 0 9 】

第4の本発明による光学式変位計は、上記構成に加え、上記光ファイバーが、単一モードで上記検出光を伝送するシングルモードファイバーであるように構成される。このような構成によれば、光ファイバーを伝送中の反射光に光路差が生じるのを抑制することができるので、測定対象物及び出射側端面間の距離をさらに高い精度で計測することができる。

【 0 0 1 0 】

第5の本発明による光学式変位計は、上記構成に加え、上記広帯域光源装置が、上記広帯域光として近赤外光を生成するように構成される。このような構成によれば、光ファイバーのコアを近赤外光の波長に応じた径とすることができるので、製造コストの増大を抑制することができる。

40

【 0 0 1 1 】

第6の本発明による光学式変位計は、上記構成に加え、上記検出光の照射位置を上記測定対象物上に表示するためのガイド光として、可視光を生成するガイド光源装置を備えて構成される。

【 0 0 1 2 】

第7の本発明による光学式変位計は、上記構成に加え、上記集光レンズが、上記出射側

50

端面付近に焦点を有するように構成される。

【 0 0 1 3 】

第 8 の本発明による光学式変位計は、上記構成に加え、上記分光装置が、上記測定対象物における膜の表面で反射された反射光と膜の裏面で反射された反射光とを分光し、この分光結果に基づいて上記膜の厚さを算出するように構成される。

【 発明の効果 】

【 0 0 1 4 】

本発明による光学式変位計によれば、集光レンズから測定対象物に向けて出射される検出光のうち、測定対象物によって反射され、その後、集光レンズに入射された反射光と、集光レンズの出射側端面によって反射された反射光との間に光路差が生じる。この光路差に起因する光の干渉により、反射光は、波長に応じてその強度が周期的に変化することとなる。従って、このような反射光を分光して波長分布の特性曲線の周波数を求めることによって、測定対象物及び出射側端面間の距離を算出することができる。特に、集光レンズの出射側端面から遠ざかるに従って照射スポットが広がる光として検出光を出射させているので、測定対象物と出射側端面との間の距離を高い精度で計測することができる。また、平行光に変換してからビームスプリッタを介して測定対象物に向けて検出光を出射させる場合に比べて、広帯域光源装置から伝送された検出光を測定対象物に向けて出射するヘッド部を小型化することができる。

【 発明を実施するための最良の形態 】

【 0 0 1 5 】

< 光学式変位計 >

図 1 は、本発明の実施の形態による光学式変位計 1 の概略構成の一例を示したシステム図である。この光学式変位計 1 は、様々な波長を含む広帯域光を計測用の検出光 L として用いて、ワーク（測定対象物）W の変位量を計測する計測装置であり、本体部 10、伝送ケーブル 20、コネクタ 21 及びヘッド部 30 からなる。

【 0 0 1 6 】

本体部 10 は、ワーク W に検出光 L として照射するための広帯域光を生成するとともに、ワーク W による反射光を分光させることによってワーク W の変位量を計測するユニットである。この本体部 10 は、S L D 駆動回路 11、S L D 12、コリメータレンズ 13 a、17、集光レンズ 13 b、コールドミラー 14、L D 駆動回路 15、L D 16、フェルール 18、ファイバースプリッタ 19 及び分光装置 40 により構成される。

【 0 0 1 7 】

S L D 駆動回路 11 は、S L D 12 の駆動制御を行うドライバ回路である。S L D（Super Luminescent Diode：高輝度ダイオード）12 は、計測用の検出光として広帯域光を生成する広帯域光の光源装置であり、S L E D（高輝度発光ダイオード）と呼ばれることもある。例えば、波長 0.70 ~ 1.0 μm 程度の近赤外光が広帯域光として生成される。具体的には、赤外光領域の波長 0.83 μm を中心波長として含む広帯域光がこの S L D 12 によって生成される。

【 0 0 1 8 】

コリメータレンズ 13 a は、S L D 12 から入射した検出光を集光し、中心軸に略平行な平行光として出射する集光レンズである。集光レンズ 13 b は、コリメータレンズ 13 a から入射した検出光を集光し、フェルール 18 の端面に向けて出射する光学素子である。コリメータレンズ 13 a 及び集光レンズ 13 b は、フェルール 18 を介して S L D 12 から出射された検出光を光ファイバーに入射させるための光ファイバー結合レンズとなっている。

【 0 0 1 9 】

フェルール 18 は、検出光を伝送する光ファイバーの端部を保持するための接続部材である。S L D 12、コリメータレンズ 13 a、集光レンズ 13 b 及びフェルール 18 は、中心軸を互いに一致させて配置される。

【 0 0 2 0 】

10

20

30

40

50

LD 駆動回路 15 は、LD 16 の駆動制御を行うドライバ回路である。LD (Laser Diode: レーザダイオード) 16 は、検出光の照射位置をワーク上に表示するためのガイド光として、可視光を生成するガイド光の光源装置である。すなわち、LD 16 によるガイド光は、検出光 L による測定スポットを可視化するのに用いられる。

【0021】

例えば、波長 0.65 μm の赤色光が LD 16 によって生成される。LD 16 によるガイド光は、コールドミラー 14 よりも後段において、検出光と同じ伝送経路を伝搬してワーク W に照射される。

【0022】

コールドミラー 14 は、コリメータレンズ 13 a を介して SLD 12 から入射した検出光をそのまま集光レンズ 13 b 側へ透過させ、コリメータレンズ 17 を介して LD 16 から入射したガイド光を集光レンズ 13 b に向けて反射させる光学素子である。つまり、コールドミラー 14 は、赤外光が入射した場合に当該赤外光をそのまま透過させるのに対して、可視光が入射した場合には、当該可視光を全反射させる。

【0023】

ファイバースプリッタ 19 は、光ファイバーを介して、フェルール 18、分光装置 40 及びコネクタ 21 に接続され、フェルール 18 から伝送された検出光をそのままコネクタ 21 側へ伝送するとともに、コネクタ 21 から伝送された光を主に分光装置 40 側へ伝送するファイバー形状のビームスプリッタである。具体的には、ファイバースプリッタ 19 の一方の端部にフェルール 18 及び分光装置 40 が接続され、他方の端部にコネクタ 21 が接続されている。

【0024】

伝送ケーブル 20 は、検出光を本体部 10 からヘッド部 30 まで伝送する光ファイバーからなる光伝送媒体である。伝送ケーブル 20 は、導光体からなる芯線と、芯線を被覆する樹脂膜によって構成され、コネクタ 21 を介して本体部 10 と着脱可能に接続される。

【0025】

ヘッド部 30 は、本体部 10 から伝送された検出光をワーク W に向けて出射するユニットであり、例えば、ワーク W を搬送するための搬送経路上に配置される。

【0026】

SLD 12 から出射された検出光は、コリメータレンズ 13 a に入射し、平行光として出射される。この平行光は、コールドミラー 14 を介して集光レンズ 13 b に入射し、フェルール 18 端面に向けて出射される。検出光は、このフェルール 18 を介して光ファイバー内に入射され、ファイバースプリッタ 19 を介してコネクタ 21 に伝送される。そして、検出光は、このコネクタ 21 及び伝送ケーブル 20 を介してヘッド部 30 に伝送され、ワーク W に向けて出射される。

【0027】

一方、検出光 L の照射によって検出光 L の一部がワーク W の表面で反射され、その反射光の一部は、ヘッド部 30 に入射される。この反射光は、伝送ケーブル 20 及びファイバースプリッタ 19 を介して分光装置 40 に伝送される。分光装置 40 は、この様な反射光を分光し、その分光結果からワーク W の変位量を算出するユニットである。

【0028】

<ヘッド部>

図 2 は、図 1 の光学式変位計 1 の要部における構成例を示した図であり、ヘッド部 30 内の構成が示されている。このヘッド部 30 は、伝送ケーブル 20 の端面から突出させた芯線 31 と、芯線 31 の端面に接合されたロッドレンズ 32 と、芯線 31 及びロッドレンズ 32 を収容する筐体 34 により構成される。

【0029】

芯線 31 は、検出光を伝送するためのコア及びクラッドからなる光ファイバーであり、伝送ケーブル 20 の端部から延伸させて筐体 34 内に配置されている。伝送ケーブル 20 の端部は、筐体 34 に設けられた支持部 35 によって保持されている。

10

20

30

40

50

【0030】

ロッドレンズ32は、伝送ケーブル20を介して本体部10から伝送された検出光を集光し、ワーク(測定対象物)Wに向けて出射するとともに、出射側端面33が平面の集光レンズである。このロッドレンズ32は、中心部から周縁部にかけて屈折率を変化させた円柱形状の屈折率分布レンズであり、中心軸に略平行な光であって、出射側端面33から遠ざかるに従って照射スポットが広がる検出光Lを出射するレンズとなっている。具体的には、中心部に比べて、周縁部ほど屈折率が低くなっており、中心軸に対する検出光Lの広がり角は、1.5~2.0度程度となっている。

【0031】

また、ロッドレンズ32は、その直径を芯線31の直径A1と一致させ、出射側端面33付近に焦点が位置するように形成されている。具体的には、ロッドレンズ32の直径が125 μ m(A1=125 μ m)であり、長さがA2=1~2mmである場合、出射側端面33の前後100 μ mの範囲内に焦点が位置するように形成される。

【0032】

ロッドレンズ32は、出射側端面33と反対側の端面において芯線31の端面に融着されている。

【0033】

検出光Lは、ロッドレンズ32の出射側端面33から中心軸に略平行な平行光として出射され、ワークWに照射される。ワークWに照射された検出光Lの一部は、ワークWの表面で反射され、その反射光の一部が出射側端面33を介してロッドレンズ32内に入射される。この光学式変位計1では、ワークWによる反射光と、出射側端面33による反射光との干渉現象を利用することによって、出射側端面33及びワークW間の距離が算出される。つまり、出射側端面33は、干渉現象を利用してワークWまでの距離を算出する際の基準面となっている。

【0034】

ロッドレンズ32の中心軸に略平行な平行光を検出光Lとして用いてワークWまでの距離を計測させているので、検出光ビームの中心部と周縁部とでワークWによる反射光に光路差が生じるのを抑制することができる。これにより、ワークWと出射側端面33との間の距離を高い精度で計測することができる。

【0035】

また、ロッドレンズ32の出射側端面33から遠ざかるに従って照射スポット、すなわち、ビーム断面が広がるような検出光Lを出射させることにより、出射側端面33に対してワークWが多少傾斜していても、伝播するに従ってビーム径が拡大することによってワークWの表面による反射光が出射側端面33に入射し易くなるので、検出光が完全に平行な場合に比べて、ワークWが傾斜していることの影響を抑制することができる。また、ヘッド部30の出射側端面33からワークWまでの距離は、0~1mm程度であり、測定できる変位量は、1mm以下と短くなっている。

【0036】

ここでは、ワークW及び出射側端面33間の距離の計測精度を向上させるという観点から、芯線31を構成する光ファイバーが、単一モードで検出光を伝送するシングルモードファイバーであるものとする。

【0037】

シングルモードファイバーとは、コアを細くしたゼロ分散型の光ファイバーのことであり、コア内に入射された光をコア及びクラッドの界面で全反射させることによって、コアからクラッド内への光の進入を阻止するものである。これによって、光ファイバーを伝送中の反射光に光路差が生じるのが抑制されるので、伝送中の光が干渉するのを防止することができる。

【0038】

一般に、光ファイバーは、コアの直径が伝送しようとする光の波長で決まる値以下であれば、シングルモードファイバーとなり、それよりも太ければマルチモードファイバーと

10

20

30

40

50

なる。

【 0 0 3 9 】

例えば、波長 $0.83 \mu\text{m}$ の赤外光を中心波長として含む検出光 L の場合、芯線 3 1 のモードフィールド径は、 $5.6 \mu\text{m}$ となっている。

【 0 0 4 0 】

<分光装置>

図 3 は、図 1 の光学式変位計 1 における分光装置 4 0 の構成例を示した図である。この分光装置 4 0 は、フェルール 4 1、コリメータレンズ 4 2、回折格子 4 3、結像レンズ 4 4、1 次元イメージセンサー 4 5、イメージセンサー駆動回路 4 6、アンプ 4 7、A/D コンバータ 4 8、バッファメモリ 4 9、演算回路 5 0 及び表示部 6 0 により構成される。

10

【 0 0 4 1 】

フェルール 4 1 は、検出光を伝送する光ファイバーの端部を保持するための接続部材であり、ファイバースプリッタ 1 9 から延伸する光ファイバーの端部に設けられている。コリメータレンズ 4 2 は、フェルール 4 1 から出射された干渉光、すなわち、ワーク W 表面で反射された反射光とロッドレンズ 3 2 の出射側端面 3 3 で反射された反射光とが入射され、これらの光を集光して、中心軸に略平行な平行光として出射する集光レンズである。

【 0 0 4 2 】

回折格子 4 3 は、入射光を光学的に分光する分散素子であり、コリメータレンズ 4 2 から入射された干渉光を波長に応じた角度で出射させる。結像レンズ 4 4 は、回折格子 4 3 から入射された干渉光（平行光となっている）を集光し、1 次元イメージセンサー 4 5 上に結像させる集光レンズである。

20

【 0 0 4 3 】

回折格子 4 3 によって回折された干渉光は、結像レンズ 4 4 を透過後、1 次元イメージセンサー 4 5 上で波長に応じて異なる位置に結像される。その際、伝搬経路の異なる反射光間の干渉によって、その波長に応じて干渉光は強め合ったり、弱め合ったりすることとなる。

【 0 0 4 4 】

1 次元イメージセンサー 4 5 は、結像レンズ 4 4 によって集光された干渉光の結像位置（1 次元位置）を検出可能なイメージセンサーであり、CCD（Charge Coupled Devices：電荷結合素子）、PD（Photo Diode）などの撮像素子からなる。例えば、受光量に応じた検出信号をそれぞれ出力する多数の受光素子を直線上に配列することによって構成される。イメージセンサー駆動回路 4 6 は、1 次元イメージセンサー 4 5 の駆動制御を行うドライバ回路である。

30

【 0 0 4 5 】

1 次元イメージセンサー 4 5 から出力される検出信号は、アンプ 4 7 に入力され、電力増幅される。このアンプ 4 7 による電力増幅後の検出信号は、A/D コンバータ 4 8 に入力され、アナログ信号からデジタル信号に変換されバッファメモリ 4 9 内に蓄積される。

【 0 0 4 6 】

演算回路 5 0 は、バッファメモリ 4 9 内の検出データ、すなわち、受光素子ごとのピクセルデータに基づいて、ワーク W 及び出射側端面 3 3 間の距離を算出し、計測結果として外部機器へ出力する動作を行っている。表示部 6 0 は、計測結果を測定モニター画面上に表示するディスプレイ装置である。

40

【 0 0 4 7 】

図 4 は、図 3 の分光装置 4 0 における演算回路 5 0 の構成例を示したブロック図である。この演算回路 5 0 は、波長波数変換部 5 1、FFT 処理部 5 2、ピーク検出部 5 3 及び距離算出部 5 4 からなり、ワーク W による反射光とロッドレンズ 3 2 の出射側端面 3 3 による反射光とからなる干渉光の分光結果から波長に対する強度変化の周波数を求めてワーク W 及び出射側端面 3 3 間の距離を算出する動作が行われる。

【 0 0 4 8 】

波長波数変換部 5 1 は、バッファメモリ 4 9 からピクセルデータを読み出し、受光素子

50

ごとの受光量分布が示す光量 I と波長 λ との関係を保ち、光量 I と波数 (波長の逆数) $1/\lambda$ との関係に変換してその変換結果を FFT 処理部 52 へ出力する動作を行っている。光量 I と波長 λ との関係を保ち、光量 I と波数 $1/\lambda$ との関係に変換することにより、受光素子ごとの受光量分布が有する周期を単一周期の分布にすることができる。

【0049】

FFT 処理部 52 は、受光素子ごとの受光量分布から得られる光量 I と波数 $1/\lambda$ との関係を FFT (高速フーリエ変換) し、波数に対する光量変化の周波数成分を抽出する処理を行っている。

【0050】

ピーク検出部 53 は、FFT 処理部 52 による処理結果から強度の大きな周波数成分を抽出し、そのピーク位置を検出する動作を行っている。ピーク位置は、例えば、強度が所定の閾値を越えている周波数成分について、強度分布の重心位置から定められる。この様にして定められるピーク位置における周波数は、空間周波数と呼ばれる。

10

【0051】

距離算出部 54 は、ピーク検出部 53 によって検出されたピーク位置における周波数に基づいて、ワーク W 表面とロッドレンズ 32 の出射側端面 33 との間の距離を算出し、計測結果として出力する動作を行っている。具体的には、ピーク位置における周波数が、ワーク W 表面で反射された反射光と出射側端面 33 で反射された反射光との光路差に比例することから、ワーク W 表面及び出射側端面 33 間の距離は、ピーク位置における周波数の $1/2$ 倍として算出される。

20

【0052】

図 5 は、ロッドレンズ 32 の出射側端面 33 から出射される検出光 I_0 のうち、出射側端面 33 で反射された反射光 I_1 と、ワーク W 表面で反射された反射光 I_2 とが干渉光 I として観測される様子を模式的に示した説明図である。

【0053】

検出光 I_0 を $i_0 = a_0 \times \sin(\omega t)$ 、反射光 I_1 を $i_1 = a_1 \times \sin(\omega t + 2\pi x_1/\lambda)$ 、反射光 I_2 を $i_2 = a_2 \times \sin(\omega t + 2\pi x_2/\lambda)$ としてそれぞれ表すと、干渉光 I の強度は、 $(i_1 + i_2)^2$ の時間平均 $= (a_1^2 + a_2^2) + 2 \times a_1 \times a_2 \times \cos(4\pi d/\lambda)$ と表される。ただし、ワーク W の表面とロッドレンズ 32 の出射側端面 33 との間の距離 d を用いて、 $x_2 - x_1 = 2d$ としている。

30

【0054】

上記関係式から、干渉光 I の強度は、 $4\pi d/\lambda = 2n$ (n は整数) で最大値 $(a_1 + a_2)^2$ となり、 $4\pi d/\lambda = (2n + 1)\pi$ で最小値 $(a_1 - a_2)^2$ となること分かる。

【0055】

光量 I と波数 $1/\lambda$ との関係におけるピーク位置の周波数、すなわち、空間周波数は、 $(1/\lambda_1 - 1/\lambda_2)$ の逆数に相当する。従って、上記関係式から得られる $4\pi d \times (1/\lambda_1 - 1/\lambda_2) = 2n$ を用いることにより、距離 d は、(空間周波数) $\times 1/2$ から求めることができる。

【0056】

40

<測定モニター画面>

図 6 (a) ~ (c) は、図 3 の分光装置 40 における動作の一例を示した図であり、測定モニター画面上に表示される計測結果が示されている。図 6 (a) には、横軸を波長 λ 、縦軸を光量として、波長 λ が増加するに従って受光量が激しく変化している波長分布の特性曲線が示されている。

【0057】

1次元イメージセンサー 45 で検出される受光量は、 $4\pi d/\lambda = 2n$ を満たす波長 λ で極大となり、 $4\pi d/\lambda = (2n + 1)\pi$ を満たす波長 λ で極小となる。このため、波長 λ が増加するに従って、受光量は、周期的に激しく変化することとなる。

【0058】

50

なお、光量分布における極大点を結ぶ包絡線は、検出光 L に含まれる光の強度分布がガウス分布であることに対応して、山型の曲線となっている。

【 0 0 5 9 】

図 6 (b) には、横軸を波数 $1/\lambda$ 、縦軸を光量として、波数 $1/\lambda$ が増加するに従って受光量が周期的に変化している波長分布の特性曲線の他の表示例が示されている。1 次元イメージセンサー 4 5 の検出データについて、受光素子ごとの受光量分布が示す光量 I と波長 λ との関係を保数 I と波数 $1/\lambda$ との関係に変換することにより、受光素子ごとの受光量分布が有する周期を単一周期の分布にすることができる。

【 0 0 6 0 】

この様な波長分布の特性曲線における周波数、すなわち、空間周波数を求めることにより、ワーク W とロッドレンズ 3 2 の出射側端面 3 3 との間の距離 d を算出することができる。

10

【 0 0 6 1 】

図 6 (c) には、横軸を距離 d、縦軸を強度として、光量 I と波数 $1/\lambda$ との関係から得られた F F T スペクトルが示されている。光量 I と波数 $1/\lambda$ との関係を周波数解析することによって得られる F F T スペクトルでは、ピーク位置における周波数が、ワーク W 表面で反射された反射光とロッドレンズ 3 2 の出射側端面 3 3 で反射された反射光との光路差に比例することから、ワーク W 表面及び出射側端面 3 3 間の距離 d は、ピーク位置における周波数の $1/2$ 倍として算出される。

【 0 0 6 2 】

20

図 7 は、ワーク W までの距離 d を変化させた場合の F F T スペクトルの一例を示した図であり、距離 d が異なる複数の周波数解析の結果が重ねて示されている。F F T スペクトルにおけるピーク点の強度は、通常、ワーク W 表面及び出射側端面 3 3 間の距離 d が大きくなるほど単調に減少する。

【 0 0 6 3 】

図 8 (a) 及び (b) は、測定モニター画面上に表示される計測結果の一例を示した図である。図 8 (a) には、図 7 のピーク点 B 1 に対応して距離 d が小さい場合の光量変化が示され、図 8 (b) には、図 7 のピーク点 B 2 に対応して距離 d が大きい場合の光量変化が示されている。

【 0 0 6 4 】

30

ワーク W 表面及び出射側端面 3 3 間の距離 d が大きい場合と小さい場合とを比較すると、距離 d が大きくなるほど分光装置 4 0 の分解能による測定ばらつきの影響が大きくなることから、距離 d が大きい場合の方が、光量変化における極大値と極小値との差、すなわち、コントラストが小さくなっている。

【 0 0 6 5 】

この様に距離 d が大きくなるほど光量変化における極大値及び極小値の差が小さくなることに起因して、F F T スペクトルにおけるピーク点の強度は、距離 d に応じて減少することとなる。

【 0 0 6 6 】

F F T スペクトルにおけるピーク位置の周波数からワーク W 表面と出射側端面 3 3 との間の距離 d を算出する際には、ノイズによる影響を除去するために、強度が所定の閾値を越えている周波数成分を抽出してピーク位置が決定される。

40

【 0 0 6 7 】

ピーク位置を決定する際の閾値は、計測対象とする距離 d の大きさに応じて異ならせても良いが、距離 d に関わらず一定値である方がオペレータにとって分かり易い。そこで、本実施の形態による光学式変位計 1 では、光量 I 及び波数 $1/\lambda$ の関係から得られた F F T スペクトルを測定モニター画面上に表示する際に、ピーク点の強度が距離 d に関わらず一定となるように周波数解析の結果を補正する処理が行われる。

【 0 0 6 8 】

< F F T スペクトルの補正処理 >

50

図9は、補正後のFFTスペクトルの一例を示した図である。光量 I 及び波数 $1/\lambda$ の関係性を周波数解析することによって得られる補正前のFFTスペクトルに対して、距離に応じて値が異なる所定係数を乗算することにより、補正後のFFTスペクトルが求められる。

【0069】

補正後のFFTスペクトルでは、ワークW表面及び出射側端面33間の距離 d に関わらず、ピーク点の強度が一定となることから、共通の閾値 T_h を用いてピーク位置における周波数を決定することができる。

【0070】

図10は、ワークWが透光性を有する膜である場合に、ロッドレンズ32の出射側端面33から出射される検出光 I_0 のうち、出射側端面33で反射された反射光 I_1 と、膜の表面で反射された反射光 I_2 と、膜の裏面で反射された反射光 I_3 とが干渉光 I として観測される様子を模式的に示した説明図である。

【0071】

ワークWが透明膜の場合、透明膜の表面で反射された反射光 I_2 と、透明膜の裏面で反射された反射光 I_3 とは、それぞれその一部が出射側端面33を介してロッドレンズ32に入射され、反射光 I_1 及び I_2 の場合と同様に、干渉光として分光装置40に伝送される。

【0072】

分光装置40では、光量 I 及び波数 $1/\lambda$ の関係性を周波数解析することによって得られるFFTスペクトルからピーク位置における周波数を検出することにより、ワークW表面及び出射側端面33間の距離 d_1 を算出する場合と同様にして、透明膜の膜厚 d_2 が算出される。具体的には、距離 d_1 を誤抽出することなく膜厚 d_2 を正しく抽出するために、FFTスペクトルについてピーク検出する際に、計測対象とする距離 d の範囲を絞り込む所定のマスク処理が行われる。

【0073】

<ピーク検出のマスク処理>

図11は、図3の分光装置40における動作の一例を示した図であり、FFTスペクトルなどの計測結果を表示する測定モニター画面61が示されている。この測定モニター画面61は、表示部60上に表示される入力画面であり、FFTスペクトルの表示領域62と、測定値の表示欄63と、マスク処理におけるパラメータの入力欄64、65と、閾値 T_h の入力欄66が配置されている。

【0074】

表示領域62には、光量 I 及び波数 $1/\lambda$ の関係性を周波数解析することによって得られるFFTスペクトルが表示される。このFFTスペクトルは、横軸を距離 d 、縦軸を強度として表示され、表示領域62内には、ピーク位置を検出するための強度に対する閾値 T_h と、ピーク検出時に計測対象とする距離範囲を絞り込むためのマスク位置71、72とがそれぞれ破線で示されている。

【0075】

FFTスペクトルからピーク位置を検出する場合、まず、強度が閾値 T_h を越えている周波数成分が抽出される。そして、抽出した周波数成分について重心位置を求めることにより、ピーク位置における周波数が決定される。FFTスペクトルから周波数成分を抽出する際、マスク位置71及び72で区分された距離範囲内を計測対象として抽出が行われる。

【0076】

例えば、マスク位置71とマスク位置72との間を計測対象として抽出を行うことにより、透明膜の膜厚 d_2 を示すピークC1を抽出することができる。また、マスク位置72を越える範囲を計測対象として抽出を行うことにより、ワークW表面までの距離 d_1 を示すピークC2を抽出することができる。

【0077】

10

20

30

40

50

入力欄 6 4 及び 6 5 は、この様なマスク位置 7 1 , 7 2 を指定するためのパラメータの入力欄となっている。

【 0 0 7 8 】

この例では、マスク位置 7 1 とマスク位置 7 2 との間の区間が計測対象として指定されており、表示領域 6 2 内には、計測対象であることを示すアイコン 7 3 がピーク C 1 に対応付けて表示されている。また、表示欄 6 3 には、このピーク C 1 から得られた距離が測定値として表示されている。

【 0 0 7 9 】

本実施の形態によれば、ワーク W による反射光と、ロッドレンズ 3 2 の出射側端面 3 3 による反射光との間の光路差に起因する光の干渉により、反射光は、波長に応じてその強度が周期的に変化することとなる。この様な反射光を分光して波長に対する強度変化の周波数を求めることによって、ワーク W 及び出射側端面 3 3 間の距離を算出することができる。その際、ロッドレンズ 3 2 の中心軸に略平行な光として検出光 L を出射させているので、ワーク W と出射側端面 3 3 との間の距離を高い精度で計測することができる。

10

【 0 0 8 0 】

また、平行光に変換してからビームスプリッタを介してワーク W に向けて検出光を出射させる場合に比べて、ヘッド部 3 0 を小型化することができる。特に、検出光を集光して中心軸に略平行な平行光を出射する集光レンズがロッドレンズ 3 2 として一体的に形成されているので、ヘッド部 3 0 をさらに小型化することができる。

【 0 0 8 1 】

20

なお、本実施の形態では、検出光を集光して中心軸に略平行な光として検出光 L を出射する集光レンズがロッドレンズ 3 2 である場合の例について説明したが、本発明はこれに限られるものではない。検出光をワーク W に向けて出射する出射側端面が平面であれば、検出光を集光して中心軸に略平行な光として検出光 L を出射する集光レンズは、2 以上の単レンズを組み合わせた複合レンズであっても良い。

【 図面の簡単な説明 】

【 0 0 8 2 】

【 図 1 】本発明の実施の形態による光学式変位計 1 の概略構成の一例を示したシステム図である。

【 図 2 】図 1 の光学式変位計 1 の要部における構成例を示した図であり、ヘッド部 3 0 内の構成が示されている。

30

【 図 3 】図 1 の光学式変位計 1 における分光装置 4 0 の構成例を示した図である。

【 図 4 】図 3 の分光装置 4 0 における演算回路 5 0 の構成例を示したブロック図である。

【 図 5 】出射側端面 3 3 から出射される検出光 I_0 のうち、出射側端面 3 3 による反射光 I_1 、ワーク W 表面による反射光 I_2 が観測される様子を示した説明図である。

【 図 6 】図 3 の分光装置 4 0 における動作の一例を示した図であり、測定モニター画面上に表示される計測結果が示されている。

【 図 7 】ワーク W までの距離 d を変化させた場合の F F T スペクトルの一例を示した図であり、距離 d が異なる複数の周波数解析の結果が重ねて示されている。

【 図 8 】測定モニター画面上に表示される計測結果の一例を示した図である。

40

【 図 9 】補正後の F F T スペクトルの一例を示した図である。

【 図 1 0 】出射側端面 3 3 による反射光 I_1 、膜の表面による反射光 I_2 、膜の裏面による反射光 I_3 が観測される様子を模式的に示した説明図である。

【 図 1 1 】図 3 の分光装置 4 0 における動作の一例を示した図であり、F F T スペクトルなどの計測結果を表示する測定モニター画面 6 1 が示されている。

【 符号の説明 】

【 0 0 8 3 】

1 光学式変位計

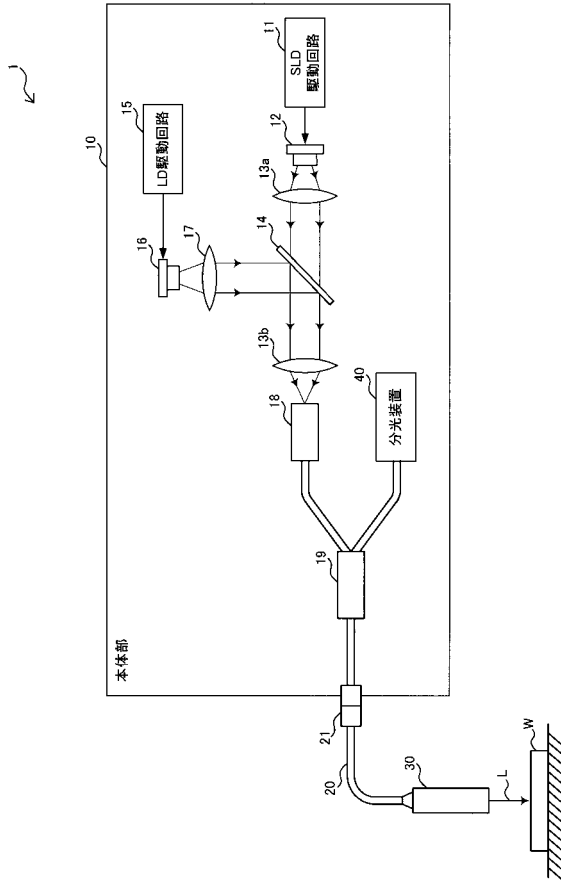
1 0 本体部

1 1 S L D 駆動回路

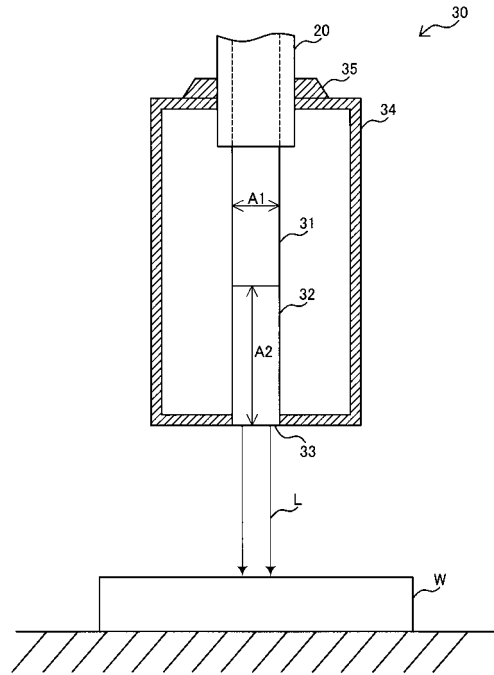
50

1 2	S L D	
1 3 a , 1 7	コリメータレンズ	
1 3 b	集光レンズ	
1 4	コールドミラー	
1 5	L D 駆動回路	
1 6	L D	
1 8	フェルール	
1 9	ファイバースプリッタ	
2 0	伝送ケーブル	
2 1	コネクタ	10
3 0	ヘッド部	
3 1	芯線	
3 2	ロッドレンズ	
3 3	出射側端面	
3 4	筐体	
3 5	支持部	
4 0	分光装置	
4 1	フェルール	
4 2	コリメータレンズ	
4 3	回折格子	20
4 4	結像レンズ	
4 5	1次元イメージセンサー	
4 6	イメージセンサー駆動回路	
4 7	アンプ	
4 8	A Dコンバータ	
4 9	バッファメモリ	
5 0	演算回路	
5 1	波長波数変換部	
5 2	F F T 処理部	
5 3	ピーク検出部	30
5 4	距離算出部	
6 0	表示部	
L	検出光	
W	ワーク	

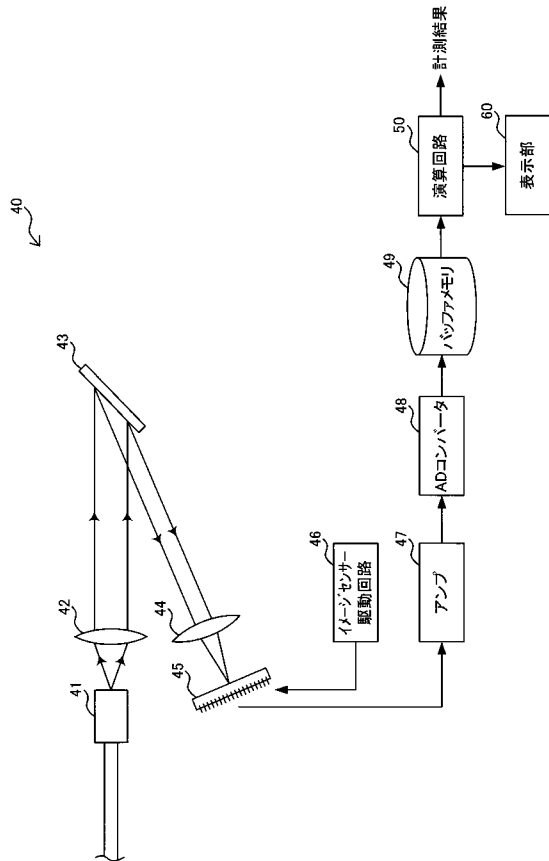
【図1】



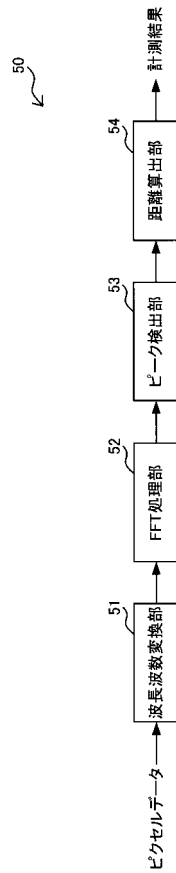
【図2】



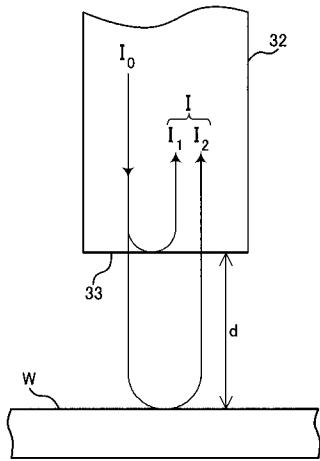
【図3】



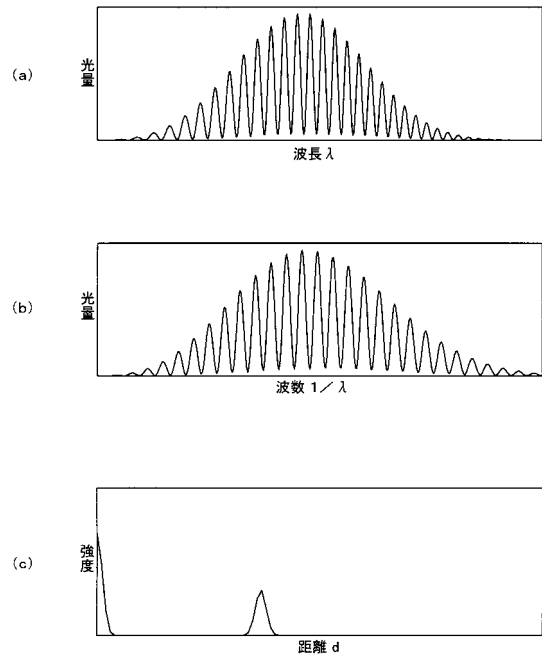
【図4】



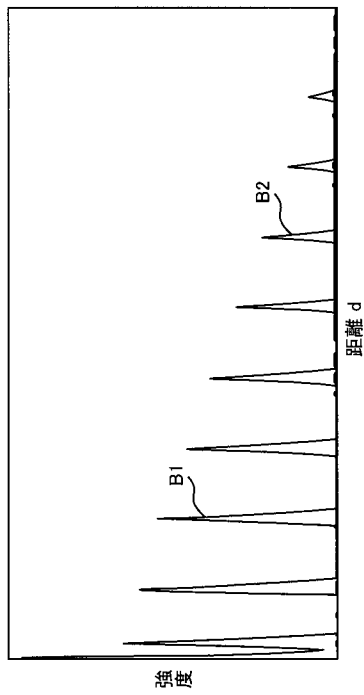
【 図 5 】



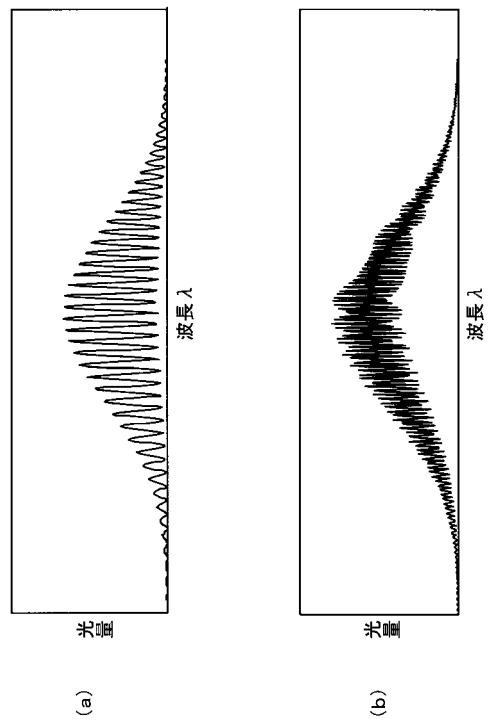
【 図 6 】



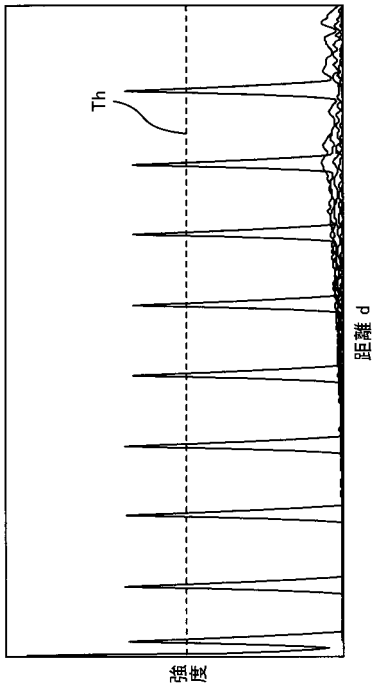
【 図 7 】



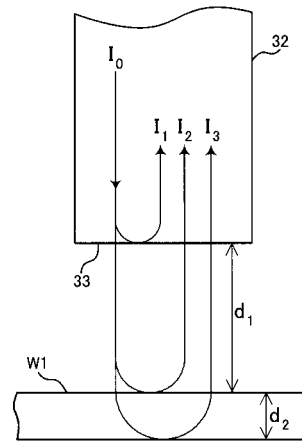
【 図 8 】



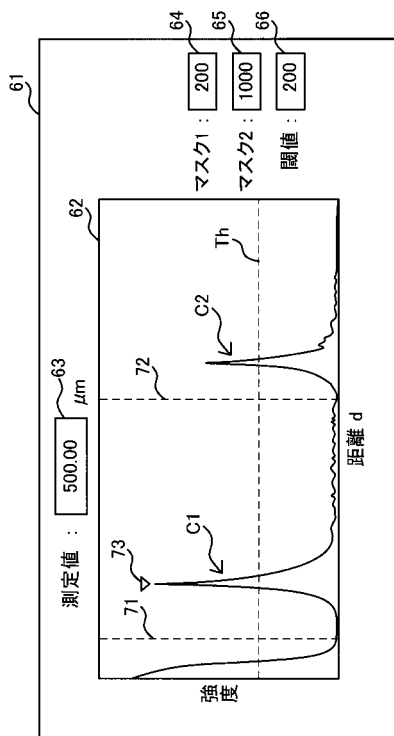
【図9】



【図10】



【図11】



フロントページの続き

- (56)参考文献 特開2006-084370(JP,A)
特開平08-035811(JP,A)
特開2002-328009(JP,A)
特開2007-206049(JP,A)
特開2004-105708(JP,A)
特開2002-196181(JP,A)
特開昭62-071804(JP,A)
特開昭60-11103(JP,A)
特開平4-121609(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G01B 11/00~11/30

G01B 9/02