

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第4298105号
(P4298105)

(45) 発行日 平成21年7月15日(2009.7.15)

(24) 登録日 平成21年4月24日(2009.4.24)

(51) Int.Cl.

F I

G O 1 B 11/24 (2006.01)

G O 1 B 11/24

D

G O 1 B 9/02 (2006.01)

G O 1 B 9/02

請求項の数 4 (全 10 頁)

(21) 出願番号 特願2000-8806 (P2000-8806)
(22) 出願日 平成12年1月18日 (2000.1.18)
(65) 公開番号 特開2001-201326 (P2001-201326A)
(43) 公開日 平成13年7月27日 (2001.7.27)
審査請求日 平成18年10月23日 (2006.10.23)

(73) 特許権者 000005430
フジノン株式会社
埼玉県さいたま市北区植竹町1丁目324番地
(74) 代理人 100097984
弁理士 川野 宏
(72) 発明者 植木 伸明
埼玉県大宮市植竹町1丁目324番地 富士写真光機株式会社内

審査官 八島 剛

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 干渉縞測定解析方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

出力光の波長 λ を時間的に変化させ得る光源と、該光源からの光束を平行光束とした後基準面上および被測定面上に導く光学系と、該基準面および該被測定面からの光束の光干渉により得られた干渉縞情報を撮像する撮像手段とを備えた干渉計装置を用い、

前記出力光の波長 λ を略 λ^2/mL (m は1測定期間中に取り込む画像の枚数、 L は前記基準面と前記被測定面との光軸上での光学的距離) ずつ変化させる毎に、前記撮像手段により干渉縞画像を撮像し、

該撮像して得られた複数の干渉縞画像情報に対し、所定の演算処理を施し、得られた縞位相変化に基づき干渉縞解析を行う干渉縞測定解析方法において、

前記光学系のコリメータレンズのレンズ面と、前記基準面または前記被測定面との光軸上での光学的距離 L_1 を、前記基準面と前記被測定面との光学的距離 L_2 に比して大きな値となるように設定し、

前記出力光の波長 λ を、略 λ^2/mL_1 ずつ異なる範囲毎に連続的に変化せしめ、該範囲毎に所定期間(但し、 $2\pi/m$ よりも小さい位相変化範囲に相当する)に亘って前記撮像手段により干渉縞画像を連続的に撮像し、その撮像により得られた該範囲毎のデータを下式(1)に代入して干渉縞画像情報 $I_i(x,y)$ を得、

得られた干渉縞画像情報 $I_i(x,y)$ に対して、前記所定の演算処理を施して干渉縞解析を行うことによって、前記コリメータレンズのレンズ面からの反射光と前記基準面または前記被測定面からの反射光とにより形成される干渉縞ノイズを除去することを特徴と

10

20

する干渉縞測定解析方法。

【数 1】

$$I_i(x, y) = \frac{1}{\Delta} \int_{\alpha_i - \Delta/2}^{\alpha_i + \Delta/2} I_0(x, y) \{1 + \gamma_0 \cos[\phi(x, y) + \alpha(t)]\} d\alpha(t) \quad (1)$$

ここで、

α_i : i 番目の画像を得るための相対位相シフトの平均値

Δ : 位相シフト量

γ_0 : 干渉縞パターンのモジュレーション

$I_0(x, y)$: 点 (x, y) における平均強度

$\phi(x, y)$: 点 (x, y) における波面位相

10

【請求項 2】

前記光源がレーザ光源であることを特徴とする請求項 1 記載の干渉縞測定解析方法。

【請求項 3】

前記干渉計装置がフィゾー型であることを特徴とする請求項 1 または 2 記載の干渉縞測定解析方法。

20

【請求項 4】

前記コリメータレンズのレンズ面と、前記基準面または前記被測定面との光軸上での光学的距離 L_1 が、前記基準面と前記被測定面との光学的距離 L_2 に比して 5 倍以上とされていることを特徴とする請求項 1 ～ 3 のうちいずれか 1 項記載の干渉縞測定解析方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、可干渉性を有する波長可変光源を観察用光源とする干渉計装置において被測定体の位相情報を得るための干渉縞測定解析方法に関し、特に、コリメータレンズ等の光学面からの発生光と基準面や被測定面からの出力光との光干渉によって生じる干渉縞ノイズを除去する干渉縞測定解析方法に関するものである。

30

【0002】

【従来の技術】

従来より、精密な光学鏡面やレンズ形状を測定する光学測定装置として、例えばフィゾー型干渉計装置が知られている。

このようなフィゾー型干渉計装置では、被測定面に基準面を接近させ、単色の平面光波で両者を照明し、近接した両面からの反射光により生成される干渉縞を、CCDカメラ等の撮像装置で撮像し、得られた干渉縞画像を解析して上記被測定面表面の形状（位相変化）を観察測定する。

40

【0003】

一方、干渉縞解析を行う際の、凹凸判別等の有効な手法として、最近、光源に波長可変レーザを用いて波長走査する手法が知られている。波長可変レーザを用いて高精度な表面を計測した例として、Philip S Fairman らによる「300-mm-aperture phase-shifting Fizeau interferometer」1371-1380 Vol38 No8 OPTICAL ENGINEERING 1999 が知られている。しかしこの文献中で述べられている波長走査による位相走査法を通常の干渉装置に適用した場合は、被検体の位相値は求まるが前述した光学面からの発生光と基準面や被測定面からの出力光との光干渉によって生じる干渉縞ノイズを除去することはできなかった。この波長可変レーザを用いた干渉縞解析の原理は以下のようにになっている。

【0004】

50

すなわち、基準面からの反射光と被測定面からの反射光により生成される干渉縞の位相差は、光源の波長が λ であるとき、良く知られているように光路長 L を波長 λ で割った値、すなわち $2\pi L/\lambda$ となる。波長がわずかな量 $\delta\lambda$ だけ変化すると、この位相は $2\pi L/\lambda$ から $2\pi L/(\lambda + \delta\lambda)$ となり $\alpha = (2\pi L/\lambda^2)\delta\lambda$ だけ変化することになる。この位相変化量 α は、干渉縞が生成されるための反射面間の光路長 L に比例している。

【0005】

ここで、撮像手段で撮像される干渉縞情報は、ノイズを考えなければ、下式(2)で表される。

【0006】

【数2】

10

$$\frac{2\pi}{\lambda}\phi(x,y) = \arctan \frac{\sum_{r=1}^m I_r(x,y) \sin \frac{2\pi r}{m}}{\sum_{r=1}^m I_r(x,y) \cos \frac{2\pi r}{m}} \quad (2)$$

【0007】

この干渉計装置は、位相シフト量 α が、それぞれ、例えば 0 、 $\pi/2$ 、 π 、 $3\pi/2$ となるように波長変化量 $\delta\lambda$ を選択し、画像データ I_r （例えば $r=0, 1, 2, 3$ ）を記録し、例えば4ステップアルゴリズム（後述する）等で位相値 $2\pi L/\lambda$ を求めて、被測定面の形状を決定するものである。

20

【0008】

【発明が解決しようとする課題】

このような波長を可変とし得るレーザ光源を用いた波長走査フィゾー型干渉計装置における代表的な系統誤差要因として、平行光束を生成するコリメータレンズと基準面あるいは被測定面との間の干渉縞ノイズが知られている。

このノイズにより測定結果には、被測定面の中央部に、実際には存在しない凸部（または凹部）があたかも存在するように解析されてしまう。

【0009】

すなわち、基準面からの反射光と被測定面からの反射光の他に、コリメータレンズ等の光学面からの反射光がノイズ光としてCCDカメラ等の撮像手段に入射し、それぞれが基準面からの反射光や被測定面からの反射光との間で干渉縞を形成するために、干渉縞に余分なノイズ縞（コヒーレントノイズ）が加わり、縞強度測定の精度を低下させる原因となっていた。

30

そして、特に高精度な被測定面を測定する場合には大きな問題となっていた。

【0010】

なお、このような問題はフィゾー型干渉計装置に限られるものではなく、マイケルソン型やマッハツェンダ型等の他の波長走査型干渉計装置においても生じている問題である。

【0011】

本発明は上記事情に鑑みなされたもので、波長走査型干渉計装置において、コリメータレンズ等の光学面と、基準面および/または被測定面からの出力光との光干渉によって生じる干渉縞ノイズを良好かつ簡易にその解析結果から除去し得る干渉縞測定解析方法を提供することを目的とするものである。

40

【0012】

【課題を解決するための手段】

本発明の干渉縞測定解析方法は、出力光の波長 λ を時間的に変化させ得る光源と、該光源からの光束を平行光束とした後基準面上および被測定面上に導く光学系と、該基準面および該被測定面からの光束の光干渉により得られた干渉縞情報を撮像する撮像手段とを備えた干渉計装置を用い、

前記出力光の波長 λ を略 λ^2/mL （ m は1測定期間中に取り込む画像の枚数、 L は前

50

記基準面と前記被測定面との光軸上での光学的距離) ずつ変化させる毎に、前記撮像手段により干渉縞画像を撮像し、

該撮像して得られた複数の干渉縞画像情報に対し、所定の演算処理を施し、得られた縞位相変化に基づき干渉縞解析を行う干渉縞測定解析方法において、

前記光学系のコリメータレンズのレンズ面と、前記基準面または前記被測定面との光軸上での光学的距離 L_1 を、前記基準面と前記被測定面との光学的距離 L_2 に比して大きな値となるように設定し、

前記出力光の波長 λ を、略 $\lambda^2 / m L_1$ ずつ異なる範囲毎に連続的に変化せしめ、該範囲毎に所定期間(但し、 $2\pi / m$ よりも小さい位相変化範囲に相当する)に亘って前記撮像手段により干渉縞画像を連続的に撮像し、その撮像により得られた該範囲毎のデータを下式(1)に代入して干渉縞画像情報 $I_i(x, y)$ を得、

10

得られた干渉縞画像情報 $I_i(x, y)$ に対して、前記所定の演算処理を施して干渉縞解析を行うことによって、前記コリメータレンズのレンズ面からの反射光と前記基準面または前記被測定面からの反射光とにより形成される干渉縞ノイズを除去することの特徴とするものである。

【0013】

【数3】

$$I_i(x, y) = \frac{1}{\Delta} \int_{\alpha_i - \Delta/2}^{\alpha_i + \Delta/2} I_0(x, y) \{1 + \gamma_0 \cos[\phi(x, y) + \alpha(t)]\} d\alpha(t) \quad (3)$$

20

ここで、

α_i : i 番目の画像を得るための相対位相シフトの平均値

Δ : 位相シフト量

γ_0 : 干渉縞パターンのモジュレーション

$I_0(x, y)$: 点 (x, y) における平均強度

$\phi(x, y)$: 点 (x, y) における波面位相

30

【0014】

また、前記コリメータレンズのレンズ面は、例えばコリメータレンズの発散光束側および/または平行光束側のレンズ面とされる。

前記基準面または前記被測定面が光軸の延びる方向に移動可能とされ、前記各光学面に基づくノイズが最小となる位置で前記移動に係る前記基準面または前記被測定面を停止せしめることが好ましい。

【0015】

また、本発明の干渉縞測定解析方法は、前記光源がレーザ光源である場合に特に効果的である。

40

さらに、前記干渉計装置としては、例えばフィゾー型のものが用いられるが、フィゾー型に限られるものではない。

【0016】

なお、前記「所定倍以上の大きな値」とは、必要な干渉縞画像情報は得られるが、干渉縞ノイズは除去し得る程度に位相変動差が生じる値をいうものとする。

例えば、前記光学的距離 L_1 が前記光学的距離 L_2 に比して5倍以上とされていることが好ましい。

【0017】

【発明の実施の形態】

50

以下、本発明の一実施形態に係る干渉縞測定解析方法について図面を参照しつつ説明する。

図3は本実施形態に係る干渉縞測定解析方法を実施するためのフィゾー型干渉計装置を示すものである。なお、本実施形態においては、ノイズ発生原因となる光学面をコリメータレンズのレンズ面とした場合を例にあげて説明する。

【0018】

このフィゾー型干渉計装置において、出力光の波長 λ を可変とし得るレーザダイオード等の単色の波長可変レーザ光源11から出射されたレーザ光は、コリメータレンズ12（入射面を3、出射面を4により示す；コリメータレンズは模式的に示されている）によって平行光束とされ、基準板13の基準面1および被測定体14の被測定面2に入射する。基準面1で反射された光束と被測定面2で反射された光束は互いに干渉しつつ光路を逆進し、半透鏡15で反射され、CCDカメラ16の撮像面上に、被測定面2の位相情報を有する干渉縞画像を形成する。

10

【0019】

また、本実施形態においてはフリンジスキャンを行って4つの干渉縞画像を得る4バケットのインテグラル・バケット法が採用されており、上記波長可変レーザ光源11からのレーザ光の波長 λ を変化させて、略 $\lambda^2/4L$ ずつ異なる毎に干渉縞画像を得るように構成されている。

ここで得られた4つの干渉縞画像情報についてコンピュータ17において離散的フーリエ変換等の所定の演算処理が施され、有効かつ高精度な干渉縞解析がなされる。

20

【0020】

ところで、このような干渉計装置においては、平行光束を生成するコリメータレンズ12の入射面3あるいは出射面4と基準面1あるいは被測定面2との間で干渉縞ノイズ（コヒーレントノイズ）が発生し、測定結果には、被測定面2の中央部に、実際には存在しない凸部（または凹部）があたかも存在するように解析されてしまう。

【0021】

これは、系内においては、基準面1からの反射光と被測定面2からの反射光の他に、上記コリメータレンズ12の入射面3あるいは出射面4等からの反射光がノイズ光としてCCDカメラ16に入射し、それぞれが基準面1からの反射光や被測定面2からの反射光との間で干渉縞を形成するために、そして上記コリメータレンズ12の入射面3あるいは出射面4は光軸付近において最も平面に近い状態となるために、干渉縞の光軸に相当する位置付近に図4に示す如き余分なノイズ縞（コヒーレントノイズ）20が加わり、縞強度測定の精度を低下させる原因となるものである。

30

【0022】

そこで、本実施形態においては、上記コリメータレンズ12の入射面3あるいは出射面4と、前記基準面1または前記被測定面2との光軸上での光学的距離 L_1 を、前記基準面1と前記被測定面2との光学的距離 L_2 に比して少なくとも数倍以上の大きな値となるように設定し、前記出力光の波長 λ を略 λ^2/mL_1 （ m は1測定期間中に取り込む画像の枚数）ずつ変化させる毎に、前記撮像手段により干渉縞画像を所定期間に亘り連続的に撮像し、該撮像して得られた複数の干渉縞画像情報 $I_i(x, y)$ に対して、下式（4）に基づくインテグラル・バケット法を用いた演算処理を施して干渉縞解析を行うようにし、上記干渉縞ノイズを除去するようにしている。

40

【0023】

【数4】

$$I_i(x, y) = \frac{1}{\Delta} \int_{\alpha_i - \Delta/2}^{\alpha_i + \Delta/2} I_0(x, y) [1 + \gamma_0 \cos[\phi(x, y) + \alpha(t)]] d\alpha(t) \quad (4)$$

ここで、

α_i : i 番目の画像を得るための相対位相シフトの平均値

Δ : 位相シフト量

γ_0 : 干渉縞パターンのモジュレーション

10

$I_0(x, y)$: 点 (x, y) における平均強度

$\phi(x, y)$: 点 (x, y) における波面位相

【0024】

すなわち、本実施形態方法は、出力光波長 λ を連続的にスキャンする場合には、光干渉を生ぜしめる2つの面間距離が長い程、位相の変化が激しいという事実に着目してなされたものであり、距離が互いに短く設定された基準面1と被測定面2の両面からの反射光により生成された干渉縞は撮像時間のある程度長くとっても干渉縞を認識できるが、距離が互いに長く設定されたコリメータレンズ12の出射面4と基準面1の両面からの反射光により生成された干渉縞ノイズは位相変動分が大きく、上記撮像時間の期間が干渉縞情報を表す正弦波の複数周期に相当し、これにより干渉縞ノイズはその強度分布が平均化されて撮像されることとなり、撮像された画面上には干渉縞ノイズが消去された状態となる。

20

【0025】

図5は、このことを概念的に表したグラフを示すものであって、(a)はコリメータレンズ12の出射面4と基準面1の両面からの反射光により生成された干渉縞ノイズを表す信号であり、一方(b)は基準面1と被測定面2の両面からの反射光により生成された干渉縞を表す信号である。すなわち、図示するように基準面1と被測定面2の両面からの反射光により生成された、各ステップにおける干渉縞の連続撮像時間A内に、コリメータレンズ12の出射面4と基準面1の両面からの反射光により生成された干渉縞ノイズを表す信号(正弦波)が複数波以上含まれることとなり、したがって、干渉縞ノイズはその強度分布が平均化されて撮像されることとなりノイズであると認識されなくなってしまう。

30

【0026】

以下、本実施形態を図1のフローチャートを用いて説明する。

なお、本実施形態では上述したように4バケットのフリンジスキャンが採用されている。

【0027】

まず、初期設定として、フリンジスキャン開始波長である基準波長を λ_1 に設定するとともに、各バケットの位相変化幅を $\pi/2$ に設定し(S1)、次に波長 λ_1 を変化させながら連続的に干渉縞画像情報を得る(S2)。この場合において各バケットは、図2に示されるように、位相が0から $\pi/2$ までの範囲の第1バケットA、位相が $\pi/2$ から π までの範囲の第2バケットB、位相が π から $3\pi/2$ までの範囲の第3バケットC、位相が $3\pi/2$ から 2π までの範囲の第4バケットDからなる。

40

【0028】

したがって、位相が0から $\pi/2$ まで変化する間に取り込まれたデータを上式(4)を用いて演算して干渉縞画像情報 $I_1(x, y)$ を得、次に、位相が $\pi/2$ から π まで変化する間に取り込まれたデータを上式(4)を用いて演算して干渉縞画像情報 $I_2(x, y)$ を得、次に、位相が π から $3\pi/2$ まで変化する間に取り込まれたデータを上式(4)を用いて演算して干渉縞画像情報 $I_3(x, y)$ を得、最後に、位相が $3\pi/2$ から 2π まで変化する間に取り込まれたデータを上式(4)を用いて演算して干渉縞画像情報 $I_4(x, y)$ を得る(S3~S7)。

50

この式（４）における演算処理はコンピュータ１７において行われる。

【００２９】

次に、得られた４つの干渉縞画像情報 $I_1(x, y) \sim I_4(x, y)$ からコンピュータ１７において離散的フーリエ変換等の下式（５）を用いた周知の演算処理を行って縞位相情報 Φ_1 を得、これをコンピュータ１７内のメモリに格納する（Ｓ８）。

【００３０】

【数５】

$$\frac{2\pi}{\lambda}\phi(x, y) = \arctan \frac{\sum_{r=1}^m I_r(x, y) \sin \frac{2\pi r}{m}}{\sum_{r=1}^m I_r(x, y) \cos \frac{2\pi r}{m}} \quad (5) \quad 10$$

【００３１】

そして、上記各測定を行った際の基準波長 λ_1 および上記メモリに格納しておいた縞位相情報 Φ_1 の値に基づき、上記コンピュータ１７において、演算処理を行い、被測定面２の表面形状情報を得る（Ｓ９）。

最後に、上記ステップ９（Ｓ９）において得られた表面形状情報を３次元形状として視認可能となるように図示されないモニタに出力する（Ｓ１０）。

【００３２】

なお、本発明の干渉縞測定解析方法としては上記実施形態のものに限られるものではなく、その他の種々の態様の変更が可能であり、例えば上記実施形態においては、干渉縞情報から被測定面２の表面形状情報を得る演算手法として４バケットのインテグラル・バケット法を用いているが、これに代えて、５バケット法以上のインテグラル・バケット法を用いることが可能である。

【００３３】

なお、本発明の干渉縞測定解析方法としては、コリメータレンズ表面のみならずその他の干渉縞ノイズの発生原因となる全ての光学面（例えばハーフミラー面）についての適用が可能であり、またコリメータレンズが複数枚よりなる場合には、その全てあるいは一部のレンズ面についての適用が可能である。

【００３４】

また、本発明方法はフィゾー型の干渉計装置を使用する場合のみならず、その他の干渉計装置、例えば、マイケルソン型あるいはマッハツェンダ型等の干渉計装置に適用が可能である。

【００３５】

さらに、上記実施形態においては被測定面２が平面状とされているが、本発明方法は被測定面２が球面状とされている基準レンズにおいても同様の作用効果を得ることができる。すなわち、基準レンズのレーザ光入射側において平行光束を作る部分においては、上述の平面の場合と同様のノイズが発生し、また、基準レンズは、複数のレンズ玉により構成されており、これら各レンズ玉の各表面毎にノイズが発生するため、本発明方法により同様の作用効果を得ることができる。

【００３６】

【発明の効果】

以上説明したように、本発明の干渉縞測定解析方法は、波長可変型光源を観察用光源とした干渉計装置において、例えばコリメータレンズ表面等の光学面と、基準面または被測定面との光軸上での光学的距離 L_1 を、基準面と被測定面との光学的距離 L_2 に比して大きな値となるように設定し、出力光の波長 λ を略 $\lambda^2 / m L_1$ (m は１測定期間中に取り込む画像の枚数) ずつ変化させる毎に、撮像手段により干渉縞画像を所定期間に亘り連続的に撮像し、該撮像して得られた複数の干渉縞画像情報 $I_r(x, y)$ に対して、インテグラル・バケット法を用いた演算処理を施して干渉縞解析を行うようにして、上記光学面

からの反射光と、基準面または被測定面からの反射光とにより生成される干渉縞ノイズを良好かつ簡易に除去するようにしている。

【0037】

すなわち、出力光波長 λ をスキャンする場合には、光干渉を生ぜしめる2つの面間距離が長い程、位相の変化が激しいという事実があり、距離が互いに短く設定された基準面と被測定面の両面からの反射光により生成された干渉縞の撮像時間をある程度長くとっても干渉縞を認識できるが、距離が互いに長く設定されたコリメータレンズの出射面と基準面の両面からの反射光により生成された干渉縞ノイズは位相変動分が大きく、上記撮像時間の期間が干渉縞情報を表す正弦波の複数次周期に相当し、これにより干渉縞ノイズはその強度分布が平均化されて撮像されることとなるので、撮像された画面上から干渉縞ノイズを消去することが可能となる。

10

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の実施形態に係る干渉縞測定解析方法の一例を説明するためのフローチャート

【図2】本発明の干渉縞測定解析方法において用いられるインテグラル・バケット法を説明するための図

【図3】本発明の干渉縞測定解析方法を実施するための干渉計装置を示す概略図

【図4】本発明の干渉縞測定解析方法により除去する干渉縞ノイズを説明するための図

【図5】本発明の干渉縞測定解析方法を説明するための図

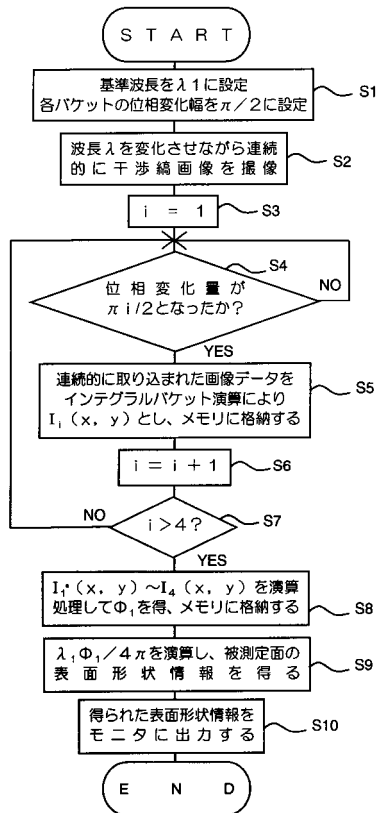
20

【符号の説明】

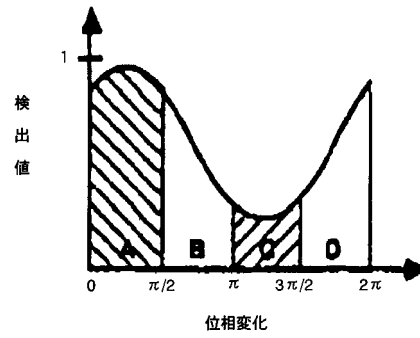
- 1 基準面
- 2 被測定面
- 3 レンズ面（入射面）
- 4 レンズ面（出射面）
- 11 波長可変レーザー光源
- 12 コリメータレンズ
- 13 基準板
- 14 被測定体
- 15 ハーフミラー
- 16 CCDカメラ
- 17 コンピュータ
- 20 干渉縞ノイズ

30

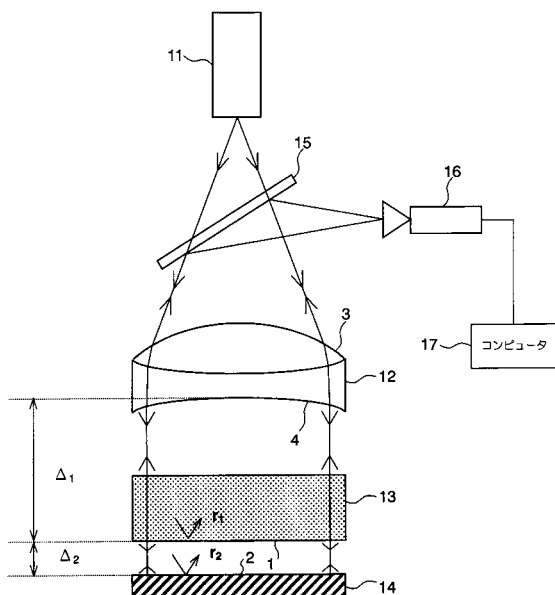
【図 1】



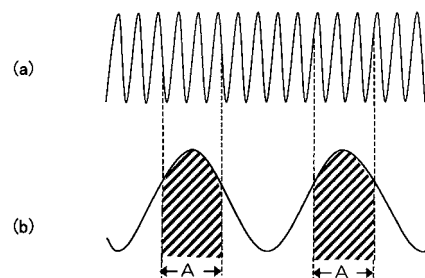
【図 2】



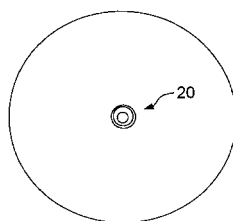
【図 3】



【図 5】



【図 4】



フロントページの続き

- (56)参考文献 特開2001-099624 (JP, A)
特開平04-297807 (JP, A)
特開平04-297808 (JP, A)
特開平11-351812 (JP, A)
特開平04-038410 (JP, A)

- (58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
G01B11/00-11/30
G01B9/00-9/10