

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第5147065号
(P5147065)

(45) 発行日 平成25年2月20日(2013.2.20)

(24) 登録日 平成24年12月7日(2012.12.7)

(51) Int.Cl. F I
GO 1 B 11/24 (2006.01) GO 1 B 11/24 D

請求項の数 1 (全 19 頁)

<p>(21) 出願番号 特願2008-265728 (P2008-265728)</p> <p>(22) 出願日 平成20年10月14日(2008.10.14)</p> <p>(65) 公開番号 特開2010-96551 (P2010-96551A)</p> <p>(43) 公開日 平成22年4月30日(2010.4.30)</p> <p>審査請求日 平成23年6月3日(2011.6.3)</p> <p>(出願人による申告)平成19年度、文部科学省知的クラスター創成事業、産業技術力強化法第19条の適用を受ける特許出願</p>	<p>(73) 特許権者 000003399 J U K I 株式会社 東京都多摩市鶴牧二丁目11番地1</p> <p>(73) 特許権者 504137912 国立大学法人 東京大学 東京都文京区本郷七丁目3番1号</p> <p>(74) 代理人 100080458 弁理士 高矢 諭</p> <p>(74) 代理人 100076129 弁理士 松山 圭佑</p> <p>(74) 代理人 100089015 弁理士 牧野 剛博</p> <p>(72) 発明者 安藤 繁 東京都文京区本郷七丁目3番1号 国立大学法人東京大学内</p>
--	---

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 三次元形状検査装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

時間相関イメージセンサを使用した白色干渉計を含む三次元形状検査装置において、被測定物が外部環境によって振動する振動変位を取得する手段と、該振動変位を、前記時間相関イメージセンサに与える参照信号に合成して、外部振動の影響をキャンセルする手段と、を備えたことを特徴とする三次元形状検査装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、微細な表面形状を光を用いて非接触で検査する三次元形状検査装置に係り、特に、時間相関イメージセンサを使用した白色干渉計を含む三次元形状検査装置の改良に関する。

【背景技術】

【0002】

近年半導体の微細化が進行し、これを検査するための3次元形状検査においても高速化、高精度化が必要とされている。特に表面実装電子部品として、BGA(ボールグリッドアレイ)、CSP(チップスケールパッケージ)等が、その微細化の進歩において顕著である。これらの電子部品パッケージの形状を高精度に測定する方法として、白色干渉計や共焦点顕微鏡等が知られている。

【0003】

白色干渉計（等光路干渉計とも称する）は、例えば特許文献1に示されているように、ハロゲン等を使用した白色光等の低コヒーレンスの光を用いて、被測定物と参照ミラーとの光路長差を変化させながら、そのとき生じる干渉強度波形（インターフェログラム）を多数のポイントで測定し、干渉強度が最大になった点を、その物体の表面高さとして検出するものである。

【0004】

又、白色干渉計による測定の高速化のための改良例が、例えば特許文献2に示されている。これは、パンプが形成されている電子部品に対して、高さ方向で異なる2箇所（パンプ上下）の高さ情報を得て、その結果からパンプ高さの合否判定を行うものである。

10

【0005】

又、特許文献3には、ラインセンサを用いてセンサと直交方向に部品を走査することで高さ方向の走査と部品の走査を同期させて、参照ミラーの走査を最小限にして、部品検査に適用することが記載されている。

【0006】

又、特許文献4には、本発明で使用する時間相関イメージセンサが記載されている。

【0007】

【特許文献1】特公平6-1167号公報

【特許文献2】特開平8-219722号公報

【特許文献3】特開2000-310518号公報

【特許文献4】特許3643210号公報

20

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0008】

しかしながら白色干渉計は、等光路なので可干渉範囲が狭い。従って、試料の3次元形状を測定するためには、白色照明を照射した方向の異なる高さにおいて、狭い可干渉範囲毎に測定を多数回行う必要がある。即ち干渉波形のプロファイルを的確にサンプリングするにはCCDカメラなどにより多数枚撮像する必要があるため、表面形状を算出するために、膨大な時間を要するという問題点がある。

【0009】

その対策として、高さ方向で異なる2回の走査結果を用いる方法が特許文献2で提案されているが、同一箇所を2回走査する必要があり、測定時間短縮の妨げになるという問題があるとともに、1回目と2回目の走査の間には、ステージの精度に起因した位置決め誤差が発生する可能性もある。

30

【0010】

特許文献3は、この弱点を更に改良しようとしたものであり、ラインセンサを用いてセンサと直交方向に部品を走査することで高さ方向の走査と部品の走査を同期させて、参照ミラーの走査を最小限にして、部品検査に適用しようとしたものである。しかしながら、この方法では、水平方向の走査と参照ミラーの走査を精密に同期させる必要があり、同期がずれると部品の正しい形状を判定出来なくなるという問題点があった。又、逆に正しい形状を捉えようとする、水平方向の走査速度に対して、参照ミラーの走査を非常に高速に行わなければならない、相対的に水平方向の走査速度が遅くなり、計測時間が長くなってしまいう問題もあった。

40

【0011】

更に、白色干渉計に限らず高精度な形状計測を行う装置の問題点として、製造ラインのような、装置の設置環境に多くの振動源のある条件で使用すると、外部振動によって本来の正確な計測が再現性良く出来ない、という問題点もある。この問題点を解決する為には、通常、高価なアクティブ除振台などが用いられるが、対応できるサイズや重量に制限があったり、それ自体が高価であるため、製造ラインのような環境で用いることは現実的ではない。

50

【 0 0 1 2 】

これらの問題点の多くは、撮像素子にCCD等の通常のイメージセンサを使用することによって発生している。白色干渉計において計測される干渉光強度分布は、対象の反射率分布と光源によって決まる干渉波形とのコンボリューションであるため、CCD等の通常のイメージセンサによって、これを計測し、対象の表面形状を求めるには、上記したようにデコンボリューションするために多数枚の撮像が必要であり、且つ、撮像速度とデータ転送・処理速度の制限のため、検査時間の短縮が困難である。

【 0 0 1 3 】

本発明は、前記従来の問題点を解決するためになされたもので、電子部品等の3次元形状を、実際の製造現場等、外部振動の大きい環境であっても、高精度で高速に測定可能にする3次元形状検査装置を提供することを課題とする。

【課題を解決するための手段】

【 0 0 1 4 】

まず、本発明において非常に重要な構成要素である時間相関イメージセンサの基本原理を以下に説明する。

【 0 0 1 5 】

図1に示す如く、時間相関型イメージセンサの画素は、入射光子を光電流（被乗数） I に変換する光検出器（フォトダイオード）PD、全画素に共通に供給される外部電気信号（乗数） V 、光電流 I と外部電気信号 V との積電流を生成する乗算器M、積電流を時間積分し相関値として蓄えるコンデンサC、画素毎にオンオフして相関値を走査出力するためのMOSスイッチ回路Qから構成される。

【 0 0 1 6 】

強度変調された光源で照明されたり、それ自身仔細に変化したりする測定対象の映像の明暗は、非常に高い時間周波数帯域を持つ。通常のイメージセンサでは、走査周期より高い周波数の時間変動は平均されるため読み出すことは出来ないが、時間相関イメージセンサでは、走査周期に基づく、このような上限はなく、全画素へ直結して供給される外部電気信号と相関をとることによって、光の高速な明暗変化の中から情報のみを画像として取り出すことが出来る。

【 0 0 1 7 】

時間相関型イメージセンサは、乗算に図2(a)に示すような可変コンダクタンス差動増幅器を用いる。この回路の、差動入力電圧 V_1 、 V_2 に対するドレイン電流の比、相互コンダクタンスは光電流 I に比例する。従ってドレイン電流はソースの光電流 I を差動入力電圧 V_1 、 V_2 で按分する電流となる。これをコンデンサC上に蓄積し、読み出した後で和 $V_{OUT1} + V_{OUT2}$ と差 $V_{OUT1} - V_{OUT2}$ をとると、和は光強度、差は光電流と差動入力電圧の相関値となる。時間相関イメージセンサは、この回路をCMOSプロセスを利用して図1(b)のようなレイアウトで構成し、アレイとして集積化したものである。更に、図1(c)に示すように、外部電気信号として参照信号と呼ぶ変調信号を三相化して送ると、次式に示す如く、各画素への入射光強度 $f(t)$ と、外部から全画素共通に与えられる三相の参照信号 $v_1(t)$ 、 $v_2(t)$ 、 $v_3(t)$ との時間相関値 g_1 、 g_2 、 g_3 を出力することも可能となる。

【 0 0 1 8 】

【数1】

$$g(i) = \frac{1}{T} \int_{t-T}^t f(t) \cdot v_i(t) dt \quad (i=1;2;3) \quad \dots (1)$$

【 0 0 1 9 】

ただし、参照信号の間には、

$$v_1(t) + v_2(t) + v_3(t) = 0 \quad \dots (2)$$

という制約条件がある。結果として、時間相関イメージセンサは、入射光強度の平均値、及び、入射光強度と2つの基底との内積値を出力するデバイスであるとみなせる。

10

20

30

40

50

【 0 0 2 0 】

次に、検出すべき入射光強度の振幅 A と位相 ϕ を求める方法について、参照信号を正弦波で入力したときを想定して説明する。

【 0 0 2 1 】

着目する画素に到来する入射光強度 $f(t)$ を、以下の関数の和として表現する。

【 0 0 2 2 】

$$f(t) = A \cos(\omega t + \phi) + I_0 + B(t) \quad \dots (3)$$

ここで、検出すべき光強度入力 $A \cdot \cos(\omega t + \phi)$

一定の背景光強度 I_0

その他の変動光強度 $B(t)$

10

【 0 0 2 3 】

三相相関の参照信号として、周波数が検出すべき光強度と同一な ω で、位相が 0 、 $2/3$ 、 $4/3$ の正弦波を与えると、画素上のコンデンサ C には、以下のように相関値が形成される。ただし、変動する外乱光強度 $B(t)$ は無相関なため、全て除く。

【 0 0 2 4 】

【数 2】

$$\begin{bmatrix} g_1 \\ g_2 \\ g_3 \end{bmatrix} = \left\langle f(t) \cdot \begin{bmatrix} \cos(\omega t) \\ \cos(\omega t + \frac{2\pi}{3}) \\ \cos(\omega t + \frac{4\pi}{3}) \end{bmatrix} \right\rangle + \frac{T}{3} \begin{bmatrix} I_0 \\ I_0 \\ I_0 \end{bmatrix}$$

20

$$= \frac{A}{2} \begin{bmatrix} \cos(\phi) \\ \cos(\phi - \frac{2\pi}{3}) \\ \cos(\phi - \frac{4\pi}{3}) \end{bmatrix} + \frac{T}{3} \begin{bmatrix} I_0 \\ I_0 \\ I_0 \end{bmatrix} \quad \dots (4)$$

30

【 0 0 2 5 】

検出すべき光強度の振幅 A と位相 ϕ を求めるため、次式で示す 2 乗誤差の評価関数 J を最小化する。

【 0 0 2 6 】

【数 3】

$$J = \left\{ \frac{A}{2} \cos \phi - g_1 \right\}^2 + \left\{ \frac{A}{2} \cos\left(\phi - \frac{2\pi}{3}\right) - g_2 \right\}^2 + \left\{ \frac{A}{2} \cos\left(\phi - \frac{4\pi}{3}\right) - g_3 \right\}^2 \rightarrow \min \quad \dots (5)$$

40

【 0 0 2 7 】

この評価関数 J を A 、 ϕ で偏微分して零と置くことにより、対象光の強度変化の位相と振幅 A は、次式のように推定される。

【 0 0 2 8 】

50

【数4】

$$\phi = \tan^{-1} \left(\frac{\sqrt{3}(g_2 - g_3)}{2g_1 - g_2 - g_3} \right) \quad \dots (6)$$

$$A = \frac{2\sqrt{2}}{3} \sqrt{(g_1 - g_2)^2 + (g_2 - g_3)^2 + (g_3 - g_1)^2} \quad \dots (7)$$

【0029】

この計算はマイクロプロセッサなどで実時間処理するので、光の高速な明暗変化の振幅 A 及び位相 の情報を実時間で検出することが可能となる。

10

【0030】

本発明は、このような時間相関イメージセンサを使用した白色干渉計を含む三次元形状検査装置において、被測定物が外部環境によって振動する振動変位を取得する手段と、該振動変位を、前記時間相関イメージセンサに与える参照信号に合成して、外部振動の影響をキャンセルする手段と、を備えることにより、前記課題を解決したものである。

【発明の効果】

【0031】

本発明によれば、実時間（1フレーム）で、干渉範囲内の頂点位置等の検査と高さ計測が可能となる。干渉の範囲は照明波長の帯域によって制御できるので、その範囲を検査物の突起の有無などに限定すれば、2値化処理などにより画像処理が簡略化でき、検査の高速化が可能となる効果もある。更に、外部振動に対して、その影響の除去を電気信号処理のできるので、アクティブ除振装置のような機械的な除振装置が不要となり、産業用途に安価に適用できる。

20

【発明を実施するための最良の形態】

【0032】

以下図面を参照して、本発明の実施形態を詳細に説明する。

【0033】

本実施形態の概略を、図3（全体）及び図4（ミラウ干渉計部）に示す。図において、8は検査される被測定物を示し、例えばBGAやCSPであれば検査する端子側の面を上方向に向けた状態で設置される。

30

【0034】

10は、時間相関イメージセンサ（特許文献4参照）を用いたカメラ、12は、光コヒーレンス映像法を実現する為の低コヒーレンスな白色光源、14は、前記白色光源12と前記時間相関イメージセンサカメラ10との光路を分離する為のハーフミラー、22は、干渉を起こさせる為の参照ミラー、30は、前記ハーフミラー14から参照ミラー22までとハーフミラー14から被測定物8までの距離を変化させ、干渉光によるインターフェログラムを発生させる為の、例えばリング状のピエゾアクチュエータであり、駆動させた位置情報を出力するピエゾ変位センサ32を含む。

【0035】

24は、被測定物8からの反射光と参照ミラー22からの光を干渉させる為のハーフミラー（ビームスプリッタ）、26は、被測定物8に前記白色光源12を効率良く照射する為の集光レンズであり、図4に詳細に示す如く、ミラウ干渉計の干渉レンズ（対物レンズ）20として一体的に構成される。

40

【0036】

40は、被測定物8を載置するためのステージ、42は、前記干渉レンズ20を駆動するピエゾアクチュエータ30と被測定物8を載置するステージ40との間の変位を測定するための、例えば静電容量センサやレーザ測長器等でなる変位センサ、50は、標準インターフェログラムで生成される参照信号と前記変位センサ42からの出力を合成して出力するための参照信号発生手段、60は、時間相関イメージセンサカメラ10からの出力を

50

演算する演算手段である。

【 0 0 3 7 】

白色干渉計の光学系は図 3 及び図 4 に示すように、白色光源 1 2 からの光がミラウ干渉計 (2 0) 内のハーフミラー 2 4 によって参照側と被測定物 8 側とに分けられ、参照ミラー 2 2 および被測定物 8 からの反射光が、上部に設置された光検出器 (カメラ 1 0) に入射する構成となっている。このうち参照ミラー 2 2 は、ピエゾアクチュエータ 3 0 によってミラウ干渉計ごと垂直方向 (z 軸方向) に駆動することができるようになっており、これによって被測定物 8 側の光路長が変化し、光検出器 (カメラ 1 0) 上の各画素には、図 5 に例示する如く、高さ z の関数としての干渉光強度分布 (インターフェログラム) I (z) が生じる。

10

【 0 0 3 8 】

ここで、図 4 に示す本システムの理論について述べる。

【 0 0 3 9 】

時間相関イメージセンサには、参照面 (位置を z とする) で反射した光と、深さ l (測定対象 (被測定物 8) に固定された座標系) における反射率が r (l) である測定対象 (8) で反射した光が入射する。

【 0 0 4 0 】

光源のパワースペクトルが中心波長、分散のガウス関数状光源であるとき、光強度 I (z) は、次式で計算できる。

【 0 0 4 1 】

【数 5】

$$I(z) = (D.C.) + \frac{1}{2} \Re \left\{ \int r(l) \cdot G(z-l) dl \right\} \quad \dots (8)$$

ただし、

【数 6】

$$G(z) = \frac{1}{2} \exp \left\{ -\frac{2\sigma^2}{c^2} z^2 \right\} \exp j \frac{4\pi}{\lambda} z \quad \dots (9)$$

【 0 0 4 2 】

このように、インターフェログラム I (z) は、反射率分布 r (l) と干渉パターン G (z) の畳み込みで表現される。c は光速である。

30

【 0 0 4 3 】

ここで、インターフェログラム I (z) にフィルタ h (z) を作用させた結果は、

【数 7】

$$\begin{aligned} \int_{-\Delta z}^{\Delta z} I(z_0 - z) \cdot h(z) dz &= \int_{t-T}^t I(z(t)) \cdot \left\{ -h(z_0 - z(t)) \right\} \frac{dz}{dt} dt \\ &= \int_{t-T}^t I(t) \cdot v(t) dt \quad \dots (10) \end{aligned}$$

40

と変形可能なことから、参照ミラーを振動させ、参照信号に

【数 8】

$$v(t) = -h(z_0 - z(t)) \frac{dz}{dt} \quad \dots (11)$$

を使用したときの時間相関イメージセンサの出力は、フィルタ h (z) を使用したデコンボリューションの結果そのものであることがわかる。

【 0 0 4 4 】

例えば、反射位置 l₀ と参照ミラーの振動中心 z₀ が一致したときに時間相関値 g の S N

50

比が最大になるように、整合フィルタ

$$h(z) = G^*(z - z_0) \quad \dots (12)$$

を用いれば、相関振幅 $|g|$ は、参照ミラーの振動中心に対応する箇所に反射があるときに大きな値を持つように設計することができる。ここで G^* は、入力側で雑音が入った場合、入力信号から元データを最も正確に判定することが可能な整合フィルタであり、この問題は変分法で解くことができる。

【0045】

以上のような理論式から、高さデータが求まる。すなわち、時間相関値 g_1 、 g_2 、 g_3 から、前出(6)(7)式を用いて位相と振幅 A が求まる。

【0046】

ここで求めた、対象光の強度変化の位相 [rad]と、計測に用いる光の波長の半分 / 2 [nm]が図6のように対応するため、求めた位相 [rad]が、基準高さからどれだけずれていたかを検出することで、基準高さからの位置を検出することができる。つまり、参照ミラーを振動させた範囲内の連続している面の高さ情報を、1フレーム撮像するだけで取得できる。ここで、相関画像は干渉の相関が強い部分のみが現れる為、干渉範囲を検査範囲として決定し、その範囲の検査物の有無(例えば電子部品端子の凹凸の有無)に限定した検査とすれば、画像の2値化処理によって非常に簡単な画像処理によって高速な処理が可能になる。

【0047】

次に、図7及び図8を参照して、計測に用いる光の波長の半分 / 2 [nm]が対応する様子を図解する。説明を簡潔にするため、白色光より簡単な単色光(レーザー等)の場合で説明する。干渉計においてイメージセンサに入射するのは、試料から反射された光(光路1)と参照ミラーから反射された光(光路2)の重ね合わせ(干渉光)となる。図7(a)に位相0の状態を示す。図7(b)に、光路が1/2波長分ずれ、光波の山と腹の位置関係が逆となる、位相の状態を示す。図7(c)に、2つの光路差(光路1 - 光路2)が1波長分ずれると干渉波形も1周期分変化し、元に戻ることを表した、位相2の状態を示す。つまり、各光路を通る光波の山と腹の位置関係が、試料側光路(光路1)1/2波長分の変化で逆になり、1波長で元に戻るイメージとなる。

【0048】

図8に、光の波長の半分 / 2 [nm]が対応する様子を示す。図のように、計測面が基準面より1/2波長分へこんでいる場合、試料側の光路は、(試料に当たるまでの光路) + (反射して戻るまでの光路)と計算が往復になるため、計測面が基準面より1/2波長分へこんでいる場合、1/2波長 \times 2(往復)で、光路は1波長分長くなる計算となる。このように干渉強度変化の1周期が、使用する光の半波長分の凹凸変化に対応することがわかる。白色光干渉の場合も基本的には同様の議論が成り立つ。白色光干渉の場合は干渉の周期は光源の中心波長で決まる。このことは照明波長を光学フィルタなどでコントロールすることで、干渉範囲を制御することが可能であることも示している。

【0049】

以上の構成において、集光レンズ26及びハーフミラー24と一体となっている、ミラウ干渉計(20)の内部の参照ミラー22を、ミラウ干渉計(20)全体を駆動し、正弦波の速度で振動させ、ピエゾ変位センサ32によって、その変位を検出した出力に同期した、図9に例示する3相のインターフェログラム波形を参照信号として、時間相関イメージセンサ(10)に与える。

【0050】

このインターフェログラム波形は、照明の中心波長と帯域幅によって、図4に示す本システムの理論により述べたように、理論的に求めても良い。即ち、光源のパワースペクトルが中心波長、分散のガウス関数状光源であるとき、光強度 $I(z)$ は、前出(8)(9)式で計算できる。

【0051】

10

20

30

40

50

予め時間相関イメージセンサの代わりに光電子倍增管PMTなどの光センサによって、その測定環境の条件（波長等）を織り込んだ場合のインターフェログラム波形を計測し、その波形を使用しても良い。振動中心近傍で被測定物の反射光と参照ミラーの光との干渉によって実際に発生するインターフェログラムと参照信号として与えたインターフェログラムの相関が各画素のセンサ出力となり、被測定物の深さ方向の移動なしで測定画像全体の干渉の包絡と位相が実時間で求められる。

【0052】

このような機能を持つ時間相関イメージセンサをカメラ10に用いて、更に被測定物8に加えられる外部振動を検出する手段（42）を付加して、撮像と同時に外部振動を参照信号に合成信号として加えると、撮像時の実際の参照ミラー22と被測定物8との距離が計測されるのと同じ意味となるため、相関画像の見かけ上、測定環境振動がキャンセルされたことと同様の効果が得られる。従って、計測時に外部振動が加わったとしても、安定した計測が可能となる。

10

【0053】

外部振動をキャンセルする方法について、図10を用いて具体的に説明する。 piezoelectric actuator 30は、時間相関イメージセンサカメラ10のフレームレートに同期して駆動している。 piezoelectric actuator 30は、 piezoelectric displacement sensor 32（静界容量センサが好ましいが、レーザ測長器でも良い）によって、 piezoelectric actuator controller 34から移動中の変位情報を検出されている。この変位出力を、参照信号発生手段50の内部にあるA/Dコンバータ52によってデジタル化し、その変位情報をメモリ番地のインデックスとしてメモリ54を参照する。参照されたメモリ54には、予め生成された参照波形信号が、外部のホストコンピュータなどからダウンロードする等の方法を以ってルックアップテーブルとして保存されており、位相を2/3ずつずらした3相の参照信号（0、2/3、4/3）を、参照信号発生手段にあるD/Aコンバータ56を介して同時に出力する仕組みを持っている。

20

【0054】

走査範囲内に被測定物8の測定面が存在すると、その高さの前後で干渉波形が発生する為、その干渉波形と参照波形の相関があれば、各センサの画素より各相の相関度合に応じた信号強度を出力するので、結果として、その走査範囲内に被測定物が存在することを検知すると共に、その走査範囲の中での高さが、3相の参照波形の位相を算出することによって位相として求めることが出来る。

30

【0055】

この制御ループに対して、外部振動を検出するための変位センサ42によって検出された振動による変位量を、A/Dコンバータ52によってデジタル化して取り込み、同時に piezoelectric actuator 30の変位出力に加算することで、被測定物8と参照ミラー22面までの実際の距離を計測することになり、その変位に応じた参照信号出力が選択されるので、結果としてあたかも外部振動が無いような計測を実施する事が出来る。

【0056】

図11に、上記の動作を模式化した図を示す。外部振動を piezoelectric actuator 30の走査周波数の半分以下の遅い振動とすると、被測定物8とミラウ干渉計（20）の参照面までの距離 h_0 は、図11（b）（c）のように、全体を押し上げるように変化すると考えられる。すると、干渉強度の信号は、時間軸に対して図11（a）のように、シフトする。ここで、時間相関イメージセンサカメラに与えられる参照信号も、外部振動の変位信号を検出して、その高さ分を参照信号から参照信号へシフトして出力するために、振動して被測定物8が移動してずれた高さを、参照信号の位相補正によって補償することが出来る。

40

【0057】

なお、図11では説明しやすいように、遅い振動を基に作図、説明しているが、高周波成分の振動が発生した場合も、理論的に同様な説明ができ、参照信号に信号を合成して振動キャンセルを実施することが可能である。つまり周波数には言及せずに、参照信号への

50

合成が可能であり、振動キャンセルが実施できる。

【0058】

前記実施形態においては、白色（等光路）干渉計として、レンズ全体を動作するミラウ干渉計が用いられていたが、ミラウ干渉計の代わりに、参照ミラーのみ動作するマイケルソン型干渉計を用いることも出来る。

【0059】

又、被測定物との距離を変化させる手段が、干渉計を動かすのではなく、被測定物8を載置するステージ40を上下に動かす構成をとることが出来る。

【0060】

あるいは、参照波形の生成を、光源の中心波長と帯域から算出する演算手段とした構成をとることが出来る。

10

【0061】

更に、前記するように白色光源を光学フィルタを用いるなどして特定の波長域（例えば緑546nmで半価幅20nm、赤650nmで半価幅40nm）に限定した光源とした構成をとることが出来る。

【0062】

あるいは、外部振動の振幅を検出する変位センサ42を、加速度センサの出力を積分演算した結果を使用する構成とすることも出来る。

【0063】

又、アクチュエータやセンサの種類も、実施形態で用いた物に限定されない。

20

【図面の簡単な説明】

【0064】

【図1】本発明で用いる時間相関イメージセンサの基本的な構成を示すブロック図

【図2】同じく（a）画素回路（二相）、（b）画素構造、（c）画素回路（三相）を示す図

【図3】本発明の実施形態の全体構成を示す光路図

【図4】同じくミラウ干渉計部分を拡大して示す断面図

【図5】同じく干渉強度波形（インターフェログラム）の一例を示す図

【図6】同じく動作を模式化した図

【図7】同じく位相と測定対象の関係の例を示す図

30

【図8】同じく光の半波長が対応する説明図

【図9】同じく参照信号と干渉強度波形の一例を示す図

【図10】同じく外部振動をキャンセルする制御の模式図

【図11】同じく動作を模式化した図

【符号の説明】

【0065】

10 ... 時間相関イメージセンサカメラ

12 ... 白色光源 + 光学フィルタ

14、24 ... ハーフミラー

20 ... 干渉レンズ（ミラウ干渉計）

40

22 ... 参照ミラー

26 ... レンズ

30 ... ピエゾアクチュエータ

32 ... ピエゾ変位センサ

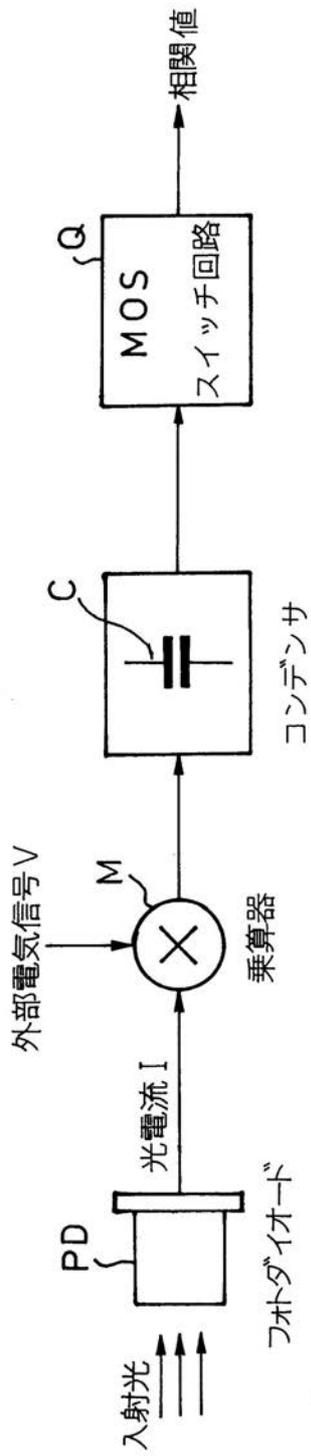
40 ... ステージ

42 ... 変位センサ

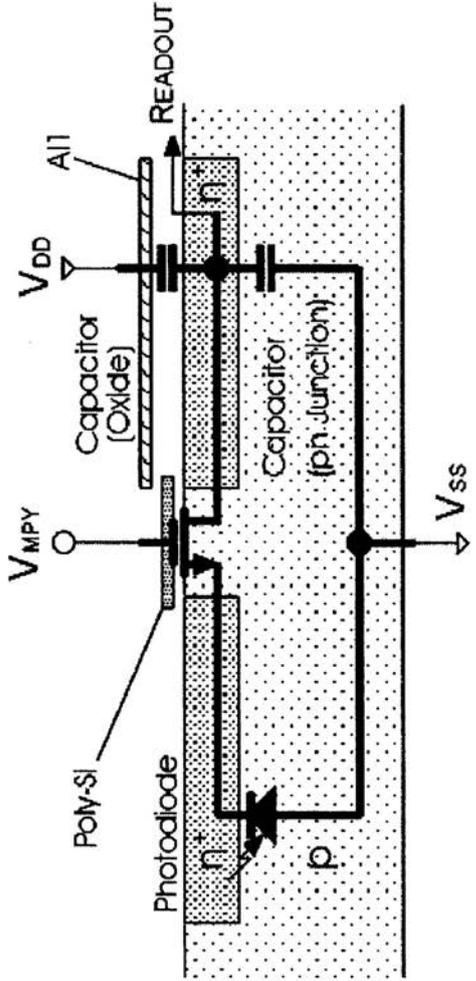
50 ... 参照信号発生手段

60 ... イメージセンサ出力信号演算手段

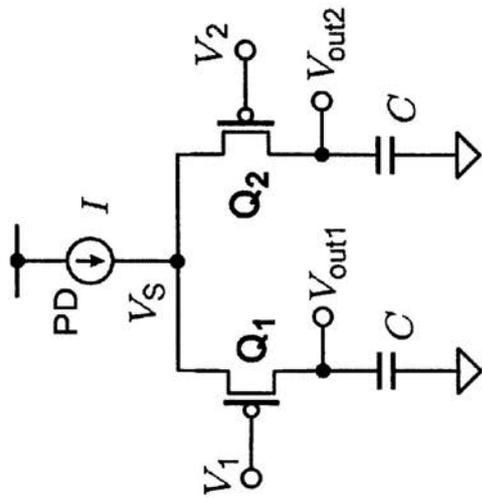
【図1】



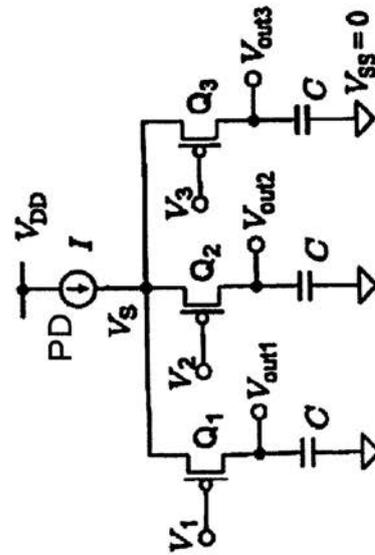
【 図 2 】



(b)画素構造

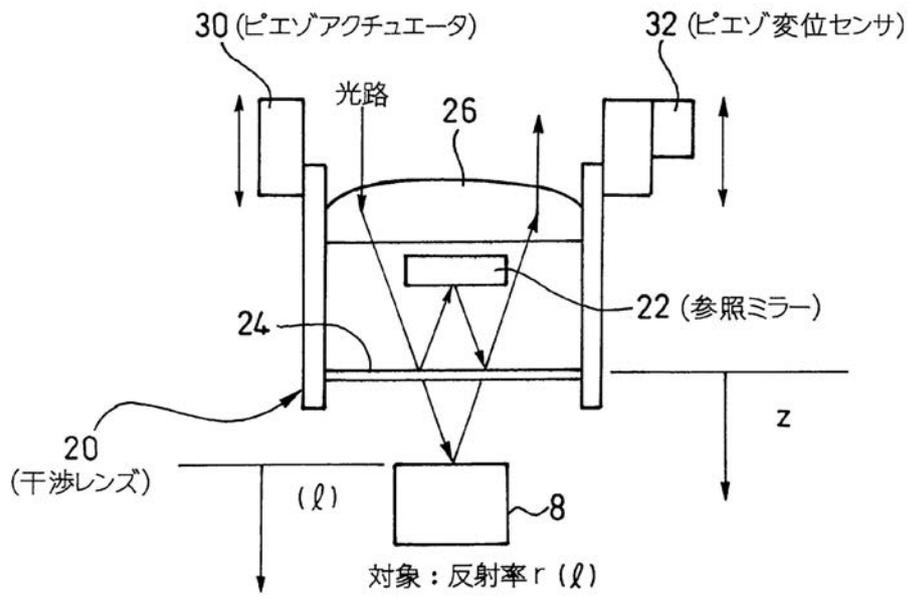


(a)画素回路

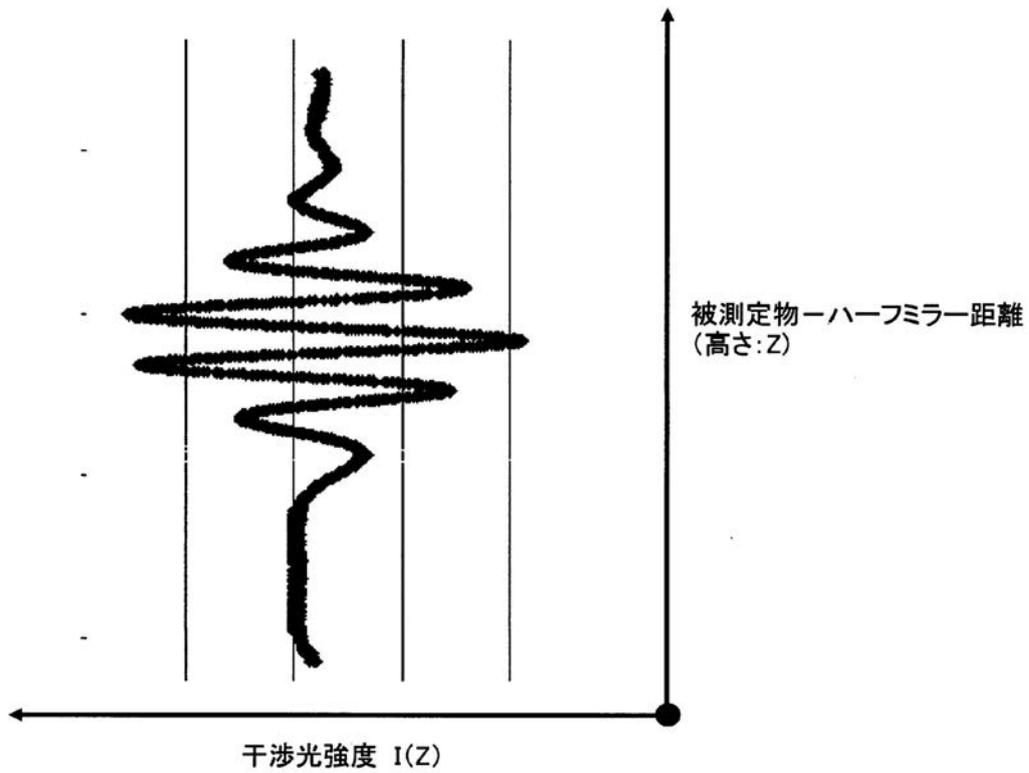


(c)画素回路(三相)

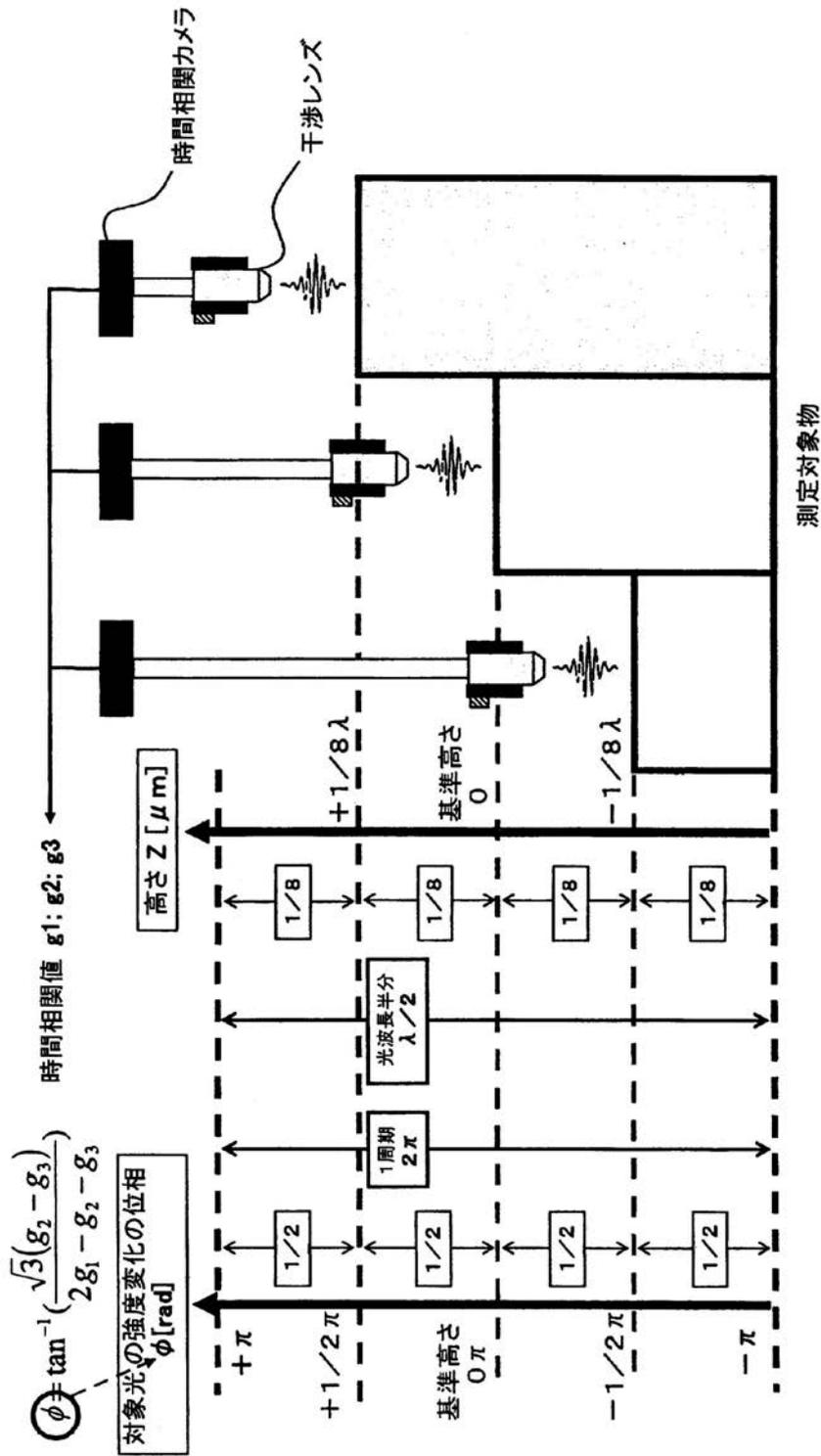
【図4】



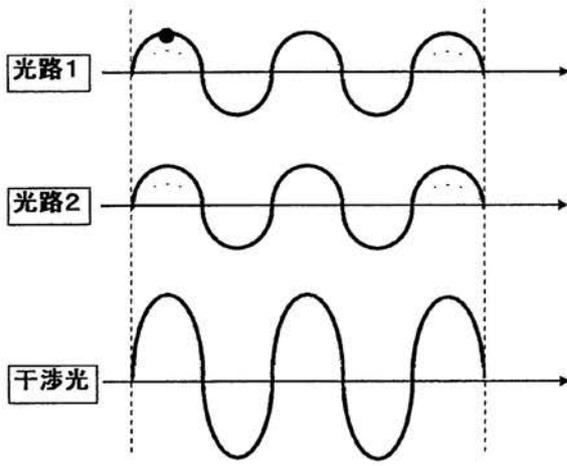
【図5】



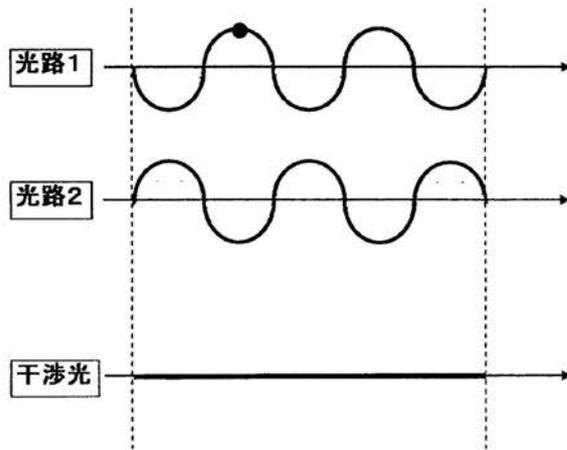
【 図 6 】



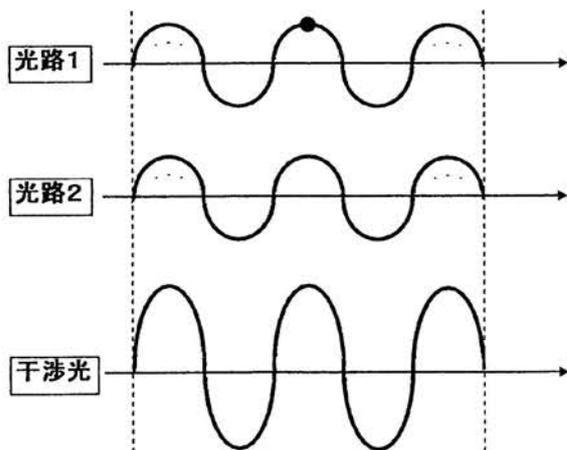
【图 7】



(a)位相 0

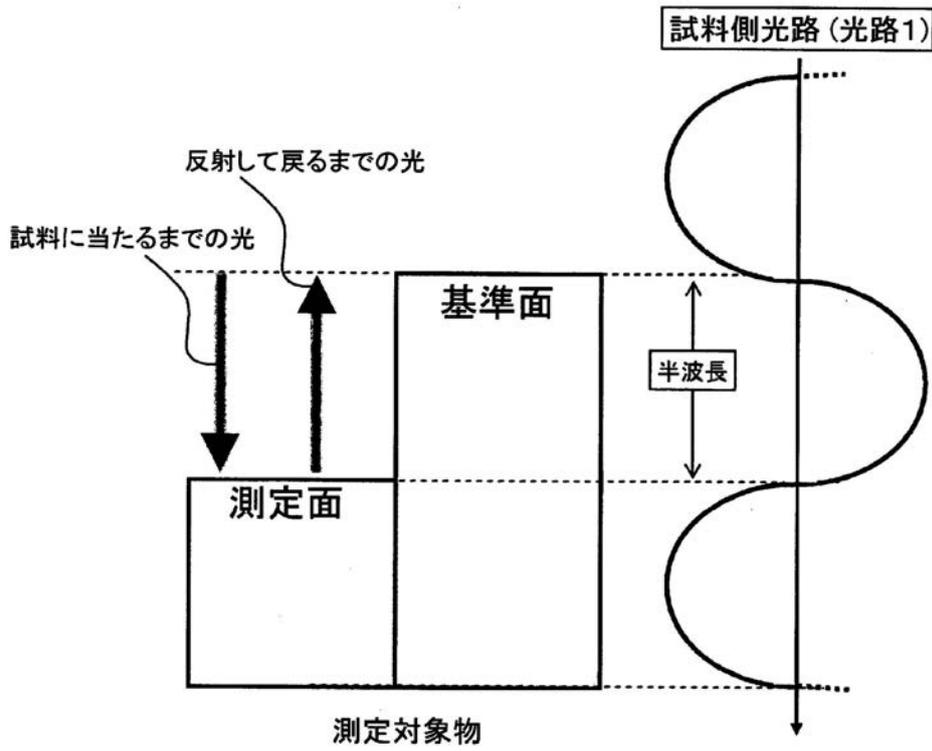


(b)位相 π

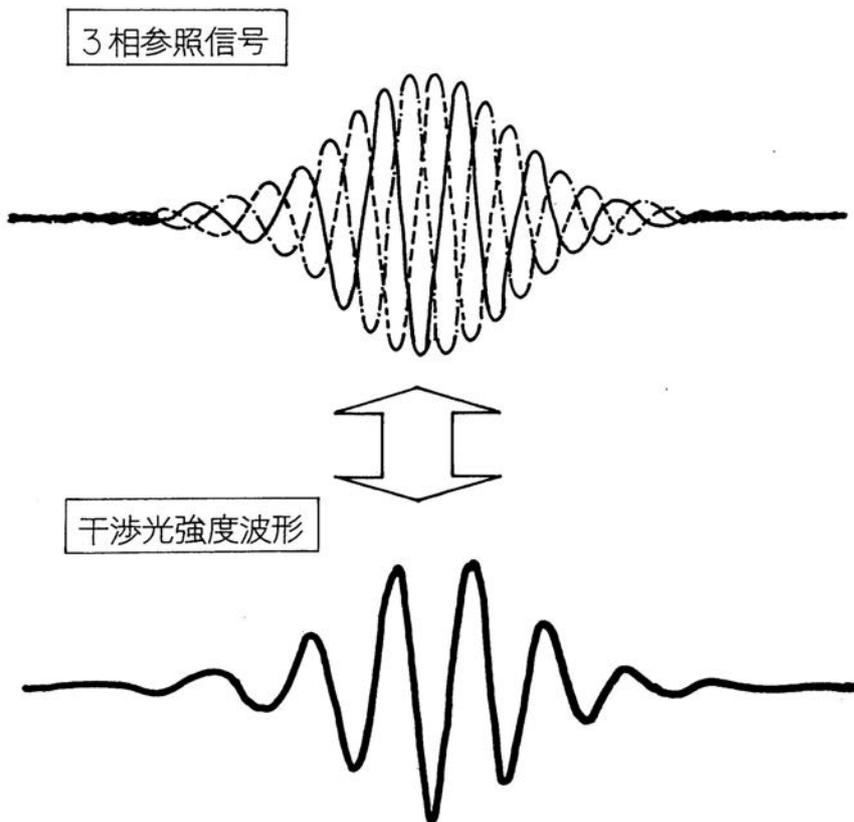


(c)位相 2π

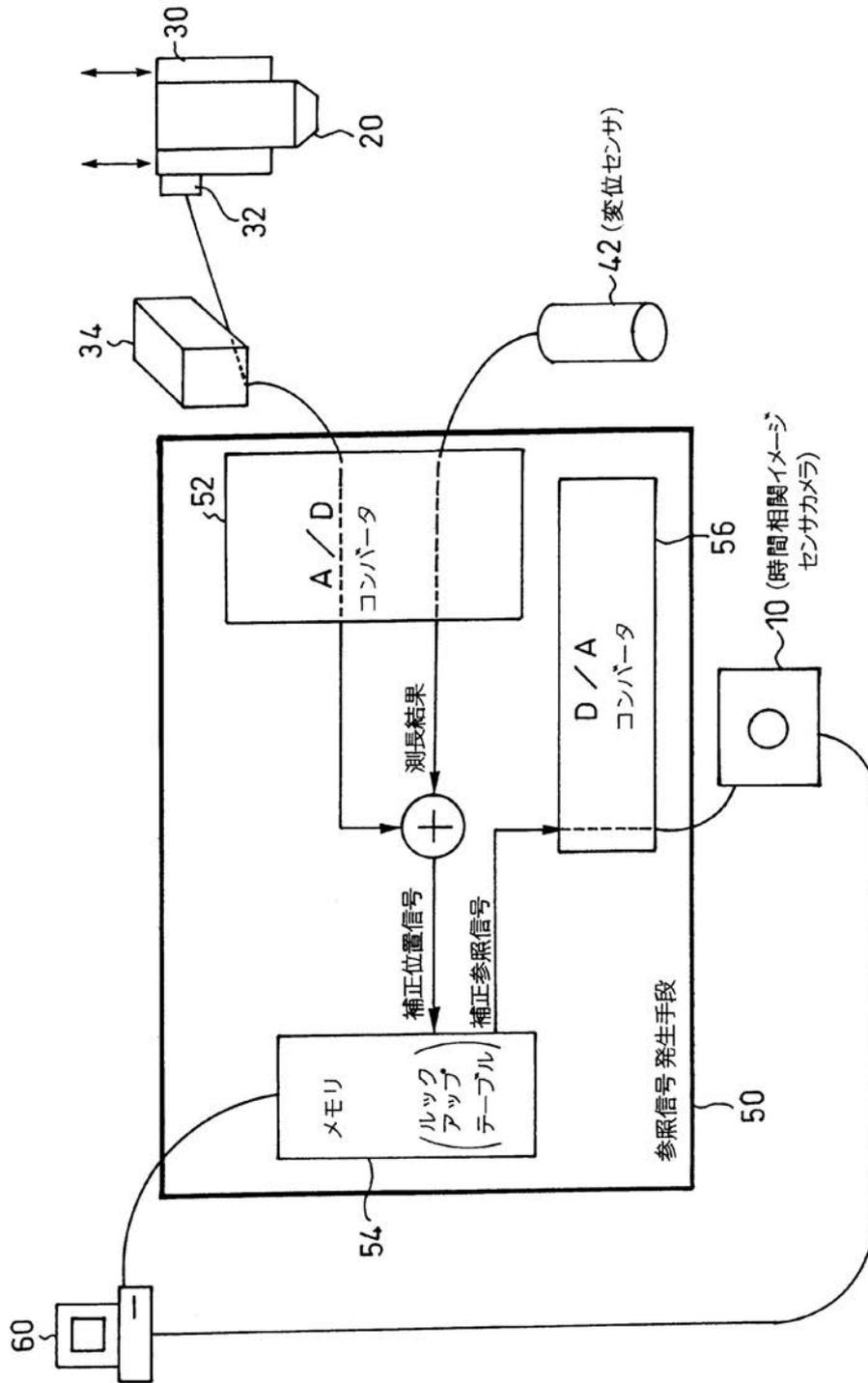
【 図 8 】



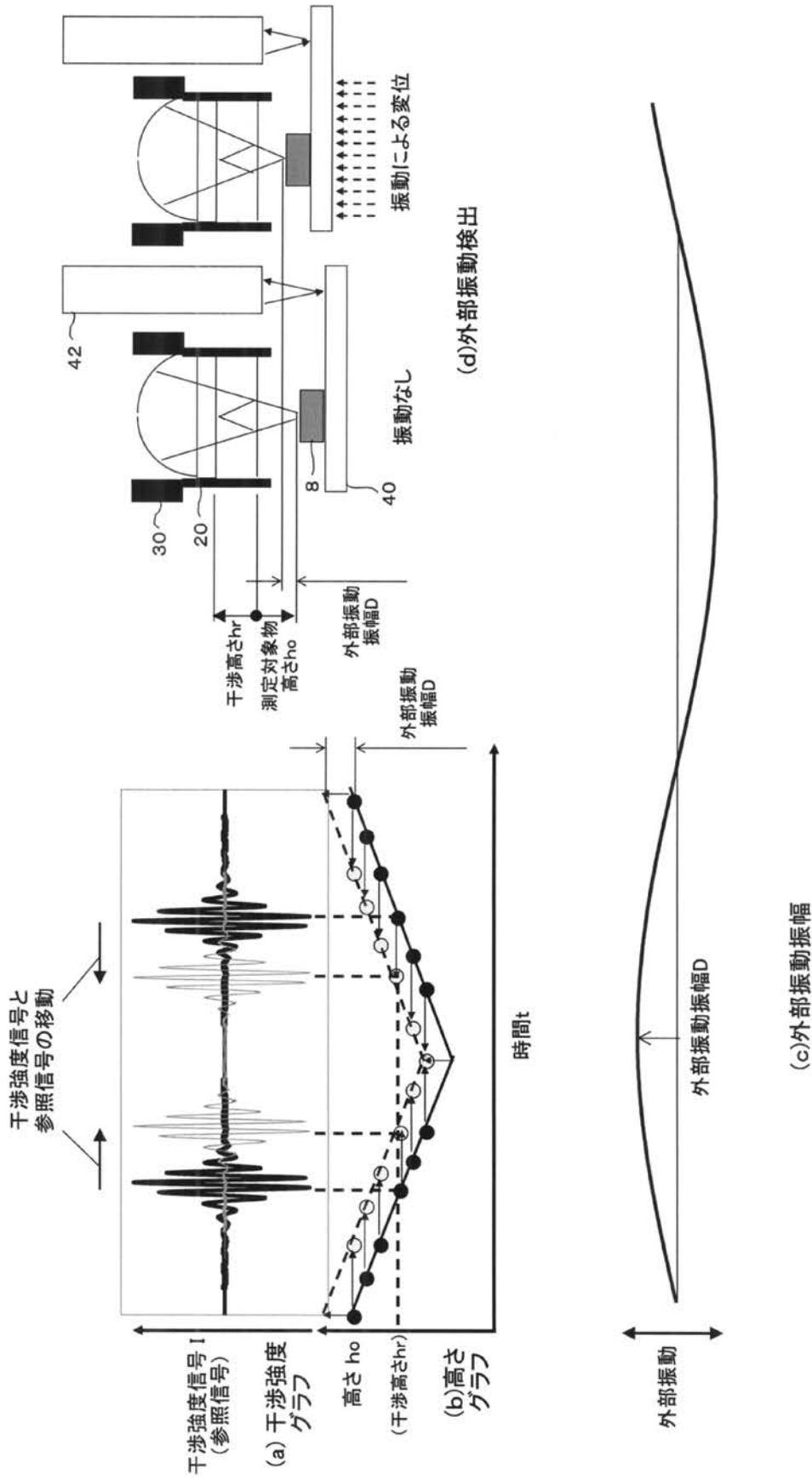
【 図 9 】



【図10】



【図11】



フロントページの続き

- (72)発明者 根本 越男
東京都調布市国領町8丁目2番地の1 JUKI株式会社内
- (72)発明者 今野 貴史
東京都調布市国領町8丁目2番地の1 JUKI株式会社内

審査官 うし 田 真悟

- (56)参考文献 特開平08-219738(JP,A)
特開2007-335557(JP,A)
清水崇聡, 2次元実時間エリプソメトリと光コヒーレンス断層映像法の研究, 修士論文, 2006年 6月26日

- (58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
G01B 9/00-11/30
JSTPlus(JDreamII)