



(43) 国際公開日
2006 年 6 月 29 日 (29.06.2006)

PCT

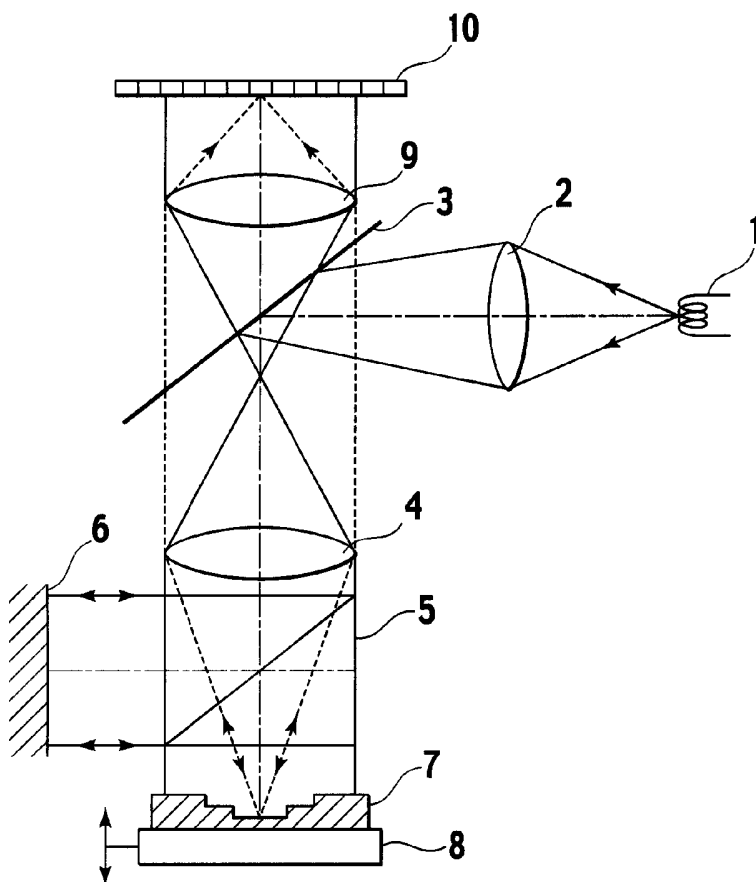
(10) 国際公開番号
WO 2006/068217 A1

- (51) 国際特許分類:
G01B 11/24 (2006.01) G01B 9/02 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2005/023586
- (22) 国際出願日: 2005 年 12 月 22 日 (22.12.2005)
- (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 2004-371632
2004 年 12 月 22 日 (22.12.2004) JP
- (71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 国立大学法人 電気通信大学 (THE UNIVERSITY OF ELECTRO-COMMUNICATIONS) [JP/JP]; 〒1828585 東京都調布市調布ヶ丘 1 丁目 5 番地 1 Tokyo (JP).
- (72) 発明者; および
- (75) 発明者/出願人 (米国についてののみ): 武田 光夫 (TAKEDA, Mitsuo). パヴロフスキー ミハル エマニュエル (PAWLOWSKI, Michal, Emanuel). 坂野 洋平 (SAKANO, Youhei).
- (74) 代理人: 三好 秀和, 外 (MIYOSHI, Hidekazu et al.); 〒1050001 東京都港区虎ノ門一丁目 2 番 8 号 虎ノ門 琴平タワー 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, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, LY, MA, MD, MG, MK, MN, MW,

[続葉有]

(54) Title: THREE-DIMENSIONAL SHAPE MEASURING INSTRUMENT

(54) 発明の名称: 三次元形状計測装置



(57) Abstract: Three-dimensional shape measuring instrument (white interferometer) for measuring the three-dimensional shape of an object to be measured by using white interference fringes, which detects the position where the amplitude of the white interference fringes takes on a maximum value with high accuracy in a short calculation processing time. An envelope distribution of the amplitude of the white interference fringes produced by the interference between the returning light from a reference mirror (6) and the returning light from an object (7) to be measured is determined, and an approximate position where the contrast of the white interference fringes is the highest is determined using this envelope distribution. The interference fringes of two or more different spectrum band components included in the white interference fringes are extracted, and the positions which are near the determined approximate position and at which the phases of the interference fringes of the different spectrum band components take on the same values are determined.

(57) 要約: 白色干渉縞を用いて被計測物の三次元形状を計測する三次元形状計測装置 (白色干渉計測装置) において、演算に要する処理時間を短縮化しつつ、白色干渉縞の振幅が最大とな

る位置を高精度で特定することができるようにする。白色干渉計測装置において、まず、参照鏡 (6) からの戻り光と被計測物

[続葉有]

WO 2006/068217 A1



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.

OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

- (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, 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),

添付公開書類:

— 国際調査報告書

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。

体（7）からの戻り光との干渉によって生ずる白色干渉縞について振幅の包絡線分布を求め、この包絡線分布を用いて白色干渉縞のコントラストが最大となるおおよその位置を求めておく。次に、白色干渉縞に含まれる少なくとも二以上の互いに異なる分光スペクトル帯域成分の干渉縞を抽出し、白色干渉縞のコントラストが最大となるおおよその位置の近傍において互いに異なる分光スペクトル帯域成分の干渉縞の位相が互いに等しい値をとる位置を求める。

明 細 書

三次元形状計測装置

技術分野

- [0001] 本発明は、白色光源から被計測物までの光路長を走査し、この光路長が白色光源から参照鏡までの光路長に等しくなる位置を検出して、被計測物の三次元形状を計測する三次元形状計測装置(白色干渉計測装置)に関する。

背景技術

- [0002] 近年、微細加工技術の進歩により、いわゆるマイクロマシーンやLSIなどの高集積化が進み、複雑な段差形状を有する微細構造物の三次元形状計測の高精度化が望まれている。そして、複雑な段差形状を有する微細構造物の三次元形状計測を行う装置として、広帯域スペクトルをもつ光源(白色光源)を用いた白色干渉計測装置が提案されている。
- [0003] この白色干渉計測装置においては、白色光源から被計測物に至りこの被計測物によって反射された戻り光と、白色光源から参照鏡に至りこの参照鏡によって反射された戻り光とを干渉させ、白色干渉縞を得る。そして、白色光源から被計測物までの光路長を、ピエゾ素子などを用いて走査することにより、白色干渉縞の振幅が最大となる位置、すなわち、白色光源から被計測物までの光路長が白色光源から参照鏡までの光路長に等しくなる位置を検出して、被計測物の三次元形状を計測する。
- [0004] また、このような白色干渉計測装置は、微細構造物の三次元形状計測のみならず、誘電体多層膜の膜厚測定や、例えば眼底や皮膚等の連続体(拡散体)の構造解析等にも使用される。
- [0005] このような白色干渉計測装置においては、白色干渉縞の振幅が最大となる位置を精密に特定することが重要となる。白色干渉縞の振幅が最大となる位置を特定する方法として、従来より提案されている方法としては、大別して以下の2つの方法がある。
- [0006] 一つは、フーリエ変換法を用いて、信号領域で干渉縞の振幅の包絡線間の幅が最大となる位置を求める方法である。そして、もう一つは、スペクトル領域でのフーリエ

分光スペクトルの位相勾配を用いて、白色干渉縞の振幅が最大となる位置を演算する方法である。一般に、通信理論では、信号の振幅情報よりも位相情報のほうが、検出器の非線形特性や量子化ノイズに強いことが知られている。これは、白色干渉縞の場合、振幅情報ではなく位相情報を用いることにより、白色干渉縞の振幅が最大となる位置を特定する精度を向上させることができることを意味している。

- [0007] また、特許文献1には、複数の波長の干渉光それぞれにより得られた被計測物の干渉縞データに基づいて、各波長の干渉光に応じた干渉縞データ毎の位相情報を抽出し、この位相情報を用いて、干渉縞データ毎に正弦波関数を作成し、被計測物の測定領域内の所定の座標位置において、干渉縞データが最大値となるように、それぞれの干渉縞データについて正弦波関数の位相を決定することにより、0次の縞位置を特定する方法が記載されている。

特許文献1:特開2000-266508号公報

発明の開示

- [0008] ところで、前述のような、干渉縞の振幅の包絡線を用いる方法においては、包絡線の描く曲線は、振幅の頂点位置では変化がなだらかであるため、計測ノイズなどによる頂点付近における包絡線の微小変化によって、大きな計測誤差が生じてしまうという問題がある。
- [0009] また、前述したように、フーリエ分光スペクトルの位相勾配を用いる方法においては、位相勾配の推定のために最小二乗法などの演算を行うため、計算量が膨大なものになってしまい、演算に長時間を要することになってしまう。また、この方法においては、光源のスペクトル幅が狭い場合には、利用できる位相情報の量が減るため、白色干渉縞の振幅が最大となる位置を特定する精度が低下するという問題がある。
- [0010] また、特許文献1に記載された技術においては、位相情報を用いて干渉縞データ毎に正弦波関数を作成するときに、採用するデータ(標本点)間の挿間を行うこととなるため、このような挿間において生ずる誤差に起因して、白色干渉縞の振幅が最大となる位置を特定する精度が低下するという問題がある。
- [0011] そこで、本発明は、前述の実情に鑑みて提案されるものであって、本発明の目的は、白色干渉縞を用いて被計測物の三次元形状を計測する三次元形状計測装置(白

色干渉計測装置)において、演算に要する処理時間を短縮化しつつ、白色干渉縞の振幅が最大となる位置を高精度で特定することができるようになされた三次元形状計測方法及び三次元形状計測装置を提供することにある。

[0012] 前述の課題を解決し、前記目的を達成するため、本発明の第1のAspectに係る三次元形状計測方法は、広帯域スペクトルをもつ照明光を発生する光源(1)から被計測物(7)までの光路長、または、光源(1)から参照鏡(6)までの光路長を変化させ、これら光路長が等しくなる位置を検出することによって当該被計測物(7)の三次元形状を計測する三次元形状計測方法において、参照鏡(6)からの照明光の戻り光と被計測物(7)からの照明光の戻り光との干渉によって生ずる白色干渉縞の振幅の包絡線が最大値を示す位置を含む概略位置を求める段階と、白色干渉縞に含まれる少なくとも二以上の互いに異なる分光スペクトル帯域成分の干渉縞を抽出する段階と、概略位置の近傍において互いに異なる分光スペクトル帯域成分の干渉縞の位相が互いに等しい値をとる位置を求めることによって光源から被計測物までの光路長が光源から参照鏡までの光路長に等しくなる位置を決定する段階とを含むことを特徴とするものである。

[0013] この三次元形状計測方法においては、従来の三次元形状計測方法のように白黒の1種類の縞情報だけを用いるのではなく、例えば、R(赤色)、G(緑色)、B(青色)などのスペクトルに分解した干渉縞の位相情報を用いることにより、白色干渉縞の振幅が最大となる位置を高精度で特定することができる。

[0014] また、三次元形状計測方法においては、最小二乗法を用いることなどに伴う計算量の増加といった問題もなく、さらに、光源の分光スペクトル幅が狭く利用できる情報量が減少しても、他の成分との関係を用いるため、高い特定精度を維持することができる。

[0015] 本発明の第2のAspectに係る三次元形状計測装置は、広帯域スペクトルをもつ照明光を発生する光源(1)から被計測物(7)までの光路長を走査し、または、光源(1)から参照鏡(6)までの光路長を走査し、これら光路長が互いに等しくなる位置を検出して被計測物(7)の三次元形状を計測する白色干渉を用いた三次元形状計測装置であって、参照鏡(6)からの照明光の戻り光と被計測物(7)からの照明光の戻り光

との干渉によって生ずる白色干渉縞について縞解析法を用いてこの白色干渉縞の振幅の包絡線分布を求め、この包絡線分布を用いて白色干渉縞のコントラストが最大となるおおよその位置を求めておき、白色干渉縞に含まれる少なくとも二以上の互いに異なる分光スペクトル帯域成分の干渉縞を抽出し、白色干渉縞のコントラストが最大となるおおよその位置の近傍において互いに異なる分光スペクトル帯域成分の干渉縞の位相が互いに等しい値をとる位置を求め、この位置に基づいて白色光源から被計測物までの光路長が白色光源から参照鏡までの光路長に等しくなる位置を決定することを特徴とするものである。

- [0016] この三次元形状計測装置においては、従来の三次元形状計測装置のように白黒の1種類の縞情報だけを用いるのではなく、例えば、R(赤色)、G(緑色)、B(青色)などのスペクトルに分解した干渉縞の位相情報を用いることにより、白色干渉縞の振幅が最大となる位置を高精度で特定することができる。
- [0017] また、本発明に係る三次元形状計測装置においては、最小二乗法を用いることなどに伴う計算量の増加といった問題もなく、さらに、光源の分光スペクトル幅が狭く利用できる情報量が減少しても、他の成分との関係を用いるため、高い特定精度を維持することができる。
- [0018] 本発明の第3のAspectに係る三次元形状計測装置は、広帯域スペクトルをもつ照明光を発生する光源(1)とこの光源(1)から出力された照明光が参照鏡(6)及び被計測物(7)に到達する光路を形成する光路形成手段(5)と光源(1)から被計測物(7)までの光路長、または、光源(1)から参照鏡(6)までの光路長を変化させる光路長変化手段(8)と各光路長が互いに等しくなる位置を検出する検出手段とを含み被計測物(7)の三次元形状を計測する三次元形状計測装置において、照明光の参照鏡(6)からの反射光である第1の戻り光及び照明光の被計測物(7)からの反射光である第2の戻り光が入射される撮像手段(10)と、撮像手段(10)から出力される撮像信号に基づいて第1の戻り光と第2の戻り光との干渉によって生ずる白色干渉縞の振幅の包絡線が最大値を示す位置を含む概略位置を決定する概略位置決定手段(13)と、白色干渉縞に含まれる少なくとも二以上の互いに異なる分光スペクトル帯域成分の概略位置近傍における干渉縞の位相を算出する位相算出手段(15)と、位相算

出手段(15)によって得られた互いに異なる分光スペクトル帯域成分の干渉縞の位相が互いに等しい値をとる位置を求めることによって被計測物の表面の変位量を算出する変位算出手段(16)とを含むことを特徴とするものである。

[0019] 前記三次元形状計測装置の概略位置決定手段(13)は、白色干渉縞の光強度について光路長変化手段(8)による光路長の変化についての一定間隔でサンプリングを行うとともに、第1のサンプリング値より連続した一定個数のサンプリング値についての標準偏差を算出した後、第2のサンプリング値より連続した一定個数のサンプリング値についての標準偏差を算出し、以後、順次標準偏差の算出を行って、この標準偏差が最大となるサンプリング値の組を含む範囲を、白色干渉縞の振幅の包絡線が最大値を示す位置を含む概略位置として決定するようにしても良い。

[0020] また前記三次元形状計測装置の概略位置決定手段(13)は、白色干渉縞の光強度について光路長変化手段(8)による光路長の変化についての一定間隔でサンプリングを行い、第1のサンプリング値より連続した一定個数 m のサンプリング値についての標準偏差を算出した後、第 $[m+1]$ のサンプリング値より連続した一定個数 m のサンプリング値についての標準偏差を算出し、次に、第 $[2m+1]$ のサンプリング値より連続した一定個数 m のサンプリング値についての標準偏差を算出し、以後、順次標準偏差の算出を行って、この標準偏差が最大となるサンプリング値の組及び隣接するサンプリング値の組を含む範囲内において、第1番目のサンプリング値より連続した一定個数 m のサンプリング値についての標準偏差を算出した後、第 $[m/2+1]$ 番目のサンプリング値より連続した一定個数 m のサンプリング値についての標準偏差を算出し、次に、第 $[2m/2+1]$ 番目のサンプリング値より連続した一定個数 m のサンプリング値についての標準偏差を算出し、以後、順次標準偏差の算出を行って、この標準偏差が最大となるサンプリング値の組を含む範囲を、白色干渉縞の振幅の包絡線が最大値を示す位置を含む概略位置として決定するようにしても良い。

[0021] また前記三次元形状計測装置の概略位置決定手段(13)は、白色干渉縞の光強度について光路長変化手段(8)による光路長の変化についての一定間隔でサンプリングを行うとともに、第1のサンプリング値より連続した一定個数 m の範囲における最初のサンプリング値と最後のサンプリング値についての差分の絶対値を算出した後、

第 $[m+1]$ のサンプリング値より連続した一定個数 m の範囲における最初のサンプリング値と最後のサンプリング値についての差分の絶対値を算出し、次に、第 $[2m+1]$ のサンプリング値より連続した一定個数 m の範囲における最初のサンプリング値と最後のサンプリング値についての差分の絶対値を算出し、以後、順次差分の絶対値の算出を行って、この差分の絶対値が最大となるサンプリング値の組を含む範囲を、白色干渉縞の振幅の包絡線が最大値を示す位置を含む概略位置として決定するようにしても良い。

[0022] また前記三次元形状計測装置の撮像手段(10)は、カラーカメラであって、互いに異なる分光スペクトル帯域成分ごとに撮像信号を出力するようにしても良い。

[0023] また前記三次元形状計測装置の撮像手段(10)は、モノクロカメラであり、モノクロカメラから出力される撮像信号を互いに異なる分光スペクトル帯域成分に分配する分光スペクトル帯域成分分配手段を備えても良い。

図面の簡単な説明

[0024] [図1]図1は、本発明に係る三次元形状計測装置の第1の実施の形態における全体構成を示す側面図である。

[図2]図2は、前記三次元形状計測装置の第1の実施の形態において得られる各分光帯域の干渉縞信号 $I_R(z)$ 、 $I_G(z)$ 、 $I_B(z)$ を示すグラフである。

[図3]図3は、前記三次元形状計測装置の第1の実施の形態において得られる各分光帯域の干渉縞信号 $I_R(z)$ 、 $I_G(z)$ 、 $I_B(z)$ の縞コントラストの高い領域の一部を拡大したものを重ね合わせて示すグラフである。

[図4]図4は、前記三次元形状計測装置の第1の実施の形態において、白色干渉縞の振幅の包絡線及び3つの干渉縞信号 $I_R(z)$ 、 $I_G(z)$ 、 $I_B(z)$ の位相を求めるための手順を示すグラフである。

[図5]図5は、前記三次元形状計測装置の第1の実施の形態において、白色干渉縞の振幅の包絡線及び3つの干渉縞信号 $I_R(z)$ 、 $I_G(z)$ 、 $I_B(z)$ の位相を求めるための手順を示すフローチャートである。

[図6]図6は、前記三次元形状計測装置の第1の実施の形態において、各干渉縞信号 $I_R(z)$ 、 $I_G(z)$ 、 $I_B(z)$ ごとに得られた位相を重ねて表示したグラフである。

[図7]図7は、前記三次元形状計測装置の第1の実施の形態において求められた高さ情報 h を3次元座標上に示したグラフである。

[図8]図8は、前記三次元形状計測装置の第2の実施の形態における全体構成を示すブロック図である。

[図9]図9は、前記三次元形状計測装置の第2の実施の形態における概略位置決定手段の動作を説明するグラフである。

[図10]図10は、前記三次元形状計測装置の第2の実施の形態における概略位置決定手段の動作を説明するフローチャートである。

[図11]図11は、前記三次元形状計測装置の第3の実施の形態における概略位置決定手段の動作を説明するグラフである。

[図12]図12は、前記三次元形状計測装置の第3の実施の形態における概略位置決定手段の動作を説明するフローチャートである。

[図13]図13は、前記三次元形状計測装置の第4の実施の形態における概略位置決定手段の動作を説明するグラフである。

[図14]図14は、前記三次元形状計測装置の第4の実施の形態における概略位置決定手段の動作を説明するフローチャートである。

[図15]図15は、前記三次元形状計測装置の第5の実施の形態における全体構成を示すブロック図である。

発明を実施するための最良の形態

[0025] 以下、本発明に係る三次元形状計測方法及び三次元形状計測装置の最良の実施の形態について、図面を参照して詳細に説明する。

[0026] 〔第1の実施の形態〕

本発明に係る三次元形状計測方法は、広帯域スペクトルをもつ照明光を発生する光源から被計測物までの光路長、または、光源から参照鏡までの光路長を変化させ、これら光路長が等しくなる位置を検出することによって当該被計測物の三次元形状を計測する三次元形状計測方法であって、以下に述べる本発明に係る三次元形状計測装置において実行される方法である。

[0027] 図1は、本発明に係る三次元形状計測装置の第1の実施の形態における全体構成

を示す側面図である。

- [0028] 本発明に係る三次元形状計測装置は、白色光源等のように広帯域スペクトルをもつ照明光を発生する光源から被計測物までの光路長を走査し、または、光源から参照鏡までの光路長を走査し、これら光路長が互いに等しくなる位置を検出して、被計測物の三次元形状を計測する白色干渉を用いた三次元形状計測装置である。
- [0029] この実施の形態においては、この三次元形状計測装置を、図1に示すように、マイケルソン干渉計を用いて構成しているが、本発明に係る三次元形状計測装置は、このような干渉計の構成に限定されず、例えば、ミロウ干渉計や、その他の構成を有する干渉計を用いて構成することができる。
- [0030] この三次元形状計測装置においては、図1に示すように、ハロゲンランプ、キセノンランプ、水銀ランプ、メタルハライドランプ、SLD(スーパーluminescenceダイオード)、または、LED(発光ダイオード)等の白色光源1から出射された照明光は、集光レンズ2によって収束光束となされ、ハーフミラー3により反射され、対物レンズ4によって平行光束となされて、光路形成手段となるビームスプリッタ5に入射される。このビームスプリッタ5に入射された光束は、このビームスプリッタ5により、二分割される。
- [0031] ビームスプリッタ5により二分割された光束の一方は、参照鏡6に入射し、この参照鏡6により反射される。そして、ビームスプリッタ5により二分割された光束の他方は、被計測物体7に入射し、この被計測物体7により反射される。この被計測物体7は、ピエゾ素子8等により、光軸方向に移動操作可能となされている。これら参照鏡6により反射された照明光の戻り光及び被計測物体7により反射された照明光の戻り光は、それぞれが再びビームスプリッタ5に入射し、このビームスプリッタ5において重ね合わされる。
- [0032] なお、被計測物体7は、金属その他の反射体や、眼底や皮膚等の連続体(拡散体)のいずれでもよく、また、膜厚測定を行う対象として誘電体多層膜等であってもよい。
- [0033] ビームスプリッタ5において重ね合わされた光束は、対物レンズ4を経てハーフミラー3を透過し、リレーレンズ9によって平行光束となされて、カラーカメラ10に入射される。
- [0034] 以上は鏡面状の物体表面から正反射された光について述べたものであるが、物体

の表面上の構造により回折、または、散乱された光については、図1中に破線で示すように、対物レンズ4とリレーレンズ9とにより、カラーカメラ10のイメージセンサ上に結像される。

[0035] このカラーカメラ10は、干渉縞の測定のために、例えば、R(赤色成分)(以下Rという。)、G(緑色成分)(以下Gという。)及びB(青色成分)(以下Bという。)の3色分解機能を有するカメラである。すなわち、このカラーカメラ10は、入射した白色光について、着色フィルタやダイクロイックミラー等の分光透過特性を有する光学素子や、これらを組み合わせた色分解プリズムを介して受光することにより、3色分解機能を備えている。このカラーカメラ10においては、入射された光束について、R、G及びBの各成分ごとに独立して、干渉縞が記録される。これらR、G及びBの各成分は、ある程度の波長幅(帯域)を有している。

[0036] なお、このカラーカメラ10は、白色干渉縞に含まれる少なくとも二以上の互いに異なる分光スペクトル帯域成分の干渉縞を抽出することができればよく、これら分光スペクトル帯域成分は、必ずしもR、G及びBに限定されるわけではない。

[0037] そして、この三次元形状計測装置においては、光源1から被計測物体5までの光路長及び光源1から参照鏡6までの光路長が互いに等しくなる位置、すなわち、光路差が0となる位置を検出するため、ピエゾ素子8を用いて、被計測物体7(または、参照鏡6)を光軸方向に走査することにより、これら光路差を相対的に変化させながら、複数の干渉縞を記録してゆく。

[0038] このようにして得られた白色干渉縞の各色成分(各分光成分)の干渉縞信号を、R、G及びBの順番に $I_R(z)$ 、 $I_G(z)$ 及び $I_B(z)$ で表すと、これら $I_R(z)$ 、 $I_G(z)$ 及び $I_B(z)$ は、以下の式(1)乃至式(3)のように表すことができる。

$$[0039] \quad I_R(z) = a_R + |S_R(z-h)| \times \cos\{k_R(z-h)\} \quad \dots (式1)$$

$$I_G(z) = a_G + |S_G(z-h)| \times \cos\{k_G(z-h)\} \quad \dots (式2)$$

$$I_B(z) = a_B + |S_B(z-h)| \times \cos\{k_B(z-h)\} \quad \dots (式3)$$

これら式(1)乃至式(3)において、 a_i は、白色干渉縞の直流成分であり、第二項は、振動振幅を与える包絡線を表す $|S_i|$ と各色成分の中心波数 k_i で振動する正弦波との積になっている。また、 z は、被計測物体7、または、参照鏡6の走査距離、 h は、被

計測物体7の高さである。

[0040] 図2は、各分光帯域の干渉縞信号 $I_R(z)$ 、 $I_G(z)$ 、 $I_B(z)$ を示すグラフである。

[0041] また、図3は、各分光帯域の干渉縞信号 $I_R(z)$ 、 $I_G(z)$ 、 $I_B(z)$ の縞コントラストの高い領域の一部を拡大したものを重ね合わせて示すグラフである。

[0042] これら3つの干渉縞信号 $I_R(z)$ 、 $I_G(z)$ 、 $I_B(z)$ は、図2に示すように、それぞれの分光帯域の中心波長で決まる異なった波数で振動している。それぞれの干渉縞信号 $I_R(z)$ 、 $I_G(z)$ 、 $I_B(z)$ においては、走査距離 z と被計測物体7の高さ h とが等しいときに光路差が0となり、振幅が最大となり、コントラストが最大となる。すなわち、これら干渉縞信号 $I_R(z)$ 、 $I_G(z)$ 、 $I_B(z)$ の振幅が最大となる位置は互いに等しい。したがって、このとき、図3に示すように、これら干渉縞信号 $I_R(z)$ 、 $I_G(z)$ 、 $I_B(z)$ が重畳されたものである白色光干渉縞のコントラストも最大値をとる。

[0043] したがって、白色干渉縞のコントラストが最大となる走査距離 z を高精度に求めることができるが、前述したように、白色干渉縞の振幅の包絡線によっては、そのような走査距離 z を高精度に求めることができない。

[0044] そこで、この三次元形状計測装置においては、白色干渉縞の振幅の包絡線を、白色干渉縞のコントラストが最大となるおよその位置を粗く推定するために用いる。そして、粗く推定された範囲内において、さらに、3つの干渉縞信号 $I_R(z)$ 、 $I_G(z)$ 、 $I_B(z)$ の位相情報を利用して、白色干渉縞が最大コントラストとなる位置を、より精密に決定する。この三次元形状計測装置においては、このような2段階の方法を採用することにより、白色干渉縞が最大コントラストとなる位置を、高精度、かつ、高分解能に計測することができる。

[0045] 図4は、白色干渉縞の振幅の包絡線及び3つの干渉縞信号 $I_R(z)$ 、 $I_G(z)$ 、 $I_B(z)$ の位相を求めるための手順を示すグラフである。

[0046] また、図5は、白色干渉縞の振幅の包絡線及び3つの干渉縞信号 $I_R(z)$ 、 $I_G(z)$ 、 $I_B(z)$ の位相を求めるための手順を示すフローチャートである。

[0047] すなわち、この三次元形状計測装置においては、図5のステップst1に示すように、3つの干渉縞信号 $I_R(z)$ 、 $I_G(z)$ 、 $I_B(z)$ が得られたならば、まず、以下の(式4)を用いて、図4中の(a)に示すように、得られた干渉縞信号 $I_R(z)$ 、 $I_G(z)$ 、 $I_B(z)$ をそれぞれフーリエ

変換し、 $I'(\omega)$ とする(図5のステップst2)。

$$[0048] \quad I'(\omega) = F[I(z)] = A(\omega) + (S'(\omega - k_0)e^{-ih\omega})/2 + (S'^*[-(\omega + k_0)]e^{-ih\omega})/2 \\ \dots (式4)$$

($\because A(\omega)$ 、 $S'(\omega)$ は、それぞれ、 a 、 S のフーリエ変換)

次に、図4中の(b)に示すように、直流項を除く正の周波数スペクトルのみをフィルタリングにより取り出す(図5のステップst3)。そして、フーリエ逆変換を行う(図5のステップst4)。

[0049] そして、以下の(式5)を用いて、図4中の(c)に示すように、フーリエ逆変換した信号の振幅の絶対値をとることによって、各干渉縞信号 $I_R(z)$ 、 $I_G(z)$ 、 $I_B(z)$ の振幅の包絡線

[数1]

$$(|\sim I'(z)|)$$

[0050] を求めることができる(図5のステップst5)。

[数2]

$$|\sim I'(z)| = |F^{-1}[\sim I'(\omega)]| = |S(z-h)|/2 \quad \dots (式5)$$

[0051] また、図5のステップst4においてフーリエ逆変換した信号からは、以下の(式6)を用いて、図4中の(d)に示すように、各干渉縞信号 $I_R(z)$ 、 $I_G(z)$ 、 $I_B(z)$ の位相 θ を求める(図5のステップst6)。

[数3]

$$\theta = \tan^{-1} (\text{Im} [\sim I'(z)] / \text{Re} [\sim I'(z)]) \quad \dots (式6)$$

[0052] このような手順により、R、G及びB各色成分ごとに、干渉縞の振幅の包絡線と位相とがそれぞれ求められる。ここで、これら干渉縞信号 $I_R(z)$ 、 $I_G(z)$ 、 $I_B(z)$ のひとつまたはそれらが重畳されたものである白色干渉縞の振幅の包絡線を用いて、白色干渉縞のコントラストが最大となるおよその位置を粗く推定する(図5のステップst7)

図6は、各干渉縞信号 $I_R(z)$ 、 $I_G(z)$ 、 $I_B(z)$ ごとに得られた位相を重ねて表示したグラフである。

- [0053] 図6に示すように、各干渉縞信号 $I_R(z)$ 、 $I_G(z)$ 、 $I_B(z)$ の位相は、それぞれが異なった値を持っている。しかし、白色干渉縞のコントラストが最大となる位置では、これら各信号の位相は、互いに等しい値となる。これは、前述の(式1)乃至(式3)からもわかるように、被計測物体7、または、参照鏡6の走査距離(z)が、被計測物体7の高さ(h)に等しい($z=h$)ときである。
- [0054] すなわち、図5のステップst7において粗く推定された白色干渉縞のコントラストが最大となるおよその位置において、各干渉縞信号 $I_R(z)$ 、 $I_G(z)$ 、 $I_B(z)$ の位相が互いに等しい値となる位置を検出し、被計測物体7の高さ(h)を求める(図5のステップst8)。
- [0055] この三次元形状計測装置においては、以上のように、あらかじめ包絡線を用いて白色干渉縞の振幅が最大となる位置を概略的に求めておき、この位置の近傍において、各色の干渉縞信号の位相値が互いに等しくなる点を求めている。これにより、高さ情報hを高精度、かつ、高分解能で求めることができる。
- [0056] 図7は、この三次元形状計測装置において求められた高さ情報hを3次元座標上にしたグラフである。
- [0057] 以上の説明は、例えば、図7に示すように、X、Y方向における $200\mu\text{m}$ 角の一マスの処理であり、全てのマスに対して同様の処理を行って求められた高さ情報hを3次元座標上に表示することにより、図7に示すように、被計測物体7の形状を表すことができる。なお、この一マスの処理の大きさは、任意に設定することができる。
- [0058] ところで、この三次元形状計測装置において、包絡線を用いて白色干渉縞の振幅が最大となる位置としてあらかじめ概略的に求めた範囲内において、各色の干渉縞信号の位相値が互いに等しくなる点が複数存在すると、いずれの点が正しい高さ情報hを示す点なのかが不明となる。レーザを用いた2波長干渉計測などでよく知られているように、2つの分光帯域の中心波長が λ_G と λ_R の場合には、2色の干渉縞信号の位相値が等しくなる点が合成波長 Λ_{RG} ($\because \Lambda_{RG} = \lambda_R \lambda_G / (\lambda_R - \lambda_G)$)の間隔で繰り返されることになる。しかし、この三次元形状計測装置においては、コヒーレンス長の短い広帯域光を用いているために、白色干渉縞の存在する範囲がこの周期より小さい範囲に限定されるために、白色縞のコントラストが最大となる付近において2色の光の位相値が合致する点が複数含まれることはない。

[0059] 以上は、空気中での鏡面物体の計測のように、物体や伝播媒質の波長分散が無視できる場合を例にして原理を説明した。一方、ガラスや生体組織や薄膜などのように、波長分散をもち、反射、散乱の際における位相変化の波長依存性が無視できない場合には、例えば、RとGの組み合わせにおいて位相値の合致する点と、RとBとの組み合わせにおいて位相値の合致する点との間に位置ズレが生じることがある。しかし、媒質または試料が均質でその分散特性が場所に依存しない場合には、波長の組み合わせの違いによる位相値の合致点の位置ズレ量は、観測場所によらず一定になる。したがって、例えば、RとG、または、RとBの2波長の組み合わせを用いることによる計測結果の違いは、単に、高さ分布に位置ズレ量に相当する一定のバイアスが加わっただけのものであるので、このように、媒質、または、試料が波長分散をもつ場合であっても、三次元形状の計測への影響は生じない。

[0060] また、この三次元形状計測装置においては、各干渉縞信号 $I_R(z)$ 、 $I_G(z)$ 、 $I_B(z)$ の位相情報は、図6に示すように、直線で示される情報なので、採用するデータ(標本点)間の挿間を行っても、このような挿間において生ずる誤差により各干渉縞信号の位相値が互いに等しくなる点を特定する精度が低下することがない。

[0061] なお、本発明において、各色の干渉縞信号の位相値が互いに等しくなる点を求めるにあたっては、前述のような手順に限定されるわけではなく、位相シフト法や、その他の公知の位相検出方法を用いてもよい。

[0062] [第2の実施の形態]

図8は、本発明に係る三次元形状計測装置の第2の実施の形態における全体構成を示すブロック図である。

[0063] この実施の形態における三次元形状計測装置は、図8に示すように、白色光源等のように広帯域スペクトルをもつ照明光を発生する光源1と、この光源1から出力された照明光が参照鏡6及び被計測物7に到達する光路を形成する光路形成手段(ビームスプリッタ5)と、光源1から被計測物7までの光路長、または、光源1から参照鏡6までの光路長を変化させる光路長変化手段(ピエゾ素子8)と、各光路長が互いに等しくなる位置を検出する検出手段とを含み、被計測物7の三次元形状を計測する三次元形状計測装置である。

- [0064] 光源1としては、ハロゲンランプ、キセノンランプ、水銀ランプ、メタルハライドランプ、SLD(スーパーリミネセンスダイオード)、または、LED(発光ダイオード)等のように、後述するように白色干渉縞の振幅の包絡線が最大値を示す位置を含む概略位置が決定できる程度に、十分な広帯域スペクトルをもつ照明光を発生する光源を使用することができる。
- [0065] この三次元形状計測装置において、光源1から出力された照明光は、集光レンズ2によって収束光束となされ、ハーフミラー3により反射され、対物レンズ4によって平行光束となされて、光路形成手段となるビームスプリッタ5に入射される。このビームスプリッタ5に入射された光束は、このビームスプリッタ5により、二分割される。
- [0066] ビームスプリッタ5は、照明光が参照鏡6及び被計測物7に到達する光路を形成する。すなわち、ビームスプリッタ5により二分割された光束の一方は、参照鏡6に入射し、この参照鏡6により反射される。そして、ビームスプリッタ5により二分割された光束の他方は、被計測物体7に入射し、この被計測物体7により反射される。この被計測物体7は、光路長変化手段となるピエゾ素子8により、光軸方向(Z軸方向)に移動操作可能となされている。
- [0067] これら参照鏡6により反射された照明光の第1の戻り光及び被計測物体7により反射された照明光の第2の戻り光は、それぞれが再びビームスプリッタ5に入射し、このビームスプリッタ5において重ね合わされる。なお、被計測物体7は、金属その他の反射体や、眼底や皮膚等の連続体(拡散体)のいずれでもよく、また、膜厚測定を行う対象として誘電体多層膜等であってもよい。
- [0068] ビームスプリッタ5において重ね合わされた第1の戻り光及び第2の戻り光は、対物レンズ4を経てハーフミラー3を透過し、リレーレンズ9によって平行光束となされて、撮像手段となるカラーカメラ10に入射される。この実施の形態において、撮像手段は、前述の実施の形態と同様に、カラーカメラ10であって、干渉縞の測定のために、例えば、R(赤色成分)、G(緑色成分)及びB(青色成分)の3色分解機能を有するカメラである。そして、このカラーカメラ10は、互いに異なる分光スペクトル帯域成分ごとに撮像信号を出力する。
- [0069] このカラーカメラ10は、入射した白色光について、着色フィルタやダイクロイックミラ

一等の分光透過特性を有する光学素子や、これらを組み合わせた色分解プリズムを介して受光することにより、3色分解機能を備えている。このカラーカメラ10においては、入射された光束について、R、G及びBの各成分ごとに独立して、干渉縞が記録される。これらR、G及びBの各成分は、ある程度の波長幅(帯域)を有している。

[0070] なお、このカラーカメラ10は、白色干渉縞に含まれる少なくとも二以上の互いに異なる分光スペクトル帯域成分の干渉縞を抽出することができればよく、これら分光スペクトル帯域成分は、必ずしもR、G及びBに限定されるわけではない。このカラーカメラ10は、制御部11によって制御されて動作する。制御部11としては、例えば、パーソナルコンピュータを用いることができる。

[0071] そして、この三次元形状計測装置においては、光源1から被計測物体5までの光路長及び光源1から参照鏡6までの光路長が互いに等しくなる位置、すなわち、これらの光路差が0となる位置を検出するため、ピエゾ素子8を用いて、被計測物体7(または、参照鏡6)を光軸方向に走査することにより、これら光路差を相対的に変化させながら、複数の干渉縞を記録してゆく。ピエゾ素子8は、制御部11によって制御されて動作する。

[0072] そして、この三次元形状計測装置は、光源1から被計測物7までの光路長及び光源1から参照鏡6までの光路長が互いに等しくなる位置を検出する検出手段として、信号処理部を備えている。この信号処理部を構成する各機能ブロックは、制御部11によって制御されて動作する。

[0073] 信号処理部においては、カラーカメラ10から出力された撮像信号は、メモリ12により記憶され、このメモリ12より読み出されて、概略位置決定手段13に送られる。概略位置決定手段13は、第1の戻り光と第2の戻り光との干渉によって生じた白色干渉縞の光強度を示す信号に基づいて、白色干渉縞の振幅の包絡線が最大値を示す位置を含む概略位置を決定する。

[0074] 図9は、本発明に係る三次元形状計測装置の第2の実施の形態における概略位置決定手段の動作を説明するグラフである。

[0075] この実施の形態において、概略位置決定手段13は、図9に示すように、第1の戻り光と第2の戻り光との干渉によって生じた白色干渉縞の光強度について、Z軸方向に

ついて一定の区間ごとの標準偏差を算出して、白色干渉縞の振幅の包絡線が最大値を示す位置を含む概略位置を決定する。

[0076] 図10は、本発明に係る三次元形状計測装置の第2の実施の形態における概略位置決定手段の動作を説明するフローチャートである。

[0077] すなわち、概略位置決定手段13は、図10に示すように、ステップst11において動作を開始し、ステップst12に進み、第1の戻り光と第2の戻り光との干渉によって生じた白色干渉縞の光強度についての情報(各点(x, y)における光強度信号)を得る。すなわち、ピエゾ素子8による光路長の変化(Z軸方向の変化)についてについての一定間隔で、光強度のサンプリングを行ってメモリに蓄え、ステップst13に進む。

[0078] ステップst13では、標準偏差を算出すべき最終位置に至っているかを判別し、最終位置に至っていればステップst16に進み、最終位置に至っていなければステップst14に進む。

[0079] ステップst14では、第n(n は自然数で、初期状態においては1)のサンプリング値より、連続した一定個数 m のサンプリング値についての標準偏差を算出し、ステップst15に進む。この標準偏差の算出においては、平方根をとらず、データを整数として扱うことにより、処理の高速化を図ることができる。ステップst15では、 n に1を加え、ステップst13に戻る。

[0080] ステップst13において判別される最終位置とは、光強度のサンプリング値が N 個であった場合において、第 $[N-m+1]$ 番目のサンプリング値より連続した一定個数 m のサンプリング値についての標準偏差までを算出する状態である。したがって、ステップst13乃至ステップst15が繰返し実行されることによって、第1のサンプリング値より連続した一定個数 m のサンプリング値についての標準偏差が算出され、次に、第2のサンプリング値より連続した一定個数 m のサンプリング値についての標準偏差が算出され、以後、順次標準偏差の算出が行われ、第 $[N-m+1]$ 番目のサンプリング値より連続した一定個数 m のサンプリング値についての標準偏差までが算出される。

[0081] そして、ステップst13で標準偏差を算出すべき最終位置に至っていることが判別されると、ステップst16に進む。ステップst16においては、算出された各標準偏差が最大となるサンプリング値の組を含む範囲を、白色干渉縞の振幅の包絡線が最大値を

示す位置を含む概略位置として決定し、ステップst17に進んで終了する。

[0082] そして、図8に示すように、メモリ12より読み出された撮像信号(R、G及びB)は、位相算出手段15に送られる。この位相算出手段15は、概略位置決定手段13により決定された概略位置の近傍において、白色干渉縞に含まれる少なくとも二以上の互いに異なる分光スペクトル帯域成分(R及びG、G及びB、または、B及びR)の干渉縞の位相を算出し、変位算出手段16に送る。すなわち、この位相算出手段15は、前述した図5におけるステップst2からステップst7までの処理を実行する。

[0083] 変位算出手段16は、位相算出手段15によって得られた互いに異なる分光スペクトル帯域成分(R及びG、G及びB、または、B及びR)の干渉縞の位相に基づいて、これら位相が互いに等しい値をとる位置を求める。すなわち、この変位算出手段16は、前述した図5におけるステップst8の処理を実行する。そして、これら位相が互いに等しい値となる被計測物7の任意の表面を基準にして、ピエゾ素子8(光路長変化手段)によるZ軸方向の変化量に基づいて、被計測物7の表面の変位量が求められる。

[0084] [第3の実施の形態]

図11は、本発明に係る三次元形状計測装置の第3の実施の形態における概略位置決定手段の動作を説明するグラフである。

[0085] 本発明に係る三次元形状計測装置における概略位置決定手段13は、図11に示すように、第1の戻り光と第2の戻り光との干渉によって生じた白色干渉縞の光強度についてのZ軸方向について一定の区間ごとの標準偏差の算出を、一定個数mずつ移動して算出することにより、前述の第2の実施の形態におけるよりも迅速に、白色干渉縞の振幅の包絡線が最大値を示す位置を含む概略位置を決定することができる。

[0086] 図12は、本発明に係る三次元形状計測装置の第3の実施の形態における概略位置決定手段の動作を説明するフローチャートである。

[0087] すなわち、概略位置決定手段13は、図12に示すように、ステップst21において動作を開始し、ステップst22に進み、第1の戻り光と第2の戻り光との干渉によって生じた白色干渉縞の光強度についての情報(各点(x, y)における光強度信号)を得る。すなわち、ピエゾ素子8による光路長の変化(Z軸方向の変化)についての一定間隔で、光強度のサンプリングを行ってメモリに蓄え、ステップst23に進む。

- [0088] ステップst23では、標準偏差を算出する範囲の移動量Kが2以下であるかを判別し、移動量Kが2以下であればステップst29に進んで終了し、移動量Kが2以下でなければステップst24に進む。
- [0089] ステップst24では、標準偏差を算出すべき最終位置に至っているかを判別し、最終位置に至っていればステップst27に進み、最終位置に至っていなければステップst25に進む。
- [0090] ステップst25では、第n($\because$ nは自然数で、初期状態においては1)のサンプリング値より、連続した一定個数mのサンプリング値についての標準偏差を算出し、ステップst26に進む。この標準偏差の算出においては、平方根をとらず、データを整数として扱うことにより、処理の高速化を図ることができる。ステップst26では、nに移動量Kを加え、ステップst24に戻る。移動量Kの初期値は、一定個数mに等しい。
- [0091] このステップst24において判別される最終位置とは、光強度のサンプリング値がN個であった場合において、 $[N/m]$ の商の整数部にあたる回数の算出が終了した状態である。したがって、ステップst24乃至ステップst26が繰返し実行されることによって、第1のサンプリング値より連続した一定個数mのサンプリング値についての標準偏差が算出された後、第 $[m+1]$ のサンプリング値より連続した一定個数mのサンプリング値についての標準偏差が算出され、次に、第 $[2m+1]$ のサンプリング値より連続した一定個数mのサンプリング値についての標準偏差が算出され、以後、順次標準偏差の算出が行われる。
- [0092] そして、ステップst24で標準偏差を算出すべき最終位置に至っていることが判別されると、ステップst27に進む。ステップst27においては、算出された各標準偏差が最大となるサンプリング値の組を含む範囲を決定して、ステップst28に進む。ステップst28では、移動量Kを $[K/2]$ とし、ステップst23に戻る。このステップst23では、移動量Kが2以下であるかを判別し、移動量Kが2以下であればステップst29に進んで終了し、移動量Kが2以下でなければステップst24に進む。
- [0093] すなわち、ステップst23乃至ステップst28が繰返し実行されることによって、標準偏差が最大となるサンプリング値の組及び隣接するサンプリング値の組を含む範囲内において、第1番目のサンプリング値より連続した一定個数mのサンプリング値に

ついで標準偏差が算出された後、第 $[m/2+1]$ 番目のサンプリング値より連続した一定個数 m のサンプリング値についての標準偏差が算出され、次に、第 $[2m/2+1]$ 番目のサンプリング値より連続した一定個数 m のサンプリング値についての標準偏差が算出され、以後、順次標準偏差の算出が行われ、この標準偏差が最大となるサンプリング値の組を含む範囲が決定される。

[0094] さらに、この動作が移動量 K が2以下となるまで繰り返された後、ステップst29に進んで終了する。ステップst29に進む前に最後にステップst28が実行されたときに決定された範囲が、白色干渉縞の振幅の包絡線が最大値を示す位置を含む概略位置となる。

[0095] [第4の実施の形態]

図13は、本発明に係る三次元形状計測装置の第4の実施の形態における概略位置決定手段の動作を説明するグラフである。

[0096] 本発明に係る三次元形状計測装置における概略位置決定手段13は、図13に示すように、第1の戻り光と第2の戻り光との干渉によって生じた白色干渉縞の光強度について、Z軸方向について一定の区間ごとの差分の絶対値を算出して、白色干渉縞の振幅の包絡線が最大値を示す位置を含む概略位置を決定する。

[0097] 図14は、本発明に係る三次元形状計測装置の第4の実施の形態における概略位置決定手段の動作を説明するフローチャートである。

[0098] すなわち、概略位置決定手段13は、図14に示すように、ステップst31において動作を開始し、ステップst32に進み、第1の戻り光と第2の戻り光との干渉によって生じた白色干渉縞の光強度についての情報(各点(x, y)における光強度信号)を得る。すなわち、ピエゾ素子8による光路長の変化(Z軸方向の変化)についての一定間隔で、光強度のサンプリングを行ってメモリに蓄え、ステップst33に進む。

[0099] ステップst33では、算出すべき最終位置に至っているかを判別し、最終位置に至っていればステップst36に進み、最終位置に至っていなければステップst34に進む。

[0100] ステップst34では、第 n (n は自然数で、初期状態においては1)のサンプリング値より、連続した一定個数 m の範囲における最初のサンプリング値と最後のサンプリ

ング値についての差分の絶対値 $[|I(z_{n+m}) - I(z_n)|]$ ($\because I(z_n)$ が最初のサンプリング値、 $I(z_{n+m})$ が最後のサンプリング値)を算出し、ステップst35に進む。ステップst35では、 n に移動量 m を加え、ステップst33に戻る。移動量 m は、一定個数 m に等しい。このステップst33において判別される最終位置とは、光強度のサンプリング値が N 個であった場合において、 $[N/m]$ の商の整数部にあたる回数の算出が終了した状態である。したがって、ステップst33乃至ステップst35が繰返し実行されることによって、第1のサンプリング値より連続した一定個数 m の範囲における最初のサンプリング値と最後のサンプリング値についての差分の絶対値が算出された後、第 $[m+1]$ のサンプリング値より連続した一定個数 m の範囲における最初のサンプリング値と最後のサンプリング値についての差分の絶対値が算出され、次に、第 $[2m+1]$ のサンプリング値より連続した一定個数 m の範囲における最初のサンプリング値と最後のサンプリング値についての差分の絶対値が算出され、以後、順次差分の絶対値の算出が行われる。

[0101] そして、ステップst33で算出すべき最終位置に至っていることが判別されると、ステップst36に進む。ステップst36においては、算出された差分の絶対値が最大となるサンプリング値の組を含む範囲を第2位まで決定し、ステップst37に進む。ステップst37では、差分の絶対値が第1位であった範囲と差分の絶対値が第2位であった範囲との中心位置を求め、これを白色干渉縞の振幅の包絡線が最大値を示す位置を含む概略位置として決定し、ステップst38に進んで終了する。

[0102] [第5の実施の形態]

図15は、本発明に係る三次元形状計測装置の第5の実施の形態における全体構成を示すブロック図である。

[0103] 本発明に係る三次元形状計測装置は、撮像手段として前述したようなカラーカメラ10を有する構成に限定されず、図15に示すように、カラーカメラ10に代えてモノクロカメラ10aを有する構成としてもよい。この三次元形状計測装置においては、モノクロカメラ10aによって得られる白色干渉縞データをフーリエ変換して得られる分光スペクトル分布の一部を選び、周波数フィルタを用いて所定周波数帯域のみのデータを分離させることによって、カラーカメラにおいて色分解を行ったと同様の位相情報を得る

ことができる。

- [0104] すなわち、この三次元形状計測装置においては、このモノクロカメラ10aから出力される撮像信号は、信号処理部において、メモリ12により記憶され、このメモリ12より読み出されて、概略位置決定手段13に送られる。概略位置決定手段13は、第1の戻り光と第2の戻り光との干渉によって生じた白色干渉縞の光強度を示す信号に基づいて、白色干渉縞の振幅の包絡線が最大値を示す位置を含む概略位置を決定する。
- [0105] 第1の戻り光と第2の戻り光との干渉によって生じた撮像信号は、分光スペクトル帯域成分分配手段17に送られる。分光スペクトル帯域成分分配手段17は、モノクロカメラ10aによって得られた撮像信号を前記概略位置の近傍においてフーリエ変換して得られる分光スペクトル分布の一部を選び、周波数フィルタを用いて、所定周波数帯域(λ_1 及び λ_2)のみのデータを分離させることによって、異なる分光スペクトル帯域成分を分離する。このようにして、分光スペクトル帯域成分分配手段17は、モノクロカメラ10aから出力された撮像信号より、互いに異なる分光スペクトル帯域成分(λ_1 成分及び λ_2 成分)に分配して、位相算出手段15に送る。すなわち、この分光スペクトル帯域成分分配手段17は、前述した図5におけるステップst2、ステップst3の処理を実行する。
- [0106] 位相算出手段15は、概略位置決定手段13により決定された概略位置の近傍において、白色干渉縞に含まれる少なくとも二以上の互いに異なる分光スペクトル帯域成分(λ_1 成分及び λ_2 成分)の干渉縞の位相を算出し、変位算出手段16に送る。すなわち、この位相算出手段15は、前述した図5におけるステップst4からステップst7までの処理を実行する。
- [0107] 変位算出手段16は、位相算出手段15によって得られた互いに異なる分光スペクトル帯域成分(λ_1 成分及び λ_2 成分)の干渉縞の位相に基づいて、これら位相が互いに等しい値をとる位置を求める。すなわち、この変位算出手段16は、前述した図5におけるステップst8の処理を実行する。そして、これら位相が互いに等しい値となる被計測物7の任意の表面を基準にして、ピエゾ素子8(光路長変化手段)によるZ軸方向の変化量に基づいて、被計測物7の表面の変位量が求められる。

産業上の利用の可能性

- [0108] 本発明に係る三次元形状計測方法及び三次元形状計測装置においては、白色干渉縞の振幅情報と、例えば、R(赤色)、G(緑色)及びB(青色)などのスペクトルに分解した干渉縞の位相情報とを用いることにより、白色干渉縞の振幅が最大となる位置を高精度、高分解能で特定することができる。
- [0109] また、本発明に係る三次元形状計測方法及び三次元形状計測装置においては、例えば、従来の分光スペクトル領域の位相勾配を最小二乗法によって推定する方法に比べて、信号処理が簡単であり、演算に要する処理時間を短縮化することができる。
- [0110] すなわち、本発明は、白色干渉縞を用いて被計測物の三次元形状を計測する三次元形状計測装置(白色干渉計測装置)において、演算に要する処理時間を短縮化しつつ、白色干渉縞の振幅が最大となる位置を高精度で特定することができるようになされた三次元形状計測装置を提供することができるものである。

請求の範囲

- [1] 広帯域スペクトルをもつ照明光を発生する光源から被計測物までの光路長、または、前記光源から参照鏡までの光路長を変化させ、これら光路長が等しくなる位置を検出することによって、当該被計測物の三次元形状を計測する三次元形状計測方法において、

前記参照鏡からの前記照明光の戻り光と前記被計測物からの前記照明光の戻り光との干渉によって生ずる白色干渉縞の振幅の包絡線が最大値を示す位置を含む概略位置を求める段階と、

前記白色干渉縞に含まれる少なくとも二以上の互いに異なる分光スペクトル帯域成分の干渉縞を抽出する段階と、

前記概略位置の近傍において、前記互いに異なる分光スペクトル帯域成分の干渉縞の位相が互いに等しい値をとる位置を求めることによって、前記光源から前記被計測物までの光路長が前記光源から前記参照鏡までの光路長に等しくなる位置を決定する段階と

を含むことを特徴とする三次元形状計測方法。

- [2] 広帯域スペクトルをもつ照明光を発生する光源から被計測物までの光路長を走査し、または、前記光源から参照鏡までの光路長を走査し、これら光路長が互いに等しくなる位置を検出して、前記被計測物の三次元形状を計測する白色干渉を用いた三次元形状計測装置であって、

前記参照鏡からの前記照明光の戻り光と前記被計測物からの前記照明光の戻り光との干渉によって生ずる白色干渉縞について、縞解析法を用いて、この白色干渉縞の振幅の包絡線分布を求め、

前記包絡線分布を用いて、白色干渉縞のコントラストが最大となるおおよその位置を求めておき、

前記白色干渉縞に含まれる少なくとも二以上の互いに異なる分光スペクトル帯域成分の干渉縞を抽出し、

前記白色干渉縞のコントラストが最大となるおおよその位置の近傍において、前記互いに異なる分光スペクトル帯域成分の干渉縞の位相が互いに等しい値をとる位置

を求め、この位置に基づいて、前記光源から前記被計測物までの光路長が前記光源から前記参照鏡までの光路長に等しくなる位置を決定する

ことを特徴とする三次元形状計測装置。

- [3] 広帯域スペクトルをもつ照明光を発生する光源と、該光源から出力された照明光が参照鏡及び被計測物に到達する光路を形成する光路形成手段と、前記光源から前記被計測物までの光路長、または、前記光源から前記参照鏡までの光路長を変化させる光路長変化手段と、前記各光路長が互いに等しくなる位置を検出する検出手段とを含み、前記被計測物の三次元形状を計測する三次元形状計測装置において、
- 前記照明光の前記参照鏡からの反射光である第1の戻り光及び前記照明光の被計測物からの反射光である第2の戻り光が入射される撮像手段と、
- 前記撮像手段から出力される撮像信号に基づいて、前記第1の戻り光と前記第2の戻り光との干渉によって生ずる白色干渉縞の振幅の包絡線が最大値を示す位置を含む概略位置を決定する概略位置決定手段と、
- 前記白色干渉縞に含まれる少なくとも二以上の互いに異なる分光スペクトル帯域成分の前記概略位置近傍における干渉縞の位相を算出する位相算出手段と、
- 前記位相算出手段によって得られた前記互いに異なる分光スペクトル帯域成分の干渉縞の位相が互いに等しい値をとる位置を求めることによって前記被計測物の表面の変位量を算出する変位算出手段と
- を含むことを特徴とする三次元形状計測装置。

- [4] 前記概略位置決定手段は、前記白色干渉縞の光強度について、前記光路長変化手段による光路長の変化についての一定間隔でサンプリングを行うとともに、
- 第1のサンプリング値より連続した一定個数のサンプリング値についての標準偏差を算出した後、第2のサンプリング値より連続した一定個数のサンプリング値についての標準偏差を算出し、以後、順次標準偏差の算出を行って、
- この標準偏差が最大となるサンプリング値の組を含む範囲を、前記白色干渉縞の振幅の包絡線が最大値を示す位置を含む概略位置として決定する
- ことを特徴とする請求項3記載の三次元形状計測装置。

- [5] 前記概略位置決定手段は、前記白色干渉縞の光強度について、前記光路長変化

手段による光路長の変化についての一定間隔でサンプリングを行い、

第1のサンプリング値より連続した一定個数 m のサンプリング値についての標準偏差を算出した後、第 $[m+1]$ のサンプリング値より連続した一定個数 m のサンプリング値についての標準偏差を算出し、次に、第 $[2m+1]$ のサンプリング値より連続した一定個数 m のサンプリング値についての標準偏差を算出し、以後、順次標準偏差の算出を行って、

この標準偏差が最大となるサンプリング値の組及び隣接するサンプリング値の組を含む範囲内において、第1番目のサンプリング値より連続した一定個数 m のサンプリング値についての標準偏差を算出した後、第 $[m/2+1]$ 番目のサンプリング値より連続した一定個数 m のサンプリング値についての標準偏差を算出し、次に、第 $[2m/2+1]$ 番目のサンプリング値より連続した一定個数 m のサンプリング値についての標準偏差を算出し、以後、順次標準偏差の算出を行って、

この標準偏差が最大となるサンプリング値の組を含む範囲を、前記白色干渉縞の振幅の包絡線が最大値を示す位置を含む概略位置として決定する

ことを特徴とする請求項3記載の三次元形状計測装置。

- [6] 前記概略位置決定手段は、前記白色干渉縞の光強度について、前記光路長変化手段による光路長の変化についての一定間隔でサンプリングを行うとともに、

第1のサンプリング値より連続した一定個数 m の範囲における最初のサンプリング値と最後のサンプリング値についての差分の絶対値を算出した後、第 $[m+1]$ のサンプリング値より連続した一定個数 m の範囲における最初のサンプリング値と最後のサンプリング値についての差分の絶対値を算出し、次に、第 $[2m+1]$ のサンプリング値より連続した一定個数 m の範囲における最初のサンプリング値と最後のサンプリング値についての差分の絶対値を算出し、以後、順次差分の絶対値の算出を行って、

この差分の絶対値が最大となるサンプリング値の組を含む範囲を、前記白色干渉縞の振幅の包絡線が最大値を示す位置を含む概略位置として決定する

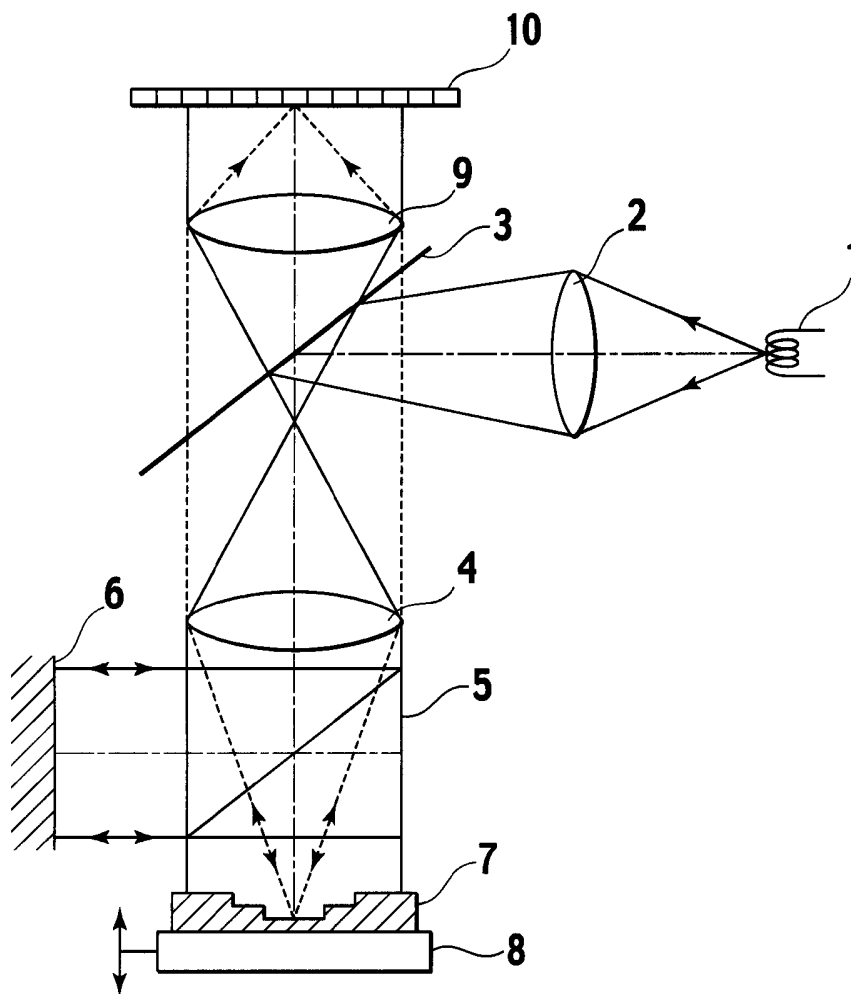
ことを特徴とする請求項3記載の三次元形状計測装置。

- [7] 前記撮像手段は、カラーカメラであって、前記互いに異なる分光スペクトル帯域成分ごとに前記撮像信号を出力することを特徴とする請求項3記載の三次元形状計測

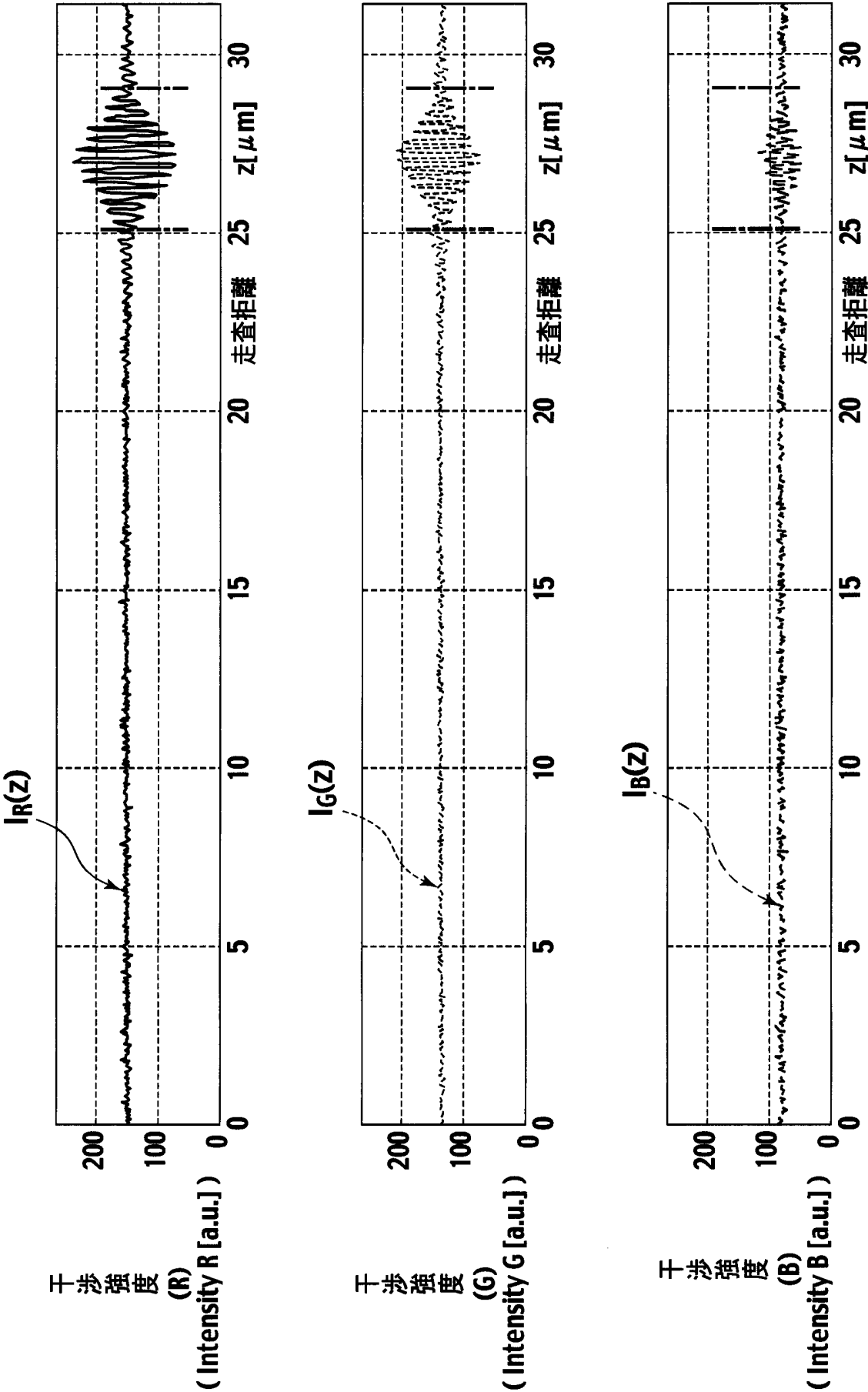
装置。

- [8] 前記撮像手段は、モノクロカメラであり、
前記モノクロカメラから出力される撮像信号を前記互いに異なる分光スペクトル帯域成分に分配する分光スペクトル帯域成分分配手段を備えたことを特徴とする請求項3記載の三次元形状計測装置。
- [9] 前記撮像手段は、カラーカメラであって、前記互いに異なる分光スペクトル帯域成分ごとに前記撮像信号を出力することを特徴とする請求項4記載の三次元形状計測装置。
- [10] 前記撮像手段は、モノクロカメラであり、
前記モノクロカメラから出力される撮像信号を前記互いに異なる分光スペクトル帯域成分に分配する分光スペクトル帯域成分分配手段を備えたことを特徴とする請求項4記載の三次元形状計測装置。
- [11] 前記撮像手段は、カラーカメラであって、前記互いに異なる分光スペクトル帯域成分ごとに前記撮像信号を出力することを特徴とする請求項5記載の三次元形状計測装置。
- [12] 前記撮像手段は、モノクロカメラであり、
前記モノクロカメラから出力される撮像信号を前記互いに異なる分光スペクトル帯域成分に分配する分光スペクトル帯域成分分配手段を備えたことを特徴とする請求項5記載の三次元形状計測装置。
- [13] 前記撮像手段は、カラーカメラであって、前記互いに異なる分光スペクトル帯域成分ごとに前記撮像信号を出力することを特徴とする請求項6記載の三次元形状計測装置。
- [14] 前記撮像手段は、モノクロカメラであり、
前記モノクロカメラから出力される撮像信号を前記互いに異なる分光スペクトル帯域成分に分配する分光スペクトル帯域成分分配手段を備えたことを特徴とする請求項6記載の三次元形状計測装置。

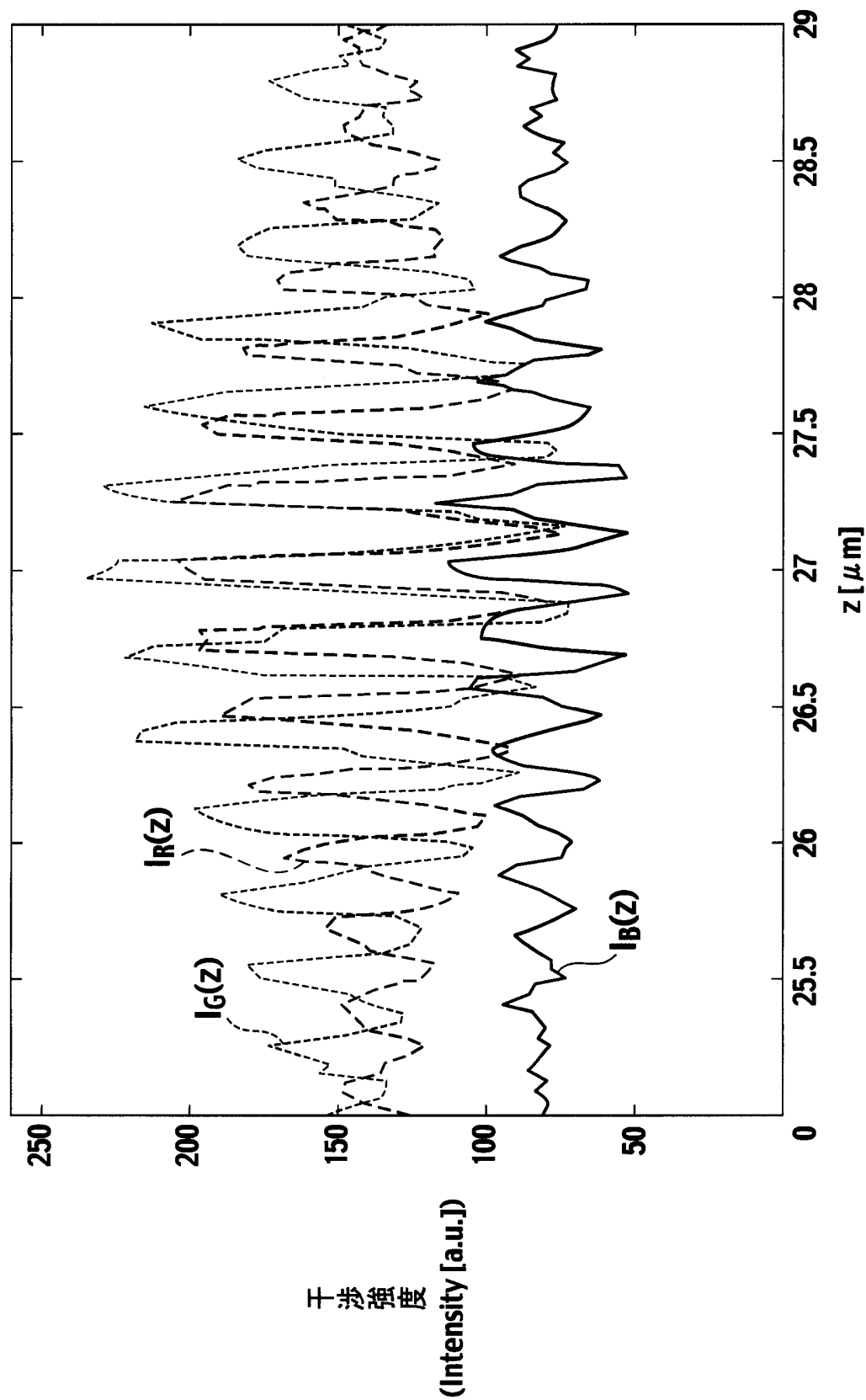
[図1]



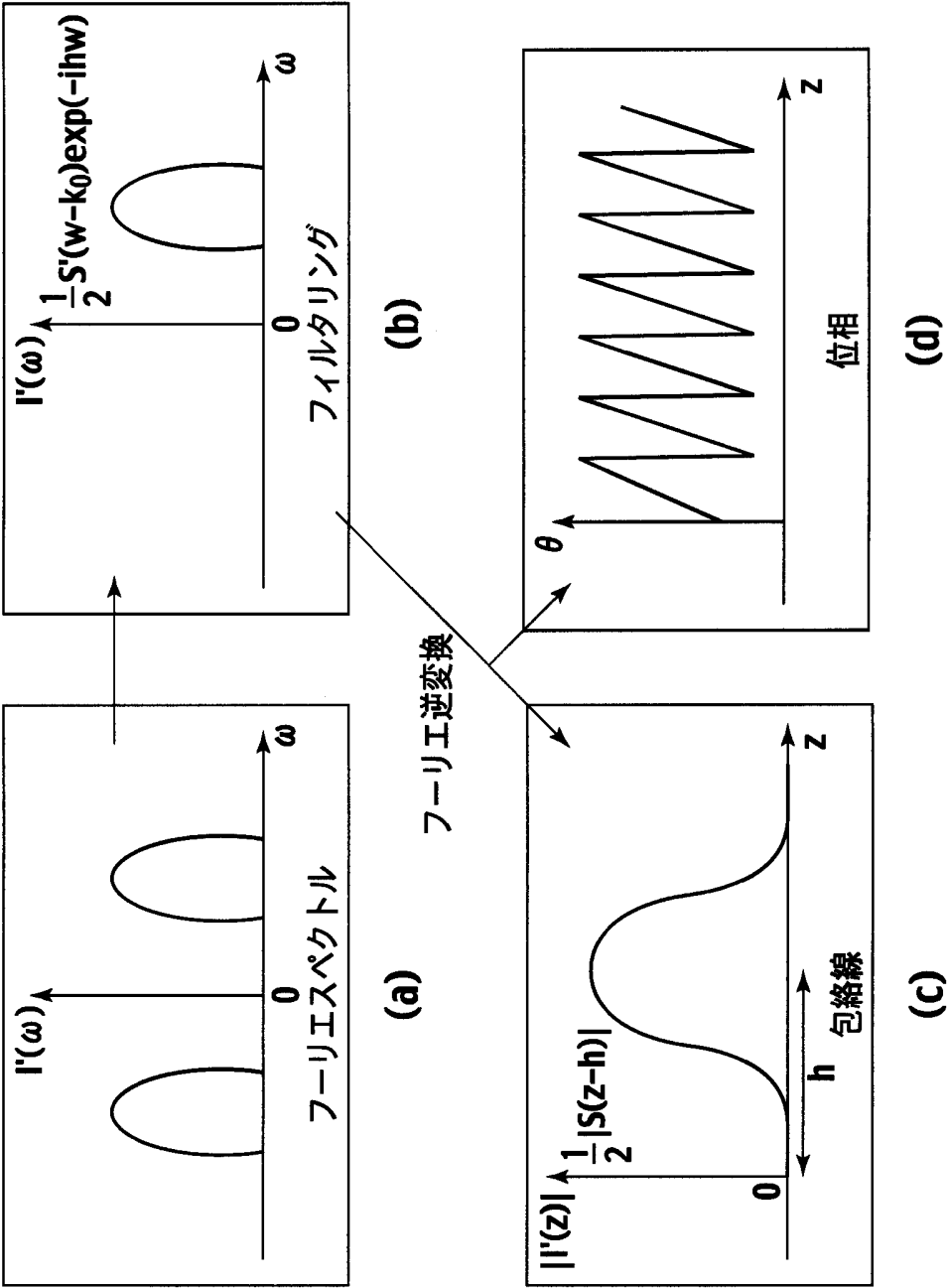
[図2]



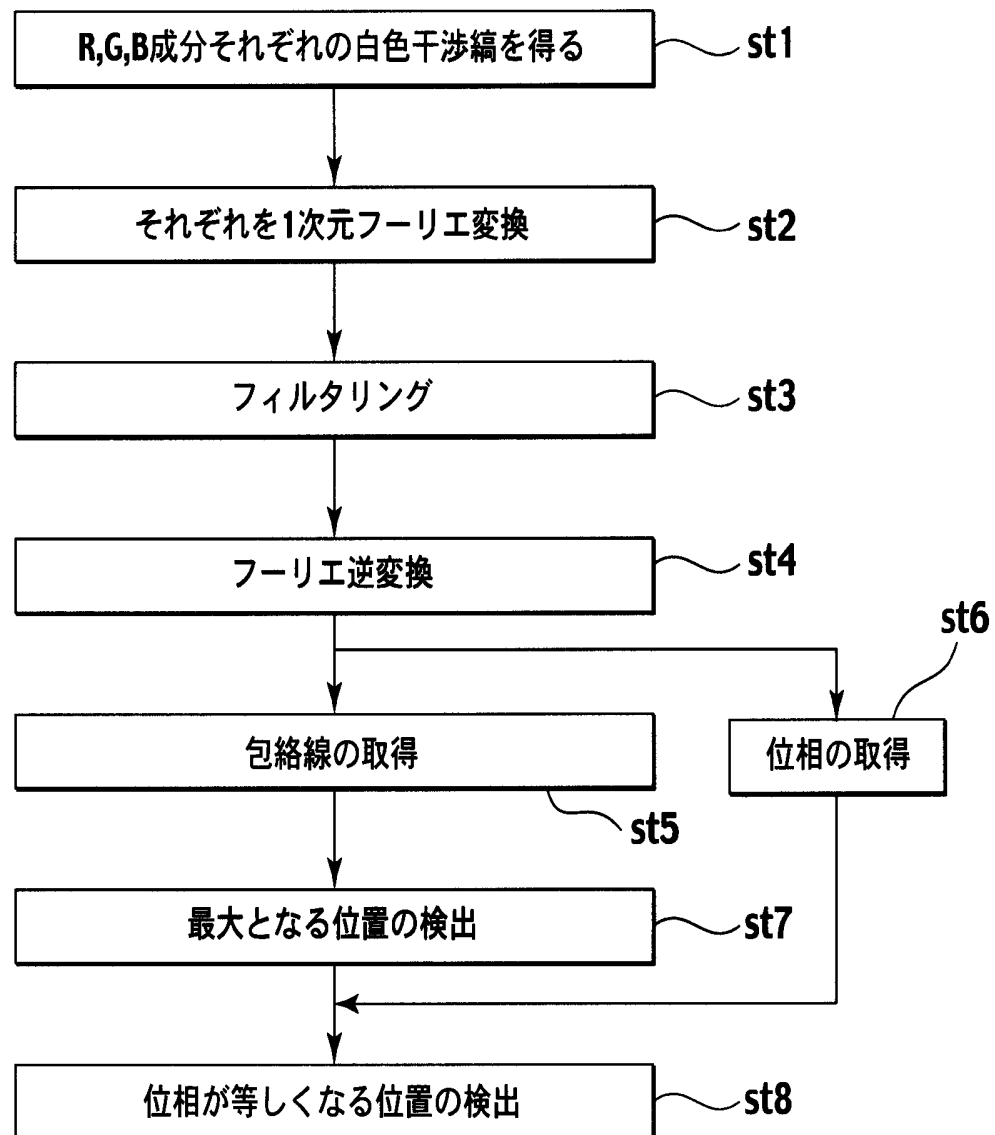
[図3]



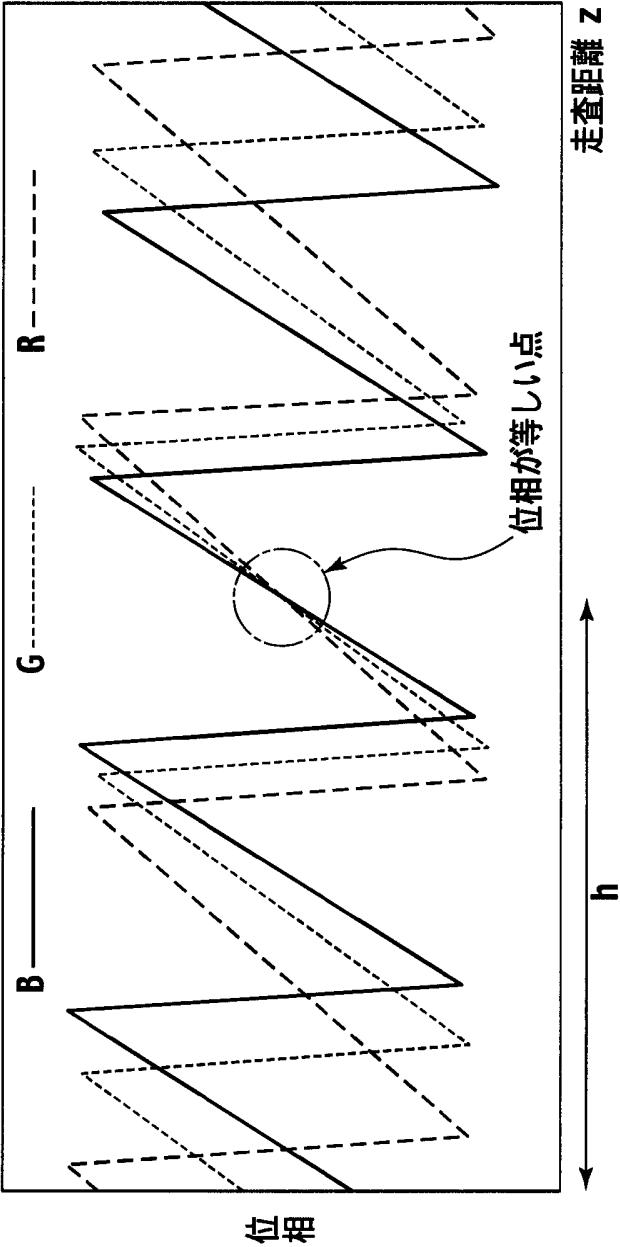
[図4]



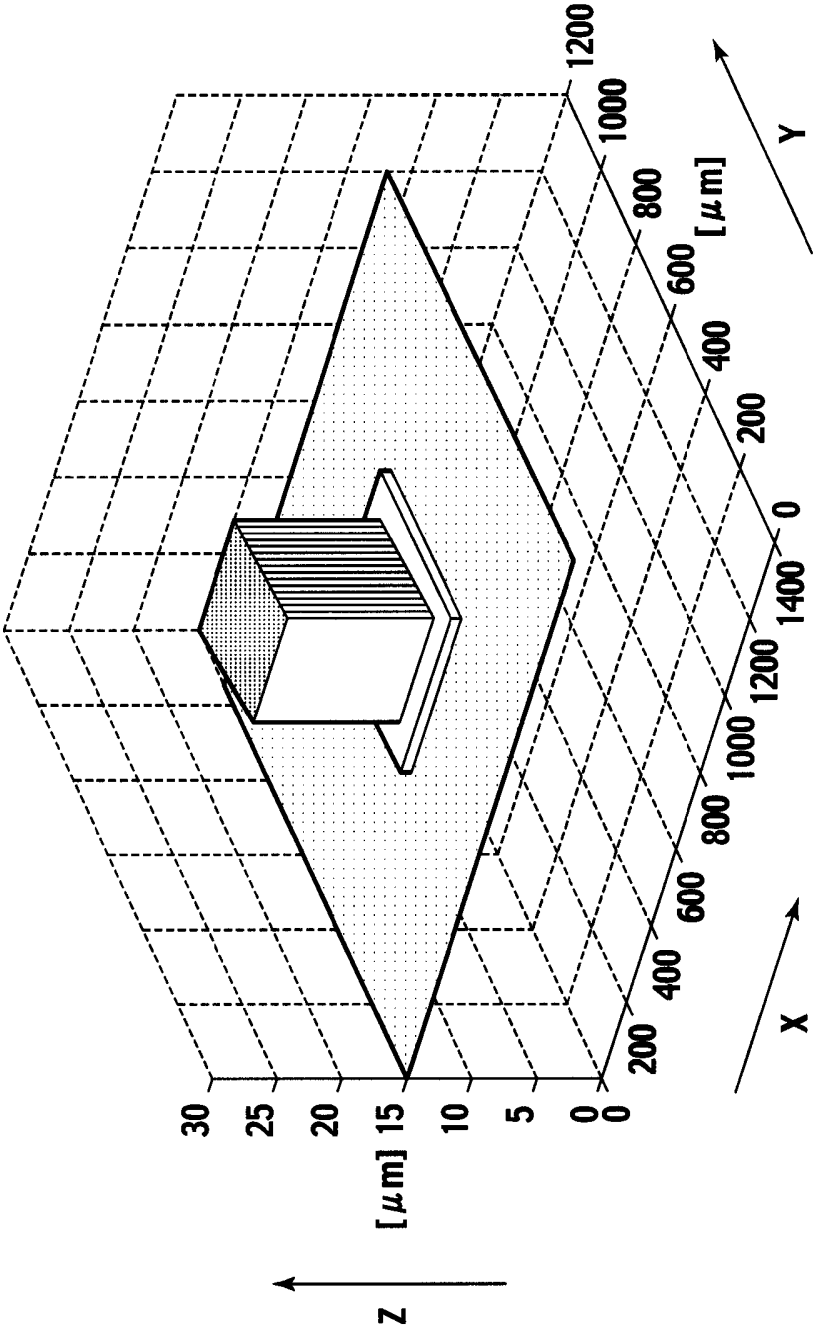
[図5]



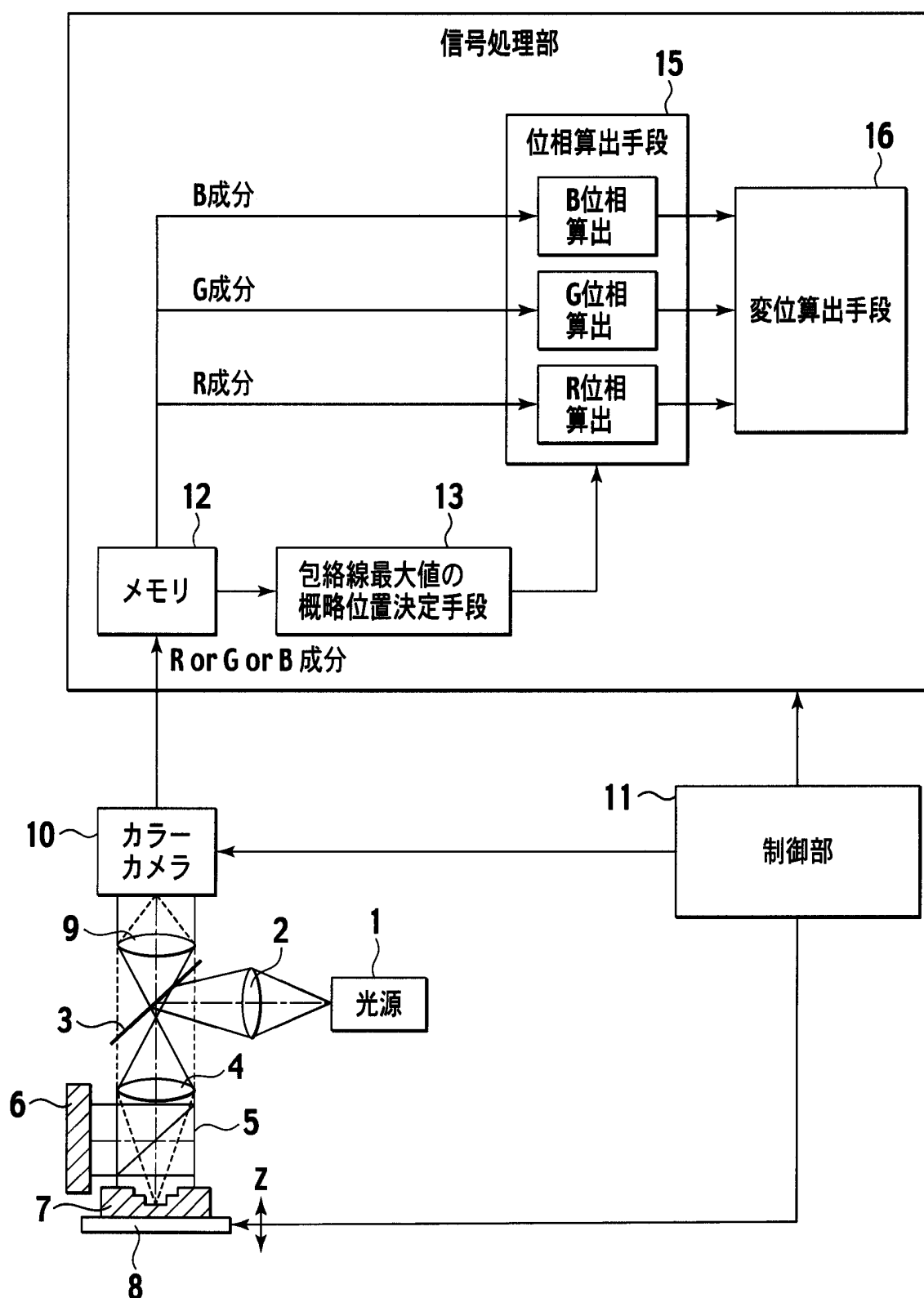
[図6]



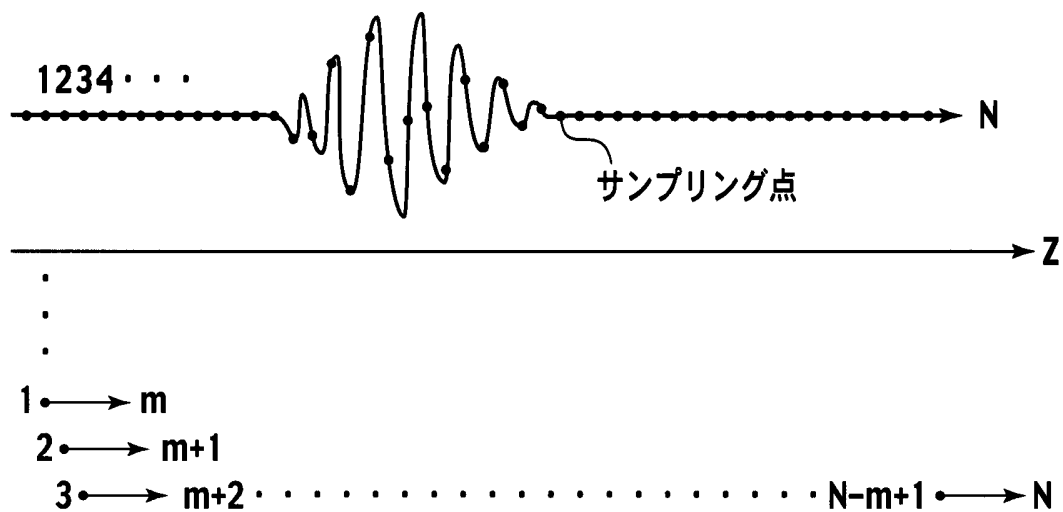
[図7]



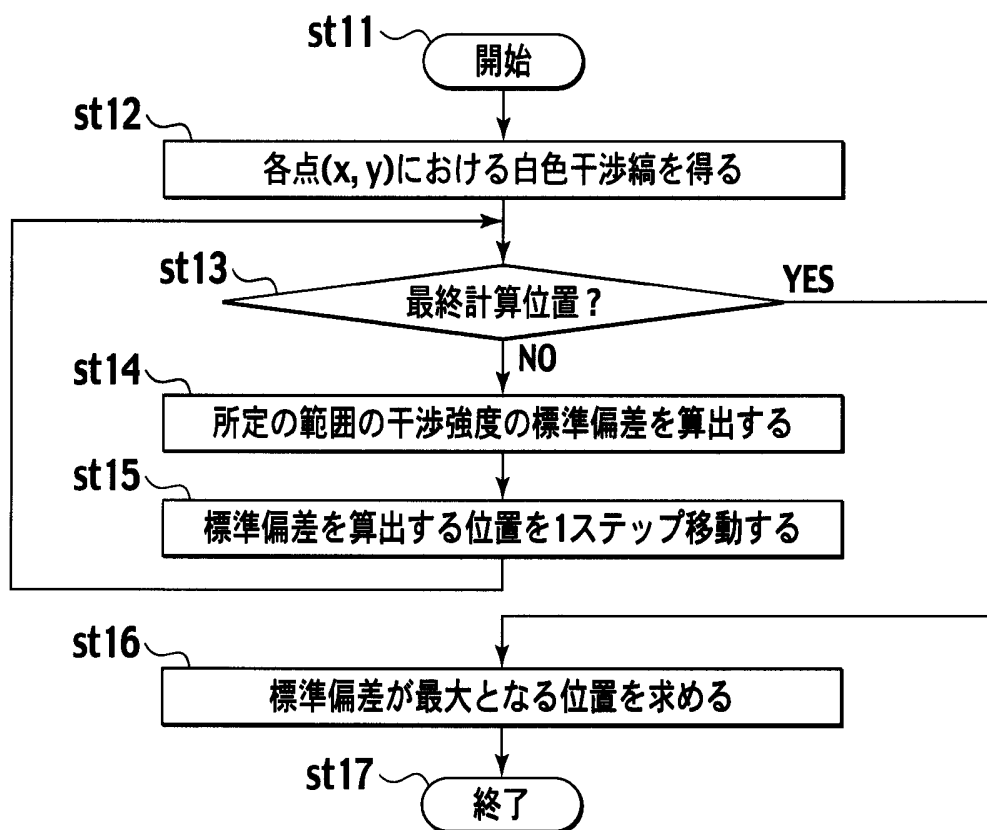
[図8]



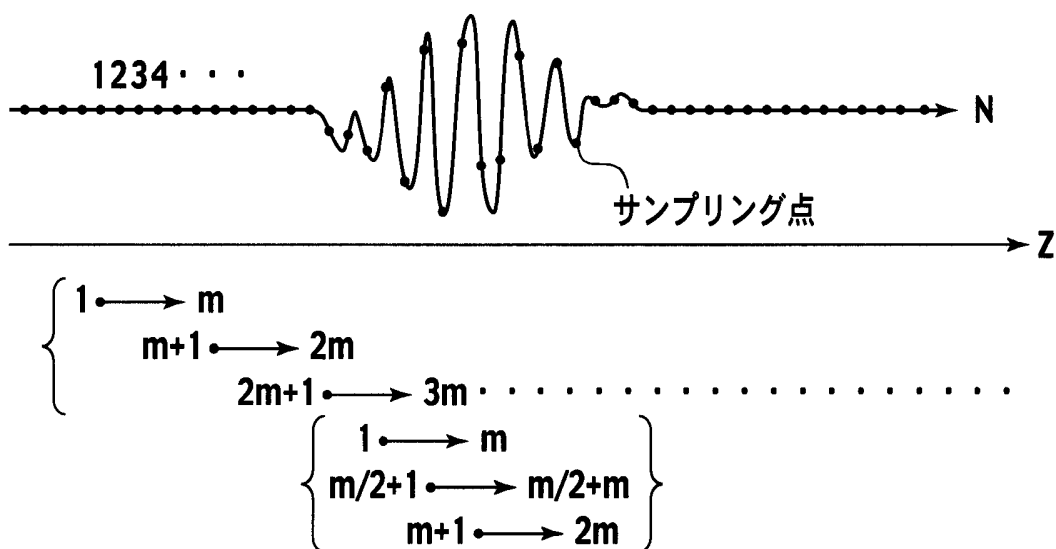
[図9]



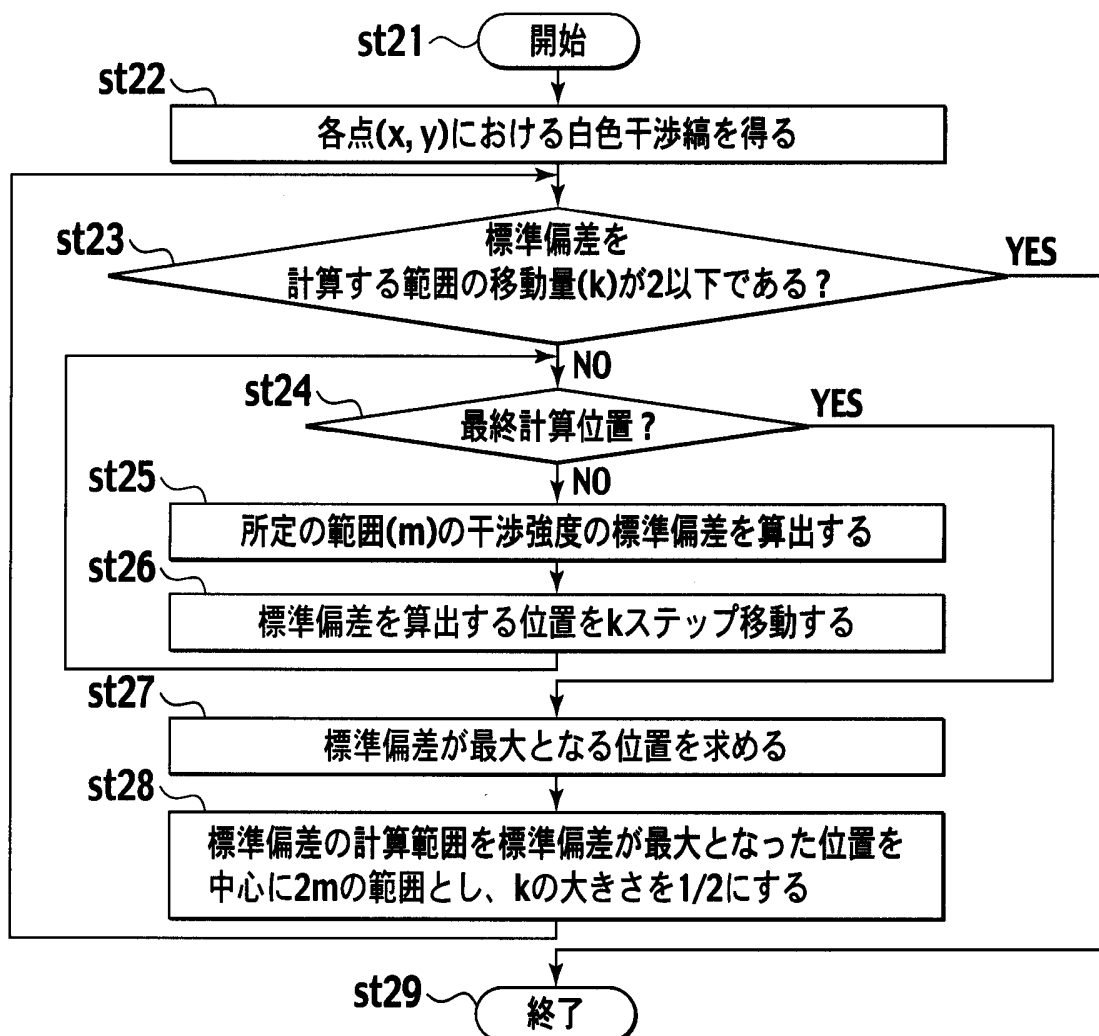
[図10]



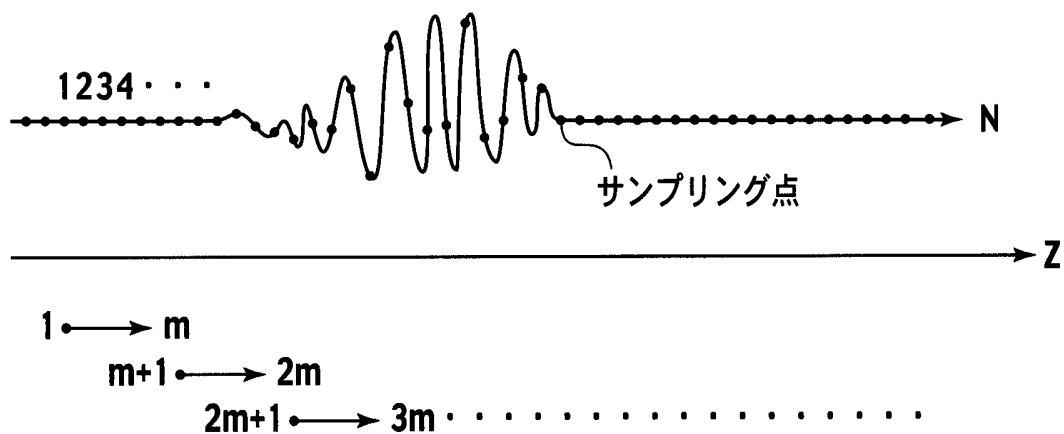
[図11]



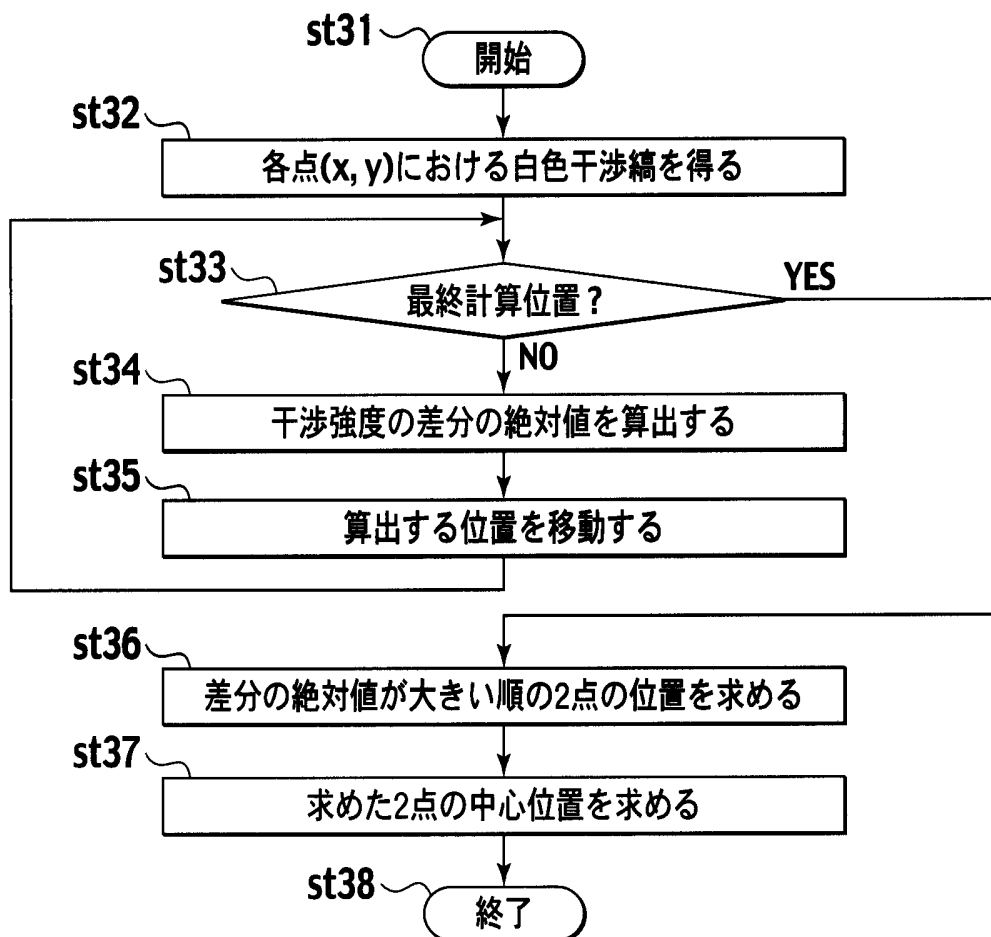
[図12]



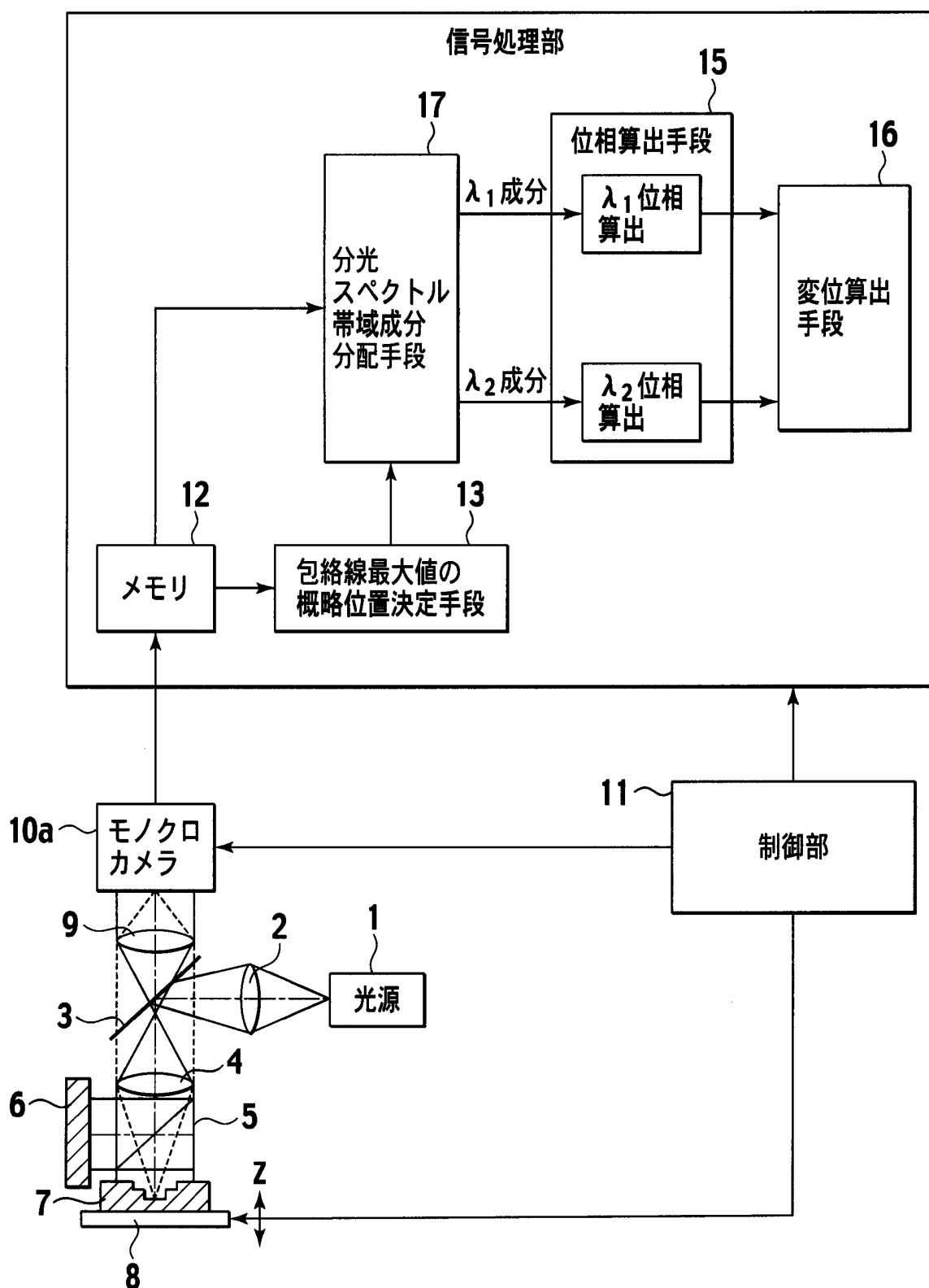
[図13]



[図14]



[図15]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2005/023586

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G01B11/24 (2006.01), **B01B9/02** (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)

G01B11/24 (2006.01), **B01B9/02** (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.
A	JP 6-25644 B2 (Nippon Bunko Kogyo Kabushiki Kaisha), 06 April, 1994 (06.04.94), Full text; all drawings (Family: none)	1-14
A	JP 2001-66122 A (Zaidan Hojin Rikogaku Shinkokai), 16 March, 2001 (16.03.01), Par. Nos. [0062] to [0084]; Figs. 4 to 8 & US 6501553 A & TW 571073 B	1-14
A	JP 8-285561 A (Zygo Corp.), 01 November, 1996 (01.11.96), Par. Nos. [0036] to [0047]; Figs. 1 to 4 & US 5598265 A & DE 19613677 A & FR 273763 A & CN 1147627 A	1-14

☐ 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
28 March, 2006 (28.03.06)

Date of mailing of the international search report
04 April, 2006 (04.04.06)

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 (IPC))

Int.Cl. G01B11/24(2006.01), G01B9/02(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 (IPC))

Int.Cl. G01B11/24(2006.01), G01B9/02(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
A	JP 6-25644 B2 (日本分光工業株式会社) 1994. 04. 06, 全文, 全図 (ファミリー無し)	1-14
A	JP 2001-66122 A (財団法人理工学振興会) 2001. 03. 16, [0062]-[0084]段, 第4-8図 & US 6501553 A & TW 571073 B	1-14
A	JP 8-285561 A (ジゴー コーポレーション) 1996. 11. 01, [0036]-[0047]段, 第1-4図 & US 5598265 A & DE 19613677 A & FR 273763 A & CN 1147627 A	1-14

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

28. 03. 2006

国際調査報告の発送日

04. 04. 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

2S

9303