

(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局

(43) 国際公開日
2016年9月22日(22.09.2016)



(10) 国際公開番号
WO 2016/147782 A1

- (51) 国際特許分類:
G01B 11/06 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2016/054509
- (22) 国際出願日: 2016年2月17日(17.02.2016)
- (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 2015-053539 2015年3月17日(17.03.2015) JP
- (71) 出願人: 東レエンジニアリング株式会社(TORAY ENGINEERING CO., LTD.) [JP/JP]; 〒1030028 東京都中央区八重洲1丁目3番22号(八重洲龍名館ビル) Tokyo (JP).
- (72) 発明者: 北川 克一(KITAGAWA, Katsuichi); 〒5202141 滋賀県大津市大江一丁目1番45号 東レエンジニアリング株式会社内 Shiga (JP). 大槻 真左文(OTSUKI, Masafumi); 〒5202141 滋賀県大津市大江一丁目1番45号 東レエンジニアリング株式会社内 Shiga (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, AO, AT, AU, AZ, BA,

BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

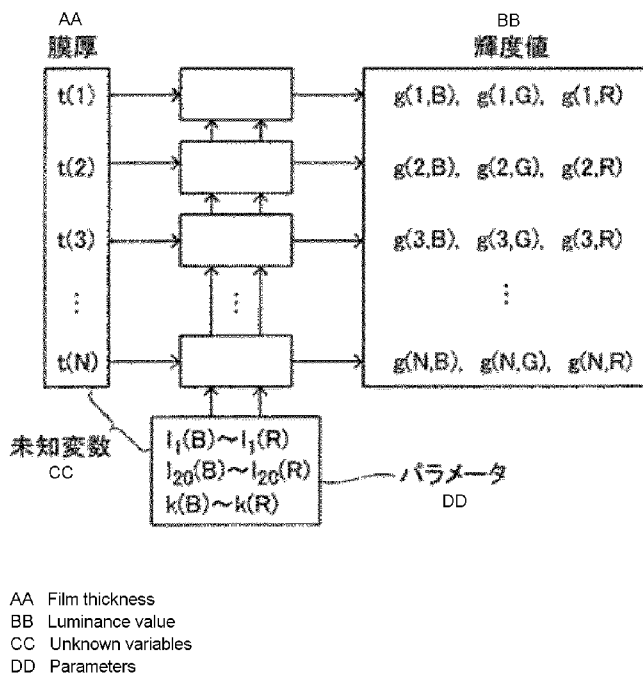
- (84) 指定国(表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:

— 国際調査報告(条約第21条(3))

(54) Title: FILM THICKNESS MEASUREMENT DEVICE AND FILM THICKNESS MEASUREMENT METHOD

(54) 発明の名称: 膜厚測定装置および膜厚測定方法



(57) Abstract: Provided is a film thickness measurement device with which the film thicknesses at a plurality of points on a semitransparent film can be estimated collectively. More specifically, a film thickness measurement device 100 is provided with a control unit 50 for estimating unknown variables $I_1(j)$, $I_{20}(j)$, $k(j)$, and $t(i)$ on the basis of formula (1), where: i is the observation point number for an interference image captured by a color camera 40; j is the number for the type of monochromatic light of a white light source 10; $\lambda(j)$ is the wavelength of the monochromatic light; n is the film refractive index of a semitransparent film 60; $g(i,j)$ is the luminance value observed at an observation point; $I_1(j)$ is the intensity of reflected light from the front surface of the semitransparent film 60; $I_{20}(j)$ is the intensity of reflected light from the rear surface of the semitransparent film 60 in a case where there is no absorption of light; $k(j)$ is the absorption coefficient of the semitransparent film 60; and $t(i)$ is the film thickness of the semitransparent film 60.

(57) 要約: 半透明膜の複数の点の膜厚を一括して推定することが可能な膜厚測定装置を提供する。具体的には、この膜厚測定装置100は、カラーカメラ40により撮像された干渉画像の観測点番号を i 、白色光源10の単色光の種類に対する番号を j 、単色光の波長を $\lambda(j)$ 、半透明膜60の膜屈折率を n 、観測点において観測された輝度値を $g(i,j)$ 、半透明膜60

の表面からの反射光の強さを $I_1(j)$ 、半透明膜60における光の吸収がない場合の裏面からの反射光の強さを $I_{20}(j)$ 、半透明膜60の吸収係数を $k(j)$ 、半透明膜60の膜厚を $t(i)$ とした場合、式(1)に基づいて、未知変数である $I_1(j)$ 、 $I_{20}(j)$ 、 $k(j)$ および $t(i)$ を推定する制御部50を備える。

WO 2016/147782 A1

明 細 書

発明の名称：膜厚測定装置および膜厚測定方法

技術分野

[0001] この発明は、膜厚測定装置および膜厚測定方法に関する。

背景技術

[0002] 従来、膜厚測定装置および膜厚測定方法が知られている（たとえば、特許文献 1 参照）。

[0003] 上記特許文献 1 では、透明膜の複数の点の反射光の情報を用いて、複数の点の膜厚を一括して推定する膜厚測定装置および膜厚測定方法が開示されている。この膜厚測定装置および膜厚測定方法では、複数の波長の単色光を含む光が測定対象である透明膜に照射される。そして、透明膜の表面からの反射光と裏面からの反射光とにより生成される干渉画像から複数の観測点が選択され、選択された観測点の干渉画像の輝度信号と、所定の干渉縞モデル（透明膜についての干渉縞モデル）とに基づいて、複数の点の膜厚が一括して推定されるように構成されている。

先行技術文献

特許文献

[0004] 特許文献1：特開 2 0 1 3 - 1 4 5 2 2 9 号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0005] しかしながら、上記特許文献 1 に記載の膜厚測定装置および膜厚測定方法では、透明膜の複数の点の膜厚が一括して推定されるように構成されている一方、光の吸収係数が比較的大きい半透明膜についても複数の点の膜厚を一括して推定することが望まれている。

[0006] この発明は、上記のような課題を解決するためになされたものであり、この発明の 1 つの目的は、半透明膜の複数の点の膜厚を一括して推定することが可能な膜厚測定装置および膜厚測定方法を提供することである。

課題を解決するための手段

[0007] 上記目的を達成するために、この発明の第1の局面による膜厚測定装置は、測定対象である半透明膜に複数の波長の単色光を含む光を照射する光源と、光源から照射され、半透明膜の表面からの反射光と裏面からの反射光とにより生成される干渉画像を撮像する撮像部と、撮像部により撮像された干渉画像の観測点番号を i 、単色光の波長の種類に対する番号を j 、単色光の波長を $\lambda(j)$ 、半透明膜の膜屈折率を n 、観測点において観測された輝度値を $g(i, j)$ 、半透明膜の表面からの反射光の強さを $I_1(j)$ 、半透明膜における光の吸収がない場合の裏面からの反射光の強さを $I_{20}(j)$ 、半透明膜の吸収係数を $k(j)$ 、半透明膜の膜厚を $t(i)$ とした場合、以下の式(1)に基づいて、未知変数である $I_1(j)$ 、 $I_{20}(j)$ 、 $k(j)$ および $t(i)$ を推定する制御部とを備える。なお、本発明における「半透明膜」とは、光が透過することが可能である一方、膜を透過する光の強さが低下する（光の一部が吸収される）膜を意味し、特定の波長を吸収する着色透明膜や、顆粒等を含有して濁り（ヘイズ）が生じている膜が対象となる。

[0008] [数1]

$$g(i, j) = I_1(j) + I_{20}(j) e^{-2k(j)t(i)} \pm 2\sqrt{I_1(j)I_{20}(j)} e^{-k(j)t(i)} \cos\{4\pi n t(i)/\lambda(j)\} \quad \cdots (1)$$

[0009] この第1の局面による膜厚測定装置では、上記の式(1)に基づいて、未知変数である $I_1(j)$ 、 $I_{20}(j)$ 、 $k(j)$ および $t(i)$ を推定する制御部を備えることによって、複数の観測点 i に対する $I_1(j)$ 、 $I_{20}(j)$ 、 $k(j)$ および $t(i)$ が一括して推定される。すなわち、透明膜の場合と異なり、半透明膜による光の吸収（ $e^{-2k(j)t(i)}$ 、 $e^{-k(j)t(i)}$ ）を考慮した上記式(1)を用いることにより、半透明膜の複数の点の膜厚 $t(i)$ を一括して推定することができる。その結果、1点ごとに膜厚を推定する場合と比べて、高速に半透明膜の複数の点の膜厚 $t(i)$ を推定することができる。

[0010] 上記第1の局面による膜厚測定装置において、好ましくは、制御部は、上記の式(1)に基づいて求められた $I_1(j)$ 、 $I_{20}(j)$ および $k(j)$ と、以下の式(2)とに基づいて、 $I_1(j)$ 、 $I_{20}(j)$ および $k(j)$ を求める際に用いられた干渉画像の観測点以外の観測点の膜厚 t を未知変数として推定するように構成されている。

[0011] [数2]

$$g(j) = I_1(j) + I_{20}(j) e^{-2k(j)t} \pm 2\sqrt{I_1(j)I_{20}(j)} e^{-k(j)t} \cos\{4\pi nt / \lambda(j)\} \quad \cdot \cdot \quad (2)$$

[0012] このように構成すれば、上記の式(2)においては、未知変数の数が膜厚 t の1つであるので、上記の式(1)（未知変数の数が $I_1(j)$ 、 $I_{20}(j)$ 、 $k(j)$ および $t(i)$ の4つ）を用いる場合に比べて、より高速に膜厚 t を推定することができる。

[0013] 上記第1の局面による膜厚測定装置において、好ましくは、制御部は、未知変数に初期値を設定するとともに、未知変数を含む関数から算出される値に基づいて、目的関数を最小化する非線形計画法により、未知変数を推定するように構成されている。このように構成すれば、未知変数を含む関数が解析的に解けない場合（非線形関数の場合）でも、未知変数を推定することができる。

[0014] 上記第1の局面による膜厚測定装置において、好ましくは、複数の単色光の波長の数を m 、干渉画像の観測点の数を N とした場合、以下の式(3)に基づいて、未知変数である $I_1(j)$ 、 $I_{20}(j)$ 、 $k(j)$ および $t(i)$ を求めるための干渉画像の観測点の数 N を設定するように構成されている。

[0015] [数3]

$$N \geq 3m / (m - 1) \quad \cdot \cdot \cdot \quad (3)$$

[0016] このように構成すれば、未知変数に対して最低限必要な干渉画像の観測点の

数を、上記の式（３）に基づいて、容易に求めることができる。

[0017] 上記第１の局面による膜厚測定装置において、好ましくは、複数の単色光は、青、緑および赤の３色の単色光を含む。このように構成すれば、３色の単色光の波長が各々異なるので、３色の単色光の干渉により生成される干渉色が膜厚によって変化する。これにより、観測点において観測された輝度値 $g(i, j)$ （または輝度値 $g(j)$ ）に基づいて、膜厚を推定することができる。

[0018] この発明の第２の局面による膜厚測定方法は、測定対象である半透明膜に複数の波長の単色光を含む光を照射する工程と、半透明膜の表面からの反射光と裏面からの反射光とにより生成される干渉画像を撮像する工程と、撮像された干渉画像の観測点番号を i 、単色光の波長の種類に対する番号を j 、単色光の波長を $\lambda(j)$ 、半透明膜の膜屈折率を n 、観測点において観測された輝度値を $g(i, j)$ 、半透明膜の表面からの反射光の強さを $I_1(j)$ 、半透明膜における光の吸収がない場合の裏面からの反射光の強さを $I_{20}(j)$ 、半透明膜の吸収係数を $k(j)$ 、半透明膜の膜厚を $t(i)$ とした場合、以下の式（４）に基づいて、未知変数である $I_1(j)$ 、 $I_{20}(j)$ 、 $k(j)$ および $t(i)$ を推定する工程とを備える。

[0019] [数４]

$$g(i, j) = I_1(j) + I_{20}(j) e^{-2k(j)t(i)} \pm 2\sqrt{I_1(j)I_{20}(j)} e^{-k(j)t(i)} \cos\{4\pi n t(i)/\lambda(j)\} \quad \cdots (4)$$

[0020] この第２の局面による膜厚測定方法では、上記のように、上記の式（４）に基づいて、未知変数である $I_1(j)$ 、 $I_{20}(j)$ 、 $k(j)$ および $t(i)$ を推定する工程を備えることによって、複数の観測点（ i ）に対する $I_1(j)$ 、 $I_{20}(j)$ 、 $k(j)$ および $t(i)$ が一括して推定される。すなわち、透明膜の場合と異なり、半透明膜による光の吸収（ $e^{-2k(j)t(i)}$ 、 $e^{-k(j)t(i)}$ ）を考慮した上記式（４）

を用いることにより、半透明膜の複数の点の膜厚 $t(i)$ を一括して推定することができる。その結果、１点ごとに膜厚を推定する場合と比べて、高速

に半透明膜の複数の点の膜厚 $t(i)$ を推定することができる。

発明の効果

[0021] 本発明によれば、上記のように、半透明膜の複数の点の膜厚を一括して推定することができる。

図面の簡単な説明

[0022] [図1]本発明の一実施形態による膜厚測定装置のブロック図である。

[図2]膜厚と輝度値（光量）との関係を示す図である。

[図3]本発明の一実施形態によるGMFT法を説明するための図である。

[図4]本発明の一実施形態による膜厚測定方法のフロー図である。

[図5]本発明の一実施形態によるGMFT法の妥当性を確認するための実験の結果を示す図（1）である。

[図6]本発明の一実施形態によるGMFT法の妥当性を確認するための実験の結果を示す図（2）である。

[図7]本発明の一実施形態によるGMFT法の妥当性を確認するための実験の結果を示す図（3）である。

[図8]本発明の一実施形態による輝度合致法の妥当性を確認するための実験の結果を示す図である。

発明を実施するための形態

[0023] 以下、本発明を具体化した実施形態を図面に基づいて説明する。

[0024] [本実施形態]

（膜厚測定装置の構成）

図1を参照して、本実施形態による膜厚測定装置100の構成について説明する。

[0025] 図1に示すように、膜厚測定装置100は、白色光源10と、3波長帯域フィルタ20と、顕微鏡30と、カラーカメラ40と、制御部50とを備えている。なお、白色光源10およびカラーカメラ40は、それぞれ、本発明の「光源」および「撮像部」の一例である。

[0026] 白色光源10は、測定対象である半透明膜60に複数の波長の単色光を含

む光を照射するように構成されている。本実施形態では、複数の単色光は、青（B）、緑（G）および赤（R）の3色の単色光を含む。なお、本実施形態における「半透明膜」とは、光が透過することが可能である一方、膜を透過する光の強さが低下する（光の一部が吸収される）膜を意味し、特定の波長を吸収する着色透明膜や、顆粒等を含有して濁り（ヘイズ）が生じている膜が対象となる。

[0027] 3波長帯域フィルタ20は、白色光源10から照射された白色の光のうち、青（B）、緑（G）および赤（R）の3色の単色光を透過させるように構成されている。

[0028] 顕微鏡30の内部には、ハーフミラー31が設けられている。そして、ハーフミラー31は、3波長帯域フィルタ20を透過した青（B）、緑（G）および赤（R）の3色の単色光を測定対象である半透明膜60に照射するように構成されている。

[0029] カラーカメラ40は、白色光源10から照射され、半透明膜60の表面からの反射光と裏面からの反射光とにより生成される干渉画像を撮像するように構成されている。また、カラーカメラ40は、たとえば、CCD（Charge Coupled Device）イメージセンサや、CMOS（Complementary Metal Oxide Semiconductor）イメージセンサなどにより構成されている。

[0030] ここで、本実施形態では、制御部50は、干渉画像の観測点番号を i 、単色光の波長の種類に対する番号を j 、単色光の波長を $\lambda(j)$ 、半透明膜60の膜屈折率を n 、観測点において観測された輝度値を $g(i, j)$ 、半透明膜60の表面からの反射光の強さを $I_1(j)$ 、半透明膜60における光の吸収がない場合の裏面からの反射光の強さを $I_{20}(j)$ 、半透明膜60の吸収係数を $k(j)$ 、半透明膜60の膜厚を $t(i)$ とした場合、後述する式（9）に基づいて、 $I_1(j)$ 、 $I_{20}(j)$ 、 $k(j)$ および $t(i)$ を推定するように構成されている。さらに、制御部50は、後述する式（9）に基づいて求められた $I_1(j)$ 、 $I_{20}(j)$ および $k(j)$ と、後述する式（1

9) とに基づいて、 $I_1(j)$ 、 $I_{20}(j)$ および $k(j)$ を求める際に用いられた干渉画像の観測点以外の観測点の膜厚 t を未知変数として推定するように構成されている。具体的には、制御部 50 は、未知変数に初期値を設定するとともに、未知変数を含む関数から算出される値に基づいて、目的関数を最小化する非線形計画法により、未知変数を推定するように構成されている。以下、詳細に説明する。

[0031] (推定原理)

〈半透明膜における干渉色と膜厚との関係〉

まず、半透明膜 60 における干渉色と膜厚との関係について説明する。

[0032] 半透明膜 60 の表面からの反射光と、裏面からの反射光とによる干渉は、多重反射を無視すれば、反射光の和は、下記の式 (5) により表される。

[0033] [数5]

$$I(\lambda) = I_1(\lambda) + I_2(\lambda) + 2\sqrt{I_1(\lambda)I_2(\lambda)} \cos\{4\pi \delta(\lambda)\} \quad \cdot \cdot \quad (5)$$

[0034] ここで、 I_1 および I_2 は、それぞれ、表面からの反射光の強さ (光量)、および、裏面からの反射光の強さ (光量) を表す。また、 λ は、半透明膜 60 に照射される光の波長を表し、 δ は、表面からの反射光と裏面からの反射光との位相差を表す。

[0035] また、半透明膜 60 の物理的な膜厚を t とし、膜屈折率を $n(\lambda)$ として、半透明膜 60 に対して光が垂直に入射すると仮定すると、表面からの反射光と裏面からの反射光との光路差 (optical path difference; OPD) は、 $OPD = 2n(\lambda) \times t$ となる。よって、位相差 $\delta(\lambda)$ は、 $\delta(\lambda) = 2\pi \times OPD / \lambda = 4\pi n(\lambda) \times t / \lambda$ となる。この式を、上記の式 (5) に代入するとともに、屈折率の波長依存性がない (すなわち、 $n(\lambda) = n$) と仮定することにより、下記の式 (6) が得られる。

[0036] [数6]

$$I(\lambda) = I_1(\lambda) + I_2(\lambda) \pm 2\sqrt{I_1(\lambda)I_2(\lambda)} \cos(4\pi nt / \lambda) \quad \cdot \cdot \quad (6)$$

[0037] ここで、半透明膜 60 の屈折率が、半透明膜 60 が載置される基板 61 (図 1 参照) の屈折率よりも小さい場合 (膜屈折率<基板屈折率) には、上記の式 (6) において、右辺第 3 項の符号が正 (+) になる。一方、膜屈折率>基板屈折率の場合には、位相差 δ が、 $\delta(\lambda) = 4\pi n(\lambda)t/\lambda + \pi$ となるので、上記の式 (6) において、右辺第 3 項の符号が負 (-) になる。

[0038] また、半透明膜 60 における裏面からの反射光の強さ I_2 は、半透明膜 60 の吸収係数を k として、ランベルト・ベールの法則により、下記の式 (7) のように表される。

[0039] [数7]

$$I_2(\lambda) = I_{20}(\lambda)e^{-2k(\lambda)t} \quad \dots (7)$$

[0040] そして、上記の式 (6) および式 (7) から、下記の式 (8) が得られる。

[0041] [数8]

$$I(\lambda) = I_1(\lambda) + I_{20}(\lambda)e^{-2k(\lambda)t} \pm 2\sqrt{I_1(\lambda)I_{20}(\lambda)}e^{-k(\lambda)t}\cos\{4\pi nt/\lambda\} \quad \dots (8)$$

[0042] ここで、白色光源 10 から照射され、3 波長帯域フィルタ 20 を透過する単色光である青 (B)、緑 (G) および赤 (R) の各々の波長を、それぞれ、 $\lambda_B = 470\text{ nm}$ 、 $\lambda_G = 560\text{ nm}$ 、および、 $\lambda_R = 600\text{ nm}$ 、とする。また、 $I_1 = 20$ 、 $I_{20} = 80$ 、膜屈折率 $n = 1.4$ とする。また、青 (B)、緑 (G) および赤 (R) の各々の吸収係数を、 $k(B) = 0.0004 (1/\text{nm})$ 、 $k(G) = 0.0003 (1/\text{nm})$ 、および、 $k(R) = 0.0002 (1/\text{nm})$ とする。そして、反射光量と膜厚の関係を、上記の式 (8) により算出することにより、図 2 に示すように、膜厚と輝度値 (光量) との関係 (図 2 の下段参照)、および、膜厚と干渉色との関係 (図 2 の上段参照) が得られる。

[0043] 図2の下段では、横軸は膜厚（nm）を表し、縦軸は輝度値を表している。図2の下段に示すように、波長（周期）は、青（B）、緑（G）および赤（R）の順で長くなる。また、輝度値は、膜厚が大きくなるにしたがって、小さくなる。

[0044] 図2の上段は、各膜厚（nm）に対する干渉色のカラーチャートを表している。すなわち、図2の上段では、各膜厚において、図2の下段の青（B）、緑（G）および赤（R）が加算された色が示されている。なお、図2の上段では、グレーの濃淡で示されているが、実際には、カラーの濃淡の干渉色である。このように、各膜厚に対して異なる干渉色が得られる。

[0045] 〈GMFT法〉

次に、未知変数 I_1 、 I_{20} 、 k および t を推定するアルゴリズムについて説明する。このアルゴリズムを、GMFT（Global Model Fitting for Thickness）法と呼ぶ。

[0046] カラーカメラ40によって撮像された半透明膜60の画像（干渉色の画像）内の観測点 i （ $i = 1, 2, \dots, N$ ）における、単色光の波長の種類に対する番号 j （ $j = 1, 2, \dots, m$ ）の干渉縞のモデル輝度値 $g(i, j)$ は、上記の式（8）を変形して、下記の式（9）により表される。

[0047] [数9]

$$g(i, j) = I_1(j) + I_{20}(j) e^{-2k(j)t(i)} \pm 2\sqrt{I_1(j)I_{20}(j)} e^{-k(j)t(i)} \cos\{4\pi nt(i)/\lambda(j)\} \quad \cdots (9)$$

[0048] ここで、半透明膜60の表面からの反射光の強さ $I_1(j)$ 、吸収がない場合の半透明膜60の裏面からの反射光の強さ $I_{20}(j)$ 、および、半透明膜60の吸収係数を $k(j)$ は、観測点に依存せず、定数と仮定している。この仮定は、膜厚を推定しようとする対象の半透明膜60の構成が同一（均一）であり、白色光源10から照射される光が均一であれば、一般的に成立する。

[0049] ここで、本実施形態では、上記の干渉縞のモデル輝度値 $g(i, j)$ と、複数点において観測された輝度値とに基づいて、未知変数である $I_1(j)$ 、

$I_{20}(j)$ 、 $k(j)$ および $t(i)$ を推定するように構成されている。具体的には、下記の式 (10) の誤差二乗和を最小にする非線形計画法 (最小二乗法) により、未知変数 (パラメータ) $I_1(j)$ 、 $I_{20}(j)$ 、 $k(j)$ および $t(i)$ を推定する。

[0050] [数10]

$$J = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^m [g(i, j) - g_{ij}]^2 \quad \cdot \cdot \cdot \quad (10)$$

[0051] ここで、 $g(i, j)$ は、上記の式 (9) のモデル輝度値を表し、 g_{ij} は、観測輝度値を表す。

[0052] 次に、上記の未知変数 $I_1(j)$ 、 $I_{20}(j)$ 、 $k(j)$ および $t(i)$ が求められる条件について説明する。単色光の波長の数を m 個、観測点数を N 個とすると、未知変数の数は、 $3m + N$ 個になる。また、 N 個の観測点の数から mN 個の輝度信号が得られる。そして、本実施形態では、下記の式 (11) に基づいて、未知変数である $I_1(j)$ 、 $I_{20}(j)$ 、 $k(j)$ および $t(i)$ を求めるための干渉画像の観測点の数 N を設定するように構成されている。

[0053] [数11]

$$N \geq 3m / (m - 1) \quad \cdot \cdot \cdot \quad (11)$$

[0054] たとえば、本実施形態では、単色光の波長の数は、青、緑および赤の 3 ($m = 3$) であるので、 N は、5 以上になる。すなわち、少なくとも 5 個の観測点のデータがあれば、未知変数を推定することが可能になる。

[0055] 単色光の波長の数が 3 ($m = 3$) であり、観測点の数が N 個の場合、推定 (計測) アルゴリズムは、図 3 に示すように、模式的に表される。すなわち、 $3N$ 個の観測輝度値 ($g(1, B)$ 、 $g(1, G)$ 、 $g(1, R)$ 、 $\dots$ 、 $g(N, B)$ 、 $g(N, G)$ 、 $g(N, R)$) から、 N 個の膜厚 ($t(1)$ 、 $\dots$ 、 $t(N)$) と、9 個のパラメータ ($I_1(B)$ 、 $I_1(G)$ 、

I_1 (R)、 I_{20} (B)、 I_{20} (G)、 I_{20} (R)、 k (B)、 k (G)、 k (R)) が推定される。

[0056] 上記の式 (9) のモデル輝度値は、周期関数である余弦関数 (cos 関数) を含むため、本実施形態の推定アルゴリズムにおいて最小二乗法を用いた場合、局所的極小値 (ローカルミニマム) が多数存在する。したがって、適切な初期値を設定する必要がある。

[0057] 次に、観測輝度値から、 I_1 および I_{20} の概略値を推定する方法について説明する。

[0058] 観測輝度値 (観測点における輝度値) から、輝度値の中央値 a と振幅 b とを、それぞれ、下記の式 (12) および式 (13) により求める。

[0059] [数12]

$$a = (\max + \min) / 2 \quad \dots (12)$$

$$b = (\max - \min) / 2 \quad \dots (13)$$

[0060] ここで、 $\max$ は、輝度値の最大値を表し、 $\min$ は、最小値を表す。

[0061] 次に、上記の式 (9) において、半透明膜 60 の光の吸収が小さい (すなわち、 $e^{-2k(j)t(i)} = 1$ 、 $e^{-k(j)t(i)} = 1$) と仮定すると、下記の式 (14)

および (15) が得られる。

[0062] [数13]

$$a = I_1 + I_{20} \quad \dots (14)$$

$$b = 2\sqrt{I_1 I_{20}} \quad \dots (15)$$

[0063] 上記の式 (14) および式 (15) から、下記の式 (16) および式 (17) が得られる。

[0064] [数14]

$$I_1 = (a \pm \sqrt{a^2 - b^2}) / 2 \quad \dots (16)$$

$$I_{20} = (a \mp \sqrt{a^2 - b^2}) / 2 \quad \dots (17)$$

[0065] ここで、±符号は、 I_1 と I_{20} との大小関係に依存する。この大小関係は、フレネルの式から導出した以下の式（18）により求めることができる。

[0066] [数15]

$$I_1 / I_{20} = (n-1)^2 (n+1)^2 (n+n_B)^2 / 16n^2 (n-n_B)^2 \quad \cdot \cdot \cdot \quad (18)$$

[0067] ここで、 n は、半透明膜60の屈折率を表し、 n_B は、半透明膜60が載置される基板61の屈折率を表す。上記の式（18）が、1以上であれば、式（16）の±符号は、正（+）になり、1未満であれば、負（-）になる。同様に、上記の式（18）が、1以上であれば、式（17）の±符号は、負（-）になり、1未満であれば、正（+）になる。よって、観測輝度値から、 $I_1(j)$ および $I_{20}(j)$ の概略値を推定することができる。

[0068] 他の未知変数 $k(j)$ および $t(i)$ のうち、 $k(j)$ は、周期性がないことから初期値は「0」で問題がない。一方、 $t(i)$ は、 $\cos$ 関数の中にあるので、周期性がある。そこで、 $t(i)$ の初期値は、先験的な情報から精度のよい初期値が設定される。

[0069] 〈輝度合致法〉

次に、1つの未知変数 t を推定するアルゴリズムについて説明する。このアルゴリズムを輝度合致法と呼ぶ。輝度合致法では、GMFT法により推定された3つの未知変数 I_1 、 I_{20} 、 k を用いて、残りの1つの未知変数 t が推定される。

[0070] 上記の式（9）を変形することにより、単色光の各波長（ j ）に対する輝度値と膜厚との関係は、下記の式（19）により表される。

[0071] [数16]

$$g(j) = I_1(j) + I_{20}(j) e^{-2k(j)t} \pm 2\sqrt{I_1(j)I_{20}(j)} e^{-k(j)t} \cos\{4\pi nt / \lambda(j)\} \quad \cdot \cdot \quad (19)$$

[0072] ここで、未知数は、 t のみである。

[0073] すなわち、本実施形態では、GMFT法（上記の式（9））に基づいて求

められた $I_1(j)$ 、 $I_{20}(j)$ および $k(j)$ と、上記の式 (19) とに基づいて、 $I_1(j)$ 、 $I_{20}(j)$ および $k(j)$ を求める際に用いられた干渉画像の観測点以外の観測点の膜厚 t を未知変数として推定するように構成されている。具体的には、上記の干渉縞のモデル輝度値 $g(j)$ と、観測された輝度値とに基づいて、未知変数である t を推定するように構成されている。つまり、下記の式 (20) の誤差二乗和を最小にする非線形計画法により、未知変数 $t(i)$ を推定する。

[0074] [数17]

$$J = \sum_{j=1}^m [g(j) - g_j]^2 \quad \dots (20)$$

[0075] ここで、 $g(j)$ は、上記の式 (19) のモデル輝度値を表し、 g_j は、観測輝度値を表す。

[0076] 上記の式 (19) のモデル輝度値 $g(j)$ は、周期関数を含んでいるため、非線形計画法を用いた場合、局所的極小値（ローカルミニマム）が多数存在する。したがって、一般的な非線形計画法の解法では、初期値近傍の局所解に収束してしまい、正しい解が得られない場合がある。そこで、本実施形態では、マルチスタート法を用いる。すなわち、予想される膜厚の範囲内で、予め設定された刻み間隔を有する複数の初期値からスタートして、非線形計画法を用いることにより、複数の解を求める。そして、求められた複数の解から、誤差二乗和が最小になるものを、大域解として採用する。

[0077] このように、上記の式 (9) または式 (19) を用いて、半透明膜 60 の膜厚 $t(i)$ が推定されるので、分光器や偏光光学系などの比較的複雑な光学系を用いる必要がない分、膜厚測定装置 100 の構成を簡略化することが可能になる。また、撮像した画像（干渉色）から膜厚への変換テーブル（校正データ）などを用いることなく、膜厚 $t(i)$ を推定することが可能になる。また、観測点毎（つまり、干渉画像の画素毎）に膜厚 $t(i)$ を推定することができるので、比較的水平和分解能の高い膜厚測定装置 100 を構成す

ることが可能になる。

[0078] (膜厚測定方法)

次に、図4を参照して、本実施形態による膜厚測定方法について説明する。

[0079] 図4に示すように、ステップS1において、白色光源10から3波長帯域フィルタ20およびハーフミラー31を介して、測定対象である半透明膜60に複数の波長（青、緑、赤）の単色光を含む光が照射される。そして、半透明膜60の表面からの反射光と裏面からの反射光とにより生成される干渉画像がカラーカメラ40により撮像されて、観測輝度値が取得される。

[0080] 次に、ステップS2において、上記の式(11)に基づいて定められる数の観測点を選択される。

[0081] 次に、ステップS3において、未知変数である $I_1(j)$ 、 $I_{20}(j)$ 、 $k(j)$ および $t(i)$ のそれぞれの初期値が設定される。

[0082] 次に、ステップS4において、GMFT法（上記の式(9)）に基づいて、未知変数である $I_1(j)$ 、 $I_{20}(j)$ 、 $k(j)$ および $t(i)$ が推定される。これにより、複数の観測点 (i) に対する $I_1(j)$ 、 $I_{20}(j)$ 、 $k(j)$ および $t(i)$ が一括して推定される。すなわち、半透明膜60の複数の点の膜厚 $t(i)$ が一括して推定される。

[0083] 次に、ステップS5において、GMFT法により推定された $I_1(j)$ 、 $I_{20}(j)$ 、 $k(j)$ を用いて、輝度合致法（上記の式(19)）に基づいて、所望の観測点（GMFT法において使用された観測点以外の観測点）における未知変数である t が推定される。なお、マルチスタート法（複数の初期値からスタートする）を用いることにより、複数の解が求められる。

[0084] 最後に、ステップS6において、求められた複数の解から、誤差二乗和が最小になるもの（つまり大域解）が、膜厚として採用（推定）される。

[0085] (実験)

次に、図5～図8を参照して、GMFT法および輝度合致法の妥当性を確認するための実験について説明する。

[0086] この実験では、図2の上段に示されるカラーチャートを実験対象の画像とした。すなわち、青（B）、緑（G）および赤（R）の各々の波長を、それぞれ、 $\lambda_B = 470\text{ nm}$ 、 $\lambda_G = 560\text{ nm}$ 、および、 $\lambda_R = 600\text{ nm}$ 、とした。また、 $I_1 = 20$ 、 $I_{20} = 80$ 、膜屈折率 $n = 1.4$ とした。また、青（B）、緑（G）および赤（R）の各々の吸収係数を、 $k(B) = 0.0004\text{ (1/nm)}$ 、 $k(G) = 0.0003\text{ (1/nm)}$ 、および、 $k(R) = 0.0002\text{ (1/nm)}$ とした。そして、図2の上段のカラーチャートは、水平方向に200画素を有する。また、非線形計画法（具体的には、最小二乗法）として、マイクロソフト社製のExcel（登録商標）のSolver（登録商標）機能を使用した。

[0087] GMFT法についての実験では、カラーチャートの中の互いに等間隔の6点を観測点として使用した。そして、6点の観測点の輝度値を用いて、GMFT法（上記の式（9））に基づいて、未知変数である $I_1(j)$ 、 $I_{20}(j)$ 、 $k(j)$ および $t(i)$ を推定した。

[0088] また、輝度合致法についての実験では、GMFT法により推定された未知変数である $I_1(j)$ 、 $I_{20}(j)$ 、 $k(j)$ を用いて、輝度合致法（上記の式（19））に基づいて、カラーチャートの水平方向の200個の観測点の膜厚 t を推定した。また、輝度合致法では、半透明膜60の膜厚 t の範囲が 1000 nm であるとして、刻み間隔 100 nm のマルチスタート法を採用した。

[0089] 〈GMFT法についての実験結果〉

図5に示すように、6個の観測点（点番号1～6）の全てにおいて、青（B）、緑（G）および赤（R）の単色光の全てについて、観測された輝度値と、上記の式（9）により推定された輝度値とが、完全に一致した。

[0090] また、図6に示すように、この実験では、未知変数 $I_1(j)$ 、 $I_{20}(j)$ 、 $k(j)$ および $t(i)$ の初期値を、各々の真値の90%としてGMFT法を適用した。その結果、未知変数 $I_1(B, G, R)$ 、 $I_{20}(B, G, R)$ および $k(B, G, R)$ の全てにおいて、真値と一致した。また、図6およ

び図7に示すように、膜厚 t (1~6) の全てにおいて、真値と一致した。すなわち、誤差は、0%であった。これにより、GMFT法が、未知変数 $I_1(j)$ 、 $I_{20}(j)$ 、 $k(j)$ および $t(i)$ の推定に有効であることが確認された。

[0091] 〈輝度合致法についての実験結果〉

図8に示すように、水平方向に沿った200個の観測点(x座標1~200)の全てにおいて、推定された膜厚と真値とが、完全に一致した。これにより、輝度合致法が、未知変数 $t(i)$ の推定に有効であることが確認された。なお、推定された膜厚と真値とが完全に一致しているため、図8では、推定された膜厚の線と真値の線とが重なって表示されている。

[0092] (本実施形態の効果)

次に、本実施形態の効果について説明する。

[0093] 本実施形態では、上記のように、上記の式(9)に基づいて、未知変数である $I_1(j)$ 、 $I_{20}(j)$ 、 $k(j)$ および $t(i)$ を推定する制御部50を設ける。これにより、複数の観測点(i)に対する $I_1(j)$ 、 $I_{20}(j)$ 、 $k(j)$ および $t(i)$ が一括して推定される。すなわち、透明膜の場合と異なり、半透明膜60による光の吸収($e^{-2k(j)t(i)}$ 、 $e^{-k(j)t(i)}$)を考慮した上記式(9)を用いることにより、半透明膜60の複数の点の膜厚 $t(i)$ を一括して推定することができる。その結果、1点ごとに膜厚を推定する場合と比べて、高速に半透明膜60の複数の点の膜厚 $t(i)$ を推定することができる。

[0094] また、本実施形態では、上記のように、上記の式(9)に基づいて求められた $I_1(j)$ 、 $I_{20}(j)$ および $k(j)$ と、上記の式(19)とに基づいて、 $I_1(j)$ 、 $I_{20}(j)$ および $k(j)$ を求める際に用いられた干渉画像の観測点以外の観測点の膜厚 t を未知変数として推定するように制御部50を構成する。これにより、上記の式(19)においては、未知変数の数が膜厚 t の1つであるので、上記の式(9)(未知変数の数が $I_1(j)$ 、 $I_{20}(j)$ 、 $k(j)$ および $t(i)$ の $3m+N$ 個)を用いる場合に比べて、より

高速に膜厚 t を推定することができる。

[0095] また、本実施形態では、上記のように、未知変数に初期値を設定するとともに、未知変数を含む関数から算出される値に基づいて、目的関数を最小化する非線形計画法により、未知変数を推定するように制御部 50 を構成する。これにより、未知変数を含む関数が解析的に解けない場合（非線形関数の場合）でも、未知変数を推定することができる。

[0096] また、本実施形態では、上記のように、複数の単色光の波長数を m 、干渉画像の観測点の数を N とした場合、上記の式 (11) に基づいて、未知変数である $I_1(j)$ 、 $I_{20}(j)$ 、 $k(j)$ および $t(i)$ を求めるための干渉画像の観測点の数 N を設定する。これにより、未知変数に対して最低限必要な干渉画像の観測点の数を、上記の式 (11) に基づいて、容易に求めることができる。

[0097] また、本実施形態では、上記のように、複数の単色光は、青、緑および赤の 3 色の単色光を含む。これにより、3 色の単色光の波長が各々異なるので、3 色の単色光の干渉により生成される干渉色が膜厚によって変化する。その結果、観測点において観測された輝度値 $g(i, j)$ （または輝度値 $g(j)$ ）に基づいて、膜厚を推定することができる。

[0098] [変形例]

なお、今回開示された実施形態および実施例は、すべての点で例示であって制限的なものではないと考えられるべきである。本発明の範囲は、上記した実施形態および実施例の説明ではなく特許請求の範囲によって示され、さらに特許請求の範囲と均等の意味および範囲内でのすべての変更（変形例）が含まれる。

[0099] たとえば、上記実施形態では、3 波長帯域フィルタを介して、青、緑および赤の単色光が半透明膜に照射される例を示したが、本発明はこれに限られない。たとえば、青、緑および赤の単色光を照射する光源から、半透明膜に光を照射してもよい。

[0100] また、上記実施形態では、青、緑および赤の 3 つの単色光が半透明膜に照

射される例を示したが、本発明はこれに限られない。たとえば、2つの単色光が半透明膜に照射されるようにしてもよい。

[0101] また、上記実施形態（実験）では、GMFT法（上記の式（9））において、6個の観測点の輝度値が用いられる例を示したが、本発明はこれに限られない。本発明では、上記の式（11）を満たせば、6個以外の数の観測点の輝度値を用いてもよい。

[0102] また、上記実施形態（実験）では、膜厚の推定にマルチスタート法（複数の初期値からスタートする）を用いる例を示したが、本発明はこれに限られない。膜厚の概略値（精度の良い初期値）が分かっている場合には、1つの初期値から膜厚を推定してもよい。

符号の説明

- [0103] 10 白色光源（光源）
 40 カラーカメラ（撮像部）
 50 制御部
 60 半透明膜
 100 膜厚測定装置

請求の範囲

[請求項1] 測定対象である半透明膜に複数の波長の単色光を含む光を照射する光源と、

前記光源から照射され、前記半透明膜の表面からの反射光と裏面からの反射光とにより生成される干渉画像を撮像する撮像部と、

前記撮像部により撮像された前記干渉画像の観測点番号を i 、前記単色光の波長の種類に対する番号を j 、前記単色光の波長を $\lambda(j)$ 、前記半透明膜の膜屈折率を n 、前記観測点において観測された輝度値を $g(i, j)$ 、前記半透明膜の表面からの反射光の強さを $I_1(j)$ 、前記半透明膜における光の吸収がない場合の裏面からの反射光の強さを $I_{20}(j)$ 、前記半透明膜の吸収係数を $k(j)$ 、前記半透明膜の膜厚を $t(i)$ とした場合、以下の式(1)に基づいて、未知変数である $I_1(j)$ 、 $I_{20}(j)$ 、 $k(j)$ および $t(i)$ を推定する制御部とを備える、膜厚測定装置。

[数1]

$$g(i, j) = I_1(j) + I_{20}(j) e^{-2k(j)t(i)} \pm 2\sqrt{I_1(j)I_{20}(j)} e^{-k(j)t(i)} \cos\{4\pi n t(i)/\lambda(j)\} \quad \cdots (1)$$

[請求項2] 前記制御部は、上記の式(1)に基づいて求められた $I_1(j)$ 、 $I_{20}(j)$ および $k(j)$ と、以下の式(2)とに基づいて、 $I_1(j)$ 、 $I_{20}(j)$ および $k(j)$ を求める際に用いられた前記干渉画像の観測点以外の観測点の膜厚 t を未知変数として推定するように構成されている、請求項1に記載の膜厚測定装置。

[数2]

$$g(j) = I_1(j) + I_{20}(j) e^{-2k(j)t} \pm 2\sqrt{I_1(j)I_{20}(j)} e^{-k(j)t} \cos\{4\pi n t / \lambda(j)\} \quad \cdots (2)$$

[請求項3] 前記制御部は、前記未知変数に初期値を設定するとともに、前記未

知変数を含む関数から算出される値に基づいて、目的関数を最小化する非線形計画法により、前記未知変数を推定するように構成されている、請求項 1 または 2 に記載の膜厚測定装置。

[請求項4] 前記複数の単色光の波長を m 、前記干渉画像の観測点の数を N とした場合、以下の式 (3) に基づいて、前記未知変数である $I_1(j)$ 、 $I_{20}(j)$ 、 $k(j)$ および $t(i)$ を求めるための前記干渉画像の観測点の数 N を設定するように構成されている、請求項 1 または 3 に記載の膜厚測定装置。

[数3]

$$N \geq 3m/(m-1) \quad \cdot \cdot \cdot \quad (3)$$

[請求項5] 前記複数の単色光は、青、緑および赤の 3 色の単色光を含む、請求項 1 に記載の膜厚測定装置。

[請求項6] 測定対象である半透明膜に複数の波長の単色光を含む光を照射する工程と、

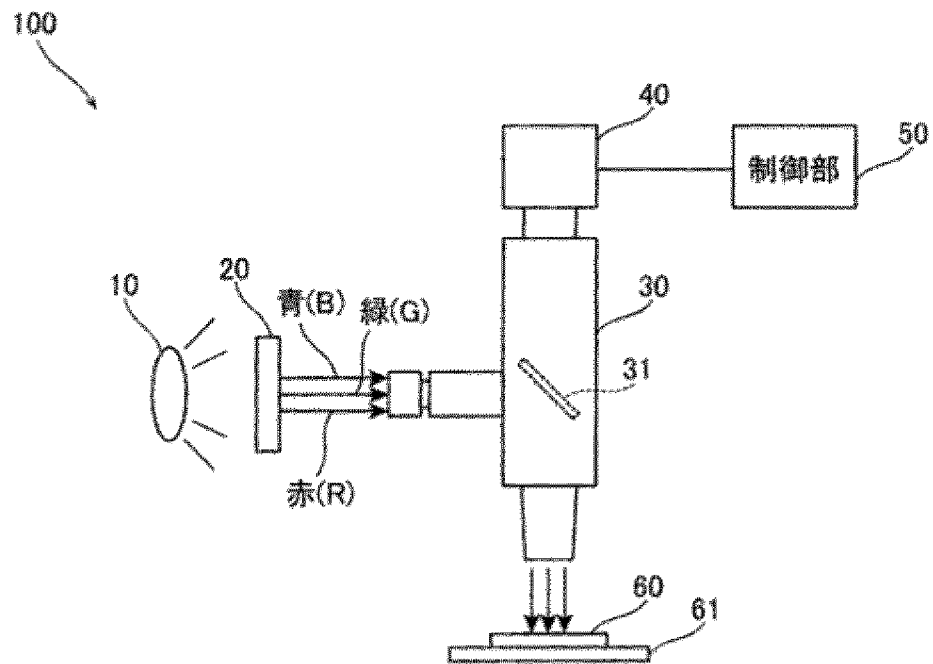
前記半透明膜の表面からの反射光と裏面からの反射光とにより生成される干渉画像を撮像する工程と、

撮像された前記干渉画像の観測点番号を i 、前記単色光の波長の種類に対する番号を j 、前記単色光の波長を $\lambda(j)$ 、前記半透明膜の膜屈折率を n 、前記観測点において観測された輝度値を $g(i, j)$ 、前記半透明膜の表面からの反射光の強さを $I_1(j)$ 、前記半透明膜における光の吸収がない場合の裏面からの反射光の強さを $I_{20}(j)$ 、前記半透明膜の吸収係数を $k(j)$ 、前記半透明膜の膜厚を $t(i)$ とした場合、以下の式 (4) に基づいて、未知変数である $I_1(j)$ 、 $I_{20}(j)$ 、 $k(j)$ および $t(i)$ を推定する工程とを備える、膜厚測定方法。

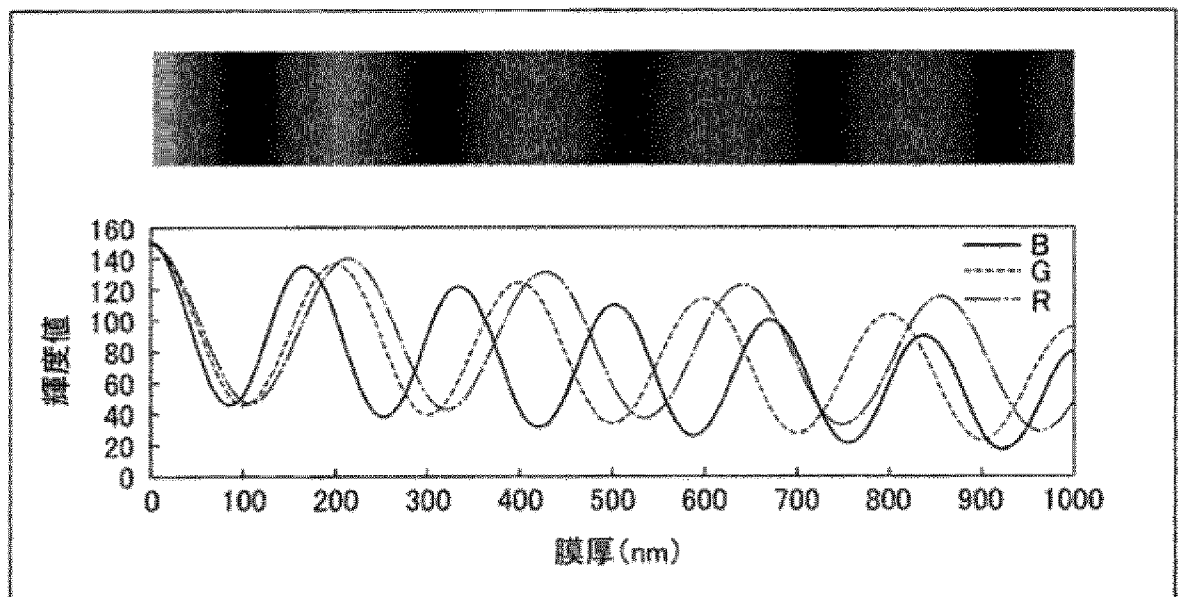
[数4]

$$g(i, j) = I_1(j) + I_{20}(j) e^{-2k(j)t(i)} \pm 2\sqrt{I_1(j)I_{20}(j)} e^{-k(j)t(i)} \cos\{4\pi n t(i)/\lambda(j)\} \quad \cdot \cdot \quad (4)$$

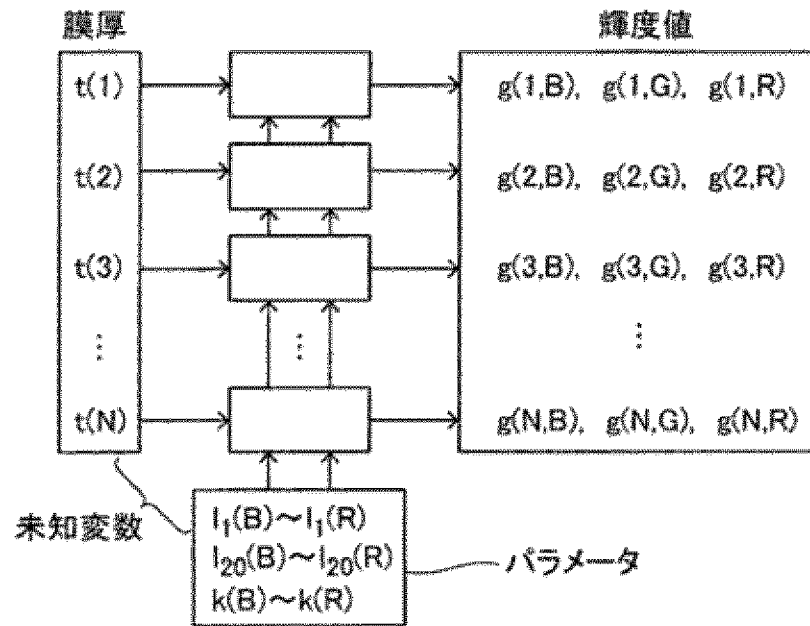
[図1]



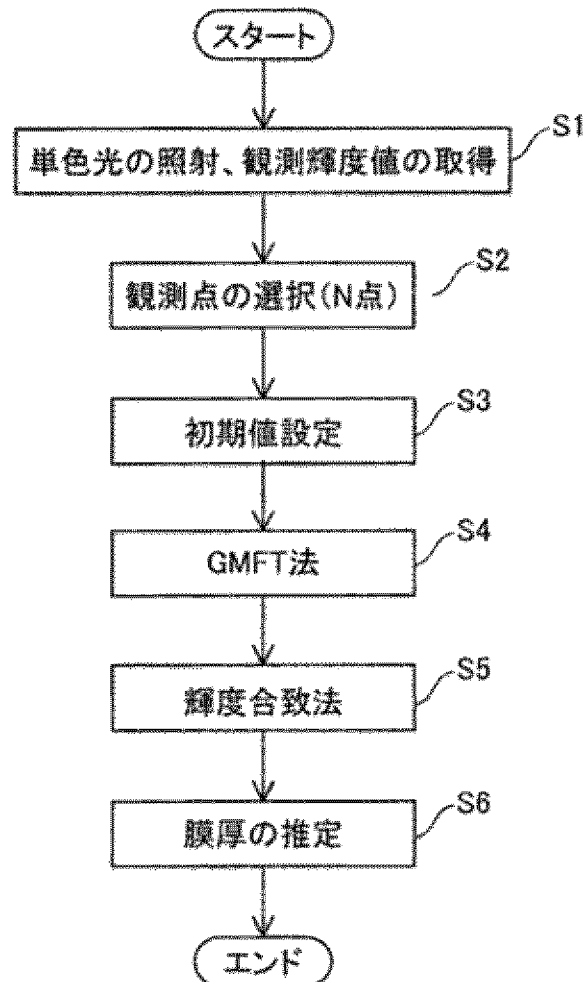
[図2]



[図3]



[図4]



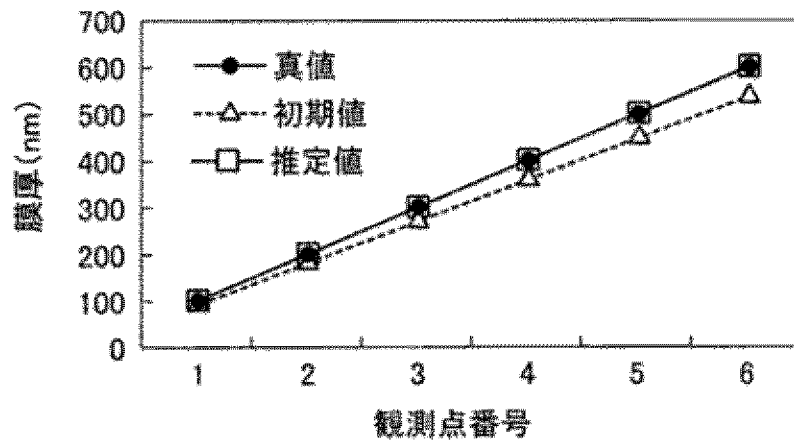
[図5]

点番号	座標	観測輝度			推定輝度		
		B	G	R	B	G	R
1	21	47	26	30	47	26	30
2	41	97	163	186	97	163	186
3	61	130	22	29	130	22	29
4	81	13	133	175	13	133	175
5	101	119	23	31	119	23	31
6	121	57	105	163	57	105	163

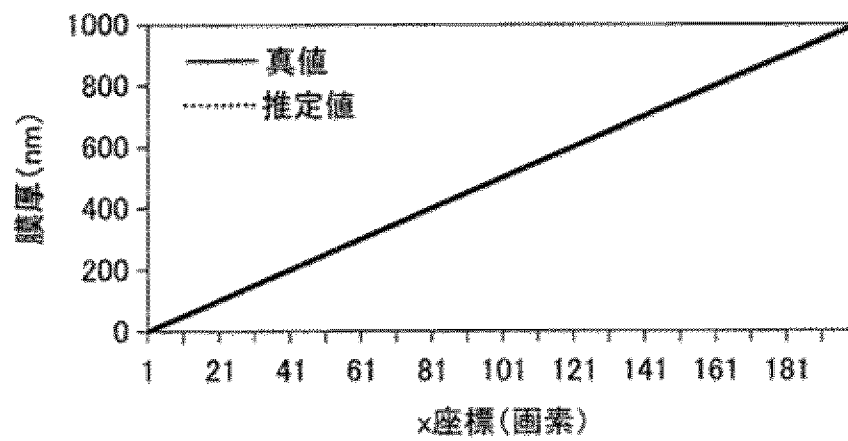
[図6]

変数		真値	初期値	推定値	誤差(%)
t	t(1)	100.0	90.0	100.0	0.00
	t(2)	200.0	180.0	200.0	0.00
	t(3)	300.0	270.0	300.0	0.00
	t(4)	400.0	360.0	400.0	0.00
	t(5)	500.0	450.0	500.0	0.00
	t(6)	600.0	540.0	600.0	0.00
I ₁	B	20.0	18.0	20.0	0.00
	G	20.0	18.0	20.0	0.00
	R	20.0	18.0	20.0	0.00
I ₂₀	B	80.0	72.0	80.0	0.00
	G	80.0	72.0	80.0	0.00
	R	80.0	72.0	80.0	0.00
k	B	0.00040	0.00036	0.00040	0.00
	G	0.00030	0.00027	0.00030	0.00
	R	0.00020	0.00018	0.00020	0.00

[図7]



[図8]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2016/054509

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G01B11/06(2006.01) i

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)

G01B11/00-11/30

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	1996-2016
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2016	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2016

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 2013-145229 A (Toray Engineering Co., Ltd.), 25 July 2013 (25.07.2013), entire text; all drawings & WO 2013/088871 A1	1-6
A	JP 7-71924 A (Hitachi, Ltd.), 17 March 1995 (17.03.1995), entire text; all drawings (Family: none)	1-6
A	JP 7-63524 A (JASCO Corp.), 10 March 1995 (10.03.1995), entire text; all drawings (Family: none)	1-6

☒ 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
04 March 2016 (04.03.16)

Date of mailing of the international search report
15 March 2016 (15.03.16)

Name and mailing address of the ISA/
Japan Patent Office
3-4-3, Kasumigaseki, Chiyoda-ku,
Tokyo 100-8915, Japan

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2016/054509

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	Katsuichi KITAGAWA, Masafumi OTSUKI, "Wide-view Transparent Film Thickness Measurement System by Interference Color Analysis", Journal of the Japan Society of Precision Engineering, 05 January 2014 (05.01.2014), vol.79(2013), no.11, pages 1078 to 1082	1-6
A	US 6392756 B1 (N & K TECHNOLOGY, INC.), 21 May 2002 (21.05.2002), entire text; all drawings (Family: none)	1-6

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（I P C））

Int.Cl. G01B11/06(2006.01)i

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（I P C））

Int.Cl. G01B11/00-11/30

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	1 9 2 2 - 1 9 9 6 年
日本国公開実用新案公報	1 9 7 1 - 2 0 1 6 年
日本国実用新案登録公報	1 9 9 6 - 2 0 1 6 年
日本国登録実用新案公報	1 9 9 4 - 2 0 1 6 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 請求項の番号
A	JP 2013-145229 A（東レエンジニアリング株式会社）2013.07.25, 全文, 全図 & WO 2013/088871 A1	1-6
A	JP 7-71924 A（株式会社日立製作所）1995.03.17, 全文, 全図 （ファミリーなし）	1-6
A	JP 7-63524 A（日本分光株式会社）1995.03.10, 全文, 全図 （ファミリーなし）	1-6

☒ 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

0 4 . 0 3 . 2 0 1 6

国際調査報告の発送日

1 5 . 0 3 . 2 0 1 6

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁（I S A / J P）

郵便番号 1 0 0 - 8 9 1 5

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）

岸 智史

2 S

6 2 0 0

電話番号 0 3 - 3 5 8 1 - 1 1 0 1 内線 3 2 5 8

C (続き) . 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 請求項の番号
A	北川克一, 大槻真左文, 干渉色画像解析による透明膜の広視野膜厚分布測定装置の開発, 精密工学会誌, 2014.01.05, Vol. 79(2013), No. 11, p. 1078-1082	1-6
A	US 6392756 B1 (N & K TECHNOLOGY, INC.) 2002.05.21, 全文, 全図 (ファミリーなし)	1-6