

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第5500354号  
(P5500354)

(45) 発行日 平成26年5月21日(2014.5.21)

(24) 登録日 平成26年3月20日(2014.3.20)

(51) Int.Cl.		F I			
<b>GO 1 B</b>	<b>11/06</b>	<b>(2006.01)</b>	<b>GO 1 B</b>	<b>11/06</b>	<b>H</b>
<b>GO 1 B</b>	<b>11/24</b>	<b>(2006.01)</b>	<b>GO 1 B</b>	<b>11/24</b>	<b>K</b>
<b>GO 1 N</b>	<b>21/41</b>	<b>(2006.01)</b>	<b>GO 1 N</b>	<b>21/41</b>	<b>Z</b>

請求項の数 5 (全 10 頁)

(21) 出願番号	特願2010-76773 (P2010-76773)
(22) 出願日	平成22年3月30日(2010.3.30)
(65) 公開番号	特開2011-209098 (P2011-209098A)
(43) 公開日	平成23年10月20日(2011.10.20)
審査請求日	平成25年3月27日(2013.3.27)

(73) 特許権者	000004112 株式会社ニコン 東京都千代田区有楽町1丁目12番1号
(74) 代理人	100140800 弁理士 保坂 丈世
(72) 発明者	西川 孝 東京都千代田区丸の内3丁目2番3号 株式会社ニコン内

審査官 ▲うし▼田 真悟

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 膜構造測定方法及び表面形状測定装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

物体に形成された測定対象膜に光を照射して前記測定対象膜の膜構造を測定する膜構造測定方法であって、

前記光から前記測定対象膜の表面の形状である表面形状データ及び前記測定対象膜と前記物体との界面の形状である界面形状データを測定するステップと、

前記表面形状データに対して当該表面形状データとの差分の平均値がほぼ0となる第1の基準面を算出して前記差分を補正された表面形状データとして算出するとともに、前記界面形状データに対して当該界面形状データとの差分の平均値がほぼ0となる第2の基準面を算出して前記差分を補正された界面形状データとして算出するステップと、

前記補正された表面形状データ及び前記補正された界面形状データの相関係数を算出し前記相関係数の絶対値が最小となる条件から、前記測定対象膜の屈折率を算出するステップと、を有する膜構造測定方法。

【請求項2】

前記基準面は直平面である請求項1に記載の膜構造測定方法。

【請求項3】

前記補正された表面形状データを  $S_c$  とし、前記補正された界面形状を  $K_c$  としたとき、前記屈折率  $n$  は、次式

【数 8】

$$n = 1 - \frac{\sum S_c K_c'}{\sum S_c^2}$$

により算出される請求項 1 または 2 に記載の膜構造測定方法。

【請求項 4】

前記表面形状データ、前記界面形状データ及び前記屈折率から、前記測定対象膜の膜厚分布を算出するステップをさらに有する請求項 1 ~ 3 のいずれか一項に記載の膜構造測定方法。

【請求項 5】

物体及び当該物体の表面に形成された測定対象膜に光を照射して前記測定対象膜の表面の形状である表面形状データ及び前記測定対象膜と前記物体との界面の形状である界面形状データを取得する撮像装置と、

請求項 1 ~ 4 のいずれか一項に記載の膜構造測定方法により前記測定対象膜の膜構造を算出する制御用プロセッサと、を有する表面形状測定装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、膜構造測定方法及び表面形状測定装置に関する。

【背景技術】

【0002】

プリント基板の表面には、例えば絶縁することを目的に透明な膜（透明膜）が形成されている。このような透明膜に対しては、例えば、白色干渉法を用いた表面形状測定装置を用いることにより、透明膜の表面で反射した測定光から透明膜の表面の形状データを得ることができ、また、透明膜を透過させて、透明膜とプリント基板表面との界面で反射した測定光からこの界面の形状データ（界面形状データ）を得ることができる（例えば、特許文献 1 参照）。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0003】

【特許文献 1】特公平 6 - 5 4 2 1 7 号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

しかしながら、透明膜を透過した光により測定された界面形状のデータは、表面形状の影響を受けている。すなわち、この透明膜の屈折率により実際の界面形状からずれて観測されてしまう。透明膜の屈折率が正確に分かっている場合には演算により正確な界面形状を求めることができるが、透明膜が形成されたときの条件（透明膜の材料の製造工程や塗布工程等）やその後の経年変化等により屈折率は変化する可能性があるため、正確な界面形状を求めることができないという課題があった。このような膜厚測定としてはエリプソメータが使用されるが、基本的に点の測定であるため、例えば透明膜の不良解析を行う場合のようにその不良部分を調査しなければならない場合には、効率的な解析を行うことができない。

【0005】

本発明はこのような課題に鑑みてなされたものであり、測定対象膜に光を照射して測定される表面形状データ及び界面形状データから、この測定対象膜の屈折率を得ることができる膜構造測定方法、及び、この膜構造測定方法により測定対象膜の膜構造を測定する表面形状測定装置を提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0006】

10

20

30

40

50

前記課題を解決するために、本発明に係る膜構造測定方法は、物体に形成された測定対象膜に光を照射してこの測定対象膜の膜構造を測定する膜構造測定方法であって、前記光から測定対象膜の表面の形状である表面形状データ及び測定対象膜と物体との界面の形状である界面形状データを測定するステップと、表面形状データに対して当該表面形状データとの差分の平均値がほぼ0となる第1の基準面を算出してこの差分を補正された表面形状データとして算出するとともに、界面形状データに対して当該界面形状データとの差分の平均値がほぼ0となる第2の基準面を算出してこの差分を補正された界面形状データとして算出するステップと、補正された表面形状データ及び補正された界面形状データの相関係数を算出しこの相関係数の絶対値が最小となる条件から、測定対象膜の屈折率を算出するステップと、を有する。

10

【0007】

このような膜構造測定方法において、基準面は直平面であることが好ましい。

【0008】

また、このような膜構造測定方法において、補正された表面形状データを $S_c$ とし、補正された界面形状を $K_c$ としたとき、屈折率 $n$ は、次式

【数1】

$$n = 1 - \frac{\sum S_c K_c'}{\sum S_c^2}$$

により算出することができる。

20

【0009】

また、このような膜構造測定方法は、前記表面形状データ、前記界面形状データ及び前記屈折率から、前記測定対象膜の膜厚分布を算出するステップをさらに有することが好ましい。

【0010】

また、本発明に係る表面形状測定装置は、物体及び当該物体の表面に形成された測定対象膜に光を照射して測定対象膜の表面の形状である表面形状データ及び測定対象膜と物体との界面の形状である界面形状データを取得する撮像装置と、上述の膜構造測定方法のいずれかにより測定対象膜の膜構造を算出する制御用プロセッサと、を有する。

【発明の効果】

30

【0011】

本発明に係る膜構造測定方法及びこの方法を用いた表面形状測定装置によれば、測定対象膜に光を照射して測定される表面形状データ及び界面形状データから、この測定対象膜の屈折率を得ることができ、さらにこの屈折率を用いて、真の界面形状データや膜厚分布を得ることができる。

【図面の簡単な説明】

【0012】

【図1】表面形状測定装置の構成を示す説明図である。

【図2】上記表面形状測定装置の光学系を示す説明図である。

【図3】試料と測定結果との関係を示す説明図であって、(a)はプリント基板上に透明膜が形成された試料の断面図を示し、(b)はその測定結果を示す。

40

【図4】膜構造測定方法を示すフローチャートである。

【図5】直平面補正を示す説明図であって、(a)は表面データ及び界面データと直平面との関係を示し、(b)は直平面補正された結果を示す。

【図6】透明膜の屈折率と表面形状データ及び界面形状データとの関係を示す説明図である。

【発明を実施するための形態】

【0013】

以下、本発明の好ましい実施形態について図面を参照して説明する。まず、図1及び図2を用いて、物体に形成された測定対象膜の表面形状及び界面形状を測定する表面形状測

50

定装置の一例として、白色干渉法を用いた表面形状測定装置の構成について説明する。この表面形状測定装置 100 は、試料 105 を走査してこの試料 105 の画像を取得する撮像装置 109 と、この撮像装置 109 の作動の制御及び取得された画像から試料の膜構造（透明膜の屈折率や表面及び界面形状等）を算出する制御用プロセッサ 110 と、この制御用プロセッサ 110 による処理結果を表示するディスプレイ装置 111 と、を有して構成される。

#### 【0014】

撮像装置 109 は、撮像素子 14 が内蔵された撮像カメラ 101 と、光学系が格納された顕微鏡鏡筒装置 102 と、 piezo 素子 16 を有し対物レンズユニット 15 を駆動して試料 105 を垂直走査する piezo 駆動装置 103 と、対物レンズユニット 15 が格納された顕微鏡対物レンズ 104 と、試料 105 が載置される顕微鏡用試料台 106 と、白色光を放射して試料 105 を照明する光源 1 が格納された顕微鏡用照明装置 107 と、顕微鏡鏡筒装置 102 や顕微鏡照明装置 107 を支持する顕微鏡ベース 108 と、を有して構成される。なお、piezo 素子 16 の駆動制御及び撮像素子 14 から出力される信号の処理は上述の制御用プロセッサ 110 により行われる。

10

#### 【0015】

また、この表面形状測定装置 100 の光学系は、光源 1 から放射された光を集光して試料 105 に照射する照明光学系 2 と、試料 105 からの光を集光してこの試料 105 の像を撮像素子 14 の撮像面上に結像する結像光学系 3 と、を有して構成される。

#### 【0016】

照明光学系 2 は、光源 1 側から順に、この光源 1 から放射された光を略平行光に変換する集光レンズ 4 と、この略平行光を一旦結像してさらに略平行光としてリレーする第 1 リレーレンズ 6 及び第 2 リレーレンズ 8 と、第 2 リレーレンズ 8 から出射した略平行光の一部を試料 105 の方向へ反射するハーフミラー（若しくはハーフプリズム）9 と、このハーフミラー 9 で反射された光を試料 105 上に集光して照射する対物レンズユニット 15 と、から構成されている。なお、第 1 リレーレンズ 6 と第 2 リレーレンズ 8 との間に開口絞り 7 が設けられており、また、第 2 リレーレンズ 8 とハーフミラー 9 との間に視野絞り 5 が設けられている。

20

#### 【0017】

一方、結像光学系 3 は、試料 105 側から順に、この試料 105 で反射した光を集光する対物レンズユニット 15 と、対物レンズユニット 15 からの光の一部を透過するハーフミラー 9 と、ハーフミラー 9 を透過した光を集光して撮像素子 14 の撮像面上に結像する結像レンズ 13 と、から構成されている。

30

#### 【0018】

ここで、対物レンズユニット 15 は、対物レンズ 10 と、対物レンズ 10 から出射した光の一部を透過して試料 105 に導き、残りの光を反射するハーフミラー（若しくはハーフプリズム）11 と、対物レンズ 10 の試料 105 側の焦点と共役な位置に配置され、ハーフミラー 11 で反射した光を反射する参照ミラー 12 とが一体に構成されている。なお、この対物レンズユニット 15 は、piezo 素子 16 により対物レンズ 10 の光軸に沿って振動される。

40

#### 【0019】

このような構成の表面形状測定装置 100 によると、光源 1 から放射された光は照明光学系 2 により対物レンズユニット 15 に導かれ対物レンズ 10 で集光される。この対物レンズ 10 で集光された光はハーフミラー 11 に入射し、一部の光は透過して試料 105 上に集光され、残りの光は反射して参照ミラー 12 上に集光される。そして、試料 105 で反射した光（この光を「測定光」と呼ぶ）はハーフミラー 11 に再度入射してその一部が透過し、また、参照ミラー 12 で反射した光（この光を「参照光」と呼ぶ）もハーフミラー 11 に再度入射してその一部が撮像素子 14 側に反射するため、これらの測定光及び参照光が重畳されて対物レンズ 10 に入射し、結像光学系 3 により撮像素子 14 の撮像面上に試料 105 の像として結像される。

50

## 【0020】

対物レンズユニット15において、対物レンズ10の焦点面と参照ミラー12の反射面とは上述したように共役であるので、ハーフミラー11で重畳された測定光と参照光とは干渉する。そのため、この対物レンズユニット15をピエゾ素子16で光軸方向に振動させると、対物レンズ10の焦点面にある試料105から出射した測定光は強められ、それ以外から出射した測定光は弱められるため、撮像素子14で得られる試料105の像は、対物レンズ10の焦点面にある部分が明るくなり、それ以外の部分が暗くなる（干渉縞を形成する）。そのため、この像から試料105の高さ情報を算出してその形状を測定することができる。なお、本実施形態に係る表面形状測定装置100の対物レンズユニット15においては、測定光と参照光との干渉をマイケルソン型としているが、ミラウ型やリン

10

## 【0021】

ここで、試料105が、図3(a)に示すように、プリント基板(物体)105aの表面に透明膜(測定対象膜)105bが形成されている場合であって、この透明膜105bの表面105c、及び、プリント基板105aの表面、すなわち、プリント基板105aと透明膜105bとの界面105dの形状を測定する場合について説明する。なお、説明を簡単にするために、界面105dは、直平面であって、対物レンズ10の光軸と直交するように配置されているものとする。

## 【0022】

表面形状測定装置100の撮像素子14から出力される試料105の画像を用いて算出される透明膜105bの表面105cの形状の測定値(以下、「表面形状データ」と呼ぶ)を $S(i, j)$ とし、界面105dの形状の測定値(以下、「界面形状データ」と呼ぶ)を $K(i, j)$ とすると、測定で得られる界面形状データ $K(i, j)$ は透明膜105bの屈折率 $n$ の影響を受けているため、真の界面形状データ $K(i, j)$ は次式(1)で求められる。なお、 $(i, j)$ は撮像素子14の撮像面(若しくは、この撮像素子14で撮像される試料105の像)の座標である。ここで、撮像素子14の撮像面は、対物レンズ10の光軸に直交するように配置されているものとする。また、図3(b)に示すように、表面形状データ $S(i, j)$ 、界面形状データ $K(i, j)$ 、 $K(i, j)$ は、対物レンズ10の光軸方向で、試料105に対して照射される光の進む方向を正として表すものとする。

20

30

## 【0023】

## 【数2】

$$K(i, j) = S(i, j) + \frac{1}{n} (K'(i, j) - S(i, j)) \quad (1)$$

## 【0024】

この式(1)において、第2項の $(K(i, j) - S(i, j))$ は、試料105において、座標 $(i, j)$ に相当する場所の表面105cと界面105dとの光学距離を表している。この式(1)より、座標 $(i, j)$ における真の界面形状データ $K$ 及び透明膜105bの厚さを計算するためには、透明膜105bの屈折率 $n$ の正確な値が必要となる。透明膜105bの屈折率 $n$ の正確な値を測定するためには、上述のように、例えば、エリプソメトリの原理に基づく専用の装置で計測する方法があるが、表面形状の測定箇所毎に、別の装置により屈折率を測定することは煩雑であり、測定作業の効率が低下する。そこで、表面形状測定装置100により得られる表面形状データ $S(i, j)$ 及び測定された界面形状データ $K(i, j)$ からその箇所の透明膜105bの屈折率 $n$ を求める膜構造測定方法について図4に示すフローチャートに基づいて以下に説明する。なお、以降の説明では座標 $(i, j)$ は省略する。また、以下の処理は、本実施形態の場合、制御用プロセッサ110で実行される。

40

## 【0025】

まず、制御用プロセッサ110は、ピエゾ素子16を作動させて試料105の表面を光

50

軸方向に走査（ピエゾ走査）して撮像素子 14 により試料 105 の画像を取得する（ステップ S200）。そして、この画像から表面形状データ S を算出し（ステップ S210）、さらに界面形状データ K を算出する（ステップ S220）。

【0026】

次に、測定で得られた表面形状データ S 及び界面形状データ K の各々を基準となる面により補正して補正された表面形状データ  $S_c$  及び界面形状データ  $K_c$  を算出する（ステップ S230）。具体的には、図 5（a）に示すように、基準面として補正された結果の平均値がほぼ 0 となるような直平面  $S_0$ 、 $K_0$  を最小二乗法などで求め、図 5（b）に示すように、表面形状データ S 及び界面形状データ K と直平面  $S_0$ 、 $K_0$  との差分から、補正された表面形状データ  $S_c$  及び界面形状データ  $K_c$  を求める。なお、図 5（b）は、直平面 O に対する補正された表面形状データ  $S_c$  及び界面形状データ  $K_c$  との関係を示している。

10

【0027】

ここで、補正された表面形状データ  $S_c$  と同様の方法で補正された真の界面形状データ  $K_c$  との相関係数 C を求めると、次式（2）のように表される。なお、この式（2）において、バー付の  $S_c$  及びバー付の  $K_c$  はそれぞれ、補正された表面形状データ  $S_c$  及び真の界面形状データ  $K_c$  の平均値である。また、 $i, j$  は、座標（i, j）で表されるデータの総和を示している。

【0028】

【数 3】

$$C = \frac{\sum\{(S_c - \bar{S}_c) \times (K_c - \bar{K}_c)\}}{\sqrt{\sum(S_c - \bar{S}_c)^2} \times \sqrt{\sum(K_c - \bar{K}_c)^2}} \quad (2)$$

20

【0029】

この式（2）において、真の界面形状データ K を上述の式（1）で置き換えて  $K_c$  で表すと相関係数 C は、次式（3）のように表される。なお、この式（3）において、補正された表面形状データ  $S_c$  及び界面形状データ  $K_c$ 、 $K_c$  の平均値は、上述のように 0 である。

【0030】

【数 4】

$$C = \frac{\sum\{S_c \times (S_c + \frac{1}{n} \times K_c' - \frac{1}{n} \times S_c)\}}{\sqrt{\sum S_c^2} \times \sqrt{(S_c + \frac{1}{n} \times K_c' - \frac{1}{n} \times S_c)^2}} \quad (3)$$

30

【0031】

ここで、図 6 に示すように、透明膜 105 b の表面 105 c が、対物レンズ 10 側に向かって凸であるとすると、透明膜の屈折率 n と表面形状データ S 及び測定された界面形状データ K とから式（1）により算出される界面形状データは、屈折率 n が真の値の場合に真の界面形状データ K と一致するが、屈折率 n が真の値より大きい場合には表面 105 c 側に凸となり（図 6 における K+）、反対に屈折率 n が真の値より小さい場合には表面 105 c と反対側に凸となって算出される（図 6 における K-）。これにより、補正された表面形状  $S_c$  と補正された真の界面形状  $K_c$  との相関係数 C の絶対値は、透明膜 105 b の屈折率 n が真の値のときに最小となることが判る。したがって、式（3）で示される相関係数 C の二乗が最小になる屈折率 n の値を求めれば、透明膜 105 b の真の屈折率を求めることができる。具体的には、次式（4）に示すように、相関係数 C の二乗を屈折率 n で偏微分した値が 0 となるときである。

40

【0032】

【数 5】

$$\frac{\partial C^2}{\partial n} = 2C \frac{\partial C}{\partial n} = 0 \quad (4)$$

【0033】

上述のように、屈折率  $n$  を真の値を挟んで変化させると相関係数  $C$  は変化するため、この相関係数  $C$  の屈折率  $n$  による偏微分の値 ( $C/n$ ) は 0 ではない。よって、式 (4) において、相関係数  $C$  が 0 になる屈折率  $n$  が真の値ということになる。すなわち、式 (3) の相関係数  $C$  を 0 として、次式 (5) のように表される。

【0034】

【数 6】

$$\sum \left\{ S_C \times \left( S_C + \frac{1}{n} \times K'_C - \frac{1}{n} \times S_C \right) \right\} = 0 \quad (5)$$

【0035】

そして、この式 (5) から屈折率  $n$  を求めると、次式 (6) のように表される。

【0036】

【数 7】

$$n = 1 - \frac{\sum S_C K'_C}{\sum S_C^2} \quad (6)$$

【0037】

以上より、直平面補正された表面形状データ  $S_C$  及び界面形状データ  $K_C$  を式 (6) に代入することにより、撮像素子 14 で撮像された領域の透明膜 105b の屈折率  $n$  を求めることができる (ステップ S240)。そして、このようにして求められた屈折率  $n$  から、透明膜 105b の膜厚分布や、真の界面形状  $K$  を算出し (ステップ S250)、その結果が、例えば制御用プロセッサ 110 によりディスプレイ装置 111 に表示される (ステップ S260)。

【0038】

図 3 (b) に示すように、表面形状データ  $S$  が対物レンズ 10 側に凸形状を有すると、直平面の界面 105d に対して測定される界面形状データ  $K$  は対物レンズ 10 と反対側に凸になる。すなわち、表面形状データの補正值  $S_C$  が負になるときは測定された界面形状データの補正值  $K_C$  は正になり、反対に、表面形状データの補正值  $S_C$  が正になるときは測定された界面形状データの補正值  $K_C$  は負になるため、式 (6) における第 2 項の分子は負になる。そのため、この式 (6) の第 2 項全体も負となるので、式 (6) から求められる屈折率  $n$  は 1 よりも大きくなる。すなわち、物質の屈折率は 1 より大きいため、この式 (6) はこの特性に合致していると言える。

【0039】

なお、以上の説明では白色干渉を用いて表面形状及び界面形状を測定する場合について説明したが、本発明がこの構成の表面形状測定装置に限定されることはなく、例えば、コンフォーカル顕微鏡等にも適用することができる。また、膜構造測定方法において、測定で得られた表面形状データ  $S$  及び界面形状データ  $K$  を直平面で補正する場合について説明したが、4 次曲面で補正することも可能である。

【符号の説明】

【0040】

105a プリント基板 (物体)      105b 透明膜 (測定対象膜)  
109 撮像装置      110 制御用プロセッサ

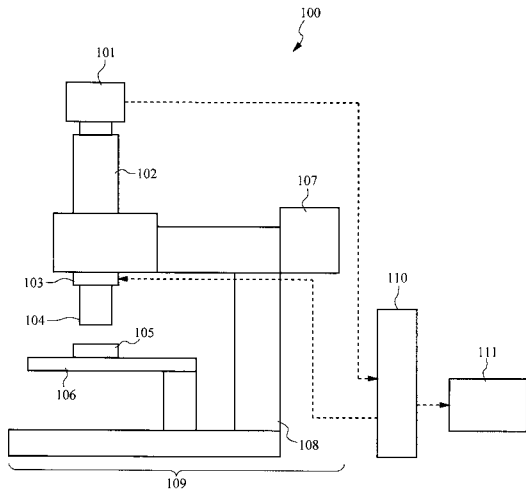
10

20

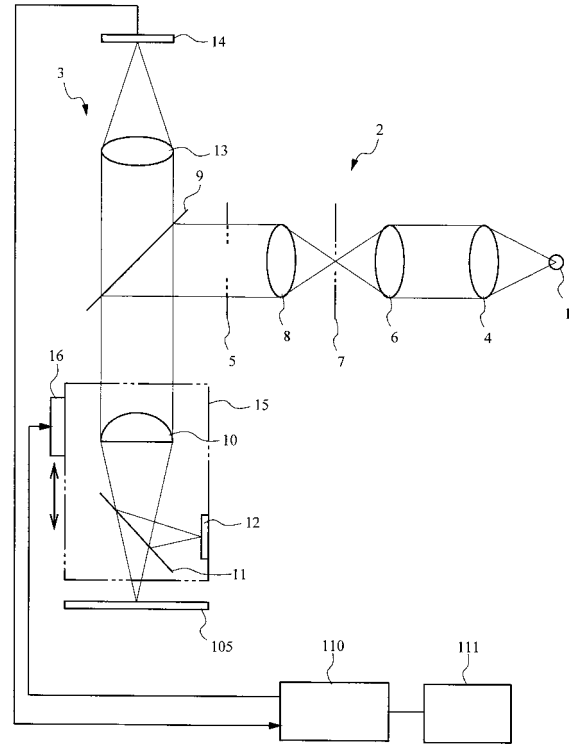
30

40

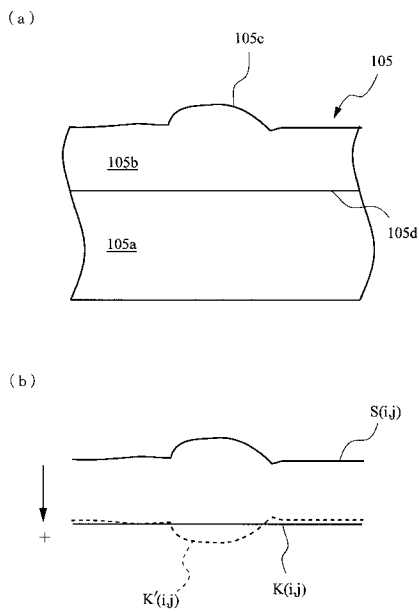
【図1】



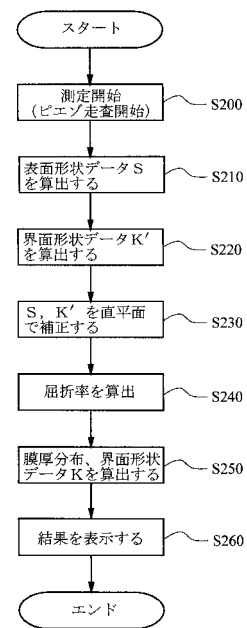
【図2】



【図3】



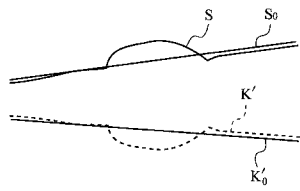
【図4】



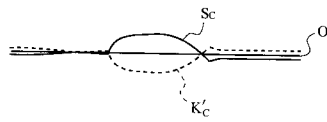


【 図 5 】

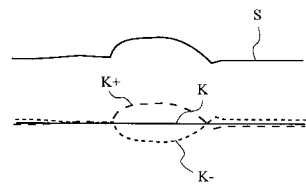
(a)



(b)



【 図 6 】



---

フロントページの続き

(56)参考文献 特開2008-286630(JP,A)  
特開平10-002855(JP,A)  
特開平10-325795(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G01B 11/00 - 11/30  
G01N 21/41 - 21/45