

| (51) Int.Cl. <sup>7</sup> | 識別記号 | F I        | テマコード <sup>8</sup> (参考) |
|---------------------------|------|------------|-------------------------|
| G01N 23/04                |      | G01N 23/04 | 2G001                   |
| 23/06                     |      | 23/06      |                         |
| G01V 5/00                 |      | G01V 5/00  | A                       |

審査請求 未請求 請求項の数12 O L (全11頁)

|          |                       |         |  |
|----------|-----------------------|---------|--|
| (21)出願番号 | 特願平10 - 210832        | (71)出願人 | 396020800<br>科学技術振興事業団<br>埼玉県川口市本町4丁目1番8号                |
| (22)出願日  | 平成10年7月27日(1998.7.27) | (71)出願人 | 595034330<br>松原 英一郎<br>京都府京都市左京区高野西開町1番地 第2久米マンション4 - 16 |
|          |                       | (71)出願人 | 000005821<br>松下電器産業株式会社<br>大阪府門真市大字門真1006番地              |
|          |                       | (74)代理人 | 100062144<br>弁理士 青山 葆 (外2名)                              |

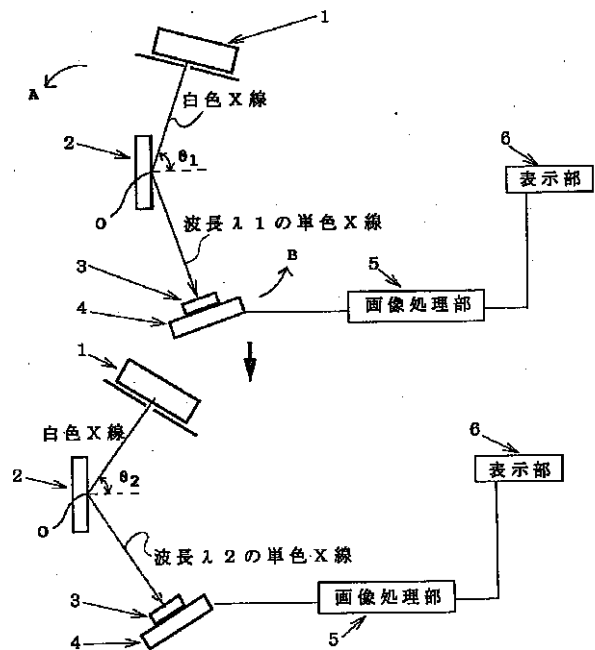
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 X線検査方法およびX線検査装置

(57) 【要約】

【課題】 X線検査において検出すべき元素の情報に関してより向上した結果を得ることができるX線検査方法およびX線検査装置を提供する。

【解決手段】 元素の吸収係数とその元素の吸収端前後で大きく異なることを利用し、測定試料(3)中の検出対象となる元素の吸収端の波長より短波長の単色X線1と長波長の単色X線2を測定試料に照射して得られる2種類のX線透過データを差分することにより、測定試料中の検出対象となる元素のみのX線透過像を得る。



## 【特許請求の範囲】

【請求項 1】 対象物体としての測定試料中に存在する検出すべき物質を構成する元素の吸収端の波長より長波長の単色 X 線を測定試料に照射して得られる X 線透過データ、および吸収端の波長より短波長の単色 X 線を測定試料に照射して得られる X 線透過データである、吸収端を挟む 2 種類の波長の X 線についての X 線透過データを差分することにより、測定試料中の検出すべき物質を構成する元素のみの情報を得る X 線検査方法。

【請求項 2】 吸収端より長波長および短波長の 2 種類の波長の単色 X 線を測定試料に照射して所定方向にスキャンさせて 2 種類の X 線透過データを得、これらのデータを差分することによりスキャン方向に対して平行な測定試料の断面に関して検出すべき物質を構成する元素に関する情報を得、次に、スキャン方向を変えて測定試料の別の断面に関して検出すべき物質を構成する元素に関する情報を得る請求項 1 記載の方法。

【請求項 3】 情報をデータ処理して元素が構成する物質の画像を得る請求項 1 または 2 記載の方法。

【請求項 4】 工業用非破壊検査に適用する請求項 1 ~ 3 のいずれかに記載の方法。

【請求項 5】 医療用 X 線検査に適用する請求項 1 ~ 3 のいずれかに記載の方法。

【請求項 6】 X 線発生器、X 線発生器から照射された白色 X 線を単色化して、測定試料中の検出対象となる物質を構成する元素の吸収端の波長より長波長の単色 X 線と短波長の単色 X 線を形成するモノクロメータ、および単色化された X 線を測定試料に照射し、測定試料を透過した X 線を検出して透過 X 線に関するデータを発生する X 線検出器を有して成る X 線検査装置。

【請求項 7】 X 線検出器からのデータを処理する、X 線透過データ処理器を更に有して成る請求項 6 記載の装置。

【請求項 8】 X 線発生器、モノクロメータおよび測定試料のいずれか 2 つを相対的に移動することができ、それにより、モノクロメータに入射する白色 X 線の入射角を変えることができ、その結果、異なる波長の単色 X 線を形成できる請求項 6 または 7 記載の装置。

【請求項 9】 モノクロメータは、X 線発生器および測定試料を結ぶ線に対して垂直な方向に移動することができ、それにより、モノクロメータに入射する白色 X 線の入射角を変えることができ、その結果、異なる波長の単色 X 線を形成できる請求項 6 または 7 記載の装置。

【請求項 1 0】 元素の吸収端の波長より長波長の単色 X 線を形成するモノクロメータ、および短波長の単色 X 線を形成するモノクロメータを有して成る請求項 6 または 7 記載の装置。

【請求項 1 1】 請求項 1 ~ 5 のいずれかに記載の方法を実施する請求項 6 ~ 1 0 のいずれかに記載の装置。

【請求項 1 2】 モノクロメータがグラファイトである

請求項 6 ~ 1 1 のいずれかに記載の装置。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0 0 0 1】

【発明の属する技術分野】本発明は、X 線を用いて対象物体を検査する方法およびその方法に使用する装置、即ち、X 線検査方法および X 線検査装置に関する。詳しくは、対象物体中における特定の元素の有無を検出するための X 線検査方法および X 線検査装置に関する。このような方法および装置は、例えば電子部品等の工業用 X 線非破壊検査、医療用 X 線検査等に用いることができる。

## 【0 0 0 2】

【従来の技術】従来、電子部品等の非破壊検査および人体内部の臓器撮影には X 線が多く用いられている。X 線による非破壊検査は、X 線を発生して対象物体としての測定試料に照射する X 線発生・照射器、測定試料を透過した X 線を検出して透過した X 線に関するデータを生成する X 線検出器、および X 線検出器により生成された透過した X 線に関するデータを処理して画像を形成するデータ処理器を備えた X 線検査装置を用いて実施される。

【0 0 0 3】この装置を用いて測定試料を検査するには、X 線発生・照射器から白色 X 線を測定試料に照射し、透過した X 線を X 線検出器で検出し、検出されたデータを処理して測定試料に関する X 線透過画像を表示する。このような X 線検査の原理は、X 線の透過の程度が測定試料を構成する物質の厚さ、物質の種類等によって異なることに基づくものであり、測定試料内部の欠陥部または内部に存在する異なる物質の形状、寸法、位置等を、透過した X 線に関するデータに対応する画像（いわゆる X 線透過画像）のコントラストの違いにより測定試料を破壊することなく知ることができる。

## 【0 0 0 4】

【発明が解決しようとする課題】上述のような従来の X 線検査方法では、X 線発生・照射器から白色 X 線を測定試料に照射して、X 線透過の程度で物質内部の欠陥部または異なる物質の形状、寸法、位置等を検知することに関しては、透過画像のコントラストの違いのみに依存している。従って、X 線透過の度合いが似ている周期表で近接する複数の元素で構成される物質の状態を判別したり、複雑に入り組んだ構造を持つ、物質の内部の状態を明らかにすることは極めて困難である。このことを以下に簡単な例を用いて説明する。

【0 0 0 5】図 1 に模式的断面図で示すように、部分 a、部分 b、部分 c および部分 d から構成され、それぞれの部分は元素 A、元素 B および / または欠陥部（空隙部）から構成されている厚さ 5 t の測定試料 1 0 における元素 A の存在を確認するために X 線検査する場合を考える。図 1 では、測定試料 1 0 の厚さ方向に X 線を照射する。尚、元素 A の X 線吸収係数は  $\mu_A$  であり、元素 B の X 線吸収係数は  $\mu_B$  であり、簡単のために  $\mu_A = 2 \mu_B$  であると仮定する。

【0006】従って、試料の上部から強度  $I_0$  の X 線を照射すると、各部分を透過する X 線の強度  $I$  は以下のよ

$$\text{部分 a} \quad I = I_0 \exp(4 \mu_B t)$$

$$\text{部分 b} \quad I = I_0 \exp(\mu_A t + 3 \mu_B t) = I_0 \exp(5 \mu_B t)$$

$$\text{部分 c} \quad I = I_0 \exp(5 \mu_B t)$$

$$\text{部分 d} \quad I = I_0 \exp(\mu_A t + 2 \mu_B t) = I_0 \exp(4 \mu_B t)$$

(但し、 $t$  は、図示するように、測定試料の厚さの  $1/5$  である。)

【0007】従って、このような各部分における透過した X 線の強度データを処理して、各データに対応する画像を得ることができる。その画像 (透過 X 線写真) の例を図 2 に模式的に示す (測定試料 10 を図 1 の上から見た場合の断面に対応する)。明らかなように、部分 a および部分 d は同じ状態であると判断され、また、部分 b および部分 c は同じ状態であると判断される。従って、このような検査方法では、X 線透過写真に基づいて元素 A の正確な状態 (例えば元素 A の有無) を特定することは不可能である。

【0008】

【課題を解決するための手段】本発明は上記課題を解決するもので、X 線検査において検出すべき元素の情報に関してより向上した結果を得ることができる X 線検査方法及び X 線検査装置を提供することを目的とする。

【0009】上記課題を解決するために検討した結果、元素の X 線吸収係数とその元素の吸収端の波長を境にして長波長側の X 線と短波長側の X 線で大きく異なることを利用することによって、そのような元素を検出対象として含む対象物体を検査する場合には、そのような元素に関して向上した情報を得ることができることを見いだした。

【0010】即ち、本発明は、対象物体としての測定試料中に存在する検出すべき物質を構成する元素の吸収端の波長より長波長の単色 X 線を測定試料に照射して得られる X 線透過データ、および吸収端の波長より短波長の単色 X 線を測定試料に照射して得られる X 線透過データである、吸収端を挟む 2 種類の波長の X 線についての X 線透過データを差分することにより、測定試料中の検出すべき物質を構成する元素のみの情報を得る、例えば X 線透過像を得る X 線検査方法を提供する。

【0011】ここで、この情報とは、例えば検出すべき物質を構成する元素の測定試料中の有無または測定試料中の存在位置に関する種々のデータが含まれ、情報を得るとは、例えば、検出すべき物質を構成する元素の位置、分布状態を特定できることが含まれる。従って、検出すべき物質の測定試料における状態を確認することができる。より具体的には、2 種類の X 線透過データを差分した結果を処理して画像にて表示する場合、目視的に検出すべき物質の測定試料における状態を確認することができる。このようなデータから画像を得るための処理、いわゆる画像処理が、一般的に行われていることは

うに表される：

周知であり、これ以上の詳細な説明は省略する。即ち、2 種類の波長における X 線透過データを得て、これを差分することを除いた事項、例えばデータの画像処理については一般的に実施されている方法を採用できる。尚、本発明において、検出すべき対象は、測定試料中における元素そのものであってよい。

【0012】更に、上述のような 2 種類の波長の単色 X 線を測定試料に照射して所定方向にスキャンさせて 2 種類の X 線透過データを得、これらのデータを差分することによりスキャン方向に対して平行な測定試料の断面に関して検出すべき物質を構成する元素に関する情報を得、次に、スキャン方向を変えて測定試料の別の断面に関して検出すべき物質を構成する元素に関する情報を得る。このような操作を繰り返し、画像処理することにより検出される元素が構成する物質の画像を、断面画像、立体画像等として得ることができる。得られた X 線透過データからこのような断面画像、立体画像等を得る方法自体は既知の画像処理方法を適用できる。

【0013】例えば、所定のスキャン幅で異なる波長を有する 2 種類の単色 X 線を用いて、最初に試料をその幅方向でスキャンして、次に試料をその厚さ方向でスキャンしてよく、更に、必要であれば、試料をその奥行き方向でスキャンしてよい。また、試料の表面に沿って試料の周囲で回転するようにスキャンしてよい。更に、これらを適当に組み合わせてもよい。これらのスキャンにより得られた透過 X 線データを周知の方法で処理して検査対象の物質を構成する元素の状態に関する情報、例えば画像を表示できる。

【0014】更に、本発明は、X 線発生器、X 線発生器から照射された白色 X 線を単色化して、測定試料中の検出対象となる物質を構成する元素の吸収端の波長より長波長の単色 X 線と短波長の単色 X 線を形成するモノクロメータ、および単色化された X 線を測定試料に照射し、測定試料を透過した X 線を検出して透過 X 線に関するデータを発生する X 線検出器を有して成る X 線検査装置を提供する。

【0015】この装置は、更に、吸収端の波長より長波長の単色 X 線を測定試料に照射して得た X 線透過データと短波長の単色 X 線を測定試料に照射して得た X 線透過データを処理して、例えば画像処理して、測定試料中の検出対象である物質を構成する元素のみの状態に関する情報、例えば検出対象である物質の X 線透過像を得る X 線透過データ処理器を備えた X 線検査装置を提供する。この装置は、画像表示装置を更に有してもよい。

【0016】本発明において、モノクロメータは、白色 X 線から吸収端を挟んで異なる波長の単色化 X 線を発生する必要がある。そのためには、白色 X 線がモノクロメータに入射する角度を変えることができるように、X 線発生器、モノクロメータおよび測定試料（必要な場合は測定試料および X 線検出器）の少なくとも 2 つが相対的に移動できるように配置されていけばよい。

【0017】モノクロメータが異なる波長の単色化 X 線を発射する場合、発射される単色化 X 線のモノクロメータに対する角度が変わるので、モノクロメータからの単色化 X 線が測定試料の同じ箇所を好ましくは同じ角度（例えば直角）で測定試料に入射するように、測定試料も相対的に移動できるようになっているのが好ましい。「相対的に」なる用語は、その要素自体が動く場合の他に、その要素が動かずに他の要素が動くことによって実質的にその要素が動いたことに等しくなる場合をも含む意味で使用している。

【0018】具体的には、モノクロメータ自体を回転させて、白色 X 線の入射角  $\theta_1$  から  $\theta_2$  になるようにする。モノクロメータの回転に対応させて測定試料も回転させて、単色化 X 線が常に測定試料の同じ位置で好ましくは同じ角度（通常直角）で測定試料に当るようにする（後述する図 5 参照）。

【0019】別の態様では、モノクロメータを固定して、X 線発生器および測定試料（必要な場合は測定試料および X 線検出器）を回転できるようにしてよい。更に別の態様では、測定試料（必要な場合は測定試料および X 線検出器）を固定してモノクロメータおよび X 線発生器を回転できるようにしてもよい。いずれの態様を選択するかということは、特に限定されるものではないが、一般的には、それぞれの要素の回転を容易にできるか否かにより判断することができる。

【0020】本発明の別の態様では、上述のような要素の移動に代えて、X 線発生器と測定試料を結ぶ軸に対して垂直な方向にモノクロメータを平行移動することにより、白色 X 線の入射角  $\theta_1$  から  $\theta_2$  になるようにする。この場合、単色化 X 線は、反射角が  $\theta_1$  から  $\theta_2$  に変わっても、測定試料の常に同じ箇所に当るという利点がある。尚、単色化 X 線が測定試料に当る角度も同じにするには、測定試料を軸回転できるようにすればよい。

【0021】本発明の更に別の態様では、2 種のモノクロメータを用いて、これを入れかえることにより、入射角が同じであっても異なる波長の単色化 X 線を発生できるように使用してよい。例えば格子間隔を変えた 2 種類の多層膜をモノクロメータとして使用できる。

【0022】

【発明の実施の形態】「発明が解決しようとする課題」の欄にて用いた 2 種類の元素 A および B から構成され、

$$\text{部分 a} \quad I_1 - I_2 = 0$$

$$\text{部分 b} \quad I_1 - I_2 = I_0 \exp(\mu_{A1} t - \mu_{A2} t)$$

部分的に欠陥を持つ試料（図 1）について考える。一般的に元素の X 線吸収係数は、図 3 に示すように、X 線波長の関数であり、元素固有の吸収端（波長  $\lambda_0$ ）で不連続に大きく変化することが知られている。元素の吸収端に関しては、ある元素に関して、その吸収端近傍の波長領域において吸収端波長（ $\lambda_0$ ）より長波長側と短波長側でその元素の線吸収係数が大きく変化するが、他の元素の線吸収係数はほとんど変化しない。

【0023】（1）最初に、元素 A が図 3 に示すような線吸収特性を有する場合、吸収端波長（ $\lambda_0$ ）より短波長の単色 X 線（波長  $\lambda_1$ ）を測定試料に照射した場合、元素 A の X 線吸収係数は  $\mu_{A1}$  であり、元素 B の X 線吸収係数は  $\mu_{B1}$  であると仮定する。

【0024】従って、試料の上部から X 線（強度  $I_{01}$ ）を照射すると、透過する X 線の強度（ $I_1$ ）は以下のようになる：

$$\text{部分 a} \quad I_1 = I_{01} \exp(4 \mu_{B1} t)$$

$$\text{部分 b} \quad I_1 = I_{01} \exp(\mu_{A1} t + 3 \mu_{B1} t)$$

$$\text{部分 c} \quad I_1 = I_{01} \exp(5 \mu_{B1} t)$$

$$\text{20 部分 d} \quad I_1 = I_{01} \exp(\mu_{A1} t + 2 \mu_{B1} t)$$

（但し、 $t$  は、図示するように、試料の厚さの  $1/5$  である。）

【0025】（2）次に、吸収端より長波長の単色 X 線（波長  $\lambda_2$ ）を測定試料に照射した場合、元素 A の X 線吸収係数は  $\mu_{A2}$  であり、元素 B の X 線吸収係数は  $\mu_{B2}$  であると仮定する。従って、試料の上部から X 線（強度  $I_{02}$ ）を照射すると、透過する X 線の強度（ $I_2$ ）は以下のようになる：

$$\text{部分 a} \quad I_2 = I_{02} \exp(4 \mu_{B2} t)$$

$$\text{30 部分 b} \quad I_2 = I_{02} \exp(\mu_{A2} t + 3 \mu_{B2} t)$$

$$\text{部分 c} \quad I_2 = I_{02} \exp(5 \mu_{B2} t)$$

$$\text{部分 d} \quad I_2 = I_{02} \exp(\mu_{A2} t + 2 \mu_{B2} t)$$

（但し、 $t$  は、図示するように、試料の厚さの  $1/5$  である。）

【0026】ここで、吸収端は元素 A に固有のものであり、元素 A の吸収端の両側の波長  $\lambda_1$  または  $\lambda_2$  を有する単色 X 線を使用しているため、元素 B の吸収係数は両波長  $\lambda_1$  および  $\lambda_2$  において大差なく、 $\mu_{B1} = \mu_{B2}$  としてよい。また、通常、 $I_{01} = I_{02} = I_0$  である。

40 【0027】これらの 2 種類の X 線を照射することにより得られる X 線透過データを画像処理して得られる画像は、上記  $I_1$  および  $I_2$  に対応する画像であり、各部分の  $I_1$  および  $I_2$  の大きさに応じて例えばコントラストの差として画像を表現できる。その画像を  $I_1$  に付いては図 4 (a) に、また、 $I_2$  に付いては図 4 (b) に模式的に示している。

【0028】（3）次に、得られた 2 種類の画像データを差分する。即ち、 $I_1 - I_2$  を計算する：

7

8

部分 c  $I_1 - I_2 = 0$

部分 d  $I_1 - I_2 = I_0 \exp(\mu_{A1} t - \mu_{A2} t)$

明らかなように、元素 A が存在する部分のみ画像データが得られ、元素 A が存在しない部分については、データが相殺されるので画像データは得られない。この  $I_1 - I_2$  に対応する画像を図 4 ( c ) に模式的に示している。

【 0 0 2 9 】明らかなように、検出すべき元素 A が存在する部分 b および部分 d が、元素 A が存在しない部分 a および部分 c から区別されている。即ち、本発明のように、検出すべき元素の吸収端を挟んで異なる 2 種類の波長の単色化 X 線を用いて X 線透過データを得、これらのデータを差分することにより、その元素のみの状態を確認することができる。元素の吸収端は、いずれの波長領

| 検出すべき元素 | 0 ( )       | 1 ( )   | 2 ( )   |
|---------|-------------|---------|---------|
| A u     | 1 . 0 4 0 3 | 0 . 9 9 | 1 . 0 9 |
| C u     | 1 . 3 8 0   | 1 . 3 3 | 1 . 4 3 |
| F e     | 1 . 7 4 3   | 1 . 7 0 | 1 . 7 9 |
| C a     | 3 . 0 7 0 2 | 3 . 0 3 | 3 . 1 1 |
| A g     | 3 . 6 7 2 9 | 3 . 6 3 | 3 . 7 1 |

【 0 0 3 2 】尚、元素が有する吸収端は必ずしも 1 つではなく、複数存在する場合が多い。従って、測定試料が検出すべき元素の他に、周期律表においてその元素に近接する他の元素を含む場合において、複数の吸収端の内、他の元素の線透過係数の変化が大きくない波長領域に存在する吸収端を使用するのが好ましい。

【 0 0 3 3 】また、場合により、異なる 2 種類の波長  $\lambda_1$  および  $\lambda_2$  を使用する場合において、 $I_0$  が異なる ( $I_{01}$ 、 $I_{02}$ ) 場合には、X 線透過強度を入射 X 線強度により規格化した (即ち、 $I_1 / I_{01}$  および  $I_2 / I_{02}$  を算出する) データを用いて差分すればよい。本発明においては、このようにデータを規格化してから差分する場合も、差分することに含めている。

【 0 0 3 4 】このように、元素 A の吸収端より短波長の単色 X 線 (波長  $\lambda_1$ ) と長波長の単色 X 線 (波長  $\lambda_2$ ) の強度差が大きい場合は、測定試料に照射される X 線の強度 ( $I_0$ ) が大きく異なる場合がある。その場合、例えば、モノクロメータと測定試料との間に測定試料に入射する X 線強度をモニターする別の X 線検出器を用いる。この検出器として、透過型プロポーションナルカウンター、透過型イオンチャンパーあるいは金属箔やポリマー箔からの X 線散乱モニターが使用できる。先に説明したように、この検出器で検出した、測定試料に入射する X 線強度で測定試料を透過した X 線強度を規格化することにより、 $\lambda_1$  と  $\lambda_2$  が大きく異なる場合でも精度良く元素 A のみの X 線透過データを、従って、精度の良い画像を得ることができる。

【 0 0 3 5 】X 線発生器としては、例えば X 線管を用いることができる。本発明では、特性 X 線ではなく、白色 X 線を単色化して利用できるため、強度のより強い X 線

域にあってもよいが、一般的には 1 ~ 4 程度の範囲に吸収端が存在するのが好ましい。それは、 $\lambda_1$  より短い波長を良好に分光できる適当なモノクロメータが少ないこと、また、波長が  $\lambda_2$  より大きくなると X 線強度が小さくなり、X 線が透過しにくいからである。

【 0 0 3 0 】吸収端の波長 ( $\lambda_0$ ) と  $\lambda_1$  または  $\lambda_2$  との差は、検出すべき元素の X 線透過係数の特性に応じて適当に選択できる。一般的には吸収端の波長に近い波長を選択すると、吸収係数の差が大きいので好ましい。例えば、以下の範囲の  $\lambda_1$  および  $\lambda_2$  を選択できる：

【 0 0 3 1 】

を発生できる回転対陰極の X 線管を用いるのが好ましい。X 線管の管電圧は、検出したい元素の吸収端波長より短波長の X 線を発生できれば良いが、白色 X 線の最大強度を示す波長と吸収端波長が同じになるように設定するのが好ましい。

【 0 0 3 6 】X 線管のターゲットとして、材質は特に限定されない。しかし、強度の強い白色 X 線を必要とするため、原子番号の大きい元素、例えばモリブデン、タングステン、金、ロジウムなどを用いるのが好ましい。

30 【 0 0 3 7 】モノクロメータは、検出したい元素の吸収端波長近傍の波長の X 線に単色化できる格子定数を持つものであればよく、通常の X 線用モノクロメータを使用できる。例えば、検出したい元素の吸収端が約 1 ~ 4 あれば、グラファイト ( 0 0 2 ) ( 格子定数  $2 d = 6 . 7 2$  )、シリコン ( 1 1 1 ) ( 格子定数  $2 d = 6 . 2 7$  )、フッ化リチウム ( 2 0 0 ) ( 格子定数  $2 d = 4 . 0 3$  )、フッ化リチウム ( 2 2 0 ) ( 格子定数  $2 d = 2 . 8 5$  )、フッ化リチウム ( 4 2 0 ) ( 格子定数  $2 d = 1 . 8 0$  )、ゲルマニウム ( 1 1 1 ) ( 格子定数  $2 d = 6 . 5 3$  )、In S b ( 1 1 1 ) ( 格子定数  $2 d = 7 . 4 8$  ) 等を使用することができる。また、単色化したい波長に応じて多層膜 (例えばカーボンと金との多層膜) を用いることもできる。一般的には、反射強度を考慮すると、グラファイト ( 0 0 2 ) を用いるのが好ましく、分解能および平行性を考慮すると、S i ( 1 1 1 ) を使用するのが好ましい。

40 【 0 0 3 8 】また、単色化したい X 線の波長が短い (例えば 0 . 1 以下) 場合には、例えば S i ( 3 1 1 )、S i ( 5 5 3 ) などを使用できる。また、単色化したい X 線の波長が長い (例えば 1 0 以上) 場合には、例え

ば K A P [ フタル酸水素カリウム (  $K H C_8 H_4 O_4$  ) ] ( 001 ) ( 格子定数  $2d = 26.64$  )、多層膜、回折格子を使用できる。

【 0039 】 X線検出器として、デジタル処理のできる検出器、例えばイメージングプレート、X線 CCD カメラを使用することができる。本発明の方法の実施に際して使用する装置としては、吸収端波長の両側でその波長に近い波長を有する単色化 X 線を発生させることを除いて、X線発生器、モノクロメータ、X線検出器、データ処理器等に関しては、通常の X 線分析に使用されている既知の装置を使用することができる。

【 0040 】 上述のように構成した X 線検査装置を用いて、図 1 に示すような A および B の 2 種類の元素で構成され、部分的に欠陥部を持つ測定試料中の元素 A の状態を確認するための X 線検査は、例えば次のように実施できる。

【 0041 】 X線発生器より照射された白色 X 線をモノクロメータにより検出対象である元素 A の吸収端波長より短波長 1 の X 線に単色化する。その単色化された X 線を測定試料に照射し、測定試料を透過する X 線を X 線検出器で検出して透過 X 線に関するデータを得、それをデータ処理器に送り蓄積する。

【 0042 】 次に、X線発生器、モノクロメータ、ならびに測定試料および X 線検出器の 3 者から選択される 2 つ、通常、比較的容易に移動できるものを回転させ、X線発生器から照射された白色 X 線を元素 A の吸収端波長より長波長 2 の単色 X 線に単色化し、測定試料に照射する。測定試料を透過する X 線を X 線検出器で検出して透過 X 線に関するデータを得、それをデータ処理器に送り蓄積する。波長 1 の場合のデータおよび波長 2 の場合のデータをデータ処理器にて差分処理して、検出対象である元素 A だけの情報を得ることができる。

【 0043 】

【 発明の実施の形態 】 ( 実施の形態 1 ) 本発明に基づいて X 線検査を実施する 1 つの態様の基本構成をブロック図で模式的に図 5 に示す。図 5 に示す態様では、X線発生器 1 から照射された白色 X 線は、入射角 1 でモノクロメータ 2 に入射して、モノクロメータ 2 により単色化される (例えば波長 1)。単色化された X 線は測定試料 3 に照射され、測定試料を透過した X 線は X 線検出器 4 により検出される。検出された画像はデータ処理器 5 で画像処理され、表示部 6 に表示される。

【 0044 】 尚、本発明では、単色化 X 線の測定試料への入射方向の延長線上に検出すべき元素が存在するか否かを測定することになる。従って、測定試料に照射される単色化 X 線の波長が異なる場合であっても、単色化 X 線の測定試料に対する入射点および好ましくは入射角は同じであるのが好ましい。一般的に、測定試料に照射される単色化 X 線の波長が異なる場合であっても、単色化 X 線の測定試料に対する入射点は同じであり、入射角は

90°であるのがより好ましい。例えば 1 および 2 が大きく異なる場合には、入射点のみが保持されるように、測定試料を保持しても実用上は差し支えない場合がある。

【 0045 】 図示した態様では、モノクロメータ 2 は、それに入射する白色 X 線の入射角を 1 から 2 に変えることにより異なる波長 (例えば 2) の単色化 X 線を得ることができるように回転可能である (矢印 A 参照)。例えば、照射される白色 X 線に対してモノクロメータ 2 の反射面の角度を変えることができるように軸回転可能である。

【 0046 】 更に、波長 2 の単色化 X 線が測定試料 3 の実質的に同じ位置において同じ角度で入射するように測定試料 3 も (必要な場合には X 線検出器 4 と一緒に) 回転可能である (矢印 B 参照)。例えば、モノクロメータ 2 への白色 X 線の入射点 O を中心として、測定試料 3 と X 線検出器 4 を矢印 B のように回転させることにより行う。尚、この場合において、X線発生器 1 は固定されていてよく、白色 X 線を発生してモノクロメータ 2 に向かって照射する。

【 0047 】 別の態様では、モノクロメータ 2 を固定して、X線発生器 1 と測定試料 3 (および必要な場合には X 線検出器 4) が回転可能であってもよい。この態様においても、白色 X 線のモノクロメータに入射する角度を変えることができ、別の波長 2 の単色化 X 線を得ることができる。

【 0048 】 更に別の態様では、測定試料 3 および X 線測定器 4 を固定して、X線発生器 1 と X 線検出器 4 が回転可能であってもよい。この態様においても、白色 X 線のモノクロメータに入射する角度を 1 から 2 に変えることができ、別の波長 2 の単色化 X 線を得ることができる。

【 0049 】 従って、測定装置を構成する X 線発生器 1、モノクロメータ 2 および測定試料 3 (X 線検出器 4 を含んでよい) の 3 つの内の少なくともいずれか 2 つを回転可能にしておけば、モノクロメータに入射する白色 X 線の入射角を 1 から 2 に変えることができ、それにより、同じモノクロメータを使用する場合でも、異なる波長の単色化 X 線 (1 および 2) を得ることができる。この場合、異なる波長の単色化 X 線のモノクロメータからの出射角は異なるので、測定試料 3 を固定しておく、測定試料への単色 X 線の入射の位置および角度が変わるので、これらが変わらないようにするために、同じモノクロメータを使用する場合には、測定試料 (X 線測定器を含んでよい) も対応して相対的に回転可能となるようにするのが好ましい。

【 0050 】 ( 実施の形態 2 ) 図 6 は、本発明を実施する別の態様に使用する X 線検査装置の基本構成を示すブロック図である。図 6 において、X 線検査装置を構成する X 線発生器 1、モノクロメータ 2、測定試料 3、X 線

検出器 4、データ処理器 5 および表示部 6 は実施の形態 1 で示した図 5 と同様であるが、X 線発生器 1 から照射された白色 X 線を単色化する方法が異なる。

【0051】図 6 においては、X 線発生器 1 と測定試料 3 を結ぶ軸（破線で示す）に対して垂直な方向に矢印 C で示すように、モノクロメータ 2 を平行移動することにより、白色 X 線のモノクロメータへの入射角を 1 から 2 に変えることにより、波長 1 の単色 X 線および波長 2 の単色 X 線を得ることができる。

【0052】例えば、モノクロメータ 2 を白色 X 線の入射角が 1 となって波長 1 の単色 X 線の得られる位置へ配置し、波長 1 の場合の X 線透過データを得る（図 6 の上部の配置）。その後、波長 2 の単色 X 線が得られるように X 線発生装置 1 と測定試料 3 を結ぶ軸に対して垂直な方向に矢印 C で示すようにモノクロメータ 2 を平行移動して入射角が 2 となるようにし、波長 2 の場合の X 線透過データを得る（図 6 の下部の配置）。その際、測定試料 3 に照射する波長 2 の単色 X 線が測定試料 3 に対して照射される位置および好ましくは角度が、波長 1 の単色 X 線の場合と同じになるようにする。例えば、矢印 D で示すように、モノクロメータ 2 への白色 X 線の入射点 O を中心として、測定試料 3 と X 線検出器 4 を回転させることにより行う。

【0053】尚、このような測定試料および X 線検出器 4 の移動は、波長が異なることにより生じる測定試料の X 線照射状態（位置および角度）の変化が測定結果に与える影響を実質的に無視できるほどに小さい場合には、移動を省略することも可能である。このようにして得た波長 1 の単色 X 線による X 線透過データと波長 2 の単色 X 線による X 線透過データとを差分することにより、検出対象である元素 A のみの状態に関する情報として X 線透過像を得ることができる。

【0054】（実施の形態 3）図 7 は、本発明を実施する更に別の態様に使用する X 線検査装置の基本構成を示すブロック図である。図 7 において、X 線発生器 1、測定試料 3、X 線検出器 4、データ処理器 5、表示部 6 は実施の形態 2 で示した図 5 と同様であるが、波長 1 と 2 の 2 種の単色化 X 線を得るため、2 種のモノクロメータ 2 - 1 および 2 - 2 を装備している。この 2 種のモノクロメータはそれぞれ同じ X 線の入射角で波長 1 と 2 の単色 X 線が得られるような格子間隔をもつもので、このようなモノクロメータとして例えば多層膜が用いられる。

【0055】具体的には、波長 1 の単色 X 線が得るためモノクロメータ 2 - 1 を配置して X 線透過データを得る。その後、波長 2 の単色 X 線を得るため、モノクロメータ 2 - 1 と同じ位置にモノクロメータ 2 - 2 を配置し、X 線透過データを得る。これらのデータを差分することにより検出対象である元素 A のみの X 線透過像を得ることができる。この場合では、測定試料 3 および X 線

検出器 4 の位置を変更する必要がないという利点がある。

【0056】

【実施例】次に、本発明を実施例により具体的に説明する。

（実施例 1）図 5 に示した X 線検査装置を用いて、IC 内部の電極接合部の X 線検査を行った。X 線発生器 1 として、タングステンターゲットの回転対陰極型 X 線発生装置を用いた。最大管電圧は 100KV、最大管電流は 10mA である。モノクロメータ 2 としてはグラファイト（002）を、X 線検出器としてはイメージングプレートを使用した。測定試料 3 である IC においては金パンプと金ワイヤーが接続されており、その外部は樹脂でモールドされているため、金パンプと金ワイヤーとの接続状態を外部から確認することはできない。この接続状態を本発明に基づいて検査した。

【0057】実施の形態 1 で述べた X 線検査方法により X 線検査を行った。この検査で検出対象である物質は金パンプと金ワイヤーとの間の接続部であり、その物質を構成する元素は金であり、その他の元素は炭素、水素、酸素などである。そこで、検出対象である元素の吸収端として金の L（II）吸収端を選んだ。金の L（II）吸収端の波長  $\lambda_0$  は 1.04 Å であるので、 $\lambda_0$  より短波長の単色 X 線の波長  $\lambda_1$  として 1.00 Å を、長波長の単色 X 線の波長  $\lambda_2$  として 1.10 Å を選択し、モノクロメータ 2 を回転して白色 X 線の入射角を調節することにより単色化 X 線を得る。面間隔  $d = 3.354$  Å のグラファイト（002）を使用する。この場合のブラッグ反射角を計算すると、波長 1 の X 線を得るにはブラッグ反射角は  $8.57^\circ$  となり、波長 2 の X 線の場合は、ブラッグ反射角は  $9.44^\circ$  となる。

【0058】まず、モノクロメータへ入射する白色 X 線の入射角  $\theta_1$  が  $8.57^\circ$  となるようにモノクロメータを調整し、モノクロメータからの反射角  $8.57^\circ$  の単色化 X 線が IC 表面に垂直に当たる位置に測定試料をおく。そして、 $\lambda_1$  の X 線を測定試料に照射した後、モノクロメータを X 線の入射角  $\theta_2$  が  $9.44^\circ$  となるように回転させ、測定試料 3、X 線検出器 4 も反射角の変化に応じて同じ状態で X 線が入射するように位置を移動させる。 $\lambda_2$  の X 線を測定試料に照射し、検出した 2 種類の画像データをデータ処理器で差分した結果、金だけの X 線透過像を得ることができた。

【0059】（実施例 2）実施の形態 2 に示した X 線検査装置により、IC 内部の電極接合部の X 線検査を行った。X 線発生器、モノクロメータ、X 線検出器、および測定試料は実施例 1 と同様のものを使用した。実施例 1 と同様に検出対象である元素の吸収端として金の L（II）吸収端を選択し、金の L（II）吸収端より短

波長の X 線 1 を 1.00 オングストローム、長波長の X 線 2 を 1.10 オングストロームとする。ブラッグ反射角はそれぞれ  $8.57^\circ$  および  $9.44^\circ$  である。

【0060】まず、モノクロメータへ入射する X 線の入射角 1 が  $8.57^\circ$  となる位置にモノクロメータを配置し、反射角が  $8.57^\circ$  の位置へ測定試料をおく。測定試料は、反射した単色化 X 線が垂直に照射するように調整する。そして、1 の X 線を測定試料に照射した後、モノクロメータを X 線の入射角 2 が  $9.44^\circ$  となるように X 線発生器と測定試料を結ぶ軸に対して垂直な方向へ平行移動させる。2 の X 線を測定試料に照射し、検出した 2 種類の画像データをデータ処理器で差分した結果、金だけの X 線透過像を得ることができた。

【0061】(実施例 3) 実施の形態 3 に示した X 線検査装置により、IC 内部の電極接合部の X 線検査を行った。X 線発生器、X 線検出器、および測定試料は実施例 1 と同様のものを使用し、2 種類のモノクロメータは白金/カーボンの多層膜 (白金層厚:カーボン層厚 = 1:2) を用いた。

【0062】実施例 1 に示したように検出対象である元素の吸収端として金の L (III) 吸収端を選択し、金の L (III) 吸収端より短波長の X 線 1 を 1.00 オングストローム、長波長の X 線 2 を 1.10 オングストロームとする。ブラッグ反射角が 2 種類のモノクロメータ共に  $3.00^\circ$  となるように多層膜周期を計算したところ、モノクロメータ 2 - 1 の多層膜周期 (白金層 1 層とカーボン層 1 層の和) のは  $9.55$  オングストローム、モノクロメータ 2 - 2 の多層膜周期は  $10.51$  オングストロームとなる。このような多層膜周期をもつ白金/カーボンの多層膜を作製した。層数は 50 層とした。

【0063】まず、モノクロメータ 2 - 1 を X 線の入射角  $3.00^\circ$  の位置に配置する。測定試料 3 と X 線検出器 4 は反射角  $3.00^\circ$  の位置へ X 線が垂直に入射するようにおき、X 線を照射する。モノクロメータ 2 - 1 で波長 1 に単色化された X 線を測定試料 3 に照射し、測定試料 3 を透過した X 線を X 線検出器で検出する。その後、モノクロメータ 2 - 1 の代わりにモノクロメータ 2 - 2 を同位置に配置し、X 線を照射する。モノクロメータ 2 - 2 では波長 2 に単色化された X 線が得られ、波長 2 の単色 X 線を測定試料 3 に照射し、測定試料 3 を透過した X 線を X 線検出器 4 で検出し、このデータと波長 1 の単色 X 線で得られたデータを差分することにより、金だけの X 線透過像を得ることができた。尚、いずれの実施例においても、金だけの X 線透過像からパンプと金ワイヤーとの接続状態、即ち、接続されているか、あるいは断線しているかを判断することができた。

【0064】

【発明の効果】本発明によれば、測定試料中のある物質が検出対象となる元素に加えて他の元素を含み、その他の物質が検出対象となる元素を含まない場合、検出対象となる元素を含む物質だけの形状、寸法、場所、状態を知ることができる。そのため、検出対象となる元素以外の元素の情報によって、検出対象となる元素のを含む物質の情報が得られ難い場合、本発明により正確に検出対象となる元素を含む物質だけの情報を得ることができ

10 【0065】実施例において説明した電子部品の内部の接続状態の確認の他、体内における物質の状態の確認にも本発明を適用できる。一例としては、造影剤、例えば硫酸バリウムが内部に存在する臓器の X 線検査において、バリウムを検出すべき元素として本発明を適用すると、硫酸バリウムを含む臓器の状態を把握できる。また、胆石のような結石の状態を X 線検査する場合には、カルシウムを検出すべき元素として選択して本発明を適用してよい。

【図面の簡単な説明】

20 【図 1】 図 1 は、A と B の 2 種類の元素で構成され、部分的に欠陥部をもつ測定試料の模式的断面図を示す。

【図 2】 図 2 は、従来の X 線検査装置を用いて図 1 の測定試料を検査した場合の透過画像の模式図を示す。

【図 3】 図 3 は、元素の波長と線吸収係数の関係を示す模式的グラフである。

30 【図 4】 図 4 は、本発明の X 線検査方法を適用する場合の X 線透過画像の模式図であり、(a) は、波長 1 の場合の模式的 X 線透過画像であり、(b) は、波長 2 の場合の模式的 X 線透過画像であり、(c) は、これらの画像を差分して得られる模式的 X 線透過画像である。

【図 5】 図 5 は、本発明の実施の形態 1 の X 線検査装置の基本構成を示す模式的ブロック図である。

【図 6】 図 6 は、本発明の実施の形態 2 の X 線検査装置の基本構成を示す模式的ブロック図である。

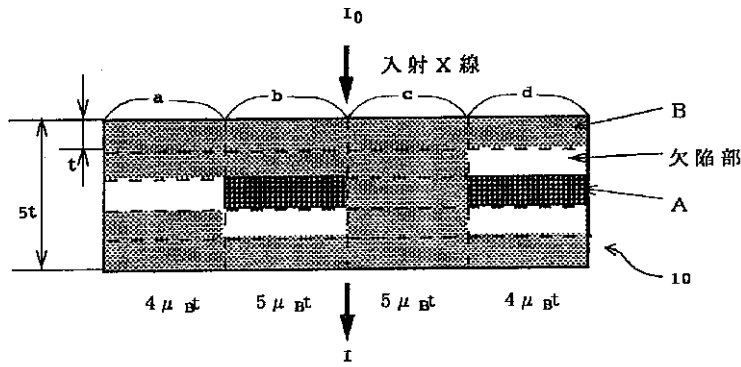
【図 7】 図 7 は、本発明の実施の形態 3 の X 線検査装置の基本構成を示す模式的ブロック図である。

【符号の説明】

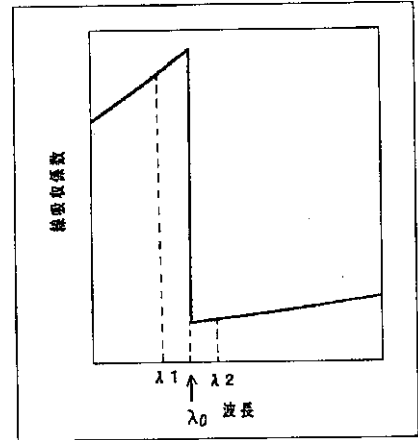
- 1 X 線発生器
- 2 モノクロメータ
- 2 - 1 波長 1 の単色 X 線を得るためのモノクロメータ
- 2 - 2 波長 2 の単色 X 線を得るためのモノクロメータ
- 3 測定試料
- 4 X 線検出器
- 5 データ処理器
- 6 表示部



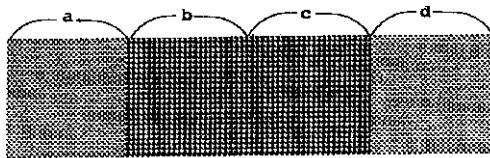
【図1】



【図3】

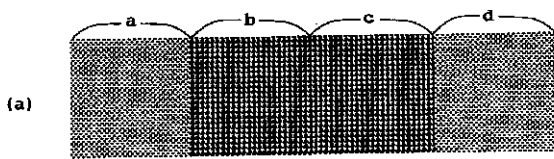


【図2】

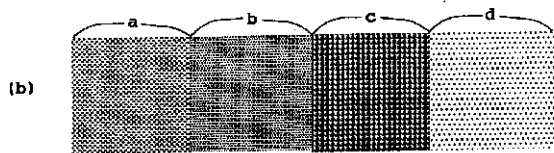


従来の X 線検査装置  
による透過イメージ  
像

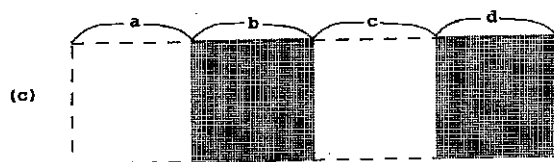
【図4】



波長  $\lambda_1$  の透過  
イメージ像

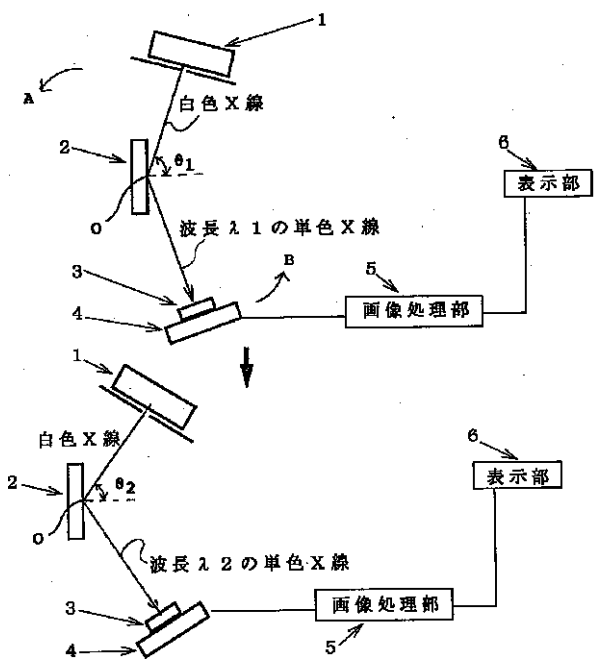


波長  $\lambda_2$  の透過  
イメージ像

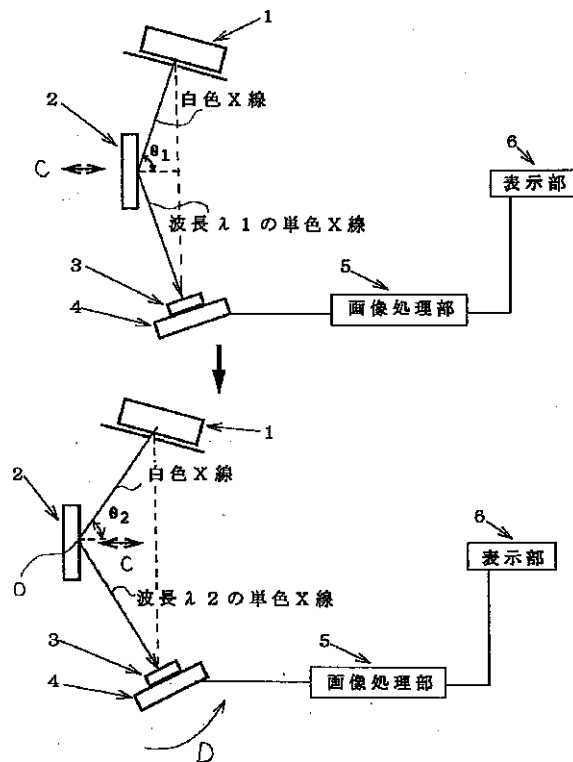


波長  $\lambda_1$  と  $\lambda_2$  の  
透過イメージの差

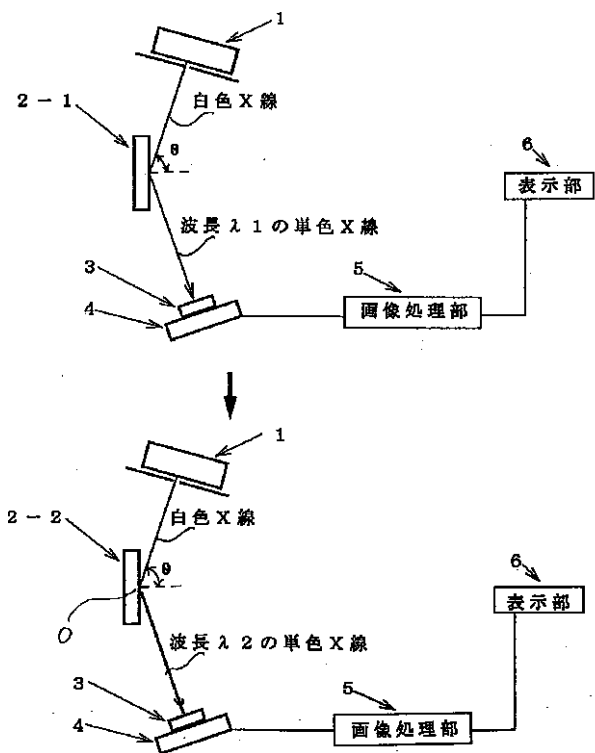
【図5】



【図6】



【図7】



フロントページの続き

(72)発明者 松原 英一郎  
京都府京都市左京区高野西開町 1 番地 第  
2 久米マンション 4 - 16

(72)発明者 川島 勉  
大阪府門真市大字門真1006番地 松下電器  
産業株式会社内

(72)発明者 西木 直巳  
大阪府門真市大字門真1006番地 松下電器  
産業株式会社内

F ターム(参考) 2G001 AA01 AA09 BA11 BA13 CA01  
DA02 EA01 EA02 FA29 GA01  
HA13 HA14 KA01 KA03 LA01  
LA11 NA09 NA15 PA11