(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro

(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
14. Februar 2008 (14.02.2008)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2008/017369 A2

(51) Internationale Patentklassifikation:
G01N 23/04 (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2007/006402

(22) Internationales Anmeldedatum:
19. Juli 2007 (19.07.2007)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
10 2006 036 692.1 5. August 2006 (05.08.2006) DE

(71) Anmelder *(für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US)*: **CARL ZEISS INDUSTRIELLE MESSTECHNIK GMBH** [DE/DE]; Carl-Zeiss-Strasse 22, 73447 Oberkochen (DE).

(72) Erfinder; und

(75) Erfinder/Anmelder *(nur für US)*: **ERLER, Marco** [DE/DE]; Am Holunderrain 2, 73447 Oberkochen (DE).

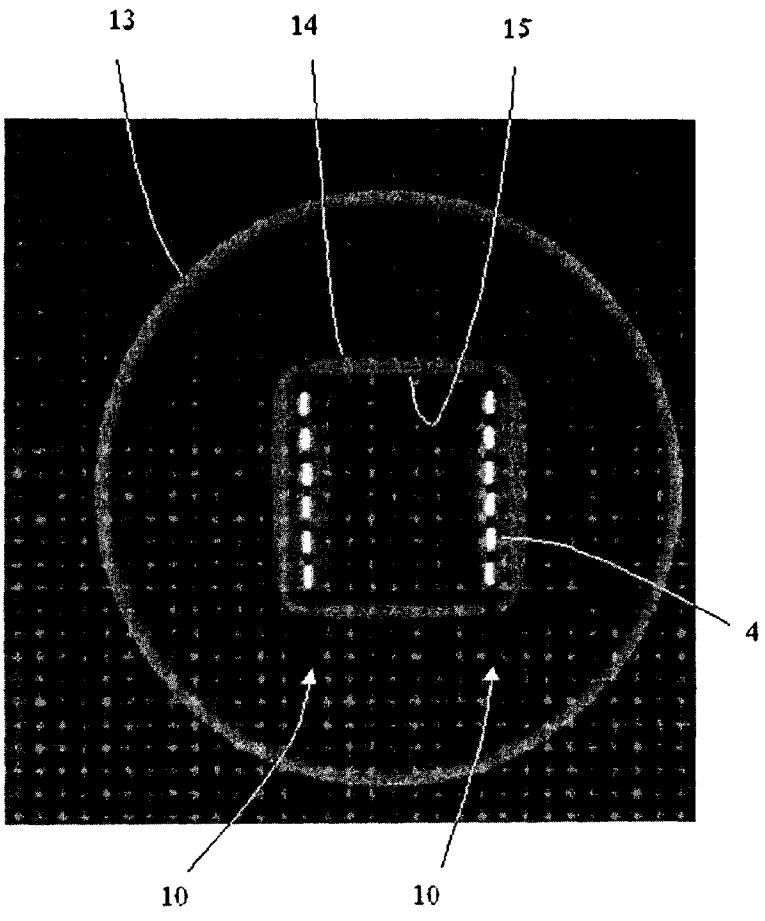
(81) Bestimmungsstaaten *(soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart)*: AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, SV, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

(84) Bestimmungsstaaten *(soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart)*: ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG,

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) **Title:** METHOD FOR MEASURING AN OBJECT USING AN X-RAY SENSOR SYSTEM

(54) **Bezeichnung:** VERFAHREN ZUM VERMESSEN EINES OBJEKTES MITTELS RÖNTGENSENSORIK



(57) **Abstract:** The invention relates to a method for measuring an object (1; 103) using an X-ray sensor system having an X-radiation source (101) emitting X-rays (102) in the direction of the object (1; 103) and a detector (106) detecting the X-rays (102), wherein the surface of the object (1; 103) is brought into contact with a substance (6) which has an X-ray attenuation coefficient which is higher than the X-ray attenuation coefficient of the material of the surface of the object (1; 103).

(57) **Zusammenfassung:** Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Vermessen eines Objektes (1; 103) mittels Röntgensensorik, die eine Röntgenstrahlquelle (101) aufweist, welche Röntgenstrahlen (102) in Richtung zum Objekt (1; 103) aussendet, und einen Detektor (106) aufweist, welcher die Röntgenstrahlen (102) erfasst, wobei die Oberfläche des Objektes (1; 103) mit einer Substanz (6) in Kontakt gebracht wird, welche einen Röntgenstrahl-Schwächungskoeffizienten besitzt, der höher ist als der Röntgenstrahl-Schwächungskoeffizient des Materials der Oberfläche des Objektes (1; 103).

WO 2008/017369 A2

ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), europäisches (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MT, NL, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Erklärung gemäß Regel 4.17:

— *Erfindererklärung (Regel 4.17 Ziffer iv)*

Veröffentlicht:

— *ohne internationalen Recherchenbericht und erneut zu veröffentlichen nach Erhalt des Berichts*

Verfahren zum Vermessen eines Objektes mittels Röntgensensorik

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Vermessen eines Objektes mittels einer Röntgensensorik, welche Röntgenstrahlen aussendet, und einer Substanz, welche Röntgenstrahlen absorbiert. Die Erfindung betrifft ferner die Verwendung einer Substanz zur Schwächung von auf das Objekt gerichteten Röntgenstrahlen.

Mittels Röntgensensorik kann ein Objekt mit Röntgenstrahlen durchleuchtet und das entstehende Abbild untersucht werden. Eine besonders effiziente Durchleuchtung und Untersuchung lässt sich mit der Computertomographie erreichen. Sie bietet im Vergleich zu konventionellen Röntgenaufnahmen den Vorteil, dass kein Überlappen von Bildmerkmalen auftritt und das Objekt in einzelnen Querschnittsschichten betrachtet und ausgewertet werden kann. Ein solches Verfahren funktioniert gut und zuverlässig. Schwierigkeiten können jedoch entstehen, wenn das zu untersuchende Objekt mehrere Materialien aufweist, die eine stark unterschiedliche Schwächung der auftreffenden Röntgenstrahlen bewirken.

Nach dem Passieren eines Röntgenstrahles durch ein stark schwächendes Material in einem Objekt besitzt der Röntgenstrahl kaum noch Anteile niedriger Energie, so dass das Bremsstrahlungsspektrum einen höheren Anteil an hochenergetischer Strahlung als Strahlung mit niedriger Energie besitzt. Ein Röntgenstrahl ist nach dem Passieren des Objektes stets „härter" als vor dem Passieren des Objektes. Somit wird ein schwach absorbierendes Material, welches in dem zu untersuchenden Objekt ebenfalls vorhanden ist, von harter Strahlung fast ohne Schwächung durchdrungen, so dass es in einer Aufnahme kaum oder gar nicht zu erkennen ist. Eine solche Situation tritt zum Beispiel bei einem Kunststoffteil auf, welches in seinem Inneren mit Metalldrähten versehen ist. Ein für die Untersuchung eines solchen Objektes geeignetes Bremsstrahlungsspektrum wird durch die Wahl der Röhrenhochspannung so eingestellt, dass alle Objektpunkte an einem zugehörigen Detektor einen vom Dunkelbild verschiedenen Intensitätswert oder Grauwert liefern. Allgemein gilt, dass der Grauwert nicht linear abhängig von der Röhrenhochspannung (also dem erzeugten Spektrum) und linear abhängig vom Röhrenstrom (also der Strahlintensität) ist. Daraus folgt, dass bei stark absorbierenden Objektteilen ein „hartes" Spektrum mit relativ hoher

Röhrenhochspannung gewählt werden muss, die Intensität jedoch nicht beliebig gewählt werden kann. Schwach absorbierende Objektteile bewirken damit nur wenig Intensitätsänderung und erzeugen am Detektor nur einen geringen Kontrast. Wenn das zu untersuchende Objekt auch an seiner Außenoberfläche aus Kunststoff besteht, lassen sich die Kanten des Objektes vor dem Objekt-Hintergrund nur ungenau ermitteln. In diesem Fall sind metrologische Untersuchungen am Objekt mit einer großen Messunsicherheit behaftet.

Werden alternativ dazu Röntgenstrahlen mit einem relativ schmalen Frequenzband verwendet („monochromatisches Spektrum"), kann zwar ein Ausfiltern von „weicher" Strahlung durch das Objekt ausgeschlossen werden, jedoch lassen sich auch in diesem Fall Materialien mit geringer Röntgenschwächung nur schwer oder gar nicht von einem Hintergrund unterscheiden, der ebenfalls Röntgenstrahlen nur gering schwächt.

Es besteht daher eine Aufgabe darin, Objekte mit Materialien, die Röntgenstrahlen sowohl stark als auch gering schwächen, mittels Röntgensensorik so darzustellen, dass die Kontur von den gering und stark schwächenden Materialien mit einer geringen Messunsicherheit ermittelt werden kann.

Diese Aufgabe wird durch ein Verfahren mit den Merkmalen des Anspruchs 1 gelöst. Vorteilhafte Ausführungsformen ergeben sich aus den Merkmalen der abhängigen Ansprüche.

Bei dem erfindungsgemäßen Verfahren zum Vermessen eines Objektes mittels Röntgensensorik, die eine Röntgenstrahlquelle aufweist, welche Röntgenstrahlen in Richtung zum Objekt aussendet, und einen Detektor aufweist, welcher die Röntgenstrahlen erfasst, wird die Oberfläche des Objektes mit einer Substanz in Kontakt gebracht, welche einen Röntgenstrahl-Schwächungskoeffizienten besitzt, der höher ist als der Röntgenstrahl-Schwächungskoeffizient des Materials der Objektoberfläche.

Damit ist es möglich, in einer Röntgenaufnahme die Kontur eines Objektes vor dem Objekt-Hintergrund deutlicher abzugrenzen. Die Objektoberfläche erscheint dann mit einem Grauwertkontrast vor dem Hintergrund, so dass sich Materialien, welche die Außenoberfläche eines Objektes bilden und Röntgenstrahlen relativ schwach absorbieren und streuen, identifizieren lassen. Zusätzlich können stark schwächende Materialien in der

Röntgenaufnahme weiterhin gut erkannt werden. Die Auswahl der Substanz kann zum einen davon abhängig gemacht werden, aus welchem Material sich die Objektoberfläche zusammensetzt. Weist die Objektoberfläche unterschiedliche Materialien auf, kann die Substanz danach ausgewählt werden, welches Material an einer Stelle vorliegt, die für eine metrologische Untersuchung von besonderem Interesse ist. Es wird darauf hingewiesen, dass unter dem Begriff „Oberfläche" einerseits eine Außenoberfläche gemeint ist, die von außen sichtbar ist. Andererseits kann es sich um eine Oberfläche handeln, die im Bereich eines Objektes liegt, welcher von einer Substanz nur durch einen Spalt, eine Pore, einen Hinterschnitt oder ähnliches zwar von außen zugänglich, aber von außen nicht mehr sichtbar ist. Vorzugsweise ist ein solcher Zugang ohne weitere Hilfsmittel (z.B. Injektionsnadel) möglich.

Bevorzugt wird bei dem Verfahren eine Substanz verwendet, welche einen Röntgenstrahl-Schwächungskoeffizienten besitzt, der höher oder niedriger ist als der Schwächungskoeffizient jedes im Inneren des Objektes enthaltenen Materials, welches nicht in der Oberfläche des Objektes enthalten ist. Damit kann nicht nur die Kontur des Objektes vor dem Hintergrund besser erfasst werden. Die Substanz lässt sich außerdem stets von dem Material gut unterscheiden, welches sich im Inneren des Objektes befindet, ohne dass ein direkter Kontakt zur Substanz notwendig ist. Dies erhöht die Sicherheit bei der Auswertung der Bildinformation. Ferner können auch von außen nicht zugängliche Materialien zuverlässig identifiziert werden.

Es ist vorteilhaft, wenn als Substanz ein Fluid verwendet wird. Ein Fluid kann relativ einfach auf ein Objekt aufgebracht werden. Dies kann zum Beispiel dadurch geschehen, dass das Objekt in die Substanz eingetaucht wird und während einer Bestrahlung mit Röntgenstrahlen in dieser Substanz eingetaucht bleibt. Die Wegstrecke, welche die Röntgenstrahlen durch diese Substanz zurücklegt, beeinflusst die Intensität der Strahlung, welche von dem hinter dem Objekt angeordneten Detektor noch erfasst werden kann. Falls sich die Strahlintensität aufgrund der eingesetzten Röntgenquelle nur unwesentlich erhöhen lässt, kann das Objekt mit der Substanz auch nur benetzt werden. Dabei ist ein möglichst flächendeckendes Benetzen anzustreben, wobei auch eine nur teilweise Benetzung ausreicht, wenn nur bestimmte Bereiche des Objektes vermessen werden sollen. Ein Benetzen der Oberfläche ist einem vollständigen Eintauchen des Objektes in die Substanz auch dann vorzuziehen, wenn das

Objekt sehr kleine Abmessungen besitzt. Damit wird erreicht, dass die Röntgenstrahlen noch zu einem bedeutenden Anteil durch das Objekt und nicht durch die Substanz absorbiert werden. Auf diese Weise kann auch bei kleinen Teilen eine geringere Messunsicherheit als ohne Einsatz einer Substanz erreicht werden.

Alternativ zu einem Fluid kann auch ein Pulver oder ein sehr feinkörniges Material mit beliebiger Röntgenschwächung zum Einsatz kommen. Durch Vibration ist es möglich, ein solches Pulver gut zu verdichten, so dass das zu untersuchende Objekt gut umhüllt wird. Damit kann, wie oben beschrieben wurde, ebenfalls die Kontur des Objektes gut erfasst werden.

Vorzugsweise weist die Substanz, mit der die Oberfläche des Objektes in Kontakt kommt, Jod oder Barium auf. Jod besitzt die Ordnungszahl 53, und Barium besitzt die Ordnungszahl 56. Da sich die Röntgenstrahl-Absorption proportional zur 3. Potenz der Ordnungszahl verhält, können diese Elemente als sog. „positive Kontrastmittel" verwendet werden. Sie erhöhen also den Kontrast zu einem Objekt, welches Elemente mit niedrigerer Ordnungszahl aufweist.

Vorzugsweise kommt als Substanz eine wässrige Lösung zum Einsatz, welche ein gelöstes Salz auf Basis von Jod und einem Alkalimetall oder Erdalkalimetall aufweist. Dies kann zum Beispiel Natriumjodid sein. Eine solche Substanz ist vorteilhaft, da sie in Wasser eine sehr hohe Löslichkeit besitzt, sich schnell bei Raumtemperatur auflöst, im gelösten Zustand nicht mit Kunststoffen, Eisen und Aluminium reagiert und sich daraus Konzentrationen herstellen lassen, deren Röntgenstrahl- Schwächungskoeffizient etwa jenem von Eisen entspricht. Ferner ist vorteilhaft, dass Natriumjodid gesundheitlich unbedenklich ist, sich ohne Verfärbung von einer Oberfläche abwaschen lässt und in einem weiten Konzentrationsbereich herstellbar ist. Außerdem findet bei Natriumjodid kein Zerfall oder Zersetzen innerhalb von langen Zeiträumen (Jahren) statt, es ist unempfindlich gegen Lichteinwirkung und ist bei Raumtemperatur oder Temperaturen, wie sie bei Probenvorbehandlungen üblich sind, chemisch stabil.

Anstelle von Natriumjodid können auch andere Salze des Jods verwendet werden. Dabei ist darauf zu achten, dass im Messobjekt kein Metall vorhanden ist, welches einen niedrigeren Elektronegativitätskoeffizienten als das Metall des Salzes aufweist. Ansonsten könnte es

passieren, dass das Jod mit dem Metall des Messobjektes chemisch reagiert und zum Beispiel die Oberfläche des Objektes angegriffen wird. Alternativen zu Natriumjodid können auch Salze der Trijod-Benzoesäure als wasserlösliche Kontrastmittel oder ölige Jodverbindungen sein.

Die Erfindung betrifft auch die Verwendung einer Substanz zur Schwächung von auf ein zu vermessendes Objekt gerichteten Röntgenstrahlen. Gemäß der Erfindung wird vorgeschlagen, die Substanz mit einer Oberfläche des zu untersuchenden Objektes in Kontakt zu bringen. Unter „Oberfläche" ist hier vorrangig eine von außen ohne weitere Hilfsmittel zugängliche Oberfläche zu verstehen, die nicht unbedingt von außen sichtbar sein muss. Zusätzlich zu einem Innenbereich eines Objektes kann somit ein zum Beispiel Röntgenstrahlen gering schwächender Außenbereich eines zu vermessenden Objektes mit einer solchen Substanz in Kontakt gebracht werden. Auf diese Weise lässt sich die Kontur des Objektes in einer Röntgenaufnahme besser erkennen. Vorzugsweise weist die Substanz Jod auf, da Jod einen hohen Schwächungskoeffizienten für Röntgenstrahlen besitzt.

Vorteile und Weiterbildungen der Erfindung werden an Hand der nachfolgenden Figuren erläutert, in welchen zeigen:

Fig. 1 eine schematische, stark vereinfachte Darstellung eines Computertomographen;

Fig. 2 ein Röntgenbild mit einer Seitenansicht eines zu vermessenden Objektes, welches teilweise in Kontakt mit einer Röntgenstrahl absorbierenden Substanz ist;

Fig. 3 eine mittels eines Computertomographen erstellte erste rekonstruierte Aufnahme einer Ebene durch das Objekt entlang der Schnittlinie A-A in Fig. 2;

Fig. 4 eine mittels eines Computertomographen erstellte zweite rekonstruierte Aufnahme einer Ebene durch das Objekt entlang der Schnittlinie B-B in Fig. 2;

Fig. 5 eine schematische Querschnittsansicht zur Erläuterung der Schnittebene B-B in Fig. 2; und

Fig. 6 eine mittels eines Computertomographen erstellte dritte rekonstruierte Aufnahme einer Ebene durch das Objekt entlang der Schnittlinie C-C in Fig. 2.

In Fig. 1 ist eine schematische Darstellung eines Computertomographen gezeigt. Der Computertomograph 100 weist eine Röntgenstrahlquelle 101 auf, die Röntgenstrahlen 102

kegelstrahlförmig in Richtung zu einem zu untersuchenden Objekt 103 aussendet. Die in Form eines Kegels ausgebildeten Strahlen 102 treffen auf das Objekt 103, welches auf einem Manipulator 104 relativ zur Röntgenstrahlquelle 101 bewegbar gelagert ist, siehe Bezugszeichen 105, und werden teilweise absorbiert, gestreut oder hindurch gelassen. Ein hinter dem Objekt 103 angeordneter Detektor 106 erfasst die durch das Objekt 103 passierten Röntgenstrahlen 102. Dabei werden vom Detektor 106 eine Vielzahl von Aufnahmen in Abhängigkeit von einer Winkelposition des Objektes 103 zur Röntgenstrahlquelle 101 aufgenommen. Mit einer Datenverarbeitung 107 lassen sich diese Aufnahmen so aufbereiten, dass eine dreidimensionale Struktur des Objektes 103 erstellt werden kann („Rekonstruktion"), durch die sich anschließend beliebige Querschnitte legen lassen.

In Fig. 2 ist eine Seitenansicht eines Objektes 1 in einem Behälter 2 dargestellt, welches durch eine Röntgenaufnahme erstellt wurde. Bei dem Objekt 1 handelt es sich um ein Spritzgussteil, das in den Behälter senkrecht gestellt wurde, wobei sich der untere Bereich des Spritzgussteiles in einer Substanz 6 befindet, die bei dieser Ausführungsform als wässrige Lösung auf der Basis von Jod ausgebildet ist. Das Objekt 1 besitzt ein Gehäuse 3 aus Kunststoff, wobei innerhalb des Gehäuses 3 metallische Zuleitungen 4 in senkrechter Richtung verlaufen. Im oberen Bereich des Spritzgussteiles ist zentrisch ein metallisches Teil 5 zu erkennen, welches in der Röntgenaufnahme in einem dunklen Grauwert erscheint. Dies lässt darauf schließen, dass das Teil 5 einen höheren Röntgenstrahl-Schwächungskoeffizienten als die metallischen Zuleitungen 4 besitzt, welche in einem helleren Grauwert erscheinen. Der Behälter 2 ist mit einem sehr hellen Grauwert dargestellt, wobei hauptsächlich die trichterförmige Außenkontur 7 zu erkennen ist; vereinzelt sind auch horizontale Querrillen 8 des Behälters 2 sichtbar. Aufgrund der Grauwertunterschiede zwischen Behälter 2 und Objekt 1 wird deutlich, dass der Kunststoff des Behälters 2 weniger Röntgenstrahlen als der Kunststoff des Objektes 1 schwächt. Eine hohe Schwächung wird von der Substanz 6 erreicht, welche in Fig. 2 in einem sehr dunklen Grauwert erscheint. Der untere Bereich des Objektes 1 ist in der Substanz 6 nicht mehr zu erkennen.

Werden das Objekt 1 und der Behälter 2 mit der Substanz 6 auf einem Manipulator 9 platziert und um ihre eigene Achse in zum Beispiel 800 Winkelschritten bei einer vollständigen Umdrehung gedreht, können diese dann ermittelten Aufnahmen von einer Datenverarbeitung so ausgewertet werden, dass sich Schnittdarstellungen entlang mehrerer Ebenen erstellen

lassen. Die Fig. 3 bis 4 zeigen Querschnitte durch das Objekt 1 und den Behälter 2 in einer Negativdarstellung (stark schwächende Bereiche in hellem Grauwert, gering schwächende Bereiche in dunklem Grauwert). In Fig. 3 ist ein Querschnitt entlang der in Fig. 2 eingezeichneten Linie A-A dargestellt. In dieser Ebene befinden sich nur der Kunststoff des Behälters 2, der Kunststoff des Objektes 1 und die metallischen Zuleitungen 4 innerhalb des Spritzgussteiles. Das rekonstruierte Bild dieser Ebene zeigt die metallischen Zuleitungen 4 in einem hellen Grauwert sowie ausstrahlende Linien 10 in einer Verlängerung zu jeweils einer Reihe der metallischen Zuleitungen 4, wobei die ausstrahlenden Linien in einem dunklen Grauwert erscheinen. Zwischen den einzelnen metallischen Zuleitungen 4 einer Reihe sind sehr dunkle Bereiche 11 zu erkennen.

Die ausstrahlenden Linien 10 und die dunklen Bereiche 11 sind Artefakte, die keine tatsächliche Entsprechung in dem Objekt besitzen. Sie sind in der Abbildung unerwünscht, lassen sich aber bei Objekten mit unterschiedlich absorbierenden Materialien ohne Einsatz des erfindungsgemäßen Verfahrens nicht vermeiden. Sie entstehen dadurch, dass nach dem Durchtritt von Röntgenstrahlen durch zum Beispiel Metalle mit einem hohen Schwächungskoeffizienten Röntgenanteile mit relativ niedriger Energie von diesen Metallen absorbiert und gestreut werden, so dass nur noch „harte“ Strahlung für den weiteren Durchtritt durch ein Objekt zur Verfügung steht („Strahlaufhärtung“). Harte Strahlung wird von Materialien mit geringem Röntgenstrahl-Schwächungskoeffizienten nicht mehr geschwächt, so dass bei Existenz von gering schwächenden Materialien eine fehlerhafte Bildinformation ermittelt wird. Ferner sind in Fig. 3 noch in hellerem Grauwert Linien 12 zu erkennen, welche zu einem Kunststoff des Gehäuses 3 korrespondieren; nicht sichtbar sind der Behälter 2 und der äußere Umfang des Objektes 1. Ein wie in Fig. 3 dargestelltes Bild hat den Nachteil, dass zum einen Artefakte dargestellt werden. Zum anderen sind real vorhandene Ränder eines zu vermessenden Objektes zum Teil nicht oder fast nicht erkennbar. Ein in Fig. 3 dargestelltes Bild entspricht einer Computertomographie-Aufnahme ohne Einsatz des erfindungsgemäßen Verfahrens.

Das in Fig. 4 gezeigte Bild zeigt einen Querschnitt entlang der Ebene B-B in Fig. 2. In dieser Ebene ist gemäß einer Ausführungsform der Erfindung die Substanz 6 sehr dünn mit dem Objekt 1 in Kontakt gebracht. Die Substanz 6 benetzt die Oberfläche des Objektes 1, so dass Röntgenstrahlen nur durch eine relativ dünne, aber intensiv schwächende Schicht passieren.

Ausstrahlende Linien 10 sind in weniger ausgeprägter Form als bei Fig. 3 zu erkennen. Hingegen sind der Innenumfang des Behälters 2 und des Objektes 1 deutlicher zu erkennen. Der Innenumfang des Behälters 2 ist mit einer kreisrunden Linie 13 und der Außenumfang des Objektes 1 durch eine Linie 14 dargestellt, wobei beide Linien 13, 14 in einem mittleren Grauwert erscheinen. Ein Vergleich mit Fig. 3 ergibt, dass in Fig. 3 die Linie 14 nur sehr schwach und die Linie 13 überhaupt nicht zu erkennen ist. In Fig. 4 erscheinen sie als genau vermessbare Linien, da die Substanz 6 sowohl mit dem Innenumfang des Behälters 2 als auch mit dem Außenumfang des Objektes 1 in Kontakt ist. Auch innerhalb des Objektes sind noch Grauwert-Abstufungen zu erkennen, siehe Bezugszeichen 15.

Der Raum zwischen dem Innenumfang des Behälters 2 und dem Außenumfang des Objektes 1 ist in dieser Schnittebene B-B nicht von der Substanz 6 ausgefüllt, da die Schnittebene knapp oberhalb der mittleren Flüssigkeitsoberfläche verläuft. Fig. 5 zeigt den Verlauf der Schnittebene B-B schematisch in einer Vergrößerung. Die dünne Benetzung des Innenumfangs des Behälters 2 und des Außenumfangs des Objektes 1 erklärt sich durch die positive Haftspannung der Substanz, welche dazu führt, dass im Grenzbereich zwischen Substanz 6 und Kunststoff des Objektes 1 bzw. Kunststoff des Behälters 2 die Substanz 6 nach oben kriecht, so dass sich jeweils ein Randwinkel θ_1 bzw. θ_2 ausbildet.

Die metallischen Zuleitungen 4 sind in Fig. 4 in einem geringfügig helleren Grauwert als die Kunststoff-Ummantelung 14 des Objektes 1 oder der Innenumfang 13 des Kunststoff-Behälters 2 sichtbar. Dies zeigt, dass ein geringer, aber noch vorhandener Unterschied in der Schwächung von Röntgenstrahlen zwischen den metallischen Zuleitungen 4 und der Substanz 6 besteht. Ausstrahlende Linien 10 sind weniger stark ausgeprägt als bei der Darstellung in Fig. 3, da eine geringere Aufhärtung der Röntgenstrahlen vorliegt. Diese in Fig. 4 gezeigte Darstellung ermöglicht ein genaueres Vermessen des aus Materialien mit unterschiedlichem Schwächungskoeffizienten zusammengesetzten Objektes 1.

Das in Fig. 6 dargestellte rekonstruierte Bild zeigt einen Schnitt durch die Ebene C-C in Fig. 2. Die Röntgenstrahlen passieren hier eine größere Wegstrecke durch die Substanz 6, so dass eine starke Schwächung der Röntgenstrahlen erfolgt. Das im Zentrum des Behälters 2 angeordnete Objekt 1 ist kaum noch zu erkennen, so dass an Hand dieses Bildes keine genaue Vermessung vorgenommen werden kann. Ein Eintauchen des Objektes 1 in die Substanz 6

ergibt bei der gewählten Strahlintensität und der gewählten Weglänge durch die Substanz 6 eine zu starke Absorption der Röntgenstrahlen. Ein Vergleich zwischen den Aufnahmen in Fig. 3, 4 und 6 führt zu dem Ergebnis, dass das verwendete Objekt 1 bei den gewählten Parametern mittels Röntgenstrahlen sehr gut vermessen werden kann, wenn seine Oberfläche lediglich mit einer Röntgenstrahlen schwächenden Substanz benetzt wird.

Patentansprüche

1. Verfahren zum Vermessen eines Objektes (1; 103) mittels Röntgensensorik, die eine Röntgenstrahlquelle (101) aufweist, welche Röntgenstrahlen (102) in Richtung zum Objekt (1; 103) aussendet, und einen Detektor (106) aufweist, welcher die Röntgenstrahlen (102) erfasst, wobei die Oberfläche des Objektes (1; 103) mit einer Substanz (6) in Kontakt gebracht wird, welche einen Röntgenstrahl-Schwächungskoeffizienten besitzt, der höher ist als der Röntgenstrahl-Schwächungskoeffizient des Materials der Oberfläche des Objektes (1; 103).

2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei eine Substanz (6) verwendet wird, welche einen Röntgenstrahl-Schwächungskoeffizienten besitzt, der höher oder niedriger ist als der Röntgenstrahl-Schwächungskoeffizient jedes im Inneren des Objektes (1; 103) enthaltenen Materials, welches nicht in der Oberfläche des Objektes (1; 103) enthalten ist.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, wobei als Substanz (6) ein Fluid oder ein Pulver verwendet wird.

4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, wobei die Oberfläche des Objektes (1; 103) mit der Substanz (6) derart in Kontakt gebracht wird, indem das Objekt (1; 103) in die Substanz eingetaucht wird.

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, wobei die Oberfläche des Objektes (1; 103) mit der Substanz derart in Kontakt gebracht wird, indem das Objekt (1; 103) mit der Substanz (6) benetzt wird.

6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, wobei die Substanz (6) Jod oder Barium aufweist.

7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, wobei als Substanz (6) eine wässrige Lösung zum Einsatz kommt, welche ein gelöstes Salz auf Basis von Jod und einem Alkalimetall oder Erdalkalimetall aufweist.

8. Verwendung einer Substanz (6) zur Schwächung von auf ein zu vermessendes Objekt (1; 103) gerichteten Röntgenstrahlen (102), wobei die Substanz (6) mit einer Oberfläche eines zu untersuchenden Objektes (1; 103) in Kontakt gebracht wird.

9. Verwendung gemäß Anspruch 8, wobei die Substanz (6) Jod aufweist.

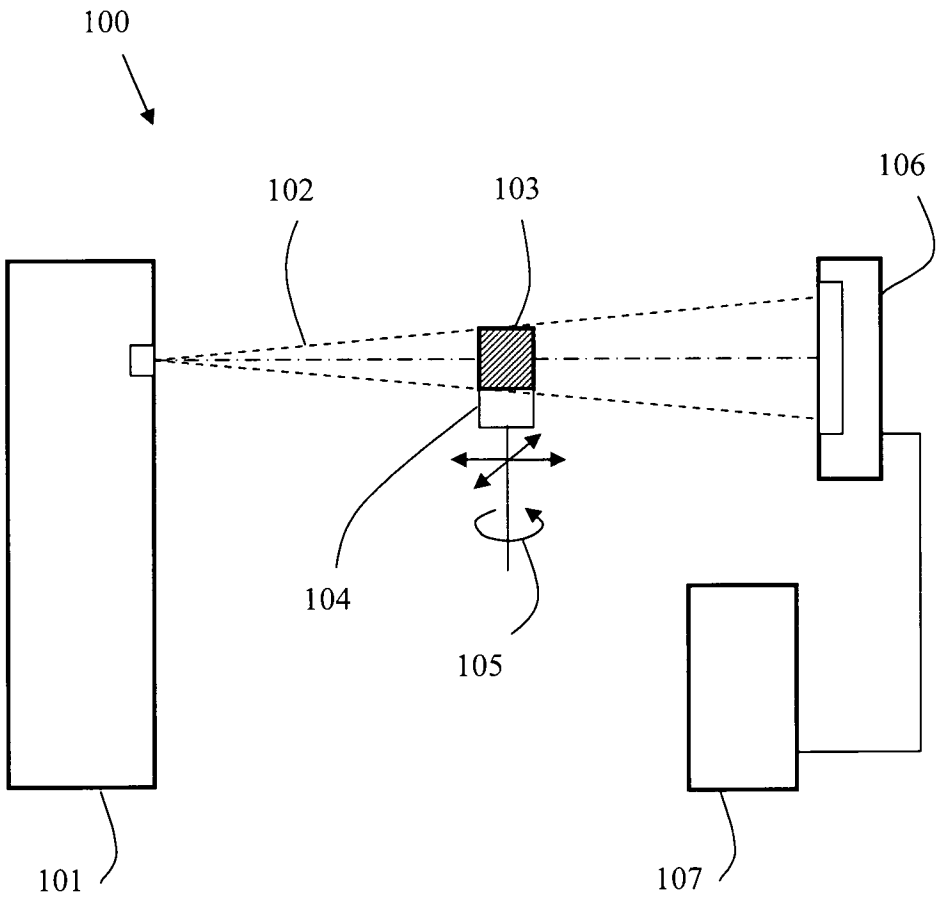


Fig. 1

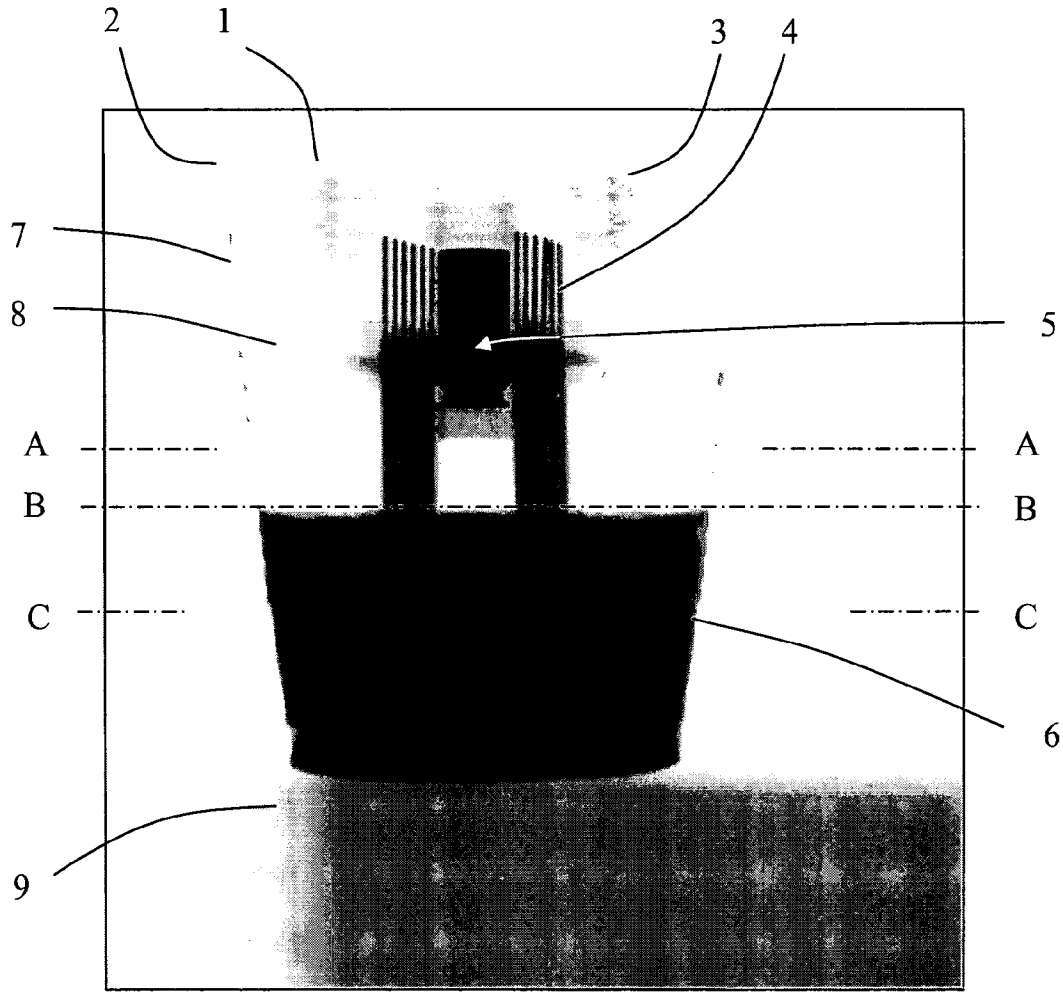


Fig. 2

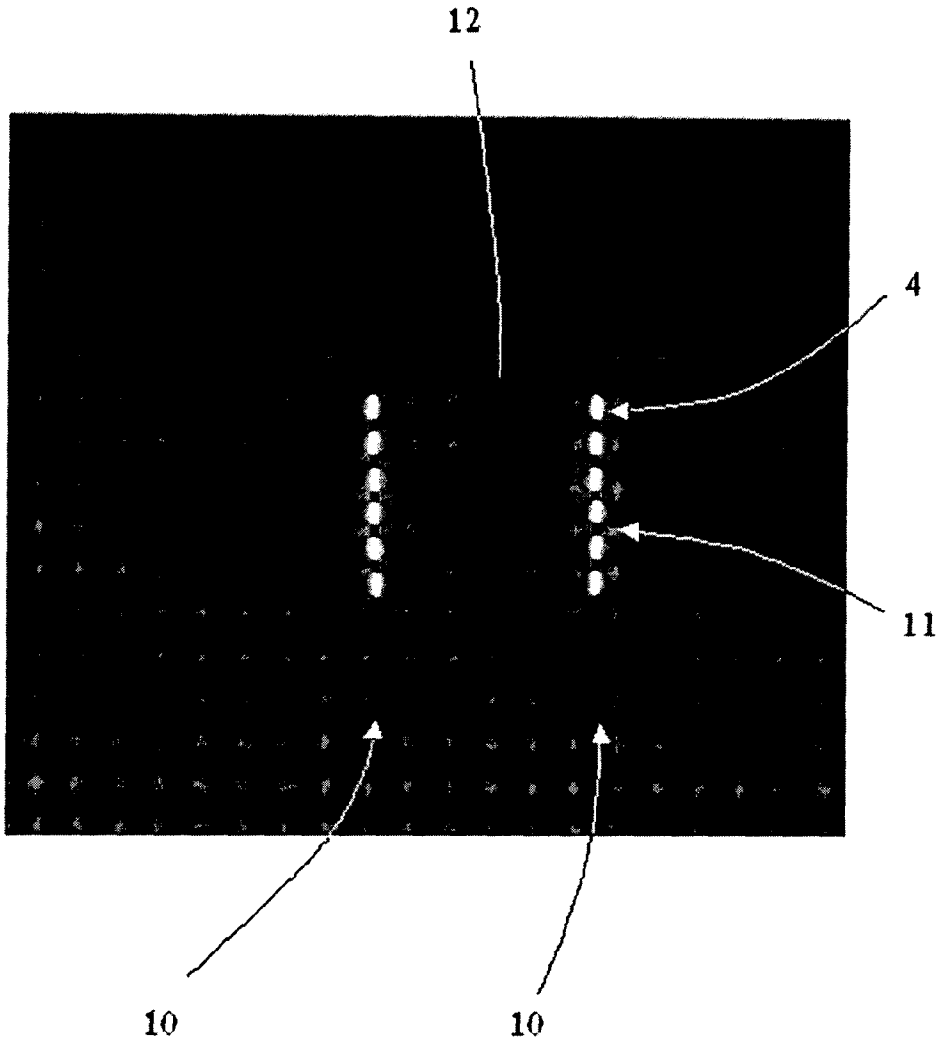


Fig. 3

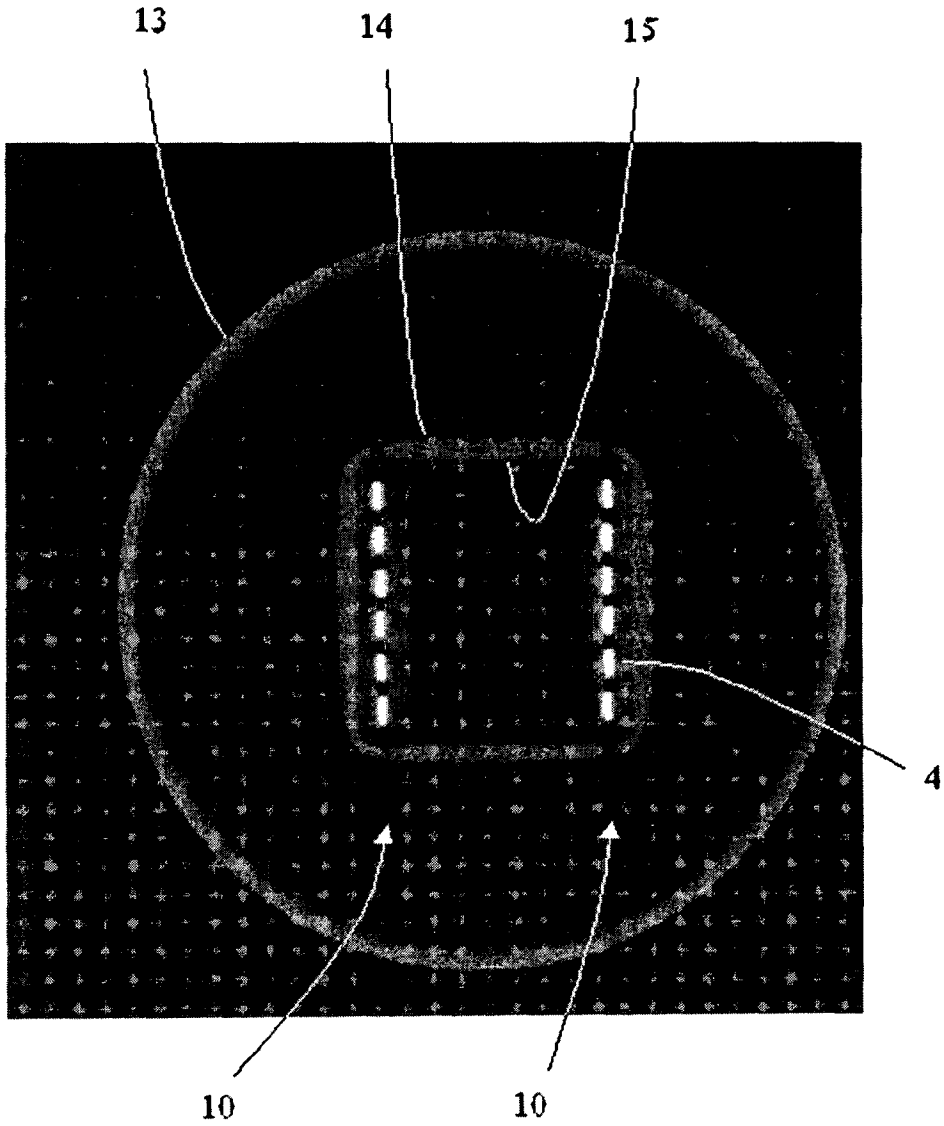


Fig. 4

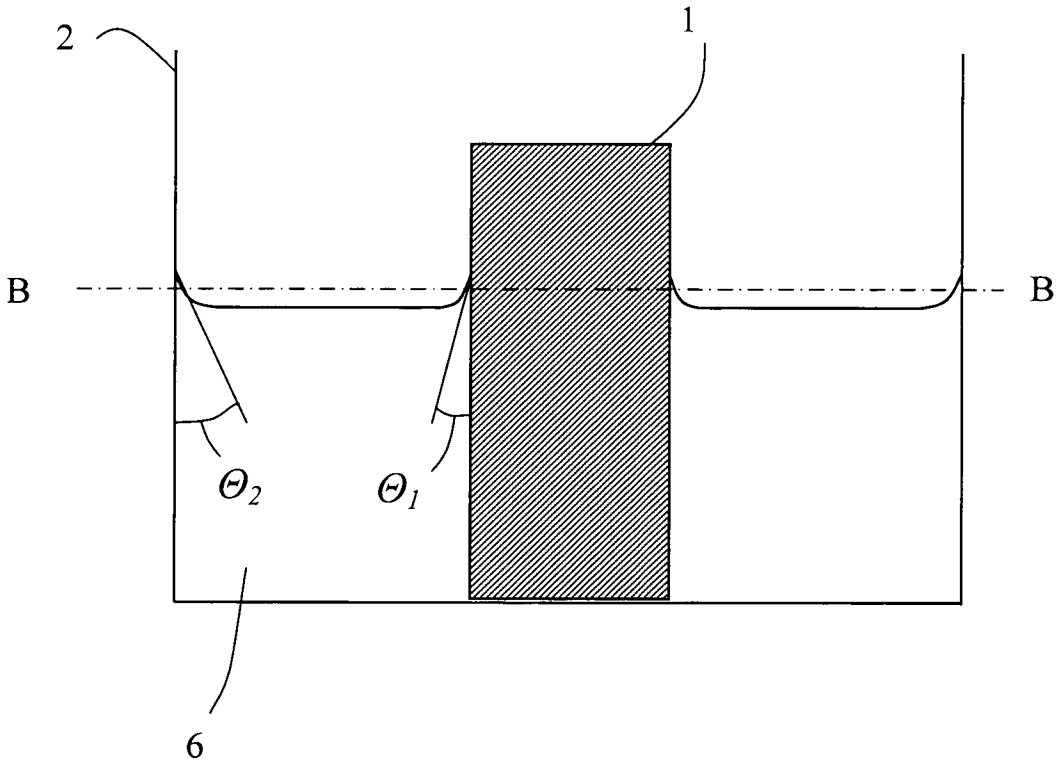


Fig. 5

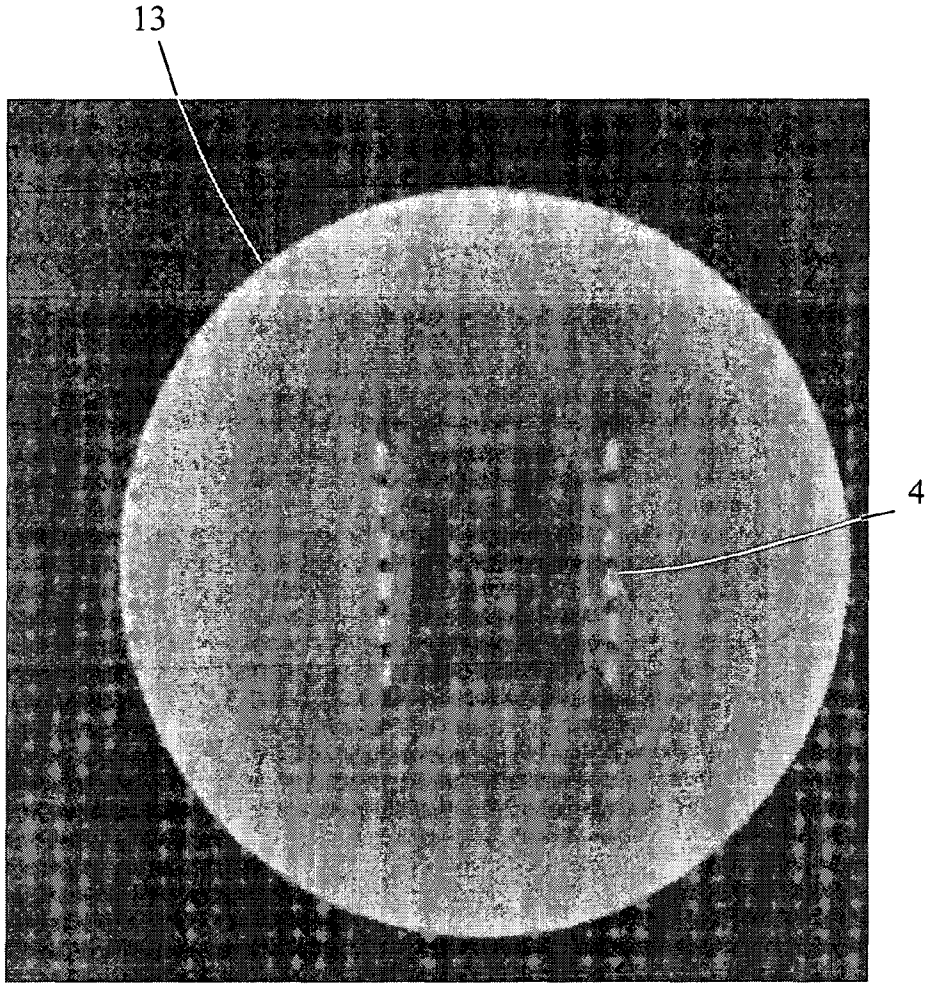


Fig. 6