



(10) **DE 11 2011 102 492 T5** 2013.07.25

(12)

## Veröffentlichung

der internationalen Anmeldung mit der  
(87) Veröffentlichungs-Nr.: **WO 2012/014982**  
in deutscher Übersetzung (Art. III § 8 Abs. 2 IntPatÜG)  
(21) Deutsches Aktenzeichen: **11 2011 102 492.4**  
(86) PCT-Aktenzeichen: **PCT/JP2011/067278**  
(86) PCT-Anmeldetag: **28.07.2011**  
(87) PCT-Veröffentlichungstag: **02.02.2012**  
(43) Veröffentlichungstag der PCT Anmeldung  
in deutscher Übersetzung: **25.07.2013**

(51) Int Cl.: **G01N 23/207** (2013.01)

(30) Unionspriorität:  
**2010-169338**      **28.07.2010**      **JP**

(71) Anmelder:  
**Rigaku Corp., Akishima-shi, Tokyo, JP**

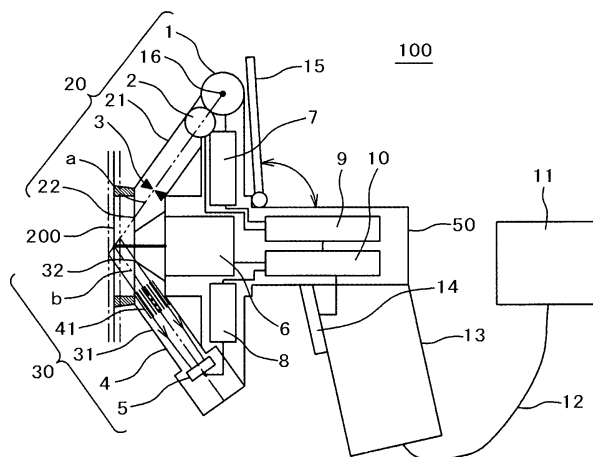
(74) Vertreter:  
**BEETZ & PARTNER Patent- und Rechtsanwälte,  
80538, München, DE**

(72) Erfinder:  
**Nakano, Asao, Akishima-shi, Tokyo, JP; Ueji,  
Yoshinori, Akishima-shi, Tokyo, JP**

**Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen**

(54) Bezeichnung: **Röntgenbeugungsverfahren und tragbares Röntgenbeugungsgerät, das dieses verwendet**

(57) Zusammenfassung: Ein tragbares Röntgenstrahlbeugungsgerät wird bereit gestellt, welches von einer Person gehalten werden kann und auf welchem ein Bild eines zu messenden Punkts sichtbar gemacht wird. Das tragbare Röntgenstrahlbeugungsgerät umfasst: Röntgenstrahlbestrahlungsmittel, welche eine Probe mit kollimierten Röntgenstrahlen bestrahlen; Detektionsmittel für gebeugte Röntgenstrahlen, welche einen kollimierten Anteil von Röntgenstrahlen aus den von der Probe aufgrund der Bestrahlung mit Röntgenstrahlen durch das Röntgenstrahlbestrahlungsmittel gebeugten Röntgenstrahlen detektieren; und Signalverarbeitungsmittel, welche ein von dem Detektionsmittel für gebeugte Röntgenstrahlen ausgegebenes Signal verarbeiten. Ein Röntgenstrahlbeugungsverfahren wird verwendet welches umfasst: Bestrahlen einer Probe mit kollimierten Röntgenstrahlen mit kontinuierlichem Wellenlängenspektrum; Extrahieren eines kollimierten Anteils aus gebeugten Röntgenstrahlen, welche von der mit den Röntgenstrahlen bestrahlten Probe gebeugt werden, und Bündeln des extrahierten, kollimierten Anteils der gebeugten Röntgenstrahlen; Detektieren der gebündelten, gebeugten Röntgenstrahlen mittels eines energiedispersiven Detektionselements; und Verarbeiten eines von dem Detektionselement detektierten Signals.



**Beschreibung****Nichtpatentliteratur****Technisches Gebiet**

**[0001]** Die vorliegende Erfindung betrifft ein Röntgenbeugungsverfahren zum Analysieren eines Materials durch Bestrahlung einer Probe mit Röntgenstrahlung mit kontinuierlichem Wellenlängenspektrum, welche von einer Röntgenröhre erzeugt wurde, sowie ein tragbares Röntgenbeugungsgerät, welches dieses verwendet.

**Stand der Technik**

**[0002]** Es wurden Anwendungsbereiche für Röntgenbeugungsverfahren als Verfahren zum Identifizieren einer unbekannten kristallinen Probe oder zum Messen eines Teils einer großen Probe oder einer auf einem Substrat montierten Probe von verschiedener Art gefunden. Unter diesen Umständen stieg die Nachfrage nach Messvorrichtungen, welche im Außenraum verwendet werden können, um Funktionen von Analysevorrichtungen zu übernehmen, die gewöhnlich in Innenräumen verwendet werden. Durch die Fortschritte in der elektronischen Technologie in den letzten Jahren konnten Stromversorgungseinheiten und Steuerschaltkreise kleiner, leichter und stromsparender ausgestaltet werden. Allgemeine Röntgenbeugungsverfahren haben jedoch das Problem, dass dann, wenn die Probe aus ihrer Position geschoben wird, ihre Messgenauigkeit und Empfindlichkeit nachlässt. Daher wurden Röntgenbeugungsmessungen mit Hilfe einer mechanischen Winkelmessvorrichtung durchgeführt, die als Goniometer bezeichnet wird, um eine Probe in der korrekten Position zu halten.

**[0003]** Was die existierenden Verfahren betrifft, so beschreibt die Nichtpatentliteratur 1 beispielsweise eine Messvorrichtung, welche einen Goniometer zum beweglichen Halten der Positionen einer Probe, einer Röntgenquelle und einem Detektor verwendet. Die Patentliteratur 1 offenbart andererseits eine tragbare Röntgenbeugungsvorrichtung, die zum Messen von Röntgenbeugung in einem bestimmten Teil einer Probe dienen soll.

**[0004]** Ferner ist in der Nichtpatentliteratur 2 ein Röntgenbeugungsmessverfahren beschrieben, in welchem ein Röntgendetektor verwendet wird, der eine Röntgenphotonenenergieanalyse durchführen kann und in welchem keine Röntgenwinkelmessvorrichtung verwendet wird.

**Zitateliste****Patentliteratur****[0005]**

Patentliteratur 1: US Patent Nr. 7646847

**[0006]**

Nichtpatentliteratur 1: Jenkins & Snyder, Introduction to X-ray Powder Diffractometry, 1966, John Wiley & Sons, Inc. pp178–203

Nichtpatentliteratur 2: International Center for Diffraction Data 2003, Advances in X-ray Analysis, Vol. 14, pp98–105

**Zusammenfassung der Erfindung****Technisches Problem**

**[0007]** Im Allgemeinen werden bei der Röntgenbeugungsmessung Röntgenbeugungsintensitäten in unterschiedlichen Röntgenbeugungswinkeln mittels eines Röntgendetektors gemessen, so dass es notwendig war, Messungen durchzuführen, wobei die Winkel und Positionen der Probe und des Detektors für jeden verwendeten Röntgenbeugungswinkel verändert wurden. Daher muss die verwendete mechanische Winkelmessvorrichtung unvermeidlich schwer sein, um die Röntgenquelle und den Röntgendetektor sicher in Position zu halten und die Präzision während der Winkeländerung beizubehalten. Daher war es bisher schwierig, allgemeine Röntgenbeugungsvorrichtungen als tragbare Geräte auszugestalten.

**[0008]** Röntgenbeugungsgeräte vom Energieanalysetyp, die keine Winkeländerungen benötigen, verwenden einen großen Röntgendetektor und in derartigen Röntgenbeugungsgeräten sind eine Probe und ein Detektor voneinander beabstandet, um die Messgenauigkeit der Röntgenbeugungsmessung zu gewährleisten. Es war daher schwierig, Röntgenbeugungsgeräte von einem E-Analysetyp im Hinblick auf ihr Gewicht und ihre Größe tragbar auszugestalten.

**[0009]** Es war schwierig, mechanische Winkelmessvorrichtungen wie die in der Nichtpatentliteratur 1 beschriebene kompakt und leicht zu gestalten. Was die in der Patentliteratur 1 beschriebene Vorrichtung betrifft, war es nötig, einen komplizierten Aufbau mit einem Eichmaß zur Befestigung der Vorrichtung an einer Probe und mehreren zweidimensionalen Detektoren zu wählen. Ferner ist es gemäß der in der Nichtpatentliteratur 2 beschriebenen Röntgenbeugungsmessmethode, in welcher keine Röntgenwinkelmessvorrichtung verwendet wird, nötig, den Röntgendetektor bis auf eine Temperatur von flüssigem Stickstoff zu kühlen, so dass ein großer Kühlflüssigkeitsbehälter benötigt wird. In diesem Verfahren ist es ferner nötig, eine Probe und den Detektor voneinander beabstandet zu befestigen, um eine hinreichende Messgenauigkeit zu gewährleisten. Das Verfahren kann daher nicht einfach für tragbare Röntgenbeugungsgeräte verwendet werden.

**[0010]** Die vorliegende Erfindung wurde im Hinblick auf die oben genannten Probleme mit den herkömmlichen Technologien gemacht und es ist eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung, ein kompaktes und leichtes Röntgenbeugungsgerät zu realisieren und eine Röntgenbeugungsmethode und ein tragbares Röntgenbeugungsgerät, welches diese Methode verwendet, bereitzustellen, welche die Gewinnung von Daten mit hinreichend stabiler Präzision auch dann ermöglichen, wenn das Gerät verwendet wird, während es von einer Person gehalten wird.

#### Die Lösung des Problems

**[0011]** Die vorliegende Erfindung wurde, wie oben beschrieben, zur Realisation eines kompakten und leichten tragbaren Röntgenbeugungsgeräts gemacht, welches von einer Person gehalten werden kann. Insbesondere wurde die Erfindung auf der Grundlage der folgenden Kenntnisse der Erfinder gemacht. Insbesondere wurden bisher Röntgenbeugungsmessungen unter Bedingungen durchgeführt, in denen die räumliche Beziehung zwischen den einfallenden Röntgenstrahlen, einer Probe und der gebeugten Röntgenstrahlen sicher beibehalten wird. Beispielsweise werden spezielle Röntgenstrahlen (wenn ein Cu Target verwendet wird, mit einer Wellenlänge von  $K\alpha$ , die 0,15418 nm beträgt) aus einer Röntgenröhre auf eine Probe gestrahlt und gebeugte Röntgenstrahlen von der Probe werden gemessen. Diese Messung wird aufgrund der Bragg-Regel mittels einer mechanischen Winkeleinstellvorrichtung durchgeführt, die als Goniometer bezeichnet wird, um die Beziehung zwischen der Röntgenröhre, einer Probe und einem Röntgendetektor präzise beizubehalten. Ein mechanischer Goniometer ist schwer, so dass es sich nicht um ein für die Messung während des Haltens durch eine Person geeignetes Gerät handelt. Daher entstand eine Nachfrage nach Röntgenbeugungsverfahren und einem Röntgenbeugungsgerät, welches ein solches Verfahren verwendet, welche, ohne einen Goniometer zu benötigen, eine Messung ermöglichen, die durch eine Verschiebung der Probenposition selbst dann nicht beeinträchtigt wird, wenn diese stattfindet, während das Gerät von einer Person gehalten wird.

**[0012]** Um das oben genannte Ziel zu erreichen, umfasst ein Röntgenbeugungsgerät nach der vorliegenden Erfindung: Röntgenbestrahlungsmittel, welche eine Probe mit kollimierten Röntgenstrahlen bestrahlt, Detektionsmittel für gebeugte Röntgenstrahlen, welche einen kollimierten Anteil von gebeugten Röntgenstrahlen aus Röntgenstrahlen detektiert, welche durch die Probe aufgrund der Bestrahlung mit den Röntgenstrahlen des Röntgenstrahlbestrahlungsmittel gebeugt wurden, und Signalverarbeitungsmittel, welche von dem Detektionsmittel für gebeugte Röntgenstrahlen ausgegebene Signale verarbeiten.

**[0013]** Um das oben genannte Ziel zu erreichen, umfasst ein Röntgenbeugungsverfahren nach der vorliegenden Erfindung: Bestrahlen einer Probe mit kollimierten Röntgenstrahlen mit kontinuierlichem Wellenlängenspektrum; Auswählen eines kollimierten Anteils von gebeugten Röntgenstrahlen, die von der Probe gebeugt werden, welche mit den kollimierten Röntgenstrahlen mit kontinuierlichen Wellenlängenspektrum bestrahlt wurde; und Fokussieren des ausgewählten kollimierten Anteils der gebeugten Röntgenstrahlen; Detektieren der fokussierten, gebeugten Röntgenstrahlen mittels eines energiedispersiven Detektionselements; und Verarbeiten des von dem Detektionselement detektierten Signals.

**[0014]** Ferner umfasst ein Röntgenbeugungsverfahren gemäß der vorliegenden Erfindung zum Erreichen des oben genannten Ziels: Bilddarstellung eines Punkts auf einer mit Röntgenstrahlen zu bestrahlenden Probe; Darstellen eines so dargestellten Bildes des Punkts auf der mit Röntgenstrahlen bestrahlten Probe; Erzeugen von Röntgenstrahlen mit kontinuierlichem Wellenlängenspektrum mittels einer Röntgenröhre; Kollimieren der von der Röntgenröhre erzeugten Röntgenstrahlen und schräges Bestrahlen des Punkts auf der mit den kollimierten Röntgenstrahlen zu bestrahlenden Probe, dessen Bild dargestellt wird; Auswählen und Fokussieren eines kollimierten Anteils der Röntgenstrahlen, die von der mit den Röntgenstrahlen bestrahlten Probe gebeugt wurden; Detektieren der ausgewählten und Fokussierten gebeugten Röntgenstrahlen mittels des Detektionselements; und Verarbeiten eines von dem Detektionselement detektierten Signals.

#### Vorteilhafte Wirkung der Erfindung

**[0015]** Die vorliegende Erfindung kann, während sie die Realisation eines Röntgenbeugungsgeräts ermöglicht, welches aufgrund von Größe und Gewicht das Tragen und Halten des Geräts durch eine Person erlaubt, ein Röntgenbeugungsverfahren und ein dieses Verfahren verwendendes Röntgenmessgerät bereitstellen, welche die Durchführung einer Röntgenbeugungsmessung während der Beobachtung eines mikroskopischen Bilds eines speziellen Teils einer großen Probe auf einem Display möglich macht und die ferner eine stabile Röntgenmessung auf einem solchen speziellen Teil selbst dann ermöglicht, wenn die Probenoberfläche uneben ist oder die Probenposition sich verändern kann.

#### Kurze Beschreibung der Figuren

**[0016]** [Fig. 1](#) ist ein Diagramm, welches einen gesamten Aufbau des tragbaren Röntgenbeugungsgeräts zeigt.

**[0017]** [Fig. 2](#) ist ein Diagramm, welches Änderungen in der Position der gebeugten Röntgenstrahlen erläutert.

tert, die Änderungen in der Probenposition in einem Röntgenbeugungsgerät entsprechen.

**[0018]** **Fig. 3** ist ein Diagramm zur Erläuterung einer Winkelbreite eines gebeugten Röntgenstrahls, der von einem lichtempfindenden optischen Element detektiert wurde, und einer Verringerung eines Durchmessers eines einen Röntgendetektor in einem Röntgenbeugungsgerät erreichenden Röntgenstrahls.

**[0019]** **Fig. 4A** und **Fig. 4B** sind Diagramme zur Erläuterung eines Röntgenbeugungsmessmoduls in dem tragbaren Röntgenbeugungsgerät des oben genannten Ausführungsbeispiels.

**[0020]** **Fig. 5** ist ein Diagramm zur Erläuterung der Installation einer Hochspannungstromversorgungseinheit für eine Röntgenstrahlerzeugungsvorrichtung (Röntgenröhre) in dem tragbaren Röntgenbeugungsgerät des oben genannten Ausführungsbeispiels.

**[0021]** **Fig. 6A** und **Fig. 6B** sind Diagramme zur Erläuterung der Installation einer Hochspannungstromversorgung für eine Röntgenstrahlerzeugungsvorrichtung (Röntgenröhre) in einem tragbaren Röntgenbeugungsgerät.

**[0022]** **Fig. 7A** und **Fig. 7B** sind Diagramme zur Erläuterung, wie das Gewicht einer Röntgenstrahlerzeugungsvorrichtung (Röntgenröhre) in einem tragbaren Röntgenbeugungsgerät nach dem oben genannten Ausführungsbeispiels reduziert wird.

**[0023]** **Fig. 8** ist ein Graph, welcher ein Beispiel des von dem Röntgendetektor detektierten Detektionssignals zeigt.

**[0024]** Ein Ausführungsbeispiel der Erfindung wird im Detail im Folgenden beschrieben, wobei Bezug auf die beiliegenden Zeichnungen genommen wird.

**[0025]** **Fig. 1** ist ein Diagramm, welches einen Gesamtaufbau eines tragbaren Röntgenbeugungsgeräts **100** nach einem Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung zeigt. Ein Gehäusezylinder **21** in einem Röntgenbestrahlungsabschnitt **20** ist in seinem Inneren mit einer Röntgenröhre **1** zur Röntgenstrahlerzeugung, einer Röntgenstrahlungsblende **2**, einem optischen Röntgenstrahlungselement **3** für die Probenbestrahlung und einem röntgenstrahlungsdurchlässigen Fenster **22** ausgestattet. Ein Gehäusezylinder **31** in einem Röntgenstrahlungsdetektionsabschnitt **30** ist in seinem Inneren mit einem röntgenstrahlungsdurchlässigen Fenster, einem optischen Element **4** zum Aufnehmen gebeugter Röntgenstrahlung und einem Röntgenstrahldetektor **5** ausgestattet. Ferner sind in einem Gehäuseabschnitt **50** ein Probebeobachtungsabschnitt **6** eine Hochspannungstromversorgung **7** für die Röntgenstrahlerzeugung, ein Detektorsignalverarbeitungsabschnitt

**8**, ein Hochspannungsstromversorgungs- und Blendenöffnung/Schließsteuerabschnitt **9**, ein Datenverarbeitungs- und Displaysteuerungsabschnitt **10**, ein Elektrizitätsakkumulationsabschnitt **11**, ein Stromkabel **12**, ein Handgriff **13**, ein Blendenöffnungs-/Schließschalter **14** und ein einklappbarer Datendarstellungsabschnitt **15** installiert.

**[0026]** Der in dem Röntgenbestrahlungsabschnitt **20** enthaltene Gehäusezylinder **21** und der in dem Röntgenstrahlungsdetektionsabschnitt **30** enthaltene Gehäusezylinder **31** sind räumlich miteinander verbunden und sind beide an dem Gehäuseabschnitt **50** befestigt. Ferner sind die Innenräume des in dem Röntgenbestrahlungsabschnitt **20** enthaltenden Gehäusezylinders **21** und des in dem Röntgenstrahlungsdetektionsabschnitt **30** enthaltenen Gehäusezylinders **31** mit Hilfe von Evakuationsmitteln, die nicht dargestellt sind, evakuiert. Ferner ist ein ringförmiger Röntgenstrahlungs-Abschirmabschnitt **40** an den Oberflächen des Gehäusezylinders **21**, der in dem Röntgenstrahlbestrahlungsabschnitt **20** befestigt ist, und des in dem Röntgenstrahldetektionsabschnitt **30** enthaltenen Gehäusezylinders **30**, welche der Probe **200** zugewandt sind, befestigt, um zu vermeiden, dass von dem Röntgenstrahlbestrahlungsabschnitt **20** auf die Probe **200** emittierte Röntgenstrahlung nach außen dringt. Der Kontaktbereich **41** des ringförmigen Röntgenstrahlungsabschirmabschnitts **40** tritt in Kontakt mit der Probe **200**, um zu vermeiden, dass Röntgenstrahlen nach außen dringen.

**[0027]** In dem obigen Aufbau wird das Ein- und Ausschalten der Bestrahlung der Probe durch die von der Röntgenröhre **1** erzeugten Röntgenstrahlen durch den Blendenöffnungs-/schließschalter **14** durch Betätigung der des Öffnens und Schließens der Röntgenstrahlungsblende **2** gesteuert. In einem Zustand, in welchem die Blende **2** durch den Blendenöffnungs-/schließschalter **14** so gesteuert ist, dass sie offen ist, dringen die von der Röntgenröhre **1** erzeugten Röntgenstrahlen durch das optische Röntgenstrahlungselement **3** und bestrahlen die Probe **200**.

**[0028]** Das optische Röntgenstrahlungselement **3** bündelt die von der Röntgenröhre **1** erzeugten Röntgenstrahlen so, dass die Probe **200** mit den gebündelten Röntgenstrahlen bestrahlt wird. Das optische Röntgenstrahlungselement **3**, dass in dem vorliegenden Ausführungsbeispiel verwendet wird, ist ein Schlitz, mit einer Öffnungsgröße, die ähnlich der Größe eines Röntgenstrahlbrennpunkts **16** der Röntgenröhre **1** ist. Das optische Röntgenstrahlungselement **3** kann eine Monokapillare vom Parallelröhrentyp oder einem Element von polykapillaren Typ sein, welches durch eine Bündlung von mehreren Monokapillaren vom Parallelröhrentyp gebildet ist.

**[0029]** Ein Teil der reflektierten Röntgenstrahlen (inklusive der Gestreuten) von der mit Röntgenstrah-

len bestrahlten Probe dringen in ein optisches Element **4** zur Aufnahme von gebeugten Röntgenstrahlen ein und erreichen den Röntgendetektor **5**. Das optische Element **4** zur Aufnahme gebeugter Röntgenstrahlen ist ein Element vom polykapillaren Typ, welches durch Bündeln mehrerer Monokapillaren vom Parallelröhrentyp gebildet ist. Unter den in das optische Element **4** zum Empfangen gebeugter Röntgenstrahlen eintretenden Röntgenstrahlen dringt ein kumulierter Anteil der Röntgenstrahlen in das optische Element **4** zum Empfang der gebeugten Röntgenstrahlen vom polykapillaren Typ ein. Die in das optische Element **4** zum Empfang gebeugter Röntgenstrahlen vom polykapillaren Typ eintretenden Röntgenstrahlen werden durch das optische Element **4** zum Empfang von Röntgenstrahlen vom polykapillaren Typ übertragen und dringen in den Röntgendetektor **5** ein, der in der Lage ist, eine Röntgenstrahlenergie zu messen, wenn die von der Probe gebeugten Röntgenstrahlen gemessen werden. Das optische Element **4** zum Empfang gebeugter Röntgenstrahlen vom polykapillaren Typ ist so ausgebildet, dass die von ihm ausgegebenen Röntgenstrahlen auf der Detektionsoberfläche (nicht dargestellt) des Röntgendetektors **5** gebündelt werden.

**[0030]** Ein durch die Detektion von Röntgenstrahlen in den Röntgenstrahldetektor **5** gewonnenes Analogsignal wird für die nachfolgende Datenverarbeitung in dem Detektorsignalverarbeitungsabschnitt **8** digitalisiert und wird in Datenverarbeitungs- und Displaysteuerungsabschnitt **10** verarbeitet. Die Ergebnisse der Verarbeitung werden auf dem einklappbaren Datendarstellungsabschnitt **15** dargestellt. In den beiliegenden Zeichnungen bezeichnen gestrichelte Linien A und B jeweils eine optische Achse eines für die Röntgenbeugungsmessung in dem tragbaren Röntgenbeugungsgerät **100** nach der vorliegenden Erfindung verwendeten Röntgenstrahls.

**[0031]** In dem Vorliegenden, in [Fig. 1](#) dargestellten Ausführungsbeispiel ist in [Fig. 2](#) eine Idealposition der Probe **200** bezogen auf die optische Achse eines für die Röntgenbeugungsmessung verwendeten Röntgenstrahls durch das Referenzsymbol S dargestellt. Während der mit Hilfe des tragbaren Röntgenbeugungsgeräts während dieses von einer Person gehalten wurde, durchgeführten Messung ist das Halten der Probe **200** in einer Idealposition schwierig und es wird davon ausgegangen, dass die Probenposition sich in einem mit L in [Fig. 2](#) bezeichneten Bereich verschiebt. Genauer gesagt verschiebt sich die Position der Probe **200**, welche die Beugung verursacht, zwischen S1 und S2 (Verschiebeabstand L).

**[0032]** Wenn man annehmen würde, dass nichts von der Art wie das optische Element **4** zum Empfang der gebeugten Röntgenstrahlen vom polykapillaren Typ wie in [Fig. 1](#) dargestellt auf dem Röntgenstrahldetektionsabschnitt **30** vorgesehen wäre und dass

die von der Probe **200** reflektierten Röntgenstrahlen direkt in eine durch den Winkel  $\theta_2$  definierte Richtung verliefen, wäre ein Verschiebeabstand  $D_0$  der optischen Achse b des gebeugten Röntgenstrahls, wie sie auf einer Querschnittsoberfläche des optischen Elements **4** zum Empfang der gebeugten Röntgenstrahlen gemessen wird, durch die folgende Gleichung (1) gegeben:

$$D_0 = L \times \sin(\theta_1 + \theta_2) / \sin(\theta_1 + \theta_2/2) \quad (1)$$

wobei  $\theta_1$  der Einfallswinkel der Röntgenstrahlen von dem optischen Röntgenelement **3** auf der Probe und  $\theta_2$  der Ausfallwinkel der von der Probe gebeugten Röntgenstrahlen ist. Sowohl  $\theta_1$  als auch  $\theta_2$  sind in einem Bereich von 10–60° eingestellt.

**[0033]** Wenn die Probenposition um L verschoben wird, wobei der einfallende Röntgenstrahl einen Durchmesser d hat, muss die Oberfläche des Röntgendetektors **5** größer als  $D_1$  sein, um eine stabile Messung der gebeugten Röntgenstrahlen zu ermöglichen, wobei  $D_1$  durch die folgende Gleichung 2 gegeben ist:

$$D_1 = d + D = d + L \times \sin(\theta_1 + \theta_2) / \sin((\theta_1 + \theta_2)/2) \quad (2)$$

**[0034]** Als nächstes wird die Theorie des Röntgenstrahldetektionsabschnitts **13** zum Aufsammlen der gebeugten Röntgenstrahlen, die in das in [Fig. 1](#) dargestellte optische Element **4** zum Empfang der gebeugten Röntgenstrahlen eintreten sollen, teilweise mit Bezug auf [Fig. 3](#) beschrieben. Das optische Element **4** zum Aufnehmen der gebeugten Röntgenstrahlen, welches in dem vorliegenden Ausführungsbeispiel verwendet wird, ist eine durch Bündeln von Monokapillaren von Parallelröhrentyp gebildete Polykapillare und hat einen parallelen Bereich. Eine Polykapillare ändert die Form eines Röntgenstrahls dadurch, dass sie die Totalreflexion von Röntgenstrahlen auf den glatten Innenflächen der glaskapillaren Röhren ausnutzt. Der kritische Winkel der Röntgen-Totalreflexion auf Siliziumglas hängt von der Wellenlänge (Energie) der Röntgenstrahlen ab. Wenn die Röntgenstrahlwellenlänge 0,083 nm beträgt und die Energie 15 keV, liegt der kritische Winkel um 0,125° (2,2 mrd).

**[0035]** Bezugnehmend auf [Fig. 3](#) wird die Polykapillare **4** in einem kritischen Totalreflexionswinkel eingestrahelter Röntgenstrahl ungefähr alle 100 Mikrometer total reflektiert, wenn die Polykapillare **4** aus gebündelten Monokapillaren gebildet ist, die jeweils einen Glasröhren-Innendurchmesser von 200 nm haben. Anders gesagt wird er in der parallelen Polykapillare **4** innerhalb einer Länge T1 von 10 mm 100 mal reflektiert. Wenn in diesem Fall die Reflektivität der Totalreflexion 0,99 beträgt, wird der größte Teil der von dem Einfallende **401** aus in einem Winkel von

0,125° in die Polykapillare **4** einfallenden Röntgenstrahlen innerhalb der Polykapillare absorbiert. Wenn ein Röntgenstrahl mit ungefähr 0,06° in die Polykapillare eintritt, also mit ungefähr der Hälfte des kritischen Totalreflexionswinkel, halbiert sich die Anzahl der Totalreflexionen innerhalb der parallelen Polykapillare **4** auf 50, was zu einer Ausgangsintensität des von der Polykapillare austretenden Röntgenstrahls von ungefähr 50% führt. Die Beziehung zwischen dem Einfallswinkel des Röntgenstrahls und der Intensität des von der Polykapillaren abgestrahlten Röntgenstrahls ist in [Fig. 4A](#) und [Fig. 4B](#) dargestellt.

**[0036]** Ein Röntgenstrahl mit einer Wellenlänge von weniger als 0,083 nm (mit einer Energie von mehr als 15 keV) kann nicht durch die parallele Polykapillare dringen, wenn er nicht mit einem noch geringeren Einfallswinkel eintritt. Weil ein Röntgenstrahl mit einer großen Wellenlänge (mit geringer Energie) mit ungefähr der gleichen Reflektivität wie ein Röntgenstrahl mit einer kurzen Wellenlänge reflektiert wird, kann ein Röntgenstrahl mit einer großen Wellenlänge ebenfalls nicht durch die parallele Polykapillare dringen, wenn er mit einem großen Einfallswinkel in die Polykapillare einfällt, so dass es zu einer höheren Anzahl von Totalreflexionen kommt. Es ist daher möglich, die durch Bündeln von 10 mm Monokapillaren mit einem Glasröhren-Innendurchmesser von 200 nm gebildete Polykapillare **4** zum Auswählen nur eines kollimierten Röntgenstrahls mit einer Winkeldifferenz von ungefähr 0,12° zu verwenden.

**[0037]** Der wie oben beschrieben von der Polykapillaren **4** durchgeführte Bündelungsvorgang kann auch mit Hilfe eines gewöhnlichen Mehrschichtkollimators durchgeführt werden. Es ist möglich, einen kompakten Mehrschichtkollimator zu verwenden.

**[0038]** Ein Ausgangsende **402** der Polykapillare ist, wie später beschrieben wird, derart angeordnet, dass die ausfallenden Röntgenstrahlen von dem Ausgangsende **402** der Polykapillaren **4** auf der Detektionsoberfläche des Röntgenstrahldetektors **5** gebündelt werden, um so zu gewährleisten, dass die Detektionsfläche kleiner als  $D_1$  ist. Der Röntgenstrahldetektor **5** kann daher kleiner gestaltet werden als in der in Bezug auf [Fig. 2](#) beschriebenen Konfiguration.

**[0039]** Als nächstes wird Bezug nehmend auf [Fig. 3](#) das Design des optischen Elements **4** zum Empfangen der gestreuten Röntgenstrahlung vom parallelkapillaren Typ beschreiben, welches in dem vorliegenden Ausführungsbeispiel der Erfindung verwendet wird. Der Öffnungsdurchmesser  $D_1$  des Einfallsendes **401** des optischen Elements **4** zum Empfangen der Röntgenstrahlung ist durch die vorgenannte Gleichung (2) gegeben. Wenn ein Röntgenstrahl einen Durchmesser (d) von einem 1 mm als praktischen Wert hat und der Bogenpositions-Verschieberegion (L) ebenfalls praktisch  $\pm 2$  mm beträgt, muss

das Einfallsende **401** des optischen Systems zur Aufnahme von Licht einen Öffnungsdurchmesser  $D_1$  von ungefähr 9 mm haben. Zur Verwendung als Röntgendetektor **5** waren Halbleiterdetektoren von Siliziumdrift-Typ (SSD) mit einem Durchmesser von 10 mm als energiedispersive Röntgendetektoren im Handel erhältlich. Ein derartiger SSD kann als Röntgendetektor **5** direkt an ein Ende der parallelen Polykapillare befestigt werden.

**[0040]** In dem vorliegenden Ausführungsbeispiel ermöglicht die Verwendung eines optischen Elements zur Aufnahme von Licht, welches die Eigenschaften einer Polykapillare ausnutzt, die Verwendung eines Röntgendetektors **5** mit einem reduzierten Durchmesser. Wenn die Röntgenstrahl-Wellenlänge 0,083 nm beträgt und die Energie wie oben beschrieben 15 keV, ist der kritische Totalreflexionswinkel auf einer Quarzoberfläche 0,125° (2,2 mrad), so dass der Reflexionswinkel für eine Totalreflexion auf ungefähr 0,25° eingestellt werden kann. Durch allmähliches und stetiges Verringern des Durchmessers der Polykapillare von den Röntgenstrahl-Aufnahmebereich (Einfallseite des Röntgenstrahls) ausgehend, so dass die Polykapillare die Form einer Rotationsellipsoid-Oberfläche annimmt, kann der Durchmesser des gebeugten Röntgenstrahls durch die Totalreflexion an den Innenwänden der Polykapillare reduziert werden. Wenn der Durchmesser des gebeugten Röntgenstrahls durch 20-fache Totalreflexion im linearen Mittel um etwa 5° reduziert wird, beträgt der Öffnungsdurchmesser des Ausgangsendes **402**, welches um  $T_2 = 24$  mm von den parallelen polykapillaren Bereich entfernt ist, ungefähr 6 mm. Der durch das Einfallsende **401** mit einem Durchmesser von 10 mm eintretende gebeugte Röntgenstrahl kann daher gebündelt und an dem Ausgangsende **402** ausgegeben werden. Wenn in diesem Fall die Reflexionsfähigkeit der Totalreflexion als 0,99 angenommen wird, beträgt die Verringerung der Röntgenintensität nur etwa 20%.

**[0041]** Durch die Verwendung eines optischen Reduktionselements wie oben beschrieben wird es möglich, einen Detektor mit einem Durchmesser von 6 mm (mit einer Fläche von 25 mm<sup>2</sup>) (berechnete Werte) anstelle des Röntgendetektors **5** mit einem Durchmesser von 10 mm (mit einer Fläche von 80 mm<sup>2</sup>) zu verwenden. Derzeit sind große Siliziumdrift-Detektoren teuer, während kompaktere Detektoren im Hinblick auf die Energieauflösungseigenschaften überlegen sind, so dass die Verwendung eines kompakten optischen Elements vorteilhaft ist. Ferner beträgt, wenn der Polykapillarenbereich, der ein Querschnittsform in der Art einer Rotationsellipsoid-Oberfläche hat, am Ausgangsende **402** 50 mm lang gestaltet ist ( $T_2 = 50$  mm) der an dem Ausgangsende **402** benötigte Öffnungsdurchmesser ungefähr 2 mm, so dass ein kostengünstiger Detektor mit einer Fläche von 7 mm<sup>2</sup> (mit einem Durchmesser von 3 mm) aus der Massenproduktion verwendet werden kann.

**[0042]** Die oben dargestellten berechneten Werte basieren auf einem kritischen Totalreflexionswinkel. Die in dem vorliegenden Ausführungsbeispiel verwendete Polykapillare hat eine glatte Rotationsellipsoid-Oberflächenform und ist 50 mm lang und hat einen Öffnungsdurchmesser am einfallseitigen Ende **401** von 10 mm, der am Ausgangsende **402** auf ein Maß von 5 mm reduziert ist. Diese Polykapillare soll die einfallenden Röntgenstrahlen bündeln und die gebündelten Röntgenstrahlen in Richtung des Röntgendetektors **5** ausgeben. Die Polykapillare muss daher keine Fokussierungsfunktion haben, so dass sie mit einer glatten, zweidimensionalen Kurvenoberfläche ausgebildet werden kann.

**[0043]** Als Nächstes wird Bezug nehmend auf [Fig. 5](#) die Röntgenröhre **1** für die Röntgenstrahlerzeugung, die Hochspannungsstromversorgung **7** für die Röntgenerzeugung und der Steuerabschnitt **9** für die Hochspannungsstromversorgung und das Öffnen und Schließen der Blende nach dem vorliegenden Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung beschrieben. Die Röntgenröhre für das Erzeugen von Röntgenstrahlen ist eine kompakte Röntgenröhre mit einem keramischen Isolator. Sie kann auch eine Röntgenröhre vom Glasröhrentyp sein. Wenn, in Fällen wo der Gesamtaufbau des Schalttyps von der Art mit einer geerdeten Anode (eines Targets) ist, eine heiße Kathode verwendet wird, wird ein Filamenttransformator vom Hochspannungsisolationsstyp benötigt. Wenn der gesamte Aufbau des Schaltkreises vom Typ mit einer geerdeten Kathode ist, wird ein solcher Filamenttransformator vom Hochspannungsisolationsstyp nicht benötigt, so dass Vorteile im Hinblick auf eine Gewichtsreduktion erzielt werden können. In dem vorliegenden Ausführungsbeispiel ist daher der gesamte Schaltkreisaufbau vom Typ mit geerdeten Kathode. Im vorliegenden Ausführungsbeispiel wird die von der Röntgenröhre **1** erzeugte Wärme (10 W) durch Wärmeleitung über einen Hochspannungsisolator in dem Röntgenmessgerät abgeleitet.

**[0044]** Die Hochspannungsstromversorgung **7** für die Röntgenstrahlerzeugung umfasst einen Hochspannungsverstärkungsgleichrichterschaltkreis **70**, der ein zwölfstufiger Cockcroft-Walton-Schaltkreis für eine Vollwellengleichrichtung ist. Für die Hochfrequenzstromversorgung des Cockcroft-Walton-Hochspannungsverstärkungsgleichrichterschaltkreises **70** wird ein piezoelektrischer Transformator **71** verwendet. Eine Leistung von 4 kV–10 W wird von dem einzigen piezoelektrischen Transformator **71** mit einer Arbeitsfrequenz von 80 kHz bereitgestellt. Der piezoelektrische Transformator **71** wird mit  $\pm 24$  V bei hoher Frequenz von dem Steuerabschnitt **9** zum Steuern der Hochspannungsstromversorgung und zum Öffnen und Schließen der Blende versorgt. Der Steuerabschnitt für die Hochspannungsstromversorgung und zum Öffnen und Schließen der Blende wird von der Steuereinheit **10** für die Datenverarbeitung und

Displaysteuerung gesteuert, so dass eine von außen eingestellte Spannung beibehalten wird. Diese Steuerung wird mittels einer negativen Rückkopplung auf der Grundlage der 80 kHz des Hochfrequenzausgabeschaltkreises **91** und der für die Röntgenstrahlerzeugung auf die Röntgenröhre **1** erzeugten Spannung durchgeführt.

**[0045]** Der Steuerabschnitt **9** für die Hochspannungsstromversorgung und das Öffnen und Schließen der Blende umfasst einen Filamentenstrom-Steuerabschnitt **92** zum Steuern des Stroms der Röntgenröhre **1** und einen Umschalt-Schaltkreis **93** für die Röntgenblende **2**. Die Röntgenröhre **1** und die Hochspannungsstromversorgung **7** sind einstückig mit einem Hochspannungsstromversorgungs-Sicherheitsschirm **77** vergossen, wie dies in [Fig. 6B](#) dargestellt ist. Um die Sicherheit bei der Herstellung und im Betrieb wie auch bei der Einstellung und Inspektionsarbeit zu gewährleisten, wird auf die äußeren Anschlüsse des Hochspannungsstromversorgungs-Sicherheitsschirm **77** keine Spannung von mehr als 24 V aufgebracht.

**[0046]** In dem vorliegenden Ausführungsbeispiel ist der piezoelektrische Transformator **71** im Hinblick auf seine Kompaktheit und sein geringes Gewicht ausgelegt, es kann jedoch auch ein Hochfrequenzspulentransformator verwendet werden, selbst wenn das Transformatorgewicht dadurch etwas ansteigen kann.

**[0047]** Als nächstes wird Bezug nehmend auf [Fig. 6A](#) und [Fig. 6B](#) der Aufbau der Hochspannungsstromversorgung **7** für die Röntgenstrahlerzeugung beschrieben. Die Hochspannungsstromversorgung **7** ist auf einem keramischen Substrat **75** gebildet, auf welchem Chipkondensatoren **73**, Chipdioden **74** und Chipwiderstände (in [Fig. 6](#) nicht dargestellt) montiert sind. Diese Chipkomponenten sind solche, die für die Oberflächenmontage ausgelegt sind, um die Vorrichtung kompakt zu gestalten. Mit der Spannung jeder Stufe des Cockcroft-Walton-Hochspannungsverstärkungsgleichrichterschaltkreises **70**, die auf 4 kV eingestellt ist, umfasst jeder Brückenschaltkreis **72** einen Chipkondensator **73** mit einer Toleranzspannung von 4 kV und zwei in Reihe geschaltete Chipdioden **74**, die jeweils eine Spannung von 2 kV aushalten und so einen 12-stufigen Vollwellen-Gleichrichterschaltkreis bilden. In dem vorliegenden Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung ist daher die Soll-Arbeitsspannung und der Strom auf 40 kV und 0,25 mA eingestellt, wobei jeweils die maximal anlegbare Spannung 48 kV beträgt. Eine höhere Spannung kann durch ein Erhöhen der Anzahl von Stufen des Vollwellen-Cockcroft-Walton-Gleichrichterschaltkreises verfügbar gemacht werden.

**[0048]** Die Hochspannungsstromversorgung **7** für die Röntgenstrahlerzeugung umfasst einen Chipwi-

derstand (nicht dargestellt) zum Spannungsteilen für die negative Rückkopplungssteuerung der Spannung und einen auf der Rückseite des keramischen Substrats **75** montierten piezoelektrischen Transformator **71**. Der piezoelektrische Transformator **71** ist in einer dünnen Rechteckform ausgebildet und ist für die kompakte Montage optimal. Im Vergleich zu einem elektromagnetischen Hochfrequenztransformator ist der piezoelektrische Transformator im Hinblick auf elektromagnetisches Rauschen überlegen, wenn er zur Verwendung in einer kompakten Vorrichtung in Betracht gezogen wird. Da der piezoelektrische Transformator durch sein Arbeitsprinzip mit einer hohen Frequenz (80 kHz) vibriert, wird er zur Montage auf dem Substrat in einen Kasten **77** aus Teflon (eingetragene Marke) eingebracht.

**[0049]** Als Nächstes wird Bezug nehmend auf [Fig. 7A](#) und [Fig. 7B](#) eine gemäß dem vorliegenden Ausführungsbeispiel durchgeführte Röntgenbeugungsmessung detailliert beschreiben. Wie in [Fig. 7A](#) dargestellt wird ein in einem Röntgenstrahlbrennpunkt **16** der Röntgenröhre für die Röntgenstrahlerzeugung erzeugter Röntgenstrahl durch das optische Röntgenelement **3** zur Probenbestrahlung geschickt und durch das röntgendurchlässige Fenster **22**, welches auf der Probenseite des Röntgenabschirmungsabschnitts **40** vorgesehen ist, der in [Fig. 7B](#) dargestellt ist, auf die Probe **200** emittiert. Der Kontaktteil **41**, der in Kontakt mit der Probe **200** steht, ist aus Schwermetall wie Wolfram (W), Tantal (Ta) oder Blei (Pb) gebildet und dazu ausgelegt, ein Austreten von Röntgenstrahlen zu vermeiden, wenn er in engem Kontakt mit der Probe steht. Ferner sind zur Verbesserung der Sicherheit während des Betriebs Plastikteile (nicht dargestellt), welche Schwermetalle enthalten, außerhalb angeordnet, wobei sie der Form der Probe angepasst sind, um so zusätzliche Mittel zum Vermeiden des Austritts von Röntgenstrahlung bereitzustellen. Als weitere Sicherheitsmaßnahme wird, bevor durch das Ein-/Ausschalten des Blendenöffnungs-/Schließschalters **14** die Röntgenemission gesteuert wird, überprüft, ob der Kontaktbereich **41** des Röntgenstrahlabschirmungsabschnitts **40** in Kontakt mit der Probe steht, und zwar aufgrund der von einem Näherungsschalter (nicht gezeigt) und einem Probenüberwachungsabschnitt **6**, welcher optische Messungen durch eine Probenüberwachungsöffnung **42** durchführt, gewonnenen Daten.

**[0050]** Ein Teil der auf die Probe **200** emittierten Röntgenstrahlen wird von der Probe **200** gebeugt und fällt als gebeugter Röntgenstrahl über das Fenster **32** zur Detektion und Transmission des gebeugten Röntgenstrahls auf das optische Element **4** zum Empfang des gebeugten Röntgenstrahls und wird zur Messung der Röntgenbeugungsdaten an den Röntgendetektor **5** weitergeleitet. Im Fall des vorliegenden Ausführungsbeispiels wird in der Röntgenröhre **1** ein Molybdäntarget zur Erzeugung der Röntgenstrahlen in der

Röntgenröhre **1** verwendet und der Probenbestrahlungs-Röntgenwinkel ( $\theta_1$ ) und der Aufnahmewinkel ( $\theta_2$ ) für den gebeugten Röntgenstrahl sind beide auf  $20^\circ$  eingestellt, so dass der Wert  $d$ , der einen Kristallgitterabstand entspricht, in einem Bereich von 0,7 nm bis 0,07 nm messbar ist. Der Röntgenwellenlängenbereich von 0,5 nm bis 0,07 nm wird für die Messung verwendet. Da Röntgenstrahlen mit einer Wellenlänge von 0,3 nm oder mehr, beispielsweise Röntgenstrahlen mit einer Wellenlänge von 0,5 nm (2,4 keV), leicht in der Atmosphäre absorbiert werden, wurden die Innenräume des Gehäusezylinders **21** in dem Röntgenbestrahlungsabschnitt **20** und des Gehäusezylinders **31** in dem Röntgenstrahldetektionsabschnitt **30** durch nicht dargestellte Mittel evakuiert. Obwohl in dem vorliegenden Ausführungsbeispiel die Gehäusezylinder einen komplett vakuumversiegelten Aufbau haben, können auch Gehäusezylinder verwendet werden, die nicht vakuumversiegelt ausgestattet sind und die nur während der Verwendung des Geräts von einer Pumpe entleert werden.

**[0051]** In dem vorliegenden Ausführungsbeispiel sind die Gehäusezylinder **21** und **31** in dem Röntgenstrahldurchstrahlungsabschnitt **20** und dem Röntgenstrahldetektionsabschnitt **30** und der Kontaktbereich **41** des Röntgenstrahlabschirmungsabschnitts **40** jeweils relativ schwenkbar zueinander verbunden und auch die Gehäusezylinder **21** und **31**, die jeweils in dem Röntgenstrahlbestrahlungsabschnitt **20** und dem Röntgenstrahldetektionsabschnitt **30** enthalten sind, und der Gehäuseabschnitt **50** sind jeweils relativ zueinander schwenkbar. Dadurch wird es möglich, den Gehäuseabschnitt **50** manuell zu drehen und die gemessenen Daten während der Messung der Probe auf dem einklappbaren Displayabschnitt **15** darzustellen. Ein Fortsetzen der Messung während des Drehens dieser Abschnitte ermöglicht die Aufzeichnung von gemittelten Daten, so dass eine genaue und stabile Messung ermöglicht wird. Ferner kann die Richtung bestimmt werden, in welcher ein spezielles Beugungsmuster auftritt, so dass die Orientierung von Kristallen, welche die Röntgenbeugung in der Probe verursachen, bestimmt werden kann.

**[0052]** Ein Beispiel eines von dem Röntgendetektor **5** ausgegebenen Detektionssignals, der einen gebeugten Röntgenstrahl detektiert hat, ist in [Fig. 8](#) dargestellt. In dem vorliegenden Ausführungsbeispiel ist der Röntgendetektor **5** ein energiedispersiver SDD. Der SDD ist ein Einpixelsensor. Daher kann die Detektionsempfindlichkeit des Röntgendetektors dadurch gesteigert werden, dass ein Röntgenstrahl in der Richtung eines Beugungswinkels  $\theta_2$  an der Probe **200** gestreut wird, der in das Einfallsende **401** der Polykapillare **4** mit einem großen Durchmesser einfallen gelassen wird und der gebeugte Röntgenstrahl nach seiner Bündelung auf ungefähr die Pixelgröße des Röntgendetektors **5** detektiert wird.

**[0053]** Wenn ein Detektionssignal empfangen wird, wie es in **Fig. 8** dargestellt ist, berechnet der Detektionssignalsverarbeitungsabschnitt **8** das Verarbeitungssignal den Kristallgitterabstand  $d$  der Probe **200**.

**[0054]** Die Beziehung zwischen dem Kristallgitterabstand  $d$  der Probe **200** und einer Peakwellenlängen  $\lambda$  ist aufgrund der Bragg-Bedingung wie folgt darstellbar.

$$2d\sin\theta = \lambda \quad (3)$$

wobei  $\theta$  ein Einfallswinkel der Röntgenstrahlung ist.

**[0055]** Die Beziehung zwischen einer Wellenlänge  $\lambda$  (nm) und der Energie  $E$  (keV) wird wie folgt dargestellt.

$$\lambda = 1,24/E \quad (4)$$

**[0056]** Wenn Gleichung (4) und Gleichung (3) eingesetzt wird, wobei der Röntgen-Einfallswinkel  $\lambda$  auf  $30^\circ$  eingestellt ist, kann der Kristallgitterabstand  $d$  wie folgt dargestellt werden.

$$d = 1,24/E \quad (5)$$

**[0057]** Der Kristallgitterabstand  $d$  kann auf der Grundlage des Detektionssignals der Photonenenergie wie in **Fig. 8** und Gleichung (5) dargestellt ermittelt werden.

**[0058]** Verwendet man die zum Kristallgitterabstand  $d$  verwendeten Daten, kann auf der Grundlage der Beziehung zwischen der internen Spannung und dem Kristallgitterabstand die interne Spannung der Probe **200** ermittelt werden.

**[0059]** Wenn in der Röntgenröhre **1** ein Anodentarget aus Molybdän (Mo) verwendet wird, können Röntgenstrahlen mit einer Energie im Bereich von 3 bis 15 keV detektiert werden, so dass auf Grund der Gleichung (5) ein Kristallgitterabstand  $d$  der Probe **200** in einem Bereich von 0,41 bis 0,083 nm detektiert werden kann.

**[0060]** Wenn ein Anodentarget auf Silber (Ag) in der Röntgenröhre **1** verwendet wird, können Röntgenstrahlen mit einer Energie im Bereich von 3 bis 20 keV detektiert werden, so dass auf Grund der Gleichung (5) Kristallgitterabstände  $d$  der Probe **200** im Bereich von 0,41 bis 0,062 nm detektiert werden.

**[0061]** Nach dem vorliegenden Ausführungsbeispiel ist es möglich, durch die Verwendung eines optischen Elements vom polykapillaren Typ nur einen kollimierten Anteil der einfallenden, gebeugten Röntgenstrahlen nach der Beugung an einer mit Röntgenstrahlen bestrahlten Probe in den in der dem Röntgenstrahlde-

tektionsabschnitt **30** enthaltenen Gehäusezylinder **31** zu extrahieren, so dass selbst dann, wenn die Höhe der Probenoberfläche veränderlich ist, ein kollimierter Anteil der gebeugten Röntgenstrahlung sicher detektierbar ist. Dadurch wird es einfacher ein tragbares Röntgenbeugungsgerät an einer Probe zu befestigen. Eine Probe kann daher mit Hilfe eines tragbaren Röntgenbeugungsgeräts effektiv analysiert werden.

**[0062]** Da Veränderungen in der Höhe der Probenoberfläche in einem gewissem Maße tolerierbar sind, können auch Proben mit einer rauen Oberfläche oder mit einer flexiblen, welligen Oberfläche analysiert werden.

**[0063]** Ferner kann der Röntgendetektor kompakt ausgestaltet werden, da ein optisches Element vom polykapillaren Typ zum Bündeln der gebeugten und zu detektierenden Röntgenstrahlen verwendet wird. Dadurch kann das tragbare Röntgenbeugungsgerät kleiner und leichter gestaltet werden.

#### Industrielle Anwendbarkeit

**[0064]** Die vorliegende Erfindung ist auf ein tragbares Röntgenstrahlbeugungsgerät zur Analyse von Proben durch ein Röntgenstrahlbeugungsverfahren anwendbar, wobei Röntgenstrahlen mit kontinuierlichem Wellenlängenspektrum von einer Röntgenröhre erzeugt und auf eine Probe emittiert werden.

#### Bezugszeichenliste

- |    |  |
|----|--|
| 1  | Röntgenröhre zur Erzeugung von Röntgenstrahlen   |
| 2  | Röntgenstrahlblende  |
| 3  | Optisches Röntgenelement zur Probenbestrahlung   |
| 4  | Optisches Element zur Aufnahme von gebeugten Röntgenstrahlen                                 |
| 5  | Röntgendetektor  |
| 6  | Probenbeobachtungsabschnitt  |
| 7  | Hochspannungsstromversorgung für die Röntgenstrahlerzeugung                                  |
| 8  | Detektorsignalverarbeitungsabschnitt   |
| 9  | Steuerabschnitt für die Hochspannungsstromversorgung und das Öffnen und Schließen der Blende |
| 10 | Datenverarbeitungs- und Darstellungssteuerabschnitt  |
| 11 | Elektrizitätsakkumulatorabschnitt  |
| 12 | Stromversorgungskabel  |
| 13 | Handgriff  |
| 14 | Schalter zum Öffnen und Schließen der Blende   |
| 15 | Einklappbarer Datendisplayabschnitt  |
| 20 | Röntgenstrahlbestrahlungsabschnitt   |
| 21 | Gehäusezylinder  |

- 22 Probenbestrahlungsrontgenstrahldurchlässiges Fenster
- 30 Röntgenstrahldetektionsabschnitt
- 31 Gehäusezylinder
- 32 Fenster zur Detektion und Transmission des gebeugten Röntgenstrahls
- 41 Röntgenabschirmungs-, Probenkontaktierungsteil
- 42 Probenbeobachtungsöffnung
- 50 Gehäuseabschnitt
- 77 Hochspannungsstromversorgungssicherheitschirm

### Patentansprüche

1. Tragbares Röntgenstrahlbeugungsgerät umfassend:

Röntgenstrahlbestrahlungsmittel zum Bestrahlen einer Probe mit kollimierten Röntgenstrahlen;  
Detektionsmittel für gebeugte Röntgenstrahlen, welche einen kollimierten Anteil von gebeugten Röntgenstrahlen aus Röntgenstrahlen detektiert, welche aufgrund der Bestrahlung mit Röntgenstrahlen durch das Röntgenstrahlbestrahlungsmittel von der Probe gebeugt wurden; und  
Signalverarbeitungsmittel, welche ein von den Detektionsmittel für gebeugte Röntgenstrahlen ausgegebene Signale verarbeiten.

2. Tragbares Röntgenstrahlbeugungsgerät nach Anspruch 1, ferner umfassend Bildgebungsmittel, welche einen mit den Röntgenstrahlen der Probe bildlich darstellen, und Displaymittel, welche das von dem Bildgebungsmittel erzeugte Bild darstellen.

3. Tragbares Röntgenstrahlbeugungsgerät nach Anspruch 1, wobei das Röntgenstrahlbestrahlungsmittel umfasst:

eine Röntgenröhre zum Erzeugen von Röntgenstrahlen mit kontinuierlichem Wellenlängenspektrum;  
Blendenmittel, welche einen optischen Pfad für von der Röntgenröhre erzeugte Röntgenstrahlen öffnen und schließen;  
optische Bestrahlungsmittel, welche von der Röntgenröhre erzeugte Röntgenstrahlen kollimieren und eine Probe schräg mit den kollimierten Röntgenstrahlen bestrahlen; und  
einen Gehäusezylinder des Röntgenstrahlbestrahlungsabschnitts, der in seinem Inneren mit einer Röntgenröhre, den Blendenmitteln und den optischen Bestrahlungsmitteln ausgestattet ist.

4. Tragbares Röntgenstrahlbeugungsgerät nach Anspruch 3, wobei das optische Bestrahlungsmittel aus einem Spalt oder einer Polykapillare gebildet ist.

5. Tragbares Röntgenstrahlbeugungsgerät nach Anspruch 1, wobei das Detektionsmittel für die gebeugten Röntgenstrahlen umfasst:

ein lichtaufnehmendes optisches Element, welches einen kollimierten Anteil der gebeugten Röntgenstrahlen aus dem aufgrund der Bestrahlung durch die Röntgenstrahlung mit dem Röntgenstrahlbestrahlungsmittel von der Probe gebeugten Röntgenstrahlen aufnimmt und den kollimierten Anteil der einfallenden Röntgenstrahlen bündelt;  
ein optisches Detektionselement zum Detektieren der von dem Licht empfangenden optischen Element gebündelten, gebeugten Röntgenstrahlen; und ein Röntgenstrahldetektionsabschnittsgehäuse, welches in seinem Inneren mit dem Licht empfangenden optischen Element und dem optischen Detektionselement ausgestattet ist.

6. Tragbares Röntgenstrahlbeugungsgerät nach Anspruch 5, wobei das Licht empfangende optische Element eine Polykapillare enthält, die Polykapillare einen parallel ausgebildeten Teil an der Einfallsseite enthält, in welche die von der Probe gebeugten Röntgenstrahlen einfallen, sowie an ihrer Ausgangsseite einen Bereich, der im Querschnitt kleiner als der parallel ausgeformte Bereich auf der Einfallsseite ist und aus welchem die gebeugten Röntgenstrahlen ausgegeben werden.

7. Tragbares Röntgenstrahlbeugungsgerät nach Anspruch 5, wobei das optische Detektionselement einen energiedispersiven Detektor enthält.

8. Tragbares Röntgenstrahlbeugungsgerät nach Anspruch 7, wobei der energiedispersive Detektor ein Halbleiterdetektor vom Siliziumdrift-Typ (SDD) ist.

9. Röntgenstrahlbeugungsverfahren, umfassend:  
Bestrahlen einer Probe mit kollimierten Röntgenstrahlen mit einem kontinuierlichen Wellenlängenspektrum;

Auswählen eines kollimierten Anteils von gebeugten Röntgenstrahlen, die von dem mit den kollimierten Röntgenstrahlen mit kontinuierlichem Wellenlängenspektrum bestrahlten Probe gebeugt wurden und Bündeln des ausgewählten kollimierten Anteils der gebeugten Röntgenstrahlen;  
Detektieren der gebündelten, gebeugten Röntgenstrahlen mittels eines energiedispersiven Detektorelements; und  
Verarbeiten eines von dem Detektorelement detektierten Signals.

10. Röntgenstrahlbeugungsverfahren nach Anspruch 9, wobei die kollimierten Röntgenstrahlen mit kontinuierlichem Wellenlängenspektrum mittels eines Spalts oder einer Polykapillaren gebildet werden.

11. Röntgenstrahlbeugungsverfahren nach Anspruch 9, wobei das Auswählen und Bündeln eines kollimierten Anteils der von der Probe gebeugten Röntgenstrahlen dadurch ausgeführt wird, dass die von der Probe gebeugten Röntgenstrahlen in die

Eingangsseite einer Polykapillare eingegeben werden und ein kollimierter Anteil der gebeugten Röntgenstrahlen aus einer Ausgangsseite der Polykapillare ausgegeben werden, wobei die Ausgangsseite der Polykapillare im Durchmesser kleiner ist als die Eingangsseite der Polykapillare.

12. Röntgenstrahlbeugungsverfahren, umfassend:  
 Bilddarstellung eines Punkts auf einer Probe, der mit Röntgenstrahlen bestrahlt werden soll;  
 Darstellung eines so erzeugten Bilds des Punkts auf der mit Röntgenstrahlen zu bestrahlenden Probe;  
 Erzeugen von Röntgenstrahlen mit kontinuierlichem Wellenlängenspektrum, wobei eine Röntgenröhre verwendet wird;  
 Kollimieren der von der Röntgenröhre erzeugten Röntgenstrahlen und schräges Bestrahlen des Punkts auf der mit dem kollimierten Röntgenstrahlen zu bestrahlenden Probe, dessen Bild dargestellt wird;  
 Auswählen und Kondensieren eines kollimierten Anteils der von der mit Röntgenstrahlen bestrahlten Probe gebeugten Röntgenstrahlen;  
 Detektieren der ausgewählten und gebündelten, gebeugten Röntgenstrahlen mittels eines Detektionselements; und  
 Verarbeiten eines von dem Detektionselement detektierten Signals.

13. Röntgenstrahlbeugungsverfahren nach Anspruch 12, wobei die von der Röntgenröhre erzeugten Röntgenstrahlen mit Hilfe eines Spalts oder einer Polykapillare kollimiert werden.

14. Röntgenstrahlbeugungsverfahren nach Anspruch 12, wobei das Auswählen und Kondensieren eines kollimierten Anteils der von der Probe gebeugten Röntgenstrahlen durch Einstrahlen der von der Probe gebeugten Röntgenstrahlen in eine Eingangsseite einer Polykapillare und Ausgeben eines kollimierten Anteils der gebeugten Röntgenstrahlen an einer Ausgangsseite der Polykapillare erfolgt, wobei die Ausgangsseite der Polykapillare im Durchmesser kleiner ist als die Eingangsseite der Polykapillare.

15. Röntgenbeugungsverfahren nach Anspruch 12, wobei die ausgewählten, gebündelten, gebeugten Röntgenstrahlen von einem energiedispersiven Detektionselement detektiert werden.

Es folgen 6 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

FIG. 1

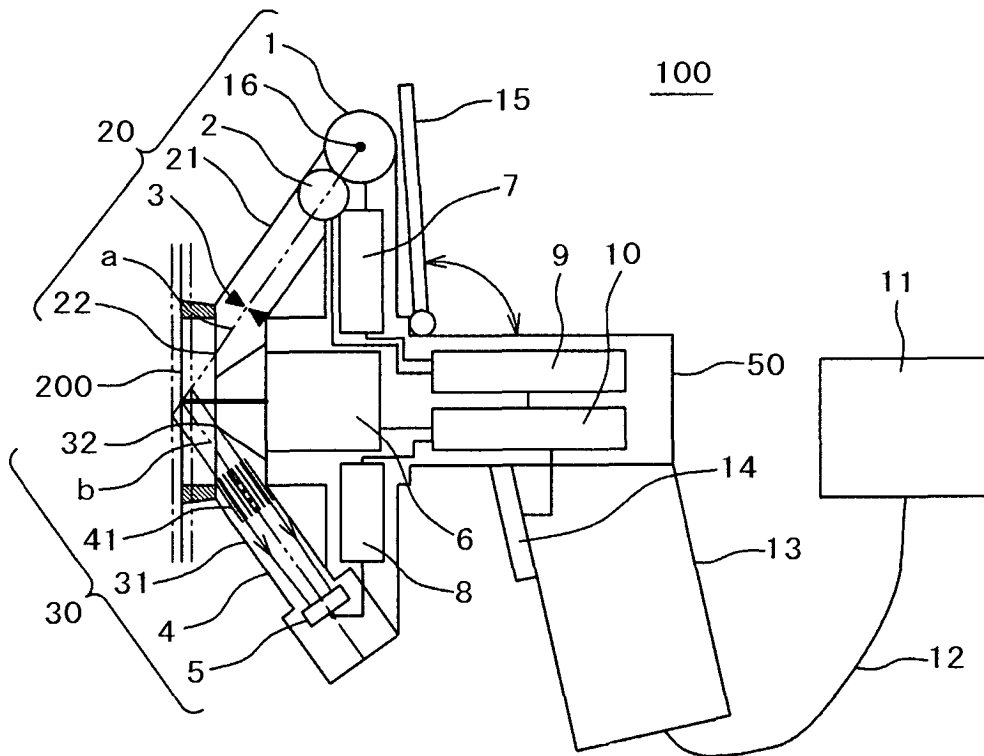


FIG. 2

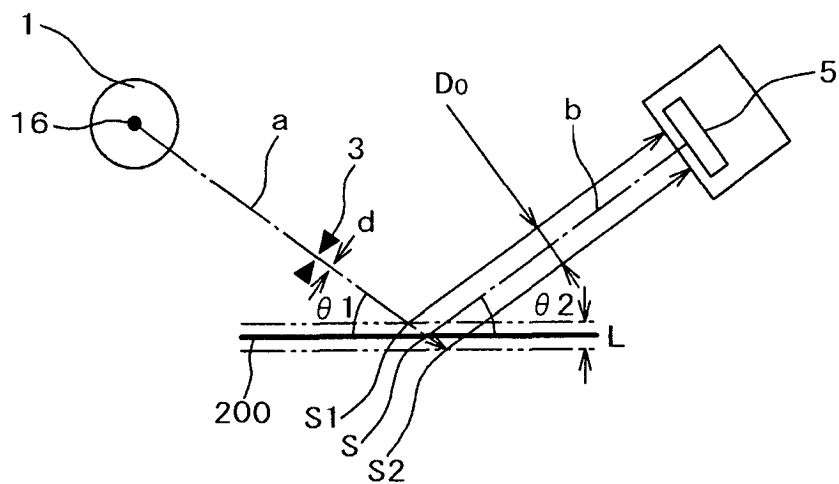


FIG. 3

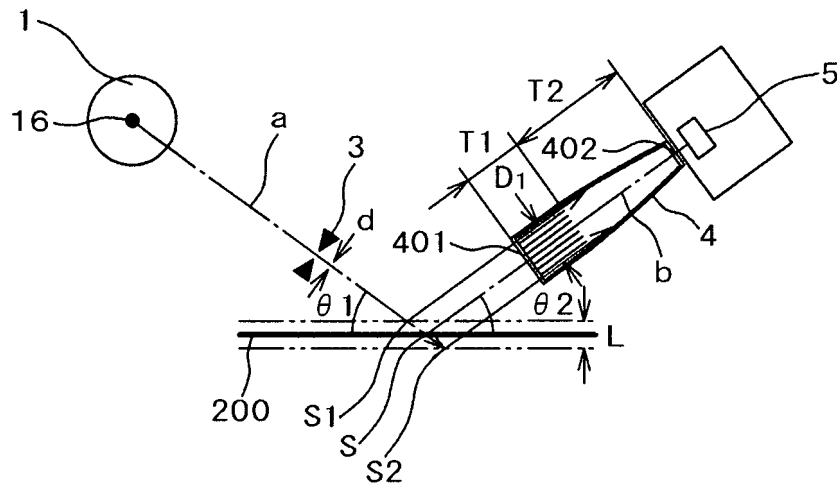


FIG. 4A

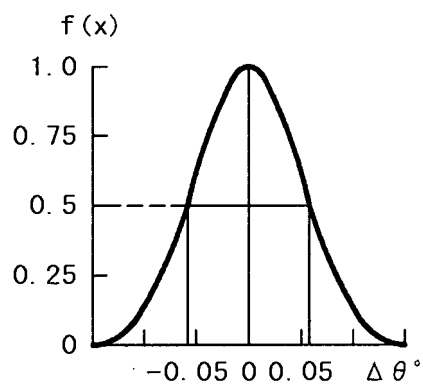


FIG. 4B

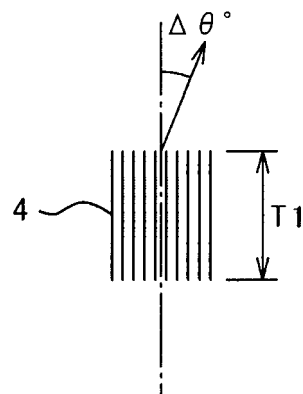


FIG. 5

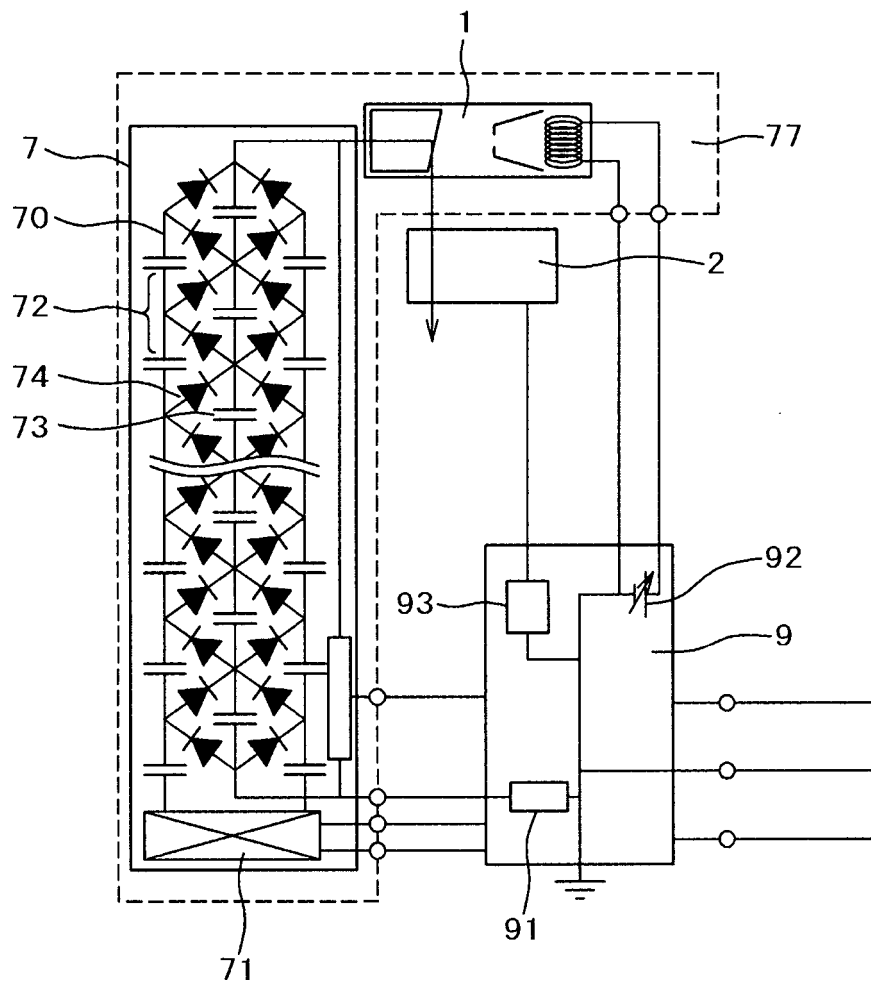


FIG. 6A

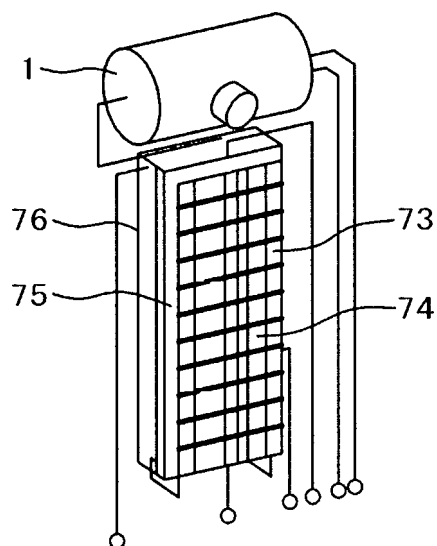


FIG. 6B

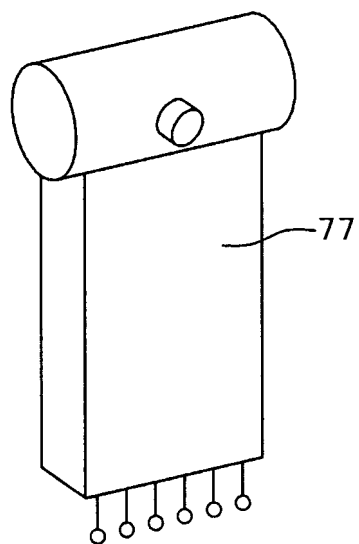


FIG. 7A

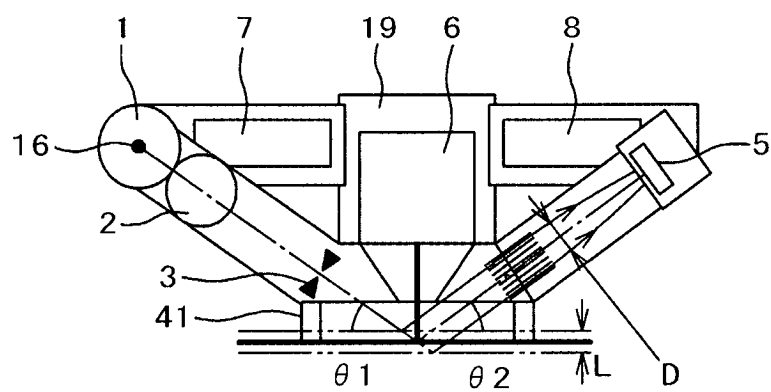


FIG. 7B

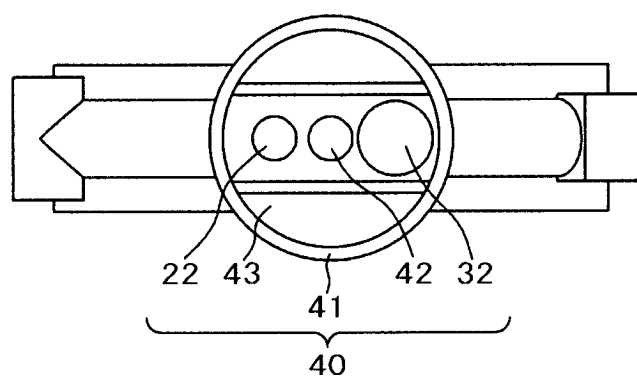


FIG. 8

