



(12) **Veröffentlichung**

der internationalen Anmeldung mit der  
(87) Veröffentlichungs-Nr.: **WO 2023/277039**  
in der deutschen Übersetzung (Art. III § 8 Abs. 2  
IntPatÜbkG)  
(21) Deutsches Aktenzeichen: **11 2022 003 317.7**  
(86) PCT-Aktenzeichen: **PCT/JP2022/025838**  
(86) PCT-Anmeldetag: **28.06.2022**  
(87) PCT-Veröffentlichungstag: **05.01.2023**  
(43) Veröffentlichungstag der PCT Anmeldung  
in deutscher Übersetzung: **11.04.2024**

(51) Int Cl.: **G01N 23/04 (2018.01)**  
**G01N 23/00 (2006.01)**  
**G01N 23/087 (2006.01)**

(30) Unionspriorität:  
**2021-108333**      **30.06.2021**      **JP**

(71) Anmelder:  
**HORIBA, Ltd., Kyoto, JP**

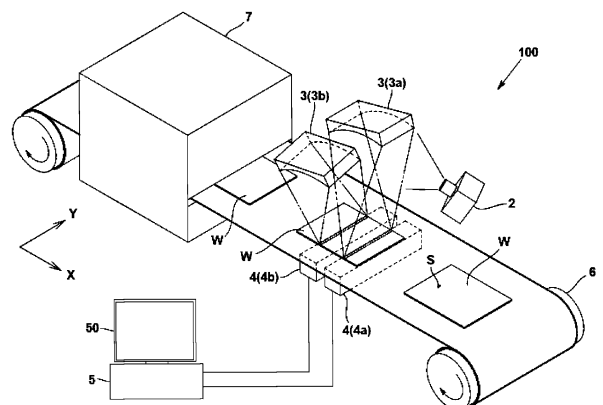
(74) Vertreter:  
**isarpatent - Patent- und Rechtsanwälte Barth  
Hassa Peckmann und Partner mbB, 80801  
München, DE**

(72) Erfinder:  
**Aoyama, Tomoki, Kyoto, JP**

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

(54) Bezeichnung: **TRANSMISSIONS-RÖNTGENPRÜFVORRICHTUNG UND TRANSMISSIONS-RÖNTGENPRÜFVERFAHREN**

(57) Zusammenfassung: Die vorliegende Erfindung verbessert die Erfassungsempfindlichkeit von Verunreinigung in einer Probe bei einer Transmissions-Röntgenprüfvorrichtung und umfasst eine Röntgenquelle 2, die Röntgenstrahlen mit mehreren voneinander verschiedenen Energiebereichen emittiert, ein optisches Element 3, das an den Röntgenstrahlen eine Teilung in Röntgenstrahlen eines Energiebereichs vornimmt und diese auf eine Probe W richtet und bündelt, und ein Transmissions-Röntgenerfassungsgerät 4, das von der Probe W durchgelassene Transmissions-Röntgenstrahlen erfasst.



**Beschreibung**

## TECHNISCHES GEBIET

**[0001]** Die vorliegende Erfindung betrifft eine Transmissions-Röntgenprüfvorrichtung und ein Transmissions-Röntgenprüfverfahren.

## ALLGEMEINER STAND DER TECHNIK

**[0002]** Als ein System zum Prüfen auf Verunreinigung in einer Probe wird üblicherweise eine Transmissions-Röntgenprüfvorrichtung verwendet, wie sie in Patentdokument 1 gezeigt ist.

**[0003]** Bei dieser Transmissions-Röntgenprüfvorrichtung wird auf Verunreinigung geprüft, indem Röntgenstrahlen von einem Röntgenstrahlengenerator auf die Probe gestrahlt und die von der Probe durchgelassenen Röntgenstrahlen erfasst werden.

**[0004]** Da die Röntgenstrahlen von dem Röntgenstrahlengenerator jedoch während des Bestrahleins der Probe gestreut werden, ist die Stärke der auf die Probe gestrahlten Röntgenstrahlen gering, und infolgedessen sind auch die durch die Probe hindurchtretenden Röntgenstrahlen schwach. Dies senkt die Erfassungsempfindlichkeit eines Transmissions-Röntgenstrahlenerfassungsgeräts. Um die Erfassungsempfindlichkeit des Transmissions-Röntgenstrahlenerfassungsgeräts zu erhöhen, ist es denkbar, die summierte Zeit zu verlängern, um so die Integraldosis zu erhöhen, doch verlängert sich auf diese Weise auch die Verunreinigungsprüfdauer für jede einzelne Probe.

Dokumente des Stands der Technik

Patentdokumente

**[0005]** Patentdokument 1: JP 2018-141736 A

## KURZDARSTELLUNG DER ERFINDUNG

## Aufgabe der Erfindung

**[0006]** Die vorliegende Erfindung wurde in Anbetracht der oben erwähnten Probleme getätigt, und ihr liegt als Hauptaufgabe zugrunde, bei einer Transmissions-Röntgenprüfvorrichtung die Erfassungsempfindlichkeit für Verunreinigung in einer Probe zu erhöhen.

## Mittel zum Lösen der Aufgaben

**[0007]** Eine Transmissions-Röntgenprüfvorrichtung gemäß der vorliegenden Erfindung ist gekennzeichnet durch eine Röntgenquelle, die Röntgenstrahlen mit mehreren voneinander verschiedenen Energiebereichen emittiert, ein optisches Element, das an

den Röntgenstrahlen eine Teilung in Röntgenstrahlen eines Energiebereichs vornimmt und diese auf die Probe richtet und bündelt, und eine Transmissions-Röntgenstrahlenerfassungseinheit, die von der Probe durchgelassene Transmissions-Röntgenstrahlen erfasst.

**[0008]** Da gemäß dieser Ausgestaltung an Röntgenstrahlen mit mehreren voneinander verschiedenen Energiebereichen eine Teilung in Röntgenstrahlen eines Energiebereichs erfolgt, die auf die Probe gerichtet und gebündelt werden, kann die Stärke der auf die Probe gestrahlten Röntgenstrahlen dieses einen Energiebereichs erhöht werden, wodurch die Abstufung (der Kontrast) der Transmissions-Röntgenstrahlen verstärkt werden kann. Auf diese Weise kann bei der Transmissions-Röntgenprüfvorrichtung die Erfassungsempfindlichkeit für Verunreinigung in einer Probe erhöht werden. Indem die Stärke der auf die Probe gestrahlten Röntgenstrahlen des einen Energiebereichs erhöht wird, kann zudem die Zeit zum Prüfen jeder einzelnen Probe auf Verunreinigung verkürzt werden. Die Verunreinigungen in der Probe beinhalten in der vorliegenden Erfindung sowohl an der Probenoberfläche anhaftende Verunreinigungen als auch im Probeninneren enthaltene Verunreinigungen.

**[0009]** Um in einem Transportmechanismus transportierte Proben mit hoher Effizienz zu prüfen, ist das optische Element vorzugsweise ein gekrümmtes optisches Teilungselement, das die Röntgenstrahlen des einen Energiebereichs linienförmig bündelt.

**[0010]** Bei der Transmissions-Röntgenstrahlenerfassungseinheit handelt es sich vorzugsweise um einen Linientaster, der in Entsprechung zu den linienförmig gebündelten Röntgenstrahlen bereitgestellt ist. Um die auf die Probe gestrahlten Röntgenstrahlen vollständig zu erfassen und so die Erfassungsgenauigkeit zu erhöhen, ist eine Pixelbreite des Linientasters vorzugsweise im Wesentlichen gleich der Breite der linienförmig gebündelten Röntgenstrahlen.

**[0011]** Die Transmissions-Röntgenprüfvorrichtung der vorliegenden Erfindung wird zusammen mit einem Transportmechanismus zum Transportieren der Proben verwendet, wobei das optische Element und die Transmissions-Röntgenstrahlenerfassungseinheit vorzugsweise mit der durch den Transportmechanismus transportierten Probe zwischen sich angeordnet sind. Eine Längsrichtung der linienförmig gebündelten Röntgenstrahlen und eine Längsrichtung des Linientasters sind dabei vorzugsweise zu der Transportrichtung des Transportmechanismus orthogonale Richtungen.

**[0012]** Mit dieser Ausgestaltung kann bei einem System, in dem Proben durch einen Transportmechanismus transportiert werden, die Stärke der auf

die Proben gestrahlten Röntgenstrahlen des einen Energiebereichs erhöht werden. Infolgedessen kann die Integraldosis der Transmissions-Röntgenstrahlenerfassungseinheit ohne Verlängerung der summierten Zeit erhöht werden, wodurch die Abstufung (der Kontrast) der Transmissions-Röntgenstrahlen trotz eines schnelleren Transports als im Stand der Technik verstärkt werden kann. Infolgedessen kann eine höhere Geschwindigkeit der Prüfung der Proben auf Verunreinigung erzielt werden.

**[0013]** Um die Erfassungsempfindlichkeit für zu erfassende Verunreinigungen zu erhöhen, führt das optische Element vorzugsweise eine Teilung in Röntgenstrahlen eines Energiebereichs durch, der höher als die Röntgenabsorptionskante der Verunreinigung ist, auf die in der Probe geprüft werden soll. Die Röntgenabsorptionskante der Verunreinigung ist dabei ein Begriff, der die K-Absorptionskante oder die L1-Absorptionskante und die L2-Absorptionskante oder die L3-Absorptionskante einschließt, wobei die Röntgenabsorptionskante entsprechend der Verunreinigung gewählt wird und ein entsprechendes optisches Element gewählt wird. Wenn es sich bei der Verunreinigung beispielsweise um Kupfer handelt, kann die K-Absorptionskante gewählt werden.

**[0014]** Um die Stärke der auf die Probe gestrahlten Röntgenstrahlen zu erhöhen, sind vorzugsweise zwei optische Elemente bereitgestellt, die an den Röntgenstrahlen eine Teilung in Röntgenstrahlen desselben Energiebereichs vornehmen und diese auf die Probe richten und bündeln.

**[0015]** Gemäß dieser Ausgestaltung kann die Integraldosis der Transmissions-Röntgenstrahlenerfassungseinheit ohne Verlängerung der summierten Zeit erhöht werden, wodurch die Abstufung (der Kontrast) der Transmissions-Röntgenstrahlen trotz eines schnelleren Transports als im Stand der Technik verstärkt werden kann. Infolgedessen können eine höhere Genauigkeit und eine höhere Geschwindigkeit der Prüfung der Proben auf Fremdkörper erzielt werden.

**[0016]** Um die Erfassungsempfindlichkeit für eine Art von Verunreinigung zu erhöhen oder mehrere Arten von Verunreinigungen erfassen zu können, weist die Transmissions-Röntgenprüfvorrichtung der vorliegenden Erfindung vorzugsweise mehrere Arten von optischen Elementen auf, wobei die mehreren Arten von optischen Elementen eine Teilung in Röntgenstrahlen mit voneinander verschiedenen Energiebereichen vornehmen.

**[0017]** Als konkrete Ausführungsform zum Erhöhen der Erfassungsempfindlichkeit für eine Art von Verunreinigung weist sie vorzugsweise zwei Arten von optischen Elementen auf, wobei eines der zwei Arten von optischen Elementen eine Teilung in Rönt-

genstrahlen eines Energiebereichs vornimmt, der höher als die Röntgenabsorptionskante der in der Probe zu erfassenden Verunreinigung ist, während das andere der zwei Arten von optischen Elementen eine Teilung in Röntgenstrahlen eines Energiebereichs vornimmt, der niedriger als die Röntgenabsorptionskante ist.

**[0018]** Die mehreren Arten von optischen Elementen nehmen dabei vorzugsweise eine Teilung von Röntgenstrahlen einer einzigen Röntgenquelle in Röntgenstrahlen mit voneinander verschiedenen Energiebereichen vor. Gemäß dieser Ausgestaltung ist es nicht erforderlich, mehrere Röntgenquellen in Entsprechung zu den mehreren Arten von optischen Elementen bereitzustellen, wodurch die Vorrichtung kompakter sein kann.

**[0019]** Bei einer Ausgestaltung, um mithilfe von mehreren Arten von optischen Elementen eine Teilung in Röntgenstrahlen mit voneinander verschiedenen Energiebereichen vorzunehmen, weist die Transmissions-Röntgenstrahlenerfassungseinheit als eine konkrete Ausführungsform der Transmissions-Röntgenstrahlenerfassungseinheit vorzugsweise mehrere Transmissions-Röntgenerfassungsgeräte auf, die mehrere Transmissions-Röntgenbilder erzeugen, die jeweils den Röntgenstrahlen mit voneinander verschiedenen Energiebereichen entsprechen.

**[0020]** Zum Erhöhen der Erfassungsgenauigkeit der Verunreinigung umfasst die Transmissions-Röntgenprüfvorrichtung der vorliegenden Erfindung vorzugsweise ferner eine Bildverarbeitungseinheit, die die unter Verwendung der mehreren Transmissions-Röntgenerfassungsgeräte erzeugten jeweiligen Transmissions-Röntgenbilder verarbeitet, wobei die Bildverarbeitungseinheit unter Verwendung der mehreren Transmissions-Röntgenbilder, die den jeweiligen Röntgenstrahlen mit voneinander verschiedenen Energiebereichen entsprechen, eine Differenzverarbeitung durchführt, um die Verunreinigung in der Probe zu erfassen.

**[0021]** Um die erfasste Verunreinigung für den Benutzer leicht erkennbar zu machen, umfasst die Transmissions-Röntgenprüfvorrichtung der vorliegenden Erfindung vorzugsweise ferner eine Anzeigesteuereinheit, um die Transmissions-Röntgenbilder auf einem Display anzeigen zu lassen, wobei die Anzeigesteuereinheit die durch die Bildverarbeitungseinheit erfasste Verunreinigung unter Farbgebung anzeigt.

**[0022]** Als konkrete Ausführungsform zum Prüfen auf eine erste Verunreinigung und eine zweite Verunreinigung, die sich voneinander unterscheiden, weist das optische Element vorzugsweise ein erstes optisches Element, das eine Teilung in erste Röntgen-

strahlen in einem Energiebereich vornimmt, der niedriger als die Röntgenabsorptionskante der ersten Verunreinigung liegt, ein zweites optisches Element, das eine Teilung in zweite Röntgenstrahlen in einem Energiebereich vornimmt, der höher als die Röntgenabsorptionskante der ersten Verunreinigung und niedriger als die Röntgenabsorptionskante der zweiten Verunreinigung liegt, und ein drittes optisches Element auf, das eine Teilung in dritte Röntgenstrahlen in einem Energiebereich vornimmt, der höher als die Röntgenabsorptionskante der zweiten Verunreinigung liegt, und die Bildverarbeitungseinheit führt eine Differenzverarbeitung unter Verwendung erster Transmissions-Röntgenbilder, die anhand der ersten Röntgenstrahlen erlangt werden, zweiter Transmissions-Röntgenbilder, die anhand der zweiten Röntgenstrahlen erlangt werden, und dritter Transmissions-Röntgenbilder durch, die anhand der dritten Röntgenstrahlen erlangt werden, um die erste Verunreinigung und die zweite Verunreinigung zu erfassen.

**[0023]** Wenn die mehreren Arten von optischen Elementen angeordnet sind, ist das Positionsverhältnis der Röntgenquelle und der Transmissions-Röntgenstrahlenerfassungseinheit für jedes optische Element unterschiedlich, weshalb auch die Stärke der Röntgenstrahlen, mit denen die Probe bestrahlt wird, unterschiedlich ist. Daher umfasst die Transmissions-Röntgenprüfvorrichtung der vorliegenden Erfindung vorzugsweise eine Korrekturereinheit, die die Unterschiede in der jeweiligen Stärke der Röntgenstrahlen, die durch die mehreren Arten von optischen Elementen auf die Probe gestrahlt werden, korrigiert.

**[0024]** Auch ist ein Transmissions-Röntgenprüfverfahren gemäß der vorliegenden Erfindung dadurch gekennzeichnet, dass Röntgenstrahlen mit mehreren voneinander verschiedenen Energiebereichen, die von einer Röntgenquelle erzeugt werden, durch ein optisches Element in Röntgenstrahlen eines einen Energiebereichs geteilt und auf eine Probe gerichtet und gebündelt werden, und Transmissions-Röntgenstrahlen, die von der Probe durchgelassen werden, durch eine Transmissions-Röntgenstrahlenerfassungseinheit erfasst werden.

#### Wirkung der Erfindung

**[0025]** Gemäß der oben erörterten Erfindung kann bei einer Transmissions-Röntgenprüfvorrichtung die Erfassungsempfindlichkeit für Verunreinigung in einer Probe erhöht werden.

#### KURZBESCHREIBUNG DER FIGUREN

**Fig. 1** ist eine schematische perspektivische Ansicht, die den Gesamtaufbau einer Transmissions-Röntgenprüfvorrichtung gemäß einer

Ausführungsform der vorliegenden Erfindung veranschaulicht.

**Fig. 2** ist eine schematische Seitenansicht, die den Gesamtaufbau der Transmissions-Röntgenprüfvorrichtung der Ausführungsform veranschaulicht.

**Fig. 3** ist ein Kurvendiagramm, das eine Röntgenabsorptionskante einer in der Ausführungsform zu erfassenden Verunreinigung und die Energie von geteilten Röntgenstrahlen veranschaulicht.

**Fig. 4** ist ein Funktionsblockschaubild einer Signalverarbeitungsvorrichtung gemäß der Ausführungsform.

**Fig. 5** ist ein Kurvendiagramm, das eine Röntgenabsorptionskante einer in einem Abwandlungsbeispiel zu erfassenden ersten Verunreinigung und zweiten Verunreinigung und die Energie von geteilten Röntgenstrahlen veranschaulicht.

#### AUSFÜHRUNGSFORM DER ERFINDUNG

**[0026]** Unter Bezugnahme auf die Figuren wird im Folgenden eine Ausführungsform einer Transmissions-Röntgenprüfvorrichtung gemäß der vorliegenden Erfindung beschrieben. Zum leichteren Verständnis sind die unten gezeigten Figuren schematische Darstellungen, in denen in geeigneter Weise Weglassungen oder Hervorhebungen vorgenommen wurden. Gleiche Ausgestaltungselemente tragen gleiche Bezugszeichen, und ihre Beschreibung entfällt.

**[0027]** Eine Transmissions-Röntgenprüfvorrichtung 100 der vorliegenden Ausführungsform umfasst, wie in **Fig. 1** und **2** gezeigt, eine Röntgenquelle 2, die primäre Röntgenstrahlen erzeugt, eine optische Element 3, die die primären Röntgenstrahlen teilt und auf eine Probe W strahlt, eine Transmissions-Röntgenstrahlenerfassungseinheit 4, die die von der Probe W durchgelassenen Transmissions-Röntgenstrahlen erfasst, und eine Signalverarbeitungsvorrichtung 5, die die Erfassungssignale von der Transmissions-Röntgenstrahlenerfassungseinheit 4 verarbeitet.

**[0028]** Die Transmissions-Röntgenprüfvorrichtung 100 der vorliegenden Ausführungsform weist einen Transportmechanismus 6 auf, der die zu erfassende Probe W in einer festgelegten Richtung (in **Fig. 2** in Links-rechts-Richtung auf dem Papier, hier in X-Richtung) transportiert. Das optische Element 3 und die Transmissions-Röntgenstrahlenerfassungseinheit 4 sind mit der durch den Transportmechanismus 6 transportierten Probe W in vertikaler Richtung zwischen sich angeordnete. Durch diese Ausgestaltung kann die Transmissions-Röntgenprüfvorrichtung 100

eine Verunreinigungsprüfung der Probe W durchführen, während die Probe W durch den Transportmechanismus 6 transportiert wird. Die Transmissions-Röntgenprüfvorrichtung 100 kann ein Inline-System sein, das in einem Beschichtungsauftragevorrichtung 7 für Substrate eingebaut ist. Die Probe W der vorliegenden Ausführungsform ist beispielsweise ein Anodenmaterial für eine Lithium-Ionen-Batterie, und eine zu erfassende Verunreinigung S ist Kupfer (Energie der K-Absorptionskante: 8,98 keV).

**[0029]** Die Röntgenquelle 2 emittiert primäre Röntgenstrahlen mit mehreren voneinander verschiedenen Energiebereichen (Röntgenstrahlen mehrerer Farben). Konkret handelt es sich bei der Röntgenquelle 2 um eine Röntgenröhre, die durch Erwärmen eines Filaments erzeugte Elektronen auf ein Zielmetall wie Wolfram oder Molybdän prallen lässt und so Bremsstrahlung und charakteristische Röntgenstrahlung erzeugt. Bei dem Zielmetall der vorliegenden Ausführungsform handelt es sich um Wolfram.

**[0030]** Das optische Element 3 nimmt eine Teilung der primären Röntgenstrahlen in Röntgenstrahlen eines einen Energiebereichs (eines einen Wellenlängenbereichs) vor, bündelt sie und richtet sie auf die Probe W. Der eine Energiebereich (eine Wellenlängenbereich) ist dabei auf Grundlage des Durchlässigkeitsgrads der zu erfassenden Verunreinigung S, insbesondere auf deren Röntgenabsorptionskante (hier der K-Absorptionskante von Kupfer) eingestellt.

**[0031]** Konkret ist das optische Element 3 ein gekrümmtes optisches Teilungselement, das eine Teilung in Röntgenstrahlen des einen Energiebereichs vornimmt (sie einfarbig macht) und zugleich linienförmig bündelt. Die Längsrichtung der durch das optische Element 3a linienförmig gebündelten Röntgenstrahlen ist dabei eine Richtung orthogonal zur Transportrichtung des Transportmechanismus 6 (Y-Richtung). Durch Verwenden des gekrümmten optischen Elements werden die streuend einfallenden primären Röntgenstrahlen an der gekrümmten Kristalloberfläche Bragg-reflektiert und auf eine festgelegte Position (hier die Oberfläche der Probe W) gebündelt, wodurch nur die Röntgenstrahlung des festgelegten Energiebereichs extrahiert werden kann. Als Material für das gekrümmte optische Teilungselement lassen sich Strahlenteilungskristalle wie Silizium, Graphit, Lithiumfluorid und dergleichen nennen. Wenn das gekrümmte optische Teilungselement durch Kombinieren von zwei Arten von Strahlenteilungskristallen ausgebildet ist, so wird für die geteilte Wellenlänge der Krümmungsgrad (die Größe des Rowland-Kreises) geändert und so die Wellenlänge der gebündelten Röntgenstrahlen geändert. Die Wellenlänge der gebündelten Röntgenstrahlen kann auch geändert werden, indem für die gebündelte Wellenlänge der Krümmungsgrad (die Größe des Rowland-Kreises) und/oder das

Material des Strahlenteilungskristalls geändert wird. Das optische Element 3 der vorliegenden Ausführungsform bündelt unter Teilung in  $L_{\beta}$  (hochenergetisch; 9,67-9,96 keV) und  $L_{\alpha}$  (niedrigenergetisch; 8,40 keV) der Röntgenfluoreszenz von Wolfram.

**[0032]** Wie in **Fig. 1** und **2** gezeigt, liegen in der vorliegenden Ausführungsform mehrere Arten von optischen Elementen 3a, 3b (hier zwei) vor, die eine Teilung in Röntgenstrahlen mit voneinander verschiedenen Energiebereichen vornehmen. Das eine optische Element 3a der zwei Arten nimmt eine Teilung in Röntgenstrahlen im hohen Energiebereich vor und bündelt diese auf der Probe W. Das andere optische Element 3b der zwei Arten nimmt eine Teilung in Röntgenstrahlen im niedrigen Energiebereich vor und bündelt diese auf der Probe W.

**[0033]** Wie in **Fig. 3** gezeigt, sind dabei die durch das eine optische Element 3a geteilten Röntgenstrahlen Röntgenstrahlen in einem Energiebereich, der höher als die Röntgenabsorptionskante der in der Probe W zu erfassenden Verunreinigung S ist. Die durch das andere optische Element 3b geteilten Röntgenstrahlen sind Röntgenstrahlen in einem Energiebereich, der niedriger als die Röntgenabsorptionskante der in der Probe W zu erfassenden Verunreinigung S ist.

**[0034]** Die Transmissions-Röntgenstrahlenerfassungseinheit 4 erfasst die von der Probe W durchgelassenen Transmissions-Röntgenstrahlen und ist, wie in **Fig. 1** und **2** gezeigt, unter Verwendung von Transmissions-Röntgenerfassungsgeräten 4a, 4b ausgebildet, bei denen es sich um Linientaster handelt, die auf der Unterseite der Probe W bereitgestellt sind. Die Transmissions-Röntgenerfassungsgeräte 4a, 4b sind in Entsprechung zu den linienförmig gebündelten Röntgenstrahlen bereitgestellt. Das heißt, die Längsrichtung der Transmissions-Röntgenerfassungsgeräte 4a, 4b ist eine Richtung orthogonal zur Transportrichtung des Transportmechanismus 6 (Y-Richtung). Eine Pixelbreite der Transmissions-Röntgenerfassungsgeräte 4a, 4b ist zudem im Wesentlichen gleich einer Breite der linienförmig gebündelten Röntgenstrahlen.

**[0035]** Die Transmissions-Röntgenstrahlenerfassungseinheit 4 der vorliegenden Ausführungsform weist mehrere (hier zwei) Transmissions-Röntgenerfassungsgeräte 4a, 4b auf, die mehrere Transmissions-Röntgenbilder erzeugen, die jeweils Röntgenstrahlen mit voneinander verschiedenen Energiebereichen entsprechen. Das eine Transmissions-Röntgenerfassungsgerät 4a ist ein in Entsprechung zu dem einen optischen Element 3a bereitgestellter Linientaster und erfasst Transmissions-Röntgenstrahlen von der mit Röntgenstrahlen im Hochenergiebereich bestrahlten Probe W. Das andere Transmissions-Röntgenerfassungsgerät 4b

ist ein in Entsprechung zu dem anderen optischen Element 3b bereitgestellter Linientaster und erfasst Transmissions-Röntgenstrahlen von der mit Röntgenstrahlen im Niedrigenergiebereich bestrahlten Probe W. Die Linientaster weisen jeweils einen Szintillator und einen vor der Einfallsseite der Röntgenstrahlen bereitgestellten Röntgenfilter auf, die linienförmig bereitgestellt sind. Der Röntgenfilter lässt die zu erfassenden Transmissions-Röntgenstrahlen durch, während er die übrigen störenden Röntgenstrahlen blockiert. Als der Linientaster ist eine Ausgestaltung unter Verwendung eines Halbleiterstrahlungsdetektors (SDD) oder einer Photovervielfacherröhre möglich.

**[0036]** Die Signalverarbeitungsvorrichtung 5 verarbeitet die Erfassungssignale von der Transmissions-Röntgenstrahlenerfassungseinheit 4, erzeugt die Transmissions-Röntgenbilder und erfasst die Verunreinigung aus den Transmissions-Röntgenbildern. Konkret weist die Signalverarbeitungsvorrichtung eine CPU, einen Speicher, eine Ein- und Ausgabeschnittstelle, ein Display 50, eine Eingabeeinrichtung und dergleichen auf und weist die Funktionen einer Bilderzeugungseinheit 5a, einer Bildverarbeitungseinheit 5b, einer Verunreinigungserfassungseinheit 5c, einer Anzeigesteuereinheit 5d und dergleichen auf, wie in **Fig. 4** gezeigt.

**[0037]** Die Bilderzeugungseinheit 5a erhält die Erfassungssignale von den mehreren Transmissions-Röntgenerfassungsgeräten 4a, 4b und erzeugt mehrere Transmissions-Röntgenbilder. In der vorliegenden Ausführungsform erzeugt sie unter Verwendung der Erfassungssignale von dem einen Transmissions-Röntgenerfassungsgerät 4a Transmissions-Röntgenbilder des Hochenergiebereichs und unter Verwendung der Erfassungssignale des anderen Transmissions-Röntgenerfassungsgeräts 4b Transmissions-Röntgenbilder des Niedrigenergiebereichs. Die durch die Bilderzeugungseinheit 5a erzeugten Transmissions-Röntgenbilder werden an die Bildverarbeitungseinheit 5b und an die Anzeigesteuereinheit 5d gesendet.

**[0038]** Die Bildverarbeitungseinheit 5b führt unter Verwendung der durch die Bilderzeugungseinheit 5a erzeugten Transmissions-Röntgenbilder des Hochenergiebereichs und Transmissions-Röntgenbilder des Niedrigenergiebereichs eine Differenzverarbeitung durch und erfasst so die Verunreinigung in der Probe W. Die Bildverarbeitungseinheit 5b erzeugt ein Differenzbild aus den Transmissions-Röntgenbildern des Hochenergiebereichs und den Transmissions-Röntgenbildern des Niedrigenergiebereichs und verstärkt so die Abstufung (den Kontrast) des Transmissions-Röntgenbildes, um die Extraktion der Verunreinigung S zu erleichtern. Das durch die Bildverarbeitungseinheit 5b erzeugte Diffe-

renzbild wird an die Verunreinigungserfassungseinheit 5c und die Anzeigesteuereinheit 5d gesendet.

**[0039]** Die Verunreinigungserfassungseinheit 5c erfasst die Verunreinigung S aus dem mittels der Differenzverarbeitung durch die Bildverarbeitungseinheit 5b erzeugten Differenzbildes. Die Verunreinigungserfassungseinheit 5c ermittelt aus dem Differenzbild beispielsweise die Größe der Verunreinigung und stellt beispielsweise für den Fall eines flächenäquivalenten Durchmessers der Verunreinigungsgröße von 20  $\mu\text{m}$  oder mehr eine Verunreinigung fest. Verunreinigungsinformationen, die die durch die Verunreinigungserfassungseinheit 5c erfasste Verunreinigung angeben, werden an die Anzeigesteuereinheit 5d gesendet. Bei den Verunreinigungsinformationen handelt es sich um Bilddaten, in denen die Verunreinigung erfasst wurde, wobei die Bilddaten in einem Speicher der Signalverarbeitungsvorrichtung 5 gespeichert werden. Die Verunreinigungserfassungseinheit 5c kann die Bilddaten auch zusammen mit Fehlerinformationen, die angeben, dass eine Verunreinigung erfasst wurde, an einen Server in einem Verwaltungsraum (eine übergeordnete Steuervorrichtung) oder dergleichen senden.

**[0040]** Die Anzeigesteuereinheit 5d zeigt die durch die Verunreinigungserfassungseinheit 5c erfasste Verunreinigung S auf dem Display 50 an. Konkret zeigt die Anzeigesteuereinheit 5d das durch die Bildverarbeitungseinheit 5b erzeugte Differenzbild und die erfasste Verunreinigung übereinander gelagert auf dem Display 50 an. Dabei kann die Anzeigesteuereinheit 5d die erfasste Verunreinigung in einer durch einen Benutzer leicht erkennbaren Weise anzeigen, indem sie etwa die erfasste Verunreinigung farbig anzeigt oder dergleichen.

**[0041]** Außerdem kann die Anzeigesteuereinheit 5d die durch die Bilderzeugungseinheit 5a erzeugten Röntgenstrahlentransmissionsbilder der einzelnen Energiebereiche oder die durch die Bildverarbeitungseinheit 5b erzeugten Differenzbilder auf dem Display 50 anzeigen. Zudem kann die Anzeigesteuereinheit 5d die durch die Bilderzeugungseinheit 5a erzeugten Röntgenstrahlentransmissionsbilder der einzelnen Energiebereiche und die erfasste Verunreinigung übereinander gelagert auf dem Display 50 anzeigen.

<Wirkung der vorliegenden Ausführungsform>

**[0042]** Gemäß der derart ausgestalteten Transmissions-Röntgenprüfvorrichtung 100 erfolgt an Röntgenstrahlen mit mehreren voneinander verschiedenen Energiebereichen eine Teilung in Röntgenstrahlen eines Energiebereichs, die auf die Probe W gerichtet und gebündelt werden, sodass die Stärke der auf die Probe W gestrahlten Röntgen-

strahlen dieses einen Energiebereichs erhöht werden kann, wodurch die Abstufung (der Kontrast) der Transmissions-Röntgenstrahlen verstärkt werden kann. Auf diese Weise kann bei der Transmissions-Röntgenprüfvorrichtung 100 die Erfassungsempfindlichkeit für die Verunreinigung S in der Probe W erhöht werden. Indem die Stärke der auf die Probe W gestrahlten Röntgenstrahlen des einen Energiebereichs erhöht wird, kann zudem die Zeit zum Prüfen jeder einzelnen Probe W auf Verunreinigung verkürzt werden.

**[0043]** Bei einem System, in dem die Proben W durch den Transportmechanismus 66 transportiert werden, kann die Stärke der auf die Proben W gestrahlten Röntgenstrahlen des einen Energiebereichs erhöht werden. Infolgedessen kann die Integraldosis der Transmissions-Röntgenstrahlenerfassungseinheit 4 ohne Verlängerung der summierten Zeit erhöht werden, wodurch die Abstufung (der Kontrast) der Transmissions-Röntgenstrahlen trotz eines schnelleren Transports als im Stand der Technik verstärkt werden kann. Infolgedessen kann eine höhere Geschwindigkeit der Prüfung der Proben W auf Verunreinigung erzielt werden.

#### <Weitere Ausführungsformen>

**[0044]** In der vorstehenden Ausführungsform wurde als Beispiel eine Art von Verunreinigung erfasst, doch können auch zwei oder mehr Arten von Verunreinigungen erfasst werden. Konkret beinhaltet das optische Element 3 für den Fall, dass auf eine erste Verunreinigung und eine zweite Verunreinigung geprüft wird, die sich voneinander unterscheiden, ein erstes optisches Element, das eine Teilung in erste Röntgenstrahlen in einem Energiebereich vornimmt, der niedriger als die Röntgenabsorptionskante der ersten Verunreinigung liegt (siehe **Fig. 5**), ein zweites optisches Element, das eine Teilung in zweite Röntgenstrahlen in einem Energiebereich vornimmt, der höher als die Röntgenabsorptionskante der ersten Verunreinigung und niedriger als die Röntgenabsorptionskante der zweiten Verunreinigung liegt (siehe **Fig. 5**), und ein drittes optisches Element, das eine Teilung in dritte Röntgenstrahlen in einem Energiebereich vornimmt, der höher als die Röntgenabsorptionskante der zweiten Verunreinigung liegt (siehe **Fig. 5**). Das erste bis dritte optische Element sind ebenso wie in der vorstehenden Ausführungsform gekrümmte optische Teilungselemente. Entsprechend den drei optischen Elementen weist die Transmissions-Röntgenstrahlenerfassungseinheit 4 drei Transmissions-Röntgenerfassungsgeräte auf.

**[0045]** Die Bildverarbeitungseinheit 5b führt eine Differenzverarbeitung unter Verwendung erster Transmissions-Röntgenbilder, die anhand der ersten Röntgenstrahlen erlangt werden, zweiter Transmis-

sions-Röntgenbilder, die anhand der zweiten Röntgenstrahlen erlangt werden, und dritter Transmissions-Röntgenbilder durch, die anhand der dritten Röntgenstrahlen erlangt werden, um die erste Verunreinigung und die zweite Verunreinigung zu erfassen. Konkret wird durch die Differenzverarbeitung der zweiten Röntgenbilder und der ersten Röntgenbilder die erste Verunreinigung erfasst, während durch die Differenzverarbeitung der dritten Röntgenbilder und der zweiten Röntgenbilder die zweite Verunreinigung erfasst wird. Die Anzeigesteuereinheit 5d kann die jeweilige erfasste erste Verunreinigung und zweite Verunreinigung separat anzeigen oder kann die erste Verunreinigung und die zweite Verunreinigung in einem einzigen Bild mit farblicher Unterscheidung der jeweiligen Verunreinigung anzeigen. Die erste Verunreinigung kann auch durch die Differenzverarbeitung der dritten Röntgenbilder und der ersten Röntgenbilder erfasst werden.

**[0046]** Die Signalverarbeitungsvorrichtung 5 kann eine Korrektureinheit umfassen, die die Unterschiede in der jeweiligen Stärke der Röntgenstrahlen, die durch die mehreren optischen Elemente 3 auf die Probe W gestrahlt werden, korrigiert. Die Korrektureinheit kann auf Grundlage der optischen Anordnung der Röntgenquelle 2 und der Transmissions-Röntgenstrahlenerfassungseinheit 4 sowie der mehreren optischen Elemente 3 die beim Erzeugen der Transmissions-Röntgenbilder an der Bilderzeugungseinheit 5a verwendeten Parameter korrigieren. Auch kann die Korrektureinheit auf Grundlage der optischen Anordnung der Röntgenquelle 2 und der Transmissions-Röntgenstrahlenerfassungseinheit 4 sowie der mehreren optischen Elemente 3 die mehreren Transmissions-Röntgenbilder korrigieren.

**[0047]** Darüber hinaus kann die Signalverarbeitungsvorrichtung 5 eine Empfindlichkeitskorrektureinheit umfassen, die eine Korrektur zum Anpassen der jeweiligen Erfassungsempfindlichkeit der mehreren Transmissions-Röntgenerfassungsgeräte 4a, 4b vornimmt.

**[0048]** In der vorstehenden Ausführungsform lag eine Ausgestaltung vor, bei der die Röntgenstrahlen von einer einzelnen Röntgenquelle 2 mittels mehrerer optischer Elemente 3 in Röntgenstrahlen mit voneinander verschiedenen Energiebereichen geteilt werden, doch können auch mehrere Röntgenquellen 2 vorliegen. Beispielsweise kann für die mehreren optischen Elemente 3 jeweils eine entsprechende Röntgenquelle 2 bereitgestellt sein.

**[0049]** In der vorstehenden Ausführungsform lag eine Ausgestaltung mit mehreren optischen Elementen und mehreren Transmissions-Röntgenerfassungsgeräten vor, doch ist auch eine Ausgestaltung mit einem optischen Element und einem Transmis-

sions-Röntgenerfassungsgerät möglich. In diesem Fall ist es denkbar, dass das optische Element eine Teilung und Bündelung von Röntgenstrahlen in einem Energiebereich vornimmt, der höher als die K-Absorptionskante der Verunreinigung ist.

**[0050]** Als Ausgestaltung zum Teilen der Röntgenstrahlen der Röntgenquelle 2 in die Röntgenstrahlen des einen Energiebereichs und Strahlen auf die Probe W ist auch die in **Fig. 6** gezeigte Ausgestaltung möglich. Bei der in **Fig. 6** gezeigten Ausgestaltung sind zwei optische Elemente 3 einander gegenüberliegend angeordnet. Die beiden optischen Elemente 3 sind gekrümmte optische Teilungselemente, die eine Teilung in Röntgenstrahlen desselben Energiebereichs vornehmen (sie einfarbig machen) und zugleich linienförmig bündeln. Die beiden optischen Elemente 3 sind derart angeordnet, dass die durch die optischen Elemente 3 linienförmig gebündelten Röntgenstrahlen auf der Probe W übereinstimmen. Zwischen der Röntgenquelle und den optischen Elementen 3 ist ein erster Kollimator 81 bereitgestellt, um Röntgenstrahlen zu entfernen, die nicht in die optischen Elemente 3 einfallen, und zwischen den optischen Elementen 3 und der Probe W ist ein zweiter Kollimator 82 bereitgestellt, um Röntgenstrahlen zu entfernen, bei denen es sich nicht um Röntgenstrahlen des gewünschten Energiebereichs handelt. Zwischen dem zweiten Kollimator und der Probe W kann ein dritter Kollimator 83 bereitgestellt sein, um bei Bedarf nicht benötigte Röntgenstrahlen zu entfernen. Durch die Ausgestaltung der in **Fig. 6** gezeigten Optik kann die Stärke der auf die Probe W gestrahlten Röntgenstrahlen erhöht werden. Infolgedessen kann die Integraldosis der Transmissions-Röntgenstrahlenerfassungseinheit ohne Verlängerung der summierten Zeit erhöht werden, wodurch die Abstufung (der Kontrast) der Transmissions-Röntgenstrahlen trotz eines schnelleren Transports als im Stand der Technik verstärkt werden kann. Infolgedessen können eine höhere Genauigkeit und eine höhere Geschwindigkeit der Prüfung der Proben auf Fremdkörper erzielt werden.

**[0051]** Zusätzlich zu der Ausgestaltung der vorstehenden Ausführungsform ist auch eine Ausgestaltung möglich, bei der die Verunreinigungserfassungseinheit eine Mitteilungseinheit zur Mitteilung an den Benutzer durch Ausgeben eines Fehlers oder dergleichen aufweist, falls eine Verunreinigung erfasst wird.

**[0052]** Auch erfolgte in der vorstehenden Ausführungsform die Verunreinigungserfassung an der durch den Transportmechanismus 6 transportierten Probe W, doch kann es sich auch um eine unabhängige Bauart handeln, bei der die Verunreinigungsprüfung erfolgt, indem Probe auf einem fixierten Prüftisch abgelegt wird.

**[0053]** Solange nicht vom Wesen der vorliegenden Erfindung abgewichen wird, sind zudem verschiedene Abwandlungen und Kombinationen von Ausführungsformen möglich. Gewerbliche Anwendung

**[0054]** Gemäß der vorliegenden Erfindung kann bei der Transmissions-Röntgenprüfvorrichtung die Erfassungsempfindlichkeit für Verunreinigung in einer Probe erhöht werden.

#### Erläuterung der Bezugszeichen

100	Transmissions-Röntgenprüfvorrichtung
W	Probe
2	Röntgenquelle
3 (3a, 3b)	optisches Element
4	Transmissions-Röntgenstrahlenerfassungseinheit
4a, 4b	Transmissions-Röntgenerfassungsgerät
5	Signalverarbeitungsvorrichtung
51	Bildverarbeitungseinheit
52	Anzeigesteuereinheit

**ZITATE ENTHALTEN IN DER BESCHREIBUNG**

*Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde automatisiert erzeugt und ist ausschließlich zur besseren Information des Lesers aufgenommen. Die Liste ist nicht Bestandteil der deutschen Patent- bzw. Gebrauchsmusteranmeldung. Das DPMA übernimmt keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.*

**Zitierte Patentliteratur**

- JP 2018141736 A [0005]

## Patentansprüche

1. Transmissions-Röntgenprüfvorrichtung, **gekennzeichnet durch** eine Röntgenquelle, die Röntgenstrahlen mit mehreren voneinander verschiedenen Energiebereichen emittiert, ein optisches Element, das aus den Röntgenstrahlen einen der Energiebereiche der Röntgenstrahlen ausnimmt und diesen in Richtung einer Probe fokussiert, und eine Transmissions-Röntgenstrahlenerfassungseinheit, die von der Probe transmittierte Röntgenstrahlen erfasst.

2. Transmissions-Röntgenprüfvorrichtung nach Anspruch 1, wobei das optische Element ein gekrümmtes spektroskopisches Element ist, das die Röntgenstrahlen des einen Energiebereichs linienförmig bündelt.

3. Transmissions-Röntgenprüfvorrichtung nach Anspruch 2, wobei es sich bei der Transmissions-Röntgenstrahlenerfassungseinheit um einen Linientaster handelt, der entsprechend den linienförmig fokussierten Röntgenstrahlen ausgelegt ist.

4. Transmissions-Röntgenprüfvorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 3, die zusammen mit einem Transportmechanismus zum Transportieren der Probe verwendet wird, wobei das optische Element und die Transmissions-Röntgenstrahlenerfassungseinheit an entgegengesetzten Seiten der durch den Transportmechanismus transportierten Probe angeordnet sind.

5. Transmissions-Röntgenprüfvorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 4, wobei das optische Element aus den Röntgenstrahlen einen der Energiebereiche ausnimmt, der höher als die Röntgenabsorptionskante eines zu prüfenden in der Probe ist.

6. Transmissions-Röntgenprüfvorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 5, umfassend zwei optische Elemente die aus den Röntgenstrahlen Röntgenstrahlen desselben Energiebereichs ausnehmen und diese in Richtung der Probe fokussieren.

7. Transmissions-Röntgenprüfvorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 6, umfassend mehrere Arten von optischen Elementen aufweist, wobei die mehreren Arten von optischen Elementen in Röntgenstrahlen mit voneinander verschiedenen Energiebereichen ausnehmen.

8. Transmissions-Röntgenprüfvorrichtung nach Anspruch 7, umfassend zwei Arten von optischen Elementen aufweist, wobei eines der zwei Arten von optischen Elementen Röntgenstrahlen eines Energiebereichs ausnimmt, der höher als die Röntgenabsorptionskante der in der Probe zu erfassen-

den Fremdkörpers ist, während das andere der zwei Arten von optischen Elementen Röntgenstrahlen eines Energiebereichs ausnimmt, der niedriger als die Röntgenabsorptionskante ist.

9. Transmissions-Röntgenprüfvorrichtung nach Anspruch 7 oder 8, wobei die mehreren Arten von optischen Elementen aus einer einzigen Röntgenquelle emittierende Röntgenstrahlen mit voneinander verschiedenen Energiebereichen ausnehmen.

10. Transmissions-Röntgenprüfvorrichtung nach einem der Ansprüche 7 bis 9, wobei die Transmissions-Röntgenstrahlenerfassungseinheit mehrere Transmissions-Röntgenerfassungsgeräte aufweist, um mehrere Transmissions-Röntgenbilder zu erzeugen, die jeweils den Röntgenstrahlen mit voneinander verschiedenen Energiebereichen entsprechen.

11. Transmissions-Röntgenprüfvorrichtung nach Anspruch 10, ferner umfassend eine Bildverarbeitungseinheit, die die unter Verwendung der mehreren Transmissions-Röntgenerfassungsgeräte erzeugten Transmissions-Röntgenbilder verarbeitet, wobei die Bildverarbeitungseinheit unter Verwendung der mehreren Transmissions-Röntgenbilder, die den jeweiligen Röntgenstrahlen mit voneinander verschiedenen Energiebereichen entsprechen, eine Differenzverarbeitung durchführt, um den Fremdkörper in der Probe zu erfassen.

12. Transmissions-Röntgenprüfvorrichtung nach Anspruch 11, ferner umfassend eine Anzeigesteuereinheit, um die Transmissions-Röntgenbilder auf einem Display anzeigen zu lassen, wobei die Anzeigesteuereinheit die durch die Bildverarbeitungseinheit erfassten Fremdkörper durch Farbgebung anzeigt.

13. Transmissions-Röntgenprüfvorrichtung nach Anspruch 9 oder 10, die zum Prüfen von voneinander verschiedenen Typen eines ersten Fremdkörpers und eines zweiten Fremdkörpers dient, die sich voneinander unterscheiden, wobei das optische Element ein erstes optisches Element, das aus ersten Röntgenstrahlen einen Energiebereich ausnimmt, der niedriger als die Röntgenabsorptionskante des ersten Fremdkörpers liegt, ein zweites optisches Element, das aus zweiten Röntgenstrahlen einen Energiebereich ausnimmt, der höher als die Röntgenabsorptionskante des ersten Fremdkörpers und niedriger als die Röntgenabsorptionskante des zweiten Fremdkörpers liegt, und ein drittes optisches Element umfasst, das aus dritten Röntgenstrahlen einen Energiebereich ausnimmt, der höher als die Röntgenabsorptionskante des zweiten Fremdkörpers liegt, und die Bildverarbeitungseinheit eine Differenzverarbeitung unter Verwendung erster Transmissions-Röntgenbilder, die durch Bestrahlung mit den ersten Röntgenstrahlen erlangt werden, zweiter

Transmissions-Röntgenbilder, die durch Bestrahlung mit den zweiten Röntgenstrahlen erlangt werden, und dritter Transmissions-Röntgenbilder durch, die durch Bestrahlung mit den dritten Röntgenstrahlen erlangt werden, durchführt, um den ersten Fremdkörper und den zweiten Fremdkörper zu erfassen.

14. Transmissions-Röntgenprüfvorrichtung nach einem der Ansprüche 7 bis 13, ferner umfassend eine Korrektureinheit, die die Unterschiede der jeweiligen Intensität der Röntgenstrahlen, die von den mehreren Arten von optischen Elementen auf die Probe bestrahlt werden, korrigiert.

15. Transmissions-Röntgenprüfverfahren, wobei ein Energiebereich von Röntgenstrahlen mit mehreren voneinander verschiedenen Energiebereichen, die von einer Röntgenquelle emittiert werden, von einem optischen Element ausgenommen und in Richtung einer Probe fokussiert werden, und die von der Probe transmittierte Röntgenstrahlen durch eine Transmissions-Röntgenstrahlenerfassungseinheit erfasst werden.

Es folgen 6 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

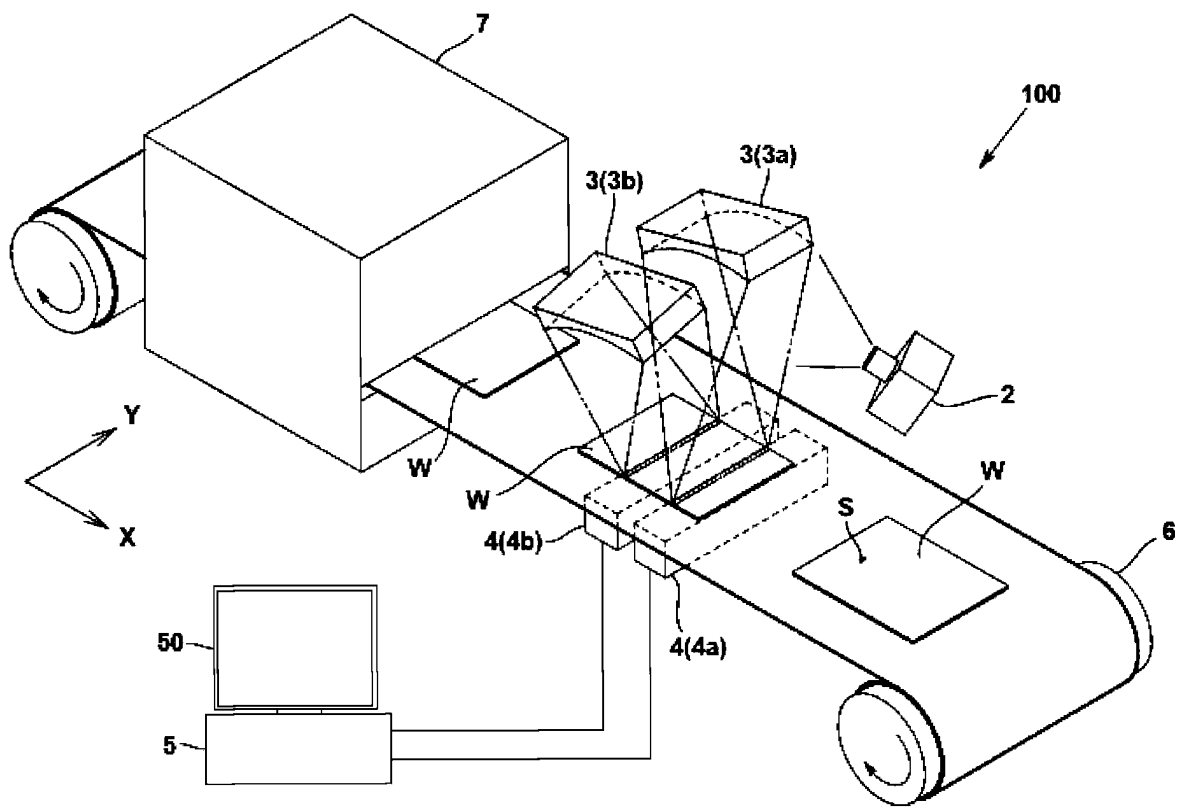


FIG.1

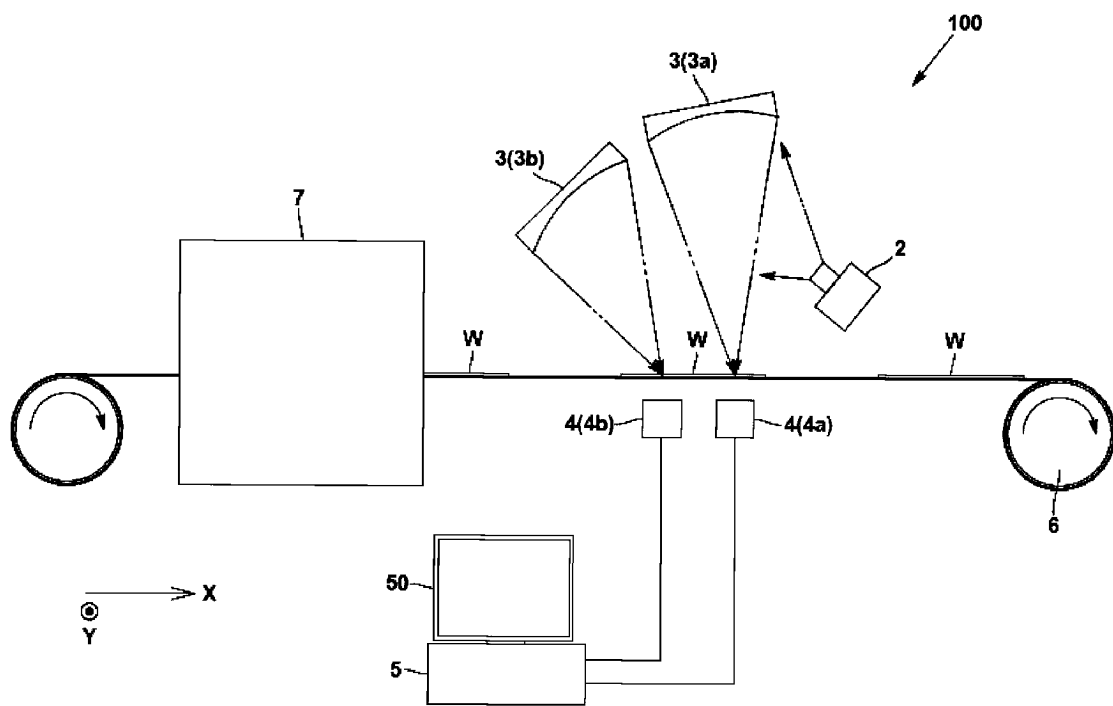
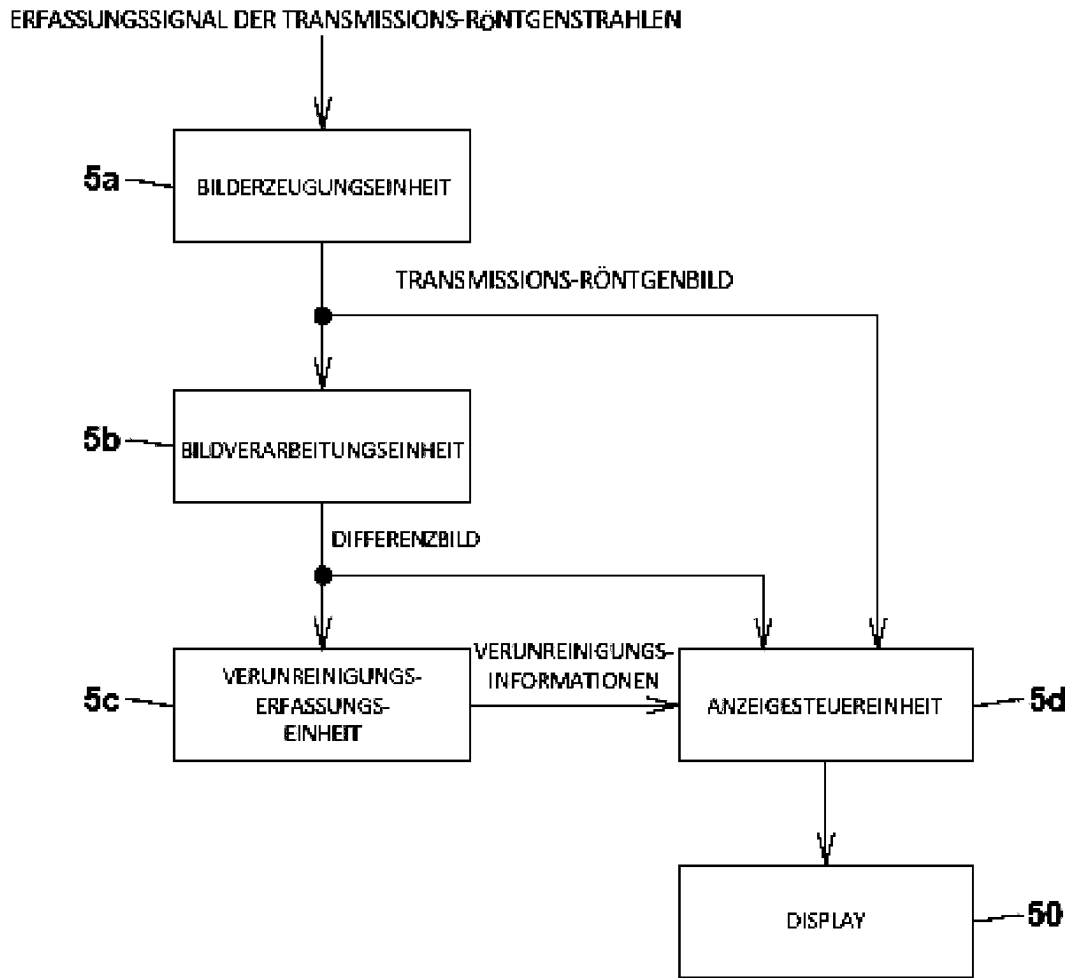
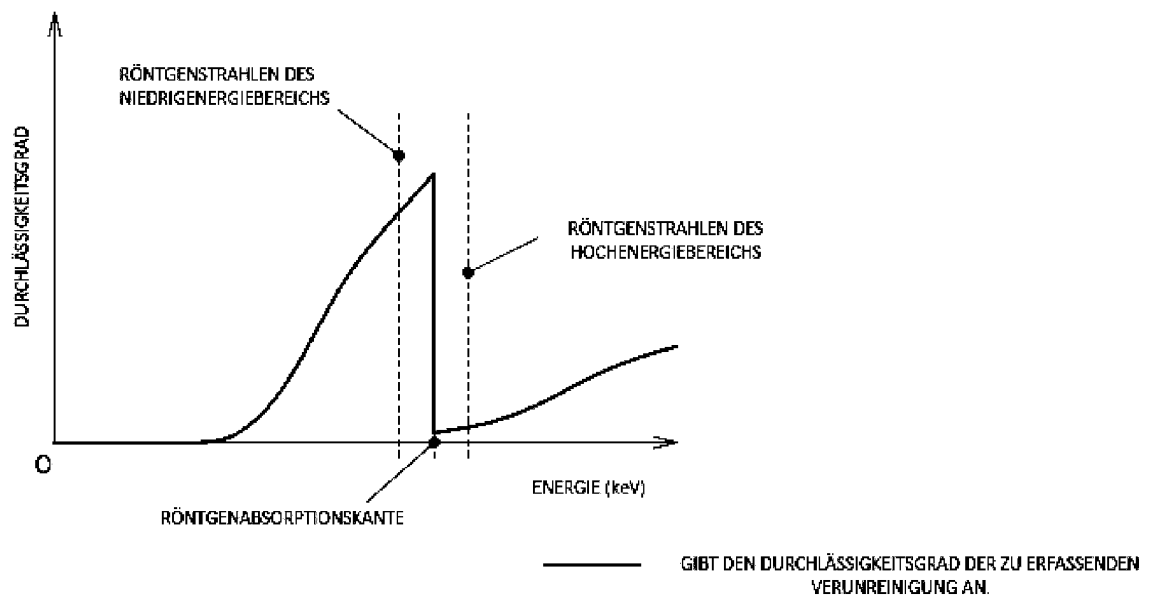


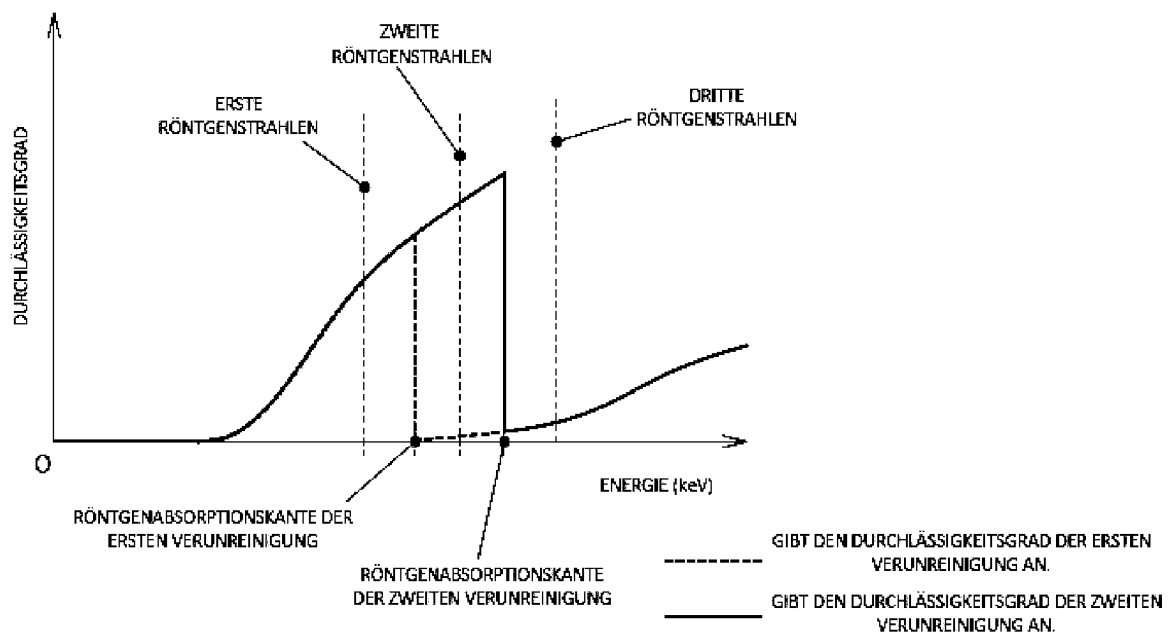
FIG.2



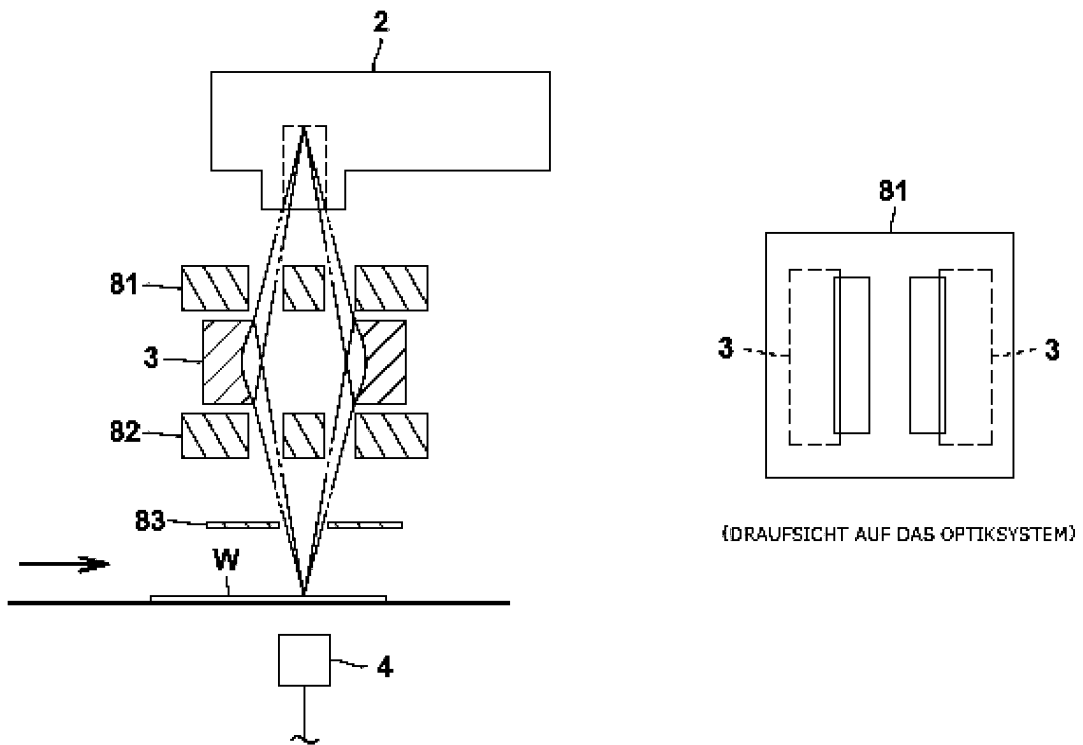
**FIG.3**



**FIG.4**



**FIG.5**



**FIG.6**