



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 10 2006 062 009 A1** 2007.09.06

(12)

Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2006 062 009.7**

(22) Anmeldetag: **29.12.2006**

(43) Offenlegungstag: **06.09.2007**

(51) Int Cl.⁸: **G01N 23/087** (2006.01)

G01B 15/02 (2006.01)

G01V 5/00 (2006.01)

(30) Unionspriorität:

200510136319.8 31.12.2005 CN

(71) Anmelder:

Tsinghua University, Beijing, CN; Nuctech Co. Ltd., Beijing, CN

(74) Vertreter:

Schoppe, Zimmermann, Stöckeler & Zinkler, 82049 Pullach

(72) Erfinder:

Wang, Xuewu, Beijing, CN; Tang, Chuanxiang, Beijing, CN; Wang, Liming, Beijing, CN; Liu, Yinong, Beijing, CN; Cheng, Jianping, Beijing, CN; Chen, Huaibi, Beijing, CN; Peng, Hua, Beijing, CN; Xie, Yali, Beijing, CN; Kang, Kejun, Beijing, CN; Hu, Haifeng, Beijing, CN; Chen, Zhiqiang, Beijing, CN; Li, Yusanjing, Beijing, CN; Liu, Yaohong, Beijing, CN; Zhang, Li, Beijing, CN; Li, Jianmin, Beijing, CN; Zhong, Huaqiang, Beijing, CN; Li, Junli, Beijing, CN; Li, Qinghua, Beijing, CN; Kang, Ning, Beijing, CN

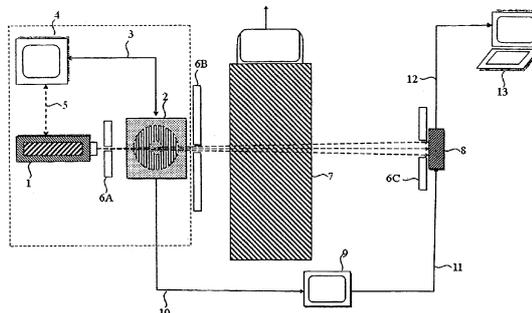
Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

(54) Bezeichnung: **Methode und Vorrichtung zur Inspektion eines Gegenstandes mittels Multienergie-Bestrahlung**

(57) Zusammenfassung: Die vorliegende Erfindung bezieht sich auf eine Methode und eine Vorrichtung zur Inspektion eines Gegenstandes mittels Multienergie-Bestrahlung, umfassend folgende Schritte:

- Die gegenseitige Wirkung der Multienergie-Bestrahlung mit einem zu inspizierenden Gegenstand wird erzeugt;
 - Detektionswerte werden nach dem Auftreten der gegenseitigen Wirkung der Bestrahlung mit unterschiedlichen Energien mit dem zu inspizierenden Gegenstand erfasst und registriert;
 - eine vorbestimmte Kalibrierungsfunktion wird durch einen Teil der Detektionswerte ersetzt, um entsprechendes vorläufiges Materialattribut des Gegenstandes enthaltende Information zu ermitteln;
 - das Materialattribut des Gegenstandes wird weiter festgestellt, indem der Information entsprechend eine für einen Energiebereich geeignete Funktionsgruppe verwendet ist.
- Die vorliegende Erfindung ist geeignet, die Kontrolle für die in Container bestückten Waren beim Zollamt, auf dem Flug- und Seehafen durchzuführen, ohne Container zu öffnen.



Beschreibung

Technisches Gebiet

[0001] Die vorliegende Erfindung bezieht sich eine Methode und eine Vorrichtung zur Inspektion eines Gegenstandes mittels Multienergie-Bestrahlung, insbesondere auf eine Methode und eine Vorrichtung zur Inspektion von in einem grossen oder mittelgrossen Gegenstand, wie beispielsweise Container für Schiff-oder Lufttransport, bestückten Materialien, mittels Multienergie-Ionisationsbestrahlung.

Stand der Technik

[0002] Bei den bekannten Bestrahlungssystemen zur Inspektion der Waren ist eine Abbildung erzeugt, indem die Strahle nach der gegenseitigen Wirkung der Strahle mit einer einzigen Energie mit dem zu inspizierenden Gegenstand detektiert sind. Solches System ist in der Lage, die Form und die Massedicke des zu inspizierenden Gegenstandes zu ermitteln, ist aber nicht in der Lage, das Material des Gegenstandes zu erkennen.

[0003] Es ist allen bekannt, dass die unter der gegenseitigen Wirkung der Röntgenstrahle mit unterschiedlichen Energien mit dem Gegenstand erzeugte physikalische Reaktion hängt von dem Materialattribut ab. Die Wahrscheinlichkeit der Erzeugung des Photoeffektes, des Compton-Effektes und des Elektronenpaareffektes ist jeweils in unterschiedlichen Energiebereichen vorherrschend. Die oben genannten drei physikalischen Effekten sind auch korrelativ mit der Atomnummer des Materials.

[0004] Die gegenseitige Wirkung der Röntgenstrahle mit dem Gegenstand ist in der folgenden Formel (1) ausgedrückt:

$$\mu_m t_m = -\ln\left(\frac{I'}{I_0}\right) \quad \dots (1)$$

wobei t_m die Massedicke des Gegenstandes ist, μ_m der äquivalente Massedämpfungsfaktor für einen entsprechenden Energiebereich der Röntgenstrahle ist, wobei der äquivalente Massedämpfungsfaktor von dem Material des Gegenstandes und der Bestrahlungsenergie abhängt, I' der Intensitätswert der Röntgenstrahle mit jeweiliger Energie nach der gegenseitigen Wirkung mit dem zu inspizierenden Gegenstand ist, und I_0 der Intensitätswert der Röntgenstrahle mit jeweiliger Energie vor dem Auftreten der gegenseitigen Wirkung mit dem zu inspizierenden Gegenstand ist.

[0005] Es ist offensichtlich, dass es mittels Strahle mit einer einzigen Energie unmöglich ist, Einflüsse des Materials und der Massedicke des Gegenstandes gleichzeitig zu unterscheiden, aber es ist möglich, die Röntgenstrahle mit unterschiedlichen Energien nach dem Auftreten der gegenseitigen Wirkung mit dem Gegenstand zu detektieren und die Wahrscheinlichkeit der Erzeugung der physikalischen Reaktion der Strahle mit dem Gegenstand zu ermitteln, so dass das Materialattribut des Gegenstandes feststellbar ist. Bei dem System zur Inspektion des kleinen Gepäcks ist die Erkennung des Materials des Gegenstandes mittels Röntgenstrahle mit zwei Energien erreicht. Aber die Energie der Röntgenstrahle reicht nicht aus, einen Gegenstand mit grösserer Massedicke zu durchleuten. Daher ist solches System nicht geeignet, einen grossen oder mittelgrossen Gegenstand, wie Container, Luftfrachtbehälter, zu inspizieren.

[0006] Aus US 5324133 ist es bekannt, das Materialattribut eines grossen Gegenstandes mittels zwei unterschiedlicher Hochenergie-Röntgenstrahlbündel zu erkennen. Bei solchem System sind zwei feste Röntgenstrahlquellen und zwei entsprechende Gruppen von Detektorarray eingesetzt, wobei zwei Röntgenstrahlbündel mit unterschiedlichen Energien von zwei Röntgenstrahlern erzeugt sind, die Energie eines Röntgenstrahlbündels erheblich höher als die des anderen Röntgenstrahlbündels ist, die Energie eines Röntgenstrahlbündels beispielsweise 5 MeV beträgt, und die Energie des anderen Röntgenstrahlbündels 1 MeV beträgt. In Abhängigkeit von dem Verhältnis zwischen zwei Inspektionsergebnissen wird eine durchschnittliche Atomnummer des Materials mit Hilfe von einer vorher hergestellten Tabelle ausgesucht und festgestellt. Da zwei Röntgenstrahler und zwei Gruppen von Detektorarray eingesetzt werden müssen, ist die Gestaltung kompliziert, sind die Kosten erheblich hoch. Nachdem diese Lösung im Jahre 1993 vorgeschlagen worden ist, findet diese Methode wegen der oben genannten Nachteile keine breite Anwendung.

[0007] Um die oben genannten Probleme bezüglich der komplizierten Gestaltung und der hohen Kosten zu lösen, ist eine Lösung in WO 00/437600 und in US 6069936 vorgeschlagen, wobei das von einem Beschleuniger erzeugte Röntgenstrahlbündel von einem Filter moduliert ist, um zwei Röntgenstrahlbündel mit unterschiedlichen Energien zu erzeugen. Obwohl es in diesen beiden Druckschriften offenbart ist, dass die Rönt-

genstrahle mit unterschiedlichen Energien von einem einzigen Beschleuniger erzeugt werden können, ist der Unterschied zwischen zwei Energiespektren der beiden durch die Filterung erzeugten Röntgenstrahlbündel nicht sehr gross, so dass der Erkennungsbereich des Materials begrenzt ist.

[0008] In WO 2004/030162A2 ist eine Methode vorgeschlagen, wobei die Röntgenstrahle mit Doppelenergien auf der Basis der Wanderwelle LINAC erzeugt sind, wobei die Möglichkeit der Erzeugung von zwei Röntgenstrahlbündeln mit unterschiedlichen Energien mit einem einzigen Beschleuniger erreicht ist.

[0009] In WO 2005/084352A2 ist es beschrieben, dass die Detektion eines hoch-Z-Material enthaltenden Gegenstandes mit einer Methode zur Erzeugung der Strahle mit Doppelhochenergien durchgeführt ist. In dieser Druckschrift ist eine statistische Funktion angegeben, wobei der Schwellenwert in Abhängigkeit von einer gewählten Standardvarianz eingestellt ist, um die Empfindlichkeit und die Genauigkeit auszugleichen. Wenn es entdeckt ist, dass die Atomnummer höher als der vorbestimmte Wert ist, wird eine Alarm gegeben.

[0010] Bei allen oben genannten bekannten Methoden sind die Strahle mit zwei Energien eingesetzt, um das Material zu erkennen, wobei es auf der Basis der Detektionsergebnisse unter der Bestrahlung mit zwei Energien berechnet und festgestellt ist, ob der zu inspizierende Gegenstand verdächtiges Material enthält. Wie beispielsweise in US 5524 133 und in WO 2005/084352A2 beschrieben, wird es festgestellt, ob der zu inspizierende Gegenstand verdächtiges Material enthält, indem ein Ausschauen in der Tabelle in Abhängigkeit von zwei Detektionsergebnissen durchgeführt ist. Wegen der Begrenzung von zwei Energien der Röntgenstrahle ist ein Detektionfehler vorhanden. Insbesondere, wenn der Gegenstand mit stark gemischten Materialien bestückt ist, oder wenn der zu inspizierende Gegenstand eine dünne Platte ist, ist die Fehlerrate erheblich hoch. Bei der Anwendung der Methode zur Feststellung in Abhängigkeit von zwei Detektionswerten ist es mit einer selben Funktionsform unmöglich, die Detektionswerte von unterschiedlichen Materialien zu unterscheiden, und gibt es Möglichkeit, dass das Verhältnis zwischen verschiedenen Materialien gleich ist. Dies führt zur Ungenauigkeit der Detektion. Ausserdem, in dem Fall, wenn zwei Energien vorhanden sind, da ihr Materialbereich mit hoher Empfindlichkeit begrenzt ist, ist es unmöglich, gleichzeitig das nieder-Z-Material und das hoch-Z-Material genau zu erkennen.

Inhalt der Erfindung

[0011] Die vorliegende Erfindung bezieht sich auf eine Methode und eine Vorrichtung zur Inspektion eines Gegenstandes mittels Multienergie-Bestrahlung, wobei eine gegenseitige Wirkung der Multienergie-Bestrahlung mit einem zu inspizierenden Gegenstand erzeugt wird; eine Berechnung und Analyse der Anpassungsfunktion für einen entsprechenden Verlauf in Abhängigkeit des Ergebnisses der gegenseitigen Wirkung durchgeführt sind; wobei die Erkennung der Materialien in breitem Bereich erreicht ist, ohne das Container für Waren zu öffnen.

[0012] Erfindungsgemäss ist die Aufgabe gelöst durch eine Methode zur Inspektion eines Gegenstandes mittels Multienergie-Bestrahlung, umfassend folgende Schritte:

- die gegenseitige Wirkung der Multienergie-Bestrahlung mit einem zu inspizierenden Gegenstand wird erzeugt;
- Detektionswerte werden nach dem Auftreten der gegenseitigen Wirkung der Bestrahlung mit unterschiedlicher Energie mit dem zu inspizierenden Gegenstand erfasst und registriert;
- eine vorbestimmte Kalibrierungsfunktion wird durch einen Teil der Detektionswerte ersetzt, um entsprechendes vorläufiges Materialattribut des Gegenstandes enthaltende Information zu ermitteln;
- das Materialattribut des Gegenstandes wird weiter festgestellt, indem der Information entsprechend eine für einen Energiebereich geeignete Funktionsgruppe verwendet ist.

[0013] In einer Weiterbildung umfasst die Information weiter entsprechende Information über Materialdicke des Gegenstandes.

[0014] In einer Weiterbildung ist die Kalibrierungsfunktion eine Anpassungsfunktion (fitting function) der Detektionswerte, die nach dem Auftreten der gegenseitigen Wirkung der Bestrahlung mit unterschiedlicher Energie mit einem bekannten Material ermittelt sind.

[0015] In einer Weiterbildung ist die Anzahl von Strahlbündel mit unterschiedlicher Energie zur Anpassung mit der Kalibrierungsfunktion und zur Erzeugung der gegenseitigen Wirkung mit dem bekannten Material nicht weniger als die Anzahl von Strahlbündel zur Erzeugung der gegenseitigen Wirkung mit dem zu inspizierenden Gegenstand bei der Inspektion.

- [0016] In einer Weiterbildung sind die Multienergien mindestens als drei unterschiedliche Energien oder Energiespektren gestaltet.
- [0017] In einer Weiterbildung beschreiben die Detektionswerte, die nach dem Auftreten der gegenseitigen Wirkung mit dem Gegenstand erfasst sind, Transmissionsintensität von den Gegenstand durchleuchtenden Strahle.
- [0018] In einer Weiterbildung ist der Energiebereich ein spezieller Energiebereich, in dem die Detektionswerte als Funktion der gegenseitigen Wirkung der Bestrahlung mit einem bestimmten Material grösser als die mit anderen Materialien sind.
- [0019] In einer Weiterbildung ist die Funktionsgruppe eine Funktionsgruppe, die in der Lage ist, feine Unterschiede zwischen den Detektionswerten von den unterschiedlichen Materialien in einem bestimmten Energiebereich erkennbar zu machen, wobei der Einfluss auf die Teile mit keinem Unterschied reduziert werden kann.
- [0020] In einer Weiterbildung ist die Funktionsgruppe als verschiedene Funktionsverarbeitungsmodel zur Verarbeitung in Segmentweise für Materialien mit unterschiedlicher Dicke gestaltet.
- [0021] In einer Weiterbildung ist eine Quelle der Bestrahlung als eine radioaktive Isotopenquelle gestaltet.
- [0022] In einer Weiterbildung ist eine Quelle der Bestrahlung als ein Beschleuniger gestaltet.
- [0023] In einer Weiterbildung ist eine Quelle der Bestrahlung als Röntgenapparat gestaltet.
- [0024] Erfindungsgemäss ist die Aufgabe gelöst durch eine Methode zur Inspektion eines Gegenstandes mittels Multienergie-Bestrahlung, umfassend folgende Schritte:
- die gegenseitige Wirkung der Multienergie-Bestrahlung mit einem zu inspizierenden Gegenstand wird erzeugt;
 - Detektionswerte werden nach dem Auftreten der Bestrahlung mit unterschiedlicher Energie mit dem zu inspizierenden Gegenstand erfasst, um Abbildung entsprechend der Bestrahlung mit verschiedener Energie zu bilden;
 - eine vorbestimmte Kalibrierungsfunktion wird durch einen Teil der Detektionswerte ersetzt, um die Maschedicke des Materials des Gegenstandes zu ermitteln;
 - ein Gewichtungsfaktor ist für die unter der Bestrahlung mit unterschiedlicher Energie erfassten Detektionswerte in Abhängigkeit von der Dicke des Materials gewählt, um eine Abbildung einzubinden und dadurch eine genauere Grauskalaabbildung zu erhalten.
- [0025] In einer Weiterbildung umfasst die Methode weiter einen folgenden Schritt:
- das Grauskalaniveau der Grauskalaabbildung ist zu entsprechendem Farbeniveau einer farbigen Abbildung umgewandelt.
- [0026] In einer Weiterbildung sind die Multienergien mindestens als zwei unterschiedliche Energien gestaltet.
- [0027] In einer Weiterbildung ist die Dicke des Gegenstandes in Abhängigkeit der aktuellen Dämpfung der Strahle ermittelt.
- [0028] In einer Weiterbildung ist der Gewichtungsfaktor für die unter der Bestrahlung mit unterschiedlicher Energie erfassten Detektionswerte derart gewählt, dass je dünner das Material ist, desto kleiner der Gewichtungsfaktor für die unter der Bestrahlung mit Hochenergie erfassten Detektionswerte ist bzw. desto grösser der Gewichtungsfaktor für die unter der Bestrahlung mit Niederenergie erfassten Detektionswerte ist; und je dicker das Material ist, desto kleiner der Gewichtungsfaktor für die unter der Bestrahlung mit Niederenergie erfassten Detektionswerte ist bzw. desto grösser der Gewichtungsfaktor für die unter der Bestrahlung mit Hochenergie erfassten Detektionswerte ist.
- [0029] Erfindungsgemäss ist die Aufgabe gelöst durch eine Vorrichtung zur Ausführung der Methode zur Inspektion eines Gegenstandes mittels Multienergie-Bestrahlung, umfassend:
- eine Gruppe von Strahlquellen zur Erzeugung von Strahlen mit mehreren unterschiedlichen Energien;
 - ein Detektormodularray zur gleichzeitigen Detektion der Strahle mit mehreren unterschiedlichen Energien;
 - ein Prozessor, der mit dem Detektormodularray verbunden ist und bestimmt ist, nach dem Auftreten einer

gegenseitigen Wirkung der Bestrahlung mit den unterschiedlichen Energien mit dem Gegenstand erfasste Detektionswerte zu verarbeiten, um das Materialattribut des Gegenstandes zu ermitteln und/oder eine Grauskalaabbildung des Gegenstandes zu bilden;

– ein Steuersystem, das mit den Strahlquellen verbunden ist und bestimmt ist, die Betriebsparameter der Strahlquellen in vorbestimmter Zeitreihenfolge zu ändern.

[0030] In einer Weiterbildung sind die Multienergien mindestens als drei unterschiedliche Energien oder Energiespektren gestaltet.

[0031] In einer Weiterbildung sind die Multienergien mindestens als zwei unterschiedliche Energien oder Energiespektren gestaltet.

[0032] In einer Weiterbildung ist das Detektormodularray als Multilage- und Multikristalldetektoren gestaltet, die aus unterschiedlichen Kristallen zusammengesetzt sind.

[0033] In einer Weiterbildung sind die einzelnen unterschiedlichen Kristallen voneinander jeweils durch eine Filterscheibe getrennt.

[0034] In einer Weiterbildung ist eine Quelle der Bestrahlung als eine radioaktive Isotopenquelle gestaltet.

[0035] In einer Weiterbildung ist eine Quelle der Bestrahlung als eine radioaktive Isotopenquelle aus unterschiedlichen Elementen gestaltet ist, wobei die Strahle mit unterschiedlicher Energie durch unterschiedliche Isotopen in Zeitreihenfolge über einen schmalen Schlitz an einem Kollimator emittiert sind.

[0036] In einer Weiterbildung ist eine Quelle der Bestrahlung als ein Beschleuniger gestaltet, der in der Lage ist, Strahle mit kontinuierlichem Energiespektrum zu emittieren, in welchem Energiespektrum unterschiedliche Energien vorherrschend sind.

[0037] In einer Weiterbildung umfasst der Beschleuniger einen Energiespektrummodulator, der an dem vorderen Ende des Strahlaustritts angeordnet ist.

[0038] In einer Weiterbildung ist eine Quelle der Bestrahlung als Röntgenapparat gestaltet.

[0039] In einer Weiterbildung umfasst das Röntgenapparat einen Energiespektrummodulator, der an dem vorderen Ende des Strahlaustritts angeordnet ist.

[0040] In einer Weiterbildung ist der Energiespektrummodulator in Form von einer Radscheibe mit mehreren Flügeln aus unterschiedlichen Modulationsmaterialien gestaltet, wobei sich die Flügel um eine Drehachse der Radscheibe in Zeitreihenfolge in Abhängigkeit von Strahlbündeln mit entsprechenden Energien drehen.

[0041] In einer Weiterbildung ist der Energiespektrummodulator in Form von einer Radscheibe mit mehreren Flügeln aus unterschiedlichen Modulationsmaterialien gestaltet, wobei sich die Flügel um eine Drehachse der Radscheibe in Zeitreihenfolge in Abhängigkeit von Strahlbündeln mit entsprechenden Energien drehen.

[0042] In einer Weiterbildung sind ein Auslösesignal dem Steuersystem der Strahlquelle und ein Erfassungssignal dem Steuersystem der Detektoren von dem Energiespektrummodulator zugeleitet, so dass der Strahlbündelaustritt aus der Strahlquelle mit der Signalerfassung von den Detektoren synchronisiert ist.

[0043] In einer Weiterbildung sendet das Steuersystem ein den unterschiedlichen Energien entsprechendes Signal zu der Strahlquelle, sobald das Steuersystem das Auslösesignal empfangen hat, so dass die Strahlquelle in ein gewünschtes Betriebszustand gebracht ist.

[0044] In einer Weiterbildung beschreiben die unter der Bestrahlung mit den unterschiedlichen Energien erfassten Detektionswerte die Transmissionintensität der den Gegenstand durchleuchtenden Strahle.

[0045] Da bei der vorliegenden Erfindung die Röntgenstrahle mit mehreren Energien zur Erkennung des Materials des Gegenstandes eingesetzt sind, kann jeweils ein optimaler Energiebereich für unterschiedliche Materialien verwendet werden. Dies wird die Genauigkeit der Erkennung der Materialien in erheblichem Masse verbessern. Ausserdem, wenn der kombinierte Einfluss von dem Materialattribut und der Materialdicke in Rücksicht genommen ist, welcher Einfluss leicht zur Kreuzung der Detektionsergebniskurven führt, kann die

Genauigkeit der Erkennung der Materialien weiter verbessert werden, indem eine spezielle Kurve zur Erkennung der Materialien durch die Anpassung der unter der Bestrahlung der Röntgenstrahle mit mehreren Energien erzielten Detektionswerte eingebunden ist. In Abhängigkeit von den Detektionswerten der bekannten Materialien kann eine Funktion der Segmentanpassungsfunktions als Vergleichsschwellenwert verwendet werden, so dass die gesamte Feststellung auf der Basis der praktischen Messwerte durchgeführt ist. Durch eine zweite Feststellung und eine spezielle Verarbeitung bezüglich der Massedicke ist die Fehlerrate reduziert, die durch die direkte Interpolation und das Ausschuchen in der Tabelle nach dem Stand der Technik verursacht ist. Dadurch ist die Genauigkeit der Erkennung der Materialien erheblich verbessert.

[0046] Nach dem Auftreten der gegenseitigen Wirkung der Röntgenstrahle mit unterschiedlichen Energien sind die Detektionswerte erzielt. Unterschiedliche Gewichtungsfaktoren sind den unter der Bestrahlung mit Hoch- oder Niederenergie erfassten Daten zugeordnet, so dass eine klare Grauskalaabbildung oder eine farbige Abbildung mit farbreichem Niveau für den zu inspezierende Gegenstand mit erheblich unterschiedlicher Massedicke erzielt werden.

[0047] Für die von dem Beschleuniger erzeugten Röntgenstrahle, in Abhängigkeit von den zu erkennenden Materialien kann eine Energiespektrummodulation mit verschiedenen Modulationsmaterialien für die Röntgenstrahle mit unterschiedlichen Energien durchgeführt werden, so dass eine optimale Wirkung der Energiespektrummodulation erreicht ist, nämlich ein optimales Energiespektrum zur Erkennung der Materialien erzielt ist. Dadurch ist die Fehlerrate reduziert, die durch die Energiespektrumstreuung verursacht ist.

[0048] Der Multilagen-Detektor wird zur weiteren Verbesserung der Detektionswirkung im Fall der Röntgenstrahle mit unterschiedlichen Energien beitragen, so dass die Detektionswirkung und die Detektionsgenauigkeit verbessert sind.

Kurze Beschreibung der Zeichnungen

[0049] [Fig. 1](#) Vorrichtung zur Inspektion mittels Multienergie-Röntgenstrahle nach einer erfindungsgemässen Ausführungsform schematisch dargestellt;

[0050] [Fig. 2](#) Energiespektrummodulationseinrichtung zur Modulation von Multienergie-Strahlen nach einer erfindungsgemässen Ausführungsform in Draufsicht dargestellt;

[0051] [Fig. 3](#) Zeitreihenfolge eines von der Energiespektrummodulationseinrichtung zu einem Steuersystem abgegebenen Signals dargestellt;

[0052] [Fig. 4](#) Detektor zur Ausführung der genauen Detektion mittels Multienergie-Strahle nach einer erfindungsgemässen Ausführungsform;

[0053] [Fig. 5](#) vorgegebene Funktionskurve über Verhältnis zwischen Strahlenergie, Attribut des Materials und Dicke des Materials in dem gesamten Energiebereich dargestellt;

[0054] [Fig. 6](#) eine anders als die Funktionskurve nach [Fig. 5](#) vorgegebene Funktionskurve über Verhältnis zwischen Strahlenergie, Attribut des Materials und Massedicke des Materials in dem gesamten Energiebereich dargestellt, wobei die Funktionskurve sehr günstig für die Unterscheidung eines hoch-Z-Materials;

[0055] [Fig. 7](#) Fließdiagramm über das Verfahren zur Unterscheidung des Materials, wobei Detektionswerte mehrerer Strahlbündel mit unterschiedlicher Energie verwendet sind; und

[0056] [Fig. 8](#) Fließdiagramm der Methode zur Einstellung der Abbildung mittels Information über unterschiedliche Massedicke.

Bevorzugte Ausführungsform

[0057] Erfindungsgemäss ist es bei der Durchführung der Inspektion von in dem Container bestückten Waren erforderlich, Röntgenstrahle mit höherer Energie von einem Beschleuniger zu erzeugen, so dass die Strahle mit ausreichender Energie und Dosierung die im Container bestückten Waren durchleuchten und an dem Detektor gelangen können, und dadurch nützliche Signale von dem Detektor empfangen werden können. Um verschiedene Materialien des zu inspizierenden Gegenstandes zu unterscheiden, ist es wichtig, dass der Beschleuniger mehrere Röntgenstrahle mit unterschiedlichen Energien erzeugen sollte, und eine gegenseitige

Wirkung mit dem zu inspizierenden Gegenstand in einer selben Stelle auftreten muss, und eine genaue Detektion von dem Detektor erreicht werden soll.

[0058] In [Fig. 1](#) ist eine Vorrichtung zur Inspektion eines Gegenstandes, wie Container-Waren mittels Multienergie-Röntgenstrahle nach einer erfindungsgemässen Ausführungsform schematisch dargestellt. Aus [Fig. 1](#) ist entnommen, dass Röntgenstrahle mit verschiedenen Energie von dem Beschleuniger **1** durch die Änderung der Betriebsparameter erzeugt werden können. Die Änderung der Betriebsparameter des Beschleunigers ist durch das Steuersystem **4** der Vorrichtung erreicht.

[0059] Wenn der Beschleuniger **1** Röntgenstrahle mit verschiedenen Energien erzeugt, wird das entsprechende Betriebszustand in dem Steuersystem **4** abgespeichert. Nachdem das Steuersystem **4** das Auslösesignal **3** empfangen hat, wird ein unterschiedlichen Energien entsprechendes Signal gleich von ihm an den Beschleuniger **1** gesendet wird, so dass der Beschleuniger **1** in gewünschtes Betriebszustand gebracht ist. Nachdem der Beschleuniger **1** in von dem Steuersystem **4** gefordertem Betriebszustand Röntgenstrahle mit bestimmter Energie gesendet hat, sendet er ein Vollendungsbefehl an das Steuersystem **4** zurück. Die von dem Beschleuniger **1** erzeugten Röntgenstrahle sind von dem Energiespektrummodulator **2** moduliert, so dass optimale Röntgenstrahle aufbereitet sind. Dann wird die gegenseitige Wirkung der Röntgenstrahle mit verschiedenen Energien jeweils mit dem zu inspizierenden Gegenstand in einer selben Stelle durchgeführt. Der Detektor **9** wird von einem Steuereinrichtung **9** gesteuert, die den zu inspizierenden Gegenstand durchleitenden Röntgenstrahle zu detektieren. Das Erfassungssignal **12** wird von dem Detektor **8** über das Netz der Arbeitsstation **13** zugeleitet. In der Arbeitsstation **13** werden die Daten verarbeitet, um den Grauwert der Abbildung und das Attribut des Stoffes zu ermitteln.

[0060] Die Röntgenstrahle sind durch das Auftreffen des von dem Beschleuniger beschleunigten Elektronenstrahlbündels auf das Ziel erzeugt und dann durch einen Kollimator **6A** gebündelt, um ein Fächer-förmiges Röntgenstrahlbündel zu erhalten. Weiter sind in [Fig. 1](#) Kollimatoren **6B** und **6C** gezeigt, die bestimmt sind, Streuungsemission bei der Detektion zu unterdrücken.

[0061] Es ist erforderlich, das Energiespektrum der Strahle mit entsprechender Energie mittels unterschiedlicher Modulationsmaterialien zu modulieren. Dabei ist die Synchronisierung des Strahlaustritts von dem Beschleuniger mit der Erfassung von den Detektoren durch ein Auslösesignal **3** und ein Signal **10** erreicht.

[0062] In Abhängigkeit der von dem Beschleuniger **1** erzeugten Röntgenstrahle ist die Modulation von dem Energiespektrummodulator **2** mittels eines der Energie der Röntgenstrahle entsprechenden Modulationsmaterials durchgeführt. Wie in [Fig. 2](#) dargestellt, ist der Energiespektrummodulator **2** rundförmig gestaltet, wobei der Energiespektrummodulator **2** eine mehrere Raster aufweisende hohle Welle aufweist. Die um die Welle drehbaren Flügel sind aus unterschiedlichen Modulationsmaterialien hergestellt. Ein Auslösesignal **3** ist der Steuereinrichtung des Beschleunigers **1** zugeleitet, um die Synchronisierung des Energiespektrumenergiemodulators **2** mit dem Beschleuniger **1** gewähzuleisten. Daher ist es erreicht, das Energiespektrum der Röntgenstrahle mit unterschiedlicher Energien mittels der Flügel aus entsprechenden Modulationsmaterialien zu modulieren. Die gegenseitige Wirkung der Strahle mit dem Gegenstand hängt nicht nur von der Eigenschaft der Strahle, sondern auch von dem Materialattribut des Gegenstandes ab. Bei unterschiedlichen Modulationslösungen sind unterschiedliche Modulationswirkungen für die Strahle mit unterschiedlichen Energien erreicht.

[0063] Da beispielsweise das nieder-Z-Material die Strahle mit höheren Energien stark absorbieren kann, wird das nieder-Z-Material, wie Polyäthylen und andere wasserstoffreiche Stoffe, als Modulationsmaterial für Röntgenstrahle mit einer bestimmten Energie gewählt, wenn die untere Grenze der Energie höher als ein Schwellenwert für eine höhere Energie (beispielsweise von 3 MeV) ist.

[0064] Da beispielsweise das hoch-Z-Material die Strahle mit Energien in Größenordnung von einigen hundert KeV stark absorbieren kann, wird das hoch-Z-Material, wie Pb, W und U, als Modulationsmaterial für Röntgenstrahle mit einer bestimmten Energie gewählt, wenn die obere Grenze der Energie niedriger als ein Schwellenwert für eine niedrigere Energie (beispielsweise von 300 KeV).

[0065] In [Fig. 2](#) ist der Energiespektrummodulator zur Modulation der Röntgenstrahle mit unterschiedlichen Energien in Draufsicht dargestellt. Für die von dem Beschleuniger **1** erzeugten Röntgenstrahle mit Energie von 3–6 MeV ist der Modulationsflügel verwendet, der aus einem ersten Teil **14** und einem zweiten Teil **15** besteht. Für den ersten Teil **14** ist das Modulationsmaterial aus Polyäthylen herstellbar, und für den zweiten Teil **15** ist das Modulationsmaterial aus Pb herstellbar. Der erste Teil **14** ist bestimmt, Strahle mit höheren Energien abzusorbieren, und der zweite Teil **15** ist bestimmt, die Streuungsanteile mit niedrigeren Energien abzusorbieren.

[0066] Für die Strahle mit Energie von ~9MeV ist der Modulationsflügel **16** aus hochmolekularen Stoffen herstellbar. Für die Strahle mit Energie von 200 KeV–1 MeV ist der Modulationsflügel **17** aus W herstellbar. Wie in [Fig. 2](#) dargestellt, sind die oben genannten drei Modulationsflügel in periodischer Weise um die Welle angordnet, so dass die Röntgenstrahle mit entsprechender Energie bei der Drehung der Modulationsflügel in einem vorbestimmtem Winkelabstand moduliert werden können.

[0067] Die Modulationsflügel des Energiespektrumsmodulators drehen sich um die Mittelwelle **18** gleichmäßig. Wenn der erste Modulationsflügel eine bestimmte Stelle vor der Ebene der Strahle erreicht hat, wird ein Signal ausgelöst. In [Fig. 3](#) ist die Zeitreihenfolge zur Erzeugung des Signals dargestellt. Mehrere Röntgenstrahlbündel sind von dem Beschleuniger **1** ununterbrochen erzeugt. Die Zeitdauer zur Emittierung jedes Strahlbündels beträgt t_1 , innerhalb der Zeitdauer von t_1 , gelangt der nächste Modulationsflügel gerade an dieser bestimmten Stelle. Nach dem Ablauf der Zeitdauer t_2 hat der erste Modulationsflügel wieder die selbe bestimmte Stelle erreicht, und in diesem Zeitpunkt wird wieder ein Signal ausgelöst und beginnt es mit einer neuen Periode zur Emittierung des kontinuierlichen pulsierenden Strahlbündels. Dieses Auslösesignal ist gleichzeitig auch dem Steuersystem des Detektors zugeleitet. In einer bestimmten Zeitverzögerung beginnt der Detektor mit der Erfassung der Signale. Dadurch ist die Synchronisierung zwischen den einzelnen Bauteilen erreicht.

[0068] Der Detektor kann als Multilage- und Multikristalldetektor gestaltet werden. In diesem Fall kann der oben genannte Beschleuniger durch eine radioaktive Isotopenquelle ersetzt werden, wobei mehrere Isotopen zusammengesetzt sind, und die Strahle mit unterschiedlichen Energien von verschiedenen Isotopen in vorbestimmter Zeitreihenfolge durch einen schmalen Schitz am Kollimator emittiert sind. Wie in [Fig. 4](#) dargestellt, in Abhängigkeit der Erfassungskapazität von unterschiedlichen Materialien für das Signal mit entsprechender Energie, ist der erste Detektionsteil **4** aus Csl Kristall herstellbar, wobei der erste Detektionsteil **41** bestimmt ist, Strahle mit niedrigerer Energie zu erfassen, und das Ausgangssignal an dem ersten Ausgangsteil **42** ausgegeben ist. Die übrigen Strahle mit höherer Energie sind durch den ersten Detektionsteil **41**, den ersten Ausgangsteil **42** zu einem Filterteil **43** geführt. Der Filterteil **43** ist als eine Filterschiebe gestaltet und ist bestimmt, die durch Compton-Streuung erzeugten Strahle mit niedrigerer Energie auszufiltern. Der Filterteil **43** ist aus Pb oder W herstellbar. Der zweite Detektionsteil **44** is aus CWO-Kristall herstellbar. Die meisten Anteile der Strahle mit höherer Energie schlagen in dem zweiten Detektionsteil **44** nieder. Das Signal des zweiten Detektionsteiles ist an dem zweiten Ausgangsteil **45** ausgegeben. Die von dem Detektor erfassten Detektionssignale sind von ADC zu 16 -bit binary Daten umgewandelt und zu einer Verarbeitungsstelle **13** übertragen.

[0069] Nachdem die Detektionswerte von der Verarbeitungsstelle **13** empfangen worden sind, werden die Daten mit Abbildungsverarbeitungsmodul verarbeitet. Zuerst wird eine Funktionsgruppe in einem Energiebereich in Abhängigkeit von dem Ergebnis der Detektion für bekannte Materialien kalibriert, und wird eine Kurve zur Beschreibung des Verhältnisses zwischen den Funktionen in eine Funktionsgruppe gebildet. Wie in [Fig. 5](#) dargestellt, können die Funktionen in der Funktionsgruppe beliebig gewählt werden, beispielsweise sind der Wert A in der x-Koordinate und der Wert P in der y-Koordinate mit Hilfe von folgenden Formeln (2) und (3) berechnet:

$$A = \mu_n \times t = \alpha \times |\ln(I_n/I_{n0})| \quad (2)$$

$$P = |(\beta\mu_m - \gamma\mu_n + \eta\mu_k)t| \text{ or } P = |\lambda(\mu_m \times \mu_n)t| \quad (3)$$

wobei unterschiedliche Energien der Strahle mit Indexen m, n, K bezeichnet sind, α , β , γ , η und λ Faktoren der bekannten Materialien sind, t die Massedicke des Gegenstandes ist, μ Dämpfungsfaktor ist, I_n Signalstärke nach der gegenseitigen Wirkung der Strahle mit der n-ten Energie mit dem Gegenstand ist, und I_{n0} Signalstärke nach der gegenseitigen Wirkung der Strahle mit der n0-ten Energie mit dem Gegenstand ist. In unterschiedlichen Energiebereichen weisen unterschiedliche Funktionsgruppen auch unterschiedliche Auflösung auf. Diese Merkmale sind bei der vorliegenden Erfindung ausgenutzt, um die Erkennung der Materialien unter der Verwendung der kalibrierten Funktions gegenüber unterschiedlichen Materialien durchzuführen.

[0070] Bei der Durchführung der Inspektion sind die kalibrierten Funktionen durch die unter der Bestrahlung mit einigen Energien für den zu inspizierenden Gegenstand erzielten Detektionswerte ersetzt. Dann wird ein Vergleich zwischen den erzielten Funktionswerten und den kalibrierten Funktionswerten der bekannten Materialien durchgeführt, um der Materialbereich, zu dem das Material des zu inspizierenden Gegenstandes gehören könnte, vorläufig festzustellen.

[0071] Für unterschiedliche Materialien ist der optimale Energiebereich zur Erkennung unterschiedlich, und ist das gewählte Funktionsmodul für jeweiligen Energiebereich auch unterschiedlich. In [Fig. 6](#) ist eine entspre-

chende Funktionsverhältniskurve für den Energiebereich zur Erkennung der Schwermetallen. Aus [Fig. 6](#) ist es erkannt, dass die Schwermetallen mittels der speziellen Funktionskurve für diesen Energiebereich klar unterschieden werden können. In Abhängigkeit des bei der ersten Feststellung erzielten Materialbereiches kann das Materialattribut weiter genau mittels einer geeigneten Energiekombinationsform und einer Funktionsgruppe für den entsprechenden Bereich festgestellt werden.

[0072] Wenn das Material eine dünne Platte ist, kann die Genauigkeit der Erkennung des Materials beeinflusst. Wenn der Funktionswert der gewählten Funktions in einen bestimmten Bereich des Koordinatensystems fällt, oder wenn die Dämpfung sehr klein ist, kann es angenommen werden, dass der Gegenstand eine dünne Platte ist. Berücksichtigt, dass die statistische Schwankung der Detektionsergebnisse unter der Bestrahlung der dünne Platte als Gegenstand sehr stark ist, sollten die Detektionswerte mit dem der dünnen Platte entsprechenden Funktionsverhältnis weiter verarbeitet werden, um die Genauigkeit der Erkennung gewähzuleisten. Das Funktionsverhältnis für die dünne Platte ist durch die Anpassung der kalibrierten Daten des praktischen Materials erzielt.

[0073] Beispielsweise kann die Funktion aus der folgenden Formel (4) für das Material mit normaler Dicke verwendet werden:

$$P = \alpha \times \ln\left(\frac{I_m}{I_{m0}}\right) - \beta \times \ln\left(\frac{I_n}{I_{n0}}\right) \quad \dots \quad (4)$$

[0074] Für die dünne Platte kann die Funktion aus folgender Formel (5) verwendet werden:

$$P = \left(\alpha \times \ln\left(\frac{I_m}{I_{m0}}\right) - \beta \times \ln\left(\frac{I_n}{I_{n0}}\right)\right) \times (\ln(I_m + I_n)) \times \gamma \quad \dots \quad (5)$$

wobei I_n , I_m Signalwerte nach dem Auftreten der gegenseitigen Wirkung der Strahle mit dem Gegenstand sind; I_{n0} , I_{m0} Signalwerte vor dem Auftreten der gegenseitigen Wirkung der Strahle mit dem Gegenstand sind; α , β , γ vorbestimmte Faktoren sind.

[0075] In [Fig. 7](#) ist ein Fließdiagramm mit sechs Energien als Beispiele dargestellt, wobei das Materialattribut mit mehreren Energien festgestellt ist.

[0076] In Schritt S110 sind drei beliebige Energien (es ist auch möglich, weniger als sechs Energien, wie zum Beispiel zwei oder vier Energien zu wählen) aus sechs Energien der Strahle, die mit den bekannten Materialien einander wirken, ausgewählt, wobei das bestimmte Funktionsverhältnis von diesen drei Energien für die Funktionanpassung verwendet ist, so dass das zu inspizierende Material kalibriert ist und entsprechende Kurven zur Klassifizierung der bekannten Materialien hergestellt sind.

[0077] In Schritt S120 ist des zu inspizierende Gegenstand von den Röntgenstrahlen mit sechs unterschiedlichen Energien abgetastet und sind die Detektionswerte unter der Abtastung des zu inspizierenden Gegenstandes von den Röntgenstrahlen mit sechs unterschiedlichen Energien von dem Detektor erfasst. In Schritt S130 sind die Röntgenstrahle je nach ihrer Energie in zwei Gruppen geteilt, beispielsweise die Röntgenstrahle mit der ersten, der dritten und der vierten Energie gehören zu der ersten Gruppe, während die Röntgenstrahle mit der zweiten, der fünften und der sechsten Energie zu der zweiten Gruppe gehören. In Schritten S130 und S140 ist die oben genannte kalibrierte Funktion durch die Detektionwerte unter der Bestrahlung mit den drei Energien jeder Gruppe ersetzt, um das Materialattribut vorläufig festzustellen. Beispielsweise in Abhängigkeit der Detektionswerte unter der Bestrahlung der Röntgenstrahle der ersten Gruppe ist es festgestellt, ob das Material a enthalten ist, und in Abhängigkeit der Detektionswerte unter der Bestrahlung der Röntgenstrahle der zweiten Gruppe ist es festgestellt, ob das Material b enthalten ist.

[0078] In Schritt S150, wenn es mittels der Röntgenstrahle von zwei Gruppen festgestellt ist, dass die Materialien Cu und W sind, werden entsprechende Detektionswerte der Energiebereiche gewählt, die mehr für Cu und W geeignet sind, um das Materialattribut weiter festzustellen. Beispielsweise ist für das Material a das Strahlbündel in einem Energiebereich, beispielsweise die Röntgenstrahle mit der zweiten, der dritten und vierten Energie, mit optimaler Auflösung verwendet, um in Abhängigkeit der vorgegebenen Funktionen für die Detektionswerte das Materialattribut des Materials a weiter festzustellen. Beispielsweise ist für das Material b das Strahlbündel in einem Energiebereich, beispielsweise die Röntgenstrahle mit der vierten, der fünften und sechsten Energie, mit optimaler Auflösung verwendet, um in Abhängigkeit der vorgegebenen Funktionen für die Detektionswerte das Materialattribut des Materials b weiter festzustellen.

[0079] Bei der weiteren Feststellung kann man erkennen, dass eins von Cu und W nicht für das geeignete Funktionsverhältnis geeignet ist. Es ist offensichtlich, dass noch bessere Genauigkeit erreichbar ist, wenn die Anzahl der Energie weiter zugenommen ist. Es ist erkannt, dass die Genauigkeit bei der Feststellung des Materialattributs durch entsprechende Wahl der Energiebereiche in erheblichem Masse verbessert ist.

[0080] Um klare Abbildung des zu inspizierenden Gegenstandes zu erzeugen, können mehrere Abbildungen kombiniert werden, die durch die Abtastung mittels Röntgenstrahle mit unterschiedlichen Energien gebildet sind, so dass eine Abtastungsabbildung mit noch besserer Qualität erzeugt ist.

[0081] Es ist allen bekannt, dass die Hochenergie-Röntgenstrahle eine grosse Penetrationskapazität durch den Gegenstand aufweist. Nach der Penetration der Hochenergie-Röntgenstrahle durch einen Gegenstand mit einer grösseren Dicke können die Detektionsdaten mit besserer Genauigkeit erzielt werden, so dass eine klarere Grauskalaabbildung gebildet ist. Wenn aber Hochenergiestrahle für einen Gegenstand mit einer kleinen Dicke eingesetzt sind, kann nur eine unklare Abbildung gebildet werden, so dass einige ausführlichen Informationen verloren sind. In diesem Fall, wenn die Niederenergiestrahle eingesetzt sind, können die oben genannten Nachteile vermieden werden.

[0082] In [Fig. 8](#) ist ein Fließdiagramm dargestellt, wobei die Abbildung mit der Information der unterschiedlichen Massedicken eingestellt ist. Bei der Kombiniervorgang ist eine klare Abbildung in einem breiteren Bereich der Massedicken in Abhängigkeit der verschiedenen Dämpfungseigenschaften der Hoch- und Niederenergiestrahle für unterschiedliche Massedicken durch die Kombination von zwei Detektionswerten erreicht.

[0083] In Schritten S210 und S220 ist das Materialattribut des zu inspizierenden Gegenstandes festgestellt, wie zum Beispiel ist es festgestellt, ob der zu inspizierende Gegenstand dick oder dünn ist. In Abhängigkeit der Dämpfung der Strahle wird der Näherungsbereich der Massedicke des Materials festgestellt. Wenn die Dämpfung sehr stark ist und es kleiner als der vorgegebene Schwellenwert ist, so ist es angenommen, dass der zu inspizierende Gegenstand eine grosse Massedicke aufweist. Wenn die Dämpfung schwach ist und es grösser als der vorgegebene Schwellenwert ist, so ist es angenommen, dass der zu inspizierende Gegenstand eine kleine Massedicke aufweist.

[0084] In Schritt S230, für das Material mit kleiner Massedicke ist ein kleinerer Gewichtungsfaktor den Daten für Hochenergie zugeordnet, beispielsweise 30%; für das Material mit grosser Massedicke ist ein grösserer Gewichtungsfaktor den Daten für Niederenergie zugeordnet, beispielsweise 70%.

[0085] In Schritt S240, für das Material mit grosser Massedicke ist ein grösserer Gewichtungsfaktor den Daten für Hochenergie zugeordnet, beispielsweise 70%; und ein kleinerer Gewichtungsfaktor den Daten für Niederenergie zugeordnet, beispielsweise 30%.

[0086] In Schritt S250 sind die Abbildung für Hochenergie und die Abbildung für Niederenergie in Abhängigkeit von den oben genannten Gewichtungsfaktoren kombiniert, so dass eine klare Abbildung schliesslich gebildet ist.

[0087] Bei der vorliegenden Erfindung sind entsprechende Grauskalainformationen der Abbildung zuerst durch den Vergleich zwischen den unter der gegenseitigen Wirkung der Strahle mit unterschiedlichen Energien erfassten Detektionswerten und den entsprechenden vorgegebenen Schwellenwerten und dann durch die Zuordnung unterschiedlicher Gewichtungsfaktoren zu den Daten für Hoch- und Niederenergie und schliesslich durch die Kombination erzielt.

[0088] Obwohl die unter der gegenseitigen Wirkung der Röntgenstrahle mit dem Gegenstand erfasste Detektionsabbildung unterschiedliche Abbildungseigenschaft aufweist, ist eine klare Grauskalaabbildung bei der Durchführung der Inspektion des Gegenstandes, auch wenn der Gegenstand stark unterschiedliche Massedicke aufweist, durch die oben genannte Verarbeitung erreicht.

[0089] Wie oben erläutert, sind nicht weniger als drei Röntgenstrahlbündel mit unterschiedlichen Energien von dem Beschleuniger erzeugt. Nachdem die Strahlee den Gegenstand durchgelassen haben, ist das Materialattribut des zu inspizierenden Gegenstandes durch die Analyse der Detektionsergebnisse festgestellt.

[0090] Durch die Änderung der Betriebsparameter kann der Beschleuniger mehrere Röntgenstrahle vorherrschend mit unterschiedlichen Energien. Da das Energiespektrum der von dem Beschleuniger erzeugten Röntgenenergien relativ breit ist, der Anteil der Röntgenstrahle mit anderen Energien relativ gross ist, und die Ge-

naugigkeit der Erkennung des Materials dadurch beeinflusst ist, ist es erforderlich, das Energiespektrum zu modulieren, um den Anteil der Röntgenstrahlung mit gewünschten Energien zu vergrößern. Für die Röntgenstrahlung mit unterschiedlichen Energien sind unterschiedliche Materialien zur Modulation verwendet, so dass ein optimales Energiespektrum der Röntgenstrahlung zu gewinnen. Alternative können unterschiedliche radioaktive Elemente als Strahlquellen zur Erzeugung der Strahlung mit unterschiedlichen Energien verwendet werden, ohne das Energiespektrum zu modulieren. In diesem Fall ist der gewählte Energiebereich nicht kontinuierlich.

[0091] Wie oben erläutert, sind die Röntgenstrahlung mit einem kontinuierlichen Energiespektrum direkt von Beschleuniger erzeugt, wobei dies ungünstig für die Genauigkeit der Erkennung des Materials. Daher ist bei der vorliegenden Erfindung ein Energiespektrummodulator verwendet, um das Energiespektrum der von dem Beschleuniger erzeugten Röntgenstrahlung zu modulieren. Für unterschiedliche Energien sind unterschiedliche Materialien zur Modulation des Energiespektrums verwendet, um ein Energiespektrum, das günstig für die Erkennung des Materials zu erzielen.

[0092] Da die in dem Energiespektrum verteilten Energiebereiche unterschiedlich sind, sind die geeigneten Materialien zur Energiespektrummodulation auch unterschiedlich. Wenn beispielsweise die untere Grenze der in dem Energiespektrum verteilten hauptsächlich Energiebereiche höher als der Schwellenwert (beispielsweise $\sim 3\text{MeV}$) einer jeweiligen höheren Energie ist, sollte ein nieder-Z-Material als Modulationsmaterial für dieses Röntgenstrahlbündel verwendet werden, wie B, Polyäthylen und andere wasserstoffreiche Stoffe. Um die durch die Streuung erzeugten Anteile in den Strahlen zu absorbieren, wird zusätzlich ein hoch-Z-Material mit kleiner Dicke zur Energiespektrummodulation verwendet, nachdem das Energiespektrum von einem nieder-Z-Material mit einer grossen Dicke moduliert worden ist. Wenn die untere Grenze der in dem Energiespektrum verteilten hauptsächlich Energiebereiche höher als der Schwellenwert (beispielsweise $\sim 300\text{KeV}$) einer jeweiligen niedrigeren Energie ist, sollte ein hoch-Z-Material als Modulationsmaterial für dieses Röntgenstrahlbündel verwendet werden, wie Pb, W, U usw. Aber es ist auch möglich, ein mittel-Z-Material zu verwenden, wie Cu.

[0093] Bei dem Detektionsvorgang ist ein Detektor mit mehreren Lagen zur Detektion mehrerer Röntgenstrahlbündel mit unterschiedlichen Energien verwendet, um genaue Detektionswerte zu erzielen, die unter der gegenseitigen Wirkung der Strahlung mit unterschiedlichen Energien mit dem Gegenstand erfasst sind. Für die Strahlung mit unterschiedlichen Energien weisen unterschiedliche Detektionskristalle unterschiedliche Empfindlichkeit und unterschiedliche Reaktionsfähigkeit auf. Erfindungsgemäss ist es so gestaltet, dass die Signale von den Strahlen mit unterschiedlichen Energien in unterschiedlichen Detektionskristallen erzeugt sind und dann erfasst sind. Und die Detektionssignale für unterschiedliche Energien sind integriert verarbeitet, um die Signale für verschiedene Energien weiter auszunutzen.

[0094] Der geeignete Strahlenergiebereich, mit dem die Strahlung mit den unterschiedlichen Materialien miteinander wirken, ist offensichtlich unterschiedlich. Für unterschiedliche Materialien muss ein spezieller Energiebereich, das günstig für die Erkennung der Materialien ist, verwendet, um genaues Materialattribut zu ermitteln, wobei ein oberer und ein unterer Schwellenwert für diesen Energiebereich vorgegeben sind. Beispielsweise ist der Energiebereich von $0,3\text{ MeV}$ – 3 MeV sehr günstig für die Unterscheidung zwischen dem organischen und dem anorganischen Stoff, und der Energiebereich von 1 MeV – 4 MeV ist sehr günstig für die Unterscheidung der Schwermetalle. Für unterschiedliche Energiebereiche sind die Verarbeitungsfunktionen auch unterschiedlich.

[0095] Wie oben erläutert, können die Strahlung mit unterschiedlichen Energien zur Erkennung der Materialien verwendet werden. Dabei ist es wichtig, den Unterschied der gegenseitigen Wirkung der Strahlung mit unterschiedlichen Energien mit dem Gegenstand genau festzustellen. Bei dem Vorgang wird es zuerst durch die Analyse festgestellt, ob das Material eine kleine Dicke aufweist. Da die gewählte Detektionsenergie normalerweise höher als ein jeweiliger Wert ist, kann entsprechen μ nicht sehr klein sein. Daher kann es in Abhängigkeit des Bereiches des Koordinatensystems, wo sich die der Funktionswert befindet, festgestellt werden, ob das Material eine kleine Dicke aufweist. Wenn der zu inspizierende Gegenstand eine kleine Massedicke aufweist, darf die statistische Eigenschaft von Bestrahlungsphysik nicht vernachlässigt werden. In dem Fall der von einem Beschleuniger erzeugten Röntgenstrahlung mit kontinuierlichem Energiespektrum, ist daher die gegenseitige Wirkung der Strahlung mit vorherrschenden Energiebereichen mit dem Gegenstand nicht so sehr offensichtlich. Dies führt zur Verschlechterung der Detektionsgenauigkeit und auch der Genauigkeit der Erkennung der Materialien. In dem Fall des zu inspizierenden Gegenstandes mit einer kleinen Massedicke, wird ein für den Gegenstand sehr empfindlicher Energiebereich gewählt. Gegenüber starker Schwankung wird ein Verarbeitungsmodell aufgebaut, mit dem die Detektionswerte bearbeitet sind, so dass die genaue Feststellung des Materialattributs des zu inspizierenden Gegenstandes erreicht ist.

[0096] In verschiedenen Varianten der vorliegenden Erfindung ist der Beschleuniger durch ein Röntgenapparat ersetzt. In diesem Fall ist ein Energiespektrummodulator nach der vorliegenden Erfindung an dem Strahlaustritt angeordnet.

Patentansprüche

1. Methode zur Inspektion eines Gegenstandes mittels Multienergie-Bestrahlung, umfassend folgende Schritte:

- die gegenseitige Wirkung der Multienergie-Bestrahlung mit einem zu inspizierenden Gegenstand wird erzeugt;
- Detektionswerte werden nach dem Auftreten der gegenseitigen Wirkung der Bestrahlung mit unterschiedlichen Energien mit dem zu inspizierenden Gegenstand erfasst und registriert;
- eine vorbestimmte Kalibrierungsfunktion wird durch einen Teil der Detektionswerte ersetzt, um entsprechendes vorläufiges Materialattribut des Gegenstandes enthaltende Information zu ermitteln;
- das Materialattribut des Gegenstandes wird weiter festgestellt, indem der Information entsprechend eine für einen Energiebereich geeignete Funktionsgruppe verwendet ist.

2. Methode nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Information weiter entsprechende Information über Massedicke des Materials des Gegenstandes umfasst.

3. Methode nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Kalibrierungsfunktion eine Anpassungsfunktion (fitting function) der Detektionswerte ist, die nach dem Auftreten der gegenseitigen Wirkung der Bestrahlung mit unterschiedlichen Energien mit bekannten Materialien ermittelt sind.

4. Methode nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass die Anzahl von Strahlbündel mit unterschiedlichen Energien zur Anpassung mit der Kalibrierungsfunktion und zur Erzeugung der gegenseitigen Wirkung mit dem bekannten Material nicht weniger als die Anzahl von Strahlbündel zur Erzeugung der gegenseitigen Wirkung mit dem zu inspizierenden Gegenstand bei der Inspektion ist.

5. Methode nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Multienergie mindestens als drei unterschiedliche Energien oder Energiespektren gestaltet ist.

6. Methode nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass die Multienergie mindestens als drei unterschiedliche Energien oder Energiespektren gestaltet ist.

7. Methode nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Detektionswerte, die nach dem Auftreten der gegenseitigen Wirkung mit dem Gegenstand erfasst ist, Transmissionsintensitätswerte von den Gegenstand durchleuchtenden Strahle sind.

8. Methode nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass die Detektionswerte, die nach dem Auftreten der gegenseitigen Wirkung mit dem Gegenstand erfasst ist, Transmissionsintensitätswerte von den Gegenstand durchleuchtenden Strahle sind.

9. Methode nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der Energiebereich ein spezieller Energiebereich ist, in dem die Detektionswerte als Funktion der gegenseitigen Wirkung der Bestrahlung mit einem bestimmten Material grösser als die mit anderen Materialien sind.

10. Methode nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Funktionsgruppe eine Funktionsgruppe ist, die in der Lage ist, feine Unterschiede zwischen den Detektionswerten von den unterschiedlichen Materialien in einem bestimmten Energiebereich erkennbar zu machen, wobei der Einfluss auf die Teile mit keinem Unterschied reduziert werden kann.

11. Methode nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Funktionsgruppe als verschiedene Funktionsverarbeitungsmodel zur Verarbeitung in Segmentweise gegenüber Materialien mit unterschiedlicher Dicke gestaltet ist.

12. Methode nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass eine Quelle der Bestrahlung als eine radioaktive Isotopenquelle gestaltet ist.

13. Methode nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass eine Quelle der Bestrahlung als ein Be-

schleuniger gestaltet ist.

14. Methode nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass eine Quelle der Bestrahlung als Röntgenapparat gestaltet ist.

15. Methode zur Inspektion eines Gegenstandes mittels Multienergie-Bestrahlung, umfassend folgende Schritte:

- die gegenseitige Wirkung der Multienergie-Bestrahlung mit einem zu inspizierenden Gegenstand wird erzeugt;
- Detektionswerte werden nach dem Auftreten der gegenseitigen Wirkung der Bestrahlung mit unterschiedlichen Energien mit dem zu inspizierenden Gegenstand erfasst, um Abbildung entsprechend der Bestrahlung mit verschiedener Energie zu bilden;
- eine vorbestimmte Kalibrierungsfunktion wird durch einen Teil der Detektionswerte ersetzt, um die Massedicke des Materials des Gegenstandes zu ermitteln;
- ein Gewichtungsfaktor ist für die unter der Bestrahlung mit unterschiedlichen Energien erfassten Detektionswerte in Abhängigkeit von der Massedicke des Materials gewählt, um eine Abbildung einzubinden und dadurch eine genauere Grauskalaabbildung zu erhalten.

16. Methode nach Anspruch 15, dadurch gekennzeichnet, dass die Methode weiter einen folgenden Schritt umfasst:

- das Grauskalaniveau der Grauskalaabbildung ist zu entsprechendem Farbniveau einer farbigen Abbildung umgewandelt.

17. Methode nach Anspruch 15 oder 16, dadurch gekennzeichnet, dass die Multienergien mindestens als zwei unterschiedliche Energien gestaltet sind.

18. Methode nach Anspruch 15 oder 16, dadurch gekennzeichnet, dass die Massedicke des Gegenstandes in Abhängigkeit der aktuellen Dämpfung der Strahle ermittelt ist.

19. Methode nach Anspruch 15 oder 16, dadurch gekennzeichnet, dass der Gewichtungsfaktor für die unter der Bestrahlung mit unterschiedlichen Energien erfassten Detektionswerte derart gewählt ist, dass je dünner das Material ist, desto kleiner der Gewichtungsfaktor für die unter der Bestrahlung mit Hochenergie erfassten Detektionswerte ist bzw. desto grösser der Gewichtungsfaktor für die unter der Bestrahlung mit Niederenergie erfassten Detektionswerte ist; und je dicker das Material ist, desto kleiner der Gewichtungsfaktor für die unter der Bestrahlung mit Niederenergie erfassten Detektionswerte ist bzw. desto grösser der Gewichtungsfaktor für die unter der Bestrahlung mit Hochenergie erfassten Detektionswerte ist.

20. Vorrichtung zur Ausführung der Methode zur Inspektion eines Gegenstandes mittels Multienergie-Bestrahlung nach Anspruch 1 oder 15, umfassend:

- eine Gruppe von Strahlquellen zur Erzeugung von Strahlen mit mehreren unterschiedlichen Energien;
- ein Detektormodularray zur gleichzeitigen Detektion der Strahle mit mehreren unterschiedlichen Energien;
- ein Prozessor, der mit dem Detektormodularray verbunden ist und bestimmt ist, nach dem Auftreten einer gegenseitigen Wirkung der Bestrahlung mit unterschiedlichen Energien mit dem Gegenstand erfasste Detektionswerte zu verarbeiten, um das Materialattribut des Gegenstandes zu ermitteln und/oder eine Grauskalaabbildung des Gegenstandes zu bilden;
- ein Steuersystem, das mit den Strahlquellen verbunden ist und bestimmt ist, die Betriebsparameter der Strahlquellen in vorbestimmter Zeitreihenfolge zu ändern.

21. Vorrichtung nach Anspruch 20, dadurch gekennzeichnet, dass die Multienergien mindestens als drei unterschiedliche Energien oder Energiespektren gestaltet sind.

22. Vorrichtung nach Anspruch 20, dadurch gekennzeichnet, dass die Multienergien mindestens als zwei unterschiedliche Energien oder Energiespektren gestaltet sind.

23. Vorrichtung nach Anspruch 20, 21 oder 22, dadurch gekennzeichnet, dass das Detektormodularray als Multilage- und Multikristalldetektoren gestaltet sind, die aus unterschiedlichen Kristallen zusammengesetzt sind.

24. Vorrichtung nach Anspruch 23, dadurch gekennzeichnet, dass die einzelnen unterschiedlichen Kristallen voneinander jeweils durch eine Filterscheibe getrennt sind.

25. Vorrichtung nach Anspruch 20, 21 oder 22, dadurch gekennzeichnet, dass eine Quelle der Bestrahlung als eine radioaktive Isotopenquelle gestaltet ist.

26. Vorrichtung nach Anspruch 25, dadurch gekennzeichnet, dass eine Quelle der Bestrahlung als eine radioaktive Isotopenquelle aus unterschiedlichen Elementen gestaltet ist, wobei die Strahle mit unterschiedlicher Energie durch unterschiedliche Isotopen in Zeitreihenfolge über einen schmalen Schlitz an einem Kollimator emittiert sind.

27. Vorrichtung nach Anspruch 20, 21 oder 22, dadurch gekennzeichnet, dass eine Quelle der Bestrahlung als ein Beschleuniger gestaltet ist, der in der Lage ist, Strahle mit kontinuierlichem Energiespektrum zu emittieren, in welchem Energiespektrum unterschiedliche Energien vorherrschend sind.

28. Vorrichtung nach Anspruch 27, dadurch gekennzeichnet, dass der Beschleuniger einen Energiespektrummodulator umfasst, der an dem vorderen Ende des Strahlaustritts angeordnet ist.

29. Vorrichtung nach Anspruch 20, 21 oder 22, dadurch gekennzeichnet, dass eine Quelle der Bestrahlung als Röntgenapparat gestattet ist.

30. Vorrichtung nach Anspruch 29, dadurch gekennzeichnet, dass das Röntgenapparat einen Energiespektrummodulator umfasst, der an dem vorderen Ende des Strahlaustritts angeordnet ist.

31. Vorrichtung nach Anspruch 28, dadurch gekennzeichnet, dass der Energiespektrummodulator in Form von einer Radscheibe mit mehreren Flügeln aus unterschiedlichen Modulationsmaterialien gestaltet ist, wobei sich die Flügel um eine Drehachse der Radscheibe in Zeitreihenfolge in Abhängigkeit von Strahlbündeln mit entsprechenden Energien drehen.

32. Vorrichtung nach Anspruch 30, dadurch gekennzeichnet, dass der Energiespektrummodulator in Form von einer Radscheibe mit mehreren Flügeln aus unterschiedlichen Modulationsmaterialien gestaltet ist, wobei sich die Flügel um eine Drehachse der Radscheibe in Zeitreihenfolge in Abhängigkeit von Strahlbündeln mit entsprechenden Energien drehen.

33. Vorrichtung nach Anspruch 28, dadurch gekennzeichnet, dass ein Auslösesignal dem Steuersystem der Strahlquelle und ein Erfassungssignal dem Steuersystem der Detektoren von dem Energiespektrummodulator zugeleitet sind, so dass der Strahlbündelaustritt aus der Strahlquelle mit der Signalerfassung von den Detektoren synchronisiert ist.

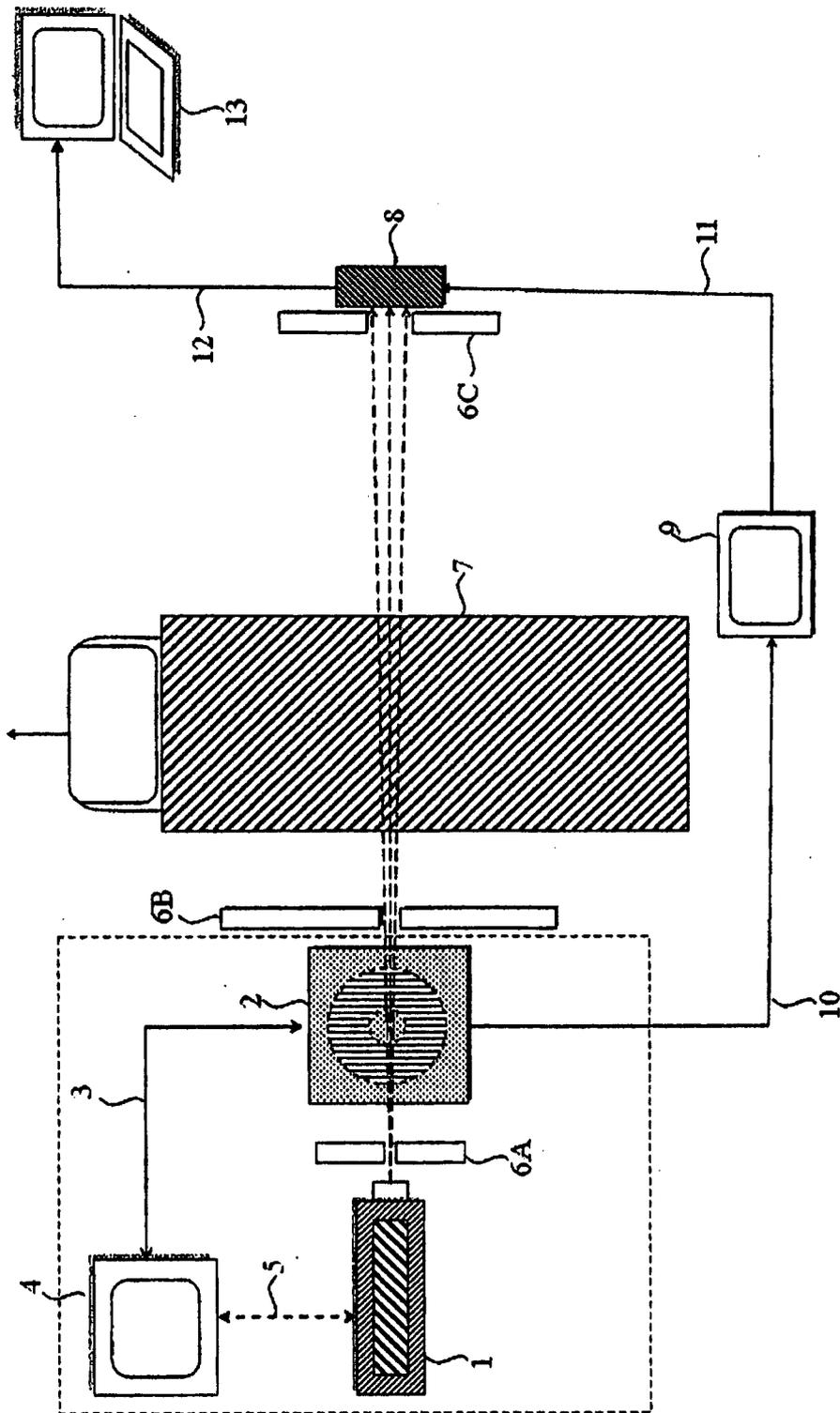
34. Vorrichtung nach Anspruch 33, dadurch gekennzeichnet, dass der Energiespektrummodulator in Form von einer Radscheibe mit mehreren Flügeln aus unterschiedlichen Modulationsmaterialien gestaltet ist, wobei sich die Flügel um eine Drehachse der Radscheibe in Zeitreihenfolge in Abhängigkeit von Strahlbündeln mit entsprechenden Energien drehen.

35. Vorrichtung nach Anspruch 20, dadurch gekennzeichnet, dass das Steuersystem ein den unterschiedlichen Energien entsprechendes Signal zu der Strahlquelle sendet, sobald das Steuersystem das Auslösesignal empfangen hat, so dass die Strahlquelle in ein gewünschtes Betriebszustand gebracht ist.

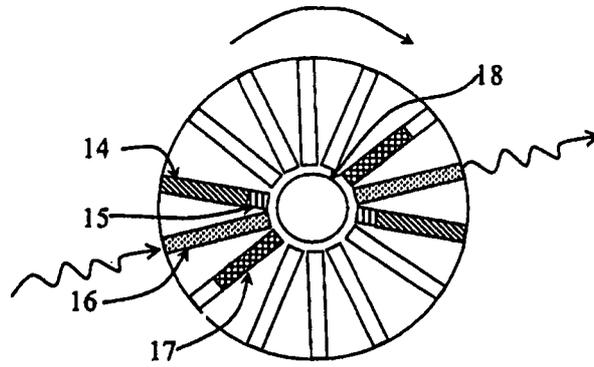
36. Vorrichtung nach Anspruch 20, 21 oder 22, dadurch gekennzeichnet, dass die unter der Bestrahlung mit den unterschiedlichen Energien erfassten Detektionswerte die Transmissionintensität der den Gegenstand durchleuchtenden Strahle beschreiben.

Es folgen 5 Blatt Zeichnungen

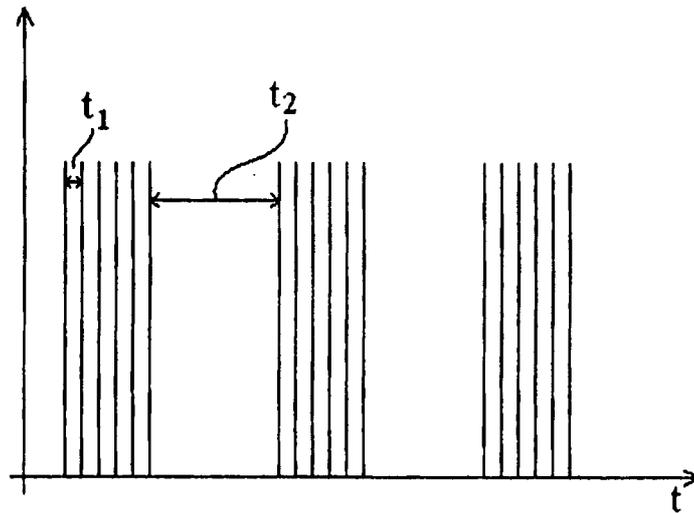
Anhängende Zeichnungen



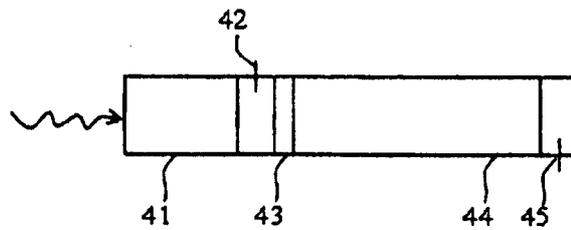
FIGUR 1



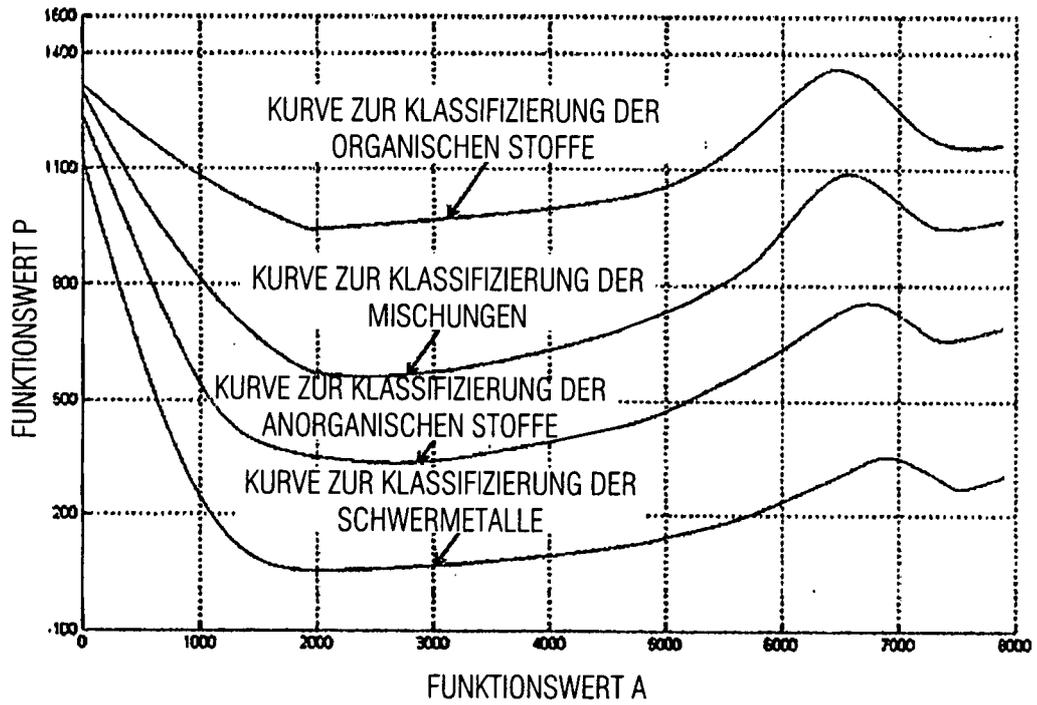
FIGUR 2



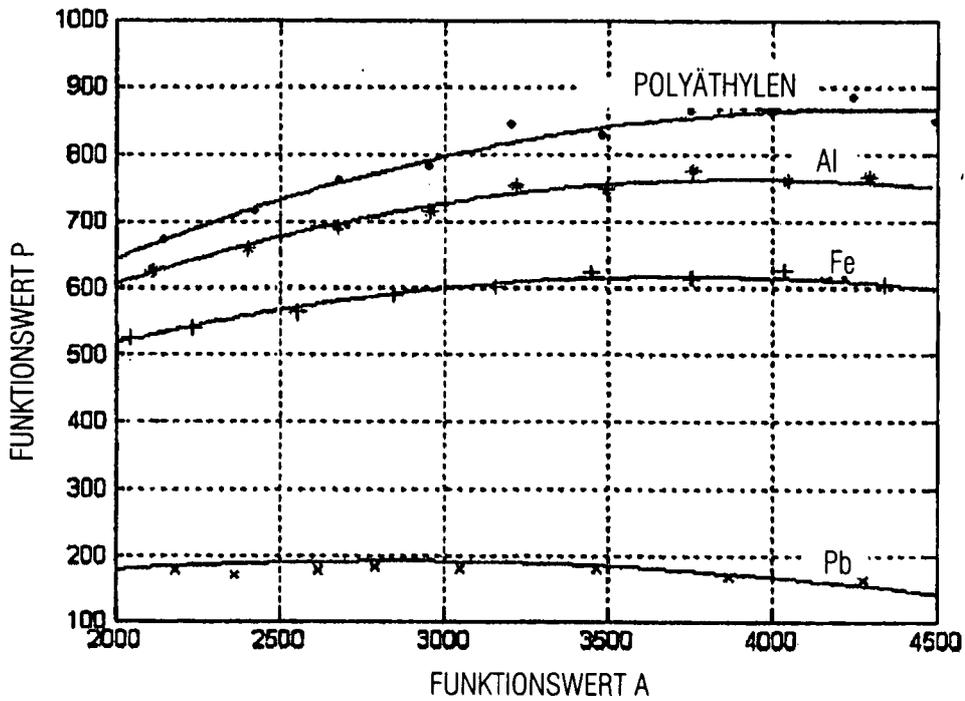
FIGUR 3



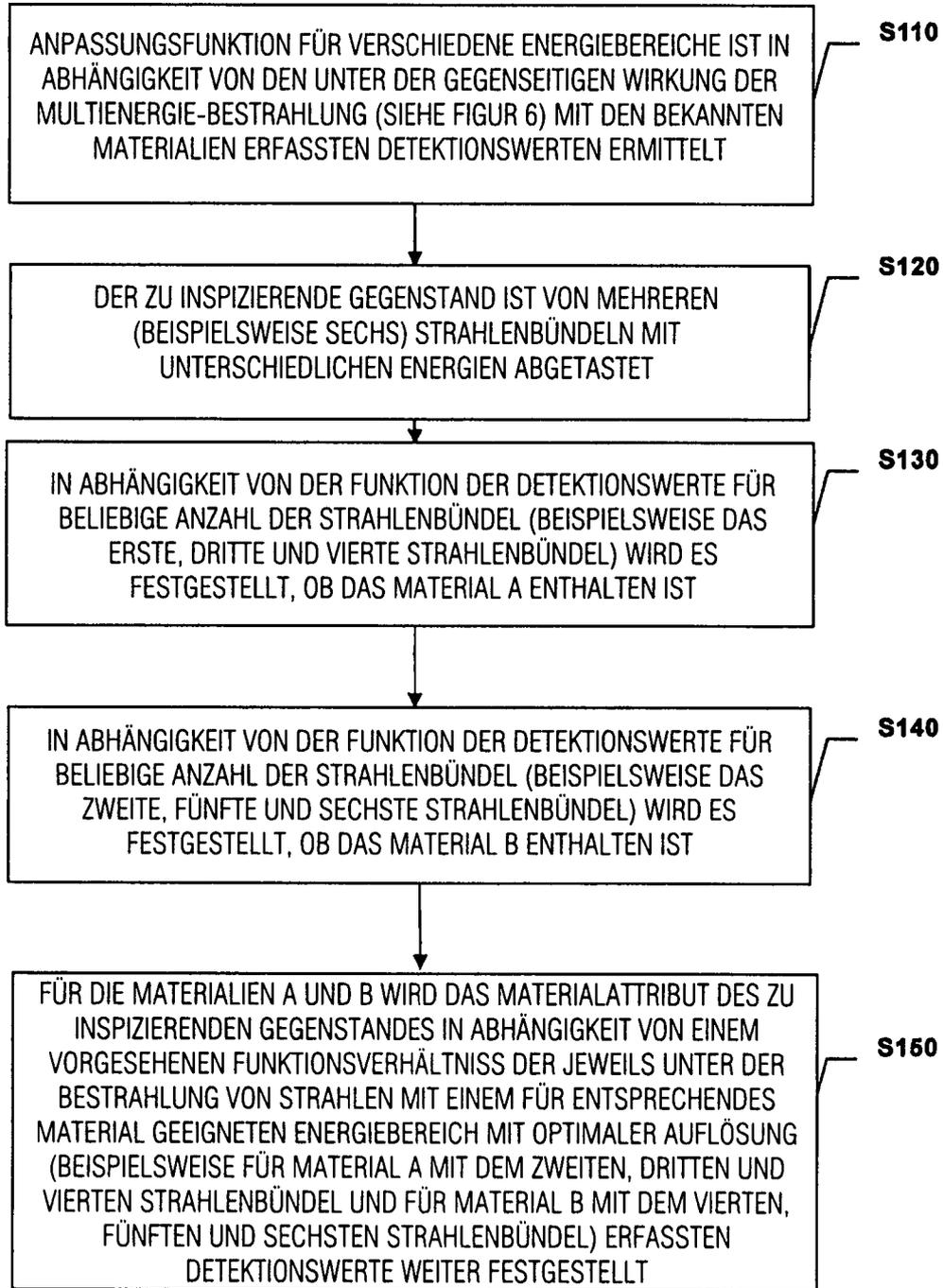
FIGUR 4



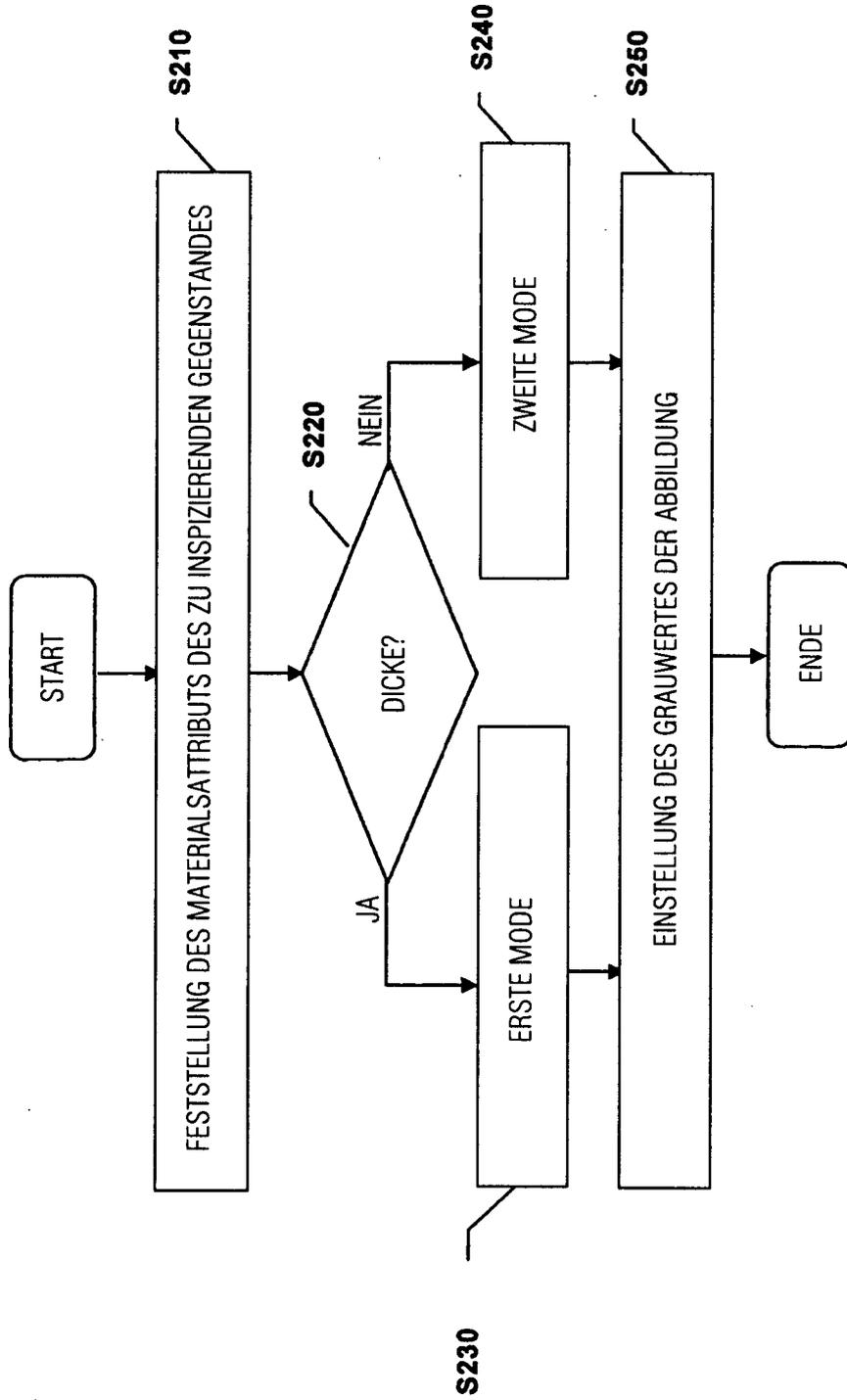
FIGUR 5



FIGUR 6



FIGUR 7



FIGUR 8