

(19)



(11)

EP 2 283 508 B1

(12)

EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des
Hinweises auf die Patenterteilung:
26.10.2011 Patentblatt 2011/43

(51) Int Cl.:
H01J 35/08^(2006.01) H01J 35/12^(2006.01)

(21) Anmeldenummer: **09757210.1**

(86) Internationale Anmeldenummer:
PCT/EP2009/003784

(22) Anmeldetag: **28.05.2009**

(87) Internationale Veröffentlichungsnummer:
WO 2009/146827 (10.12.2009 Gazette 2009/50)

(54) **STRAHLUNGSQUELLE UND VERFAHREN ZUM ERZEUGEN VON RÖNTGENSTRAHLUNG**
RADIATION SOURCE AND METHOD FOR GENERATING X-RAY RADIATION
SOURCE DE RAYONNEMENT ET PROCÉDÉ POUR GÉNÉRER DES RAYONS X

(84) Benannte Vertragsstaaten:
**AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR
HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MK MT NL NO PL
PT RO SE SI SK TR**

(30) Priorität: **05.06.2008 DE 102008026938**

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:
16.02.2011 Patentblatt 2011/07

(73) Patentinhaber: **Fraunhofer-Gesellschaft zur
Förderung der
angewandten Forschung e.V.
80686 München (DE)**

(72) Erfinder:
• **SUKOWSKI, Frank
92353 Posbauer-Heng (DE)**
• **UHLMANN, Norman
91056 Erlangen (DE)**

(74) Vertreter: **Rau, Schneck & Hübner
Patentanwälte - Rechtsanwälte
Königstraße 2
90402 Nürnberg (DE)**

(56) Entgegenhaltungen:
**EP-A1- 0 239 882 WO-A1-03/077277
WO-A1-2005/096341 WO-A1-2005/101450**

EP 2 283 508 B1

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents im Europäischen Patentblatt kann jedermann nach Maßgabe der Ausführungsordnung beim Europäischen Patentamt gegen dieses Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist. (Art. 99(1) Europäisches Patentübereinkommen).

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft eine Strahlungsquelle zum Erzeugen von Röntgenstrahlung. Ferner betrifft die Erfindung ein Verfahren zum Erzeugen von Röntgenstrahlung.

[0002] Bei der zerstörungsfreien Prüfung von Objekten mittels Röntgencomputertomographie ist der Einsatz von hochenergetischen Röntgenstrahlungsquellen erforderlich, um auch Objekte mit hohen Durchstrahlungslängen oder hohen Dichten prüfen zu können. Bei bekannten Röntgenstrahlungsquellen wird als Röntgentarget ein Festkörper eingesetzt, der durch den Beschuss mit einem Elektronenstrahl in der als Brennfleck bezeichneten Wechselwirkungszone stark erhitzt und thermisch belastet wird. Die im Brennfleck entstehende Wärme kann nur schwierig aus dem Festkörper abgeführt werden. Die thermische Belastung des Röntgentargets begrenzt somit die erzielbare Ausgangsleistung der Röntgenstrahlung. Insbesondere zur Erzielung einer guten Bildqualität bei einer kurzen Belichtungszeit sind jedoch Röntgenstrahlungsquellen mit einer hohen Ausgangsleistung der Röntgenstrahlung erforderlich.

[0003] Aus der WO 02/11 499 A1 ist eine Röntgenstrahlungsquelle bekannt, bei der als Röntgentarget ein Flüssigkeitsstrahl eingesetzt wird. Der Flüssigkeitsstrahl wird mittels einer Düse erzeugt und von einem Absaugrohr wieder aufgefangen. Zwischen der Düse und dem Absaugrohr bewegt sich der Flüssigkeitsstrahl frei in einer evakuierten Kammer. Der Flüssigkeitsstrahl wird zum Erzeugen von Röntgenstrahlung mit einem Elektronenstrahl beschossen. Dadurch, dass das Röntgentarget als Flüssigkeitsstrahl ausgebildet ist, kann die im Brennfleck entstehende Wärme im Vergleich zu einem Festkörper besser abgeführt werden. Die erzielbare Ausgangsleistung der Röntgenstrahlung ist im Vergleich zu Röntgenstrahlungsquellen mit einem Festkörper als Röntgentarget höher. Nachteilig ist, dass bei einer zu starken Erwärmung des Flüssigkeitsstrahls der Dampfdruck des Flüssigkeitsstrahls so weit ansteigen kann, dass dieser nicht mehr vollständig abgesaugt wird, sondern ein Teil des Flüssigkeitsstrahls verdampft und sich an den Innenwänden der evakuierten Kammer ablagert. Die Funktion und die Zuverlässigkeit der Röntgenstrahlungsquelle wird hierdurch beeinträchtigt.

[0004] Aus der WO 2005/096 341 A 1 ist eine Strahlungsquelle zum Erzeugen von Röntgenstrahlung bekannt, die als Röntgentarget eine Flüssigkeit aufweist, die durch eine geschlossene Flüssigkeitsleitung strömt. Ein Elektronenstrahl trifft auf die Flüssigkeitsleitung und tritt durch ein Eintrittsfenster in Form einer Metallfolie mit einer Dicke von 5 bis 30 μm in diese ein. Die kinetische Energie der Elektronen beträgt ca. 500 keV.

[0005] Aus der WO 2005/101 450 A1 ist eine Strahlungsquelle zum Erzeugen von Röntgenstrahlung bekannt, die als Röntgentarget eine flüssige Legierung aus Ga, In und Sn oder flüssiges Quecksilber aufweist, das durch eine geschlossene Flüssigkeitsleitung strömt. Zum

Eintritt des Elektronenstrahls in das Quecksilber weist die Flüssigkeitsleitung ein für den Elektronenstrahl durchlässiges Eintrittsfenster auf. Auf Grund der geringen Energie der Elektronen ist das Eintrittsfenster äußerst dünn ausgebildet, sodass Druckschwankungen auf das Eintrittsfenster durch ein gegenüberliegendes Kompensationsfenster mit einer dahinter angeordneten Druckkammer kompensiert werden müssen.

[0006] Aus der WO 03/077 277 A1 ist eine Strahlungsquelle zum Erzeugen von Röntgenstrahlung bekannt, die als Röntgentarget eine flüssige Legierung aus Ga, In und Sn oder flüssiges Quecksilber aufweist, das in einer Flüssigkeitsleitung angeordnet ist. Das Eintrittsfenster ist dünn ausgebildet, sodass Druckschwankungen auf das Eintrittsfenster kompensiert werden müssen.

[0007] Aus der EP 0 239 882 A1 ist eine Röntgenstrahlungsquelle bekannt, die in einer Flüssigkeitskammer flüssiges Quecksilber aufweist. Die Kammer wird durch zwei gegenüberliegende Platten und einem dazwischen angeordneten Balg gebildet. Der Abstand der Platten ist einstellbar.

[0008] Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, eine Strahlungsquelle zum Erzeugen von hochenergetischer Röntgenstrahlung zu schaffen, die in hohem Maße einen Wärmeabtransport aus der Wechselwirkungszone ermöglicht und gleichzeitig eine uneingeschränkte Funktion sowie eine hohe Zuverlässigkeit der Strahlungsquelle gewährleistet.

[0009] Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß durch eine Strahlungsquelle zum Erzeugen von Röntgenstrahlung mit den Merkmalen des Anspruchs 1 gelöst. Dadurch, dass die als Röntgentarget wirkende Flüssigkeit von der Flüssigkeitsleitung in Richtung der evakuierbaren Kammer vollständig umgeben ist, ist die Flüssigkeit von der Kammer vollständig abgetrennt, so dass aus der Flüssigkeitsleitung keine Flüssigkeit entweichen und sich in der Kammer ablagern kann. Der Wärmeabtransport aufgrund des Flüssigkeitsstroms aus der Wechselwirkungszone wird durch die Flüssigkeitsleitung nicht beeinträchtigt. Damit die Elektronen des Elektronenstrahls beim Eintritt in die Flüssigkeitsleitung möglichst wenig ihrer kinetischen Energie verlieren, ist zumindest der Teil der Flüssigkeitsleitung, durch den die Elektronen in die Flüssigkeitsleitung eintreten, für den Elektronenstrahl im Wesentlichen durchlässig bzw. transparent ausgebildet. Durch die durchlässige Ausbildung wirken die Elektronen nicht mit der Flüssigkeitsleitung zusammen, so dass der Elektronenstrahl mit der Flüssigkeit ohne einen Energieverlust innerhalb der Flüssigkeitsleitung zusammenwirken kann und die Wechselwirkungszone ausbilden kann. Die erfindungsgemäße Strahlungsquelle ermöglicht somit aufgrund der als Röntgentarget wirkenden Flüssigkeit einen guten Wärmeabtransport aus der Wechselwirkungszone, wobei gleichzeitig der Austritt von Flüssigkeit aus der Flüssigkeitsleitung verhindert und somit eine Beeinträchtigung der Funktion und der Zuverlässigkeit der Strahlungsquelle vermieden wird. Die Elektronenstrahlerzeugungseinheit kann bei Bedarf mit einer hohen Be-

schleunigungsspannung betrieben werden, insbesondere mit mindestens 3 MV, so dass eine entsprechend hochenergetische Röntgenstrahlung erzeugt wird, die vorzugsweise in der Elektronenstrahlrichtung abgestrahlt wird. Als Flüssigkeiten können flüssige Metalle, wie beispielsweise Quecksilber, oder Flüssigkeiten mit metallischen Mikropartikeln verwendet werden.

[0010] Eine Ausbildung der Targeteinheit derart, dass die Röntgenstrahlung im Wesentlichen in der Elektronenstrahlrichtung emittierbar ist, ermöglicht eine einfache Bereitstellung von hochenergetischer Röntgenstrahlung. Die mittels der Targeteinheit bereitgestellte Flüssigkeit dient als sogenanntes Transmissionsröntgentarget. Die erzeugte Röntgenstrahlung wird im Wesentlichen in der Elektronenstrahlrichtung emittiert. Die Flüssigkeitsleitung ist hierzu an der Seite, die dem für den Elektronenstrahl durchlässigen Teil gegenüberliegt, für die Röntgenstrahlung durchlässig bzw. transparent ausgebildet, so dass diese in der Elektronenstrahlrichtung aus der Flüssigkeitsleitung im Wesentlichen ohne Energieverlust austreten kann. Mit zunehmender Beschleunigungsspannung bzw. Energie der Elektronen nimmt das Intensitätsverhältnis von Röntgenstrahlung, die in der Elektronenstrahlrichtung erzeugt wird, gegenüber Röntgenstrahlung, die gegen die Elektronenstrahlrichtung erzeugt wird, zu. Bei hohen Beschleunigungsspannungen ab ca. 1 MV bzw. hohen Energien der Elektronen ab ca. 1 MeV wird die Röntgenstrahlung im Wesentlichen in der Elektronenstrahlrichtung erzeugt, was bei der Targeteinheit genutzt wird. Die in der Flüssigkeitsleitung angeordnete Flüssigkeit bildet somit ein Transmissionsröntgentarget aus. Die Effizienz bei der Erzeugung von hochenergetischer Röntgenstrahlung ist bei dem erfindungsgemäßen Transmissionsröntgentarget wesentlich höher als bei einem Reflexionsröntgentarget, bei dem die Röntgenstrahlung im Wesentlichen entgegen der Elektronenstrahlrichtung erzeugt wird. Die Elektronenstrahlerzeugungseinheit ist dementsprechend mit einer Beschleunigungsspannung von mindestens 3 MV betreibbar.

[0011] Eine Ausbildung der Flüssigkeitsleitung derart, dass der durchlässige Teil in der Elektronenstrahlrichtung eine Abmessung im Bereich von 50 µm bis 500 µm aufweist, erhöht die Durchlässigkeit für den Elektronenstrahl. Je geringer die Abmessung in der Elektronenstrahlrichtung ist, desto größer ist die Durchlässigkeit. Gleichzeitig weist der durchlässige Teil der Flüssigkeitsleitung eine ausreichende Stabilität auf, um die Kräfte aufgrund der Druckdifferenz zwischen den Drücken innerhalb und außerhalb der Flüssigkeitsleitung aufzunehmen. Da die Stabilität mit abnehmender Abmessung in der Elektronenstrahlrichtung ebenfalls abnimmt, muss die Abmessung derart gewählt werden, dass gleichzeitig eine ausreichende Durchlässigkeit und Stabilität des durchlässigen Teils gegeben ist.

[0012] Eine Ausbildung der Flüssigkeitsleitung derart, dass der durchlässige Teil quer zu der Elektronenstrahlrichtung eine Abmessung vom höchstens 1000 µm auf-

weist, erhöht die Stabilität des durchlässigen Teils. Je geringer die Abmessung des durchlässigen Teils quer zu der Elektronenstrahlrichtung ist, desto höher ist dessen Stabilität. Vorzugsweise ist die Abmessung des durchlässigen Teils quer zu der Elektronenstrahlrichtung maximal so groß, wie der Querschnitt des Elektronenstrahls ist. Insbesondere weil die Targeteinheit so ausgebildet ist, dass die Röntgenstrahlung in der Elektronenstrahlrichtung erzeugt wird und die Flüssigkeit als Transmissionsröntgentarget wirkt, ist eine geringe Abmessung quer zu der Elektronenstrahlrichtung möglich, da die erzeugte Röntgenstrahlung die Flüssigkeitsleitung nicht wieder durch den durchlässigen Teil verlassen muss.

[0013] Eine Flüssigkeitsleitung nach Anspruch 2 ist für die Elektronen des Elektronenstrahls weitestgehend durchlässig. Die Durchlässigkeit steigt mit abnehmender Ordnungszahl der chemischen Elemente des Materials. Als Materialien können beispielsweise Verbindungen aus Beryllium, Kohlenstoff, Sauerstoff, Aluminium und/oder Silizium verwendet werden. Als Material kann beispielsweise Kohlenstoff in Form von Graphit oder Diamant verwendet werden. Weiterhin können glasartige Verbindungen aus Kohlenstoff verwendet werden, die beispielsweise unter der Markenbezeichnung Sigradur erhältlich sind. Die Materialien können Keramiken sein. Entscheidend für eine hohe Durchlässigkeit bzw. Transparenz ist, dass alle chemischen Elemente des Materials eine Ordnungszahl von höchstens 14 aufweisen.

[0014] Ein Material nach Anspruch 3 ist sowohl durchlässig als auch stabil.

[0015] Ein Eintrittsfenster nach Anspruch 5 ermöglicht in einfacher Weise einen Teil der Flüssigkeitsleitung durchlässig auszubilden. Insbesondere können das Eintrittsfenster und die restliche Leitungswand der Flüssigkeitsleitung aus unterschiedlichen Materialien hergestellt werden. Das Eintrittsfenster und/oder die Leitungswand bestehen vorzugsweise aus einem wärme- und korrosionsbeständigen Metall. Die Leitungswand weist vorzugsweise eine Wanddicke im Bereich von 0,5 mm bis 50 mm, insbesondere im Bereich von 1,0 mm bis 20 mm, und insbesondere im Bereich von 2 mm bis 10 mm auf. Die Leitungswand ist an der dem Eintrittsfenster gegenüberliegenden Seite vorzugsweise derart ausgebildet, dass die erzeugte Röntgenstrahlung aus der Flüssigkeitsleitung im Wesentlichen ungeschwächt austreten kann.

[0016] Eine Ausbildung der Flüssigkeitsleitung nach Anspruch 6 minimiert die Druckdifferenz zwischen der evakuierten Kammer und der Flüssigkeit am Ort des durchlässigen Teils der Flüssigkeitsleitung bzw. des Eintrittsfensters. Durch die Verkleinerung der Innenquerschnittsfläche im Auftreffabschnitt erhöht sich die Geschwindigkeit der durch diesen strömenden Flüssigkeit, wodurch sich nach der Gleichung von Bernoulli der statische Druck verringert. Der Übergangsabschnitt zwischen dem Zuführabschnitt und dem Auftreffabschnitt kann sich prinzipiell beliebig verjüngen. Die Verjüngung

kann beispielsweise symmetrisch in alle Richtungen erfolgen oder unsymmetrisch in mindestens einer ausgewählten Richtung.

[0017] Ein Übergangsabschnitt nach Anspruch 7 verhindert das Ausbilden einer turbulenten Strömung.

[0018] Durch eine Ausbildung der Flüssigkeitsleitung nach Anspruch 8 kann die Größe der als Brennfläche bezeichneten Wechselwirkungszone klein gehalten werden. Je kleiner die Innenabmessung des Auftreffabschnitts ist, desto kleiner ist auch der Brennfleck. Je kleiner der Brennfleck ist, desto höher ist die erzielbare Bildqualität.

[0019] Eine Flüssigkeitspumpe nach Anspruch 9 verbessert den Wärmeabtransport aus der Wechselwirkungszone. Der Druck und die Geschwindigkeit der Flüssigkeit in der Flüssigkeitsleitung sind mittels der Flüssigkeitspumpe einstellbar.

[0020] Eine Kühleinheit nach Anspruch 10 gewährleistet, dass die Temperatur der Flüssigkeit dauerhaft konstant gehalten werden kann. Die Flüssigkeit wird vorzugsweise nach dem Beschuss mit dem Elektronenstrahl durch einen als Kühleinheit dienenden Wärmetauscher gepumpt.

[0021] Eine Flüssigkeit nach Anspruch 11 gewährleistet ein gutes Verhältnis von der Erzeugung von Röntgenstrahlung zu der Erzeugung von Wärme. Dieses Verhältnis verbessert sich mit steigender Ordnungszahl der chemischen Elemente der Flüssigkeit. Quecksilber als Flüssigkeit hat sich in der Praxis zur Erzeugung von Röntgenstrahlung bewährt.

[0022] Ein Röntgencomputertomograph nach Anspruch 12 ermöglicht die Untersuchung von Objekten mit hohen Durchstrahlungslängen und/oder hohen Dichten bei gleichzeitig guter Bildqualität.

[0023] Der Erfindung liegt ferner die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren zum Erzeugen von hochenergetischer Röntgenstrahlung zu schaffen, das in hohem Maße einen Wärmeabtransport aus der Wechselwirkungszone ermöglicht und gleichzeitig ein uneingeschränktes und zuverlässiges Erzeugen von Röntgenstrahlung gewährleistet.

[0024] Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß durch ein Verfahren zum Erzeugen von Röntgenstrahlung mit den Merkmalen des Anspruchs 13 gelöst. Die Vorteile des erfindungsgemäßen Verfahrens entsprechen den bereits beschriebenen Vorteilen der erfindungsgemäßen Strahlungsquelle.

[0025] Weitere Vorteile, Einzelheiten und Merkmale der Erfindung ergeben sich aus der nachfolgenden Beschreibung eines Ausführungsbeispiels anhand der Zeichnung. Es zeigen:

Fig. 1 eine schematische Darstellung einer Strahlungsquelle zum Erzeugen von Röntgenstrahlung mit einer in einer Flüssigkeitsleitung angeordneten und als Röntgentarget wirkenden Flüssigkeit, und

Fig. 2 eine schematische Darstellung der Flüssigkeitsleitung im Bereich eines Eintrittsfensters für einen Elektronenstrahl.

5 **[0026]** Eine Strahlungsquelle 1 weist zum Erzeugen von hochenergetischer Röntgenstrahlung 2 eine evakuierte Kammer 3 auf. An einem ersten Ende 4 der evakuierten Kammer 3 ist eine Elektronenstrahlerzeugungseinheit 5 angeordnet. Die Elektronenstrahlerzeugungseinheit 5 dient zum Erzeugen eines Elektronenstrahls 6, der in einer Elektronenstrahlrichtung 7 in der Kammer 3 verläuft. Die Elektronenstrahlerzeugungseinheit 5 ist zum Beschleunigen der den Elektronenstrahl 6 bildenden Elektronen mit einer maximalen Beschleunigungsspannung U_B und insbesondere von 3 MV bis 24 MV betreibbar. Alternativ kann die Obergrenze für die Beschleunigungsspannung 18 MV betragen. Die Elektronenstrahlerzeugungseinheit 5 ist als Linearbeschleuniger (LINAC) ausgebildet, bei dem die Elektronen über Glühemission erzeugbar und in mehreren Stufen in einer evakuierten Röhre, der sogenannten Waveguide, beschleunigbar sind. Bei kleineren Beschleunigungsspannungen U_B kann die Elektronenstrahlerzeugungseinheit 5 alternativ auch als Röntgenröhre ausgebildet sein.

25 **[0027]** Die Strahlungsquelle 1 weist eine Targeteinheit 8 auf, die zum Bereitstellen eines Röntgentargets 9 dient. Das Röntgentarget 9 ist als Flüssigkeit ausgebildet und wird nachfolgend als Flüssigkeit 9 bezeichnet.

30 **[0028]** Die Flüssigkeit 9 ist in einer geschlossenen Flüssigkeitsleitung 10 angeordnet, die an einem zweiten Ende 11 der Kammer 3 quer zu der Elektronenstrahlrichtung 7 verläuft und die Kammer 3 abschließt. Die Flüssigkeit 9 ist somit von der Flüssigkeitsleitung 10 in Richtung der Kammer 3 vollständig umgeben.

35 **[0029]** Zum Erzeugen einer Strömung der Flüssigkeit 9 in einer Strömungsrichtung 12 weist die Targeteinheit 8 eine Flüssigkeitspumpe 13 auf. Ausgehend von der Flüssigkeitspumpe 13 ist die Flüssigkeitsleitung 10 in einen Zuführabschnitt 14, einen sich trichterförmig verjüngenden ersten Übergangsabschnitt 15, einen Auftreffabschnitt 16, einen sich trichterförmig erweiternden zweiten Übergangsabschnitt 17 und einen Abführabschnitt 18 unterteilt. Der Auftreffabschnitt 16 ist an dem zweiten Ende 11 der Kammer 3 mittig zu dieser angeordnet, so dass der Elektronenstrahl 6 in dem Auftreffabschnitt 16 auf die Flüssigkeitsleitung 10 trifft. Zum Kühlen der Flüssigkeit 9 ist in dem Zuführabschnitt 14 eine als Wärmetauscher ausgebildete Kühleinheit 19 in der Flüssigkeitsleitung 10 angeordnet.

45 **[0030]** In dem Auftreffabschnitt 16 ist ein Teil 20 der Flüssigkeitsleitung 10 für den Elektronenstrahl 6 derart durchlässig bzw. transparent ausgebildet, dass dieser durch den durchlässigen Teil 20 im Wesentlichen ohne den Verlust von kinetischer Energie in die Flüssigkeitsleitung 10 eintreten kann. Der durchlässige Teil 20 der Flüssigkeitsleitung 10 ist als separates Eintrittsfenster ausgebildet, das in einer Aussparung 21 einer die Flüssigkeitsleitung 10 bildenden Leitungswand 22 dicht an-

geordnet ist. Durch Zusammenwirken des Elektronenstrahls 6 und der Flüssigkeit 9 ist somit innerhalb der Flüssigkeitsleitung 10 eine als Brennfleck bezeichnete Wechselwirkungszone 23 zum Erzeugen der Röntgenstrahlung 2 erzeugbar. Der durchlässige Teil der Flüssigkeitsleitung 10 wird nachfolgend als Eintrittsfenster 20 bezeichnet.

[0031] Das Eintrittsfenster 20 besteht aus einem Material aus einem oder mehreren chemischen Elementen, die jeweils eine Ordnungszahl von höchstens 14 aufweisen. Vorzugweise ist das Material des Eintrittsfensters 20 Beryllium, Diamant oder Aluminium. Diese Materialien weisen für den Elektronenstrahl 6 aufgrund ihrer Ordnungszahlen eine hohe Durchlässigkeit auf. Die Leitungswand 22 kann prinzipiell aus einem beliebigen Material bestehen und braucht insbesondere nicht für den Elektronenstrahl 6 durchlässig ausgebildet zu sein.

[0032] Das Eintrittsfenster 20 weist in der Elektronenstrahlrichtung 7 eine Abmessung D von höchstens 1000 μm , insbesondere von höchstens 100 μm , auf. Je kleiner die Dicken-Abmessung D ist, desto größer ist die Transparenz des Eintrittsfensters 20 für den Elektronenstrahl 6. Beträgt die Abmessung D des Eintrittsfensters 20 höchstens 1000 μm , so liegt diese vorzugsweise im Bereich von 50 μm bis 500 μm . Hierdurch wird gleichzeitig eine hohe Stabilität des Eintrittsfensters 20 gewährleistet.

[0033] Quer zu der Elektronenstrahlrichtung 7 weist das Eintrittsfenster 20 eine Abmessung H von höchstens 500 μm auf. Das Eintrittsfenster 20 kann kreisförmig oder quadratisch ausgebildet sein. Bei einer kreisförmigen Ausbildung bezeichnet die Abmessung H den Durchmesser. Bei einer quadratischen Ausbildung bezeichnet die Abmessung H die Seitenlänge.

[0034] Vorzugsweise entspricht die Abmessung H dem Durchmesser des Elektronenstrahls 6.

[0035] In dem Zuführabschnitt 14 sowie in dem Abführabschnitt 18 weist die Flüssigkeitsleitung 10 eine erste Innenquerschnittsfläche A_1 auf. Entsprechend weist die Flüssigkeitsleitung 10 in dem das Eintrittsfenster 20 umfassenden Auftreffabschnitt 16 eine zweite Innenquerschnittsfläche A_2 auf. Die Innenquerschnittsflächen A_1 und A_2 sind in Fig. 2 angedeutet. Das Eintrittsfenster 20 ist zu einer Innenseite der Flüssigkeitsleitung 10 hin bündig mit der Leitungswand 22 ausgebildet, so dass die zweite Innenquerschnittsfläche A_2 im gesamten Auftreffabschnitt 16 konstant ist. Das Verhältnis A_1/A_2 von der ersten Innenquerschnittsfläche A_1 zu der zweiten Innenquerschnittsfläche A_2 ist größer als 1, insbesondere größer als 10, und insbesondere größer als 100. Je größer das Verhältnis A_1/A_2 ist, desto geringer ist nach der Gleichung von Bernoulli der statische Druck der Flüssigkeit 9 auf das Eintrittsfenster 20 radial nach außen. Der Auftreffabschnitt 16 weist entlang der Elektronenstrahlrichtung 7 eine Innenabmessung B von höchstens 5000 μm , insbesondere von höchstens 1000 μm , und insbesondere von höchstens 100 μm , auf. Je kleiner die Innenabmessung B ist, desto kleiner ist die Wechselwirkungszone

ne 23, wodurch die Bildqualität der mittels der Röntgenstrahlung 2 erzeugbaren Röntgenbilder verbessert wird.

[0036] Zur Erzielung einer hohen Effizienz von der Erzeugung von Röntgenstrahlung 2 gegenüber der Erzeugung von Wärme besteht die Flüssigkeit 9 aus einem Material mit mindestens einem chemischen Element, wobei das mindestens eine chemische Element eine Ordnungszahl von mindestens 50 aufweist. Besteht die Flüssigkeit 9 aus einem Material mit mehreren chemischen Elementen, so weist jedes chemische Element eine Ordnungszahl von mindestens 50 auf. Vorzugsweise ist das Material der Flüssigkeit 9 Quecksilber. Die Effizienz von der Erzeugung von Röntgenstrahlung 2 gegenüber der Erzeugung von Wärme steigt linear mit der Ordnungszahl des Materials der Flüssigkeit 9.

[0037] Die Strahlungsquelle 1 ist von einer - in Fig. 1 nur angedeuteten - Bleiabschirmung 24 umgeben. Die Bleiabschirmung 24 weist im Bereich des Auftreffabschnitts 16 ein Austrittsfenster 25 für die erzeugte Röntgenstrahlung 2 auf. Die Strahlungsquelle 1 ist beispielsweise Teil eines Röntgencomputertomographen zur zerstörungsfreien Prüfung von industriellen Objekten.

[0038] Nachfolgend wird das Erzeugen von Röntgenstrahlung 2 mittels der Strahlungsquelle 1 beschrieben. Mittels der Elektronenstrahlerzeugungseinheit 5 werden durch Glühemission Elektronen erzeugt, die durch die Beschleunigungsspannung U_B beschleunigt werden und den Elektronenstrahl 6 bilden. Der Elektronenstrahl 6 verläuft in der Elektronenstrahlrichtung 7 durch die Kammer 3 und trifft in dem Auftreffabschnitt 16 auf die Flüssigkeitsleitung 10. Dadurch, dass das Eintrittsfenster 20 im Wesentlichen durchlässig für die Elektronen des Elektronenstrahls 6 ist, kann der Elektronenstrahl 6 durch die Flüssigkeitsleitung 10 in die Flüssigkeit 9 eintreten. In der Wechselwirkungszone 23 wirken der Elektronenstrahl 6 und die Flüssigkeit 9 in bekannter Weise zusammen, so dass Röntgenstrahlung 2 erzeugt wird, die im Wesentlichen in der Elektronenstrahlrichtung 7 emittiert wird und durch das Austrittsfenster 25 die Strahlungsquelle 1 verlässt. Da das Eintrittsfenster 20 durchlässig ausgebildet ist und eine geringe Abmessung D in der Elektronenstrahlrichtung 7 aufweist, verlieren die Elektronen des Elektronenstrahls 6 beim Eintritt in die Flüssigkeitsleitung 9 kaum kinetische Energie. Dadurch, dass die zweite Innenquerschnittsfläche A_2 deutlich kleiner als die erste Innenquerschnittsfläche A_1 ist, wird die Druckdifferenz zwischen der Flüssigkeit 9 und der Kammer 3 am Ort des Eintrittsfensters 20 minimiert. Darüber hinaus wird eine hohe Stabilität der Flüssigkeitsleitung 10 in dem Auftreffabschnitt 16 dadurch gewährleistet, dass das Eintrittsfenster 20 maximal so groß wie der Durchmesser des Elektronenstrahls 6 ist.

[0039] Die Flüssigkeit 9 wird mittels der Flüssigkeitspumpe 13 ständig durch die Flüssigkeitsleitung 10 gepumpt, so dass die in der Wechselwirkungszone 23 entstehende Wärme durch einen Austausch der Flüssigkeit 9 in der Wechselwirkungszone 23 abgeführt wird. Die in der Wechselwirkungszone 23 erwärmte Flüssigkeit 9

wird mittels der Flüssigkeitspumpe 13 durch die Kühleinheit 19 gepumpt, wodurch die zugeführte Wärme wieder abgeführt wird und die Flüssigkeit 9 beim erneuten Durchströmen der Wechselwirkungszone 23 keine erhöhte Temperatur aufweist. Dadurch, dass die Flüssigkeit 9 zu der Kammer 3 hin von der Flüssigkeitsleitung 10 vollständig umgeben ist, kann keine Flüssigkeit 9 in der Wechselwirkungszone 23 verdampfen und die Flüssigkeitsleitung 10 verlassen. Dies gewährleistet eine uneingeschränkte Funktion und eine hohe Zuverlässigkeit der Strahlungsquelle 1. Der Druck der Flüssigkeit 9 sowie die Strömungsgeschwindigkeit der Flüssigkeit 9 kann mittels der Flüssigkeitspumpe 13 eingestellt werden. Dadurch, dass sich der erste Übergangsabschnitt 15 in der Strömungsrichtung 12 trichterförmig verjüngt, ist eine laminare Strömung beim Übergang zwischen dem Zuführabschnitt 14 und dem Auftreffabschnitt 16 gewährleistet.

[0040] Dadurch, dass die Flüssigkeit 9 in der Wechselwirkungszone 23 ständig ausgewechselt wird und in der Flüssigkeitsleitung 10 zirkuliert, ist eine thermische Zerstörung der als Röntgentarget wirkenden Flüssigkeit 9 nicht möglich. Die Wärmeabfuhr aus der Wechselwirkungszone 23 ist im Vergleich zu Festkörpern verbessert, wodurch eine erhöhte Ausgangsleistung der Röntgenstrahlung 2 möglich ist. Darüber hinaus kann durch eine entsprechende Wahl der Abmessung H des Eintrittsfensters 20 und der Innenabmessung B des Auftreffabschnitts 16 die Größe der Wechselwirkungszone 23, d. h. die Größe des Brennflecks, beeinflusst werden. Dementsprechend kann eine geringe Größe des Brennflecks erzielt werden, wodurch eine hohe Bildqualität der mittels der Röntgenstrahlung 2 erzeugten Röntgenbilder ermöglicht wird. Insbesondere können hierdurch typische Probleme bei der Prüfung von Objekten mit hohen Durchstrahlungslängen und/oder aus stark absorbierenden Materialien wie beispielsweise Kantenunschärfe, schlechte Detailerkennbarkeit und große Fehlermargen von Einschlüssen, vermieden werden.

[0041] Aufgrund der hohen Beschleunigungsspannung U_B wirkt die Flüssigkeit 9 als Transmissionsröntgentarget, so dass die erzeugte Röntgenstrahlung 2 im Wesentlichen in der Elektronenstrahlrichtung 7 emittiert wird. Dies ist äußerst effizient, da mit zunehmender Beschleunigungsspannung U_B das Intensitätsverhältnis von Röntgenstrahlung 2, die in der Elektronenstrahlrichtung 7 erzeugt wird, gegenüber Röntgenstrahlung 2, die gegen die Elektronenstrahlrichtung 7 erzeugt wird, zunimmt. Bei Beschleunigungsspannungen U_B ab ca. 1 MV wird im Wesentlichen die gesamte Röntgenstrahlung 2 in der Elektronenstrahlrichtung 7 erzeugt. Die Leitungswand 22 ist zumindest an der dem Eintrittsfenster 20 gegenüberliegenden Seite, also beispielsweise im gesamten Auftreffabschnitt 16, derart ausgebildet, dass die erzeugte Röntgenstrahlung 2 im Wesentlichen ungeschwächt in der Elektronenstrahlrichtung 7 aus der Flüssigkeitsleitung 9 austreten kann.

Patentansprüche

1. Strahlungsquelle zum Erzeugen von Röntgenstrahlung mit

- einer evakuierten Kammer (3),
- einer Elektronenstrahlerzeugungseinheit (5) zum Erzeugen eines in einer Elektronenstrahlrichtung (7) und in der Kammer (3) verlaufenden Elektronenstrahls (6),
- einer Targeteinheit (8),

-- wobei diese eine quer zu der Elektronenstrahlrichtung (7) verlaufende Flüssigkeitsleitung (10) mit einer darin angeordneten Flüssigkeit (9) aufweist,

-- wobei durch Zusammenwirken des Elektronenstrahls (6) und der Flüssigkeit (9) eine Wechselwirkungszone (23) zum Erzeugen von Röntgenstrahlung (2) erzeugbar ist,

-- wobei die Flüssigkeit (9) von der Flüssigkeitsleitung (10) in Richtung der Kammer (3) vollständig umgeben ist, und

-- wobei zumindest ein Teil (20) der Flüssigkeitsleitung (10) für den Elektronenstrahl (6) derart durchlässig ausgebildet ist, dass die Wechselwirkungszone (23) innerhalb der Flüssigkeitsleitung (10) erzeugbar ist,

dadurch gekennzeichnet, dass

- die Elektronenstrahlerzeugungseinheit (5) mit einer Beschleunigungsspannung (U_B) von mindestens 3 MV betreibbar ist,

- der durchlässige Teil (20) der Flüssigkeitsleitung (10) in der Elektronenstrahlrichtung (7) eine Abmessung (D) im Bereich von 50 μm bis 500 μm und quer zu der Elektronenstrahlrichtung (7) eine Abmessung (H) von höchstens 1000 μm aufweist, und

- die Targeteinheit (8) derart ausgebildet ist, dass die Röntgenstrahlung (2) im Wesentlichen in der Elektronenstrahlrichtung (7) emittierbar ist.

2. Strahlungsquelle nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** der durchlässige Teil (20) der Flüssigkeitsleitung (10) aus einem Material aus einem oder mehreren chemischen Elementen besteht, die jeweils eine Ordnungszahl von höchstens 14 aufweisen.

3. Strahlungsquelle nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Material zumindest eines aus der Gruppe Beryllium, Diamant und Aluminium ist.

4. Strahlungsquelle nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** der durchlässige Teil (20) der Flüssigkeitsleitung (10) quer zu der Elektronenstrahlrichtung (7) eine Abmessung (H) von höchstens 500 μm aufweist. 5
5. Strahlungsquelle nach einem der Ansprüche 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** der durchlässige Teil (20) als Eintrittsfenster ausgebildet ist, das in einer Aussparung (21) einer Leitungswand (22) der Flüssigkeitsleitung (10) dicht angeordnet ist. 10
6. Strahlungsquelle nach einem der Ansprüche 1 bis 5, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Flüssigkeitsleitung (10) einen Zuführabschnitt (14) mit einer ersten Innenquerschnittsfläche (A_1) und einen den durchlässigen Teil (20) der Flüssigkeitsleitung (10) umfassenden Auftreffabschnitt (16) mit einer zweiten Innenquerschnittsfläche (A_2) aufweist, wobei ein Verhältnis von erster Innenquerschnittsfläche (A_1) zu zweiter Innenquerschnittsfläche (A_2) größer als 1, insbesondere größer als 10, und insbesondere größer als 100, ist. 20
7. Strahlungsquelle nach Anspruch 6, **dadurch gekennzeichnet, dass** zwischen dem Zuführabschnitt (14) und dem Auftreffabschnitt (16) ein trichterförmig verlaufender Übergangsabschnitt (15) ausgebildet ist. 25
8. Strahlungsquelle nach einem der Ansprüche 1 bis 7, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Flüssigkeitsleitung (10) einen Auftreffabschnitt (16) aufweist, der entlang der Elektronenstrahlrichtung (7) eine Innenabmessung (B) von höchstens 5000 μm , insbesondere von höchstens 1000 μm , und insbesondere von höchstens 100 μm , aufweist. 30
9. Strahlungsquelle nach einem der Ansprüche 1 bis 8, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Targeteinheit (8) eine Flüssigkeitspumpe (13) aufweist. 35
10. Strahlungsquelle nach einem der Ansprüche 1 bis 9, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Targeteinheit (8) eine Kühleinheit (19) zum Kühlen der Flüssigkeit (9) aufweist. 40
11. Strahlungsquelle nach einem der Ansprüche 1 bis 10, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Flüssigkeit (9) aus einem Material aus einem oder mehreren chemischen Elementen besteht, die jeweils eine Ordnungszahl von mindestens 50 aufweisen. 45
12. Röntgencomputertomograph mit einer Strahlungsquelle nach einem der Ansprüche 1 bis 11. 50
13. Verfahren zum Erzeugen von Röntgenstrahlung, umfassend die Schritte: 55

- Erzeugen eines in einer Elektronenstrahlrichtung (7) und in einer evakuierten Kammer (3) verlaufenden Elektronenstrahls (6) mittels einer Elektronenstrahlerzeugungseinheit (5), die mit einer Beschleunigungsspannung (U_B) von mindestens 3 MV betrieben wird,
- Führen einer von einer Flüssigkeitsleitung (10) in Richtung der Kammer (3) vollständig umgebenen Flüssigkeit (9) quer zu der Elektronenstrahlrichtung (7) durch die Kammer (3),
- Einleiten des Elektronenstrahls (6) in die Flüssigkeit (9) durch zumindest einen Teil (20) der Flüssigkeitsleitung (10), welcher für den Elektronenstrahl (6) durchlässig ausgebildet ist, wobei der durchlässige Teil (20) der Flüssigkeitsleitung (10) in der Elektronenstrahlrichtung (7) eine Abmessung (D) im Bereich von 50 μm bis 500 μm und quer zu der Elektronenstrahlrichtung (7) eine Abmessung (H) von höchstens 1000 μm aufweist, und
- Erzeugen von einer Wechselwirkungszone (23) innerhalb der Flüssigkeitsleitung (10), in der der Elektronenstrahl (6) und die Flüssigkeit (9) zum Erzeugen von Röntgenstrahlung (2) zusammenwirken, wobei die Röntgenstrahlung (2) im Wesentlichen in der Elektronenstrahlrichtung (7) emittiert wird.

Claims

1. Radiation source for the generation of X-radiation, the radiation source comprising
 - an evacuated chamber (3);
 - an electron beam generation unit (5) for the generation of an electron beam (6) extending in the chamber (3) in an electron beam direction (7);
 - a target unit (8),
 - the target unit (8) comprising a liquid line (10) with a liquid (9) arranged therein, the liquid line (10) extending transversely to the electron beam direction (7);
 - with an interaction zone (23) for the generation of X-radiation (2) being generable by interaction of the electron beam (6) and the liquid (9);
 - with the liquid (9) being completely surrounded by the liquid line (10) in the direction of the chamber (3); and
 - with at least a portion (20) of the liquid line (10) being permeable to the electron beam (6) in such a way that the interaction zone (23) is generable inside the liquid line (10),

characterized in that

- the electron beam generation unit (5) is operable at an acceleration voltage (U_B) of at least 3 MV;
 - the permeable portion (20) of the liquid line (10) has a dimension (D) in the range of 50 μm to 500 μm in the electron beam direction (7) and a dimension (H) in a direction transverse to the electron beam direction (7) of no more than 1000 μm ; and
 - the target unit (8) is designed such that the X-radiation (2) is emissible substantially in the electron beam direction (7).
2. Radiation source according to claim 1, **characterized in that** the permeable portion (20) of the liquid line (10) consists of a material of one or more chemical elements each having an atomic number of no more than 14.
 3. Radiation source according to claim 2, **characterized in that** the material is at least one of the group comprising beryllium, diamond and aluminum.
 4. Radiation source according to one of claims 1 to 3, **characterized in that** the permeable portion (20) of the liquid line (10) has a dimension (H) in a direction transverse to the electron beam direction (7) of no more than 500 μm .
 5. Radiation source according to one of claims 1 to 4, **characterized in that** the permeable portion (20) is an entrance window which is tightly arranged in a recess (21) of a line wall (22) of the liquid line (10).
 6. Radiation source according to one of claims 1 to 5, **characterized in that** the liquid line (10) comprises a supply portion (14) having a first inner cross-sectional surface (A_1) and an impingement portion (16) having a second inner cross-sectional surface (A_2), the impingement portion (16) comprising the permeable portion (20) of the liquid line (10), with a relationship of first inner cross-sectional surface (A_1) to second inner cross-sectional surface (A_2) being greater than 1, in particular greater than 10, and in particular greater than 100.
 7. Radiation source according to claim 6, **characterized in that** a transition portion (15) extending in the shape of a funnel is formed between the supply portion (14) and the impingement portion (16).
 8. Radiation source according to one of claims 1 to 7, **characterized in that** the liquid line (10) comprises an impingement portion (16) having an internal dimension (B) of no more than 5000 μm , in particular of no more than 1000 μm , and in particular of no more than 100 μm along the electron beam direction (7).
 9. Radiation source according to one of claims 1 to 8, **characterized in that** the target unit (8) comprises a liquid pump (13).
 10. Radiation source according to one of claims 1 to 9, **characterized in that** the target unit (8) comprises a cooling unit (19) for cooling the liquid (9).
 11. Radiation source according to one of claims 1 to 10, **characterized in that** the liquid (9) consists of a material of one or more chemical elements each having an atomic number of at least 50.
 12. X-ray computer tomograph comprising a radiation source according to one of claims 1 to 11.
 13. Method for the generation of X-radiation, the method comprising the following steps:
 - generating an electron beam (6) extending in an evacuated chamber (3) in an electron beam direction (7) by means of an electron beam generation unit (5) which is operated at an acceleration voltage (U_B) of at least 3 MV;
 - guiding a liquid (9), which is completely surrounded by a liquid line (10) in the direction of the chamber (3), through the chamber (3) in a direction transverse to the electron beam direction (7);
 - introducing the electron beam (6) into the liquid (9) via at least one portion (20) of the liquid line (10) which is permeable to the electron beam (6), with the permeable portion (20) of the liquid line (10) having a dimension (D) in the range of 50 μm to 500 μm in the electron beam direction (7) and a dimension (H) of no more than 1000 μm in a direction transverse to the electron beam direction (7); and
 - generating an interaction zone (23) inside the liquid line (10) where the electron beam (6) interacts with the liquid (9) for the generation of X-radiation (2), with the X-radiation (2) being emitted substantially in the electron beam direction.

Revendications

1. Source de rayonnement pour générer des rayons X comprenant
 - une chambre d'évacuation (3),
 - un dispositif d'émission de faisceaux d'électrons (5) pour générer un rayonnement électromagnétique (6) dans une direction de faisceaux d'électrons (7) et passant dans la chambre (3),
 - une unité cible (8),

-- celle-ci présentant une canalisation de liquide (10), orientée perpendiculairement à la direction de faisceaux d'électrons (7), contenant un liquide (9) qui y est agencé,
 -- où une zone d'interactions (23) pour la génération de rayons X (2) peut être créée par l'action conjuguée du rayonnement électronique (6) et du liquide (9),
 -- le liquide (9) étant totalement entouré par la canalisation de liquide (10) dans la direction de la chambre (3), et
 -- où au moins une partie (20) de la canalisation de liquide (10) est conçue perméable pour le rayonnement électronique (6) de sorte que la zone d'interactions (23) peut être créée à l'intérieur de la canalisation de liquide (10),

caractérisée en ce que

- le dispositif d'émission de faisceaux d'électrons (5) peut être mis en oeuvre avec une tension d'accélération (U_B) d'au minimum 3 MV,
 - la partie perméable (20) de la canalisation de liquide (10) présente une dimension (D) dans l'intervalle de 50 μm à 500 μm dans la direction de faisceaux d'électrons (7) et perpendiculairement à la direction de faisceaux d'électrons (7), une dimension (H) d'au maximum 1000 μm , et
 - l'unité cible (8) est conçue de telle sorte que le rayonnement X (2) peut émettre dans l'ensemble dans la direction de faisceaux d'électrons (7).
2. Source de rayonnement selon la revendication 1 **caractérisée en ce que** la partie (20) perméable de la canalisation de liquide (10) est constituée par un matériau composé d'un ou de plusieurs éléments chimiques, qui, chacun, présente un numéro atomique d'au maximum 14.
 3. Source de rayonnement selon la revendication 2 **caractérisée en ce que** le matériau est constitué d'au moins un des éléments parmi le groupe du béryllium, du diamant et de l'aluminium.
 4. Source de rayonnement selon l'une des revendications de 1 à 3 **caractérisée en ce que** la partie perméable (20) de la canalisation de liquide (10) présente une dimension (H) d'au maximum 500 μm perpendiculairement à la direction de faisceaux d'électrons (7).
 5. Source de rayonnement selon l'une des revendications de 1 à 4 **caractérisée en ce que** la partie perméable (20) est conçue comme une fenêtre d'entrée qui est agencée de manière étanche dans un emplacement (21) d'une paroi de canalisation (22) de

la canalisation de liquide (10).

6. Source de rayonnement selon l'une des revendications de 1 à 5 **caractérisée en ce que** la canalisation de liquide (10) présente un tronçon d'amenée (14) avec une première surface en section transversale interne (A_1) et un tronçon de contact (16), comprenant la partie perméable (20) de la canalisation de liquide (10), avec une seconde surface en section transversale interne (A_2), un rapport supérieur à 1, en particulier supérieur à 10, et particulièrement supérieur à 100, existant entre la première surface en section transversale interne (A_1) et la seconde surface en section transversale interne (A_2).
7. Source de rayonnement selon la revendication 6 **caractérisée en ce qu'un** tronçon de transition (15) s'étirant sous la forme d'un entonnoir est formé entre le tronçon d'amenée (14) et le tronçon de contact (16).
8. Source de rayonnement selon l'une des revendications de 1 à 7 **caractérisée en ce que** la canalisation de liquide (10) présente un tronçon d'amenée (16) qui, le long de la direction de faisceaux d'électrons, présente une dimension intérieure (B) d'au maximum 5000 μm , en particulier d'au maximum 1000 μm , et particulièrement d'au maximum 100 μm .
9. Source de rayonnement selon l'une des revendications de 1 à 8 **caractérisée en ce que** l'unité cible (8) comporte une pompe à liquide (13).
10. Source de rayonnement selon l'une des revendications de 1 à 9 **caractérisée en ce que** l'unité cible (8) présente un dispositif de réfrigération (19) pour le refroidissement du liquide (9).
11. Source de rayonnement selon l'une des revendications de 1 à 10 **caractérisée en ce que** le liquide (9) est constitué par un matériau composé d'un ou de plusieurs éléments chimiques, qui, chacun, possède un numéro atomique d'au minimum 50.
12. Tomodensitomètre avec une source de rayonnement selon l'une des revendications de 1 à 11.
13. Procédé pour la génération d'un rayonnement X comprenant les étapes de :
 - génération d'un rayonnement électronique (6) dans une direction de faisceaux d'électrons (7) et passant dans une chambre d'évacuation (3) au moyen d'un dispositif d'émission de faisceaux d'électrons (5), qui est accéléré par une tension d'accélération (U_B) d'au moins 3 MV,
 - passage d'un liquide (9), totalement entouré par une canalisation de liquide (10), en direction

d'une chambre (3), perpendiculairement à la direction de faisceaux d'électrons (7), à travers la chambre (3),

- introduction du rayonnement électronique (6) dans le liquide (9) par au moins une partie (20) de la canalisation de liquide (10), qui est conçue perméable au rayonnement électronique (6), la partie (20) perméable de la canalisation de liquide (10) présentant dans la direction de faisceaux d'électrons (7) une dimension (D) dans l'intervalle de 50 μm à 500 μm , et perpendiculairement à la direction de faisceaux d'électrons (7), une dimension (H) d'un maximum de 1000 μm , et
- génération d'une zone d'interaction (23) à l'intérieur de la canalisation de liquide (10) où le rayonnement électronique (6) et le liquide (9) agissent conjointement pour générer un rayonnement X (2), le rayonnement X (2) étant principalement émis dans la direction de faisceaux d'électrons (7).

25

30

35

40

45

50

55

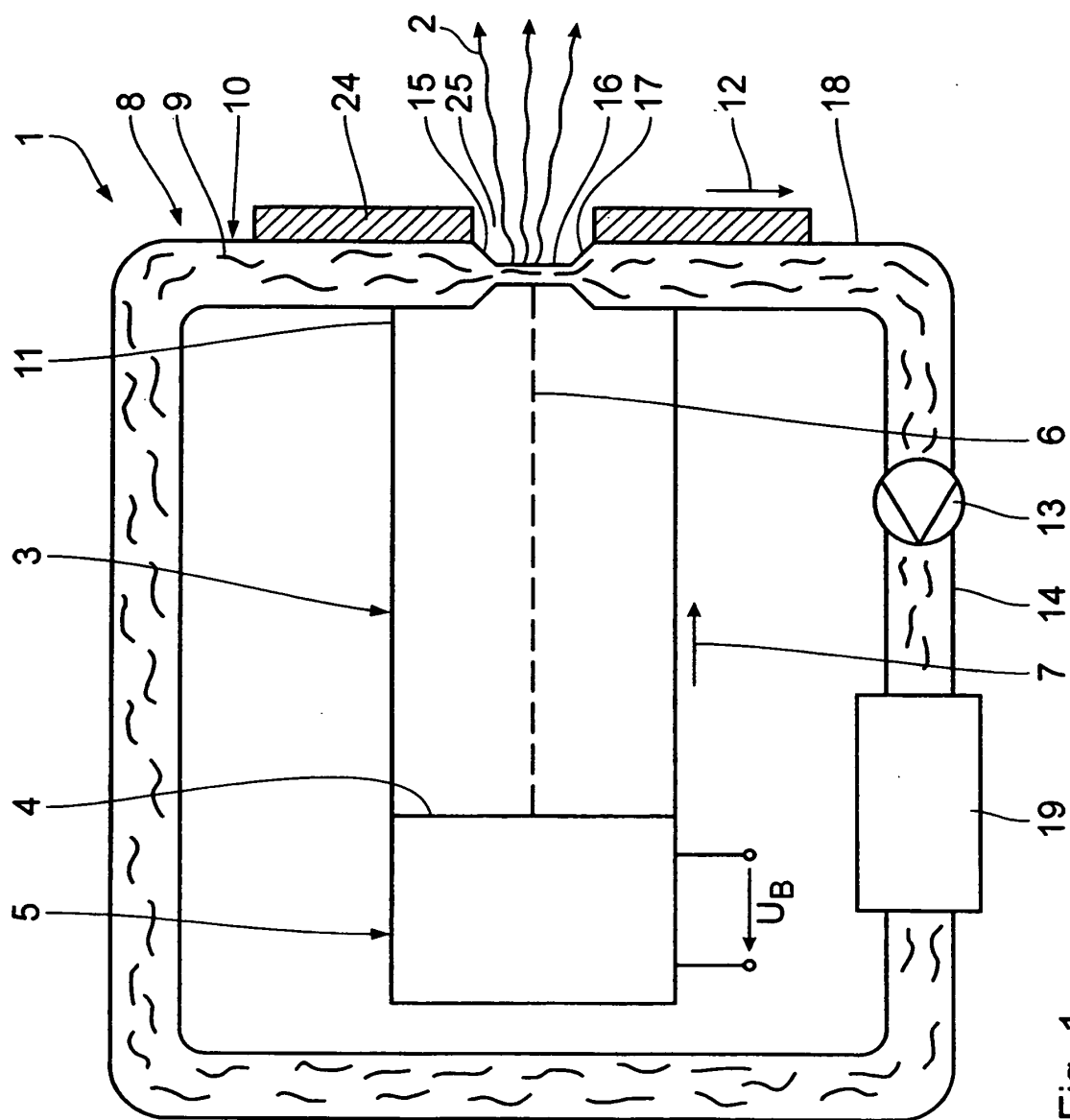


Fig. 1

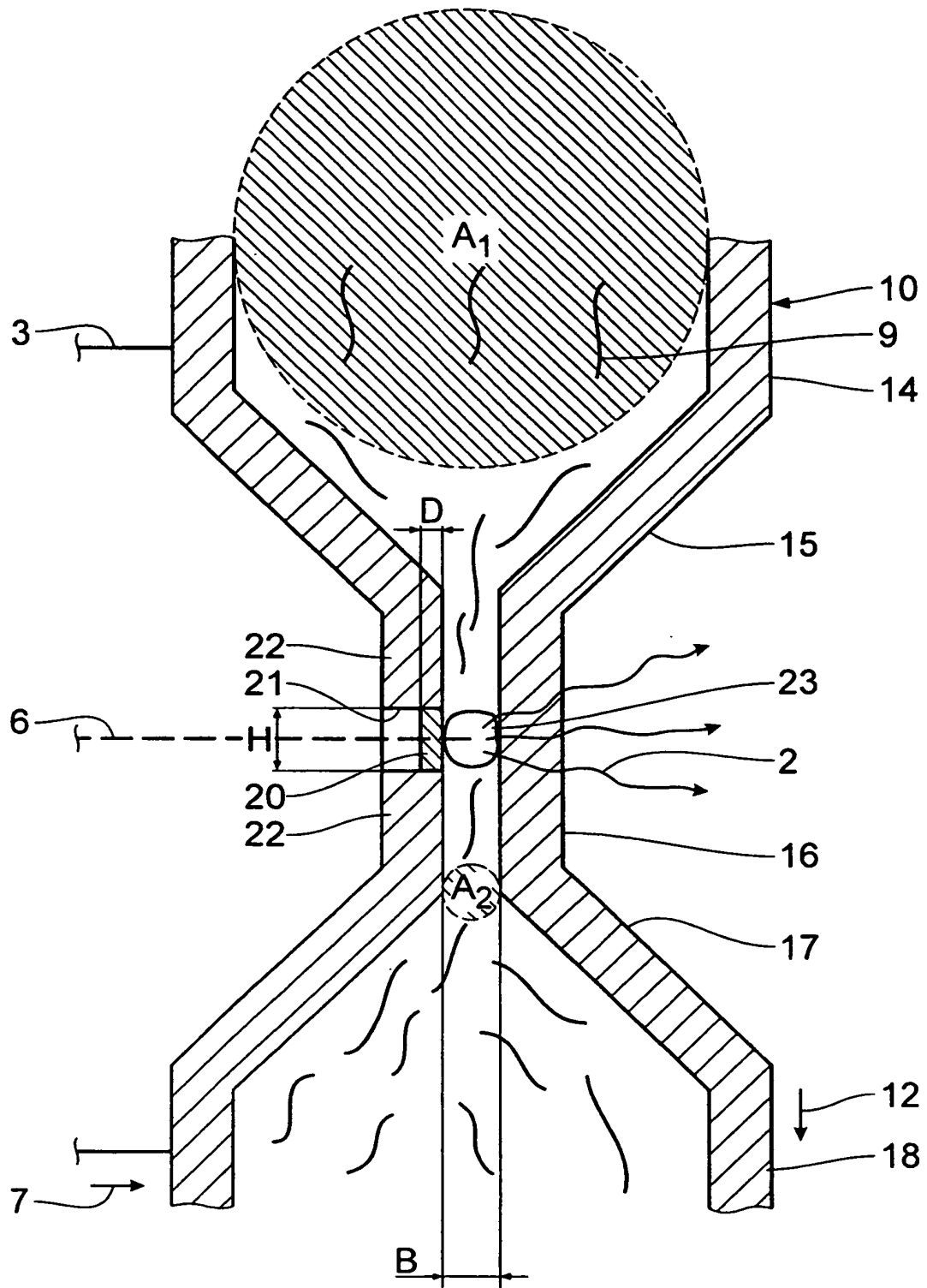


Fig. 2

IN DER BESCHREIBUNG AUFGEFÜHRTE DOKUMENTE

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde ausschließlich zur Information des Lesers aufgenommen und ist nicht Bestandteil des europäischen Patentdokumentes. Sie wurde mit größter Sorgfalt zusammengestellt; das EPA übernimmt jedoch keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

In der Beschreibung aufgeführte Patentdokumente

- WO 0211499 A1 [0003]
- WO 2005096341 A1 [0004]
- WO 2005101450 A1 [0005]
- WO 03077277 A1 [0006]
- EP 0239882 A1 [0007]