

(19)



Europäisches Patentamt
European Patent Office
Office européen des brevets



(11)

EP 1 102 302 B1

(12)

EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des
Hinweises auf die Patenterteilung:
01.03.2006 Patentblatt 2006/09

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

(21) Anmeldenummer: **00203920.4**

(22) Anmeldetag: **09.11.2000**

(54) **Monochromatische Röntgenstrahlenquelle**

Monochromatic x-ray source

Source monochromatique à rayons X

(84) Benannte Vertragsstaaten:
DE FR GB NL

(30) Priorität: **18.11.1999 DE 19955392**

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:
23.05.2001 Patentblatt 2001/21

(73) Patentinhaber:
• **Philips Intellectual Property & Standards GmbH**
20099 Hamburg (DE)
Benannte Vertragsstaaten:
DE
• **Koninklijke Philips Electronics N.V.**
5621 BA Eindhoven (NL)
Benannte Vertragsstaaten:
FR GB NL

(72) Erfinder:
• **Harding, Geoffrey, Prof.**
C/O Philips Corporate
52064 Aachen (DE)
• **Ulmer, Bernd**
C/O Philips Corporate
52064 Aachen (DE)

(74) Vertreter: **Volmer, Georg**
Philips Intellectual Property & Standards GmbH,
Postfach 50 04 42
52088 Aachen (DE)

(56) Entgegenhaltungen:
EP-A- 0 957 506 **DE-A- 19 639 241**
DE-A- 19 805 290 **DE-C- 19 808 342**
US-A- 3 867 637

EP 1 102 302 B1

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach der Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents kann jedermann beim Europäischen Patentamt gegen das erteilte europäische Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch ist schriftlich einzureichen und zu begründen. Er gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist. (Art. 99(1) Europäisches Patentübereinkommen).

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft eine Röntgenstrahlenquelle zur Erzeugung einer weitgehend monochromatischen Fluoreszenz-Röntgenstrahlung mit einem primären und einem sekundären Target.

[0002] Eine Röntgenstrahlenquelle dieser Art ist aus der US-PS 3.867.637 bekannt und umfasst in einer Röntgenröhre im wesentlichen ein (primäres) Target, das einer Kathode gegenüberliegt und in dem durch Einfall eines Elektronenstrahls Röntgenstrahlen erzeugt werden. Das Target ruht auf einem Substrat, das zum Beispiel aus einem Leichtmetall wie Aluminium oder Beryllium sein kann und das dazu dient, das Target mechanisch zu halten und einen vakuumfesten Verschluss der Röntgenröhre zu gewährleisten. Das Substrat ist für die von dem Target ausgehenden Röntgenstrahlen im wesentlichen durchlässig und so dick gewählt, dass sämtliche einfallenden Elektronen absorbiert werden. Auf die andere Seite des Substrates ist ein fluoreszierendes Material (sekundäres Target) aufgebracht, das zum Beispiel Ceriumoxid sein kann, so dass durch die aus dem primären Target einfallenden Röntgenstrahlen eine materialabhängige monochromatische Fluoreszenz-Röntgenstrahlung angeregt wird.

[0003] Ein Problem bei diesen bekannten Röntgenstrahlenquellen besteht darin, dass es relativ schwierig ist, einen großen Anteil der in dem primären Target erzeugten Röntgenstrahlung in das sekundäre Target zu koppeln. Dies hat zur Folge, dass die Intensität der angeregten monochromatischen Fluoreszenz-Röntgenstrahlung entsprechend gering ist bzw. durch Veränderung der Targets nur auf Kosten der spektralen Reinheit erhöht werden kann.

[0004] Der Erfindung liegt deshalb die Aufgabe zugrunde, eine Röntgenstrahlenquelle der eingangs genannten Art zu schaffen, mit der im wesentlichen monochromatische Fluoreszenz-Röntgenstrahlung mit einer höheren Strahlungsintensität bei gleichzeitig hoher spektraler Reinheit erzeugt werden kann.

[0005] Gelöst wird diese Aufgabe mit einer Röntgenstrahlenquelle der eingangs genannten Art, die sich dadurch auszeichnet, dass das primäre Target ein flüssiges Metall oder eine flüssige Metalllegierung ist, das/die zwischen einem ersten, für einen Elektronenstrahl durchlässigen und einem zweiten, für eine Röntgenstrahlung durchlässigen Fenster, an das sich das sekundäre Target anschließt, in der Weise geführt ist, dass Elektronen, die durch das erste Fenster auf das primäre Target treffen, Röntgenstrahlen erzeugen, die beim Erreichen des sekundären Targets im wesentlichen eine einer Absorptionskante des sekundären Targets entsprechende maximale Energie aufweisen, so dass in dem sekundären Target eine weitgehend monochromatische Fluoreszenz-Röntgenstrahlung angeregt wird.

[0006] Das (zumindest im Betriebszustand der Röntgenstrahlenquelle) flüssige Metall bzw. die Metalllegierung erfüllt dabei nicht nur die Funktion des primären

Targets, sondern bewirkt gleichzeitig eine wirksame Abführung von Wärme aus dem Target und kühlt die Fenster, wobei insbesondere an dem ersten Fenster durch den einfallenden Elektronenstrahl eine relativ starke Wärmeentwicklung auftritt. Die Kühlung hat zur Folge, dass die Elektroneneinstrahlung und damit die thermische Leistungsdichte wesentlich gesteigert werden kann, so dass sich auch die Strahlungsintensität der monochromatischen Fluoreszenz-Röntgenstrahlen entsprechend erhöht.

[0007] Die Unteransprüche haben vorteilhafte Weiterbildungen der Erfindung zum Inhalt. Die Ausführung der Fenster gemäß Anspruch 2 hat den Vorteil, dass sie einerseits besonders stabil sind, so dass sie dem Strömungsdruck des fließenden flüssigen Metalls schon bei relativ geringer Dicke standhalten können und andererseits dem Elektronen- bzw. Röntgenstrahl eine nur sehr geringe Energie entziehen.

[0008] Die Ausführung nach Anspruch 3 hat den Vorteil, dass eine besonders wirksame Abführung der Wärme von den Fenstern erzielt wird.

[0009] Die Ausführung nach den Ansprüchen 4 und 5 ermöglicht schließlich eine erhebliche Verbesserung der spektralen Reinheit der aus dem sekundären Target ausgekoppelten Röntgenstrahlung.

[0010] Weitere Einzelheiten, Merkmale und Vorteile der Erfindung ergeben sich aus der folgenden Beschreibung einer bevorzugten Ausführungsform anhand der Zeichnung. Es zeigt:

Fig. 1 eine schematische Darstellung der Ausführungsform;

Fig. 2 eine schematische Darstellung eines Teils der Röntgenstrahlenquelle;

Fig. 3 einen schematischen Querschnitt durch eine erste Targetanordnung;

Fig. 4 einen schematischen Querschnitt durch eine zweite Targetanordnung;

Fig. 5 eine graphische Darstellung der spektralen Verläufe der Röntgenstrahlung bei verschiedenen Auslesewinkeln; und

Fig. 6 eine graphische Darstellung der spektralen Reinheit einer Röntgenlinie in Abhängigkeit von dem Auslesewinkel.

[0011] In Figur 1 ist ein elektrisch vorzugsweise geerdeter Röhrenkolben 1 dargestellt, der durch ein erstes Fenster 2 vakuumdicht abgeschlossen ist. In dem Vakuumraum des Röhrenkolbens befindet sich eine Kathode 3, die im Betriebszustand einen Elektronenstrahl 4 emittiert, der durch das erste Fenster 2 hindurch auf ein primäres Target 10 in Form eines flüssigen Metalls trifft, so dass durch Wechselwirkung mit den Elektronen eine Röntgenstrahlung entsteht. Das flüssige Metall (oder die flüssige Metalllegierung) befindet sich in einem System 5. Dieses System umfasst Rohrleitungen 50, durch die das flüssige Metall von einer Pumpe 52 getrieben wird, mit einem Abschnitt 51 gegenüber dem ersten Fenster

2, sowie einem Wärmetauscher 53, mit dem die in dem flüssigen Metall entstandene Wärme mittels eines Kühlkreislaufs abgeführt werden kann.

[0012] An der dem ersten Fenster 2 gegenüberliegenden Seite weist der Abschnitt 51 ein zweites Fenster 6 auf, durch das die in dem flüssigen Metall (primäres Target) angeregte Röntgenstrahlung in ein sekundäres Target 11 eintritt, um dort eine monochromatische Fluoreszenz-Röntgenstrahlung anzuregen. Diese Strahlung wird schließlich über eine an das sekundäre Target angrenzende Einrichtung 8 ausgeblendet.

[0013] Das erste Fenster 2 hat den Zweck, sowohl den Röhrenkolben 1, als auch den Abschnitt 51, der von dem flüssigen Metall durchströmt wird, vakuumdicht abzuschließen. Das erste Fenster sollte außerdem aus einem Material bestehen, das für den Elektronenstrahl möglichst transparent ist, so dass der Energieverlust der Elektronen beim Durchtritt durch das Fenster und damit auch die entstehende Wärme so gering wie möglich ist. Das Fenster sollte schließlich auch eine möglichst hohe Wärmeleitfähigkeit aufweisen.

[0014] Als besonders geeignetes Material hat sich Diamant erwiesen, das schon bei einer Fensterstärke von 1 μm eine ausreichende mechanische Stabilität bietet. Der Energieverlust, den Elektronen mit einer Energie von z.B. 150 keV in einem solchen Fenster erfahren, ist geringer als 1%, so dass der in dem Fenster durch die Elektronen hervorgerufene Wärmestrom niedriger als 500 W ist, wenn das flüssige Metall durch die Elektronen mit 50 kW erwärmt wird. Weitere Vorteile von Diamant sind schließlich seine hohe thermische Leitfähigkeit sowie die Tatsache, dass es in einer sauerstofffreien Umgebung ohne irreversible Veränderungen bis auf 1500°C erwärmt werden kann.

[0015] Die Pumpe 52 arbeitet vorzugsweise nach dem magnetohydrodynamischen Prinzip, so dass sie keine mechanisch bewegten Teile aufweist. Ein Beispiel für eine solche Pumpe ist in der US-PS 4.953.191 beschrieben.

[0016] Figur 2 zeigt den Bereich des Abschnitts 51 des Systems 5 mit dem ersten Fenster 2, das einen Siliziumträger 22 mit einer Dicke von zum Beispiel 300 μm sowie eine Diamantschicht 23 mit einer Dicke von zum Beispiel 100 μm umfasst, wobei im Bereich des Durchtritts des Elektronenstrahls eine Öffnung 21 in den Siliziumträger eingebracht ist. Die Herstellung eines solchen Fensters wird zum Beispiel in der EP-A-0 957 506 **[PHD 98-044]** beschrieben.

[0017] Das dem ersten Fenster 2 gegenüberliegende zweite Fenster 6 des Abschnitts 51 ist bevorzugt in gleicher Weise aufgebaut wie das erste Fenster. Wichtig ist hierbei, dass es eine gute Durchlässigkeit für die in dem flüssigen Metall angeregten Röntgenstrahlen aufweist. Diamant hat sich auch hierfür als vorteilhaft erwiesen, da es nicht nur eine hohe thermische Leitfähigkeit hat, sondern die in dem Target erzeugten Röntgenstrahlen in nur sehr geringem Maße absorbiert, da es einerseits auf Grund seiner Festigkeit sehr dünn sein kann und andererseits eine geringe Ordnungszahl aufweist.

rerseits eine geringe Ordnungszahl aufweist.

[0018] An das zweite Fenster 6 wird schließlich das sekundäre Target 11 mit der Ausblendeinrichtung 8 angebracht, die mit Bezug auf die Figur 4 näher erläutert werden wird.

[0019] Um die Wirksamkeit der Wärmeabfuhr durch das flüssige Metall zu erhöhen, befindet sich im Bereich der Fenster 2, 6 des Abschnitts 51 eine Querschnittsverengung 54, mit der eine beschleunigt und turbulent fließende Strömung in diesem Bereich erzeugt wird. Die Querschnittsverengung ist zum Beispiel in der dargestellten Weise asymmetrisch und hat ein im Querschnitt tragflügelähnliches Profil, wobei der freie Durchtrittsbereich für das flüssige Metall etwa 100 Mikron gegenüber einem Durchmesser der Rohrleitung 50 von etwa 10 mm betragen kann. Ferner sind die Querschnittsverengung 54 und das zweite Fenster 6 vorzugsweise aus dem gleichen Material hergestellt und bilden ein beide Funktionen erfüllendes Element.

[0020] Für das primäre Target können Metalle oder Metalllegierungen verwendet werden, die eine hohe Ordnungszahl aufweisen und bei einer möglichst niedrigen Temperatur, vorzugsweise Zimmertemperatur flüssig sind. Beispiele hierfür sind Quecksilber, eine Metalllegierung aus 62,5% Ga, 21,5% In und 16% Sn oder eine Metalllegierung aus 43% Bi, 21,7% Pb, 18,3% In, 8% Sn, 5% Cd und 4% Hg (alle Angaben in Gewichtsprozent). Das sekundäre Target kann zum Beispiel Tantal sein.

[0021] Insbesondere bei den in den Figuren 3 und 4 gezeigten Targetanordnungen können für das erste Target auch nichtflüssige Metalle (zum Beispiel Gold) oder Metalllegierungen verwendet werden.

[0022] Figur 3 zeigt einen schematischen Querschnitt durch eine erste Targetanordnung in Form einer Schichtstruktur. Der Elektronenstrahl E trifft durch das erste Fenster 2 auf das primäre Target 10, das als Konverter dient und in dem die Röntgenstrahlen angeregt werden. Diese treten durch das zweite Fenster 6 in das sekundäre Target 11 ein und erzeugen dort die weitgehend monochromatische Fluoreszenz-Röntgenstrahlung Rfl.

[0023] Das Funktionsprinzip beruht auf folgenden Überlegungen: Es sei angenommen, dass der einfallende Elektronenstrahl die Energie E_0 habe, während die Energie einer (materialabhängigen) Absorptionskante K des sekundären Targets E_k sei. Während die Elektronen durch das primäre Target 10 diffundieren, erzeugen sie in bekannter Weise Röntgenstrahlen (d.h. im wesentlichen Bremsstrahlung mit einem relativ breiten Frequenzspektrum) und verlieren dabei Energie. Die Dicke R_1 des primären Targets, das heißt die Weglänge der Elektronen durch das primäre Target, wird so gewählt, dass die folgende Bedingung näherungsweise erfüllt ist:

$$R_1 = (E_0 - E_k) \cdot \alpha / \alpha E$$

wobei in Figur 3 diese Dicke als Radius R_1 um den Eintrittspunkt des Elektronenstrahls E in das primäre Target dargestellt ist.

[0024] In dieser Gleichung bedeutet $\square E / \square X$ den mittleren Energieverlust der Elektronen pro Einheit der Weglänge über das Energieintervall $E_0 - E_k$. Die Elektronen, die das primäre Target bzw. die Weglänge R_1 durchlaufen haben, haben nunmehr nur noch die Energie E_k und können somit in dem sekundären Target 11 keine Bremsstrahlung mit einer Energie anregen, die größer ist als E_k . Da diese Energie einer Absorptionskante des sekundären Targets entspricht, findet dort vielmehr eine Absorption der entsprechenden Röntgenstrahlen und eine Anregung höherer Energiezustände statt, durch deren Rückkehr in den Grundzustand die charakteristische Strahlung (monochromatische Röntgenlinie, Fluoreszenz-Röntgenstrahlung) erzeugt wird.

[0025] Wenn die Weglänge durch das primäre Target wesentlich kürzer ist, als der mit der obigen Gleichung errechnete Wert R_1 , so ist die Intensität der erzeugten Röntgenstrahlung entsprechend geringer. Wenn die Weglänge wesentlich größer ist, wird zwar ein wesentlich höherer Anteil der Elektronen in Röntgenstrahlung umgesetzt, diese wird jedoch in dem primären Target auch wieder absorbiert, bevor sie das sekundäre Target erreichen kann. In diesen beiden Fällen ist somit die Intensität der monochromatischen Röntgenstrahlung sehr gering.

[0026] Die Dicke des sekundären Targets, die in Figur 3 durch den Radius R_2 um den Eintrittspunkt des Elektronenstrahls in das primäre Target dargestellt ist, wird so gewählt, dass die Intensität der Fluoreszenz-Röntgenstrahlung möglichst groß ist. Ein maximaler Wert wird erreicht, wenn folgende Bedingung erfüllt ist:

$$R_2 - R_1 = 1 / \mu$$

wobei μ den linearen Dämpfungskoeffizienten für Röntgenstrahlen in dem sekundären Target darstellt. Die Photonen-Energie, bei der μ berechnet wird, sollte näherungsweise $(E_0 - E_k) / 2$ betragen.

[0027] Die in dem gemäß obiger Gleichung bemessenen Bereich des sekundären Targets erzeugte monochromatische Fluoreszenz-Röntgenstrahlung sollte mit einem Winkel ausgelesen werden, bei dem möglichst kein störender Einfluss von Bremsstrahlung aus dem primären Target mit der Weglänge R_1 auftritt. Eine optimale Unterdrückung dieser Bremsstrahlung ist dann zu beobachten, wenn das fluoreszierende Material selbst als StrahlungsfILTER für diese Strahlung dient. Dies ist dann gegeben, wenn der Röntgenstrahl Rfl mit einem relativ geringen Winkel zu der Ebene des primären Targets ausgelesen wird. Eine solche Richtung ist in Figur 3 eingezeichnet.

[0028] Zur weiteren Verbesserung der spektralen Reinheit und zur weiteren Minimierung des in dem Fluoreszenz-Röntgenstrahlen-Spektrum vorhandenen

Bremsstrahlungs-Spektrums kann eine erhöhte Filterwirkung mit der in Figur 4 gezeigten zweiten Targetanordnung erreicht werden.

[0029] Auch hierbei trifft der Elektronenstrahl durch das erste Fenster 2 hindurch auf das primäre Target 10, das ein flüssiges oder festes Metall oder eine Metalllegierung sein kann. Die erzeugte Röntgenstrahlung tritt durch das zweite Fenster 6 in das sekundäre Target 11 ein.

[0030] Die angeregte monochromatische Fluoreszenz-Röntgenstrahlung Rfl wird über die Einrichtung 8 ausgeblendet.

[0031] Diese Einrichtung 8 besteht aus einem für die Röntgenstrahlung im wesentlichen undurchlässigen Material mit einer hohen Ordnungszahl. Durch die trichterförmige Öffnung in dem Material, die sich in Richtung auf das sekundäre Target verengt und deren Hauptachse einen Winkel von zwischen etwa 65° und 90° zu der Richtung des einfallenden Elektronenstrahls aufweist, wird nur solche Strahlung aus dem sekundären Target ausgeblendet, die eine bestimmte Weglänge zurückgelegt hat.

[0032] Die Bemessung der optimalen Weglänge hängt von der vorgesehenen Anwendung der Röntgenstrahlenquelle ab und ist stets ein Kompromiss zwischen maximaler Intensität der monochromatischen Röntgenstrahlung und ihrer spektralen Reinheit, das heißt der Filterwirkung des sekundären Targets.

[0033] Diese Zusammenhänge sind in den Figuren 5 und 6 graphisch dargestellt, und zwar in beiden Figuren für eine Targetanordnung aus einem $5 \mu\text{m}$ starken primären Target aus Gold, einem Diamantfenster mit einer Stärke von $195 \mu\text{m}$ und einem sekundären Target aus Tantal mit einer Stärke von $150 \mu\text{m}$, wobei auf das primäre Target ein Elektronenstrahl E mit einer Energie von 150 keV einfällt.

[0034] Figur 5 zeigt den Verlauf der Energiespektren der unter verschiedenen Winkeln ausgelesenen monochromatischen Fluoreszenz-Röntgenstrahlung, und zwar Kurve (1) in Reflektion für einen Z-Winkel von 90 bis 180 Grad, Kurve (2) in Transmission für einen Z-Winkel von 0 bis 90 Grad und Kurve (3) in Transmission für einen Z-Winkel von 65 bis 90 Grad. Der Z-Winkel erstreckt sich gemäß der Darstellung in den Figuren 5 und 6 zwischen der Einfallsrichtung des Elektronenstrahls und der Ausleserichtung.

[0035] Kurve (1) zeigt den üblichen Verlauf bei bekannten Röntgenstrahlenröhren, die zwar zwei deutliche Frequenzlinien zeigen, jedoch oberhalb und unterhalb dieser Linien auch ein erhebliches Bremsstrahlungsspektrum aufweisen. Kurve (2) zeigt demgegenüber ein deutlich vermindertes Bremsstrahlungsspektrum und Frequenzlinien mit nur geringfügig verminderter Intensität, während sich Kurve (3) durch eine außerordentlich hohe spektrale Reinheit bei allerdings deutlich verminderter Intensität der beiden Frequenzlinien auszeichnet. Insbesondere Kurve (2) stellt jedoch einen für viele Anwendungen günstigen Kompromiss zwischen hoher

spektraler Reinheit bei nur geringfügig verminderter Intensität der monochromatischen Röntgenstrahlen dar, der in diesem Ausmaß mit dem Stand der Technik bisher nicht erreicht wurde.

[0036] Figur 6 zeigt die Reinheit der spektralen monochromatischen Röntgenstrahlung (K α -Linie) in Prozent pro 5 Grad-Intervallen in Abhängigkeit von dem Z-Winkel. Bei diesen Messungen hat sich ein klares Maximum bei einem Z-Winkel von 82,5 Grad ergeben.

Patentansprüche

1. Röntgenstrahlenquelle zur Erzeugung einer weitgehend monochromatischen Fluoreszenz-Röntgenstrahlung mit einem primären und einem sekundären Target, **dadurch gekennzeichnet, dass** das primäre Target (10) ein flüssiges Metall oder eine flüssige Metalllegierung ist, das/die zwischen einem ersten, für einen Elektronenstrahl durchlässigen und einem zweiten, für eine Röntgenstrahlung durchlässigen Fenster (2; 6), an das sich das sekundäre Target (11) anschließt, in der Weise geführt ist, dass Elektronen, die durch das erste Fenster auf das primäre Target treffen, Röntgenstrahlen erzeugen, die beim Erreichen des sekundären Targets im wesentlichen eine einer Absorptionskante des sekundären Targets entsprechende maximale Energie aufweisen, so dass in dem sekundären Target eine weitgehend monochromatische Fluoreszenz-Röntgenstrahlung angeregt wird.
2. Röntgenstrahlenquelle nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** mindestens eines der beiden Fenster (2; 6) ein Diamantfenster ist.
3. Röntgenstrahlenquelle nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** das flüssige Metall oder die flüssige Metalllegierung turbulent strömend zwischen dem ersten und dem zweiten Fenster (2; 6) geführt wird.
4. Röntgenstrahlenquelle nach Anspruch 1, **gekennzeichnet durch** eine Einrichtung (8) zum Ausblenden eines monochromatischen Röntgenstrahls, der eine in der Weise vorbestimmte mittlere Weglänge **durch** das sekundäre Target (11) zurückgelegt hat, dass ein möglichst hoher Anteil an Bremsstrahlung aus dem primären Target (10) **durch** das sekundäre Target absorbiert wird.
5. Röntgenstrahlenquelle nach Anspruch 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Einrichtung (8) durch eine Röntgenstrahlen-Abschirmung an einer freien Fläche des sekundären Targets (11) gebildet ist, die eine trichterförmige Öffnung aufweist, die sich in Richtung auf das sekundäre Target verengt und

deren Hauptachse einen Winkel von zwischen etwa 65° und 90° zu der Richtung des einfallenden Elektronenstrahls (E) aufweist.

Revendications

1. Source de rayons X pour la production de rayons X à fluorescence en grande partie monochromatiques avec une cible primaire et une cible secondaire, **caractérisée en ce que** la cible primaire (10) est un métal liquide ou un alliage de métaux liquide qui est guidé entre une première fenêtre perméable à un faisceau d'électrons et une deuxième fenêtre (2 ; 6) perméable aux rayons X qui est suivie de la cible secondaire (11) de telle manière que les électrons qui frappent la cible primaire par la première fenêtre produisent des rayons X qui, lorsqu'ils atteignent la cible secondaire, présentent essentiellement une énergie maximale correspondant à un côté d'absorption de la cible secondaire de telle sorte que des rayons X à fluorescence, en grande partie monochromatiques, soient excités.
2. Source de rayons X selon la revendication 1, **caractérisée en ce qu'**au moins une des deux fenêtres (2 ; 6) est une fenêtre de diamant.
3. Source de rayons X selon la revendication 1, **caractérisée en ce que** le métal liquide ou l'alliage de métaux liquide est guidé en un flux turbulent entre les première et deuxième fenêtres (2 ; 6).
4. Source de rayons X selon la revendication 1, **caractérisée par** un dispositif (8) pour la diffusion d'un faisceau de rayons X monochromatiques qui a parcouru une longueur de course moyenne préalablement déterminée par la cible secondaire (11) de telle manière qu'une proportion maximale de rayons de freinage de la cible primaire (10) soit absorbée par la cible secondaire.
5. Source de rayons X selon la revendication 4, **caractérisée en ce que** le dispositif (8) est formé par un déflecteur de rayons X sur une surface libre de la cible secondaire (11) qui présente une ouverture en forme d'entonnoir qui se rétrécit dans la direction de la cible secondaire et dont l'axe principal présente un angle entre 65° et 90° environ par rapport à la direction du faisceau électronique (E) incident.

Claims

1. An X-ray source for generating substantially monochromatic fluorescent X-rays with a primary and a secondary target, **characterized in that** the primary

target (10) is a liquid metal or a liquid metal alloy which is conducted between a first window (2) being transparent to an electron beam, and a second window (6), being transparent to X-rays and adjoined by the secondary target (11), in such a manner that electrons which are incident on the primary target via the first window produce X-rays which exhibit, upon reaching the secondary target, essentially a maximum energy which corresponds to an absorption edge of the secondary target, so that substantially monochromatic fluorescent X-rays are excited in the secondary target.

2. An X-ray source as claimed in claim 1, **characterized in that** at least one of the two windows (2; 6) is a diamond window.
3. An X-ray source as claimed in claim 1, **characterized in that** the liquid metal or the liquid metal alloy is conducted between the first and the second window (2; 6) in a turbulent flow.
4. An X-ray source as claimed in claim 1, **characterized in that** it includes a device (8) for forming a monochromatic X-ray beam which has traveled a mean path length through the secondary target (11) in such a manner that an as large as possible part of the Bremsstrahlung from the primary target (10) is absorbed by the secondary target.
5. An X-ray source as claimed in claim 4, **characterized in that** the device (8) is formed by an X-ray shield on a free surface of the secondary target (11) which has a funnel-shaped opening which is constricted in the direction of the secondary target and whose main axis encloses an angle between approximately 65° and 90° relative to the direction of the incident electron beam (E).

40

45

50

55

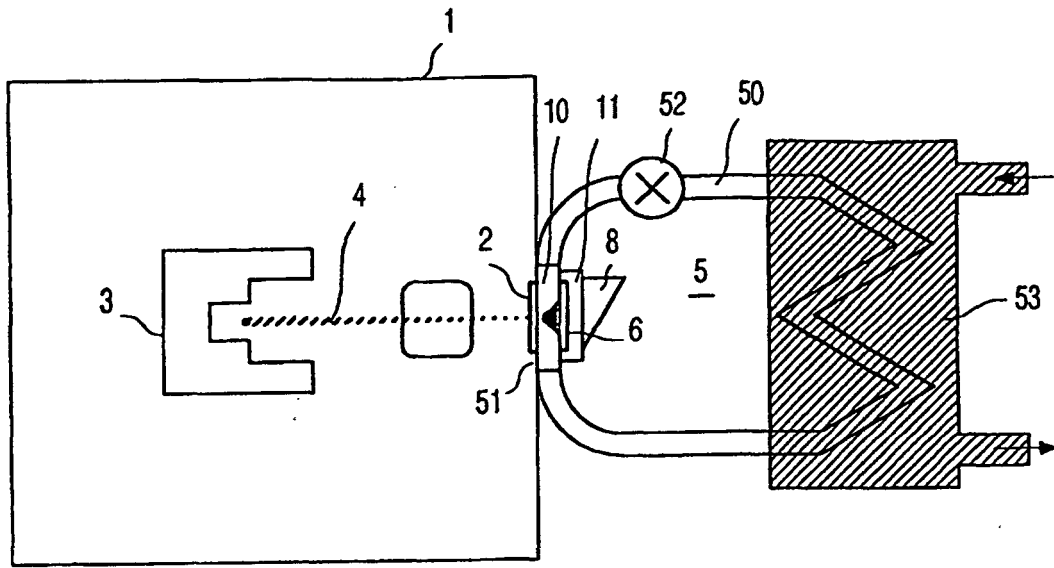


FIG. 1

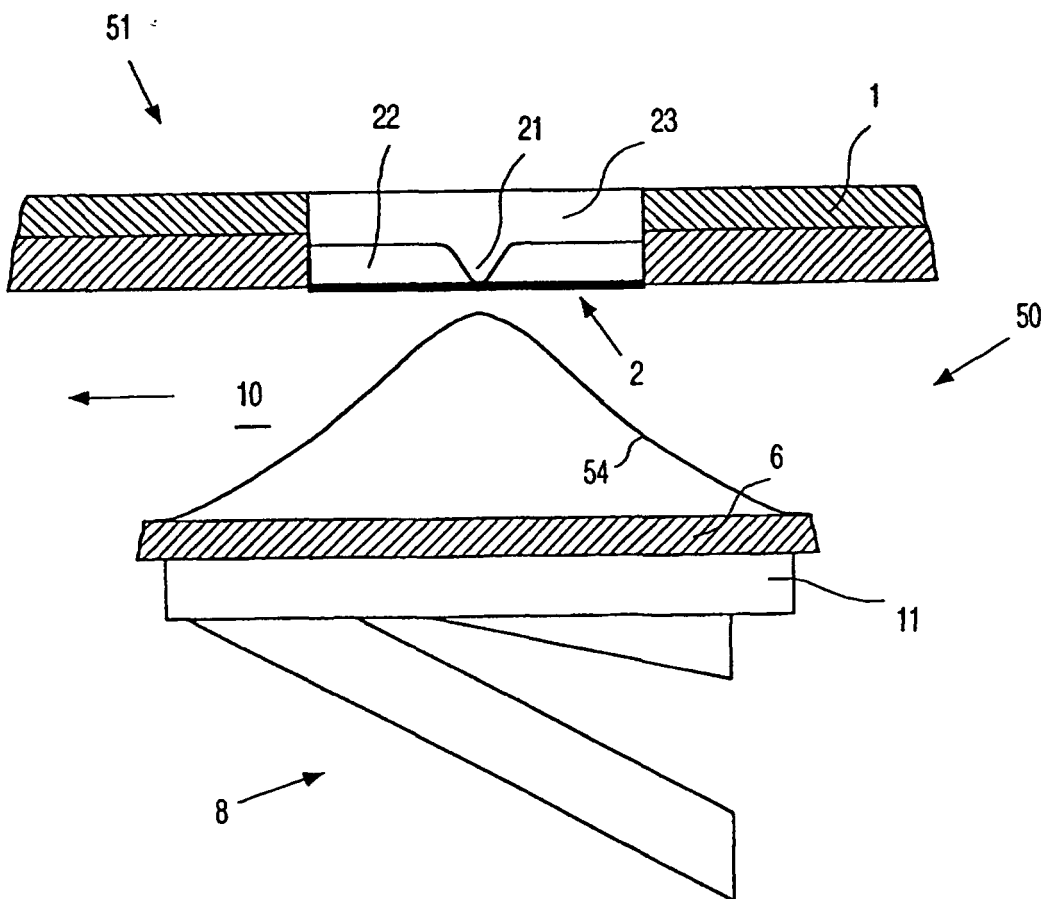


FIG. 2

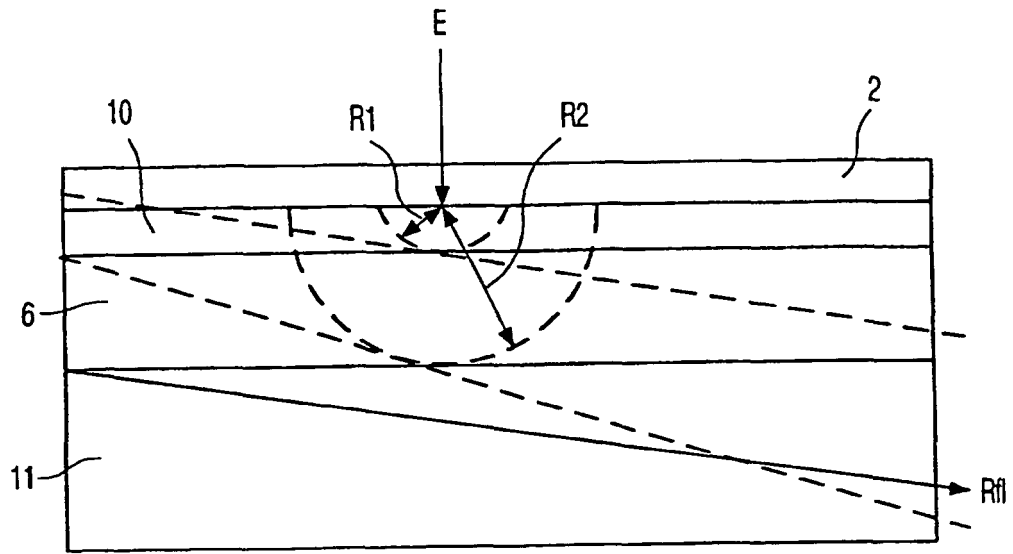


FIG. 3

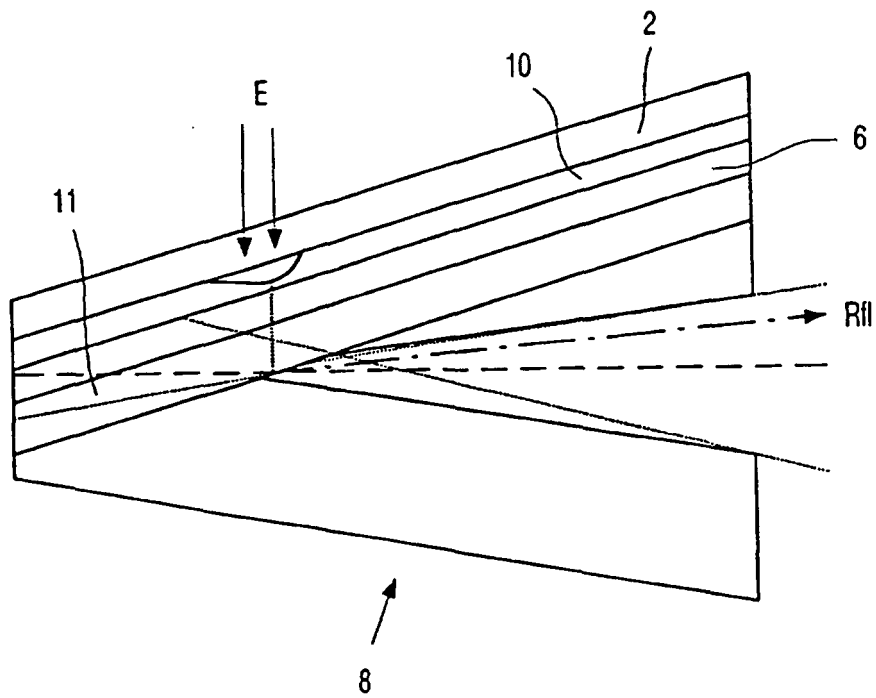


FIG. 4

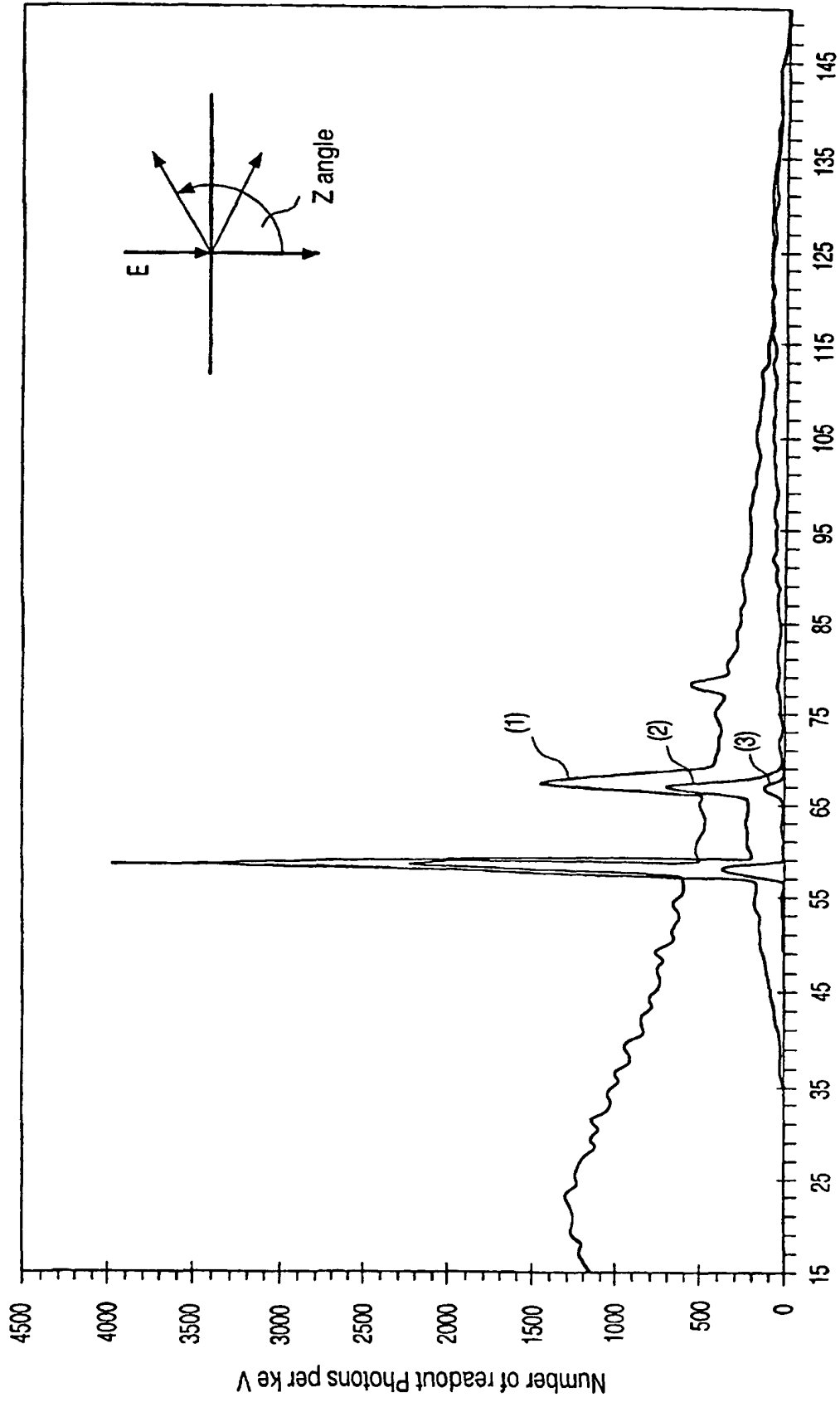


FIG. 5

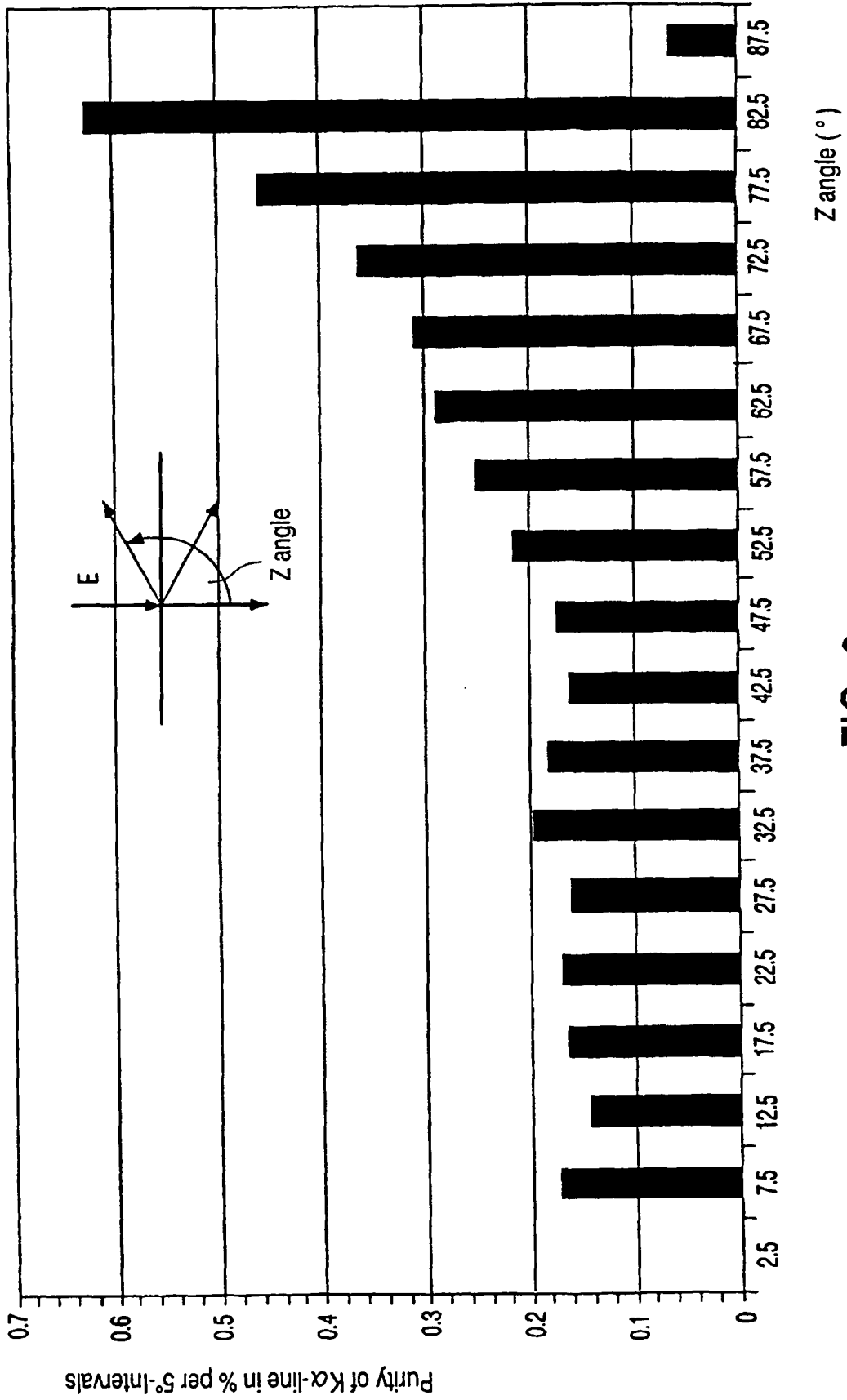


FIG. 6