(19) Europäisches Patentamt
European Patent Office
Office européen des brevets

(11) EP 1 028 449 B1

(12) # EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des Hinweises auf die Patenterteilung:
26.01.2005 Patentblatt 2005/04

(51) Int Cl.[7]: **H01J 35/08**

(21) Anmeldenummer: **00200428.1**

(22) Anmeldetag: **03.02.2000**

(54) **Röntgenröhre**

X-ray tube

Tube à rayons x

(84) Benannte Vertragsstaaten:
DE FR GB NL

(30) Priorität: **12.02.1999 DE 19905802**

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:
16.08.2000 Patentblatt 2000/33

(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**
52064 Aachen (DE)

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

(56) Entgegenhaltungen:

EP-A- 0 239 882	**EP-A- 0 777 255**
EP-A- 0 957 506	**DE-C- 890 246**
FR-A- 741 148	**SU-A- 1 368 924**
US-A- 1 946 336	**US-A- 2 665 390**
US-A- 2 923 852	**US-A- 4 538 291**

- **J.A.BEARDEN ET AL.: "design of a mercury vapor target x-ray tube" THE REVIEW OF SCIENTIFIC INSTRUMENTS, Bd. 35, Nr. 12, Dezember 1964 (1964-12), Seiten 1681-1683, XP002133830**
- **PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 008, no. 115 (E-247), 29. Mai 1984 (1984-05-29) & JP 59 029331 A (FUJITSU KK), 16. Februar 1984 (1984-02-16)**

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).

EP 1 028 449 B1

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft eine Röntgenröhre nach dem Oberbegriff des Anspruchs 1. Eine solche Röntgenröhre ist aus einem Aufsatz von Bearden et al. in Rev. Sci. Instr., Vol.35. Nur.12., p 1681-1683 bekannt. Das Target besteht dabei aus Quecksilber, das mittels eines Verdampfers Wärmequelle verdampft wird und durch eine Düse als Quecksilberdampfstrahl austritt, der von einem aus einer Kathode emittierter Elektronenstrahl getroffen wird, sodass Röntgenbremsstrahlung erzeugt wird, bevor der Quecksilberdampfstrahl wieder in einem Kühler verflüssigt und der Wärmequelle zugeführt wird. Der Dampfdruck des Quecksilber ist sehr gering, sodass nur wenig Röntgenstrahlung entseht. Gleichwohl ist u.a. eine Diffusionspumpe nötig, um zu verhindern, dass größere Mengen von Quecksilberdampf in den Kathodenraum gelangen, der über ein Loch von 3mm. Durchmesser mit dem Raum in Verbindung steht, durch den der Quecksilberdampfstrahl verläuft. Der Dampf würde nämlich die ohnehin geringe Lebensdauer noch weiter verkürzen und die Hochspannungsfestigkeit im Katodenraum beeinträchtigen. Wegen der nötigen Diffusionspumpen, des Verdampfers und des Kühlers für den Quecksilberdampf ist diese für Bremsstrahlungs-Studien benutzte Röntgenröhre teuer - trotz der geringen Ausbeute an Röntgenstrahlung und ihrer geringen Lebensdauer.

[0002] Eine leistungsfähigere Röntgenröhre ist zum Beispiel aus der DE 195 44 203 bekannt. Die mit einer Elektronenquelle (Kathode) erzeugten Elektronen werden in Richtung auf eine Anode beschleunigt und treten dort in einen sich konisch verengenden Durchtrittskanal ein, an dessen Ausgang sich ein Target aus Schwermetall befindet. Der Elektronenstrahl wird durch diese Anordnung mit einem sehr kleinen Fokus und einer relativ hohen Elektronendichte auf das Target gerichtet, so dass Röntgenstrahlen mit hohem Wirkungsgrad erzeugt werden.

[0003] Eine mit dieser Anordnung an sich mögliche, erhebliche Steigerung der Röntgenstrahldichte (das heißt der Anzahl der pro Flächeneinheit des Targets emittierten Photonen) im Vergleich zu bekannten Röntgenröhren wird jedoch durch die damit verbundene Erhöhung der Anodentemperatur begrenzt. Wenn diese Temperatur nämlich in den Bereich der Schmelztemperatur des Anodenmaterials gelangt, steigt der Dampfdruck an, so dass elektrische Entladungen zwischen Anode und Kathode auftreten können.

[0004] Weiterhin vermindert sich die thermische Leitfähigkeit der Anode mit steigender Temperatur. Dies führt wiederum dazu, dass die Wärmeleitung von dem Elektronen-Brennpunkt in und durch das Anodenmaterial geringer wird und die Temperatur im Brennpunkt weiter ansteigt, so dass die Schmelztemperatur des Anodenmaterials noch schneller erreicht und überschritten werden kann. Eine Zerstörung der Anodenoberfläche ist dann die unmittelbare Folge. Aus diesen Gründen muss sichergestellt sein, dass die Brennpunkts-Temperatur bei Röntgenröhren dieser Art etwa 1500°C nicht übersteigt, so dass in wesentlichem Maße auf die an sich mögliche weitere Steigerung der Röntgenstrahldichte verzichtet werden muss.

[0005] Da eine Verminderung der Anodentemperatur durch Strahlungskühlung infolge der elektromagnetischen Emission aus der Anode praktisch keine Rolle spielt, besteht nur die Möglichkeit, entweder die Anode zum Beispiel mit einem Kühlmittel (Wasser o.ä.) zu kühlen, oder diese ständig zu drehen, so dass der betreffende Bereich in dem Elektronen-Brennpunkt nur für eine relativ kurze Zeit erwärmt wird und sich dann wieder abkühlen kann.

[0006] Durch diese Maßnahme kann die Brennpunkts-Temperatur auf etwa 2200°C gesteigert werden, ohne dass die Anode beschädigt wird. Da die durch thermische Emission abgestrahlte Energie proportional zu der vierten Potenz der Anoden-Oberflächentemperatur ist, arbeiten solche Röhren mit sich drehender Anode im wesentlichen mit einer Strahlungskühlung. Die genannten Maßnahmen sind allerdings entweder relativ aufwendig oder nur von begrenzter Wirkung.

[0007] Der Erfindung liegt deshalb die Aufgabe zugrunde, eine Röntgenröhre der eingangs ge nannten Art zu schaffen, mit der eine wesentlich höhere Röntgenstrahldichte erzeugt werden kann. Diese Aufgabe wird durch die in Anspruch 1 angegebenen Maßnahmen gelöst.

[0008] Indem nun das Target von der Anode getrennt und weitgehend thermisch isoliert ist, kann die Elektronendichte im Brennpunkt des Elektronenstrahls wesentlich erhöht werden, so dass auch eine wesentlich höhere Röntgenstrahldichte erzielbar ist, ohne dass die Anodentemperatur unzulässig hohe Werte annimmt.

[0009] Da die Kammer durch das Eintrittsfenster gegenüber dem Kathodenraum abgeschlossen ist, durch den der Elektronennstrahl verläuft, kann mit einem Überdruck gearbeitet werden, der um mehrere Zehnerpotenzen höher ist als bei der eingangs genannten Röntgenröhre mit gasförmigen Target. Dadurch kann - auch bei höheren Röhrenspannungen - eine wesentlich höhere Röntgenstrahlen-Intensität erzielt werden, ohne dass die Gefahr besteht, dass die Lebensdauer der Röhre verkürzt und die Hochspannungsfestigkeit durch das gasförmige Target beeinträchtigt wird.

[0010] Als Material könnte dabei in der Kammer ein Edelgas mit einer ausreichend hohen Ordnungszahl vorhanden sein, z.B. Xenon, das sowohl im Betriebszustand als auch in den Betriebspausen gasförmig ist. Anspruch 2 beschreibt demgegenüber die Verwendung eines Schwermetalls, das in den Betriebspausen (d.h. bei etwa Zimmertemperatur) fest oder flüssig sein kann, und das sich im Betriebszustand (d.h. bei vergleichsweise hohen Temperaturen) in einem dampfförmigen Aggregatzustand befindet. Eine vorteilhafte Ausgestaltung ist in Anspruch 3 angegeben.

[0011] Das Eintrittsfenster gemäß Anspruch 4 und

insbesondere dessen Dimensionierung gemäß Anspruch 5 hat den Vorteil, dass einerseits die hindurchtretenden Elektronen einen Energieverlust von nur etwa fünf Prozent erleiden, und dass andererseits das Fenster Druckdifferenzen von bis zu 100 bar standhalten kann.

[0012] Eine Beschichtung des Eintrittsfensters gemäß Anspruch 6 oder 7 hat den Vorteil, dass es auch bei einer eventuellen unbeabsichtigten Erhöhung des Betriebsdruckes innerhalb der Kammer durch das Hochtemperatur-Plasma nicht angegriffen und eingetrübt wird.

[0013] Die Verwendung von Quecksilber mit der in Anspruch 3 genannten Menge hat einen besonders guten Wirkungsgrad zur Folge.

[0014] Weitere Einzelheiten, Merkmale und Vorteile der Erfindung ergeben sich aus der folgenden Beschreibung einer bevorzugten Ausführungsform anhand der Zeichnung. Es zeigt:

Fig. 1 einen schematischen Querschnitt durch eine solche Ausführungsform;
Fig. 2 eine Ansicht gemäß Pfeil A in Figur 1 und
Fig. 3 eine Ansicht gemäß Pfeil B in Figur 1.

[0015] Eine Röntgenröhre 1 weist gemäß Figur eine Kathode 2 und eine Anode 3 auf. Die Kathode umfaßt im wesentlichen Katodenkopf 20 mit einem Heizfaden 21 (Fig.2), der durch eine Stromversorgungseinrichtung (nicht dargestellt) mit einem entsprechenden Heizstrom beaufschlagt wird. Die der Kathode 2 gegenüberliegende Anode 3 ist im wesentlichen halbkreisförmig, so daß zwischen der Kathode 2 und der Anode 3 ein radiales elektrisches Feld erzeugt wird.

[0016] Durch die Anode 3 verläuft ein Kanal 4 mit einer Eintrittsöffnung 41 für die Elektronen, die der Kathode 2 gegenüberliegt. Der Kanal 4 ist mit seiner Austrittsöffnung 42 auf ein Diamantfenster 7 einer Kammer 6 gerichtet, die das Target enthält.

[0017] Die Eintrittsöffnung 41 des Kanals 4 ist größer, als die Austrittsöffnung 42. Der Kanal verengt sich in Richtung auf die Austrittsöffnung (konischer verlauf) und ist vorzugsweise derart angeordnet und ausgebildet, daß die in den Kanal eintretenden Elektronen unter einem Winkel von maximal 1° auf eine Oberfläche des Kanals treffen. In diesem Fall werden die Elektronen elastisch in Richtung auf die Austrittsöffnung 42 reflektiert, ohne daß durch diesen Aufprall bereits Röntgenstrahlung erzeugt wird und wesentliche Energieverluste auftreten. Auch dies trägt dazu bei, den Wirkungsgrad der Röntgenröhre zu erhöhen, da auch diejenigen Elektronen, die eine zu dem Heizfaden der Kathode tangentiale Geschwindigkeitskomponente aufweisen, in den Brennpunkt 51 gestreut werden.

[0018] Das Diamanrfensrer 7 der Kammer 6 hat vorzugsweise einen freien Durchmesser von 1 mm und eine Dicke von etwa 10 µm. Es ist bekannt (siehe Tabellen des Energieverlustes und der Reichweiten von Elektronen und Positronen in M.J. Berger und S.M. Seltzer, NBS/NSS Report 39, 1964), daß Elektronen mit einer Energie von etwa 200 keV beim Hindurchtreten durch ein solches Fenster einen Energieverlust von nur etwa 5% erleiden. Da ferner das Diamantmaterial eine niedrige Ordnungszahl (Z = 6) hat, werden die Elektronen beim Hindurchtreten durch das Fenster nur mit sehr kleinen Winkeln gestreut, so daß der Elektronenstrahl 5 im wesentlichen unbeeinflußt in die Kammer 6 eintritt.

[0019] Im Bereich der Austrittsöffnung 42 des Kanals 4 befindet sich schließlich eine Kühleinrichtung 8.

[0020] Im Betriebszustand emittiert die Kathode 2 in bekannter Weise Elektronen, die in dem radialen elektrischen Feld der Anode in Richtung auf diese beschleunigt werden und durch die Eintrittsöffnung 41 in den Kanal 4 eintreten. Der Kanal 4 wirkt als Kollimator und konzentriert die Elektronen in Form eines Elektronenstrahl 5 in einen Brennpunkt 51. Dieser Brennpunkt liegt innerhalb der Kammer 6, so daß das dort befindliche Targetmaterial (zum Beispiel Quecksilber) verdampft und der Druck in der Kammer bei der Betriebstemperatur der Röntgenröhre im wesentlichen dem in einer Hochdruck-Gasentlastungslampe (etwa 50 bar) entspricht.

[0021] Die Weglänge der Elektronen beträgt in einem Quecksilberdampf mit einem Druck von 50 bar mehrere Millimeter. Somit entsteht direkt hinter dem Diamantfenster ein linienartiger Brennpunkt mit einer Länge von etwa 5 mm in Ausbreitungsrichtung der Elektronen und einer Breite von etwa 2 mm senkrecht dazu

[0022] Der Betriebsdruck innerhalb der Kammer 6 sollte unter Berücksichtigung folgender Randwerte optimiert werden: wenn der Druck zu niedrig ist, diffundieren die Elektronen zu weit aus dem Brennpunktsbereich heraus, so daß der Brennpunkt relativ groß wird. Wenn der Druck andererseits zu hoch ist, liegt die Innenseite des Diamantfensters zu nahe an dem Hochtemperatur-Plasma, so daß sie möglicherweise davon angegriffen wird und eine Umwandlung in Kohlenstoff auftritt. Der Betriebsdruck sollte also zwischen diesen beiden Werten liegen.

Als zusätzliche Maßnahme kann das Diamantfenster auch mit einer oder mehreren dünnen Metallschichten zum Beispiel aus Titan und/oder Platin beschichtet werden, um auf diese Weise einen Schutz vor dem Plasma zu schaffen.

[0023] Figur 2 zeigt eine Draufsicht auf die Kathode 2 gemäß Pfeil "A" in Figur 1 und läßt den eigentlichen Heizfaden 21 erkennen. In Figur 3 ist schließlich eine Draufsicht auf die Anode 3 gemäß Pfeil "B" gezeigt, in deren Zentrum die Eintrittsöffnung 41 des Kanals 4 liegt.

[0024] Mit der erfindungsgemäßen Röntgenröhre kann eine wesentlich höhere Röntgenstrahldichte erzielt werden, ohne daß die Anode auf unzulässig hohe Werte erhitzt wird. Die in der Kammer 6 entstehende Wärme wird ausschließlich durch Strahlungskühlung abgeführt.

Patentansprüche

1. Röntgenröhre mit einer Einrichtung zur Erzeugung und Fokussierung eines Elektronenstrahls auf ein Target, das ein zumindest im Betriebszustand der Röntgenröhre gas- oder dampfförmiges Material enthält
dadurch gekennzeichnet, dass das gas- oder dampfförmiges Material des Targets unter Überdruck in einer für Röntgenstrahlung zumindest teilweise durchlässigen Kammer (6) eingeschlossen ist, die ein Eintrittsfenster (7) für den Eintritt des Elektronenstrahls (5) in die Kammer (6) aufweist.

2. Röntgenröhre nach Anspruch 1,
dadurch gekennzeichnet, daß das Target ein Schwermetall enthält.

3. Röntgenröhre nach Anspruch 2,
dadurch gekennzeichnet, daß das Schwermetall Quecksilber ist, dessen Menge so gewählt ist, daß es unter Einwirkung des Elektronenstrahls (5) verdampft und ein Gas mit einem Druck von etwa 50 bar bildet.

4. Röntgenröhre nach Anspruch 1,
dadurch gekennzeichnet, dass die Kammer (6) aus Quarzglas ist und das Eintrittsfenster (7) für den Elektronenstrahl (5) aus Diamant besteht.

5. Röntgenröhre nach Anspruch 4,
dadurch gekennzeichnet, daß das Eintrittsfenster (7) eine Dicke von etwa 10 µm und einen Durchmesser von etwa 10 mm aufweist.

6. Röntgenröhre nach Anspruch 4,
dadurch gekennzeichnet, daß das Eintrittsfenster (7) mit mindestens einer Metallschicht beschichtet ist.

7. Röntgenröhre nach Anspruch 6,
dadurch gekennzeichnet, daß die Metallschicht Titan oder Platin enthält.

8. Röntgenröhre nach Anspruch 1,
dadurch gekennzeichnet, daß die Einrichtung zur Erzeugung und Fokussierung eines Elektronenstrahls eine Kathode (2) und eine Anode (3) mit einem konischen Durchtrittskanal (4) aufweist, dessen der Kathode zugewandte Eintrittsöffnung (41) größer ist als seine Austrirrsöffnung (42), und der so angeordner und ausgebildet ist, daß die Elektronen unter einem Winkel von maximal etwa 1 Grad auf eine Oberfläche des Durchtrittskanals (4) treffen.

Claims

1. An X-ray tube which includes a device for generating and focusing an electron beam on a target containing a material that is gaseous or vaporous at least in the operating state of the X-ray tube, **characterized in that** the gaseous or vaporous material of the target is contained under overpressure in a chamber (6) which is at least partly permeable to X-rays, which chamber has an entrance window (7) for allowing the electron beam (5) to enter the chamber (6).

2. An X-ray tube as claimed in Claim 1, **characterized in that** the target contains a heavy metal.

3. An X-ray tube as claimed in Claim 2, **characterized in that** the heavy metal is mercury, the quantity of mercury being chosen to be such that it evaporates under the influence of the electron beam (5) and forms a gas with a pressure of approximately 50 bar.

4. An X-ray tube as claimed in Claim 1, **characterized in that** the chamber (6) is made of quartz glass and the entrance window (7) for the electron beam (5) is made of diamond.

5. An X-ray tube as claimed in Claim 4, **characterized in that** the entrance window (7) has a thickness of approximately 10µm and a diameter of approximately 10 mm.

6. An X-ray tube as claimed in Claim 4, **characterized in that** the entrance window (7) is coated with at least one metal layer.

7. An X-ray tube as claimed in Claim 6, **characterized in that** the metal layer contains titanium or platinum.

8. An X-ray tube as claimed in Claim 1, **characterized in that** the device for generating and focusing an electron beam includes a cathode (2) and an anode (3) with a conical channel duct (4) whose entrance (41) facing the cathode is larger than its exit (42), which channel is arranged and constructed in such a manner that the electrons are incident on a surface of the channel (4) at an angle of no more than approximately 1 degree.

Revendications

1. Tube à rayons X avec un dispositif de production et de focalisation d'un faisceau d'électrons sur une cible qui contient une matière sous forme de gaz ou de vapeur, du moins dans l'état de fonctionnement du tube à rayons X,
caractérisé en ce que la matière sous forme de

gaz ou de vapeur de la cible est renfermée en surpression dans une chambre (6) perméable, du moins en partie, aux rayons X qui présente une fenêtre d'entrée (7) pour l'entrée du faisceau d'électrons (5) dans la chambre (6).

2. Tube à rayons X selon la revendication 1, **caractérisé en ce que** la cible contient un métal lourd.

3. Tube à rayons X selon la revendication 2, **caractérisé en ce que** le métal lourd est du mercure dont la quantité est choisie de telle sorte que, sous l'action du faisceau d'électrons (5), il soit vaporisé et forme un gaz avec une pression d'environ 50 bars.

4. Tube à rayons X selon la revendication 1, **caractérisé en ce que** le chambre (6) se compose de verre de quartz et la fenêtre d'entrée (7) pour le faisceau d'électrons (5) se compose de diamant.

5. Tube à rayons X selon la revendication 5, **caractérisé en ce que** la fenêtre d'entrée (7) présente une épaisseur d'environ 10 µm et un diamètre d'environ 10 mm.

6. Tube à rayons X selon la revendication 4, **caractérisé en ce que** la fenêtre d'entrée (7) est revêtue d'au moins une couche métallique.

7. Tube à rayons X selon la revendication 6, **caractérisé en ce que** la couche métallique contient du titane ou du platine.

8. Tube à rayons X selon la revendication 1, **caractérisé en ce que** le dispositif pour la production et la focalisation d'un faisceau d'électrons présente une cathode (2) et une anode (3) avec un canal traversant conique (4) dont l'ouverture d'entrée (41) tournée vers la cathode est supérieure à son ouverture de sortie (42) et qui est disposée et conçue de telle sorte que les électrons frappent la surface du canal traversant (4) dans un angle d'environ 1 degré maximum.

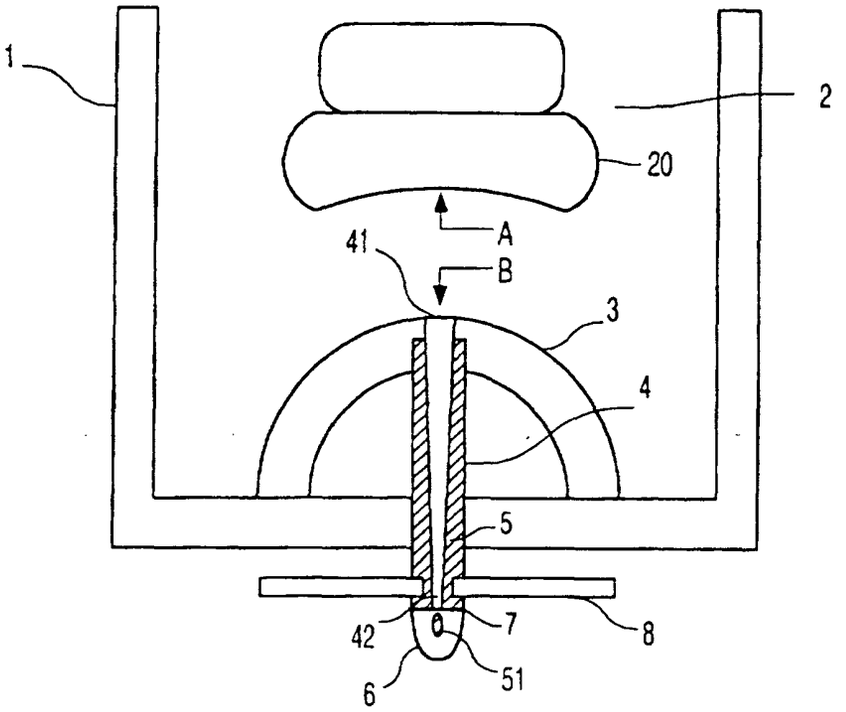


FIG. 1

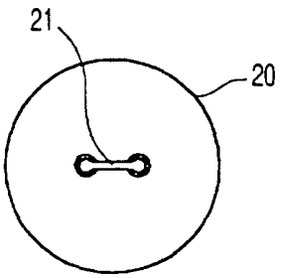


FIG. 2

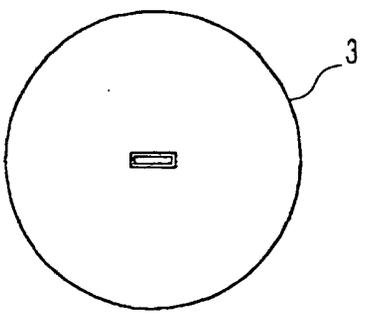


FIG. 3