



Erfindungspatent für die Schweiz und Liechtenstein  
Schweizerisch-liechtensteinischer Patentschutzvertrag vom 22. Dezember 1978

⑫ PATENTSCHRIFT A5

⑪

636 478

⑯ Gesuchsnr.: 4049/78

⑯ Inhaber:  
General Electric Company, Schenectady/NY  
(US)

⑯ Anmeldungsdatum: 14.04.1978

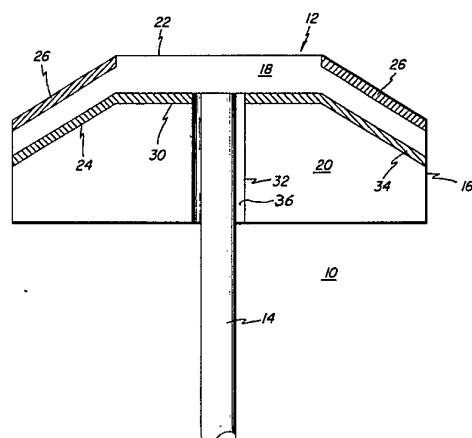
⑯ Erfinder:  
Thomas Maurice Devine, Schenectady/NY (US)

⑯ Patent erteilt: 31.05.1983

⑯ Vertreter:  
Dr. A.R. Egli & Co., Patentanwälte, Zürich

⑯ Rotierende Anode für eine Röntgenröhre.

⑯ Eine rotierende Anode für eine Röntgenröhre enthält einen Verbundkörper aus zwei Teilen (18, 20). Am ersten Teil (18) ist das Anodentarget (26) befestigt. Es besteht aus Wolfram, einer Wolframlegierung, Molybdän oder einer Molybdänlegierung. Am ersten Teil (18) ist das aus Graphit bestehende zweite Teil (20) befestigt. Eine Metallschicht (34), die ein nicht Carbid bildendes Material enthält, verbindet die beiden Teile miteinander. Als Material für die Metallschicht (34) eignen sich Platin, Palladium, Rhodium oder Ruthenium. Die Anode erlaubt höhere Energieabgaben, wodurch kurze Bestrahlungszeiten möglich sind.



## PATENTANSPRÜCHE

1. Rotierende Anode für eine Röntgenröhre, mit einer einen Verbundkörper einschliessenden Scheibe, dadurch gekennzeichnet, dass der Verbundkörper ein erstes Teil (18) mit zwei einander gegenüberliegenden Hauptoberflächen (22, 24) sowie ein aus Graphit bestehendes zweites Teil (20) aufweist, dass eine Wandung (32) einen bezüglich des zweiten Teils (20) zentral verlaufenden Durchgang (36) begrenzt, der sich durch das gesamte zweite Teil (20) erstreckt, dass ein Anodentarget (26) an einem ausgewählten Oberflächenbereich einer der beiden gegenüberliegenden Hauptoberflächen (22, 24) des ersten Teils (18) befestigt ist, dass eine Metallschicht (34) das zweite Teil (20) mit der gegenüberliegenden zweiten Hauptoberfläche (24) des ersten Teils (18) verbindet, wobei die Metallschicht überwiegend aus einem nicht Carbid bildenden Material besteht, welches ausserdem bis zu etwa 1300 °C praktisch keinen Kohlenstoff löst, mit der Ausnahme, dass eine partielle Löslichkeit von 1 bis 4 Atomprozent Kohlenstoff in der Metallschicht bei derjenigen Temperatur zulässig ist, welche zur Verbindung des ersten Teils (18) am zweiten Teil (20) erforderlich ist, und wobei das Material der Metallschicht (34) im Material des ersten Teils (18) löslich ist, und dass in einem zentral gelegenen Bereich der zweiten Hauptoberfläche (24) des ersten Teils (18) ein Fuss (14) befestigt ist, wobei sich der Fuss durch den gesamten Durchgang (36) des zweiten Teils (20) erstreckt und in einem Abstand von der den Durchgang (36) begrenzenden Wandung (32) verläuft.

2. Anode nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass das nicht Carbid bildende Material Platin, Palladium, Rhodium oder Ruthenium ist.

3. Anode nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass das nicht Carbid bildende Material Platin ist, dem bis zu 1 Gewichtsprozent Chrom zugesetzt worden ist.

4. Anode nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass das Material des ersten Teiles (18) Wolfram, eine Wolframlegierung, Molybdän oder eine Molybdänlegierung ist.

5. Anode nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, dass das Material des ersten Teiles Wolfram und das kein Carbid bildende Material Platin ist.

Die Erfindung bezieht sich auf eine rotierende Anode für eine Röntgenröhre, mit einer einen Verbundkörper einschliessenden Scheibe.

Die Langlebigkeit und Wirksamkeit von Röntgenröhren mit rotierender Anode kann dadurch verbessert werden, dass man Anodenscheiben verwendet, die eine grosse Wärmeaufnahmekapazität aufweisen und die Wärme rasch wieder abfliessen lassen. Graphit weist eine aussergewöhnlich hohe Wärme Kapazität verglichen mit Molybdän und Wolfram, den anderen zur Herstellung des Substrates der Scheibe verwendeten Materialien, auf. Bei 1000 °C beträgt das Verhältnis der Wärme Kapazität in relativen Einheiten von Graphit zu Molybdän 48:7,4 und von Graphit zu Wolfram 48:4,1. Das Strahlungsverhältnis bei 1000 °C beträgt in beiden Fällen 0,85:0,15. Die Schwierigkeit bei der Verwendung von Graphit als Substratmaterial besteht jedoch in der Verbindung des Anodentargets mit dem Graphitsubstrat.

Bekannte Anoden mit einem Graphitsubstrat verwenden Zirkonium oder Hafnium als geeignetes Material zum Verbinden des Anodentargets mit dem Graphitsubstrat. Diese beiden Materialien sind jedoch Carbidbildner, und es ergibt sich das Problem, wie man die Carbidbildung während des Verbindens und während der Lebenszeit der Anode von mindestens 10 000 Röntgenaufnahmen möglichst gering halten kann. Während

des Betriebes der Röntgenröhre wird die Anode zyklisch Temperaturen ausgesetzt, die in der Größenordnung von 1200 °C liegen, und daher ist die fortgesetzte Carbidbildung möglich. Die mechanischen Eigenschaften einer in einer solchen Anode gebildeten Carbidschicht können die Verwendung der Anode in Röntgenröhren mit rotierender Anode ausschliessen, die einem thermischen Zyklus mit grosser Amplitude ausgesetzt sind.

Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es, bekannte rotierende Anoden für Röntgenröhren dahingehend zu verbessern, dass hohe Energieabgaben sowohl für kurze als auch für längere Zeitspannen möglich sind, ohne vorzeitiges Versagen während des Betriebs befürchten zu müssen, wie dies bei bekannten Anoden dieser Art der Fall ist.

Diese Aufgabe wird für eine eingangs definierte Anode erfindungsgemäss durch die im kennzeichnenden Teil des Patentanspruchs 1 definierten Merkmale gelöst.

Mit der vorliegenden Erfindung ergibt sich ein Verbundsubstrat in Röntgenröhren mit einem ersten Teil, an dem das Anodentarget befestigt werden kann. Dieses erste Teil kann aus Wolfram, einer Wolframlegierung, Molybdän oder einer Molybdänlegierung bestehen.

An dem ersten Teil ist ein aus Graphit hergestelltes zweites Teil befestigt. Eine Metallschicht, die ein nicht Carbid bildendes Material einschliesst, verbindet die beiden Teile miteinander unter Bildung des Verbundsubstrates. Geeignete nicht Carbid bildende Materialien zur Verwendung in der Metallschicht sind Platin, Palladium, Rhodium und Ruthenium. Ist das Metall Platin, dann kann das Platin bis zu einem Gew.-% Chrom enthalten, obwohl das Chrom bekanntermassen die Carbidbildung unterstützt.

Im folgenden wird die Erfindung unter Bezugnahme auf die Zeichnung beispielsweise näher erläutert, in der eine Anode mit einem Verbundsubstrat zur Verwendung in einer Röntgenröhre mit rotierender Anode dargestellt ist.

Die Anode 10 weist eine Scheibe 12 auf, die auf geeignete Weise mit einem Fuss 14 verbunden ist, z.B. durch Schweißen, Löten oder auf ähnliche Weise. Die Scheibe 12 umfasst ein auch als Verbundkörper bezeichnetes Verbundsubstrat 16 aus einem ersten Teil 18, das mit einem zweiten Teil 20 aus Graphit verbunden ist.

Das erste Teil 18 weist eine schalenförmige Konfiguration mit zwei gegenüberliegenden Hauptoberflächen 22 und 24 auf, welche die äussere bzw. innere Oberfläche des ersten Teiles 18 bilden. Das erste Teil 18 umfasst einen zentralen Teil und einen einstückig damit verbundenen äusseren Teil. Ein Anodentarget 26 ist an einem ausgewählten Oberflächenbereich der äusseren Oberfläche 22 des äusseren Teiles verbunden. Das Material des ersten Teiles 18 ist entweder Wolfram, Molybdän oder eine geeignete Legierung eines dieser Metalle. Das Material des Anodentargets kann Wolfram, eine Legierung aus Wolfram und Rhenium und ähnliche Materialien umfassen. Ist das Material des Anodentargets 26 eine Legierung aus Wolfram und Rhenium, dann kann der Rheniumgehalt bis zu 25 Gew.-% betragen, liegt jedoch typischerweise zwischen 3 und 10 Gew.-%.

Das zweite Teil 20 ist aus Graphit hergestellt, das eine wirtschaftliche Erscheinungsform des Kohlenstoffes ist, und das geeignet ist zur zuverlässigen Herstellung des zweiten Teiles 20. Die Verwendung des Graphites verleiht der Scheibe 12 und der Anode 10 die gewünschten Merkmale einer hohen Wärmeaufnahme und einer stark ausgeprägten Wärmeabgabegenschaft. Das zweite Teil 20 weist eine Oberfläche 30 auf, die so ausgebildet ist, dass sie der inneren Oberfläche 22 des ersten Teiles 18 angepasst ist. Eine Wandung 32 begrenzt einen Durchgang 36, der sich durch das gesamte zweite Teil 20 erstreckt.

Das erste Teil 18 und das Anodentarget 26 können separat

hergestellt und dann mittels eines geeigneten Lötmaterials miteinander verbunden werden. Man kann aber auch eine pulvermetallurgische Technik dazu benutzen, das Anodentarget 26 und das erste Teil 18 als Einheit von vornherein herzustellen. Dazu ordnet man eine vorbestimmte Menge des pulverförmigen Metalls für das Anodentarget 26 in einem Werkzeug an. Dann gibt man das Molybdän- oder Wolframpulver zu dem Werkzeug hinzu. Die Metallpulver werden zur Bildung eines Presslings, der aus dem einstückig mit dem ersten Teil 18 verbundenen Anodentarget 26 besteht, zusammengepresst. Dieser Pressling wird dann gesintert und zur Herstellung des Endproduktes heiss geschmiedet.

Danach verbindet man den Fuss 14 mit dem ersten Teil 18 auf geeignete Weise, wie durch Trägheits- bzw. Schwerkraftschweissen, Löten oder auf ähnliche Weise. Ein geeignetes Material zum Herstellen des Fusses 14 kann Niob, Nb291, Nb103 oder Nb mit einem Prozent Zirkon sein. Die Nioblegierung Nb291 enthält, in Gew.-%, 10 W, 10 Ta und als Rest Nb. Die Nioblegierung Nb103 enthält, in Gew.-%, 10 Hf, 0,7 Zr, 1 Ti und als Rest Nb. Vorzugsweise weist der Fuss 14 eine nicht dargestellte innere Wandoberfläche auf, welche eine Innenkammer begrenzt und die Übertragung thermischer Energie über den Fuss 14 zu anderen Bestandteilen gering hält.

Das zweite Teil 20 ist an dem ersten Teil 18 so angeordnet, dass die Oberflächen 30 und 24 einander durch eine Metallschicht 34 getrennt gegenüberliegen. Der Fuss 14 erstreckt sich vollkommen durch den Durchgang 36 in dem Teil 20, der durch die Wand 32 begrenzt ist. Diese Wand 32 befindet sich im Abstand vom Fuss 14, um die Bildung von Carbiden im Metall des Fusses 14 zu verhindern, die ein vorzeitiges Ende seiner Gebrauchsduer verursachen könnte.

Das Material der Metallschicht 34 bildet keine Carbide. Dies ist von besonderem Interesse, wenn das Teil 18 Wolfram oder Molybdän umfasst. Weiter sollte in dem Material der Metallschicht 34 im Bereich der Betriebstemperaturen, die bis zu 1300 °C erreichen können, kein Kohlenstoff löslich sein. Eine partielle Löslichkeit von Kohlenstoff in dem Material der Metallschicht 34 bei sehr viel höheren Temperaturen ist zulässig, d.h. bei der Temperatur, die erforderlich ist, um die Teile 18 und 20 miteinander zu verbinden, ist eine Löslichkeit des Kohlenstoffes von 1 bis 4 Atomprozent im Material der Metallschicht 34 tolerierbar. Dieses Material der Metallschicht 34 sollte jedoch eine gewisse Löslichkeit im Wolfram und der Wolframlegierung des Teiles 18 haben.

Geeignete Materialien für die Metallschicht 34 sind Platin, Palladium, Rhodium, Osmium und Ruthenium. Alle diese Materialien bilden keine Carbide. Weiter ist jedes dieser Materialien in Wolfram und Molybdänlegierungen, die das Teil 18 bilden, löslich und hat überdies eine geringe Löslichkeit für Kohlenstoff. Im besonderen ist die Löslichkeit für Kohlenstoff bei der maximalen Betriebstemperatur von etwa 1300 °C einer rotierenden Anode praktisch null. Platin, Palladium, Rhodium, Osmium und Ruthenium bilden alle einfache eutektische Systeme mit Kohlenstoff. Für kommerzielle Anwendungen sind jedoch Platin und Palladium die allein für die Metallschicht 34 verwendbaren Materialien. Rhodium, Osmium und Ruthenium sind derzeit zur Verwendung als das Hauptmaterial für die Metallschicht 34 zu teuer, obwohl sie höhere Lötteperaturen als Platin und Palladium aufweisen.

Palladium ist als Material für die Metallschicht 34 geeignet, da es eine Minimaltemperatur von 1504 °C zum Verbinden mit dem Graphitteil bzw. die vorgenannte Temperatur als Kohlenstoff-Palladium-Eutektikum aufweist und ausserdem bei weniger als 1300 °C praktisch keine Löslichkeit für Kohlenstoff hat. Zwischen den Teilen 18 und 20 werden ausgezeichnete Bindungen erzielt. Da jedoch die maximale Betriebstemperatur der Anode 10 bei etwa 1300 °C liegt, ist

nur eine Sicherheitsgrenze von 200 °C vorhanden. Die Zuverlässigkeit der Anode mit einer Palladium-Metallschicht 34 ist daher geringer als wenn die Metallschicht 34 aus Platin besteht.

Das bevorzugte Material für die Metallschicht 34 ist daher derzeit Platin. Die Temperatur zum Verbinden des ersten Teiles 18 aus Platin mit dem Graphitteil 20 beträgt etwa 1800 °C. Die Minimaltemperatur bzw. die eutektische Temperatur für Kohlenstoff-Platin beträgt 1705 °C. Dies ergibt eine grössere Sicherheitsgrenze für den Betrieb der Anode, nämlich 400 °C. Unterhalb von 1500 °C hat die Platin-Metallschicht 34 keine Löslichkeit für Kohlenstoff. Die Metallschicht 34 aus Platin bildet daher eine ausgezeichnete Sperre gegen eine Diffusion von Kohlenstoff in das Teil 18 selbst bei der oberen Grenze des Betriebstemperaturbereiches von etwa 1300 °C.

Platinlegierungen können auch eingesetzt werden. Diese dürfen jedoch nicht in grosser Konzentration Elemente enthalten, welche bei der Verbindungstemperatur eine Carbidbildung oder eine zu grosse Kohlenstoffdiffusion bei dem Betriebstemperaturbereich der Röntgenröhre verursachen können. Obwohl Chrom ein Carbidbildner ist, kann Platin mit bis zu 1 Gew.-% Chrom als Material für die Metallschicht 34 eingesetzt werden.

Es können verschiedene Verfahren zur Herstellung der Metallschicht 34 aus Platin oder Platinlegierung angewandt werden. Nach dem einen Verfahren kann man den Graphit plattieren. Hierzu wird vorzugsweise ein Elektroplattieren angewandt. Eine Dicke von 0,006 bis zu etwa 0,025 mm ist bevorzugt. Das Platin kann aber auch durch Zerstäuben auf den Graphit aufgebracht werden. Nach dem Aufbringen des Platin wird der elektroplatierte Graphit für eine Dauer von etwa 3 Stunden im Vakuum auf eine Temperatur von etwa  $1200 \pm 20$  °C erhitzt, um den platierten Graphit zu entgasen.

Die Metallschicht 34 kann auch durch Verwenden von Platin oder einer Platinchromlegierung in Folienform aufgebracht werden. Die Dicke der Folie hängt einzig und allein von der Notwendigkeit ab, eine gute Verbindung sicherzustellen. Hierzu hat die Folie eine Dicke von mindestens etwa 0,012 mm. Bei einer Foliendicke von weniger als 0,012 mm kann mangels innigem Kontakt zwischen dem Teil 18 und dem Graphitteil 20 aufgrund der Unregelmässigkeiten an der Oberfläche dieser Teile eine unvollständige Bindung entstehen. Vorzugsweise hat die Folie eine Dicke von etwa 0,025 mm, um eine zuverlässige Verbindung durch die Metallschicht 34 sicherzustellen.

Die Anode 10 kann auf verschiedene Weise hergestellt werden. So kann man das bearbeitete erste Teil 18 einschliesslich des Anodentargets 26 auf dem platierten Graphitteil 20 anordnen und mit diesem bei einer erhöhten Temperatur von etwa 1800 °C verbinden. Man kann aber auch ein Sandwich aus dem Graphitteil 20, einer Folie aus Platin oder einer Platinchromlegierung und dem ersten Teil 18 zusammensetzen und bei etwa 1800 °C miteinander verbinden.

Ein bevorzugtes Verfahren zum Verbinden des ersten Teiles 18 mit dem Graphitteil 20 schliesst das Verwenden einer Sandwichkonfiguration aus einem platinplattierten Graphitteil 20, einer Folie und dem ersten Teil 18 ein. Die Folie ist auf der platierten Oberfläche des Graphitteiles 20 angeordnet. Das erste Teil 18 befindet sich auf der Folie. Die Bestandteile dieser Sandwichanordnung sind in geeigneter Weise zusammengehalten, so dass sich die zu verbindenden Oberflächen in aneinanderstossender Berührung miteinander befinden.

Die zusammengesetzten Bestandteile werden in einem Ofen mit einer gesteuerten Atmosphäre angeordnet. Diese Atmosphäre besteht aus Wasserstoff. Der Wasserstoff unterstützt das Benetzen der zu verbindenden Oberflächen durch Platin. Ausserdem wirkt der Wasserstoff als Reduktionsmittel für auf den zu verbindenden Oberflächen vorhandene Oxide.

Die zusammengelegten Bestandteile werden anfänglich im kältesten Teil eines Wasserstoffrohrofens angeordnet und für eine Dauer bis zu 30 Minuten vorerhitzt, um die Bestandteile zu akklimatisieren. Hierfür ist eine Minimalzeit von 10 Minuten erwünscht. Nach Abschluss des Vorerhitzens werden die Bestandteile in einen Teil des Ofens bewegt, in dem eine Temperatur von etwa  $1800 \pm 30$  °C herrscht. In diesem Teil des Ofens werden die zusammengelegten Bestandteile für eine ausreichende Zeit gehalten, um sie durch Verlöten mittels der Metallschicht 34 miteinander zu verbinden. Für dieses Verbinden hat sich eine Zeit von bis zu 10 Minuten und vorzugsweise etwa 3 Minuten als ausreichend erwiesen. Nach Abschluss des Verlöten wird die Anode 10 in die Abkühlzone des Rohrofens bewegt, wo sie für eine ausreichende Zeit verbleibt, um die Bestandteile abzukühlen und die Schmelze unter Bildung der Metallschicht 34 erstarrten zu lassen. Hierfür hat sich eine Zeit von etwa einer Stunde als ausreichend erwiesen, um die Scheibe von einer Temperatur von etwa 1000 °C soweit abzukühlen, dass sie aus dem Ofen herausgenommen werden kann.

Um die Güte der Verbindung zwischen Wolfram und Graphit zu veranschaulichen, wurde auf einer Oberfläche eines Graphitblockes mit einer Dicke von etwa 2,5 cm eine 0,025 mm dicke Platingschicht durch elektrochemische Abscheidung aufgebracht. Das plattierte Substrat wurde 3 Stunden lang bei  $1200 \pm 20$  °C entgast. Es wurde weiter ein Wolframteil hergestellt und eine Oberfläche davon mit Schleifpapier mit Schleifteilchen von maximal 20  $\mu$  Größe metallographisch poliert. Von einer Platinfolie wurde ein etwa 0,025 mm dickes Stück hergestellt.

Aus den vorgenannten Teilen setzte man eine Sandwichstruktur zusammen, bei der die Platinfolie auf der platinplatierten Oberfläche des Graphitblockes angeordnet wurde. Das

Wolframteil legte man auf die Platinfolie, so dass die polierte Oberfläche in Berührung mit der Platinfolie stand. Die so erhaltene Sandwichstruktur wurde fest zusammengepresst in einem Molybdäntiegel angeordnet und in das kälteste Ende eines Wasserstoffrohrofens eingeführt. Man liess die zusammengesetzten Bestandteile sich für 10 Minuten akklimatisieren und schob sie dann in den heißesten Teil des Rohrofens. Die mit einem optischen Pyrometer gemessene Temperatur in diesem heißesten Teil betrug  $1800 \pm 30$  °C. Man liess die Bestandteile für 3 Minuten in diesem heißesten Teil bleiben, um die Bestandteile miteinander zu verlöten. Danach bewegte man sie in eine kältere Zone des Ofens mit einer Temperatur von  $1000 \pm 20$  °C und liess sie dann 45 Minuten lang von dieser Temperatur sich abkühlen, bevor man sie aus dem Ofen herausnahm.

Nach dem Herausnehmen aus dem Ofen wurden die verlötenen Bestandteile visuell untersucht. Die Lötverbindung erschien in Ordnung. Dann zerschnitt man die verlöste Einheit aus den Bestandteilen und untersuchte die Wolfram/Platin/Kohlenstoff-Grenzfläche. Die Lötverbindung erwies sich als durch und durch in Ordnung. Verschiedene Abschnitte wurden Biegebelastungen ausgesetzt, bis ein Bruch auftrat. Alle Brüche traten entweder in dem Wolfram anoden-target oder im Graphitsubstrat auf, nie jedoch in den Platin/Wolfram- oder Platin/Graphit-Grenzflächen.

Mit der erfindungsgemäßen Scheibeneinheit kann man radiographische Techniken anwenden, die hohe Energieabgaben für kurze oder lange Dauer erfordern, ohne dass man ein vorzeitiges Versagen während der Benutzung befürchten muss, wie dies bei den bekannten Einheiten der Fall war. Dadurch, dass die neue Anode höhere Energieabgaben aushält, kann man Patienten kürzere Zeit bestrahlen.

