

(19)



(11)

EP 4 141 905 B1

(12)

EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des Hinweises auf die Patenterteilung:

19.02.2025 Patentblatt 2025/08

(51) Internationale Patentklassifikation (IPC):

H01J 35/12 ^(2006.01) **H05G 1/02** ^(2006.01)

(21) Anmeldenummer: **22189864.6**

(52) Gemeinsame Patentklassifikation (CPC):

H01J 35/13; H05G 1/02; H05G 1/025; H05G 1/08;
H01J 35/16; H01J 2235/0233

(22) Anmeldetag: **11.08.2022**

(54) **RÖNTGENRÖHRE MIT EINEM ISOLATIONSKÖRPER, DER EINEN GUSSKÖRPER UMFASST**

X-RAY TUBE WITH AN INSULATING BODY COMPRISING A CAST BODY

TUBE À RAYONS X DOTÉ D'UN CORPS ISOLANT COMPRENANT UN CORPS COULÉ

(84) Benannte Vertragsstaaten:

**AL 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 RS SE SI SK SM TR**

• **Hans, Karl**

21339 Lüneburg (DE)

• **Schmidt-May, Jenss**

25563 Wrist (DE)

• **Schlie, Moritz**

20537 Hamburg (DE)

(30) Priorität: **25.08.2021 DE 102021209350**

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:

01.03.2023 Patentblatt 2023/09

(74) Vertreter: **Kohler Schmid Möbus Patentanwälte**

Partnerschaftsgesellschaft mbB

Gropiusplatz 10

70563 Stuttgart (DE)

(73) Patentinhaber: **incoatec GmbH**

21502 Geesthacht (DE)

(56) Entgegenhaltungen:

EP-A1- 3 511 972 WO-A1-2008/148426

DE-C- 674 415 GB-A- 2 018 019

US-A- 2 790 102

(72) Erfinder:

• **Schulz, Torben**

21514 Büchen (DE)

EP 4 141 905 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 Röntgenröhre,

welche ein Kathodengehäuse mit einem Strahlungsaustrittsfenster, eine gekühlte Anode, eine Kathode, insbesondere Glühkathode, einen Isolationskörper zur elektrischen Isolation eines Hochspannungspotentials der Anode, eine Zulaufleitung für Kühlmittel zur Anode und eine Ablaufleitung für Kühlmittel von der Anode umfasst, und wobei im Isolationskörper die Zulaufleitung und die Ablaufleitung jeweils mehrere Windungen umfassen.

[0002] Eine solche Röntgenröhre ist aus der WO 2008/148426 A1 (= Referenz [1]) und aus der DE 674415 C bekannt geworden.

[0003] Röntgenstrahlung wird in vielfältiger Weise in der instrumentellen Analytik oder auch zur Fertigung von Bildaufnahmen von menschlichen und tierischen Patienten in der Medizin eingesetzt. Die Erzeugung von Röntgenstrahlung erfolgt typischerweise in einer Röntgenröhre durch Emission von Elektronen an einer elektrisch beheizten Glühkathode, und Beschleunigung der Elektronen im Vakuum durch ein elektrisches Feld auf eine Anode, an der Bremsstrahlung und charakteristische Röntgenstrahlung entsprechend dem verwendeten Target-Material der Anode (z. B. Wolfram, Molybdän oder Rhodium) freigesetzt wird.

[0004] Bei der Erzeugung von Röntgenstrahlung wird nur ein kleiner Teil, meist ungefähr 1 %, der eingesetzten Energie in Röntgenleistung umgesetzt. Der restliche Teil der eingesetzten Energie erzeugt Wärme. Um ein Aufschmelzen der Anode zu verhindern, ist es daher üblich, die Anode zu kühlen. Die Kühlung der Anode erfolgt in der Regel mit einem Kühlmittel, welches die Anode durchströmt. Das Kühlmittel wird hierbei durch Kühlkanäle innerhalb der Anode geleitet.

[0005] Während des Betriebs liegt typischerweise die Anode auf Hochspannungspotential. In Folge dessen ist eine elektrische Isolation der Anode notwendig. Die Anode kann auf einem elektrisch isolierenden Isolationskörper angeordnet werden. Durch den Isolationskörper verlaufen typischerweise auch Kühlmittelleitungen, mit denen die Anode mit dem Kühlmittel versorgt wird. Da das Kühlmittel in der Anode auch auf Hochspannung liegt, muss darauf geachtet werden, dass es über die Kühlmittelsäule nicht zu Spannungsdurchschlägen kommt, wofür die Länge der Kühlmittelsäule, die Leitfähigkeit bzw. Durchschlagfestigkeit des Kühlmittels und die angelegte Spannung passend gewählt werden müssen. Als Kühlmittel werden regelmäßig nur elektrisch gering leitende Kühlmittel, wie beispielsweise vollentsalztes Wasser (VE-Wasser) verwendet.

[0006] Die eingangs zitierte Referenz [1] zeigt eine Hochspannungs-Röntgenröhre, die eine Kathode und eine Anode sowie ein Anodenisolationselement umfasst.

Das Anodenisolationselement ist als Keramikkonus ausgebildet und umfasst eine Öffnung für einen Hochspannungsstecker. Ein Zwischenelement ist zwischen dem Anodenisolationselement und einem in die Öffnung für den Hochspannungsstecker eingeführten Hochspannungsstecker eingesetzt. Im Zwischenelement verlaufen ein Zuflusskanal und ein Abflusskanal, durch die eine Kühlflüssigkeit, insbesondere ein Kühlöl, zur Anode geleitet wird. Der Zufluss- und Abflusskanal können spiralförmig geführt sein. Für die Fertigung von Leitungsstrukturen werden Bohren und Gießen vorgeschlagen.

[0007] Werden der Zufluss- und der Abflusskanal spiralförmig ausgebildet, kann eine längere Isolationsstrecke in der Kühlflüssigkeit zur Verfügung gestellt werden. Jedoch sind spiralförmige Leitungsstrukturen innerhalb des Zwischenkörpers schwer in der Herstellung umzusetzen. Die Referenz [1] macht keine nähere Angaben dazu, wie insbesondere in dem Zwischenkörper spiralförmige Zulauf- und Ablaufleitungen gefertigt werden sollen.

[0008] Ein unpräzises Platzieren der Zulaufleitung und der Ablaufleitung in einem Isolationskörper, insbesondere ein zu geringer Abstand von Windungen zueinander oder zu einer Innenwand oder Außenwand des Isolationskörpers, kann zu Spannungsüberschlägen und einer Beschädigung der Röntgenröhre führen.

[0009] Aus der DE 10 2017 217 181 B3 (= Referenz [2]) und aus der US 10,714,300 B2 (= Referenz [3]) ist eine Stehanode für einen Röntgenstrahler bekannt geworden. Die Stehanode umfasst einen Anodengrundkörper. Im Anodengrundkörper liegen spiralförmig ausgebildete Kühlabschnitte vor, durch welche ein Kühlfluid zum Kühlen der Anode fließt.

[0010] Durch die spiralförmig ausgebildeten Kühlabschnitte kann der Anodengrundkörper besser gekühlt werden. Jedoch wird nicht weiter darauf eingegangen, wie ein Isolationskörper zur elektrischen Isolation des Anodengrundkörpers aussehen könnte und wie ein Zuflusskanal und ein Abflusskanal für das Kühlfluid ausgebildet sein könnten.

[0011] Eine weitere Röntgenröhre ist durch die Röntgenröhren der Serie OEG 9X der Varex Imaging Corporation, Salt Lake City, UT 84104, USA (zuvor Varian Medical Systems), bekannt geworden, vgl. die Firmendruckschrift "OEG-92J Industrial X-Ray tube", Version 2021 (=Referenz [4]). Eine Röntgenröhre dieser Serie umfasst im Wesentlichen eine auf Hochspannungspotential liegende Anode, die an einem ringförmigen, im Querschnitt doppelt U-förmigen Glaselement angebracht ist. An der der Anode abgewandten Unterseite des Glaselements schließt sich ein ölgefüllter Hohlkörper an. Eine Kühlmittelleitung führt im ölgefüllten Hohlkörper von einem hinteren Teil der Röntgenröhre durch das Glaselement hindurch zur Anode und wieder zurück in den hinteren Teil der Röntgenröhre. Die Kühlmittelleitung verläuft im hinteren Teil der Röntgenröhre mit Wendeln um einen Hochspannungsanschluss herum. Die Wendeln liegen axial aneinander und radial nach außen an

einer Plastikwand an.

[0012] Die Wendeln behalten im Öl eine gewisse Beweglichkeit, was Spannungsdurchschläge begünstigen kann. Die aneinander anliegenden Wendeln weisen zudem eine eher geringe Durchschlagfestigkeit auf. Es wird eine vergleichsweise große Länge der Kühlmittleitung benötigt, um Spannungsdurchbrüche zu vermeiden, und entsprechend weist diese Bauform eine relativ große Länge auf. Weiterhin kann bereits eine geringe Undichtigkeit des Hohlkörpers der Röntgenröhre dazu führen, dass Öl austritt und die übrige Röntgenröhre und die Umgebung verschmutzt werden. Diese Verschmutzungen mit Öl sind oftmals nur schwer zu entfernen.

[0013] Aus der DE 10 2008 017 153 A1 (=Referenz [5]) ist ein gekühlter Strahlungserzeuger bekannt geworden. Der Strahlungserzeuger umfasst ein Röhrenschutzgehäuse, welches mit einer Kühlflüssigkeit gefüllt ist. Im Inneren des mit der Kühlflüssigkeit gefüllten Röhrenschutzgehäuses ist eine Strahlungserzeugungsröhre mit einer Kathode und einer Anode angeordnet. Am Röhrenschutzgehäuse ist ein Strömungskanal ausgeformt, der mit einem Kühlmedium gefüllt ist. Mit dem Strömungskanal kann das Innere des Röhrenschutzgehäuses gekühlt werden. Das Kühlmedium wird über eine Zu- und Ableitung in den Strömungskanal hinein- und herausgeführt.

[0014] Aus der US 2012 / 0 076 278 A1 (=Referenz [6]) ist eine gekühlte Röntgenröhre bekannt geworden. Die Röntgenröhre umfasst ein Gehäuse, eine am Gehäuse angebrachte Kathodenbaugruppe mit einer Kathode, eine am Gehäuse angebrachte Statorbaugruppe mit einer rotierenden Anode sowie ein Röntgenfenster, welches an einem Fensterrahmen am Gehäuse angebracht ist. Im Gehäuse sowie in der Statorbaugruppe sind Flüssigkeits-Kühl-Kanäle ausgebildet. Über Anschlüsse am Gehäuse und der Statorbaugruppe kann Kühlmittel in die Flüssigkeits-Kühl-Kanäle ein- und ausgeleitet werden. Mittels des Kühlmittels kann das Gehäuse und die Statorbaugruppe gekühlt werden.

[0015] Aus der JP 2015-232 944 A (=Referenz [7]) ist eine Röntgenröhrenvorrichtung bekannt geworden, mit der eine Beschädigung einer Vakuumhülle der Röntgenröhrenvorrichtung verhindert werden kann. Die Röntgenröhrenvorrichtung umfasst eine Röntgenröhre, einen Spannungsrelaxationsfilm und ein Formteil. Die Röntgenröhre weist eine Kathode, eine Anode und die Vakuumhülle auf. Der Film wird auf die Außenfläche der Vakuumhülle geklebt. Das Formteil bedeckt die Vakuumhülle und den Film vollständig und ist mit diesen verklebt. Mittels des Spannungsrelaxationsfilms kann die von der Außenseite der Vakuumhülle einwirkende Spannung reduziert werden.

Aufgabe der Erfindung

[0016] Es ist die Aufgabe der vorliegenden Erfindung, eine einfach zu fertigende Röntgenröhre vorzustellen, mit der eine hohe elektrische Durchschlagfestigkeit und

ein kompakter Aufbau erreicht werden kann.

Beschreibung der Erfindung

[0017] Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß gelöst durch eine Röntgenröhre der eingangs genannten Art, die dadurch gekennzeichnet ist,

dass der Isolationskörper einen Keramikkörper und einen Gusskörper umfasst, wobei die Anode und das Kathodengehäuse auf dem Keramikkörper befestigt sind, und der Gusskörper am Keramikkörper befestigt ist,

dass der Gusskörper eine innere Gussform und zumindest zeitweise während der Herstellung der Röntgenröhre eine äußere Gussform umfasst, dass in einem Gussraum zwischen der äußeren Gussform und der inneren Gussform die Zulaufleitung und die Ablaufleitung jeweils mit einem Schlauch ausgebildet sind, der die mehreren Windungen ausbildet,

dass im Gussraum wenigstens ein Richtkörper aus Kunststoff angeordnet ist, mit dem die Schläuche im Gussraum ausgerichtet sind, so dass die Windungen der Schläuche jeweils von der äußeren Gussform und der inneren Gussform beabstandet sind, und dass der Gussraum mit einem Gussmaterial aus Kunststoff in einem ausgehärteten Zustand aufgefüllt ist, so dass die Zwischenräume zwischen den Windungen einerseits und der äußeren Gussform und der inneren Gussform andererseits von dem Kunststoff des wenigstens einen Richtkörpers und/oder dem Kunststoff des Gussmaterials eingenommen sind.

[0018] Die vorliegende Erfindung schlägt vor, wenigstens einen Richtkörper aus Kunststoff einzusetzen, um die Schläuche mit den mehreren Windungen im Gussraum anzuordnen. Der wenigstens eine Richtkörper ermöglicht eine definierte und exakte Anordnung der Schläuche im Gussraum, insbesondere während des Vergießens des Gussmaterials und bis das Gussmaterial ausgehärtet ist; danach wird die definierte und exakte Anordnung auch weiterhin beibehalten.

[0019] Der Richtkörper (Hilfskörper) führt und stabilisiert die Schläuche im Gussraum. Mit dem wenigstens einen Richtkörper können die Schläuche sicher und einfach so positioniert werden, dass die Schläuche weder die innere Gussform noch die äußere Gussform direkt berühren. Hierdurch können während des Betriebs der Röntgenröhre Überschlüsse von den Schläuchen bzw. dem darin enthaltenen Kühlmittel auf die innere und äußere Gussform (oder die Außenseite des aufgefüllten Gussraums) verhindert und somit eine Beschädigung der Röntgenröhre vermieden werden.

[0020] Die Richtkörper ermöglichen außerdem eine definierte, beispielsweise gleichmäßige, Anordnung der Schläuche, insbesondere in radialer Richtung und/o-

der axialer Richtung.

[0021] Dadurch, dass die Schläuche im Gusskörper exakt positioniert werden können, also die Positionierungstoleranzen klein sind, brauchen auch nur diese kleinen Positionierungstoleranzen bei der Auslegung der Röntgenröhre in Hinblick auf die im Betrieb gewünschte Hochspannung (und zugehörige Durchschlagfestigkeit) berücksichtigt zu werden. Insbesondere kann über die Richtkörper eine Mindestbeabstandung von Schlauchabschnitten sichergestellt werden. Mit anderen Worten, bei der Beabstandung der Schläuche von der inneren und äußeren Gussform, oder auch bevorzugt zwischen den Windungen der Schläuche untereinander, wird weniger Sicherheitsreserve benötigt. Dadurch kann der Platzbedarf der mehrfach gewundenen Schläuche reduziert werden und die Röntgenröhre noch kompakter gebaut werden, insbesondere je nach Bauform in radialer und/oder in axialer Richtung kompakter gebaut werden.

[0022] Die Zulaufleitung und die Ablaufleitung verlaufen im Allgemeinen im Wesentlichen jeweils helikal (helixförmig) um eine Röhrenachse der Röntgenröhre und bilden dabei eine Doppelhelixstruktur aus (d. h. die einzelnen Windungen können im Wechsel der Zulaufleitung und der Ablaufleitung zugeordnet werden); die Doppelhelix kann dabei zylindrisch (gerade) oder konisch (zulaufend) ausgebildet sein. Bevorzugt verlaufen die Zulaufleitung und die Ablaufleitung in gleichartiger (symmetrischer) Weise um die Röhrenachse, insbesondere mit gleicher (lokaler) Steigung und gleichem (lokalen) Radius, wobei die Zulaufleitung und die Ablaufleitung um 180° um die Röhrenachse zueinander verdreht angeordnet sind.

[0023] Das Gussmaterial aus Kunststoff wird im flüssigem Zustand in den Gussraum eingefüllt. Hierzu kann die Röntgenröhre beispielsweise so aufgestellt werden, dass die Anode zur Auflagefläche zeigt; eine in den Gussraum führende Öffnung zeigt in die entgegengesetzte Richtung nach oben. Das flüssige Gussmaterial kann sich im Gussraum (zwischen der inneren Gussform und der äußeren Gussform) gleichmäßig und ohne Bildung von Lücken oder Hohlräumen verteilen. Das Gussmaterial kann sich insbesondere auch zwischen den Schläuchen verteilen, die durch den wenigsten einen Richtkörper in Position gehalten werden.

[0024] Das Gussmaterial wird sodann ausgehärtet, was je nach Materialsystem beispielsweise durch Zuwarten und/oder Wärmebehandlung erfolgen kann, und behält im ausgehärteten Zustand seine Form. Falls gewünscht, kann im ausgehärteten Zustand des Gussmaterials die äußere Gussform vom übrigen Gusskörper (insbesondere von dem ausgehärteten Gussmaterial des aufgefüllten Gussraums) entfernt werden. Im ausgehärteten Zustand trennt das Gussmaterial aus Kunststoff - ggf. zusammen mit dem Kunststoffmaterial des wenigstens einen Richtkörpers - die Schläuche dauerhaft von den Wänden der inneren Gussform und der äußeren Gussform (bzw. der Außenseite des aufgefüll-

ten Gussraums) und bevorzugt auch die Schläuche voneinander, sodass eine Berührung der Schläuche mit den Wänden, und bevorzugt auch untereinander, nicht mehr möglich ist. Dadurch kann die Gefahr eines Überschlags zwischen den Schläuchen und den Wänden im Betrieb der Röntgenröhre minimiert werden; mit Gussmaterial zwischen den Schläuchen kann weiterhin das Gussmaterial auch dazu beitragen, die Gefahr von Spannungsüberschlägen zwischen den Schläuchen bzw. der benachbarten Windungen zu minimieren, wodurch ggf. die Dicke der Schlauchwände reduziert werden kann oder auch die Durchschlagfestigkeit des Schlauchmaterials weniger relevant wird. Weiterhin kann der Keramikkörper dicht und ohne Lücken oder Hohlräume mit dem Gusskörper verbunden werden; typischerweise wird bereits durch das Angießen des Gusskörpers an den Keramikkörper der Gusskörper gut am Keramikkörper mechanisch befestigt.

[0025] Das Gussmaterial weist als Kunststoff eine gute Durchschlagsfestigkeit auf, wodurch Überschläge und damit Schäden an den Bauteilen der Röntgenröhre bei kompaktem Bau vermieden werden können. Durch den Einsatz des Gussmaterials kann auf einen ölgefüllten Hohlkörper mit einem elektrisch isolierenden Öl verzichtet werden, durch den die Schläuche geführt werden. Das ausgehärtete Gussmaterial kann noch in gewissem Umfang flexibel ("weich") sein, ist aber nicht mehr fließfähig und insbesondere nicht mehr flüssig.

[0026] Die Anode kann auf einfache Weise und vakuumdicht auf dem Keramikkörper angebracht werden, beispielsweise durch Auflöten auf eine metallisierte Oberfläche des Keramikkörpers, oder durch temperatur- und vakuumbeständigen Aufkleben auf den Keramikkörper. Durch die Ausgestaltung des Keramikkörpers kann zudem die Kriechstrecke sowohl auf der Seite des Keramikkörpers, die der Anode zugewandt ist, als auch auf der Seite des Keramikkörpers, die dem Gusskörper zugewandt ist, angepasst werden und dadurch die Durchschlagsfestigkeit verbessert werden. Der Keramikkörper kann beispielsweise aus Al_2O_3 oder ZrO_2 gefertigt werden.

[0027] Die Schläuche weisen insbesondere für die Verlegung im Gussraum eine gewisse Biegsamkeit bzw. Flexibilität auf, wobei über den wenigstens einen Richtkörper eine Ausrichtung der Schläuche im Gussraum erfolgt. Die Schläuche weisen bevorzugt dabei ein Mindestmaß an Eigensteifigkeit auf, durch die der jeweilige Schlauch eine Grundgeometrie aufweist, die an die gewünschte Schlauchgeometrie in der Röntgenröhre angepasst ist. Weiterhin können die Innenwände der Schläuche so beschaffen sein, dass sie eine geringe Rauigkeit aufweisen und somit dem durch die Schläuche fließenden Kühlmittel einen geringen Flusswiderstand entgegenzusetzen. Hierdurch kann ein effizienter Zufluss und Abfluss von Kühlmittel zur Anode eingerichtet werden. Ebenso können die Innenwände des Schlauchs zu diesem Zweck zusätzlich beschichtet sein, insbesondere um die Oberflächenspannung zwischen dem Kühlmittel

und dem Schlauch einzustellen.

[0028] In der Regel ist es problemlos möglich, die Schläuche flüssigkeitsdicht auszugestalten. Hierdurch können Flüssigkeitslecks im Isolationskörper vermieden werden, die beispielsweise zu ungewollten Überschlängen im Isolationskörper führen könnten und damit die Bauteile der Röntgenröhre beschädigen könnten.

[0029] Als Kühlmittel kann beispielsweise vollentsalztes ("deionisiertes") Wasser (VE-Wasser), einfach destilliertes Wasser oder mehrfach destilliertes Wasser verwendet werden. Wasserbasierte Kühlmittel sind aufgrund ihrer hohen spezifischen Wärmekapazität bevorzugt; neben wasserbasierten Kühlmitteln können allerdings auch andere Kühlmittel eingesetzt werden, beispielsweise ein Öl, insbesondere Silikonöl. Bevorzugt hat das Kühlmittel einen geringen elektrischen Leitwert von weniger als 1 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Da die Länge der benötigten Kühlmittelsäule und damit die Länge der mit Kühlmittel gefüllten Schläuche unter anderem vom Leitwert des Kühlmediums abhängig ist, kann durch geeignete Wahl eines Kühlmittels mit einem geringen Leitwert die Länge der Schläuche verringert und damit der Platzbedarf der Röntgenröhre verringert werden.

[0030] Die erfindungsgemäße Röntgenröhre wird typischerweise mit der Kathode auf Masse gelegt (unbeschadet des Heizstroms der Kathode), und die Anode auf ein (positives) Hochspannungspotential. Im Rahmen der Erfindung ist auch möglich, die Kathode auf ein (negatives) Hochspannungspotential zu legen, falls gewünscht.

Bevorzugte Ausführungsformen der Erfindung

[0031] Bei einer bevorzugten Ausführungsform der erfindungsgemäßen Röntgenröhre ist vorgesehen, dass mit dem wenigstens einen Richtkörper weiterhin die Schläuche im Gussraum ausgerichtet sind, so dass auch die Windungen der Schläuche voneinander beabstandet sind,

und dass der Gussraum mit dem Gussmaterial weiterhin aufgefüllt ist, so dass auch die Zwischenräume zwischen den Windungen untereinander von dem Kunststoff des wenigstens einen Richtkörpers und/oder dem Kunststoff des Gussmaterials eingenommen sind. Durch den wenigstens einen Richtkörper können die Windungen der Schläuche zuverlässig und präzise im Gussraum voneinander beabstandet werden, insbesondere bezüglich der axialen Richtung. Zwischen den Windungen der Schläuche kann der Abstand so präzise eingestellt werden, dass es im Betrieb der Röntgenröhre bei gegebener Hochspannung zu keinen Überschlängen zwischen den Windungen der Schläuche bzw. des darin enthaltenen Kühlmittels und damit zur Beschädigung der Röntgenröhre kommt. Durch die präzise Ausrichtung kann der Platz in der Röntgenröhre bzw. in deren Isolationskörper effizient genutzt und damit der Platzbedarf der Schläuche gering gehalten werden. Die Röntgenröhre kann also noch kompakter ausgestaltet werden. Die Schläuche

können während des Auffüllens der Gussform durch das Gussmaterial mit den Richtkörpern sicher in ihrer Position und voneinander beabstandet gehalten werden. Beim Auffüllen der Gussform mit dem Gussmaterial in flüssigem Zustand kann sich das Gussmaterial in den Zwischenräumen der Windungen gleichmäßig und ohne Bildung von Lücken oder Hohlräumen verteilen.

[0032] Eine weitere bevorzugte Ausführungsform ist dadurch gekennzeichnet, dass der Keramikkörper an einer der Anode zugewandten Vorderseite eine umlaufende Vertiefung zwischen dem Kathodengehäuse und der Anode aufweist, und dass der Keramikkörper an einer dem Gusskörper zugewandten Rückseite des Keramikkörpers eine zentrale Rücknehmung aufweist. Die umlaufende Vertiefung verlängert den Weg zwischen der Anode und dem Kathodengehäuse (das geerdet ist) an der Vorderseite des Keramikkörpers, wodurch eine lange Kriechstrecke eingerichtet ist. Die zentrale Rücknehmung verlängert den Weg zwischen mit der Anode verbundenen Strukturen, die durch den Keramikkörper führen (typischerweise eine Hochspannungsdurchführung und meist auch Röhrchen für die Kühlflüssigkeit) und der Außenseite des Isolationskörpers (die in der Regel geerdet ist) an der Rückseite des Keramikkörpers, wodurch eine lange Kriechstrecke zwischen Keramikkörper und Gusskörper eingerichtet ist. Im Längsschnitt kann der Keramikkörper dann näherungsweise W-förmig ausgebildet sein; der Keramikkörper wird aufgrund der mehreren Vertiefungen dann auch als Kronen-förmig bezeichnet. Die umlaufende Vertiefung ist (auf jeder Seite im Längsschnitt) typischerweise V-förmig oder U-förmig, und die zentrale Rücknehmung ist ebenfalls typischerweise (umgekehrt) V-förmig oder U-förmig im Längsschnitt entlang der Röhrenachse. Man beachte, dass in manchen Ausführungsformen nur die zentrale Rücknehmung vorgesehen ist, und in anderen Ausführungsformen sowohl die umlaufende Vertiefung als auch die zentrale Rücknehmung vorgesehen ist.

[0033] Bei einer bevorzugten Weiterbildung dieser Ausführungsform sind die Schläuche teilweise in einem Bereich der zentralen Rücknehmung des Keramikkörpers angeordnet, insbesondere wobei jeweils wenigstens eine halbe Windung der Schläuche und/oder wenigstens 10% der Länge der Schläuche in der zentralen Rücknehmung des Keramikkörpers angeordnet ist. Dadurch können der Raum der Rücknehmung effizient genutzt und die Schläuche näher bei der Anode angeschlossen werden (etwa an Röhrchen/Rohrstutzen, die durch den Keramikkörper ragen), und so die Länge der Schläuche und damit der Weg für das Abfallen der Hochspannung der Anode verlängert werden. Die Rücknehmung reicht typischerweise in Richtung der Röhrenachse über wenigstens 50% der axialen Ausdehnung des Keramikkörpers in diesen hinein. Die Rücknehmung kann konisch geformt sein, bevorzugt wobei der weiteste Radius der Rücknehmung an der Rückseite des Keramikkörpers sich über wenigstens 2/3 des äußeren Radius des Keramikkörpers an dessen Rückseite erstreckt.

[0034] Weiterhin bevorzugt ist eine Ausführungsform, bei der die innere Gussform als eine Buchse für einen Hochspannungsstecker zum Anschließen an die Anode ausgebildet ist. Mittels der Buchse und dem Hochspannungsstecker kann auf einfache, insbesondere reversible Weise der Anschluss der Anode an die Hochspannung erfolgen. Durch die Buchse, die aus elektrisch isolierendem Material (meist einem Kunststoff) gefertigt ist, kann eine nötige Kriechstrecke zur Verfügung gestellt werden, um Überschläge durch die angelegte Hochspannung von einem Anschlusspol (meist am Buchsengrund) auf die geerdeten Teile der Röntgenröhre (etwa die Kühlmittelanschlüsse) oder den Kabelschirm zu verhindern. Außerdem kann durch die Buchse der Hochspannungsanschluss des Hochspannungssteckers (der im angeschlossenen Zustand in die Buchse einragt und den Anschlusspol kontaktiert) vor einer versehentlichen Berührung geschützt werden. Die Buchse befindet sich typischerweise an der der Anode abgewandten Seite des Isolationskörpers radial zentral im Gusskörper, und bevorzugt verlaufen die Zulaufleitung und die Ablaufleitung auch um die Buchse herum, wodurch ein besonders kompakter und ein elektrostatisch stabiler koaxialer Aufbau der Hochspannungs-Potentiale erreicht werden kann.

[0035] Ebenso bevorzugt ist eine alternative Ausführungsform, die dadurch gekennzeichnet ist, dass die innere Gussform als ein Kabel ausgebildet ist, welches einen isolierenden Mantel und eine im Mantel verlaufende Seele umfasst, an welche die Anode angeschlossen ist. Diese Ausführungsform ist besonders kostengünstig, und kann einen noch kompakteren Aufbau erreichen, insbesondere in radialer Richtung. Das Kabel kann direkt mit dem Gussmaterial vergossen werden.

[0036] Besonders bevorzugt ist eine Ausführungsform, bei der der wenigstens eine Richtkörper und das Gussmaterial aus dem gleichen Kunststoff bestehen. Durch den Einsatz des gleichen Kunststoffs für den oder die Richtkörper und das Gussmaterial wird eine besonders gute Anbindung zwischen Richtkörper und Gussmaterial erzielt. Es ergibt sich ein weitgehend monolithischer Gusskörper mit definiert innenliegend verlaufenden Schläuchen für das Kühlmittel. Verwerfungen von Feldlinien an der Grenzfläche zwischen Richtkörper und Gussmaterial sind minimiert, und ebenso sind Kriechströme an diesen Grenzflächen minimiert. Der Aufbau des Gusskörpers ist dadurch weit weniger anfällig für Spannungsdurchschläge. Durch die Verwendung der gleichen Kunststoffe für den oder die Richtkörper und das Gussmaterial kann aufgrund der verbesserten Durchschlagsfestigkeit der Aufbau der Röntgenröhre noch deutlich kompakter werden.

[0037] Bei einer bevorzugten Weiterbildung dieser Ausführungsform umfasst der Kunststoff des Gussmaterials ein Silikon oder ein Epoxidharz oder ein Polyurethan. Diese Kunststoffe haben sich in der Praxis besonders bewährt. Die Kunststoffe sind günstig in der Anschaffung, können im flüssigen Zustand leicht vergossen

werden, sind aushärtbar und weisen gute elektrische Isolationseigenschaften auf. Zudem unterliegen diese Materialien nur geringen Alterungseffekten (insbesondere im Vergleich zu Isolationsöl).

[0038] Bei einer besonders bevorzugten Ausführungsform ist vorgesehen, dass im Gussraum mehrere Richtkörper angeordnet sind,

insbesondere wobei die Richtkörper jeweils

- zwischen der inneren Gussform und der äußeren Gussform
- und/oder zwischen den Schläuchen einerseits und der inneren Gussform oder der äußeren Gussform andererseits

eingeklemmt angeordnet sind. Durch die Nutzung mehrerer Richtkörper lassen sich die Schläuche noch besser im Gussraum ausrichten und können besonders leicht in Position gehalten werden. Durch Verklemmung der Richtkörper an den Schläuchen und den Gussformen ist auf einfache Weise ein sicherer Halt der Richtkörper, insbesondere für den Gussvorgang, möglich. Es ist alternativ auch möglich, dass sich die Richtkörper aneinander und zumindest an der äußeren Gussform klemmend abstützen. Allgemein liegen die Richtkörper an den Schläuchen an, um diese (während des Gussprozesses) ausgerichtet zu halten.

[0039] Vorteilhaft ist eine Weiterbildung dieser Ausführungsform, bei der in einer jeweiligen Schnittebene senkrecht zu einer Röhrenachse der Röntgenröhre die Richtkörper an Winkelpositionen angeordnet sind, wobei die Winkelpositionen eine drehsymmetrische Anordnung bezüglich der Röhrenachse bilden. Durch die drehsymmetrische Anordnung der Richtkörper können diese gleichmäßig von mehreren Richtungen auf die Schläuche einwirken, so dass die Schläuche über den Umfang ihrer Windungen näherungsweise gleichmäßig mit radialer Kraft (Klemmkraft) beaufschlagt werden und/oder radial ausgerichtet werden. Hierdurch können Unrundheiten der Windungen minimiert werden und die Schläuche besonders stabil durch die Richtkörper gestützt werden.

[0040] Vorteilhaft ist auch eine Weiterentwicklung dieser Weiterbildung, die dadurch gekennzeichnet ist, dass N Richtkörper die Schläuche zum inneren Gusskörper hin abstützen, und N Richtkörper die Schläuche zum äußeren Gusskörper hin abstützen, und die drehsymmetrische Anordnung der Winkelpositionen eine N-fache Zähligkeit aufweist, wobei N eine natürliche Zahl mit $N \geq 2$ ist. Diese Verteilung der Richtkörper hat sich in der Praxis besonders bewährt. Die Schläuche können hierdurch im Gussraum besonders genau positioniert und gut in Position gehalten werden.

[0041] Ebenso vorteilhaft ist dabei, wenn die N Richtkörper, die die Schläuche zum inneren Gusskörper hin

abstützen, und die N Richtkörper, die die Schläuche zum äußeren Gusskörper hin abstützen, bezüglich der Röhrenachse in einer jeweiligen Schnittebene angeordnet sind

- an identischen Winkelpositionen, oder
- an um $360^\circ/(2 \cdot N)$ zueinander versetzten Winkelpositionen. Die Positionierung der Richtkörper an identischen Winkelpositionen ermöglicht ein besonders einfaches Einklemmen eines jeweiligen Schlauchabschnitts zwischen den sich gegenüberliegenden Richtkörpern; hierdurch kann auch eine sehr genaue Ausrichtung der Schläuche erfolgen, insbesondere mit minimierten Stauchungen der Windungen. In manchen Ausführungsformen kann bei identischen Winkelpositionen von Richtkörpern auch vorgesehen sein, dass die Richtkörper sich gegenseitig abstützen. Durch die Positionierung der Richtkörper an unterschiedlichen Winkelpositionen kann die Ausrichtung der Schläuche in Umfangsrichtung an besonders vielen Stellen erfolgen, wodurch die Ausrichtung der Schläuche insbesondere in axialer Richtung besonders präzise gestaltet werden kann. Man beachte, dass die N Richtkörper, die die Schläuche zum inneren Gusskörper hin abstützen, und die N Richtkörper, die die Schläuche zum äußeren Gusskörper hin abstützen, bei Anordnung an identischer Winkelposition einstückig (etwa als Lochplatte) oder auch mehrstückig (etwa als gegenüberliegende Nutenriegel) ausgebildet sein können.

[0042] Bevorzugt ist auch eine Ausführungsform, bei der ein oder mehrere Richtkörper des wenigstens einen Richtkörpers ausgebildet sind als eine Lochplatte, umfassend eine Platte und mehrere Löcher in der Platte, durch die die Schläuche geführt sind, insbesondere wobei eine jeweilige Lochplatte zwischen der inneren Gussform und der äußeren Gussform eingeklemmt angeordnet ist. Solche Lochplatten sind einfach zu fertigen und einfach in der Gussform positionierbar. Die Schläuche werden durch die Löcher der Lochplatte geführt (typischerweise bevor die Lochplatte und die Schläuche zwischen der äußeren Gussform und der inneren Gussform angeordnet werden). Eine gleichmäßige Anordnung der Schläuche ist durch die vorgegebene Struktur der Lochplatte problemlos möglich. Über die Abstände der einzelnen Löcher zueinander kann der Abstand zwischen den Schläuchen eingestellt werden. Ebenso kann über den Abstand der Löcher zu den Seitenkanten der Lochplatte der Abstand der Schläuche zur inneren und äußeren Gussform eingestellt werden, wenn die Seitenkanten im eingeklemmten Zustand an der inneren und äußeren Gussform anliegen.

[0043] Vorteilhaft ist eine weitere Ausführungsform, die dadurch gekennzeichnet ist, dass ein oder mehrere Richtkörper des wenigstens einen Richtkörpers ausgebildet sind als ein Nutenriegel, umfassend einen Riegel und mehrere Nuten, insbesondere halbrunde Nuten, in

die die Schläuche eingelegt sind, insbesondere wobei ein jeweiliger Nutenriegel zwischen den Schläuchen einerseits und der inneren Gussform oder der äußeren Gussform andererseits eingeklemmt angeordnet ist. Solche Nutenriegel sind besonders einfach zu fertigen. Die Nutenriegel können einfach und flexibel an der inneren Gussform und/oder der äußeren Gussform angeordnet werden. Die Schläuche werden in die Nuten der Nutenriegel eingelegt und dadurch ausgerichtet. Durch Verkleben der Nutenriegel zwischen den Schläuchen und einer der Gussformen können die Nutenriegel für den Gießvorgang auf einfache Weise fixiert werden.

[0044] Bei einer vorteilhaften Weiterbildung dieser Ausführungsform sind jeweils Nutenriegel, die Schläuche zum inneren Gusskörper hin abstützen, und Nutenriegel, die Schläuche zum äußeren Gusskörper hin abstützen, paarweise einander gegenüber liegend angeordnet sind. Hierdurch können die Schläuche auf einfache Weise exakt in Position gehalten werden, insbesondere wobei die Schläuche zwischen den gegenüberliegenden Nutenriegeln eingeklemmt werden. Bei entsprechender Größe der Nutenriegel können sich die Nutenriegel auch gegenseitig abstützen.

[0045] Ebenso vorteilhaft ist eine Ausführungsform, in der die Windungen der Schläuche um eine Röhrenachse gewunden sind und entlang einer Röhrenachse aufgereiht sind. Auf diese Weise lassen sich die Schläuche einfach anordnen. Die Windungen der Schläuche können platzsparend angeordnet werden.

[0046] Vorteilhaft ist auch eine Weiterbildung dieser Ausführungsform, bei der die Windungen bezüglich der Röhrenachse einen konstanten Radius aufweisen, insbesondere wobei die äußere Gussform und die innere Gussform im Wesentlichen zylindermantelförmig und koaxial zur Röhrenachse ausgebildet sind, so dass die Windungen einen konstanten radialen Abstand zur äußeren Gussform aufweisen und weiterhin die Windungen einen konstanten radialen Abstand zur inneren Gussform aufweisen. Dies kann in der Praxis besonders einfach und exakt eingerichtet werden.

[0047] Besonders vorteilhaft ist eine Weiterentwicklung dieser Weiterbildung, in der die Windungen in axialer Richtung einen konstanten Abstand zueinander aufweisen. Auch dies lässt sich in der Praxis einfach und exakt einrichten. Die konstanten (gleichmäßigen) Abstände der Windungen der Schläuche, bei gleichzeitig konstantem Radius der Windungen, verteilt den Spannungsabfall über die Länge der Kühlmittelsäule gleichmäßig über alle Windungen; die Potentialdifferenz zwischen benachbarten Windungen (an jeweils gleichen Winkelpositionen) ist für alle Windungen gleich. Dadurch kann eine optimale Raumausnutzung im Gusskörper bei einer gewünschten Durchschlagfestigkeit zwischen den Windungen der Schläuche erreicht werden.

[0048] Weiterhin vorteilhaft ist eine alternative Weiterbildung der obigen Ausführungsform, bei der die Windungen bezüglich der Röhrenachse einen Radius aufwei-

sen, der von der Anode weg zunimmt, insbesondere wobei die äußere Gussform und die innere Gussform im Wesentlichen zylindermantelförmig und koaxial zur Röhrenachse ausgebildet sind, so dass die Windungen einen von der Anode weg abnehmenden radialen Abstand zur äußeren Gussform aufweisen und weiterhin die Windungen einen von der Anode weg zunehmenden radialen Abstand zur inneren Gussform aufweisen. In den Schlauchabschnitten, die bezüglich des Kühlmittelpfades nahe der Anode sind, herrscht noch ein vergleichsweise hohes Potential. Durch den nahe der Anode noch kleinen Radius der Windungen wird hier ein größerer radialer Abstand zur äußeren Gussform (die typischerweise Kontakt zur Masse hat) eingehalten, so dass eine bessere Durchschlagfestigkeit in diesem Bereich erreicht wird. Umgekehrt ist in den Schlauchabschnitten, die bezüglich des Kühlmittelpfades fern der Anode sind, nur noch ein niedriges (näher an der Masse liegendes) Potential vorhanden. Durch den fern der Anode großen Radius der Windungen wird hier ein größerer radialer Abstand zur inneren Gussform (in deren Innerem im Betrieb ein das Hochspannungspotential führender Leiter angeordnet ist) eingehalten, so dass eine bessere Durchschlagfestigkeit auch in diesem Bereich erreicht wird. Dadurch kann der Bauraum in der Röntgenröhre optimal genutzt werden.

[0049] Vorteilhaft ist auch eine Weiterentwicklung dieser Weiterbildung, die dadurch gekennzeichnet ist, dass die Windungen

- einen konstanten axialen Abstand zueinander
- oder einen von der Anode weg zunehmenden axialen Abstand zueinander aufweisen. Ein konstanter axiale Abstand der Windungen zueinander kann besonders einfach eingerichtet werden. Durch einen von der Anode weg zunehmenden axialen Abstand der Windungen zueinander, bei gleichzeitig zunehmendem Radius der Windungen, kann die Durchschlagfestigkeit noch weiter verbessert werden. Durch den von der Anode weg zunehmenden Radius der Windungen erhöht sich der Spannungsabfall über das Kühlmittel pro Windung von der Anode weg. Dadurch erhöht sich die Potentialdifferenz zwischen benachbarten Windungen (an jeweils gleichen Winkelpositionen) von der Anode weg, was die Gefahr von Spannungsüberschlägen erhöht. Durch den von der Anode weg zunehmenden axialen Abstand kann dies bezüglich der Durchschlagfestigkeit (zumindest teilweise) kompensiert werden. Bevorzugt verhalten sich die axialen Abstände der Windungen proportional zu den Radien der Windungen; hierdurch wird ein überall ungefähr gleicher Spannungsabfall pro axialer Entfernung (bzw. eine überall gleiche Feldstärke) im Gusskörper zwischen den Windungen erreicht, soweit er durch das lineare Abfallen der Hochspannung der Anode über die Länge der Schläuche im Kühlmittel bedingt ist. Der Bauraum in der Röntgenröhre wird optimal ge-

nutzt.

[0050] Bevorzugt ist eine Ausführungsform der erfindungsgemäßen Röntgenröhre, wobei nach der Herstellung der Röntgenröhre die äußere Gussform am übrigen Gusskörper verblieben ist. Mit anderen Worten, die beim Gießen benötigte äußere Gussform wird nach dem Gießen nicht entfernt, sondern bleibt Teil der Röntgenröhre in deren Betrieb. Dies ist besonders einfach. Die äußere Gussform kann zudem die Röntgenröhre auch im Betrieb mechanisch stabilisieren. Falls nötig, kann die äußere Gussform mit einem elektrisch gut leitfähigen und/oder die Röntgenstrahlung stark absorbierenden Material, z.B. einer Bleifolie, umwickelt werden, um Erdung und Strahlenschutz zu gewährleisten.

[0051] In einer alternativen Ausführungsform ist vorgesehen, dass nach der Herstellung der Röntgenröhre die äußere Gussform vom übrigen Gusskörper entfernt ist. Mit anderen Worten, die beim Gießen benötigte Gussform ist nur während des Gießvorgangs am Keramikkörper angeordnet, und ist nicht mehr Teil der Röntgenröhre in deren Betrieb. Dadurch ist es möglich, eine äußere Gussform für die Herstellung einer Vielzahl von Röntgenröhren zu nutzen. Falls nötig, kann der übrige Gusskörper mit einem elektrisch gut leitfähigen und/oder die Röntgenstrahlung stark absorbierenden Material, z.B. einer Bleifolie, umwickelt werden, um Erdung und Strahlenschutz zu gewährleisten.

[0052] Weiterhin in den Rahmen der vorliegenden Erfindung fällt auch ein Verfahren zur Herstellung einer oben beschriebenen Röntgenröhre, mit den Schritten:

- a) zur Einrichtung des Gussraums wird die äußere Gussform an einer der Anode abgewandten Rückseite des Keramikkörper abdichtend angeordnet und die innere Gussform wird vor der Rückseite des Keramikkörpers angeordnet, und im Gussraum zwischen der inneren Gussform und der äußeren Gussform werden der wenigstens eine Richtkörper aus Kunststoff und die Schläuche angeordnet, wobei mit dem wenigstens einen Richtkörper die Schläuche im Gussraum so ausgerichtet werden, dass die Windungen der Schläuche jeweils von der äußeren Gussform und der inneren Gussform beabstandet sind, und bevorzugt auch die Windungen voneinander beabstandet sind,
- b) der Gussraum wird mit dem Gussmaterial aus Kunststoff in einem flüssigen Zustand aufgefüllt, so dass die Zwischenräume zwischen den Windungen einerseits und der äußeren Gussform und der inneren Gussform andererseits, und bevorzugt auch die Zwischenräume zwischen den Windungen untereinander, von dem Kunststoff des wenigstens einen Richtkörpers und/oder dem Kunststoff des Gussmaterials eingenommen werden,
- c) das Gussmaterial aus Kunststoff wird ausgehärtet. Mit diesem Herstellungsverfahren kann auf einfache Weise eine Röntgenröhre gefertigt werden,

mit der eine hohe elektrische Durchschlagfestigkeit und ein kompakter Aufbau erreichbar ist. In den abgedichteten Gussraum kann das Gussmaterial im flüssigen Zustand problemlos und sauber gefüllt werden, und das Gussmaterial erfüllt den zur Verfügung gestellten Gussraum selbsttätig und vollständig, insbesondere ohne Lücken und Hohlräume. Die Richtkörper und Schläuche werden vom Gussmaterial eingeschlossen, und es ergibt sich ein Gusskörper aus Vollmaterial, das eine gute Durchschlagfestigkeit zur Verfügung stellen kann. Durch den wenigstens einen Richtkörper können die Schläuche besonders einfach und exakt im Gussraum angeordnet werden, wobei gewünschte Abstände zur inneren Gussform und äußeren Gussform eingestellt werden können, insbesondere mit geringen Toleranzen. Weiterhin können die Schläuche durch den wenigstens einen Richtkörper mit gewünschten Abständen der Windungen zueinander angeordnet werden, insbesondere mit geringen Toleranzen. Der wenigstens eine Richtkörper hält die Schläuche während des Auffüllens des Gussraums mit dem Gussmaterial im flüssigen Zustand stabil und in Position. Nach dem Aushärten des Gussmaterials bleiben die Schläuche weiterhin in den gewünschten, exakt eingerichteten Positionen, wobei sie weiterhin durch die Richtkörper und nun auch durch das ausgehärtete Gussmaterial gehalten werden.

[0053] Die Einzelschritte des Schritts a) können grundsätzlich in beliebiger Reihenfolge stattfinden. Typischerweise wird der wenigstens eine Richtkörper im Rahmen von Schritt a) mit am Richtkörper anliegenden Schläuchen mechanisch verklemt, typischerweise zwischen der inneren und äußeren Gussform (v.a. im Falle einer Lochplatte), oder zwischen den Schläuchen einerseits und der inneren oder äußeren Gussform andererseits (vor allem im Falle von Nutenriegeln).

[0054] Um eine bessere Anbindung zwischen dem Richtkörper und dem Gussmaterial zu erzielen, kann der Kunststoff des Richtkörpers und der Kunststoff des Gussmaterials der gleiche Kunststoff sein. Wenn der Kunststoff des (wenigstens einen) Richtkörpers und der Kunststoff des Gussmaterials der gleiche Kunststoff sind, so wird typischerweise der (wenigstens eine) Richtkörper vorab gefertigt und ausgehärtet, bevor er in den Gussraum eingesetzt wird.

[0055] Man beachte, dass zu Beginn von Schritt a) typischerweise der Röhrenkopf (insbesondere das Kathodengehäuse und die Anode) bereits am Keramikkörper angeordnet wurde. Mit dem erfindungsgemäßen Verfahren kann eine erfindungsgemäße, oben beschriebene Röntgenröhre einschließlich der oben beschriebenen Ausführungsformen hergestellt werden.

[0056] In einer bevorzugten Variante des erfindungsgemäßen Verfahrens ist vorgesehen, dass nach Schritt c) die äußere Gussform am übrigen Gusskörper ver-

bleibt; entsprechend wird in dieser Variante eine Röntgenröhre hergestellt, bei der nach der Herstellung der Röntgenröhre die äußere Gussform am übrigen Gusskörper verblieben ist. Dies ist besonders einfach umzusetzen; insbesondere ist nach dem Gießen kein Ausformschritt für die äußere Gussform nötig.

[0057] In einer anderen Variante des erfindungsgemäßen Verfahrens umfasst das Verfahren weiterhin einen Schritt

d) die äußere Gussform wird vom übrigen Gusskörper entfernt; entsprechend wird in dieser Variante eine Röntgenröhre hergestellt, bei der nach der Herstellung der Röntgenröhre die äußere Gussform vom übrigen Gusskörper entfernt ist. Die äußere Gussform kann dann bei der Herstellung einer Vielzahl von Röntgenröhren eingesetzt werden; alternativ kann jedoch auch die äußere Gussform lediglich einmalig verwendet werden, falls gewünscht, insbesondere wenn die Ausformung ein Zerstören der äußeren Gussform erfordert.

[0058] Weitere Vorteile der Erfindung ergeben sich aus der Beschreibung und der Zeichnung. Ebenso können die vorstehend genannten und die noch weiter ausgeführten Merkmale erfindungsgemäß jeweils einzeln für sich oder zu mehreren in beliebiger Kombination Verwendung finden. Die gezeigten und beschriebenen Ausführungsformen sind nicht als abschließende Aufzählung zu verstehen, sondern haben vielmehr beispielhaften Charakter für die Schilderung der Erfindung.

Detaillierte Beschreibung der Erfindung und Zeichnung

[0059]

Fig. 1 zeigt im schematischen Längsschnitt eine erste Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Röntgenröhre, mit Nutenriegeln und Windungen der Schläuche mit einheitlichem Radius;

Fig. 2 zeigt im schematischen Längsschnitt eine zweite Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Röntgenröhre, mit Lochplatten und Windungen der Schläuche mit einheitlichem Radius;

Fig. 3 zeigt im schematischen Längsschnitt eine dritte Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Röntgenröhre, mit Nutenriegeln und Windungen der Schläuche mit veränderlichem Radius und Kronen-förmigem Keramikkörper;

Fig. 4 zeigt im schematischen Längsschnitt eine vierte Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Röntgenröhre, mit Lochplatten und Windungen der Schläuche mit veränderlichem Radius und veränderlichem axialem Abstand;

- Fig. 5 zeigt einen schematischen Querschnitt durch eine Röntgenröhre gemäß der Erfindung, mit Richtkörpern auf Winkelpositionen bei dreh-symmetrischer Anordnung der Winkelpo-sitionen, wobei zwei innere Nutenriegel und zwei äußere Nutenriegel einander gegenüber lie-gen;
- Fig. 6 zeigt einen schematischen Querschnitt durch eine Röntgenröhre gemäß der Erfindung, mit Richtkörpern auf Winkelpositionen bei dreh-symmetrischer Anordnung der Winkelpo-sitionen, wobei vier innere Nutenriegel und vier äußere Nutenriegel einander gegenüber liegen;
- Fig. 7 zeigt einen schematischen Querschnitt durch eine Röntgenröhre gemäß der Erfindung, mit Richtkörpern auf Winkelpositionen bei dreh-symmetrischer Anordnung der Winkelpo-sitionen, wobei zwei innere Nutenriegel um 90° zu zwei äußeren Nutenriegeln versetzt ange-ordnet sind;
- Fig. 8 zeigt einen schematischen Querschnitt durch eine Röntgenröhre gemäß der Erfindung, mit Richtkörpern auf Winkelpositionen bei dreh-symmetrischer Anordnung der Winkelpo-sitionen, wobei drei Lochplatten um 120° zuei-nander versetzt angeordnet sind;
- Fig. 9 zeigt in einem schematischen Längsschnitt eine teilweise gefertigte Röntgenröhre, mit Kathodengehäuse und Keramikkörper, die gemäß der Erfindung zu einer vollständigen Röntgenröhre gefertigt wird;
- Fig. 10 zeigt die teilweise gefertigte Röntgenröhre von Fig. 9, mit positionierter innerer und äußerer Gussform, die einen Gussraum ausbil-den, mit positionierten Richtkörpern und mit positionierten Schläuchen;
- Fig. 11 zeigt die Röntgenröhre von Fig. 10, nunmehr vollständig gefertigt, wobei der Gussraum mit einer Gussmasse aufgefüllt ist;
- Fig. 12 zeigt die in einer Variante für die Erfindung die Röntgenröhre von Fig. 11, nach Entfernen der äußeren Gussform.

[0060] Die Fig. 1 zeigt eine erste Ausführungsform einer Röntgenröhre 1 gemäß der Erfindung in einem schematischen Längsschnitt. Die Röntgenröhre 1 er-streckt sich entlang einer Röhrenachse RA.

[0061] Die Röntgenröhre 1 umfasst ein Kathodenge-häuse 2, welches auf einem Keramikkörper 3 vakuum-dicht befestigt ist, beispielsweise durch Lötten. Zudem ist innerhalb des Kathodengehäuses 2 eine Anode 4 (hier

mit einem näherungsweise zylindrischen Anodenkörper) angeordnet, die ebenfalls auf dem Keramikkörper 3 va-kuumdicht befestigt ist, typischerweise ebenfalls durch Lötten. Das Kathodengehäuse 2, der Keramikkörper 3 und die Anode 4 begrenzen einen evakuierten Raum 5.

[0062] Im evakuierten Raum 5 ist eine Kathode, hier eine Glühkathode 6, angeordnet, typischerweise ausge-bildet mit Glühwendeln. Die Glühkathode 6 ist in der gezeigten Ausführungsform über einen Masseanschluss 7a und einen Stromanschluss 7b, die durch das Katho-dengehäuse 2 vakuumdicht hindurchgeführt sind, mit einem elektrischen Strom beaufschlagbar. Der elektri-sche Strom ist typischerweise ein Wechselstrom, bevor-zugt von geringer Spannung, meist mit einer maximalen Spannungsamplitude von 24 V oder weniger. Mittels dieses elektrischen Stroms (auch Heizstrom genannt) kann die Glühkathode 6 zum Glühen gebracht werden, wodurch Elektronen aus der Glühkathode 6 austreten.

[0063] Die Anode 4 liegt im Betrieb auf einem positiven Hochspannungspotential (typischerweise 20 kV bis 60 kV, in anderen Anwendungen ggf. auch mehr) gegen-über der Glühkathode 6. Die Glühkathode 6 liegt im Betrieb in der hier gezeigten Ausführungsform auf Mas-se, unbeschadet des bereits erläuterten Heizstroms. Aus der Glühkathode 6 austretende Elektronen werden durch die Hochspannung, unter Einfluss einer auf Masse lie-genden Schirmung 8, von der Glühkathode 6 auf die Anode 4, hier auf eine Oberseite 4a der Anode 4, be-schleunigt. Beim Auftreffen auf die Anode 4 werden die Elektronen abgebremst, wodurch Röntgenstrahlung in Form von Bremsstrahlung erzeugt wird. Zudem werden Elektronen aus den inneren Schalen der Atome des an der Oberseite 4a angeordneten Materials ("Target") der Anode 4 herausgeschlagen. Wenn Elektronen aus den äußeren Schalen die inneren Schalen dieser Atome auf-füllen, wird Röntgenstrahlung in Form von charakteristi-scher Röntgenstrahlung emittiert. In der Regel ist an der Oberseite 4a der Anode 4 ein gewünschtes Material angebracht, um die für dieses Material charakteristische Röntgenstrahlung zu erzeugen. Die erzeugte Röntgen-strahlung tritt durch ein Strahlungsaustrittsfenster 13, hier ein Berylliumfenster, aus der Röntgenröhre 1 aus und kann für Messungen genutzt werden, beispielsweise eine Röntgenfluoreszenzmessung an einer Probe, oder auch für die Aufnahme eines Röntgenbildes.

[0064] Die Elektronen, die auf die Anode 4 beschleu-nigt werden, erhitzen die Anode 4, die aus Metall besteht. Um ein Aufschmelzen der Anode 4 zu verhindern, wird die Anode 4 mit einem Kühlmittel gekühlt. In der Röntgen-röhre 1 ist eine Zulaufleitung 9 ausgebildet, die das Kühl-mittel zur Anode 4 leitet, und weiterhin eine Ablaufleitung 10, die das Kühlmittel wieder von der Anode 4 weg leitet. Man beachte, dass die Zulaufleitung 9 und die Rücklauf-leitung 10 auch umgekehrt an den Kühlmittelfluss ange-schlossen werden können, falls gewünscht.

[0065] Die Anode 4, die auf Hochspannungspotential liegt, muss elektrisch isoliert werden. Insbesondere soll-ten Spannungsdurchschläge auf die Außenseite der

Röntgenröhre 1 und andere auf Masse liegende Strukturen verhindert werden.

[0066] Die elektrische Isolation der Anode 4 erfolgt an der Röntgenröhre 1 im Wesentlichen durch einen Isolationskörper 11 und den im Kathodengehäuse 2 eingerichteten evakuierten Raum 5. Dieser Isolationskörper 11 umfasst gemäß der Erfindung den Keramikkörper 3 aus keramischem Material, auf dem die Anode 4 und das Kathodengehäuse 2 aufsitzen, und einen Gusskörper 12, der rückseitig am Keramikkörper 3 befestigt ist. Der Keramikkörper 3 besteht aus einem vakuumdichten, keramischen Material, beispielsweise Al_2O_3 . Der Gusskörper 12 besteht zu einem wesentlichen Teil aus einem Gussmaterial 32 aus Kunststoff. Der Kunststoff des Gussmaterials 32 kann beispielsweise ein Silikon sein. Die Zulaufleitung 9 und die Ablaufleitung 10 sind durch den Isolationskörper 11 zur Anode 4 geführt. Der Isolationskörper 11 (und entsprechend auch der jeweils zugehörige Abschnitt von Keramikkörper 3 und Gusskörper 12) ist außenseitig näherungsweise kreiszylinderförmig ausgebildet und entlang der Röhrenachse RA ausgerichtet.

[0067] Man beachte, dass das Kühlmittel in der Anode 4 mit dem Hochspannungspotential in Kontakt steht, und im Bereich von Kühlmittelanschlüssen 9b, 10b auf Masse liegt. Entsprechend fällt über die Länge der Zulaufleitung 9 und über die Länge der Ablaufleitung 10 im Kühlmittel die Hochspannung ab. Um ein Durchschlagen der Hochspannung zu verhindern, wird zum einen ein Kühlmittel mit geringer elektrischer Leitfähigkeit bzw. hoher Durchschlagfestigkeit eingesetzt, z.B. deionisiertes Wasser oder ein Silikonöl. Zum anderen ist die Röntgenröhre 1 so konstruiert, dass sie auf kompaktem Raum eine große Länge (Pfadlänge) der Zulaufleitung 9 und der Ablaufleitung 10 ermöglicht, und weiterhin eine ausreichende Beabstandung von Strukturen auf unterschiedlichem elektrischem Potential sicherstellt.

[0068] Durch den Keramikkörper 3 führen in der gezeigten Bauform zwei Röhrchen 14a, 14b, typischerweise aus Metall, an die oberenends Anodenkanäle 4b für das Kühlmittel angeschlossen sind, die innerhalb der Anode 4 verlaufen, und an die unterenends Schläuche 9a, 10a angeschlossen sind. Man beachte, dass in anderen Bauformen die Kühlmitteldurchführung durch den Keramikkörper 3 auch anders ausgebildet sein kann, beispielsweise mit koaxiale Röhrchen oder Röhrchen aus Keramik oder einfachen Löchern, in die Steckanschlüsse ragen (nicht dargestellt). Die Schläuche 9a, 10a bilden die Zulaufleitung 9 und die Ablaufleitung 10 aus, soweit diese innerhalb des Gusskörpers 12 verlaufen. Die Schläuche 9a, 10a sind aus einem Kunststoffmaterial gefertigt. Im Gusskörper 12 bilden die Schläuche 9a, 9b in einem mittleren Teil jeweils mehrere Windungen 16 aus, die in axialer Richtung hintereinander angeordnet sind und in diesem Bereich eine Doppelhelix ausbilden (mehr dazu unten).

[0069] Der Keramikkörper 3 bildet an seiner der Anode 4 abgewandten Rückseite einen zentralen Rücksprung

15 aus, der hier konusförmig ausgebildet ist. In axialer Richtung (entlang der Röhrenachse RA) erstreckt sich der Rücksprung 15 über eine Tiefe TR in den Keramikkörper 3 hinein, der insgesamt eine axiale Erstreckung AEK aufweist. In der gezeigten Ausführungsform gilt ca. $TR=0,8*AEK$; allgemein bevorzugt ist $TR\geq 0,5*AEK$ oder auch $TR\geq 0,75*AEK$. In radialer Richtung (senkrecht zur Röhrenachse RA) erstreckt sich der Rücksprung 15 an seiner weitesten Stelle an der Rückseite des Keramikkörpers 3 mit einem größten Radius GRR, und an seinem anodennahen Ende an seiner engsten Stelle mit einem kleinsten Radius KRR. Der Keramikkörper 3 hat im Bereich seiner Rückseite einen äußeren Radius RK; man beachte, dass der Keramikkörper 3 in der gezeigten Ausführungsform einen einheitlichen äußeren Radius aufweist. In der gezeigten Ausführungsform gilt ca. $GRR=0,75*RK$; allgemein bevorzugt ist $GRR\geq 0,5*RK$ oder auch $GRR\geq 0,67*RK$. Weiterhin gilt in der gezeigten Ausführungsform ca. $KRR=0,53*RK$; allgemein bevorzugt ist $KRR\geq 0,33*RK$ oder auch $KRR\geq 0,40*RK$.

[0070] Durch den Rücksprung 15 im Keramikkörper 3 können die Schläuche 9a, 10a axial nahe an die Anode 4 heranrücken, und die Tiefe TR des Rücksprungs 15 kann zumindest zum Teil dafür genutzt werden, die Hochspannung über das Kühlmittel in den Schläuchen 9a, 10a abfallen zu lassen. Die Röhrchen 14a, 14b, mit denen die Anodenkanäle 4b mit den Schläuchen 9a, 10a verbunden werden, können vergleichsweise kurz ausgebildet werden. Im Bereich des Rücksprungs 15 kann eine erhebliche Schlauchlänge, meist wenigstens 10% der jeweiligen Gesamtschlauchlänge oder auch eine Schlauchlänge entsprechend wenigstens einer halben Windung 16 (also wenigstens $R*\pi$, mit R: Radius der Windungen 16), untergebracht werden. Der Rücksprung 15 bewirkt zudem eine vergleichsweise lange Kriechstrecke von den Röhrchen 14a, 14b zur radialen Außenseite des Keramikkörpers 3 entlang der Grenzfläche zum Gusskörper 12, insbesondere viel länger als der Radius RK des Keramikkörpers 3.

[0071] Durch den Keramikkörper 3 ist auch ein Kontaktierungselement 17 aus Metall geführt, welches die Anode 4 mit einem Anschlusspol 18 verbindet. Das Kontaktierungselement 17 verläuft zentral in der Röntgenröhre 1 weiterhin durch den Gusskörper 12 und führt in der gezeigten Ausführungsform in eine Buchse 19 für einen Hochspannungsstecker (letzterer nicht dargestellt), mit dem am Anschlusspol 18 in der Buchse 19 die Hochspannung für die Anode 4 angeschlossen werden kann. Die Buchse ist aus einem elektrisch isolierenden Material gefertigt, beispielsweise einem Kunststoff.

[0072] Die Buchse 19 bildet hier gleichzeitig eine innere Gussform 20 für den Gusskörper 12 aus. Die Buchse 19 ist näherungsweise zylindrisch ausgebildet und an der Röhrenachse RA ausgerichtet.

[0073] Der Gusskörper 12 umfasst weiterhin eine äußere Gussform 21, die hier als ein Zylinderrohr ausgebildet ist, das beispielsweise aus Metall oder Kunststoff

gefertigt sein kann. Die innere Gussform 20, die äußere Gussform 21 und der Keramikkörper 3 begrenzen einen Gussraum 22. In diesem Gussraum 22 verlaufen insbesondere die Schläuche 9a, 10a.

[0074] Die Schläuche 9a, 10a sind im Gussraum 22 mit Hilfe von Richtkörpern 23 ausgerichtet. Die Richtkörper 23 bestehen aus Kunststoff. Typischerweise sind die Richtkörper 23 im Gussraum 22 verklemt angeordnet. In der gezeigten Ausführungsform sind die Richtkörper 23 als Nutenriegel 24 ausgebildet. Die Nutenriegel 24 umfassen jeweils einen Riegel 24a, an dem mehrere Nuten 24b, hier halbrunde Nuten, ausgebildet sind. In jede Nut 24b ist eine Windung 16 eines Schlauches 9a, 10a eingelegt. In der gezeigten Ausführungsform liegen sich jeweils radial innere Nutenriegel 25a, 25b und radial äußere Nutenriegel 26a, 26b gegenüber, zwischen denen die Windungen 16 der Schläuche 9a, 10a, eingeklemmt sind. Die Nutenriegel 24 sind entsprechend jeweils zwischen einer der Gussformen 20, 21 und den Schläuchen 9a, 10a eingeklemmt.

[0075] Durch die Richtkörper 23 werden die Windungen 16 der Schläuche 9a, 10a mit hoher Genauigkeit ausgerichtet. Dabei wird sowohl der Abstand der einzelnen Windungen 16 nach radial innen zur Buchse 19/inneren Gussform 20 hin (RAI), nach radial außen zur äußeren Gussform 21 hin (RAA), und in axialer Richtung untereinander (AA) eingestellt. Hierbei wird in der gezeigten Ausführungsform im Bereich der Windungen 16 sichergestellt, dass sich die benachbarten Windungen 16 der verschiedenen Schläuche 9a, 10a, und weiterhin die Schläuche 9a, 10a und die innere Gussform 20, und schließlich die Schläuche 9a, 10a und die äußere Gussform 21, nicht berühren (also $AA > 0$, $RAI > 0$, $RAA > 0$). In der gezeigten Ausführungsform ist für alle Windungen 16 der radiale Abstand RAI nach innen zur inneren Gussform 20 jeweils gleich, weiterhin der radiale Abstand RAA nach außen zur äußeren Gussform 21 jeweils gleich, und weiterhin der Radius R der Windungen 16 bezüglich der Röntgenachse RA gleich. Zudem ist für alle Windungen 16 der axiale Abstand AA untereinander jeweils gleich.

[0076] Der Gussraum 22 wurde mit einem flüssigen Gussmaterial 32 aus Kunststoff aufgefüllt, so dass der gesamte Gussraum 22, der nicht von anderen Strukturen (Schläuche 9a, 10a, Richtkörper 23, Kontaktierungselement 17) eingenommen wurde, von dem Gussmaterial 32 erfüllt wurde. Durch die Richtkörper 23 wurde sichergestellt, dass beim Gießen und während des nachfolgenden Aushärtens des Gussmaterials 32 die Schläuche 9a, 10a sich nicht verschieben konnten, und insbesondere die für die Durchschlagfestigkeit relevanten, vorgesehenen Abstände (zB RAI, RAA, AA für die jeweiligen Windungen 16) mit hoher Genauigkeit eingehalten wurden. Der Kunststoff des Gussmaterials 32 und der Kunststoff der Richtkörper 23 wurden gleich gewählt, insbesondere als ein Silikonmaterial. Dadurch werden Kriechströme an den Grenzflächen zwischen Richtkörpern 23 und dem Gussmaterial 32 minimiert; diese Grenzfläche (soweit es die elektrischen Eigenschaften angeht) verschwindet im

Wesentlichen nach dem Aushärten des Gussmaterials 32.

[0077] Der Gusskörper 12 greift mit einem konischen vorderen Ende 29 in den Rücksprung 15 des Keramikkörpers 3 ein und ist an diesem befestigt. Die Röntgenröhre 1 kann mit dem Keramikkörper 3 eine gute Vakuumdichtigkeit und Hochspannungsfestigkeit, und mit dem Gusskörper 12 eine gute Wasserdichtigkeit und ebenfalls gute Hochspannungsfestigkeit auf kompaktem Raum einrichten. Das Gussmaterial 32 ist einfach zu handhaben und wartungsfreundlich (insbesondere kann das ausgehärtete Gussmaterial 32 nicht mehr aus dem Gussraum 22 auslaufen und zeigt nur wenig Wärmeausdehnung und Alterung, anders als ein Isolationsöl). Es kann eine lange Kühlmittelsäule (Pfadlänge der Zulaufleitung und Ablaufleitung) eingerichtet werden, insbesondere unter Nutzung von Bauraum axial und radial innerhalb des Keramikkörpers 3. Die Schläuche 9a, 10a können dafür eine gewisse Flexibilität aufweisen, die aufgrund der Richtkörper 23 dennoch definiert und mit den erforderlichen Abständen im Gusskörper 12 platziert werden können. Kriechstrecken können problemlos mit großer Länge eingerichtet werden (etwa zwischen dem Gusskörper 12 und dem Keramikkörper 3) oder ganz vermieden werden (durch gleichen Kunststoff für die Richtkörper 23 und das Gussmaterial 32). Insgesamt ist ein einfacher und kompakter Aufbau der Röntgenröhre 1 möglich, wobei Spannungsdurchschläge zuverlässig verhindert werden können, und der Kühlmittelfluss definiert und sicher gewährleistet ist.

[0078] Man beachte, dass bei der Röntgenröhre 1 auch (nach dem Gießen des Gussmaterials und dessen Aushärtung) die äußere Gussform 21 entfernt werden kann (nicht näher dargestellt in Fig. 1, vgl. aber Fig. 12 hinten).

[0079] In den Figuren 2 bis 4 werden weitere Ausführungsformen einer erfindungsgemäßen Röntgenröhre 1 erläutert, die weitgehend der Ausführungsform von Fig. 1 entsprechen. Es werden jeweils nur die wesentlichen Unterschiede zur Ausführungsform von Fig. 1 erläutert.

[0080] Die Fig. 2 zeigt eine zweite Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Röntgenröhre 1.

[0081] Bei dieser Röntgenröhre 1 sind die Richtkörper 23 für die Schläuche 9a, 10a als Lochplatten 27 ausgebildet. Die Lochplatten 27 werden jeweils durch eine Platte 27a ausgebildet, in der mehrere Löcher 27b enthalten sind. Durch die Löcher 27b sind die Windungen 16 der Schläuche 9a, 10a geführt. Die Lochplatten 27 sind typischerweise zwischen der inneren Gussform 20 und der äußeren Gussform 21 verklemt angeordnet, insbesondere während des Vergießens und Aushärtens des Gussmaterials. Alternativ können die Lochplatten 27 auch während des Vergießens und Aushärtens mit einer externen Halterung gegenüber der übrigen Röntgenröhre 1 ausgerichtet werden.

[0082] Die Fig. 3 zeigt eine dritte Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Röntgenröhre 1.

[0083] In dieser Ausführungsform ist der Keramikkörper

per 3 an seiner der Anode 4 zugewandten Vorderseite mit einer umlaufenden Vertiefung 30 ausgebildet. Diese Vertiefung 30 liegt radial zwischen der Anode 4 und dem Kathodengehäuse 2.

[0084] Dadurch wird eine Kriechstrecke von der Anode 4 zur Außenseite des Keramikkörpers 3 an der Grenzfläche von Keramikkörper 3 und evakuiertem Raum 5 verlängert, insbesondere deutlich länger als der Abstand AAG zwischen Anode 4 und Kathodengehäuse 2. Die umlaufende Vertiefung 30 erscheint im Längsschnitt zu jeder Seite der Röhrenachse RA näherungsweise V-förmig (in anderen Ausführungsformen auch U-förmig, nicht dargestellt). Im Längsschnitt erscheint der Keramikkörper 3 insgesamt näherungsweise W-förmig, oder im Dreidimensionalen auch näherungsweise Kronen-förmig.

[0085] Als innere Gussform 20 dient in der gezeigten Ausführungsform ein Kabel 31, das mit einem isolierenden Mantel 31a aus Kunststoff und einer Seele 31b aus Metall ausgebildet ist. Die Seele 31b ist mit dem Kontaktierungselement 17 verbunden, so dass über die Seele 31b die Anode 4 mit Hochspannung beaufschlagt werden kann. Der isolierende Mantel 31a ragt hier in axialer Richtung (entlang der Röhrenachse RA) über die Windungen 16 hinaus in den Gusskörper 12 hinein. Der Mantel 31a ist mit einem konstanten Durchmesser ausgebildet, und dass Kabel 31 ist entlang der Röhrenachse RA ausgerichtet. Beim Vergießen des Gussraums 22 wird das Kabel 31 in die Röntgenröhre 1 dauerhaft eingegossen.

[0086] Weiterhin ist in dieser Ausführungsform durch entsprechende Richtkörper 23 vorgesehen, dass der radiale Abstand RAA nach außen der Windungen 16 der Schläuche 9a, 10a zur äußeren Gussform 21 von der Anode 4 weg abnimmt. Umgekehrt nimmt der radial Abstand RAI nach innen der Windungen 16 der Schläuche 9a, 10a zur inneren Gussform 20 von der Anode 4 weg zu. In der Zulaufleitung 9 und in der Ablaufleitung 10 ist das (lokale) Potential umso höher, je näher ein jeweiliger Leitungsabschnitt (entlang des Leitungspfad der Zulaufleitung 9 oder der Ablaufleitung 10) an der Anode 4 liegt. Deshalb wird mit dieser Ausgestaltung erreicht, dass der radiale Abstand von Leitungsabschnitten mit hohem Potential von der (mit der Masse in Kontakt stehenden) äußeren Gussform 21 größer ist als bei Leitungsabschnitten mit niedrigem Potential. Umgekehrt wird auch erreicht, dass der radiale Abstand von Leitungsabschnitten mit niedrigem Potential von der (auf Hochspannung liegenden) Seele 31b größer ist als bei Leitungsabschnitten mit hohem Potential. Dies beugt Spannungsdurchschlägen vor, und gestattet einen besonders kompakten Bau der Röntgenröhre 1 bei gegebener Hochspannung.

[0087] Die Richtkörper 23 sind in dieser Bauform als keilförmige Nutenriegel 24 ausgebildet, und die Windungen 16 haben einen gleichen axialen Abstand AA zueinander.

[0088] Die Fig. 4 zeigt eine vierte Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Röntgenröhre 1.

[0089] Bei dieser Ausführungsform sind die Richtkörper 23 wiederum so ausgebildet, dass der radiale Abstand RAA nach außen der Windungen 16 der Schläuche 9a, 10a zur äußeren Gussform 21 von der Anode 4 weg abnimmt. Umgekehrt nimmt der radial Abstand RAI nach innen der Windungen 16 der Schläuche 9a, 10a zur inneren Gussform 20 von der Anode 4 weg zu. Zusätzlich ist hier vorgesehen, dass der axiale Abstand AA von benachbarten Windungen 16 von der Anode 4 weg zunimmt. Aufgrund der Zunahme der Radien R der jeweiligen Windungen 16 in Richtung axial von der Anode 4 weg fällt bei Windungen 16, die weiter von der Anode 4 weg sind, eine höhere Spannung je Windung 16 ab als bei Windungen 16, die näher zur Anode 4 liegen. Durch die größeren axialen Abstände AA bei den Windungen 16, die weiter von der Anode 4 weg liegen, kann daher Spannungsdurchschlägen zwischen axial benachbarten Windungen 16 vorgebeugt werden, und ein kompakterer Bau der Röntgenröhre 1 erreicht werden.

[0090] Die Figuren 5 bis 8 zeigen schematische Querschnitte durch Röntgenröhren gemäß der Erfindung senkrecht zur jeweiligen Röntgenachse RA in verschiedenen Ausführungsformen, jeweils im Bereich der Windungen 16 und der Richtkörper 23. Dabei wird die Anordnung von Winkelpositionen, an denen die jeweiligen Richtkörper 23 im Gussraum 22 zwischen der äußeren Gussform 21 und der inneren Gussform 20 vorteilhaft angeordnet werden können, beispielhaft illustriert. Gestrichelt dargestellt ist jeweils der Ort bzw. die Projektion der Schläuche 9a, 10a.

[0091] In der Ausführungsform von Fig. 5 sind die Richtkörper 23 als Nutenriegel 24 ausgebildet, wobei zwei (N=2) innere Nutenriegel 25a, 25b und zwei (N=2) äußere Nutenriegel 26a, 26b vorgesehen sind. Ein innerer Nutenriegel 25a, 25b und ein äußerer Nutenriegel 26a, 26b liegen sich jeweils gegenüber und klemmen zwischen sich die Schläuche 9a, 10a ein. Die inneren Nutenriegel 25a, 25b stützen sich an der inneren Gussform 20 ab. Die äußeren Nutenriegel 26a, 26b stützen sich an der äußeren Gussform 21 ab. Die Winkelpositionen der beiden inneren Nutenriegel 25a, 25b sind zueinander um 180° versetzt, und die Winkelpositionen der äußeren Nutenriegel 26a, 26b sind zueinander um 180° versetzt. Die Anordnung der Winkelpositionen der Richtkörper 23 hat hier eine 2-zählige Drehsymmetrie.

[0092] In der Ausführungsform von Fig. 6 sind die Richtkörper 23 ebenfalls als Nutenriegel 24 ausgebildet, wobei vier (N=4) innere Nutenriegel 25a, 25b, 25c, 25d und vier (N=4) äußere Nutenriegel 26a, 26b, 26c, 26d vorgesehen sind. Ein innerer Nutenriegel 25a, 25b, 25c, 25d und ein äußerer Nutenriegel 26a, 26b, 26c, 26d liegen sich jeweils gegenüber und klemmen zwischen sich die Schläuche 9a, 10a ein. Die inneren Nutenriegel 25a, 25b, 25c, 25d stützen sich an der inneren Gussform 20 ab. Die äußeren Nutenriegel 26a, 26b, 26c, 26d stützen sich an der äußeren Gussform 21 ab. Die Winkelpositionen der vier inneren Nutenriegel 25a, 25b, 25c, 25d sind zueinander um 90° versetzt, und die Winkel-

positionen der äußeren Nutenriegel 26a, 26b, 26c, 26d sind zueinander um 90° versetzt. Die Anordnung der Winkelpositionen der Richtkörper 23 hat hier eine 4-zählige Drehsymmetrie.

[0093] In der Ausführungsform von Fig. 7 sind die Richtkörper 23 wiederum als Nutenriegel 24 ausgebildet, wobei zwei (N=2) innere Nutenriegel 25a, 25b und zwei (N=2) äußere Nutenriegel 26a, 26b vorgesehen sind. Die inneren Nutenriegel 25a, 25b stützen sich an der inneren Gussform 20 ab. Die äußeren Nutenriegel 26a, 26b stützen sich an der äußeren Gussform 21 ab. Die Winkelpositionen der beiden inneren Nutenriegel 25a, 25b sind zueinander um 180° versetzt, und die Winkelpositionen der äußeren Nutenriegel 26a, 26b sind zueinander um 180° versetzt. Die Winkelpositionen der inneren Nutenriegel 25a, 25b sind dabei gegenüber den Winkelpositionen der äußeren Nutenriegel 26a, 26b um 90° zueinander versetzt. Die Schläuche 9a, 10a, werden auch hier von den Richtkörpern 23 verklemmt gehalten, wobei die Schläuche 9a, 10a in dieser Ausführungsform eine gewisse Mindeststeifigkeit gegenüber radialen Stauchungen und Streckungen (gegen eine "ovale Verformung") haben sollten, damit eine gute Klemmwirkung der Richtkörper 23 eintritt. Die Anordnung der Winkelpositionen der Richtkörper 23 hat hier eine 2-zählige Drehsymmetrie.

[0094] Man beachte, dass die Nutenriegel 24 parallel zur Röhrenachse RA verlaufen können, dann müssen die Nuten mit einer Neigung entsprechend der Steigung der Doppelhelix der Schläuche 9a, 10a in den jeweiligen Riegel eingebracht werden. Alternativ können die Nutenriegel 24 auch mit senkrecht zu ihrer Erstreckungsrichtung eingebrachten Nuten verlaufen, und dann mit einer Neigung zur Röhrenachse RA im Gussraum 12 angeordnet werden, die der Steigung der Schläuche 9a, 10a entspricht. Man beachte zudem, dass die inneren Nutenriegel 25a-25d nicht nur an der inneren Gussform 20 abgestützt werden können, sondern alternativ oder zusätzlich auch aneinander, insbesondere wobei die inneren Nutenriegel 25a-25d Teilschalen (insbesondere Halbschalen oder Viertelschalen) ausbilden, die die innere Gussform umgreifen (nicht näher dargestellt).

[0095] In der Ausführungsform von Fig. 8 sind die Richtkörper 23 als Lochplatten 27 ausgebildet, wobei drei (N=3) Lochplatten 28a, 28b, 28c vorgesehen sind, deren Winkelpositionen um 120° zueinander versetzt sind. Die Lochplatten 27 stützen sich jeweils mit ihren Platten 27a (bzw. deren Seitenkanten) sowohl an der inneren Gussform 20 als auch an der äußeren Gussform 21 ab. In den Löchern 27b der Platten 27a sind die Schläuche 9a, 10a geführt. Die Anordnung der Winkelpositionen der Richtkörper 23 hat hier eine 3-zählige Drehsymmetrie.

[0096] Die Figuren 9 bis 11 illustrieren schematisch die Abfolge bei der Fertigung einer Röntgenröhre 1 gemäß der Erfindung. Beispielhaft wird eine Röntgenröhre 1 wie in Fig. 1 beschrieben gefertigt. Es sind jeweils schematisch Längsschnitte entlang der Röhrenachse RA darge-

stellt.

[0097] Die Fertigung beginnt mit der Bereitstellung einer teilweise gefertigten Röntgenröhre 100, umfassend im Wesentlichen den Keramikkörper 3, an dem bereits die Anode 4 und das Kathodengehäuse 2 befestigt sind, vgl. Fig. 9. Das Kathodengehäuse 2 ist dabei nach unten gerichtet.

[0098] Sodann wird der Gussraum 22 vorbereitet, indem (in grundsätzlich beliebiger Reihenfolge)

- die äußere Gussform 21 auf dem Keramikkörper 3 aufgesetzt wird,
- die innere Gussform 20 (hier eine Buchse 19 einschließlich Anschlusspol 18) innerhalb der äußeren Gussform 21 platziert wird, und
- die Richtkörper 23 und die Schläuche 9a, 10a im Bereich zwischen der inneren Gussform 20 und der äußeren Gussform 21 angeordnet werden. Der danach erreichte Zustand ist in Fig. 10 gezeigt. Durch die Richtkörper 23, hier die Nuten 24b, werden die Schläuche 9a, 10a in Position gehalten. Der Gussraum 22 ist nach oben hin offen.

[0099] Sodann wird in den Gussraum 22 ein flüssiges, aushärtbares Gussmaterial 32 aus Kunststoff eingefüllt, das zum Beispiel als ein Silikon ausgewählt ist. Das Gussmaterial 32 wird am Einfachsten von oben in den Gussraum 22 eingeschüttet. Das flüssige Gussmaterial 32 verteilt sich im gesamten, zur Verfügung stehenden Gussraum 22 bis zu einer Oberfläche 32a des Gussmaterials 32. Das Gussmaterial 32 gelangt insbesondere zwischen die Windungen 16 und die innere Gussform 20, zwischen die Windungen 16 und die äußere Gussform 21, und axial zwischen benachbarte Windungen 16. Das Gussmaterial 32 umschließt also die Schläuche 9a, 10a und auch die Richtkörper 23. Der befüllte Zustand des Gussraums 22 ist in Fig. 11 gezeigt. Sodann wird das flüssige Gussmaterial 32 ausgehärtet; typischerweise wird für das Aushärten eine gewisse Zeit zugewartet und/oder Wärme angewandt. Nach dem Aushärten des Gussmaterials 32 sind der Gusskörper 12 und die Röntgenröhre 1 insgesamt fertiggestellt. In dieser Variante verbleibt die äußere Gussform 21 an der Röntgenröhre 1; die äußere Gussform 21 kann für Erdung und Strahlenschutz mit Bleifolie ummantelt werden (nicht dargestellt). Mit über ein Kühlmittel, z.B. deionisiertes Wasser, in den Schläuchen 9a, 10a gekühlter Anode 4 und zwischen der Anode 4 und der beheizten Glühkathode 6 anliegender Hochspannung kann im Betrieb dann Röntgenstrahlung mittels der Röntgenröhre 1 erzeugt werden.

[0100] In einer anderen Variante wird, ausgehend von der in Fig. 11 gezeigten Röntgenröhre, nach dem Aushärten des Gussmaterials 32 die äußere Gussform des Gusskörpers entfernt; eine entsprechende Röntgenröhre 1 mit entfernter äußerer Gussform ist in Fig. 12 dargestellt. Vom Gusskörper verbleibt dann in der Röntgenröhre 1 noch ein übriger Gusskörper 12a, der im Wesent-

lichen durch den mit ausgehärtetem Gussmaterial 32 aufgefüllten Gussraum 22 (einschließlich des oder der eingegossenen Richtkörper und der eingegossenen Schlauchabschnitte) und die innere Gussform 20 gebildet wird. Eine (radial äußere) Seitenfläche 32b des ausgehärteten Gussmaterials 32 bzw. des aufgefüllten Gussraums 22 ist entsprechend freigelegt; diese Seitenfläche 32b kann für Erdung und Strahlenschutz mit einer Bleifolie ummantelt werden (nicht dargestellt). In dieser Variante kann die äußere Gussform mehrfach verwendet werden (und ist dann meist mehrteilig für eine radiale Ausformung ausgebildet und an einer Gießstation dauerhaft angeordnet, nicht dargestellt). Die in Fig. 12 gezeigte Röntgenröhre 1 kann ebenso wie die in Fig. 11 gezeigte Röntgenröhre im Betrieb zur Erzeugung von Röntgenstrahlung eingesetzt werden.

Bezugszeichenliste

[0101]

1	Röntgenröhre
2	Kathodengehäuse
3	Keramikkörper
4	Anode
4a	Oberseite der Anode ("Target")
4b	Anodenkanäle für Kühlmittel (im Anodenkörper)
5	evakuierter Raum
6	Glühkathode
7a	Masseanschluss
7b	Stromanschluss (für Heizstrom)
8	Schirmung
9	Zulaufleitung
9a	Schlauch der Zulaufleitung
9b	Kühlmittelanschluss (Zulaufleitung)
10	Ablaufleitung
10a	Schlauch der Ablaufleitung
10b	Kühlmittelanschluss (Ablaufleitung)
11	Isolationskörper
12	Gusskörper
12a	übriger Gusskörper
13	Strahlungsaustrittsfenster, hier Berylliumfenster
14a	Röhrchen der Zulaufleitung
14b	Röhrchen der Ablaufleitung
15	Rücksprung
16	Windung
17	Kontaktierungselement
18	Anschlusspol
19	Buchse
20	innere Gussform
21	äußere Gussform
22	Gussraum
23	Richtkörper
24	Nutenriegel
24a	Riegel
24b	Nut

25a-25d	innere Nutenriegel
26a-26d	äußere Nutenriegel
27	Lochplatte
27a	Platte
5 27b	Loch
28a-28d	Lochplatten
29	konisches vorderes Ende des Gusskörpers
30	umlaufende Vertiefung
31	Kabel
10 31a	Mantel
31b	Seele
32	Gussmaterial
32a	Oberfläche (Gussmaterial)
32b	Seitenfläche (Gussmaterial)
15 100	teilweise gefertigte Röntgenröhre
AA	axialer Abstand
AAG	radialer Abstand von Anode und Kathodengehäuse
AEK	axiale Erstreckung des Keramikkörpers
20 GRR	größter Radius des Rücksprungs
KRR	kleinster Radius des Rücksprungs
R	Radius der Windung
RA	Röhrenachse
RK	äußerer Radius des Keramikkörpers an der Rückseite
25 RAA	radialer Abstand nach außen
RAI	radialer Abstand nach innen
TR	axiale Tiefe des Rücksprungs

30 Referenzliste

[0102]

[1]	WO 2008/148426 A1
35 [2]	DE 10 2017 217 181 B3
[3]	US 10,714,300 B2
40 [4]	Firmendruckschrift "OEG-92J Industrial X-Ray tube", Version 2021, der Varex Imaging Corporation, Salt Lake City, UT 84104, USA.
[5]	DE 10 2008 017 153 A1
45 [6]	US 2012 / 0 076 278 A1
[7]	JP 2015-232 944 A

50 Patentansprüche

1. Röntgenröhre (1),
55 welche ein Kathodengehäuse (2) mit einem Strahlungsaustrittsfenster (13), eine gekühlte Anode (4), eine Kathode, insbesondere Glühkathode (6), einen Isolationskörper (11) zur

- elektrischen Isolation eines Hochspannungspotentials der Anode (4), eine Zulaufleitung (9) für Kühlmittel zur Anode (4) und eine Ablaufleitung (10) für Kühlmittel von der Anode (4) umfasst, und wobei im Isolationskörper (11) die Zulaufleitung (9) und die Ablaufleitung (10) jeweils mehrere Windungen (16) umfassen;
dadurch gekennzeichnet,
dass der Isolationskörper (11) einen Keramikkörper (3) und einen Gusskörper (12) umfasst, wobei die Anode (4) und das Kathodengehäuse (2) auf dem Keramikkörper (3) befestigt sind, und der Gusskörper (12) am Keramikkörper (3) befestigt ist,
dass der Gusskörper (12) eine innere Gussform (20) und zumindest zeitweise während der Herstellung der Röntgenröhre (1) eine äußere Gussform (21) umfasst,
dass in einem Gussraum (22) zwischen der äußeren Gussform (21) und der inneren Gussform (20) die Zulaufleitung (9) und die Ablaufleitung (10) jeweils mit einem Schlauch (9a, 10a) ausgebildet sind, der die mehreren Windungen (16) ausbildet,
dass im Gussraum (22) wenigstens ein Richtkörper (23) aus Kunststoff angeordnet ist, mit dem die Schläuche (9a, 10a) im Gussraum (22) ausgerichtet sind, so dass die Windungen (16) der Schläuche (9a, 10a) jeweils von der äußeren Gussform (21) und der inneren Gussform (20) beabstandet sind, und **dass** der Gussraum (22) mit einem Gussmaterial (32) aus Kunststoff in einem ausgehärteten Zustand aufgefüllt ist, so dass die Zwischenräume zwischen den Windungen (16) einerseits und der äußeren Gussform (21) und der inneren Gussform (20) andererseits von dem Kunststoff des wenigstens einen Richtkörpers (23) und/oder dem Kunststoff des Gussmaterials (32) eingenommen sind.
2. Röntgenröhre (1) nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** mit dem wenigstens einen Richtkörper (23) weiterhin die Schläuche (9a, 10a) im Gussraum (22) ausgerichtet sind, so dass auch die Windungen (16) der Schläuche (9a, 10a) voneinander beabstandet sind, und dass der Gussraum (22) mit dem Gussmaterial (32) weiterhin aufgefüllt ist, so dass auch die Zwischenräume zwischen den Windungen (16) untereinander von dem Kunststoff des wenigstens einen Richtkörpers (23) und/oder dem Kunststoff des Gussmaterials (32) eingenommen sind.
3. Röntgenröhre (1) nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Keramikkörper (3) an einer der Anode (4) zugewandten Vorderseite eine umlaufende Vertiefung (30) zwischen dem Kathodengehäuse (2) und der Anode (4) aufweist, und dass der Keramikkörper (3) an einer dem Gusskörper (12) zugewandten Rückseite des Keramikkörpers (3) eine zentrale Rücknehmung (15) aufweist.
4. Röntgenröhre (1) nach Anspruch 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Schläuche (9a, 10a) teilweise in einem Bereich der zentralen Rücknehmung (15) des Keramikkörpers (3) angeordnet sind, insbesondere wobei jeweils wenigstens eine halbe Windung (16) der Schläuche (9a, 10a) und/oder wenigstens 10% der Länge der Schläuche (9a, 10a) in der zentralen Rücknehmung (15) des Keramikkörpers (3) angeordnet ist.
5. Röntgenröhre (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** die innere Gussform (20) als eine Buchse (19) für einen Hochspannungsstecker zum Anschließen an die Anode (4) ausgebildet ist.
6. Röntgenröhre (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** die innere Gussform (20) als ein Kabel (31) ausgebildet ist, welches einen isolierenden Mantel (31a) und eine im Mantel (31a) verlaufende Seele (31b) umfasst, an welche die Anode (4) angeschlossen ist.
7. Röntgenröhre (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** der wenigstens eine Richtkörper (23) und das Gussmaterial (32) aus dem gleichen Kunststoff bestehen.
8. Röntgenröhre (1) nach Anspruch 7, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Kunststoff des Gussmaterials (32) ein Silikon oder ein Epoxidharz oder ein Polyurethan umfasst.
9. Röntgenröhre (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** im Gussraum (22) mehrere Richtkörper (23) angeordnet sind, insbesondere wobei die Richtkörper (23) jeweils
- zwischen der inneren Gussform (20) und der äußeren Gussform (21)
 - und/oder zwischen den Schläuchen (9a, 10a) einerseits und der inneren Gussform (20) oder der äußeren Gussform (21) andererseits eingeklemmt angeordnet sind.
10. Röntgenröhre (1) nach Anspruch 9, **dadurch gekennzeichnet, dass** in einer jeweiligen Schnittebene senkrecht zu einer Röhrenachse (RA) der Röntgenröhre (1) die Richtkörper (23) an Winkelpositionen angeordnet sind, wobei die Winkelpositionen eine drehsymmetrische Anordnung bezüglich der Röhrenachse (RA) bilden.

11. Röntgenröhre (1) nach Anspruch 10, **dadurch gekennzeichnet, dass** N Richtkörper (23) die Schläuche (9a, 10a) zum inneren Gusskörper (20) hin abstützen, und N Richtkörper (23) die Schläuche (9a, 10a) zum äußeren Gusskörper (21) hin abstützen, und die drehsymmetrische Anordnung der Winkelpositionen eine N-fache Zähligkeit aufweist, wobei N eine natürliche Zahl mit $N \geq 2$ ist. 5
12. Röntgenröhre (1) nach Anspruch 11, **dadurch gekennzeichnet, dass** die N Richtkörper (23), die die Schläuche (9a, 10a) zum inneren Gusskörper (20) hin abstützen, und die N Richtkörper (23), die die Schläuche (9a, 10a) zum äußeren Gusskörper (21) hin abstützen, bezüglich der Röhrenachse (RA) in einer jeweiligen Schnittebene angeordnet sind 10
- an identischen Winkelpositionen, oder
 - an um $360^\circ/(2 \cdot N)$ zueinander versetzten Winkelpositionen. 15
13. Röntgenröhre (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** ein oder mehrere Richtkörper (23) des wenigstens einen Richtkörpers (23) ausgebildet sind als eine Lochplatte (27, 28a-28c), umfassend eine Platte (27a) und mehrere Löcher (27b) in der Platte (27a), durch die die Schläuche (9a, 10a) geführt sind, insbesondere wobei eine jeweilige Lochplatte (27, 28a-28c) zwischen der inneren Gussform (20) und der äußeren Gussform (21) eingeklemmt angeordnet ist. 20 25 30
14. Röntgenröhre (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** ein oder mehrere Richtkörper (23) des wenigstens einen Richtkörpers (23) ausgebildet sind als ein Nutenriegel (24), umfassend einen Riegel (24a) und mehrere Nuten (24b), insbesondere halbrunde Nuten (24b), in die die Schläuche (9a, 10a) eingelegt sind, insbesondere wobei ein jeweiliger Nutenriegel (24) zwischen den Schläuchen (9a, 10a) einerseits und der inneren Gussform (20) oder der äußeren Gussform (21) andererseits eingeklemmt angeordnet ist. 35 40 45
15. Röntgenröhre (1) nach Anspruch 14, **dadurch gekennzeichnet, dass** jeweils Nutenriegel (25a-25d), die Schläuche (9a, 10a) zum inneren Gusskörper (20) hin abstützen, und Nutenriegel (26a-26d), die Schläuche (9a, 10a) zum äußeren Gusskörper (21) hin abstützen, paarweise einander gegenüber liegend angeordnet sind. 50
16. Röntgenröhre (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Windungen (16) der Schläuche (9a, 10a) um eine Röhrenachse (RA) gewunden sind und entlang einer Röhrenachse (RA) aufgereiht sind. 55
17. Röntgenröhre (1) nach Anspruch 16, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Windungen (16) bezüglich der Röhrenachse (RA) einen konstanten Radius (R) aufweisen, insbesondere wobei die äußere Gussform (21) und die innere Gussform (20) im Wesentlichen zylindermantelförmig und koaxial zur Röhrenachse (RA) ausgebildet sind, so dass die Windungen (16) einen konstanten radialen Abstand (RAA) zur äußeren Gussform (21) aufweisen und weiterhin die Windungen (16) einen konstanten radialen Abstand (RAI) zur inneren Gussform (20) aufweisen.
18. Röntgenröhre (1) nach Anspruch 17, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Windungen (16) in axialer Richtung einen konstanten Abstand (AA) zueinander aufweisen.
19. Röntgenröhre (1) nach Anspruch 16, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Windungen (16) bezüglich der Röhrenachse (RA) einen Radius (R) aufweisen, der von der Anode (4) weg zunimmt, insbesondere wobei die äußere Gussform (21) und die innere Gussform (20) im Wesentlichen zylindermantelförmig und koaxial zur Röhrenachse (RA) ausgebildet sind, so dass die Windungen (16) einen von der Anode (4) weg abnehmenden radialen Abstand (RAA) zur äußeren Gussform (21) aufweisen und weiterhin die Windungen (16) einen von der Anode (4) weg zunehmenden radialen Abstand (RAI) zur inneren Gussform (20) aufweisen.
20. Röntgenröhre (1) nach Anspruch 19, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Windungen (16)
- einen konstanten axialen Abstand (AA) zueinander
 - oder einen von der Anode (4) weg zunehmenden axialen Abstand (AA) zueinander aufweisen.
21. Röntgenröhre (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 20, **dadurch gekennzeichnet, dass** nach der Herstellung der Röntgenröhre (1) die äußere Gussform (21) am übrigen Gusskörper (12a) verblieben ist.
22. Röntgenröhre (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 20, **dadurch gekennzeichnet, dass** nach der Herstellung der Röntgenröhre (1) die äußere Gussform (21) vom übrigen Gusskörper (12a) entfernt ist.
23. Verfahren zur Herstellung einer Röntgenröhre (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, mit den Schritten:
- a) zur Einrichtung des Gussraums (22) wird die äußere Gussform (21) an einer der Anode (4) abgewandten Rückseite des Keramikkörper (3)

abdichtend angeordnet und die innere Gussform (20) wird vor der Rückseite des Keramikkörpers (3) angeordnet, und im Gussraum (22) zwischen der inneren Gussform (20) und der äußeren Gussform (21) werden der wenigstens eine Richtkörper (23) aus Kunststoff und die Schläuche (9a, 10a) angeordnet, wobei mit dem wenigstens einen Richtkörper (23) die Schläuche (9a, 10a) im Gussraum (22) so ausgerichtet werden, dass die Windungen (16) der Schläuche (9a, 10a) jeweils von der äußeren Gussform (21) und der inneren Gussform (20) beabstandet sind, und bevorzugt auch die Windungen (16) voneinander beabstandet sind, b) der Gussraum (22) wird mit dem Gussmaterial (32) aus Kunststoff in einem flüssigen Zustand aufgefüllt, so dass die Zwischenräume zwischen den Windungen (16) einerseits und der äußeren Gussform (21) und der inneren Gussform (20) andererseits, und bevorzugt auch die Zwischenräume zwischen den Windungen (16) untereinander, von dem Kunststoff des wenigstens einen Richtkörpers (23) und/oder dem Kunststoff des Gussmaterials (32) eingenommen werden, c) das Gussmaterial (32) aus Kunststoff wird ausgehärtet.

24. Verfahren nach Anspruch 23, dadurch gekennzeichnet,

dass mit dem Verfahren eine Röntgenröhre (1) nach Anspruch 21 hergestellt wird, wobei nach Schritt c) die äußere Gussform (21) am übrigen Gusskörper (12a) verbleibt.

25. Verfahren nach Anspruch 23, dadurch gekennzeichnet,

dass mit dem Verfahren eine Röntgenröhre (1) nach Anspruch 22 hergestellt wird, wobei das Verfahren weiterhin umfasst einen Schritt d) die äußere Gussform (21) wird vom übrigen Gusskörper (12a) entfernt.

Claims

1. An X-ray tube (1),

which comprises a cathode housing (2) having a radiation exit window (13), a cooled anode (4), a cathode, in particular a hot cathode (6), an insulation body (11) for electrical insulation of a high-voltage potential of the anode (4), a supply line (9) for coolant to the anode (4) and a discharge line (10) for coolant from the anode (4), the supply line (9) and the discharge line (10) respectively comprising a plurality of turns (16) in the insulation body (11);

characterized in

that the insulation body (11) comprises a ceramic body (3) and a potted body (12), the anode (4) and the cathode housing (2) being fastened on the ceramic body (3) and the potted body (12) being fastened on the ceramic body (3),

that the potted body (12) comprises an inner mold (20) and, at least temporarily during the production of the X-ray tube (1), an outer mold (21),

that the supply line (9) and the discharge line (10) are respectively configured with a hose (9a, 10a), which forms the plurality of turns (16), in a potting space (22) between the outer mold (21) and the inner mold (20),

that at least one plastic directing body (23), by which the hoses (9a, 10a) are aligned in the potting space (22), is arranged in the potting space (22) so that the turns (16) of the hoses (9a, 10a) are respectively separated from the outer mold (21) and the inner mold (20), and in that the potting space (22) is filled with a plastic potting compound (32) in a cured state so that the intermediate spaces between the turns (16) on the one hand and the outer mold (21) and the inner mold (20) on the other hand are occupied by the plastic of the at least one directing body (23) and/or the plastic of the potting compound (32).

2. The X-ray tube (1) as claimed in claim 1, characterized in that with the at least one directing body (23), the hoses (9a, 10a) are furthermore aligned in the potting space (22) so that the turns (16) of the hoses (9a, 10a) are also separated from one another,

and in that the potting space (22) is furthermore filled with the potting compound (32) so that the intermediate spaces between the turns (16) are also occupied by the plastic of the at least one directing body (23) and/or the plastic of the potting compound (32).

3. The X-ray tube (1) as claimed in claim 1 or 2, characterized in that the ceramic body (3) has a circumferential indentation (30) between the cathode housing (2) and the anode (4) on a front side facing toward the anode (4), and **in that** the ceramic body (3) has a central recess (15) on a rear side of the ceramic body (3) facing toward the potted body (12).

4. The X-ray tube (1) as claimed in claim 3, characterized in that the hoses (9a, 10a) are arranged partially in a region of the central recess (15) of the ceramic body (3), in particular with in each case at least one half-turn (16) of the hoses (9a, 10a) and/or at least 10% of the length of the hoses (9a, 10a) being arranged in the central recess (15) of the ceramic body (3).

5. The X-ray tube (1) as claimed in one of claims 1 to 4, **characterized in that** the inner mold (20) is configured as a bush (19) for a high-voltage plug for connection to the anode (4).
6. The X-ray tube (1) as claimed in one of claims 1 to 4, **characterized in that** the inner mold (20) is configured as a cable (31) which comprises an insulating sheath (31a) and a core (31b) running in the sheath (31a), to which the anode (4) is connected.
7. The X-ray tube (1) as claimed in one of the preceding claims, **characterized in that** the at least one directing body (23) and the potting compound (32) consist of the same plastic.
8. The X-ray tube (1) as claimed in claim 7, **characterized in that** the plastic of the potting compound (32) comprises a silicone or an epoxy resin or a polyurethane.
9. The X-ray tube (1) as claimed in one of the preceding claims, **characterized in that** a plurality of directing bodies (23) are arranged in the potting space (22), in particular with the directing bodies (23) in each case being arranged clamped
 - between the inner mold (20) and the outer mold (21)
 - and/or between the hoses (9a, 10a) on the one hand and the inner mold (20) or the outer mold (21) on the other hand.
10. The X-ray tube (1) as claimed in claim 9, **characterized in that** the directing bodies (23) are arranged at angular positions in a respective section plane perpendicular to a tube axis (RA) of the X-ray tube (1), the angular positions forming a rotationally symmetrical arrangement with respect to the tube axis (RA).
11. The X-ray tube (1) as claimed in claim 10, **characterized in that** N directing bodies (23) support the hoses (9a, 10a) toward the inner mold (20) and N directing bodies (23) support the hoses (9a, 10a) toward the outer mold (21), and the rotationally symmetrical arrangement of the angular positions has N-fold symmetry, where N is a natural number with $N \geq 2$.
12. The X-ray tube (1) as claimed in claim 11, **characterized in that** the N directing bodies (23) which support the hoses (9a, 10a) toward the inner mold (20) and the N directing bodies (23) which support the hoses (9a, 10a) toward the outer mold (21) are arranged with respect to the tube axis (RA) in a respective section plane
 - at identical angular positions, or
 - at angular positions offset by $360^\circ/(2 \cdot N)$ with respect to one another.
13. The X-ray tube (1) as claimed in one of the preceding claims, **characterized in that** one or more directing bodies (23) of the at least one directing body (23) are configured as a perforated plate (27, 28a-28c) comprising a plate (27a) and a plurality of holes (27b) in the plate (27a), through which the hoses (9a, 10a) are guided, in particular with a respective perforated plate (27, 28a-28c) being arranged clamped between the inner mold (20) and the outer mold (21).
14. The X-ray tube (1) as claimed in one of the preceding claims, **characterized in that** one or more directing bodies (23) of the at least one directing body (23) are configured as a grooved bar (24) comprising a bar (24a) and a plurality of grooves (24b), in particular semicircular grooves (24b), into which the hoses (9a, 10a) are placed, in particular with a respective grooved bar (24) being arranged clamped between the hoses (9a, 10a) on the one hand and the inner mold (20) or the outer mold (21) on the other hand.
15. The X-ray tube (1) as claimed in claim 14, **characterized in that** grooved bars (25a-25d) which support hoses (9a, 10a) toward the inner mold (20) and grooved bars (26a-26d) which support hoses (9a, 10a) toward the outer mold (21) are respectively arranged lying opposite one another pairwise.
16. The X-ray tube (1) as claimed in one of the preceding claims, **characterized in that** the turns (16) of the hoses (9a, 10a) are wound around a tube axis (RA) and are sequenced along a tube axis (RA).
17. The X-ray tube (1) as claimed in claim 16, **characterized in that** the turns (16) have a constant radius (R) with respect to the tube axis (RA), in particular with the outer mold (21) and the inner mold (20) being configured substantially in the form of the lateral surface of a cylinder and coaxially with respect to the tube axis (RA), so that the turns (16) have a constant radial spacing (RAA) with respect to the outer mold (21) and furthermore the turns (16) have a constant radial spacing (RAI) with respect to the inner mold (20).
18. The X-ray tube (1) as claimed in claim 17, **characterized in that** the turns (16) have a constant spacing (AA) with respect to one another in the axial direction.
19. The X-ray tube (1) as claimed in claim 16, **characterized in that** the turns (16) have a radius (R) with respect to the tube axis (RA) which increases away

from the anode (4),
in particular with the outer mold (21) and the inner mold (20) being configured substantially in the form of the lateral surface of a cylinder and coaxially with respect to the tube axis (RA), so that the turns (16) have a radial spacing (RAA) with respect to the outer mold (21) which decreases away from the anode (4) and furthermore the turns (16) have a radial spacing (RAI) with respect to the inner mold (20) which increases away from the anode (4).

20. The X-ray tube (1) as claimed in claim 19, **characterized in that** the turns (16) have

- a constant axial spacing (AA) with respect to one another
- or an axial spacing (AA) with respect to one another which increases away from the anode (4).

21. The X-ray tube (1) as claimed in one of claims 1 to 20, **characterized in that** after the production of the X-ray tube (1), the outer mold (21) remains on the rest of the potted body (12a).

22. The X-ray tube (1) as claimed in one of claims 1 to 20, **characterized in that** after the production of the X-ray tube (1), the outer mold (21) is removed from the rest of the potted body (12a).

23. A method for producing an X-ray tube (1) as claimed in one of the preceding claims, having the steps:

a) in order to set up the potting space (22), the outer mold (21) is arranged in a sealing manner on a rear side of the ceramic body (3) facing away from the anode (4) and the inner mold (20) is arranged in front of the rear side of the ceramic body (3), and the at least one plastic directing body (23) and the hoses (9a, 10a) are arranged in the potting space (22) between the inner mold (20) and the outer mold (21), with the at least one directing body (23) aligning the hoses (9a, 10a) in the potting space (22) in such a way that the turns (16) of the hoses (9a, 10a) are respectively separated from the outer mold (21) and the inner mold (20), and preferably the turns (16) are also separated from one another,

b) the potting space (22) is filled with the plastic potting compound (32) in a liquid state so that the intermediate spaces between the turns (16) on the one hand and the outer mold (21) and the inner mold (20) on the other hand, and preferably also the intermediate spaces between the turns (16), are occupied by the plastic of the at least one directing body (23) and/or the plastic of the potting compound (32),

c) the plastic potting compound (32) is cured.

24. The method as claimed in claim 23, **characterized in that** an X-ray tube (1) as claimed in claim 21 is produced using the method, the outer mold (21) remaining on the rest of the potted body (12a) after step c).

25. The method as claimed in claim 23, **characterized in that** an X-ray tube (1) as claimed in claim 22 is produced using the method, the method furthermore comprising a step
d) the outer mold (21) is removed from the rest of the potted body (12a).

Revendications

1. Tube à rayons X (1),

qui comprend un boîtier de cathode (2) avec une fenêtre de sortie de rayonnement (13), une anode refroidie (4), une cathode, en particulier une cathode chaude (6), un corps isolant (11) permettant l'isolation électrique d'un potentiel à haute tension de l'anode (4), une conduite d'alimentation (9) destinée au liquide de refroidissement et menant à l'anode (4) et une conduite d'évacuation (10) destinée au liquide de refroidissement et partant de l'anode (4), et la conduite d'alimentation (9) et la conduite d'évacuation (10) comprenant respectivement plusieurs spires (16) au sein du corps isolant (11) ;

caractérisé en ce que

le corps isolant (11) comprend un corps en céramique (3) et un corps de coulée (12), l'anode (4) et le boîtier de cathode (2) étant fixés sur le corps en céramique (3), et le corps de coulée (12) étant fixé au corps en céramique (3), le corps de coulée (12) comprend un moule de coulée intérieur (20) et, au moins temporairement pendant la fabrication du tube à rayons X (1), un moule de coulée extérieur (21), au sein d'un espace de coulée (22) situé entre le moule de coulée extérieur (21) et le moule de coulée intérieur (20), la conduite d'alimentation (9) et la conduite d'évacuation (10) sont constituées respectivement d'un tuyau (9a, 10a) qui forme les plusieurs spires (16), dans l'espace de coulée (22) est agencé au moins un corps directeur (23) en plastique grâce auquel les tuyaux (9a, 10a) sont alignés au sein de l'espace de coulée (22) de sorte que les spires (16) des tuyaux (9a, 10a) sont respectivement espacées par rapport au moule de coulée extérieur (21) et au moule de coulée intérieur (20),

- et l'espace de coulée (22) est rempli avec un matériau de coulée (32) en plastique à l'état durci, de sorte que les intervalles entre les spires (16) d'une part et entre le moule de coulée extérieur (21) et le moule de coulée intérieur (20) d'autre part sont occupés par le plastique du au moins un corps directeur (23) et/ou par le plastique du matériau de coulée (32).
2. Tube à rayons X (1) selon la revendication 1, **caractérisé en ce que** les tuyaux (9a, 10a) sont en outre alignés avec le au moins un corps directeur (23) au sein de l'espace de coulée (22), de sorte que les spires (16) des tuyaux (9a, 10a) sont également espacées les unes par rapport aux autres, et l'espace de coulée (22) est en outre comblé avec le matériau de coulée (32) de sorte que les intervalles entre les spires (16) situées les unes sous les autres sont également occupés par la matière plastique du au moins un corps directeur (23) et/ou par la matière plastique du matériau de coulée (32).
 3. Tube à rayons X (1) selon la revendication 1 ou 2, **caractérisé en ce que** le corps en céramique (3) présente un évidement périphérique (30) entre le boîtier de cathode (2) et l'anode (4) au niveau d'une face avant tournée vers l'anode (4), et **en ce que** le corps en céramique (3) présente un retrait central (15) au niveau d'une face arrière du corps en céramique (3) tournée vers le corps de coulée (12).
 4. Tube à rayons X (1) selon la revendication 3, **caractérisé en ce que** les tuyaux (9a, 10a) sont agencés en partie dans une région du retrait central (15) du corps en céramique (3), en particulier respectivement au moins une moitié de la spire (16) des tuyaux (9a, 10a) et/ou au moins 10 % de la longueur des tuyaux (9a, 10a) étant agencée(s) dans le retrait central (15) du corps en céramique (3).
 5. Tube à rayons X (1) selon l'une quelconque des revendications 1 à 4, **caractérisé en ce que** le moule de coulée intérieur (20) est réalisé sous la forme d'une douille (19) destinée à une fiche haute tension à raccorder à l'anode (4).
 6. Tube à rayons X (1) selon l'une quelconque des revendications 1 à 4, **caractérisé en ce que** le moule de coulée intérieur (20) est réalisé sous la forme d'un câble (31) qui comprend une gaine isolante (31a) et une âme (31b) s'étendant dans la gaine (31a) et au niveau de laquelle l'anode (4) est raccordée.
 7. Tube à rayons X (1) selon l'une quelconque des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** le au moins un corps directeur (23) et le matériau de coulée (32) sont fabriqués à partir de la même matière plastique.
 8. Tube à rayons X (1) selon la revendication 7, **caractérisé en ce que** la matière plastique du matériau de coulée (32) comprend un silicone ou une résine époxy ou un polyuréthane.
 9. Tube à rayons X (1) selon l'une quelconque des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** plusieurs corps directeurs (23) sont agencés dans l'espace de coulée (22), les corps directeurs (23) étant en particulier agencés en étant enserrés respectivement
 - entre le moule de coulée intérieur (20) et le moule de coulée extérieur (21)
 - et/ou entre les tuyaux (9a, 10a) d'une part et le moule de coulée intérieur (20) ou le moule de coulée extérieur (21) d'autre part.
 10. Tube à rayons X (1) selon la revendication 9, **caractérisé en ce que** les corps directeurs (23) sont agencés selon des positions angulaires de manière perpendiculaire à un axe de tube (RA) du tube à rayons X (1) au sein d'un plan de coupe respectif, les positions angulaires formant un agencement à symétrie de rotation par rapport à l'axe de tube (RA).
 11. Tube à rayons X (1) selon la revendication 10, **caractérisé en ce que** N corps directeurs (23) soutiennent les tuyaux (9a, 10a) vers le corps de coulée intérieur (20), et N corps directeurs (23) soutiennent les tuyaux (9a, 10a) vers le corps de coulée extérieur (21), et l'agencement à symétrie de rotation des positions angulaires présente un ordre N, N étant un nombre naturel tel que $N \geq 2$.
 12. Tube à rayons X (1) selon la revendication 11, **caractérisé en ce que** les N corps directeurs (23) qui soutiennent les tuyaux (9a, 10a) vers le corps de coulée intérieur (20) et les N corps directeurs (23) qui soutiennent les tuyaux (9a, 10a) vers le corps de coulée extérieur (21) sont agencés dans un plan de coupe respectif par rapport à l'axe de tube (RA).
 - selon des positions angulaires identiques, ou
 - selon des positions angulaires décalées de $360^\circ/(2*N)$ les unes par rapport aux autres.
 13. Tube à rayons X (1) selon l'une quelconque des revendications précédentes, **caractérisé en ce qu'un ou plusieurs corps directeur(s) (23) parmi le au moins un corps directeur (23) est/sont réalisé(s) sous la forme d'une plaque perforée (27, 28a à 28c) comprenant une plaque (27a) et plusieurs trous (27b) situés dans la plaque (27a) et à travers lesquels sont guidés les tuyaux (9a, 10a), en particulier une plaque perforée (27, 28a à 28c) respective étant agencée en étant enserrée entre le moule de coulée intérieur (20) et le moule de coulée**

extérieur (21).

14. Tube à rayons X (1) selon l'une quelconque des revendications précédentes, **caractérisé en ce qu'un ou plusieurs corps directeur(s) (23) parmi le** 5
au moins un corps directeur (23) est/sont réalisé(s) sous la forme d'un verrou à gorges (24), comprenant un verrou (24a) et plusieurs gorges (24b), en particulier des gorges semi-circulaires (24b) dans lesquelles sont insérés les tuyaux (9a, 10a), 10
en particulier un verrou à gorges (24) respectif étant agencé en étant enserré entre les tuyaux (9a, 10a) d'une part et le moule de coulée intérieur (20) ou le moule de coulée extérieur (21) d'autre part.

15. Tube à rayons X (1) selon la revendication 14, **caractérisé en ce que** des verrous à gorges (25a à 25d) qui soutiennent des tuyaux (9a, 10a) vers le corps de coulée intérieur (20) et des verrous à gorges (26a à 26d) qui soutiennent des tuyaux (9a, 10a) 20
vers le corps de coulée extérieur (21) sont agencés respectivement par paires en vis-à-vis.

16. Tube à rayons X (1) selon l'une quelconque des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** les spires (16) des tuyaux (9a, 10a) sont enroulées autour d'un axe de tube (RA) et sont alignées le long d'un axe de tube (RA). 25

17. Tube à rayons X (1) selon la revendication 16, **caractérisé en ce que** les spires (16) présentent un rayon constant (R) par rapport à l'axe de tube (RA), en particulier le moule de coulée extérieur (21) et le moule de coulée intérieur (20) étant réalisés essentiellement en forme de gaine cylindrique et de manière coaxiale par rapport à l'axe de tube (RA), de sorte que les spires (16) présentent une distance radiale (RAA) constante par rapport au moule de coulée extérieur (21) et de sorte que les spires (16) 30
présentent en outre une distance radiale (RAI) constante par rapport au moule de coulée intérieur (20). 35

18. Tube à rayons X (1) selon la revendication 17, **caractérisé en ce que** les spires (16) présentent une distance (AA) constante les unes par rapport aux autres dans la direction axiale. 40

19. Tube à rayons X (1) selon la revendication 16, **caractérisé en ce que** les spires (16) présentent par rapport à l'axe de tube (RA) un rayon (R) qui augmente en s'éloignant de l'anode (4), en particulier le moule de coulée extérieur (21) et le moule de coulée intérieur (20) étant réalisés essentiellement en forme de gaine cylindrique et de manière coaxiale par rapport à l'axe de tube (RA), de sorte que les spires (16) présentent une distance radiale (RAA) décroissante par rapport au moule de coulée extérieur (21) en s'éloignant de l'anode (4) et 45

de sorte que les spires (16) présentent en outre une distance radiale (RAI) croissante par rapport au moule de coulée intérieur (20) en s'éloignant de l'anode (4).

20. Tube à rayons X (1) selon la revendication 19, **caractérisé en ce que** les spires (16) présentent

- une distance axiale (AA) constante les uns par rapport aux autres
- ou une distance axiale (AA) croissante les unes par rapport aux autres en s'éloignant de l'anode (4).

21. Tube à rayons X (1) selon l'une quelconque des revendications 1 à 20, **caractérisé en ce que** le moule de coulée extérieur (21) demeure au niveau du reste du corps de coulée (12a) après la fabrication du tube à rayons X (1). 50

22. Tube à rayons X (1) selon l'une quelconque des revendications 1 à 20, **caractérisé en ce que** le moule de coulée extérieur (21) est éloigné du reste du corps de coulée (12a) après la fabrication du tube à rayons X (1). 55

23. Procédé de fabrication d'un tube à rayons X (1) selon l'une quelconque des revendications précédentes, comprenant les étapes ci-dessous :

- a) afin de créer l'espace de coulée (22), le moule de coulée extérieur (21) est agencé de manière étanche au niveau d'une face arrière du corps en céramique (3) opposée à l'anode (4) et le moule de coulée intérieur (20) est agencé devant la face arrière du corps en céramique (3), et le au moins un corps directeur (23) en plastique et les tuyaux (9a, 10a) sont agencés dans l'espace de coulée (22) entre le moule de coulée intérieur (20) et le moule de coulée extérieur (21), les tuyaux (9a, 10a) étant alignés dans l'espace de coulée (22) grâce au au moins un corps directeur (23) de sorte que les spires (16) des tuyaux (9a, 10a) sont respectivement espacées par rapport au moule de coulée extérieur (21) et au moule de coulée intérieur (20), et les spires (16) sont de manière préférée également espacées les unes par rapport aux autres,
- b) l'espace de coulée (22) est rempli avec le matériau de coulée (32) en plastique à l'état liquide, de sorte que les intervalles entre les spires (16) d'une part et entre le moule de coulée extérieur (21) et le moule de coulée intérieur (20) d'autre part, et de manière préférée également les intervalles entre les spires (16) situées les unes sous les autres sont occupés par le plastique du au moins un corps directeur (23) et/ou par le plastique du matériau de coulée (32),

c) le matériau de coulée (32) en plastique est durci.

24. Procédé selon la revendication 23, caractérisé en ce que

un tube à rayons X (1) selon la revendication 21 est fabriqué grâce audit procédé, le moule de coulée extérieur (21) demeurant au niveau du reste du corps de coulée (12a) après l'étape c).

5

10

25. Procédé selon la revendication 23, caractérisé en ce que

un tube à rayons X (1) selon la revendication 22 est fabriqué grâce audit procédé, le procédé comprenant en outre l'étape ci-dessous :

15

d) le moule de coulée extérieur (21) est éloigné du reste du corps de coulée (12a).

20

25

30

35

40

45

50

55

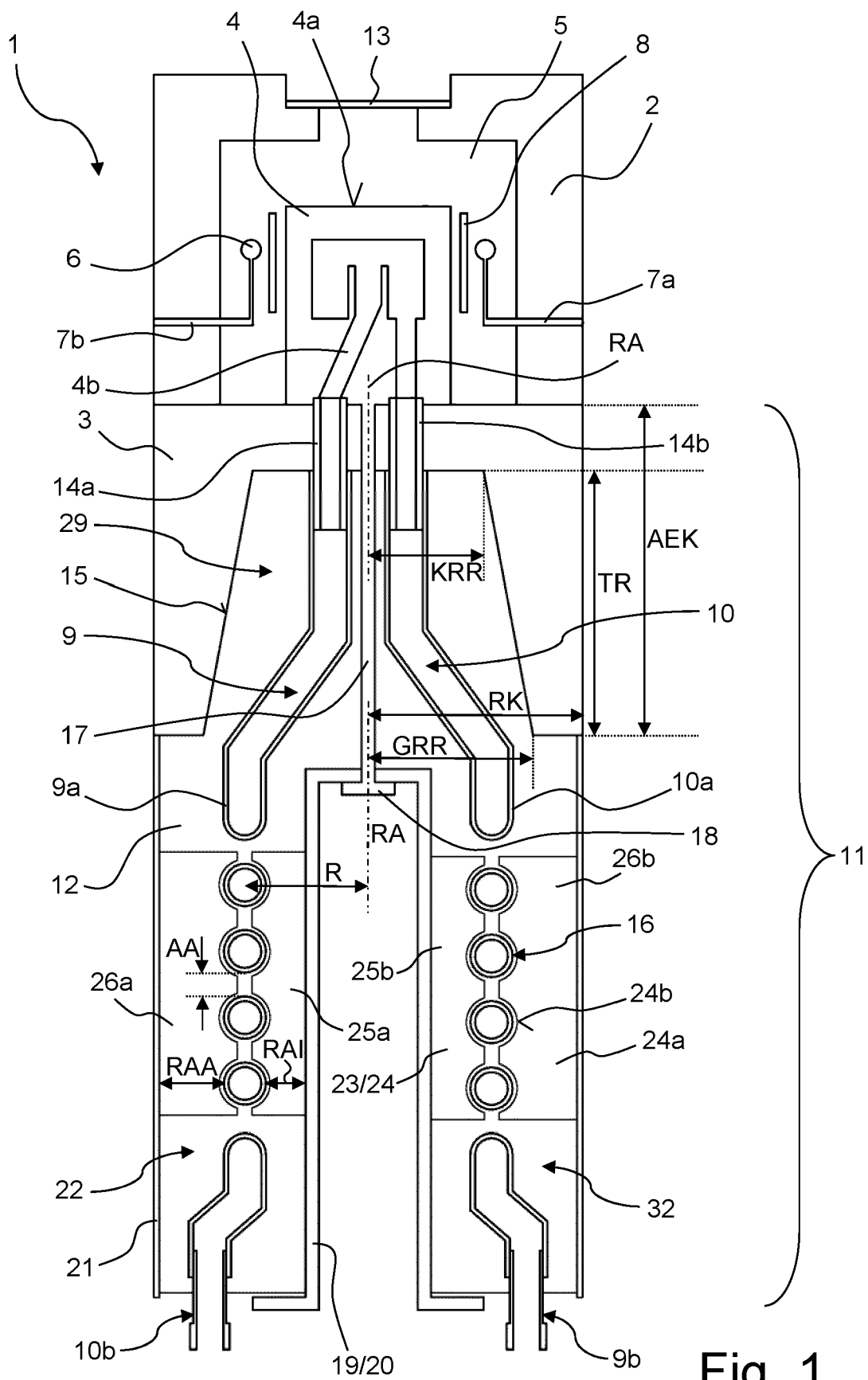


Fig. 1

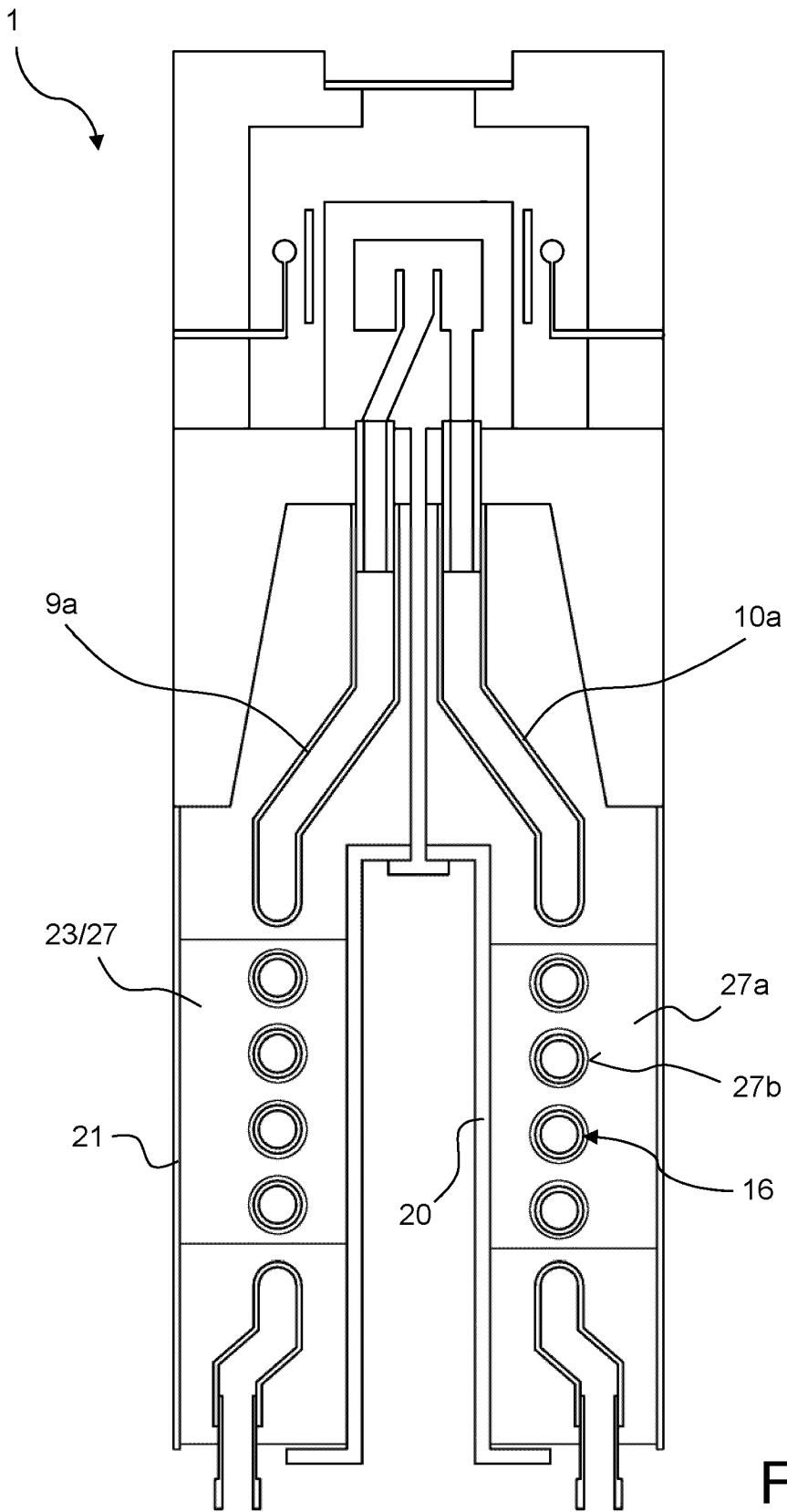


Fig. 2

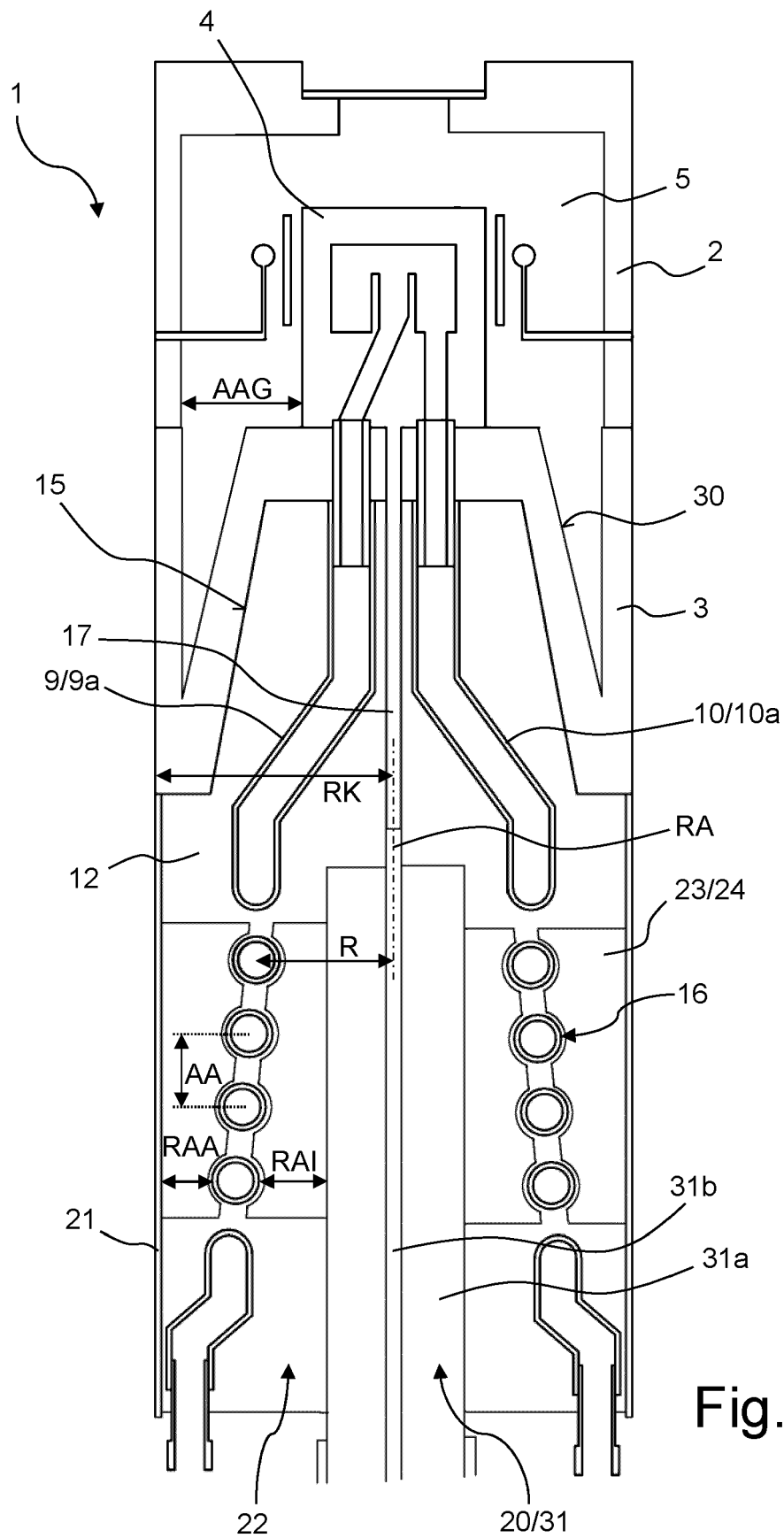


Fig. 3

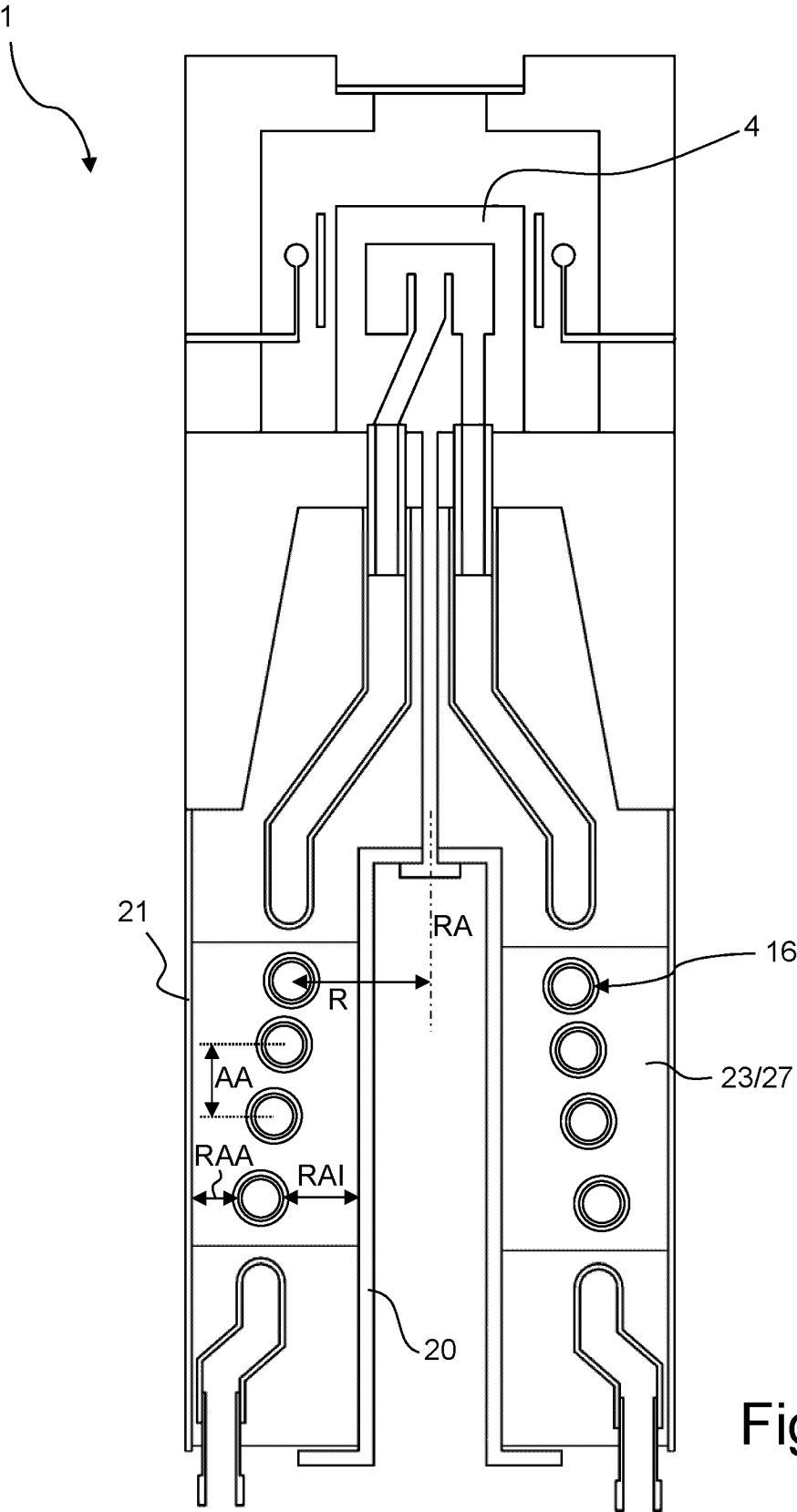


Fig. 4

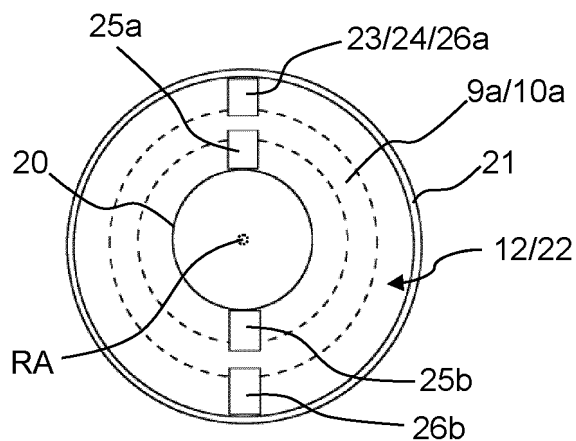


Fig. 5

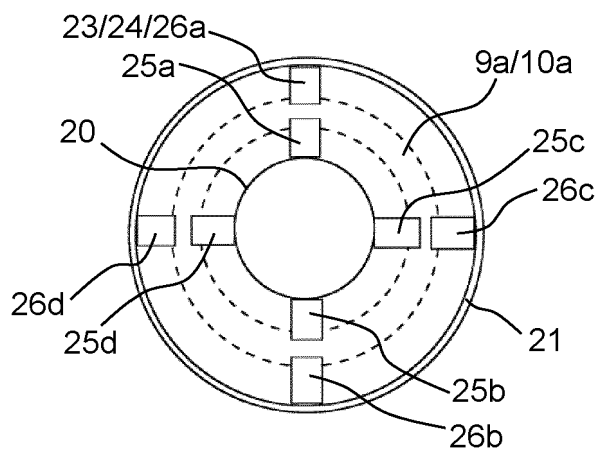


Fig. 6

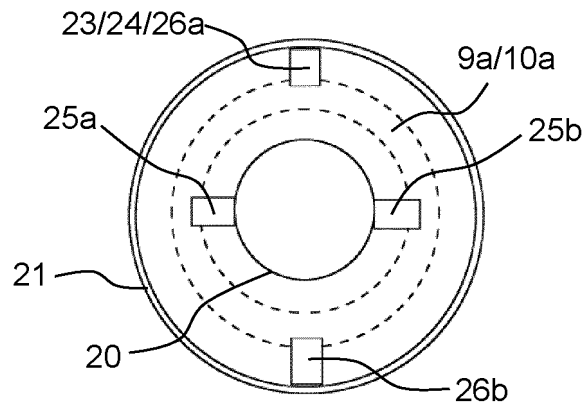


Fig. 7

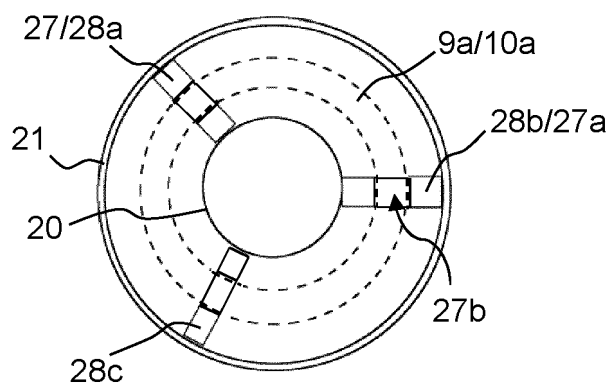


Fig. 8

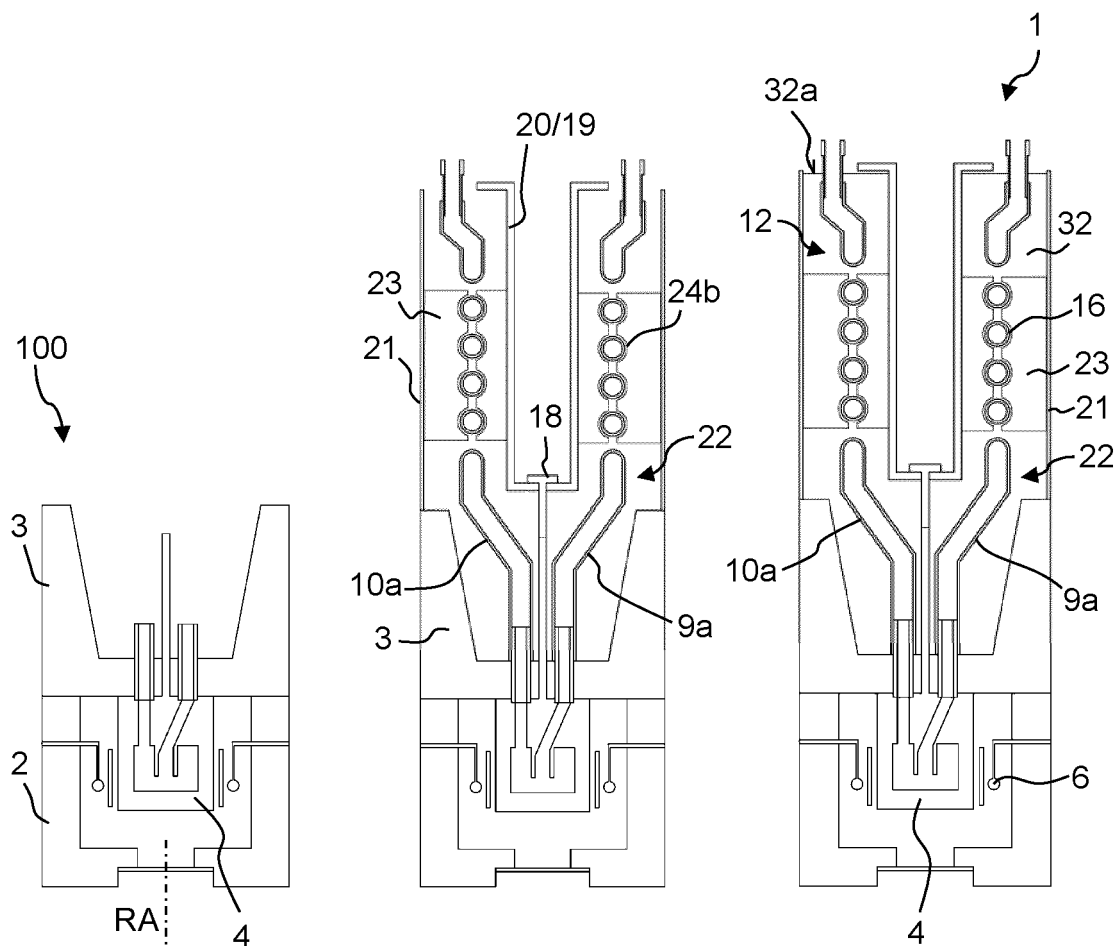


Fig. 9

Fig. 10

Fig. 11

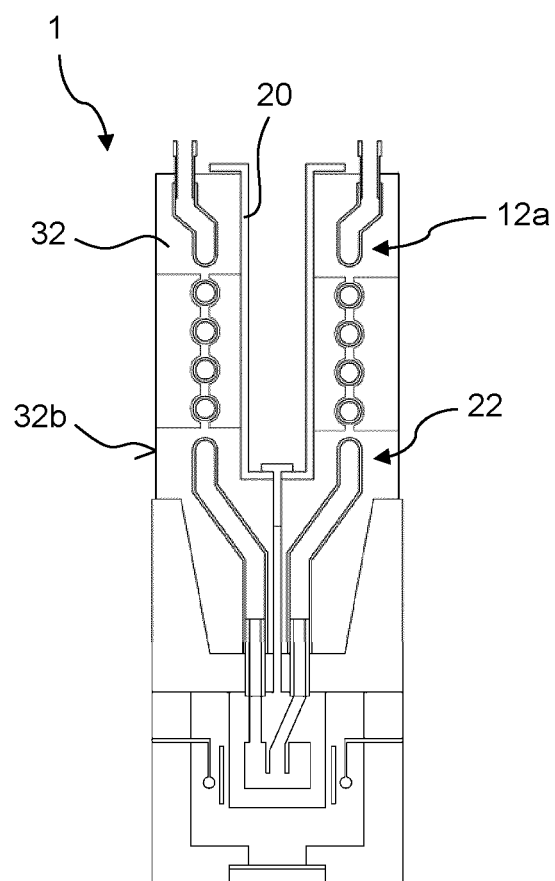


Fig. 12

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 2008148426 A1 [0002] [0102]
- DE 674415 C [0002]
- DE 102017217181 B3 [0009] [0102]
- US 10714300 B2 [0009] [0102]
- DE 102008017153 A1 [0013] [0102]
- US 20120076278 A1 [0014] [0102]
- JP 2015232944 A [0015] [0102]

In der Beschreibung aufgeführte Nicht-Patentliteratur

- **FIRMENDRUCKSCHRIFT**. der Varex Imaging Corporation, Salt Lake City, UT 84104, USA. OEG-92J Industrial X-Ray tube [0102]