

(19)



(11)

EP 2 556 525 B1

(12)

EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des Hinweises auf die Patenterteilung:
22.08.2018 Patentblatt 2018/34

(51) Int Cl.:
H01J 35/06 ^(2006.01) **H01J 35/14** ^(2006.01)
H01J 1/16 ^(2006.01)

(21) Anmeldenummer: **10716475.8**

(86) Internationale Anmeldenummer:
PCT/EP2010/002223

(22) Anmeldetag: **09.04.2010**

(87) Internationale Veröffentlichungsnummer:
WO 2011/124237 (13.10.2011 Gazette 2011/41)

(54) **MIKROFOKUS-RÖNTGENRÖHRE MIT KATHODENELEMENT UND VERFAHREN DAMIT**
MICROFOCUS X-RAY TUBE WITH CATHODE ELEMENT AND PROCESS USING THE SAME
TUBE À RAYONS X À MICRO-FOYER AVEC ÉLÉMENT CATHODIQUE ET SON PROCÉDÉ D'UTILISATION

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

(74) Vertreter: **Patentanwälte Bauer Vorberg Kayser Partnerschaft mbB**
Goltsteinstraße 87
50968 Köln (DE)

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:
13.02.2013 Patentblatt 2013/07

(56) Entgegenhaltungen:
EP-A2- 0 273 162 DE-A1- 2 249 365
JP-A- S63 105 427 JP-A- 2007 165 236
JP-U- S5 444 688 US-A- 3 857 055
US-A1- 2005 141 670 US-A1- 2009 129 550
US-A1- 2010 079 053 US-B1- 6 600 809

(73) Patentinhaber: **GE Sensing & Inspection Technologies GmbH**
50354 Hürth (DE)

(72) Erfinder:
• **NEUSER, Eberhard**
31515 Wunstorf (DE)
• **SCHMITT, Andreas**
31515 Wunstorf (DE)
• **SPERNER, Wolfgang**
31515 Wunstorf (DE)

• **SIMONS ET AL: "Quantitative characterization of coal by means of microfocal X-ray computed microtomography (CMT) and color image analysis (CIA)", INTERNATIONAL JOURNAL OF COAL GEOLOGY, ELSEVIER, Bd. 34, Nr. 1-2, 1. Oktober 1997 (1997-10-01), Seiten 69-88, XP005876044, ISSN: 0166-5162, DOI: DOI:10.1016/S0166-5162(97)00011-6**

EP 2 556 525 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 Mikrofokus-Röntgenröhre mit einem Kathodenelement umfassend ein aus einem Draht gebildetes, heizbares Filament zur Glühmission von Elektronen zur Bildung eines Elektronenstrahls.

In Mikrofokus-Röntgenröhren werden zur Erzielung einer Brennfleckgröße im μm -Bereich Haarnadel-Filamente verwendet, bei denen der Draht zu einer scharfen Spitze gebogen ist, um einen feinen Elektronenstrahl zu emittieren. Aufgrund zunehmend höherer Röhrenströme und damit verbundener Filamenttemperaturen haben Haarnadel-Filamente jedoch nur eine relativ kurze Lebensdauer, weshalb die Kathode regelmäßig nach einer begrenzten Anzahl von Betriebsstunden ausgetauscht werden muss. Hierdurch werden erheblicher zusätzlicher Serviceaufwand und entsprechende Ausfallzeiten verursacht, die insbesondere dem Einsatz von Mikrofokus-Röntgenprüfvorrichtungen in der industriellen Fertigung entgegenstehen.

US 2009 129550 A1, DE-OS 2 249 365 und US 2005 141670 A1 offenbaren unterschiedliche Kathodenelemente für Röntgenröhren.

[0002] US 6 600 809 B1 offenbart eine Mikrofokus-Röntgenröhre mit einem Haarnadel-Filament.

[0003] Die Aufgabe der Erfindung besteht darin, eine Mikrofokus-Röntgenröhre bereitzustellen, die in für den Benutzer besonders einfacher Weise an unterschiedliche Anwendungsfälle angepasst werden kann.

[0004] Die Erfindung löst diese Aufgabe mit den Mitteln der unabhängigen Ansprüche. Aufgrund der erfindungsgemäßen länglichen Erstreckung des Filaments, im Quellbereich des Elektronenstrahls, in zwei Richtungen senkrecht zum Elektronenstrahl kann die effektive Elektronen emittierende Fläche signifikant erhöht werden, so dass im Vergleich zu der im Wesentlichen punktförmigen Erstreckung der Elektronen emittierenden Spitze eines Haarnadel-Filaments eine erheblich niedrigere Filamenttemperatur zur Emission des gleichen Elektronenstroms ausreicht. Längliche Erstreckung des Filaments bedeutet, dass die Erstreckung signifikant, insbesondere mindestens 50% größer ist als die Dicke des Drahts, vorzugsweise mindestens doppelt so groß, weiter vorzugsweise mindestens drei mal so groß. Die niedrigere Filamenttemperatur führt zu einer erheblichen Verlängerung der Lebensdauer des Filaments und damit des Kathodenelements. Mit der Erfindung lässt sich eine um ein Vielfaches, bis zu einer Größenordnung und mehr, verlängerte Filament-Lebensdauer erzielen. Überraschenderweise hat sich gezeigt, dass trotz der vergrößerten Elektronen emittierenden Fläche dennoch eine Brennpunktgröße von weniger als 10 μm , vorzugsweise 7 μm und weniger, erzielbar ist. Aufgrund der Erfindung ist daher ein Einsatz hochauflösender Mikrofokus-Röntgenprüfvorrichtungen in der industriellen Fertigung möglich.

[0005] Vorzugsweise weist das Filament in dem Quellbereich des Elektronenstrahls eine Mehrzahl von neben-

einander angeordneten Drahtabschnitten auf. Auf diese Weise lässt sich die Erfindung auf einfache Weise aus einem Draht realisieren. In einer besonders einfach zu fertigenden und damit bevorzugten Ausführungsform sind die Drahtabschnitte von einer Mehrzahl von Drahtschleifen gebildet, so dass der Elektronen emittierende Bereich des Filaments die Form einer Drahtwendel hat.

[0006] Vorzugsweise sind die Drahtabschnitte beabstandet zueinander angeordnet. Dann können die Drahtflanken, d.h. die seitlichen Drahtoberflächen zwischen den Drahtabschnitten, zusätzlich zu der Elektronen emittierenden Fläche beitragen, wodurch der erfindungsgemäße Effekt noch vergrößert werden kann. Vorzugsweise beträgt die Zahl der Drahtabschnitte mindestens drei, um eine erhebliche Vergrößerung der Elektronen emittierenden Fläche zu erreichen. Vorzugsweise beträgt die Zahl der Elektronen emittierenden Drahtabschnitte höchstens zehn, weiter vorzugsweise höchstens sechs, um einen Mikrofokus, d.h. einen Brennfleck des Elektronenstrahls von höchstens 10 μm , erreichen zu können. Eine ungerade Anzahl von Drahtabschnitten ist vorteilhaft, weil aufgrund des einen genau mittigen Drahtabschnitts das Strahlprofil des Elektronenstrahls günstiger wird. Besonders bevorzugt sind drei, fünf oder sieben Drahtabschnitte. Der Erfindung nach ist das Kathodenelement als auswechselbare Einheit zum Einsatz in eine Wechselladungsaufnahme einer Mikrofokus-Röntgenröhre ausgebildet. Folglich kann je nach Anwendung ein erfindungsgemäßes Kathodenelement oder ein Kathodenelement mit einem Haarnadel-Filament in die Wechselladungsaufnahme einer erfindungsgemäßen Mikrofokus-Röntgenröhre eingesetzt werden.

[0007] Eine erfindungsgemäße Mikrofokus-Röntgenröhre umfasst eine Kondensorlinse, um den Elektronenstrahl im Falle eines erfindungsgemäßen Kathodenelements näherungsweise parallel auszurichten. Dies ermöglicht es, insbesondere unter Verwendung einer nachgeschalteten herkömmlichen Fokussierlinse, die spezifizierten Nenngrößen der Röhre unabhängig vom Typ des eingesetzten Kathodenelements zu erhalten. Die Kondensorlinse wird im Fall eines Kathodenelements mit einem Haarnadel-Filament zweckmäßigerweise ausgeschaltet. Eine Anpassung der Fokussierlinse an das erfindungsgemäße Kathodenelement ist nicht erforderlich.

[0008] Die Erfindung wird im Folgenden anhand vorteilhafter Ausführungsformen unter Bezugnahme auf die beigefügten Figuren erläutert. Dabei zeigt:

- 50 Fig. 1 eine schematische Darstellung eines Mikro-Computertomographiesystems;
- Fig. 2 eine schematische Querschnittsansicht einer Mikrofokus-Röntgenröhre mit einem eingesetzten Kathodenelement gemäß Figuren 3, 4;
- 55 Fig. 3 eine perspektivische Ansicht eines Filaments

- in einer Ausführungsform der Erfindung;
- Fig. 4 eine Ansicht entgegen der Elektronenstrahlrichtung auf eine Kathodeneinheit mit dem in Fig. 3 gezeigten Filament;
- Fig. 5,6 Ansichten entgegen der Elektronenstrahlrichtung auf eine Kathodeneinheit mit einem Filament in weiteren Ausführungsformen; und
- Fig. 7 eine schematische Querschnittsansicht einer Mikrofokus-Röntgenröhre mit einem eingesetzten Kathodenelement mit Haarnadel-Filament.

[0009] Die in Figur 1 gezeigte Mikro-Computertomografieanlage umfasst ein Röntgensystem 10, das zur Aufnahme eines Satzes von Röntgenprojektionen einer Probe 13 eingerichtet ist. Zu diesem Zweck umfasst das Röntgensystem 10 eine Mikrofokus-Röntgenröhre 11, die Röntgenstrahlung 14 ausgehend von einem Brennpunkt oder Fokus 16 der Röntgenröhre 11 emittiert, einen bildgebenden Röntgendetektor 12 und einen Probenhalter 20, der vorzugsweise zum Rotieren der Probe 13 um eine vertikale Achse eingerichtet ist. Der Röntgendetektor 12 ist vorzugsweise ein Flächendetektor, insbesondere ein flat panel-Detektor, jedoch ist auch ein Zeilendetektor möglich. Ein Satz von Röntgenprojektionen der Probe 13 wird beispielsweise durch schrittweises Rotieren des Probenhalters 20 um jeweils einen definierten kleinen Winkelschritt und Aufnahme einer Röntgenprojektion bei jedem Rotationswinkel erhalten. Das Röntgensystem 10 ist nicht auf eine Rotation des Probenhalters 20 um eine vertikale Achse beschränkt. Alternativ können beispielsweise die Röntgenröhre 11 und der Röntgendetektor 12 um die feststehende Probe 13 rotiert werden.

Die Röntgenprojektionen werden aus dem Röntgendetektor 12 ausgelesen und an eine Computervorrichtung 41 übermittelt, wo aus dem aufgenommenen Satz von Röntgenprojektionen mittels eines grundsätzlich bekannten Rekonstruktionsalgorithmus rekonstruierte dreidimensionale Volumendaten der Probe 13 errechnet und beispielsweise auf einem Bildschirm 42 dargestellt werden. Die Computervorrichtung 41 kann, wie in Fig. 1 gezeigt, ebenfalls zur Steuerung der Röntgenquelle 11, des Probenhalters 20 und des Röntgendetektors 12 eingerichtet sein; alternativ kann eine separate Steuervorrichtung vorgesehen sein.

[0010] Die Mikrofokus-Röntgenröhre 11 umfasst ein Kathodenelement 15, einen Wehnelt-Zylinder 21, eine Anode 19, eine vorzugsweise als elektromagnetische Linse ausgeführte Fokussierlinse 22 und einen Elektronenstrahl-Target 23. Des Weiteren kann eine weitere elektromagnetische Linse 25 vorgesehen sein, die als Kondensorlinse eingerichtet ist, um den Elektronenstrahl 24 näherungsweise parallel auszurichten. Die Mikrofokus-

Röntgenröhre 11 umfasst weiterhin zweckmäßigerweise eine nicht gezeigte Ablenkeinheit zur Strahlagejustierung. Das Kathodenelement 15 umfasst ein Filament 17, das aus einem geeigneten Draht 27, insbesondere aus Wolfram, besteht und auf einem isolierenden, beispielsweise aus einer Keramik bestehenden Sockel 34 montiert ist. Der Filamentdraht 27 weist vorzugsweise eine Stärke im Bereich von 100 μm bis 300 μm , beispielsweise etwa 200 μm , auf. An die Enden des Filaments 17 wird eine Heizspannung zur Glühemission von Elektronen aus dem Filamentdraht 27 angelegt. Zwischen das Filament 17 und die Anode 19 wird eine mit einem nicht gezeigten Hochspannungsgenerator erzeugte Beschleunigungsspannung angelegt, um die aus dem Draht extrahierten Elektronen zur Anode 19 hin zu beschleunigen und einen Elektronenstrahl 24 zu erzeugen. Die maximale Beschleunigungsspannung beträgt vorzugsweise mindestens 100 kV, vorzugsweise mindestens 200 kV.

Der erzeugte Elektronenstrahl wird mittels der Fokussierlinse 22 auf das Target 23 fokussiert, wodurch die Röntgenstrahlung 14 erzeugt wird. Das Target 23 ist vorzugsweise in einer reflektierenden Anordnung angeordnet (Direktstrahltarget). Das massiv ausgeführte Target 23 kann eine vergleichsweise hohe Leistung aufnehmen, so dass die Röntgenröhre 11 vorteilhafterweise zur Erzeugung eines maximalen Röhrenstroms von mindestens 1 mA und/oder einer maximalen Röhrenleistung von mindestens 100 W eingerichtet ist. Die Röntgenröhre 11 ist daher zur Prüfung von relativ dicken Proben wie etwa Gussteilen geeignet.

[0011] Die Erfindung ist nicht auf ein Direktstrahltarget beschränkt. Das erfindungsgemäße Filament 17 kann insbesondere auch in einer Röntgenröhre 11 mit einem Transmissionstarget verwendet werden. Im Hinblick darauf beträgt der maximale Röhrenstrom vorzugsweise mindestens 0.5 mA und/oder die maximale Röhrenleistung mindestens 50 W.

Um die in der Mikro-Computertomografie gewünschte Detailerkennbarkeit im Röntgenbild von deutlich unter 10 μm zu erzielen, ist es erforderlich, dass die Größe des Elektronenstrahl-Brennflecks 16 auf dem Target 23 unterhalb von 10 μm liegt. Zu diesem Zweck wird der Elektronenstrahl 24 zunächst mittels eines auf einem geeigneten negativen Potential relativ zu dem Filament 17 liegenden Wehnelt-Zylinders bzw. Gitters 21 fokussiert, um einen scharfen Crossover-Punkt 26 zu erzeugen. Kathode 17, Wehnelt-Zylinder 21 und Anode 19 bildet somit eine Triode. Hinter der Anode 19 wird der Elektronenstrahl des Weiteren mit einer Fokussierlinse 22 auf den Brennpunkt 16 des Targets fokussiert. Verallgemeinert ist die Elektronenoptik der Röhre 11, hier bestehend aus Wehnelt-Zylinder 21, Fokussierlinse 22 und Kondensorlinse 25, zur Erzeugung eines Brennflecks 16 mit einem mittleren Durchmesser von höchstens 10 μm eingerichtet. In einer bevorzugten Ausführungsform gemäß den Figur 3 und 4 wird der Elektronen emittierende Bereich 28 des Filaments 17 von einer Mehrzahl von vorzugsweise im

Wesentlichen parallel zueinander angeordneten Schleifen 29 gebildet. Das Filament 17 ist in dieser Ausführungsform eine einfach gewendelte Glühwendel. Vorzugsweise handelt es sich um mindestens drei Schleifen 29. Im Ausführungsbeispiel der Figuren 3 und 4 sind drei Schleifen 29 gezeigt. Vorzugsweise handelt es sich weiterhin um höchstens zehn Schleifen 29, weiter vorzugsweise um höchstens sieben Schleifen 29, um die Ausdehnung des Elektronen emittierenden Bereichs im Hinblick auf die gewünschte Detailerkennbarkeit im Röntgenbild zu begrenzen.

[0012] Die dem Target 23 zugewandte Oberfläche des Filaments, die die hauptsächliche Quelle des Elektronenstrahls 24 bildet, wird von einer Mehrzahl von Drahtabschnitten 30 gebildet, wie am besten in Figur 4 zu erkennen ist. Die Drahtabschnitte 30 sind vorzugsweise im Wesentlichen parallel ausgerichtet und führen somit zu einer insgesamt flächigen Erstreckung der dem Target 23 zugewandte Oberfläche des Filaments 17, mit einer ersten länglichen Erstreckung 11 senkrecht zum Elektronenstrahl und einer zweiten länglichen Erstreckung 12 senkrecht zum Elektronenstrahl und senkrecht zur Erstreckung 11 (siehe Figur 4). Längliche Erstreckung bedeutet, dass 11 und 12 signifikant größer sind als die Dicke d des Drahts, insbesondere mindestens 50% größer, vorzugsweise mindestens doppelt so groß, weiter vorzugsweise mindestens drei mal so groß, im vorliegenden Ausführungsbeispiel etwa viermal so groß. Im Vergleich zu der "punktförmigen" Oberfläche der Spitze eines Haarnadelfilaments mit einer Erstreckung von etwa d^2 ergibt sich eine um bis zu einen Faktor drei und mehr vergrößerte Elektronen emittierende Oberfläche des Filaments 17. Zur Erzeugung des gleichen Röhrenstromes kann damit die Heiztemperatur des Filaments 17 erheblich abgesenkt und damit dessen Lebensdauer um bis zu einem Faktor zehn und mehr erhöht werden. Die Erstreckungen 11 und 12 sind vorzugsweise etwa gleich groß, d.h. unterscheiden sich voneinander beispielsweise um nicht mehr als 50% bezogen auf die größere der beiden Erstreckungen. Das Filament 17 ist vorzugsweise frei von Spitzen bzw. Knickstellen mit einem Biegeradius im Bereich des Drahtdurchmessers d .

[0013] Die Schleifen 29, und damit die Elektronen emittierenden Drahtabschnitte 30, sind vorzugsweise beabstandet voneinander angeordnet, wie in Figur 4 erkennbar. Der Abstand ist vorzugsweise kleiner oder gleich der Dicke d des Filamentdrahtes 27, und liegt vorzugsweise im Bereich von $0.1 d$ bis d , im vorliegenden Fall beispielsweise bei $0.5 d$ oder etwa $100 \mu\text{m}$. Die beabstandete Anordnung der Drahtabschnitte 30 hat den Vorzug, dass die Flanken bzw. die seitlichen Oberflächen der Drahtabschnitte 30 zusätzlich zu der Elektronen emittierenden, die Quelle des Elektronenstrahls bildenden Fläche beitragen. Hierdurch kann die effektive Elektronen emittierende Fläche ohne Mehraufwand noch weiter erhöht werden.

[0014] Die Drahtabschnitte 30 können auch auf andere Weise als mittels Drahtschleifen 29 gebildet werden. In

einer nicht gezeigten Ausführungsform kann beispielsweise jeder Drahtabschnitt 30 von einem separaten einfachen Filament gebildet sein. In der in Fig. 5 gezeigten Ausführungsform werden beispielsweise fünf Drahtabschnitte 30 von einem schlangenförmigen Filament gebildet. Die Ausführungsform gemäß Figur 6 verdeutlicht, dass eine insgesamt flächigen Erstreckung der dem Target 23 zugewandte Oberfläche des Filamentdrahts 27 auch ohne gerade Drahtabschnitte 30 realisiert werden kann.

[0015] Die Röntgenröhre 11 ist in offener Bauform ausgeführt, das heißt die Röhre 11 weist Einrichtungen zum Belüften auf und kann im belüfteten Zustand geöffnet werden, um ein Kathodenelement 15 zu entnehmen und ein neues Kathodenelement 15 einzusetzen, insbesondere wenn ein Filament eine vorbestimmte Betriebsdauer erreicht oder überschritten hat. Das Gehäuse 34 der Röntgenröhre 11 besteht zu diesem Zweck aus zwei Gehäusehälften 35, 36, die an einem Flansch 37 voneinander trennbar sind. Das als auswechselbare Einheit ausgeführte Kathodenelement 15 umfasst den Wehnelt-Zylinder 21, damit die Zentrierung des Filaments 17 relativ zu der stirnseitigen Öffnung 31 für den Elektronenstrahl 24 bereits herstellerseitig erfolgen kann und nicht vom Betreiber der Röntgenröhre 11 durchgeführt werden muss. Nach dem Einsetzen eines neuen Kathodenelements 15 wird die Röntgenröhre 11 durch Verbinden der beiden Gehäusehälften 35, 36 vakuumdicht verschlossen und mittels einer an der Röntgenröhre 11 dauerhaft montierten Vakuumpumpe 33 auf das Betriebsvakuum evakuiert.

In einer bevorzugten Ausführungsform ist die Röntgenröhre 11, insbesondere wenn eine höhere Detailerkennbarkeit der Röntgenbilder erwünscht ist, zur optionalen Verwendung mit einem Haarnadel-Filament 17 eingerichtet. Zu diesem Zweck ist lediglich ein Kathodenelement 15 mit einem Haarnadelfilament in die Aufnahme 32 einzusetzen; die Röntgenröhre 11 in diesem hochauflösenden Betriebszustand ist in Figur 7 gezeigt. Einer weiteren baulichen Veränderung der Röntgenröhre 11, abgesehen vom Austausch des Kathodenelements 15, oder des nicht gezeigten Hochspannungsgenerators bedarf es nicht. Um dies zu ermöglichen, sind wesentliche Parameter des zu verwendenden Filaments 17 mit der im Wesentlichen flächigen Erstreckung, wie Drahtlänge und -durchmesser, Abmessungen wie beispielsweise Schleifendurchmesser sowie Abstände, optimal angepasst. Beim Betrieb der Röntgenröhre 11 mit einem Haarnadelfilament wird die Kondensorlinse 25 ausgeschaltet. Die Röntgenröhre 11 wird daher in herkömmlicher Weise mit der Fokussierlinse 22 betrieben. Das Ausschalten der Kondensorlinse 25 erfolgt automatisch infolge des Einsetzens eines Kathodenelements mit einem Haarnadelfilament.

[0016] Die in Figur 1 gezeigte Ausführungsform betrifft ein Mikro-Computertomografieanlage 10. Die Röntgenröhre 11 ist jedoch ebenfalls für eine zweidimensionale Durchstrahlungsprüfanlage ohne CT-Rekonstruktion ge-

eignet.

Patentansprüche

1. Mikrofokus-Röntgenröhre (11), umfassend ein Kathodenelement (15), das Kathodenelement (15) umfassend:

ein aus Draht (27) bestehendes, heizbares Filament (17) zur Glühemission von Elektronen zur Bildung eines Elektronenstrahls (24), wobei das Filament (17) in einem Quellbereich des Elektronenstrahls (24) in zwei Richtungen senkrecht zu dem Elektronenstrahl jeweils eine längliche Erstreckung aufweist, und einen Wehnelt Zylinder (21) mit einer stirnseitigen Öffnung, konfiguriert zum Fokussieren des Elektronenstrahls,

wobei das Kathodenelement (15) als auswechselbare Einheit zum Einsatz in eine Wechselaufnahme (32) der Mikrofokus-Röntgenröhre (11) ausgebildet ist,

wobei bereits in der auswechselbaren Einheit das Filament (17) des Kathodenelements (15) relativ zu der stirnseitigen Öffnung zentriert ist, wobei die Mikrofokus-Röntgenröhre (11) ferner ein Target (23) zur Erzeugung von Röntgenstrahlung (14) infolge des auf dem Target (23) auftreffenden Elektronenstrahls (24) umfasst und wobei die Mikrofokus-Röntgenröhre (11) eine Kondensorlinse (25) umfasst, die eingerichtet ist, um den Elektronenstrahl (24) näherungsweise parallel auszurichten, wobei die Kondensorlinse (25) infolge des Einsetzens eines Kathodenelements mit einem Haarnadelfilament in die Wechselaufnahme (32) automatisch ausschaltbar ist.

2. Mikrofokus-Röntgenröhre (11) nach Anspruch 1, wobei die Mikrofokus-Röntgenröhre (11) zum Auswechseln der Kathodeneinheit belüftbar, öffnbar und vakuumdicht verschließbar ist.
3. Mikrofokus-Röntgenröhre (11) nach Anspruch 1 oder 2, umfassend eine Vakuumpumpe (33) zum Evakuieren der Mikrofokus-Röntgenröhre.
4. Mikrofokus-Röntgenröhre nach einem der Ansprüche 1 bis 3, wobei das Filament (17) in dem Quellbereich (28) des Elektronenstrahls (24) eine Mehrzahl von seitlich nebeneinander angeordneten Drahtabschnitten (30) aufweist.
5. Mikrofokus-Röntgenröhre (11) nach Anspruch 4, wobei die Drahtabschnitte (30) beabstandet zueinander angeordnet sind.

6. Mikrofokus-Röntgenröhre (11) nach Anspruch 4 oder 5, wobei die Zahl der Drahtabschnitte (30) mindestens drei beträgt.

7. Mikrofokus-Röntgenröhre (11) nach einem der Ansprüche 2 bis 6, wobei die Drahtabschnitte (30) von einer Mehrzahl von Drahtschleifen (29) des Filamentdrahts (27) gebildet werden.

8. Verfahren zur Mikrofokus-Röntgenprüfung einer Probe, umfassend die Erzeugung von Röntgenstrahlung mittels einer Mikrofokus-Röntgenröhre (11) gemäß einem der Ansprüche 1 bis 7 und ferner umfassend:

Entnehmen des Kathodenelements (15) aus der Wechselaufnahme (32) der Mikrofokus-Röntgenröhre (11) und Einsetzen eines Kathodenelements mit einem Haarnadel-Filament in die Wechselaufnahme (32), wobei infolge des Einsetzens des Kathodenelements mit einem Haarnadelfilament in die Wechselaufnahme (32) die Kondensorlinse (25) der Mikrofokus-Röntgenröhre (11) automatisch ausgeschaltet wird.

Claims

1. A microfocus X-ray tube (11), comprising a cathode element (15), the cathode element (15) comprising:

a heatable filament (17) consisting of a wire (27), for the thermionic emission of electrons for forming an electron beam (24), wherein the filament (17), in a source area of the electron beam (24), has an elongate extent, respectively, in two directions perpendicular to the electron beam, and a Wehnelt cylinder (21) with an end-side opening, configured for focusing the electron beam,

wherein the cathode element (15) is configured as a replaceable unit for insertion into an exchange-enabling mounting (32) of the microfocus X-ray tube (11),

wherein the filament (17) of the cathode element (15) is centered relative to the end-side opening already in the replaceable unit,

wherein the microfocus X-ray tube (11) further includes a target (23) for generating X-radiation (14) as a result of the electron beam (24) hitting the target (23), and

wherein the microfocus X-ray tube (11) includes a condenser lens (25) configured to orientate the electron beam (24) approximately parallel, wherein the condenser lens (25) can be switched off automatically as a consequence of a cathode element with a

hairpin filament being inserted into the exchange-enabling mounting (32).

2. The microfocus X-ray tube (11) according to claim 1, wherein the microfocus X-ray tube (11) can be vented, opened and sealed to be vacuum-tight for replacing the cathode unit. 5
3. The microfocus X-ray tube (11) according to claim 1 or 2, comprising a vacuum pump (33) for evacuating the microfocus X-ray tube. 10
4. The microfocus X-ray tube according to any one of the claims 1 to 3, wherein the filament (17) has a plurality of wire portions (30) disposed laterally side-by-side in the source area (28) of the electron beam (24). 15
5. The microfocus X-ray tube (11) according to claim 4, wherein the wire portions (30) are disposed so as to be spaced apart from one another. 20
6. The microfocus X-ray tube (11) according to claim 4 or 5, wherein the number of the wire portions (30) is at least three. 25
7. The microfocus X-ray tube (11) according to any one of the claims 2 to 6, wherein the wire portions (30) are formed by a plurality of wire loops (29) of the filament wire (27). 30
8. A method for the microfocus X-ray inspection of a sample, comprising the generation of X-radiation using a microfocus X-ray tube (11) according to any one of the claims 1 to 7, and further comprising: 35

removing the cathode element (15) from the exchange-enabling mounting (32) of the microfocus X-ray tube (11), and
inserting a cathode element with a hairpin filament into the exchange-enabling mounting (32), wherein the condenser lens (25) of the microfocus X-ray tube (11) is switched off automatically as a consequence of the insertion of the cathode element with a hairpin filament into the exchange-enabling mounting (32). 40 45

Revendications

1. Tube à rayons X à micro-foyer (11), comprenant un élément cathodique (15), l'élément cathodique (15) comprenant: 50

un filament (17) chauffable consistant en fil métallique (27), pour l'émission thermo-ionique d'électrons pour la formation d'un faisceau d'électrons (24), 55

dans lequel le filament (17), en chacune de deux directions perpendiculaires au faisceau d'électrons, a une étendue allongée dans une région de source du faisceau d'électrons (24), et un cylindre Wehnelt (21) avec une ouverture à l'extrémité antérieure, configuré pour focaliser du faisceau d'électrons,

dans lequel l'élément cathodique (15) est formé en guise d'unité remplaçable pour l'insertion dans un logement interchangeable (32) du tube à rayons X à micro-foyer (11),
dans lequel, aussi tôt que dans l'unité remplaçable, le filament (17) de l'élément cathodique (15) est centré relatif à l'ouverture antérieure,
dans lequel le tube à rayons X à micro-foyer (11) comprend en outre un cible (23) pour la génération de rayons X (14) en raison de l'impact du faisceau d'électrons (24) sur le cible (23), et
dans lequel le tube à rayons X à micro-foyer (11) comprend une lentille formant condensateur (25), qui est agencée pour orienter le faisceau d'électrons (24) approximativement parallèle, dans lequel la lentille formant condensateur (25) peut être arrêtée automatiquement en raison de l'insertion d'un élément cathodique avec un filament en épingle à cheveux dans le logement interchangeable (32).

2. Tube à rayons X à micro-foyer (11) selon la revendication 1, dans lequel le tube à rayons X à micro-foyer (11) est ventilable, ouvrable et obturable d'une manière étanche au vide pour remplacer l'unité cathodique.
3. Tube à rayons X à micro-foyer (11) selon la revendication 1 ou 2, comprenant une pompe à vide (33) pour évacuer du tube à rayons X à micro-foyer.
4. Tube à rayons X à micro-foyer selon l'une des revendications 1 à 3, dans lequel le filament (17), dans la région de source (28) du faisceau d'électrons (24), comprend une pluralité de parties de fil (30) arrangées l'une à côté de l'autre.
5. Tube à rayons X à micro-foyer (11) selon la revendication 4, dans lequel les parties de fil (30) sont arrangées espacées l'une par rapport à l'autre.
6. Tube à rayons X à micro-foyer (11) selon la revendication 4 ou 5, dans lequel le nombre des parties de fil est au moins trois.
7. Tube à rayons X à micro-foyer (11) selon l'une des revendications 2 à 6, dans lequel les parties de fil (30) sont formées par une pluralité de boucles de fil métallique (29) du fil métallique filamentaire (27).
8. Procédé de l'inspection à rayons X d'un échantillon

comprenant la génération des rayons X par le biais d'un tube à rayons X à micro-foyer (11) selon l'une des revendications 1 à 7 et comprenant en outre les étapes consistant à:

5

retirer l'élément cathodique (15) du logement interchangeable (32) du tube à rayons X à micro-foyer (11) et

insérer un élément cathodique avec un filament en épingle à cheveux dans le logement interchangeable (32), dans lequel, en raison de l'insertion de l'élément cathodiques avec un filament en épingle à cheveux dans le logement interchangeable (32), la lentille formant condensateur (25) du tube à rayons X à micro-foyer (11) est arrêtée automatiquement.

20

25

30

35

40

45

50

55

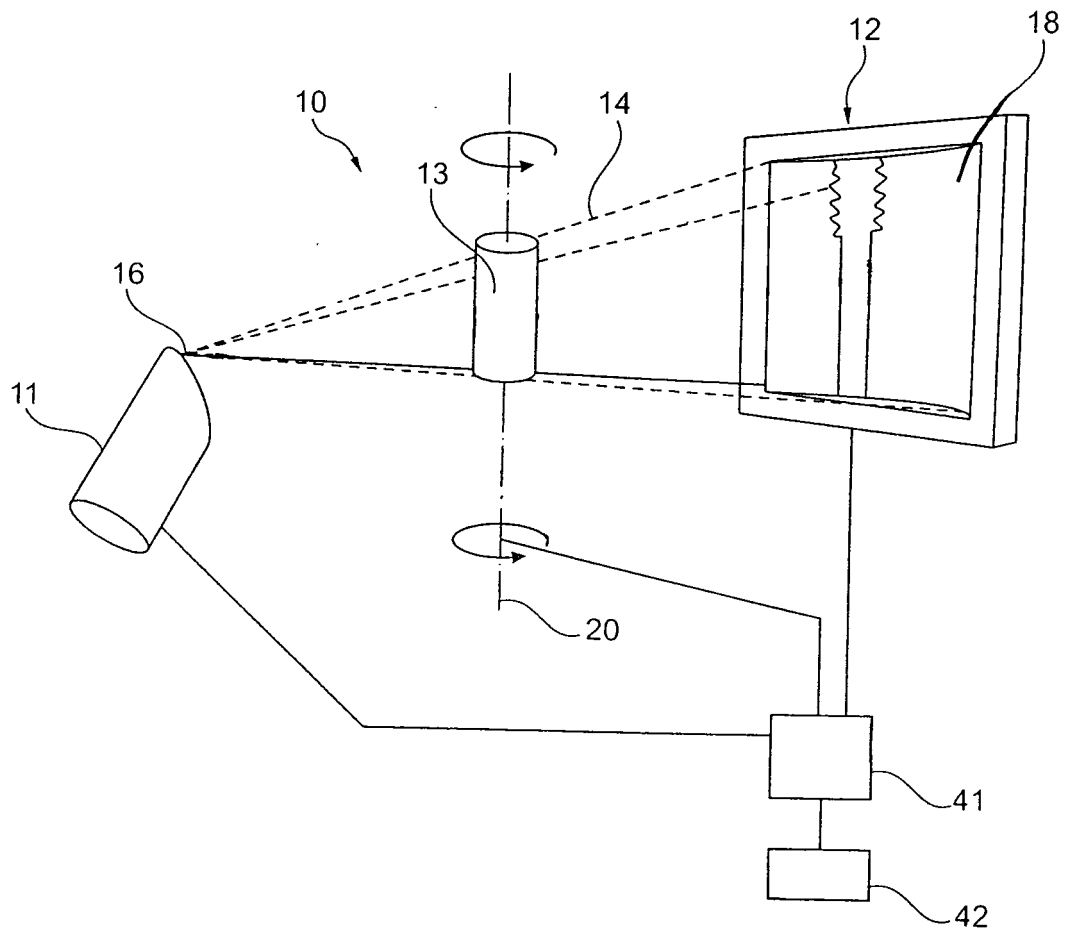


Fig. 1

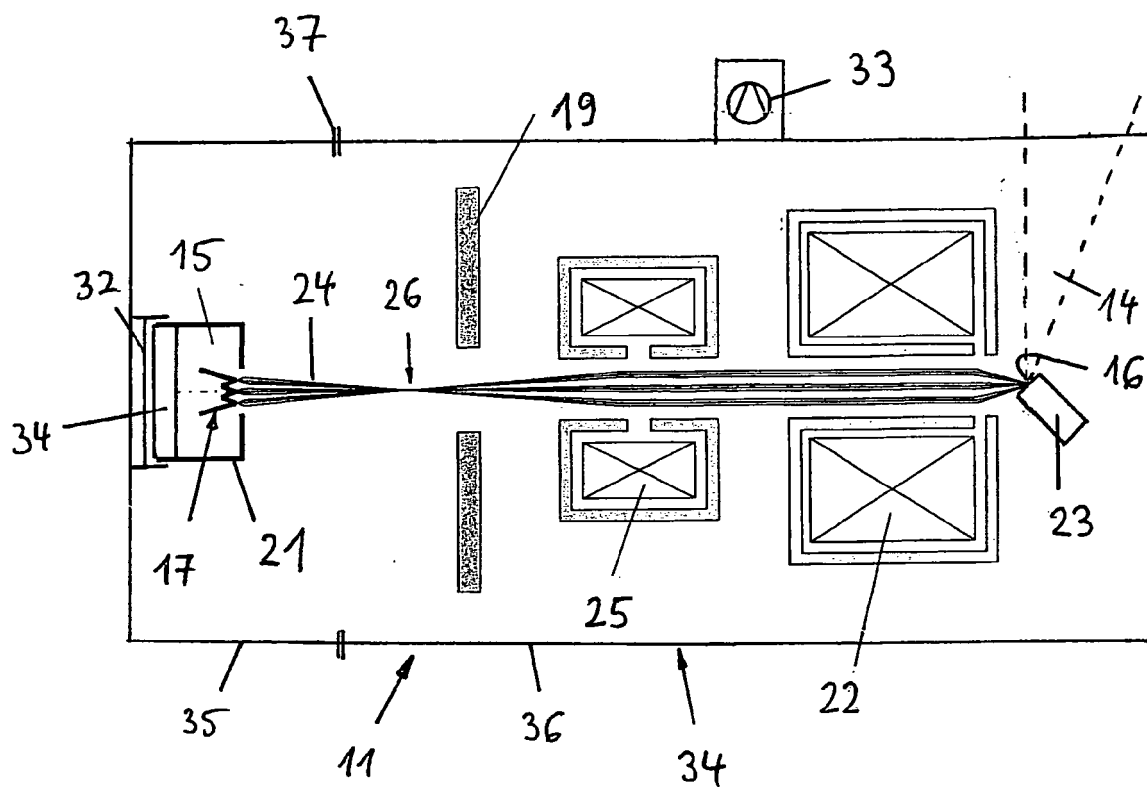


Fig. 2

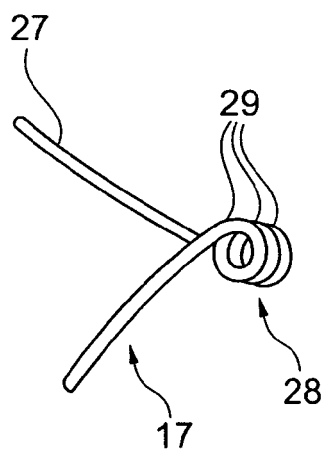


Fig. 3

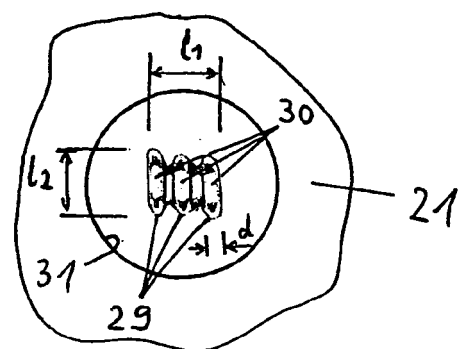


Fig. 4

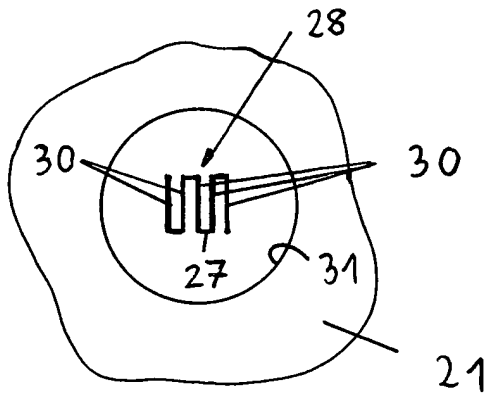


Fig. 5

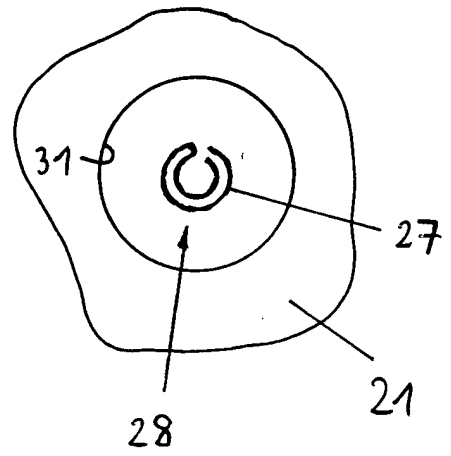


Fig. 6

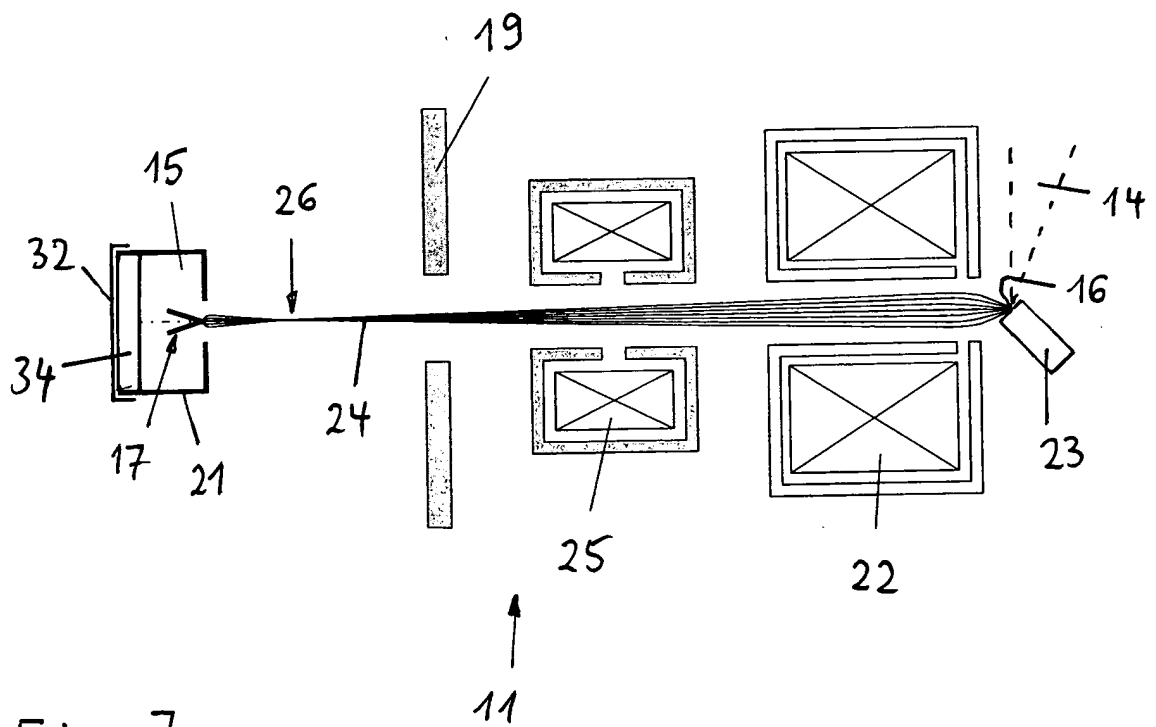


Fig. 7

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

- US 2009129550 A1 [0001]
- DE OS2249365 A [0001]
- US 2005141670 A1 [0001]
- US 6600809 B1 [0002]