

(19)



Europäisches Patentamt
European Patent Office
Office européen des brevets

(11)

Veröffentlichungsnummer: **0 021 442**
B1

(12)

EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT

(45)

Veröffentlichungstag der Patentschrift:
29.12.82

(51)

Int. Cl.³: **G 21 K 1/02**

(21)

Anmeldenummer: **80103662.5**

(22)

Anmeldetag: **27.06.80**

(54)

Elektronenbeschleuniger.

(30)

Priorität: **03.07.79 DE 2926841**

(43)

Veröffentlichungstag der Anmeldung:
07.01.81 Patentblatt 81/1

(45)

Bekanntmachung des Hinweises auf die Patenterteilung:
29.12.82 Patentblatt 82/52

(84)

Benannte Vertragsstaaten:
DE FR GB SE

(56)

Entgegenhaltungen:
FR-A-2 406 889

(73)

Patentinhaber: **SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT**
Berlin und München, Postfach 22 02 61,
D-8000 München 22 (DE)

(72)

Erfinder: **Taumann, Leonhard, Dipl.-Phys., 344 Shire**
Oaks Court, Lafayette Calif. 94549 (US)

EP 0 021 442 B1

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

Elektronenbeschleuniger

Die Erfindung bezieht sich auf einen Elektronenbeschleuniger mit einem dem aus der Beschleunigungsröhre austretenden Elektronenstrahl ausgesetzten Target, mit einem dem Target in Strahlenrichtung nachgeschalteten Elektronenabsorber, mit einem Kollimator zur Ausblendung eines Röntgenstrahlenkegels und mit einem zur Ausblendöffnung des Kollimators zentrierten Ausgleichskörper.

Durch die US-A-4 121 109 ist ein für den Einsatz in der Strahlentherapie bestimmter Elektronenbeschleuniger bekannt. Zur Erzeugung von Röntgenstrahlung wird bei diesem Elektronenbeschleuniger ein Target dem aus der Beschleunigungsröhre austretenden Elektronenstrahl ausgesetzt. In Strahlenrichtung hinter dem Target sind ein Elektronenabsorber, in dem die übriggebliebenen Elektronen aus der Röntgenstrahlung herausgefiltert werden und ein Kollimator mit einer Durchlaßöffnung für die Ausblendung des maximalen, zur Anwendung kommenden, meist kegelförmigen Röntgenstrahlenfeldes angeordnet. In der Durchlaßöffnung des Kollimators ist ein Ausgleichskörper eingebaut, durch den die Dosisleistung der austretenden Röntgenstrahlung über ihren gesamten Querschnitt hinweg ausgeglichen wird. Bei solchen Elektronenbeschleunigern wird es jedoch als nachteilig empfunden, daß zusätzlich zu den therapeutisch erwünschten Röntgenquanten auch noch Neutronen erzeugt werden, die die Strahlenbelastung des Patienten in höchst unerwünschter Weise erhöhen.

Dieser unerwünschte Anteil an Neutronen wird auch bei einem Elektronenbeschleuniger beobachtet, bei dem die Innenwand der Strahlenaustrittsöffnung des Kollimators zwecks Verminderung des Anteils an gestreuten Röntgenquanten mit einem Material niedriger Ordnungszahl ausgekleidet ist (= FR-A-2 406 889).

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, die Strahlenbelastung des Patienten insgesamt auf das therapeutisch Notwendige zu beschränken und insbesondere die Strahlenbelastung durch Neutronen zu verringern.

Bei einem Elektronenbeschleuniger der eingangs genannten Art ist daher erfindungsgemäß die dem Target zugewandte Randzone des Kollimators mit einer symmetrisch zur Achse der Ausblendöffnung des Kollimators ausgebildeten Ausnehmung versehen, die zur Reduzierung der Neutronenerzeugung ein die Ausnehmung ausfüllendes Element aus einem Material mit geringem Wirkungsquerschnitt für (γ, n) -Prozesse aufweist. Dieser Lösung liegt die überraschende Erkenntnis zugrunde, daß die Neutronen nur zu einem sehr geringen Teil in den im Nutzstrahlenkegel eingebauten Teilen, d. h. dem Target, dem Elektronenabsorber oder dem Ausgleichskörper, erzeugt werden. Der überwiegende Teil der Neutronen wird auf der der Strahlenquelle zugewandten Seite des Kollima-

tors erzeugt. Die dort erzeugten Neutronen durchdringen den Kollimator und führen zu der beobachteten diffusen Bestrahlung der Umgebung. Die Verwendung eines Materials mit geringem Wirkungsquerschnitt für (γ, n) -Prozesse in der Ausnehmung des Kollimators führt zu einer ganz entscheidenden Herabsetzung der Zahl der je Zeiteinheit insgesamt erzeugten Neutronen. Da Isotope mit geringem Wirkungsquerschnitt für (γ, n) -Prozesse durchweg unter den Elementen mit geringer Ordnungszahl zu finden sind, eignen sie sich nicht für Röntgenstrahlenkollimatoren. Anders ausgedrückt, werden gerade bei Kollimatoren, wegen der besseren Röntgenstrahlenabsorption, üblicherweise gerade solche Materialien verwandt, die eine höhere Ordnungszahl und damit auch einen sehr viel höheren Wirkungsquerschnitt für (γ, n) -Prozesse aufweisen. Durch die Beschränkung der Verwendung von Material mit geringem Wirkungsquerschnitt für (γ, n) -Prozesse auf die Ausnehmung des Kollimators werden einerseits die spezifischen Absorptionseigenschaften des Kollimators für Röntgenstrahlen nur in geringem, durch Vergrößerung der Wandstärke noch kompensierbarem Maße verschlechtert und wird zugleich die Erzeugung von Neutronen gerade in jenen Bereichen mit größerer Röntgenstrahlendichte reduziert oder je nach Art des verwendeten Materials und der maximal benutzten Quantenenergie ganz unterbunden.

In zweckmäßiger Weiterbildung der Erfindung kann das Element radial zum Target eine Ausdehnung aufweisen, die etwa der Halbwertstiefe der Röntgenstrahlung in diesem Material entspricht. Diese Relation gibt einen guten Anhaltspunkt für die Optimierung des Kollimators. Denn in den tieferen Schichten des Kollimators, d. h. nach Durchlaufen der Halbwertstiefe für die Röntgenstrahlung, ist sowohl wegen der Absorption der Röntgenstrahlung als auch wegen des quadratischen Abstandsgesetzes nur noch mit einer vergleichsweise geringen Röntgenquantendichte und somit geringeren Erzeugungsrate für die Neutronen zu rechnen. Jene Teile können daher ohne allzu großen Einfluß auf die Neutronenproduktion aus einem die Röntgenquanten gut abschirmenden Schwermetall, wie z. B. Wolfram oder Blei, gefertigt werden.

Eine weitere Optimierung des Kollimators läßt sich dadurch erreichen, daß sich das Element quer zur Richtung der Symmetrieachse der Ausblendöffnung bis in einen Abstand vom Target erstreckt der etwa das 1,5fache des Abstandes zwischen dem Target und dem dem Target nächstliegenden Rand der Ausblendöffnung des Kollimators beträgt. Das führt dazu, daß nur ein verhältnismäßig kleiner Teil des Kollimators aus einem Röntgenstrahlen weniger gut absorbierenden Material gefertigt werden muß. Die vom Target weiter entfernten Zonen

des Primärkollimators werden wegen des quadratischen Abstandsgesetzes ohnehin mit einer geringeren Röntgenquantendichte beaufschlagt, so daß auch in diesem Bereich weniger Neutronen durch (γ, n) -Prozesse erzeugt werden. Ihre Auskleidung mit einem Material mit geringerem Wirkungsquerschnitt für (γ, n) -Prozesse ergäbe daher keine so große Reduzierung der Neutronenproduktion, daß man dafür eine Verschlechterung der Röntgenstrahlenabsorption in Kauf nehmen sollte.

Weitere Einzelheiten der Erfindung werden anhand des in der Figur gezeigten Ausführungsbeispiels näher erläutert.

Die Figur zeigt eine schematische Darstellung eines Elektronenbeschleunigers mit einem Target für die Erzeugung von Röntgenbremsstrahlung und mit einem erfindungsgemäßen Kollimator zur Ausblendung eines Röntgenstrahlenkegels.

In der Figur erkennt man das strahlenaustrittsseitige, in der Ebene der Symmetrieachse 1 des letzten Hohlraumresonators 2 aufgeschnittene Ende der Beschleunigungsrohre 3 eines Elektronenbeschleunigers. In der Schnittebene erkennt man die zylindersymmetrische Form des letzten Hohlraumresonators 2 mit dem längs der Symmetrieachse beschleunigten Elektronenstrahl 4 und die Anordnung des die Beschleunigungsrohre austrittsseitig vakuumdicht abschließenden, für Elektronen durchlässigen Fensters 5. In Strahlenrichtung hinter dem Fenster 5 ist eine Bleifolie als Target 6 angeordnet. Das Target 6 ist in einer Bohrung 7 einer Trägerplatte 8 gelagert. Unmittelbar hinter dem Target befindet sich noch in der Bohrung 7 der Trägerplatte 8 ein erster Elektronenabsorber 9. Er besteht aus einer etwa 20 mm starken Kupferscheibe. In Strahlenrichtung hinter diesem Elektronenabsorber ist ein Kollimator 10 für die Röntgenstrahlung angeordnet. Der Kollimator 10 ist mit einer kegelförmigen Ausblendöffnung 11 für den Durchtritt des maximalen Nutzstrahlenkegels 12 versehen. Der dem Target zugewandte vordere Abschnitt dieser kegelförmigen Ausblendöffnung 11 ist zur Aufnahme eines weiteren, aus Aluminium gefertigten Elektronenabsorbers 13 zylindrisch aufgebohrt. Hinter diesem weiteren Elektronenabsorber 13 ist ein Ausgleichskörper 14 am Kollimator 10, in dessen kegelförmige Ausblendöffnung 11 hineinragend, befestigt.

Die dem Target 6 zugewandte Randzone der kegelförmigen Ausblendöffnung 11 des Kollimators 10 ist zylinderförmig ausgenommen. Das herausgenommene Volumenelement ist mit einem in seinen äußeren Abmessungen angepaßten ringförmigen Körper 15 aus einem Material mit geringem Wirkungsquerschnitt für (γ, n) -Prozesse ersetzt. Die Stärke dieses ringförmigen Körpers wird in Strahlenrichtung zweckmäßigerweise etwa so groß gewählt wie die Halbwertstiefe für Röntgenquanten in diesem Material. Die Ausdehnung dieses ringförmigen Körpers 15 quer zur Symmetrieachse 1 der

kegelförmigen Ausblendöffnung 11 des Kollimators 10 erstreckt sich bis zu einem Abstand vom Target 6, der 1,5mal so groß ist wie der Abstand des Targets 6 von dem ihm nächstliegenden Randabschnitt der Ausblendöffnung 11 des Kollimators 10 einschließlich des ringförmigen Körpers 15.

Bei der Inbetriebnahme des Elektronenbeschleunigers treffen die beschleunigten Elektronen, die das Fenster 5 der Beschleunigungsrohre 3 durchdrungen haben, auf das Target 6 auf und erzeugen dort Röntgenbremsstrahlung. Die so erzeugten Röntgenquanten erzeugen im Target 6 aufgrund von (γ, n) -Prozessen auch Neutronen. Dies läßt sich nicht vermeiden, weil jene Elemente höherer Ordnungszahl, die einen guten Wirkungsgrad bei der Erzeugung von Röntgenquanten aufweisen, auch eine niedrige Energieschwelle und zugleich einen verhältnismäßig hohen Wirkungsquerschnitt für (γ, n) -Prozesse aufweisen. Dennoch ist die Zahl der insgesamt im Target 6 erzeugten Neutronen wegen des verhältnismäßig kleinen Volumens des Targets, im vorliegenden Fall eine ca. 0,3 mm starke Bleifolie, vernachlässigbar gering. Die übrigen, im Nutzstrahlenkegel 12 befindlichen Elemente, wie Elektronenabsorber 9, 13 und Ausgleichskörper 14, bestehen aus Kupfer, Eisen oder Aluminium und haben daher schon von Haus aus einen deutlich niedrigeren Wirkungsquerschnitt für (γ, n) -Prozesse. Sie tragen daher auch kaum zur Erzeugung von Neutronen bei.

Anders sieht es mit dem den Röntgenstrahlenkegel begrenzenden Kollimator 10 aus. Er besteht wegen des geforderten hohen Absorptionskoeffizienten für Röntgenstrahlung aus einem Material hoher Ordnungszahl, vorzugsweise aus Wolfram, Tantal oder Blei. Auch ist sein durchstrahltes Volumen verhältnismäßig groß. Im allgemeinen werden 80% aller bei solchen Anlagen erzeugten Neutronen in ihm erzeugt. Und zwar tragen dabei insbesondere die Bereiche des Kollimators zur Neutronenerzeugung bei, in denen die Röntgendosisleistung besonders hoch ist. Das sind insbesondere die dem Target 6 nächstliegenden Bereiche des Kollimators 10. Die Produktionsrate von Neutronen nimmt direkt proportional mit der Röntgenquantendichte im Material des Kollimators ab.

Wird das Material des Kollimators 10 bis in einer Tiefe, die der Halbwertstiefe für Röntgenstrahlen entspricht, durch ein Material mit geringem Wirkungsquerschnitt für (γ, n) -Prozesse ersetzt, so wird die Neutronenproduktion bei minimalem Materialaustausch relativ stark reduziert. In diesem Fall ist in Strahlenrichtung hinter diesem ringförmigen Körper 15 die Dichte der Röntgenquanten so stark abgesunken, daß ein Ersatz auch dieses Bereiches durch ein Material mit geringem Wirkungsquerschnitt für (γ, n) -Prozesse wenig sinnvoll erscheint. Denn eine zusätzliche geringfügige Verringerung der Neutronenproduktion würde durch eine stärker ins Gewicht fallende Verringerung der Abschirmung der Röntgenstrahlung erkauft werden. Anderes

würde nur gelten, wenn infolge einer Vergrößerung der gesamten Wandstärke des Kollimators die Vergrößerung der Schichtdicke der aus Material mit geringem Wirkungsquerschnitt für (γ, n) -Prozesse bestehenden Abschnitte nicht auf Kosten der Stärke der aus einem Material mit hoher Ordnungszahl bestehenden Wandabschnitte erfolgen würde. In diesem Fall müßte die Wandstärke des Kollimators vergrößert werden. Aus dem gleichen Grunde ist auch die seitliche Ausdehnung des ringförmigen Körpers quer zur Symmetrieachse der kegelförmigen Ausblendöffnung 11 des Kollimators 10 auf einen Abstand vom Target zu begrenzen, der etwa dem 1,5fachen des Abstandes des Targets vom nächstliegenden Randabschnitt der Ausblendöffnung des Kollimators entspricht. Auch in diesem Fall würde eine weitere Vergrößerung des aus einem Material mit geringem Wirkungsquerschnitt für (γ, n) -Prozesse bestehenden ringförmigen Körpers quer zur Symmetrieachse der Ausblendöffnung nur noch eine relativ geringe Herabsetzung der Neutronenproduktion bewirken. Eine fertigungstechnisch etwas aufwendigere, aber besonders rationelle Ausnutzung des Materials mit geringem Querschnitt für (γ, n) -Prozesse ergibt sich daher, wenn der ringförmige Körper 15 zum Kollimator 10 hin die Form einer Kugelkalotte 16 erhält.

Als Material mit geringem Wirkungsquerschnitt für (γ, n) -Prozesse sind Kohlenstoff, Aluminium, Beryllium, Calcium, Eisen und allenfalls noch Kupfer zu nennen. Während Kohlenstoff und Aluminium besonders geringere Wirkungsquerschnitte für (γ, n) -Prozesse aufweisen, ist dafür bei Eisen und Kupfer mit einer geringeren Reichweite der Röntgenquanten zu rechnen, die den Nachteil des etwas größeren Wirkungsquerschnittes für (γ, n) -Prozesse, bezogen auf die Abmessung der gewählten Abschirmung, wieder etwas kompensieren.

Patentansprüche

1. Elektronenbeschleuniger mit einem dem aus der Beschleunigungsrohre austretenden Elektronenstrahl ausgesetzten Target, mit einem dem Target in Strahlenrichtung nachgeschalteten Elektronenabsorber, mit einem Kollimator zur Ausblendung eines Röntgenstrahlenkegels und mit einem zur Ausblendöffnung des Kollimators zentrierten Ausgleichskörper, dadurch gekennzeichnet, daß die dem Target (6) zugewandte Randzone (15) des Kollimators (10) mit einer symmetrisch zur Achse der Ausblendöffnung des Kollimators ausgebildeten Ausnehmung versehen ist, die zur Reduzierung der Neutronenerzeugung ein die Ausnehmung ausfüllendes Element (15, 16) aus einem Material mit geringem Wirkungsquerschnitt für (γ, n) -Prozesse aufweist.

2. Elektronenbeschleuniger nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß das Element (15, 16) radial zum Target (6) eine Ausdehnung

aufweist, die etwa der Halbwertstiefe der Röntgenstrahlung in diesem Material entspricht.

3. Elektronenbeschleuniger nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß das Element (15, 16) sich quer zur Richtung der Symmetrieachse der Ausblendöffnung bis in einem Abstand vom Target (6) erstreckt, der etwa das 1,5fache des Abstandes zwischen dem Target und dem dem Target nächstliegenden Rand der Ausblendöffnung (11) des Kollimators (10) beträgt.

4. Elektronenbeschleuniger nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß das Element (15) die Form eines Ringes mit rechteckigem Querschnitt hat.

5. Elektronenbeschleuniger nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß das Element (16) die Form einer Kugelkalotte mit zentraler Bohrung hat.

6. Elektronenbeschleuniger nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß sich der Kugelmittelpunkt mit dem Target deckt.

Claims

1. An electron accelerator comprising a target exposed to an electron beam from the acceleration tube, an electron absorber connected following the target in the direction of radiation, a collimator for gating out the X-ray cone and a compensating body which is centered in relation to the gate-out opening of the collimator, characterised in that the boundary zone (15) of the collimator (10) which faces the target is provided with a recess designed to be symmetrical to the axis of the gate-out opening of the collimator and possesses an element (15, 16) which fills the recess and consists of a material having a small effective cross section for (γ, n) -processes, to reduce neutron generation.

2. An electron accelerator as claimed in Claim 1, characterised in that the element (15, 16) has an expansion radial to the target, which expansion approximately corresponds to the half value depth of the X-ray radiation in this material.

3. An electron accelerator as claimed in Claim 1, characterised in that the element (15, 16) extends transversely to the direction of the axis of symmetry of the gate-out opening up to a distance from the target (6) which approximately amounts to the 1.5 times the distance between the target and the border of the gate-out opening (11) of the collimator (1) closest to the target.

4. An electron accelerator as claimed in Claim 1, characterised in that the element (15) has the shape of a ring with a rectangular cross-section.

5. An electron accelerator as claimed in Claim 1, characterised in that the element (16) has the shape of a spherical segment with a central bore.

6. An electron accelerator as claimed in Claim 5, characterised in that the centre point of the sphere coincides with the target.

Revendications

1. Accélérateur d'électrons comportant une cible exposée au faisceau électronique sortant du tube accélérateur, un absorbeur d'électrons disposé derrière la cible dans la direction du faisceau, un collimateur pour diaphragmer un cône de rayons X, et un corps de compensation centré par rapport à l'ouverture de diaphragme du collimateur, caractérisé par le fait que la zone marginale (15) du collimateur (10) tournée vers la cible (6) est munie d'un évidement, formé symétriquement par rapport à l'axe de l'ouverture de diaphragme du collimateur, qui, pour réduire la production de neutrons, comporte un élément (15, 16) remplissant cet évidement, en un matériau possédant une faible section efficace pour des processus (γ , n).

2. Accélérateur d'électrons suivant la revendication 1, caractérisé par le fait que l'élément (15, 16) possède suivant la direction radiale par rapport à la cible (6) une dimension qui correspond sensiblement à la profondeur de

demi-exposition du rayonnement X dans ce matériau.

3. Accélérateur d'électrons suivant la revendication 1, caractérisé par le fait que l'élément (15, 16) s'étend, transversalement par rapport à la direction de l'axe de symétrie de l'ouverture de diaphragme, jusqu'à une distance de la cible (6) qui est sensiblement égale à 1,5 fois la distance entre la cible et le bord de l'ouverture de diaphragme (11) du collimateur (10) qui est le plus proche de la cible.

4. Accélérateur d'électrons suivant la revendication 1, caractérisé par le fait que l'élément (5) possède la forme d'un anneau avec une section transversale rectangulaire.

5. Accélérateur d'électrons suivant la revendication 1, caractérisé par le fait que l'élément (16) possède la forme d'une calotte sphérique avec un perçage central.

6. Accélérateur d'électrons suivant la revendication 5, caractérisé par le fait que le centre de la sphère coïncide avec la cible.

25

30

35

40

45

50

55

60

65

5

