

12

EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

21 Anmeldenummer: 80103663.3

51 Int. Cl.³: **H 01 J 35/00**
G 21 K 5/08

22 Anmeldetag: 27.06.80

30 Priorität: 03.07.79 DE 2926823

43 Veröffentlichungstag der Anmeldung:
28.01.81 Patentblatt 81/4

84 Benannte Vertragsstaaten:
DE FR GB SE

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

72 Erfinder: **Tombaugh, Dennis**
1300 Sherwood Drive
Concord Calif. 94521(US)

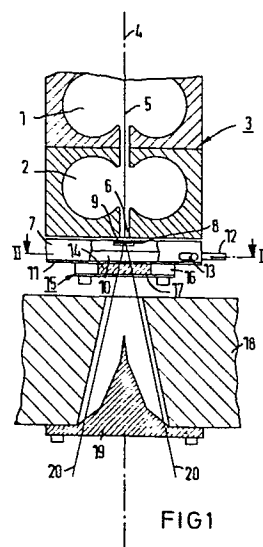
72 Erfinder: **Martinsen, Nick**
1890 Brooktree Way
Pleasanton Calif. 94566(US)

72 Erfinder: **Roumbanis, Ted**
633 Jay Street
Los Altos Calif. 94022(US)

72 Erfinder: **Heinz, Lothar**
Effeltricher Strasse 5
D-8524 Neunkirchen a.Brand(DE)

54 **Elektronenbeschleuniger.**

(57) Die Erfindung bezieht sich auf einen Elektronenbeschleuniger zur ausschließlichen Erzeugung von Röntgenstrahlung, mit einer evakuierten Beschleunigerröhre (3, 25), mit einem dem Elektronenstrahl ausgesetzten Target (9, 21) und mit einem dem Target nachgeschalteten Elektronenabsorber (7, 29). Bei Elektronenbeschleunigern führt der Durchtritt der Elektronen durch das Elektronenaustrittsfenster der Beschleunigerröhre, die dieses vakuumdicht abschließt, stets zu einem Leistungsverlust. Um diesen zu vermeiden, sieht die Erfindung vor, daß das Target unmittelbar an das Vakuum der Beschleunigerröhre angrenzt. Um ein örtliches Durchschmelzen des Targets bei hohen Strahlenleistungen zu vermeiden, kann das Target an ein Kühlsystem (10, 11, 12, 13; 24, 26, 27, 28) angeschlossen sein. Außerdem kann das Target auf einer Metallplatte (7) hoher Wärmeleitfähigkeit aufgelötet sein, die die Beschleunigerröhre ihrerseits auf der Strahlenaustrittsseite gasdicht abschließt. Alternativ kann das vom Kühlmedium umströmte Target (21) die Austrittsöffnung (23) der Beschleunigerröhre (25) selber unmittelbar gasdicht abschließen (Fig. 1):



SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT
Berlin und München

Unser Zeichen
VPA 79 P 5906 EUR

5 Elektronenbeschleuniger

Die Erfindung bezieht sich auf einen Elektronenbeschleuniger zur ausschließlichen Erzeugung von Röntgenstrahlung, mit einer evakuierten Beschleunigerröhre, mit einem dem Elektronenstrahl ausgesetzten Target und mit
10 einem dem Target nachgeschalteten Elektronenabsorber.

Durch die US-Patentschrift 41 21 109 ist ein für den Einsatz in der medizinischen Strahlentherapie bestimmter Elektronenbeschleuniger bekannt. Bei diesem Elektronenbeschleuniger ist die Beschleunigerröhre durch
15 ein vakuumdichtes, für Elektronen durchlässiges Strahlenaustrittsfenster aus Edelstahl abgeschlossen. In Strahlenrichtung hinter dem Strahlenaustrittsfenster der Beschleunigerröhre befindet sich ein Target. Dieses wird stets aus einem Material hoher Ordnungszahl, wie z.B. Platin, Tantal, Gold oder Wolfram, gefertigt. In Strahlenrichtung hinter dem Target befindet sich
20 ein Elektronenabsorber, in dem die übrig gebliebenen
25 Elektronen aus dem Röntgenstrahlenkegel herausgefiltert

werden. In Strahlenrichtung hinter dem Elektronenabsorber befindet sich ein Kollimator für die Ausblendung des Nutzstrahlenkegels und ein Ausgleichskörper, durch den die Intensität der Strahlung über die Breite
5 des Strahlenkegels hinweg ausgeglichen wird. Bei einem solchen Elektronenbeschleuniger wird es als nachteilig empfunden, daß das Strahlenaustrittsfenster einen Teil der dem Target zuzuführenden Elektronenstrahlleistung absorbiert und zugleich aus thermischen Gründen die
10 maximale Elektronenstrahlleistung begrenzt.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, Elektronenbeschleuniger, die zur Erzeugung von Röntgenstrahlen verwandt werden, sicherer und preiswerter zu bauen.
15 Darüber hinaus sollten die Leistungsabgabe und der Wirkungsgrad erhöht werden.

Bei einem Elektronenbeschleuniger der eingangs genannten Art grenzt daher erfindungsgemäß das Target unmittelbar an das Vakuum der Beschleunigerröhre auf deren
20 Strahlenaustrittsseite an. Dies bringt den besonderen Vorteil mit sich, daß der Elektronenstrahl das Target unmittelbar und ungeschwächt trifft. Die Aufstreuung und Schwächung, die der Elektronenstrahl sonst üblicherweise beim Durchdringen des vakuumdichten und wegen der
25 Druckbelastung entsprechend starken Strahlenaustrittsfensters, das bei hohen Strahlleistungen auch noch wassergekühlt sein muß, erleidet, entfällt auf diese Weise.

30 Die Standfestigkeit des Targets läßt sich bedeutend steigern, wenn es in zweckmäßiger Weiterbildung der Erfindung an ein Kühlsystem angeschlossen ist. Durch entsprechend intensive Kühlung kann verhindert werden, daß das Target am Auftreffpunkt des Elektronenstrahls
35 aufschmilzt und dabei perforiert wird. Außerdem wird

- 3 - VPA 79 P 5906 EUR

so verhindert, daß vom Target allzuviel Wärme auf die Beschleunigerröhre übertragen wird.

In einer besonders vorteilhaften Weiterbildung der Er-
5 findung kann das Target auf eine Metallplatte hoher
Wärmeleitfähigkeit aufgelötet werden, die die Beschleu-
nigerröhre auf der Strahlenaustrittsseite gasdicht ab-
schließt. Das hat zur Folge, daß die im Target frei
werdende Wärme unmittelbar an diese Metallplatte ab-
10 gegeben wird, ohne daß das Target und seine Lötver-
bindung unmittelbar in Kontakt mit einem unter Strah-
leneinwirkung meist aggressiven Kühlmedium gelangt.
Außerdem stellt die Metallplatte einen guten mechani-
schen Schutz für das Target dar. Schließlich kann
15 durch den dichten Abschluß der Strahlenaustrittsseite
der Beschleunigerröhre durch die das Target tragende
Metallplatte das gleichermaßen empfindliche wie auch
in der Herstellung aufwendige Strahlenaustrittsfenster
eingespart werden.

20

Eine besonders effektive Kühlung der Metallplatte läßt
sich erreichen, wenn in zweckmäßiger Ausgestaltung der
Erfindung in dieser mindestens ein Kanal für ein Kühl-
medium eingelassen ist. Hierdurch wird ein besonders
25 inniger und großflächiger Kontakt zwischen dem Kühl-
medium und der Metallplatte erreicht.

Die Fertigungskosten lassen sich senken, wenn der Ka-
nal für das Kühlmedium in einer Ausgestaltung der Er-
30 findung auf der der Beschleunigerröhre abgewandten
Seite der Metallplatte eingefräst ist und diese Seite
des Kanals durch eine dicht auf die Metallplatte auf-
gebrachte Abdeckung gebildet wird. Hierdurch läßt sich
der Kanal für das Kühlmedium relativ einfach so ver-
35 legen, wie es für die gleichmäßige Kühlung der Metall-

- 4 - VPA 79 P 5906 EUR

platte erforderlich ist. Durch die dicht aufgebrachte Abdeckung wird dieser Kanal dann zu einem rechteckigen Rohrsystem verschlossen.

5 In vorteilhafter Weiterbildung der Erfindung kann der Kanal für das Kühlmedium in Strahlenrichtung hinter dem Target in einer über den gesamten Querschnitt des Targets hinweg leichten Tiefe ausgefräst sein. Das hat
10 einerseits zur Folge, daß die Kühlflüssigkeit das Target über seine gesamte Fläche hinweg gleichmäßig kühlt. Außerdem sind so die Absorptionseigenschaften für die im Target erzeugte Röntgenstrahlung über die gesamte Fläche des Strahlenfeldes hinweg gleich. Letzteres
15 wiederum ist eine unerläßliche Voraussetzung für den in der Strahlentherapie anschließend vorzunehmenden Ausgleich der Dosisleistung über den gesamten Querschnitt des Strahlenfeldes hinweg.

Besonders günstige Wärmeableitungseigenschaften lassen
20 sich erreichen, wenn das Target die Austrittsöffnung auf der Strahlenaustrittsseite der Beschleunigerröhre gasdicht abschließt. In diesem Fall ist das Target unmittelbar vom Kühlmedium umströmt. Diese Lösung setzt
25 jedoch die Verwendung eines auch unter Bestrahlungsbedingungen nicht aggressiven Kühlmittels voraus.

Weitere Einzelheiten der Erfindung werden anhand von zwei in den Figuren dargestellten Ausführungsbeispielen erläutert. Es zeigen:

30

Fig. 1 einen Querschnitt durch die beiden letzten Hohlraumresonatoren einer Beschleunigerröhre, das Target und den nachgeschalteten Primärkollimator,

35

- 5 - VPA 79 P 5906 EUR

Fig. 2 einen Schnitt längs der Linie II-II der
Fig. 1 und

Fig. 3 einen Querschnitt durch die beiden letzten
5 Hohlraumresonatoren einer anderen Beschleunigerröhre mit einem direkt aufgeschweißten Target und einem nachgeschalteten Primärkollimator.

10 In der Fig. 1 sind die beiden letzten Hohlraumresonatoren 1, 2 der Beschleunigerröhre 3 eines Linearbeschleunigers längs ihrer Symmetrieachse 4 aufgeschnitten dargestellt. Die Symmetrieachse der Hohlraumresonatoren fällt mit dem Elektronenstrahl 5 zusammen. Die
15 Austrittsöffnung 6 des letzten Hohlraumresonators 2 ist durch eine Metallplatte 7 hoher Wärmeleitfähigkeit, im Ausführungsbeispiel eine 20 mm starke Kupferplatte, abgeschlossen. Diese Metallplatte ist auf dem letzten Hohlraumresonator 2 gasdicht aufgelötet. An der Stelle
20 der Metallplatte, auf der der Elektronenstrahl auftreffen würde, ist die Metallplatte mit einer kleinen Einsenkung 8 versehen. In dieser Einsenkung ist, wie die aufgebrochene Stelle in der Fig. 1 zeigt, ein wenige
1/10 mm starkes Target 9 aufgelötet.

25 Wie die Schnittdarstellung der Fig. 2 im einzelnen erkennen läßt, ist die Metallplatte 7 mit einem Kühlmittelkanal 10 versehen. Dieser ist auf der der Beschleunigerröhre 3 abgewandten Seite der Metallplatte 7 eingefräst. Der Kanal 10 ist durch eine auf der der Beschleunigerröhre 3 abgewandten Seite auf die Metallplatte 7 aufgelötete Abdeckung 11 abgeschlossen. Die
30 beiden Enden des Kanals münden in je eine in die Metallplatte eingelöteten Schlauchtülle 12, 13. Auf der
35 Metallplatte 7 ist auf deren von der Beschleuniger-

- 6 - VPA 79 P 5906 EUR

- röhre 3 abgewandten Seite eine 1,5 mm starke Bleifolie 14 befestigt. Diese Bleifolie ist in einer auf der Metallplatte 7 aufgeschraubten Dose 15 geführt. Diese Dose besteht aus einem Metallring 16 mit einer
- 5 dünnen aufgelöteten Deckplatte 17. In Strahlenrichtung hinter der Bleifolie 14 befindet sich der Primärkollimator 18 mit dem in ihn hineinragenden Ausgleichskörper 19.
- 10 Die Fig. 2 zeigt im wesentlichen den Verlauf des Kühlmittelkanals 10 in der Metallplatte 7. Der Kanal ist in Strahlenrichtung unter dem Target 9 hindurch und um den gesamten Umfang der Metallplatte 7 geführt. Der Kanal ist so breit wie das Target 9 selbst. Er hat im
- 15 Bereich des Targets eine über seine gesamte Breite hinweg gleiche Tiefe.

- Beim Betrieb des Elektronenbeschleunigers treffen die Elektronen auf das Target 9 auf und erzeugen im Target
- 20 Röntgenbremsstrahlung. Jene Elektronen, die das Target durchdringen, werden hinter dem Target durch die Metallplatte 7 absorbiert. Dabei ist vor allem jener Teil der Metallplatte wirksam, der sich zwischen dem Target 9 und dem Kühlmittelkanal 10 befindet. Im vor-
- 25 liegenden Fall, bei der Verwendung von Kupfer und einer Elektronenenergie von 4 MeV, ist dieser Teil mindestens 2 mm stark. Bei der Verwendung eines anderen Materials bzw. einer anderen Elektronenenergie bzw. einer anderen Targetstärke wäre die Stärke dieses
- 30 Wandabschnittes entsprechend an die Elektronenreichweite in diesem Material anzupassen. Die im Target 9 erzeugte Röntgenstrahlung wird durch die Bleifolie 14 - es könnte auch ein anderes Metall hoher Ordnungszahl, wie Tantal, Gold, Wolfram oder Uran, sein - auf-
- 35 gehärtet. Die Verwendung eines für die Aufhärtung be-

- 7 - VPA 79 P 5906 EUR

- sonders günstigen Metalls mit hoher Kernladungszahl ist hier nur dadurch möglich geworden, daß vorher alle hinter dem Target noch verbliebenen Elektronen durch die Metallplatte 7 aus der Röntgenstrahlung entfernt worden sind. Anderenfalls würde die Bleifolie als zweite konkurrierende Röntgenstrahlenquelle wirken. Der zentrale Ausschnitt dieser die Bleifolie 14 verlassenen Röntgenstrahlung wird durch die kegelförmige Austrittsöffnung des Primärkollimators 18 durchgelassen. Der im Primärkollimator eingebaute Ausgleichskörper 19 gleicht die Intensität dieses ausgeblendeten Röntgenstrahlenfeldes 20 über ihren gesamten Querschnitt hinweg aus.
- 15 Die durch die Energieumsetzung im Target 9 erzeugte Wärme wird an die mit dem Target verlötete Metallplatte 7 abgegeben und von dieser unmittelbar an das durch den Kühlmittelkanal 10 hindurchfließende Kühlmittel weitergegeben. Infolge der guten Wärmeleitfähigkeit des Kupfers und des verhältnismäßig kurzen Abstandes und großen Kupferquerschnittes zwischen dem Kühlmittelkanal und dem Target kann auf diese Weise viel Wärme abgeleitet werden. Hierdurch wird verhindert, daß das Target 9 durchschmelzen kann. Dadurch, daß die Metallplatte 7 die Kühlflüssigkeit vollständig vom Target trennt, besteht auch keine Gefahr, daß die Lötverbindung des Targets mit der Metallplatte durch die in der Kühlflüssigkeit durch die Bestrahlung entstehenden aggressiven Bestandteile angegriffen wird.
- 30 Die Fig. 3 zeigt eine weitere Ausführungsform der Erfindung, bei der das Target 21 unmittelbar auf dem Hohlraumresonator 22 aufgeschweißt ist. Das Target 21 selbst schließt dabei die Strahlenaustrittsöffnung 23 des letzten Hohlraumresonators 22 vakuumdicht ab. Es
- 35

- 8 - VPA 79 P 5906 EUR

wird unmittelbar von der Kühlflüssigkeit 24 umspült. Zu diesem Zweck ist das Ende der Beschleunigerröhre 25 samt dem aufgeschweißten Target 21 durch eine flüssigkeitsdicht aufgesetzte Kalotte 26 abgeschlossen. Diese

5 trägt zwei Schlauchtüllen 27, 28 für den Kühlmiteleinlaß und Kühlmittelauslaß. Der dem Target gegenüberliegende Boden 29 der Kalotte besteht im Ausführungsbeispiel aus 2 mm starkem Kupfer. Auf dem Boden der Kalotte ist eine 1,5 mm starke Bleifolie 30 befestigt, die

10 wie im Ausführungsbeispiel der Fig. 1 in einer Metalldose 31 gekapselt ist. Auch der Primärkollimator 32 und der Ausgleichskörper 33 sind ebenso ausgeführt, wie im Ausführungsbeispiel der Fig. 1 gezeigt ist.

15 Beim Betrieb eines Elektronenbeschleunigers, wie er in der Fig. 3 gezeigt ist, treffen die beschleunigten Elektronen ebenfalls, durch kein Austrittsfenster geschwächt, unmittelbar auf das Target 21 auf. Die im Target erzeugte Wärme wird hier besonders gut von der

20 das Target auf allen seinen Seiten, mit Ausnahme jener, die dem Elektronenstrahl 35 zugewandt ist, umströmenden Kühlflüssigkeit 24 abgeführt. Der 2 mm starke Boden 29 der Kalotte 26 absorbiert die das Target 21 passierenden Elektronen. Die Bleifolie 21 härtet eben-

25 so wie im Ausführungsbeispiel der Fig. 2 den Röntgenstrahlenkegel 34 auf. Die Ausblendung des Röntgenstrahlenfeldes durch den Primärkollimator 32 und der Ausgleich der Dosisleistung über dem Querschnitt des maximal nutzbaren Strahlenfeldes hinweg durch den Aus-

30 gleichskörper 33 unterscheiden sich nicht von derjenigen im Ausführungsbeispiel der Fig. 1. Der besondere Vorteil dieser Bauweise gegenüber der in der Fig. 1 gezeigten Bauweise ist in der wesentlich besseren Kühlung des Targets und der damit verbundenen höheren Strahlen-

35 belastbarkeit des Targets 21 zu sehen. Diesem Vorteil

- 9 - VPA 79 P 5906 EUR

steht der höhere Aufwand für das vakuumdichte Anschweißen des Targets am letzten Hohlraumresonator gegenüber.

5

10

15

20

25

30

35

Patentansprüche

1. Elektronenbeschleuniger zur ausschließlichen Erzeugung von Röntgenstrahlung, mit einer evakuierten Beschleunigerröhre, mit einem dem Elektronenstrahl ausgesetzten Target und mit einem dem Target nachgeschalteten Elektronenabsorber, d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , daß das Target (9, 21) unmittelbar an das Vakuum der Beschleunigerröhre (3, 25) auf deren Strahlenaustrittsseite angrenzt.
2. Elektronenbeschleuniger nach Anspruch 1, d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , daß das Target (9, 21) an ein Kühlsystem (10, 11, 12, 24, 26, 27, 28) angeschlossen ist.
3. Elektronenbeschleuniger nach Anspruch 1, d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , daß das Target (9) auf einer Metallplatte (7) hoher Wärmeleitfähigkeit aufgelötet ist, die die Beschleunigerröhre (3) auf der Strahlenaustrittsseite gasdicht abschließt.
4. Elektronenbeschleuniger nach Anspruch 3, d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , daß in der Metallplatte (7) mindestens ein Kanal (10) für ein Kühlmedium eingelassen ist.
5. Elektronenbeschleuniger nach Anspruch 4, d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , daß der Kanal (10) für das Kühlmedium auf der der Beschleunigerröhre abgewandten Seite der Metallplatte (7) eingefräst ist und diese Seite des Kanals durch eine dicht auf die Metallplatte aufgebrachte Abdeckung (11) gebildet wird.

- 2 - VPA 79 P 5906 EUR

6. Elektronenbeschleuniger nach Anspruch 4, d a -
d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , daß der
Kanal (10) für das Kühlmedium in Strahlenrichtung
hinter dem Target (9) in einer über den gesamten Quer-
5 schnitt des Targets hinweg gleichen Tiefe ausgefräst
ist.

7. Elektronenbeschleuniger nach Anspruch 1, d a -
d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , daß das
10 Target (21) die Austrittsöffnung (23) auf der Strah-
lenaustrittsseite der Beschleunigerröhre (25) gas-
dicht abschließt.

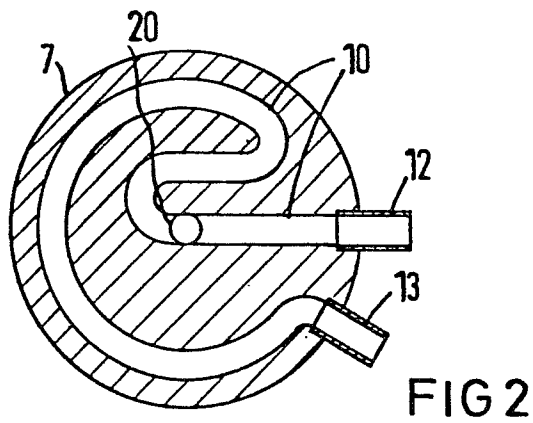
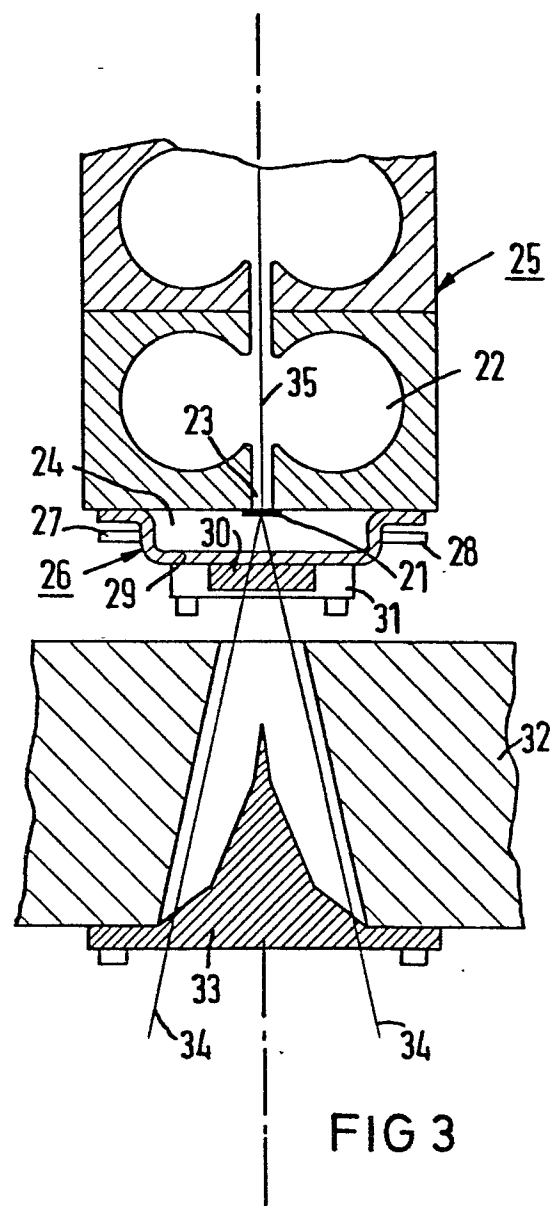
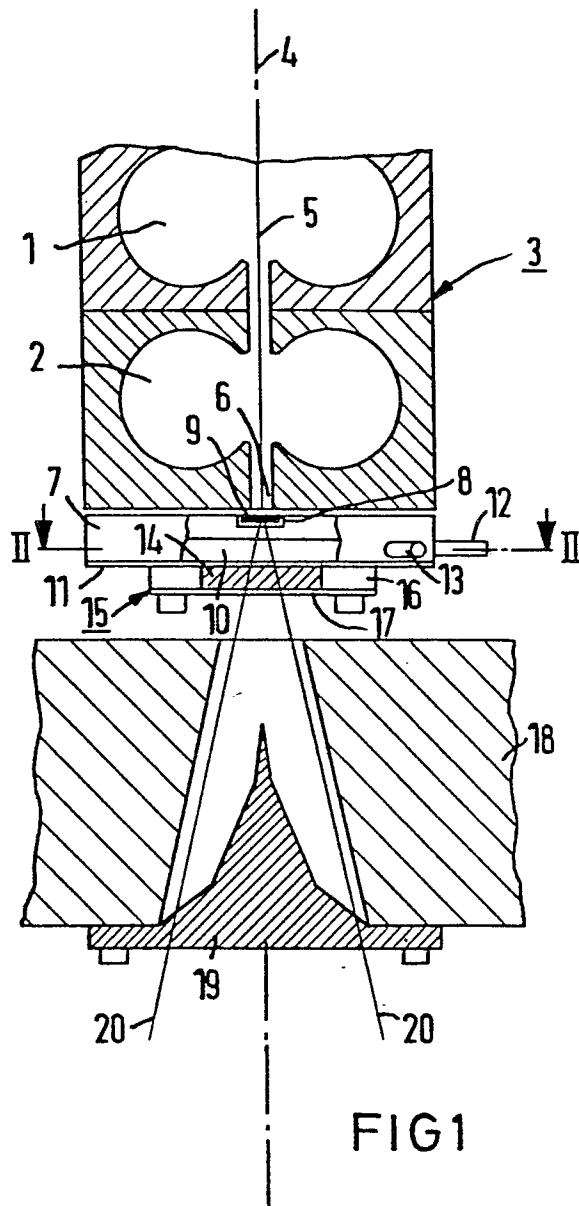
8. Elektronenbeschleuniger nach Anspruch 7, d a -
15 d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , daß das
Target (21) auf seiner der Beschleunigerröhre (25)
abgewandten Seite unmittelbar von der Kühlflüssig-
keit (24) umschlossen ist.

20 9. Elektronenbeschleuniger nach Anspruch 6, d a -
d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , daß die
Metallplatte (7) zwischen dem Target (9) und dem in
Strahlenrichtung hinter dem Target vorbeigeführten
Kanal (10) für das Kühlmedium 1 bis 3 mm stark ist.

25

30

35





Europäisches
Patentamt

EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

0022948

Nummer der Anmeldung
EP 80 10 3663

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (Int. Cl.)
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	betrifft Anspruch	
A	FR - A - 2 384 416 (SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT) * Seite 1, Zeilen 1-5; Seite 3, Zeilen 25-33; Figur 2 * --	1,3	H 01 J 35/00 G 21 K 5/08
	US - A - 2 559 526 (RESEARCH CORP.) * Spalte 2, Zeilen 32-44; Spalte 2, Zeile 55 bis Spalte 3, Zeile 7; Spalte 7, Zeilen 52-59; Figur 1 * --	1,2,7,8	RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (Int. Cl.) H 01 J 35/00 5/18 35/18 33/00 33/04 G 21 K 1/10 5/08
	GB - A - 818 182 (GENERAL ELECTRIC COMP.) * Seite 1, Zeilen 72-89; Seite 2, Zeilen 6-13; Figuren * --	1,7	H 01 J 35/00 5/18 35/18 33/00 33/04 G 21 K 1/10 5/08
	DE - A - 2 441 986 (THE MACHLETT LABORATORIES INC.) * Seite 5, Zeilen 10-29; Seite 7, Zeile 14 bis Seite 8, Zeile 3; Figuren 2,3 * --	1-7	KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE X: von besonderer Bedeutung A: technologischer Hintergrund O: nichtschriftliche Offenbarung P: Zwischenliteratur T: der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E: kollidierende Anmeldung D: in der Anmeldung angeführtes Dokument L: aus andern Gründen angeführtes Dokument &: Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument
	COMPTES RENDUS DE L'ACADEMIE BULGARE DES SCIENCES, Band 28, Nr. 4, 1975, Sofia, Bulgarien, S.R. RIBAROV: "A simple linear accelerator for doping semiconductors by ion implantation technology", Seiten 461-464 * Figur 1 * ----	1,7	
X	Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt.		
Recherchenort		Abschlußdatum der Recherche	Prüfer
Den Haag		15-10-1980	VILLEMIN