

EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

②¹ Anmeldenummer: 88100522.7

⑤¹ Int. Cl. 4: **H05H 7/04**

② Anmeldetag: 15.01.88

③ Priorität: 28.01.87 DE 3702388

④³ Veröffentlichungstag der Anmeldung:
10.08.88 Patentblatt 88/32

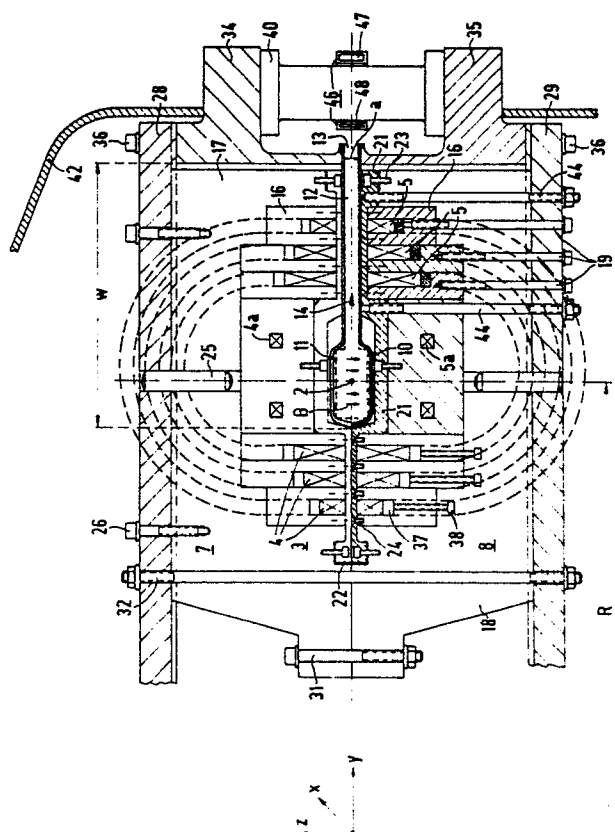
Benannte Vertragsstaaten:
CH DE FR GB IT LI SE

71) Anmelder: **Siemens Aktiengesellschaft Berlin
und München
Wittelsbacherplatz 2
D-8000 München 2(DE)**

72 Erfinder: Marsing, Helmut
Lärchenweg 8
D-8524 Neunkirchen(DE)
Erfinder: Jahnke, Andreas, Dr.
Tannenweg 4
D-8550 Forchheim(DE)

54 Synchrotronstrahlungsquelle mit einer Fixierung ihrer gekrümmten Spulenwicklungen.

57) Die Synchrotronstrahlungsquelle enthält in einem gekrümmten Teilchenbahnabschnitt eine Magnetanordnung mit supraleitenden Spulenwicklungen, die zu beiden Seiten der von einer Strahlführungskammer umgebenen Teilchenbahn liegen, und eine radial oder tangential nach außen hin führende Austrittsöffnung der Strahlführungskammer für die Synchrotronstrahlung. Außerdem ist eine Vorrichtung zur mechanischen Fixierung der supraleitenden Spulenwicklungen vorgesehen. Erfindungsgemäß soll diese Fixierungsvorrichtung am peripheren Außenrand der Magnetanordnung (3) mindestens ein radial weiter außen als die Austrittsöffnung (13) für die Synchrotronstrahlung (14) liegendes im wesentlichen senkrecht zur Strahlungsrichtung wirkendes Stützelement (40) aufweisen, das gegenüber der Synchrotronstrahlung (14) durch einen Strahlungsabsorber (46) abgedeckt ist. Mit einem solchen Stützelement ist eine einfache und sichere Abstützung der supraleitenden Spulenwicklungen im Bereich des Strahlungsaustrittes zu gewährleisten.



Synchrotronstrahlungsquelle mit einer Fixierung ihrer gekrümmten Spulenwicklungen

Die Erfindung bezieht sich auf eine Synchrotronstrahlungsquelle mit mindestens einem gekrümmten Abschnitt ihrer Teilchenbahn, in dem vorgesehen sind

- eine Magneteinrichtung mit supraleitenden Spulenwicklungen, die zu beiden Seiten der von einer Strahlführungskammer umgebenen Teilchenbahn liegen und in mindestens einem Kryostaten mit einem Vakuumgehäuse angeordnet sind,
- mindestens eine radial oder tangential nach außen hin führende Austrittsöffnung der Strahlführungskammer für die Synchrotronstrahlung und
- eine Vorrichtung zur mechanischen Fixierung der supraleitenden Spulenwicklungen.

Eine derartige Synchrotronstrahlungsquelle ist aus der DE-OS 35 30 446 bekannt.

In einem Synchrotron können bekanntlich elektrisch geladene Teilchen wie Elektronen oder auch Protonen dadurch auf hohe Energie beschleunigt werden, daß sie auf einer gekrümmten Bahn in Umlauf gebracht und wiederholt durch einen Hochfrequenz-Beschleunigungshohlraum einer Beschleunigungsstrecke hindurchgeführt werden. Dabei werden bei einem Elektronen-Synchrotron die Elektronen bereits nahezu mit Lichtgeschwindigkeit in die Beschleunigungsstrecke eingeleitet; es ändert sich somit bei fester Umlauffrequenz nur noch ihre Energie. Die Synchrotronstrahlung, d.h. die relativistische Strahlungsemission der Elektronen, die nahezu mit Lichtgeschwindigkeit umlaufen und durch Ablenkung in einem magnetischen Feld einer Magneteinrichtung auf einer Kreisbahn gehalten werden, liefert eine Röntgenstrahlung mit paralleler Strahlungsscharakteristik und großer Intensität. Diese Synchrotronstrahlung kann vorteilhaft für eine Röntgenstrahl-Lithographie verwendet werden, welche bei einer Herstellung von integrierten Schaltkreisen zur Erzeugung von Strukturen, die kleiner als $0,5 \mu\text{m}$ sind, geeignet ist. Dabei trifft die parallele Röntgenstrahlung im nutzbaren Wellenbereich von etwa $2 = 0,2$ bis 2nm auf eine abzubildende Maske, hinter der sich in unmittelbarem Abstand eine zu belichtende Halbleiterfläche befindet.

Aus der eingangs genannten DE-OS ist eine Ausführungsform eines Elektronen-Synchrotrons vom sogenannten Rennbahn-Typ zu entnehmen, das eine Teilchenbahn mit abwechselnd geraden und gekrümmten Bahnabschnitten aufweist. Der Krümmungsradius ist dabei durch das Gleichgewicht zwischen Zentrifugalkraft und Lorentzkraft im Magnetfeld von Dipolmagneteinrichtungen festge-

legt, die jeweils zu beiden Seiten der Teilchenbahn gekrümmte supraleitende Spulenwicklungen enthalten. In jeder dieser Magneteinrichtungen sind die einzelnen Dipolspulenwicklungen zusammen mit einer Gradientenspule in einem Kryostaten angeordnet, der im gekrümmten Bahnabschnitt auch die evakuierte Strahlführungskammer, in welcher die Elektronen umlaufen, auf Tieftemperatur hält. Den geraden Abschnitten der Beschleunigungsstrecke sind ein Elektroneninjektor, mit dem die Elektronen in die Beschleunigungsstrecke eingeleitet werden, sowie Einrichtungen zur Elektronenbeschleunigung zugeordnet.

Bei dieser bekannten Ausführungsform einer Synchrotronstrahlungsquelle ist die Strahlführungskammer in jedem gekrümmten Bahnabschnitt der Teilchenbahn jeweils mit einer schlitzförmigen Austrittsöffnung für die Synchrotronstrahlung versehen. Die Lorentzkräfte der gegenüberliegenden supraleitenden Spulenwicklungen, welche die schlitzförmige Austrittsöffnung zusammenzudrücken versuchen, müssen deshalb von den Schenkeln einer mechanischen, C- oder U-förmigen Tragkonstruktion aufgenommen werden. Da eine Lageänderung dieser supraleitenden Spulenwicklungen unter der Einwirkung der Lorentzkräfte mit einer entsprechenden Feldverzerrung praktisch ausgeschlossen werden muß, ist eine entsprechende aufwendige mechanische Fixierung dieser Wicklungen unumgänglich. Dies ist aber im Schlitzbereich außerordentlich schwierig. So werden beispielsweise gemäß der DE-PS 35 11 282 die den Schlitz zusammendrückenden Kräfte durch besonders vorgespannte Klammer- und Spannelemente kompensiert.

Der Erfindung liegt deshalb die Aufgabe zugrunde, die Synchrotronstrahlungsquelle der eingangs genannten Art dahingehend zu verbessern, daß eine verhältnismäßig einfache Fixierung der supraleitenden Dipolspulenwicklungen ihrer Magneteinrichtungen im Austrittsbereich der Synchrotronstrahlung zu gewährleisten ist.

Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß mit den im Kennzeichen des Anspruchs 1 angegebenen Maßnahmen gelöst.

Die mit einer entsprechenden Ausgestaltung der Strahlungsquelle verbundenen Vorteile sind insbesondere darin zu sehen, daß auf aufwendige Tragstrukturen im Bereich der insbesondere schlitzförmig gestalteten Austrittsöffnung für die Strahlung bzw. ihres entsprechenden Austrittskanals verzichtet werden kann. Zugleich wird auf verhältnismäßig einfache Weise eine hohe mechanische Steifigkeit des gesamten Aufbaus

einer Fixierungsvorrichtung zur Halterung und Abstützung der supraleitenden Wicklungen erreicht. Damit läßt sich auch die Bauhöhe, die ab zukühlende Gewichtsmasse und das gespeicherte Volumen an kryogenem Kühlmittel reduzieren.

Vorteilhafte Ausgestaltungen der erfindungsgemäßen Synchrotronstrahlungsquelle gehen aus den Unteransprüchen hervor.

Zur weiteren Erläuterung der Erfindung wird auf die Zeichnung Bezug genommen, in deren Figur als Ausführungsbeispiel ein Teil einer Synchrotronstrahlungsquelle gemäß der Erfindung schematisch veranschaulicht ist.

Beim Aufbau der erfindungsgemäßen Strahlungsquelle wird von bekannten Ausführungsformen, insbesondere vom Rennbahntyp, ausgegangen (vgl. z.B. DE-PS 35 11 282, DE-OS 35 30 446 oder die Veröffentlichung des "Institute for Solid State Physics" of the University of Tokyo, Japan, Sept. 1984, Ser. B., No. 21, Seiten 1 bis 29 mit dem Titel: "Superconducting Racetrack Electron Storage Ring and Coexistent Injector Microtron for Synchrotron Radiation").

In der Figur ist ein Querschnitt durch die erfindungsgemäße Synchrotronstrahlungsquelle im Bereich ihrer um 180° gekrümmten Teilchenbahn 2 mit einer entsprechenden Magneteinrichtung 3 dargestellt. Der Krümmungsradius ist dabei mit R bezeichnet. Diese Magneteinrichtung enthält zu beiden Seiten der durch die Teilchenbahn 2 aufgespannten, in x-y-Richtung eines rechtwinkligen x-y-z-Koordinatensystems liegenden Äquatorialebene je eine gekrümmte supraleitende Dipolspulenwicklung 4 bzw. 5 und gegebenenfalls noch zusätzliche supraleitende Spulenwicklungen wie z.B. Korrekturspulenwicklungen 4a und 5a. Die supraleitenden Wicklungen werden vorteilhaft in baugleichen oberen und unteren Rahmenstrukturen 7 bzw. 8 gehalten, die in der Äquatorialebene zusammengefügt werden und dabei eine die Teilchenbahn 2 umschließende Strahlführungskammer 10 aufnehmen.

Innerhalb dieser evakuierten Kammer 10 erstreckt sich die Teilchenbahn 2 durch eine etwa rechteckige Aperturfläche 11 hindurch, in der ein Dipolfeld B hinreichender Qualität ausgebildet ist. Die Kammer 10 geht radial oder tangential nach außen hin in eine äquatoriale, einseitig offene Austrittskammer 12 mit einer Austrittsöffnung oder -mündung 13 für die durch einen Pfeil 14 angedeutete Synchrotronstrahlung über. Die Austrittskammer mit einer senkrechten, d.h. in z-Richtung weisenden Ausdehnung a kann insbesondere schlitzförmig ausgebildet sein, wobei der entsprechende Schlitz den gesamten 180° -Bogen des gekrümmten Teilchenbahnabschnittes ausmachen kann. Gemäß dem dargestellten Ausführungsbeispiel ist eine derartige Austrittskam-

mer angenommen.

Die einzelnen supraleitenden Dipolspulenwicklungen 4 und 5 befinden sich in azimut umlaufenden Spulenkörpern 16, die in ein oberes bzw. unteres Rahmenstück 17 bzw. 18 der jeweiligen Rahmenstruktur 7 bzw. 8 eingepaßt sind und in z-Richtung senkrecht zur äquatorialen x-y-Ebene mit Schrauben 19 gehalten werden. Der Wicklungsaufbau kann dabei vorteilhaft von dem jeweiligen Nutengrund des Spulenkörpers in Richtung auf die Äquatorialebene hin als auch in umgekehrter Richtung erfolgen. Hierbei sichert je ein abgestuft ausgeführtes Klammerteil 21 bzw. 22 die exakten Abstände der jeweiligen Wicklungskanten zur Äquatorialebene einerseits und erhöht andererseits durch einen Formschluß mit den Spulenkörpern 16 und den Rahmenstücken 17 bzw. 18 die Steifigkeit der gesamten Konstruktion im Hinblick auf die radial gerichteten Lorentzkräfte. Die Klammerteile 21 und 22 können außerdem mit Hilfe von Schrauben 23 und 24 die einzelnen Wicklungen verdichten und somit Leiterbewegungen im Betrieb der Magneteinrichtung 3, die zu einem vorzeitigen, unerwünschten Übergang des supraleitenden Materials in den normalleitenden Zustand, d.h. zu einem sogenannten Quenchen der Wicklungen führen können, verhindern. Hierzu dienen auch Druckleisten 37 am jeweiligen Nutengrund, die über Schrauben 38 gegen die jeweiligen Wicklungsteile zu pressen sind.

Die Rahmenstücke 17 und 18 der Rahmenstrukturen 7 und 8 werden mit Hilfe von Paßstiften 25 und Schrauben 26 auf einem jeweiligen oberen bzw. unteren Plattenelement 28 bzw. 29 in dort eingefrästen Nuten fixiert. Damit ist eine sehr genaue Positionierung der einzelnen supraleitenden Spulenwicklungen 4, 5 sowie gegebenenfalls 4a, 5a zur Teilchenbahn 2 gewährleistet.

Der kraftschlüssige Zusammenbau der oberen und unteren Rahmenstrukturen 7 und 8 erfolgt im Bereich einer direkten gegenseitigen vertikalen Kraftabstützung mit Hilfe von Schrauben 31 und Gewindestangen 32.

Am peripheren Außenrand der Magneteinrichtung 3 im Bereich der schlitzförmigen Austrittsöffnung 13 für die Synchrotronstrahlung 14 werden die oberen und unteren Plattenelemente 28 und 29 der Rahmenstrukturen 7 bzw. 8 gegen ringartige, kraftübertragende Verteilerstücke 34 und 35 mit Schrauben 36 verspannt. Zwischen den einander zugewandten Teilen dieser Verteilerstücke 34 und 35 hindurch erstreckt sich die schlitzartige Austrittskammer 12 mit ihrer Austrittsöffnung 13 nach außen. Dabei ist der gegenseitige Abstand und eine Kraftabstützung zwischen den Verteilerstücken 34 und 35 und somit auch zwischen den Spulenwicklungen über mindestens ein insbesondere säulenartiges Stützelement 40 gewährleistet.

Dieses Stützelement soll sich erfindungsgemäß in dem isolierenden Vakuum eines in der Figur nicht dargestellten Kryostaten radial weiter außen als die Mündung der Austrittsöffnung 13 befinden. Da die Verteilerstücke 34 und 35 in dem Kryostaten Teile eines kalten Heliumgehäuses 42 zur Aufnahme von die supraleitenden Spulenwicklungen kühlendem flüssigen Helium darstellen, befindet sich auch das zwischen ihnen verlaufende Stützelement 40 etwa auf dieser Temperatur.

Mit der so aus den Rahmenstrukturen 7 und 8, den kraftübertragenden Verteilerstücken 34 und 35 sowie dem mindestens einen Stützelement 40 ausgebildeten mechanischen Fixierungsvorrichtung ist folglich eine verhältnismäßig einfache und sichere Abstützung und Halterung der zu beiden Seiten der Äquatorialebene liegenden supraleitenden Spulenwicklungen zu gewährleisten. Hierbei können vertikale Lorentzkräfte der Wicklungen über Gewindestangen 44 in das jeweilige obere und untere Plattenelement 28 bzw. 29 der entsprechenden Rahmenstrukturen 7 bzw. 8 eingeleitet werden. D.h., bei der erfindungsgemäßen Ausgestaltung der mechanischen Fixierungsvorrichtung werden die vertikalen Kräfte auf kurzen Wegen über das mindestens eine außen liegende kalte Stützelement 40 abgefangen.

Eine merkliche Behinderung der aus der Austrittsöffnung 13 austretenden Synchrotronstrahlung 14 muß dabei nicht in Kauf genommen werden, da für eine hinreichende Abstützung über das eine Stützelement 40 oder über eine geringe Anzahl derartiger Stützelemente nur ein verhältnismäßig kleiner Platzbedarf besteht. Der hierdurch abzuführende Leistungsteil der Synchrotronstrahlung beträgt demnach nur Bruchteile der Gesamtstrahlung.

Vorteilhaft wird der auf das mindestens eine Stützelement 40 auftreffende Anteil der Synchrotronstrahlung 14 von einem Strahlungsabsorber 46 abgefangen, der zweckmäßig gekühlt wird. Als bevorzugtes kryogenes Kältemittel ist hierzu flüssiger Stickstoff anzusehen, der durch einen entsprechenden Kühlkanal 47 des Absorbers geleitet wird. Gemäß dem dargestellten Ausführungsbeispiel kann der Absorber das Stützelement 40 ringförmig umschließen. Er weist auf seiner der Synchrotronstrahlung zugewandten Seite eine strahlabsorbierende Schildwand 48 auf, die vorteilhaft aus einem gut wärmeleitenden Material wie z.B. Kupfer ausgeführt ist.

Wie ferner aus der Figur hervorgeht, gewährleistet die erfindungsgemäße Ausgestaltung der mechanischen Fixierungsvorrichtung eine verhältnismäßig kleine radiale Stützweite w an den beiden Plattenelementen 28 und 29 der Rahmenstrukturen 7 und 8. Dies hat zur Folge, daß auch nur entsprechend geringe Plattendicken dieser Teil-

le erforderlich sind und somit die gesamte Bauhöhe der Magneteinrichtung 3 begrenzt ist. Damit ist aber auch die abzukühlende Masse der Magneteinrichtung vorteilhaft entsprechend klein zu halten.

Ein weiterer Vorteil dieser Konstruktion besteht in der Möglichkeit, die in der Figur nicht ausgeführten Aufhängungs- und Positionierelemente der Magneteinrichtung innerhalb eines ebenfalls nicht dargestellten Vakuumgehäuses direkt an den Verteilerstücken 34 und 35 und damit in unmittelbarer Nähe zu den supraleitenden Spulenwicklungen anzusetzen. Dies bringt eine entsprechend hohe Positioniergenauigkeit der Wicklungen zur Teilchenbahn mit sich und erlaubt den Einsatz dünner Gehäusewände im Deckel- und Bodenbereich des Helium-Gehäuses 42.

20 Ansprüche

1. Synchrotronstrahlungsquelle mit mindestens einem gekrümmten Abschnitt ihrer Teilchenbahn, in dem vorgesehen sind

- eine Magneteinrichtung mit supraleitenden Spulenwicklungen, die zu beiden Seiten der von einer Strahlführungskammer umgebenen Teilchenbahn liegen und in mindestens einem Kryostaten mit einem Vakuumgehäuse angeordnet sind,
- mindestens eine radial oder tangential nach außen hin führende Austrittsöffnung der Strahlführungskammer für den Synchrotronstrahl und

- eine Vorrichtung zur mechanischen Fixierung der supraleitenden Spulenwicklungen, **dadurch gekennzeichnet**, daß am peripheren Außenrand der Magneteinrichtung (3) die Fixierungsvorrichtung mindestens ein radial weiter außen als die Austrittsöffnung (13) für die Synchrotronstrahlung (14) liegendes, im wesentlich senkrecht zur Strahlungsrichtung wirkendes Stützelement (40) aufweist, das gegenüber der Synchrotronstrahlung (14) durch einen Strahlungsabsorber (46) abgedeckt ist.

2. Synchrotronstrahlungsquelle nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, daß das mindestens eine Stützelement (40) innerhalb des Vakuumgehäuses des Kryostaten angeordnet ist.

3. Synchrotronstrahlungsquelle nach Anspruch 1 oder 2,

dadurch gekennzeichnet, daß das mindestens eine Stützelement (40) thermisch an ein Gehäuse (42) zur Aufnahme der supraleitenden Spulenwicklungen (4, 5, 4a, 5a) kühlenden kryogenen Mediums angekoppelt ist.

4. Synchrotronstrahlungsquelle nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet**, daß das mindestens eine Stützelement (40) säulenartig ausgebildet ist.

5. Synchrotronstrahlungsquelle nach einem der Ansprüche 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet**, daß die mechanische Fixierungsvorrichtung zwei zumindest weitgehend baugleiche Rahmenstrukturen (7, 8) aufweist, die in einer durch die Synchrotronstrahlung (14) festgelegten Strahlungsebene (Äquatorialebene) zusammenzufügen sind.

6. Synchrotronstrahlungsquelle nach Anspruch 5, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Rahmenstrukturen (7, 8) Rahmenstücke (17 bzw. 18) enthalten, welche die supraleitenden Spulenwicklungen (4 bzw. 5) aufnehmende Spulenkörper (16) sowie die Spulenwicklungen dort mechanisch sichernde Klammerteile (21, 22) aufweisen.

7. Synchrotronstrahlungsquelle nach einem der Ansprüche 1 bis 6, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Rahmenstrukturen (7, 8) jeweils mit einem Plattenelement (28 bzw. 29) verbunden sind, wobei sich diese Plattenelemente (28, 29) an ihrem peripheren Außenrand über das mindestens eine Stützelement (40) kraftmäßig abstützen.

8. Synchrotronstrahlungsquelle nach einem der Ansprüche 1 bis 7, **dadurch gekennzeichnet**, daß der Strahlungsabsorber (46) zumindest im Bereich der auftreffenden Synchrotronstrahlung (14) aus einem thermisch gut leitenden Material (Schildwand 48) besteht.

9. Synchrotronstrahlungsquelle nach Anspruch 8, **dadurch gekennzeichnet**, daß der Strahlungsabsorber (46) zusätzlich gekühlt ist.

10. Synchrotronstrahlungsquelle nach Anspruch 9, **dadurch gekennzeichnet**, daß der Strahlungsabsorber (46) als rohrförmiger Kühlkanal (47) für ein kryogenes Medium wie flüssigen Stickstoff ausgebildet ist.

40

45

50

55

