

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
1. November 2007 (01.11.2007)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2007/122025 A1

(51) Internationale Patentklassifikation:
G21K 1/093 (2006.01) **H05H 7/04** (2006.01)
G21K 5/04 (2006.01)

(74) Gemeinsamer Vertreter: **SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT**; Postfach 22 16 34, 80506 München (DE).

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2007/051642

(81) Bestimmungsstaaten (*soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart*): AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, LY, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, SV, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

(22) Internationales Anmeldedatum:
21. Februar 2007 (21.02.2007)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
10 2006 018 635.4 21. April 2006 (21.04.2006) DE

(71) Anmelder (*für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US*): **SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT** [DE/DE]; Wittelsbacherplatz 2, 80333 München (DE).

(84) Bestimmungsstaaten (*soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart*): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), europäisches (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC,

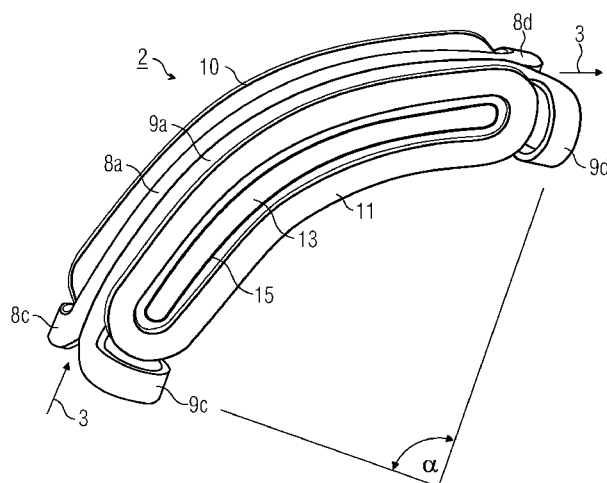
(72) Erfinder; und

(75) Erfinder/Anmelder (*nur für US*): **RIES, Günter** [DE/DE]; Schobertweg 2, 91056 Erlangen (DE).

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: CURVED BEAM-GUIDING MAGNET WITH SADDLE- AND RACE-TRACK-SHAPED SUPERCONDUCTING COILS AND IRRADIATION UNIT WITH SUCH A MAGNET

(54) Bezeichnung: GEKRÜMMTER STRAHLFÜHRUNGSMAGNET MIT SATTEL- UND RENNBAHNFÖRMIGEN SUPRALEITENDEN SPULEN UND BESTRAHLUNGSANLAGE MIT EINEM SOLCHEN MAGNETEN



(57) Abstract: Curved beam-guiding magnet and irradiation unit with such a magnet. The beam-guiding magnet (2) without ferromagnetic material serves to deflect a beam (3) of electrically charged particles along a curved particle path (4) and incorporates a coil system made of at least six curved superconducting single coils arranged in pairs in mirror-inverted fashion relative to a beam-guiding plane. The coil system therein comprises two saddle-shaped main coils (8, 9) and two flat, banana-shaped curved secondary coils (10, 11) of the race-track type, each of which encloses a banana-shaped curved auxiliary coil (15) of the race-track type. The beam-guiding magnet is particularly suitable for an irradiation unit of the gantry type.

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

WO 2007/122025 A1



NL, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Veröffentlicht:

— mit internationalem Recherchenbericht

Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.

(57) Zusammenfassung: Der Strahlführungsmagnet (2) ohne ferromagnetisches Material dient zur Ablenkung eines Strahls (3) elektrisch geladener Teilchen längs einer gekrümmten Teilchenbahn (4) und weist ein Spulensystem aus mindestens sechs gekrümmten supraleitenden Einzelspulen auf, die paarweise spiegelbildlich zu einer Strahlführungsebene angeordnet sind. Dabei umfasst das Spulensystem zwei sattelförmigen Hauptspulen (8, 9) und zwei flache, bananenförmig gekrümmte Nebenspulen (10, 11) vom Rennbahntyp, die jeweils eine bananenförmig gekrümmte Zusatzspule (15) vom Rennbahntyp umschließen. Der Strahlführungsmagnet ist besonders für eine Bestrahlungsanlage vom Gantry-Typ geeignet.

Beschreibung

**GEKRÜMMTER STRAHLFÜHRUNGSMAGNET MIT SATTEL- UND RENNBAHNFÖRMIGEN
SUPRALEITENDEN SPULEN UND BESTRAHLUNGSANLAGE MIT EINEM SOLCHEM MAGNETEN**

5

Die Erfindung bezieht sich auf einen Strahlführungsmagneten zur Ablenkung eines Strahls elektrisch geladener Teilchen längs einer gekrümmten Teilchenbahn, wobei der Magnet versehen ist

- 10 - mit einer durch die gekrümmte Teilchenbahn festgelegten Strahlführungsebene,
- mit einem die gekrümmte Teilchenbahn umschließenden gekrümmten Strahlführungsrohr,
und
15 - mit einem dem Strahlführungsrohr zugeordneten System von in Führungsrichtung des Teilchenstrahls ausgedehnten gekrümmten Einzelspulen, die spiegelbildlich zu der Strahlführungsebene ausgebildet und angeordnet sind. Ein entsprechender gekrümmter Strahlführungsmagnet geht z. B. aus der WO 02/069350 A1
20 hervor.

Die Erfindung betrifft ferner eine Bestrahlungsanlage mit einem solchen gekrümmten Strahlführungsmagneten. Eine solche Anlage ist z. B. der DE 199 04 675 A1 zu entnehmen.

25

- Gekrümmte Strahlführungsmagnete kommen verbreitet in Teilchenbeschleunigeranlagen zu einer Ablenkung und/oder Fokussierung eines Strahls geladener Teilchen wie Elektronen oder Ionen zum Einsatz. Solche Anlagen können insbesondere auch
30 für eine Strahlentherapie auf dem Gebiet der medizinischen Technik konzipiert sein. Eine entsprechende Therapieanlage geht aus der genannten DE 199 04 675 A1 oder der US 4,870,287 hervor. Sie umfasst eine Teilchenquelle bzw. einen Beschleuniger zur Erzeugung eines hochenergetischen Teilchenstrahls,
35 der aus der Quelle in Richtung einer Bestrahlungsachse austritt und auf einen zu bestrahlenden Bereich eines Probanden wie z. B. eine Geschwulst eines Patienten gerichtet wird. Um die Bestrahlungsdosis im umliegenden Bereich möglichst gering

zu halten, wird der Strahl in einer so genannten „Gantry“ mittels einer Anordnung aus verschiedenen Ablenk- und Fokussierungsmagneten mehrfach aus der Richtung der ursprünglichen Bestrahlungsachse so abgelenkt, dass er unter einem vorbestimmten Winkel bezüglich dieser Achse, insbesondere unter 45 bis 90°, auf den zu bestrahlenden Bereich auftritt. Damit eine Bestrahlung von mehreren Seiten erfolgen kann, ist die Magnetanordnung aus Ablenk- und Fokussierungsmagneten auf einem Gestell der Gantry so angeordnet und um die ursprüngliche Bestrahlungsrichtung als Drehachse bzw. Gantry-Rotationsachse drehbar ausgebildet, wobei der austretende Strahl immer durch einen festen Punkt im so genannten „Isozentrum“ läuft und sich so die Bestrahlungsbelastung im umliegenden Bereich bzw. Gewebe durch Verteilung auf eine verhältnismäßig große Fläche begrenzen lässt.

Bei der aus der genannten DE-A1-Schrift entnehmbaren Gantry-Anlage sind alle Ablenk- und Fokussierungsmagnete mit Leitern aus normalleitendem Material wie Kupfer(Cu) ausgebildet. Der Grund hierfür ist, dass die Wicklungen dieser Magnete mit diesem Leitermaterial verhältnismäßig einfach auszubilden sind, weil zu einer Formung der den Strahl ablenkenden und/oder fokussierenden Magnetfelder Körper bzw. Joche aus ferromagnetischem Material wie Eisen verwendet werden. Gerade die Strahlführungsmagnete zur Ablenkung weisen deshalb z. B. mit Wasser zu kühlende Kupferwicklungen und entsprechende Eisenjoche auf. Dabei ist jedoch die magnetische Flussdichte durch die Sättigung des Eisens auf maximal etwa 1,8 Tesla beschränkt. Der Kurvenradius und die Magnetlänge der allgemein verwendeten Magnete mit Ablenk-/ bzw. Krümmungswinkeln von 45° bis 90° liegen hierbei für den Fall einer Bestrahlung mit C^{6+} -Ionen bei einigen Metern. Bei diesen Abmessungen ist aber das Gewicht insbesondere der Eisenjoche der Magnete dementsprechend hoch. So haben z. B. die Magnete einer bekannten Gantry-Anlage ein Gesamtgewicht von etwa 95 t. Das erforderliche Drehgestell für die schwenkbaren Magnete einer solchen Gantry-Anlage muss dementsprechend stabil ausgeführt sein und dabei eine exakte Strahlführung gewährleisten. Außerdem ist

bei einer großen Magnetapparatur, wie sie bei einer rasterförmigen Ablenkung eines Teilchenstrahls gemäß dem so genannten „Spot Scanning-Verfahren“ für Gantry-Anlagen benötigt wird, der Bedarf an elektrischer Leistung und somit an Kühlwasser ganz erheblich und liegt bei einer bekannten Gantry-Anlage bei etwa 800 kW.

Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es, einen gekrümmten Strahlführungsmagnet zur Ablenkung eines Strahls elektrisch geladener Teilchen längs einer gekrümmten Teilchenbahn, insbesondere für eine Bestrahlungsanlage anzugeben, der hinsichtlich seiner Größe und seines Gewichts gegenüber entsprechenden normalleitenden Magneten reduzierte Werte aufweist. Außerdem soll eine bevorzugte Bestrahlungsanlage mit einem solchen Magneten angegeben werden.

Die sich auf den Strahlführungsmagneten beziehende Aufgabe wird mit den in Anspruch 1 angegebenen Maßnahmen gelöst. Dementsprechend soll der Strahlführungsmagnet zur Ablenkung eines Strahls elektrisch geladener Teilchen frei von ferromagnetischem, die Strahlführung beeinflussendem Material sein und zusätzlich noch die folgenden Merkmale aufweisen, nämlich

- a) eine durch die gekrümmte Teilchenbahn festgelegte Strahlführungsebene,
- b) ein die gekrümmte Teilchenbahn umschließendes Strahlführungsrohr,
- c) ein dem Strahlführungsrohr zugeordnetes System von mindestens sechs in Führungsrichtung des Teilchenstrahls ausge dehnten, gekrümmten supraleitenden Einzelspulen, die paarweise spiegelbildlich zu der Strahlführungsebene ausgebildet und angeordnet sind, wobei das Spulensystem zumindest umfasst,
 - zwei sattelförmige Hauptspulen mit in Strahlführungsrichtung lang gestreckten Seitenteilen und stirnseitig aufgebogenen Endteilen,
 - zwei zumindest weitgehend flache, bananenförmig gekrümmte Nebenspulen vom Rennbahntyp, die jeweils einen Innenbereich umschließen,

- zwei zumindest weitgehend flache, jeweils in dem Innenbereich der jeweiligen Nebenspule angeordnete, bananenförmig gekrümmte Zusatzspulen vom Rennbahntyp, und

- 5 d) Mittel zur thermischen Isolation und Mittel zur Kühlung der supraleitenden Einzelspulen.

Bei der Erfindung wird von der Erkenntnis ausgegangen, dass es bei einem Verzicht auf feldformende Teile aus ferromagnetischem Material wie Eisenjoche mindestens sechs gekrümmter
10 Einzelspulen bedarf, um eine gewünschte, vorgebbare Feldgüte im Strahlbereich für die Strahlablenkung realisieren zu können.

15 Die mit den erfindungsgemäßen Maßnahmen verbundenen Vorteile sind dann insbesondere in der angestrebten Reduzierung von Gewicht und Baugröße des gekrümmten Strahlführungsmagneten gegenüber normalleitenden Ablenkmagneten zu sehen. Diese Vorteile kommen besonders dann zum Tragen, wenn schwere Ionen
20 wie z. B. C^{6+} -Ionen zum Einsatz kommen sollen. So ist z. B. für eine Gantry-Anlage mit einem 90° -Ablenkmagneten und zwei 45° -Ablenkmagneten für C^{6+} -Ionen das Magnetgewicht etwa 6 Tonnen (t) bei einer Leistungsaufnahme der erforderlichen Kältemaschinen von einigen 10 kW. Dabei ist der Platzbedarf fast
25 um die Hälfte zu reduzieren, wobei ein erforderliches Schwenkgestell für die Drehung der Magnete um eine Gantry-Rotationsachse vorteilhaft einfacher und leichter ausgeführt werden kann.

30 Vorteilhafte Ausgestaltungen des erfindungsgemäßen Strahlführungsmagneten gehen aus den von Anspruch 1 abhängigen Ansprüchen hervor. Dabei kann die Ausführungsform nach Anspruch 1 mit den Merkmalen eines der Unteransprüche oder vorzugsweise auch denen aus mehreren Unteransprüchen kombiniert werden.

35 Demgemäß kann der Strahlführungsmagnet nach der Erfindung zusätzlich noch folgende Merkmale aufweisen:

- So kann der Magnet vorteilhaft so ausgeführt sein, dass sein zentraler Krümmungswinkel zwischen 30° und 90° be-

trägt. Gerade bei größeren Krümmungswinkeln kommt der Vorteil an Gewichtsreduzierung und kleinerer Baugröße gegenüber normalleitenden Magneten besonders zum Tragen.

- Die Nebenspulen können sich bevorzugt zwischen den aufgebogenen Endteilen ihrer jeweils zugeordneten Hauptspule erstrecken. Auf diese Weise ist ein kompakter Aufbau des Systems aus den Einzelspulen zu realisieren.
- Die Leiter der Einzelwicklungen können bekanntes metallisches LTC (Low T_c)-Supraleitermaterial aufweisen. Entsprechende Leiter z. B. auf Basis von NbTi sind bei sehr tiefen Temperaturen zu betreiben und erfordern im Allgemeinen eine Helium-Kühltechnik. Sie sind technisch ausgereift und verhältnismäßig einfach zu verarbeiten.
- Stattdessen können die Leiter der Einzelwicklungen selbstverständlich auch mit bekanntem metalloxidisches HTC (High T_c)-Supraleitermaterial erstellt sein. Solche Leiter mit vorzugsweise Bandform ermöglichen höhere Betriebstemperaturen, die insbesondere zwischen 10 und 40 K, vorzugsweise zwischen 20 und 30 K liegen können. Gegenüber der Kühltechnik der LTC-Supraleiter ist dann der Aufwand entsprechend verringert. Zudem haben bekannte HTC-Supraleiter in dem genannten Temperaturbereich zur Erzeugung starker Magnetfelder hinreichend große kritische Stromtragfähigkeiten bzw. Stromdichten.
- Wird ein abzulenkender Teilchenstrahl von C^{6+} -Ionen vorgesehen, so sind im Falle dieser hochenergetischen Teilchen die Vorteile der Gewichts- und Baugrößenreduzierung besonders ausgeprägt.
- Außerdem lässt sich der Strahlführungsmagnet vorteilhaft so ausführen, dass eine magnetische Aperturfeldstärke von mindestens 2 Tesla, vorzugsweise zwischen 3 und 5 Tesla, gegeben ist. Mit Supraleitern zu erzeugende hohe Aperturfeldstärken bringen nämlich die genannten Vorteile der Gewichts- und Baugrößenreduzierung mit sich.

Die sich auf die Bestrahlungsanlage beziehende Aufgabe ist mit den Merkmalen des Anspruchs 9 gelöst. Dementsprechend weist die Anlage eine feststehende, einen Strahl elektrisch

geladener Teilchen erzeugende Bestrahlungsquelle, mehrere Fokussierungsmagnete und mindestens einen Strahlführungsmagneten gemäß der beanspruchten Ausgestaltung zur Ablenkung des Teilchenstrahls auf. Eine solche Anlage kann insbesondere durch ein Gantry-System mit einer Drehbarkeit der Magnete bezüglich einer Gantry-Rotationsachse, die in der Strahlführungsebene liegt, gekennzeichnet sein. Durch die Verwendung von supraleitenden Einzelmagneten sind die Baugröße, das Gewicht und der Leistungsbedarf der Gantry-Anlage gegenüber bekannten Anlagen mit normalleitenden Magneten erheblich reduziert. Insbesondere ist ein erforderliches Drehgestell zur Drehung der einzelnen Magnete erheblich einfacher und leichter auszuführen.

Weitere vorteilhafte Ausgestaltungen des erfindungsgemäßen Strahlführungsmagneten und der ihn aufweisenden Bestrahlungsanlage gehen aus den vorstehend nicht angesprochenen Unteransprüchen sowie insbesondere aus der Zeichnung hervor.

Die Erfindung wird nachfolgend unter Bezugnahme auf die Zeichnung weiter erläutert, aus der ein bevorzugtes Ausführungsbeispiel eines erfindungsgemäßen Strahlführungsmagneten und dessen Einsatzmöglichkeit in einer Bestrahlungsanlage ohne Einschränkung auf die konkret veranschaulichte Ausführungsform veranschaulicht ist. Dabei zeigen deren

Figur 1 einen erfindungsgemäßen Strahlführungsmagneten in Schrägansicht,

Figur 2 den Querschnitt durch einen entsprechenden Strahlführungsmagneten,

Figur 3 einen Längsschnitt durch einen entsprechenden Strahlführungsmagneten

sowie

Figur 4 einen prinzipiellen Aufbau einer Gantry-Anlage unter Verwendung mehrerer gekrümmter Strahlführungsmagnete.

Beim Aufbau eines aus den Figuren 1 und 2 entnehmbaren, gekrümmten Strahlführungsmagneten 2 wird von an sich bekannten Ausführungsformen entsprechender Magnete mit normalleitenden

Spulenwicklungen ausgegangen, wie sie in der Teilchenbeschleunigertechnik zum Einsatz kommen. In den Figuren nicht dargestellte Teile sind daher bekannt.

5 Der Strahlführungsmagnet 2 dient zur Ablenkung eines durch eine gepfeilte Linie angedeuteten Teilchenstrahls 3 um einen zentralen Krümmungs- oder Bogenwinkel α , der bevorzugt zwischen 30° und 90° liegt (d.h. mit $30^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$). Bei dem
10 Teilchenstrahl 3 handelt es sich um einen Strahl elektrisch geladener Teilchen wie Ionen, insbesondere von C^{6+} -Ionen. Der Teilchenstrahl wird mit Hilfe magnetischer Kräfte innerhalb eines entsprechend gekrümmten Strahlführungsrohres 5 gehalten bzw. geführt. Die gekrümmte Bahn des Teilchenstrahls legt dabei eine Strahlführungsebene 6 fest, die in Figur 2 durch eine
15 gestrichelte Linie angedeutet sein soll.

Erfindungsgemäß werden Supraleiter zum Aufbau der Magnetwicklungen bzw. -spulen des Strahlführungsmagneten 2 verwendet. Als bekannte Materialien für hier verwendbare Supraleiter
20 sind bekannte metallische LTC (Low T_c)-Supraleitermaterialien wie z. B. NbTi oder auch bekannte oxidische HTC (High T_c)-Supraleitermaterialien geeignet. Während für LTC-Supraleiter im Allgemeinen eine He-Kühltechnik erforderlich ist bei beispielsweise Betriebstemperaturen von etwa 4,2 K können bei
25 Verwendung von HTC-Supraleitern höherer Betriebstemperaturen von beispielsweise 10 bis 40 K, vorzugsweise 20 bis 30 K vorgesehen werden. Bei diesen Temperaturen weisen bekannte HTC-Supraleiter zur Erzeugung der erforderlichen Magnetfeldstärken hinreichend hohe kritische Stromdichten auf. Zu der erforderlichen Kühlung der Supraleiter kann auf bekannte Kälte-
30 einrichtungen zurückgegriffen werden.

Erfindungsgemäß muss ein System von mindestens sechs supraleitenden Einzelspulen vorgesehen werden, von denen jeweils
35 zwei paarweise spiegelbildlich zur Strahlführungsebene 6 ausgebildet und angeordnet sind. Demgemäß umfasst das System an Einzelspulen zwei in Strahlführungsrichtung langgestreckte, sattelförmig ausgebildete, nachfolgend als Hauptspulen be-

zeichnete Spulen 8 und 9. Diese Spulen weisen jeweils zwei gekrümmte, seitlich zu dem Strahlführungsrohr 5 verlaufende Seitenteile 8a, 8b bzw. 9a, 9b sowie stirnseitige Endteile 8c, 8d bzw. 9c, 9d auf. Bevorzugt sind die stirnseitigen Endteile dabei jeweils so aus der durch die Seitenteile der Hauptspule aufgespannten Ebene aufgebogen bzw. gekröpft, dass sie außen um das Strahlführungsrohr 5 jeweils halbkreisbogenartig herumführen. Die Gestaltungsform entsprechender Hauptspulen ist allgemein bekannt (vgl. z. B. EP 0 276 360 B1).

Gegebenenfalls sind aber auch andere bekannte Sattelformen geeignet, die auf einer gekrümmten Zylindermantelfläche liegen. D.h., die Seitenteile 8a, 8b bzw. 9a, 9b brauchen jeweils nicht exakt in einer nicht-gekrümmten Ebene zu verlaufen und/oder die stirnseitigen Endteile 8c, 8db bzw. 9c, 9d müssen jeweils nicht unbedingt exakt halbkreisbogenförmig ausgebildet werden, sondern können auch parabelähnliche Gestalt haben (vgl. z. B. JP 02-246305 A).

Oberhalb und unterhalb des Strahlführungsrohres 5 sind in parallelen Ebenen liegend zwei zumindest weitgehend flache, bananenförmig gekrümmte, nachfolgend als Nebenspulen bezeichnete Spulen 10 bzw. 11 vorgesehen. Diese Spulen sind als gekrümmte Rennbahnschleifen gestaltet und erstrecken sich dabei vorzugsweise zwischen den stirnseitigen, wickelkopfartigen Endteilen der Hauptspulen 8 und 9. Die Gestaltungsform entsprechender, hier beispielsweise etwa um 90° gekrümmter bananenförmiger Nebenspulen ist ebenfalls bekannt (vgl. z. B. EP 0 185 955 B1 oder DE 35 04 211 A1). Die Leiter der Nebenspulen 10 und 11 umschließen dabei jeweils einen bananenförmig gekrümmten Innenbereich 12 bzw. 13 und dort jeweils eine entsprechend gekrümmte, nachfolgend als Zusatzspule bezeichnete 14 bzw. 15 ebenfalls vom Rennbahntyp. Wie aus Figur 2 hervorgeht, ist der Wicklungsquerschnitt dieser Zusatzspulen 14 und 15 gegenüber dem der sie jeweils umschließenden Nebenspule 10 bzw. 11 deutlich geringer. In dieser Figur sind außerdem die Stromflussrichtungen in den Spulen 10, 11, 14 und 15 angedeutet.

Gegebenenfalls können den einzelnen Spulen noch weitere Spulen zugeordnet werden, um geforderte Feldverhältnisse z. B. hinsichtlich der Homogenität weiter zu verbessern. Mit der Mindestzahl von sechs Spulen sind jedoch im Allgemeinen hinreichend befriedigende Feldverhältnisse zu realisieren.

Da sich die supraleitenden Einzelspulen 8, 9, 10, 11, 14 und 15 auf einer kryogenen Betriebstemperatur mittels entsprechender, in den Figuren nicht ausgeführter Mittel und Vorrichtungen zur Kühlung befinden, müssen auch Mittel zu deren thermischer Isolation gegenüber dem auf Raumtemperatur befindlichen Außenbereich des Strahlführungsmagneten vorgesehen sein. Diese thermische Isolationsmittel umfassen gemäß der Darstellung der Figur 2 ein als Vakuum- oder Kryostatengehäuse ausgebildetes warmes Außengehäuse 17, das einen Vakuumraum 18 einschließt. Innerhalb dieses Vakuumraums befindet sich ein kaltes Innengefäß 20, in dem eine Haltestruktur 21 zur Aufnahme und Fixierung der einzelnen supraleitenden Spulen angeordnet ist. Außerdem muss in diesem Innengefäß den Leitern der einzelnen supraleitenden Spulen die erforderliche Kälteleistung zu deren Kühlung beispielsweise über ein Kältemittel in geeigneter Weise zur Verfügung gestellt werden. Selbstverständlich können, wie in Figur 2 ferner angedeutet ist, zwischen dem kalten Innengefäß 20 und dem warmen Außengehäuse 17 in den Vakuumraum 18 noch weitere, auch diskret gekühlte Isolationsmittel wie Bestrahlungsschilde oder Isolationsfolien 22 vorgesehen werden.

Selbstverständlich müssen die einzelnen Wicklungen des erfindungsgemäß gestalteten Strahlführungsmagneten so mechanisch fixiert sein, dass die auf sie wirkenden Kräfte aufgenommen werden, ohne dass es zu unerwünschten Leiterbewegungen kommt. Diesbezügliche Maßnahmen sind allgemein bekannt und deshalb in Figur 2 nicht ausgeführt.

Figur 3 zeigt eine seitliche Aufsicht auf den in der Strahlführungsebene vorgenommenen Längsschnitt durch einen entsprechenden Strahlführungsmagneten 2 mit einem Krümmungswinkel α

von 90°. Dabei sind die aus dieser Ebene herausführenden Winkelköpfe bzw. Endteile einer der sattelförmigen Hauptspulen, beispielsweise die halbkreisbogenartigen Endteile 8c und 8d der Spule 8 besonders hervorgehoben. Wie ferner ersichtlich, ist die Haltestruktur 21 für die Hauptspule 8 mit besonderen Verstärkungsrippen 23 versehen. Diese Teile befinden sich innerhalb des kalten Innengefäßes 20, das z. B. zur Aufnahme eines flüssigen Kältemittels wie He oder Ne dient. Das Innengefäß ist mit stirnseitigen Endflanschen 25 und 26 ausgestattet. In entsprechender Weise sind auch stirnseitige Endflansche 27 und 28 für das warme Außengehäuse 17 vorgesehen.

Bei dem vorstehend geschilderten Ausführungsbeispiel wurde davon ausgegangen, dass die Nebenspulen 10 und 11 sowie die Zusatzspulen 14 und 15 als völlig flache, in einer Ebene liegende, bananenförmig gekrümmte Rennbahnspulen ausgebildet sind. Gegebenenfalls ist es auch möglich, dass wenigstens teilweise diese Spulen auch nur annähernd flach gestaltet sind. Hierunter ist zu verstehen, dass die Spulen zumindest im Bereich ihrer bogenförmigen Endteile auch sattelförmig aufgebogen sein können. Die Spulen liegen dann nicht mehr in einer flachen Ebene sondern auf einer Mantelfläche eines Zylinders, der die gekrümmte Strahlführungsachse 4 umschließt. Solche Spulen lassen sich beispielsweise aus zunächst ebenen, gekrümmten Rennbahnspulen herstellen, indem sie dann der Mantelfläche des gekrümmten Zylinders formschlüssig angepasst werden.

Der an Hand der Figuren 1 bis 3 beschriebene gekrümmte Strahlführungsmagnet 2 ist an sich für beliebige Bestrahlungsanlagen zur Ablenkung von Strahlen beliebiger elektrisch geladener Teilchen geeignet (vgl. z. B. US 4,870,287 A oder JP 2000-075100 A). Bevorzugt wird er für eine Gantry-Anlage vorgesehen, die zur medizinischen Therapie dient. Die Gestaltungsmerkmale entsprechender Anlagen sind ebenfalls allgemein bekannt (vgl. z. B. DE 199 04 675 A1 oder WO 02/069350 A1). Eine solche Anlage zeichnet sich dadurch aus, dass ihre endseitigen Fokussierungs- und Ablenkmagnete um eine Gantry-

Rotationsachse schwenkbar ausgeführt sind. Nur die schwenkbaren Ablenkmagnete einer solchen Anlage sind in Figur 4 in stark schematisierter Darstellung angedeutet. Die allgemein mit 30 bezeichnete Gantry-Anlage weist eine in der Figur

5 nicht näher ausgeführte Bestrahlungsquelle 31 zur Erzeugung eines Strahls 3 von Ionen wie insbesondere C^{6+} -Ionen auf. Diese Ionen treten aus der Quelle in einer Strahlführungsrichtung aus, die zugleich die Gantry-Rotationsachse A festlegt. Mit Hilfe von beispielsweise zwei 45° -Ablenkmagneten 33

10 und 34, die vorteilhaft entsprechend dem erfindungsgemäßen gekrümmten Strahlführungsmagneten 2 ausgebildet sein können, wird der Ionenstrahl 3 in einen bezüglich der Achse A entfernten Bereich gebracht und von dort durch einen erfindungsgemäß ausgebildeten, beispielsweise um 90° ablenkenden

15 Ablenk- bzw. Strahlführungsmagneten 2 in eine senkrecht zur Rotationsachse A gerichtete Richtung gelenkt, wo er in einem Isozentrum 35 die Achse A kreuzt. Selbstverständlich sind auch andere Kombinationen von Ablenkmagneten wie z. B. von einem 45° -Magneten und einem 135° -Magneten oder von zwei 30° -

20 Magneten und einem 120° -Magneten geeignet. Ferner ist in der Figur noch ein von dem Strahl 3 durchlaufener, mittels einer Eisenkastens magnetisch abgeschirmter Diagnostikkopf für die Strahllage und die Strahlungsdosis mit 36 bezeichnet.

25 Zu Vergleichszwecken ist außerdem in der Figur 4 durch gestrichelte Linien ein weiteres Magnetsystem 38 angedeutet, das sich ergeben würde, wenn man statt eines Systems aus supraleitenden Magneten entsprechende normalleitende Magnete mit feldformenden Eisenjochen verwenden würde. Das Isozentrum 35

30 läge dann um etwa 1 m weiter entfernt von der Ionenquelle 31, wenn man die aus der folgenden Tabelle entnehmbaren Werte zugrunde legt:

Ausführungsart	konventionell	supraleitend
Magnettechnologie	Cu-Leiter und Eisen	LTC- oder HTC-Leiter
Aperturfeld $B_{\max}$	1,8 Tesla	4-5 Tesla
Feldformung	Eisenjoch	Luftspulen ohne Eisen
Magnetmasse (1 90°-Magnet, 2 45°-Magnete)	ca. 95 t	ca. 6 t
Leistungsverbrauch bei $B_{\max}$	830 kW	15-30 kW
Gantry-Durchmesser x Gantry-Länge	ϕ 12 m x 18 m	ϕ 7 m x 12 m

Aus Figur 4 und der vorstehenden Tabelle geht unmittelbar der Vorteil einer Verwendung von supraleitenden Magneten in einer Gantry-Anlage als Bestrahlungsanlage hervor.

Patentansprüche

1. Strahlführungsmagnet (2) zur Ablenkung eines Strahls (3) elektrisch geladener Teilchen längs einer gekrümmten Teilchenbahn (4), wobei der Magnet (2) frei von ferromagnetischem, die Strahlführung beeinflussendem Material ist und versehen ist

a) mit einer durch die gekrümmte Teilchenbahn (4) festgelegten Strahlführungsebene (6),

10 b) mit einem die gekrümmte Teilchenbahn (4) umschließenden gekrümmten Strahlführungsrohr (5),

c) mit einem dem Strahlführungsrohr (5) zugeordneten System von mindestens sechs in Führungsrichtung des Teilchenstrahls ausgedehnten gekrümmten supraleitenden Einzelspulen, die paarweise spiegelbildlich zu der Strahlführungsebene (6) ausgebildet und angeordnet sind, wobei das Spulensystem zumindest umfasst:

– zwei sattelförmigen Hauptspulen (8, 9) mit in Strahlführungsrichtung lang gestreckten Seitenteilen (8a, 8b bzw. 9a, 9b) und stirnseitigen, aufgebogenen Endteilen (8c, 8d bzw. 9c, 9d),

– zwei zumindest weitgehend flache, bananenförmig gekrümmte Nebenspulen (10, 11) vom Rennbahntyp, die jeweils einen Innenbereich (12 bzw. 13) umschließen,

25 – zwei zumindest weitgehend flache, jeweils in dem Innenbereich (12, 13) der jeweiligen Nebenspule (10, 11) angeordnete, bananenförmig gekrümmte Zusatzspulen (14, 15) vom Rennbahntyp,

und

30 e) mit Mitteln zu thermischen Isolation und Mitteln zur Kühlung der supraleitenden Einzelspulen.

2. Strahlführungsmagnet nach Anspruch 1, gekennzeichnet durch einen zentralen Krümmungswinkel (α) zwischen 30° und 90° .

35

3. Strahlführungsmagnet nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass sich die Nebenspulen (10, 11) zwischen den

aufgebogenen Endteilen (8c, 8d bzw. 9c, 9d) ihrer jeweils zugeordneten Hauptspule (8 bzw. 9) erstrecken.

4. Strahlführungsmagnet nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Leiter der Einzelspulen metallisches LTC-Supraleitermaterial aufweisen.

5. Strahlführungsmagnet nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass die Leiter der Einzelspulen metalloxidisches HTC-Supraleitermaterial aufweisen.

6. Strahlführungsmagnet nach Anspruch 5, gekennzeichnet durch eine Betriebstemperatur der Leiter der Einzelspulen zwischen 10 K und 40 K, vorzugsweise zwischen 20 K und 30 K.

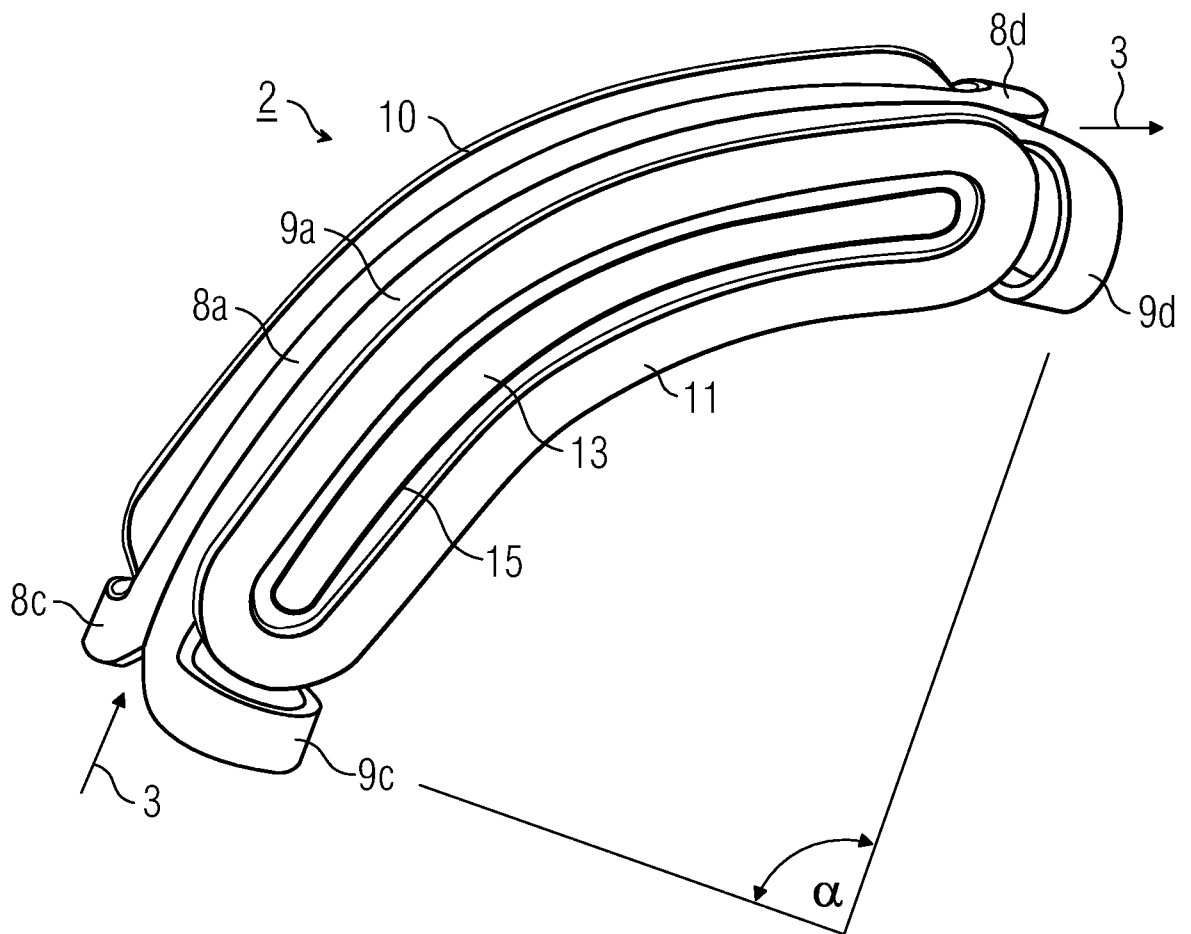
7. Strahlführungsmagnet nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass ein Strahl (3) von C^{6+} -Teilchen abzulenken ist.

8. Strahlführungsmagnet nach einem der vorangehenden Ansprüche, gekennzeichnet durch eine magnetische Aperturfeldstärke in seinem Strahlführungsrohr (5) von mindestens 2 Tesla, vorzugsweise zwischen 3 und 5 Tesla.

9. Bestrahlungsanlage (30) mit einer feststehenden, einen Strahl (3) elektrisch geladener Teilchen erzeugenden Bestrahlungsquelle (31), mit mehreren Fokussierungsmagneten (36) zur Fokussierung des Teilchenstrahls (3) und mit mindestens einem Strahlführungsmagneten (2) nach einem der vorangehenden Ansprüche zur Ablenkung des Teilchenstrahls (3) .

10. Bestrahlungsanlage nach Anspruch 9, gekennzeichnet durch ein Gantry-System mit einer Drehbarkeit der Magnete (2, 32, 33, 36) bzgl. einer Gantry-Rotationsachse (A), die in der Strahlführungsebene (6) liegt.

FIG 1



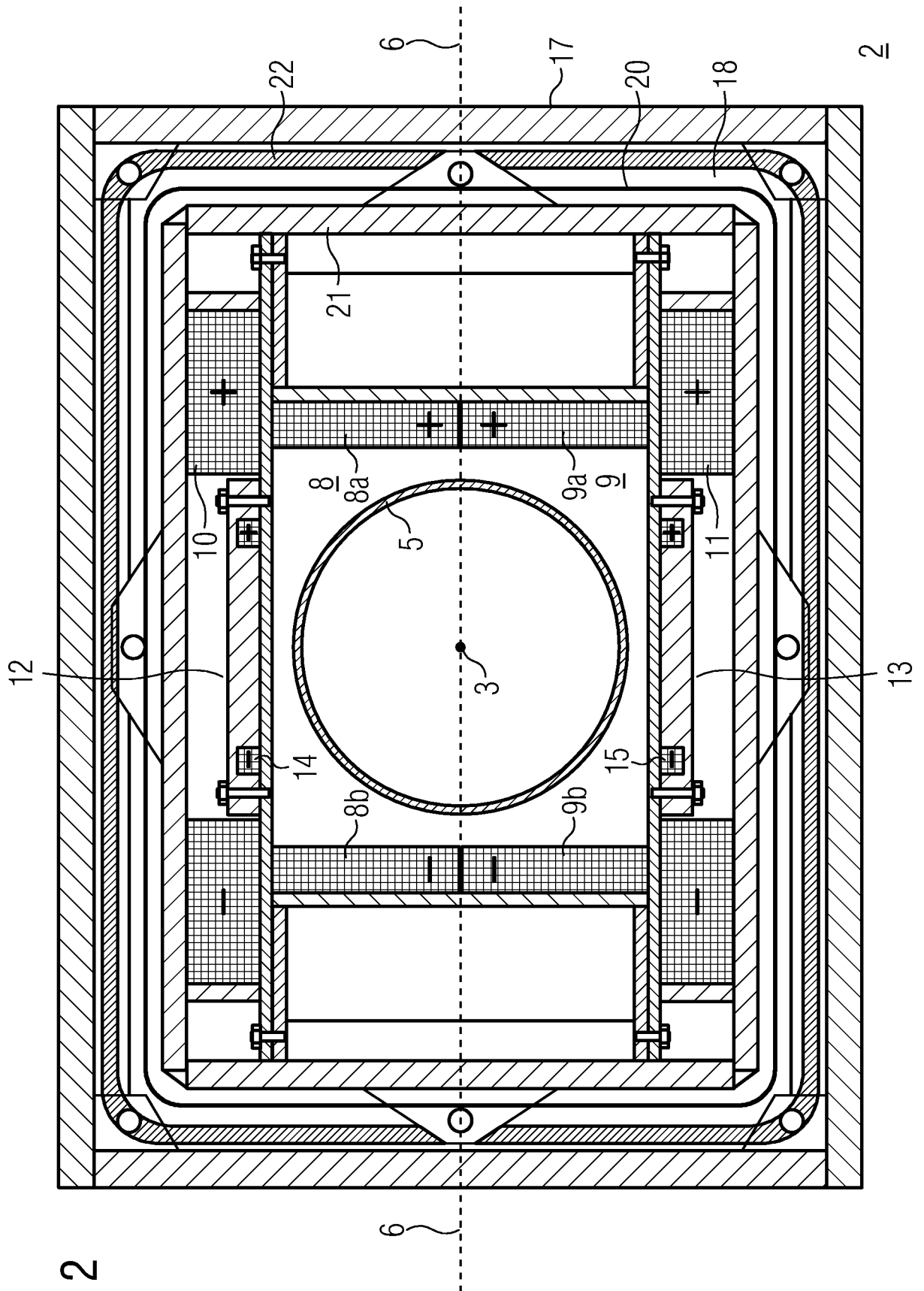


FIG 3

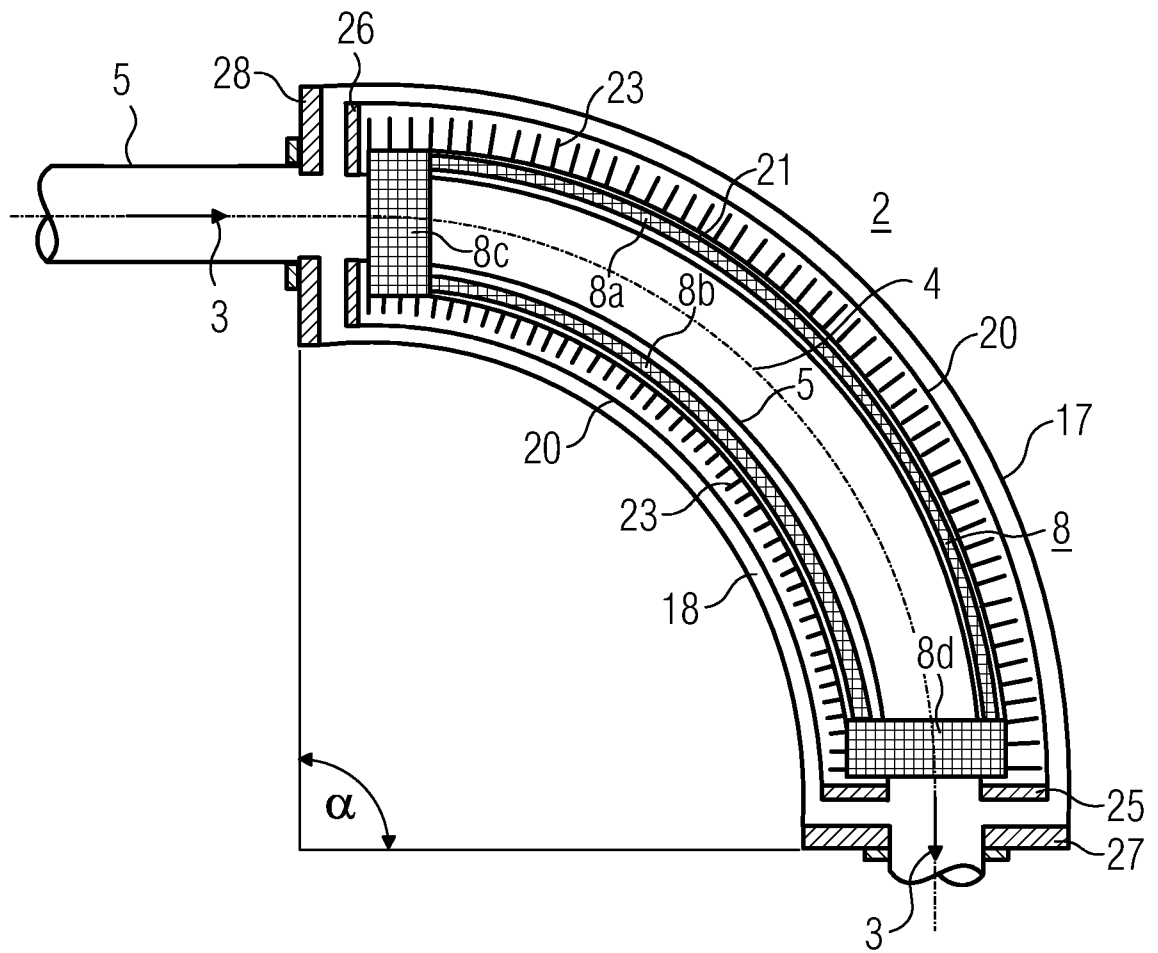
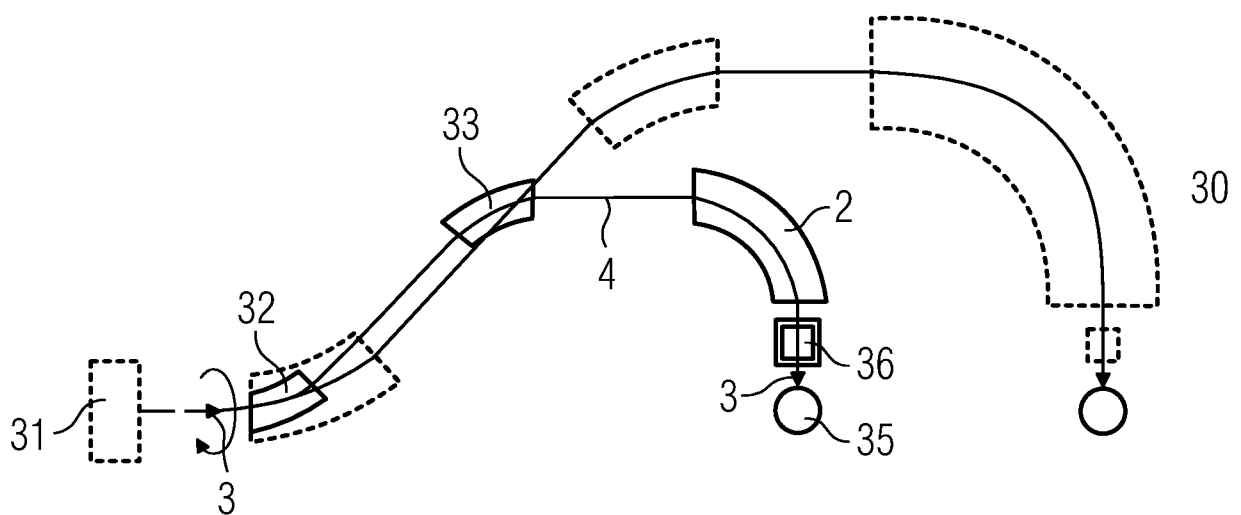


FIG 4



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2007/051642

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER INV. G21K1/093 G21K5/04 H05H7/04		
According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
B. FIELDS SEARCHED Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) G21K H05H		
Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched		
Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used) EPO-Internal		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	DE 43 35 807 A1 (MITSUBISHI ELECTRIC CORP [JP]) 28 April 1994 (1994-04-28) column 4, line 58 - column 5, line 63 figures 2,3,4a,4b,4c -----	1-10
A	JP 63 304606 A (SUMITOMO ELECTRIC INDUSTRIES) 12 December 1988 (1988-12-12) abstract; figures -----	5,6
A	DE 199 04 675 A1 (SCHWERIONENFORSCH GMBH [DE]) 10 August 2000 (2000-08-10) cited in the application the whole document -----	2,7,9,10
☐ Further documents are listed in the continuation of Box C. ☒ See patent family annex.		
* Special categories of cited documents : "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance "E" earlier document but published on or after the international filing date "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified) "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed "T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art. "&" document member of the same patent family		
Date of the actual completion of the international search 13 June 2007		Date of mailing of the international search report 20/06/2007
Name and mailing address of the ISA/ European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl, Fax: (+31-70) 340-3016		Authorized officer Angloher, Godehard

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/EP2007/051642

Patent document cited in search report		Publication date	Patent family member(s)	Publication date
DE 4335807	A1	28-04-1994	JP 2549233 B2	30-10-1996
			JP 6132118 A	13-05-1994
			US 5625331 A	29-04-1997
JP 63304606	A	12-12-1988	NONE	
DE 19904675	A1	10-08-2000	AT 285270 T	15-01-2005
			AU 2669500 A	25-08-2000
			WO 0045891 A2	10-08-2000
			EP 1148911 A2	31-10-2001
			JP 2002536084 T	29-10-2002
			US 6635882 B1	21-10-2003

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2007/051642

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES

INV. G21K1/093 G21K5/04 H05H7/04

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPC) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPC

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)

G21K H05H

Recherchierte, aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

EPO-Internal

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	DE 43 35 807 A1 (MITSUBISHI ELECTRIC CORP [JP]) 28. April 1994 (1994-04-28) Spalte 4, Zeile 58 – Spalte 5, Zeile 63 Abbildungen 2,3,4a,4b,4c	1-10
A	JP 63 304606 A (SUMITOMO ELECTRIC INDUSTRIES) 12. Dezember 1988 (1988-12-12) Zusammenfassung; Abbildungen	5,6
A	DE 199 04 675 A1 (SCHWERIONENFORSCH GMBH [DE]) 10. August 2000 (2000-08-10) in der Anmeldung erwähnt das ganze Dokument	2,7,9,10



Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen



Siehe Anhang Patentfamilie

* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

A Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist

E älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist

L Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)

O Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht

P Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

T Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

X Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden

Y Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

Z Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

13. Juni 2007

Absendedatum des internationalen Recherchenberichts

20/06/2007

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde

Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Angloher, Godehard

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2007/051642

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
DE 4335807	A1	28-04-1994	JP 2549233 B2 30-10-1996
		JP 6132118 A 13-05-1994	
		US 5625331 A 29-04-1997	
JP 63304606	A	12-12-1988	KEINE
DE 19904675	A1	10-08-2000	AT 285270 T 15-01-2005
		AU 2669500 A 25-08-2000	
		WO 0045891 A2 10-08-2000	
		EP 1148911 A2 31-10-2001	
		JP 2002536084 T 29-10-2002	
		US 6635882 B1 21-10-2003	