



Europäisches Patentamt
European Patent Office
Office européen des brevets



Veröffentlichungsnummer: **0 438 738 B1**

12

EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT

Veröffentlichungstag der Patentschrift: **13.07.94**

Int. Cl.⁵: **H01P 3/20**, H01J 25/02,
H01J 23/30

Anmeldenummer: **90124755.1**

Anmeldetag: **19.12.90**

Quasi-optische Komponente für Mikrowellenstrahlung.

Priorität: **15.01.90 CH 114/90**
29.05.90 CH 1819/90

Veröffentlichungstag der Anmeldung:
31.07.91 Patentblatt 91/31

Bekanntmachung des Hinweises auf die
Patenterteilung:
13.07.94 Patentblatt 94/28

Benannte Vertragsstaaten:
CH DE FR GB LI NL

Entgegenhaltungen:
EP-A- 0 177 668 EP-A- 0 301 929
DE-A- 2 256 817 FR-A- 997 494
FR-E- 72 078 US-A- 3 483 418
US-A- 3 636 402 US-A- 3 649 934

INTERNATIONAL JOURNAL OF ELECTRO-
NICS. vol. 64, no. 1, Januar 1988, LON-
DONGBSeiten 63 - 76; H. STICKEL: "Design
of a low average power calorimeterformilli-
metre wave gyrotrons"

Mil. MICROWAVES'84, Conf. Procs.,
24-26/10/84,&& Publs. Ltd., Tunbridge Well-
Wells, GB; p. 436-40; P. F.Goldsmith et al.:

"Gaussian optics for millimeterwave EW sy-
stems"

MICROWAVE JOURNAL. vol. 30, no. 11, No-
vember 1987, DEDHAM US Seiten 131 -139;E.
L. MOORE: "Optiguide: A modular Approach
to Beam Waveguide "

13th INT. CONF. ON IR AND MM WAVES,
5-9/12/88; S. 119-120; B. G. Ruth et al.:"An
X-band Vlasov type mode convertor"

Patentinhaber: **ASEA BROWN BOVERI AG**
Haselstrasse
CH-5401 Baden(CH)

Erfinder: **Jödicke, Bernd, Dr.**
Im First 10
CH-5424 Unterehrendingen(CH)
Erfinder: **Mathews, Hans-Günter, Dr.**
Gehrenhagweg 11
CH-5422 Oberehrendingen(CH)

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach der Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents 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).

EP 0 438 738 B1

Beschreibung

Technisches Gebiet

Die Erfindung betrifft eine quasi-optische Komponente für Mikrowellenstrahlung mit einem quasi-optischen Element, welches einfallende Mikrowellenstrahlung entlang einer Hauptachse ausstrahlt und welches eine charakteristische Querabmessung hat, die kleiner als das 50-fache einer Wellenlänge ist.

Stand der Technik

Für den Einsatz von Mikrowellen zur Heizung von Fusionsplasmen werden im Bereich ab ca. 50 GHz sehr hohe Leistungen (1-30 MW) benötigt. Wie Studien gezeigt haben, lassen sich diese Leistungen am besten mit sog. quasi-optischen Komponenten beherrschen. Der Begriff quasi-optisch bezeichnet das Prinzip, dass die Mikrowellen nicht mehr durch leitende Wände geführt werden, sondern sich näherungsweise unter Freiraum-Bedingungen ausbreiten.

Bei der Heizung von Plasmen mit Mikrowellen, können an unterschiedlichen Stellen solche quasi-optische Komponenten eingesetzt werden, z.B. in der Mikrowellenquelle (quasi-optisches oder auch zylindrisches Gyrotron) oder in der Uebertragungstrecke (vgl. "Design of the CIT Gyrotron ECRH Transmission System", J.A. Casey et al., 13th Int. Conf. on Infrared and Millimeter Waves, 5-9 Dec 1988, pp. 123-124). Im Zusammenhang mit dem zylindrischen Gyrotron ist vorallem der sog. Vlasov-Konverter von Bedeutung. Ein solches quasi-optisches Element wird z.B. in den Veröffentlichungen "An X-Band Vlasov-Type Mode Converter", B.G. Ruth et al., 13th Int. Conf. on Infrared and Millimeter Waves, 5-9 Dec 1988, pp. 119-120, und "A quasi-optical converter for efficient conversion of whispering gallery modes into narrow beam waves", A. Möbius et al., 13th Int. Conf. on Infrared and Millimeter Waves, 5-9 Dec 1988, pp. 121-122, beschrieben. Dass quasi-optische Komponenten aber auch Probleme mit sich bringen, soll am Beispiel des Gyrotrons erläutert werden.

Im Gyrotron erzeugt eine Elektronenstrahlkanone einen Elektronenstrahl, der über eine Driftstrecke in einen Resonator gelangt. Dort wird ein Teil der kinetischen Energie der Elektronen in die gewünschte Mikrowellenstrahlung umgesetzt.

Die Qualität des Elektronenstrahls spielt für die optimale Anregung der Mikrowellen eine zentrale Rolle. Um nun die Strahlqualität auf der Driftstrecke möglichst wenig zu beeinträchtigen, muss dafür gesorgt werden, dass dort die Elektronen stets ein elektrisches Potential spüren. Dies kann im Prinzip durch ein zylindrisches oder möglicherweise koni-

sches Metallrohr erreicht werden, das einen um einige Millimeter grösseren Durchmesser hat als der Elektronenstrahl.

Dieses Rohr kann jedoch neben dem richtigen Resonator ebenfalls in Resonanz kommen. Dies hätte eine drastische Verschlechterung der Strahlqualität zur Folge. Deshalb muss mit geeigneten Mitteln dafür gesorgt werden, dass keine Mikrowellen in diesem Bereich erzeugt werden können. Daneben hat dieser Bereich die Aufgabe, Mikrowellen, die vom Resonator zur Kanone laufen, zu dämpfen.

Zur Zeit existieren für dieses Problem zwei Lösungen. Die eine geht aus der veröffentlichten Patentanmeldung EP-0 301 929 A1 hervor. Bei einem zylindrischen Gyrotron ist dabei in der Driftstrecke eine konische Strahlführung mit gerippter metallischer Innenfläche angeordnet. Zwischen den nach innen vorstehenden Metallrippen sind absorbierende Ringe aus Magnesiumoxid angeordnet.

Diese Lösung hat folgendes Wirkungsprinzip. Der etwas nach innen vorstehende Kupfering bildet die elektrische Oberfläche. Der dahinterliegende Dämpfungsring beeinflusst die Elektronenbewegung nicht, dämpft aber die Mikrowellen. Der Nachteil dieser zumeist angewendeten Lösung ist der hohe Preis der Dämpfungskeramik und die schlechte Wärmeanpassung der Keramik an einen Kühlkörper. Ausserdem ist das Innere dieses Strahlleiters schlecht pumpbar.

Die zweite Lösung ist aus dem Patent CH-664,044 A5 bekannt. Die elektrisch leitende Oberfläche der Strahlführung wird hier durch ein den Elektronenstrahl umschliessendes Metallgitter erzielt. Die Eigenschaft der Resonanzdämpfung erhält das Gebilde durch die Durchbrüche im Gitter. Sie sind so dimensioniert, dass sie die zu dämpfenden Mikrowellen durchlassen. Ein Problem stellt bei dieser Lösung die undefinierte Absorption der Mikrowellen dar.

Weitere Probleme treten im Zusammenhang mit Mikrowellen auf, die aus dem Resonator in den Elektronenstrahlraum zurückkoppeln und ähnlich störende Wirkung entfalten können.

Darstellung der Erfindung

Aufgabe der Erfindung ist es, quasi-optische Komponenten der eingangs genannten Art anzugeben, welche die beim Stand der Technik vorhandenen Probleme vermeiden.

Insbesondere ist es auch Aufgabe der Erfindung, ein Gyrotron anzugeben, bei welchem in einem evakuierten Gefäss auf einer Elektronenstrahlachse hintereinander

a) eine Elektronenkanone zum Erzeugen eines Elektronenstrahls,

b) eine Driftstrecke mit einer Strahlführung für den erzeugten Elektronenstrahl, welche eine den Elektronenstrahl umschliessende, elektrisch leitende Innenfläche mit Oeffnungen zum Dämpfen unerwünschter Mikrowellenstrahlung aufweist, c) und ein Resonator angeordnet sind, in welchem kinetische Energie des Elektronenstrahls in gewünschte Mikrowellenstrahlung umgewandelt wird,

in welchem Gyrotron der Elektronenstrahl auf der Driftstrecke ohne Beeinträchtigung der Qualität geführt wird.

Erfindungsgemäss besteht die Lösung darin, dass die Komponente eine gekühlte Absorptionsvorrichtung umfasst, die nahe vor dem quasi-optischen Element so angeordnet ist, dass zumindest ein leistungsstarkes Nebenmaximum der durch die charakteristische Querabmessung bedingten Beugung vernichtet wird.

Der Kern der Erfindung besteht darin, dass die störenden Mikrowellen möglichst nahe bei ihrem Entstehungsort (Spiegel, Konverter etc.) gedämpft resp. vernichtet werden, bevor sie in unkontrollierter Weise auf den Elektronenstrahl oder auf irgendwelche empfindlichen Bauteile des Gyrotrons einwirken können. Gemäss der Erfindung ist der Dämpfungskörper vorzugsweise an den Stellen der erwarteten Nebenmaxima angebracht. Er soll in der Lage sein, die hohe Leistung (typischerweise zwischen 1% und 10% der Strahlleistung) abzuführen. Der Dämpfungskörper besteht im wesentlichen aus einem dielektrischen Gefäss mit relativ kleinen Verlusten für die Mikrowellen (transparent) und einer dielektrischen Flüssigkeit (Absorption). Die Absorptionsfähigkeit der Flüssigkeit ist einerseits nicht zu gross, damit nicht Filmsieden auftreten kann, und andererseits nicht zu klein, damit die Nebenmaxima im wesentlichen trotzdem vernichtet werden können. Solche Flüssigkeiten sind z.B. aus der Technik von Mikrowellenkalorimeter bekannt.

Die Absorptionsvorrichtung umfasst ein für Mikrowellen transparentes Gefäss, insbesondere aus Keramik (z.B. Aluminiumoxidkeramik), das mit einer die Mikrowellen absorbierenden Kühlflüssigkeit, insbesondere Wasser gefüllt ist. Das quasi-optische Element ist vorzugsweise ein fokussierender Spiegel oder ein Vlasov-Konverter.

Ein erfindungsgemässes Gyrotron zeichnet sich dadurch aus, dass zur Absorption der durch die Oeffnungen der Strahlführung austretenden Mikrowellenstrahlung eine die Strahlführung umschliessende, gekühlte Absorptionsvorrichtung vorgesehen ist.

Ein wesentlicher Vorteil dieser Ausführungsform liegt darin, dass die Mikrowellen zuerst radial weggestreut werden, was die Dämpfung der Mikrowellenstrahlung im Innenraum zur Folge hat, und dann mit separaten Mitteln absorbiert werden. Die

letzten genannten Mitteln können wegen ihrer räumlichen Trennung von der eigentlichen Strahlführung in einfacher Weise auf die benötigte Kühlkapazität hin ausgelegt werden. Die Mikrowellenenergie wird ausserdem in einem wohldefinierten Raum vernichtet. Schliesslich kann bei der Erfindung die absorbierende Struktur aktiv gekühlt werden.

Gemäss einer vorteilhaften Ausführungsform weist die Strahlführung mehrere auf der genannten Achse mit Zwischenräumen axial beabstandete Metallringe auf. Ein Vorteil dieser Ausführungsform liegt darin, dass der Innenraum der Strahlführung gut abgepumpt werden kann.

Bei niedrigen Frequenzen (kleiner als etwa 70 GHz) ist es besonders vorteilhaft, wenn die Strahlführung einen Abschnitt mit Metallringen und einen Abschnitt mit mantelförmig um die genannte Achse angeordneten Metallstäben aufweist. Dann können sowohl TE- als auch TM-Moden gut ausgekoppelt werden.

Besonders vorteilhaft ist es, wenn die gekühlte Absorptionsvorrichtung durch einen doppelwandigen Hohlzylinder gebildet ist, dessen Innen- und Aussenwand vollständig aus einem für Mikrowellen transparenten Material, vorzugsweise aus einer Aluminiumoxidkeramik besteht und der von einem die Mikrowellen absorbierenden Kühlmedium, vorzugsweise Wasser, durchflossen ist. Das Gefäss ist vollständig im evakuierten Röhrengefäss untergebracht. Eine solche Absorptionsvorrichtung lässt sich ohne Probleme in einem Gyrotron bekannter Bauart integrieren. Die Kosten dieser Absorptionsvorrichtung sind viel niedriger als diejenigen einer aus dem Stand der Technik bekannten Lösung.

Die Metallringe sind vorzugsweise Kupferringe, die mit Hilfe von Stiften auf Abstand gehalten sind. Der optimale axiale Abstand der Metallringe und damit der Zwischenraum zwischen je zwei Metallringen beträgt jeweils mindestens eine halbe Wellenlänge der zu dämpfenden Mikrowellenstrahlung. Diese Massnahmen gewährleisten die gewünschten guten Dämpfungseigenschaften der Strahlführung. Die Zwischenräume sind weitgehend frei von hindernden Teilen.

Bei geringen Frequenzen (<70 GHz), d.h. bei grossen Wellenlängen, braucht der genannte Abstand nicht unbedingt einer halben Wellenlänge zu entsprechen, sondern kann auch kleiner sein. In diesem Fall ist aber darauf zu achten, dass die stützenden Metallstifte einen gegenseitigen Abstand von mindestens einer halben Wellenlänge haben. Die Mikrowellen werden dann durch Zwischenräume von der Form langer (quer zur Achse), dünner (längs zur Achse) Schlitze ausgekoppelt.

Anstelle von Metallringen eignen sich auch Metallstäbe, die den Elektronenstrahl ebenfalls mantelförmig umgeben und von geeigneten Halterungen auf Abstand gehalten werden.

Neben dem erfindungsgemässen Strahlleiter aus Metallringen eignet sich auch der aus der Patentschrift CH-664,044 A5 an sich bekannte Gitterstrahlleiter.

Besonders vorteilhaft ist es, wenn bei einem erfindungsgemässen Gyrotron die Innenwand der gekühlten Absorptionsvorrichtung einen Abschnitt der Wand des evakuierten Gefässes bildet und die Aussenwand (aus Metall) des Hohlzylinders aussen am genannten Gefäss aufgesetzt ist. Bei einer solchen Ausführungsform treten weniger Dichtungsprobleme auf, weil keine Kühlmittelzuleitungen ins evakuierte Gefäss 12 hineingeführt werden müssen und nur zwei vakuumdichte Verbindungen (an beiden Enden des keramischen Zylinders) auftreten.

Aus der Gesamtheit der abhängigen Patentansprüche ergeben sich weitere vorteilhafte Ausführungsformen.

Kurze Beschreibung der Zeichnungen

Nachfolgend soll die Erfindung anhand von Ausführungsbeispielen und im Zusammenhang mit den Zeichnungen näher erläutert werden.

Es zeigen:

- Fig. 1 schematisch einen Axialschnitt durch ein erfindungsgemässes Gyrotron mit integrierter Absorptionsvorrichtung;
- Fig. 2 eine Strahlführung für kleine Frequenzen;
- Fig. 3 eine quasi-optische Komponente umfassend einen fokussierenden Spiegel;
- Fig. 4 eine Transportleitung mit zwei quasi-optischen Komponenten;
- Fig. 5 eine quasi-optische Komponente mit einem Vlasov-Konverter; und
- Fig. 6 schematische einen Axialschnitt durch ein Gyrotron mit Absorptionsstrukturen im Resonator.

Die in der Zeichnung verwendeten Bezugszeichen und deren Bedeutung sind in der Bezeichnungsliste zusammenfassend aufgelistet. Grundsätzlich sind in den Figuren gleiche Teile mit gleichen Bezugszeichen versehen.

Wege zur Ausführung der Erfindung

Das Prinzip der Erfindung lässt sich am einfachsten anhand der Fig. 3 erläutern. Die gezeigte quasi-optische Komponente umfasst als quasi-optisches Element einen fokussierenden Spiegel 16a und als Absorptionsvorrichtung ein hohlzylinderförmiges Gefäss 17. Die Mikrowellen fallen entlang einer vorgegebenen Einfallsrichtung 18 ein. Der Spiegel 16a reflektiert die Mikrowellen im wesentlichen in Richtung einer Hauptachse 19. Er hat einen Durchmesser D (= Querabmessung), der typischerweise kleiner als das 50-fache einer Wellen-

länge ist. Die Wellenlänge ihrerseits liegt im Millimeter- oder Submillimeterbereich, d.h. etwa zwischen 10 und 0.1 mm. Die relativ geringe Querabmessung hat Beugung am Spiegel als Ganzes zur Folge. Die entsprechenden Nebenmaxima, die zwischen 1% und 10% der gesamten Strahlleistung (1-30 MW) beinhalten, sind nicht mehr vernachlässigbar (z.B. bei 1 MW ohne weiteres 20 kW und mehr).

Gemäss der Erfindung ist das absorbierende Gefäss 17 so nahe wie möglich bei der quasi-optischen Komponente, d.h. dem Spiegel 16a angeordnet, dass die unerwünschten Nebenmaxima absorbiert werden. In der Figur ist die Energieverteilung im Mikrowellenstrahl angedeutet. Das erste, in diesem Fall stärkste Nebenmaximum 20 wird gerade noch gedämpft. Weitere Nebenmaxima verschwinden ebenfalls im Gefäss 17.

In Fig. 3 wird der allgemeine Fall gezeigt, wo Einfalls- und Ausfallsrichtung (Hauptachse) nicht zusammenfallen. Dieser Fall tritt beispielsweise bei der quasi-optischen Uebertragung der Mikrowellenstrahlung von einer Quelle (Gyrotron) zu einem Verbraucher (Fusionsreaktor) auf. In bestimmten Abständen sind fokussierende Spiegel aufgestellt, die den auseinanderlaufenden Strahl wieder bündeln. Auf diese Weise ist es z.B. möglich, die Mikrowellen über eine längere Strecke (10^4 - 10^5 -fache Wellenlänge) zu transportieren.

Fig. 4 zeigt eine für die Uebertragung der Mikrowellen geeignete Ausführungsform. Es sind zwei Spiegel 16a und 16b vorgesehen, die die erwünschte Bündelung der Strahlung bewirken. Sie sind z.B. in einer Transportleitung 22 untergebracht, welche selbst nicht als Wellenleiter wirkt (quasi-optischer Fall), sondern nur einen Schutz gegen versehentliche Unterbrechung des Strahlenganges bildet. Nahe bei den Spiegeln 16a, 16b ist die Wand der Transportleitung 22 erfindungsgemäss mit Absorptionsvorrichtungen 21a,...,21d abgeschirmt. Je nach Form der Wand kann es sich um flache, scheibenförmige Gefässe oder um gekrümmte handeln (Sektoren eines doppelwandigen Hohlzylinders). Sie werden vorzugsweise mit Wasser als Kühlmedium durchspült. Die unerwünschten Nebenmaxima werden also unmittelbar nach ihrer Entstehung eliminiert.

Fig. 5 zeigt ein weiteres Beispiel einer erfindungsgemässen quasi-optischen Komponente. Ein Vlasov-Konverter 23 strahlt die im Rohr geführten Moden als Gauss'sche Welle in Richtung einer Hauptachse 19 ab. Eine die Hauptachse umschliessende, z.B. rotationssymmetrische Absorptionsvorrichtung 21e (z.B. wassergefülltes Gefäss) vernichtet die störenden Nebenmaxima 20.

Die Erfindung wird ferner mit grossem Vorteil bei einem Gyrotron angewendet. Grundsätzlich kann man dabei zwei Aspekte unterscheiden. Zum

einen geht es darum, den Elektronenstrahl gegen "herumvagabundierende" Mikrowellen zu schützen, und zum anderen darum, Streustrahlung im Resonator zu unterdrücken. Als erstes wird auf die den Elektronenstrahl betreffenden Probleme eingegangen.

Aus der bereits genannten Patentschrift CH-664,044 A5 ist ein Gyrotron mit einer Gitterstrahlführung bekannt. Die Erfindung gibt nun eine verbesserte Möglichkeit zur Strahlführung an. Die erfindungsgemässen Mittel sind aber im Prinzip an der gleichen Stelle im Gyrotron untergebracht, wie die Strahlführung beim Stand der Technik. Es genügt deshalb, wenn hier die bekannten Merkmale des Gyrotrons nur andeutungsweise erwähnt werden.

In der Fig. 1 ist eine Elektronenstrahlkanone 1, z.B. eine als solche bekannte Magnetron-Injektionskanone (kurz MIG), angedeutet. Sie erzeugt einen z.B. ringförmigen Elektronenstrahl 2 mit einem Durchmesser von einigen Millimetern. Dieser läuft entlang einer Elektronenstrahlachse 3, durchsetzt einen Resonator 4 und endet schliesslich in einem Kollektor 13. Ein starkes statisches Magnetfeld komprimiert den Elektronenstrahl 3 und zwingt die Elektronen zur Gyration.

Im Resonator 4 regen die auf spiralförmigen Bahnen laufenden Elektronen ein gewünschtes elektromagnetisches Wechselfeld an. Die so aus der kinetischen Energie der Elektronen gewonnene Mikrowellenstrahlung wird aus dem Resonator 4 ausgekoppelt und einem Verbraucher zugeführt. In Fig. 1 ist der Resonator 4 in quasi-optischer Weise ausgebildet, d.h. er besteht im wesentlichen aus zwei einander auf einer Resonatorachse gegenüberliegenden Spiegeln, wobei die Resonatorachse senkrecht zur Elektronenstrahlachse 3 liegt.

Es sei gleich an dieser Stelle festgehalten, dass sich die Erfindung ebensogut eignet für ein zylindrisches Gyrotron. Bei diesem liegt bekanntlich der Resonator in Form eines Wellenleiters koaxial zur Elektronenstrahlachse 3.

Zwischen Elektronenstrahlachse 3 und Resonator 4 befindet sich eine Driftstrecke. Auf dieser muss der Elektronenstrahl 2 möglichst ohne Verschlechterung seiner Qualität (insbesondere seiner Energieschärfe) geführt werden. Dazu dient eine erfindungsgemässe Strahlführung 5, wie sie im folgenden beschrieben wird.

Koaxial zur Elektronenstrahlachse 3 sind mehrere Metallringe 6.1, 6.2, ..., 6.5 angeordnet. Mit ihrer Innenseite bilden sie die zur Führung des Elektronenstrahls nötige metallische Innenfläche. Sie haben einen gegebenen gegenseitigen Abstand d. Die dadurch geschaffenen Zwischenräume sind leer. Sie stellen die Oeffnungen (Beugungsspalte) in der Innenfläche der Strahlführung dar, die dafür sorgen, dass die Mikrowellenstrahlung ausgekoppelt

wird, die unerwünschterweise im Bereich innerhalb der Metallringe angeregt worden ist.

Die Metallringe 6.1, 6.2, ..., 6.5 bestehen vorzugsweise aus Kupfer. Sie sollten ausserdem in radialer Richtung dünn sein, um das Auskoppeln der Mikrowellenstrahlung zu erleichtern. Die Zahl der Metallringe ergibt sich aus der geforderten Länge der Strahlführung (z.B. ca. 300 mm für ein quasi-optisches Gyrotron mit einer Betriebsfrequenz von 100 GHz), dem Abstand d und der Breite der Ringe.

Gemäss einer bevorzugten Ausführungsform werden die Metallringe 6.1, 6.2, ..., 6.5 mit Hilfe von Metallstiften 7.1, 7.2 auf Abstand gehalten. Die dünnen Metallstifte 7.1, 7.2 haben den Vorteil, dass der Durchgang der ausgekoppelten Mikrowellenstrahlung weitgehend ungehindert verläuft.

Der Zwischenraum zwischen den Metallringen muss so bemessen sein, dass die unerwünschte Mikrowellenstrahlung gut passieren kann. Dies ist dann der Fall, wenn die Oeffnungen in mindestens einer Richtung eine Abmessung von etwa einer halben Wellenlänge oder mehr haben. Vorwiegend bei kleinen Wellenlängen ist es der Abstand d der Ringe, der grösser als eine halbe Wellenlänge der im Gyrotron erzeugten Mikrowellen ist. Wenn dagegen die Wellenlänge verhältnismässig gross ist (Frequenz kleiner als 70 GHz), dann genügt es, wenn die Metallstifte einen gegenseitigen Abstand von mindestens einer halben Wellenlänge haben. Der axiale Abstand der Ringe darf dann durchaus kleiner sein.

Damit vorallem bei niedrigen Frequenzen (< 70 GHz) sowohl TE-als auch TM-Moden die Strahlführung gut verlassen können, empfiehlt es sich, letztere in der nachfolgend beschriebenen Weise auszubilden.

Fig. 2 zeigt eine Strahlführung für niedrige Frequenzen. Sie weist mindestens zwei Abschnitte auf, wovon der erste Metallringe 6.1, 6.2, 6.3 der beschriebenen Art und der zweite mehrere parallele Metallstäbe 14.1, 14.2, ..., 14.5 umfasst. Die Metallstäbe 14.1, 14.2, ..., 14.5 des zweiten Abschnitts werden durch geeignete Halteringe 15.1, 15.2 fixiert und umschliessen den Elektronenstrahl (Elektronenstrahlachse 3) ebenfalls mantelförmig (d.h. wie die Metallringe). Der gegenseitige Abstand der Metallstäbe 14.1, 14.2, ..., 14.5 darf kleiner sein als eine halbe Wellenlänge. Die Halteringe 15.1, 15.2 dagegen sollten diesen minimalen Abstand nicht unterschreiten.

Bei der beschriebenen Strahlführung werden im ersten Abschnitt die TE-Moden besonders gut ausgekoppelt und im zweiten Abschnitt die TM-Moden. Bei Bedarf können mehrere solche Abschnitte abwechselungsweise hintereinandergeschaltet werden.

Bei hohen Frequenzen (> 70 GHz) besteht kein selektives Auskoppeln bestimmter Moden. Die Strahlführung kann dann wahlweise nur aus Ringen oder nur aus Stäben bestehen.

Für den Abstand d gibt es eine bevorzugte obere Grenze. Sie wird durch die Hälfte der Differenz zwischen Innenradius der Strahlführung, d.h. der betreffenden Metallringe, und Radius des Elektronenstrahls 2 gegeben.

Der Innenradius der Strahlführung wird durch die maximal mögliche Potentialabsenkung des Elektronenstrahls bestimmt. Liegt der Innenradius erst einmal fest, so kann der Abstand d der Metallringe im gezeigten Rahmen gewählt werden.

Die durch die Zwischenräume hindurchtretende Mikrowellenstrahlung wird nun gemäss der Erfindung durch eine die Strahlführung umschliessende, gekühlte Absorptionsvorrichtung 8 vernichtet. Die Absorptionsvorrichtung 8 umschliesst die Strahlführung 5 mantelförmig. Sie ist gemäss einer vorteilhaften Ausführungsform durch einen doppelwandigen Hohlzylinder verkörpert. Der Hohlzylinder hat eine Innenwand 9, die aus einer für Mikrowellen transparenten Keramik besteht. Aussenwand 10, sowie Decke und Boden des Hohlzylinders sind aus Metall. Der Hohlzylinder ist von einem die Mikrowellen absorbierenden Kühlmedium 11 (z.B. Wasser) durchspült.

Die radial aus der Strahlführung 5 gestreute Mikrowellenstrahlung wird im Hohlzylinder vom Kühlmedium 11 absorbiert. Die metallische Aussenwand sorgt dafür, dass die unerwünschte elektromagnetische Strahlung nicht aus dem Gyrotron austreten kann. Es ist zu bemerken, dass wegen der Durchflusskühlung die Gefahr einer thermischen Ueberlastung der Keramik nicht besteht. Es ist deshalb nicht kritisch, wenn die Keramik für die Mikrowellen nicht optimal transparent ist und einen Teil derselben absorbiert. Für die vorliegenden Zwecke eignen sich deshalb durchaus die handelsüblichen und preiswerten Aluminiumoxidkeramiken.

Elektronenstrahlkanone 1, Strahlführung 5 und Resonator 4 müssen bekanntlich in einem evakuierten Gefäss 12 untergebracht sein. Dieses ist, zumindest im Bereich der Driftstrecke, meist zylindrisch oder eventuell konisch. Im allgemeinen ist die Absorptionsvorrichtung im Gefäss 12 untergebracht, welches mit geeigneten Durchführungen für die Kühlmittelzu- und -abfuhr versehen sein muss.

Fig. 6 zeigt ein entsprechendes Ausführungsbeispiel. Die Absorptionsvorrichtung 8 ist ein vollständig keramischer (doppelwandiger) Hohlzylinder, der im Raum zwischen der Strahlführung 5 und der metallischen Wand des Gefässes 12 untergebracht ist. Je nach Bedarf kann eine weitere solche Absorptionsvorrichtung 8b hinter dem Resonator 4, d.h. auf der Elektronenstrahlachse 3 zwischen Resonator 4 und Kollektor 13, eingebaut

werden. Auch dieser Raum kann von Mikrowellen "verseucht" sein, die auf den Elektronenstrahl 2 störend einwirken.

Die Vorteile einer vollständig aus Keramik bestehenden Absorptionsstruktur liegen darin, dass

1. aus dem Spiegelresonator verlorengegangene Mikrowellenleistung nicht die gekühlten Wände des Kryostaten für den supraleitenden Magneten unzulässig aufheizen, sondern gezielt in einem leistungsfähigen Absorber vernichtet werden (Mikrowellenverluste aus dem Resonator lassen sich nicht ganz vermeiden), und
2. die Herstellung von doppelwandigen Dämpfungskörpern aus Materialien gleicher thermischer Ausdehnung einfacher ist.

Die Absorptionsvorrichtung 8a hat also eine doppelte Funktion: Einerseits dämpft sie die aus dem Strahlleiter 5 ausgekoppelte Strahlung und andererseits die aus dem Resonator kommende.

Fig. 6 zeigt ferner die Verwendung der erfindungsgemässen quasi-optischen Komponente im Resonator 4. Sie umfasst jeweils einen Spiegel 16c, 16d (des Resonators) und ein zylindrisches, doppelwandiges Gefäss 17c, 17d. Diese Gefässe 17c, 17d sind in der bereits beschriebenen Weise ausgebildet und absorbieren die leistungsstarken Nebenmaxima.

Gemäss einer bevorzugten Ausführungsform (Fig. 1) bildet die Innenwand des Hohlzylinders einen Teil der Wand des evakuierten Gefässes 12. Das Gefäss 12 hat damit einen zylinderförmigen keramischen Einsatz im Bereich der Driftstrecke. Das heisst, dass das Gefäss 12 im Bereich der Driftstrecke für Mikrowellen transparent ist. Die Aussenwand des Hohlzylinders ist dann einfach äusserlich auf das Gefäss 12 aufgesetzt. Dieser Ausführungsform liegt die Erfahrung zugrunde, dass wasserdichte Verbindungen einfacher zu realisieren sind als vakuumdichte. Im vorliegenden Fall sind nämlich nur zwei vakuumdichte Nahtstellen nötig. Zusätzliche Durchbrechungen des evakuierten Gefässes 12 entfallen vollständig.

Anstelle der beabstandeten Metallringe kann auch ein Gitterstrahlleiter verwendet werden, wie er aus dem zitierten Patent CH-664,044 A5 als solcher bekannt ist.

Die Strahlführung beschränkt sich im allgemeinen nicht auf den Abschnitt zwischen Elektronenstrahlkanone und Resonator. Vielmehr kann sie nach dem Resonator fortgesetzt werden. Entsprechend kann sich eine Absorptionsvorrichtung der beschriebenen Art auch nach dem Resonator befinden, so dass zumindest die Mikrowellenstrahlung auch in diesem Bereich absorbiert wird (vgl. Fig. 6).

Die erfindungsgemässe Strahlführung verbessert den Pumpweg gegenüber dem Stand der Technik erheblich. Die Zwischenräume ermögli-

chen nämlich auch ein radiales Abpumpen, was bei Rohren aus Metall- und Keramikringen nicht möglich ist.

Obwohl im Optimalfall am Ort des Auftreffens eines Nebenmaximums eine Absorptionsvorrichtung angeordnet sein sollte, kann auch eine gut leitende Metallwand als Reflektor vorgesehen sein. Die Mikrowellenleistung wird dann über diese Metallwand (und allenfalls über weitere Reflektoren) zum Absorber geführt.

Die Erfindung schafft die Voraussetzungen, die nötig sind, um Mikrowellen hoher Leistung erzeugen und gefahrlos übertragen zu können. Bei einem 1 MW quasi-optischen Gyrotron beispielsweise betragen die Beugungsverluste ca. 20 kW. Diese Leistung würde ungehindert auf das Flüssigstickstoffschild des Kryostaten treffen, welches diese Leistung wegführen müsste. Dies würde einen unverhältnismässig hohen Verbrauch an Flüssigstickstoff zur Folge haben. Ferner könnte die im Gyrotron unkontrolliert herumirrende Mikrowellenleistung an weiteren, unerwünschten Stellen absorbiert werden bzw. einkoppeln, wie z.B. bei Elektronenkanone, Elektronenstrahl, Resonator, HF-Fenster, Vakuumdichtungen, Kabelverbindungen, Diagnostik-Systeme (für Temperatur, Füllstand etc.), Hochspannungsisolatoren, und dort zu Betriebsstörungen oder Schäden führen. Schliesslich könnten diese Mikrowellen auch an unerwünschten Stellen aus dem Gyrotron austreten und damit in der Nähe befindliche Menschen und Geräte gefährden.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass mit der Erfindung die Möglichkeit geschaffen worden ist, einen Elektronenstrahl hoher Qualität in einem Gyrotron zu führen.

BEZEICHNUNGSLISTE

1 - Elektronenstrahlkanone; 2 - Elektronenstrahl; 3 - Elektronenstrahlachse; 4 - Resonator; 5 - Strahlführung; 6.1, ..., 6.5 - Metallringe; 7.1, 7.2 - Metallstifte; 8 - Absorptionsvorrichtung; 9 - Innenwand; 10 - Aussenwand; 11 - Kühlmedium; 12 - Gefäss; 13 - Kollektor; 14.1,...,14.5 - Metallstäbe; 15.1, 15.2 - Halteringe.

Patentansprüche

1. Quasi-optische Komponente für Mikrowellenstrahlung mit einem quasi-optischen Element, welches einfallende Mikrowellenstrahlung entlang einer Hauptachse ausstrahlt und welches eine charakteristische Querabmessung hat, die kleiner als das 50-fache einer Wellenlänge ist, dadurch gekennzeichnet, dass die Komponente eine gekühlte Absorptionsvorrichtung umfasst, die nahe vor dem quasioptischen Element so angeordnet ist, dass zumindest ein

leistungsstarkes Nebenmaximum der durch die charakteristische Querabmessung bedingten Beugung vernichtet wird.

2. Quasi-optische Komponente nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Absorptionsvorrichtung ein für Mikrowellen transparentes Gefäss, insbesondere aus Keramik ist, das mit einer die Mikrowellen absorbierenden Kühlflüssigkeit, insbesondere Wasser gefüllt ist.
3. Quasi-optische Komponente nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass das quasi-optische Element ein fokussierender Spiegel oder ein Vlasov-Konverter ist.
4. Vorrichtung zur Führung eines Elektronenstrahls in einem Gyrotron auf einer Achse von einer Elektronenkanone zu einem Kollektor, wobei die Vorrichtung als Strahlführung eine den Elektronenstrahl umschliessende, elektrisch leitende Innenfläche mit Oeffnungen zum Dämpfen unerwünschter Mikrowellenstrahlung aufweist, dadurch gekennzeichnet, dass zur Absorption der durch die Oeffnungen der Strahlführung austretenden Mikrowellenstrahlung eine die Strahlführung umschliessende, gekühlte Absorptionsvorrichtung vorgesehen ist.
5. Vorrichtung nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, dass die Strahlführung mehrere, auf der genannten Achse mit Zwischenräumen axial beabstandete Metallringe aufweist, die mit Hilfe von Stiften auf Abstand gehalten sind.
6. Vorrichtung nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, dass die Strahlführung einen Abschnitt mit Metallringen und einen Abschnitt mit mantelförmig um die genannte Achse angeordneten Metallstäben aufweist, so dass auch bei kleineren Frequenzen der Mikrowellenstrahlung sowohl TE-als auch TM-Moden gut ausgekoppelt werden.
7. Vorrichtung nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, dass die gekühlte Absorptionsvorrichtung durch einen doppelwandigen Hohlzylinder gebildet ist, dessen Innen- und Aussenwand aus einem für Mikrowellen durchlässigen Material, insbesondere aus einer Aluminiumoxidkeramik, besteht und und der von einem die Mikrowellen absorbierenden Kühlmedium, insbesondere Wasser durchflossen ist.
8. Vorrichtung nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, dass der axiale Abstand der Metall-

ringe und damit der Zwischenraum zwischen je zwei Metallringen jeweils mindestens eine halbe Wellenlänge der zu dämpfenden Mikrowellenstrahlung beträgt.

9. Gyrotron, bei welchem in einem evakuierten Gefäß auf einer Elektronenstrahlachse hintereinander

- a) eine Elektronenkanone zum Erzeugen eines Elektronenstrahls,
- b) eine Driftstrecke mit einer Strahlführung für den erzeugten Elektronenstrahl, welche eine den Elektronenstrahl umschliessende, elektrisch leitende Innenfläche mit Öffnungen zum Dämpfen unerwünschter Mikrowellenstrahlung aufweist,
- c) und ein Resonator angeordnet sind, in welchem kinetische Energie des Elektronenstrahls in gewünschte Mikrowellenstrahlung umgewandelt wird,

dadurch gekennzeichnet, dass

- d) zur Absorption der durch die Öffnungen der Strahlführung austretenden Mikrowellenstrahlung eine die Strahlführung umschliessende, gekühlte Absorptionsvorrichtung vorgesehen ist.

10. Gyrotron nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, dass die Innenwand der gekühlten Absorptionsvorrichtung einen Abschnitt der Wand des evakuierten Gefäßes bildet und dass die Aussenwand des Hohlzylinders aus Metall besteht und aussen am Gefäß aufgesetzt ist.

Claims

1. Quasi-optical component for microwave radiation comprising a quasi-optical element which radiates incident microwave radiation along a major axis and which has a characteristic transverse dimension which is smaller than 50 times one wavelength, characterized in that the component comprises a cooled absorption device which is arranged closely in front of the quasi-optical element in such a manner that at least one high-power secondary peak of the diffraction due to the characteristic transverse dimension is destroyed.
2. Quasi-optical component according to Claim 1, characterized in that the absorption device is a vessel transparent to microwaves, particularly of ceramics, which is filled with a cooling liquid absorbing the microwaves, particularly water.
3. Quasi-optical component according to Claim 1, characterized in that the quasi-optical element

is a focusing reflector or a Vlasov-type converter.

4. Device for guiding an electron beam in a gyrotron along an axis from an electron gun to a collector, the device exhibiting as beam guide an electrically conductive inside surface enclosing the electron beam and having openings for damping unwanted microwave radiation, characterized in that a cooled absorption device enclosing the beam guide is provided for the absorption of the microwave radiation emerging through the openings in the beam guide.

5. Device according to Claim 4, characterized in that the beam guide exhibits several metal rings axially spaced apart with intermediate spaces along said axis, which are held at a distance with the aid of pins.

6. Device according to Claim 4, characterized in that the beam guide exhibits a section with metal rings and a section with metal rods arranged in the form of a jacket around said axis so that both TE and TM modes are easily coupled out even with lower frequencies of the microwave radiation.

7. Device according to Claim 4, characterized in that the cooled absorption device is formed by a double-walled hollow cylinder, the inside and outside wall of which consists of a material transparent to microwaves, particularly of an aluminum oxide ceramic, and through which a cooling medium absorbing the microwaves, particularly water, flows.

8. Device according to Claim 5, characterized in that the axial spacing of the metal rings and thus the intermediate space between two metal rings each is in each case at least one half wavelength of the microwave radiation to be damped.

9. Gyrotron in which in an evacuated vessel,
- a) an electron gun for generating an electron beam,
 - b) a drift system with a beam guide for the electron beam generated, which exhibits an electrically conductive inside surface enclosing the electron beam and having openings for damping unwanted microwave radiation,
 - c) and a resonator are arranged behind one another along an electron beam axis, in which resonator kinetic energy of the electron beam is converted into desired micro-

wave radiation, characterized in that
d) a cooled absorption device enclosing the beam guide is provided for the absorption of the microwave radiation emerging through the openings in the beam guide.

5

10. Gyrotron according to Claim 9, characterized in that the inside wall of the cooled absorption device forms a section of the wall of the evacuated vessel and the outside wall of the hollow cylinder consists of metal and is placed externally onto the vessel.

10

Revendications

15

1. Composant quasi-optique pour un rayonnement de micro-ondes avec un élément quasi-optique, qui renvoie un rayonnement de micro-ondes incident le long d'un axe principal et qui possède une dimension transversale caractéristique, qui est inférieure à 50 fois la longueur d'onde, caractérisé en ce que le composant comprend un dispositif d'absorption refroidi, qui est disposé peu avant l'élément quasi-optique de telle manière qu'au moins un maximum secondaire de grande puissance de la diffraction provoquée par la dimension transversale caractéristique soit annulé.

20

25

2. Composant quasi-optique suivant la revendication 1, caractérisé en ce que le dispositif d'absorption comporte une enceinte transparente aux micro-ondes, en particulier en céramique, qui est remplie d'un liquide de refroidissement absorbant les micro-ondes, en particulier d'eau.

30

35

3. Composant quasi-optique suivant la revendication 1, caractérisé en ce que l'élément quasi-optique est de préférence un miroir de focalisation ou un convertisseur de Vlasov.

40

4. Dispositif pour le guidage d'un faisceau d'électrons dans un gyrotron sur un axe depuis un canon à électrons jusqu'à un collecteur, dans lequel le dispositif présente, en guise de guide de faisceau, une surface intérieure, électriquement conductrice, entourant le faisceau d'électrons, avec des ouvertures pour amortir un rayonnement de micro-ondes indésirable, caractérisé en ce que pour l'absorption du rayonnement de micro-ondes sortant par les ouvertures du guide de faisceau, il est prévu un dispositif d'absorption refroidi entourant le guide de faisceau.

45

50

55

5. Dispositif suivant la revendication 4, caractérisé en ce que le guide du faisceau présente plusieurs anneaux métalliques axialement espacés sur ledit axe avec des espaces intermédiaires, et qui sont maintenus à distance à l'aide de broches.

6. Dispositif suivant la revendication 4, caractérisé en ce que le guide de faisceau présente un tronçon avec des anneaux métalliques et un tronçon avec des barres métalliques disposées en forme de cage autour dudit axe, de telle sorte que les modes TE aussi bien que TM peuvent être aisément extraits même pour les plus basses fréquences du rayonnement de micro-ondes.

7. Dispositif suivant la revendication 4, caractérisé en ce que le dispositif d'absorption refroidi est formé par un cylindre creux à double paroi, dont la paroi intérieure et la paroi extérieure sont constituées d'une matière transparente aux micro-ondes, en particulier d'une céramique d'oxyde d'aluminium, et qui est parcouru par un agent de refroidissement absorbant les micro-ondes, par exemple l'eau.

8. Dispositif suivant la revendication 5, caractérisé en ce que la distance axiale des anneaux métalliques et ainsi l'espace intermédiaire entre deux anneaux métalliques est au moins égal à la moitié d'une longueur d'onde du rayonnement de micro-ondes à amortir.

9. Gyrotron, dans lequel sont disposés l'un derrière l'autre sur un axe du faisceau d'électrons, dans une enceinte sous vide

a) un canon à électrons pour produire un faisceau d'électrons

b) un espace de glissement avec un guide de faisceau pour le faisceau d'électrons produit, qui présente une surface intérieure électriquement conductrice, entourant le faisceau d'électrons, avec des ouvertures pour amortir le rayonnement de micro-ondes non désiré

c) et un résonateur, dans lequel l'énergie cinétique du faisceau d'électrons est convertie en un rayonnement de micro-ondes désiré, caractérisé en ce que

d) pour l'absorption du rayonnement de micro-ondes sortant par les ouvertures du guide de faisceau, il est prévu un dispositif d'absorption refroidi entourant le guide de faisceau.

10. Gyrotron suivant la revendication 9, caractérisé en ce que la paroi intérieure du dispositif d'ab-

sorption refroidi forme un tronçon de la paroi de l'enceinte sous vide et en ce que la paroi extérieure du cylindre creux est constituée de métal et est posée extérieurement sur l'enceinte.

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

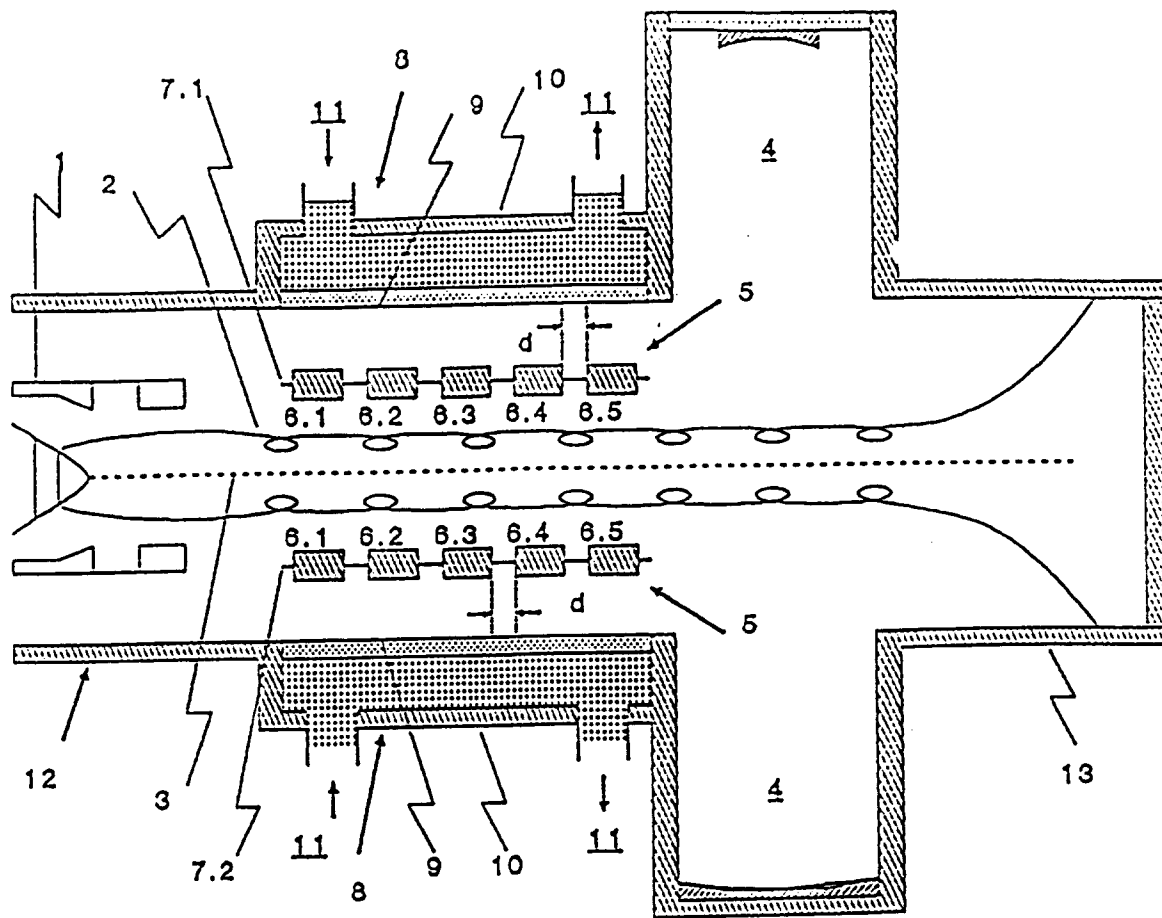


Fig. 1

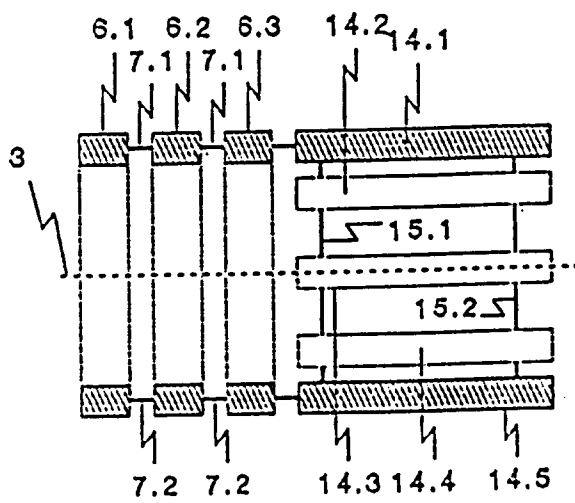


Fig. 2

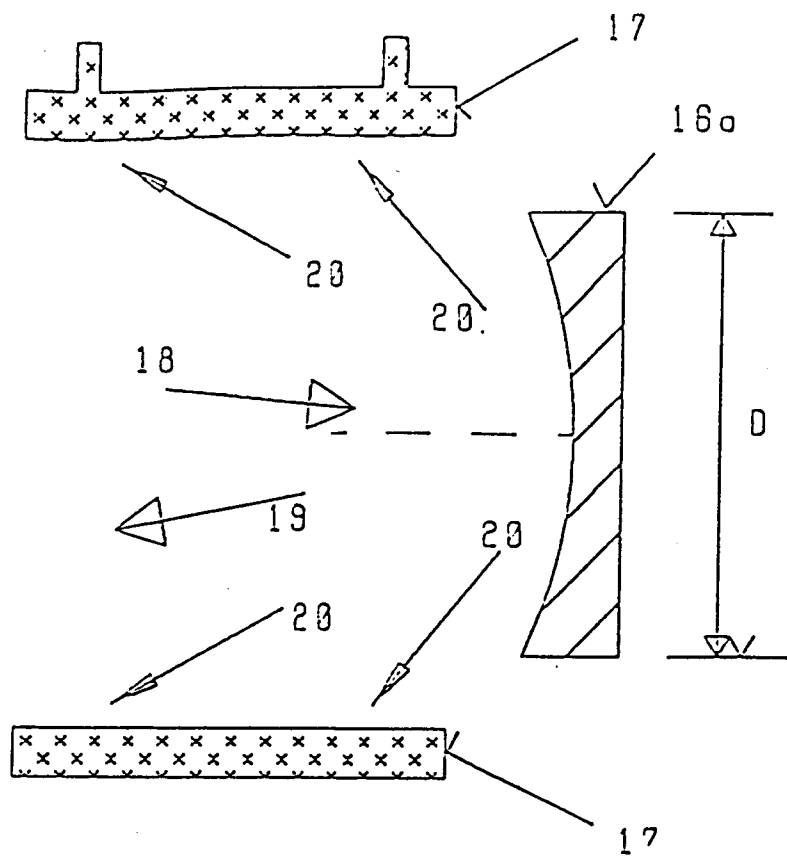


Fig. 3

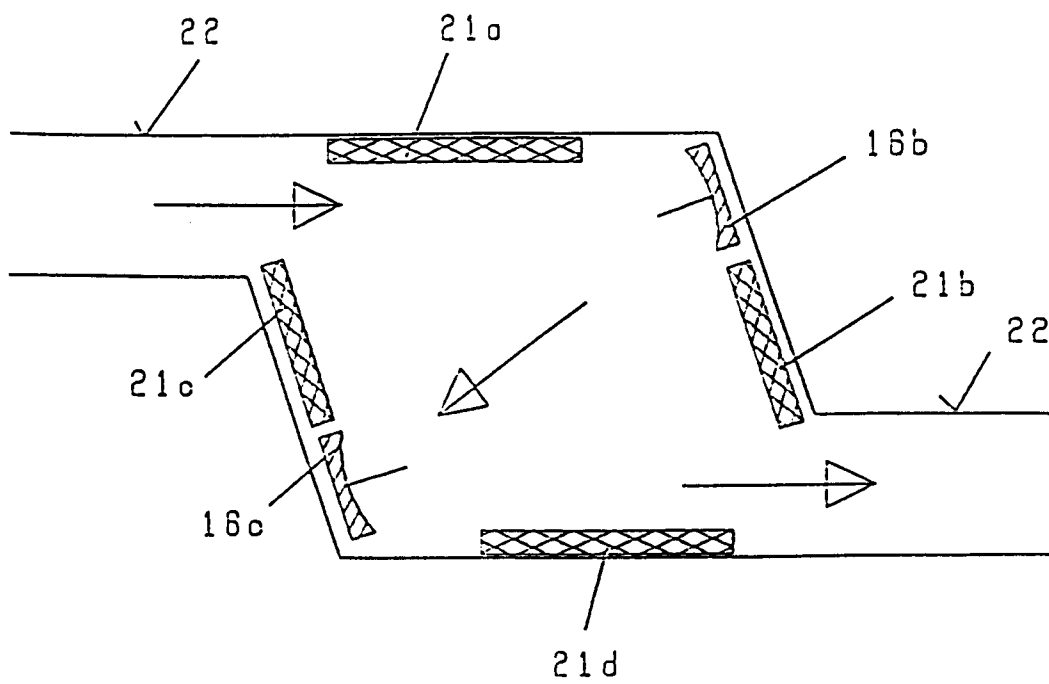


Fig 4

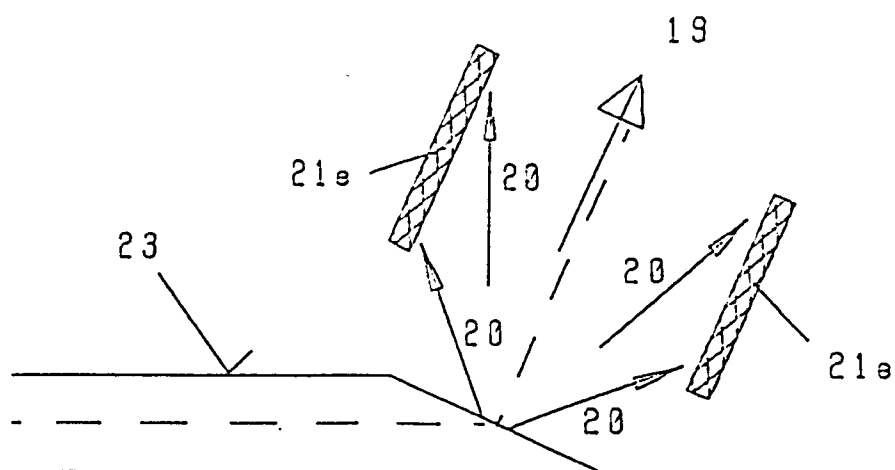


Fig. 5

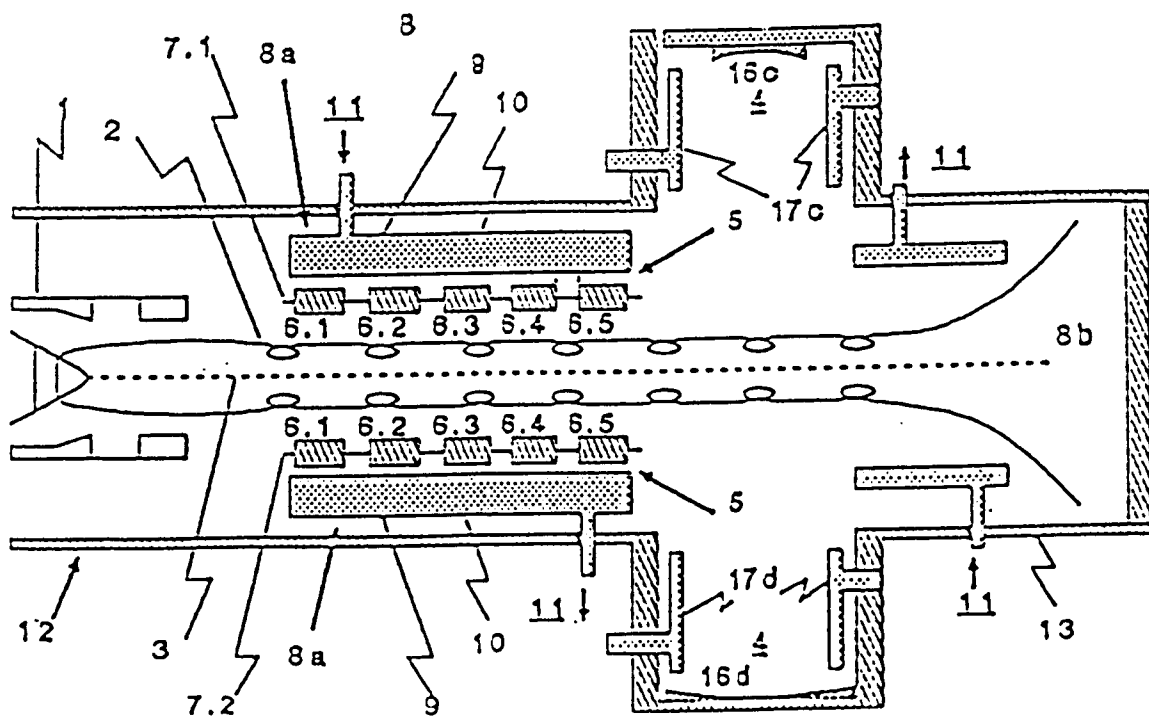


Fig. 6