



Europäisches Patentamt
European Patent Office
Office européen des brevets

Veröffentlichungsnummer: **0 177 668 B1**

12

EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT

Veröffentlichungstag der Patentschrift:
13.07.88

Int. Cl.⁴: **H 01 J 25/00**

Anmeldenummer: **85105321.5**

Anmeldetag: **02.05.85**

54 Vorrichtung zur Führung eines Elektronenstrahls.

30 Priorität: **02.10.84 CH 4727/84**

43 Veröffentlichungstag der Anmeldung:
16.04.86 Patentblatt 86/16

45 Bekanntmachung des Hinweises auf die Patenterteilung:
13.07.88 Patentblatt 88/28

84 Benannte Vertragsstaaten:
BE DE FR GB IT LU NL

56 Entgegenhaltungen:
DE - A - 3 203 283
US - A - 4 494 039

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN, unexamined applications, E Sektion, Band 4, Nr. 165, 15. November 1980 **THE PATENT OFFICE JAPANESE GOVERNMENT** Seite 41 E 34
SOVIET INVENTIONS ILLUSTRATED, Sektion EL, Woche 84/13, 9. Mai 1984 **DERWENT PUBLIKATIONS LTD.**, London V 05

73 Patentinhaber: **EUROPÄISCHE ATOMGEMEINSCHAFT (EURATOM)**, Bâtiment Jean Monnet Plateau du Kirchberg Boîte Postale 1907, L-1019 Luxembourg (LU)

72 Erfinder: **Tran, Minh Quang, Dr., CH. du Boisy 49, CH-1007 Lausanne (CH)**
Erfinder: **Bondeson, Anders, Dr., Björcksgatan 44, S-Göteborg (SE)**

74 Vertreter: **Lück, Gert, Dr. rer. nat., Im See 6, D-7891 Küssaberg 1 (DE)**

EP O 177 668 B1

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

Beschreibung

Die vorliegende Erfindung betrifft eine Vorrichtung zur Führung eines Elektronenstrahls in einer nach dem Prinzip des Gyrotrons arbeitenden Mikrowellenquelle gemäss dem Oberbegriff des Anspruchs 1. Eine solche Vorrichtung ist z. B. aus dem Artikel von J. D. Silverstein et al. in Int. J. Electronics 53 (6), S. 539 – 546 (1982) bekannt.

Bei einem Gyrotron, wie es in dem vorstehend zitierten Artikel beschrieben ist, wird ein aus einer Elektronenkanone stammender, energiereicher Elektronenstrahl durch ein parallel zur Strahlachse orientiertes, starkes Magnetfeld geschickt. Die Elektronen laufen dann auf Spiralbahnen mit einer von der magnetischen Induktion abhängigen Zyklotronfrequenz um die Strahlachse herum.

Durchquert nun dieser Strahl umlaufender Elektronen einen Mikrowellenresonator geeigneter Abmessungen, so werden in diesem Resonator elektromagnetische Schwingungen angeregt, die aus dem Resonator ausgekoppelt werden können.

Für die Führung des Elektronenstrahls von der Elektronenkanone zum Mikrowellenresonator, der beim Gyrotron als Hohlraumresonator ausgebildet ist, wird eine Strahlführung (beam duct) verwendet, die als elektrisch leitende, zylindrische Mantelfläche den Strahl umschliesst und durch eine Begrenzung von Raumladungseffekten die ungehinderte Ausbreitung des Elektronenstrahls ermöglicht.

Die in radialer Richtung geschlossene Mantelfläche einer Strahlführung nach dem Stand der Technik stellt jedoch einen Wellenleiter dar. Bei hohen Frequenzen (in der Grössenordnung von 100 GHz) und hohen Leistungen (in der Grössenordnung von 100 kW) ist der Radius des Elektronenstrahls gross im Vergleich zur Abschneide-Wellenlänge (cut-off wavelength) des kreisförmigen Wellenleitermodes bei der Betriebsfrequenz. Daher können in der Strahlführung unerwünschte Wellenmoden angeregt werden, wenn nicht geeignete Massnahmen zur Dämpfung solcher Moden vorgesehen sind.

Als geeignete Dämpfungsmassnahme ist es bekannt, innerhalb der Strahlführung längs der Strahlachse Stapel aus ringförmigen Platten vorzusehen, die abwechselnd aus absorbierender Keramik (z. B. auf der Basis von SiC) und hochleitfähigem Kupfer bestehen (siehe z. B. Fig. 5 in der eingangs zitierten Druckschrift).

Eine solche Strahlführung mit stapelförmigen integrierten Wellenfiltern ist jedoch kompliziert im Aufbau und bei der Herstellung mit erheblichem Aufwand verbunden.

Es ist daher die Aufgabe der Erfindung, eine Strahlführung anzugeben, bei der die Dämpfung unerwünschter Wellenmoden mit vergleichsweise einfachen Mitteln erreicht wird.

Die Aufgabe wird bei einer Vorrichtung der eingangs genannten Art durch die Merkmale aus dem Kennzeichen des Anspruchs 1 gelöst.

Der Kern der Erfindung besteht darin, dass zur Dämpfung unerwünschter Moden in der Mantelfläche der Strahlführung Dämpfungsöffnungen

mit hinreichend grosser Öffnungsweite vorgesehen sind, um eine ausreichende Durchlässigkeit der Mantelfläche für die genannten Moden und damit eine entsprechende Dämpfung zu erzielen.

Besonders vorteilhaft ist es, gemäss einem bevorzugten Ausführungsbeispiel der Erfindung als Material für die Mantelfläche der Strahlführung Drahtgewebe aus elektrisch gut leitendem Metalldraht mit geeigneter Maschenweite zu verwenden.

Die Erfindung soll nun nachfolgend anhand von Ausführungsbeispielen im Zusammenhang mit der Zeichnung näher erläutert werden. Es zeigen: Fig. 1 die schematisierte Darstellung eines Gyrotrons mit einer gedämpften Strahlführung nach dem Stand der Technik;

Fig. 2 ein Ausführungsbeispiel einer Strahlführung nach der Erfindung für ein Gyrotron gemäss Fig. 1;

Fig. 3 die prinzipielle Anordnung eines quasi-optischen Gyrotrons mit einer Strahlführung nach der Erfindung und

Fig. 4 ein Ausführungsbeispiel einer Strahlführung nach der Erfindung für ein quasi-optisches Gyrotron gemäss Fig. 3 (in perspektivischer Darstellung).

Das in Fig. 1 dargestellte Gyrotron bekannter Bauart zur Erzeugung von Mikrowellen hoher Leistung umfasst im wesentlichen eine Elektronenkanone 1, eine Strahlführung 5, einen Hohlraumresonator 6 und einen Ausgangswellenleiter 7.

Die aufgezählten Teile sind in einer nicht eingezeichneten Vakuumkammer untergebracht und von einer ebenfalls nicht eingezeichneten Solenoid-Spule umschlossen, welche das für den Gyrotron-Effekt unabdingbare starke Magnetfeld erzeugt.

Die Elektronenkanone 1 emittiert einen Elektronenstrahl 2. Der Durchmesser des Elektronenstrahls 2 ist mit typischerweise 4 mm für ein 120 GHz-Gyrotron klein gehalten, um eine hohe Effektivität bei der Umwandlung von Strahlenergie in elektromagnetische Wellenenergie zu erreichen.

Aufgrund der mit dem kleinen Durchmesser verbundenen hohen Raumladungsdichte innerhalb des Elektronenstrahls 2 treten Raumladungseffekte wie z. B. eine Strombegrenzung oder eine Absenkung des Strahlpotentials auf, die den Energietransport im Strahl begrenzen.

Um eine ungehinderte Ausbreitung des Elektronenstrahls 2 von der Elektronenkanone 1 zum Hohlraumresonator 6, in dem die Wechselwirkung zwischen Strahl und elektromagnetischem Feld erfolgt, zu ermöglichen, ist zwischen beiden die Strahlführung 5 angeordnet, die im Inneren eine Stapelfolge von Metallringen 3 und Keramikringen 4 enthält.

Diese Stapelfolge stellt eine Massnahme zur Dämpfung von unerwünschten Wellenmoden dar, die durch den Elektronenstrahl 2 in der das Wellenleiter wirkenden, geschlossenen Mantelfläche der Strahlführung 5 angeregt werden können. Auf diese Weise wird erreicht, dass ausschliesslich die gewünschten elektromagnetischen Wellen im

Hohlraumresonator 6 angeregt und über den Ausgangswellenleiter 7 ausgekoppelt werden.

Gemäss der vorliegenden Erfindung wird nun eine Modendämpfung in der Strahlführung 5 auf bedeutend einfachere Weise dadurch realisiert, dass anstelle des integrierten Stapels aus Metallringen 3 und Keramikringen 4 in der Mantelfläche der Strahlführung eine Vielzahl von Dämpfungsöffnungen vorgesehen sind, die das Austreten elektromagnetischer Felder gestatten und dadurch die Eigengüte Q der Strahlführung auf einen unterkritischen Wert herabsetzen.

Ein bevorzugtes Ausführungsbeispiel für eine Strahlführung, deren Mantelfläche eine Vielzahl von Dämpfungsöffnungen aufweist, ist in Fig. 2 in perspektivischer Sicht wiedergegeben. Die Strahlführung 5 hat in diesem Ausführungsbeispiel eine zylindrische Mantelfläche aus einem Drahtgewebe oder Drahtnetz, welche den Elektronenstrahl 2 umschliesst. Das Drahtgewebe enthält als Dämpfungsöffnungen 13 die Maschen des Gewebes bzw. Netzes. Die charakteristische Öffnungsweite a der Maschen ist dabei so gewählt, dass sie ungefähr gleich der oder grösser als die Wellenlänge der zu dämpfenden Wellenmode ist. Auf der anderen Seite ist es im Fall der zylindrischen Strahlführung 5 besonders vorteilhaft, wenn die charakteristische Öffnungsweite a kleiner ist als die halbe Differenz zwischen dem Radius der Mantelfläche und dem Radius des Elektronenstrahls 2, weil dann die Führungseigenschaften der Strahlführung 5 besonders ausgeprägt sind. Beide Dimensionierungsvorschriften für die charakteristische Öffnungsweite a lassen sich für hohe Frequenzen oberhalb 100 GHz leicht erfüllen.

Das Drahtgewebe der Strahlführung 5 aus Fig. 2 besteht vorzugsweise aus Kupfer, Silber oder ähnlichen, elektrisch gut leitenden Materialien. Der Radius der zylindrischen Mantelfläche liegt zwischen 2 und 8 mm und beträgt typischerweise 5 mm, wobei ein Radius des Elektronenstrahls von etwa 2 mm vorausgesetzt ist.

Der genaue Zylinderradius wird durch die maximal mögliche Potentialabsenkung des Elektronenstrahls bestimmt. Liegt dieser Zylinderradius fest, ergibt sich die charakteristische Öffnungsweite a aus den oben genannten Dimensionierungsvorschriften.

Neben dem Gyrotron, das in der eingangs zitierten Druckschrift beschrieben und für Wellenlängen im cm-Bereich geeignet ist, sind als Weiterentwicklungen für den Millimeterwellenbereich das quasi-optische Gyrotron und das quasi-optische Gyroklystron bekannt (A. Bondeson et al. in Int. J. Electronics 53 [6], S. 547 ff. [1982]).

Bei dem quasi-optischen Gyrotron, das hier als Beispiel herausgegriffen ist, wird gemäss Fig. 3 der von der Elektronenkanone 1 emittierte Elektronenstrahl zur Wechselwirkung mit einem elektromagnetischen Wechselfeld in einen quasi-optischen offenen Resonator 10 geschickt, der aus zwei gegenüberliegenden, konkaven Resonatorspiegeln 8 und 9 besteht. Die Geometrie der Anordnung macht es hierbei erforderlich, in der Mantelfläche der Strahlführung 5, die in dem Aus-

führungsbeispiel der Fig. 3 als Dämpfungsöffnungen 13 Durchgangslöcher in einer leitenden Platte (z. B. aus Blech) aufweist, zusätzliche Durchgangsöffnungen 11 und 12 im Bereich des offenen Resonators 10 vorzusehen, durch welche die Resonatorwellen ungehindert hindurchtreten können.

Die Ausführung einer Strahlführung 5 für ein quasi-optisches Gyrotron gemäss Fig. 3, bei der die Mantelflächen wiederum durch Drahtgewebe realisiert werden, ist in Fig. 4 perspektivisch dargestellt. Die Strahlführung weist senkrecht zur Achse des Elektronenstrahls 2 einen rechteckigen Querschnitt auf, dessen Höhe h konstant ist und z. B. 10 mm beträgt und dessen Breite in der Mitte ein Maximum von z. B. 80 mm erreicht und zu beiden Seiten hin linear abnimmt.

Das Drahtgewebe der Mantelfläche wird vorzugsweise von einem Rahmen 14 gehalten, welcher der Strahlführung 5 die notwendige Stabilität verleiht und zugleich die Durchgangsöffnungen 11 und 12 für die Wellen des offenen Resonators 10 begrenzt.

Die Maschen des Drahtgewebes bilden wiederum die Dämpfungsöffnungen 13, deren charakteristische Öffnungsweite a nach den bereits beschriebenen Dimensionierungsvorschriften bestimmt ist.

In analoger Weise ergibt sich die Ausführung einer Strahlführung für ein quasi-optisches Gyroklystron, mit dem Unterschied, dass in diesem Durchgangsöffnungen für zwei offene, quasi-optische Resonatoren vorgesehen werden müssen.

Insgesamt steht mit der Erfindung eine Modengedämpfte Strahlführung für Gyrotrons zur Verfügung, die sich durch einen besonders einfachen und robusten Aufbau auszeichnet und mit entsprechend wenig Aufwand realisiert werden kann.

Bezeichnungsliste

- 1 Elektronenkanone
- 2 Elektronenstrahl
- 3 Metallring
- 4 Keramikring
- 5 Strahlführung
- 6 Hohlraumresonator
- 7 Ausgangswellenleiter
- 8, 9 Resonatorspiegel
- 10 offener Resonator
- 11,12 Durchgangsöffnung
- 13 Dämpfungsöffnung
- 14 Rahmen
- a Öffnungsweite
- h Höhe

Patentansprüche

1. Vorrichtung zur Führung eines Elektronenstrahls von einer Elektronenkanone zu einem Mikrowellenresonator in einer nach dem Prinzip des Gyrotrons arbeitenden Mikrowellenquelle, welche Vorrichtung eine Strahlführung aus einem elektrisch leitenden Material umfasst, die den Elektronenstrahl entlang seiner Ausbreitungsrichtung in der Gestalt einer Mantelfläche umschliesst, und

welche Vorrichtung Mittel zur Dämpfung unerwünschter Wellenmoden aufweist, dadurch gekennzeichnet, dass die Dämpfungsmittel eine Vielzahl von Dämpfungsöffnungen (13) in der Mantelfläche umfassen, und die charakteristische Öffnungsweite (a) der Dämpfungsöffnungen (13) grösser oder ungefähr gleich der Wellenlänge der zu dämpfenden Wellenmoden ist.

2. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Strahlführung (5) als zylindrische Mantelfläche ausgebildet ist, und die charakteristische Öffnungsweite (a) der Dämpfungsöffnungen (13) kleiner als die oder ungefähr gleich der halben Differenz zwischen dem Radius der Mantelfläche und dem Radius des Elektronenstrahls (2) ist.

3. Vorrichtung nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass der Radius der zylindrischen Mantelfläche zwischen 2 mm und 8 mm, vorzugsweise etwa 5 mm, beträgt.

4. Vorrichtung nach Anspruch 1 für eine Mikrowellenquelle mit quasi-optischem, offenem Resonator (10), dadurch gekennzeichnet, dass die Mantelfläche senkrecht zur Ausbreitungsrichtung des Elektronenstrahls (2) einen rechteckigen Querschnitt mit konstanter Höhe (h) und einer veränderlichen Breite aufweist, und die Mantelfläche im Bereich des offenen Resonators (10) mit Durchgangsöffnungen (11, 12) für den ungehinderten Durchgang der Resonatorwellen versehen ist.

5. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1–4, dadurch gekennzeichnet, dass die Mantelfläche der Strahlführung im wesentlichen aus einem Drahtgewebe besteht, dessen Maschenweite gleich der charakteristischen Öffnungsweite (a) ist.

6. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1–4, dadurch gekennzeichnet, dass die Mantelfläche der Strahlführung (5) im wesentlichen aus einem mit einer Vielzahl von Durchgangslöchern versehenen Blech besteht, und die Durchmesser der Durchgangslöcher gleich der charakteristischen Öffnungsweite (a) sind.

7. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 5 oder 6, dadurch gekennzeichnet, dass die Strahlführung im wesentlichen aus Cu besteht.

Claims

1. Device for guiding an electron beam from an electron gun to a microwave resonator in a microwave source operating in accordance with the gyrotron principle, which device comprises a beam duct consisting of an electrically conductive material which encloses the electron beam along its direction of propagation in the form of a surface area and which device is provided with means for damping unwanted wave modes, characterized in that the damping means comprise a plurality of damping openings (13) in the surface area and the characteristic aperture size (a) of the damping openings (13) is larger than or approximately equal to the wavelength of the wave modes to be damped.

2. Device according to Claim 1, characterized in

that the beam duct (5) is constructed as a cylindrical surface area and the characteristic aperture size (a) of the damping opening (13) is smaller than or approximately equal to half the difference between the radius of the surface area and the radius of the electron beam (2).

3. Device according to Claim 2, characterized in that the radius of the cylindrical surface area is between 2 mm and 8 mm and preferably about 5 mm.

4. Device according to Claim 1 for a microwave source having a quasi-optical open resonator (10), characterized in that the surface area has perpendicularly to the direction of propagation of the electron beam (2) a rectangular cross section having a constant height (h) and a variable width, and the surface area is provided in the area of the open resonator (10) with through openings (11, 12) for the unhindered passage of the resonator waves.

5. Device according to one of Claims 1–4, characterized in that the surface area of the beam duct essentially consists of a wire mesh the mesh size of which is equal to the characteristic aperture size (a).

6. Device according to one of Claims 1–4, characterized in that the surface area of the beam duct (5) essentially consists of a sheet metal plate provided with a plurality of through holes and the diameters of the through holes are equal to the characteristic aperture size (a).

7. Device according to one of Claims 5 or 6, characterized in that the beam duct essentially consists of Cu.

Revendications

1. Dispositif de guidage d'un faisceau d'électrons à partir d'un canon à électrons vers un résonateur à micro-ondes dans une source de micron-ondes fonctionnant selon le principe du gyrotron, dispositif qui comprend un conduit de faisceau composé d'un matériau à conductivité électrique qui entoure le faisceau d'électrons le long de sa direction de propagation dans la forme d'une aire de surface, dispositif qui de plus est muni de moyens d'amortissement de modes d'ondes parasites, caractérisé en ce que les moyens d'amortissement comportent une pluralité d'orifices d'amortissement (13) dans l'aire de surface et en ce que la taille caractéristique d'ouverture (a) des orifices d'amortissement (13) est supérieure à, ou approximativement égale à, la longueur d'onde des modes d'ondes à amortir.

2. Dispositif selon la revendication 1, caractérisé en ce que le conduit de faisceau (5) est construit sous forme d'une aire de surface cylindrique et en ce que la taille caractéristique d'ouverture (a) des orifices d'amortissement (13) est inférieure à, ou à peu près égale à, la moitié de la différence entre le rayon de l'aire de surface et le rayon du faisceau d'électrons (2).

3. Dispositif selon la revendication 2, caractérisé en ce que le rayon de l'aire de surface cylindrique

mesure entre 2 et 8 mm et de préférence 5 mm environ.

4. Dispositif selon la revendication 1 pour une source de micro-ondes ayant un résonateur ouvert quasi optique (10), caractérisé en ce que l'aire de surface possède, perpendiculairement à la direction de propagation du faisceau d'électrons (2) une section transversale rectangulaire de hauteur (h) constante et de largeur variable, et en ce que l'aire de surface est munie, dans la zone du résonateur ouvert (10), d'orifices débouchants (11, 12) pour permettre un passage sans encombre des ondes du résonateur.

5. Dispositif selon l'une des revendications 1-4,

caractérisé en ce que l'aire de surface du conduit de faisceau se compose essentiellement d'un treillis métallique dont l'ouverture de maille est égale à la taille caractéristique d'ouverture (a).

6. Dispositif selon l'une des revendications 1-4, caractérisé en ce que l'aire de surface du conduit de faisceau (5) se compose essentiellement d'une plaque en tôle munie d'une pluralité de trous débouchants et dont le diamètre des trous débouchants est égal à la taille caractéristique d'ouverture (a).

7. Dispositif selon l'une des revendications 5 ou 6, caractérisé en ce que le conduit de faisceau se compose essentiellement de Cu.

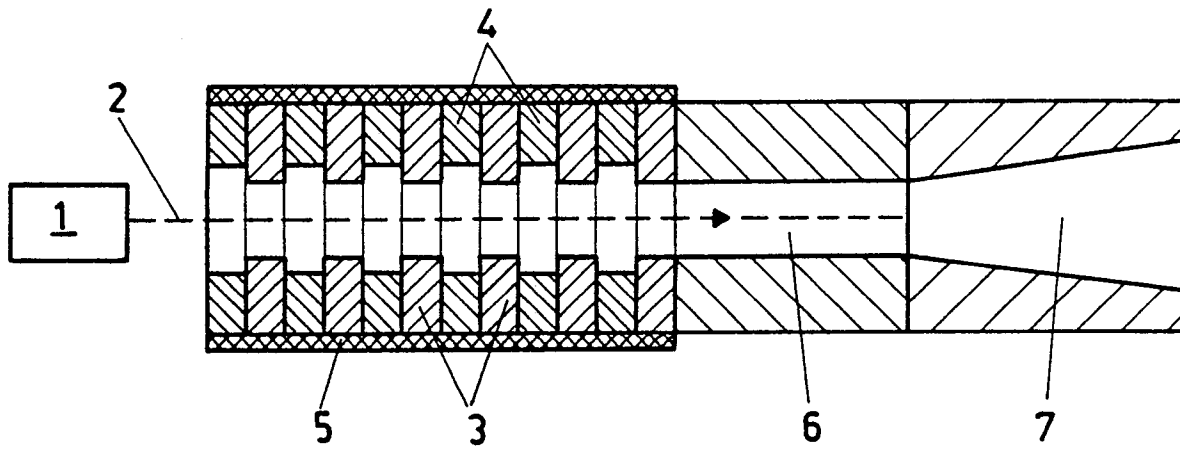


FIG. 1

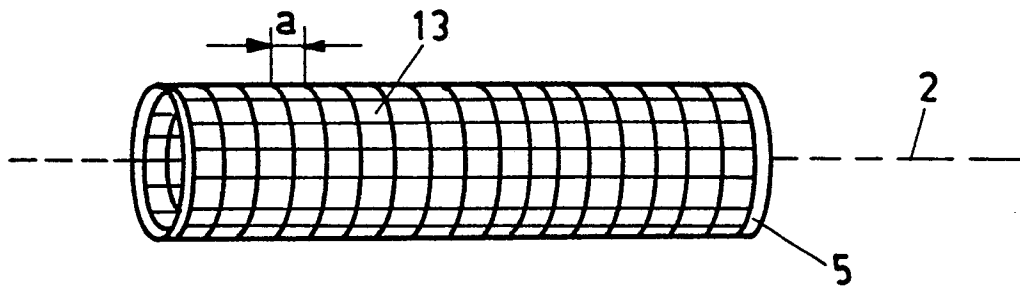


FIG. 2

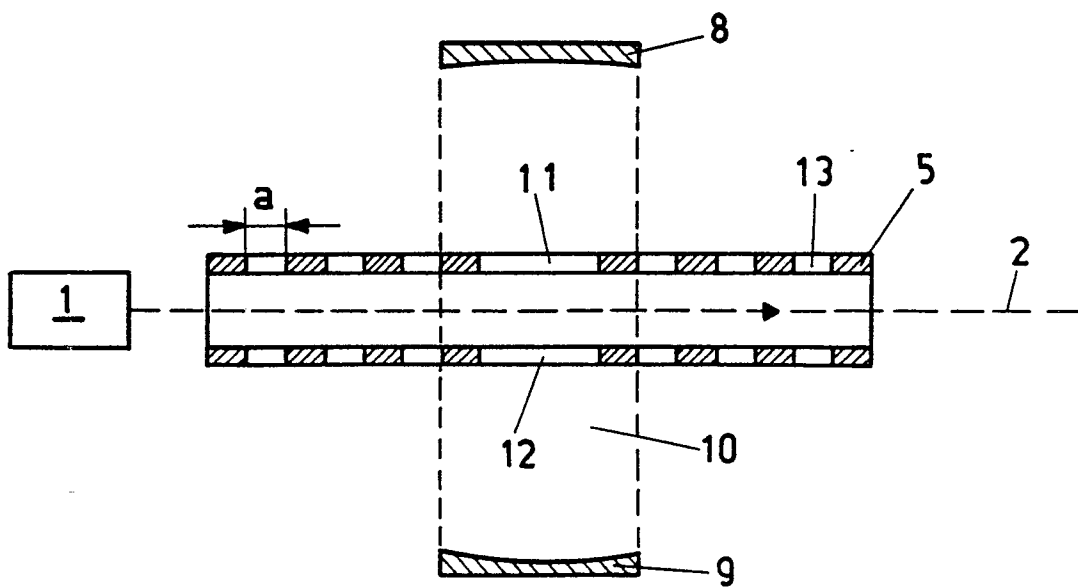


FIG. 3

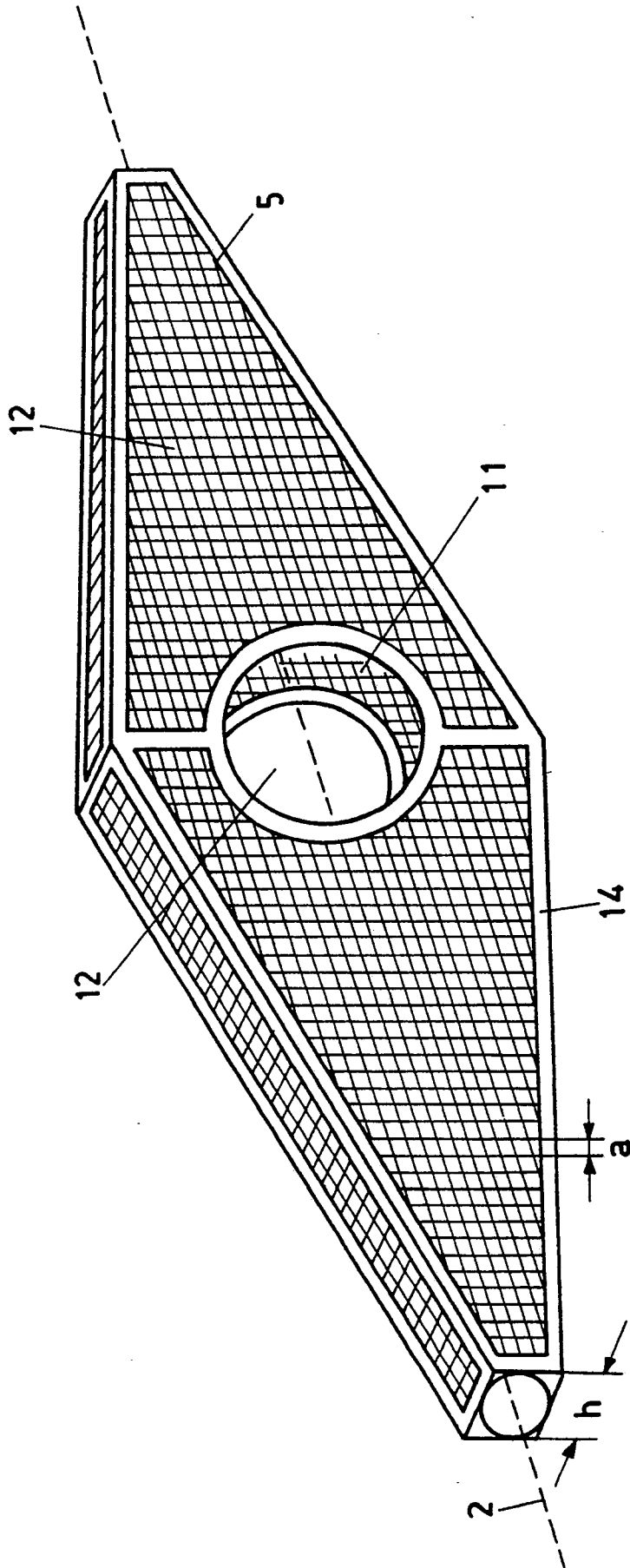


FIG. 4