



SCHWEIZERISCHE EIDGENOSSENSCHAFT
BUNDESAMT FÜR GEISTIGES EIGENTUM

⑪ CH 679253 A5

⑤① Int. Cl.⁵: H 01 P 1/08

Erfindungspatent für die Schweiz und Liechtenstein
Schweizerisch-liechtensteinischer Patentschutzvertrag vom 22. Dezember 1978

⑫ **PATENTSCHRIFT** A5

⑳ Gesuchsnummer: 2314/89

㉔ Inhaber:
ASEA Brown Boveri AG, Baden

㉑ Anmeldungsdatum: 21.06.1989

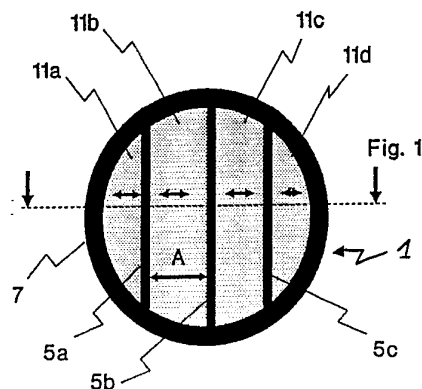
㉓ Patent erteilt: 15.01.1992

㉒ Erfinder:
Agosti, Giorgio, Dr., Wettingen
Jödicke, Bernd, Dr., Unterehrendingen
Mathews, Hans-Günter, Dr., Oberehrendingen
Schafheitle, Oskar, Oetwil a.d. Limmat

④⑤ Patentschrift
veröffentlicht: 15.01.1992

⑤④ **Auskopplungsfenster für linear polarisierte Mikrowellen.**

⑤⑦ Ein Auskopplungsfenster (1) für linear polarisierte Mikrowellen hoher Leistung weist mindestens eine für Mikrowellen transparente Scheibe (6a, ..., 6d) und Kühlrippen (5a, ..., 5i) auf. Die Kühlrippen (5a, ..., 5i) liegen zusammen mit der Scheibe (6a, ..., 6d) in einer Scheibenebene und sind senkrecht zu einer Polarisationsrichtung der Mikrowellen ausgerichtet. Sie stehen in wärmeleitendem und kraftschlüssigem Kontakt mit der Scheibe.



Beschreibung

Technisches Gebiet

Die Erfindung betrifft ein Auskopplungsfenster für linear polarisierte Mikrowellen hoher Leistung mit mindestens einer, in einer Scheibenebene liegenden, für Mikrowellen transparenten Scheibe.

Stand der Technik

Zur Erzeugung von Mikrowellen höchster Leistung eignet sich insbesondere ein quasi-optisches Gyrotron wie es z.B. im Patent CH 664 045 oder im Artikel «Das Gyrotron, Schlüsselkomponente für Hochleistungs-Mikrowellensender», H.G. Mathews, Minh Quang Tran, Brown Boveri Review 6-1987, pp. 303-307, beschrieben ist. Bei einem solchen Gyrotron wird in einem quasi-optischen Resonator, welcher in einer evakuierten Röhre untergebracht ist, ein elektromagnetisches Wechselfeld angeregt, indem die Elektronen eines Strahls durch ein starkes Magnetfeld zur Gyration gezwungen werden.

Die aus dem Resonator ausgekoppelten Mikrowellen müssen durch ein geeignetes Mikrowellenfenster hindurch aus dem Hochvakuum der Röhre in einen Wellenleiter mit atmosphärischen Bedingungen und damit zu einem Verbraucher gebracht werden. Das Auskoppelfenster ist insbesondere bei Hochleistungs-gyrotrons grössten thermischen und mechanischen Belastungen ausgesetzt. Nicht nur muss es die Röhre vakuumdicht abschliessen, vielmehr muss es auch die unvermeidlich absorbierte Leistung abführen ohne Schaden zu nehmen.

Bei Dauerstrichleistungen von 1 MW und mehr und Arbeitsfrequenzen von typischerweise 100-200 GHz wären jedoch auch bei den für dielektrische Fenster als besonders geeignet bekannten Al_2O_3 -Keramiken die Verluste pro Fläche so gross, dass solche Fenster bersten müssten.

Grundsätzlich gibt es zwei Möglichkeiten, das Problem der thermischen Belastung von Mikrowellenfenstern zu lösen. Die erste Möglichkeit besteht darin, die Fensterfläche so zu vergrössern, dass die Flächenbelastung tragbar wird. In der Praxis scheitert diese Lösung an der mangelnden mechanischen Stabilität solch grosser Keramikfenster.

Die zweite, in der Praxis auch realisierbare Möglichkeit liegt in einer geeigneten Kühlung der Scheibe. Aus dem Bericht «Entwicklung der technologischen Grundlagen eines hochbelastbaren Auskoppelfensters für ein 200 kW Langpuls-gyrotron bei 140 GHz», Rudolf Bachmor, ITG-Fachbericht Vakuumelektronik und Displays der ITG-Fachtagung vom 8. bis 10. Mai 1989, ist beispielsweise ein kühlbares Doppelscheibenfenster bekannt. Zwischen zwei runden Al_2O_3 -Keramikscheiben fliesst ein Kühlmittel hindurch, wodurch eine flächenmässige Kühlung erreicht wird.

Allerdings genügt auch das bekannte Doppelscheibenfenster nicht den Anforderungen, die ein dielektrisches Fenster im angestrebten Leistungsbereich von 1 MW und mehr erfüllen muss. Zwar liesse sich die Transparenz nachhaltig verbessern,

würde man die Keramiken auf niedrigste Temperaturen (z.B. mit flüssigem Helium) abkühlen. Doch dies wäre mit einem unverhältnismässigen wirtschaftlichen Mehraufwand verbunden.

Darstellung der Erfindung

Aufgabe der Erfindung ist es, ein Fenster der eingangs genannten Art anzugeben, welches sowohl in thermischer als auch in mechanischer Hinsicht höchsten Anforderungen gewachsen ist und die beim Stand der Technik vorhandenen Probleme vermeidet.

Erfindungsgemäss besteht die Lösung darin, dass das Auskopplungsfenster der genannten Art Kühlrippen aufweist, welche in der Scheibenebene senkrecht zu einer Polarisationsrichtung der Mikrowellen angeordnet sind und mit der mindestens einen Scheibe in wärmeleitendem und kraftschlüssigem Kontakt stehen.

Die Erfindung macht von der Tatsache Gebrauch, dass einerseits die im Resonator eines Quasi-optischen Gyrotrons angeregten Moden grundsätzlich linear polarisiert sind und dass andererseits in der Anwendung von Mikrowellen höchster Leistung (Aufheizen von Plasmen usw.) vorwiegend linear polarisierte Wellen benötigt werden. Die Beschränkung auf linear polarisierte Wellen stellt damit keinen Nachteil dar. Vielmehr schafft sie die nötige Freiheit, um die Kühlung und die Stabilität gleichzeitig verbessern zu können.

Vorzugsweise sind die Kühlrippen so ausgebildet, dass sie eine Breite haben, die kleiner oder gleich einer durch eine Wellenlänge der Mikrowellen vorgegebene Grössenordnung ist, und einen gegenseitigen Abstand, der grösser oder gleich einer Wellenlänge der Mikrowellen entsprechenden Grössenordnung ist. Die Kühlrippen sind insbesondere von Kühlmittel durchströmte Kanäle.

Die Erfindung lässt sich auf unterschiedliche Weise vorteilhaft ausführen. So können die Kühlrippen als Kühlkanäle entweder vollständig in der Scheibe eingebettet sein, oder in nutzförmigen Ausnehmungen der Scheibe untergebracht sein. Insbesondere können sie etwa gleich dick wie die Scheibe sein, so dass letztere in streifenförmige Abschnitte aufgeteilt wird.

Vorzugsweise sind die Kühlrippen zumindest teilweise metallisch und ist die Scheibe aus einer Keramik. Der wärmeleitende Kontakt wird dabei durch eine Lötverbindung geschaffen. Die Kühlrippen werden beispielsweise durch viereckige, runde oder ovale Metallrohre gebildet.

Zusätzlich kann die Scheibe zwischen benachbarten Kühlrippen mit Kühlmittel gefüllte Hohlräume aufweisen.

Ein quasi-optisches Gyrotron, welches mit erfindungsgemässen Röhrenfenstern ausgerüstet ist, vermag Strahlungsleistungen in der Grössenordnung von bis zu mehreren MW Dauerstrich abzugeben.

Aus den Patentansprüchen ergeben sich weitere vorteilhafte Ausführungsformen der Erfindung.

Kurze Beschreibung der Zeichnung

Nachfolgend soll die Erfindung anhand von Ausführungsbeispielen im Zusammenhang mit der Zeichnung näher erläutert werden. Es zeigen:

Fig. 1 einen Querschnitt eines Fensters mit rechteckigen Kühlrippen;

Fig. 2 eine Draufsicht auf ein Fenster mit drei Kühlrippen;

Fig. 3 einen Querschnitt eines Fensters mit vollständig eingebetteten Kühlrippen;

Fig. 4 einen Querschnitt eines Fensters mit ellipsenförmigen Kühlrippen und mit Hohlräumen zwischen den Kühlrippen; und

Fig. 5 einen Querschnitt eines Fensters, bei welchem die Kühlrippen in nutzförmigen Ausnehmungen der Scheibe untergebracht sind.

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

Wege zur Ausführung der Erfindung

Fig. 1 zeigt ein Auskopplungsfenster 1 wie es vorzugsweise bei einem quasi-optischen Gyrotron eingebaut wird. Das Auskopplungsfenster 1 schliesst einen hochevakuierten Raum 2 des quasi-optischen Gyrotrons gegen einen Wellenleiter 3 ab, in welchem atmosphärische Bedingungen herrschen.

Ein elektromagnetisches Wechselfeld schwingt in einem Resonator des Gyrotrons, welcher durch zwei Spiegel gebildet wird, wovon einer – mit 4 bezeichnet – in Fig. 1 gezeigt ist. Das elektromagnetische Wechselfeld und dementsprechend die aus dem Resonator durch das Auskopplungsfenster 1 ausgekoppelten Mikrowellen sind linear polarisiert. Die Mikrowellen (angedeutet durch zwei Pfeile) werden vom Wellenleiter 3 zu einem Verbraucher (nicht gezeigt) geführt.

Das Auskopplungsfenster 1 umfasst z.B. drei Kühlrippen 5a, 5b, 5c, eine für Mikrowellen transparente Scheibe 6a mit streifenförmigen Abschnitten 11a, 11b, 11c, 11d, sowie eine ringförmige Fassung 7.

Die Kühlrippen 5a, 5b, 5c liegen zusammen mit der Scheibe 6a in einer gemeinsamen Scheibenebene und sind gemäss einer bevorzugten Ausführungsform gleich dick wie die Scheibe, $D_K = D_S$, so dass zwei ebene Hauptflächen 10a, 10b der Scheibe gebildet werden. Im vorliegenden Ausführungsbeispiel sind die Kühlrippen Metallrohre mit rechteckigem Querschnitt. Sie sind ausserdem von einem Kühlmittel 8 durchflossen. Die Fassung 7 weist vorzugsweise ebenfalls einen oder mehrere Kanäle 9 auf, um die Scheibe auch am Umfang zu kühlen. Das Kühlmittel 8, vorzugsweise Wasser, wird von aussen über einen geeigneten Anschluss (in Fig. 1 nicht gezeigt) durch die Kühlrippen 5a, 5b, 5c und die Kanäle 9 hindurch gepumpt.

Fig. 2 zeigt eine Frontansicht des Auskopplungsfensters 1. Die Mikrowellen laufen in dieser Dar-

stellung auf den Betrachter zu und sind in horizontaler Richtung (siehe Doppelpfeile) linear polarisiert. In den Fig. 1 und 2 sind gleiche Teile mit gleichen Bezugszeichen versehen.

Die Kühlrippen 5a, 5b, 5c sind parallel zueinander und senkrecht zur Polarisationsrichtung der Mikrowellen angeordnet. Ihr gegenseitiger Abstand A ist vorzugsweise mehrfach grösser als ihre Breite B_K . Eine relevante Bezugsgrösse stellt in diesem Fall die Wellenlänge der erzeugten Mikrowellen dar. Dementsprechend sollte die Breite B_K kleiner und der gegenseitige Abstand A grösser als etwa eine Wellenlänge sein.

Für eine Wellenlänge von z.B. 5 mm kann der Abstand A etwa 10 mm betragen. Die Breite B_K der Kühlrippen liegt dann zwischen ca. 1–5 mm.

Grundsätzlich sind bei der Bemessung die effektive thermische Belastung und die mechanische Stabilität der Scheibe sowie die wellenoptischen Anforderungen an Abstand A und Breite B_K der Kühlrippen aufeinander abzustimmen. Dementsprechend ist der Abstand bei einem kreisförmigen Auskopplungsfenster nicht zwischen allen Kühlrippen derselbe. Dort wo die Flächenbelastung gross ist, wird der Abstand u.U. mit Vorteil etwas geringer gewählt, als dort wo der Flächenverlust klein ist.

Die Anzahl der parallelen Kühlrippen richtet sich natürlich auch nach dem Durchmesser der Scheibe.

Zwischen Scheibe 6a, welche vorzugsweise aus einkristallinem Saphir besteht, und Kühlrippen 5a, 5b, 5c herrscht ein guter, flächenhafter thermischer Kontakt. Dasselbe gilt für die Fassung 7, welche die streifenförmigen Abschnitte und die Kühlrippen hält. Der thermische Kontakt wird mit Vorteil durch eine Lötverbindung geschaffen.

Im folgenden werden weitere Ausführungsformen der Erfindung erläutert. In den Figuren werden entsprechende Teile mit entsprechenden Bezugszeichen verwendet.

Fig. 3 zeigt ein zweites Ausführungsbeispiel der Erfindung. Bei diesem sind die Kühlrippen 5d, 5e, 5f vollständig in einer Scheibe 6b eingebettet. Im folgenden wird eine Möglichkeit beschrieben, wie dies realisiert werden kann.

Die Scheibe 6b besteht aus zwei kreisförmigen Teilscheiben 12a, 12b, welche mit entsprechenden Hauptflächen 10a, 10b aneinander gefügt sind. An diesen Hauptflächen 10a, 10b weisen die Teilscheiben 12a, 12b einander entsprechende, parallel zueinander und je auf einer geraden Linie verlaufende, z.B. halbkreisförmige Ausnehmungen 13a, 13b, 13c resp. 14a, 14b, 14c auf. Die Ausnehmungen sind metallisiert. Sie nehmen paarweise 13a und 14a, resp. 13b und 14b, resp. 13c und 14c je ein geeignetes, z.B. rundes Metallrohr auf, welches als Kühlrippe dient.

Fig. 4 zeigt ein Auskopplungsfenster, bei welchem eine Scheibe 6c zusätzlich mit Hohlräumen 15a, 15b, 15c, 15d versehen ist. In diesen Hohlräumen 15a, 15b, 15c, 15d zirkuliert ein Kühlmittel, z.B. FC 43 oder FC 75, so dass die Scheibe nun von drei Seiten gekühlt wird, nämlich sowohl von den beiden Schmalseiten als auch von einer inneren Hauptfläche her.

Fig. 4 zeigt ausserdem eine weitere Ausführungsform für die Kühlrippen 5g, 5h, 5i. Anders als bei den oben beschriebenen Beispielen haben die Kühlrippen 5g, 5h, 5i hier eine Dicke D_k , die grösser ist als die Dicke D_s der Scheibe 6c. Sie ragen also beidseitig etwas über die Scheibenoberflächen hinaus. Im Querschnitt sind die Kühlrippen in der Art einer Ellipse geformt. Eine kleine Halbchse dieser Ellipse liegt parallel zur Scheibenebene.

Der Vorteil solcher, ellipsenförmiger Kühlkanäle liegt darin, dass sie bei relativ geringer Breite einen grossen Querschnitt und damit eine vorteilhaft grosse Kühlkapazität haben.

Beim Ausführungsbeispiel gemäss Fig. 4 setzt sich die Scheibe also zusammen aus zwei Teilscheiben mit wiederum jeweils mehreren streifenförmigen Abschnitten 11a, 11b, 11c, 11d.

Fig. 5 zeigt ein viertes Ausführungsbeispiel. Bei diesem wird eine Scheibe 6d aus einem Stück verwendet. Eine Hauptfläche 10c der Scheibe 6d ist mit mehreren, parallel zueinander und je auf einer geraden Linie verlaufenden, Ausnehmungen 14d, 14e, 14f versehen. Jede Ausnehmung 14d, 14e, 14f ist mit einer Metallabdeckung 16a, 16b, 16c abgeschlossen. Auf diese Weise werden Kühlkanäle gebildet, durch welche ein Kühlmittel gepumpt werden kann.

Die Metallabdeckungen 16a, 16b, 16c können flach oder nach aussen gekrümmt sein. Die gekrümmte Ausführung schafft natürlich einen vorteilhaft grösseren Querschnitt als die flache.

Derartige Kühlrippen gewährleisten zwar nicht dieselbe mechanische Festigkeit, wie diejenigen gemäss der ersten oder dritten Ausführungsform. Ihre Herstellung ist jedoch einfacher.

Eine grössere Stabilität kann man erreichen, wenn man nicht nur eine Metallabdeckung anbringt, sondern jeweils ein geeignetes Metallrohr in die Ausnehmung einlötet.

Anstatt auf einer Hauptfläche Ausnehmungen mit einer verhältnismässig grossen Tiefe vorzusehen, können natürlich auch auf beiden Hauptflächen einander paarweise gegenüberliegende Ausnehmungen mit geringer Tiefe angeordnet werden. In Durchgangsrichtung (senkrecht zur Scheibenebene) liegen dann jeweils zwei Kühlrippen genau hintereinander. Die Schwächung der Stabilität aufgrund der bei den Ausnehmungen lokal reduzierten Dicke der Scheibe wird durch die Stützwirkung der Kühlkanäle zumindest kompensiert.

Aus den detailliert beschriebenen Ausführungsbeispielen können ohne weiteres eine grosse Zahl vorteilhafter Ausführungsformen abgeleitet werden. Insbesondere können die verschiedenen Querschnittsformen (rechteckig, kreis- und ellipsenförmig) der Kühlrippen weitgehend beliebig mit der Art ihrer Unterbringung (vollständig eingebettet, einseitig oder durchgehend angebracht) in der Scheibe kombiniert werden.

Als Kühlrippen werden vorzugsweise thermisch gut leitende Metallrohre verwendet. Neben dem besonders bevorzugten einkristallinen Saphir eignen sich auch hochbelastbare Keramiken, wie z.B. hochreine Al_2O_3 Keramiken als Scheibenmaterial. In den Kühlrippen wird am besten Wasser als Kühlmittel

eingesetzt. In den zusätzlich vorgesehenen Hohlräumen muss eine andere, für Mikrowellen transparente Kühlflüssigkeit wie z.B. die genannten Fluorkohlenwasserstoffe FC 43 oder FC 75 eingesetzt werden.

Insgesamt schafft die Erfindung ein Auskopplungsfenster, welches höchsten Strahlungsbelastungen gewachsen ist und sich sowohl mit herkömmlichen Mitteln herstellen und als auch kostengünstig betreiben lässt.

Patentansprüche

1. Auskopplungsfenster für linear polarisierte Mikrowellen hoher Leistung mit mindestens einer in einer Scheibenebene liegenden, für Mikrowellen transparenten Scheibe, dadurch gekennzeichnet, dass das Auskopplungsfenster Kühlrippen aufweist, welche in der Scheibenebene senkrecht zu einer Polarisationsrichtung der Mikrowellen angeordnet sind und mit der mindestens einen Scheibe in wärmeleitendem und kraftschlüssigem Kontakt stehen.

2. Auskopplungsfenster nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass

a) die Kühlrippen eine Breite haben, die kleiner oder gleich einer Wellenlänge der Mikrowellen entsprechenden Grössenordnung ist, und

b) einen gegenseitigen Abstand, der grösser oder gleich einer Wellenlänge der Mikrowellen entsprechenden Grössenordnung ist, und dass

c) die Kühlrippen von Kühlmittel durchströmte Kanäle sind.

3. Auskopplungsfenster nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Kühlrippen vollständig in der Scheibe eingebettet sind.

4. Auskopplungsfenster nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Kühlrippen in nutzförmigen, von einer Hauptfläche in die Scheibe eindringenden Ausnehmungen untergebracht sind.

5. Auskopplungsfenster nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass

a) die Kühlrippen mindestens so dick sind wie die Scheibe und dass

b) die Scheibe durch die Kühlrippen in einzelne, streifenförmige Abschnitte aufgeteilt wird.

6. Auskopplungsfenster nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass

a) die Kühlrippen zumindest teilweise aus Metall sind, dass

b) die Scheibe aus Keramik ist und dass

c) der wärmeleitende und kraftschlüssige Kontakt durch eine Lötverbindung gebildet wird.

7. Auskopplungsfenster nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Scheibe zwischen benachbarten Kühlrippen mit einem Kühlmittel durchflossene Hohlräume aufweist.

8. Auskopplungsfenster nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Kühlrippen im Querschnitt rechteckig, kreis- oder ellipsenförmig sind.

9. Auskopplungsfenster nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass

a) die Kühlrippen in der Scheibe eingelötete Metallrohre sind

b) und dass die Scheibe aus einkristallinem Saphir oder einer Keramik besteht.

10. Auskopplungsfenster nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, dass die Kühlrippen durch die mit Metallabdeckungen verschlossenen Ausnehmungen gebildet werden.

5

10

15

20

25

30

35

40

45

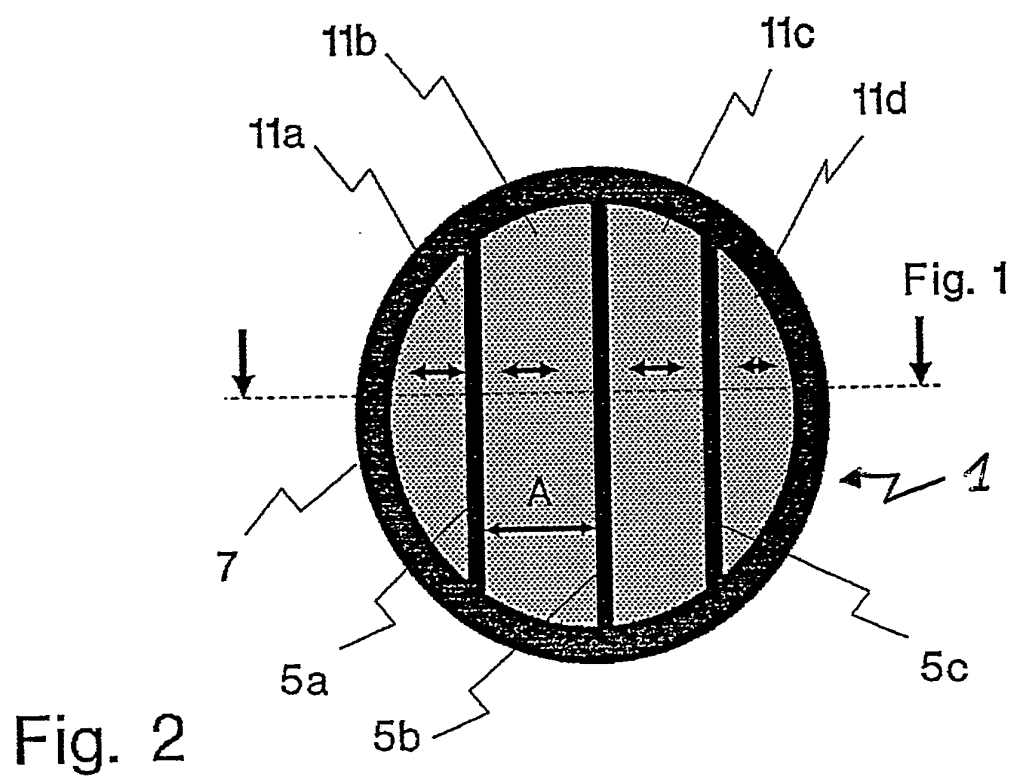
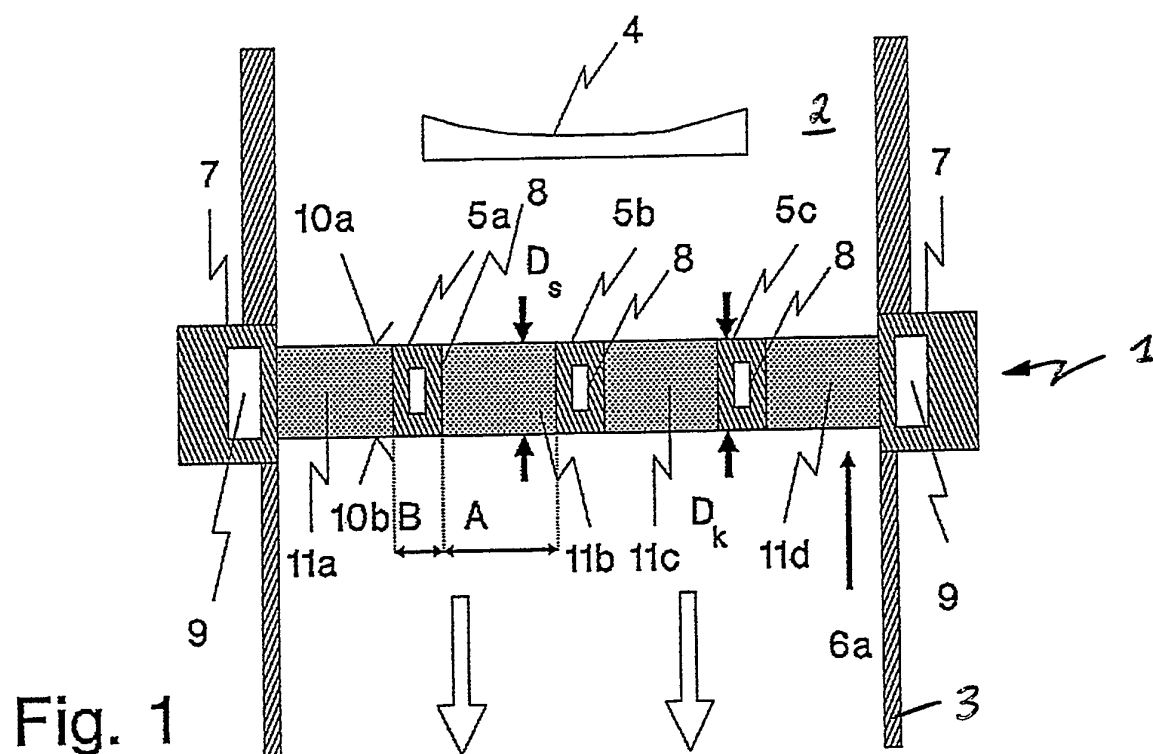
50

55

60

65

5



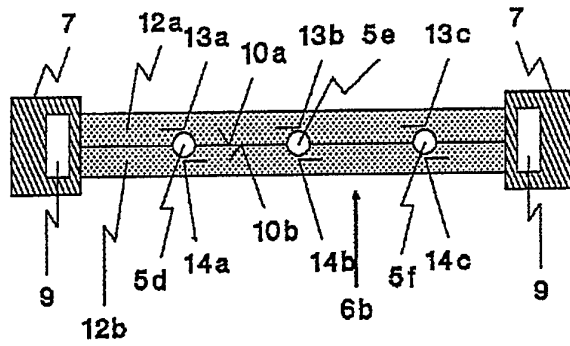


Fig. 3

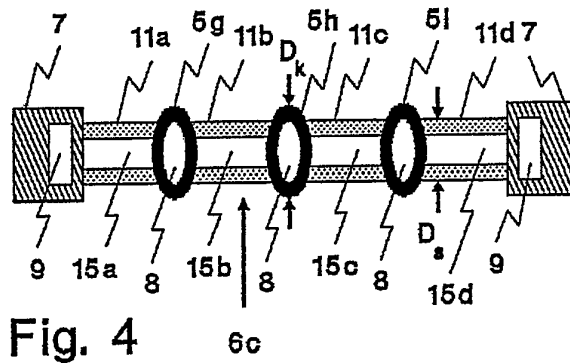


Fig. 4

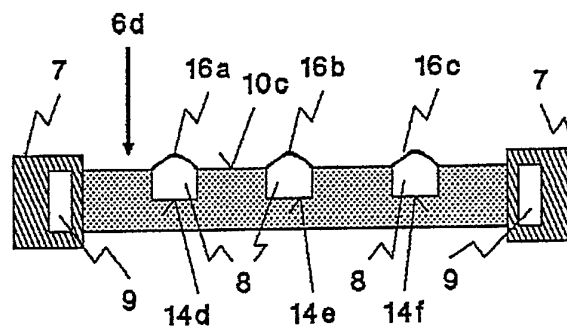


Fig. 5