

12 **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

21 Anmeldenummer: **87106414.3**

51 Int. Cl.4: **H01P 1/08**

22 Anmeldetag: **04.05.87**

30 Priorität: **27.05.86 DE 3617779**

43 Veröffentlichungstag der Anmeldung:
02.12.87 Patentblatt 87/49

84 Benannte Vertragsstaaten:
BE DE ES FR GB GR IT LU NL

71 Anmelder: **Max-Planck-Gesellschaft zur Förderung der Wissenschaften e.V.**
Bunsenstrasse 10
D-3400 Göttingen(DE)

72 Erfinder: **Müller, Günther, Dr.-Ing.**
Strutweg 4
D-7062 Rudersberg(DE)
Erfinder: **Wilhelm, Rolf, Prof. Dr.**
Bussardstrasse 1
D-7260 Calw-Stammheim(DE)

74 Vertreter: **Heusler, Wolfgang, Dipl.-Ing. et al**
Von Bezold, Dieter, Dr. Schütz, Peter,
Dipl.-Ing. Heusler, Wolfgang, Dipl.-Ing.
Maria-Theresia-Strasse 22 Postfach 860 260
D-8000 München 86(DE)

54 **Fluiddichte Koppelungsvorrichtung für Mikrowellen.**

57 Die beschriebene fluiddichte Kopplungsvorrichtung für Mikrowellenstrahlung hoher Energie enthält ein rohrförmiges dielektrisches Fenster, das mit einem Ende eines die Mikrowellenstrahlung einspeisenden Hohlleiters (14) dicht verbunden ist und eine Fortsetzung dieses Hohlleiters bildet. Das andere Ende des das Fenster bildenden Rohres (12) ist durch einen näherungsweise konischen Reflektor (16) dicht verschlossen. Das das Fenster bildende Rohr (12) ist außen von einem becherförmigen Hohlleiterabschnitt (18) umgeben. Die reflektierende Oberfläche (26) des Reflektors (16) sowie die reflektierende Innenfläche (24) des becherförmigen Hohlleiterabschnitts (18) sind so geformt, daß die aus dem Hohlleiter (14) austretende Mikrowellenstrahlung durch das rohrförmige Fenster in den becherförmigen Hohlleiterabschnitt (18) sowie von diesem zum offenen Ende dieses Abschnittes derart reflektiert wird, daß eine Eingangs-Mode vom Typ TE_{mn} in sich selbst oder eine wohldefinierte Nachbarmode TE'_{mn} übergeführt, weitere Nebenmoden zu einem Minimum gemacht und zugleich auch rücklaufende Wellen minimiert werden. Infolge der zylindrischen Form ergibt sich eine um eine bis zwei

Größenordnungen größere Fensterfläche als bei den bekannten planen Fenstern und damit eine entsprechend geringere Flächenbelastung, so daß auch sehr hohe Mikrowellenleistungen übertragen werden können.

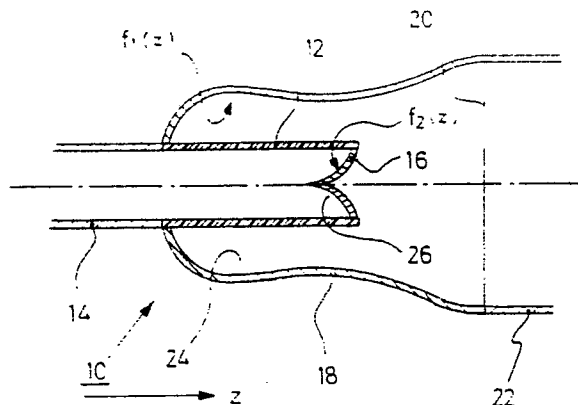


FIG.1

Fluiddichte Koppelungsvorrichtung für Mikrowellen

Die vorliegende Erfindung betrifft eine fluiddichte Auskoppelvorrichtung für Mikrowellenstrahlung hoher Energie mit einem Hohlleiter, der ein Einspeisungsende, das mit einer Mikrowellenquelle koppelbar ist, und ein Auskoppelende, das mit einem dielektrischen, für die Mikrowellenstrahlung durchlässigen Fenster fluiddicht verschlossen ist, aufweist.

Zum Auskoppeln von Mikrowellen aus einer Mikrowellenquelle sowie zum Einkoppeln von Mikrowellen aus einem gasgefüllten Hohlleiter in ein Vakuumgefäß und ähnliche Anwendungen werden vakuumdichte oder allgemeiner fluiddichte Kopplungsvorrichtungen ("Mikrowellenfenster") benötigt. Für extrem hohe Mikrowellenleistungen, z.B. im Megawattbereich, bei höheren Frequenzen (z. B. oberhalb einiger 10 GHz, z. B. zwischen 60 und 100 GHz, und größeren Pulsängen (z. B. mehrere Sekunden bis Dauerstrich), wie sie beispielsweise mit Gyrotrons oder Freielektronenlasern erzeugt werden können, ergeben sich Leistungsdichten und thermische Belastungen, die mit den bekannten Ein- oder Mehrscheibenfenstern nicht mehr beherrscht werden können. Für spezielle Anwendungen, z. B. die Hochfrequenzheizung eines Plasmas in der Fusionsforschung, wird daher ein fensterloser Betrieb der Hochfrequenzquelle diskutiert. Eine derartige Betriebsweise ist aber mit erheblichen Nachteilen und größten Problemen verbunden.

Aus DE-A-29 07 808 ist eine vakuumdichte, hochfrequenzdurchlässige Fensteranordnung zwischen einer eingangsseitigen und einer ausgangseitigen Koaxialleitung bekannt, bei der zwischen der eingangsseitigen und der ausgangseitigen Koaxialleitung ein keramischer Hohlzylinder angeordnet ist, der den Innenleiter der eingangsseitigen Koaxialleitung im Bereich des Überganges auf die ausgangseitige Koaxialleitung als Fortsetzung des Außenleiters der eingangsseitigen Koaxialleitung umgibt. Zur Anpassung der eingangsseitigen Koaxialleitung an die ausgangseitige Koaxialleitung sind im Bereich der Fensteranordnung Anpaßelemente vorgesehen, z. B. ein ringförmiges Anpaßelement, welches den keramischen Hohlzylinder mit Abstand umgibt und an der Innenseite des Innenleiters der ausgangseitigen Koaxialleitung angebracht ist. Für Hohlleiter, die keinen Innenleiter enthalten, sind diese Anpaßelemente nicht geeignet.

Die vorliegende Erfindung löst die Aufgabe, eine fluiddichte Kopplungsvorrichtung für Mikrowellen-Hohlleiter anzugeben, die sich auch für sehr hohe Hochfrequenzdurchgangsleistungen sowie länger dauernde Belastungen eignet und

eine einwandfreie Modenübertragung gewährleistet, dadurch, daß das Fenster die Form eines Rohres hat, das eine Fortsetzung des Hohlleiters bildet, am einen Ende mit dessen Auskoppelende dicht verbunden ist und am anderen Ende durch einen in erster Näherung kegelförmigen Mikrowellenreflektor dicht verschlossen ist, der die aus den ihm gegenüberliegenden Auskoppelende des Hohlleiters axial austretende Mikrowellenstrahlung nach der Seite durch das rohrförmige Fenster reflektiert, und daß das Fenster mit einem näherungsweise becherförmigen Hohlleiterabschnitt umgeben ist, der die durch das Fenster auf ihn fallende Mikrowellenstrahlung im wesentlichen in die Richtung reflektiert, in der die Mikrowellenstrahlung aus dem Auskoppelende des Hohlleiters austritt.

Die Kopplungsvorrichtung gemäß der Erfindung ermöglicht es, die anfallende HF-Verlustleistung von typisch 1 bis 2% der HF-Durchgangsleistung durch den wenigstens annähernd konischen Reflektor relativ gleichmäßig auf die Fensterfläche zu verteilen, die typischerweise um eine bis zwei Größenordnungen größer ist als bei den bekannten Mikrowellenfenstern. Durch die zylindrische Bauform des eigentlichen Fensters ergibt sich außerdem eine höhere mechanische Festigkeit, so daß man auch bei größeren Zylinderdurchmessern mit sehr geringen Wandstärken auskommt, wodurch die Absorption und damit die Verlustleistung entsprechend reduziert werden.

Bei einer HF-Durchgangsleistung von 1 bis 2 MW ist eine mittlere Flächenbelastung von 3 bis 4 Watt/cm² erreichbar, die durch einen forcierten Luft- bzw. Gasstrom ohne weiteres abgeführt werden kann.

Für noch höhere Durchgangsleistungen in der Größenordnung von 10 bis 20 MW kann man das Fenster von außen mit einer geeigneten, dämpfungsarmen Kühlflüssigkeit, z. B. einem geeigneten Öl, insbesondere Siliconölen oder Petroleum, kühlen, die gegebenenfalls mit freier Oberfläche (senkrechte Stellung des Eingangs-Hohlleiters) umgepumpt werden kann.

Die Kopplungsvorrichtung gemäß der Erfindung ist besonders, jedoch nicht ausschließlich geeignet für Höchfrequenzquellen mit axialsymmetrischer Moden-Emission TE_{0n} (z. B. Gyrotrons). Bei nichtaxialsymmetrischen Moden (z. B. whispering gallery etc.) kann durch Rotation (zirkular polarisierte Emission) eine gleichmäßige Belastung der Fensterfläche erreicht werden.

Im folgenden werden Ausführungsbeispiele der Erfindung unter Bezugnahme auf die Zeichnungen näher erläutert, in denen die Figuren 1 bis 4 etwas schematisierte Axialschnitte von vier verschiedenen

Ausführungsformen der Kopplungsvorrichtung (Mikrowellenfensteranordnung) gemäß der Erfindung zeigen. Alle dargestellten Ausführungsformen sind rotationssymmetrisch.

Die in Fig. 1 dargestellte Mikrowellenfensteranordnung (10) enthält ein zylindrisches Rohr (12) aus einem dielektrischen, möglichst verlustarmen, mikrowellendurchlässigen Material, wie z. B. Hochfrequenzkeramik, Al_2O_3 , SiO_2 oder Quarzglas. Das Rohr (10) bildet eine fluchtende Fortsetzung eines Hohlleiters (14), der einen kreisförmigen Querschnitt hat und den Ausgangshohlleiter einer Mikrowellenquelle, z.B. eines Gyrotrons oder eines Freielektronenlasers bilden kann. Das eine Ende des dielektrischen Rohres (12) ist vakuumdicht mit dem Ende des Hohlleiters (14) verbunden. Am anderen Ende des Rohres (12) ist ein in das Innere des Rohres vorspringender, in erster Näherung konusförmiger Reflektor (16) vakuumdicht angeschmolzen. An dem mit dem Rohr (12) verbundenen Ende des Hohlleiters (14) ist ferner außen ein becherartiger Hohlleiterabschnitt (18) angebracht, der das Rohr (12) mit Abstand umgibt, über dessen Ende hinausreicht und ein dem Hohlleiter (14) abgewandtes offenes Ende (20) hat, das z. B. mit einem Hohlleiter (22) vergrößerten Querschnitts, der zu einem Verbraucher für die Mikrowellenleistung führt, verbunden sein oder als eine Art von Hornstrahler wirken kann.

Der aus Metall bestehende Hohlleiterabschnitt (18) hat eine polierte, reflektierende, etwa tulpenförmige Innenwand (24), die im Bereich, der dem Rohr (12) gegenüberliegt, im Querschnitt gemäß einer Funktion $f_1(z)$ verläuft, wobei z die Axialrichtung bedeutet. Die Innenwand (24) hat z. B. einen etwa kalottenförmigen Teil angrenzend an den Hohlleiter (14), anschließend einen kurzen, annähernd zylindrischen Teil und schließlich einen sich gemäß einer stetigen Kurve erweiternden Teil, der ein achsparalleles Ende hat. Der aus Metall oder Keramik bestehende Reflektor (16) hat eine reflektierende, glatte innere Oberfläche (26), die in Richtung auf den Hohlleiter (14) spitz zuläuft und von der Achse nach außen konkav entsprechend einer zweiten Funktion $f_2(z)$ verläuft. Die Funktionen $f_1(z)$ und $f_2(z)$ werden so gewählt, daß die vom Hohlleiter (14) mit einer Mode des Typs TE_{mn} auf die Oberfläche (26) des Reflektors (16) auftreffende Mikrowellenstrahlung nach Durchgang durch das als eigentliches Fenster wirkende Rohr (12) an der Oberfläche (24) des Hohlleiterabschnittes (18) in sich selbst oder eine wohldefinierte Nachbar-Mode (TE'_{mn}) übergeführt wird, weitere Nebenmoden zu einem Minimum gemacht und zugleich auch rücklaufende Wellen minimiert werden. Die Fensterstruktur gemäß Fig. 1 eignet sich für TE_{on} -

Moden sowie (gegebenenfalls rotierende) TE_{mn} -Moden mit m größer als 0. Eine erste Bestimmung der Funktionen $f_1(z)$ und $f_2(z)$ kann mit Hilfe lichtoptischer Reflexionsversuche ermittelt werden.

Zur weiteren Optimierung kann sich ein Variationsverfahren, z.B. unter Verwendung von finiten Elementen anschließen. Die Optimierung kann mit Hilfe eines geeigneten Moden-Analysators (k-Spektrometer) hinsichtlich Reflexionen und Störmodenerzeugung durchgeführt und überprüft werden.

Die Mikrowellenfensteranordnung gemäß Fig. 2 unterscheidet sich von der gemäß Fig. 1 vor allem dadurch, daß der zur Fensterstruktur führende Hohlleiter (114) einen Erweiterungsabschnitt (115) aufweist, dessen Durchmesser stetig zunimmt und dessen Innenwand entsprechend einer Funktion $f_3(z)$ verläuft. Das Ende des erweiterten Abschnittes (115) ist dicht mit einem als Fenster dienenden Keramikrohr (112) und einem becherförmigen Abschnitt (118), der das Keramikrohr mit Abstand umgibt, verbunden. Das Rohr (112) hat hier also einen größeren Durchmesser als der ursprüngliche ankommende Hohlleiter (114). An dem dem Hohlleiter (114) abgewandten Ende ist wieder ein Reflektor (116) des anhand von Fig. 1 erläuterten Typs dicht angebracht, dessen Oberfläche durch eine Funktion $f_2(z)$ definiert ist.

Die Funktion $f_1(z)$ der reflektierenden Fläche des becherförmigen Hohlleiterabschnittes (118) und die Funktion $f_2(z)$ des Reflektors (116) sind so gewählt, wie es anhand von Fig. 1 für die Funktionen $f_1(z)$ und $f_2(z)$ erläutert wurde. Die Erweiterung (115) und der dadurch ermöglichte größere Durchmesser des Rohrs (112) ermöglichen eine Verringerung der Baulänge der Mikrowellenfenster-Anordnung, da eine dem vergrößerten Durchmesser entsprechend vergrößerte Fensterfläche pro Längeneinheit zur Verfügung steht. Die Funktion $f_3(z)$ wird in die Optimierung der Funktionen $f_1(z)$ und $f_2(z)$ einbezogen.

Die Ausführungsform gemäß Fig. 3 entspricht im wesentlichen der gemäß Fig. 1 mit der Ausnahme, daß der becherförmige Hohlleiterabschnitt (18) mit Anschlüssen (28) bzw. (30) zum Einleiten bzw. Abführen eines Gases zum Kühlen des Rohres (12) versehen ist. Diese Ausführungsform eignet sich beispielsweise für Durchgangsleistungen von 1 bis 2 MW.

Die Ausführungsform gemäß Fig. 4 ist für extrem hohe Durchgangsleistungen, z.B. in der Größenordnung von 10 MW und mehr geeignet. Die Fensteranordnung wird mit senkrecht stehender Achse betrieben und der Hohlleiterabschnitt (18) ist mit Anschlüssen (32, 34) zum Einlaß bzw. Auslaß einer dielektrischen Kühlflüssigkeit (36) geringer Dämpfung versehen, die eine freie

Flüssigkeitsoberfläche (38) bilden kann und in einem nicht dargestellten Kühlkreislauf umgewälzt wird. Als Kühlflüssigkeit eignet sich zum Beispiel reines Petroleum.

Typische Dimensionen für Frequenzen von ca. 60 bis 100 GHz sind:

Axiale Länge des Rohres (12) ca. 0,5 - 1 m;

Durchmesser des Rohres (12) ca. 50 - 100 mm;

Durchmesser des Austrittsendes des Hohlleiterabschnittes (18) ca. 100 - 200 mm.

Ansprüche

1. Fluiddichte Kopplungsvorrichtung für Mikrowellenstrahlung hoher Energie, mit einem Hohlleiter, der ein Einspeisungsende mit einer Mikrowellenquelle koppelbar ist, und ein Auskoppelende, das mit einem dielektrischen, für die Mikrowellenstrahlung durchlässigen Fenster fluiddicht verschlossen ist, aufweist, **dadurch gekennzeichnet**, daß das Fenster (12) die Form eines Rohres hat, das eine Fortsetzung des Hohlleiters (14) bildet, am einen Ende mit dessen Auskoppelende dicht verbunden ist und am anderen Ende durch einen in erster Näherung kegelförmigen Mikrowellenreflektor (16) dicht verschlossen ist, der die aus dem ihm gegenüberliegenden Auskoppelende des Hohlleiters (14) axial austretende Mikrowellenstrahlung nach der Seite durch das rohrförmige Fenster (12) reflektiert und daß das Fenster (12) mit einem näherungsweise becherförmigen Hohlleiterabschnitt (18) umgeben ist, der die durch das Fenster auf ihn fallende Mikrowellenstrahlung im wesentlichen in die Richtung reflektiert, in der die Mikrowellenstrahlung aus dem Auskoppelende des Hohlleiters (14) austritt.

2. Kopplungsvorrichtung nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, daß der Reflektor (16) die Form eines sich in Richtung auf das Auskoppelende des Hohlleiters (14) verjüngenden Rotationskörpers hat, dessen reflektierende Fläche (26) im Axialschnitt zwischen der Spitze und dem Rand zum Hohlleiter (14) hin konkav ist.

3. Kopplungsvorrichtung nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet**, daß der das rohrförmige Fenster (12) umgebende Hohlleiterabschnitt (18) eine etwa tulpenförmige reflektierende Innenfläche (24) hat.

4. Kopplungsvorrichtung nach Anspruch 1, 2 oder 3, **dadurch gekennzeichnet**, daß das Auskoppelende (115) des Hohlleiters (114) einen sich in Fortpflanzungsrichtung der Mikrowellen erweiternden Querschnitt aufweist und daß das rohrförmige Fenster (112) einen entsprechend großen Durchmesser hat (Fig. 2).

5. Kopplungsvorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **gekennzeichnet durch** eine Vorrichtung (28, 32) zum Zuführen eines Kühlfuids zur Außenseite des rohrförmigen Fensters (12).

6. Kopplungsvorrichtung nach Anspruch 5, **dadurch gekennzeichnet**, daß der das rohrförmige Fenster (12) umgebende Hohlleiterabschnitt (18) mit einer Zuleitung (32) sowie einer Ableitung (34) für ein dämpfungsarmes flüssiges Kühlmittel versehen ist.

7. Kopplungsvorrichtung nach Anspruch 6, **dadurch gekennzeichnet**, daß das rohrförmige Fenster (12) und der es umgebende Hohlleiterabschnitt (18) mit im wesentlichen senkrechter Achse angeordnet sind und die Kühlflüssigkeit im Hohlleiterabschnitt (18) eine freie Flüssigkeitsoberfläche (30) bildet (Fig. 4).

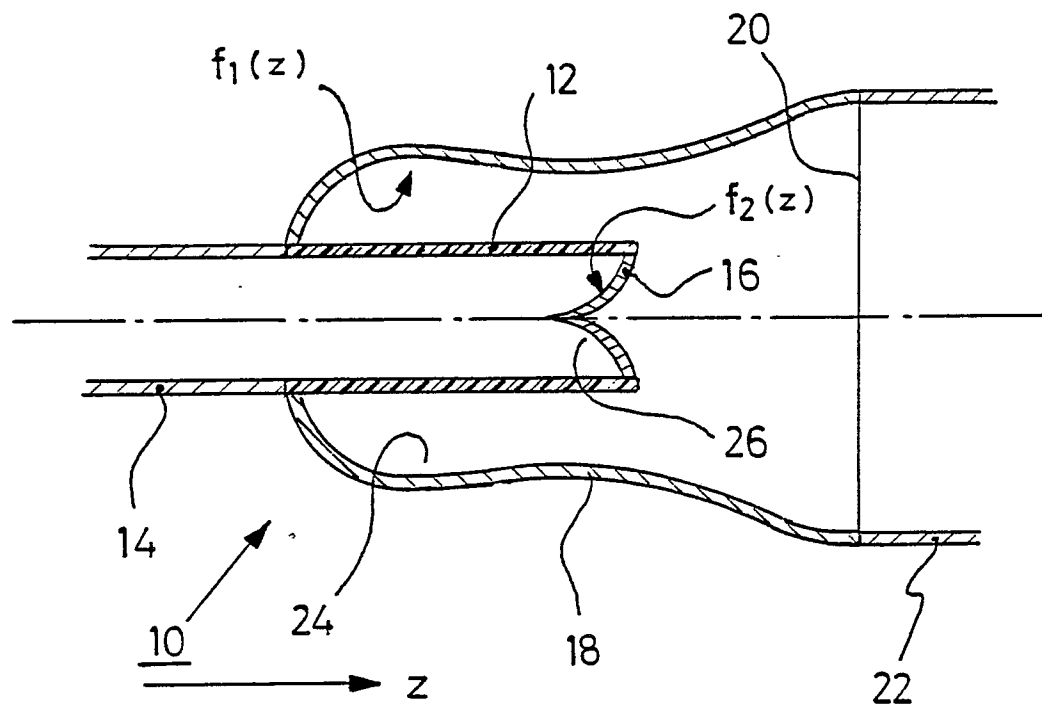


FIG. 1

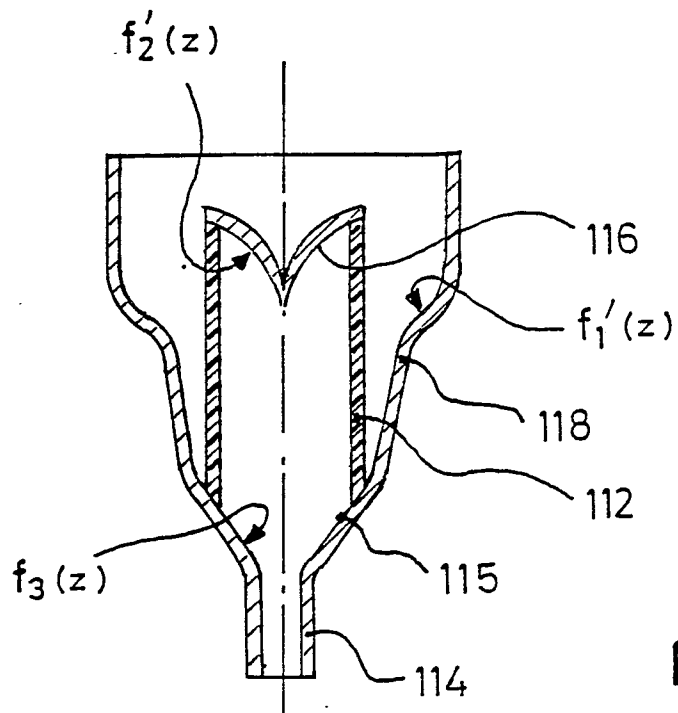


FIG. 2

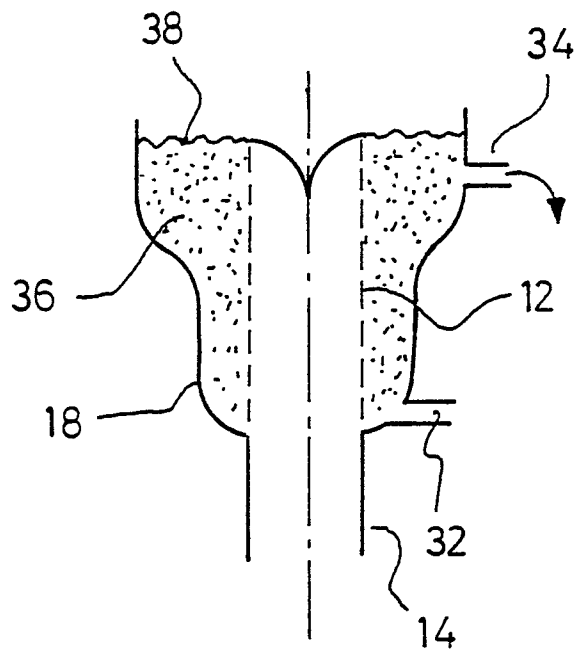


FIG. 4

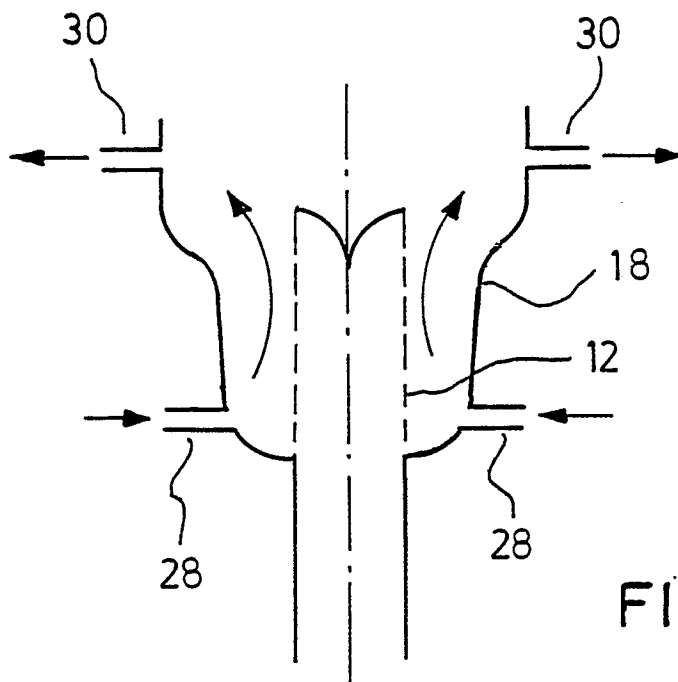


FIG. 3