



(12) Wirtschaftspatent

Erteilt gemäß § 17 Absatz 1 Patentgesetz

(19) **DD** (11) **248 904 A1**

4(51) H 01 J 37/08

AMT FÜR ERFINDUNGS- UND PATENTWESEN

In der vom Anmelder eingereichten Fassung veröffentlicht

(21) WP H 01 J / 288 960 8

(22) 10.04.86

(44) 19.08.87

(71) Technische Hochschule Karl-Marx-Stadt, 9010 Karl-Marx-Stadt, PSF 964, DD

(72) Hammer, Klaus, Dr. sc. techn.; Schmidt, Silvia, Dipl.-Phys.; Weber, Thomas; Weißmantel, Christian, Prof. Dr. habil., DD

(54) **Mikrowellen-Breitstrahl-Ionenquelle**

(57) Die Mikrowellen-Breitstrahl-Ionenquelle ist besonders für das physikalische und physikalisch-chemisch reaktive Ätzen von Halbleiteroberflächen, dem Reinigen von Substraten und zum Ionenstrahlspattern geeignet. Ziel und Aufgabe der Erfindung ist eine Mikrowellen-Breitstrahl-Ionenquelle, die bei einfachem technologischem Aufbau einen großflächigen Ionenstrahl erreicht, wobei die Anregung des Niederdruckplasmas ohne Glühkatode mit Mikrowellen erfolgt. Erfindungsgemäß wird die Aufgabe gelöst, indem ein zylindrischer Hohlraumresonator mit einem Höhe h zu Durchmesser d Verhältnis von h/d 0,7 als Entladungsraum vorhanden ist, der von einer kreisringförmigen Magnetspule umschlossen ist, deren Höhe der Höhe des Entladungsraumes entspricht. Fig. 1

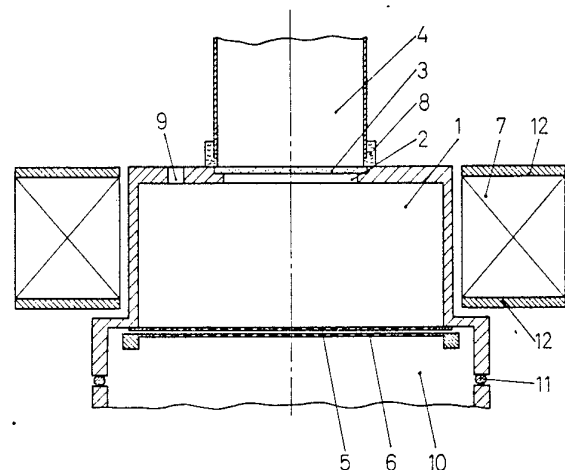


Fig. 1

Patentanspruch:

1. Mikrowellen-Breitstrahl-Ionenquelle zur Erzeugung eines großflächigen Ionenstrahles, bestehend aus einem Hohlraumresonator, einer Magnetspule und einem Extraktionssystem, **dadurch gekennzeichnet**, daß ein zylindrischer Hohlraumresonator (1) mit einer Höhe h zu Durchmesser d Verhältnis von h/d 0,7 als Entladungsraum vorhanden ist, der von einer kreisringförmigen Magnetspule (7) umschlossen ist, deren Höhe der Höhe des Hohlraumresonators (1) entspricht.
2. Mikrowellen-Breitstrahl-Ionenquelle nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, daß auf der Deckelseite des Hohlraumresonators (1) eine obere ringförmige Eisenplatte (13) aufliegt, währenddem zwischen unterer Deckelseite und Hohlraumresonator (1) die untere ringförmige Eisenplatte (14) eingeschoben ist, wobei der Innendurchmesser der unteren ringförmigen Eisenplatte (14) größer ist als der oberen und die Magnetspule (7) gegenüber der Höhe des Hohlraumresonators (1) verkürzt ist.
3. Mikrowellen-Breitstrahl-Ionenquelle nach Anspruch 1 und 2, **dadurch gekennzeichnet**, daß in den Hohlraumresonator (1) oberhalb der unteren ringförmigen Eisenplatte (14) ein zylindrischer Einsatz (16) eingeschoben ist, der auf der Seite zur Emissionselektrode (5) hin Diffusionsöffnungen (17) hat, die wesentlich größer sind als die Emissionsöffnungen und deren Dichte von innen nach außen zunimmt.
4. Mikrowellen-Breitstrahl-Ionenquelle nach Anspruch 1 und 2, **dadurch gekennzeichnet**, daß ein Gefäß aus dielektrischem Material, insbesondere ein Quarzglasgefäß (19) eingebracht ist.
5. Mikrowellen-Breitstrahl-Ionenquelle nach Anspruch 1, 2 und 4, **dadurch gekennzeichnet**, daß das Gefäß aus dielektrischem Material flacher ist als der Hohlraumresonator (1)

Hierzu 3 Seiten Zeichnungen

Anwendungsgebiet der Erfindung

Die Mikrowellen-Breitstrahl-Ionenquelle ist besonders für das physikalische und physikalisch-chemisch reaktive Ätzen von Halbleiteroberflächen, dem Reinigen von Substraten und zum Ionenstrahlspattern geeignet.

Charakteristik der bekannten technischen Lösungen

In der DE-OS 2237252 werden Ionenquellen beschrieben, bei denen in Hohlraumresonatoren verschiedener Typen hochfrequente elektromagnetische Felder mit einem statischen Magnetfeld bei Gleichheit der Gyrationfrequenz der Elektronen mit der Frequenz des elektromagnetischen Feldes überlagert werden. In die Hohlraumresonatoren eingebaut sind wesentlich kleinere Entladungsräume, so daß nur eine schwache Störung der Hohlraumresonanz auftritt. Ähnliche Ionenquellentypen werden noch in den EP 0028303 und DE-OS 3021221 beschrieben. Sie sind in den angegebenen Ausführungen auf Grund der kleinen Entladungsräume für Breitstrahl-Ionenquellen ungeeignet.

Eine Ionenquelle, bei der der Hohlraumresonator gleichzeitig als Entladungsraum dient, wird im J. Vac. Sci. Technol. 17, 5 (1980), 1247 angegeben. In diesem Fall wird ein H_{113} -Resonator genutzt, der aber große Abmessungen für den Entladungsraum und damit auch für die Magnetspulen erfordert, so daß gegenüber vergleichbaren Ionenquellentypen mit Glühkatode sehr schwere und wesentlich größere Ausführungen entstehen.

Ziel der Erfindung

Das Ziel der Erfindung ist eine Mikrowellen-Breitstrahl-Ionenquelle, die bei einfachem technologischem Aufbau einen großflächigen Ionenstrahl erreicht, so daß sie für unterschiedliche Anwendungsfälle in der Ätz- und Beschichtungstechnik eingesetzt werden kann.

Darlegung des Wesens der Erfindung

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, einen Mikrowellen-Breitstrahl-Ionenquelle bereitzustellen, bei der die Anregung des Niederdruckplasmas ohne Glühkatode mit hochfrequenten elektromagnetischen Wellen (Mikrowellen) erfolgt und aus der ein großflächiger Ionenstrahl extrahiert werden kann.

Erfindungsgemäß wird die Aufgabe gelöst, indem ein zylindrischer Hohlraumresonator mit einem Höhe h zu Durchmesser d Verhältnis von h/d 0,7 als Entladungsraum vorhanden ist, der von einer kreisringförmigen Magnetspule umschlossen ist, deren Höhe der Höhe des Entladungsraumes entspricht.

Die beschriebene Anordnung von Magnetspule und den gewählten Abmessungen des Hohlraumresonators bewirkt, daß auf Grund der Inhomogenität des statischen Magnetfeldes elektrische Feldstärkekomponenten des hochfrequenten elektromagnetischen Feldes und magnetische Feldstärkekomponenten des statischen Magnetfeldes senkrecht aufeinanderstehen, so daß sich Elektronen-Zyklotronen-Resonanz (ECR) zur Plasmaanregung ausbilden kann.

Der einfachste Wellentyp im zylindrischen Hohlraumresonator ist durch die Indizes $m = 0, n = 1, p = 0$ charakterisiert, die entsprechende Mode ist die E_{010} -Resonanz. Sie ist insofern bemerkenswert, als Resonatoren dieses Types völlig unabhängig von der Höhe immer dieselbe Resonanzfrequenz haben. Das gilt für alle E_{mnp} -Resonatoren mit $p = 0$. Es ist dadurch möglich, sehr flache Resonatoren aufzubauen, so daß die elektrische Feldstärke in axialer Richtung (E_z) zwischen Deck- und Bodenfläche des Hohlraumresonators groß und damit eine sichere Zündung der Entladung gewährleistet wird. Ein weiterer Vorteil der E_{010} -Welle ist, daß ihre Feldkomponenten streng rotationssymmetrisch sind. Bei entsprechender Rotationssymmetrie der Anordnung ist der Wellentyp deshalb sehr stabil. Die Anregung ist ohne technische Schwierigkeiten möglich. Das angegebene h/d -Verhältnis $\leq 0,7$ ermöglicht prinzipiell die Ausbildung weiterer Resonanzen ($E_{110}, E_{011}, H_{111}$); diese werden aber auf Grund der gewählten zentralen Einkopplung und der damit entstehenden Rotationssymmetrie unterdrückt. Die elektrischen Feldstärkekomponenten verlaufen alle axial. Da die magnetische Flußdichte zwar schwach inhomogen, aber ebenfalls axial verläuft, ist eine wirksame Plasmaanregung durch ECR von vornherein nicht zu erwarten.

Bei Zündung der Entladung ändern sich die Verhältnisse grundlegend. Auf Grund der hohen spezifischen Leitfähigkeit des Plasmas im Bereich der ECR sinkt die Güte des Hohlraumresonators hier sehr stark ab.

Ähnlich wie die Ausbreitungsbedingungen für die elektromagnetischen Wellen im Plasma, für die es ab einer charakteristischen Ionendichte zur Reflexion kommt, verhält sich die Güte des Hohlraumresonators. Abhängig von der Ionendichte und der Flußdichte des statischen Magnetfeldes bildet sich für die interessierenden Ionendichten ($n_i \geq 5 \cdot 10^{10} \text{ cm}^{-3}$) erst bei Flußdichten, die größer sind als die für die ECR erforderliche, eine Resonanzüberhöhung aus. Unterhalb der für die ECR erforderlichen magnetischen Flußdichten wirkt der Resonator wie ein Medium mit niedriger relativer Dielektrizitätskonstante ($\epsilon \approx 1$) und hoher spezifischer Leitfähigkeit; es kann sich keine Resonanzüberhöhung ausbilden. Bei magnetischen Flußdichten, die größer sind als die für ECR notwendige, nimmt die relative Dielektrizitätskonstante große Werte ($\epsilon_r > 1$) an. Prinzipiell können sich damit Resonanzen ausbilden. Beachtet man aber, daß mit der Vergrößerung von ϵ , eine Verkleinerung der Wellenlänge verbunden ist, wird auch in diesem Bereich keine Resonanz auftreten. Es findet eine Wellenausbreitung wie in dem freien Raum statt.

Diese physikalischen Zusammenhänge macht sich die Erfindung zunutze. In der beschriebenen Anordnung, in der eine kreisringförmige Magnetspule einen flachen Hohlraumresonator vom E_{010} -Typ umschließt, bewirkt die flache Bauweise beider Bauteile zwei Effekte. Es wird, wie bereits dargelegt, eine sichere Zündung der Entladung gewährleistet, und die flache Bauweise der Magnetspule bedingt ein Ansteigen der magnetischen Flußdichte im Bereich des Hohlraumresonators von der Mittelachse nach außen hin. Weiterhin ist der Verlauf der magnetischen Flußdichte im Hohlraumresonator nicht parallel zur Mittelachse, sondern nach außen zu immer stärker von ihr weggekrümmt. Das Gebiet, in dem ECR auftritt, ist dadurch auf einen schmalen Bereich beschränkt, der aber, abhängig von der magnetischen Flußdichte und damit vom Erregerstrom der Magnetspule, innerhalb des Hohlraumresonators verschoben werden kann. Es ist dadurch möglich, die Stromdichteverteilung des Ionenstrahles zu beeinflussen. Da die Ausbreitung der elektromagnetischen Wellen bei magnetischen Flußdichten oberhalb der ECR nicht mehr den Resonanzbedingungen gehorcht, sondern wie eine Wellenausbreitung in den freien Raum erfolgt und der Verlauf der magnetischen Flußdichtelinien gekrümmt ist, sind auch immer ausreichend Gebiete vorhanden, in denen ECR auftritt, so daß eine effektive Plasmaanregung gegeben ist.

Ein weiterer Vorteil der schwach inhomogenen magnetischen Flußdichteverteilung ist, daß die sehr selektive ECR auch bei magnetischen Flußdichteänderungen, wie sie z. B. durch Netzspannungsschwankungen auftreten, erhalten bleibt und damit das Plasma nicht verlischt.

Zur Optimierung des magnetischen Kreises ist es oft zweckmäßig, den magnetischen Fluß in einem Eisenkreis zu führen. Ein Eisenkreis in Form von auf den Deckel und an der Unterseite des Hohlraumresonators angebrachten kreisringförmigen Eisenplatten führt in der Homogenitätsverteilung der magnetischen Flußdichte zu ähnlichen Verhältnissen wie bei der bereits beschriebenen Luftspule, so daß dieselben physikalischen Effekte auftreten. Die Inhomogenität wird durch unterschiedliche Innendurchmesser gewährleistet, wobei aus Gründen der konstruktiven Ausführung die Eisenplatte auf dem Deckel den kleineren Innendurchmesser hat.

Um bei der Zündung der Entladung den Resonanzfall weitestgehend zu erhalten, erfolgt die Einkopplung der elektromagnetischen Wellen über ein Koppelloch. Als Bodenplatte des Hohlraumresonators dient zweckmäßigerweise die Emissionselektrode des Extraktionssystems.

In bestimmten Anwendungsfällen des Ionenstrahlzählers, wie z. B. dem Strukturätzen in der Mikroelektronik, sind keine sehr hohen Stromdichten, aber eine gute Homogenität der Ionenstromdichteverteilung des Ionenstrahles erforderlich. Diese schwierig zu erfüllende Forderung kann bei einer Mikrowellen-Ionenquelle mit ECR in der Art erfüllt werden, daß in den Hohlraumresonator noch ein Einsatz eingebracht wird. Dieser Einsatz hat auf der Bodenseite zur Emissionselektrode hin Öffnungen, die so verteilt sind, daß ihre Anzahl an den Stellen am geringsten ist, an denen die größte Ionendichte im Plasma auftritt.

Ausführungsbeispiel

Die Erfindung soll nachstehend an Ausführungsbeispielen erläutert werden. In den zugehörigen Zeichnungen zeigen

Fig. 1: eine Mikrowellen-Breitstrahl-Ionenquelle mit Luftspule,

Fig. 2: eine Mikrowellen-Breitstrahl-Ionenquelle mit Eisenkreis und dosenförmigem Einsatz und

Fig. 3: eine Mikrowellen-Breitstrahl-Ionenquelle mit Quarzglasgefäß.

Die in den Ausführungsbeispielen angegebenen Anordnungen beziehen sich auf eine Frequenz der Mikrowellen von 2,4 GHz. In der Anordnung nach Fig. 1 bildet ein E_{010} -Hohlraumresonator 1 mit einer Höhe h zu Durchmesser d Verhältnis von $h/d = 0,45$ bei einem Durchmesser von 20 cm den Entladungsraum. Einkoppelt werden die Mikrowellen über ein Koppelloch 2, das zur Vakuumabtrennung mit einer aufgeklebten Quarzglasscheibe 3 abgedeckt ist.

Zugeführt werden die Mikrowellen über ein E_{01} -Rundhohlleiter 4. Der Boden des Hohlraumresonators 1 ist die Emissionselektrode 5, die zusammen mit der Extraktionselektrode 6 das Extraktionssystem bildet. Da der Hohlraumresonator 1 an positives Hochspannungspotential angeschlossen ist, müssen der E_{01} -Rundhohlleiter 4 und die Magnetspule 7 über Isolierungen 8 von ihm elektrisch getrennt werden. Der Gaseinlaß erfolgt über die Gaseinlaßbuchse 9. Die Ionenquelle ist über

die Dichtung 11 an die Vakuumkammer 10 angeschlossen. Die Höhe der Magnetspule 7 entspricht mit 85 mm ungefähr der Höhe des Hohlraumresonators 1.

Zur Abführung der hohen auftretenden Verlustleistung sind Kühlplatten 12, die von Wasser durchströmt werden, beidseitig an die Magnetspule 7 angesetzt.

In dieser Ausführung werden mit einer Ionenquelle mit Hohlraumresonator 1 bei einer eingekoppelten Mikrowellenleistung von 400 W, einer erforderlichen Ampere-Windungszahl der Magnetspule 7 von 27 000 Ampere-Windungen und einem Erregerstrom von 15 A bei einer Extraktionsspannung von 800 V ca. 200 mA Ionenstrom extrahiert. Die Stromdichteverteilung des Ionenstromes ist über einen Durchmesser von ca. 10 cm homogen.

Fig. 2 zeigt ebenfalls eine Mikrowellen-Breitstrahl-Ionenquelle. In dieser Ausführung wird der magnetische Fluß über einen Eisenkreis mit einer oberen ringförmigen Eisenplatte 13 auf der Deckelseite, einer unteren ringförmigen Eisenplatte 14 auf der Bodenseite und einem Außenring 15 geleitet. Die untere ringförmige Eisenplatte 14 ist gegenüber dem Extraktionssystem angehoben, um eine zu starke Durchsetzung mit magnetischem Fluß in horizontaler Richtung zu vermeiden. Dieser führt bei anliegender Extraktionsspannung zu parasitären Entladungen im Extraktionssystem. In dieser Ausführung der Ionenquelle kann bei sonst gleichen Bedingungen und extrahiertem Ionenstrom wie in der ersten Ausführung der Erregerstrom der Magnetspule 7 auf 10 A abgesenkt werden.

Zur weiteren Homogenisierung der Ionenstromdichteverteilung, die aber mit einer Herabsetzung der Ionenstromdichte verbunden ist, kann in den Hohlraumresonator 1 ein dosenförmiger Einsatz 16 eingeschoben werden, der auf der Seite zur Emissionselektrode hin Diffusionsöffnungen 17 hat. Die Diffusionsöffnungen 17 müssen größer sein als die Emissionsöffnungen, so daß eine ungehinderte Diffusion des Plasmas in den Zwischenraum 18 stattfinden kann; ihr Durchmesser wurde zu 10 mm gewählt und ihre Dichteverteilung reziprok der gemessenen Ionendichteverteilung angepaßt. Mit einem derartigen Einsatz 16 aus Kupfer wurde bei einer Höhe des Zwischenraumes von ca. 10 mm die Homogenität der Ionenstromdichteverteilung von 10 cm auf 15 cm erweitert bei einer Absenkung der Ionenstromdichte auf die Hälfte. Eine Erhöhung des extrahierbaren Ionenstromes um ca. 10% wird mit der Anordnung nach Fig. 3 erreicht. In dieser Ausführungsform ist in den Hohlraumresonator 1 ein zur Emissionselektrode 5 hin offenes topfförmiges Quarzglasgefäß 19 eingesetzt.

Bei dieser Ausführung wird weiterhin die Wandzerstäubung im Entladungsraum herabgesetzt, so daß die Kontamination des Ionenstrahlers weiter verringert werden kann.

Eine Verbesserung der Zündbedingungen für die Entladung wird erreicht, wenn das Quarzglasgefäß 19; in dem die Plasmaentladung brennt, flacher ist als der Hohlraumresonator 1.

Wie aus der Darstellung nach Fig. 2 zu ersehen ist, läßt sich das Quarzglasgefäß 19 ohne technische Schwierigkeiten auch auf diese Ausführung einer Mikrowellen-Breitstrahl-Ionenquelle übertragen.

Die beschriebene Mikrowellen-Breitstrahl-Ionenquelle ist besonders zum Strukturätzen in der Mikroelektronik geeignet. Mit ihr wird eine Homogenität von $\pm 5\%$ über einen Ionenstrahldurchmesser von mindestens 10 cm erreicht. Auf Grund dessen, daß die Plasmaanregung ohne Glühkatode erfolgt, ist das Arbeiten mit reaktiven fluor- und chlorhaltigen Gasen möglich.

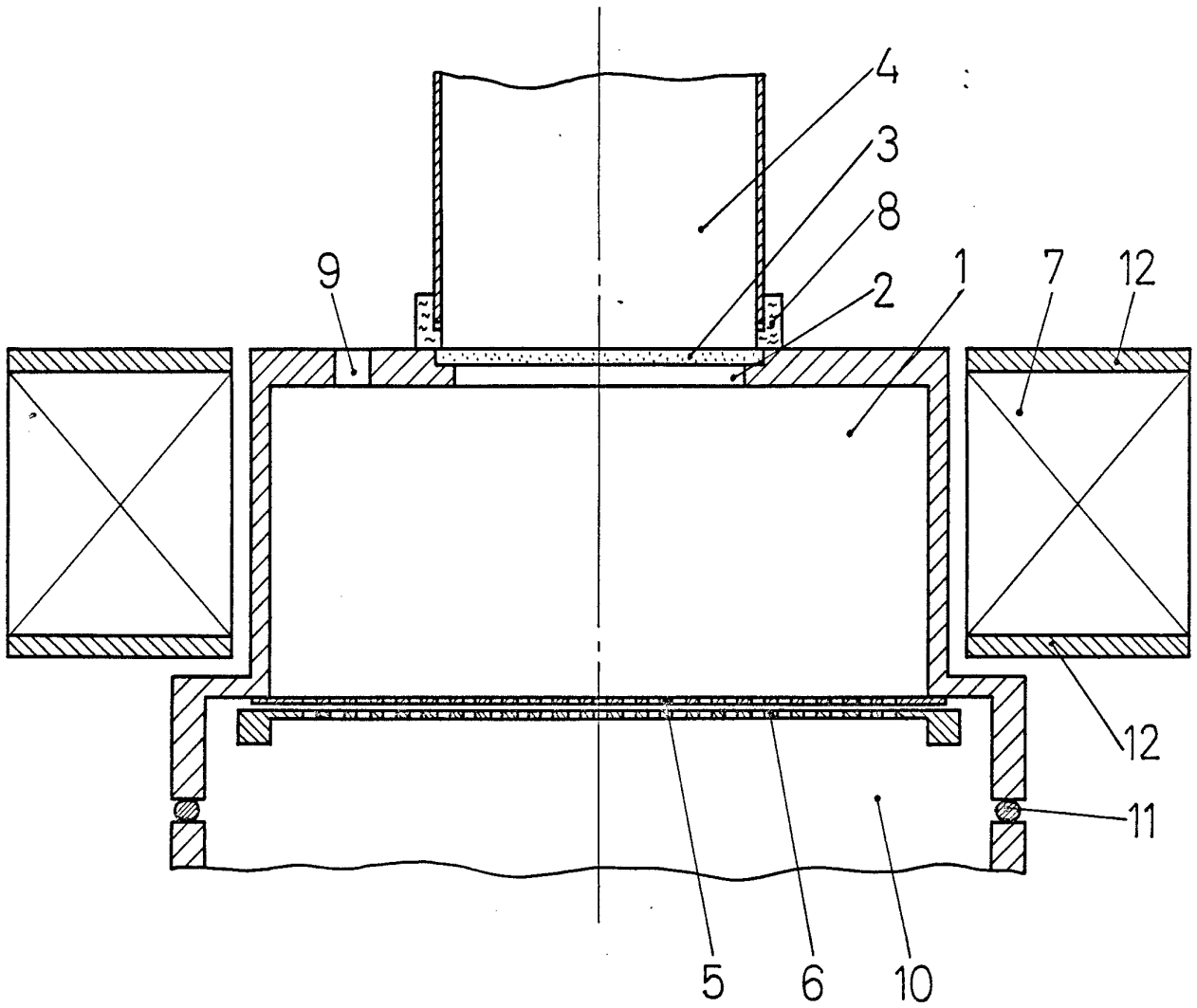


Fig. 1

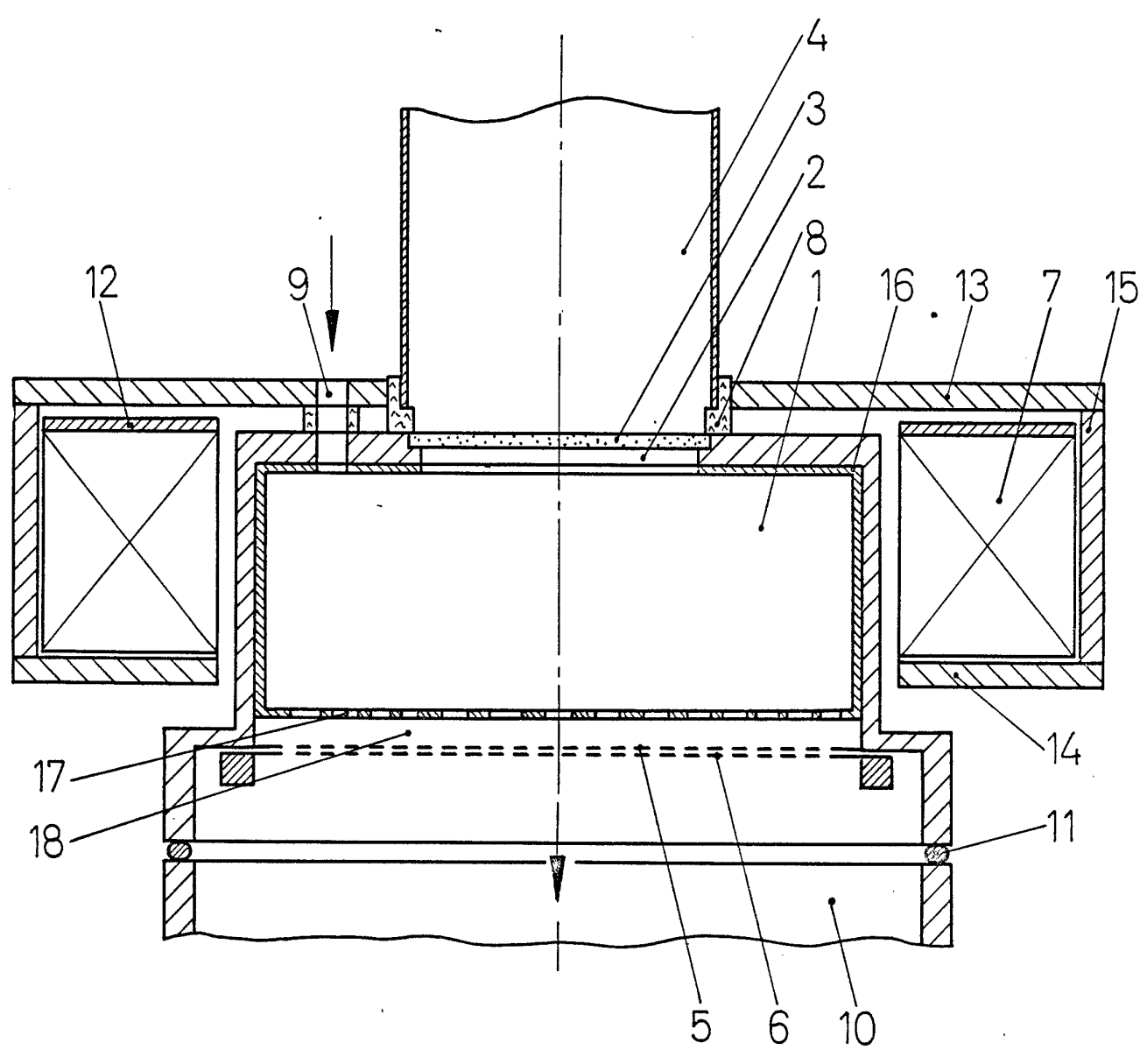


Fig. 2

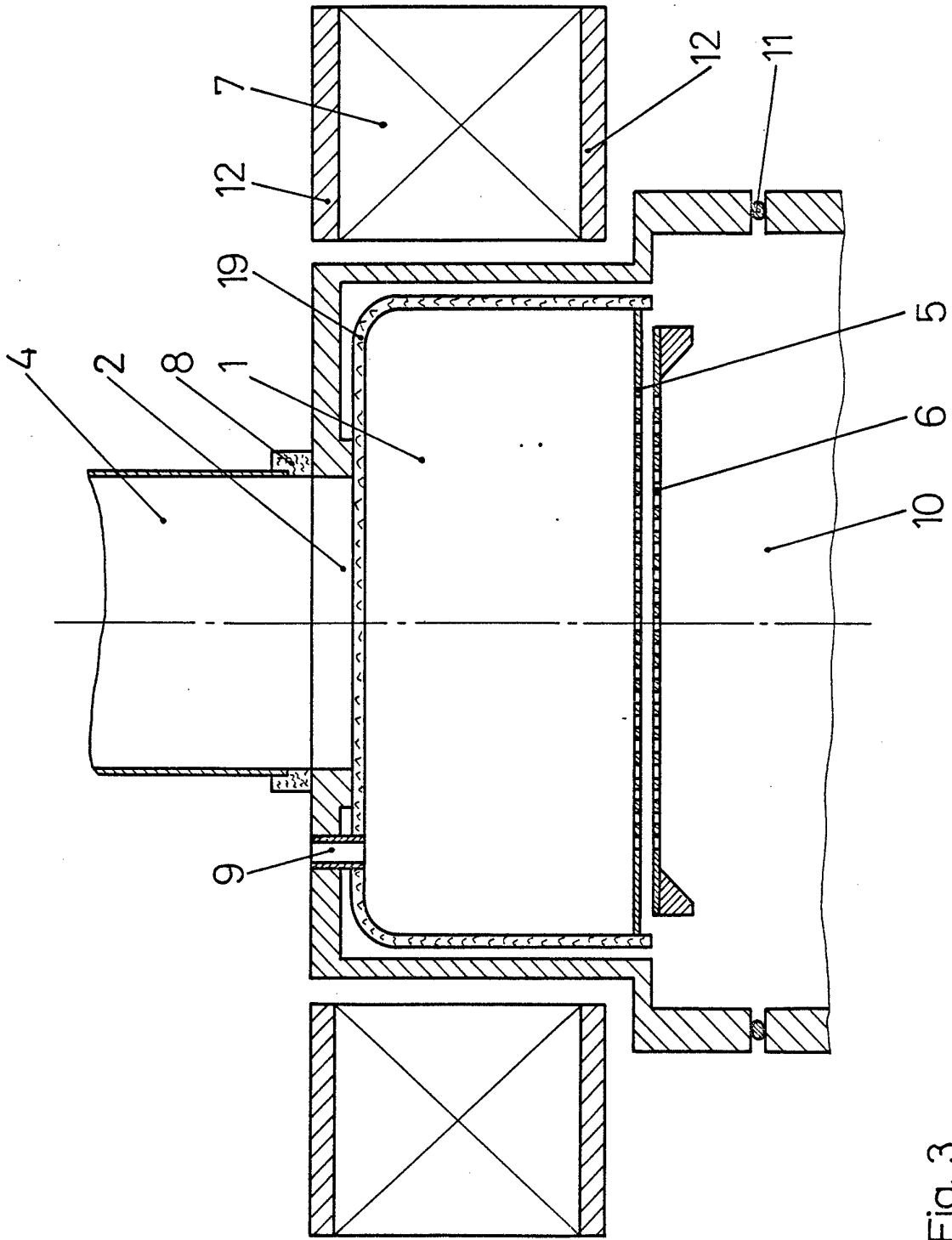


Fig. 3