

DEUTSCHE DEMOKRATISCHE REPUBLIK
AMT FÜR ERFINDUNGS- UND PATENTWESEN

PATENTSCHRIFT 150 318

Wirtschaftspatent

Erteilt gemäß § 29 Absatz 1 des Patentgesetzes

(11)	150 318	(45)	26.08.81	Int. Cl. ³ 3(51) C 23 C 15/00
(21)	WP C 23 C / 218 955	(22)	08.02.80	

-
- (71) VEB Elektromat im VEB Kombinat Mikroelektronik, Dresden, DD
- (72) Möller, Rainer, Dipl.-Ing.; Voigt, Reinhard, Dipl.-Phys.;
Kleinert, Michael, Dipl.-Chem., DD
- (73) siehe (72)
- (74) VEB Zentrum für Forschung und Technologie, Mikroelektronik,
8080 Dresden, Karl-Marx-Straße
-

- (54) Verfahren und Rohrreaktor zur plasmachemischen
Dampfphasenabscheidung und zum Plasmaätzen
-

(57) Die erfindungsgemäße Lösung kann für plasmachemische Dampfphasenabscheidungen sowie zum Plasmaätzen von unterschiedlichen Materialien, insbesondere zur Bearbeitung von Halbleitersubstraten eingesetzt werden. Ziel der Erfindung ist es, eine große Stückzahl Substrate auf ökonomische Weise plasmachemisch zu beschichten oder plasmachemisch zu ätzen. Gemäß der Erfindung ist der Rohrreaktor so ausgebildet, daß die Substrathalterung aus einem elektrisch leitenden Material besteht und mit einem Ausgang eines HF-Generators verbunden ist. Dadurch befinden sich alle auf der Substrathalterung parallel und im gleichen Abstand zueinander angeordneten Substrate auf gleichem HF-Potential. Die Substrathalterung ist von einer zylinderförmigen und mit dem anderen Ausgang des HF-Generators in Wirkungsverbindung stehenden Elektrode umgeben. -- Fig.4 --

Verfahren und Rohrreaktor zur plasmachemischen Dampfphasenabscheidung und zum Plasmaätzen

Anwendungsgebiet der Erfindung

Die erfindungsgemäße Lösung kann für plasmachemische Dampfphasenabscheidungen sowie zum Plasmaätzen von unterschiedlichsten Materialien, insbesondere zur Bearbeitung von Halbleitersubstraten eingesetzt werden.

Charakteristik der bekannten technischen Lösungen

Bekannte Lösungen zum plasmachemischen Ätzen benutzen als Reaktor ein dielektrisches Rohr, in dem die Scheiben axial oder radial angeordnet sind und das auf seinem Mantel Elektroden zur induktiven (Spule) oder kapazitiven (Platten) Ankopplung der HF-Energie besitzt. (z. B. US P 4141811) Die Scheiben sind nach dem Zünden des Plasmas, diesem völlig ausgesetzt. Bei Verwendung dieser Vorrichtung wird die Energie der einzelnen Plasmabestandteile vor allem auf die Peripherie der zu bearbeitenden scheibenförmigen Substrate konzentriert. (IPC Product Bulletin 7101).

Es ist auch bekannt, daß die Substrate außerhalb des aktiven Plasmas angeordnet sind, um die oben genannten Nachteile zu vermeiden.

Ein entsprechender Rohrreaktor ist in der DT OS 2536871 beschrieben und besteht aus einem Reaktionsrohr mit außen aufgebrachten Elektroden und einem eingebrachten

perforierten Metallzylinder, in dem sich die zu ätzenden Substrate in einer isolierenden Halterung befinden. Der perforierte Zylinder begrenzt das Plasma, das nur im Raum zwischen Reaktorinnenwand und dem perforierten Metallzylinder brennt. So werden Ionen, Elektronen und Strahlung von den Substraten ferngehalten, während die freien Radikale mit ihrer relativ großen Lebensdauer infolge einer geeigneten Gasführung durch die Löcher des Metallzylinders die Plasmaregion verlassen und auf die Oberfläche der im Ätztunnel angeordneten Substrate gelangen können.

Ein wesentlicher Nachteil eines solchen Rohrreaktors ist sein isotropes Ätzverhalten, das besonders beim Strukturierungsätzen kleinster Strukturen stört. Die Gleichheit der Ätzrate in vertikaler und horizontaler Richtung bewirkt ein Unterätzen der Ätzmasken und somit ein Verbreitern der Ätzstrukturen.

Neue experimentelle Untersuchungen zeigen, daß einige für den Ätzprozeß im Plasma wichtige freie Radikale eine extrem kurze Lebensdauer besitzen und deshalb in einem Reaktor, mit von den Substraten räumlich getrennter Plasmaerzeugung, für den Ätzprozeß ausfallen. Diese Radikale sind zum Ätzen bestimmter Stoffe - z. B. Aluminiumschichten - jedoch unbedingt erforderlich.

Es sind auch Planarreaktoren bekannt (z. B. DE-OS 2708 720), die ein anisotropes Ätzverhalten mit starker Unterdrückung des lateralen Ätzens besitzen und bei denen sich die Substrate unmittelbar in der Plasmazone befinden. Ein solcher Reaktor ist jedoch wesentlich aufwendiger als ein einfacher Rohrreaktor und weist ferner eine wesentlich geringere Aufnahmekapazität an Substraten auf.

Für die plasmachemische Schichtabscheidung werden die beschriebenen Rohrreaktoren nicht eingesetzt, da die in einfachen Reaktoren erfolgende starke Aktivierung der peripheren Bereiche eine starke Schichtabscheidung am Rande der Scheiben bewirkt, während die Abscheiderate zum

Zentrum derselben stark abfällt. Derartig ungleichmäßig beschichtete Substrate sind nicht weiterverwendbar. Reaktoren mit von der Plasmaregion räumlich getrennter Substratanordnung sind für die Schichtabscheidungen nicht verwendbar, weil auf dem Weg von der Anregung der Reaktionsgase im Plasmabereich bis zu den Substraten eine vorzeitige homogene Reaktion in der Gasphase stattfindet, die zur unerwünschten Partikelbildung und somit zur Qualitätsminderung der Schichten führt.

Daher werden für die plasmachemische Schichtabscheidung aufwendige Planarreaktoren eingesetzt (DE 2251571), in denen Plasma- und Substratzone nicht voneinander getrennt sind. Diese haben den großen Nachteil, daß nur eine geringe Stückzahl von Substratscheiben auf der Planarelektrode Platz finden.

Ziel der Erfindung

Ziel der Erfindung ist es, eine große Stückzahl Substrate auf ökonomische Weise plasmachemisch zu beschichten oder plasmachemisch zu ätzen.

Darlegung des Wesens der Erfindung

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, einen Rohrreaktor so zu gestalten, daß scheibenförmige Substrate gleichmäßig mit dem Plasma eines Reaktionsgases beaufschlagt werden und eine plasmachemische Schichtabscheidung oder plasmachemische Ätzung über die gesamte Substratfläche gleichmäßig erfolgt.

Die Aufgabe schließt ein vorteilhaftes Arbeitsverfahren zur Betreibung des Rohrreaktors ein.

Erfindungsgemäß wird die Aufgabe dadurch gelöst, daß die Substrathalterung aus einem elektrisch leitenden Material besteht und mit einem Ausgang eines HF-Generators verbunden ist. Dadurch befinden sich alle auf der Substrat-

halterung parallel und im gleichen Abstand zueinander angeordneten Substrate auf gleichem HF-Potential. Die Substrate sind auf der gesamten Länge, in der sie im Rohrreaktor angeordnet sind, von einer gegenüber der Substrathalterung isolierten und mit dem anderen Ausgang des HF-Generators verbundenen zylinderförmigen Elektrode umgeben.

Erfindungsgemäß ist zwischen dem aus einem Isoliermaterial bestehenden Außenrohr des Rohrreaktors und der Substrataufnahme ein perforierter Metallzylinder als zylinderförmige Elektrode angeordnet, wobei zwischen Außenrohr und zylinderförmige Elektrode die Gaszu- und Gasabführung angeordnet sind.

Eine weitere Ausführungsform besteht darin, daß die Gaszu- und Gasabführung innerhalb der zylinderförmigen Metallelektrode angeordnet sind. Dabei befinden sich vorzugsweise das Gaszu- und Gasabführungsrohr auf dem gleichen Potential wie die zylinderförmige Elektrode, die den Substratstapel umgibt.

Vorteilhafterweise ist die Gaszu- und Gasabführung in die zylinderförmige Elektrode integriert. Vorzugsweise besteht diese aus einem doppelwandigen topfförmigen Zylinder, dessen Innenwand mit Gasein- und Gasaustrittsöffnungen versehen ist.

Ferner sieht die Erfindung vor, daß das Außenrohr des Rohrreaktors aus Metall oder aus einem anderen leitfähigen Material besteht und durch Anschluß an einem Ausgang des HF-Generators als zylinderförmige Elektrode ausgebildet ist, in der die mit dem anderen Ausgang des HF-Generators in Wirkungsverbindung stehende Substrathalterung angeordnet ist. Zur Sicherheit des Bedienungspersonals ist dabei die zylinderförmige Elektrode mit dem Massepotential des HF-Generators verbunden.

Zur Verbesserung der Gleichmäßigkeit der Substratbearbeitung ist die Substrathalterung drehbar im Rohrreaktor angeordnet.

Zur Erhöhung der Produktivität des Rohrreaktors sind die Substrate erfindungsgemäß paarweise mit den nicht zu bearbeitenden Flächen direkt aneinander liegend parallel und im gleichen Abstand zueinander in der Substrathalterung angeordnet. Eine erhebliche Vereinfachung der Gaszu- und Gasabführung ergibt sich, wenn die Substrate mit ihrer Flächennormalen senkrecht zur Rohrlängsachse im Rohrreaktor angeordnet sind.

Das erfindungsgemäße Verfahren zum Betreiben des Rohrreaktors zeichnet sich dadurch aus, daß ein Gasstrom in die von 4,5 - 20 mm gewählten Zwischenräume der Substrate so gerichtet wird, daß er den Substratstapel quer durchströmt und sich im Reaktionsrohr ein Druck im Bereich von 0,01 - 1 KPa aufbaut. Der Abstand der zylinderförmigen Elektrode zur peripheren Begrenzung der Substrate bzw. Substrathalterung wird größer als der Abstand der Substrate zueinander gehalten. Zur Erzeugung eines intensiven und gleichmäßigen Plasmas zwischen den Substraten, werden diese mit einer HF-Energiedichte im Bereich von 0,1 - 0,5 W/cm² Scheibenoberfläche beaufschlagt.

Die Vorteile der erfindungsgemäßen Lösung bestehen darin, daß eine hochqualitative Schichtabscheidung oder Schichtätzung in einfachen, von außen in üblicher Weise wahlweise beheizbaren Rohrreaktoren durchgeführt werden kann, was vorher nur in aufwendigen Planarreaktoren möglich war. Ferner übertrifft die Produktivität der erfindungsgemäß ausgestalteten Rohrreaktoren die von Planarreaktoren auf Grund der stapelförmigen Anordnung der Substrate und der damit verbundenen maximalen Nutzung des Reaktionsraumes wesentlich.

Bei der Schichtabscheidung ist es weiter von großem Vorteil, daß die Substratheizung außerhalb des Reaktionsrohres untergebracht werden kann. Dieses Prinzip ist in den weit verbreiteten Niederdruck-CVD-Anlagen (LPCVD-Anlagen) verwirklicht. Diese Anlagen können auf einfache Weise durch Nachrüstung mit den erfindungsgemäßen Merk-

malen zu leistungsfähigen Rohrreaktoren zur plasmachemischen Schichtabscheidung bzw. Schichtätzung umgerüstet werden.

Ausführungsbeispiele

Die Erfindung soll an Hand von vier Vorrichtungsbeispielen und einem Verfahrensbeispiel zum Betreiben des Rohrreaktors näher erläutert werden.

In der Zeichnung zeigt

- Fig. 1 einen Rohrreaktor mit perforierter zylinderförmiger Elektrode
- Fig. 2 einen Rohrreaktor mit Zylinderelektrode
- Fig. 3 einen Rohrreaktor mit doppelwandiger Zylinderelektrode
- Fig. 4 eine vertikal aufgebaute Ätzvorrichtung mit Metallaußenrohr als Rohrreaktor

In Fig. 1 ist ein Rohrreaktor zur Abscheidung von Schichten dargestellt. Die in den Rohrreaktor ein- und ausfahrbare Substrathalterung 2 besteht aus einem elektrisch leitenden Material und ist mit einem Ausgang des HF-Generators 4 verbunden. Die mit Substraten 1 bestückte Substrathalterung 2 ist in dem aus Isoliermaterial bestehenden Außenrohr 3 des Rohrreaktors mittels Gegenlager 9 drehbar gelagert. Eine gegenüber der Substrathalterung 2 isoliert angeordnete perforierte zylinderförmige Elektrode 12 ist mittels Abstandsringen 13 im Außenrohr 3 befestigt und umgibt die Substrathalterung 2 auf der gesamten mit Substraten bestückten Länge. Die Elektrode 12 ist mit dem anderen Ausgang des HF-Generators 4 verbunden. Der Anschluß des HF-Generators 4 an die Substrathalterung 2 erfolgt über die HF-Drehdurchführung 6. Die Zylinderelektrode 12 befindet sich auf Massepotential. Das Gaszuführungsrohr 7 und das Gasabführungsrohr 8 sind zwischen perforierter Elektrode 12 und dem Außenrohr 3 angeordnet.

Das Außenrohr 3 ist von einer Heizung 5 umgeben. Am Rohrreaktor ist eine Absaugleitung 10 durch ein Gewindeflansch 11 angeschlossen.

Im Ausführungsbeispiel gemäß Fig. 2 ist bei sonst gleicher Anordnung die perforierte Elektrode 12 durch eine Zylinderelektrode 14 ersetzt und die Gasführung verändert. Das Gaszuführungsrohr 7 liegt innerhalb der Zylinderelektrode 14, die auf der gegenüberliegenden Seite einen Gasauslaßschlitz 15 besitzt. Die hintere Stirnseite der Zylinderelektrode 14 ist verschlossen, damit sich die gewünschte Strömungsrichtung quer durch den Substratstapel einstellt.

Im Ausführungsbeispiel gemäß Fig. 3 ist eine doppelwandige topfförmige Zylinderelektrode 16 mittels isolierenden Abstandsringen 17 im Außenrohr 3 angeordnet. Die Gaszu- und Gasabführung ist in die Zylinderelektrode 16 integriert. Die eine Hälfte des Raumes zwischen den Wänden der doppelwandigen Zylinderelektrode 16 dient der Gaszuführung, während durch die andere das Gas abgeführt wird. Die Gaseintritts- und Gasaustrittsöffnungen sind flächenförmig über jeweils einen Halbzylinder der Zylinderelektrode 16 verteilt, dadurch erfolgt eine gleichmäßige Beschichtung der Substrate, so daß auf eine Substratbewegung verzichtet werden kann. Hierbei ergibt sich eine einfache HF-Durchführung 18 für diesen Rohrreaktor.

Im Ausführungsbeispiel gemäß Fig. 4 ist eine vertikal aufgebaute Ätzvorrichtung dargestellt. Das Außenrohr 3 des Rohrreaktors besteht aus Metall und ist gleichzeitig als Zylinderelektrode ausgebildet und mit dem Massepotential des HF-Generators 4 verbunden. Die Gaszu- und Gasabführung erfolgt über am Rohrreaktor außen angeordnete Wirbelkammern 19.

Die Substrate 1 sind bei allen Ausführungsbeispielen in der Substrathalterung 2 parallel und im gleichen Abstand zueinander mit der Flächennormalen parallel zur Rohrlängsachse angeordnet. Zur besseren Ausnutzung des Reak-

torraumes können die Substrate 1 auch paarweise mit den nicht zu bearbeitenden Flächen direkt aneinander liegend auf gleicher Weise in der Substrathalterung 2 angeordnet werden.

Eine weitere in der Zeichnung nicht dargestellte Möglichkeit der Substratanordnung besteht erfindungsgemäß darin, daß die Substrate mit ihrer Flächennormalen senkrecht zur Rohrlängsachse im Rohrreaktor angeordnet werden. Hierbei ergibt sich ein sehr geringer Aufwand für die Gaszu- und Gasabführung im Rohrreaktor.

Zum Betreiben des Rohrreaktors wird der Gasstrom des jeweiligen Reaktionsgases in die von 4,5 - 20 mm gewählten Zwischenräume der Substrate so gerichtet, daß er den Substratstapel quer durchströmt und sich dabei im Reaktionsrohr ein Druck im Bereich von 0,01 - 0,5 KPa aufbaut. Der Abstand der zylinderförmigen Elektrode zur peripheren Begrenzung der Substrate bzw. Substrathalterung wird größer als der Abstand der Substrate zueinander gehalten. Zur Erzeugung eines intensiven und gleichmäßigen Plasmas zwischen den Substraten werden diese mit einer HF-Energiedichte im Bereich von 0,1 - 0,5 W/cm² Scheibenoberfläche beaufschlagt.

Unter diesen Bedingungen bildet sich über die gesamte Scheibenoberfläche - und nur dort - ein gleichmäßiges, intensives Plasma aus, was in Verbindung mit der kurzen Gasführung quer durch den Substratstapel zu einer gleichmäßigen Bearbeitung (Ätzung oder Beschichtung) der gesamten Scheibencharge führt.

Erfindungsanspruch

1. Rohrreaktor zur plasmachemischen Dampfphasenabscheidung und zum Plasmaätzen, der im wesentlichen aus einem wahlweise beheizbaren mit einer Gaszu- und Gasableitung sowie mit Anschlüssen für die zur Plasmaerzeugung notwendigen Hochfrequenzenergie versehenen Rohr besteht, in dem eine ein- und ausfahrbare Substrathalterung angeordnet ist, dadurch gekennzeichnet, daß die Substrathalterung aus einem elektrisch leitenden Material besteht und mit einem Ausgang eines HF-Generators verbunden ist, so daß sich alle auf der Substrathalterung parallel und im gleichen Abstand zueinander angeordneten Substrate auf gleichem HF-Potential befinden und daß diese in der gesamten Länge, in der im Rohrreaktor Substrate angeordnet sind, von einer gegenüber der Substrathalterung isolierten und mit dem anderen Ausgang des HF-Generators verbundenen zylinderförmigen Elektrode umgeben sind.
2. Rohrreaktor nach Punkt 1, dadurch gekennzeichnet, daß zwischen dem aus einem Isoliermaterial bestehenden Außenrohr des Rohrreaktors und der Substrataufnahme ein perforierter Metallzylinder als zylinderförmige Elektrode angeordnet ist, wobei zwischen Außenrohr und zylinderförmiger Elektrode die Gaszu- und Gasabführung angeordnet ist.
3. Rohrreaktor nach Punkt 1 und 2, dadurch gekennzeichnet, daß die zylinderförmige Elektrode aus einem Metallzylinder besteht und die Gaszu- und Gasabführung innerhalb der zylinderförmigen Elektrode angeordnet ist.
4. Rohrreaktor nach Punkt 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß die Gaszu- und Gasabführung in der zylinderförmigen Elektrode integriert ist.

5. Rohrreaktor nach Punkt 4, dadurch gekennzeichnet, daß die zylinderförmige Elektrode aus einer doppelwandigen mit Gasein- und Gasaustrittsöffnungen versehenen topfförmigen Elektrode besteht.
6. Rohrreaktor nach Punkt 1, dadurch gekennzeichnet, daß das Außenrohr des Rohrreaktors aus Metall oder einem anderen leitfähigen Material besteht und durch Anschluß an einem Ausgang des HF-Generators als zylinderförmige Elektrode ausgebildet ist, in der die mit dem anderen Ausgang des HF-Generators in Wirkungsverbindung stehende Substrathalterung isoliert angeordnet ist.
7. Rohrreaktor nach Punkt 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß die Substrathalterung drehbar im Rohrreaktor angeordnet ist.
8. Rohrreaktor nach Punkt 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, daß die zylinderförmige Elektrode mit dem Massepotential des HF-Generators verbunden ist.
9. Rohrreaktor nach Punkt 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, daß die Substrate paarweise mit den nicht zu bearbeitenden Flächen direkt aneinander liegend parallel und im gleichen Abstand zueinander in der Substrathalterung angeordnet sind.
10. Rohrreaktor nach Punkt 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, daß die Substrate mit ihrer Flächennormalen senkrecht zur Rohrlängsachse im Rohrreaktor angeordnet sind.
11. Verfahren zum Betreiben des Rohrreaktors nach Punkt 1 bis 10, dadurch gekennzeichnet, daß ein Gasstrom in die von 4,5 - 20 mm gewählten Zwischenräume der Sub-

strate so gerichtet wird, daß er den Substratstapel quer durchströmt und sich dabei im Reaktionsrohr ein Druck im Bereich von 0,01 - 1 KPa aufbaut, wobei der Abstand der zylinderförmigen Elektrode zur peripheren Begrenzung der Substrate bzw. Substrathalterung größer als der Abstand der Substrate zueinander gehalten wird und zur Erzeugung eines intensiven und gleichmäßigen Plasmas zwischen den Substraten werden diese mit einer HF-Energiedichte im Bereich von 0,1 - 0,5 W/cm² Scheibenoberfläche beaufschlagt.

Hierzu 4 Seiten Zeichnungen

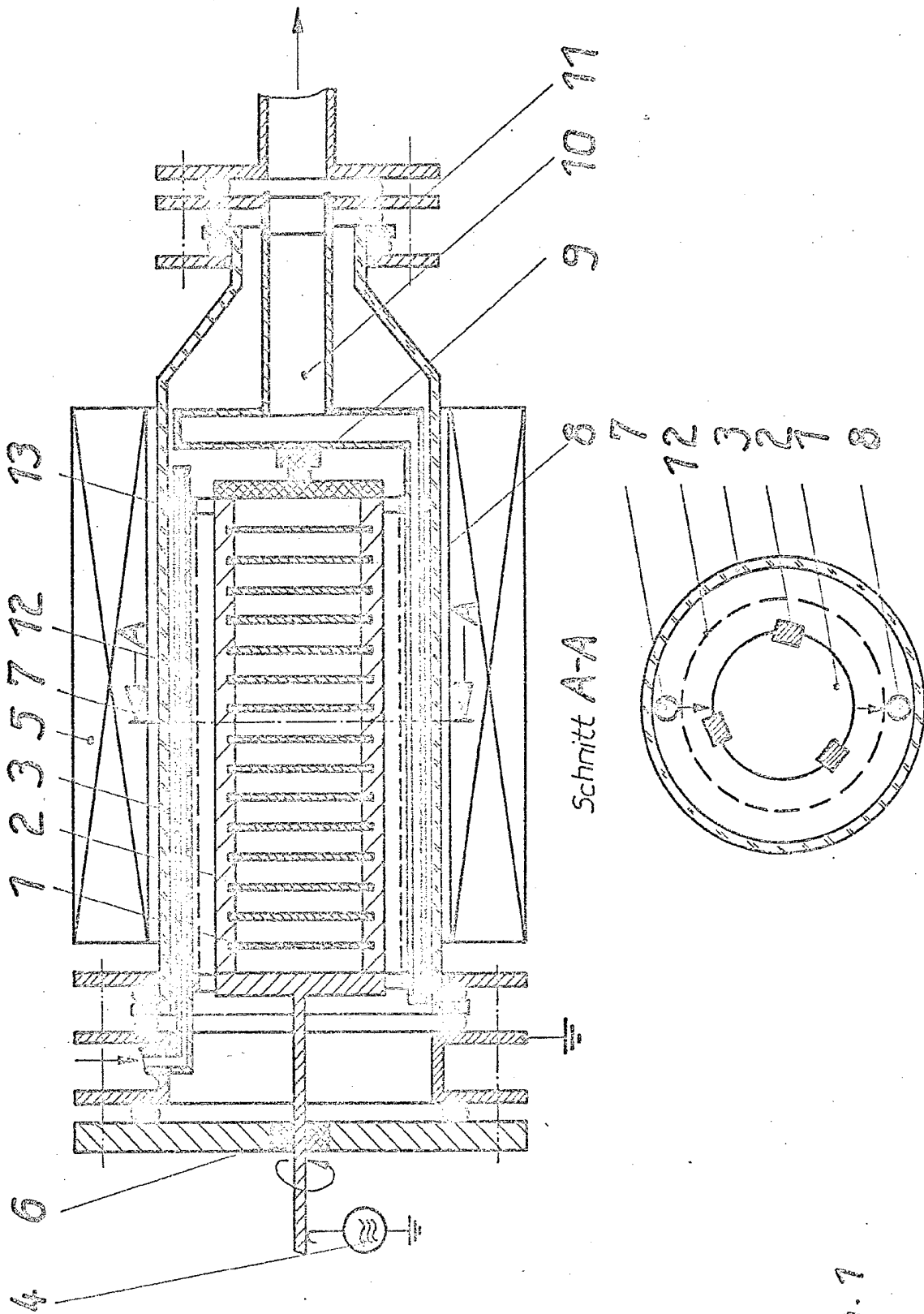
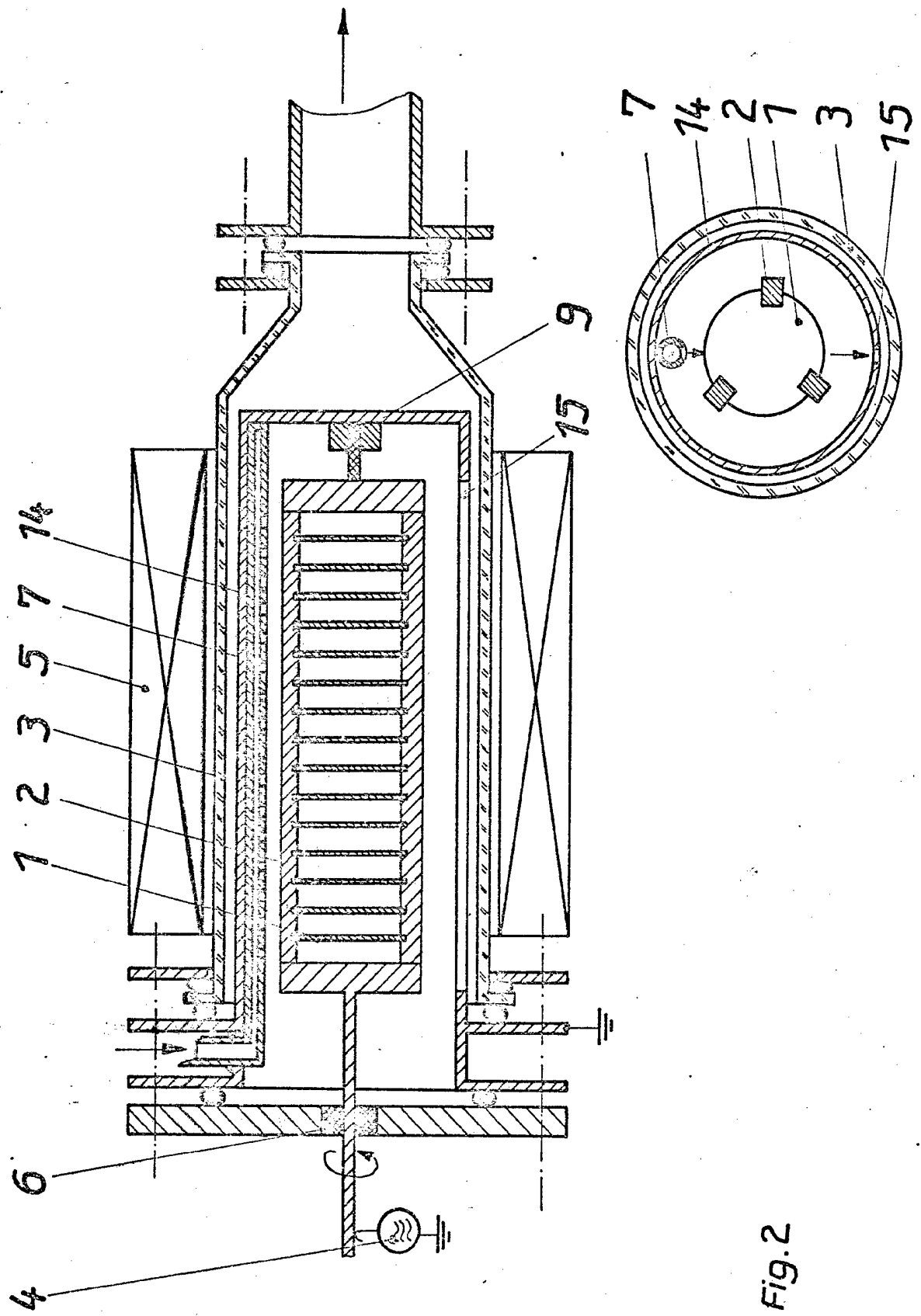


Fig. 1



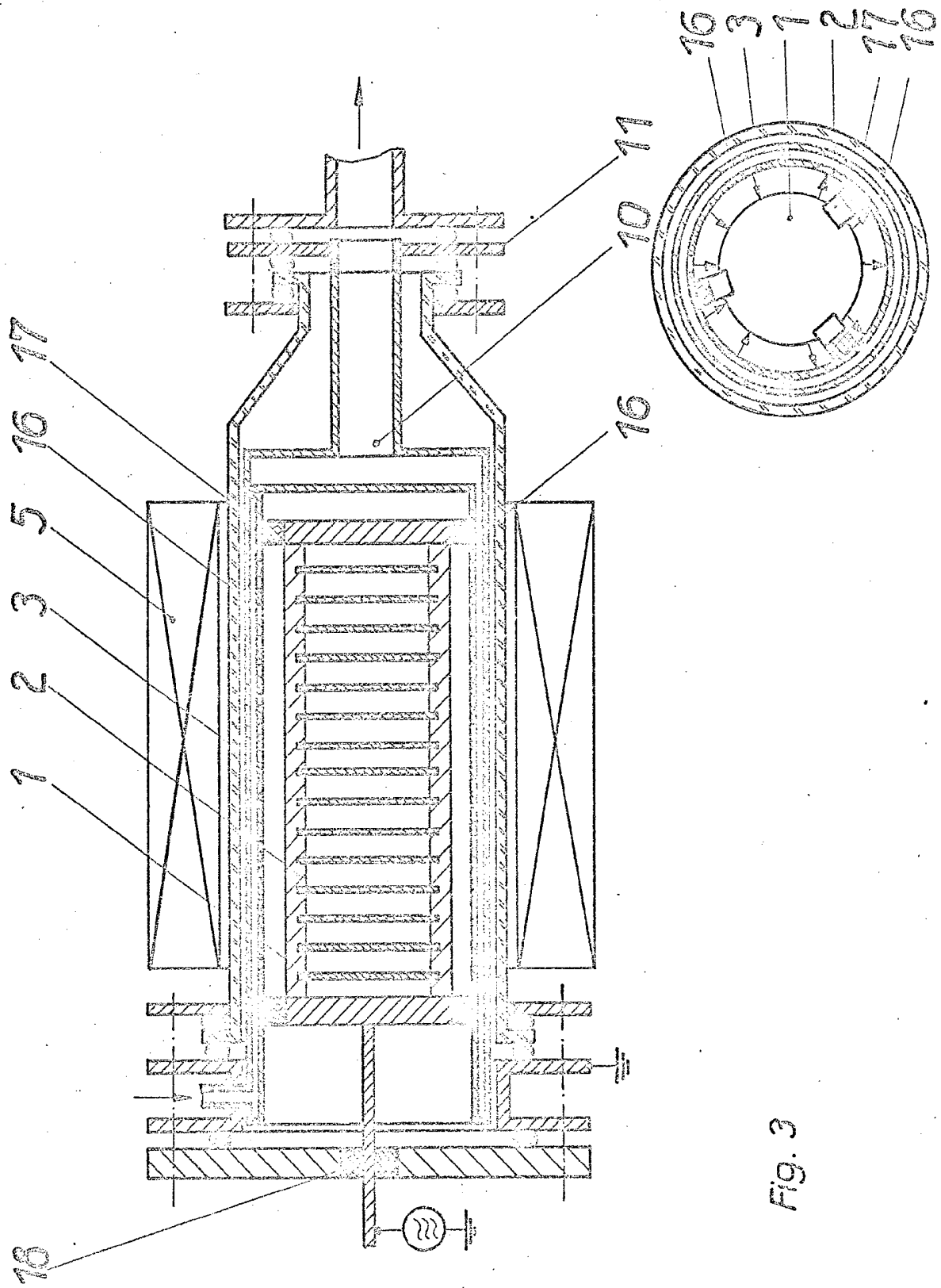


Fig. 3

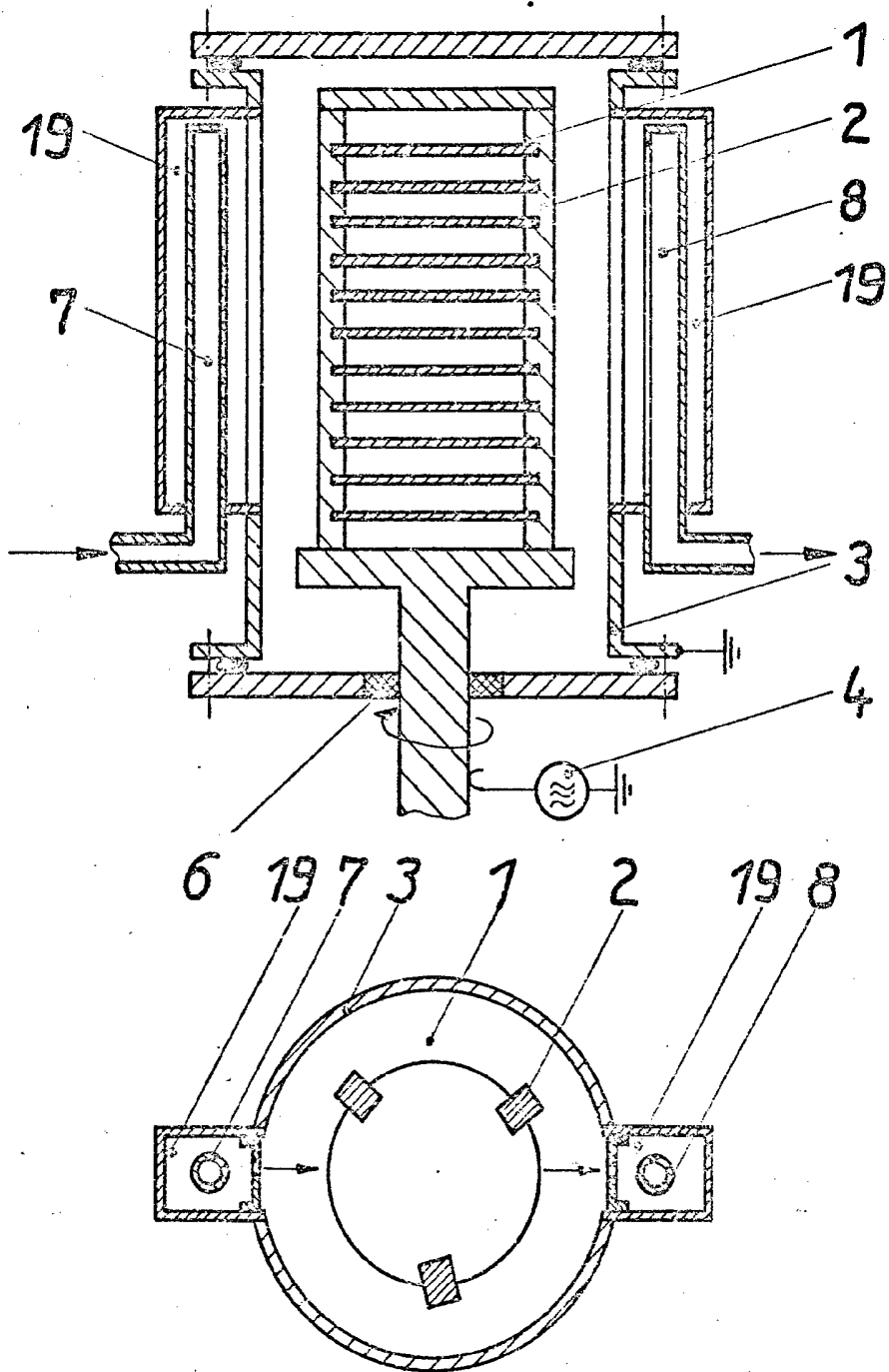


Fig. 4