



(10) **DE 10 2009 044 496 B4** 2023.11.02

(12)

Patentschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2009 044 496.3**
(22) Anmeldetag: **11.11.2009**
(43) Offenlegungstag: **12.05.2011**
(45) Veröffentlichungstag
der Patenterteilung: **02.11.2023**

(51) Int Cl.: **H05H 1/46 (2006.01)**
C23C 16/511 (2006.01)

Innerhalb von neun Monaten nach Veröffentlichung der Patenterteilung kann nach § 59 Patentgesetz gegen das Patent Einspruch erhoben werden. Der Einspruch ist schriftlich zu erklären und zu begründen. Innerhalb der Einspruchsfrist ist eine Einspruchsgebühr in Höhe von 200 Euro zu entrichten (§ 6 Patentkostengesetz in Verbindung mit der Anlage zu § 2 Abs. 1 Patentkostengesetz).

(73) Patentinhaber:
Muegge GmbH, 64385 Reichelsheim, DE

(74) Vertreter:
Paul & Albrecht Patentanwälte PartG mbB, 41460 Neuss, DE

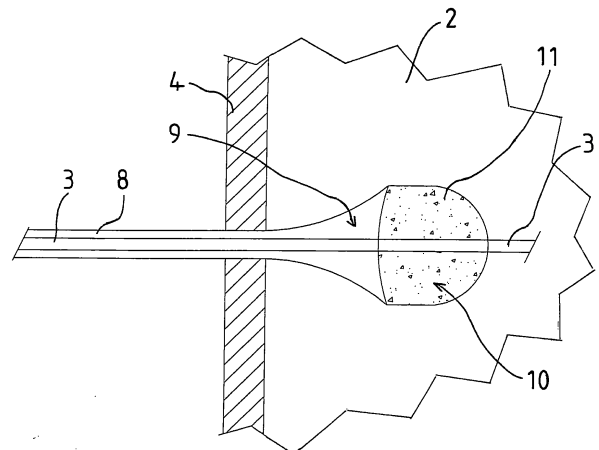
(72) Erfinder:
Muegge, Horst, 69469 Weinheim, DE;
Baumgärtner, Klaus-Martin, Dr.-Ing., 64407 Fränkisch-Crumbach, DE; Kaiser, Mathias, Dr., 76307 Karlsbad, DE; Alberts, Lukas, Dr., 71640 Ludwigsburg, DE

(56) Ermittelter Stand der Technik:

DE	38 30 249	C2
DE	39 26 023	C2
DE	195 03 205	C1
US	2007 / 0 095 281	A1
US	4 515 107	A
EP	1 063 678	A2
JP	2004- 47 207	A

(54) Bezeichnung: **Vorrichtung zur Erzeugung von Plasma mittels Mikrowellen**

(57) Hauptanspruch: Vorrichtung zur Erzeugung von Plasma mittels Mikrowellen zur CVD-Beschichtung eines Substrats mit einem Unterdruckbehälter (2), in den ein Reaktionsgas zugeführt werden kann, und mit einem darin angeordneten elektrischen Leiter (3), der mit einer Vorrichtung zur Einkopplung von Mikrowellen (6) verbunden ist, wobei der elektrische Leiter (3) an seinen beiden Enden jeweils mit einer Vorrichtung zur Einkopplung von Mikrowellen (6) verbunden ist, dass der elektrische Leiter (3) mit einer Spannungsquelle (7) verbunden ist, mit welcher zwischen dem elektrischen Leiter (3) und dem umgebenden Unterdruckbehälter (2) eine Potentialdifferenz erzeugt werden kann, und dass der elektrische Leiter (3) gegenüber den Vorrichtungen zur Einkopplung von Mikrowellen (6) elektrisch isoliert oder entkoppelt ist, wobei sich die Vorrichtung zur Einkopplung vom Mikrowellen (6) zum elektrischen Leiter (3) hin trichterförmig und im Wesentlichen innerhalb des Unterdruckbehälters (2) aufweitet.



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung zur Erzeugung von Plasma mittels Mikrowellen zur CVD-Beschichtung eines Substrats, wobei die Vorrichtung einen Unterdruckbehälter, in den ein Reaktionsgas zugeführt werden kann, und einen darin angeordneten elektrischen Leiter aufweist, der mit einer Vorrichtung zur Einkopplung von Mikrowellen verbunden ist.

[0002] Zur Herstellung dünner Schichten können neben den aus der Praxis bekannten Aufdampf- oder Sputtertechniken auch Beschichtungsverfahren verwendet werden, die auf der chemischen Gasphasenabscheidung beruhen. Derartige Beschichtungsverfahren werden nachfolgend auch als CVD-Verfahren (aus dem Englischen: chemical vapour deposition) bezeichnet. An einer erhitzten Oberfläche eines Substrats wird aufgrund einer chemischen Reaktion aus der Gasphase eine Feststoffkomponente abgeschieden. An der chemischen Reaktion müssen mindestens eine gasförmige Ausgangsverbindung und zwei Reaktionsprodukte beteiligt sein, wovon mindestens eines in der festen Phase vorliegt. Mit CVD-Beschichtungsverfahren kann eine gleichmäßige Beschichtung auch bei komplex geformten Oberflächen des Substrats erreicht werden.

[0003] Durch eine plasmaunterstützte chemische Gasphasenabscheidung kann die Temperaturbelastung des Substrates verringert werden. Zu diesem Zweck wird benachbart zu der Substratoberfläche beispielsweise mit Mikrowellen ein Plasma erzeugt, um die Ausgangsverbindung, üblicherweise ein Reaktionsgas, durch das Plasma anzuregen und die für die Beschichtung erforderliche chemische Reaktion zu unterstützen.

[0004] Bei einer bekannten Vorrichtung zur CVD-Beschichtung (DE 38 30 249 C2) wird durch eine Anzahl von matrixförmig angeordneten Vorrichtungen zur Einkopplung von Mikrowellen ein großflächiges Plasma oberhalb einer zu beschichtenden Substratoberfläche erzeugt. Als Nachteil wird dabei der erhebliche konstruktive Aufwand für die in einer Ebene matrixförmig angeordneten Einkopplungsvorrichtungen angesehen, die erforderlich sind, um ein flächiges und möglichst homogenes Plasmafeld erzeugen zu können.

[0005] Aus DE 39 26 023 C2 ist ein rohrförmiger Außenleiter bekannt, der über eine axial an dem Außenleiter entlang verlaufende schlitzförmige Öffnung an einen Reaktionsraum angekoppelt ist, in dem sich ein zu beschichtendes Substrat befindet. In dem rohrförmigen Außenleiter kann durch Einkopplung von Mikrowellenenergie in Form von Mikrowellenimpulsen ein Plasma erzeugt werden, dass ein Reaktionsgas in der Nähe der schlitzförmigen Öff-

nung des Außenleiters anregt und eine CVD-Beschichtung des Substrats unterstützt, bzw. ermöglicht.

[0006] Die vorangehend beschriebenen Vorrichtungen sind nicht oder nur mit Einschränkungen dazu geeignet, eine Beschichtung aus einem elektrisch leitfähigen Material auf dem Substrat zu erzeugen. Die mit dem Plasma unterstützte, bzw. in Gang gesetzte chemische Reaktion führt dazu, dass auch im Bereich der für die Plasmaerzeugung erforderlichen Komponenten eine elektrisch leitende Beschichtung abgeschieden wird, die nach kurzer Zeit zu einem Kurzschluss führen oder zumindest die Erzeugung des Plasmas durch Mikrowellen beeinträchtigen kann. Sobald eine räumliche Trennung des durch die Mikrowellen erzeugten Plasmas von den elektrisch leitenden Mikrowellenleitern nicht mehr gewährleistet werden kann, können sich keine räumlich ausbreitenden Mikrowellen mehr ausbilden, so dass die Plasmaerzeugung unterbrochen wird.

[0007] Die JP 2004-47 207 A offenbart ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Erzeugung von Plasma mittels Mikrowellen, die einen Unterdruckbehälter und einen darin angeordneten elektrischen Leiter umfasst. Dabei wird ein Beschichtungsmaterial mittels Dampfphasenabscheidung auf ein Substrat aufgedampft.

[0008] Die US 2007/0095281 A1 offenbart ein System zum Deponieren von Filmen auf Substraten, das ein Magnetron zur Erzeugung eines Mikrowellenleistungssignals umfasst. Die Mikrowellenstrahlung dient der Erzeugung eines Plasmas.

[0009] Die DE 195 03 205 C1 offenbart eine Vorrichtung zur Erzeugung von Plasma in einem Unterdruckbehälter mit Hilfe von elektromagnetischen Wechselfeldern, die einen stabförmigen Leiter umfasst.

[0010] Die US 4 515 107 offenbart eine Vorrichtung zur Herstellung von Photovoltaikeinrichtungen.

[0011] In der EP 1 063 678 A2 ist eine Vorrichtung zur Erzeugung eines Plasmas in einer Kammer durch Mikrowellenanregung beschrieben.

[0012] Es wird deshalb als eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung angesehen, eine Vorrichtung zur Erzeugung von Plasma mittels Mikrowellen zur Verwendung für ein CVD-Beschichtungsverfahren von Substraten so auszugestalten, dass auch eine Beschichtung des Substrats mit elektrisch leitfähigem Material möglich ist. Zusätzlich soll eine linear ausgedehnte, möglichst homogene Plasmaerzeugung möglich sein, damit eine möglichst gleichförmige Beschichtung unterstützt wird.

[0013] Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß gelöst durch eine Vorrichtung zur Erzeugung von Plasma mittels Mikrowellen nach Anspruch 1.

[0014] Durch die Potentialdifferenz des elektrischen Leiters gegenüber dem Unterdruckbehälter und dem sich darin befindenden Reaktionsgas wird um den elektrischen Leiter ein elektrisches Feld erzeugt, so dass elektrisch geladene Teilchen entweder auf den elektrischen Leiter zu bewegt oder von ihm abgestoßen werden. Es entsteht ein den elektrischen Leiter umgebender Bereich, in dem sich weniger oder kaum elektrisch geladene Teilchen aufhalten, wodurch die Ausbildung des Plasmas ermöglicht, bzw. unterstützt wird. Es ist ebenfalls denkbar, durch Anlegen einer hochfrequenten Wechselspannung ein rasch wechselndes elektrisches Feld zu erzeugen, so dass leicht bewegliche Teilchen wie beispielsweise Elektronen auf den elektrischen Leiter zu bewegt und über diesen abgeführt werden oder von dem elektrischen Leiter verdrängt werden und eine Verarmungszone von Elektronen entsteht, während schwere und unbewegliche Ionen durch das rasch wechselnde elektrische Feld kaum beeinflusst werden. Ein geeigneter Frequenzbereich ist der Bereich der Radiofrequenzen zwischen 1 bis 200 MHz.

[0015] Durch die elektrische, bzw. galvanische Isolation des elektrischen Leiters gegenüber der Einkopplung von Mikrowellen wird sichergestellt, dass die Erzeugung eines elektrischen Feldes um den elektrischen Leiter die Erzeugung der Mikrowellen nicht merklich beeinträchtigt. An Stelle einer elektrischen, bzw. galvanischen Isolation kann auch ein eventuell handelsüblich erhältlicher DurchgangsfILTER vorgesehen sein, der die Mikrowelleneinspeisung von dem elektrischen Leiter entkoppelt.

[0016] Im Folgenden werden weitere Ausführungen und Ausgestaltungen des Erfindungsgedankens lediglich beispielhaft ausgehend von einem negativen Potential des elektrischen Leiters dargelegt und können in analoger Weise auch bei einem positiven Potential des elektrischen Leiters oder bei Anliegen einer hochfrequenten Wechselspannung verwirklicht werden.

[0017] Aufgrund des negativen elektrischen Potentials des elektrischen Leiters werden Elektronen aus einem um den elektrischen Leiter erzeugten Plasma von dem elektrischen Leiter weg in radialer Richtung verdrängt und sammeln sich in einem durch das negative elektrische Potential vorgegebenen Abstand um den elektrischen Leiter herum an. Die den elektrischen Leiter umgebenden Elektronen des Plasmas bilden zusammen mit dem elektrischen Leiter eine koaxiale elektrisch leitende Anordnung, in der sich die eingekoppelten Mikrowellen ausbreiten können. Durch die Einkopplung der Mikrowellen an

den beiden Enden des elektrischen Leiters kann die eingekoppelte Mikrowellenenergie weitgehend homogen längs des elektrischen Leiters verteilt werden und die Erzeugung eines entsprechend homogenen Plasmas bewirken.

[0018] Durch das negative elektrische Potential des elektrischen Leiters kann zudem erreicht werden, dass negativ geladene Teilchen, bzw. Elektronen abgestoßen und positiv geladene Ionen zum elektrischen Leiter hin beschleunigt werden. Bei einer geeigneten Vorgabe des negativen elektrischen Potentials kann durch den dadurch erzeugten Beschuss des elektrischen Leiters mit positiv geladenen Ionen eine Anhaftung und Ablagerung der mit einer hohen kinetischen Energie auf den elektrischen Leiter aufprallenden Ionen vermindert werden, bzw. können bereits abgelagerte Ionen wieder durch den fortdauernden Ionenbeschuss von dem elektrischen Leiter abgelöst werden. Durch die Vorgabe geeigneter Umgebungsbedingungen und Betriebsparameter kann auf diese Weise eine Selbstreinigung des elektrischen Leiters erreicht werden, die eine kontinuierlich zunehmende Beschichtung des elektrischen Leiters insbesondere in dem Bereich der elektrisch isolierten Gehäusedurchführungen und den in diesem Bereich angeordneten Vorrichtungen zur Einkopplung von Mikrowellen verhindert oder zumindest verzögert wird. Die Vorrichtung kann dann über lange Zeiträume zur CVD-Beschichtung eines Substrats mit einem elektrisch leitenden Beschichtungsmaterial verwendet werden, ohne dass regelmäßige Unterbrechungen des Beschichtungsvorgangs zur Reinigung der für die Mikrowellenausbreitung und die Plasmaerzeugung notwendigen Komponenten erforderlich werden. In der Regel wird eine hohe Beschichtungsrate angestrebt, so dass nur eine verzögerte Beschichtung des elektrischen Leiters bewirkt und dessen Beschichtung nicht vollständig verhindert werden kann.

[0019] Zur Unterstützung der Selbstreinigung des elektrischen Leiters kann vorgesehen sein, eine gepulste Mikrowellenanregung zu verwenden, die gleichzeitig auch für viele Beschichtungsprozesse, insbesondere für PECVD-Beschichtungsprozesse vorteilhaft ist.

[0020] Da der durch das negative elektrische Potential erzeugte Ionenbeschuss des elektrischen Leiters zu dessen Aufheizung führt, ist vorgesehen, dass der elektrische Leiter ein Hohlleiter ist, der an ein Kühlfluidreservoir angeschlossen ist. Durch eine kontinuierliche Durchströmung des hohlen elektrischen Leiters mit einem geeigneten Kühlmedium wie beispielsweise Luft oder Wasser kann die in dem elektrischen Leiter erzeugte Wärme zuverlässig abgeführt werden.

[0021] Einer Ausgestaltung des Erfindungsgedankens zufolge ist vorgesehen, dass der elektrische Leiter eine stabförmige Formgebung aufweist. Ein stabförmiger elektrischer Leiter, insbesondere ein hohlzylinderförmiger elektrischer Leiter kann kostengünstig hergestellt werden und ermöglicht aufgrund der einfachen geometrischen Verhältnisse eine sehr homogene Ausbildung des Plasmas entlang des stabförmigen elektrischen Leiters. Eine flächig ausgedehnte Plasmaerzeugung kann durch mehrere parallel und im Abstand zueinander angeordnete stabförmige Leiter erzeugt werden.

[0022] Einer anderen Ausgestaltung des Erfindungsgedankens zufolge ist vorgesehen, dass der elektrische Leiter einen gekrümmten Verlauf aufweist. Der gekrümmte elektrische Leiter kann dabei innerhalb einer im Wesentlichen ebenen Fläche angeordnet sein und beispielsweise einen spiralförmigen oder mäanderförmigen Verlauf aufweisen. Auf diese Weise kann bereits mit einem einzigen elektrischen Leiter ein flächig ausgedehntes, innerhalb eines Arbeitsbereichs weitgehend homogenes Plasma erzeugt werden, so dass eine entsprechend homogene Beschichtung eines hinsichtlich seiner Abmessungen an den Arbeitsbereich angepassten Substrats erreicht werden kann.

[0023] Es ist ebenfalls denkbar, durch eine geeignete Formgebung des einen gekrümmten elektrischen Leiters, bzw. von mehreren beabstandet zueinander angeordneten, gekrümmten elektrischen Leitern komplexe räumlich Formgebungen zu erzeugen, so dass über oder entlang einer komplex gekrümmten Oberfläche ein weitgehend homogenes Plasma erzeugt werden kann. Auf diese Weise können auch komplex geformte Substrate mit einer möglichst homogenen Beschichtung versehen werden und beispielsweise Werkstücke mit konkaven oder konvexen Bereichen mit einem gleichmäßigen Überzug aus einem leitfähigen Material versehen werden.

[0024] Um zu verhindern, dass die an beiden Enden des elektrischen Leiters eingekoppelten Mikrowellen das negative elektrische Potential des elektrischen Leiters relativ zu dem Unterdruckbehälter beeinträchtigen oder stören, ist vorgesehen, dass der elektrische Leiter über einen Durchführungsfilter mit der Spannungsquelle verbunden ist. Der Durchführungsfilter kann entweder im Bereich der Vorrichtung zur Einkopplung der Mikrowellen oder aber im Bereich der Spannungsquelle, bzw. im Verlauf der elektrisch leitenden Verbindung zwischen der Spannungsquelle und dem Unterdruckbehälter angeordnet sein.

[0025] Erfindungsgemäß ist vorgesehen, dass sich die Vorrichtung zum Einkoppeln von Mikrowellen zum elektrischen Leiter hin trichterförmig aufweitet. Zudem kann die Vorrichtung zur Einkopplung von

Mikrowellen teilweise oder vollständig mit einem dielektrischen Material gefüllt sein, um das elektrische Feld an der Mikrowelleneinkopplung zu reduzieren und eine Beschichtung mit elektrisch leitfähigem Material in diesem Bereich zu verzögern, bzw. einzudämmen.

[0026] Die Vorrichtung zur Einkopplung von Mikrowellen kann eine kegelstumpfförmige oder vorzugsweise eine hornförmige Außenkontur mit einer gekrümmten radialsymmetrischen Außenfläche aufweisen.

[0027] Vorzugsweise ist vorgesehen, dass die Vorrichtung zur Einkopplung von Mikrowellen schlitzförmige oder nutenförmige Ausnehmungen aufweist. Die schlitz- oder nutenförmigen Ausnehmungen oder Einkerbungen können in radialer Richtung oder in einem Winkel hierzu entlang geschlossener Umfangslinien angeordnet sein. Durch die auf diese Weise deutlich vergrößerte Oberfläche wird eine durchgehende Beschichtung mit elektrisch leitendem Material und die Ausbildung geschlossener elektrisch leitender Pfade über die Oberfläche der Vorrichtung zur Einkopplung von Mikrowellen hinweg zumindest verzögert.

[0028] Es ist ebenfalls denkbar und im Hinblick auf die elektrische Isolierung des elektrischen Leiters gegenüber dem Unterdruckgehäuse und der Einkopplung von Mikrowellen vorteilhaft, dass die schlitzförmigen oder nutenförmigen Ausnehmungen in axialer Richtung den elektrischen Leiter umgebend angeordnet sind. Insbesondere bei einer konzentrischen Anordnung von sich längs' des elektrischen Leiters erstreckenden und diesen umgebenden schlitzförmigen Ausnehmungen findet in einem Übergangsbereich zu dem elektrischen Leiter eine im Wesentlichen vollständige Abschattung der schlitzförmigen Ausnehmungen statt, so dass aus diesem Grund keine durchgehende Beschichtung in diesem Bereich oder lediglich eine stark verminderte Beschichtung erfolgt und eine elektrisch leitfähige Verbindung des elektrischen Leiters mit der Gehäusewand erheblich verzögert oder im Rahmen üblicher Wartungsintervalle vollständig verhindert werden kann.

[0029] Erfindungsgemäß ist vorgesehen, dass sich die Vorrichtung zur Einkopplung von Mikrowellen im Wesentlichen innerhalb des Unterdruckbehälters aufweitet. Im Bereich der Gehäusewand des Unterdruckbehälters weist die Vorrichtung zur Einkopplung von Mikrowellen einen vergleichsweise geringen Durchmesser, bzw. eine geringe Querschnittsfläche auf, so dass handelsüblich erhältliche Dichtungsvorrichtungen oder Dichtungskomponenten für die Druckdichte und elektrisch isolierte Befestigung des elektrischen Leiters und der umgeb-

enden Vorrichtung zur Einkopplung von Mikrowellen verwendet werden können.

[0030] Nachfolgend werden verschiedenen Ausgestaltungen des Erfindungsgedankens näher erläutert, die in der Zeichnung dargestellt sind. Es zeigt:

Fig. 1 eine schematische Darstellung einer Vorrichtung zur Erzeugung von Plasma mittels Mikrowellen mit einem Unterdruckbehälter und mit einem darin angeordneten elektrischen Leiter,

Fig. 2 beispielhaft verschiedene flächige oder dreidimensionale Formgebungen des elektrischen Leiters, der lediglich schematisch zwischen gegenüberliegenden Gehäusewänden des Unterdruckbehälters abgebildet ist,

Fig. 3 eine schematische Darstellung eines näherungsweise spiralförmigen Verlaufs des elektrischen Leiters,

Fig. 4 eine schematische Darstellung einer im Bereich einer Gehäusewand des Unterdruckbehälters angeordneten Vorrichtung zur Einkopplung von Mikrowellen, die elektrisch isoliert den konzentrisch angeordneten elektrischen Leiter umgibt,

Fig. 5 eine abweichende Ausgestaltung der in **Fig. 4** dargestellten Vorrichtung zur Einkopplung von Mikrowellen,

Fig. 6 eine wiederum abweichende Ausgestaltung einer Vorrichtung zur Einkopplung von Mikrowellen,

Fig. 7 eine andere Ausgestaltung einer Vorrichtung zur Einkopplung von Mikrowellen in vergrößerter und geschnittener Ansicht und

Fig. 8 eine weitere Ausgestaltung einer Vorrichtung zur Einkopplung von Mikrowellen in einer mit **Fig. 7** vergleichbaren Ansicht.

[0031] In **Fig. 1** ist eine erfindungsgemäße Vorrichtung 1 zur Erzeugung von Plasma mittels Mikrowellen dargestellt, die zur Verwendung bei der CVD-Beschichtung eines Substrats mit insbesondere elektrisch leitenden Materialien geeignet ist. Die Vorrichtung 1 weist einen Unterdruckbehälter 2 auf, in dem ein elektrischer Leiter 3 zwischen zwei gegenüberliegenden Gehäusewänden 4 des Unterdruckbehälters 2 angeordnet ist. Der elektrische Leiter 3 kann aus leitendem oder halbleitendem Material bestehen. Der elektrische Leiter 3 ist mittels geeigneter Dichtungselemente 5 elektrisch isoliert und druckdicht an den beiden Gehäusewänden 4 festgelegt.

[0032] Der elektrische Leiter 3 ist an seinen beiden Enden jeweils mit einer Vorrichtung zur Einkopplung von Mikrowellen 6 verbunden. Über die Vorrichtungen zur Einkopplung von Mikrowellen 6 können Mikrowellen auf beiden Seiten des elektrischen Leiters 3

eingekoppelt werden. Die Einkopplung kann unabhängig voneinander, vorzugsweise jedoch in geeigneter Weise synchronisiert erfolgen.

[0033] Der elektrische Leiter 3 ist zusätzlich mit einer Spannungsquelle 7 verbunden, die den elektrischen Leiter 3 auf ein negatives elektrisches Potential relativ zu dem zweckmäßigerweise geerdeten Unterdruckbehälter 2 bringen kann. Die hierzu erforderliche Bias-Spannung kann beispielsweise zwischen 10 V und 1000 V betragen. Auf Grund der elektrischen Isolation des elektrischen Leiters 3 durch die Dichtungselemente 5 wird sichergestellt, dass die Vorrichtungen zur Einkopplung der Mikrowellen 6 und die zuführenden Mikrowellenleiter kein negatives elektrisches Potential aufweisen.

[0034] Wenn in dem Unterdruckbehälter 2 ein geeignetes Vakuum erzeugt und über die Vorrichtungen zur Einkopplung von Mikrowellen 6 Mikrowellen eingespeist werden, wird in der Umgebung des elektrischen Leiters 3 ein Plasma erzeugt. Durch die an dem elektrischen Leiter 3 anliegende Bias-Spannung wird ein konstantes elektrisches Feld erzeugt, in welchem die Elektronen und negativ geladenen Teilchen von dem elektrischen Leiter 3 radial nach außen verdrängt werden. Die leicht beweglichen Elektronen des durch die Mikrowellen erzeugten Plasmas sammeln sich in einem Abstand zu dem elektrischen Leiter 3, der im Wesentlichen durch das negative elektrische Potential des elektrischen Leiters 3 vorgegeben wird, und bilden eine den elektrischen Leiter 3 umgebende Hülle.

[0035] Durch eine geeignete Vorgabe der Randbedingungen wie beispielsweise des Unterdrucks, der Bias-Spannung und der eingekoppelten Mikrowellenenergie kann erreicht werden, dass diese koaxiale Anordnung des elektrischen Leiters 3 und der diesen elektrischen Leiter 3 umgebenden Elektronenhülle die Ausbreitung von Mikrowellen begünstigt, so dass letztlich Oberflächenwellen längs des elektrischen Leiters 3 entstehen und eine homogene Energieverteilung der eingekoppelten Mikrowellenenergie erreicht werden kann. Die homogene Mikrowellenausbreitung führt zu einer entsprechend homogenen Erzeugung und Aufrechterhaltung des in dem Unterdruckbehälter 2 erzeugten Plasmas.

[0036] Dem Unterdruckbehälter 2 kann über nicht dargestellte Zuführungseinrichtungen ein Reaktionsgas zugeführt werden. Das Reaktionsgas wird durch das Plasma angeregt, so dass eine Abscheidung des gewünschten Beschichtungsmaterials erzwungen wird. Das Beschichtungsmaterial schlägt sich unter anderem auf einer ebenfalls nicht dargestellten Substratoberfläche nieder und bewirkt eine kontinuierlich anwachsende Beschichtung des Substrats mit dem Beschichtungsmaterial.

[0037] Es können auch halbleitende oder leitende Schichten mit dem vorangehend beschriebenen Plasma-CVD-Beschichtungsverfahren erzeugt werden. Das um den elektrischen Leiter 3 erzeugte elektrische Feld führt dazu, dass positiv geladene Ionen auf den elektrischen Leiter 3 hin beschleunigt werden und mit entsprechender kinetischer Energie auf den elektrischen Leiter 3 aufprallen. Durch diesen Ionenbeschuss wird eine Selbstreinigung des elektrischen Leiters 3 herbeigeführt. Um einer Aufheizung des elektrischen Leiters 3 entgegenzuwirken kann vorgesehen sein, dass der elektrische Leiter 3 als hohler Leiter ausgeführt und an seinen Enden mit einem Kühlmittelkreislauf verbunden ist, so dass eine effektive Kühlung des elektrischen Leiters 3 durch Umwälzen des Kühlmittels gewährleistet werden kann.

[0038] Der elektrische Leiter 3 kann als stabförmiger elektrischer Leiter 3 gemäß dem in **Fig. 1** dargestellten Ausführungsbeispiel ausgeführt sein. Es ist ebenfalls denkbar, dass der elektrische Leiter 3 einen mäanderförmigen oder aber einen schraubenförmigen Verlauf und damit eine flächige oder räumliche Ausdehnung aufweisen kann, durch welche eine entsprechende flächige oder räumliche Ausbreitung des um den elektrischen Leiter 3 erzeugten Plasmas vorgegeben werden kann. In **Fig. 2** sind exemplarisch einige Ausführungsbeispiele schematisch dargestellt. In **Fig. 3** ist eine Ausgestaltung des elektrischen Leiters 3 mit einem flächigen, im Wesentlichen spiralförmigen Verlauf abgebildet. Auf diese Weise lässt sich in einem Arbeitsbereich, der an die Abmessungen des spiralförmig ausgestalteten Bereichs des elektrischen Leiters 3 angepasst ist, mit einfachen konstruktiven Mitteln ein vergleichsweise homogenes Plasma erzeugen, so dass eine gleichmäßige Beschichtung eines im Abstand zu dem elektrischen Leiter 3 angeordneten Substrats möglich wird.

[0039] In den **Fig. 4** bis **Fig. 6** sind verschiedene Ausgestaltungen der Vorrichtung zum Einkoppeln der Mikrowellen 6 exemplarisch abgebildet.

[0040] Bei der in **Fig. 4** gezeigten Vorrichtung 6 wird ein den elektrischen Leiter 3 umgebender Außenleiter 8 für die einzukoppelnden Mikrowellen außerhalb des Unterdruckbehälters 2 trichterförmig aufgeweitet. In einem sich trichterförmig vergrößernden Bereich 9 und in einem abgerundeten Abschlussbereich 10 der Vorrichtung zur Einkopplung von Mikrowellen 6 befindet sich ein geeignetes dielektrisches Material 11. Die Durchführung des elektrischen Leiters 3 ist zusätzlich über Vakuumdichtungen 12 abgedichtet.

[0041] Die trichterförmige Aufweitung des Außenleiters 8 und das darin befindliche dielektrische Material 11 führen zu einer lokalen Schwächung des Mikro-

wellenfeldes, so dass eine Plasmaerzeugung im Bereich um die Vorrichtung zur Einkopplung der Mikrowellen 6 erheblich vermindert wird. Auf diese Weise kann vermieden oder zumindest verzögert werden, dass im Falle eines elektrisch leitenden Beschichtungsmaterials eine rasche Beschichtung an der Einkoppelstelle erfolgt, die zu einem Kurzschluss führen und die Plasmaerzeugung abbrechen könnte.

[0042] Bei dem in **Fig. 5** dargestellten Ausführungsbeispiel ist die trichterförmige Aufweitung des Außenleiters 8 der Vorrichtung zur Einkopplung der Mikrowelle 6 in einen Innenraum des Unterdruckbehälters 2 verlagert worden, so dass der Außenleiter 8 bei der Durchführung durch die Gehäusewand 4 des Unterdruckbehälters 2 einen geringen Durchmesser aufweist und in dieser Abbildung nicht näher dargestellte, handelsüblich erhältliche Dichtungselemente zur druckdichten und elektrisch isolierenden Abdichtung der coaxialen Zuführung des elektrischen Leiters 3 und des umgebenden Außenleiters 8 verwendet werden können.

[0043] Bei dem in **Fig. 6** dargestellten Ausführungsbeispiel weist der Abschlussbereich 10 zusätzlich ringförmig ausgebildete nutenförmige Ausnehmungen 13 auf, die auf Grund der erheblich vergrößerten Oberfläche eine durchgängige Beschichtung erschweren und im Falle eines elektrisch leitenden Beschichtungsmaterials die Ausbildung geschlossener leitfähiger Pfade verhindern oder zumindest verzögern.

[0044] In den **Fig. 7** und **Fig. 8** werden zwei weitere Ausgestaltungen der den elektrischen Leiter 3 umgebenden Vorrichtung zur Einkopplung von Mikrowellen 6 in einer geschnittenen Ansicht vergrößert im Übergangsbereich zu dem elektrischen Leiter 3 dargestellt, der innen hohl ist und von einem Kühlmedium durchströmt werden kann. Die in **Fig. 7** gezeigte Ausgestaltung weist an Stelle eines sich zunächst trichterförmig vergrößernden Bereichs 9 und eines abgerundeten Abschlussbereichs 10 einen hohlzylindrischen Endbereich 14 auf, der den elektrischen Leiter 3 beabstandet umgibt. Zwischen dem hohlzylindrischen Endbereich 14 und dem elektrischen Leiter 3 befindet sich eine konzentrisch angeordnete, den elektrischen Leiter 3 umgebende schlitzförmige Ausnehmung 15 in dem isolierenden, dielektrischen Material 11. In einem inneren Bereich 16 der schlitzförmigen Ausnehmung 15 findet lediglich eine deutlich reduzierte Beschichtung statt.

[0045] Die in **Fig. 8** gezeigte Ausgestaltung der Vorrichtung zur Einkopplung von Mikrowellen 6 weist sowohl entlang einer Umfangslinie verlaufende schlitzförmige Ausnehmung 13 als auch konzentrisch angeordnete, den elektrischen Leiter 3 umgebende schlitzförmige Ausnehmungen 15 auf. Die

auf diese Weise stark vergrößerte Oberfläche der Vorrichtung zur Einkopplung von Mikrowellen 6 führt zu einer entsprechend verzögerten Ausbildung einer Beschichtung in diesem Bereich, die eine elektrisch leitende Verbindung zwischen dem elektrischen Leiter 3 und der in den **Fig. 7** und **Fig. 8** nicht dargestellten, sich links befindenden Gehäusewand 4 ermöglichen könnte.

Patentansprüche

1. Vorrichtung zur Erzeugung von Plasma mittels Mikrowellen zur CVD-Beschichtung eines Substrats mit einem Unterdruckbehälter (2), in den ein Reaktionsgas zugeführt werden kann, und mit einem darin angeordneten elektrischen Leiter (3), der mit einer Vorrichtung zur Einkopplung von Mikrowellen (6) verbunden ist, wobei der elektrische Leiter (3) an seinen beiden Enden jeweils mit einer Vorrichtung zur Einkopplung von Mikrowellen (6) verbunden ist, dass der elektrische Leiter (3) mit einer Spannungsquelle (7) verbunden ist, mit welcher zwischen dem elektrischen Leiter (3) und dem umgebenden Unterdruckbehälter (2) eine Potentialdifferenz erzeugt werden kann, und dass der elektrische Leiter (3) gegenüber den Vorrichtungen zur Einkopplung von Mikrowellen (6) elektrisch isoliert oder entkoppelt ist, wobei sich die Vorrichtung zur Einkopplung von Mikrowellen (6) zum elektrischen Leiter (3) hin trichterförmig und im Wesentlichen innerhalb des Unterdruckbehälters (2) aufweitet.

2. Vorrichtung nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass der elektrische Leiter (3) ein hohler Leiter ist, der an ein Kühlfluidreservoir angeschlossen ist.

3. Vorrichtung nach Anspruch 1 oder Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass der elektrische Leiter (3) eine stabförmige Formgebung aufweist.

4. Vorrichtung nach Anspruch 1 oder Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass der elektrische Leiter (3) einen gekrümmten Verlauf aufweist.

5. Vorrichtung nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass der elektrische Leiter (3) über einen Durchführungsfilter mit der Spannungsquelle (7) verbunden ist.

6. Vorrichtung nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Vorrichtung zur Einkopplung von Mikrowellen (6) teilweise oder vollständig mit einem dielektrischen Material (11) gefüllt ist.

7. Vorrichtung nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Vorrichtung zur Einkopplung von Mikrowellen (6)

schlitzförmige oder nutenförmige Ausnehmungen (13, 15) aufweist.

8. Vorrichtung nach Anspruch 7, **dadurch gekennzeichnet**, dass die schlitzförmigen oder nutenförmigen Ausnehmungen (15) in axialer Richtung den elektrischen Leiter (3) umgebend angeordnet sind.

9. Vorrichtung nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass der elektrische Leiter (3) relativ zu dem umgebenden Unterdruckbehälter (2) ein negatives Potential oder ein positives Potential aufweist.

10. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 8, **dadurch gekennzeichnet**, dass der elektrische Leiter (3) mit einer hochfrequenten Wechselspannung beaufschlagbar ist.

Es folgen 6 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

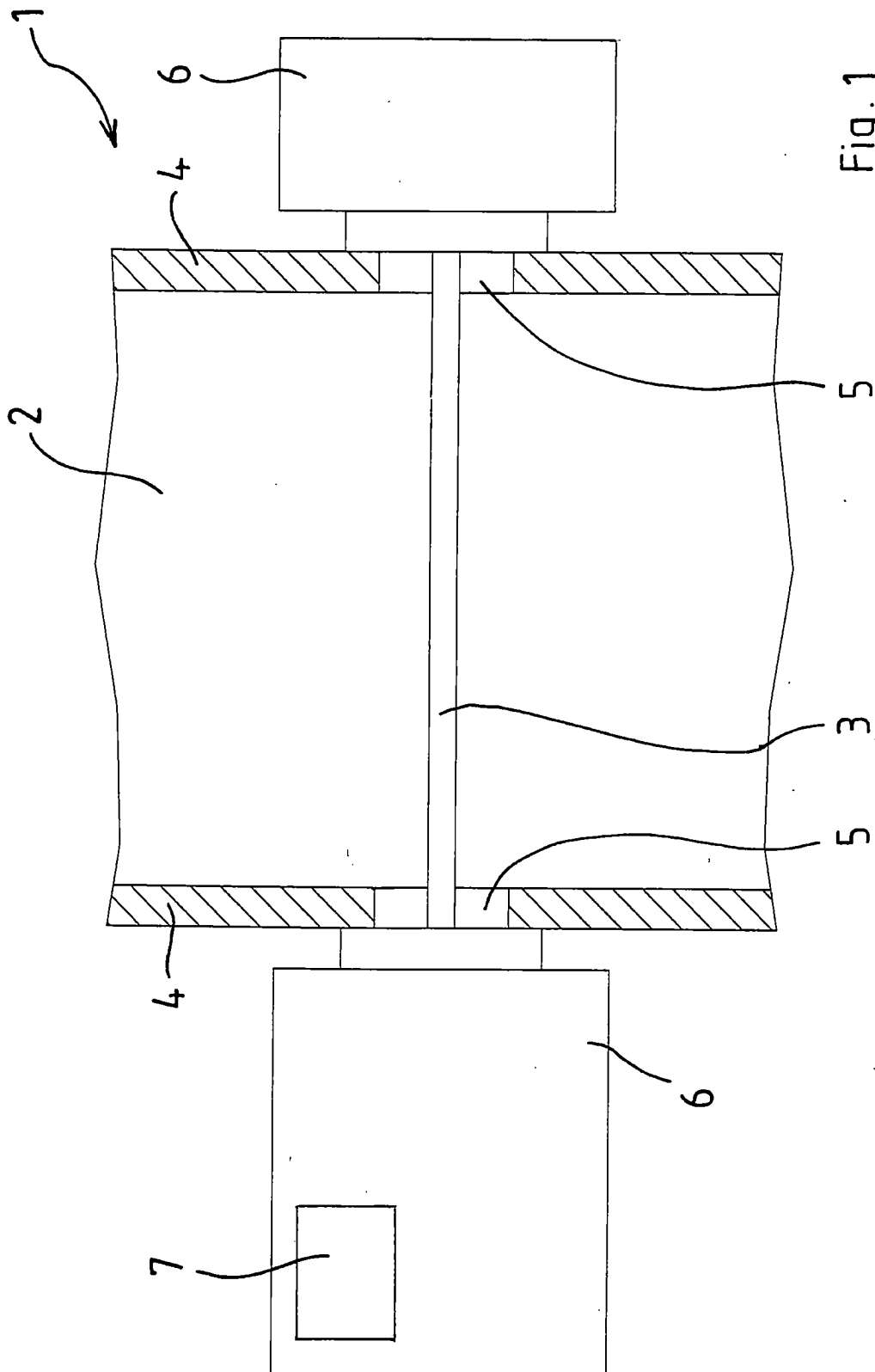


Fig. 1

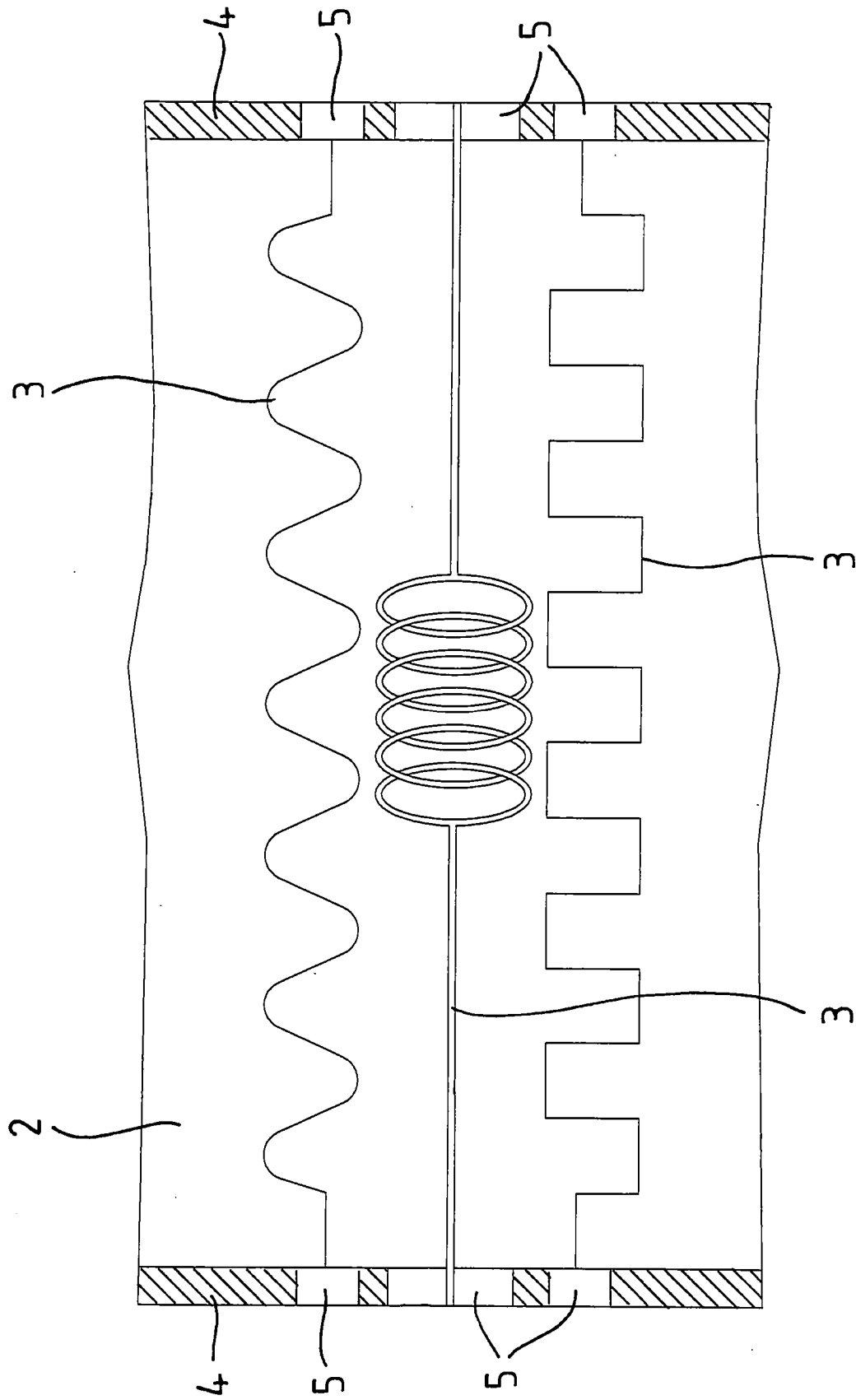


Fig. 2

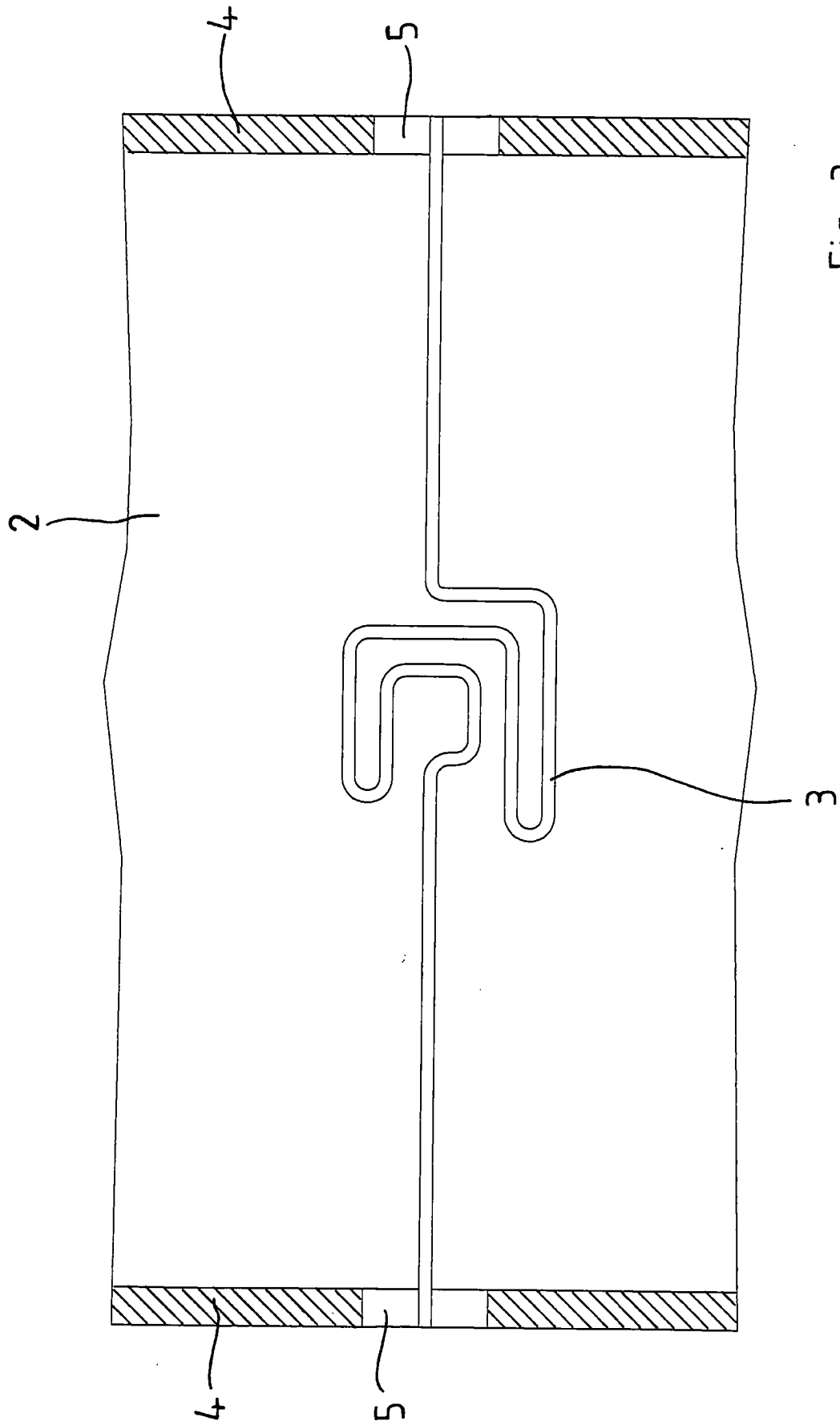


Fig. 3

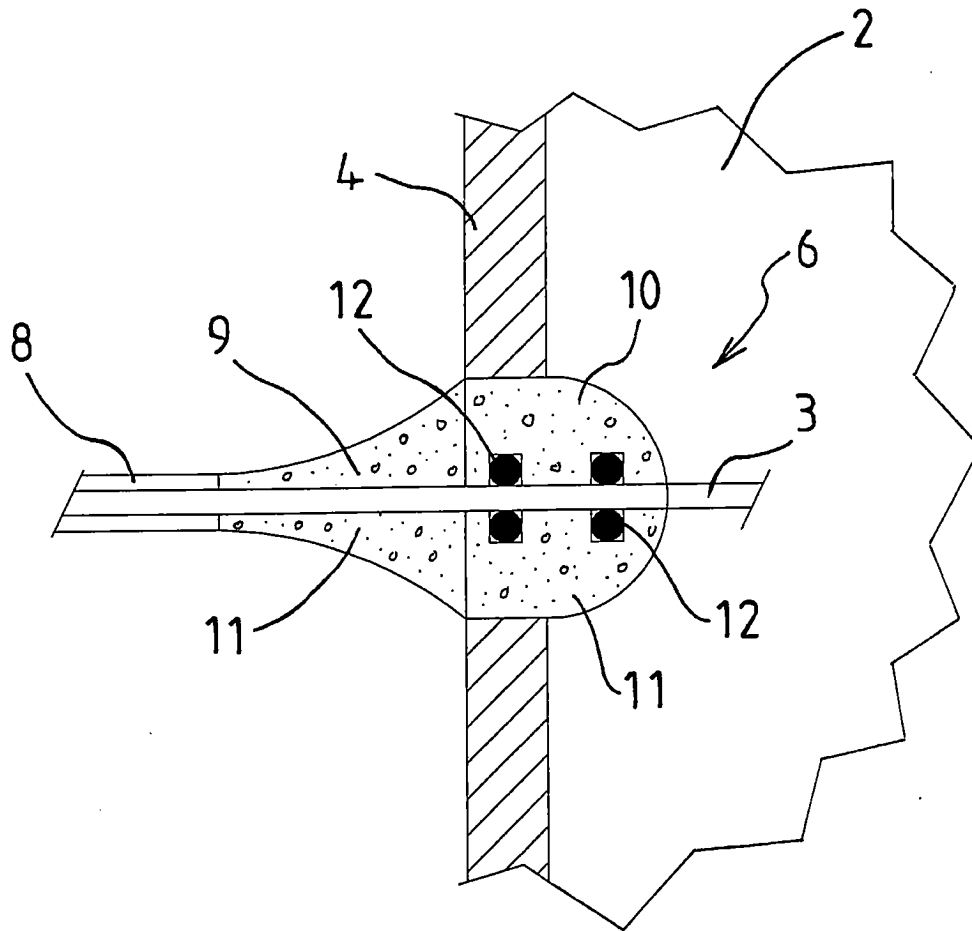
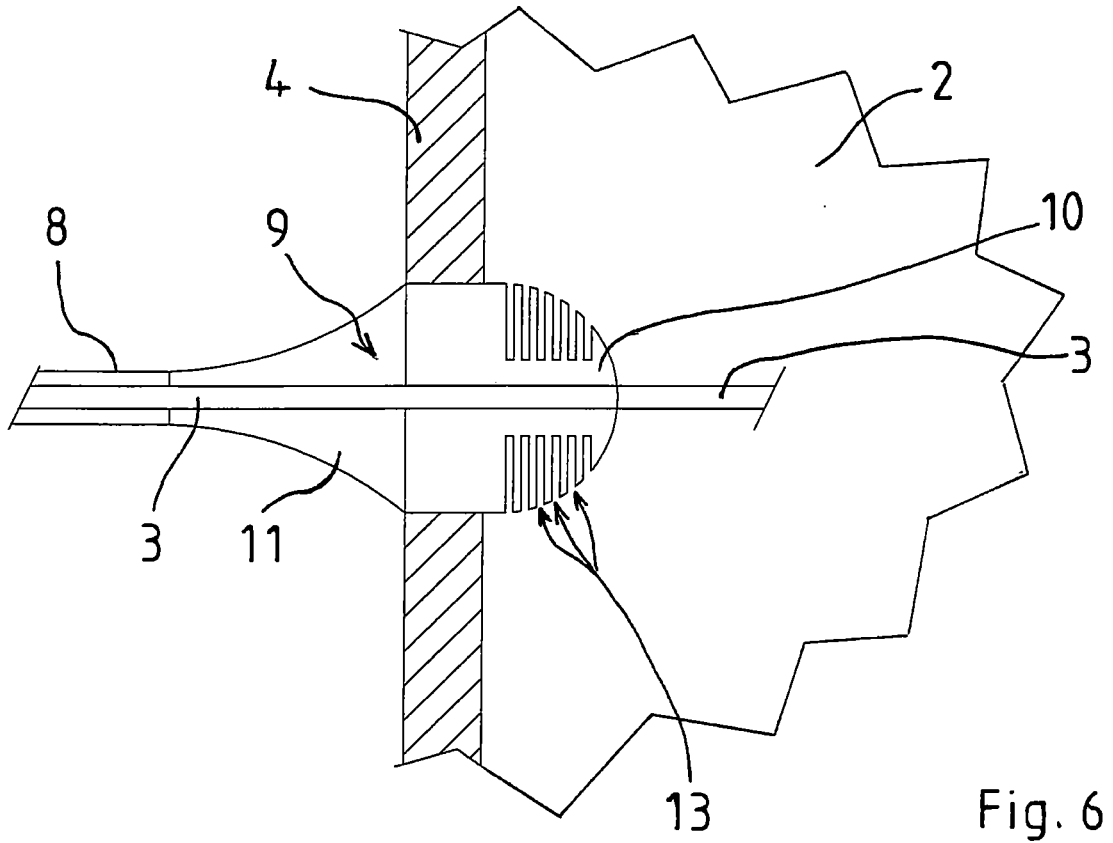
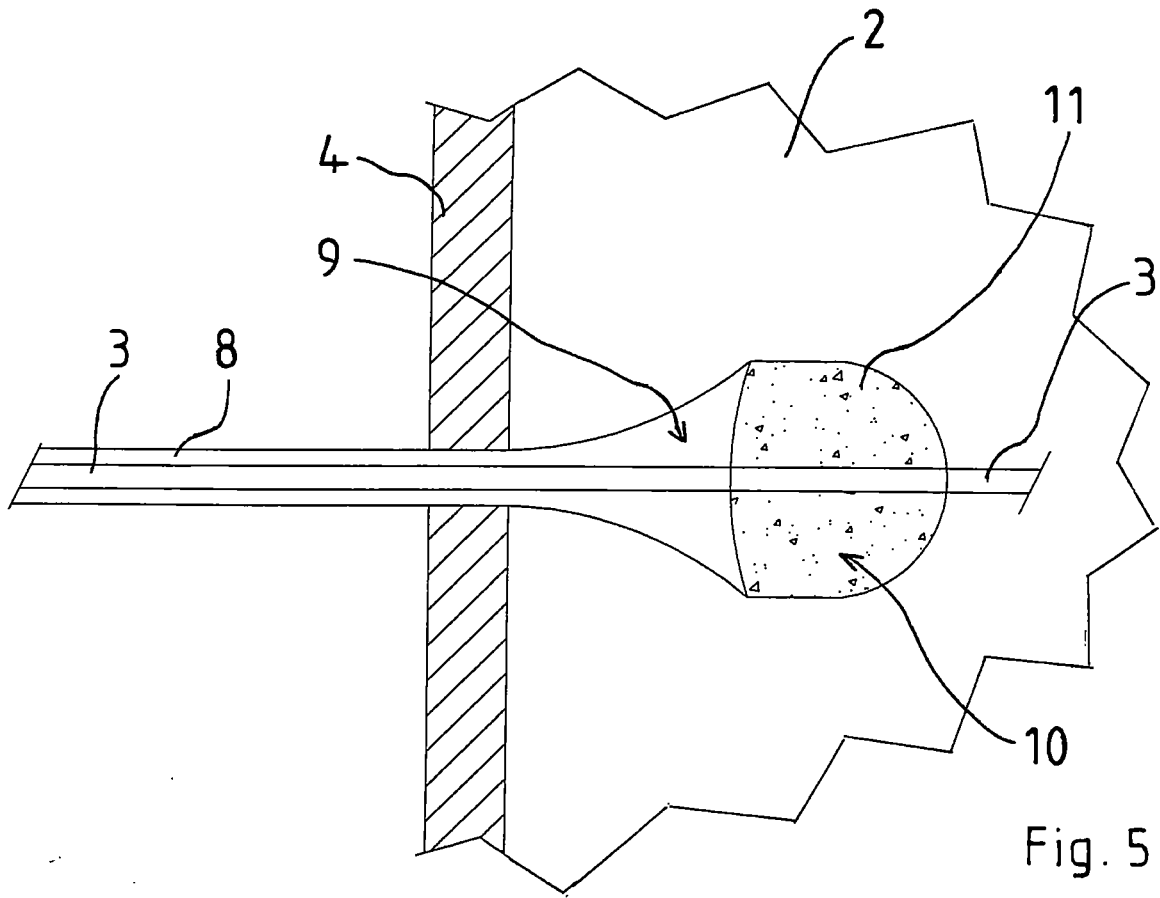


Fig. 4



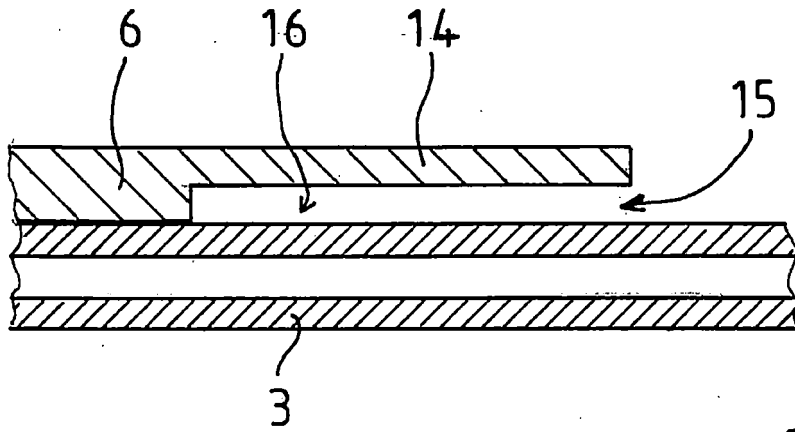


Fig. 7

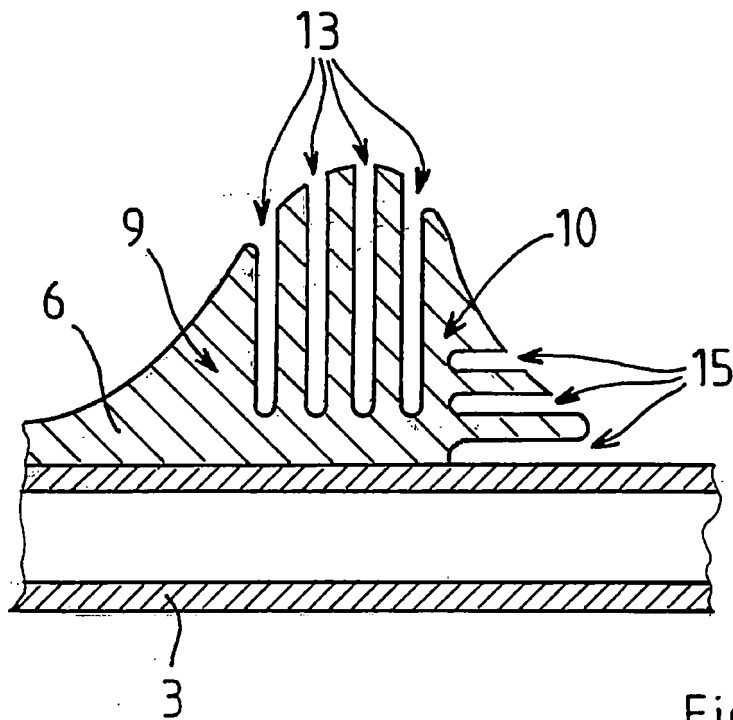


Fig. 8