



Europäisches Patentamt
European Patent Office
Office européen des brevets



(11) **EP 0 881 865 A2**

(12) **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:
02.12.1998 Patentblatt 1998/49

(51) Int. Cl.⁶: **H05H 1/24**

(21) Anmeldenummer: **98109597.9**

(22) Anmeldetag: **27.05.1998**

(84) Benannte Vertragsstaaten:
**AT BE CH CY DE DK ES FI FR GB GR IE IT LI LU
MC NL PT SE**
Benannte Erstreckungsstaaten:
AL LT LV MK RO SI

(30) Priorität: **30.05.1997 DE 19722624**

(71) Anmelder: **JE PlasmaConsult GmbH
42285 Wuppertal (DE)**

(72) Erfinder:
• **Engemann, Jürgen, Prof. Dr. Dr. h.c.
42119 Wuppertal (DE)**
• **Korzec, Darius, Dr.
42119 Wuppertal (DE)**
• **Mildner, Mark
42283 Wuppertal (DE)**

(74) Vertreter:
**Patentanwälte Ostriga & Sonnet
Stresemannstrasse 6-8
42275 Wuppertal (DE)**

(54) **Vorrichtung zur Erzeugung einer Vielzahl von Niedertemperatur-Plasmajets**

(57) Dargestellt und beschrieben ist eine Vorrichtung zur Erzeugung einer Vielzahl von Niedertemperatur-Plasmajets (5) mittels hochfrequenter Leistung unter Ausnutzung von Hohlkathodenentladungen in mindestens einer Hohlkathodenkammer (32), die von einer Hohlkathode (12) umgeben ist, die eine Einlaßöffnung (15) für ein Arbeitsgas umfaßt, mit wenigstens einer der Hohlkathode (12) benachbarten Anode (11), wobei die Hohlkathode (12) und die Anode (11) gegenüberliegende Öffnungen (6, 7) aufweisen, durch die die Plasmajets (5) von der Hohlkathodenkammer (32) in einen Prozeßraum (33) gelangen.

Aufgabe der Erfindung ist es, eine derartige Vorrichtung zu schaffen, die eine homogene Disposition einer funktionalen Schicht (25) auf einem bahnförmigen und gegebenenfalls temperaturempfindlichen Substrat (24) ermöglicht.

Die Aufgabe wird dadurch gelöst, daß die Vorrichtung mehrere separate Hohlkathodenkammern (32) umfaßt und jedem Plasmajet (5) jeweils eine Hohlkathodenkammer (32) als Entladungsraum zugeordnet ist.

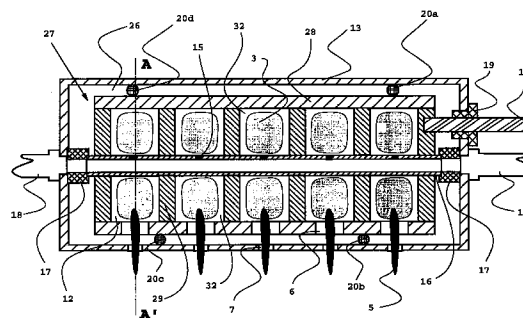


Fig. 2a

EP 0 881 865 A2

Beschreibung

Die Erfindung bezieht sich auf eine Vorrichtung zur Erzeugung einer Vielzahl von Niedertemperatur-Plasmajets nach dem Oberbegriff des Anspruchs 1.

Die erfindungsgemäße Vorrichtung erzeugt Plasmajets mittels zugeführter Hochfrequenzleistung unter Ausnutzung des Hohlkathodeneffektes. Dabei wird die benötigte Energie durch einen Hochfrequenzgenerator mit einer +Frequenz zwischen 100 kHz und 100 MHz bereitgestellt. Aufgrund postalischer Einschränkungen benutzt man in der Regel die Frequenz 13,56 MHz. Die Hochfrequenzleistung wird mit Hilfe eines geeigneten Netzwerkes angepaßt.

Eine spezielle Form von Gasentladungen stellen die Hohlkathodenentladungen dar, die unabhängig von der Anregungsart Plasmen mit hoher Ionendichte erzeugen. Von Gleichstrom-Hohlkathodenentladungen wird schon sehr früh in diesem Jahrhundert berichtet, beispielsweise im Aufsatz von Günther-Schulze *Zeitschrift für Physik* 30, Seite 175-186 (1924). Im Aufsatz von Little und von Engel *Proc. R. Soc.* 224, Seite 209-227 (1954) wird erstmals eine Theorie für Gleichstrom-Hohlkathodenentladungen entwickelt. Der Aufsatz von Pillow, *Spectrochimica Acta* 36B, Seite 821-843 (1981) gibt einen Überblick über die diversen physikalischen Eigenschaften von Gleichstrom-Hohlkathodenentladungen. In der Literatur finden sich eine Reihe von Hohlkathoden-Gleichstromentladungen zur Beschichtung von Substraten, so z.B. im Aufsatz von Jansen, Kuhman und C. Taber, *J. Vac. Sci. Technol.* Vol. A7 (6), Seite 3176-3182 (1989).

Gleichstromentladungen und somit auch solche linearen Anordnungen, wie sie im Aufsatz von Belkind, Li, Clow und F. Jansen, *Surface and coating Technology* 76-77, Seite 738-743 (1995) vorgeschlagen werden, sind nicht für solche Prozesse geeignet, bei denen eine isolierende Beschichtung auf einem Substrat deponiert wird. Da dieses als Elektrode dient, kann mit der vollständigen isolierenden Bedeckung die Entladung nicht aufrecht erhalten werden. In der Vorrichtung von Belkind et. al. wird das zu behandelte Substrat als Anode genutzt. Somit eignen sich auch Isolatoren naturgemäß nicht als Substrate zur Oberflächenbehandlung.

Im US Patent 5464667 von Köhler, Kirk und Follett wird ein Verfahren vorgestellt, mit welchem es möglich ist, mittels einer Gleichstrom-Hohlkathodenentladung auf Substrate jeglicher Art, wie z.B. Kunststoffolien, kohlenstoffreiche Schichten abzuscheiden. Das Plasma wird innerhalb zweier seriell angeordneter Hohlkathoden generiert, wobei eine Hohlkathode aus rechteckigen parallelen Platten besteht und einen sogenannten Hohlkathodenschlitz bildet. Der Einsatz eines derartigen Schlitzes limitiert jedoch die Skalierbarkeit der Vorrichtung, da für eine vorgegebene Behandlungsbreite ein konstantes Verhältnis der Breite zur Schlitzhöhe eingehalten werden muß.

In einem Aufsatz von Horwitz in *Appl. Phys. Lett.*

43(10), Seite 997-979 (1983) wird erstmals von Hohlkathodenentladungen berichtet, die mit hochfrequenter Leistung betrieben werden. Mit der dort beschriebenen Vorrichtung werden Ätzprozesse durchgeführt, wobei das Substrat in der Hohlkathode selbst angebracht ist. Auf Grund der Konstruktion bilden sich keine Niedertemperatur-Plasmajets, da die Gasteilchen durch einen Spalt aus der Hohlkathode strömen.

Im Aufsatz von Lejeune, Grandchamp, Kessi und Gilles, *Vacuum* 36, Seite 837-840 (1986) wird berichtet, daß Hochfrequenz-Hohlkathodenentladung in einer Hochfrequenz-Ionenquelle eingesetzt wird. Die Hohlkathoden sind in einer Matrix angeordnet, welche sich in einem auf Hochspannung liegenden Anodenzyylinder befindet. In diesen Anodenzyylinder strömt das Arbeitsgas ein und gelangt von dort in die Hohlkathoden, wo ein dichtes Plasma erzeugt wird. Zur Verbesserung der Plasmahomogenität wird an den Anodenzyylinder ein Magnetfeld angelegt. Beim Betrieb der Hochfrequenz-Ionenquelle bilden sich jedoch keine Niedertemperatur-Plasmajets aus.

Im US Patent 4954751 von Kaufman und Robinson wird von einer Vorrichtung berichtet, bei der in zwei voneinander elektrisch isolierten Kavitäten hochfrequente Hohlkathodenentladungen erzeugt werden. Die Kavitäten werden parallel von einem Generator mit Leistung versorgt. Das Arbeitsgas strömt jedoch nicht direkt in die Hohlkathoden ein. Die Vorrichtung ist auf zwei Hohlkathoden beschränkt, so daß eine Skalierung nicht möglich scheint. Außerdem werden keine Plasmajets extrahiert, da diese Vorrichtung lediglich als Elektronenquelle dienen soll, so daß diese Vorrichtung nicht in Plasmapolymerisationsprozessen eingesetzt werden kann.

Niedertemperatur-Plasmajets werden in DE 3620214 A1 und im Aufsatz von Bardos und Dusek in *Thin Solid Films* Vol. 158, Seite 265-270 (1988) bei einer Vorrichtung zur plasmaunterstützten CVD (Chemical Vapour Deposition) mit sehr hohen Raten erstmals beschrieben. Die Vorrichtung besteht aus einer Hohlkathode, die mit hochfrequenter Leistung (27,12 MHz) betrieben wird. Bei dieser Vorrichtung dient das Substrat selbst bzw. auch die Prozeßkammer als Gegenelektrode. Mit dieser Vorrichtung können Abscheideraten von einigen µm pro Minute zur Erzeugung von Nitridschichten erzielt werden. Es wird jedoch von keiner Anordnung berichtet, die eine großflächige Abscheidung auf bahnförmigen Substraten, wie Folien, ermöglicht. Ebenso stellt die Beschichtung von nichtleitenden Substraten ein Problem dar.

Ein anderes Konzept zur Erzeugung von Niedertemperatur-Plasmajets wird in WO 96/16531 von Bardos und Barankova (1995) beschrieben. Bei dieser Vorrichtung sind zwei parallele Platten von einigen Zentimetern Länge zu einer Hochfrequenz-Hohlkathode zusammengefaßt. Eine Magnetanordnung außerhalb einer Hochfrequenz-Hohlkathode bewirkt die Bildung von Plasmajets. Jedoch bildet auch hier das Substrat

die Anode für die Entladung. Diese Vorrichtung dient neben dem Einsatz in Ätzprozessen zur Erzeugung harter Schichten, wie z.B. TiN, wobei das Material der Hohlkathode gesputtert wird und als Schicht auf dem Substrat deponiert wird.

In DE 4233895 AI von Engemann und Korzec, bzw. im Aufsatz von Korzec, Schott und Engemann *J. Vac. Sci. Technol. A* 13 Seite 843-848(1995) wird von einer Hochfrequenz-Hohlkathoden-Plasmaquelle zur Oberflächenmodifikation von bewegten, zweidimensionalen Substraten berichtet. Es handelt sich hier um eine geschlossene Konstruktion mit 300 mm langen Hohlkathodenkanälen. Bei dieser Vorrichtung befinden sich keine Bohrungen in der Hohlkathode, wodurch sich kein effizientes Hohlanodenplasma ausbilden kann. In den Aufsätzen von Mildner, Korzec, Hillemann und Engemann *Verhandl. DPG (VI) 31*, Seite 743 (1996), sowie Korzec, Mildner, Hillemann und Engemann (1996) (*Beitrag zur PSE'96 zur Veröffentlichung angenommen*) wird ebenfalls eine Hochfrequenz-Hohlkathoden-Plasmaquelle zur Oberflächenmodifikation mit geschlossener Konstruktion vorgestellt. Hierbei haben die Hochfrequenz-Hohlkathodenkanäle eine Länge von 700 mm und sind mit Kathodenbohrungen versehen. Dadurch bildet sich ein effizientes Hohlanodenplasma aus, jedoch ist diese Vorrichtung zur Deposition von Plasmapolymerefilmen auf bewegten, zweidimensionalen Substraten aufgrund der geschlossenen Konstruktion nicht geeignet. Außerdem wird durch die Konstruktion die Bildung von Plasmajets verhindert.

Im Aufsatz von Korzec, Engemann, Mildner, Ningel, Borgmeier und Theirich *Beitrag zu 3rd European Workshop on Surface Engineering Large Area Coating LAC'95 Würzburg, im Druck* (1995) wird eine lineare Vorrichtung zur Erzeugung von Hochfrequenz-Hohlkathoden-Niedertemperaturplasmajets vorgestellt. Bei dieser Vorrichtung wird eine Hochfrequenz-Hohlkathode in einer Hohlanode coaxial angeordnet. Durch eine matrixförmige Anordnung von Bohrungen in der Hohlkathode, als auch in der Hohlanode, werden bei geeigneten Parametern Niedertemperatur-Plasmajets emittiert. Wird die Hochfrequenz-Hohlkathode beispielsweise als eine 30 cm lange Hohlkathode ausgebildet, so zeigt sich, daß bei niedrigen Kammerdrücken im Bereich von einigen Millibar nicht aus allen Bohrungen, die als Düsen fungieren, ein Plasmastrahl eines nicht-polymerisierenden Gases extrahiert wird. Es bildet sich abhängig von den Betriebsbedingungen Gasfluß, Vakuumkammerdruck, eingekoppelter HF-Leistung und der Gasart ein Muster von extrahierten Plasmastrahlen. Dieses Muster läßt sich bei dieser Vorrichtung grundsätzlich nicht vermeiden und führt zu einer inhomogenen Substratbeeinflussung. Es ist jedoch notwendig, bei niedrigen Drücken zu arbeiten, da höhere Drücke zu höheren Temperaturen auf dem Substrat und damit zu dessen Zerstörung führen können.

Es ist somit Aufgabe der Erfindung, eine Vorrichtung zur Erzeugung einer Vielzahl von intensiven Hoch-

frequenz-Hohlkathoden-Niedertemperatur-Plasmajets zu schaffen, die eine homogene Disposition einer funktionalen Schicht auf einem bahnförmigen und gegebenenfalls temperaturempfindlichen Substrat ermöglicht.

Die Erfindung löst diese Aufgabe mit den Merkmalen des Anspruchs 1, insbesondere mit denen des Kennzeichenteils, wonach die Vorrichtung mehrere separate Einzelhohlkathodenkammern umfaßt und jedem Plasmajet jeweils eine Einzelhohlkathodenkammer als Entladungsraum zugeordnet ist.

Das Prinzip der Erfindung beruht somit im wesentlichen darauf, die Plasmajets einzeln in separaten Einzelhohlkathodenkammern zu zünden und aus den Kammern jeweils in einen Prozeßraum zu extrahieren. Mit der erfindungsgemäßen Lösung gelingt es, die Plasmajets unabhängig voneinander mit Arbeitsgas zu versorgen. Dies ermöglicht ein dauerhaftes, gleichmäßiges Brennen aller Plasmajets. Strömungstechnische Nachteile beim Stand der Technik, die verhindern, daß mehrere Plasmajets, die aus einem gemeinsamen Entladungsraum entstammen, nicht gleichmäßig dauerhaft brennen, können so beseitigt werden.

Die Ausbildung der Vorrichtung mit Kammergehäuse und Anodengehäuse ermöglicht dabei auch die Deposition von isolierenden Schichten auf ein Substrat bzw. die Deposition auf isolierende Substrate.

Gemäß einer vorteilhaften Ausführungsform erweitern sich Öffnungen in der Anode zumindest bereichsweise zum Prozeßraum hin. Damit wird zunächst die für den Plasmajet erkennbare Fläche der Anodenbohrung vergrößert. Es gelingt aber gleichzeitig, nebeneinander angeordnete Plasmajets voneinander abzuschirmen, so daß sie sich erst in einem substratnahen Bereich im Prozeßraum überlagern und auf diese Weise gleichmäßig brennen. Eine gegenseitige Beeinflussung benachbarter Plasmajets ist damit vermindert.

Weitere Vorteile der Erfindung ergeben sich aus den Unteransprüchen und anhand von in den Zeichnungen dargestellten Ausführungsbeispielen. Es zeigen:

Fig. 1 einen Querschnitt durch eine Hohlkathode und eine Hohlanode mit einer Hochfrequenz-Hohlkathodenentladung zur Erzeugung eines Niedertemperatur-Plasmajets mit hoher Ionendichte,

Fig. 2a einen Längsschnitt durch eine schematisch dargestellte Vorrichtung mit linear angeordneten ringförmigen Einzelhohlkathodenkammern zur Erzeugung mehrerer linear angeordneter Niedertemperatur-Plasmajets,

Fig. 2b einen Querschnitt gemäß Schnittlinie A-A' in Fig. 1,

Fig. 3a einen Längsschnitt parallel zur Ebene eines bahnförmigen Substrates durch eine schematisch dargestellte Vorrichtung mit flächenartig angeordneten kreiszylindrischen Einzelhohlkathodenkam-

mern zur Erzeugung in Matrixform angeordneter Niedertemperatur-Plasmajets,

Fig. 3b einen Querschnitt durch eine schematisch dargestellte Vorrichtung gemäß Fig. 3a mit einem Prozeßraum und einem Substrat, und

Fig. 4 einen Querschnitt durch einen Bereich von stufenartigen Öffnungen in einem Hohlkathodengehäuse und in einem Anodengehäuse mit einem Niedertemperatur-Plasmajet.

Fig. 1 zeigt den Stand der Technik und stellt das Prinzip zur Erzeugung eines Niedertemperatur-Plasmajets schematisch dar. Die Erzeugung basiert zum einen auf strömungsphysikalischen Effekten. Zum andern dient das Plasma als elektrischer Leiter zwischen einer Hohlkathode 1 und einer Hohlanode 2. In einer geerdeten Gesamtanode 11 befindet sich davon elektrisch isoliert die eine Hohlkathodenkammer 34 umgebende Hohlkathode 1. Ein nicht polymerisierendes Arbeitgas, z.B. Argon, Sauerstoff, Stickstoff, etc. strömt durch den Gaseinlaß 9 in die Hohlkathodenkammer 34 ein. Das Gas strömt anschließend durch eine Kathodenbohrung 6 und eine Anodenbohrung 7 in die Hohlanode 2, welche über den Gasauslaß 10 evakuiert wird. Dadurch wird eine Strömung im Bereich der Kathodenbohrung 6 und der Anodenbohrung 7 ausgebildet, die zur Erzeugung des Plasmajets 5 beiträgt. Wird die Hohlkathode 1 durch einen Hochfrequenzgenerator 8 (z.B. 13,56 MHz) mit Leistung versorgt, wird in der Hohlkathodenkammer 34 ein Hohlkathodenplasma 3 erzeugt. Der gesamte elektrische Entladungsstrom fließt im Plasma ebenfalls durch die Kathodenbohrung 6 und die Anodenbohrung 7, so daß eine Zone hoher Ionendichte entsteht. Beide Effekte erzeugen gemeinsam den Plasmajet 5.

In der Hohlanode 2, in der ein Hohlanodenplasma 4 brennt, ist ein Gasauslaß 10 vorgesehen. Ein Prozeßraum 33 ist somit nicht vollständig geschlossen. Es kann daher zu einem Fluß von Plasma bzw. Gas durch die Bohrungen 6, 7 und durch den Prozeßraum 33 kommen und die Plasmajets 5 können aus der Anodenbohrung 5 extrahiert werden.

Um unabhängig von der Reaktorgeometrie Polymerschichten durch Plasmapolymerisation auf nichtleitenden, sich gegebenenfalls bewegendenden, zweidimensionalen Substraten, wie z.B. Papier, Kunststoffe, Polypropylen-Fasermatten od. dgl. deponieren zu können, wurde eine Hochfrequenz-Hohlkathoden-Plasmaquelle zur Erzeugung eines Niedertemperaturplasmas entwickelt. Als Ausführungsbeispiele gemäß der Erfindung werden im folgenden zwei Vorrichtungen zur Erzeugung einer Vielzahl von Niedertemperatur-Plasmajets vorgestellt.

In Fig. 2a ist ein Längsschnitt durch ein schematisch dargestelltes erstes Ausführungsbeispiel der Vorrichtung zur Erzeugung mehrerer linear angeordneter Niedertemperatur-Plasmajets abgebildet, wobei jeder

Plasmajet 5 separat in einer Einzelhohlkathodenkammer 32 einer Einzelhohlkathode 12 erzeugt wird. Die Plasmajets 5 durchstoßen jeweils einen Bereich zwischen der Kathodenbohrung 6 und der Anodenbohrung 7. Sie erstrecken sich über die Bohrungsbereiche hinaus sowohl in den Prozeßraum 33, als auch in die Einzelhohlkathodenkammern 32 hinein. Aufgrund der Druckunterschiede strömt jeder Plasmajet 5 durch die Kathodenbohrung 6 und die Anodenbohrung 7 in den Prozeßraum 33.

Eine Gesamthohlkathode 27 ist coaxial in einer Gesamthohlanode 13 angeordnet und durch keramische Isolierstücke 20 elektrisch von der geerdeten Gesamthohlanode 13 isoliert. So wird ein Dunkelraum 26 mit einer Breite von vorzugsweise 2,5 mm geformt. Die Gesamthohlkathode 27 wird über die Hochfrequenzzuführung 14 mit hochfrequenter Leistung versorgt. Dabei wird zur Isolierung der Hochfrequenzzuführung in der Anode 19 eine Hülse vorzugsweise aus PTFE (Polytetrafluorethylen) verwendet.

Mehrere Einzelhohlkathoden 12 sind linear zu einer Gesamthohlkathode 27 angeordnet. Die Einzelhohlkathodenkammern 32 der Einzelhohlkathoden 12 werden über eine Kathodengaszuführung 16 mit Arbeitgas versorgt. Das Arbeitgas strömt jeweils durch einen Einzelhohlkathodengaseinlaß 15 in die Einzelhohlkathodenkammern 32. Eine Gesamtgaszuführung 18 führt das Arbeitgas von außen beidseitig der Vorrichtung der Gesamthohlkathode 27 zu. Eine Isolierstrecke 17 isoliert die Gesamtgaszuführung 18 von der Kathodengaszuführung 16. Diese Isolierstrecke 17 ist so ausgeformt, daß eine parasitäre Entladung zwischen Gesamthohlanode 13 und der Gesamthohlkathode 27 unterbunden wird.

Die Gesamthohlkathode 27 umfaßt ein Gesamthohlkathodenrohr 28, welches beim Ausführungsbeispiel einen Innendurchmesser von 43 mm bei einer Wandstärke von etwa 10 mm und einer Länge von beispielsweise 300 mm hat. Die Gesamthohlanode 13 hat einen Innendurchmesser von 68 mm und eine Wandstärke von vorzugsweise 6 mm bei einer Länge von 324 mm. Die Kathodenbohrungen 6 bilden zusammen mit den gegenüberliegenden Anodenbohrungen 7 eine Reihe parallel zu einer Längsachse der Gesamthohlkathode 27. Jeweils eine Kathodenbohrung 6 und eine Anodenbohrung 7 sind als axial fluchtendes Bohrungspar angeordnet.

Die Kathodenbohrung 6 hat einen Durchmesser von vorzugsweise 10 mm. Die in dem Beispiel dargestellten Anodenbohrungen 7 haben jeweils einen Durchmesser von 4 mm. Durch den Gasfluß des in jede Einzelhohlkathodenkammer 32 unter einem erhöhten Druck gegenüber dem Prozeßraum 33 einströmenden Arbeitsgases, strömt ein Plasmajet 5 aus den Bohrungen 6 und 7 in den Prozeßraum 33. Die Gesamtgaszuführung 18 wird z.B. durch ein 6 mm starkes Edelstahlrohr gebildet.

Beim Ausführungsbeispiel sind insgesamt 15 Ein-

zelhohlkathoden 12 bzw. 15 Einzelhohlkathodenkammern 32 vorgesehen, von denen jedoch nur fünf in der Fig. 2a dargestellt sind. Die Einzelhohlkathoden 12 mit den Einzelhohlkathodenkammern 32 werden beim Ausführungsbeispiel auf folgende Weise gebildet: Die Kathodengaszuführung 16 ist durch ein Rohr von 6 mm Durchmesser realisiert, auf dem mehrere Scheiben 29 von der Dicke 1 mm und dem Durchmesser 43 mm mit einem jeweiligen Abstand von vorzugsweise 20 mm befestigt sind. Das Rohr 16 mit den Scheiben 29 wird in das die Gesamthohlkathode 27 bildende Rohr 28 geschoben und bildet somit toroidale Einzelhohlkathodenkammern 32 der Einzelhohlkathoden 12. Das die Kathodengaszuführung bildende Rohr 16 weist Wanddurchbrüche 15 auf, durch die das Arbeitsgas in die Einzelhohlkathodenkammern 32 gelangt. Die Zahl der Wanddurchbrüche 15 entspricht der Zahl der Einzelhohlkathodenkammern 32. Als Arbeitsgas kann jedes nicht polymerisierende Gas verwendet werden.

Diese lineare Vorrichtung ist so konstruiert, daß sich eine in diskreten Einheiten von 300 mm verlängerbare Vorrichtung zur Erzeugung einer beliebig großen Anzahl von Hochfrequenz-Hohlkathoden Niedertemperatur-Plasmajets ergibt. Um eine beidseitige Behandlung bzw. Beschichtung eines Substrates zu erreichen, können zwei parallele linear ausgebildete Vorrichtungen senkrecht zur Bewegungsrichtung des Substrates einander gegenüberliegend angeordnet werden. Die Hochfrequenzleistung wird über einen symmetrischen HF-Verteiler dem Vorrichtungspaar zugeführt. Dieser Verteiler ist so konstruiert, daß der Abstand der beiden Vorrichtungen zueinander variiert werden kann. Die Hochfrequenzleistung wird über eine Steckverbindung, die ebenfalls das Modularitätsprinzip unterstützt, in die Gesamthohlkathode 27 eingekoppelt.

Prinzipiell ist es auch möglich, mehr als zwei der erfindungsgemäßen Vorrichtungen derart anzuordnen, daß dreidimensionale Objekte von allen Seiten beschichtet werden können.

Fig. 2b zeigt einen Querschnitt durch eine toroidale Einzelhohlkathode 12 der Vorrichtung mit Prozeßraum und Substrat.

Der Plasmajet 5 regt das außerhalb der Vorrichtung zugeführte Monomer 22 in einem Remote-Prozeß, analog dem Aufsatz von Korzec, Theirich, Werner, Traub und Engemann, *Surf. and Coating Technol.* 74-75, p. 67-74 (1995), zur Polymerisation auf der Oberfläche eines Substrat 24, an. Das zu polymerisierende Monomer 22 wird durch eine Monomergaszuführung 21 mit Bohrungen, die nahe der erfindungsgemäßen Vorrichtung angeordnet ist, zugeführt. Es bildet sich eine beschichtende Plasmazone 23 im Prozeßraum 33 aus. Das Monomer polymerisiert auf dem Substrat 24 und bildet einen Plasmapolymerefilm 25. Die Ionendichte innerhalb eines Plasmajets 5 beträgt bis zu 10^{12} Ionen pro cm^3 .

In Fig. 3a ist ein zweites Ausführungsbeispiel dargestellt. Diese Vorrichtung arbeitet nach dem gleichen

Prinzip und ermöglicht ebenfalls die Erzeugung einer Vielzahl von intensiven Hochfrequenz-Hohlkathoden-Niedertemperatur-Plasmajets. Während das in den Fig. 2a und 2b gezeigte Beispiel eine lineare Anordnung von Einzelhohlkathodenkammern 32 der Einzelhohlkathoden 12 zeigt, sind hier die Einzelhohlkathoden 12 mit den Einzelhohlkathodenkammern 32 entlang einer Ebene angeordnet. Dies führt zu einer matrixartigen Ausbildung von Plasmajets.

Im Gegensatz zu den ringförmigen Einzelhohlkathodenkammern 32 in den Fig. 3a und 3b sind bei diesem Ausführungsbeispiel die Einzelhohlkathodenkammern 32 kreiszylindrisch ausgebildet. Die Zuführung des Arbeitsgases erfolgt hier jeweils von einer Stirnseite des Zylinders her durch einen Gaseinlaß 15. Der Gasauslaß, die Bohrung 6 im Kammergehäuse der Einzelhohlkathode 12, ist jeweils auf der gegenüberliegenden Stirnseite des Zylinders angeordnet.

Die Einzelhohlkathoden 12 befinden sich in einer Gesamthohlkathode 27, die selbst innerhalb der Gesamtanode 13 angeordnet ist. Gesamthohlkathode 27 und Gesamtanode 13 sind durch keramische Isolierstücke 20 voneinander getrennt. Die Gesamtanode 13 befindet sich auf dem elektrischen Erdpotential. Die Gesamthohlkathode 27 wird über die Hochfrequenzzuführung 14 mit hochfrequenter Leistung versorgt. Die Hochfrequenzzuführung 14 ist von der Anode 19 elektrisch isoliert, wobei als Isoliermaterial vorzugsweise PTFE (Polytetrafluorethylen) verwendet wird. In jeder Einzelhohlkathodenkammer 32 der Einzelhohlkathoden 12 brennt ein Hohlkathodenplasma 3. Die Gesamthohlkathode 27 wird über die Isolierstrecke 17 der Gaszuführung und über die Gesamtgaszuführung 18 mit einem nichtpolymerisierenden Arbeitsgas versorgt. Diese Isolierstrecke 17 der Gaszuführung ist so ausgeformt, daß eine parasitäre Entladung zwischen Gesamtanode 13 und der Gesamthohlkathode 27 unterbunden wird.

In Fig. 3b ist ein Querschnitt der Vorrichtung zur Erzeugung in Matrixform angeordneter Niedertemperatur-Plasmajets gezeigt. Das Arbeitsgas strömt von der Isolierstrecke 17 der Gaszuführung in die Kathodengaszuführung 16, die als Kanalsystem ausgebildet ist. Von der Kathodengaszuführung 16 strömt das Gas durch den Hohlkathodengaseinlaß 15 in jede einzelne Hohlkathodenkammer 32, um ein Hohlkathodenplasma 3 zu zünden. Ein Plasmajet 5 bildet sich im Bereich von Kathodenbohrung 6 und Anodenbohrung 7 und strömt durch die Anodenbohrung 7 in den Prozeßraum 33.

Jede Einzelhohlkathodenkammer 32 der Hohlkathode 12 hat beim Ausführungsbeispiel einen Durchmesser von vorzugsweise 20 mm bis 40 mm. Die Länge beträgt z.B. 50 mm. Die Gesamthohlkathode 27 hat beispielsweise eine Länge von ca. 264 mm bei einer Breite von z.B. 125 mm. Der Hohlkathodengaseinlaß 15 hat einen Durchmesser von 2 mm. Die Gesamthohlkathode 27 ist von einem Zwischenraum oder Dunkelraum 26 von der Breite 2 mm umgeben. Die Kathodenbohrung 6

hat einen Durchmesser von 10 mm und die Anodenbohrungen 7 haben einen Durchmesser von 4 mm. Durch den Gasfluß und den erhöhten Druck innerhalb der Einzelhohlkathodenkammern 32 gegenüber der Prozeßkammer 33 strömt ein Plasmajet 5 durch die Bohrungen 6 und 7 in den Prozeßraum 33. Die Gesamtgaszuführung 18 wird beispielsweise durch ein 6 mm starkes Edelstahlrohr gebildet. Das zu polymerisierende Monomer 22 wird durch eine nahe der erfindungsgemäßen Vorrichtung angeordnete Monomergaszuführung 21 mit Bohrungen analog zur Fig. 2b zugeführt.

Fig. 4 zeigt einen vergrößerten Ausschnitt des Bereiches der Bohrungen 6, 7 der oben beschriebenen Vorrichtung. Das Verhältnis von Kathodenfläche zur Anodenfläche spielt für die Generierung des Plasmajets und den Betrieb der Vorrichtung eine wichtige Rolle, wie im Aufsatz von Horwitz, *J. Vac. Sci. Technol.* A1 Seite 60-68 (1983) beschrieben wird. Beim Ausführungsbeispiel ist die zylindrische Bohrung 7 der Gesamtanode 11 stufenartig ausgebildet. Der Plasmajet 5 strömt durch die Kathodenbohrung 6 zur Anodenbohrung 7. Ein Optimum der Flächenverhältnisse ist erreicht, wenn die Kathodenfläche und die Anodenfläche gleich groß sind. Bei der erfindungsgemäßen Vorrichtung bedeutet dies, daß die dem Plasmajet 5 zugewandte Fläche der Anodenbohrung 7 in etwa so groß sein sollte, wie die Innenfläche jeder Einzelhohlkathode 12. Dadurch, daß sich die Anodenbohrung 7 zum Prozeßraum 33 hin stufenartig erweitert, wird dem Plasmajet 5 eine größere effektive Fläche zur Verfügung gestellt, als es der Fall bei einer kreiszylindrischen Bohrung ist.

Die Anodenbohrung 7 kann sich zum Prozeßraum hin auch konisch oder gekrümmt erweitern. Gleiches gilt für die Kathodenbohrung 6.

Durch diese erfindungsgemäße Anordnung läßt sich die Spannungsverteilung an den Hochfrequenzelektroden so einstellen, daß man hochintensive Plasmajets extrahieren kann. Es wird sichergestellt, daß der elektrische Entladungstrom über die Oberfläche der zylindrischen, gestuften Anodenbohrung 7 abfließt und eine Umhüllung der Gesamtanode 11 mit den Anodenbohrungen 7 mit einem Plasma vermieden wird.

Anstelle der beiden beschriebenen und dargestellten Ausführungsformen der Vorrichtung, ist es auch möglich, mehrere separate Einzelhohlkathodenkammern ringförmig anzuordnen. Die Plasmajets können dabei entweder in einen Prozeßraum extrahiert werden, der sich innerhalb des vom Ring umschlossenen Bereiches befindet, oder in einen Prozeßraum außerhalb des Ringes. Als Anwendung für eine derartige Vorrichtung kommt beispielsweise die Deposition von funktionalen Schichten auf der Außenumfangsfläche oder auf der Innenumfangsfläche eines rohrförmigen Körpers in Betracht. Dieser kann relativ zu der ringartig ausgebildeten Vorrichtung bewegt werden, wobei während dieser Bewegung die Deposition der funktionalen Schicht stattfindet.

Alle oben beschriebenen Vorrichtungen zur Erzeu-

gung einer Vielzahl von Plasmajets können bei geringem Drücken von einigen Millibar betrieben werden. Die beim Betrieb auftretenden Temperaturen sind in der Größenordnung von weniger als 500 °C.

Patentansprüche

1. Vorrichtung zur Erzeugung einer Vielzahl von Niedertemperatur-Plasmajets (5) mittels hochfrequenter Leistung unter Ausnutzung von Hohlkathodenentladungen in mindestens einer Hohlkathodenkammer (32), die von einer Hohlkathode (12) umgeben ist, die wenigstens eine Einlaßöffnung (15) für ein Arbeitsgas umfaßt, mit zumindest einer der Hohlkathode (12) benachbarten Anode (11), wobei die Hohlkathode (12) und die Anode (11) einander gegenüberliegende Öffnungen (6, 7) aufweisen, durch die die Plasmajets (5) von der Hohlkathodenkammer (32) in einen Prozeßraum (33) gelangen, dadurch gekennzeichnet, daß die Vorrichtung mehrere separate Einzelhohlkathodenkammern (32) umfaßt und jedem Plasmajet (5) jeweils eine Einzelhohlkathodenkammer (32) als Entladungsraum zugeordnet ist.
2. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Hohlkathodenkammer unter Bildung von Einzelhohlkathoden (12) in mehrere separate Einzelhohlkathodenkammern (32) unterteilt ist und jede Einzelhohlkathode (12) eine eigene Einlaßöffnung (15) zur Einspeisung des Arbeitsgases aufweist.
3. Vorrichtung nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Einzelhohlkathodenkammern (32) reihenartig angeordnet sind.
4. Vorrichtung nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß sich die Reihenanordnung linear erstreckt.
5. Vorrichtung nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß die Einzelhohlkathodenkammern (32) ringförmig angeordnet sind.
6. Vorrichtung nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Einzelhohlkathodenkammern (32) entlang einer Fläche angeordnet sind.
7. Vorrichtung nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß die Fläche eine Ebene ist.
8. Vorrichtung nach einem der vorangegangenen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Einzelhohlkathodenkammern (32) an mehreren einander gegenüberliegenden Seiten eines Prozeßraums (33) angeordnet sind.

9. Vorrichtung nach einem der vorangegangenen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Einzelhohlkathodenkammern (32) durch Anordnung von Trennwänden (29) in einem Gesamtkathodengehäuse (27) gebildet sind.
10. Vorrichtung nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, daß das Gesamtkathodengehäuse (27) von einem Gesamtanodengehäuse (13) umgeben ist.
11. Vorrichtung nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, daß das Gesamtanodengehäuse (13) elektrisch geerdet ist.
12. Vorrichtung nach einem der vorangegangenen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß Öffnungen (6,7) in den Einzelhohlkathoden (12) und in der Anode (11) miteinander axial fluchtende Bohrungs-paare bilden.
13. Vorrichtung nach einem der vorangegangenen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß sich Öffnungen (7) in der Anode (11) jeweils zumindest bereichsweise zum Prozeßraum (33) hin erweitern.
14. Vorrichtung nach Anspruch 13, dadurch gekennzeichnet, daß sich die Öffnungen (7) in der Anode (11) stufenartig zum Prozeßraum (33) hin erweitern.
15. Vorrichtung nach Anspruch 14, dadurch gekennzeichnet, daß die Stufen jeweils von einem Kragen gebildet sind, der auf der prozeßseitigen Wand der Anode (11) angeordnet ist.
16. Vorrichtung nach einem der vorangegangenen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß sich Öffnungen (6) in den Einzelhohlkathoden (12) zum Entladungsraum hin zumindest bereichsweise erweitern.
17. Vorrichtung nach Anspruch 16, dadurch gekennzeichnet, daß sich Öffnungen (6) in den Einzelhohlkathoden (12) zum Entladungsraum hin stufenartig erweitern.
18. Vorrichtung nach einem der vorangegangenen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß im Bereich mindestens eines Plasmajets (5) wenigstens eine Vorrichtung (21) zur Einbringung eines Monomers (22) in den Prozeßraum (33) vorgesehen ist.
19. Vorrichtung nach einem der vorangegangenen Ansprüche, insbesondere nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, daß die Zuführung des Arbeitsgases zu den Einzelhohlkathoden (12) durch eine Isolierstrecke (17) erfolgt, die zwischen dem Gesamtkathodengehäuse (27) und der Gesamtanode (11) angeordnet ist.
20. Vorrichtung nach Anspruch 19, dadurch gekennzeichnet, daß innerhalb des Gesamtkathodengehäuses (27) ein Gasverteilungssystem (16) vorgesehen ist, das jede Einzelhohlkathodenkammer (32) separat mit dem Arbeitsgas versorgt.
21. Vorrichtung nach Anspruch 20, dadurch gekennzeichnet, daß das Gasverteilungssystem (16) aus einem Rohr gebildet ist.
22. Vorrichtung nach Anspruch 21, dadurch gekennzeichnet, daß an dem Rohr (16) Wanddurchbrüche (15) angeordnet sind, durch die das Arbeitsgas in die Einzelhohlkathodenkammern (32) gelangt.
23. Vorrichtung nach Anspruch 22, dadurch gekennzeichnet, daß die Einzelhohlkathodenkammern (32) toroidförmig ausgebildet und reihenartig angeordnet sind und das Rohr (16) die Mittelachse der Anordnung darstellt.

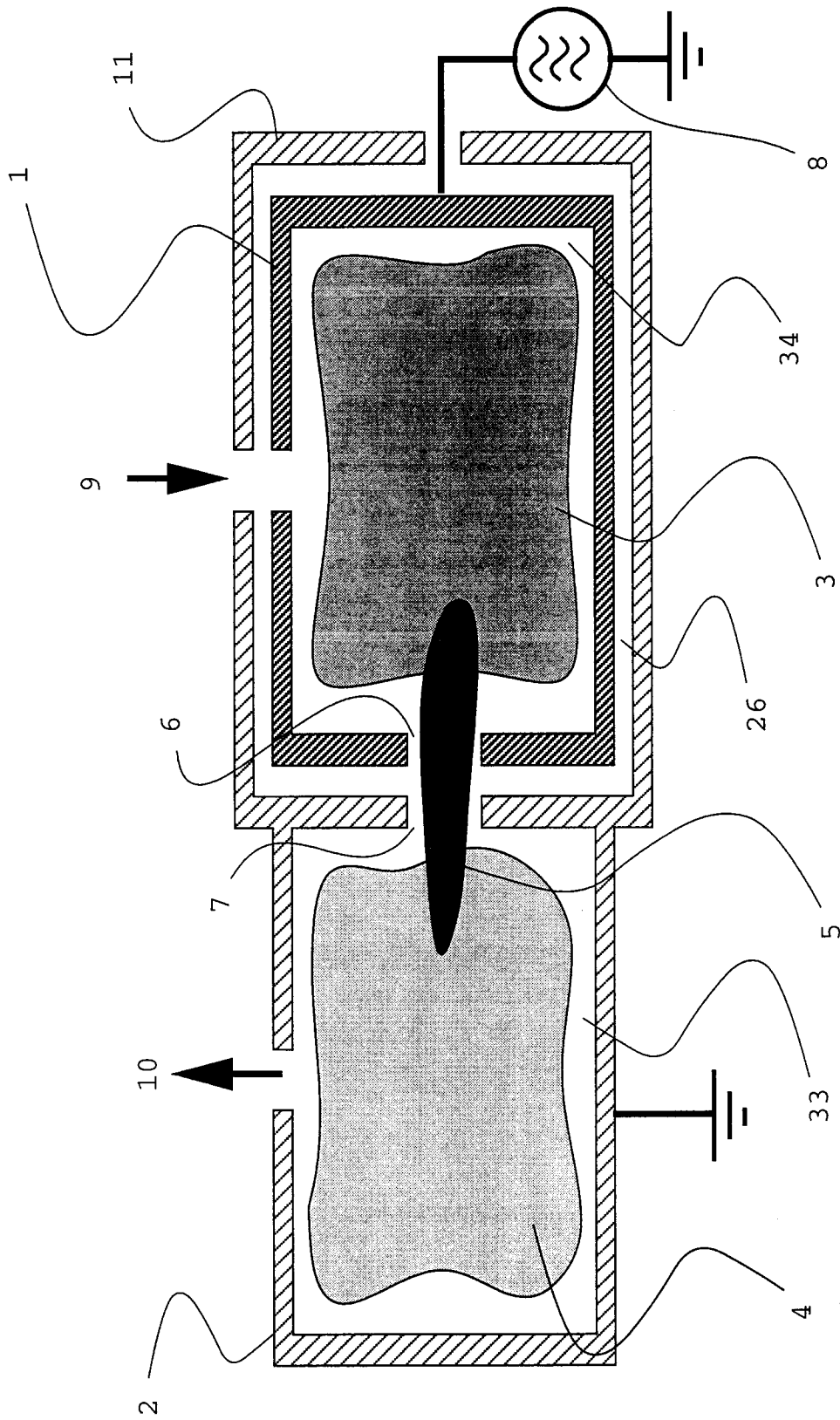


Fig. 1

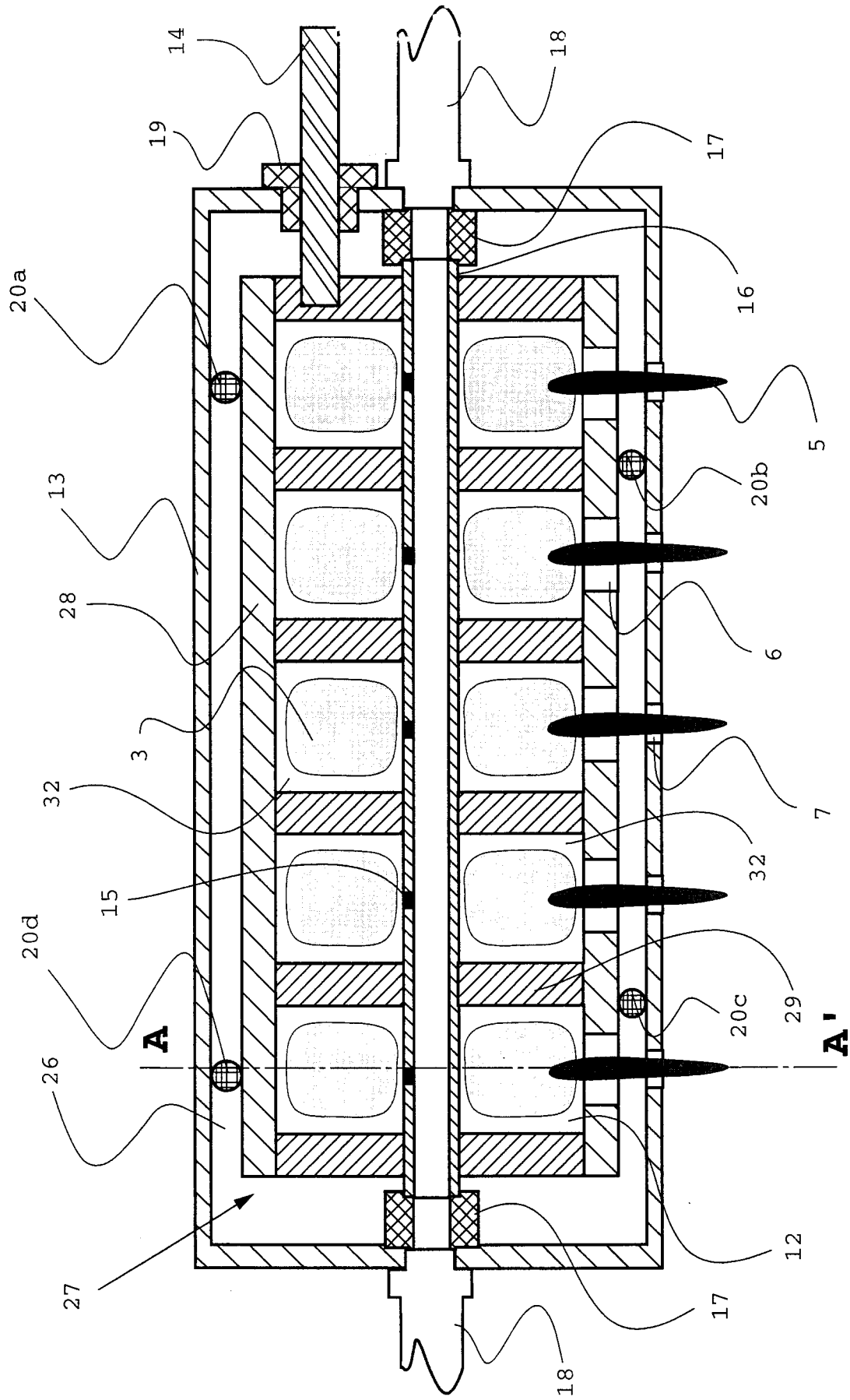


Fig. 2a

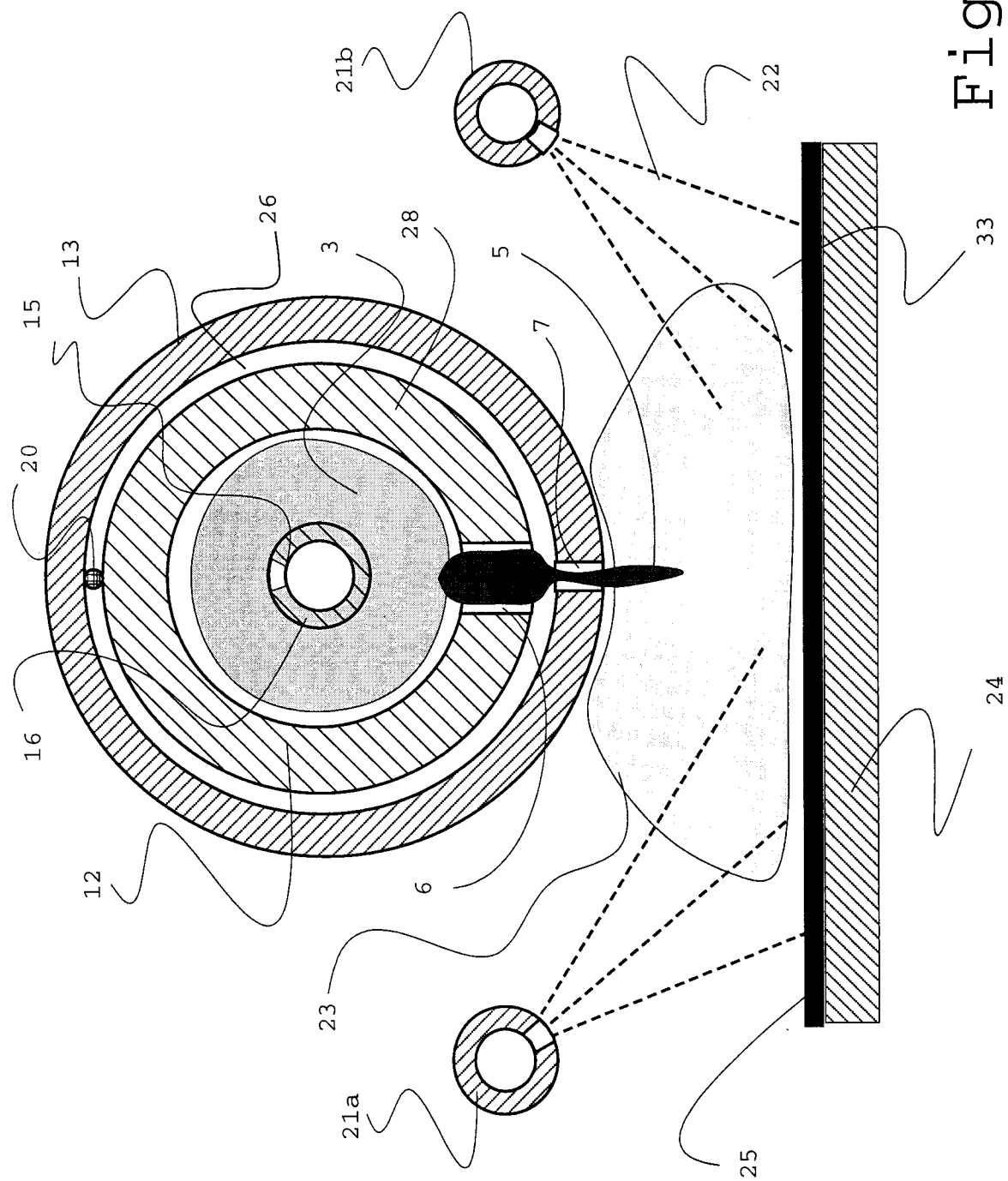


Fig. 2b.

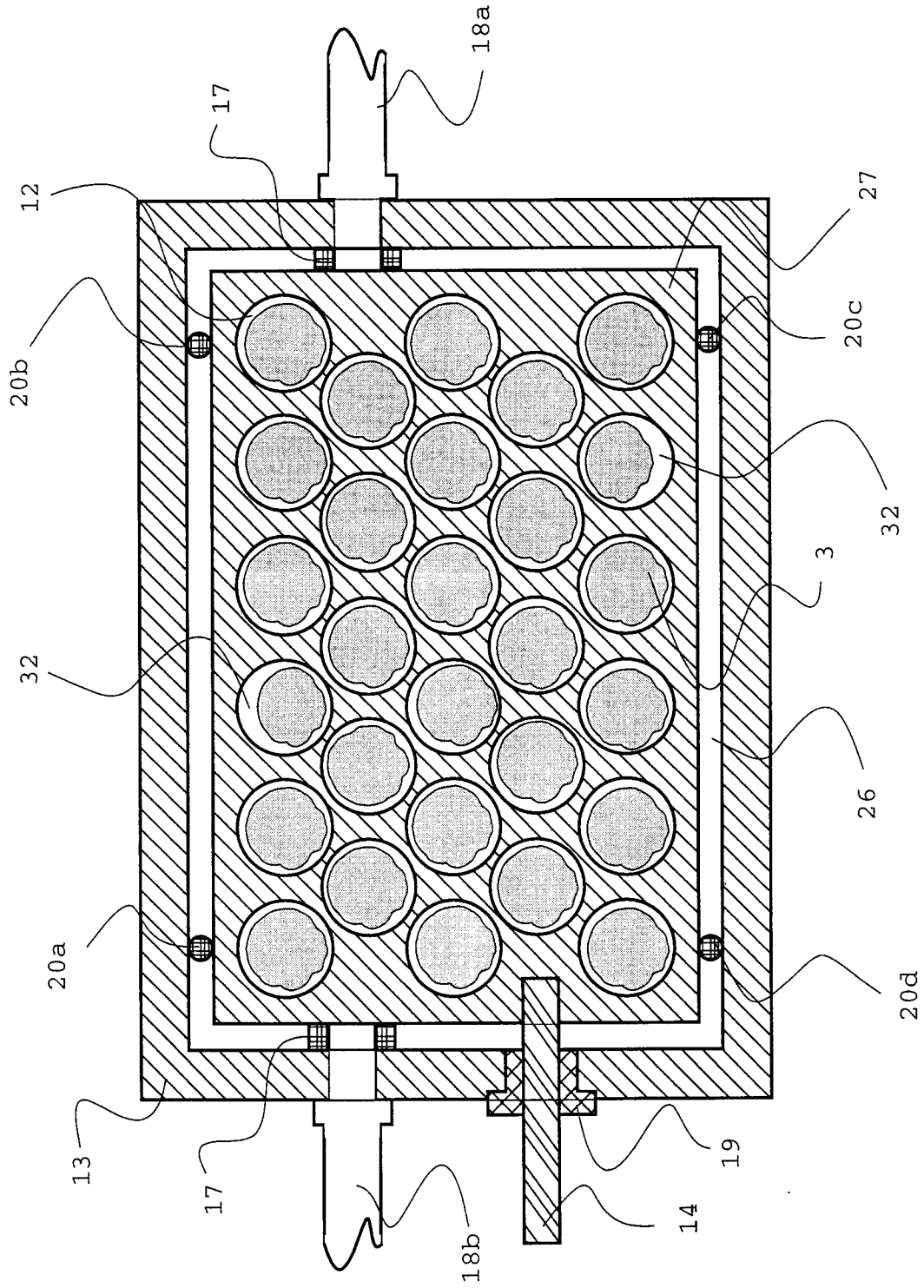


Fig. 3a

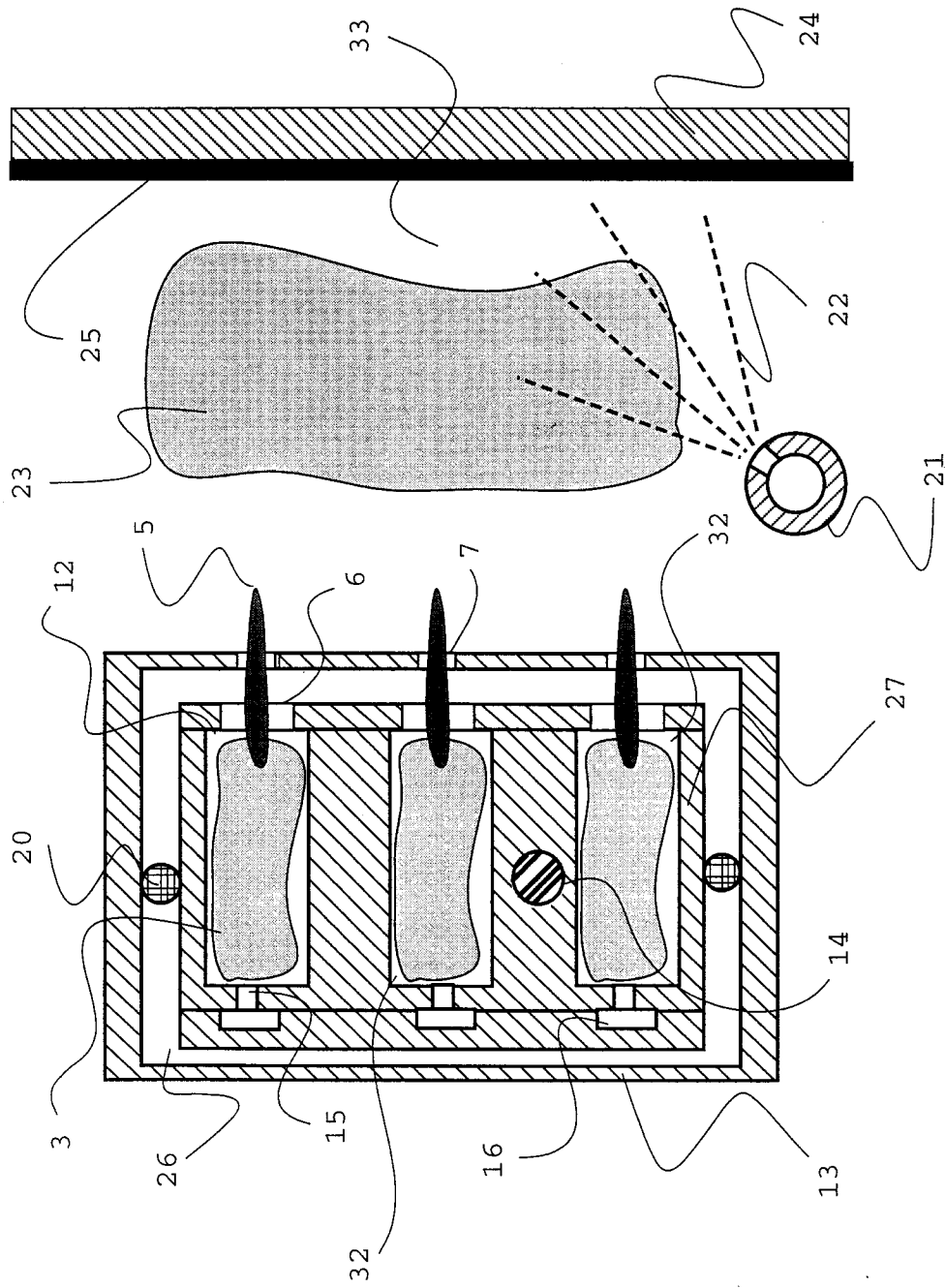


Fig. 3b

