



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 102 46 181 A1** 2004.04.15

(12)

Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: **102 46 181.3**
(22) Anmeldetag: **02.10.2002**
(43) Offenlegungstag: **15.04.2004**

(51) Int Cl.7: **H01J 37/305**
C23F 4/00, C23C 14/12, C23C 14/24,
H01J 37/32

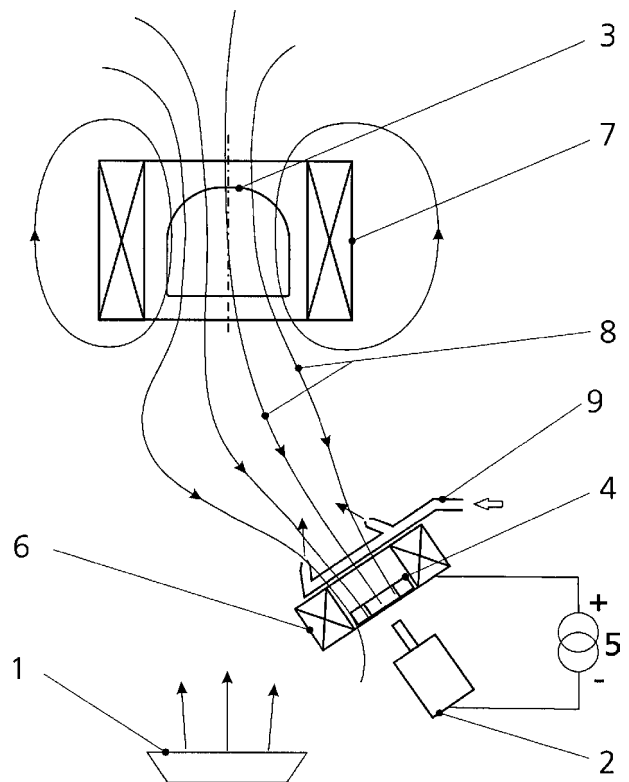
(71) Anmelder:
**Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der
angewandten Forschung e.V., 80686 München, DE**

(72) Erfinder:
**Morgner, Henry, Dr., 01257 Dresden, DE;
Neumann, Manfred, Dr., 01217 Dresden, DE**

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

(54) Bezeichnung: **Verfahren und Einrichtung zum plasmaaktivierten Bedampfen von konkav geformten Substraten**

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Einrichtung zum plasmaaktivierten Bedampfen mit hoher Beschichtungsrate, Plasma-Ätzen oder zur Plasmabehandlung der Oberfläche von konkav geformten Substraten im Vakuum, bei dem ein oder mehrere Nieder-
voltelektronenstrahlen einer oder mehrerer Bogenentladungsquellen durch ein oder mehrere magnetische Felder entlang der Feldlinien in den Hohlraum des Substrates hinein geführt werden.



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Einrichtung zum plasmaaktivierten Bedampfen von konkav geformten Bauteilen mit hoher Beschichtungsrate im Vakuum. Die zu beschichtenden Bauteile können aus Kunststoff, Glas oder Metall sein, wobei auch vorbeschichtete Substrate mit eingeschlossen sind.

[0002] Typische Anwendungen sind das Auftragen transparenter abriebfester, dekorativer, reflexerhöhender oder reflexmindernder Schichten sowie Korrosionsschutz- und Barrierschichten. Die meisten Anwendungen erfordern dichte Schichten mit guter Untergrundhaftung, die nur mit plasmaaktivierten Beschichtungsprozessen erzeugt werden können.

[0003] Die Einrichtung ist auch für Plasma-Ätzprozesse und zur Plasmabehandlung konkaver Oberflächen geeignet.

Stand der Technik

[0004] Es ist allgemein bekannt, dass die Verwendung von plasmaaktivierten und ionisierten Materialdämpfen bei der Beschichtung von Substraten aus der Dampfphase eine deutliche Verbesserung vieler Schichteigenschaften mit sich bringt. Gegenüber Schichten, die ohne Plasmaaktivierung abgeschieden werden, wird die Haftfestigkeit auf dem Substrat verbessert, die Schichten wachsen mit größerer Materialdichte auf und die Struktur der aufwachsenden Schicht lässt sich in Abhängigkeit von der Intensität der Plasmaaktivierung von einer stengelfreien Struktur zu zunehmend feineren bis hin zu stengelfreien und dicht gepackten Strukturen einstellen. Damit können auch bei hohen Aufwachsengeschwindigkeiten bzw. Beschichtungsraten ausgezeichnete optische, mechanische und elektrische Eigenschaften erzielt werden. Ebenso ist es oftmals erforderlich, Plasma-Ätzprozesse oder eine andersgeartete Plasmabehandlung vorzunehmen. Der Anwendbarkeit derartiger Beschichtungsverfahren werden jedoch häufig durch die Form der Substrate Grenzen gesetzt. Stark konkave Substrate sind bisher nur in eingeschränktem Maße einer plasmaaktivierten Beschichtung zugänglich.

[0005] Ein Beispiel für konkav geformte Kunststoffsubstrate bilden typischerweise Scheinwerfer und Reflektoren. Diese werden mit Al-Beschichtungen als reflektierende Oberfläche versehen. Typische Al-Schichtdicken bewegen sich zwischen 50 nm bis 100 nm. In modernen Beschichtungsanlagen werden die Substrate einzeln oder in geringer Stückzahl nebeneinander angeordnet durch Magnetron-Sputtern in typischen Taktzeiten von 60 s bis 10 s mit der Al-Reflektorschicht beschichtet. Transparente Siliziumoxid- oder siliziumorganische Deckschichten werden anschließend im Vakuum in einem In-Line-Prozess durch Plasmapolymersation mit einer typischen Dicke von 20 nm bis 100 nm mit der gleichen Taktzeit

wie die Al-Beschichtung aufgetragen (Beispiel: Dynamet von Balzer Leybold Optics, [www.kellnet.com/keithf/Technical Information/technical information.htm](http://www.kellnet.com/keithf/Technical%20Information/technical%20information.htm)). Diese dünnen, transparenten Schichten gewährleisten den Korrosionsschutz für die Metallschicht, sind aber auf Grund der geringen Schichtdicke gegenüber einer Wischbelastung nicht ausreichend beständig und besitzen eine zu geringe Kratzfestigkeit. Die auf diese Weise durch Plasmapolymersation in einem DC- oder Mittelfrequenz-AC-Glimmentladungsplasma abgeschiedenen transparenten Schichten können nicht wesentlich dicker als ca. 100 nm ausgeführt werden, da die verfahrensbedingte Beschichtungsrate und die durch die Metallbeschichtung vorgegebene Taktzeit keine dickeren Schichten ermöglichen. Wird eine wisch- und kratzfeste Beschichtung benötigt, ist deshalb eine nachträgliche Lackierung der Oberfläche erforderlich.

[0006] Die Abscheidung von Siliziumoxid oder siliziumorganischen Schichten durch Plasmapolymersation zur Beschichtung von Innenflächen kann auch unter Verwendung von Hochfrequenz- oder Mikrowellenplasmen erfolgen [J. Leiber, M. Londschien, K. Telgenbüscher, W. Michaeli: Plasmapolymersation – Ein Verfahren für viele Anwendungen; Vakuum in der Praxis (1992) Nr. 1, 5. 22-29]. Durch Mikrowellenentladungen lassen sich höhere Abscheideraten als mit HF-Entladungen erreichen, jedoch die Abscheidung von 1 µm bis 5 µm dicken Schichten im 10-s-Takt ist ebenfalls nicht möglich.

[0007] Es ist bekannt, durch plasmaaktivierte Hochrateverdampfung unter Verwendung von Hohlkathodenplasmaquellen Beschichtungsraten im Bereich von 100 nm/s bis zu 500 nm/s für flache Substrate zu erreichen. Das gilt auch für transparente oxidische Schichten (DE 42 35 199 C1; DE 195 46 827 A1; DE 196 12 344 C1; DE 196 12 345 C1). Das Verfahren, die zugehörigen Einrichtungen und entsprechende Modifikationen bilden Lösungen der Plasmaaktivierung des Dampfes bei hoher Beschichtungsrate, die sich ausschließlich zur Beschichtung ebener oder schwach konvex gekrümmter Substrate eignen.

[0008] Die im Wesentlichen parallel zur Substratebene geführten magnetischen Felder ermöglichen eine magnetische Verstärkung des Plasmas in der Substratebene, behindern aber die Ausdehnung des Plasmas in Hohlräume konkaver Substrate hinein.

[0009] Es wurden weiterhin Einrichtungen vorgeschlagen, in denen ein intensives Plasma auch an konkav gewölbte Substrate herangeführt wird (DE 199 02 146 A1). Die Eindringtiefe des Plasmas ist jedoch auch in diesen Ausführungen für Reflektor-Substrate mit einem Durchmesser-Tiefenverhältnis von etwa 1:1 nicht ausreichend.

[0010] Es wurde weiterhin vorgeschlagen (DE-Az 10129507.3-33), mittels Fokussierspule mit einer longitudinalen Orientierung des magnetischen Feldes eine Extraktion gerichteter Elektronen durch eine Bohrung einer Ringanode hindurch vorzunehmen. Im weiteren Verlauf werden die gerichteten Elektronen

von einem horizontalen Magnetfeld übernommen, welches nahezu parallel zur Substratebene gerichtet ist. Mit dieser Anordnung wird ebenfalls kein Eindringen des dichten Plasmas in das Innere der konkav geformten Substrate ermöglicht.

[0011] Es ist weiterhin bekannt, sehr hohe Beschichtungsraten durch gerichtete Dampfabscheidung (DVD: directed vapor deposition) in Verbindung mit einer Plasmaaktivierung durch ein Hohlkathodenbogenentladungsplasma zu erreichen (US 5,534,314). In Zusammenhang mit diesem Verfahren bekannte Konfigurationen der Plasmaquellen besitzen jedoch nur eine begrenzte Tauglichkeit für das Eindringen des Plasmas in tief ausgeformte Substrate. Darüber hinaus ist der Auftreffbereich des Dampfes auf dem Substrat durch die durch das DVD-Prinzip bedingte starke Fokussierung des Dampfes auf wenige Quadratzentimeter beschränkt. Für eine hohe durchschnittliche Beschichtungsrate größerer Flächen muss deshalb die lokale Beschichtungsrate entsprechend des Flächenverhältnisses Reflektorfläche zur Auftrefffläche des gerichteten Dampfstrahls stark erhöht werden. Damit ergeben sich zwangsläufig sehr hohe lokale Beschichtungsstadien mit entsprechend hoher lokaler thermischer Belastung des Substrates. Darüber hinaus muss die Intensität des Plasmas erheblich erhöht werden, um die guten Schichteigenschaften auch unter den Bedingungen des erhöhten Druckes im DVD-Prozess zu erhalten, was bei bestimmten Anwendungen an technologische Grenzen stößt. Die hohe lokale Wärmebelastung lässt das Verfahren für Reflektor-Kunststoffsubstrate als ungeeignet erscheinen.

Aufgabenstellung

[0012] Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren und eine zugehörige Einrichtung zur Plasmaaktivierung des Dampfes bei der reaktiven und/oder nichtreaktiven Beschichtung innerer Oberflächen konkav geformter Substrate mit sehr hoher Beschichtungsrate im Bereich von 20 nm/s bis zu 1000 nm/s zu schaffen, die es ermöglichen, die Wirkungen einer Plasmaaktivierung in vollem Umfang auch auf konkaven Oberflächen mit starker Krümmung auszunutzen, ohne das Substrat zu schädigen. Das Verfahren und die Einrichtung sollen insbesondere für die Abscheidung von oxidischen Schichten geeignet sein, wobei auch für mehr als 1 µm dicke Schichten nahezu stengelfreie, dichte Schichtstrukturen mit glatter Oberflächentopographie und guten optischen Eigenschaften bei niedrigen Substrattemperaturen erreicht werden sollen. Darüber hinaus soll das Verfahren und die Einrichtung auch zum reaktiven und nichtreaktiven Plasmaätzen, zur Plasmabehandlung der Oberfläche wie auch zur Beschichtung durch Plasmapolymerisation mit Einlass von Monomeren, auch in Kombination mit einer Hochrateverdampfung für konkav geformte Substrate genutzt werden können. Die verschiedenen verfahrenstech-

nologischen Schritte sollen in beliebiger Reihenfolge nacheinander mit der gleichen Einrichtung durchführbar sein.

[0013] Erfindungsgemäß wird die Aufgabe nach den Merkmalen der Ansprüche 1 und 14 gelöst. Vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung sind in den Ansprüchen 2 bis 13 sowie 15 bis 20 beschrieben.

[0014] Wesentlich für die Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens ist, dass das Substrat im Wesentlichen über einer für eine Hochrateverdampfung geeigneten thermischen Dampfquelle angeordnet ist und dass auch als Niedervoltelektronenstrahl bezeichnete vorzugsweise gerichtete Elektronen einer Plasmaquelle seitlich von der Verdampfertiegel-Substrat-Achse erzeugt und mittels einer magnetfelderzeugenden Einrichtung zunächst vorfokussiert und zum Substrat hin gerichtet werden.

[0015] Im Bereich hinter bzw. in unmittelbarer Nähe der Vorfokussierungseinrichtung erfolgt, falls prozessbedingt erforderlich, der Einlass von Reaktivgas und/oder verdampfbarer Monomere, z. B. Hexamethyldisiloxan (HMDSO), direkt in das hochdichte Plasma im Bereich des Niedervoltelektronenstrahles durch Stabdüsen oder Ringdüsen.

[0016] Eine das konkave Substrat umgebende magnetfelderzeugende Einrichtung, im einfachsten Falle eine Zylinderspule, fokussiert das magnetische Feld im Bereich des Substrates, wobei die Feldlinien in den Hohlraum des Substrates hineinlaufen. Die Abstimmung beider magnetfelderzeugender Einrichtungen erfolgt so, dass sich nach dem Modell der magnetischen Feldlinien zumindest einige Feldlinien bilden, die den Bereich der Vorfokussierung des Niedervoltelektronenstrahles mit dem Bereich der substratnahen Fokussierung verbinden. Feldlinien der magnetfelderzeugenden Einrichtung zur Vorfokussierung verbinden sich dabei mit den zentralen Feldlinien der das Substrat umgebenden magnetfelderzeugenden Einrichtung.

[0017] Die gerichteten Elektronen des Niedervoltelektronenstrahles folgen den magnetischen Feldlinien und dringen nahezu zentrisch in den Hohlraum des konkav geformten Substrates ein. Das extrem hochdichte Plasma im Inneren des Niedervoltelektronenstrahles erzeugt durch radiale Diffusion ein annähernd zylindersymmetrisches bzw. an die Symmetrie des Magnetfeldes angelehntes Plasma hoher Dichte im Bereich des Dampfes in Substratnähe bis hin zur inneren Oberfläche des konkaven Substrates. Für rotationssymmetrische Substrate und Magnetfelder führt die radiale Plasmadiffusion zu einer gleichmäßigen Plasmaeinwirkung über den Umfang des Substrates.

[0018] Die magnetischen Felder sorgen sowohl für die magnetische Verstärkung des Plasmas als auch für die Führung des Plasmas durch den dampferfüllten Raum zur Substratoberfläche hin. Erfindungswesentlich ist daneben die Möglichkeit, die Fokussierung in Substratnähe direkt an die Geometrie konkaver Substrate bzw. spezielle Erfordernisse der Innen-

beschichtung anzupassen.

[0019] Im Bereich des Substratinneren kann das magnetische Feld dementsprechend divergierend, annähernd homogen oder konvergierend ausgeführt werden. Divergieren die Feldlinien zur Substratoberfläche hin, werden die höherenergetischen Plasmaelektronen, die sich im Niedervoltelektronenstrahl, insbesondere bei Verwendung einer Hohlkatodenbogenentladungsquelle konzentrieren, verstärkt zur Substratoberfläche hin geführt. Daraus resultiert eine hohe Selbstbiasspannung, die sich für die Beschichtung isolierender Substrate oder für isolierende Schichten vorteilhaft auswirken kann.

[0020] Wird die magnetische Feldstärke im Bereich des Bodens des konkaven Substrates gegenüber der Feldstärke im Bereich der Substratöffnung verstärkt, konvergieren die Feldlinien und die Bewegungsrichtung der zum Substratboden hin geführten Plasmaelektronen kehrt sich um. Durch die verstärkte Bindung der schnellen Elektronen im Bereich der zentralen magnetischen Feldlinien können somit noch höhere Ladungsträgerdichten erreicht und entsprechend höhere Ioneneinstromdichten zur Substratoberfläche extrahiert werden. Durch die stärkere Bindung der schnellen Elektronen an das Magnetfeld ist hierbei mit niedrigeren Selbstbiasspannungen zu rechnen.

[0021] Für Substrate mit großem Tiefen-Öffnungsdurchmesser-Verhältnis bietet sich ein langgestrecktes, homogenes Magnetfeld als angepasste Lösung an.

[0022] Die Gestaltung des magnetischen Feldes im Substratbereich ermöglicht die Anpassung der Parameter Ioneneinstromdichte und Selbstbiasspannung an der Substratoberfläche entsprechend den Anforderungen der spezifischen Beschichtungs-, Plasmaätz- oder Plasmabehandlungsaufgabe. Außerdem kann eine elektrisch leitfähige Substratoberfläche mit einer externen DC-Biasspannung oder mittelfrequent gepulsten Wechselspannung beauftragt werden. Auch zum Überkoppeln einer externen Biasspannung über dünne isolierende Schichten kann eine mittelfrequent gepulste Biasspannung verwendet werden.

[0023] Im Falle einer Schichtabscheidung ausschließlich durch Plasmapolymerisation kann der Prozess auch ohne thermische Verdampfung betrieben werden.

[0024] Im Fall einer zusätzlichen Zuführung von verdampfenden Monomeren zur Hochrateverdampfung erfolgt durch den Monomereinlass eine gezielte Beeinflussung von Schichteigenschaften, in der Regel eine organische Modifizierung anorganischer Schichten. Ohne Verdampfung und ohne Zuführung von Monomeren kann das Verfahren auch ausschließlich zum Plasmaätzen oder -behandeln von konkaven Oberflächen benutzt werden. Dabei ist es vorteilhaft, Hochrateverdampfung und Plasmapolymerisation als selbstständige Verfahrensschritte oder kombiniert in einem Verfahrensschritt durchzuführen. Besonders

vorteilhaft ist es, verschiedenartige Verfahrensschritte wie Bedampfen, Plasmapolymerisieren und Ätzen hintereinander auszuführen, insbesondere, wenn Mehrschichtsysteme abgeschieden werden sollen. Dabei können die verfahrensschrittbestimmenden Parameter fließend und ineinander übergehend verändert werden, um gezielt Gradienten- und Grenzschichteigenschaften entstehen zu lassen.

Ausführungsbeispiel

[0025] An einem Ausführungsbeispiel wird die Erfindung näher erläutert.

[0026] Die zugehörigen Zeichnungen **Fig. 1** bis **Fig. 3** zeigen Querschnitte durch erfindungsgemäße Einrichtungen zur Durchführung des Verfahrens unter Verwendung eines thermischen Tiegelverdampfers **1** und einer Hohlkatodenbogenentladungsplasmaquelle **2**.

[0027] **Fig. 1:** Ein zu bedampfendes Reflektorsubstrat **3** ist, mit der Öffnung nach unten gekehrt, oberhalb des Verdampfertiegels **1** angeordnet. Seitlich neben der Verbindungsachse zwischen Tiegel **1** und Substrat **3** ist eine Hohlkatodenbogenentladungsquelle **2** angeordnet. Die Hohlkatodenbogenentladungsquelle **2** wird mit einer vorgesetzten Ringanode **4** und einer Konstantstromquelle **5** zur Aufrechterhaltung einer Gleichstrom-Entladung und Erzeugung eines Niedervoltelektronenstrahles betrieben. Die gerichteten Elektronen des Niedervoltelektronenstrahles werden mit dem longitudinalen Magnetfeld einer rotationssymmetrischen Vorfokussierspule **6** zum Dampfstrom hin geführt. Das Magnetfeld einer das Substrat umgebenden Aufsatzspule **7** verbindet sich mit dem Magnetfeld der Vorfokussierspule **6** zu einem gemeinsamen Führungsfeld **8**, welches die gerichteten Elektronen der Hohlkatodenbogenentladungsquelle **2** bis in den Innenraum des Reflektor-Substrates **3** hinein führt. Das Plasma durchdringt den Dampf bereits weit unterhalb des Substrates **3**. Der Einlass von verdampfenden Monomeren für den Fall einer Schichtabscheidung durch Plasmapolymerisation ohne thermische Verdampfung oder im Fall der zusätzlichen Zuführung von verdampfenden Monomeren in Verbindung mit der Hochrateverdampfung zur Beeinflussung der Schichteigenschaften und des evtl. erforderlichen Reaktivgases erfolgt über eine dargestellte Gaszuführung **9** direkt in den vom Niedervoltelektronenstrahl durchdrungenen Bereich sehr dichten Plasmas. Diese Gaszufuhr erfolgt vorteilhafterweise durch eine Ringdüse oder Stabdüsen mit Düsenöffnungen, die zum austretenden Niedervoltelektronenstrahl hin gerichtet sind.

[0028] In der in **Fig. 1** dargestellten Variante liegt innerhalb des Hohlraumes des Reflektor-Substrates **3** eine nahezu homogene Verteilung des magnetischen Feldes vor, was durch Verwendung einer relativ langgestreckten Zylinderspule als Aufsatzspule **7** bewirkt wird. Das dichteste Plasma wird im Bereich des Niedervoltelektronenstrahles und damit im Bereich der

Mittelachse des Reflektor-Substrat-Hohlraumes erzeugt. Von dort aus breitet sich das Plasma im Wesentlichen durch Diffusion zu den inneren Wandungen des Reflektor-Substrates **3** hin aus. Die Rotationssymmetrie des Substrates **3** und des Plasmas ermöglichen eine weitgehend gleichmäßige Aktivierung der Innenflächen des Substrates.

[0029] Zur Vergleichmäßigung der Schichtdickenverteilung wird das Substrat in geeigneter Weise geschwenkt und gedreht. In den meisten Fällen genügt ein seitliches Schwenken um die horizontale Achse und eine Rotationsbewegung um die Mittelachse des Reflektorsubstrates.

[0030] **Fig. 2** zeigt eine Gestaltung des magnetischen Feldes, die sich durch divergierende magnetische Feldlinien innerhalb des Reflektor-Substrates **3** auszeichnet. Die gerichteten Elektronen im Plasma laufen mit gleichmäßiger Verteilung auf die innere Oberfläche zu. Der Beschuss der zu beschichtenden Fläche mit den höherenergetischen gerichteten Plasmaelektronen führt im Falle eines isolierenden oder gefloateten Substrates zu einer Erhöhung der Selbstbiasspannung. Realisiert wird dieser Feldverlauf durch die Verwendung einer flachen Zylinderspule **7'**, die den Bereich der Substratöffnung umgibt.

[0031] **Fig. 3** zeigt eine Gestaltung des magnetischen Feldes, bei der die Feldlinien im Inneren des Substrathohlraumes aufeinander zu laufen. Dies führt zu einer Verdichtung des Plasmas im Inneren des Substrathohlraumes. Die Plasmaelektronen erreichen die zu beschichtende Substratfläche im Wesentlichen durch Diffusion aus dem Bereich der Mittelachse heraus. Im Vergleich zu den in **Fig. 1** und **Fig. 2** beschriebenen Anordnungen lassen sich bei sonst gleichen Parametern vergleichsweise höhere Ionenstromdichten erzielen. Im Vergleich zur in **Fig. 2** beschriebenen Anordnung stellen sich jedoch niedrigere Selbstbiasspannungen ein. Realisiert wird diese Form des Magnetfeldes durch eine zweiteilige magnetfelderzeugende Einrichtung. Diese umfasst zusätzlich zu einer Zylinderspule **7''** im Bereich der Öffnung des Substrates eine weitere Zylinderspule **10** hinter dem Substrat. Durch unabhängig voneinander einzustellende Spulenströme lassen sich besonders effektiv Anpassungen des Feldstärkeverlaufes an die Form und Größe des jeweiligen Substrates **3** vornehmen.

Patentansprüche

1. Verfahren zum plasmaaktivierten Bedampfen mit hoher Beschichtungsrate, Plasma-Ätzen oder zur Plasmabehandlung der Oberfläche von konkav geformten Substraten im Vakuum, **dadurch gekennzeichnet**, dass ein oder mehrere Niedervoltelektronenstrahlen einer oder mehrerer Bogenentladungsquellen durch ein oder mehrere magnetische Felder entlang der Feldlinien in den Hohlraum des Substrates hinein geführt werden.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass zur Erzeugung des Niedervoltelektronenstrahles mindestens eine Hohlkatodenbogenentladungsplasmaquelle verwendet wird.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass zur Erzeugung des Niedervoltelektronenstrahles eine oder mehrere Hohlkatoden in Verbindung mit je einer Ringanode in unmittelbarer Nähe der Katode verwendet werden, wobei der Niedervoltelektronenstrahl auf dem Weg zum Substrat die Öffnung der Ringanode passiert.

4. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass die magnetischen Feldstärken im Bereich des Substrathohlraumes zwischen 10 A/m und 100 kA/m eingestellt werden.

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass das Substrat gegenüber der Verdampferquelle schwenkende und/oder rotierende Bewegungen ausführt.

6. Verfahren nach mindestens einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass das Substrat gegenüber dem Plasmapotential mit einer Gleich- oder Wechselfeldspannung als Substratbias beaufschlagt wird.

7. Verfahren nach mindestens einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, dass ein plasmapolymersierbares Monomer unmittelbar in den Niedervoltelektronenstrahl eingelassen wird.

8. Verfahren nach mindestens einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, dass ein Reaktivgas unmittelbar in den Niedervoltelektronenstrahl eingelassen wird.

9. Verfahren nach mindestens einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, dass Beschichtungsmaterial thermisch verdampft wird.

10. Verfahren nach Anspruch 7 bis 9, dadurch gekennzeichnet, dass Hochrateverdampfung und Plasmapolymersation als selbstständige Verfahrensschritte oder kombiniert in einem Verfahrensschritt durchgeführt werden.

11. Verfahren nach mindestens einem der Ansprüche 1 bis 10, dadurch gekennzeichnet, dass die Plasmaentladung ausschließlich in neutralem oder reaktivem Gas betrieben wird, um eine Ätz- oder Plasmabehandlung der Substratoberfläche zu erreichen.

12. Verfahren nach mindestens einem der Ansprüche 1 bis 11, dadurch gekennzeichnet, dass verschiedenartige Verfahrensschritte wie Bedampfen, Plasmapolymersieren und Ätzen hintereinander aus-

geführt werden, wobei die verfahrensschrittbestimmenden Parameter fließend und ineinander übergehend verändert werden, um gezielt Gradienten- und Grenzschichteigenschaften entstehen zu lassen.

13. Verfahren nach mindestens einem der Ansprüche 1 bis 12, dadurch gekennzeichnet, dass eine Anpassung des Feldstärkeverlaufes des magnetischen Feldes im Inneren des konkaven Substrates an die Form und Größe des jeweiligen Substrates vorgenommen wird.

14. Einrichtung zum plasmaaktivierten Bedampfen mit hoher Beschichtungsrate, Plasma-Ätzen oder zur Plasmabehandlung der Oberfläche von konkav geformten Substraten im Vakuum, enthaltend mindestens eine Hohlkathodenplasmaquelle (2) in Verbindung mit einer Ringanode (4) und einer Vorfokussierspule (6) in unmittelbarer Nähe der Ringanode (4), durch die der Niedervoltelektronenstrahl der Hohlkathodenbogenentladungsquelle (2) geführt wird, dadurch gekennzeichnet, dass das konkav geformte Substrat zumindest teilweise von einer magnetfelderzeugenden Einrichtung (7) als Fokussiereinrichtung umgeben ist, derart, dass sich das magnetische Feld der Vorfokussierspule (6) mit dem magnetischen Feld der magnetfelderzeugenden Einrichtung (7) zu einem longitudinalen magnetischen Führungsfeld (8) verbindet, welches die Führung des Niedervoltelektronenstrahles der Hohlkathodenbogenentladungsquelle (2) bis in den Innenraum des konkav geformten Substrates (3) ermöglicht.

15. Einrichtung nach Anspruch 14, dadurch gekennzeichnet, dass die magnetfelderzeugende Einrichtung (7), die das konkave Substrat (3) umgibt, mindestens eine Spule enthält.

16. Einrichtung nach einem der Ansprüche 14 oder 15, dadurch gekennzeichnet, dass die magnetfelderzeugende Einrichtung, die das konkave Substrat umgibt, aus mindestens zwei separat einstellbaren Magnetspulen besteht, wobei eine Spule (7'') den Bereich der Öffnung des konkaven Substrates umgibt und sich eine weitere Spule hinter dem Substrat befindet.

17. Einrichtung nach einem der Ansprüche 14 bis 16, dadurch gekennzeichnet, dass um das Substrat (3) herum eine magnetfelderzeugende Einrichtung zur Erzeugung eines nahezu homogenen magnetischen Feldes im Innenraum des konkav geformten Substrates (3) angeordnet ist und die Feldlinien des magnetischen Feldes innerhalb des Substrathohlraumes nahezu parallel verlaufen.

18. Einrichtung nach einem der Ansprüche 14 bis 16, dadurch gekennzeichnet, dass um das Substrat (3) herum eine magnetfelderzeugende Einrichtung zur Erzeugung eines zur Substratwandung im Innen-

raum des konkav geformten Substrates (3) hin geöffneten magnetischen Feldes angeordnet ist und die Feldlinien des magnetischen Feldes innerhalb des Substrathohlraumes divergieren und auf die Substratwandung zulaufen.

19. Einrichtung nach einem der Ansprüche 14 bis 16, dadurch gekennzeichnet, dass um das Substrat (3) herum eine magnetfelderzeugende Einrichtung zur Erzeugung eines magnetischen Feldes, dessen Feldlinien im Bereich von der Öffnung bis zum Boden des konkaven Substrates aufeinander zulaufenden, angeordnet ist.

20. Einrichtung nach einem der Ansprüche 14 bis 19, dadurch gekennzeichnet, dass in unmittelbarer Nähe der Vorfokussierspule (6) als Gaseinlass (9) eine Ringdüse oder Stabdüsen mit Düsenöffnungen, die zum austretenden Niedervoltelektronenstrahl hin gerichtet sind, für den Einlass von verdampfenden Monomeren und/oder Reaktivgas angeordnet sind.

Es folgen 3 Blatt Zeichnungen

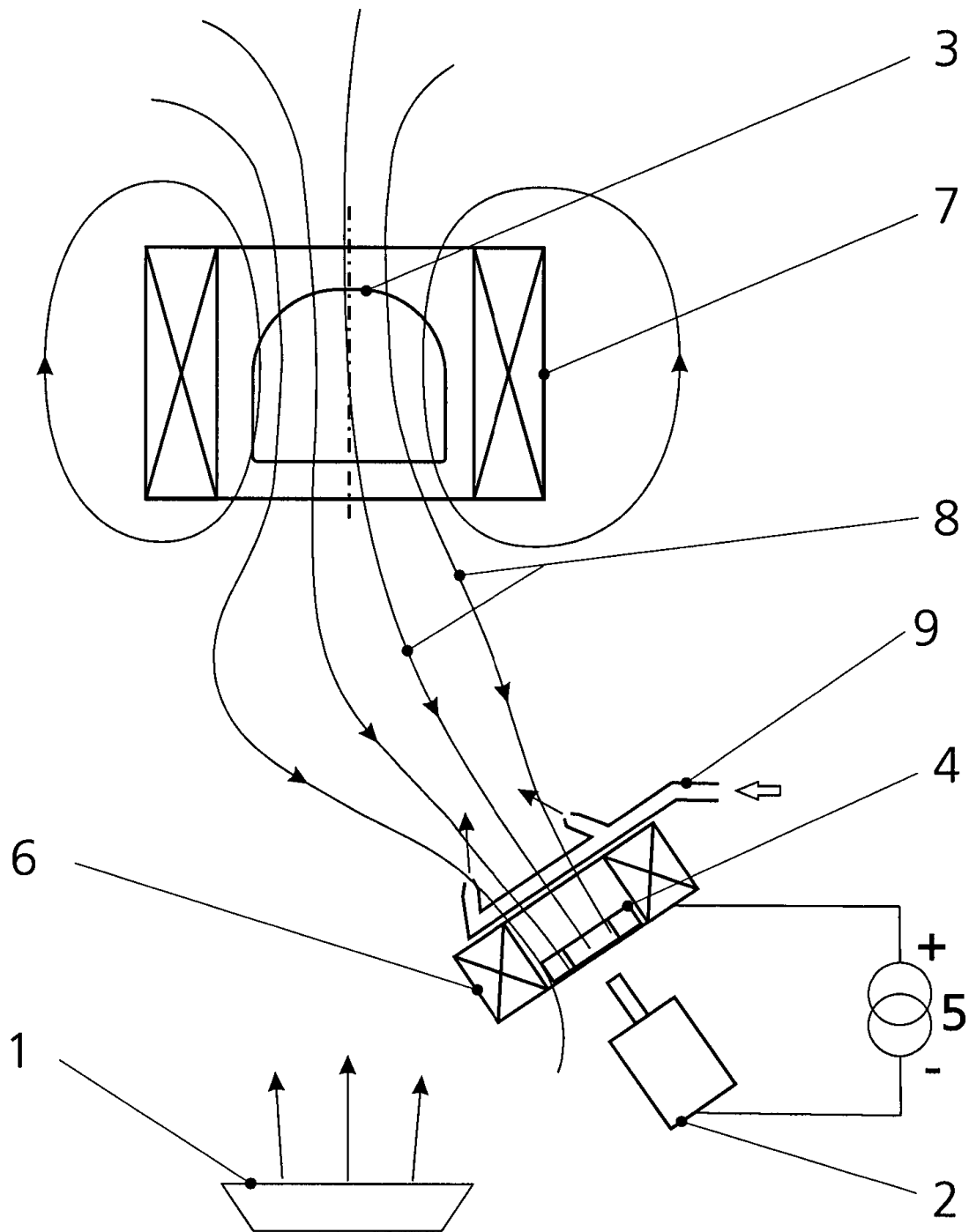


Fig. 1

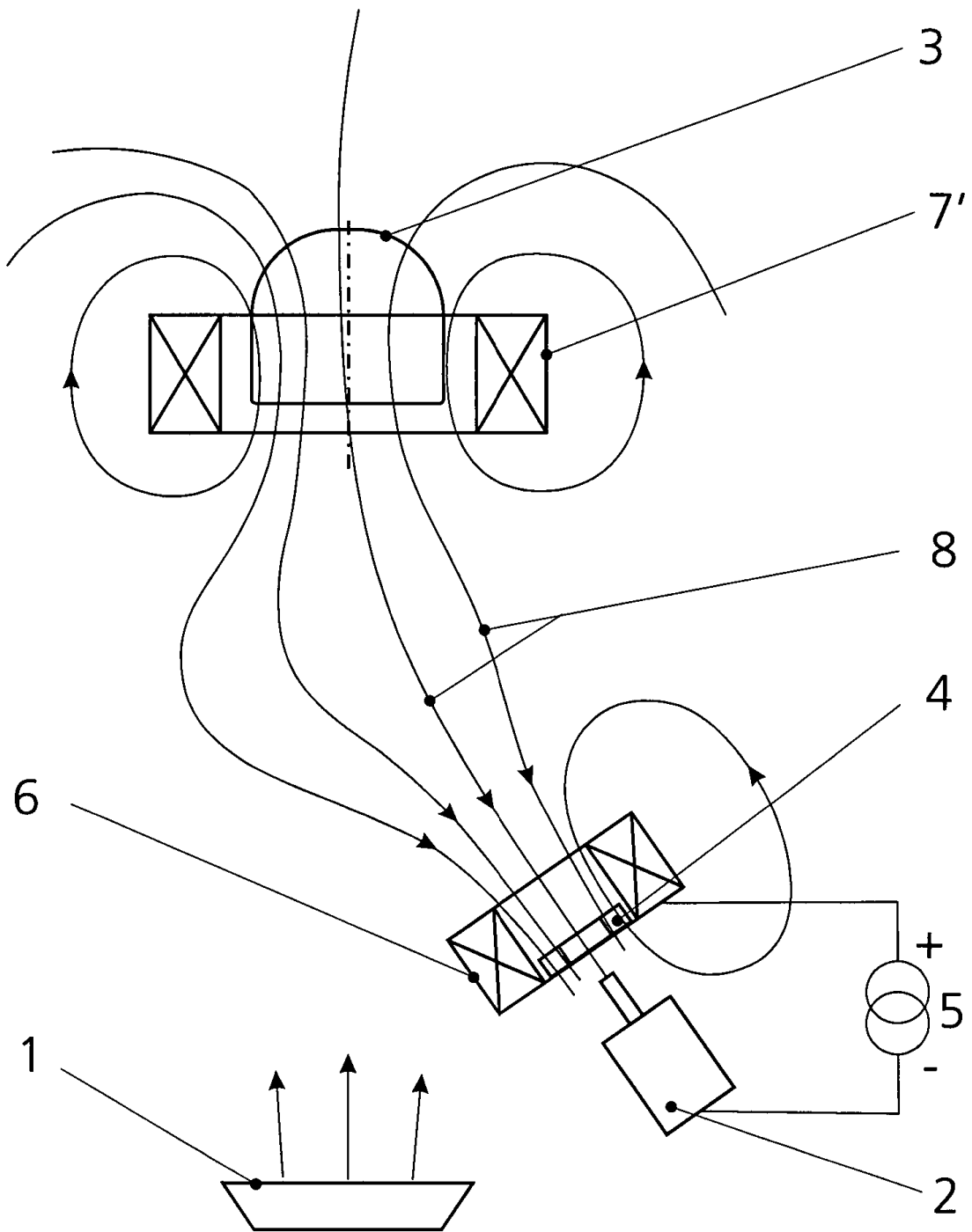


Fig.2

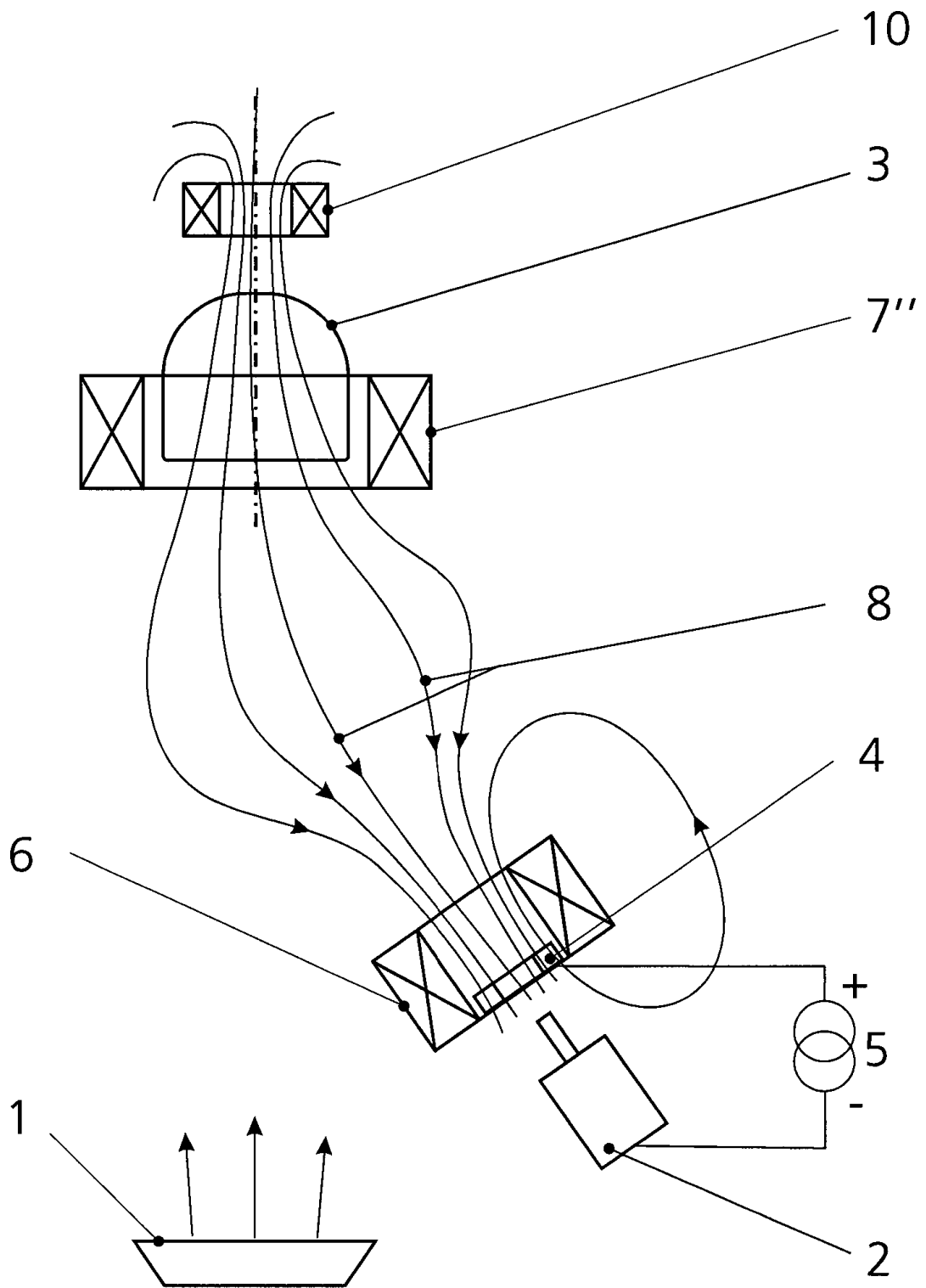


Fig. 3