



(10) **DE 10 2010 060 762 B4** 2019.05.23

(12)

Patentschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2010 060 762.2**
(22) Anmeldetag: **24.11.2010**
(43) Offenlegungstag: **24.05.2012**
(45) Veröffentlichungstag
der Patenterteilung: **23.05.2019**

(51) Int Cl.: **H01J 37/32 (2006.01)**
C23C 14/56 (2006.01)
C23C 16/505 (2006.01)
H05H 1/46 (2006.01)
C23C 16/54 (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:
**Meyer Burger (Germany) GmbH, 09337
Hohenstein-Ernstthal, DE**

(74) Vertreter:
**Steiniger, Carmen, Dipl.-Ing. Dr.-Ing., 09112
Chemnitz, DE**

(72) Erfinder:
**Mai, Joachim, 04603 Nobitz, DE; Wolf, Patrik,
08107 Kirchberg, DE; Schlemm, Hermann, Dr.,
07743 Jena, DE**

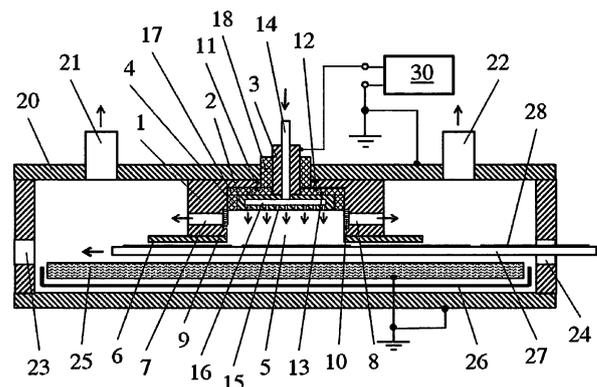
(56) Ermittelter Stand der Technik:

DE	43 01 189	C2
DE	40 39 930	A1
DE	10 2006 022 799	A1
DE	20 2008 004 128	U1
WO	02/ 056 338	A2

(54) Bezeichnung: **Plasmabearbeitungsvorrichtung**

(57) Hauptanspruch: Plasmabearbeitungsvorrichtung zur Bearbeitung wenigstens eines flächigen Substrates (28) in einer Substratdurchlaufanlage, wobei die Plasmabearbeitungsvorrichtung aufweist:
wenigstens eine Substratträger-elektrode (27), auf welcher das Substrat (28) aufliegend durch die Substratdurchlaufanlage transportierbar ist und welche gleichstrommäßig isoliert gegenüber Massepotential geführt wird;
eine flächenhaft ausgebildete Hochfrequenz-Elektrode (2), die an einem Wechselfeldpotential anliegt und in einem Abstand über dem wenigstens einen auf der Substratträger-elektrode (27) aufliegenden Substrat (28) vorgesehen ist;
eine topfförmig über der Substratträger-elektrode (27) ausgebildete Dunkelraumabschirmung (1), wobei der offene Bereich der topfförmigen Dunkelraumabschirmung (1) auf das wenigstens eine Substrat (28) gerichtet ist und die topfförmige Dunkelraumabschirmung (1) einen die Dunkelraumabschirmung (1) nach außen verbreiternden Rand (6) aufweist, der dicht über der Substratträger-elektrode (27) und parallel zu deren Oberfläche angeordnet ist, und
wobei im Betrieb der Plasmabearbeitungsvorrichtung zwischen Substratträger-elektrode (27) bzw. Substrat(en) (28), Hochfrequenz-Elektrode (2) und Dunkelraumabschirmung (1) ein Plasmaraum (5) für die Ausbildung eines Niederdruckplasmas vorgesehen ist;

wenigstens eine rückseitig und parallel zur Substratträger-elektrode (27) angeordnete, elektrisch leitfähige zweite Elektrode (25); und
eine Gasversorgung ...



Beschreibung

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft eine Plasmabearbeitungsvorrichtung zur Bearbeitung wenigstens eines flächigen Substrates in einer Substratdurchlaufanlage, wobei die Plasmabearbeitungsvorrichtung aufweist: wenigstens eine Substratträger-elektrode, auf welcher das Substrat aufliegend durch die Substratdurchlaufanlage transportierbar ist und welche gleichstrommäßig isoliert gegenüber Massepotenzial geführt wird; eine flächenhaft ausgebildete Hochfrequenz-Elektrode, die an einem Wechselspannungspotenzial anliegt und in einem Abstand über dem wenigstens einen auf der Substratträger-elektrode aufliegenden Substrat vorgesehen ist; eine topfförmig über der Substratträger-elektrode ausgebildete Dunkelraumabschirmung, wobei der offene Bereich der topfförmigen Dunkelraumabschirmung auf das wenigstens eine Substrat gerichtet ist und die topfförmige Dunkelraumabschirmung einen die Dunkelraumabschirmung nach außen verbreiternden Rand aufweist, der dicht über der Substratträger-elektrode und parallel zu deren Oberfläche angeordnet ist, und wobei im Betrieb der Plasmabearbeitungsvorrichtung zwischen Substratträger-elektrode bzw. Substrat(en), Hochfrequenz-Elektrode und Dunkelraumabschirmung ein Plasmaraum für die Ausbildung eines Niederdruckplasmas vorgesehen ist; wenigstens eine rückseitig und parallel zur Substratträger-elektrode angeordnete, elektrisch leitfähige zweite Elektrode; und eine Gasversorgung zum Einbringen von Prozessgas in den Plasmaraum; und die Plasmabearbeitungsvorrichtung in einer Vakuumkammer eingebaut ist.

[0002] Die großflächige Plasmabearbeitung von Oberflächen hat einen hohen Stellenwert in der heutigen industriellen Fertigung erlangt und wird auch zukünftig zunehmend an Bedeutung gewinnen. Beispielhaft dafür stehen Plasmatechnologien wie das Plasmaätzen, die Plasmavorbehandlung oder die plasmaunterstützte chemische Dampfabcheidung, kurz auch mit PECVD abgekürzt. Je nach Technologieanforderungen werden unterschiedliche Vorrichtungen zur Erzeugung von Plasmen bzw. auch verschiedene Anordnungsvarianten zwischen den Vorrichtungen zur Erzeugung von Plasmen und dem Ort der Plasmabearbeitung gewählt. Für die Massenproduktion sind neben den technologischen Anforderungen immer mehr auch Forderungen wie gute Prozessstabilität, hohe Anlagenverfügbarkeit, geringe Medienverbräuche, kurze Wartungszeiten usw. von besonderer Bedeutung.

[0003] Oft steht dabei auch die Frage nach der Möglichkeit zur Hochskalierung des Verfahrens oder der Vorrichtungen für die Bearbeitung von großen Flächen und/oder der Bearbeitung einer möglichst großen Probenstückzahl in kürzester Bearbeitungszeit. Linear skalierbare Vorrichtungen zur Plasmabearbei-

tung von Oberflächen sind dabei besonders vorteilhaft, da hier z.B. die Forderung nach einer guten Homogenität der Bearbeitung in Richtung der linearen Ausdehnung einfacher realisierbar ist. Zur homogenen Bearbeitung von großen Flächen werden diese dann bevorzugt durch das Bearbeitungsgebiet hindurch bewegt.

[0004] So sind zum Beispiel In-Line-Beschichtungsanlagen bekannt, in denen eine definierte Anzahl linearer Mikrowellenplasmaquellen eingesetzt werden. Derartige Mikrowellenplasmaquellen werden bevorzugt mit einer Anregungsfrequenz von 2,45 GHz betrieben und zeichnen sich durch eine besonders hohe erreichbare Plasmadichte aus und sind damit besonders für die Hochrateabscheidung von dünnen Schichten geeignet. Auf Grund der sehr niedrigen Plasmarandschichtpotenziale derartiger Mikrowellenplasmaquellen im Bezug zur Substratoberfläche kommt es bei der Plasmabearbeitung nur zu einem niederenergetischen Ionenbeschuss. Bei der Bearbeitung von sensiblen Oberflächen ist das ein großer Vorteil. Oft führt aber eine hohe Beschichtungsgeschwindigkeit auch zu porösen und weniger dichten Schichten und das Auftreten von Stapelfehlern bzw. von nicht gesättigten Bindungen ist groß. Deshalb muss häufig ein Kompromiss zwischen hohen Beschichtungsgeschwindigkeiten und den erreichbaren Schichteigenschaften eingegangen werden.

[0005] Plasmaquellen, die mit niedrigen Anregungsfrequenzen betrieben werden, zeichnen sich wiederum durch eine niedrige Plasmadichte, aber durch eine hohe Ionenenergie sowie Ionendichte bei der Oberflächenbearbeitung aus. Besonders Parallel-Plattenanordnungen sind hierfür ein gutes Beispiel. Bei der asymmetrisch betriebenen Parallel-Plattenanordnung wird dabei eine Elektrode auf Massepotenzial gelegt und eine andere mit der Spannungsversorgung verbunden. Abhängig von der verwendeten Anregungsfrequenz und dem Flächenverhältnis der Elektroden sowie den eingestellten Prozessbedingungen ergeben sich unterschiedliche energetische Bedingungen der auftreffenden Ionen auf den Elektroden. Je nach Wahl einer der beiden Elektroden als Substratträger-elektrode kommt es deshalb auch zu unterschiedlichen Bearbeitungsbedingungen.

[0006] Plasmabearbeitungsanlagen in Form von Substratdurchlaufanlagen, bei denen Substratträger verwendet werden, die während der Oberflächenbearbeitung bewegt werden oder gar durch das Bearbeitungsgebiet hindurch transportiert werden sollen, stellen eine große technische Herausforderung dar. Besonders dann, wenn am Substratträger auch noch ein definiertes elektrisches Potenzial erreicht werden soll, muss dieser in der Lage sein, während der Bewegung z.B. einen definierten gleich- oder hochfrequenten Strom zu führen.

[0007] Die im Folgenden beschriebenen Druckschriften offenbaren dafür unterschiedliche Lösungen.

[0008] Die Druckschrift DE 43 01 189 C2 beschreibt eine Plasmabearbeitungsvorrichtung der oben genannten Gattung. Ihr liegt die Aufgabe zugrunde, bei einer In-Line- bzw. Durchlauf-Anlage Energie durch einen Substratträger hindurch in einen Plasmaraum einzukoppeln, ohne dass dabei parasitäre Plasmen auftreten. Wesentlich ist dabei, dass die kapazitive Einkopplung von HF-Energie großflächig auf bewegte Substrate angewandt wird. Der Plasmaraum wird durch eine topfförmige Abschirmung einer ersten Elektrode gebildet, wobei in dem Plasmaraum ein Gaseinlass vorgesehen ist. Die topfförmige Abschirmung weist einen Rand auf, der dicht über dem Substratträger und parallel zu dessen Oberfläche angeordnet ist. Auf der Rückseite des Substratträgers ist in einem definierten Abstand eine weitere Hochfrequenz-Elektrode mit Dunkelraumabschirmung angeordnet. Damit kann Hochfrequenzenergie in den Substratträger eingekoppelt werden. Die Kapazität der ersten Elektrode gegenüber dem Substratträger soll möglichst groß sein, während die Masse der Elektrode möglichst klein sein soll, um am Substratträger ein effizientes Gleichpotenzial aufbauen zu können.

[0009] Nachteilig dabei ist, dass die Dunkelraumabschirmung über den Bereich der Elektrodenanordnung weitergeführt werden muss, um parasitäre Plasmen zu vermeiden. Weiter wird auch nicht offenbart, wie die Gasabsaugung aus dem Reaktionsgebiet der Plasmabearbeitung erfolgen soll. Der Abtransport verbrauchter Gase kann hier nur durch den verbleibenden Spalt zwischen dem Rand der Abschirmung und dem Substratträger erfolgen. Das ist ebenfalls nachteilig, da dadurch weitere undefinierte Bearbeitungen auf den Substratoberflächen auftreten.

[0010] Die Druckschrift WO 02/056338 A2 offenbart eine weitere Vorrichtung zur plasmagestützten Bearbeitung von Oberflächen planarer Substrate. Die Autoren dieser Druckschrift stellten sich die Aufgabe, eine kostengünstige Vorrichtung vorzuschlagen, mit der relativ großformatige Substratoberflächen bei erhöhter Frequenz, bevorzugt im Frequenzbereich oberhalb 30 MHz, bearbeitet werden können. Die beschriebene Vorrichtung verwendet eine Kammer, die auch eine Vakuumkammer sein kann. In dieser Kammer ist mindestens ein Massetunnel angeordnet. In diesem Massetunnel ist ein im Wesentlichen gegenüber dem Kammervolumen abgeschlossener Entladungsraum ausgebildet. In diesem Entladungsraum ist eine HF/VHF-Elektrode in einem geringeren Abstand und parallel zur jeweiligen Substratoberfläche angeordnet, sodass das erzeugte Plasma vorrangig zwischen Elektrode und Substratoberfläche ausgebildet ist. Im Massetunnel sind ebenfalls sich zwei diametral gegenüberliegend angeordnete Schlitze aus-

gebildet, deren Breite und Höhe entsprechend dem zu bearbeitenden Substrat bzw. dem Substrat mit einem Substratträger gewählt worden ist.

[0011] Das Substrat bzw. das Substrat mit Substratträger können durch diese Schlitze durch den Massetunnel und demzufolge auch durch den Entladungsraum translatorisch bewegt werden. Der Massetunnel ist bis auf diese Schlitze allseitig geschlossen. Durch den Massetunnel ist eine Prozessgaszuführung in den Entladungsraum und eine Prozessgasabführung aus dem Entladungsraum geführt. Die Ankopplung des elektrischen Stromes erfolgt zwischen Substrat mit Substratträger und Massetunnel auf kapazitivem Wege. Der Substratträger ist dabei elektrisch isoliert gegenüber dem Massetunnel geführt. Der Massetunnel, die HF/VHF-Elektrode sowie deren Stromzuführung sind über Isolatoren gegenüber der Kammerwand elektrisch isoliert.

[0012] Nachteilig hierbei ist der sehr große technische Aufwand. Der Massetunnel muss über exakt parallel angeordnete Wände gegenüber dem Substratträger verfügen, die in einem sehr geringen Abstand zum Substratträger angeordnet sind. Besonders dann, wenn der Massetunnel auch noch temperiert werden soll, kommt es zu thermischen Ausdehnungen des Massetunnels und des Substratträgers und die technische Realisierbarkeit für einen definierten Substrattransport, der auch noch elektrisch isoliert durch den Massetunnel erfolgen muss, ist sehr herausfordernd. Bei der Bearbeitung von großflächigen Substraten oder Substratträgern mit einer Vielzahl von Einzelsubstraten kommt erschwerend hinzu, dass dann die Elektrodenanordnung senkrecht zur Transportrichtung eine große Breite aufweist und dass der Massetunnel deshalb auch in Transportrichtung und beidseitig der Hochfrequenz-Elektrodenanordnung weit ausgedehnt werden muss, um eine ausreichende kapazitive Ankopplung des Substratträgers an den Massetunnel erreichen zu können. Ein weiterer Nachteil ist, dass sich auf Grund des geringen notwendigen Abstandes zwischen dem Substratträger und den Wänden des Massetunnels ein gasgefüllter Raum ergibt, der nur schwierig abgepumpt werden kann.

[0013] Die Druckschrift DE 40 39 930 A1 beschreibt eine Vorrichtung zur Plasmabehandlung von auf einer Substratträger-elektrode vorgesehenen Substraten, bei der eine HF-Leistung an eine der Substratträger-elektrode gegenüberbefindlichen Hohlelektrode angelegt wird. Die Hohlelektrode weist Vorsprünge zur Vergrößerung der Oberfläche auf, wobei durch Variation der Größe dieser Oberfläche im Verhältnis zur Oberflächengröße der das Substrat tragenden Elektrode bei vorgegebener HF-Leistung die Größe der Substratbiasspannung eingestellt werden kann. Die Hohlelektrode ist zudem von einer topfförmigen, sich im Randbereich gegenüber der Substratträger-

elektrode nach außen verbreiternden Dunkelraumabschirmung umgeben.

[0014] Die Druckschrift DE 20 2008 004 128 U1 beinhaltet eine Elektrode, welche in einer kapazitiv gekoppelten Plasmaapparatur zum Einsatz kommt. Die Elektrode weist Schlitze auf, die eine homogene Plasmabearbeitung ermöglichen sollen.

[0015] In der Druckschrift DE 10 2006 022 799 A1 ist eine Vorrichtung zur plasmagestützten chemischen Oberflächenmodifizierung von auf einem Substratträger befindlichen Substraten im Vakuum offenbart. Der Plasmareaktionsraum dieser Vorrichtung ist radial außen von einer geerdeten Abschirmung umschlossen, die mit einem geerdeten Kontaktrahmen elektrisch leitend und beweglich verbunden ist, der wiederum in Betrieb der Vorrichtung mit dem Substratträger elektrisch leitend kontaktiert werden kann.

[0016] Es ist daher die Aufgabe der vorliegenden Erfindung, eine Plasmabearbeitungsvorrichtung der oben genannten Gattung mit möglichst geringem technischen Aufwand so fortzubilden, dass bei definiertem Substrattransport und vorteilhafter Gaszu- und -abführung auch bei großflächigen Substraten oder Substratträgern mit einer Vielzahl von Einzelsubstraten eine hochenergetische Wechselwirkung von Ionen aus dem Plasmaraum mit der Substratoberfläche möglich ist.

[0017] Die Aufgabe wird durch eine Plasmabearbeitungsvorrichtung der oben genannten Gattung gelöst, bei welcher die zweite Elektrode eine auf Massepotenzial liegende Masseelektrode ist, wobei die Substratträgerelektrode kapazitiv an die Masseelektrode ankoppelbar ist, die Masseelektrode eine separate Masseelektrode ist und nicht durch eine Wand der Vakuumkammer ausgebildet ist, die Gasversorgung wenigstens einen in der Hochfrequenz-Elektrode und/oder der Dunkelraumabschirmung vorgesehenen Gaseinlass und wenigstens einen in der Dunkelraumabschirmung vorgesehenen Gasauslass aufweist, die Fläche der Substratträgerelektrode mindestens gleich oder größer ist als die Fläche, die durch die Öffnungsfläche der Dunkelraumabschirmung gebildet ist, und die Fläche der Masseelektrode größer oder gleich der Fläche der Substratträgerelektrode ist.

[0018] Die erfindungsgemäße Vorrichtung dient der definierten Erzeugung von Niederdruckplasmen in einem Arbeitsdruckbereich von ca. 1 Pa bis einigen hundert Pascal. Als Anregungsfrequenz soll vorzugsweise 13,56 MHz verwendet werden. Höhere und niedrigere Anregungsfrequenzen können entsprechend den technischen Merkmalen der Vorrichtung und den technologischen Erfordernissen eingesetzt werden. In der Praxis kann ein Frequenzbereich von ca. 50 kHz bis etwa 100 MHz interessant sein.

[0019] Indem erfindungsgemäß die zweite Elektrode als Masseelektrode verwendet wird und die Substrat-elektrode gleichstrommäßig, gegenüber dem Massepotenzial, isoliert geführt wird, bildet sich zwischen der Hochfrequenz-Elektrode, der Substratträger-elektrode und der Masseelektrode ein kapazitiver Spannungsteiler aus. Bei gegebener Anregungsfrequenz und definierten Entladungsbedingungen des Niederdruckplasmas entscheidet die Größe der einzelnen Kapazität dieses kapazitiven Spannungsteilers über die Höhe der Spannungsabfälle über diesen Kapazitäten. Durch eine hohe Kapazität zwischen der Substratträgerelektrode und der Masseelektrode liegt die Substratträgerelektrode auf einem nahe dem Massepotenzial der Masseelektrode liegenden Wechselspannungspotenzial. Dadurch werden die Ionen aus dem Plasmaraum mit hoher Energie in Richtung der Substratträgerelektrode bzw. Substrat beschleunigt, was zu hochqualitativen Bearbeitungsergebnissen führt.

[0020] Da Hochfrequenz-Plasmaquellen gegenüber Mikrowellenplasmaquellen einen deutlichen Vorteil in der möglichen Bereitstellung von höherenergetischen Ionen während der Oberflächenbearbeitung von Substraten haben, kann somit dieser Vorteil unter Anwendung der erfindungsgemäßen Plasmabearbeitungsvorrichtung beispielsweise genutzt werden, um dichtere Schichten abzuscheiden. Es können mit Hilfe der erfindungsgemäßen Vorrichtung aber auch bestimmte Stöchiometriefehler beim Schichtwachstum beseitigt werden oder auch Bindungsverhältnisse in der Schicht definiert verändert werden. Weitere Vorteile können beim selektiven Ätzen oder bei der Substratvorbehandlung liegen.

[0021] Mit der erfindungsgemäßen Plasmabearbeitungsvorrichtung kann die bewegte Substratträger-elektrode, auf welcher eine definierte Anzahl einzelner Substrate in geeigneter Weise angeordnet werden kann, kapazitiv vor einer RF-Entladung angekoppelt werden. Ferner weist die vorgeschlagene Vorrichtung einen Plasmabox-ähnlichen Aufbau auf. Hierdurch ergeben sich neue vorteilhafte Möglichkeiten der Prozessführung, beispielsweise in Durchlauf-Anlagen zur Siliziumnitridabscheidung auf Solarzellensubstraten. Darüber hinaus eignet sich die erfindungsgemäße Vorrichtung, um in Kombination mit einer Mikrowellenplasmaquelle vorteilhafte Nacheinanderanordnungen von RF-Entladungen und Mikrowellenentladungen zu bewirken.

[0022] Um eine geeignete kapazitive Ankopplung der Substratträgerelektrode zu ermöglichen, ist die Substratträgerelektrode vorzugsweise aus einem elektrisch leitfähigen Material ausgebildet.

[0023] Damit das wenigstens eine auf der Substratträgerelektrode aufliegende Substrat fortlaufend durch die Substratdurchlaufanlage unter der Plas-

maquelle hindurchgeführt und bearbeitet werden kann, ist die Substratträgerelektrode im Spalt zwischen der die topfförmige Dunkelraumabschirmung aufweisenden Hochfrequenz-Elektrodenanordnung und der Masseelektrode hin und her bewegbar oder durch diesen Spalt hindurch transportierbar.

[0024] In einer vorteilhaften Ausführungsform der vorliegenden Erfindung ist bei definierter effektiver Fläche der Hochfrequenz-Elektrode der Abstand zwischen der Substratträgerelektrode und der Masseelektrode und/oder die Größe der Substratträgerelektrodenfläche gegenüber der Masseelektrode so angepasst, dass der unter Entladungsbedingungen zwischen der Hochfrequenz-Elektrode bis zur Masseelektrode fließende hochfrequente Verschiebungsstrom keinen zur Plasmazündung geeigneten Spannungsabfall zwischen der Substratträgerelektrode und der Masseelektrode liefert.

[0025] Gemäß einer günstigen Variante der Erfindung besitzt die Hochfrequenz-Elektrode einen umlaufenden erhöhten Randbereich, sodass die Hochfrequenz-Elektrode die Form eines umgestülpten „U“ aufweist. Dadurch kann das effektive Flächenverhältnis zwischen effektiver Massefläche und aktiver Hochfrequenz-Elektrodenfläche definiert werden.

[0026] Entsprechend einer weiteren Ausgestaltung der vorliegenden Erfindung ist die die Hochfrequenz-Elektrode und die Dunkelraumabschirmung aufweisende Hochfrequenz-Elektrodenanordnung senkrecht zur Transportrichtung der Substratträgerelektrode linear skaliert. Mit dieser Geometrie kann eine homogene Substratbearbeitung entlang einer Linie quer zur Substrattransportrichtung durch die Substratdurchlaufanlage realisiert werden, wobei die Substrate unter dieser Linie hindurchbewegt werden können.

[0027] Es hat sich erfindungsgemäß als besonders vorteilhaft erwiesen, wenn die die Hochfrequenz-Elektrode und die Dunkelraumabschirmung aufweisende Hochfrequenz-Elektrodenanordnung mit einer Anregungsfrequenz von etwa 50 kHz bis etwa 100 MHz betrieben wird. Bei diesen Frequenzen lassen sich bei Verwendung der erfindungsgemäßen Vorrichtung zur Schichtabscheidung Schichten mit hoher Qualität erzeugen.

[0028] Zur Verbesserung der Hochfrequenz-Leistungsverteilung werden in einer weiteren vorgeschlagenen Ausbildung der vorliegenden Erfindung insbesondere bei lang ausgedehnten Hochfrequenz-Elektrodenanordnungen mehrere Hochfrequenzzuführungen zur Zufuhr von Hochfrequenzenergie zur Hochfrequenz-Elektrode verwendet.

[0029] Besonders vorteilhafte Bearbeitungsergebnisse lassen sich durch die vorliegende Erfindung

erzielen, wenn die Hochfrequenz-Elektrodenanordnung mit der Dunkelraumabschirmung beheizbar und/oder kühlbar ist.

[0030] Die Kühlung und/oder die Heizung der Hochfrequenz-Elektrodenanordnung lässt sich besonders gut realisieren, wenn in der Hochfrequenz-Elektrode geeignete Kanäle zur Temperierung mit einem geeigneten Wärmeträger vorgesehen sind, wobei der Wärmeträger vorzugsweise durch mindestens eine der vorhandenen Hochfrequenzzuführungen zugeführt wird, welche mit mindestens einer Temperierungsvorrichtung verbunden ist bzw. sind.

[0031] Wenn gemäß einem bevorzugten Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung an der substratzugewandten Seite der Dunkelraumabschirmung eine geeignete rahmenartige Strömungsleitvorrichtung angebracht ist, ist zwischen der Strömungsleitvorrichtung und der Substratträgerelektrode ein definierter Gasströmungswiderstand erreichbar.

[0032] Es hat sich zudem als besonders günstig erwiesen, wenn die Masseelektrode mit einem Überzug aus einem geeigneten dielektrischen Material versehen ist.

[0033] In einer weiteren vorteilhaften Ausführungsform der vorliegenden Erfindung ist auf der der Substratträgerelektrode zugewandten Seite der Masseelektrode eine zusätzliche geeignete Platte aus dielektrischem Material angeordnet ist. Dadurch wird die Kapazität des zwischen der Substratträgerelektrode und der Masseelektrode ausgebildeten elektrischen Kondensators vergrößert.

[0034] Eine große Masseelektrodenfläche lässt sich bei der erfindungsgemäßen Plasmabearbeitungsvorrichtung dadurch erzielen, dass mehrere einzelne Masseelektroden so nacheinander angeordnet sind, sodass diese gemeinsam eine gegenüber der Substratträgerelektrode elektrisch wirksame Masseelektrode bilden können.

[0035] Es kann zudem von Vorteil sein, wenn in die Masseelektrode eine Strahlungsheizung eingebaut ist.

[0036] Eine besonders bevorzugte Ausbildung der erfindungsgemäßen Plasmabearbeitungsvorrichtung ist so gestaltet, dass die Hochfrequenz-Elektrode wenigstens eine eigene geeignete Gasdusche enthält und dass gleichzeitig in wenigstens einer Wand der Dunkelraumabschirmung eine zusätzliche Gasdusche vorhanden ist, wobei die jeweils zur Gasdusche gegenüberliegende Wand der Dunkelraumabschirmung mindestens eine Pumpöffnung enthält.

[0037] Eine ebenfalls vorteilhafte Gaszuführung und Gasabführung lässt sich auch erreichen, wenn in einer Wand der Dunkelraumabschirmung eine einfache oder mehrfache Gasdusche vorgesehen ist und in der dazu gegenüberliegenden Wand der Dunkelraumabschirmung wenigstens eine geeignete Pumpöffnung vorgesehen ist. In dieser Variante ist in der Hochfrequenz-Elektrode kein Gaseinlass vorgesehen. Hierdurch ergibt sich vor der Hochfrequenz-Elektrode ein Querfluss der eingelassenen Gase.

[0038] In einer weiteren Alternative der erfindungsgemäßen Plasmabearbeitungsvorrichtung ist in einer Wand der Dunkelraumabschirmung eine einfache oder mehrfache Gasdusche vorgesehen und in der dazu gegenüberliegenden Wand der Dunkelraumabschirmung sind geeignete Pumpöffnungen vorhanden, wobei die Pumpöffnungen vakuumdicht aus der Vakuumkammer heraus geführt werden und mit einem eigenen Pumpsystem verbunden sind.

[0039] Günstigerweise ist der Plasmaraum mit einer zusätzlichen Innenwandauskleidung versehen, die in einfacher Art und Weise auswechselbar ist, wobei diese Innenwandauskleidung alle notwendigen Pumpgitter und Gasaustrittsöffnungen für die Gaszuführung und Gasabfuhr enthält.

[0040] In einer Weiterbildung der vorliegenden Erfindung ist unmittelbar vor der Hochfrequenz-Elektrode eine Platte aus einem geeigneten dielektrischen Material angebracht, die diese vollständig gegenüber dem Plasmaraum abdeckt.

[0041] Es ist ferner erfindungsgemäß möglich, mehrere Hochfrequenz-Elektrodenanordnungen mit Dunkelraumabschirmungen in Bewegungsrichtung der Substratträger-elektrode nacheinander in einer Vakuumkammer anzuordnen.

[0042] Um immer eine ausreichende kapazitive Masseankopplung der Substratträger-elektrode gewährleisten zu können, sind in einer Variante der vorliegenden Erfindung für den Transport der Substratträger-elektrode zwischen benachbarten Vakuumkammern weitere Masseelektroden vorgesehen.

[0043] Gemäß einem weiteren effizienten Beispiel der Erfindung sind mehrere Substratträger-elektroden nacheinander durch die Entladungszone der Plasmabearbeitungsvorrichtung bewegbar, wobei deren Abstand zueinander so eingestellt ist, dass keine Plasmazündung zwischen den einzelnen Substratträger-elektroden möglich ist.

[0044] Schließlich ist es in einem Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung auch möglich, als Substratträger-elektrode, für welche typischerweise ein Substrat-Carrier verwendet wird, ein durchlaufendes elektrisch leitfähiges Band zu verwenden.

[0045] Bevorzugte Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung, deren Aufbau, Funktion und Vorteile werden im Folgenden anhand von Figuren näher erläutert, wobei

Fig. 1 schematisch eine Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Plasmabearbeitungsvorrichtung mit einem Gaseinlass in Form einer in der Hochfrequenz-Elektrode vorgesehenen Gasdusche und seitlichen, durch die Wände der Dunkelraumabschirmung geführten Gasauslässen in einer geschnittenen Seitenansicht zeigt;

Fig. 2 schematisch eine weitere Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Plasmabearbeitungsvorrichtung mit in der Dunkelraumabschirmung vorgesehenen Gasein- und -auslässen in einer geschnittenen Seitenansicht zeigt;

Fig. 3 schematisch eine veränderte Variante der Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Plasmabearbeitungsvorrichtung aus **Fig. 2** mit einer zusätzlichen, auswechselbaren Innenwandauskleidung des Plasmarums in einer geschnittenen Seitenansicht zeigt; und

Fig. 4 schematisch ein weiteres mögliches Ausführungsbeispiel einer erfindungsgemäßen Plasmabearbeitungsvorrichtung mit in der Dunkelraumabschirmung vorgesehenen Gasein- und -auslässen, wobei der Gasauslass mit einem Pumpanschluss verbunden ist, in einer geschnittenen Seitenansicht zeigt.

[0046] **Fig. 1** zeigt schematisch eine Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Plasmabearbeitungsvorrichtung zur großflächigen Plasmabearbeitung von Oberflächen von Substraten **28**. Die Plasmabearbeitungsvorrichtung ist in einer Vakuumkammer **20** eingebaut. Die Wände der Vakuumkammer **20** liegen auf Massepotenzial. Die Vakuumkammer **20** ist mit Pumpanschlüssen **21** und **22** für den Anschluss von Pumpsystemen versehen. Beiderseitig der Vakuumkammer **20** sind Öffnungsspalte **23**, **24** vorhanden. Hier können zum Beispiel Vakuumventile oder benachbarte Vakuumkammern angeschlossen werden. Die Öffnungsgeometrie dieser Öffnungsspalte **23**, **24** ist so ausgelegt, dass eine Substratträger-elektrode **27** ungehindert hindurch transportiert werden kann. Auf der Substratträger-elektrode **27** können einzelne Substrate **28** angeordnet sein.

[0047] Auf der zum Vakuumkammerboden zugewandten Seite der Substratträger-elektrode **27** befindet sich eine Masseelektrode **25**, die hierbei gleichzeitig als Strahlungsheizung ausgeführt sein kann. Die Masseelektrode **25** ist durch Strahlungsschilde **26** thermisch gegenüber dem Vakuumkammerboden entkoppelt und ist in geeigneter Art und Weise mit Massepotenzial verbunden.

[0048] Die Hochfrequenz-Elektrodenanordnung der gezeigten Plasmabearbeitungsvorrichtung besteht im Wesentlichen aus einer Dunkelraumabschirmung **1**, einer Hochfrequenz-Elektrode **2**, die hier beispielhaft in dielektrische Isolierkörper **4**, **17**, **18** eingebettet ist, und mindestens einer Hochfrequenzzuführung **3**. Als Isolationsmaterialien können zum Beispiel Aluminiumoxidkeramik, Quarzglas oder auch Kunststoffwerkstoffe wie PEEK oder Teflon verwendet werden. Die Hochfrequenz-Elektrode **2** ist mit einer Hochfrequenz-Versorgungseinrichtung **30** gekoppelt, wodurch an die Hochfrequenz-Elektrode **2** ein Wechselspannungspotenzial anlegbar ist. Die Hochfrequenz-Versorgungseinrichtung **30** ist mit dem Massepotenzial, auf welchem auch die Wände der Vakuumkammer **20** liegen, verbunden. In der Hochfrequenz-Elektrode **2** ist eine Gasdusche **15** mit einer definierten Lochanordnung vorhanden, die einen Plasmaraum **5** der Plasmabearbeitungsvorrichtung möglichst homogen mit Prozessgasen versorgen kann. Die Gasdusche **16** ist dabei über ein Gaspuffervolumen **16** und mindestens einer Gaszuführung **14** mit einem Gasversorgungssystem verbunden. Vorteilhaft ist es, wenn die Gaszuführung **14** gleich mit über die Hochfrequenzzuführung **3** erfolgt, da diese ohnehin schon mit der Hochfrequenz-Elektrode **2** verbunden ist.

[0049] Die Dunkelraumabschirmung **1** ist über die Hochfrequenz-Elektrode **2** hinaus, in etwa bis zur Substratträger-elektrode **27** geführt und bildet damit gemeinsam mit der Hochfrequenz-Elektrode **2** einen elektrisch abgeschlossenen Plasmaraum **5**. Der Abstand zwischen der Vorderseite der Hochfrequenz-Elektrode **2** und der Substratträger-elektrode **27** wird nach den technologischen Erfordernissen angepasst. Er beträgt in Praxis etwa 10 mm bis ca. 30 mm.

[0050] Unmittelbar an der Öffnung des Plasmarumes **5**, der durch die Wände der Dunkelraumabschirmung **1** begrenzt wird, befindet sich eine rahmenartig ausgeführte Strömungsleitvorrichtung **6** in Form eines Strömungswertleitbleches. Diese ist über den äußeren Abmessungen der Dunkelraumabschirmung **1** hinaus verbreitert, sodass bei einem definierten Abstand zwischen dieser Strömungsleitvorrichtung **6** und der Substratträger-elektrode **27** ein definierter Gasströmungswiderstand erreicht werden kann. Damit ist es möglich, die Gasströmung aus dem Plasmaraum **5** heraus hauptsächlich in Richtung der Pumpöffnungen **7**, **8** zu definieren. In der **Fig. 1** sind dazu beiderseitig der Dunkelraumabschirmung **1** jeweils mindestens eine Pumpöffnung **7**, **8** vorhanden. Zur homogenen Absaugung des Plasmarumes **5** ist es vorteilhafter, wenn mehrere Pumpöffnungen **7**, **8** entlang der jeweiligen Seite der Dunkelraumabschirmung **1** vorhanden sind. Die Pumpöffnungen **7**, **8** sind mit sogenannten Pumpgrids **9**, **10** abgedeckt. Diese Pumpgrids **9**, **10** bestehen aus einem gut elektrisch leitfähigen Material und besitzen angepasste gasdurchlässige Öffnungen wie z.B. Schlit-

ze oder Löcher. Dadurch wird der Plasmaraum **5** allseitig mit gut elektrisch leitfähigen Wänden begrenzt und enthält trotzdem die Möglichkeit einer definierten Gasabfuhr.

[0051] Wie oben schon erwähnt, besitzt die Hochfrequenz-Elektrode **2** mindestens eine Hochfrequenzzuführung **3**. Diese ist bevorzugt coaxial ausgeführt. Damit lassen sich zur Zufuhr von Hochfrequenzenergie auch höhere Anregungsfrequenzen verwenden, ohne dass nennenswerte Strom- bzw. Spannungsverluste am Leitungssystem auftreten. Die Hochfrequenzzuführung **3** ist mit der Hochfrequenz-Versorgungseinrichtung **30** nach dem Stand der Technik verbunden. Zur elektrischen Leistungsanpassung des komplexen Widerstandes des Plasmas und der Impedanz des Generatorausgangs wird in Abhängigkeit der eingesetzten Generatorfrequenz meistens eine sogenannte Match-Box zwischengeschaltet.

[0052] Die Hochfrequenz-Elektrodenanordnung kann auch temperiert werden, wenn dafür geeignete technische Vorrichtungen eingesetzt werden. Das kann sowohl mit Hilfe geeigneter elektrischer Heizvorrichtungen oder über den Wärmeaustausch von geeigneten Wärmeträgern erfolgen. Zum Beispiel können in der Hochfrequenz-Elektrode **2** Kanäle oder Bohrungen zur Führung und den Transport eines geeigneten Wärmeträgers vorgesehen werden. Dieser Wärmeträger sollte vorzugsweise über mindestens eine der vorhandenen Hochfrequenzzuführungen **3** zugeführt werden. Die Dunkelraumabschirmung **1** wird entweder mit über die Vakuumkammer **20** temperiert oder besitzt selbst eine geeignete Vorrichtung zur Temperierung.

[0053] Die Hochfrequenz-Elektrodenanordnung wird asymmetrisch betrieben. Das heißt, dass als Bezugspotenzial zur eingesetzten Generatorspannung das Massepotenzial verwendet wird. Damit werden sich auch die von der Hochfrequenz-Elektrode **2** ausgehenden elektrischen Felder vorwiegend zur Masselektrode **25** ausbilden. Erreichen dessen Feldstärken die Durchbruchfeldstärke der eingesetzten Gase und ist dabei ein zündfähiger Arbeitsdruck vorhanden, so wird im Plasmaraum **5** ein Niederdruckplasma gezündet.

[0054] Die Wände der Dunkelraumabschirmung **1** befinden sich definiert auf Massepotenzial. Die Substratträger-elektrode **27** ist gleichstrommäßig, gegenüber Massepotenzial, isoliert geführt. Wird zur Plasmaanregung eine Wechselspannung geeigneter Frequenz verwendet, so fließt auch ein Wechselstrom von der Hochfrequenz-Elektrode **2** zur Substratträger-elektrode **27** und von dort zu nahen Massenflächen, im Wesentlichen aber zur Masselektrode **25**. Diese Anordnung bildet dadurch einen kapazitiven Spannungsteiler. Bei gegebener Anregungsfrequenz und definierten Entladungsbedingungen des Nieder-

druckplasmas entscheidet die Größe der einzelnen Kapazitäten dann über die Höhe der Spannungsabfälle über diesen Kapazitäten. Eine wesentliche Kapazität wird dabei durch die Substratträgerelektrode **27** mit der Masseelektrode **25** gebildet. Diese Kapazität soll möglichst groß sein, da damit gleichzeitig auch ein kleiner Wechsellspannungsabfall verbunden ist. Das Wechsellspannungspotenzial der Substratträgerelektrode **27** liegt dadurch auch näher am Massepotenzial und die Wechselwirkung des Niederdruckplasmas mit der Substratträgerelektrode **27** entspricht dann mehr den Bedingungen einer Entladung zu einer auf Massepotenzial liegenden Elektrode. Die Größe der Kapazität zwischen Substratträgerelektrode **27** und Masseelektrode **25** wird maximal, wenn der Abstand zueinander minimal wird und dabei die Fläche der Masseelektrode **25** gleich oder größer ist als die Fläche der Substratträgerelektrode **27**. Aus technischen Gründen kann es dabei notwendig werden, dass die Masseelektrode **25** aus mehreren einzelnen Masseelektroden zusammengesetzt werden muss. Besonders dann, wenn die Masseelektrode **25** gleichzeitig auch als Strahlungsheizung verwendet werden soll, kann durch Aufteilung der Wärmestrahlung auf mehrere unabhängig temperierbare Masseelektroden auftretenden Temperaturgradienten innerhalb der Substratträgerelektrode **27** entgegengewirkt werden.

[0055] Die Kapazität zwischen Substratträgerelektrode **27** und Masseelektrode **25** kann auch dadurch vergrößert werden, dass im Zwischenraum eine Platte aus einem geeigneten dielektrischen Material angeordnet wird. Diese Platte sollte bevorzugt über die Abmessungen der Masseelektrode **25** hinaus vergrößert sein, wodurch inhomogene elektrische Felder, die sich vom Randbereich der Substratträgerelektrode **27** zur Masseelektrode **25** ausbilden könnten, verringert werden. Die Gefahr der Bildung von parasitären Plasmen ist damit auch geringer. Ist die Masseelektrode **25** gleichzeitig auch als Strahlungsheizung ausgebildet, so kann die Effektivität des Wärmetransportes zur Substratträgerelektrode **27** erhöht werden, wenn diese dielektrische Platte aus einem Material mit einem hohen Emissionsgrad besteht. Gut geeignete Materialien sind vor allem keramische Materialien wie zum Beispiel Aluminiumoxidkeramik.

[0056] Im Rahmen der technischen Möglichkeiten und in Abhängigkeit der geforderten Abmessungen der Substratträgerelektrode **27** können die Abmessungen der Hochfrequenz-Elektrodenanordnung, insbesondere die Flächengröße der Hochfrequenz-Elektrode **2** und deren Abstand zur Substratträgerelektrode **27**, angepasst werden, um den kapazitiven Spannungsteiler zwischen der Hochfrequenz-Elektrode **2** und der Masseelektrode **25** für eine gute kapazitive Masseankopplung der Substratträgerelektrode **27** zu optimieren. Eine zusätzliche Kapazität zur Masseankopplung der Substratträgerelek-

trode **27** kann auch mit der Strömungsleitvorrichtung **6** erreicht werden, da diese definiert auf Massepotenzial liegt. Je nach definierter Fläche und Abstand des als Strömungsleitvorrichtung **6** verwendeten Strömungsleitwertbleches zur Substratträgerelektrode **27** kann dieses Strömungsleitwertblech einen mehr oder wenigen großen Anteil zur kapazitiven Kopplung der Substratträgerelektrode **27** an das Massepotenzial beitragen.

[0057] Durch die Wechselwirkung der im Plasma erzeugten Ladungsträger mit den umliegenden Wänden werden Plasmarandschichten ausgebildet. Das Plasmarandschichtpotenzial zur jeweiligen Wand ist dabei immer positiver als das elektrische Potenzial der Wand selbst. Die Höhe der Randschichtpotenziale hängt maßgeblich auch vom Flächenverhältnis der eingesetzten Elektrodenflächen ab. So führt eine kleine Hochfrequenz-Elektrode **2** gegenüber einer großen Masseelektrode **25** zur Ausbildung eines negativen Elektrodenpotenzials an der Hochfrequenz-Elektrode **2**. Dieses negative Gleichspannungspotenzial ist der Hochfrequenzspannung überlagert und wird auch als RF-Bias bezeichnet. Sehr hohe RF-Bias können zu einem erhöhten Risiko führen, dass das Elektrodenmaterial durch einen erhöhten Ionenstoß abgetragen wird, wodurch der Bearbeitungsprozess verunreinigt werden kann.

[0058] Fig. 2 zeigt eine vorteilhafte Ausgestaltung der Hochfrequenz-Elektrode **2** mit einem umlaufenden erhobenen Rand **29**. Damit kann unter Plasmabedingungen die effektiv wirksame Elektrodenfläche der Hochfrequenz-Elektrode **2** im Verhältnis zur effektiven Massefläche vergrößert werden. Die Verwendung der Begriffe effektive Elektrodenfläche und effektive Massefläche soll so verstanden werden, dass sich unter Plasmabedingungen geometrische Flächen von elektrisch wirksamen Flächen unterscheiden können. Die Form und die Abmessungen des erhobenen Randes **29** können an die technischen und elektrischen Erfordernisse angepasst werden.

[0059] Gegenüber der Fig. 1 ist in Fig. 2 eine geänderte Gasbereitstellung für den Plasmaraum **5** dargestellt. Die Gaszuführung erfolgt nicht mehr über die Hochfrequenz-Elektrode **2**, sondern mit Hilfe einer Lochanordnung **32** in der Dunkelraumabschirmung **1**. Mindestens ein Gasanschluss **31** ist dabei mit einem Gaspuffervolumen **37** verbunden, das die Lochanordnung **32** mit Gas versorgt. In der zur Lochanordnung **32** gegenüberliegenden Wand der Dunkelraumabschirmung **2** befinden sich Pumpöffnungen **7** mit Pumpgrids **9**. Dadurch wird unter Prozessbedingungen ein Querfluss von Prozessgas vor der Hochfrequenz-Elektrode **2** erreicht. In seltenen Fällen kann es vorteilhaft sein, wenn zusätzlich zur Gasdusche in der Dunkelraumabschirmung **1** auch noch eine Gas-

dusche in der Hochfrequenz-Elektrode **2** vorhanden ist.

[0060] Fig. 3 zeigt schematisch eine vorteilhafte Weiterentwicklung der Anordnung in Fig. 2 mit einer zusätzlich vorhandenen und auswechselbaren Innenwandauskleidung **33**, **34**, **35** und **36**. Bis auf die dielektrische Platte **36** besteht diese Innenwandauskleidung aus miteinander verbundenen, elektrisch leitfähigen Blechen, die die seitlichen Innenwände des Plasmarumes **5** und die Strömungsleitvorrichtung **6** bedecken. Vorteilhaft sollten dabei notwendige Pumpgrids **33** vor den Pumpöffnungen **7** mit in die Innenwandauskleidung eingearbeitet werden. Auch im Bereich der dargestellten Lochanordnung **32** sind in der Innenwandauskleidung angepasste Lochanordnungen **34** vorhanden. Die dielektrische Platte **36** wird an die technologischen Erfordernisse angepasst und besteht zum Beispiel aus Aluminiumoxidkeramik, Quarzglas oder anderen geeigneten Materialien. Wird die Hochfrequenz-Elektrodenanordnung an einem abnehmbaren- oder kippbaren Deckel der Vakuumkammer **20** angebracht, so lässt sich die Innenwandauskleidung sehr komfortabel austauschen und der Wartungsaufwand der Hochfrequenz-Elektrodenanordnung ist damit gering.

[0061] In Fig. 4 ist eine weitere Vorrichtung zur großflächigen Plasmabearbeitung von Oberflächen von Substraten **28** dargestellt, bei der die seitlichen Pumpöffnungen **38** mit den Pumpgrids **9** nicht in die Vakuumkammer **20** münden, sondern vakuumdicht gegenüber der Vakuumkammer **20** mit mindestens einem vorhandenen Pumpanschluss **40** verbunden sind. Der oder die Pumpanschlüsse **40** werden vorteilhaft mit mindestens einem geeigneten Pumpsystem verbunden. Vorteilhaft ist es dabei, wenn mehrere Pumpöffnungen **38** mit eigenen Pumpanschlüssen **40** verbunden sind und diese wiederum mit einem gemeinsamen, nicht dargestellten Pumpverteiler. Wird an diesen Pumpverteiler ein geeignetes Pumpsystem angeschlossen, so wird ein besonders gleichmäßiges Abpumpen des Plasmarumes **5** erreicht. Mit dem gegenüber der Vakuumkammer **20** unabhängigen Abpumpen des Plasmarumes **20** kann damit die Verschleppung von Prozessgasen aus dem Plasmaraum **5** in die Vakuumkammer **20** stark reduziert werden.

[0062] Je nach technologischen Anforderungen kann eine einzelne erfindungsgemäße Plasmabearbeitungsvorrichtung auch mit den teilweise unterschiedlichen Merkmalen der in den Fig. 1 bis Fig. 4 gezeigten Ausführungsformen kombiniert werden.

[0063] Wenn es erforderlich ist, können auch mehrere Vorrichtungen mit den Merkmalen der Fig. 1 bis Fig. 4 in einer gemeinsamen Vakuumkammer **20** angeordnet und kombiniert werden.

[0064] Sollen mehrere Prozesskammern und Schleusenkammern zu einem kompletten In-Line-Bearbeitungssystem zusammengeschaltet werden, so ist auch in den Zwischenbereichen zu den benachbarten Kammern für eine ausreichende Massean Kopplung der Substratträgerelektrode **27** beim Transport zu sorgen. Vorteilhaft sollen dabei einzelne Substratträgerelektroden **27** nacheinander und mit einem möglichst geringen Abstand zueinander durch das Bearbeitungsgebiet der vorhandenen Hochfrequenz-Elektrodenanordnungen transportiert werden. Damit können die Entladungsbedingungen der einzelnen erzeugten Niederdruckplasmen stabilisiert werden und die Gefahr einer Plasmazündung im Spalt zwischen einzelnen Substratträgerelektroden **27** kann reduziert werden.

Patentansprüche

1. Plasmabearbeitungsvorrichtung zur Bearbeitung wenigstens eines flächigen Substrates (28) in einer Substratdurchlaufanlage, wobei die Plasmabearbeitungsvorrichtung aufweist:
 - wenigstens eine Substratträgerelektrode (27), auf welcher das Substrat (28) aufliegend durch die Substratdurchlaufanlage transportierbar ist und welche gleichstrommäßig isoliert gegenüber Massepotenzial geführt wird;
 - eine flächenhaft ausgebildete Hochfrequenz-Elektrode (2), die an einem Wechsellspannungspotenzial anliegt und in einem Abstand über dem wenigstens einen auf der Substratträgerelektrode (27) aufliegenden Substrat (28) vorgesehen ist;
 - eine topfförmig über der Substratträgerelektrode (27) ausgebildete Dunkelraumabschirmung (1), wobei der offene Bereich der topfförmigen Dunkelraumabschirmung (1) auf das wenigstens eine Substrat (28) gerichtet ist und die topfförmige Dunkelraumabschirmung (1) einen die Dunkelraumabschirmung (1) nach außen verbreiternden Rand (6) aufweist, der dicht über der Substratträgerelektrode (27) und parallel zu deren Oberfläche angeordnet ist, und wobei im Betrieb der Plasmabearbeitungsvorrichtung zwischen Substratträgerelektrode (27) bzw. Substrat (en) (28), Hochfrequenz-Elektrode (2) und Dunkelraumabschirmung (1) ein Plasmaraum (5) für die Ausbildung eines Niederdruckplasmas vorgesehen ist;
 - wenigstens eine rückseitig und parallel zur Substratträgerelektrode (27) angeordnete, elektrisch leitfähige zweite Elektrode (25); und
 - eine Gasversorgung zum Einbringen von Prozessgas in den Plasmaraum (5); und wobei die Plasmabearbeitungsvorrichtung in einer Vakuumkammer (20) eingebaut ist,

dadurch gekennzeichnet,

dass die zweite Elektrode eine auf Massepotenzial liegende Masseelektrode (25) ist, wobei die Substratträgerelektrode (27) kapazitiv an die Masseelektrode (25) ankoppelbar ist,

die Masseelektrode (25) eine separate Masseelektrode ist und nicht durch eine Wand der Vakuumkammer (20) ausgebildet ist,

die Gasversorgung wenigstens einen in der Hochfrequenz-Elektrode (2) und/oder der Dunkelraumabschirmung (1) vorgesehenen Gaseinlass (14, 15, 16; 31, 37, 32, 34) und wenigstens einen in der Dunkelraumabschirmung (1) vorgesehenen Gasauslass (10, 8; 9, 7; 9, 38, 40) aufweist,

die Fläche der Substratträger Elektrode (27) mindestens gleich oder größer ist als die Fläche, die durch die Öffnungsfläche der Dunkelraumabschirmung (1) gebildet ist, und

die Fläche der Masseelektrode (25) größer oder gleich der Fläche der Substratträger Elektrode (27) ist.

2. Plasmabearbeitungsvorrichtung nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass bei definierter effektiver Fläche der Hochfrequenz-Elektrode (2) der Abstand zwischen der Substratträger Elektrode (27) und der Masseelektrode (25) und/oder die Größe der Substratträger Elektrodenfläche gegenüber der Masseelektrode (25) so angepasst ist, dass der unter Entladungsbedingungen zwischen der Hochfrequenz-Elektrode (2) zur Masseelektrode (25) fließende hochfrequente Verschiebungsstrom keinen zur Plasmazündung geeigneten Spannungsabfall zwischen der Substratträger Elektrode (27) und der Masseelektrode (25) liefert.

3. Plasmabearbeitungsvorrichtung nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Hochfrequenz-Elektrode (2) einen umlaufenden erhöhten Randbereich (29) besitzt.

4. Plasmabearbeitungsvorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet**, dass die die Hochfrequenz-Elektrode (2) und die Dunkelraumabschirmung (1) aufweisende Hochfrequenz-Elektrodenanordnung senkrecht zur Transportrichtung der Substratträger Elektrode (27) linear skaliert ist.

5. Plasmabearbeitungsvorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet**, dass die die Hochfrequenz-Elektrode (2) und die Dunkelraumabschirmung (1) aufweisende Hochfrequenz-Elektrodenanordnung mit einer Anregungsfrequenz von 50 kHz bis 100 MHz betrieben wird.

6. Plasmabearbeitungsvorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 5, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Hochfrequenz-Elektrode (2) mehrere Hochfrequenz-zuführungen (3) zur Zufuhr von Hochfrequenzenergie aufweist.

7. Plasmabearbeitungsvorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 6, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Hochfrequenz-Elektrodenanordnung mit der Dun-

kelraumabschirmung (1) beheizbar und/oder kühlbar ist.

8. Plasmabearbeitungsvorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 7, **dadurch gekennzeichnet**, dass in der Hochfrequenz-Elektrode (2) wenigstens ein Kanal zur Temperierung mit einem Wärmeträger vorgesehen ist, wobei der Wärmeträger durch wenigstens eine mit mindestens einer Temperierungsvorrichtung verbundene Hochfrequenz-zuführung (3) zugeführt wird.

9. Plasmabearbeitungsvorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 8, **dadurch gekennzeichnet**, dass an der substratzugewandten Seite der Dunkelraumabschirmung (1) eine rahmenartige Strömungsleitvorrichtung (6) angebracht ist.

10. Plasmabearbeitungsvorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 9, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Masseelektrode (25) eine Beschichtung aus einem dielektrischen Material aufweist.

11. Plasmabearbeitungsvorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 10, **dadurch gekennzeichnet**, dass auf der der Substratträger Elektrode (27) zugewandten Seite der Masseelektrode (25) eine Platte aus dielektrischem Material angeordnet ist.

12. Plasmabearbeitungsvorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 11, **dadurch gekennzeichnet**, dass die gegenüber der Substratträger Elektrode (27) elektrisch wirksame Masseelektrode (25) aus mehreren einzelnen, nacheinander angeordneten Masseelektroden ausgebildet ist.

13. Plasmabearbeitungsvorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 12, **dadurch gekennzeichnet**, dass in der Masseelektrode (25) eine Strahlungsheizung vorgesehen ist.

14. Plasmabearbeitungsvorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 13, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Hochfrequenz-Elektrode (2) mindestens eine eigene Gasdusche (16) enthält und dass sich einseitig oder beidseitig in der Dunkelraumabschirmung (1) wenigstens eine Pumpöffnung (7, 8) befindet, die mit wenigstens einem elektrisch leitfähigen Pumpgitter (9, 10) abgedeckt ist und in den Raum der Vakuumkammer (20) mündet.

15. Plasmabearbeitungsvorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 13, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Hochfrequenz-Elektrode (2) mindestens eine eigene Gasdusche (16) enthält und dass gleichzeitig in mindestens einer Wand der Dunkelraumabschirmung (1) eine zusätzliche Gasdusche (32) vorhanden ist, wobei die jeweils zur Gasdusche (32) gegenüberliegende Wand der Dunkelraumabschirmung (1) mindestens eine Pumpöffnung (7) enthält.

16. Plasmabearbeitungsvorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 13, **dadurch gekennzeichnet**, dass in einer Wand der Dunkelraumabschirmung (1) eine einfache oder mehrfache Gasdusche (16) vorgesehen ist und in der dazu gegenüberliegenden Wand der Dunkelraumabschirmung (1) wenigstens eine Pumpöffnung (7) vorgesehen ist.

17. Plasmabearbeitungsvorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 13, **dadurch gekennzeichnet**, dass in einer Wand der Dunkelraumabschirmung (1) eine einfache oder mehrfache Gasdusche (32) vorgesehen ist und dass in der dazu gegenüberliegenden Wand der Dunkelraumabschirmung (1) wenigstens eine Pumpöffnung (38) vorgesehen ist, wobei die wenigstens eine Pumpöffnung (38) vakuumdicht aus der Vakuunkammer (20) herausführt und mit einem eigenen Pumpsystem (40) verbunden ist.

18. Plasmabearbeitungsvorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 17, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Plasmaraum (5) eine auswechselbare Innenwandauskleidung (33, 34, 35, 36) aufweist, wobei diese Innenwandauskleidung (33, 34, 35, 36) Pumpgitter und Gasaustrittsöffnungen für die Gaszuführung und Gasabfuhr zu bzw. aus dem Plasmaraum (5) enthält.

19. Plasmabearbeitungsvorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 18, **dadurch gekennzeichnet**, dass unmittelbar vor der Hochfrequenz-Elektrode (2) eine Platte aus einem geeigneten dielektrischen Material angebracht wird, die diese vollständig gegenüber dem Plasmaraum (5) abdeckt.

20. Plasmabearbeitungsvorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 19, **dadurch gekennzeichnet**, dass mehrere Hochfrequenz-Elektrodenanordnungen mit Dunkelraumabschirmungen (1) in Bewegungsrichtung der Substratträger-elektrode (27) durch die Substratdurchlaufanlage nacheinander in einer Vakuunkammer (20) angeordnet sind.

21. Plasmabearbeitungsvorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 20, **dadurch gekennzeichnet**, dass in Bewegungsrichtung der Substratträger-elektrode (27) durch die Substratdurchlaufanlage zwischen benachbarten Vakuunkammern (20) weitere Masseelektroden (25) vorgesehen sind.

22. Plasmabearbeitungsvorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 21, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Plasmabearbeitungsvorrichtung mehrere nacheinander durch die Entladungszone bewegbare Substratträger-elektroden (27) aufweist, wobei der Abstand dieser Substratträger-elektroden (27) zueinander so eingestellt ist, dass keine Plasmazündung zwischen den einzelnen Substratträger-elektroden (27) möglich ist.

23. Plasmabearbeitungsvorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 22, **dadurch gekennzeichnet**, dass als Substratträger-elektrode (27) ein durchlaufendes elektrisch leitfähiges Band verwendet wird.

Es folgen 4 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

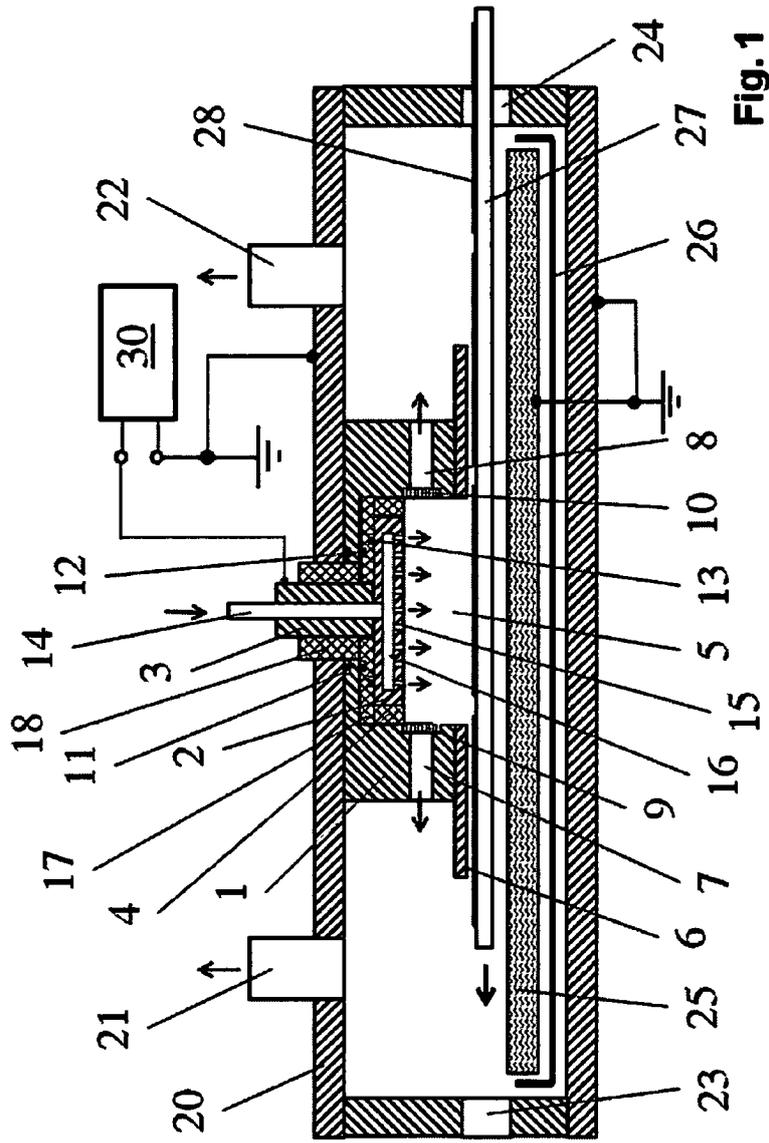
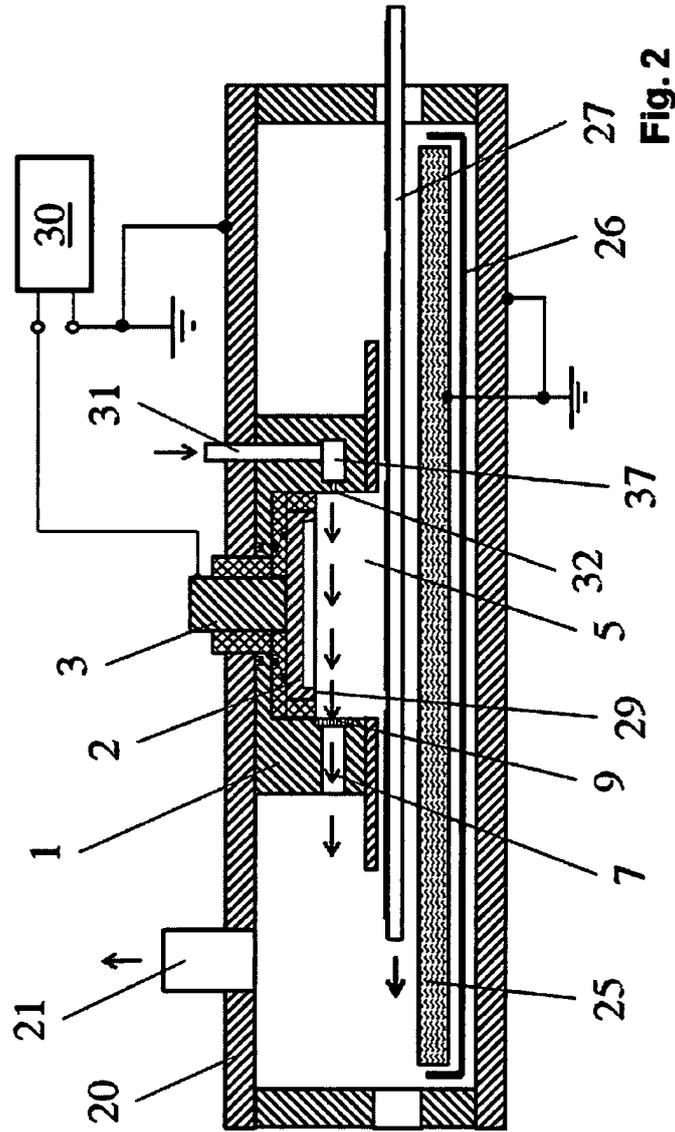
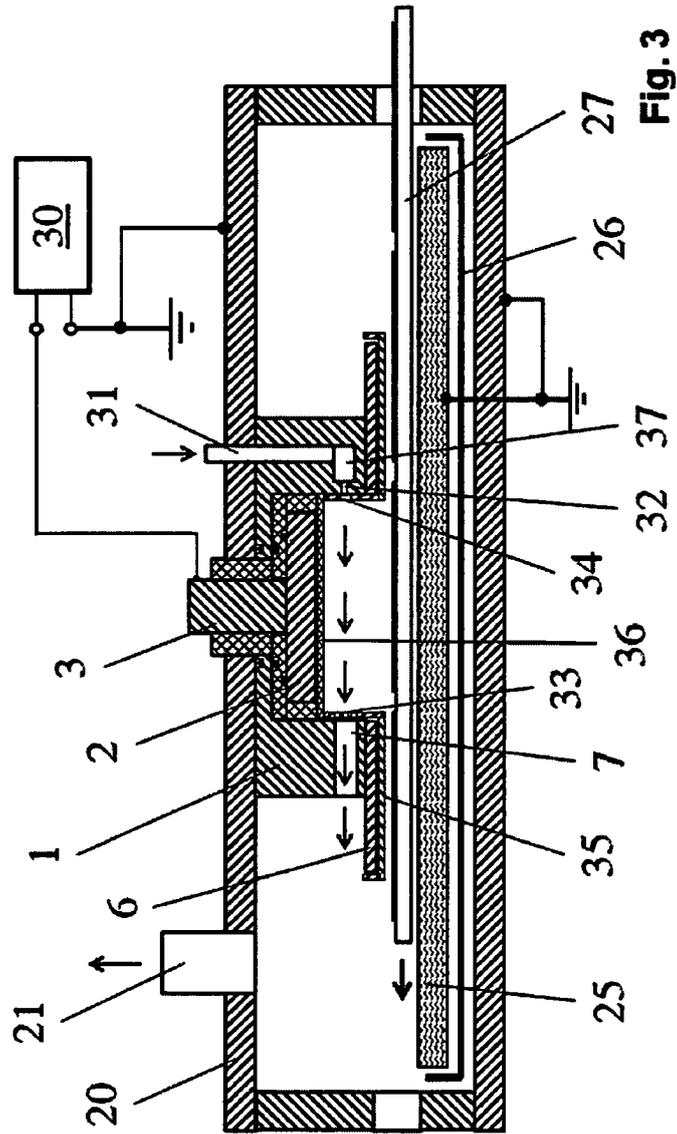


Fig. 1





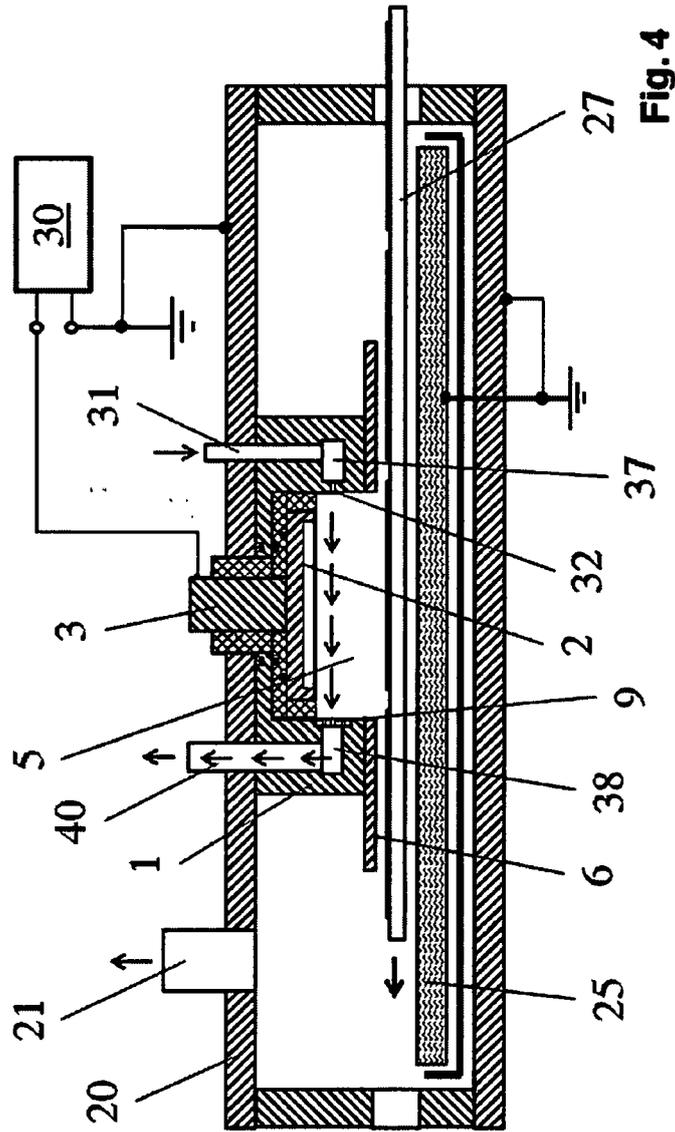


Fig. 4