

(19)



Europäisches Patentamt

European Patent Office

Office européen des brevets



(11)

EP 0 972 431 B1

(12)

EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des Hinweises auf die Patenterteilung:

26.10.2005 Patentblatt 2005/43

(21) Anmeldenummer: **98919213.3**

(22) Anmeldetag: **02.04.1998**

(51) Int Cl.7: **H05H 3/04**

(86) Internationale Anmeldenummer:
PCT/EP1998/001938

(87) Internationale Veröffentlichungsnummer:
WO 1998/044766 (08.10.1998 Gazette 1998/40)

(54) **TEILCHENMANIPULIERUNG**

PARTICLE MANIPULATION

MANIPULATION DE PARTICULES

(84) Benannte Vertragsstaaten:
DE FR GB IT NL

(30) Priorität: **02.04.1997 DE 19713637**

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:
19.01.2000 Patentblatt 2000/03

(73) Patentinhaber:

- **Max-Planck-Gesellschaft zur Förderung der Wissenschaften e.V.**
80539 München (DE)
- **Kayser-Threde GmbH**
81379 München (DE)

(72) Erfinder:

- **MORFILL, Gregor**
D-81927 München (DE)
- **THOMAS, Hubertus**
D-85276 Pfaffenhofen (DE)
- **STUFFLER, Timo**
D-82229 Seefeld (DE)

(74) Vertreter: **Hertz, Oliver**
v. Bezold & Sozien
Patentanwälte
Akademiestrasse 7
80799 München (DE)

(56) Entgegenhaltungen:

EP-A- 0 303 510

DE-A- 4 412 902

US-A- 5 252 954

- **DATABASE INSPEC INSTITUTE OF ELECTRICAL ENGINEERS, STEVENAGE, GB**
Inspec No. 5907038, **BINGHAM R ET AL**: "The attraction of dust grains in a plasma and the formation of agglomerates" **XP002071578 & IEE HALF-DAY COLLOQUIUM ON DUSTY PLASMAS (REF. NO.1998.267), IEE HALF-DAY COLLOQUIUM ON DUSTY PLASMAS (REF. NO.1998/267), LONDON, UK, 4 MARCH 1998, Seiten 4/1-3, 1998, LONDON, UK, IEE, UK**
- **THOMAS H ET AL**: "Plasma crystal: Coulomb crystallization in a dusty plasma" **PHYSICAL REVIEW LETTERS, 1 AUG. 1994, USA, Bd. 73, Nr. 5, Seiten 652-655, XP002071576 ISSN 0031-9007 in der Anmeldung erwähnt**
- **THOMAS H M ET AL**: "Melting dynamics of a plasma crystal" **NATURE, 29 FEB. 1996, MACMILLAN MAGAZINES, UK, Bd. 379, Nr. 6568, Seiten 806-809, XP002071577 ISSN 0028-0836 in der Anmeldung erwähnt**
- **DATABASE INSPEC INSTITUTE OF ELECTRICAL ENGINEERS, STEVENAGE, GB**
Inspec No. 5907036, **STEEL WH**: "The movement of dust particles in a plasma by means of a laser beam" **XP002071579 & IEE HALF-DAY COLLOQUIUM ON DUSTY PLASMAS (REF. NO.1998.267), IEE HALF-DAY COLLOQUIUM ON DUSTY PLASMAS (REF. NO.1998/267), LONDON, UK, 4 MARCH 1998, Seiten 2/1-3, 1998, LONDON, UK, IEE, UK**

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach der Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents kann jedermann beim Europäischen Patentamt gegen das erteilte europäische Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch ist schriftlich einzureichen und zu begründen. Er gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist. (Art. 99(1) Europäisches Patentübereinkommen).

EP 0 972 431 B1

- | | |
|---|--|
| <ul style="list-style-type: none">• AINTS M ET AL: "Propagation velocities of the point-electrode HF discharge" PROCEEDINGS OF THE FIFTH INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON HIGH VOLTAGE ENGINEERING, BRAUNSCHWEIG, WEST GERMANY, 24-28 AUG. 1987, Seiten 14.21/1-3 vol.1, XP002078758 1987, Braunschweig, West Germany, Tech. Univ. Braunschweig, West Germany | <ul style="list-style-type: none">• AINTS M ET AL: "Propagation of a HF point-discharge at frequencies of 10-20 MHz" GD85. PROCEEDINGS OF THE EIGHTH INTERNATIONAL CONFERENCE ON GAS DISCHARGES AND THEIR APPLICATIONS, OXFORD, UK, 16-20 SEPT. 1985, Seiten 398-401, XP002078759 ISBN 0-85316-135-6, 1985, Leeds, UK, Leeds Univ. Press, UK |
|---|--|

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Manipulierung von mikroskopischen Teilchen, insbesondere zur Manipulierung von Teilchen in einem plasmakristallinen Zustand.

[0002] Es ist bekannt, daß sich mikroskopische feste Teilchen in einem Plasma in einer makroskopisch regelmäßigen Anordnung als sogenannter Plasmakristall ausrichten können. Die Eigenschaften von Plasmakristallen werden beispielsweise von H. Thomas et al. in "Phys. Rev. Lett." Band 73, 1994, Seite 652, ff., oder von H. Thomas & G. E. Morfill in "Nature" Band 379, 1996, Seite 806, ff., beschrieben.

[0003] Eine quantitative Beschreibung von Plasmakristallen auf der Grundlage molekular-dynamischer Simulationen von Yukawa-Systemen und eine Abgrenzung gegenüber "flüssigen" Zuständen wird von S. Hamaguchi et al. in "Physical Review E", Band 56, 1997, S. 4671 ff, beschrieben. Diese Publikation wurde nach dem Prioritätstag der vorliegenden Anmeldung veröffentlicht. Die Abgrenzung zwischen einem plasmakristallinen und einem nicht-plasmakristallinen (z. B. flüssigen) Zustand erfolgt auf der Grundlage eines Phasendiagramms, dessen Abszisse durch einen dimensionslosen Parameter κ als Quotient aus dem ladungsabhängigen Abstand der Partikel und der sogenannten Debye-Länge und dessen Ordinate durch einen Parameter Γ gebildet wird, der dimensionslos die Coulomb-Wechselwirkung der Teilchen beschreibt. Da die Abszissen- und Ordinatenparameter abhängig von den Betriebsparametern des Plasmas sind, können somit Zustandsänderungen der Plasmazustände der Teilchen durch Änderungen der Betriebsparameter erzielt werden.

[0004] Wichtige Gesichtspunkte der Plasmakristallbildung werden im folgenden unter Bezug auf eine herkömmliche Anordnung zur Ausbildung eines Plasmakristalls gemäß Fig. 14 erläutert.

[0005] Ein Gas umfaßt im Plasmazustand, der beispielsweise durch eine Glimm- oder Gasentladung erzeugt wird, verschiedenartig geladene Teilchen, wie positiv oder negativ geladene Ionen, Elektronen und Radikale, aber auch neutrale Atome. Befinden sich in dem Plasma mikroskopische Teilchen (Größenordnung μm), zum Beispiel Staubteilchen, so werden diese elektrisch aufgeladen. Die Ladung kann in Abhängigkeit von der Teilchengröße und den Plasmabedingungen (Gasart, Plasmadichte, Temperatur, Druck etc.) einige Hunderttausend Elektronenladungen erreichen. Bei geeigneten Teilchen- und Plasmabedingungen bilden sich zwischen den geladenen Teilchen Coulomb-Kräfte aus, unter deren Wirkung die Teilchen den plasmakristallinen Zustand als zwei- oder dreidimensionale Anordnung einnehmen. Dabei spielt neben den Coulomb-Kräften auch ein Energieentzug von den Teilchen durch Zusammenstöße mit neutralen Atomen im Plasma eine Rolle.

[0006] Eine Anordnung zur Ausbildung von Plasmakristallen ist beispielhaft in Fig. 14 gezeigt (siehe auch

die oben angegebene Veröffentlichung in Phys. Rev. Lett.). In einem Reaktor (Gefäßwände nicht dargestellt) mit einem Trägergas sind zwei ebene Entladungselektroden übereinander angeordnet. Die untere kreis- oder scheibenförmige HF-Elektrode 11 wird mit einer Wechselspannung angesteuert, die obere, ringförmige Gegenelektrode 12 ist z. B. geerdet. Der Elektrodenabstand beträgt rd. 2 cm. Eine Steuerschaltung 13 ist dazu eingerichtet, den HF-Generator 14 mit der HF-Elektrode 11 zu verbinden und die Erdungs- und Trennschaltung 15 der Gegenelektrode 12 anzusteuern. Die Hochfrequenzenergie kann beispielsweise mit einer Frequenz von 13,56 MHz und einer Leistung von rd. 5 W eingekoppelt werden. Das Trägergas wird durch Edelgase oder reaktive Gase bei einem Druck von ca. 0.01 - 2 mbar gebildet. Über einen (nicht dargestellten) Staubdispensor werden Staubteilchen in den Reaktor eingebracht. Die Staubteilchen ordnen sich als Plasmakristall in einem Gleichgewichtszustand an, in dem die auf die Teilchen wirkende Gravitationskraft G mit der elektrischen Feldkraft E ausgeglichen ist, die durch ein Gleichspannungsfeld in der Nähe der HF-Elektrode 11 auf die Staubteilchen in Abhängigkeit von deren Ladung ausgeübt wird. Handelt es sich um eine monodisperse Staubgrößenverteilung, so erfolgt die Plasmakristallanordnung entweder als Monoschicht in einer Ebene, oder als mehrschichtiger Zustand bei Ausbildung 3-dimensionaler Plasmakristalle. Der Plasmakristall ist unter Beleuchtung bis zu einer Teilchengröße von rund 1 μm mit dem bloßen Auge erkennbar. Die Sichtbarmachung des Plasmakristalls wird durch einen seitlich angeordneten Helium-Neon-Laser 16 verbessert, dessen Strahl mit einer Zylinderlinsenkombination 16a auf die Größe der lateralen Kristallausdehnung mit einer Dicke von rd. 150 μm aufgefächert wird. Die Beobachtung des Plasmakristalls erfolgt mit einer CCD-Kamera 17, die mit einer vergrößernden Makrooptik 18 versehen und durch eine Bildverarbeitung 19 angesteuert wird, die auch mit dem Laser 16 in Verbindung steht.

[0007] Das Verhalten von mikroskopischen Teilchen in Plasmen ist von hohem theoretischem und praktischem Interesse. Das theoretische Interesse bezieht sich insbesondere auf die Plasmakristalle und deren Zustandsänderungen. Das praktische Interesse leitet sich daraus ab, daß Plasmareaktoren, die bei Beschichtungs- oder Bearbeitungsverfahren (insbesondere in der Halbleitertechnik) eingesetzt werden, einen Elektrodenaufbau gemäß Fig. 14 besitzen.

[0008] Bei bisherigen Anordnungen zur Untersuchung von Plasmakristallen waren die Mittel zur Beeinflussung der Plasmakristalle auf die Art der verwendeten Teilchen und die realisierten Plasmabedingungen beschränkt. Ein Mittel zur gezielten und ortsselektiven Handhabung von Plasmakristallen ist bisher nicht verfügbar, so dass bisher auch keine praktische Verwendung für Plasmakristalle bekannt war.

[0009] Aus DE 44 12 902 A1 ist ein Verfahren zur Erhöhung der Beschichtungsrate und zur Reduzierung

der Staubbichte in einem Plasmaentladungsraum und einer Plasmakammer bekannt. In einem Plasmaprozessraum wird entlang der Oberfläche eines zu bearbeitenden Werkstücks eine vorbestimmte Staubbichte eingestellt. Die Position des Werkstücks im Plasmaprozessraum ist durch eine verschiebbare Halterung veränderlich.

[0010] Die Aufgabe der Erfindung besteht darin, ein Verfahren zur Manipulierung von Teilchen in Plasmen, insbesondere zur Beeinflussung der Teilchen selbst oder zur Modifizierung einer Substratoberfläche, und eine Vorrichtung zur Realisierung des Verfahrens anzugeben.

[0011] Diese Aufgabe wird durch Verfahren mit den Merkmalen gemäß Patentanspruch 1 oder 2 bzw. einer Vorrichtung mit den Merkmalen gemäß Patentanspruch 10 gelöst. Vorteilhafte Ausführungsformen der Erfindung ergeben sich aus den abhängigen Patentansprüchen.

[0012] Die Erfindung beruht auf den folgenden grundlegenden Erkenntnissen. Die Eigenschaften eines Plasmakristalls, insbesondere die geometrische Form, hängt nicht nur von Eigenschaften des Plasmas bzw. der Teilchen ab. Vielmehr ist es möglich, die Gestalt eines Plasmakristalls, insbesondere die Form der äußeren Umrandung oder die Querschnittsform durch eine ortsselektive Beeinflussung des obengenannten Gleichgewichts zwischen Gravitationskräften und elektrischen Kräften zu modifizieren. Hierzu werden die äußeren Kräfte, die auf die Teilchen einwirken, zum Beispiel durch eine ortsabhängige Veränderung eines statischen, quasistatischen oder niederfrequent veränderlichen elektrischen Feldes zwischen den Elektroden eines Plasmareaktors, durch eine ortsselektive Teilchenentladung oder durch eine ortsselektive Teilchenbestrahlung variiert (Einwirkung von Verstellkräften). Auf diese Weise lassen sich Teilchen im Plasma auf beliebigen gekrümmten Flächen mit beliebigen Umrandungen in einem plasmakristallinen Zustand anordnen. Die Teilchen im Plasma lassen sich somit in vorbestimmter Weise bewegen, wobei diese Bewegung reversibel ist, so daß der plasmakristalline Zustand sogar zwischen verschiedenen Gestalten umstellbar ist.

[0013] Ein weiterer wichtiger Gesichtspunkt der Erfindung besteht darin, daß durch die ortsselektive Deformierung eines Plasmakristalls verschiedene Teilbereiche des Plasmakristalls verschiedenen Plasmabedingungen ausgesetzt sind. Damit wird insbesondere in einem Plasma zwischen zwei im wesentlichen ebenen Elektroden eine ortsselektive Plasmabehandlung von Teilen des Plasmakristalls (z.B. Beschichtung oder Abtragung) möglich. Einer derartigen ortsselektiven Teilchenbehandlung kann sich eine Auftragung auf einem Substrat anschließen.

[0014] Ferner besteht ein wichtiger Gesichtspunkt der Erfindung darin, daß die Ausbildung eines plasmakristallinen Zustands durch die Anwesenheit eines Substrats in einem Plasmareaktor, insbesondere zwischen

Reaktorelektroden zur Ausbildung einer Glimm- oder Gasentladung, unbeeinflusst ist. Es ist insbesondere möglich, die oben genannten Umstellvorgänge in unmittelbarer Nähe eines flächigen, ebenen oder gekrümmten Substrats durchzuführen und anschließend den Abstand zwischen den Teilchen im plasmakristallinen Zustand und der Substratoberfläche derart zu verringern, daß mindestens ein vorbestimmter Teil der Teilchen auf die Substratoberfläche aufgetragen werden. Die Abstandsverringerung kann entweder durch Beeinflussung der Feldkräfte, die die Teilchen in Position halten, oder durch Bewegung der Substratoberfläche erfolgen. Somit können Partikel im plasmakristallinen Zustand in beliebig gestalteten Mustern auf Substratoberflächen abgeschieden werden. Damit stellt die Erfindung ein neuartiges ortsselektives, maskenfreies Beschichtungsverfahren bereit, mit dem modifizierte Oberflächen erzeugt werden. Aufgrund der aufgetragenen Teilchen besitzen die modifizierten Oberflächen veränderte elektronische, optische und/oder mechanische Eigenschaften. Es ist aber auch möglich, die ortsselektiv aufgetragenen Teilchen selbst zur Maskierung oder Konditionierung der Substratoberfläche vor einem nachfolgenden weiteren Beschichtungsschritt zu verwenden.

[0015] Eine erfindungsgemäße Vorrichtung zur Manipulierung von Teilchen im plasmakristallinen Zustand umfaßt ein Reaktionsgefäß, das Mittel zur Ausbildung eines Plasmas und mindestens ein Substrat enthält. Die Mittel zur Ausbildung des Plasmas werden vorzugsweise durch flächige, im wesentlichen parallele Elektroden gebildet, in deren Zwischenraum das Substrat beweglich ist. Die Elektroden im Reaktionsgefäß können feldformende Strukturen zur ortsselektiven Beeinflussung der Teilchen im plasmakristallinen Zustand aufweisen. Im Reaktionsgefäß können ferner Mittel zur ortsselektiven Teilchenentladung (z.B. UV-Belichtungsmittel mit einer Maskierungseinrichtung), Mittel zur Ausübung eines Strahlungsdruckes auf die Teilchen, Beobachtungsmittel und Steuermittel enthalten sein.

[0016] Ein besonderer Gesichtspunkt der Erfindung ist die Gestaltung der Elektroden zur ortsselektiven Beeinflussung der Teilchen im Reaktionsgefäß. Erfindungsgemäß wird eine Elektrodeneinrichtung (oder: adaptive Elektrode) angegeben, die eine Vielzahl von Elektrodensegmenten aufweist, die simultan mit einer Hochfrequenzspannung und jeweils einzeln mit einer spezifischen Gleichspannung oder Niederfrequenzspannung beaufschlagt sind. Die Hochfrequenzspannung ist dazu eingerichtet, einen Plasmazustand im Reaktionsgefäß zu erzeugen bzw. aufrechtzuerhalten, während die Gleich- bzw. Niederfrequenzspannung dazu eingerichtet ist, im Reaktionsgefäß eine statische oder langsam veränderliche Feldverteilung zu erzeugen, unter deren Wirkung sich die Teilchen im Reaktionsgefäß anordnen oder bewegen. Weitere wichtige Merkmale der adaptiven Elektrode sind die Ausbildung einer aus miniaturisierten Elektrodensegmenten (Punktelektroden) gebildeten Matrixanordnung, die Ge-

staltung der Matrixanordnung als im wesentlichen ebenes, schichtförmiges Bauteil, dessen Elektroden- und Reaktionsgefäß hinweist und dessen Rückseite eine Steuerelektronik trägt, die Druckentlastung des Bauteils z. B. durch Ausbildung eines Unterdruckes in dem Raum, zu dem die Rückseite der Elektrodenanordnung weist, und die Bereitstellung einer Temperiereinrichtung für die Steuerelektronik.

[0017] Einzelheiten und Vorteile der Erfindung werden im folgenden unter Bezugnahme auf die beigefügten Zeichnungen beschrieben. Es zeigen:

Fig. 1 eine schematische Seitenansicht einer erfindungsgemäßen Anordnung zur Manipulierung von Teilchen in einem plasmakristallinen Zustand;

Fig. 2 eine schematische Draufsicht auf einen Teil der Anordnung gemäß Fig. 1;

Fig. 3 eine Draufsicht auf einen Ausschnitt eines Plasmakristalls im freien bzw. adsorbierten Zustand zur Illustration der erfindungsgemäßen Beschichtungstechnik;

Fig. 4 eine schematische Illustration einer erfindungsgemäßen Elektrodengestaltung zur Manipulierung von Plasmakristallen, und Beispiele einer ortsselektiven Substratbeschichtung;

Fig. 5 eine Explosionsdarstellung eines mit einer erfindungsgemäßen adaptiven Elektrode versehenen Reaktionsgefäßes;

Fig. 6 eine schematische Draufsicht auf eine adaptive Elektrode gemäß Fig. 5;

Fig. 7 eine schematische Perspektivansicht einer Subeinheit der in den Figuren 5 und 6 dargestellten adaptiven Elektrode mit der zugehörigen Schaltelektronik;

Fig. 8 eine Blockdarstellung zur Illustration der Steuerelektronik einer erfindungsgemäßen adaptiven Elektrode;

Fig. 9 eine schematische Illustration eines weiteren Beispiels einer ortsselektiven Substratbeschichtung;

Fig. 10 eine Darstellung zur Illustration eines weiteren Beispiels einer ortsselektiven Substratbeschichtung;

Fig. 11 eine schematische Draufsicht auf eine modifizierte Anordnung zur Manipulierung von Plasmakristallen und ein weiteres Beispiel ei-

ner ortsselektiven Substratbeschichtung;

Fig. 12 eine schematische Illustration einer Substratbeschichtung mit sogenannten Bucky Tubes;

Fig. 13 eine schematische Draufsicht auf eine weitere Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Anordnung zur Manipulierung von Plasmakristallen; und

Fig. 14 eine schematische Perspektivansicht eines herkömmlichen Reaktors zur Bildung von Plasmakristallen (Stand der Technik).

[0018] Die Erfindung wird im folgenden am Beispiel einer Plasmaanordnung beschrieben, die als Reaktionsgefäß einen Reaktor umfaßt, dessen Aufbau in Bezug auf die Plasmaerzeugung und die Plasmakristallbeobachtung im wesentlichen dem herkömmlichen Aufbau entspricht, wie er oben unter Bezug auf Fig. 14 beschrieben wurde. Es ist dem Fachmann jedoch verständlich, daß auch anders aufgebaute Reaktoren verwendet werden können, soweit sie zur erfindungsgemäßen Manipulierung von Teilchen im plasmakristallinen Zustand eingerichtet sind.

[0019] Die schematische Seitenansicht einer Anordnung zur Manipulierung von Plasmakristallen gemäß Fig. 1 zeigt eine HF-Elektrode 11, eine geerdete Gegenelektrode 12, eine Steuereinrichtung 13, einen HF-Generator 14, eine Schalteinrichtung 15, eine Beobachtungslichtquelle 16 mit einer Zylinderlinsenanordnung 16a, ein Beobachtungsmittel in Form einer CCD-Kamera 17 mit einer Vergrößerungsoptik 18 und einer zugehörigen Steuereinrichtung 19. Bei sehr kleinen (< 100 nm) Teilchen wird ein anderes Beobachtungsmittel erforderlich (z.B. unter Verwendung der Braggstreuung). Ein Staubbildschirm 21 mit einem Reservoir 22, einer Konditionierungseinrichtung 23 und einem Einlaßmittel 24 ist dazu eingerichtet, Teilchen in den Raum zwischen der HF-Elektrode 11 und der Gegenelektrode 12 einzubringen. Die Konditionierungseinrichtung 23 kann beispielsweise eine Vorladungseinrichtung für die Teilchen enthalten.

[0020] Die erfindungsgemäße Anordnung umfaßt ferner ein Substrat 30, das mit einer Verstelleinrichtung 30 in alle Raumrichtungen beweglich ist. Figur 1 zeigt nicht die Wandung des Reaktionsgefäßes, die einen geschlossenen Raum für das Trägergas bildet und vakuumdicht die Elektroden 12, das Substrat 30 und Teile der Teilchenzuführeinrichtung einschließt. Die Wandung kann ferner Fenster zur Strahlungsein- bzw. -auskopplung aufweisen.

[0021] Figur 2 zeigt schematisch eine Draufsicht auf Teile der erfindungsgemäßen Anordnung gemäß Fig. 1, nämlich die HF-Elektrode 11 und das Substrat 30 mit der Verstelleinrichtung 31. Zusätzlich ist eine in Fig. 1 nicht gezeigte Entladeeinrichtung 24 dargestellt, die zur ortsselektiven Entladung von Teilchen im plasmakristal-

linen Zustand eingerichtet ist. Beim dargestellten Beispiel umfaßt die Entladeeinrichtung 24 eine UV-Lichtquelle 25 und ein Abbildungs- und Maskierungssystem 26, mit dem Teile des Plasmakristalls bestrahlt und unter Wirkung der UV-Strahlung entladen werden können.

[0022] Im folgenden wird eine erste Ausführungsform der erfindungsgemäßen Verfahrensweise zur Manipulierung der Teilchen im Plasma unter Bezug auf die Figuren 1 und 2 erläutert.

[0023] Im (nicht dargestellten) Reaktionsgefäß, insbesondere zwischen den HF- und Gegenelektroden, die als Entladungselektroden wirken, wird in einem Trägergas ein Plasma gezündet. Ein besonderer Vorteil der Erfindung besteht darin, daß an die Art des Trägergases keine besonderen Anforderungen zu stellen sind. Die Plasmabedingungen (Art und Dichte des Gases, HF-Leistung, Frequenz, Druck etc.) können vom Fachmann entsprechend den Bedingungen der Plasmaanordnung und den gewünschten Kristalleigenschaften ausgewählt werden. Das können beispielsweise auch Niederenergie-Argonentladungen oder Silanentladungen unter den Bedingungen, wie sie bei der Plasmaabscheidung in der Halbleitertechnologie benutzt werden. Der Einsatz eines reaktiven Gases wie z.B. Silan ist für weitere Behandlungsschritte am Plasmakristall von Vorteil. Die Energie der Ionen im Plasma entspricht im wesentlichen der Gastemperatur. Diese wird durch die Entladungsbedingungen und gegebenenfalls durch eine äußere Kühleinrichtung bestimmt. So kann beispielsweise in einer erfindungsgemäßen Anordnung eine (nicht dargestellte) Stickstoffkühlung vorgesehen sein.

[0024] Über den Staubdispensor 21 werden die zu manipulierenden Teilchen in den Elektrodenraum eingebracht. Die Teilchengröße liegt im Bereich von 20 nm bis 100 µm. Die Untergrenze der Teilchengröße wird durch die Druckbedingungen im Reaktionsgefäß und über die Aufladung festgelegt. Die Teilchen müssen so schwer sein, daß im plasmafreien Zustand die Teilchen unter Wirkung der Schwerkraft eine vertikale Bewegung ausführen und nicht im Schwebezustand verbleiben. Die Obergrenze der Teilchengrößen wird durch die sogenannte Debye-Länge zwischen den benachbarten Teilchen festgelegt. Die Debye-Länge steigt proportional zur Wurzel der Plasmatemperatur bzw. umgekehrt proportional zur Wurzel der Plasmadichte. Ein weiterer besonderer Vorteil der Erfindung besteht darin, daß neben den Größenanforderungen an die zu manipulierenden Teilchen keine weiteren Einschränkungen in Bezug auf die Form oder das Material der Teilchen bestehen. Es sind beliebige, z.B. runde, nadelförmige, rohrförmige oder plättchenförmige Teilchen verwendbar. Die Teilchen müssen fest sein bzw. eine genügende Formstabilität unter den Plasmabedingungen besitzen. Es wird vorzugsweise ein Material verwendet, das im interessierenden Teilchengrößenbereich besondere elektrische oder optische Eigenschaften besitzt. Es kann auch ein Material verwendet werden, das eine Zusammensetzung aus verschiedenen Substanzen, z.B. organi-

schen Stoffen, ist.

[0025] Die in das Plasma eingebrachten Teilchen bilden ein Plasmakristall 10 (s. Figuren 1, 2). Der Plasmakristall ist durch eine ebene, flächige, regelmäßige Teilchenanordnung gekennzeichnet. Die Teilchenanordnung kann eine Monoschicht, wie sie unten unter Bezug auf Fig. 3 erläutert wird, eine Mehrfachsicht oder ein dreidimensionales Gebilde sein.

[0026] Die HF-Elektrode weist eine negative Gleichspannung auf. Bei einem Durchmesser der Elektroden von rd. 8 bis 10 cm, einem Elektrodenabstand von rd. 2 cm und einer Vorspannung an der HF-Elektrode 11 von rd. -15 Volt ordnen sich beispielsweise Polymerteilchen einer charakteristischen Größe von rd. 7 µm als flächige Wolke mit einem Abstand von rd. 0,5 cm von der HF-Elektrode 11 an.

[0027] Die hier beispielhaft gegebenen Dimensionen ändern sich bei veränderten Elektrodenparametern (Elektroden Durchmesser, Elektrodenabstand, Spannungswerte) entsprechend. Der Elektroden Durchmesser kann beispielsweise im Bereich von wenigen Zentimetern bis 60 cm und der Elektrodenabstand kann im Bereich von 1 cm bis 10 cm liegen. Es werden vorzugsweise solche Elektrodenparameter ausgewählt, die mit verfügbaren und CVD-Reaktoren kompatibel sind.

[0028] Das Substrat 30 ist zwischen der HF-Elektrode 11 und dem Plasmakristall 10 angeordnet. Auch in Bezug auf das Substratmaterial und die Substratform bestehen vorteilhafterweise keine Beschränkungen. Es kann insbesondere sowohl ein leitfähiges als auch ein nicht-leitfähiges Substrat verwendet werden, ohne daß die Bedingungen für die Plasmakristallbildung sich verändern.

[0029] Bei einem erfindungsgemäßen Verfahren zur Manipulierung von Teilchen erfolgt zunächst eine Einstellung der Teilchen in einer Behandlungsposition. Diese Behandlungsposition kann dem Gleichgewichtszustand bei Bildung des Plasmakristalls nach Einführung der Teilchen in den Reaktor entsprechen. Es ist aber auch möglich, den Plasmakristall 10 zu bewegen, insbesondere die Relativposition in Bezug auf die Elektroden oder das Substrat zu ändern. Dies erfolgt beispielsweise durch eine Änderung der Plasmabedingungen. So kann durch eine Änderung der Trägergasdichte eine Änderung der Teilchenladung und somit eine Änderung des Gleichgewichtszustands zwischen Gravitationskraft und elektrischer Kraft erzielt werden. Entsprechendes gilt bei Änderung der negativen Vorspannung der HF-Elektrode oder bei einer äußeren Entladung der Teilchen. In der Behandlungsposition wird in einem nächsten Schritt mindestens ein Teil der Teilchen einer Plasmabehandlung oder einer Auftragung auf das Substrat unterzogen.

[0030] Die Plasmabehandlung kann beispielsweise eine Teilchenoberflächen-Beschichtung oder -Abtragung umfassen. Im letzteren Fall kann beispielsweise ein schrittweises Absenken des Plasmakristalls zu einer geringeren Höhe über der HF-Elektrode dazu führen,

daß die untersten Schichten des Plasmakristalls einem selektiven Plasmaätzprozeß unterzogen werden. Zur Teilchenbeschichtung kann ggf. ein Plasmawechsel bei laufendem Reaktorbetrieb vorgesehen sein.

[0031] Zur Auftragung auf dem Substrat 30 kann jede geeignete Änderung des Abstands zwischen dem Plasmakristall und der Substratoberfläche verwendet werden. Gemäß einer ersten Alternative wird der Plasmakristall durch Änderung der Plasmabedingungen auf das Substrat gesenkt. Gemäß einer zweiten Alternative wird Substrat mit der Verstelleinrichtung 31 zum Plasmakristall angehoben. Gemäß einer dritten, bevorzugten Alternative wird die Entladung zwischen den Elektroden abgeschaltet, so daß das Plasma erlischt und die Teilchen auf das Substrat fallen. Beim Kontakt zwischen den Teilchen und dem Substrat führen molekulare Anziehungskräfte zur Adsorption der Teilchen an der Substratoberfläche. Im weiteren Verfahren kann die Teilchenadsorption durch eine Überschichtung noch verstärkt werden.

[0032] Figur 3 zeigt beispielhaft das Ergebnis einer besonders einfachen Teilchenaufbringung auf die Substratoberfläche entsprechend der oben genannten dritten Alternative. Es ist eine plasmakristalline Monoschicht, wie sie mit der Bildaufnahmeverrichtung 17 beobachtet werden kann, in einem freihängenden Zustand im Plasma (Gebilde mit ungefüllter Umrandung) und im adsorbierten Zustand (Gebilde mit gefüllter Umrandung) auf einem Substrat nach Erlöschen des Plasmas gezeigt. Die Teilchendimensionen betragen rd. 5 bis 10 µm bei Abständen von rd. 200 bzw. 300 µm. Die Erfinder haben erstmalig festgestellt, daß bei dieser besonders einfachen Aufbringung der Teilchen auf das Substrat die regelmäßige Anordnung nahezu vollständig erhalten bleibt, wie dies die minimalen Abweichungen zwischen der Teilchenposition im schwebenden bzw. adsorbierten Zustand zeigen. Aufgrund dieser Eigenschaft ist es möglich, mikroskopische Teilchen mit hoher Genauigkeit auf einer Substratoberfläche zu platzieren.

[0033] Fig. 4 zeigt eine schematische Seitenansicht eines Ausschnitts einer erfindungsgemäßen Anordnung zur Teilchenmanipulierung. Zwischen der HF-Elektrode 11 und dem Substrat 30 mit der Verstelleinrichtung 31 einerseits und der geerdeten Gegenelektrode 12 sind Teilchen im plasmakristallinen Zustand angeordnet. Der Plasmakristall 40 ist mit einer mehrfach gewölbten Querschnittsform ausgebildet, die im wesentlichen dem Verlauf des statischen elektrischen Feldes im Raum zwischen den Elektroden entspricht. Das Feld zwischen den Elektroden wird durch eine Elektrodenstrukturierung 41 ortsselektiv verformt. Beim dargestellten Beispiel wird die Elektrodenstrukturierung durch Zusatzelektroden 41 (Nadel-Elektroden) gebildet, die mit einer positiven Spannung beaufschlagt und isoliert durch die Gegenelektrode 12 durchgeführt sind. Der Plasmakristall folgt der ortsselektiven Deformierung des elektrischen Feldes, so daß die mehrfach gewölbte Kristallgestalt gebildet wird. Die Zusatzelektroden 41 kön-

nen reihenweise oder flächig angeordnet sein. Statt einem positiven Potential können die Zusatzelektroden 41 auch mit einem negativen Potential beaufschlagt sein.

[0034] Im unteren Teil von Fig. 4 sind zwei Beispiele einer ortsselektiven Substratbeschichtung mit einem erfindungsgemäß manipulierten Plasmakristall schematisch gezeigt. Erfolgt eine Formation des Plasmakristalls derart, daß die Kristallquerschnittsform nach oben weisende Auswölbungen zeigt, so führt eine Annäherung des Plasmakristalls an das Substrat 30 gemäß der oben genannten ersten oder zweiten Alternative zu einem Beschichtungsmuster entsprechend dem unteren, linken Teil von Fig. 4. Wird umgekehrt eine nach unten weisende Auswölbung (durch negative Potentiale der Zusatzelektroden 41) eingestellt, so führt die gegenseitige Annäherung zu einer inselförmigen Beschichtung gemäß dem unteren, rechten Teil von Fig. 4.

[0035] Durch eine geeignete Formung der Elektrodenstrukturierung oder der Zusatzelektroden lassen sich beliebige Beschichtungsmuster z.B. in Form von Kreisen, Ringen, Bögen, Streifen oder dgl. auf der Substratoberfläche ausbilden. Zusätzliche Modifizierungen sind möglich, wenn die Zusatzelektroden gemäß Fig. 4 beweglich angeordnet sind, so daß die Manipulierung des Plasmakristalls 40 im Zeitverlauf variiert werden kann. Dementsprechend lassen sich verschiedene Beschichtungsmuster aufeinanderfolgend auf dem Substrat 30 auftragen.

[0036] Eine alternative Gestaltung zur ortsselektiven Verformung des Feldes zwischen den Elektroden wird im folgenden unter Bezug auf die Figuren 5 bis 8 erläutert.

[0037] Fig. 5 zeigt eine Explosionsdarstellung eines Reaktionsgefäßes 20, das zur Realisierung der Erfindung eingerichtet ist. Das Reaktionsgefäß 20 ist nicht nur an die im folgenden erläuterte adaptive Elektrode angepaßt, sondern kann auch in Verbindung mit den in den anderen Figuren dargestellten Ausführungsformen der Erfindung realisiert werden. Das Reaktionsgefäß 20 besteht aus einer Elektrodenaufnahme 201, die in den Rezipientenboden 202 eingelassen ist. Der Reaktionsraum wird vom Rezipientenboden 202 mit der Elektrodenaufnahme 201, der Rezipientenwand 203 und dem Rezipientendeckel 204 eingeschlossen und ist über den Vakuumanschluß 205 evakuierbar. Der Rezipientendeckel 204 besitzt einen Fenstereinsatz 206, der auf einer gegebenenfalls gegenüber dem Rezipientendeckel 204 vakuumdicht verdrehbaren Subeinheit 207 des Rezipientendeckels 204 angebracht ist. Es kann vorgesehen sein, daß die Subeinheit 207 selbst unter Vakuum verdrehbar ist. Der Fenstereinsatz 206 ist zur Aufnahme unterschiedlicher Beobachtungs- oder Diagnosemittel für die im Reaktionsraum manipulierten Teilchen ausgelegt. Die Teile des Reaktionsgefäßes 20 sind in üblicher Weise wie bei einem Vakuumgefäß verbunden. Des weiteren können über seitliche Flanscheinheiten zusätzlich unterschiedliche Diagnostikeinheiten einge-

bracht werden.

[0038] In Fig. 5 sind ferner die adaptive HF-Elektrode 11 und die geerdete Gegenelektrode 12 (vgl. Fig. 1) gezeigt. Die Gegenelektrode 12 ist ringförmig ausgebildet, um eine Beobachtungsöffnung für das Beobachtungsmittel (nicht dargestellt) zu bilden.

[0039] Eine vergrößerte Draufsicht auf die adaptive Elektrode 11 ist in Fig. 6 dargestellt. Die adaptive Elektrode 11 besitzt entsprechend der üblichen zylinderförmigen Gestaltung von Vakuumgefäßen zur Bildung eines durch äußere Rezipienteneinbauten möglichst ungestörten Feldverlaufs eine im wesentlichen kreisrunde Umrandung 111. Innerhalb der Umrandung befinden sich eine Ringelektrode 112 und eine Vielzahl Elektrodensegmente, die beim dargestellten Beispiel in Elektrodenseinheiten 113 zusammengefaßt sind. Die Ringelektrode 112 ist als einstückiger, durchgehender Elektrodenbereich dargestellt und zur Feldkorrektur (Abflachung) des elektrischen Feldes des hochsegmentierten Elektrodenbereiches eingerichtet. Es ist jedoch ersatzweise auch möglich, anstelle der Ringelektrode 112 einen segmentierten Elektrodenbereich vorzusehen, in dem jedoch die Segmente mit identischen Feldern beaufschlagt werden. Im Übergangsbereich zwischen den Elektrodenseinheiten und der Ringelektrode werden die Subeinheiten derart in der Höhe verändert, daß der Ring (eventuell von der Unterseite ausgefräst) über die Subeinheiten geschoben werden kann.

[0040] Die Elektrodenseinheiten 113 sind in einem inneren; von der Ringelektrode 112 umgebenen Bereich der Elektrode 11 vorgesehen und umfassen jeweils eine Vielzahl von Elektrodensegmenten. Die Form, Größe und Zahl der Elektrodensegmenten wird anwendungsabhängig je nach den räumlichen Anforderungen an ein elektrisches Gleich- oder Niederfrequenzfeld (E) zwischen den Elektroden 11, 12 (vgl. Fig. 1) konstruiert. Die größte Variabilität der einstellbaren Feldverläufe wird durch eine Matrixanordnung einer Vielzahl von punktförmigen Elektrodensegmenten (im folgenden als Punktsegmente oder Punktelektroden bezeichnet) erreicht. Hierbei bedeutet die Bezeichnung punktförmiges Elektrodensegment bzw. Punktsegment, daß zwar jedes Elektrodenelement eine zum Reaktionsraum hinweisende endliche Fläche besitzt, diese jedoch wesentlich kleinere Dimensionen als die Gesamtgröße der Elektrode 11 besitzt. So besitzt jede Punktelektrode beispielsweise eine charakteristische Längen-Dimension, die um einen Faktor von rund 1/500 bis 1/100, z.B. 1/300, gegenüber der Außendimension (Durchmesser) der Elektrode 11 verkleinert ist. Das Matrixraster kann jedoch anwendungsabhängig auch größer gewählt werden. Bei der hier dargestellten Punktrasterform der adaptiven Elektrode ist eine charakteristische Längen-Dimension der Punktelektrode vorzugsweise gleich oder kleiner der Debye-Länge der Teilchen im Plasma (z. B. rund 3 mm).

[0041] Eine adaptive Elektrode 11 besitzt beispielsweise einen Außendurchmesser von rund 50 cm mit ei-

ner Breite der Ringelektrode 112 von rund 5 cm, so daß der innere Bereich der Elektrodensegmente 113 einen Durchmesser von rund 40 cm besitzt. Die adaptiven Elektrodenseinheiten 113 können in ihrer Gesamtheit beispielsweise rund 50.000 bis 100.000 Punktsegmente umfassen. Ein bevorzugtes Maß der Segmentierung ist ein 1.27-mm-Raster, das mit verfügbaren 1/20-Zoll-Steckereinrichtungen kompatibel ist, wie dies unten unter Bezug auf Fig. 7 näher erläutert wird. In diesem Fall lassen sich innerhalb der Ringelektrode 112 rund 80.000 voneinander elektrisch isolierte Punktsegmente anordnen.

[0042] Aus Übersichtlichkeitsgründen zeigt der untere Teil von Fig. 6 nicht jedes einzelne Punktsegment, sondern die Elektrodenseinheiten (Punktsegmentgruppen). Die gruppenweise Zusammenfassung von Punktsegmenten ist kein zwingendes Merkmal der Erfindung, besitzt jedoch Vorteile bei der Elektrodenansteuerung, wie dies unten im einzelnen unter Bezug auf die Figuren 7 und 8 erläutert wird. So zeigt das Linienmuster im unteren Teil von Fig. 6 beispielsweise Elektrodenseinheiten 113, die jeweils $8 \cdot 32$ Punktsegmente enthalten. Dies wird durch den oberen Teil von Fig. 6 verdeutlicht, der eine Ausschnittsvergrößerung (X) vom Rand der Elektrodenseinheiten 113 darstellt. Die Erfindung ist nicht auf die Zusammenfassung von $8 \cdot 32$ Punktsegmenten zu einer Elektrodenseinheit beschränkt, sondern kann konstruktions- und anwendungsabhängig andere Gruppierungen umfassen (z. B. $16 \cdot 16$ Punktsegmente).

[0043] Der obere Teil von Fig. 6 zeigt beispielhaft hervorgehoben eine Elektrodenseinheit 113 mit einer Vielzahl von Punktsegmenten oder Punktelektroden 115, die jeweils untereinander durch Isolationsstege voneinander elektrisch getrennt sind. Die Punktelektroden 115 besitzen zum Reaktionsraum weisende, quadratische Stirnflächen der Breite $a = 1.25$ mm. Die Isolationsstege 116 besitzen eine Breite $b = 0.02$ mm, so daß sich insgesamt das oben genannte 1.27 mm-Raster ergibt. Die Elektrodenseinheit 113 umfaßt z.B. $8 \cdot 32$ Punktelektroden 115. Aus Fig. 6 ist ferner ersichtlich, daß sich die Ringelektrode 112 und der Bereich der Elektrodenseinheiten 113 gegenseitig überlappen. Damit wird eine optimale, dichte Ausfüllung des inneren Bereiches der Elektrode 11 auch am Rand der Ringelektrode 112 erzielt, wie dies im vergrößerten Teil von Fig. 6 erkennbar ist.

[0044] Sowohl die Ringelektrode 112 als auch die Elektrodenseinheiten 113 bestehen aus einem metallischen Elektrodenwerkstoff.

[0045] Das Material wird anwendungsabhängig und je nach dem gewünschten Herstellungsverfahren für die Elektrode gewählt. Bei den unten erläuterten Ätzverfahren kann als Elektrodenwerkstoff z.B. Edelstahl, Aluminium oder Kupfer verwendet werden. Zur Vermeidung von elektrischen Störungen durch Abscheidungen auf der Elektrodenfläche wird diese vorzugsweise mit einer Isolationsschicht überzogen, die z.B. aus demselben

Isolationsmaterial wie die Isolationsstege 116 besteht. Die Isolationsschicht kann beispielsweise eine Dicke von rund 10 µm bis 100 µm, vorzugsweise 20 µm, besitzen. Als Isolationsmaterial der Isolationsstege 116 ist jedes Material geeignet, das bei den auftretenden Spannungswerten eine genügende Isolationsfestigkeit zwischen den Punktelektroden gewährt. Dieses Isolationsmaterial ist beispielsweise Epoxdharz oder ein anderer geeigneter Kunststoff.

[0046] Fig. 7 zeigt den Aufbau der segmentierten Elektrode am Beispiel einer Elektrodensubereinheit 113. Entsprechend dem oben erläuterten Beispiel umfaßt die Elektrodensubereinheit 113 wiederum beispielhaft 8 · 32 Punktelektroden 115. Diese bilden (gemeinsam mit den übrigen, nicht dargestellten Segmenten der adaptiven Elektrode) einen oberen Elektrodenbereich, der auch als segmentierte Elektrode 120 bezeichnet wird. Die segmentierte Elektrode besteht des Weiteren aus der Isolationsplatte 122, in die eine Vielzahl von Buchsen eingearbeitet sind (nicht dargestellt), deren Zahl und Anordnung jeweils den Punktelektroden 115 der Elektrodensubereinheit 113 entspricht. Die Buchsen sind zur Aufnahme von Steckereinheiten 123 eingerichtet, die gegebenenfalls auch als integrale Basisplatte ausgebildet sein können. Es besteht auch die Möglichkeit, die Steckereinheiten 123 als Buchsen auszulegen und eine elektrische Verbindung mit den Buchsen, welche in die Isolationsplatte integriert sind, über leitfähige Stifte herzustellen. Zwischen jeder Buchse der Isolationsplatte 122 und der entsprechenden Punktelektrode 115 besteht ein elektrischer Kontakt.

[0047] Der Aufbau der Isolationsplatte 122 ist abhängig vom Herstellungsverfahren der Gesamtelektrode 11 beziehungsweise des Bereiches der Elektrodensubereinheiten 113. Ein derartiges Herstellungsverfahren wird im folgenden beispielhaft illustriert.

[0048] Zunächst wird von der Unterseite der Isolationsplatte 122, für jede Punktelektrode 115 eine Bohrung durch die Isolationsplatte 122 bis zur späteren Position der jeweiligen Punktelektrode 115 vorgenommen, so daß am Ende jeder punktförmigen Elektrode, welche mit leitfähigem Klebstoff an der Isolationsplatte haftet, eine zugehörige Buchse zur Aufnahme eines Stifts von der Steckereinrichtung 123 geschaffen wird. Anschließend wird eine metallische Platte oder Folie aus dem gewählten Elektrodenmaterial mit den gewünschten Außendurchmesser- bzw. Dickenparametern auf eine Platte aus Isolationsmaterial mit einer Dicke entsprechend der gewünschten Dicke der Isolationsplatte 122 geklebt. Dann erfolgt ein Materialabtrag aus der metallischen Elektrodenfolie zur Bildung der Punktelektroden 115, wobei die entsprechenden Positionen der Punktelektroden über den Löchern in der Isolationsplatte angeordnet werden. Zum Materialabtrag werden kanalförmige Freiräume entsprechend dem Muster der Isolationsstege 116 (vgl. Fig. 6) ausgebildet. Dieser Materialabtrag erfolgt beispielsweise durch einen maskierten Ätzvorgang, bei dem die metallische Folie außer an den

gewünschten Positionen der Punktelektroden durchgehend bis zur Isolationsplatte abgetragen wird. Anschließend werden die Kanäle zur Bildung der Isolationsstege 116 mit einem Isolationsmaterial gefüllt. Dies erfolgt beispielsweise durch Ausgießen mit einem aushärtbaren Harz.

[0049] Bei alternativen Verfahrensweisen werden mit entsprechenden Strukturierungsverfahren Buchsen in der Isolationsplatte 122 ausgebildet, die jeweils zur adaptiven Elektrode hin geschlossen und elektrisch mit der jeweiligen Punktelektrode 115 verbunden sind. In jedem Fall bildet die segmentierte Elektrode einen vakuumdichten Abschluß des Reaktionsraumes.

[0050] An der von der segmentierten Elektrode abgewandten Seite der Steckereinheiten 123 sind Platinen 124 angebracht, die Verbindungsstecker 126 zur externen Elektronik und Adress-Decoder-, Multiplex- und Demultiplex-Schaltkreise 127, 128, 129 tragen, deren Funktionen im einzelnen unten unter Bezug auf Fig. 8 erläutert wird. Bei der dargestellten Ausführungsform der Erfindung sind vier Steckereinheiten 123 (inklusive der Platinen 124) für jeweils 2 · 32 Punktelektroden 115 zu je einem MUX-Modul zur Ansteuerung von 8 · 32 Punktelektroden zusammengefaßt. Der Abstand der vier entsprechenden Platinen 124 wird durch das Rastermaß bestimmt und ist geringfügig größer als die Höhe der aufgesetzten Schaltkreise 127, 128, 129. Wiederum kann diese Dimensionierung größen- und anwendungsabhängig verändert werden. Die vier Platinen 124 sind durch z. T. leitfähige Stabilisationseinheiten 126a miteinander verbunden.

[0051] Zur vereinfachten Handhabung (Bestückung der segmentierten Elektrode mit Steckereinheiten) können an der Unterseite der Isolationsplatte 122 für jede Elektrodensubereinheit 113 eine Farbcodierung 117 vorgesehen sein. Die Platinen 124 sind derart ausgelegt, daß die in Fig. 8 illustrierten elektronischen Schaltelemente integriert werden können.

[0052] Im folgenden wird die elektrische Steuerung der erfindungsgemäßen adaptiven Elektrode 11 unter Bezug auf das Blockschaltbild gemäß Fig. 8 erläutert. Fig. 8 zeigt im Reaktionsgefäß 20 (s. Fig. 5) Punktelektroden 115 als Teil der HF-Elektrode (adaptive Elektrode 11) und die Gegenelektrode 12 (s. auch z.B.

Fig. 1). Von den (insgesamt 256) Punktelektroden 115 einer Elektrodensubereinheit 113 sind vergrößert die erste und letzte Punktelektrode jeweils der ersten und vierten Platine 124 (Matrixpositionen (1,1), (2,64), (7,1), (8,64) dargestellt. Ferner ist die Ringelektrode 112 dargestellt.

[0053] Der Elektronikbereich 130 umfaßt sämtliche Platinen 124 (s. Fig. 7), die den Punktelektroden 115 zugeordnet sind. Beispielhaft ist hier eine Platine 124 für 8 · 32 Punktelektroden 115 dargestellt. Der Elektronikbereich 130, der die vom Reaktionsraum abgewandte Rückseite der adaptiven Elektrode 11 darstellt, wird zur Vermeidung einer übermäßigen Druckbelastung der adaptiven Elektrode 11 mit einem Unterdruck beauf-

schlägt. Der Druck im Elektronikbereich 130 kann beispielsweise im Bereich von 10 bis 100 mbar liegen. Alternativ kann der Elektronikbereich zur Druckentlastung der adaptiven Elektrode auch mit einer isolierenden Flüssigkeit, wie z. B. einem Öl, ausgegossen sein, die auch eine Kühlfunktion übernehmen kann. Vom Elektronikbereich 130 getrennt sind unter atmosphärischen Bedingungen Versorgungsschaltungen 140 und eine Steuereinrichtung 150 vorgesehen. Die Versorgungsschaltungen 140 umfassen einen HF-Generator 141, eine Versorgungsspannungsschaltung 142 für die Ringelektrode 12, und eine Steuerspannungsschaltung 143.

[0054] Die Platine 124 besitzt für jede der Punktelektroden 115 jeweils eine Einkoppelschaltung 131. Die Einkoppelschaltung 131 ist dazu vorgesehen, jede Punktelektrode (bzw. allgemein jedes Elektrodensegment) der adaptiven Elektrode 11 gleichzeitig mit der Ausgangsspannung des HF-Generators 141 und mit einer segmentspezifischen Ausgangsspannung der Steuerspannungsschaltung 143 zu beaufschlagen. Hierbei wird erfindungsgemäß mit besonderem Vorteil die Tatsache ausgenutzt, daß die HF-Versorgung hochfrequent und die ortsselektive Erzeugung einer Feldverteilung im Reaktionsraum niederfrequent bzw. mit einem statischen elektrischen Feld erfolgt. So sind die Ausgangsparameter des HF-Generators 141 beispielsweise eine Ausgangsfrequenz im MHz-Bereich (entsprechend den üblichen Frequenzen zur Erzeugung und Aufrechterhaltung von Plasmen, z.B. 12 bis 15 MHz) und ein Spannungsbereich von $\pm 150 V_{SS}$ (sinusförmig). Hingegen erfolgt die Beaufschlagung der Punktelektroden 115 mit Steuerspannungen niederfrequent (≤ 100 Hz) oder statisch (Gleichspannung, DC). Dementsprechend enthält jede Einkoppelschaltung 131 eine Kondensator-Widerstand-Kombination (C1-C256, R1-R256), wobei die HF-Leistung über alle Kondensatoren gemeinsam eingekoppelt wird.

[0055] Auf jeder Platine ist ferner eine Adressierungsschaltung 132 vorgesehen, die die oben genannten (s. Fig. 7) Adress-Decoder, Multiplexer- und Demultiplexer-Schaltkreise 127, 128, 129 umfaßt, die wie folgt zusammenwirken.

[0056] Der Adress-Decodier-Schaltkreis 127 wählt in Abhängigkeit von den Schaltsignalen (DEMUX CONTROL und MUX CONTROL) der Steuerschaltung 150 mit einer Schaltfrequenz von 256 kHz aus, welcher Spannungswert von der Steuerspannungsschaltung 143 mit dem Multiplex-Schaltkreis 128 auf eine Zentralleitung 133 und von dieser mit dem Demultiplex-Schaltkreis 129 auf einen, wiederum vom Adress-Decodier-Schaltkreis 127 ausgewählten, Einkoppelkreis 131 gemäß einer Punktelektrode 115 geschaltet wird. Bei der dargestellten Ausführungsform liefert die Steuerspannungsschaltung 143 vierundsechzig Steuerspannungswerte entsprechend auf vierundsechzig Versorgungsleitungen (vgl. auch Fig. 8). Die Steuerspannungswerte auf dem Spannungsversorgungsbus 143a unterscheiden sich beispielsweise mit Spannungsschritten von

0.625 V und überdecken den Bereich von ± 20 V (Gleichspannung). Dementsprechend trifft der Multiplex-Schaltkreis 128 eine 1:64-Auswahl zur Verbindung einer der vierundsechzig Versorgungsleitungen 143a mit der Zentralleitung 133. Bei der dargestellten Ausführungsform sind ferner 256 Einkoppelschaltkreise 131 entsprechend den 256 Punktelektroden 115 vorgesehen, so daß der Demultiplex-Schaltkreis 129 eine 256:1-Auswahl von der Zentralleitung 133 auf einen der Einkoppelschaltkreise 131 trifft.

[0057] Die zu einer Platine 124 gehörigen Punktelektroden 115 (entsprechend einer Elektroden-subeinheit) werden vorzugsweise seriell entsprechend einem bestimmten Ablaufmuster angesteuert. Dabei wird mit besonderem Vorteil eine Doppelfunktion der Einkoppelkondensatoren C1-C256 genutzt. Diese dienen nämlich nicht nur der Einkoppelung der HF-Leistung, sondern auch der Aufrechterhaltung des Elektrodenpotentials an den einzelnen Punktelektroden, solange entsprechend dem seriellen Ansteuerablauf keine Verbindung mit der Steuerspannungsschaltung 143 besteht. Da von jeder Punktelektrode 115 laufend durch Stromverluste über das Plasma ein Leistungsverlust entsteht, sind die Einkoppelkondensatoren C1-C256 zyklisch auf den gewünschten Spannungswert nachzuladen. Die Einkoppelkondensatoren sind so ausgelegt, daß bei den anwendungsabhängigen Elektrodenspannungen bzw. Verlustleistungen der Ladungsverlust am jeweiligen Einkoppelkondensator und somit der Spannungsabfall an der zugehörigen Punktelektrode während eines Ansteuerzyklus ($\leq 1\%$) in Bezug auf die Elektrodenspannung ist.

[0058] Die Schaltfrequenz des Adress-Decodier-Schaltkreises 127 wird in Abhängigkeit von der Zahl der zu einer Subeinheit 113 gehörigen Punktelektroden 115, von der Frequenz der Steuerspannungsänderungen und von der Spannungskonstanz während eines Zyklus an den Punktelektroden so gewählt, daß der serielle Zyklendurchlauf durch die Subeinheit oder Segmentgruppe 113 eine wesentlich höhere Frequenz als die Niederfrequenzspannung der Steuerspannungsänderung besitzt. Dies bedeutet beispielsweise bei 256 Punktelektroden und einer angestrebten Zyklenfrequenz von rund 1 kHz (entsprechend 1.000 Nachladevorgängen pro Punktelektrode pro Sekunde) eine Schaltfrequenz von 256 kHz. Dieses schnelle Schalten zwischen den Spannungsstufen der Steuerspannungsschaltung 143 erlaubt auch eine ortsselektive Modellierung des Feldverlaufs im Reaktionsraum 20 entsprechend einem Wechselfeldverhalten.

[0059] Die gesamte Steuerelektronik 140, 150 gemäß Fig. 8 ist potentialmäßig dem HF-Signal überlagert und deshalb schaltungstechnisch kapazitätsarm vom Steuererchner, dem Netz und anderen Schnittstellen für Kühlzwecke usw. entkoppelt. Die Eingabe von Steuersignalen über die Steuereinrichtung 150 erfolgt vorzugsweise über einen Optokoppler.

[0060] Die oben beschriebene adaptive Elektrode 11

und die zugehörige Steuerelektronik können wie folgt modifiziert werden. Die Zahl, Form und Anordnung der Elektrodensegmente kann anwendungsabhängig verändert werden. Bei Realisierung einer Matrix mit Punktelektroden kann die Zusammenfassung in Segmentgruppen anwendungsabhängig verändert werden. Entsprechendes gilt für den Spannungsbereich der Steuerungspannungsschaltung 143 und die Größe der einstellbaren Spannungsschritte oder -stufen. Schließlich kann der Aufbau im Reaktionsgefäß (s. Fig. 5) umgekehrt werden, indem die geerdete Elektrode 12 auf der unteren und die HF-Elektrode 11 (insbesondere die adaptive Elektrode 11) auf der oberen Seite angebracht werden.

[0061] Der wichtigste Vorteil der adaptiven Elektrode 11 ist die Schaffung eines programmierbaren räumlichen stationären oder niederfrequenten elektrischen Feldverlaufes im Reaktionsraum, mit den geladenen Teilchen an bestimmten Orten festgehalten oder in bestimmter Weise bewegt werden können. Dadurch sind die zu manipulierenden Teilchen in beliebiger Weise positionierbar.

[0062] Fig. 9 zeigt eine schematische Seitenansicht von Teilen einer erfindungsgemäßen Anordnung, bei der der Plasmakristall 50 zwischen der HF-Elektrode 11 und dem Substrat 30 mit der Verstelleinrichtung 31 einerseits und der Gegenelektrode 12 andererseits streifenförmig ausgebildet ist. Diese Plasmakristallform läßt sich beispielsweise durch Einsatz einer Entladevorrichtung gemäß Fig. 2 erzielen. Durch eine teilweise Bestrahlung der Plasmakristalls mit UV-Licht wird ein Teil der Teilchen (in Fig. 9 der linke Bereich) entladen, so daß das Gleichgewicht bei unveränderten Plasmabedingungen in einer geringen Höhe über der HF-Elektrode 11 eingestellt wird. Durch eine entsprechende Änderung der relativen Lage des Plasmakristalls 50 und/oder des Substrats 30 läßt sich eine teilweise Beschichtung des Substrats 30 erzielen, wie es im unteren Teil von Fig. 4 illustriert ist.

[0063] Durch eine Strukturierung der HF-Elektrode 11 mit Strukturelementen 61 gemäß Fig. 10 kann das elektrische Feld zwischen der HF-Elektrode 11 und der Gegenelektrode 12 derart beeinflußt werden, daß sich der Plasmakristall nur in einem Bereich mit einem Potentialminimum ausbildet, der sich über den Teilen der HF-Elektrode 11 befindet, die nicht von den Strukturelementen 61 bedeckt sind. Werden die Strukturelemente 61 beispielsweise durch Abdeckbalken gebildet, die einen streifenförmigen Zwischenraum lassen, so besitzt der Plasmakristall 60 eine Streifenform (Erstreckungsrichtung senkrecht zur Zeichenebene von Fig. 10). Der Plasmakristall 60 läßt sich wiederum erfindungsgemäß auf dem Substrat 30 ablagern. Alternativ zu der Streifengestaltung gemäß Fig. 10 läßt sich die HF-Elektrode 11 mit beliebigen Strukturelementen 61 strukturieren oder maskieren.

[0064] Fig. 11 zeigt eine zusätzliche Möglichkeit der Ausübung äußerer Kräfte auf ein Plasmakristall. Die schematische Draufsicht auf eine erfindungsgemäße

Anordnung zeigt die HF-Elektrode 11 mit der Steuereinrichtung 13 und das Substrat 30 mit der Verstelleinrichtung 31. Die HF-Elektrode 11 trägt Strukturelemente (nicht dargestellt) gemäß Fig. 10, so daß sich ein streifenförmiger Plasmakristall ausbildet. Die Gestalt des Plasmakristalls 70 läßt sich weiter verändern, indem Ablenkelektroden 71 synchron mit einer Wechselspannung beaufschlagt werden. Die Ablenkelektroden 71 sind zu einer lateralen Auslenkung eines schichtförmigen Plasmakristalls in der Schichtebene eingerichtet. So läßt sich beispielsweise eine schlangenförmige Schwingung der Teilchen erzielen, wie sie im unteren Teil von Fig. 11 skizziert ist. Diese Kristallanordnung kann wiederum auf dem Substrat 30 abgetragen werden.

[0065] In Fig. 12 ist eine Oberflächenbeschichtung mit langgestreckten Partikeln gezeigt, die insbesondere zur Erzielung anisotroper optischer Oberflächeneigenschaften eingerichtet ist. Die langgestreckten Teilchen sind beispielsweise sogenannte Bucky-Tubes (mikroskopische, rohrförmige Teilchen bestehend aus einer regelmäßigen Anordnung von Kohlenstoffatomen). Die Bucky-Tubes können beispielsweise eine Länge von einigen Mikrometern und einen Durchmesser von rund 10 bis 20 nm besitzen. Diese Teilchen besitzen eine verhältnismäßig große Oberfläche, die zu einer starken Aufladung im Plasma und zu einer Polarisierung führt. Im Plasmakristall 80 sind die Bucky-Tubes regelmäßig mit ihrer Längsausdehnung senkrecht zu den Ebenen der Entladungselektroden ausgerichtet. Durch eine entsprechende Annäherung an das Substrat 30 erfolgt die Adsorption der langgestreckten Teilchen mit einer vertikalen Vorzugsrichtung, wie es im unteren Teil von Fig. 12 illustriert ist. Diese Adsorbate können gegebenenfalls in einem Zusatzschritt in ihrer Lage durch eine Zusatzbeschichtung fixiert werden.

[0066] Gemäß Fig. 13, die eine Draufsicht auf Teile einer erfindungsgemäßen Anordnung zeigt, ist eine Manipulierung des Plasmakristalls 90 auch durch Ausübung eines Strahlungsdrucks von einer äußeren Lichtquelle 91 möglich. Die äußere Steuerlichtquelle kann beispielsweise durch einen Helium-Neon-Laser mit einer Leistung von rund 10 mW gebildet werden. Der mit dem Laserstrahl auf die Partikel ausgeübte Strahlungsdruck erlaubt eine präzise Positionskontrolle, die mit einer Beobachtungseinrichtung 17 (s. Fig. 1) überwacht werden kann. Mit Hilfe des Strahlungsdrucks läßt sich ein Plasmakristall vorzugsweise drehen (siehe Pfeil), oder auch auf ein seitlich angeordnetes Substrat bewegen.

[0067] Neben den illustrierten Ausführungsformen der Erfindung sind weitere Modifizierungen der erfindungsgemäßen Anordnung durch Einrichtung von Mitteln denkbar, mit denen durch Ausübung äußerer Kräfte die Bedingungen eines Plasmakristalls ortsselektiv verändert werden können. Beispielsweise ist es möglich, zusätzlich eine Magnetfeldeinrichtung zur gezielten Steuerung des Plasmas beispielsweise durch eine

senkrecht zu den Elektrodenebenen ausgerichtete Magnetfeldrichtung zu erzielen. Es ist ferner möglich, das Beschichtungsverfahren dynamisch durchzuführen, wobei kontinuierlich Teilchen dem Plasmaraum zugeführt und nach Anordnung als Plasmakristall ortsselektiv auf die Substratoberfläche aufgetragen werden. Weitere Modifizierungen beziehen sich auf das Substrat. Das Substrat muß nicht eben sein, sondern kann eine gekrümmte Oberflächen aufweisen. Es können mehrere Substrate vorhanden sein. Es ist auch möglich, eine erfindungsgemäße Vorrichtung ohne Auftragung auf einem Substrat als Anzeigevorrichtung zu betreiben, bei der anisotrope Teilchen zur Anzeige vorbestimmter Muster zwischen verschiedenen Ausrichtungen umstellbar sind, die beispielsweise jeweils einen Zustand "Schwärzung" oder "Transparenz" repräsentieren. Es ist auch möglich, verschieden große Teilchen in verschiedenen Höhen eines Plasmas zu manipulieren und seitlich mit Anregungslichtquellen verschiedener Wellenlängen zu beleuchten, so daß farbige Anzeigen hoher Auflösung aufgebaut werden können.

[0068] Ein besonderer Vorteil der Erfindung besteht darin, daß sie durch eine unaufwendige Modifizierung herkömmlicher Plasmareaktoren (z.B. aus der Schaltkreis-Herstellung) realisiert werden kann, dessen Betriebsbedingungen gut bekannt und steuerbar sind. Die Erfindung ist zur Herstellung von sogenannten Designermaterialien mit besonderen Oberflächeneigenschaften verwendbar.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Manipulierung von Teilchen (10, 40, 50, 60, 70, 80, 90), die in einem plasmakristallinen Zustand in einem Plasma eines Trägergases angeordnet sind,
dadurch gekennzeichnet, dass
ein Abstand zwischen den Teilchen und einer Substratoberfläche verringert wird, so dass die Teilchen mindestens teilweise auf der Substratoberfläche (30) aufgetragen werden.
2. Verfahren zur Manipulierung von Teilchen (10, 40, 50, 60, 70, 80, 90), die in einem plasmakristallinen Zustand in einem Plasma eines Trägergases angeordnet sind,
dadurch gekennzeichnet, dass
die Teilchen mindestens teilweise einer Plasmabehandlung in Form einer Plasmabeschichtung oder -abtragung unterzogen werden.
3. Verfahren gemäß Anspruch 2, bei dem die Teilchen mindestens teilweise durch eine Einwirkung äußerer Verstellkräfte und/oder eine Änderung der Plasmabedingungen zur Plasmabehandlung in eine Behandlungsposition bewegt werden.
4. Verfahren gemäß Anspruch 3, bei dem nach der Plasmabehandlung die Teilchen mindestens teilweise auf einer Substratoberfläche (30) aufgetragen werden.
5. Verfahren gemäß Anspruch 1 oder 4, bei dem ein Abstand der Teilchen von der Substratoberfläche durch eine Bewegung der Substratoberfläche, eine Einwirkung äußerer Verstellkräfte und/oder eine Änderung der Plasmabedingungen geändert wird, bis die Teilchen mindestens teilweise auf der Substratoberfläche anhaften.
6. Verfahren gemäß einem der Ansprüche 2 bis 5, bei dem die äußeren Verstellkräfte durch eine ortsselektive Teilchenentladung oder einen Licht-Strahlungsdruck bewirkt werden.
7. Verfahren gemäß einem der Ansprüche 3 bis 5, bei dem die Änderung der Plasmabedingungen eine Änderung des Plasmadrucks, der Plasmatemperatur, des Trägergases, der Plasmaenergie und/oder der Betriebsfrequenz des Plasmas, ein Abschalten der Plasmaerzeugung und/oder eine Feldbeeinflussung von elektrischen Feldern im Bereich der Teilchen im plasmakristallinen Zustand umfaßt.
8. Verfahren gemäß Anspruch 7, bei dem die Feldbeeinflussung die Einstellung eines statischen elektrischen Feldes derart umfaßt, daß sich die Teilchen im plasmakristallinen Zustand entlang einer vorbestimmten gekrümmten Fläche oder in einem in vorbestimmter Weise abgegrenzten Bereich anordnen.
9. Verfahren zur Beschichtung einer Substratoberfläche mit Teilchen, die entsprechend einem Verfahren gemäß einem der Ansprüche 1 bis 8 manipuliert werden.
10. Vorrichtung zur Manipulierung von Teilchen (10, 40, 50, 60, 70, 80, 90), die sich in einem plasmakristallinen Zustand im Plasma eines Trägergases in einem Reaktionsgefäß mit flächigen, im wesentlichen parallelen Plasmaelektroden (11, 12) befinden, die zur Ausbildung einer Gas- oder Glimmentladung im Trägergas eingerichtet sind, wobei im Reaktionsgefäß mindestens ein Substrat (30) angeordnet ist,
dadurch gekennzeichnet, dass
im Reaktionsgefäß eine feldformende Elektrodenstrukturierung (41) zur ortsselektiven Verformung des Feldes zwischen den Plasmaelektroden (11, 12) und zur ortsselektiven Manipulierung der Teilchen im plasmakristallinen Zustand angeordnet ist.
11. Vorrichtung gemäß Anspruch 10, bei der das Substrat zwischen den Plasmaelektroden (11, 12) beweglich angeordnet ist.

12. Vorrichtung gemäß einem der Ansprüche 10 bis 11, die ferner Mittel zur ortsselektiven Teilchenentladung, Mittel zur Ausübung eines Strahlungsdruckes und/oder Beobachtungsmittel aufweist.
13. Vorrichtung gemäß Anspruch 10, bei der die Elektrodenstrukturierung durch eine Hochfrequenzelektrodeneinrichtung gebildet wird, die zur Erzeugung einer Feldverteilung in einem Reaktionsgefäß ausgebildet ist und eine Vielzahl von Elektrodensegmenten aufweist, die dazu eingerichtet sind, gemeinsam mit einer Hochfrequenzspannung zur Erzeugung bzw. Aufrechterhaltung eines Plasmazustands im Reaktionsgefäß und jeweils einzeln mit einer spezifischen Gleich- oder Niederfrequenzspannung zur Erzeugung einer statischen oder langsam veränderlichen Feldverteilung im Reaktionsgefäß beaufschlagt zu werden.
14. Vorrichtung gemäß Anspruch 13, bei der die Elektrodensegmente eine Matrixanordnung aus Punktelektroden (115) bilden, wobei die Elektrodenflächen der Punktelektroden wesentlich kleiner als die Gesamtfläche der Matrixanordnung sind.
15. Vorrichtung gemäß einem der Ansprüche 13 oder 14, bei der die Elektrodensegmente (115) an einer Isolationsplatte (122) vorgesehen sind, deren Vorderseite zu dem Reaktionsgefäß zur Ausbildung des Plasmas weist und für jedes Elektrodensegment eine Buchse aufweist, die jeweils zur Aufnahme einer Steckeinheit (123) eingerichtet ist, wobei jede Steckeinheit eine Platine (124) mit Einkoppel- und Steuerschaltkreisen (131, 127, 128, 129) trägt und die Platinen (124) in einem Raum angeordnet sind, der mit einem Unterdruck beaufschlagt oder einer isolierenden Flüssigkeit gefüllt ist.

Claims

1. Method for the manipulation of particles (10, 40, 50, 60, 70, 80, 90), which are arranged in a plasma of a carrier gas in a plasma-crystalline state, **characterised in that** a distance between the particles and a substrate surface is reduced so that the particles are applied at least partially on the substrate surface (30).
2. Method for the manipulation of particles (10, 40, 50, 60, 70, 80, 90), which are arranged in a plasma of a carrier gas in a plasma-crystalline state, **characterised in that** the particles are at least partially subjected to a plasma treatment in the form of a plasma coating or removal.
3. Method according to Claim 2, wherein the particles are moved into a treatment position for the plasma treatment at least partially through an application of external displacement forces and/or a change in the plasma conditions.
4. Method according to Claim 3, wherein after the plasma treatment the particles are applied at least partially on a substrate surface (30).
5. Method according to Claim 1 or 4, wherein a distance of the particles from the substrate surface is changed through a movement of the substrate surface, an application of external displacement forces and/or a change in the plasma conditions, until the particles adhere at least partially on the substrate surface.
6. Method according to one of Claims 2 to 5, wherein the external displacement forces are caused by a location-selective particle discharge or a light radiation pressure.
7. Method according to one of Claims 3 to 5, wherein the change in the plasma conditions comprises a change in plasma pressure, plasma temperature, carrier gas, plasma energy and/or operating frequency of the plasma, a shutdown of the plasma generation and/or an influencing of electrical fields in the region of the particles in the plasma-crystalline state.
8. Method according to Claim 7, wherein the influencing of the field comprises the adjustment of a static electrical field such that the particles in plasma-crystalline state arrange themselves along a predetermined curved surface or in a region defined in a predetermined manner.
9. Method for coating a substrate surface with particles, which are manipulated using a method according to one of Claims 1 to 8.
10. Device for the manipulation of particles (10, 40, 50, 60, 70, 80, 90), which are located in a plasma-crystalline state in the plasma of a carrier gas in a reaction vessel with flat, essentially parallel plasma electrodes (11, 12), which are fitted for the formation of a gas or glow discharge in the carrier gas, wherein at least one substrate (30) is arranged in the reaction vessel, **characterised in that** a field-forming electrode structuring means (41) is arranged in the reaction vessel for the location-specific deformation of the field between the plasma electrodes (11, 12) and for the location-specific manipulation of the particles in the plasma-crystalline state.
11. Device according to Claim 10, wherein the substrate is movably arranged between the plasma electrodes (11, 12).

12. Device according to one of Claims 10 to 11, which additionally has means for the location-selective particle discharge, means for exerting a radiation pressure and/or observation means.

13. Device according to Claim 10, wherein the electrode structuring means is formed by a high-frequency electrode system, which is configured in a reaction vessel for the generation of a field distribution and has a plurality of electrode segments, which are fitted to be subjected jointly to a high-frequency voltage to generate or maintain a plasma state in the reaction vessel and respectively individually subjected to a specific a.c. or low-frequency voltage to generate a static or slowly varying field distribution in the reaction vessel.

14. Device according to Claim 13, wherein the electrode segments form a matrix arrangement of point electrodes (115), wherein the electrode surfaces of the point electrodes are substantially smaller than the total surface of the matrix arrangement.

15. Device according to one of Claims 13 or 14, wherein the electrode segments (115) are provided on an insulation plate (122), the front side of which points to the reaction vessel for the formation of the plasma and for each electrode segment has a socket, which is respectively fitted to receive a plug unit (123), wherein each plug unit bears a printed board (124) with coupling and control circuits (131, 127, 128, 129) and the printed boards (124) are arranged in an area, which is subjected to a low pressure or is filled with an insulating liquid.

Revendications

1. Procédé pour la manipulation de particules (10, 40, 50, 60, 70, 80, 90) qui sont agencées dans un état plasma-cristallin dans un plasma d'un gaz porteur, **caractérisé en ce qu'une** distance entre les particules et une surface de substrat est diminuée de sorte que les particules sont apposées au moins partiellement sur la surface de substrat (30).

2. Procédé pour la manipulation de particules (10, 40, 50, 60, 70, 80, 90) qui sont agencées dans un état plasma-cristallin dans un plasma d'un gaz porteur, **caractérisé en ce que** les particules sont soumises au moins partiellement à un traitement au plasma sous forme d'une enduction de plasma ou d'un enlèvement de plasma.

3. Procédé selon la revendication 2, dans lequel les particules sont déplacées au moins partiellement jusque dans une position de traitement pour le traitement au plasma, par une influence de forces ex-

térieures réglables et/ou par une modification des conditions de plasma.

4. Procédé selon la revendication 3, dans lequel les particules sont apposées au moins partiellement sur une surface de substrat (30) après le traitement au plasma.

5. Procédé selon la revendication 1 ou 4, dans lequel une distance des particules envers la surface de substrat est modifiée par un mouvement de la surface de substrat, par une influence de forces extérieures réglables et/ou par une modification des conditions de plasma, jusqu'à ce que les particules adhèrent au moins partiellement à la surface de substrat.

6. Procédé selon l'une des revendications 2 à 5, dans lequel les forces extérieures réglables sont occasionnées par une décharge de particules en fonction du lieu ou par une pression de radiation lumineuse.

7. Procédé selon l'une des revendications 3 à 5, dans lequel la modification des conditions de plasma comporte une modification de la pression du plasma, de la température du plasma, du gaz porteur, de l'énergie du plasma, et/ou de la fréquence de service du plasma, une déconnexion de la génération de plasma et/ou une influence des champs électriques dans la région des particules dans l'état plasma-cristallin.

8. Procédé selon la revendication 7, dans lequel l'influence des champs comporte le réglage d'un champ électrique statique de sorte que les particules s'agencent dans l'état plasma-cristallin le long d'une surface courbée prédéterminée ou dans une zone délimitée d'une manière prédéterminée.

9. Procédé pour l'enduction d'une surface de substrat avec des particules qui sont manipulées en fonction d'un procédé conformément à une des revendications 1 à 8.

10. Dispositif pour la manipulation de particules (10, 40, 50, 60, 70, 80, 90) qui se trouvent dans un état plasma-cristallin dans un plasma d'un gaz porteur dans un récipient de réaction, comprenant des électrodes de plasma surfaciques et essentiellement parallèles (11, 12) qui sont ajustées pour former une décharge gazeuse ou une effluve électrique dans le gaz porteur, au moins un substrat (30) étant agencé dans le récipient de réaction, **caractérisé en ce qu'une** structuration d'électrode (41) formant un champ est agencée dans le récipient de réaction entre les électrodes de plasma (11, 12) pour la déformation du champ en fonction du lieu et pour la

manipulation des particules dans l'état plasma-cristallin en fonction du lieu.

11. Dispositif selon la revendication 10, dans lequel le substrat est agencé avec mobilité entre les électrodes de plasma (11, 12). 5
12. Dispositif selon l'une des revendications 10 à 11, présentant en outre des moyens pour la décharge des particules en fonction du lieu, des moyens pour exercer une pression de radiation et/ou des moyens d'observation. 10
13. Dispositif selon la revendication 10, dans lequel la structuration d'électrode est formée par un dispositif d'électrodes à haute fréquence qui est réalisé dans un récipient de réaction pour générer une répartition de champ et qui présente une pluralité de segments d'électrodes, lesquels sont ajustés de manière à être sollicités, conjointement avec une tension à haute fréquence, pour générer et/ou maintenir un état de plasma dans le récipient de réaction, et respectivement individuellement avec une tension continue ou de basse fréquence pour générer une répartition de champ statique ou modifiable lentement dans le récipient de réaction. 15
20
25
14. Dispositif selon la revendication 13, dans lequel les segments d'électrode forment un agencement en matrice depuis les électrodes ponctuelles 115, dans lequel les surfaces des électrodes ponctuelles sont sensiblement plus petites que la surface totale de l'agencement en matrice. 30
15. Dispositif selon l'une des revendications 13 ou 14, dans lequel les segments d'électrode (115) sont prévus sur une plaque d'isolation (122) dont la face avant montre vers le récipient de réaction pour former le plasma et présente une douille pour chaque segment d'électrode, laquelle est ajustée respectivement pour recevoir une unité enfichable (123), dans lequel chaque unité enfichable porte une platine (124) avec des circuits imprimés de couplage et de commande (131, 127, 128, 129) et dans lequel les platines (124) sont agencées dans un espace qui est sollicité par une dépression ou qui est rempli d'un liquide isolant. 35
40
45

50

55

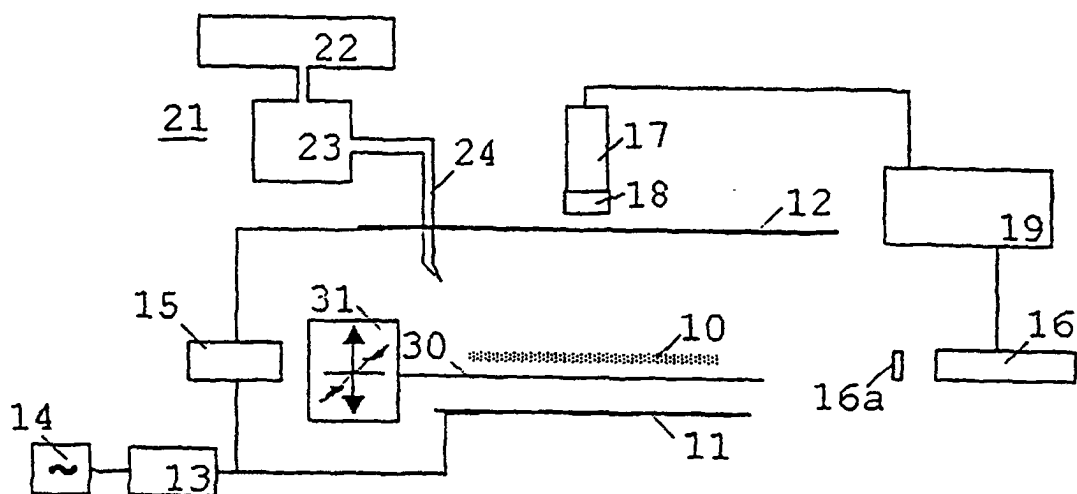


Fig. 1

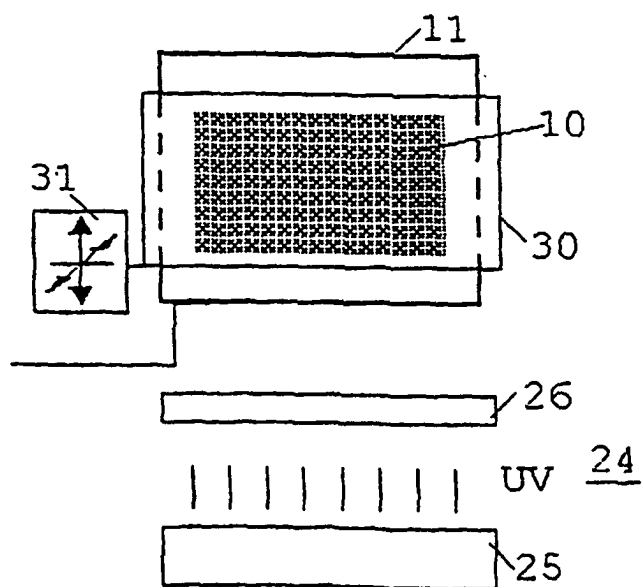


Fig. 2

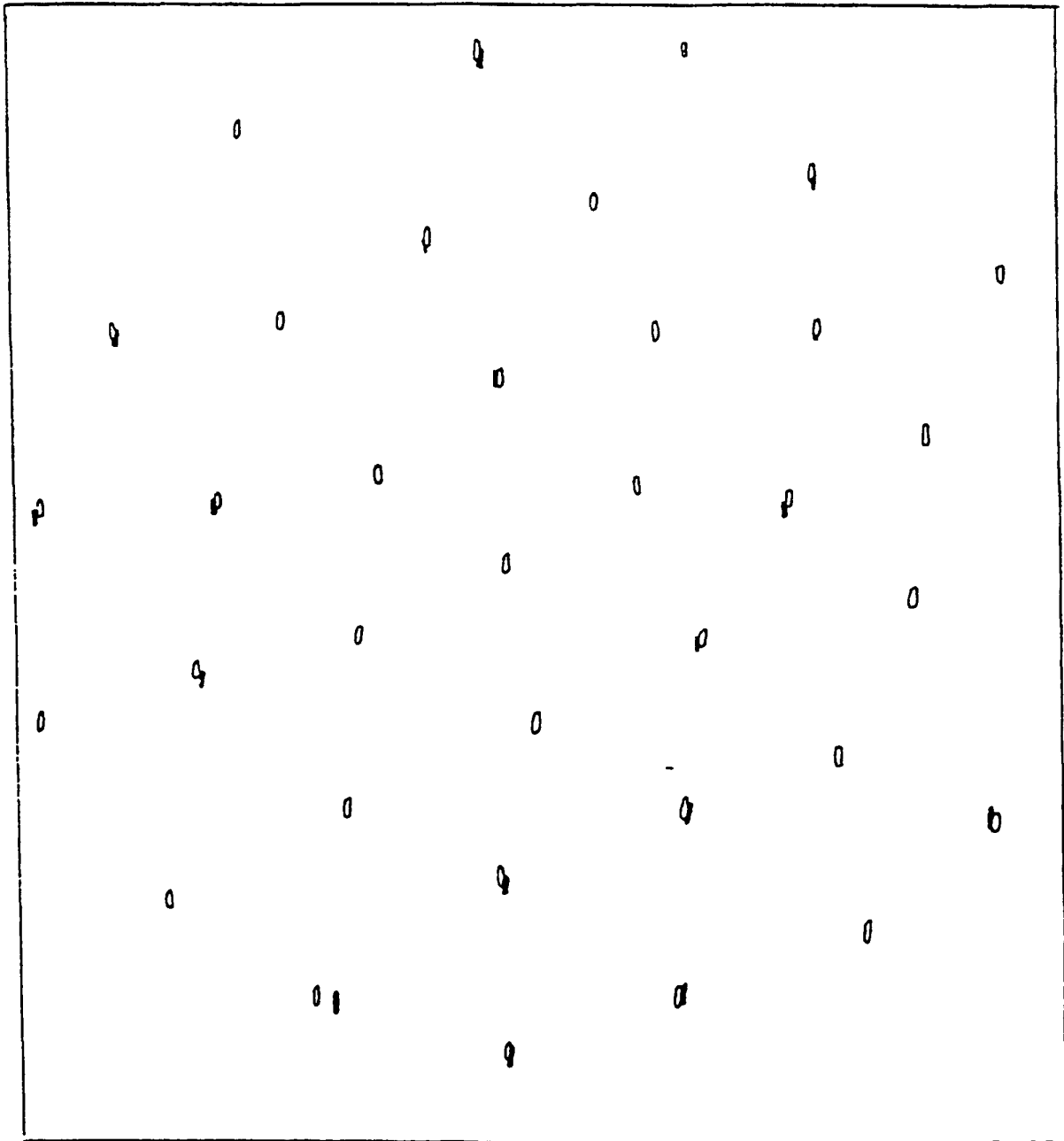


Fig. 3

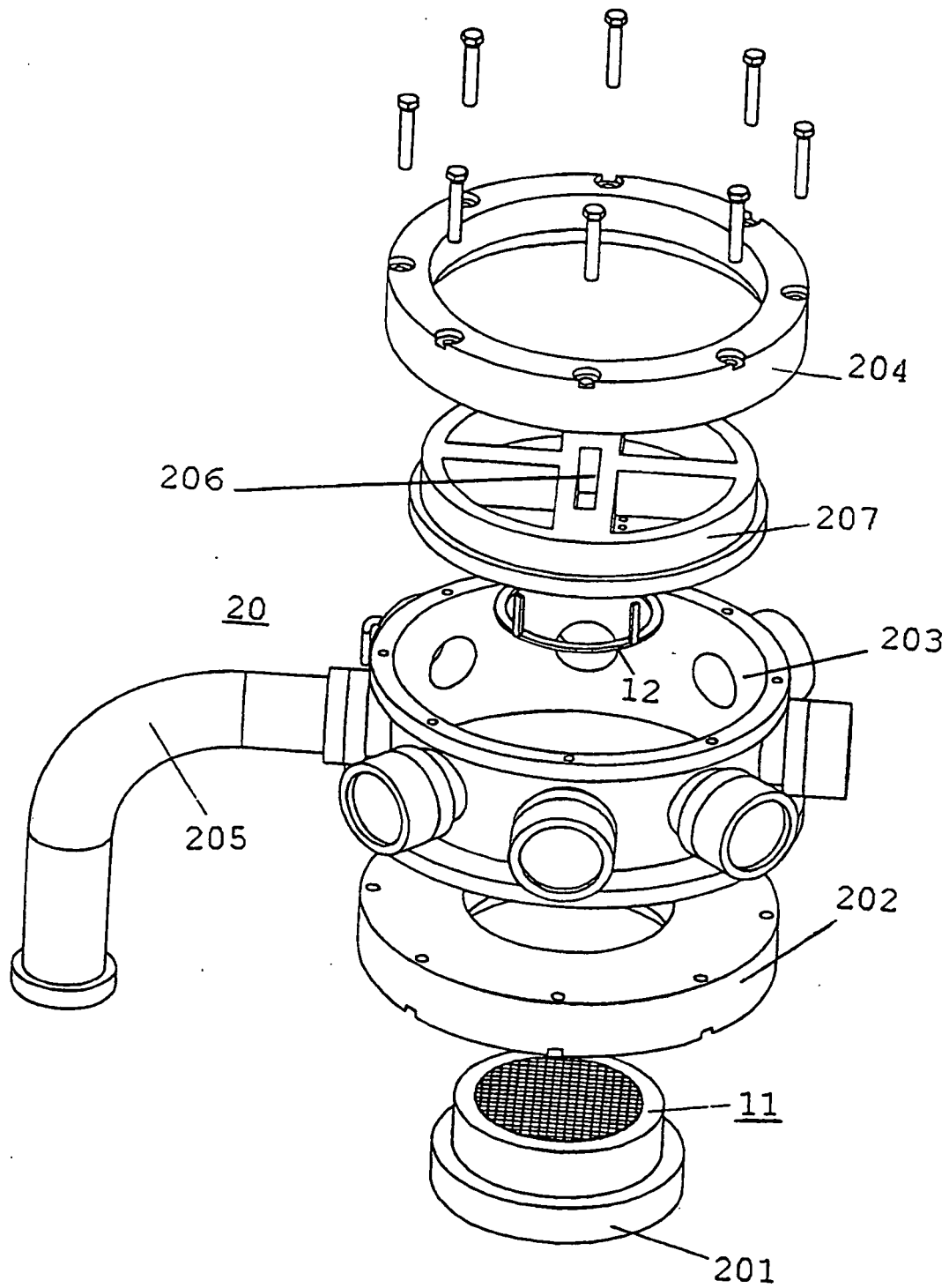


Fig. 5

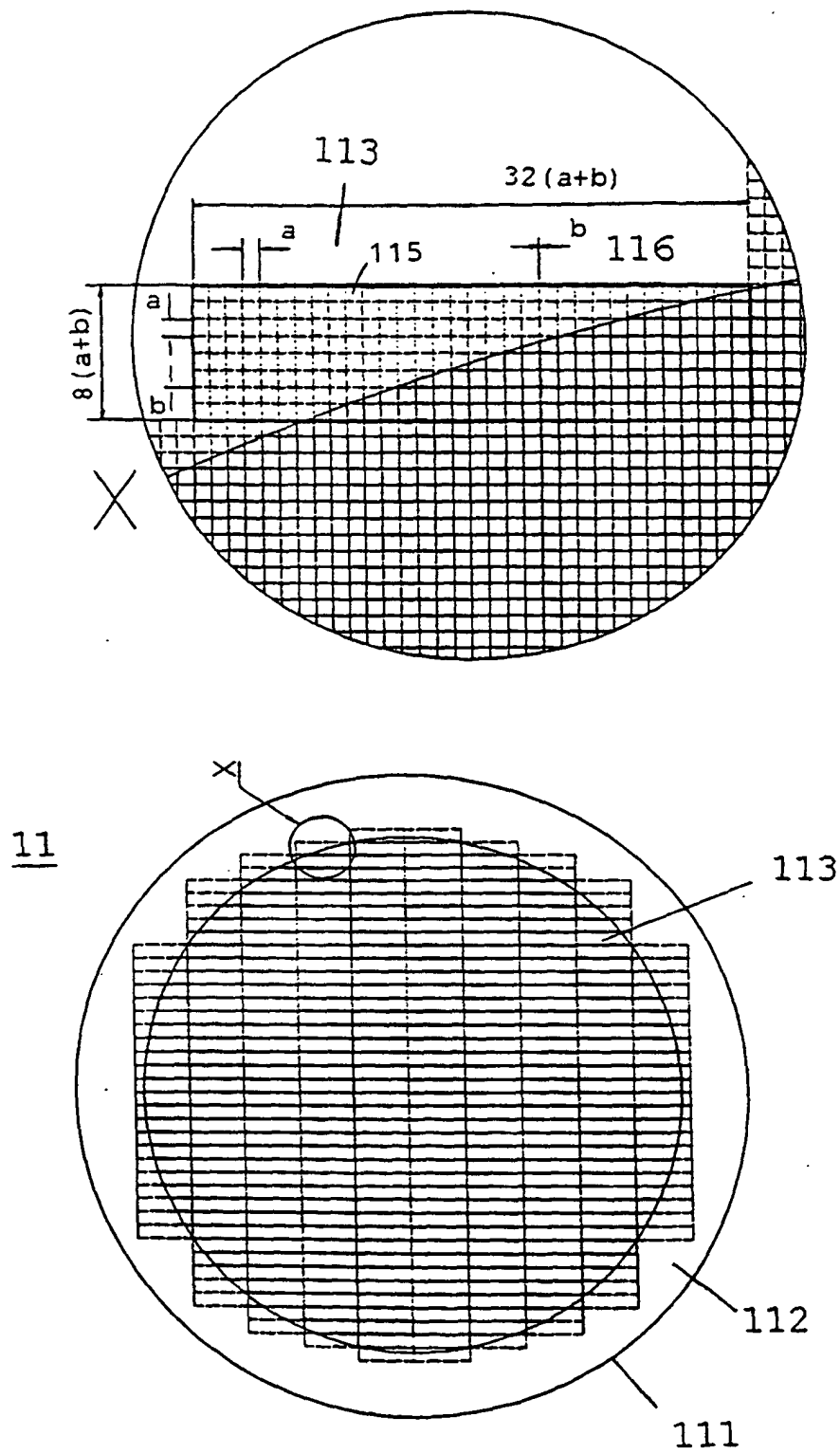
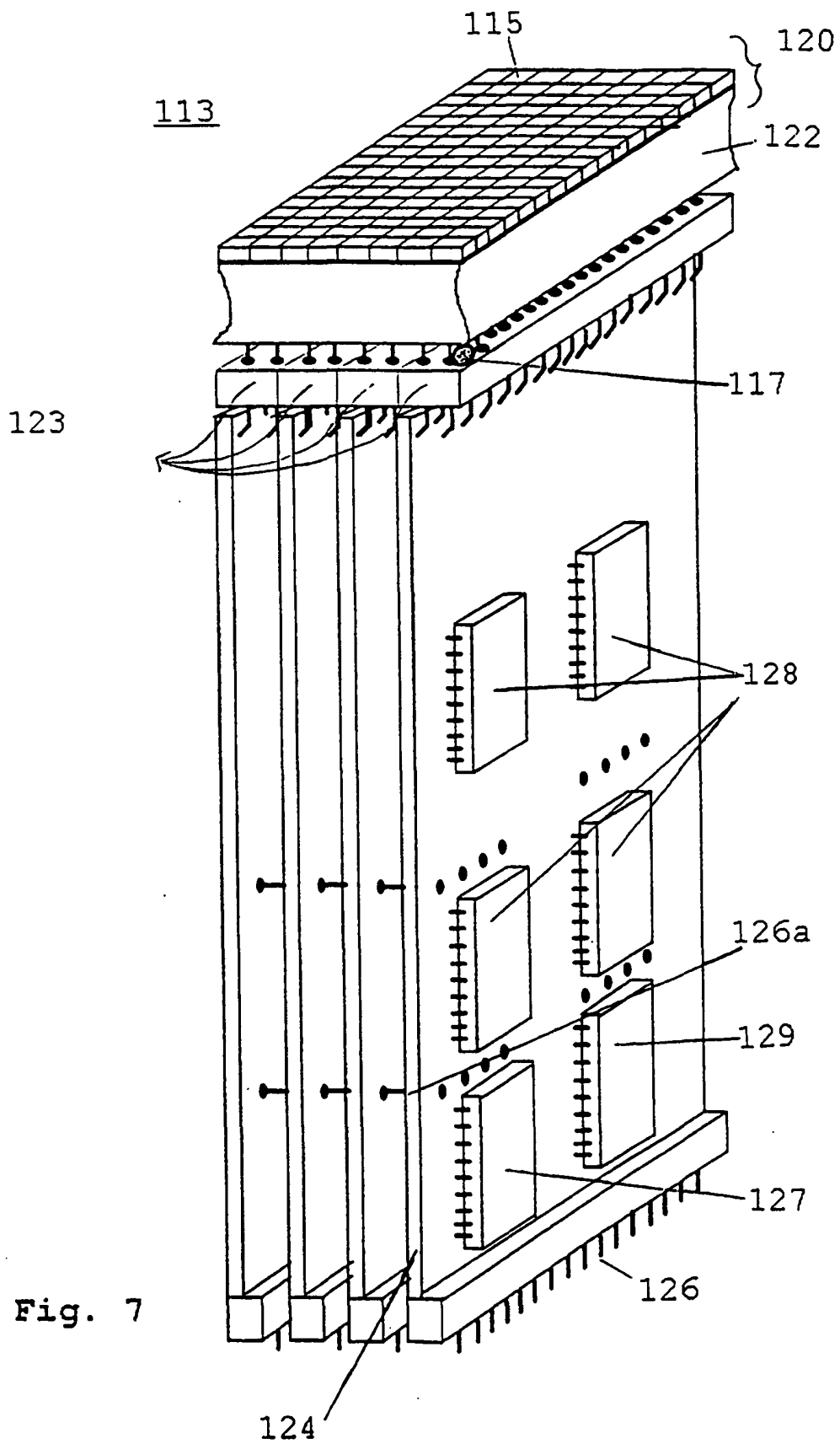


Fig. 6



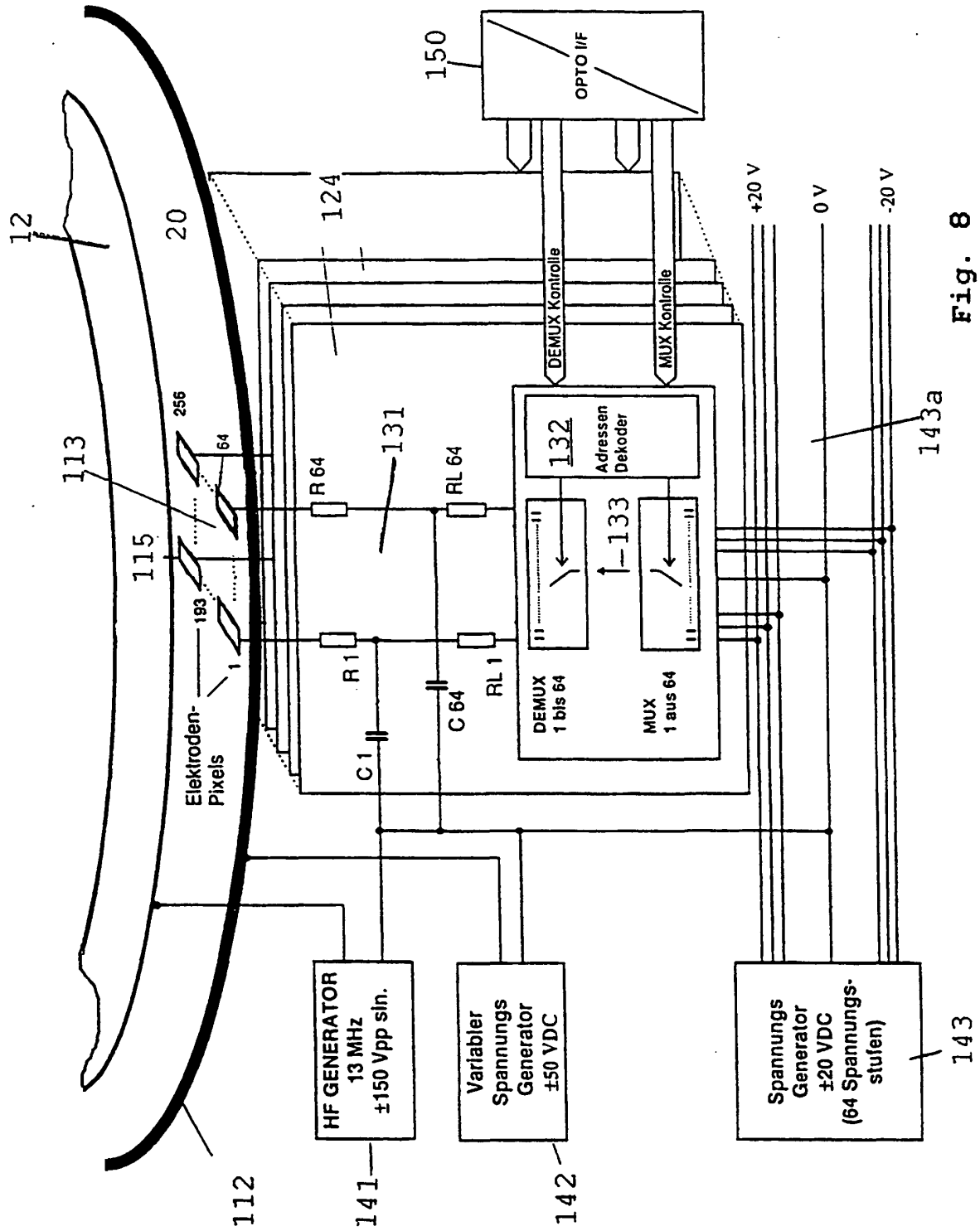


Fig. 8

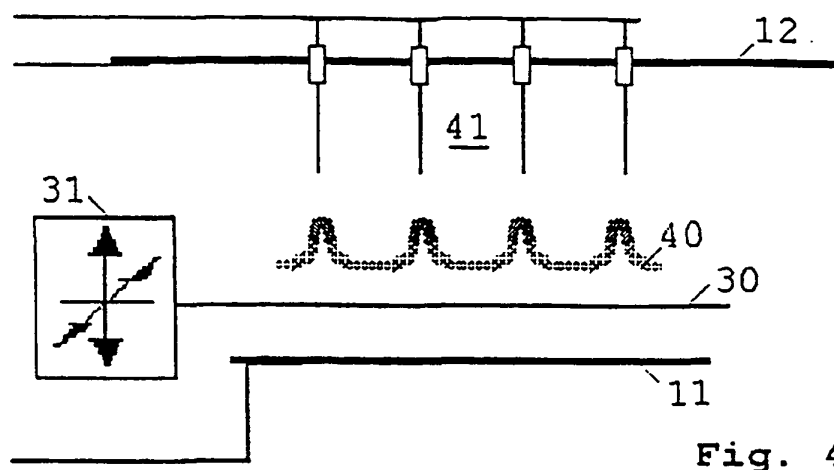


Fig. 4

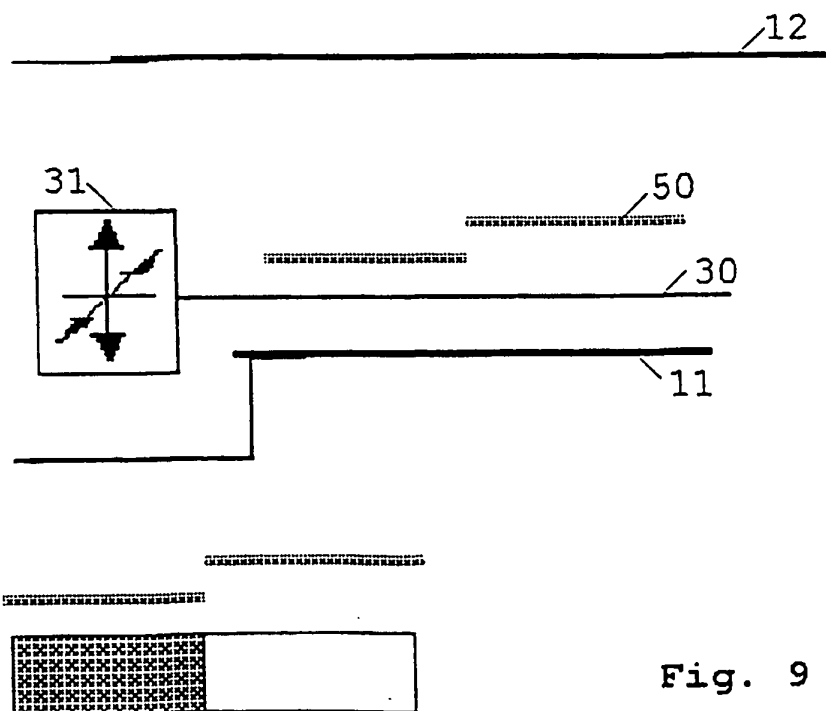


Fig. 9

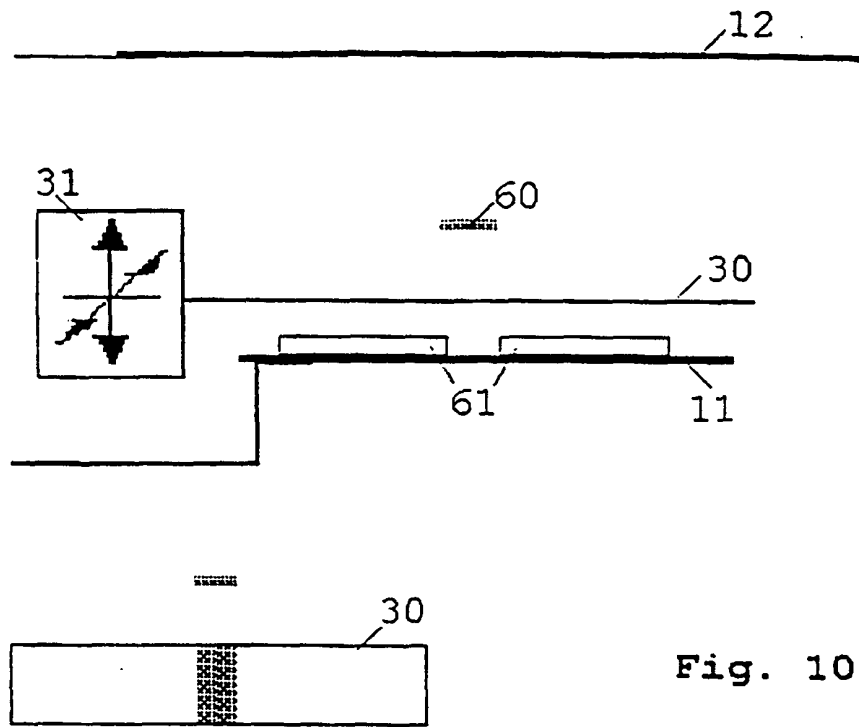


Fig. 10

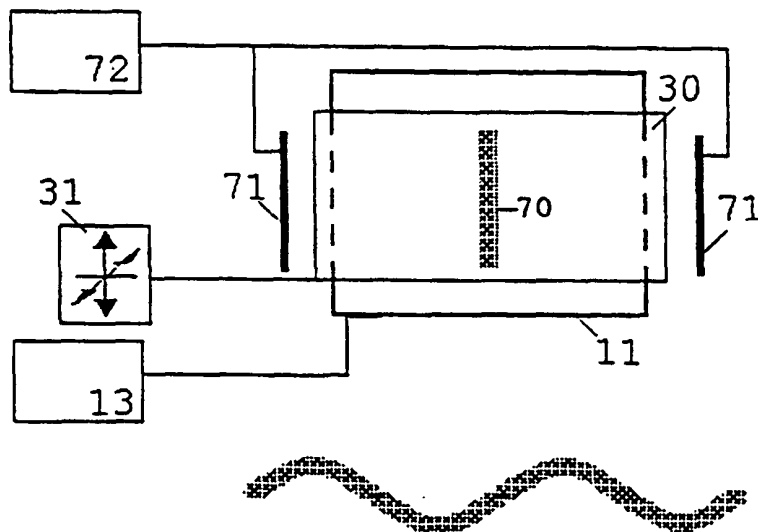
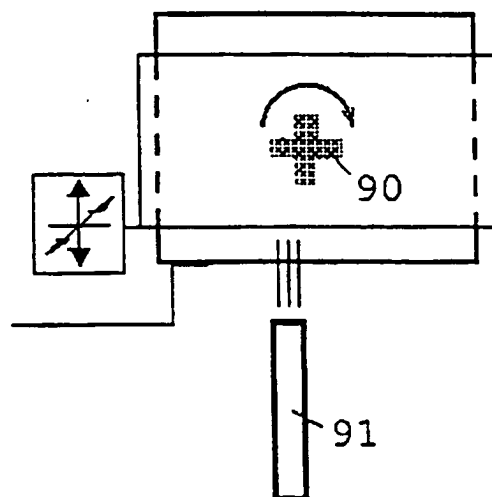
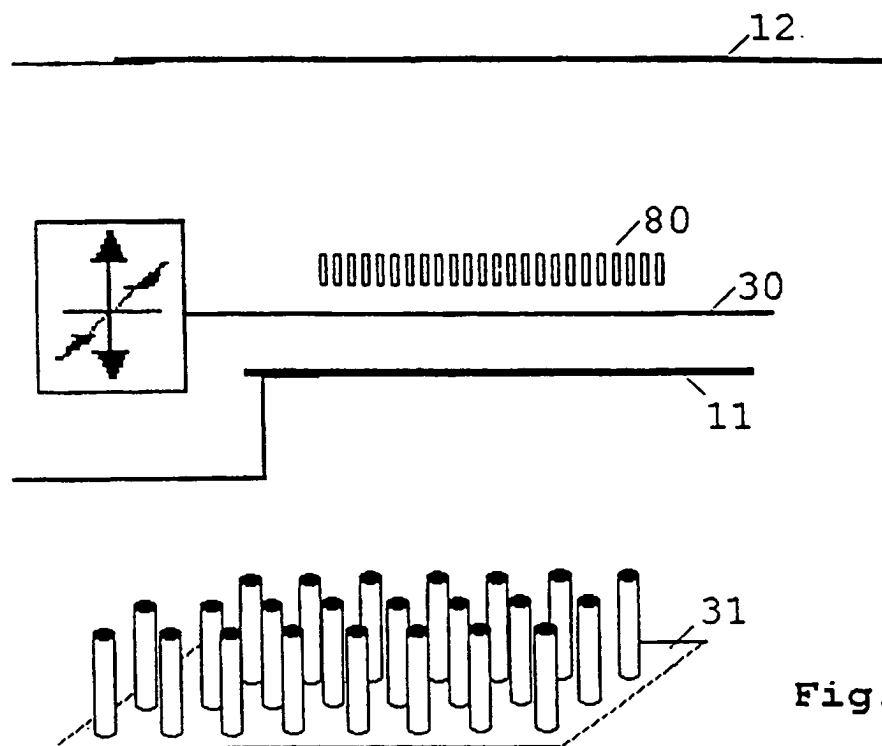
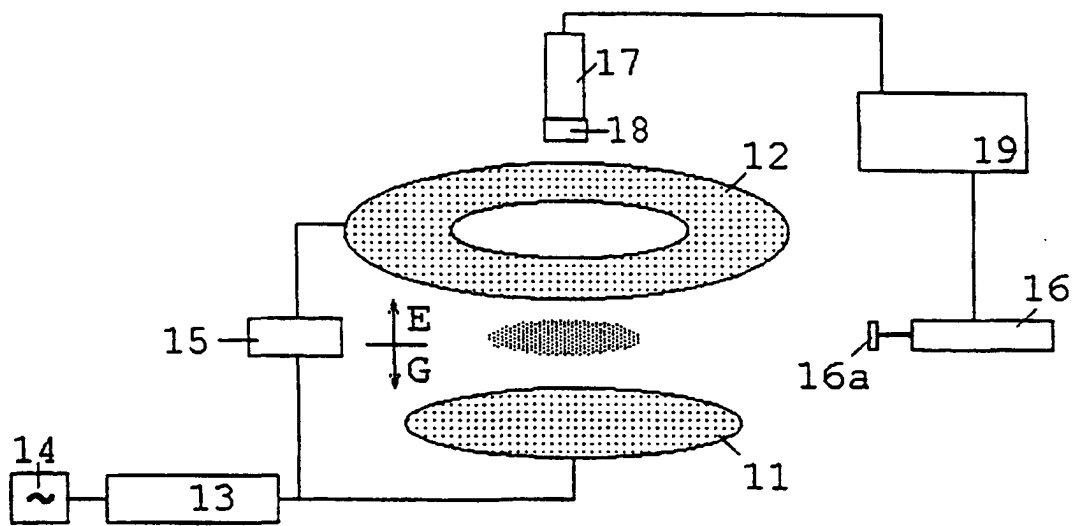


Fig. 11





Stand der Technik

Fig. 14