

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges
Eigentum

Internationales Büro

(43) Internationales
Veröffentlichungsdatum
2. April 2015 (02.04.2015)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2015/044282 A1

(51) Internationale Patentklassifikation:

H01J 37/32 (2006.01) **H05H 1/00** (2006.01)
G01R 19/00 (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2014/070513

(22) Internationales Anmeldedatum:
25. September 2014 (25.09.2014)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
102013110722.2
27. September 2013 (27.09.2013) DE

(71) Anmelder: **FRAUNHOFER-GESELLSCHAFT ZUR FÖRDERUNG DER ANGEWANDTEN FORSCHUNG E. V.** [DE/DE]; Hansastraße 27 c, 80686 München (DE). **LEIBNIZ-INSTITUT FÜR PLASMAFORSCHUNG UND TECHNOLOGIE E.V.** [DE/DE]; Felix-Hausdorff-Str. 2, 17489 Greifswald (DE).

(72) Erfinder: **GÄBLER, Dieter**; Hausberg 50, 07768 Orlamünde (DE). **KAISER, Norbert**; Am Katzenstein 1, 07745 Jena (DE). **OHL, Andreas**; Peenestr. 26, 17438 Wolgast, OT Hohendorf (DE). **KÖPP, Daniel**; Wolgaster

Landstr. 5, 17493 Greifswald (DE). **FOEST, Rüdiger**; Landhäger Weg 5, 17498 Neuenkirchen (DE). **HARHAUSEN, Jens**; Loitzer Landstr. 5D, 17489 Greifswald (DE).

(74) Anwalt: **ZUSAMMENSCHLUSS NR. 175, EPPING HERMANN PATENTANWALTSGESELLSCHAFT MBH**; Schloßschmidstr. 5, 80639 München (DE).

(81) **Bestimmungsstaaten** (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

(84) **Bestimmungsstaaten** (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST,

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: PLASMA/ION-BASED COATING METHOD, AND PLASMA PROBE

(54) Bezeichnung : PLASMA-IONENGESTÜTZTES BESCHICHTUNGSVERFAHREN UND PLASMASONDE

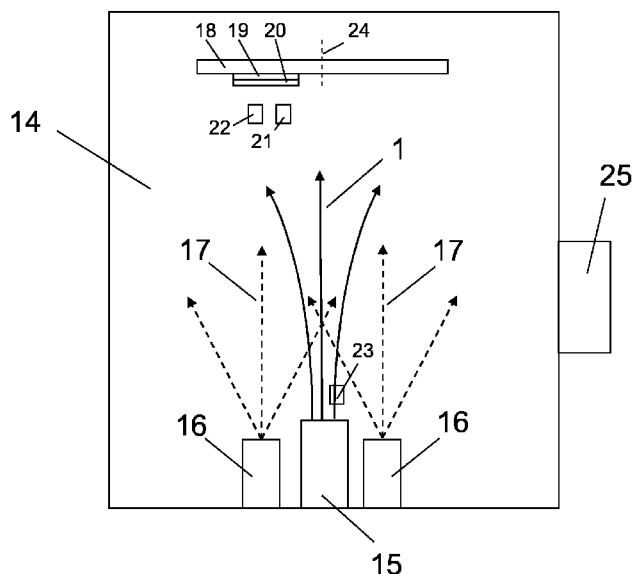


Fig. 3

(57) **Abstract:** The invention relates to a plasma/ion-based coating method in which a steam jet (17) of a coating material is generated in a vacuum chamber (14) by means of a steam source (16), said jet being directed towards a substrate (19) in order to deposit a layer (20). During a coating process, an ion jet (1) directed towards the substrate (19) is generated by means of a plasma ion source (15) in order to introduce energy into the layer (20). At least one plasma characteristic variable is determined during the coating process by means of at least one plasma probe (21, 22, 23), and the measured plasma characteristic variable or a measured value calculated from the plasma characteristic variable is used by a control device (25) in order to control the coating process. The invention further relates to a plasma probe (21, 22) which is suitable for the method.

(57) **Zusammenfassung:** Es wird ein Plasma-ionengestütztes Beschichtungsverfahren beschrieben, bei dem in einer Vakuumkammer (14) mittels einer Verdampfungsquelle (16) ein Dampfstrahl (17) eines Beschichtungsmaterials erzeugt wird, der zur Abscheidung einer Schicht (20) auf ein Substrat (19) gerichtet ist. Während eines Beschichtungsvorgangs wird ein auf das Substrat (19) gerichteter Ionenstrahl (1) zum Energieeintrag in die Schicht (20) mittels

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]



SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), europäisches (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Veröffentlicht:

— mit internationalem Recherchenbericht (Artikel 21 Absatz 3)

einer Plasmaionenquelle (15) erzeugt, wobei mindestens eine Plasmakenngröße während des Beschichtungsvorgangs mittels mindestens einer Plasmasonde (21, 22, 23) bestimmt wird, und die gemessene Plasmakenngröße oder eine aus der Plasmakenngröße berechnete Maßzahl von einer Steuervorrichtung (25) zur Regelung des Beschichtungsvorgangs verwendet wird. Es wird weiterhin eine für das Verfahren geeignete Plasmasonde (21, 22) beschrieben.

Beschreibung

Plasma-ionengestütztes Beschichtungsverfahren und Plasmasonde

- 5 Die Erfindung betrifft ein plasma-ionengestütztes Beschichtungsverfahren und eine Plasmasonde, die zur Monitorierung eines plasma-ionengestützten Beschichtungsverfahrens eingesetzt werden kann.
- 10 Diese Patentanmeldung beansprucht die Priorität der deutschen Patentanmeldung 10 2013 110 722.2, deren Offenbarungsgehalt hiermit durch Rückbezug aufgenommen wird.

- Eine Beschichtungsanlage mit einer Plasmaionenquelle zur
- 15 Durchführung eines plasma-ionengestützten Beschichtungsverfahrens ist aus der Druckschrift DE 4020158 A1 bekannt. Eine Plasmaionenquelle für ein plasma-ionengestütztes Beschichtungsverfahren wird in der Druckschrift DE 102011103464 B4 beschrieben.

- 20 Plasma-ionengestützte Beschichtungen weisen Merkmale auf, die mit konkurrierenden Verfahren nicht ohne weiteres erreichbar sind. Insbesondere können mit Hilfe von plasma-ionengestützten Beschichtungsverfahren (PIAD - Plasma Ion
- 25 Assisted Deposition) die Brechzahl und die Schichtdicke von optischen Schichten bzw. Schichtsystemen weitgehend unabhängig voneinander eingestellt werden.

- Gegenwärtig ist dieser Vorteil aber nur begrenzt nutzbar,
- 30 weil Gleichmäßigkeit und Reproduzierbarkeit der Schichteigenschaften in der Fläche und innerhalb der Schichten nicht ausreichen. Eine wesentliche Ursache dessen ist, dass die Beschichtungen nur anhand der äußeren,

technischen Parameter der Beschichtungsanlagen gesteuert werden können. Deren Anzahl ist noch dazu vergleichsweise groß, denn eine Plasma-ionengestützte Beschichtungsanlage besteht in der Regel aus einer Hochvakuumkammer, an die
5 mehrere Quellen zur Beaufschlagung der Substrate mit Neutralteilchen- und Ionenflüssen angeflanscht sind. Dies ist nicht nur ein Konstruktions-, sondern auch ein Funktionsprinzip, denn erst durch die Expansion und Wechselwirkung dieser Flüsse über lange Wege und große
10 Energie- und Dichtegradienten kommen die erforderlichen Energien und Flussdichten zustande. Wie bei vielen Plasmaprozessen haben die Anlagenparameter nur mittelbaren Einfluss auf die Schichteigenschaften. Das erschwert die Auswahl brauchbarer Regelparameter und begünstigt das
15 Auftreten von unvorteilhaft großen Regelungs-Schwankungen. Grundsätzlich sind die Charakteristiken von Plasmen, z.B. Strom-Spannungs-Kennlinien, in weiten Bereichen nichtlinear. Das führt dazu, dass gleichartige Flüsse in die Vakuumkammer mit unterschiedlichen Plasmaquellen-Einstellungen erreicht
20 werden können. Außerdem treten Driften der Parameter auf, welche durch Alterungsprozesse der Plasmaquelle bzw. durch Veränderungen des Zustandes der Anlage während des Betriebes hervorgerufen werden. Zudem ist bekannt, dass die Verteilung der Flüsse auf die Substrate und Wände nicht gleichmäßig ist.

25 Ein Lösungsansatz ist das in-situ Monitoring der erzielten optischen Eigenschaften der Schichten in Verbindung mit einer Messung der Massenflussdichten bzw. Schichtdicken. Dieser Ansatz löst aber das Problem nicht vollständig. Zum einen
30 funktioniert er bei komplexeren Schichtaufbauten und während bestimmter Prozessphasen nicht, darunter der entscheidend wichtigen Anwachsphase der Schichten. Zum anderen stellen die erhobenen Messwerte Integrale über die Schichteigenschaften

dar. Für die Zuordnung zu aktuellen Steuerungseinstellungen müssen sie unter Umständen nach der Zeit abgeleitet werden. Das ist mit einer beträchtlichen Erhöhung der Fehler verbunden.

5

Eine Aufgabe der Erfindung besteht darin, ein verbessertes plasma-ionengestütztes Beschichtungsverfahren anzugeben, bei dem durch eine verbesserte Steuerung des Beschichtungsvorgangs die Schichteigenschaften, insbesondere der Brechungsindex der Schicht, gezielt eingestellt werden können und eine besonders hohe Gleichmäßigkeit und Reproduzierbarkeit aufweisen. Weiterhin soll eine Plasmasonde zur Monitorierung des plasma-ionengestützten Beschichtungsverfahrens angegeben werden, die vorteilhaft zur Bestimmung von Plasmakenngrößen in der Nähe eines zu beschichtenden Substrats eingesetzt werden kann.

Diese Aufgaben werden durch ein plasma-ionengestütztes Beschichtungsverfahren und eine Plasmasonde gemäß den unabhängigen Patentansprüchen gelöst. Vorteilhafte Ausgestaltungen und Weiterbildungen der Erfindung sind Gegenstand der abhängigen Ansprüche.

Gemäß zumindest einer Ausführungsform wird bei dem plasma-ionengestützten Beschichtungsverfahren in einer Vakuumkammer mittels einer Verdampfungsquelle ein Dampfstrahl eines Beschichtungsmaterials erzeugt, der zur Abscheidung einer Schicht auf ein Substrat gerichtet ist. Das Beschichtungsverfahren ist somit ein PVD (Physical Vapor Deposition)-Verfahren, bei dem das Beschichtungsmaterial mittels der Verdampfungsquelle in die Gasphase überführt und aus der Gasphase auf dem Substrat abgeschieden wird. Die Verdampfungsquelle kann insbesondere eine thermische

Verdampfungsquelle oder eine Elektronenstrahl-
Verdampfungsquelle sein. In der Vakuumkammer können mehrere
Verdampfungsquellen angeordnet sein, die zum Beispiel zur
Herstellung von Schichten aus verschiedenen
5 Beschichtungsmaterialien vorgesehen sind.

Das Beschichtungsmaterial wird während eines
Beschichtungsvorgangs auf dem Substrat abgeschieden. Mit dem
Verfahren können insbesondere Mehrschichtsysteme hergestellt
10 werden, wobei nacheinander Schichten aus verschiedenen
Beschichtungsmaterialien auf dem Substrat abgeschieden
werden. Die Beschichtungsmaterialien können sowohl
dielektrische als auch metallische Materialien umfassen.

15 Bei dem plasma-ionengestützten Beschichtungsverfahren wird
mittels einer Plasmaionenquelle ein auf das Substrat
gerichteter Ionenstrahl zum Energieeintrag in die
aufwachsende Schicht während eines Beschichtungsvorgangs
erzeugt. Der Aufbau und die Funktionsweise einer derartigen
20 Plasmaionenquelle sind an sich aus den in der Einleitung
zitierten Druckschriften DE 4020158 A1 und DE 102011103464 B4
bekannt und werden daher an dieser Stelle nicht näher
erläutert.

25 Bei dem hierin beschriebenen Verfahren wird vorteilhaft
mittels mindestens einer Plasmasonde mindestens eine
Plasmakenngröße während des Beschichtungsvorgangs bestimmt.
Die gemessene Plasmakenngröße oder eine aus der
Plasmakenngröße berechnete Maßzahl wird bei dem Verfahren
30 vorteilhaft von einer Steuervorrichtung zur Regelung des
Beschichtungsvorgangs verwendet.

Anders als bei herkömmlichen plasma-ionengestützten Beschichtungsverfahren, bei denen die Regelung des Beschichtungsvorgangs in der Regel anhand von Prozessgrößen erfolgt, welche den Plasmazustand nur mittelbar beeinflussen, wie zum Beispiel Ströme, Spannungen, Gasflüsse, Drücke oder Temperaturen bestimmter Anlagenkomponenten, wird der Beschichtungsvorgang bei dem hierin beschriebenen Verfahren durch eine während des Beschichtungsvorgangs gemessene Plasmakenngröße gesteuert. Hierdurch werden Regelungs-
Schwankungen vermindert, die zum Beispiel dadurch entstehen, dass die Charakteristiken des Plasmas in weiten Bereichen nichtlinear von Anlagenparametern abhängen. Die direkte Messung von mindestens einer Plasmakenngröße während des Beschichtungsprozess hat den Vorteil, dass Abweichungen der Plasmakenngröße von einem Sollwert, die sich beispielsweise durch Alterungsprozesse der Plasmaquelle oder durch Veränderungen des Zustands der Anlage während des Beschichtungsbetriebs hervorgerufen werden können, durch eine geeignete Regelung vermindert werden können. Es hat sich herausgestellt, dass bei einem auf diese Weise geregelten plasma-ionengestützten Beschichtungsverfahren die Reproduzierbarkeit des Brechungsindex einer hergestellten Schicht wesentlich verbessert werden kann. Mit dem Verfahren lassen sich daher besonders gleichmäßige Schichten mit hoher Reproduzierbarkeit herstellen.

Bei der mittels der Plasmasonde gemessenen Plasmakenngröße kann es sich insbesondere um die Energiedichte und/oder die Ionenflussdichte des mittels der Plasmaionenquelle erzeugten Ionenstrahls handeln. Es können insbesondere sowohl die Energiedichte als auch die Ionenflussdichte gleichzeitig bestimmt werden. Die Energiedichte und/oder die Ionenflussdichte des Ionenstrahls haben einen wesentlichen

Einfluss auf die Eigenschaften der aufwachsenden Schicht und sind daher als Regelgröße für den Beschichtungsvorgang besonders relevant.

- 5 Bei dem Beschichtungsverfahren können vorteilhaft mehrere Plasmakenngrößen gemessen werden, wozu insbesondere mehrere Plasmasonden eingesetzt werden können. Die mehreren Plasmakenngrößen umfassen vorteilhaft ein oder mehrere der folgenden Größen: Energiedichte des Ionenstrahls,
- 10 Ionenflussdichte des Ionenstrahls, Flussdichte von Ionen eines Hintergrundplasmas und Flussdichte von Neutralteilchen. Der Energiefluss auf das Substrat während eines Beschichtungsvorgangs wird nicht nur von den mittels der Plasmaionenquelle erzeugten Ionen des Ionenstrahls, sondern
- 15 zusätzlich auch von niederenergetischen Ionen des Hintergrundplasmas und von schnellen Neutralteilchen verursacht, die aus Ladungstransfer hervorgehen können. Besonders vorteilhaft werden daher bei dem Beschichtungsvorgang sowohl die Flussdichte der Ionen des
- 20 Ionenstrahls, die Flussdichte der Ionen des Hintergrundplasmas als auch die Flussdichte von Neutralteilchen mittels geeigneten Plasmasonden bestimmt.

- Bei einer bevorzugten Ausgestaltung des Verfahrens ist
- 25 zumindest eine Plasmaionensonde in einem Abstand von nicht mehr als 10 cm von einer Auslassöffnung der Plasmaionenquelle angeordnet. Diese Plasmaionensonde wird daher hier und im Folgenden als „quellennahe“ Plasmaionensonde bezeichnet. Es hat sich überraschenderweise gezeigt, dass an zwei
- 30 steuerungstechnisch besonders relevanten Orten in der Vakuumkammer Plasmaeigenschaften auftreten, die den stabilen Betrieb von Plasmaionensonden sogar unter Bedampfungsbedingungen während des Beschichtungsvorgangs ermöglichen. Einer dieser

Orte ist die unmittelbare Umgebung des Auslasses der Plasmaionenquelle, in der vorteilhaft die quellennahe Plasmasonde angeordnet wird.

- 5 Die mittleren Energien der Elektronen und Ionen sind in unmittelbarer Nähe der Auslassöffnung der Plasmaionenquelle, das heißt in einer Entfernung von bis zu 10 cm, besonders hoch, beispielsweise im Bereich von 10 eV bis 20 eV für Elektronen und 50 eV bis 100 eV für Ionen. Die hohen Energien
10 der auftreffenden Teilchen führen an der Plasmasonde zu einer Sputterwirkung, welche die Ausbildung einer isolierenden Beschichtung auf der Plasmasonde vorteilhaft verhindern. Der Sputtereffekt wird durch eine negative Vorspannung an der Plasmasonde, die für die Bestimmung eines Ionenstroms
15 erforderlich ist, zusätzlich begünstigt. Unter diesen Betriebsbedingungen können sowohl die Flussdichte als auch die Energie der in die Vakuumkammer einströmenden Plasmaionen erfasst werden.
- 20 Die Sputterwirkung der in unmittelbarer Nähe des Auslasses der Plasmaionenquelle auf die Plasmasonde auftreffenden Ionen ist einerseits vorteilhaft, um eine ungewollte Beschichtung der Plasmasonde mit dem Beschichtungsmaterial zu vermindern, wobei andererseits aber durch den Sputtereffekt die
25 Plasmasonde selbst, insbesondere deren Fläche, nicht wesentlich durch das Sputtern verändert werden sollte. Um dies zu gewährleisten, wird als quellennahe Plasmasonde vorzugsweise eine großformatige Sonde verwendet.
- 30 Die quellennahe Plasmasonde kann insbesondere eine Zylindersonde sein, für die vorteilhaft $d_s < 0,01 \text{ r}$ gilt, wobei d_s der Sputterabtrag während relevanter Betriebsdauern

und r der Sondenradius ist. Besonders bevorzugt beträgt der Sondenradius r zwischen 1 mm und 5 mm.

Bei einer alternativen vorteilhaften Ausgestaltung ist die
5 quellennahe Plasmasonde als planare Sonde ausgeführt, für die $d_p > 10 d_s$ gilt, wobei d_p die Dicke der planaren Sonde ist. Besonders bevorzugt beträgt die Dicke d_p der planaren Sonde zwischen 0,1 mm und 1 mm.

10 Ein weiterer für die Steuerung des plasma-ionengestützten Beschichtungsprozesses besonders relevanter Ort ist die unmittelbare Umgebung des zu beschichtenden Substrats. Bei dem hierin beschriebenen Beschichtungsverfahren ist vorteilhaft mindestens eine Plasmasonde in einem vertikalen
15 Abstand von nicht mehr als 10 cm, bevorzugt in einem Abstand von 1 cm bis 10 cm, von dem zu beschichtenden Substrat angeordnet. Diese Plasmasonde wird hier und im Folgenden als „substratnahe“ Plasmasonde bezeichnet.

20 Die Energien und Dichten des isotropen Hintergrundplasmas sind in der Nähe des Substrats so niedrig, dass dort bei Anlegen großer negativer Vorspannungen an die Plasmasonde sehr weite Randschichten (typisch etwa 2 mm) entstehen. Es wurde festgestellt, dass derartige Randschichten unter
25 bestimmten Bedingungen messtechnisch brauchbare ionenoptische Abbildungssysteme darstellen. Insbesondere kann eine modifizierte Machsonde mit zylindrischer Geometrie der Randschicht als substratnahe Plasmasonde verwendet werden. Bei einer solchen Plasmasonde, die im Folgenden noch näher
30 erläutert wird, können wahlweise schnelle, hochenergetische Ionen des Ionenstrahls und Ionen des Hintergrundplasmas oder nur Ionen des Hintergrundplasmas auf eine strahlabgewandte, nicht dem Dampfstrahl ausgesetzte Rückseiten-Elektrode

geleitet werden. Die Charakteristik einer solchen Plasmasonde kann bei einer hohen negativen Vorspannung der Charakteristik einer Zylindersonde im so genannten „Orbital Motion Limit (OML)“ sehr ähnlich werden. Letzteres führt dazu, dass sich
5 die komplizierten, in der Regel nur mit Hilfe ausgedehnter numerischer Verfahren beschreibbaren Charakteristiken einer Machsonde unter Zuhilfenahme eines Kalibrierungsverfahrens vereinfachen und damit für Steuerungszwecke brauchbar werden. Wahlweises An- und Abschalten des Einschusses der
10 hochenergetischen Strahlionen mittels Vorspannungsvariation oder mit Hilfe von mechanischen Blenden führt dann zur Unterscheidbarkeit zwischen dem Ionensättigungsstrom aus dem Plasma und dem Strahlionenstrom. Durch geometrische Unterteilung der Elektrodenfläche kann zusätzlich eine
15 energetisch differenzierte Erfassung der Ionen erfolgen.

Die Beschichtung der Sondenrückseite durch gestreute Neutralpartikel ist so gering und die Sputterwirkung unter Vorspannung so hoch, dass auch periodischer, kurzzeitiger
20 Sondenbetrieb ohne Vorspannung bzw. Kennlinien-Aufnahmen möglich sind. Auf diese Weise ist die mittlere Energie des Hintergrundplasmas in Substratnähe bestimmbar.

Bei einer vorteilhaften Ausgestaltung sind mehrere
25 substratnahe Plasmasonden in einem vertikalen Abstand von nicht mehr als 10 cm von dem zu beschichtenden Substrat angeordnet. Die mehreren substratnahen Plasmasonden sind dabei vorteilhaft in verschiedenen radialen Abständen zu einer Hauptemissionsrichtung der Plasmaionenquelle
30 angeordnet. Auf diese Weise kann die radiale Verteilung mindestens einer Plasmakenngröße in Bezug auf die Hauptemissionsrichtung der Plasmaionenquelle erfasst werden. Dies ermöglicht insbesondere eine Steuerung der

Plasmaionenquelle, beispielsweise durch eine Veränderung des Gasflusses, der Entladungsleistung oder des Magnetfelds, derart, dass eine radiale Verteilung der Eigenschaften einer aufwachsenden Schicht gezielt beeinflusst wird.

5

Bei einer vorteilhaften Ausgestaltung werden mindestens zwei substratnahe Plasmasonden verwendet, wobei eine der substratnahen Plasmasonden durch eine Blende von dem Ionenstrahl der Plasmaionenquelle abgeschattet ist. Bei der durch die Blende abgeschatteten Plasmasonde treffen vorteilhaft keine oder nur vernachlässigbar wenige Ionen des Ionenstrahls der Plasmaionenquelle auf die Elektrode, sodass diese Plasmasonde zur Messung von Ionen des Hintergrundplasmas verwendet werden kann.

15

Eine Plasmasonde, die insbesondere als substratnahe Plasmasonde bei dem hierin beschriebenen plasma-ionengestützten Beschichtungsverfahren verwendet werden kann, wird im Folgenden beschrieben.

20

Die Plasmasonde zur Monitorierung des plasma-ionengestützten Beschichtungsverfahrens umfasst gemäß zumindest einer Ausführungsform eine elektrisch isolierende Grundplatte mit einer Vorderseite und einer Rückseite. Die Vorderseite der Grundplatte ist beim bestimmungsgemäßen Gebrauch dem von der Plasmaionenquelle erzeugten Ionenstrahl zugewandt. An einer Rückseite der Grundplatte ist eine elektrisch leitende Schicht angeordnet, die insbesondere ein Metall oder eine Metalllegierung aufweisen kann. Die elektrisch leitende Schicht fungiert als Elektrode der Plasmasonde.

30

Weiterhin weist die Plasmasonde gemäß einer Ausgestaltung einen mit der elektrisch leitenden Schicht verbunden

Kontaktstift auf, der an der Rückseite der Grundplatte angeordnet ist und eine elektrisch isolierende Ummantelung aufweist. Durch den Kontaktstift wird die elektrisch leitende Schicht, die als strahlabgewandte Rückseitenelektrode
5 fungiert, elektrisch kontaktiert. An dem Kontaktstift kann ein Verbindungsbauteil angeordnet sein, das zum elektrischen Anschluss und zur Befestigung der Plasmasonde dient.

Die Plasmasonde macht sich die Erkenntnis zunutze, dass die
10 Energie und Dichte des isotropen Hintergrundplasmas in der Nähe des zu beschichtenden Substrats so niedrig sind, dass dort beim Anlegen einer negativen Vorspannung an die Plasmasonde in dem Plasma eine breite Randschicht mit einer Breite von etwa 1 mm bis 3 mm entsteht, die vorteilhaft als
15 ionenoptisches Abbildungssystem benutzt wird. Insbesondere wurde festgestellt, dass eine im Bereich der Plasmasonde entstehende Randschicht des Plasmas dazu genutzt werden kann, einen Teil der Ionen aus dem auf die Vorderseite der Plasmasonde gerichteten Ionenstrahl der Plasmaionenquelle am
20 Rand der Sonde derart umzulenken, dass sie auf die an der Rückseite der Plasmasonde angeordnete elektrisch leitende Schicht treffen.

Die Grundplatte der Plasmasonde ist bevorzugt kreisrund. Der
25 Durchmesser der Grundplatte beträgt vorzugsweise 0,5 cm bis 10 cm, besonders bevorzugt 2 cm bis 4 cm, beispielsweise etwa 3 cm. Der Kontaktstift weist beispielsweise eine Länge von etwa 3 cm auf. Die Dicke der Grundplatte ist vorteilhaft derart gewählt, dass sie in etwa der Dicke der Randschicht
30 des Plasmas entspricht. Bevorzugt weist die Grundplatte eine Dicke von 1 mm bis 3 mm auf.

Die Dicke der als Elektrode fungierenden elektrisch leitenden Schicht ist vorzugsweise sehr viel kleiner als die Dicke der Randschicht des Plasmas. Die elektrisch leitende Schicht weist bevorzugt eine Dicke von weniger als 1 mm, insbesondere
5 im Bereich von 1 μm bis 1 mm, auf. Beispielsweise kann die Dicke der elektrisch leitenden Schicht etwa 30 μm betragen.

Bei einer Ausführungsform weist die Plasmasonde eine auf der Vorderseite der Grundplatte angeordnete isolierende Blende
10 auf, welche die Grundplatte seitlich überragt. Bei dieser Ausführungsform ist die isolierende Blende dazu vorgesehen, einen auf die Vorderseite der Plasmasonde gerichteten Ionenstrahl derart abzuschirmen, dass die Ionen des Ionenstrahls nicht auf die elektrisch leitende Schicht
15 auftreffen. Dies ist dann vorteilhaft, wenn die Plasmasonde nicht zur Messung der Energie- oder Ionenflussdichte des Ionenstrahls der Plasmaionenquelle, sondern zur Messung des Ionensättigungsstroms des Hintergrundplasmas verwendet werden soll. Bei dieser Ausgestaltung überragt die Blende die
20 Grundplatte um einen Wert, der mindestens gleich einer Dicke der Randschicht des Plasmas ist. Insbesondere überragt die Blende die Grundplatte um mindestens 0,1 mm, beispielsweise um 0,1 mm bis 10 mm, bevorzugt um 1 mm bis 10 mm.

25 Die Erfindung wird im Folgenden anhand von Ausführungsbeispielen im Zusammenhang mit den Figuren 1 bis 4 näher erläutert.

Es zeigen:

30

Figur 1 eine schematische Darstellung eines Querschnitts durch eine Plasmasonde gemäß einem ersten Ausführungsbeispiel,

Figur 2 eine schematische Darstellung eines Querschnitts durch eine Plasmasonde gemäß einem zweiten Ausführungsbeispiel,

5

Figur 3 eine schematische Darstellung eines Querschnitts durch eine Beschichtungsanlage bei einem Ausführungsbeispiel des Verfahrens zur plasma-ionengestützten Beschichtung, und

10

Figur 4 eine schematische Darstellung eines Querschnitts durch eine Beschichtungsanlage bei einem weiteren Ausführungsbeispiel des Verfahrens zur plasma-ionengestützten Beschichtung.

15

Gleiche oder gleich wirkende Bestandteile sind in den Figuren jeweils mit den gleichen Bezugszeichen versehen. Die dargestellten Bestandteile sowie die Größenverhältnisse der Bestandteile untereinander sind nicht als maßstabsgerecht anzusehen.

20

Die in Figur 1 schematisch im Querschnitt dargestellte Plasmasonde 21 gemäß einem ersten Ausführungsbeispiel weist eine elektrisch isolierende Grundplatte 2 mit einer Vorderseite 11 und einer Rückseite 12 auf. Die Grundplatte 2 ist vorteilhaft zylindrisch ausgeführt, das heißt sie weist einen kreisförmigen Querschnitt auf. Alternativ ist es aber auch möglich, dass die Grundplatte einen nicht kreisförmigen Querschnitt aufweist, insbesondere in Form eines Vielecks wie beispielsweise einem Quadrat. Der Durchmesser der Grundplatte beträgt zwischen 0,5 cm und 10 cm, insbesondere zwischen 2 cm und 4 cm, beispielsweise etwa 3 cm.

25

30

Die Rückseite 12 der Grundplatte 2 ist mit einer elektrisch leitenden Metallschicht 3 versehen, welche eine Elektrode der Plasmasonde 21 ausbildet. Die Metallschicht 3 ist über einen elektrisch leitenden Kontaktstift 5 kontaktiert, der mit
5 einer elektrisch isolierenden Umhüllung 4 ummantelt ist. Durch den metallischen Kontaktstift 5 kann die als Elektrode fungierende elektrisch leitende Schicht 3 insbesondere auf ein negatives elektrisches Potential gebracht werden, d.h. es kann eine negative Vorspannung angelegt werden. Der
10 Kontaktstift 5 ist vorteilhaft zentrisch an der elektrisch leitenden Schicht angebracht und weist beispielsweise eine Länge von etwa 3 cm auf. An einer der Grundplatte 2 gegenüber liegenden Seite des Kontaktstifts 5 ist ein lösbares Verbindungsbauteil 6 angebracht, welches zum elektrischen
15 Anschluss und zur mechanischen Befestigung der Plasmasonde 21 dient.

Die Plasmasonde 21 ist dazu vorgesehen, bei einem plasma-ionengestützten Beschichtungsverfahren, bei dem eine
20 Plasmaionenquelle eingesetzt wird, mindestens eine Plasmakenngröße in der Nähe des zu beschichtenden Substrats zu messen. Hierzu wird die Plasmasonde 21 vorteilhaft derart in die Vakuumkammer einer Beschichtungsanlage eingebaut, dass sie nur einen sehr geringen vertikalen Abstand von der
25 Substratebene aufweist. Vorzugsweise beträgt der vertikale Abstand von der Substratebene nur weniger als 10 cm. Die Plasmasonde 21 wird in Bezug auf den in Figur 1 durch Pfeile symbolisierten Ionenstrahl 1 der Plasmaionenquelle derart angeordnet, dass die Vorderseite 11 der Grundplatte 2 dem
30 Ionenstrahl 1 zugewandt ist. Vorzugsweise wird die Plasmasonde 21 derart angeordnet, dass die Vorderseite 11 der Grundplatte 2 im Wesentlichen senkrecht zum Ionenstrahl 1 ist.

Über der elektrisch leitenden Schicht 3 bildet sich im Betrieb eine Randschicht 8 des Plasmas aus. Die Randschicht 8 des Plasmas ist oberhalb der elektrisch leitenden Schicht 3 in weiten Bereichen planar mit einer Randschichtdicke von etwa 1 mm bis 3 mm.

Entlang des Umfangs der elektrisch leitenden Schicht 3 weist die Randschicht 8 einen konvexen Bereich 7 auf, deren Rand 9 im Querschnitt im Wesentlichen halbkreisförmig ist, wobei der äußere Rand der elektrisch leitenden Schicht 3 den Mittelpunkt des Halbkreises bildet. Hierbei wird angenommen, dass die elektrisch leitende Schicht 3 wesentlich dünner als die Dicke der Randschicht 8 ist, wobei die elektrisch leitende Schicht 3 vorzugsweise dünner als 1 mm, bevorzugt dünner als 100 μm , ist. Die Dicke der elektrisch leitenden Schicht 3 kann beispielsweise 30 μm betragen. Der konvexe Bereich 7, der durch den im Wesentlichen halbkreisförmigen Rand 9 begrenzt wird, wird bei der Plasmasonde 21 vorteilhaft zur Umlenkung der den konvexen Bereich 7 der Randschicht 8 passierenden Ionen des Ionenstrahls 1 genutzt. Insbesondere werden die Ionen, welche den konvexen Randbereich 7 der Randschicht 8 passieren, durch das elektrische Feld in der Randschicht 8 auf die durch die elektrisch leitende Schicht 3 gebildete Elektrode gelenkt. Die auf die Elektrode gelenkten Ionen lösen dort zusätzlich zum Ionensättigungsstrom des Hintergrundplasmas einen Strom aus. Aus dem auf diese Weise erzeugten Signal kann die Energie- und/oder Ionenflussdichte des Ionenstrahls 1 bestimmt werden.

30

In Figur 2 ist eine alternative Ausführungsform einer Plasmasonde schematisch im Querschnitt dargestellt. Die Plasmasonde 22 gemäß dem Ausführungsbeispiel der Figur 2

unterscheidet sich von der Plasmasonde 21 gemäß dem Ausführungsbeispiel der Figur 1 dadurch, dass auf die Vorderseite 11 der Grundplatte 2 eine isolierende Blende 13 aufgebracht ist. Die Blende 13 ist derart ausgebildet, dass sie die Grundplatte 2 seitlich mindestens um einen derart großen Abstand überragt, dass der Abstand mindestens der Dicke der Randschicht 8 des Plasmas entspricht. Vorteilhaft überragt die Blende die Grundplatte seitlich um mindestens 0,1 mm, bevorzugt um mindestens 1 mm. Die Blende 13 kann wie die Grundplatte 2 als zylinderförmige Scheibe ausgebildet sein, wobei die Blende 13 zentrisch zur Grundplatte 2 angeordnet ist und einen um mindestens 0,1 mm, bevorzugt mindestens 1 mm größeren Durchmesser aufweist.

Bei dieser Ausführungsform der Plasmasonde 22 verhindert die Blende 13, dass die Ionen des Ionenstrahls 1 in den konvexen Randbereich 7 der Randschicht 8 des Plasmas eindringen, sodass sie nicht in dem konvexen Randbereich 7 abgelenkt werden und die als Elektrode fungierende elektrisch leitende Schicht 3 nicht erreichen. Auf diese Weise ist die in Figur 2 dargestellte Ausführungsform der Plasmasonde 22 von den Ionen des Ionenstrahls 1 abgeschattet. Da die elektrisch leitende Schicht 3 durch die Blende 13 von dem gerichteten Ionenstrahl 1 der Plasmaionenquelle abgeschattet ist, wird die elektrisch leitende Schicht 3 nur von den Ionen des Hintergrundplasmas getroffen. Diese Ausführungsform der Plasmasonde 22 ist daher dazu geeignet, einen Sättigungsstrom von Ionen eines Hintergrundplasmas zu messen.

Hinsichtlich weiterer vorteilhafter Ausgestaltungen entspricht die in Figur 2 dargestellte Plasmasonde ansonsten dem in Figur 1 dargestellten Ausführungsbeispiel.

Die in den Figuren 1 und 2 dargestellten Plasmasonden 21, 22 sind aufgrund ihrer geringen Abmessungen insbesondere dazu geeignet, an mehreren Stellen einer Vakuumkammer für einen plasma-ionengestützten Beschichtungsprozess angebracht zu werden.

Die Figur 3 zeigt schematisch eine Beschichtungsanlage zur Durchführung eines plasma-ionengestützten Beschichtungsverfahrens gemäß einem Ausführungsbeispiel.

Die Beschichtungsanlage weist eine Vakuumkammer 14 auf, die beispielsweise in einem oberen Teil einen Substrathalter 18 zur Aufnahme von einem oder mehreren Substraten 19 aufweist, die mit dem plasma-ionengestützten Beschichtungsverfahren beschichtet werden sollen. Der Substrathalter 18 kann beispielsweise um eine Drehachse 24 rotierbar sein. Weiterhin weist die Vakuumkammer ein oder mehrere Verdampfungsquellen 16 auf, um Dampfstrahlen 17 von einem oder mehreren Beschichtungsmaterialien zu erzeugen, die als Schicht 20 oder Schichtsystem auf dem Substrat 19 abgeschieden werden sollen. Die Verdampfungsquellen 16 können beispielsweise eine thermische Verdampfungsquelle und/oder eine Elektronenstrahl-Verdampfungsquelle aufweisen.

Weiterhin ist die Vakuumkammer 14 mit einer Plasmaionenquelle 15 ausgestattet, die einen auf das Substrat 19 gerichteten Ionenstrahl 1 erzeugt, um während des Aufwachsens einer Schicht 20 einen Energieeintrag in die aufwachsende Schicht 20 zu bewirken. Die Plasmaionenquelle 15 kann beispielsweise zentrisch unter dem Substrathalter 18 angeordnet sein, wobei die Verdampfungsquellen 16 um die Plasmaionenquelle 15 herum angeordnet sind.

Die Beschichtungsanlage und eine geeignete Plasmaionenquelle 15 sind aus den in der Einleitung zitierten Druckschriften an sich bekannt und werden daher nicht näher im Detail erläutert.

5

Das hierin beschriebene plasma-ionengestützte Beschichtungsverfahren unterscheidet sich von herkömmlichen plasma-ionengestützten Beschichtungsverfahren insbesondere dadurch, dass während eines Beschichtungsvorgangs

10 Plasmakenngrößen des mittels der Plasmaionenquelle 15 erzeugten Plasmas mittels Plasmasonden 21, 22, 23 erfasst werden.

Hierzu ist bei dem Ausführungsbeispiel der Figur 3 eine
15 Plasmasonde 23 in der Nähe der Plasmaionenquelle 15 angeordnet. Die Plasmasonde 23 weist einen Abstand von vorzugsweise nicht mehr als 10 cm von der Plasmaionenquelle 15 auf und wird daher im Folgenden als quellennahe Plasmasonde 23 bezeichnet. Die Plasmasonde 23 ist
20 vorzugsweise als Tripelsonde mit drei Elektroden ausgeführt. Eine solche Tripelsonde ist dem Fachmann an sich bekannt und wird daher nicht näher erläutert. Die bei dem hierin beschriebenen Verfahren benutzte Tripelsonde 23 wird im Vergleich zu herkömmlichen Tripelsonden vorteilhaft
25 vergleichsweise großflächig ausgeführt. Die großflächige Ausführung hat den Vorteil, dass ein Materialabtrag von der Plasmasonde 23 durch hochenergetische Ionen des Ionenstrahls 1 nur eine sehr geringe relative Veränderung der Fläche der Sonde durch Sputtern bewirkt. Die Plasmasonde 23 kann
30 beispielsweise als Zylindersonde mit einem Sondenradius r von 1 mm bis 5 mm oder als planare Sonde mit einer Dicke von typischerweise 0,1 mm bis 1 mm ausgeführt sein.

Weiterhin weist die Vakuumkammer 14 zwei Plasmasonden 21, 22 auf, die in der Nähe des Substrats 20 angeordnet sind und deshalb als substratnahe Plasmasonden bezeichnet werden. Die substratnahe Plasmasonde 21 ist wie die in Figur 1

5 dargestellte Plasmasonde 21 aufgebaut und dient insbesondere zur Messung der Energie- und/oder Ionenflussdichte des von der Plasmaionenquelle 15 erzeugten Ionenstrahls 1. Die weitere Plasmasonde 22 entspricht der in Figur 2 dargestellten Plasmasonde 22 und ist insbesondere dazu
10 vorgesehen, den Sättigungsstrom der Ionen des Hintergrundplasmas zu messen.

Es hat sich herausgestellt, dass die von den substratnahen Plasmasonden 21, 22 und die von der quellennahen Plasmasonde
15 23 erfassten Plasmakenngrößen miteinander korreliert sind. Beispiele für korrelierende Maßzahlen sind eine mittels der quellennahen Plasmasonde 23 bestimmte Leistung

$P_A = U_{fts} J_{sts}$ und eine mittels der substratnahen Plasmasonden 21, 22 bestimmte Leistung $P_S = P_B + P_N + P_I$, mit $P_B = (U_{fts} +$
20 $U_{mts} + U_{fs1}) J_{bi}$, $P_N = (U_{fts} + U_{mts}) J_{bn}$ und $P_I = U_{fs1} J_{pi}$.

Hierbei sind J_{sts} der Strahlionenstrom an der quellennahen Plasmasonde 23, U_{fts} die Floatingspannung der quellennahen Plasmasonde 23, U_{mts} die Spannung der quellennahen Plasmasonde 23 zu Masse, U_{fs1} die Floatingspannung der substratnahen
25 Plasmasonde 21, J_{bi} der Sättigungsstrom der Strahlionen an der substratnahen Plasmasonde 21, J_{bn} ein durch Neutralteilchen verursachter äquivalenter Strom an der substratnahen Plasmasonde 21 und J_{pi} der Sättigungsstrom der Plasmaionen an der substratnahen Plasmasonde 22. Dadurch,
30 dass die Größen P_A und P_S miteinander korreliert sind, kann eine Steuereinheit 25 jeweils die messtechnisch aufgrund der Signalstärke günstigere Größe als Steuergröße für den Beschichtungsprozess heranziehen.

Die von den Plasmasonden 21, 22, 23 erfassten Plasmakenngrößen werden von der Steuereinheit 25 der Beschichtungsanlage dazu verwendet, den Beschichtungsprozess zu steuern. In Verbindung mit weiteren Parametern des Beschichtungsprozesses (z.B. Entladungsspannung, Entladungsstrom, Biasspannung, Kathoden-Heizleistung, Magnetspulenstrom und Gasfluss der Plasmaionenquelle 15, Druck und Temperatur in der Vakuumkammer 14) können direkte Steuerungsgrößen für den lokalen Brechungsindex der Schicht 20 erhalten werden. Die von den Plasmasonden 21, 22 erfassten Plasmakenngrößen können insbesondere zur Feinabstimmung der weiteren Anlagenparameter verwendet werden, um die Schichteigenschaften wie insbesondere den Brechungsindex gezielt zu steuern.

Ein Zusammenhang zwischen den Steuerungsgrößen und den Schichteigenschaften wie insbesondere dem Brechungsindex kann durch eine angemessene Anzahl von Kalibrierungs-Beschichtungen ermittelt werden. Dies ermöglicht es insbesondere, Brechungsindexprofile nach Vorgabe mit einer wesentlich höheren Genauigkeit und Reproduzierbarkeit zu erzeugen, als dies bei einer Steuerung ohne eine direkte Messung von Plasmakenngrößen mittels der Plasmasonden 21, 22, 23 der Fall wäre.

In Figur 4 ist eine Abwandlung der in Figur 3 dargestellten Beschichtungsanlage für das plasma-ionengestützte Beschichtungsverfahren gemäß einem Ausführungsbeispiel dargestellt. Dieses Ausführungsbeispiel unterscheidet sich von dem Ausführungsbeispiel der Figur 3 dadurch, dass anstelle der substratnahen Plasmasonde 21 drei gleichartige Plasmasonden 21a, 21b, 21c in der Nähe des Substrats 19

angeordnet sind. Die substratnahen Plasmasonden 21a, 21b, 21c, 22 sind wie die in Figur 1 dargestellte Plasmasonde 21 aufgebaut, und die weitere substratnahe Plasmasonde 22 ist wie das in Figur 2 dargestellte Ausführungsbeispiel
5 aufgebaut.

Die drei gleichartigen Plasmasonden 21a, 21b, 21c dienen zur Messung der Energie- und/oder Ionenflussdichte des von der Plasmaionenquelle 15 erzeugten Ionenstrahls 1. Um diese für
10 die Beschichtung wichtige Plasmakenngröße an unterschiedlichen Positionen des Substrathalters 18 zu erfassen, sind die Plasmasonden 21a, 21b, 21c vorteilhaft in verschiedenen radialen Abständen von einer Hauptemissionsrichtung der Plasmaionenquelle 15 angeordnet.
15 Dies ist insbesondere dann vorteilhaft, wenn der Substrathalter 18 an verschiedenen Positionen mit Substraten 19 bestückt wird, um die Schichteigenschaften wie insbesondere den Brechungsindex gezielt anhand der an der jeweiligen Position ermittelten Plasmakenngrößen steuern zu
20 können.

Die Erfindung ist nicht durch die Beschreibung anhand der Ausführungsbeispiele beschränkt. Vielmehr umfasst die Erfindung jedes neue Merkmal sowie jede Kombination von
25 Merkmalen, was insbesondere jede Kombination von Merkmalen in den Patentansprüchen beinhaltet, auch wenn dieses Merkmal oder diese Kombination selbst nicht explizit in den Patentansprüchen oder Ausführungsbeispielen angegeben ist.

Patentansprüche

1. Plasma-ionengestütztes Beschichtungsverfahren,
bei dem
5 - in einer Vakuumkammer (14) mittels einer
Verdampfungsquelle (16) ein Dampfstrahl (17) eines
Beschichtungsmaterials erzeugt wird, der zur Abscheidung
einer Schicht (20) auf ein Substrat (19) gerichtet ist,
- während eines Beschichtungsvorgangs ein auf das
10 Substrat (19) gerichteter Ionenstrahl (1) zum
Energieeintrag in die Schicht (20) mittels einer
Plasmaionenquelle (15) erzeugt wird,
- mindestens eine Plasmakenngröße während des
Beschichtungsvorgangs mittels mindestens einer
15 Plasmasonde (21, 22, 23) bestimmt wird, und
- die gemessene Plasmakenngröße oder eine aus der
Plasmakenngröße berechnete Maßzahl von einer
Steuervorrichtung (25) zur Regelung des
Beschichtungsvorgangs verwendet wird.
20
2. Plasma-ionengestütztes Beschichtungsverfahren nach
Anspruch 1,
bei dem die Plasmakenngröße eine Energiedichte und/oder
eine Ionenflussdichte des Ionenstrahls (1) ist.
25
3. Plasma-ionengestütztes Beschichtungsverfahren nach
Anspruch 1 oder 2,
bei dem mehrere Plasmakenngrößen gemessen werden, wobei
die Plasmakenngrößen eine oder mehrere der folgenden
30 Größen umfassen: Energiedichte des Ionenstrahls (1),
Ionenflussdichte des Ionenstrahls (1), Flussdichte von
Ionen eines Hintergrundplasmas, Flussdichte von

Neutralteilchen.

4. Plasma-ionengestütztes Beschichtungsverfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
5 wobei eine quellennahe Plasmasonde (23) in einem Abstand von nicht mehr als 10 cm von einer Austrittsöffnung der Plasmaionenquelle (15) angeordnet ist.
- 10 5. Plasma-ionengestütztes Beschichtungsverfahren nach Anspruch 4,
wobei die quellennahe Plasmasonde (23) eine zylinderförmige Sonde mit einem Sondenradius zwischen 1 mm und 5 mm ist.
- 15 6. Plasma-ionengestütztes Beschichtungsverfahren nach Anspruch 4,
wobei die quellennahe Plasmasonde (23) eine planare Sonde mit einer SONDENDICKE zwischen 0,1 mm und 1 mm ist.
20
7. Plasma-ionengestütztes Beschichtungsverfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
wobei mindestens eine substratnahe Plasmasonde (21, 22) in einem vertikalen Abstand von nicht mehr als 10 cm von
25 dem Substrat (19) angeordnet ist.
8. Plasma-ionengestütztes Beschichtungsverfahren nach Anspruch 7,
wobei mehrere substratnahe Plasmasonden (21a, 21b, 21c)
30 in einem vertikalen Abstand von nicht mehr als 10 cm von dem Substrat (19) in verschiedenen radialen Abständen zu einer Hauptemissionsrichtung der Plasmaionenquelle (15)

angeordnet sind.

9. Plasma-ionengestütztes Beschichtungsverfahren nach Anspruch 7 oder 8,

5 wobei mindestens zwei substratnahe Plasmasonden (21, 22) verwendet werden, wobei mindestens eine substratnahe Plasmasonde (22) durch eine Blende (13) von dem Ionenstrahl (1) der Plasmaionenquelle (15) abgeschattet ist.

10

10. Plasmasonde (21, 22) zur Monitorierung eines plasma-ionengestützten Beschichtungsverfahrens, umfassend:
- eine elektrisch isolierende Grundplatte (2) mit einer Vorderseite (11) und einer Rückseite (12),
 - 15 - eine an der Rückseite (12) der Grundplatte (2) angeordnete elektrisch leitende Schicht (3),
 - einen mit der elektrisch leitenden Schicht (3) verbundenen Kontaktstift (5), der an der Rückseite (12) der Grundplatte (2) angeordnet ist und eine elektrisch
 - 20 isolierende Ummantelung (4) aufweist, und
 - ein an dem Kontaktstift (5) angeordnetes Verbindungsbauteil (6) zum elektrischen Anschluss und zur Befestigung der Plasmasonde (21, 22).

- 25 11. Plasmasonde nach Anspruch 10, wobei die Grundplatte (2) eine laterale Abmessung von 0,5 cm bis 10 cm aufweist.

12. Plasmasonde nach Anspruch 10 oder 11,
- 30 wobei die Grundplatte (2) eine Dicke von 1 mm bis 3 mm aufweist.

13. Plasmasonde nach einem der Ansprüche 10 bis 12,
wobei die Metallschicht (3) eine Dicke von weniger als
1 mm aufweist.
- 5 14. Plasmasonde nach einem der Ansprüche 10 bis 13,
wobei die Plasmasonde (22) eine auf der Vorderseite (11)
der Grundplatte (2) angeordnete isolierende Blende (13)
aufweist, welche die Grundplatte (2) seitlich überragt.
- 10 15. Plasmasonde nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
wobei die Blende (13) die Grundplatte (2) seitlich um
mindestens 0,1 mm bis 10 mm überragt.

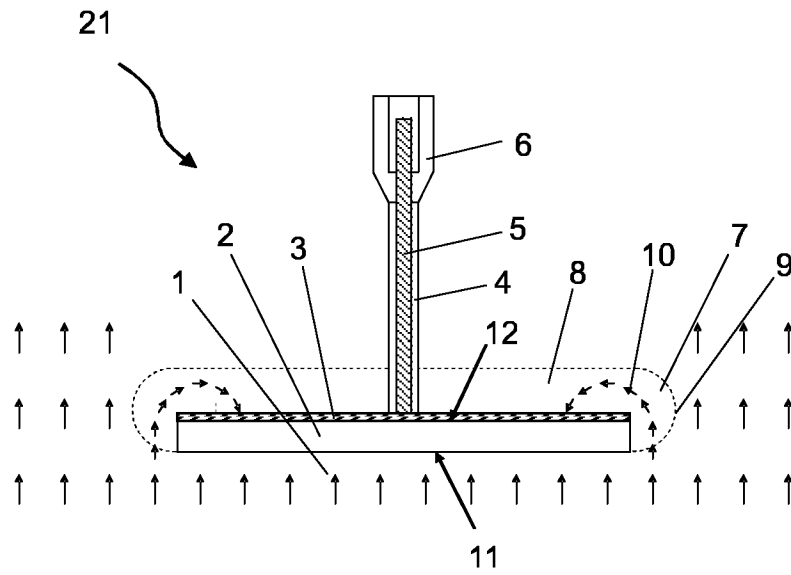


Fig. 1

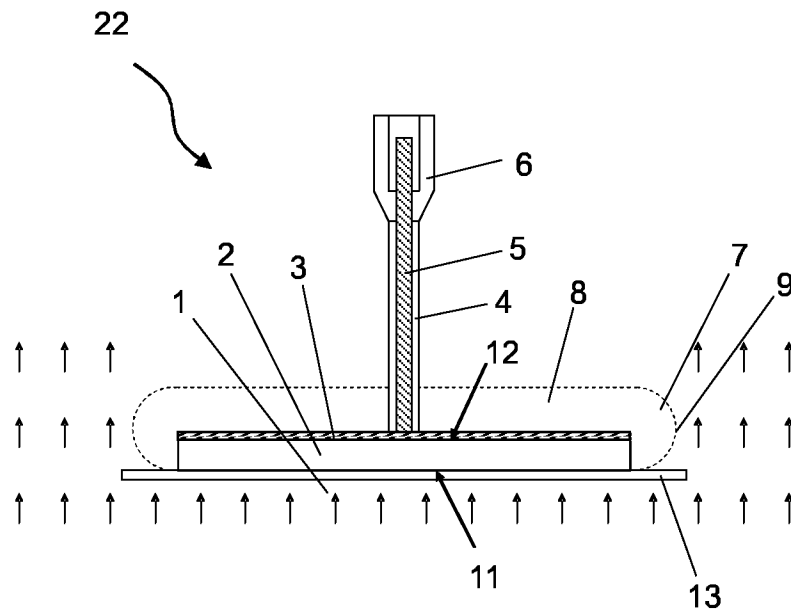


Fig. 2

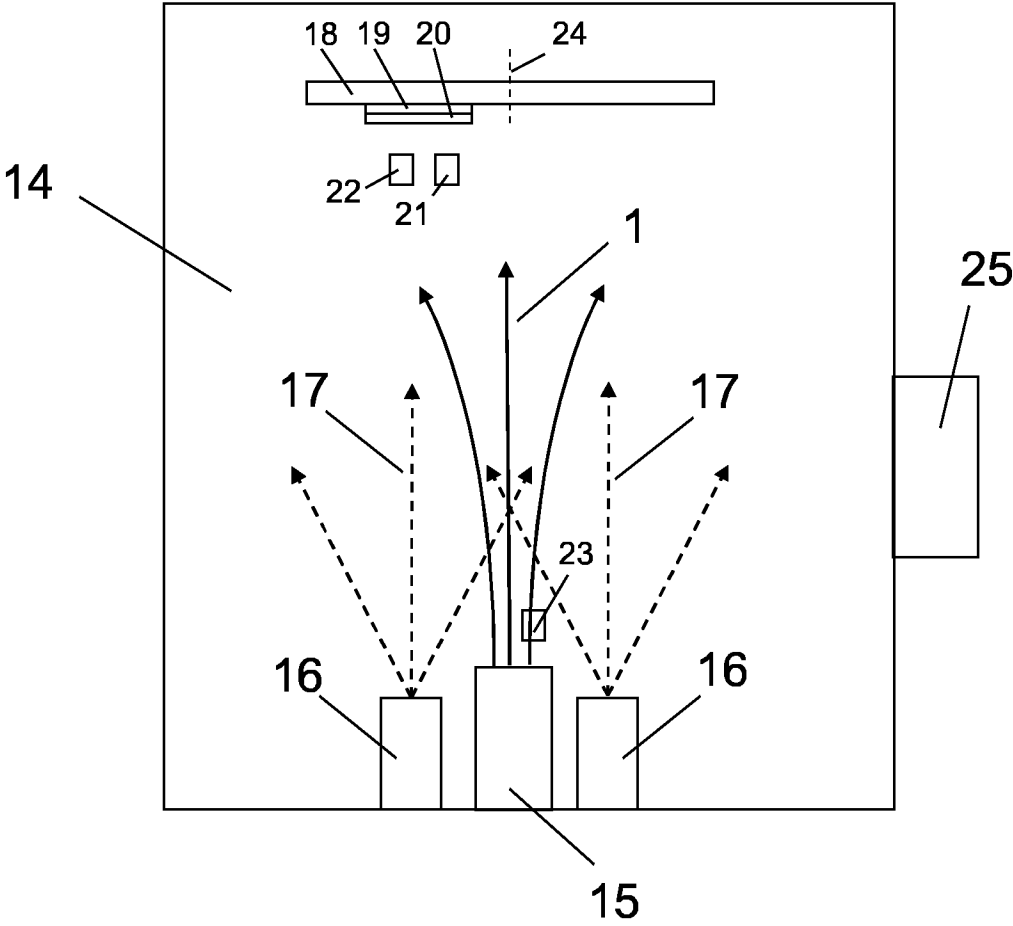


Fig. 3

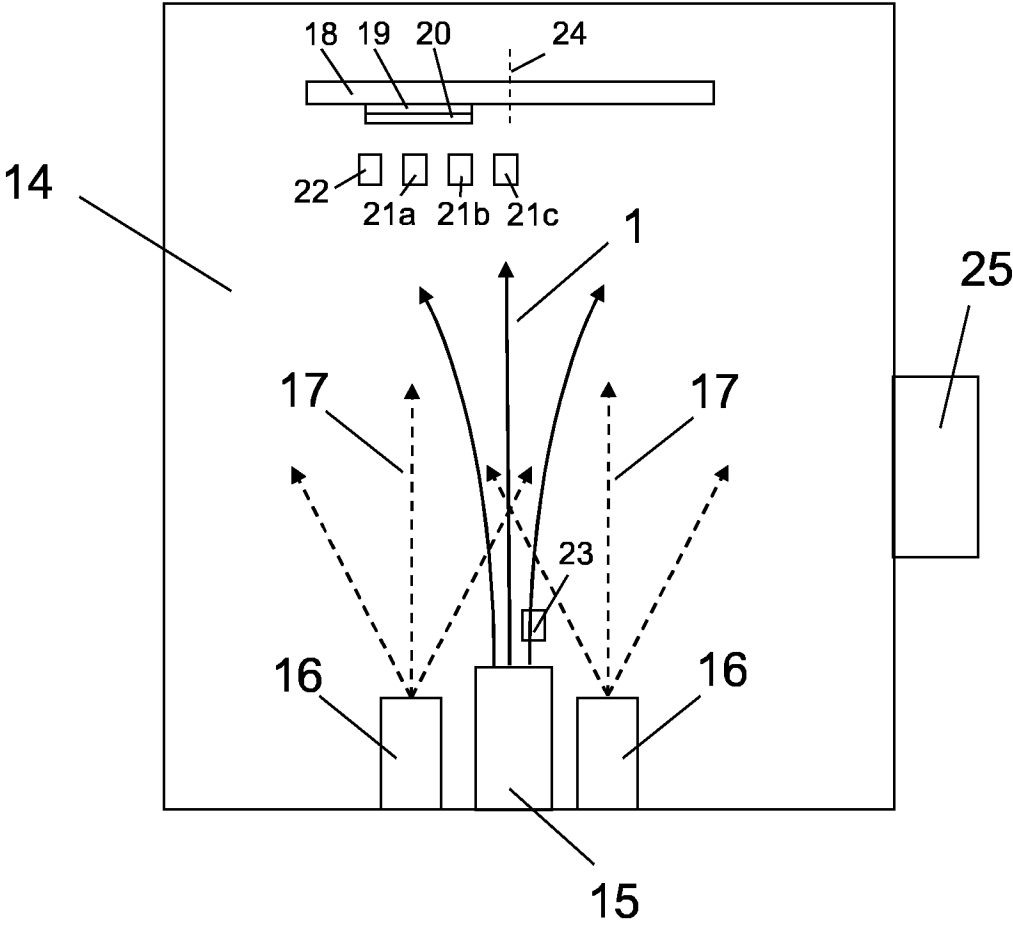


Fig. 4

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2014/070513

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
INV. H01J37/32 G01R19/00 H05H1/00
ADD.

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
G01R H05H H01J C23C

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

EPO-Internal, WPI Data, INSPEC

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	US 2004/258851 A1 (SELVAMANICKAM VENKAT [US] ET AL) 23 December 2004 (2004-12-23)	1,3-8
Y	figure 4 paragraph [0001] paragraph [0021] paragraph [0029] paragraph [0034] paragraph [0051] paragraph [0056] paragraph [0064]	2
X	----- EP 1 531 490 A1 (JAPAN SCIENCE & TECH AGENCY [JP]) 18 May 2005 (2005-05-18) figures 1,3, 13 paragraph [0021] paragraph [0025] - paragraph [0034] ----- -/-	10-13



Further documents are listed in the continuation of Box C.



See patent family annex.

* Special categories of cited documents :

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

28 November 2014

Date of mailing of the international search report

05/12/2014

Name and mailing address of the ISA/

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040,
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Hochstrasser, M

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2014/070513

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	US 2007/284246 A1 (KEIL DOUGLAS [US] ET AL) 13 December 2007 (2007-12-13) paragraph [0005] - paragraph [0006] paragraph [0036] -----	2
A	EP 2 521 158 A1 (IMEC [BE]) 7 November 2012 (2012-11-07) paragraph [0001] paragraph [0028] - paragraph [0029] -----	1-15
A	DE 40 20 158 A1 (LEYBOLD AG [DE]) 2 January 1992 (1992-01-02) cited in the application the whole document -----	1-15

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/EP2014/070513

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 2004258851 A1	23-12-2004	US 2004258851 A1 WO 2005002020 A2	23-12-2004 06-01-2005
EP 1531490 A1	18-05-2005	CN 1647252 A EP 1531490 A1 JP 3773189 B2 JP 2003318115 A KR 20040108751 A TW I256278 B US 2005194094 A1 WO 03092059 A1	27-07-2005 18-05-2005 10-05-2006 07-11-2003 24-12-2004 01-06-2006 08-09-2005 06-11-2003
US 2007284246 A1	13-12-2007	CN 101595238 A JP 5164978 B2 JP 5567613 B2 JP 2009540569 A JP 2012138366 A KR 20090028622 A TW 200806091 A US 2007284246 A1 US 2011022215 A1 WO 2007145801 A2	02-12-2009 21-03-2013 06-08-2014 19-11-2009 19-07-2012 18-03-2009 16-01-2008 13-12-2007 27-01-2011 21-12-2007
EP 2521158 A1	07-11-2012	EP 2521158 A1 JP 2012234817 A US 2012283973 A1	07-11-2012 29-11-2012 08-11-2012
DE 4020158 A1	02-01-1992	DE 4020158 A1 JP 3481953 B2 JP H04235276 A	02-01-1992 22-12-2003 24-08-1992

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
 INV. H01J37/32 G01R19/00 H05H1/00
 ADD.

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPC) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPC

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)
 G01R H05H H01J C23C

Recherchierte, aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

EPO-Internal, WPI Data, INSPEC

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	US 2004/258851 A1 (SELVAMANICKAM VENKAT [US] ET AL) 23. Dezember 2004 (2004-12-23)	1,3-8
Y	Abbildung 4	2
	Absatz [0001]	
	Absatz [0021]	
	Absatz [0029]	
	Absatz [0034]	
	Absatz [0051]	
	Absatz [0056]	
	Absatz [0064]	

X	EP 1 531 490 A1 (JAPAN SCIENCE & TECH AGENCY [JP]) 18. Mai 2005 (2005-05-18)	10-13
	Abbildungen 1,3, 13	
	Absatz [0021]	
	Absatz [0025] - Absatz [0034]	

	-/-	



Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen



Siehe Anhang Patentfamilie

* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

"A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist

"E" frühere Anmeldung oder Patent, die bzw. das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist

"L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)

"O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht

"P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

"T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

"X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden

"Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

"&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

28. November 2014

Absendedatum des internationalen Recherchenberichts

05/12/2014

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde

Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2
 NL - 2280 HV Rijswijk
 Tel. (+31-70) 340-2040,
 Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Hochstrasser, M

C. (Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
Y	US 2007/284246 A1 (KEIL DOUGLAS [US] ET AL) 13. Dezember 2007 (2007-12-13) Absatz [0005] - Absatz [0006] Absatz [0036] -----	2
A	EP 2 521 158 A1 (IMEC [BE]) 7. November 2012 (2012-11-07) Absatz [0001] Absatz [0028] - Absatz [0029] -----	1-15
A	DE 40 20 158 A1 (LEYBOLD AG [DE]) 2. Januar 1992 (1992-01-02) in der Anmeldung erwähnt das ganze Dokument -----	1-15

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2014/070513

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument			Datum der Veröffentlichung		Mitglied(er) der Patentfamilie		Datum der Veröffentlichung	
US 2004258851	A1	23-12-2004	US	2004258851	A1	23-12-2004		
			WO	2005002020	A2	06-01-2005		

EP 1531490	A1	18-05-2005	CN	1647252	A	27-07-2005		
			EP	1531490	A1	18-05-2005		
			JP	3773189	B2	10-05-2006		
			JP	2003318115	A	07-11-2003		
			KR	20040108751	A	24-12-2004		
			TW	I256278	B	01-06-2006		
			US	2005194094	A1	08-09-2005		
			WO	03092059	A1	06-11-2003		

US 2007284246	A1	13-12-2007	CN	101595238	A	02-12-2009		
			JP	5164978	B2	21-03-2013		
			JP	5567613	B2	06-08-2014		
			JP	2009540569	A	19-11-2009		
			JP	2012138366	A	19-07-2012		
			KR	20090028622	A	18-03-2009		
			TW	200806091	A	16-01-2008		
			US	2007284246	A1	13-12-2007		
			US	2011022215	A1	27-01-2011		
			WO	2007145801	A2	21-12-2007		

EP 2521158	A1	07-11-2012	EP	2521158	A1	07-11-2012		
			JP	2012234817	A	29-11-2012		
			US	2012283973	A1	08-11-2012		

DE 4020158	A1	02-01-1992	DE	4020158	A1	02-01-1992		
			JP	3481953	B2	22-12-2003		
			JP	H04235276	A	24-08-1992		
