

(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
20. September 2012 (20.09.2012)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2012/123530 A1

(51) Internationale Patentklassifikation:

C23C 4/12 (2006.01) B05B 7/22 (2006.01)
C23C 8/36 (2006.01) H05H 1/26 (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2012/054530

(22) Internationales Anmeldedatum:
15. März 2012 (15.03.2012)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
10 2011 001 312.1 16. März 2011 (16.03.2011) DE
10 2011 001 982.0
12. April 2011 (12.04.2011) DE

(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme
von US): REINHAUSEN PLASMA GMBH [—/DE];
Weidener Straße 16, 93057 Regensburg (DE). ECKART
GMBH [—/DE]; Günterstal 4, 91235 Hartenstein (DE).

(72) Erfinder; und

(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): BISGES, Michael
[DE/DE]; Laberstr. 40a, 93161 Sinzing (DE).
WOLFRUM, Christian [DE/DE]; Doris-Ruppenstein-
Straße 9, 91056 Erlangen (DE). GREB, Marco [DE/DE];
Dürichweg 4, 63571 Gelnhausen (DE). RUPPRECHT,
Markus [DE/DE]; Eichenweg 9, 92265 Edelsfeld (DE).

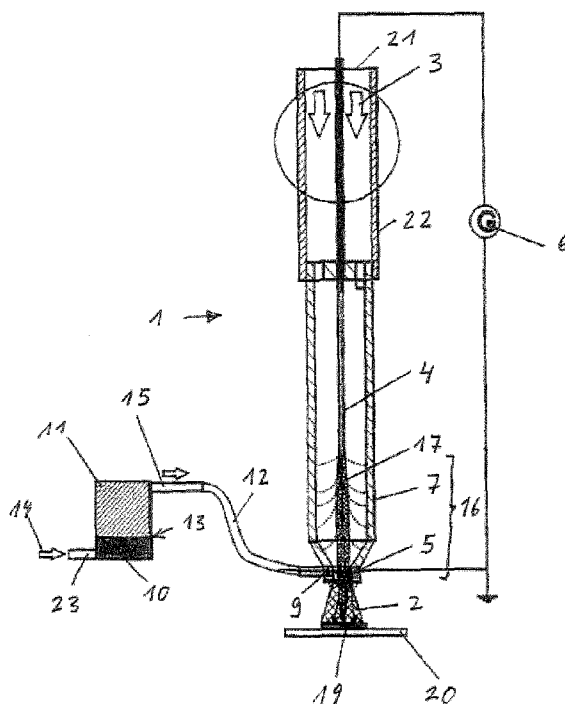
(74) Anwalt: REICHERT, Werner; Bismarckplatz 8, 93047
Regensburg (DE).

(81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für
jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL,
AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, 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, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP,
KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD,
ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI,
NO, NZ, OM, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW,
SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM,

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: COATING, AND METHOD AND DEVICE FOR COATING

(54) Bezeichnung : BESCHICHTUNG SOWIE VERFAHREN UND VORRICHTUNG ZUM BESCHICHTEN



Figur 1

(57) Abstract: The invention relates to a method and a device for applying a coating to a substrate (20), wherein a plasma jet (2) of a low-temperature plasma is produced by conducting a working gas (3) through an excitation zone. The plasma jet is directed at the substrate (20), and plate-shaped particles (10) having an average thickness (H) between 10 and 50,000 nanometers and a shape factor (F) in a value range from 10 to 2000 are fed into the plasma jet (2). The plate-shaped particles are fed into the plasma jet (2) by means of a carrier gas (14). The plasma jet (2) is produced by exciting the working gas (3) by means of an alternating voltage or a pulsed direct voltage.

(57) Zusammenfassung: Es ist ein Verfahren und eine Vorrichtung zum Aufbringen einer Beschichtung auf ein Substrat (20) offenbart. Bei dem durch Hindurchleiten eines Arbeitsgases (3) durch eine Anregungszone wird ein Plasmastrahl (2) eines Niedertemperaturplasmas erzeugt. Der Plasmastrahl wird auf das Substrat (20) gerichtet und in den Plasmastrahl (2) werden plättchenförmige Partikel (10) mit einer mittleren Dicke (H) zwischen 10 und 50.000 Nanometer und einem Formfaktor (F) in dem Wertebereich von 10 bis 2000 eingespeist. Die Einspeisung in den Plasmastrahl (2) erfolgt mit Hilfe eines Trägergases (14). Der Plasmastrahl (2) wird durch Anregung des Arbeitsgases (3) mittels einer Wechselspannung oder einer gepulsten Gleichspannung erzeugt.



TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

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, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

(84) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), europäisches (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE,

Veröffentlicht:

— mit internationalem Recherchenbericht (Artikel 21 Absatz 3)

BESCHICHTUNG SOWIE VERFAHREN UND VORRICHTUNG ZUM BESCHICHTEN

- 5 Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung zum Aufbringen einer Beschichtung auf ein Substrat, bei dem bzw. bei der durch Hindurchleiten eines Arbeitsgases durch eine Anregungszone ein Plasmastrahl eines Niedertemperaturplasmas erzeugt wird.

- Außerdem betrifft die Erfindung eine Beschichtung auf einem Substrat aus
10 wenigstens teilweise miteinander verwachsenen plättchenförmigen Partikeln sowie die Verwendung von plättchenförmigen Partikeln.

- Die Erzeugung von Schichten auf Substraten ist seit langem bekannt und von hohem wirtschaftlichen Interesse. Es wird eine Vielzahl von unterschiedlichen Verfahren eingesetzt, die teilweise verfahrenstechnisch reduzierten Druck,
15 sehr hohe Gasgeschwindigkeiten oder hohe Temperaturen bedingen.

- Ein bekanntes Verfahren ist das Plasmaspritzen, bei dem ein durch einen Lichtbogen eines Plasmabrenners strömendes Gas oder Gasgemisch ionisiert wird. Bei der Ionisation wird ein hoch aufgeheiztes, elektrisch leitendes Gas mit einer Temperatur von bis zu 20.000 K erzeugt. In diesen Plasmastrahl wird
20 Pulver, üblicherweise in einer Kornverteilung zwischen 5 bis 120 µm eingedüst, das durch die hohe Plasmatemperatur aufgeschmolzen wird. Der Plasmastrahl reißt die Pulverpartikel mit und bringt sie auf das zu beschichtende Substrat auf. Die Plasmabeschichtung im Wege des Plasmaspritzens kann unter normaler Atmosphäre erfolgen.

- 25 Die hohen Gastemperaturen von über 10.000 °C sind erforderlich, um das Pulver aufzuschmelzen und somit als Schicht abscheiden zu können. Demnach ist das

Plasmaspritzen energetisch sehr aufwendig, wodurch eine kostengünstige Beschichtung von Substraten oftmals nicht möglich ist. Zudem müssen zur Erzeugung der hohen Temperaturen aufwendige Apparate verwendet werden. Aufgrund der hohen Temperaturen können temperaturempfindliche und/oder sehr dünne Substrate, wie Polymerfolien und/oder Papier, nicht beschichtet werden. Durch die hohe thermische Energie kommt es bei derartigen Substraten zu Beschädigungen. Teilweise sind aufwendige Vorbehandlungsschritte notwendig, um eine ausreichende Haftung der abgeschiedenen Schichten auf der Oberfläche zu gewährleisten. Nachteilig ist außerdem, dass es beim Plasmaspritzen zu einer hohen thermischen Belastung der verwendeten Partikel kommt, wodurch diese, insbesondere bei der Verwendung von metallischen Partikeln, zumindest teilweise oxidieren können. Dies ist im Besonderen nachteilig, wenn metallische Schichten abgeschieden werden sollen, die zum Beispiel für Leiterbahnen oder als Korrosionsschutz verwendet werden sollen.

Aus diesen Gründen wurden Verfahren entwickelt, welche ein so genanntes atmosphärisches kaltes Plasma, auch als Niedertemperaturplasma bezeichnet, nutzen, um Schichten auf Substraten zu erzeugen. Bei den Verfahren wird über dem Fachmann bekannte Verfahren ein kalter Plasmastrahl bei atmosphärischen Bedingungen erzeugt und in den Plasmastrahl ein Pulver eingebracht, welches anschließend auf dem Substrat abgeschieden wird.

Aus der EP 1 230 414 B1 ist ein gattungsgemäßes Verfahren zum Aufbringen einer Beschichtung auf ein Substrat bekannt, bei dem durch Hindurchleiten des Arbeitsgases durch eine Anregungszone ein Plasmastrahl eines Niedertemperaturplasmas unter atmosphärischen Bedingungen erzeugt wird. In den Plasmastrahl wird getrennt von dem Arbeitsgas ein aus monomeren Verbindungen bestehendes Precursormaterial eingespeist. Bei empfindlichen Precursormaterialien kann die Einspeisung in den verhältnismäßig kühlen Plasmastrahl stromabwärts der Anregungszone erfolgen. Hierdurch ist eine Beschichtung des Substrates mit Precursormaterialien, die nur bei Temperaturen bis zu 200 Grad Celsius oder weniger stabil sind, möglich.

Nachteilig an diesem Verfahren ist es, dass monomere Verbindungen als Precursormaterial in ein Plasma eingespeist und dort zur Reaktion gebracht werden, wodurch nur relativ niedrige Abscheideraten von 300 – 400 nm/sec erreichbar sind. Diese sind gegenüber den Abscheideraten, die in entsprechenden
5 Verfahren mit pulverförmigen Ausgangsmaterialien erreicht werden, sogar bei der Verwendung von Partikeln, die in einer Größenordnung von 100 µm vorliegen, um den Faktor 10-1000 niedriger. Demnach ist eine wirtschaftliche Beschichtung im industriellen Maßstab mit diesem Verfahren nicht möglich.

Aus der EP 1 675 971 B1 ist ein weiteres Verfahren zur Beschichtung einer
10 Substratoberfläche unter Verwendung eines Plasmastrahls eines Niedertemperaturplasmas bekannt, dem ein feinkörniges, die Beschichtung bildendes Pulver in einer Größe von 0,001 - 100 µm mittels eines Pulverförderers zugeführt wird. Abweichend von den thermischen Plasmen erreicht die Temperatur eines Niedertemperaturplasmas im Kern des Plasmastrahls bei Umgebungsdruck
15 weniger als 900 Grad Celsius. Für thermische Plasmen werden in der EP 1 675 971 B1 indes Temperaturen im Kern des auftretenden Plasmastrahls von bis zu 20.000 Grad Celsius angegeben.

Nachteilig ist, dass Pulver aus Materialien mit höheren Schmelzpunkten, z.B. keramische Materialien oder hochschmelzende Metalle, nicht im Prozess
20 aufgeschmolzen werden können. Die Geschwindigkeit des Plasmastrahls ist so hoch, dass die Aufenthaltszeit der kleinen Partikel des Pulvers in den heißen Zonen des Plasmas nicht ausreicht, um eine vollständige Durchschmelzung der Partikel zu erreichen. Bei Materialien mit erhöhter Schmelztemperatur (z.B. Ag, Cu, Ni, Fe, Ti, W) kommt es daher allenfalls an der Partikeloberfläche zur Aufschmelzungen und
25 es bildet sich eine poröse Schicht in der die Partikel nahezu in ihrer Ausgangsdimension aneinander haften. Das Verfahren eignet sich daher in erster Linie zum Beschichten von Substraten mit niedrig schmelzenden Metallen wie Zinn und Zink.

Aufgabe der Erfindung ist es, ein gattungsgemäßes Verfahren zum Aufbringen
30 einer Beschichtung auf ein Substrat zu schaffen, bei dem die benötigte

Reaktionsenergie, insbesondere zum Aufschmelzen, Aufbrechen von Atom- oder Molekülverbänden, Deagglomerieren und Atomisieren von Beschichtungsmaterialien reduziert wird, so dass eine einwandfreie Beschichtung insbesondere auch mit Beschichtungsmaterialien mit höheren

- 5 Schmelztemperaturen möglich ist. Ferner soll eine vorteilhafte Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens und eine durch das Verfahren herstellbare Beschichtung angegeben werden.

- Die Aufgabe wird bei einem Verfahren der eingangserwähnten Art dadurch gelöst, dass in den auf das Substrat gerichteten Plasmastrahl plättchenförmige Partikel mit
10 einer mittleren Dicke H zwischen 10 und 50.000 Nanometer und einem Formfaktor F in dem Wertebereich von 10 bis 2000 eingespeist werden.

Die plättchenförmigen Partikel weisen unabhängig vom Material vorzugsweise eine mittlere Dicke H zwischen 50 - 5.000 nm, besonders bevorzugt zwischen 100 - 2.000 nm auf.

- 15 Die Bestimmung der exakten mittleren Dicke H der 10 plättchenförmigen Partikel erfolgt über den Wasserbedeckungsgrad (Spreitung nach DIN 55923) und/oder durch eine Rasterelektronenmikroskopie (REM).

- Unterhalb einer mittleren Dicke H der plättchenförmigen Partikel von 10 nm ist eine einwandfreie Abscheidung von Partikeln mittels des Plasmastrahls nicht mehr
20 gewährleistet. Sofern deckende Beschichtungen angestrebt werden, vermindert sich aufgrund der zunehmenden Transparenz der derart dünnen plättchenförmigen Partikel die Deckkraft der Beschichtung. Der Formfaktor ist definiert als das Verhältnis der mittleren Längenausdehnung D zur mittleren Dicke H der plättchenförmigen Partikel. Werden in dem erfindungsgemäßen Verfahren
25 plättchenförmiger Partikel mit einer mittleren Dicke H von 10 nm und einem Formfaktor 10 eingesetzt, weisen die Partikel einen Wert für die mittlere Längenausdehnung D von 0,1 μm auf. Werden in dem erfindungsgemäßen Verfahren plättchenförmiger Partikel mit einer mittleren Dicke H von 50.000 nm und einem Formfaktor 10 eingesetzt, weisen die Partikel einen Wert für die mittlere

Längenausdehnung D von 500 μm auf. Die angestrebte mittlere Längenausdehnung der Partikel hängt stark von dem jeweiligen Beschichtungszweck ab. Über einen hohen Formfaktor bei gleichzeitig möglichst geringer mittlerer Dicke H lässt sich eine bessere Orientierung der auf dem Substrat abgeschiedenen plättchenförmigen Partikel gewährleisten. Dies ist insbesondere bei Farbbeschichtungen von Oberflächen von Interesse.

Die Einspeisung der plättchenförmigen Partikel in den Plasmastrahl, insbesondere über die unmittelbar benachbart zu dem Auslass für den Plasmastrahl angeordnete Einspeise-Öffnung eines Strahlgenerators, braucht nicht notwendigerweise im gasförmigen Zustand zu erfolgen, sondern kann auch im flüssigen oder festen Zustand durchgeführt werden. Besonders vorteilhaft erfolgt die Einspeisung der plättchenförmigen Partikel jedoch mittels eines Trägergases für die plättchenförmigen Partikel. Zur Erzeugung des Gemisches aus den plättchenförmigen Partikeln und dem Trägergas ist die Einspeiseöffnung des Strahlgenerators über eine Leitung mit einer Wirbelkammer verbunden. Die Wirbelkammer ist als geschlossener Behälter aufgeführt und höchstens bis zu einem maximalen Füllstand mit den plättchenförmigen Partikeln befüllt. Die plättchenförmigen Partikel werden über mindestens einen Gaseinlass mit einem unter Überdruck stehenden Trägergas, insbesondere in einer periodischen Folge beaufschlagt, wodurch die aufgewirbelten plättchenförmigen Partikel zusammen mit dem Trägergas als Gemisch über mindestens einen oberhalb des maximalen Füllstandes der Wirbelkammer angeordneten Auslass aus dem Behälter in Richtung der Einspeiseöffnung des Strahlgenerators strömen. Die periodische Beaufschlagung der plättchenförmigen Partikel in der Wirbelkammer mit dem Trägergas erfolgt mit einer Frequenz im Bereich von 1 Hz bis 100 Hz. Insbesondere werden die Partikel zeitlich aufeinander folgend über mehrere Gaseinlässe mit dem Trägergas beaufschlagt. Der bzw. die Gaseinlässe können unmittelbar in dem üblicherweise vorhandenen Vorrat plättchenförmiger Partikel münden. Neben dieser bevorzugten unmittelbaren Einblasung des Trägergases in die Partikel ist es jedoch auch möglich, den bzw. die Gaseinlässe oberhalb des maximalen Füllstandes der Partikel in der Wirbelkammer anzuordnen, so dass das Trägergas auf die

Oberfläche der Partikel trifft.

Der Plasmastrahl wird unter einem Druck in einem Druckbereich von 0,5 - 1,5 bar erzeugt, vorzugsweise jedoch unter den Bedingungen des Umgebungsdrucks. Man spricht auch von einem atmosphärischen Plasma.

- 5 Völlig überraschend zeigte sich, dass bei der Verwendung von plättchenförmigen Partikeln Schichten mit herausragenden Eigenschaften auch mit Metallen mit höherem Schmelzpunkt und Nicht-Metallen erzeugbar sind. Die höhere spezifische Oberfläche von plättchenförmigen Partikeln im Vergleich zu sphärischen Partikeln ist vermutlich für die sehr guten Eigenschaften
- 10 verantwortlich.

Mit spezifischer Oberfläche wird dabei die auf die Masse bezogene äußere Oberfläche bezeichnet, die die Oberfläche pro Kilogramm der plättchenförmigen Partikel beschreibt und wie folgt definiert ist:

$$S_M = \frac{\text{Oberfläche}}{\text{Masse}} \left[\frac{m^2}{kg} \right]$$

- 15 Für eine ideale Kugel mit dem Partikeldurchmesser d_p ergibt sich demnach für die spezifische Oberfläche

$$S_M = \frac{6}{d_p \times \rho} \left[\frac{m^2}{kg} \right]$$

- Es ist in der Literatur bekannt, dass sich Nanopartikel durch einen reduzierten Schmelzpunkt gegenüber dem Makromaterial auszeichnen. Solche Nanopartikel
- 20 haben im Verhältnis zu ihrem Volumen eine sehr große Oberfläche. Das heißt, dass bei ihnen weit mehr Atome an der Oberfläche liegen als bei größeren Partikeln. Da Atome an der Oberfläche weniger Bindungspartner zur Verfügung stehen, als Atomen im Kern des Partikels, sind solche Atome sehr reaktiv. Aus diesem Grund können sie mit Partikeln in ihrer nächsten Umgebung wesentlich stärker in

Wechselwirkung treten, als dies bei Makropartikeln der Fall ist. Die in der Erfindung verwendeten plättchenförmigen Partikel weisen im Vergleich zu massengleichen sphärischen Partikeln eine deutlich erhöhte Oberfläche auf. Die Oberfläche eines kugelförmigen Partikels mit einem Radius von 1 μm ist gegenüber einem
5 massegleichen plättchenförmigen Partikel mit einer Dicke von 0,01 μm um den Faktor 30 größer. Da im Wesentlichen die Oberfläche der Partikel mit dem Plasma reagiert, wird derzeit angenommen, dass sich durch diese vergrößerte Oberfläche ein deutlich besseres Aufschmelzverhalten der Partikel ergibt.

10 Dadurch können auch höher schmelzende Metalle und keramische Partikel mit dem erfindungsgemäßen Verfahren in atmosphärischen Niedertemperatur-Plasmen mit niedriger Energie geschmolzen und auf Oberflächen als Schicht abgeschieden werden.

Die vergrößerte Oberfläche der plättchenförmigen Partikel verbessert die Bindung zwischen den abgeschiedenen Partikeln untereinander sowie zwischen den Partikeln
15 und dem Substrat.

Ein weiterer Vorteil der plättchenförmigen Partikel besteht darin, dass deren spezifisch größere Oberfläche gegenüber massengleichen sphärischen Partikeln das zu beschichtende Substrat effizienter abdeckt. Insbesondere bei deckenden Beschichtungen lässt sich daher das Beschichtungsverfahren mit weniger
20 Beschichtungsmaterial durchführen.

Die Verwendung plättchenförmiger Partikel erhöht darüber hinaus die Prozesssicherheit, in dem die bei sehr feinen sphärischen Partikeln auftretende Explosionsgefahr gemindert wird. Aus der Plättchenform der Partikel resultiert darüber hinaus eine bessere Förderfähigkeit der Partikel in dem Plasmastrahl.

25 Unterhalb einer mittleren Dicke H der plättchenförmigen Partikel von 10 nm ist eine einwandfreie Abscheidung von Partikeln mittels des Plasmastrahls nicht mehr gewährleistet. Sofern deckende Beschichtungen angestrebt werden, vermindert sich aufgrund der zunehmenden Transparenz der derart dünnen plättchenförmigen

Partikel die Deckkraft der Beschichtung.

Der Formfaktor ist definiert als das Verhältnis der mittleren Längenausdehnung D zur mittleren Dicke H der plättchenförmigen Partikel. Werden in dem erfindungsgemäßen Verfahren plättchenförmiger Partikel mit einer mittleren Dicke H von 10 nm und
5 einem Formfaktor 10 eingesetzt, weisen die Partikel einen Wert für die mittlere Längenausdehnung D von 0,1 μm auf. Werden in dem erfindungsgemäßen Verfahren plättchenförmige Partikel mit einer mittleren Dicke H von 50.000 nm und einem Formfaktor 10 eingesetzt, weisen die Partikel einen Wert für die mittlere Längenausdehnung D von 500 μm auf.

- 10 Die angestrebte mittlere Längenausdehnung der Partikel hängt stark von dem jeweiligen Beschichtungszweck ab. Über einen hohen Formfaktor bei gleichzeitig möglichst geringer mittlerer Dicke H lässt sich eine bessere Orientierung der auf dem Substrat abgeschiedenen plättchenförmigen Partikel gewährleisten. Dies ist insbesondere bei Farbbeschichtungen von Oberflächen von Interesse.
- 15 Die Dickenverteilung stellt einen wichtigen Parameter zur Charakterisierung von erfindungsgemäßen plättchenförmigen Partikeln dar. Zur Bestimmung der Dickenverteilung existieren im Stand der Technik keine Messgeräte die diesen Wert einfach ermitteln können. Eine Bestimmung erfolgt daher standardmäßig durch die Bestimmung der Dicke einer statistisch ausreichend großen Anzahl
20 plättchenförmiger Partikel mit einem REM - (Rasterelektronen Mikroskop); üblicherweise werden etwa 50 bis 100 Partikel vermessen. Dazu werden die Partikel beispielsweise in einem Lack dispergiert und dieser anschließend auf eine Folie appliziert. Die mit dem plättchenförmigen Partikel enthaltenden Lack beschichtete Folie wird anschließend mit einem geeigneten Werkzeug geschnitten,
25 so dass der Schnitt durch den Lack verläuft. Anschließend wird die präparierte Folie so in das REM eingebracht, dass die Beobachtungsrichtung senkrecht auf die Schnittfläche gerichtet ist. Auf diese Weise werden die Partikel zu ihrem großen Teil von der Seite betrachtet, so dass ihre Dicke einfach bestimmt werden kann. Die Bestimmung erfolgt dabei standardmäßig über die Markierung der entsprechenden
30 Begrenzungen mittels eines geeigneten Werkzeugs wie die den REM-Geräten vom

Hersteller standardmäßig beigelegten Software Pakete. Beispielsweise kann die Bestimmung mittels eines REM Gerätes der Leo Serie des Herstellers Zeiss (Deutschland) und der Software Axiovision 4.6 (Zeiss, Deutschland) erfolgen. Die Dickenverteilung der plättchenförmigen Partikel ist nicht homogen. Die

5 Dickenverteilung wird zweckmäßiger Weise in Form einer Summendurchgangskurve dargestellt. Als Mittelwert bietet sich der h_{50} -Wert der Dickensummendurchgangskurve an. Er besagt, dass 50 % aller Partikel eine Dicke gleich diesem Wert und/oder unterhalb dieses Wertes besitzen. Alternativ kann die Dickenverteilung auch mit dem H_{10} oder H_{90} Wert

10 beschrieben werden.

Die plättchenförmigen Partikel werden vorzugsweise mit Hilfe eines Trärgases in den Plasmastrahl eingespeist. Die Einspeisung der plättchenförmigen Partikel in den Plasmastrahl muss jedoch nicht zwingend im gasförmigen Zustand erfolgen, sondern kann auch im flüssigen oder festen

15 Zustand. Der Volumenstrom des Trärgases liegt bevorzugt in einem Bereich von 1 l/min bis 15 l/min und der Druck in einem Bereich zwischen 0,5 bar bis 2 bar.

Ein homogenes Einspeisen der plättchenförmigen Partikel in eine Kernzone des Plasmastrahls mit einer Gastemperatur von weniger als 900 Grad Celsius

20 erfolgt vorzugsweise quer zur Ausbreitungsrichtung des Plasmastrahls.

Solche plättchenförmigen Partikel können durch verschiedene Verfahren hergestellt werden. Je nachdem, ob es sich um metallische oder nicht-metallische Materialien, wie beispielsweise keramische oder oxidische Materialien handelt, können unterschiedliche Verfahren zur Herstellung eingesetzt werden

25 Die Herstellung metallischer plättchenförmiger Partikel erfolgt vorzugsweise durch mechanische Verformung von Pulvern, insbesondere Metallpulvern. Die mechanische Verformung erfolgt üblicherweise in Mühlen, insbesondere in Rührwerkskugelmühlen, Kollermühlen, Trommelkugelmühlen, Drehrohrkugelmühlen, etc.

Die mechanische Verformung erfolgt in der Regel durch Nassvermahlung, d.h. durch Vermahlung des Pulvers zusammen mit Lösemittel, insbesondere organischem Lösemittel wie Testbenzin, und in Gegenwart von Schmiermitteln bzw. Netz- und/oder Dispergieradditiven wie z.B. Ölsäure, Stearinsäure etc.. Die Vermahlung erfolgt in Gegenwart von Mahlkörpern, üblicherweise von Mahlkugeln, wobei der Kugeldurchmesser üblicherweise in einem Bereich von 0,1 bis 10 mm, bevorzugt von 0,2 bis 4,0 mm, liegt. Die Mahlkörper sind in der Regel aus Keramik, Glas oder Metall, wie z.B. Stahl. Vorzugsweise werden als Mahlkörper Stahlkugeln verwendet. Eine solche Verformung ist beispielsweise in der DE 10 2007 062 942 A1 beschrieben, deren Inhalt hiermit unter Bezugnahme aufgenommen ist.

Um erfindungsgemäße metallische plättchenförmige Partikel zu erhalten, wird vorzugsweise das eingesetzte Pulver größenklassiert und dieses sodann unter Erhalt von plättchenförmigen Partikeln in einer Größenverteilung mit einem D50-Wert aus einem Bereich von 0,5 bis 200 μm mechanisch verformt. Die Klassierung kann beispielsweise mit Windsichtern, Zyklonen, Sieben und/oder anderen bekannten Einrichtungen durchgeführt werden.

Bei dieser Methode können die Metallpartikel in Form einer Dispersion von Partikeln vermessen werden. Die Streuung des eingestrahnten Laserlichtes wird in verschiedenen Raumrichtungen erfasst und gemäß der Fraunhofer Beugungstheorie mittels der in Verbindung mit dem CILAS-Gerät gemäß Herstellerangaben ausgewertet. Dabei werden die Partikel rechnerisch als Kugeln behandelt. Somit beziehen sich die ermittelten Durchmesser stets auf den über alle Raumrichtungen gemittelte Äquivalentkugeldurchmesser, unabhängig von der tatsächlichen Form der Metallpartikel. Es wird die Größenverteilung ermittelt, die in Form eines Volumenmittels (bezogen auf den Äquivalentkugeldurchmesser) berechnet wird. Diese volumengemittelte Größenverteilung kann u.a. als Summendurchgangskurve dargestellt werden. Die Summendurchgangskurve wiederum wird meist vereinfachend durch bestimmte Kennwerte charakterisiert, z. B. den D50- oder D90-Wert. Unter einem D90-Wert wird verstanden, dass 90% aller Partikel unter dem angegebenen Wert liegen. Anders ausgedrückt, liegen 10% aller

Partikel oberhalb des angegebenen Wertes. Bei einem D50-Wert liegen 50% aller Partikel unter und 50% aller Partikel oberhalb des angegebenen Wertes.

Gemäß einer weiteren Ausführungsform der Erfindung kann das Pulver, zunächst vermahlen und sodann größenklassiert werden, um die erfindungsgemäßen
5 plättchenförmigen Partikel mit einer Größenverteilung mit einem D50-Wert aus einem Bereich von 1 bis 150 µm zu erhalten. Nach einer weiter bevorzugten Ausführungsform beträgt die Größenverteilung zwischen 1,5 µm und 100 µm. Nach einer sehr bevorzugten Ausführungsform beträgt sie zwischen 2 µm und 50 µm.

Der Reinheitsgrad der Metalle beträgt dabei vorzugsweise mehr als 70 Gew.-%,
10 weiter bevorzugt mehr als 90 Gew.-%, besonders bevorzugt mehr als 95 Gew.-%, jeweils bezogen auf das Gesamtgewicht des Metalls, der Legierung oder Mischung. Zur Herstellung der plättchenförmigen Partikel kann das Metall, die Metallmischung oder Metallegierung beispielsweise unter Wärme geschmolzen und anschließend durch Verdüsung oder durch Aufbringung auf rotierende Bauteile
15 zu einem Pulver umgewandelt werden. Derart erzeugte metallische Pulver weisen beispielsweise eine Partikelgrößenverteilung mit einer mittleren Größe (D50-Wert) im Bereich von 1 bis 100 µm, bevorzugt von 2 bis 80 µm auf.

Sollen nicht-metallische Schichten auf Substraten aufgebracht werden, werden vorzugsweise nicht-metallische plättchenförmige Partikel im
20 Beschichtungsvorgang eingesetzt. Hierbei können völlig oxidierte oder auch nur partiell oxidierte z.B. lediglich Oberflächenoxidierte Edukte zum Einsatz kommen. Solche können durch gezielte Oxidation von metallischen plättchenförmigen Partikeln erzeugt werden. Diese Oxidation kann durch alle dem Fachmann bekannten Verfahren durchgeführt werden. Eine weitere Oxidation ist
25 insbesondere in sauerstoffhaltigen Plasmen möglich und -je nach Höhe der Energieeinkopplung und nach Beschichtungsmaterial- die Regel. Durch Einstellung des Sauerstoffgehaltes im Arbeitsgas kann eine Oxidation ggf. gesteuert werden.

Die metallischen Partikel können durch Gasphasenoxidation und/oder durch

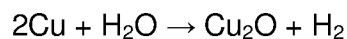
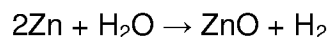
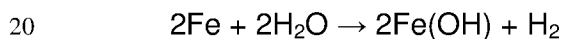
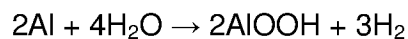
Flüssigphasenoxidation oxidiert werden. Bevorzugt wird die Oxidation in einer Flüssigkeit oder durch Verbrennung in einem Gasstrom durchgeführt.

Wenn die Oxidation in einer Flüssigphase oder Flüssigkeit durchgeführt wird, geschieht dies bevorzugt, indem das Pulver zunächst in der Flüssigphase oder Flüssigkeit verteilt wird. Dies kann mit oder ohne Zugabe von Hilfsstoffen und mit oder ohne Eintrag von Energie erfolgen. Bevorzugt erfolgt die Dispergierung ohne Zugabe von Hilfsstoffen und unter Rühren. Die Flüssigkeit kann eine inerte Flüssigkeit sein, die nicht oxidierend wirkt, oder eine reaktive Flüssigkeit sein, die oxidierend wirkt und mit den metallischen Partikeln reagiert. Nach der Dispergierung setzt demnach die Oxidation entweder sofort ein oder wird durch die Zugabe eines Oxidationsmittels und/oder Oxidationskatalysators und/oder durch Temperaturerhöhung gestartet.

Wenn die Flüssigkeit reaktiv ist und mit dem Metall reagiert, kann die Oxidation auch bereits während der Dispergierung beginnen. Ob die Oxidationsreaktion unmittelbar einsetzt, ist jeweils von der gewählten Kombination Flüssigkeit/metallisches Pulver und ggf. Katalysatorpräsenz abhängig. Bevorzugt wird die Oxidation durch Zugabe eines Oxidationsmittels und/oder Oxidationskatalysators gestartet. Vorzugsweise wird zur Beschleunigung der Oxidationsreaktion das Reaktionsgemisch während der Oxidation erwärmt. Beispiele für Oxidationsmittel sind Schwefelsäure, Kaliumpermanganat, Wasserstoffperoxid und weitere dem Fachmann bekannte Oxidationsmittel. Beispiele für Oxidationskatalysatoren sind Metalle, Metallsalze, Säuren und Basen. Insbesondere bei der Zugabe von Säuren und Basen erfolgt die Zugabe bevorzugt so, dass ein für die Oxidationsreaktion geeigneter pH Wert in der Reaktionsmischung eingestellt wird. Nachdem die Reaktion gestartet ist, wird sie vorzugsweise solange aufrecht erhalten, bis das Metall zu wenigstens 90 Gew.-%, weiter bevorzugt zu wenigstens 95 Gew.-%, noch weiter bevorzugt zu wenigstens 99 Gew.-%, jeweils bezogen auf das Gesamtgewicht der metallischen Partikel, in einer Oxidationsstufe ungleich null vorliegt. Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform liegen Partikel nach der Oxidationsbehandlung vollständig als Metalloxid vor.

- Der Metalloxidanteil kann mit dem Fachmann bekannten Verfahren experimentell ermittelt werden. Während der Oxidationsreaktion kann die Temperatur erhöht, abgesenkt oder konstant gehalten werden. Zudem kann eine weitere Zugabe von einem oder mehreren Oxidationsmitteln und/oder Oxidationskatalysatoren erfolgen, wodurch der Oxidationsprozess gesteuert werden kann. Während der Oxidation können, gegebenenfalls unter Zugabe weiterer Reaktionskomponenten, auch zusätzliche chemische Reaktionen ausgelöst und/oder weitere Komponenten, beispielsweise Metalle oder Metalloxide, in die entstehenden metalloxidischen Partikel eingebaut werden, beispielsweise als Dotierung.
- 10 Durch die Wahl dieser Reaktionsparameter können die chemischen und physikalischen Eigenschaften der metalloxidischen Partikel, deren Größe sowie deren Morphologie gezielt eingestellt werden. Bevorzugt werden die Reaktionsparameter so eingestellt, dass das Oxidationsprodukt Eigenschaften aufweist, welche die anschließende Beschichtung von Substraten durch
- 15 Einbringung der Partikel in ein Plasma erleichtern und/oder für eine angestrebte Anwendung vorteilhaft sind.

Bevorzugte chemische Reaktionen, welche zur Oxidation des metallischen Pulvers führen, sind:



- Diese Oxidationsreaktionen sind zur Veranschaulichung als Beispiele angegeben. Der genaue chemische Reaktionsmechanismus ist häufig nur schwer zu ermitteln.
- 25 Weitere mögliche Reaktionsmechanismen der Oxidation von Metallen sind z.B. in der Literatur, wie z.B. in Hollemann, Wiberg, Lehrbuch der Anorganischen Chemie,

101. Auflage, de Gruyter Verlag, 1995 beschrieben.

Nach der Oxidation können die metalloxidischen Partikel von der Flüssigkeit, in der die Oxidation durchgeführt wurde, abgetrennt werden. Die Abtrennung kann erfolgen, in dem die Flüssigkeit aus der Reaktionsmischung direkt entfernt wird. Dies
5 kann durch dem Fachmann bekannte Verfahren wie thermisches Trocknen, bevorzugt in einer Atmosphäre mit reduziertem Druck, erfolgen. Bevorzugt erfolgt die Abtrennung der Flüssigkeit, nachdem eine erste Konzentrierung des Feststoffes durch einen einfachen Prozess, insbesondere durch eine Filtration erfolgt ist.

Im Anschluss an die Abtrennung können die Metalloxidpartikel optional einem
10 Tempern, d.h. einer zusätzlichen Temperaturbehandlung zugeführt werden. Durch das Tempern bzw. diese Temperaturbehandlung können insbesondere die chemische Zusammensetzung und/oder die Kristallstruktur der zuvor metalloxidischen Partikel verändert werden. Die Temperaturen einer solchen Temperaturbehandlung liegen typischerweise oberhalb von 200 °C, jedoch
15 unterhalb der Schmelz- oder Zersetzungstemperatur. Die Dauer beträgt typischerweise wenige Minuten bis einige Stunden. Beispielsweise kann durch eine Temperaturbehandlung Aluminiumhydroxid, welches durch Umsetzung von Aluminiummetallpulver in Wasser hergestellt wurde, durch Erhitzen auf Temperaturen von mehr als 400 °C unter Abspaltung von Wasser zum
20 Aluminiumoxid umgewandelt werden. Bei weiterer Temperaturbehandlung im Bereich zwischen 800 °C und 1300 °C kann die Kristallstruktur des Aluminiumoxides gezielt eingestellt werden. So wandelt sich beispielsweise γ - Al_2O_3 bei Erhitzung auf Temperaturen größer 800 °C in α - Al_2O_3 um.

Neben der Umwandlung metallischer Partikel in nicht-metallische Partikel können
25 nicht-metallische plättchenförmige Partikel auch direkt hergestellt werden. Beispielsweise können plättchenförmige Partikel aus kristallinen, teilkristallinen oder amorphen Materialein hergestellt werden. Beispielsweise werden Glasplättchen hergestellt, in dem ein Strahl einer Glasschmelze auf ein rotierendes, becher- oder tassenförmiges Gefäß gegossen wird. Durch die Rotation des Gefäßes wird die
30 Glasschmelze aus dem Gefäß in Form einer dünnen Lamelle verschleudert.

Dabei erstarrt die Schmelze, wodurch sich plättchenförmige Partikel aus Glas bilden.

Weiterhin können nicht-metallische plättchenförmige Partikel durch mechanische Delaminierung von Schichtmaterialien, wie z.B. Schichtsilikaten, erzeugt werden.

- 5 Die plättchenförmigen Partikel können aus unterschiedlichen Materialien bestehen. Im Falle metallischer Partikel können diese beispielsweise aus Aluminium, Zink, Zinn, Titan, Eisen, Kupfer, Silber, Gold, Wolfram, Nickel, Blei, Platin, Silizium, weiteren Legierungen oder Mischungen davon bestehen. Gemäß einer Variante des erfindungsgemäßen Verfahrens sind Aluminium, Kupfer, Zink und Zinn oder
- 10 Legierungen oder Mischungen davon besonders bevorzugt. Im Falle nicht-metallischer Partikel können diese beispielsweise aus Oxiden oder Hydroxiden der bereits benannten Metalle oder anderer Metalle bestehen, weiterhin können die Partikel aus Glas, Schichtsilikaten wie Glimmer oder Bentoniten bestehen. Zudem können die Partikel aus Carbiden, Silikaten und Sulfaten bestehen. Die Gewinnung
- 15 und Aufbereitung für das Verfahren geeigneter Partikel kann auch auf anderen Wegen (z.B. künstlich mittels Kristallisation, Ziehen, etc.- s. Züchtungsmethoden, oder mithilfe konventionellem Schürfens und Flotieren u.a.) erfolgen. Bei den Partikeln kann es sich auch um organische und anorganische Salze handeln. Weiterhin können die Partikel aus reinen oder gemischten Homo-, Co-, Block- oder
- 20 Pre-Polymeren bzw. Kunststoffen oder deren Mischungen bestehen, aber auch organische Rein- oder Misch-Kristalle oder amorphe Phasen sein.

Die Partikel können auch aus Mischungen von mindestens zwei Materialien bestehen. Gemäß einer weiteren Ausführungsform weisen die plättchenförmigen Partikel wenigstens eine, vorzugsweise umhüllende Beschichtung auf.

- 25 Bei der wenigstens einfachen Beschichtung kann es sich beispielsweise um eine Schutzschicht gegen Korrosion, die auch als Korrosionsschutzschicht bezeichnet wird, handeln.

Die erfindungsgemäßen plättchenförmigen Partikel können beispielsweise mit

wenigstens einer Metalloxidschicht versehen sein. Die Beschichtung mit Metalloxiden, Metallhydroxiden und/oder Metalloxidhydraten erfolgt vorzugsweise durch Ausfällung, durch Sol-Gel-Verfahren oder durch nasschemische Oxidation der Partikeloberfläche.

- 5 Bevorzugt werden für die Metalloxidbeschichtung Oxide, Hydroxide und/oder Oxidhydrate von Silizium, Aluminium, Cer, Zirkonium, Yttrium, Chrom und/oder Mischungen/Beimengungen davon verwendet.

- Gemäß einer bevorzugten Weiterbildung werden Oxide, Hydroxide und/oder Oxidhydrate von Silizium und/oder Aluminium verwendet. Äußerst bevorzugt
10 sind Oxide, Hydroxide und/oder Oxidhydrate von Silizium.

Die Schichtdicken der Metalloxidschichten, insbesondere von Siliziumoxid und/oder Aluminiumoxidschichten liegen im Bereich von vorzugsweise 5 bis 150 nm, bevorzugt von 10 bis 80 nm, weiter bevorzugt von 15 bis 50 nm.

- Als Schutzschicht gegenüber Korrosion kann auch eine Schutzschicht aus
15 organischen Polymeren aufgebracht sein. Als sehr geeignet haben sich Polyacrylat und/oder Polymethacrylat-Beschichtungen erwiesen. Selbstverständlich können auch Kunstharzbeschichtungen bestehend aus z.B. Epoxiden, Polyestern, Polyurethanen, oder Polystyrolen und Mischungen davon verwendet werden.

- 20 Anstelle oder zusätzlich zu einer Beschichtung aus Metalloxiden und/oder polymerisierten Kunstharzen können auch sogenannte Passivierungsschichten aufgebracht werden. Der Wirkungsmechanismus der Passivierungsschichten ist komplex. Bei Inhibitoren beruht er zumeist auf sterischen Effekten.

- Die Inhibitoren werden üblicherweise in niedrigen Konzentrationen in
25 der Größenordnung von 1 Gew.-% bis 15 Gew.-%, bezogen auf das Gewicht des eingesetzten Metallpartikels, zugegeben.

Für die Inhibierung werden vorzugsweise die folgenden Beschichtungssubstanzen verwendet:

- 5 • Organisch modifizierte Phosphonsäuren bzw. deren Ester der allgemeinen Formel $R-P(O)(OR_1)(OR_2)$, wobei: $R = \text{Alkyl, Aryl, Alkyl-aryl, Aryl-alkyl}$ sowie Alkylether, insbesondere ethoxylierte Alkylether und $R_1, R_2 = H, C_nH_{2n+1}$, mit $n = 1$ bis 12, vorzugsweise 1 - 6 ist, wobei Alkyl jeweils verzweigt oder unverzweigt sein kann. R_1 kann gleich oder unterschiedlich zu R_2 sein.
- 10 • Organisch modifizierte Phosphorsäuren und -ester der allgemeinen Formel $R-O-P(OR_1)(OR_2)$ mit $R = \text{Alkyl, Aryl, Alkyl-aryl, Aryl-alkyl}$ sowie von Alkylether, insbesondere ethoxylierte Alkylether, und $R_1, R_2 = H, C_nH_{2n+1}$, mit $n = 1$ bis 12, vorzugsweise 1 - 6 ist, wobei Alkyl jeweils verzweigt oder unverzweigt sein kann. R_1 kann gleich oder verschieden von R_2
15 sein.

Verwendet werden können ebenfalls reine, anorganische Phosphonsäuren oder -ester oder Phosphorsäuren oder -ester oder beliebige Mischungen derselben.

Weiterhin kann die Beschichtung aus organisch funktionalisierten Silanen, aliphatischen oder cyclischen Aminen, aliphatischen oder aromatischen
20 Nitroverbindungen, Sauerstoff-, Schwefel und/oder Stickstoff enthaltenden Heterocyclen, wie beispielsweise Thioharnstoffderivaten, Schwefel und/oder Stickstoffverbindungen höherer Ketone, Aldehyden und/oder Alkoholen (Fettalkoholen) und/oder Thiolen, oder Gemischen derselben bestehen oder diese umfassen. Die passivierende Inhibitorschicht kann aber auch aus den vorgenannten
25 Substanzen bestehen. Bevorzugt sind organische Phosphonsäuren und/oder Phosphorsäureester oder deren Gemische. Bei Verwendung von Aminverbindungen weisen diese bevorzugt organische Reste mit mehr als 6 C-Atomen auf. Bevorzugt werden vorgenannte Amine zusammen mit organischen Phosphonsäuren und/oder Phosphorsäureester oder deren Gemische

eingesetzt.

Die Passivierung über Korrosionsschutzbarrieren mit chemischer und physikalischer Schutzwirkung ist auf vielfältige Weise möglich.

- Passivierende Korrosionsschutzschichten, die bei plättchenförmigen
- 5 metallischen Partikeln einen besonders guten Korrosionsschutz gewährleisten, umfassen oder bestehen aus Siliziumoxid, bevorzugt Siliziumdioxid, Chromaluminiumoxid, das vorzugsweise durch Chromatierverfahren aufgebracht wird, Chromoxid, Zirkoniumoxid, Ceroxid, Aluminiumoxid, polymerisiertem/n Kunststoffharz(en), Phosphat-, Phosphit- oder Boratverbindungen oder Mischungen
- 10 derselben.

Bevorzugt sind Siliziumdioxidschichten und Chromaluminiumoxidschichten (Chromatierung). Weiterhin bevorzugt sind Ceroxid, -hydroxid oder oxidhydratschichten sowie Aluminiumoxid, -hydroxid oder -oxidhydratschichten, wie sie beispielsweise in der DE 195 20 312 A1 beschrieben sind.

- 15 Die SiO₂-Schichten werden bevorzugt durch Sol-Gel-Verfahren mit durchschnittlichen Schichtdicken von 10 - 150 nm und bevorzugt von 15 - 40 nm in organischen Lösemitteln hergestellt.

- Weiterhin können die aufgeführten Beschichtungen kombiniert werden, so dass beispielsweise in einer besonderen Ausführungsform erfindungsgemäße Partikel
- 20 eine Beschichtung aus einer SiO₂-Schicht mit anschließend aufgebrachter Schicht aus funktionalisierten Silanen aufweisen.

- Eine möglichst hohe Packungsdichte der abgeschiedenen Partikel ist gleich bedeutend mit einer Schicht, die möglichst ähnlich zu einer geschlossenen, nicht partikulären Schicht ist, demnach einer Schicht die dem idealen Grundmaterial
- 25 entspricht. Eine hohe Packungsdichte wird erreicht, wenn die Partikel während des Beschichtungsvorganges ihre Form und Struktur weitest gehend beibehalten und insbesondere in der entstehenden Schicht noch als Einzelpartikel vorliegen.

Ein solches Verhalten zeigen die Partikel wie beschrieben, wenn sie aus höher schmelzenden Metallen (Schmelzpunkt $> 500\text{ }^{\circ}\text{C}$) und nicht-metallischen Material bestehen. Die Energie des Plasmas aktiviert solche Partikel lediglich an ihrer Oberfläche, wodurch die Form der Partikel als solches in der auf dem

5 Substrat entstehenden Schicht bestehen bleibt.

Die durch das erfindungsgemäße Verfahren herstellbaren Beschichtungen auf dem Substrat aus wenigstens teilweise miteinander verwachsenen plättchenförmigen Partikeln können ohne Bindemittel zwischen der Beschichtung und dem Substrat hergestellt werden. Voraussetzung für die Herstellung von Beschichtungen ohne

10 Bindemittel zwischen Schicht und Substrat ist die Verwendung von plättchenförmigen Partikeln aus einem Material, die durch die Einwirkung des kalten Plasmastrahls an der Oberfläche zumindest teilweise anschmelzen, so dass die plättchenförmigen Partikel in der Beschichtung teilweise miteinander verwachsen.

15 Eine vorteilhafte Vorrichtung zum Aufbringen einer Beschichtung aus plättchenförmigen Partikeln zeichnet sich dadurch aus, dass die Vorrichtung einen Strahlgenerator mit einem Einlass für die Zufuhr eines strömenden Arbeitsgases und einen Auslass für einen von dem Arbeitsgas geführten Plasmastrahl umfasst, der Strahlgenerator zwei mit einer Wechsellspannungs- oder einer gepulsten

20 Gleichspannungsquelle verbindbare Elektroden zur Ausbildung einer Entladungsstrecke aufweist, entlang der das Arbeitsgas geführt wird, der Strahlgenerator eine in dem Bereich der Entladungsstrecke mündende Einspeiseöffnung aufweist, über die dem Plasmastrahl plättchenförmige Partikel zuführbar sind.

25 Als Arbeitsgas werden der Vorrichtung über den Einlass ionisierbare Gase, insbesondere unter Druck stehende Luft, Stickstoff, Argon, Kohlendioxid oder Wasserstoff zugeführt. Das Arbeitsgas wird zuvor gereinigt, so dass es öl- und schmiermittelfrei ist. Der Gasstrom in einem üblichen Strahlgenerator beträgt zwischen 10 bis 70 l/min, insbesondere zwischen 10 bis 40 l/min, bei einer

30 Geschwindigkeit des Arbeitsgases zwischen 10 bis 100 m/s, insbesondere

zwischen 10 bis 50 m/s.

Der Strahlgenerator umfasst weiter zwei, insbesondere koaxial im Abstand zueinander angeordnete Elektroden, die mit einer Wechselspannungs-, insbesondere jedoch einer gepulsten Gleichspannungsquelle verbunden werden. Zwischen den Elektroden bildet sich die Entladungsstrecke aus. Die gepulste Gleichspannung der Gleichspannungsquelle beträgt vorzugsweise zwischen 500 V bis 12 kV. Die Pulsfrequenz liegt zwischen 10 bis 100 kHz, insbesondere jedoch zwischen 10 bis 50 kHz.

Aufgrund des gepulsten Betriebes der Gleichspannungsquelle ist davon auszugehen, dass sich kein thermisches Gleichgewicht zwischen den leichten Elektronen und den schweren Ionen ausbilden kann. Hieraus resultiert eine geringe Temperaturbelastung der eingespeisten plättchenförmigen Partikel. Der Beschichtungsprozess mit dem erfindungsgemäßen Strahlgenerator wird vorzugsweise derart gesteuert, dass der Plasmastrahl des Niedertemperaturplasmas in der Kernzone eine Gastemperatur von weniger als 900 Grad Celsius, insbesondere jedoch von weniger als 500 Grad Celsius aufweist (Niedertemperaturplasma).

Indem die Einspeiseöffnung in dem Bereich der Entladungsstrecke zwischen den Elektroden des Strahlgenerators mündet, gelangen die plättchenförmigen Partikel in einen Bereich, in dem eine direkte Plasmaanregung durch den Plasmastrahl stattfindet. Durch diese Maßnahme wird die benötigte Reaktionsenergie so gering wie möglich gehalten.

Vorzugsweise befindet sich die Einspeiseöffnung unmittelbar benachbart zu dem Auslass für den Plasmastrahl im Bereich der Entladungsstrecke.

Erfolgt die Einspeisung indes unterhalb des Auslasses der Vorrichtung, was grundsätzlich auch möglich ist, kommt es lediglich zu einer indirekten Plasmaanregung durch den gasgeführten Plasmastrahl, die energetisch ungünstiger ist.

Das erfindungsgemäße Verfahren kann zur Beschichtung einer Vielzahl von Substraten verwendet werden. Substrate können beispielsweise Metalle, Holz, Kunststoffe oder Papier sein. Die Substrate können in Form von geometrisch komplexen Formen, wie Bauteilen oder Fertigfabrikaten aber auch als Folie oder Blatt vorliegen. Die durch das erfindungsgemäße Verfahren herstellbaren Beschichtungen auf dem Substrat aus wenigstens teilweise miteinander verwachsenen plättchenförmigen Partikeln können ohne Bindemittel zwischen der Beschichtung und dem Substrat hergestellt werden. Voraussetzung für die Herstellung von Beschichtungen ohne Bindemittel zwischen Schicht und Substrat ist die Verwendung von plättchenförmigen Partikeln aus einem Material, die durch die Einwirkung des kalten Plasmastrahls an der Oberfläche zumindest teilweise anschmelzen, so dass die plättchenförmigen Partikel in der Beschichtung teilweise miteinander verwachsen.

Die Anwendungen für das erfindungsgemäße Verfahren sind ebenfalls sehr vielfältig. Mit dem Verfahren können beispielsweise optisch und elektromagnetisch reflektierende oder absorbierende, elektrisch leitende, halbleitende oder isolierende Schichten, Diffusionsbarrieren für Gase und Flüssigkeiten, Gleitschichten, Verschleiß- und Korrosionsschutzschichten sowie Schichten zur Beeinflussung der Oberflächenspannung sowie Schichten zur Haftvermittlung hergestellt werden.

Leitfähige Schichten die durch das Verfahren erzeugt werden, können beispielsweise verwendet werden, um Heizleiterbahnen zu erzeugen. Weiterhin können solche leitfähigen Schichten auch als Abschirmungen, als elektrische Kontakte, als Sensorflächen und als Antennen, insbesondere RFID (Radio Frequency Identification) Antennen, Verwendung finden.

Die Beschichtungen können großflächig aufgebracht werden, so dass sie das Substrat zum großen Teil (größer als 70% der Fläche des Substrates) bedecken. Die Schichten können aber auch kleinflächig, insbesondere in Form von Bahnen oder als Teilflächen aufgebracht werden, die weniger als 10% der Fläche des Substrats bedecken. Insbesondere bei der Aufbringung von Beschichtungen auf

kleine Teilflächen des Substrats, beispielsweise beim Abscheiden von Kontakten, ist eine Relativbewegung zwischen dem Substrat und dem Strahlgenerator während der Beschichtung nicht erforderlich. Die Schichten können auch in Form von Mustern aufgebracht werden, die bevorzugt an die gewünschte Funktionalität angepasst sind. Die Erzeugung von geometrischen Mustern kann beispielsweise auch durch die Verwendung von Masken erfolgen.

Eine vorteilhafte Vorrichtung zum Aufbringen einer Beschichtung aus plättchenförmigen Partikeln zeichnet sich dadurch aus, dass die Vorrichtung einen Strahlgenerator mit einem Einlass für die Zufuhr eines strömenden Arbeitsgases und einen Auslass für einen von dem Arbeitsgas geführten Plasmastrahl umfasst, der Strahlgenerator zwei mit einer Wechselspannungs- oder einer gepulsten Gleichspannungsquelle verbindbare Elektroden zur Ausbildung einer Entladungsstrecke aufweist, entlang der das Arbeitsgas geführt wird, der Strahlgenerator eine in dem Bereich der Entladungsstrecke mündende Einspeiseöffnung aufweist, über die dem Plasmastrahl plättchenförmige Partikel zuführbar sind.

Als Arbeitsgas werden der Vorrichtung über den Einlass ionisierbare Gase, insbesondere unter Druck stehende Luft, Stickstoff, Argon, Kohlendioxid oder Wasserstoff zugeführt. Das Arbeitsgas wird zuvor gereinigt, so dass es öl- und schmiermittelfrei ist. Der Gasstrom in einem üblichen Strahlgenerator beträgt zwischen 10 bis 70 l/min, insbesondere zwischen 10 bis 40 l/min, bei einer Geschwindigkeit des Arbeitsgases zwischen 10 bis 100 m/s, insbesondere zwischen 10 bis 50 m/s.

Der Strahlgenerator umfasst weiter zwei, insbesondere koaxial im Abstand zueinander angeordnete Elektroden, die mit einer Wechselspannungs-, insbesondere jedoch einer gepulsten Gleichspannungsquelle verbunden werden. Zwischen den Elektroden bildet sich die Entladungsstrecke aus. Die gepulste Gleichspannung der Gleichspannungsquelle beträgt vorzugsweise zwischen 500 V bis 12 kV. Die Pulsfrequenz liegt zwischen 10 bis 100 kHz, insbesondere jedoch zwischen 10 bis 50 kHz.

- Aufgrund des gepulsten Betriebes der Gleichspannungsquelle ist davon auszugehen, dass sich kein thermisches Gleichgewicht zwischen den leichten Elektronen und den schweren Ionen ausbilden kann. Hieraus resultiert eine geringe Temperaturbelastung der eingespeisten plättchenförmigen Partikel. Der
- 5 Beschichtungsprozess mit dem erfindungsgemäßen Strahlgenerator wird vorzugsweise derart gesteuert, dass der Plasmastrahl des Niedertemperaturplasmas in der Kernzone eine Gastemperatur von weniger als 900 Grad Celsius, insbesondere jedoch von weniger als 500 Grad Celsius aufweist (Niedertemperaturplasma).
- 10 Indem die Einspeiseöffnung in dem Bereich der Entladungsstrecke zwischen den Elektroden des Strahlgenerators mündet, gelangen die plättchenförmigen Partikel in einen Bereich, in dem eine direkte Plasmaanregung durch den Plasmastrahl stattfindet. Durch diese Maßnahme wird die benötigte Reaktionsenergie so gering wie möglich gehalten.
- 15 Vorzugsweise befindet sich die Einspeiseöffnung unmittelbar benachbart zu dem Auslass für den Plasmastrahl im Bereich der Entladungsstrecke. Erfolgt die Einspeisung indes unterhalb des Auslasses der Vorrichtung, was grundsätzlich auch möglich ist, kommt es lediglich zu einer indirekten Plasmaanregung durch den gasgeführten Plasmastrahl, die energetisch ungünstiger ist.
- 20 Wie bereits eingangs erwähnt, erfolgt die Einspeisung der plättchenförmigen Partikel vorzugsweise mittels eines Trägergases für die plättchenförmigen Partikel. Zur Erzeugung des Gemisches aus den plättchenförmigen Partikeln und dem Trägergas ist die Einspeiseöffnung des Strahlgenerators über eine Leitung mit einer Wirbelkammer verbunden. Die Wirbelkammer ist als geschlossener Behälter
- 25 aufgeführt und höchstens bis zu einem maximalen Füllstand mit den plättchenförmigen Partikeln befüllt. Die plättchenförmigen Partikel werden über mindestens einen Gaseinlass mit einem unter Überdruck stehenden Trägergas, insbesondere in einer periodischen Folge beaufschlagt, wodurch die aufgewirbelten plättchenförmigen Partikel zusammen mit dem Trägergas als Gemisch über
- 30 mindestens einen oberhalb des maximalen Füllstandes der Wirbelkammer

angeordneten Auslass aus dem Behälter in Richtung der Einspeiseöffnung des Strahlgenerators strömen.

Die periodische Beaufschlagung der plättchenförmigen Partikel in der Wirbelkammer mit dem Trägergas erfolgt mit einer Frequenz im Bereich von 1 Hz bis 100 Hz.

- 5 Insbesondere werden die Partikel zeitlich aufeinander folgend über mehrere Gaseinlässe mit dem Trägergas beaufschlagt. Der bzw. die Gaseinlässe können unmittelbar in dem üblicherweise vorhandenen Vorrat plättchenförmiger Partikel münden. Neben dieser bevorzugten unmittelbaren Einblasung des Trägergases in die Partikel ist es jedoch auch möglich, den bzw. die Gaseinlässe oberhalb des
- 10 maximalen Füllstandes der Partikel in der Wirbelkammer anzuordnen, so dass das Trägergas auf die Oberfläche der Partikel trifft.

Die vorliegende Erfindung wird anhand der nachfolgenden Beispiele veranschaulicht, ohne jedoch darauf beschränkt zu sein.

Verwendete Messmethoden:

- 15 Größe-Dicken-Verhältnis:

Das Größe-Dicken-Verhältnis einer Partikelprobe aus den aufgeführten Beispielen wurde aus der Auswertung von REM-Aufnahmen bestimmt. Dabei wurde jeweils der Längendurchmesser mittels Cilas 1064 und die Dicke einer statistischen Anzahl (mindestens 100) an Partikeln ermittelt und das mittlere Größe-Dicken-Verhältnis

20 durch Quotientenbildung aus Längendurchmesser zu Dicke errechnet.

Beispiel 1: Herstellung von Aluminiumpulver

- In einem Induktionstiegelofen (Fa. Induga, Köln, Deutschland) wurden ca. 2,5 to Aluminiumbarren (Metall) kontinuierlich eingebracht und geschmolzen. Im sogenannten Vorherd lag die Aluminiumschmelze bei einer Temperatur von etwa
- 25 720 °C flüssig vor. Mehrere Düsen, die nach einem Injektorprinzip arbeiten, tauchten in die Schmelze ein und verdüsten die Aluminiumschmelze vertikal nach oben. Das Verdüsungsgas wurde in Kompressoren (Fa. Kaeser, Coburg,

- Deutschland) bis auf 20 bar verdichtet und in Gaserhitzern bis auf etwa 700 °C erhitzt. Das nach der Zerstäubung/Verdüsung entstandene Aluminiumpulver erstarrte und erkaltete im Fluge. Der Induktionsofen war in eine geschlossene Anlage integriert. Die Verdüsung erfolgte unter Inertgas (Stickstoff). Die
- 5 Abscheidung des Aluminiumpulvers erfolgte zuerst in einem Zyklon, wobei der dort abgeschiedene pulverförmige Aluminiumgrieß einen D50 von 14 - 17 µm besaß. Zur weiteren Abscheidung diente in Folge ein Multizyklon, wobei das in diesem abgeschiedene pulverförmige Aluminiumpulver einen D50 von 2,3 - 2,8 µm besaß. Die Gas-Feststoff-Trennung erfolgte in einem Filter (Fa. Alpine, Thailand)
- 10 mit Metallelementen (Fa. Pall). Hierbei wurde als feinste Fraktion ein Aluminiumpulver mit einem d10 von 0,7 µm, (außerhalb des Bereichs!) einem d50 10 von 1,9 µm und einem d90 von 3,8 µm gewonnen.

Beispiel 2: Herstellung von metallischen plättchenförmigen Partikeln durch Vermahlung:

- 15 In einer Topfmühle (Länge: 32 cm, Breite: 19 cm) wurden 4 kg Glaskugeln (Durchmesser: 2 mm), 75 g feinstes Aluminiumpulver, 200 g Testbenzin und 3,75 g Ölsäure aufgegeben. Anschließend wurde 15 h lang bei 58 U/min vermahlen. Das Produkt wurde durch Spülen mit Testbenzin von den Mahlkugeln getrennt und anschließend in einer Nasssiebung auf einem 25
- 20 µm-Sieb gesiebt. Das Feinkorn wurde über einer Nutsche weitgehend von Testbenzin befreit (ca. 80% Feststoffanteil).

Beispiel 3: Herstellung von nicht-metallischen plättchenförmigen Partikeln (Aluminiumhydroxid) durch Oxidation von metallischen plättchenförmigen Partikeln (Aluminium):

- 25 In einem 5 L Glasreaktor wurden 300 g eines wie in Beispiel 2 beschriebenen verformten Aluminiumpulvers in 1000 ml Isopropanol (VWR, Deutschland) durch Rühren mit einem Propellerrührer dispergiert. Die Suspension wurde auf 78 °C erhitzt. Anschließend wurden 5 g einer 25 Gew.-% Ammoniaklösung (VWR, Deutschland) zugegeben. Nach kurzer Zeit konnte eine starke Gasentwicklung

beobachtet werden. Drei Stunden nach der ersten Ammoniakzugabe wurde weitere 5 g 25 Gew.-% Ammoniaklösung zugegeben. Nach weiteren drei Stunden wurden wiederum 5 g 25 Gew.-% Ammoniaklösung zugegeben. Die Suspension wurde über Nacht weiter gerührt. Am nächsten Morgen wurde der Feststoff mittels einer Nutsche abgetrennt und im Vakuumtrockenschrank für 48 h bei 50 °C getrocknet. Es wurde ein weißes Pulver erhalten. Dieses Pulver wurde anschließend charakterisiert. Zunächst wurden die Teilchengröße und das Zetapotential als Funktion des pH-Wertes untersucht. Die pH-Wert Einstellung erfolgte mittels 1,0 M NaOH bzw. 1,0 M HCl. Bei niedrigem als auch bei hohem pH Wert zeigt das Zetapotential ein Maximum und der Partikeldurchmesser ein Minimum. Aus einer XRD Analyse des Materials kann eine Zusammensetzung von ca. 33 Gew.-% Böhmit (AlOOH) und 67 Gew.-% Gibbsit ($\text{Al}(\text{OH})_3$) abgeleitet werden.

Beispiel 4: Herstellung von nicht-metallischen plättchenförmigen Partikeln (Aluminiumoxid) durch Temperaturbehandlung von nicht-metallischen plättchenförmigen 25 Partikeln (Aluminiumhydroxid).

500 g eines nach Beispiel 3 hergestellten Materials wurden für 10 Minuten in einem Drehrohrofen (Nabertherm, Deutschland) auf 1100 °C erhitzt. Es wurden 335 g eines weißen Pulvers erhalten. Dieses wurde wie beschrieben untersucht. Im Unterschied zu dem unkalzinierten. Material ist der Teilchendurchmesser etwas größer und das Zetapotential im gesamten pH Bereich positiv. Die XRD Analyse zeigt theta- Al_2O_3 .

Nachfolgend wird das erfindungsgemäße Verfahren und eine Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens anhand der Figuren näher erläutert. Es zeigen:

Figur 1 eine schematische Darstellung eines Ausführungsbeispiels eines erfindungsgemäßen Strahlgenerators sowie

Figur 2 eine vergrößerte Darstellung des Strahlgenerators nach Figur 1 im Bereich des Auslasses.

Der erfindungsgemäße Strahlgenerator 1 zur Erzeugung eines Plasmastrahls 2 eines Niedertemperaturplasmas umfasst zwei im Strom eines Arbeitsgases 3 angeordnete Elektroden 4, 5 sowie eine Spannungsquelle 6 zur Erzeugung einer gepulsten Gleichspannung zwischen den Elektroden 4, 5. Die erste Elektrode 4 ist als
5 Stiftelektrode ausgeführt, während die im Abstand dazu angeordnete zweite Elektrode 5 als ringförmige Elektrode ausgebildet ist. Die Strecke zwischen der Spitze der Stiftelektrode 4 und der Ringelektrode 5 bildet eine Entladungsstrecke 16.

Ein Mantel 7 aus elektrisch leitendem Material ist konzentrisch zu der Stiftelektrode 4 angeordnet und gegenüber der Stiftelektrode 4 isoliert. An der, der ringförmigen
10 Elektrode 5, gegenüberliegenden Stirnseite des Strahlgenerators 1 wird das Arbeitsgas 3 über einen Einlass 21 zugeführt. Der Einlass 21 befindet sich an einer stirnseitig auf den hohlzylindrischen Mantel 7 aufgesetzten, die Stiftelektrode 4 halternden Hülse 22 aus elektrisch isolierendem Material. An der gegenüberliegenden Stirnseite verjüngt sich der Mantel 7 düsenförmig zu einem
15 Auslass 8 für den Plasmastrahl 2.

Unmittelbar benachbart zu dem in Achsrichtung des Strahlgenerators 1 verlaufenden Auslass 8 befindet sich querab zu dessen Längserstreckung eine Einspeiseöffnung 9, über die dem Plasmastrahl 2 plättchenförmige Partikel 10 zuführbar sind. Die Einspeiseöffnung 9 des Strahlgenerators 1 ist zu diesem
20 Zweck über eine Leitung 12 mit einer Wirbelkammer 11 verbunden, in der plättchenförmige Partikeln 10 bevorratet werden. Die Wirbelkammer 11 wird höchstens bis zu einem maximalen Füllstand 13 mit den plättchenförmigen Partikeln 10 befüllt. Unterhalb des maximalen Füllstandes 13 mündet in der Wirbelkammer 11 ein Einlass 23 für ein Trägergas 14 das unter einem
25 gegenüber dem Umgebungsdruck erhöhten Druck in den Partikelvorrat eingeblasen wird. Hierdurch werden die Partikel 10 in dem Raum oberhalb des maximalen 20 Füllstandes 13 aufgewirbelt und gelangen über einen Auslass 15 die Leitung 12 und die Einspeiseöffnung 9 in die Entladungsstrecke 16 des Strahlgenerators 1.

30 Wie insbesondere aus der Vergrößerung in Figur 2 erkennbar, gelangen die

plättchenförmigen Partikel 10 quer zur Ausbreitungsrichtung des Plasmastrahls 2 in eine Kernzone 17 des Plasmastrahls 2, in der eine Temperatur von weniger als 500 Grad Celsius herrscht (Niedertemperaturplasma). Die Spannungsquelle 6 erhöht, während jedes Pulses, die zwischen den Elektroden 4, 5 anliegende Spannung, bis zwischen den Elektroden 4, 5 die Zündspannung für die Ausbildung eines Lichtbogens zwischen den Elektroden 4, 5 anliegt. Aufgrund des leitenden Mantels 7 kommt es auch zu Entladungen in Richtung der inneren Mantelfläche, wie dies in Figur 1 durch die punktierten Linien angedeutet ist. Bei Erreichen der Zündspannung wird die Entladungsstrecke 16 zwischen den Elektroden 4, 5 leitfähig. Die Spannungsquelle 6 ist vorzugsweise derart ausgebildet, dass sie einen Spannungspuls mit einer Zündspannung für die Lichtbogenentladung und einer Pulsfrequenz erzeugt, der den Lichtbogen zwischen zwei aufeinander folgenden Spannungsimpulsen jeweils verlöschen lässt. Infolge dessen kommt es zu einer gepulsten Gasentladung in dem Plasmastrahl 2. Die Pulsfrequenz liegt vorzugsweise in einem Bereich zwischen 10 kHz bis 100 kHz, im dargestellten Ausführungsbeispiel bei 50 kHz. Die Spannung der Spannungsquelle 6 beträgt maximal 12 kV. Als Arbeitsgas 3 kommt Druckluft zum Einsatz, wobei 40 l/min im normalen Betriebszustand zugeführt werden.

Sofern mit Hilfe des Strahlgenerators 1 abweichend zum dargestellten Ausführungsbeispiel nicht nur eine punktuelle Beschichtung auf dem Substrat 20 erzeugt werden soll, besteht in einer Ausgestaltung der Erfindung die Möglichkeit, dass der Plasmastrahl 2 und das Substrat 20, während des Aufbringens der Beschichtung zumindest zeitweise relativ zueinander bewegt werden. Die Relativbewegung kann durch Verschieben des Substrates 20, beispielsweise auf einem in der horizontalen Ebene beweglichen Tisch erfolgen. Alternativ ist der Strahlgenerator 1 an einer zumindest in einer zum Substrat 20 parallelen Ebene beweglichen XY-Verfahreinheit angeordnet, so dass der Generator mit einer definierten Geschwindigkeit relativ zu dem Substrat bewegbar ist. Durch die Relativbewegung lassen sich Bahnen oder auch vollflächige Beschichtungen des Substrates 20 erzeugen.

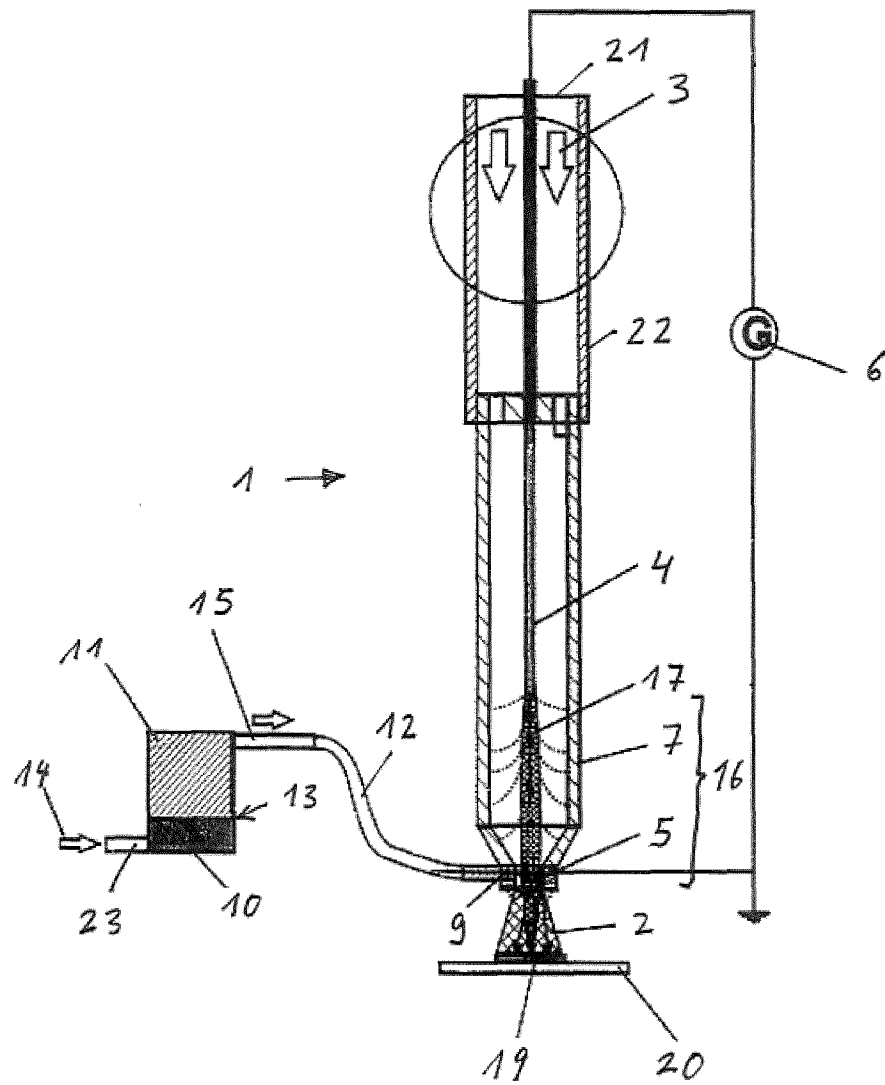
Patentansprüche:

1. Verfahren zum Aufbringen einer Beschichtung auf ein Substrat (20), bei dem durch
Hindurchleiten eines Arbeitsgases (3) durch eine Anregungszone ein Plasmastrahl (2)
5 eines Niedertemperaturplasmas erzeugt wird, **dadurch gekennzeichnet, dass** in den
auf das Substrat (20) gerichteten Plasmastrahl (2) plättchenförmige Partikel (10) mit
einer mittleren Dicke (H) zwischen 10 und 50.000 Nanometer und einem Formfaktor (F)
in dem Wertebereich von 10 bis 2000 eingespeist werden.
- 10 2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei die plättchenförmigen Partikel (10) mit Hilfe eines
Trärgases (14) in den Plasmastrahl (2) eingespeist werden.
3. Verfahren nach Anspruch 2, wobei der Volumenstrom des Trärgases (14) in einem
Bereich von 1 l/min bis 15 l/min und der Druck in einem Bereich zwischen 0,5 bar bis 2
15 bar liegen.
4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, wobei der Plasmastrahl (2) und das
Substrat (20) während des Aufbringens der Beschichtung (19) zumindest zeitweise
relativ zueinander bewegt werden.
- 20 5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, wobei die plättchenförmigen Partikel (10)
quer zur Ausbreitungsrichtung des Plasmastrahls (2) in den Plasmastrahl (2)
eingespeist werden.
- 25 6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, wobei der Plasmastrahl (2) mit einer
Gastemperatur in einer Kernzone (17) des Plasmastrahls (2) von weniger als 900 Grad
Celsius erzeugt wird.
- 30 7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, wobei der Plasmastrahl (2) unter einem
Umgebungsdruck in einem Druckbereich von 0,5 - 1,5 bar erzeugt wird.

8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, wobei der Plasmastrahl (2) durch Anregung des Arbeitsgases (3) mittels einer Wechselspannung oder einer gepulsten Gleichspannung erzeugt wird.
- 5 9. Verfahren nach Anspruch 8, wobei die Wechselspannung oder die gepulste Gleichspannung zwischen 500 V und 15 kV beträgt und die Frequenz der Wechselspannung oder der gepulsten Gleichspannung zwischen 10 kHz bis 100 kHz liegt.
- 10 10. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 9, wobei plättchenförmige Partikel (10) aus Metall in den Plasmastrahl (2) eingespeist werden.
11. Verfahren nach Anspruch 10, wobei das Metall der Gruppe bestehend aus Aluminium, Zink, Zinn, Titan, Eisen, Kupfer, Silber, Gold, Wolfram, Silizium oder Legierungen oder
15 Mischungen davon, entnommen wird.
12. Verfahren nach Anspruch 10 oder 11, wobei das Metall der Gruppe bestehend aus Oxiden, Carbiden, Hydroxiden, Carbonaten, Chloriden, Fluoriden, oder Mischungen davon, entnommen wird.
- 20 13. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 12, wobei die plättchenförmigen Partikel (10) zusätzlich mit mindestens einer weiteren Schicht wenigstens teilweise beschichtet sind.
- 25 14. Verfahren nach Anspruch 13, wobei die weitere Schicht von einem Polymer gebildet wird.
15. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 14, wobei das Substrat der Gruppe bestehend aus Metallen, Holz, Kunststoffen, Glas, Keramik, Biowerkstoffen oder
30 Papier, entnommen wird.
16. Vorrichtung zum Aufbringen einer Beschichtung auf ein Substrat dadurch gekennzeichnet, dass,

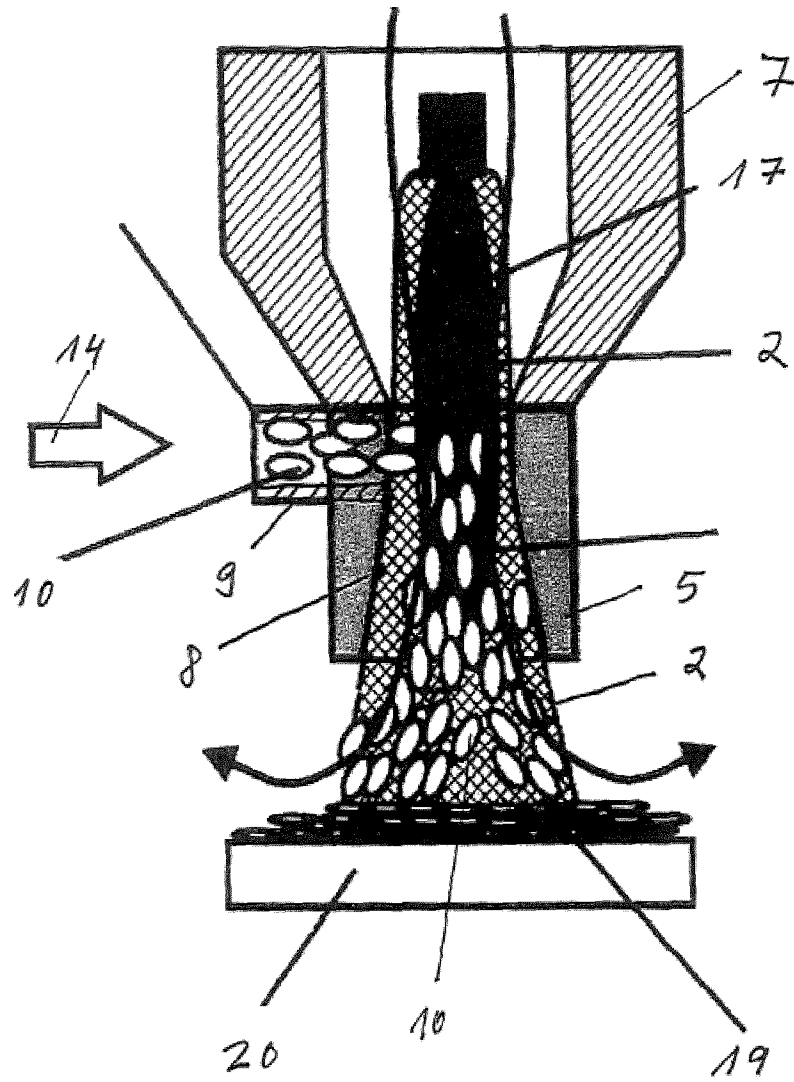
- die Vorrichtung einen Strahlgenerator (1) mit einem Einlass (21) für die Zufuhr eines strömenden Arbeitsgases (3) und einen Auslass (8) für einen von dem Arbeitsgas (3) geführten Plasmastrahl (3) umfasst,
 - der Strahlgenerator(1) zwei mit einer Wechselspannungs- oder einer gepulsten Gleichspannungsquelle verbindbare Elektroden (4,5) zur Ausbildung einer Entladungsstrecke (16) aufweist, entlang der das Arbeitsgas (3) fñhbar ist; und
 - der Strahlgenerator (1) mindestens eine in dem Bereich der Entladungsstrecke (16) mündende Einspeiseöffnung (9) aufweist, über die dem Plasmastrahl (2) plättchenförmige Partikel (10) zufñhrbar sind.
- 10
17. Vorrichtung nach Anspruch 16, wobei jede Einspeiseöffnung (9) unmittelbar benachbart zu dem Auslass (8) für den Plasmastrahl (2) angeordnet ist.
- 15
18. Vorrichtung nach Anspruch 16 oder 17, wobei jede Einspeiseöffnung (9) des Strahlgenerators (1) mit einer Wirbelkammer (11) zur Erzeugung eines Gemisches aus den plättchenförmigen Partikeln (10) und einem Trägas (14) verbunden ist.
- 20
19. Beschichtung (19) auf einem Substrat (20) aus wenigstens teilweise miteinander verwachsenen plättchenförmigen Partikeln (10), hergestellt durch ein Verfahren nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 15.
- 25
20. Verwendung von plättchenförmigen Partikeln (10) mit einer mittleren Dicke H zwischen 10 und 50.000 Nanometer und einem Formfaktor F in dem Wertebereich von 10 bis 2000 zum Aufbringen einer Beschichtung (19) auf ein Substrat (20) unter Verwendung eines gasgeführten Plasmastrahls (2) eines Niedertemperaturplasmas.

1/2



Figur 1

2/2



Figur 2

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2012/054530

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

INV. C23C4/12 C23C8/36 B05B7/22 H05H1/26
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)

C23C B05B H05H

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

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	DE 10 2009 015510 A1 (REINHAUSEN PLASMA GMBH [DE]) 7 October 2010 (2010-10-07)	16-18
A	paragraph [0040]; claims 2,5,9-15; figure 5	8,9
X	----- WO 2009/106113 A1 (REINHAUSEN MASCHF SCHEUBECK [DE]; BISGES MICHAEL [DE]; HARTMANN UWE [D]) 3 September 2009 (2009-09-03) page 5, lines 1-13; claim 9; figure 4 ----- -/--	16-18



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

9 May 2012

Date of mailing of the international search report

16/05/2012

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

Chalaftris, Georgios

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No

PCT/EP2012/054530

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	WO 2007/115964 A1 (CIBA SC HOLDING AG [CH]; GIESENBERG THOMAS [CH]; HAENGGI PETER [CH]; B) 18 October 2007 (2007-10-18) page 5, lines 23-28; claims 1,2,4,5 page 6, lines 18-25 page 7, lines 13-31 page 14, lines 25-31 -----	1-5,7, 10-15, 19,20
X	US 6 555 160 B1 (CLOUGH THOMAS J [US]) 29 April 2003 (2003-04-29) column 20, lines 15-48; claims 1,5,9-13 column 5, line 27 - column 8, line 27 -----	1,19,20
A	DE 10 2006 038780 A1 (FRAUNHOFER GES FORSCHUNG [DE]) 21 February 2008 (2008-02-21) paragraphs [0035] - [0037]; claim 1 -----	16-18

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/EP2012/054530

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
DE 102009015510 A1	07-10-2010	CN 102379163 A	14-03-2012
		DE 102009015510 A1	07-10-2010
		EP 2415331 A1	08-02-2012
		KR 20120004972 A	13-01-2012
		WO 2010112378 A1	07-10-2010

WO 2009106113 A1	03-09-2009	DE 102008011249 A1	10-09-2009
		EP 2247766 A1	10-11-2010
		WO 2009106113 A1	03-09-2009

WO 2007115964 A1	18-10-2007	EP 2004873 A1	24-12-2008
		JP 2009533552 A	17-09-2009
		US 2009280326 A1	12-11-2009
		WO 2007115964 A1	18-10-2007

US 6555160 B1	29-04-2003	NONE	

DE 102006038780 A1	21-02-2008	DE 102006038780 A1	21-02-2008
		EP 2054166 A1	06-05-2009
		WO 2008020082 A1	21-02-2008

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES

INV. C23C4/12 C23C8/36 B05B7/22 H05H1/26
ADD.

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

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)

C23C B05B H05H

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

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	DE 10 2009 015510 A1 (REINHAUSEN PLASMA GMBH [DE]) 7. Oktober 2010 (2010-10-07)	16-18
A	Absatz [0040]; Ansprüche 2,5,9-15; Abbildung 5	8,9
X	WO 2009/106113 A1 (REINHAUSEN MASCHF SCHEUBECK [DE]; BISGES MICHAEL [DE]; HARTMANN UWE [D]) 3. September 2009 (2009-09-03) Seite 5, Zeilen 1-13; Anspruch 9; Abbildung 4	16-18
	----- -/-	



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

9. Mai 2012

Absendedatum des internationalen Recherchenberichts

16/05/2012

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

Chalaftris, Georgios

C. (Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	WO 2007/115964 A1 (CIBA SC HOLDING AG [CH]; GIESENBERG THOMAS [CH]; HAENGGI PETER [CH]; B) 18. Oktober 2007 (2007-10-18) Seite 5, Zeilen 23-28; Ansprüche 1,2,4,5 Seite 6, Zeilen 18-25 Seite 7, Zeilen 13-31 Seite 14, Zeilen 25-31 -----	1-5,7, 10-15, 19,20
X	US 6 555 160 B1 (CLOUGH THOMAS J [US]) 29. April 2003 (2003-04-29) Spalte 20, Zeilen 15-48; Ansprüche 1,5,9-13 Spalte 5, Zeile 27 - Spalte 8, Zeile 27 -----	1,19,20
A	DE 10 2006 038780 A1 (FRAUNHOFER GES FORSCHUNG [DE]) 21. Februar 2008 (2008-02-21) Absätze [0035] - [0037]; Anspruch 1 -----	16-18

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2012/054530

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
DE 102009015510 A1	07-10-2010	CN 102379163 A	14-03-2012
		DE 102009015510 A1	07-10-2010
		EP 2415331 A1	08-02-2012
		KR 20120004972 A	13-01-2012
		WO 2010112378 A1	07-10-2010

WO 2009106113 A1	03-09-2009	DE 102008011249 A1	10-09-2009
		EP 2247766 A1	10-11-2010
		WO 2009106113 A1	03-09-2009

WO 2007115964 A1	18-10-2007	EP 2004873 A1	24-12-2008
		JP 2009533552 A	17-09-2009
		US 2009280326 A1	12-11-2009
		WO 2007115964 A1	18-10-2007

US 6555160 B1	29-04-2003	KEINE	

DE 102006038780 A1	21-02-2008	DE 102006038780 A1	21-02-2008
		EP 2054166 A1	06-05-2009
		WO 2008020082 A1	21-02-2008
