

(19)



(11)

**EP 2 711 441 B1**

(12)

**EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT**

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des Hinweises auf die Patenterteilung:  
**02.08.2017 Patentblatt 2017/31**

(51) Int Cl.:  
**C23C 4/134** <sup>(2016.01)</sup>      **B05B 7/22** <sup>(2006.01)</sup>  
**B05B 12/14** <sup>(2006.01)</sup>      **C23C 4/01** <sup>(2016.01)</sup>

(21) Anmeldenummer: **13184028.2**

(22) Anmeldetag: **12.09.2013**

**(54) Vorrichtung und Verfahren zur Erzeugung eines Schichtsystems**

Device and method for creating a coating system

Dispositif et procédé destinés à la production d'un système de couches

(84) Benannte Vertragsstaaten:  
**AL AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MK MT NL NO PL PT RO RS SE SI SK SM TR**

(30) Priorität: **21.09.2012 DE 102012108919**

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:  
**26.03.2014 Patentblatt 2014/13**

(73) Patentinhaber: **Maschinenfabrik Reinhausen GmbH**  
**93059 Regensburg (DE)**

(72) Erfinder:  
• **NETTESHEIM, Stefan**  
**93051 Regensburg (DE)**  
• **FORSTER, Klaus**  
**93077 Bad Abbach (DE)**

(74) Vertreter: **Reichert & Lindner Partnerschaft Patentanwälte**  
**Bismarckplatz 8**  
**93047 Regensburg (DE)**

(56) Entgegenhaltungen:  
**EP-A1- 0 139 396 US-A- 3 545 944**  
**US-A- 3 912 235 US-A- 4 391 860**

**EP 2 711 441 B1**

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents im Europäischen Patentblatt kann jedermann nach Maßgabe der Ausführungsordnung beim Europäischen Patentamt gegen dieses Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist. (Art. 99(1) Europäisches Patentübereinkommen).

## Beschreibung

**[0001]** Die Erfindung betrifft eine Beschichtungsvorrichtung zur Beschichtung eines Substrates mit einer Plasmaerzeugungsvorrichtung nach dem Oberbegriff von Anspruch 1. Weiterhin betrifft die Erfindung ein Verfahren zum Beschichten eines Substrates nach dem Oberbegriff von Anspruch 11.

## Hintergrund der Erfindung

**[0002]** Das komplexe Anforderungsprofil moderner ingenieur- und werkstofftechnischer Aufgabenstellungen bedingt in zunehmendem Maße den Einsatz von Werkstoffkombinationen auch in Form von Verbundmaterialien oder Schichtsystemen. Derartige Schichtsysteme können beispielsweise als Schutz- oder Funktionsschichten auf Körpern gegen korrosive, thermische, chemische oder biologische Beanspruchungen in vielfältiger Weise eingesetzt werden. Zur Herstellung solcher Werkstoff- oder Schichtverbunde werden gegenwärtig verschiedene Technologien eingesetzt. Dabei kommen oft die chemische Gasabscheidung (chemical vapor deposition CVD) oder die physikalische Gasabscheidung (physical vapor deposition PVD) zum Einsatz. Auch das Löten, das Diffusionsschweißen oder das pulvermetallurgische Verbundpressen mit möglicher nachfolgender Schmiedeoperation sind etablierte Verfahren. Die Schichten werden dabei entweder über die schmelzflüssige Phase (thermisches Spritzen) oder über die Dampf- (PVD) oder Gasphase (CVD) auf einem kompakten Substrat aufgebracht oder als kompakte Teile mittels eines Hilfswerkstoffs (Löten) oder durch gleichzeitige Anwendung von Druck und Temperatur (Diffusionsschweißen) direkt mit einem kompakten Substratwerkstoff verbunden.

**[0003]** Diese bekannten Technologien weisen allerdings verfahrensspezifische Grenzen auf. So vermindern auftretende ungünstige Schichteigenschaften, wie z. B. offene Porosität und Risse in der Schicht die Schutzwirkung gegenüber reaktiven Medien. Auch können aufgrund von Temperaturgradienten zwischen den Werkstoffen bei der Herstellung der Schichtverbunde oftmals Restspannungen in der thermisch beeinflussten Zone der Bauteile zurückbleiben. Damit sind oftmals aufwändige Nachbehandlungen erforderlich.

## Stand der Technik

**[0004]** Diese Nachteile können durch das direkte Aufbringen von Schichten mit Hilfe eines Plasmajets, in den Pulver eingebracht wird, oftmals reduziert oder ganz verhindert werden. Ein derartiges Verfahren ist beispielsweise aus der US 5,853,815 bekannt. In diesem Dokument wird vorgeschlagen, ein Substrat dadurch homogen zu beschichten, dass ein Plasmastrahl die ganze Breite des Substrates überdeckt. Hierzu ist ein Partikelreservoir über eine Leitung direkt mit einer Plasmaerzeu-

gungseinheit verbunden. Ein großer Druckunterschied zwischen der Beschichtungsfackel der Plasmaerzeugungseinheit und der Umgebung der Beschichtungsfackel erzeugt ein Schockmuster, das dazu führt, dass sowohl der Beschichtungsstrom breit gefächert, wie auch das Beschichtungsmaterial gut im Plasmastrahl verteilt wird. Dabei können vielfältige Materialkombinationen auf ein Substrat aufgebracht werden. Hierzu wird beispielsweise ein Pulver eingesetzt, das aus einem Gemisch aus mehreren Materialklassen besteht. Damit können vielfältige Materialkombinationen bei entsprechender Düsenführung auch auf komplex geformte Substrate aufgetragen werden. Auf diese Weise kann z.B. ein sehr verschleißfestes aber sprödes Material in eine elastische Matrix eingebunden werden. Auch ist es möglich, während des Beschichtungsprozesses Pulver, die aus einer Mischung von mehreren feinkörnigen metallischen Komponenten bestehen, zu sintern.

**[0005]** Aus der DE 199 58 473 A1 sind ein Verfahren und eine Vorrichtung bekannt, wobei mit Hilfe eines Plasmaverfahrens ein mehrschichtiger Aufbau auf einem Substrat aufgebracht wird. Dabei können die Eigenschaften der einzelnen Schichten in einem weiten Bereich gewählt werden. Hierzu wird vorgeschlagen, dem aus der Plasmaerzeugungseinrichtung austretenden Plasmastrahl die eine Schicht bildenden Spezies, so genannte Precursormaterialien, in Form von Pulver, Gasen oder Flüssigkeiten zuzuführen, die dann im Plasma chemisch oder physikalisch so verändert werden, dass sie als Cluster im Nano- oder Mikroskalenbereich auf dem Substrat abgeschieden werden. Damit kann ein Komposit-Schichtsystem aufgebracht werden, wenn Precursormaterialien mit unterschiedlichen Eigenschaften an unterschiedlichen Stellen des Plasmastrahls eingebracht werden.

**[0006]** Ein Nachteil dieser Vorgehensweise beim Aufbringen von Schichten auf Substrate besteht darin, dass die Eigenschaft der aufzubringenden Schicht im Prozess festgelegt ist.

**[0007]** Die internationale Anmeldung PCT/DE2006/000638, veröffentlicht als WO 2006/108395 A1, beschreibt eine Vorrichtung und ein Verfahren zur Plasmabeschichtung. Dabei wird ein Plasmaabrenner mit mehreren Expansionsstufen offenbart, wobei jede Expansionsstufe eine Zuführeinrichtung für einen Beschichtungswerkstoff aufweist. An die Expansionsstufen schließt sich eine Mischkammer an, in der die Beschichtungswerkstoffe miteinander und mit dem Plasma vermischt werden.

**[0008]** Die deutsche Patentschrift DE 10 2008 053 640 B3 offenbart ein Beschichtungsverfahren, bei dem eine Schicht auf ein Objekt aufgespritzt wird. Das aufzuspritzende Material wird durch einen Lichtbogen aus Drähten geschmolzen. Ein Füllstoff kann über einen Injektor in den Spritzstrahl eingebracht werden.

**[0009]** Das US-Patent 3,912,235 beschreibt eine Vorrichtung zur Erzeugung einer Beschichtung mit variabler Zusammensetzung. Aus drei Pulverreservoirs wird je-

weils ein Pulver zu einem Mischelement geführt, wo die Pulver vermischt werden. Von dort gelangt das resultierende Pulvergemisch letztlich zu einer thermischen Spritzpistole, etwa auf Plasmabasis. Das Mischungsverhältnis der Pulver aus den einzelnen Reservoirien wird durch Ansteuerung der einzelnen Reservoirie geregelt, insbesondere kann ein jeweiliger Gasdruck, mit dem die einzelnen Reservoirie beaufschlagt werden, gesteuert werden.

**[0010]** Die europäische Patentanmeldung EP 0 139 396 A1 betrifft eine beschichtete Turbinenschaufel und beschreibt eine Vorrichtung zur Herstellung der Beschichtung. Dabei wird aus zwei Pulverreservoirien jeweils ein Pulver entnommen und einem Mischbehältnis zugeführt, von wo es letztlich einem Plasmastrahl zugeführt wird, welcher es auf die Turbinenschaufel aufbringt. Über Ansteuerung der beiden Pulverreservoirie wird das Mischungsverhältnis der beiden Pulver in der Beschichtung variiert.

**[0011]** Das US-Patent 4,391,860 zeigt eine Beschichtungsvorrichtung, bei der ein Pulvergemisch einer Spritzvorrichtung zugeführt wird. Die Zusammensetzung des Pulvergemisches wird durch Steuerung der Zufuhrsysteme für die einzelnen Pulver geregelt.

**[0012]** Die Aufgabe der vorliegenden Erfindung besteht darin, eine Vorrichtung vorzuschlagen, mit der eine Beschichtung eines Substrats möglich wird, wobei die Eigenschaften der aufzubringenden Schicht auch während des Beschichtungsprozesses veränderbar sind. Eine weitere Aufgabe der Erfindung besteht darin, ein Verfahren vorzuschlagen, mit dem die Möglichkeiten bei der Beschichtung von Substraten variabler gestaltet werden können.

**[0013]** Erfindungsgemäß wird diese Aufgabe durch eine Beschichtungsvorrichtung zur Beschichtung eines Substrates mit einer Plasmaerzeugungsvorrichtung mit den Merkmalen gemäß Anspruch 1 gelöst. Im Hinblick auf das Verfahren wird die Aufgabe durch ein Verfahren zur Beschichtung eines Substrats mit den Merkmalen gemäß Anspruch 11 gelöst.

Es wird also eine Beschichtungsvorrichtung zur Beschichtung eines Substrates vorgeschlagen. Diese weist eine Plasmaerzeugungsvorrichtung zur Erzeugung eines Plasmastrahls auf, wobei aus einem Beschichtungskopf der Plasmaerzeugungsvorrichtung der Plasmastrahl austritt. Partikel aus einem ersten Partikelreservoir können dem Plasmastrahl über eine Transportleitung zugeführt werden. Ein zweites Partikelreservoir ist vorgesehen, aus dem Partikel ebenfalls über die Transportleitung dem Plasmastrahl zugeführt werden können. Mit einer Dosiervorrichtung in der Transportleitung kann die Menge der Partikel aus dem ersten Partikelreservoir relativ zur Menge der Partikel aus dem zweiten Partikelreservoir eingestellt werden. Vorteilhaft ist dabei, dass dieses Mengenverhältnis auch während des Beschichtungsprozesses variiert werden kann. Damit kann auch ein sich änderndes Beschichtungsprofil auf der Oberfläche des Substrats erzeugt werden.

**[0014]** In einer bevorzugten Ausführungsform der Beschichtungsvorrichtung ist ein Regler zum Regeln der dem Plasmastrahl zugeführten Menge des Partikelgemisches vorgesehen. Dabei kann der Regler so ausgestaltet sein, dass die Menge der zugeführten Partikel in weiten Bereichen, auch während des Beschichtungsprozesses variiert werden kann. Darüber hinaus ist es möglich, den Regler als Schalter auszugestalten, oder den Regler so auszuführen, dass er eine Schalterfunktion aufweist, so dass mit diesem Schalter ein Freischalten und Unterbrechen der Zufuhr des Partikelgemisches zum Plasmastrahl möglich wird.

**[0015]** In einer weiteren Ausgestaltung der Erfindung ist eine Mehrzahl von Partikelreservoirs vorgesehen. Die Partikelreservoirs können dabei über eine gemeinsame Dosiervorrichtung in ihren Verhältnissen zueinander gemischt werden oder mit ihnen zugeordneten, separaten Beschichtungsköpfen auf die Oberfläche des Substrats aufgebracht werden.

**[0016]** Bevorzugt ist für jedes Partikelreservoir jeweils wenigstens ein separater Prozess vorgesehen, mit deren Hilfe sich aus den Partikelreservoirs ein fluidisiertes Pulver erzeugen lässt. Das Partikelreservoir und das zugeordnete Prozessgas bilden jeweils eine Partikelfördereinheit. Die Partikelfördereinheit kann eine Prozessgasregeleneinheit zum Regeln des Mischungsverhältnisses aus Partikeln und Prozessgas aufweisen.

**[0017]** In einer weiteren Ausführungsform der Erfindung kann die Beschichtungsvorrichtung wenigstens einen zweiten Beschichtungskopf und eine weitere, dem zweiten Beschichtungskopf zugeordnete Partikelfördereinheit aufweisen. Die Partikelfördereinheit weist dabei ein weiteres Partikelreservoir, ein Prozessgas und eine Prozessgasregeleneinheit auf. Bei dieser Ausgestaltung der Erfindung ist es auch möglich, eine Mehrzahl von Beschichtungsköpfen und jeweils zugeordneten Partikelfördereinheiten vorzusehen.

**[0018]** Im Hinblick auf das Verfahren zum Beschichten eines Substrates erfolgt die Beschichtung in einer ersten Ausgestaltung mit einer Beschichtungsvorrichtung, die eine Plasmaerzeugungsvorrichtung zur Erzeugung eines Plasmastrahls und einen Beschichtungskopf aufweist, aus dem der Plasmastrahl austritt. Zur Beschichtung des Substrates werden aus einem ersten Partikelreservoir Partikel über eine Transportleitung dem Plasmastrahl zugeführt. Weiterhin werden Partikel aus einem zweiten Partikelreservoir mit denen aus dem ersten Partikelreservoir über eine Dosiervorrichtung gemischt und dann gemeinsam in die Transportleitung eingebracht und als Partikelgemisch dem Plasmastrahl zugeführt. Der Plasmastrahl wird dann zusammen mit dem Partikelgemisch auf die Oberfläche des Substrats zur Bildung der Beschichtung gerichtet. Dabei können die Partikel aus dem ersten Partikelreservoir mit einem ersten Prozessgas fluidisiert und die Partikel aus dem zweiten Partikelreservoir mit einem zweiten Prozessgas fluidisiert werden. Der Anteil am Gemisch von Partikeln aus dem ersten Partikelreservoir kann zwischen 10% und 90%

und der Anteil von Partikeln aus dem zweiten Partikelreservoir kann zwischen 10% und 90% eingestellt werden. Außerdem ist es möglich, den Anteil von Partikeln aus dem ersten Partikelreservoir relativ zum Anteil von Partikeln aus dem zweiten Partikelreservoir während der Beschichtung des Substrats zu variieren, indem das Mischungsverhältnis zwischen den ersten und zweiten Partikeln während des Auftragens verändert wird.

**[0019]** In einem nicht erfindungsgemäßen Verfahren erfolgt die Beschichtung mit einer Beschichtungsvorrichtung, die eine Plasmaerzeugungsvorrichtung zur Erzeugung eines Plasmastrahls und einem Beschichtungskopf aufweist, aus dem der Plasmastrahl austritt. Dabei wird das Substrat dadurch beschichtet, dass Partikel aus einem ersten Partikelreservoir über eine Transportleitung dem Plasmastrahl an einer ersten Zuführstelle zugeführt werden und Partikel aus einem zweiten Partikelreservoir dem Plasmastrahl an einer zweiten Zuführstelle so zugeführt werden, dass auf dem Substrat eine erste Schicht mit Partikeln aus dem ersten

**[0020]** Partikelreservoir und eine zweite Schicht mit Partikeln aus dem zweiten Partikelreservoir entsteht. Alternativ können die erste und die zweite Zuführstelle auch so gewählt werden, dass auf dem Substrat eine Gradientenschicht oder eine Verbundschicht entsteht.

**[0021]** Die zweite Schicht oder die Gradientenschicht oder die Verbundschicht kann in einer weiteren Ausgestaltung dieses Verfahrens mit einer weiteren Schicht abgedeckt werden, wobei Partikel aus einem dritten Partikelreservoir einer weiteren Transportleitung zugeführt werden und dann dem zweiten Plasmastrahl eines zweiten Beschichtungskopfes zugeführt und dann auf die zweite Schicht mit Partikeln aus dem zweiten Partikelreservoir oder auf die Gradientenschicht oder auf die Verbundschicht aufgebracht werden.

**[0022]** Mit dem erfindungsgemäßen Verfahren und der erfindungsgemäßen Vorrichtung können so die Eigenschaften der aufzubringenden Schicht in einem weiten Bereich variiert werden. Durch gezielte und geregelte Einbringung der Beschichtungsmaterialien in den Plasmaschichtungsprozess können funktionale Verbundschichten aufgebracht werden. Die Dicke und Zusammensetzung der Verbundschicht kann dabei so geregelt werden, dass die gewünschten elektrischen, mechanischen und chemischen Eigenschaften maßgeschneidert werden können. Auch können mehrere Schichten auch mit unterschiedlichen Eigenschaften sowie Gradientenschichten auf dem Substrat erzeugt werden.

**[0023]** Weitere Vorteile und vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung sind Gegenstand der nachfolgenden Figuren sowie deren Beschreibungsteile.

**[0024]** Es zeigen im Einzelnen:

**Fig. 1:** schematisch eine Beschichtungsvorrichtung mit einem Plasmamodul;

**Fig. 2:** schematisch eine nicht erfindungsgemäße Beschichtungsvorrichtung mit einem

Plasmamodul;

**Fig. 3a - c:** Beispiele in schematischer Darstellung für die mit der Beschichtungsvorrichtung herstellbaren Schichten;

**Fig. 4:** eine schematische Darstellung für eine mögliche Schichtenabfolge auf einem Substrat nach einer Beschichtung;

**Fig. 5:** eine schematische Darstellung des Prinzips einer Gradientenschicht durch ein Tiefenprofil; und

**Fig. 6:** eine schematische Darstellung eines Beispiels für eine mit der Beschichtungsvorrichtung hergestellte leitfähige Beschichtung.

**[0025]** Fig. 1 zeigt schematisch eine Beschichtungsvorrichtung 10 zur Beschichtung eines Substrates 12. Die Beschichtungsvorrichtung 10 weist ein Plasmamodul auf, das einen Beschichtungskopf 26, eine Quelle für ein Plasmaprozessgas 56 und ein Netzteil 58 umfasst.

**[0026]** Der Beschichtungskopf 26 besteht aus einer Brennkammer 60 in der zwischen zwei Elektroden 62 und 64 ein Lichtbogen 20 gezündet wird. Diesem Lichtbogen 20 wird aus dem Netzteil 58 zur Aufrechterhaltung elektrische Energie zugeführt, so dass sich je nach Modulation des Netzteils 58 ein kontinuierlicher Plasmastrahl 22 oder gepulster Plasmastrahl 22 ausbildet, der an der Auslassseite 26A des Beschichtungskopfes 26 austritt. An der Einströmseite 26E des Beschichtungskopfes 26 kann ein Plasmaprozessgas 56 zugeführt werden, so dass die Brennkammer 60 in geregelter Art von dem Plasmaprozessgas 56 durchströmt wird. In den Plasmastrahl 22 kann über einen Injektor 66, der hier als externer Injektor dargestellt ist, ein Gemisch aus Prozessgas 30, 32 und Partikeln zugeführt werden. Durch die hohe Energiedichte im Plasmastrahl 22 können die Partikel teilweise aufgeschmolzen werden. So können sie auf der Oberfläche 12a des Substrats 12 als erste Schicht 50 abgeschieden werden. Da das Substrat 12 und der Beschichtungskopf 26 relativ zueinander beweglich sind, kann auf diese Weise eine durchgehende Schicht 50 auf dem Substrat 12 erzeugt werden.

**[0027]** Das zum Injektor 66 geführte Partikelgemisch stammt bei der in Figur 1 dargestellten Ausführungsform der Erfindung aus einer ersten Partikelfördereinheit 34 und einer zweiten Partikelfördereinheit 36. In den Partikelfördereinheiten 34, 36 ist jeweils eine Prozessgasregleinheit 38, 42 vorgesehen. Diese ermöglicht es, jeweils die Anteile an Partikeln in dem jeweiligen Prozessgas 30, 32 unabhängig voneinander zu regeln. Bei Bedarf kann in jeder Partikelfördereinheit 34, 36 jeweils mit verschiedenen Prozessgasen 30, 32 gearbeitet werden, die dann jeweils auf die eingesetzten Partikel in den Partikelreservoirs abgestimmt sind. Aus der Mischung der

Partikel mit den Prozessgasen 30, 32 werden so Fluide erzeugt, die mit Hilfe einer Dosiervorrichtung 18 in unterschiedlichen Anteilen zueinander gemischt werden können. Die Mischung hängt dabei von der auf dem Substrat 12 gewünschten Schicht 50 ab. Üblicherweise wird das Mischungsverhältnis der Partikel zueinander so gestaltet, dass der Anteil am Partikelgemisch von Partikeln aus dem ersten Partikelreservoir 14 zwischen 10% und 90% und der Anteil von Partikeln aus dem zweiten Partikelreservoir 16 zwischen 10% und 90% eingestellt wird.

**[0028]** Die Dosiervorrichtung 18 ist dabei so ausgeführt, dass mit ihr ein zeitlich festes Verhältnis zwischen dem Anteil am Partikelgemisch von Partikeln aus dem ersten Partikelreservoir 14 und dem Anteil von Partikeln aus dem zweiten Partikelreservoir 16 eingestellt werden kann. Weiterhin können auch Dosiervorrichtungen 18 eingesetzt werden, mit denen darüber hinaus oder ausschließlich ein sich zeitlich änderndes Mischungsverhältnis eingestellt werden kann. Bei der Dosierung ist es auch möglich, zumindest zeitlich befristet, den Anteil eines der Partikel auf 0 zu setzen, so dass für einen bestimmten Bereich auf der Oberfläche des Substrates 12 die aufgebrauchte erste Schicht 50 ausschließlich aus Partikeln aus einem Partikelreservoir besteht.

**[0029]** Die Dosiervorrichtung 18 kann hierzu beispielsweise als Medienaddierer ausgeführt sein. Dabei können in den Medienaddierer zwei Fluide als zwei oder mehr Teilströme in eine oder mehrere Mischkammern eingeleitet werden, wo dann die Mischung erfolgt. Die Mischung kann überwacht werden, wobei auch ein sich zeitlich änderndes Mischungsverhältnis eingestellt werden kann. Die Mischung wird dann üblicherweise aus einer Öffnung im Boden oder im Deckel der Mischkammer abgelassen und der Transportleitung 24 zugeführt, die beispielsweise als Schlauchsystem ausgeführt sein kann. Für die Transportleitung 24 können auch andere Materialien als Schläuche, wie etwa Metalleitungen, verwendet werden, je nachdem, welche Partikel für die Beschichtung des Substrats 12 eingesetzt werden sollen. Über die Transportleitung 24 gelangt das Partikelgemisch zu dem Injektor 66. Dem Injektor 66 kann ein Regler 28 vorgeschaltet sein, mit dessen Hilfe es möglich ist, die dem Injektor 66 zugeführte Menge des Partikelgemisches zu regeln. Dabei kann die Regelung durch ein Drosseln des Partikelstroms oder durch einen dynamischen Schaltvorgang, d. h. durch ein kontrolliertes Unterbrechen und Freischalten des Weges zur Transportleitung 24 im Regler 28 erfolgen.

**[0030]** Mit dieser Vorrichtung lassen sich dynamisch veränderbare Schichten 50 auftragen. Schichtdicke und Materialzusammensetzung lassen sich dynamisch über die Förderraten der Partikelfördereinheiten 34, 36 und den Regler 28 einstellen. Damit kann die Schichtzusammensetzung auch während eines laufenden Beschichtungsprozesses dynamisch verändert werden.

**[0031]** Fig. 2 zeigt schematisch eine nicht erfindungsgemäße Vorrichtung zum Beschichten eines Substrates 12. Hier sind dem Beschichtungskopf 26 mehrere, im

vorliegenden gezeigten Beispiel zwei, Injektoren 66, 68 zugeordnet. Wiederum werden die Partikel aus den Partikelfördereinheiten 34, 36 in den gewünschten Anteilen fluidisiert. Danach werden die aus der Partikelfördereinheit 34 stammenden Partikel separat einem ersten Injektor 66 zugeführt und gelangen an einer ersten Zuführstelle 46 in den Plasmastrahl 22. Die Partikel aus der Partikelfördereinheit 36 werden einem zweiten Injektor 68 zugeführt und gelangen an einer zweiten Zuführstelle 48 in den Plasmastrahl 22. Den Injektoren 66, 68 können jeweils wiederum Dosiervorrichtungen 18 vorgelagert sein, deren Wirkungsweise bereits im Zusammenhang mit Fig. 1 beschrieben wurde. Durch diese Anordnung ergibt sich nun die Möglichkeit, zwei separate, voneinander unabhängige Schichten 50, 52 (Doppelschicht) auf der Oberfläche 12a des Substrats 12 zu erzeugen, deren Eigenschaften unterschiedlich sein können (siehe Fig. 6).

**[0032]** Weiterhin besteht auch die Möglichkeit, mit dieser Anordnung eine sogenannte Gradientenschicht 54 (siehe Fig. 3c) herzustellen. Besonders vorteilhaft ist dies, da sowohl die Doppelschicht, wie auch die Gradientenschicht 54 in einem Prozessschritt auf das Substrat 12 aufgebracht werden kann. Je nach Anordnung der Injektoren 66, 68 und damit je nach Lage der Zuführstellen 46, 48 zum Plasmastrahl 22 können so vielfältige Effekte erzielt werden. Diese beruhen darauf, dass die Injektion in verschiedenen Bereichen des Plasmastrahls 22 stattfindet. Diese Bereiche unterscheiden sich durch Strömungsgeschwindigkeit, Temperatur und Plasmazusammensetzung. Je nach strömungsmechanischer Vermischung der Materialströme entstehen Mehrfachschichten oder Mischschichten (Fig. 3).

**[0033]** In Figur 2 ist weiterhin schematisch dargestellt, dass der mit dem Beschichtungskopf 26 durchgeführte Prozess erweitert werden kann. Hierzu kann die Beschichtungsvorrichtung 10 um einen weiteren Beschichtungskopf 27 erweitert werden. Im einfachsten Fall ist diesem Beschichtungskopf 27 an seiner Einströmseite 27E ein Plasmaprozessgas 56 und ein Netzteil 58 zugeordnet. Weiterhin ist ihm eine dritte Partikelfördereinheit 37 zugeordnet, die wiederum ein Partikelreservoir 15 sowie ein Prozessgas 33 aufweist. Mit der Prozessgasregelung 44 kann wiederum das Verhältnis Prozessgas 33 zu Partikeln aus dem Partikelreservoir 15 eingestellt werden. Mit Hilfe einer bereits beschriebenen Dosiervorrichtung 18 kann auch die Partikelmenge aus dem Partikelreservoir 15 kontrolliert werden. So kann auf der zweiten Schicht 52 eine dritte Schicht 53 abgeschieden werden.

**[0034]** Um einen Schichtaufbau mit mehr als drei Schichten oder einen Schichtaufbau mit zwei oder mehr Gradientenschichten herstellen zu können, ist es möglich, die Beschichtungsvorrichtung 10 statt mit einem beschriebenen einfach betriebenen Beschichtungskopf 27 mit einem weiteren Beschichtungskopf 26 und zwei Injektoren 66, 68 auszustatten, die dem oben beschriebenen entsprechen.

**[0035]** In Fig. 3a ist schematisch ein Schichtaufbau gezeigt, wie er mit einer Beschichtungsvorrichtung 10 gemäß Fig. 2 herstellbar ist. Dabei ist auf dem Substrat 12 eine erste Schicht 50, eine zweite Schicht 52 und eine dritte Schicht 53 aufgebracht.

**[0036]** In Fig. 3b ist schematisch eine sogenannte Verbundschicht 55 dargestellt, die mit einer Beschichtungsvorrichtung 10 gemäß Fig. 1 oder 2 herstellbar ist. Dabei werden die aus den Partikelreservoirs 14, 16 stammenden Partikel im Mischungsprozess (Fig. 1) oder durch eine geeignete Wahl der Zuführstellen 46, 48 so miteinander vermischt, dass eine möglichst homogene Verteilung der Partikelarten im Volumen der aufgetragenen Verbundschicht 55 entsteht.

**[0037]** Fig. 3c zeigt schematisch eine Gradientenschicht 54, die mit der Beschichtungsvorrichtung 10 gemäß Fig. 2 herstellbar ist. Dabei werden die Zuführstellen 46, 48 so gewählt, dass die Anzahl der Partikel in y-Richtung jeweils ab- bzw. zunimmt.

**[0038]** Fig. 4 zeigt schematisch, dass es möglich ist, verschiedene Übergänge in der auf das Substrat 12 aufzubringenden Schichtfolge zu schaffen. Hierzu wird mit einer geeignet gewählten Konfiguration der Beschichtungsvorrichtung 10 in einem Beschichtungsdurchlauf die dargestellte Schichtenfolge erzeugt.

**[0039]** Im Segment A werden drei verschiedenen Materialien mit den Partikeln r, s, t in einem festen Verhältnis als Schicht auf dem Substrat 12 abgeschieden. Im Segment B, also zeitlich später im selben Beschichtungsvorgang, wird die Schichtdicke der Verbundschicht 55 stetig verringert und eine Deckschicht der Phase u auf die Verbundschicht 55 aufgebracht. Im Segment C wird die Schichtdicke der gesamten Multilage verringert bis in Segment D die Schicht komplett unterbrochen wird und damit das Substrat 12 an dieser Stelle nicht von einer Schicht bedeckt wird. Im Segment E wird die Schichtdicke der Phase u stetig erhöht und geht im Bereich F in eine Gradientenschicht 54 über, bei dem an der Oberfläche dieser Phase u das Material r in höchster Konzentration eingebettet ist.

**[0040]** Fig. 5 zeigt schematisch das Prinzip der Gestaltung einer Gradientenschicht anhand eines Tiefenprofils. Die Materialzusammensetzung geht von einem Schichtmaterial S1 aus, das die höchste Konzentration unmittelbar am Übergangspunkt zum Substrat 12 hat. In Richtung der Oberfläche nimmt das Schichtmaterial S1 stetig ab, bis es an der Oberfläche im Wesentlichen den Wert 0 erreicht. Hingegen hat das Schichtmaterial S2 am Übergangspunkt zum Substrat 12 im Wesentlichen den Wert 0 und nimmt in Richtung Oberfläche stetig zu. Im dargestellten Beispiel gibt es einen Übergangsbereich U, in dem das Schichtmaterial S1 und das Schichtmaterial S2 eine im Wesentlichen gleiche Konzentration aufweisen.

**[0041]** Fig. 6 zeigt einen konkreten Anwendungsfall für die erfindungsgemäße Beschichtungsvorrichtung 10 und das erfindungsgemäße Verfahren zum Beschichten eines Substrates 12 am Beispiel einer leitfähigen Schicht

74 und einer Isolationsschicht 72. Beide Schichten werden mit der Beschichtungsvorrichtung 10 auf ein Substrat 12 aufgebracht. Dabei wird die leitfähige Schicht 74 in einer bahnförmigen Struktur auf das Substrat 12 aufgebracht. Die so geformte Leiterbahn soll im Bereich K0 nach außen durch eine Isolationsschicht 72 geschützt sein. Dabei kann die Isolationsschicht in den Bereichen K1 und K2 zum Zweck der einfachen Kontaktierung unterbrochen sein.

#### Bezugszeichenliste:

#### [0042]

|     |                              |
|-----|------------------------------|
| 10  | Beschichtungsvorrichtung     |
| 12  | Substrat                     |
| 12a | Oberfläche des Substrats     |
| 14  | Partikelreservoir            |
| 15  | Partikelreservoir            |
| 16  | Partikelreservoir            |
| 18  | Dosiervorrichtung            |
| 20  | Lichtbogen                   |
| 22  | Plasmastrahl                 |
| 23  | zweiter Plasmastrahl         |
| 24  | Transportleitung             |
| 25  | zweite Transportleitung      |
| 26  | Beschichtungskopf            |
| 26A | Auslassseite                 |
| 26E | Einströmseite                |
| 27  | zweiter Beschichtungskopf    |
| 27E | Einströmseite                |
| 28  | Regler                       |
| 30  | Prozessgas                   |
| 32  | Prozessgas                   |
| 33  | Prozessgas                   |
| 34  | erste Partikelfördereinheit  |
| 36  | zweite Partikelfördereinheit |
| 37  | dritte Partikelfördereinheit |
| 38  | Prozessgasregleinheit        |
| 40  | Partikelfördereinheit        |
| 42  | Prozessgasregleinheit        |
| 44  | Prozessgasregleinheit        |
| 46  | erste Zuführstelle           |
| 48  | zweite Zuführstelle          |
| 50  | erste Schicht                |
| 52  | zweite Schicht               |
| 53  | dritte Schicht               |
| 54  | Gradientenschicht            |
| 55  | Verbundschicht               |
| 56  | Plasmaprozessgas             |
| 58  | Netzteil                     |
| 60  | Brennkammer                  |
| 62  | Elektrode                    |
| 64  | Elektrode                    |
| 66  | erster Injektor              |
| 68  | zweiter Injektor             |
| 70  | dritter Injektor             |
| 72  | Isolationsschicht            |

|                  |                        |
|------------------|------------------------|
| 74               | leitfähige Schicht     |
| A, B, C, D, E, F | Segmente einer Schicht |
| r, s, t          | Partikel               |
| S1               | Schichtmaterial        |
| S2               | Schichtmaterial        |
| U                | Übergangsbereich       |
| K1               | Bereich                |
| K2               | Bereich                |
| K3               | Bereich                |

### Patentansprüche

1. Beschichtungsvorrichtung (10) zur Beschichtung eines Substrates (12) mit einer Plasmaerzeugungsvorrichtung (20) zur Erzeugung eines Plasmastrahls (22), der aus einem Beschichtungskopf (26) der Plasmaerzeugungsvorrichtung (20) austritt, mit einem ersten Partikelreservoir (14), einem zweiten Partikelreservoir (16) und einer Transportleitung (24), über welche Partikel, die im ersten Partikelreservoir (14) untergebracht sind, gemeinsam mit Partikeln, die im zweiten Partikelreservoir (16) untergebracht sind, dem Plasmastrahl (22) zuführbar sind, **gekennzeichnet durch** eine Dosiervorrichtung (18), der die Partikel aus dem ersten Partikelreservoir (14) getrennt von den Partikeln aus dem zweiten Partikelreservoir (16) zuführbar sind, von der aus die Partikel aus dem ersten Partikelreservoir (14) und die Partikel aus dem zweiten Partikelreservoir (16) als ein Partikelgemisch der Transportleitung (24) zuführbar sind, und wobei durch die Dosiervorrichtung (18) die Menge der aus dem ersten Partikelreservoir (14) in die Transportleitung (24) eingebrachten Partikel relativ zu der Menge der aus dem zweiten Partikelreservoir (16) in die Transportleitung (24) eingebrachten Partikel dosierbar ist.
2. Beschichtungsvorrichtung (10) nach Anspruch 1, **wobei** die Dosiervorrichtung (18) so ausgeführt ist, dass sie eine zeitlich veränderbare Zusammensetzung des Partikelgemisches ermöglicht.
3. Beschichtungsvorrichtung (10) nach Anspruch 1 oder 2, **wobei** ein Regler (28) zum Regeln der dem Plasmastrahl (22) zugeführten Menge des Partikelgemisches vorgesehen ist.
4. Beschichtungsvorrichtung (10) nach Anspruch 3, **wobei** der Regler (28) als Schalter zum Freischalten und / oder Unterbrechen der Zufuhr des Partikelgemisches zum Plasmastrahl (22) ausgeführt ist.
5. Beschichtungsvorrichtung (10) nach einem der Ansprüche 1 bis 4, **wobei** eine Mehrzahl von Partikelreservoirs (14, 16) vorgesehen ist.
6. Beschichtungsvorrichtung (10) nach einem der An-

sprüche 1 - 5, **wobei** wenigstens ein separates Prozessgas (30) so vorgesehen ist, dass die Partikel aus einem der Partikelreservoirs (14, 16) mit dem Prozessgas (30) mischbar sind und ein fluidisiertes Pulver bilden.

7. Beschichtungsvorrichtung (10) nach Anspruch 6, **wobei** jedem Partikelreservoir (14, 16) ein separates Prozessgas (30, 32) zugeordnet ist.
8. Beschichtungsvorrichtung (10) nach Anspruch 6 oder 7, **wobei** das Partikelreservoir (14, 16) und das ihm jeweils zugeordnete Prozessgas (30, 32) eine Partikelfördereinheit (34, 36) bilden, und die Partikelfördereinheit (34, 36) eine Prozessgasregelheit (38, 42) zum Regeln des Mischungsverhältnisses aus den Partikeln und dem Prozessgas (30, 36) aufweist.
9. Beschichtungsvorrichtung (10) nach einem der Ansprüche 1 bis 8, **wobei** die Beschichtungsvorrichtung (10) wenigstens einen zweiten Beschichtungskopf (27) und wenigstens eine weitere, dem zweiten Beschichtungskopf (27) zugeordnete Partikelfördereinheit (37) mit einem Partikelreservoir (15), einem zugeordneten Prozessgas (33) und einer Prozessgasregelheit (44), aufweist.
10. Beschichtungsvorrichtung (10) nach Anspruch 9, **wobei** die Beschichtungsvorrichtung eine Mehrzahl von Beschichtungsköpfen (26, 27) und jeweils zugeordneten Partikelfördereinheiten (34, 36, 37) aufweist.
11. Verfahren zum Beschichten eines Substrates (12) **gekennzeichnet durch** die folgenden Schritte:
  - dass mit mindestens einer Plasmaerzeugungsvorrichtung (20), die je einen Beschichtungskopf (26, 27) aufweist, je ein Plasmastrahl (22) erzeugt wird, der aus dem jeweiligen Beschichtungskopf (26, 27) austritt;
  - dass aus mindestens einem ersten Partikelreservoir (14) Partikel einer Dosiervorrichtung (18) zugeführt werden;
  - dass aus mindestens einem zweiten Partikelreservoir (16) Partikel der Dosiervorrichtung (18) getrennt von den Partikeln aus dem ersten Partikelreservoir (14) zugeführt werden;
  - dass in der Dosiervorrichtung (18) die Partikel aus dem ersten Partikelreservoir (14) und aus dem zweiten Partikelreservoir (16) zu einem Partikelgemisch vermischt werden, wobei durch die Dosiervorrichtung (18) ein Mischungsverhältnis der Partikel aus dem ersten Partikelreservoir (14) zu den Partikeln aus dem zweiten Partikelreservoir (16) vorgegeben wird;
  - dass über eine Transportleitung (24) aus der

DosierVorrichtung (18) das Partikelgemisch dem Plasmastrahl (22) zugeführt wird; und  
- dass der Plasmastrahl (22) zusammen mit dem Partikelgemisch auf eine Oberfläche (12a) des Substrats (12) zur Bildung der Beschichtung (50) gerichtet wird.

12. Verfahren nach Anspruch 11, wobei Partikel aus einem dritten Partikelreservoir (15) einer DosierVorrichtung (18) zugeführt und in dieser gemischt werden und über eine Transportleitung (24) aus der DosierVorrichtung (18) dem Plasmastrahl (23) zugeführt werden.

13. Verfahren zum Beschichten eines Substrats (12) nach Anspruch 12, **wobei** die Partikel aus dem ersten Partikelreservoir (14) mit einem ersten Prozessgas (30), die Partikel aus dem zweiten Partikelreservoir (16) mit einem zweiten Prozessgas (32) und die Partikel aus dem dritten Partikelreservoir (15) mit einem dritten Prozessgas (33) fluidisiert werden.

14. Verfahren zum Beschichten eines Substrats (12) nach Anspruch 11, **wobei** der Anteil von Partikeln aus dem ersten Partikelreservoir (14) relativ zum Anteil von Partikeln aus dem zweiten Partikelreservoir (16) während der Beschichtung des Substrats (12) variiert wird.

## Claims

1. A coating device (10) for coating a substrate (12), comprising a plasma generating device (20) for generating a plasma jet (22) which exits from a coating head (26) of the plasma generating device (20), comprising a first particle reservoir (14), a second particle reservoir (16) and a transport line (24) by means of which particles stored in the first particle reservoir (14) jointly with particles stored in the second particle reservoir (16) can be supplied to the plasma jet (22), **characterized by** a metering device (18) to which the particles from the first particle reservoir (14) can be supplied separately from the particles from the second particle reservoir (16), from which the particles from the first particle reservoir (14) and the particles from the second particle reservoir (16) can be supplied as a particle mixture to the transport line (24), and wherein the quantity of the particles introduced from the first particle reservoir (14) into the transport line (24) relative to the quantity of the particles introduced from the second particle reservoir (16) into the transport line (24) can be metered by the metering device (18).
2. The coating device (10) according to claim 1, wherein the metering device (18) is configured so that it

allows a time-variable composition of the particle mixture.

3. The coating device (10) according to claim 1 or 2, wherein a controller (28) is provided for controlling the amount of particle mixture supplied to the plasma jet (22).
4. The coating device (10) according to claim 3, wherein the controller (28) is designed as a switch for releasing and/or interrupting the supply of the particle mixture to the plasma jet (22).
5. The coating device (10) according to any one of claims 1 to 4, wherein a plurality of particle reservoirs (14, 16) is provided.
6. The coating device (10) according to any one of claims 1-5, wherein at least one separate process gas (30) is provided so that the particles from one of the particle reservoirs (14, 16) can be mixed with the process gas (30) and form a fluidized powder.
7. The coating device (10) according to claim 6, wherein a separate process gas (30, 32) is assigned to each particle reservoir (14, 16).
8. The coating device (10) according to claim 6 or 7, wherein the particle reservoir (14, 16) and the process gas (30, 32) assigned to it form a particle supply unit (34, 36) and the particle supply unit (34, 36) has a process gas control unit (38, 42) for controlling the mixing ratio between particles and the process gas (30, 36).
9. The coating device (10) according to any one of claims 1 to 8, wherein the coating device (10) has at least one second coating head (27) and at least one further particle supply unit (37) assigned to the second coating head (27), the further particle supply unit (37) comprising a particle reservoir (15), an assigned process gas (33) and a process gas control unit (44).
10. The coating device (10) according to claim 9, wherein the coating device has a plurality of coating heads (26, 27) and respectively assigned particle supply units (34, 36, 37).
11. Method for coating a substrate (12) **characterized by** the following steps:
  - generating a plasma jet (22) which exits from the respective coating head (26, 27) with at least one plasma generating device (20) each having a coating head (26, 27);
  - supplying particles from at least one first particle reservoir (14) to a metering device (18);
  - supplying particles from at least one second



particle reservoir (16) to the metering device (18) separately from the particles from the first particle reservoir (14);

- mixing the particles from the first particle reservoir (14) and from the second particle reservoir (16) to form a particle mixture in the metering device (18), wherein a mixing ratio of the particles from the first particle reservoir (14) to the particles from the second particle reservoir (16) is predefined by the metering device (18);

- supplying the particle mixture from the metering device (18) via a transport line (24) to the plasma jet (22); and

- directing the plasma jet (22) together with the particle mixture onto a surface (12a) of the substrate (12) to form the coating (50).

12. The method according to claim 11, wherein particles from a third particle reservoir (15) are supplied to a metering device (18) and are mixed in this and are supplied via a transport line (24) from the metering device (18) to the plasma jet (23).

13. The method for coating a substrate (12) according to claim 12, wherein the particles from the first particle reservoir (14) are fluidized with a first process gas (30), the particles from the second particle reservoir (16) are fluidized with a second process gas (32), and the particles from the third particle reservoir (15) are fluidized with a third process gas (33).

14. The method for coating a substrate (12) according to claim 11, wherein the proportion of particles from the first particle reservoir (14) relative to the proportion of particles from the second particle reservoir (16) is varied during the coating of the substrate (12).

## Revendications

1. Dispositif de revêtement (10) pour le revêtement d'un substrat (12) avec un dispositif de génération de plasma (20) pour la génération d'un faisceau de plasma (22) qui sort d'une tête de revêtement (26) du dispositif de génération de plasma (20), avec un premier réservoir de particules (14), un deuxième réservoir de particules (16) et une conduite de transport (24) par laquelle des particules contenues dans le premier réservoir de particules (14) peuvent être amenées en même temps que des particules contenues dans le deuxième réservoir de particules (16) jusqu'au faisceau de plasma (22), **caractérisé en ce qu'il** comprend un dispositif de dosage (18) auquel les particules provenant du premier réservoir de particules (14) peuvent être amenées séparément des particules provenant du deuxième réservoir de particules (16), à partir duquel les particules provenant du premier

réservoir de particules (14) et les particules provenant du deuxième réservoir de particules (16) peuvent être amenées en mélange à la conduite de transport (24), le dispositif de dosage (18) pouvant doser la quantité des particules amenées du premier réservoir de particules (14) dans la conduite de transport (24) par rapport à la quantité des particules amenées du deuxième réservoir de particules (16) dans la conduite de transport (24).

2. Dispositif de revêtement (10) selon la revendication 1, dans lequel le dispositif de dosage (18) est réalisé de manière à permettre une composition variable dans le temps du mélange de particules.

3. Dispositif de revêtement (10) selon la revendication 1 ou 2, dans lequel est prévu un régulateur (28) pour réguler la quantité du mélange de particules amené au faisceau de plasma (22).

4. Dispositif de revêtement (10) selon la revendication 3, dans lequel le régulateur (28) est conçu comme un commutateur pour débloquer et/ou interrompre l'arrivée du mélange de particules au faisceau de plasma (22).

5. Dispositif de revêtement (10) selon l'une des revendications 1 à 4, dans lequel sont prévus plusieurs réservoirs de particules (14, 16).

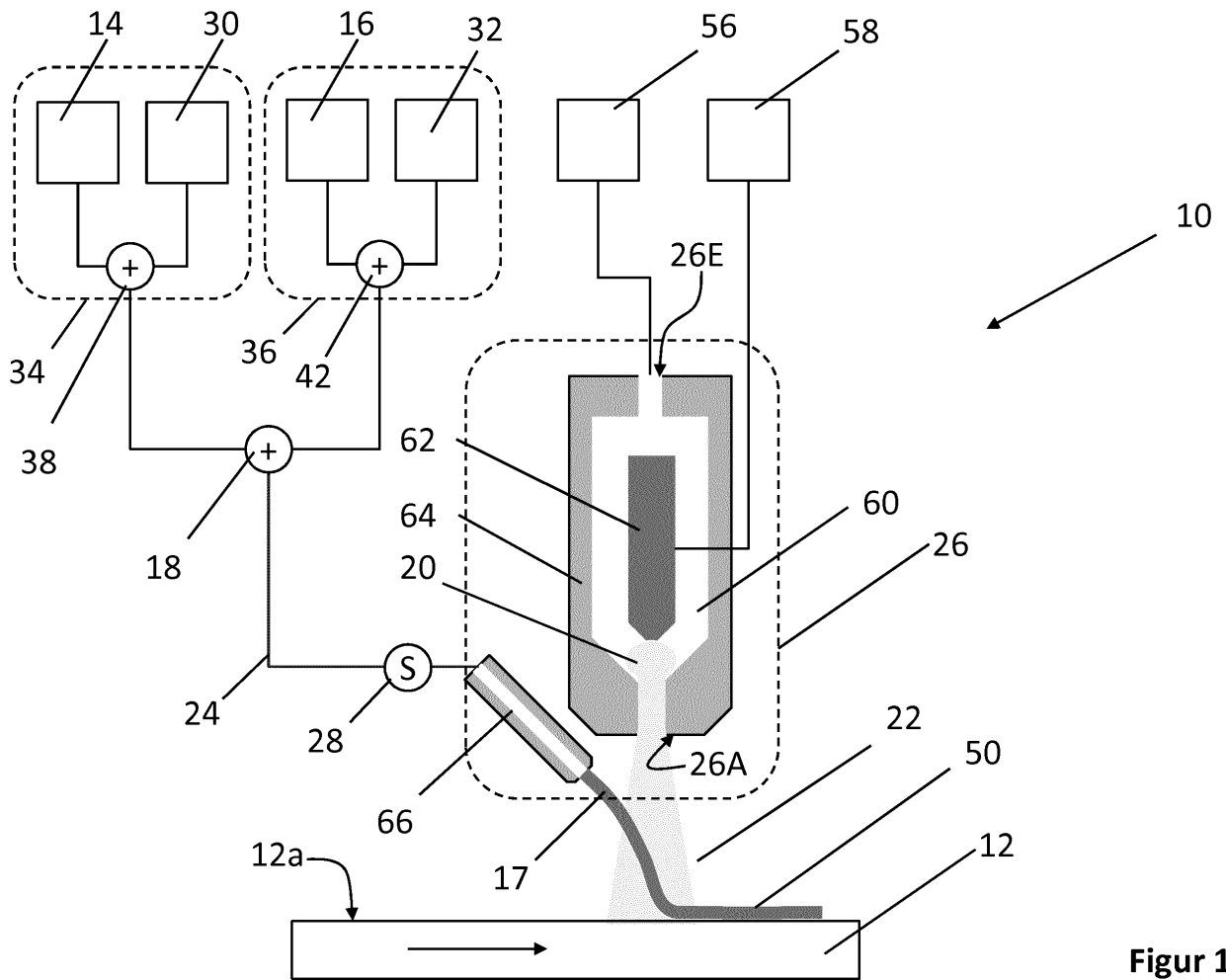
6. Dispositif de revêtement (10) selon l'une des revendications 1 à 5, dans lequel au moins un gaz de process (30) séparé est prévu de telle manière que les particules provenant de l'un des réservoirs de particules (14, 16) puissent être mélangées au gaz de process (30) et former une poudre fluidisée.

7. Dispositif de revêtement (10) selon la revendication 6, dans lequel chaque réservoir de particules (14, 16) est associé à un gaz de process (30, 32) séparé.

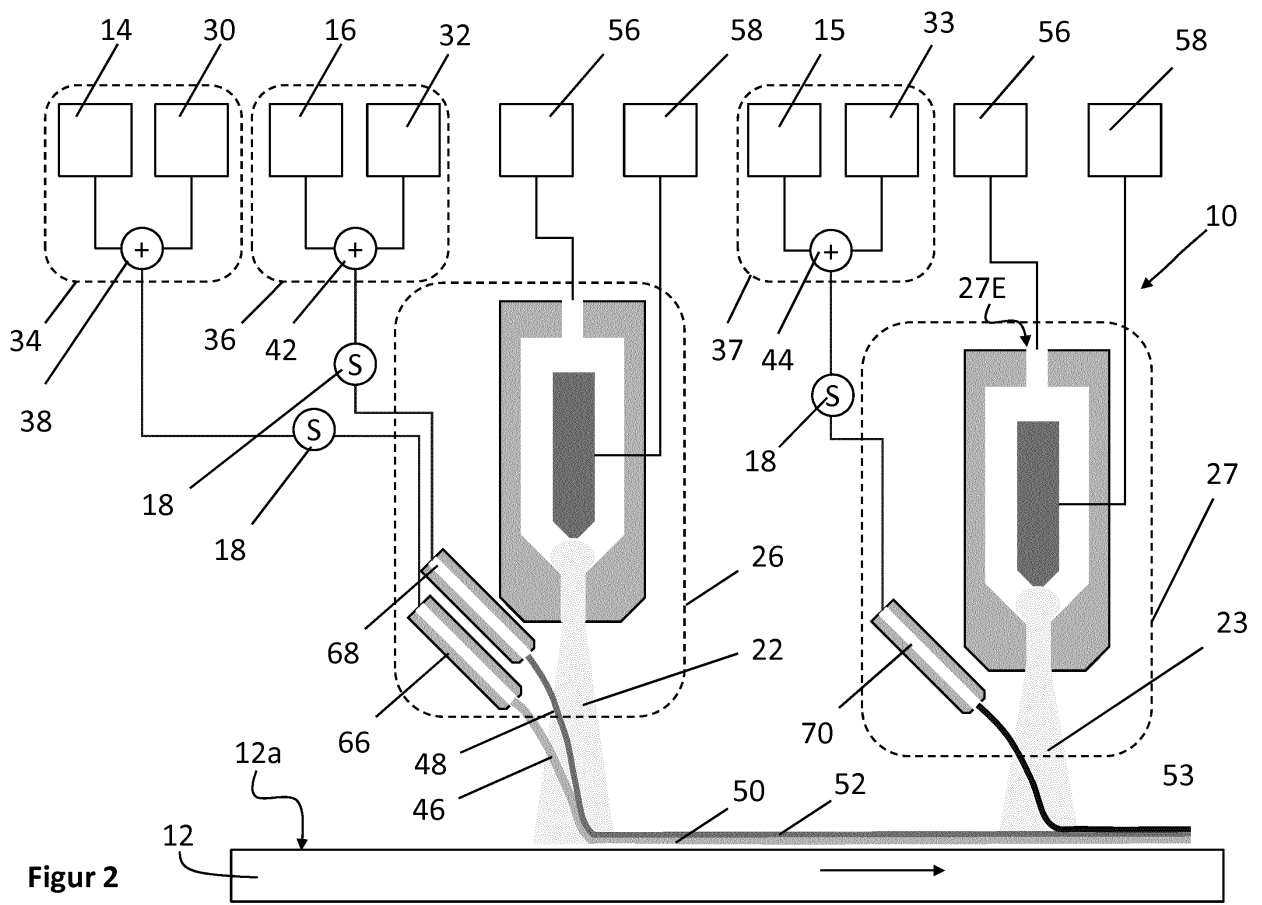
8. Dispositif de revêtement (10) selon la revendication 6 ou 7, dans lequel le réservoir de particules (14, 16) et le gaz de process (30, 32) qui lui est associé forment une unité d'acheminement de particules (34, 36) et l'unité d'acheminement de particules (34, 36) comprend une unité de régulation du gaz de process (38, 42) pour réguler le rapport de mélange des particules et du gaz de process (30, 36).

9. Dispositif de revêtement (10) selon l'une des revendications 1 à 8, lequel dispositif de revêtement (10) comprend au moins une deuxième tête de revêtement (27) et au moins une autre unité d'acheminement de particules (37) associée à la deuxième tête de revêtement (27) avec un réservoir de particules (15), un gaz de process (33) correspondant et une unité de régulation du gaz de process (44).

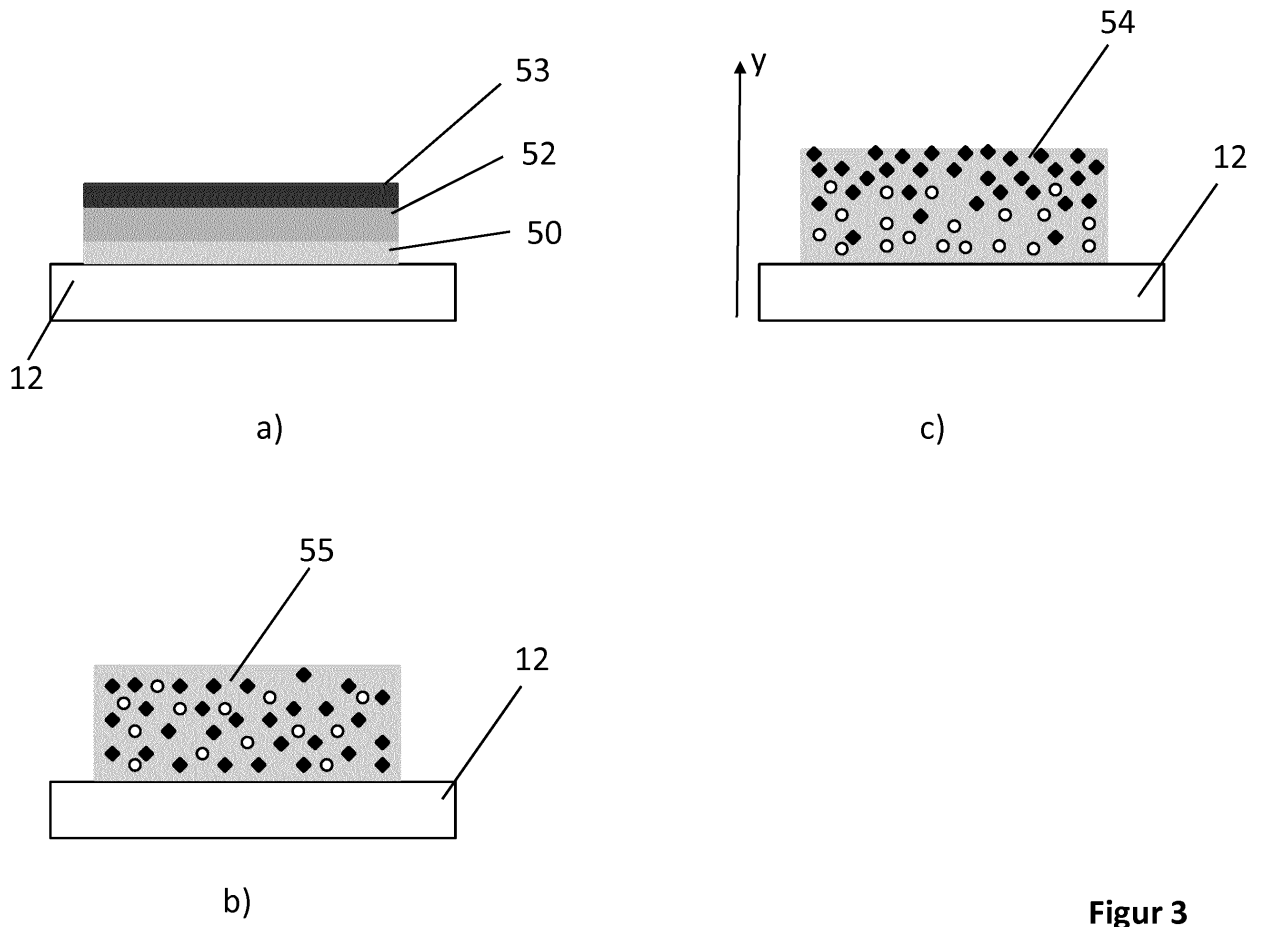
10. Dispositif de revêtement (10) selon la revendication 9, lequel dispositif de revêtement comprend plusieurs têtes de revêtement (26, 27) et des unités d'acheminement de particules (34, 36, 37) correspondantes. 5
11. Procédé de revêtement d'un substrat (12), **caractérisé en ce qu'**il comprend les étapes suivantes :
- au moins un dispositif de génération de plasma (20) comportant une tête de revêtement (26, 27) génère un faisceau de plasma (22) qui sort de la tête de revêtement (26, 27) correspondante ; 10
  - des particules sont amenées d'un premier réservoir de particules (14) à un dispositif de dosage (18) ; 15
  - des particules sont amenées d'un deuxième réservoir de particules (16) au dispositif de dosage (18) séparément des particules provenant du premier réservoir de particules (14) ; 20
  - dans le dispositif de dosage (18), les particules provenant du premier réservoir de particules (14) et du deuxième réservoir de particules (16) sont mélangées pour former un mélange de particules, le dispositif de dosage (18) déterminant un rapport de mélange entre les particules provenant du premier réservoir de particules (14) et celles provenant du deuxième réservoir de particules (16) ; 25
  - le mélange de particules est amené par une conduite de transport (24) du dispositif de dosage (18) au faisceau de plasma (22) ; et 30
  - le faisceau de plasma (22) est dirigé avec le mélange de particules vers une surface (12a) du substrat (12) pour former le revêtement (50). 35
12. Procédé selon la revendication 11, dans lequel des particules provenant d'un troisième réservoir de particules (15) sont amenées à un dispositif de dosage (18) et mélangées dans celui-ci et amenées par une conduite de transport (24) du dispositif de dosage (18) au faisceau de plasma (23). 40
13. Procédé de revêtement d'un substrat (12) selon la revendication 12, dans lequel les particules provenant du premier réservoir de particules (14) sont fluidisées avec un premier gaz de process (30), les particules provenant du deuxième réservoir de particules (16) avec un deuxième gaz de process (32) et les particules provenant du troisième réservoir de particules (15) avec un troisième gaz de process (33). 45 50
14. Procédé de revêtement d'un substrat (12) selon la revendication 11, dans lequel la part de particules provenant du premier réservoir de particules (14) est modifiée par rapport à la part de particules du deuxième réservoir de particules (16) pendant le revête- 55



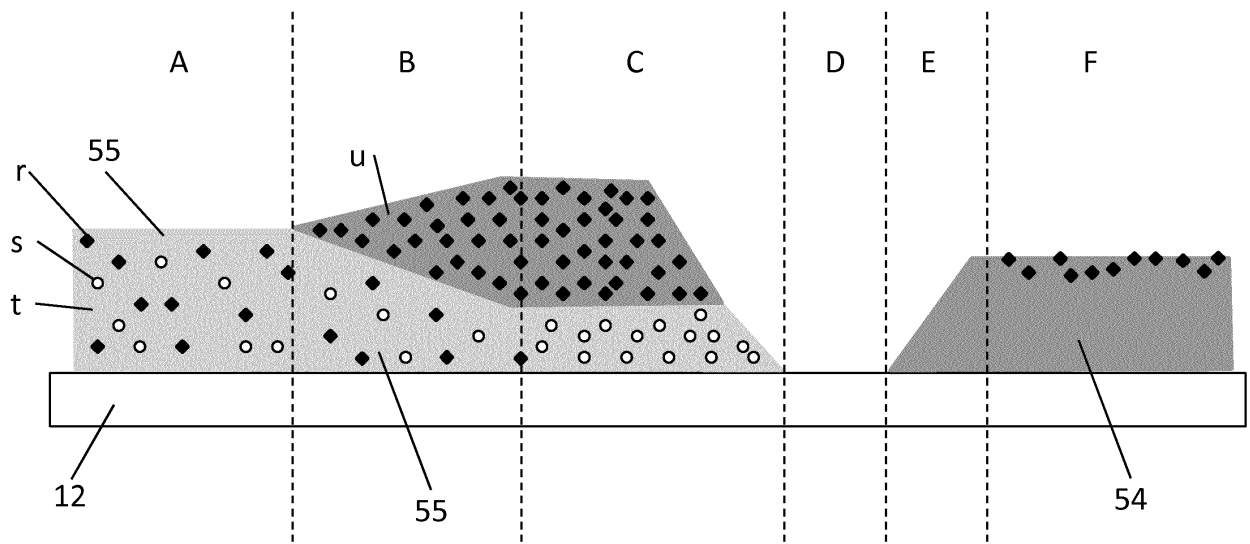
Figur 1



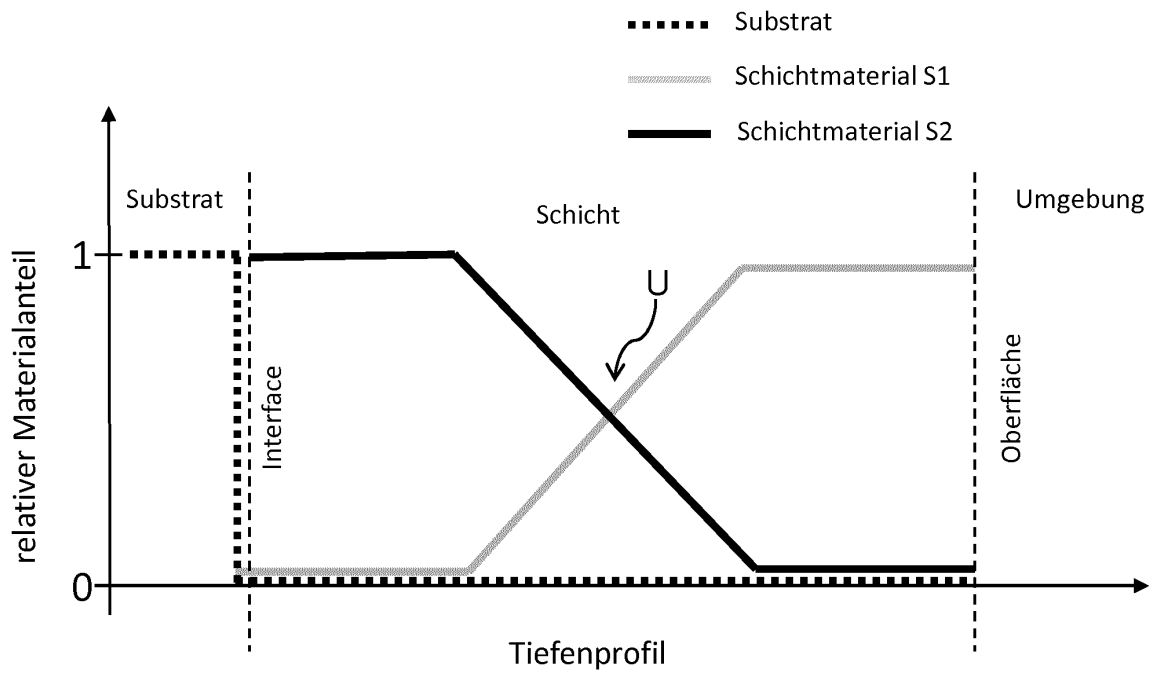
Figur 2



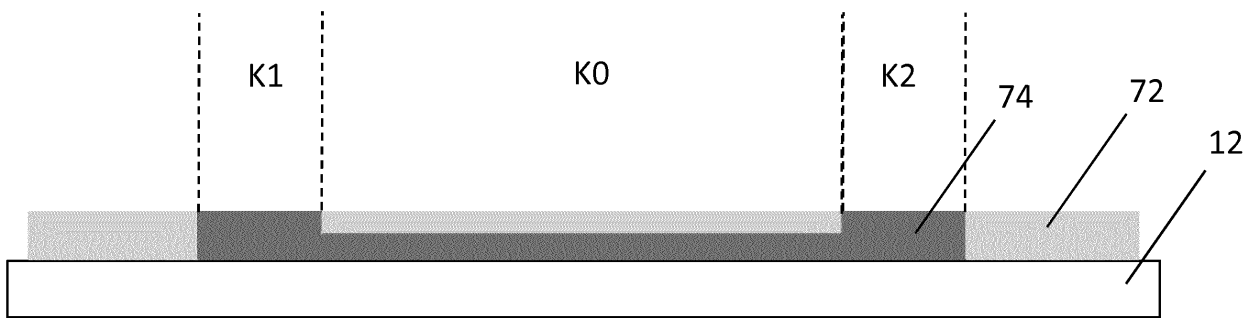
Figur 3



Figur 4



Figur 5



Figur 6



## EP 2 711 441 B1

### IN DER BESCHREIBUNG AUFGEFÜHRTE DOKUMENTE

*Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde ausschließlich zur Information des Lesers aufgenommen und ist nicht Bestandteil des europäischen Patentdokumentes. Sie wurde mit größter Sorgfalt zusammengestellt; das EPA übernimmt jedoch keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.*

#### In der Beschreibung aufgeführte Patentdokumente

- US 5853815 A [0004]
- DE 19958473 A1 [0005]
- DE 2006000638 W [0007]
- WO 2006108395 A1 [0007]
- DE 102008053640 B3 [0008]
- US 3912235 A [0009]
- EP 0139396 A1 [0010]
- US 4391860 A [0011]