



(12) **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:
26.03.2014 Patentblatt 2014/13

(51) Int Cl.:
C23C 4/12 (2006.01) **B05B 7/22 (2006.01)**
B05B 12/14 (2006.01) **C23C 4/00 (2006.01)**

(21) Anmeldenummer: **13184028.2**

(22) Anmeldetag: **12.09.2013**

(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
Benannte Erstreckungsstaaten:
BA ME

(72) Erfinder:
• **NETTESHEIM, Stefan**
12205 Berlin (DE)
• **FORSTER, Klaus**
93077 Bad Abbach (DE)

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

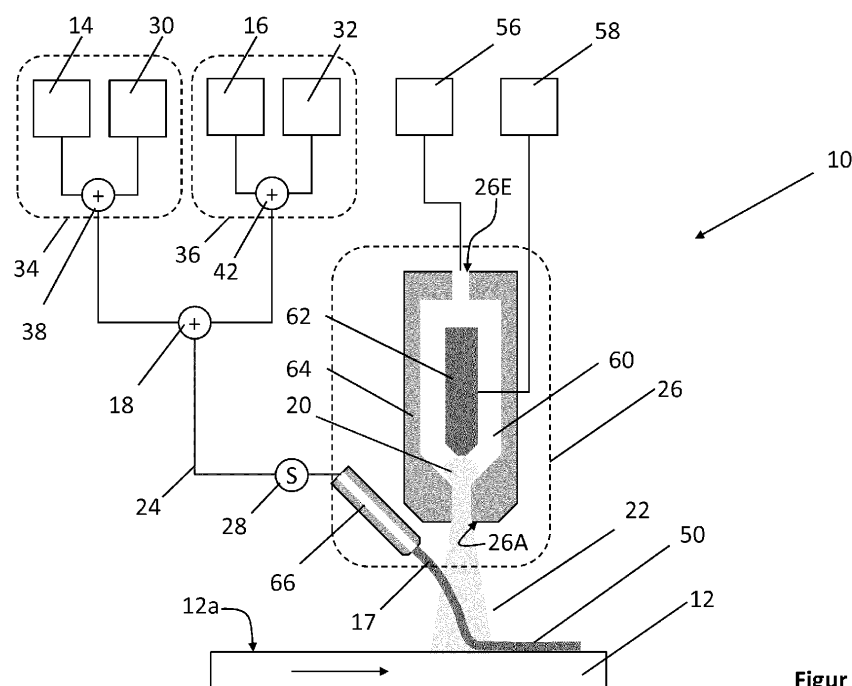
(74) Vertreter: **Reichert, Werner Franz**
Reichert & Kollegen
Bismarckplatz 8
93047 Regensburg (DE)

(71) Anmelder: **Reinhausen Plasma GmbH**
93057 Regensburg (DE)

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

(57) Zur Verbesserung der Variabilität bei der Beschichtung von Substraten (12) wird eine Beschichtungsvorrichtung (10) vorgeschlagen, die eine Plasmaerzeugungsvorrichtung zur Erzeugung eines Plasmastrahls (22) aufweist, der aus einem Beschichtungskopf (26) der Plasmaerzeugungsvorrichtung austritt. Es sind ein erstes Partikelreservoir (14) und ein zweites Partikelreservoir (16) vorgesehen. Über eine Transportleitung (24)

werden die Partikel aus dem ersten Partikelreservoir (14) und dem zweiten Partikelreservoir (16) als Partikelgemisch dem Plasmastrahl (22) zugeführt. Es ist eine Dosiervorrichtung (18) zum dosieren der Menge der aus dem ersten Partikelreservoir (14) in die Transportleitung (24) eingebrachten Partikel relativ zu der Menge der aus dem zweiten Partikelreservoir (16) stammenden Partikel vorgesehen.



Figur 1

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 Schmiedeooperation 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 Plasmastrom die ganze Breite des Substrates überdeckt. Hierzu ist ein Partikelreservoir über eine Leitung direkt mit einer Plasmaerzeu-

gungseinheit verbunden. Ein großer Druckunterschied zwischen der Beschichtungsflamme der Plasmaerzeugungseinheit und der Umgebung der Beschichtungsflamme erzeugt ein Schockmuster, das dazu führt, dass sowohl der Beschichtungsstrom breit gefächert, wie auch das Beschichtungsmaterial gut im Plasmastrom 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 Plasmabrenner 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] 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.

[0010] 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.

[0011] 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.

[0012] 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.

[0013] 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.

[0014] 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 Prozessgasregelungseinheit zum Regeln des Mischungsverhältnisses aus Partikeln und Prozessgas aufweisen.

[0015] 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 Prozessgasregelungseinheit auf. Bei dieser Ausgestaltung der Erfindung ist es auch möglich, eine Mehrzahl von Beschichtungsköpfen und jeweils zugeordneten Partikelfördereinheiten vorzusehen.

[0016] 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.

[0017] In einer weiteren Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens 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 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.

[0018] Die zweite Schicht oder die Gradientenschicht oder die Verbundschicht kann in einer weiteren Ausge-

staltung 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.

[0019] 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 Plasmabeschichtungsprozess 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.

[0020] Weitere Vorteile und vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung sind Gegenstand der nachfolgenden Figuren sowie deren Beschreibungsteile.

[0021] Es zeigen im Einzelnen:

- Fig. 1:** schematisch eine Beschichtungsvorrichtung mit einem Plasmamodul;
- Fig. 2:** schematisch eine weitere Ausführungsform einer 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.

[0022] **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.

[0023] Der Beschichtungskopf 26 besteht aus einer Brennkammer 60 in der zwischen zwei Elektroden 62 und 64 ein Lichtbogen 20 gezündet wird. Diesem Licht-

bogen 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 Einstromseite 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.

[0024] 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 Prozessgasregereinheit 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.

[0025] 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 aufgebraachte erste Schicht 50 ausschließlich aus Partikeln aus einem Partikelreservoir besteht.

[0026] 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 Mischreaktion 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.

[0027] 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.

[0028] Fig. 2 zeigt schematisch eine weitere Ausführungsform der Vorrichtung zum Beschichten eines Substrats 12. Gemäß dieser Ausführungsform der Erfindung 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).

[0029] 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).

[0030] 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 Prozessgasregleinheit 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.

[0031] 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.

[0032] 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.

[0033] 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.

[0034] 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.

[0035] 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.

[0036] Im Segment A werden drei verschiedenen Mate-

rialien 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.

[0037] 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.

[0038] 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.

26	Beschichtungskopf
26A	Auslassseite
26E	Einströmseite
27	zweiter Beschichtungskopf
5 27E	Einströmseite
28	Regler
30	Prozessgas
32	Prozessgas
33	Prozessgas
10 34	erste Partikelfördereinheit
36	zweite Partikelfördereinheit
37	dritte Partikelfördereinheit
38	Prozessgasregleinheit
40	Partikelfördereinheit
15 42	Prozessgasregleinheit
44	Prozessgasregleinheit
46	erste Zuführstelle
48	zweite Zuführstelle
50	erste Schicht
20 52	zweite Schicht
53	dritte Schicht
54	Gradientenschicht
55	Verbundschicht
56	Plasmaprozessgas
25 58	Netzteil
60	Brennkammer
62	Elektrode
64	Elektrode
66	erster Injektor
30 68	zweiter Injektor
70	dritter Injektor
72	Isolationsschicht
74	leitfähige Schicht
A, B, C, D, E, F	Segmente einer Schicht
35 r, s, t	Partikel
S1	Schichtmaterial
S2	Schichtmaterial
U	Übergangsbereich
K1	Bereich
40 K2	Bereich
K3	Bereich

Bezugszeichenliste:

[0039]

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

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) und einer Transportleitung (24) über welche Partikel, die im ersten Partikelreservoir (14) untergebracht sind, dem Plasmastrahl (22) zuführbar sind, **dadurch gekennzeichnet, dass** wenigstens ein zweites Partikelreservoir (16) so vorgesehen ist, dass die Partikel des zweiten Partikelreservoirs (16) über die Transportleitung (24) dem Plasmastrahl (22) in einem Parti-

kelgemisch mit den Partikeln aus dem ersten Partikelreservoir (14) zuführbar sind und dass eine Dosiervorrichtung (18) zum Dosieren der 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 vorgesehen 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 Ansprüche 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 Prozessgasregeleinheit (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 Prozessgasregeleinheit (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 Partikelreservoir (14) Partikel über eine Transportleitung (24) einer Dosiervorrichtung (18) zugeführt und in dieser gemischt werden;
- dass über die Transportleitung (24) aus der Dosiervorrichtung (18) ein Partikelgemisch aus den Partikeln des mindestens einen Partikelreservoirs (14) 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 ersten Partikelreservoir (14) und Partikel aus einem zweiten Partikelreservoir (16) über eine Transportleitung (24) einer Dosiervorrichtung (18) zugeführt und in dieser gemischt werden und über die Transportleitung (24) aus der Dosiervorrichtung (18) ein Partikelgemisch aus den Partikeln des ersten Partikelreservoirs (14) und des zweiten Partikelreservoirs (16) dem Plasmastrahl (22) zugeführt werden.

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

14. Verfahren zum Beschichten eines Substrates (12) nach den vorangehenden Ansprüchen, 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 (14) mit einem dritten Prozessgas (30) fluidisiert werden.

15. Verfahren zum Beschichten eines Substrates (12) nach einem der Ansprüche 11 oder 12, 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.

5

10

15

20

25

30

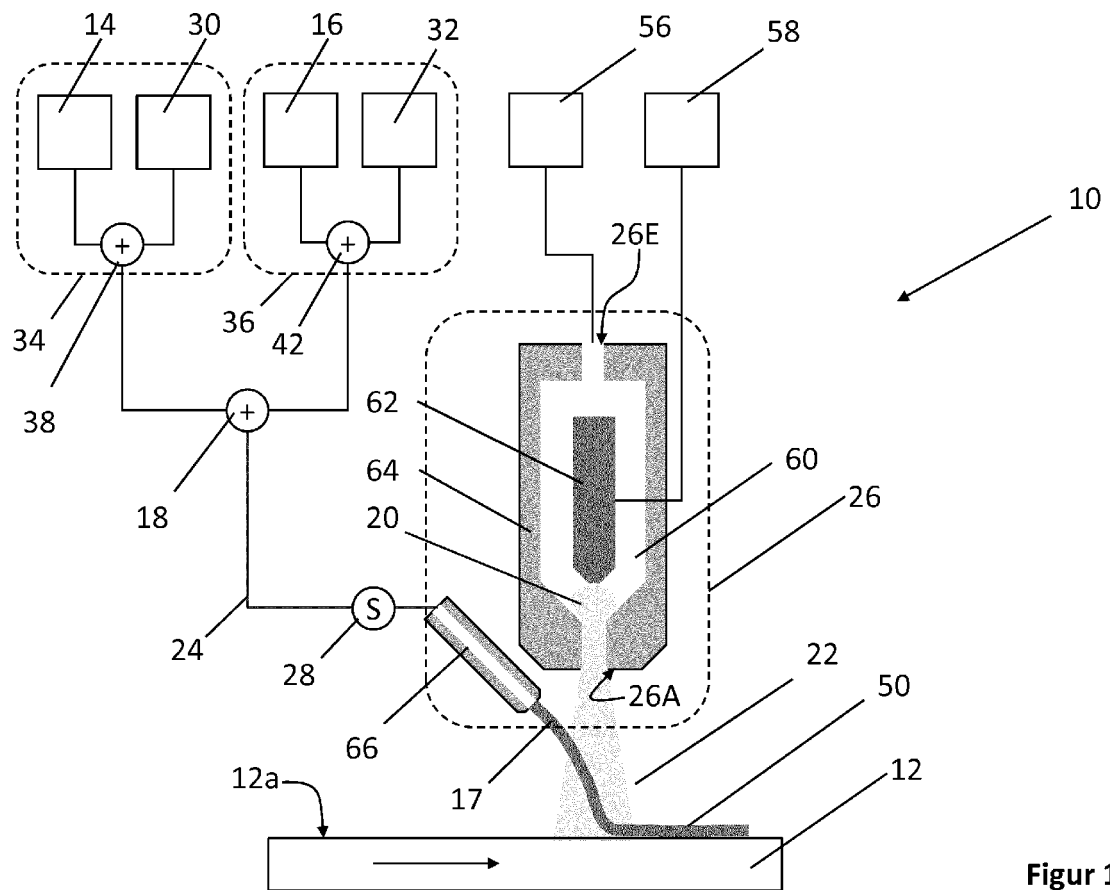
35

40

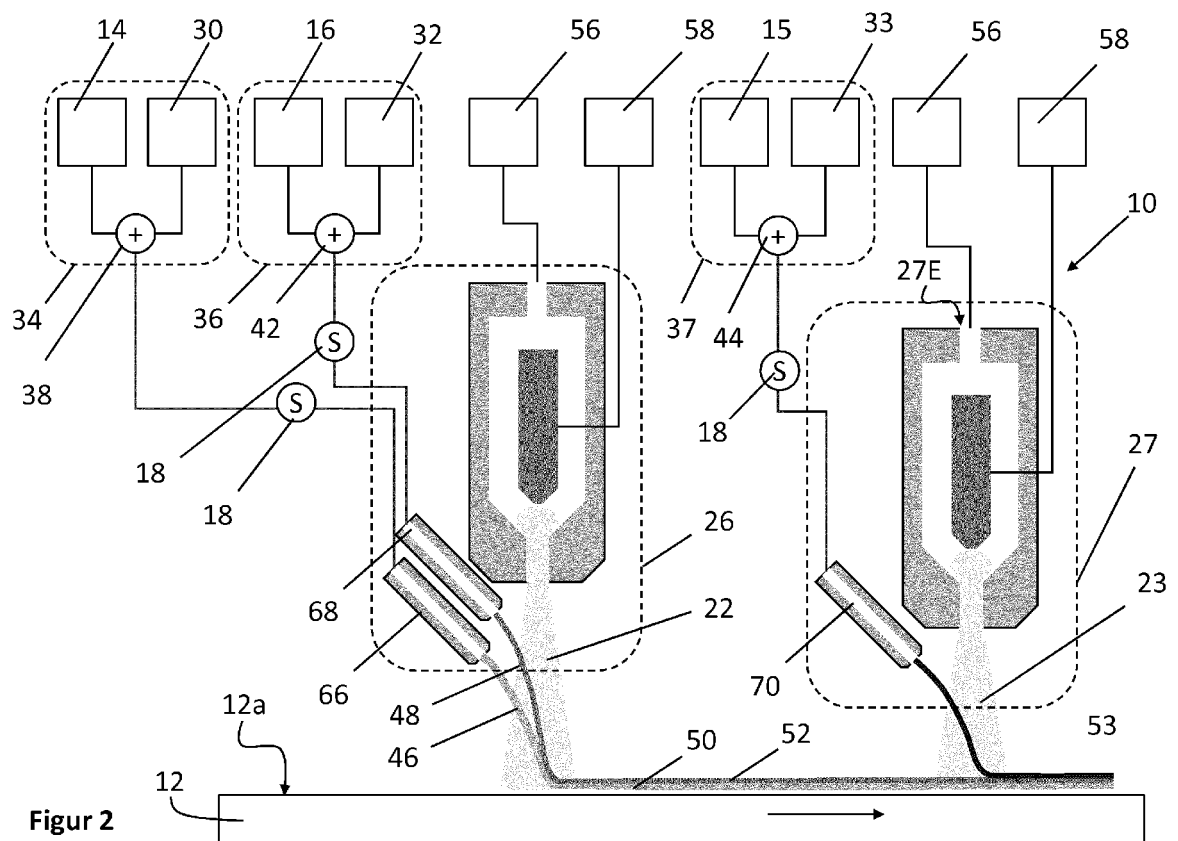
45

50

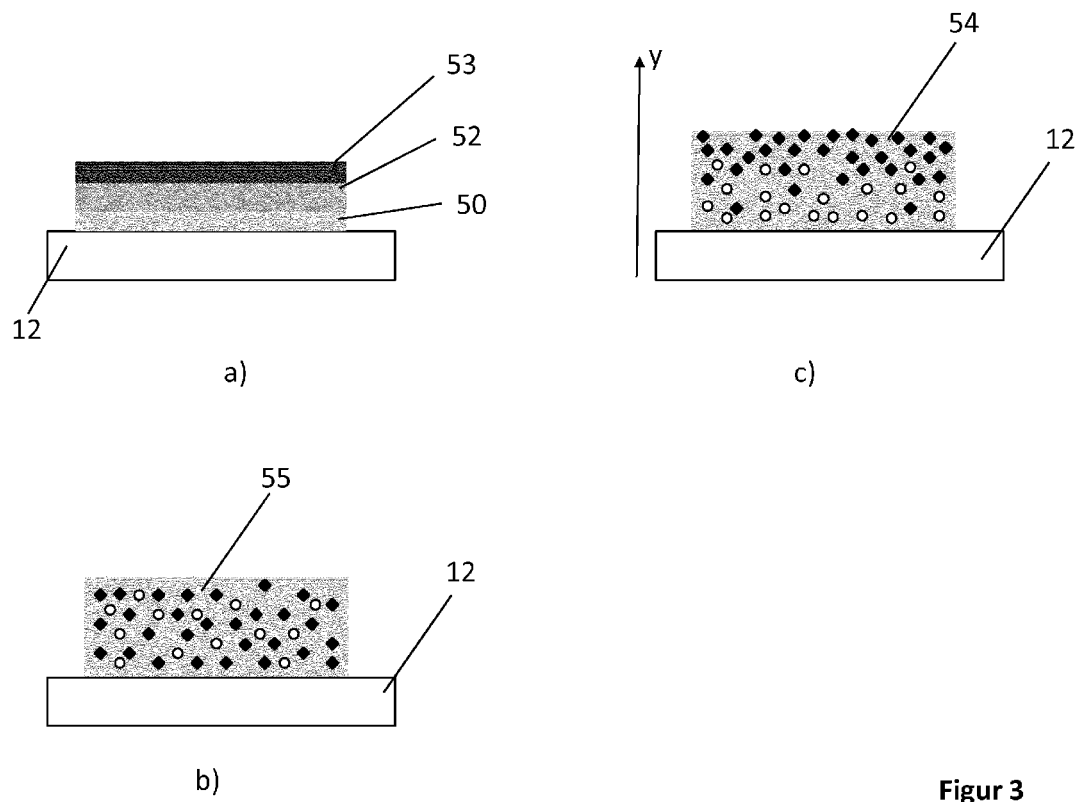
55



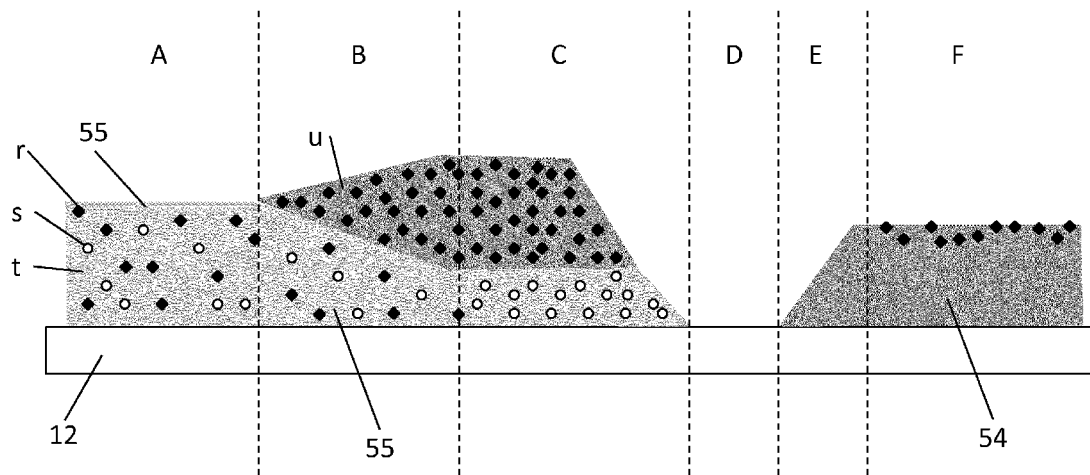
Figur 1



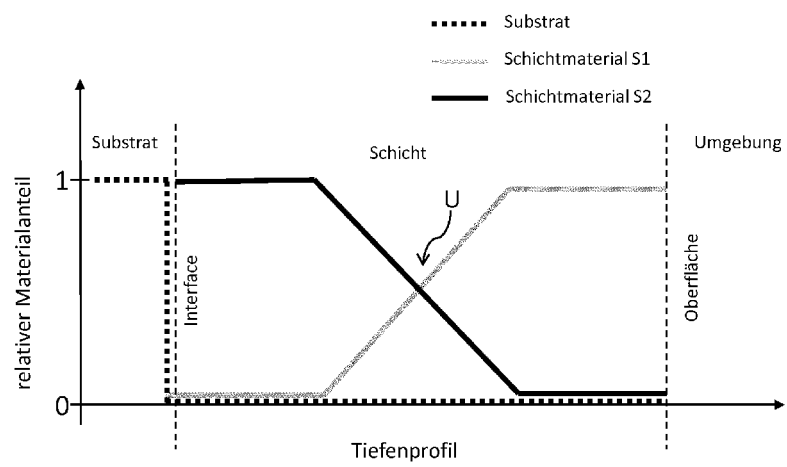
Figur 2



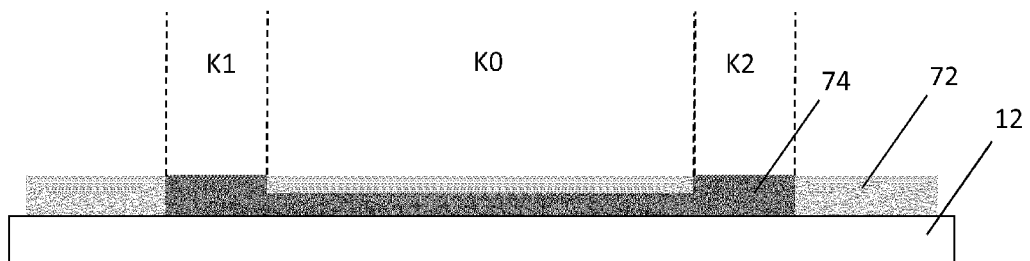
Figur 3



Figur 4



Figur 5



Figur 6



EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung
EP 13 18 4028

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (IPC)
X	US 3 912 235 A (JANSSEN KENNETH T) 14. Oktober 1975 (1975-10-14) * Spalte 1, Zeile 59 - Spalte 3, Zeile 34; Ansprüche; Abbildungen * -----	1-15	INV. C23C4/12 B05B7/22 B05B12/14 C23C4/00
X	EP 0 139 396 A1 (WESTINGHOUSE ELECTRIC CORP [US]) 2. Mai 1985 (1985-05-02) * Seite 3, Zeile 13 - Seite 4, Zeile 34; Abbildungen 1-3 * -----	1-15	
X	US 4 391 860 A (ROTOLICO ANTHONY J ET AL) 5. Juli 1983 (1983-07-05) * Spalte 1, Zeilen 11-14; Ansprüche; Abbildungen 7,9 * * Spalte 7, Zeile 64 - Spalte 9, Zeile 49 * -----	1-9, 11-15	
A	US 3 545 944 A (EMANUELSON ROGER C ET AL) 8. Dezember 1970 (1970-12-08) * das ganze Dokument * -----	1-15	
			RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (IPC)
			B05B C23C
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort München		Abschlußdatum der Recherche 17. Dezember 2013	Prüfer Mauger, Jeremy
KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie A : technologischer Hintergrund O : nichtschriftliche Offenbarung P : Zwischenliteratur		T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E : älteres Patentdokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist D : in der Anmeldung angeführtes Dokument L : aus anderen Gründen angeführtes Dokument & : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument	

 1
EPO FORM 1503 03.82 (P04C03)

**ANHANG ZUM EUROPÄISCHEN RECHERCHENBERICHT
ÜBER DIE EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG NR.**

EP 13 18 4028

In diesem Anhang sind die Mitglieder der Patentfamilien der im obengenannten europäischen Recherchenbericht angeführten Patentdokumente angegeben.

Die Angaben über die Familienmitglieder entsprechen dem Stand der Datei des Europäischen Patentamts am
Diese Angaben dienen nur zur Unterrichtung und erfolgen ohne Gewähr.

17-12-2013

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
US 3912235 A	14-10-1975	KEINE	
EP 0139396 A1	02-05-1985	CA 1217433 A1	03-02-1987
		DE 3472698 D1	18-08-1988
		EP 0139396 A1	02-05-1985
		IE 55513 B1	10-10-1990
		JP H02521 B2	08-01-1990
		JP S6062603 A	10-04-1985
		MX 159535 A	28-06-1989
US 4391860 A	05-07-1983	KEINE	
US 3545944 A	08-12-1970	KEINE	

EPO FORM P0461

Für nähere Einzelheiten zu diesem Anhang : siehe Amtsblatt des Europäischen Patentamts, Nr.12/82

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]