(19) Europäisches Patentamt
European Patent Office
Office européen des brevets

(11) EP 1 427 265 A2

(12) EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(43) Veröffentlichungstag:
09.06.2004 Patentblatt 2004/24

(51) Int Cl.[7]: **H05H 1/30**

(21) Anmeldenummer: **03022387.9**

(22) Anmeldetag: **06.10.2003**

(84) Benannte Vertragsstaaten:
AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR HU IE IT LI LU MC NL PT RO SE SI SK TR
Benannte Erstreckungsstaaten:
AL LT LV MK

(30) Priorität: **03.12.2002 DE 10256257**

(71) Anmelder: **ROBERT BOSCH GMBH**
70442 Stuttgart (DE)

(72) Erfinder:
- **Treutler, Christoph**
  72827 Wannweil (DE)
- **Benz, Gerhard**
  71032 Boeblingen (DE)
- **Grosse, Stefan**
  70839 Gerlingen (DE)
- **Henke, Sascha**
  71263 Weil der Stadt (DE)
- **Gross, Andreas**
  70176 Stuttgart (DE)

(54) Vorrichtung und Verfahren zum Beschichten eines Substrates und Beschichtung auf einem Substrat

(57) Es wird eine Vorrichtung (5) zur Beschichtung eines Substrates (10) mit Mitteln zur Erzeugung eines Gasstromes und einer Plasmastrahlquelle (20) vorgeschlagen, mit der ein auf das Substrat (10) einwirkender Plasmastrahl (40) erzeugbar ist, wobei neben der Plasmastrahlquelle (20) eine bei Betrieb einen Materialeintrag auf das Substrat (10) bewirkende Hohlkathode (23) vorgesehen ist. Weiter wird ein Verfahren zum Beschichten eines Substrates (10) vorgeschlagen, wobei mit Hilfe einer Plasmastrahlquelle (20) eine erste Funktionsschicht (13) mit oder aus einer Schicht mit einer Matrix mit darin eingebetteten nanoskaligen Partikeln auf dem Substrat (10) abgeschieden wird, und wobei mit Hilfe einer Hohlkathode (23) über ein Gasflusssputtern eine zweite Funktionsschicht (11) auf dem Substrat (10) abgeschieden wird. Schließlich wird eine Beschichtung (5) auf einem Substrat (10) vorgeschlagen, wobei auf dem Substrat (10) eine zweite Funktionsschicht (11), auf der zweiten Funktionsschicht (11) eine Zwischenschicht (12) und auf der Zwischenschicht (12) eine erste Funktionsschicht (13) vorgesehen ist. Die Zwischenschichten (12) ist dabei als einen hinsichtlich der Zusammensetzung allmählichen Übergang zwischen der zweiten Funktionsschicht (11) und der ersten Funktionsschicht (13) vermittelnde Gradientenschicht ausgebildet, während mindestens eine der Funktionsschichten (11, 13) eine Matrixschicht mit darin eingebetteten nanoskaligen Partikeln aufweist.

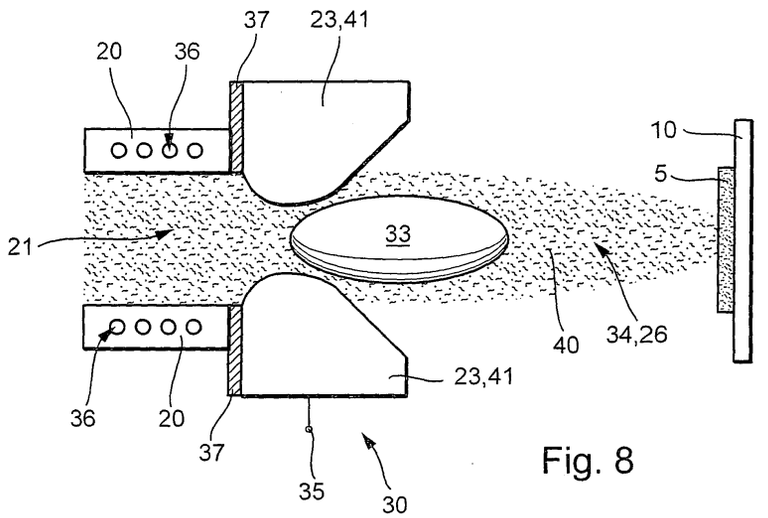

Fig. 8

EP 1 427 265 A2

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung und ein Verfahren zum Beschichten eines Substrates sowie eine Beschichtung auf einem Substrat nach der Gattung der unabhängigen Ansprüche.

Stand der Technik

[0002] Als reibungsarme Verschleißschutzschichten sind im Stand der Technik vor allem metallhaltige Kohlenstoffschichten und amorphe, diamantähnliche Kohlenstoffschichten, sogenannte a-C:H-Schichten, bekannt. Diese werden in der Regel in einem mehrstündigen Hochvakuum-Prozess hergestellt.

[0003] Eine Alternative zu diesem zeitintensiven Prozess ist die Abscheidung von amorphen, diamantähnlichen Kohlenstoffschichten mit Plasmastrahlquellen, beispielsweise einer induktiv gekoppelten Plasmastrahlquelle, was gemäß DE 101 04 614 A1 in einem Grobvakuum oder im atmosphärennahen Druckbereich erfolgen kann, so dass die Abscheidung nur wenige Minuten beansprucht. Eine weitere Plasmastrahlquelle zur Oberflächenbearbeitung von Werkstücken und insbesondere zum Aufbringen von Beschichtungen auf Substraten wird auch in DE 198 56 307 C1 beschrieben. Schließlich ist aus DE 196 35 669 C1 bekannt, dass sich zum Aufbringen einer Schicht auf einem Substrat auch ein Gasflusssputtern mit einer Hohlkathoden-Glimmentladung in einem Inertgasstrom eignet.

[0004] Aus A. Voevodin und J. Zabinski , Diamond and Related Materials, Volume 7, (1998), Seite 463, ist bekannt, dass der Einbau von nanoskaligen Partikeln, das heißt Partikeln mit einer typischen Partikelgröße von weniger als 100 nm und insbesondere weniger als 10 nm, in eine amorphe, diamantähnliche Kohlenstoffschicht, zu einer deutlichen Verbesserung der Verschleißschutzeigenschaft führen kann. Insbesondere kommt es bei derart geringen Partikelgrößen in der Matrix aus amorphem, diamantähnlichem Kohlenstoff bei einer mechanischen Belastung nicht oder nur in deutlich verringertem Ausmaß zu einer Versetzung von Atomen, so dass eine Formung nur durch Abgleiten an Korngrenzen möglich ist. In J. Musil, Surface and Coatings Technology, Volume 125, (2000), Seite 322, wird beschrieben, dass es durch geeignete Wahl des Materials der nanokristallinen Phase und der Matrix möglich ist, harte bis superharte Schichten, das heißt Schichten mit einer Härte größer 40 GPa, herzustellen.

[0005] Aufgabe der vorliegenden Erfindung war die Bereitstellung einer Vorrichtung und eines Verfahrens, mit denen eine Beschichtung auf einem Substrat erzeugbar ist, die einerseits eine obere Funktionsschicht aufweist, die insbesondere als Verschleißschutzschicht einsetzbar ist, und die andererseits eine zweite Funktionsschicht aufweist, die die Verbindung der Beschichtung mit dem Substrat gewährleistet. Gleichzeitig sollte ein möglichst guter Zusammenhalt dieser beiden Funktionsschichten gewährleistet sein. Insbesondere war es Aufgabe, eine nanodispersive Funktionsschicht, das heißt eine Schicht mit nanoskaligen Partikeln in einer Matrix, in einem Grobvakuum-Prozess auf einem beispielsweise metallischen Substrat abzuscheiden, wobei eine möglichst gute Anbindung und Haftung dieser Funktionsschicht auf dem Substrat erreicht werden sollte.

Vorteile der Erfindung

[0006] Die erfindungsgemäße Vorrichtung und das erfindungsgemäße Verfahren haben den Vorteil, dass ein Materialeintrag auf das Substrat über die Hohlkathode und ein Materialeintrag auf das Substrat über die Plasmastrahlquelle zumindest zeitweilig gleichzeitig erfolgen kann, wobei einerseits die Vorteile beider Quellen erhalten bleiben, und wobei andererseits neuartige Beschichtungen auf dem Substrat erzeugbar sind, die bei Einsatz nur einer dieser Quellen nicht abscheidbar sind. Insofern ergibt sich eine vorteilhafte Synergie beider Methoden im Hinblick auf die Zusammensetzung und die Eigenschaften der erhaltenen Beschichtung auf dem Substrat, wodurch vor allem neuartige Beschichtungen mit sehr guten Verschleißschutzeigenschaften effizient und kostengünstig herstellbar sind. Zudem führt diese Kombination von unterschiedlichen Quellen für einen Materialeintrag auf das Substrat zu einem verringerten Aufwand bei der Handhabung der zu beschichtenden Substrate.

[0007] Ein weiterer wesentlicher Vorteil liegt darin, dass durch die Anordnung der Plasmastrahlquelle und der Hohlkathode innerhalb einer gemeinsamen Beschichtungskammer deutlich verkürzte Zeiten zur Erzeugung der gewünschten Beschichtung auf dem Substrat realisiert werden können. Insofern eignet sich die erfindungsgemäße Vorrichtung und das damit durchgeführte Verfahren besonders gut zur Serienfertigung.

[0008] Daneben ist es nunmehr möglich, auf dem Substrat eine Haftschicht, darauf eine Gradientenschicht und darauf beispielsweise eine nanodispersive Verschleißschutzschicht innerhalb einer Beschichtungskammer in einem kontinuierlichen Prozess aufzubringen. Insbesondere kann die gewünschte Beschichtung dabei aufgrund der kurzen Beschichtungszeit vollständig in nur einer Fertigungslinie erzeugt werden.

[0009] Weiter kann das erfindungsgemäße Verfahren auch als Durchlaufverfahren oder sogenanntes "in-line-Verfahren" beispielsweise zur Beschichtung von Schüttgut als Substratmaterial eingesetzt werden.

[0010] Besonders vorteilhaft ist weiter, dass es nicht erforderlich ist, das erfindungsgemäße Verfahren bzw. die erfindungsgemäße Vorrichtung im Hochvakuum oder Feinvakuum zu betreiben. Vielmehr eignet es bzw. sie sich auch zum Betrieb im Grobvakuum oder im atmosphärennahen Druckbereich. Durch die geringen Anforderungen an das Vakuum bei Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens ist es weiter vorteilhaft

möglich, technisch relevantes Substratmaterial wie beispielsweise Stahl, Edelstahl oder Werkstücke aus stark ausgasenden oder zur Ausgasung neigenden Materialien wie Sintermaterialien, Kunststoffen oder Elastomeren, insbesondere Zahnräder, Achsen, Dichtringe oder Profilmaterial, zu beschichten.

[0011] Vorteilhafte Weiterbildungen der Erfindung ergeben sich aus den in den Unteransprüchen genannten Maßnahmen.

[0012] So ist besonders vorteilhaft, wenn die eingesetzte Hohlkathode eine metallische Hohlkathode ist, mit der eine metallische Haftschicht auf dem Substrat abscheidbar ist. Daneben ist in diesem Fall die metallische Hohlkathode auch als Metallquelle zur Erzeugung beispielsweise nanoskaliger Metallcarbid-, Metallnitrid und/oder Metalloxidpartikel geeignet. Andererseits ist aber auch die Abscheidung oder Erzeugung isolierender oder halbleitender Materialien mit Hilfe der Hohlkathode möglich.

[0013] Insbesondere ist es nunmehr vorteilhaft möglich, eine metallische Haftschicht und eine nanodispersive Schicht, beispielsweise nanoskalige Metallcarbidpartikel in einer amorphen, diamantähnlichen Kohlenstoffschicht oder -matrix, in einem Grobvakuum innerhalb nur einer Beschichtungskammer abzuscheiden.

[0014] Daneben ist es nun vorteilhaft auch möglich, eine Beschichtung mit einer Zwischenschicht in Form einer Gradientenschicht innerhalb einer Beschichtungskammer zu erzeugen, das heißt, es kann nun innerhalb einer Beschichtungskammer zwischen zwei Funktionsschichten eine Zwischenschicht erzeugt werden, die einen hinsichtlich der Zusammensetzung allmählichen Übergang zwischen den Funktionsschichten gewährleistet.

[0015] Besonders vorteilhaft ist eine Zwischenschicht, die hinsichtlich ihrer Zusammensetzung allmählich von einer Metallschicht als zweite Funktionsschicht in eine Schicht mit nanoskaligen Metallcarbid-Partikeln in einer amorphen, diamantähnlichen Kohlenstoffmatrix als erste Funktionsschicht übergeht. Eine derartige Gradientenschicht führt zu einer weiter verbesserten Haftung der zweiten Funktionsschicht auf der ersten Funktionsschicht und darüber auf dem Substrat, sowie zu einem thermisch und mechanisch besonders stabilen Schichtaufbau.

[0016] Vorteilhaft ist weiter, wenn als Plasmastrahlquelle eine mit Hochfrequenz beaufschlagte, induktiv gekoppelte Plasmastrahlquelle verwendet wird. Eine solche Plasmastrahlquelle kann besonders einfach zur Erzeugung des Plasmastrahls und weiter durch Zugabe reaktiver Gase wie Methan, C_2H_2 oder Wasserstoff auch zur Abscheidung einer Funktionsschicht, beispielsweise einer amorphen, diamantartigen Kohlenstoffschicht, eingesetzt werden. Daneben eignet sich als Plasmastrahlquelle jedoch auch ein mikrowellenangeregte Plasmastrahlquelle oder auch eine von einem Gas durchströmbare Gleichspannungs- oder Mittelfrequenzentladungseinrichtung, die bei Betrieb mit einer Gleichspannung, bevorzugt einer gepulsten Gleichspannung, einer mittelfrequenten Spannung oder einer mittelfrequenten Hochspannung beaufschlagt wird, um ein Plasma zu erzeugen.

[0017] Daneben ist vorteilhaft, dass die Hohlkathode als Quelle für bevorzugt metallische Nanopartikel, Atome oder Cluster verwendbar ist. So besteht die Hohlkathode besonders vorteilhaft aus einem Material aus oder mit einem der Metalle ausgewählt aus der Gruppe Vanadium, Titan, Niob, Zirkonium, Tantal, Hafnium, Chrom, Molybdän, Wolfram, Nickel, Kupfer, Bor und/oder Silizium oder deren Legierungen untereinander oder mit einem weiteren Metall. Zudem kann auch eine Kombination dieser Materialien durch entsprechend segmentierten Aufbau der Hohlkathode mit Bereichen aus unterschiedlichem Material über die Hohlkathode freigesetzt bzw. bereitgestellt werden.

[0018] Zudem kann die Hohlkathode vorteilhaft zumindest zeitweilig auch während der Abscheidung der zweiten Funktionsschicht, die bevorzugt als nanodispersive Schicht mit nanoskaligen Partikeln in einer Matrix ausgebildet ist, ergänzend zu der Plasmastrahlquelle, unter Einsatz der Plasmastrahlquelle ohne dieser in dieser Zeit zugeführte reaktiver Zusatzstoffe oder zeitweilig ausschließlich unter Abschaltung der Plasmastrahlquelle eingesetzt werden, wobei sie während dieser Zeit bevorzugt die genannten Metalle oder damit gebildete Metalllegierungen auf das Substrat einträgt.

[0019] Vorteilhaft ist weiter, wenn die Hohlkathode und die Plasmastrahlquelle derart zueinander angeordnet sind, dass sich ein von der Hohlkathode bei Betrieb zumindest zeitweilig erzeugter Glimmentladungsbereich und der von der Plasmastrahlquelle bei Betrieb erzeugte Plasmastrahl zumindest bereichsweise vor dem Einwirken des Plasmastrahls auf das Substrat überlappen. In diesem Fall bildet sich im Bereich des Überlapps und nachfolgend in dem Plasmastrahl ein Reaktionsbereich aus, in dem die von der Hohlkathode abgesputterten Materialien mit in den Plasmastrahl geführten Materialien reagieren können, so dass sich unter den dort herrschenden Plasmabedingungen neuartige Materialien wie ansonsten nicht herstellbare Metalllegierungen ausbilden und als Beschichtung auf dem Substrat abgeschieden werden können.

[0020] Neben einer induktiv gekoppelten Plasmastrahlquelle eignet sich vorteilhaft auch eine Mikrowellenplasmastrahlquelle, die wie die induktiv gekoppelte Plasmastrahlquelle ebenfalls im Grobvakuum, das heißt bevorzugt im Druckbereich von 0,1 mbar bis 100 mbar, oder bei einem Druck von mehr als 50 mbar betreibbar ist.

[0021] Die eingesetzte Hohlkathode ist vorteilhaft eine mit einem Gas oder einem Plasma, beispielsweise mit einem Inertgas oder dem Plasma der Plasmastrahlquelle, beaufschlagte Hohlkathode, die als Target geschaltet ist, so dass beim Anlegen einer geeigneten elektrischen Spannung an die Hohlkathode, beispielsweise einer Gleichspannung, einer hochfrequenten

Wechselspannung, einer mittelfrequenten Wechselspannung oder auch einer gepulsten Gleichspannung, eine Freisetzung des Materials der Hohlkathode erfolgt.

[0022] Hinsichtlich der Anordnung der Hohlkathode relativ zu dem Plasmastrahl bestehen vorteilhaft eine Vielzahl von Möglichkeiten. So kann die Hohlkathode innerhalb des Plasmastrahls angeordnet sein oder den Plasmastrahl umgeben. Weiter kann die Hohlkathode auch als Austrittsdüse der Plasmastrahlquelle ausgebildet sein, oder in Bezug auf die Richtung des Gasstromes vor der Plasmastrahlquelle, insbesondere in dem Gasstrom vor der Plasmastrahlquelle, angeordnet sein. Weiter besteht dabei die Möglichkeit, die Hohlkathode vorteilhaft gleichzeitig auch dazu zu benutzen, dem Plasmastrahl einen Reaktivstoff, insbesondere in Form eines Gases, einer Flüssigkeit wie einer Lösung oder einer Suspension oder in Form von Pulverpartikeln oder anderen Precursormaterialien zuzuführen. Dazu ist die Hohlkathode bevorzugt als Gasduschenhohlkathode ausgebildet.

[0023] Weiterhin kann die Hohlkathode auch neben dem Plasmastrahl zwischen der Plasmastrahlquelle und dem Substrat angeordnet sein. Auf diese Weise besteht die Möglichkeit, die Hohlkathode lediglich zeitweilig während der Beaufschlagung des Substrates mit dem Plasmastrahl einzusetzen, und darüber zeitweilig einen zusätzlichen Materialeintrag in das Substrat zu bewirken. Schließlich können die Plasmastrahlquelle und die Hohlkathode auch abwechselnd betrieben werden, oder es kann die Hohlkathode kontinuierlich eingesetzt werden und die Plasmastrahlquelle lediglich zeitweilig zugeschaltet werden, um so neben dem Materialeintrag mit Hilfe der Hohlkathode auch einen Materialeintrag oder eine Bearbeitung des Substrates mit Hilfe der Plasmastrahlquelle zu bewirken.

[0024] Generell ist vorteilhaft, dass sowohl über die Hohlkathode und/oder über die Plasmastrahlquelle als auch über weitere Zuführungen eine Vielzahl von Möglichkeiten zur Zufuhr von Reaktivstoffen zu dem Plasmastrahl oder verschiedenen Bereichen des Plasmastrahles gegeben sind. Besonders vorteilhaft ist dabei, wenn die ohnehin vorhandenen Mittel zur Erzeugung eines Gasstromes in der Plasmastrahlquelle, die auch zur Ausbildung des Plasmastrahls beitragen, gleichzeitig zur Einbringung der erwähnten Reaktivstoffe genutzt werden. Es ist jedoch ebenso möglich, in den Bereich des Plasmastrahls eingreifende Injektoren vorzusehen.

[0025] Um einen erhöhten Materialeintrag mit Hilfe der Hohlkathode zu erreichen, ist schließlich vielfach günstig, eine Mehrzahl von Hohlkathoden vorzusehen, die zumindest zum Teil in dem Plasmastrahl und/oder konzentrisch um den Plasmastrahl herum angeordnet sind, und/oder die Hohlkathode in Länge und/oder Durchmesser entsprechend zu skalieren.

Zeichnungen

[0026] Die Erfindung wird anhand der Zeichnungen und in der nachfolgenden Beschreibung näher erläutert. Es zeigt Figur 1 den Aufbau einer Beschichtung auf dem Substrat, Figur 2 eine Prinzipskizze zu den Möglichkeiten der Kombination der Plasmastrahlquelle mit einer Hohlkathode, Figur 3 ein erstes Ausführungsbeispiel einer Vorrichtung mit einer Plasmastrahlquelle und einer Hohlkathode, Figur 4 ein zweites Ausführungsbeispiel für eine derartige Vorrichtung, und Figur 5 ein drittes Ausführungsbeispiel für eine derartige Vorrichtung. Die Figuren 6 und 7 zeigen alternative Ausführungsformen für eine Hohlkathode, die in den Ausführungsbeispielen gemäß Figur 3 bis Figur 5 einsetzbar sind. Die Figur 8 zeigt ein weiteres Ausführungsbeispiel für eine Vorrichtung mit einer Plasmastrahlquelle und einer Hohlkathode, wobei die Hohlkathode als Austrittsdüse der Plasmastrahlquelle ausgebildet ist, die Figur 9 zeigt ein fünftes Ausführungsbeispiel, wobei die Hohlkathode vor der Plasmastrahlquelle angeordnet ist, die Figur 10 ein sechstes Ausführungsbeispiel, die Figur 11 ein siebtes Ausführungsbeispiel mit einer Spule als Hohlkathode, und die Figur 12 ein achtes Ausführungsbeispiel mit einer senkrecht zum Plasmastrahl orientierten Hohlkathode.

Ausführungsbeispiele

[0027] Die Figur 1 zeigt ein Substrat 10, auf dem eine Beschichtung 5 in Form eines Schichtsystems aufgebracht ist. Die Beschichtung 5 weist dabei eine zweite Funktionsschicht 11, insbesondere eine Haftschicht, auf, die beispielsweise aus einem Metall oder Silizium besteht. Bevorzugt ist die Haftschicht eine Titanschicht, eine Chromschicht oder eine Wolframschicht. Auf der zweiten Funktionsschicht 11 befindet sich eine Gradientenschicht 12, und auf der Gradientenschicht 12 eine erste Funktionsschicht 13, die beispielsweise als Verschleißschutzschicht oder Hartstoffschicht dient. Bevorzugt ist die erste Funktionsschicht 13 eine Matrix-Schicht mit darin eingebetteten nanoskaligen Partikeln, das heißt Partikeln mit einem mittleren Teilchendurchmesser von weniger als 100 nm, insbesondere weniger als 10 nm. Besonders bevorzugt ist die erste Funktionsschicht 13 eine Schicht aus amorphem, diamantähnlichen Kohlenstoff mit darin eingebetteten nanoskaligen Metalloxidpartikeln und/oder Metallcarbidpartikeln und/oder Metallnitridpartikeln. Bevorzugt werden nanoskalige Metallcarbidpartikel wie Titancarbid-, Zirkoniumcarbid-, Wolframcarbid, Chromcarbid, Borcarbid- oder Siliciumcarbid-Partikel erzeugt und in die Matrix eingebettet. Daneben können die nanoskaligen Partikel auch Metalloxinitrid-, Metalloxicarbid-, Metallnitrocarbid- oder Metalloxinitrocarbid-Partikel sein.

[0028] Das Substrat 10 gemäß Figur 1 ist beispielsweise ein Edelstrahlsubstrat, ein Substrat aus Wälzlagerstahl, einem Elastomer oder einem gesinterten Werkstoff. Insbesondere ist das Substrat 10 beispielsweise sein Kolben, ein Zylinder, eine Welle, ein Stift, ein Zahnrad oder ein Profilmaterial. Die Dicke der zweiten

Funktionsschicht 11 liegt bevorzugt im Bereich von 1 nm bis 500 nm, insbesondere 5 nm bis 100 nm, die Dicke der Gradientenschicht bevorzugt im Bereich von 5 nm bis 500 nm, insbesondere 15 nm bis 100 nm, und die Dicke der ersten Funktionsschicht 13 bevorzugt im Bereich von 50 nm bis 50 μm, insbesondere 500 nm bis 10 μm. Die zweite Funktionsschicht 11 sorgt in erster Linie für eine möglichst gute Haftung der ersten Funktionsschicht 13 auf dem Substrat 10. Die Gradientenschicht 12 vermittelt über ihre sich allmählich sich verändernde Zusammensetzung einen allmählichen Übergang von der Zusammensetzung der einseitig benachbarten zweiten Funktionsschicht 11 zu der anderseitig benachbarten ersten Funktionsschicht 13, und bewirkt so ebenfalls eine verbesserte Haftung der ersten Funktionsschicht 13 auf dem Substrat 10. Im Übrigen sei noch erwähnt, dass sowohl die erste Funktionsschicht 13 als auch die zweite Funktionsschicht 11 bei Bedarf aus einer Vielzahl insbesondere unterschiedlich zusammengesetzter Teilschichten aufgebaut sein kann.

[0029] Bevorzugt ist die erste Funktionsschicht 13 eine durch Zugabe eines oder mehrerer reaktiver Gase wie Methan, C_2H_2 oder Wasserstoff zu einem Plasma, insbesondere einem Inertgasplasma, abgeschiedene Schicht aus amorphem, diamantähnlichem Kohlenstoff, in die die erwähnten, in einem Plasmastrahl über reaktive Volumenprozesse gebildeten nanoskaligen Metallcarbidpartikel eingebettet sind, so dass eine nanodispersive MeC/a-C:H-Schicht entsteht. Als Metallquelle wird dabei bevorzugt eine im Weiteren noch detailliert erläuterte Hohlkathode 23 eingesetzt, mit der auch die Abscheidung der zweiten Funktionsschicht 11, das heißt beispielsweise einer metallischen Haftschicht, in einem Gasflusssputterprozess erfolgen kann.

[0030] Als besonders vorteilhaft hat sich herausgestellt, wenn die Abscheidung der Matrix insbesondere aus amorphem, diamantähnlichem Kohlenstoff und der nanoskaligen Partikel, vorzugsweise MeC-Partikel, gleichzeitig erfolgt.

[0031] Die Figur 2 erläutert die Möglichkeiten einer Kombination einer Plasmastrahlquelle 20, beispielsweise einer induktiv gekoppelten Plasmastrahlquelle, einer Mikrowellenplasmastrahlquelle oder einer gasdurchströmten Gleichspannungs- oder Mittelfrequenzentladungseinrichtung, die ein Plasma 21 erzeugt, mit einer Hohlkathode 23.

[0032] Mit der Plasmastrahlquelle 20 kann zunächst über eine PACVD-Route 22 ("plasma assisted chemical vapour deposition") ein erstes Abscheidematerial 27 bereitgestellt werden, das nachfolgend auf dem Substrat 10 abgeschieden wird. Bei diesem an sich bekannten Abscheideprozess kann auf das Mitwirken oder den Einsatz der Hohlkathode 23 verzichtet werden.

[0033] Weiterhin kann der Eintrag von Material auf das Substrat 10 auch über eine PVD-Route 24 erfolgen ("physical vapour deposition"). Dabei werden mit der Hohlkathode 23, die bei Betrieb einen Glimmlichtbereich 33 bzw. einen Hohlkathodenentladungsbereich 33 ausbildet, Partikel 25, beispielsweise Metallpartikel, Metallcluster oder Metallatome, bereitgestellt. Diese von der Hohlkathode 23 über die PVD-Route 24 bereitgestellten Partikel 25 werden dann in einem Reaktionsvolumen 26 in das Plasma 21, beispielsweise ein Inertgasplasma oder ein Plasma, das ein Reaktivgas oder einen Reaktivstoff enthält, bzw. den entsprechenden von der Plasmastrahlquelle 20 erzeugten Plasmastrahl 40 eingebracht, so dass sie von diesem weitertransportiert und/oder mit dort vorhandenen Reaktivgasbestandteilen, Partikeln oder Precursor-Materialien reagieren können. Über die PVD-Route 24 kann somit ein zweites Abscheidematerial 28 zum Eintrag auf das Substrat 10 bereitgestellt werden.

[0034] Schließlich erläutert die Figur 2, dass die von der Hohlkathode 23 bereitgestellten Partikel 25, beispielsweise Metallpartikel, Metallatome oder Metallcluster, auch direkt, das heißt ohne Wechselwirkung mit dem Plasma 21, als drittes Abscheidematerial 29 bereitgestellt und auf das Substrat 10 eingetragen werden können.

[0035] Zusammenfassend zeigt Figur 2, dass drei verschiedene Wege und damit auch drei potentiell verschiedene Abscheidematerialien 27, 28, 29 durch Kombination der Plasmastrahlquelle 20 bzw. des von dieser erzeugten Plasmas 21 mit dem von der Hohlkathode 23 emittierten Material bereitstehen. Diese verschiedenen Wege können zumindest zeitweise gleichzeitig zum Erzeugen einer Beschichtung insbesondere entsprechend Figur 1 eingesetzt werden, im Laufe des Erzeugens der Beschichtung jeweils zeitweilig nacheinander zum Einsatz kommen, oder hinsichtlich ihres zeitlichen Einsatzes als auch hinsichtlich des oder der jeweils gerade beschrittenen Wege beliebig miteinander kombiniert werden.

[0036] Die Figur 3 erläutert ein erstes Ausführungsbeispiel für eine Beschichtungsvorrichtung 30, mit der das Substrat 10 mit der Beschichtung 5 beschichtbar ist, die zunächst von einer Plasmastrahlquelle 20 in Form einer induktiv gekoppelten Plasmastrahlquelle ausgeht. Eine derartige Plasmastrahlquelle 20 ist beispielsweise aus DE 101 04 614 A1 bekannt.

[0037] Aus dieser Plasmastrahlquelle 20 tritt ein Plasma 21 aus, das in einer Beschichtungskammer als freier Plasmastrahl 40 geführt ist. Der Plasmastrahl 40 trifft weiter in einer definierten Entfernung von der Plasmastrahlquelle 20, beispielsweise einem Abstand von 5 cm bis 50 cm, in der Beschichtungskammer auf das Substrat 10 auf, wo er entweder eine Bearbeitung des Substrates 10 oder die Abscheidung von Material auf dem Substrat 10 bewirkt. Bevorzugt wird der Plasmastrahl 40 zur Abscheidung von Material auf dem Substrat 10 in Form von Schichten eingesetzt.

[0038] In Figur 3 ist weiter dargestellt, wie eine Hohlkathode 23 in Form eines Hohlzylinders mit einem Durchmesser von vorzugsweise 0,1 cm bis 5 cm oder mehr, insbesondere 0,25 cm bis 0,6 cm, in den Plasmastrahl 40 bzw. das Plasma 21 eingebracht ist. Die Hohl-

kathode 23 ist dabei um den von der induktiv gekoppelten Plasmaquelle 20 erzeugten Plasmastrahl 40 in der Beschichtungskammer angeordnet. Bei Beaufschlagung der Hohlkathode 23 mit einer geeigneten Spannung, beispielsweise einer hochfrequenten Wechselspannung, einer Gleichspannung oder einer gepulsten Gleichspannung, über eine Spannungseinkopplung 35 und entsprechende elektrische Bauteile, bildet sich zumindest im Innenraum der Hohlkathode 23 ein Glimmlichtbereich 33 oder ein Hohlkathodenentladungsbereich aus, der in wesentlichen Teilen mit dem Plasmastrahl 40 überlappt.

[0039] Die Figur 3 zeigt weiter, wie zwischen der Plasmastrahlquelle 20 und der Hohlkathode 23 eine erste Gaszufuhr 31 und zwischen der Hohlkathode 23 und dem Substrat 10 eine zweite Gaszufuhr 32 vorgesehen ist. Bevorzugt ist lediglich eine dieser Gaszufuhren 31, 32 vorgesehen, besonders bevorzugt die erste Gaszufuhr 31.

[0040] Mit Hilfe der ersten und/oder der zweiten Gaszufuhr 31, 32 kann beispielsweise ein Reaktivgas wie Methan, Wasserstoff oder C_2H_2 in das Plasma 21 bzw. den Plasmastrahl 40 eingebracht werden, das zumindest in dem Fall, dass die erste Gaszufuhr 31 gemäß Figur 3 dazu eingesetzt wird, zumindest teilweise auch in der Glimmlichtbereich 33 gelangt.

[0041] Die Hohlkathode 23 ist im erläuterten Beispiel eine metallische Hohlkathode, beispielsweise aus Titan, Chrom oder Wolfram. Sie setzt bei Betrieb entsprechende Metallatome oder Metallcluster frei, die in den Plasmastrahl 40 gelangen und darüber schließlich auf das Substrat 10 eingetragen werden.

[0042] Durch die Zufuhr von Material aus der Hohlkathode 23 und/oder die Zufuhr eines Reaktivgases mit Hilfe der Gaszufuhr 31 und/oder 32 bildet sich somit zwischen der Hohlkathode 23 und dem Substrat 10 ein modifiziertes Plasma 34 aus, das sich hinsichtlich seiner Zusammensetzung von dem Plasma 21 unterscheidet.

[0043] Im Einzelnen ist die Plasmastrahlquelle 20 gemäß Figur 3 eine induktiv gekoppelte Plasmastrahlquelle, wobei über eine bevorzugt wassergekühlte Kupferspule eine Hochfrequenz im MHz-Bereich mit einer Leistung im kW-Bereich in ein Gasvolumen eingekoppelt, und so dort ein Plasmazustand angeregt wird. Weiter sind übliche, in Figur 3 nicht dargestellte Mittel zur Erzeugung eines Gasstromes durch die Plasmastrahlquelle 20 vorgesehen. Zu weiteren Einzelheiten hierzu sei auf DE 101 04 614 A1 und die dort beschriebene Plasmastrahlquelle verwiesen.

[0044] Insbesondere wird mit diesen Mitteln ein Argongasfluss von beispielsweise 20 bis 60 slm (slm = Liter pro Minute bei Normaldruck) in die Plasmastrahlquelle 20 eingeblasen, so dass das Plasma 21 als freier Plasmastrahl 40 aus der Plasmastrahlquelle austritt und in die nicht dargestellte Beschichtungskammer, in der sich das Substrat 10 befindet, gelangt. Innerhalb der Beschichtungskammer herrscht dabei ein Grobvakuum von beispielsweise 10 mbar.

[0045] Die wahlweise mittels der ersten und/oder zweiten Gaszufuhr 31, 32 zugeführten Reaktivstoffe wie beispielsweise Reaktivgase, Precursormaterialien, Pulver oder entsprechende Suspensionen oder Lösungen mit Partikeln oder Precursormaterialien werden bevorzugt ebenfalls mit Flüssen von bis zu einigen slm vor und/oder hinter der Plasmastrahlquelle 20 dem Plasmastrahl 40 zugeführt. Dabei kann die Hohlkathode 23 gleichzeitig auch als Injektor zur Zuführung dieser Reaktivstoffe in Form einer Gasduschenhohlkathode genutzt werden und in dieser Hinsicht die erste Gaszufuhr 31 und/oder die zweite Gaszufuhr 32 ersetzen oder ergänzen.

[0046] Die Hohlkathode 23 gemäß Figur 3 kann wahlweise mit Hochfrequenz-, Mittelfrequenzoder einer konstanten oder gepulsten Gleichspannung betrieben werden, wobei als Arbeitsgas beispielsweise Argon durch die Hohlkathode 23 strömt, welches entweder aus der Plasmastrahlquelle 20 stammt, das heißt die Hohlkathode 23 ist als offene Hohlkathode ausgeführt, oder das direkt der Hohlkathode 23 zugeführt wird, das heißt die Hohlkathode 23 ist in diesem Fall als Gasduschenhohlkathode ausgebildet.

[0047] Durch die angelegte elektrische Spannung werden Elektronen von der Hohlkathode 23 emittiert und im Kathodenfallgebiet beschleunigt. Dabei kommt es zu einer Pendelbewegung der Elektroden innerhalb der Hohlkathode 23, wobei die Elektroden ihre Energie in ein Plasma abgeben, und so eine sehr hohe Plasmadichte erzeugen. Gleichzeitig wird Material von der Hohlkathode 23 abgesputtert und durch die Strömung des Arbeitsgases der Hohlkathode 23 und/oder die Strömung in dem Plasmastrahl 40 zu dem Substrat 10 hin transportiert und dort auf dieses eingetragen.

[0048] Mit der aus DE 101 04 614 A1 bekannten Plasmastrahlquelle 20 lassen sich besonders gut amorphe, diamantähnliche Kohlenstoffschichten mit sehr hohen Beschichtungsraten abscheiden, wobei vor allem eine mit Hochfrequenz beaufschlagte, induktiv gekoppelte Plasmastrahlquelle aufgrund ihrer sehr hohen Plasmadichte vorteilhaft ist. Gleichzeitig ist in dem mit dieser Plasmastrahlquelle 20 erzeugten Plasmastrahl 40 bzw. Plasma 21 auch eine hohe Reaktivität gegeben, so dass über ein Einbringen geeigneter Stoffe in das Plasma 21 die Bildung von nanoskaligen Partikeln über reaktive Volumenprozesse in dem Plasmastrahl 40 und somit die Abscheidung einer Vielzahl von neuartigen Kompositschichten mit in einer Matrix eingebetteten nanoskaligen Partikeln besonders einfach und effektiv möglich ist. Das zur Bildung beispielsweise von Metallcarbid-Nanopartikeln und/oder einer metallischen Haftschicht als zweite Funktionsschicht 11 benötigte Metall stammt bevorzugt aus der metallischen Hohlkathode 23. Die zur Bildung von beispielsweise Metallcarbid-Partikeln weiter erforderlichen Reaktivgase werden der Beschichtungsvorrichtung 30 beispielsweise durch gesonderte Injektoren im Bereich der Plasmastrahlquelle 20, die erste Gaszufuhr 31 und/oder die zweite Gaszufuhr 32 vor

oder hinter der Hohlkathode 23, oder auch durch die Hohlkathode 23 selbst zugeführt.

[0049] Die Figur 4 erläutert ein zu Figur 3 alternatives Ausführungsbeispiel, das sich von diesem lediglich dadurch unterscheidet, dass die Hohlkathode 23 eine kleinere Dimension aufweist, so dass sie sich vollständig innerhalb des Plasmastrahls 40 befindet. Insbesondere weist die Hohlkathode 23, die beispielsweise als Hohlzylinder oder in Form von zwei sich gegenüber liegenden, insbesondere gewölbten Platten ausgebildet ist, einen Durchmesser in einem Bereich von 1 cm bis 1 mm auf. Weiter wird die Hohlkathode 23 hier gleichzeitig auch als Injektor zur Zufuhr eines Reaktivgases in das Plasma 21 bzw. den Plasmastrahl 40 eingesetzt. Alternativ kann die Zufuhr des Reaktivgases jedoch auch über die erste Gaszufuhr 31 und/oder die zweite Gaszufuhr 32 erfolgen.

[0050] Die Figur 5 erläutert ein weiteres, zu den Figur 3 oder 4 alternatives Ausführungsbeispiel, wobei diesmal die Hohlkathode 23 als mikroskalige Hohlkathode 23 mit einer Öffnung kleiner als 5 mm, insbesondere kleiner als 1 mm, ausgeführt ist. Insbesondere sind in diesem Fall eine Mehrzahl von nebeneinander oder gebündelt angeordneten Hohlkathoden 23 vorgesehen, die jeweils als Hohlzylinder mit einem Durchmesser von weniger als 1 mm ausgebildet sind. Weiter zeigt Figur 5, dass die erste Gaszufuhr 31 mit den Hohlkathoden 23 verbunden ist, so dass über die erste Gaszufuhr 31 den Hohlkathoden 23 ein Arbeitsgas, beispielsweise Argon, und/oder über die Hohlkathoden 23 dem Plasma 21 bzw. dem Plasmastrahl 40 bei bedarf auch ein Reaktivgas oder einer sonstiger Reaktivstoff zuführbar ist. Insofern agieren die Hohlkathoden 23 bei dem Ausführungsbeispiel gemäß 5 gleichzeitig auch als Gasdusche. In Figur 5 ist weiter dargestellt, dass jede der Hohlkathoden 23 einen Hohlkathodenentladungsbereich 33 aufweist, der jeweils innerhalb des Plasmastrahls 40 liegt.

[0051] Die Figur 6 zeigt eine perspektivische Ansicht einer Ausführungsform für eine Hohlkathode 23, wie sie beispielsweise bei dem Ausführungsbeispiel gemäß Figur 4 oder Figur 5 einsetzbar ist. Insbesondere weist die Hohlkathode 23 gemäß Figur 6 einen metallischen Zylinder mit einer Vielzahl von parallelen, diesen durchquerenden Bohrungen auf, die einen Durchmesser von bevorzugt 100 μm bis 3 mm, insbesondere 500 μm bis 1,5 mm, aufweisen.

[0052] Die Figur 7 zeigt eine zur Figur 6 alternative Ausführungsform für eine Hohlkathode 23, die eine Vielzahl von konzentrisch zueinander angeordneten metallischen Hohlzylindern aufweist, die über Stege miteinander verbunden und zusammengehalten werden.

[0053] Die Figur 8 erläutert ein weiteres Ausführungsbeispiel für eine Beschichtungsvorrichtung 30, mit der ein Substrat 10 mit einer Beschichtung 5, insbesondere gemäß Figur 1, beschichtbar ist, wobei zusätzlich die in den Figuren 3 bis 5 bereits angedeutete Plasmastrahlquelle 20 etwas näher erläutert wird. Im Einzelnen ist die Plasmastrahlquelle 20 im Bereich des Austrittes des Plasmas 21 in Form eines Plasmastrahls 40 aus der Plasmastrahlquelle 20 topfförmig ausgebildet, wobei Windungen einer Spule 36 das Plasma 21 umgeben. Weiter ist in Figur 8 abweichend von den Figuren 3 bis 5 die Hohlkathode 23 nunmehr als Austrittsdüse 41 der Plasmastrahlquelle 20 ausgebildet, die von dieser über eine Isolierung 37 elektrisch isoliert ist. Insbesondere ist die Hohlkathode 23 als zylindersymmetrische Austrittsdüse 41 ausgebildet, die zu einer leichten Verengung des Plasmastrahls 40 im Austrittsbereich der Plasmastrahlquelle 20 führt.

[0054] Auch bei dem Ausführungsbeispiel gemäß Figur 8 liegt der Glimmlichtbereich 33 der Hohlkathode 23 innerhalb des Plasmastrahls 40, so dass durch Materialeintrag in das Plasma 21 ausgehend von einem Gasflusssputterprozess in der Hohlkathode 23 zwischen dem Glimmlichtbereich 33 und dem Substrat 10 ein modifiziertes Plasma 34 in einem Reaktionsvolumen 26 entsteht.

[0055] Bevorzugt ist die Hohlkathode 23 gemäß Figur 8 um den gesamten Plasmastrahl 40 im Bereich der Austrittsöffnung der Plasmastrahlquelle 20 angeordnet und gleichzeitig als Gasdusche ausgebildet oder mit einer Injektionseinrichtung versehen ist, so dass über die Hohlkathode 23 bei Bedarf reaktive Gase oder Reaktivstoffe in das Plasma 21 eingebracht werden können. Alternativ oder zusätzlich können diese aber auch direkt noch in den Innenraum der topfförmigen Plasmastrahlquelle 20 eingebracht werden. Schließlich kann auch bei dem Ausführungsbeispiel gemäß Figur 8 ein insbesondere als Gaszufuhr 31 ausgebildeter Injektor, nicht dargestellter Injektor vorgesehen sein, der das reaktive Gas oder den Reaktivstoff dem Plasmastrahl 40 bezüglich der Richtung des Gasstromes hinter der Austrittsdüse 41 zuführt.

[0056] Die Figur 9 erläutert ein weiteres Ausführungsbeispiel für eine Beschichtungsvorrichtung 30, wobei hier die Hohlkathode 23 in Bezug auf die Strömungsrichtung des in die Plasmastrahlquelle 20 eingeführten Gases, beispielsweise Argon, vor der Plasmastrahlquelle 20 angeordnet ist. Auch in diesem Fall überlappt sich der Glimmlichtbereich 33 der Hohlkathode 23 mit dem in der Plasmastrahlquelle 20 gezündeten Plasma 21. Ansonsten ist der Aufbau gemäß Figur 9 weitgehend analog zu Figur 8 bzw. auch zu Figur 3, Figur 4 oder Figur 5. Bei dem Ausführungsbeispiel gemäß Figur 8 oder 9 wurde von einer Darstellung der Gaszufuhren 31 bzw. 32 gemäß Figur 3, 4 oder 5 abgesehen. Diese können jedoch ohne Weiteres auch hier entsprechend vorgesehen sein.

[0057] Die Figur 10 erläutert ein weiteres Ausführungsbeispiel für eine Beschichtungsvorrichtung 30, wobei sich die Hohlkathode 23 nun innerhalb der Plasmastrahlquelle 20 befindet. Die Hohlkathode 23 dient dabei gleichzeitig als Injektor, das heißt, durch sie werden das Arbeitsgas der induktiven gekoppelten Plasmastrahlquelle 20, beispielsweise Argon, sowie je nach An-

wendungsfall auch weitere Reaktivgase wie Methan, C_2H_2, Wasserstoff oder andere Reaktivstoffe wie eine Suspension mit mikroskaligen oder nanoskaligen Pulverpartikeln oder eine Lösung mit Precursormaterialien in Plasmastrahlquelle 20 eingebracht. Daneben können diese Materialien bei diesem Ausführungsbeispiel alternativ oder zusätzlich auch unmittelbar hinter der Hohlkathode 23 der Plasmastrahlquelle 20 oder auch außerhalb der Plasmastrahlquelle 20 dem Plasmastrahl 40, beispielsweise durch geeignete Injektoren, zugeführt werden.

[0058] Die Figur 11 erläutert ein weiteres Ausführungsbeispiel für eine Beschichtungsvorrichtung 30, wobei die Hohlkathode 23 im Unterschied zur Figur 3 aus einem in Spulenform gewickelten Draht, beispielsweise einem Metalldraht, besteht.

[0059] Figur 12 zeigt schließlich ein Ausführungsbeispiel, bei dem die Hohlkathode23 senkrecht zu dem Plasmastrahl 40 orientiert ist. Reaktive Bestandteile oder Gase können dabei durch nicht dargestellte Injektoren oder die Hohlkathode 23 selbst in den Plasmastrahl 40 eingeleitet werden. Diese Variante bietet den Vorteil, dass der Plasmastrahl 40 selbst durch die Hohlkathode 23 insbesondere hinsichtlich der Strömungsverhältnisse nicht oder wenig gestört wird, und dass lediglich die erwünschten reaktiven Bestandteile oder Gase dem Plasmastrahl 40 zugeführt und mit der Gasströmung des Plasmastrahls 40 zu dem zu beschichtenden Substrat 10 geführt werden.

[0060] Eine weitere Variante ist die Ausführung der Hohlkathode 23 in koaxialer Form um den Plasmastrahl 40 herum, bei dem als Kathoden Ringe oder Ringsegmente mit einem dem Druck angepassten Abstand eingesetzt werden, durch die die Arbeitsgase geführt sind.

[0061] Ergänzend sei noch erwähnt, dass es bei allen vorstehend erläuterten Ausführungsbeispielen möglich ist, die Hohlkathode 23 zusätzlich mit einer Einrichtung zur Erzeugung eines Magnetfeldes zu versehen, so dass durch dieses Magnetfeld die Elektroden in der Hohlkathode 23 auf eine Spiralbahn gezwungen werden. Hierdurch erfolgt ein Intensivieren des Hohlkathodenplasmas bzw. des Glimmlichtbereiches 33, so dass eine effektivere Beschichtung bewirkt wird.

[0062] Weiter kann die Hohlkathode 23 auch aus einem Dielektrikum oder einem Halbleiter oder in Form einer segmentierten Holhkathode 23 mit mindestens einem Segment aus einem Dielektrikum oder Halbleiter ausgeführt sein, wobei die elektrische Anregung der Hohlkathodenentladung dann durch Elektroden, die außen an dem Dielektrikum oder Halbleiter angebracht sind und mit Hochfrequenzspannung oder gepulster Gleichspannung beaufschlagt werden, gewährleistet wird. Auf diese Weise sind mit Hilfe der Hohlkathode 23 über ein Gasflusssputtern auch Atome oder Cluster eines Isolators oder Halbleiters wie Si_3N_4 oder Legierungen damit oder daraus freisetzbar und auf dem Substrat 10 abscheidbar.

[0063] Insgesamt wird mit Hilfe einer der Beschichtungsvorrichtungen 30 gemäß einem der vorstehend erläuterten Ausführungsbeispiele auf dem Substrat 10 gemäß Figur 1 zunächst eine metallische Haftschicht 11 durch einen Gasflusssputterprozess abgeschieden, danach erfolgt die Abscheidung einer Gradientenschicht 12 durch allmählich steigende Zugabe reaktiver Plasmakomponenten im Bereich der Hohlkathode 23 und ein optionales Zuschalten der induktiv gekoppelten Plasmastrahlquelle 20 oder eine optionale Zugabe von Reaktivstoffen in den Plasmastrahl 40, das heißt unter zusätzlicher Beaufschlagung des Substrates 10 mit dem Plasmastrahl 40, und schließlich die Abscheidung einer nanodispersiven Schicht als zweite Funktionsschicht 12, wobei die Hohlkathode 23 mit der Plasmastrahlquelle 20 gemeinsam eingesetzt und kein reines Metall mehr auf dem Substrat 10 abgeschieden wird.

Patentansprüche

1. Vorrichtung zur Beschichtung eines Substrates mit Mitteln zur Erzeugung eines Gasstromes und mindestens einer Plasmastrahlquelle, mit der ein zumindest zeitweilig auf das Substrat einwirkender Plasmastrahl erzeugbar ist, **dadurch gekennzeichnet, dass** neben der Plasmastrahlquelle (20) mindestens eine bei Betrieb zumindest zeitweilig einen Materialeintrag auf das Substrat (10) bewirkende Hohlkathode (23) vorgesehen ist.

2. Vorrichtung nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Hohlkathode (23) und die Plasmastrahlquelle (20) derart angeordnet sind, dass sich eine von der Hohlkathode (23) bei Betrieb zumindest zeitweilig erzeugter Hohlkathodenentladungsbereich (33) und der von der Plasmastrahlquelle (20) bei Betrieb erzeugte Plasmastrahl (40) zumindest bereichsweise vor dem Einwirken des Plasmastrahls (40) auf das Substrat (10) überlappen.

3. Vorrichtung nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Plasmastrahlquelle (20) eine induktiv gekoppelte Plasmastrahlquelle, eine Mikrowellenplasmastrahlquelle oder eine von einem Gas durchströmbare Gleichspannungs- oder Mittelfrequenzentladungseinrichtung ist.

4. Vorrichtung nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Plasmastrahlquelle (20) und/oder die Hohlkathode (23) im Grobvakuum, insbesondere im Druckbereich von 0,1 mbar bis 100 mbar, oder bei einem Druck von mehr als 50 mbar betreibbar ist.

5. Vorrichtung nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** mindestens ein weiteres Mittel (31, 32) zur Zufuhr minde-

stens eines Reaktivstoffes zu dem Plasmastrahl (40), insbesondere zur Zufuhr eines Gases, einer Flüssigkeit wie einer Lösung oder einer Suspension, oder von Pulverpartikeln, vorgesehen ist.

6. Vorrichtung nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Mittel zur Erzeugung des Gasstromes auch zur Zufuhr mindestens eines Reaktivstoffes zu dem Plasmastrahl (40), insbesondere zur Zufuhr eines Gases, einer Flüssigkeit wie einer Lösung oder einer Suspension, oder von Pulverpartikeln, einsetzbar sind.

7. Vorrichtung nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Hohlkathode (23) eine bei Betrieb mit einem Gas und/oder einem Plasma (21) beaufschlagte, als Target dienende, insbesondere metallische Hohlkathode ist.

8. Vorrichtung nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** eine Einrichtung zur Beaufschlagung der Hohlkathode (23) mit Gleichspannung, gepulster Gleichspannung, mittelfrequenter Spannung oder Hochspannung vorgesehen ist.

9. Vorrichtung nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Hohlkathode (23) zumindest bereichsweise innerhalb des Plasmastrahls (40) angeordnet ist, oder dass die Hohlkathode (23) den Plasmastrahl (40) zumindest bereichsweise umgibt.

10. Vorrichtung nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Hohlkathode (23) derart ausgebildet ist, dass über sie mindestens ein Reaktivstoff dem Plasmastrahl (40), insbesondere in Form eines Gases, eines Plasmas, einer Flüssigkeit wie einer Lösung oder einer Suspension, oder in Form von Pulverpartikeln, zuführbar ist.

11. Vorrichtung nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Hohlkathode (23) als Gasduschenhohlkathode ausgebildet ist.

12. Vorrichtung nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Hohlkathode (23) als Austrittsdüse (41) der Plasmastrahlquelle (20) ausgebildet ist, oder dass die Hohlkathode (23) in Bezug auf die Richtung des Gasstromes vor der Plasmastrahlquelle (20), insbesondere in dem Gasstrom vor der Plasmastrahlquelle (20), angeordnet ist.

13. Vorrichtung nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Hohlkathode (23) neben dem Plasmastrahl (40) vor dem Substrat (10) angeordnet ist.

14. Vorrichtung nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** eine Mehrzahl von Hohlkathoden (23) vorgesehen ist, die insbesondere zumindest zum Teil in dem Plasmastrahl (40) und/oder konzentrisch um den Plasmastrahl (40) angeordnet sind.

15. Vorrichtung nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** mit der Hohlkathode (23) über ein Gasflusssputtern Atome oder Cluster eines Elementes ausgewählt aus der Gruppe Cr, V, Ti, Nb, Zr, Ta, Hf, Mo, W, Ni, Cu, B, C, Si sowie Legierungen damit oder daraus auf dem Substrat (10) abscheidbar sind, oder dass mit der Hohlkathode über ein Gasflusssputtern Atome oder Cluster ausgewählt aus der Gruppe Cr, V, Ti, Nb, Zr, Ta, Hf, Mo, W, Ni, Cu, B, C, Si dem Plasmastrahl (40) zuführbar sind.

16. Vorrichtung nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** mit der Hohlkathode (23) über ein Gasflusssputtern Atome oder Cluster eines Isolators oder Halbleiters, insbesondere Si_3N_4, oder Legierungen damit oder daraus auf dem Substrat (10) abscheidbar sind, oder dass mit der Hohlkathode über ein Gasflusssputtem Atome oder Cluster dem Plasmastrahl (40) zuführbar sind.

17. Verfahren zum Beschichten eines Substrates, insbesondere mit einer Vorrichtung nach einem der vorangehenden Ansprüche, wobei mit Hilfe mindestens einer Plasmastrahlquelle (20) zeitweilig mindestens eine erste Funktionsschicht (13) mit oder aus einer Schicht mit einer Matrix mit darin eingebetteten nanoskaligen Partikeln zumindest bereichsweise auf dem Substrat (10) abgeschieden wird, und wobei mit Hilfe mindestens einer Hohlkathode (23) über ein Gasflusssputtern zeitweilig mindestens eine zweite Funktionsschicht (11) zumindest bereichsweise auf dem Substrat (10) abgeschieden wird.

18. Verfahren nach Anspruch 17, **dadurch gekennzeichnet, dass** als zweite Funktionsschicht (11) eine metallische Schicht oder eine Siliziumschicht abgeschieden wird.

19. Verfahren nach Anspruch 17 oder 18, **dadurch gekennzeichnet, dass** auf dem Substrat (10) zunächst die zweite Funktionsschicht (11) abgeschieden wird, und dass im Weiteren die erste Funktionsschicht (13) abgeschieden wird.

20. Verfahren nach einem der Ansprüche 17 bis 19, **dadurch gekennzeichnet, dass** zwischen der ersten Funktionsschicht (13) und der zweiten Funktionsschicht (11) zumindest bereichsweise eine Zwischenschicht (12), insbesondere in Form einer einen hinsichtlich der Zusammensetzung allmählichen Übergang zwischen den Funktionsschichten (11, 13) vermittelnden Gradientenschicht, abgeschieden wird.

21. Verfahren nach einem der Ansprüche 17 bis 20, **dadurch gekennzeichnet, dass** auf dem Substrat (10) als zweite Funktionsschicht zumindest bereichsweise eine haftvermittelnde Schicht abgeschieden wird, dass darauf zumindest bereichsweise die Zwischenschicht (12) abgeschieden wird, und dass darauf zumindest bereichsweise die erste Funktionsschicht (13) abgeschieden wird, wobei die Zwischenschicht in Form einer hinsichtlich der Zusammensetzung einen allmählichen Übergang zwischen benachbarten Funktionsschichten (11, 13) vermittelnden Gradientenschicht abgeschieden wird.

22. Verfahren nach einem der Ansprüche 17 bis 21, **dadurch gekennzeichnet, dass** als erste Funktionsschicht (13) eine Schicht mit oder aus amorphem, insbesondere diamantähnlichem Kohlenstoff abgeschieden wird, in die nanoskalige Metalloxidpartikel und/oder Metallcarbidpartikel und/oder Metallnitridpartikel eingebettet sind, oder dass die erste Funktionsschicht (13) zumindest eine derartige Schicht als Teilschicht aufweist.

23. Beschichtung auf einem Substrat, insbesondere herstellbar nach einem Verfahren nach einem der Ansprüche 17 bis 22, wobei auf dem Substrat (10) zumindest bereichsweise mindestens eine zweite Funktionsschicht (11), insbesondere eine haftvermittelnde Schicht, auf der zweiten Funktionsschicht (11) zumindest bereichsweise mindestens eine Zwischenschicht (12) und auf der Zwischenschicht (12) zumindest bereichsweise mindestens eine erste Funktionsschicht (13) vorgesehen ist, wobei mindestens eine der Zwischenschichten (12) als einen hinsichtlich der Zusammensetzung allmählichen Übergang zwischen einer benachbarten zweiten Funktionsschicht (11) und einer benachbarten ersten Funktionsschicht (13) vermittelnde Gradientenschicht ausgebildet ist, und wobei mindestens eine der Funktionsschichten (11, 13) eine Matrixschicht mit darin eingebetteten nanoskaligen Partikeln, insbesondere eine Matrixschicht aus oder mit amorphem, diamantähnlichem Kohlenstoff mit darin eingebetteten nanoskaligen Metalloxidpartikeln und/oder Metallcarbidpartikeln und/oder Metallnitridpartikeln, aufweist.

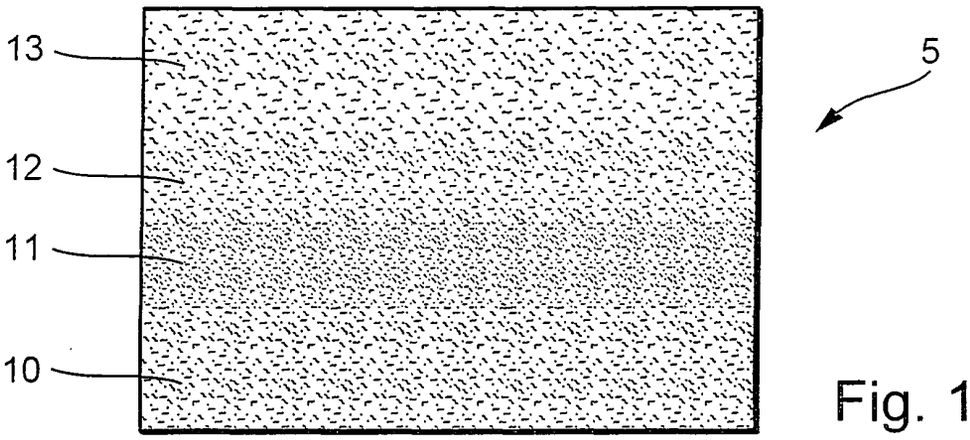

Fig. 1

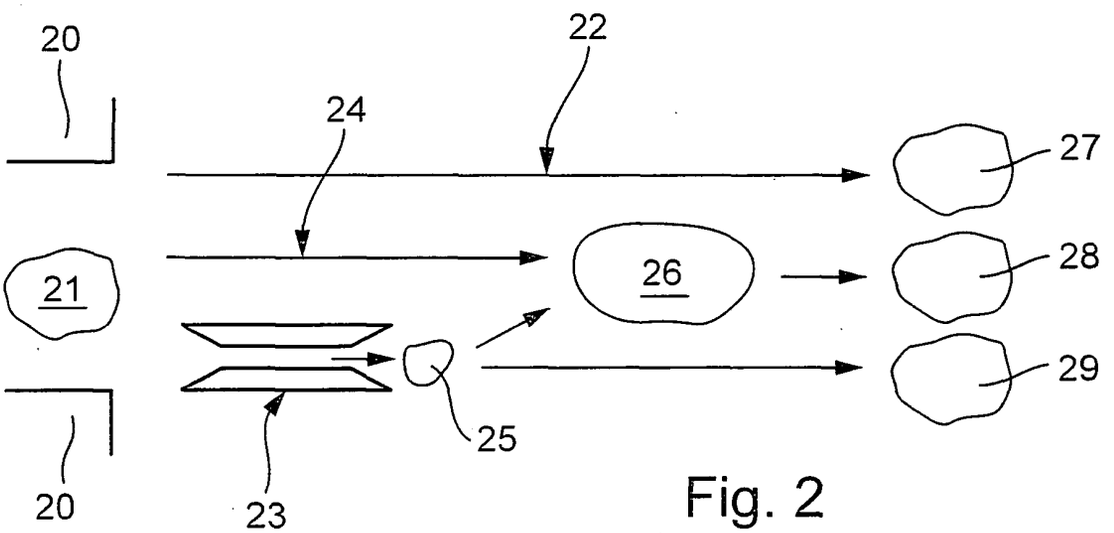

Fig. 2

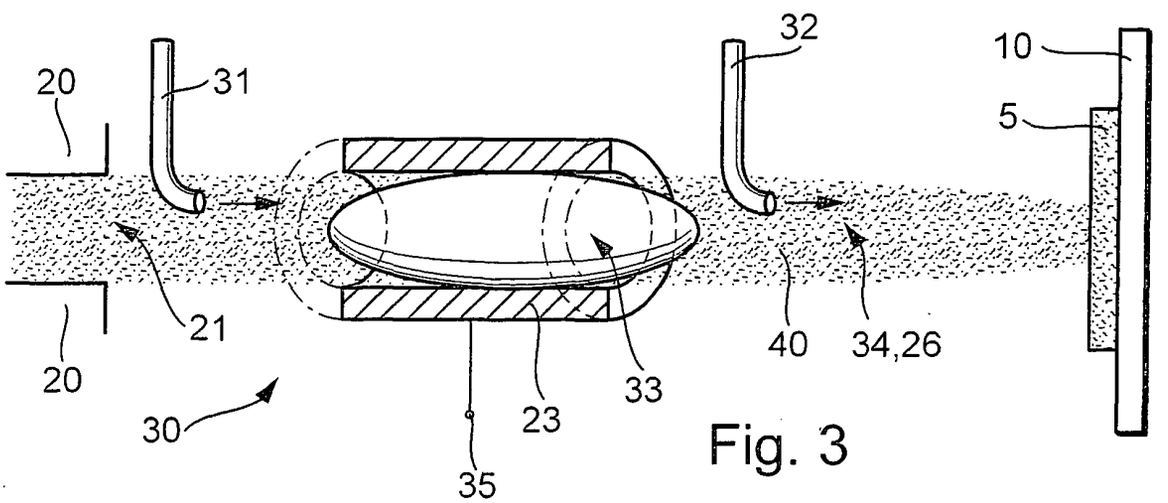

Fig. 3

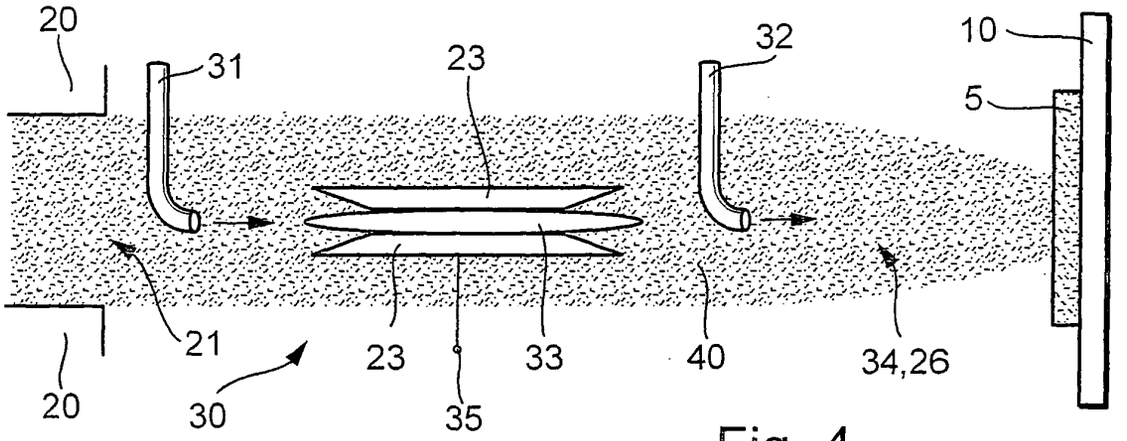

Fig. 4

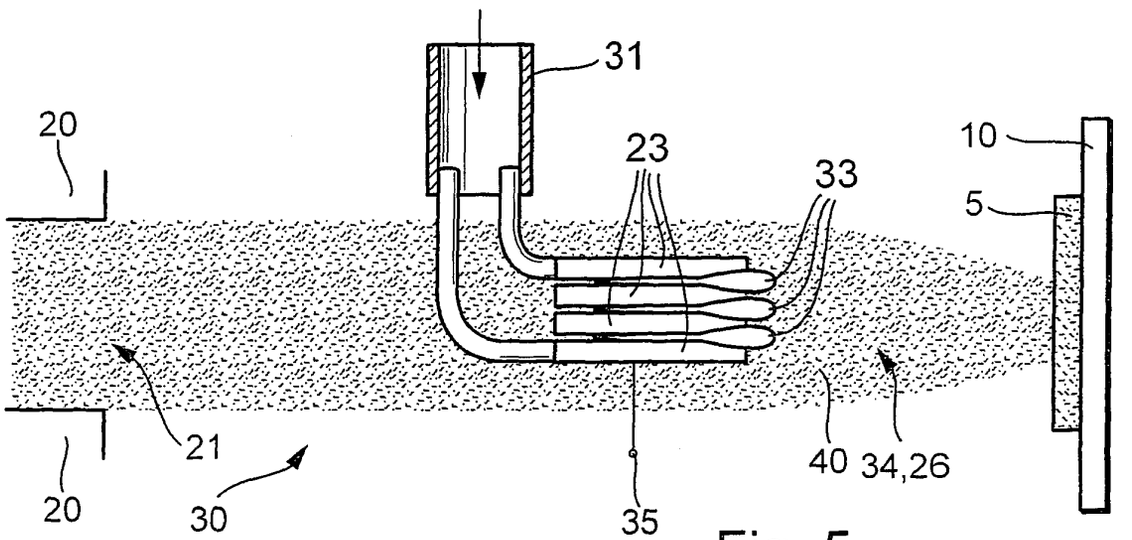

Fig. 5

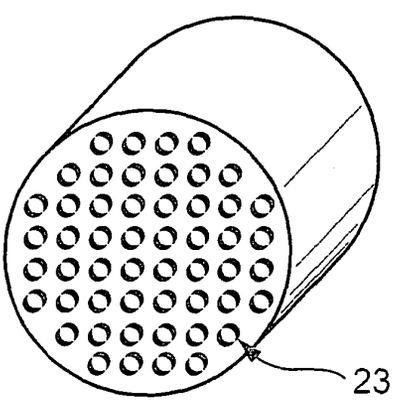

Fig. 6

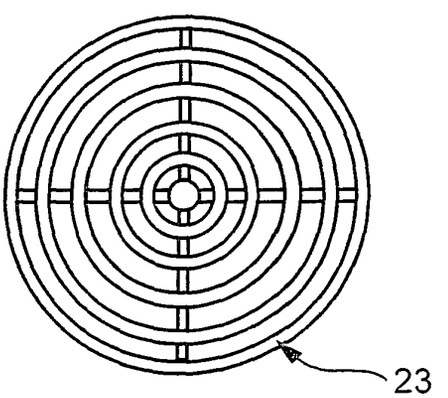

Fig. 7

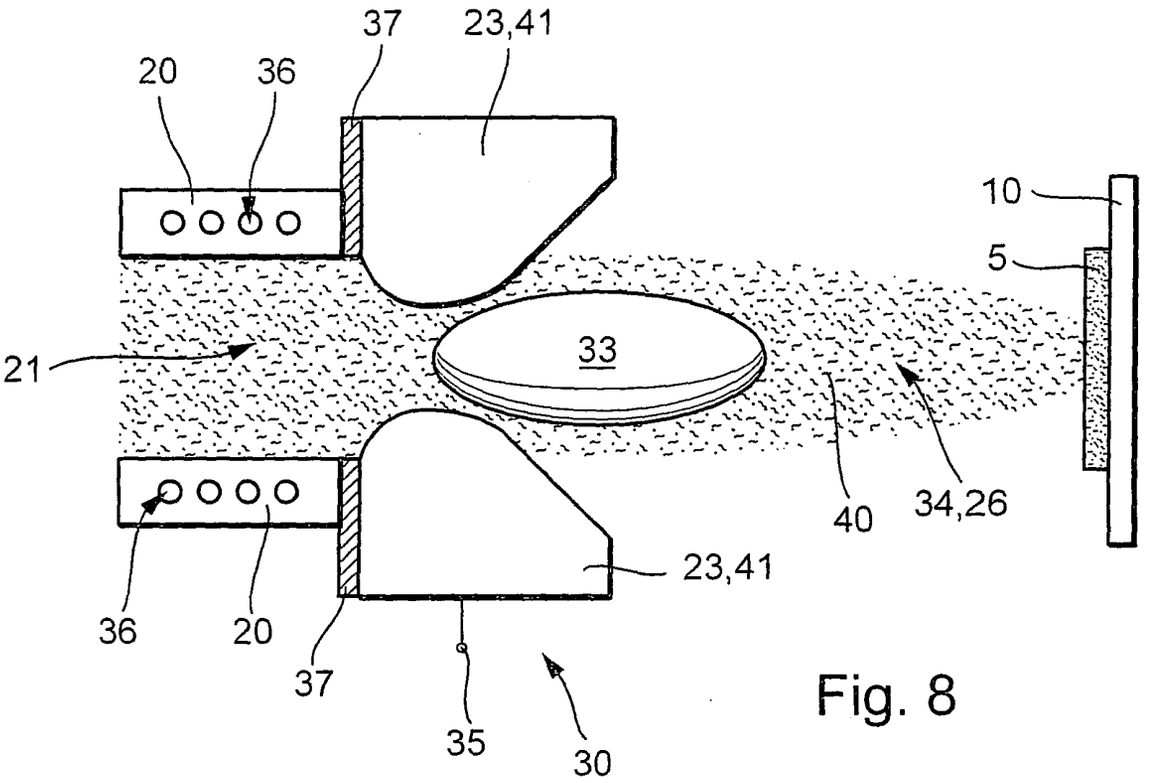
37
23,41
20
36
10
5
21
33
40
34,26
23,41
36
20
37
35
30

Fig. 8

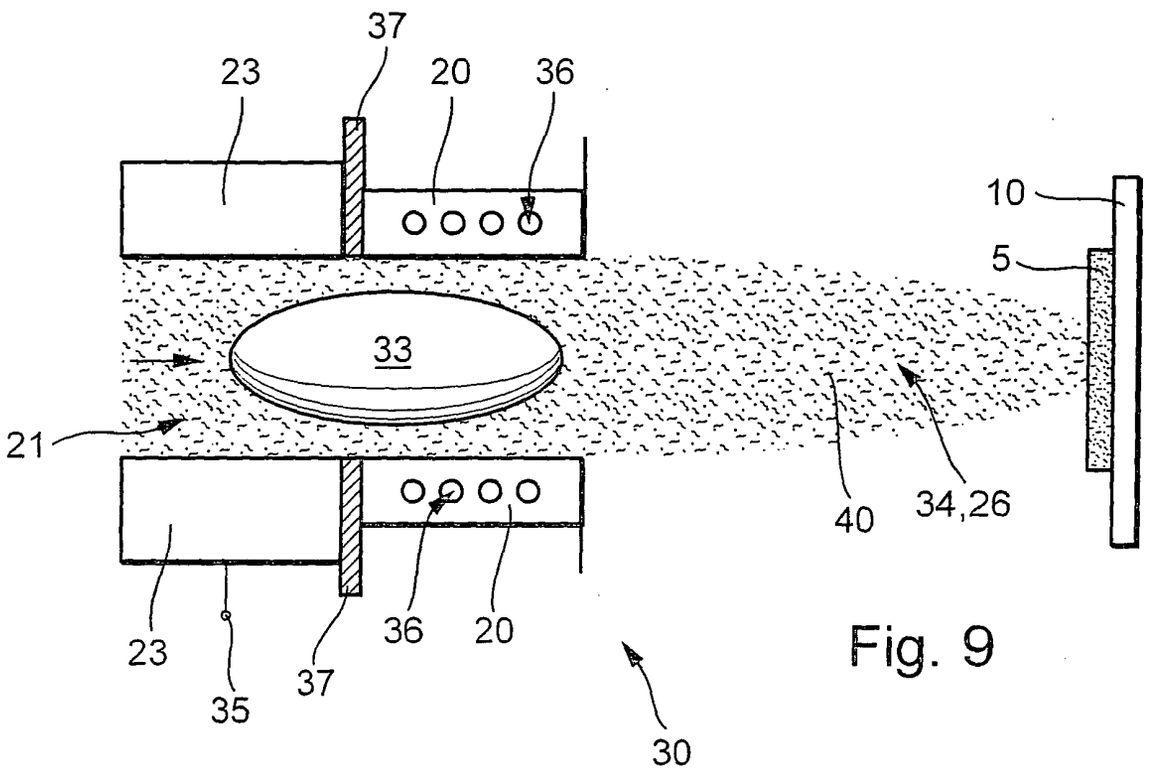
37
23
20
36
10
5
33
21
40
34,26
23
35
37
36
20
30

Fig. 9

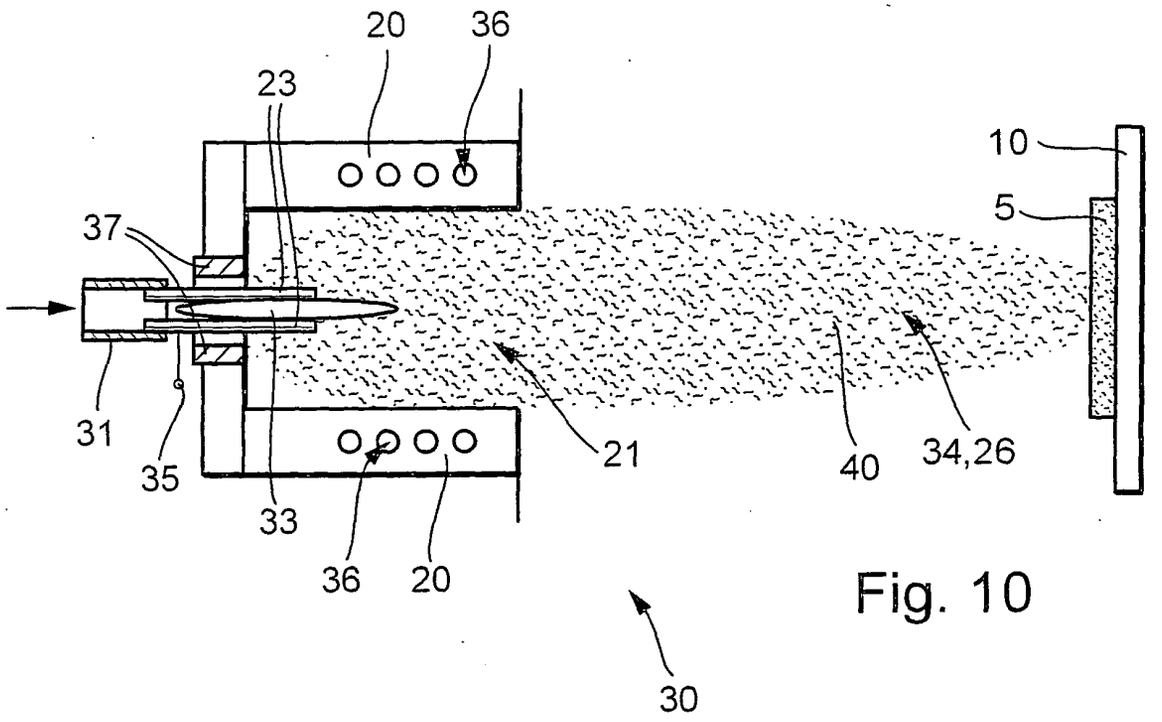
20
36
23
10
5
37
31
35
33
36
20
21
40
34,26
30

Fig. 10

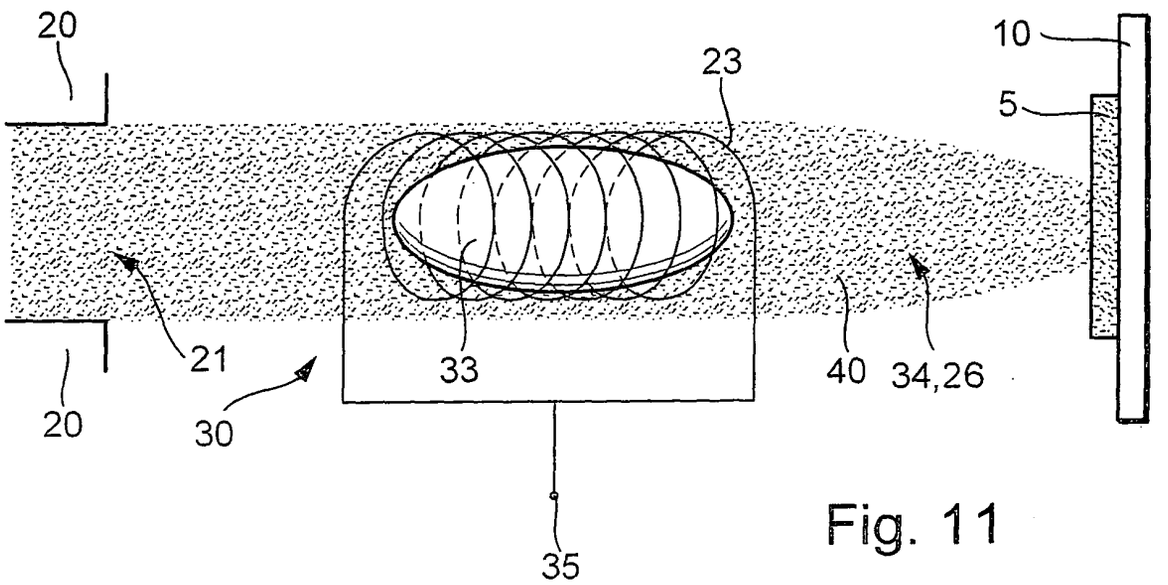
20
23
10
5
21
33
40
34,26
20
30
35

Fig. 11

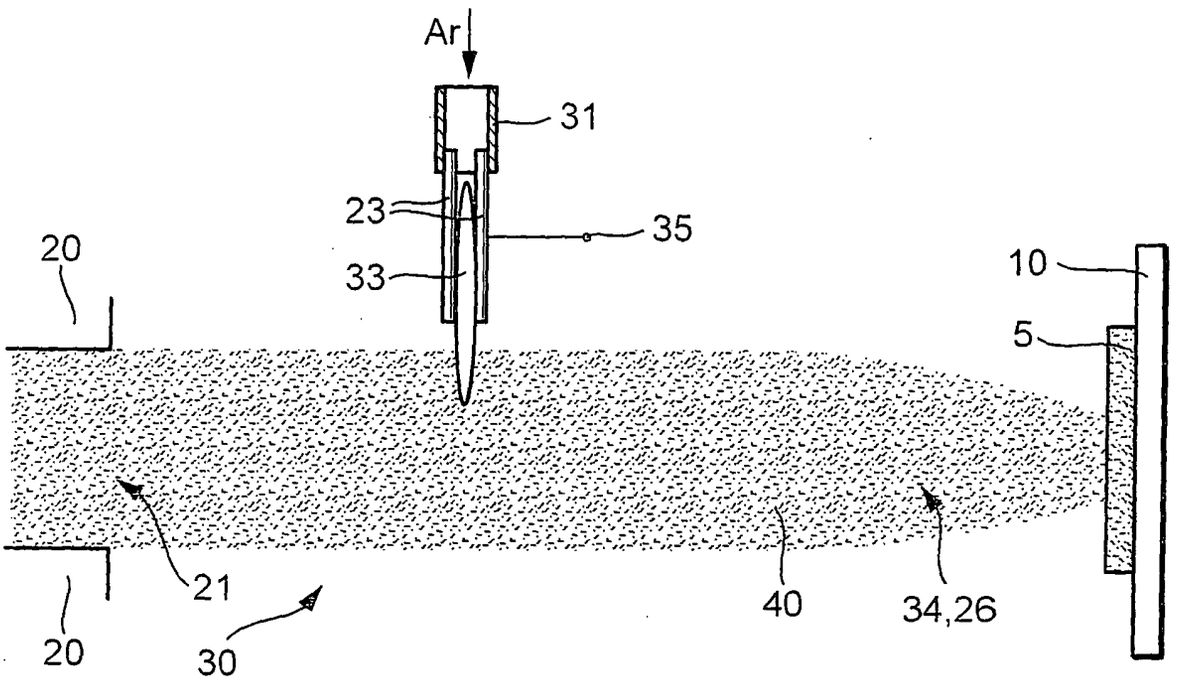

Fig. 12