

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

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
30. Oktober 2008 (30.10.2008)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2008/128536 A2

- (51) Internationale Patentklassifikation: **Nicht klassifiziert**
- (21) Internationales Aktenzeichen: PCT/DE2008/000728
- (22) Internationales Anmeldedatum: 21. April 2008 (21.04.2008)
- (25) Einreichungssprache: Deutsch
- (26) Veröffentlichungssprache: Deutsch
- (30) Angaben zur Priorität: 10 2007 019 981.5 23. April 2007 (23.04.2007) DE
- (71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US): **FRAUNHOFER-GESELLSCHAFT ZUR FÖRDERUNG DER ANGEWANDTEN FORSCHUNG E.V.** [DE/DE]; Hansastrasse 27c, 80686 München (DE).
- (72) Erfinder; und
- (75) Erfinder/Anmelder (nur für US): **MEYER, Carl-Friedrich** [DE/DE]; Ebereschenweg 37, 01328 Dresden (DE).
- (74) Anwalt: **PFENNING, MEINIG & PARTNER GBR**; Patentanwälte, Gostritzer Str.61-63, 01217 Dresden (DE).
- (81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PG, PH,

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: ANODE FOR PRODUCING A PLASMA BY WAY OF ELECTRIC ARC DISCHARGES

(54) Bezeichnung: ANODE FÜR DIE BILDUNG EINES PLASMAS DURCH AUSBILDUNG ELEKTRISCHER BOGENENTLADUNGEN

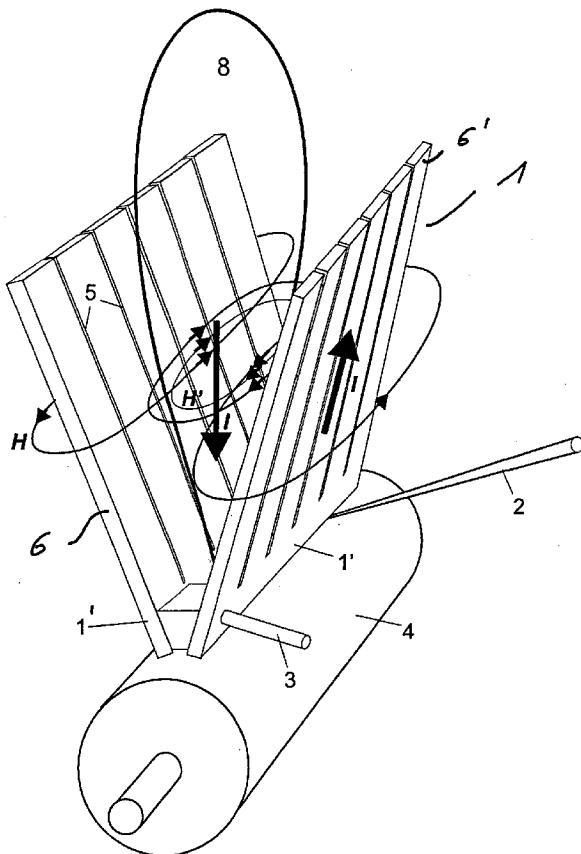


Fig. 2 :

(57) Abstract: The invention relates to an anode for producing a plasma by way of electric arc discharges, starting from a target that is connected as the cathode, for coating substrates with a target material in vacuo. The aim of the invention is to find a solution allowing at least an increase in the coating rate without substantially increasing the required equipment complexity. The anode for producing a plasma by forming electric arc discharges, starting from a target that is connected as the target, is arranged at a distance to the target in a conventional manner. Anode bars that are initially parallel to the surface of the target are present on the anode. Strip elements are configured on the anode and are separated by gaps. Said strip elements start from the anode bar and point in the direction of the surface of a substrate to be coated. The plasma produced is surrounded by the strip elements of the anode on two opposite sides.

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft eine Anode für die Bildung eines Plasmas durch Ausbildung elektrischer Bogenentladungen, ausgehend von einem als Kathode geschalteten Target, für die Beschichtung von Substraten mit Targetwerkstoff im Vakuum. Aufgabe der Erfindung ist es, eine Möglichkeit vorzuschlagen, mit der zumindest die Beschichtungsrate erhöht werden kann, ohne dass der hierfür erforderliche anlagentechnische Aufwand erheblich vergrößert ist. Die erfindungsgemäße Anode für die Bildung eines Plasmas durch Ausbildung elektrischer Bogenentladungen, ausgehend von einem als Kathode geschalteten Target, ist dabei in bekannter Art und Weise in einem Abstand zum Target angeordnet. Dabei sind zunächst parallel zur Oberfläche des Targets ausgerichtete Anodenschielen an der Anode vorhanden. Außerdem sind streifenförmige Elemente

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

WO 2008/128536 A2



PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, SV,
SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN,
ZA, ZM, ZW.

EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV,
MC, MT, NL, NO, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF,
BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN,
TD, TG).

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

Veröffentlicht:

— ohne internationalen Recherchenbericht und erneut zu veröffentlichen nach Erhalt des Berichts

an der Anode ausgebildet, die durch Spalte voneinander getrennt sind. Die streifenförmigen Elemente gehen dabei von den Anodenschienen aus und weisen in Richtung eines an der Oberfläche zu beschichtenden Substrats. Das gebildete Plasma ist dabei von zwei gegenüber liegenden Seiten mit den streifenförmigen Elementen der Anode eingefasst.

FRAUNHOFER-GESELLSCHAFT...e.V.
088PCT 0543

Anode für die Bildung eines Plasmas durch Ausbildung
elektrischer Bogenentladungen

Die Erfindung betrifft eine Anode für die Bildung
5 eines Plasmas durch Ausbildung elektrischer Bogenent-
ladungen, ausgehend von einem als Kathode geschalte-
ten Target, für die Beschichtung von Substraten mit
Targetwerkstoff im Vakuum. Die erfindungsgemäßen Ano-
den können für die Beschichtung von Oberflächen von
10 Substraten mit unterschiedlichsten Beschichtungswerk-
stoffen eingesetzt werden. Dabei ist auch die Ausbil-
dung von Schichtsystemen möglich, bei denen mindes-
tens zwei solcher Schichten übereinander ausgebildet
werden können, die aus unterschiedlichen Werkstoffen
15 oder Stoffen gebildet sind. So ist insbesondere die
Ausbildung von Schichten aus diamantähnlichem Kohlen-
stoff auf Substratoberflächen mit der erfindungsgemä-
ßen Lösung möglich.

Üblicherweise kann dabei so vorgegangen werden, dass zwischen einem als Kathode geschalteten Target und einer Anode elektrische Bogenentladungen gezündet werden und mit deren Energie der Targetwerkstoff in ein Plasma überführt wird. Das gebildete Plasma kann dann auf die Oberfläche eines Substrates gelangen und dort eine Schicht ausbilden.

Zur Vermeidung einer unkontrollierten Bewegung von Fußpunkten gezündeter Bogenentladungen entlang der Oberfläche eines solchen Targets, die wiederum zu einem unkontrollierten Werkstoffabtrag der Targetoberfläche führt, wurden Laserlichtquellen eingesetzt. Dabei kann mit von einer Laserlichtquelle emittierten Lasersimpulsen eine lokal gezielte Zündung elektrischer Bogenentladungen erreicht werden, indem der Laserstrahl gezielt über die Oberfläche eines solchen Targets ausgelenkt wird. Dadurch kann ein gleichmäßigerer Werkstoffabtrag auf der Targetoberfläche erreicht werden.

Eine solche technische Lösung ist u.a. in DE 198 50 217 C1 beschrieben. Das entsprechende Verfahren wird auf diesem Gebiet der Technik auch als „Laser-Arc-Verfahren“ bezeichnet.

Für die Zündung und Ausbildung elektrischer Bogenentladungen sind ein oder auch mehrere, dann bevorzugt in Reihe angeordnete Targets, als Kathode geschaltet. Oberhalb der Oberfläche solcher Targets ist dann eine Anode angeordnet, wobei der Abstand zwischen Targetoberfläche und Anode nur einige wenige Millimeter beträgt. Die Anode ist an ein entsprechendes elektrisches Spannungspotential geschaltet.

Bisher ist es üblich, einfache Anoden, die aus etwa

10 mm dicken und ca. 30 bis 50 mm tiefen Edelstahl-
schienen gebildet sind, einzusetzen. Eine solche Ano-
de ist in Figur 1 schematisch dargestellt.

5 Aus verständlichen Gründen sollten die Anodenschienen
so dimensioniert sein, dass sie etwas länger, als ein
Target bzw. mehrere nebeneinander angeordnete Targets
sind.

10 Es ist aber auch bekannt, rotierende, wassergekühlte
Rundanoden mit einem Durchmesser im Bereich von 20 mm
bis 30 mm für die Ausbildung elektrischer Bogenentla-
dungen zur Plasmabildung, ausgehend von einem als Ka-
thode geschalteten Target, einzusetzen.

15 Insbesondere beim „Laser-Arc-Verfahren“ wird im Ver-
gleich zu anderen Vorgehensweisen, bei denen Plasma
durch elektrische Bogenentladungen generiert wird,
eine geringere Beschichtungsrate erzielt.

20 Um diesem Nachteil begegnen zu können, besteht die
Möglichkeit der Erhöhung der elektrischen Leistung.
Dies erhöht aber durch die hierfür erforderlichen
elektronischen Anlagen die Kosten erheblich, so dass
25 eine beliebige Erhöhung der elektrischen Leistung
nicht ohne weiteres möglich ist.

Ein weiteres Problem bei Beschichtungsverfahren im
Vakuum mit infolge elektrischer Bogenentladungen ge-
nerierten Plasmen besteht darin, dass auch größere
30 Teilchen (Droplets) in die sich ausbildende Schicht
eingelagert werden können, so dass die Oberflächengü-
te einer so ausgebildeten Schicht verschlechtert ist.

35 Ausgehend hiervon ist es daher Aufgabe der Erfindung,
eine Möglichkeit vorzuschlagen, mit der zumindest die

Beschichtungsrate erhöht werden kann, ohne dass der hierfür erforderliche anlagentechnische Aufwand erheblich vergrößert ist.

5 Erfindungsgemäß wird diese Aufgabe mit einer Anode, die die Merkmale des Anspruchs 1 aufweist, gelöst. Vorteilhafte Ausgestaltungsformen und Weiterbildungen der Erfindung können mit in untergeordneten Ansprüchen bezeichneten technischen Merkmalen erreicht werden.
10

Die erfindungsgemäße Anode für die Bildung eines Plasmas durch Ausbildung elektrischer Bogenentladungen, ausgehend von einem als Kathode geschalteten
15 Target, ist dabei in bekannter Art und Weise in einem Abstand zum Target angeordnet. Dabei sind zunächst parallel zur Oberfläche des Targets ausgerichtete Anodenschienen an der Anode vorhanden. Außerdem sind streifenförmige Elemente an der Anode ausgebildet,
20 die durch Spalte voneinander getrennt sind. Die streifenförmigen Elemente gehen dabei von den Anodenschienen aus und weisen in Richtung eines an der Oberfläche zu beschichtenden Substrats. Das gebildete Plasma ist dabei von zwei gegenüber liegenden Seiten
25 mit den streifenförmigen Elementen der Anode eingefasst. Zwischen den Anodenschienen ist ein Spalt vorhanden, durch den gebildetes Plasma in Richtung auf ein zu beschichtendes Substrat hindurch treten kann.

30 Die Anodenschienen sollten miteinander elektrisch leitend verbunden sein.

Wie bereits im einleitenden Teil der Beschreibung angesprochen, kann die erfindungsgemäße Anode auch beim
35 „Laser-Arc-Verfahren“ eingesetzt werden, wobei dann die Zündung elektrischer Bogenentladungen lokal dif-

ferenziert auf der Oberfläche von Targets mit einem gepulst betriebenen Laserstrahl auf der Oberfläche des Targets initiiert werden kann.

5 Vorteilhaft ist es, die streifenförmigen Elemente in einem schräg geneigten Winkel auszurichten, so dass sich der Abstand gegenüber liegend angeordneter streifenförmiger Elemente ausgehend von der Anodenschiene vergrößert. Dadurch kann ein sich in Richtung
10 des Substrats konisch erweiternder Plasmaformungsbe- reich ausgebildet werden.

Von der Anode aus dem gebildeten Plasma abgeführte Elektronen können sich infolge der Spalte zwischen streifenförmigen Elementen der Anode nur senkrecht
15 zur Längsachse der Anode bewegen und bilden dabei ein magnetisches Feld H aus, das im Wesentlichen parallel zur Längsachse des/der Target(s) bzw. parallel zu den Anodenschienen ausgebildet ist. Dadurch kann erreicht
20 werden, dass im Plasma im Überschuss enthaltene positive Ionen durch die Lorenzkraft des ausgebildeten magnetischen Feldes in Richtung der Mitte zwischen streifenförmigen Elementen gebeugt werden.

25 Da die so beschleunigten Elektronen im Plasma selbst zu einem starken elektrischen Strom entgegen der Plasma-Ausbreitungsrichtung führen, bildet sich um das in Richtung auf das Substrat beschleunigte Plasma ebenfalls ein konzentrisches magnetisches Feld H'
30 aus, das wiederum zu einer Fokussierung des gebildeten Plasmas zwischen den streifenförmigen Elementen einer erfindungsgemäßen Anode führt.

35 Massereichere Partikel oder auch Elektronen können so durch die zwischen streifenförmigen Elementen ausgebildete Spalte hindurch treten. Solche Partikel oder

andere unerwünschte Plasmabestandteile können auch mittels Abschirmelementen abgefangen werden. Solche Abschirmelemente können beispielsweise plattenförmige Elemente sein, die im Bereich der oberen Stirnseiten von streifenförmigen Elementen seitlich neben diesen angeordnet sind. Die Abschirmelemente bilden eigentlich Blenden, mit denen vermieden werden kann, dass diese aus dem Plasma separierten Partikel oder Plasmabestandteile auf die zu beschichtende Oberfläche des Substrats gelangen und insbesondere nachteilige Wirkungen bei der Schichtausbildung hervorrufen.

Es besteht die Möglichkeit die streifenförmigen Elemente ausgehend von den Anodenschienen in einer parallelen Ausrichtung an einer erfindungsgemäßen Anode einzusetzen. Dadurch kann quasi ein paralleler Spalt, der dann einen Plasmaformungsbereich bilden kann, ausgebildet werden.

Günstiger ist es jedoch, die streifenförmigen Elemente in einem schräg geneigten Winkel auszurichten, wie dies bereits angesprochen worden ist. Hierbei sollte ein Mindestwinkel von mindestens 10° in Bezug zur Targetoberfläche senkrecht ausgerichteten Ebene eingehalten werden.

Es besteht aber auch die Möglichkeit zusätzliche streifenförmige Elemente an einer erfindungsgemäßen Anode auszubilden, die im Bereich der Stirnenden der Anodenschienen angeordnet sind. Dadurch ist das gebildete Plasma nicht nur von zwei gegenüberliegenden Seiten mit streifenförmigen Elementen eingefasst, sondern dies trifft auch auf die stirnseitigen Endbereiche zu. So kann mit streifenförmigen Elementen ein in Richtung auf die zu beschichtende Oberfläche eines Substrates offener "Käfig" gebildet werden.

Außerdem besteht die Möglichkeit zumindest streifenförmige Elemente, die an gegenüberliegenden Seiten der Anode angeordnet sind so auszubilden, dass sie entlang ihrer Längsachse konkav oder konvex gekrümmt ausgebildet sind. Durch eine solche Krümmung von streifenförmigen Elementen kann ein Plasmaformungsbereich mit entsprechender geometrischer Gestaltung ausgebildet werden. Bei einer konvexen Krümmung streifenförmiger Elemente weitet sich der Plasmaformungsbereich in Richtung auf das Substrat entsprechend auf, was im Fall einer konkaven Krümmung streifenförmiger Elemente entgegengesetzt der Fall ist, also im Bereich der in Richtung Substrat weisenden Stirnenden streifenförmiger Elemente ein wiederum reduzierte Spaltbreite zwischen gegenüberliegend angeordneten streifenförmigen Elementen erreichbar ist.

Gegenüberliegend angeordnete streifenförmige Elemente können in Bezug zur Längsachse der Anodenschienen symmetrisch zueinander angeordnet sein, so dass sich jeweils zwei streifenförmige Elemente gegenüberliegen. Es besteht aber auch die Möglichkeit solche streifenförmigen Elemente versetzt zueinander anzuordnen, so dass ein streifenförmiges Element an einer Seite der Anode einem Spalt, der an der anderen Seite der Anode angeordnet ist, gegenüberliegt.

Die Anode sollte bevorzugt im Bereich der Anodenschiene an eine elektrische Spannungsquelle angeschlossen sein, wobei es besonders bevorzugt ist, diesen Anschluss an einem stirnseitigen Ende der Anode vorzusehen.

Insbesondere bei in Richtung einer Längsachse sehr langen Targets oder einer entsprechenden Anordnung

mehrerer solcher Targets, besteht selbstverständlich auch die Möglichkeit mehrere erfindungsgemäße Anoden, dann bevorzugt ebenfalls in einer Reihenanordnung vorzusehen.

5

Spalte zwischen benachbart zueinander angeordneten streifenförmigen Elementen sollten mindestens so breit wie die jeweiligen streifenförmigen Elemente sein.

10

Streifenförmige Elemente können aber auch ausgehend von den Anodenschienen sich konisch verjüngend ausgebildet werden, so dass sich ihre jeweilige Breite sukzessive verkleinert und dementsprechend die Spalte zwischen den nebeneinander angeordneten streifenförmigen Elementen ausgehend von der Anodenschiene in Richtung der Stirnenden von streifenförmigen Elementen, die in Richtung Substrat weisen, verbreitert sind. Durch so verbreiterte Spalte können größere Partikel oder andere unerwünschte Bestandteile aus dem Plasma besser separiert und eine dementsprechende unerwünschte Beeinflussung bei der Schichtausbildung auf der Substratoberfläche vermieden werden.

15

20

25

Mit der erfindungsgemäßen Anode kann die Partikeldichte in der auf Substratoberflächen ausgebildeten Beschichtung um zirka 40% reduziert und so die Schichtqualität und insbesondere deren Oberflächen Schichtgüte deutlich verbessert werden. Außerdem kann die Beschichtungsrate um mindestens 50% erhöht werden. Bei der Ausbildung von diamantähnlichen Kohlenstoffschichten konnte bei einer Schichtdicke von zirka einem Mikrometer ein gegenüber herkömmlich ausgebildeten Beschichtungen aus diamantähnlichem Kohlenstoff ein um 50% erhöhter Elastizitätsmodul erreicht werden.

30

35

Bei der Ansteuerung von Anoden für die Zündung elektrischer Bogenentladungen in gepulster Form werden bisher Hochstrom-Impulsquellen eingesetzt, deren Stromspitzen bei bis zu zirka 3000 A und einer Impulslänge zwischen 2 Mikrosekunden und 200 Mikrosekunden liegen. Dabei wird eine Schaltung verwendet, bei der eine elektrische Stromquelle einen elektrischen Kondensator auflädt und zwischen diesem Kondensator und einem Anschluss der Anode oder einem als Kathode geschalteten Target ein induktives Element geschaltet ist. Zusätzlich ist in dem Stromkreis parallel zur Anoden-Kathodenstrecke eine Diode geschaltet. In Folge der hohen elektrischen Ströme sollten und sind auch die entsprechenden elektrischen Bauelemente wasser- oder intensiv luftgekühlt, was sehr nachteilig ist. Mit einer solchen bekannten Lösung ist ein schneller Wechsel von Bauelementen oder ein einfaches Umschalten zwischen verschieden großen Bauelementen und demzufolge eine schnelle Änderung von nicht ohne Weiteres möglich. Dies bedeutet, die Impulslänge und die elektrische Stromstärke können nicht auf einfache Weise den jeweiligen momentanen Verfahrensbedingungen angepasst werden.

Bei einer solchen bekannten Schaltung treten die an sich bekannten Bedingungen von Parallelschwingkreisen auf. Die Spannungs- und Stromverläufe führen dazu, dass nach einer doppelten Brennzeit einer elektrischen Bogenentladung, der Kondensator nach erfolgtem Umschwingen mit Hilfe der Diode in Praxis wieder auf 40 bis 60% seiner elektrischen Ausgangsspannung nachgeladen werden kann. Eine elektrische Bogenentladung verbraucht lediglich bis zu 40% der im elektrischen Kondensator gespeicherten elektrischen Energie. Dadurch besteht die Gefahr, dass durch noch vorhandene

Ionen und Elektronen eine unerwünschte Zündung einer elektrischen Bogenentladung, beispielsweise zwischen einer Kammerwand oder dem Substrat, das an eine negative elektrische Spannung angeschlossen ist und der Anode gezündet wird. Da aber kurz nach einer elektrischen Bogenentladung eine Nachladung des elektrischen Kondensators auf die erforderliche elektrische Sollspannung erfolgen muss, kommt es gelegentlich zu einem Kurzschluss zwischen elektrischer Stromquelle und den unerwünscht gezündeten elektrischen Bogenentladungen, was zu erheblichen Störungen der elektrischen Stromquelle führt. Elektrische Stromquellen müssen dann zumindest kurzzeitig abgeschaltet werden.

Diese Nachteile treten auch bei Schaltungen auf, bei denen mehrere solcher Parallelschwingkreise an eine elektrische Stromquelle angeschlossen sind.

Die vorab erwähnten Nachteile können aber dadurch beseitigt werden, dass ein zusätzlicher Schalter, bevorzugt Halbleiterschalter, in Reihe mit dem induktiven Element zwischen elektrischem Kondensator und einem Anschluss an eine Anode oder einem als Kathode geschalteten Target geschaltet wird.

Mit solchen Schaltern kann eine gezielte Trennung der Entladungsstrecke von Kondensatoren erreicht werden. Nach einer Abschaltung mit einem solchen Schalter kurz im Anschluss an eine Bogenentladung kann eine problemlose und vollständige Nachladung eines Kondensators erfolgen, ohne dass eine Störung auftreten kann. Innerhalb einer Vakuumkammer noch vorhandene Ionen oder auch Elektronen einer vorhergehenden Bogenentladung können keine unerwünschten Nachzündungen von elektrischen Bogenentladungen hervorrufen.

Als Schalter können beispielsweise schnelle IGBT oder andere Leistungstransistoren eingesetzt werden. Die Steuerung solcher Schalter kann mit Hilfe einer Zeitsteuerung erfolgen, wobei die Impulslänge durch ein verzögertes Zuschalten von Entladungsstrecken in mehreren Schritten verändert werden kann.

Nachfolgend soll die Erfindung beispielhaft näher erläutert werden.

Dabei zeigen:

Figur 1 in schematischer Darstellung eine Anode, nach dem Stand der Technik;

Figur 2 in schematischer Darstellung ein Beispiel einer erfindungsgemäßen Anode und

Figur 3 ein weiteres Beispiel einer erfindungsgemäßen Anode mit zusätzlichen Abschirmelementen.

In Figur 1 ist eine Anordnung mit einer Anode 1 nach dem Stand der Technik dargestellt. Dabei ist die Anode 1 aus zwei Elementen, in Form von Anodenschienen 1' mit einer Dicke von zirka 10 Millimetern und einer Breite von 30 bis 50 Millimetern aus Edelstahl bestehend, oberhalb eines walzenförmigen Targets 4, das als Kathode geschaltet ist in einem Abstand von wenigen Millimetern angeordnet. Zwischen den beiden Anodenschienen 1' der Anode 1, die hier in einem schräg geneigten Winkel zueinander ausgerichtet sind, ist ein Spalt ausgebildet, durch den ein vom Target 4 gebildetes Plasma 8 in Richtung auf ein hier nicht dargestelltes Substrat hindurch treten und zu dessen Oberflächenbeschichtung genutzt werden kann.

Aus Figur 1 ist ebenfalls ersichtlich, dass ein von einer Laserlichtquelle emittierter Laserstrahl 2 auf die Oberfläche des Targets 4 gerichtet werden kann.

5 Durch einen gepulsten Betrieb des Laserstrahls 2 und dabei gleichzeitiger Auslenkung, können elektrische Bogenentladungen zwischen Target 4 und den Anodenschienen 1' lokal definiert gezündet und dann zur Plasmabildung genutzt werden. Der Fußpunkt der gezündeten elektrischen Bogenentladungen kann so gezielt
10 verändert und ein gleichmäßiger Werkstoffabtrag über die gesamte Oberfläche des Targets 4 erreicht werden. Ein Anschlusskontakt 3 ist hier an einem stirnseitigen Ende der Anode 1 vorhanden, mit dem die Anode 1
15 mit einer hier ebenfalls nicht dargestellten elektrischen Spannungsquelle verbunden werden kann.

Mit Figur 2 soll ein erfindungsgemäßes Beispiel näher verdeutlicht werden.

20 Dabei ist eine erfindungsgemäße Anode 1 so ausgebildet, dass ausgehend von Anodenschienen 1' die Anode 1 mit streifenförmigen Elementen 6 und 6' in Richtung auf ein hier ebenfalls nicht dargestelltes Substrat verlängert ist. Zwischen dem streifenförmigen Elementen 6 und 6' sind Spalte 5 ausgebildet.

Die übrigen Elemente entsprechen denen, wie sie im Beispiel nach dem Stand der Technik gemäß Figur 1 bereits dargestellt und erläutert worden sind.
30

Die mit der Anode 1 aus dem gebildeten Plasma 8 abgeführten Elektronen können mittels der streifenförmigen Elemente 6 und 6' sowie den zwischen diesen ausgebildeten Spalten 5 nur senkrecht zur Längsachse abfließen und erzeugen so das magnetische Feld H, das
35

weitgehend parallel zur Längsachse der Anodenschienen 1' und des Targets ausgebildet ist. Dadurch kann die Bahn der im gebildeten Plasma 8 im Überschuss vorhandenen positiven Ionen durch die Lorenzkraft zur Mitte des Plasmas 8 gebeugt werden.

5

Da die beschleunigten Elektronen in Plasma 8, stärker als die überschüssigen, aber massereicheren Ionen, im sich ausbreitenden Plasma selbst zu einem starken elektrischen Strom in Richtung der Ausbreitung des Plasmas 8 führen, bildet sich um das in Richtung auf das Substrat beschleunigte Plasma 8 ebenfalls ein konzentrisches magnetisches Feld H'. Das magnetische Feld H' führt zu einer weiteren Fokussierung des Plasmas 8.

10

15

Bei diesem Beispiel ist eine erfindungsgemäße Anode 1 durch ein Laserschneidverfahren aus Edelstahl hergestellt worden. Die streifenförmigen Elemente 6 und 6' haben dabei, ausgehend von der in Richtung Target 4 weisenden Stirnseite, also der Stirnseite der Anodenschienen 1' eine Länge von 200 Millimetern. Sie weisen außerdem eine Dicke von 4 Millimetern auf. Das Spaltmaß zwischen den einzelnen streifenförmigen Elementen 6 und 6' betrug 26 Millimeter. Zwischen den Anodenschienen 1' ist ein Spalt ausgebildet, durch den gebildetes Plasma 8 ausgehend vom Target 4 in Richtung auf ein hier ebenfalls nicht dargestelltes Substrat hindurch treten und zu dessen Oberflächenbeschichtung genutzt werden kann.

20

25

30

Wie aus Figur 2 ersichtlich, können die zwei Reihen streifenförmiger Elemente 6 und 6' in einem schräg geneigten Winkel zueinander ausgerichtet sein. Der Winkel bei dieser Anode 1 betrug 15° in Bezug zur senkrechten Ebene zwischen den beiden Reihen strei-

35

fenförmiger Elemente 6 und 6'.

Über den Anschluss 3 ist die Anode 1 an eine elektrische Spannungsquelle angeschlossen. Von dort wird eine elektrische Spannung in Höhe von 140 V angelegt. Die Anode ist mit einer maximalen Stromstärke von 2000 A betrieben worden.

Bei dem in Figur 2 und auch in Figur 3 gezeigten Beispielen wurde ein Target 4 aus reinem Kohlenstoff eingesetzt, mit dem ein Substrat an einer Oberfläche mit diamantähnlichem Kohlenstoff beschichtet werden kann.

In nicht dargestellter Form können aber auch mehrere solcher walzenförmigen Targets 4 entlang der Längsachse, um die diese dann rotieren, angeordnet und aus unterschiedlichen Werkstoffen gebildet sein, so dass wie im einleitenden Teil der Beschreibung angesprochen auch Mehrschichtsysteme an Oberflächen von Substraten ausgebildet werden können, ohne dass zusätzlicher anlagentechnischer Aufwand für den Austausch einzelner Elemente oder ein Transport eines jeweils zu beschichtenden Substrates erforderlich ist.

Entgegen der Darstellung in den Figuren 2 und 3 sollte eine erfindungsgemäße Anode 1 zumindest in etwa der Länge eines Targets 4 oder der Gesamtlänge einer Reihenanordnung mehrerer Targets 4 entsprechen, bevorzugt jedoch etwas länger sein.

Das in Figur 3 gezeigte Beispiel einer erfindungsgemäßen Anode 1 unterscheidet sich in zwei Punkten vom Beispiel gemäß Figur 2. Dabei wurden die Spalte 5 zwischen streifenförmigen Elementen 6 und 6' vergrößert, so dass der Abstand zwischen nebeneinander an-

geordneten streifenförmigen Elementen 6 oder 6' ebenfalls vergrößert ist, als bei dem in Figur 1 gezeigten Beispiel einer Anode 1.

5 Außerdem sind seitlich neben der Anode im Bereich der
oberen Stirnenden von streifenförmigen Elementen 6
und 6' hier plattenförmige Abschirmelemente 7 und 7'
angeordnet worden. So kann die hier in Richtung Tar-
get 4 weisende Fläche der Abschirmelemente 7 und 7'
10 genutzt werden, um Partikel oder andere unerwünschte
Bestandteile aus dem gebildeten Plasma 8, die durch
die Spalten 5 hindurch getreten sind, abzufangen und
so die Oberfläche eines zu beschichtenden Substrates
mittels der Abschirmelemente 7 und 7' vor diesen Par-
15 tikeln oder Plasmabestandteilen zu schützen.

Es liegt auf der Hand, dass Abschirmelemente 7 und 7'
auch in einem leicht schräg geneigten Winkel ausge-
richtet werden können, wobei jedoch die Oberfläche so
20 ausgerichtet sein sollte, dass Partikel oder uner-
wünschte Bestandteile aus dem Plasma 8 sicher abge-
fangen werden können.

Die Abschirmelemente 7 und 7' können zur Verbesserung
25 ihrer Schutzwirkung ebenfalls auf ein elektrisch
positives Spannungspotential gelegt werden.

FRAUNHOFER-GESELLSCHAFT...e.V.

088PCT 0543

Patentansprüche

5

1. Anode für die Bildung eines Plasmas durch Ausbildung elektrischer Bogenentladungen, ausgehend von einem als Kathode geschalteten Target, für die Beschichtung von Substraten mit Targetwerkstoff im Vakuum, wobei die Anode in einem Abstand zum Target angeordnet ist, dadurch gekennzeichnet, dass die Anode (1) ausgehend von parallel zur Oberfläche des Targets (4) ausgerichteten Anodenschienen (1') mit streifenförmigen Elementen (6, 6'), die durch Spalte (5) voneinander getrennt sind ausgebildet ist und vom Target (6) gebildetes Plasma (8) zumindest von zwei gegenüberliegenden Seiten mit streifenförmigen Elementen (6, 6') eingefasst ist und zwischen den Anodenschienen (1') einen Spalt vorhanden ist, durch den gebildetes Plasma (8) in Richtung auf ein zu beschichtendes Substrat hindurch tritt.

10

15

20

25

2. Anode nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass zur Zündung von elektrischen Bogenentladungen ein gepulst betriebener Laserstrahl (2) auf die Oberfläche des Targets (4) gerichtet ist.

30

3. Anode nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass die streifenförmigen Elemente (6, 6') in einem Winkel ausgerichtet sind, so dass sich der Abstand gegenüberliegend angeordneter streifenförmiger Elemente ausgehend von den Anodenschienen (1') vergrößert.

4. Anode nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass streifenförmige Elemente (6, 6') im Bereich der Stirnenden der Anodenschienen (1') einen stirnseitigen Abschluss bilden.
- 5
5. Anode nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass streifenförmige Elemente (6, 6') ausgehend von den Anodenschienen (1') entlang ihrer Längsachse konkav oder konvex gekrümmt ausgebildet sind.
- 10
6. Anode nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass streifenförmige Elemente (6, 6') in Bezug zur Längsachse der Anode (1) symmetrisch zueinander angeordnet sind.
- 15
7. Anode nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass streifenförmige Elemente (6, 6') in Bezug zur Längsachse der Anode (1) nicht symmetrisch zueinander angeordnet sind.
- 20
8. Anode nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass in Bezug zu den Anodenschienen (1') gegenüberliegend angeordnete streifenförmige Elemente (6, 6') versetzt zueinander angeordnet sind.
- 25
9. Anode nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Anode (1) im Bereich der Anodenschienen (1') an eine elektrische Spannungsquelle angeschlossen ist.
- 30
10. Anode nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass seitlich neben und im Bereich der oberen Stirnseiten von streifen-

förmigen Elementen (6, 6') Abschirmelemente (7, 7') angeordnet sind.

- 5 11. Anode nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass streifenförmige Elemente (6, 6') an der den Anodenschienen (1') gegenüberliegenden Stirnseite miteinander verbunden sind.
- 10 12. Anode nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass streifenförmige Elemente (6, 6') ausgehend von den Anodenschienen (1') sich konisch verjüngend ausgebildet sind und sich die Spalte (5) zwischen nebeneinander angeordneten streifenförmigen Elementen (6, 6') ausgehend von den Anodenschienen (1')
15 verbreitern.
- 20 13. Anode nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass gegenüberliegend angeordnete streifenförmige Elemente (6, 6') in einem Winkel ausgerichtet sind, so dass zwischen ihnen ein sich in Richtung des Substrats konisch erweiternder Plasmaformungsbereich ausgebildet ist.
- 25 14. Anode nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Abstand zwischen den streifenförmigen Elementen (6, 6') ausgehend von den Anodenschienen (1') sich in Richtung zum Substrat verringert.

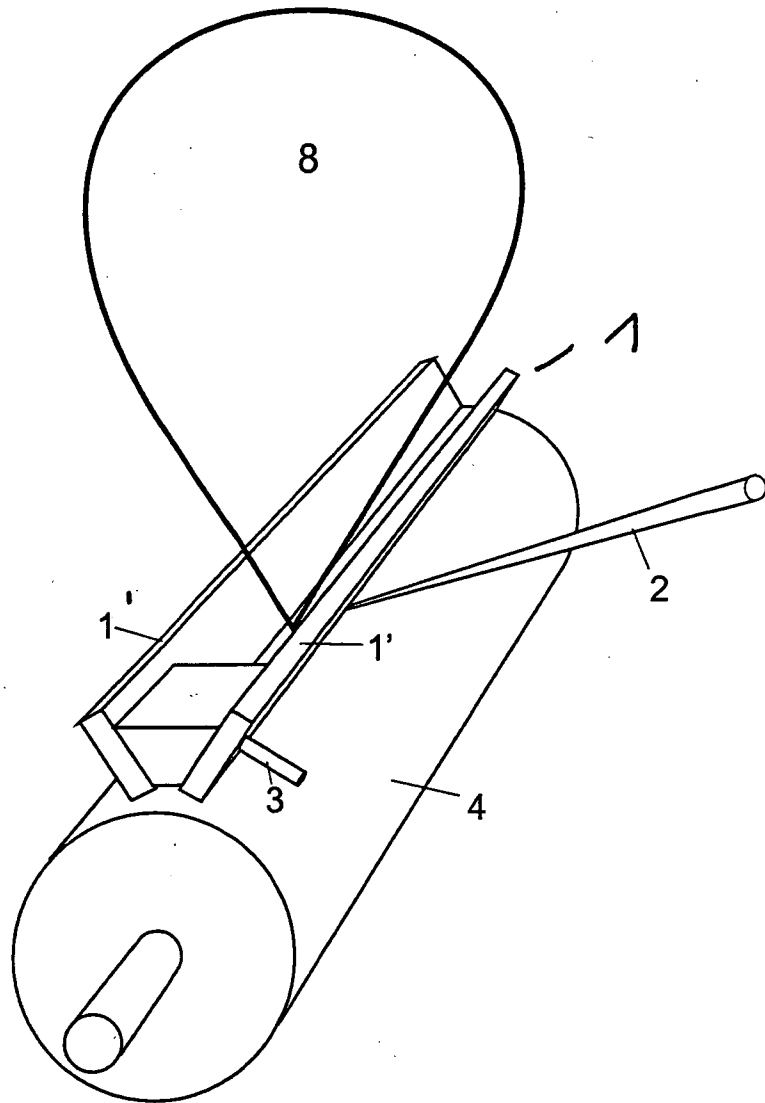


Fig. 1:

(Stand der Technik)

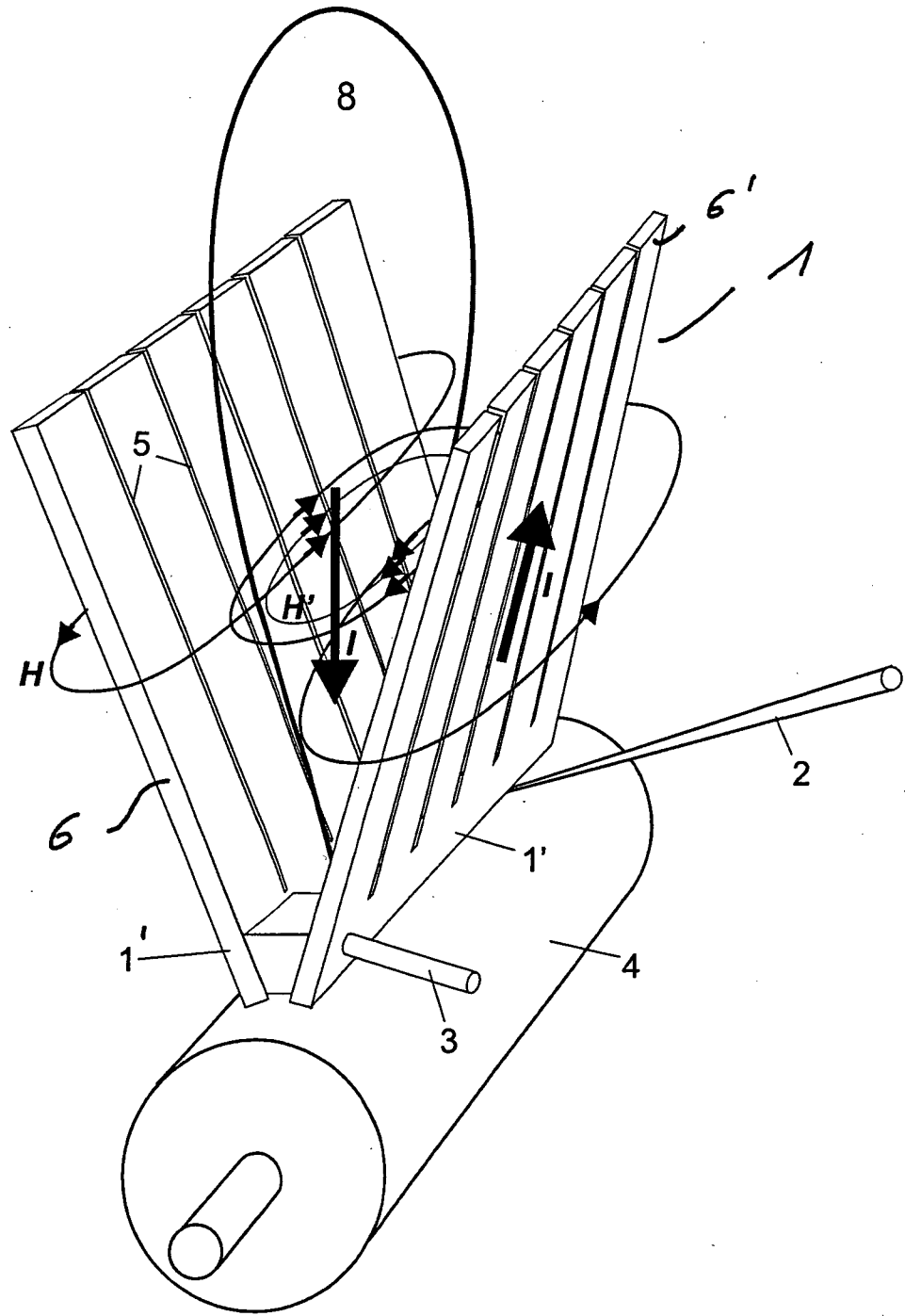


Fig. 2 :

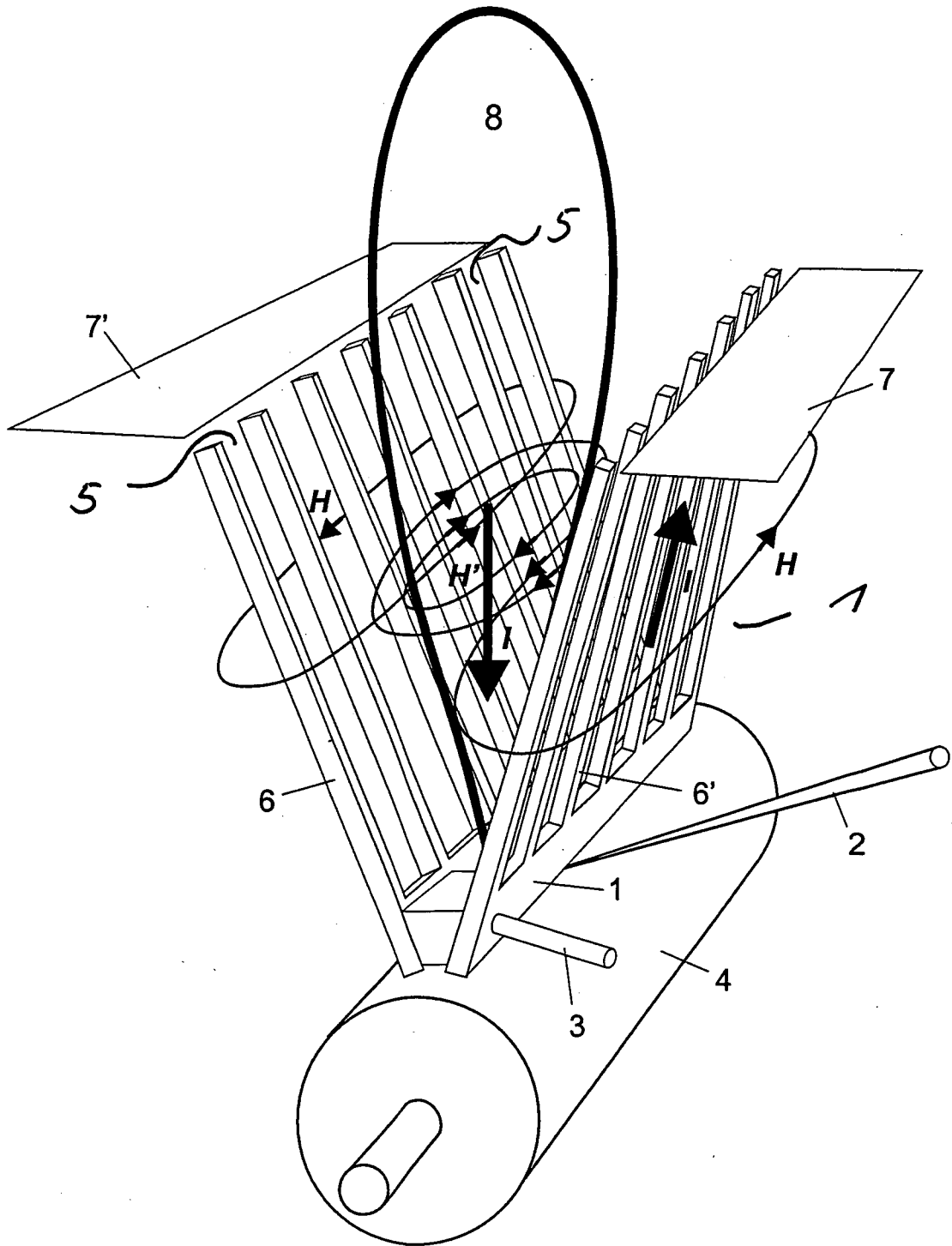


Fig. 3: