

PCTWELTORGANISATION FÜR GEISTIGES EIGENTUM
Internationales BüroINTERNATIONALE ANMELDUNG VERÖFFENTLICHT NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE
INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS (PCT)

(51) Internationale Patentklassifikation ⁶ : C23C 14/02	A2	(11) Internationale Veröffentlichungsnummer: WO 99/28520 (43) Internationales Veröffentlichungsdatum: 10. Juni 1999 (10.06.99)
(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/DE98/03514 (22) Internationales Anmeldedatum: 24. November 1998 (24.11.98) (30) Prioritätsdaten: 197 53 684.0 3. Dezember 1997 (03.12.97) DE (71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten ausser US): FRAUNHOFER-GESELLSCHAFT ZUR FÖRDERUNG DER ANGEWANDTEN FORSCHUNG E.V. [DE/DE]; Leonrodstrasse 54, D-80636 München (DE). (72) Erfinder; und (75) Erfinder/Anmelder (nur für US): WINKLER, Torsten [DE/DE]; Kopernikusstrasse 4, D-01454 Radeberg (DE). GOEDICKE, Klaus [DE/DE]; Pfeifferhannsstrasse 18, D-01307 Dresden (DE). FIETZKE, Fred [DE/DE]; Leisniger Strasse 63, D-01127 Dresden (DE). SCHILLER, Siegfried [DE/DE]; Platteite 17, D-01324 Dresden (DE). KIRCHHOFF, Volker [DE/DE]; Wetroer Strasse 7, D-01324 Dresden (DE).		(81) Bestimmungsstaaten: US, europäisches Patent (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE). Veröffentlicht <i>Ohne internationalen Recherchenbericht und erneut zu veröffentlichen nach Erhalt des Berichts.</i>
(54) Title: DEVICE FOR PROCESSING WORKPIECES IN LOW PRESSURED PLASMA		
(54) Bezeichnung: EINRICHTUNG ZUR BEHANDLUNG VON WERKSTÜCKEN IN EINEM NIEDERDRUCK-PLASMA		
(57) Abstract		
One disadvantage of known plasma processing devices is that the current density and etching rate cannot be increased as desired if productivity is to be improved. Said devices are also operated at a high gas pressure. Devices operating at a high gas pressure are not suitable for processing ferromagnetic or thick workpieces. The inventive device consists of a device which generates a magnetic field. The workpiece is mounted as an electrode for low pressure discharge. The counter electrode is arranged outside the magnetic field. A pulsed current is applied to the workpiece and the counter electrode. The device is used for plasma-processing of workpieces with respect to material, form and thickness. A high erosion rate can be obtained at low gas pressure, resulting in high productivity.		
(57) Zusammenfassung		
Die bekannten Einrichtungen zur Plasmabehandlung haben den Nachteil, dass die Stromdichte und damit die Ätzrate nicht beliebig zu steigern ist, um die Produktivität zu erhöhen. Außerdem arbeiten diese mit einem hohen Gasdruck. Die Einrichtungen, die mit hohem Gasdruck arbeiten, sind nicht geeignet, um ferromagnetische oder dicke Werkstücke zu behandeln. D.h. das Anwendungsgebiet ist begrenzt. Erfindungsgemäß besteht die Einrichtung aus einer magnetfelderzeugenden Einrichtung, das Werkstück ist als Elektrode einer Niederdruckentladung geschaltet, die Gegenelektrode ist außerhalb des Magnetfeldes angeordnet, an das Werkstück und die Gegenelektrode wird ein gepulster Strom angelegt. Die Einrichtung dient der Plasmabehandlung beliebiger Werkstücke bezüglich Material, Form und Materialdicke. Es ist eine hohe Abtragerate zu erzielen, bei niedrigem Gasdruck und hoher Produktivität.		

LEDIGLICH ZUR INFORMATION

Codes zur Identifizierung von PCT-Vertragsstaaten auf den Kopfbögen der Schriften, die internationale Anmeldungen gemäss dem PCT veröffentlichen.

AL	Albanien	ES	Spanien	LS	Lesotho	SI	Slowenien
AM	Armenien	FI	Finnland	LT	Litauen	SK	Slowakei
AT	Österreich	FR	Frankreich	LU	Luxemburg	SN	Senegal
AU	Australien	GA	Gabun	LV	Lettland	SZ	Swasiland
AZ	Aserbaidsschan	GB	Vereinigtes Königreich	MC	Monaco	TD	Tschad
BA	Bosnien-Herzegowina	GE	Georgien	MD	Republik Moldau	TG	Togo
BB	Barbados	GH	Ghana	MG	Madagaskar	TJ	Tadschikistan
BE	Belgien	GN	Guinea	MK	Die ehemalige jugoslawische Republik Mazedonien	TM	Turkmenistan
BF	Burkina Faso	GR	Griechenland			TR	Türkei
BG	Bulgarien	HU	Ungarn	ML	Mali	TT	Trinidad und Tobago
BJ	Benin	IE	Irland	MN	Mongolei	UA	Ukraine
BR	Brasilien	IL	Israel	MR	Mauretanien	UG	Uganda
BY	Belarus	IS	Island	MW	Malawi	US	Vereinigte Staaten von Amerika
CA	Kanada	IT	Italien	MX	Mexiko		
CF	Zentralafrikanische Republik	JP	Japan	NE	Niger	UZ	Usbekistan
CG	Kongo	KE	Kenia	NL	Niederlande	VN	Vietnam
CH	Schweiz	KG	Kirgisistan	NO	Norwegen	YU	Jugoslawien
CI	Côte d'Ivoire	KP	Demokratische Volksrepublik Korea	NZ	Neuseeland	ZW	Zimbabwe
CM	Kamerun			PL	Polen		
CN	China	KR	Republik Korea	PT	Portugal		
CU	Kuba	KZ	Kasachstan	RO	Rumänien		
CZ	Tschechische Republik	LC	St. Lucia	RU	Russische Föderation		
DE	Deutschland	LI	Liechtenstein	SD	Sudan		
DK	Dänemark	LK	Sri Lanka	SE	Schweden		
EE	Estland	LR	Liberia	SG	Singapur		

Einrichtung zur Behandlung von Werkstücken in einem Niederdruck-Plasma

Die Erfindung bezieht sich auf eine Einrichtung zur Behandlung von Werkstücken in einem Niederdruck-Plasma. Es handelt sich dabei vorzugsweise um Werkstücke in Form von
5 Platten, Bändern oder Formteilen, die zum Zwecke der Plasmabehandlung durch das Plasma bewegt werden. Die Art der Bewegung ist der Form der zu behandelnden Werkstücke angepasst. Für Flachprodukte wie Folien oder Tafeln ist im Allgemeinen ein Lineartransport der Werkstücke zweckmäßig, während dreidimensional ausgedehnte Werkstücke vorzugsweise auf rotierenden Halterungen, z.B. in einem Drehkorb, durch das Plasma
10 transportiert werden. Die Einrichtung zur Erzeugung des Niederdruck-Plasmas steht meist in Verbindung mit einer Vakuumanlage. Die Plasma-Behandlung dient der Reinigung, der Aktivierung, der Ätzung, der plasmachemischen Modifizierung oder einer anderen Form der Plasma-Oberflächenbehandlung, oft in Kombination mit einem anschließenden Beschichtungsprozess.

15 Die Oberflächenbeschichtung mittels physikalischer oder chemischer Dampfphasenabscheidung erfordert fast ausnahmslos eine vorherige Plasma-Behandlung der Werkstückoberflächen. Auch für das Auftragen organischer Beschichtungen, z.B. das Verkleben, Auftragen von Lackierungen, Hydrophobieren oder Hydrophylieren, ist häufig
20 eine Behandlung von Werkstückoberflächen in einem Niederdruck-Plasma erforderlich.

Seit langem sind zahlreiche Einrichtungen zur Erzeugung von Glimmentladungen für die Behandlung von Werkstücken im Plasma bekannt. Sie nutzen selbständige Gasentladungen in einem Edelgas oder einem Gasgemisch, welches auch andere Gase wie Sauerstoff,
25 Wasserstoff oder Kohlenwasserstoffe enthält. Im Wesentlichen beruht die Wirkung des Plasmas darauf, dass das Werkstück als Katode geschaltet ist und von Ionen des Plasmas getroffen wird. Nachteilig wirkt bei allen Einrichtungen, die nach dem Prinzip der Dioden-Entladungen arbeiten, dass die Stromdichte und damit die Behandlungsgeschwindigkeit, z.B. der Ätzrate, begrenzt sind. Ein weiterer Nachteil ist der erforderliche vergleichsweise
30 hohe Gasdruck oberhalb von 1 Pa, der für die Aufrechterhaltung dieser Art der Entladungen erforderlich ist. Bei Drücken in diesem Bereich wird durch die Wirkung des Gases ein nennenswerter Teil der beabsichtigten Wirkungen wieder kompensiert oder durch Nebeneffekte gestört.

Aus diesem Grund ist es bekannt, Einrichtungen zur Plasmabehandlung von Werkstücken
35 einzusetzen, die eine Erhöhung der Plasmadichte durch Magnetfelder nutzen. Solche

magnetfeldverstärkten Niederdruck-Entladungen zeichnen sich durch eine höhere Bearbeitungsrate, z.B. höhere Ätzrate, aus und arbeiten teilweise auch bei niedrigeren Drücken im Bereich von 0,3...1 Pa.

- 5 Weiterhin ist eine Einrichtung zur magnetfeldverstärkten Vorbehandlung von Werkstücken aus bandförmigem Material bekannt, bei der das Werkstück als Katode einer Gleichstromentladung geschaltet ist und bei der das Magnetfeld einer speziellen, als Magnetron bekannten Magnetanordnung das Werkstück durchdringt, so dass sich auf der zu behandelnden Oberfläche des Werkstückes eine ringförmig geschlossene Zone hoher
10 Plasmadichte bildet. Derartige Einrichtungen zeichnen sich durch eine hohe Ätzrate aus und arbeiten in einem optimalen Druckbereich. Ihr Einsatz ist aber auf elektrisch leitende Werkstücke beschränkt. Wesentliche Nachteile ergeben sich jedoch, wenn die zu behandelnden Werkstücke ferromagnetisch sind oder die Dicke der Werkstücke zu groß ist, so dass das Magnetfeld der rückseitig angeordneten Magnetron-Anordnung das Werkstück
15 nicht ausreichend durchdringen kann. In diesen Fällen bildet sich entweder nur eine sehr stromschwache Entladung aus, oder die Einrichtung arbeitet nicht. Im Falle ferromagnetischer Werkstücke treten weiterhin infolge des geringen Abstandes zwischen Magnetron-Anordnung und Werkstück starke magnetische Anziehungskräfte auf, die zu erheblichen technischen Problemen, z.B. zum Verformen bandförmiger Werkstücke, führen
20 können. Für flache Werkstücke, die in Rahmen oder Aufnahmen gehalten werden müssen, entstehen außerdem geometrisch bedingte Schwierigkeiten, die es nur schwer oder überhaupt nicht ermöglichen, die Magnetron-Anordnung in dem erforderlichen geringen Abstand hinter dem Werkstück anzuordnen. Deshalb lässt sich diese Einrichtung in zahlreichen technisch wichtigen Anwendungsbereichen nicht nutzen.

- 25 Es ist weiterhin ein Verfahren und eine Einrichtung zur Plasma-Behandlung von elektrisch leitenden und nicht leitenden Werkstücken unter Nutzung von Wechselstrom-Entladungen im Zusammenhang mit einem PVD-Vakuumbeschichtungsprozess bekannt. Der Werkstückoberfläche gegenüber ist eine Gegenelektrode aus dem Material angeordnet, das
30 für eine an die Plasmabehandlung anschließende Beschichtung durch Magnetron-Zerstäuben vorgesehen ist. Unter der Wirkung des elektrischen Wechselfeldes wird die Werkstückoberfläche im Rhythmus des Polwechsels von Elektronen und Ionen des Fremdmaterials beaufschlagt (DE 195 46 826). Das Verfahren ermöglicht eine gute Haftfestigkeit der aufgestäubten Schicht. In vielen Anwendungsfällen ist jedoch die
35 Beaufschlagung der Werkstückoberfläche mit Fremdmaterial unzulässig, so dass diese

Einrichtung auch nicht allgemein anwendbar ist. Nachteilig ist weiterhin eine begrenzte Stromdichte und damit häufig eine zu geringe Wirkungsrate, z.B. Ätzrate, der Plasmabehandlung.

- 5 Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist die Schaffung einer Einrichtung zur Behandlung von Werkstücken in einem Niederdruckplasma, die die Nachteile und Grenzen des Standes der Technik überwindet. Die Einrichtung soll eine hohe Rate der Plasmabehandlung, z.B. eine hohe Abtragsrate und eine intensive Aktivierung der Oberfläche bei einer Ätzung der Werkstücke, ermöglichen. Die Einrichtung soll so beschaffen sein, dass sich praktisch keine
- 10 Einschränkung für die Form, Materialdicke und Materialart der zu behandelnden Werkstücke ergibt. Zur Erzielung einer hohen Wirksamkeit des mit der Einrichtung auszuübenden Verfahrens soll diese auch bei Gasdrücken unter 1 Pa funktionsfähig sein. Die Einrichtung soll durch Verwendung an sich bekannter Baugruppen geringen apparativen Aufwand erfordern und mit bekannten Vakuumbeschichtungsanlagen
- 15 kombinierbar sein.

Die erfindungsgemäße Einrichtung ist durch die Merkmale des Anspruches 1 gekennzeichnet. Zweckmäßige Ausgestaltungen sind in den Ansprüchen 2 bis 17 beschrieben.

20

- Durch die erfindungsgemäße Einrichtung erfolgt eine intensive Behandlung jeweils eines Bereiches der Oberfläche des Werkstückes. Es gehört deshalb zum Wesen der Erfindung, dass der Transport des Werkstückes bzw. der Werkstücke so gestaltet ist, dass die gesamte zu behandelnde Oberfläche des Werkstückes oder alle zu behandelnden Bereiche der
- 25 Oberfläche nacheinander durch die Bereiche hoher Plasmadichte geführt werden. Wesentlich ist, dass bei der erfindungsgemäßen Einrichtung im Gegensatz zu bekannten Einrichtungen nur auf der der zu behandelnden Oberfläche gegenüberliegenden Seite magnetfelderzeugende Einrichtungen angeordnet sind und dass diese Einrichtungen einen Abstand von mindestens 30 mm zu der zu behandelnden Oberfläche aufweisen. Dadurch
- 30 besteht die Möglichkeit, die Werkstücke in zweckmäßig gestalteten Halterungen oder Rahmen aufzunehmen. Diese Halterungen, Rahmen oder Dreh- und Bewegungseinrichtungen für die Werkstücke können z.B. mit nach mehreren Seiten überstehenden Teilen versehen sein, was für ihre zweckmäßige Gestaltung und ihre Funktion in vielen Anwendungsfällen von großer Bedeutung ist.

35

Sind die zu behandelnden Werkstücke aus ferromagnetischem Material, z.B. aus Eisenwerkstoffen, so treten nur solche Deformationen und Veränderungen des Magnetfeldes der magnetfelderzeugenden Einrichtung auf, die die Ausbildung einer stromstarken Niederdruck-Plasmaentladung nicht stören. Auch magnetische

5 Anziehungskräfte zwischen ferromagnetischen Werkstücken und den magnetfelderzeugenden Einrichtungen sind von geringer Wirkung und beeinträchtigen nicht die Funktion der Einrichtung.

Die charakteristische Art der Stromversorgung und der Potentialverhältnisse begründen,

10 dass die Niederdruckentladung stabil arbeitet und im Allgemeinen nicht in eine Bogenentladung umschlägt. Selbst wenn ein solcher Umschlag in eine Bogenentladung gelegentlich stattfinden sollte, so wird nur ein geringer Energiebetrag, der maximal dem Energieinhalt eines Strompulses entspricht, als Bogenstrom auf dem Werkstück wirksam. Der folgende Strompuls fließt wieder in Form einer magnetfeldverstärkten Niederdruck-

15 Plasmaentladung durch das Werkstück. Auf diese Weise wird eine fehlerfreie gleichmäßige Plasmabehandlung der Werkstückoberfläche erreicht.

In Bezug auf die Impedanz und die elektrischen Kennwerte wird mit der Einrichtung ein Typ einer Niederdruckentladung erzeugt, der in seinen Eigenschaften eine Mittelstellung

20 zwischen den bekannten Dioden-Glimmentladungen und den bekannten Magnetron-Entladungen einnimmt. Die gegenüber der Magnetronentladung höhere und zeitabhängige Brennspannung ist mit einem breiteren Energiespektrum der auf die Werkstücke auftreffenden Ionen verbunden. Dadurch ist auch die Palette der durch die Plasmabehandlung erreichbaren Elementarwirkungen breiter.

25 Da mit der erfindungsgemäßen Einrichtung auch sehr stromstarke Niederdruck-Entladungen betrieben werden können, ist es zweckmäßig, die Gegenelektroden zu kühlen, indem vorzugsweise eine Wasserkühlung angewendet wird.

30 Bei intensiver Plasmabehandlung erfolgt entsprechend der Zielsetzung ein Abtrag von Material der Werkstückoberfläche. Es ist zweckmäßig, die magnetfelderzeugenden Einrichtungen mit Auffängern für die Kondensation dieses abgetragenen Materials auszustatten. Auch diese Auffänger sind vorteilhafterweise gekühlt. Um mit den Auffängern sehr viel Material aufnehmen zu können und damit eine lange wartungsfreie

Betriebszeit der Einrichtung zu erreichen, ohne dass störende Partikelbildung eintritt, haben die Auffänger eine extrem raue Oberfläche.

Die magnetfelderzeugende Einrichtung ist in ihrer lateralen Gestaltung so gestaltet, dass
5 sich zusammen mit der Transportrichtung des Werkstückes eine hohe Gleichmäßigkeit der Plasmabehandlung auf der Werkstückoberfläche ergibt. Im Interesse der Erhöhung der Wirkungsrate und einer Verringerung der elektrischen Impedanz der Niederdruckentladung ist es vorteilhaft, mehrere gleichartige magnetfelderzeugende Einrichtungen nebeneinander und gegenüber der zu behandelnden Oberfläche oder Bereiche der Oberfläche des
10 Werkstückes anzuordnen.

Für die gleichzeitige Plasmabehandlung der Vorderseite und der Rückseite flacher Werkstücke ist es zweckmäßig, gegenüber der Vorderseite und der Rückseite des Werkstückes in besagtem Abstand magnetfelderzeugende Einrichtungen und Gegenelektroden anzuordnen. Dabei kann die Stromversorgungseinrichtung zwischen das
15 Werkstück und mehrere elektrisch leitend verbundene Gegenelektroden geschaltet sein. Im Interesse einer gleich intensiven Plasmabehandlung verschiedener Bereiche der Werkstückoberfläche, beispielsweise der Vorderseite und der Rückseite, werden vorteilhafterweise die Teilströme zu den einzelnen Gegenelektroden einzeln gemessen. Dadurch ist es möglich, die Einrichtung mit Mitteln auszustatten, die eine Beeinflussung der
20 einzelnen Entladungsströme, z.B. ihre Angleichung, vornehmen.

Das Magnetfeld der magnetfelderzeugenden Einrichtung erzeugen Permanentmagnete; vorzugsweise bestehen diese aus Verbindungen seltener Erdmetalle. Sie sind zweckmäßig in ihrem Abstand zur Werkstückoberfläche verstellbar. Es ist besonders vorteilhaft, wenn diese
25 Verstellung durch Vorrichtungen außerhalb der Vakuumkammer vorgenommen wird. Es ist auch möglich, die magnetfelderzeugenden Einrichtungen mittels elektromagnetischer Spulen aufzubauen und mit bekannten Mitteln einen vorgegebenen Spulenstrom auszurüsten. Es ist besonders vorteilhaft, den Spulenstrom für unterschiedliche magnetfelderzeugende Einrichtungen so einzustellen oder zu regeln, dass ein bestimmtes
30 Verhältnis der Entladungsströme, die an den einzelnen Gegenelektroden gemessen werden, erreicht wird, z.B. die Gleichheit der Ströme.

Eine weitere Ausgestaltung der Einrichtung besteht darin, den Raum zwischen den Bereichen der zu behandelnden Werkstückoberfläche und den magnetfelderzeugenden Einrichtungen mit Ausnahme von schmalen Spalten durch Blenden zu begrenzen und mit
35 Mitteln zur Zuführung von Arbeitsgas zu versehen, so dass ein erhöhter Arbeitsgasdruck im

Bereich der magnetfeldverstärkten Niederdruck-Entladungen eingestellt werden kann. Durch Einstellung unterschiedlicher Werte des Arbeitsgasdruckes kann der Strom zu den einzelnen Gegenelektroden auf einen bestimmten Wert bzw. ein bestimmtes vorgegebenes Verhältnis eingestellt werden.

5

Es ist auch vorteilhaft, zwischen das Werkstück und je eine Gegenelektrode je eine Stromversorgungseinrichtung zu schalten, wobei die Synchronisation der gepulsten Ströme zweckmäßig ist. Damit kann der Strom zu den einzelnen Gegenelektroden auf vorgegebene Werte eingestellt werden.

- 10 Die Gegenelektrode bzw. die Gegenelektroden werden außerhalb des Magnetfeldes der magnetfelderzeugenden Einrichtung, d.h. in großem Abstand vom Bereich hoher Plasmadichte angeordnet. Damit befinden sie sich außerhalb des Stromes des von der Werkstückoberfläche abgetragenen Materials. Es kann darüber hinaus zweckmäßig sein, die Gegenelektroden mit Abschirmblechen zu versehen, um ihre Bedeckung mit Teilen des
- 15 vom Werkstück abgetragenen Materials weiter zu verringern.

Die Erfindung soll an einem Ausführungsbeispiel erläutert werden.

- Die zugehörige Zeichnung zeigt eine Einrichtung zur Behandlung von Stahlblechen als
- 20 Draufsicht. Die Werkstücke (im Folgenden als Werkstück bezeichnet) hoher Oberflächengüte sollen zum Zweck einer anschließenden Vakuumbeschichtung in einem Niederdruck-Plasma von Fremdschichten, insbesondere dünnen Ölschichten, Wasser und oxidischen Verunreinigungen befreit werden. Dabei ist eine schonende gleichmäßige Behandlung der Vorder- und Rückseite der Werkstücke angestrebt. Kraterbildung und
- 25 Markierungen, die sich durch lokale Bogenentladungen bei einer Plasmabehandlung mit bekannten Einrichtungen nicht vermeiden lassen, sind zu verhindern. Die zu behandelnden Werkstücke haben eine Abmessung von 500 mm × 500 mm und eine Dicke von 2 mm. Zum Zweck der Plasmabehandlung werden die Werkstücke in bekannter Weise durch eine Vakuumschleuse in eine Vakuumkammer mit den Abmessungen 1,6 m × 1 m × 0,3 m
- 30 eingebracht und mit einer Transportgeschwindigkeit von 0,2 m/min auf einer bekannten Transportbahn senkrecht stehend in Längsrichtung durch die Vakuumkammer transportiert. Durch eine weitere Vakuumschleuse, die auf der der Eingangsschleuse entgegengesetzten Seite der Vakuumkammer angeordnet ist, werden die Werkstücke wieder ausgebracht. Die Vakuumkammer und Vakuumschleusen sind mit bekannten Vakuumpumpen, Ventilen,

Mitteln zum Gaseinlass, zur Druckmessung und -regelung sowie mit Steuerorganen ausgestattet.

- Zur Plasmabehandlung und zum Transport befinden sich die Werkstücke 1 in einem
- 5 Rahmen 2 aus Stahlprofil, der an der Ober- und Unterseite einen 100 mm breiten Blechstreifen trägt (nicht gezeichnet), welcher fest mit dem Rahmen 2 verbunden ist. In der Vakuumkammer 3 sind zwei magnetfelderzeugende Einrichtungen 4 nach Art eines Magnetrons angeordnet. Ihre Längsausdehnung ist senkrecht zur Transportrichtung. Sie bestehen aus jeweils einer ferromagnetischen Rückschlussplatte 5 und Samarium-Kobalt-
- 10 Permanentmagneten. Die Magnete 6 bilden quer zur Transportrichtung jeweils zwei geradlinige parallele Spaltfelder 7, die bogenförmig an den Rändern im Bereich der Blechstreifen der Rahmen 2 verbunden sind. Auf diese Weise entstehen ringförmig geschlossene Bereiche hoher Magnetfeldstärke. Der Abstand zwischen den Werkstücken 1 und den Magneten 6 beträgt 50 mm. Durch Hubspindeln (nicht gezeichnet), die mittels
- 15 Durchführungen über Bedienelemente außerhalb des Vakuums ansteuerbar sind, kann dieser Abstand auf maximal 60 mm erhöht werden.
- Auf der dem Werkstück 1 zugewandten Seite tragen die magnetfelderzeugenden Einrichtungen 4 jeweils ein gekühltes Blech als Auffänger 8, welches mit einem siebartigen Metallgitter zur Vergrößerung der Oberfläche versehen ist. Am Ende der Transportbahn
- 20 (nicht gezeichnet) innerhalb der Vakuumkammer 3 befinden sich beidseitig der Werkstücke 1 in einem Abstand von 100 mm zwei Gegenelektroden 9 aus gekühltem Kupferrohr. Die Transportbahn, magnetfelderzeugenden Einrichtungen 4, Auffänger 8 und Gegenelektroden 9 sind untereinander und gegen die Vakuumkammer 3 elektrisch isoliert. Ein Sinusgenerator 10 als Stromversorgungseinrichtung, der gegen Erde elektrisch isoliert
- 25 ist, ist zwischen einen Schleifkontakt 11 an dem Rahmen 2 und die untereinander elektrisch leitend verbundenen Gegenelektroden 9 geschaltet.
- In der Vakuumkammer 3 ist ein Gasdruck von 0,8 Pa eingestellt. Das Arbeitsgas besteht aus Argon mit einem Anteil von 2 Prozent Wasserstoff. Wenn der Sinusgenerator 10 eine Spannung mit einem Effektivwert von 1600 V erzeugt und das im Transportrahmen 2
- 30 befindliche Werkstück 1 in den Bereich der magnetfelderzeugenden Einrichtung 4 gelangt, zündet eine stromstarke magnetfeldverstärkte Niederdruckentladung auf beiden Seiten des zu behandelnden Werkstückes 1. Mittels bekannter Strommesszangen kann der durch jede der Gegenelektroden 9 fließende Strom gemessen werden. Die Effektivwerte liegen bei etwa 5 A. Durch Veränderung des Abstandes einer der magnetfelderzeugenden
- 35 Einrichtungen 4 zum Werkstück 1 wird eine Anpassung der Impedanz der Entladungen auf

der Vorderseite und der Rückseite des Werkstückes 1 vorgenommen, so dass beide Ströme gleich groß sind. Die Frequenz des Sinusgenerators 10 hängt von der Impedanz selbst ab und liegt im Bereich von etwa 15 kHz. Unter der Wirkung der Plasmabehandlung werden beide Seiten des Werkstückes 1 homogen mit Ionen, angeregten und neutralen Spezies des
5 Plasmas sowie mit Strahlung beaufschlagt und dabei alle Fremdschichten sowie eine dünne Oberflächenschicht des Materials des Werkstückes 1 selbst abgetragen. Inhomogenitäten des Abtrages sind nur im Bereich der ungenutzten Blechstreifen des Transportrahmens 2 nachweisbar. Die Oberfläche des auf diese Weise im Plasma behandelten Werkstückes 1 weist sehr gleichmäßige Oberflächentopographie auf und ist hoch aktiviert, so dass eine
10 sehr gute Haftfestigkeit einer anschließend aufgetragenen organischen Beschichtung erreicht wird.

Die magnetfelderzeugende Einrichtung 4 ist von Blenden 13 umgeben. Innerhalb dieser sind Düsen 12 für den Gaseinlass vorgesehen. Die Gegenelektroden 9 sind durch Abschirmbleche 14 geschützt.

Patentansprüche

1. Einrichtung zur Behandlung von Werkstücken in einem Niederdruck-Plasma, das magnetfeldverstärkt ist, bestehend aus einer Vakuumkammer, Einrichtungen zur Erzeugung eines vorgegebenen Druckes eines Arbeitsgases, Mitteln zum Transport von Werkstücken in die Vakuumkammer durch den Plasmabereich im Inneren der Vakuumkammer und aus der Vakuumkammer sowie Steuer- und Regeleinrichtungen, **dadurch gekennzeichnet**,
- dass die Mittel zum Transport der Werkstücke (1) so ausgebildet sind, dass die gesamte zu behandelnde Oberfläche des Werkstückes (1) oder mehrere Bereiche der Oberfläche nacheinander durch den Plasmabereich bewegbar sind,
 - dass das Werkstück (1) als eine Elektrode der Niederdruck-Entladung geschaltet ist,
 - dass mindestens eine magnetfelderzeugende Einrichtung (4) nach Art einer Magnetron-Anordnung, die elektrisch isoliert ist, in einem Abstand von 30...100 mm gegenüber der Oberfläche des zu behandelnden Werkstückes (1) angeordnet ist,
 - dass mindestens eine Gegenelektrode (9) außerhalb des vom Magnetfeld erfüllten Raumes angeordnet ist,
 - dass an das Werkstück (1) und die Gegenelektroden (9) je ein Pol einer Stromversorgungseinrichtung, die einen gepulsten Strom erzeugt, angeschlossen ist.
2. Einrichtung nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass an das Werkstück (1) und die Gegenelektrode (9) vorzugsweise eine Wechselstromquelle, deren erzeugter Strom eine Frequenz von 10 Hz bis 200 kHz erzeugt, angeschlossen ist.
3. Einrichtung nach Anspruch 1 und 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Gegenelektroden (9) gekühlt, vorzugsweise wassergekühlt sind.
4. Einrichtung nach mindestens einem der vorherigen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass mit der magnetfelderzeugenden Einrichtung (4) in Richtung zu der zu behandelnden Oberfläche des Werkstückes (1) mindestens ein Auffänger (8) für das von der Oberfläche abgetragene Material angeordnet ist.

5. Einrichtung nach Anspruch 4, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Auffänger (8) gekühlt ist.
6. Einrichtung nach Anspruch 4 und 5, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Oberfläche
5 des Auffängers (8) extrem rauh ist.
7. Einrichtung nach mindestens einem der vorherigen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass mehrere magnetfelderzeugende Einrichtungen (4) nebeneinander und gegenüber der zu behandelnden Oberfläche des Werkstückes (1)
10 angeordnet sind.
8. Einrichtung nach mindestens einem der vorherigen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass gegenüber mehreren zu behandelnden Bereichen der Oberfläche des Werkstückes (1), die einander gegenüber liegen oder einen Winkel
15 zueinander bilden, jeweils mindestens eine magnetfelderzeugende Einrichtung (4) angeordnet ist.
9. Einrichtung nach mindestens einem der vorherigen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass zur Erzeugung des Magnetfeldes in den
20 magnetfelderzeugenden Einrichtungen (4) Permanentmagnete (6), vorzugsweise aus Verbindungen seltener Erdmetalle, angeordnet sind.
10. Einrichtung nach Anspruch 9, **dadurch gekennzeichnet**, dass die
25 magnetfelderzeugenden Einrichtungen (4) in ihrem Abstand zur Oberfläche des zu behandelnden Werkstückes (1) ohne Unterbrechung des Vakuums veränderbar sind.
11. Einrichtung nach mindestens einem der vorherigen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass zur Erzeugung des Magnetfeldes in den
30 magnetfelderzeugenden Einrichtungen (4) Elektromagnete (6) angeordnet sind.
12. Einrichtung nach Anspruch 11, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Magnetfeldstärke auf der Oberfläche des zu behandelnden Werkstückes (1) mit elektrischen Mitteln, vorzugsweise durch Veränderung des Spulenstromes der Elektromagnete (6), auf einen vorgegebenen Wert einstellbar ist.

13. Einrichtung nach mindestens einem der vorherigen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die magnetfelderzeugenden Einrichtungen (4) so gepolt sind, dass sich die Magnetfelder der magnetfelderzeugenden Einrichtungen (4) durch Superposition in ihrer Gesamtwirkung nahe der Oberfläche des zu behandelnden Werkstückes (1) verstärken.
14. Einrichtung nach mindestens einem der vorherigen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass Blenden die Bereiche zwischen den magnetfelderzeugenden Einrichtungen (4) und den zu behandelnden Bereichen der Oberfläche des Werkstückes (1) begrenzend und Mittel zur Zuführung des Arbeitsgases derart angeordnet sind, dass sich gegenüber der übrigen Vakuumkammer (3) ein Bereich höheren und einstellbaren Gasdruckes, eine sogenannte Druckstufe, entsteht.
15. Einrichtung nach mindestens einem der vorherigen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Stromversorgungseinrichtung zwischen das zu behandelnde Werkstück (1) und mehrere miteinander elektrisch leitend verbundene Gegenelektroden (9) geschaltet ist.
16. Einrichtung nach mindestens einem der vorherigen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass zwischen das zu behandelnde Werkstück (1) und je eine von mehreren Gegenelektroden (9) jeweils eine Stromversorgungseinrichtung geschaltet ist und dass die Pulsfrequenz der einzelnen Stromversorgungseinrichtungen synchronisiert ist.
17. Einrichtung nach mindestens einem der vorherigen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Gegenelektroden (9) derart angeordnet und von Abschirmblechen (14) umgeben sind, dass das von der Oberfläche des zu behandelnden Werkstückes (1) abgetragene Material nicht auf die Gegenelektroden (9) trifft.

