(19) Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 10 2006 021 994 A1** 2007.11.15

(12) # Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2006 021 994.5**
(22) Anmeldetag: **10.05.2006**
(43) Offenlegungstag: **15.11.2007**

(51) Int Cl.[8]: ***C23C 14/35*** (2006.01)

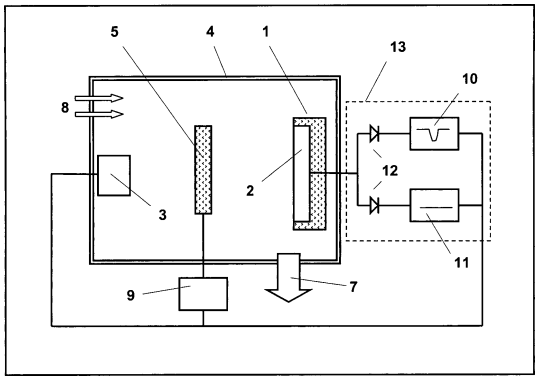
(71) Anmelder:
CemeCon AG, 52146 Würselen, DE

(72) Erfinder:
Cremer, Rainer, 52156 Monschau, DE

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

(54) Bezeichnung: **Beschichtungsverfahren und Vorrichtung zum Beschichten**

(57) Zusammenfassung: Beschrieben werden ein Verfahren und eine Vorrichtung zum Beschichten von Körpern mittels Magnetronsputterns. Dabei wird dem Magnetron die Leistung sowohl über eine gepulste Leistungsversorgung zugeführt, die Peaks mit sehr hoher Leistungsdichte an das Magnetron abgibt, als auch über eine Leistungsversorgung, die eine konstante Leistung oder eine gepulste Leistung mit vergleichsweise geringen Leistungsdichten an das Magnetron abgibt.



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren sowie eine Vorrichtung zum Beschichten von Körpern mittels des so genannten Magnetronzerstäubens.

[0002] Es ist bekannt, Körper oder Teile von Körpern mit einer Oberflächenbeschichtung zur Verbesserung der mechanischen Eigenschaften zu versehen. Besonders haben sich hier plasmagestützte PVD-Verfahren, wie das arc-Verdampfen und das Magnetronsputtern bewährt, wobei das Beschichtungsmaterial von so genannten Targets mittels Plasmaeinwirkung abgetragen wird und sich anschließend auf den Substraten niederschlägt.

[0003] Das Magnetron (**1**) beinhaltet neben dem Target (**2**), Kühleinrichtungen, ggf. elektrische Abschirmungen und im besonderen, Mittel zum Erzeugen von Magnetfeldern, die die Plasmadichte vor dem Target erhöhen. Das Target fungiert als Kathode und ist gegen die Kammer oder gegen eine separate Elektrode (**3**), die als Anode fungiert, geschaltet.

[0004] Gegenüber dem arc-Verdampfen weist das Magnetronsputtern Vorteile auf, da die flüssige Phase vermieden wird. Somit wird eine fast unbegrenzte Spanne an Schichtlegierungen möglich und die Schichten sind frei von Wachstumsfehlern, sog. Droplets.

[0005] Allerdings beträgt der Ionisierungsgrad der Beschichtungsteilchen beim Magnetronsputtern maximal einige wenige Prozent.

[0006] Eine Variante dieses Verfahren, die diesen Nachteil vermeidet, ist das so genannte "hochleistungsgepulste Magnetronzerstäuben" (englisch "High Power Impuls Magnetron Sputtering" oder kurz HIPIMS). Hier wird durch kurze aber sehr energiereiche Impulse der elektrischen Plasmageneratoren eine hohe Ionisationsdichte der Beschichtungsteilchen vor dem Magnetron erzielt, die bis an 100% heranreichen kann. Das Plasma besteht nach dem Puls eine Zeit lang weiter. Beim einen hinreichend energiereichen Puls steigt der Strom so schnell an, dass sich die Plasmazustände der Glimmentladung und der Hochstrom-Bogenentladung (Arc) nicht oder nur in Ansätzen ausbilden können und sich vor dem Magnetron ein stabiles energiereiches Plasma ausbilden kann. Die maximal zugeführte Leistung während eines Pulses kann dabei bis in den Megawatt-Bereich hineinreichen und die dem Target zugeführte Leistung pro cm^2 Targetfläche kann mehrere kW betragen, so dass die Pulszeit entsprechend kurz gewählt werden muss, um Beschädigungen des Magnetrons zu vermeiden.

[0007] Durch die kurzen Pulszeiten und plasmabedingte Effekte bleibt die Gesamtschichtrate allerdings erheblich hinter der des konventionellen Magnetronsputterns zurück. Dem stehen zahlreiche Vorteile des HIPIMS gegenüber. Durch elektrische und magnetische Felder können sowohl die Energie, als auch die Richtung oder Flugbahn der ionisierten Beschichtungsteilchen, i.d.R. Ionen, bestimmt werden. Durch das beim Magnetronsputtern in der Regel an das Substrat angelegte negative Potential (Bias) werden nun auch Hohlräume oder nicht in Sichtlinie liegende Flächen des Substrates gut erreicht. Der Bias bestimmt ferner auch die Energie der Ionen, von denen zahlreiche Schichteigenschaften abhängen. Auf der Seite des Magnetrons wird durch den hohen Ionenbeschuss eine wesentlich bessere Ausnutzung des Beschichtungsmaterials bzw. des Targets erreicht. Darüber hinaus wird die so genannte Targetvergiftung durch Reaktion mit Reaktivgasen verhindert.

[0008] Die Grundlagen des HIPIMS finden sich u.a. bei Kouznetsov, et al., "A Novel Pulsed Magnetron Sputter Technique Utilizing Very High Target Power Densities" in Surface and Coatings Technology, 1999, pp. 290-293, vol. 122. Die Ausführung spezieller Leistungsversorgungen finden sich in US 6296742. Die Schrift EP 1609882 stellt verschiedene Möglichkeiten dar, die Ionen nach dem Puls auf die Substrate zu lenken. D. J. Christie erläutert in "Target material pathways model for high power pulsed magnetron sputtering" in J.Vac.Sci.Tech. A, 23(2) (2005) 330, die Effekte, die zum Ratenverlust beim HIPIMS führen.

[0009] Der Hauptnachteil beim HIPIMS bleibt aber die gegenüber dem konventionellen Magnetronsputtern erhebliche geringere Schichtrate, die sich durch die kurzen Pulszeiten und andere plasmabedingte Effekte ergibt. Bei kommerziellem Verfahren, bei denen beispielsweise Verschleißschutzschichten im Bereich einiger um aufgebracht werden, ist dieses Verfahren auf Grund der langen Prozesszeiten zu unwirtschaftlich.

[0010] Anderseits ist bei den herkömmlichen Verfahren die Ionendichte zu gering, so dass die oben beschriebenen Vorteile nicht zur Geltung kommen können.

[0011] Es ist daher Aufgabe der Erfindung ein Verfahren und eine Vorrichtung zu beschreiben, bei der die vorgenannten Nachteile des Standes der Technik vermieden werden.

[0012] Mit dem erfindungsgemäßen Verfahren können im Prinzip beliebige Schichten auf beliebige Körper aufgebracht werden, im besonderen ist an beständige und/oder harte Schutzschichten auf Bauteilen und Werkzeugen, im besonderen auf Werkzeuge zum Zerspanen gedacht.

[0013] Diese Aufgabe wird gelöst durch ein Verfah-

ren nach Anspruch 1 und durch eine Vorrichtung nach Anspruch 11. Abhängige Ansprüche beziehen sich auf vorteilhafte Ausführungsformen der Erfindung.

[0014] Um die Merkmale der Erfindung und die Beispiele deutlich zu machen, dienen die folgenden Zeichnungen.

[0015] Fig. 1: Eine Darstellung einer erfindungsgemäßen Vorrichtung um das Prinzip darzustellen.

[0016] Fig. 2: Eine Darstellung der Vorrichtung, in der die Ausführungsbeispiele hergestellt wurden.

[0017] Die erfindungsgemäße Vorrichtung weist Gemeinsamkeiten mit einer konventionellen Magnetron-Beschichtungsanlage auf. Innerhalb der evakuierbaren Kammer (**4**) findet sich ein Magnetron (**1**), mit einer Gegenelektrode sowie dem Substrat (**5**). Als Gegenelektrode kann die Kammerwand dienen, bevorzugt wird jedoch eine isolierte Anode (**3**), die ihrerseits weiter bevorzugt über eine weitere Leistungsversorgung (**6**) mit der Kammerwand verbunden sein kann. Ferner weist die Vorrichtung ein übliches Pumpsystem (**7**) und geregelte Gaszuführungen (**8**) für die Arbeits- und Reaktivgase auf. Die Vorrichtung umfasst ebenfalls eine Bias-Versorgung (**9**) auf, die bevorzugt gegen die Anode (**3**) geschaltet wird. Das System kann mehrer Magnetrone (**1**) enthalten, die bevorzugt mit jeweils einer eigenen Leistungsversorgung gegen die gemeinsame Anode (**3**) geschaltet sind. Das oder die Substrate (**5**) sind mit der zu beschichtenden Fläche dem Magnetron zugewandt oder werden auf einem Tisch (**14**), der ggf. mehrere Drehachsen aufweisen kann, gedreht.

[0018] Die elektrische Leistungsversorgung des Magnetrons setzt sich erfindungsgemäß aus zwei Leistungsversorgungskomponenten zusammen: einer Leistungsversorgung auf Basis des HIPIMS, im folgenden als Leistungsversorgung A (**10**) bezeichnet, und einer konventionellen Leistungsversorgung, im folgenden als Leistungsversorgung B (**11**) bezeichnet, sowie zugehörigen Verschaltungs- und Steuerelementen. Die Leistungsversorgung B (**11**) liefert die zum Betreiben eines Magnetrons üblichen Stom-, Spannungs- und Leistungswerte. Bevorzugt ist sie spannungsgeregelt, weiter bevorzugt kann sie auch im Betrieb auf Strom- oder Leistungsregelung umschalten. In vielen Fällen reicht es aus, wenn sie Gleichspannung liefert. In anderen Fällen, in denen es zu Aufladungen oder Arcs kommt oder schlecht leitende parasitäre oder beabsichtigte Schichtbildung stattfindet, kann es sinnvoll sein, Wechselspannung, Mittelfrequenz-, Hochfrequenz-, uni- oder bipolar gepulste Spannungen zu verwenden. In Abgrenzung zum HIPIMS-Verfahren bleiben die maximalen Leistungsdichten, ermittelt aus der maximaler Peakhöhe der Leistung bezogen auf die Targetoberfläche vergleichsweise gering.

[0019] Wird das Magnetron konventionell mit Gleichstrom betrieben, ist die Leistungsdichte gering. Sie liegt in der Regel unter 50 W/cm^2. Ein typischer Wert liegt um 20 W/cm^2 im DC-Betrieb. Allerdings kann auch im konventionellen Betrieb mit Wechselspannung oder gepulster Spannung gearbeitet werden, so dass während des Pulses maximale Leistungsdichten von bis zu 500 W/cm^2 erreicht werden können, ohne dass die typischen Effekte eines HIPIMS Pulses auftreten. Die maximalen Leistungsdichten liegen beim HIPIMS höher, typisch sind Werte von 1000-5000 W/cm^2, so dass eine maximale Leistungsdichte am Target vom 500 W/cm^2 als Richtwert für den Übergang vom konventionellen zum HIPIMS Sputtern angesehen werden kann. In der Regel liegen die maximalen Leistungsdichten beim konventionellen Magnetronsputtern aber unter 200 W/cm^2, meist unter 100 W/cm^2. Beim HIPIMS dagegen über 1000 W/cm^2, meist aber über 2000 W/cm^2.

[0020] Dabei ergibt sich die Leistung aus dem, von den Leistungsversorgungen (**10**), (**11**), in das Magnetron hineinfließenden, Strom multipliziert mit der zwischen Magnetron und Gegenelektrode anliegender Spannung. Da es um das Absputtern des Targets (**2**) durch Ionen geht, ist der maximale Peak maßgebend, während das Target auf negativen Potential in Bezug zur Gegenelektrode liegt, also beispielsweise während der negativen Halbwelle einer Wechselspannung.

[0021] Die genannten hohen Leistungsdichten können i.d.R. vom Magnetron nur aufgenommen werden, wenn die Pulsdauer entsprechend kurz ist, und die Wiederholfrequenz nicht zu hoch wird. Die Zeit für den negativen Puls beträgt i.d.R. nur einen Bruchteil der Zykluszeit. Die Werte für die Dauer des negativen Pulses liegen innerhalb 1 bis 1000 µs, bevorzugt innerhalb von 5 bis 500 µs. Für die Frequenzen können je nach Peakdauer Werte von 1 Hz bis 1 MHz, bevorzugt von 50 Hz bis 50 kHz gewählt werden. Typische Werte für Strom und Spannung während der maximalen Peakhöhe sind 1000 A bzw. 1000 V, entsprechend einer Spitzenleistung von 1 Megawatt Erfindungsgemäß werden die beiden Leistungsversorgungen parallel am Magnetron betrieben (Fig. 1). Zur Vermeidung gegenseitiger Beeinflussung bzw. Beschädigung sind bevorzugt Schaltelemente vorzusehen, die unmittelbar vor dem negativen Puls der Leistungsversorgung A diese zuschalten und die Leistungsversorgung B trennen und nach dem Ende des Pulses wieder zurückschalten. Bevorzugt findet diese Umschaltung unmittelbar mit der geringst möglichen Verzögerung statt. Im einfachsten Fall kann dies durch Dioden (**12**) geschehen, die jeweils vom Minuspol der jeweiligen Leistungsversorgung über Kathode und Anode der Diode zum gemeinsamen Anschluss am Magnetron führen. Die Diode im Zweig

der Leistungsversorgung mit dem jeweils negativerem Potential ist dann in Durchlassrichtung geschaltet und kann die Leistung ans Magnetron abführen, während die andere Diode sperrt und den Stromfluss zum Magnetron, sowie den schädlichen, fremden Stromfluss aus der anderen Leistungsversorgung in den eigenen Ausgang unterbindet. Hierzu arbeitet die Leistungsversorgung B (**11**) bevorzugt, zumindest im Zeitraum der Umschaltung, im spannungsgeregelten Modus.

[0022] Diese Verschaltung in Fig. 1 gibt nur das Prinzip wieder. Um höhere Leistungen handzuhaben und höhere Betriebssicherheit zu erreichen, kann eine entsprechende Schaltung auch an den Gegenelektroden vorgenommen werden. Ferner können Thyristoren und andere Umschaltvorrichtungen, z.B. mittels moderner IGBT-Halbleiter (Insulated Gate Bipolar Transistor), eingesetzt werden. Die Komponenten können an mehreren Stellen getrennt oder verbunden werden. Ferner können offene Leitungen sicherheitshalber gebrückt oder Schutzkomponenten vorübergehend zu- und abgeschaltet werden. Auch wenn eine oder beide Leistungsversorgungen mit bipolaren Spannungen oder Pulsen arbeiten sollen, ist die Umschaltung nur über Dioden nicht mehr sinnvoll.

[0023] Die Leistungsversorgung A zusammen mit der Leistungsversorgung B und den Umschalt- und Schutzvorrichtungen bildet funktional eine neue gemeinsame Einheit (**13**). Wegen der engen Wechselbeziehung kann es sinnvoll sein, alle Gerätekomponenten auch räumlich in einen Gehäuse zu integrieren.

[0024] Ggf. können die Umschaltzeiten nicht fest vorgegeben sein, sondern über Sensoren, die Prozesszustände (im besonderen Plasmazustände) ermitteln, getriggert werden. So kann es sinnvoll sein, den Puls erst zu starten, wenn die Temperatur am Magnetron abgesunken ist und/oder die Plasmadichte einen Vorgabewert unterschritten hat.

[0025] Umgekehrt kann es sinnvoll sein, dass durch den Puls andere Stellgrößen des Prozesses zeitweise verändert werden. Diese können während des Pulses oder in vorgewählten Zeitfenstern vor und nach dem Puls verändert werden. Beispielsweise kann der Bias während der Auszeit des Pulses erhöht werden, um die geringere Ionendichte zu kompensieren. Andererseits kann der Bias während des Pulses und in einem vorgegebenen Zeitfenster danach, abgesenkt werden, damit das Substrat nicht überhitzt wird, oder die Schichtspannungen nicht zu hoch werden. Ferner ergibt sich die Möglichkeit, durch die gewonnene Parametervielfalt beispielsweise angepasste Multilayerstrukturen herzustellen.

[0026] Entstehen während des Umschaltens Arcs, die wegen der punktuellen Einwirkung Schäden anrichten können, kann es sinnvoll sein, vor oder nach dem Zuschalten des Pulses der Leistungsversorgung A Totzeiten einzuhalten, so dass kurzzeitig beide Leistungsversorgungen von den Magnetron abgetrennt sind. Besteht dagegen die Gefahr, dass das Plasma durch den Umschaltprozess erlischt, kann dem durch kurzzeitiges, gleichzeitiges Zuschalten beider Versorgungen oder durch unmittelbares aneinandergrenzendes Umschalten entgegengewirkt werden.

[0027] Wesentlich für das erfindungsgemäße Verfahren ist, dass das Magnetron mit beiden Arten der elektrischen Leistungsversorgung betrieben wird, und in Folge in zwei unterschiedlichen Plasmamoden, und zwar in schneller, und wenn möglich in unmittelbarer Abfolge. Jeder der Moden hat, wie oben beschreiben, seine spezifischen Vorteile.

[0028] Es stellte sich aber heraus, dass durch die schnelle Abfolge der Plasmazustände weitere günstige Faktoren auftreten, die das Plasma und in Folge das Beschichtungsergebnis überaus günstig beeinflussen.

[0029] Dabei erzielt man vor allem bei der Schichthomogenität, der Schichthaftung, der Schichtrate, der Dichte und Härte der Schicht höhere Werte, als man sie bei alleiniger Anwendung eines Verfahrens erzielen könnte; aber auch bessere Werte, als bei der nicht unmittelbaren Abfolge und/oder bei der Anwendung der Verfahren an jeweils einem Magnetron.

[0030] Auch wenn die Ursachen hiefür noch nicht geklärt sind, mag ein Grund hierfür sein, dass die durch den Puls der Leistungsversorgung A erzeugte hohe Ionendichte auch im nachfolgenden Plasmamode noch wirksam ist, bzw. eine höhere Ionendichte weiter aufrechterhalten werden kann. Ein weiterer Vorteil, ist darin zu sehen, dass das Target für den Puls für das nachfolgende Sputtern mit niedriger Leistungsdichte in einen günstigen Ausgangszustand gebracht wird. Dies ist besonders im Falle des reaktiven Magnetronzerstäubens zu bemerken. Hier werden während des Pulses störende Reaktionsschichten auf dem Target beseitigt.

[0031] Es zeigte sich, dass die beschriebenen Vorteile der beiden Plasmazustände, als auch die darüber hinaus erzielen Vorteile, vor allem dann zur Wirkung kommen, wenn die zeitlich gemittelte elektrische zugeführten Leistungen der beiden Leistungsversorgungen in einem bestimmten Verhältnis stehen.

[0032] Bei der Leistungsversorgung A ergibt sich die zeitlich gemittelte Leistung aus der während eines Pulses eingebrachten Leistung und der Pulsfrequenz. Die mittlere Leistung während eines einzel-

nen Pulses ist i.d.R. erheblich geringer, als das Produkt aus Peak-Spannung und Peak-Strom, in vielen Fällen beträgt sie etwa die Hälfte. Der Grund liegt darin, dass der Strompuls zeitlich etwas verschoben ist und sich an den Flanken nicht abrupt ändert, während die Spannung während des Pulses zusammenbricht. Aus dem gleichen Grund ist die Peak-Leistung häufig nicht genau das Produkt aus Peak-Spannung und Peak-Strom. Dies ist an einem Oszilloskop, das Strom und Spannung zeitgleich darstellt, einfach zu erkennen. Für eine genaue Berechnung ist für die gemittelte Leistung während eines Pulses, das Integral des Produktes aus Strom und Spannung über die Pulszeit zu nehmen und für die gemittelte Leistung über einen kompletten Zyklus zu nehmen. Die mittlere Leistung der Leistungsversorgung A kann ins Verhältnis zur insgesamt eingebrachten gemittelten Leistung gesetzt werden. Dieser Leistungsanteil $P_{mitt\ A}/(P_{mitt\ A} + P_{mitt\ B})$ wird mit folgenden mit k bezeichnet.

[0033] Die mittlere Leistung der Leistungsversorgung B ist in der Regel einfacher zu bestimmen. Liegen hier jedoch komplizierte Pulsformen vor, ist analog vorzugehen.

[0034] Ist der so definierte Leistungsanteil k der Leistungsversorgung A zu hoch, sinkt vor allem die Schichtrate merklich ab. Ist der Anteil der Leistungsversorgung A zu niedrig, nehmen vor allem die Dichte, Härte und Homogenität der Schicht ab. Deshalb sollte der genannte Anteil k der Leistungsversorgung A bevorzugt bei 0,2 bis 0,8 liegen, weiter bevorzugt bei 0,3 bis 0,7, besonders bevorzugt bei 0,4 bis 0,6.

[0035] Das System kann über mehrere Magnetrons (**1**) verfügen, die in dieser Form betrieben werden. Es können in einem Schichtsystem, auch Schichtlagen hergestellt werden, in denen Schichten ausschließlich durch den Betrieb mittels Leistungsversorgung A oder B aufgebracht werden, bzw. mit Leistungsanteilen k, die nicht dem oben genannten entsprechen. Es können Multilayer mit abrupt oder kontinuierlich wechselndem Leistungsanteil abgeschieden werden. Im besondern kann es vorteilhaft sein, vor dem Aufbringen einer Hartstoffschicht eine Haftschicht aufzubringen, die nur oder überwiegend mit Leistungsversorgung A, im besonderen mit einem Leistungsanteil k größer als 0,6, aufgebracht wird.

[0036] In einer weiteren Variante werden die Substrate vor dem Beschichten mittels Beschuss von Metallionen geätzt. Dies wird dadurch erreicht, dass das Magnetron ausschließlich mit Leistungsversorgung A oder mit einem Leistungsanteil k größer 0,6 betrieben und die Biasspannung am Substrat erhöht wird. Dabei wird die Energie der Metallionen so erhöht, dass sie nicht mehr am Substrat haften sondern dieses durch den hohem Impulsübertrag reinigen oder sogar absputtern. Bei dieser Variante werden bevorzugt keine Reaktivgase zugeführt und der Druck des Arbeitsgases, i.d.R. Argon, wird abgesenkt.

[0037] In einer weitern Variante wird der Körper zunächst mittels des beschreiben Verfahrens geätzt, dann bei einem Leistungsfaktor k > 0,6 durch ein vorzugsweise kontinuierliches Absenken der Biasspannung mit einer Haftschicht versehen, und dann durch vorzugsweise kontinuierliches Absenken des Leistungsfaktor auf einen Wert zwischen 0,8 und 0,3 mit mindestens einer weiteren Schicht versehen.

[0038] Nachfolgend sollen einige Anwendungsbeispiele in Anlehnung an Fig. 2 erläutert werden.

[0039] In einer ca. 1 m^3 großen PVD-Magnetron Beschichtungskammer befinden sich vier Magnetrons (**1**) mit Targets (**2**) aus Titan- und Aluminiumanteilen. Zwei der Magnetrons sind gegen eine gemeinsame Anode (**3**) verschaltet. Die anderen beiden Magnetrone sind inaktiv. Als Substrat diente ein Rundstab aus Hartmetall, der auf einen Drehteller (**14**) im gleichen Abstand an den Magnetrons vorbeigeführt wird. Der Rundstab dreht sich in diesem Fall nicht zusätzlich um die eigene Achse. Die Leistungsversorgung für das Magnetron (**13**) setzt sich aus einer erfindungsgemäßen diodenverschalteten Leistungsversorgung A (**10**) und B (**11**) in Anlehnung an Fig. 1 zusammen. Das Magnetron kann aber auch ausschließlich nur mit Leistungsversorgung A oder B betrieben werden. Ist nur die Leistungsversorgung A durchgeschaltet (A-Modus), arbeitet das Gerät mit konstanter Pulsbreite und Pulshöhe. Die gemittelte Leistungsdichte wurde über die Frequenz eingestellt. Die maximale Leistungsdichte während des Pulses auf dem Target blieb im wesentlichen in allen Versuchen gleich und betrug gut 2000 W/cm^2. Die Leistungsdichte beim Durchschalten der Leistungsversorgung B (B-Modus) war während eines Versuches konstant, da die Magnetrone beim Beschichten mit konstanter Leistung und Gleichstrom betrieben wurden. In diesem Fall ist die gemittelte Leistung bezogen auf die Targetoberfläche gleich der maximalen Leistungsdichte. Auch wenn die Leistung hier in einzelnen Versuchen geändert wurde blieb die Leistungsdichte im B-Modus immer unter 30 W/cm^2.

[0040] Unmittelbar vor der Beschichtung wurde das Substrat einer üblichen Plasmaätzbehandlung unterzogen, indem das Substrat mit einem negativen Potential beaufschlagt und mit Argonionen beschossen wurde, um die Oberfläche zu reinigen und zu aktivieren.

Beispiel 1

[0041] In diesem Vergleichsbeispiel wurden zwei Magnetrons jeweils nur im B-Modus mit jeweils 9,5 kW mit Gleichstrom betrieben. Unter den üblichen Prozessbedingungen wurden Argon als Arbeitsgas und Stickstoff als Reaktivgas eingelassen. Der sich

drehende Substrattisch (**14**) lag auf einer Bias-Spannung (**9**) von –70 V gegenüber der Anode (**3**). Nach 1 h ergab sich auf der den Magnetrons zugewandten Seite eine TiAlN-Schicht mit einer Schichtdicke von 3,0 µm, auf der abgewandten Seite mit einer Schichtdicke von 1,1 µm. Das Verhältnis der Schichtdicken außen zu innen zu lag also bei 3,0/1,1, also bei ca. 2,7.

Beispiel 2

[0042] Im diesem Vergleichsbeispiel wurden die Magnetrons bei einer Pulslänge von 65 µs jeweils exklusiv im A-Modus betrieben. Die Pulsfrequenz wurde so gewählt, dass sich ebenfalls eine gemittelte Leistung von jeweils 9,5 kW ergab. Sonst wurden aus Gründen der Vergleichbarkeit, die gleichen Prozessbedingungen beibehalten. Nach der gleichen Zeit ergab sich eine Schichtdicke auf der, den Magnetrons zugewandten Seite, von 0,7 µm, auf der abgewandten Seite, im Rahmen der Messgenauigkeit, von ebenfalls 0,7 µm. Die Schicht war härter als in Beispiel 1. Das Verhältnis der Schichtdicken außen zu innen lag also bei ca. 1,0.

Beispiel 3

[0043] In diesem Beispiel wurde jedes der beiden Magnetrone im erfindungsgemäßen Verfahren betrieben, indem jeweils zwischen dem A- und B-Modus unmittelbar und in schneller Folge gewechselt wurde. Die Leistungsversorgungen wurden so eingestellt, dass jede der 4 Leistungsversorgungen 4,75 kW im zeitlichen Mittel abgab. Damit erhielt im Mittel jedes Magnetron ebenfalls 9,5 kW an elektrischer Leistung. Der Anteil k der Leistungsversorgung A an der Gesamtleistung betrug für beide Magnetrons ferner 0,5. Ansonsten wurden die Bedingungen, wie in den vorherigen Beispielen beibehalten. Hier wurden nach Versuchsende auf der zugewandten Seite des Rundstabes 2,1 und auf der abgewandten Seite 1,4 µm gemessen. Das Verhältnis der Schichtdicken außen zu innen und damit die Schichthomogenität hat sich in Vergleich zu Bespiel 1 von 2,7 auf 1,4 verbessert. Die Schichtrate war höher als bei nicht unmittelbar periodisch aufeinander folgenden Betrieb von Leistungsversorgung A und B zu erwarten gewesen wäre. Ferner wies die Schicht eine dichtere Struktur, höhere Härte und eine bessere Haftung auf als in den beiden Vergleichsbeispielen auf.

Beispiel 4

[0044] Im diesem erfindungsgemäßen Beispiel wurden zu Beginn für 5 Minuten die Prozessbedingungen, wie in Beispiel 2 gewählt; also eine Haftschicht im reinen A-Modus aufgebracht. Anschließend wurden über 10 Minuten die Bedingungen durch kontinuierliches Absenken der gemittelten Leistung im A-Modus und kontinuierlichem Hochfahren der Leistung im B-Modus die Bedingungen wie in Beispiel 3 gewählt und so 1 h weiter beschichtet. Es ergab sich eine Schicht wie in Beispiel 3 mit deutlich verbesserter Haftung.

Beispiel 5

[0045] Im diesem erfindungsgemäßen Beispiel wurden die Bedingungen, wie in Beispiel 4 gewählt. Nach der üblichen Ätzung mit Argonionen wurde allerdings für 5 Minuten eine Ätzvorbehandlung mit Metallionen der Targets durchgeführt. Hierzu wurde das Reaktivgas ausgeschaltet, der Argondruck reduziert und die Biasspanunng erheblich negativer eingestellt. Die Targets wurden dabei ähnlich betrieben wie in Beispiel 2. Es ergab sich eine Schicht wie in Beispiel 4 mit nochmals deutlich verbesserter Haftung.

Patentansprüche

1. Verfahren zum Beschichten von Körpern durch Magnetronzerstäuben, **dadurch gekennzeichnet**, dass dem Magnetron die elektrische Leistung durch 2 Leistungsversorgungen A und B parallel oder nacheinander und im ständigen Wechsel zugeführt wird, wobei die Leistungsversorgung A gepulst ist und die maximale Peakhöhe der Leistung bezogen auf die Oberfläche des Targets größer ist als 500 W/cm^2 ist, und wobei ferner die Leistungsversorgung B dem Magnetron die Leistung konstant oder gepulst zuführt, aber mit maximalen Peakhöhen kleiner als 500 W/cm^2.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Zuführung der Leistung aus den Leistungsversorgungen A und B im wesentlichen ohne zeitliche Verzögerung nacheinander erfolgt.

3. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die zeitlich gemittelte Leistung der Leistungsversorgung A im Verhältnis zur zeitlich gemittelten Gesamtleistung 0,2 bis 0,8, weiter bevorzugt 0,3 bis 0,7, besonders bevorzugt 0,4 bis 0,6 beträgt.

4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die maximale Peakhöhe der durch die Leistungsversorgung A zugeführten Leistung bezogen auf die Oberfläche des Targets größer ist als 1000 W/cm^2, weiter bevorzugt größer als 2000 W/cm^2 ist.

5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die maximale Peakhöhe der durch die Leistungsversorgung B zugeführten Leistung bezogen auf die Oberfläche des Targets kleiner ist als 200 W/cm^2, weiter bevorzugt kleiner als 100 W/cm^2 ist.

6. Verfahren nach einem der vorhergehenden

Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Leistungsversorgung B im wesentlichen Gleichstrom zuführt.

7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass vor der Beschichtung ein Ätzen mit Metallionen des Targets stattfindet.

8. Verfahren nach dem vorhergehenden Anspruch, dadurch gekennzeichnet, dass die Leistung beim Ätzen überwiegend, bevorzugt ausschließlich, durch die Leistungsvorsorgung A geliefert wird.

9. Verfahren nach einem der beiden vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass beim Ätzen, die Gasflüsse reduziert oder abgeschaltet werden und die Biasspannung zu negativeren Werten hin verschoben wird.

10. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass ein Übergang vom Ätzen zum Beschichten stattfindet, indem mindestens einer der Parameter Gasfluss des Inert- oder Arbeitsgases, Druck, Biasspannung und Leistungsanteil der Leistungsversorgung B kontinuierlich verändert wird.

11. Vorrichtung zum Beschichten von Substraten mittels Magnetronzerstäubens mit mindestens einem Magnetron, einem dazugehörigem Target und einer Gegenelektrode sowie zwei Leistungsversorgungen A und B zum Betreiben des Magnetrons, dadurch gekennzeichnet, dass die Leistungsversorgungen ihre Leistung parallel oder im wesentlichen unmittelbar nacheinander und im ständigen Wechsel dem Magnetron zuführen und die Leistungsversorgung A Pulse von hoher elektrischer Leistung, mit maximalen Pulshöhen, die größer sind als 500 W/cm^2 bezogen auf die Fläche des Targets sind, abgeben kann, während die Leistungsversorgung B ihre Leistung konstant oder mit maximalen Pulshöhen, die kleiner als 500 W/cm^2 sind, an das Magnetron abgibt.

12. Vorrichtung nach dem vorhergehenden Anspruch, dadurch gekennzeichnet, dass die Vorrichtung Schaltelemente aufweist, die die Leistungsversorgungen im wesentlichen unmittelbar nacheinander und im ständigen Wechsel mit dem Magnetron verbinden.

13. Vorrichtung nach dem vorhergehenden Anspruch, dadurch gekennzeichnet, dass die Schaltelemente aus Halbleitern, im besonderen aus Dioden oder IGBT-Halbleitren bestehen.

14. Vorrichtung nach Anspruch 12 und den folgenden Ansprüchen, dadurch gekennzeichnet, dass die Schaltelemente, die Leistungsversorgung mit der jeweils aktuell negativeren Spannung am Magnetron durchschalten und die andere Leistungsversorgung vom Magnetron abtrennen.

Es folgen 2 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

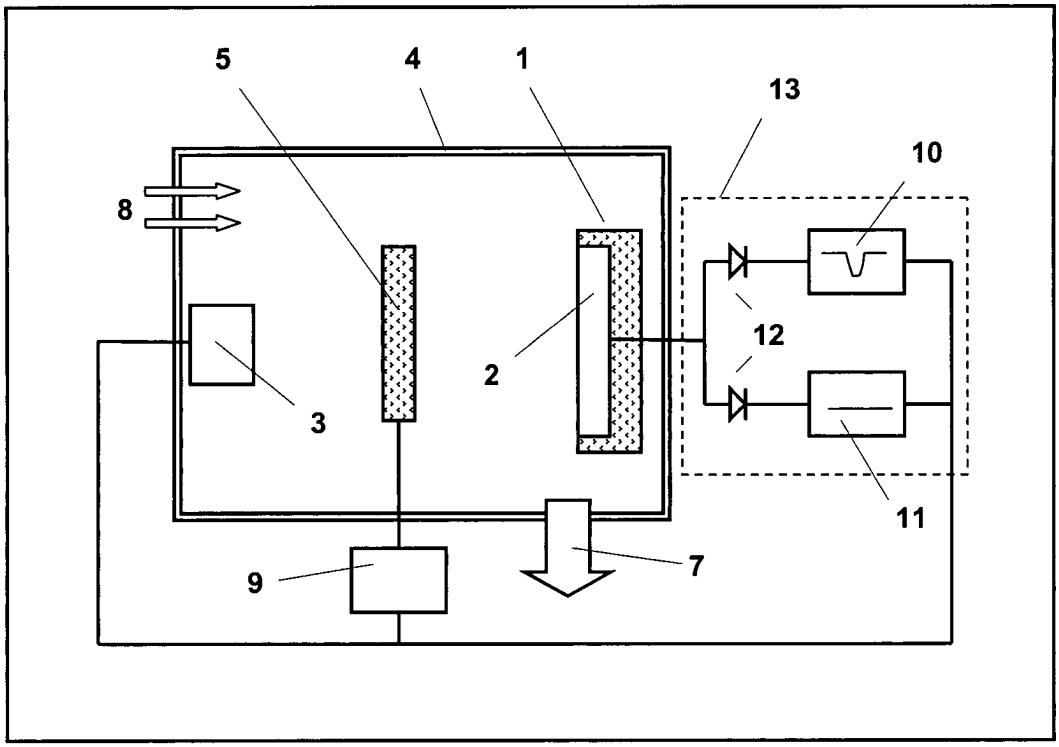


Fig. 1

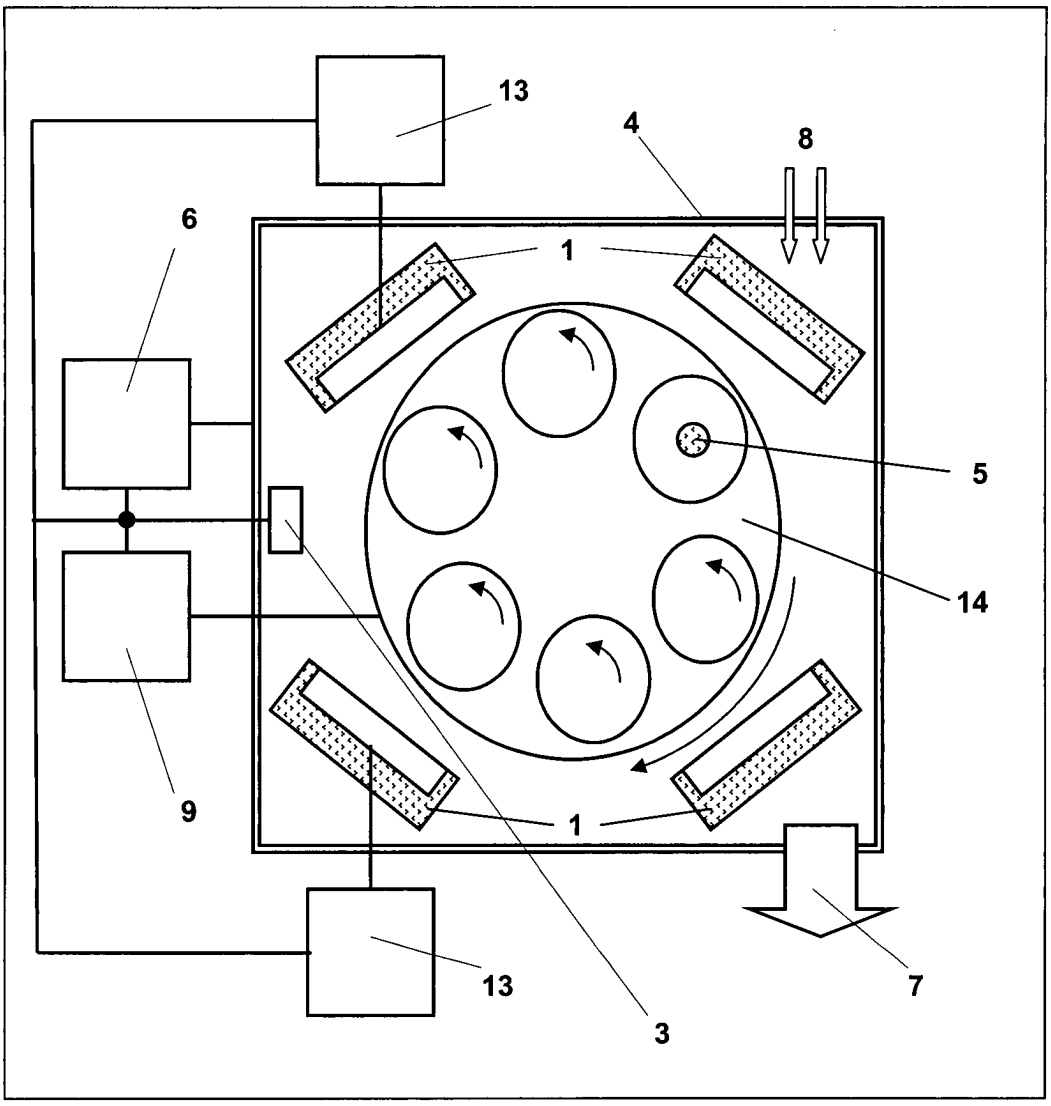


Fig. 2