

(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  
18. März 2021 (18.03.2021)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer  
**WO 2021/048136 A2**

(51) Internationale Patentklassifikation:

C23C 14/06 (2006.01) C23C 14/50 (2006.01)  
C23C 14/02 (2006.01) C23C 28/04 (2006.01)  
C23C 14/35 (2006.01) H01J 37/34 (2006.01)  
C23C 14/34 (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2020/075095

(22) Internationales Anmeldedatum:  
08. September 2020 (08.09.2020)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:  
10 2019 124 616.4  
12. September 2019 (12.09.2019) DE

(71) Anmelder: CEMECON AG [DE/DE]; Adenauerstraße 20A4, 52146 Würselen (DE).

(72) Erfinder: KÖLKER, Werner; Wilsberger Straße 46, 52134 Herzogenrath (DE). BOLZ, Stephan; Josef-Ponten-Straße 55, 52072 Aachen (DE). LEMMER, Oliver; Oppenhoffallee 56, 52066 Aachen (DE).

(74) Anwalt: KALKOFF & PARTNER PATENTANWÄLTE MBB; Martin-Schmeisser-Weg 3a-3b, 44227 Dortmund (DE).

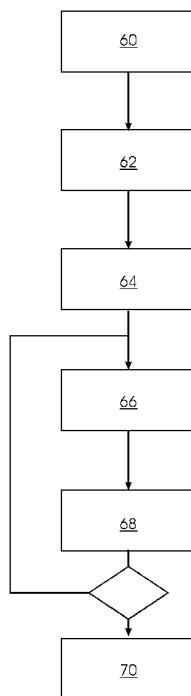
(81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, IT, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, WS, ZA, ZM, ZW.

(84) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), europäisches (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI,

(54) Title: MULTI-LAYER COATING

(54) Bezeichnung: MEHRLAGIGE BESCHICHTUNG

Fig. 5



(57) Abstract: The invention relates to a method for coating a substrate (40), a coating system for carrying out the method and a coated body. In a first method step (62), the substrate (40) is pretreated in an ion etching process. In a second method step (64), a first coating layer (56a) with a thickness of 0.1µm to 6µm is deposited on the substrate (40) by means of a PVD process. In order to achieve a particularly high-quality and durable coating (50), the surface of the first coating layer (56a) is treated by means of an ion etching process in a third method step (66), and an additional coating layer (56b) with a thickness of 0.1µm to 6µm is deposited on the first coating layer (56a) by means of a PVD process in a fourth method step (68). The coated body comprises at least two coating layers (56a, 56b, 56c, 56d) with a thickness of 0.1µm to 6µm on a substrate (40), wherein an interface region formed by ion etching is arranged between the coating layers (56a, 56b, 56c, 56d).

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Beschichtung eines Substrats (40), eine Beschichtungsanlage zum Ausführen des Verfahrens sowie einen beschichteten Körper. In einem ersten Verfahrensschritt (62) wird das Substrat (40) in einem Ionen-Ätzverfahren vorbehandelt. In einem zweiten Verfahrensschritt (64) wird mittels eines PVD-Verfahrens eine erste Beschichtungslage (56a) mit einer Dicke von 0,1µm bis 6µm auf das Substrat (40) abgeschieden. Um eine besonders hochwertige und haltbare Beschichtung (50) zu erreichen, wird in einem dritten Verfahrensschritt (66) die Oberfläche der ersten Beschichtungslage (56a) mittels eines Ionen-Ätzverfahrens behandelt und in einem vierten Verfahrensschritt (68) mittels eines PVD-Verfahrens eine weitere Beschichtungslage (56b) mit einer Dicke von 0,1µm bis 6µm auf die erste Beschichtungslage (56a) abgeschieden. Der beschichtete Körper umfasst auf einem Substrat (40) mindestens zwei Beschichtungslagen (56a, 56b, 56c, 56d) mit einer Dicke von 0,1µm bis 6µm, wobei zwischen den Beschichtungslagen (56a, 56b, 56c, 56d) ein durch Ionen-Ätzen gebildeter Interface-Bereich angeordnet ist.

WO 2021/048136 A2

SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN,  
GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

**Veröffentlicht:**

- *ohne internationalen Recherchenbericht und erneut zu veröffentlichen nach Erhalt des Berichts (Regel 48 Absatz 2 Buchstabe g)*

## Beschreibung

5

### Mehrlagige Beschichtung

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Beschichten eines Substrats, eine Beschichtungsanlage zum Ausführen des Verfahrens sowie einen beschichteten Körper.

10

Es ist bekannt, Körper oder Teile von Körpern mit einer Oberflächenbeschichtung zur Verbesserung der Eigenschaften zu versehen. Insbesondere für Werkzeuge ist es bekannt, Funktionsflächen mit einer Hartstoffschicht zu versehen.

15

Eine Klasse bekannter Verfahren für das Aufbringen von Hartstoffschichten bilden PVD (Physical Vapor Deposition) Verfahren, darunter bspw. Kathodenzerstäuben und Lichtbogenzerstäuben. Bei diesen werden auf Substraten Schichten aus zerstäubten Targetmaterialien abgelagert.

20

Dabei ist es bekannt, das Substrat vor dem Aufbringen einer Beschichtung vorzubehandeln, um insbesondere eine gute Schichthftung zu erzielen. Neben chemischen und mechanischen Vorbehandlungsschritten eignet sich für die Vorbehandlung eines Substrats, bspw. eines Hartmetall- oder Stahlsubstrats, insbesondere ein Ionen-Ätzschritt, bei dem Ionen mittels einer Beschleunigungsspannung in Richtung des Substrats

25

beschleunigt werden und dabei auf der Substratoberfläche eine Ätzwirkung erzielt wird.

30

Die WO 2009/132822 A2 beschreibt eine Vorrichtung und ein Verfahren zum Vorbehandeln und zum Beschichten von Körpern mittels Magnetronzerstäubens. Die Vorrichtung umfasst eine Vakuumkammer mit metallischer Kammerwandung und darin angeordneten Magnetrons mit Sputter-Targets. Zumindest eines der Magnetrons ist zum Betrieb nach dem hochleistungsgepulsten Magnetronzerstäuben (HPPMS, auch bezeichnet als HIPIMS) vorgesehen. Einem HPPMS-Magnetron werden elektrische Pulse zugeführt, indem ein Kapazitätselement durch ein Schaltelement mit dem Sputter-Target verbunden wird. Bei dem Verfahren wird ein zu beschichtender Körper in der

Vakuumkammer der Vorrichtung angeordnet und unter Betrieb des HPPMS-Magnetrons ein Plasma erzeugt. In einem Ätzschritt wird eine negative Bias-Spannung an den Körper angelegt und der Körper durch Beschuss mit Metallionen geätzt. Anschließend wird die Bias-Spannung kontinuierlich abgesenkt, so dass das von den  
5 Sputter-Targets abgesputterte Material zu einem Schichtaufbau auf dem Körper führt.

Die DE 10 2006 019 000 A1 beschreibt eine Einrichtung und ein Verfahren zur plasma-gestützten Abscheidung von Hartstoffschichten, insbesondere zur Herstellung von Titan-Aluminium-Nitrid-Schichten. In einer Vakuumkammer sind um eine zentrische Achse  
10 rotierbare Substratträger angeordnet. Mindestens eine Verdampfungsquelle und mindestens eine Hohlkathode sind radial außerhalb des Substratträgers angeordnet. Dabei ist die Linie zwischen der Hohlkathode und der zugehörigen Anode gegenüber der Linie zwischen dem Target der Verdampfungsquelle und der Achse in der Ebene rechtwinklig zur Achse um  $15^\circ$  bis  $70^\circ$  versetzt. Die Hohlkathodenbogenentladung wird parallel zur  
15 Achse und zur Verdampfung von Targetmaterial aus der Verdampfungsquelle aufrechterhalten. Zur Herstellung einer Titan-Aluminium-Nitrid-Schicht innerhalb einer reaktiven Stickstoffatmosphäre mit einem Ti:Al-Anteil von 50 : 50 bis 40 : 60 wird ein Target mit einem Ti:Al-Anteil von 1 : 1 eingesetzt.

20 Es kann als Aufgabe angesehen werden, einen beschichteten Körper sowie ein Verfahren zum Beschichten eines Substrats und eine Beschichtungsanlage zum Ausführen des Verfahrens anzugeben, bei denen besonders hochwertige und haltbare Beschichtungen erzielt werden können.

25 Diese Aufgabe wird gelöst durch ein Verfahren gemäß Anspruch 1, eine Beschichtungsanlage gemäß Anspruch 13 und einen beschichteten Körper gemäß Anspruch 14. Abhängige Ansprüche beziehen sich auf vorteilhafte Ausführungsformen der Erfindung.

Es hat sich gezeigt, dass in PVD-Verfahren aufgebraute Schichten abhängig von der  
30 Schichtdicke variierende Eigenschaften haben können. Insbesondere zeigt sich vielfach bei längerer Beschichtungsdauer und -dicke ein Anstieg bspw. von Rauheit und Schichteigenschaften. Ein Grundgedanke der vorliegenden Erfindung ist es daher, eine Beschichtung nicht durchgängig zu erzeugen, sondern das Schichtwachstum gezielt ein- oder mehrfach zu

unterbrechen und nachfolgend neu zu starten.

Das erfindungsgemäße Verfahren sieht zunächst in einem ersten Verfahrensschritt eine Vorbehandlung des Substrats in einem Ionen-Ätzverfahren vor. Dabei werden Ionen erzeugt, bspw. Gas- oder bevorzugt Metallionen, und durch eine Bias-Spannung in Richtung der Substratoberfläche beschleunigt. Durch die auftreffenden Ionen wird über eine Einwirkdauer eine Ätzwirkung erzielt, die eine Aktivierung der Substratoberfläche, einen oberflächlichen Materialabtrag sowie auch eine Implantation von Ionen umfassen kann.

10 In einem zweiten Schritt des erfindungsgemäßen Verfahrens wird mittels eines PVD-Verfahrens eine erste Beschichtungslage einer Dicke von  $0,1\mu\text{m}$  bis  $6\mu\text{m}$  auf das Substrat abgeschieden. Als Beschichtungsverfahren wird Magnetronzerstäuben bevorzugt. Der Beschichtungsprozess wird für eine ausgewählte Beschichtungsdauer ausgeführt, so dass die erste Beschichtungslage auf der Substratoberfläche abgelagert wird.

15

Erfindungsgemäß wird das Aufbringen der Beschichtung im zweiten Schritt durch einen dritten Verfahrensschritt unterbrochen, bei dem es sich um einen weiteren Ätz-Schritt handelt. Im dritten Verfahrensschritt wird erfindungsgemäß die Oberfläche der zuvor erzeugten ersten Beschichtungslage mittels eines Ionen-Ätzverfahrens behandelt. Bei dem Ionen-Ätzverfahren des dritten Verfahrensschrittes kann es sich bevorzugt um dieselbe Art von Verfahren handeln wie im ersten Verfahrensschritt; die verwendeten Verfahrensparameter, insbesondere die Ätzdauer und die Bias-Spannung können gleich oder voneinander abweichend gewählt werden.

20 25 Durch die Anwendung des Ätzverfahrens im dritten Verfahrensschritt wird das Schichtwachstum zunächst unterbrochen. Je nach Intensität des Ätzschrittes kann es zu einem mehr oder weniger starken Abtrag von Schichtmaterial kommen. Zudem kann das Ätzverfahren zu einer Nukleierung der Oberfläche durch das Einbringen von Mikrodefekten führen.

30 In einem erfindungsgemäß folgenden vierten Verfahrensschritt wird mittels eines PVD-Verfahrens eine weitere Beschichtungslage einer Dicke von  $0,1\mu\text{m}$  bis  $6\mu\text{m}$  auf die erste Beschichtungslage bzw. auf deren durch den vorherigen Ätzschritt vorbereitete Oberfläche abgeschieden. Dabei kann bevorzugt im vierten Verfahrensschritt derselbe Typ von Be-

schichtungsverfahren angewendet werden wie im zweiten Verfahrensschritt. Einzelne oder alle Verfahrensparameter können in den beiden Schritten gleich oder voneinander abweichend gewählt werden.

- 5 Das erfindungsgemäße Verfahren umfasst somit eine Abfolge von Schritten Beschichten – Ätzen – Beschichten, die auch als „Repeat-Start“-Prozedur bezeichnet werden kann.

Überraschend hat sich gezeigt, dass sich durch die Repeat-Start Prozedur, d.h. Unterbrechung des Beschichtungsvorgangs durch Ionen-Ätzen und nachfolgende Fortsetzung der Beschichtung, eine strukturelle Änderung der mehrlagigen Beschichtung ergibt, verglichen mit einer in einem Zug aufgetragenen einlagigen Beschichtung ohne Unterbrechung des Schichtaufbaus durch den zwischengeschalteten Ätzschritt. Eine während des Schichtaufbaus entstehende Mikrostruktur kann durch den Zwischen-Ätzschritt mindestens zum Teil unterbrochen werden, so dass sich beim darauffolgenden Beschichtungsschritt keine nahtlose Fortsetzung des vorherigen Wachstums ergibt, sondern sich bspw. neue Wachstumskeime bilden. Während bei durchgängiger Fortsetzung der Beschichtung u.U. die Schichtmorphologie in Wachstumsrichtung gröber wird, kann dieser Effekt durch den Zwischen-Ätzschritt vermindert oder sogar vollständig zurückgesetzt werden. So ist es möglich, eine Morphologie der Beschichtung zu erreichen, bei der die nach dem Zwischen-Ätzschritt aufgetragene weitere Beschichtungslage mindestens zu Beginn, d.h. angrenzend an den Interface-Bereich zur vorherigen Beschichtungslage von ihrer Schichtstruktur her feiner ist als die vorherige Beschichtungslage an ihrer Oberfläche.

Insbesondere kann sich eine Auswirkung auf Eigenspannungen in der erzeugten Beschichtung ergeben. Die Eigenspannungen in der Schicht können mit fortschreitender Beschichtungsdauer und -dicke anwachsen. Es hat sich gezeigt, dass im Fall der Unterbrechung und des Neustarts der Beschichtung im Rahmen der Repeat-Start Prozedur die Eigenspannungen in der mehrlagigen Schicht nicht in gleichem Maß ansteigen wie im Fall einer einlagigen Schicht. Bei längerer Beschichtungsdauer und größerer Beschichtungsdicke werden mittels Repeat-Start so im Ergebnis Schichten mit in der Summe geringeren Eigenspannungen erzielt. Schichten mit geringeren Eigenspannungen weisen günstigere Zähigkeitseigenschaften und bessere Haftung am Substrat auf.

Es hat sich gezeigt, dass sich durch die ein- oder mehrfache Unterbrechung des Wachstums insgesamt Schichten erzeugen lassen, die eine geringere Anzahl an Fehlstellen aufweisen und somit dichter und weniger porös sind. Hierdurch kann sich einerseits eine glattere Schichtoberfläche ergeben. Andererseits hat eine dichtere Schicht erhebliche Vorteile  
5 hinsichtlich der chemischen Beständigkeit, da es durch die dichtere Struktur weniger Diffusionspfade, z.B. für das unerwünschte Eindiffundieren von Luftsauerstoff während des Einsatzes gibt, das zum Schichtversagen führen kann.

Wie der Fachmann erkennen wird, wäre es möglich, die o.g. Abfolge des ersten bis vierten  
10 Schritts zu modifizieren, bspw. durch Unterteilung eines Beschichtungs- oder Ätzschrittes in mehrere Teilschritte mit verschiedenen Beschichtungs- oder Ätzparametern oder durch zeitlich dazwischen angeordnete Verfahrensschritte mit anderen Behandlungsmaßnahmen, bspw. Wärmebehandlung (Glühen) oder chemische Behandlung (bspw. Oxidation, Karburisation), etc. Dabei bleibt aber stets das Grundmuster, d.h. die Abfolge der ersten bis vierten  
15 Schritte erhalten.

Während sich Vorteile der Repeat-Start Prozedur bereits bei einfacher Anwendung zeigen, kann eine mehrfache Anwendung besondere Vorteile zeigen. So kann bspw. folgend auf den vierten Verfahrensschritt zunächst die Oberfläche der dann obersten Beschichtungslage  
20 mittels des Ionen-Ätzverfahrens behandelt werden und darauffolgend mittels des PVD-Verfahrens eine weitere Beschichtungslage auf die darunterliegende Beschichtungslage abgeschieden werden. Dies kann ein- oder mehrfach wiederholt werden, so dass sich bspw. mindestens drei oder vier Beschichtungslagen ergeben. Die Gesamtzahl der Wiederholungen der Repeat-Start Abfolge kann bspw. je nach Art und gewünschter Dicke so gewählt  
25 werden, dass sich 2 - 50 Beschichtungslagen bilden, bevorzugt 3 - 20, weiter bevorzugt 3 - 10 oder 3 - 5.

Im Prinzip können die Vorteile der Unterbrechung und anschließenden Fortsetzung des Schichtwachstums auch dann genutzt werden, wenn einzelne oder sogar alle der Verfahrensschritte räumlich und/oder zeitlich getrennt voneinander ausgeführt werden, d.h. bspw.  
30 an getrennten Orten und in getrennten Behandlungs- oder Beschichtungsanlagen, ggfs. nach Zwischenlagerung, etc. Besonders effizient ist aber die Anwendung der Verfahrensschritte innerhalb derselben Beschichtungsanlage, insbesondere derselben Vakuumkammer.

Bevorzugt erfolgt dabei die Anwendung von zwei oder mehr der o.g. Verfahrensschritte ohne Vakuumunterbrechung, bspw. die Anwendung der Repeat-Start Schritte (zweiter Verfahrensschritt – Beschichten, dritter Verfahrensschritt – Ionen-Ätzen, vierter Verfahrensschritt – Beschichten), insbesondere bevorzugt der erste bis vierte Schritt.

5

Bevorzugt können mehrere oder alle der Verfahrensschritte in derselben Vakuumkammer einer Beschichtungsanlage und/oder unter Nutzung derselben Elektroden (bspw. Kathoden und/oder elektrischer Anschluss am Substrat bzw. -halter) durchgeführt werden, wobei lediglich elektrische Leistungsversorgungen und/oder Mittel zur Änderung von Druck oder  
10 Atmosphäre umgeschaltet werden, um die unterschiedlichen Verfahrensschritte ohne Umrüstung durchzuführen. Es können aber auch innerhalb derselben Vakuumkammer bspw. verschiedene Magnetron-Kathoden (bspw. HIPIMS-Kathoden und DC-Kathoden) angeordnet sein, die dann in den Verfahrensschritten verschieden angesteuert bzw. in  
15 einzelnen Verfahrensschritten auch abgeschaltet werden können. Ebenso können Kathoden mit unterschiedlicher Target-Bestückung verwendet werden. Auf diese Weise können in aufeinanderfolgenden Verfahrensschritten voneinander abweichende Prozessparameter durch rein äußere Ansteuerung erreicht werden, ohne dass die Anlage zwischen den Verfahrensschritten umgerüstet oder das Vakuum unterbrochen werden muss.

20 Die Beschichtungsschritte können ebenso wie die zeitlich dazwischen angeordneten Ätzschritte gleich oder voneinander verschieden sein, bspw. bezüglich der Anwendungsdauer und/oder bezüglich der Prozessparameter wie bspw. Druck, Atmosphärenzusammensetzung, Targetmaterialien, Spannung/elektrische Leistung, etc.

25 Bevorzugt wird sowohl während der Beschichtungsschritte, d.h. dem zweiten und vierten Verfahrensschritt sowie ggfs. weiteren Verfahrensschritten, in denen mittels eines PVD-Verfahrens, bevorzugt Magnetron-Sputtern, eine Beschichtungslage erzeugt wird als auch während des Ätzschrittes bzw. der Ätzschritte eine negative Bias-Spannung an das Substrat angelegt. Dabei ist bevorzugt die Bias-Spannung im zweiten Verfahrensschritt höher als im  
30 ersten und zweiten Verfahrensschritt. Durch eine höhere Bias-Spannung werden Ionen des Plasmas stärker auf das Substrat hin beschleunigt, so dass bei höherer Bias-Spannung Ionen-Ätzen stattfindet. Somit kann durch Änderung der Bias-Spannung zwischen Betriebsarten des Beschichtens und des Ätzens umgeschaltet werden.

Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung können neben dem zweiten und dem vierten Verfahrensschritt ggfs. auch weitere Beschichtungsschritte so ausgeführt werden, dass sich eine jeweilige Beschichtungslage einer Dicke von  $0,1\mu\text{m}$  bis  $6\mu\text{m}$  ergibt, bevorzugt  $0,5\mu\text{m} - 5\mu\text{m}$ , weiter bevorzugt  $1\mu\text{m} - 4\mu\text{m}$ . Besonders bevorzugt weichen die Dicken von mindestens zwei aufeinanderfolgenden Beschichtungslagen um weniger als  $\pm 50\%$ , weiter bevorzugt um weniger als  $\pm 25\%$ , besonders bevorzugt um weniger als  $\pm 15\%$  voneinander ab (jeweils bezogen auf die dünnere Beschichtungslage). Weiter bevorzugt gilt dies für alle Beschichtungslagen, die im Repeat- Start Verfahren erzeugt werden.

10

Mittels des erfindungsgemäßen Verfahrens können Schichten von sehr unterschiedlicher Gesamtdicke erzeugt werden. Beispielsweise kann für einige Anwendungen eine sehr dünne Gesamtschichtdicke von bereits  $0,5\mu\text{m}$  ausreichen, die aus zwei oder mehr Beschichtungslagen besteht. Bevorzugt sind für die meisten Anwendungen dickere Schichten einer Gesamtdicke von  $1\mu$  oder mehr, weiter bevorzugt  $3\mu\text{m}$  oder mehr.

15

Besondere Vorteile des erfindungsgemäßen Verfahrens ergeben sich für dicke Schichten, d.h. bspw. einer Gesamtdicke von  $6\mu\text{m}$  oder mehr, bevorzugt  $10\mu\text{m}$  oder mehr, besonders bevorzugt  $12\mu\text{m}$  oder mehr. Die Gesamtdicke kann bspw. bis zu  $30\mu\text{m}$  betragen. Bei der durchgehenden Herstellung derartig dicker einlagiger Schichten mittels eines PVD-Beschichtungsverfahrens ergeben sich oft derartig grobe Strukturen und/oder hohe Eigen-  
spannungen, dass die Schichten für viele Anwendungen nicht mehr brauchbar sind, bspw. wegen zu geringer Schichthaftung und/oder zu großer Rauheit. Durch die Unterteilung der dicken Beschichtungen in bspw. zwei oder mehr, bevorzugt drei oder mehr Beschichtungslagen wird es überraschend ermöglicht, diese Nachteile zu vermeiden.

20

25

Für mindestens einen, bevorzugt alle der Verfahrensschritte mit Aufbringen einer Beschichtung (also den zweiten, vierten und/oder einen oder mehrere weitere Verfahrensschritte) wird bevorzugt ein Kathodenzerstäubungsverfahren angewendet, bei dem bevorzugt mindestens ein Target mindestens einer Magnetronkathode zerstäubt wird.

30

Während bei diesem bspw. eine an eine Kathode angelegte Gleichspannung, Wechselspannung oder gepulste Spannung verwendet werden kann, ist ein HIPIMS-Verfahren besonders

bevorzugt. Hierbei handelt es sich um eine Klasse von Verfahren, die auch als "hochleistungsgepulstes Magnetronzerstäuben" bezeichnet werden und bei denen den Magnetronkathoden elektrische Leistung in Form sehr kurzer, aber äußerst energiereicher Pulse zugeführt werden, wodurch eine hohe Ionendichte der Beschichtungsteilchen vor den Magnetronkathoden erzielt wird. Charakteristisch für den HIPIMS-Betrieb ist eine hohe Peakleistung von bspw. 60 W/cm<sup>2</sup> oder mehr, bevorzugt 100 W/cm<sup>2</sup> oder mehr, besonders bevorzugt 200 W/cm<sup>2</sup> bis 2300 W/cm<sup>2</sup> (je Kathode, bezogen auf die Targetfläche der jeweiligen Kathode) während eines Pulses. Dabei liegt ein Tastverhältnis zwischen der Pulsdauer und der Pulspause üblicherweise unter 0,5, d. h., dass die Pulspause ist länger als die Pulsdauer. Vorrichtungen und Verfahren zum Betrieb von Magnetron-Kathoden per HIPIMS sind bspw. offenbart in der WO 2009/132822 A2 der Anmelderin. Unter einem HIPIMS-Beschichtungsverfahren wird bevorzugt verstanden, dass eine, mehrere oder alle Kathoden in der Vakuumkammer einer Beschichtungsanlage mit Hochleistungspulsen gemäß dem HIPIMS-Verfahren betrieben werden, wobei ggfs. weitere Kathoden zeitgleich auch im DC-Betrieb laufen können.

Die im HIPIMS-Verfahren bevorzugt verwendeten Pulsdauern können bspw. 5-200 µs betragen. Die HIPIMS-Pulse können bevorzugt mit Frequenzen von bspw. 100 – 10.000 Hz erzeugt werden, besonders bevorzugt 2000 – 6000 Hz.

In einem oder mehreren der Beschichtungsschritte wird bevorzugt eine Bias-Spannung an das Substrat angelegt, insbesondere eine negative Bias-Spannung, so dass positiv geladene Ionen in Richtung der Substratoberfläche beschleunigt werden. Insbesondere bei Anwendung von Magnetronzerstäuben, sei es bspw. mit Gleichspannung, gepulster Gleichspannung oder HIPIMS-Pulsen an mindestens einer Magnetron-Kathode, kann die Bias-Spannung eine konstante oder gepulste Gleichspannung sein. Eine gepulste Gleichspannung ist dabei bevorzugt unipolar gepulst. Die Pulsfrequenz kann im mf (Mittelfrequenz)-bereich liegen, bspw. bei 50 kHz - 3 MHz, bevorzugt 100 kHz – 1 MHz, besonders bevorzugt 150 – 500 kHz.

Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform wird aber das HIPIMS-Beschichtungsverfahren unter Anlegung einer gepulsten Bias-Spannung am Substrat durchgeführt. Bevorzugt können dabei die Bias-Pulse zeitlich mit den an einer Kathode angelegten HIPIMS-Pulsen

synchronisiert sein. Unter „synchronisiert“ wird verstanden, dass die Pulse der Bias-Spannung (Bias-Pulse) mit gleicher Frequenz angelegt werden wie die HIPIMS-Pulse an einer oder mehreren Kathoden, oder dass die Frequenzen ein ganzzahliges Vielfaches voneinander sind. Im Fall mehrerer HIPIMS-Kathoden, die so angesteuert werden, dass  
5 HIPIMS-Pulse nicht gleichzeitig, sondern aufeinanderfolgend angelegt werden, entspricht die Pulsfrequenz der Bias-Pulse bevorzugt mindestens der HIPIMS-Pulsfrequenz multipliziert mit der Anzahl der HIPIMS-Kathoden.

Dabei können die HIPIMS-Pulse und die Bias-Pulse zeitlich so synchronisiert sein, dass sie  
10 gleiche Dauer haben und gleichzeitig beginnen, bevorzugt kann aber die Dauer auch abweichen und/oder eine Vorlauf- bzw. Verzögerungszeit (Offset) des Bias-Pulses gegenüber dem jeweiligen HIPIMS-Puls vorgegeben sein. Besonders bevorzugt ist die Synchronisation derart, dass der Bias-Puls jeweils mit einer Verzögerung (Offset) von bspw. 5  $\mu$ s oder mehr gegenüber dem zugeordneten HIPIMS-Puls auftritt, bevorzugt 20 - 50  $\mu$ s oder mehr. Weiter  
15 ist die Synchronisation bevorzugt derart, dass der Bias-Puls gegenüber dem zugeordneten HIPIMS-Puls jeweils eine Nachlaufzeit von bspw. 5  $\mu$ s oder mehr aufweist, bevorzugt 10  $\mu$ s oder mehr.

Es hat sich gezeigt, dass sich beim Anlegen eines HIPIMS-Pulses unterschiedliche Arten von  
20 Ionen zu verschiedenen Zeiten auftreten, insbesondere Metall- und Gasionen. Gasionen werden oft bereits in einer frühen Phase zu Beginn des HIPIMS-Pulses in großer Zahl beobachtet, während ein Auftreten einer höheren Dichte von Metallionen zeitlich verzögert zu beobachten ist. Durch eine gezielte Verzögerung des Bias-Pulses gegenüber dem HIPIMS-Puls kann so erreicht werden, dass durch die angelegte Bias-Spannung bevorzugt  
25 Metall-Ionen und weniger Gasionen in Richtung des Substrats beschleunigt werden. Es hat sich gezeigt, dass die Implantation von Gasionen in der entstehenden Beschichtung maßgeblich zu einem Anstieg von Eigenspannungen in der Schicht beiträgt. Durch zeitliche Synchronisation des Bias-Pulses mit dem Kathoden-Puls so, dass die Spannung des Bias-Pulses während eines an Metallionen reichen Zeitintervalls anliegt, kann so eine Beschichtung  
30 mit geringen Eigenspannungen erreicht werden.

Für die Zusammensetzung der Beschichtung bzw. jeder Beschichtungslage kommen verschiedene Bestandteile in Frage. Dies umfasst einerseits eines oder mehrere Target-

Materialien, die durch Zerstäubung freigesetzt werden. Andererseits können Bestandteile gasförmig zugeführt werden. Insbesondere kann eine Beschichtung in einem reaktiven Beschichtungsverfahren erfolgen, bspw. durch Zuführung von reaktivem Gas, das Stickstoff, Sauerstoff und/oder Kohlenstoff enthält.

5

Bevorzugt handelt es sich bei der Beschichtung um eine Hartstoffschicht. Jede Beschichtungslage kann bspw. aus einem Materialsystem bestehen, das ein oder mehrere metallische Elemente aufweist, oder bevorzugt mindestens ein metallisches Element und mindestens ein nichtmetallisches Element. Sie kann insbesondere zusammengesetzt sein aus einem oder mehreren metallischen Elementen und einem oder mehreren nichtmetallischen Elementen. Bevorzugt werden binäre, ternäre und quaternäre Hartstoffe, d.h. mit zwei, drei oder vier verschiedenen metallischen Elementen. Bevorzugt sind dabei Zusammensetzungen, bei denen das metallische Element oder die metallischen Elemente ausgewählt sind aus der Gruppe umfassend Al, Si, B und Elemente der Gruppen 4-6 des Periodensystems nach IUPAC (1988). (Die Halbmetalle Si und B werden in diesem Zusammenhang vereinfachend als metallische Elemente angesehen.) Besonders bevorzugt ist in der Zusammensetzung als eines der metallischen Elemente Ti enthalten. Die nichtmetallischen Elemente können bspw. ausgewählt werden aus der Gruppe umfassend C, N und O, bevorzugt aus der Gruppe umfassend C und N, besonders bevorzugt ist N als einziges nichtmetallisches Element vorgesehen.

10  
15  
20

In den nachfolgenden Darstellungen werden die Zusammensetzungen von Schichten entweder direkt als chemische Verbindungen bzw. Phase oder als Materialsysteme genannt. Materialsysteme werden dabei bezeichnet durch Auflistung der darin enthaltenen Elemente, jeweils durch einen Bindestrich voneinander getrennt, wobei zunächst die metallischen Elemente und danach die nichtmetallischen Elemente angegeben sind. Dabei werden bevorzugt jeweils nacheinander die metallischen und nichtmetallischen Elemente in der Reihenfolge entsprechend ihrem Anteil (in Atomprozent) genannt. Die Angabe des Materialsystems kann dabei der chemischen Verbindung entsprechen, dies ist aber nicht in allen Fällen so. Beispielsweise wird das Materialsystem Ti-C die Hartstoffverbindung TiC enthalten oder vollständig hieraus bestehen, während das Materialsystem Ti-B die Hartstoffverbindung TiB<sub>2</sub> umfasst oder hieraus besteht. Bevorzugte Materialsysteme umfassen bspw. Al-Ti-N, Ti-B, Ti-Si-N, Al-Ti-Si-N, Ti-C-N, Al-Ti-Cr-Si-N oder Ti-Al-C-N. Dabei werden Metal-

25  
30

le, bspw. Al, Ti, Si und/oder Cr bevorzugt in fester Form als Bestandteile eines oder mehrerer Targets an Kathoden bereitgestellt.

5 In einer bevorzugten Ausführung ist mindestens eine Beschichtungslage, bevorzugt mehrere oder alle Beschichtungslagen aus  $Al_x-Ti_{1-x}-N$  gebildet, weiter bevorzugt mit  $x \geq 0,4$  oder  $x \geq 0,5$ , besonders bevorzugt  $0,55 \leq x \leq 0,65$ . Der Al-Anteil  $x$  beträgt bevorzugt maximal 70%.

10 Mindestens zwei, bevorzugt mehrere oder alle der während der Beschichtungsschritte gebildeten Beschichtungslagen der Beschichtung können dieselben Elemente umfassen, d.h. dasselbe Materialsystem sowie ggfs. dieselben relativen Anteile der enthaltenen Elemente. Alternativ ist es aber auch möglich, unterschiedliche Zusammensetzungen der Beschichtungslagen vorzugeben.

15 Das Ionen-Ätzverfahren im ersten, im dritten und/oder in weiteren Verfahrensschritten kann bevorzugt ausgeführt werden, indem ein Plasma durch eine Kathode gezündet und eine relativ hohe Beschleunigungsspannung (Bias-Spannung) an das Substrat angelegt wird. Dabei kann bspw. ein Plasma hauptsächlich aus Gasionen bestehen. Alternativ können Kathoden mit HIPIMS-Pulsen betrieben werden um ein Plasma mit einer hohen Anzahl an Metallionen zu erzeugen. Die Bias-Spannung kann bevorzugt eine konstante oder unipolar  
20 oder bipolar (mf-)gepulste Gleichspannung sein.

Wie nachfolgend anhand eines Ausführungsbeispiels erläutert wird, kann das Ionen-Ätzverfahren mehrere Teilschritte umfassen, bspw. einen Teil-Ätzschritt, bei dem ein Plasma erzeugt und eine Bias-Spannung in Form einer bipolar mf-gepulsten Gleichspannung einer Frequenz von bspw. 50 kHz-1MHz und einer Pulshöhe von bspw. 100 V – 1000  
25 V, bevorzugt 300 V – 800 V für eine erste Zeitdauer angelegt wird und eine weiteren Teil-Ätzschritt, bei dem nach Erzeugung eines Plasmas eine Bias-Spannung in Form einer Gleichspannung bspw. im Bereich von – 50 V bis – 400V, bevorzugt -100 V bis – 300V für eine zweite Zeitdauer angelegt wird. Die zweite Zeitdauer ist bevorzugt länger als die erste  
30 Zeitdauer, weiter bevorzugt mindestens doppelt so lang. Bspw. kann die erste Zeitdauer 5 – 30 Minuten und die zweite Zeitdauer 30 – 200, bevorzugt 40 – 150 Minuten.

Die beiden Teil-Ätzschritte unterscheiden sich in ihrer Wirkung auf das Substrat insbeson-

dere durch die Nutzung von elektrischen Kanteneffekten bei Gleichspannungs-Bias. Die Ätzung mit mf-gepulster Bias-Spannung wirkt weitgehend gleichmäßig auf allen Flächen des Substrats. Beim Ätzen mit Gleichspannungs-Bias werden vorwiegend Kanten geätzt, also insbesondere die Schneidkanten.

5

Die Parameter des Ionen-Ätzverfahrens im ersten Verfahrensschritt, bei dem das Substrat geätzt wird, können mit den Parametern des Ätzverfahrens im dritten Verfahrensschritt (und ggfs. weiteren Verfahrensschritten, bei denen eine weitere Zwischen-Ätzung durchgeführt wird) übereinstimmen. Alternativ ist es aber auch möglich, abweichende Parameter zu verwenden. Beispielsweise kann das Substrat im ersten Verfahrensschritt länger geätzt werden als in einem nachfolgenden Zwischen-Ätzschritt die jeweilige Oberfläche der Beschichtungslagen. Weiter bevorzugt kann bspw. im ersten Verfahrensschritt eine geringere Bias-Spannung angelegt werden als in weiteren Ätz-Schritten. Der gesamte Ätzabtrag in einem Zwischen-Ätzschritt beträgt bevorzugt weniger als 20%, weiter bevorzugt weniger als 10%, weiter bevorzugt 5% oder weniger, besonders bevorzugt 2% oder weniger von der Dicke der jeweiligen Beschichtungslage.

Das erfindungsgemäße Verfahren eignet sich besonders zur Herstellung eines Werkzeugs, insbesondere eines Werkzeugs mit mindestens einer Schneide. Insbesondere handelt es sich bevorzugt bspw. um einen Bohrer, Fräser oder eine Wendeschneidplatte.

Das beschichtete Substrat kann aus verschiedenen Materialien bestehen, bspw. Stahl (HSS). Bevorzugt handelt es sich um Hartmetall, insbesondere WC/Co Sintermaterial. Ebenso ist das erfindungsgemäße Verfahren aber auch auf andere Typen von Substratmaterialien anwendbar, wie bspw. cBN-Substrate oder keramische Substrate.

Gemäß einem zweiten Aspekt betrifft die Erfindung auch eine Beschichtungsanlage zur Ausführung des erfindungsgemäßen Verfahrens. Diese umfasst eine Vakuumkammer und eine Vorrichtung zur Anordnung eines Substrats in der Vakuumkammer, bspw. einen Substrathalter, bevorzugt zur Drehung des Substrats, besonders bevorzugt zur planetaren Drehung. In der Vakuumkammer sind Mittel zur Erzeugung eines Plasmas vorgesehen, bevorzugt Magnetron-Kathoden, die an eine geeignete elektrische Leistungsversorgung angeschlossen sind. Weiter sind Mittel zur Erzeugung einer Bias-Spannung am Substrat

vorgesehen, bevorzugt eine elektrische Leistungsversorgung, die an das Substrat angeschlossen ist. Beide Leistungsversorgungen können an eine Gegenelektrode, bspw. die Kammerwandung oder eine separate Anode, angeschlossen sein.

- 5 Erfindungsgemäß umfasst die Beschichtungsanlage Steuerungsmittel zur Steuerung der Beschichtungsanlage zur automatischen Ausführung des erfindungsgemäßen Verfahrens. Die Steuerungsmittel können bspw. einen programmierbaren Rechner mit einem Betriebsprogramm umfassen, das die erfindungsgemäßen Verfahrensschritte vorgibt. Insbesondere sind bevorzugt die Mittel zur Erzeugung des Plasmas und/oder die Mittel zur Erzeugung der
- 10 Bias-Spannung durch die Steuerungsmittel steuerbar. Die Programmierung weist bevorzugt mindestens eine Schleife zur Wiederholung von programmierten Verfahrensschritten auf, um das oben erläuterte Repeat-Start Verfahren zu realisieren.

Gemäß einem dritten Aspekt betrifft die Erfindung neben dem erfindungsgemäßen Verfahren

15 auch einen beschichteten Körper, bevorzugt mittels des erfindungsgemäßen Verfahrens hergestellt. Der erfindungsgemäße beschichtete Körper umfasst ein Substrat und zumindest eine darauf aufgebraachte Beschichtung. Die Beschichtung umfasst zumindest zwei Beschichtungslagen einer Dicke von jeweils  $0,1\mu\text{m}$  bis  $6\mu\text{m}$ . Mindestens zwischen zwei der Beschichtungslagen ist ein durch Ionen-Ätzen gebildeter Interface-Bereich angeordnet. Am Inter-

20 face-Bereich weisen die Beschichtungslagen durch die oben erläuterte Unterbrechung des Schichtwachstums eine ersichtliche Strukturänderung auf, nämlich direkt aneinander angrenzend unterschiedliche Schichtmorphologie.

Die Beschichtung kann bevorzugt mehr als zwei Beschichtungslagen von jeweils  $0,1\mu\text{m}$  bis

25  $6\mu\text{m}$  aufweisen, zwischen denen jeweils durch Ionen-Ätzen gebildete Interface-Bereiche angeordnet sind.

Bevorzugt ist die Schichtmorphologie der Beschichtung so, dass wenn –betrachtet in Richtung ansteigender Entfernung vom Substrat - eine erste und darauffolgende zweite Beschichtungslage durch einen Interface-Bereich voneinander getrennt sind, die Struktur der

30 zweiten Beschichtungslage angrenzend an den Interface-Bereich feiner ist als die Struktur der ersten Beschichtungsanlage angrenzend an den Interface-Bereich. Der Interface-Bereich ist somit bevorzugt gekennzeichnet durch einen Wechsel der Schichtmorphologie von einer

gröberen auf eine feinere Morphologie.

Eine Bewertung der Morphologie kann, wie dem Fachmann bekannt ist, erfolgen bspw. anhand von Strukturzonenmodellen, z.B. gemäß Thornton (Thornton, J., 1974. Influence of  
5 apparatus geometry and deposition conditions in the structure and topography of thick sputtered coatings. Journal of Vacuum Science & Technology, Vol. 11, pp. 666-670).

Bevorzugt weist die Beschichtung insgesamt geringere Eigenspannungen auf, verglichen mit einer Beschichtung gleicher Dicke, die – unter sonst gleichen Bedingungen – durchgehend,  
10 d.h. ohne Unterbrechung und Bildung von Interface-Bereichen durch Ionen-Ätzen abgeschlossen wird.

Nachfolgend werden Ausführungsbeispiele anhand von Zeichnungen näher beschrieben. Dabei zeigen

15

Fig. 1 In einer schematischen Darstellung eine Draufsicht auf eine Beschichtungsanlage;

Fig. 2 in einer perspektivischen, ebenfalls schematischen Darstellung eine Ansicht von Teilen der Beschichtungsanlage aus Fig. 1;

20 Fig. 3 eine Ausführungsform eines beschichteten Körpers in Form einer Wendeschneidplatte;

Fig. 4 in einer schematischen Schnittansicht eine Beschichtung des beschichteten Körpers aus Fig. 3 mit mehreren Schichtlagen;

25 Fig. 5 ein Ablaufdiagramm eines Ausführungsbeispiels eines Beschichtungsablaufs

Fig. 6 ein Diagramm mit Darstellung des Verlaufs verschiedener elektrischer Größen über die Zeit während eines Beschichtungsschrittes,

Fig. 7a fotografische Aufnahme eines Kalottenschliffs einer Beschichtung gemäß des Ausführungsbeispiels;

30 Fig. 7b fotografische Aufnahme eines Kalottenschliffs einer Beschichtung gemäß eines Referenzverfahrens;

Fig. 7c eine REM- Aufnahme einer Beschichtung auf einem Substrat

Fig. 7d eine vergrößerte Ansicht eines Teils der REM-Aufnahme aus Fig. 7c.

In Fig. 1, Fig. 2 ist eine PVD-Beschichtungsanlage 10 dargestellt mit einer Vakuum-Kammer 12. Ein Innenraum 20 der Vakuum-Kammer 12 kann durch einen Abzug 14 zur Erzeugung eines Vakuums evakuiert werden. Durch einen Zugang 16 kann ein Prozessgas, bevorzugt ein Edelgas oder Mischung verschiedener Edelgase eingelassen werden, bspw. Argon und/oder Krypton. Durch einen Zugang 18 kann ein Reaktivgas wie bspw. Stickstoff eingelassen werden. In alternativen Ausführungen können die Einlässe 16, 18 auch durch einen gemeinsamen Einlass für ein Prozessgas und ein nicht brennbares Reaktivgas ersetzt sein.

10 Im Innenraum 20 der Vakuum-Kammer 12 sind vier Magnetron-Kathoden 22a, 22b, 22c, 22d angeordnet, jeweils mit plattenförmigen Sputter-Targets 24a, 24b, 24c, 24d. In Fig. 2 ist sind zur besseren Übersicht nur zwei Magnetron-Kathoden 22a, 22b gezeigt.

Die Magnetron-Kathoden 22a, 22b, 22c, 22d sind mit ihren Sputter-Targets 24a, 24b, 24c, 24d in Richtung der Mitte der Vakuum-Kammer 12 ausgerichtet. Dort befindet sich ein drehbarer Substrat-Tisch 30, auf dem eine Anzahl von drehbaren Substrat-Tellern 32 mit Substratträgern 34 angeordnet sind. Im gezeigten Beispiel sind als Substrate Wendeschneidplatten 40 chargiert. Die Substratträger 34 sind aufrecht stehende, stangenartige Halter, auf denen die Wendeschneidplatten 40 aufgesteckt sind. Die Wendeschneidplatten 40 sind über die Substratträger 32 und Substrat-Teller 32 elektrisch an den Substrat-Tisch 30 angeschlossen. In Fig. 2 ist sind zur besseren Übersicht nur die Substratträger 34 eines Substrat-Tellers 32 gezeigt.

Eine Wendeschneidplatte 40 ist in Fig. 3 gezeigt. Sie weist eine Spanfläche 42 und eine Freifläche 44 auf. In der in Fig. 2 gezeigten Anordnung ist die Freifläche 44 parallel zu den Sputter-Targets 24a, 24b, 24c, 24d der Magnetron-Kathoden 22a, 22b, 22c, 22d angeordnet. Die Kanten zwischen den Flächen 42, 44 sind zur Nutzung als Schneidkanten bei der Zerspanung vorgesehen. Die Wendeschneidplatte 40 besteht aus einem WC/Co-Sinter-Hartmetall.

30 Bei der Wendeschneidplatte 40 handelt es sich lediglich um ein Beispiel eines zu beschichtenden Substrats. Alternativ können Bauteile oder Werkzeuge verschiedener Form an jeweils geeignet geformten Substrathaltern 34 chargiert werden.

Die Magnetron-Kathoden 24a, 24b, 24c, 24d sind jeweils an eine steuerbare elektrische Leistungsversorgung 26a, 26b, 26c, 26d angeschlossen, mittels derer eine elektrische Spannung gegenüber der elektrisch leitenden Wandung der Vakuum-Kammer 12 angelegt werden kann.

Am Substrattisch 30 ist eine steuerbare Bias-Leistungsversorgung 36 angeschlossen, mittels derer eine elektrische Spannung gegenüber der Wandung der Vakuum-Kammer 12 an den der Substrattisch 30, die Substrathalter 34 und die Substrate 40 angelegt werden kann.

Die Leistungsversorgungen 26a, 26b, 26c, 26d, 36 sind hier jeweils lediglich schematisch als steuerbare elektrische Spannungsversorgungen dargestellt. Es kann sich dabei um herkömmliche DC-Leistungsversorgungen, um gepulste Leistungsversorgungen und/oder um HIPIMS-Leistungsversorgungen handeln. Im gezeigten Beispiel sind die Leistungsversorgungen 26a, 26b, 26c, 26d gesteuert umschaltbar zwischen DC- und HIPIMS-Betriebsmodi. In alternativen Ausführungen können aber auch jeweils dedizierte DC- und HIPIMS-Kathoden innerhalb der Vakuum-Kammer 12 angeordnet und mit dedizierten DC- und HIPIMS-Leistungsversorgungen verbunden sein, die dann durch Ansteuerung von der zentralen Steuerung 36 selektiv aktiviert oder deaktiviert werden können.

Die Leistungsversorgungen 26a, 26b, 26c, 26d, 36 sowie Pumpen (nicht dargestellt) an den Ein- und Auslässen 14, 16, 18 sind jeweils an eine zentrale Steuerung 36 der Anlage 10 angeschlossen. Die zentrale Steuerung 36 ist programmierbar, so dass sämtliche Parameter der im Innenraum 20 der Vakuumkammer 12 ablaufenden Vorbehandlungs- und Beschichtungsverfahren durch die Steuerung 36 gesteuert werden.

Nachfolgend wird beispielhaft der Ablauf eines in der zentralen Steuerung 36 programmierten Beschichtungsverfahrens erläutert:

### 30 Beispiel: PVD-Hartstoffschicht mit großer Dicke

Zur Beschichtung von Substraten wie der Wendeschneidplatte 40 soll eine Hartstoffschicht von besonders großer Dicke von mehr als 10µm aufgebracht werden. Derart dicke Schichten

können üblicherweise nicht mit für Zerspanungsanwendungen ausreichender Schichthaltung aufgebracht werden.

5 In Fig. 5 ist schematisch ein Ablauf des durch eine Programmierung der zentralen Steuerung 36 automatisch vorgegebenen Beschichtungsvorgangs dargestellt. Innerhalb der Anlage 10 sind als Sputter-Targets 24a, 24b, 24c, 24d jeweils Titan-Platten mit Aluminium-Stopfen bestückt. In einem Vorbereitungsschritt 60 werden die Substrate 40 innerhalb der Anlage 10 chargiert, die Vakuumkammer 12 auf einen Druck von 350 mPa evakuiert und aufgeheizt.

10

Nachfolgend wird in einem ersten Ätzschritt 62 die Oberfläche 54 des Hartmetall-Materials 52 der Substrate 40 geätzt. Im dargestellten Beispiel handelt es sich beim ersten Ätzschritt 62 um einen kombinierten Ätzschritt mit einem ersten und einem zweiten Teil-Ätzschritt, durch die mittels Gasionen die Substratoberfläche gereinigt und geätzt wird.

15

Im ersten Teil-Ätzschritt erfolgt ein Ionen-Ätzen, bei dem zunächst mittels der Magnetron-Kathoden 22a, 22b, 22c, 22d ein Plasma gezündet wird.

20 Die Bias-Leistungsversorgung 36 wird so angesteuert, dass eine bipolar gegen die Kammerwandung mf-gepulste Biasspannung (240 kHz) von  $-650\text{V}$  am Substrat 40 anliegt. So werden Gasionen des Plasmas auf die Oberfläche 54 des Substrats 40 beschleunigt.

Der erste Teil-Ätzschritt wird für eine Dauer von ca. 15 Minuten angewendet. Es ergibt sich ein geringer Ätzabtrag von  $0,1\ \mu\text{m/h}$ .

25

Im zweiten Teil-Ätzschritt erfolgt ein weiteres Ionen-Ätzen, für das zunächst ebenfalls mittels der Magnetron-Kathoden 22a, 22b, 22c, 22d ein Plasma gezündet wird.

30 Für eine Behandlungsdauer von 60 Minuten wird unter Zufuhr einer Argon/Krypton-Mischung als Prozessgas die Bias-Leistungsversorgung 36 so angesteuert, dass das Substrat 40 durch eine konstante DC-Biasspannung von  $-200\text{V}$  mit einem negativen Potential beaufschlagt ist.

Der Ätzabtrag im zweiten Ätz-Teilschritt beträgt ca. 0,5  $\mu\text{m}/\text{h}$ .

Auf den Ätzschritt 62 folgt durch Umschaltung seitens der zentralen Steuerung 36 ohne Vakuumunterbrechung ein Beschichtungsschritt 64, bei dem die Leistungsversorgungen  
5 26a, 26b, 26c, 26d der Magnetron-Kathoden 22a, 22b, 22c, 22d so angesteuert werden, dass diese im HIPIMS-Betrieb mit kurzen, hohen Spannungspulsen betrieben werden. Jede der vier Magnetron-Kathoden 22a, 22b, 22c, 22d wird während des Beschichtungsschritts 64 mit einer Peakleistung von ca. 100 kW versorgt.

10 Die Bias-Spannungsversorgung 36 wird dabei so angesteuert, dass eine gepulste Bias-Spannung von bspw. – 50 bis – 150 V angelegt wird, wobei die Bias-Pulse zu den Leistungsimpulsen der Magnetron-Kathoden 22a, 22b, 22c, 22d synchronisiert sind. Die Bias Spannung ist dabei mit einem Offset versehen, so dass die Bias-Pulse mit einer geringen zeitlichen Verzögerung gegenüber den HIPIMS-Pulsen starten.

15

Während der Beschichtungsdauer von ca. 100 Minuten wird neben Argon/Krypton als Prozessgas zusätzlich Stickstoff als Reaktivgas zugeführt.

Fig. 6 zeigt beispielhaft Zeitverläufe verschiedener Kurven elektrischer Größen während des  
20 Beschichtungsschritts 64, nämlich der Spannung 80 an den Magnetron-Kathoden 24a, 24b, 24c, 24d (durchgezogene Linie), des Kathodenstroms 82 (gepunktete Linie), der Kathodenpeakleistung 84 (strich-punktierte Linie), der Bias-Spannung 86 (strich-doppelpunktierte Linie) und des Bias-Stroms 88 (gestrichelte Linie). Wie deutlich sichtbar ist, wird die Spannung 80 an den Magnetron-Kathoden 24a, 24b, 24c, 24d in Pulsen 90 angelegt,  
25 während die Bias-Spannung 86 in zeitlich nachlaufenden Bias-Pulsen 92 angelegt wird.

Fig. 4 zeigt schematisch den Aufbau einer Beschichtung 50 auf dem Hartmetall-Substratmaterial 52. Im Beschichtungsschritt 64 wird dort eine erste Beschichtungslage 56a erzeugt. Die Schichtrate beträgt ca. 2  $\mu\text{m}/\text{h}$ , so dass am Ende des Beschichtungsschrittes 64  
30 eine Dicke der ersten Beschichtungslage 56a von etwa 3  $\mu\text{m}$  erreicht wird.

Das Materialsystem der ersten Beschichtungslage 56a ist Al-Ti-N. Dabei wird (unter den metallischen Elementen) ein Al-Anteil x von etwa 60% erreicht.

Durch die Verzögerung der Bias-Pulse 92 gegenüber den HIPIMS-Pulsen 90 werden relativ wenige Gasionen in die Beschichtungslage 56a implantiert, so dass diese eine relativ geringe Eigenspannung aufweist.

5

Auf den Beschichtungsschritt 64 folgt ein Zwischen-Ätzschritt 66. Im dargestellten Beispiel wird der Zwischen-Ätzschritt 66 mit denselben Parametern durchgeführt wie der erste Ätzschritt 62, d.h. mit zwei aufeinanderfolgenden Teil-Ätzschritten. Wie bereits erwähnt ist es alternativ möglich, dass die Ätzschritte 62, 66 mit verschiedenen Parametern ausgeführt werden, insbesondere der Zwischen-Ätzschritt von geringerer Dauer ist als der erste Ätzschritt 62.

10

Der im Zwischen-Ätzschritt 66 erreichte Ätzabtrag ist deutlich geringer als die oben für den ersten Ätzschritt 62 angegebenen Werte, da die geätzte Beschichtungslage 56a härter ist als die ersten Ätzschritt 62 geätzte Substratoberfläche.

15

Anschließend folgt ein weiterer Beschichtungsschritt 68. Im vorliegenden Beispiel entspricht der Beschichtungsschritt 68 bezüglich aller Parameter dem vorherigen Beschichtungsschritt 64. Der Beschichtungsschritt 68 wird im dargestellten Beispiel auch für dieselbe Dauer ausgeführt wie der vorherige Beschichtungsschritt 64. Alternativ können verschiedene Beschichtungsschritte mit unterschiedlichen Parametern ausgeführt werden, so dass sich bspw. hinsichtlich der Dicke, der Struktur und/oder der Zusammensetzung voneinander abweichende Beschichtungslagen ergeben.

20

Im aktuellen Beispiel wird, gesteuert durch eine Programmierung der zentralen Steuerung 36 in Form einer Schleife, der Zyklus aus Beschichten/Zwischen-Ätzen/Beschichten so oft durchlaufen, dass insgesamt vier Beschichtungslagen 56a, 56b, 56c, 56d jeweils unter Zwischen-Ätzen der darunterliegenden Oberfläche aufeinander abgedungen werden (Fig. 4). Danach folgt im anschließenden Schritt 70 ein Abkühlen der Substrate 40.

25

30

Durch die jeweilige Unterbrechung des Schichtwachstums mittels der Zwischen-Ätzschritte 66 ergibt sich nach erneutem Beginn des darauffolgenden Beschichtungsschrittes 68 keine Fortsetzung des Wachstums von Kristalliten, sondern es bilden sich neue Kristallisations-

keime. Obwohl im obigen Beispiel die Beschichtungsschritte 64, 68 jeweils mit identischen Parametern durchgeführt werden, weist die entstehende Beschichtung 50 eine Struktur mit erkennbar separaten Beschichtungslagen 56a, 56b, 56c, 56d auf.

- 5 Fig. 7a zeigt dies an einem Kalottenschliff auf der Oberfläche 44 eines beschichteten Körpers 40. Die durch die Zwischen-Ätzschritte gebildeten Interface-Bereiche zwischen den Beschichtungslagen 56a, 56b, 56c, 56d sind als Ringe zu erkennen. Im Vergleich zeigt in Fig. 7b eine durchgängig erzeugte Beschichtung im Kalottenschliff keine solchen Ringe.
- 10 Fig. 7c zeigt eine REM-Aufnahme des Substratmaterials 52 mit den darauf gebildeten Beschichtungslagen 56a, 56b, 56c, 56d. Die Interface-Bereiche sind durch weiße Rahmen gekennzeichnet. Der jeweilige Wechsel in der Schichtmorphologie ist in der gezeigten Vergrößerung z.T. schwer zu erkennen, wird jedoch bei höherer Vergrößerung (Fig. 7d)
- 15 Interface-Bereich ist bereits aus der Darstellung in Fig. 7c erkennbar und in Fig. 7d noch deutlicher ersichtlich, dass sich die Schichtmorphologie von einer gröberen Struktur auf eine wesentlich feinere Struktur ändert. Im Strukturzonenmodell nach Thornton entspricht dies einem Wechsel von Strukturzone 1 nach Strukturzone T.
- 20 Die Oberfläche der Beschichtung 50 erweist sich als glatt, dicht und weitgehend frei von Poren. Das damit beschichtete Werkzeug 40 weist somit hohe Beständigkeit für verschiedene Einsatzzwecke auf, insbesondere für Zerspanungsanwendungen.

Die Beschichtung 50 weist insgesamt eine Schichtdicke von ca.  $12\mu\text{m}$  auf. Während eine mit

25 gleichen Parametern, allerdings durchgehend aufgebrachte Vergleichsschicht eine sehr hohe Schichteigenspannung aufweist und schlechte Haftung auf dem Substratmaterial 52 hat, weist die Beschichtung 50 gleicher Dicke lediglich eine Druckspannung von ca.  $1,4\text{ GPa}$  und eine gute Schichthaftung auf.

30 Weitere mögliche Ausführungsformen lassen sich der nachstehenden Tabelle entnehmen. Dabei sind für verschiedene Beispiele jeweils die Schichtwerkstoffe, Gesamt-Schichtdicke, Anzahl der Beschichtungslagen angegeben sowie die Art des damit beschichteten Werkzeugs, dessen Anwendung und das damit zu bearbeitende Werkstück-Material.

In den Beispielen wird dabei vereinfachend von jeweils mindestens im Wesentlichen gleich dicken Beschichtungslagen ausgegangen, also bspw. bei einer Gesamt-Schichtdicke von 12µm und 4 Beschichtungslagen von je 3µm dicken Beschichtungslagen.

5

<b>Nr</b>	<b>Schicht</b>	<b>Schicht- dicke</b>	<b>Anzahl Lagen</b>	<b>Werkzeug</b>	<b>Anwen- dung</b>	<b>Werkstück</b>
1	AlTiN	12 µm	4	Wende- schneidplatten	Drehen	Stahl, Guss, rostfreier Stahl
2	AlTiN	12 µm	4	Wende- schneidplatten	Bohren	Stahl, Guss, rostfreier Stahl
3	AlTiN	12 µm	4	Wende- schneidplatten	Fräsen	Stahl, Guss, rostfreier Stahl
4	AlTiN	12 µm	4	Wende- schneidplatten	Stechen	Stahl, Guss, rostfreier Stahl
5	AlTiN	4,5 µm	3	Vollhartme- tallbohrer	Bohren	Stahl, Guss, rostfreier Stahl
6	AlTiN	3 µm	3	Vollhartme- tallbohrer	Bohren	Stahl, Guss, rostfreier Stahl
7	AlTiN	1,5 µm	3	Vollhartme- tallbohrer	Bohren	Stahl, Guss, rostfreier Stahl
8	AlTiN	1,0 µm	3	Vollhartme- tallbohrer (Mikrobohrer	Bohren	Stahl, Guss, rostfreier Stahl

Nr	Schicht	Schicht- dicke	Anzahl Lagen	Werkzeug	Anwen- dung	Werkstück
				mit Funktions- durchmesser < 1 mm)		
9	AlTiN	0,6 µm	3	Vollhartme- tallbohrer (Mikrobohrer mit Funktions- durchmesser < 1 mm)	Bohren	Stahl, Guss, rostfreier Stahl
10	AlTiN	0,6 µm	3	Reibahlen	Reiben	Stahl, Guss, rostfreier Stahl
11	AlTiN	3 µm	3	Vollhartmetall- fräser	Fräsen	Stahl, Guss, rostfreier Stahl
12	AlTiN	1,5 µm	3	Vollhartmetall- fräser	Fräsen	Stahl, Guss, rostfreier Stahl
13	AlTiN	1,0 µm	3	Vollhartmetall- fräser (Mikro- fräser mit Funktions- durchmesser < 1 mm)	Fräsen	Stahl, Guss, rostfreier Stahl
14	AlTiN	0,6 µm	3	Vollhartmetall- fräser (Mikro- fräser mit	Fräsen	Stahl, Guss, rostfreier Stahl

Nr	Schicht	Schicht- dicke	Anzahl Lagen	Werkzeug	Anwen- dung	Werkstück
				Funktions- durchmesser < 1 mm)		
15	TiAlSiN	12 µm	4	Wende- schneidplatten	Drehen	rostfreier Stahl, Titan- legierungen, Ni-Basis Legierungen
16	TiAlSiN	12 µm	4	Wende- schneidplatten	Bohren	rostfreier Stahl, Titan- legierungen, Ni-Basis Legierungen
17	TiAlSiN	12 µm	4	Wende- schneidplatten	Fräsen	rostfreier Stahl, Titan- legierungen, Ni-Basis Legierungen
18	TiAlSiN	12 µm	4	Wende- schneidplatten	Stechen	rostfreier Stahl, Titan- legierungen, Ni-Basis Legierungen
19	TiAlSiN	4,5 µm	3	Vollhartme- tallbohrer	Bohren	rostfreier Stahl, Titan- legierungen, Ni-Basis Legierungen

Nr	Schicht	Schicht- dicke	Anzahl Lagen	Werkzeug	Anwen- dung	Werkstück
20	TiAlSiN	3 µm	3	Vollhartme- tallbohrer	Bohren	rostfreier Stahl, Titan- legierungen, Ni-Basis Legierungen
21	TiAlSiN	1,5 µm	3	Vollhartme- tallbohrer	Bohren	rostfreier Stahl, Titan- legierungen, Ni-Basis Legierungen
22	TiAlSiN	1,0 µm	3	Vollhartme- tallbohrer (Mikrobohrer mit Funktions- durchmesser < 1 mm)	Bohren	rostfreier Stahl, Titan- legierungen, Ni-Basis Legierungen
23	TiAlSiN	0,6 µm	3	Vollhartme- tallbohrer (Mikrobohrer mit Funktions- durchmesser < 1 mm)	Bohren	rostfreier Stahl, Titan- legierungen, Ni-Basis Legierungen
24	TiAlSiN	0,6 µm	3	Reibahlen	Reiben	rostfreier Stahl, Titan- legierungen, Ni-Basis Legierungen
25	TiAlSiN	3 µm	3	Vollhartmetall-	Fräsen	rostfreier

Nr	Schicht	Schicht- dicke	Anzahl Lagen	Werkzeug	Anwen- dung	Werkstück
				fräser		Stahl, Titan- legierungen, Ni-Basis Legierungen
26	TiAlSiN	1,5 µm	3	Vollhartmetall- fräser	Fräsen	rostfreier Stahl, Titan- legierungen, Ni-Basis Legierungen
27	TiAlSiN	1,0 µm	3	Vollhartmetall- fräser (Mikro- fräser mit Funktions- durchmesser < 1 mm)	Fräsen	rostfreier Stahl, Titan- legierungen, Ni-Basis Legierungen
28	TiAlSiN	0,6 µm	3	Vollhartmetall- fräser (Mikro- fräser mit Funktions- durchmesser < 1 mm)	Fräsen	rostfreier Stahl, Titan- legierungen, Ni-Basis Legierungen
29	TiB <sub>2</sub>	4 µm	4	Wende- schneidplatten	Drehen	Aluminium, Nichteisen- metalle
30	TiB <sub>2</sub>	4 µm	4	Wende- schneidplatten	Bohren	Aluminium, Nichteisen- metalle
31	TiB <sub>2</sub>	4 µm	4	Wende- schneidplatten	Fräsen	Aluminium, Nichteisen-

Nr	Schicht	Schicht- dicke	Anzahl Lagen	Werkzeug	Anwen- dung	Werkstück
						metalle
32	TiB2	4 µm	4	Wende- schneidplatten	Stechen	Aluminium, Nichteisen- metalle
33	TiB2	2 µm	3	Wende- schneidplatten	Drehen	Aluminium, Nichteisen- metalle
34	TiB2	2 µm	3	Wende- schneidplatten	Bohren	Aluminium, Nichteisen- metalle
35	TiB2	2 µm	3	Wende- schneidplatten	Fräsen	Aluminium, Nichteisen- metalle
36	TiB2	2 µm	3	Wende- schneidplatten	Stechen	Aluminium, Nichteisen- metalle
37	TiB2	2 µm	3	Vollhartme- tallbohrer	Bohren	Aluminium, Nichteisen- metalle
38	TiB2	1 µm	3	Vollhartme- tallbohrer (Mikrobohrer mit Funktions- durchmesser < 1 mm)	Bohren	Aluminium, Nichteisen- metalle
39	TiB2	0,6 µm	3	Vollhartme- tallbohrer (Mikrobohrer mit Funktions- durchmesser < 1 mm)	Bohren	Aluminium, Nichteisen- metalle

Nr	Schicht	Schichtdicke	Anzahl Lagen	Werkzeug	Anwendung	Werkstück
40	TiB2	0,6 µm	3	Reibahlen	Reiben	Aluminium, Nichteisenmetalle
41	TiB2	2 µm	3	Vollhartmetallfräser	Fräsen	Aluminium, Nichteisenmetalle
42	TiB2	1 µm	3	Vollhartmetallfräser (Mikrofräser mit Funktionsdurchmesser < 1 mm)	Fräsen	Aluminium, Nichteisenmetalle
43	TiB2	0,6 µm	3	Vollhartmetallfräser (Mikrofräser mit Funktionsdurchmesser < 1 mm)	Fräsen	Aluminium, Nichteisenmetalle

- Während vorstehend Ausführungsformen des Verfahrens nur beispielhaft angegeben sind, wird der Fachmann erkennen, dass sich das Prinzip für verschiedene Materialsysteme, Schichtstrukturen, Beschichtungstypen und –Parameter sowie verschiedenste Anwendungszwecke nutzen lässt. Während vorstehend die Vorteile für besonders dicke Beschichtungen 50 aufgezeigt wurden, können sich ebenso für dünne Beschichtungen Vorteile ergeben, bspw. eine Beschichtung mit weniger als 1µm Gesamtdicke auf einem sehr feinen Bohrer (Micro Drill), die aus bspw. drei Schichtlagen von je 0,2µm gebildet wird.
- 10 Die PVD-Beschichtungsanlage 10 und insbesondere die Bestückung mit Magnetronkathoden 22a, 22b, 22c, 22d darin ist ebenso wie deren elektrische Verschaltung rein beispielhaft zu verstehen. Es können innerhalb der Vakuum-Kammer 12 alternativ auch

- 28 -

eine andere Anzahl von Magnetron-Kathoden vorgesehen sein. Verschiedene Kathoden können an unterschiedliche Typen von elektrischen Leistungsversorgungen angeschlossen sein, bspw. auch an reine DC-Leistungsversorgungen. Die Leistungsversorgungen können wie dargestellt gegen die Kammerwandung geschaltet sein, es kann aber alternativ auch  
5 eine separate, von der Kammerwandung elektrisch isolierte Anode vorgesehen sein. Insbesondere für DC-Betrieb von Magnetron-Kathoden ist es bevorzugt, diese gegen eine solche Anode zu schalten.

### Ansprüche

- 5
1. Verfahren zur Beschichtung eines Substrats (40), bei dem
- in einem ersten Verfahrensschritt (62) das Substrat in einem Ionen-Ätzverfahren vorbehandelt wird,
  - in einem zweiten Verfahrensschritt (64) mittels eines PVD-Verfahrens eine

10 erste Beschichtungslage (56a) einer Dicke von 0,1µm bis 6µm auf das Substrat (40, 52) abgeschieden wird,

  - in einem dritten Verfahrensschritt (66) die Oberfläche der ersten Beschichtungslage (56a) mittels eines Ionen-Ätzverfahrens behandelt wird,
  - und in einem vierten Verfahrensschritt (68) mittels eines PVD-Verfahrens

15 eine weitere Beschichtungslage (56b) einer Dicke von 0,1µm bis 6µm auf die erste Beschichtungslage (56a) abgeschieden wird.
2. Verfahren gemäß Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass
- folgend auf den vierten Verfahrensschritt (68) ein- oder mehrfach

20 - zunächst die Oberfläche der jeweils obersten Beschichtungslage (56b, 56c) mittels eines Ionen-Ätzverfahrens behandelt wird,  - und darauffolgend mittels des PVD-Verfahrens eine weitere Beschichtungslage (56c, 56d) auf die darunterliegende Beschichtungslage (56b, 56c) abgeschieden wird.
- 25
3. Verfahren gemäß Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass
- mindestens der zweite, dritte und vierte Verfahrensschritt (64, 66, 68) ohne Vakuumunterbrechung ausgeführt werden.
- 30
4. Verfahren gemäß einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass
- im ersten, zweiten und dritten Verfahrensschritt jeweils eine Bias-Spannung an das Substrat angelegt wird,
  - wobei die Bias-Spannung im zweiten Verfahrensschritt höher ist als im ers-

ten und zweiten Verfahrensschritt..

5. Verfahren gemäß einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass
- 5 - die Dicke der aufeinander abgedichteten Beschichtungslagen (56a, 56b, 56c, 56d) in Summe  $0,5\mu\text{m} - 30\mu\text{m}$  beträgt.
6. Verfahren gemäß einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass
- 10 - beim Ionen-Ätzverfahren Metallionen erzeugt und durch eine Bias-Spannung in Richtung der Substratoberfläche beschleunigt werden.
7. Verfahren gemäß einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass
- 15 - die Abscheidung im zweiten, vierten und/oder einem oder mehreren weiteren Verfahrensschritten (64, 68) mittels eines Kathodenzerstäubungsverfahrens erfolgt.
8. Verfahren gemäß Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, dass
- 20 - das Kathodenzerstäubungsverfahren ein HIPIMS-Beschichtungsverfahren ist.
9. Verfahren gemäß Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, dass
- 25 - das HIPIMS-Beschichtungsverfahren unter Anlegung einer Bias-Spannung am Substrat durchgeführt wird,
- wobei die Bias-Spannung in Bias-Pulsen angelegt wird,
- und wobei die Bias-Pulse zeitlich synchronisiert sind mit HIPIMS-Pulsen, mit denen eine Kathode (24a, 24b, 24c, 24d) beaufschlagt wird.
- 30 10. Verfahren gemäß einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass
- eine oder mehrere der Beschichtungslagen (56a, 56b, 56c, 56d) zumindest im Wesentlichen eine Zusammensetzung aufweist, die ausgewählt ist aus

der Gruppe umfassend

Al-Ti-N,  
Ti-B,  
5 Ti-Si-N,  
Al-Ti-Si-N,  
Ti CN,  
Ti-Al-C-N,  
Al-Ti-Cr-Si-N.

10

11. Verfahren gemäß einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass
- mehrere der Beschichtungslagen (56a, 56b, 56c, 56d) aus denselben Elementen erzeugt werden.

15

12. Verfahren gemäß einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass
- das Substrat (40) ein Werkzeug mit mindestens einer Schneide ist.

20

13. Beschichtungsanlage zum Ausführen des Verfahrens gemäß einem der vorangehenden Ansprüche, umfassend
- eine Vakuumkammer (12),
  - eine Vorrichtung (30, 32, 34) zur Anordnung eines Substrats (40) in der Vakuumkammer (12)
  - 25 - Mitteln (24a, 24b, 24c, 24d) zur Erzeugung eines Plasmas in der Vakuumkammer (12),
  - Mitteln (36) zur Erzeugung einer Bias-Spannung am Substrat (40)
  - und Steuerungsmitteln (36) zur Steuerung der Beschichtungsanlage (10) zur automatischen Ausführung des Verfahrens.

30

14. Beschichteter Körper, umfassend
- ein Substrat (40)
  - und eine auf dem Substrat aufgebraute Beschichtung (50) umfassend min-

destens zwei Beschichtungslagen (56a, 56b, 56c, 56d) einer Dicke von jeweils 0,1µm bis 6µm,

- wobei zwischen den Beschichtungslagen (56a, 56b, 56c, 56d) ein durch Ionen-Ätzen gebildeter Interface-Bereich angeordnet ist.

5

15. Beschichteter Körper gemäß Anspruch 14, bei dem

- die Beschichtung (50) drei oder mehr Beschichtungslagen (56a, 56b, 56c, 56d) einer Dicke von jeweils 0,1µm bis 6µm aufweist,

- wobei jeweils zwischen den Beschichtungslagen (56a, 56b, 56c, 56d) ein durch Ionen-Ätzen gebildeter Interface-Bereich angeordnet ist.

10

16. Beschichteter Körper gemäß Anspruch 14 oder 15, bei dem

- die Beschichtungslagen (56a, 56b, 56c, 56d) eine erste Beschichtungslage (56a) und darauf eine zweite Beschichtungslage (56b) aufweisen, zwischen denen der Interface-Bereich angeordnet ist,

15

- wobei die Struktur der zweiten Beschichtungslage (56b) angrenzend an den Interface-Bereich feiner ist als die Struktur der ersten Beschichtungsanlage (56a) angrenzend an den Interface-Bereich.

20 17. Beschichteter Körper gemäß einem der Ansprüche 14 – 16, bei dem

- die Beschichtung (50) geringere Eigenspannungen aufweist als eine durchgehende, ohne Interface-Bereich gebildete Beschichtung gleicher Dicke.

Fig. 1

1/7

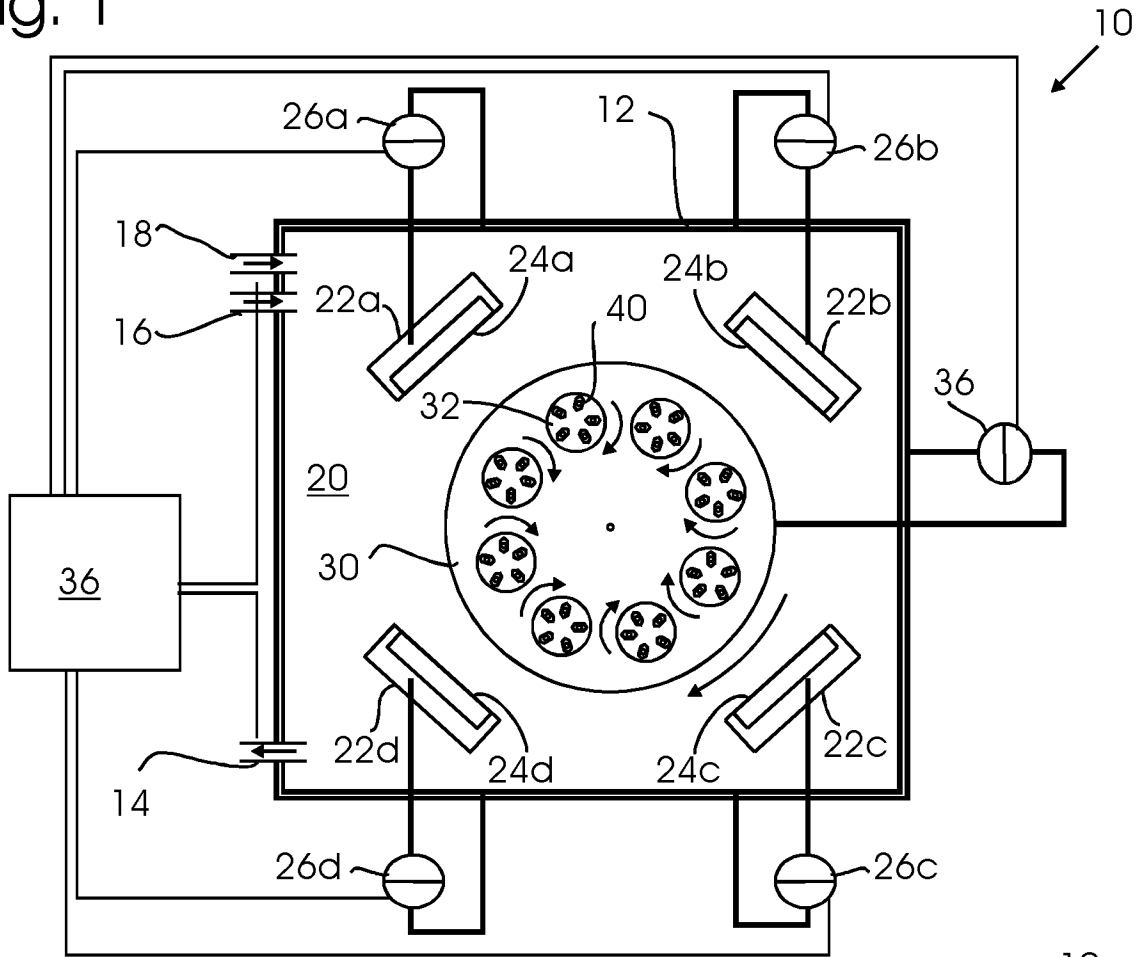


Fig. 2

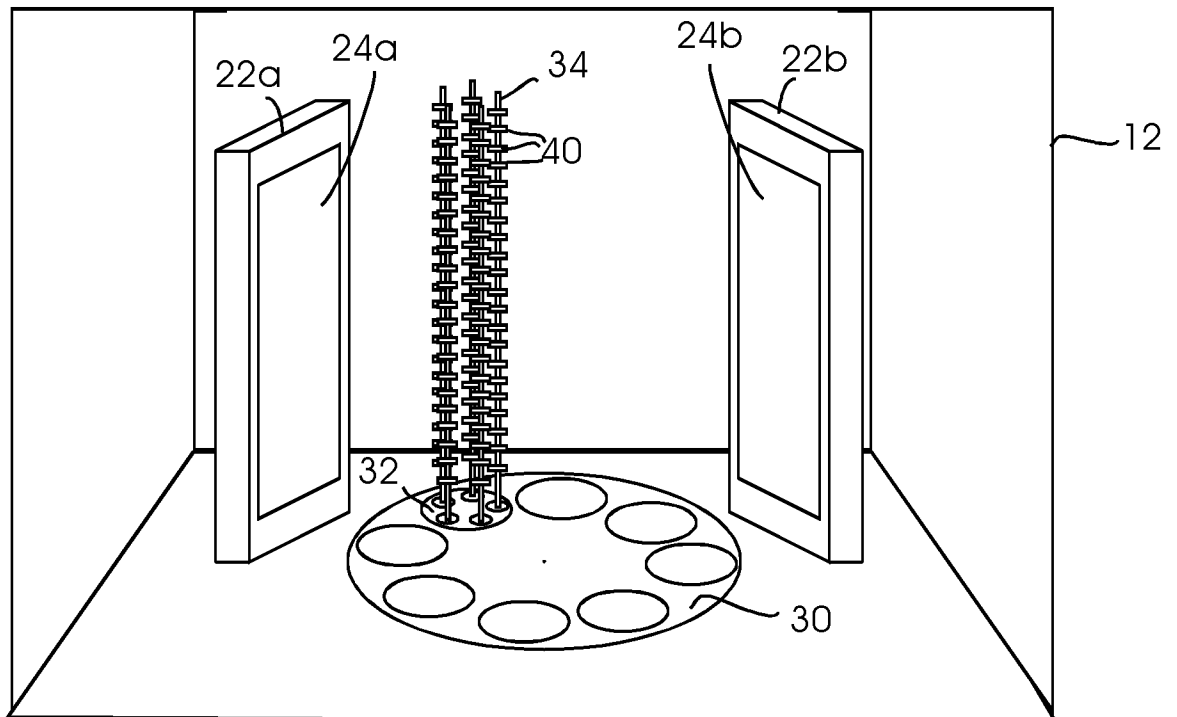


Fig. 3

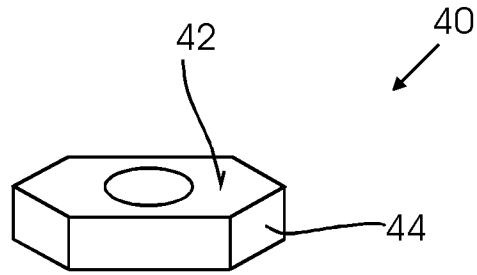
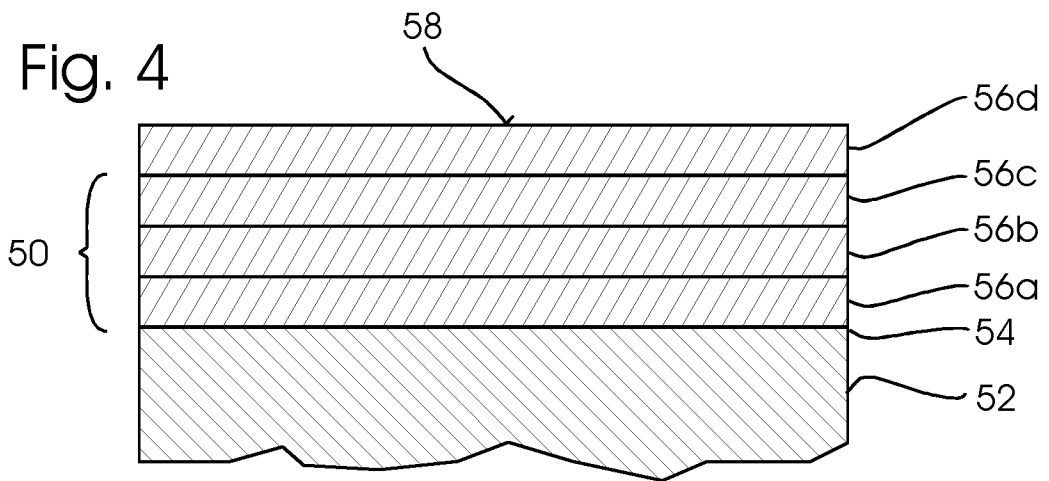


Fig. 4



3/7

Fig. 5

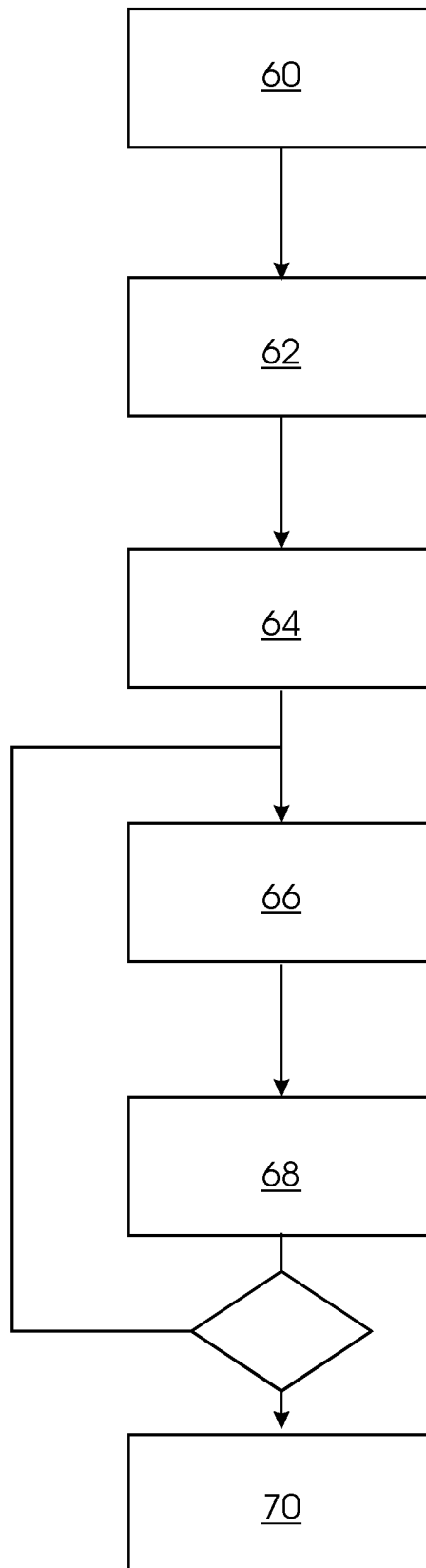
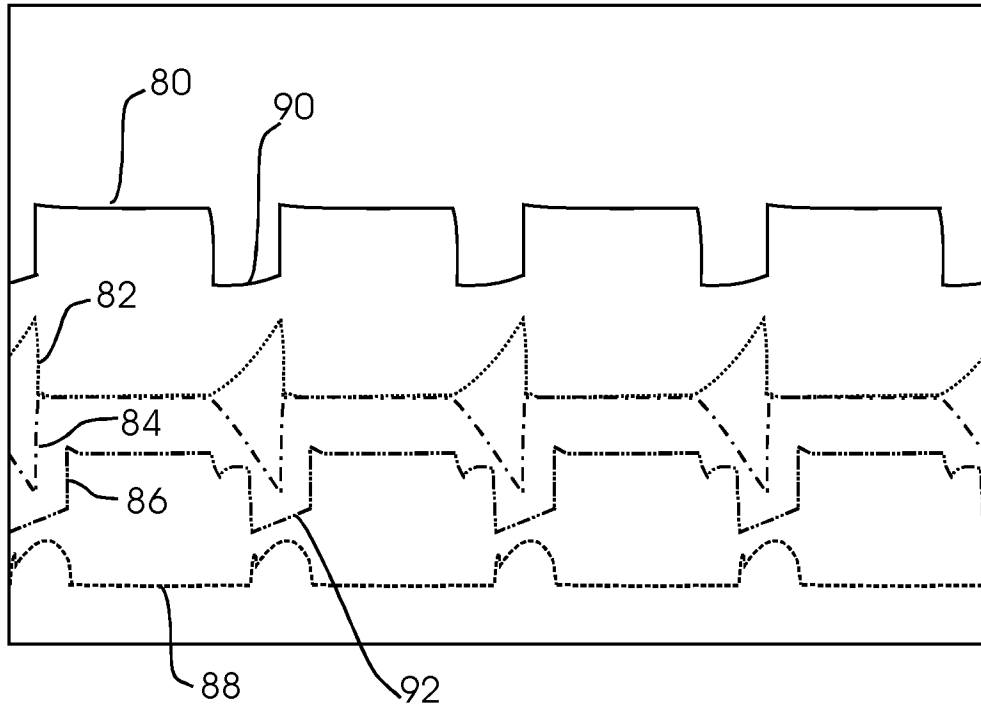


Fig. 6



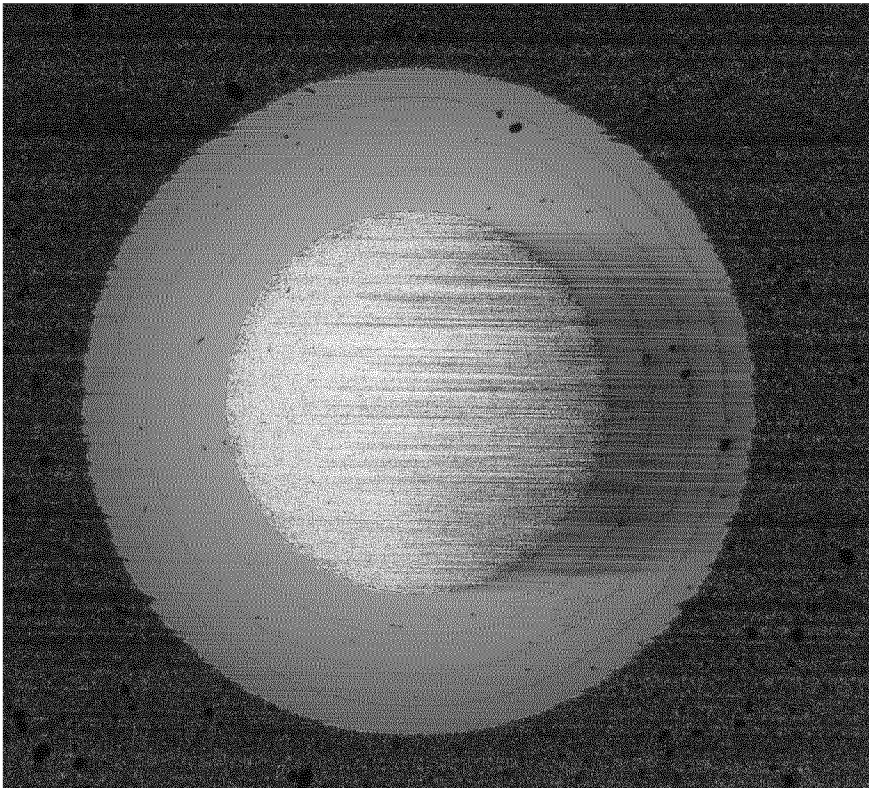
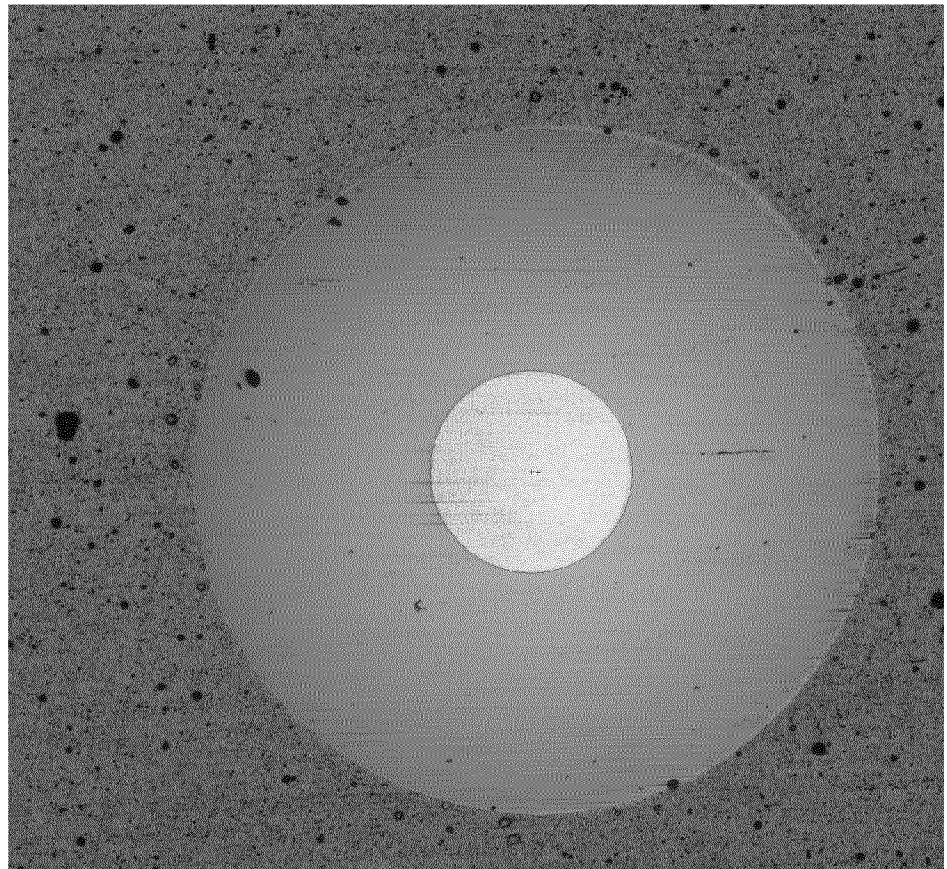


Fig. 7a

Fig. 7b



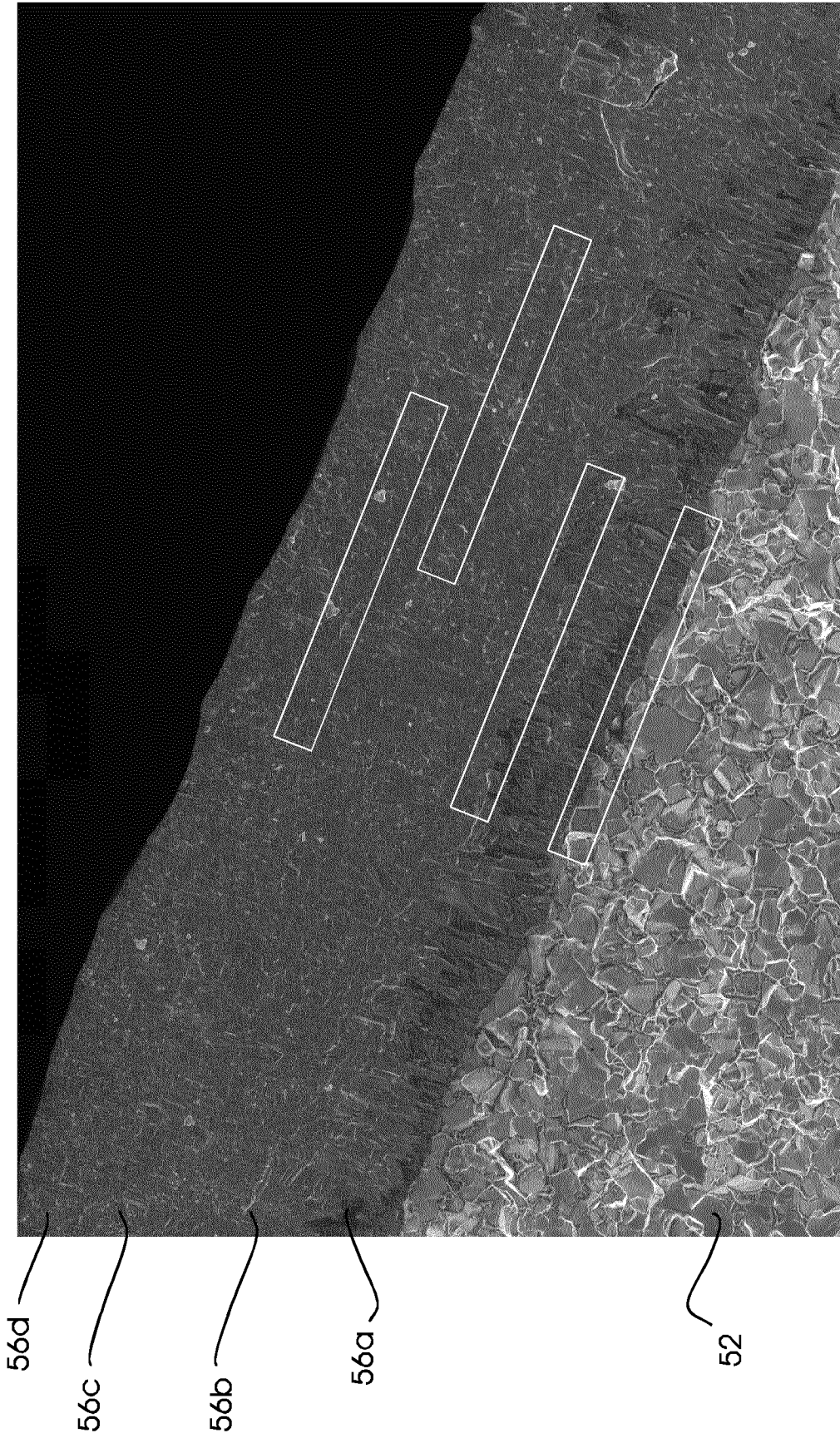


Fig. 7c

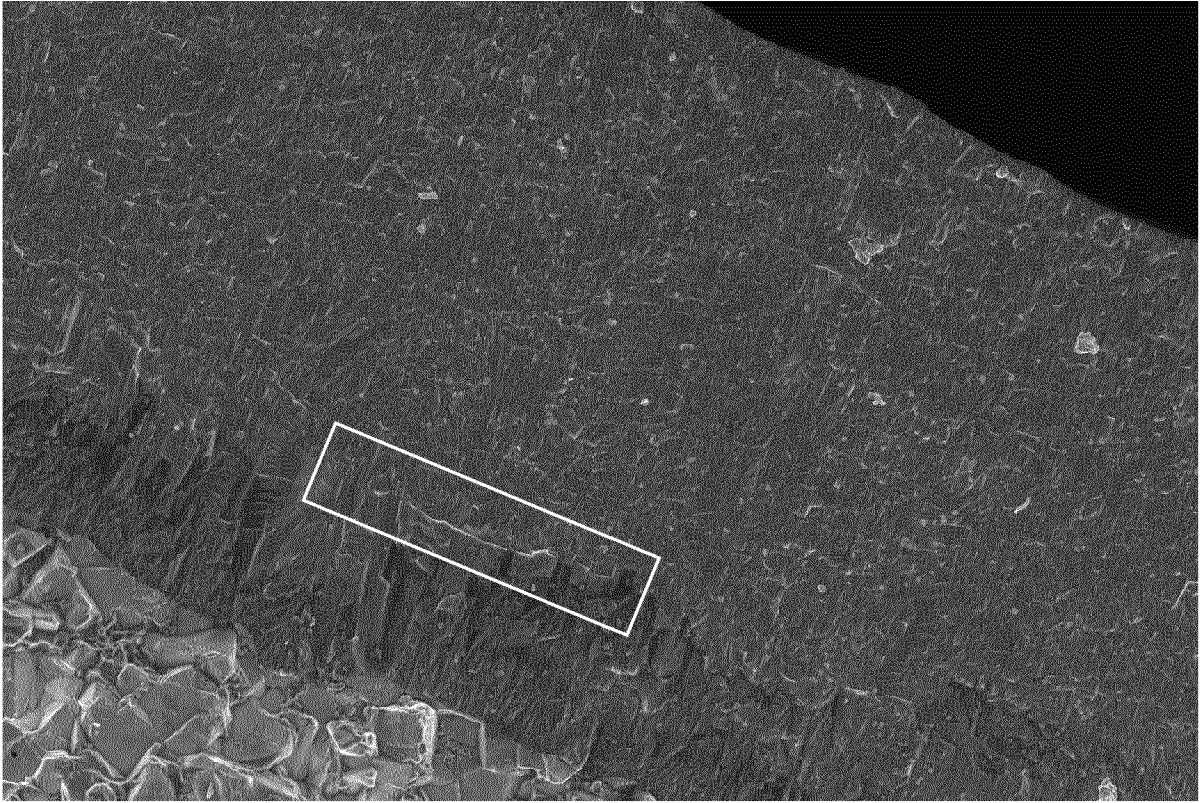


Fig. 7d