



(10) **DE 10 2018 125 631 A1** 2020.04.16

(12)

## Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2018 125 631.0**

(22) Anmeldetag: **16.10.2018**

(43) Offenlegungstag: **16.04.2020**

(51) Int Cl.: **C23C 14/06 (2006.01)**  
**C23C 14/35 (2006.01)**

(71) Anmelder:

**Schaeffler Technologies AG & Co. KG, 91074  
Herzogenaurach, DE**

(72) Erfinder:

**Brugnara, Ricardo Henrique, 91093 Heßdorf, DE;  
Bagcivan, Nazlim, 90480 Nürnberg, DE; Schulz,  
Edgar, 91094 Langensendelbach, DE**

(56) Ermittelter Stand der Technik:

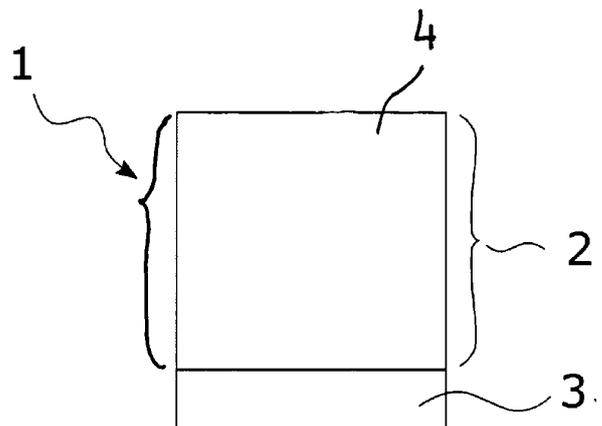
DE	10 2007 010 595	B4
DE	10 2012 007 796	A1
DE	10 2014 217 040	A1
DE	10 2018 102 073	A1
EP	2 759 620	B1
WO	2017/ 148 582	A1

Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

**Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen.**

(54) Bezeichnung: **Schichtsystem, Rollelement und Verfahren**

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft ein Schichtsystem (1) umfassend eine reibungs- und verschleißreduzierende Schutzschicht (2), wobei die Schutzschicht (2) dotierten tetraedrischen amorphen Kohlenstoff (4) aufweist. Ein weiterer Gegenstand der Erfindung ist ein Rollelement (8), insbesondere eine Kurvenrolle (8), wobei auf der Lauffläche (9) des Rollelements (8) und/oder auf einer oder mehreren Seitenflächen (10, 11) des Rollelements (8) ein Schichtsystem (1) ausgebildet ist. Ein weiterer Gegenstand der Erfindung ist ein Außenring und ein Verfahren zur Herstellung eines Schichtsystems (1).



## Beschreibung

**[0001]** Die Erfindung betrifft ein Schichtsystem, umfassend ein Substrat und eine auf dem Substrat angeordnete reibungs- und verschleißreduzierende Schutzschicht. Weitere Gegenstände der Erfindung sind ein Rollelement, insbesondere eine Kurvenrolle und ein Verfahren zur Herstellung eines Schichtsystems.

**[0002]** Beschichtungen für tribologisch beanspruchte Oberflächen sind aus dem Stand der Technik in vielfältigen Ausführungsformen bekannt. Ein Anwendungsgebiet von erheblicher technologischer Bedeutung ist hierbei die Reibungs- und Verschleißreduzierung in Verbrennungsmotoren. Die hohe dynamische Belastung der an der Kraftübertragung beteiligten Komponenten und deren gegeneinander gleitenden Oberflächen erfordern überaus leistungsfähige Beschichtungen von hoher Härte und Langlebigkeit. Als eine besonders vorteilhafte Klasse von Schichtsystemen haben sich in dieser Hinsicht amorphe Kohlenstoffschichten erwiesen. Insbesondere die sogenannten diamantartigen Kohlenstoffschichten (diamond-like carbon, DLC) werden erfolgreich bei der Beschichtung von Teilen des Kurbeltriebs, der Ventilsteuerung oder auch des Kraftstoffeinspritzsystems bei Dieselmotoren eingesetzt.

**[0003]** Im Vergleich zu Graphit, der aus kristallinen Schichten  $sp^2$ -hybridisierter Kohlenstoffatome aufgebaut ist und Diamant, einem Kristall aus tetraedrisch koordiniertem  $sp^3$ -hybridisiertem Kohlenstoff, liegt beim amorphen Kohlenstoff eine Mischung aus  $sp^2$ -hybridisierten und  $sp^3$ -hybridisierten Kohlenstoff-Atomen vor, wobei ein Teil des Kohlenstoffs mit weiteren Elementen, insbesondere mit Wasserstoff verbunden sein kann. Bezüglich der mechanischen Eigenschaften können die amorphen Kohlenstoff-Phasen als ein amorphes Netzwerk aus Kohlenstoffatomen mit einer Mischung dreier verschiedener Bindungstypen angesehen werden: die Bindungen zwischen zwei  $sp^2$ -hybridisierten Kohlenstoffatomen („graphitähnliche“ Bindungen), Bindungen zwischen  $sp^3$ -hybridisierten Kohlenstoffatomen („diamantähnliche“ Bindungen) und Kohlenstoff-Wasserstoff-Bindungen. Bei einem signifikanten Anteil an  $sp^3$ -hybridisiertem Kohlenstoff werden die zugehörigen Kohlenstoffschichten als „diamantartig“ bezeichnet, wobei die Bezeichnung „diamantartiger Kohlenstoff“ (auch „diamantähnlicher Kohlenstoff“) als Sammelbegriff für ein breites Spektrum verschiedener Kohlenstoffbeschichtungen verwendet wird (zur Einteilung und Nomenklatur siehe VDI-Richtlinie 2840 „Kohlenstoffschichten - Grundlagen, Schichttypen und Eigenschaften“). Der diamantartige Charakter, insbesondere die hohe Härte und der hohe Elastizitätsmodul dieser Schichten ergibt sich aus dem Anteil an  $sp^3$ -Kohlenstoff-Kohlenstoff-Bindungen. Bei einem hohen Anteil an  $sp^3$ -hybridisiertem Kohlen-

stoff, tritt eine spezifische Form des DLC auf, der sogenannte tetraedrische amorphe Kohlenstoff. Bei Beschichtungen wird hier zwischen tetraedrischen wasserstofffreien amorphen Kohlenstoffschichten (abgekürzt ta-C) und tetraedrischen wasserstoffhaltigen amorphen Kohlenstoffschichten (ta-C:H) unterschieden (siehe dazu VDI-Richtlinie 2840“).

**[0004]** Die Anwendung solcher Beschichtungen auf Motorelemente wie Einspritzdüsen, Tassenstößel oder Kolbenbolzen verleihen den Bauteilen hervorragende Reibungseigenschaften, geringe Adhäsion, hohe Oberflächenhärte und bieten einen erhöhten Schutz gegen abrasiven Verschleiß. Gegenüber Diamantschichten, deren Wachstum sehr hohe Temperaturen erfordert, besitzen amorphe Kohlenstoffschichten darüber hinaus den Vorteil, dass sie bei niedrigeren Temperaturen und daher entsprechend wirtschaftlicher hergestellt werden können. Zu den Nachteilen amorpher Kohlenstoffschichten zählen dagegen eine geringe mechanische Zähigkeit und hohe Druckeigenspannungen. Insbesondere letztere stellen beispielsweise einen begrenzenden Faktor für die Schichtdicke dar und erschweren es zudem, amorphe Kohlenstoffschichten in stabiler Weise auf gekrümmte Flächen aufzubringen.

**[0005]** Aus der DE 10 2004 041 235 A1 in diesem Zusammenhang eine verschleißfeste Beschichtung aus wasserstofffreiem tetraedrischen amorphen Kohlenstoff bekannt. In der WO 2017/148582 wird eine Beschichtung mit einer wasserstofffreien amorphen Kohlenstoffschicht und einer Haftschiicht aus Zirkonium beschrieben. Die Druckschrift DE 10 2004 043 550 A1 beschreibt eine Beschichtung mit einer wasserstofffreien, tetraedrischen amorphen Kohlenstoff enthaltenden Funktionsschicht und in der Gebrauchsmusterschrift AT 14701 U1 wird eine Beschichtungsquelle bzw. ein Target (Spendermaterial) beschrieben, das aus dotiertem Kohlenstoff besteht.

**[0006]** Vor diesem Hintergrund stellt sich die Aufgabe, ein Schichtsystem zur Verfügung zu stellen, das einen niedrigen Reibungskoeffizienten, hohe Verschleißbeständigkeit und niedrige Eigenspannung aufweist und das sich zur Beschichtung von gekrümmten Flächen, insbesondere von Motorkomponenten eignet.

**[0007]** Die Aufgabe wird gelöst durch ein Schichtsystem umfassend eine reibungs- und verschleißreduzierende Schutzschicht, wobei die Schutzschicht dotierten tetraedrischen amorphem Kohlenstoff aufweist.

**[0008]** Für die Herstellung von tetraedrischem amorphem Kohlenstoff ist es notwendig, einen hohen Anteil von  $sp^3$ -hybridisierten Kohlenstoffatomen zu erzeugen. Der für die Hybridisierung notwendige Elek-

tronenübergang wird dabei durch das Einbringen von Energie angeregt, wobei diese Energie dem Kohlenstoff durch Wechselwirkung mit energiereichen Partikeln, die beispielsweise bei einem Lichtbogenverdampfen oder einer Sputterdeposition, bei ionengestützten Beschichtungsverfahren oder plasmabasierten Verfahren zugeführt werden. Die Einwirkung dieser energiereichen Teilchen führt jedoch gleichzeitig zu Verzerrungen der Struktur des Kohlenstoffnetzwerks und erzeugt hohe mechanische Druckeigenstressungen, die insbesondere einen limitierenden Faktor für die Schichtdicke darstellen. Zusätzlich ist die Haftung der mechanisch verspannten Schichten auf einem Substrat vermindert, da die Spannungen dazu tendieren, die Schicht zu deformieren, so dass es unter tribologischer Belastung zu einer Ablösung oder einem Aufreißen der Schicht kommen kann. Das Aufbringen der Schicht auf gekrümmte Bauteilflächen wird zusätzlich dadurch erschwert, dass der Schicht durch die geometrische Form des Substrats eine vorgegebene Deformation aufgezwungen wird. Durch die erfindungsgemäße Dotierung des tetraedrischen amorphen Kohlenstoffs lässt sich eine wesentliche Reduktion der Druckeigenstressungen erreichen und so ein Schichtsystem herstellen, das auch auf gekrümmten Flächen eine ausreichende Schichtdicke und eine gute Haftfestigkeit aufweist. Durch die ausgezeichneten reibungs- und verschleißmindernden Eigenschaften des tetraedrischen amorphen Kohlenstoffs sind solche Beschichtungen in besonderer Weise für tribologisch stark beanspruchte Flächen von Motorteilen, wie beispielsweise den Oberflächen von Rollelementen in der Ventilsteuerung geeignet.

**[0009]** Vorzugsweise liegt die Dicke der Schutzschicht im Bereich von 0,1 µm bis maximal 45 µm, vorzugsweise im Bereich von 0,1 µm bis 15 µm, besonders bevorzugt im Bereich von 0,1 µm bis 10 µm und ganz besonders bevorzugt im Bereich von 0,1 µm bis 5 µm.

**[0010]** Gemäß einer vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung weist die Schutzschicht einen oder mehrere der folgenden Dotierstoffe auf: Chrom, Molybdän, Wolfram, Silizium, Kupfer, Niob, Zirkonium, Vanadium, Nickel, Eisen, Silber, Hafnium, Fluor, Sauerstoff, Wasserstoff, Bor, Stickstoff. Insbesondere die Dotierung mit Metallen hat sich als eine wirksame Maßnahme zur Reduzierung der Druckeigenstressungen herausgestellt. Neben der Reduzierung der Druckeigenstressungen lassen sich durch geeignet gewählte Dotierelemente weitere Eigenschaften der Schutzschicht gezielt verbessern. Insbesondere die Dotierung mit Fluor, Silizium und/oder Kupfer führt zu einer erheblichen Verbesserung der tribologischen Eigenschaften der tetraedrischen amorphen Kohlenstoffschichten. Die Dotierung mit Silizium und Wasserstoff erzeugt eine Schutzschicht, die beim Gleitkontakt mit Stahl einen Reibungskoeffizienten aufweist, der durch Feuchtigkeit nur unbedeutend reduziert

wird. Weiterhin weisen mit Silizium und Wasserstoff versetzte tetraedrische amorphe Kohlenstoffschichten eine erhöhte thermische Stabilität auf. Die Dotierung mit Bor in Verbindung mit Fluor erzeugt Schutzschichten, die eine Kombination aus hoher Härte und hydrophoben Eigenschaften zeigen und die Zugabe von Wolfram kann zu einer signifikanten Reibungsreduzierung führen. Ein weiterer möglicher Dotierstoff ist Stickstoff, um der Schutzschicht einen geringeren Reibungskoeffizienten und eine verlängerte Lebensdauer zu verleihen.

**[0011]** Gemäß einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung enthält die Schutzschicht den Dotierstoff oder die Dotierstoffe in einer jeweiligen Konzentration im Bereich von 0,05 at.-% bis 15 at.-%. Vorzugsweise liegt die jeweilige Konzentration im Bereich von 0,2 at.-% bis 10 at.-% und besonders bevorzugt im Bereich von 0,2 at.-% bis 5 at.-%.

**[0012]** Gemäß einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung weist das Schichtsystem eine Haftschiicht auf, wobei die Haftschiicht zwischen einem Substrat und der Schutzschicht anzuordnen ist. Um ein Ablösen der Schutzschicht durch die Druckeigenstressungen der tetraedrischen amorphen Kohlenstoffschicht zu verhindern, lässt sich die Adhäsion an einem Substrat mit einer geeignet gewählten Haftschiicht zwischen dem Substrat und der Schutzschicht verbessern.

**[0013]** Gemäß einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung weist die Haftschiicht Chrom und/oder Titan und/oder Wolfram und/oder Zirkonium und/oder Molybdän und/oder Chromnitrid und/oder Titanitrid und/oder Wolframnitrid und/oder Molybdännitrid und oder Zirkoniumnitrid auf. Durch das Aufbringen einer Haftschiicht aus den vorgenannten Materialien lässt sich die Haftfestigkeit der Schutzschicht auf dem Substrat deutlich verbessern und so für die Anwendung bei Bauteilen unter tribologischer Belastung nutzbar machen. Durch eine metallische Haftschiicht, vorzugsweise aus Titan oder Chrom, lässt sich insbesondere die Adhäsion auf Stahl deutlich verbessern.

**[0014]** Gemäß einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung weist die Haftschiicht eine Schichtdicke im Bereich von 0,001 µm bis 2,0 µm auf. Vorzugsweise liegt die Schichtdicke im Bereich von 0,001 µm bis 1,0 µm, besonders bevorzugt im Bereich von 0,001 µm bis 0,5 µm.

**[0015]** Gemäß einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung weist das Schichtsystem eine Zwischenschicht auf, wobei die Zwischenschicht zwischen der Haftschiicht und der Schutzschicht angeordnet ist und insbesondere eine Schichtdicke im Bereich von 0,001 µm bis 1,0 µm aufweist. Durch die Zwischenschicht lässt sich vorteilhafterweise die

Adhäsion zwischen der Schutzschicht und der Haftschiicht verbessern und kann sowohl Metalle, Übergangsmetalle oder Nichtmetalle enthalten. Die Zwischenschicht kann in einem getrennten Wachstumsschritt abgeschieden werden oder beispielsweise durch Karbidbildung an der Grenzfläche zwischen Haftschiicht und Kohlenstoffschiicht erzeugt werden. Vorzugsweise liegt die Schichtdicke im Bereich von 0,001  $\mu\text{m}$  bis 0,5  $\mu\text{m}$ , besonders bevorzugt im Bereich von 0,001  $\mu\text{m}$  bis 0,05  $\mu\text{m}$ .

**[0016]** Gemäß einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung besteht die Schutzschicht aus dotiertem tetraedrischem amorphem Kohlenstoff. Bei dieser Ausführungsform wird die tetraedrische amorphe Kohlenstoffschiicht direkt auf einem Substrat aufgebracht und das Schichtsystem weist keine zusätzliche Haft- oder Zwischenschicht auf. Auf diese Weise lässt sich vorteilhafterweise eine besonders einfache Prozessführung realisieren, ohne dass für die Herstellung der Schutzschicht getrennte Wachstumsschritte für unterschiedliche Schichten notwendig sind.

**[0017]** Gemäß einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung weist die Schutzschicht eine oder mehrere Teilschichten aus dotiertem tetraedrischem amorphem Kohlenstoff und eine oder mehrere Teilschichten aus undotiertem tetraedrischem amorphem Kohlenstoff auf, wobei die dotierten und undotierten Teilschichten einander abwechseln. Durch die Struktur aus alternierend dotierten und undotierten Schichten lassen sich die mechanischen Eigenschaften gezielt positiv beeinflussen. So wird beispielsweise bei einer derartig geschichteten Struktur die Ausbreitung von Materialrissen unterdrückt und so die Zähigkeit der Schutzschicht verbessert. Die Eigenschaften der Mehrschichtstruktur können durch den Dotierungsgrad und die Anzahl und Dicke der Teilschichten beeinflusst werden.

**[0018]** Gemäß einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung enthält die Schutzschicht Sauerstoff in einer Konzentration im Bereich von 0,1 at.-% bis 3,0 at.-% und/oder enthält Wasserstoff mit einem Stoffmengenanteil im Bereich von 0,1 bis 15 at.-% und/oder enthält  $\text{sp}^3$ -hybridisierten Kohlenstoff mit einem Stoffmengenanteil von mindestens 25 % und/oder weist eine Härte auf, die größer als 30 GPa ist. Die Angabe der Härte bezieht sich auf eine Messung mittels Nanoindentierung gemäß DIN EN ISO 14577.

**[0019]** Ein weiterer Gegenstand der Erfindung ist ein Rollelement, insbesondere eine Kurvenrolle, beispielsweise eine Nockenrolle, wobei auf einer Lauffläche des Rollelements und/oder auf einer oder mehreren Seitenflächen des Rollelements eine Ausführungsform des erfindungsgemäßen Schichtsystems ausgebildet ist. Derartige Rollelemente werden im Ventiltrieb von Verbrennungsmotoren einge-

setzt, beispielsweise als Teil eines Rollenschlepphebels. Der Schlepphebel dient bei Verbrennungsmotoren als Übertragungselement zwischen Nocken und Stößelstange. Der Abgriff am Nocken erfolgt im Falle von Rollenschlepphebeln über Kurvenrollen bzw. Nockenrollen. Durch Aufbringen des erfindungsgemäßen Schichtsystems auf die Oberfläche lassen sich Verschleißerscheinungen aufgrund der tribologischen Beanspruchung der Rollenfläche vorteilhafterweise vermindern sowie die Reibverlusten reduzieren.

**[0020]** Ein weiterer Gegenstand der Erfindung ist ein Verfahren zur Herstellung des erfindungsgemäßen Schichtsystems wobei auf einem Substrat eine dotierten tetraedrischen amorphen Kohlenstoff aufweisende Schutzschicht aufgebracht wird, wobei die Schutzschicht durch physikalische Gasphasenabscheidung mittels Lichtbogenverdampfen (Arc-Verfahren) und/oder durch Hochleistungsimpulsmagnetron Sputtern (englisch: High Power Impulse Magnetron Sputtering, HiPIMS, oder High Power Pulsed Magnetron Sputtering, HPPMS) aufgebracht wird, wobei mindestens ein Dotierstoff über eine Gasphase in die Schutzschicht eingebracht wird und/oder ein Targetmaterial (Spendermaterial) aus dotiertem Kohlenstoff eingesetzt wird und/oder der mindestens eine Dotierstoff durch Co-Sputtern in die Schutzschicht eingebracht wird.

**[0021]** Weitere Einzelheiten und Vorteile der Erfindung sollen nachfolgend anhand des in den Zeichnungen dargestellten Ausführungsbeispiels erläutert werden. Hierin zeigt:

**Fig. 1a** ein Ausführungsbeispiel des erfindungsgemäßen Schichtsystems auf einem Substrat in einer schematischen Darstellung;

**Fig. 1b** ein Ausführungsbeispiel des erfindungsgemäßen Schichtsystems auf einem Substrat in einer schematischen Darstellung;

**Fig. 2a** ein Ausführungsbeispiel des erfindungsgemäßen Schichtsystems mit einer Haftschiicht auf einem Substrat in einer schematischen Darstellung;

**Fig. 2b** ein Ausführungsbeispiel des erfindungsgemäßen Schichtsystems mit einer Haftschiicht auf einem Substrat in einer schematischen Darstellung;

**Fig. 3a** ein Ausführungsbeispiel des erfindungsgemäßen Schichtsystems mit einer Zwischenschicht auf einem Substrat in einer schematischen Darstellung;

**Fig. 3b** ein Ausführungsbeispiel des erfindungsgemäßen Schichtsystems mit einer Zwischenschicht auf einem Substrat in einer schematischen Darstellung;

**Fig. 4a** ein Ausführungsbeispiel des erfindungsgemäßen Schichtsystems mit einer Haftschrift und einer Zwischenschicht auf einem Substrat in einer schematischen Darstellung;

**Fig. 4b** ein Ausführungsbeispiel des erfindungsgemäßen Schichtsystems mit einer Haftschrift und einer Zwischenschicht auf einem Substrat in einer schematischen Darstellung;

**Fig. 5** ein Ausführungsbeispiel des erfindungsgemäßen Rollelements in einer schematischen Darstellung;

**[0022]** In dem in **Fig. 1a** dargestellten Ausführungsbeispiel des erfindungsgemäßen Schichtsystems **1** besteht dieses aus der Schutzschicht **2**, die aus einer homogenen Schicht aus dotiertem tetraedrischem amorphen Kohlenstoff **4** gebildet ist, die unmittelbar auf einem Substrat **3** aufgebracht ist.

**[0023]** Bei dem in **Fig. 1b** dargestellten Ausführungsbeispiel besteht die Schutzschicht **2** aus einer Abfolge von mehreren Teilschichten **4a, 5** wobei unmittelbar auf dem Substrat **3** zunächst eine Teilschicht **4a** aus einem dotierten tetraedrischen amorphen Kohlenstoff **4** aufgebracht ist, auf der wiederum eine Teilschicht **5** aus einem undotierten tetraedrischen amorphen Kohlenstoff angeordnet ist. Der Wechsel aus dotierten und undotierten Teilschichten **4a, 5** setzt sich bis zur obersten Teilschicht fort. Bei den hier und in den **Fig. 2b, Fig. 3b** und **Fig. 4b** dargestellten Schichtsystemen **1** handelt es sich um beispielhafte Darstellungen. Die Abfolge aus dotierten und undotierten Teilschichten **4a, 5** kann im Prinzip eine beliebige Anzahl von Teilschichten **4a, 5** enthalten.

**[0024]** In dem in **Fig. 2a** dargestellten Ausführungsbeispiel ist zwischen dem Substrat **3** und der Schutzschicht **2** eine Haftschrift **6** angeordnet, die die Anbindung der Schutzschicht **2** an das Substrat **3** verbessert und zusammen mit der Schutzschicht **2** das Schichtsystem **1** bildet.

**[0025]** In dem in **Fig. 2b** dargestellten Ausführungsbeispiel ist zwischen der Schutzschicht **2**, die eine abwechselnde Abfolge von Teilschichten **4a** aus einem dotierten tetraedrischen amorphen Kohlenstoff **4** und von Teilschichten **5** aus einem undotierten tetraedrischen amorphen Kohlenstoff umfasst, und dem Substrat **3** eine Haftschrift **6** angeordnet.

**[0026]** In dem in **Fig. 3a** dargestellten Ausführungsbeispiel ist zwischen einem Substrat **3** und der Schutzschicht **2** aus dotiertem tetraedrischem amorphen Kohlenstoff **4** eine Zwischenschicht **7** angeordnet, die zusammen mit der Schutzschicht **2** das Schichtsystem **1** bildet.

**[0027]** In dem in **Fig. 3b** dargestellten Ausführungsbeispiel ist zwischen einer Schutzschicht **2**, welche eine abwechselnde Abfolge von Teilschichten **4a** aus einem dotierten tetraedrischen amorphen Kohlenstoff **4** und von Teilschichten **5** aus einem undotierten tetraedrischen amorphen Kohlenstoff aufweist, eine Zwischenschicht **7** angeordnet, die zusammen mit den Teilschichten **4a, 5** das, auf dem Substrat **3** aufgebraute Schichtsystem **1** bildet.

**[0028]** In dem in **Fig. 4a** dargestellten Ausführungsbeispiel sind zwischen dem Substrat **3** und der Schutzschicht **2** aus dotiertem tetraedrischem amorphen Kohlenstoff **4** eine Haftschrift **6** und eine Zwischenschicht **7** angeordnet, die zusammen mit der Schutzschicht **2** das Schichtsystem **1** bilden. Die Haftschrift **6** verbessert dabei die Anbindung der Zwischenschicht **7** an das Substrat **3**, während die Zwischenschicht **7** wiederum als Haftvermittler zwischen der Haftschrift **6** und der Schutzschicht **2** fungiert. Die Zwischenschicht **7** kann beim Herstellungsprozess entweder separat nach der Haftschrift **6** und vor der Schutzschicht **2** abgeschieden werden oder beispielsweise durch eine Reaktion zwischen der Haftschrift **6** und der Schutzschicht **2** oder durch eine Implantation von Kohlenstoff in die Haftschrift **6** gebildet werden.

**[0029]** In dem in **Fig. 4b** dargestellten Ausführungsbeispiel sind zwischen der Schutzschicht **2**, welche eine abwechselnde Abfolge von Teilschichten **4a** aus einem dotierten tetraedrischem amorphen Kohlenstoff **4** und von Teilschichten **5** aus einem undotierten tetraedrischen amorphen Kohlenstoff aufweist, eine Haftschrift **6** und eine Zwischenschicht **7** angeordnet, die analog zu **Fig. 4a** die Anbindung an das Substrat **3** verbessern.

**[0030]** Bei dem in **Fig. 5** dargestellten Rollelement **8** ist die Lauffläche **9** mit dem erfindungsgemäßen Schichtsystem **1** versehen, um die reibungs- und verschleißmindernden Eigenschaften der Schutzschicht **2** für den Einsatz des Rollelements **8** als Teil der Ventilsteuerung eines Verbrennungsmotors nutzbar zu machen. Optional können auch die Seitenflächen **10, 11** mit dem erfindungsgemäßen Schichtsystem **1** versehen sein.

**[0031]** Das vorstehend beschriebene Rollelement **8** ist insbesondere eine Kurvenrolle **8**, wobei auf der Lauffläche **9** des Rollelements **8** und/oder auf einer oder mehreren Seitenflächen **10, 11** des Rollelements **8** eine Ausführungsform des erfindungsgemäßen Schichtsystems **1** ausgebildet ist.

**[0032]** Die vorstehend beschriebenen Schichtsysteme **1** und das vorstehend beschriebene Rollelement **8** können mit einer Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens hergestellt werden, bei dem auf einem Substrat **3** oder der Lauffläche **9** und/

oder den Seitenflächen **10**, **11**, eine Schutzschicht **2** umfassend dotierten tetraedrigen amorphen Kohlenstoff **4** aufgebracht wird, wobei die Schutzschicht **2** durch physikalische Gasphasenabscheidung mittels Lichtbogenverdampfen und/oder Hochleistungsimpulsmagnetronspütern aufgebracht wird, wobei mindestens ein Dotierstoff über eine Gasphase in die Schutzschicht eingebracht wird und/oder ein Target aus dotiertem Kohlenstoff eingesetzt wird und/oder der mindestens eine Dotierstoff durch Co-Sputtern in die Schutzschicht **2** eingebracht wird.

#### Bezugszeichenliste

- |           |   |
|-----------|---|
| <b>1</b>  | Schichtsystem                                 |
| <b>2</b>  | Schutzschicht                                 |
| <b>3</b>  | Substrat                                      |
| <b>4</b>  | dotierter tetraedrisch amorpher Kohlenstoff   |
| <b>5</b>  | undotierter tetraedrisch amorpher Kohlenstoff |
| <b>6</b>  | Haftschicht                                   |
| <b>7</b>  | Zwischenschicht                               |
| <b>8</b>  | Rollelement                                   |
| <b>9</b>  | Lauffläche                                    |
| <b>10</b> | erste Seitenfläche                            |
| <b>11</b> | zweite Seitenfläche                           |

**ZITATE ENHALTEN IN DER BESCHREIBUNG**

*Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde automatisiert erzeugt und ist ausschließlich zur besseren Information des Lesers aufgenommen. Die Liste ist nicht Bestandteil der deutschen Patent- bzw. Gebrauchsmusteranmeldung. Das DPMA übernimmt keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.*

**Zitierte Patentliteratur**

- DE 102004041235 A1 [0005]
- WO 2017/148582 [0005]
- DE 102004043550 A1 [0005]
- AT 14701 U1 [0005]

**Zitierte Nicht-Patentliteratur**

- DIN EN ISO 14577 [0018]

### Patentansprüche

1. Schichtsystem (1), umfassend eine reibungs- und verschleißreduzierende Schutzschicht (2), **dadurch gekennzeichnet**, dass die Schutzschicht (2) dotierten tetraedrischen amorphen Kohlenstoff (4) aufweist.

2. Schichtsystem (1) gemäß Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Schutzschicht (2) einen oder mehrere der folgenden Dotierstoffe aufweist: Chrom, Molybdän, Wolfram, Silizium, Kupfer, Niob, Zirkonium, Vanadium, Nickel, Eisen, Silber, Hafnium, Fluor, Sauerstoff, Wasserstoff, Bor, Stickstoff.

3. Schichtsystem (1) gemäß Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Schutzschicht (2) den Dotierstoff oder die Dotierstoffe in einer Konzentration im Bereich von 0,05 at.-% bis 15 at.-% enthält.

4. Schichtsystem (1) gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Schichtsystem (1) eine Haftschiicht (6) aufweist, wobei die Haftschiicht (6) zwischen einem Substrat (3) und der Schutzschicht (2) anzuordnen ist.

5. Schichtsystem (1) gemäß Anspruch 4, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Haftschiicht (6) Chrom und/oder Titan und/oder Wolfram und/oder Zirkonium und/oder Molybdän und/oder Chromnitrid und/oder Titanitrid und/oder Wolframnitrid und/oder Molybdännitrid und/ oder Zirkoniumnitrid aufweist.

6. Schichtsystem (1) gemäß Anspruch 4 oder 5, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Haftschiicht (6) eine Schichtdicke im Bereich von 0,001 µm bis 2,0 µm aufweist.

7. Schichtsystem (1) gemäß einem der Ansprüche 4 bis 6, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Schichtsystem (1) eine Zwischenschicht (7) aufweist, wobei die Zwischenschicht (7) zwischen der Haftschiicht (6) und der Schutzschicht (2) angeordnet ist und insbesondere eine Schichtdicke im Bereich von 0,001 µm bis 1,0 µm aufweist.

8. Schichtsystem (1) gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Schutzschicht (2) aus dotiertem tetraedrischen amorphen Kohlenstoff (4) besteht.

9. Schichtsystem (1) gemäß einem der Ansprüche 1 bis 7, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Schutzschicht (2) eine oder mehrere Teilschichten (4a) aus dotiertem tetraedrischen amorphen Kohlenstoff (4) und eine oder mehrere Teilschichten (5) aus undotiertem tetraedrischen amorphen Kohlenstoff aufweist, wobei die dotierten und undotierten Teilschichten (4a, 5) einander abwechseln.

10. Schichtsystem (1) gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Schutzschicht (2) Sauerstoff in einer Konzentration im Bereich von 0,1 at.-% bis 3,0 at.-% enthält und/oder Wasserstoff in einer Konzentration im Bereich von 0,1 at.-% bis 15 at.-% enthält und/oder sp<sup>3</sup>hybridisierten Kohlenstoff mit einem Stoffmengenanteil von mindestens 25 % enthält und/oder eine Härte aufweist, die größer als 30 GPa ist.

11. Rollelement (8), insbesondere eine Kurvenrolle (8), **dadurch gekennzeichnet**, dass auf der äußeren Lauffläche (9) des Rollelements (8) und/oder auf einer oder mehreren Seitenflächen (10, 11) des Rollelements (8) ein Schichtsystem (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 10 ausgebildet ist.

12. Außenring (8), **dadurch gekennzeichnet**, dass auf einem äußeren Durchmesser des Außenrings, und/oder auf einer oder mehreren Seitenflächen (10, 11) des Außenrings (8) ein Schichtsystem (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 10 ausgebildet ist.

13. Verfahren zur Herstellung eines Schichtsystems (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 10, **dadurch gekennzeichnet**, dass auf einem Substrat (3) eine dotierte tetraedrische amorphe Kohlenstoff (4) aufweisende Schutzschicht (2) aufgebracht wird, wobei die Schutzschicht (2) durch physikalische Gasphasenabscheidung mittels Lichtbogenverdampfen und/oder Hochleistungsimpulsmagnetronsputtern aufgebracht wird, wobei mindestens ein Dotierstoff über eine Gasphase in die Schutzschicht eingebracht wird und/oder ein Target aus dotiertem Kohlenstoff eingesetzt wird und/oder der mindestens eine Dotierstoff durch Co-Sputtern in die Schutzschicht (2) eingebracht wird.

Es folgen 3 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

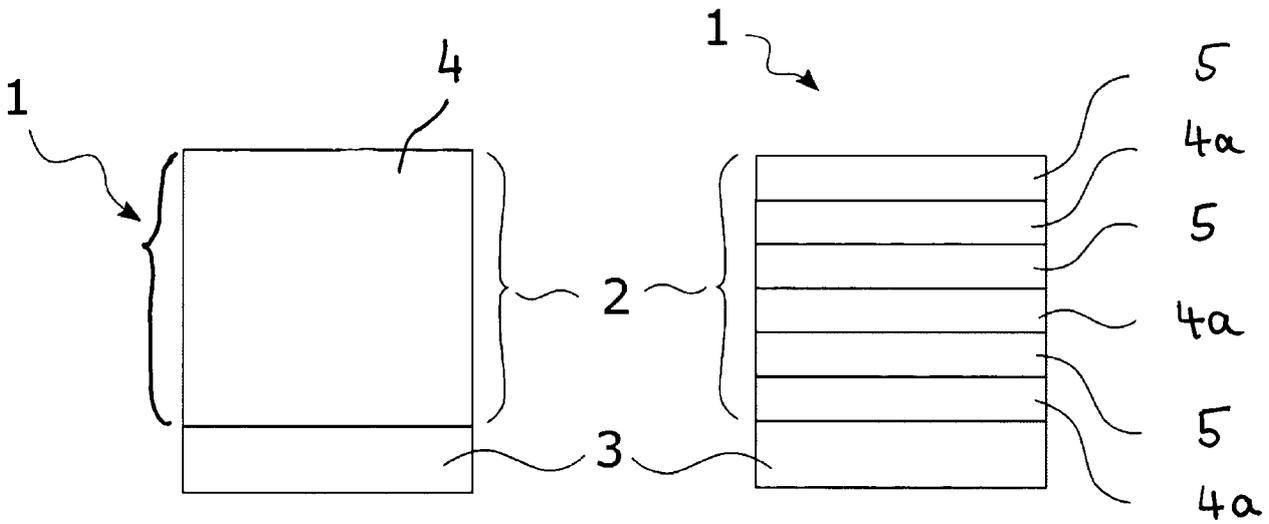


Fig. 1a

Fig. 1b

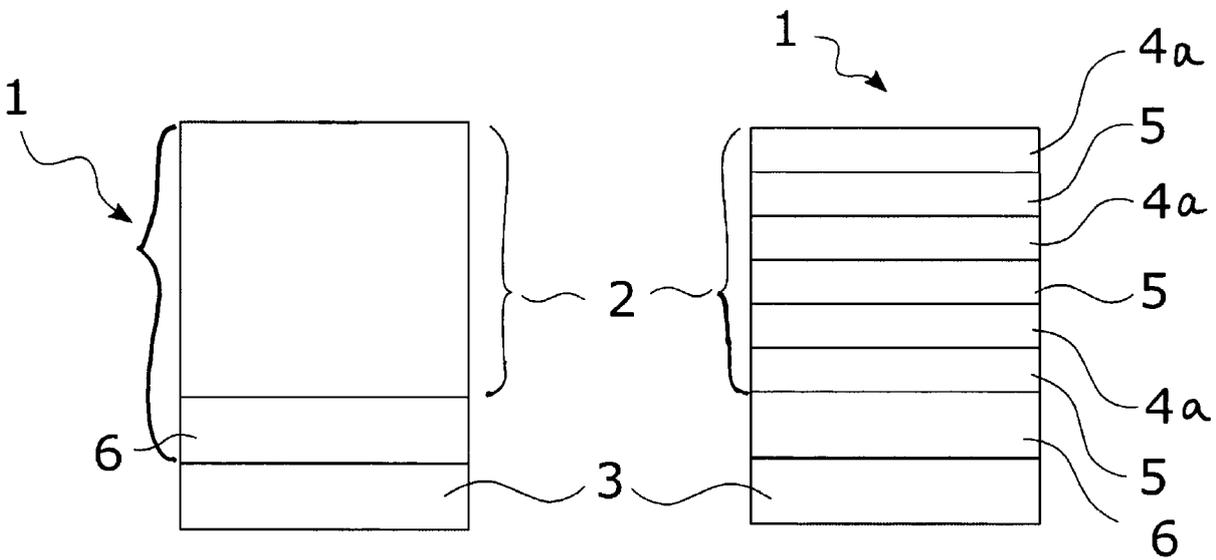


Fig. 2a

Fig. 2b

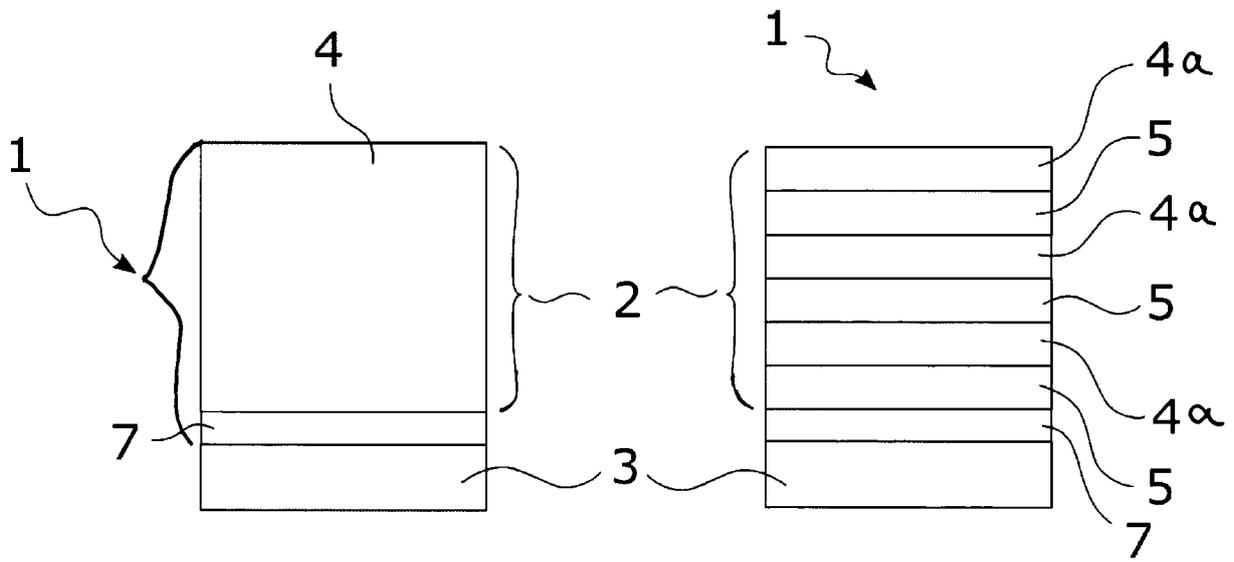


Fig.3a

Fig. 3b

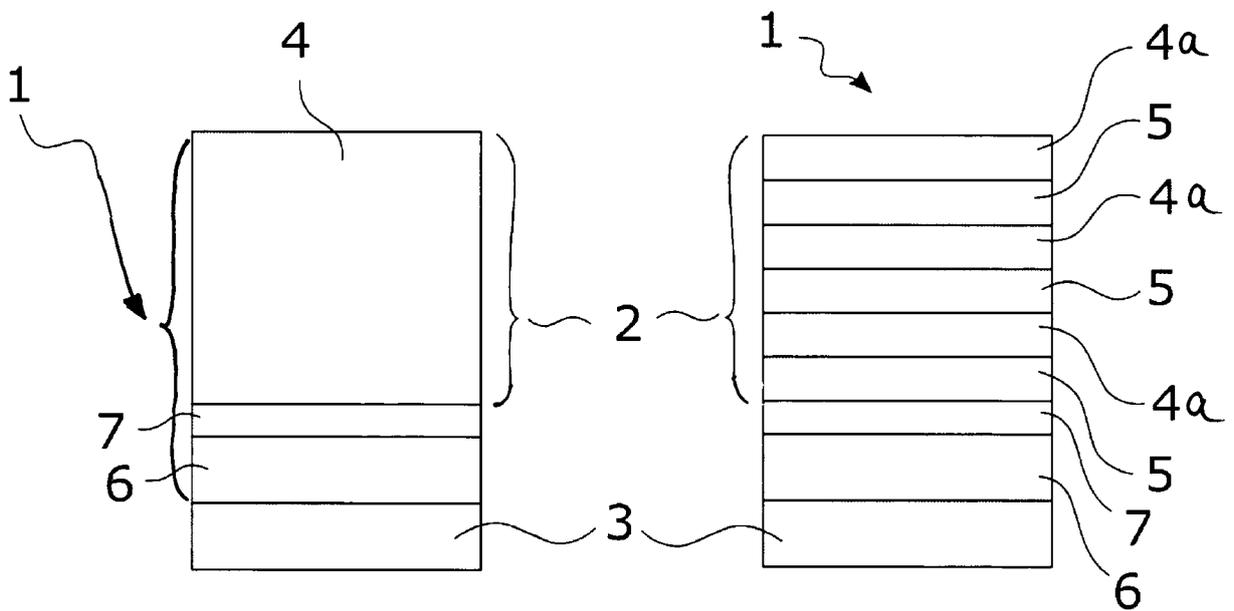


Fig.4a

Fig. 4b

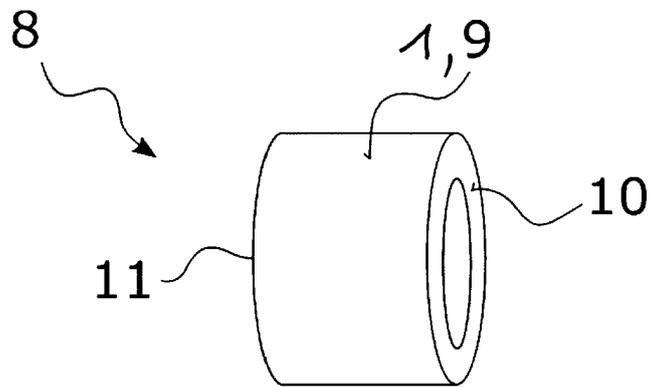


Fig. 5