

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 543 579**

51 Int. Cl.:

**C23C 16/455** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **15.02.2012 E 12000975 (8)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **20.05.2015 EP 2628822**

54 Título: **Componentes de cojinete y cojinetes aislados frente a corriente**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:  
**20.08.2015**

73 Titular/es:

**IHI HAUZER TECHNO COATING B.V. (50.0%)  
Van Heemskerckweg 22  
5928 LL Venlo, NL y  
PICOSUN OY (50.0%)**

72 Inventor/es:

**KOLEV, IVAN, DR.;  
PEETERS, PAUL, DR.;  
TAP, ROLAND, DR.;  
HAAG, BERTRAM;  
MUSAYEV, YASHAR, DR.;  
KURSAWE, SERGE, DR.;  
HOSENFELDT, TIM MATTHIAS, DR.;  
GIERL, JÜRGEN, DR. y  
KOSTAMO, JUHANA**

74 Agente/Representante:

**CARPINTERO LÓPEZ, Mario**

**ES 2 543 579 T3**

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín europeo de patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre concesión de Patentes Europeas).

## DESCRIPCIÓN

Componentes de cojinete y cojinetes aislados frente a corriente

La presente invención se refiere a componentes de cojinete y cojinetes aislados frente a corriente.

5 Los cojinetes de elementos rodantes se usan en muchas aplicaciones industriales, tal como en diversas máquinas, en juegos de ruedas y motores de tracción de vehículos sobre railes, en los motores de CC y eléctricos que se usan en trenes de accionamiento y en generadores, tales como los accionados por energía eólica.

10 Tales rodamientos pueden estar expuestos a una corriente eléctrica. En un escenario de caso más desfavorable, esto puede dañar las pistas de rodadura y elementos rodantes, lo que a su vez da lugar a que el motor o generador falle de forma prematura y sin avisar. Además de los gastos extraordinarios en que se incurre para las reparaciones, esto también quiere decir costes adicionales causados por el tiempo de parada de la máquina y las pérdidas de producción resultantes.

Una solución mucho más económica es prever el uso de cojinetes aislados frente a corriente en los productos en cuestión. Esto reduce los costes de mantenimiento y de reparación y aumenta la disponibilidad de la máquina. Todas estas son cuestiones importantes para el cliente.

15 En algunos casos, es suficiente con interrumpir el circuito eléctrico entre el alojamiento del cojinete y el eje asociado e instalar cojinetes aislados frente a corriente en una o más ubicaciones de cojinete entre el alojamiento del aparato y el eje, dependiendo de la aplicación.

Los cojinetes aislados frente a corriente, que con frecuencia están revestidos con cerámica, dan una resistencia significativamente más alta a la corriente eléctrica que los cojinetes convencionales.

20 Hablando en términos generales, es muy difícil eliminar las causas de las tensiones de cojinete que se inducen por el motor eléctrico. Es decir, expresado en términos más generales, eliminar las corrientes que tomen unas trayectorias no deseadas, estando tales corrientes relacionadas con el suministro de energía del dispositivo eléctrico en cuestión. Sin embargo, es posible evitar el daño al cojinete si el flujo de corriente puede o bien evitarse o bien por lo menos reducirse de forma significativa. Hoy en día se encuentran disponibles muchos tipos de rodamientos aislados frente a corriente. El tipo de componentes que es necesario aislar depende del tipo de tensiones involucradas y la aplicación o instalación particular.

25 Una tensión inducida que se extiende a lo largo del eje del rotor del motor eléctrico o generador produce una corriente circular que se cierra por medio de los cojinetes que soportan el eje y el alojamiento que se extiende entre los mismos. Tales tensiones de eje son a menudo el resultado de una distribución asimétrica del flujo magnético en el interior del motor. Esto es evidente, en especial, en motores con solo unos pocos pares de polos. En un caso de este tipo, es suficiente con interrumpir el flujo de corriente mediante el aislamiento de uno de los dos cojinetes. También surgen situaciones en las que existen diferencias potenciales entre el eje y el alojamiento. En este caso, fluyen corrientes eléctricas a través de cada uno de los cojinetes que soportan el eje en el mismo sentido. La causa más probable de tales diferencias potenciales es la tensión de modo común de los convertidores. Este tipo de situación podría requerir el aislamiento de ambos cojinetes.

30 El tipo de aislamiento eléctrico que va a usarse depende de la respuesta de tiempo de las tensiones relevantes. Para las tensiones de CC y las tensiones de CA de baja frecuencia, la resistencia óhmica del cojinete es la propiedad determinante para el aislamiento de corriente. Con las tensiones de CA de una frecuencia más alta, que se hallan a menudo en los convertidores, la reactancia capacitiva del cojinete es un parámetro importante a considerar cuando se selecciona la propiedad de aislamiento de corriente del cojinete. Básicamente hablando, un cojinete aislado frente a corriente actúa como una resistencia y un condensador que están conectados en paralelo. Para garantizar un buen aislamiento, la resistencia debería ser tan alta como fuera posible y la capacidad debería ser tan baja como fuera posible.

35 Con independencia de si un cojinete ha estado expuesto a corriente continua o a corriente alterna, los cambios resultantes a la superficie del cojinete son invariablemente los mismos, por lo menos hasta unas frecuencias en el intervalo de los megahercios. En ambos casos, la corriente eléctrica forma unas marcas de color gris uniformemente mate en las pistas de rodadura sobre los elementos rodantes. Estas marcas no son muy específicas y también pueden estar causadas por otros factores (por ejemplo, por una película de aceites lubricantes que contienen sustancias abrasivas). También puede encontrarse un tipo de patrón de tabla de lavar que se desarrolla a lo largo de la superficie de la pista de rodadura de un cojinete que se extiende en el sentido de rotación. Este tipo de daño, al que se hace referencia como "estriado" indica que una corriente eléctrica ha pasado a través del cojinete. Si el daño que se halla en cojinetes como resultado del flujo de corriente se examina bajo un microscopio electrónico de barrido, entonces puede mostrarse que el daño se caracteriza por unos cráteres densamente agrupados causados por fusión local y cordones de soldadura con unos diámetros de dimensiones de del orden de micrómetros que cubren las pistas de rodadura. Tal daño puede aceptarse definitivamente como prueba de que ha pasado corriente eléctrica a través del cojinete. Los cráteres y cordones de soldadura son el resultado de descargas eléctricas entre los picos microscópicos que siempre se hallan en las pistas de rodadura y sobre las superficies de los elementos

- rodantes. Cuando una chispa penetra en una película lubricante completamente desarrollada en un cuello de botella, esta da lugar a que la superficie adyacente se funda de forma momentánea. En el intervalo de rozamiento mixto (contacto de metal con metal) las superficies efectivas están temporalmente fundidas entre sí, a continuación se parte inmediatamente de nuevo, por la rotación del cojinete. En ambos casos, el material también se separa de las superficies en donde este se solidifica inmediatamente para formar cordones de soldadura. Algunos de estos cordones se mezclan con el lubricante, el resto se deposita sobre las superficies. Los cráteres y cordones de soldadura pueden aplanarse y alisarse a medida que los elementos rodantes continúan pasando por encima de los mismos. Si hay un flujo continuo de corriente, las capas superficiales habitualmente delgadas repiten el procedimiento de fusión y de solidificación una y otra vez con el transcurso del tiempo.
- 5
- 10 La mayor parte de las roturas de cojinete en la práctica resultan del "estriado" al que se hace referencia en lo que antecede que parece originarse como resultado del efecto combinado del flujo continuo de corriente eléctrica y las propiedades vibracionales de los componentes de cojinete. Cada vez que el elemento rodante entra en contacto con un cráter lo bastante grande, este queda desplazado en sentido radial; la magnitud del desplazamiento del elemento depende de la geometría interna y la velocidad del cojinete así como de las cargas que actúan sobre el cojinete.
- 15 Cuando el elemento rodante bascula de vuelta, el grosor de la película lubricante se erosiona, dando como resultado más descargas disruptivas en esta área. Se ha desencadenado un procedimiento autosostenido. Después de tiempo, la totalidad de la circunferencia de la pista de rodadura del anillo puede estar cubierta por daño de estriado. Esto conduce a unas vibraciones de cojinete más acusadas, conduciendo finalmente a una rotura de cojinete. Se hace referencia a un criterio fiable para evaluar el nivel de peligro que plantea la corriente eléctrica en la técnica como la "densidad de corriente calculada", es decir, el amperaje efectivo dividido por el área total de contacto entre los elementos rodantes y el anillo interior y el anillo exterior del cojinete. La densidad de corriente depende del tipo de cojinete y de las condiciones operativas. De acuerdo con la experiencia actual, normalmente no hay riesgo alguno de estriado cuando las densidades de corriente son de menos de aproximadamente  $0,1 A_{ef} / mm^2$ . Es probable que unas densidades que se encuentran por encima de  $1 A_{ef} / mm^2$ , no obstante, den lugar a este tipo de
- 20
- 25
- daño.
- La corriente eléctrica también afecta de forma negativa al lubricante. El aceite de base y los aditivos en el aceite tienden a oxidarse y se desarrollan grietas. Esto es claramente evidente bajo el espectro infrarrojo. Las propiedades lubricantes se ven deterioradas por el envejecimiento prematuro así como por una concentración aumentada de partículas de hierro, lo que puede dar lugar a que se sobrecaliente el cojinete.
- 30
- Teniendo en cuenta la necesidad de proporcionar cojinetes aislados frente a corriente, el concepto típico es usar la pulverización de plasma para aplicar revestimientos de cerámica de óxido. Un agente de sellado especial ayuda al revestimiento de cerámica pulverizado a conservar sus propiedades de aislamiento incluso en un entorno húmedo. El revestimiento de cerámica de óxido resultante es muy duro, resistente al desgaste, y un buen conductor térmico. A veces la pista exterior se reviste en el lado exterior y a veces la pista interior se reviste en el lado interior. Los cojinetes se fabrican por lo general de una forma tal que el grosor del revestimiento se tiene en cuenta de tal modo que los cojinetes revestidos con cerámica son intercambiables con cojinetes convencionales, por ejemplo, de acuerdo con la norma DIN 616 (ISO15). Los cojinetes pueden ser cojinetes de bolas de ranura profunda y se encuentran disponibles en unas versiones tanto abierta como sellada (con rebordes de sellado sobre uno o ambos lados). Esto posibilita que el usuario también se beneficie de las ventajas que ofrece la lubricación de por vida.
- 35
- 40 El procedimiento de pulverización de plasma comporta la generación de un arco entre dos electrodos para ionizar un gas noble que se emite a partir del soplete de plasma. El chorro de plasma resultante se usa para portar el polvo de óxido de aluminio inyectado que se funde por el calor y se pulveriza a alta velocidad sobre el anillo exterior o interior. Cuando se aplica de esta forma, la capa de óxido se adhiere extremadamente bien al material de base y a continuación se asienta y se tritura hasta el tamaño. Se encuentran disponibles unos revestimientos para corriente que garantizan una resistencia dieléctrica de por lo menos 1000 VCC o de por lo menos 500 VCC.
- 45
- Por debajo de esta tensión, la capa aislante solo permite unos niveles extremadamente bajos de flujo de corriente a través del cojinete. Esta ofrece resistencia a corrientes de CC y corrientes de CA.
- A la temperatura ambiente, la capa de cerámica pulverizada por lo general tiene una resistencia de CC de 1 a 10 GOhm dependiendo del tamaño del cojinete. A medida que aumenta la temperatura, la resistencia de CC disminuye de forma exponencial, por lo general en aproximadamente un 40 a 50 % por 10 K. No obstante, incluso a unas temperaturas operativas de 60 °C o incluso 80 °C, la capa aislante todavía tiene una resistencia de varios MOhm. De acuerdo con la ley de Ohm (es decir, I es igual a V dividido por R) esto quiere decir que las tensiones hasta 1000 V solo producen unas corrientes que se encuentran significativamente por debajo de 1 miliamperio que no son críticas para los cojinetes.
- 50
- 55
- Teniendo en cuenta la resistencia de CA, la unidad de aislamiento actúa como un condensador que puede acumular cargas. Cuando se expone a una tensión de CA, esto da lugar a que una corriente alterna fluya a través del área de contacto entre el elemento rodante y las pistas de rodadura. En el caso de una dependencia armónica con el tiempo con una frecuencia angular  $\omega$ , los valores cuadráticos medios para la corriente y la tensión se calculan usando la fórmula  $I = V \cdot \omega \cdot C$ .

- De forma análoga a la ley de Ohm  $Z = 1/\omega C$  es la reactancia capacitiva del cojinete. Un cojinete con un revestimiento de cerámica de óxido por lo general tiene una capacidad de 2 a 20 nF dependiendo del tamaño del cojinete. Por lo tanto, a una frecuencia de 50 Hz, este tiene una reactancia capacitiva de 0,15 a 1,5 MOhm que es significativamente más baja que su resistencia de CC. A unas frecuencias más altas, este valor disminuye aún más.
- 5 Sin embargo, en la mayor parte de los casos, este será significativamente más alto que la resistencia de un cojinete no aislado que, a unas tensiones más altas que 1 V es muy bajo (1 Ohm y menos). Los grosores de revestimiento que se usan varían desde algo menos de 100  $\mu\text{m}$  a unos valores promedio de 200  $\mu\text{m}$  o incluso por encima de 200  $\mu\text{m}$ .
- 10 Una condición particular que también debería observarse en la técnica anterior es que las superficies que van a revestirse han de ser cilíndricas, estas no deben estar interrumpidas por orificios de lubricación o ranuras.
- También son conocidos unos cojinetes híbridos que por lo general tienen unos anillos fabricados a partir de acero para rodamientos pero elementos rodantes cerámicos. Los elementos rodantes se encuentran esencialmente libres de desgaste y proporcionan el necesario aislamiento de corriente. Tales cojinetes tienen una resistencia más grande al paso de corriente que los cojinetes revestidos con cerámica. Incluso a altas temperaturas, la resistencia de CC se encuentra en el intervalo de los GOhm. Los cojinetes por lo general tienen una capacidad de aproximadamente 40 pF, que es más baja que para los cojinetes revestidos con cerámica por un factor de 100. Tales rodamientos tienen un rozamiento inferior a una velocidad más alta, lo que quiere decir unas temperaturas operativas reducidas. Estos también tienen unas mejores propiedades de marcha en seco.
- 15 Tales unos cojinetes híbridos por lo general también tienen una vida de la grasa más prolongada que los cojinetes tradicionales lubricados de por vida.
- A pesar de que la descripción anterior de la técnica anterior se refiere en general a cojinetes de elementos rodantes, pueden surgir problemas similares en cojinetes lineales y cojinetes de deslizamiento de tal modo que puede ser ventajoso en algunas circunstancias proporcionar un aislamiento de corriente para tales cojinetes lineales o cojinetes de deslizamiento.
- 20 Puede encontrarse técnica anterior adicional en los siguientes documentos DE 196 31 988 A1, US 5.067.826 A y US 2005/158590 A1.
- El objeto principal que subyace a la presente invención es la provisión de un componente de cojinete que tiene una alta dureza y unas altas propiedades de aislamiento de corriente, entendiéndose que la propiedad de aislamiento significa una propiedad de aislamiento de tensión mejor que 500 VCC y preferentemente mejor que 1000 VCC, para una corriente efectiva de menos de 0,1  $A_{\text{ef}}/\text{mm}^2$ , consiguiéndose estos valores para unos revestimientos significativamente más delgados que los revestimientos previamente conocidos.
- 30 Además, un objeto de la presente invención es la provisión de cojinetes aislados frente a corriente en los que las ranuras u orificios de lubricación en pistas han dejado de ser un problema en lo que respecta al aislamiento de corriente.
- 35 Un objeto adicional de la invención es la provisión de un revestimiento que puede usarse no solo sobre pistas de cojinete, sino también sobre jaulas para los elementos rodantes y sobre los propios elementos rodantes.
- Aún otro objeto de la presente invención es la provisión de revestimientos aislantes frente a corriente con una alta dureza que son relativamente económicos de aplicar y que tienen unas excelentes propiedades de aislamiento de corriente para diversos grosores de capa. También se desea producir un revestimiento aislante frente a corriente que tenga una uniformidad alta y una buena susceptibilidad de reproducción.
- 40 Con el fin de satisfacer el presente objeto, se proporciona, de acuerdo con la presente invención, un componente de cojinete, tal como se reivindica en la reivindicación 1, para un cojinete lineal de un cojinete de elementos rodantes y un cojinete de deslizamiento, por ejemplo, un componente seleccionado de entre el grupo que comprende una pista de cojinete, un elemento rodante tal como un rodillo cónico, un rodillo en forma de tonel, un rodillo de aguja, una bola de rodamiento y una jaula de elementos rodantes, teniendo el componente de cojinete por lo menos una capa que tiene una alta dureza y una alta propiedad de aislamiento de corriente aplicada mediante un procedimiento de PVD (deposición física en fase de vapor), mediante un procedimiento de CVD (deposición química en fase de vapor), o mediante un procedimiento de PECVD (deposición química en fase de vapor potenciada por plasma) (pero excluyendo un procedimiento de ALD o un procedimiento de ALD potenciada por plasma) en por lo menos una región superficial de dicho artículo, comprendiendo dicha por lo menos una capa una capa de óxido no conductor seleccionada de entre el grupo que comprende una capa de  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , una capa de TaO (más en general, una capa de  $\text{Ta}_x\text{O}_y$ ), una capa de  $\text{SiO}_2$  (más en general, una capa de  $\text{Si}_x\text{O}_y$ ), una capa mixta que comprende dos o más de los óxidos anteriores, una estructura de múltiples capas que comprende capas alternantes de dos o más de los óxidos anteriores y una capa de DLC tal como una capa de ta-C, habiendo por lo menos una capa de ALD que comprende por lo menos una capa de un material que se deposita mediante un procedimiento de ALD (deposición de capa atómica) sobre dicha por lo menos una capa que tiene una alta dureza y una alta propiedad de aislamiento de corriente, teniendo la propia capa de ALD una alta propiedad de aislamiento de corriente y comprendiendo un material o una estructura de capas seleccionada de entre el grupo de materiales que comprende una capa de  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,
- 55

una capa de  $Ta_xO_y$ , una capa de  $Si_xO_y$ , una capa de  $TiO_2$  o una capa de  $HfO_2$ , una capa mixta que comprende dos o más de los óxidos anteriores, y una estructura de múltiples capas que comprende capas alternantes de dos o más de los óxidos anteriores.

5 De acuerdo con la reivindicación 10, también se proporciona un procedimiento para revestir un componente de cojinete.

La invención se explicará a continuación con más detalle con referencia a los dibujos adjuntos, en los que se muestran:

- la figura 1 una vista esquemática de un aparato de pulverización por bombardeo iónico de cátodo para depositar revestimientos de DLC,
- 10 la figura 2 una sección transversal a través de una versión modificada de la cámara de vacío del aparato de la figura 1,
- las figuras 3A - 3C tres etapas secuenciales de un ejemplo para la deposición de una capa de ALD,
- la figura 4A un primer revestimiento de material compuesto de acuerdo con la presente invención,
- la figura 4B una vista ampliada de una sección del revestimiento de material compuesto de la figura 4A,
- 15 la figura 4C una vista ampliada del revestimiento de la figura 4A y 4B después de que la superficie se haya desgastado,
- la figura 4D una vista ampliada similar a la figura 4B pero con una capa de sellado de ALD más delgada,
- la figura 4E una vista ampliada del revestimiento de la figura 4D después de que la superficie se haya desgastado,
- 20 la figura 5 una cámara que se usa para depositar revestimientos de ALD y
- las figuras 6A - 6F ejemplos de sistemas de revestimiento que se usan para realizaciones de la presente invención.

En todos los dibujos, los mismos números de referencia se han usado para los mismos componentes o características o para componentes que tienen la misma función y la descripción que se da para cualquier componente particular no se repetirá innecesariamente a menos que haya alguna distinción de importancia. Por lo tanto, una descripción que se da una vez para un componente o característica particular será de aplicación a cualquier otro componente al que se dé el mismo número de referencia. También se entenderá que la invención incluye un procedimiento de revestimiento de un componente de cojinete usando procedimientos de PVD, de CVD, de PECVD para una primera capa y ALD para depositar una segunda capa sobre la primera capa.

30 Por medio de una introducción a los revestimientos de DLC (revestimientos de carbono similares a diamante), puede hacerse referencia a un documento titulado "*Diamond-like Carbon Coatings for tribological applications on Automotive Components*" de R. Tietema, D. Doerwald, R. Jacobs y T. Krug presentado en el *4th World Tribology Congress*, Kyoto, septiembre de 2009. Ese documento analiza la fabricación de los revestimientos de carbono similares a diamante desde el comienzo de la década de 1990. Tal como se describe allí, los primeros revestimientos de carbono similares a diamante (revestimientos de DLC) se introdujeron en el mercado para 35 componentes de automoción. Estos revestimientos posibilitaron el desarrollo de la tecnología de inyección de combustible diésel HP.

La norma alemana VDI 2840 ("*Carbon films: Basic knowledge, film types and properties*") proporciona una visión de conjunto bien definida de la pluralidad de películas de carbono, la totalidad de las cuales están indicadas como revestimientos de diamante o similares a diamante.

40 Los revestimientos importantes para las aplicaciones tribológicas son los revestimientos de "ta-C" tetragonales libres de hidrógeno y revestimientos adicionales de este tipo con hidrógeno incorporado a los que se hace referencia como revestimientos de ta-C : H. También son de importancia para las aplicaciones tribológicas los revestimientos de carbono amorfo con o sin hidrógeno incorporado a los que se hace referencia respectivamente como revestimientos de a-C y revestimientos de a-C : H. Además, se hace uso con frecuencia de unos revestimientos de a-C : H : Me que 45 incluyen material de carburo de metal tal como carburo de wolframio, los revestimientos de a-C : H pueden depositarse de una forma conocida mediante CVD y en especial mediante procedimientos de CVD potenciadas por plasma y mediante procedimientos de PVD. Los procedimientos de PVD también se usan para depósito y revestimientos de a-C : H : Me. Estos procedimientos son bien conocidos *per se* tal como se muestra mediante el documento al que se hace referencia en lo que antecede y estos no se describirán adicionalmente en el presente 50 caso.

Hasta la fecha, los revestimientos de ta-C se han fabricado usando un procedimiento de arco. Se considera útil una dureza en el intervalo de 20 GPa a 90 GPa, en particular 30 GPa a 80 GPa (el diamante tiene una dureza de 100

Gpa). No obstante, los revestimientos son bastante rugosos debido a que el procedimiento de arco conduce a la generación de macropartículas. La superficie tiene puntos rugosos debido a las macropartículas.

Por lo tanto, a pesar de que puede obtenerse un rozamiento bajo, la tasa de desgaste de la parte equivalente en el sistema tribológico es relativamente alta debido a la rugosidad superficial causada por las macropartículas.

- 5 Los revestimientos de ta-C libres de hidrógeno son de un interés particular para la presente invención debido a sus buenas propiedades de aislamiento eléctrico.

Haciendo referencia en primer lugar a la figura 1, se muestra un aparato de revestimiento de vacío 10 para revestir una pluralidad de sustratos o piezas de trabajo 12. El aparato incluye una cámara de vacío 14 de metal, que en este ejemplo tiene por lo menos uno, preferentemente dos o más, cátodos de magnetrón 16 que están provistos, cada uno, con una fuente de alimentación de impulsos de alta potencia 18 (de los cuales solo uno se muestra en el presente caso) para el fin de generar iones de un material que se encuentra presente en la fase de gas en la cámara 14, es decir, iones de gas inerte y / o iones de los materiales de los cuales están formados los cátodos respectivos. Preferentemente, dos de los cátodos 16 están dispuestos de forma opuesta para su accionamiento en un modo de magnetrón de pulverización por bombardeo iónico doble. Esto puede ser ventajoso para la deposición de revestimientos de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> mediante un magnetrón de pulverización por bombardeo iónico tal como se describirá posteriormente con más detalle. Las piezas de trabajo 12 se montan sobre unos dispositivos de soporte sobre un dispositivo de soporte en forma de una mesa 20 que rota en el sentido de la flecha 22 por medio de un motor eléctrico 24. El motor eléctrico acciona un eje 26 que está conectado a la mesa 20. El eje 26 pasa a través de una conexión pasante 28 en la base de la cámara 14 de una forma sellada y aislada que es bien conocida *per se*. Esto permite que un terminal 30 de la fuente de alimentación de polarización 32 se conecte por medio de una conexión 27 a la mesa de soporte de piezas de trabajo 20 y, por lo tanto, a las piezas de trabajo. Esta fuente de alimentación de polarización de sustrato 32 se muestra en el presente caso con las letras BPS, una abreviatura para fuente de alimentación de polarización. El BPS está equipado preferentemente con capacidad de polarización de HIPIMS, tal como se describe en la solicitud EP 07724122.2 publicada como el documento WO2007/115819, en particular en lo que respecta a la realización de las figuras 1 a 3 de ese documento. A pesar de que solo una única rotación se muestra en el presente caso para la mesa 20, los árboles 29 de los dispositivos de soporte para las piezas de trabajo 12 también pueden hacerse rotar alrededor de sus propios longitudinal ejes (rotación doble) y, si se desea, las piezas de trabajo pueden hacerse rotar alrededor de sus propios ejes (rotación triple) si los dispositivos de soporte están diseñados de forma apropiada.

- 30 La polarización también puede realizarse mediante una polarización por impulsos o una polarización de RF. La polarización por impulsos puede estar sincronizada con los impulsos de cátodo de HIPIMS (que también se describen en el documento WO2007/ 115819). Pueden conseguirse buenos resultados con la polarización de CC - HIPIMS que se describe en conexión con las figuras 1 a 3 del documento WO2007/115819.

35 En la presente realización, el alojamiento metálico de la cámara de vacío 14 está conectado a masa. El terminal o terminales positivos de la fuente o fuentes de alimentación de cátodo de impulsos elevados 18 está conectado / están conectados de forma similar al alojamiento 14 y, por lo tanto, a una masa 36 así como al terminal positivo de la fuente de alimentación de polarización 32.

40 Una fuente de tensión eléctrica 17 adicional se proporciona para su uso cuando el aparato se opera en un modo de deposición química en fase de vapor potenciada por plasma (PECVD) y se explicará posteriormente con más detalle. Esta puede estar conectada a la mesa rotatoria 20 en lugar de a la fuente de alimentación de polarización 32 por medio del conmutador 19. La fuente de tensión eléctrica 17 está adaptada para aplicar una tensión de media frecuencia periódicamente variable en el intervalo de entre de hasta 9.000 voltios, por lo general 500 a 2.500 voltios, y a una frecuencia en el intervalo entre 20 y 250 kHz a las piezas de trabajo 12 montadas sobre la mesa 20.

45 Un adaptador de conexión 40 se proporciona en la parte de arriba de la cámara de vacío 14 (pero podría encontrarse así mismo en otras ubicaciones) y puede estar ser conectado por medio de una válvula 42 y un conducto adicional 44 a un sistema de vacío para el fin de evacuar la cámara de tratamiento 14. En la práctica, este adaptador de conexión 40 es mucho más grande de lo que se muestra, este forma la conexión a un soporte de bombeo que es adecuado para generar un alto vacío en la cámara y está embridado sobre el conducto 44 o directamente sobre la cámara 14. El sistema de vacío o soporte de bombeo no se muestra pero es bien conocido en este campo.

Una línea 50, que sirve para el suministro de un gas inerte, en especial argón a la cámara de vacío 14, está conectada de forma similar a la parte de arriba de la cámara de vacío 14 por medio de una válvula 48 y un adaptador de conexión 46 adicional. Para suministrar otros gases de proceso tales como acetileno, oxígeno o nitrógeno, pueden usarse los sistemas de suministro de gas 43, 45, 47 adicionales.

- 55 Los aparatos de revestimiento de vacío del tipo que se describe en general son conocidos en la técnica anterior y con frecuencia están equipados con dos o más cátodos 16. Por ejemplo, un aparato de revestimiento de vacío es facilitado por la compañía Hauzer Techno Coating BV en el que la cámara tiene una forma generalmente cuadrada en sección transversal con un cátodo en cada uno de los cuatro lados. Este diseño tiene un lado diseñado como una

puerta que permite el acceso a la cámara 14. En otro diseño, la cámara es aproximadamente octagonal en sección transversal con dos puertas que forman, cada una, tres lados de la cámara. Cada puerta puede portar hasta tres magnetrones y los cátodos asociados 16. Un aparato de revestimiento de vacío típico incluye una pluralidad de dispositivos adicionales que no se muestran en los dibujos esquemáticos de la presente solicitud. Tales dispositivos adicionales comprenden artículos tales como pantallas de espacio oscuro, calentadores para el precalentamiento de los sustratos y a veces fuentes de haces de electrones o fuentes de plasma en diversos diseños. Una fuente de iones para su uso en el modo de deposición química en fase de vapor potenciada por plasma se muestra en la figura 1 mediante el número de referencia 21 y está situada en general sobre el eje longitudinal central de la cámara de vacío. Esta puede ser un filamento de calentamiento de resistencia que está conectado a su propia fuente de alimentación o cualquier otro diseño conocido de fuente de iones. La fuente de iones 21 está conectada a la salida negativa de una fuente de tensión continua (que no se muestra). El polo positivo de la fuente de tensión continua puede aplicarse por medio de un conmutador a la mesa 20 y, por lo tanto, a los dispositivos de soporte y las piezas de trabajo 12 durante el procedimiento de revestimiento de PECVD.

La cámara de vacío de la figura 1 también está equipada con dos bobinas 23 y 25 en la parte de arriba y en la parte de debajo de la cámara respectivamente. Estas pueden estar conectadas a una fuente de alimentación de CC o a unas fuentes de alimentación de CC respectivas, estas operan como bobinas de Helmholtz y potencian el campo magnético a lo largo del eje de la cámara. La corriente fluye a través de cada una de las bobinas 23 y 25 en el mismo sentido. Se conoce que la intensidad del plasma y la corriente que fluye en las piezas de trabajo 12 son proporcionales a la corriente que fluye en las bobinas 23 y 25 y, por lo tanto, al campo magnético que se genera de ese modo.

También es posible proveer cátodos de arco con unas fuentes de alimentación de arco respectivas en la misma cámara además de cátodos de magnetrón.

Preferentemente, los artículos individuales del aparato de revestimiento están, todos ellos, conectados a un control de proceso basado en ordenador. Esto hace posible coordinar la totalidad de las funciones básicas de un aparato de revestimiento de vacío (sistema de bombeo de vacío, nivel de vacío (presión en la cámara de vacío), fuentes de alimentación, conmutadores, suministros de gas de proceso y control de flujo de gas, corrientes en las bobinas 23 y 25, posiciones de cualesquiera imanes posicionados de forma variable, controles de seguridad etc.). Esto también hace posible permitir que los valores específicos de todos los parámetros variables relevantes se pongan en correspondencia de forma flexible en cualquier punto en el tiempo con el revestimiento o los requisitos de proceso y producir revestimientos para unas fórmulas repetibles específicas.

Cuando se usa el aparato, se extrae aire en primer lugar de la cámara de vacío 14 mediante el sistema de bombeo de vacío por medio del conducto 44, la válvula 42 y el adaptador 40 y se suministra argón por medio de la línea 50, la válvula 48 y el adaptador de conexión 46. La cámara y las piezas de trabajo se precalientan durante la evacuación para expulsar cualesquiera gases volátiles o compuestos que se adhieren a las piezas de trabajo o las paredes de la cámara.

El gas inerte (argón), que se suministra a la cámara, siempre se ioniza hasta un punto inicial, por ejemplo, mediante radiación cósmica y se divide en iones y electrones.

Mediante la generación de una tensión de polarización negativa lo bastante alta sobre las piezas de trabajo, puede generarse una descarga luminiscente sobre las piezas de trabajo. Los iones de argón se ven atraídos hacia las piezas de trabajo y colisionan allí con el material de las piezas de trabajo, sometiendo a ataque químico de este modo las piezas de trabajo.

Como alternativa, los iones de Ar pueden generarse mediante una fuente de plasma. Los iones generados se ven atraídos hacia las piezas de trabajo 12 por la tensión de polarización de sustrato negativa y someten a ataque químico las piezas de trabajo 12.

Tan pronto como se ha llevado a cabo el tratamiento de ataque químico, el modo de revestimiento puede conmutarse a encendido. Para una descarga de pulverización por bombardeo iónico, los cátodos se activarán durante la deposición. Los iones de Ar colisionan con el objetivo y echan átomos del objetivo. Los electrones se eyectan del objetivo debido a la pulverización por bombardeo iónico y se aceleran por el gradiente de tensión de espacio oscuro. Con su energía, estos pueden colisionar con átomos de Ar, en donde se emitirán electrones secundarios y ayudarán a mantener la descarga. Cada uno de los cátodos está provisto con un sistema de imanes (que no se muestra en la figura 1) que es bien conocido *per se* y que normalmente genera un túnel magnético en forma de un lazo cerrado que se extiende a lo largo de la superficie del cátodo asociado. Este túnel que se forma como un lazo cerrado fuerza que los electrones se muevan alrededor del lazo y colisionen con átomos de argón dando lugar a una ionización adicional en la atmósfera de gas de la cámara de vacío 14. Esto a su vez da lugar a una ionización adicional en la cámara a partir del material del cátodo asociado y la generación de iones de argón adicionales. Durante la deposición, estos iones pueden verse atraídos hacia los sustratos por la tensión de polarización negativa aplicada de por ejemplo, 10 V a 1200 V y golpear la superficie de las piezas de trabajo con una energía apropiada para controlar las propiedades del revestimiento.

En el caso de una descarga de HIPIMS, es efectivo un modo de descarga diferente. El número de iones aumenta de forma drástica y, como consecuencia, las partículas de material objetivo echadas del objetivo se ionizarán. Este no es el caso para una descarga de pulverización por bombardeo iónico normal. Como consecuencia, así mismo los gases presentes en la cámara se ionizarán sumamente. Esto es particularmente beneficioso cuando se aplican dopantes.

La fuente de alimentación para el cátodo o cátodos da lugar a que un flujo de iones del material del cátodo se mueva al espacio ocupado por las piezas de trabajo 12 y las revista con el material del cátodo respectivo. La estructura del revestimiento se ve influenciada por la tensión de polarización negativa aplicada que tiene influencia sobre el movimiento de los iones hacia las piezas de trabajo.

Los procedimientos de pulverización por bombardeo iónico son conocidos en diversas formas. Existen aquellos que operan con una tensión constante en los cátodos y una tensión negativa constante en las piezas de trabajo y esto se denomina magnetrón de pulverización por bombardeo iónico de CC. De forma similar, se conoce una pulverización por bombardeo iónico de CC por impulsos en la que por lo menos uno de los cátodos se opera en un modo por impulsos, es decir, se aplica al cátodo una potencia por impulsos mediante una fuente de alimentación por impulsos.

Una forma especial de una descarga por impulsos es la descarga de HIPIMS. En un modo de HIPIMS, la potencia que se suministra a cada cátodo durante un impulso de potencia puede ser mucho más alta que la potencia de un modo de pulverización por bombardeo iónico de CC debido a que hay unos intervalos sustanciales entre cada impulso. No obstante, la potencia promedio sigue siendo la misma que para la pulverización por bombardeo iónico de CC. La restricción limitante sobre la potencia es la cantidad de calor que puede disiparse en el cátodo antes de que este se sobrecaliente.

El uso de HIPIMS conduce a una ionización más alta en la cámara de vacío y a unos revestimientos mejorados. Por ejemplo, en la bien conocida pulverización por bombardeo iónico de HIPIMS (magnetron de pulverización por bombardeo iónico de impulsos de alta potencia), cada impulso de potencia puede tener una duración de, póngase por caso, 10  $\mu$ s y se usa un tiempo de repetición de impulsos de, póngase por caso, 2000  $\mu$ s, (que se corresponde con una frecuencia de repetición de impulsos de 500 Hz, es decir, una separación entre impulsos de 1990  $\mu$ s). Como otro ejemplo, la frecuencia de repetición de impulsos podría ser de 50 Hz y la duración de impulso de 100  $\mu$ s, es decir, una separación entre impulsos de 20 ms - 100  $\mu$ s. Estos valores se dan solo como un ejemplo y pueden variarse en unos límites amplios. Por ejemplo, una duración de impulso puede seleccionarse entre 10  $\mu$ s y 4 ms y un tiempo de repetición de impulsos entre 200  $\mu$ s y 1 s. Debido a que el tiempo durante el cual una potencia de pico muy alta se aplica a los cátodos es corto, la potencia promedio puede mantenerse a un nivel moderado equivalente al de un procedimiento de pulverización por bombardeo iónico de CC. Se ha hallado que, mediante la aplicación de impulsos de alta potencia en el cátodo, estos operan en un modo diferente en el que surge un grado muy alto de ionización de los iones que se eyectan de los cátodos: Este grado de ionización, que depende del material, puede encontrarse en el intervalo entre un 40 % y un 90 %. Como resultado de este alto grado de ionización, muchos más iones se ven atraídos por las piezas de trabajo y llegan allí con unas velocidades más altas que conducen a unos revestimientos más densos y hacen posible conseguir unas propiedades de revestimiento completamente diferentes y mejores de lo que es posible con la pulverización por bombardeo iónico o revestimiento por arco ordinario.

El hecho de que la potencia se suministre en picos de potencia quiere decir, no obstante, que fluyen unas corrientes relativamente altas en la fuente de alimentación de polarización durante estos picos de potencia y la captación de corriente no puede suministrarse fácilmente mediante una fuente de alimentación normal.

Con el fin de superar esta dificultad, el documento WO 2007/ 115819 describe una solución tal como se muestra en la figura 1 de la presente solicitud en conexión con la fuente de alimentación de polarización BPS (32) en la que se proporciona una fuente de tensión 60 adicional. La fuente de tensión 60 adicional se obtiene del mejor modo mediante un condensador. El condensador 60 se carga mediante una fuente de alimentación de polarización usual a la tensión de salida deseada. Cuando un impulso de potencia llega a uno de los cátodos a partir de la fuente de alimentación de HIPIMS 18 entonces esto conduce a un flujo de iones de material aumentado, esencialmente iones del material de cátodo a las piezas de trabajo 12 y esto significa un aumento de la corriente de polarización en la fuente de alimentación de polarización por medio de la mesa de soporte de piezas de trabajo 20 y la línea 27. Una fuente de alimentación de polarización normal no podría entregar una corriente de pico de este tipo cuando esta está diseñada para una operación de CC constante en lugar de una operación de HIPIMS. No obstante, el condensador 62, que se carga mediante la fuente de alimentación de polarización a la tensión deseada en los periodos entre los impulsos de potencia, es capaz de mantener la polarización deseada en los sustratos constante dentro de unos límites estrechos y de suministrar la corriente requerida, lo que solo da lugar a un pequeño grado de descarga del condensador. De esta forma, la tensión de polarización permanece por lo menos sustancialmente constante.

A modo de ejemplo, la descarga puede tener lugar de una forma tal que una tensión de polarización de -50 V cae durante los impulsos de potencia a -40 V.

En una forma simple de la presente enseñanza, uno de los cátodos 16 es un objetivo de Cr, de Ti o de Si para suministrar un material de capa de unión. Posiblemente, también podrían usarse otros materiales para una capa de unión.

5 Cuando se depositó una capa de DLC en forma de una capa de ta-C, las piezas de trabajo estaban situadas sobre una mesa 20 y se fabricaron mediante un procedimiento de arco de PVD a partir de un cátodo de carbono de una forma conocida *per se*. La cámara 10 tenía una altura de trabajo del espacio en el que están situadas las piezas de trabajo de 850 mm. Para garantizar una buena adhesión de la capa de carbono libre de hidrógeno dura sobre el sustrato, el aparato usó inicialmente una capa de adhesión de ARC convencional tal como se usa cuando se deposita ta-C por arco de carbono. Esta no se describirá con detalle debido a que la misma no es la solución preferida y el procedimiento de arco es, en cualquier caso, bien conocido.

10 La figura 2 muestra una vista de la cámara de vacío de la figura 1 en una sección transversal perpendicular con respecto al eje vertical con detalle adicional pero sin las piezas de trabajo. La cámara también tiene cuatro cátodos, uno de Cr como un material de capa de unión, uno de grafito como una fuente de carbono y dos de aluminio para formar una capa de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> mediante un magnetrón de pulverización por bombardeo iónico doble en una atmósfera de oxígeno reactiva.

15 Los dos cátodos 16 también etiquetados A1 son de aluminio y tienen unas disposiciones de imanes con polos centrales de polaridad "norte" (N) y polos exteriores de polaridad "sur" (S) para generar el bien conocido túnel magnético de un magnetrón. Los cátodos tienen forma de rectángulos alargados cuando se ven de frente y se muestran en el presente caso en una sección transversal perpendicular con respecto a su eje largo. En lugar de tener una polaridad SNS tal como se muestra, estos podrían tener una polaridad NSN tal como se muestra para las disposiciones de imanes para los cátodos de Cr y C en la parte de arriba y la parte de debajo de la figura 2. Los cátodos 16 de Cr y C entonces tendrían unas disposiciones de imanes con una polaridad SNS.

20 Las disposiciones de imanes pueden moverse en la dirección de las flechas dobles 82 respectivas hacia y lejos de los cátodos 16 respectivos. Esto es un importante parámetro de control para la operación de los cátodos de HIPIMS.

25 La idea es que los magnetrones tengan unas polaridades alternas que vayan alrededor de la cámara de vacío 14. Esto quiere decir, con un número par de cátodos, que los polos magnéticos siempre se alternan, es decir, N, S, N, S, N, S, N, S, N, S, N, S, al ir alrededor de la cámara. Esto conduce a un confinamiento magnético potenciado del plasma. También puede lograrse un confinamiento magnético similar si todos los cátodos tienen las mismas polaridades, póngase por caso NSN. Entonces es necesario operar con polos S auxiliares entre los magnetrones adyacentes para obtener una disposición N, S, N, S, N similar alrededor de la cámara. Se apreciará que las disposiciones descritas solo trabajan con un número par de magnetrones. No obstante, también es posible obtener un efecto similar con un número impar de magnetrones o bien al hacer que algunos polos sean más fuertes que otros o bien mediante el uso de polos auxiliares. Tales diseños para obtener un plasma cerrado son bien conocidos y están documentados en diversas solicitudes de patente. No es esencial que se consiga un plasma cerrado.

30 Lo que también muestra la figura 2 son cuatro bobinas rectangulares 80 que están situadas en el exterior de la cámara 14 como los imanes con los polos SNS o los polos NSN. Las bobinas forman electroimanes y tienen la misma polaridad que los imanes exteriores para los cátodos 16 respectivos. Estas bobinas electromagnéticas 80 permiten que se varíe el flujo magnético delante de los cátodos 16 y en el interior de la cámara 14.

35 El sistema de revestimiento de vacío puede operarse tal como sigue:

40 La cámara y las piezas de trabajo que están situadas en la misma se evacúan en primer lugar a una presión baja de menos de 10<sup>-4</sup> mbar, tal como 10<sup>-5</sup> mbar, y se precalientan a la vez que se suministra argón a la cámara a un caudal de, por ejemplo, 75 sccm. Durante este periodo, el calentamiento de la cámara y las piezas de trabajo expulsa la contaminación tal como gases y agua que se adsorben sobre la superficie de las piezas de trabajo y sobre las paredes de la cámara y esta contaminación se retira mediante el sistema de vacío junto con el gas ambiental restante en la cámara de vacío y una proporción del gas argón que se suministra. Por lo tanto, el gas argón purga de forma gradual la cámara de vacío. Después de esta etapa de precalentamiento y de limpieza, se efectúa una limpieza adicional durante un tratamiento de limpieza y de ataque químico. Este tratamiento se lleva a cabo sobre las piezas de trabajo 12 con iones de Ar, usando la atmósfera de argón en la cámara de vacío. Esta etapa se lleva a cabo durante un periodo de 10 a 30 minutos. La fuente de iones puede ser la fuente de iones 21 a la que se hace referencia en lo que antecede u otra fuente de iones.

50 Otra opción para la etapa de ataque químico es el uso de ataque químico de HIPIMS con un objetivo de Cr, de Ti o de Si que se opera en un modo de ataque químico de magnetrón de HIPIMS con una polarización de sustrato relativamente alta de -500 a -2000 V. Esto es bien conocido en la técnica y se describe en el documento EP-B-1260603 de Universidad Sheffield Hallam. La potencia de ataque químico de CC equivalente promediada en el tiempo típica que se aplica al cátodo de Cr, de Ti o de Si se encuentra en el intervalo de 1 a 25 kW.

55 En una segunda etapa, una capa de unión de Cr, Ti o Si se deposita sobre la superficie de metal. Esto se realiza durante aproximadamente 10 a 20 minutos a partir de un objetivo de Cr, Ti o Si que se opera en un modo de descarga de pulverización por bombardeo iónico o en un modo de revestimiento de HIPIMS. En conexión con esto, debería hacerse notar que, en el caso de usar un modo de HIPIMS, la máxima potencia promedio que puede disiparse por y, por lo tanto, aplicarse de forma eficaz a, un cátodo es la potencia que no conduce a un aumento de temperatura no deseable del cátodo o a una fusión no deseada del mismo. Por lo tanto, en una operación de

pulverización por bombardeo iónico de CC, una potencia máxima de aproximadamente 15 W / cm<sup>2</sup> podría aplicarse a un cátodo particular en el caso de objetivos indirectamente enfriados, lo que se corresponde con la carga térmica admisible del objetivo. En la operación de HIPIMS, se usa una fuente de alimentación por impulsos que por lo general podría aplicar potencia en impulsos amplios de 10 a 4000  $\mu$ s con una frecuencia de repetición de impulsos de menos de 1 Hz - 5 kHz. En un ejemplo: si el impulso se conmuta a encendido durante 20  $\mu$ s y se aplica una frecuencia de impulsos de 5 kHz, cada impulso entonces tendría una potencia asociada con este de 180 kW dando como resultado una potencia promedio de

$$P = 180 \text{ kW} \times (20 \mu\text{s} / (200 - 20) \mu\text{s}) = 20 \text{ kW}$$

Para este ejemplo, la máxima potencia de impulso que puede suministrarse durante un impulso de HIPIMS es, por lo tanto, 180 kW.

Una polarización de sustrato negativa apropiada de aproximadamente 0 a 200V debería proporcionarse durante la deposición de la capa de unión. La presión en la cámara puede encontrarse entre  $10^{-4}$  y  $10^{-3}$  mbar. La deposición de la capa de unión también puede realizarse con cátodos de arco filtrado. También es una posibilidad el uso de cátodos de arco no filtrado, pero esto es menos ventajoso debido a que este conducirá a una rugosidad adicional del revestimiento debido a la generación de gotitas.

En una tercera etapa, una capa de transición de Cr-C, de Ti-C o de Si-C se deposita durante aproximadamente 1 a 5 minutos con el accionamiento simultáneo de un objetivo de Cr, de Ti o de Si y un objetivo de grafito en un modo de HIPIMS o con cátodos de arco de carbono con una polarización de sustrato aproximadamente de -50 a -2000 V. La presión en la cámara de nuevo puede encontrarse en el intervalo entre  $10^{-4}$  y  $10^{-3}$  mbar.

Por lo tanto, el aparato de la invención por lo general comprende una pluralidad de magnetrones y los cátodos asociados, por lo menos uno de los cuales comprende un material de capa de unión (Cr, Ti o Si). El por lo menos un cátodo para el material de capa de unión también puede ser un cátodo de arco (filtrado, o no filtrado). El aparato comprende además una fuente de alimentación para la pulverización por bombardeo iónico de un material de capa de unión para la deposición del material de capa de unión sobre el sustrato o sustratos antes de la deposición de la capa de DLC. Un ejemplo típico de un material de capa de unión es, tal como ya se ha expuesto, Cr, Ti o Si. Por lo tanto, por lo general habrá un mínimo de dos cátodos, por lo general uno de Cr y uno de grafito. En la práctica, puede ser más conveniente usar un aparato de pulverización por bombardeo iónico con cuatro o más cátodos. Esto hace relativamente sencillo disponer los magnetrones y / o los cátodos de arco de tal modo que hay una disposición de polos alternos de N, S, N; (magnetron 1) S, N, S (magnetron 2); N, S, N (magnetron 3) y S, N, S (magnetron 4) dispuesta en torno a la periferia de la cámara de vacío de una forma conocida *per se* para garantizar un confinamiento magnético más fuerte del plasma (campo cerrado).

Preferentemente, la frecuencia de repetición de impulsos se encuentra en el intervalo de 1 Hz a 2 kHz, en especial en el intervalo de 1 Hz a 1,5 kHz y en particular de aproximadamente 10 a 30 Hz.

Si se usa un revestimiento de a-C : H o uno de ta-C, entonces pueden añadirse dopantes al revestimiento. A este respecto, los dopantes pueden ser metales a partir de objetivos de pulverización por bombardeo iónico que se operan con pulverización por bombardeo iónico de arco o magnetron de pulverización por bombardeo iónico o a partir de cátodos de HIPIMS (Si, Cr, Ti, W, WC). Los dopantes también pueden suministrarse a partir de precursores en fase de gas (tales como gases de hidrocarburo, nitrógeno, oxígeno, precursores que contienen Si como silano, HMDSO, TMS). La invención también comprende el uso de dopantes para el revestimiento de ta-C) siempre que los dopantes no reduzcan de forma no deseable las propiedades de aislamiento de tal modo que la densidad de corriente calculada supere el valor permisible.

Se describirá a continuación un ejemplo específico para la deposición de una capa de a-C : H, es decir, un revestimiento de capa de DLC que contiene hidrógeno:

De una forma conocida el procedimiento de tratamiento se inicia en primer lugar mediante el bombeo de la cámara hasta una presión relativamente baja por lo menos un orden de magnitud por debajo de la presión real de la cámara para el procedimiento de deposición, por ejemplo, a una presión de menos de  $10^{-4}$  tal como  $10^{-5}$  mbar. Durante esto, o a continuación de esto, la cámara y sus contenidos se someten de una forma conocida a un procedimiento de calentamiento para la impulsión de los gases volátiles en la cámara y se adsorben sobre las superficies de la cámara y los artículos allí presentes. Durante el precalentamiento, un flujo de argón se mantiene en la cámara mediante el suministro de argón a través de la entrada y la retirada del mismo por medio de la bomba de vacío. La fase de calentamiento por lo general dura aproximadamente 20 a 25 minutos.

A continuación del procedimiento de precalentamiento, el ataque químico tiene lugar una vez que se ha alcanzado una temperatura estable. El ataque químico se lleva a cabo, por ejemplo, usando un procedimiento de ataque químico de HIPIMS tal como está cubierto por la patente europea EP-B-1260603 a pesar de que también pueden usarse otros procedimientos de ataque químico. Durante el ataque químico, se suministra gas argón a la cámara de vacío, por ejemplo, a 75 sccm y se ioniza mediante el accionamiento de uno o más de los magnetrones incorporados en la misma, por ejemplo, puede usarse el magnetron con el objetivo 16 de Cr.

Si se considera necesario, la pieza de trabajo puede estar provista con una capa adhesiva, que también se denomina una capa de unión, para facilitar la adhesión del revestimiento de DLC. Una capa de unión de este tipo no es siempre necesaria. Para algunos materiales de pieza de trabajo, en especial aquellos con un contenido de Cr, Ti o Si, tal como 100 Cr6, la capa de DLC, o algunos tipos de capa de DLC podrían depositarse directamente sobre las piezas de trabajo limpiadas y sometidas a ataque químico sin el uso de una capa de unión. Si una capa adhesiva se proporciona sobre la pieza de trabajo entonces esta puede estar seleccionada de entre el grupo de elementos del Subgrupo IV, V y VI así como Si. Preferentemente, se usa una capa adhesiva de los elementos Cr o Ti que se ha hallado que es particularmente adecuada para el presente fin.

La capa adhesiva puede depositarse mediante pulverización por bombardeo iónico de arco o pulverización por bombardeo iónico de arco filtrado, pero preferentemente se deposita usando magnetrón de pulverización por bombardeo iónico a partir del objetivo de Cr 16 en la figura 2.

De nuevo, se suministra argón a la cámara de vacío. Durante esta fase, el flujo de argón es más alto que durante el precalentamiento y el ataque químico y puede estar establecido, por ejemplo, a 120 sccm. La presión en la cámara de vacío por lo general es de aproximadamente  $10^{-3}$  mbar pero puede ser hasta un orden de magnitud más baja o puede ser algo más alta que  $10^{-3}$  mbar. Una polarización negativa de aproximadamente 50 V se aplica al soporte de sustrato y la deposición de la capa de unión toma solo unos pocos minutos con aproximadamente 10 kW de potencia aplicada al cátodo (la potencia promedio si el cátodo de magnetrón se opera en el modo de HIPIMS).

También puede ser ventajoso proporcionar una capa de gradiente entre la capa adhesiva y la capa de DLC. Una capa de gradiente de este tipo puede mejorar adicionalmente la adhesión de la capa de DLC sobre la pieza de trabajo.

La idea de la capa de gradiente es reducir de forma progresiva la proporción de Cr en la capa de gradiente a la vez que se aumenta la proporción de carbono en la misma, formando de este modo carburo de cromo y permitiendo que el contenido de carbono aumente hasta que se está aplicando solo un revestimiento de DLC.

Existen varias posibilidades para depositar la capa de gradiente. Una posibilidad es operar el magnetrón con el objetivo de carbono 16 de forma simultánea al objetivo de Cr, por ejemplo, usando de nuevo pulverización por bombardeo iónico de HIPIMS. La potencia que se suministra al objetivo de Cr se reduce de forma progresiva, o se reduce en etapas, mientras que la potencia que se suministra al objetivo de C se aumenta de forma progresiva, o se aumenta en etapas. Otra posibilidad es la adición de carbono a la cámara de vacío en forma de un gas reactivo tal como acetileno o metano y aumentar de forma progresiva la cantidad de carbono presente en la atmósfera de la cámara a la vez que se reduce la potencia que se suministra al objetivo de Cr.

Otra posibilidad es usar la técnica que se describe en el documento EP-B-1272683 para la deposición de una capa adhesiva, de una capa clasificada y posteriormente una capa de DLC.

Si se usa ese procedimiento entonces, después de la deposición de parte de la capa de Cr, es decir, parte de la capa adhesiva, la polarización de sustrato se conmuta de corriente continua a media frecuencia mediante el uso del conmutador 19 para conectar la fuente de tensión eléctrica 17, que es un generador bipolar, a la mesa 20 en lugar del suministro de polarización constante 32. La fuente de tensión eléctrica se opera con una tensión de amplitud preferida de entre 500 y 2.500 V, por ejemplo, 700 V, y una frecuencia entre 20 y 250 kHz, por ejemplo, 50 kHz. La presión en la cámara de vacío por lo general es de en torno a  $10^{-3}$  mbar, pero puede ser hasta un orden de magnitud más baja o puede ser algo más alta que  $10^{-3}$  mbar. Después de aproximadamente 2 minutos, se comienza una rampa de acetileno a 50 sccm y se eleva a lo largo de un periodo de tiempo de aproximadamente 30 minutos a 350 sccm. Aproximadamente 5 minutos después de conmutar a encendido el generador de media frecuencia, la potencia del objetivo de Cr usado se reduce a 7 kW; después de otros 10 minutos, esta se reduce a 5 kW y se mantiene constante allí durante otros 2 minutos. Por lo tanto, para la generación de una capa adhesiva clasificada, puede suministrarse acetileno (o otro gas que contiene carbono) a la cámara de vacío en cantidades crecientes durante la deposición de la capa adhesiva o de unión después de que aproximadamente un tercio de esa capa se haya depositado de tal modo que la composición de la capa adhesiva o la capa de unión cambia de forma progresiva de cromo a carburo de cromo.

Una vez que se ha completado la capa de gradiente, se colocan unos tamices delante de los objetivos y estos se conmutan a apagado, mediante lo cual comienza la deposición de la capa de DLC "pura" que se construye esencialmente de átomos de carbono, de bajas cantidades de hidrógeno y de unas cantidades todavía más bajas de átomos de argón.

Para el presente fin, en el caso más simple, el procedimiento puede completarse con fuentes de vaporización conmutadas a apagado, pero por lo demás con los mismos parámetros que en el caso de la capa de gradiente anterior. No obstante, se halló que es ventajoso o bien aumentar la fracción de hidrocarburo en el flujo de gas en el curso de la deposición de la capa de DLC pura o bien bajar la fracción de gas noble o, de forma particularmente preferente, para llevar a cabo ambas medidas de forma conjunta. También en el presente caso, el uso de las bobinas 23 y 25 para formar un campo magnético longitudinal, tal como se ha descrito en lo que antecede, de nuevo tiene una importancia especial para mantener un plasma estable.

5 Durante la aplicación de la capa de DLC pura, después de la conmutación a apagado del objetivo de Cr, el suministro de media frecuencia se ajusta para permanecer constante y el flujo de argón sigue siendo el mismo, la rampa de acetileno que se comenzó durante la capa de gradiente se aumenta durante aproximadamente 10 minutos de manera uniforme hasta un flujo entre aproximadamente 200 y 400 sccm. Posteriormente, durante un periodo de tiempo de 5 minutos, el flujo de argón se reduce de forma continua a un flujo entre aproximadamente 0 y 100 sccm, por ejemplo, a 50 sccm. Durante los siguientes 55 minutos, el procedimiento se completa mientras que los ajustes siguen siendo los mismos. La presión en la cámara de vacío por lo general es de en torno a  $10^{-3}$  mbar pero puede ser hasta un orden de magnitud más baja o puede ser algo más alta que  $10^{-3}$  mbar. La bobina superior se opera con una corriente de excitación de aproximadamente 10 A y la bobina inferior con una corriente de excitación de aproximadamente un tercio de la de la bobina de arriba.

10 Por lo tanto, la deposición de la capa de DLC tiene lugar mediante un procedimiento de CVD (deposición química en fase de vapor) asistida por plasma. La ayuda por plasma proviene del plasma que se genera por la fuente de iones 21 en combinación con el vacío en la cámara y el campo magnético que se genera en la cámara mediante las bobinas superior e inferior 23 y 25 respectivamente así como las contribuciones al campo magnético de los otros imanes que se encuentran presentes o en funcionamiento tales como los imanes asociados con los magnetrones (que son operativos para generar campos magnéticos incluso si no está teniendo lugar un magnetron de pulverización por bombardeo iónico).

15 Estas condiciones conducen a una tasa de deposición relativamente alta y la ionización del plasma se asegura por la presencia del gas argón. La tasa de deposición por lo general será de aproximadamente 1 a 2 micrómetros por hora.

20 El revestimiento de DLC tiene una dureza de aproximadamente 25 GPa y un coeficiente de rozamiento de aproximadamente 0,2. Este tiene un contenido en hidrógeno de aproximadamente un 13 % y una resistencia de en torno a 500 kOhm. La adhesión del revestimiento de DLC, que puede medirse de acuerdo con el documento DVI 3824, Hoja 4, es muy buena y puede clasificarse como HF1 de acuerdo con el documento DVI 3824.

25 La rugosidad de capa de la capa de DLC tiene un valor de  $R_a = 0,01 - 0,04$ ;  $R_z$ , tal como se mide de acuerdo con la norma DIN, es  $< 0,8$ , y por lo general  $< 0,5$ .

30 Existen muchas otras posibilidades para depositar una capa de DLC sobre una pieza de trabajo de acero. Por ejemplo, algunos procedimientos posibles que pueden usarse en la presente invención se describen en diversos documentos de la técnica anterior. Por lo tanto, una técnica de deposición química en fase de vapor asistida por plasma para depositar capas alternantes de DLC y capas de silicio - DLC como un revestimiento duro con unas buenas propiedades de rozamiento y dureza así como resistencia a la corrosión se describe en el documento EP-A-651069.

35 El documento EP-A-600533 describe un procedimiento de deposición de un revestimiento de DLC sobre un sustrato de hierro con una capa de transición clasificada de  $a-Si_{1-x}C_x : H$  mediante PACVD usando gas silano enriquecido con hidrógeno para la fuente de Si y metano enriquecido con hidrógeno para la fuente de carbono. Una capa delgada de Si de 15 nm de grosor se deposita en primer lugar seguida por la capa clasificada de 25 nm de grosor, con la proporción de Si disminuyendo y la proporción de C aumentando, y se tapa mediante una capa de DLC relativamente gruesa hasta un grosor de capa total de 2,3 micrómetros.

40 El documento DE-C-19513614 también describe la fabricación de capas de DLC sobre sustratos de acero mediante un procedimiento de CVD potenciada por plasma que se opera en un intervalo de presión entre 50 - 1.000 Pa usando una capa de Si carbono clasificada delgada similar a la del documento EP-A-600533. El procedimiento de deposición usa una fuente de tensión bipolar que está conectada a las piezas de trabajo y la fuente de tensión bipolar está diseñada de tal modo que durante el procedimiento de deposición la duración de impulso positivo es más pequeña que la duración de impulso negativo. Como resultado, las capas se depositan en el intervalo de 10 nm a 10  $\mu m$  y de una dureza de entre 15 - 40 GPa.

45 Aún otro procedimiento para aplicar capas de DLC duras mediante una deposición química en fase de vapor potenciada por plasma se describe en el documento US-A- 4.728.529. Este documento US describe un procedimiento para depositar DLC a la vez que se aplica un plasma de HF, durante lo cual la formación de capa tiene lugar en un intervalo de presión de entre  $10^{-3}$  y 1 mbar usando un plasma de hidrocarburo libre de oxígeno que incluye un gas noble o hidrógeno incorporado.

50 El documento DE-A-19826259 describe unas estructuras de múltiples capas de capas de carburo de metal (carburo de titanio o carburo de cromo) que alternan con capas de  $a-C : H$  (DLC).

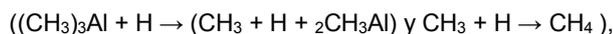
Una vez que se ha logrado un revestimiento de DLC del grosor deseado, el procedimiento de revestimiento de PVD está completado y las piezas de trabajo pueden transferirse a otra cámara de vacío tal como la figura 5 para la deposición del revestimiento de ALD.

55 Pasando en primer lugar a las figuras 3A a 3C, puede verse una secuencia de etapas para la formación de una primera capa de ALD. En la etapa de la figura 3A, se crea una pieza de trabajo o artículo 12 que tiene una superficie terminada con -O-H. Esto puede realizarse en una cámara de vacío, que se describe posteriormente con referencia

a la figura 5, mediante la admisión de agua en la cámara bajo unas condiciones de CVD (deposición química en fase de vapor), en especial bajo unas condiciones de PECVD (deposición química en fase de vapor potenciada por plasma), es decir, en la presencia de un plasma, tal como es bien conocido a partir del campo de la unión de obleas. Antes de esta etapa, el sustrato puede someterse a una limpieza y un ataque químico exhaustivos, por ejemplo, bajo

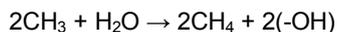
5 unas condiciones de PVD (deposición física en fase de vapor), por ejemplo, al someter la superficie a un bombardeo con iones de argón tal como se analiza en lo sucesivo con referencia a la figura 5.

Una vez que se ha formado la superficie terminada con -O-H, el agua se retira de la cámara por la bomba de vacío y el sustrato con la superficie terminada con -O-H se expone a una atmósfera de trimetil aluminio  $(\text{CH}_3)_3\text{Al}$  bajo las mismas condiciones y esto da como resultado que un átomo de Al tome el lugar del átomo de hidrógeno y que los otros dos enlaces del átomo de aluminio queden ocupados respectivamente por un grupo  $\text{CH}_3$ . Esta situación se muestra en la figura 3B. La reacción con el trimetil aluminio ha cesado ahora debido a que no existen más posibilidades de reacción química. El trimetil aluminio en exceso, junto con el  $\text{CH}_4$  que se forma mediante la reacción de trimetil aluminio con los átomos de hidrógeno de la superficie terminada con -O-H



15 se extraen mediante el sistema de vacío y la reacción se ha detenido químicamente después de la generación de solo una capa atómica (molecular).

En la siguiente etapa, se admite agua de nuevo en la cámara bajo unas condiciones de CVD o de PECVD y conduce a la siguiente reacción sobre la superficie con el Al terminado con  $\text{CH}_3$ :



20 Los radicales 2-OH se unen al aluminio para dar como resultado la situación que se muestra en la figura 3C. Estas reacciones por lo general tienen lugar en el intervalo de temperatura de 100 °C a 400 °C. El  $\text{CH}_4$  que se forma se succiona al exterior de la cámara de vacío por la bomba de vacío junto con el vapor de agua en exceso. De nuevo la reacción se detiene químicamente una vez que todos los grupos  $\text{CH}_3$  se han sustituido por grupos -OH.

Se apreciará que la situación que se muestra en la figura 3C es igual a la de la figura 3A y, por lo tanto, el procedimiento puede repetirse construyendo cada vez una capa de ALD adicional de  $\text{Al}_2\text{O}_3$ . En principio, no hay límite alguno al número de capas que pueden construirse de esta forma a pesar de que más capas significa unos tiempos de tratamiento más largos y, por lo tanto, no se proporcionan más capas de las que son necesarias. En el ejemplo dado de la deposición de capas de  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , estas son unas capas de alta calidad que son muy densas y capaces de impedir que sustancias corrosivas alcancen el sustrato 10. Debería hacerse notar que la presente invención no se limita a la deposición de capas de  $\text{Al}_2\text{O}_3$  pero puede, en principio, usarse con todos los materiales de capa que pueden desarrollarse mediante ALD incluyendo:  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , TaO,  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{Ta}_2\text{O}_5$ ,  $\text{HfO}_2$ , una capa mixta que comprende dos o más de los óxidos anteriores, o una estructura de múltiples capas que comprende capas alternantes de dos o más de los óxidos anteriores. La deposición de estos materiales mediante ALD puede realizarse usando los reactivos que se describen en la publicación de IC Knowledge "2004 IC Technology". Una aplicación particular para el procedimiento de ALD se encuentra en la fabricación de circuitos integrados y el procedimiento se describe en conexión con esto, con un cierto detalle en la publicación de IC Knowledge "2004 IC Technology". Los detalles que se describen allí pueden ser de ayuda en la obtención de la presente enseñanza y la divulgación de esa referencia a este respecto se incluye en el presente documento por referencia.

Un listado mucho más largo de revestimientos que pueden producirse mediante procedimientos de ALD puede hallarse en el documento de Riikka L. Puurunen titulado "Surface chemistry of atomic layer deposition: A case study for the trimethylaluminum / water process" que fue expedido en *Journal Of Applied Physics* 97, 121301 en 2005, páginas 121301-1 a 121301-52. Este documento da amplios detalles del procedimiento de ALD y resume el trabajo que ha sido publicado por otros en este campo. Los detalles que se describen allí pueden ser de ayuda en la obtención de la presente enseñanza y la divulgación de esa referencia a este respecto se incluye en el presente documento por referencia. Tal como confirma el documento de Puurunen al que se hace referencia en lo que antecede, la expresión deposición de capa atómica o capa de ALD es un tanto confusa. A pesar de que el procedimiento puede considerarse de forma conveniente como si cada ciclo del procedimiento se usa para depositar una o más capas, cada una esencialmente de un espesor de un átomo si el revestimiento que se usa es un revestimiento de un elemento tal como Cu, Mo, Ni, Ta, Ti o W en la lista anterior. Si el revestimiento es molecular, por ejemplo, un revestimiento de  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , entonces el nombre es, hablando en un sentido estricto, incorrecto pero se entiende a nivel internacional. Además, tal como estaca Puurunen, el crecimiento real por ciclo del procedimiento de ALD puede ser de menos de uno, debido a que no todos los sitios sobre el sustrato o sobre la capa de ALD anterior son necesariamente sitios reactivos por una diversidad de razones.

Debería hacerse notar que el procedimiento de ALD que se ha descrito en lo que antecede es un ejemplo de cómo puede tener lugar el procedimiento y no ha de entenderse en modo alguno como un ejemplo limitante. El trimetil aluminio también puede unirse "de forma simultánea" sobre dos grupos OH sobre la superficie y entonces tener solo un grupo metilo que sobresalga. Ambos tendrán lugar. Cuál tendrá lugar de forma preferente tiene que ver (de entre otros) con el grado de impedimento estérico, lo que más o menos quiere decir cuál tiene el mejor ajuste geométrico.

Otra variante del procedimiento de ALD usando trimetil aluminio y agua se describe en el documento "*Plasma Assisted Atomic Deposition of TiN films*", 23 de junio de 2004 escrito por Stephan Heil de la Universidad Técnica de Eindhoven. Los detalles que se describen allí pueden ser de ayuda en la obtención de la presente enseñanza y la divulgación de esa referencia a este respecto se incluye en el presente documento por referencia.

5 Además, se conoce la deposición de  $\text{Al}_2\text{O}_3$  mediante ALD usando oxígeno ( $\text{O}_2$ ) como un precursor. Esto es atractivo en particular debido a que el uso de agua requiere una purga significativa de la cámara de ALD. El uso de  $\text{O}_2$  para la deposición de  $\text{Al}_2\text{O}_3$  mediante ALD se describe, por ejemplo, en la tesis doctoral de Dr. Stephan Heil con fecha 29 de junio de 2008 y titulada "*Atomic layer deposition of Metal Oxide and Nitrides*". Los detalles que se describen allí pueden ser de ayuda en la obtención de la presente enseñanza y la divulgación de esa referencia a este respecto se incluye en el presente documento por referencia.

10 Un primer artículo revestido 12 fabricado de acuerdo con la presente invención se muestra en la figura 4A. El artículo, del cual solo una región superficial 110 se muestra en el presente caso y al que se hace referencia como el sustrato en lo sucesivo, tiene por lo menos una primera capa 112 que se aplica mediante un procedimiento de PVD (deposición física en fase de vapor) o mediante un procedimiento de CVD (deposición química en fase de vapor), por ejemplo, un procedimiento de PECVD (deposición química en fase de vapor potenciada por plasma) en la región superficial 110 y una segunda capa 114 que comprende una o más capas atómicas de un material eléctricamente aislante que se deposita mediante un procedimiento de ALD (deposición de capa atómica) en la misma región superficial 110.

15 La capa de PVD o de CVD 112 es una capa eléctricamente aislante tal como se ha descrito en lo que antecede con referencia a las figuras 1 y 2 y en general tiene una alta dureza y una alta resistencia al desgaste, opcionalmente con un bajo coeficiente de rozamiento. En este ejemplo, la capa 110 es una capa de DLC que se aplica directamente sobre la superficie de una pieza de trabajo de acero martensítico, es decir, sin una capa de unión o una capa clasificada entre la capa de DLC y la pieza de trabajo, a pesar de que tales capas pueden proporcionarse si se desea o si es necesario para obtener una buena adhesión de la capa de DLC y / o para evitar el descascaramiento de superficie. Las capas de ALD 114 son capas de  $\text{Al}_2\text{O}_3$ . La capa de DLC 112 por lo general tiene una estructura columnar y / o una estructura porosa que de lo contrario permitiría que sustancias corrosivas tales como líquidos o gases alcanzaran el sustrato y dieran lugar a corrosión allí.

20 Una estructura columnar y / o estructura porosa de este tipo sería, en ausencia de la capa de ALD eléctricamente aislante 114, un mal revestimiento desde el punto de vista de aislamiento eléctrico a pesar del hecho de que el propio revestimiento es un buen aislante. El punto es que la estructura columnar o porosa quiere decir que pequeñas áreas de la superficie del artículo se exponen de forma eficaz y, en particular con revestimientos delgados, pueden conducir fácilmente a unas trayectorias conductoras locales que han de evitarse. Esto se logra mediante la capa de sellado conforme en forma de capa de ALD (sistema de capa) 114.

25 En un componente de cojinete tal como un cojinete de elementos rodantes, el revestimiento se aplicaría normalmente a las superficies exteriores de la pista de cojinete exterior y / o a las superficies interiores en sentido radial de la pista de cojinete interior, pero en general no a las propias superficies de pista de rodadura que se encuentran contacto con los elementos rodantes. Existe una excepción a esto, no obstante, cuando la capa que se aplica mediante un procedimiento de PVD (deposición física en fase de vapor), mediante un procedimiento de CVD (deposición química en fase de vapor), o mediante un procedimiento de PECVD (deposición química en fase de vapor potenciada por plasma) (pero excluyendo un procedimiento de ALD o un procedimiento de ALD potenciada por plasma) tiene una alta dureza y una alta resistencia al desgaste tal como una capa de DLC debido a que entonces también podrían revestirse las pistas de rodadura de las pistas interior y / o exterior. Esto es de aplicación incluso si la capa de ALD que se aplica a la capa que se ha mencionado en lo que antecede se desgasta de la superficie de la capa que se ha mencionado en lo que antecede, debido a que la capa de ALD es solo muy delgada.

30 Los revestimientos que se aplican a las superficies exteriores de la pista de cojinete exterior y / o a las superficies interiores en sentido radial de la pista de cojinete interior no tienen necesariamente que ser extremadamente duros o resistentes al desgaste debido a que no se pretende que estos se muevan en el interior del alojamiento o sobre el eje asociado. Sin embargo, se prefieren unos revestimientos duros y resistentes al desgaste en tales ubicaciones debido a que las pistas interior y exterior pueden intercambiarse en el interior del alojamiento o sobre el eje. Debido a que los revestimientos de la presente invención tienden a ser extremadamente duros o resistentes al desgaste y también son extremadamente delgados, estos también pueden estar formados sobre las superficies de pista de rodadura si estas son lo bastante duras y resistentes al desgaste. En teoría, por lo menos el revestimiento también podría proporcionarse sobre los elementos rodantes si se desea.

35 Tal como se muestra en la figura 4A, la región superficial 110 del artículo o sustrato tiene una capa de PVD o de CVD 112 que se deposita directamente sobre la misma y la capa de ALD (sistema de capa) 114 se deposita sobre la capa de PVD o de CVD 112. La vista ampliada de la figura 4B es muy instructiva en conexión con la presente realización. En el presente caso, la vista ampliada se ha dibujado de una forma exagerada para mostrar la estructura columnar de la capa de PVD o de CVD 112. Meramente para fines de ilustración, la figura 4B ilustra los pasajes intersticiales 116 que se forman entre las columnas 118 de la capa de PVD o de CVD 112.

- La presente realización reconoce y aprovecha una importante ventaja del procedimiento de ALD, que el crecimiento de capa atómica puede tener lugar en unos huecos profundos y estrechos, es decir, en el presente caso sobre las paredes laterales de los pasajes intersticiales y sobre las paredes laterales de poros abiertos y de cualesquiera otros defectos tales como grietas. Esto quiere decir que incluso si solo se desarrollan unas pocas capas mediante ALD, estas son suficientes para sellar la capa de PVD. Si se desarrollan suficientes capas de ALD, estas pueden sellar los poros abiertos y los pasajes intersticiales tal como se muestra en la figura 4B y lograr un aislamiento eléctrico excelente.
- No obstante, esto no es necesario para que los poros abiertos, los espacios intersticiales u otros defectos se carguen completamente con material desarrollado por ALD. Es suficiente si la capa de ALD 114 solo recubre las paredes laterales de cualesquiera columnas, poros u otros defectos que se encuentran presentes. Esta situación se muestra en la figura 4D. Hablando en términos generales, es suficiente si la capa de ALD 114 comprende una pluralidad de monocapas que tienen un grosor en el intervalo de 1 nm a 50 nm. Unas capas delgadas de un grosor de 1 nm o de unos pocos nm pueden depositarse con relativa rapidez debido a que el número de repeticiones (ciclos) del procedimiento de ALD necesarias para construir la capa 114 está limitado.
- Cuando la capa de ALD conforme 114, que es en sí misma por lo general extremadamente dura, se desgasta significativamente durante el uso a continuación se gasta hasta que la superficie de la capa de PVD o de CVD queda expuesta, tal como se muestra en las figuras 4C y 4E y, a continuación de lo anterior, el desgaste es insignificante durante un largo periodo de tiempo como resultado de la capa de DLC dura. Durante este largo periodo de tiempo el sustrato 10 está protegido mediante la capa de PVD o de CVD 112 que permanece eléctricamente sellada por el material de capa de ALD que recubre o carga completamente las "aberturas" en la capa de PVD o de CVD 112.
- Por lo tanto, la realización de las figuras 4A a 4E también es beneficiosa cuando la capa de ALD se ha desgastado hasta la superficie libre de la capa de PVD o de CVD debido a que, a pesar de que las sustancias corrosivas pueden alcanzar la superficie libre de la capa de PVD o de CVD o de PECVD, estas todavía no pueden alcanzar la superficie del propio artículo.
- Naturalmente, la capa de PVD 112 de las figuras 4D y 4E (en particular) todavía tiene una estructura porosa o una estructura columnar con unos pasajes intersticiales en los que pueden penetrar sustancias corrosivas. No obstante, estos no pueden alcanzar el sustrato debido a la capa de ALD (sistema de capa) 114 que se extiende hasta la superficie real del artículo en tales pasajes.
- La capa de PVD o de CVD 112 también puede comprender un sistema de capa (que no se muestra pero que comprende una pluralidad de diferentes capas de PVD y/o de CVD o un sistema de capas alternantes o una estructura de súper red cristalina) o una capa clasificada. Tales estructuras de capa son bien conocidas *per se*.
- En la presente realización, la capa de ALD (sistema de capa) 114" puede - sin restricción - ser una de  $Al_2O_3$ ,  $Si_xO_y$ ,  $TiO_2$ ,  $Ta_xO_y$ ,  $HfO_2$ , capas mixtas de de cualquiera de los anteriores y estructuras de múltiples capas de dos o más de los anteriores.
- La capa de PVD o de CVD 112, puede - sin restricción y sin incluir una posible capa de unión - comprender una de una capa de DLC, una capa de metal - DLC, o una capa de la misma composición que la capa de ALD. La capa de PVD también puede ser, por ejemplo, una capa de  $Al_2O_3$ .
- Un aparato para la deposición de revestimientos de ALD se explicará a continuación con referencia a la figura 5.
- La cámara de tratamiento 130 que se muestra en la figura 5 tiene una forma por lo menos sustancialmente rectangular central cuando se ve desde cualquiera de sus lados. Una puerta de cámara que no se muestra en la figura 5 está conectada de forma pivotante con el lado frontal de la cámara alrededor de ejes de pivote verticales, es decir, ejes que se encuentran en paralelo con respecto al plano del dibujo. El lado posterior de la cámara podría conectarse mediante un bloqueo de carga a una abertura diseñada de forma correspondiente en un lado de la cámara 14 de la figura 1 que está normalmente cerrada por una puerta que está situada en el interior de la abertura, esa puerta de la cámara 14 puede portar un magnetrón y el cátodo asociado. No obstante, en la práctica, un bloqueo de carga de este tipo no es necesario, los artículos tratados a partir de la cámara de las figuras 1 y 2 simplemente pueden transportarse en la atmósfera ambiente normal hasta la cámara de la figura 5. También una cámara para aplicar un revestimiento de DLC, tal como una cámara de acuerdo con las figuras 1 y 2, podría suministrar unas piezas de trabajo revestidas a una pluralidad de aparatos para aplicar un revestimiento de ALD, tales como aparatos de acuerdo con la figura 5.
- La disposición puede ser de tal modo que la mesa de piezas de trabajo 20 de la figura 1 junto con las piezas de trabajo 12 pueden ir a transferirse después de la deposición del revestimiento de PVD 112 al interior de la cámara de ALD. Si se usa un sistema de bloqueo de carga esto puede realizarse sin pérdida de vacío y sin contaminación de la superficie de la pieza de trabajo. La mesa 20 puede rotar en la cámara 130 si se desea pero esto no es esencial. El sistema de transferencia no se muestra pero puede estar diseñado como en los sistemas de bloqueo de carga usuales. El aparato también podría estar diseñado como un sistema agrupado con una pluralidad de cámaras de ALD satélites tales como 130 que están dispuestas en torno a una cámara para depositar revestimientos de DLC, tal como se muestra en las figuras 1 y 2.

5 Cuando la puerta y el bloqueo de carga están cerrados, la cámara 130 está cerrada por todos lados. La puerta puede abrirse para permitir el acceso al interior de la cámara y la retirada de las piezas de trabajo revestidas por ALD sobre la mesa 20. El número de referencia 132 se refiere a un conducto para el conducto de conexión para una bomba de vacío de rendimiento (que no se muestra) tal como una bomba de difusión, una bomba criogénica o simplemente una bomba mecánica que sirve de una forma conocida para generar el vacío necesario en la cámara de tratamiento. Ese vacío puede ser del orden de 100 militorrs a pesar de que ciertamente no es necesario que se haga tan bajo debido a que hay un espacio térmico en la cámara de alta temperatura. La presión puede encontrarse en general en un intervalo de 1 a 1000 militorrs. Opuesto al conducto de conexión de vacío 162 está dispuesto un generador de plasma 164 para generar un plasma a partir de gas O<sub>2</sub> que se suministra a la cámara 130 por medio de un sistema de válvula (que no se muestra pero que incluye un regulador de flujo y una válvula de apagado / encendido) a través del acceso 166. El número de referencia 168 identifica un generador de plasma de rf que básicamente comprende una bobina 170 que se alimenta con una energía de rf a partir de la fuente 172.

15 El número de referencia 174 se refiere a una fuente de gas inerte tal como argón que puede admitirse a la cámara directamente por medio de la válvula 176 durante los ciclos de purga e indirectamente por medio de la válvula 178 y el depósito 180 cuando se admite Al(CH<sub>3</sub>)<sub>3</sub> a la cámara 130 como un precursor para la deposición de capas de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> mediante ALD. Para el presente fin, una válvula o sistema de válvula 182 adicional se encuentra presente entre el depósito 180 y la cámara 130 y puede controlarse electrónicamente (al igual que puede hacerse con todas las otras válvulas en el aparato) para permitir que una cantidad previamente determinada de Al(CH<sub>3</sub>)<sub>3</sub> que es arrastrada por el flujo de argón entre en la cámara 130 por medio del acceso 184.

20 La planta de la figura 5 puede operarse tal como sigue:

En primer lugar de todo, la atmósfera en la cámara 130 se evacua por medio del conducto 162 y se sustituye por argón. Esto se realiza, de una forma conocida, mediante el accionamiento de la bomba de vacío y el suministro simultáneo de argón por medio de la válvula 176 para purgar el aire residual originalmente presente a partir de la cámara de vacío 130. La cámara 130 por lo general se calienta a entre 200 y 400 °C mediante calentadores de pared.

El aparato entonces se cambia al ciclo de admisión de oxígeno y un plasma se genera en la cámara por el generador de rf y el oxígeno que se suministra al mismo. A continuación de lo anterior, una cantidad previamente determinada de Al(CH<sub>3</sub>)<sub>3</sub> se añade a la cámara para la formación de la primera capa de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> mediante ALD. A continuación de lo anterior, el procedimiento se repite hasta que el número deseado de capas de ALD se han generado mediante el procedimiento de ALD potenciada por plasma. Una vez que la capa final se ha depositado mediante el procedimiento de ALD, es decir, una vez que la capa de ALD (sistema de capa) 114 se ha completado, los artículos pueden retirarse a continuación de la cámara mediante la apertura de las puertas de la cámara.

35 Debería hacerse notar que el ejemplo de una planta agrupada para llevar a cabo el procedimiento de PVD y / o de CVD y el procedimiento de ALD tal como se ha descrito en lo que antecede se da meramente a modo de ejemplo y que la planta puede adoptar unas formas muy diferentes.

Debido a que la capa de ALD o sistema de capa 114 es relativamente delgada y puede depositarse con relativa rapidez en un marco temporal comparable con el que se requiere para depositar la capa 112 mediante PVD o CVD, una disposición agrupada puede no ser la distribución ideal.

40 El aparato completo podría realizarse, por ejemplo, como una planta tubular larga con puestos sucesivos para procedimientos de deposición de PVD y / o procedimientos de deposición de CVD y procedimientos de deposición de ALD a través de los cuales se mueven artículos individuales. La totalidad de la planta tubular puede evacuarse mediante el uso de bloqueos de carga para admitir artículos a la planta y retirar estos de la planta sin pérdida de vacío. También pueden proporcionarse suministros de gas locales a los puestos individuales y bombas de vacío locales para mantener las atmósferas deseadas en los puestos individuales a través de las cuales los artículos se mueven de forma secuencial, por ejemplo, sobre una cinta transportadora. Una disposición de este tipo puede ayudar a minimizar el desperdicio de los gases que se requieren y potenciar el tiempo de proceso útil en relación con los periodos de generación de vacío no rentables. No obstante, probablemente lo más sencillo sea usar sólo dos cámaras separadas, una para depositar la capa de DLC y una para depositar las capas de ALD.

50 Se darán a continuación algunos ejemplos de sistemas de capa ventajosos que pueden depositarse de acuerdo con la presente enseñanza con referencia a las figuras 6A a 6F.

### Ejemplo 1

55 Pasando en primer lugar a la figura 6A, puede verse una región superficial 110 de un artículo en forma de una pista de cojinete de acero 100Cr6 que está provista con una capa 112 de capa de ta-C libre de hidrógeno de 4 micrómetros de grosor. La capa 112 tiene una estructura similar a la que se ilustra en la figura 4D. Encima de la capa 112 hay una capa 114 de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> de 10 nm de grosor que se deposita mediante ALD usando el aparato de la figura 5. En este caso, no se proporciona capa de unión alguna debido a que el contenido de Cr del acero y el carbono de la capa de ta-C se consideran adecuados.

**Ejemplo 2 (la figura 6B)**

Este ejemplo es similar al ejemplo 1 pero tiene una capa de a-C : H (una capa de DLC) que se deposita tal como se ha descrito con detalle en lo que antecede sobre una capa de unión delgada 112' de cromo con una capa de carburo de cromo clasificada que se deposita usando el aparato de la figura 1 tal como se ha descrito en lo que antecede con detalle o mediante el uso de un objetivo de carburo de cromo (cátodo). La capa de unión 112' es solo relativamente delgada, y en este ejemplo tiene un grosor de 10 - 300 nm.

**Ejemplo 3 (la figura 6C)**

En este ejemplo, el revestimiento es similar al revestimiento del ejemplo 2 pero incluye una capa adicional 112" de  $Al_2O_3$  de 200 nm - 2  $\mu$ m de grosor que se deposita mediante PVD en el aparato de la figura 1. Para el presente fin, el aparato de las figuras 1 y 2 se modifica de tal modo que este puede llevar a cabo un magnetrón de pulverización por bombardeo iónico doble a partir de dos cátodos de magnetrón opuestos de Al que se proporcionan de forma adicional en la cámara de vacío 14 para una pulverización por bombardeo iónico reactiva usando oxígeno en la atmósfera de la cámara. La pulverización por bombardeo iónico reactiva de  $Al_2O_3$  se describe con detalle en la solicitud de patente europea publicada como EP-A-2076916. El aparato también puede estar diseñado para hacer uso del uso combinado de HIPIMS y un magnetrón de pulverización por bombardeo iónico doble tal como se describe en la solicitud de patente europea 11007077.8.

**Ejemplo 4 (la figura 6D)**

En este ejemplo, la estructura de capas es una estructura de dos capas tal como se muestra en la figura 6A pero la capa 112 es una capa de a-C : H de 1 - 4 micrómetros de grosor que se deposita mediante un procedimiento de CVD (pero no un procedimiento de ALD). La capa de ALD 114 de  $Al_2O_3$  de nuevo tiene un grosor de 10 nm.

**Ejemplo 5 (la figura 6E)**

Este ejemplo es el mismo que el ejemplo 2 pero la capa de ALD 114 tiene un grosor mayor de 26 - 50 nm.

**Ejemplo 6 (la figura 6F)**

Este ejemplo es similar al ejemplo 1 pero en el presente caso la capa 112 es una capa de  $Al_2O_3$  de 4 micrómetros de grosor que se deposita mediante PVD (magnetrón de pulverización por bombardeo iónico doble en una atmósfera de oxígeno reactiva) como en el ejemplo 3.

**Ejemplo 7**

En este ejemplo, la estructura de capas se parece a la del ejemplo 6 (la figura 6E) pero con una capa de unión 112' de Cr o Ti que se deposita mediante PVD. Debería hacerse notar que no es importante si la capa de unión es eléctricamente conductora o aislante debido a que incluso si esta es eléctricamente conductora, esta situación no es peor que que el propio componente sea eléctricamente conductor.

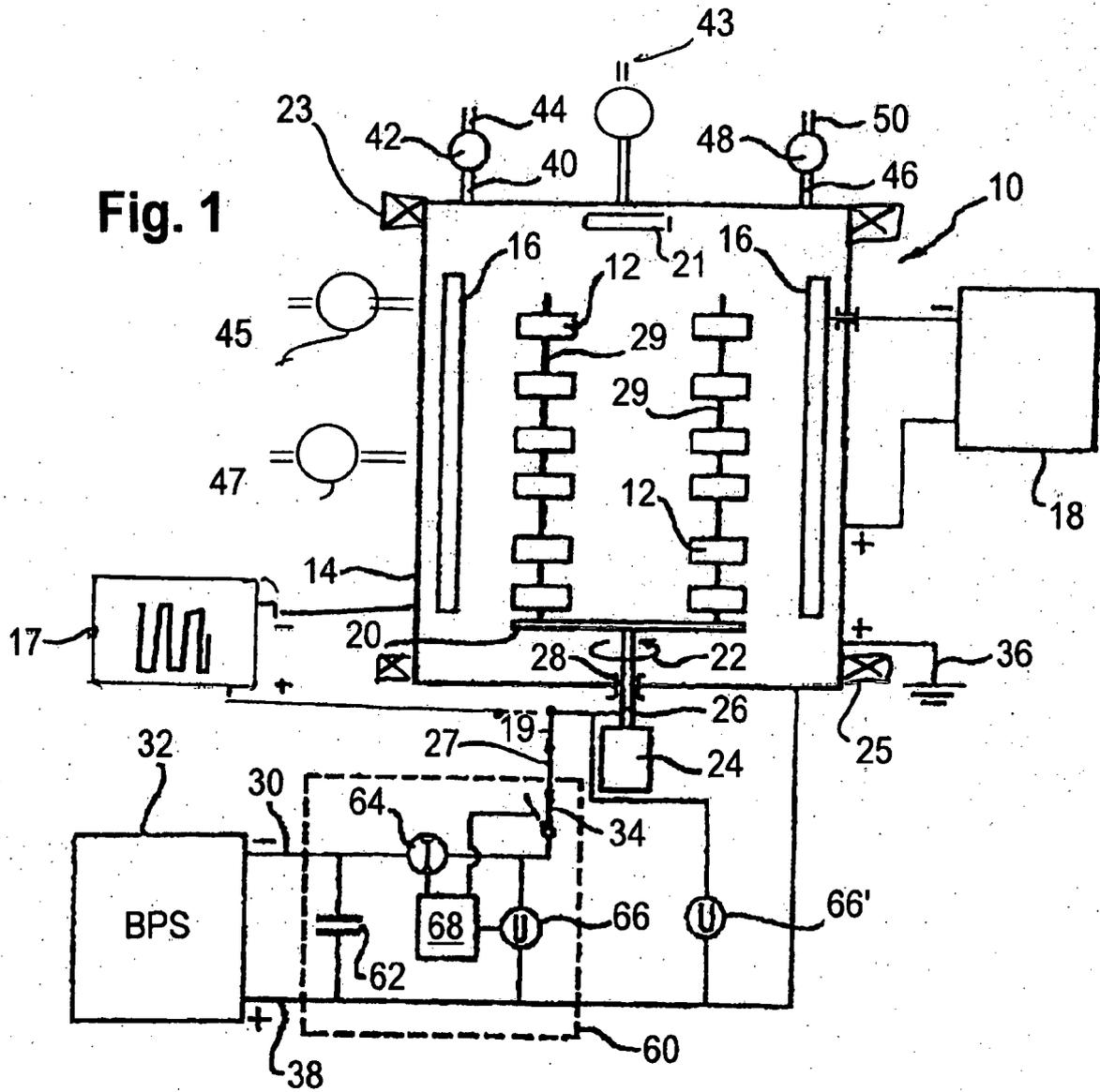
En todos los ejemplos, las capas tienen los mismos grosores que en otros ejemplos, a menos que se indique específicamente algo diferente. Por lo tanto, la capa 112 en general tiene un grosor de 1 - 4 micrómetros. La capa 112", si se encuentra presente, en general tiene un grosor de 50 nm - 2,5  $\mu$ m y la capa de ALD 114 en general tiene un grosor de 10 - 50 nm.

En todos los ejemplos, el grosor de las capas es de 10 nm para la capa 112', 4 micrómetros para la capa 112, 10 nm para la capa 112" y 10 nm para la capa 114 a menos que se indique lo contrario. Se halló que el aislamiento eléctrico y la resistencia a la corrosión de todos los ejemplos eran buenos.

## REIVINDICACIONES

1. Un componente de cojinete de acero (12) tal como un componente de un cojinete lineal de un cojinete de elementos rodantes y un cojinete de deslizamiento, por ejemplo, un componente seleccionado de entre el grupo que comprende un anillo guía de cojinete, un elemento rodante tal como un rodillo cónico, un rodillo en forma de tonel, un rodillo de aguja, una bola de rodamiento y una jaula de elementos rodantes, teniendo el componente de cojinete al menos una capa (112; 112, 112'; 112, 112"; 112") que tiene una alta dureza y una alta propiedad de aislamiento de corriente aplicada mediante un procedimiento de PVD (deposición física en fase de vapor), mediante un procedimiento de CVD (deposición química en fase de vapor), o mediante un procedimiento de PECVD (deposición química en fase de vapor potenciada por plasma) pero excluyendo un procedimiento de ALD o un procedimiento de ALD potenciada por plasma en al menos una región superficial (110) de dicho componente (12), comprendiendo dicha al menos una capa (112; 112, 112', 112, 112"; 112") una capa de óxido no conductora seleccionada de entre el grupo de materiales que comprende una capa de  $Al_2O_3$ , una capa de  $Ta_xO_y$ , una capa de  $Si_xO_y$ , una capa mixta que comprende dos o más de los óxidos anteriores, una estructura de múltiples capas que comprende capas alternantes de dos o más de los óxidos anteriores y / o una capa de DLC tal como una capa de ta-C, habiendo al menos una capa de ALD (114) que comprende al menos una capa de un material depositado mediante un procedimiento de ALD (deposición de capa atómica) sobre dicha al menos una capa que tiene una alta dureza y una alta propiedad de aislamiento de corriente, teniendo la propia capa de ALD una alta propiedad de aislamiento de corriente y comprendiendo un material o una estructura de capas seleccionada de entre el grupo de materiales que comprende una capa de  $Al_2O_3$ , una capa de  $Ta_xO_y$ , una capa de  $Si_xO_y$ , una capa de  $TiO_2$  o una capa de  $HfO_2$ , una capa mixta que comprende dos o más de los óxidos anteriores, y una estructura de múltiples capas que comprende capas alternantes de dos o más de los óxidos anteriores.
2. Un componente de cojinete de acuerdo con la reivindicación 1, en el que la composición de la al menos una capa aplicada mediante un procedimiento de PVD (deposición física en fase de vapor), mediante un procedimiento de CVD (deposición química en fase de vapor), o mediante un procedimiento de PECVD (deposición química en fase de vapor potenciada por plasma) pero excluyendo un procedimiento de ALD o un procedimiento de ALD potenciada por plasma es al menos sustancialmente la misma que la composición de la capa depositada mediante el procedimiento de ALD.
3. Un componente de cojinete de acuerdo con la reivindicación 1 o la reivindicación 2, en el que la dicha al menos una capa aplicada mediante un procedimiento de PVD (deposición física en fase de vapor), mediante un procedimiento de CVD (deposición química en fase de vapor), o mediante un procedimiento de PECVD (deposición química en fase de vapor potenciada por plasma) pero excluyendo un procedimiento de ALD o un procedimiento de ALD potenciada por plasma tiene un grosor en el intervalo de 0,5 micrómetros a 4 micrómetros y la capa de ALD tiene un grosor en el intervalo de 1 nm a 1000 nm, en especial 10 a 50 nm.
4. Un componente de cojinete de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el acero del cual se fabrica el artículo es una calidad de acero martensítico.
5. Un componente de cojinete de acuerdo con la reivindicación 4, en el que una calidad de acero martensítico es al menos uno de un acero para cojinetes y un acero que puede trabajarse en frío.
6. Un componente de cojinete de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores 4 y 5, en el que la calidad de acero martensítico es uno de 100Cr6, 100CrMn6, 16MnCr5, C80 o X30CrMoN 15 1, o un acero de acuerdo con las normas Din: 1.4108 o SAE: AMS5898.
7. Un componente de cojinete de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la al menos una capa que tiene una alta dureza y una alta propiedad de aislamiento de corriente aplicada mediante un procedimiento de PVD (deposición física en fase de vapor), mediante un procedimiento de CVD (deposición química en fase de vapor), o mediante un procedimiento de PECVD (deposición química en fase de vapor potenciada por plasma) pero excluyendo un procedimiento de ALD o un procedimiento de ALD potenciada por plasma está provista con una capa de PVD adicional depositada mediante arco (arco filtrado, fuentes rectangulares, fuentes redondas, arco de láser, fuentes cilíndricas), mediante un magnetrón de pulverización por bombardeo iónico, un magnetrón de pulverización por bombardeo iónico reactiva o por medio de un magnetrón de pulverización por bombardeo iónico doble (fuentes rectangulares, fuentes redondas, fuentes cilíndricas), cualquiera de los anteriores opcionalmente con potenciación de plasma antes de la deposición de la capa de ALD.
8. Un cojinete que comprende un componente de cojinete de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores.
9. Una máquina que comprende un componente de cojinete de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores 1 a 7 o un cojinete de acuerdo con la reivindicación 8.
10. Un procedimiento de revestimiento de un componente de cojinete de acero (12) tal como un componente de un cojinete lineal de un cojinete de elementos rodantes y un cojinete de deslizamiento, por ejemplo, un componente seleccionado de entre el grupo que comprende un anillo guía de cojinete, un elemento rodante tal como un rodillo cónico, un rodillo en forma de tonel, un rodillo de aguja, una bola de rodamiento y una jaula de elementos rodantes,

que comprende depositar al menos una capa (112; 112, 112'; 112, 112'; 112") en al menos una región superficial (110) de dicho componente (12), teniendo la capa una alta dureza y una alta propiedad de aislamiento de corriente y aplicándose mediante un procedimiento de PVD (deposición física en fase de vapor), mediante un procedimiento de CVD (deposición química en fase de vapor), o mediante un procedimiento de PECVD (deposición química en fase de vapor potenciada por plasma) pero excluyendo un procedimiento de ALD o un procedimiento de ALD potenciada por plasma, comprendiendo dicha al menos una capa (112; 112, 112'; 112, 112'; 112") una capa de óxido no conductora seleccionada de entre el grupo de materiales que comprende una capa de  $Al_2O_3$ , una capa de  $Ta_xO_y$ , una capa de  $Si_xO_y$ , una capa mixta que comprende dos o más de los óxidos anteriores, una estructura de múltiples capas que comprende capas alternantes de dos o más de los óxidos anteriores y / o una capa de DLC tal como una capa de ta-C, depositar al menos una capa de ALD (114) sobre dicha al menos una capa que tiene una alta dureza y una alta propiedad de aislamiento de corriente, comprendiendo la capa de ALD al menos una capa de un material depositado mediante un procedimiento de ALD (deposición de capa atómica), teniendo la propia capa de ALD una alta propiedad de aislamiento de corriente y comprendiendo un material o una estructura de capas seleccionada de entre el grupo de materiales que comprende una capa de  $Al_2O_3$ , una capa de  $Ta_xO_y$ , una capa de  $Si_xO_y$ , una capa de  $TiO_2$  o una capa de  $HfO_2$  una capa mixta que comprende dos o más de los óxidos anteriores, y una estructura de múltiples capas que comprende capas alternantes de dos o más de los óxidos anteriores.



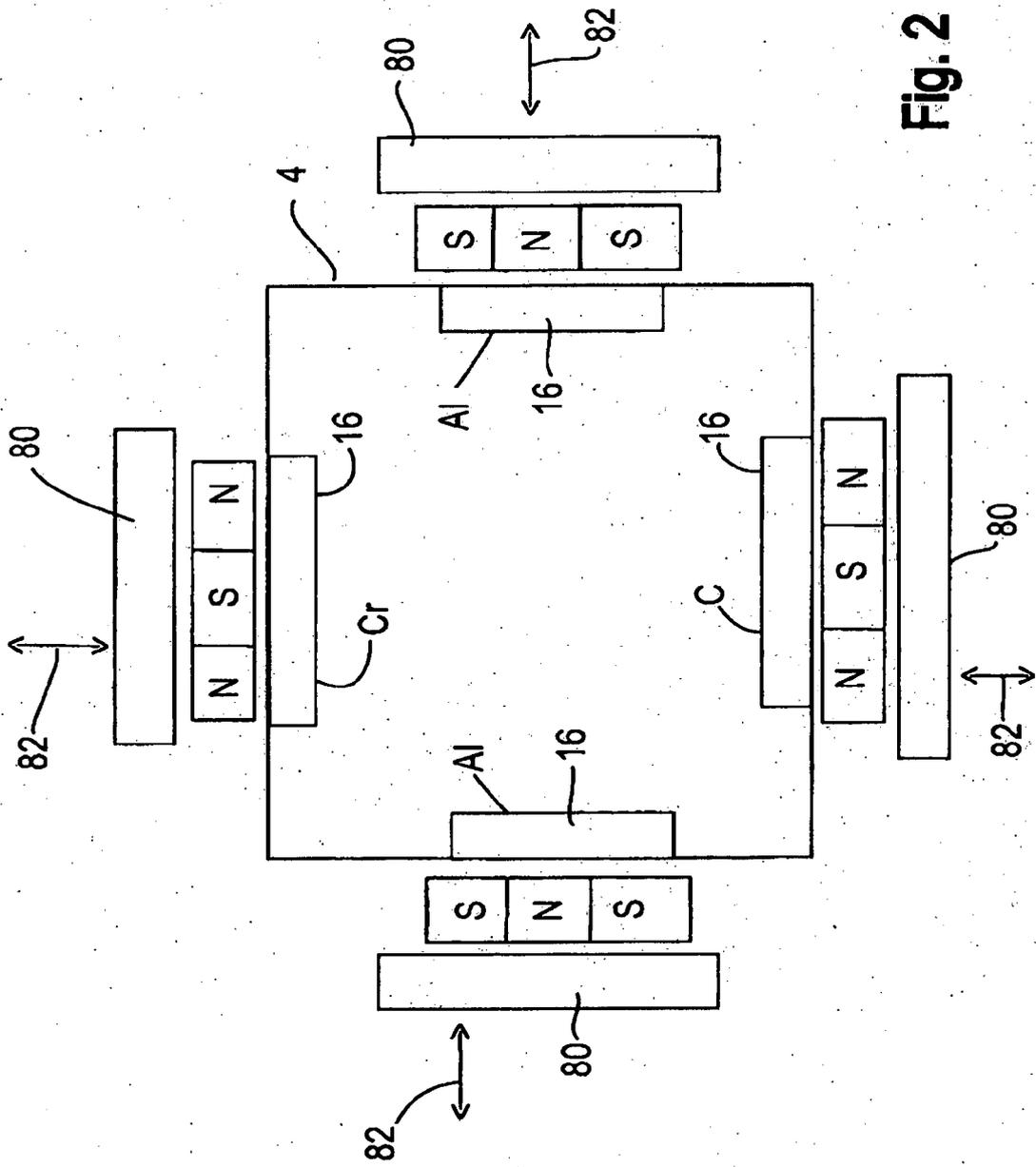


Fig. 2

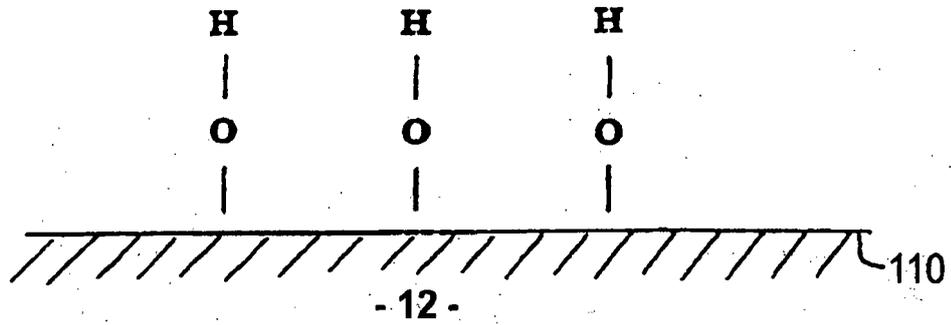


Fig. 3A

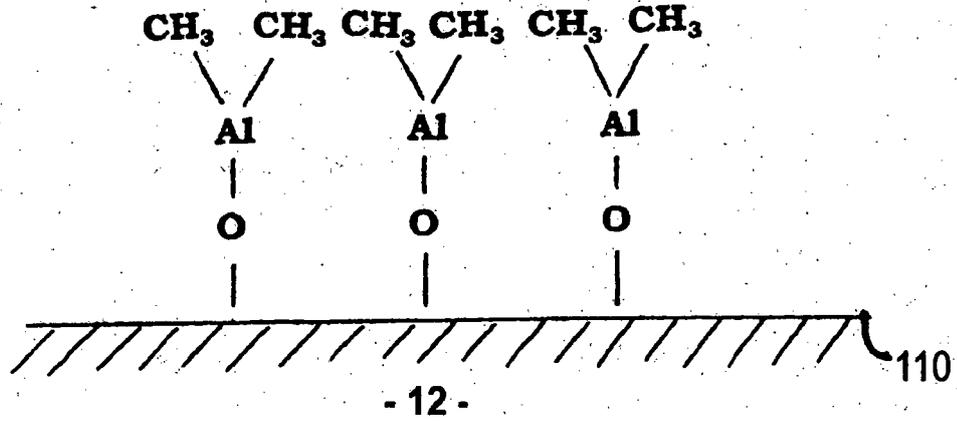


Fig. 3B

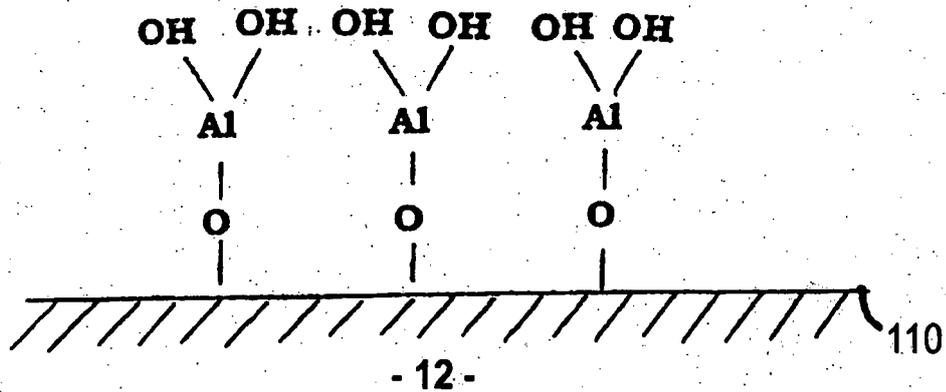
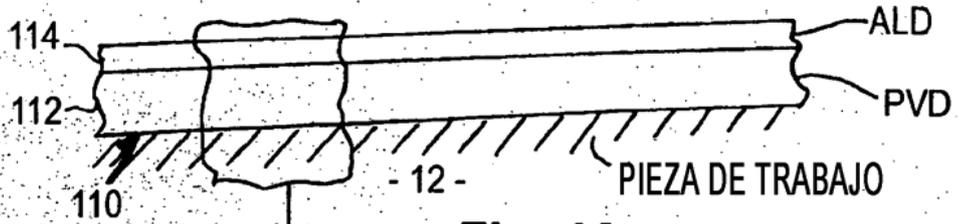
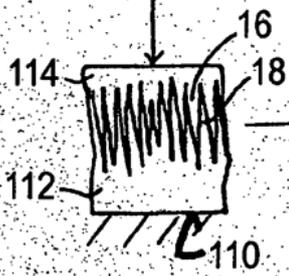


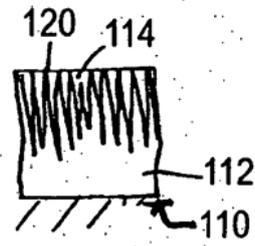
Fig. 3C



**Fig. 4A**



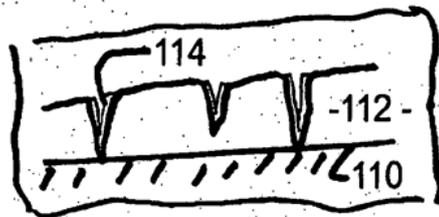
**Fig. 4B**



**Fig. 4C**



**Fig. 4D**



**Fig. 4E**

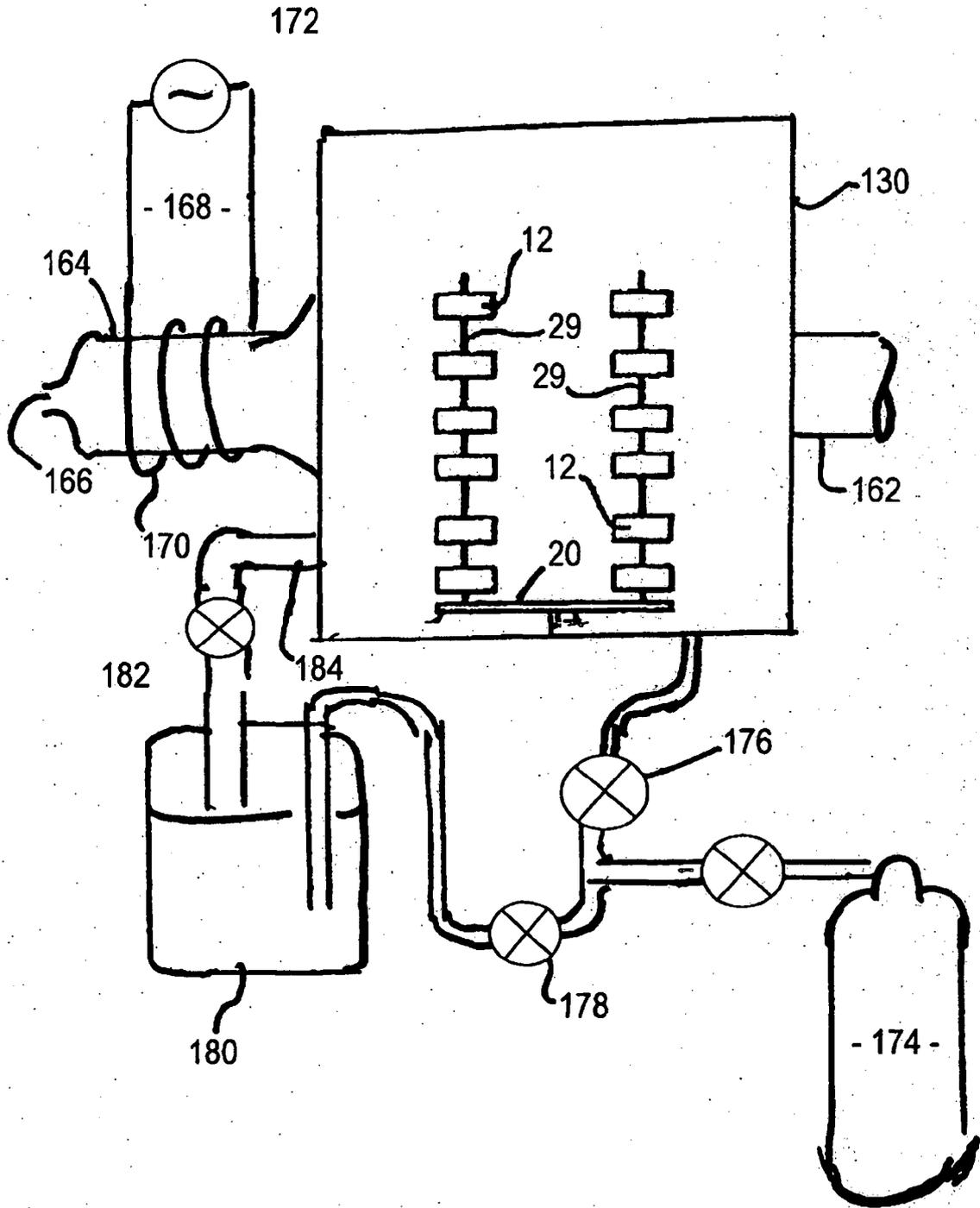
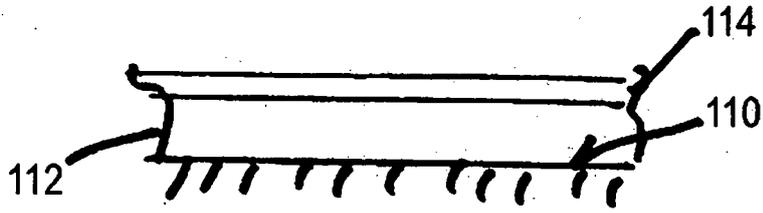
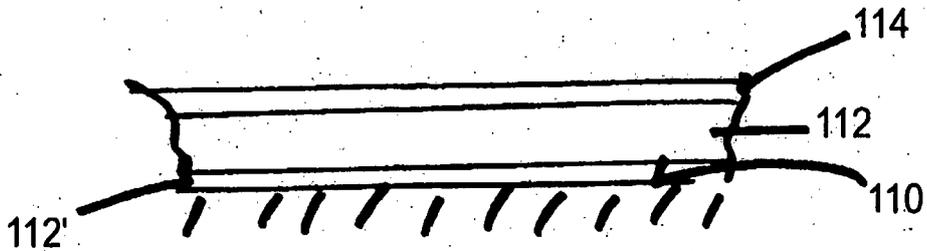


Fig. 5



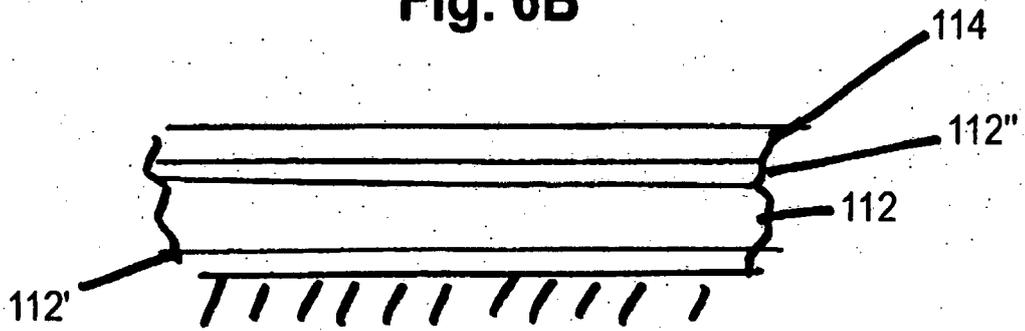
- 12 -

**Fig. 6A**



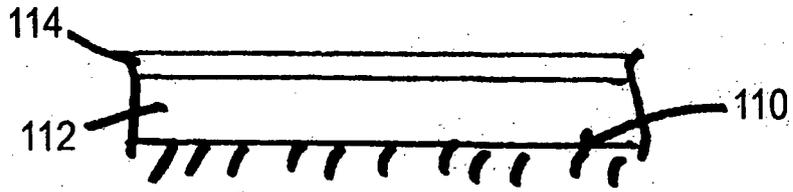
- 12 -

**Fig. 6B**

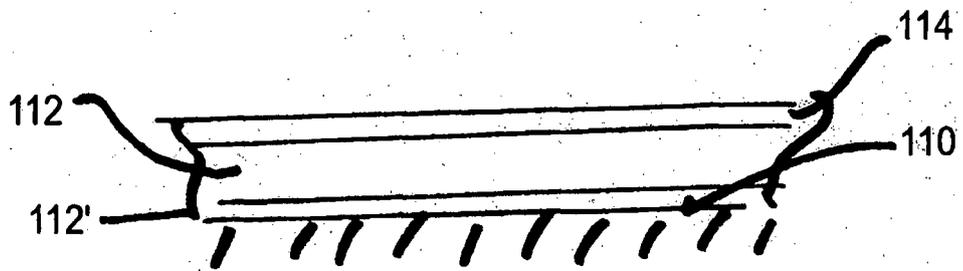


- 12 -

**Fig. 6C**

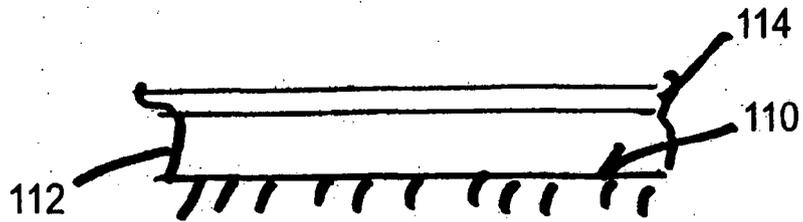


**Fig. 6D**



- 12 -

**Fig. 6E**



- 12 -

**Fig. 6F**