



19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

11 Número de publicación: **2 305 639**

51 Int. Cl.:

C23C 14/34 (2006.01)

C23C 14/54 (2006.01)

C23C 14/56 (2006.01)

C23C 14/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Número de solicitud europea: **04023123 .5**

86 Fecha de presentación : **29.09.2004**

87 Número de publicación de la solicitud: **1591557**

87 Fecha de publicación de la solicitud: **02.11.2005**

54 Título: **Método de revestimiento para aparato en línea.**

30 Prioridad: **26.04.2004 DE 10 2004 020 466**

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:
01.11.2008

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:
01.11.2008

73 Titular/es: **Applied Materials GmbH & Co. KG.**
Siemensstrasse 100
63755 Alzenau, DE

72 Inventor/es: **Pflug, Andreas;**
Szyszk, Bernd;
Kastner, Albert;
Geisler, Michael;
Leipnitz, Thomas y
Bruch, Jürgen

74 Agente: **Morgades Manonelles, Juan Antonio**

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

Método de revestimiento para aparato en línea.

5 La invención se refiere a un método para recubrir sustratos en instalaciones en línea, donde un sustrato es movido a través de al menos una cámara de recubrimiento y es recubierto durante este movimiento.

Tales instalaciones en línea se componen de varias cámaras de recubrimiento dispuestas una detrás de la otra y en las que los sustratos son recubiertos preferentemente mediante un proceso de *sputtering*.

10 A este fin, los sustratos pasan por unos dispositivos de *sputtering*, donde son recubiertos continuamente, de manera que se forma una capa de un determinado espesor.

15 Los dispositivos de *sputtering* se encuentran en cámaras de recubrimiento que están conectadas a las cámaras contiguas a través de canales de unión o de transporte.

20 La conductividad en vacío de los canales de transporte suele ser reducida en comparación con la conductividad en vacío de una cámara de recubrimiento en dirección transversal. Las cámaras contiguas pueden ser otras cámaras de recubrimiento, o bien, pueden ser compartimentos de bombeo.

Los compartimentos de bombeo generan etapas diferenciales de bombeo entre las cámaras de recubrimiento, de manera que entre las cámaras de recubrimiento queda garantizada una cierta separación de gases, la cual, sin embargo, no es completa. Este procedimiento es importante con miras a un funcionamiento económico.

25 Durante el transporte de los sustratos a través de la cámara de recubrimiento, determinados parámetros de cámara, especialmente los valores de conductividad en vacío de los canales de unión y la capacidad de aspiración efectiva de los compartimentos de bombeo, se van modificando de forma característica. Esto se manifiesta, en base a los parámetros de máquina de la instalación, a través de las fluctuaciones características de las presiones parciales del gas, así como a través de la tensión catódica; ésta última produce una tasa de recubrimiento que fluctúa a lo largo del tiempo. Por eso, el recubrimiento del sustrato en la dirección de avance no queda uniforme. Esto resulta especialmente inconveniente en los recubrimientos de grandes superficies de cristal arquitectónico, porque las propiedades ópticas de tales recubrimientos dependen en alto grado del espesor de la capa.

30 Para pronosticar las variaciones en los valores de conductividad en vacío y en la capacidad efectiva de aspiración, puede recurrirse al método de Monte Carlo. Se trata de un método de cálculo estocástico para la determinación numérica de soluciones aproximadas a diferentes problemas matemáticos, especialmente de carácter probabilístico. En este caso, las magnitudes macroscópicas a calcular para la simulación del flujo de gas como son, por ejemplo, la presión y la temperatura, resultan como valores medios de magnitudes microscópicas como, por ejemplo, velocidades de partículas, que se obtienen de una multitud de partículas de gas representativas en el marco de un modelo estocástico de movimiento y colisión. La aplicación eficaz del método de Monte Carlo sólo se ha hecho posible, en este marco, mediante ordenadores de alta velocidad de procesamiento.

35 Ya es conocida la simulación Monte Carlo de flujos de gas mediante modelos estocásticos de movimiento y colisión para moléculas modelo (G. A. Bird: *Recent Advances and Current Challenges for DSMC, Computers Math. Applic. Vol. 35, No. 1/2, 1998, S. 1 - 14*).

40 Además, es conocido cómo crear un modelo macroscópico idealizado para el *sputtering* reactivo, por ejemplo, para el *sputtering* reactivo de Ti en una mezcla de los gases argón y nitrógeno (S. Berg, H.-O. Blom, T. Larsson, and C. Nender: *Modeling of reactive sputtering of compound materials, J. Vac. Sci. Technol. A5 (2), Mar/Apr. 1987, S. 202 - 207*).

50 Este modelo describe el *sputtering* reactivo mediante el flujo de gas reactivo hacia el blanco y hacia el sustrato, mediante rendimientos de *sputtering* con blancos puros y blancos oxidados, mediante el coeficiente de adherencia de las moléculas reactivas con respecto a los sustratos y el blanco, y mediante la corriente de iones hacia la superficie del blanco. Aquí se tienen en consideración los factores principales del *sputtering* reactivo como son la histéresis, los efectos de la velocidad de bombeo, etc., pero no la física y química del plasma en la descarga luminosa.

Sin embargo, la química del plasma ha sido tenida en consideración por Ershov y Pekker (*Model of d. c. magnetron reactive sputtering in Ar-O₂, gas mixtures (Thin Solid Films 289, 1996, S. 140 - 146)*).

60 También es conocido cómo obtener, con ayuda de procedimientos de simulación Monte Carlo, información acerca de la distribución espacial de flujos de partículas pulverizadas en una cámara de *sputtering*, así como acerca de la distribución de la energía cinética de éstas al incidir sobre el sustrato (Karol Macäk, Peter Macäk, Ulf Helmersson: *Monte Carlo simulations of the transport of sputtered particles, Computer Physics Communications 120, 1999, S. 238 - 254*).

65 Asimismo es conocida la simulación de la cinética del *sputtering* reactivo en cámaras en línea (A. Pflug, N. Mal-komes, V. Sittinger, and B. Szyzka: *Simulation of Reactive Magnetron Sputtering Kinetics in Real In-Line Processing*

Chambers, Thin Solid Films 442, 2003, S. 21 - 26). En este caso, el volumen complejo de una cámara de proceso es dividido en células volumétricas sencillas, por ejemplo, en paralelepípedos. Se parte de la suposición de que en cada célula existen presiones parciales homogéneas para el gas inerte y el gas reactivo, así como grados de oxidación homogéneos por superficie, y se describen los procesos de *sputtering* y de separación mediante ecuaciones cinéticas sencillas acorde al modelo de Berg *et al.* Mediante la interconexión tridimensional de los elementos volumétricos puede describirse la dinámica de proceso, incluso en geometrías complejas, con ayuda de ecuaciones diferenciales acopladas, y puede calcularse mediante métodos adaptivos de Runge-Kutta.

En primer lugar, y con ayuda de métodos de Monte Carlo paralelos, se calcula detalladamente el transporte de gas y de partículas pulverizadas entre los elementos volumétricos. Los valores de conductividad en vacío y las matrices de distribución de partículas que así se obtienen, se aplican posteriormente al modelo macroscópico cinético. De esta manera se alcanza una alta fidelidad en los detalles de las instalaciones tridimensionales, en unión con una eficacia de cálculo que convierte el sistema en utilizable para aplicaciones en tiempo real.

Con ayuda de un modelo de Berg ampliado, una relación heurística entre el rendimiento de *sputtering*, la tensión del blanco y la corriente de iones, también se ha creado ya un modelo realista de la proporción de los parámetros de deposición en el modo metálico (A. Pflug, B. Szyszka, V. Sittinger, and J. Niemann: *Process Simulation for Advanced Large Area Optical Coatings*, 2003, *Society of Vacuum Coaters, 46th Annual Technical Conference Proceedings*, 2003, S. 241 - 247).

Este modelo permite vincular la simulación a parámetros de máquina como son la tensión del blanco y la potencia de *sputtering*, así como la simulación de condiciones de *sputtering* inhomogéneas mediante la segmentación de blancos largos.

Varios de los métodos de simulación antes mencionados también han sido integrados en un software de simulación (A. Pflug, B. Szyszka, J. Niemann: *Simulation des reaktiven Magnetron-Sputterprozesses in Inline-Anlagen*, *JOT* 1, 2003, S. X - XIII). Aquí, con ayuda de métodos Monte Carlo, se calcularon tridimensionalmente en un clúster Linux la cinética del flujo de gas, así como la distribución de las partículas pulverizadas en las superficies interiores de las cámaras. Para ello, el antes mencionado método de Bird para la simulación del flujo de gas, así como el método de Mack *et al.* para la simulación de trayectorias de partículas, también antes mencionado, fueron implementados, como algoritmos paralelos, en C++ bajo el entorno paralelo "Parallel Virtual Machine".

En cuanto al clúster Linux, se trata de varios PCs interconectados que operan bajo el sistema operativo Linux. "Clúster" significa, en primer lugar, que varios procesadores realizan cálculos paralelos con respecto a un mismo problema. En la práctica, y por motivos de coste, un clúster se compone a menudo de PCs de uso corriente, obteniéndose a menudo la mejor relación calidad-precio con PCs Dual Board. Los PCs están interconectados a través de una red separada, a fin de poder gestionar a través de la misma la comunicación necesaria entre los procesos parciales durante las operaciones de cálculo.

También se ha implementado en el marco de este sistema de software el antes mencionado modelo macroscópico dinámico para calcular la dinámica de proceso de resolución temporal en instalaciones tridimensionales en línea. Este modelo es apropiado para aplicaciones en tiempo real e importa la información obtenida de los cálculos Monte Carlo en forma de valores de conductividad de flujo para la cinética del flujo de gas, así como para las matrices de distribución de las partículas pulverizadas.

También se conocen otros métodos de simulación para el proceso de *sputtering* (US 5 751 607, US 6 070 735, US 6 512 998, KR 2000023859, JP 10294293 A, JP 2003282381 A, US 6 512 998 B1). Éstos, sin embargo, se refieren en su totalidad a métodos para la simulación de partículas neutras pulverizadas. La influencia de la distribución de partículas neutras sobre la cinética del proceso de *sputtering*, sin embargo, es mínima y, por lo tanto, de poca importancia para la presente invención.

De las patentes estadounidenses 2003/0 141 184, 6 425 988, 6 524 449 y 6 668 207 se conocen tipos de regulación de espesores de capa.

El objetivo de la presente invención es crear un método, cuya aplicación consigue que el recubrimiento de un sustrato en la dirección de avance del sustrato a través de la cámara de recubrimiento presente un espesor uniforme.

El problema se soluciona en base a las características de la reivindicación 1.

Es decir, que la invención emplea un modelo de la instalación de recubrimiento que describe exactamente el recipiente, incluyéndose las formas de los volúmenes y de las superficies, así como todas las presiones parciales y flujos parciales de resolución tridimensional, tal y como se forman espacial y temporalmente según los manantiales y sumideros de todos los productos químicos, incluidos los electrones y los iones. Además, se crea un modelo de los procesos de *sputtering* y deposición.

La ventaja obtenida con esta invención consiste especialmente en que durante el proceso de recubrimiento también se tienen en cuenta aquellos parámetros que no son accesibles mediante una medición directa durante el proceso de

recubrimiento, por ejemplo, las tasas de *sputtering* en los blancos de recubrimiento o la tasa media de deposición sobre el sustrato. Si bien el espesor de capa puede medirse con ayuda de una espectroscopia *in situ*, no obstante, para determinar la tasa de recubrimiento, deberían medirse al menos dos espesores en dos diferentes instantes. Esto resulta prácticamente imposible debido al movimiento del sustrato, a no ser que el dispositivo óptico fuese llevado a compás en la misma dirección de avance.

En consecuencia, mediante circuitos reguladores virtuales simulados pueden mantenerse constantes las tasas de *sputtering*, o bien, la tasa media de recubrimiento sobre el sustrato. Si mediante una instrucción de corrección se consiguiera mantener constantes las tasas de *sputtering* de dos blancos, por ejemplo, se obtendría como resultado una tasa de recubrimiento constante.

Al aplicarse al proceso real de *sputtering* la instrucción de corrección o regulación resultante del circuito regulador virtual, se obtendría como resultado una mejor uniformidad de la capa de recubrimiento en la dirección de avance del sustrato. En la simulación, la tasa de recubrimiento sobre el sustrato se mantiene constante mediante un circuito regulador. Así se obtiene una instrucción de corrección, por ejemplo, para el flujo de gas.

Para obtener un espesor de capa más uniforme sobre el sustrato es suficiente mantener constantes en el tiempo todas las condiciones de funcionamiento relevantes de un blanco y un recipiente de recubrimiento. Por “condiciones de funcionamiento” se entienden, en este caso, las presiones de gas entre el blanco y el sustrato, así como las tasas de *sputtering* de los blancos, que no son directamente accesibles desde fuera. Así, por ejemplo, no se mide la presión directamente en el blanco y el sustrato, sino en un punto cualquiera en una pared del recipiente. En cuanto a los sistemas de recubrimiento compuestos por varios blancos, por ejemplo, por un cátodo doble, los estudios han mostrado que la constancia temporal de las condiciones de funcionamiento de todos los blancos normalmente no puede conseguirse con una instrucción sencilla de regulación.

Las tasas de *sputtering* de los diferentes blancos muestran transcurso temporales característicos, los cuales, al aplicarse la instrucción de regulación sobre el sustrato, se compensan convirtiéndose, por término medio, en una tasa uniforme de recubrimiento. También sería posible mantener constantes las condiciones de *sputtering* en dos blancos, empleando instrucciones de corrección complicadas, por ejemplo, dos curvas de corrección independientes para una entrada de gas derecha y una izquierda.

Una compensación detallada de todas las potencias de aspiración y de todos los valores de conductividad en vacío, modificados por el movimiento del sustrato, sería independiente del proceso de *sputtering* y podría aplicarse independientemente del material del blanco y del punto de trabajo del proceso de *sputtering*, una vez calculada la correspondiente instrucción de regulación o de corrección para una determinada geometría de instalación.

No obstante, en fuentes de recubrimiento de configuración compleja como, por ejemplo, los cátodos dobles antes mencionados, una instrucción sencilla de regulación produce, más bien, una fluctuación adicional en determinados parámetros de proceso con ayuda de la cual queda compensada, en promedio de todos los flujos de partículas, una inhomogeneidad inicial de los espesores de capa sobre el sustrato en la dirección de avance. En estos casos, la instrucción de regulación también depende del material y del punto de trabajo del proceso de *sputtering*. El modelo de *sputtering* puede calibrarse, en estos casos, para un material de blanco en un determinado rango de parámetros del proceso de *sputtering* y, dentro de este rango, puede emitir en un breve tiempo las correspondientes instrucciones de regulación necesarias.

La presente invención abarca tanto la compensación detallada de todos los estados de servicio dentro de la cámara de recubrimiento como la compensación indirecta de la inhomogeneidad de los espesores de capa mediante una fluctuación adicional de determinados parámetros de proceso dependientes del tiempo.

Un ejemplo de realización de la invención está representado en los dibujos y se describirá a continuación de forma más explícita. Mostrándose:

En la Fig. 1, una sección transversal a través de una cámara de *sputtering*;

En la Fig. 2, una representación esquemática de un modelo de cámara de *sputtering* utilizado;

En la Fig. 3, una representación más detallada de un control virtual simulado, sin regulación de proceso en línea;

En la Fig. 4, una representación más detallada de un control virtual simulado, con regulación de proceso en línea.

En la Fig. 1 se muestra una cámara de *sputtering* 1 que presenta la cámara de recubrimiento 2 propiamente dicha y dos cámaras intermedias 3, 4. A la derecha y/o izquierda de esta cámara de *sputtering* 1 pueden acoplarse otras cámaras de *sputtering* que aquí no están representadas. Un sustrato 5 es transportado de izquierda a derecha a través de unos rodillos de transporte 6 alojados en un soporte 7. Encima de cada cámara intermedia 3, 4 se encuentra una cámara de bombeo 8, 9, y encima de cada cámara de bombeo 8, 9 se ha dispuesto una bomba 10, 11. Las bombas 10, 11 son turbobombas con un número de revoluciones nominal predeterminado fijo y éste, a su vez, con una capacidad de aspiración fija.

ES 2 305 639 T3

En el modelo aquí elegido, la capacidad de aspiración fija de las bombas 10, 11 es incorporada como una magnitud fija. Entre las bombas 10, 11 se encuentra una tapa de máquina 12 en cuyo lado inferior se encuentra un porta-cátodos 13 que lleva un cátodo 14 con un blanco 15. Un ánodo 16, que se encuentra debajo del blanco 15, está sujetado en un soporte 17 que contiene un sistema de refrigeración 18 y está unido a través de un aislamiento 19 a una pared 20 de la cámara de recubrimiento 2. Junto al ánodo 16 se han previsto líneas de alimentación 21 para los gases de *sputtering*. En una cubierta de cátodo 22 se han previsto las tuberías de agua de refrigeración 23, 24 para los cátodos y que sirven para el avance y retroceso del agua de refrigeración. El 25 designa la conexión del cátodo. Una compuerta intersticial 26 conecta la cámara de recubrimiento 2 con la cámara intermedia 4.

Si bien la fig. 1 muestra un solo cátodo 14 y un solo blanco 15, no obstante, la invención también es aplicable a instalaciones con dos o más blancos.

El 37 designa un sensor de presión conectado por medio de una línea 27 a un control 28 que contiene un modelo de la cámara de *sputtering* 1. De forma correspondiente, la presión de gas en la cámara de recubrimiento 2 es controlada a través de las líneas de control 29, 30 y las válvulas 31, 32, y la tensión cátodo-ánodo es controlada a través de las líneas 33, 34. La presión media P en la cámara de recubrimiento 2 se calcula a partir de la proporción entre la admisión de gas F y la capacidad de aspiración efectiva S_{eff} de todas las bombas conectadas:

$$P[\text{mbar}] = 0.01812 * F[\text{sccm}] / S_{\text{eff}}[1/\text{s}]$$

siendo sccm = centímetros cúbicos estándar por minuto, y 1 sccm = 0,01812 mbar 1/s.

La posición del borde anterior 35 del sustrato 5 o se mide de forma continua o se calcula. Si se calcula, es necesario registrar el momento de la introducción del sustrato en la cámara de *sputtering* 1 ó en la cámara de recubrimiento 2. El valor posicional del sustrato 5 se comunica al control 28 a través de una línea de control 36.

Ahora, mediante la posición del sustrato 5, introducida en todo momento, y con ayuda de la función de corrección determinada a partir del modelo de la cámara de *sputtering* 1 en combinación con un circuito regulador por software, el control 28 puede ajustarse de manera que se produzca un recubrimiento uniforme en la dirección de avance del sustrato 5.

La fig. 2 muestra una representación esquemática de un modelo de cámara de *sputtering* utilizado. Este modelo no se refiere a la fig. 1, sino a una cámara con varios blancos.

El modelo macroscópico dinámico 40 del *sputtering* reactivo, en que se basa esta invención, calcula la interacción entre el proceso de *sputtering* y la cinética de flujo de gas del recipiente en una instalación de *sputtering* virtual que reproduce una sección de la cámara de *sputtering* real 1 según la fig. 1. Esta sección comprende un número de M blancos de *sputtering* virtuales 41 a 43, así como una parte del volumen del recipiente en la zona de *sputtering*, el cual está reproducido en la simulación en forma de las células 44, 45, 46, 47. La representación de una instalación de *sputtering* real según la fig. 1 muestra el caso especial de un solo blanco de *sputtering* 15. Sin embargo, el modelo 40 permite un número discrecional de blancos de *sputtering* virtuales 41 a 43, para poder simular con ellos, por ejemplo, también el comportamiento de los cátodos dobles, etc.

Los números 55 a 59 designan las superficies a recubrir mediante *sputtering*. Éstas pueden ser sustratos o paredes de cámara. Los números de referencia 59, 62, 65 indican las partículas arrancadas por *sputtering* que a continuación se distribuyen en forma de ramales 60, 61 y 63, 64.

El transporte de gas entre las células 44 a 47 dentro de esta sección está marcado por valores de conductividad de flujo 48 a 50, mientras que los flujos de entrada y salida de gas en los límites de esta sección están marcados por las capacidades de aspiración efectivas 51 a 54. Al contrario de la capacidad de aspiración efectiva, el valor de conductividad de flujo $S_{44/45}$ designa la proporción entre un flujo de gas neto $F_{44/45}$ entre dos células 44, 45 y la diferencia de presión $p_{44} - p_{45}$ entre éstas.

$$S_{44/45}[1/\text{s}] = 0.01812 * F_{44/45}[\text{sccm}] / (p_{44} - p_{45})[\text{mbar}]$$

Los coeficientes 48, 49, 50 de los valores de conductividad de flujo y 51, 52, 53, 54 de las capacidades de aspiración efectivas se determinan con ayuda del llamado método "Direct Simulation Monte Carlo" (DSMC).

La totalidad de todos los coeficientes 48, 49, 50 forma en el caso de N células 44 a 47 una matriz simétrica de $N * N$. En el presente ejemplo, para el método DSMC se dispone de un software separado que está ejecutado como algoritmo paralelo y que puede calcular a través de un clúster Linux un perfil real tridimensional de presión y flujo de recipientes con circulación de gas. Este método tiene que repetirse para diferentes posiciones del sustrato 5, de manera que los coeficientes 48 a 50 y 51 a 54, en forma de funciones de la posición del sustrato, son transferidos al modelo dinámico 40.

Los blancos de *sputtering* virtuales 41 a 43 tienen asignados coeficientes que corresponden, por ejemplo, a las partes capturadoras de la superficie del blanco 41 en la célula 44. La totalidad de todos los coeficientes forma una matriz de $M * N$. Además, cada célula 44 a 47 tiene asignada una superficie de sustrato 55 a 58. La parte proporcional del material pulverizado de los blancos 41 a 43 sobre las superficies de sustrato 55 a 58 es determinada por los coeficientes 60, 61, 63, 64, 65 que en su totalidad también pueden representarse como matriz de $M * N$. Para determinar los coeficientes 60 a 65 se emplea otro método Monte Carlo para la simulación de trayectorias de partículas neutras pulverizadas (Karol Macäk, Peter Macäk, Ulf Helmersson: *Monte Carlo simulations of the transport of sputtered particles*, *Computer Physics Communications* 120, 1999, S. 238-254). De este modelo también se dispone en forma de un módulo externo de software que no está representado en la Fig. 2.

Ahora, en el interior de cada célula 44 a 47 del modelo dinámico 40, se emplea un modelo de *sputtering* de forma análoga a Berg *et al.* (S. Berg, H.-O. Blohm, T. Larsson, and C. Nender: *Modeling of reactive sputtering of compound materials*, *J. Vac. Sci. Technol. A*5(2), Mar/Apr. 1987, S. 202-207). Por consiguiente, el acoplamiento de las células 44 a 47 entre sí viene dado por los valores de conductividad 48 a 50 y los blancos 41 a 43 con los porcentajes de superficie y de *sputtering* de éstos. Cada célula 44 a 47 puede conectarse a una entrada de gas 66 a 69. Mediante los coeficientes 51 a 54 se representan bombas directamente conectadas, o bien, conexiones a cámaras de *sputtering* contiguas que no se calculan directamente en el modelo dinámico 40. El modelo 40 entero puede entenderse, al fin y al cabo, como un sistema de ecuaciones diferenciales acopladas, no lineales y dependientes del tiempo para cuya solución existen métodos numéricos estandarizados (p. ej. J. R. Cash, A. H. Carp, *ACM Transactions on Mathematical Software* 16 (1990), S. 201 ff).

El modelo original de Berg no contiene ningún mecanismo para el cálculo de la tensión del blanco. Ésta es considerada constante si la potencia es constante. En la presente invención, el rendimiento de electrones secundarios del material de blanco ha sido introducido en función del estado de oxidación, por lo que la tensión del blanco puede calcularse en función de la potencia y de otros parámetros de proceso.

Para poder modelar correctamente la dependencia de la presión total de las curvas características de proceso, se ha introducido, además, un mecanismo de pérdida de iones de argón en superficies próximas al blanco - por ejemplo, paredes de cámara, paneles, etc. Especialmente en caso de una baja presión total, una parte de los iones de argón generados no contribuye al proceso de *sputtering*, sino que es absorbido por otras superficies próximas al blanco.

Un análisis más exacto de las curvas características de proceso muestra, además, que para una correcta modelación resulta imprescindible incluir en el modelo la dependencia tensional y energética del rendimiento de *sputtering*. Este aspecto ha quedado desatendido hasta ahora por el estado de la técnica.

En la fig. 3 se muestra una representación más detallada del circuito regulador virtual para la estabilización de la tasa de recubrimiento, así como del control conectado para el caso sin regulación de proceso *in situ*.

Para la corrección de las fluctuaciones de los espesores de capa se considera, en primer lugar, el caso en que el punto de trabajo elegido del proceso de *sputtering* no requiere una estabilización de proceso *in situ* adicional. En este caso, en el control 28 de una instalación de *sputtering* se encuentra integrada una función de compensación 70 tabulada o parametrizada que depende de la posición del sustrato de vidrio 5, donde la posición del vidrio es leída a través de la línea de control 36.

Con ayuda de la función de corrección 70, el proceso de *sputtering* es modulado en la instalación de *sputtering* 1 en función de la posición del sustrato. En el ejemplo de ejecución, esto se produce por un flujo de gas variable que es transmitido a través de las líneas de control 29, 30, o bien, mediante una característica de descarga variable que es transmitida como potencia total, corriente o tensión a través de las líneas 33, 34.

Para obtener una función de corrección o compensación 70 que sea adecuada para minimizar las fluctuaciones en los espesores de capa, se realiza de antemano el modelo dinámico 40 del proceso de *sputtering* de la instalación de *sputtering* 1, y este modelo se conecta dentro de un circuito regulador virtual 71 a un elemento regulador 72. Al elemento regulador 72 se asigna, como magnitud de regulación, la tasa de recubrimiento dinámica media modelada 73 sobre el sustrato, así como un parámetro de instalación 74 como, por ejemplo, el flujo de gas o la potencia de descarga como magnitud de ajuste. El elemento regulador virtual 72 produce en la simulación, en primer lugar, una tasa de recubrimiento media 73 uniforme en el tiempo.

Si existe una buena consonancia entre el modelo 40 y la instalación real 1, el transcurso temporal de la magnitud de ajuste 74 puede utilizarse como función de corrección 70 para el modelo real, de manera que también el recubrimiento real en el sustrato 5 adquiere un perfil de espesor de capa más uniforme.

La fig. 4 muestra una representación más detallada de un circuito regulador virtual para estabilizar la tasa de recubrimiento, así como el control conectado, para el caso de una regulación de proceso *in situ*.

En algunos casos es necesario equipar también la instalación de *sputtering* real 1 con un regulador 76 para mantener constante la presión parcial del gas reactivo, medida mediante el sensor de presión 37 y transmitida a través de la línea de control 27. Como magnitud de ajuste puede hacerse servir la potencia de descarga, transmitida a través de las

ES 2 305 639 T3

líneas 33, 34, o bien, el flujo de gas inerte o reactivo, transmitido a través de las líneas 29, 30. Estas así llamadas estabilizaciones del punto de trabajo son necesarias cada vez que el punto de trabajo se encuentra en la denominada zona de transición de una curva característica del proceso de *sputtering*.

5 En este caso, una función de corrección 70 para minimizar las fluctuaciones de los espesores de capa, se aplica al punto de trabajo 77 del regulador 76 en vez de aplicarse a los parámetros de instalación. La posición de sustrato x se lee nuevamente desde el control a través de la línea 36. A fin de obtener para ello la función de corrección, se configura a nivel de simulación un doble circuito regulador virtual 78: Al modelo de simulación 40 de la instalación de *sputtering* se encuentra conectado un elemento regulador virtual 79 para la estabilización de proceso *in situ*.
10 Idealmente, el elemento regulador virtual 79 contiene el mismo algoritmo que el elemento regulador real 76. Con ello, la presión parcial de gas reactivo simulada 81 de un sensor de presión virtual se regula mediante la variación de un parámetro de proceso 64, por ejemplo, la potencia de descarga o el flujo de gas, y se ajusta al valor teórico 82.

15 Ahora, y mediante otro elemento regulador 83, el valor teórico 82 se regula de manera que la tasa de recubrimiento dinámica media 73 sobre el sustrato queda estabilizada en un valor teórico 75. La magnitud de ajuste del regulador 83 corresponde al valor teórico 82 del regulador 79. Después de la simulación, el transcurso temporal de la magnitud de ajuste vuelve a transferirse como función de corrección tabulada 70 al control 28 de la instalación real.

20

Referencias bibliográficas mencionadas en la descripción

Esta lista de referencias bibliográficas mencionadas por el solicitante se ha incorporado exclusivamente para información del lector. Pero no forma parte integrante de la documentación de la patente europea. Aún habiéndose recopilado esta bibliografía con sumo cuidado, no pueden excluirse errores u omisiones, por lo que la EPO declina toda responsabilidad a este respecto.

25

Documentación de la patente mencionada en la descripción

- 30 • US 5751607 A [0019]
• US 6070735 A [0019]
• US 6512998 B [0019]
35 • KR 2000023859 [0019]
• JP 10294293 A [0019]
40 • JP 2003282381 A [0019]
• US 6512998 B1 [0019]
• US 20030141184 A [0019]
45 • US 6425988 B [0019]
• US 6524449 B [0019]
50 • US 6668207 B [0019]

Documentación no relacionada con la patente mencionada en la descripción

- 55 • G. A. BIRD. Recent Advances and Current Challenges for DSMC. *Computers Math. Applic.*, 1998, vol. 35 (1/2), 1-14.
• S. BERG; H.-O. BLOM; T. LARSSON; C. NENDER. Modeling of reactive sputtering of compound materials. *J. Vac. Sci. Technol.*, Marz 1987, vol. A5 (2), 202-207.
60 • *Thin Solid Films*, 1996, vol. 289, 140-146.
• KAROL MACÄK; PETER MACÄK; ULF HELMERSSON. Monte Carlo simulations of the transport of sputtered particles. *Computer Physics Communications*, 1999, vol. 120, 238-254.
65 • A. PFLUG; N. MALKOMES; V. SITTINGER; B. SZYSZKA. Simulation of Reactive Magnetron Sputtering Kinetics in Real In-Line Processing Chambers. *Thin Solid Films*, 2003, vol. 442, 21-26.

ES 2 305 639 T3

• A. PFLUG; B. SZYSZKA; V. SITTINGER; J. NIEMANN. Process Simulation for Advanced Large Area Optical Coatings. *Society of Vacuum Coaters*, 2003, 241-247.

5 • A. PFLUG; B. SZYSZKA; J. NIEMANN. Simulation des reaktiven Magnetron-Sputterprozesses in Inline-Anlagen. *JOT*, 2003, vol. 1, X-XIII.

• KAROL MACÄK; PETER MACÄK; ULF HELMERSSON. Monte Carlo simulations of the transport of sputtered particles. *Computer Physics Communications*, 1999, vol. 120, 238-254.

10 • S. BERG; H.-O. BLOHM; T. LARSSON; C. NENDER. Modeling of reactive sputtering of compound materials. *J. Vac. Sci. Technol.*, Marz 1987, vol. A5 (2), 202-207.

15

20

25

30

35

40

45

50

55

60

65

REIVINDICACIONES

1. Un método para recubrir sustratos en instalaciones en línea, donde un sustrato es movido a través de al menos una cámara de recubrimiento y es recubierto durante este movimiento, **caracterizado** por los siguientes pasos:
 - a) se forma un modelo (40) de la cámara de recubrimiento (2) que tiene en consideración las modificaciones de los parámetros de cámara producidos por el movimiento de avance del sustrato (5) a través de la cámara de recubrimiento (2);
 - b) se registra la posición del sustrato (5) en el interior de la cámara de recubrimiento (2);
 - c) los parámetros de cámara se ajustan a la posición del sustrato (5) según las pautas del modelo (4).
2. El método según la reivindicación 1, **caracterizado** en que el modelo (40) determina una función de corrección (70) para uno o varios parámetros de cámara en función de la posición del sustrato (5).
3. El método según la reivindicación 1, **caracterizado** en que la función de corrección (70) es transmitida a un control (28) de la instalación de recubrimiento (1).
4. El método según la reivindicación 1, **caracterizado** en que las dimensiones del sustrato (5) son introducidas en el modelo (40).
5. El método según la reivindicación 1, **caracterizado** en que se determina una tasa de recubrimiento dinámica media (73) en base al modelo (40), y de que la tasa de recubrimiento (73) obtenida se introduce como magnitud de regulación en un regulador virtual (72) el cual mantiene constante la tasa de recubrimiento dinámica media (73) mediante la variación del flujo de gas o de la potencia de descarga (74).
6. El método según la reivindicación 5, **caracterizado** en que la variación del flujo de gas o de la potencia de descarga (74) es transmitida al control (28) como función de corrección (70).
7. El método según la reivindicación 1, **caracterizado** en que se determina una tasa de recubrimiento dinámica media (73) en base al modelo (40), y de que la tasa de recubrimiento (73) obtenida se introduce como magnitud de regulación en un regulador virtual (83) el cual mantiene constante la tasa de recubrimiento dinámica media (73) mediante la variación de una magnitud de regulación de otro regulador (82) para la estabilización *in situ* del punto de trabajo.
8. El método según la reivindicación 7, **caracterizado** en que la variación de la magnitud de regulación (82) obtenida del segundo regulador (79) es transferida al control (28) como función de corrección (70).
9. El método según la reivindicación 1, **caracterizado** en que los parámetros de cámara son la tensión de los cátodos, el flujo de gas, la temperatura y la presión de gas.
10. El método según la reivindicación 1, **caracterizado** en que el sustrato (5) es un panel de vidrio.
11. El método según la reivindicación 1, **caracterizado** en que la posición registrada del panel de vidrio (5) es el borde anterior (35).
12. El método según la reivindicación 1, **caracterizado** en que para la realización del modelo (40) de la cámara de recubrimiento (2) se emplea el método Monte Carlo.
13. El método según la reivindicación 1, **caracterizado** en que el recubrimiento del sustrato (5) se realiza mediante *sputtering*.
14. El método según la reivindicación 13, **caracterizado** en que el proceso de *sputtering* es reproducido en base al modelo de Berg.
15. El método según una o varias de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado** en que la cámara de recubrimiento (2) se divide en varios volúmenes parciales (44 a 47) y de que en cada uno de estos volúmenes parciales (44 a 47) se aplica el modelo de Berg.
16. El método según una o varias de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado** en que la formación del modelo según el método de Monte Carlo y la formación del modelo de Berg se acoplan matemáticamente y de que se forma un sistema acoplado de ecuaciones diferenciales dependientes del tiempo, del cual pueden desprenderse las magnitudes de regulación para la minimización de los espesores de capa.
17. El método según la reivindicación 1, **caracterizado** en que varias cámaras de recubrimiento (2) están conectadas en serie y de que los parámetros de proceso para todas las cámaras de recubrimiento (2) son reproducidos a través de un modelo.

FIG.1

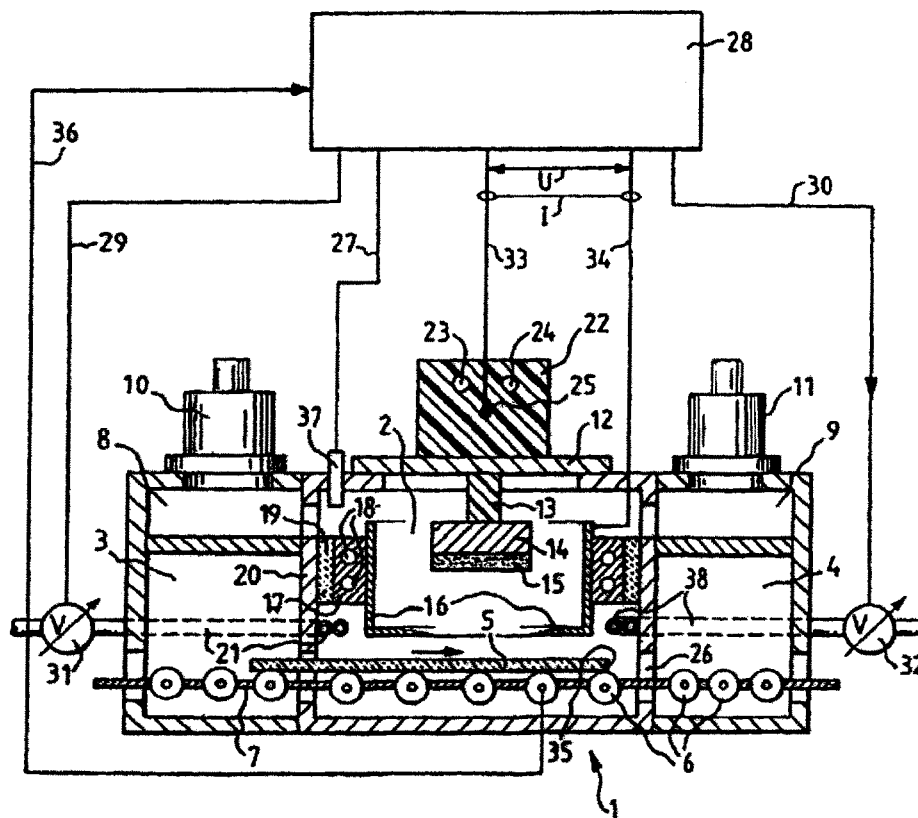


FIG.2

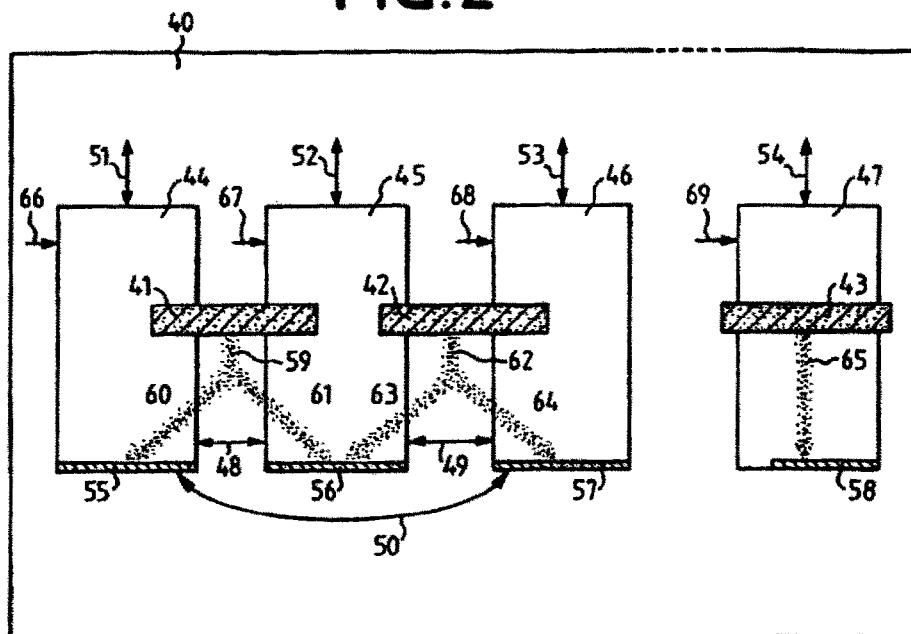


FIG.3

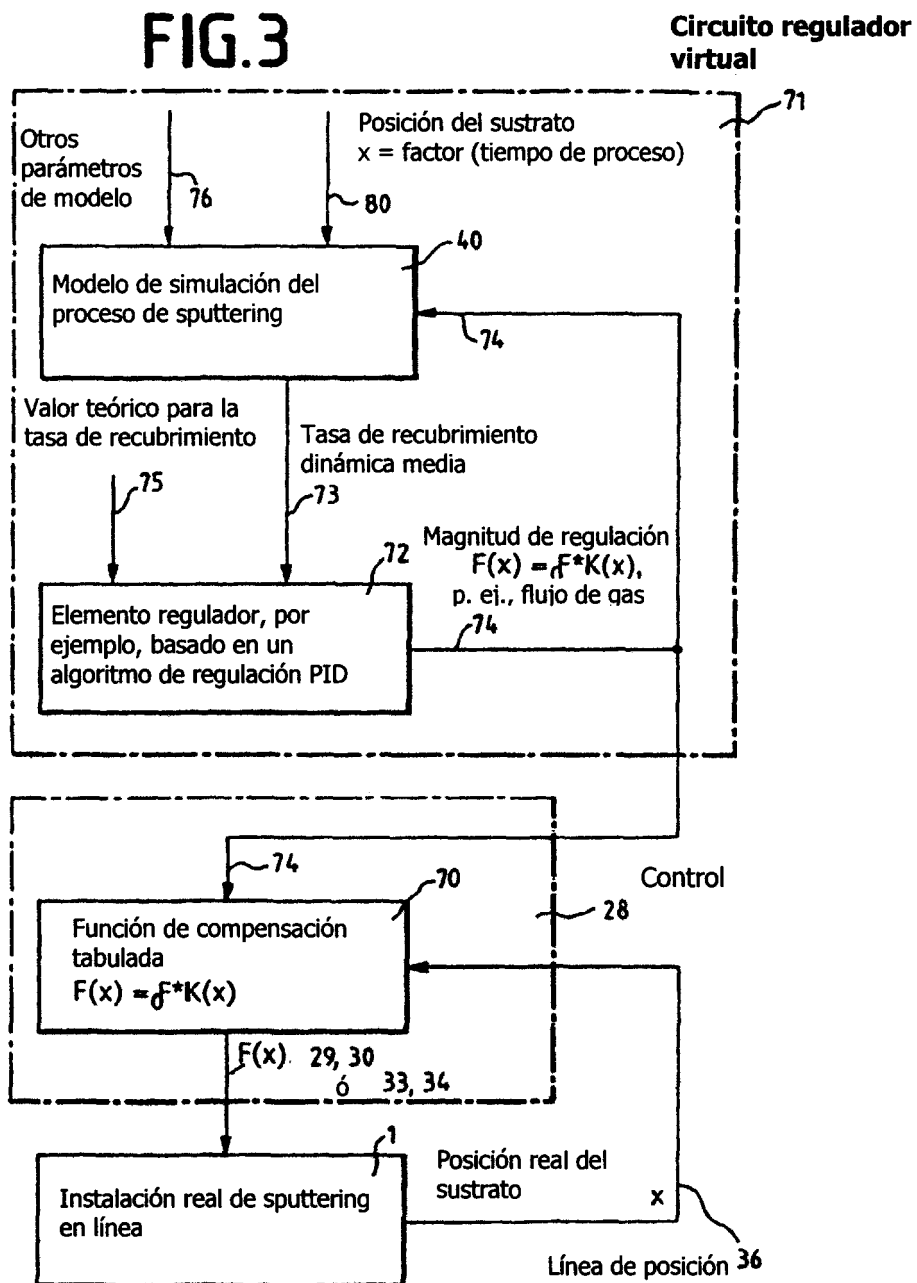


FIG.4

