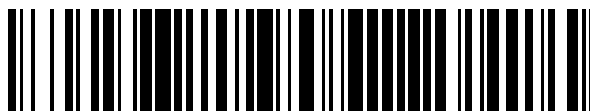


19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 686 877**

51 Int. Cl.:

**C23C 14/54** (2006.01)

**C23C 14/34** (2006.01)

**H01J 37/32** (2006.01)

**H01J 37/34** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **21.12.2015 PCT/EP2015/080897**

87 Fecha y número de publicación internacional: **14.07.2016 WO16110407**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **21.12.2015 E 15817332 (8)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **13.06.2018 EP 3146087**

54 Título: **Una cubierta con un sistema de sensor para un sistema de medición configurable para un sistema de pulverización catódica configurable**

30 Prioridad:

**11.01.2015 BE 201505011**

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

**22.10.2018**

73 Titular/es:

**SOLERAS ADVANCED COATINGS BVBA  
(100.0%)**

**E3laan 75-79  
9800 Deinze, BE**

72 Inventor/es:

**VAN DE PUTTE, IVAN;  
DEWILDE, NIEK;  
GOBIN, GUY y  
DE BOSSCHER, WILMERT**

74 Agente/Representante:

**ELZABURU, S.L.P**

ES 2 686 877 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

Una cubierta con un sistema de sensor para un sistema de medición configurable para un sistema de pulverización catódica configurable

### Campo de la invención

5 La presente invención se refiere, en general, al campo de los dispositivos de pulverización catódica y a los métodos de pulverización catódica, especialmente con respecto a la pulverización catódica de revestimientos con múltiples capas, por ejemplo, al menos tres, al menos seis o incluso al menos diez capas o más. Más específicamente, la presente invención se refiere a una cubierta móvil, por ejemplo extraíble, en la que está montado un sistema de sensor con al menos un sensor, para un sistema de medición configurable que comprende una cubierta de este tipo  
10 con sistema de sensor, y a un sistema de pulverización catódica configurable que comprende dicho sistema de medición. La invención también se refiere a un método para configurar un sistema de medición configurable y a un método para aplicar un revestimiento de múltiples capas sobre un sustrato, y a un producto de programa informático para medir, analizar y controlar un revestimiento de múltiples capas.

### Antecedentes de la invención

15 La técnica de deposición de material mediante pulverización catódica se conoce desde hace décadas y, por lo tanto, no se necesita una explicación más detallada. Basta decir que típicamente se genera un plasma en una cámara de baja presión en la que un gas inerte como el argón o un gas activo como el oxígeno o el nitrógeno está presente para depositar una capa del material de pulverización catódica sobre un "sustrato", y que se aplica una alta tensión a través de un denominado "blanco de pulverización catódica" o "magnetron" (que contiene el material que ha de ser  
20 pulverizado catódicamente). Los átomos de argón se ionizan y el blanco de pulverización catódica se bombardea con iones de argón, causando que los átomos se desprendan del blanco de pulverización catódica y se depositen sobre el sustrato.

Los revestimientos pueden consistir en una capa de material depositado, o en varias capas, por ejemplo, tres o seis o diez o catorce, o incluso más de catorce capas de diversos materiales que se depositan una encima de la otra.  
25 Mediante una selección adecuada del grosor de cada capa, y mediante una elección adecuada del material, se pueden obtener pilas de revestimiento personalizadas, con propiedades muy específicas. Sin embargo, es un desafío técnico obtener las propiedades específicas previstas debido al desafío de controlar las propiedades mecánicas de las capas, por ejemplo, el grosor de cada capa, para cada capa individual en un lote de producción. Es aún más difícil de obtener, además, propiedades uniformes sobre superficies relativamente grandes, como por  
30 ejemplo monitores o parabrisas de automóviles, o vidrios para las ventanas de una casa particular o para edificios de oficinas.

La FIG. 1(b) a (d) muestra un ejemplo de una categoría particular de pilas de revestimiento conocidas con propiedades muy interesantes, conocidas como "pilas de baja E" (pila de baja emisividad), que se utilizan para  
35 ventanas de edificios. Hay varias configuraciones comunes: (b) una pila con seis capas que comprende una sola capa de plata (llamada "SLE", del inglés "Single Ag Low-E", que significa "plata simple de baja E"), (c) una pila con diez capas que comprende dos capas de plata (llamada "DLE", del inglés "Double Ag Low-E", que significa "plata doble de baja E"), y (d) una pila con catorce capas que comprende tres capas de plata ("TLE", del inglés "Triple Ag Low-E", que significa "plata triple de baja E"). Estas pilas ofrecen la ventaja de que dejan pasar gran parte de la luz solar visible, pero reflejan en gran medida la luz infrarroja (tanto la luz infrarroja (IR) proveniente del sol como la luz  
40 IR que emana de los objetos en la sala de estar o de una oficina), como se muestra en la FIG. 1(a). De esta manera, se puede evitar gran parte del calor en el verano, y se puede mantener el calor mayormente en el interior, en el invierno, y aún se puede ver a través de la ventana.

La propiedad de baja E de la pila de TLE es, por lo tanto, más favorable que la de la pila de DLE, que a su vez es más favorable que la pila de SLE, que a su vez es más favorable que el vidrio no recubierto, como se muestra en la  
45 FIG. 2, pero la pila de TLE es, por supuesto, más difícil de fabricar y, por lo tanto, también es más costosa. Resulta de ello que una pequeña desviación en el grosor de cualquier capa sola puede dar como resultado una desviación significativa del color de reflexión de toda la pila de bajo E. Mientras que una desviación máxima permitida de los grosores de capa individuales es de aproximadamente 4% para la pila de SLE, esta es solo alrededor de 2% para una pila de DLE, y solo alrededor de 1% para una pila de TLE. Es un reto técnico serio obtener tales tolerancias,  
50 especialmente cuando los sustratos tienen dimensiones relativamente grandes (por ejemplo, más de 1 m o incluso más de 2 m de ancho y con una longitud mayor que la anchura), especialmente teniendo en cuenta que las instalaciones típicas donde se aplican tales pilas son presentadas con mucha flexibilidad, y pueden tener hasta 50 estaciones de pulverización catódica (que, sin embargo, no se usan todas realmente para cada producto), para pulverizar en forma catódica hasta un máximo de 20 materiales diferentes, configurados para producir un lote de  
55 productos con una pila de revestimiento según las especificaciones del cliente.

En el documento WO2014/105557A1 de First Solar Inc., se describe una instalación de pulverización catódica que se optimiza para producir una pila de revestimiento fijo específico de tres capas para dispositivos fotovoltaicos. Esta instalación de pulverización catódica 300 se muestra esquemáticamente en la FIG. 3, que es una réplica de la FIG. 2

de WO2014/105557A1, y comprende un sistema de sensor 310 *ex situ* al final de la línea de producción para medir las propiedades del revestimiento completo, así como dos sistemas de medición 311, 312 *in situ* para medir la propiedad de una pila de revestimiento parcial con una capa y dos capas, respectivamente, después de la aplicación de cada capa. Los datos de medición son recopilados por un sistema informático con un paquete de software para modelado óptico que es capaz de calcular el grosor real más probable de la capa de cada capa depositada, haciendo uso de las llamadas "técnicas de ajuste de curva" sobre la base de los datos de medición espectral del sistema de medición 310 *ex situ*, y sobre la base de los sistemas de sensor 311, 312 *in situ*, y sobre la base de los parámetros de la pila de revestimiento a producir (por ejemplo, los materiales y el grosor previsto de cada capa), y a partir de propiedades de materiales conocidos. La potencia de los blancos de pulverización catódica puede ajustarse sobre la base de los grosores medios de capa calculados. Esta solución, sin embargo, no es fácilmente aplicable, y mucho menos la más adecuada para una instalación de pulverización catódica configurable como se ha descrito anteriormente, que se requiere para producir series relativamente pequeñas de pilas de revestimiento con composiciones muy diferentes. Por lo tanto, ciertamente hay lugar para alternativas y/o mejoras.

### **Compendio de la invención**

Un objeto de la presente invención consiste en proporcionar una buena solución o una buena solución parcial para mejorar el control de la pulverización catódica de revestimientos de múltiples capas sobre un sustrato, tal como vidrio.

Un objeto de realizaciones particulares de la presente invención consiste en ofrecer una buena solución para permitir medir y/o analizar una pila de revestimiento configurable que tiene múltiples capas de una manera flexible, en particular para un sistema de pulverización catódica configurable o reconfigurable.

También es un objeto de realizaciones particulares de la presente invención proporcionar un sistema de medición, o partes del mismo, bueno y flexible, para medir una pila de revestimiento configurable o reconfigurable con múltiples capas, en particular en un sistema de pulverización catódica configurable o reconfigurable.

También es un objeto de realizaciones particulares de la presente invención proporcionar un sistema de pulverización catódica configurable o reconfigurable bueno y flexible, con el que pueden producirse varias pilas de revestimiento de múltiples capas (por ejemplo, al menos tres, o al menos seis, o al menos diez capas) dentro de tolerancias predefinidas, por ejemplo, de aproximadamente +/- 1% de variación del grosor de la capa o mejor, de una manera económicamente viable.

También es un objeto de realizaciones particulares de la presente invención proporcionar un sistema de pulverización catódica configurable bueno y flexible con el que puedan producirse pilas de revestimiento de múltiples capas dentro de tolerancias predefinidas que se aplican en toda el área del sustrato.

También es un objeto de realizaciones particulares de la presente invención proporcionar un buen método para configurar un sistema de medición configurable de un sistema de pulverización catódica configurable.

También es un objeto de realizaciones particulares de la presente invención proporcionar un buen método para aplicar un revestimiento de múltiples capas en un sistema de pulverización catódica configurable.

También es un objeto de realizaciones particulares de la presente invención proporcionar un método para aplicar un revestimiento de múltiples capas sobre un sustrato en un sistema de pulverización catódica configurable, en el que las tolerancias de las capas se controlan más eficazmente sobre el área total del sustrato.

Este objeto se consigue mediante realizaciones de la presente invención.

En un primer aspecto, la presente invención proporciona una cubierta para un sistema de medición configurable de un sistema de pulverización catódica configurable, estando dicho sistema de pulverización catódica configurable adaptado para pulverizar catódicamente revestimientos de múltiples capas sobre un sustrato, comprendiendo dicho sistema de pulverización catódica configurable una pluralidad de estaciones y teniendo una pluralidad de aberturas para proporcionar acceso a un espacio dentro de las estaciones; pudiendo dicha cubierta unirse de manera separable a las aberturas de las estaciones; comprendiendo dicha cubierta un sistema de sensor que permite al menos una propiedad de una pila parcial del revestimiento de múltiples capas sobre el sustrato a ser determinado, comprendiendo dicho sistema de sensor al menos un sensor dispuesto para detectar o medir una señal que es representativa de la al menos una propiedad de la pila parcial, y que comprende al menos unos primeros medios de transmisión para transferir o enviar la señal detectada o la propiedad medida; estando dicho al menos un sensor unido a la cubierta.

Es una ventaja de dicha cubierta que es especialmente adecuada para su uso en sistemas configurables de pulverización catódica, por ejemplo en sistemas de pulverización catódica con al menos quince estaciones, adaptados para la producción de lotes relativamente pequeños o para la producción de una variedad de productos, en donde se puede aplicar una pila de revestimiento diferente para cada serie. Las pilas de revestimiento pueden diferir, por ejemplo, en su composición y/o en términos del número de capas.

5 Es una ventaja de las realizaciones de una cubierta según la presente invención que contiene al menos un sistema de sensor, unido a la cubierta, ya que de esa manera la posición del sistema de sensor en el sistema de pulverización catódica puede cambiarse y/o moverse fácilmente dependiendo de la composición cambiante del revestimiento de múltiples capas; por ejemplo, simplemente moviendo la cubierta. En la práctica, por lo tanto, esta posición puede cambiar para cada nueva serie de producción.

10 En realizaciones modulares de la cubierta (por ejemplo cubiertas que tienen una unidad de procesamiento que está unida de manera separable al exterior de la cubierta), ni siquiera se tiene que mover nunca la cubierta completa, sino que puede ser suficiente mover solo una parte de ella (por ejemplo la unidad de procesamiento, y opcionalmente también una fuente). Esto ofrece la ventaja de que no necesita retirarse la cubierta, por lo que no tiene que suprimirse el vacío, de modo que puede ganarse mucho tiempo, mientras que, al mismo tiempo, se permite reconfigurar el sistema de medición con sólo un número limitado de unidades de procesamiento. Si al menos dos unidades de procesamiento (por ejemplo unidades de lectura) están disponibles, por ejemplo una de baja calidad y una de mayor calidad, una cubierta modular adicional ofrece la posibilidad de intercambiar la precisión de medición de una cubierta con la de la otra cubierta, sin mover la propia cubierta, sino solo la unidad de procesamiento (y, posiblemente, también la fuente).

15 La expresión "composición cambiante" hace referencia, entre otras cosas, a que la pila de revestimiento en diferentes series de producción puede tener una composición parcial o completamente diferente, ambas en términos del número de capas (por ejemplo, tres o seis o diez o catorce o veinte), y del material de cada capa, y del grosor de cada capa.

20 Tal como se usa en la presente memoria, se entenderá por "cubierta" también una puerta o una escotilla o un miembro o un panel o tapa fácilmente separable, pero, por ejemplo, no un panel que esté soldado, o fijado firmemente utilizando otros medios, al sistema de pulverización catódica. En funcionamiento, la cubierta tiene por lo menos una superficie que está expuesta al lado atmosférico y al menos una superficie que está expuesta al lado del vacío.

25 Tal como se usa en la presente memoria, se entenderá por "fácilmente separable", por ejemplo, una conexión de brida, que, por ejemplo, puede unirse o separarse con tuercas y pernos o abrazaderas o sistemas tensores, aunque también son posibles otras conexiones conocidas por los expertos en la técnica. En un sistema de pulverización catódica en el que el vidrio se transporta horizontalmente, y en el que las aberturas están disponibles en la parte superior del sistema (por ejemplo, en un sistema de pulverización catódica típico para revestir vidrio arquitectónico), puede ser suficiente simplemente colocar la cubierta en el sistema de pulverización catódica sin anclaje adicional. La gravedad proporciona una obturación inicial, y la obturación adicional es automáticamente obtenida en el momento en que el sistema de pulverización catódica se somete al vacío. Debe ser posible obturar la conexión de manera hermética, por ejemplo, usando juntas tóricas y similares, como es conocido por el experto en la técnica.

30 Es una ventaja de unir el al menos un sistema de sensor a una cubierta móvil, que se ajusta a las aberturas existentes de los sistemas de pulverización catódica existentes, porque este tipo de cubierta se puede usar inmediatamente en los sistemas existentes sin que sea necesario modificar dichos sistemas.

35 Es una ventaja de una cubierta con un sistema de sensor según las realizaciones de la presente invención, que el operario del sistema de pulverización catódica configurable pueda elegir, a partir de ahora, en la apertura de cada estación, proporcionar una cubierta con un blanco de pulverización catódica, o una cubierta con una unidad de bomba, o una cubierta con una unidad de sensor, o, según ciertas realizaciones, una cubierta que tenga una unidad de sensor y un sistema de bomba, o una cubierta que tenga una unidad de sensor y una unidad de pulverización catódica, o una cubierta que tenga una unidad de sensor y una unidad de bomba y una unidad de pulverización catódica. De esta manera, se determina si la sección en cuestión se convertirá en una sección de pulverización catódica, o una sección de bomba, o una sección de medición, o una sección de combinación de una unidad de bomba con un sistema de sensor, etc. De esta manera, la flexibilidad de los sistemas de pulverización catódica configurables se amplía aún más, sin tener que agregar estaciones adicionales a la instalación de pulverización catódica.

40 Como la cubierta es fácilmente desmontable y se puede mover de una abertura a otra abertura (entre dos series de producción), se puede elegir una posición adecuada, por ejemplo óptima, para la cubierta con el sistema de sensor, en función de la pila de revestimiento específica a aplicar, y se puede entonces mover fácilmente a una posición diferente para hacer una pila de revestimiento diferente. La posición de las cubiertas también puede ser seleccionada basándose en múltiples series de producción, en las que realmente no se necesita usar todos los sistemas de sensor. Este último aspecto se aprovecha al máximo cuando la cubierta también tiene una unidad de procesamiento separable, porque, en tal caso, no todas las cubiertas de cada serie de producción necesitan tener una unidad de procesamiento, debido a que la unidad de procesamiento se puede mover entre diferentes series de producción.

45 Es una ventaja ubicar el sistema de sensor en la cubierta, en lugar de colocarlo en una posición fija en el sistema de pulverización catódica (por ejemplo, en la pared), porque de esta manera se puede mover fácilmente a una ubicación diferente, y no habrá necesidad de comprar una gran cantidad de sistemas de sensor, por ejemplo, un

sistema de sensor después de cada estación de pulverización catódica, que, de todas formas, por lo general, no siempre se usarían todos.

5 Es una ventaja usar un número (al menos uno) de cubiertas con un sistema de sensor según la presente invención en un sistema de pulverización catódica, porque esto permite que las mediciones *in situ* se lleven a cabo solo en una pila de revestimiento parcial (por ejemplo, una pila que incluye solo algunas, pero no todas las capas). Mediante una elección apropiada de la posición de esta cubierta única, o de un número de cubiertas (por ejemplo, menos de 70%, por ejemplo menos de 1/2, por ejemplo menos de 1/3, por ejemplo menos de 1/4, por ejemplo menos de 1/5 del número de estaciones o zonas de pulverización catódica), el número de cubiertas con un sistema de sensor puede ser drásticamente menor que el número de zonas de pulverización catódica, mientras las características (por ejemplo, los grosores de la capa) de la pila de revestimiento aún se puedan determinar con suficiente precisión, a un coste de inversión reducido.

15 Es una ventaja de dicha cubierta que permita configurar o reconfigurar fácilmente el sistema de pulverización catódica, ya que, dependiendo de la pila específica de capas que se produzca, la cubierta con el sistema de sensor (o varias de tales cubiertas) puede ser instalada en la(s) ubicación(es) más adecuada(s), por ejemplo corriente abajo de una/la(s) zona(s) de pulverización catódica que es/son la(s) más sensible(s) para ciertas propiedades del producto final (por ejemplo, el color). Al mismo tiempo, el uso de tal sistema de sensor puede aumentar significativamente la calidad del producto, porque las mediciones se pueden tomar en una o más ubicaciones adicionales, de modo que el sistema puede ajustarse de manera apropiada, sin aumentar el coste de la instalación proporcionalmente, dado que esta cubierta con el sensor se puede mover fácilmente a una ubicación diferente del sistema de pulverización catódica, que, además, puede seleccionarse óptimamente según la pila que se va a producir, y/o el número de cubiertas disponibles con dicho sistema de sensor.

20 Tal cubierta es idealmente apropiada para la producción de vidrio con una llamada "pila de baja E", que, a petición del cliente, por ejemplo, puede ser una de tres variantes: un revestimiento de "SLE", típicamente con seis capas, incluyendo una capa de plata, un revestimiento de "DLE", típicamente con diez capas, incluyendo dos capas de plata, o un revestimiento de "TLE", típicamente con catorce capas, incluyendo tres capas de plata.

25 Además, el sistema de pulverización catódica, que comprende blancos de pulverización catódica que contribuyen a la fabricación de una capa pulverizada catódicamente que es muy sensible de controlar, puede comprender fuentes de magnetrón planas o giratorias como se conoce en la técnica. Se sabe que dentro de una pila de baja E, una capa de plata y una capa dieléctrica pueden tener una contribución significativa a una propiedad sensible del producto final (por ejemplo, el color de reflexión de la pila de capas). En una configuración típica de revestimiento de vidrio arquitectónico de un área grande, se deposita la capa de plata desde un blanco plano y de un magnetrón, mientras que una capa dieléctrica se deposita desde un blanco cilíndrico y un magnetrón giratorio.

30 En general, algunas capas (por ejemplo, la capa dieléctrica) son más impactantes por su capacidad de lograr las propiedades deseadas de la pila. Por lo tanto, es una ventaja de algunas realizaciones de la presente invención que es posible controlar ciertas capas específicas frente a otras. Esto puede lograrse mediante la cubierta móvil que permite que un sistema de sensor pueda moverse y/o cambiarse.

35 Es una ventaja de la presente invención porque permite mejorar drásticamente la calidad de los revestimientos de varias capas, de una manera económicamente responsable, en particular en instalaciones con series de producción relativamente pequeñas, o que cambian regularmente los productos de revestimiento.

40 Una cubierta según las realizaciones de la presente invención es ventajosa porque contiene uno de los componentes (además de, por ejemplo, un componente de software), que permite completar la pila de revestimiento a analizar en términos de características, por ejemplo, en términos de grosores de capa. Si bien de alguna manera es posible con una pila de baja E de seis capas (dentro de márgenes aproximados) determinar el grosor de cada capa basándose únicamente en mediciones ópticas *ex situ* sin datos de medición *in situ*, prácticamente ya no es posible lograr esto con una pila de revestimiento de baja E de diez capas o de catorce capas con suficiente precisión y fiabilidad. Esto también se aplica a otras pilas de revestimiento de múltiples capas. Si se conoce el grosor de cada capa, se puede ajustar individualmente cada blanco de pulverización catódica correspondiente para lograr o acercarse al grosor previsto.

45 Es una ventaja adicional de dicha cubierta que comprende un sensor que está ubicado más cerca de zonas de deposición más críticas. Si el usuario depende únicamente del sistema *ex situ* del estado de la técnica al final de la línea de revestimiento, no sólo pierde precisión de las capas de ingeniería inversa que están siendo depositadas en el inicio de la línea de producción (que se puede controlar mucho mejor con la invención propuesta teniendo solo que evaluar un número limitado de capas), sino que puede tener dificultades con un tiempo de retraso significativo. En un sistema de revestimiento por pulverización catódica grande para vidrio arquitectónico que tiene muchas estaciones de pulverización catódica y, por ejemplo, una velocidad relativamente baja de sustrato con la intención de controlar con precisión una pila de plata triple de baja E a depositar, una hoja de cristal puede permanecer en el sistema de pulverización catódica durante muchos minutos, incluso decenas de minutos antes de que se deposite toda la pila. Si se produce una desviación repentina al principio de la línea, puede pasar un tiempo hasta que sea detectada por el sistema *ex situ*. Además, proporcionando una señal de realimentación que necesita unas pocas

iteraciones antes de que se consiga el ajuste exacto deseado, se podrá tomar una gran cantidad de estos muchos minutos antes de establecer la corrección. Además, la visibilidad precisa sobre una de las capas iniciales puede mostrar ser compleja con las soluciones de software existentes en una pila de múltiples capas. Con la invención propuesta, una cubierta que tiene un sistema de medición configurable puede posicionarse bastante temprano en la línea de producción de múltiples capas; por ejemplo, después de la primera capa crítica o sensible. Siempre que se produce una desviación en una de las capas iniciales, el sensor, que se coloca al principio de la línea de producción de múltiples capas, será capaz de detectarla mucho más rápido y con mucha mayor precisión. Como tal, puede asegurarse una corrección y un retorno al producto de alto rendimiento de alta calidad.

Mientras que las estaciones de pulverización catódica configurables actuales solo miden el producto final, la cubierta según la presente invención también permite la realización de mediciones provisionales (*in situ*) en una pila parcialmente aplicada. Los datos de medición del sistema de sensor de la cubierta, o una pluralidad de tales cubiertas, así como posiblemente también los datos de medición de un sistema de sensor *ex situ*, se pueden introducir en un paquete de software como, por ejemplo, BREIN u OptiRE, y sobre la base de todos estos datos, por ejemplo, puede determinarse el grosor más probable de cada capa. Si solo los datos de medición *ex situ* estuvieran disponibles al final de la línea, no sería posible determinar el grosor de cada capa con suficiente precisión. Mediante la adición de los resultados de medición adicionales obtenidos de uno o más de los sistemas de medición *in situ*, el margen de error puede reducirse drásticamente, acercándose así más estrechamente a las características predeterminadas del revestimiento completo.

En una realización, la cubierta comprende además: una fuente colocada en un lado interno de la cubierta, estando adaptada la fuente para generar una señal fuente que tiene una característica predeterminada.

La fuente puede ser, por ejemplo, una fuente de radiación óptica u otra fuente de radiación electromagnética o fuente de excitación. La fuente puede estar presente internamente (en la parte inferior de la cubierta, en el interior de la estación) para una exposición directa de la fuente al sustrato.

En una realización alternativa, la cubierta comprende además: una fuente colocada en un lado exterior de la cubierta, estando adaptada la fuente para generar una señal de fuente que tiene una característica predeterminada, y unos segundos medios de transmisión conectables a la fuente, estando los segundos medios de transmisión adaptados para transmitir o enviar una señal que se origina en la fuente al sustrato.

Como alternativa, la fuente puede estar instalada en el exterior de la cubierta, y la señal puede transferirse desde la fuente al sustrato por medio de unos medios de transmisión (por ejemplo, un conductor óptico o un cable de fibra óptica o eléctrico).

En una realización alternativa, la cubierta comprende además: unos segundos medios de transmisión conectables a una fuente externa, estando los segundos medios de transmisión adaptados para transmitir o enviar una señal que se origina desde la fuente al sustrato.

Es una ventaja de una cubierta como esta que sea modular con respecto a la fuente. Esto ofrece la ventaja de que la fuente (por ejemplo, una fuente de luz de alta calidad) sea intercambiable entre diferentes cubiertas, sin que sea necesario desmontar la propia cubierta. La fuente puede adquirirse por separado de la cubierta.

En una realización, el sistema de sensor comprende un sensor óptico, previsto para medir o transmitir una señal óptica que se origina desde la pila de revestimiento parcial.

En una realización preferida, el sistema de sensor comprende, entre otras cosas, una fuente de radiación, por ejemplo, una fuente de luz que emite una señal electromagnética con un espectro en el intervalo de, por ejemplo, 300 a 2000 nm, y un sensor o detector proporcionado para medir al menos una señal electromagnética con longitudes de onda en el intervalo de, por ejemplo, 300 a 2000 nm. Es una ventaja que pueda medirse una propiedad en un intervalo de longitud de onda relativamente amplio (por ejemplo, de al menos 300 nm de ancho), en lugar de una o más frecuencias discretas, ya que esto permite determinar los verdaderos grosores de capa con un mayor grado de precisión de lo que sería posible con solo señales monocromáticas, por ejemplo, mediante medios de ajuste de curvas.

Una ventaja de algunas realizaciones de la presente invención es que dicho sistema de sensor (que puede medir tanto al menos una parte del espectro visible - preferiblemente todo el espectro visible - como una parte del espectro de infrarrojos) es muy adecuado para medir una propiedad del llamado revestimiento de baja E sobre un sustrato de vidrio, por ejemplo un revestimiento de baja E seleccionado entre el grupo que consiste en: un revestimiento de baja E que tiene una sola capa de plata (SLE), un revestimiento de baja E que tiene dos capas de plata (DLE), y un revestimiento de baja E que tiene tres capas de plata (TLE).

Sin embargo, la invención no se limita únicamente a mediciones ópticas y son también posibles otras mediciones tales como, por ejemplo, mediciones eléctricas (por ejemplo, una medición para determinar una resistencia eléctrica entre dos puntos), por ejemplo mediciones magnéticas o por ejemplo mediciones mecánicas, o combinaciones de las mismas, tales como mediciones termo-ópticas, u otros tipos de mediciones.

En una realización, el sistema de sensor está adaptado para medir una señal de transmisión óptica.

Es una ventaja de un sistema de sensor, que necesita realizar solo mediciones de transmisión, que es relativamente fácil montar en una cubierta, y que pequeñas desviaciones en el montaje apenas tienen influencia en el resultado de la medición, en comparación, por ejemplo, con mediciones de reflectancia, que son muy sensibles a pequeñas desviaciones en la posición y/u orientación.

5 Una ventaja de un sistema de sensor es que necesita realizar solo mediciones de transmisión porque el sensor que lleva a cabo las mediciones normales a través del sustrato y la pila de revestimiento parcial o completa también se puede usar para calibrar, por ejemplo midiendo directamente la señal de la fuente de radiación en un momento en que no hay ningún objeto (por ejemplo, sustrato) ubicado entre la fuente de radiación y el detector.

10 En un ejemplo, una fuente de luz está montada en un primer riel, que se introduce en la zona de pulverización catódica en un área que se encuentra en un lado del pasaje (por ejemplo sobre él) por donde pasará el sustrato, y un detector puede ser montado en un segundo riel, que se introduce en la zona de pulverización catódica en un área ubicada en un segundo lado del pasaje (por ejemplo debajo de él) por donde pasará el sustrato, o viceversa. En general, el sustrato está entre la fuente de luz y el detector.

15 En una realización, ese al menos un sensor tiene una posición fija con relación a la cubierta.

Es una ventaja de tal cubierta que el sensor pueda montarse fácilmente mediante una conexión fija (por ejemplo, con tornillos) y que no haya partes móviles, por lo que el riesgo de fallo mecánico y/o el riesgo de errores de posicionamiento son mínimos. Otra de las ventajas de una cubierta de este tipo es que la fuente puede montarse fijamente, ya que las mediciones se llevan a cabo solamente en una posición. En un ejemplo simple con un sistema de sensor óptico, dicha cubierta comprende, por ejemplo, una sola fuente de radiación y un único detector.

20 En una realización alternativa, la cubierta comprende además al menos un riel, y el al menos un sensor puede moverse a lo largo del riel.

Esto ofrece la ventaja de que se puede determinar una propiedad (por ejemplo una propiedad de transmisión óptica, o, por ejemplo, una propiedad de reflexión óptica) del sustrato con el revestimiento parcial para una pluralidad de posiciones a través del ancho del sustrato, sin el coste de una gran número de sensores (por ejemplo, fuentes de luz y detectores). Esto a su vez ofrece la ventaja de que no solo se puede determinar el grosor promedio, sino también un perfil de grosor 1D o 2D de la pila de revestimiento parcial, lo que, en algunas realizaciones, se puede usar para ajustes locales en el blanco de pulverización catódica. La cubierta puede, por ejemplo, incluir una fuente de luz alargada, o múltiples fuentes de luz, según las posiciones de medición deseadas.

25 En una realización, la cubierta comprende además al menos un riel, y el sistema de sensor comprende una pluralidad de sensores, ubicados a lo largo del riel.

Como alternativa, la cubierta puede comprender una fuente de luz alargada o múltiples separadas, y puede comprender múltiples detectores separados, todos con una posición fija con respecto al riel y con respecto a la cubierta. Conectando los sensores a un riel, es más fácil colocarlos en una línea.

30 Una cubierta con un sistema de sensor de este tipo es ideal para determinar la uniformidad de una propiedad específica del revestimiento sobre el ancho de un sustrato. Es particularmente ventajoso colocar una cubierta con un sistema de sensor de este tipo corriente abajo de una estación de pulverización catódica con imanes controlables, porque permite que los imanes se ajusten sobre la base de los valores medidos, a fin de mejorar la uniformidad en la dirección lateral.

35 Es una ventaja de dicha cubierta que se puede usar para hacer la uniformidad de la capa depositada menos sensible o insensible a la no uniformidad de la erosión del blanco de pulverización catódica. Esto es particularmente ventajoso para blancos de pulverización catódica con dimensiones mayores que, por ejemplo, 1 m, o mayores que 2 m, por ejemplo mayores que 3 m, y, en particular, blancos de pulverización catódica cilíndricos. Los blancos de pulverización catódica, sin embargo, no necesitan ser cilíndricos. También son posibles blancos de pulverización catódica planos. Estos blancos pueden tener, por ejemplo, al menos un imán ajustable que puede regularse localmente y/o a distancia. Esto puede hacerse mientras se pulveriza o entre dos procedimientos de pulverización. En una realización, la cubierta comprende además una unidad de bomba.

40 Es una ventaja de dicha cubierta que puede proporcionar dos funciones, a saber, medir y bombear, pero solo ocupa una posición única en el sistema de pulverización catódica, por lo que no se requieren compartimentos (estaciones) adicionales para agregar la funcionalidad adicional de mediciones *in situ* a instalaciones y configuraciones existentes. Tal cubierta permite así un compartimento o sección existente para ser configurado como una sección de pulverización catódica (como en el pasado), o una sección de bomba (como en el pasado), o una sección de medición (como se mencionó con anterioridad), o ambas, una sección de medición y de bomba. Como resultado, se mantiene la flexibilidad del sistema de pulverización catódica configurable (las estaciones de bomba existentes pueden mantener esta funcionalidad), pero se incrementa la funcionalidad (esta estación ahora también puede ser utilizada para llevar a cabo una medición *in situ*), con un impacto mínimo en la infraestructura y en los componentes

existentes, y en configuraciones de pilas de revestimiento conocidas. Esta ventaja no debe subestimarse.

En una realización, la cubierta comprende además una unidad de pulverización catódica.

Una ventaja de esta cubierta es que se puede agregar la funcionalidad, ya que esta estación ya no solo puede realizar una pulverización catódica sino que también puede realizar una medición *in situ* gracias a esta cubierta. En este caso, sin embargo, se deben tomar las medidas necesarias (por ejemplo, distancia suficiente entre los blancos de pulverización catódica y el sistema de sensor, y/o la adecuada protección del sistema de sensor) para evitar que el sistema de sensor se ensucie demasiado rápidamente.

En un segundo aspecto, la presente invención proporciona un sistema de medición configurable para su uso en un sistema de pulverización catódica configurable para medir una pila parcial de un revestimiento de múltiples capas, que comprende: al menos una cubierta según el primer aspecto; una unidad de procesamiento de señal para procesar al menos una señal que se origina a partir del al menos un sensor del sistema de sensor de la al menos una cubierta.

La unidad de procesamiento de señal puede ser, por ejemplo, un foto-espectrómetro, esté o no precedido por un multiplexor óptico. La unidad de procesamiento de señal puede estar adaptada para analizar la señal o procesarla de otra manera, con el fin de extraer una propiedad o característica de la pila de revestimiento parcial o completa de la señal. El procesamiento de señal puede llevarse a cabo en el dominio óptico, o eléctrico, analógico o digital, o combinaciones de los mismos. En un ejemplo específico, la unidad de procesamiento de señal puede estar adaptada para determinar el coeficiente de transmisión a través de un intervalo de espectros predeterminado para longitudes de onda de, por ejemplo, 350 a 1000 nm.

Un sistema de medición de este tipo tiene la ventaja, con respecto a los sistemas de medición existentes, de que puede aplicarse, y está incluso especialmente apropiado en sistemas de pulverización catódica configurables y/o reconfigurables. Gracias a un sistema de medición de este tipo, una propiedad, por ejemplo, el grosor de cada capa de una pila de revestimiento de múltiples capas, se puede determinar, o es determinado con un mayor grado de precisión de lo que fue previamente posible y, sobre la base de las desviaciones con respecto a los grosores de capa previstos, un operario puede por ejemplo hacer los ajustes necesarios, por ejemplo, ajustando la potencia de un blanco de pulverización catódica en particular o ajustando la presión del gas en la cámara de pulverización catódica o ajustando el campo magnético, por ejemplo, con un imán ajustable en línea. Cuando, en realizaciones de la presente invención, se hace referencia a un imán ajustable en línea, se hace referencia a un imán o configuración de imán cuya intensidad de campo magnético y/o la orientación del campo magnético pueden modificarse mientras se pulveriza catódicamente, es decir, sin suprimir el vacío.

Una ventaja de dicho sistema de medición es que no es necesario que se realice una medición *in situ* corriente abajo desde cada zona de pulverización catódica, sino que también es posible una buena medición con resultados precisos con un número menor de sistemas de sensor *in situ* mediante la instalación/movimiento de cubiertas con el sistema de sensor en un número de lugares adecuados, por ejemplo, en las áreas más sensibles en términos de la(a) pila(s) de revestimiento específica(s) que es/son producida(s), y/o el número de cubiertas disponibles con un sistema de sensor, y/o (especialmente en el caso de cubiertas modulares) el número de cubiertas disponibles con un sistema de sensor y el número de unidades de procesamiento de señal disponibles. Es una ventaja que el sistema de sensor se pueda ajustar muy fácilmente según sea necesario, moviendo las cubiertas (con el sistema de sensor) y/o, en el caso de cubiertas modulares, moviendo las unidades de procesamiento y/o las fuentes.

La unidad de procesamiento (por ejemplo, el espectrofotómetro) puede tener un nivel de sensibilidad modificado o un intervalo de medición según la precisión de medición requerida en esa ubicación particular para esa pila parcial específica del revestimiento de múltiples capas.

Es una ventaja que dicho sistema de medición configurable se pueda usar muy convenientemente en combinación con un sistema informático provisto de un software para determinar el grosor de cada capa de una pila de revestimiento parcial. Una versión básica de este tipo de software está disponible comercialmente, por ejemplo con el nombre "BREIN" u "OptiLayer".

En una realización del sistema de medición configurable, la unidad de procesamiento de señal está unida de manera desmontable con el exterior de la cubierta, de modo que la unidad de procesamiento de señal es intercambiable entre cubiertas sin tener que desmontar la cubierta.

Esto tiene la ventaja de que el número de cubiertas (sin unidad de procesamiento de señal) puede ser mayor que el número de unidades de procesamiento de señal, y que la posición de las cubiertas puede optimizarse en múltiples series de producción de diferentes pilas de revestimiento, mientras que la posición de las unidades de procesamiento de señal se pueden optimizar para cada serie de producción individual. Después de todo, esto permite proporcionar una cubierta en una ubicación que no está siendo medida en la serie de producción actual, y que por lo tanto no requiere de una unidad de procesamiento de señal, sino que las mediciones se harán en una serie de producción posterior. Debido a que la unidad de procesamiento de señal es intercambiable, las cubiertas no necesitan ser cambiadas, sino sólo la unidad de procesamiento de señal, de modo que el vacío no necesita ser suprimido entre las sucesivas series de producción. De esta forma, se puede mejorar aún más la eficiencia de dicha



instalación de pulverización catódica, así como la calidad del producto.

En una realización, el sistema de medición configurable comprende además la fuente, montada de forma desmontable en el exterior de la cubierta y conectada de manera separable a los segundos medios de transmisión.

5 Tal sistema de medición tiene la ventaja de que no solo el sistema de procesamiento, sino también la fuente, son intercambiables entre las cubiertas. Esto es especialmente útil cuando una determinada fuente y unidad de procesamiento se combinan entre sí, por ejemplo, una fuente de calidad normal pertenece a un procesamiento de señal de calidad normal, mientras que una fuente de alta calidad pertenece a un procesamiento de señal de alta calidad. De esta manera, se proporciona una solución particularmente flexible y modular.

10 En un tercer aspecto, la presente invención proporciona un sistema de realimentación para un dispositivo de pulverización catódica configurable, en el que el sistema de realimentación comprende: un sistema de medición configurable según el segundo aspecto; un sistema informático provisto de un software para determinar una propiedad de al menos una capa del revestimiento de múltiples capas sobre la base de los datos de medición del sistema de medición configurable.

15 Una versión básica de dicho software está disponible comercialmente, por ejemplo bajo el nombre "BREIN" u "OptiLayer".

El sistema informático está provisto de la información necesaria de una o más unidades de procesamiento del sistema de medición configurable (por ejemplo, una o más curvas de transmisión espectrales), sobre cuya base puede determinar el grosor de las capas de la pila de revestimiento parcial.

20 Es una ventaja de realizaciones del sistema de realimentación que puede funcionar sobre la base de los datos procedentes de una sola cubierta con su propio sistema de sensor y fuente y unidad de proceso, o de múltiples cubiertas, cada una con su propia unidad de procesamiento, pero con su propia fuente intercambiable y su propia unidad de procesamiento intercambiable.

25 Una ventaja de ciertas realizaciones del sistema de realimentación es que, por ejemplo, los grosores de las capas o las propiedades ópticas de las capas pueden calcularse para múltiples posiciones laterales. Como resultado, el sistema de realimentación puede informar al operario de ciertas anomalías o desviaciones del rendimiento del punto de referencia deseado.

30 Es una ventaja que estos grosores o propiedades ópticas se puedan mostrar a un operario, que puede hacer los ajustes necesarios en la instalación de pulverización catódica. Además, el sistema de realimentación puede proponer ciertos ajustes para corregir las desviaciones observadas. Estas propuestas pueden ser evaluadas por el operario y depende de su decisión hacer estos ajustes o no. Si el operario cree que los ajustes propuestos son habitualmente deseados, se puede decidir automatizar estas propuestas para realizar un sistema operativo controlado de forma autónoma.

35 Opcionalmente, el sistema de realimentación según la presente invención también puede hacer uso de los datos de medición del sistema de sensor *ex situ*. Esto ofrece la ventaja de que los grosores de todas las capas de la pila de revestimiento completas se pueden determinar con un solo sistema de realimentación. Como alternativa, estos valores también pueden introducirse en el sistema que maneja las mediciones *ex situ*. Los grosores de todas las capas también se pueden determinar de esta manera.

40 En una realización, el sistema de realimentación comprende además: un sistema de sensor *ex situ* proporcionado para medir una propiedad del revestimiento de múltiples capas; en el que el software se proporciona además para determinar una propiedad de al menos una capa del revestimiento de múltiples capas sobre la base de datos procedentes del sistema de medición configurable, y sobre la base de los datos del sistema de sensor *ex situ*.

45 Es una ventaja combinar los datos de medición de uno o más sistemas de sensor *in situ* y el sistema de sensor *ex situ* porque de esta manera el grosor de cada capa de la pila de revestimiento se puede determinar con un grado de precisión suficientemente alto, que no siempre es posible sobre la base de datos de medición *ex situ* solos. Es una ventaja de tal sistema combinado o integrado que sólo se requiera de un único sistema informático, aunque esto no es estrictamente necesario para la presente invención.

50 En una realización, también se proporciona un sistema de realimentación para su uso en un sistema de pulverización catódica configurable que comprende al menos un mecanismo de control que permite que el procedimiento de pulverización catódica que tiene lugar en el sistema de pulverización catódica sea influenciado localmente; en el que el sistema informático y el software están adaptados adicionalmente para proporcionar una señal de control para ajustar el procedimiento de pulverización catódica sobre la base de los datos procedentes del sistema de sensor.

55 En este sistema, el ajuste automático se produce sobre la base de (al menos) los datos de al menos un sensor, que se origina a partir de una cubierta que tiene un sistema de sensor como se describió anteriormente. El ajuste puede ser un parámetro de procedimiento global tal como, por ejemplo, la presión parcial del gas de una estación

particular, o la velocidad de transporte del sustrato o una abertura de pulverización catódica controlable de una estación particular, y/o puede ser un parámetro de procedimiento local (por ejemplo la potencia de un blanco particular de pulverización catódica), y/o incluso puede ser un parámetro local del proceso dentro de un blanco de pulverización catódica particular (por ejemplo, la posición de al menos un imán controlable), para influir de esta manera en el grosor de la capa depositada.

La principal ventaja de este ajuste automático es reducir las desviaciones del revestimiento producido de la especificación predefinida, lo que reduce el riesgo de que un producto no cumpla con la(s) especificación(es) predefinida(s).

En una realización, también se proporciona un sistema de realimentación para su uso en un sistema de pulverización catódica configurable que comprende al menos un blanco de pulverización catódica (por ejemplo, cilíndrico) que tiene al menos dos imanes ajustables en línea; y en el que el sistema de sensor está adaptado para medir una propiedad de la capa aplicada por dicho blanco de pulverización catódica (por ejemplo, cilíndrico) a al menos dos posiciones laterales diferentes sobre el sustrato; y en el que el sistema informático y el software están adaptados además para proporcionar al menos una señal de control para el ajuste en línea de los imanes ajustables en línea sobre la base de los datos procedentes del sistema de sensor.

Dichos blancos de pulverización catódica *per se* ya se han descrito en el documento WO2013120920A1, pero no en combinación con un sistema de control, y mucho menos con un sistema de sensor *in situ* montado sobre una cubierta como se describió anteriormente. Sin embargo, tal blanco de pulverización catódica es ideal para la aplicación en un sistema de medición configurable como se describió anteriormente. De hecho, si se identifica una desviación de una propiedad (por ejemplo, el grosor de la capa) en diferentes posiciones transversales del sustrato, entonces esta desviación no solo puede detectarse sino también corregirse mediante un ajuste correctivo en línea de los imanes ajustables.

Tal sistema de medición contiene así una cubierta con un sistema de sensor que está montado corriente abajo con respecto a dicho blanco de pulverización catódica (por ejemplo, cilíndrico) con imanes ajustables en línea, es decir que el sistema de sensor está ubicado más allá de la posición de dicho blanco de pulverización catódica, en la dirección en la que el sustrato se está moviendo a través de la instalación de pulverización catódica.

El sistema de sensor puede incluir, por ejemplo, al menos dos fuentes de luz y al menos dos detectores, o puede incluir, por ejemplo, al menos una fuente de luz móvil y dos detectores, o, por ejemplo, al menos dos fuentes de luz y al menos un detector móvil, o al menos una fuente de luz móvil y al menos un detector móvil; sin embargo, también se pueden usar múltiples fuentes de luz y/o múltiples detectores.

También puede ser ventajoso que las posiciones de medición (es decir, las posiciones de los detectores con respecto a la cubierta) estén coordinadas con las posiciones de los imanes ajustables, porque esto puede simplificar los cálculos para el ajuste necesario de los imanes, aunque esto no es estrictamente necesario para la presente invención. Como alternativa, se pueden usar, por ejemplo, técnicas de interpolación o técnicas de extrapolación para ajustar los imanes ajustables en línea.

Naturalmente, la instalación de pulverización catódica también puede incluir blancos de pulverización catódica múltiples (por ejemplo, cilíndricos) con imanes ajustables en línea, y algunas veces es posible (por ejemplo, cuando las capas respectivas no están muy separadas), usar uno y el mismo sistema de sensor para ajustar los imanes ajustables de más de un blanco de pulverización catódica. Como alternativa, se puede proporcionar una cubierta correspondiente con el sistema de sensor para cada blanco de pulverización catódica con imanes ajustables en línea, para el ajuste óptimo de los imanes ajustables en línea. El número de imanes ajustables en línea de los blancos de pulverización catódica puede, por supuesto, ser diferente para diferentes blancos de pulverización catódica.

El ajuste de los imanes ajustables en línea puede ser, por ejemplo, el ajuste de una corriente para generar un campo magnético, o puede ser, por ejemplo, el control de un accionador que determine la posición de un imán permanente, o puede ser una forma diferente de control.

Idealmente, todos los blancos de pulverización catódica incluyen imanes ajustables en línea, pero esto es relativamente costoso, y tampoco es estrictamente necesario, y el operario puede tomar una decisión adecuada sobre cuáles blancos de pulverización catódica deben tener y cuáles blancos de pulverización catódica no deben tener imanes ajustables en línea. El software debe ser informado de las capacidades de cada blanco. Tal software (según lo que saben los inventores) no es conocido en la técnica anterior, al menos no en combinación con la funcionalidad descrita anteriormente. Este es otro ejemplo del alto grado de flexibilidad que ofrece la presente invención: dependiendo de las capacidades de los elementos, por ejemplo, el número de cubiertas con sistema de sensor para mediciones *in situ*, el número de blancos con imanes ajustables en línea, etc., puede elegirse una configuración óptima que, por ejemplo, comprenda una posición óptima para la colocación del sistema de cubiertas-con-sensor, y los blancos de pulverización catódica con imanes ajustables en línea, de forma que se obtenga un buen resultado, por ejemplo óptimo, de una manera económicamente razonable.

En una realización del sistema de realimentación, el sistema informático y el software están adaptados

adicionalmente para proporcionar una señal de control para ajustar automáticamente al menos uno de los parámetros de pulverización catódica elegidos del grupo que consiste en: la potencia de un blanco de pulverización catódica (por ejemplo, cilíndrico), la presión parcial del gas espacialmente distribuida en el sistema de pulverización catódica, la posición de imanes ajustables en línea de al menos un blanco de pulverización catódica, la posición y la apertura de los blindajes.

Una ventaja de dicho sistema de pulverización es que los ajustes se realizan automáticamente, por ejemplo, mediante uno o una pluralidad de accionadores, y con o sin la supervisión del operario, porque el control automático minimiza el riesgo de errores, pero sobre todo porque permite controles dinámicos y complejos, teniendo en cuenta, por ejemplo, los factores de amplificación de las unidades de control, y, opcionalmente, teniendo en cuenta las desviaciones de otras capas (por ejemplo, de las capas subyacentes).

En un cuarto aspecto, la presente invención proporciona un método para configurar un sistema de medición configurable según el segundo aspecto o un sistema de realimentación según el tercer aspecto, en el que el método comprende los pasos de: proporcionar al menos una cubierta con un sistema de sensor; seleccionar una posición adecuada para la cubierta en el dispositivo de pulverización catódica como una función de la composición prevista de al menos un revestimiento de múltiples capas; unir de forma separable la cubierta a una abertura en la posición adecuada elegida.

En una realización, el método comprende los pasos de: proporcionar al menos dos cubiertas con un sistema de sensor; proporcionar al menos una unidad de procesamiento de señal; seleccionar una posición adecuada para las al menos dos cubiertas en los dispositivos de pulverización catódica, como una función de la composición predefinida de al menos dos revestimientos de múltiples capas a producir; unir de manera separable la cubierta a las aberturas de las posiciones adecuadas seleccionadas; seleccionar una posición adecuada para la al menos una unidad de procesamiento de señal en una de las al menos dos cubiertas, como una función de los revestimientos de múltiples capas a producir; unir de forma separable la al menos una unidad de procesamiento de señal a la cubierta seleccionada.

Una ventaja de este método es que, después de que se haya terminado la primera serie de producción para el primer revestimiento de múltiples capas, las al menos dos cubiertas pueden permanecer en sus ubicaciones respectivas, y solo la unidad de procesamiento de señal M2 necesita moverse, sin tener que suprimir el vacío. De esta manera, se puede reducir el tiempo de procedimiento, en particular el tiempo necesario para volver a configurar el dispositivo de pulverización catódica, y se puede aumentar la eficiencia.

En un quinto aspecto, la presente invención comprende un sistema de pulverización catódica configurable para la pulverización catódica de revestimientos de múltiples capas con una composición variable sobre un sustrato; el sistema de pulverización catódica configurable que comprende una pluralidad de estaciones y que tiene una pluralidad de aberturas para proporcionar acceso a un espacio dentro de las estaciones; y que comprende además un sistema de medición configurable según el segundo aspecto, o un sistema de realimentación según el tercer aspecto.

Este sistema de pulverización catódica con al menos una cubierta móvil sobre la cual está montado un sistema de sensor *in situ*, en comparación con los sistemas de pulverización catódica configurables existentes sin un sistema de sensor *in situ* que permite tomar medidas durante la producción (en tiempo real), ofrece la ventaja de determinar el grosor real más probable de cada capa, y de ajustar los parámetros del procedimiento. De esta manera, se puede aumentar la calidad del producto obtenido, se puede obtener un revestimiento con desviaciones más pequeñas de las especificaciones predefinidas, y se puede reducir drásticamente el número de productos que no cumplan con la especificación.

El sistema incluso permite compensar ciertas desviaciones en una capa previamente depositada, al menos parcialmente, mediante una desviación intencionada de al menos una capa a depositar más tarde con respecto al grosor de capa previsto, con el fin de optimizar las propiedades de la pila de revestimiento completa. Por ejemplo, si el grosor de una primera capa de plata fuera 3% menor de lo planeado, la potencia del blanco de pulverización catódica que se ha de aplicar a la segunda capa de plata puede aumentar temporalmente cuando el mismo sustrato pase por este blanco de pulverización catódica, de modo que se mantenga constante el grosor total de las capas de plata. Naturalmente, este es solo un ejemplo particular.

En un sexto aspecto, la presente invención proporciona un método para aplicar un revestimiento de múltiples capas sobre un sustrato, comprendiendo el método los pasos de: configurar un sistema de medición configurable o un sistema de realimentación configurable según el cuarto aspecto; calibrar el sistema de medición configurable; medir una propiedad de una pila de revestimiento parcial aplicada al sustrato usando el sistema de medición configurable; calcular una desviación de la propiedad medida con respecto a una propiedad prevista de la pila de revestimiento parcial; ajustar al menos un parámetro del sistema de pulverización catódica sobre la base de la desviación calculada.

Una ventaja del paso de calibración es que cualquier desviación de la señal del sensor, como resultado del movimiento de la cubierta, puede detectarse y corregirse de esta manera antes de que se inicie un nuevo lote de

sustratos.

El método puede incluir el paso de determinar el grosor de capa de al menos una, por ejemplo todas las capas del revestimiento de múltiples capas, en base a la propiedad medida.

El ajuste se puede hacer de forma manual o automática.

- 5 En una realización, el método comprende además el paso de calibrar el sistema de medición durante la producción.

Es una ventaja de la calibración (por ejemplo, repetida) de la señal de medición durante la producción, por ejemplo cada vez que una abertura entre dos sustratos sucesivos pasa por el sistema de sensor, porque de esta forma, puede detectarse y/o corregirse cualquier desviación debida, por ejemplo, a un cambio de deriva o temperatura o presión, o contaminación, etc. En una realización del método, el sistema de pulverización catódica comprende al menos un blanco de pulverización catódica (por ejemplo, cilíndrico) que tiene una pluralidad de imanes ajustables en línea, y el método comprende además un paso: para medir una propiedad en múltiples ubicaciones en sustancialmente todo el ancho del sustrato, y para proponer un ajuste para corregir la desviación o para ajustar automáticamente los imanes ajustables en línea con el fin de minimizar la desviación de la pila de revestimiento depositada con respecto a la pila de revestimiento prevista.

- 10  
15  
20 Una ventaja de este método es que permite determinar las desviaciones de un grosor de capa particular en un sustrato, y ajustar el blanco de pulverización catódica que provocó que dichas desviaciones para reducir estas desviaciones en sustratos futuros, pero sin ajustar otros blancos de pulverización catódica para compensar la desviación existente de la capa correspondiente en el sustrato que se midió. Esto evita que vuelva a ocurrir la misma desviación en el futuro para otros sustratos. Esto ofrece la ventaja de que la complejidad de este sistema es limitada, y que las correcciones se pueden llevar a cabo sin tener en cuenta las propiedades de otras capas.

- 25  
30 En una realización del método, el sistema de pulverización catódica comprende al menos un blanco de pulverización catódica (por ejemplo, cilíndrico) que tiene una pluralidad de imanes ajustables en línea, y el método comprende una etapa de: medir o determinar una propiedad de una pila de revestimiento parcial en un sustrato, depositada en una primera zona de pulverización catódica del sistema de pulverización catódica; y calcular una desviación de la propiedad medida o determinada con respecto a las propiedades previstas; y ajustar automáticamente los imanes ajustables en línea de un blanco de pulverización catódica (cilíndrico) en una segunda zona de pulverización catódica, en un momento en el que dicho sustrato entra en la segunda zona de pulverización, en el que el ajuste automático es tal que la desviación calculada de la pila de revestimiento parcial se compensa, al menos parcialmente, mediante la capa que se va a aplicar en la segunda zona de pulverización catódica con los imanes ajustados en línea.

- 35  
40 Una ventaja de esta realización es que las desviaciones que ocurrieron en una etapa anterior del sistema de pulverización catódica se pueden compensar, al menos parcialmente, mediante ajustes de una etapa posterior del sistema de pulverización catódica (que deposita un mismo material). Esto permite garantizar la calidad del producto final, a pesar de ciertas diferencias en capas individuales particulares. Además, puede ser deseable e incluso factible que puedan corregirse ciertas desviaciones en ciertas capas en forma bastante aceptable mediante la aplicación de un mecanismo de regulación en el procedimiento de pulverización catódica de otra capa con una composición diferente. Puede ser evidente que el ajuste en este caso provoque una desviación deliberada sobre la capa que está siendo controlada para ajustar una desviación que está teniendo lugar en otra posición de revestimiento, posiblemente con una composición de capa diferente. Esta compensación puede iniciarse para lograr una propiedad deseada de la pila de revestimiento completa que se mide mediante el sistema de sensor *ex situ* al final de la línea. El ajuste de una cierta capa con el fin de compensar un error en una capa diferente puede ser menos o más eficaz en función de las capas específicas.

- 45 En un sexto aspecto, la presente invención proporciona un producto de programa informático para llevar a cabo, cuando se ejecute en un sistema informático de un sistema de realimentación según el tercer aspecto, un método según el quinto aspecto, así como un medio de almacenamiento de datos legible con una máquina, que comprende un tal producto de programa informático, así como un método para enviar un producto de programa informático por una red de telecomunicaciones local o red de área ancha (WAN: Wide Area Network).

### Breve descripción de los dibujos

- 50 Los dibujos son solo esquemáticos y no son limitantes. En los dibujos, el tamaño de algunos de los elementos puede ser exagerado y no dibujado a escala con fines ilustrativos. Las dimensiones y las dimensiones relativas no corresponden necesariamente a las reducciones reales a la práctica de la invención.

Cualquier signo de referencia en las reivindicaciones no debe interpretarse como una limitación del alcance.

En los diferentes dibujos, los mismos signos de referencia se refieren a los mismos elementos o a elementos análogos.

- 55 La FIG. 1 ilustra algunos aspectos de una denominada pila de baja E, como un ejemplo de una pila de revestimiento

de múltiples capas sobre vidrio, conocida en la técnica anterior.

La FIG. 1(a) muestra una característica típica de transmisión o reflexión de una pila de baja E que tiene múltiples capas de Ag desde 5 hasta 20 nm de grosor, que es bastante transparente a la luz visible (por ejemplo, 400-700 nm) y que funciona como un espejo para luz infrarroja.

5 La FIG. 1(b) muestra un ejemplo de una pila de baja E que tiene una sola capa de plata,

La FIG. 1(c) muestra un ejemplo de una pila de baja E que tiene exactamente dos capas de plata,

La FIG. 1(d) muestra un ejemplo de una pila de baja E que tiene exactamente tres capas de plata,

La FIG. 2 muestra el aumento de selectividad para una pila de revestimiento de baja E con una, dos o tres capas de plata, conocidas en la técnica anterior.

10 La FIG. 3 muestra un sistema de pulverización catódica con un sistema de medición *ex situ* y dos sistemas de medición *in situ* conocidos en la técnica anterior.

La FIG. 4(a) es una representación esquemática (por ejemplo, en vista lateral) de un sistema de pulverización catódica configurable de la técnica anterior, para la producción de una pila de revestimiento configurable, con un sistema de sensor *ex situ* en el extremo del sistema de pulverización catódica.

15 La FIG. 4(b) es una representación esquemática (por ejemplo, en vista lateral) de un sistema de pulverización catódica configurable según la presente invención, con una cubierta móvil, por ejemplo extraíble, según la presente invención, que tiene fijado al mismo un sistema de sensor para la medición *in situ* de al menos una propiedad de la pila de revestimiento parcial que incluye una o más capas de la pila de revestimiento completa.

20 La FIG. 4(c) es una representación esquemática (por ejemplo, en vista lateral) de un sistema de pulverización catódica configurable según la presente invención, con una cubierta móvil (por ejemplo, extraíble) según la presente invención, que tiene fijado al mismo un sistema de sensor para la medición *in situ* de al menos una propiedad de una pila de revestimiento parcial que incluye una o más capas de la pila de revestimiento completa así como un sistema de bomba.

25 La FIG. 4(d) es una representación esquemática (por ejemplo, en vista superior) de un sistema de pulverización catódica configurable según la presente invención con una cubierta móvil (por ejemplo, extraíble) según la presente invención, que tiene fijado al mismo un sistema de sensor *in situ* para la medición, en múltiples posiciones laterales del sustrato, de al menos una propiedad de una pila de revestimiento parcial.

30 La FIG. 5 es una representación esquemática de una realización de un sistema de realimentación configurable según la presente invención. El sistema de realimentación comprende un sistema configurable de medición, así como un sistema informático que tiene un programa de software para el cálculo de los grosores de capa y/o ciertas propiedades de las capas (por ejemplo, característica de transmisión espectral y/o característica de reflexión espectral) de la pila de revestimiento parcial. En el ejemplo de la FIG. 5, se le muestra al menos un resultado del cálculo o análisis en una pantalla a un operario, que puede realizar ajustes manuales apropiados basándose en la información mostrada.

35 La FIG. 6 es una variante del sistema de realimentación configurable de la FIG. 5, en la que el sistema informático controla automáticamente al menos un parámetro del sistema de pulverización catódica, por ejemplo un parámetro global, tal como la potencia de pulverización catódica, y/o parámetros locales, tales como, por ejemplo, la(s) posición(es) de uno o una pluralidad de imanes del al menos un blanco de pulverización catódica cilíndrico con imanes ajustables en línea.

40 La FIG. 7 muestra un ejemplo de un sistema de sensor óptico que se puede usar en realizaciones de una cubierta según la presente invención, en la que el sistema de sensor está adaptado para realizar una medición de transmisión óptica a través del sustrato parcialmente revestido.

45 La FIG. 8 muestra un ejemplo de un sistema de sensor óptico que se puede usar en realizaciones de una cubierta según la presente invención, en el que el sistema de sensor está adaptado para realizar una medición de reflexión óptica.

La FIG. 9 muestra un ejemplo de una unidad de procesamiento de señal (que en este ejemplo consiste en un espectrofotómetro y un multiplexor óptico), que se puede usar en realizaciones de un sistema de medición configurable según la presente invención.

50 Las FIGS. 10(a) a 10(c) muestran algunos ejemplos esquemáticos de diferentes configuraciones de sistemas de sensor, tales como los que se pueden usar en una cubierta según la presente invención. La FIG. 10(a) muestra un ejemplo de un sistema de sensor con un solo sensor (mostrado esquemáticamente por un punto negro), que está montado en una posición fija a la cubierta. La FIG. 10(b) muestra un ejemplo de un sistema de sensor con cinco sensores que están montados en una posición fija a la cubierta. La FIG. 10(c) muestra un ejemplo de un sistema de

sensor con un único sensor que se puede mover en dirección lateral con relación a la cubierta (y, por tanto, durante el uso, también con respecto al sustrato).

5 La FIG. 11(a) muestra un ejemplo de un sistema de medición configurable según la presente invención, comprendiendo la cubierta un sistema de sensor M1 y una unidad de procesamiento de señal M2, unida a la cubierta.

La FIG. 11(b) muestra un ejemplo de un sistema de medición configurable según la presente invención, en el que la cubierta comprende un sistema de sensor M1 y una unidad de procesamiento de señal M2, en la que el sistema de sensor M1 está unido fijamente a la cubierta, pero en la que la unidad de procesamiento M2 está unida de forma desmontable a la cubierta y, por lo tanto, es intercambiable entre una pluralidad de cubiertas.

10 La FIG. 12 es una representación esquemática de los principales términos usados en la presente invención, e ilustra, entre otros, los términos o expresiones "cubierta", "sistema de sensor" M1, "sistema de procesamiento de señal" M2, "sistema de medición" y "sistema de realimentación", así como su interdependencia.

15 La FIG. 13 es una vista esquemática del dispositivo de pulverización catódica de la FIG. 3, haciendo uso de los símbolos M1 y M2 como se definen en la FIG. 12. En este dispositivo de pulverización catódica conocido, tanto el sistema de sensor M1 como el sistema de procesamiento de señal M2 están presentes dentro de una estación, no intercambiable, y no montada en la cubierta.

La FIG. 14(a) a la FIG. 14(d) muestran algunos ejemplos de cubiertas que tienen un sistema de sensor, tales como se pueden usar en un sistema de medición y/o en un sistema de realimentación y/o en un sistema de pulverización catódica según la presente invención.

20 La FIG. 14(a) muestra (en la estación 3) una cubierta que tiene un sistema de sensor M1 unido a la misma, y una unidad de procesamiento de señal M2.

La FIG. 14(b) muestra (en la estación 3) una variante de la cubierta de la FIG. 14(a), que además comprende también una unidad de bomba P.

25 La FIG. 14(c) muestra una variante de la cubierta de la FIG. 14(a), en la que la unidad de procesamiento de señal M2 está unida de forma separable a la unidad de sensor M1, pero es separable, y es intercambiable con otras cubiertas.

La FIG. 14(d) muestra un ejemplo de un dispositivo de pulverización catódica con dos cubiertas según la FIG. 14(c) y una unidad de procesamiento de señal única M2 que es intercambiable con otras cubiertas.

30 La FIG. 15 muestra esquemáticamente un dispositivo de pulverización catódica que comprende dos unidades de sensor en una misma cubierta, una antes y una después del cátodo de pulverización catódica, según realizaciones de la presente invención.

La FIG. 16 ilustra esquemáticamente el mismo dispositivo de pulverización catódica que en la FIG. 14. Solo se muestra la parte con las dos unidades de sensor, en la vista superior.

La FIG. 17 es una vista lateral del dispositivo de pulverización catódica mostrado en la FIG. 16.

### 35 Descripción detallada de realizaciones de la invención

La presente invención se describirá con respecto a realizaciones particulares y con referencia a ciertos dibujos, pero la invención no se limita a ellos sino solo por las reivindicaciones.

40 Se hace observar que la expresión "que comprende", usada en las reivindicaciones, no se debe interpretar como restringida a los medios enumerados a continuación; no excluye otros elementos o pasos. Por lo tanto, se debe interpretar como que especifica la presencia de las características, números enteros, etapas o componentes indicados según se han referido, pero no excluye la presencia o adición de una o más de otras características, números enteros, etapas o componentes, o sus grupos. Por lo tanto, el alcance de la expresión "un dispositivo que comprende los medios A y B" no debe limitarse a dispositivos que consisten únicamente en los componentes A y B. Ello significa que, con respecto a la presente invención, los únicos componentes relevantes del dispositivo son A y B.

45 La referencia a lo largo de esta memoria a "una realización" significa que se incluye un elemento, estructura o característica particular descrita en relación con la realización incluida en al menos una realización de la presente invención. Por lo tanto, las apariciones de la frase "en una realización" en varios lugares a lo largo de esta memoria pueden, pero no necesariamente, todas ellas referirse a la misma realización. Además, se pueden combinar elementos, estructuras o características particulares de cualquier manera adecuada, como sería evidente para un experto en la técnica a partir de esta descripción, en una o más realizaciones.

50 De forma similar, se debe apreciar que en la descripción de realizaciones de ejemplo de la invención, se agrupan diversas características de la invención a veces juntas en una única realización, figura o descripción de la misma con

el fin de agilizar la descripción y colaborar en la comprensión de uno o más de los diversos aspectos inventivos. Este método de descripción, sin embargo, no debe ser interpretado como que refleja una intención de que la invención reivindicada requiere más características de las que se mencionan expresamente en cada reivindicación. Por el contrario, como se refleja en las siguientes reivindicaciones, los aspectos inventivos se encuentran en menos de todas las características de una única realización descrita anteriormente. Por lo tanto, las reivindicaciones siguientes de la descripción detallada se incorporan expresamente a la presente descripción detallada como constituyendo cada reivindicación por sí misma una realización separada de la presente invención.

Además, si bien algunas realizaciones descritas en la presente memoria incluyen algunas pero no otras características incluidas en otras realizaciones, se entenderá que las combinaciones de características de diferentes realizaciones están dentro del alcance de la invención, y forman diferentes realizaciones, como lo comprenderán los expertos en la técnica. Por ejemplo, en las siguientes reivindicaciones, cualquiera de las realizaciones reivindicadas puede usarse en cualquier combinación.

Por "pila de revestimiento" se entenderá una pila de múltiples capas, que puede diferir en su composición, y en la que cada capa tiene un grosor de 1 nm a 10  $\mu\text{m}$ , y típicamente de 3 nm a 200 nm.

Allí donde el presente documento hace referencia a la expresión "dentro de una cubierta", se hace referencia a ese lado de la cubierta que está orientado hacia dentro durante su uso normal (frente a la zona con el vacío).

Allí donde el presente documento hace referencia a la expresión "fuera de una cubierta", se hace referencia a ese lado de la cubierta que está orientado hacia fuera durante su uso normal (frente a la zona con presión atmosférica).

La FIG. 1 y la FIG. 2 ya han sido explicadas en la sección de antecedentes.

La FIG. 3 muestra un sistema de pulverización catódica no flexible 300 que tiene tres zonas de pulverización catódica 301, en el que, corriente abajo de la primera zona de pulverización catódica 301a, está instalado un primer sistema de sensor 311 *in situ*, corriente abajo de la segunda zona de pulverización catódica 301b un segundo sistema de sensor 312 *in situ* y corriente abajo de la tercera y última zona de pulverización catódica 301c un sistema de sensor 310 *ex situ*. Aunque no se indica explícitamente en el documento WO2014/105557A1, es habitual en la técnica anterior unir de forma fija sistemas de sensor *in situ* a una pared fija de la cámara de pulverización catódica, en un lugar fijo donde no se realiza ninguna pulverización catódica en la proximidad inmediata, de tal manera que los sensores no son contaminados inmediatamente y pasan a ser inutilizables. Dado que este sistema de pulverización catódica 300 necesita la pulverización catódica de sólo tres capas, y además siempre con los mismos materiales y los mismos grosores de capa, y ya que no deben dejarse estaciones de pulverización catódica "sin uso" o "pasadas por alto", los dos sistemas de sensor 311, 312 *in situ*, en la práctica estarán montados de manera fija en una pared del dispositivo de pulverización catódica, porque no hay motivo para moverlos. De hecho, un experto en la técnica tratará de unir los sistemas de sensor de la forma más segura posible a fin de mantener cualesquiera tolerancias de las mediciones lo más bajas posible, y para evitar una calibración o recalibración frecuentes. Una línea de este tipo es particularmente adecuada para el revestimiento de pilas con un pequeño número de capas y tamaños de lote extremadamente grandes, como es típicamente el caso de recubridores para dispositivos fotovoltaicos. El precio de dos sistemas de sensor 311, 312 *in situ* se justifica para un sistema de pulverización catódica de este tipo con el fin de garantizar la calidad, pero esta solución no puede escalarse fácilmente a una instalación con, por ejemplo, cincuenta estaciones de pulverización catódica.

El documento WO2014/105557A1 parece sugerir que el sistema de sensor *ex situ* puede realizar mediciones en múltiples posiciones laterales, pero no dice esto acerca de los sistemas de sensor *in situ*. En el contexto del documento WO2014/105557A1, además, no parece muy útil para llevar a cabo tales mediciones en múltiples ubicaciones laterales, ya que los únicos parámetros que se pueden ajustar en línea en este sistema son las potencias individuales de los blancos de pulverización catódica y la velocidad de la cinta transportadora de todo el sistema. Esto implica que, si fueran a producirse sistemáticamente desviaciones laterales en este sistema, por ejemplo un engrosamiento local de una capa particular, el sistema tendría que ser detenido, y serían necesarias modificaciones locales fuera de línea en la máquina.

Mientras que la FIG. 3 muestra una configuración de un sistema de pulverización catódica para revestir una pila de revestimiento fija con solo un número muy limitado de capas y lotes muy grandes, la FIG. 4(a) muestra una representación esquemática de un sistema de pulverización catódica configurable de la técnica anterior, adaptado para producir una pila de revestimiento configurable. La presente invención se centra principalmente en dicho tipo de sistema de pulverización catódica configurable.

Típicamente, dicho sistema de pulverización catódica configurable incluye al menos cinco, por ejemplo al menos quince, por ejemplo al menos treinta, hasta incluso cincuenta o incluso más zonas 401, en las cuales se puede insertar típicamente un blanco de pulverización catódica (representado esquemáticamente por dos círculos), seleccionado de hasta veinte a treinta materiales diferentes, o un sistema de bomba (representado esquemáticamente por un círculo con la letra "P"), a través de una cubierta 402, que se colocan apropiadamente en función de la pila de revestimiento que ha de producirse, a petición del cliente. Tal cubierta 402 (representada esquemáticamente por un rectángulo) también se conoce como una "tapa" o "puerta", y puede estar montada, por

ejemplo, en la parte superior de un sistema de pulverización catódica y/o en un lado. Tal sistema de pulverización catódica ajustable o configurable de manera flexible es idealmente apropiado para revestimiento en lotes relativamente pequeños, cada uno con una pila de revestimiento específica pero variable que incluye un número relativamente grande de capas, por ejemplo al menos tres, al menos seis o, por ejemplo, al menos diez, o por ejemplo, al menos catorce, o incluso más de catorce capas de revestimiento. Para permitir una gran flexibilidad, las zonas de dicho sistema pueden equiparse como se considere adecuado con uno o más blancos de pulverización catódica de ciertos materiales, y en un orden predeterminado, para obtener el diseño de pila deseado. Las zonas de bombeo también se pueden incorporar de forma flexible, típicamente para separar diferentes materiales blanco, o diferentes capas o procedimientos diferentes. Una ventaja de tales sistemas es que los componentes, por ejemplo las cubiertas, los blancos de pulverización catódica y las unidades de bomba, son intercambiables entre las diferentes estaciones.

Los sistemas de pulverización configurables existentes 400, como se muestran en la FIG. 4(a), generalmente contienen solo un sistema de sensor 410 *ex situ* para medir las propiedades de toda la capa de revestimiento. Este es generalmente un sistema de desplazamiento transversal, en el cual un cabezal de medición puede moverse a lo ancho del sustrato. En los sistemas conocidos, por lo general se miden y verifican el grado de reflexión y el color, pero un sistema de medición como este no permite determinar los grosores de las capas individuales a partir del mismo. Siempre que se haga uso proporcionado de datos de medición espectrales del sistema de medición 410 *ex situ* y de un sistema informático con un paquete de software para el modelado óptico, solo se puede calcular el grosor de capa real más probable de cada capa depositada por aproximación, en base a los parámetros de la pila de revestimiento a ser producida y en base a las propiedades conocidas del material. La incertidumbre aumenta a medida que la pila de revestimiento contiene más capas y/o al disminuir la exactitud de la medición. Con el fin de obtener una mayor precisión de las propiedades de las capas individuales, y por tanto de la pila completa, por lo tanto, deben usarse otras técnicas, tales como ensayos destructivos (por ejemplo, por ataque químico de ciertas capas), lo que da lugar a grandes retardos de tiempo, lo que es no es practicable para lotes relativamente pequeños. En consecuencia, el ajuste de las zonas de pulverización catódica (por ejemplo, en función de la presión del gas o la potencia) no es fácil. Si se desea también comprobar las propiedades de capa y su uniformidad sobre la superficie del sustrato, el número de mediciones y la preparación de las muestras se incrementará rápidamente.

Con el fin de aumentar la calidad de la pila de revestimiento, por analogía con el documento WO2014/10557A1, los expertos en la técnica podrían colocar un sistema de sensor *in situ* corriente abajo de cada estación de pulverización catódica 401 (también denominada "zona de pulverización catódica"), instalada permanentemente en la instalación, pero, en la práctica, esto no es factible debido a que: (1) el sistema de pulverización catódica sería mucho más largo y por lo tanto, más costoso, (2) no sería necesario realizar una medición corriente abajo de cada posición de pulverización catódica para cada diseño de la pila porque esta posición ni siquiera podría estar activa realmente o porque esa capa en particular podría no ser crítica, y (3) porque un sistema de sensor es costoso de comprar y requiere mantenimiento, lo que significa que el procedimiento completo no es económicamente factible.

Por lo tanto, los inventores buscaban una solución más flexible e idearon lo siguiente: en vez de incorporar un sistema de sensor *in situ* en el sistema de pulverización catódica 400 corriente abajo de cada estación de pulverización catódica 401, proponen proporcionar una cubierta (o tapa o puerta) con un sistema de sensor 421 *in situ* unido o montado en ella, de manera que esta cubierta 420 con el sistema de sensor 421 *in situ* se pueda mover fácil y flexiblemente en el sistema de pulverización catódica 400, en una abertura existente que se dispuso anteriormente para la inserción y montaje de un blanco de pulverización catódica o un sistema de bomba. La idea es no proporcionar una cubierta 420 con un sistema de sensor 421 *in situ* corriente abajo de cada estación de pulverización catódica 401, sino proporcionar solo un número limitado de dichas cubiertas 420 con el sistema de sensor 421 *in situ* (por ejemplo, de dos a cinco cubiertas para un sistema de pulverización catódica con cincuenta estaciones), y colocarlas en la(s) ubicación(es) más adecuada(s), dependiendo de la pila de revestimiento específica que se va a producir, por ejemplo, la(s) ubicación(es) más sensible(s), por ejemplo, justo corriente arriba y justo corriente abajo de la zona de pulverización donde las variaciones del grosor de la capa tendrán la mayor influencia sobre una propiedad esencial, como el color o la transparencia de la pila de revestimiento completa, o, por ejemplo, cada tres o cada cinco o cada diez estaciones de pulverización catódica, o, por ejemplo, entre dos estaciones de pulverización catódica en las que ambas pulvericen un material con propiedades sustancialmente similares. Mediante la medición de la pila parcial que tiene sólo una de estas dos capas con propiedades similares, es posible hacer una distinción entre la influencia de la primera y la segunda capas, lo que ya no es posible en el extremo de la línea (*ex situ*), porque entonces solo se puede medir la influencia combinada.

Ciertas realizaciones de dicha cubierta móvil con sistema de medición pueden diseñarse adicionalmente para medir la propiedad sensible en múltiples lugares, por ejemplo, en un área específica del sustrato (por ejemplo, sobre una parte o sobre el ancho lateral completo, y dado que el sustrato se mueve en la dirección longitudinal, por lo tanto, sustancialmente sobre toda la superficie del sustrato), de modo que se hace posible verificar la uniformidad de la propiedad sobre la región especificada, y opcionalmente ajustar la misma. Dicha medición se explicará adicionalmente con referencia a la FIG. 10; tal ajuste se explicará adicionalmente con referencia a la FIG. 5 y a la FIG. 6.

Gracias al simple montaje y desmontaje de la cubierta 420, (a diferencia de los sistemas de medición *in situ* típicos, que están montados de forma fija en instalaciones como la que se muestran en la FIG. 3), esta elección de la(s)



ubicación(es) "más apropiada(s)") puede ser revisada y adaptada sin demasiado esfuerzo para cada pila de revestimiento específica a ser producida (similar al esfuerzo requerido para el montaje de un blanco de pulverización diferente en esa ubicación). Por lo tanto, es una ventaja importante que la cubierta 420 con el sistema de sensor 421 *in situ* se pueda mover de una forma relativamente simple a otras aberturas (existentes) de la máquina de pulverización catódica, obviamente después de retirar, por ejemplo, un blanco de pulverización catódica o un sistema de bomba que ya habían sido insertados en esa abertura.

En la FIG. 4(a) a la FIG. 4(d) se muestra un número de ejemplos de un sistema de pulverización catódica configurable según la presente invención, así como ejemplos de una cubierta con un sistema de sensor.

La FIG. 4(b) muestra un ejemplo de dicho sistema de pulverización catódica configurable 400 según la presente invención, en el que las dos primeras estaciones son estaciones de pulverización catódica, en las que se han incluido al menos un primer y un segundo blancos de pulverización catódica (hay dos círculos dibujados en el dibujo esquemático, pero también pueden estar menos de dos o más de dos blancos de pulverización catódica presentes en cada estación), y una tercera zona a la que está unida una cubierta 420 según la presente invención con un sistema de sensor 421 *in situ* (representado esquemáticamente por un círculo con el texto "S").

El sistema de sensor 421 puede comprender, por ejemplo, al menos una fuente de luz y al menos un detector espectral correspondiente, que sean móviles en un primer y segundo rieles, respectivamente, extendiéndose dichos rieles, por ejemplo, en una dirección transversal, por ejemplo perpendicular a la dirección de movimiento del sustrato, y que (durante el funcionamiento) estén situados en lados opuestos del sustrato, como se muestra en la FIG. 10(c). El sistema de sensor 421 puede adaptarse, por ejemplo, para la medición de la propiedad de transmisión espectral en la dirección del grosor del sustrato, en múltiples posiciones de medición distribuidas sobre sustancialmente toda la anchura del sustrato (perpendicular a la dirección de movimiento del sustrato). Otros ejemplos de sistemas de sensor se explicarán adicionalmente, entre otras, en la explicación de las FIG. 7, 8 y 10.

En el ejemplo de la FIG. 4(b), el sistema de pulverización catódica 400 solo tiene una cubierta 420 de este tipo y, por lo tanto, solo un sistema de sensor 421 *in situ*, pero la invención no está limitada, por supuesto, a sistemas de pulverización catódica 400 con solo una cubierta 420, y también puede proporcionarse múltiples estaciones con una cubierta 420 con un sistema de sensor 421 para llevar a cabo múltiples mediciones *in situ*. El dispositivo de pulverización catódica también puede comprender opcionalmente un sistema de sensor 410 *ex situ*, por ejemplo con características similares al sistema de sensor *ex situ* descrito en el documento WO 2014/105557A1.

Naturalmente, sería posible, con un sistema de pulverización catódica 400 de, por ejemplo, cincuenta estaciones, en el que, para una pila de revestimiento específica con, por ejemplo, catorce capas, solo se usaran, por ejemplo, treinta estaciones, usar también catorce cubiertas 420 con un sistema de sensor 421 *in situ*, colocadas después de cada última estación de pulverización catódica de una capa individual, pero, como se mencionó anteriormente, esto es a la vez muy costoso e innecesario, especialmente si las capas sucesivas son suficientemente diferentes en términos de la propiedad que se ha de medir, por ejemplo la propiedad de transmisión espectral, la reflexión espectral u otra propiedad, por ejemplo la propiedad eléctrica o mecánica o térmica, o combinaciones de las mismas, por ejemplo la propiedad termo-óptica. La adición de una sola cubierta 420 con el dispositivo de sensor 421 después de cada estación de pulverización catódica en realidad ya no es posible con este sistema de pulverización catódica (con cincuenta estaciones) si debe producirse una pila de revestimiento que incluya, por ejemplo, cuarenta capas. Entonces se requeriría que se redujera el número de estaciones o zonas con una cubierta 420 con un sistema de sensor 421 según la presente invención, a un máximo de diez cubiertas y, en tales casos, las ventajas de la presente invención serían incluso más evidentes.

La FIG. 4(c) representa una realización adicional de una cubierta según la presente invención, comprendiendo además la cubierta 430, con el sistema de sensor 421 *in situ*, un sistema de bomba 432. Una cubierta con un sistema de bomba unido a ella es en sí misma conocida, pero no en combinación con un sistema de sensor 421 *in situ*. Tal cubierta 430, que combina un sistema de bomba con un sistema de sensor, ofrece la ventaja adicional de que una cubierta única (es decir, una única estación) se puede utilizar para dos funciones diferentes (a saber: para medición y bombeo), ahorrando con ello espacio. Más específicamente, una cubierta 430 de este tipo, con un sistema de sensor 431 *in situ* y una unidad de bomba 432, permite proporcionar también a cada zona, en la que anteriormente solo existía una unidad de bomba, ahora también la funcionalidad de realizar una medición *in situ*, sin tener que usar estaciones adicionales 401. De esta manera, la calidad de la pila de revestimiento puede aumentarse significativamente, así como el porcentaje de productos que cumplen con las especificaciones predefinidas de la pila de revestimiento completa, sin la necesidad de agregar posiciones adicionales (por ejemplo, estaciones) para poder introducir un sistema de sensor. Esto también permite una reducción de las tolerancias con respecto a la especificación de tales pilas de revestimiento. Se puede lograr una ventaja similar introduciendo al menos un sistema de sensor montado en una unidad de pulverización catódica que comprenda blancos de pulverización catódica.

Como se mencionó anteriormente, el sistema de sensor puede ser, por ejemplo, un sistema de sensor óptico que comprende al menos una fuente de luz y al menos un detector de luz (por ejemplo, adaptado para realizar una medición de transmisión de una medición de reflexión) o un sistema de sensor eléctrico (por ejemplo configurado para medir una resistencia eléctrica entre dos puntos) o algún otro sistema de sensor.

En una realización preferida, la cubierta fácilmente movible sin la unidad de bomba 420, o con la unidad de bomba 430, incluye un sistema de sensor óptico adecuado para medir las propiedades de transmisión y/o reflexión. En otras realizaciones, el sistema de sensor puede ser adecuado para la realización de mediciones polarizadas (por ejemplo, elipsometría), y/o estar adaptado para medir propiedades mecánicas, magnéticas, térmicas y/o eléctricas, o combinaciones de sistemas de medición óptica, polarizada, mecánica, magnética, térmica y eléctrica.

La medición de una propiedad de transmisión óptica impone requisitos menos estrictos sobre el posicionamiento de la fuente de luz y el detector que, por ejemplo, una medición de reflexión óptica, y la fuente de luz y el detector pueden por lo tanto ser montados de manera relativamente fácil sobre una cubierta móvil y extraíble. Sin embargo, es ventajoso llevar a cabo la calibración necesaria del sistema de sensor. Tal calibración puede tener lugar, por ejemplo, después del montaje de la cubierta 420, 430 en una abertura, pero también puede tener lugar (aunque momentáneamente) durante una serie de producción entre dos sustratos (por ejemplo, entre dos placas de vidrio), cuando el detector, que está ubicado normalmente a un lado (por ejemplo, en la parte inferior) del sustrato, puede "ver" directamente la radiación (por ejemplo, de luz) que irradia la fuente de radiación (por ejemplo, la fuente de luz) del otro lado (por ejemplo, en la parte superior) del sustrato, porque durante un breve período de tiempo no hay sustrato entre la fuente de luz y el detector.

En una realización preferida, la fuente de luz está adaptada para transmitir una señal de luz con un espectro relativamente amplio, por ejemplo en el intervalo de 300 a 2000 nm, por ejemplo en el intervalo de 350 a 1000 nm. Tales fuentes de luz y detectores son conocidos por los expertos en la técnica. El uso de un espectro relativamente amplio como este hace posible que el software de modelado aplique un "ajuste de curvas", lo que aumenta en gran medida la precisión de la medición del grosor de la capa.

En una realización, el sistema de sensor 421, 431 de la cubierta 420, 430 puede comprender múltiples fuentes de radiación, por ejemplo, fuentes de luz y detectores múltiples, en el que está dispuesta al menos una fuente de radiación para irradiar al menos a un detector a través del sustrato y a través de la pila de revestimiento parcial. Las fuentes de radiación y los detectores pueden estar montados en un riel, extendiéndose el riel preferentemente en una dirección perpendicular a la dirección de movimiento del sustrato en el sistema de pulverización catódica, aunque esto no es necesario.

En las realizaciones descritas anteriormente, la unidad de procesamiento o la unidad de análisis M2 para el procesamiento de las señales recibidas o medidas no se han explicado explícitamente, pero se apreciará que dicha unidad de procesamiento puede estar presente en la parte inferior de la cubierta (dentro de la estación), como en la técnica anterior.

Debido al hecho de que el sistema de sensor de la cubierta está realmente unido a la cubierta (y no a una pared), también es posible montar la unidad de procesamiento en la parte superior de la cubierta, fuera de la estación. Esto no es fácilmente posible en el dispositivo de pulverización catódica de la FIG. 3, porque un experto en la técnica no crearía aberturas en la pared a propósito para el paso de cables o similares, aunque esto es perfectamente posible con una cubierta según la presente invención. Esta es una gran ventaja, ya que la unidad de procesamiento es usualmente un equipo muy costoso y muy sensible, que, cuando se usa junto con una cubierta de la presente invención, puede colocarse fuera del vacío. Esto también permite una operación más simple (por ejemplo, accesibilidad a botones).

Pero hay más. Los inventores de hecho se han dado cuenta de que la flexibilidad y la modularidad pueden incrementarse aún más, al no montar fijamente la unidad de procesamiento o la unidad de análisis en el sistema de sensor asociado, sino haciéndolas móviles, y así intercambiables entre diferentes cubiertas del mismo tipo. Esto se explica con referencia a la FIG. 4(d), que muestra un sistema de pulverización catódica configurable 400 según la presente invención, con dos estaciones en las que está montada una cubierta según la presente invención (en el ejemplo, la estación 3 y la penúltima estación), y en el que la unidad de procesamiento M2 está montada de forma desmontable en la cubierta de la penúltima estación. Dado que la unidad de procesamiento M2 está unida en forma separable a dicha cubierta, esta unidad de procesamiento se puede mover fácilmente a la cubierta de la estación 3, tanto durante una serie de producción, como entre dos series de producción. Es una ventaja importante que este movimiento sea posible sin tener que suprimir el vacío (ya que solo es necesario mover la unidad de procesamiento, no las cubiertas con el sistema de sensor). Esta ventaja no debe subestimarse. Permite por ejemplo, entre otras cosas, producir varios lotes de diferentes pilas de revestimiento, sin tener que cambiar la cubierta de la tercera estación (en este ejemplo) y de la penúltima estación, ahorrando así tiempo. Solo se tiene que cambiar la unidad de procesamiento M2, lo que es mucho más fácil y más rápido. Y si los blancos de pulverización catódica deben ser reemplazados de todos modos, y el vacío tiene que suprimirse, entonces el aspecto modular de la presente invención todavía ofrece una ventaja, porque la unidad de procesamiento solo tiene que cambiarse después de que se ponga en marcha la bomba de vacío, lo que nuevamente ahorra tiempo.

En otras realizaciones de dispositivos de pulverización catódica configurables, por ejemplo con veinte estaciones, y tres cubiertas con un sistema de sensor M1 según la presente invención, y dos unidades de procesamiento M2, por ejemplo una de alta calidad (M2hq) y una de calidad normal (M2nq), el operario puede optar, por ejemplo, por montar las tres cubiertas en la instalación de pulverización catódica, y proporcionar una de las tres cubiertas con la M2hq, y proporcionar una segunda cubierta con la M2nq. La calidad de la unidad de procesamiento M2 puede cubrir,

pero sin limitación, la sensibilidad de la señal, el intervalo de medición, la precisión, la estabilidad de la señal, la relación S/N y otras características específicas del equipo de metrología. Si, durante la serie de producción, se hace evidente que habría sido mejor haber montado las unidades de procesamiento en una cubierta diferente, esto se puede ajustar sin ningún problema, sin tener que interrumpir la producción y, sobre todo, sin tener que suprimir el vacío.

Gracias a la flexibilidad y modularidad ofrecidas por la presente invención, tanto la calidad del producto terminado como la eficiencia de la instalación se pueden aumentar apreciablemente, manteniendo los costes bajo control.

En relación con la FIG. 5 y la FIG. 6, se explicarán ejemplos de un sistema de realimentación según la presente invención.

La FIG. 5 muestra un sistema de pulverización catódica 500 tal como se muestra de la FIG. 4(b) a la FIG. 4(d), que comprende, además, un sistema informático 540 provisto del software necesario para el procesamiento de las señales que se originan en uno o más sistemas de sensor *in situ*, como se explicó anteriormente, que están montados en una o más cubiertas, ya sea juntamente o no con un sistema de bomba. El software está adaptado para calcular el grosor más probable de las diferentes capas de la pila de revestimiento parcial, basándose en los valores o propiedades o características medidos, por ejemplo en base a las curvas de reflexión espectral y/o de transmisión medidas.

Opcionalmente, el sistema informático 540 está adaptado, además, para procesar la señal del sensor 510 *ex situ* y, opcionalmente, el software está adaptado adicionalmente para calcular los diversos grosores de capa de la pila de revestimiento completa, aunque esto no es estrictamente necesario para la presente invención.

En una variante del sistema mostrado en la FIG. 5, hay un primer sistema informático que solo procesa las señales de los sistemas de sensor *in situ*, y hay un segundo sistema informático que procesa solo las señales del sistema de sensor *ex situ*. Los valores calculados por el primer sistema informático pueden utilizarse como datos "conocidos" para el segundo sistema, aunque esto tampoco es estrictamente necesario. Si se lo desea, el segundo sistema puede funcionar de manera completamente independiente. De esta manera, el segundo sistema puede usarse, por ejemplo, como verificación (redundancia) del primer sistema, aunque típicamente con una exactitud inferior.

También pueden usarse paquetes de software similares como se menciona en el documento WO2014/105557A1, en la forma de "OptiRE" de OptiLayer, o "BREIN" de W. Theiss Hard- en Software, o "TFCalc" de Software Spectra Inc., en realizaciones de la presente invención y, además de las propias señales del sensor, el software también puede usar, en este caso, propiedades del material, tales como el factor de transmisión espectral de un material particular para una longitud de onda dada. Sin embargo, como se describe a continuación, puede ser deseable una funcionalidad adicional.

En realizaciones preferidas de la presente invención, el paquete de software comprende además un módulo de software, tal como, por ejemplo, para determinar la capa más sensible de una pila de revestimiento particular, y/o un módulo de software para determinar las ubicaciones apropiadas (por ejemplo, los lugares más sensibles) para la colocación de un número dado de cubiertas con el sistema de sensor M1 y con la unidad de procesamiento M2 conectados al mismo (como se explica en las FIGS. 4(b) y (c), sobre la base de una o más pilas de revestimiento a producir. La optimización en múltiples series de producción de diferentes pilas puede acortar aún más el tiempo de conversión de la instalación. Con referencia a la FIG. 4(d), el módulo de software también puede estar adaptado para la determinación de las posiciones más adecuadas para la colocación de cubiertas con el sistema de sensor M1 y las posiciones más adecuadas de un número predeterminado de unidades de procesamiento M2 montables en el mismo. Puede ser ventajoso colocar cubiertas con una unidad de sensor M1 pero sin una unidad de procesamiento M2, incluso si no siempre se las use funcionalmente, con el propósito de su optimización a través de múltiples series de producción con diferentes pilas de revestimiento, con el fin de reducir el tiempo total de conversión.

El software también puede estar adaptado para calcular los grosores reales de las diversas capas de la pila de revestimiento, así como también la desviación de los grosores previstos, y opcionalmente para visualizarlos en una pantalla 541, de modo que, si se desea, un operario pueda hacer los ajustes necesarios, por ejemplo, a la presión del gas de la instalación, o a la potencia de uno o más blancos de pulverización catódica, o, si es necesario, puede detener la máquina y ajustar a mano los imanes ajustables manualmente de un blanco de pulverización catódica con dicha instalación.

El software también puede estar adaptado para calcular las propiedades ópticas reales de las diversas capas de la pila de revestimiento, así como también la desviación de los valores previstos del índice de refracción y del coeficiente de absorción, y opcionalmente mostrarlos en una pantalla 541, de modo que, si se desea, un operario pueda realizar los ajustes necesarios, por ejemplo, a la presión de gas de la instalación, o a la potencia de uno o más blancos de pulverización catódica, o, si es necesario, puede detener la máquina y ajustar a mano los imanes ajustables manualmente de un blanco de pulverización catódica con dicha instalación.

El software puede contener características únicas que no se encuentran fácilmente en los paquetes de software estándar, como se describió anteriormente. Se puede implementar un algoritmo específico, por ejemplo, para el caso

de la unidad de pulverización catódica que tiene un sistema de sensor al comienzo y al final de una cubierta que lleva un blanco de pulverización catódica (tapa de cátodo). El sistema de sensor en el inicio de la tapa del cátodo puede medir el estado inicial de una determinada propiedad como se define por el sustrato y las diversas capas que ya pueden estar presentes en el sustrato. En este punto, puede no estar claro o puede desconocerse cuál es la composición exacta de todas las capas ya presentes en el sustrato. El sistema de sensor en el extremo de la tapa del cátodo puede medir el estado de una determinada propiedad después de que una capa adicional se haya depositado mediante esta unidad de pulverización catódica específica. Al evaluar la variación de la propiedad medida entre el inicio y el final de la tapa del cátodo, debida a la deposición de una capa por parte del pulverizador catódico, el software puede ser capaz de calcular las propiedades específicas de la capa final que se ha depositado, tales como el grosor o las propiedades ópticas. En este caso, la medición del sistema de sensor puede ser, por ejemplo, un espectro de transmisión del producto que está entrando en y saliendo de la unidad de pulverización catódica específica.

El software puede contener un algoritmo informático, que permita el cálculo de una propiedad de capa de una sola capa (preferiblemente la última capa, que está arriba) como parte de la pila de capas, mientras que la composición y las propiedades de las otras capas de esa pila de múltiples capas son desconocidas *a priori*. La propiedad de la capa puede ser el grosor o puede ser una propiedad óptica (por ejemplo, el índice de refracción  $n$  o el coeficiente de absorción  $k$ ) o cualquier otra propiedad. El procedimiento para lograr y controlar esta capa en producción como parte de una pila de múltiples capas puede hacer uso de un procedimiento de calibración. Tal procedimiento es útil para la correcta configuración de partes del sistema, tales como sensores y/o en la identificación de modelos de caja negra, caja blanca o caja gris. Estos modelos pueden usarse, por ejemplo, en (en apoyo de) un sistema de control de realimentación en el que al menos una propiedad es controlada en bucle cerrado, un sistema de asistencia inteligente que le brinde al operario sugerencias para ajustar los parámetros del procedimiento o como un sistema de observación que señale cualquier anomalía o desviación en el estado del procedimiento.

La presente invención también se centra en el sistema de medición que comprende la cubierta 530 con el sistema de sensor 531 *in situ* y el sistema informático 540 con el software, sin el sistema de sensor 510 *ex situ* y sin el resto de la instalación de pulverización catódica (en particular, las estaciones y los blancos de pulverización catódica). Se hace notar que la unidad de bomba "P" se muestra con una línea de puntos, para indicar que la unidad de bomba es una parte opcional de la cubierta según la presente invención.

La presente invención también se refiere al sistema de medición que comprende la cubierta 530 con el sistema de sensor 531 *in situ* y el sistema de sensor 510 *ex situ* y el sistema informático 540 con el software como se ha descrito anteriormente, sin el resto de la instalación de pulverización catódica (en particular, las estaciones y los blancos de pulverización catódica).

En una realización particular del sistema de pulverización catódica 500 según la FIG. 5, el sistema de pulverización catódica comprende al menos un blanco de pulverización catódica con al menos un imán ajustable en línea, como se describe en el documento WO2013120920A1, y el software está adaptado adicionalmente para calcular un perfil, por ejemplo, del grosor de capa a través de la dirección transversal, sobre la base de la información unidimensional o bidimensional del sistema de sensor 531 *in situ*, y opcionalmente también sobre la base de la información unidimensional o bidimensional procedente del sistema de sensor 510 *ex situ*. Las desviaciones pueden mostrarse, por ejemplo, en una pantalla 541, y un operario, si lo desea, puede hacer, por ejemplo, ajustes manualmente pero en línea (es decir, sin detener el sistema de pulverización catódica) con respecto a los imanes ajustables. La funcionalidad adicional de poder ajustar localmente y en línea en varios lugares en la dirección lateral no es posible con el sistema conocido de la FIG. 3. Sin embargo, este sistema ofrece grandes ventajas. Por ejemplo, el rendimiento de productos que tienen que cumplir con las especificaciones predefinidas se puede aumentar en gran medida, lo que es tanto más importante cuando se producen lotes relativamente pequeños (donde el tiempo de puesta en marcha debe ser corto en comparación con la producción real). Además, tal instalación es capaz de producir revestimientos según requisitos cada vez más estrictos (tolerancias menores). Por otra parte, un sistema de este tipo hace que sea posible utilizar un blanco de pulverización catódica (por ejemplo cilíndrico) durante un período más largo que hasta ahora, ya que siempre hay un cierto grado de erosión no uniforme del material de pulverización catódica, lo que tiene como resultado una deposición no uniforme en el sustrato, pero al medir en varios puntos en la dirección lateral del sustrato y al ajustar los imanes en consecuencia, se pueden compensar en gran medida los efectos negativos de la erosión no uniforme.

El sistema de pulverización catódica 600 de la FIG. 6 va incluso un paso más allá e incluye no solo al menos un blanco de pulverización catódica 660 con al menos un imán ajustable en línea, preferiblemente una pluralidad de blancos de pulverización catódica, cada uno de ellos con una pluralidad de imanes ajustables en línea, sino que además incluye también al menos un accionador 650 para ajustar automáticamente estos imanes. En este caso, el sistema informático 640 comprende además un módulo de software para controlar el al menos un accionador 650 del al menos un blanco de pulverización ajustable en línea 660, para obtener, por ejemplo, un grosor más uniforme según la especificación predefinida de la serie de producción relevante. Por supuesto, los datos también se pueden mostrar en una pantalla 641, para permitir que un operario supervise el procedimiento. El software puede estar opcionalmente adaptado para funcionar en forma totalmente automática, sin intervención de un operario, o puede proponer ajustes al operario, si bien solo los efectúa después de que el operario los apruebe, etc. Además de ajustar automáticamente la posición de la al menos una, preferiblemente de la pluralidad, de imanes ajustables en línea del

o del blanco o de los blancos de pulverización catódica, se pueden ajustar, naturalmente, otros parámetros del sistema de pulverización catódica, tales como, por ejemplo, la potencia de uno o más blancos de pulverización catódica, o la presión parcial de los gases individuales en la instalación de pulverización catódica, tanto local como globalmente sobre la superficie del blanco.

- 5 La realización particular del sistema de pulverización catódica 600 mostrado en la FIG. 6 comprende así al menos un blanco de pulverización catódica con al menos un imán ajustable en línea, preferiblemente múltiples imanes ajustables en línea, como se describe en el documento WO2013120920A1, y al menos una cubierta 630 provista de un sistema de sensor 631 para la medición *in situ* de una propiedad de la pila de revestimiento (por ejemplo una característica óptica o mecánica o magnética o de otro tipo) en al menos una ubicación, preferiblemente en varias  
10 ubicaciones, en la dirección transversal del sustrato, y comprende, además, un sistema informático 640 que tiene un paquete de software (por ejemplo "BREIN") para el cálculo de al menos una propiedad de la capa, por ejemplo el grosor de la capa que se origina a partir de uno o más blancos de pulverización catódica con al menos uno, preferiblemente múltiples, imán/imanes ajustable(s) en línea en al menos un número de posiciones discretas a través del ancho del blanco de pulverización catódica, y el sistema informático 640 está provisto, además, de un módulo de  
15 software para el ajuste automático del/los imán/imanes ajustable/s en línea del blanco de pulverización catódica 660 con el fin de obtener el grosor previsto de la capa depositada correspondiente.

Opcionalmente, también pueden tenerse en cuenta los datos del sistema de sensor 610 *ex situ*, aunque esto no es estrictamente necesario para la presente invención.

- 20 Se entenderá que un sistema de pulverización catódica 500, 600 según la FIG. 5 o la FIG. 6, con uno o más imanes ajustables en línea, será más capaz de proporcionar un grosor uniforme en todo el ancho del sustrato, en vista de los muchos grados de libertad relacionados con la capacidad de medir y ajustar localmente, en contraste con el sistema de pulverización catódica mostrado en la FIG. 3, en el que se usan tales resultados de medición para calcular un grosor promedio, y sobre esta base, ajustar un parámetro global de pulverización catódica, por ejemplo la potencia del blanco de pulverización catódica o la velocidad de la cinta transportadora de todo el sistema de  
25 pulverización catódica. Esto es tanto más el caso para los blancos de pulverización catódica (por ejemplo, cilíndricos) que tienen una longitud de al menos 2 m, por ejemplo de al menos 3 m, por ejemplo de al menos 4 m, en los que la erosión no uniforme del material de pulverización catódica puede conducir a una deposición no uniforme sobre el sustrato. Con la presente invención, tal deposición no uniforme debido a una erosión no uniforme (o por cualquier otra razón) puede compensarse al menos parcialmente, ya sea manualmente (véase la FIG. 5), o de forma semiautomática o completamente automática (véase la FIG. 6).

- 30 En realizaciones particulares, el software, además de simplemente medir las propiedades de la pila de revestimiento y, a partir de ellas, calcular los grosores de capa y ajustar los blancos de pulverización catódica para lograr las propiedades previstas y/o los grosores de capa, también puede adaptarse a cada sustrato, durante el procedimiento de producción, para realizar un seguimiento de cualquiera de las desviaciones que se produjeron en las estaciones de corriente arriba (por ejemplo, una primera capa de plata un 3% más delgada que lo previsto), y para compensar esta desviación en todo o en parte, mediante el ajuste de las estaciones de corriente abajo (por ejemplo, una segunda capa de plata un 3% más gruesa que lo previsto).

En relación con la FIG. 7 y la FIG. 8, se explicarán con más detalle algunos ejemplos de sistemas de sensor óptico que pueden usarse como parte de una cubierta según la presente invención.

- 40 La FIG. 7 muestra una fuente de luz lineal 761, que puede extenderse, por ejemplo, localmente pero también sobre un área más grande del sustrato 762. Esto puede ser, por ejemplo, (a) una lámpara fluorescente o (b) constar de múltiples fuentes de luz más pequeñas (por ejemplo, LED, lámpara de descarga de arco, etc.) con una pantalla de difusión o sistemas de guía de luz, o (c) una lámpara electroluminiscente o una fuente diferente para difundir uniformemente la luz. Esta fuente 761 puede ser estática o moverse junto con el sensor o detector 763.
- 45 El ejemplo de la FIG. 7 también puede tener un sistema de sensor en el que la fuente de luz 761 sea móvil y el detector sea estático, o viceversa, o en el que estén presentes múltiples fuentes de luz 763 o detectores, por ejemplo montados fija o moviblemente en un riel que se extienda en una dirección transversal con respecto a la dirección de desplazamiento del sustrato (de la forma representada por la flecha).

- 50 En el contexto de la presente invención, el término "sensor" o "detector" son sinónimos. El sensor puede ser un sensor muy complejo, por ejemplo un chip integrado provisto de elementos ópticos y circuitos integrados para determinar los componentes espectrales de la luz incidente, o puede ser un simple componente pasivo, tal como una lente, o cualquier otro sensor adecuado. El sensor inteligente puede entonces enviar el resultado en forma eléctrica (por ejemplo, analógica o digital), por ejemplo a un ordenador que se encuentra fuera de la cámara de vacío, haciendo uso de un medio de transmisión, por ejemplo un cable eléctrico, o incluso una conexión inalámbrica. El  
55 sensor simple (por ejemplo, la lente) puede detectar la señal óptica y transmitirla a través de un medio de transmisión (por ejemplo, una fibra óptica), para que la señal pueda procesarse fuera de la cubierta.

La FIG. 7 muestra así ejemplos de un sistema de sensor óptico 721 que puede estar montado en una cubierta, y se puede usar como un sistema de sensor *in situ* en una estación de un sistema de pulverización catódica. El sistema

de sensor que se muestra comprende una fuente de radiación 761, por ejemplo una fuente de luz y un detector de radiación 763. Según las realizaciones de la presente invención, la fuente de luz y el detector están ambos unidos a la tapa o cubierta, y de una manera tal que cuando el sistema de sensor se inserta en la abertura de una estación, y cuando la cubierta se fija a la abertura, el sustrato 762 se moverá entre la fuente de luz y el detector durante el funcionamiento de la instalación de pulverización catódica. Esta configuración es muy adecuada, por ejemplo, para la medición de las propiedades de transmisión óptica a través del sustrato y a través de las capas de revestimiento ya depositadas (es decir, el revestimiento parcial). El sustrato 762 con el revestimiento 764 se muestra en una línea de puntos porque no pertenece a la tapa o cubierta.

En la realización mostrada en la FIG. 7, (durante el uso) la fuente de luz 761 puede estar situada en la cámara de vacío, aunque esto no es estrictamente necesario, y también es posible colocar la fuente de luz 761 fuera de la cubierta, y transmitir la luz emitida a través de un medio de transmisión, por ejemplo un canal óptico, por ejemplo una fibra óptica. Generalizando a otras características, por ejemplo eléctricas, magnéticas, térmicas, etc., la fuente de excitación no necesariamente tiene que estar situada dentro de la estación (en la parte inferior de la cubierta), sino que también puede estar colocada fuera de la cubierta, siempre que la señal de fuente sea luego alimentada al interior de otra manera. La fuente puede estar montada de forma fija en cada cubierta, o puede estar fijada de forma separable y móvil a la cubierta. De esta manera, la flexibilidad y la modularidad del sistema de pulverización catódica pueden aumentar una vez más. Así, un sistema de pulverización catódica puede comprender, por ejemplo, tres cubiertas, todas equipadas con una única fibra óptica para suministrar una señal de la fuente, y equipadas con una sola fibra óptica para transportar la señal medida y, por ejemplo, necesita usarse sólo una única fuente de radiación, que puede estar montada en una de las tres cubiertas y que, si se desea, se puede mover a una de las otras dos cubiertas, sin tener que mover las tres cubiertas, es decir, sin suprimir el vacío.

La FIG. 8 muestra otro ejemplo de un sistema de sensor óptico 821 como parte de una cubierta 420, 430 según la presente invención, que se puede usar como un sistema de sensor *in situ* en una estación 401. El sistema de sensor presentado comprende una fuente de radiación 861, por ejemplo una fuente de luz y múltiples detectores de radiación 866, 868, que pueden conectarse, por ejemplo, a una unidad de procesamiento externa, por ejemplo una unidad de lectura, por medio de fibras ópticas (como se muestra en la FIG. 9). Este sistema de sensor es adecuado para medir tanto una característica de reflexión como una característica de transmisión, aunque esto no es necesario para la presente invención, y solo una medición de reflexión puede ser suficiente. Anteriormente ya se explicó cómo se puede realizar una medición de transmisión, donde la fuente de luz y el detector se colocan en lados opuestos del sustrato. Y aquí, también, es posible montar la fuente de luz 861 en la parte inferior de la tapa (dentro de la cámara) o fuera de ella. La FIG. 8 muestra un enfoque en el que se hace uso de una esfera de integración o esfera de Ulbricht 870 que divide de manera uniforme la luz de una fuente de luz. El extremo del sensor, como se muestra en la FIG. 8, puede llevar a cabo una detección en tres ubicaciones: una señal de calibración (detector 868), una señal de reflexión (reflector 866) y una señal de transmisión (detector 863). Aquí, también, el procesamiento de las señales detectadas no tiene necesariamente que tener lugar en el propio sistema de sensor sino que, por ejemplo, también puede guiarse hacia el exterior a través de las fibras ópticas 867a, 867b, tales como, por ejemplo, fibras de vidrio. Aquí, también, la fuente de luz 861 puede estar montada en la cámara (en la parte inferior de la cubierta) o fuera de la cubierta (por ejemplo, a la presión atmosférica), por lo que, en este último caso, la señal óptica se distribuye dentro de la esfera 870 a través de una fibra óptica u otro conductor de luz (que no se muestra). El uso de una esfera de Ulbricht 870 permite reducir o minimizar los problemas de alineación o los efectos de leves desplazamientos del sustrato 862 en relación con el sistema de medición (por ejemplo, causados por vibración, transporte, deflexión, grosor variable, etc.). También se pueden usar otras técnicas para absorber potencialmente transmisiones de luz desviada, por ejemplo montando lentes, por ejemplo en la fuente y/o en los detectores.

Como se muestra en la FIG. 9, pueden estar colocadas múltiples fibras ópticas 967 fuera de la cámara de vacío, y conectadas a un multiplexor óptico que envíe las señales, una por una, a un detector óptico, por ejemplo un espectrofotómetro 982 como ejemplo, o como parte de una unidad de procesamiento M2. El tamaño del multiplexor 981 (por ejemplo de 3 canales, por ejemplo de 15 canales, por ejemplo de 42 canales o más de 42 canales) se determina con el número de señales recibidas por el sistema de sensor M1 (véase la FIG. 8). El sistema de sensor óptico M1 y la unidad de procesamiento M2 (que comprenden por ejemplo 981, 982) pueden estar adaptados opcionalmente para ser montados en y desmontados fácilmente de la cubierta, de modo que se obtiene una solución modular. De esta manera es posible usar, por ejemplo, tanto un espectrofotómetro de baja resolución como un espectrofotómetro de alta resolución en un solo sistema de pulverización catódica, y estos son fácilmente intercambiables, sin tener que cambiar las propias cubiertas. De esta manera, por ejemplo, se puede ajustar fácilmente la exactitud o el ancho de banda (por ejemplo, el intervalo de longitudes de onda) que se desean, dependiendo de la(s) pila(s) de revestimiento a producir, con el fin de obtener la precisión requerida. Como alternativa, este sistema de detección y procesamiento puede mantenerse simple si el sistema de capa de revestimiento lo permite.

Para la configuración de la FIG. 8, puede considerarse una vez más trabajar con una fuente y un detector móviles (por ejemplo, puede moverse la esfera completa 870), o con una fuente móvil y múltiples detectores fijos, con múltiples fuentes y un detector móvil o con múltiples puntos de medición discretos, cada uno compuesto por fuente y detector. El sistema puede construirse de forma modular, por ejemplo, el número de puntos de medición, calidad

fuerza y calidad de detección según la precisión deseada que se quiera alcanzar, en esa posición, en el sistema de pulverización catódica.

Aunque los ejemplos de la FIG. 7 a la FIG. 9 muestran sistemas de sensor ópticos, quedará claro que también pueden usarse otros sistemas de sensor, por ejemplo para medir propiedades mecánicas (por ejemplo grosor, deflexión, etc.) o propiedades magnéticas (por ejemplo, mediante el uso de un sensor Hall), o propiedades eléctricas (por ejemplo, resistivas, capacitivas, etc.) o propiedades térmicas, o combinaciones de éstas (por ejemplo, propiedades termo-ópticas), y no se limita necesariamente a mediciones ópticas puras. Por supuesto, se prefieren las mediciones sin contacto.

En lugar de utilizar un detector con un espectro relativamente amplio (por ejemplo, un ancho de banda de espectro de al menos 500 nm), también puede usarse un detector con un intervalo de espectros más estrecho, por ejemplo un intervalo de espectros específico, para aplicaciones específicas. Esto puede significar que el detector puede medir con mayor precisión y/o a una velocidad más alta. Como resultado, también puede limitarse el flujo de datos.

La FIG. 10 muestra algunas de las configuraciones de medición descritas arriba en la vista superior.

La FIG. 10(a) muestra, por ejemplo, una medición de un solo punto, con una única fuente de luz local que se encuentra, por ejemplo, encima del sustrato, y un único detector que se encuentra debajo del sustrato, o viceversa. La fuente de luz y el detector están montados en una ubicación fija, representada esquemáticamente por un punto negro.

La FIG. 10(b) muestra una medición multipunto, con cinco fuentes de luz ubicadas sobre el sustrato y cinco detectores localizados bajo el sustrato, o viceversa, pero el número de detectores puede ser, naturalmente, de menos de cinco o de más de cinco.

La FIG. 10(c) muestra un punto móvil, también llamado "punto de escaneo", en el que una fuente de luz y/o un sensor están dispuestos de forma móvil, por ejemplo en un riel o en dos rieles, para realizar mediciones en diferentes posiciones laterales. El sustrato solo se muestra en la FIG. 10(a) para fines ilustrativos, para indicar las posiciones relativas del sistema de sensor y el sustrato. En la disposición mostrada en la FIG. 10(a), la medición se realiza en el centro del sustrato. El sustrato 1062 se mueve en la dirección de la flecha. Cuando el sustrato no se encuentra entre la fuente de luz y el detector (como se muestra), tiene lugar, por ejemplo, una medición de calibración. El sistema de la FIG. 10(c) permite que se tome una medida en cualquier posición lateral dada, mientras que la configuración de la FIG. 10(b) solo permite una medición en unas pocas posiciones discretas. Un experto en la técnica puede tomar en cuenta varios aspectos a la hora de determinar el sistema más adecuado, tales como: el precio de compra, el riesgo de defectos, la sensibilidad de la medición al desplazamiento del sensor (por ejemplo, en la dirección de la altura), el rendimiento del sistema requerido para el procesamiento de datos de medición, etc. De esta manera, por ejemplo, el sistema de la FIG. 10(c) puede ser menos costoso que una gran cantidad de sensores discretos, por ejemplo de veinte, pero los resultados de medición podrían ser, por ejemplo, menos precisos debido a las vibraciones causadas por el desplazamiento.

Un experto en la técnica puede configurar el sistema de medición, es decir, seleccionar un sistema de sensor *in situ* (por ejemplo, el más adecuado) y un sistema de procesamiento (por ejemplo, el más adecuado) para la(s) aplicación(es) prevista(s), en particular, sobre la base de la pila de revestimiento a medir, e incluso sobre la base de la posición en el sistema, o incluso sobre la base de múltiples pilas de revestimiento que se producirán en sucesión, por ejemplo con vistas a la calidad, y/o con vistas al tiempo de conversión más corto posible. El experto en la técnica también puede combinar diferentes sistemas. Por ejemplo, el sistema de sensor de la FIG. 10(a) podría ser útil para medir una característica del sustrato no recubierto (es decir, antes de que se deposite una sola capa), o corriente abajo de una estación de pulverización catódica con un blanco de pulverización catódica del cual solo se puede controlar la potencia, y podría ser interesante, por ejemplo, usar el sistema de sensor de la FIG. 10(b) corriente abajo de una estación de pulverización catódica con un blanco de pulverización catódica con imanes ajustables fuera de línea o en línea. En este caso, puede ser, por ejemplo, altamente ventajoso coordinar el número y la posición de los puntos de medición con el número y las posiciones de los imanes ajustables. El sistema de sensor de la FIG. 10(c) puede, por ejemplo, usarse convenientemente corriente abajo de una estación de pulverización catódica que tenga que depositar una capa muy sensible, por ejemplo una capa que sea en gran medida determinante de la transmitancia de la luz, por ejemplo para detectar si aparecen "rayas" más claras u oscuras.

La FIG. 11(a) muestra esquemáticamente una cubierta con una construcción fija y la FIG. 11(b) muestra esquemáticamente una cubierta construida modularmente según la presente invención.

La FIG. 11(a) muestra una cubierta en la que el sistema de sensor M1 está montado fijamente en la cubierta (por ejemplo, en la parte inferior) y eso incluye, por ejemplo, una fuente de luz montada en la parte inferior de la cubierta e incluye un sofisticado sensor que analiza y procesa las señales luminosas, y lleva el resultado del análisis al exterior como una señal eléctrica, analógica o digital, por ejemplo, usando un cable eléctrico o de forma inalámbrica, por ejemplo al sistema informático 540 de la FIG. 5, ó 640 de la FIG. 6. En este caso, la unidad de procesamiento M2 es parte del sensor sofisticado. La notación "M1 + M2" aquí significa que la unidad de sensor y la unidad de procesamiento no son desmontables.

La FIG. 11(b) muestra una cubierta que está construida modularmente, y en la que el sistema de sensor M1, por un lado, y la unidad de procesamiento M2, por otro lado, son desmontables, permitiendo así que la unidad de procesamiento M2 pueda intercambiarse fácilmente entre diferentes cubiertas. La M2 puede ser o comprender, por ejemplo, el multiplexor 981 y el espectrofotómetro 982 de la FIG. 9. Opcionalmente, la fuente de excitación (por ejemplo, la fuente de radiación) también puede estar ubicada en el exterior de la cubierta, y también ser desmontable, y por lo tanto intercambiable entre diferentes cubiertas.

Aunque no se muestran, será evidente para el experto en la técnica que también son posibles formas intermedias. Aunque las cubiertas de la FIG. 11(b) ofrecen un mayor grado de flexibilidad, las cubiertas de la FIG. 11(a) también son muy ventajosas, ya que permiten configurar una muy buena configuración de medición con sólo un número limitado de cubiertas, sin tener que proporcionar la configuración más compleja para este fin en cada caso. De hecho, dependiendo de lo que se desee medir (por ejemplo, qué propiedad) y de cuán precisa se desea la medición de la pila de revestimiento parcial en una ubicación (estación) dada en el dispositivo de pulverización catódica, se puede ajustar la señal de control deseada (por ejemplo, la fuente de luz) o la señal medida (por ejemplo, el espectro de luz) para lograr la precisión deseada.

La FIG. 12 es una representación esquemática de los principales términos usados en la presente invención. La FIG. 12 muestra:

- una cubierta que, por ejemplo, puede incluir una placa de metal con una brida y anillos de obturación o similares, para producir una junta hermética cuando está colocada en una estación, como se conoce en la técnica anterior. La cubierta también incluye un sensor o detector, que puede ser un sensor sofisticado (tal como, por ejemplo, el detector de transmisión 763 de la FIG. 7), o un detector simple (por ejemplo, el detector de reflexión 866 de la FIG. 8). La cubierta incluye además unos medios de transmisión, por ejemplo un cable eléctrico o una fibra óptica, o un transmisor de RF para comunicación inalámbrica, para la transmisión de una señal procesada total o parcialmente (por ejemplo, coeficientes de transmisión espectral) o una señal no procesada (por ejemplo, una señal de transmisión óptica). Opcionalmente, la fuente (por ejemplo la fuente de luz) puede ser parte de la cubierta, tal como por ejemplo se muestra en la FIG. 10(a).

- el conjunto del sensor y los medios de transmisión y, opcionalmente, la fuente (por ejemplo, en el ejemplo de la FIG. 10(a)) es denominado "sistema de sensor" M1.

- un "sistema de procesamiento de señal" M2 que incluye al menos una unidad de procesamiento de señal (por ejemplo, un espectrofotómetro 982, opcionalmente precedido por un multiplexor óptico). En ciertos casos, la unidad de procesamiento de señal puede ser parte del sensor (por ejemplo, en el caso de un CI integrado que realiza tanto la detección como el análisis espectral). Si la fuente se encuentra fuera de la cubierta y se puede unir de forma separable, la fuente también se puede considerar como parte de la unidad de procesamiento de señal, porque una fuente de alta calidad (por ejemplo, una fuente de alta gama con un amplio espectro) y un análisis de alta calidad (por ejemplo, un espectrofotómetro de alta gama) generalmente se mueven juntos.

- el conjunto del sistema de sensor M1 y el sistema de procesamiento de señal M2 se denomina en la presente memoria "sistema de medición".

- un sistema informático (por ejemplo, 540 de la FIG. 5, ó 640 de la FIG. 6), que comprende un software para analizar la pila de revestimiento, por ejemplo para calcular uno o más o todos los grosores de capa de la pila de revestimiento, como se describió anteriormente. El resultado se puede mostrar a un operario (como, por ejemplo, se muestra en la FIG. 5), o se lo puede usar para ajustar el sistema de pulverización catódica semi-automáticamente o en forma totalmente automática (como, por ejemplo, se muestra en la FIG. 6).

- el conjunto del sistema de medición y el sistema informático se conoce como "sistema de realimentación".

Aunque no se muestra en la FIG. 12, el sistema informático también puede adaptarse opcionalmente para procesar las señales obtenidas a partir de un sistema de sensor *ex situ*, aunque esto no es esencial.

La flexibilidad y la modularidad ofrecidas por las realizaciones de la presente invención se explicarán adicionalmente en relación con la FIG. 13 y la FIG. 14.

La FIG. 13 es una representación esquemática del dispositivo de pulverización catódica de la FIG. 3, haciendo uso de los símbolos M1 y M2 como se definen en la FIG. 12. En este dispositivo de pulverización catódica conocido, tanto el sistema de sensor M1 como el sistema de procesamiento de señal M2 están presentes en una estación. El mismo, que está (por lo que se sabe), fijo a una pared, no es intercambiable, ni está montado en una cubierta. Está presente, corriente abajo de cada estación de pulverización catódica, una estación con un sistema de sensor *in situ*, excepto después del último, donde está presente un sistema de sensor *ex situ*.

La FIG. 14(a) a la FIG. 14(d) se muestran algunos ejemplos de sistemas de medición configurables según la presente invención, especialmente adecuados para dispositivos de pulverización catódica configurables, por ejemplo con al menos quince estaciones de pulverización catódica, aunque sólo se muestran unas pocas estaciones. (El sistema informático no se muestra en estos dibujos.)



La FIG. 14(a) muestra (en la estación 3) una cubierta que tiene un sistema de sensor M1 unido a la misma, y una unidad de procesamiento de señal M2. Esto podría ser, por ejemplo, el sistema de sensor tal como el de la FIG. 13, pero ahora montado en la parte inferior de una cubierta. La principal ventaja de esta solución (comparada con la FIG. 13) es que esta cubierta se puede mover a otras estaciones, por ejemplo, a la ubicación más apropiada (por ejemplo, la más sensible), de modo que el sistema de medición sea configurable. Esto permite que incluso sea suficiente un número muy pequeño de cubiertas con sistema de sensor para obtener una pila de revestimiento de buena calidad.

La FIG. 14(b) muestra (en la estación 3) una variante de la cubierta de la FIG. 14(a), que además también comprende una unidad de bomba "P".

La FIG. 14(c) muestra una variante de la cubierta de la FIG. 14(a), en la que la unidad de procesamiento de señal M2 está unida de manera separable a la unidad de sensor M1. La cubierta se puede mover como un todo a otras posiciones (como en la Fig. 14(a)), pero, por otra parte, la unidad de procesamiento de señal M2 también puede ser reemplazada o cambiada (por ejemplo, una unidad de procesamiento simple frente a una sofisticada), opcionalmente junto con la fuente.

La FIG. 14(d) muestra un ejemplo de un dispositivo de pulverización catódica con dos cubiertas según la presente invención, de las cuales una cubierta (en la configuración mostrada) no se ha configurado funcionalmente (no contiene ninguna unidad de procesamiento M2), y otra cubierta está configurada funcionalmente. Se prevé este dibujo para mostrar que la cubierta (con el sistema de sensor M1) puede estar presente y permanecer (es decir, que no tiene que suprimirse el vacío) en esta posición durante dos series de producción diferentes; sin embargo, la unidad de procesamiento M2 sofisticada puede ser movida de una cubierta a la otra cubierta.

En un ejemplo típico, ambas cubiertas pueden tener una fuente de luz, montada dentro de la cámara de vacío, y un detector simple que transmite la señal al exterior a través de una fibra óptica. El módulo M2 se puede entonces conectar en la parte superior de la cubierta.

Como alternativa, ninguna de las dos cubiertas contiene una fuente de luz en la parte inferior de la cubierta, sino un canal de transmisión para poder conectar una señal de luz desde el exterior de la cubierta. En este caso, no sólo es movida la unidad de procesamiento de señal, sino también la fuente de luz, mientras que las dos cubiertas pueden permanecer en su lugar durante las dos (o más) series de producción.

Ni qué decir tiene que los sistemas de pulverización catódica configurables pueden comprender un sistema de medición configurable o un sistema de realimentación configurable según la presente invención, que tenga más de dos cubiertas con un sistema de sensor M1, por ejemplo al menos cinco cubiertas con un sistema de sensor M1, y por ejemplo cuatro unidades de procesamiento desmontables M2, por ejemplo, tres de calidad normal y una de alta calidad.

La unidad de sensor puede montarse en un sistema de pulverización catódica que comprenda blancos de pulverización catódica que contribuyan a la fabricación de una capa de pulverización catódica que sea muy sensible de controlar. En este caso, la unidad del sensor debe colocarse corriendo abajo del movimiento del sustrato para poder detectar el efecto de esta capa sensible. Si la cubierta que contiene blancos de pulverización catódica que contribuyen a la producción de una capa de pulverización catódica que es muy sensible de controlar, puede ser interesante producir esta cubierta con un sistema de sensor independiente de la ubicación exacta en la instalación de pulverización catódica. En ciertos casos, puede ser importante evaluar la calidad de la pila de capas ya presente sobre el sustrato antes de que esta capa sensible se esté depositando. Esto permite comprender la sub-pila precedente y sus propiedades específicas global o localmente a través del ancho del sustrato. En este caso, puede estar colocada una unidad de sensor a la entrada de la cubierta que porta blancos de pulverización catódica. Además, un segundo sistema de sensor puede estar conectado al mismo cátodo de pulverización catódica como se describió anteriormente y puede ubicarse después de la zona de revestimiento de la capa sensible, lo que significa que está montado en la misma cubierta o tapa. Tener dos sistemas de sensor en la misma tapa puede dar lugar a una adición de valor al ser montado en el cátodo de pulverización antes y después del al menos un blanco de pulverización catódica para el que la capa tiene que controlarse con precisión. La medición justo antes de la zona de pulverización catódica permite definir la calidad de la sub-pila, mientras que la medición justo detrás de la zona de pulverización catódica muestra la respuesta con la capa añadida. Un ejemplo de tal configuración se muestra en la FIG. 15. Esta muestra un sistema de pulverización catódica 400. La figura también muestra tres cátodos (C1, C2, C3). En este ejemplo, estos 3 cátodos son para pulverizar la misma capa. El cátodo C3 tiene 2 blancos 403. Están presentes dos sistemas de sensor 431, uno antes de los blancos 403 otro después de los blancos 403. Un sistema de realimentación, según realizaciones de la presente invención, comprende un sistema informático y los sistemas de sensor. En la FIG. 15 se hace referencia a este sistema de realimentación como CLFS (Closed Loop Feedback System: sistema de realimentación de bucle cerrado). Esta configuración permite una fácil comprensión de los efectos de la capa que deposita este cátodo, y el software puede permitir la separación de la respuesta de esta zona de pulverización catódica específica más fácilmente, ya que se conoce la respuesta de fondo en la entrada de la zona. El sistema de sensor al comienzo del cátodo de pulverización catódica y al final del cátodo de pulverización catódica puede ser diferente y puede estar usando distintas técnicas de medición y distintas precisiones en función de las necesidades. Además, el sistema de sensor al comienzo del cátodo de pulverización catódica puede tener un

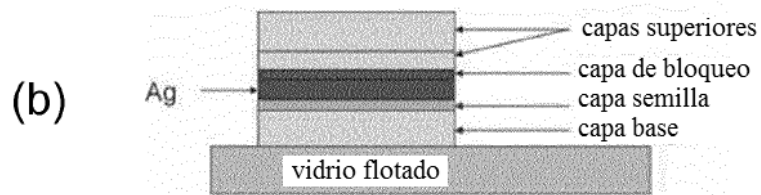
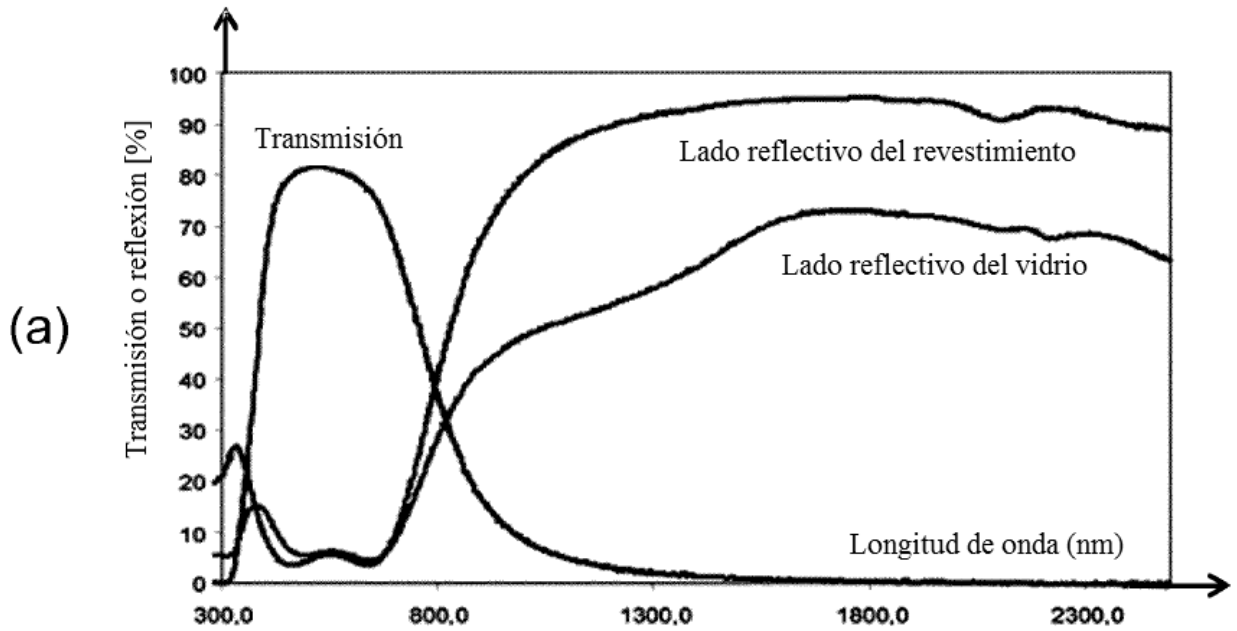
número diferente de sensores que el sistema al final del cátodo de pulverización catódica. Esto se ilustra en la FIG. 16, que es un dibujo esquemático de un sistema de pulverización catódica 400 según realizaciones de la presente invención. Se muestra la vista superior. Muestra dos blancos 403 y antes y después de los blancos de los sistemas de sensor 431. El sistema de sensor 431 antes de los blancos (lado izquierdo) tiene un solo sensor (Si), mientras que el sistema de sensor 431 después de los blancos (lado derecho) tiene una pluralidad de sensores (Si). Una vista lateral del mismo sistema de pulverización catódica 400 se muestra en la FIG. 17. Los blancos 403 y los sistemas de sensor 431 están dibujados esquemáticamente. En este ejemplo, el sistema de sensor 431 comprende una conexión a través de la cual se puede inyectar un gas (por ejemplo, argón) en el sistema de sensor. Poniendo a presión el sistema de sensor en el interior se evita que las partículas de pulverización catódica entren en el sistema de sensor mientras se pulveriza. Por lo tanto, se evita que los sensores se dañen o se contaminen con el procedimiento de pulverización catódica.

**REIVINDICACIONES**

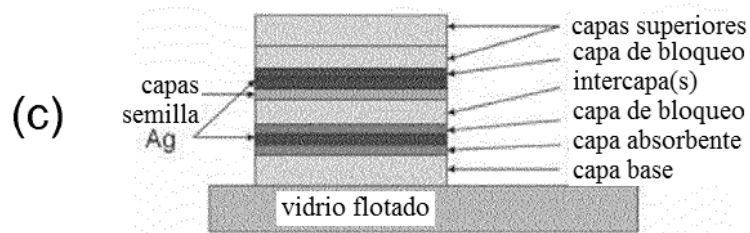
- 5 **1.** Una cubierta (420, 430; 440; 520, 530; 620, 630) para un sistema de medición configurable de un sistema de pulverización catódica configurable (400; 500; 600), estando el sistema de pulverización catódica configurable previsto para la pulverización catódica de revestimientos de múltiples capas sobre un sustrato, y comprendiendo el sistema de pulverización catódica configurable una pluralidad de estaciones (401) y teniendo una pluralidad de aberturas para proporcionar acceso a un espacio dentro de las estaciones (401);
- la cubierta se puede unir de manera separable a las aberturas de las estaciones;
  - comprendiendo la cubierta un sistema de sensor (M1) que permite determinar una propiedad de una pila parcial del revestimiento de múltiples capas sobre el sustrato,
- 10 comprendiendo el sistema de sensor al menos un sensor (763; 866, 868, 863) adaptado para detectar o medir una señal representativa de la propiedad de la pila parcial, y que comprende al menos unos primeros medios de transmisión (765; 865, 867) para transferir o transmitir la señal detectada o la propiedad medida;
- estando el al menos un sensor unido a la cubierta.
- 2.** La cubierta según la reivindicación 1, que comprende, además:
- 15 - una fuente situada en un lado interno de la cubierta, estando adaptada la fuente para generar una señal de fuente que tiene una característica predeterminada.
- 3.** La cubierta según la reivindicación 1, que comprende, además:
- una fuente situada en el lado exterior de la cubierta, estando adaptada la fuente para generar una señal de fuente que tiene una característica predeterminada, y
- 20 - unos segundos medios de transmisión conectables a la fuente, estando los segundos medios de transmisión adaptados para transferir o transmitir al sustrato una señal originada en la fuente .
- 4.** La cubierta según la reivindicación 1, que comprende, además:
- unos segundos medios de transmisión conectables a una fuente externa, estando los segundos medios de transmisión adaptados para transferir o transmitir al sustrato una señal originada en la fuente.
- 25 **5.** La cubierta según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en la que el sistema de sensor comprende un sensor óptico, adaptado para medir o transferir una señal óptica que se origina desde la pila de revestimiento parcial.
- 6.** La cubierta según la reivindicación 5, en la que el sistema de sensor está adaptado para medir una señal de transmisión óptica.
- 30 **7.** La cubierta según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en la que el al menos un sensor tiene una posición fija con relación a la cubierta.
- 8.** La cubierta según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6, en la que la cubierta comprende, además, al menos un riel, y en la que el al menos un sensor se puede mover a lo largo del riel.
- 9.** La cubierta según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6, cuya cubierta comprende además al menos un riel, y en la que el sistema de sensor incluye una pluralidad de sensores, ubicados en todo el riel.
- 35 **10.** La cubierta según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, que comprende además una unidad de bomba.
- 11.** La cubierta según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, que comprende además una unidad de pulverización catódica.
- 40 **12.** Un sistema de medición configurable para su uso en un sistema de pulverización catódica configurable (400; 500; 600) para medir una pila parcial de un revestimiento de múltiples capas, que comprende:
- al menos una cubierta según cualquiera de las reivindicaciones precedentes;
  - una unidad de procesamiento de señal (982) para procesar al menos una señal que se origina desde al menos un sensor del sistema de sensor de la al menos una cubierta.
- 45 **13.** Un sistema de medición configurable, según la reivindicación 12, en el que la unidad de procesamiento de señal (982) está unida de manera separable al exterior de la cubierta, de modo que la unidad de procesamiento de señal (982) es intercambiable entre cubiertas sin tener que desmontar la cubierta.

- 14.** Un sistema de medición configurable según la reivindicación 12 ó 13, y dependiente de la reivindicación 3, que comprende además la fuente, montada de forma desmontable en el exterior de la cubierta y conectada de manera separable a los segundos medios de transmisión.
- 15.** Un sistema de realimentación (500, 600) que comprende:
- 5 - un sistema de medición configurable según cualquiera de las reivindicaciones 12 a 14;
- un sistema informático (540; 640) provisto de un software para determinar una propiedad de al menos una capa del revestimiento de múltiples capas sobre la base de los datos de medición procedentes del sistema de medición configurable.
- 16.** Un sistema de realimentación según la reivindicación 15, que comprende además:
- 10 - un sistema de sensor (510; 610) *ex situ* adaptado para medir una propiedad del revestimiento de múltiples capas; en el que el software está adaptado además para determinar una propiedad de al menos una capa del revestimiento de múltiples capas sobre la base de los datos procedentes del sistema de medición configurable, y sobre la base de los datos del sistema de sensor (510; 610) *ex situ*.
- 17.** Un sistema de realimentación según la reivindicación 15 ó 16, para su uso en un sistema de pulverización catódica configurable (500; 600) que comprende al menos un mecanismo de control, que permite influir localmente en el procedimiento de pulverización catódica que tiene lugar en el sistema de pulverización catódica;
- 15 - estando el sistema informático y el software adaptados adicionalmente para proporcionar una señal de control para ajustar el procedimiento de pulverización catódica sobre la base de los datos procedentes del sistema de sensor.
- 18.** Un sistema de realimentación según la reivindicación 17, para su uso en un sistema de pulverización catódica configurable (500; 600) que comprende al menos un blanco de pulverización catódica (660) con al menos dos imanes ajustables en línea;
- 20 - estando el sistema de sensor adaptado para medir una propiedad de la capa aplicada por dicho blanco de pulverización catódica al menos a dos posiciones lateralmente diferentes sobre el sustrato;
- estando el sistema informático y el software adaptados adicionalmente para proporcionar al menos una señal de control para el ajuste en línea de los imanes ajustables en línea sobre la base de los datos que se originan en el sistema de sensor.
- 25 **19.** Un sistema de realimentación según la reivindicación 18, en el que el blanco de pulverización catódica (660) es un blanco de pulverización catódica cilíndrico (660).
- 20.** Un sistema de realimentación según cualquiera de las reivindicaciones 15 a 19, en el que el sistema informático y el software están adaptados adicionalmente para proporcionar una señal de control para el ajuste automático de al menos uno de los parámetros de pulverización catódica seleccionados entre el grupo que consiste en: la potencia de un blanco de pulverización catódica, la presión parcial de gas espacialmente distribuida en el sistema de pulverización catódica, las posiciones de imanes ajustables en línea de al menos un blanco de pulverización catódica, las posiciones y las aberturas de los blindajes.
- 30 **21.** Un sistema de pulverización catódica configurable para la pulverización catódica de revestimientos de múltiples capas con composiciones variables sobre un sustrato;
- comprendiendo el sistema de pulverización catódica una pluralidad de estaciones (401) y teniendo una pluralidad de aberturas para proporcionar acceso a un espacio dentro de las estaciones (401);
- y que comprende además un sistema de medición configurable según cualquiera de las reivindicaciones 12 a 14, o un sistema de realimentación según cualquiera de las reivindicaciones 15 a 20.
- 40 **22.** Un método para configurar un sistema de medición configurable según cualquiera de las reivindicaciones 12 a 14, o un sistema de realimentación según cualquiera de las reivindicaciones 15 a 20, comprendiendo el método los siguientes pasos:
- proporcionar al menos una cubierta con un sistema de sensor;
- 45 - elegir una posición apropiada para la cubierta en el dispositivo de pulverización catódica, en función de la composición prevista de al menos un revestimiento de múltiples capas;
- unir de manera separable la cubierta a una abertura de la posición apropiada elegida.
- 23.** Un método para configurar un sistema de medición configurable según la reivindicación 22, en la medida en que también depende de la reivindicación 13, comprendiendo el método los siguientes pasos:

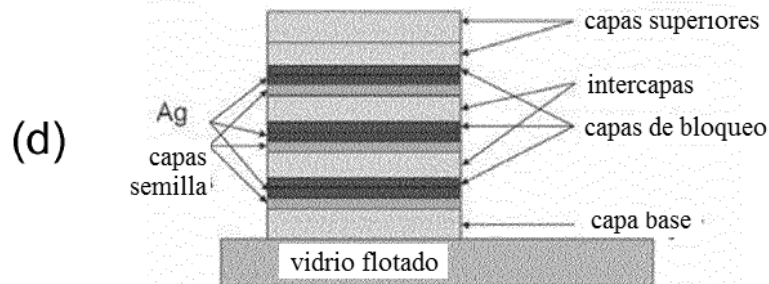
- proporcionar al menos dos cubiertas con un sistema de sensor (M1);
  - proporcionar al menos una unidad de procesamiento de señal (M2);
  - elegir una posición apropiada para las al menos dos cubiertas en el dispositivo de pulverización catódica, sobre la base de la composición prevista de al menos dos revestimientos de múltiples capas a producir;
- 5
- unir de forma separable la cubierta a las aberturas de las posiciones apropiadas elegidas;
  - elegir una posición apropiada para la al menos una unidad de procesamiento de señal (M2) en una de las al menos dos cubiertas, en base a los revestimientos de múltiples capas a producir;
  - unir de manera separable la al menos una unidad de procesamiento de señal (M2) a la cubierta elegida.
- 10
- 24.** Un método para aplicar un revestimiento de múltiples capas sobre un sustrato, que comprende los siguientes pasos:
- configurar un sistema de medición configurable o un sistema de realimentación configurable (500, 600) según la reivindicación 22 ó 23;
  - calibrar el sistema de medición configurable;
- 15
- medir una propiedad de la pila de revestimiento parcial aplicada al sustrato haciendo uso del sistema de medición configurable;
  - calcular una desviación de la propiedad medida con respecto a una propiedad prevista de la pila de revestimiento parcial;
  - ajustar al menos un parámetro del sistema de pulverización catódica sobre la base de la desviación calculada.
- 25.** Un método según la reivindicación 24, que comprende además un paso de:
- 20
- calibrar el sistema de medición durante la producción.
- 26.** Un método según la reivindicación 24 ó 25, en el que el sistema de pulverización catódica (600) comprende al menos un blanco de pulverización catódica (660) que tiene una pluralidad de imanes ajustables en línea, y en el que el método comprende además un paso:
- para medir una propiedad en múltiples ubicaciones sobre sustancialmente todo el ancho del sustrato, y
- 25
- para ajustar automáticamente los imanes ajustables en línea con el fin de minimizar las desviaciones de la pila de revestimiento depositada con respecto a la pila de revestimiento predefinida.
- 27.** Un método según cualquiera de las reivindicaciones 24 a 26, en el que el sistema de pulverización catódica (600) comprende al menos un blanco de pulverización catódica (660) que tiene una pluralidad de imanes ajustables en línea, y en el que el método comprende un paso:
- 30
- de medir o determinar una propiedad de una pila de revestimiento parcial sobre un sustrato, depositada en una primera zona de pulverización catódica del sistema de pulverización catódica, y
  - para calcular una desviación de la propiedad medida o determinada con respecto a las propiedades previstas, y
  - proponer un ajuste para corregir la desviación o ajustar automáticamente los imanes ajustables en línea de un blanco de pulverización catódica en una segunda zona de pulverización catódica, en el momento en que dicho sustrato entra en la segunda zona de pulverización catódica, siendo el ajuste automático tal que la desviación calculada de la pila de revestimiento parcial sea compensada, al menos parcialmente, por la capa que se aplicará en la segunda zona de pulverización catódica por parte de los imanes ajustables en línea ajustados.
- 35
- 28.** Un método según cualquiera de las reivindicaciones 26 ó 27 en el que el blanco es un blanco de pulverización catódica cilíndrico.
- 40
- 29.** Un producto de programa informático para que, cuando se lo ejecuta en un sistema informático (540; 640) de un sistema de realimentación (500; 600) según cualquiera de las reivindicaciones 15 a 20, se lleve a cabo un método según cualquiera de las reivindicaciones 24 a 28.
- 30.** Un medio de almacenamiento de datos legible por máquina, en el que se almacena el producto de programa informático según la reivindicación 29.
- 45
- 31.** Envío de un producto de programa informático según la reivindicación 29 a través de una red de telecomunicaciones de red de área local o ancha (WAN).



Ag simple de baja E (SLE)



Ag doble de baja E (DLE)



Ag triple de baja E (TLE)

**FIG. 1 (técnica anterior)**

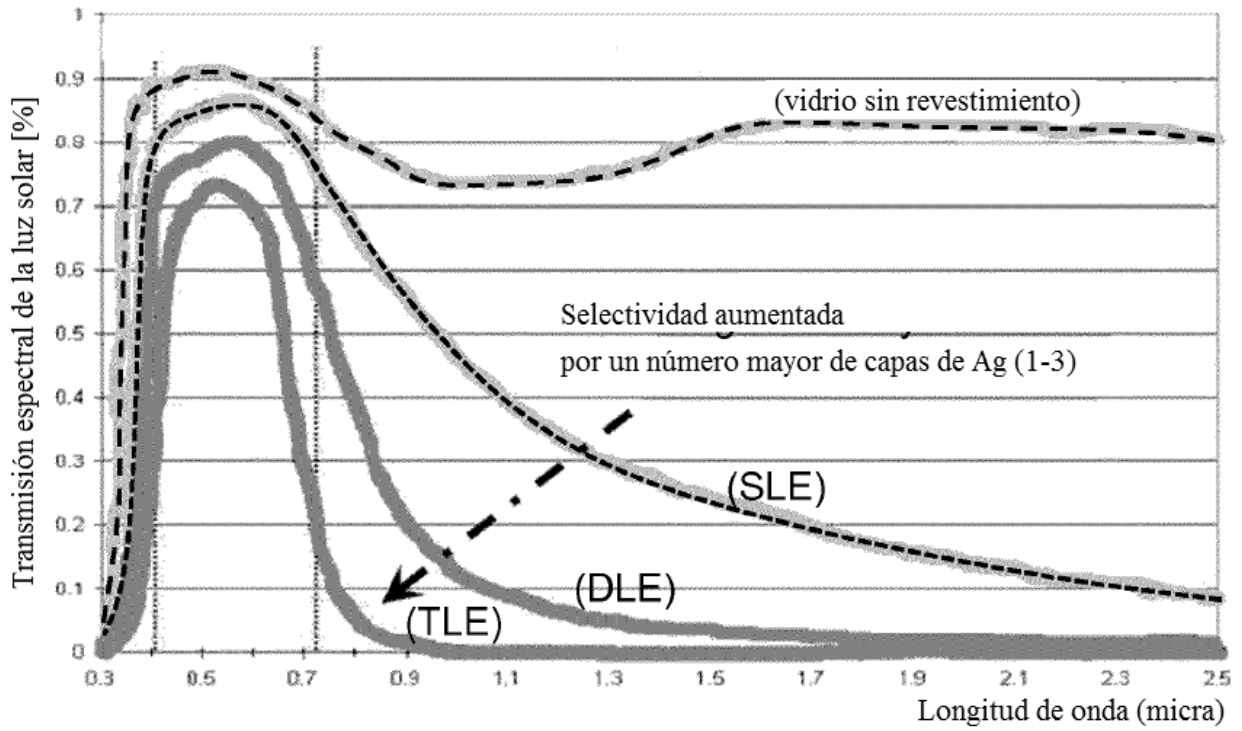


FIG. 2 (técnica anterior)

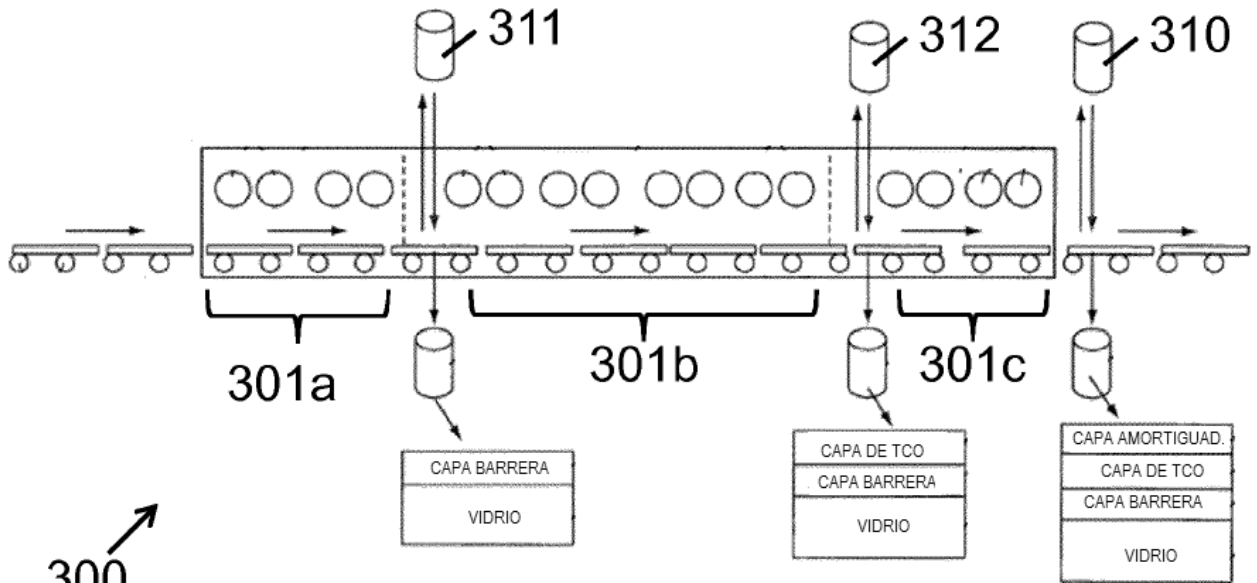


FIG. 3 (técnica anterior)

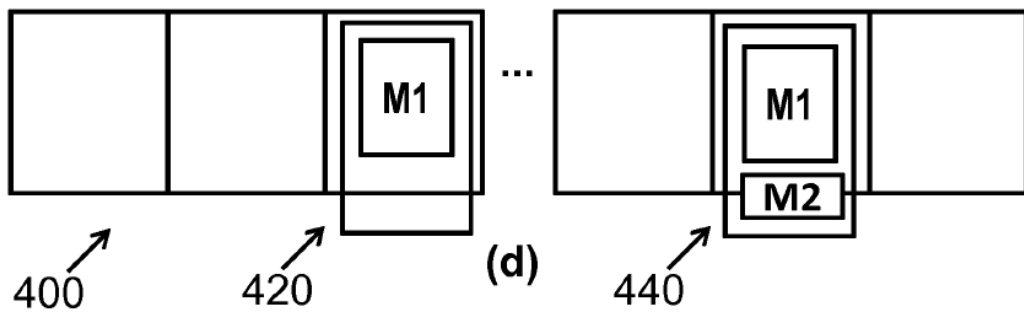
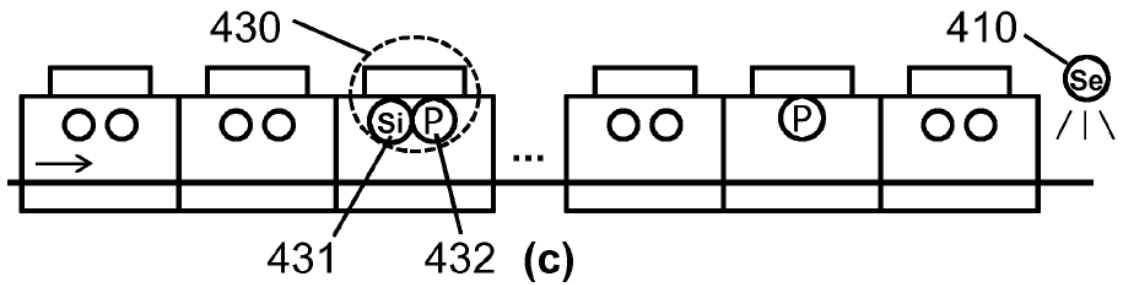
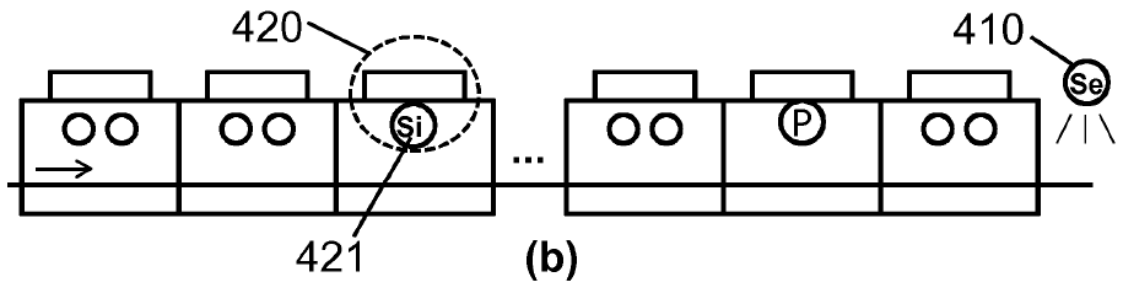
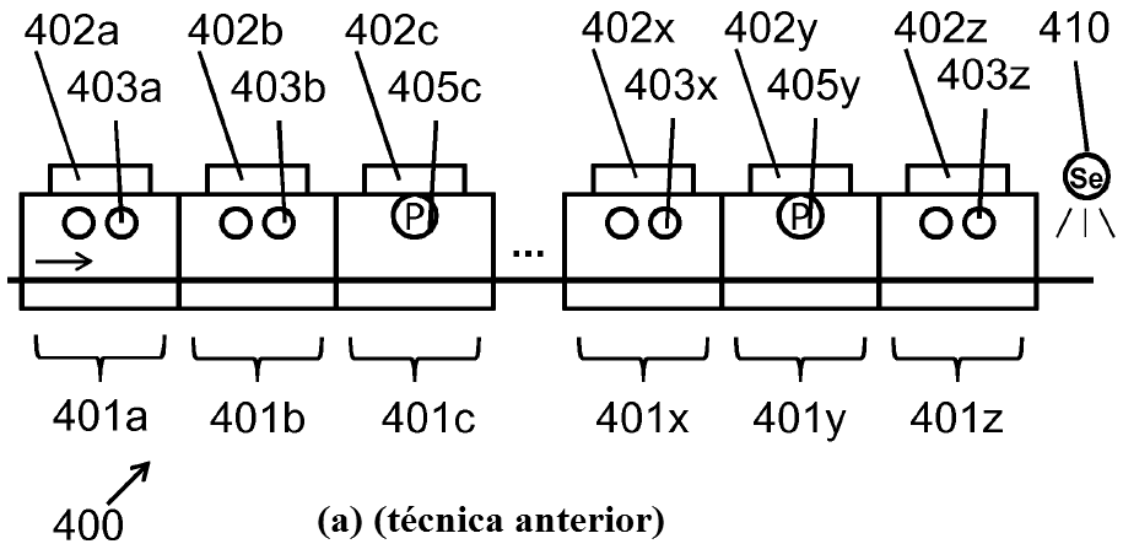


FIG. 4



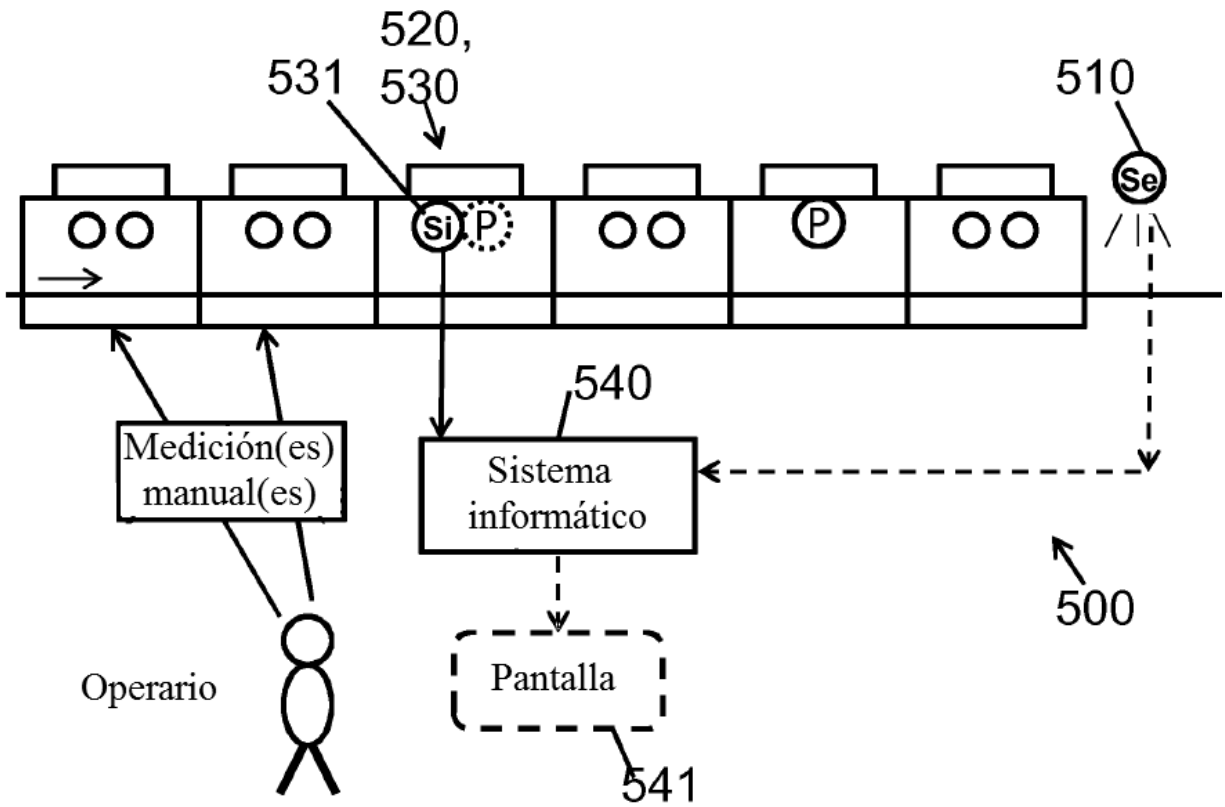


FIG. 5

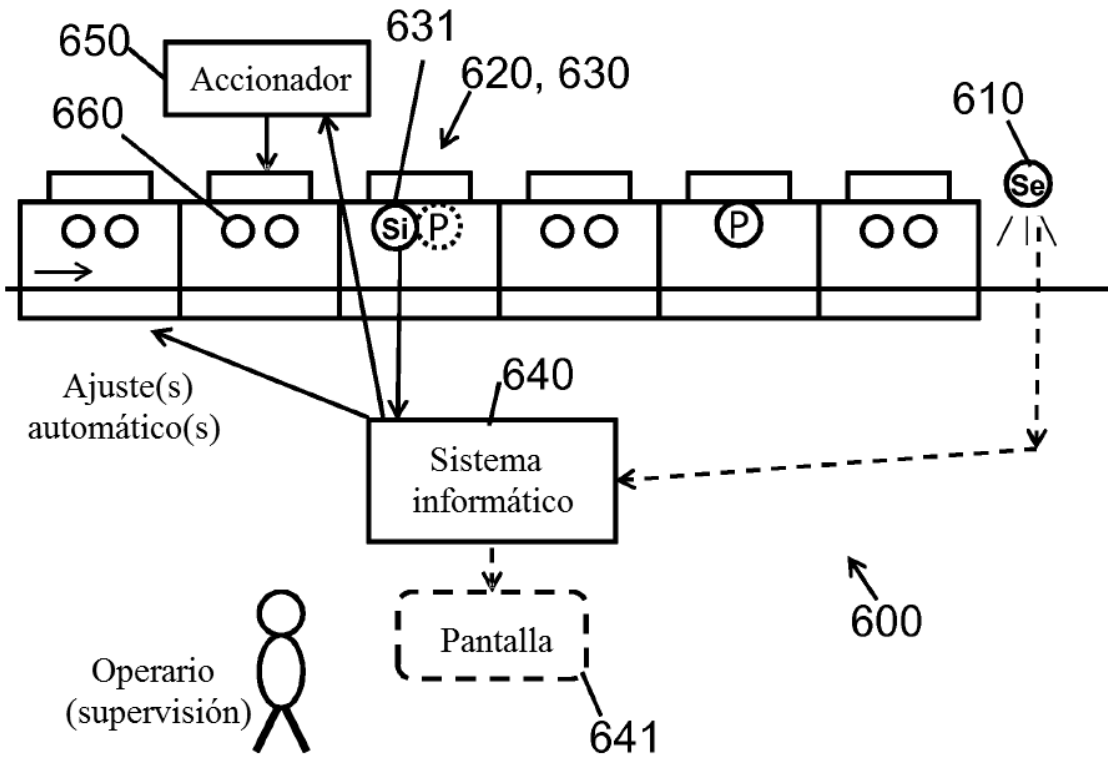


FIG. 6

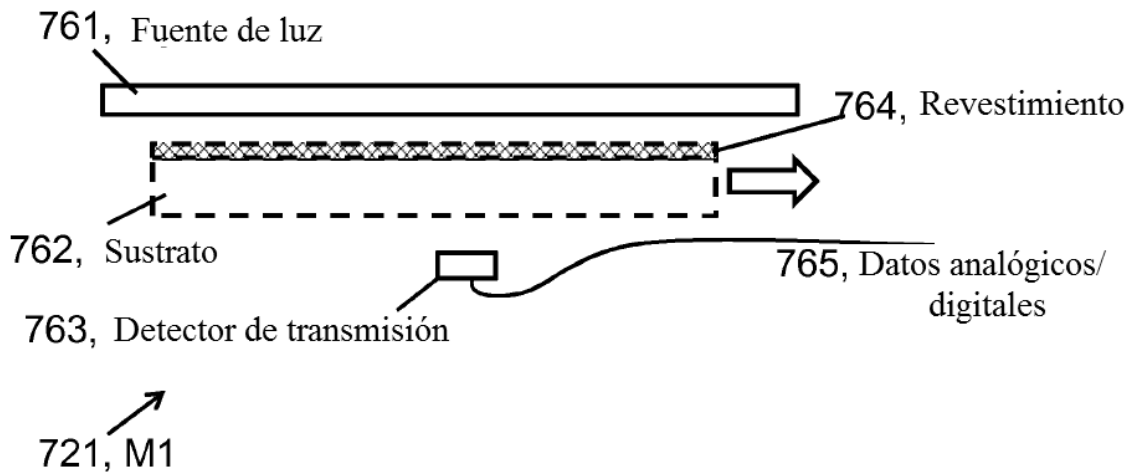


FIG. 7

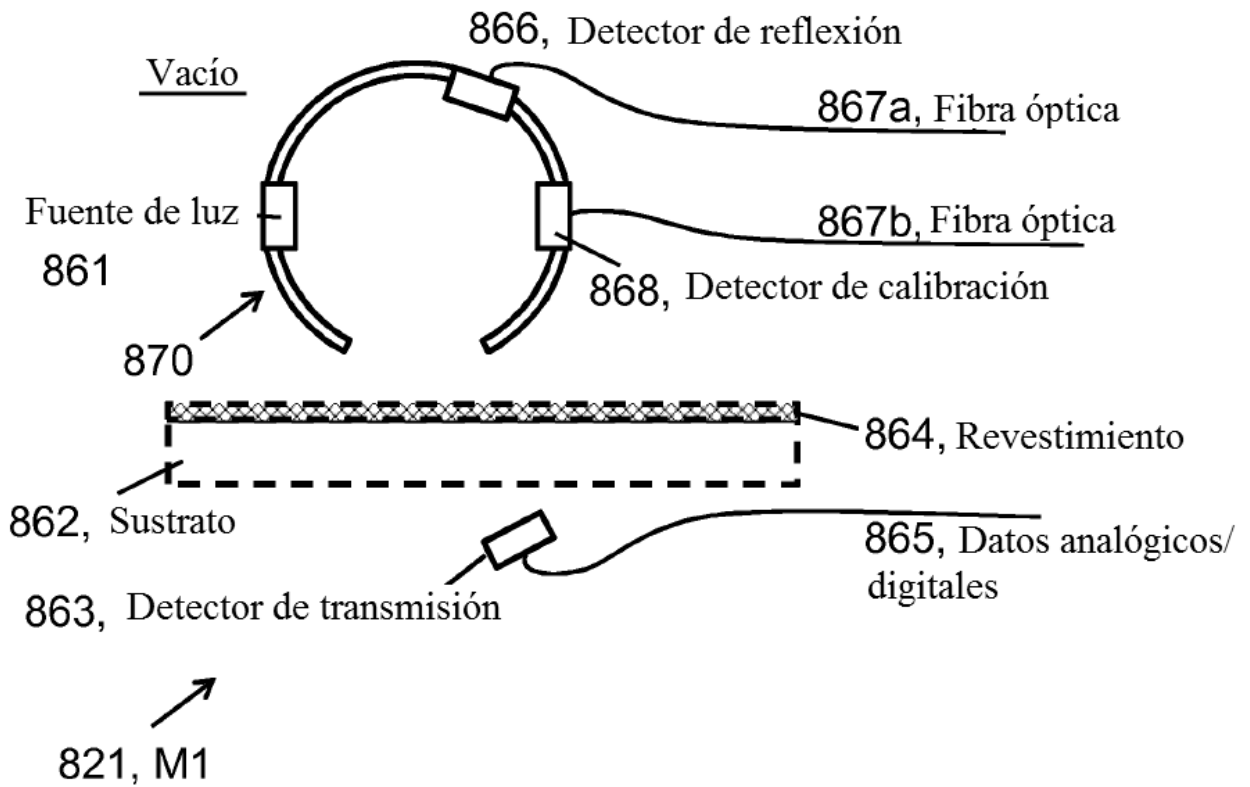


FIG. 8

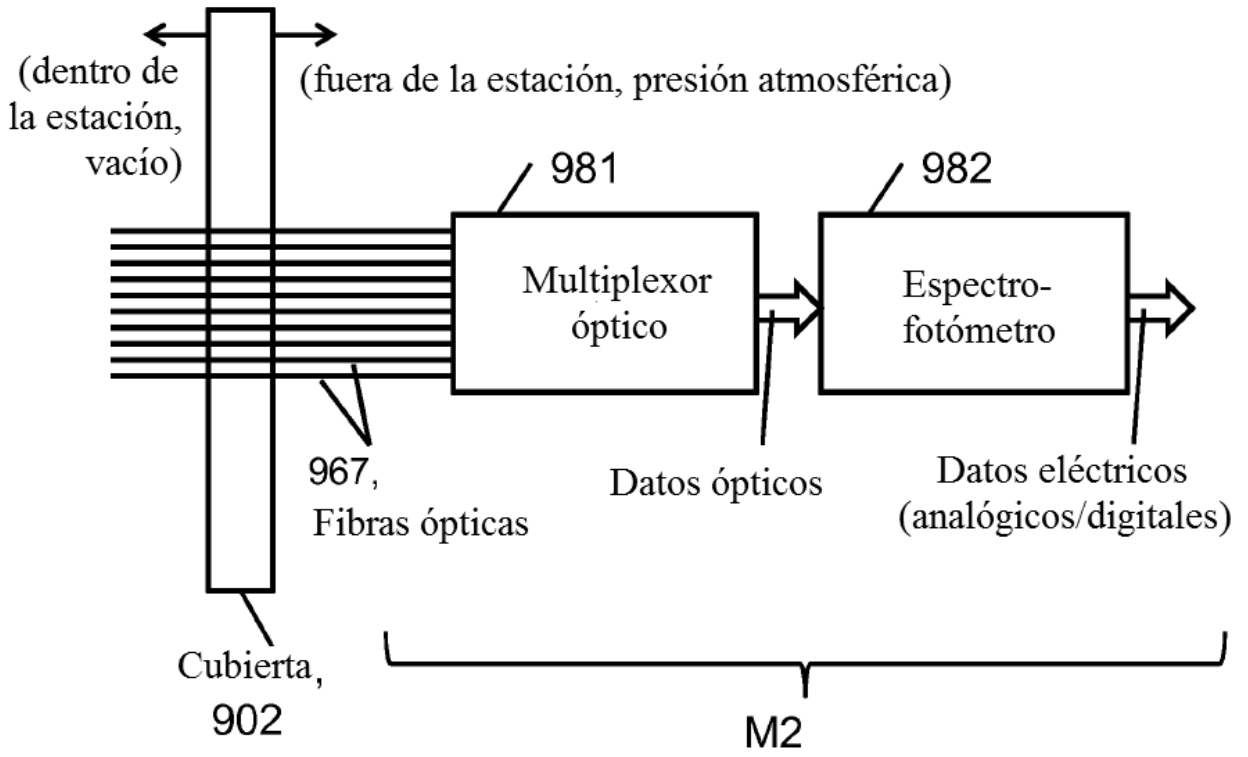


FIG. 9

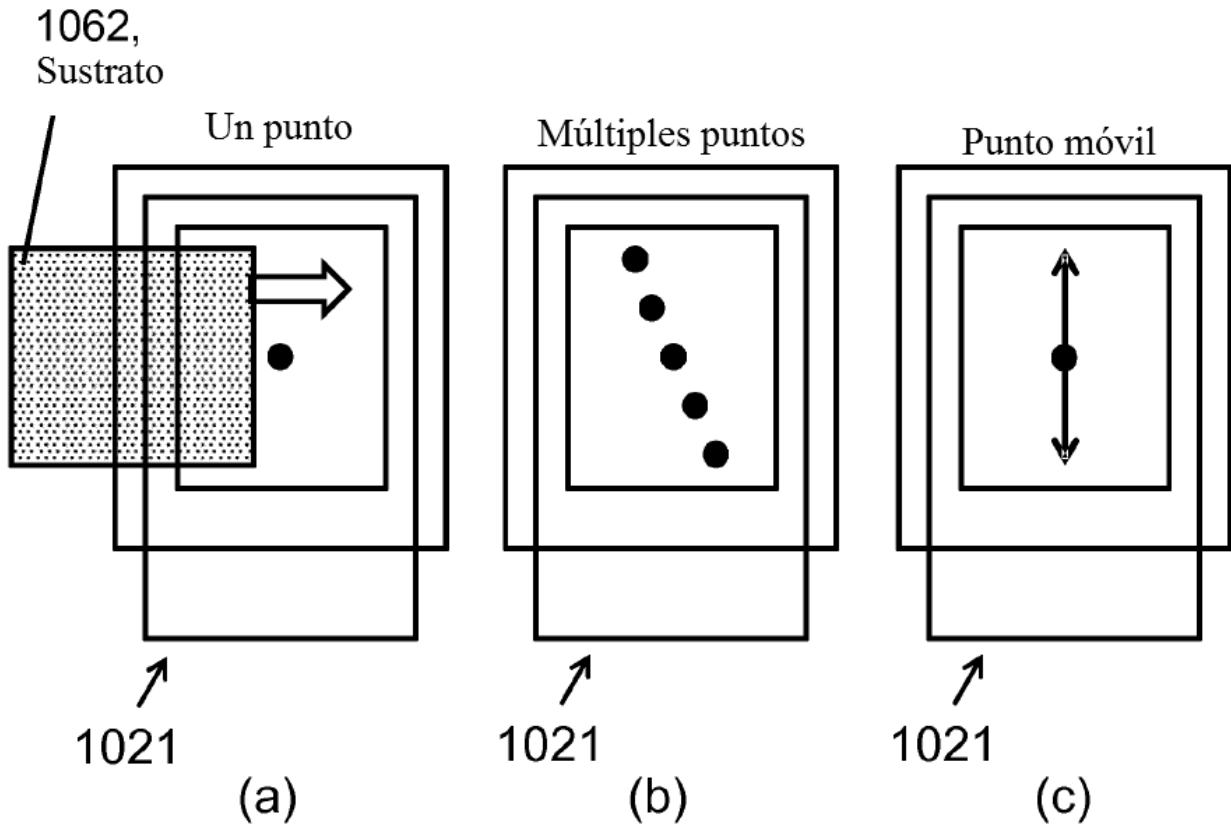


FIG. 10

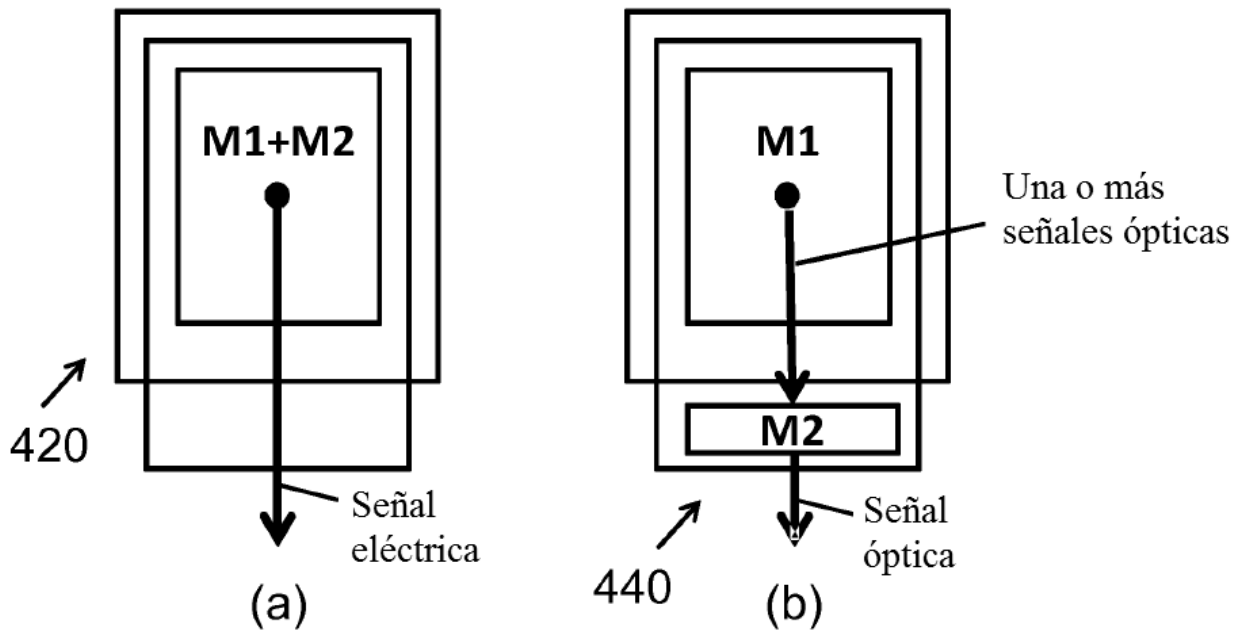


FIG. 11

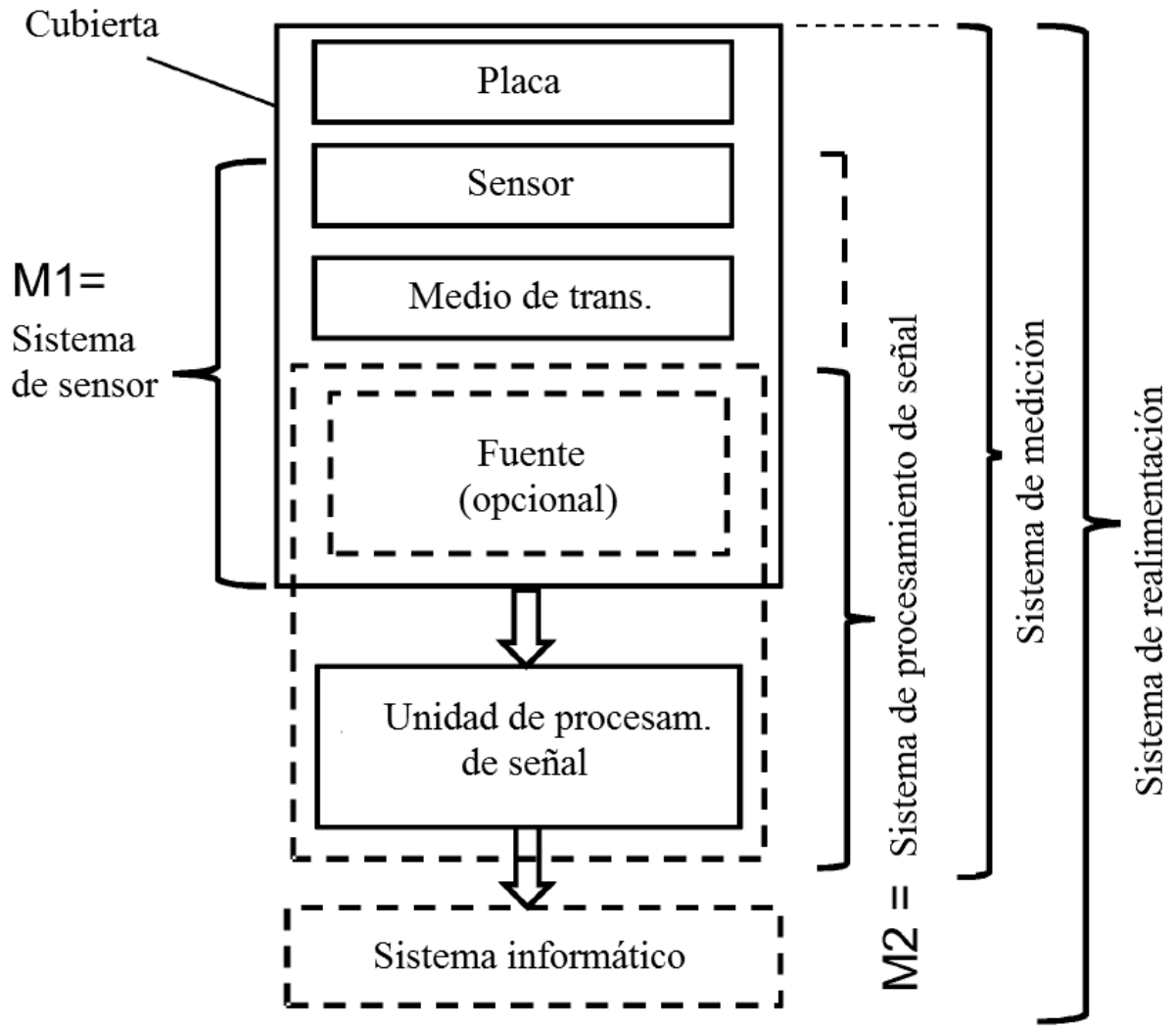


FIG. 12

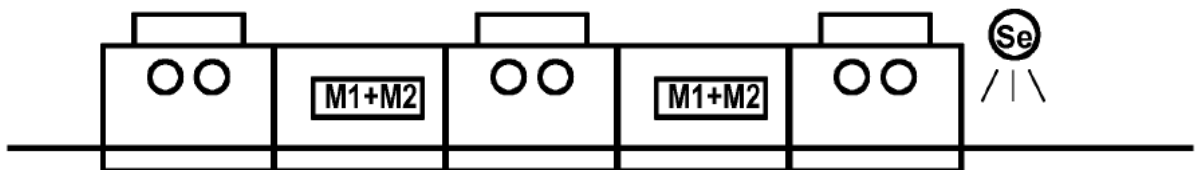
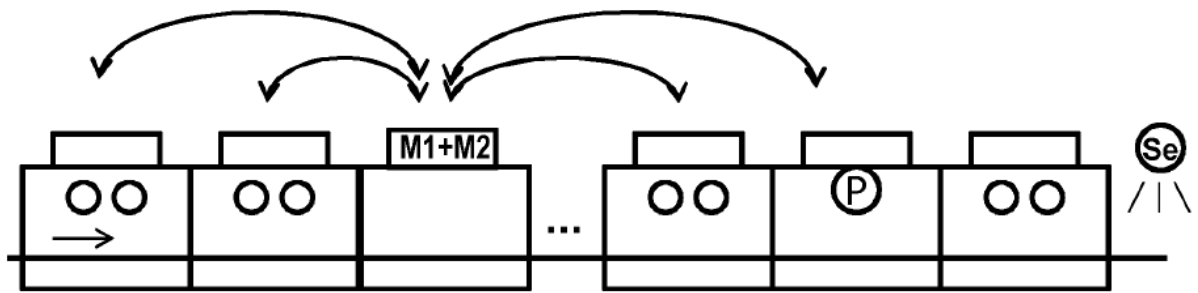
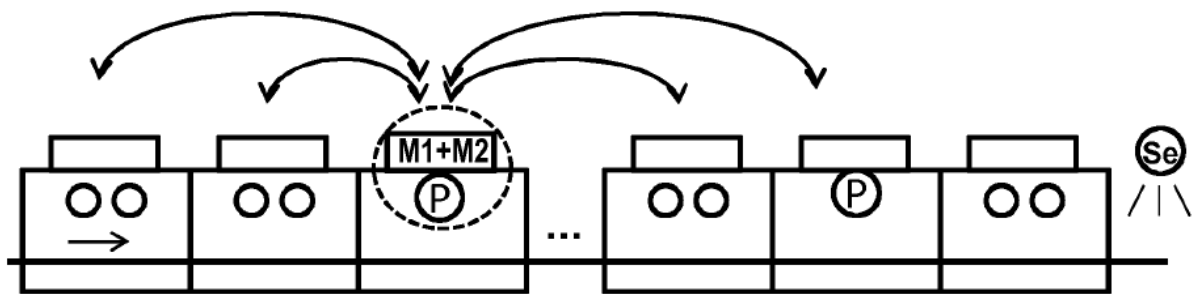


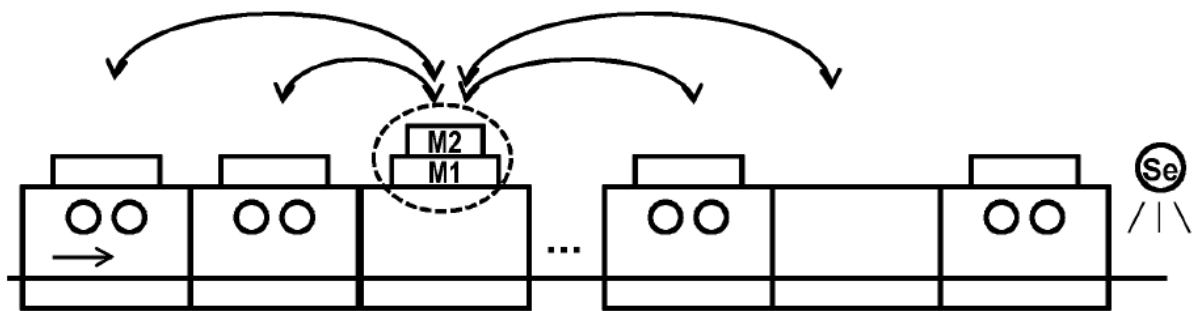
FIG. 13



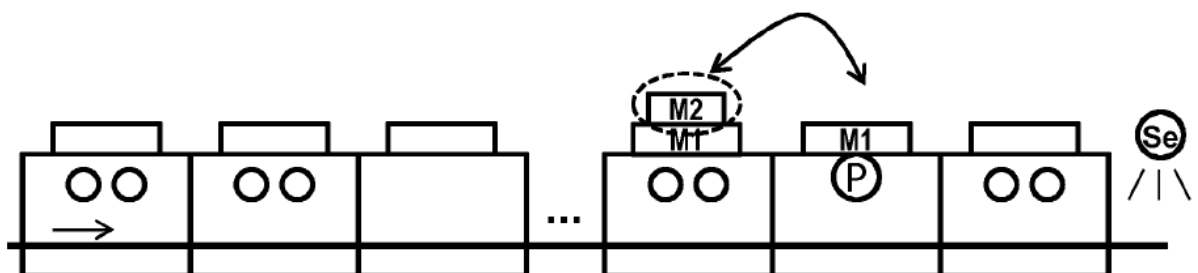
(a)



(b)



(c)



(d)

FIG. 14

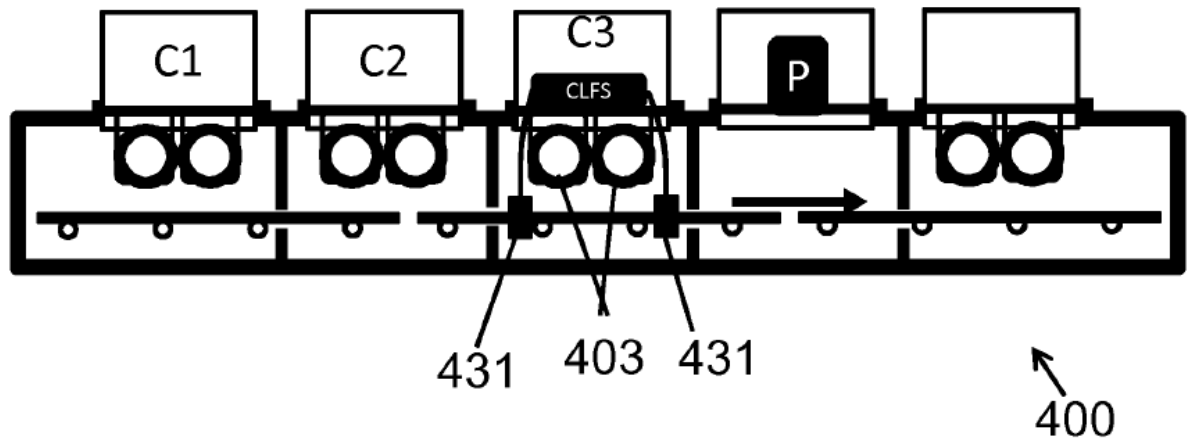


FIG. 15

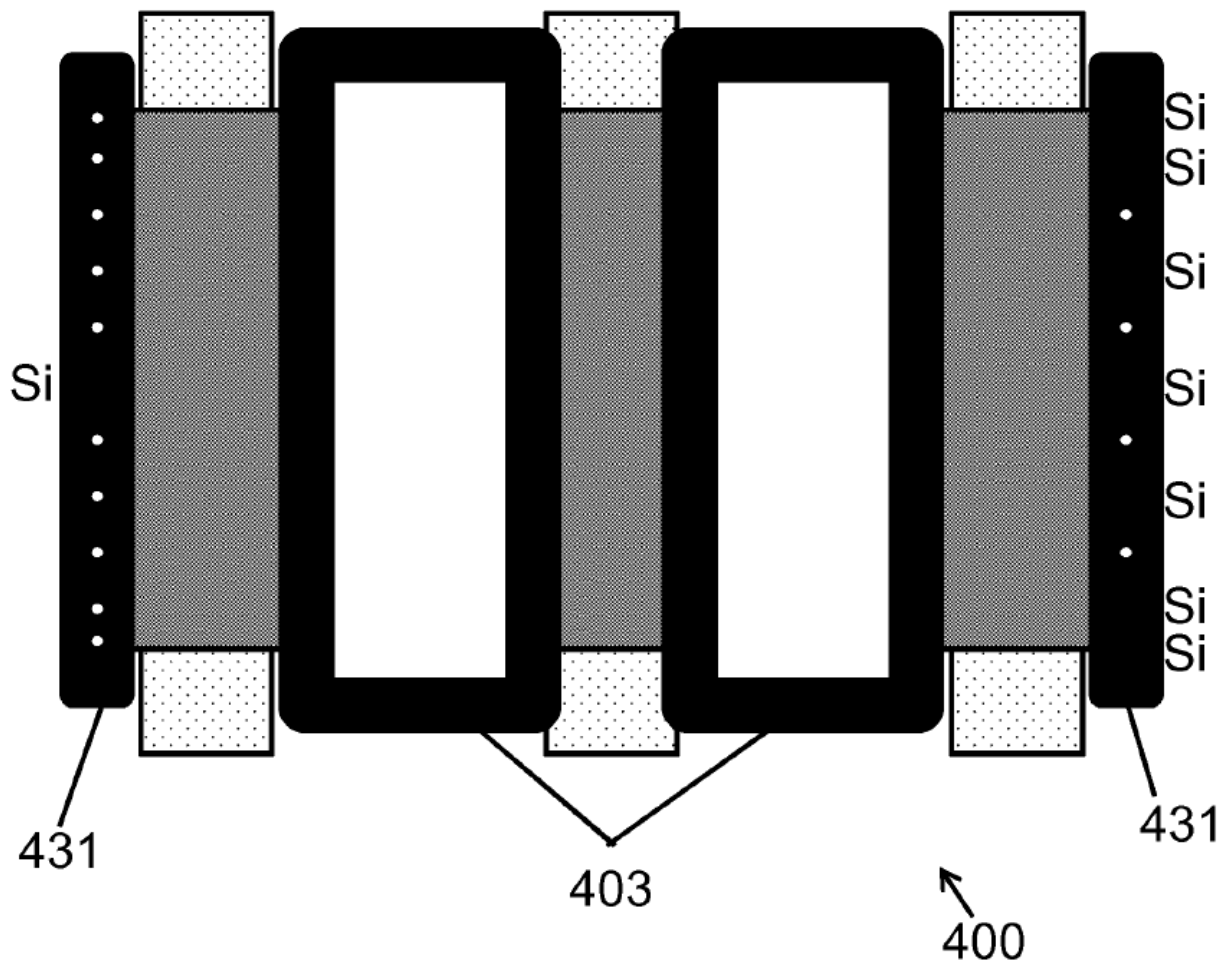


FIG. 16

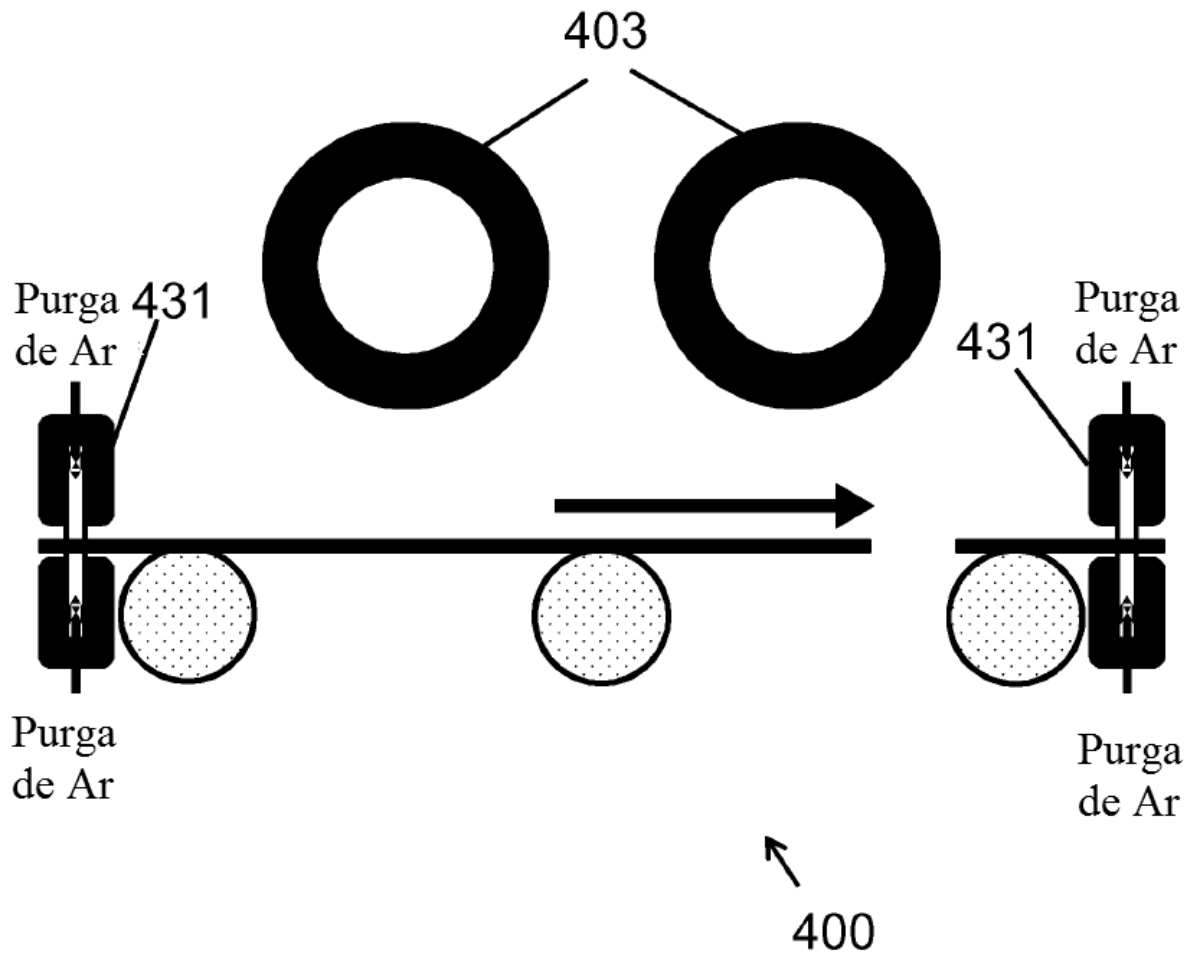


FIG. 17