

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 654 688**

51 Int. Cl.:

G11B (2013.01)

G11B 7/243 (2013.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **22.12.2014 PCT/GB2014/053826**

87 Fecha y número de publicación internacional: **02.07.2015 WO15097469**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **22.12.2014 E 14815856 (1)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **08.11.2017 EP 3087562**

54 Título: **Dispositivo óptico**

30 Prioridad:

23.12.2013 GB 201322912

10.10.2014 GB 201417976

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

14.02.2018

73 Titular/es:

OXFORD UNIVERSITY INNOVATION LIMITED

(100.0%)

Buxton Court 3 West Way

Oxford OX2 0JB, GB

72 Inventor/es:

BHASKARAN, HARISH;

HOSSEINI, PEIMAN y

RIOS-OCAMPO, CARLOS ANDRES

74 Agente/Representante:

PONS ARIÑO, Ángel

ES 2 654 688 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

Dispositivo óptico

5 La presente invención se refiere a un dispositivo óptico con aplicaciones en varios campos, tales como medios ópticos de almacenamiento, marcas ópticas de seguridad, y sensores ópticos de fuerza.

10 Ha habido desarrollos considerables en los medios ópticos de almacenamiento, por ejemplo CD, DVD, y Blu-Ray. Para incrementar la densidad de almacenamiento y de ahí la capacidad de almacenamiento de estos medios, los fabricantes se han concentrado en el tamaño del "bit" es decir el punto o área del medio usado para registrar cada pieza de información. Por ello, el traslado a una longitud de onda más corta para registro o reproducción de información, tal como 405 nm para el Blu-Ray. Están disponibles versiones regrabables (RW) de estos medios que usan un material de cambio de fase (PCM) que puede conmutarse entre fases que tienen diferentes reflectividades para representar diferentes estados para la grabación de bits de información.

15 Sin embargo, con la tecnología de medios regrabables, hay un problema en que el cambio en la reflectividad entre fases es bastante pequeño, tal como el 30 %, de modo que se reduce el área por bit, también disminuye la relación señal a ruido (SNR) de la señal reproducida, de modo que se hace más difícil leer fiablemente la información almacenada. La densidad de almacenamiento de estos medios está en su límite en la actualidad.

20 Es también deseable reducir la cantidad de PCM usado en el medio de almacenamiento óptico debido a que es relativamente caro. Sin embargo, existe el problema de que con el uso de menos PCM también se reduce el contraste en la reflectividad entre las dos fases, de modo que disminuye la relación señal a ruido de la reproducción.

25 En otros campos, hay también un deseo en proporcionar marcas de seguridad que sean más difíciles de detectar, más difíciles de falsificar y que puedan ser regrabables.

30 El documento EP2202740A1 desvela un medio de grabación óptico que comprende un disco ROM modificado que solo puede reproducirse después de la aplicación de un proceso de activación. Para esta finalidad al menos una parte de la capa reflectora de un área solo de lectura del medio de grabación óptico es sustituida por una pila de capas sensibles a la luz que cambia su reflectividad con la iluminación.

35 El documento US5346740A desvela un medio de grabación de información óptica que comprende un sustrato, y una capa de dieléctrico, una capa de grabación, una capa dieléctrica y una capa reflectora que se lamina sobre el sustrato en este orden o una capa reflectora, una capa dieléctrica, una capa de grabación y una capa dieléctrica que se laminan sobre el sustrato en este orden, en el que un estado de la capa de grabación se cambia de modo reversible entre estados ópticamente reconocibles mediante radiación de, por ejemplo, un haz láser y la capa de grabación tiene un grosor de desde 1 nm a 10 nm, medio de grabación que ha mejorado la sensibilidad de grabación.

40 El documento EP2196993A1 desvela un medio de almacenamiento óptico que comprende una capa de sustrato (2), una capa de datos (2a) dispuesta sobre la capa de sustrato (2), una primera capa no lineal (4) con una primera estructura de súper-resolución dispuesta por encima de la capa de datos (2a), y una segunda capa no lineal (6) con una segunda estructura de súper-resolución dispuesta por encima de la primera capa no lineal (4), comprendiendo la primera capa no lineal (4) un material que tiene una reflectividad incrementada cuando se irradia con un haz láser y comprendiendo la segunda capa no lineal (6) un material que muestra una transferencia cuando se irradia con un haz láser. La primera capa no lineal (4) comprende en particular un material semiconductor de uno de entre la familia de semiconductores III-V que tienen una baja banda prohibida. Y la segunda capa no lineal (6) comprende en particular un material de cambio de fase, como por ejemplo SbTe o AIST.

50 El documento US2010225989A1 desvela un material de cambio de fase aplicado como una película muy delgada a un sustrato transparente tal como vidrio, material que cuando conmuta desde el estado amorfo al estado cristalino y de vuelta de nuevo puede afectar a la reflectividad/transmitancia del sistema sustrato/recubrimiento combinado. Cuando se usa con paneles de vidrio en la fabricación de vidrio de ventanas de áreas relativamente grandes, el cambio en la transmitancia espectralmente selectiva puede usarse para modular la cantidad de luz solar que pasa a través del vidrio, y de ese modo reducir la cantidad de refrigeración requerida para un espacio interior en el verano, y la cantidad de calefacción requerida en el mismo espacio interior en invierno, en tanto que también se optimiza el uso de la luz solar visible. Ejemplos de un material de cambio de fase adecuado para el recubrimiento del vidrio es el GeSb o BiSn. El calentamiento del material de cambio de fase para iniciar un cambio en la fase puede proporcionarse mediante la aplicación de energía eléctrica, tal como la suministrada desde una fuente de alimentación de impulsos, o energía radiante, tal como a partir de un láser.

El alcance de la invención se define en las reivindicaciones adjuntas.

65 A todo lo largo de la presente especificación, se usan los términos "óptico" y "luz", debido a que son los términos usuales en la técnica con relación a la radiación electromagnética, pero se debe entender en el contexto de la

presente especificación que no están limitados a luz visible. Se concibe que la invención pueda usarse también con longitudes de onda fuera del espectro visible, tales como luz infrarroja y ultravioleta.

5 Se describirán ahora realizaciones de la invención, a modo solamente de ejemplo, con referencia a los dibujos adjuntos en los que:

la Fig. 1 es una sección transversal esquemática de una parte de un dispositivo óptico de acuerdo con una realización de la invención;

10 la Fig. 2 muestra trazados del cambio en porcentaje de la reflectividad respecto a la longitud de onda para varios diferentes grosores de la capa separadora transmisora de un medio de registro de acuerdo con una realización de la invención;

la Fig. 3 muestra trazados del cambio en porcentaje de la reflectividad respecto a la longitud de onda para varios diferentes grosores de la capa de material de cambio de fase de un medio de registro de acuerdo con una realización de la invención;

15 la Fig. 4 es una ilustración esquemática de un aparato de grabación/reproducción de acuerdo con una realización de la invención;

la Fig. 5 es una sección transversal esquemática de una parte de un dispositivo óptico de acuerdo con una realización adicional de la invención; y

20 la Fig. 6 es una sección transversal esquemática de una parte de un dispositivo óptico de acuerdo con otra realización de la invención.

Una primera realización de un dispositivo óptico que se describirá es un medio de almacenamiento óptico. El medio de almacenamiento óptico se describirá con referencia a la Fig. 1, que muestra una estructura en capas en secciones transversales. Una parte del material de estado sólido 10 se proporciona en la forma de una capa. El material de esta capa tiene un índice de refracción que puede cambiarse permanentemente, aunque reversiblemente, mediante la aplicación de un pulso de luz. Dicho material, también conocido como material de cambio de fase (PCM), se somete a un cambio drástico en el índice de refracción tanto real como imaginario cuando conmuta entre fases amorfa y cristalina. En la presente realización preferida, el material es $\text{Ge}_2\text{Sb}_2\text{Te}_5$ (GST).

30 La parte del material 10 se proporciona sobre un reflector 12, que en la presente realización es una capa de metal tal como platino o aluminio. Se intercala una capa separadora 14 entre el material 10 y el reflector 12. Se proporciona una capa de cobertura 16 en la parte superior de la capa de material 10. En esta realización particular, la superficie superior 18 de la capa de cobertura 16 constituye la superficie de acceso óptico del medio de grabación, y el reflector 12 es un retroreflector. La luz entra y sale a través de la superficie de acceso 18, tal como se indica por las flechas en la Fig. 1. Sin embargo, debido a efectos de interferencia que dependen del índice de refracción de la capa de material 10 y del grosor del separador 14, la reflectividad varía significativamente en función de las longitudes de onda de luz, como se ilustrará adicionalmente a continuación.

40 La capa separadora 14 y de cobertura 16 son ambas ópticamente transmisoras, y son idealmente tan transparentes como sea posible. En los siguientes ejemplos, la capa separadora 14 y la transmisora 16 se fabrican de óxido de indio estaño (ITO), pero no es necesario que sean eléctricamente conductoras, ni que estén fabricadas del mismo material. Otros materiales adecuados incluyen $\text{SiO}_2\text{-ZnS}$, y materiales poliméricos, pero podría usarse cualquier material transparente o semitransparente sólido.

45 Toda la estructura mostrada en la Fig. 1 puede proporcionarse sobre un sustrato (no mostrado) tal como un material de vidrio o plástico, por ejemplo un disco de policarbonato de aproximadamente 1 mm de grosor. Las capas se depositan usando pulverización catódica en el caso de capas de material inorgánico tales como el material de cambio de fase 10, ITO, SiO_2 , y otros similares, que puede realizarse a una temperatura relativamente baja de 100 °C. Las capas poliméricas pueden formarse mediante recubrimiento por centrifugación y curado. Pueden proporcionarse capas adicionales para el medio de grabación según sea necesario.

50 En la realización preferida, la capa del material 10, compuesto de GST, es menor de 100 nm de grosor, y preferentemente menos de 10 nm de grosor, tal como de 6 o 7 nm de grosor. La capa separadora 14 tiene un grosor típicamente en el intervalo desde 10 nm a 250 nm, dependiendo de la longitud de onda y propiedades ópticas requeridas, como se explica a continuación. La capa de cobertura 16 es, por ejemplo, de 20 nm de grosor. El reflector en un ejemplo es de 100 nm de grosor. El material de la capa 10, en esta realización GST, puede someterse a un cambio de fase reversible inducido. Se deposita en estado amorfo. Un pulso de luz desde una fuente de luz láser puede calentar una pequeña zona del material para provocar que cristalice y por ello escribir información que contrasta con las partes amorfas. Se usa un pulso de luz de intensidad más alta y más rápido para fundir momentáneamente el material y enfriarlo de vuelta a la fase amorfa. Es posible también, cuando se fabrica el medio de grabación, tratarlo, tal como térmicamente, de modo que el material de cambio de fase de la capa 10 sea inicialmente totalmente cristalino (policristalino); la información se escribe entonces mediante un haz de luz que convierte zonas del material al estado amorfo.

65 Como se ha explicado previamente, hay un cambio sustancial en el índice de refracción cuando el material se conmuta entre las fases amorfa y cristalina. El material es estable en ambas fases. La conmutación puede realizarse

un número de veces efectivamente ilimitado. Sin embargo, no es esencial que la conmutación sea reversible; por ejemplo, puede usarse un cambio que no pueda revertirse fácilmente para producir un medio de grabación de "una sola escritura".

5 Las Figs. 2 y 3 son los resultados de un cierto número de apilados de capas de ejemplo para un medio de grabación, que comprende una capa de cobertura 16 de ITO de 20 nm de grosor, una capa de material 10 de cambio de fase de GST, una capa separadora de ITO 14, y un reflector de platino de 100 nm 12, todas sobre un sustrato de SiO₂. La Fig. 2 muestra el cambio en porcentaje en la reflectividad óptica entre los estados cristalino y amorfo de la capa 10, $(R_{cris}-R_{amo}) \times 100 / R_{amo}$, en la que R_{cris} y R_{amo} son las reflectividades del medio cuando la capa de material 10 está en los estados cristalino y amorfo, respectivamente. El cambio en la reflectividad óptica da efectivamente una medida del contraste observable entre los dos estados para cada longitud de onda. Los trazados son espectrales y muestran la respuesta para un cierto número de diferentes grosores t de la capa separadora 14, en este caso para cinco muestras con grosores separadores que varían desde 50 nm a 180 nm; en todos los casos la capa 10 de GST es de 7 nm de grosor. Como puede verse, puede obtenerse una modulación muy grande en la reflectividad a longitudes de onda particulares, seleccionables mediante la elección del grosor de la capa separadora 14. Las combinaciones de grosores de las capas separadoras y longitud de onda de la luz usada para detectar la reflectividad se seleccionan para proporcionar un gran contraste, por ejemplo, para un láser de lectura de longitud de onda de aproximadamente 560 nm, el grosor de la capa separadora para estos materiales se fabrica de aproximadamente 150 nm de grosor. Por ello hay un excelente contraste entre puntos de "luz" y "oscuridad" grabados sobre el medio.

La Fig. 3 muestra el cambio en porcentaje en la reflectividad óptica entre los estados cristalino y amorfo de la capa 10 para ejemplos con tres grosores diferentes de la capa de GST, 20 nm, 11 nm y 7 nm. En cada caso la capa separadora es de 150 nm de grosor. Como puede verse, hay un tremendo contraste en la reflectividad entre aproximadamente 560 y 570 nm para una capa de GST de 7 nm de grosor, pero se reduce seriamente para películas de GST más gruesas. De modo que en este caso el uso de menos material de cambio de fase que el que se usa convencionalmente mejora el rendimiento óptico.

Una mejora adicionalmente aplicable a todas las realizaciones es que el material de la capa 10 no tiene que conmutarse simplemente entre un estado totalmente cristalino y totalmente amorfo. Puede conseguirse una mezcla de fases, tal como 20 % cristalino, 40 % cristalino, etc. La cristalización parcial se consigue simplemente limitando la intensidad de luz máxima y la duración del pulso durante la conmutación. El índice de refracción efectivo resultante del material está en alguna forma entre los dos extremos de totalmente cristalino y totalmente amorfo dependiendo del grado de cristalización parcial. Pueden conseguirse fácilmente entre 4 y 8 fases de mezcla distintas, teniendo el número correspondiente de reflectividades diferentes detectables, pero con el control apropiado, el número puede ser mucho más alto, tal como 128. El uso de 8 niveles discretos de reflectividad significa que de cada punto o zona del medio de grabación puede registrar 4 bits de información (2 niveles por bit), y por lo tanto la densidad de grabación es 4 veces mayor que con el uso de solamente dos reflectividades (amorfa y cristalina) para cada punto o bit. Números mayores de niveles proporcionan correspondientemente densidades de grabación más altas.

La Fig. 4 muestra una ilustración esquemática de un aparato de grabación/reproducción que usa un medio de grabación óptica de acuerdo con una realización de la presente invención. En este caso, el medio de grabación está en la forma de un disco 40. Se dispone una fuente de luz 42 y componentes ópticos asociados 44 para enfocar un punto de luz sobre el disco 40. En esta ilustración, las capas del medio de grabación son tal como se muestran en la Fig. 1, siendo la superficie de acceso óptico 18 la superficie superior del disco 40; sin embargo, las capas y el disco podrían invertirse siendo el acceso óptico desde la parte inferior del disco 40.

Se proporciona un controlador 46 para controlar un motor y un huso (no mostrado) para girar el disco 40 alrededor de su eje, y para controlar un actuador (no mostrado) para mover la fuente de luz 40 y la óptica 44 radialmente a través del disco, para acceder a cualquier parte del disco. Se usa un control por realimentación, como es conocido en la técnica, para controlar la velocidad de rotación del disco y para fijar el foco sobre la óptica 44 sobre el medio de grabación. Si se proporcionan capas de material de múltiples cambios de fase sobre el mismo disco, para proporcionar una grabación multicapa, entonces el controlador 46 puede ajustar también la óptica 44 para enfocar sobre una capa requerida.

La fuente de luz 42 comprende, por ejemplo, un diodo láser que emite sustancialmente luz monocromática con una longitud de onda que corresponde a la de un cambio sustancial en la reflectividad entre la fase cristalina y amorfa de la capa de material 10 de cambio de fase del medio de grabación particular (véanse las Figs. 2 y 3). Para la lectura de datos desde el disco, se controla la intensidad de la fuente de luz para que esté por debajo del umbral que afecta a la fase de la capa de material de cambio de fase 10. El aparato comprende óptica adicional (no mostrada), tal como un divisor del haz y detector de luz, para detectar la luz reflejada al exterior del disco 40 cuando el disco 40 se gira y sondea con luz desde la fuente de luz 42. Una señal desde el detector se pasa al controlador 46 en donde se somete a un procesamiento de la señal, conocido en la técnica, para obtener una salida de la información grabada sobre el disco.

El disco 40 puede proporcionarse con una capa continua uniforme 10 de material de cambio de fase, o el material

puede depositarse solamente sobre zonas o pistas específicas o puede estamparse en pistas particulares para ayudar a la lectura y grabación desde el disco. Opcionalmente, pueden proporcionarse marcas adicionales, tales como pozos o crestas, predefinidas en el sustrato del disco 40 para definir pistas que ayuden al controlador 46 en el guiado y posicionamiento de la óptica 44 para lectura y grabación desde el disco.

5 Para la grabación de información sobre el disco 40, puede usarse la misma fuente de luz 42 que la usada para lectura, pero la potencia de salida se ajusta por el controlador para efectuar la cristalización o cristalización parcial o estado amorfo del material de cambio de fase de la capa 10 (y por ello su índice de refracción), de modo que los valores de reflectividad resultantes cuando el disco se mueve con relación a la óptica 44 corresponda a los datos a ser escritos sobre el disco. La potencia de la luz para grabación está típicamente en la zona de los 10 mW. Alternativamente, podría usarse una fuente de luz diferente para la escritura en el disco, y la longitud de onda de luz de escritura no necesita ser la misma que la usada para la lectura de datos desde el disco.

15 Se entiende, naturalmente, que la estampación de reflectividad grabada sobre el medio de almacenamiento no necesita corresponder directamente con los bits del dato original, debido a que los datos originales pueden someterse a codificación de corrección de error, codificación de longitud de tramo limitada (por ejemplo, modulación de ocho-a-catorce, EFM) y otras técnicas, que son bien conocidas en la técnica. Cuando se lee información desde el medio de almacenamiento, se realiza una demodulación y decodificación, según sea apropiado, para recuperar los datos originales.

20 Las realizaciones anteriores, se han descrito con referencia al GST ($\text{Ge}_2\text{Sb}_2\text{Te}_5$) como el material de cambio de fase de la capa 10, pero esto no es esencial para la invención, y hay disponibles otros muchos materiales adecuados, tanto por separado como en combinación, incluyendo compuestos o aleaciones de las combinaciones de elementos seleccionados de entre la siguiente lista: GeSbTe, GeTe, GeSb, GaSb, AgInSbTe, InSb, InSbTe, InSe, SbTe, TeGeSbS, AgSbSe, SbSe, GeSbMnSn, AgSbTe, AuSbTe, y AlSb. Se entiende también que son posibles varias formas estequiométricas de estos materiales; por ejemplo $\text{Ge}_x\text{-Sb}_y\text{Te}_z$; y otro material adecuado es el $\text{Ag}_3\text{In}_4\text{Sb}_{76}\text{Te}_{17}$ (también conocido como AIST). Otros materiales adecuados incluyen cualquiera de los denominados "memristores Mott" (materiales que se someten a una transición de metal-a-aislador, MIT, a alguna temperatura específica), por ejemplo VO_x o NbO_x . Adicionalmente, el material puede comprender uno o más dopantes, tales como C o N.

Pueden producirse medios de grabación óptica que realicen la invención que tengan una densidad de grabación incrementada, y un mejor contraste para legibilidad, pero usando técnicas de fabricación convencionales.

35 Aunque las realizaciones descritas en el presente documento mencionan que la capa de material puede conmutar entre dos estados tales como las fases cristalinas y amorfa, la transformación podría ser entre cualesquiera dos fases sólidas, incluyendo, pero sin limitarse a: fase cristalina a otra cristalina o cuasi-cristalina o viceversa; amorfa a cristalina o cuasi cristalina/semi-ordenada o viceversa, y todas las formas intermedias. Las realizaciones tampoco están limitadas a solamente dos estados.

40 El mecanismo de conmutación no está limitado a un pulso de luz aplicado desde un láser, sino que podría ser cualquier campo electromagnético que induzca calentamiento a partir de un láser u otra fuente, o podría ser un pulso eléctrico que induzca calentamiento (si se proporcionan electrones integrados para el paso de corriente a través del material, que podría pixelarse), o podría ser un calentamiento térmico por ejemplo usando calentamiento resistivo eléctrico de una capa adyacente que está en contacto térmico con el material de cambio de fase (podría usarse un microscopio de fuerza atómica (AFM) para escanear el dispositivo y pasar la corriente a las zonas deseadas localmente calentadas).

50 Una realización adicional de un dispositivo óptico proporcionará una o más capas de material 10 de cambio de fase adicionales y capas separadoras 14 a la estructura previamente descrita para crear un apilado multicapa. Ejemplos con dos y tres capas de material de cambio de fase respectivamente se ilustran en las Figs. 5 y 6. Como se ha explicado previamente, el grosor de la capa separadora define la longitud de onda de pico en el espectro de reflectancia de la pila (es decir el color central reflejado). Mediante la repetición de capas alternas, como en esta realización, el ancho del pico reflectante puede reducirse para hacerlo más específico a la longitud de onda (color). Sin embargo, las pérdidas por absorción también se incrementan cuando se añaden más capas, de modo que el número preferido de capas de material de cambio de fase es de dos o tres.

60 En el dispositivo óptico de apilado multicapa, el grosor de cada una de las capas puede seleccionarse por separado de las otras para diseñar las propiedades ópticas deseadas. Por ejemplo, el grosor de cada capa de material 10 de cambio de fase determina el contraste en la reflectividad entre los diferentes estados o fases del material 10 a través del espectro. Pueden obtenerse múltiples combinaciones de color (espectros de reflectancia) mediante la conmutación/selección por separado de la fase de cada capa de material. Por ejemplo, en el caso de capas de material de dos cambios de fase, pueden obtenerse cuatro colores de reflectancia aparente diferentes mediante las combinaciones: Am-Am; Cris-Am; Am-Cris; y Cris-Cris (en donde los símbolos Am = amorfo, y Cris = cristalino, y los pares de símbolos corresponden a las dos capas). Cada una de las múltiples capas pueden escribirse en y leerse desde por separado mediante el enfoque de un láser a una profundidad adecuada en la pila.

Debería observarse que en cualquiera de las realizaciones anteriores, en donde hay una conmutación de la fase de una o más capas 10, entonces hay un desplazamiento en la longitud de onda en la que hay una reflectividad máxima, y de ese modo un cambio de color observable. Sin embargo, el contraste de reflectividad entre longitudes de onda cerca del pico puede no ser particularmente grande. El mayor contraste (cambio en la reflectividad tal como se ha definido anteriormente) puede tener lugar a longitudes de onda separadas del pico, y esta propiedad puede utilizarse como se describe posteriormente.

Una propiedad adicional de cualquiera de las realizaciones anteriormente descritas es que el espectro reflectante es función del ángulo de incidencia de la luz y de la polarización de la luz.

Aplicaciones

Los dispositivos ópticos de acuerdo con cualquiera de las realizaciones del presente documento podrían usarse como marcas de seguridad, aplicadas a artículos, embalajes, distintivos/pases de ID, tarjetas bancarias/de crédito y otros similares. Puede almacenarse un patrón en la capa (o capas) de material de cambio de fase mediante el ajuste del estado cristalográfico de diferentes zonas. El patrón podría ser simplemente una imagen reconocible, o podría codificar información específica, tal como en la forma de un código de barras, código QR, o cualquier otro código adecuado. Un patrón no es esencial debido a que podría basarse solamente en el cambio de color predeterminado o respuesta espectral intrínseca para el dispositivo óptico que sea difícil de replicar.

En un dispositivo, la marca de seguridad está sobre un sustrato flexible, tal como una etiqueta inteligente o una película de ID, que puede doblarse para revelar un cambio conocido en el color o para revelar un patrón al personal de seguridad. El cambio de color y/o revelación de un patrón tiene lugar debido a que el doblado del dispositivo modifica el grosor de las capas, particularmente la capa separadora, y de ese modo cambia la respuesta de reflectividad espectral de la estructura de, por ejemplo, la Fig. 1.

En otra realización, la marca es extremadamente pequeña (incluso a escala sub-micrométrica), esencialmente indetectable para el ojo normal, y no puede detectarse fácilmente a menos que se use una cámara especial.

En una realización adicional, puede proporcionarse un patrón en la marca para el que el contraste es pequeño entre los estados cristalográficos a la mayor parte de longitudes de onda, de modo que el patrón sea invisible o difícil de detectar bajo iluminación general, tal como luz blanca. Sin embargo, el contraste puede ser grande alrededor de una longitud de onda conocida para el sistema de seguridad, y de ese modo solamente iluminándola con luz a esa longitud de onda puede revelar el patrón. En general, el contraste como una función de la longitud de onda y/o posición puede usarse para una prueba de autenticidad.

Una variante adicional es cuando la marca se define usando un patrón de memristor Mott, tal como VO_x o NbO_x , como el material de cambio de fase. Tiene lugar un cambio en el contraste de color cuando la marca se calienta por encima de la temperatura de transición, de modo que la marca de seguridad puede revelarse mediante el calentamiento del dispositivo, y la marca desaparece cuando se enfría de nuevo.

En un dispositivo con múltiples capas de material de cambio de fase, pueden grabarse diferentes patrones en diferentes capas como una mejora adicional de la seguridad. Por ejemplo, un patrón de alto contraste sobre una capa superior podría ocultar un patrón en una capa más profunda, excepto cuando se ilumine con una longitud de onda específica.

Un lector de dispositivos que incorpore un espectrómetro simple podría evaluar la variación de color de la marca con diferentes ángulos (con o sin doblado) y compararla con una respuesta previamente almacenada para validar la autenticidad de la marca (por ejemplo, en una tarjeta de seguridad) con una confianza extremadamente elevada.

Otro lector de dispositivos usa solamente uno o más diodos láser de baja potencia para medir la reflectividad con una longitud de onda fija en función del ángulo, y lo compara con una respuesta conocida.

En el caso de un patrón escrito en la marca, un lector de dispositivos puede incluir una cámara para capturar una o más imágenes de la marca bajo longitudes de onda o ángulos de iluminación particulares, y podría emplear comparación por contraste y/o reconocimiento de imágenes para verificar la marca.

Con cualquiera de las marcas de seguridad descritas anteriormente, la marca puede, naturalmente, borrarse y/o reescribirse usando medios de conmutación apropiados, como se han descrito previamente (tales como láser, eléctricos o térmicos). Esto permite jerarquías de seguridad versátiles, por ejemplo donde la tarjeta del usuario se verifica en un primer punto de control en el que el lector del dispositivo también escribe una segunda información en la marca. Un segundo punto de control verifica entonces que la segunda información está presente y a continuación borra y/o escribe información adicional. En esta forma, los puntos de control solo pueden pasarse en secuencia, y el contorno de un punto de control provocará que se deniegue el acceso a puntos de control posteriores.

Una aplicación diferente del dispositivo óptico es como sensor de fuerza. En este caso, la capa de material 10 no tiene específicamente que ser un material de cambio de fase, aunque puede serlo. No se usa la propiedad de conmutación de estado. Esto es también verdad para las marcas de seguridad descritas anteriormente; si no se requiere que sean escribibles o reescribibles, no tienen que ser materiales de cambio de fase. La o cada capa 10
 5 está provista con una capa absorbente ultra fina, preferentemente de menos de 10 nm de grosor. Ejemplos de materiales adecuados para el absorbente incluyen: cualquiera de los materiales de cambio de fase previamente mencionados; silicio amorfo, carbono amorfo, Ge, GaAs, InAs, InP, CdTe, Ag₂S, semiconductores orgánicos; cualquier material adecuado que absorba luz y pueda depositarse en películas de unos pocos nanómetros de grosor (los materiales semiconductores son típicamente ideales para esto). La estequiometría puede cambiarse y puede
 10 usarse el dopado para crear las propiedades absorbentes deseadas. De hecho, no es necesario usar materiales que absorban luz en su estado en bruto; dichos materiales pueden diseñarse para crear metamateriales que tengan las propiedades deseadas en términos de absorción.

La capa de cobertura 16 puede ser cualquiera transparente que proteja el apilado, tal como SiO₂ o AlO₂. En una
 15 realización, la capa de cobertura tiene 10 nm de grosor. Los grosores t del separador 14 determinan la longitud de onda de reflectancia de pico y de ahí el color aparente de la película. Puede usarse una estructura multicapa como se ha descrito anteriormente para estrechar el pico de reflectancia.

En el sensor de fuerza, cuando se aplica una fuerza al dispositivo en capas, el grosor t del separador 14 cambia, lo
 20 que afecta al color aparente del dispositivo. El cambio de color es instantáneo, reversible (dentro de los límites elásticos del material), y directamente relacionado con la fuerza aplicada en un amplio intervalo. Por lo tanto, el dispositivo óptico proporciona un sensor de fuerza. Para leer la fuerza, el color del dispositivo se compara con colores calibrados (espectro) con una fuerza aplicada conocida. Esto puede realizarse a ojo o con una cámara simple, o con un espectrómetro o reflectómetro más sofisticado. La precisión de la medición de la fuerza se define
 25 por la calidad de la medición óptica.

En el sensor de fuerza, el separador 14 puede ser cualquier material ópticamente transmisor (idealmente
 30 transparente) que pueda comprimirse por la fuerza para cambiar el grosor t y por ello cambiar el color del dispositivo. El módulo de elasticidad del material dictará la sensibilidad y el intervalo de fuerzas de trabajo del dispositivo. El material debe trabajar dentro de su régimen elástico, en caso contrario la deformación permanente alterará las características y la calibración del dispositivo. En la realización preferida, el separador 14 es un material blando con elevada compresibilidad, tal como un elastómero. Cualquier elastómero sustancialmente transparente es apropiado. Un ejemplo es PMMA (polimetilmetacrilato); otro ejemplo es cualquier silicona, tal como polidimetilsiloxano (PDMS). El grosor típico del separador 14 está en el intervalo desde 10 nm a 250 nm, por ejemplo 150 nm. En un dispositivo
 35 multicapa (como en las Figs. 5 y 6) una, alguna o todas las capas separadoras 14 podrían fabricarse de un material elastomérico. Las capas separadoras 14 pueden ser de materiales diferentes entre sí.

El dispositivo óptico como un sensor de fuerza puede fabricarse como una película delgada que puede aplicarse a o
 40 imprimirse sobre la mayor parte de las superficies, y es ligero y flexible. Es robusto y barato de fabricar. No se requiere ningún contacto eléctrico con el dispositivo durante el uso debido a que la fuerza se lee ópticamente, de modo que puede realizarse remotamente a través de distancias arbitrarias. El sensor puede adaptarse a la forma de objetos complejos. El sensor puede proporcionarse como una película pixelada, dando la fuerza de cada punto por el color. Por ejemplo, este dispositivo podría usarse en mediciones aerodinámicas para determinar la presión en puntos deseados sobre la superficie de un ala. Si el área sobre la que se aplica la fuerza es conocida, entonces el
 45 cambio de color puede relacionarse directamente con una presión.

Una aplicación adicional de cualquiera de los dispositivos descritos anteriormente es en utilidades decorativas
 como un artículo decorativo. Por ejemplo, baldosas o joyería podrían proporcionarse recubiertas con el dispositivo
 50 óptico. El color y el patrón podrían predeterminarse y/o podría cambiarse posteriormente.

REIVINDICACIONES

1. Un dispositivo óptico que comprende:
- 5 una capa de material (10) en el estado sólido que modifica la reflectividad del dispositivo de tal manera que proporciona un patrón que comprende una imagen reconocible; y un reflector (12), **caracterizado por que:** dicho material (10) es un material de cambio de fase que tiene un índice de refracción que puede conmutarse entre al menos dos valores estables, y el patrón se define mediante el ajuste del índice de refracción de diferentes zonas en la capa de material (10) mediante la conmutación del material de cambio de fase en las diferentes zonas; y
- 10 en el que el reflector (12) está separado del material de la capa (10) mediante una capa separadora sólida (14) transmisora de la luz.
- 15 2. Dispositivo de acuerdo con la reivindicación 1, en el que el índice de refracción del material (10) es conmutable eléctricamente, térmicamente o mediante la luz aplicada.
3. Un dispositivo de acuerdo con cualquier reivindicación precedente, en el que el índice de refracción del material (10) es conmutable entre al menos dos valores estables.
- 20 4. Un dispositivo de acuerdo con cualquier reivindicación precedente, en el que la reflectividad de una parte del dispositivo es ajustable en uno cualquiera de al menos tres valores diferentes mediante la conmutación del índice de refracción de la capa de material (10) en esa parte.
- 25 5. Dispositivo de acuerdo con cualquier reivindicación precedente, en el que el material (10) comprende un compuesto o aleación de una combinación de elementos seleccionados de entre la siguiente lista de combinaciones: GeSbTe, VO_x, NbO_x, GeTe, GeSb, GaSb, AgInSbTe, InSb, InSbTe, InSe, SbTe, TeGeSbS, AgSbSe, SbSe, GeSbMnSn, AgSbTe, AuSbTe, y AlSb, en el que, opcionalmente, el material (10) comprende una mezcla de compuestos o aleaciones de combinaciones de elementos a partir de dicha lista y/o dicho material (10) comprende
- 30 adicionalmente al menos un dopante, tal como C o N.
6. Dispositivo de acuerdo con cualquier reivindicación precedente, en el que el material (10) comprende Ge₂Sb₂Te₅.
7. Dispositivo de acuerdo con cualquier reivindicación precedente, en el que la capa de material (10) es de menos de 20 nm de grosor, preferentemente de menos de 10 nm de grosor.
- 35 8. Un dispositivo de acuerdo con cualquier reivindicación precedente, en el que la capa de material (10) es una capa de absorbente óptico.
9. Un dispositivo de acuerdo con cualquier reivindicación precedente, en el que dicha capa separadora (14) tiene un grosor en el intervalo de desde 10 nm a 250 nm.
10. Un dispositivo de acuerdo con cualquier reivindicación precedente, en el que dicha capa separadora 14 comprende un material compresible, preferentemente un material elastomérico.
- 45 11. Dispositivo de acuerdo con cualquier reivindicación precedente, que comprende una pluralidad de pares de capas, comprendiendo cada uno de dichos pares de capas una capa de material (10) en el estado sólido que modifica la reflectividad del dispositivo y una capa separadora (14), disponiéndose sucesivamente en un apilado dichos pares de capas.
- 50 12. Dispositivo de acuerdo con la reivindicación 1, que comprende adicionalmente electrodos integrados configurados para pasar corriente a través del material (10).
13. Un dispositivo de acuerdo con la reivindicación 12, en el que los electrodos integrados están pixelados.
- 55 14. Un dispositivo de acuerdo con la reivindicación 1, que comprende adicionalmente una capa de cobertura (16) en la parte superior de la capa de material (10), en el que la capa separadora (14) y la capa de cobertura (16) se fabrican de óxido de indio estaño.
- 60 15. Una marca de seguridad o un artículo decorativo que comprende un dispositivo óptico de acuerdo con cualquier reivindicación precedente.

Fig. 1

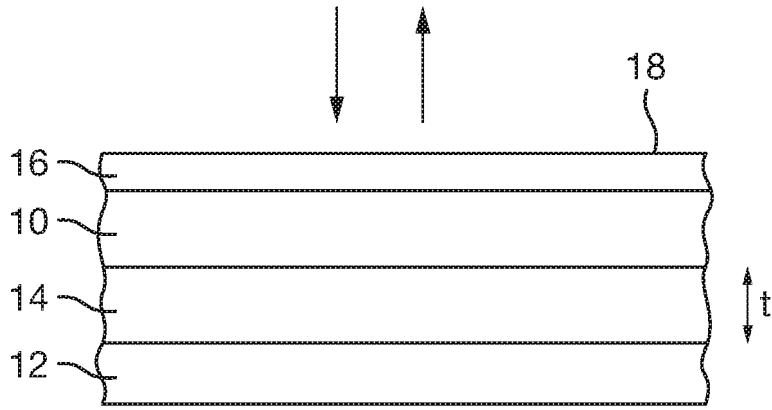


Fig. 2

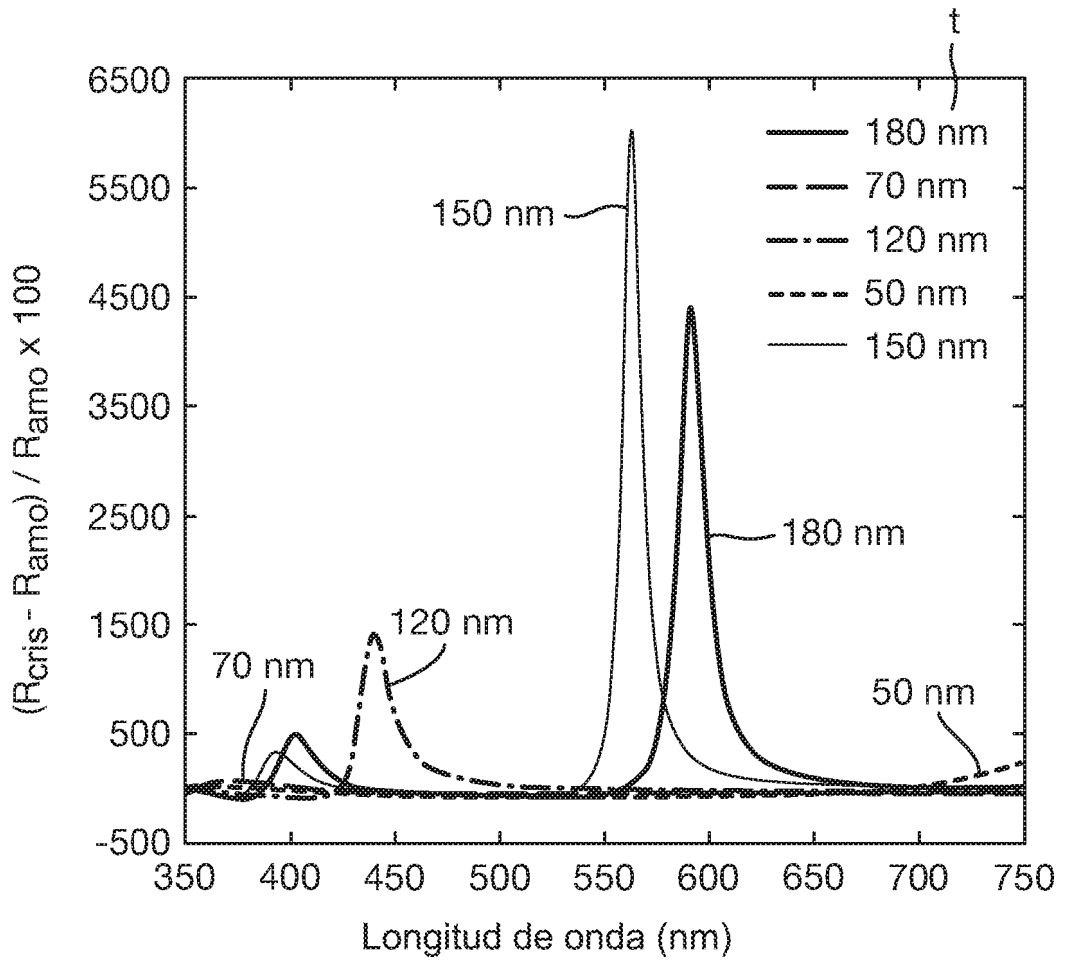


Fig. 3

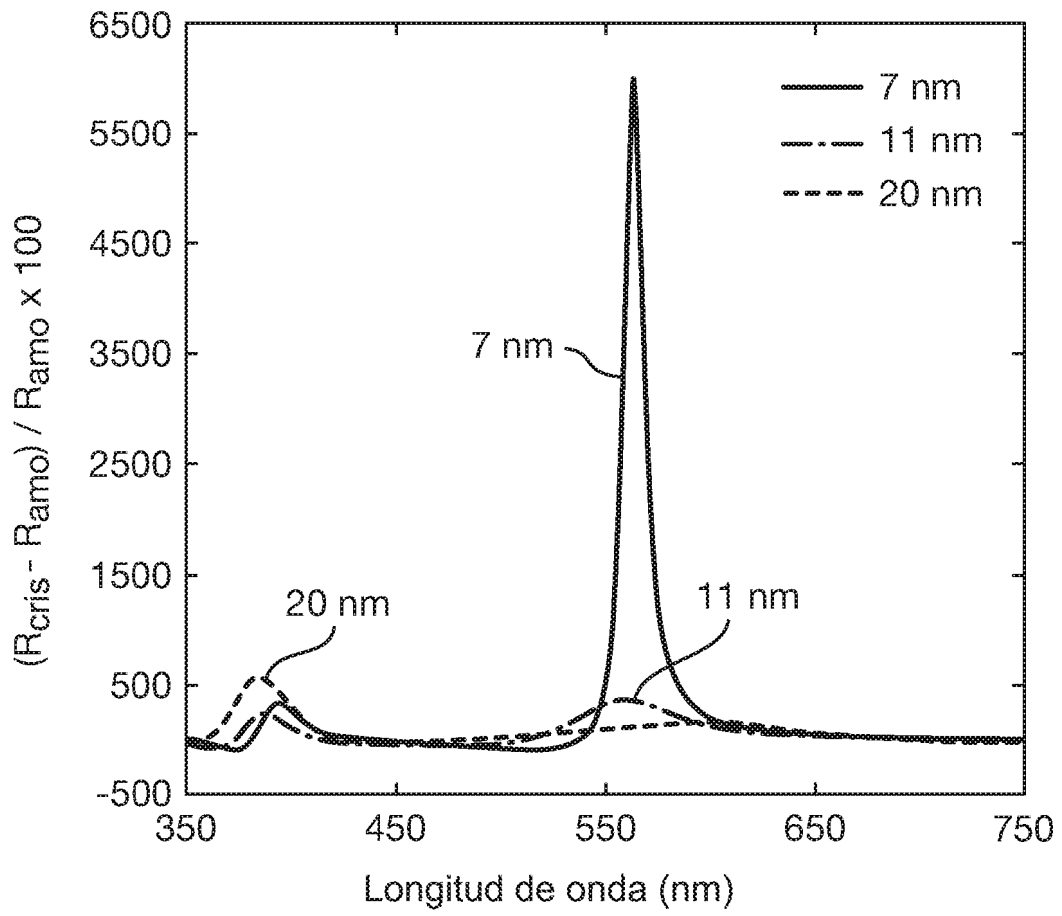


Fig. 4

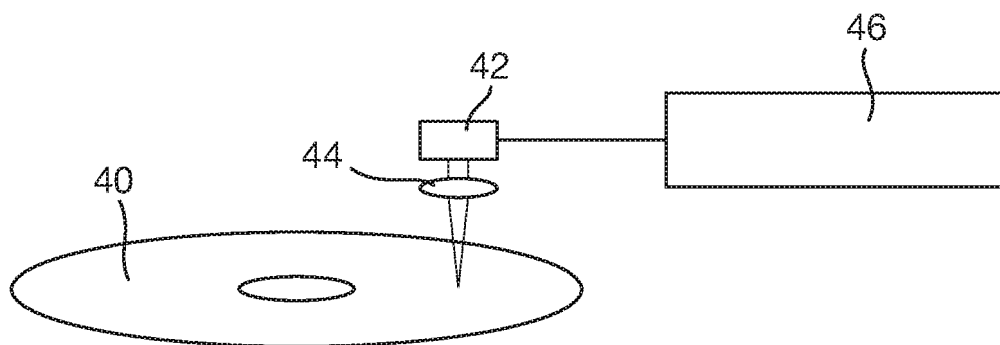


Fig. 5

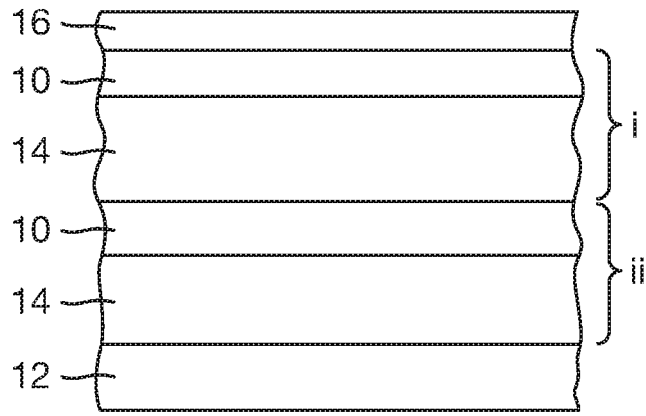


Fig. 6

