

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 806 849**

51 Int. Cl.:

G02F 1/01 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **25.01.2017 PCT/IB2017/000041**

87 Fecha y número de publicación internacional: **10.08.2017 WO17134506**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **25.01.2017 E 17703463 (4)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **06.05.2020 EP 3345045**

54 Título: **Dispositivo óptico con material de cambio de fase de conmutación térmica**

30 Prioridad:

04.02.2016 EP 16000280

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

18.02.2021

73 Titular/es:

**BODLE TECHNOLOGIES LIMITED (100.0%)
Begbroke Science Park, Woodstock Road,
Begbroke
Oxford OX5 1PF, GB**

72 Inventor/es:

**HOSSEINI, PEIMAN;
BHASKARAN, HARISH y
BROUGHTON, BEN**

74 Agente/Representante:

PONS ARIÑO, Ángel

ES 2 806 849 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 con material de cambio de fase de conmutación térmica

5 **Antecedentes**

La invención se refiere, en general, a dispositivos ópticos con aplicaciones en diversos campos que van desde píxeles en pantallas hasta vidrio inteligente para aplicaciones arquitectónicas y automotrices.

10 Se ha realizado una considerable investigación sobre la llamada tecnología de material de cambio de fase (PCM) y su uso en dispositivos optoelectrónicos tales como pantallas reflectantes de resolución ultra alta, pantallas transparentes y sensores de fuerza. Los PCM incluyen materiales que pueden conmutarse entre más de una fase. Las fases pueden tener diferentes propiedades optoelectrónicas. Así mismo, se conocen PCM biestables, que son específicamente atractivos debido a que no es necesario aplicar alimentación continuamente para mantener el dispositivo en un nuevo estado después de que se haya completado una transición de fase.

15 No obstante, en general, solo una pequeña parte del material participa activamente en el ciclo de conmutación eléctrica de dichos materiales, mientras que la parte circundante del material permanece esencialmente inalterada. Este fenómeno se conoce y a menudo se denomina "conmutación filamentaria". Si bien la conmutación filamentaria puede explotarse ventajosamente para algunas aplicaciones, este fenómeno, como puede verse, afectará negativamente en las propiedades ópticas entre diferentes estados conmutados del PCM.

20 Este fenómeno se produce normalmente en configuraciones de circuito de barras cruzadas. En un circuito de barras cruzadas, se aplica un pulso de tensión a través de la barra cruzada, que conduce el flujo de corriente a través del elemento PCM entre las barras. Las rutas conductoras localizadas (es decir, los "filamentos") se crean entre electrodos mediante el proceso de conmutación. Algunos dispositivos resistivos no ópticos, pueden, por ejemplo, funcionar satisfactoriamente aunque solo se conmuten pequeñas partes de material. No obstante, en términos de propiedades ópticas, los píxeles PCM en una configuración de circuito de barras cruzadas pueden no parecer conmutados ya que la parte activa es demasiado pequeña. Por lo tanto, la conmutación filamentaria dificulta las aplicaciones ópticas, tales como píxeles en pantallas y vidrios inteligentes.

25 Para resolver este problema y lograr una mayor parte de conmutación, puede dividirse la zona PCM en píxeles a nanoescala. No obstante, esto da como resultado un aumento drástico del número de píxeles. Por ejemplo, para aplicaciones de visualización, ya que el mecanismo de conmutación requiere la aplicación de pulsos eléctricos fuertes (por ejemplo, duración de nanosegundos), la solución anterior requiere abordar una gran cantidad (en general, millones) de píxeles en secuencia a muy alta velocidad. Esto, no obstante, crea un nuevo desafío de ingeniería a medida que la cantidad de potencia computacional y eléctrica necesaria para la circuitería de activación periférica electrónica para abordar los píxeles aumenta drásticamente con el número de píxeles.

30 De lo contrario, se sabe usar un pulso de calor para conmutar un PCM. Por ejemplo, el documento US2015098032 desvela una pantalla PCM, donde cada píxel PCM se conmuta por un elemento calentador eléctrico, que está en contacto directo con el PCM. El elemento PCM crea una escala de grises. Los elementos de filtro adicionales proporcionan color a un píxel.

35 El documento WO 2015/097468 desvela un dispositivo de visualización que comprende una pluralidad de píxeles, teniendo cada píxel una parte de un material de cambio de fase y de estado sólido, tal como germanio-antimonio-telururo (GST) o dióxido de vanadio, en el que el material de cambio de fase puede llevarse de manera reversible a un estado amorfo o cristalino y tiene un índice de refracción que puede controlarse reversible y eléctricamente. En una disposición, una capa separadora se intercala entre el material de cambio de fase y un reflector.

50 **Sumario**

De acuerdo con un primer aspecto, La presente invención se realiza como un dispositivo óptico. Este dispositivo comprende una estructura de capas con: un reflector óptico térmicamente conductor; un separador (óptico) térmicamente conductor, que puede transmitir luz y está dispuesto encima del reflector; y un material de cambio de fase, o PCM, dispuesto encima del separador y que tiene al menos dos estados reversiblemente conmutables, en el que el PCM muestra dos valores diferentes de índice de refracción y/o absorción. El reflector, el separador y el PCM se apilan sucesivamente a lo largo de una dirección de apilamiento de la estructura de capas. El dispositivo óptico comprende además un elemento de calentamiento, opuesto al PCM con respecto al reflector. La estructura de capas está configurada con el fin de aislar eléctricamente el PCM del elemento de calentamiento, mientras el elemento de calentamiento está en comunicación térmica con el PCM a través del reflector y el separador. El dispositivo óptico también comprende un controlador, que está configurado para energizar el elemento de calentamiento, con el fin de calentar el PCM y cambiar de este modo de manera reversible un índice de refracción y/o una absorción de dicho PCM.

60 La estructura del dispositivo óptico anterior está diseñada para aprovechar dos funciones ópticas, mientras se permite

que se conmute una gran parte del PCM. El elemento de calentamiento proporciona la capacidad de conmutación. El elemento ópticamente activo que contiene el PCM está separado del elemento de calentamiento por una barrera eléctricamente aislante, que sin embargo es térmicamente conductor. Esto, como se han dado cuenta los inventores actuales, permite conmutar una gran parte del PCM, mientras se preserva una secuencia ordenada de capas de la subestructura ópticamente activa (es decir, PCM - separador - reflector). Los estados reversiblemente conmutables hacen que el PCM muestre dos valores diferentes de índice de refracción y/o absorción, permitiendo un primer grado de libertad en términos de propiedades ópticas (primera función óptica). Al mismo tiempo, el espesor del separador puede ajustarse (o variar de una estructura de capas a otra), lo que permite un segundo grado de libertad en términos de propiedades ópticas (segunda función óptica). De hecho, esto hace posible explotar el hecho de que la reflectividad variará significativamente en función de las longitudes de onda de la luz, debido a los efectos de interferencia que dependen del índice de refracción y/o absorción del PCM y el espesor del separador. Como resultado, las propiedades ópticas del dispositivo pueden ajustarse gracias al separador (por ejemplo, para conferir un "color" a un subpíxel), sin necesitar filtros adicionales.

15 Las realizaciones preferidas que se enumeran a continuación ofrecen ventajas adicionales, especialmente en términos de conmutación (para favorecer una gran zona de conmutación) y propiedades ópticas.

Para empezar, el dispositivo está diseñado preferentemente de tal manera que el espesor promedio del reflector esté entre 50 nm y 1 μ m; un espesor promedio del separador es entre 40 nm y 300 nm; y un espesor promedio del PCM es de entre 0,5 nm y 80 nm. Sin embargo, preferentemente, el PCM tiene un espesor promedio que está entre 3 nm y 15 nm.

Por su parte, como el enfoque actual permite que se conmute una gran parte de PCM, una dimensión lateral de la estructura de capa, perpendicularmente a dicha dirección de apilamiento (z) puede ser, por ejemplo, mayor o igual que 0,35 μ m o, preferentemente, mayor o igual que 5 μ m. De hecho, pueden contemplarse dimensiones laterales mucho mayores.

Preferentemente, el dispositivo comprende además un material eléctricamente aislante entre el elemento de calentamiento y el reflector, dispuesto esencialmente con el fin de aislar, eléctricamente, el reflector del elemento de calentamiento.

En las realizaciones, el controlador está configurado además para aplicar una corriente y/o una tensión al elemento de calentamiento, siendo este último un elemento de calentamiento resistivo, para energizar el elemento de calentamiento, con el fin de calentar el PCM y de este modo cambiar de manera reversible un índice de refracción y/o una absorción del PCM.

Preferentemente, el dispositivo comprende además una capa eléctricamente conductora, en la que el elemento de calentamiento está intercalado, al nivel de dicha estructura de capas, por lo que dos partes de la capa eléctricamente conductora están en los lados laterales respectivos del elemento de calentamiento, en contacto con el mismo y el controlador comprende dos terminales que hacen contacto con una respectiva de dichas dos partes, para aplicar dicha corriente y/o tensión al elemento de calentamiento.

El controlador está configurado, por ejemplo, para energizar el elemento de calentamiento, de acuerdo con al menos dos señales distintas, con el fin de que el elemento de calentamiento aplique al menos dos pulsos de calor distintos, respectivamente, y cambiar de manera reversible el PCM a dichos al menos dos estados conmutables, respectivamente.

En unas realizaciones preferidas, El PCM comprende uno o más de los siguientes compuestos: GeSbTe, VOx, NbOx, GeTe, GeSb, GaSb, AgInSbTe, InSb, InSbTe, InSe, SbTe, TeGeSbS, AgSbSe, SbSe, GeSbMnSn, AgSbTe, AuSbTe y AISb.

Sin embargo, preferentemente, el PCM comprende uno de: Ge₂Sb₂Te₅, GeTe y Ag₃In₄Sb₇₆Te₁₇.

El elemento de calentamiento puede comprender, por ejemplo, uno o más de los siguientes: NiCrSi, NiCr, W, TiW, Pt, Ta, Mo, Nb e Ir.

La presente invención puede realizarse además como un dispositivo óptico que comprende un conjunto de estructuras de capas, por ejemplo, para formar subpíxeles de píxeles. Para ese fin, el dispositivo comprende un conjunto de reflectores ópticos, térmicamente conductores, así como un conjunto de separadores térmicamente conductores, estando cada uno encima de uno respectivo de los reflectores, en el que los separadores tienen espesores sustancialmente diferentes y, cada uno, puede transmitir luz. Además comprende un conjunto de materiales de cambio de fase, o PCM, estando cada uno encima de uno respectivo de los separadores. El conjunto de PCM forman, junto con los conjuntos de separadores y reflectores, un conjunto de estructuras de capas. Cada uno de los PCM tiene al menos dos, estados reversiblemente conmutables, en los que muestra dos valores diferentes de índice de refracción y/o absorción.

5 El dispositivo también comprende un conjunto de elementos de calentamiento, estando cada uno dispuesto de forma opuesta a uno respectivo de los PCM con respecto a uno respectivo de los reflectores, en comunicación térmica con dicho uno respectivo de los PCM a través de uno respectivo de los reflectores y uno respectivo de los separadores, pero aislado eléctricamente de dicho uno respectivo de los PCM. El controlador está configurado para energizar de manera independiente los elementos de calentamiento, con el fin de calentar de manera independiente los PCM y cambiar de este modo de manera reversible un índice de refracción y/o una absorción de los mismos, por lo que el índice de refracción y/o la absorción de cada uno de los PCM puede controlarse de manera independiente a través del controlador.

10 En este caso las partes de separador están dimensionadas de manera diferente para conferir, a cada una de las estructuras (o subpíxeles), distintas reflectividades dependientes de la longitud de onda a la luz que entra en cada subpíxel. Es decir, cada subpíxel puede encenderse (gracias a la conmutación PCM, tras la energización), pero con un color distinto (gracias, en particular, a los distintos espesores de separador), sin necesitar filtros adicionales o similares. En las realizaciones, este dispositivo comprende un conjunto de píxeles, en el que cada píxel comprende un conjunto de estructuras de capas tales como las descritas anteriormente.

15 La invención puede realizarse además como un dispositivo de visualización, que comprende un dispositivo óptico tal como se describe en las realizaciones anteriores. Los diversos componentes se disponen con el fin de formar un conjunto de píxeles, teniendo cada uno una estructura de capas. La estructura de capas incluye en particular un PCM y un elemento de calentamiento, de manera consistente con los dispositivos ópticos descritos anteriormente. También puede incluir otros componentes, por ejemplo, formando un reflector y un separador. E incluso, pueden contemplarse diversas disposiciones, de tal manera que los píxeles puedan compartir algunos de sus componentes, o no, como se trata más adelante en detalle. En todos los casos, el elemento de calentamiento está, en cada píxel, aislado eléctricamente de un PCM respectivo y en comunicación térmica con el mismo. El dispositivo de visualización comprende además un controlador que está configurado para energizar cualquiera de los píxeles, con el fin de calentar de manera independiente un PCM del mismo para conmutar de manera reversible su índice de refracción y/o absorción. Además, el dispositivo de visualización comprende una disposición de pares de electrodos, en la que cada uno de los pares de electrodos están en comunicación eléctrica con un elemento de calentamiento de uno de los píxeles, con el fin de que cada uno de los píxeles pueda direccionarse individualmente por el controlador en el dispositivo de visualización.

20 Preferentemente, cada uno de los pares de electrodos está en comunicación eléctrica con el elemento de calentamiento de uno de los píxeles a través de una vía que se extiende paralela a la dirección de apilamiento z de la estructura de capas de dicho píxel.

25 Dicha vía puede estar, por ejemplo, en contacto eléctrico con un terminal de drenaje de un transistor de película delgada, o TFT, cuyo terminal de puerta y terminal de fuente están en contacto eléctrico con un electrodo respectivo de cada uno de los pares de electrodos mencionado, con el fin de que una tensión aplicada en el terminal de puerta controle una corriente entre el terminal de fuente y el terminal de drenaje del TFT, en operación. En variantes, puede usarse un elemento de conmutación resistivo.

30 En las realizaciones, el elemento de calentamiento de cada píxel está además en comunicación eléctrica con un reflector óptico térmicamente conductor, a través de otra vía (que también se extiende paralela a la dirección de apilamiento z). El reflector es además eléctricamente conductor, de tal manera que una corriente que pase a través del elemento de calentamiento pueda drenarse a través de dicho reflector óptico, en operación.

35 En otras realizaciones, el elemento de calentamiento de cada píxel está en comunicación eléctrica con un electrodo común del dispositivo de visualización, a través de otra vía (que también se extiende paralela a z), en el que cada una de las vías se extiende entre un plano promedio de la disposición de pares de electrodos y un plano promedio de dicho elemento de calentamiento. De esta forma, una corriente que pasa a través del elemento de calentamiento puede drenarse a través del electrodo común, en operación.

40 De acuerdo con otro aspecto, la invención se realiza como un método para controlar un dispositivo óptico de acuerdo con las realizaciones. Básicamente, el método comprende energizar repetidamente, a través del controlador, un elemento de calentamiento de este dispositivo óptico, con el fin de calentar un PCM del mismo, para conmutar de manera reversible su índice de refracción y/o absorción.

45 Preferentemente, energizar comprende: energizar un elemento de calentamiento durante un tiempo t_1 , calentar dicho PCM de acuerdo con un primer perfil de calor temporal y de este modo cambiar dicho PCM de un primer estado a un segundo estado; y posteriormente energizar el elemento de calentamiento durante un tiempo t_2 , calentar dicho PCM de acuerdo con un segundo perfil de calor temporal y de este modo cambiar dicho PCM nuevamente al primer estado. Dicho primer perfil de calor temporal muestra una temperatura máxima T_1 y dicho segundo perfil de calor temporal muestra una temperatura máxima T_2 , con $t_1 > t_2$ y $T_2 > T_m > T_1 > T_c$, en el que T_m y T_c corresponden respectivamente a una temperatura de fusión y a una temperatura de cristalización de dicho PCM.

50 Los dispositivos, aparatos y métodos que incorporan la presente invención se describirán a continuación, por medio

de ejemplos no limitativos, y en referencia a los dibujos adjuntos.

Breve descripción de las varias vistas de los dibujos

- 5 La figura 1 es una vista en sección transversal bidimensional (2D) de un dispositivo óptico, que puede diseñarse en particular como un subpíxel o píxel PCM de área grande, de acuerdo con las realizaciones;
- la figura 2 representa una variante del circuito de conmutación mostrado en la figura 1, que implica un transistor de efecto de campo, que puede usarse para conmutar uno o más dispositivos tal como se representa en la figura 1, como se implica en las realizaciones;
- 10 la figura 3 es una vista tridimensional (3D) del dispositivo de la figura 1;
- la figura 4 es una gráfica de un perfil de temperatura de un elemento PCM de un dispositivo tal como se representa en la figura 1 o 3, sujeto a un pulso de calor provocado por un pulso de corriente rápida aplicado a un elemento calentador en comunicación térmica con el elemento PCM pero aislado eléctricamente del mismo, obtenido por un modelo térmico de elementos finitos;
- 15 Las figuras 5 y 6 son unas gráficas que representan perfiles de calor inducidos por ciclos de control de un elemento de calentamiento, con el fin de cambiar un PCM de un dispositivo óptico de acuerdo con las realizaciones a un estado cristalino (figura 5) y volver a un estado amorfo (figura 6), como se implica en las realizaciones;
- la figura 7 ilustra un dispositivo óptico que comprende una matriz de píxeles de 3 x 3, comprendiendo cada uno un conjunto de subpíxeles, en el que los subpíxeles están diseñados, cada uno, de manera similar al dispositivo óptico de la figura 1, pero con diferentes espesores de separador, de acuerdo con las realizaciones;
- 25 las figuras 8 y 9 son unas vistas en sección transversal bidimensionales (2D) de dispositivos ópticos, de acuerdo con las realizaciones adicionales que implican una disposición de vías pasantes transversales, donde la corriente de calentador se drena en el reflector (figura 8) o en un electrodo común (figura 9);
- 30 las figuras 10-12 son unas vistas (parciales) en sección transversal bidimensionales (2D) de unos dispositivos de visualización, de acuerdo con las realizaciones, que implican una disposición de vías pasantes verticales, como en la figura 8. En cada caso, se representan tres píxeles (solo), por razones de concisión. En la figura 10, las capas continuas se usan para formar capas de recubrimiento, la capa PCM y la capa separadora, mientras que las figuras 11 y 12 representan la configuración desplazada, que implica partes de capa distintas; y
- 35 la figura 13 es un diagrama esquemático de un dispositivo de visualización, a nivel de sistema, de acuerdo con las realizaciones que implican un electrodo común, como en la figura 9.
- 40 Los dibujos adjuntos muestran representaciones simplificadas de dispositivos o partes de los mismos, como se implica en las realizaciones. Las características técnicas representadas en los dibujos no están necesariamente a escala. A los elementos similares o funcionalmente similares en las figuras se les ha asignado las mismas referencias numéricas, a no ser que se indique lo contrario.

45 Descripción detallada de realizaciones de la invención

La siguiente descripción está estructurada de la siguiente manera. En primer lugar, se describen unas realizaciones generales y variantes de alto nivel (sec. 1). La siguiente sección aborda realizaciones más específicas y detalles de implementación técnica (sec. 2).

50 1. Realizaciones generales y variantes de alto nivel

En referencia a las figuras 1 - 3, en primer lugar se describe un aspecto de la invención, que se refiere a un dispositivo óptico 1 que comprende una estructura de capas única 2. Básicamente, el dispositivo 1 comprende un reflector óptico 15, un separador óptico 14, un material de cambio de fase 10, o PCM, un elemento de calentamiento 17 y un controlador 19, 19a.

El reflector 15 y el separador 14 son ambos térmicamente conductores. El separador 14 puede transmitir la luz y está dispuesto encima del reflector 15.

60 El PCM 10 está dispuesto encima del separador 14. Este se selecciona con el fin de tener dos (o más) estados reversiblemente conmutables (preferentemente permanentes), en los que muestra dos valores sustancialmente diferentes de índice de refracción n (por ejemplo, n difiere en al menos 0,2, tal como se trata a continuación). Más en general, los PCM actuales podrían elegirse con el fin de que su índice de refracción y/o su absorción óptica puedan conmutarse. Los PCM tal como se contemplan en el presente documento pueden conmutarse de manera reversible bajo la aplicación de un pulso de calor. Tales materiales se conocen *per se*. Ejemplos de materiales que son más

adecuados para el presente fin se tratan más adelante. En lo siguiente sin embargo, los mecanismos de conmutación descritos se refieren esencialmente a las propiedades del índice de refracción de los PCM, por simplicidad.

5 Extraordinariamente, el elemento de calentamiento 17 se localiza opuesto al PCM 10 con respecto al reflector 15, es decir, en el otro lado del reflector 15, y por lo tanto no está en contacto directo con el PCM. Todavía, de acuerdo con la configuración anterior, el elemento de calentamiento 17 está en comunicación térmica con el PCM 10 a través del reflector 15 y el separador 14. No obstante, el PCM 10 está aislado eléctricamente del elemento de calentamiento 17. Puede proporcionarse una capa adicional térmicamente conductora pero eléctricamente aislante 18 para ese fin. En variantes, el reflector puede estar diseñado como un espejo dieléctrico, tal como se trata a continuación.

10 Por otra parte, el controlador 19, 19a está configurado en general para energizar el elemento de calentamiento 17, para calentar el PCM 10 y cambiar de este modo de manera reversible el índice de refracción del PCM 10. El controlador 19 se configura normalmente para aplicar una corriente o tensión al elemento de calentamiento 17, para calentar este último y cambiar de este modo el PCM. Cuando el elemento de calentamiento se calienta, el calor se transmite rápidamente al PCM a través del reflector 15 y el separador 14 (que son térmicamente conductores), con el fin de calentar el PCM y permitir de este modo que se conmute de un estado a otro. Es posible que se deban aplicar señales distintas para conmutar el PCM a los distintos estados.

15 La conmutación se logra en este caso gracias a un elemento de calentamiento 17 en lugar de aplicar una tensión o corriente directamente (o indirectamente) al PCM 10. El elemento de calentamiento se proporciona preferentemente como una capa, completando de este modo la pila de capas 10, 14, 15. Es decir, el elemento de calentamiento 17, el reflector 15, el separador 14 y el PCM 10 se apilan como capas a lo largo de la dirección de apilamiento z de la estructura de capas 2.

20 Obsérvese que los diversos elementos 17, 15, 14 y 10 forman una secuencia correctamente ordenada en la estructura 2. E incluso, tales elementos no son necesariamente inmediatamente consecutivos. Es decir, la secuencia puede comprender una o más capas adicionales insertadas en la secuencia, tales como, por ejemplo, la capa 18, La figura 1. E incluso, cualquier capa adicional debería tener propiedades físicas adecuadas con el fin de mantener la ruta térmica deseada y la barrera eléctrica entre el calentador 17 y el PCM 10.

25 Las capas 10 - 17 preferentemente tienen todas las mismas dimensiones laterales x, y (perpendicularmente a la dirección de apilamiento z). La estructura 2 puede tener dimensiones laterales sustancialmente constantes a lo largo de z, con el fin de formar una estructura sobresaliente compacta 2, y por lo tanto favorecer la propagación uniforme de calor a lo largo de z. Esto, a su vez, ayuda a lograr una conmutación uniforme y optimizar el consumo de energía. No obstante, no es crítico tener dimensiones laterales sustancialmente idénticas en la pila de capas, como en la figura 1, siempre que el calor pueda transferirse satisfactoriamente al PCM.

30 En particular, las dimensiones laterales del elemento de calentamiento 17 pueden coincidir esencialmente con las de los elementos superiores 10-15, o ser ligeramente más grandes, con el fin de favorecer la transferencia de calor. Los espesores de los diversos elementos 17, 15, 14 pueden elegirse además con el fin de optimizar las propiedades térmicas. Más en general, los dispositivos actuales están diseñados con el fin de favorecer una conmutación uniforme, sobre una gran parte del PCM 10 o, si es posible sobre una parte importante del mismo.

35 Ventajosamente, la localización del calentador 17 no perturba la secuencia ordenada de las capas 10 - 14 - 15, que puede, a su vez, optimizarse en términos de sus propiedades ópticas.

40 En particular, esto permite ajustar el espesor del separador, por ejemplo, para cada subpíxel, con el fin de aprovechar los efectos de interferencia que dependen del índice de refracción del PCM 10 y el espesor del separador 14, como se observa en la sección de sumario. Por lo tanto, no es necesario usar filtros de color. En unas realizaciones preferidas, los dispositivos actuales están, por lo tanto, libres de filtros de color, aunque tales filtros pueden usarse, complementariamente al separador, si es necesario, en variantes. Asimismo, los dispositivos actuales pueden incluir atenuadores ópticos o atenuadores electroópticos o, todavía, cualquier filtro configurado para crear el tono de pantalla correcto.

45 Además, no es necesario que el elemento de calentamiento 17 pueda transmitir luz, como si estuviera en contacto directo con el PCM, es decir, encima del reflector. En cambio, puede optimizarse con respecto a sus propiedades eléctricas/térmicas deseadas (por ejemplo, una alta resistencia). El calentador se intercala preferentemente en una capa conductora de baja resistividad 21, debajo del reflector 15, para optimizar la conversión de energía mientras se energiza la capa 21 y se minimiza el consumo de energía, como se ilustra en la figura 1. Esto simplifica aún más la estructura general, en la medida en que los únicos contactos eléctricos están en la parte trasera de la estructura 2, sin electrodos intercalando las regiones ópticas activas que se necesitan.

50 Gracias a la arquitectura de capa actual, los subpíxeles grandes pueden fabricarse más fácilmente (y direccionarse eléctricamente), siendo cada uno capaz de proporcionar un color diferente. El calentador se elige preferentemente con el fin de que tenga una baja resistencia y se active usando la tecnología CMOS convencional. Los dispositivos ópticos actuales pueden realizarse normalmente como subpíxeles o píxeles controlados en un dispositivo de visualización.

Los subpíxeles pueden tener separadores de espesores sustancialmente distintos para proporcionar diferentes colores, como se trata más adelante en detalle en referencia a la figura 7.

5 Obsérvese que las capas 10 - 17 no tienen que ser planas necesariamente; en cambio, podrían estructurarse, aunque en general se apilarán a lo largo de la dirección de apilamiento z. En particular, el calentador puede estructurarse para mejorar el perfil de temperatura a través del mismo y, de este modo, la conmutación.

10 En general, una capa de recubrimiento transparente 16 está dispuesta en la parte superior del PCM 10, una superficie 16s que define la superficie de visualización, como se ve en la figura 1.

15 Los espesores de las capas 14 - 18 están normalmente entre 10 nm y 250 nm. Los espesores óptimos dependen del tamaño de diseño y los coeficientes térmicos deseados. El espesor del PCM 10 puede, no obstante, estar entre 0,5 nm y 500 nm, en función del material realmente usado y la aplicación buscada. E incluso, los espesores de PCM preferidos están entre 1 nm y 80 nm, que será, en general, suficiente para lograr las propiedades ópticas requeridas. Al usar un PCM tal como un GST, un GeTe (en adelante GT) o un AIST (o un material similar), un espesor suficiente está normalmente entre 3 y 15 nm, como se trata más adelante.

20 Se desea un grado mínimo de transparencia para las capas 16, 10 y 14. Por lo general, se necesita al menos un 10 % de transmitancia de luz incidente. Para la capa PCM, por lo general, se necesita un mínimo de un 1 %. Los valores exactos de transmitancia dependen del espesor real de las capas. El reflector 15 necesita normalmente ser ópticamente grueso. Por ejemplo, si la capa reflectora 15 puede estar fabricada esencialmente de plata y tener un espesor de al menos 60 nm y, preferentemente, de al menos 100 nm. El reflector tiene preferentemente una reflectancia de más del 80 %, el 90 % o incluso el 95 %, de media, sobre el intervalo de longitudes de onda de interés.

25 Las dimensiones laterales (promedio) de la estructura 2 pueden ser, por ejemplo, de al menos 0,35 μm . Todavía, el enfoque actual permite, en principio, dimensiones mucho mayores, por ejemplo, mayores de 1, 5, 10, 50 o 100 μm . Pueden contemplarse dispositivos con dimensiones laterales (promedio) aún mayores, por ejemplo, mayores de 1, 10 o 100 mm. Confiar en una conmutación inducida por el calor permite conmutar partes más grandes, que, a su vez, permiten mayores dimensiones laterales. La dimensión lateral de la estructura de capa depende en gran medida de la aplicación, la arquitectura y los materiales usados.

30 Con respecto a las propiedades del PCM: normalmente se necesita una diferencia de al menos 0,2 para los índices de refracción en los dos estados. Por ejemplo, uno puede tener $n = 2,4$ en el estado de alto índice de refracción y $n = 1,6$ en el estado de bajo índice de refracción. La diferencia de los índices de refracción en los dos estados, en general, oscilará entre 0,2 y 4. Los valores típicos de los índices de refracción y los coeficientes de extinción para GeSbTe y los materiales relacionados pueden encontrarse, por ejemplo, en "WHP Pernice y H. Bhaskaran, Photonic non-volatile memories using phase change materials, Applied Physics Letters, 101, 011243 2012", véase en particular la figura 2a.

40 El perfil de temperaturas que puede alcanzarse en el PCM en general puede estar normalmente en el intervalo de 500 - 600 $^{\circ}\text{C}$ para GST, o incluso más alto (> 600 $^{\circ}\text{C}$), como se muestra mediante simulaciones (véase la figura 4). Obsérvese que no hay una forma práctica de medir el perfil de calor real en el PCM (especialmente en el contexto actual, donde el PCM está aislado). Depende del material, y no todos los materiales conmutan a las mismas temperaturas, de ahí el interés de las simulaciones.

45 Los PCM preferidos son materiales que favorecen la conmutación uniforme (masiva), es decir, implicando una gran parte del material en el proceso de conmutación, a diferencia de la conmutación filamentaria. Obsérvese que la formación de filamentos múltiples (paralelos) puede llegar eventualmente a ser también una conmutación y convocatoria masiva. E incluso, si el espesor del PCM es demasiado alto, esto puede no garantizar una conmutación adecuada, de ahí la necesidad de restringir el espesor de la capa PCM, como se ejemplifica a continuación.

50 Preferentemente, las realizaciones actuales usan sistemáticamente un reflector y no necesitan una unidad de retroiluminación. Todavía, en variantes, una unidad de retroiluminación puede estar implicada, ya sea para pantallas reflectantes de tipo transmisivo u otras aplicaciones como el acristalamiento o la modulación de luz en la transmisión.

55 Varios factores contribuirán a mejorar la conmutación, como se evoca anteriormente. Entre otras cosas, las dimensiones verticales de las capas 10 - 18 afectarán a la uniformidad de la conmutación. Por ejemplo, un PCM demasiado grueso puede favorecer la conmutación filamentaria. Por consiguiente, en las realizaciones, para PCM típicos como se evoca en el presente documento, el espesor promedio del PCM 10 está entre 0,5 nm y 500 nm (y preferentemente entre 1 nm y 80 nm, o incluso entre 3 nm y 15 nm), para mitigar la conmutación filamentaria (se supone un intervalo cerrado a lo largo de la presente descripción, es decir, incluidos los puntos finales, a menos que se indique lo contrario). Por su parte, restringir los espesores de las capas intermedias 14, 15 permite una mejor propagación de calor (y por lo tanto requiere menos potencia). Por consiguiente, el espesor promedio del reflector 15 estará normalmente entre 50 nm y 1 μm . Ya que el papel del separador es determinar los efectos de interferencia óptica (que dependen en particular del espesor de este último), el espesor del separador está restringido
65 preferentemente a ser, de media, entre 40 nm y 300 nm.

En general, se ha descubierto que las propiedades dimensionales anteriores no tienen un impacto demasiado severo en la propagación de calor y favorecen una conmutación uniforme, especialmente donde se usa GST, GT o AIST (o un material similar) para el PCM. Por el contrario, las dimensiones laterales no están limitadas, como se ha dicho.

5 Como se ha evocado anteriormente, se proporciona preferentemente un material eléctricamente aislante 18 entre el elemento de calentamiento 17 y el reflector 15, con el fin de aislar esencialmente, eléctricamente, el reflector 15 del elemento de calentamiento 17. En variantes, el reflector 15 puede estar diseñado como un espejo dieléctrico, con el fin de actuar como una barrera eléctrica. No obstante, un espejo dieléctrico de este tipo puede implicar normalmente varias capas de materiales. Por lo tanto, a menudo es más simple proporcionar una capa eléctricamente aislante 18 en lugar de diseñar un espejo dieléctrico multicapa.

10 Como se ilustra en las figuras 1 - 3, el elemento de calentamiento 17 es preferentemente un elemento de calentamiento resistivo 17 y el controlador 19, 19a está configurado para aplicar una corriente y/o una tensión al elemento de calentamiento 17, para calentar este último y, a su vez, calentar el PCM 10 y hacerlo conmutar. Preferentemente se aplica un pulso de tensión, en lugar de una corriente. Aunque los dispositivos pueden contemplarse donde se obtiene la corriente, puede ser más difícil, en la práctica, generar una corriente que una tensión en dispositivos reales. Los circuitos eléctricos 19 simples y ejemplares mostrados en las figuras 1 y 3 hacen posible aplicar pulsos de tensión y conmutar de este modo el PCM. Pueden contemplarse actuaciones más sofisticadas 19a, tales como el circuito FET ilustrado en la figura 2, que se describe en detalle en la sec. 2. En todos los casos, no se necesita una configuración de circuito de barras cruzadas y, por lo tanto, no se prefiere.

15 Como se ilustra adicionalmente en las figuras 1, 3, el controlador 19 puede comprender, por ejemplo, dos terminales 191, 192 que hacen contacto, cada uno, con una capa eléctricamente conductora 21, que comprende el elemento de calentamiento 17, con el fin de aplicar una tensión o una corriente al elemento de calentamiento 17. Esta configuración simplifica la estructura de capa general, como se ha observado anteriormente (sin necesidad de configuraciones de barras cruzadas). Como se ve adicionalmente en la figura 1 o 3, el elemento de calentamiento 17 está preferentemente intercalado en la capa eléctricamente conductora 21, a nivel de la estructura de pilar 2, con el fin de "interrumpir" la capa 21 y maximizar de este modo la conversión de potencia a calor. Dos partes residuales 211, 212 de la capa eléctricamente conductora 21 están dispuestas en los lados laterales respectivos del elemento de calentamiento 17, en contacto con el mismo, que hacen contacto con uno de los terminales 191, 192.

20 La configuración anterior, por la que un calentador 17 se intercala en una capa conductora 21, puede formar un componente básico de una disposición de electrodos para, por ejemplo, un dispositivo de visualización, que implica una pluralidad de electrodos horizontales y/o verticales para direccionar los subpíxeles de la pantalla. Cabe destacar que, contrario a la geometría supuesta en la figura 1, las partes residuales 211, 212 no necesitan estar necesariamente dispuestas en los lados laterales opuestos del calentador 17. En lugar de extenderse como una línea recta, los elementos 17, 21 pueden de hecho modelarse de manera diferente, por ejemplo, para permitir que se calienten píxeles más grandes.

25 En variantes, el calentador 17 puede formarse como una serpentina (como se supone en las realizaciones de las figuras 8-12), en lugar de una parte de capa. En ese caso, la serpentina está esencialmente dispuesta en un volumen opuesto al PCM 10 con respecto al reflector 15 (al igual que la parte de capa 17 en la figura 1). Un calentador de serpentina puede hacerse contacto a través de vías que se extienden a través de un sustrato que soporta la estructura. La serpentina está preferentemente enrollada estrechamente, con el fin de distribuir el calor de la manera más uniforme posible. Las figuras 8 - 12 se describen más adelante en detalle.

30 Actualmente, se tratan los PCM preferidos. El PCM 10 puede comprender, por ejemplo, uno o más de los siguientes compuestos: GeSbTe, VOx, NbOx, GeTe, GeSb, GaSb, AgInSbTe, InSb, InSbTe, InSe, SbTe, TeGeSbS, AgSbSe, SbSe, GeSbMnSn, AgSbTe, AuSbTe y AISb. E incluso, pueden usarse otros materiales, que comprenden combinaciones químicas de los elementos citados anteriormente. En particular, el PCM puede ser un compuesto o una aleación de una combinación de elementos citados anteriormente, es decir, seleccionados de entre Ag, Al, Au, Ga, Ge, En, Mn, Nb, O, S, Sb, Se, Sn, Te y V.

35 Sin embargo, preferentemente, el PCM 10 comprende Ge₂Sb₂Te₅ (conocido como GST). Otro material adecuado es Ag₃In₄Sb₇Te₁₇ (también conocido como AIST). En otros ejemplos, uno puede usar GeTe (GT), preferentemente en una proporción no igual de Ge y Te, lo que puede ser ventajoso ya que esto permite tiempos de cristalización más lentos para zonas más grandes.

40 Más en general, se entiende que pueden contemplarse diversas formas estequiométricas de los materiales anteriores. Por ejemplo, pueden contemplarse varias formas estequiométricas para Ge_aSb_bTe_c, donde {a, b, c} = {1, 2, 4}, {4, 1, 5}, {8, 2, 11}, {6, 2, 9} o {4, 2, 7}.

45 Por otra parte, el compuesto PCM puede comprender impurezas y/o dopantes. Por ejemplo, puede doparse, por ejemplo, con uno o más de Si, C y N, que puede ser útil para controlar mejor parámetros tales como la temperatura de transición y la velocidad de transición.

El elemento de calentamiento 17 puede incluir, por ejemplo, un metal o una aleación de metal que muestre resistividad y una conductividad térmica sustancialmente alta. Por ejemplo, el elemento calentador resistivo 17 puede formarse a partir de nitruro de titanio (TiN), nitruro de tantalio (TaN), níquel cromo silicio (NiCrSi), níquel cromo (NiCr), Tungsteno (W), Titanio-tungsteno (TiW), platino (Pt), Tantalio (Ta), molibdeno (Mo), Niobio (Nb) o Iridio (Ir), o cualquiera de una variedad de metales o aleaciones de metales similares que tengan las propiedades deseadas. El calentador 17 tiene una temperatura de fusión más alta que la temperatura de fusión del PCM 10, para habilitar los pulsos de calor necesarios.

Ejemplos de posibles materiales para la capa eléctricamente conductora 21 pueden ser TiN, TaN o Al.

La capa de barrera 18 puede formarse en particular de SiO₂, SiN, AlN, carburo de silicio (SiC), diamante (C) o cualquier otro material que tenga conductividades térmicas y resistividad eléctrica adecuadas.

La Tabla I a continuación da un ejemplo de una combinación de materiales que pueden usarse, en las realizaciones, junto con su conductividad eléctrica (S/m) y sus conductividades térmicas (W/m.K).

Tabla I: ejemplo de una combinación de materiales preferidos para dispositivos ópticos de acuerdo con las realizaciones

Elemento (capa)	Referencia	Compuesto	Conductividad eléctrica	Conductividad térmica
Calentador	17	Estaño	210 ⁵	28,84
Capa eléctricamente conductora	21	NiCr	10 ⁶	11
Separador, barrera de recubrimiento y aislante	14, 16, 18	SiO ₂	0	1,4
Reflector	15	Ag	61,6 10 ⁶	429
PCM (amorfo)	10	GST	0,1	0,2
PCM (cristalino)	10	GST	10 ³	0,5

A continuación, se describe otro dispositivo óptico, que comprende varias estructuras de capas 2, 2a y 2b. Como se ilustra en la figura 7, un dispositivo de este tipo puede comprender un conjunto de estructuras 2, 2a, 2b para formar, por ejemplo, un píxel 100, como se muestra en la figura 7, o varios conjuntos de estructuras 2, 2a, 2b para formar una matriz 200 de píxeles. Un solo dispositivo 100 comprende un conjunto de separadores térmicamente conductores 14, 14a y 14b. Como antes, cada separador 4 descansa sobre un reflector 15. Extraordinariamente, los separadores tienen espesores sustancialmente diferentes. El dispositivo comprende además un conjunto de materiales de cambio de fase 10, o PCM, que forma, junto con los separadores y los reflectores, unas estructuras de capa 2, 2a, 2b. En cada una de las estructuras de capa 2, 2a, 2b, un PCM 10 está dispuesto encima de uno respectivo de los separadores. Como antes, un PCM 10 tiene al menos dos estados reversiblemente conmutables, en los que muestra dos valores diferentes de índice de refracción. Los elementos de calentamiento 17 se proporcionan opuestos a los respectivos PCM 10 y separadores 14, 14a, 14b, con respecto a un reflector 15. Cada calentador 17 está en comunicación térmica con un PCM 10 respectivo a través de un separador y un reflector pero, de nuevo, se aísla eléctricamente de su PCM 10 respectivo, por ejemplo, gracias a una capa de barrera 18. Un controlador (no mostrado en la figura 7) está configurado además para energizar de manera independiente los elementos de calentamiento, con el fin de calentar de manera independiente los PCM y cambiar de este modo de manera reversible un índice de refracción de los mismos. Como resultado, El índice de refracción de cada uno de los PCM puede controlarse de manera independiente a través del controlador.

De nuevo, puede proporcionarse una capa de recubrimiento 16, en cada una de las estructuras 2, 2a, 2b o como una sola capa que reviste todas las estructuras (subpíxeles) 2, 2a, 2b.

Cada estructura 2, 2a, 2b comprende: un calentador 17; un reflector 15, un separador 14, 14a, 14b y un PCM 10 encima del separador, que se apilan sucesivamente a lo largo de la dirección z. Todas las consideraciones anteriores (especialmente en términos de materiales, espesores) tratadas en referencia a la estructura única 2 de las figuras 1 y 3 pueden aplicarse de manera equivalente a cada una de las estructuras 2, 2a y 2b.

En la figura 7, las estructuras de capa 2, 2a, 2b se supone que son subpíxeles, que todas juntas forman un píxel. Un píxel puede, en variantes, comprender más de 3 subpíxeles.

La luz entra y sale a través de la superficie superior 16 segundos de cada subpíxel, Como en la figura 1. Debido a los efectos de interferencia que dependen del índice de refracción del PCM 10 y el espesor de cada separador 14, 14a, 14b, la reflectividad varía significativamente en función de las longitudes de onda de la luz en cada caso, pero diferente para cada uno de los subpíxeles 2, 2a, 2b, ya que los espesores de los separadores difieren. Dicho de otro modo, las partes de separador están dimensionadas de manera diferente para conferir, a cada uno de los subpíxeles, distintas reflectividades dependientes de la longitud de onda a la luz que entra en cada subpíxeles. Es decir, cada subpíxel puede encenderse (gracias a la conmutación PCM), pero con un color distinto (gracias a los distintos espesores del separador), sin necesitar filtros adicionales o similares.

Como se evoca anteriormente, en aplicaciones de visualización, un dispositivo 200 implicará un conjunto de píxeles 100, comprendiendo cada uno un conjunto de estructuras de capas 2, 2a, 2b tal como se ha descrito anteriormente. Por ejemplo, puede fabricarse una matriz de píxeles PCM en la parte superior de una matriz de dispositivos FET/TFT.

5 Puede usarse un circuito de control modificado 19a (como en la figura 2) para ese fin, que implica, un FET 22 para controlar cómo se aplica calor a los píxeles. En variantes, una matriz de píxeles PCM 200 puede realizarse como una pantalla PCM pasiva, usando dispositivos no lineales tal como un Mott memristor como dispositivos de acceso.

10 En las realizaciones, los controladores 19, 19a se configurarán preferentemente para energizar de manera independiente los elementos de calentamiento 17. En función del PCM usado, cada elemento 17 puede necesitar energizarse de acuerdo con dos (o más) señales distintas, con el fin de aplicar dos (o más) pulsos de calor distintos, para conmutar de manera reversible un PCM 10 a dos (o más) estados conmutables, respectivamente. Esto creará dos (o más) perfiles de calor temporal distintos P_1 , P_2 , según se necesite para conmutar de manera reversible el PCM 10 a dos (o más) estados conmutables, Como se ilustra en las figuras 5 y 6.

15 Esto se describe ahora en detalle en referencia a otro aspecto de la invención, que puede realizarse como un método para controlar un dispositivo óptico tal como se describe en el presente documento. Más básicamente, los métodos actuales giran en torno a energizar repetidamente, a través de un controlador 19, 19a, un elemento de calentamiento 17, con el fin de calentar un PCM respectivo 10 y cambiar de manera reversible un índice de refracción de este último.

20 Como se evoca anteriormente, el PCM normalmente puede necesitar la aplicación de dos (o más) señales distintas, con el fin de aplicar dos (o más) pulsos de calor distintos.

25 Por ejemplo, y como se ilustra en la figura 5, el controlador puede energizar S_1 un elemento de calentamiento 17, durante un tiempo t_1 , calentar dicho PCM de acuerdo con un primer perfil de calor temporal P_1 y conmutar de este modo dicho PCM de un primer estado (amorfo) a un segundo estado (cristalino). Entonces, el controlador puede energizarse posteriormente S_2 el elemento de calentamiento 17 durante un tiempo t_2 , calentar dicho PCM de acuerdo con un segundo perfil de calor temporal P_2 y conmutar de este modo dicho PCM nuevamente al primer estado (amorfo). Como se ve en las figuras 5 y 6, el primer perfil de calor temporal P_1 muestra una temperatura máxima T_1 y el segundo perfil P_2 muestra una temperatura máxima T_2 . Además, se aplican las siguientes desigualdades: $t_1 > t_2$ y $T_2 > T_m > T_1 > T_c$, donde T_m y T_c corresponden respectivamente a una temperatura de fusión y una temperatura de cristalización de dicho PCM (véase la sec. 2).

30 En particular, la primera señal S_1 aplicada (que conduce a P_1) puede que tenga que diseñarse con precaución, con el fin de que el tiempo (llámese $t_{caída}$) durante el que la temperatura vuelve a caer de T_1 a T_{PCM} sea lo suficientemente largo, por ejemplo, al menos 3 veces más largo que el tiempo de volver a ser amorfo (el tiempo necesario para que el PCM vuelva a ser amorfo), para permitir una cristalización estable.

35 Las señales S_1 , S_2 aplicadas pueden ser pulsos de corriente (como se supone en las figuras 5 y 6), que, en variantes, pueden tener diferentes amplitudes (contrario al escenario supuesto en las figuras 5 y 6). Esto, a su vez, puede afectar a los tiempos de aplicación t_1 y t_2 necesarios para conmutar adecuadamente el PCM. En otras variantes, uno puede preferir aplicar un pulso de tensión, por las razones tratadas anteriormente.

40 Las realizaciones específicas de los presentes métodos se tratan con más detalle en la sec. 2, con respecto a los dispositivos ópticos preferidos.

45 Por "amorfo", se entiende que el PCM 10 está, en su estado "amorfo", esencialmente no cristalino y carece de un orden de largo alcance. Puede existir un orden de corto alcance, pero con desviaciones sustanciales de las distancias interatómicas y/o ángulos de interrelación con respecto a las formas cristalinas conocidas de este compuesto 10 (por ejemplo, con al menos un 5 % de desviación). Ahora, "amorfo", sin embargo, debería entenderse ampliamente, en la medida en que el compuesto 10 en su estado "amorfo" puede comprender pequeñas regiones no amorfas, por ejemplo, regiones microcristalinas o nanocristalinas. No obstante, se supone que un PCM 10 en un estado amorfo como se contempla en el presente documento permanece esencialmente (y posiblemente completamente) amorfo, en otras palabras, esencialmente no cristalino.

50 De manera similar, el PCM 10 está, en su estado "cristalino", esencialmente cristalino y muestra un orden de largo alcance. Normalmente será policristalino, por ejemplo, esencialmente fabricado de regiones microcristalinas o nanocristalinas. E incluso, el compuesto 10 en su estado "cristalino" puede comprender pequeñas regiones amorfas.

55 Aunque las realizaciones anteriores se refieren a estados conmutables que corresponden a fases (esencialmente) cristalinas y (esencialmente) amorfas, debería tenerse en cuenta que puede operarse un PCM, en las realizaciones, que puede conmutarse entre dos fases sólidas, incluyendo, pero no limitado a: cristalina a otra fase cristalina o cuasicristalina o viceversa; amorfa a cristalina o cuasicristalina/semiordenada o viceversa, y todas las formas adecuadas en el medio (siempre que los estados correspondientes permitan índices de refracción distintos). Además, pueden implicarse más de solo dos estados.

La invención puede realizarse además como un dispositivo de visualización. Ejemplos de los dispositivos de visualización 1c – 1f, se representan esquemáticamente en las figuras 8-13. Los dispositivos de visualización actuales 1c - 1f, implican normalmente varios dispositivos ópticos como los descritos anteriormente, con el fin de formar un conjunto de píxeles, teniendo cada uno una estructura de capas 2c - 2f. E incluso, algunos de los componentes de los dispositivos ópticos pueden compartirse entre píxeles de los dispositivos de visualización, como se trata más adelante en referencia a las figuras 10 - 12.

En todos los casos, los dispositivos de visualización actuales 1c - 1f comprenden píxeles, cuya estructura de capas 2c - 2f incluye al menos un PCM 10 (o, al menos, una parte conmutable de una capa PCM) y un elemento de calentamiento 17, que se configura preferentemente como una serpentina, como se ha evocado anteriormente. El calentador está aislado eléctricamente del PCM 10 pero en comunicación térmica con el mismo, consistentemente con los principios ya descritos.

Los presentes dispositivos de visualización comprenden además un controlador (que comprende, por ejemplo, los elementos 31, 32, 41, 42 como los representados en la figura 13) y, consistentemente con los principios ya descritos anteriormente, el controlador puede usarse para energizar cualquiera de los píxeles, con el fin de calentar de manera independiente un PCM del mismo, para conmutar de este modo de manera reversible su índice de refracción.

Además, tales dispositivos 1c – 1f comprenden además una disposición de pares de electrodos 221, 222, véase la figura 13, en la que cada uno de los pares de electrodos están en comunicación eléctrica con un elemento de calentamiento 17 de uno de los píxeles 2c - 2f, con el fin de que cada uno de los píxeles pueda direccionarse individualmente por el controlador.

Preferentemente, se usan las vías transversales 41, 42, con el fin de permitir las comunicaciones eléctricas hacia y desde el calentador 17, que, a su vez, hace posible aumentar el factor de relleno (píxel), mientras se mantiene una fabricación relativamente simple. Una solución de este tipo permite obtener una matriz direccionada a la matriz de píxeles basada en PCM, en la que los electrodos de fila y columna 221, 222 y otros elementos de interconexión 41, 42 se asientan debajo de los elementos de calentador 17. Las vías 41, 42 están normalmente embebidas en una o más barreras térmicamente conductoras, aun eléctricamente aislantes 18, 18a.

En particular, y como se representa en las figuras 8-13, cada uno de los pares de electrodos está preferentemente en comunicación eléctrica con un elemento de calentamiento 17 (de uno de los píxeles 2c - 2f) a través de una vía 41 que se extiende paralela a una dirección de apilamiento z de las estructuras de capas de los píxeles.

En los ejemplos de las figuras 8 - 12, la vía transversal 41 está en contacto eléctrico con el terminal de drenaje de un transistor de película delgada 21 (de aquí en adelante, TFT), cuyo terminal de puerta y terminal de fuente están en contacto eléctrico con un electrodo respectivo 221, 222. Por lo tanto, la tensión aplicada en el terminal de puerta puede usarse para controlar la corriente entre el terminal de fuente y el terminal de drenaje del TFT, en operación.

En las realizaciones de las figuras 8, 9, el TFT 21 está desplazado con respecto a un punto de cruce formado por los electrodos 221, 222. La comunicación eléctrica se logra de este modo gracias a los brazos de electrodos auxiliares, formando una unión con uno respectivo de los electrodos 221, 222. Solo puede verse el brazo 221a en el plano de corte de las figuras 8, 9.

Es necesario aislar el punto de cruce de los electrodos de fila y columna, por ejemplo, usando un elemento dieléctrico o puente 225, como se conoce. El aislamiento puede, no obstante, proporcionarse ya por una capa en la que están embebidos los electrodos. Por ejemplo, el puente 225 puede fabricarse a partir de un material polimérico que en primer lugar se fabrica litográficamente sobre los electrodos de columna 222 en cada punto de cruce, por ejemplo, en forma de disco. El disco polimérico se calienta a continuación pasada la temperatura de transición vítrea de tal manera que cada disco forme una forma lenticular, que a continuación se enfría. La fabricación de los electrodos de fila sobre los electrodos de columna y la capa de puente 225 se realiza, con la forma lenticular del puente 225 guiando los electrodos de fila sobre cada punto de cruce mientras se minimizan los gradientes fuertes, lo que podría conducir a una mayor resistencia o fallos. En variantes, el puente puede fabricarse como un óxido o nitruro (por ejemplo, Si_3N_4), depositado a través de una máscara.

En variantes de TFT, podrían usarse elementos de conmutación resistivos (no mostrados). En ese caso, el controlador necesita estar configurado para energizar los píxeles a través de un respectivo elemento de conmutación resistivo (o RSE), con el fin de cambiar este último de un estado de alta resistencia a un estado de baja resistencia, con el fin de energizar un elemento de calentamiento respectivo en el píxel y, a su vez, cambiar de manera reversible un índice de refracción y/o una absorción de un PCM respectivo. Dichas variantes hacen posible filtrar las corrientes parásitas o las señales de tensión, tales como corrientes de "ruta parásita" o corrientes de fuga y similares, gracias a los RSE. Esto, a su vez, evita la conmutación involuntaria de los elementos PCM. Una solución de este tipo es específicamente beneficiosa para pantallas de direccionamiento de matriz pasiva. Los dispositivos de visualización actuales pueden, en consecuencia, opcionalmente incorporarse como pantallas de direccionamiento de matriz pasiva.

Contrariamente a los PCM 10, que son preferentemente biestables, los RSE anteriores deben ser monoestables

(siendo la alta resistencia el estado estable). Se conocen los RSE *per se*. La conmutación resistiva se refiere a un fenómeno físico que se produce en un material que cambia repentinamente su resistencia bajo la acción de, por ejemplo, un campo eléctrico o una corriente suficiente, o cualquier forma adecuada de calor localizado. Varias clases de materiales de conmutación, que van desde óxidos metálicos hasta calcogenuros, se han propuesto en el pasado, lo que puede contemplarse para el presente fin. El rendimiento de estos materiales se aprecia en particular en términos de consumo de energía, potencial de densidad de integración y resistencia. El RSE puede formar parte en particular de la vía 41 (en variantes de los TFT 21, que normalmente se proporcionan por separado), o estar en contacto eléctrico con los mismos.

En otras variantes de TFT, pueden usarse diodos u otros elementos electrónicos de película delgada para proporcionar la posibilidad de seleccionar la ruta de corriente a través de píxeles individuales.

En realizaciones como se representa en las figuras 8, 10 - 12, los dispositivos de visualización 1c, 1e, 1f dependen de los pares de vías desplazadas verticalmente 41, 42. Una primera vía 41, la vía transversal 41 está en contacto eléctrico con el terminal de drenaje del TFT 21, mientras que el elemento de calentamiento 17 está en comunicación eléctrica con el reflector 15 a través de una segunda vía 42. La vía 42 también se extiende paralela a la dirección de apilamiento z de la estructura de capas. En ese caso, el reflector 15 es eléctricamente conductor, de tal manera que una corriente que pasa a través del elemento de calentamiento 17 pueda drenarse a través del reflector 15, en operación.

En variantes, tal como se representa en la figura 9, el elemento de calentamiento 17 del dispositivo de visualización 1d está en comunicación eléctrica con un electrodo común 223 (véase la figura 13), a través de la vía 42a. Este último también se extiende paralelo a la dirección de apilamiento z de la estructura de capas. No obstante, en el ejemplo de la figura 9, cada una de las vías 41, 42a se extiende entre el plano promedio de los electrodos 221, 222 y el plano promedio del elemento de calentamiento 17 del píxel 2d, que permite obtener dispositivos menos profundos, *más finos*. En la realización de la figura 9, la corriente que pasa a través del elemento de calentamiento 17 se drena a través del electrodo común 223, en operación.

Como lo tocado anteriormente, algunos de los componentes de los dispositivos actuales 1, 1a - 1f pueden compartirse. Por ejemplo, En las figuras 10 y 12, el dispositivo de visualización 1c, 1f se basa en una única capa PCM continua 10. Así mismo, las únicas capas continuas se usan para formar las capas de revestimiento 16, 16a.

Por lo tanto, pueden contemplarse variantes de la figura 7, en las que una única capa PCM continua 10 se usa en lugar de un conjunto de partes de PCM distintas. De hecho, pueden contemplarse muchas variantes. Por ejemplo, las únicas capas continuas pueden usarse para formar cada uno del separador 14 y el reflector 15, como en la figura 10. E incluso, los espesores de los separadores 14 pueden variar de un píxel al otro, para aprovechar los efectos de interferencia como se ha tratado anteriormente, como se ilustra en las figuras 11 y 12.

Esto da lugar a píxeles de diferentes alturas en la figura 11 (debido a que en el presente documento el reflector 15 está formado como una capa continua y las estructuras inferiores 18, 18a, 41, 42 se repiten idénticamente de un píxel al otro, como en la figura 10). No obstante, si los reflectores 15 se desplazan verticalmente (y, por lo tanto, están formados por partes de capa separadas), las partes de capa aislantes 18 entre los calentadores 17 y el reflector 15s pueden tener espesores diferentes de un píxel (o subpíxel) al otro, con el fin de compensar los diferentes espesores de capa separadora, como en la figura 12. En este último caso, por lo tanto, el PCM uniforme y las capas de recubrimiento pueden depositarse mientras que los píxeles aún producirían colores diferentes.

La capa de recubrimiento 16 puede ser, por ejemplo, del mismo material que los separadores inferiores 14. Obsérvese que en las figuras 8 - 12, las capas de recubrimiento ópticamente gruesas o dispersas 16a se depositan en la parte superior de la capa de recubrimiento 16. Sin embargo, de manera más general, las capas de recubrimiento 16, 16a pueden comprender capas de material compuesto, es decir, pueden formarse por múltiples capas de materiales que tienen diferentes índices de refracción, con el fin de lograr las propiedades ópticas deseadas. La misma observación se aplica a la capa separadora (o a las partes de la capa separadora).

Por ejemplo, cualquiera o ambas de la capa separadora 14 y la capa de recubrimiento 16 pueden comprender unas capas "de material compuesto" de múltiples capas de material que tienen diferentes índices de refracción. De esta manera, se generan reflexiones interiores parciales adicionales en las interfaces de estas capas múltiples, proporcionando la posibilidad de modos de interferencia más complejos que pueden permitir un mayor control de los espectros de reflexión de los estados disponibles. Para ese fin, el índice de refracción de la capa de recubrimiento normalmente sería al menos 1,6, y preferentemente al menos 1,8, 2,0 o, incluso 2,2. Esto permite: (i) espectros de reflexión con alta reflectividad a generar en un intervalo estrecho de longitudes de onda, que producen colores más vivos y, por lo tanto, una gama de colores más grande; y (ii) espectros de reflexión deseados para que se sintonicen más independientemente en los múltiples estados del dispositivo.

De hecho, el experto en la materia apreciará que la mayoría de las capas de material (por ejemplo, las capas 10, 14, 15, 16, 17, 18, 18a), como se evoca en el presente documento, pueden de hecho descomponerse en una pila de subcapas, si es necesario estructuradas, para lograr o mejorar una función deseada. Incluso, la o las capas PCM 10 pueden descomponerse como un conjunto de capas PCM superpuestas, fabricadas de un mismo material (o no), y en

las que los pares contiguos de capas PCM posiblemente pueden estar separados por una capa térmicamente conductora (pero eléctricamente aislante).

5 Las realizaciones anteriores se han descrito sucintamente en referencia a los dibujos adjuntos y pueden adaptarse a una serie de variantes. Pueden contemplarse varias combinaciones de las características anteriores. Se dan ejemplos en la siguiente sección.

2. Realizaciones específicas - Detalles de implementación técnica

10 A continuación, se describen realizaciones específicas de dispositivos ópticos, que obedecen los mismos principios fundamentales desvelados en la sec. 1. En concreto, un elemento de calentamiento proporciona la capacidad de conmutación, mientras que el elemento ópticamente activo que contiene el PCM está separado del calentador por una barrera eléctricamente aislante pero térmicamente conductora.

15 Una ventaja de tales estructuras es que cada píxel puede conmutarse a través de una zona a escala de micrómetros, como en general se requiere para aplicaciones de visualización, o incluso zonas (mucho) más grandes, como es necesario, por ejemplo, para vidrios inteligentes. El calentador se coloca, en general, debajo de la estructura ópticamente activa del PCM, el separador y el espejo con el fin de desacoplar parcialmente las propiedades eléctricas y ópticas del dispositivo. Esto permite un control de diseño mucho mejor sobre las propiedades ópticas, abriendo
20 muchas aplicaciones de visualización que necesitan colores compatibles con RGB con el alto contraste y la saturación necesarios.

Finalmente, la ingeniería de interfaz es más sencilla ya que no hay más preocupaciones, por ejemplo, formación de óxido en la interfaces de PCM/electrodo (por ejemplo, ITO), mientras que el calentador puede tener ventajosamente una baja resistencia (en comparación con las soluciones de la técnica anterior) y puede activarse usando la tecnología
25 CMOS convencional.

2.1 Estructuras de capa

30 A continuación, se describen unas realizaciones específicas en referencia a la figura 1. Se proporciona una parte del material activo de estado sólido 10 en forma de una capa. El material de esta capa tiene un índice de refracción permanente, pero reversiblemente cambiante como resultado de una transición de una fase a otra. Por lo tanto, este material puede denominarse material de cambio de fase o PCM. Los PCM preferidos son GST, GeTe o AIST, como se ha tratado en la sec. 1.

35 El PCM 10 se proporciona en un reflector 15, que es preferentemente una capa de metal tal como platino o aluminio. Una capa separadora 14 se intercala entre el PCM 10 y el reflector 15. Se proporciona una capa de recubrimiento 16 en la parte superior del PCM 10. La superficie superior 16s de la capa 16 constituye la superficie de visualización del dispositivo de visualización 1, y el reflector 15 es un reflector posterior (por lo tanto, no se requiere una unidad de retroiluminación). La luz entra y sale a través de la superficie de visualización 16s como lo indican las flechas. Como
40 se ha observado anteriormente, debido a los efectos de interferencia que dependen del índice de refracción del PCM 10 y el espesor del separador 14, la reflectividad varía significativamente en función de las longitudes de onda de la luz, como se ilustra más abajo. Tanto el separador 14 como la capa de recubrimiento 16 pueden transmitir ópticamente, e idealmente son lo más transparentes posible.

45 Se conocen soluciones (véase, por ejemplo, el documento WO2015/097468 A1), donde el separador 14 y la capa de recubrimiento 16 están configurados además como electrodos para aplicar una tensión al PCM 10, intercalado entre estos electrodos. En tal situación, el separador 14 y la capa de recubrimiento 16 deben estar fabricados de un material transparente, eléctricamente conductor tal como el óxido de indio y estaño (ITO). En el enfoque actual, no se necesitan
50 tales restricciones y los materiales del 16 y 14 pueden diseñarse de manera óptima con respecto a sus propiedades ópticas únicas. Como puede realizarse, esto hace posible mejorar los rendimientos de los píxeles RGB en las pantallas.

En las soluciones actuales, Los cambios de fase en el PCM 10 se generan por pulsos de calor de un elemento calentador resistivo 17. La pila de capas 16, 10, 14, 15 está separada del calentador 17 por una capa de barrera 18,
55 que normalmente comprende SiO₂. La capa de barrera 18 aísla eléctricamente el calentador 17 del elemento PCM 20 pero proporciona una conexión térmica adecuada al calentador 17, véase la Tabla I en la sec. 1.

Por lo tanto, el calor del calentador 17 puede pasar a través de la capa 18 al PCM 10 para cambiar el estado del PCM de un estado cristalizado a un estado amorfo y, al contrario, siempre que se apliquen perfiles de calor adecuados,
60 como se ha explicado anteriormente en referencia a las figuras 5 y 6.

La estructura 2 mostrada en la figura 1 puede proporcionarse en un sustrato (debajo de la capa 21, no mostrado) tal como, por ejemplo, una oblea semiconductora, SiO₂, o un sustrato flexible tal como una película de polímero. Pueden
65 contemplarse otros tipos de obleas, si es necesario, por ejemplo, un panel de vidrio.

Las capas se depositan normalmente usando la deposición electrolítica, que puede realizarse a una temperatura

relativamente baja (por ejemplo, de 100 grados Celsius). Las capas también pueden modelarse usando técnicas de litografía convencionales u otras técnicas conocidas, por ejemplo, a partir de impresión. También pueden proporcionarse capas adicionales, si es necesario.

5 En unas realizaciones preferidas, el PCM 10 se compone esencialmente de GST, tiene menos de 80 nm de espesor, y preferentemente menos de 15 nm de espesor, por ejemplo, tiene un espesor de 6 a 7 nm. La capa separadora 14 crece para tener un espesor normalmente en el intervalo de 10 nm a 250 nm, en función de del color y las propiedades ópticas requeridas, tal como se trata a continuación. La capa de recubrimiento 16 tiene, por ejemplo, 20 nm de espesor. Las dimensiones laterales del calentador 17 (y toda la estructura 2) pueden ser, por ejemplo, de 1 micrómetro por 2
10 micrómetros. Más en general, el calentador 17 y la pila superior de capas 18, 15, 14, 10 tienen preferentemente las mismas dimensiones laterales, con el fin de "enfocar" el calor hacia la capa PCM y minimizar el calor transferido al sustrato, los electrodos, etc., que desperdician energía.

15 El PCM 10, en esta realización GST, puede sufrir un cambio de fase reversible inducido térmicamente. El calentador resistivo 17 se diseña preferentemente con el fin de proporcionar un pulso de calor rápido de nanosegundos al PCM 10. Otros materiales y espesores están diseñados para evitar que se entregue demasiado calor a las zonas adyacentes al calentador y al PCM, que de lo contrario podría provocar la conmutación parasitaria.

20 La figura 4 ilustra un modelo térmico de elementos finitos que usa el paquete multifísico COMSOL, basado en parámetros y materiales preferidos como los dados anteriormente. En la figura 4, el calentador está sujeto a un pulso de corriente de 1 microsegundo. Se produce un fuerte aumento de la temperatura debido al calentamiento de Joule. La figura 4 muestra que el perfil de temperatura (logrado en la pila de capas, que incluye el PCM) está suficientemente localizado espacialmente, mientras que tiene el pulso temporal fuerte correcto necesario para que el PCM 10 se vuelva amorfo.

25

2.2 Operaciones de conmutación

Los detalles de las operaciones de conmutación se ilustran en las figuras 5 y 6. Como se explica en la sec. 1, el elemento calentador resistivo 17 puede configurarse para recibir señales de control para conmutar el PCM 10 entre un estado cristalino y un estado amorfo. El elemento calentador resistivo 17 puede incluir, por ejemplo, un material de metal o aleación de metal que muestra resistividad y una conductividad térmica sustancialmente alta, como se ha ejemplificado anteriormente. Puede proporcionarse una señal como, por ejemplo, un pulso de corriente S_1 , S_2 para generar un perfil de calor correspondiente a partir del elemento calentador resistivo 17 a través del calentamiento Joule. Debido a la disposición del elemento calentador resistivo 17 con respecto al PCM 10, el perfil de calor puede transferirse térmicamente al PCM 10 para controlar el estado del dispositivo PCM.

Las señales aplicadas S_1 , S_2 tienen características de pulso (amplitud y duración) que determinan los perfiles de calor en el calentador 17 y, a su vez, el calor transferido al PCM 10. Por ejemplo, se proporciona una señal S_1 con unas primeras características al calentador 17 mientras el PCM 10 está en un estado amorfo, para configurar el PCM 10 a un estado cristalino. Por ejemplo, tal como se ilustra en la figura 5, la señal aplicada provoca un primer perfil de temperatura P_1 en el PCM (del elemento calentador resistivo 17). En respuesta a la aplicación de la primera señal al calentador 17, este último genera calor que se conduce al PCM 10 para inducir una temperatura T_1 mayor que la temperatura de cristalización T_c , pero menos que la temperatura de fusión T_m , y que sigue siendo mayor que T_c durante un tiempo suficiente para cristalizar el PCM 10, como se ilustra en el diagrama del lado derecho que representa esquemáticamente átomos de PCM dispuestos en una estructura sustancialmente cristalina (es decir, red cristalina).

De manera similar, puede proporcionarse una señal S_2 con unas segundas características mientras el PCM 10 está en un estado cristalino, que genera un segundo perfil de calor P_2 en el PCM, para configurar de nuevo el PCM 10 en un estado amorfo, tal y como se ilustra en la figura 6. En este caso, en respuesta a la aplicación de la segunda señal al elemento calentador resistivo 17, el elemento calentador resistivo 17 genera un segundo perfil de calor, por el que el calor se conduce al PCM 10. Esto resulta, en el PCM, en una temperatura T_2 que ahora es mayor que la temperatura de fusión T_m , para inducir una transición a una fase líquida. Permitiendo que la temperatura decaiga rápidamente después del borde de caída del pulso aplicado, da como resultado la solidificación de PCM 10 en el estado amorfo.

55 Los pulsos aplicados pueden ajustarse y refinarse, por ejemplo, por prueba y error, y basándose en todos los parámetros relevantes, comenzar con la naturaleza de los materiales 17, 18, 15, 14, 10 y sus dimensiones. A ese respecto, los materiales 14, 16, 18 pueden seleccionarse y diseñarse (especialmente en términos de espesor) con el fin de que tengan propiedades térmicas y eléctricas que garanticen una rápida disipación del calor del PCM 10, ya sea para mitigar la recristalización del PCM 10 posterior a la fusión (durante el proceso de volverse amorfo).

60

Las realizaciones de las figuras 5 y 6 suponen que cada señal aplicada es un pulso único. Posteriormente a su aplicación, el PCM 10 permanece estable en uno de entre el estado cristalino y el estado amorfo. Como resultado, el PCM se mantiene en un estado óptico dado sin que sea necesario mantener la alimentación, lo que lleva a un consumo de alimentación significativamente menor que las tecnologías de visualización convencionales. En principio, la conmutación puede realizarse un número ilimitado de veces. La velocidad de conmutación es muy alta, normalmente menos de 300 ns, es decir, mucho más rápida de lo que el ojo humano puede percibir. Además, los píxeles PCM

65

construidos de acuerdo con el presente enfoque pueden tener una zona relativamente grande, por ejemplo 5 x 10 micrones o incluso más grande, según se requiera para la aplicación. La zona activa de un píxel de este tipo, en comparación con el espacio vacío a su alrededor, es mucho más grande que un píxel de tipo barra cruzada convencional, que normalmente puede tener 100 nm de ancho y estar separado 100 nm, lo que lleva a una relación píxel - espacio vacío de 1:1. En comparación, pueden contemplarse realizaciones en las que, por ejemplo, los píxeles tienen, cada uno, dimensiones laterales de 100 x 100 nm y están separados 0,5 mm, lo que conduce a una relación de píxel - espacio vacío de 200:1. Por lo tanto, los píxeles de zona grande de acuerdo con las realizaciones pueden ser significativamente más eficaces, en términos de rendimiento óptico, que los dispositivos de la técnica anterior.

10 2.3 Circuito de control

Como se ve en las figuras 1 - 3, puede proporcionarse un controlador 19, 19a para aplicar la tensión/corriente necesaria durante el tiempo necesario para conmutar la capa de material 10. El controlador puede comprender una circuitería electrónica específica accionada por microprocesadores. Algunos (por ejemplo, los componentes 191, 192, 211, 212) o, en variantes, toda la circuitería del controlador puede proporcionarse integrada en un sustrato con las capas ópticas de la figura 1, o puede proporcionarse como una circuitería dedicada separada.

Se apreciará que cualquier pantalla que incorpore (sub)píxeles PCM como se desvela en el presente documento deberá configurarse como una matriz de dispositivos en múltiples capas y que dichos dispositivos deben poder conmutarse electrónicamente. Los dispositivos ópticos actuales son, en general, compatibles con conmutadores de dispositivos microelectrónicos convencionales tales como un transistor de efecto de campo (FET) convencional o, de manera alternativa, un TFT (como se evoca en la sec. 1), como habitualmente se emplea en pantallas LCD. Un circuito de conmutación a modo de ejemplo 19a se ilustra en la figura 2. Se aplica un pulso apropiado de nano a microsegundos como la tensión V_{WL} desde la línea de palabras hasta la puerta del FET 22 en la figura 2. Esto provoca un flujo de corriente a lo largo de la línea de bits desde V_{BL} y a través del calentador resistivo 17. El calentamiento de Joule conmuta a continuación el PCM 10 como se ha descrito anteriormente. La conmutación entre los estados amorfo y cristalino puede lograrse variando el período de tiempo del pulso como se ha descrito anteriormente. Se apreciará que se conocen otras disposiciones en la técnica que también son compatibles con los dispositivos actuales.

En la realización de la figura 13, el controlador se descompone en electrónica de control 40 y componentes 31, 32 dispuestos directamente en el sustrato de visualización 30. La electrónica de control comprende un convertidor de CC/CC 41 (es decir, un convertidor de tensión), que recibe la alimentación de CC 43 en la entrada, y controla los circuitos integrados, o CI, normalmente incorporados como circuitos integrados de aplicación específica, o ASIC 42. El CI 42 recibe la señal de datos 44 en la entrada y los controla, por un lado, los CI de accionador de puerta 32, conectados a la línea de fila (electrodos) 222, y, por otro lado, los CI de accionador de columna 31, conectados a la línea de columna (electrodos) 221. Cada par de líneas de línea-columna se conecta en este caso a un TFT 21, que, a su vez, se conecta a una vía 41 (véanse las figuras 8 - 12), con el fin de controlar la corriente a pasar a través de los calentadores 17, en operación.

40 2.4 Obturador óptico pixelado

Además, los dispositivos actuales también pueden combinarse con otros dispositivos de modulación o visualización de luz. Por ejemplo, con el fin de permitir que el reflejo de color conmutable de los dispositivos actuales aparezca en negro (para la visualización de imágenes de alto contraste), podrían combinarse con un obturador óptico pixelado adicional colocado entre los dispositivos y el espectador. Este obturador óptico adicional podría tener regiones de píxeles direccionables de manera independiente en registro con los píxeles del dispositivo reflectante conmutable, que transmiten o absorben selectivamente la luz. De esta manera, el obturador, o bien permite que el espectador observe el reflejo coloreado producido por el dispositivo óptico o lo bloquea para que aparezca negro.

El obturador puede proporcionar grados variables de transmisión con el fin de permitir un control gradual (escala de grises) de la cantidad de reflejo coloreado que se transmite.

El obturador adicional puede operarse por un controlador adicional de manera coordinada con un controlador como se ha descrito anteriormente. En una variante, podrían aumentarse los controladores 19, 19a y 31 - 42 con el fin de poder determinar el estado necesario para el obturador adicional en cada píxel para mostrar la imagen deseada, y, además, controlar el estado de reflexión conmutable.

El obturador adicional podría proporcionarse mediante diversos tipos de dispositivos que permiten conmutar de manera espacialmente controlada entre un estado de transmisión y un estado de absorción, por ejemplo, dispositivos de visualización de cristal líquido (LCD), LCD sin polarizador (incluidas las LCD dopadas con tinte o quirales), LCD bistables, dispositivos de electrohumectación o electroforéticos.

En el caso donde el obturador adicional comprenda dos sustratos que intercalan el material electroóptico activo (como es el caso con el dispositivo LCD y de electrohumectación), pueden contemplarse unas realizaciones de un dispositivo reflectante conmutable, que comprenden el sustrato inferior (espectador de forma más alejado) del dispositivo de obturador adicional, lo que simplifica la fabricación y permite reducir el espesor total del dispositivo combinado.

2.5 Ventajas de las soluciones actuales para aplicaciones de visualización

Como se ha tratado en el Sumario, el enfoque actual permite dos funciones ópticas. El elemento de calentamiento proporciona la capacidad de conmutación, para cambiar el índice de refracción del PCM. E incluso, la localización del calentador hace posible preservar una secuencia ordenada de capas en la subestructura ópticamente activa (PCM - separador - reflector), donde el espesor de separador puede configurarse con el fin de conferir un "color" a un subpíxel, sin necesitar filtros adicionales. Las consideraciones evocadas en el documento WO2015/097468 con respecto a la subestructura ópticamente activa (PCM - separador - reflector) se aplican igualmente en este caso.

Como se ha demostrado en una solicitud de patente anterior (WO2015/097468), puede hacerse que un dispositivo de visualización basado en estructuras en capas tenga un color uniforme, que a continuación puede cambiarse para que aparezca un color de contraste, o para que parezca mucho más oscuro o más claro cambiando la reflectividad. Esto también puede lograrse en el presente caso, gracias a la localización del calentador y al aislamiento eléctrico entre este último y el PCM. Por consiguiente, dispositivo de visualización puede, en las realizaciones, implicar varias estructuras 2, 2a, 2b, tal como se ilustra en la figura 7, fabricados adyacentes entre sí en una matriz 200, siendo cada estructura 2, 2a, 2b individualmente controlable eléctricamente y constituyendo un subpíxel de un píxel 100 de la pantalla total 200. Los separadores 14, 14a, 14b en cada estructura 2, 2a, 2b dentro del grupo 100 puede tener un espesor diferente. En variantes, los dispositivos pueden estar diseñados con el fin de que cada píxel comprenda una estructura única 2 tal como la de la figura 1, esta estructura puede controlarse eléctricamente de manera individual.

A diferencia de las soluciones de la técnica anterior, el enfoque actual (basado en la conmutación PCM masiva) permite lograr el contraste y la saturación de color adecuados para una pantalla RGB. Por el contrario, soluciones tales como las descritas en el documento WO2015/097468 presentan limitaciones debido a: (i) requisitos eléctricos para las capas de recubrimiento y separador (que limitan, a su vez, la optimización de los parámetros ópticos); y (ii) la conmutación eléctrica, que restringe el tamaño de los píxeles (o equivalentemente la zona activa de un píxel).

Por lo tanto, la presente invención puede realizarse ventajosamente como una pantalla RGB, conduciendo tanto a una excelente saturación de color como de contraste, píxeles dimensionados adecuadamente, mientras se reduce el consumo de energía (debido a estados conmutables permanentes). Las pruebas preliminares han demostrado, por ejemplo, que un píxel de acuerdo con las realizaciones puede reducir el consumo de energía en un factor de más de 100, posiblemente 300, en comparación con los píxeles RGB tradicionales. Teniendo en cuenta el número de pantallas RGB durante la operación hoy en día, uno comprende que los beneficios potenciales de las realizaciones actuales en términos de consumo de energía pueden ser enormes.

pueden obtenerse dispositivos rojos, verdes y azules adecuados, de acuerdo con las pruebas realizadas, un espacio de color para ángulos de visión de 0, 30 y 60 grados, y para los estados de píxel "ENCENDIDO" y píxel "APAGADO".

Pueden producirse dispositivos de visualización que incorporen la invención que tengan un bajo consumo de energía, pero que proporcionen una pantalla a color de alta resolución, (estando la resolución limitada solo por las técnicas litográficas usadas). Los dispositivos de visualización pueden cambiar a altas velocidades (y, de este modo, puede aplicarse adecuadamente a las señales de video) y tienen un ángulo de visión amplio. Los dispositivos pueden fabricarse usando técnicas convencionales, y pueden fabricarse muy delgados y también flexibles si se desea.

2.6 Otras aplicaciones

Los dispositivos descritos anteriormente pueden, en general, usarse en la fabricación de (sub)píxeles en pantallas, vidrios inteligentes para aplicaciones arquitectónicas y automotrices.

Además, los dispositivos ópticos como se describen en el presente documento pueden usarse en: espejos conmutables (incluidos los espejos automotrices), etiquetas de seguridad activa (para documentación o empaque de productos, que puede proporcionar una respuesta visual a las entradas de RF o NFC que se detectan por el controlador), dispositivos de entrada reconfigurables (por ejemplo, teclados o pantallas de notificaciones/estados de baja potencia para dispositivos móviles, dispositivos portátiles o de internet de las cosas).

El fabricante puede distribuir los dispositivos resultantes de una forma en bruto (es decir, como un solo producto que tiene múltiples dispositivos sin empaquetar) o en forma empaquetada. En cualquier caso, el dispositivo puede a continuación integrarse con otros dispositivos, elementos de circuito discreto y/u otros dispositivos de procesamiento de señales como parte de o bien (a) un producto intermedio o (b) un producto final. El producto final puede ser cualquier producto que incluya un dispositivo óptico como el descrito anteriormente, que va desde aplicaciones de gama baja hasta productos avanzados.

REIVINDICACIONES

1. Un dispositivo óptico (1) que comprende una estructura de capas (2) con:
- 5 un reflector óptico térmicamente conductor (15);
un separador térmicamente conductor (14), que puede transmitir luz y está dispuesto encima del reflector (15); y
un material de cambio de fase (10), o PCM, dispuesto encima del separador (14) y que tiene al menos dos estados
reversiblemente conmutables, en el que el PCM muestra dos valores diferentes de índice de refracción,
- 10 en el que,
el reflector (15), el separador (14) y el PCM (10) se apilan sucesivamente a lo largo de una dirección de apilamiento
(z) de la estructura de capas,
y en el que el dispositivo óptico comprende además:
- 15 un elemento de calentamiento (17); y
un controlador (19, 19a, 30) configurado para energizar el elemento de calentamiento (17), con el fin de calentar
el PCM (10) y cambiar de este modo de manera reversible un índice de refracción y/o una absorción de dicho PCM
(10), **caracterizado por que:**
20 el elemento de calentamiento (17) es opuesto al PCM (10) con respecto al reflector (15), estando la estructura de
capas (2) configurada con el fin de aislar eléctricamente el PCM (10) del elemento de calentamiento (17), mientras
el elemento de calentamiento (17) está en comunicación térmica con el PCM (10) a través del reflector (15) y el
separador (14).
2. El dispositivo óptico de la reivindicación 1, en el que:
- 25 un espesor promedio del reflector (15) está entre 50 nm y 1 μ m;
un espesor promedio del separador (14) está entre 40 nm y 300 nm;
y un espesor promedio del PCM (10) está entre 0,5 nm y 80 nm.
3. Un dispositivo de acuerdo con la reivindicación 1 o 2, en el que
30 una dimensión lateral de la estructura de capa, perpendicularmente a dicha dirección de apilamiento (z) es mayor o
igual que 0,35 μ m y, preferentemente, mayor o igual que 5 μ m.
4. Un dispositivo de acuerdo con la reivindicación 1, 2 o 3, que comprende además:
- 35 un material eléctricamente aislante (18) entre el elemento de calentamiento (17) y el reflector (15), dispuesto
esencialmente con el fin de aislar, eléctricamente, el reflector (15) del elemento de calentamiento (17).
5. Un dispositivo de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, en el que
- 40 el controlador (19) está configurado para aplicar una corriente y/o una tensión al elemento de calentamiento (17),
siendo este último un elemento de calentamiento resistivo (17), para energizar el elemento de calentamiento (17),
con el fin de calentar el PCM (10) y de este modo cambiar de manera reversible un índice de refracción y/o una
absorción de dicho PCM (10);
45 el dispositivo comprende además una capa eléctricamente conductora (21), en la que el elemento de calentamiento
(17) está intercalado, al nivel de dicha estructura de capas (2), por lo que dos partes (211, 212) de la capa
eléctricamente conductora (21) están en los lados laterales respectivos del elemento de calentamiento (17), en
contacto con el mismo; y
el controlador (19) comprende dos terminales (191, 192) que hacen contacto con una respectiva de dichas dos
partes (211, 212), para aplicar dicha corriente y/o tensión al elemento de calentamiento (17).
- 50
6. Un dispositivo de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5, en el que
el controlador (19) está configurado para energizar el elemento de calentamiento (17), de acuerdo con al menos dos
señales distintas, con el fin de que el elemento de calentamiento (17) aplique al menos dos pulsos de calor distintos,
respectivamente, y conmute de manera reversible el PCM (10) a dichos al menos dos estados conmutables,
55 respectivamente.
7. Un dispositivo de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que
el PCM (10) tiene un espesor promedio que está entre 3 nm y 15 nm.
- 60
8. Un dispositivo de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que
el elemento de calentamiento (17) comprende uno o más de los siguientes: NiCrSi, NiCr, W, TiW, Pt, Ta, Mo, Nb e Ir.
9. Un dispositivo de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que comprende:
- 65 un conjunto de reflectores ópticos térmicamente conductores (15);
un conjunto de separadores térmicamente conductores (14), estando cada uno encima de uno respectivo de los

- reflectores (15), en el que los separadores tienen espesores sustancialmente diferentes y, cada uno, puede transmitir luz;
- un conjunto de materiales de cambio de fase (10) o PCM, estando cada uno encima de uno respectivo de los separadores, con el fin de formar, junto con dicho conjunto de separadores y dicho conjunto de reflectores, un conjunto de estructuras de capas (2, 2a, 2b), en el que cada uno de los PCM tiene al menos dos estados reversiblemente conmutables, en los que se muestran dos valores diferentes de índice de refracción: un conjunto de elementos de calentamiento (17), estando cada uno:
- dispuesto opuesto a uno respectivo de los PCM (10) con respecto a uno respectivo de los reflectores (15); en comunicación térmica con dicho uno respectivo de los PCM (10) a través de uno respectivo de los reflectores (15) y uno respectivo de los separadores (14); y aislado eléctricamente de dicho uno respectivo de los PCM (10), en el que,
- el controlador (19) está configurado para energizar de manera independiente los elementos de calentamiento, con el fin de calentar de manera independiente los PCM y cambiar de este modo de manera reversible un índice de refracción y/o una absorción de los mismos, por lo que el índice de refracción y/o la absorción de cada uno de los PCM puede controlarse de manera independiente a través del controlador.
10. Un dispositivo de visualización (1c - 1f), que comprende un dispositivo de acuerdo con cualquier reivindicación anterior, con el fin de formar un conjunto de píxeles, teniendo cada uno una estructura de capas (2c - 2f) que incluye:
- dicho PCM (10); y dicho elemento de calentamiento (17), este último aislado eléctricamente del PCM (10) y en comunicación térmica con el PCM (10) en la estructura de capas (2c - 2f),
- y en el que el dispositivo de visualización comprende además:
- dicho controlador (31, 32, 41, 42), estando este último configurado para energizar cualquiera de los píxeles, con el fin de calentar de manera independiente un PCM de cualquiera de los píxeles mencionados y de este modo cambiar de manera reversible un índice de refracción y/o una absorción del mismo; y una disposición de pares de electrodos (221, 222), estando cada uno de los pares de electrodos en comunicación eléctrica con un elemento de calentamiento (17) de uno de los píxeles (2c - 2f), con el fin de que cada uno de los píxeles pueda direccionarse individualmente por el controlador en el dispositivo de visualización.
11. El dispositivo de visualización (1c - 1f) de acuerdo con la reivindicación 10, en el que
- cada uno de los pares de electrodos está en comunicación eléctrica con el elemento de calentamiento (17) de uno de los píxeles (2c - 2f) a través de una vía (41) que se extiende paralela a una dirección de apilamiento (z) de la estructura de capas de dicho uno de los píxeles; y dicha vía (41) está en contacto eléctrico con un terminal de drenaje de un transistor de película delgada (21), o TFT, cuyo terminal de puerta y terminal de fuente están en contacto eléctrico con un electrodo respectivo de cada uno de los pares de electrodos mencionado, con el fin de que una tensión aplicada en el terminal de puerta controle una corriente entre el terminal de fuente y el terminal de drenaje del TFT, en operación.
12. El dispositivo de visualización (1c, 1e, 1f) de acuerdo con la reivindicación 10, en el que dicho elemento de calentamiento (17) está además en comunicación eléctrica con un reflector óptico térmicamente conductor (15), a través de otra vía (42), que se extiende paralela a una dirección de apilamiento (z) de la estructura de capas de dicho uno de los píxeles, siendo el reflector además eléctricamente conductor, por lo que una corriente que pasa a través del elemento de calentamiento (17) puede drenarse a través de dicho reflector óptico (15), en operación.
13. El dispositivo de visualización (1d) de acuerdo con la reivindicación 11, en el que dicho elemento de calentamiento (17) está además en comunicación eléctrica con un electrodo común (223) del dispositivo de visualización, a través de otra vía (42), extendiéndose este último paralelo a una dirección de apilamiento (z) de la estructura de capas de dicho píxel, extendiéndose cada una de las vías (41, 42) entre un plano promedio de dicha disposición de pares de electrodos (221, 222) y un plano promedio del elemento de calentamiento (17) de dicho uno de los píxeles (2d), por lo que una corriente que pasa a través del elemento de calentamiento (17) puede drenarse a través del electrodo común (223), en operación.
14. Un método para controlar un dispositivo óptico como en una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, comprendiendo el método energizar repetidamente, a través del controlador, un elemento de calentamiento (17) de dicho dispositivo óptico, con el fin de calentar un PCM del dispositivo óptico, para conmutar de manera reversible un índice de refracción y/o una absorción de dicho PCM.
15. El método de acuerdo con la reivindicación 14, en el que energizar repetidamente comprende:

- energizar, durante un tiempo t_1 , un elemento de calentamiento (17), para calentar dicho PCM de acuerdo con un primer perfil de calor temporal (P_1) y de este modo conmutar dicho PCM de un primer estado a un segundo estado;
- 5 y
energizar posteriormente, durante un tiempo t_2 , el elemento de calentamiento (17), para calentar dicho PCM de acuerdo con un segundo perfil de calor temporal (P_2) y de este modo conmutar dicho PCM nuevamente al primer estado,
- 10 en el que,
dicho primer perfil de calor temporal (P_1) muestra una temperatura máxima T_1 y dicho segundo perfil de calor temporal (P_2) muestra una temperatura máxima T_2 , con $t_1 > t_2$ y $T_2 > T_m > T_1 > T_c$, en el que T_m y T_c corresponden respectivamente a una temperatura de fusión y a una temperatura de cristalización de dicho PCM.

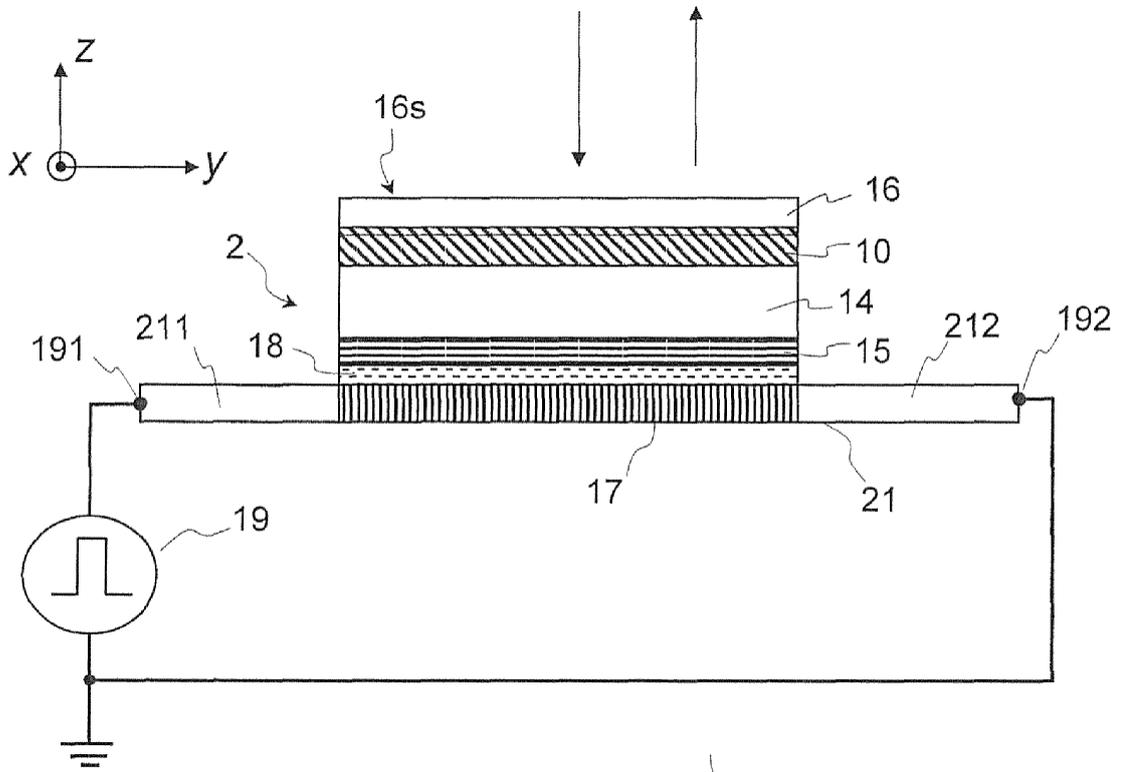


FIG. 1

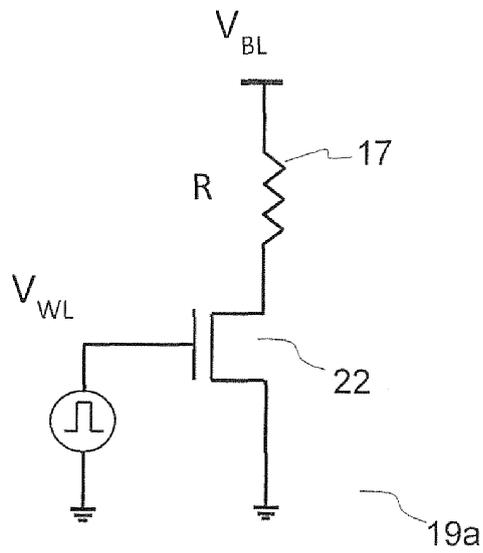


FIG. 2

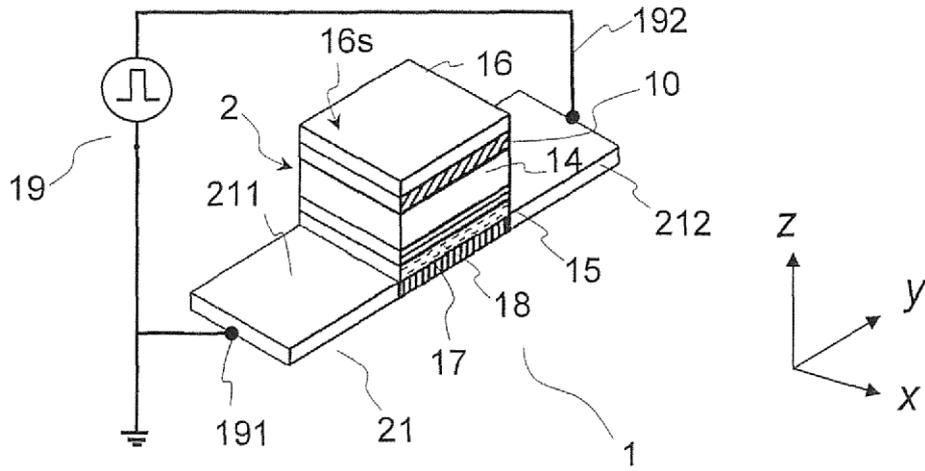


FIG. 3

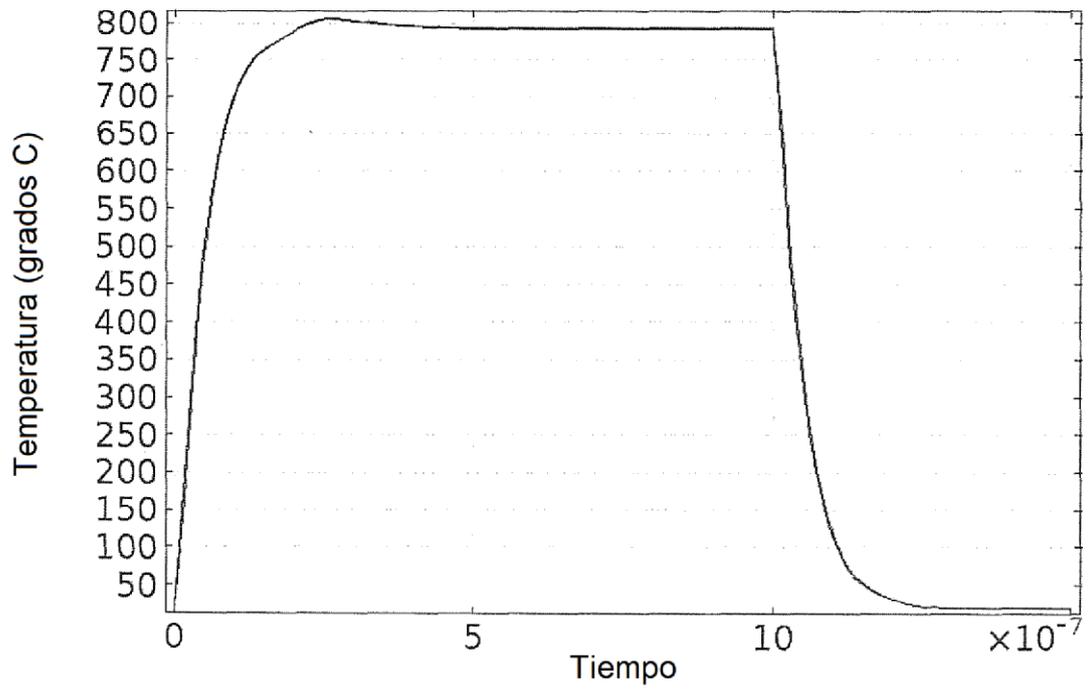


FIG. 4

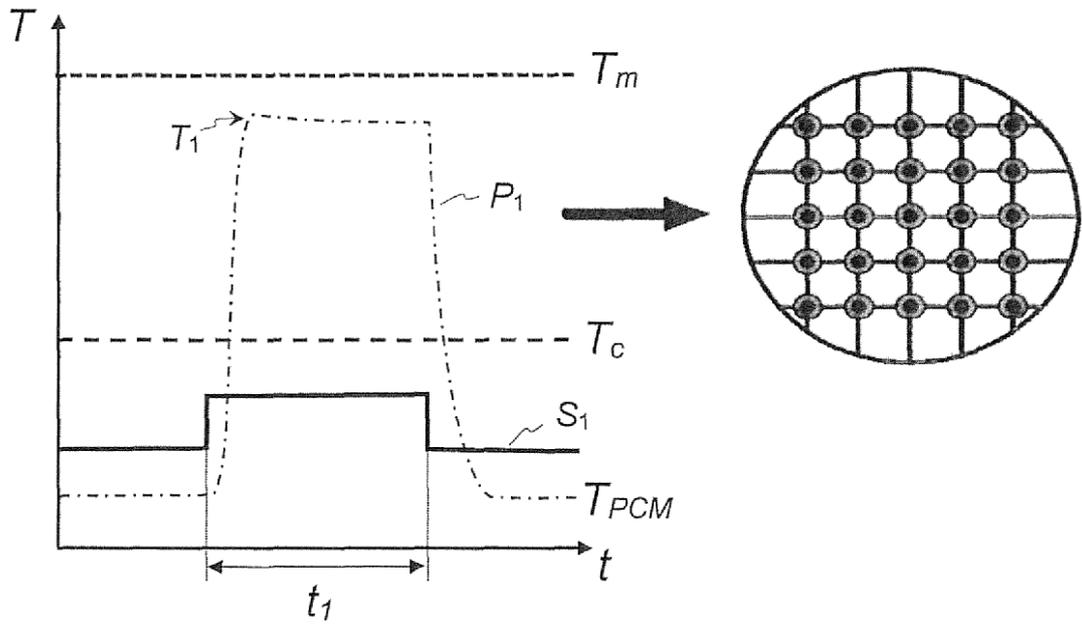


FIG. 5

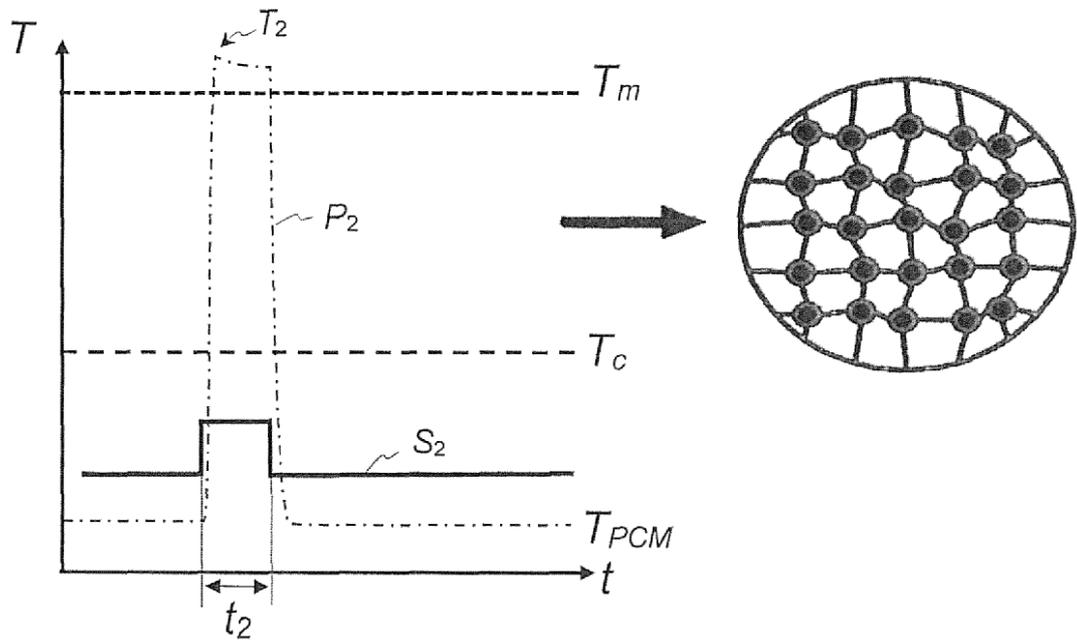
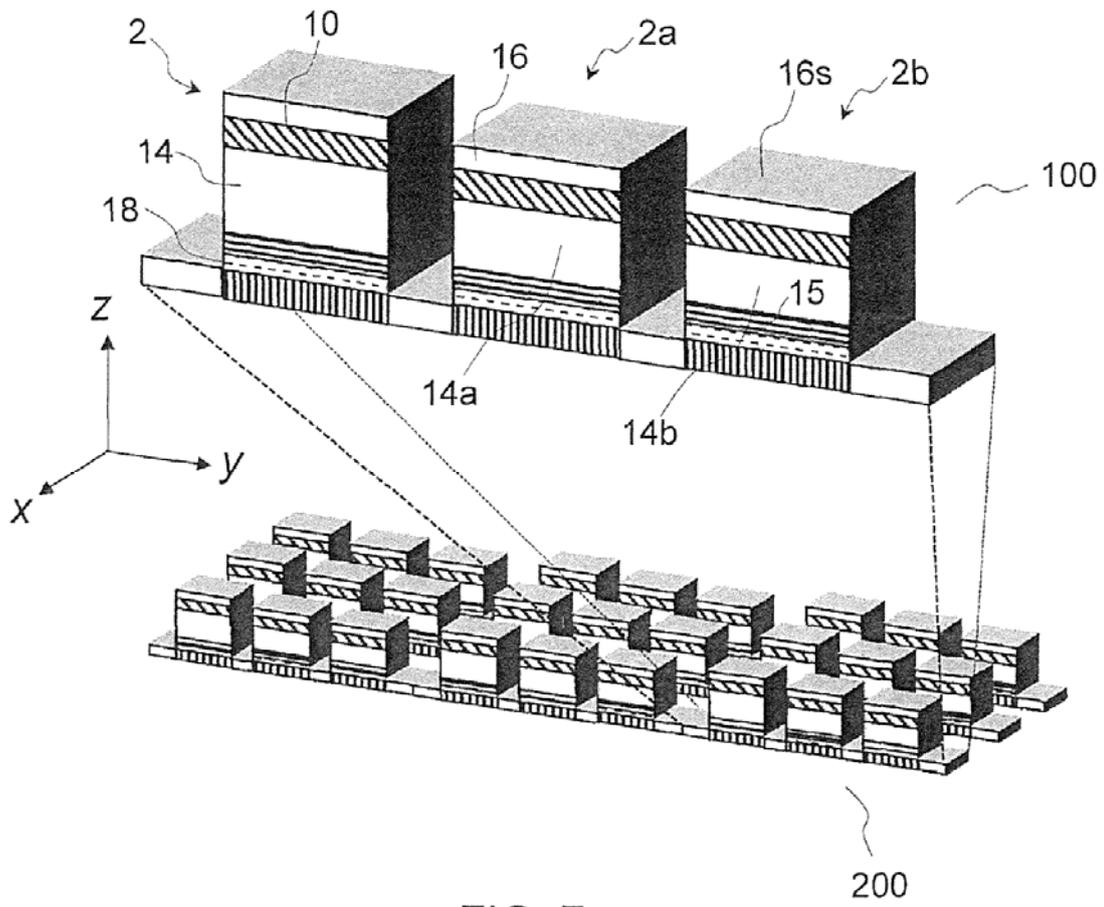


FIG. 6



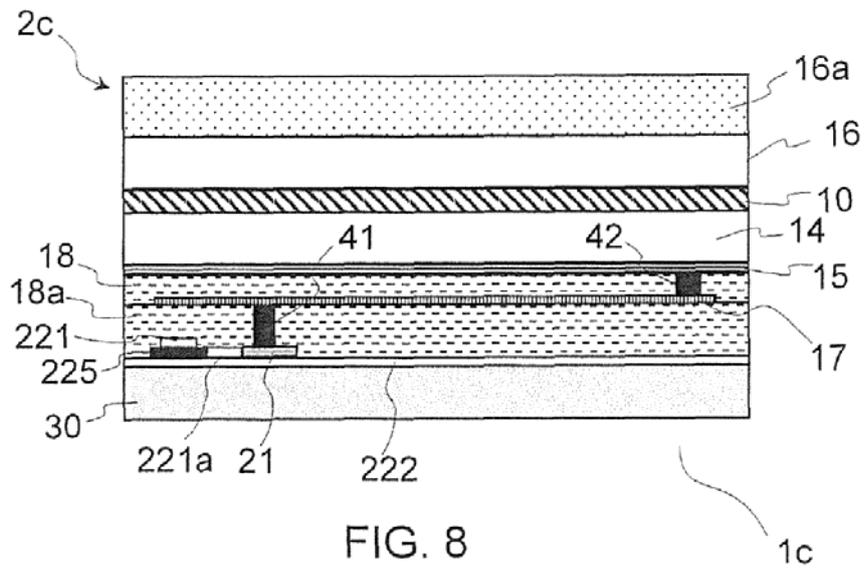


FIG. 8

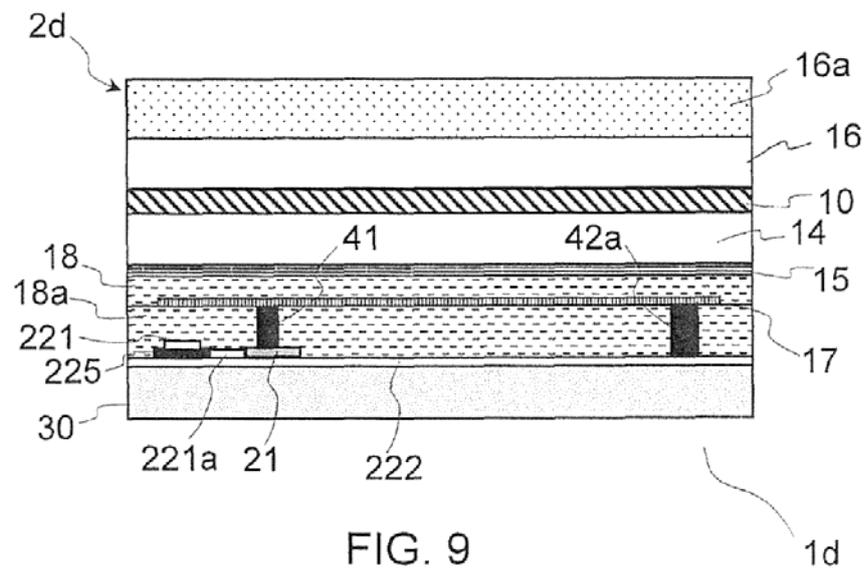
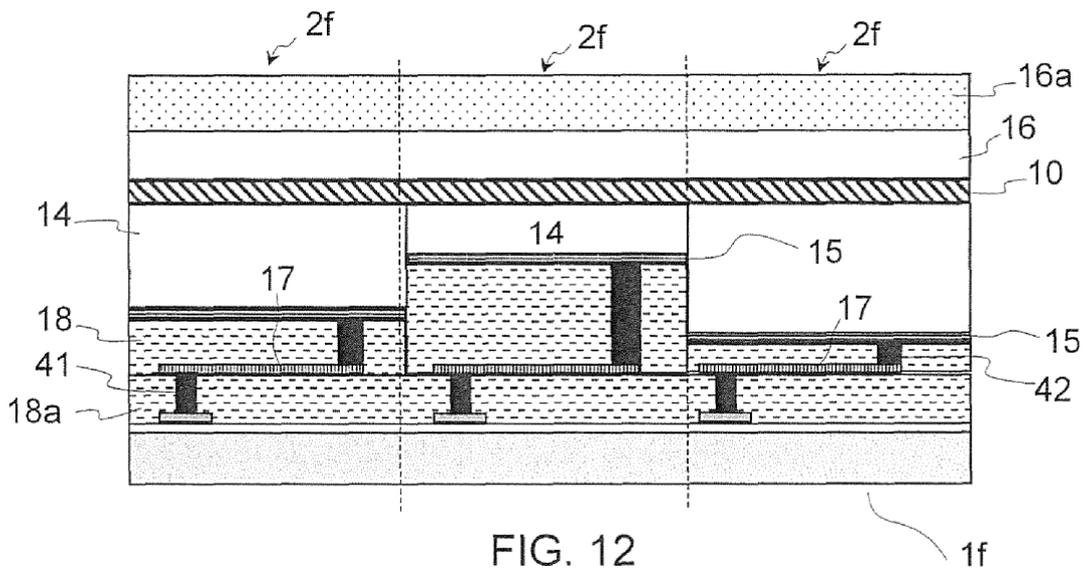
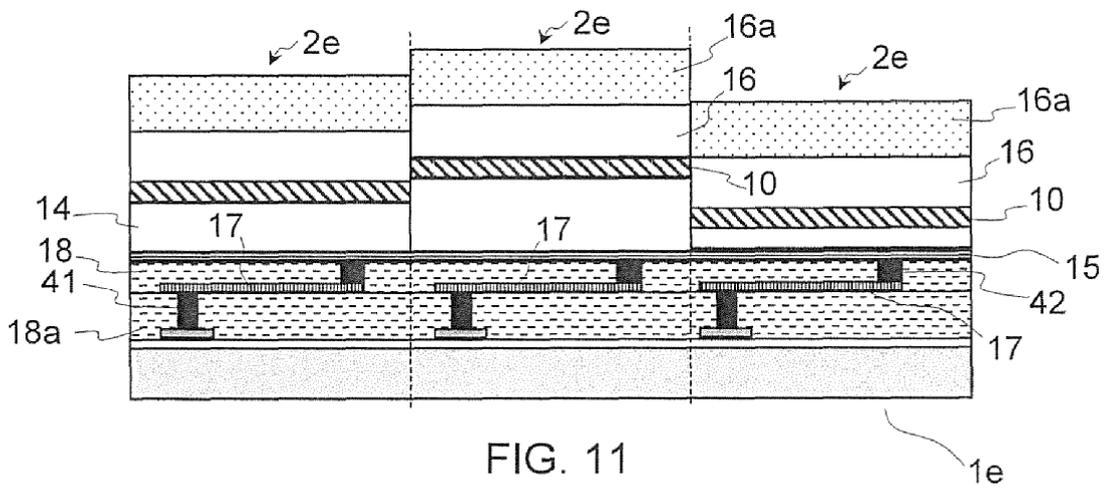
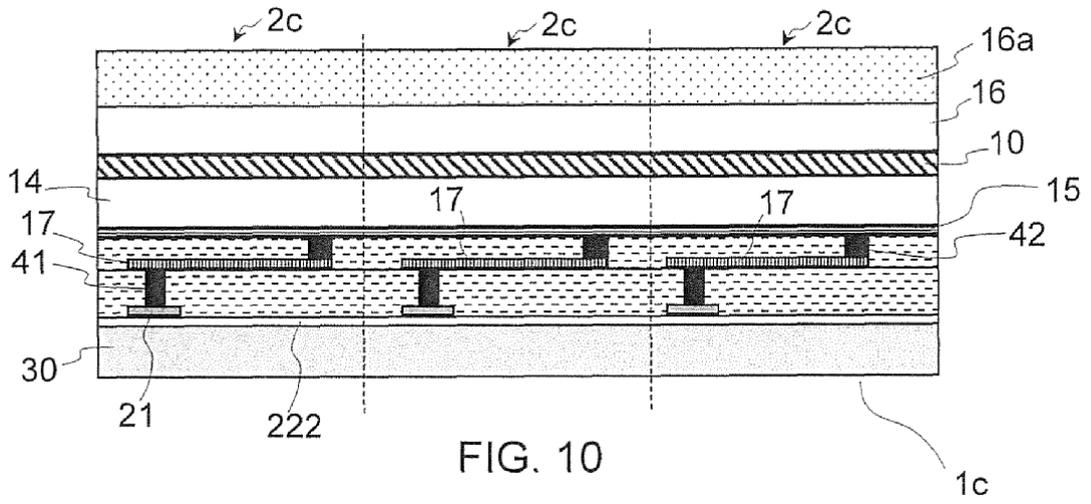


FIG. 9



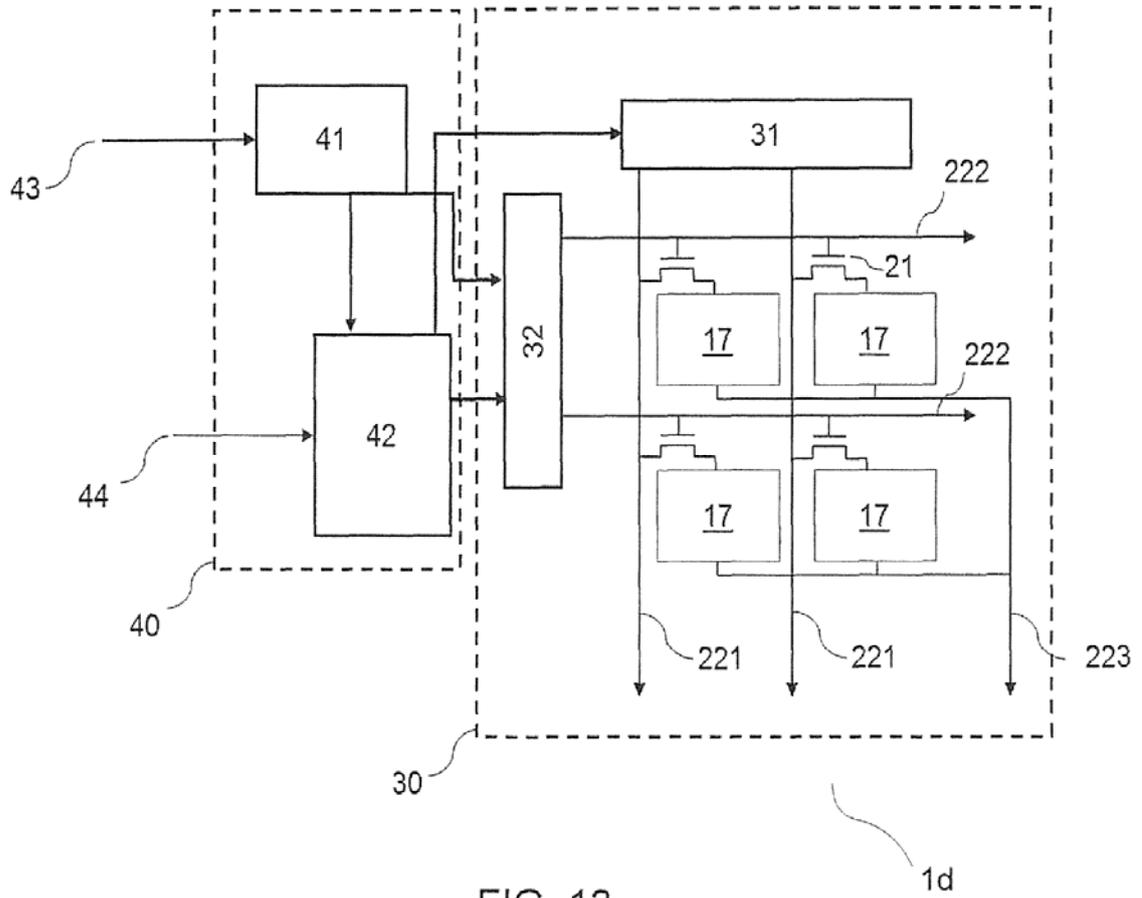


FIG. 13