

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 809 026**

51 Int. Cl.:

**G02F 1/01** (2006.01)

**G02F 1/1365** (2006.01)

**H01L 45/00** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **23.09.2016** **E 16002061 (6)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **10.06.2020** **EP 3299872**

54 Título: **Dispositivo de visualización basado en material de cambio de fase con elementos de conmutación resistivos**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:  
**02.03.2021**

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

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

74 Agente/Representante:

**PONS ARIÑO, Ángel**

**ES 2 809 026 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 de visualización basado en material de cambio de fase con elementos de conmutación resistivos

**5 Antecedentes**

La invención se refiere en general al campo de dispositivos de visualización basados en materiales de cambio de fase biestables (o los PCM biestables), y en particular a dispositivos de visualización basados en PCM de direccionamiento de matriz pasiva.

10 Se ha realizado una considerable investigación en la tecnología de material de cambio de fase (PCM) y su uso en dispositivos optoelectrónicos tales como pantallas reflectantes de ultra alta resolución, pantallas transparentes y sensores de fuerza. Los PCM incluyen materiales que pueden conmutarse eléctricamente entre más de una fase, que tienen diferentes propiedades optoelectrónicas. Los PCM biestables son particularmente atractivos puesto que  
15 después de que se ha completado una transición de fase no es necesario aplicar continuamente alimentación para mantener el dispositivo en su estado actual.

Las pantallas en general pueden clasificarse como pantallas de matriz pasiva (PM) y matriz activa (AM), dependiendo de cómo se dirija la pantalla. Hablando en general, las pantallas AM tienen mejor eficiencia y mayor tiempo de vida que las pantallas PM, pero coste de producto superior. El alto coste de las pantallas AM proviene principalmente del panel de conexiones trasero de transistor de película delgada (TFT) requerido. Debido a algunas limitaciones inherentes a los materiales, los paneles de conexiones traseros de TFT son costosos de fabricar. Las pantallas PM son menos costosas que las pantallas AM. Sin embargo, el rendimiento de las pantallas PM es normalmente menos satisfactorio: las pantallas PM tienen en general un tiempo de vida más corto, resolución y tamaño limitados y son  
20 menos eficaces en alimentación.

Sería de interés considerable poder fabricar una pantalla PM basada en PCM de bajo coste con rendimiento aceptable. Sin embargo, existen desafíos al funcionamiento apropiado de tales pantallas, como se han dado cuenta los presentes inventores.

30 El documento CN 105849626 desvela un dispositivo de visualización que comprende una pluralidad de píxeles, teniendo cada píxel una porción de un material de cambio de fase de estado sólido. El documento US 5212573 desvela un dispositivo electroóptico en forma de un dispositivo de pantalla de cristal líquido de matriz activa que utiliza elementos resistivos no lineales. El documento US 3021387 desvela dispositivos de pantalla eléctricos para visualizar patrones luminosos o visuales.

**Sumario**

De acuerdo con un primer aspecto, la presente invención se realiza como un dispositivo de visualización. El último  
40 comprende un conjunto de píxeles que tiene, cada uno, una estructura de capa que incluye: un material de cambio de fase biestable, o PCM biestable; y un elemento de calentamiento. El PCM biestable tiene al menos dos estados conmutables de manera reversible, en los que el PCM muestra dos valores diferentes de índice de refracción y/o absorción óptica. El elemento de calentamiento está eléctricamente aislado del PCM y en comunicación térmica con el PCM en la estructura de capa. El dispositivo de visualización comprende adicionalmente un conjunto de elementos  
45 de conmutación resistivos monoestables no lineales, que pueden formar posiblemente parte de los píxeles. Los elementos de conmutación resistivos están, cada uno, en comunicación eléctrica con el elemento de calentamiento de uno de los píxeles. Están diseñados para mostrar una baja resistencia, estado inestable y una alta resistencia, estado estable. El estado de baja resistencia permite que se suministre energía al elemento de calentamiento mediante el elemento de conmutación resistivo, para calentar el PCM y cambiar de manera reversible un índice de refracción  
50 y/o una absorción óptica del mismo, en la operación. El estado de alta resistencia permite que se mitigue la fuga de corrientes, para evitar la conmutación involuntaria del PCM de uno de sus estados al otro, en la operación. Finalmente, el dispositivo comprende adicionalmente un controlador configurado para suministrar energía a cualquiera de los píxeles mediante uno respectivo de los elementos de conmutación resistivos, para conmutar el último de su estado de alta resistencia a su estado de baja resistencia, para suministrar energía a un respectivo elemento de calentamiento  
55 y, a su vez, cambiar de manera reversible un índice de refracción y/o una absorción de un respectivo PCM.

Los presentes dispositivos hacen posible filtrar corrientes parásitas o señales de tensión, tales como corrientes de "ruta parásita" o corrientes de fuga y similares, gracias a los elementos de conmutación resistivos. Esto, a su vez, evita la conmutación involuntaria de los elementos PCM. Esta solución es particularmente beneficiosa para pantallas de  
60 direccionamiento de matriz pasiva.

Los presentes dispositivos de pantalla están realizados, por consiguiente, como pantallas de direccionamiento de matriz pasiva. Tales dispositivos de pantalla comprenden adicionalmente una disposición de pares de electrodos, en donde cada uno de los pares de electrodos está en comunicación eléctrica con un elemento de calentamiento de uno  
65 de los píxeles, mediante uno respectivo de los elementos de conmutación resistivos que está conectado en serie entre los electrodos de dicho cada uno de los pares, para que cada uno de los píxeles sea direccionable individualmente

mediante el controlador en el dispositivo de visualización.

Preferentemente, cada uno de los píxeles comprende uno respectivo de los elementos de conmutación resistivos, el último apilado en la estructura de capa de dicho cada uno de los píxeles. Esta solución es particularmente fácil de fabricar.

En realizaciones preferidas, la disposición de pares de electrodos forma una matriz, mediante la cual los primeros electrodos de los pares de electrodos están dispuestos en columnas y los segundos electrodos de los pares de electrodos están dispuestos en filas. En caso de que los elementos de conmutación resistivos estén apilados en la estructura de capas de los píxeles, cada uno de los píxeles puede desplazarse preferentemente de manera lateral, es decir, en una dirección perpendicular a una dirección de apilamiento de la estructura de capa de los píxeles, desde un punto de cruce formado en una intersección de uno de los primeros electrodos con uno de los segundos electrodos. Los electrodos de cada par de electrodos están, cada uno, en comunicación eléctrica con un elemento de conmutación resistivo de un píxel. El desplazamiento de los píxeles da lugar a estructuras planares sencillas y evita interferencias con propiedades ópticas de los píxeles que se provocarían de otra manera por los electrodos si las pilas de capa estuvieran rodeadas entre electrodos, como es habitual en configuraciones de punto de cruce.

En otras realizaciones, cada uno de los pares de electrodos está en comunicación eléctrica con un elemento de calentamiento de uno de los píxeles a través de dos vías, que se extienden, cada una, paralela a una dirección de apilamiento de la estructura de capa de los píxeles. Una de dichas vías comprende un elemento de conmutación resistivo, que está en comunicación eléctrica con el elemento de calentamiento de uno de los píxeles. Este enfoque permite estructuras en 3D, que hacen posible mejorar la densidad de los píxeles, en comparación con, por ejemplo, desplazar la estructura como se ha mencionado anteriormente.

En realizaciones particulares, las vías ambas se extienden entre un plano medio de la disposición de pares de electrodos y un plano medio de los elementos de calentamiento de los píxeles. Los elementos de calentamiento están preferentemente configurados como un reflector óptico.

En otras realizaciones particulares, los primeros electrodos de los pares de electrodos se extienden en un primer plano en un lado de un plano medio de los elementos de calentamiento, y los segundos electrodos de los pares de electrodos se extienden en un segundo plano en otro lado del plano medio de los elementos de calentamiento. Una de dichas dos vías está conectada a uno de dichos primeros electrodos, estando conectada la otra de las vías a uno de los segundos electrodos. De nuevo, los segundos electrodos pueden estar configurados preferentemente como reflectores ópticos.

En realizaciones preferidas, la estructura de capa de los píxeles comprende adicionalmente un reflector óptico térmicamente conductor y un espaciador térmicamente conductor, que es transmisivo a la luz y está dispuesto por encima del reflector. El PCM está dispuesto por encima del espaciador, para que el reflector, el espaciador y el PCM se apilen de manera sucesiva a lo largo de una dirección de apilamiento de la estructura de capa. El elemento de calentamiento está opuesto al PCM con respecto al reflector. La estructura de capa está configurada de otra manera para que el elemento de calentamiento esté en comunicación térmica con el PCM mediante el reflector y el espaciador. En este enfoque, el elemento ópticamente activo que contiene el PCM está separado del elemento de calentamiento por una barrera de aislamiento eléctrico, que, sin embargo, es térmicamente conductora. Esta, como se han dado cuenta los presentes inventores, hace posible conmutar una porción grande del PCM, mientras se conserva una secuencia ordenada de capas de la subestructura ópticamente activa (en concreto PCM - espaciador - reflector). Los estados conmutables de manera reversible provocan que el PCM muestre dos valores diferentes de índice de refracción y/o absorción, que permiten un primer grado de libertad en términos de propiedades ópticas (primera función óptica). De manera concurrente, el espesor del espaciador puede ajustarse (o variarse de una estructura de capa a la otra), que posibilita un segundo grado de libertad en términos de propiedades ópticas (segunda función óptica). De hecho, esto hace posible aprovechar el hecho de que la reflectividad variará significativamente como una función de longitudes de onda de luz, puesto que los efectos de interferencia son dependientes del índice de refracción (complejo) del PCM y el espesor de todas las capas de la pila óptica, incluyendo el del mismo PCM. Como resultado, pueden ajustarse las propiedades ópticas del dispositivo gracias al espaciador (por ejemplo, para conferir un "color" a un subpíxel), sin requerir filtros adicionales. Por lo tanto, los presentes dispositivos pueden diseñarse para aprovechar dos funciones ópticas, mientras permiten que se conmute una porción grande del PCM.

Realizaciones particulares ofrecen ventajas adicionales, en particular en términos de conmutación (para favorecer un área grande de conmutación) y propiedades ópticas. Por ejemplo, en las realizaciones, el espesor promedio del reflector se encuentra entre 50 nm y 1 μm, el espesor promedio del espaciador se encuentra entre 10 nm y 250 nm, y el espesor promedio del PCM se encuentra entre 0,5 nm y 500 nm, preferentemente entre 1 nm y 100 nm, y más preferentemente entre 7 nm y 15 nm.

En las realizaciones, el espesor promedio del elemento de calentamiento se encuentra entre 20 nm y 2 μm, y preferentemente entre 60 nm y 140 nm, mientras que el espesor promedio del elemento de conmutación resistivo se encuentra entre 10 nm y 100 nm, y preferentemente entre 10 nm y 30 nm.

Los elementos de conmutación resistivos como se usan en el presente documento pueden posiblemente ser dispositivos de conmutación umbral, por ejemplo, conmutadores de umbral ovónicos, dispositivos de transición con aislamiento metálico, diodos, o conmutadores de vacío umbral. Sin embargo, en las realizaciones el elemento de conmutación resistivo no es un diodo, por razones que se harán evidentes más adelante.

5 En realizaciones preferidas, cada uno de los elementos de conmutación resistivos comprende un material que es uno de: un óxido; un nitruro; un sulfuro; un oxinitruro; y diamante. Puede incluir, por ejemplo, uno o más materiales que comprenden, cada uno, uno o más de: NbO<sub>x</sub>, VO<sub>x</sub>, HfO<sub>2</sub>, SiO<sub>2</sub>, ZrO<sub>2</sub>, y TiO<sub>2</sub>.

10 Preferentemente, el PCM comprende uno o más de los siguientes compuestos: GeSbTe, VO<sub>x</sub>, NbO<sub>x</sub>, GeTe, GeSb, GaSb, AgInSbTe, InSb, InSbTe, InSe, SbTe, TeGeSbS, AgSbSe, SbSe, GeSbMnSn, AgSbTe, AuSbTe, y AlSb.

En las realizaciones, los elementos de calentamiento comprenden uno o más de lo siguiente: NiCrSi, NiCr, W, TiW, Pt, Ta, Mo, Nb e Ir.

15 De acuerdo con otro aspecto, la invención se realiza como un método para controlar un dispositivo de visualización tal como se ha mencionado anteriormente. Básicamente, este método comprende suministrar energía de manera repetitiva a los píxeles, mediante el controlador, para conmutar de manera reversible elementos de conmutación resistivos que están en comunicación eléctrica con respectivos elementos de calentamiento de los píxeles y suministrar  
20 energía a los respectivos elementos de calentamiento para cambiar de manera reversible un índice de refracción y/o una absorción óptica de respectivos PCM de los píxeles, de manera consistente con los principios mencionados anteriormente.

Se describirán ahora dispositivos, sistemas y métodos que realizan la presente invención, por medio de ejemplos no limitantes, y en referencia a los dibujos adjuntos.

#### Breve descripción de las varias vistas de los dibujos

30 La Figura 1 muestra una vista en sección transversal en 2D de un píxel de PCM, en comunicación eléctrica con un controlador, como se ve implicado en dispositivos de visualización de acuerdo con las realizaciones;

La Figura 2 es una representación que ilustra esquemáticamente la característica de corriente-tensión de un elemento de conmutación resistivo no lineal, como se ve implicado en las realizaciones;

35 La Figura 3 es un diagrama esquemático de pantalla de PCM de matriz pasiva a nivel de sistema, de acuerdo con las realizaciones;

La Figura 4 es una vista superior de una estructura de píxel de PCM de desplazamiento, que muestra conexiones a electrodos en un punto de cruce, como se ve implicado en las realizaciones;

40 Las Figuras 5 y 6 son representaciones esquemáticas de perfiles de intensidad de corriente para conmutación de PCM desde un estado amorfo a un estado cristalino y viceversa;

45 La Figura 7 es una vista en 3D (parcial) de un píxel de PCM conectado a electrodos de punto de cruce mediante vías transversales, de acuerdo con las realizaciones. La Figura 8 muestra una vista lateral del píxel de PCM de la Figura 7; y

La Figura 9 es una vista en 3D (parcial) de una variante a las Figuras 7 y 8 y la Figura 10 es una vista lateral correspondiente.

50 Los dibujos adjuntos muestran representaciones simplificadas de dispositivos o partes de los mismos, como se ven implicados en las realizaciones. Las características técnicas representadas en los dibujos no están necesariamente a escala. En particular, algunas dimensiones o relaciones de aspecto están exageradas, por motivos de representación. A los elementos similares o de funcionalidad similar en las figuras se les han asignado las mismas referencias  
55 numéricas, a menos que se indique de otra manera.

#### Descripción detallada de realizaciones de la invención

60 Como han observado los presentes inventores, existen desafíos al fabricar una pantalla basada en PCM de matriz pasiva, debido a la naturaleza resistiva del accionamiento de píxel de PCM. Cada píxel de PCM se acciona típicamente mediante un elemento calentador resistivo y debe conectarse a través de uniones de electrodos de barra transversal de la estructura de dirección de matriz. Cuando el calentador de píxel se acciona por la dirección de barra cruzada, la corriente fluye a través del calentador seleccionado pero existen también otras rutas adyacentes, o 'rutas parásitas', entre elementos vecinos. En consecuencia, puede ocurrir que otros píxeles se accionen al mismo tiempo. En otras  
65 palabras, las direcciones de matriz pasiva únicas no funcionarán correctamente.

Como se han dado cuenta los inventores, este problema puede resolverse insertando una no linealidad (intensa) en serie en las rutas de corriente, para calentar de manera más selectiva el calentador y, a su vez, conmutar el PCM. Sin embargo, la ruta de corriente y la ruta térmica pueden hacerse parcialmente independientes, de modo que puede conseguirse una conmutación uniforme del PCM, como se explica más adelante en detalle. El elemento no lineal permite el acceso a píxeles bien seleccionados, sin interrumpir los otros píxeles o inducir fuga de desperdicio a través de las (miles o millones de) otras intersecciones de punto de cruce. El elemento no lineal insertado suprime la ruta de corriente parásita a través de píxeles no seleccionados.

En referencia a las Figuras 1, 4, 7 - 10, se describe ahora un aspecto general de la invención en detalle, que se refiere a un dispositivo de visualización 1, 1a - d. El dispositivo de visualización comprende un conjunto de píxeles que tiene, cada uno, una estructura de capa 2, 2c, 2d.

Esta estructura de capa en particular incluye un material de cambio de fase biestable 10 (en lo sucesivo denominado como un PCM). El PCM tiene al menos dos estados conmutables de manera reversible, en el que muestra dos valores diferentes de índice de refracción complejos dependientes de longitud de onda ( $n + ik$ ). Por ejemplo,  $n$  o  $k$  pueden diferir en al menos 0,2, al menos para algunas longitudes de onda útiles de luz como se analiza a continuación. Los estados conmutables de manera reversible del PCM pueden mostrar adicionalmente distintas absorciones ópticas. Las realizaciones ejemplares descritas a continuación se basan en dos estados de distintos índices de refracción, por motivos de ilustración. Sin embargo, se entiende que pueden contemplarse variantes, en las que el índice de refracción y/o la absorción óptica del PCM pueden cambiar tras la conmutación. 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 de por sí. Ejemplos de tales materiales se describen más adelante.

Esta estructura de capa incluye adicionalmente un elemento de calentamiento 17, 17c, 17d, que se aísla eléctricamente del PCM 10 pero en comunicación térmica con el mismo, de conformidad con una configuración de la estructura de capa 2, 2c, 2d.

El dispositivo de visualización comprende adicionalmente un conjunto de elementos de conmutación resistivos monoestables no lineales 21 (o RSE, en abreviatura). Como deberemos observar, un RSE puede formar o no parte de la estructura de capa de un píxel. En todos los casos, cada RSE está en comunicación eléctrica con el elemento de calentamiento 17, 17c, 17d de uno de los píxeles.

Cada uno de los RSE está diseñado para mostrar dos estados distintos  $R_1$ ,  $R_2$ . En el presente contexto, un RSE significa un elemento no lineal, es decir, un elemento que tiene características de corriente-tensión no lineales y puede por lo tanto suministrarse energía para alcanzar un estado de resistencia inferior  $R_2$  que su valor por defecto, estado de alta resistencia  $R_1$  (es decir, el estado estable). Un estado de baja resistencia (alta conductividad) del RSE permite que se le suministre al elemento de calentamiento 17, 17c, 17d energía mediante el elemento de conmutación resistivo 21. Este, a su vez, hace posible calentar el PCM 10 y cambiar de manera reversible un índice de refracción del mismo, en la operación del dispositivo de visualización. Por el contrario, un estado de alta resistencia (baja conductividad) del RSE permite que se mitiguen las corrientes de fuga u otras señales parásitas, para evitar la conmutación involuntaria del PCM 10 de uno de sus estados al otro, en la operación. Aunque las corrientes desactivadas pueden ser típicamente un orden de magnitud menor que las corrientes ACTIVADAS normales, pueden bien provocar la modificación del índice de refracción del PCM y por lo tanto deteriorar el rendimiento visual de la pantalla.

El dispositivo comprende adicionalmente un controlador 30, para encender píxeles y posibilita la visualización de funciones del dispositivo. Los píxeles pueden controlarse de manera independiente, para que sean "todos los puntos" o de píxel direccionable. El controlador está en general configurado para suministrar energía a cualquiera de los píxeles mediante un respectivo RSE 21, para conmutar el último de un estado de alta resistencia a un estado de baja resistencia. Esto permite que el controlador suministre energía a un respectivo elemento de calentamiento 17, 17c, 17d (es decir, el elemento de calentamiento del píxel encendido) y, a su vez, cambie de manera reversible un índice de refracción de un respectivo PCM 10. Es decir, suministrar energía al elemento de calentamiento 17, 17c, 17d da como resultado la producción de calor (típicamente mediante calentamiento de Joules), que, a su vez, calienta el PCM 10 y, con la condición de que se transmita suficiente calor al PCM, conmuta el último, de manera que puede cambiarse su índice de refracción. Este cambio es reversible, ya que la aplicación de una señal posterior por el controlador permitirá que otro pulso de calor alcance el PCM, para conmutar el último de vuelta al estado inicial.

El controlador 30 está configurado típicamente para aplicar señales de corriente o tensión que conmutarán en primer lugar el RSE 21, para que genere una corriente que alcanzará el elemento de calentamiento 17, 17c, 17d. La corriente que alcanza el elemento de calentamiento provoca que el último se caliente y conmute de esta manera el PCM. Cuando se calienta el elemento de calentamiento, se transmite calor rápidamente al PCM (por ejemplo, mediante un reflector y espaciador), para calentar el PCM y permitir de esta manera que se conmute de un estado al otro.

Como se dice, el PCM 10 es un biestable, es decir, muestra dos estados estables para distintos índices de refracción. De esta manera, el píxel de PCM puede mantener su estado actual (hasta que se refresca de nuevo), sin que sea necesario que el mecanismo de control (por ejemplo, una matriz pasiva) mantenga alimentación, para mantener un estado actual del píxel de PCM. Esto en consecuencia ahorra energía. Además, no hay necesidad de una circuitería

compleja (por ejemplo, un panel de conexiones trasero de TFT), que simplifica el diseño y fabricación del dispositivo de visualización y por lo tanto reduce su coste de fabricación.

5 El PCM 10 se encuentra preferentemente en la parte superior del elemento de calentamiento 17, 17c, 17d, que por sí mismo está en la parte superior de (por ejemplo, en contacto directo con) el RSE 21, por motivos de eficiencia en las comunicaciones térmicas y eléctricas requeridas de conformidad con el presente enfoque.

10 Al contrario al PCM, el RSE 21 es monoestable, siendo la alta resistencia el estado estable. Se conocen los RSE por sí mismos. La conmutación resistiva hace referencia a un fenómeno físico que tiene lugar en un material que cambia repentinamente su resistencia bajo la acción de, por ejemplo, un campo de corriente suficiente o eléctrico, o cualquier forma adecuada de calor localizado. Se han propuesto en el pasado varias clases de materiales de conmutación, que varían de óxidos de metal a calcogenuros. El rendimiento de estos materiales se aprecia en particular en términos de consumo de alimentación, potencial de densidad de integración y durabilidad.

15 Un RSE como se usa en el presente documento tiene una característica de corriente-tensión no lineal, como se describe más adelante en referencia a la Figura 2. El cambio no es permanente ya que el RSE es monoestable, es decir, el RSE se invierte espontáneamente de vuelta a su alta resistencia (estado de baja conducción) cuando cesa la señal aplicada por el controlador 30. Por lo tanto, el RSE no necesita ser suministrado con energía de nuevo para volver a un estado de alta resistencia, en el que se mitigan corrientes de fuga. Por lo tanto, usar un RSE como se ha descrito anteriormente evita la conmutación involuntaria del PCM, mientras que requiere poca alimentación y, esto, sin requerir circuitería compleja alguna. El presente enfoque es particularmente interesante para pantallas de direccionamiento de matriz pasiva, como se analiza más adelante en detalle.

25 Aunque, en principio, pueden contemplarse varios esquemas de suministro de energía para conmutar el RSE 21, el último se conmuta preferentemente mediante la aplicación de una señal de tensión, es decir, una señal de tensión basada en forma de onda, que tiene la amplitud necesaria para conmutar el RSE. Esta señal de control puede comprender realmente una secuencia de pulsos, por ejemplo, pulsos de tensión, como es conocido. Obsérvese que, en el presente contexto, la misma señal de tensión como se aplica para conmutar el RSE 21 puede provocar ventajosamente calentar el calentador y, a su vez, conmutar el PCM, una vez que se ha alcanzado un punto de ajuste de tensión del RSE, es decir no hay necesidad de aplicar una señal posterior para calentar el calentador. Por lo tanto el PCM puede conmutarse incluso si el estado de baja resistencia del RSE tiene una duración relativamente corta, que simplifica las funciones del controlador 36 y la multiplexación 31, 32, Figura 3. Si fuera necesario, un generador de función 34 está basado en generar señales adecuadas. De manera similar, puede usarse una única señal para conmutar el PCM de vuelta a un estado inicial. Por ejemplo, se suministra energía al RSE de nuevo para provocar un pulso de calor distinto y conmutar el PCM de vuelta.

35 En variantes, puede necesitar aplicarse uno o más pulsos para conseguir un resultado equivalente. En todos los casos, se prefieren pulsos de tensión sobre corrientes ya que, a menudo, es más difícil generar corrientes en dispositivos de interés en este punto, en la práctica. Sin embargo, el control de pulso de corriente puede proporcionar rendimiento mejorado en la operación de la pantalla en algunos casos (por ejemplo, conmutación más rápida, alimentación inferior, etc.) y el controlador puede estar configurado para proporcionar estos.

45 El diagrama de corriente-tensión representado en la Figura 2 es solamente un modelo indicativo de las características no lineales que el RSE debería tener. Un dispositivo real puede mostrar, por supuesto, inflexiones más o menos pronunciadas (alrededor de  $V_2$  y  $V_4$ ) y bucle de histéresis, definiéndose su resistencia real  $R$  como la derivada  $R = \partial V / \partial I$ , es decir, la inversa de la pendiente en la Figura 2. Sin embargo, las características no lineales del RSE revelan dos estados distintos  $R_1$ ,  $R_2$ , determinados por los puntos de inflexión (alrededor de  $V_2$  y  $V_4$ ). Cuando se suministra energía al RSE (camino arriba, es decir, hacia arriba a lo largo de la histéresis), mantiene un estado  $R_1$  en el que el RSE tiene alta resistencia, hasta que se consigue una cierta tensión umbral  $V_2$ . Una vez que la tensión aplicada (por ejemplo,  $V_3$  en la Figura 2) supera  $V_2$ , el RSE puede decirse que está en un estado  $R_2$  donde muestra sustancialmente resistencia inferior que en su estado anterior  $R_1$ . Permanecerá en el estado  $R_2$  hasta que la tensión aplicada se reduzca. En el camino abajo (hacia abajo a lo largo de la histéresis), una vez que la tensión aplicada cae por debajo de  $V_4$  (por ejemplo, ya no se aplica señal más) el RSE vuelve a un estado  $R_1$  de resistencia superior. Puesto que la pendiente de la curva representada en la Figura 2 es sustancialmente superior (pero aproximadamente constante) por debajo de  $V_2$  (o antes de  $V_4$  en el camino abajo la resistencia  $R_2$  es sustancialmente inferior que  $R_1$ ).

50 Puede confiarse en diversos tipos de RSE, que tienen características no lineales adecuadas. Por ejemplo, los RSE 21 pueden estar diseñados como dispositivos de conmutación umbral, por ejemplo, como conmutadores umbral ovónicos, dispositivos de transición de metal-aislante, diodos (por ejemplo, de película delgada, planares, etc.), o unos conmutadores de vacío umbral.

60 Los presentes RSE 21 comprenderán típicamente un óxido, un nitruro, un sulfuro, un oxinitruro y/o diamante. Por ejemplo, un RSE puede comprender uno o más materiales que comprenden, cada uno, uno o más de los siguientes compuestos:  $NbO_x$ ,  $VO_x$ ,  $HfO_2$ ,  $SiO_2$ ,  $ZrO_2$ , y  $TiO_2$ . Usando tales materiales, el espesor promedio del RSE 21 se encuentra preferentemente entre 10 nm y 100 nm, y más preferentemente entre 10 nm y 30 nm.

Aunque los diodos pueden contemplarse de hecho para el presente fin, el uso de diodos puede provocar, sin embargo, problemas adicionales. En primer lugar, usar diodos puede provocar complejidad adicional, ya que los diodos requieren múltiples capas de materiales de tipo  $n$  y  $p$ , mientras que un selector no lineal puede fabricarse de material uniforme. Además, los diodos son difíciles de reducir a escala a tamaños submicrométricos sin pérdida en rendimiento. Finalmente, los dispositivos de PCM necesitan cantidades de corriente para las que los diodos de película delgada se deterioran rápidamente. Por lo tanto, el RSE 21 preferentemente no es un diodo; puede fabricarse en su lugar de un único material uniforme.

Los PCM preferidos comprenden uno de los siguientes compuestos:  $\text{GeSbTe}$ ,  $\text{VO}_x$ ,  $\text{NbO}_x$ ,  $\text{GeTe}$ ,  $\text{GeSb}$ ,  $\text{GaSb}$ ,  $\text{AgInSbTe}$ ,  $\text{InSb}$ ,  $\text{InSbTe}$ ,  $\text{InSe}$ ,  $\text{SbTe}$ ,  $\text{TeGeSbS}$ ,  $\text{AgSbSe}$ ,  $\text{SbSe}$ ,  $\text{GeSbMnSn}$ ,  $\text{AgSbTe}$ ,  $\text{AuSbTe}$ , y  $\text{AlSb}$ . Sin embargo, pueden contemplarse otros materiales, que comprenden combinaciones químicas de elementos citados en los compuestos anteriores. En particular, el PCM puede ser un compuesto o una aleación de una combinación de tales elementos, en concreto seleccionados entre  $\text{Ag}$ ,  $\text{Al}$ ,  $\text{Au}$ ,  $\text{Ga}$ ,  $\text{Ge}$ ,  $\text{In}$ ,  $\text{Mn}$ ,  $\text{Nb}$ ,  $\text{O}$ ,  $\text{S}$ ,  $\text{Sb}$ ,  $\text{Se}$ ,  $\text{Sn}$ ,  $\text{Te}$ , y  $\text{V}$ . Se entiende que pueden contemplarse diversas formas estequiométricas de los materiales anteriores. Por ejemplo, puede usarse  $\text{Ge}_x\text{Sb}_y\text{Te}_z$ , en particular,  $\text{Ge}_2\text{Sb}_2\text{Te}_5$  (también conocido como GST). En otras realizaciones, un material adecuado puede ser  $\text{Ag}_3\text{In}_4\text{Sb}_{76}\text{Te}_{17}$  (también conocido como AIST). Usando tales materiales, el espesor promedio del PCM típicamente será entre 0,5 nm y 500 nm, y preferentemente entre 1 nm y 100 nm.

Los PCM preferidos son aquellos que favorecen la conmutación uniforme (masiva), es decir, que implican una porción grande de material en el proceso de conmutación, a diferencia de la conmutación por filamentos. Obsérvese que la formación de filamentos múltiples (paralelos) puede llegar eventualmente a ser también una conmutación y reunión masiva. Sin embargo, si el espesor del PCM es demasiado alto, puede no asegurar una conmutación apropiada, por lo tanto la necesidad de restringir el espesor de la capa de PCM, como se ejemplifica más adelante.

Para realizaciones que se basan en estados de PCM de distintos índices de refracción, una diferencia de al menos 0,2 sobre al menos parte del intervalo de longitud de onda visible es típicamente necesaria para los índices de refracción de los dos estados del PCM. Por ejemplo, puede tenerse  $n = 2,4$  en el estado de índice de refracción alto y  $n = 1,6$  en el estado de índice de refracción bajo. La diferencia de los índices de refracción en los dos estados, en general, oscilará entre 0,2 y 4. Valores típicos de índices de refracción y coeficientes de extinción para PCM típicos pueden hallarse, por ejemplo, en "WHP Pernice and H. Bhaskaran, Photonic non-volatile memories using phase change materials, Applied Physics Letters, 101, 011243 2012". El perfil de las temperaturas que pueden alcanzarse en el PCM puede estar típicamente en el intervalo de 500 - 600 °C para GST, o incluso superior ( $> 600$  °C). La temperatura de conmutación es dependiente del material, y no todos los materiales conmutan a las mismas temperaturas.

Los elementos de calentamiento 17, 17c, 17d pueden incluir, por ejemplo, un metal o aleación de metal que tiene alta resistividad y conductividad térmica. Por ejemplo, los elementos de calentamiento pueden estar formados de uno o más de lo siguiente:  $\text{NiCrSi}$ ,  $\text{NiCr}$ ,  $\text{W}$ ,  $\text{TiW}$ ,  $\text{Pt}$ ,  $\text{Ta}$ ,  $\text{Mo}$ ,  $\text{Nb}$  e  $\text{Ir}$ . Sin embargo, pueden contemplarse otros materiales, tales como  $\text{TiN}$ ,  $\text{TaN}$ , o una combinación de metales o aleaciones de metal similares. En otras variantes, los elementos de calentamiento pueden comprender ITO u otros materiales resistivos transparentes, por ejemplo, para su uso en pantallas transparentes o transmisivas. El elemento de calentamiento normalmente tiene una temperatura de fundido que es superior a la temperatura de fundido del PCM 10, para posibilitar pulsos de calor necesarios. El espesor promedio del elemento de calentamiento 17, 17c, 17d se encuentra preferentemente entre 20 nm y 2  $\mu\text{m}$ , y más preferentemente entre 60 nm y 140 nm.

Haciendo referencia ahora de manera conjunta a las Figuras 3, 4, 7 - 10, los presentes dispositivos de visualización pueden realizarse ventajosamente como una pantalla de direccionamiento de matriz pasiva 1a - 1d. Una pantalla de este tipo típicamente comprende una disposición de pares de electrodos 221, 222, que forman una matriz, mediante la cual los primeros electrodos 221 están dispuestos en filas y los segundos electrodos 222 están dispuestos en columnas. En el presente contexto, cada par de electrodos necesita estar en comunicación eléctrica con un elemento de calentamiento 17, 17c, 17d de uno de los píxeles 2, 2c, 2d, mediante un respectivo RSE 21. Este RSE está conectado en serie entre los electrodos 221, 222 de cada par. De esta manera, cada uno de los píxeles 2, 2c, 2d es fácilmente direccionable, individualmente, por el controlador 30 en el dispositivo de visualización. Los RSE filtran corrientes indeseadas, sin ser necesario que se implique circuitería compleja.

Los píxeles están dispuestos típicamente en líneas de columna y fila y forman una serie, para formar un área de formación de imágenes de la pantalla. Típicamente, el esquema de direccionamiento de matriz requiere que el controlador pueda aplicar de manera independiente  $m + n$  señales de control para direccionar una pantalla de  $m \times n$  píxeles. Por ejemplo, la pantalla de matriz pasiva esquemática de la Figura 3 implica los electrodos de fila 221 y columna 222 en una configuración de punto de cruce con los píxeles 2 ubicados alrededor de cada punto de cruce. Por simplicidad, los píxeles 2 están ilustrados en cada punto de cruce en el diagrama de la Figura 3. En la práctica, sin embargo, los píxeles 2 pueden necesitar estar desplazados lateralmente (como se ilustra en la Figura 4) desde los puntos de cruce. Sin embargo, pueden idearse estructuras en 3D más sofisticadas, como se analiza más adelante con referencia a las Figuras 7 - 8, para evitar configuraciones de desplazamiento y aumentar el factor de relleno de píxel. En el sistema de la Figura 3, los electrodos de fila 221 se direccionan mediante un multiplexor 31 y los electrodos de columna 222 mediante otro multiplexor 32. Los multiplexores están controlados por un microprocesador 36 mientras

que la temporización y las señales se manejan mediante un generador de función 34. Todos tales elementos de interfaz electrónica son bien conocidos en la técnica, por ejemplo, son características convencionales de una pantalla de matriz pasiva, que facilitan la interconexión de una pantalla de píxel de PCM. Además, el generador de función necesita alimentarse con o tener acceso a definiciones de forma de onda adecuada y sus funciones de temporización necesitan adaptarse a la temporización implicada en la presente secuencia de eventos, teniendo en cuenta los tiempos de respuesta de los RSE 21, los elementos de calentamiento 17 y los PCM 10.

En el ejemplo de la Figura 1, el RSE 21 está integrado en el píxel, es decir, el RSE está apilado en la estructura de capa 2 de los píxeles. Este enfoque simplifica la fabricación del dispositivo 1 ya que el RSE simplemente requiere una deposición de capa adicional cuando se forma la pila. Obsérvese que la pila de capa 2 se asienta en los electrodos 221, 222, puenteando el RSE 21 los electrodos, pero la pila de capa 2 no está rodeada entre los electrodos. Es decir, el RSE 21 está en serie con el calentador 17 y los electrodos 221, 222, pero el PCM está eléctricamente separado de la ruta de corriente. En ese sentido, la ruta eléctrica y las rutas térmicas/ópticas están descorrelacionadas, que evita que los electrodos interfieran con las propiedades ópticas de los píxeles.

De hecho, en estructuras de dispositivo de punto de cruce habituales, el elemento activo está fabricado comúnmente en el punto de cruce, y rodeado entre los electrodos de fila y de columna. Sin embargo, en el presente contexto (una pantalla), puede desearse que impida una configuración rodeada y evite que los electrodos interfieran con las propiedades ópticas de los píxeles. Esto puede resolverse de manera sencilla desplazando lateralmente los píxeles, como se ha indicado anteriormente. Esto se ilustra en la Figura 4. En este punto, cada píxel 2 está desplazado lateralmente (es decir, en una dirección perpendicular a la dirección de apilamiento z de la estructura de capa) desde el punto de cruce formado en la intersección de los electrodos 221, 222. Además, los electrodos 221, 222 están en comunicación eléctrica con el RSE (no visible en la Figura 4) del píxel representado 2. Por ejemplo, un borde del píxel 2 puede ser paralelo y a una distancia de uno 222 de los electrodos y estar conectado mediante un brazo auxiliar 222a, que forma una unión con la porción de electrodo 222. Otro borde contiguo del mismo píxel 2 puede por lo tanto estar en contacto directo con el otro electrodo 221.

Como resultado de la ubicación del píxel lejos del punto de cruce, es necesario aislar el punto de cruce de los electrodos de fila y de columna, por ejemplo, usando un elemento dieléctrico o un puente 225. El aislamiento, puede proporcionarse ya por una capa en la que están embebidos los electrodos.

Por ejemplo, el puente 225 puede fabricarse de un material polimérico que está fabricado en primer lugar litográficamente sobre los electrodos de columna 222 en cada punto de cruce, por ejemplo, en forma de una forma de disco. El dispositivo polimérico se calienta a continuación pasada la temperatura de transición vítrea de manera que cada disco forma una forma lenticular, que se enfría a continuación. Tiene a continuación lugar la fabricación de los electrodos de fila 221 sobre los electrodos de columna 222 y la capa de puente 225, guiando la forma lenticular del puente 225 los electrodos de fila 221 sobre cada punto de cruce mientras se minimizan los gradientes afilados, que podrían conducir en otro caso a resistencia o fallos aumentados. En variantes, el puente puede fabricarse como un óxido o nitruro (por ejemplo,  $\text{Si}_3\text{N}_4$ ), depositado a través de una máscara.

Aunque no permite la densidad más alta de píxeles, la configuración de desplazamiento de la Figura 4 es bastante adecuada para muchas aplicaciones de pantalla y cubrirá típicamente el 70 % o más del área activa. Puede usarse por ejemplo una matriz negra para cubrir áreas restantes (distintas de áreas de píxel), que incluyen los electrodos 221, 222 y puentes dieléctricos 225.

En variantes, puede contemplarse una estructura más sofisticada, que permite relleno de píxel mayor, como se analiza ahora con referencia a las Figuras 7 - 10. Un aspecto clave de tales realizaciones es conectar los electrodos 221, 222 a elementos de calentamiento de los píxeles a través de vías transversales. En concreto, y como se observa en las Figuras 7 - 10, cada par de electrodos puede fabricarse en comunicación eléctrica con un elemento de calentamiento 17c, 17d de un píxel 2c, 2d a través de dos vías transversales 41, 42, que se extienden, cada una, paralela a la dirección de apilamiento z de la estructura de capa.

De ventaja particular es configurar una 41 o cada una de dichas vías 41, 42 como un elemento resistivo no lineal. Tener una de las vías 41, 42 configurada como un RSE sería suficiente normalmente para el fin actual. Sin embargo, teniendo ambas vías 41, 42 configuradas como un RSE permite que se reduzca el espesor de los RSE. Por ejemplo, puesto que ambas vías están en serie con el calentador, tener dos vías de medio espesor 41, 42 debería conducir en principio al mismo rendimiento que una vía de espesor total.

En las Figuras 7 - 10, las vías 41 comprenden un material resistivo no lineal tal como el usado en los RSE 21 analizados anteriormente (de manera eficaz las vías 41 son los RSE). Las vías 41 están de otra manera en comunicación eléctrica con los elementos de calentamiento 17c, 17d. Un diseño de este tipo permite estructuras en 3D, que hace posible aumentar la superficie disponible para un píxel. Es decir, la estructura de capa 2c, 2d puede ahora abarcar una superficie óptima, por ejemplo, que corresponde sustancialmente al área de célula disponible para cada punto de cruce, al contrario de la estructura más planar de la Figura 4 donde los píxeles están desplazados lateralmente. Por lo tanto, puede aumentarse la superficie relativa rellena eficazmente por los píxeles, o factor de relleno.

Haciendo referencia ahora más particularmente a las Figuras 7, 8: cada par de vías 41, 42 puede ubicarse ambas, en las realizaciones, entre los electrodos 221, 222 y los elementos de calentamiento 17c. Obsérvese que las capas restantes de la pila 2c no se representan en las Figuras 7 - 8, por claridad. Además, únicamente se representa en este punto la infraestructura que corresponde a un píxel del dispositivo 1c.

5 En más detalle, cada par de vías 41, 42 puede proporcionarse en un espacio entre el plano medio de los electrodos 221, 222 y el plano medio de los elementos de calentamiento 17c. En este caso, las vías 41, 42 están todas en un mismo lado de los elementos calentadores. Típicamente, las vías 41, 42 están embebidas en una capa 23 y los electrodos 221, 222 están en patrones en un sustrato 22.

10 El diseño usado en las Figuras 7, 8 permite que se aumente el factor de relleno, mientras que mantiene la fabricación relativamente sencilla. Una solución de este tipo permite que se obtenga una serie direccionada de matriz 1c de píxeles basados en PCM, en donde los electrodos de fila y de columna 221, 222, los elementos de interconexión no lineales y pasivos 41, 42 se asientan por debajo de los elementos calentadores 17c.

15 De ventaja particular es configurar los elementos de calentamiento 17c como reflectores ópticos, que actuarían por lo tanto como elementos de espejo de las pilas ópticas. Sin embargo, los elementos de calentamiento 17c pueden necesitar fabricarse estrechos, para un calentamiento eficaz. En ese caso, los elementos de calentamiento pueden tener un diseño de serpentin. Las partes de espejo complementarias 27 pueden rellenar adicionalmente las áreas restantes, para mejorar la reflexión óptica de la capa de espejo.

20 Haciendo referencia ahora a las Figuras 9, 10, el dispositivo de visualización 1d puede estar diseñado para que los electrodos 221, 222 se extiendan en cualquier lado del plano de los calentadores 17d. En las Figuras 9, 10, la infraestructura representada corresponde a cuatro píxeles; las capas superiores de las pilas 2d no se representan, por claridad.

25 En detalle, los electrodos de fila 221 se extienden en un primer plano en un lado de (es decir, por debajo) del plano medio de los elementos de calentamiento 17d (en la parte inferior de la pila 2d, no representada), mientras que los electrodos de columna 222 se extienden en un segundo plano en otro lado de (es decir, por encima) los elementos de calentamiento 17d. Las vías 41, que comprenden un material no lineal 21, conectan los electrodos 221 a respectivos elementos de calentamiento 17d. Las otras vías 42 conectan los elementos de calentamiento 17d a electrodos de columna 222 en la parte superior. Los últimos estarán configurados ventajosamente como espejos. Esto ahorra tener que usar un bloque de aislamiento para separar los electrodos de fila y de columna 221, 222 (aunque el último puede estar embebido bien en una capa 23, no mostrado en la Figura 9). Además, este enfoque permite que los electrodos 222 en la parte superior sean el doble que los espejos. Esto, a su vez, permite que el calentador 17d sea pequeño y no reflectante, cuyas propiedades de material pueden ajustarse en su lugar para resistencia superior.

30 Ya sea en las realizaciones como en las Figuras 1 o 9 - 10, proporcionar el elemento de calentamiento 17, 17c, 17d opuesto al PCM 10 con respecto al reflector óptico 15, 222 puede ser ventajoso, con la condición de que el reflector óptico sea suficientemente térmicamente conductor. Por ejemplo, haciendo referencia de vuelta a la Figura 1, el dispositivo de visualización 1 puede tener una estructura de capa 2 que comprende un reflector óptico 15 y un espaciador 14, además del RSE 21, el elemento de calentamiento 17 y el PCM 10 ya descritos anteriormente.

35 El reflector 15 y el separador 14 son ambos térmicamente conductores. El separador 14 puede transmitir la luz y está dispuesto por encima del reflector 15. El espaciador puede comprender una o más capas de materiales, cada una de las cuales es suficientemente delgada o transparente para que la globalidad de la capa del espaciador sea sustancialmente transmisiva a la luz. El PCM 10 está dispuesto por encima del separador 14. De manera destacable, el elemento de calentamiento 17 está ubicado 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. Además, de conformidad con la configuración anterior, el elemento de calentamiento 17 está en comunicación térmica con el PCM 10 mediante el reflector 15 y el espaciador 14. Sin embargo, 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, o como un reflector óptico difuso.

40 El elemento de calentamiento se proporciona preferentemente como una capa, completando de esta manera la pila de capas 10, 14, 15, es decir el elemento de calentamiento 17, el reflector 15, el espaciador 14 y el PCM 10 están apilados como capas a lo largo de la dirección de apilamiento z de la estructura de capa 2. Los diversos elementos 17, 15, 14 y 10 forman una secuencia ordenada de manera apropiada en la estructura 2. Además, tales elementos no son inmediatamente consecutivos, es decir la secuencia puede comprender una o más capas adicionales insertadas en la secuencia, tal como, por ejemplo, la capa 18. Además, cualquier capa adicional debería tener unas propiedades físicas adecuadas para mantener la ruta térmica deseada y barrera eléctrica entre el calentador 17 y el PCM 10.

45 Las capas 10 - 17 preferentemente todas tienen las mismas dimensiones laterales x, y (perpendicularmente a la dirección de apilamiento z). La estructura 2 puede tener dimensiones sustancialmente laterales constantes a lo largo de z, para formar una estructura sobresaliente compacta, y por lo tanto favorecer una propagación de calor uniforme entre el calentador 17 y el PCM 10, a lo largo de z. Esto, a su vez, ayuda a conseguir una conmutación uniforme y

optimizar el consumo de alimentación. Sin embargo, no es crítico tener dimensiones laterales sustancialmente idénticas en la pila de capa, siempre que pueda transferirse satisfactoriamente el calor al PCM a lo largo de z.

5 En particular, las dimensiones laterales del elemento de calentamiento 17 pueden coincidir esencialmente a aquellas de los elementos superiores 10 - 15, o incluso ser ligeramente mayores, para 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, el dispositivo 1 puede estar diseñado para favorecer una conmutación uniforme, a través de una gran porción del PCM 10 o, si es posible, a través de una porción mayor del mismo.

10 Ventajosamente, la ubicación del calentador 17 en la pila no interrumpe la secuencia ordenada de capas 10 - 14 - 15, que puede optimizarse, a su vez, en términos de sus propiedades ópticas. Esto permite que se ajuste el espesor del espaciador, por ejemplo, para cada píxel o subpíxel, para aprovechar los efectos de interferencia que dependen del índice de refracción del PCM 10 y el espesor del espaciador 14. Por lo tanto, no hay necesidad de usar filtros de color, aunque pueden usarse tales filtros, de manera complementaria a los espaciadores, si fuera necesario. Además, el  
15 dispositivo puede incluir atenuadores ópticos o atenuadores electro-ópticos o, además, cualquier filtro configurado para obtener un tono de visualización deseado.

Además, el elemento de calentamiento 17 no necesita estar fabricado transmisivo a la luz, como sería si estuviera en contacto directo con el PCM, es decir, por encima del reflector. Puede optimizarse, en su lugar, con respecto a sus  
20 propiedades eléctricas/térmicas deseadas (por ejemplo, una alta resistencia). El calentador 17 está conectado en serie entre los electrodos de baja resistividad 221,222, por debajo del reflector 15, para optimizar la conversión de alimentación mientras se suministra energía al píxel y se minimiza el consumo de alimentación. Esto simplifica adicionalmente la estructura global, ya que los únicos contactos eléctricos están en el lado trasero de la estructura 2, sin que sean necesarios electrodos que rodeen las regiones ópticas activas.

25 Gracias a la arquitectura de capa actual, pueden fabricarse más fácilmente los subpíxeles (y direccionarse eléctricamente), pudiendo cada uno proporcionar un color diferente. El calentador 17 se elige preferentemente para accionarse usando tecnología CMOS convencional. Los subpíxeles pueden tener espaciadores de espesores sustancialmente distintos para proporcionar diferentes colores. En aplicaciones de pantalla pasivas, el calentador 17  
30 se elige preferentemente para tener una alta resistencia en comparación con sus respectivas líneas de columna y fila, para asegurar que la mayoría de las tensiones aplicadas desde el controlador caerán de manera eficaz a través del calentador. Sin embargo, preferentemente el calentador no debería ser demasiado resistivo, para evitar la necesidad de demasiada tensión para alcanzar suficientes temperaturas.

35 Obsérvese que las capas 10 - 17 no necesitan ser necesariamente perfectamente planas; pueden en su lugar ser estructuras, aunque en general estarán apiladas a lo largo de la dirección de apilamiento z. En particular, el calentador 17 puede estar estructurado para mejorar el perfil de temperatura a través del mismo y, por lo tanto, la conmutación.

40 Típicamente, una capa de cobertura transparente 16 está dispuesta en la parte superior del PCM 10, una superficie 16s de la cual define la superficie de visualización, como se observa en la Figura 1.

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 de PCM, típicamente es necesario un mínimo del 1 %. Los valores exactos de transmitancia dependen del espesor real de las capas. El reflector 15 necesita normalmente ser  
45 ópticamente grueso. Por ejemplo, si la capa del reflector 15 puede fabricarse esencialmente de plata y tener un espesor de al menos 60 nm y, preferentemente, es necesario de al menos 100 nm. El reflector preferentemente tiene una reflectancia de más del 80 %, 90 % o incluso del 95 %, de media, sobre el intervalo de longitudes de onda de interés.

Teniendo el elemento de calentamiento 17 opuesto al PCM 10 con respecto al reflector 15 permite, en la práctica, que se conmuten superficies mayores de los PCM. Puede adoptarse también una estructura similar en el contexto de las  
50 Figuras 7 - 10, en variantes donde los calentadores 17c, 17d no se usan como espejos.

Para optimizar concurrentemente las propiedades termo-ópticas de los dispositivos de visualización, puede imponerse adicionalmente el espesor promedio del reflector 15 para que esté entre 50 nm y 1 mm. Mientras tanto, el espesor  
55 promedio del espaciador 14 estaría típicamente entre 10 nm y 250 nm y el espesor promedio del PCM 10 entre 1 nm y 100 nm, y preferentemente entre 7 nm y 15 nm. El espesor de el PCM puede estar, por ejemplo, entre 3 nm y 10 nm, por ejemplo, ser de 6 o 7 nm, especialmente cuando se usa GST. Tales dimensiones se hallaron para favorecer la conmutación uniforme del PCM, especialmente cuando se usa GST. Por el contrario, las dimensiones laterales no están limitadas específicamente (sino que son típicamente mayores de 0,5 nm). La dimensión lateral máxima de la  
60 estructura de capa depende del tipo de pantalla contemplada, arquitectura y materiales usados.

Un ejemplo de operación de la pantalla se analiza ahora con referencia a las Figuras 2 y 3. En este ejemplo, como un punto de inicio, cada uno de los nueve píxeles en la matriz esquemática de la Figura 3 está en el estado APAGADO, con el RSE para cada píxel en un estado de alta resistencia. Supóngase que ha de conmutarse un píxel en la  
65 siguiente etapa. En el caso de una pantalla de blanco y negro, el estado ACTIVADO puede corresponder a un nivel de blanco brillante. Para conmutar el píxel ACTIVADO, se aplica una señal (en lo sucesivo se supone que es una

tensión, aunque puede usarse también una forma de onda o pulso de corriente) entre el electrodo de fila 221 y el electrodo de columna 222 que pertenecen a este píxel. La tensión  $V_3$  aplicada necesita estar en exceso de la tensión de transición  $V_2$ . En la práctica, esta puede estar dispuesta bien dentro del intervalo de tensión normal de una circuitería de CMOS. A medida que el RSE alcanza un estado de baja resistencia  $R$  (se conmuta a ACTIVADO), genera, bajo la señal  $V_3$  aplicada mediante el controlador 30, un pulso de corriente con un perfil específico con el tiempo (Figura 6), que alcanza el calentador 17 asociado con el píxel de interés, de manera que el píxel de PCM experimenta un cambio de fase rápido de un estado cristalino a uno amorfo. Cuando cesa la señal aplicada, el PCM 10 permanece ACTIVADO, mientras que el correspondiente RSE vuelve a un estado de alta resistencia. Mientras tanto, los píxeles restantes (que no se han direccionado hasta ahora) permanecen APAGADOS. Únicamente una corriente de fuga residual muy pequeña puede fluir a los elementos calentadores de los píxeles, a medida que sus respectivos RSE, ahora todos están APAGADOS, filtran señales parásitas. Para conmutar el píxel de PCM (actualmente ACTIVADO) de vuelta del estado amorfo al cristalino, una segunda señal, que produce un perfil de corriente diferente (Figura 5) puede aplicarse desde el controlador 30. Esto establece un estado negro para el píxel. En la práctica es posible direccionar uno o más píxeles en paralelo usando técnicas de circuitería de controlador 30 y multiplexor 31, 32.

Las señales aplicadas del controlador 30 provoca que se generen las señales  $S_1$ ,  $S_2$  en la salida desde el RSE, señales de salida que tienen características de pulso (amplitud y duración) que determinan los perfiles de calor en el calentador 17, 17c, 17d y, a su vez, el calor transferido al PCM 10. Por ejemplo, se proporciona una señal  $S_1$  con primeras características al calentador mientras que el PCM está en un estado amorfo, establece el PCM a un estado cristalino. Por ejemplo, la señal aplicada  $S_1$  provoca que se genere un primer perfil de temperatura  $P_1$  en el PCM (del elemento de calentamiento). En respuesta a la aplicación de la primera señal al calentador, el último genera calor que se conduce al PCM para inducir una temperatura  $T_1$  mayor que la temperatura de cristalización  $T_c$ , pero menor que la temperatura de fusión  $T_m$ , y que permanece mayor que  $T_c$  para un tiempo suficiente para cristalizar el PCM.

De manera similar, bajo la aplicación de una señal adecuada mediante el controlador, puede generarse una segunda señal  $S_2$  con segundas características en la salida del RSE, mientras que el PCM aún está en un estado cristalino, como se ilustra en la Figura 6. Esto, a su vez, genera un segundo perfil de calor  $P_2$  en el PCM, que establece el PCM de vuelta a un estado amorfo. En este punto, en respuesta a la segunda señal, el elemento calentador resistivo 17 genera un segundo perfil de calor, mediante el cual se conduce calor al PCM. Esto da como resultado, en el PCM, una temperatura  $T_2$  que es ahora mayor que la temperatura de fusión  $T_m$ , e induce una transición a una fase líquida. Permitir la temperatura para que decaiga rápidamente después del borde descendente de pulso aplicado da como resultado la solidificación del PCM en el estado amorfo. Obsérvese que los perfiles de calentador-temperatura  $T_1$ ,  $T_2$  generados por el calor tienen sustancialmente la misma forma que los perfiles de intensidad actuales  $S_1$ ,  $S_2$  obtenidas dentro y fuera del RSE.

Los pulsos aplicados del controlador pueden ajustarse y perfeccionarse, por ejemplo, mediante ensayo y error, basándose en todos los parámetros relevantes, empezando con la naturaleza de los materiales 17, 18, 15, 14, 10 y sus dimensiones. En ese aspecto, los materiales 21, 17, 18, 15, 14, 10, 16 pueden seleccionarse y diseñarse (por ejemplo, en términos de espesor) para tener propiedades térmicas, ópticas y/o eléctricas que aseguran la rápida disipación del calor del PCM 10, ya sea para mitigar la recristalización del PCM posterior a la fusión (durante el proceso de amorfización).

En el ejemplo de la Figura 3, todos los píxeles en la serie pueden direccionarse de manera independiente mediante una aplicación secuencial de señales entre cada combinación de electrodos de fila (221) y columna (222). Esto puede conseguirse aplicando una señal de selección de fila (por ejemplo, una tensión de una polaridad dada y magnitud que por sí misma no es suficiente para activar el RSE, es decir, menor que  $V_2$ ) a cada electrodo de fila. Aunque esta señal es de hecho para cada fila, una señal de direccionamiento de polaridad opuesta (con magnitud y duración a cualquiera de cristalina, se vuelve a amorfizar o se deja sin variar la región de PCM en cada intersección de la fila actualmente activa) se aplica a cada electrodo de columna simultáneamente. La señal de polaridad opuesta a la señal de selección de fila puede a continuación provocar que la tensión total, en combinación con la tensión de selección de fila, a través del calentador y elemento de RSE de los píxeles pretendidos en la fila, supere  $V_2$  y de como resultado el pulso de corriente pretendido. De esta manera, cada fila de la serie puede direccionarse en un periodo de tiempo dado, y todas las filas pueden direccionarse secuencialmente dentro del marco de tiempo permitido para actualizar la imagen completa de la pantalla.

Tal direccionamiento a nivel de fila de este tipo es un método convencional en el control de visualización. También son conocidos otros esquemas de direccionamiento de matriz pasiva más complejos, que usan formas de onda ortogonales aplicadas a las filas como señales de activación, que permiten que se activen múltiples filas en la serie al mismo tiempo mientras se mantiene la independencia de la señal de conmutación resultante en cada intersección. Tales esquemas de "control de matriz" o "control paralelo" pueden aplicarse también a pantallas basadas en PCM de acuerdo con las realizaciones.

A la inversa, las filas pueden direccionarse en un orden no secuencial, y las filas pueden tratarse más de una vez en un marco de periodo dado, con una porción de los píxeles en cada fila direccionada durante un periodo de activación, para separar espacialmente píxeles que están activados simultáneamente o durante periodos temporalmente de

cierre. Esto puede permitir disipación de calor más eficaz de píxeles individuales y evitar una construcción local de calor de píxeles que se activan en sucesión espacial y temporal cerrada, que puede interferir con la reamorfización satisfactoria de los píxeles.

5 Más en general, se desvelan en el presente documento métodos para controlar dispositivos de visualización 1, 1a - d que comprenden suministrar energía de manera repetitiva a los píxeles, mediante el controlador 30, para conmutar de manera reversible los RSE 21 en comunicación eléctrica con respectivos elementos de calentamiento de los píxeles y suministrar energía a los respectivos elementos de calentamiento 17, 17c, 17d. Esto, como se ha analizado anteriormente, permite que el índice de refracción de los respectivos PCM 10 se cambie de manera reversible.

10 Los dispositivos anteriormente descritos pueden usarse, en general, en la fabricación de pantallas y (sub)píxeles en dispositivos de visualización. Los dispositivos resultantes pueden distribuirse por el fabricante en forma en bruto (es decir, como un único producto que tiene múltiples dispositivos no empaquetados) o en una forma empaquetada. En cualquier caso el dispositivo puede integrarse a continuación con otros dispositivos, elementos de circuito discretos, y/u otros dispositivos de procesamiento de señal como parte de cualquiera de (a) un producto intermedio o (b) un producto final. El producto final puede ser cualquier producto que incluye un dispositivo óptico tal como se ha descrito anteriormente, que varía de aplicaciones de bajo nivel a productos avanzados.

15 Aunque se ha descrito la presente invención con referencia a un número limitado de realizaciones, variantes y los dibujos adjuntos, se entenderá por los expertos en la materia que pueden realizarse diversos cambios y pueden sustituirse equivalentes sin alejarse del alcance de la presente invención. En particular, una característica (similar a dispositivo o similar a método) indicada en una realización dada, variante o mostrada en un dibujo puede combinarse con o sustituir otra característica en otra realización, variante o dibujo, sin alejarse del alcance de la presente invención. Diversas combinaciones de las características descritas con respecto de cualquiera de las realizaciones anteriores o variantes pueden contemplarse en consecuencia, que permanecen dentro del alcance de las reivindicaciones adjuntas. Además, pueden realizarse muchas modificaciones menores para adaptar una situación particular o material a las enseñanzas de la presente invención sin alejarse de su alcance. Por lo tanto, se pretende que la presente invención no esté limitada a las realizaciones particulares desveladas, sino que la presente invención incluirá todas las realizaciones que caigan dentro del alcance de las reivindicaciones adjuntas. Además, pueden contemplarse muchas otras variantes que las explícitamente tocadas anteriormente. Por ejemplo, pueden contemplarse otros materiales o espesores que aquellos explícitamente mencionados.

**REIVINDICACIONES**

1. Un dispositivo de visualización (1, 1a - d), que comprende:

5 un conjunto de píxeles, teniendo cada uno una estructura de capa (2, 2c, 2d) que incluye:

un material de cambio de fase biestable (10), o PCM biestable, que tiene al menos dos estados conmutables de manera reversible, en el que el PCM muestra dos valores diferentes de índice de refracción y/o absorción óptica; y

10 un elemento de calentamiento (17, 17c, 17d), en comunicación térmica con el PCM (10) en la estructura de capa (2, 2c, 2d);

un controlador (30) configurado para suministrar energía a cualquiera de los píxeles para suministrar energía a un respectivo elemento de calentamiento (17, 17c, 17d) y cambiar de manera reversible a su vez un índice de refracción y/o una absorción óptica de un respectivo PCM (10);

15 y **caracterizado por que** el dispositivo de visualización comprende adicionalmente:

un conjunto de elementos de conmutación resistivos monoestables no lineales (21), cada uno en comunicación eléctrica con el elemento de calentamiento (17, 17c, 17d) de uno de los píxeles, y diseñado para mostrar:

20 un estado inestable de baja resistencia, que permite que se suministre energía al elemento de calentamiento (17, 17c, 17d) mediante el elemento de conmutación resistivo (21), para calentar el PCM (10) y cambiar de manera reversible un índice de refracción y/o una absorción óptica del mismo, en la operación; y

25 y un estado estable de alta resistencia, que permite que se mitiguen las corrientes de fuga, para evitar la conmutación involuntaria del PCM (10) de uno de sus estados al otro, en la operación; y

el elemento de calentamiento (17, 17c, 17d) se aísla eléctricamente del PCM (10); y

30 el controlador (30) está configurado para suministrar energía a cualquiera de los píxeles mediante uno respectivo de los elementos de conmutación resistivos (21), para conmutar el último de su estado de alta resistencia a su estado de baja resistencia, para suministrar energía a un respectivo elemento de calentamiento (17, 17c, 17d).

2. El dispositivo de visualización de acuerdo con la reivindicación 1, en donde

35 el dispositivo es una pantalla de direccionamiento de matriz pasiva (1a - 1d), que comprende adicionalmente 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, 17c, 17d) de uno de los píxeles (2, 2c, 2d), mediante uno respectivo de los elementos de conmutación resistivos (21) que está conectado en serie entre los electrodos (221, 222) de dicho cada uno de los pares, para que cada uno de los píxeles (2, 2c, 2d) sea direccionable individualmente mediante el controlador (30) en el dispositivo de visualización.

40 3. El dispositivo de visualización de acuerdo con la reivindicación 2, en donde cada uno de los píxeles comprende dicho respectivo uno de los elementos de conmutación resistivos (21), el último apilado en la estructura de capa (2) de dicho cada uno de los píxeles.

45 4. El dispositivo de visualización de acuerdo con la reivindicación 3, en donde:

dicha disposición de pares de electrodos (221, 222) forma una matriz, mediante la cual los primeros electrodos (221) de los pares de electrodos están dispuestos en columnas y los segundos electrodos (222) de los pares de electrodos están dispuestos en filas; y

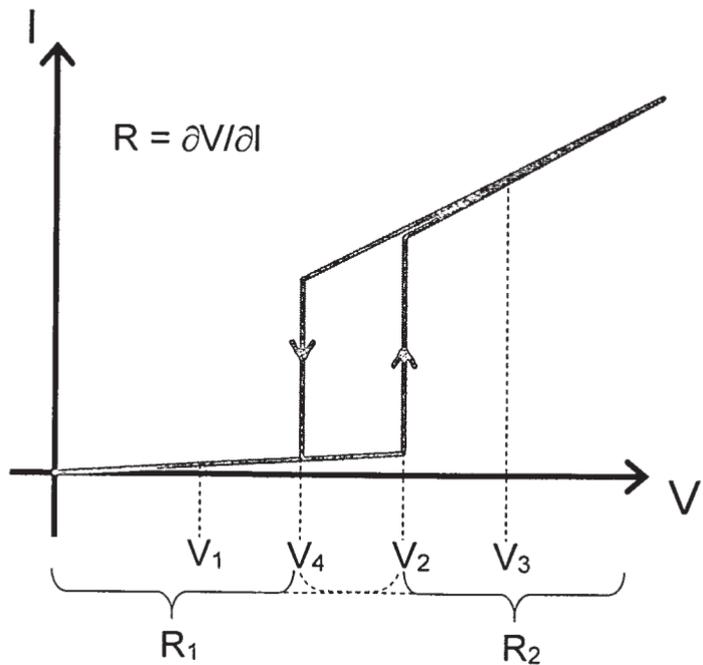
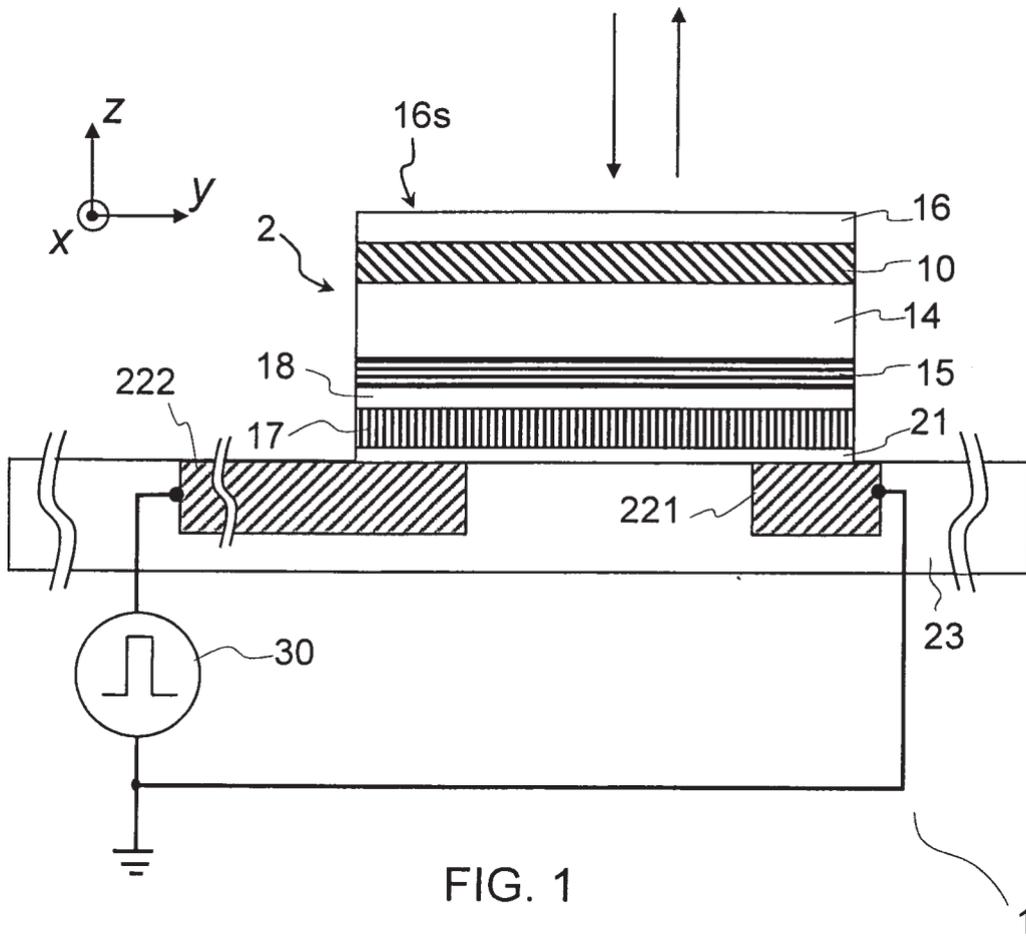
50 cada uno de los píxeles (2) está desplazado, en una dirección perpendicular a una dirección de apilamiento (z) de la estructura de capa de dicho cada uno del píxel, desde un punto de cruce formado en una intersección de uno de los primeros electrodos (221) con uno de los segundos electrodos (222), estando dicho uno de los primeros electrodos (221) y dicho uno de los segundos electrodos (222) en comunicación eléctrica con el elemento de conmutación resistivo (21) de dicho cada uno de los píxeles (2, 2c, 2d).

55 5. El dispositivo de visualización (1c, 1d) de acuerdo con la reivindicación 2, en donde cada uno de los pares de electrodos está en comunicación eléctrica con el elemento de calentamiento (17c, 17d) de uno de los píxeles (2c, 2d) a través de dos vías (41, 42) que se extienden, cada una, paralela a una dirección de apilamiento (z) de la estructura de capa de dicho uno del píxel, en donde una de dichas vías (41, 42) comprende los

60 elementos de conmutación resistivos (21) que está en comunicación eléctrica con el elemento de calentamiento (17c, 17d) de dicho uno de los píxeles (2c, 2d).

65 6. El dispositivo de visualización (1c) de acuerdo con la reivindicación 5, en donde dichas dos vías (41, 42) ambas se extienden entre un plano medio de dicha disposición de pares de electrodos (221, 222) y un plano medio del elemento de calentamiento (17c) de dicho uno de los píxeles (2c), estando preferentemente configurado dicho elemento de calentamiento (17c) como un reflector óptico.

7. El dispositivo de visualización (1d) de acuerdo con la reivindicación **5**, en donde
- 5 primeros electrodos (221) de los pares de electrodos se extienden en un primer plano en un lado de un plano medio del elemento de calentamiento (17d) de dicho uno de los píxeles (2d), y  
segundos electrodos (222) de los pares de electrodos se extienden en un segundo plano en otro lado de dicho plano medio del elemento de calentamiento (17d), estando preferentemente configurados dichos segundos electrodos (222) como reflectores ópticos,  
y en donde,  
10 una (41) de dichas dos vías está conectada a uno de dichos primeros electrodos (221), estando conectada la otra (42) de dichas dos vías a uno de los segundos electrodos (222).
8. El dispositivo de visualización (1, 1a - d) de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones **1 a 7**, en donde la estructura de capa (2, 2c, 2d) comprende adicionalmente:
- 15 un reflector óptico térmicamente conductor (15);  
un espaciador térmicamente conductor (14), que es transmisivo a la luz y está dispuesto por encima del reflector (15),  
en donde,  
20 el PCM (10) está dispuesto por encima del espaciador (14), para que el reflector (15), el espaciador (14) y el PCM (10) se apilen sucesivamente a lo largo de una dirección de apilamiento (z) de la estructura de capa, y el elemento de calentamiento (17, 17c, 17d) está opuesto al PCM (10) con respecto al reflector (15), estando configurada la estructura de capa (2, 2c, 2d) para que el elemento de calentamiento (17, 17c, 17d) esté en comunicación térmica con el PCM (10) mediante el reflector (15) y el espaciador (14).
- 25 9. El dispositivo de visualización (1, 1a - d) de acuerdo con la reivindicación **8**, en donde:
- un espesor promedio del reflector (15) se encuentra entre 50 nm y 1 mm;  
un espesor promedio del espaciador (14) se encuentra entre 10 nm y 250 nm; y  
30 un espesor promedio del PCM (10) se encuentra entre 0,5 nm y 500 nm, y preferentemente entre 1 nm y 100 nm, y más preferentemente entre 7 nm y 15 nm.
10. El dispositivo de visualización (1, 1a - d) de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones **1 a 9**, en donde:
- 35 un espesor promedio del elemento de calentamiento (17, 17c, 17d) se encuentra entre 20 nm y 2 mm, y preferentemente entre 60 nm y 140 nm; y  
un espesor promedio del elemento de conmutación resistivo (21) se encuentra entre 10 nm y 100 nm, y preferentemente entre 10 nm y 30 nm.
- 40 11. Un dispositivo de visualización (1, 1a - d) de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones **1 a 10**, en donde cada uno de los elementos de conmutación resistivos (21) es un dispositivo de conmutación umbral, y preferentemente es uno de: un conmutador umbral ovónico; un dispositivo de transición de metal-aislante; un diodo; y un conmutador de vacío umbral.
- 45 12. Un dispositivo de visualización (1, 1a - d) de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones **1 a 11**, en donde cada uno de los elementos de conmutación resistivos (21) comprende un material que es uno de: un óxido; un nitruro; un sulfuro; un oxinitruro; y diamante, comprendiendo preferentemente dicho elemento de conmutación resistivo (21) uno o más materiales que comprenden, cada uno, uno o más de: NbO<sub>x</sub>, VO<sub>x</sub>, HfO<sub>2</sub>, SiO<sub>2</sub>, ZrO<sub>2</sub>, y TiO<sub>2</sub>.
- 50 13. Un dispositivo de visualización (1, 1a - d) de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones **1 a 12**, en donde el PCM (10) comprende uno o más de los siguientes compuestos: GeSbTe, VO<sub>x</sub>, NbO<sub>x</sub>, GeTe, GeSb, GaSb, AgInSbTe, InSb, InSbTe, InSe, SbTe, TeGeSbS, AgSbSe, SbSe, GeSbMnSn, AgSbTe, AuSbTe, y AlSb.
14. Un dispositivo de visualización (1, 1a - d) de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde el elemento de calentamiento (17, 17c, 17d) de cada uno de los píxeles comprende uno o más de lo siguiente: NiCrSi, NiCr, W, TiW, Pt, Ta, Mo, Nb e Ir.
- 55 15. Un método para controlar un dispositivo de visualización (1, 1a - d) de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, comprendiendo el método  
60 suministrar energía de manera repetitiva a los píxeles, mediante el controlador (30), para conmutar de manera reversible elementos de conmutación resistivos (21) en comunicación eléctrica con respectivos elementos de calentamiento de los píxeles y suministrar energía a los respectivos elementos de calentamiento (17, 17c, 17d) para cambiar de manera reversible un índice de refracción y/o una absorción óptica de respectivos PCM (10) de los píxeles.



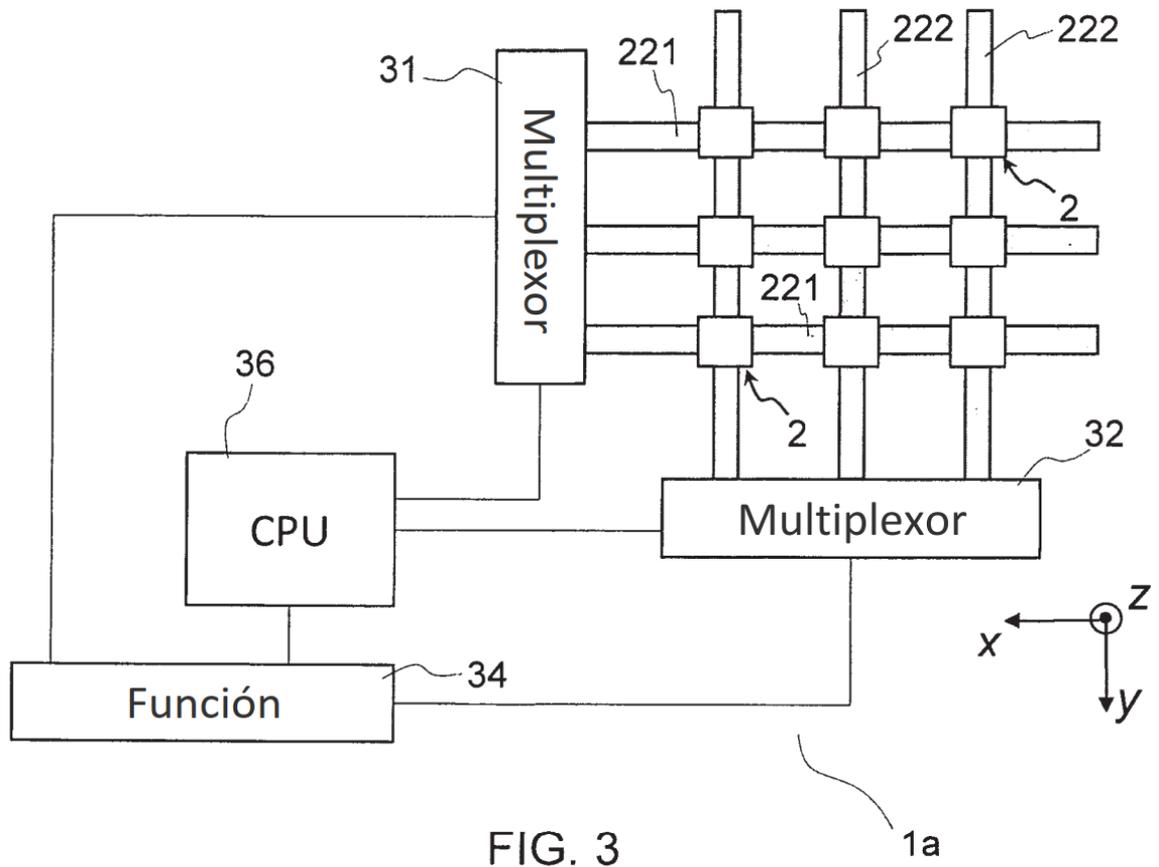


FIG. 3

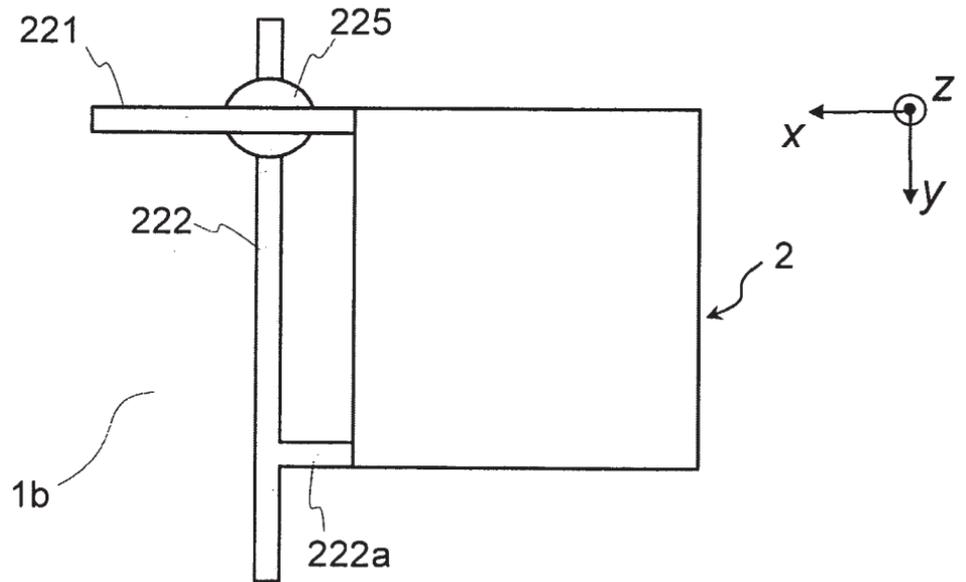


FIG. 4

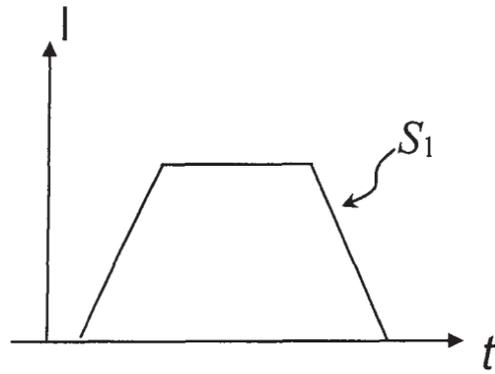


FIG. 5

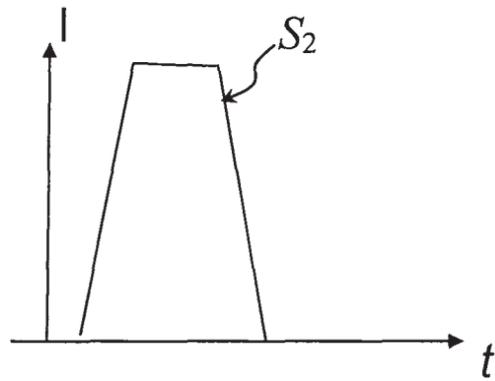


FIG. 6

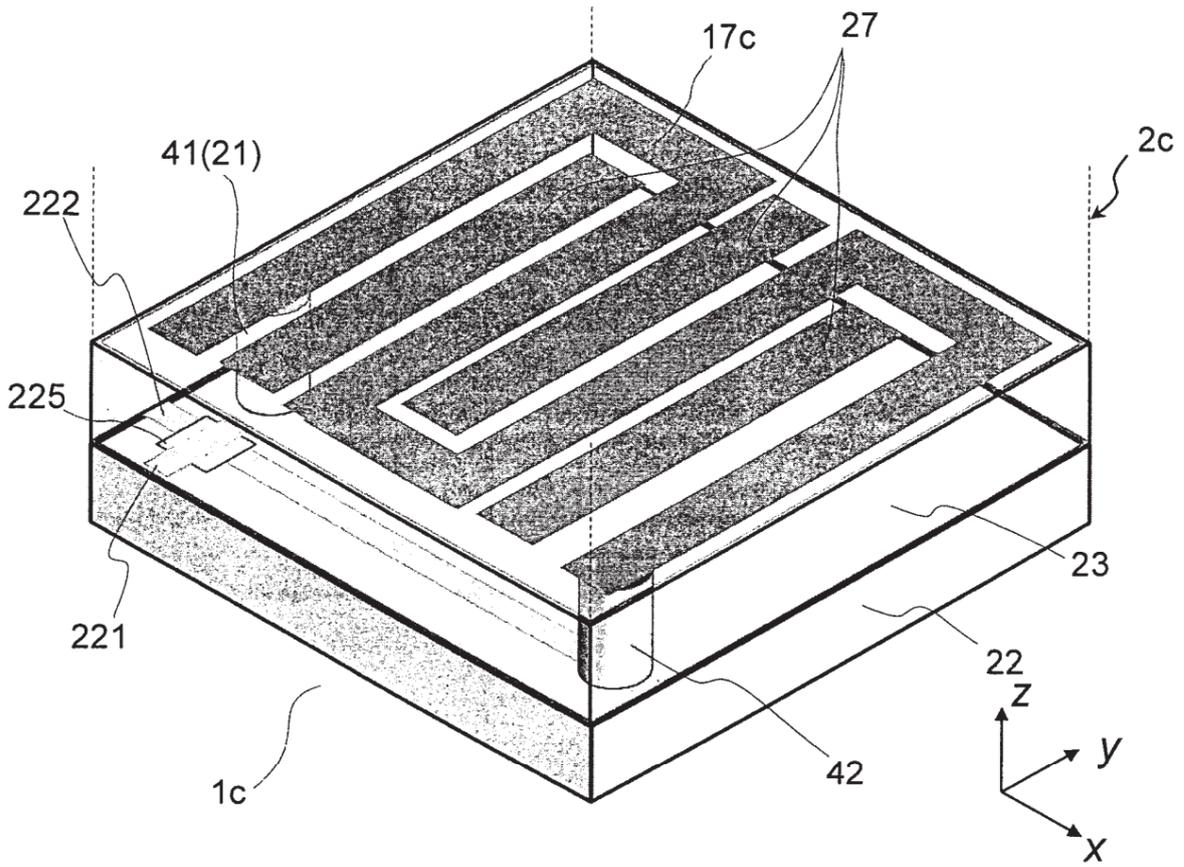


FIG. 7

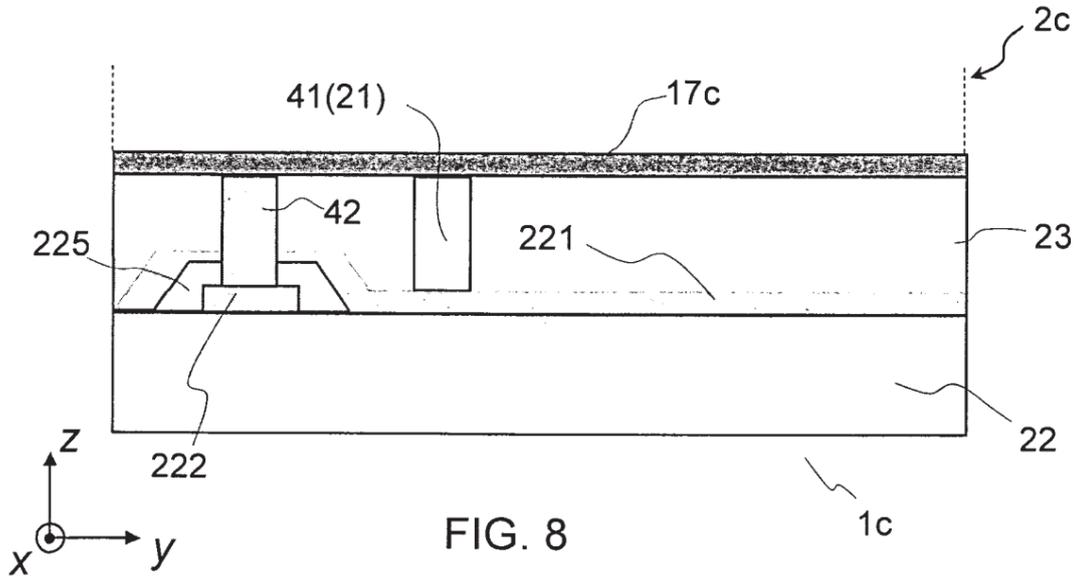


FIG. 8

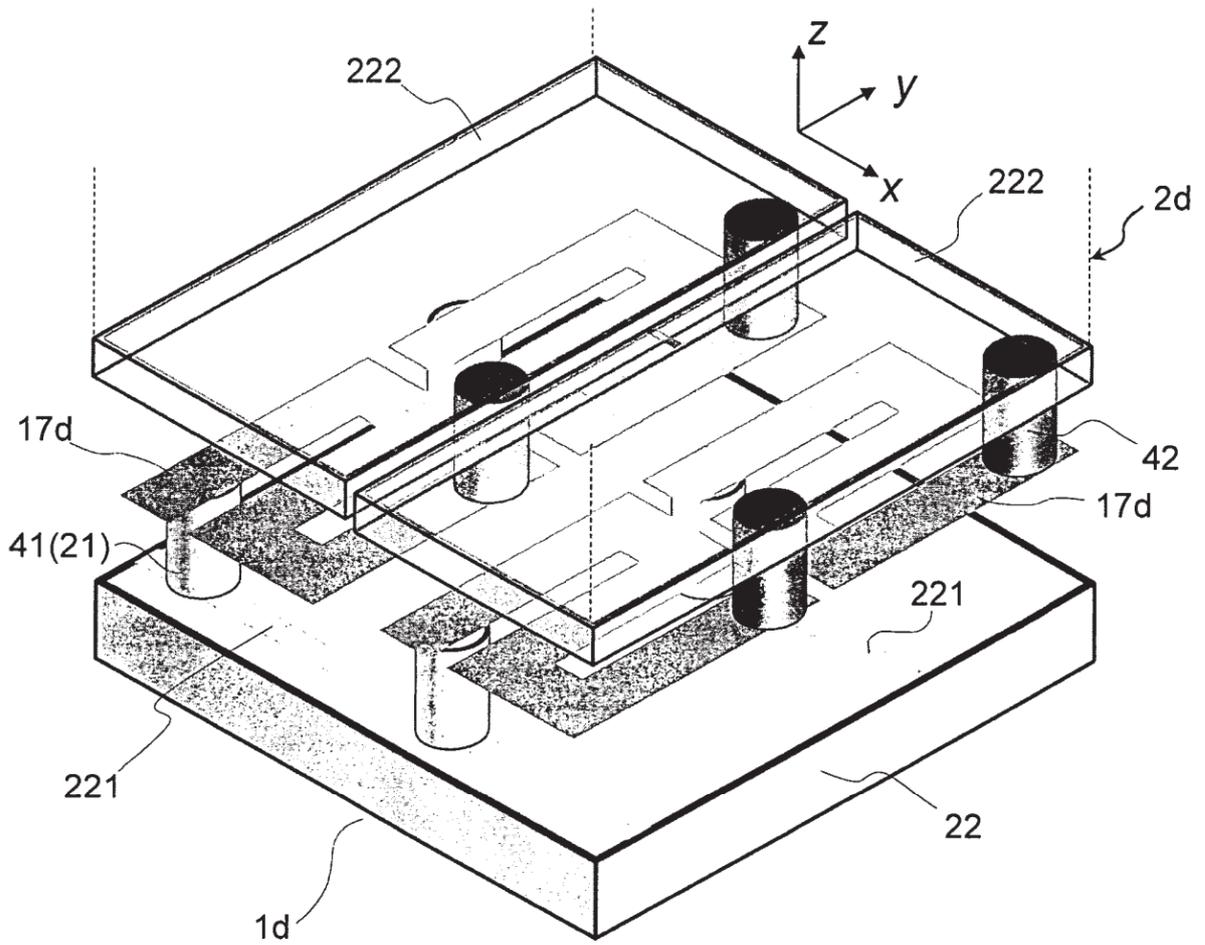


FIG. 9

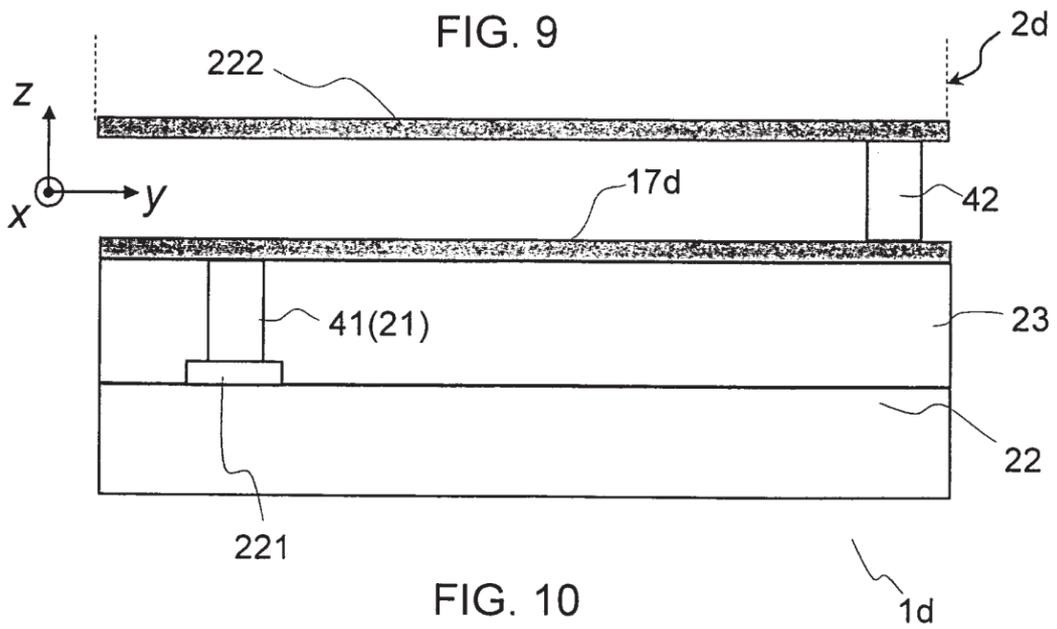


FIG. 10