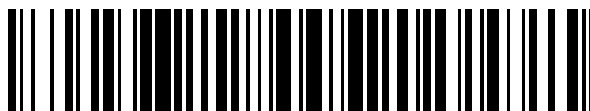


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 781 832**

51 Int. Cl.:

G02F 1/015 (2006.01)

G02B 5/20 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **20.07.2016 PCT/EP2016/067341**

87 Fecha y número de publicación internacional: **26.01.2017 WO17013189**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **20.07.2016 E 16742262 (5)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **29.01.2020 EP 3326027**

54 Título: **Filtro y detector ópticos de nanopartículas o micropartículas resonantes**

30 Prioridad:

20.07.2015 FR 1556864

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

08.09.2020

73 Titular/es:

**CENTRE NATIONAL DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE (33.3%)**

3, rue Michel-Ange

75016 Paris, FR;

UNIVERSITÉ D'AIX MARSEILLE (33.3%) y

ECOLE CENTRALE DE MARSEILLE (33.3%)

72 Inventor/es:

BONOD, NICOLAS;

ABBARCHI, MARCO y

WOOD, THOMAS MICHAEL

74 Agente/Representante:

GONZÁLEZ PECES, Gustavo Adolfo

ES 2 781 832 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

Filtro y detector ópticos de nanopartículas o micropartículas resonantes

La invención se refiere a componentes fotónicos y optoelectrónicos y de forma más particular a un filtro y a un detector óptico a base de nano/micro partículas.

5 Los sistemas de procesamiento de imagen en color necesitan filtros dispuestos en matrices de sensores. Estos filtros son típicamente filtros absorbentes que transmiten una de las longitudes de onda definidas. Son generalmente fabricados utilizando colorantes: la absorción de la luz incidente se realiza por las moléculas que componen los colorantes. Este método de filtrado de la luz comprende varios inconvenientes: la capacidad de filtrado está sujeta al envejecimiento y los materiales utilizados no son compatibles con los procedimientos de fabricación de sensores luminosos CMOS.

10 *Abbarchi et al. (Abbarchi, M., Naffouti, M., Vial, B., Benkouider, A., Lermusiaux, L., Favre, L., ... & Bonod, N., 2014, Wafer Scale Formation of Monocrystalline Silicon-Based Mie Resonators via Silicon-on-Insulator Dewetting. ACS nano, 8(11), 11181-11190)* han divulgado un método de fabricación de un filtro basado en la resonancia de nano/micropartículas semiconductoras, que permiten difundir eficazmente la luz incidente en la superficie de un componente por resonancia electromagnética en el material de la nano/micropartícula. Sus frecuencias de resonancia dependen del tamaño y el material utilizado. Para realizar estos resonadores, *Abbarchi et al.* utilizan un sustrato de silicio sobre aislante sobre el cual se puede depositar una capa de germanio. Las condiciones controladas de presión y la temperatura inducen a un desmoldeo de la (de las) capa(s) semiconductor(a)s sobre la capa de SiO₂. Las "gotas" de semiconductor (silicio y/o germanio) forman las nano/micropartículas sobre la superficie del aislante. Este método presenta el interés de ser compatible con los criterios de fabricación CMOS ya que no utiliza, en especial, metal, al contrario que los métodos que utilizan microestructuras que implementan plasmones de superficie. En cambio, el método divulgado no permite controlar *a posteriori* la frecuencia de resonancia de las nano/micropartículas fabricadas ya que el tamaño y el material de estas partículas son fijados durante la fabricación. Los documentos WO2013/062795 A1 et WO2004/053938 A2 divulgan filtros sintonizables eléctricamente.

15 La invención se refiere igualmente a un fotodetector. Los sistemas de procesamiento de imagen comprenden generalmente una matriz de fotodetectores, por ejemplo de tipo CMOS o unión p-n, cuya banda espectral de cada uno de los fotodetectores es fija. El procesamiento de imagen en color necesita la detección independiente de varias bandas espectrales: los fotodetectores de una misma matriz deben por tanto comprender filtros de bandas espectrales diferentes. Los fotodetectores de realizados de esta manera no se pueden sintonizar *a posteriori* y su fabricación necesita etapas tecnológicas adicionales que no son compatibles con los criterios de fabricación CMOS.

20 La invención tiene por objetivo superar, completamente o parcialmente, al menos uno de los inconvenientes citados anteriormente de la técnica anterior.

Un objeto de la invención que permite alcanzar este objetivo es un filtro óptico sintonizable eléctricamente según la reivindicación 1 y que comprende, en especial:

- 35 - una pluralidad de nano/micropartículas semiconductoras, que presentan propiedades de resonancia electromagnética en el campo óptico y próximo al infrarrojo, dispuestas sobre un plano, caracterizado porque comprende además:
- una capa de índice óptico eléctricamente ajustable dispuesta sobre la superficie formada por dichas nano/micropartículas y dicho plano;
 - 40 - una primera capa eléctricamente aislante dispuestas sobre dicha capa de índice óptico eléctricamente ajustable y
 - un electrodo dispuesto sobre dicha primera capa eléctricamente aislante.

Ventajosamente, el filtro comprende una segunda capa eléctricamente aislante una de cuyas superficies coincide con dicho plano, estando en contacto dicha segunda capa eléctricamente aislante con dichas nano/micropartículas y la capa de índice óptico eléctricamente ajustable.

Ventajosamente, al menos una de dichas nano/micropartículas de dicho filtro comprende un núcleo semiconductor y una cubierta semiconductoras cuyas propiedades eléctricas son diferentes y adaptadas para formar al menos una unión elegida entre una homounión anisotipo, una heterounión isotipo y una heterounión anisotipo.

50 Ventajosamente, el filtro comprende al menos una cubierta de material eléctricamente aislante en la cual al menos una de dichas nano/micropartículas está rodeada, al menos parcialmente, de dicha cubierta de material eléctricamente aislante.

Ventajosamente, al menos un material de dicha capa de índice óptico eléctricamente ajustable de dicho filtro es un material orgánico.

Ventajosamente, el material de dicha capa de índice óptico eléctricamente ajustable de dicho filtro se elige al menos de entre el poli(3,4-etilendioxitiofeno), el sulfonato sódico de poliestireno, el óxido de indio y estaño, el óxido de zinc y aluminio, el poli(4,4-diociclopentaditiofeno), el poli(metacrilato de metilo) y las redes de nanotubos de carbono.

5 Ventajosamente, el tamaño y el material de dichas nano/micropartículas de dicho filtro se adaptan para permitir una resonancia de dichas nano/micropartículas para longitudes de onda de excitación comprendidas entre 300 nm y 2,5 μ m.

Como se reivindicó, el filtro comprende un primer circuito eléctrico conectado por un lado a una masa y por otro lado a dicho electrodo, adaptado a la polarización de dicha capa de índice óptico eléctricamente ajustable.

10 Ventajosamente, el índice óptico del material de dicha segunda capa eléctricamente aislante es estrictamente inferior al índice óptico del material de dichas nano/micropartículas y dichas nano/micropartículas son sensiblemente hemisféricas, coincidiendo la parte plana de los hemisferios formados por dichas nano/micropartículas con dicho plano.

Otro objeto de la invención es una matriz de dichos filtros según la reivindicación 11.

Ventajosamente, al menos dos de dichos primeros circuitos de la matriz de filtros están conectados de manera que imponen el mismo potencial entre dicha masa y cada uno de dichos electrodos.

15 Ventajosamente, al menos dicho primer circuito eléctrico de dicha matriz de filtros ópticos está adaptado para imponer un potencial independiente de dichos otros primeros circuitos eléctricos, a al menos uno de dichos electrodos.

Otro objeto de la invención es un fotodetector de unión p-n, según la reivindicación 14 y que comprende un filtro dispuesto sobre una capa elegida de entre una capa dopada n y una capa dopada p de dicha unión p-n.

20 Ventajosamente, el fotodetector comprende dicho filtro óptico, cuyo material de dicha capa de índice óptico eléctricamente ajustable es conductor.

Ventajosamente, el fotodetector comprende un segundo circuito eléctrico, cuyos dos bornes están conectados a dicha capa de índice eléctricamente ajustable, estando adaptado dicho segundo circuito eléctrico para detectar variaciones de corriente eléctrica en dichos bornes.

Otro objeto de la invención es una matriz de dichos fotodetectores.

25 Ventajosamente, al menos dos de dichos primeros circuitos de dicha matriz de fotodetectores están conectados de manera que imponen el mismo potencial entre dicha masa y cada dicho electrodo.

Ventajosamente, al menos dicho primer circuito eléctrico de dicha matriz de fotodetectores está adaptado para imponer un potencial independiente de dichos otros primeros circuitos eléctricos, a al menos uno de dichos electrodos.

30 Otro objeto de la invención es un procedimiento de fabricación según la reivindicación 20 de un filtro óptico, de un fotodetector, de una matriz de filtros ópticos y/o de una matriz de fotodetectores que comprende al menos las siguientes etapas:

a) desmoldeo de al menos una capa de material semiconductor depositada con anterioridad sobre una de dichas segundas capas eléctricamente aislantes;

35 b) depósito de dicha capa de índice óptico eléctricamente ajustable sobre dichos materiales semiconductores y aislantes.

Ventajosamente, el procedimiento comprende una etapa inicial que consiste en grabar patrones sobre dicha capa de al menos dicho material semiconductor, dichos patrones que controlan espacialmente la formación de dichas nanopartículas durante la etapa a).

40 Ventajosamente, se graba, en el procedimiento al menos una de dichas capas de material semiconductor con una sonda iónica focalizada.

Ventajosamente, el procedimiento comprende una etapa que consiste en grabar al menos dicha capa de índice eléctricamente ajustable de manera que se define espacialmente dicho(s) filtro(s) óptico(s), fotodetector(es), matriz (matrices) de filtros ópticos y/o de una matriz (matrices) de fotodetectores.

45 Otro objeto de la invención es un procedimiento de filtrado óptico por un filtro óptico, un fotodetector, una matriz de filtros ópticos y/una matriz de fotodetectores, comprendiendo dicho procedimiento al menos una etapa que consiste en ajustar la longitud de onda de resonancia de dichas nano/micropartículas controlando el potencial en el borne de dicho electrodo.

La descripción siguiente presenta varios ejemplos de realización del dispositivo de la invención: estos ejemplos no son limitativos del alcance de la invención. Estos ejemplos de realización presentan a la vez las características esenciales

de la invención así como características adicionales relacionadas con los modos de realización considerados. En aras de la claridad, los mismos elementos portarán las mismas referencias en las diferentes figuras.

Por “nanopartícula” se entiende una partícula en la que al menos la dimensión más pequeña es nanométrica, es decir comprendida entre 0,1 nm y 100 nm.

- 5 Por “micropartícula”, se entiende una partícula en la que al menos la dimensión más pequeña es micrométrica, es decir comprendida entre 0,1 μm y 100 μm .

Por “píxel”, se entiende al menos un elemento elegido entre un filtro y un fotodetector de una matriz de dicho elemento.

La invención se comprenderá mejor y otras ventajas, detalles y características de la misma aparecerán en el transcurso de la descripción explicativa siguiente, hecha a título de ejemplo con referencia los dibujos adjuntos, en los cuales:

- 10 - la figura 1 es una fotografía obtenida por medio de un microscopio de barrido electrónico de una oblea de silicio sobre aislante, en vista superior, después de la formación de nano/micropartículas;
- la figura 2 es una fotografía obtenida por medio de un microscopio de barrido electrónico de alta resolución, en vista superior, de una nano/micropartícula;
- 15 - la figura 3 es una fotografía obtenida por medio de un microscopio electrónico de transmisión del corte de una nano/micropartícula;
- la figura 4 es una fotografía obtenida por medio de un microscópico electrónico de transmisión del corte de una nano/micropartícula;
- la figura 5 ilustra la correspondencia entre diferentes motivos de grabado y la distribución espacial de las nano/micropartículas sobre la capa aislante;
- 20 - la figura 6 es un montaje compuesto de una imagen de microscopio óptico de redes de nano/micropartículas y de tres imágenes de microscopio AFM que indican detalles de estas redes;
- la figura 7 ilustra resonancias electromagnéticas de las nano/micropartículas;
- la figura 8 ilustra esquemáticamente un filtro óptico según una realización de la invención y una matriz de filtros ópticos según una realización de la invención;
- 25 - la figura 9 ilustra el ajuste de la frecuencia de resonancia de las nano/micropartículas por imposición de un potencial en la capa de índice óptico eléctricamente ajustable;
- la figura 10 ilustra esquemáticamente una matriz de filtros y de fotodetectores según realizaciones de la invención;
- la figura 11 ilustra esquemáticamente una matriz de filtros y de fotodetectores según realizaciones de la invención;
- la figura 12 ilustra una matriz de tres fotodetectores según realizaciones de la invención;
- 30 - la figura 13 ilustra una matriz de tres fotodetectores según realizaciones de la invención 15;
- la figura 14 ilustra una simulación de la transmisión óptica de un filtro según la invención, en función de diferentes índices ópticos de una capa de índice óptico eléctricamente ajustable y
- la figura 15 ilustra simulaciones de la transmisión óptica de un filtro diferente de la invención, en función de la longitud de onda de excitación del filtro.

- 35 La figura 1 es una fotografía obtenida por medio de un microscopio de barrido electrónico de una oblea de silicio sobre aislante (SOI), en vista superior, después de la formación de nano/micropartículas 1. Ventajosamente, el método descrito por *Abbarchi et al.* puede ser utilizado para realizar la red de nano/micropartículas ilustrada por la figura 1. Se utiliza una oblea de silicio sobre aislante. Después de la limpieza de las obleas de SOI, se puede eliminar la capa de óxido nativo del silicio por grabado húmedo. Se puede disponer una capa epitaxial de germanio sobre la capa de silicio de la oblea (se pueden por ejemplo depositar 18 mono capas de germanio). La muestra es cocida, por ejemplo entre 750 y 880°C a alto vacío, por ejemplo entre 10^{-8} y 10^{-10} Torr ($7,6 \cdot 10^{-5}$ y $7,6 \cdot 10^{-7}$ atmósferas), durante, por ejemplo, 30 a 120 minutos. Estas condiciones llevan al desmoldeo de las capas semiconductoras sobre el aislante 3. En la figura 40 1, la oblea de SOI utilizada está caracterizada por un grosor de aislante (SiO_2) de 25 nm y un espesor de silicio de 12 nm antes del desmoldeo. La fotografía de la figura 1 ilustra la formación de nano/micropartículas 1 formadas por desmoldeo de la capa de silicio y de la capa de germanio por este procedimiento.
- 45

Se pueden utilizar otros métodos de realización de nano/micropartículas 1 semiconductoras. Por ejemplo, *Proust et al.* (*Proust, J., Bedu, F., Chenot, S., Soumahoro, I., Ozerov, I., Gallas, B., ... & Bonod, N., 2015, Chemical Alkaline Etching of Silicon Mie Particles, Advanced Optical Materials*) divulgan un método de litografía química selectiva para capas gruesas (por ejemplo 100 nm) de silicio sobre aislante. Se puede por tanto utilizar el auto montaje coloidal

(Garín, M., Fenolosa, R., Alcubilla, R., Shi, L., Marsal, L. F., & Meseguer, F., 2014, *All-silicon spherical-Mieresonator photodiode with spectral response in the infrared región. Nature communications*, 5), la impresión nanométrica combinada por grabado iónico (Spinelli, P., Verschuuren, M. A., & Polman, A., 2012, *Broadband omnidirectional antireflection coating based on subwavelength surface Mie resonators, Nature communications*, 3, 692), o la ablación láser (Kuznetsov, A. I., Miroshnichenko, A. E., Fu, Y. H., Zhang, J., & Luk'yanchuk, B., 2012, *Magnetic light. Scientific reports*, 2).

La figura 2 es una fotografía obtenida por medio de un microscopio de barrido electrónico de alta resolución, en vista superior, de una nano/micropartícula 1. Esta nano/micropartícula 1 es realizada según el método descrito en la figura 1. Algunas de las caras correspondientes a los planos (311) cristalográficos son indicadas por los círculos blancos en líneas de puntos y por las flechas blancas. De manera general, el método descrito en la figura 1 y el método descrito por Proust *et al.* permiten ventajosamente la fabricación de nano/micropartículas 1 cuya estructura es cristalina. En particular, una nano/micropartícula 1 que comprende una superficie atómicamente lisa permite minimizar los estados electrónicos de superficie. Los defectos sobre la superficie de estas nano/micropartículas pueden conllevar pérdidas de carga significativas, por ejemplo por recombinaciones. Como alternativa, las nano/micropartículas 1 pueden ser realizadas con un material dieléctrico.

La figura 3 es una fotografía obtenida por medio de un microscopio electrónico de transmisión del corte de una nano/micropartícula 1. Esta nano/micropartícula es realizada según el método descrito en la figura 1. El núcleo semiconductor de la partícula 1 es de silicio mientras que su cubierta 20 semiconductor es una aleación $\text{Si}_{0,7}\text{Ge}_{0,3}$. La formación de una cubierta es posible gracias a la superposición de capas de silicio y de germanio con antelación al desmoldeo. De una manera más general, las nanopartículas 1 de las realizaciones de la invención pueden comprender un núcleo 19 semiconductor y una cubierta 20 semiconductoras cuyas propiedades eléctricas son diferentes y adaptadas para formar al menos una unión eléctrica elegida entre una homounión anisotipo, una heterounión isotipo y una heterounión anisotipo.

La figura 4 ilustra la estructura de una nanopartícula 1. El panel A de la figura 4 es una fotografía obtenida por medio de un microscopio electrónico de transmisión de la sección de una nano/micropartícula 1. En esta realización de la invención, la nano/micropartícula 1 comprende un núcleo 19 semiconductor de silicio y una cubierta 20 semiconductor de aleación de silicio y de germanio. La nano/micropartícula 1 está rodeada de material aislante, en este caso de dióxido de silicio: sobre su cara inferior por una segunda capa 3 eléctricamente aislante y sobre su cara superior por una cubierta 18 parcial de material eléctricamente aislante. En las realizaciones de la invención, que comprenden la realización descrita en la figura 4, se realiza una unión MIS (acrónimo de *Metal Insulator Semiconductor*): el material de la capa 5 de índice óptico eléctricamente ajustable es el platino; es metálico y conductor. El aislante se realiza por la cubierta 18 de material eléctricamente aislante de silicio y el semiconductor se realiza por la nano/micropartícula 1. El recuadro de la figura 4 ilustra una transformada de Fourier efectuada por medio de una fotografía de resolución atómica (no mostrada) del núcleo 19. Esta transformada de Fourier confirma la cristalinidad de las nano/micropartículas 1.

El panel B de la figura 4 es un montaje de tres fotografías de nano/micropartículas 1, obtenidas por medio de análisis dispersivos de energía (espectroscopía EDX). De izquierda a derecha, los niveles de grises más claros muestran respectivamente la presencia de germanio, de silicio y de dióxido de silicio.

La figura 5 ilustra la correspondencia entre diferentes patrones 11 de grabado y la distribución espacial de la o de las nano/micropartículas 1 sobre una capa 3 de aislante. Se pueden grabar diferentes patrones sobre la oblea de SOI antes de realizar las nano/micropartículas utilizando el método descrito en la figura 1. Estos grabados pueden ser realizados por una sonda iónica focalizada (FIB, por ejemplo utilizando una sonda Tescan LYRA 1 XMH *dual-beam*). La columna de la izquierda presenta patrones 11 utilizados para el grabado FIB. La columna de la derecha presenta, a la misma escala, imágenes de microscopio óptico de campo oscuro, en la cual cada lado de la imagen representa 4 μm . Las imágenes de la columna de la derecha ilustran la distribución espacial de las nano/micropartículas 1 formadas utilizando el método descrito en la figura 1 precedido del grabado de los patrones 11 correspondientes. El grabado de los patrones permite crear de manera controlada defectos sobre la capa o el apilamiento de capas de semiconductores antes de su desmoldeo. Estos defectos permiten controlar la nucleación o la formación de inestabilidades de tipo Rayleigh y conducir a la formación de las nano/micropartículas 1. El grabado de los diferentes patrones permite realizar un desmoldeo asistido, en oposición al desmoldeo espontáneo realizados sin grabado.

La figura 6 es un montaje compuesto de una imagen de microscopio óptico de redes de nano/micropartículas 1 y de tres imágenes de microscopio AFM, en recuadros, que indican detalles de estas redes. Las redes de partículas 1 son realizadas por el método descrito en la figura 5, que comprende una etapa de grabado de patrones 11 seguida de una etapa de desmoldeo de la o las capas semiconductoras. De izquierda a derecha en la imagen, el paso de la separación de centro a centro entre partículas 1 de una red es respectivamente de 500 nm, 750 nm y 1000 nm. La red de la derecha ilustra una distribución bimodal de las nano/micropartículas 1, alternando un paso de 750 nm y de 1000 nm entre los centros de las diferentes nano/micropartículas 1 según la dirección que va de la parte inferior a la superior de la imagen.

La figura 7 ilustra las resonancias electromagnéticas de las nano/micropartículas 1. El panel A de la figura 6 ilustra un ejemplo del espectro de difusión de campo oscuro de una nanopartícula 1 única realizado según el método descrito en la figura 5. Son visibles dos resonancias M_R y E_R de difusión. El panel B de la figura 6 ilustra simulaciones realizadas según el método de elementos finitos de la intensidad $|E|^2$ eléctrica y de la intensidad $|B|^2$ magnética en las inmediaciones y en una nanopartícula 1. En las simulaciones presentadas, la anchura de la nanopartícula es de 356 nm y su altura es de 65 nm. Las simulaciones tienen en cuenta una nanopartícula 1 dispuesta sobre una capa 3 de aislante y rodeada en el resto de su superficie por el aire 6. Los resultados de la simulaciones son ilustrados para el modo de resonancia M_R (imágenes superiores) y el modo de resonancia E_R (imágenes inferiores). Las simulaciones según los modos E_R y M_R son realizadas considerando una por una onda plana inclinada 70° con respecto al plano formado por la superficie de la capa aislante y que sigue una rotación con respecto a un eje comprendido en el plano de la sección ilustrada. En el caso de una resonancia de modo M_R , la nanopartícula 1 presenta dos máximos espaciales de intensidad $|E|^2$ y un máximo espacial de intensidad $|H|^2$ en su centro. Estas características indican la dominancia de un modo M_R magnético dipolar. En el caso de una resonancia en modo E_R , la nanopartícula 1 presenta un máximo espacial de intensidad $|E|^2$ en su centro y dos máximos espaciales de intensidad $|H|^2$. Estas características indican la dominancia de un modo de resonancia eléctrico dipolar.

La figura 8 ilustra esquemáticamente un filtro 14 óptico según una realización de la invención y una matriz 10 de filtros 14 óptico según una realización de la invención. El panel A de la figura 8 ilustra esquemáticamente una vista en sección de un filtro 14 según una realización de la invención, y el panel B de la figura 8 presenta una matriz 10 de tres filtros 14 según una realización de la invención. En el panel A, se dispone una pluralidad de nano/micropartículas 1 en la superficie de un plano 22 (ficticio). En una realización de la invención, las nano/micropartículas 1 son realizadas de silicio, de germanio, de una aleación de silicio y de germanio, o más generalmente de material(es) semiconductor(es), o en un (unos) material(es) dieléctrico(s) cuyo índice óptico es superior a 1,5 preferiblemente a 2,5 y preferiblemente superior a 3.

Ventajosamente, en la realización ilustrada en la figura 8, el filtro comprende una segunda capa 3 eléctricamente aislante. La cara superior de la capa 3 coincide con el plano 22. La capa 3 está, por tanto, en contacto con las nano/micropartículas 1. Esta capa 3 puede ser por ejemplo realizada de SiO_2 . Se pueden utilizar otros tipos de materiales aislantes. La segunda capa 3 aislante puede estar dispuesta sobre un sustrato 2 que puede ventajosamente comprender un transductor optoelectrónico, como un fotodetector o un diodo electroluminiscente. Las nano/micropartículas 1 de realización de la invención descrita en la figura 8 pueden ser fabricadas utilizando el procedimiento descrito por *Abbarchi et al.*

La superficie formada por el plano 22 y las nano/micropartículas 1 se recubre de una capa 5 de índice óptico eléctricamente ajustable. Ventajosamente, en una realización de la invención descrita anteriormente que comprende una segunda capa 3 eléctricamente aislante, el plano 22 coincide con una de las caras de la capa 3: el conjunto formado por la capa 3 y por las nano/micropartículas 1 es recubierto de una capa 5 de índice óptico eléctricamente ajustable. En otras realizaciones de la invención, una cara del sustrato puede coincidir con el plano 22; la capa 5 de índice óptico eléctricamente ajustable recubre por tanto la superficie formada por la cara superior del sustrato y las nano/micropartículas 1. En estos dos casos, y de manera general, el plano 22 coincide con una capa cuyo potencial eléctrico está conectado eléctricamente, de manera directa o indirecta a un potencial sensiblemente fijo y/o estacionario con respecto a las variaciones del potencial eléctrico impuesto en el electrodo 7, de manera que se fija un campo eléctrico controlado en el filtro 14.

El material de esta capa es considerado "de índice óptico eléctricamente ajustable" cuando la parte real de su índice de refracción puede ser modificada por la variación de un campo eléctrico o de una corriente eléctrica aplicada al material. Esta propiedad puede provenir de la inyección de portadores de cargas, o de otros efectos, como por ejemplo el efecto Kerr, el efecto Pockels, la electroabsorción o el efecto Franz-Keldysh. Se pueden considerar también otros efectos durante la utilización de los polímeros como el inflado y el colapso electrostático o la difusión controlada de iones en el seno del o de los polímeros. En las realizaciones de la invención, el o los materiales de esta capa pueden ser elegidos entre el óxido de indio y estaño (OTI), el óxido de zinc y aluminio, las redes de nanotubos de carbono, o un material orgánico tal como el poli(3,4-etilendioxitiofeno) (PEDOT), el poli(4,4-diociclopentaditiofeno), el sulfonato sódico de poliestireno (PSS) y el poli(metacrilato de metilo) (PMMA). Se puede también utilizar una capa de cristales líquidos asociada a una o varias capas de polímeros de alineación (por ejemplo del polivinil acetato) para realizar una capa 5 de índice óptico eléctricamente ajustable. Un método de ajuste térmico de la resonancia de nano/micropartículas que utiliza dichos cristales líquidos es por ejemplo presentado en *Sautter, J., Staude, I., Decker, M., Rusak, E., Neshev, D. N., Brener, I., & Kivshar, Y. S., 2015, Active Tuning of All-Dielectric Metasurfaces*. Este método presenta los defectos de necesitar varias capas para permitir iniciar una alineación adecuada de los cristales líquidos en fase nemática y de permitir un ajuste sobre una gama de longitudes de onda muy restringida (sensiblemente 100 nm en el próximo al infrarrojo). Ventajosamente, al menos un material de la capa 5 de índice óptico eléctricamente ajustable es un material orgánico. Ventajosamente, el material de la capa 5 puede ser una mezcla de PEDOT y de PSS. De manera general, el o los materiales de la capa 5 de índice óptico eléctricamente ajustable son preferiblemente sólidos: pueden ser por ejemplo amorfos o cristalinos. Pueden sin embargo por ejemplo comprender una fase líquida.

Se pueden utilizar diferentes métodos para depositar la capa 5 de índice óptico eléctricamente ajustable, tal como la pulverización catódica para materiales metálicos, o el revestimiento centrífugo (*spin coating* en inglés) para materiales orgánicos.

En esta realización de la invención, la capa 5 de índice óptico eléctricamente ajustable es sensiblemente transparente.

- 5 La capa 5 de índice óptico eléctricamente ajustable está recubierta por una primera capa 8 eléctricamente aislante. Esta capa 8 puede ser realizada de SiO₂, por ejemplo por un método de deposición química en fase vapor ayudada por plasma (PE-CVD), por oxidación térmica rápida (RTP) o más generalmente por otros métodos de oxidaciones si la capa 5 de índice óptico eléctricamente ajustable es compatible con los mismos.

- 10 La primera capa 8 aislante está recubierta por una capa de material eléctricamente conductor, es decir un electrodo 7. En las diferentes realizaciones de la invención, el electrodo es sensiblemente transparente. El mismo puede por ejemplo ser realizado de oro por evaporación, en el caso de una cubierta de grandes superficies, o por inyección de gas asistida por FIB para la realización de circuitos precisos. El electrodo 7 puede igualmente ser realizado de ITO.

- 15 Un grabado puede efectuarse sobre el filtro 14 descrito anteriormente, por ejemplo por FIB o por un rayo de electrones (*E-beam*), sobre las diferentes capas situadas sobre la segunda capa 3 aislante. Este grabado puede permitir delimitar espacialmente una pluralidad de filtros 14, es decir diferentes píxeles, y por tanto formar una matriz 10 de filtros 14.

El panel B de la figura 8 presenta una matriz 10 de tres filtros 14, (o tres píxeles), después de un grabado de definición de los píxeles descrito en el párrafo anterior.

- 20 La figura 9 ilustra el ajuste de la frecuencia de resonancia de las nano/micropartículas 1 por imposición de un potencial en la capa 5 de índice óptico eléctricamente ajustable. El panel A de la figura 9 ilustra una realización de la invención en la cual un primer circuito 13 está conectado por un lado a la masa (sustrato 2 en esta realización) y por otro lado al electrodo 7 del dispositivo descrito en el panel A de la figura 7. Este primer circuito permite imponer una diferencia de potencial controlada entre las dos caras superior e inferior de la capa 5 de índice óptico eléctricamente ajustable. En esta realización de la invención, las nano/micropartículas 1 tienen tamaños diferentes y la capa 5 de índice óptico eléctricamente ajustable es una mezcla de PEDOT y de PSS.

- 25 El panel B de la figura 9 ilustra fotografías de difusión en campo oscuro de las nano/micropartículas 1 para diferentes potenciales aplicados por el primer circuito 13. Cada fotografía ilustra un campo de 2 µm de lado. Se ilustran tres series de imágenes. Cada una de ellas presenta, de arriba abajo canales de colores diferentes, y de izquierda a derecha, potenciales aplicados a la capa 5 de índice óptico eléctricamente ajustable diferentes. Los canales de colores son rojo (R), verde (G) y azul (B). De izquierda a derecha, las imágenes corresponden a una secuencia de potenciales impuestos que van de 0 a 30 V y después a un potencial de 0 V.
- 30

- 35 La observación de la intensidad luminosa del canal R de la primera serie permite por ejemplo medir una disminución de la intensidad luminosa difundida por la nano/micropartícula 1 central cuando se aplican potenciales de 0 V a 30 V, y después un aumento de esta intensidad cuando el potencial aplicado vuelve a 0 V. De manera complementaria, la observación de la intensidad luminosa del canal G de la primera serie permite medir un aumento de la intensidad de difusión de la nano/micropartícula 1 central cuando se aplican potenciales de 0 V a 30 V y después una disminución de esta intensidad cuando el potencial aplicado vuelve a 0 V. Estas variaciones se traducen, considerando los tres canales de colores, por una variación del color observado de la nano/micropartícula 1 central: de 0 V a 30 V, el color emitido por la nano/micropartícula 1 varía de un dominante rojo a un dominante verde y vuelve a un dominante rojo cuando se impone el potencial de 0 V. Las nano/micropartículas 1 de las otras dos series presentan comportamientos similares. Este ejemplo de realización de la invención permite utilizar el ajuste de la frecuencia de resonancia de las diferentes nano/micropartículas 1 en el espectro visible por la aplicación de un potencial eléctrico variable por el primer circuito 13. En otras realizaciones de la invención, el ajuste de la frecuencia de resonancia de las diferentes nano/micropartículas 1 puede efectuarse para longitudes de onda próximas al infrarrojo, por ejemplo para longitudes de onda comprendidas en una gama que va desde 800 nm a 2,5 µm.
- 40

- 45 La invención se refiere igualmente a fotodetectores 15 basados en dichos filtros 14, aprovechando el carácter selectivo y sintonizable del espectro luminoso de los filtros 14. Un filtro 14 según la invención puede estar dispuestos sobre un fotodetector convencional, por ejemplo un pixel de un sensor matricial CCD o CMOS, o servir él mismo de fotodetector.

- 50 La figura 10 ilustra esquemáticamente una matriz 10 de fotodetectores 15 realizados por medio de filtros 14 según realizaciones de la invención. La matriz de filtros de la realización ilustrada en la figura 10 puede fabricarse por los métodos presentados durante la descripción de las figuras anteriores. En una realización de la invención, cada filtro 14 comprende una pluralidad de nano/micropartículas 1. Las nano/micropartículas 1 de un mismo filtro 14 son todas ellas sensiblemente del mismo tamaño, y son de tamaños diferentes según los filtros 14 de la matriz 10. Por tanto, el color entre filtros 14 de una matriz 10 puede variar en función de una combinación de dos factores independientes: el tamaño de las nano/micropartículas 1 y el índice óptico de la capa 5 de cada filtro, impuesto por la o las polarizaciones de dichas capas 5.
- 55

El material de la capa 5 de índice óptico eléctricamente ajustable, de índice referido con n , puede ser conductor o semiconductor. Puede adaptarse para crear, en asociación con las nano/micropartículas 1, cargas durante la resonancia electromagnética de dichas nano/micropartículas 1 en su interfaz. Se puede por ejemplo utilizar una mezcla de PSS-PEDOT para esta realización en la invención: una variación de campo electromagnético en las nano/micropartículas 1 permite la formación de cargas en el dispositivo y sus transportes hacia, por ejemplo, un segundo circuito 9 eléctrico.

Estas cargas pueden también ser creadas en la unión formada entre el semiconductor de una partícula 1 y por el contacto eléctrico formado por el material de la capa 5 de índice óptico eléctricamente ajustable. En las realizaciones de la invención, la unión entre las nano/micropartículas 1 y la capa 5 de índice óptico eléctricamente ajustable puede ser de tipo metal-semiconductor (comportamiento de una barrera de Schottky), de tipo p-n o de tipo metal-aislante-semiconductor (MIS).

Las uniones de tipos p-n pueden realizarse utilizando las nano/micropartículas fabricadas según el método descrito en *Abbarchi et al.* y utilizando por ejemplo antes del desmoldeo una capa de silicio sobre la cual se dispone una capa epitaxial de germanio dopado por ejemplo con antimonio y/o boro. Después del desmoldeo, las nano-micropartículas 1 formadas pueden comprender una cubierta 20 semiconductor de composición $\text{Si}_x\text{Ge}_{(1-x)}$ (siendo x la proporción de silicio) alrededor del núcleo de la partícula que comprende el silicio. Un ejemplo de dicha nano/micropartícula se ilustra en la figura 2.

En otras realizaciones de la invención, se pueden realizar uniones de tipo Schottky en la interfaz entre las partículas 1 y la capa 5. La figura 4 describe por ejemplo una unión de tipo MIS entre la capa 5 de índice óptico eléctricamente ajustable y la nano/micropartícula 1. El grosor de la cubierta 18 de material eléctricamente aislante puede reducirse de manera que se ha inferior a 10 nm y preferiblemente a 5 nm para permitir transferir cargas a través del material aislante por efecto túnel. La reducción de este grosor puede realizarse por grabado isótropo de silicio por ejemplo.

La figura 11 ilustra una matriz de tres fotodetectores 15, comprendiendo cada detector un filtro 14 conectado a un segundo circuito 9 eléctrico por la capa 5 de índice óptico eléctricamente ajustable, en el caso de la realización descrito anteriormente. Las cargas creadas por la resonancia de las nano/micropartículas 1, se pueden detectar por un segundo circuito eléctrico. Esta detección puede realizarse en dos etapas. Una primera etapa puede consistir en iluminar las nano/micropartículas 1, lo que conlleva la carga de una capacidad cuando se abre el interruptor del segundo circuito 9. Una segunda etapa puede consistir en cerrar el interruptor del segundo circuito y la lectura de la carga acumulada en la capacidad por un amperímetro (A1, A2 o A3 en la figura 9) o un osciloscopio por ejemplo, por integración de carga por ejemplo.

En una realización de la invención, un primer circuito 13 eléctrico puede conectar al menos dos filtros 14 y/o dos fotodetectores 15 de manera que impone el mismo potencial V_0 entre una masa eléctrica y los electrodos 7 de cada filtro 14 y/o detector 15 conectado al primer circuito. Ventajosamente, el primer circuito puede estar conectado al conjunto de los filtros 14 y/o fotodetectores 15 de la matriz. Estos ejemplos permiten trabajar con una polarización constante de la capa 5 de índice óptico eléctricamente ajustable de una parte o de conjunto de los filtros y/o de los fotodetectores.

La figura 11 ilustra esquemáticamente una matriz 10 de filtros 14 y de fotodetectores 15 según realizaciones de la invención. En una realización de la invención, una parte de las nano/micropartículas 1, o ventajosamente el conjunto de las nano/micropartículas 1 tienen el mismo tamaño. Estas nano/micropartículas 1 son ilustradas por lóbulos negros en la figura 10. En esta realización de la invención, cada uno de los filtros 14 está conectado a un primer circuito 13 eléctrico por el electrodos 7 del filtro. Cada uno de los filtros puede ser polarizado imponiendo un potencial independiente de los otros al electrodos 7 de un filtro: en la figura 10, el potencial V_1 es impuesto en el electrodo del filtro de la derecha, el potencial V_2 es impuesto en el electrodo del filtro del medio y el potencial V_3 es impuesto en el electrodo del filtro de la izquierda. Respectivamente, los índices n_1, n_2, n_3 ópticos de los filtros son diferentes (el material de la capa 5 de índice óptico eléctricamente ajustable puede ser el mismo), como se describe en la figura 8, la polarización del filtro permite ajustar la frecuencia de resonancia del filtro para las nano/micropartículas dadas. En el caso de la figura 11, las nano/micropartículas son de tamaños sensiblemente iguales y se pueden ajustar cada uno de los filtros 14 a frecuencias de resonancia diferentes aplicando potenciales diferentes. La aplicación de potenciales diferentes permite realizar filtros de colores diferentes. En otras realizaciones de la invención, un primer circuito 13 eléctrico puede conectarse a una parte de los filtros 14 de la matriz de manera que impone un potencial independiente de los otros filtros 14 de la matriz.

La realización de la invención ilustrada en la figura 11 comprende tres fotodetectores, comprendiendo cada fotodetector un filtro 14 y un segundo circuito 9. Como se describió anteriormente, la imposición de potenciales diferentes por los primeros circuitos 13 permite obtener filtros 14 de colores diferentes. Se puede, por tanto, detectar la intensidad luminosa para colores diferentes imponiendo potenciales V_1, V_2 y V_3 diferentes por medio de primeros circuitos, y detectando las cargas producidas por una exposición luminosa con los segundo circuito 9. En otra realización de la invención, se puede conectar un primer circuito 13 eléctrico a una parte de los fotodetectores 15 de la matriz 10 de manera que se impone un potencial independiente de los otros fotodetectores 15 de la matriz.

En una realización de la invención, se puede filtrar una luz incidente imponiendo un potencial controlado a uno o varios filtros, comprendidos en los fotodetectores. Durante el filtrado, el o los potenciales impuestos a los electrodos 7 de una matriz 10 son controlados por una unidad de tratamiento de manera que se filtra la luz a la o a las frecuencias de resonancia parametrizadas por un usuario.

5 La figura 12 ilustra una matriz de tres fotodetectores 15 según realizaciones de la invención. En estas realizaciones de la invención, los diferentes filtros 14 no comprenden segunda capa 3 eléctricamente aislante; son fabricados según el procedimiento descrito en *Proust et al.* Cada uno de los filtros 14 está incluido en un fotodetector de unión p-n: el plano 22 separa en esta realización de la invención un filtro 14 de una capa 16 de material semiconductor dopado p de fotos y/o de unión p-n. Más generalmente, cada uno de los filtros 14 puede estar dispuesto sobre una capa 16
10 dopada p o sobre una capa 17 dopada n de la unión p-n. De manera similar al circuito descrito en la figura 10, un primer circuito 13 eléctrico puede conectar al menos dos filtros 14 y/o dos fotodetectores 15 de manera que impone el mismo potencial V_0 entre una masa eléctrica y los electrodos 7 de cada filtro 14 y/o detector 15 conectado al primer circuito. Ventajosamente, el primer circuito puede estar conectado al conjunto de filtros 14 y/o de fotodetectores 15 de la matriz.

15 En esta realización de la invención, un borne de un tercer circuito 23 está conectado a la capa 16 dopada p de una unión p-n de un fotodetector y otro borde del tercer circuito 23 está conectado a la capa 17 dopada n de una unión p-n del mismo fotodetector. El tercer circuito 23 permite la recuperación de cargas creadas durante una iluminación de la unión p-n transmitida por el filtro 14. Las líneas de puntos verticales que separan dos píxeles esquematizan una separación eléctrica entre las diferentes uniones p-n correspondientes a los diferentes píxeles de la matriz.

20 La realización de la invención ilustrada en la figura 12, en la cual cada uno de los píxeles está polarizado por V_0 se adapta típicamente a una matriz en la cual la diferencia de color de los filtros es en parte debida a la presencia de nano/micropartículas 1 sensiblemente del mismo tamaño para un píxel considerado pero de tamaños diferentes para dos píxeles considerados de colores diferentes.

La figura 13 ilustra una matriz de tres fotodetectores 15 según las realizaciones de la invención. En estas realizaciones
25 de la invención, los diferentes filtros 14 no comprenden segunda capa 3 eléctricamente aislante; están fabricados según el procedimiento descrito en *Proust et al.* Cada uno de los filtros 14 está incluido en un fotodetector de unión p-n: el plano 22 separa en esta realización de la invención un filtro 14 de una capa 16 de material semiconductor dopado p de fotodiodeo de unión p-n. Más generalmente, cada uno de los filtros 14 se puede disponer sobre una capa 16 dopada p o sobre una capa 17 dopada n de la unión p-n. De manera similar al circuito descrito en la figura 11, cada uno de los filtros 14 está conectado a un primer circuito 13 eléctrico por el electrodo 7 de filtro. Cada uno de los filtros puede estar polarizado imponiendo un potencial independiente de los otros en el electrodo 7 de un filtro: en la figura 13, el potencial V_1 es impuesto al electrodo del filtro de la izquierda, el potencial V_2 es impuesto al electrodo del filtro del medio y el potencial V_3 es impuesto al electrodo del filtro de la derecha. Respectivamente, los índices n_1 , n_2 , n_3
30 ópticos de los filtros son diferentes. Como se describe en la figura 8, la polarización del filtro permite ajustar la frecuencia de resonancia del filtro para las nano/micropartículas dadas. En el caso de la figura 13, las nano/micropartículas son de tamaño sensiblemente iguales y se puede ajustar cada uno de los filtros 14 a frecuencias de resonancia diferentes aplicando potenciales diferentes. La aplicación de potenciales diferentes permite realizar filtros de colores diferentes. En otras realizaciones de la invención, un primer circuito 13 eléctrico puede estar conectado a una parte de los filtros 14 de la matriz de manera que impone un potencial independiente de los otros
35 filtros 14 de la matriz.

En esta realización de la invención, un borne de un tercer circuito 23 está conectado a la capa 16 dopada p de una unión p-n de un fotodetector y otro borne de un tercer circuito 23 está conectado a la capa 17 dopada n de una unión p-n de un fotodetector. El tercer circuito 23 permite la recuperación de las cargas creadas durante una iluminación de la unión p-n transmitida por el filtro 14. Las líneas de puntos verticales que separan dos píxeles esquematizan una
40 separación eléctrica entre las diferentes uniones p-n correspondientes a los diferentes píxeles de la matriz.

La figura 14 ilustra una simulación de la transmisión óptica de un filtro 14 según la invención, en función de los diferentes índices ópticos de una capa 5 de índice óptico eléctricamente ajustable. La simulación se realiza según el método de Diferencias Finitas- Campo Temporal (DFDT). En este método, los objetos simulados en el espacio son discretizados en una malla en 3 dimensiones, repetida periódicamente. El filtro 14 simulado comprende
45 nano/micropartículas 1 cilíndricas de silicio, dispuesta sobre el plano 22 de silicio y separadas periódicamente una distancia de 230 nm. Se dispone una capa 5 de índice óptico eléctricamente ajustable sobre el plano 22 y sobre y/o alrededor de la nano/micropartícula 1. La simulación ilustrada es realizada considerando una malla que comprende un plano 22 en la superficie superior de un sustrato de silicio, de una anchura de 230 nm, una nano/micropartícula 1 cilíndrica de una altura de 150 nm y de un diámetro de 160 nm y una capa de capa 5 de índice óptico eléctricamente
50 ajustable dispuesta sobre la superficie formada por las nano/micropartículas 1 de una malla y dicho plano 22. Las cuatro curvas corresponden a simulaciones parametrizadas con índices ópticos de la capa 5 diferentes (la curva (a) corresponde a $n_{amb} = 1,4$, la curva (b) corresponde a $n_{amb} = 1,5$, la curva (c) corresponde a $n_{amb} = 1,6$ y la curva (d) corresponde a $n_{amb} = 1,7$). La zona gris corresponde a una gama de longitud de onda (por ejemplo entre 350 y 450 nm) en la cual la longitud de onda de un pico de transmisión del filtro es particularmente dependiente del índice óptico

de la capa 5. Por tanto, para valores del índice n_{amb} que varían de 1,4 a 1,7, la longitud de onda del pico de transmisión en esta rama de longitud de onda varía de aproximadamente 370 nm a 450 nm.

5 La figura 15 ilustra simulaciones de la transmisión fija de un filtro diferente de la invención, en función de la longitud de onda de excitación del filtro. Las simulaciones se realizan según el método de Diferencias Finitas- Campo Temporal (DFDT). En este método, los objetos simulados en el espacio son discretizados en una malla en 3 dimensiones, repetida periódicamente. El filtro simulado comprende nano/micropartículas 1 cilíndricas de silicio-germanio dispuesta sobre un plano 22. El plano 22 coincide con una segunda capa 3 eléctricamente aislante, de SiO_2 en el caso de la simulación. Un electrodo 7 está dispuesto por encima de una o varias nano/micropartículas 1 y de la segunda capa 3 eléctricamente aislante. Se dispone una capa de silicio por debajo de la segunda capa 3 eléctricamente aislante.

10 Las nano/micropartículas 1 simuladas son sensiblemente hemisféricas, coincidiendo la parte plana de los hemisferios formados por las nano/micropartículas 1 con el plano 22, y en el caso particular de la simulación con una segunda capa 3 eléctricamente aislante de SiO_2 . El panel A de la figura 15 ilustra la transmitancia de este tipo de filtro. El panel B de la figura 15 ilustra la reflectancia de este tipo de filtro. En los paneles A y B, las curvas (a) corresponden a una simulación parametrizada con un radio r del hemisferio formado por una nano/micropartícula igual a 80 nm. Las curvas (b) corresponden a un radio de 90 nm y las curvas (c) corresponden a un radio de 100 nm.

15

Los inventores han descubierto que de una manera general, la combinación de nano-micropartículas 1 sensiblemente hemisféricas dispuesta sobre una segunda etapa 3 eléctricamente aislante cuyo índice óptico es inferior al índice óptico de las nano-micropartículas 1 permite realizar un filtro selectivo en las longitudes de onda. Por ejemplo, la transmitancia es particularmente baja para longitudes de onda comprendidas entre 550 nm y 650 nm en la realización ilustrada en el panel A de la figura 15. Se puede usar esta característica en un filtro 14 según la invención, que comprende, entre otras cosas, una capa 5 con un índice óptico eléctricamente ajustable y una primera capa 8 eléctricamente aislante dispuesta sobre dicha capa 5 con un índice óptico eléctricamente ajustable de manera que se realiza un filtro eléctricamente ajustable y selectivo. Los inventores además han descubierto que la selectividad del filtro se optimiza cuando el índice óptico de la segunda capa 3 eléctricamente aislante es estrictamente inferior al índice de la nano/micropartícula 1. Más particularmente, la selectividad del filtro se optimiza cuando la relación de índice óptico de las nano/micropartículas 1 con respecto al índice óptico de una segunda capa 3 eléctricamente aislante es elevada, preferiblemente superior a 2. Se puede por tanto utilizar el SiO_2 y/o el TiO_2 para la realización de la segunda capa 3 eléctricamente aislante.

20

25

REIVINDICACIONES

1. Filtro (14) óptico que se puede ajustar eléctricamente, que comprende:
- una pluralidad de nano/micropartículas (1) semiconductoras o dieléctricas, que presentan propiedades de resonancia electromagnética en el campo óptico y próximo al infrarrojo, dispuestas sobre un plano (22), **caracterizado porque** comprende además:
 - una capa (5) de índice óptico eléctricamente ajustable que recubre la superficie formada por dichas nano/micropartículas (1) y dicho plano (22),
 - una primera capa (8) eléctricamente conductora dispuesta sobre dicha capa (5) de índice óptico eléctricamente ajustable y
 - un electrodo (7) dispuesto sobre dicha primera capa eléctricamente aislante,
 - un sustrato (2) conductor o una capa conductora dispuesta del lado de dicho plano (22) que es opuesto a dicho electrodo,
 - un primer circuito (13) eléctrico conectado por un lado a dicho electrodo y por otro lado a dicha capa conductora o a dicho sustrato conductor, y configurado para aplicar una diferencia de potencial y fijar un campo eléctrico controlado en el filtro (14).
2. Filtro según la reivindicación 1, en el cual las nano/micropartículas dieléctricas presentan un índice óptico superior a 2,5.
3. Filtro según una de las reivindicaciones anteriores que comprende una segunda capa eléctricamente aislante (3) cuya cara coincide con dicho plano (22), estando en contacto dicha segunda capa eléctricamente aislante con dichas nano/micropartículas (1) y la capa (5) de índice óptica eléctricamente ajustable.
4. Filtro según una de las reivindicaciones 1 a 3 en el cual al menos una de dichas nano/micropartículas (1) comprende un núcleo (19) semiconductor y una cubierta (20) semiconductoras cuyas propiedades eléctricas son diferentes y adaptadas para formar al menos una unión elegida entre una homounión anisotipo, una heterounión isotipo y una heterounión anisotipo.
5. Filtro según una de las reivindicaciones anteriores, que comprende al menos una cubierta (18) de material eléctricamente aislante en la cual al menos una de dichas nano/micropartículas (1) está rodeada, al menos parcialmente, de una de dichas cubiertas (18) de material eléctricamente aislante.
6. Filtro óptico según la reivindicación anterior en el cual al menos un material de dicha capa (5) de índice óptico eléctricamente ajustable es un material orgánico.
7. Filtro óptico según la reivindicación 1 en el cual el material de dicha capa (5) de índice óptico eléctricamente ajustable se elige al menos de entre el poli(3,4-etilendioxitiofeno), el sulfonato sódico de poliestireno, el óxido de indio y estaño, el óxido de zinc y aluminio, el poli(4,4-diociclopentaditiofeno), el poli(metacrilato de metilo) y redes de nanotubos de carbono.
8. Filtro óptico según una de las reivindicaciones anteriores, cuyo tamaño y el material de dichas nano/micropartículas (1) están adaptados para permitir una resonancia de dichas nano/micropartículas (1) para longitudes de onda de excitación comprendidas entre 300 nm y 2,5 µm.
9. Filtro óptico según una de las reivindicaciones anteriores en el cual el primer circuito (13) eléctrico está adaptado por un lado para aplicar un potencial de masa a dicha capa conductora o al sustrato conductor y por otro lado para aplicar un potencial fijo o estacionario adaptado para la polarización de dicha capa (5) de índice óptico eléctricamente ajustable.
10. Filtro óptico según una de las reivindicaciones 2 a 9, en el cual el índice óptico del material de dicha segunda capa (3) eléctricamente aislante es estrictamente inferior al índice óptico del material de dichas nano/micropartículas (1) y en el cual dichas nano/micropartículas (1) son sustancialmente hemisféricas, coincidiendo la parte plana de los hemisferios formados por dichas nano/micropartículas (1) con dicho plano (22).
11. Matriz (10) de filtros ópticos según una de las reivindicaciones 1 a 10.
12. Matriz de filtros óptico según la reivindicación 11 en la cual al menos dos de dichos primeros circuitos (13) están conectados de manera que imponen el mismo potencial entre dicha masa y cada uno de dichos electrodos (7).

13. Matriz de filtros ópticos según una de las reivindicaciones 11 a 12 en la cual al menos uno de dichos primeros circuitos (13) eléctricos está adaptado para imponer un potencial independiente de dichos otros primeros circuitos (13) eléctricos, a al menos uno de dichos electrodos (7).
- 5 14. Fotodetector de unión p-n (21), que comprende un filtro según una de las reivindicaciones 1 a 10, en el cual dicho filtro está dispuesto sobre una capa elegida entre una capa dopada n y una capa dopada p de dicha unión p-n.
15. Fotodetector (15) que comprende un filtro óptico según una de las reivindicaciones anteriores, cuyo material de dicha capa (5) de índice óptico eléctricamente ajustable es conductor.
- 10 16. Fotodetector según la reivindicación anterior, que comprende un segundo circuito (9) eléctrico, cuyos dos bornes están conectados a dicha capa (5) de índice eléctricamente ajustable, estando adaptado dicho segundo circuito (9) eléctrico para detectar variaciones de la corriente eléctrica en dichos bornes.
17. Matriz de dichos fotodetectores (15) según una de las reivindicaciones 14 a 16.
18. Matriz de fotodetectores (15) según la reivindicación anterior en la cual al menos dos de dichos primeros circuitos (13) están conectados de manera que imponen el mismo potencial entre dicha masa y cada uno de dichos electrodos (7).
- 15 19. Matriz de fotodetectores (15) según una de las reivindicaciones 17 a 18 en la cual al menos uno de dichos primeros circuitos (13) eléctricos está adaptado para imponer un potencial independiente de dichos otros primeros circuitos (13) eléctricos, a al menos uno de dichos electrodos (7).
20. Procedimiento de fabricación de un dispositivo según una de las reivindicaciones anteriores que comprende al menos una de las etapas siguientes:
- 20 a) desmoldeo de al menos una de las capas de material semiconductor dispuesta con anterioridad sobre dicha segunda capa (3) eléctricamente aislante;
- b) depósito de dicha capa (5) de índice óptico eléctricamente ajustable sobre dichos materiales semiconductores y aislantes.
- 25 21. Procedimiento según la reivindicación anterior que comprende una etapa inicial que consiste en grabar patrones (11) sobre dicha capa de al menos uno de dichos materiales semiconductores, controlando espacialmente dichos patrones (11) la formación de dichas nano/micropartículas (1) durante la etapa a).
22. Procedimiento según una de las reivindicaciones 20 y 21 en el cual se graba al menos una de dichas capas de material semiconductor con una sonda iónica focalizada.
- 30 23. Procedimiento según una de las reivindicaciones 20 a 22 que comprende una etapa que consisten grabar al menos dicha capa (5) de índice eléctricamente ajustable para definir espacialmente dichos dispositivos según una de las reivindicaciones 1 a 9 y 14 a 16.
24. Procedimiento de filtrado óptico para un dispositivo según una de las reivindicaciones 1 a 19, comprendiendo dicho dispositivo al menos una etapa que consiste en ajustar la longitud de onda de resonancia de dichas nano/micropartículas (1) controlando el potencial en el borne de dicho electrodo (7).
- 35

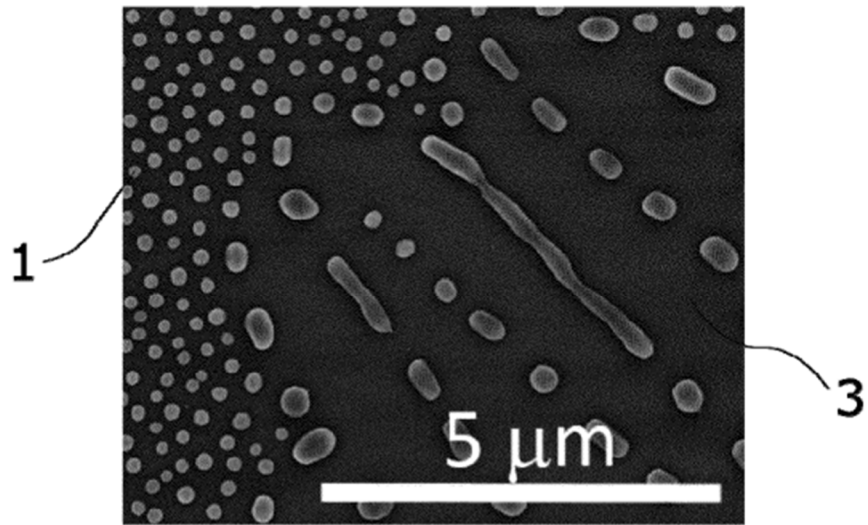


Fig. 1

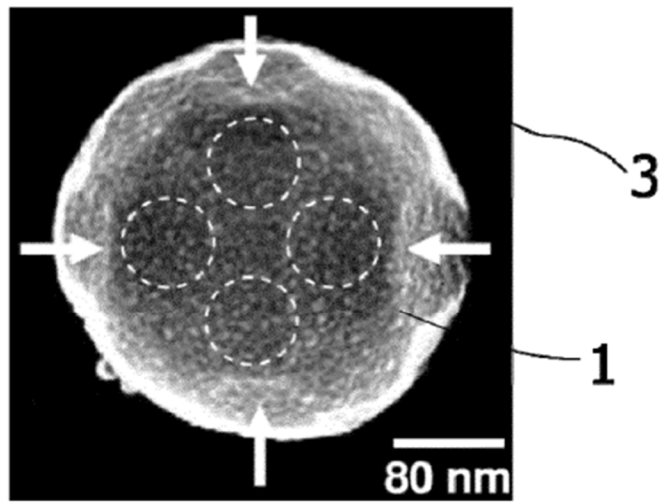


Fig. 2

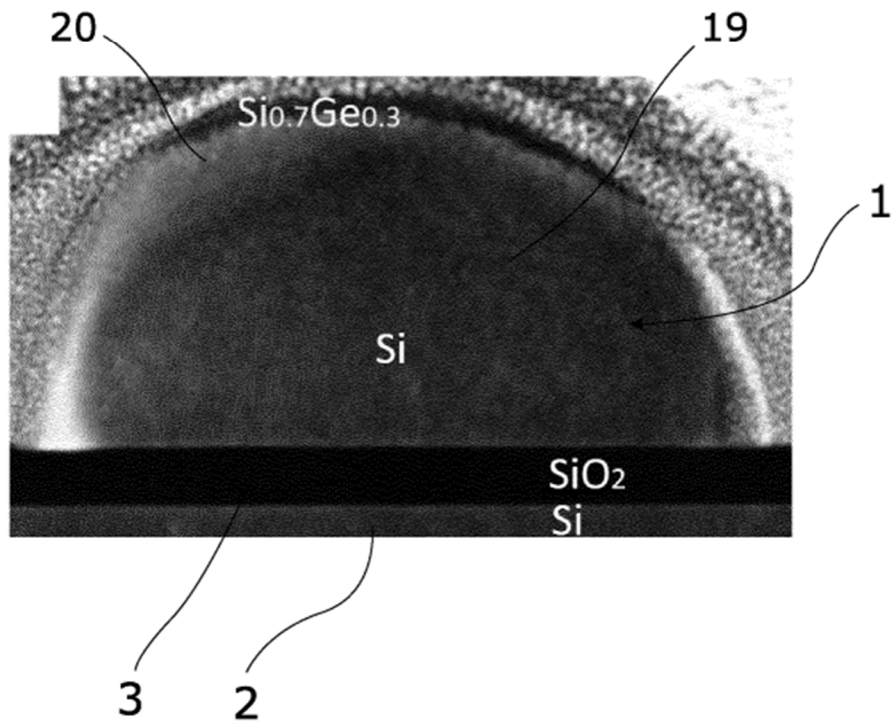


Fig. 3

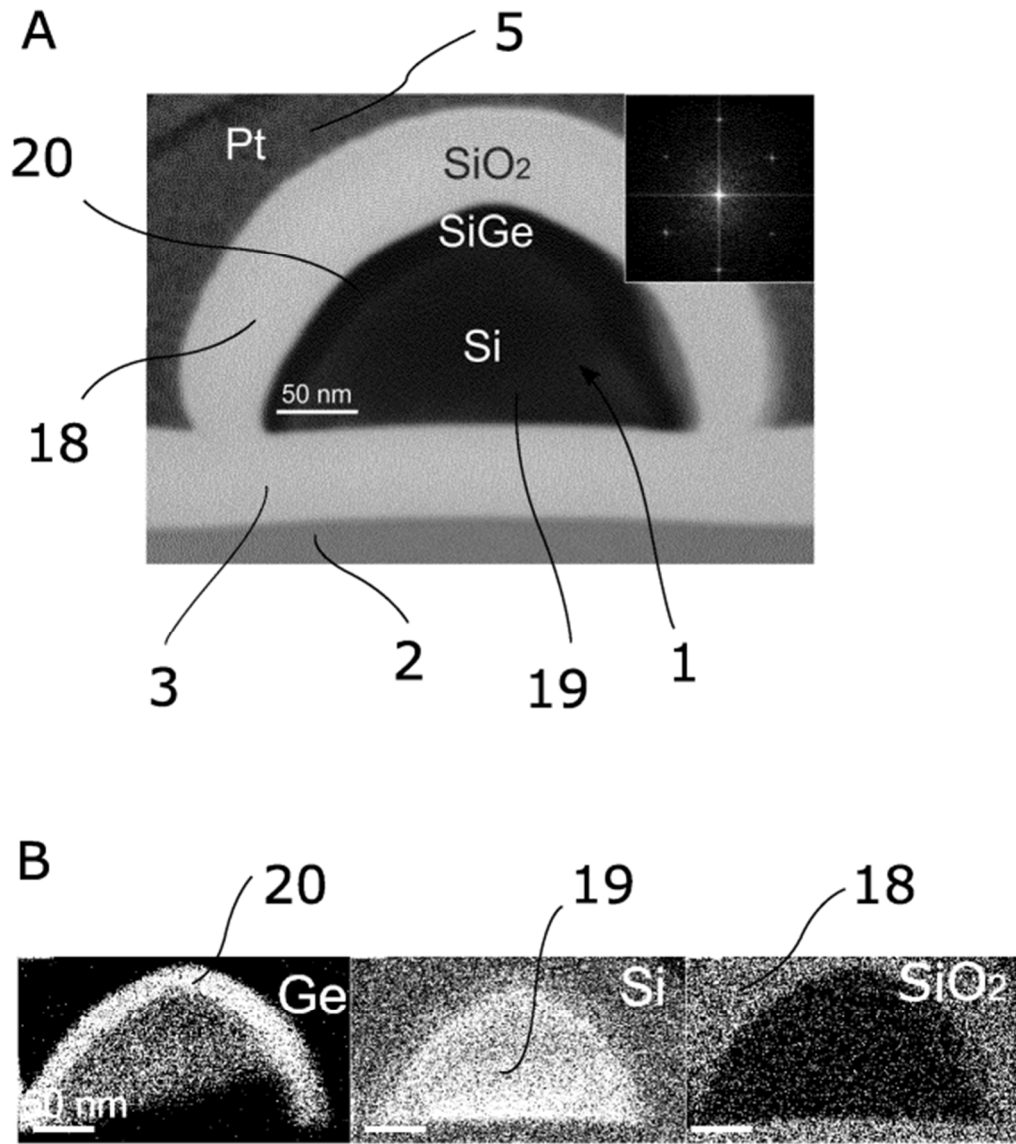


Fig. 4

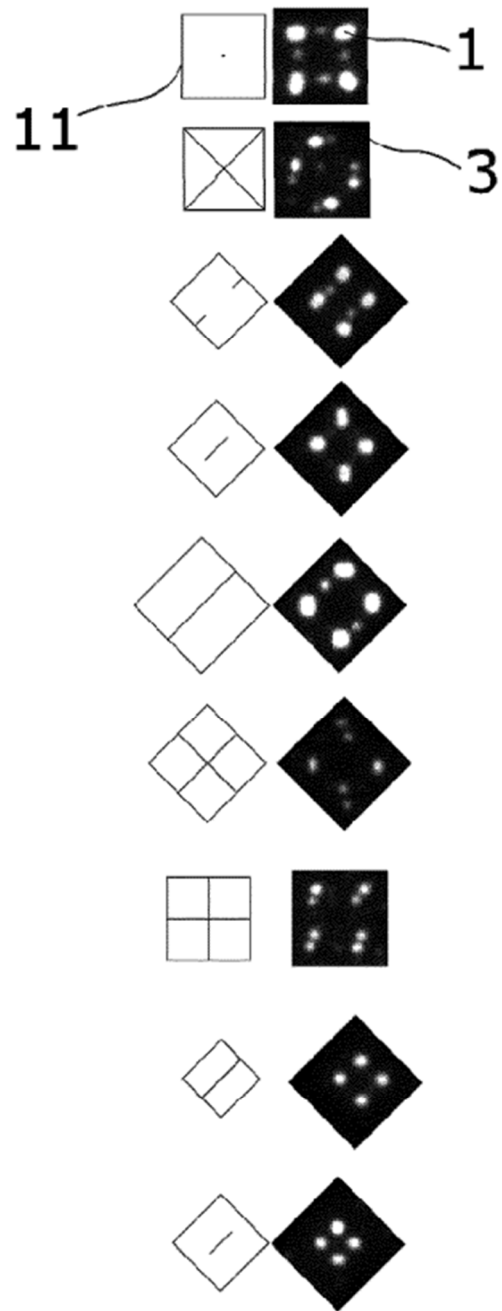


Fig. 5

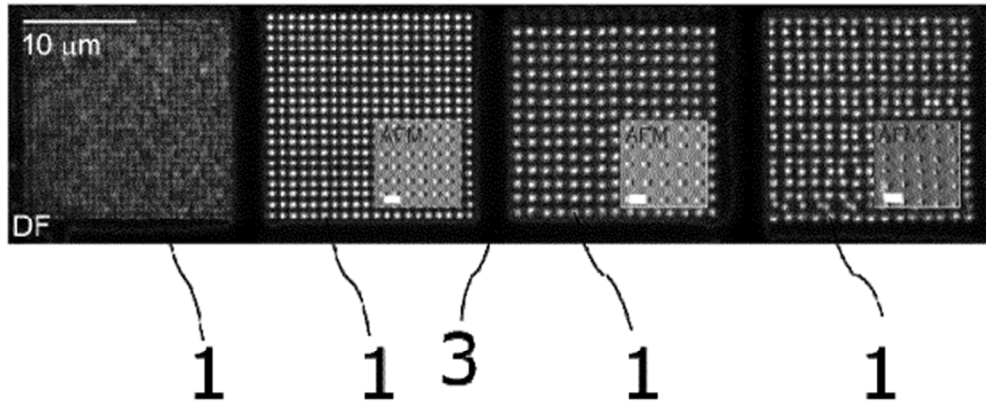
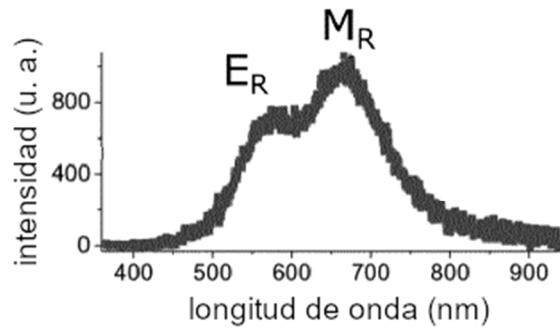


Fig. 6

A



B

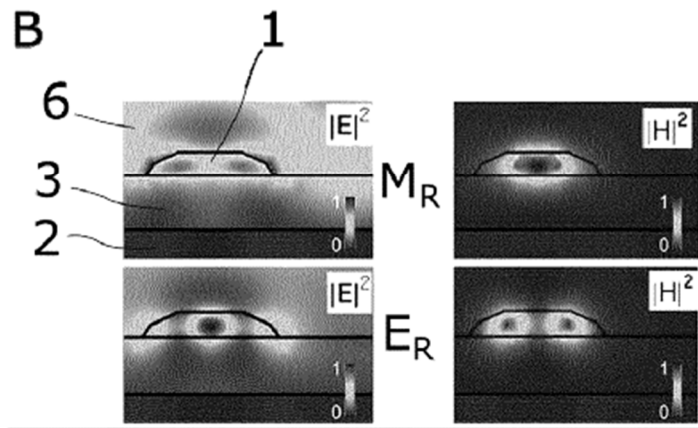


Fig. 7

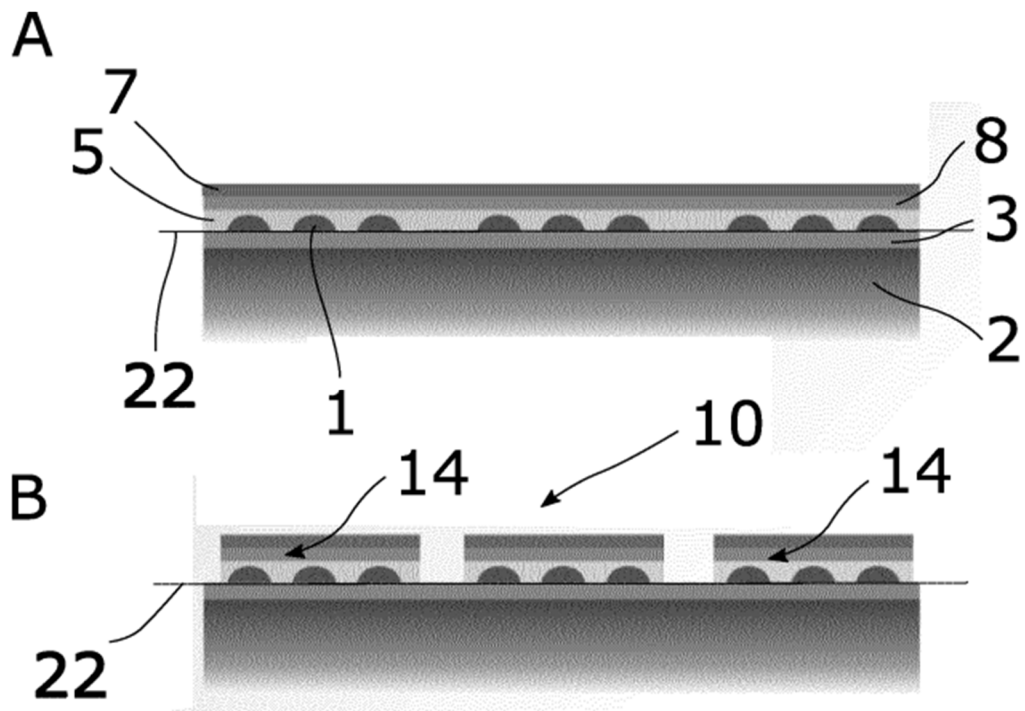


Fig. 8

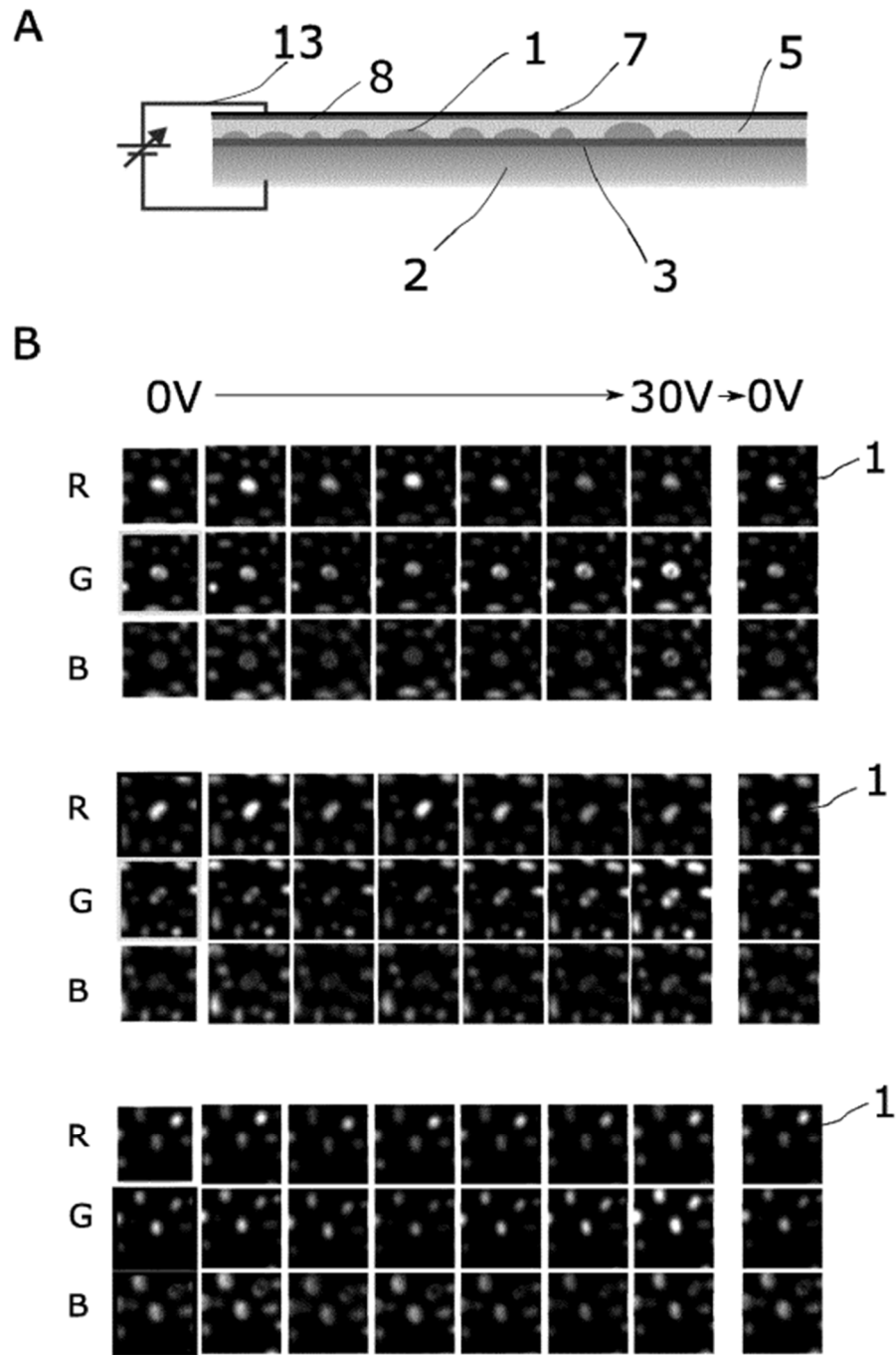


Fig. 9

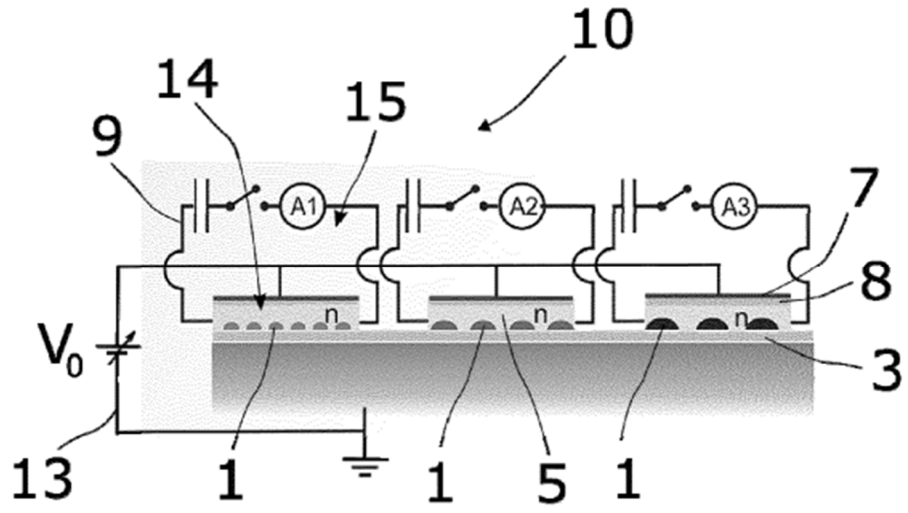


Fig. 10

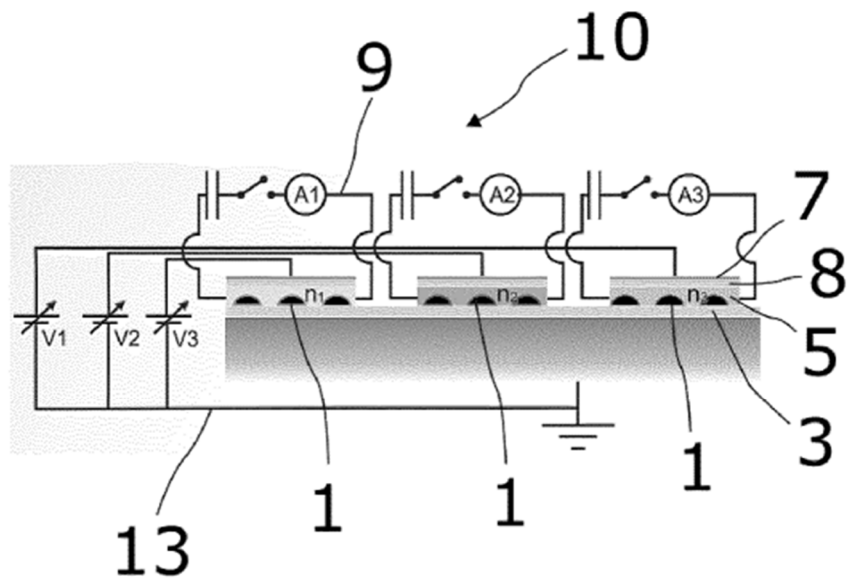


Fig. 11

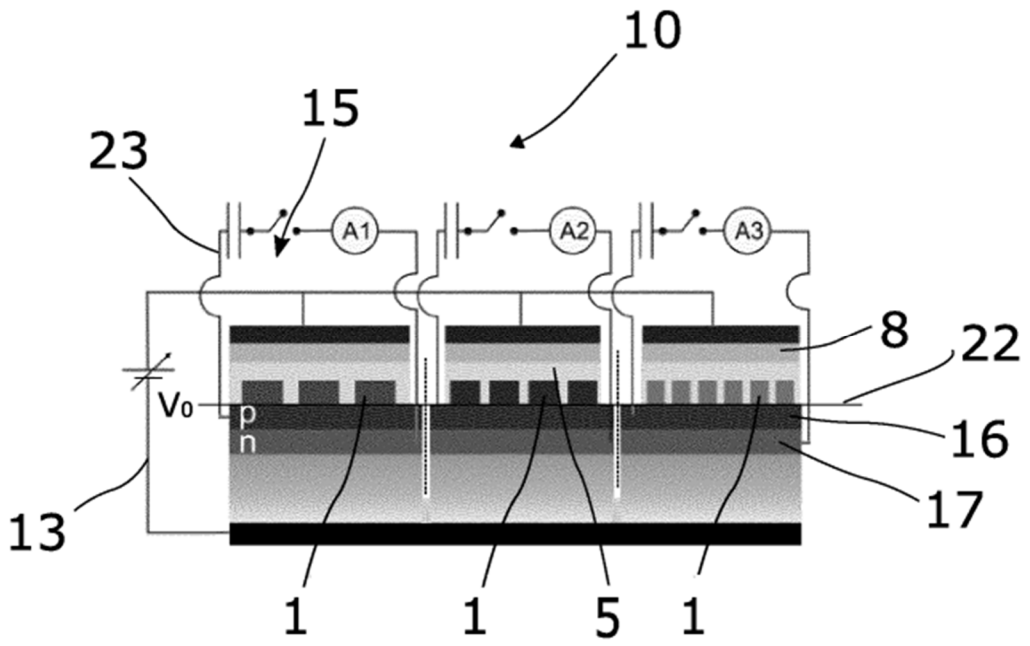


Fig. 12

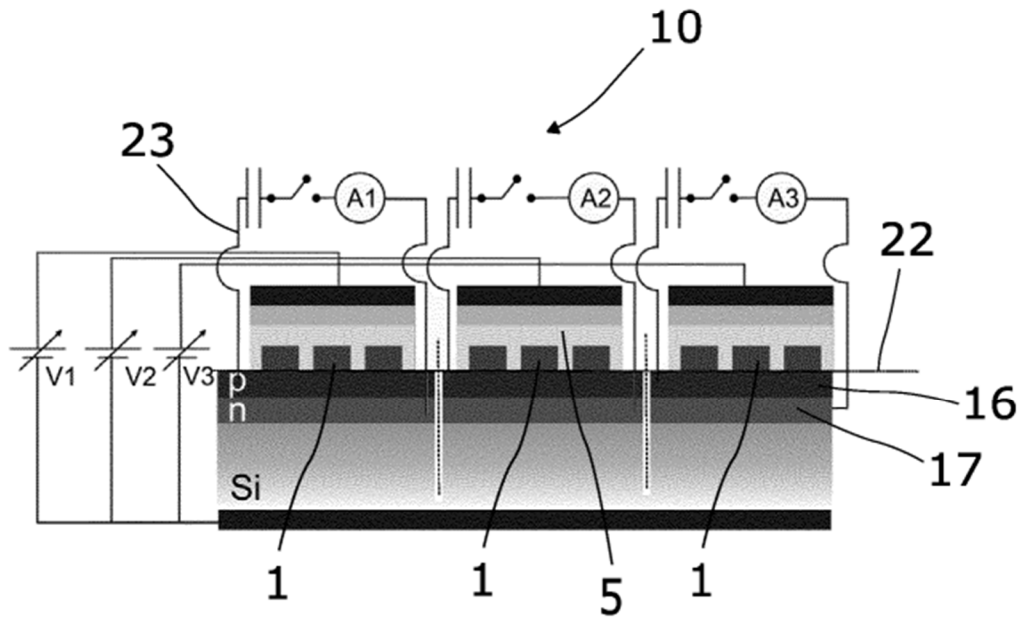


Fig. 13

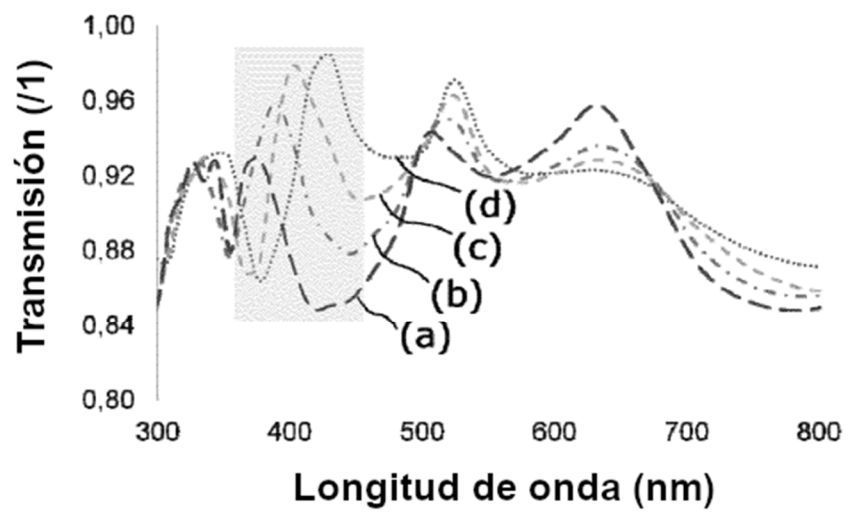


Fig. 14

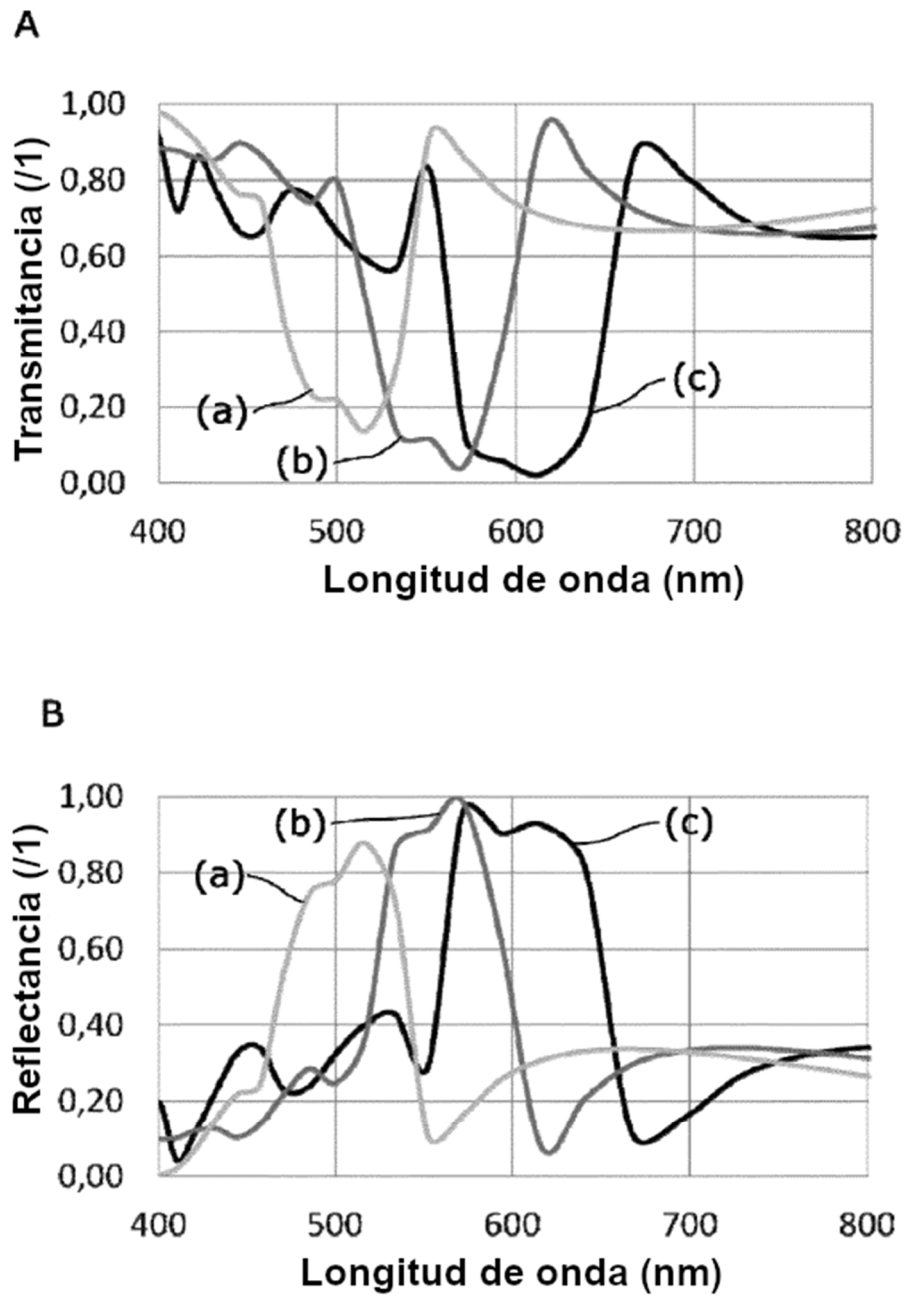


Fig. 15