

(12) SOLICITUD INTERNACIONAL PUBLICADA EN VIRTUD DEL TRATADO DE COOPERACIÓN EN MATERIA DE PATENTES (PCT)

(19) Organización Mundial de la Propiedad Intelectual  
Oficina internacional



(10) Número de publicación internacional

WO 2021/116522 A1

(43) Fecha de publicación internacional  
17 de junio de 2021 (17.06.2021)

WIPO | PCT

(51) Clasificación internacional de patentes:  
*B82B 3/00* (2006.01) *A61F 2/14* (2006.01)

[ES/ES]; Campus UAB - Edificio ICN2, 08193 Bellaterra (Barcelona) (ES). INSTITUCIÓ CATALANA DE RECERCA I ESTUDIS AVANÇATS (ICREA) [ES/ES]; Passeig Lluís Companys, 23, 08010 Barcelona (ES).

(21) Número de la solicitud internacional:  
PCT/ES2020/070778

(22) Fecha de presentación internacional:  
10 de diciembre de 2020 (10.12.2020)

(72) Inventores: SEPÚLVEDA MARTÍNEZ, Borja; FUNDACIÓ INSTITUT CATALÀ DE NANOCIÈNCIA I NANOTECNOLOGIA, Campus UAB - Edificio ICN2, 08193 Bellaterra (Barcelona) (ES). ÀLVAREZ SÁNCHEZ, Mar; INSTITUTO DE MICROELECTRONICA DE BARCELONA, CAMPUS UNIVERSIDAD AUTONOMA DE BARCELONA (BELLATERRA), 08193 Cerdanyola del Vallès (Barcelona) (ES). GÜELL I GRAU, Pau; FUNDACIÓ INSTITUT CATALÀ DE NANOCIÈNCIA I NANOTECNOLOGIA, Campus UAB - Edificio ICN2, 08193 Bellaterra (Barcelona) (ES). NOGUÉS SANMIGUEL, Josep; FUNDACIÓ INSTITUT CATALÀ DE

(25) Idioma de presentación: español

(26) Idioma de publicación: español

(30) Datos relativos a la prioridad:  
P201931100 11 de diciembre de 2019 (11.12.2019) ES

(71) Solicitantes: CONSEJO SUPERIOR DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS CSIC [ES/ES]; C/ Serrano, nº 117, 28006 Madrid (ES). FUNDACIÓ INSTITUT CATALÀ DE NANOCIÈNCIA I NANOTECNOLOGIA

(54) Title: MATERIAL THAT ABSORBS ELECTROMAGNETIC RADIATION OF WAVELENGTHS BETWEEN 300 NM AND 18 MICRONS, AND APPLICATIONS

(54) Título: MATERIAL QUE ABSORBE RADIACIÓN ELECTROMAGNÉTICA DE LONGITUDES DE ONDA DE ENTRE 300 NM Y 18 MICRAS Y APLICACIONES



WO 2021/116522 A1

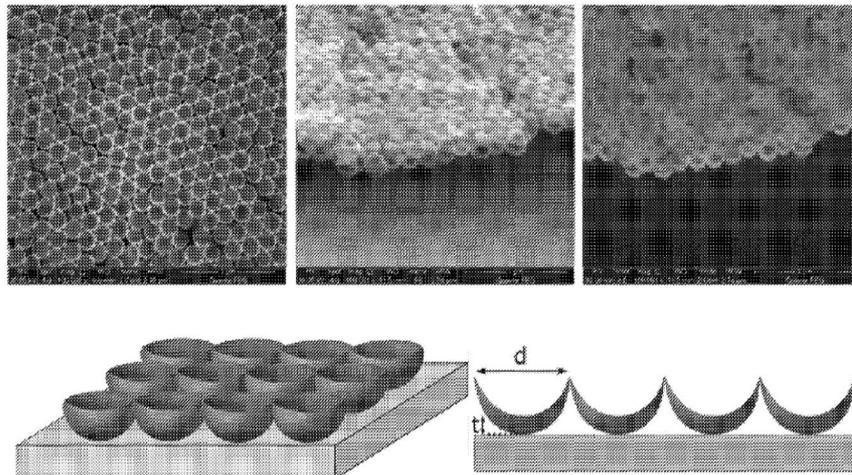


Fig. 1

(57) Abstract: The present invention relates to a material that absorbs electromagnetic radiation of wavelengths between 300 nm and 18  $\mu\text{m}$ , which comprises a polymer substrate and a plurality of nanocapsules. The invention also relates to a non-cooled photodetector, a photomechanical actuator powered by solar light, an artificial dynamic pupil that self-adjusts with light/incident radiation, and an ocular prosthesis comprising said material. Lastly, the invention relates to the use of the material as a cantilever support and for the production of a dynamic artificial pupil for the treatment of pupil disorders. Therefore, the present invention can be encompassed in the field of materials comprising metamaterials and applications thereof.

(57) Resumen: La presente invención se refiere a un material que absorbe radiación electromagnética de longitudes de onda de entre 300 nm a 18  $\mu\text{m}$  que comprende un sustrato polimérico y una pluralidad de nanocápsulas. Además, la presente invención se refiere a un fotodetector no refrigerado, un actuador fotomecánico alimentado con luz solar y una pupila dinámica artificial autorregulada con luz/radiación incidente y una prótesis ocular que comprende dicho material. Por último, la presente invención se refiere al uso del material como soporte en voladizo y para la fabricación de una pupila artificial dinámica para el tratamiento de trastornos de la pupila. Por tanto,

NANOCIÈNCIA I NANOTECNOLOGIA, Campus UAB - Edificio ICN2, 08193 Bellaterra (Barcelona) (ES). **ZIII, Li**; FUNDACIÓ INSTITUT CATALÀ DE NANOCIÈNCIA I NANOTECNOLOGIA, Campus UAB - Edificio ICN2, 08193 Bellaterra (Barcelona) (ES). **VILLA SANZ, Rosa**; INSTITUTO DE MICROELECTRONICA DE BARCELONA, CAMPUS UNIVERSIDAD AUTONOMA DE BARCELONA (BELLATERRA), 08193 Cerdanyola del Vallès (Barcelona) (ES).

(74) **Mandatario: PONS ARIÑO, Angel**; Glorieta Rubén Darío 4, Madrid 28010 (ES).

(81) **Estados designados** (*a menos que se indique otra cosa, para toda clase de protección nacional admisible*): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, IT, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, WS, ZA, ZM, ZW.

(84) **Estados designados** (*a menos que se indique otra cosa, para toda clase de protección regional admisible*): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), euroasiática (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), europea (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

**Publicada:**

— *con informe de búsqueda internacional (Art. 21(3))*

## DESCRIPCIÓN

### Material que absorbe radiación electromagnética de longitudes de onda de entre 300 nm y 18 micras y aplicaciones.

5

La presente invención se refiere a un material que absorbe radiación electromagnética de longitudes de onda de entre 300 nm a 18  $\mu\text{m}$  que comprende un sustrato polimérico y una pluralidad de nanocápsulas. Además, la presente invención se refiere a un fotodetector no refrigerado, un actuador fotomecánico alimentado con luz solar y una pupila dinámica artificial autorregulada con luz/radiación incidente y una prótesis ocular que comprende dicho material. Por último, la presente invención se refiere al uso del material como soporte en voladizo y para la fabricación de una pupila artificial dinámica para el tratamiento de trastornos de la pupila.

15

Por tanto, la presente invención se puede encuadrar en el área de los materiales que comprenden metamateriales plasmónicos y sus aplicaciones.

### ANTECEDENTES DE LA INVENCION

20

Los metamateriales plasmónicos son materiales artificiales basados en nanoestructuras metálicas. Las ondas electromagnéticas interactúan con las nanoestructuras y se acoplan/excitan la resonancia de plasmón superficial de éstas. Metales como Au o Ag han sido ampliamente utilizados debido a la fuerte respuesta de resonancia de plasmón superficial que exhiben.

25

Los metamateriales plasmónicos son especialmente interesantes por su capacidad de absorción eficiente a una frecuencia específica o en multifrecuencia, en diferentes rangos del espectro (adaptable), con espesores mucho menores que los dispositivos tradicionalmente utilizados basados en multicapas separadas por un cuarto de la longitud de onda de operación [Watts, C. M., Liu, X. & Padilla, W. J. Metamaterial Electromagnetic Wave Absorbers. Adv. Mater. 24, OP98–OP120 (2012)].

30

Conseguir una absorción de un amplio rango del espectro mediante el uso de metamateriales plasmónicos representa un reto debido al intrínsecamente estrecho ancho de banda de la resonancia de plasmón superficial localizada generada en la superficie de nanoestructuras metálicas. Diversas aproximaciones combinan la

35

resonancia de nanoestructuras de diferentes dimensiones o el uso de multicapas para conseguir una absorción en un amplio ancho de banda del espectro [Yu, P. et al. Broadband Metamaterial Absorbers. Adv. Opt. Mater. 7, 1800995 (2019)]. Sin embargo, todas ellas fallan en conseguir una absorción constante en un rango ultra ancho del espectro.

El desarrollo de materiales capaces de conseguir una absorción eficiente de la radiación electromagnética en un gran ancho de banda del espectro es indispensable en aplicaciones como termo-fotovoltaica, fotodetección, bolometría y manipulación de las resonancias mecánicas [Yu, P. et al. Broadband Metamaterial Absorbers. Adv. Opt. Mater. 7, 1800995 (2019)]. Otras áreas de aplicación de estos materiales incluyen la acumulación de energía, la robótica-blanda [Liu, J. A.-C., Gillen, J. H., Mishra, S. R., Evans, B. A. & Tracy, J. B. Photothermally and magnetically controlled reconfiguration of polymer composites for soft robotics. Sci. Adv. 5, eaaw2897 (2019)] y las pupilas dinámicas [Lapointe, J. Next Generation Artificial Eyes with Dynamic Iris. Int J Ophthalmol Clin Res 3:062] que se podrían considerar ejemplos de robótica-blanda.

El desarrollo de pupilas dinámicas artificiales es hoy día un reto por resolver. Las prótesis de ojo utilizadas actualmente en clínica contienen una pupila estática, con un tamaño fijo, que difiere mucho del comportamiento dinámico de la pupila real. Esta limitación impacta sobre la vida profesional y social de los pacientes. La única pupila artificial dinámica aprobada para su uso en clínica y disponible comercialmente fue desarrollada en 1983 y está basada en el uso de un imán externo para cambiar el tamaño de la pupila [Art-Lens, prótesis oculares]. El imán es utilizado por el propio paciente y la pupila tiene dos tamaños posibles. Otras aproximaciones utilizan cristales líquidos o materiales fotocromáticos [Lapointe, J. Next Generation Artificial Eyes with Dynamic Iris. Int J Ophthalmol Clin Res 3:062], pero la mayoría de ellos necesitan el uso de baterías que limita la aplicación en clínica. Una aproximación más reciente utiliza cristales líquidos para el desarrollo de una pupila dinámica que autoregula su tamaño dependiendo de la intensidad de luz UV recibida [Zeng, H., Wani, O. M., Wasylczyk, P., Kaczmarek, R. & Priimagi, A. Self-Regulating Iris Based on Light-Actuated Liquid Crystal Elastomer. Adv. Mater. 29, 1701814 (2017).].

## DESCRIPCIÓN DE LA INVENCION

35

La invención propuesta simplifica dichas aproximaciones, y consigue una absorción muy

alta y constante en un gran rango del espectro debido a la combinación de la absorción de los elementos que componen el material de la invención: un material nanoestructurado con comportamiento plasmónico altamente amortiguado y un polímero. El espectro de absorción es altamente independiente de la distancia entre nanoestructuras, ya que la interacción por campo cercano de este material es despreciable, manteniendo por tanto una absorción muy eficiente y reduciendo la reflexión de la luz. En comparación, los materiales plasmónicos convencionales, como el Au o Ag, sufren un aumento de la reflexión de la luz y una reducción de la absorción electromagnética debido a la deslocalización del plasmón superficial cuando se reduce la distancia entre ellas. El aumento de la reflectancia es especialmente importante en el infrarrojo, donde los materiales plasmónicos convencionales se comportan casi como un conductor perfecto con muy poca penetración de la radiación dentro del material.

Las ventajas de la invención propuesta consisten en un mayor rango espectral de absorción, una independencia del ángulo de incidencia de la luz, una mayor eficiencia de la conversión fototérmica y un menor coste. Las propiedades ferromagnéticas de los materiales propuestos permiten además la actuación y detección combinada o secuencial de luz y campos magnéticos.

## 20 DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LA INVENCIÓN

En un primer aspecto, la presente invención se refiere a un material (a partir de aquí "el material de la presente invención") que absorbe radiación electromagnética de longitudes de onda de entre 300 nm a 18  $\mu$ m (en concordancia con la definición de ultra ancha banda) y convierte dicha radiación en calor. Absorbe la radiación electromagnética en un rango ultra ancho del espectro, de entre 300 nm a 18  $\mu$ m, de forma altamente eficiente, con una absorción promedio del 84 %. Cabe señalar que la eficiencia de la absorción de dicha radiación electromagnética es independiente del ángulo de incidencia de la radiación electromagnética (luz).

30

Además, dicho material está caracterizado por que comprende

- un sustrato polimérico, preferiblemente el sustrato polimérico se selecciona de entre polidimetilsiloxano (PDMS) o poliestireno.
  - una pluralidad de nanocápsulas de Fe, Co, Ni o una aleación de Fe seleccionada de entre Fe-Ni, Fe-Co, Fe-Ga o Fe-Al, donde cada nanocápsula tiene
    - un vértice,
- 35

- o una altura de entre 100 nm y 500 nm,
- o un espesor de 40 nm y 300 nm
- o y una apertura de diámetro de entre 200 nm y 1000 nm,

5 donde cada nanocápsula está dispuesta sobre el sustrato polimérico de manera que su vértice está en contacto directo con el sustrato polimérico.

En el material de la presente invención, las nanocápsulas pueden estar parcial o completamente sumergidas en el sustrato de forma similar a su disposición sobre el sustrato. El término "el vértice está en contacto directo con el sustrato" marca la  
10 disposición de todas nanocápsulas con respecto al sustrato (lado concavo). Nótese que para el caso de las nanocápsulas sumergidas en el sustrato parcialmente, la parte de la nanocápsula que incluye el vértice puede estar sumergido en el sustrato y la parte de la nanocápsula que incluye la apertura sin sumergir.

15 Preferiblemente, el sustrato polimérico del material de la presente invención es un aislante, es decir, un sustrato polimérico no conductor. Además, dicho sustrato puede ser flexible y su superficie puede ser rugosa.

Las nanocápsulas del material de la presente invención tienen un vértice, una altura de  
20 entre 100 nm y 500 nm, un espesor de entre 40 nm y 300 nm y una apertura de diámetro de entre 200 nm y 1000 nm. La composición de las nanocápsulas puede variar de entre Fe, Co, Ni o una aleación de Fe seleccionada de entre Fe-Ni, Fe-Co, Fe-Ga o Fe-Al, preferentemente las nanocápsulas de la presente invención comprenden Fe.

25 El espesor del material se corresponde con la suma de la altura de las nanocápsulas y el espesor del sustrato y oscila dependerá de su aplicación y por tanto estará limitado a dicha aplicación.

En el material de la presente invención la absorción de la luz/radiación electromagnética  
30 de longitudes de onda de entre 300 nm y 18  $\mu\text{m}$  está maximizada preferentemente cuando las nanocápsulas están en contacto. Por lo que, en una realización preferida del material de la presente invención al menos dos nanocápsulas están en contacto entre sí, preferentemente dicho contacto es tangencial, es decir, se da en un único punto. Aún más preferentemente, todas las nanocápsulas tienen la misma altura.

35

En otra realización preferida del material de la presente invención todas las

nanocápsulas de la pluralidad están separadas entre sí.

En una realización preferida del material de la presente invención, el sustrato polimérico tiene

- 5
- un primer lado periódicamente corrugado con una periodicidad entre 800 nm y 20000 nm y
  - un segundo lado,

y donde las nanocápsulas están dispuestas sobre el segundo lado del sustrato polimérico. Este material es susceptible de ser utilizado como soporte en voladizo en aplicaciones de fotodetección y actuación fotomecánica, donde la radiación absorbida es convertida en energía mecánica, y en un desplazamiento del extremo libre del voladizo. El lado corrugado cambia el color difractado por el material al producirse la absorción de la radiación. Por lo que otro aspecto de la presente invención se refiere al uso de dicho material como soporte en voladizo o cantiléver, preferiblemente de fotodetectores o actuadores fotomecánicos.

10

15

Otro aspecto de la invención es un fotodetector no refrigerado, preferentemente un fotodetector de infrarrojo no refrigerado, caracterizado por que comprende el material de la presente invención. Puesto que el material absorbe la radiación en un rango de longitudes mayor, de entre 300 nm y 18  $\mu$ m, maximiza la eficiencia del fotodetector. El material de la presente invención es la capa sensora en fotodetectores basados en respuesta térmica, como fotodetectores piroeléctricos, bolómetros o termopilas.

20

En fotodetectores IR nanomecánicos, el material de la presente invención es utilizado como único componente (material de la invención en forma de voladizo). Opcionalmente puede tener un lado corrugado. Si tiene lado corrugado, convierte directamente la absorción en cambio de color, si no lo tiene el voladizo responde a la absorción, pero no cambia de color y se puede utilizar otra técnica para medir la deflexión de éste.

25

Otro aspecto de la presente invención es un actuador fotomecánico alimentado con luz solar caracterizado por que comprende el material de la presente invención. Puesto que el material convierte eficientemente la luz o radiación electromagnética de entre 300 nm y 18  $\mu$ m en calor, la respuesta mecánica será mayor, debido a que la respuesta mecánica está directamente relacionada con el calor generado en el material y los coeficientes de expansión térmica.

30

35

Otro aspecto de la presente invención se refiere al uso del material caracterizado por que comprende el material de la presente invención que a su vez comprende

- un sustrato polimérico no conductor, preferiblemente el sustrato polimérico se selecciona de entre polidimetilsiloxano (PDMS) o poliestireno.
- 5 • una pluralidad de nanocápsulas de Fe, Co, Ni o una aleación de Fe seleccionada de entre Fe-Ni, Fe-Co, Fe-Ga o Fe-Al, donde cada nanocápsula tiene
  - un vértice,
  - una altura de entre 100 nm y 500 nm,
  - un espesor de 40 nm y 300 nm
  - 10 ○ y una apertura de diámetro de entre 200 nm y 1000 nm,

donde cada nanocápsula está dispuesta sobre el sustrato polimérico de manera que su vértice está en contacto directo con el sustrato polimérico, para la fabricación de una pupila artificial dinámica autorregulada con luz/radiación incidente para el tratamiento de trastornos de la pupila como son el tamaño desigual de las pupilas (anisocoria), pupilas arreactivas, pupilas mióticas, pupilas isocóricas, etc.

Otro aspecto de la presente invención se refiere a la pupila artificial dinámica autorregulada con luz/radiación incidente caracterizado por que comprende el material de la presente invención que a su vez comprende

- 20 • un sustrato polimérico no conductor, preferiblemente el sustrato polimérico se selecciona de entre polidimetilsiloxano (PDMS) o poliestireno.
- una pluralidad de nanocápsulas de Fe, Co, Ni o una aleación de Fe seleccionada de entre Fe-Ni, Fe-Co, Fe-Ga o Fe-Al, donde cada nanocápsula tiene
  - un vértice,
  - 25 ○ una altura de entre 100 nm y 500 nm,
  - un espesor de 40 nm y 300 nm
  - y una apertura de diámetro de entre 200 nm y 1000 nm,

donde cada nanocápsula está dispuesta sobre el sustrato polimérico de manera que su vértice está en contacto directo con el sustrato polimérico y donde el sustrato es una  
30 lentilla.

La pupila artificial dinámica que comprende el material de la presente invención consiste en un círculo de material con varios cortes, en una forma preferente de la invención con cortes radiales desde el centro hasta cerca del borde, que dan lugar a voladizos con  
35 forma triangular levantados debido a la tensión de los materiales. Debido a este diseño, el espacio que queda en el centro del círculo, y que correspondería al tamaño de la

pupila, tiene un tamaño fijo en ausencia de luz y disminuye su tamaño de forma proporcional a la intensidad de luz incidente debido al cambio en la deflexión de los voladizos triangulares, simulando la respuesta real de la pupila.

5 La pupila dinámica solventa una de las principales limitaciones de las prótesis oculares, donde la ausencia de cambio de tamaño de las pupilas en diferentes ambientes mina el esfuerzo por conseguir un ojo artificial realista, impactando sobre la calidad de vida profesional y social de los pacientes. Frente a otras aproximaciones donde la pupila artificial también responde a los cambios de luz, las ventajas del material de la presente  
10 invención incluyen:

- respuesta ante un rango amplio del espectro (no sólo UV),
- respuesta modulable mecánicamente (dependiendo del espesor final del material y del diseño de corte).

15 Otro aspecto de la presente invención se refiere a la prótesis ocular que comprende la pupila artificial autorregulada con luz/radiación incidente que comprende el material de la presente invención que a su vez comprende

- un sustrato polimérico no conductor, preferiblemente el sustrato polimérico se selecciona de entre polidimetilsiloxano (PDMS) o poliestireno.
- 20 • una pluralidad de nanocápsulas de Fe, Co, Ni o una aleación de Fe seleccionada de entre Fe-Ni, Fe-Co, Fe-Ga o Fe-Al, donde cada nanocápsula tiene
  - un vértice,
  - una altura de entre 100 nm y 500 nm,
  - un espesor de 40 nm y 300 nm
  - 25 ○ y una apertura de diámetro de entre 200 nm y 1000 nm,

donde cada nanocápsula está dispuesta sobre el sustrato polimérico de manera que su vértice está en contacto directo con el sustrato polimérico y donde el sustrato es una lentilla.

30 En la presente invención se entiende por "prótesis ocular" como aquel tejido o estructura artificial destinado a ser usado como implante ocular.

El último aspecto de la presente invención se refiere al material de la presente invención caracterizado por que comprende

- 35 • un sustrato polimérico no conductor, preferiblemente el sustrato polimérico se selecciona de entre polidimetilsiloxano (PDMS), poliestireno o un hidrogel de

silicona,

- una pluralidad de nanocápsulas de Fe, Co, Ni o una aleación de Fe seleccionada de entre Fe-Ni, Fe-Co, Fe-Ga o Fe-Al, donde cada nanocápsula tiene
  - un vértice,
  - una altura de entre 100 nm y 500 nm,
  - un espesor de 40 nm y 300 nm
  - y una apertura de diámetro de entre 200 nm y 1000 nm,

5

10

donde cada nanocápsula está dispuesta sobre el sustrato polimérico de manera que su vértice está en contacto directo con el sustrato polimérico, para el tratamiento de trastornos de pupila.

15

A lo largo de la descripción y las reivindicaciones la palabra "comprende" y sus variantes no pretenden excluir otras características técnicas, aditivos, componentes o pasos. Para los expertos en la materia, otros objetos, ventajas y características de la invención se desprenderán en parte de la descripción y en parte de la práctica de la invención. Los siguientes ejemplos y figuras se proporcionan a modo de ilustración, y no se pretende que sean limitativos de la presente invención.

## BREVE DESCRIPCIÓN DE LAS FIGURAS

20

**Fig. 1** Imágenes SEM de la monocapa nanoestructurada y esquema del material de la presente invención.

25

**Fig. 2** Medida experimental de la absorción de dos tipos de monocapas diferentes sobre capa de PDMS dependiendo del material (Fe y Au), realizado mediante espectrometría de UV-visible y mediante FTIR.

30

**Fig. 3** Medida experimental de la reflexión y transmisión de dos tipos de monocapas diferentes sobre capa de PDMS dependiendo del material (Fe y Au), realizado mediante espectrometría de UV-visible y mediante FTIR.

35

**Fig. 4** Medida experimental del cambio de temperatura sufrido por el material de la invención para dos tipos de monocapas diferentes dependiendo del material (Fe y Au) sobre PDMS al ser radiada por una fuente con una longitud de onda de 808 nm y de 1470 nm, a dos ángulos diferentes (0 ° y 45 °).

Fig. 5 Cambio de color sufrido por el material de la invención con forma de voladizo representado por el cambio de valor de H (espacio HSV) obtenido a partir del análisis RGB de la imagen, para diferentes potencias de radiación, y perfil del voladizo para tres potencias diferentes.

5

Fig. 6. Muestra el cambio de diámetro de la pupila (espacio en abierto en el centro del círculo de material) medido experimentalmente al radiar el material de la invención con diferentes potencias, y el cambio dinámico, y secuencia de imágenes correspondientes a dichas potencias de radiación.

10

## EJEMPLOS

A continuación, se ilustrará la invención mediante unos ensayos realizados por los inventores, que pone de manifiesto la efectividad del producto de la invención.

15

### Fabricación del material de la invención

Primero, una capa delgada de polidimetilsiloxano (PDMS) es depositada mediante espineado de una solución líquida de PDMS (10:1, Sylgard 184) a 1000 rpm durante 90 segundos sobre un sustrato grueso de PDMS previamente fabricado y funcionalizado con *Tridecafluoro-1,1,2,2 tetrahidrooctil)triclorsilano* (97%, ABCR), y curado a 80°C durante 30 minutos.

20

En paralelo, para obtener la capa metálica nanoestructurada se prepara un auto-ensamblado altamente empaquetado de nanopartículas de poliestireno (diámetros entre 200 nm y 1000nm) sobre un sustrato de silicio. Para conseguir este auto-ensamblado de nanopartículas, el sustrato de silicio se sumerge en un recipiente con agua, y se inyecta una solución de nanopartículas 2% diluida en etanol 1:1 (concentración inicial de nanopartículas en agua 4%) en la interfaz aire/líquido donde se consigue el empaquetado y ordenación de las nanopartículas. Posteriormente, se retira el agua con cuidado dejando que el auto-ensamblado de nanopartículas se deposite sobre el sustrato de silicio. Después de secar el autoensamblado, se deposita una capa delgada de hierro de 80 nm mediante deposición física de vapor por haz de electrones (UNIVEX 450, Leybold). La capa nanoestructurada metálica es posteriormente transferida sobre la capa delgada de PDMS previamente fabricada mediante transferencia por contacto.

30

35

Finalmente, las estructuras mecánicas suspendidas son fabricadas mediante corte por láser del material fabricado (PDMS + nanoestructuras metálicas). Por último, las estructuras son liberadas del sustrato grueso de PDMS mediante el uso de un soporte con la forma deseada de 0,5 mm de espesor de polimetilmetacrilato (PMMA) con un adhesivo sensible a la presión.

La figura 1 muestra unas imágenes obtenidas por microscopía electrónica de barrido (en inglés Scanning electron Microscopy, SEM) del material obtenido a partir del ensamblado de nanopartículas de poliestireno y de la posterior deposición de Fe o Au sobre dicho ensamblado. También muestra un esquema del material objeto de la invención, donde se muestra el tamaño y espesor,  $t$ , de las nanocápsulas.

La figura 2 muestra la absorción del material en un rango entre 300 nm y 1600 nm, realizada con un espectrómetro UV-visible (a), y entre 1000 nm y 18000 nm realizada con un espectrómetro de transmisión de infrarrojo con transformada de Fourier (FTIR) (b), demostrándose una absorción promedio del 84% para longitudes de onda de al menos hasta 18  $\mu\text{m}$  en el metamaterial de Fe-polímero. Al mismo tiempo, la absorción en el caso del metamaterial de Au-polímero presenta una absorción promedio del 65-70 %, siendo al menos un 17% menor que la obtenida para el Fe (Ver Figura 2).

La figura 3 muestra las medidas experimentales de reflexión y transmisión, con un rango de 300 nm a 1600 nm y de 1000 nm hasta 18000 nm, para metamateriales que comprenden nanocúpulas fabricadas con dos materiales diferentes (Fe o Au) sobre PDMS. De estas medidas se obtiene la absorción de cada material. Se puede observar cómo la reflexión es menor en el caso del metamaterial que comprende nanocápsulas de Fe, mientras que la transmisión es la misma, lo que demuestra la mayor absorción de la radiación en el caso del Fe

En comparación, en el material que comprende nanocápsulas de Au se produce un aumento de la reflexión como ya se empieza a observar en las simulaciones y experimentos presentados.

También se realizó la medida experimental del cambio de temperatura sufrido por el metamaterial con nanocápsulas de Fe o Au al ser radiada por una fuente con una longitud de onda de 808 nm y otra de 1470 nm, como se muestra en la figura 5. La respuesta del metamaterial es la misma en ambos casos, lo que demuestra la

estabilidad de la respuesta térmica en un ancho rango del espectro, pero es mucho mayor en el caso de las nanocúpulas de Fe.

#### **Aplicación: sensor mecánico de radiación no refrigerado**

5

La figura 5 muestra el cambio de color experimentado por el extremo del voladizo calculado a partir del valor Hue (H) (espacio HSV) de la imagen. El cambio de H demuestra la deflexión de un cantiléver expuesto a una radiación de una longitud de onda de 808 nm y otra de 1470 nm de diferentes magnitudes. También incluye el perfil del cantiléver para tres magnitudes de radiación diferente. El cantiléver consiste en un sustrato polimérico de PDMS con una de sus caras periódicamente corrugada (red de difracción); unas nanocápsulas de Fe se sitúan sobre su cara contraria. La exposición a la radiación produce una absorción por parte del material que genera un cambio de temperatura en el material, como se muestra en la figura 4. Este cambio de temperatura induce un cambio en la curvatura del cantiléver debido a las diferencias en los coeficientes de expansión de los materiales utilizados. Al incidir una luz blanca sobre la superficie corrugada, se produce la difracción de la luz blanca en sus distintos componentes del espectro, dando lugar a una coloración estructural del cantiléver. Esta coloración cambiará a lo largo del cantiléver debido a cambios en la curvatura de éste, inducidos por los cambios de temperatura del material de la invención.

10  
15  
20

#### **Aplicación: Iris dinámico**

La figura 6 muestra una pupila artificial dinámica autoregulada utilizando el material de la presente invención. La pupila dinámica fabricada con el material de la presente invención consiste en un círculo de material con varios cortes radiales desde el centro hasta cerca del borde, que dan lugar a voladizos con forma triangular levantados debido a la tensión de los materiales. Debido a este diseño, el espacio que queda en el centro del círculo, y que correspondería al tamaño de la pupila, tiene un tamaño fijo en ausencia de luz y disminuye su tamaño de forma proporcional a la intensidad de luz incidente debido al cambio en la deflexión de los voladizos triangulares, simulando la respuesta real de la pupila (ver secuencia de imágenes de la Fig. 6). El cambio en la deflexión de los voladizos triangulares se debe al aumento de temperatura del material al ser expuesto a la radiación, que da lugar a un cambio de tensión superficial en los voladizos debido a la diferencia de coeficientes de expansión de los materiales que forman el material de la invención (polímero y Fe).

25  
30  
35

## REIVINDICACIONES

1. Material que absorbe radiación electromagnética de longitudes de onda de entre 300 nm a 18  $\mu$ m caracterizado por que comprende
- 5
- un sustrato polimérico y
  - una pluralidad de nanocápsulas de Fe, Co, Ni o una aleación de Fe seleccionada de entre Fe-Ni, Fe-Co, Fe-Ga o Fe-Al, donde cada nanocápsula tiene
    - un vértice,
    - una altura de entre 100 nm y 500 nm,
    - 10 ○ un espesor de entre 40 nm y 300 nm,
    - y una apertura de diámetro de entre 200 nm y 1000 nm,
- donde cada nanocápsula está dispuesta sobre el sustrato polimérico de manera que su vértice está en contacto directo con el sustrato polimérico.
- 15 2. Material según la reivindicación 1, donde el sustrato polimérico se selecciona de entre PDMS y poliestireno.
3. Material según cualquiera de las reivindicaciones 1 ó 2, donde al menos dos nanocápsulas están en contacto entre sí.
- 20
4. Material según la reivindicación 3, donde el contacto es tangencial.
5. Material según cualquiera de las reivindicaciones 3 ó 4, donde todas las nanocápsulas tienen la misma altura.
- 25
6. Material según cualquiera de las reivindicaciones 1 ó 2, donde todas las nanocápsulas de la pluralidad se encuentran separadas entre sí.
7. Material según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6, donde el sustrato polimérico
- 30 tiene
- un primer lado periódicamente corrugado con una periodicidad entre 800 nm y 20000 nm y
  - un segundo lado,
- y donde las nanocápsulas están dispuestas sobre el segundo lado del sustrato
- 35 polimérico.

8. Uso del material según la reivindicación 7 como soporte en voladizo, preferiblemente de fotodetectores o actuadores fotomecánicos.
9. Un fotodetector no refrigerado, caracterizado por que la capa sensora del fotodetector  
5 comprende el material según las reivindicaciones 1 a 7.
10. Actuador fotomecánico alimentado con luz solar caracterizado por que comprende el material según las reivindicaciones 1 a 7.
- 10 11. Uso del material según las reivindicaciones 1 a 7 para la fabricación de una pupila artificial dinámica autorregulada con luz/radiación incidente para el tratamiento de trastornos de la pupila.
- 15 12. Pupila artificial dinámica autorregulada con luz/radiación incidente caracterizado por que comprende el material según las reivindicaciones 1 a 7, donde el sustrato polimérico es no conductor y es una lentilla.
- 20 13. Prótesis ocular que comprende la pupila artificial autorregulada con luz/radiación incidente según la reivindicación 12.
14. Material según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7 para el tratamiento de trastornos de pupila.

Fig. 1

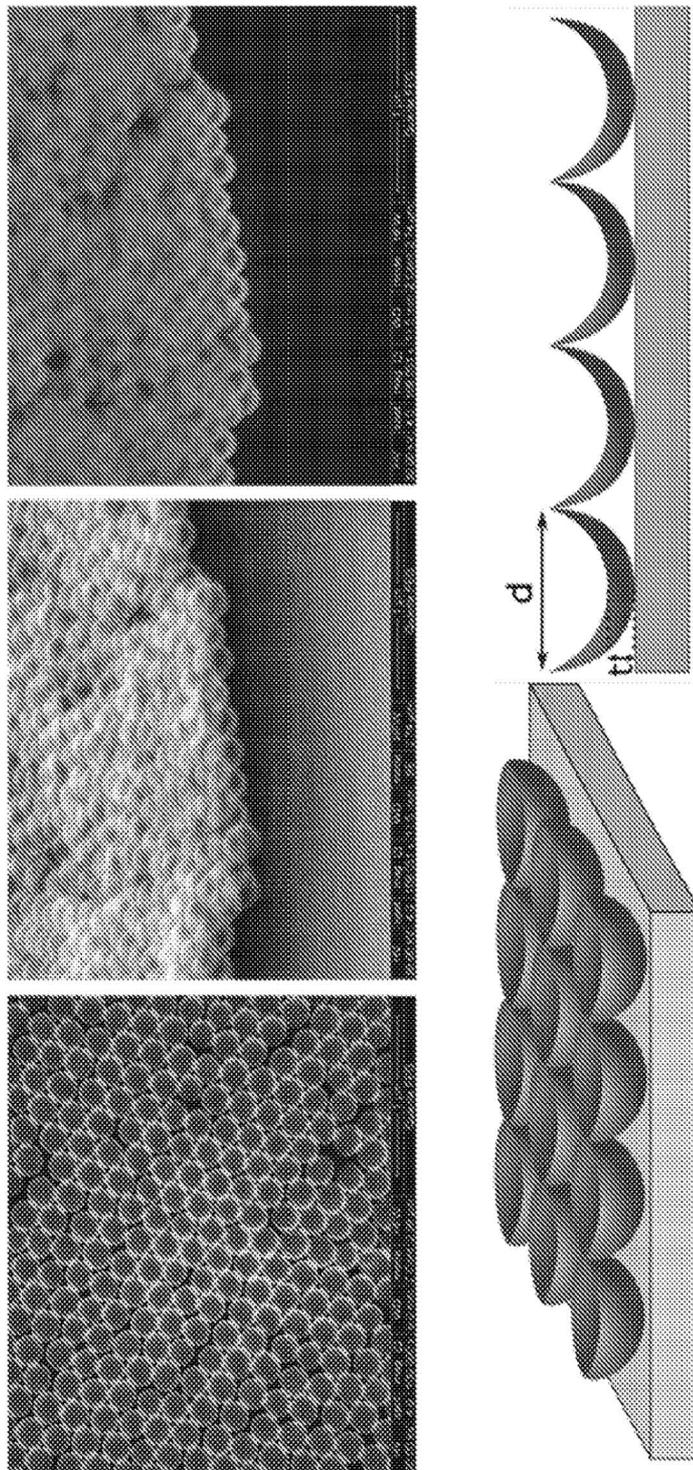


Fig. 2

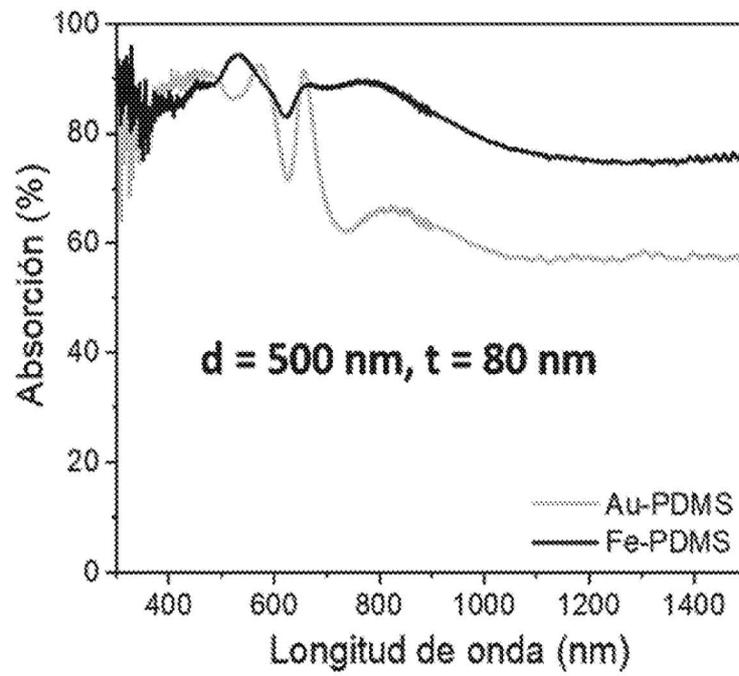


Fig. 2 Cont.

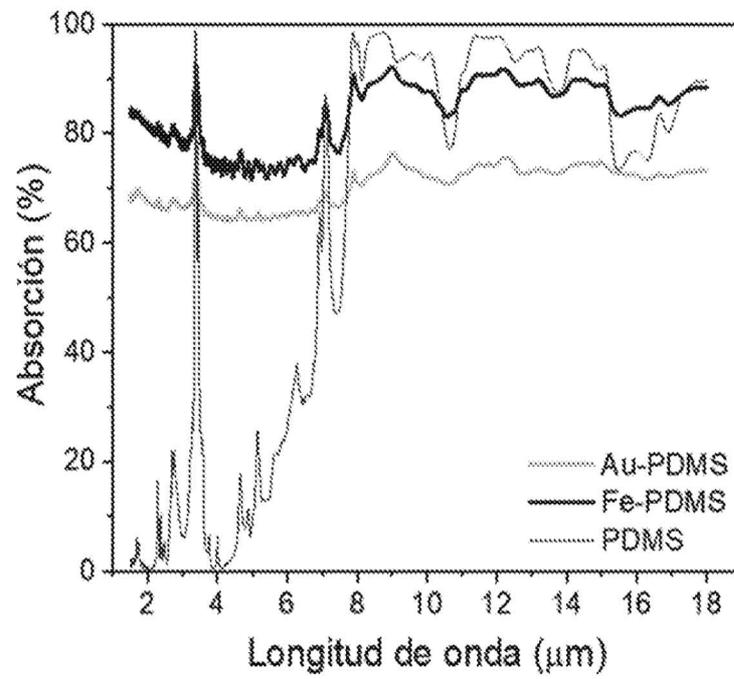


Fig. 3

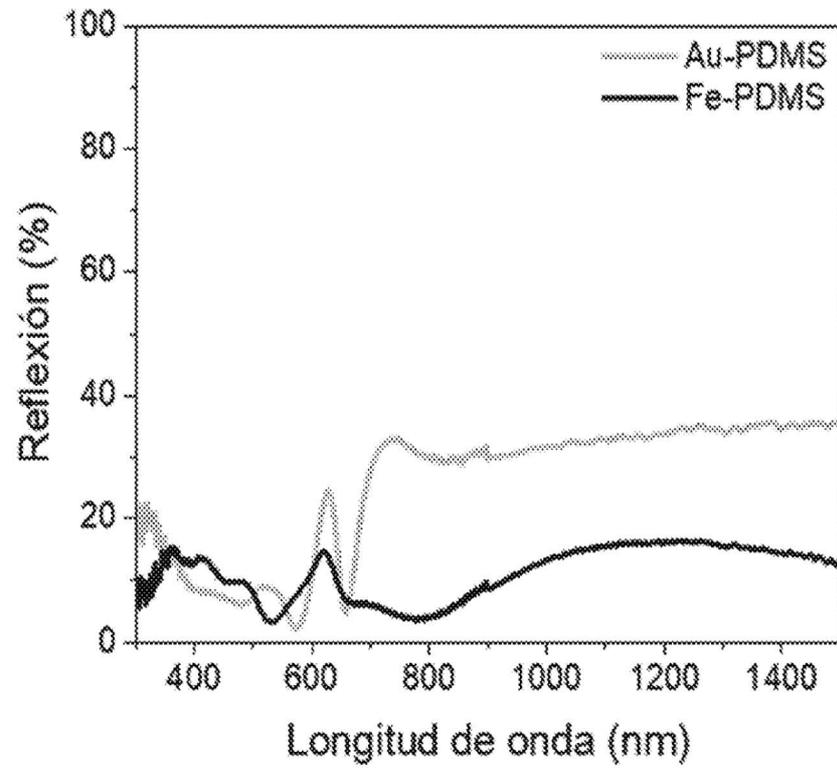


Fig. 3 Cont.

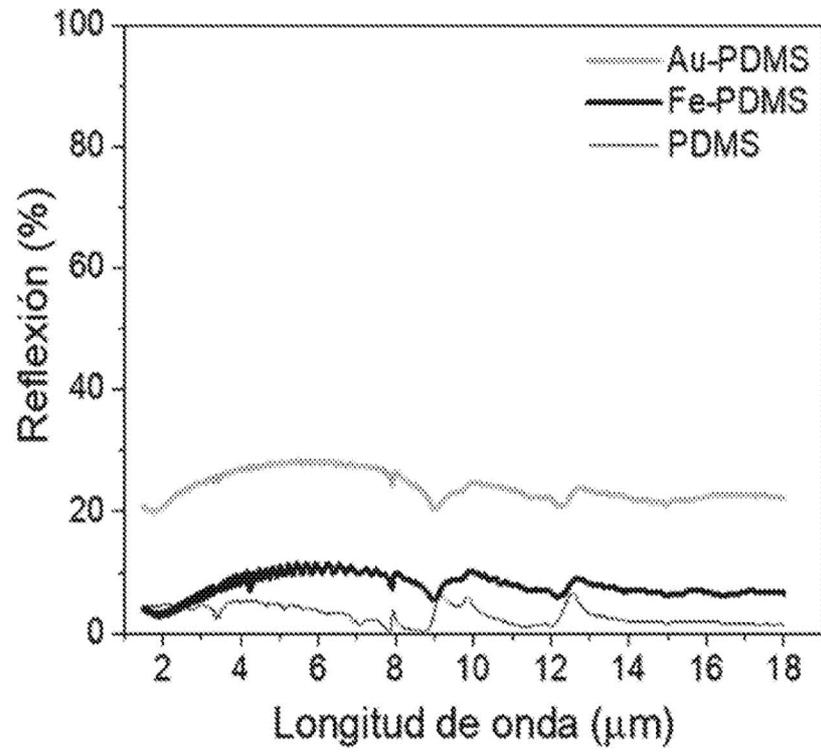


Fig. 3 Cont.

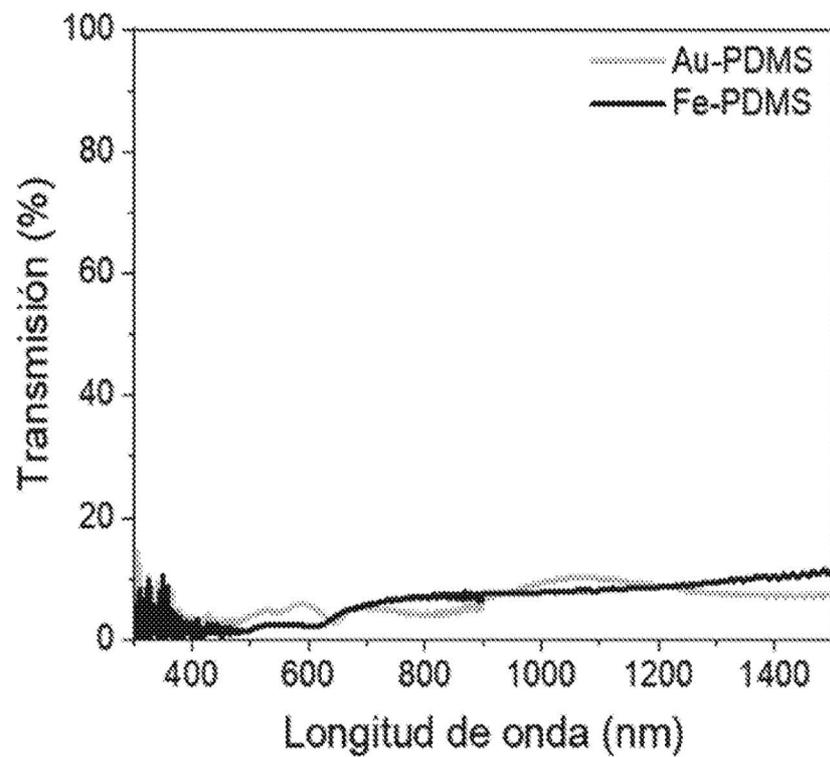


Fig. 3 Cont.

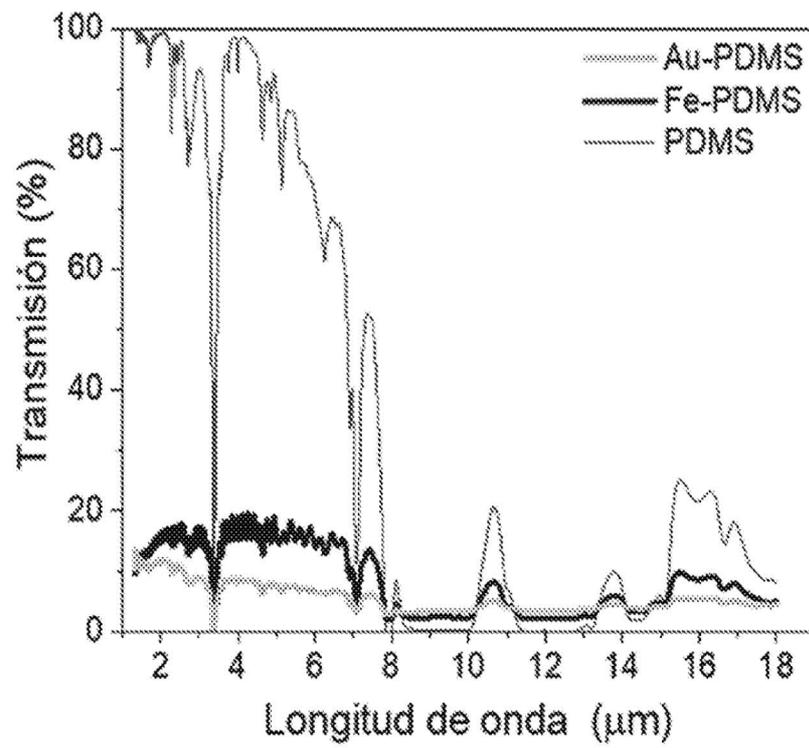


Fig. 4.

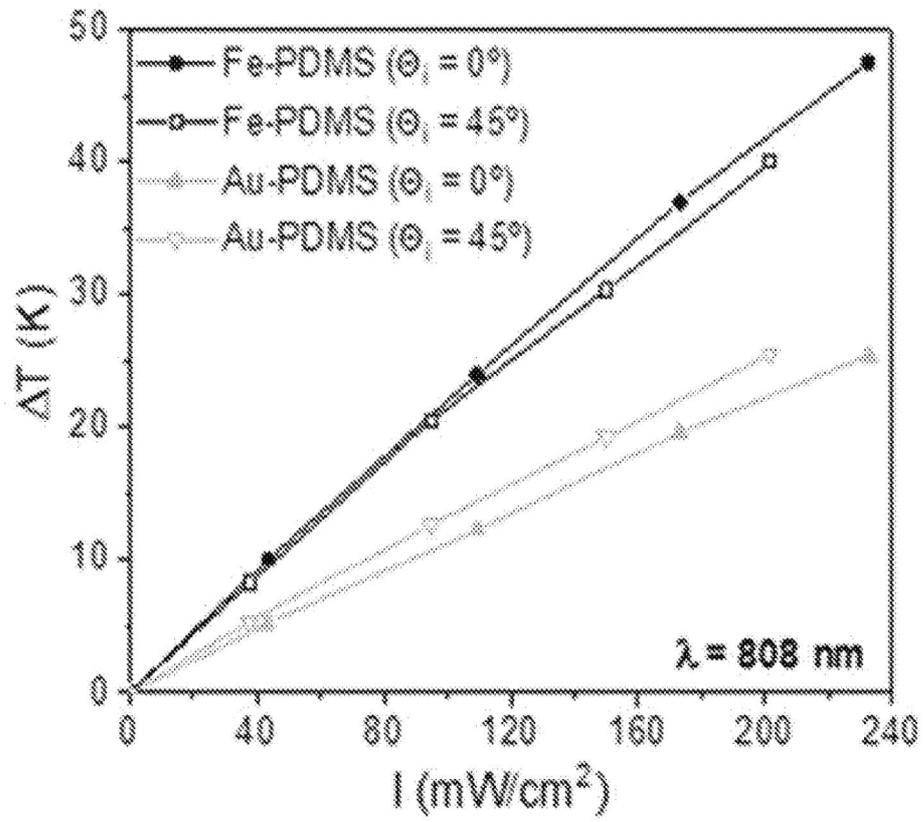


Fig. 4. Cont.

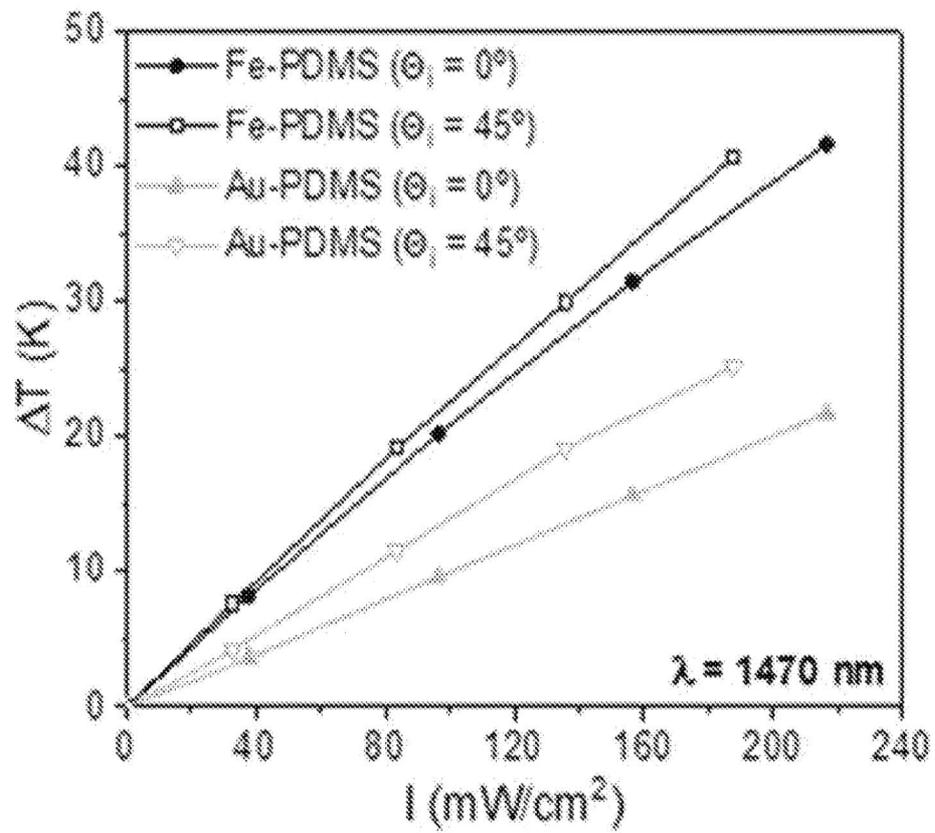


Fig. 5

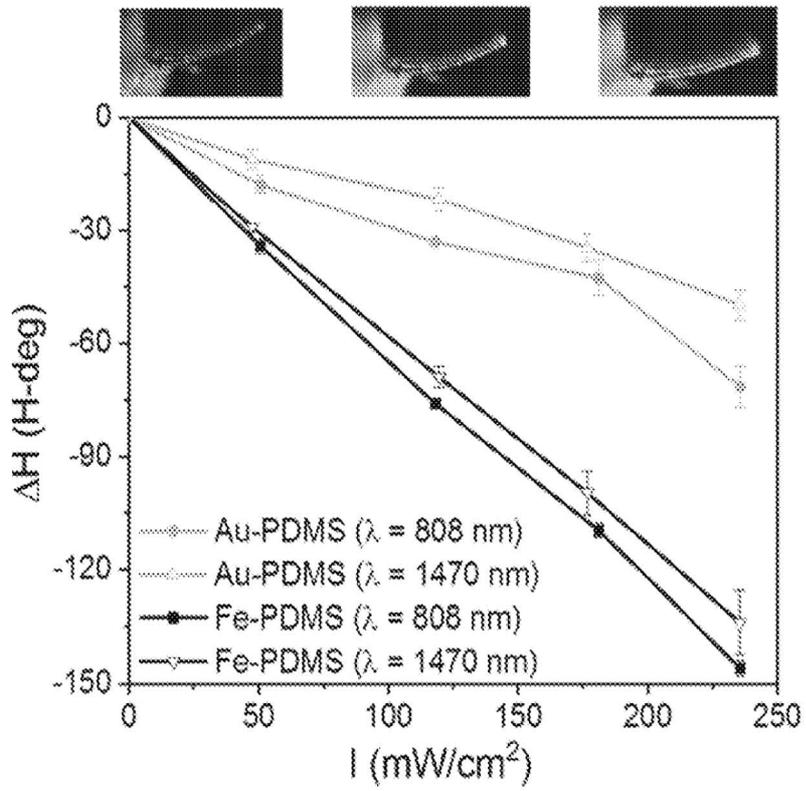


Fig. 6

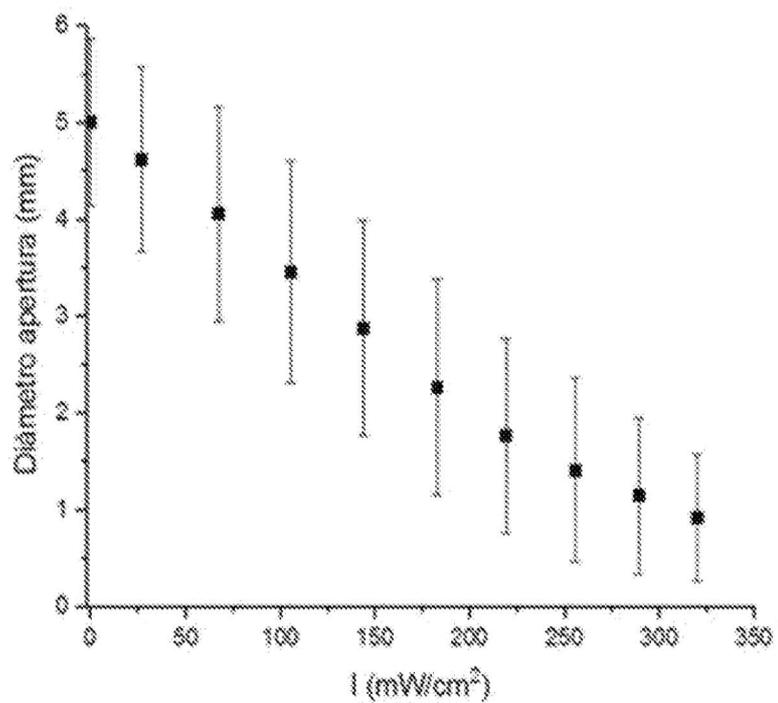
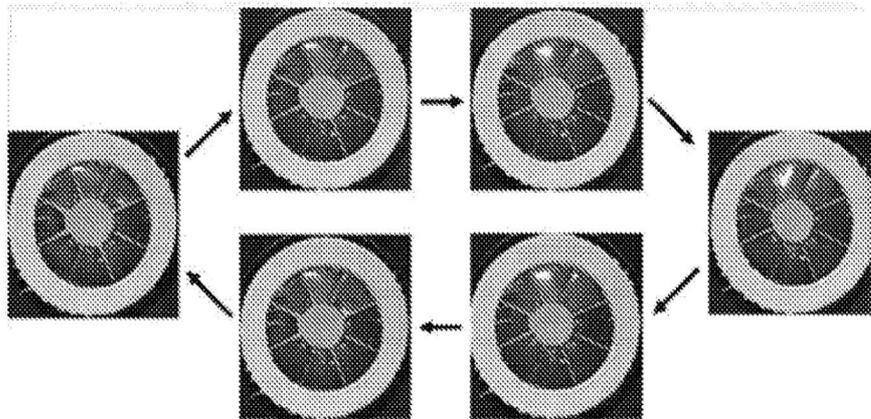
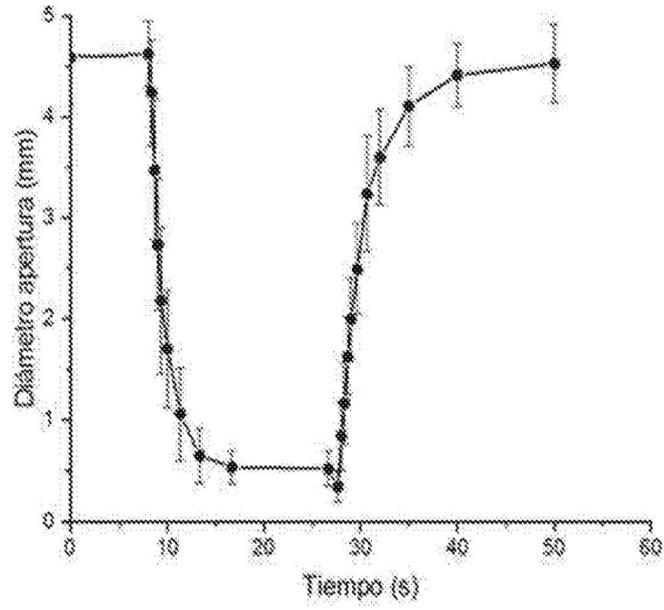


Fig. 6 Cont.



# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.  
PCT/ES2020/070778

## A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

**B82B3/00** (2006.01)

**A61F2/14** (2006.01)

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

## B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

**B82B, A61F**

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

EPODOC, INVENES, WPI, NPL, XPESP, XPAIP, XPI3E, INSPEC.

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	ZHANG X F et al.. Microstructure and microwave absorption properties of carbon-coated iron nanocapsules. Journal of Physics D: Applied Physics, 20070907 Institute of Physics Publishing Ltd, Gb., 07/09/2007, Vol. 40, N° 17, pages 5383 - 5387, ISSN 0022-3727, <DOI: 10.1088/0022-3727/40/17/056>	1-14
A	LIU X et al.. Microwave-absorption properties of ZnO-coated iron nanocapsules. Applied Physics Letters, 20080501 A I P Publishing Llc, Us., 01/05/2008, Vol. 92, N° 17, pages 173117 - 173117-3, ISSN 0003-6951, <DOI: 10.1063/1.2919098>	1-14

Further documents are listed in the continuation of Box C.

See patent family annex.

<p>* Special categories of cited documents:</p> <p>"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance.</p> <p>"E" earlier document but published on or after the international filing date</p> <p>"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)</p> <p>"O" document referring to an oral disclosure use, exhibition, or other means.</p> <p>"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed</p>	<p>"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention</p> <p>"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone</p> <p>"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other documents, such combination being obvious to a person skilled in the art</p> <p>"&amp;" document member of the same patent family</p>
--	--

Date of the actual completion of the international search  
**11/02/2021**

Date of mailing of the international search report  
**(26/02/2021)**

Name and mailing address of the ISA/

Authorized officer  
J. Botella Maldonado

OFICINA ESPAÑOLA DE PATENTES Y MARCAS  
Paseo de la Castellana, 75 - 28071 Madrid (España)  
Facsimile No.: 91 349 53 04

Telephone No. 91 3495382

# INFORME DE BÚSQUEDA INTERNACIONAL

Solicitud internacional nº

PCT/ES2020/070778

## A. CLASIFICACIÓN DEL OBJETO DE LA SOLICITUD

**B82B3/00** (2006.01)

**A61F2/14** (2006.01)

De acuerdo con la Clasificación Internacional de Patentes (CIP) o según la clasificación nacional y CIP.

## B. SECTORES COMPRENDIDOS POR LA BÚSQUEDA

Documentación mínima buscada (sistema de clasificación seguido de los símbolos de clasificación)

**B82B, A61F**

Otra documentación consultada, además de la documentación mínima, en la medida en que tales documentos formen parte de los sectores comprendidos por la búsqueda

Bases de datos electrónicas consultadas durante la búsqueda internacional (nombre de la base de datos y, si es posible, términos de búsqueda utilizados)

**EPODOC, INVENES, WPI, NPL, XPESP, XPAIP, XPI3E, INSPEC.**

## C. DOCUMENTOS CONSIDERADOS RELEVANTES

Categoría*	Documentos citados, con indicación, si procede, de las partes relevantes	Relevante para las reivindicaciones nº
A	ZHANG X F et al.. Microstructure and microwave absorption properties of carbon-coated iron nanocapsules. Journal of Physics D: Applied Physics, 20070907 Institute of Physics Publishing Ltd, Gb., 07/09/2007, Vol. 40, Nº 17, páginas 5383 - 5387, ISSN 0022-3727, <DOI: 10.1088/0022-3727/40/17/056>	1-14
A	LIU X et al.. Microwave-absorption properties of ZnO-coated iron nanocapsules. Applied Physics Letters, 20080501 A I P Publishing Llc, Us., 01/05/2008, Vol. 92, Nº 17, páginas 173117 - 173117-3, ISSN 0003-6951, <DOI: 10.1063/1.2919098>	1-14

En la continuación del recuadro C se relacionan otros documentos  Los documentos de familias de patentes se indican en el anexo

* Categorías especiales de documentos citados:	"T" documento ulterior publicado con posterioridad a la fecha de presentación internacional o de prioridad que no pertenece al estado de la técnica pertinente pero que se cita por permitir la comprensión del principio o teoría que constituye la base de la invención.
"A" documento que define el estado general de la técnica no considerado como particularmente relevante.	"X" documento particularmente relevante; la invención reivindicada no puede considerarse nueva o que implique una actividad inventiva por referencia al documento aisladamente considerado.
"E" solicitud de patente o patente anterior pero publicada en la fecha de presentación internacional o en fecha posterior.	"Y" documento particularmente relevante; la invención reivindicada no puede considerarse que implique una actividad inventiva cuando el documento se asocia a otro u otros documentos de la misma naturaleza, cuya combinación resulta evidente para un experto en la materia.
"L" documento que puede plantear dudas sobre una reivindicación de prioridad o que se cita para determinar la fecha de publicación de otra cita o por una razón especial (como la indicada).	"&" documento que forma parte de la misma familia de patentes.
"O" documento que se refiere a una divulgación oral, a una utilización, a una exposición o a cualquier otro medio.	
"P" documento publicado antes de la fecha de presentación internacional pero con posterioridad a la fecha de prioridad reivindicada.	

Fecha en que se ha concluido efectivamente la búsqueda internacional.  
**11/02/2021**

Fecha de expedición del informe de búsqueda internacional.  
**26 de febrero de 2021 (26/02/2021)**

Nombre y dirección postal de la Administración encargada de la búsqueda internacional  
OFICINA ESPAÑOLA DE PATENTES Y MARCAS  
Paseo de la Castellana, 75 - 28071 Madrid (España)  
Nº de fax: 91 349 53 04

Funcionario autorizado  
J. Botella Maldonado  
Nº de teléfono 91 3495382