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

(19) Organización Mundial de la Propiedad Intelectual
Oficina internacional

(43) Fecha de publicación internacional
22 de diciembre de 2016 (22.12.2016) WIPO | PCT

(10) Número de Publicación Internacional
WO 2016/203090 A1

(51) Clasificación Internacional de Patentes:
G02F 1/061 (2006.01)

(21) Número de la solicitud internacional:
PCT/ES2016/070461

(22) Fecha de presentación internacional:
17 de junio de 2016 (17.06.2016)

(25) Idioma de presentación: español

(26) Idioma de publicación: español

(30) Datos relativos a la prioridad:
P201530868 19 de junio de 2015 (19.06.2015) ES

(71) Solicitante: **UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA** [ES/ES]; C/Jordi Girona, 31, Catalunya, 08034 Barcelona (ES).

(72) Inventores: **LÁZARO VILLA, José Antonio**; C/Jordi Girona, 31, 08034 Barcelona (ES). **LERÍN DE LA SANTISIMA TRINIDAD, Adolfo**; C/Jordi Girona, 31, 08034 Barcelona (ES). **ALTABAS NAVARRO, José Antonio**; C/Jordi Girona, 31, 08034 Barcelona (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, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR, 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, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, 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).

Declaraciónes según la Regla 4.17:

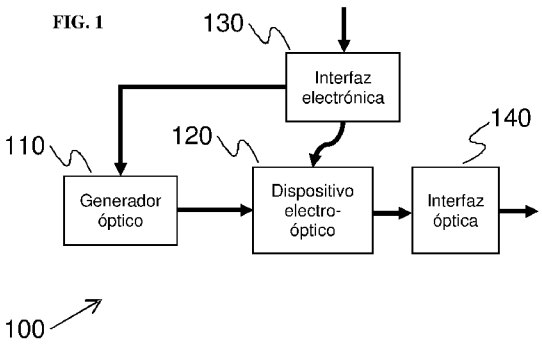
— *sobre el derecho del solicitante para solicitar y que le sea concedida una patente (Regla 4.17(ii))*

[Continúa en la página siguiente]

(54) **Title**: DEVICE AND SYSTEM FOR MODULATING THE PHASE OF AN OPTICAL SIGNAL, BASED ON GRAPHENE AND/OR CARBON-BASED NANOSTRUCTURED MATERIALS

(54) **Título** : DISPOSITIVO Y SISTEMA PARA MODULAR LA FASE DE UNA SEÑAL ÓPTICA BASADO EN GRAFENO Y/O MATERIALES NANO-ESTRUCTURADOS BASADOS EN CARBONO

FIG. 1



130 Electronic interface
110 Optical generator
120 Electro-optical device
140 Optical interface

(57) **Abstract**: Disclosed are a device and system for modulating the phase of an optical signal, based on graphene and/or carbon-based nanostructured materials. The device and system for modulating the phase of an optical signal, based on graphene, essentially comprise: a graphene-based electro-optical device in which light interacts with the graphene, such that a variation of the phase of the optical signal is produced, without significant variation of the amplitude or intensity thereof; an optical interface that allows the phase variation produced in the optical signal to be analysed or monitored; and an electronic interface that allows the graphene to be acted upon by modifying the properties thereof in order to modify the phase of the optical signal, without affecting the intensity of same.

(57) **Resumen**:

[Continúa en la página siguiente]

WO 2016/203090 A1

Publicada:

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

Dispositivo y sistema para modular la fase de una señal óptica basado en grafeno y/o materiales nano- estructurados basados en carbono. Un dispositivo y sistema para modular la fase de una señal óptica basado en grafeno que comprende esencialmente un dispositivo electro-óptico basado en grafeno en el que la luz interacciona con el grafeno, de forma que se produce una variación de la fase de la señal óptica sin variación significativa de su amplitud o intensidad, una interfaz óptica que permite analizar o monitorizar la variación de la fase producida en la señal óptica y una interfaz electrónica que permita actuar sobre el grafeno, modificando sus propiedades para conseguir la modificación de la fase de la señal óptica sin afectar a su intensidad.

Dispositivo y sistema para modular la fase de una señal óptica basado en grafeno y/o materiales nano-estructurados basados en carbono

CAMPO DE LA INVENCIÓN

La presente invención se refiere a un dispositivo óptico que modifica la fase de una portadora y/o señal óptica y, más particularmente pero no exclusivamente, a un modulador que codifica una información mediante la variación de la fase de la portadora óptica y, más particularmente pero no exclusivamente, de un sistema que monitoriza el resultado, y actúa sobre el dispositivo para mantener el control de la modulación de la fase de la luz en el punto de operación adecuado.

ANTECEDENTES

Las comunicaciones de fibra óptica son uno de los activadores para permitir que un operador proporcione servicios de banda ancha a los abonados que pueden extenderse sobre grandes áreas geográficas. La fibra óptica se usa como medio de transmisión porque ofrece varias ventajas comparada con los hilos de cobre, tales como el tradicional par trenzado, o las ondas de radio. Entre ellas, la capacidad de la fibra óptica para proporcionar un elevado ancho de banda a largas distancias.

El éxito de las comunicaciones por fibra óptica ha motivado la extensión a otros entornos, no sólo las comunicaciones de larga distancia, sino también comunicaciones de corta distancia, pero en las que se requiere también ofrecer un elevado ancho de banda, medido en el número de bits por segundo que se puede transmitir,

actualmente del orden de Gigabits por segundo (Gbps) e incluso alcanzando tasas de Terabits por segundo (Tbps). Las comunicaciones ópticas están proporcionando estas capacidades de transmisión tanto a medias y largas distancias, desde metros a decenas de miles de kilómetros, mediante el uso de fibras ópticas, como a cortas y ultra cortas distancias, desde unos centímetros hasta unas pocas decenas de micrómetros.

Se define sistema de comunicaciones ópticas a todo aquel sistema que transmite información mediante la modificación de cualquiera de las propiedades de la luz, como su intensidad, fase, polarización, frecuencia, etc., y que además es capaz de recibir la información o modificar dicha información contenida en cualquiera de las propiedades ópticas de la luz.

Las aplicaciones de comunicaciones ópticas a distancias cortas y ultra cortas se desarrollan mediante diversas técnicas y materiales que permiten el guiado y el direccionamiento de la luz a escalas micrométricas. En este caso se habla de circuitos ópticos integrados, de comunicaciones ópticas y de procesado óptico.

Por otra parte, el desarrollo de la óptica integrada ha ayudado, a su vez, a desarrollar las comunicaciones por fibra óptica, ya que ha proporcionado nuevas técnicas y dispositivos para modular, transmitir, dirigir, procesar y detectar la información contenida en la luz transmitida. Puesto que la luz realiza la función de portadora de la información, habitualmente se denomina portadora óptica. Dicha portadora poder la emisión cuasi monocromática de un láser, la emisión de amplio de espectro de cualquier otra

fuente óptica o incluso, la emisión de una fuente óptica que ya anteriormente ha sido utiliza para transportar información y que en una etapa posterior es procesada para eliminar la información transportada y después reprocesada para transportar una nueva información, como se describe en patentes anteriores [WO2011113902 y US8041219].

La óptica integrada proporciona circuitos ópticos y opto-electrónicos de tamaño pequeño o medio para la generación de señales ópticas, la modulación, filtrado, re-direccionamiento, procesado de información o detección de información, mediantes la interacción de señales ópticas con señales eléctricas o bien de señales ópticas con otras señales ópticas.

Por ejemplo, la altas tasas de datos transmitidos de por las comunicaciones por fibra ópticas mencionadas de hasta Tbps, se han podido realizar gracias a la cooperación entre disciplinas como las comunicaciones ópticas y la óptica integrada.

Por una parte, indicar que la transmisión de portadoras ópticas con información mediante comunicaciones for fibra óptica o equivalentemente a través de circuitos ópticos más o menos complejos genera la distorsión de la información codificada en las propiedades ópticas de la portadora óptica. Este efecto se produce porque el medio material y la geometría de las fibras ópticas y los circuitos ópticos modifican a su vez, las propiedades de la luz de forma no controlada, distorsionando e incluso modificando la información contenida en dichas propiedades. Por esta razón se han desarrollado diversos métodos para imprimir la información deseada mediante las propiedades

ópticas de la portadora óptica, que se conocen como técnicas de modulación, o simplemente modulación de la luz o de la portadora óptica.

Por otra parte, trabajos previos han propuesto diversos dispositivos incluyendo o basados en materiales nano-estructurados basados en carbono, como el grafeno. Por ejemplo, un modulador óptico de gran ancho de banda, fue publicado en 2011, [Liu, Ming, et al. "A graphene-based broadband optical modulator." Nature 474.7349 (2011): 64-67.]. Dicho modulador actúa sobre la intensidad o amplitud de la portadora óptica guiada en una estructura de óptica integrada, mediante la variación de la absorción óptica del grafeno en función de un voltaje aplicado al grafeno.

En otro trabajo previo, se propone un modulador, también de intensidad en este caso de una onda de radio de entre 0.25 y 1 Thz, mediante la interacción con un haz de luz, propagándose en espacio libre, e interaccionando ambos sobre una lámina de grafeno [Wen, Qi-Ye, et al. "Graphene based all-optical spatial terahertz modulator." Scientific reports 4 (2014)].

En otro trabajo previo, se proporciona un resumen de diversos trabajos previos de dispositivos con varias aplicaciones fotónicas y optoelectrónicas, como moduladores de amplitud; rotadores de la polarización por efecto Faraday y/o efecto Kerr; y aisladores no-recíprocos combinando estructuras multicapas de grafeno, láminas de grafeno con formas concretas, y combinaciones de diversos sustratos y combinaciones de grafeno y metal [Tamagnone, Michele, et al. "Fundamental limits and near-optimal design

of graphene modulators and non-reciprocal devices." Nature photonics 8.7 (2014): 556-563.].

Otros trabajos previos proponen moduladores de gran ancho de banda de la amplitud de ondas de radio, en el rango de THz, mediante transiciones intra-banda del grafeno [Sensale-Rodriguez, Berardi, et al. "Broadband graphene terahertz modulators enabled by intraband transitions." Nature communications 3 (2012): 780.].

Otros trabajos previos combinan láminas de grafeno con circuitos ópticos integrados para conseguir moduladores y detectores de la amplitud de la señal óptica en estructuras capaces de guiar la luz fabricadas en Silicio [Youngblood, Nathan, et al. "Multifunctional graphene optical modulator and photodetector integrated on silicon waveguides." Nano letters 14.5 (2014): 2741-2746.].

Finalmente otros trabajos previos, publicados por diversos autores, proponen estructuras más complejas como moduladores electro-ópticos de hasta 30GHz de ancho de banda basados en el efecto Zeno, es decir, en un aumento de las pérdidas (absorción de la intensidad) en un resonador en anillo acoplado a la guía principal [Zhao, Wangshi. "Novel Metamaterials and Their Applications in Subwavelength Waveguides, Imaging and Modulation." (2014)].

EXPLICACIÓN DE LA INVENCIÓN

Esta invención busca soluciones técnicas para aumentar la capacidad de transmisión de información en comunicaciones ópticas, tanto por fibra óptica como en circuitos ópticos. Por una parte, esta solución propone una

solución técnica y diversas implementaciones de un dispositivo capaz de modular la fase de la luz mediante las propiedades del grafeno, permitiendo una transmisión de información de forma más robusta frente a distorsiones que los trabajos previos citados que proponen la modulación en amplitud o intensidad de la luz. Y ofreciendo así moduladores de gran ancho de banda, como los trabajos previos citados, en este caso sobre una magnitud de la luz más robusta a distorsiones.

La idea básica de la invención, mostrada en la figura 1 consiste en un dispositivo y sistema que permita la modulación de la fase de una portadora óptica proporcionada por un generador óptico, como por ejemplo un láser u otra fuente de señal óptica. Esto requiere de un dispositivo electro-óptico, como elemento en el que interactúa la señal óptica con el grafeno produciéndose una variación de la fase de la señal, sin afectar a la amplitud o intensidad de la señal óptica. Para conseguir dicho efecto, se requiere de una interfaz óptica con capacidad para analizar o monitorizar la modulación de la fase de las señal óptica que se ha producido al interactuar con el grafeno y de una interfaz electrónica, que puede actuar sobre la fuente óptica, y principalmente sobre las propiedades del grafeno en el dispositivo electro-óptico, de manera que se produzca la modificación de la fase de la señal óptica sin afectar a la amplitud o intensidad de la misma.

La figura 2 muestra la idea básica del objetivo que desea conseguir con esta invención. En la figura 2 se observa la evolución temporal de una señal óptica en la que su amplitud o intensidad se mantiene constante, mientras que la fase de dicha señal óptica varía con el tiempo, de

forma sincronizada con una señal de datos, transportando de esta forma dichos datos o información.

La figura 3, muestra manera en la que la interfaz electrónica debe interaccionar con el grafeno para conseguir el objetivo de esta invención. La variación de un voltaje aplicado sobre el grafeno, permite variar el valor del índice efectivo del grafeno, tanto en su parte real como en su parte imaginaria. Por una parte, la parte imaginaria del índice de refracción efectivo del grafeno afecta a una mayor o menor absorción de la portadora óptica que interaccione con el grafeno. Por otra parte, la parte real del índice de refracción efectivo del grafeno genera un cambio en la fase de la señal o portadora óptica que interaccione con el grafeno.

La presente invención se basa en el adecuado control por parte de la interfaz electrónica de las propiedades electro-ópticas del grafeno, para conseguir que se mantenga en el rango de valores mostrados por el cuadrado de la figura 3, con valores de la parte imaginaria del índice de refracción efectivo del grafeno prácticamente nulos y valores de la parte real del índice de refracción efectivo del grafeno mostrando fuertes variaciones. De esta manera se consigue una variación ínfima de la amplitud o intensidad de la señal o portadora óptica y una manifiesta modulación en la fase de la señal óptica.

Las siguientes figuras muestran diversas implementaciones de varios de los elementos de la invención, especialmente del dispositivo electro-óptico.

BREVE DESCRIPCIÓN DE LAS FIGURAS

Una explicación más detallada de la invención se da en la descripción siguiente basada en las figuras adjuntas, en las cuales:

la figura 1 muestra el esquema general del dispositivo y sus elementos fundamentales;

la figura 2 muestra la evolución temporal de una señal óptica en amplitud y modulación de la fase relativa a los datos a trasmitir;

la figura 3 representa el valor complejo del índice de refracción efectivo del grafeno en función del voltaje aplicado;

la figura 4 muestra la sección transversal de una guía óptica con deposición en su superficie de grafeno y contacto;

la figura 5 muestra una guía óptica, de la que se representa su sección transversal, con deposición en su lateral de grafeno conectado a un electrodo;

la figura 6 muestra la sección trasversal una guía óptica, revestida de grafeno, con contacto;

la figura 7 muestra una sección longitudinal de una guía óptica, con número variable de secciones de grafeno dispuestas en ángulo;

la figura 8 muestra la sección longitudinal de una guía óptica con número variable de secciones de grafeno con contactos dispuestas perpendicularmente a la guía;

la figura 9 muestra la sección transversal de una guía óptica con deposición superior de grafeno polarizado ópticamente;

la figura 10 muestra la colimación de un haz óptico a través de una capa de grafeno;

la figura 11 muestra la colimación de un haz óptico a través de un conjunto de láminas de grafeno con contactos;

la figura 12 muestra la sección transversal de una guía óptica, con deposición de grafeno en su superficie con contacto, fijada a un material termo-eléctrico;

la figura 13 muestra un sistema basado en grafeno con monitorización y realimentación parcial de la salida.

DESCRIPCIÓN DE REALIZACIONES

Un dispositivo y sistema para modular la fase de una señal óptica basado en grafeno y/o materiales nano-estructurados basados en carbono, que comprende, se hace referencia a la Figura 1:

a) una fuente óptica que genera una señal o portadora óptica,110,

b) un dispositivo electro-óptico basado en grafeno y/o materiales nano-estructurados basados en carbono, 120, en el que se produce la interacción entre la señal o portadora óptica y el grafeno o material nano-estructurado basado en carbono, de forma que se consigue una modulación o variación

de la fase de la señal o portadora óptica, sin alterar su amplitud o intensidad,

c) una interfaz óptica, 140, que permite analizar, monitorizar y si requiere interaccionar con la modulación of variación de la fase de la señal o portadora óptica producida por la interacción con el grafeno o material nano-estructurado basado en carbono,

d) una interfaz electrónica, 130, que interacciona con el dispositivo electro-óptico, modificando las propiedades del grafeno o material nano-estructurado basado en carbono, para asegurar que la interacción con la señal óptica produce la modificación de su fase pero no de su amplitud o intensidad

Considerando una realización preferida de la presente invención, el generador óptico, se hace referencia a la figura 1, podría ser una fuente de luz láser con emisión continua, que habitualmente se describe como portadora óptica.

En otra realización preferida, el generador óptico de la figura óptica podría ser también un transmisor óptico que proporcionase una portadora óptica con variaciones temporales de algunas de sus propiedades físicas, como por ejemplo su polarización o su intensidad, y a la se suele referir como señal óptica.

En su versión más simple de la realización preferida, el dispositivo electro-óptico, 120, el dispositivo electro-óptico consiste esencialmente en: un medio material que

confina la propagación de la luz 230, habitualmente producido o fabricado sobre un substrato material y al que se suele denominar guía óptica; una o varias láminas de grafeno 220 o materiales nano-estructurados basados en carbono situados en la proximidad de la guía óptica; un electrodo 210 que, por ejemplo mediante un conector 240, permite aplicar al grafeno o material nano-estructurado, un determinado voltaje y de esa forma variar las propiedades del grafeno o material nano-estructurado.

Las guías ópticas confinan la propagación de la luz; pero en general, o mediante un diseño adecuado, parte de la luz no se propaga dentro de la guía sino en sus proximidades, de forma que una o varias láminas de grafeno o materiales nano-estructurados situados en la proximidad de la guía óptica permite variar las propiedades de la luz que se propaga por la guía óptica.

Haciendo referencia a la Figura 2, mediante la adecuada modificación de las propiedades del grafeno o materiales nano-estructurados similares, la luz que interactúa con el grafeno, mantiene un nivel de intensidad o amplitud constante, y al mismo tiempo se modifica la fase de la señal óptica. La figura muestra un ejemplo de aplicación en el que la fase de la señal óptica corresponde a una secuencia de datos representados por ejemplo por una señal eléctrica. De esta forma, en este ejemplo, el dispositivo actuaría como modulador, imprimiendo a la señal óptica unos datos en formato eléctrico.

La obtención de la modulación de la fase de la señal óptica, depende de la adecuada modificación de las propiedades electro-ópticas del grafeno o material nano-

estructurado. La figura 3 muestra la variación del índice de refracción una capa de grafeno puro en función del voltaje aplicado al mismo. Dichos resultados no suponen la base de la presente invención, pero muestran un buen ejemplo de implementación, en este ejemplo, con una capa de grafeno puro. En esta implementación, la interfaz electrónica puede gestionar la modulación de la fase de la señal óptica mediante la aplicación de voltajes sobre el grafeno puro de entre 0.8 a 1.8 voltios. Para dichos valores de voltaje, la parte imaginaria del índice de refracción efectivo del grafeno, Im(n_eff) es prácticamente nula. La parte imaginaria del índice de refracción efectivo de los materiales afecta a la absorción del material, por lo que de esta manera la luz que interaccione con el grafeno no sufrirá variaciones significativas de amplitud o intensidad. Por otra parte, para los mismo valores, la parte real del índice de refracción efectivo del grafeno, Re(n_eff) presenta fuertes variaciones. La parte real del índice de refracción efectivo de los materiales afecta a las variaciones de la fase de las señales ópticas que se propagan o interaccionan con estos medios materiales. Al presentar fuertes variaciones la parte real del índice de refracción efectivo del grafeno, moderadas variaciones de voltaje son suficientes para conseguir una adecuada modulación de la fase de la señal óptica que interacciona con el grafeno.

Otra realización preferida de esta invención incluye variantes del grafeno en sus múltiples versiones multicapa o dopando con otros materiales, o bien usando otros materiales nano-estructurados que presenten características similares a la descritas. En general nos referiremos a

grafeno, de forma genérica, tratándose de una sola capa de grafeno puro, o bien de varias capas, dopadas o no, o de otros materiales nano-estructurados de carbono que presenten características similares.

A continuación se describen otras realizaciones preferidas del dispositivo electro-óptico.

Considerando la localización del grafeno y del contacto, una realización preferida, 300, muestra la posición del grafeno en un costado de la guía, 320, con un contacto que lo recubre parcialmente, 310. Una realización preferida, 400, muestra el recubrimiento de la guía 430 de forma total o parcial de la guía, 420, y del electrodo, 410, también recubriendo total o parcialmente al grafeno, 410.

Un realización preferida alternativa del dispositivo electro-óptico, 500, muestra una o varias capas de grafeno, 520, 530, cruzando en un ángulo arbitrario la guía óptica, 550, región por la que se propaga la señal óptica, y un electrodo, 510 que modifica las propiedades del grafeno. En este caso, la interacción de la señal óptica con el grafeno se produce al atravesar la luz las diversas capas de grafeno.

Una realización preferida del dispositivo electro-óptico, 600, muestra una o varias capas de grafeno, 620, 630, cruzando la guía óptica, 650, en un ángulo de 90 grados. También en este caso la interacción de la señal óptica con el grafeno se produce al atravesar la luz las diversas capas de grafeno, y además, en este caso se producen una serie de reflexiones múltiples de la señal óptica. Estas reflexiones múltiples son perjudiciales para

aplicaciones del dispositivo electro-óptico como modulador, pero son beneficiosas para aplicaciones del dispositivo electro-óptico como filtro óptico.

Una realización preferida del dispositivo electro-óptico, 700, consiste esencialmente en sustituir el contacto que aplica el voltaje al grafeno para modificar sus propiedades por un haz de luz incidente, 730, sobre el grafeno. En este caso, la interfaz electrónica controla el haz de luz incidente sobre el grafeno, 710, modificando su intensidad y/o longitud de onda. De esta forma modifica las propiedades del grafeno de forma similar a las mostradas en la figura 3, si bien, por aplicación de un haz de luz en vez de por aplicación de un voltaje. Esta implementación preferente permite modificar las propiedades del grafeno a velocidades mayores que con el uso de electrodos.

Considerando la realización preferida de la presente invención sin la intervención de guías ópticas, una realización preferida, 800, consiste esencialmente en una fibra óptica, 810, de la cual que se obtiene un haz de luz que incide sobre un sustrato, 820, que soporta al grafeno, 830 con el que interactúa la luz y sobre el que actúa mediante el electrodo, 840, y un conjunto de lentes, 860, 850, que permiten manipular adecuadamente la señal óptica.

Un realización preferida de la anterior 900 consiste esencialmente en sustituir una capa homogénea de grafeno, por pequeñas parcelas o celdas 920 de grafeno, 930, sobre las que se modifica las propiedades del grafeno para cada parcela o celda de forma individual mediante un electrodo múltiple, 940, 930. De esta forma, se modifica la fase de

diversas zonas de la sección transversal del haz de luz de forma independiente.

A continuación se describen las realizaciones preferidas del sistema completo. Una realización preferida del dispositivo electro-óptico para su integración en el sistema completo, 1000, consiste esencialmente en la inclusión de un elemento modificador de la temperatura, 1030, como puede ser un dispositivo basado en el efecto termoeléctrico, como el efecto Peltier-Seebeck, bajo el sustrato que soporta la guía óptica, el grafeno, 1020, el electrodo, 1010 y el electrodo, 1040.Esta realización preferida permite el control de la temperatura de operación del dispositivo.

Una realización preferida del sistema para modular la fase de una señal óptica basada en grafeno o materiales nano-estructurados, 1100, consiste esencialmente en: a) fuente óptica,1110; b) dispositivo electro-óptico basado en grafeno y/o materiales nano-estructurados basados en carbono, 1120; c) interfaz óptica, 1140; d) interfaz electrónica, 1130; elementos básicos de esta invención, y: e) un sensor que genera una señal eléctrica en función de la interacción detectada entre la señal óptica y el grafeno en el dispositivo electro-óptico; f) un procesador analógico, 1160, que adecúa la señal recibida por el sensor para la interfaz electrónica. De esta manera se realiza un control adecuado de todos los parámetros del sistema.

REIVINDICACIONES

1. Un dispositivo y sistema para modular la fase de una señal óptica basado en la propiedad del grafeno relativa a la variación de la fase de una señal óptica que recorre una sección con el grafeno, y una variación mínima, no significativa de la intensidad de la señal óptica (100) que comprende:

a) una señal o portadora óptica generada por un generador óptico (110)

b) un dispositivo electro-óptico basado en grafeno o materiales nano-estructurados basados en carbono (120) como medio en el que la señal óptica interacciona con el grafeno los materiales nano-estructurados basados en carbono

c) una interfaz electrónica (130) que modifica las propiedades electro-ópticas del grafeno, de forma que no afecte a la amplitud o intensidad de la señal óptica, pero sí a la fase de la señal óptica

d) una interfaz óptica (140) que permite detectar, analizar o interactuar con la variación de la fase de la señal óptica realizada por el dispositivo electro-óptico basado en grafeno

2. Dispositivo para modular la fase de una señal óptica basado en las propiedades del grafeno de acuerdo con la reivindicación 1 (200) que comprende: a) una o varias capas de grafeno (220); b) un medio en que la señal óptica interacciona con el grafeno y que además puede servir de soporte mecánico de las capas de grafeno como pueden ser: una guía óptica (230); c) un medio para modificar las

propiedades del grafeno, como es un electrodo (210), a instancias de interfaz electrónica interconectada mediante un conector (240).

3. Dispositivo para modular la fase de una señal óptica basado en las propiedades del grafeno de acuerdo con la reivindicación 2 (300) en la que el grafeno se deposita sobre un lado de la guía óptica (320) y el electrodo (310) permite modificar las propiedades del grafeno, a instancias de interfaz electrónica, mediante contacto total o parcial con el grafeno.

4. Dispositivo para modular la fase de una señal óptica basado en las propiedades del grafeno de acuerdo con la reivindicación 2 (400) en la que el grafeno (420) y el electrodo (410) rodean total o parcialmente la guía óptica (430).

5. Dispositivo para modular la fase de una señal óptica basado en las propiedades del grafeno de acuerdo con la reivindicación 1 (500) que comprende: a) una o varias capas de grafeno (520) atravesando con un ángulo arbitrario, un medio en el que la señal óptica interacciona con el grafeno (550); b) un electrodo (510) que permite modificar las propiedades del grafeno, a instancias de interfaz electrónica, mediante contacto total o parcial con una o varias de las capas de grafeno.

6. Dispositivo para modular la fase de una señal óptica basado en las propiedades del grafeno de acuerdo con las reivindicaciones 1 y 2 (600) en el que una o varias capas de grafeno atraviesan un medio en el que la señal óptica interacciona con el grafeno en un ángulo de 90 grados (620), (630).

7. Dispositivo para modular la fase de una señal óptica basado en las propiedades del grafeno de acuerdo con las reivindicaciones 1 y 2 (700) en el que la modificación de las propiedades del grafeno, se realiza mediante una radiación óptica sobre el grafeno (730).

8. Dispositivo para modular la fase de una señal óptica basado en las propiedades del grafeno de acuerdo con la reivindicación 1 (800) que comprende: a) una o varias capas de grafeno (830); b) un medio en que la señal óptica interacciona con el grafeno y que además puede servir de soporte mecánico de las capas de grafeno como pueden ser: un soporte adecuadamente insertado en un haz de luz (820); c) un medio para modificar las propiedades del grafeno, a instancias de interfaz electrónica como es un electrodo (840).

9. Dispositivo para modular la fase de una señal óptica basado en las propiedades del grafeno de acuerdo con las reivindicaciones 1 y 8 (900) en el que: a) una o varias capas de grafeno están divididas en múltiples celdas (920); b) un electrodo múltiple (940), (930) que permite modificar las propiedades de cada celda de grafeno, a instancias de interfaz electrónica.

10. Un dispositivo y sistema para modular la fase de una señal óptica basado en las propiedades del grafeno de acuerdo con las reivindicaciones anteriores 1 a 7 (1000) en el que se introduce un elemento que permite variar la temperatura del dispositivo (1030).

11. Un dispositivo y sistema para modular la fase de una señal óptica basado en las propiedades del grafeno de

acuerdo con las reivindicaciones anteriores 1 a 10 (1100) que incluye:

a) un sensor (1150) que permite detectar, analizar o interactuar con la variación de la fase de la señal óptica realizada por el dispositivo electro-óptico basado en grafeno,

b) un módulo de procesado analógico (1160) que procesa la información generada por el sensor y la entrega a la interfaz electrónica (1130).

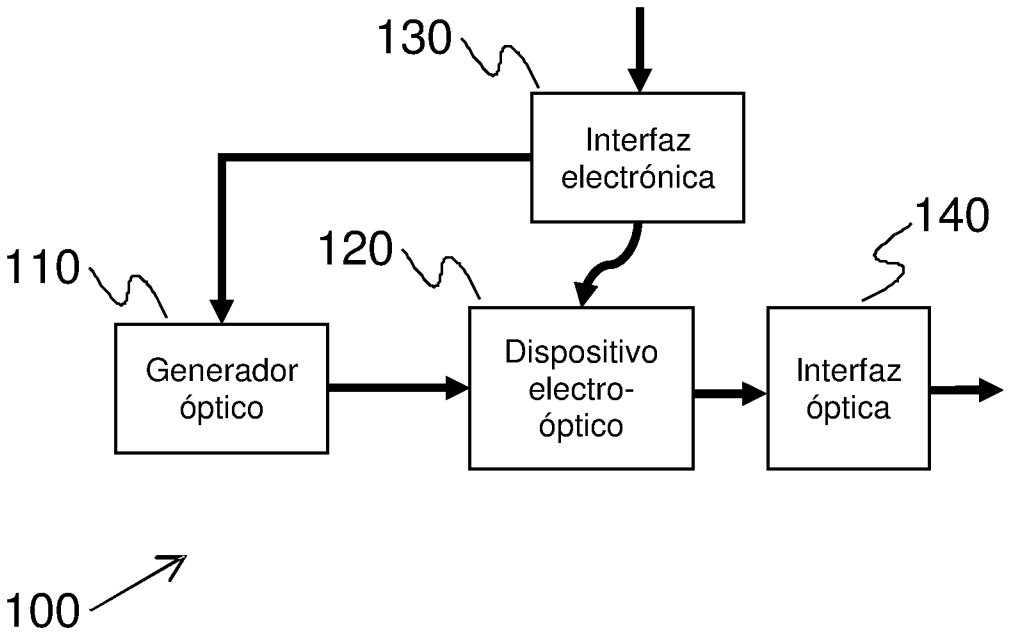

130
Interfaz electrónica
140
120
110
Generador óptico
Dispositivo electro-óptico
Interfaz óptica
100

FIG. 1

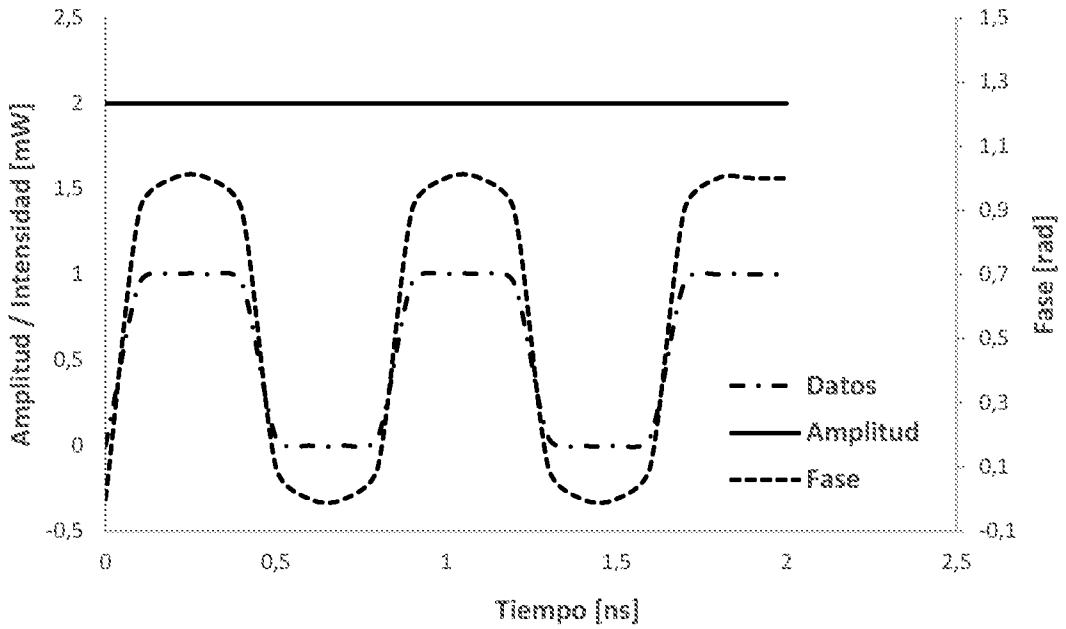

Amplitud / Intensidad [mW]
Fase [rad]
Tiempo [ns]
Datos
Amplitud
Fase
2,5
2
1,5
1
0,5
0
-0,5
1,5
1,3
1,1
0,9
0,7
0,5
0,3
0,1
-0,1
0
0,5
1
1,5
2
2,5

FIG. 2

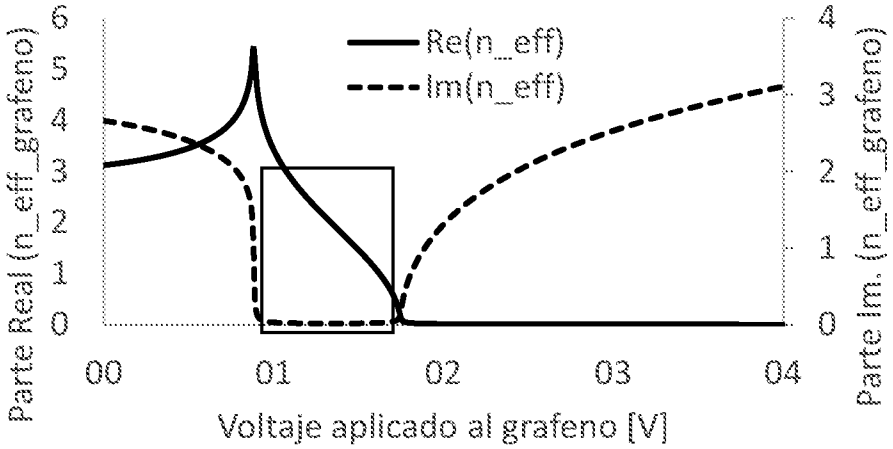

Parte Real (n_eff_grafeno)
Parte Im. (n_eff_grafeno)
Re(n_eff)
Im(n_eff)
Voltaje aplicado al grafeno [V]
00
01
02
03
04
0
1
2
3
4
5
6

FIG. 3

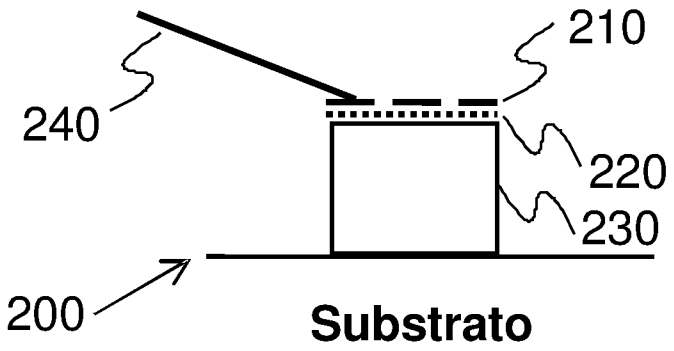

210
240
220
230
200
Substrato

FIG. 4

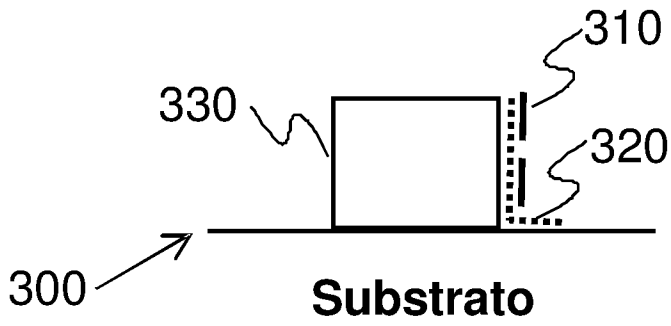


FIG 5

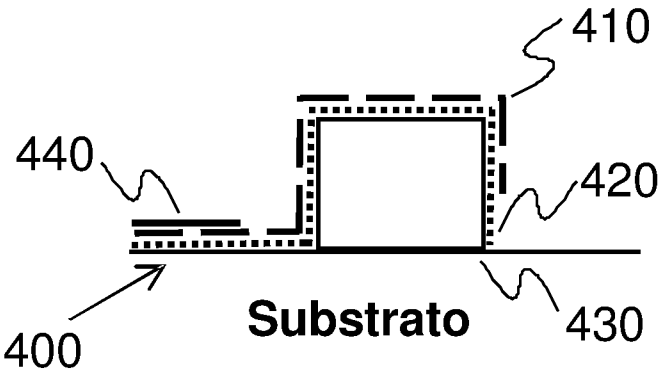


FIG. 6

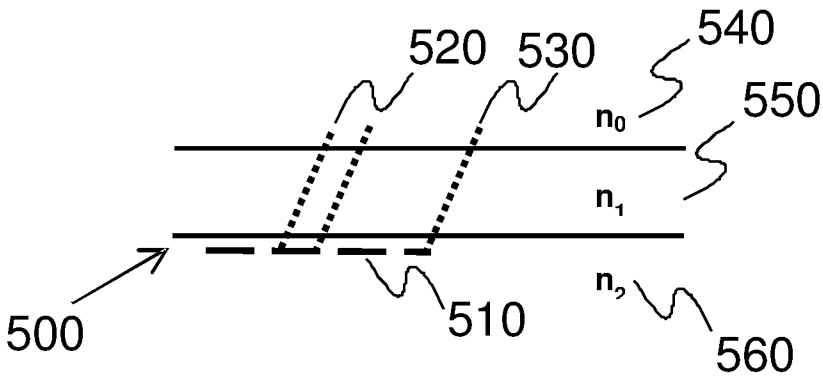


FIG. 7

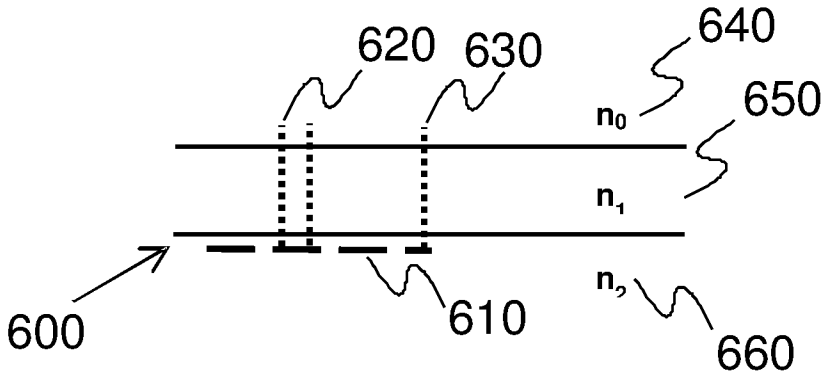


FIG. 8

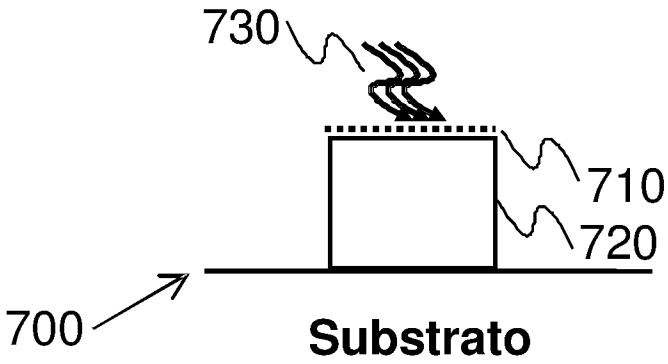


FIG. 9

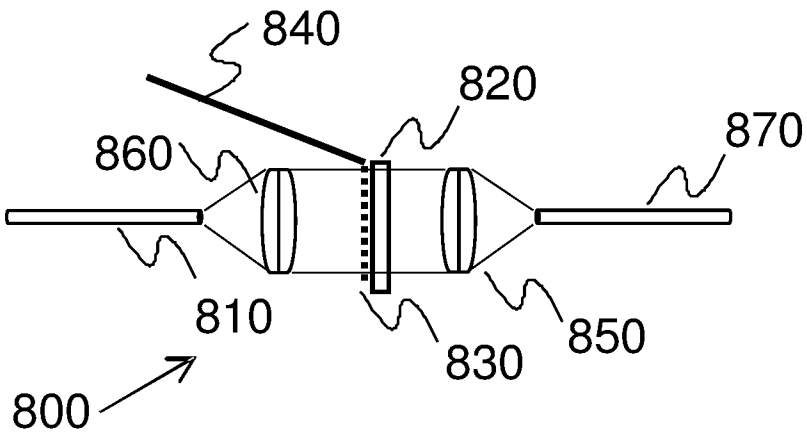


FIG. 10

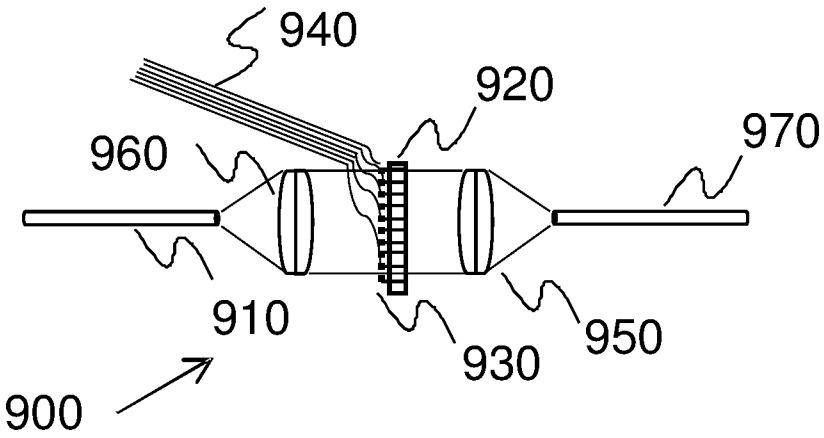


FIG. 11

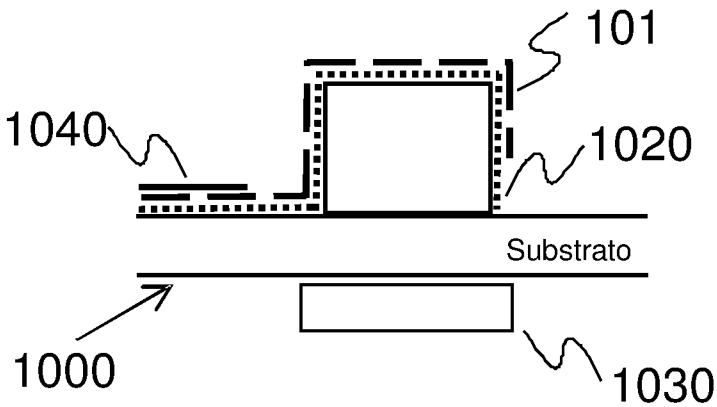


FIG. 12

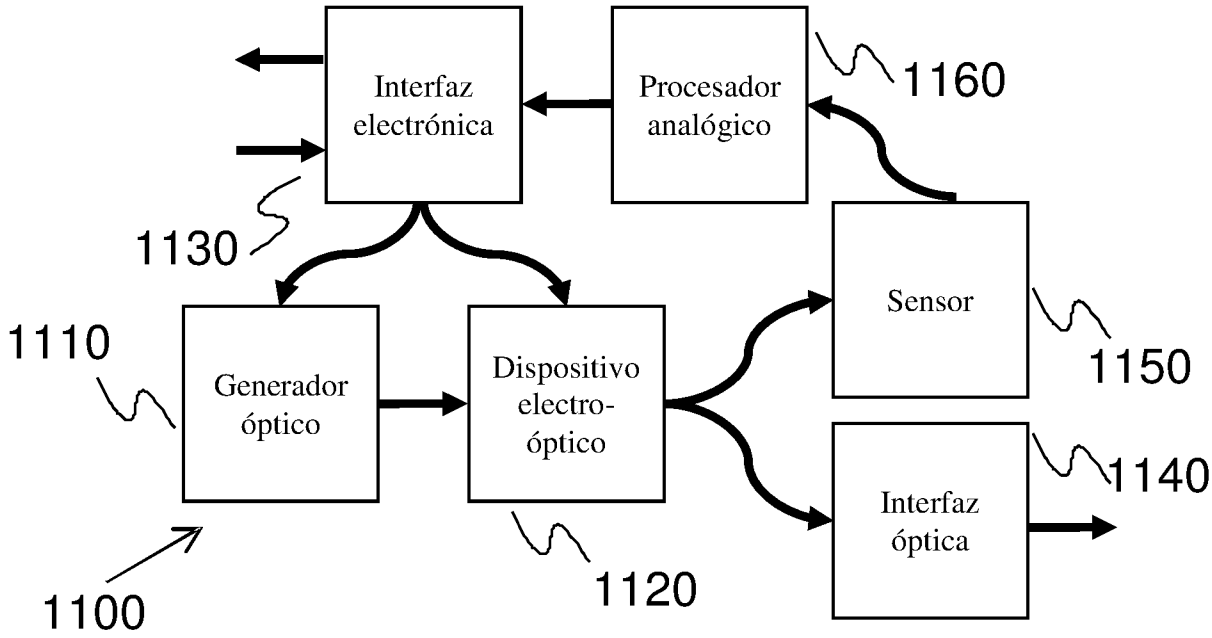

Interfaz electrónica
Procesador analógico
1160
1130
Sensor
1150
1110
Generador óptico
Dispositivo electro-óptico
1140
Interfaz óptica
1120
1100

FIG. 13

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/ES2016/070461

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G02F1/061 (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)
G02F, G02B

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, INSPEC

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	WO 2015/026298 A1 (NATIONAL UNIVERSITY OF SINGAPORE) 26.02.2015, abstract; page 1, lines 4-13; page 1, line 26 - page 2, line 8; page 2, lines 16-22; page 3, lines 2-19; page 4, line 30 - page 6, line 10; figure 1.	1-4, 8, 9, 11
A	EP 2602821 A1 (UNIVERSITÄT AUGSBURG) 12.06.2013.	-

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C. ☒ See patent family annex.

*	Special categories of cited documents:	"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
"A"	document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance.		
"E"	earlier document but published on or after the international filing date	"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
"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)	"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
"O"	document referring to an oral disclosure use, exhibition, or other means.	"&"	document member of the same patent family
"P"	document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed		

Date of the actual completion of the international search 14/09/2016	Date of mailing of the international search report **(23/09/2016)**
Name and mailing address of the ISA/ OFICINA ESPAÑOLA DE PATENTES Y MARCAS Paseo de la Castellana, 75 - 28071 Madrid (España) Facsimile No.: 91 349 53 04	Authorized officer Ó. González Peñalba Telephone No. 91 3495475

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No.
PCT/ES2016/070461

Patent document cited in the search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
WO2015026298 A1	26.02.2015	US2016202505 A1	14.07.2016
EP2602821 A1	12.06.2013	US2014319385 A1	30.10.2014
		WO2013083351 A1	13.06.2013

INFORME DE BÚSQUEDA INTERNACIONAL

Solicitud internacional nº
PCT/ES2016/070461

A. CLASIFICACIÓN DEL OBJETO DE LA SOLICITUD
G02F1/061 (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)
G02F, G02B

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, INSPEC

C. DOCUMENTOS CONSIDERADOS RELEVANTES

Categoría*	Documentos citados, con indicación, si procede, de las partes relevantes	Relevante para las reivindicaciones nº
X	WO 2015/026298 A1 (NATIONAL UNIVERSITY OF SINGAPORE) 26.02.2015, resumen; página 1, líneas 4-13; página 1, línea 26 - página 2, línea 8; página 2, líneas 16-22; página 3, líneas 2-19; página 4, línea 30 - página 6, línea 10; figura 1.	1-4, 8, 9, 11
A	EP 2602821 A1 (UNIVERSITÄT AUGSBURG) 12.06.2013.	-

☐ 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:

"A" documento que define el estado general de la técnica no considerado como particularmente relevante.

"E" solicitud de patente o patente anterior pero publicada en la fecha de presentación internacional o en fecha posterior.

"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).

"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.

"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.

"X" documento particularmente relevante; la invención reivindicada no puede considerarse nueva o que implique una actividad inventiva por referencia al documento aisladamente considerado.

"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.

"&" documento que forma parte de la misma familia de patentes.

Fecha en que se ha concluido efectivamente la búsqueda internacional.	Fecha de expedición del informe de búsqueda internacional.
14/09/2016	**23 de septiembre de 2016 (23/09/2016)**
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 Ó. González Peñalba Nº de teléfono 91 3495475

INFORME DE BÚSQUEDA INTERNACIONAL

Informaciones relativas a los miembros de familias de patentes

Solicitud internacional nº

PCT/ES2016/070461

Documento de patente citado en el informe de búsqueda	Fecha de Publicación	Miembro(s) de la familia de patentes	Fecha de Publicación
WO2015026298 A1	26.02.2015	US2016202505 A1	14.07.2016
EP2602821 A1	12.06.2013	US2014319385 A1	30.10.2014
		WO2013083351 A1	13.06.2013