



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS
ESPAÑA



(11) Número de publicación: **2 597 577**

(21) Número de solicitud: 201530868

(51) Int. Cl.:

G02F 1/061 (2006.01)

(12)

PATENTE DE INVENCIÓN

B1

(22) Fecha de presentación:

19.06.2015

(43) Fecha de publicación de la solicitud:

19.01.2017

Fecha de concesión:

16.11.2017

(45) Fecha de publicación de la concesión:

23.11.2017

(56) Se remite a la solicitud internacional:

PCT/ES2016/070461

(73) Titular/es:

**UNIVERSITAT POLITÉCNICA DE CATALUNYA (100.0%)
Jordi Girona, 31
08034 Barcelona (Barcelona) ES**

(72) Inventor/es:

**LÁZARO VILLA, José Antonio;
LERÍN DE LA SANTÍSIMA TRINIDAD, Adolfo y
ALTABAS NAVARRO, José Antonio**

(54) Título: **Dispositivo y sistema para modular la fase de una señal óptica basado en grafeno y/o materiales nano-estructurados basados en carbono**

(57) Resumen:

Dispositivo y sistema para modular la fase de una señal óptica basado en grafeno y/o materiales nanoestructurados 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 permite actuar sobre el grafeno, modificando sus propiedades para conseguir la modificación de la fase de la señal óptica sin afectar a su intensidad.

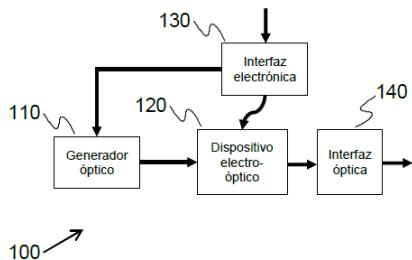


FIG. 1

DESCRIPCIÓN

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

5 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 10 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

15 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 20 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 25 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 5 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 10 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 15 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 20 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 25 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 posee la emisión quasi monocromática de un 30 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 utilizada para transportar información y que en una etapa posterior es procesada para eliminar la información transportada y después reprocesada 5 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-10 direcciónamiento, procesado de información o detección de información, mediante la interacción de señales ópticas con señales eléctricas o bien de señales ópticas con otras señales ópticas.

Por ejemplo, las altas tasas de datos transmitidos de 15 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 20 portadoras ópticas con información mediante comunicaciones por 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 25 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 30 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 5 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): 64-10 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, 15 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 25 Faraday y/o efecto Kerr; y aisladores no-recíprocos combinando estructuras mult capas 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 5 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 10 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 20 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)].

25

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
5 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.

10 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
15 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
20 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
25 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 deseas conseguir con esta invención. En la figura 2 se observa la evolución temporal de una señal óptica en la que
30 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:

5 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 transmitir;

10 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 15 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;

20 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;

25 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
5 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
10 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

15 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
20 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
25

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

- 5 c) una interfaz óptica, 140, que permite analizar, monitorizar y si requiere interaccionar con la modulación o variación de la fase de la señal o portadora óptica producida por la interacción con el grafeno o material nano-estructurado basado en carbono,
- 10 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
- 15

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 5 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.

10 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 15 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 20 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 25 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 30 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, $\text{Im}(n_{\text{eff}})$ 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, $\text{Re}(n_{\text{eff}})$ 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.

5 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
10 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.

15 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
20 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
30 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 5 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 10 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 15 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 20 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 25 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)
 - 10 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
 - 15 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 10 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 15 (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 20 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.

25 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 30 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.

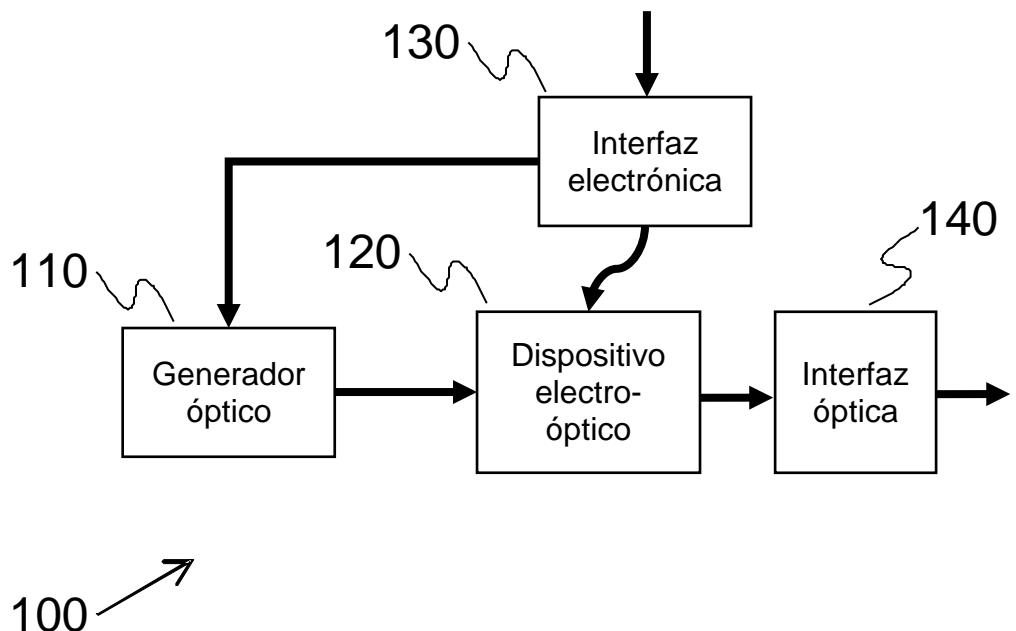
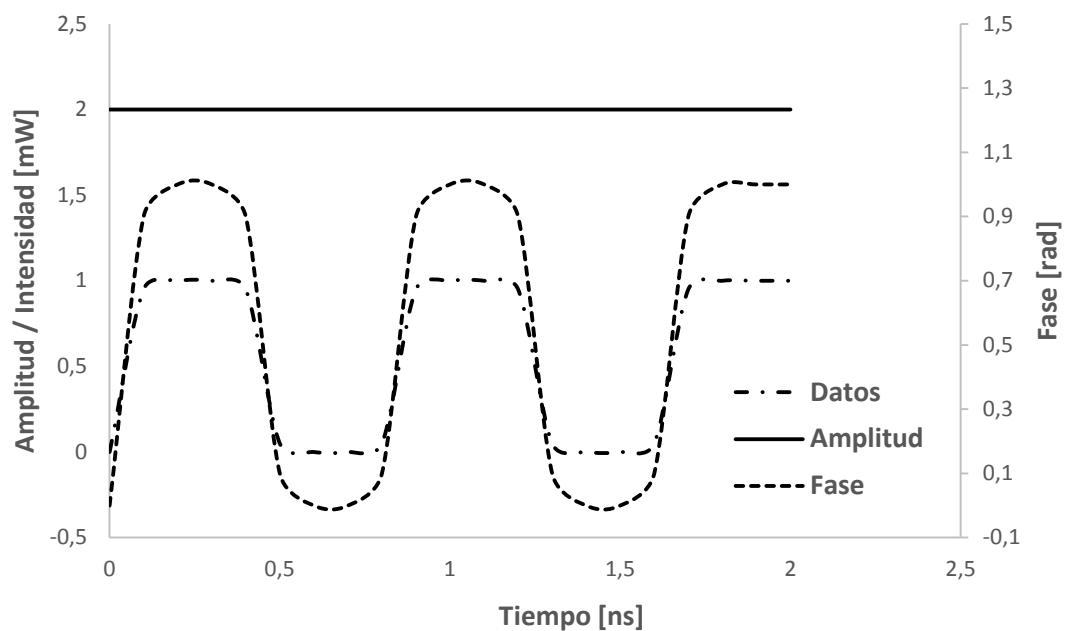
10. Un dispositivo y sistema para modular la fase de una señal óptica basado en las propiedades del grafeno de acuerdo con las reivindicaciones anteriores 1 a 7 (1000) en el que se introduce un elemento que permite variar la temperatura del dispositivo (1030).

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
5 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).

10

**FIG. 1****FIG. 2**

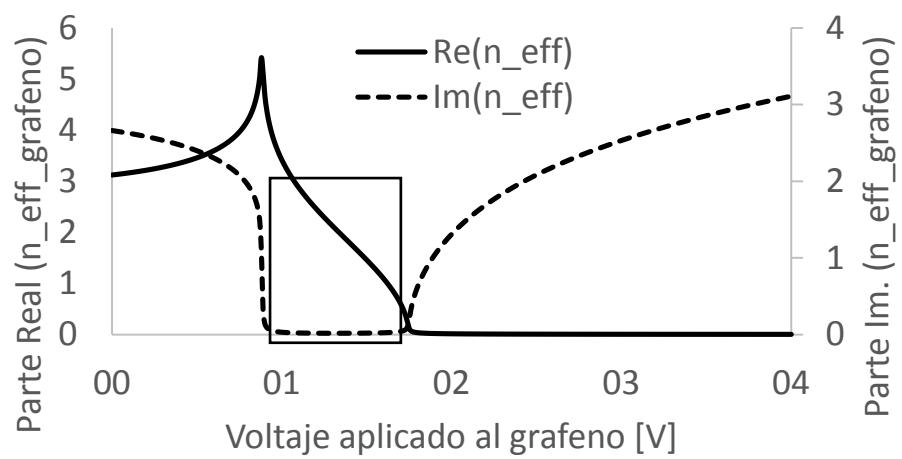


FIG. 3

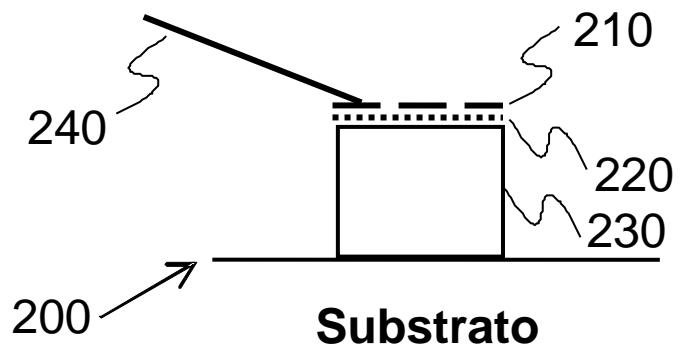


FIG. 4

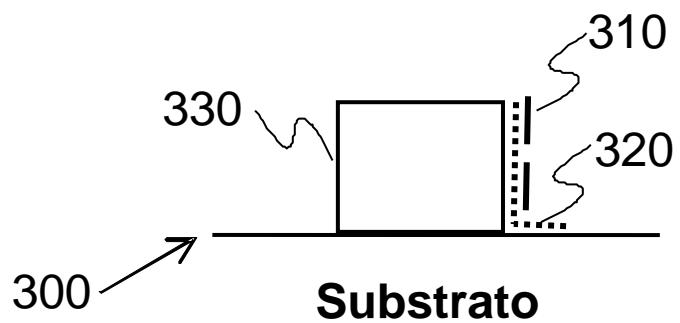


FIG 5

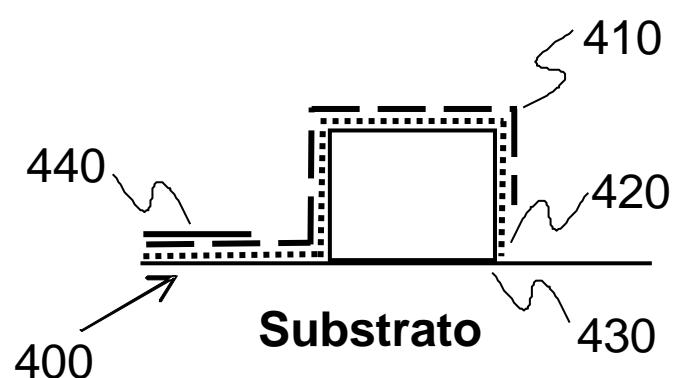


FIG. 6

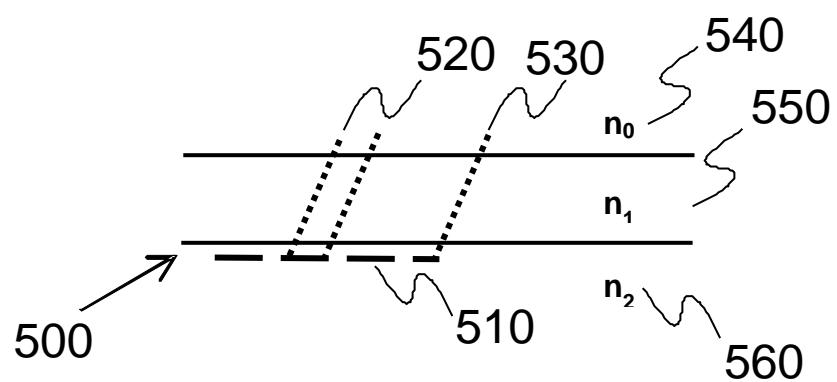


FIG. 7

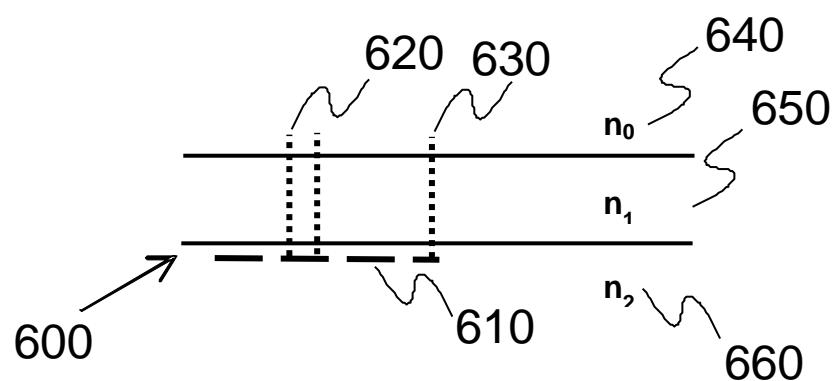


FIG. 8

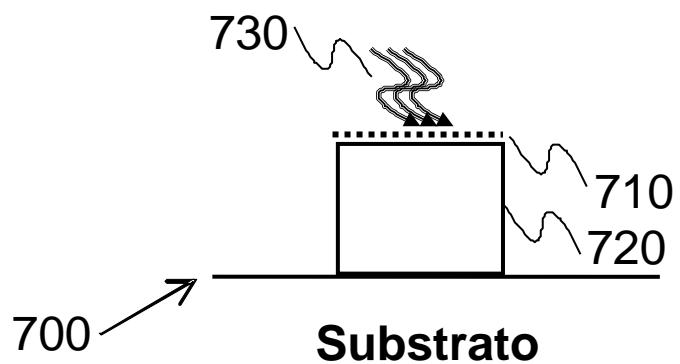


FIG. 9

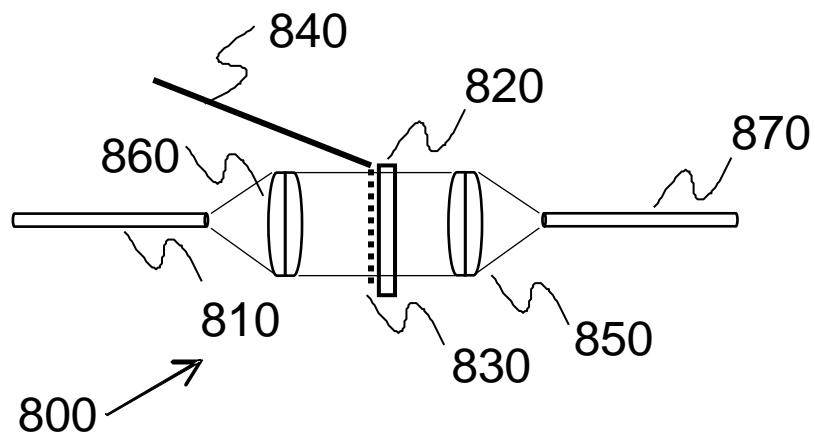


FIG. 10

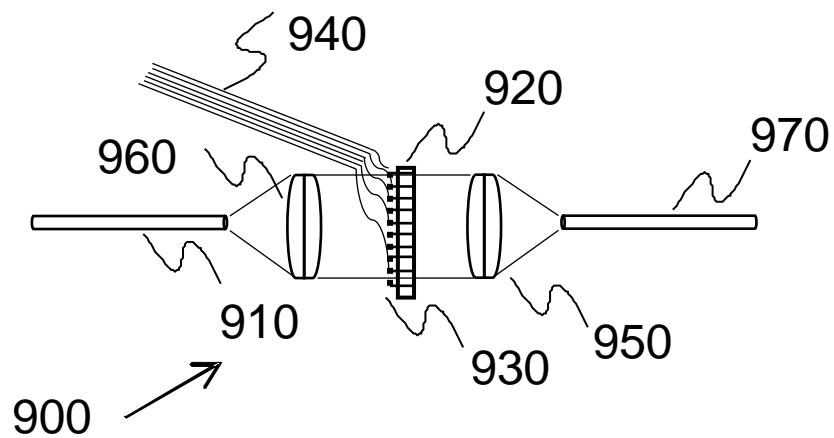


FIG. 11

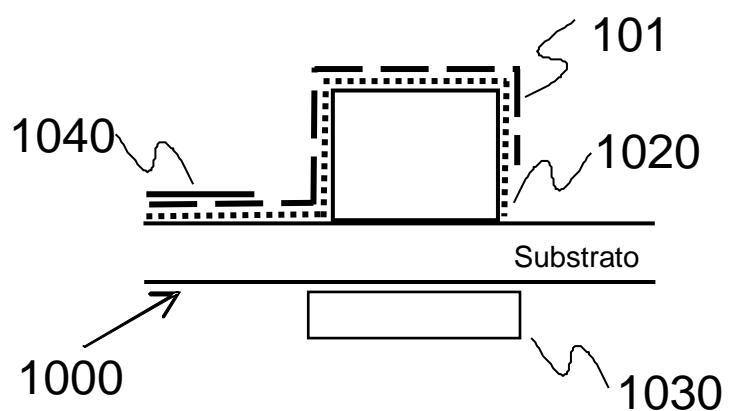


FIG. 12

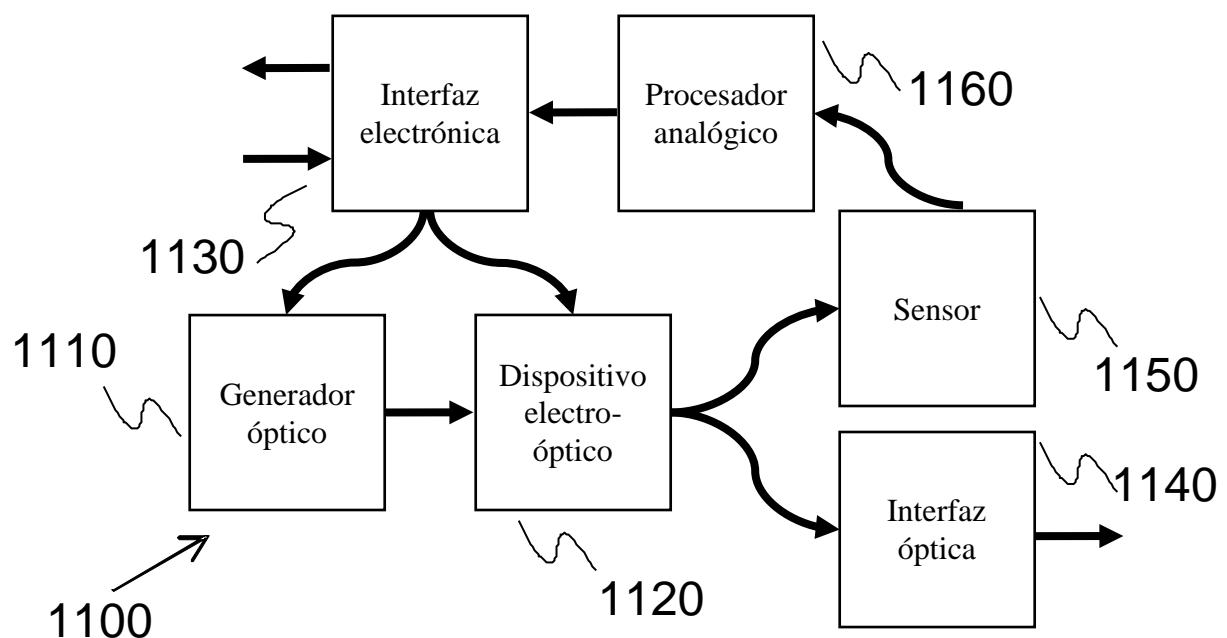


FIG. 13