

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 989 226**

21 Número de solicitud: 202330364

51 Int. Cl.:

G01S 17/89 (2010.01)

G01S 7/481 (2006.01)

12

SOLICITUD DE PATENTE

A1

22 Fecha de presentación:

10.05.2023

43 Fecha de publicación de la solicitud:

25.11.2024

71 Solicitantes:

DA LUZ SOARES, Francisco Manuel (55.0%)

Rua da Republica 243

2865-631 Fernão Ferro PT y

UNIVERSIDAD DE VIGO (45.0%)

72 Inventor/es:

DA LUZ SOARES, Francisco Manuel;

DÍAZ OTERO, Francisto Javier;

FRANCIS, Tian y

VOSKERCHYAN, Vahram

74 Agente/Representante:

GONZÁLEZ PECES, Gustavo Adolfo

54 Título: **Dispositivo para transmitir y detectar haces ópticos**

57 Resumen:

Dispositivo para transmitir y detectar haces ópticos.
Dispositivo transmisor/detector de haces ópticos que atraviesan un sistema de lentes (10) con una agrupación de acopladores de rejilla (110) alineados en el chip (100), contruidos en una guía de ondas (120), con múltiples dientes (210) con un ángulo de inclinación (θ) igual al ángulo de transmisión del sistema de lentes (10) dispuestos con una anchura fija de diente (Λ) y un espacio (ϵ) entre dientes (210), cada acoplador de rejilla (110) siendo apodizado en su longitud variando el espacio (ϵ) entre dientes gradualmente para emitir una cantidad constante de luz por unidad de longitud; donde cada guía de ondas (120) guía la señal de luz de entrada dentro del chip (100) hasta cada acoplador de rejilla (110) que produce un haz transmitido/recibido con un ángulo de desviación (κ) determinado por el ángulo de inclinación (θ) y un ángulo de desviación (φ) determinado por la longitud de onda de la luz (λ).

ES 2 989 226 A1

DESCRIPCIÓN

Dispositivo para transmitir y detectar haces ópticos

5 OBJETO DE LA INVENCION

La presente invención está relacionada con la industria dedicada a la fabricación de circuitos ópticos integrados o circuitos integrados fotónicos (PIC: Photonic Integrated Circuit, en inglés), en especial para su aplicación en sistemas lidar (acrónimo del inglés LiDAR: “Light
10 Detection and Ranging” o “Laser Imaging Detection and Ranging”).

La presente invención se refiere a un dispositivo para la transmisión y detección (o recepción) de haces ópticos mediante un solo chip fotónico integrado.

15 ANTECEDENTES DE LA INVENCION

Un lidar o lidar (del inglés, LiDAR) es un dispositivo que permite determinar la distancia desde un emisor láser a un objeto o superficie utilizando un haz láser pulsado. Los dispositivos LiDAR se utilizan para capturar las dimensiones físicas de un entorno particular en tres dimensiones
20 (3D), definido por un sistema de coordenadas X, Y y Z, y/o en un entorno de seis dimensiones (6D) con coordenadas X, Y, Z, junto con las que definen la velocidad de los objetos en el entorno 6D (coordenadas V_x , V_y , y V_z). Los dispositivos o sistemas LiDAR se encuentran aplicados en sistemas avanzados de asistencia a la conducción (por sus siglas en inglés, ADAS: Advanced Driver Assistance), en drones o vehículos de guiado automático (AGV:
25 Automatic Guided Vehicle), topografía, arqueología, reconocimiento de terrenos, sistemas de sensores, ...

Muchas de futuras aplicaciones como la conducción autónoma, los robots industriales, el reconocimiento de imágenes, la realidad virtual/aumentada, etc., dependerán en gran medida
30 de un dispositivo que pueda detectar y medir las dimensiones, las coordenadas y las distancias de los objetos en un campo de visión particular con el más alto grado de precisión. Aunque se está invirtiendo una cantidad considerable de esfuerzo en el uso de múltiples cámaras para extrapolar las coordenadas X, Y, Z del entorno 3D a partir de múltiples fotografías (fotogrametría) tomadas desde diferentes ángulos, tales técnicas no podrán lograr
35 la precisión y resolución que potencialmente tiene un sistema LiDAR.

Hay diferentes tipos de sistemas LiDAR cuyas propiedades, ventajas y desventajas se resumen a continuación:

- El sistema LiDAR más simple es el llamado LiDAR tiempo de vuelo (en inglés, Time of flight LiDAR, ToF): se basa en transmitir un pulso corto de luz hacia un objeto específico. Luego, la luz se refleja en el objeto hacia el detector, y el tiempo de ida y vuelta medido se usa para calcular la distancia entre el dispositivo LiDAR y el objeto objetivo con mucha precisión. Al enviar los pulsos de luz en diferentes direcciones, se puede crear una nube de puntos que contiene las coordenadas X, Y, Z de todos los objetos en el campo de visión. Los sistemas LiDAR ToF están actualmente disponibles comercialmente y se están empleando en muchos productos, como los robots aspiradores, los vehículos autónomos y el iPhone.
- El sistema llamado LiDAR FMCW (Frequency-Modulated Continuous Wave, en inglés) de onda continua multiplexada en frecuencia. Este tipo de sistemas aún se encuentra en la fase de desarrollo de investigación debido a la complejidad adicional de interferir/mezclar la señal del haz recibido con la señal del haz transmitido. Su mayor ventaja es que puede usarse para detectar la velocidad V_x , V_y y V_z de los objetos objetivo en un solo escaneo, además de las coordenadas X, Y, Z del objeto.

Según la tecnología de fabricación, se distinguen los siguientes sistemas LiDAR:

- LiDAR de rotación mecánica: El escaneo LiDAR convencional utiliza rotación mecánica para hacer girar el sensor para una detección de 360 grados. Sus ventajas principales son que usa una tecnología hardware o electrónica madura y una amplia cobertura de visión, pero el tamaño y coste son grandes y la fiabilidad es baja.
- LiDAR basado en espejos microelectromecánicos (MEMS) no son completamente de estado sólido como los anteriores. Entre las ventajas, tienen un bajo coste, una longitud de onda versátil y bajas pérdidas ópticas, pero son sensibles a las vibraciones y golpes, tienen un campo de visión limitado y el escaneo es rápido solo a frecuencia de resonancia.
- LiDAR basado en tecnología OPA (siglas del inglés, OPA: Optical Phased Array) que es un lidar de estado sólido que utiliza arreglos o conjuntos en fase ópticos (OPA), los

cuales pueden producir rayos láser de baja divergencia y usarse para controlar el ángulo de emisión electrónicamente sin la necesidad de piezas mecánicas móviles. Esto permite un escaneo más rápido y tener un dispositivo más compacto, de menor tamaño, porque los OPA pueden integrarse en un chip.

5

La mayoría de los chips LiDAR FMCW de última generación se basan en el concepto de conjuntos ópticos (OPA) para crear un haz orientable a partir de muchos emisores individuales.

10 El problema técnico objetivo que se presenta es proveer un dispositivo LiDAR integrado en un chip fotónico que permita combinar fácilmente la señal de un haz transmitido con la señal que se refleja desde un objeto objetivo.

DESCRIPCIÓN DE LA INVENCION

15

La presente invención sirve para solucionar el problema mencionado anteriormente, mediante la provisión de un dispositivo transmisor y detector de haces ópticos integrando todos los componentes en un solo circuito integrado (chip) fotónico.

20 Un aspecto de la invención se refiere a un dispositivo transmisor y detector de haces ópticos definido de acuerdo a la reivindicación 1.

Las ventajas de la presente invención frente al estado de la técnica anterior y en relación a los dispositivos integrados existentes actualmente son fundamentalmente:

25

- Reducción significativa del tamaño del dispositivo electrónico donde se implementa la transmisión y detección de un haz óptico propuesta, porque tanto el haz, como el transmisor y el receptor están integrados en un solo chip compacto.

30

- Posibilidad de procesamiento en un solo chip de las señales de haz transmitidas y recibidas que permiten, por ejemplo, el procesamiento coherente de los haces, o la polarización-multiplexación de los datos del haz.

35

- Aplicable para múltiples tipos de sistemas LiDAR, como LiDAR ToF (de tiempo de vuelo) o LiDAR FMCW (de onda continua multiplexada en frecuencia).

- Realiza un direccionamiento simultáneo de múltiples haces al mismo tiempo utilizando solo una variable de control (i.e., la longitud de onda) y, por lo tanto, no se requiere un control electrónico complicado para dirigir los haces individuales.
- 5
- Escalabilidad directa hacia la transmisión y recepción de un (gran) número arbitrario de haces (correspondientes a píxeles angulares).
 - No se requiere control electrónico para dirigir los haces.
- 10
- Tiempo reducido de captura de las coordenadas de un entorno 3D debido al hecho de que múltiples haces se transmiten y reciben simultáneamente (a diferencia de los sistemas comunes que utilizan un solo haz orientado; “pointed beam”, en inglés), lo que permite el procesamiento paralelo de las señales recibidas y la adquisición rápida de datos.
- 15
- Es implementable en muchas tecnologías y plataformas de materiales de chips fotónicos diferentes: que van desde la tecnología de silicio sobre aislante (SOI: “silicon on insulator”) hasta la tecnología de polímeros.
- 20
- Permite integrar un sistema LiDAR completo cuando se utiliza una plataforma (circuito fotónico monolítico) de material de fosfuro de indio (InP) con una lente cilíndrica integrada en (la plataforma o sustrato dieléctrico) del chip.
- 25
- Permite controlar la potencia emitida por los haces individuales a un ángulo particular en la red emisora (red de divisores; “splitting network”, en inglés).
 - Adquisición rápida de la nube de puntos del entorno, ya que, el dispositivo propuesto no contiene partes móviles.

30 BREVE DESCRIPCIÓN DE LAS FIGURAS

A continuación, se pasa a describir de manera muy breve una serie de dibujos que ayudan a comprender mejor la invención y que se relacionan expresamente con una realización de dicha invención que se presenta como un ejemplo no limitativo de ésta.

35

FIGURA 1.- Muestra un esquema de la arquitectura de un dispositivo transmisor y detector de haces ópticos integrado en un chip fotónico, según una realización preferente de la invención.

FIGURA 2.- Muestra una vista ampliada de un acoplador con dientes de rejilla del dispositivo integrado con los ángulos que lo caracterizan de acuerdo con un sistema de coordenadas de tres dimensiones, 3D.

FIGURAS 3A-3C.- Muestran en una sección transversal de los acopladores de rejilla según el eje z del sistema de coordenadas 3D (FIG. 3A), las direcciones de los haces de luz transmitidos (FIG. 3B) a un primer objetivo y recibidos (FIG. 3C) desde el primer objetivo, para distintas longitudes de onda.

FIGURAS 4A-4C.- Muestran en una sección transversal de los acopladores de rejilla según el eje z del sistema de coordenadas 3D (FIG. 4A), las direcciones de los haces de luz transmitidos (FIG. 4B) a un segundo objetivo y recibidos (FIG. 4C) desde el segundo objetivo, para distintas longitudes de onda.

FIGURAS 5A-5C.- Muestran en una sección transversal de los acopladores de rejilla según el eje x del sistema de coordenadas 3D (FIG. 5A), las direcciones de los haces de luz transmitidos (FIG. 5B) a un primer objetivo y recibidos (FIG. 5C) desde el primer objetivo, para distintas longitudes de onda.

FIGURAS 6A-6C.- Muestran en una sección transversal de los acopladores de rejilla según el eje x del sistema de coordenadas 3D (FIG. 6A), las direcciones de los haces de luz transmitidos (FIG. 6B) a un segundo objetivo y recibidos (FIG. 6C) desde el segundo objetivo, para distintas longitudes de onda.

FIGURA 7.- Muestra un chip con un dispositivo LiDAR integrado, según una posible realización de la invención.

FIGURA 8.- Muestra una vista de pájaro del dispositivo LiDAR integrado en el chip de la figura anterior.

FIGURAS 9A-9F.- Muestran las posibles opciones de incorporación de un sistema de lentes al chip fotónico para la transmisión y detección de haces ópticos, y según diversas

realizaciones posibles de la invención con diferentes tipos de lentes, colocada la lente en la cara superior del chip (FIG. 9A y FIG. 9B) o en la cara inferior del chip (FIG. 9C y FIG. 9D) o integrando la lente en el chip (FIG. 9E y FIG. 9F).

5 FIGURA 10.- Muestra un gráfico del ángulo de divergencia del dispositivo transmisor y detector de haces ópticos en función de la longitud de sus acopladores de rejilla.

FIGURAS 11A-11B.- Muestran una estructura con ciertas dimensiones del acoplador de rejilla respectivamente en dirección del eje x (FIG. 11A) y en dirección del eje z (FIG. 11B).

10

FIGURA 12.- Muestra el ángulo de desviación del haz en un plano transversal en el eje x en función del ángulo de inclinación de los dientes de rejilla.

FIGURAS 13A-13B.- Muestran, para dos valores distintos del ángulo de inclinación (FIG. 13A y FIG. 13B) de los dientes de rejilla, el ángulo de desviación del haz en un plano transversal en el eje z en función de la longitud de onda de la luz de entrada.

15

FIGURA 14.- Muestra un ejemplo de implementación del sistema de lentes que es una lente cilíndrica integrada en el chip, según una posible realización de la invención.

20

FIGURA 15A-15C.- Muestran, para tres diferentes valores (FIG. 15A, FIG. 15B y FIG. 15C) del ángulo de desviación del haz en el plano transversal a lo largo del eje x las simulaciones del enfoque de la lente cilíndrica según la posible implementación mostrada en la Figura 14.

25 **REALIZACIÓN PREFERENTE DE LA INVENCION**

La Figura 1 muestra un esquema para ilustrar una posible realización de la invención que consiste en un dispositivo integrado en un chip **100** fotónico que contiene una serie de acopladores de rejilla **110**, con un sistema de lentes **10** donde incide una señal de luz de entrada y lente bajo la que los acopladores de rejilla **110** están alineados en la parte o cara superior del chip **100**. La luz de entrada es guiada dentro del chip **100** hasta cada uno de los acopladores de rejilla **110**, que tienen todos una longitud L_{gc} , por medio de unas guías de onda ópticas **120**. La agrupación ("array", en inglés) de los acopladores de rejilla **110** está a una distancia de separación f a lo largo del sistema de lentes **10**.

35

El sistema de lentes **10** comprende al menos una lente que puede ser, por citar alguna de los tipos de lentes aplicables, una lente cilíndrica, lente refractiva, lente Fresnel, lente basada en metamateriales, o lente de elementos ópticos difractivos (lente DOE; del inglés, DOE: Diffractive-Optical Elements).

5

En la Figura 2 se representa uno cualquiera de los múltiples acopladores de rejilla **110**, cada uno con un ancho w_{GC} , que puede ser igual para todos los acopladores de rejilla **110** o no (es decir, los distintos acopladores de la pluralidad de acopladores no tienen que tener el mismo ancho, pero un solo acoplador tiene un solo ancho; por ejemplo, en la figura 15 se muestra cómo se determina el ancho que puede ser diferente para ángulos de desviación del haz κ diferentes). Cada acoplador de rejilla **110** comprende una pluralidad de dientes **210** con una separación entre dientes o anchura fija de diente Λ que es igual para todos u cada uno de los dientes **210** de cada acoplador de rejilla **110** y un espacio entre dientes ϵ que no es fijo, sino que el espacio ϵ varía a lo largo del acoplador de rejilla **110** de forma que se emite una cantidad constante de luz por unidad de longitud. Los dientes **210** de rejilla a lo largo de la matriz (pluralidad alineada) de acopladores de rejilla **110** se inclinan gradualmente en un ángulo de inclinación θ específico como se muestra en la Figura 2 dentro de un entorno 3D definido por un sistema de ejes de coordenadas: un primer eje x , un segundo eje y y un tercer eje z . El ángulo de inclinación θ de los dientes **210** de rejilla determina la dirección a la que se dirige (o recibe) la luz de entrada dada por un (primer) ángulo de desviación del haz κ en un plano transversal a lo largo de la dirección del primer eje x . Si se considera un plano transversal a lo largo de la dirección del tercer eje z , se obtiene un (segundo) ángulo de desviación del haz φ .

El ángulo de inclinación θ determina la dirección lateral en la que la luz sale del acoplador de la rejilla de transmisión (o, respectivamente, la dirección de la que el acoplador de la rejilla de recepción aceptará la luz) dada por el arriba referido como primer ángulo de desviación del haz κ . La longitud de onda de la luz, longitud de onda designada como λ_1 o λ_2 en las Figuras 3-6, determina en qué dirección transversal la luz sale/entra en el acoplador de rejilla definida por el anteriormente mencionado segundo ángulo de desviación del haz φ .

El método de transmisión y detección (o recepción) de un haz óptico mediante el dispositivo que aquí se propone se basa en un principio: hacer coincidir el ángulo de inclinación θ de los dientes **210** de rejilla formados en los acopladores de rejilla **110** con el ángulo de transmisión de la lente o sistema de lentes **10**. La luz que ingresa a un acoplador de rejilla **110** específico

se transmite así en una dirección específica. La luz reflejada por el objeto objetivo se dirige de nuevo al mismo acoplador de rejilla con el mismo ángulo y, por lo tanto, debido al principio de reciprocidad, la luz saldrá por el mismo acoplador de rejilla.

- 5 Las Figuras 3A-C, 4A-4C, 5A-5C y 6A-6C muestran que esta combinación de acopladores de rejilla **110** con dientes **210** de rejilla inclinados según se ha descrito junto con la lente cilíndrica o el sistema de lentes **10** se puede utilizar para producir haces de luz en dos direcciones: en dirección del primer eje **x** con el primer ángulo de desviación del haz **κ** y en la dirección del tercer eje **z** con el segundo ángulo de desviación del haz **φ** . Se considera así, en las Figuras
- 10 3A, 4A, 5A y 6A una sección transversal del conjunto de acopladores de rejilla **110** a lo largo de la dirección del eje **x**, tal sección transversal en el eje **x** representada como sección **STx**, y una sección transversal del conjunto de acopladores de rejilla **110** a lo largo de la dirección del eje **z**, representada como sección **STz**.
- 15 Las Figuras 3A-3C y 4A-4C ilustran el principio para la transmisión y detección descrito anteriormente, donde, para un primer ángulo de desviación del haz **κ_1** en la sección **STx** en el eje **x**, se observa respectivamente en las Figuras 3A y 4A una variación del valor **φ_1** y **φ_2** del segundo ángulo de desviación del haz **φ** desde la sección **STz** a lo largo del eje **z**. Las Figuras 3B y 3C ilustran las direcciones de los haces de luz transmitidos a un primer objetivo
- 20 **30** y recibidos desde el primer objetivo **30**. Las Figuras 4B y 4C ilustran las direcciones de los haces de luz transmitidos a un segundo objetivo **40** y recibidos desde ese segundo objetivo **40**. Los haces de luz transmitidos, (hacia el objetivo **30**, **40**) están representado como flechas negras y los haces de luz recibidos (que proceden del objetivo **30**, **40**) se representan mediante flechas rayadas en las Figuras 3A-3C y 4A-4C, que ilustran cómo la longitud de
- 25 onda, **λ_1** , **λ_2** , de la señal de luz de entrada determina la dirección transversal la luz que sale/entra (haz transmitido/recibido) en el acoplador de rejilla **110**, dada en cada caso, según muestran las Figuras 3 y 4, respectivamente por los valores **φ_1** y **φ_2** del ángulo de desviación del haz en el plano transversal según el eje **z**, estando la dirección del haz transmitido/recibido en el plano transversal según el eje **x** dada por el valor **κ_1** del ángulo de desviación del haz.
- 30 Se observa que el haz transmitido es ligeramente divergente, con un ángulo **φ_1** en la Figura 3B hacia el objetivo **30** y **φ_2** en la Figura 4B hacia el objetivo **40**. En las Figuras 3C y 4C, se ven los haces recibidos atravesando la sección **STz** transversal en dirección **z** del sistema de lentes **10** y del "array" de acopladores de rejilla **110** dispuesto sobre el sustrato de material absorbente de luz **1000**.

La luz entra en un acoplador de rejilla **110** en $z=0$ y, a lo largo de su longitud L_{GC} , la luz se emite gradualmente desde el acoplador de rejilla **110** hacia la lente o sistema de lentes **10**. Es importante que la cantidad de luz emitida por unidad de longitud sea constante a lo largo del acoplador de rejilla porque la luz que se recibe desde el objetivo **30**, **40** definitivamente tiene una distribución uniforme de intensidad a lo largo del acoplador de rejilla **110**. Cuando hay un espacio ϵ fijo entre los dientes, la intensidad de la luz que sale a lo largo de todo el acoplador de rejilla sigue una curva exponencial, como se muestra en la figura 3B. Por lo tanto, los acopladores de rejilla **110** son apodizados, lo que se logra cuando los valores ϵ_1 , ϵ_2 espacio ϵ entre los dientes se ajustan gradualmente mientras se mantiene igual una separación periódica entre dientes **210** con un valor anchura de diente Λ fijo.

La Figuras 5A-5C y 6A-6C muestran los haces atravesando la sección **STx** transversal del sistema de lentes **10** en dirección x cuando la luz entra/sale a/de dos acopladores de rejilla dispuestos en distintas ubicaciones x_1, x_2 a lo largo del “array” **110**: un acoplador dispuesto en $x = x_1$ según muestran las Figuras 5B-5C y otro acoplador dispuesto en $x = x_2$ según muestran las Figuras 6B-6C. El ángulo de inclinación θ de los dientes de los acopladores de rejilla está diseñado de tal manera que el ángulo de la luz emitida por el acoplador de rejilla está en la misma dirección de que cuando la luz se enfoca en ese acoplador de rejilla. Por lo tanto, el ángulo de inclinación θ de los dientes **210** del acoplador de rejilla en la ubicación x_1 es positivo, y negativo para el acoplador de rejilla en la ubicación x_2 . La lente **10** luego colima la luz de estos acopladores de rejilla hacia una dirección κ_1 y κ_2 . Por eso, las Figuras 5 y 6 ilustran que el valor del primer ángulo de desviación del haz κ que determina la dirección transversal del haz κ_1 en las Figuras 5A-5C y κ_2 en las Figuras 6A-6C está determinada por la ubicación, x_1 , x_2 en los respectivos casos ilustrados, del acoplador de rejilla en el “array” **110** en el primer eje x .

El esquema de la Figura 7 muestra un posible diseño de un chip **100** con fotodetectores integrados que es un dispositivo lidar (LiDAR) de onda continua multiplexada en frecuencia (FMCW LiDAR) y, en particular, se basa en la tecnología Silicio sobre Aislante (en inglés, Silicon-On-Insulator), que permite la integración de fotodetectores balanceados. El chip **100** recibe una señal de entrada de luz láser **500** a través de acoplamiento de lentes o de fibra, sintonizable a una longitud de onda deseada. La señal de entrada de luz láser **500** pasa a través de un divisor de polarización **510** conectado a un elemento absorbente **520** (“absorber”, en inglés) para absorción de la luz y a un acoplador en estrella o una red de divisores **530** a la que se conecta una pluralidad de guías de onda ópticas que guían la luz **120** hasta la

pluralidad de acopladores de rejilla **110**, conectados a su vez a una serie de fotodetectores **1100** del tipo detector balanceado en un chip ("on-chip balanced detector", en inglés) que a su salida se conectan a unas almohadillas de contacto eléctrico **1200**, conformando el chip FMCW LiDAR, cuya vista de pájaro se muestra en la Figura 8, donde se representan los haces con diferentes longitudes de onda, λ_1 y λ_2 , transmitidos a distintos objetos objetivos **61**, **62**, **63** y reflejados por los objetivos **61**, **62**, **63**.

El dispositivo lidar descrito anteriormente puede realizarse con diferentes tipos de lentes: lente cilíndrica, lente Fresnel, lente de metamateriales, o un sistema de elementos ópticos difractivos (DOE).

En cuanto a la posición del sistema de lentes **10** con respecto al chip **100**, hay tres distintas situaciones: i) sistema de lentes **10** incorporado encima del chip **100**, ii) sistema de lentes **10** incorporado debajo del chip **100** del dispositivo, y iii) sistema de lentes **10** integrado en el chip **100** dispositivo (es decir, la lente es parte del propio chip). Ejemplos de estas posiciones pueden verse en las Figuras 9A-9F. La lente o sistema de lentes **10** puede estar incorporado al chip **100**, ubicando el sistema de lentes **10** bien en la cara superior/anterior del chip **100** como muestran las Figuras 9A y 9B, o bien en la cara inferior/posterior del chip **100** como muestran las Figuras 9C y 9D, pudiendo aplicar diferentes tipos de lentes tanto en la parte superior como inferior del chip **100**: por ejemplo, un sistema de lentes o lente cilíndrica o refractiva **811**, **812** representada en las Figuras 9A y 9B, o un sistema de lentes Fresnel, lente de metamateriales, o de elementos ópticos difractivos **821**, **822** representada en las Figuras 9C y 9D. Y también el sistema de lentes **10** puede estar integrado en la parte posterior del chip **100**, como muestran las Figuras 9E y 9F, respectivamente para lente cilíndrica **813** y para lente Fresnel, lente de metamateriales o DOE **823**.

La Figura 10 es una gráfica que representa el ángulo de divergencia ξ en función de la longitud L_{GC} del acoplador de rejilla **110** medida en micrómetros, μm .

Las Figuras 11A y 11B describen la estructura de la guía de ondas **120** respectivamente en la dirección del primer eje **x** y en la dirección del tercer eje **z**. La guía de ondas **120** comprende dos capas, **702** y **704**, de Silicio, Si, entre las que se dispone una capa intermedia **703** de óxido de silicio, SiO₂. La Figura 11B muestra además cómo el rayo de luz **700** incide, a través del aire **701**, en la capa superior **702** de la guía de ondas **120**.

Para esta estructura de guía de onda **120** particular representada en la Figura 11 como se ha descrito anteriormente, según se aprecia en las siguientes gráficas de las Figuras 12 y 13, un ángulo de inclinación θ máximo de $\pm 14^\circ$ da como resultado un ángulo de desviación del haz κ en la dirección x de $\pm 50^\circ$, y un cambio en la longitud de onda de la luz de entrada λ de 300 nm da como resultado un ángulo de desviación del haz φ en la dirección del tercer eje z , que tiene un valor de 40° .

La Figura 12 es una gráfica que representa el ángulo de desviación κ del haz en el plano transversal en dirección del primer eje x en función del ángulo de inclinación θ de los dientes **210** de rejilla. La Figura 12 muestra los resultados de la simulación de dicho ángulo transversal de la luz emitida por el acoplador de rejilla κ , donde se observa que al inclinar los dientes de los acopladores de rejilla un ángulo de hasta 14 grados, se puede dirigir el haz emitido hasta un ángulo de 50 grados.

Las Figuras 13A y 13B muestran el ángulo de desviación del haz φ en la dirección z cuando se cambia la longitud de onda de la luz de entrada para dos valores del ángulo de inclinación θ que se mantiene fijo, $\theta = 0^\circ$ en la Figura 13A y $\theta = 10^\circ$ en la Figura 13B de los dientes **210** de rejilla.

La Figura 14 muestra los detalles de los parámetros de un ejemplo de implementación del sistema de lentes **10** que en este caso es una lente cilíndrica comercial usada en el diseño integrado del chip **100**.

Las Figuras 15A, 15B y 15C muestran para tres ángulos de inclinación del haz κ diferentes ($\kappa = 0^\circ$, $\kappa = -10^\circ$ y $\kappa = -20^\circ$) los resultados de las simulaciones de las propiedades de enfoque (distribución de amplitud y fase) de la luz de la lente cilíndrica que compone el sistema de lentes **10** integrado en el chip **100a** a lo largo de su sección transversal **STx** cuando una onda plana entra en dicha lente cilíndrica. A partir de este tipo de simulaciones, se pueden recuperar las ubicaciones x y los anchos w_{GC} de todos los acopladores de rejilla del array **110**. La pendiente de la fase se utiliza para determinar los ángulos de inclinación θ de los dientes **210** del acoplador de rejilla.

REIVINDICACIONES

1. Un dispositivo transmisor y detector de haces ópticos, **caracterizado por que** comprende los siguientes componentes integrados dentro de un chip (100) fotónico, con una cara superior y una cara inferior, para recibir una señal de luz de entrada desde un sistema de lentes (10) con un ángulo de transmisión y una longitud de onda (λ , λ_1 , λ_2) dispuesto encima de la cara superior del chip (100) o debajo de la cara inferior del chip (100):
 - una pluralidad de acopladores de rejilla (110) alineados en la cara superior del chip (100),
 - cada acoplador de rejilla (110) construido con una longitud (L_{GC}) en una guía de ondas (120) y con una pluralidad de dientes (210), y
 - cada diente (210) inclinado con un ángulo de inclinación (θ) igual al ángulo de transmisión del sistema de lentes (10), y la pluralidad de dientes (210) de cada acoplador de rejilla (110) dispuestos con una anchura fija de diente (Λ) igual para todos los dientes (210) y un espacio (ϵ) entre dientes (210),
 - cada acoplador de rejilla (110) siendo apodizado a lo largo de su longitud (L_{GC}) variando el espacio (ϵ) entre dientes (210) gradualmente para emitir una cantidad constante de luz por unidad de longitud;
 - donde cada guía de ondas (120) está configurada para guiar la señal de luz de entrada dentro del chip (100) hasta cada acoplador de rejilla (110) que produce un haz con un primer ángulo de desviación (κ) determinado por el ángulo de inclinación (θ) y un segundo ángulo de desviación (φ) determinado por la longitud de onda (λ) de la luz de entrada, el haz producido para transmitir o recibir a través del sistema de lentes (10).
2. El dispositivo de acuerdo con la reivindicación 1, **caracterizado por que** el chip (100) recibe la señal de luz de entrada desde el sistema de lentes (10) que comprende al menos una lente que puede ser una lente cilíndrica (811, 812, 813), una lente Fresnel, una lente de metamateriales, o un sistema de elementos ópticos difractivos (821, 822, 823).
3. El dispositivo de acuerdo con la reivindicación 2, **caracterizado por que** el sistema de lentes (10) está integrado en el chip (100).
4. El dispositivo de acuerdo con la reivindicación 3, **caracterizado por que** es un

dispositivo líder.

5. El dispositivo de acuerdo con la reivindicación 4, **caracterizado por que** el dispositivo líder es de tiempo de vuelo o de onda continua multiplexada en frecuencia.

5

6. El dispositivo de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado por que** el chip (100) está fabricado en tecnología de silicio sobre aislante.

10

7. El dispositivo de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado por que** el chip (100) está fabricado en fosfuro de indio.

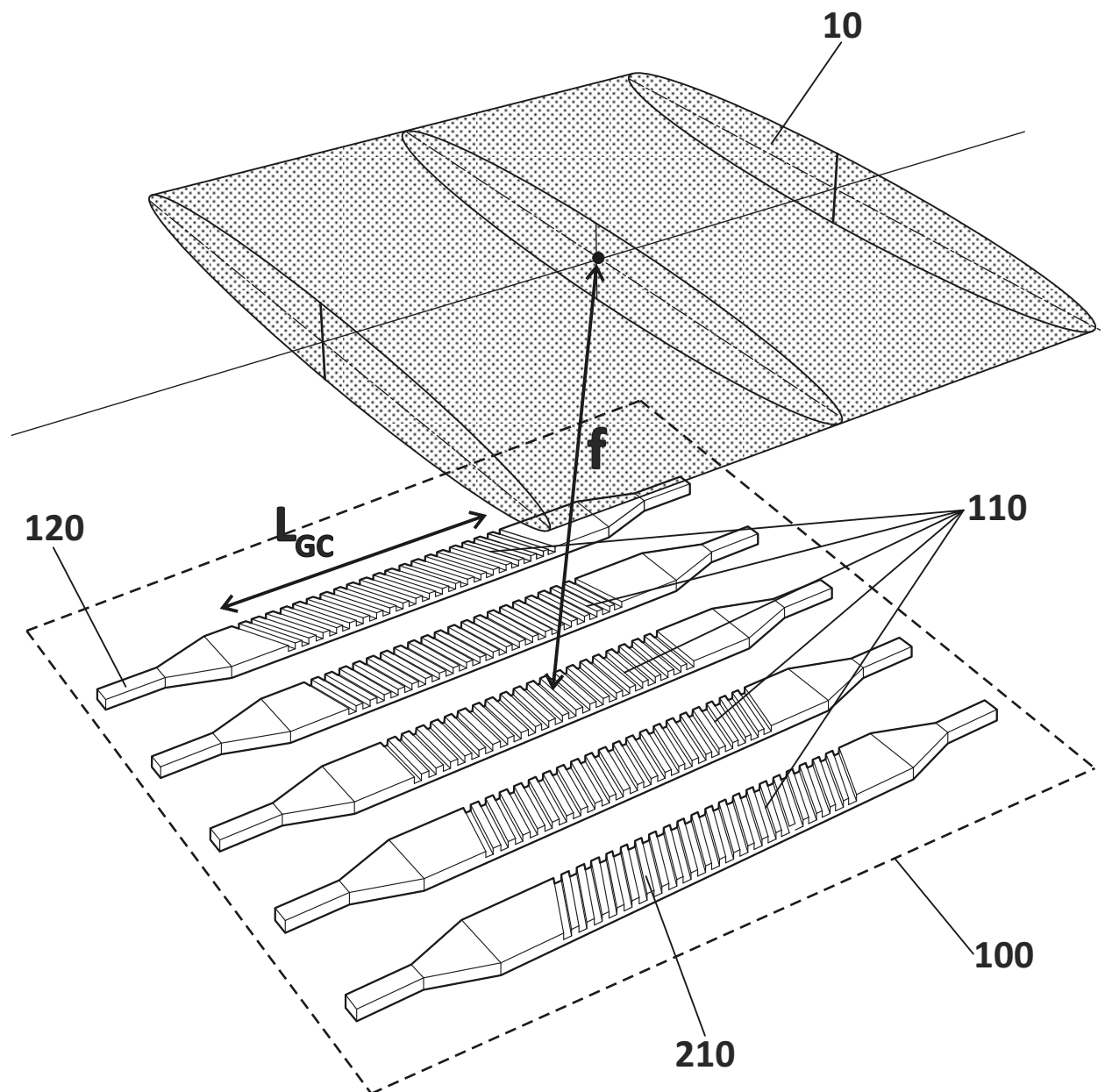


FIG. 1

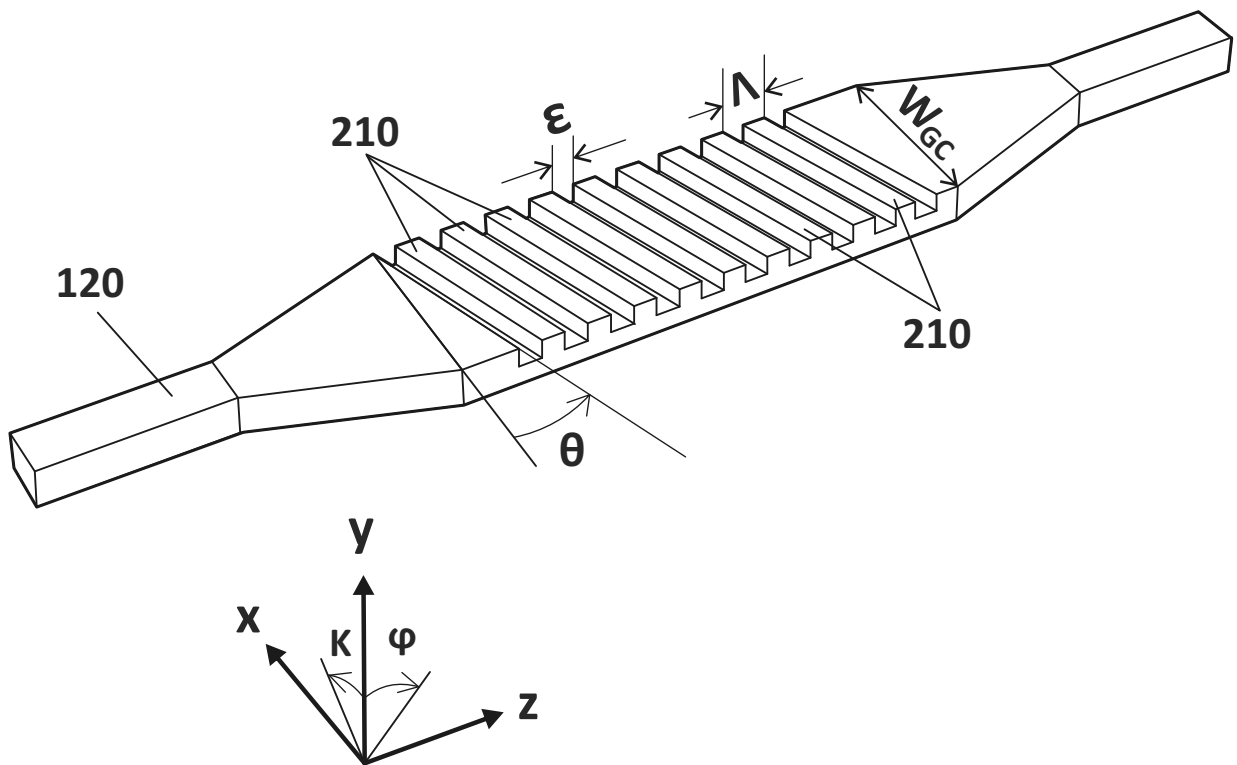
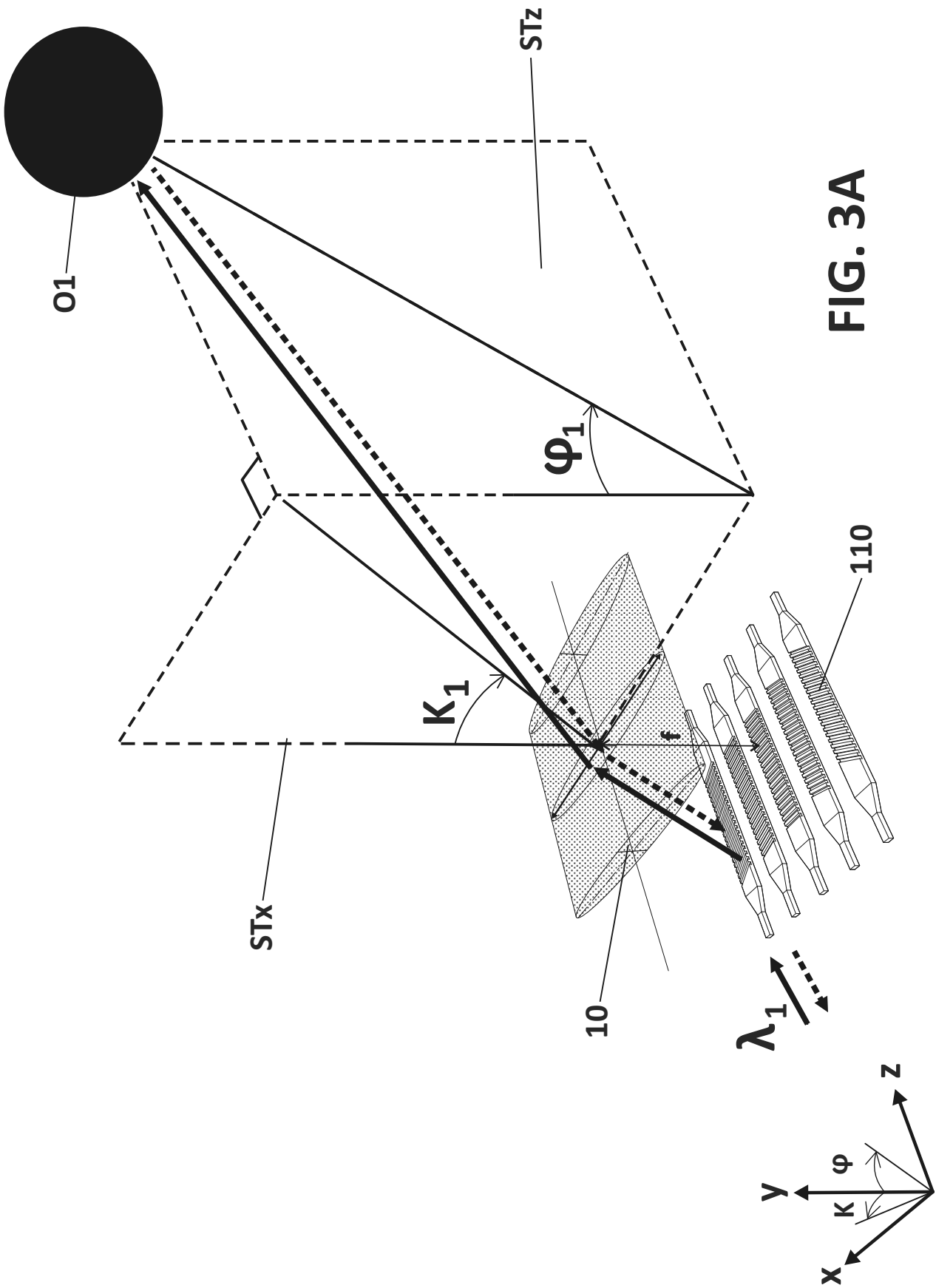


FIG. 2



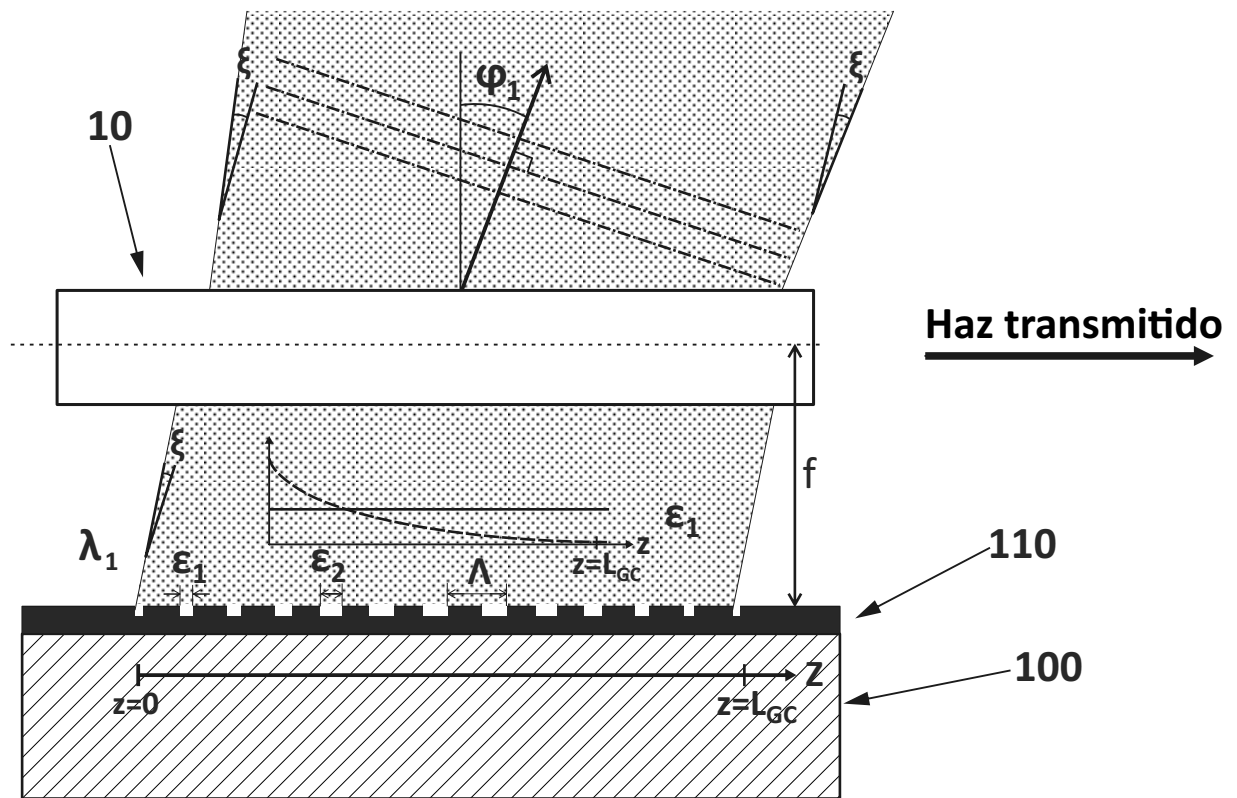


FIG. 3B

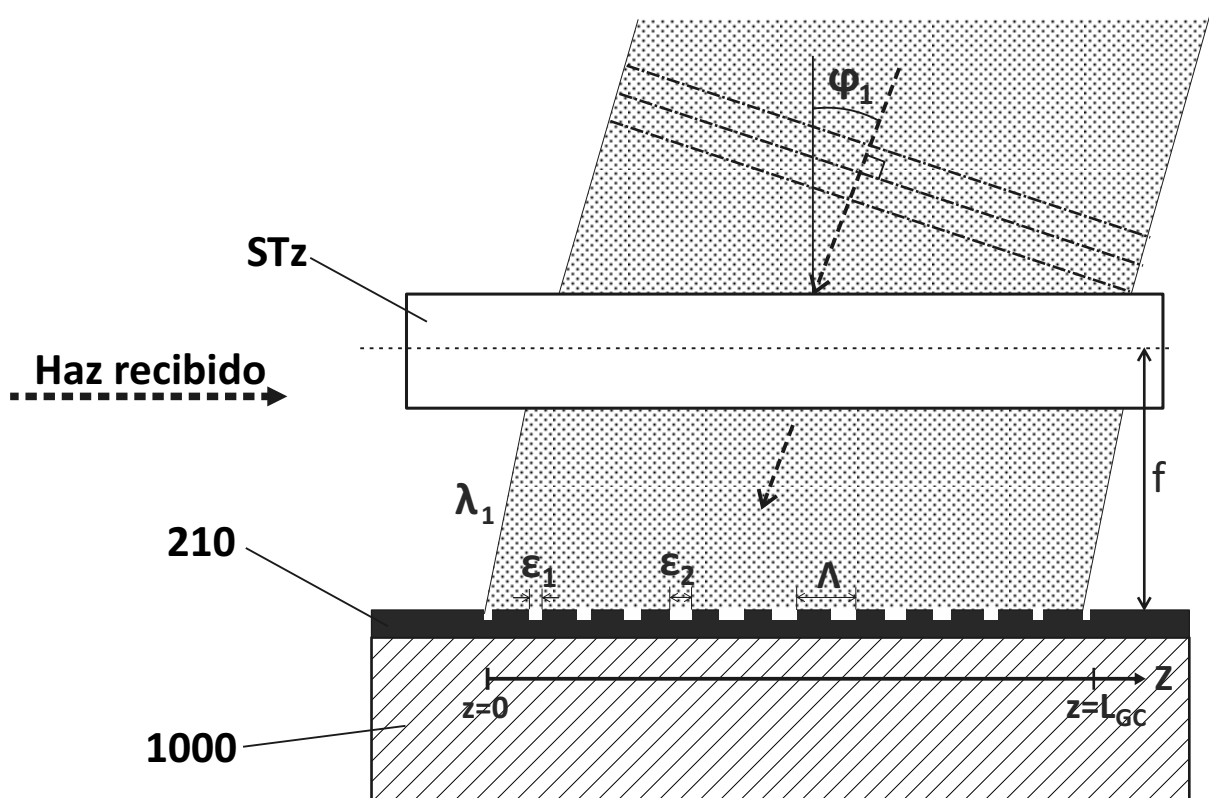


FIG. 3C

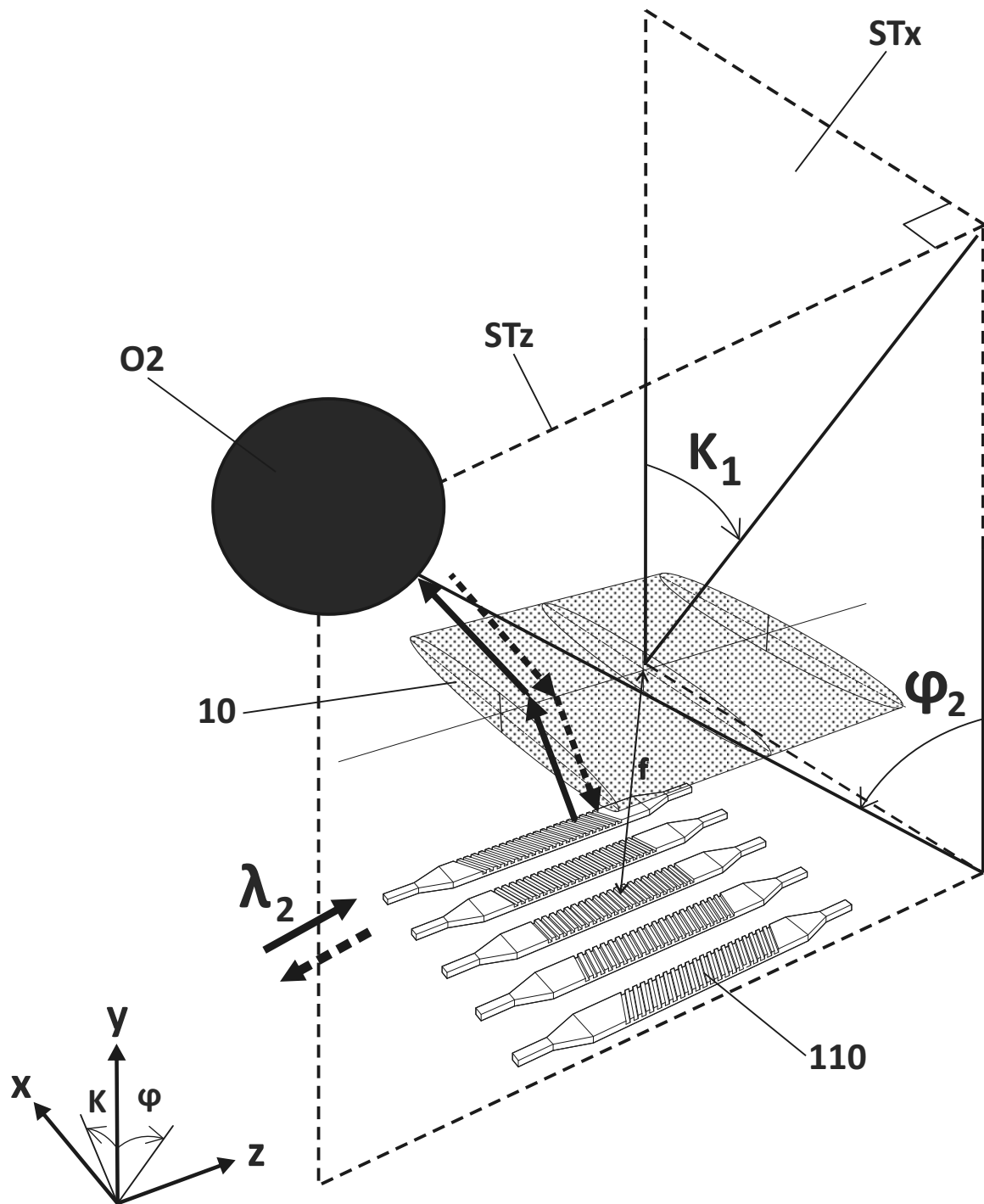


FIG. 4A

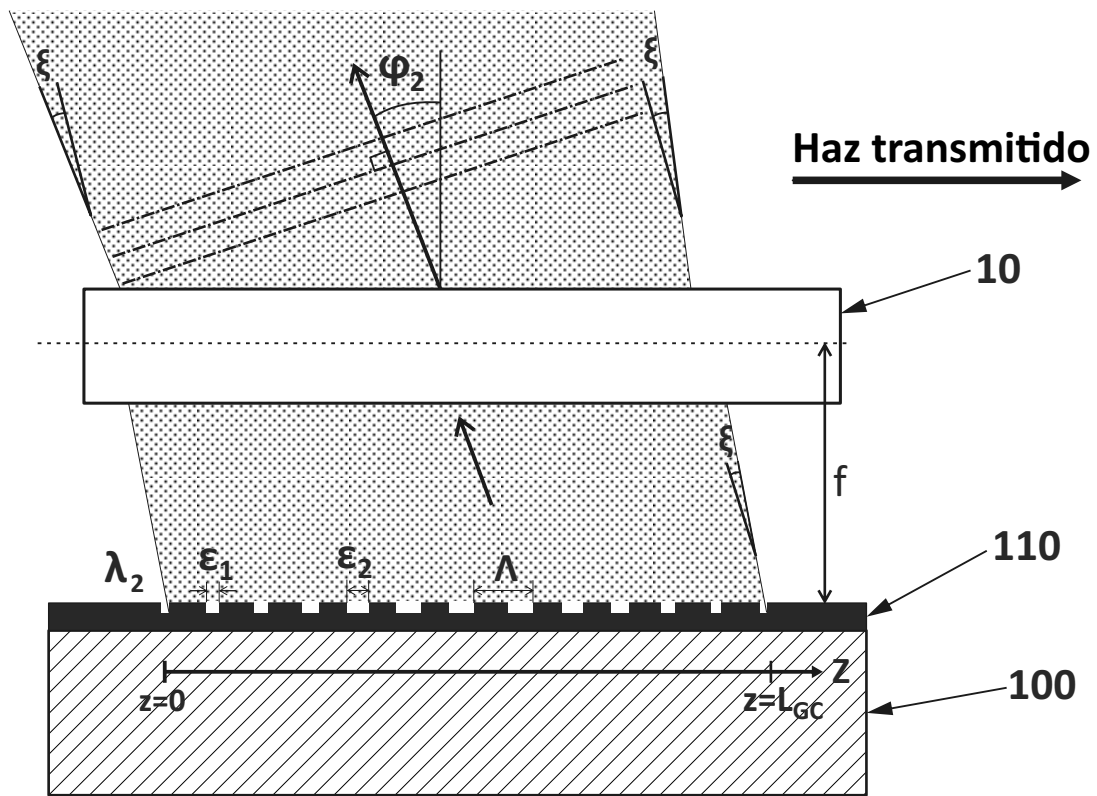


FIG. 4B

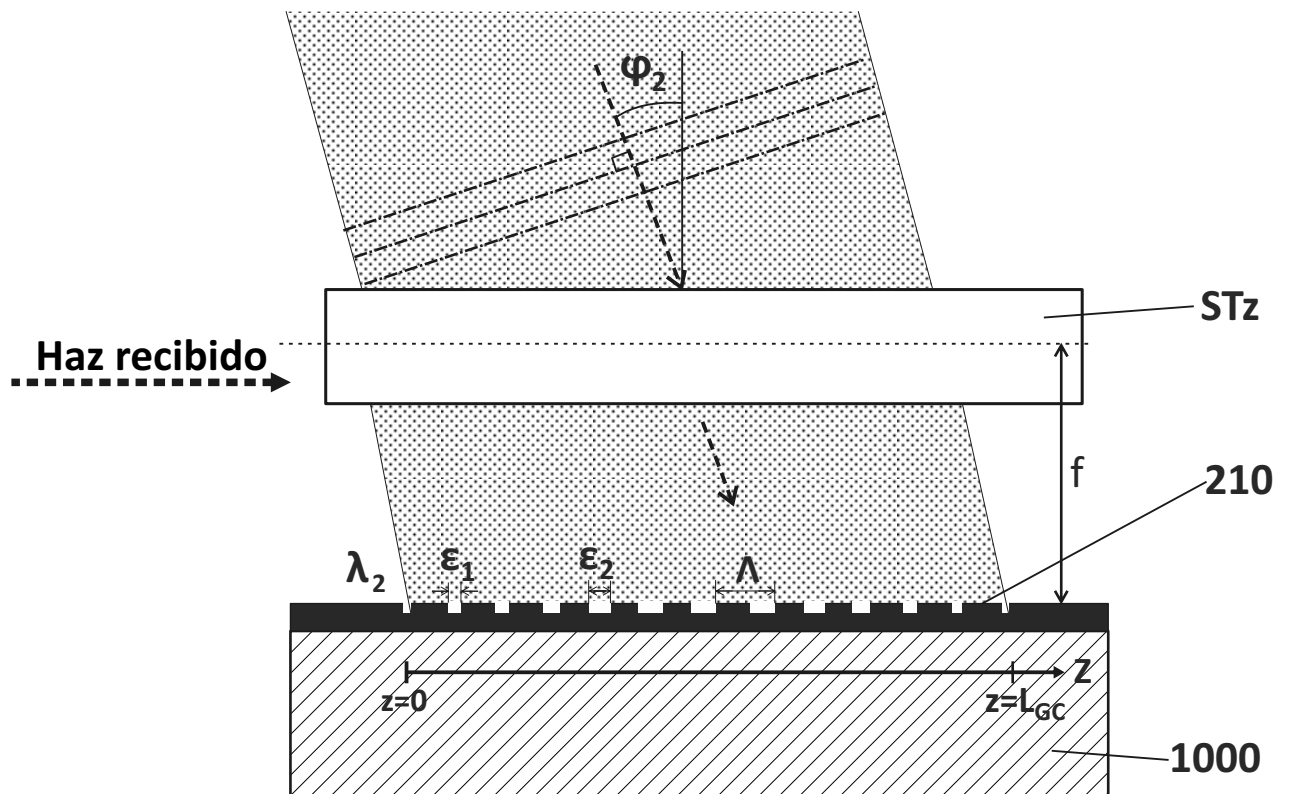
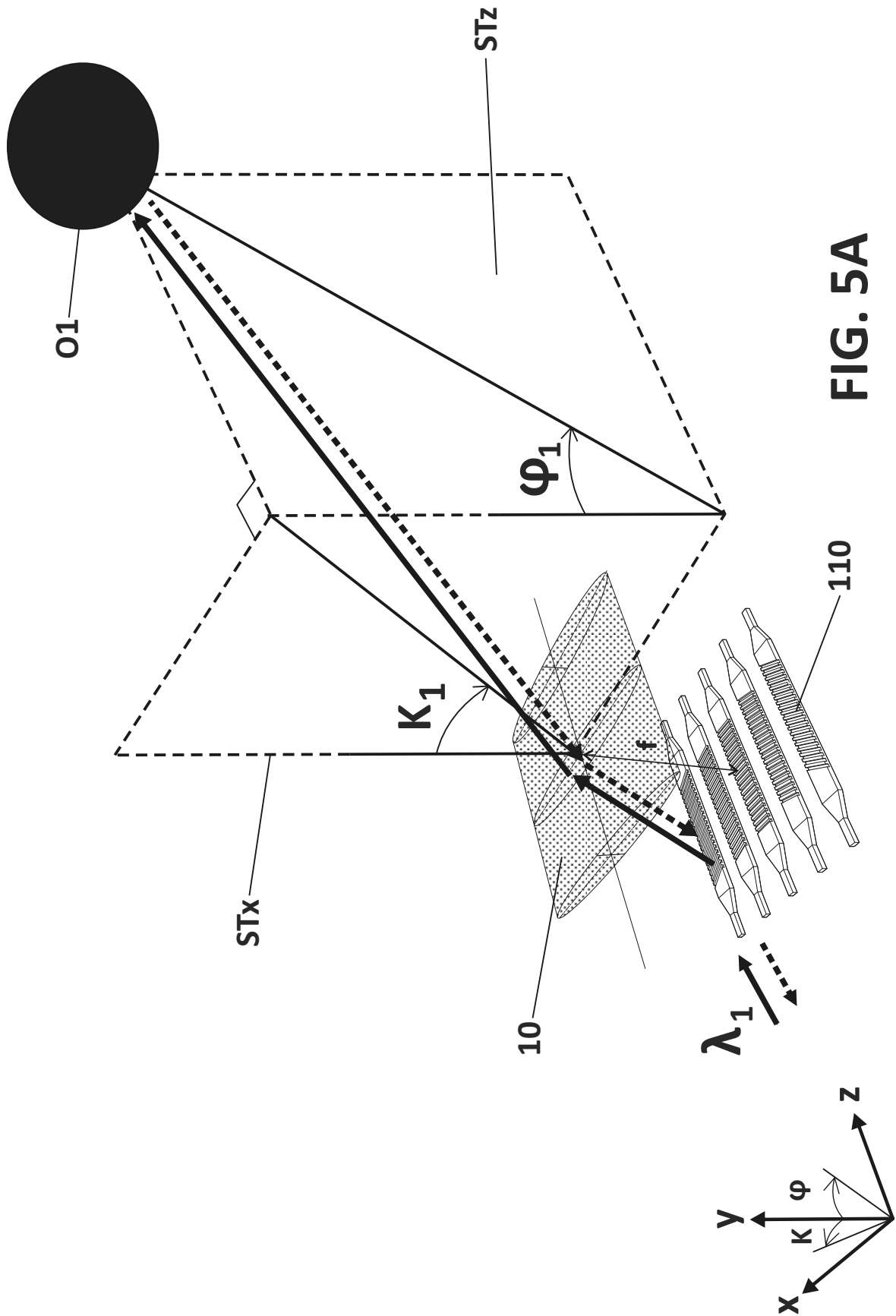
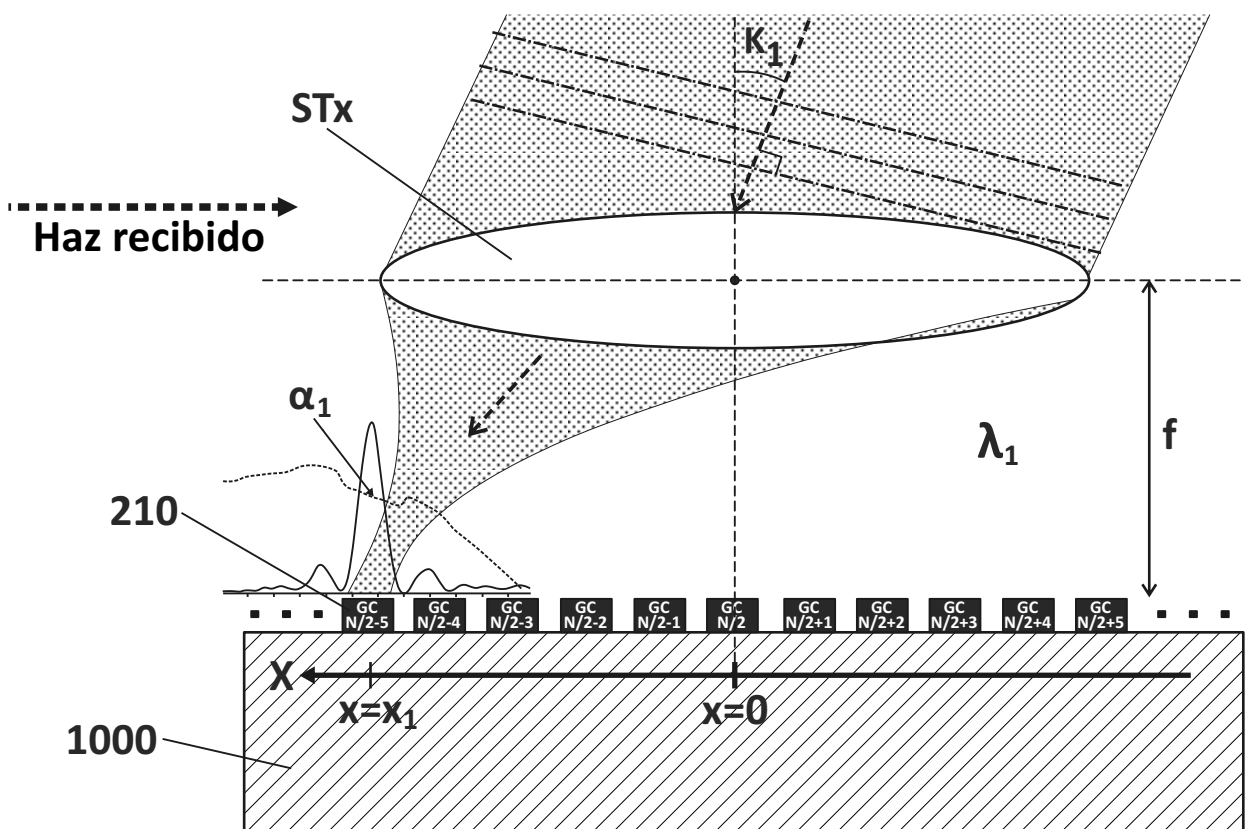
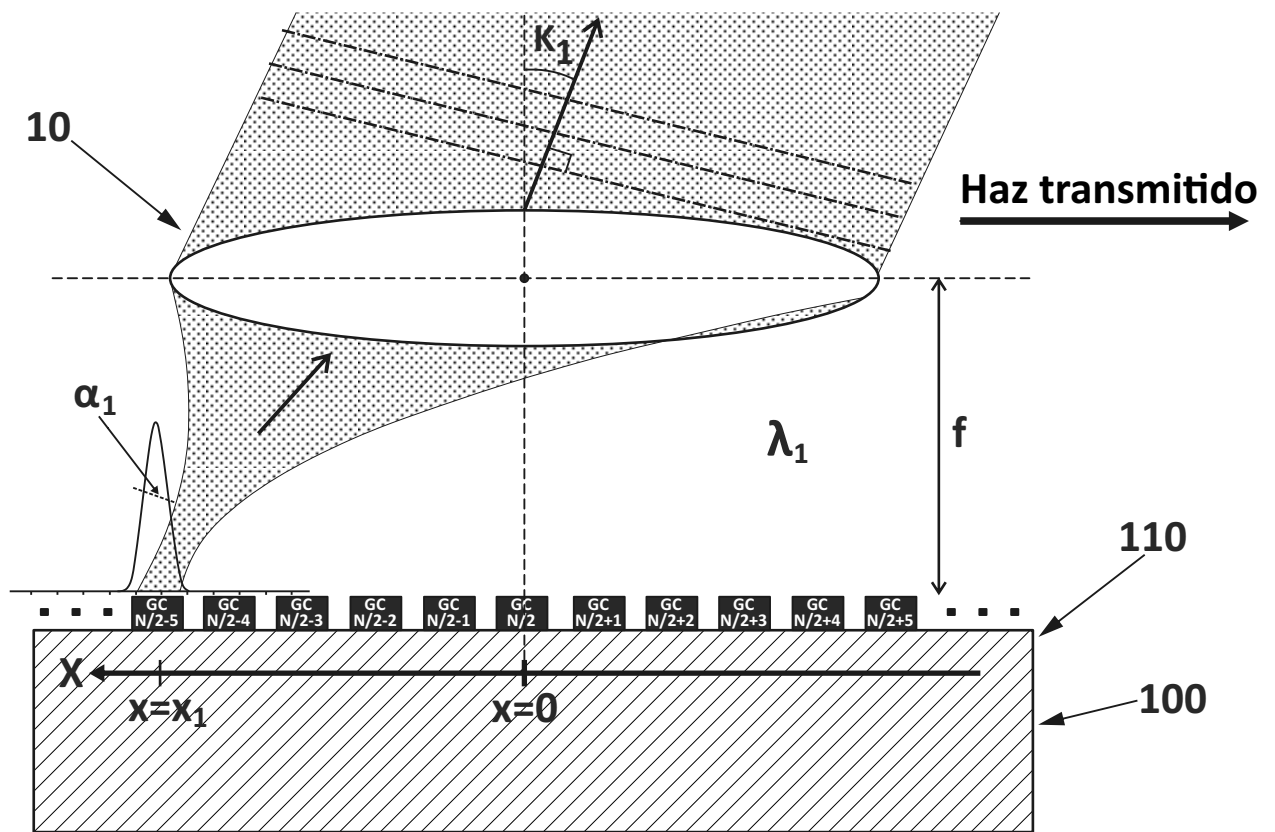


FIG. 4C





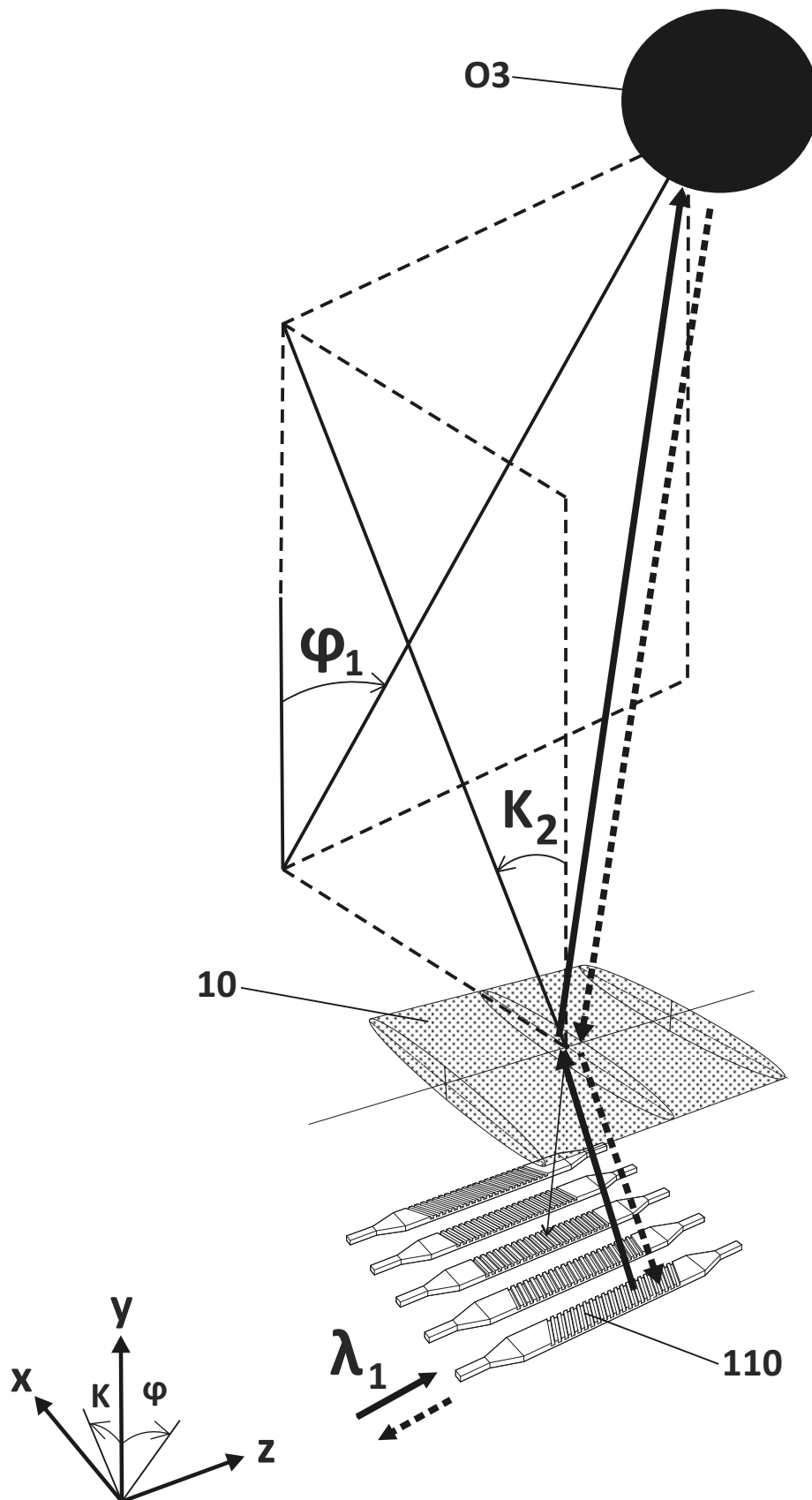


FIG. 6A

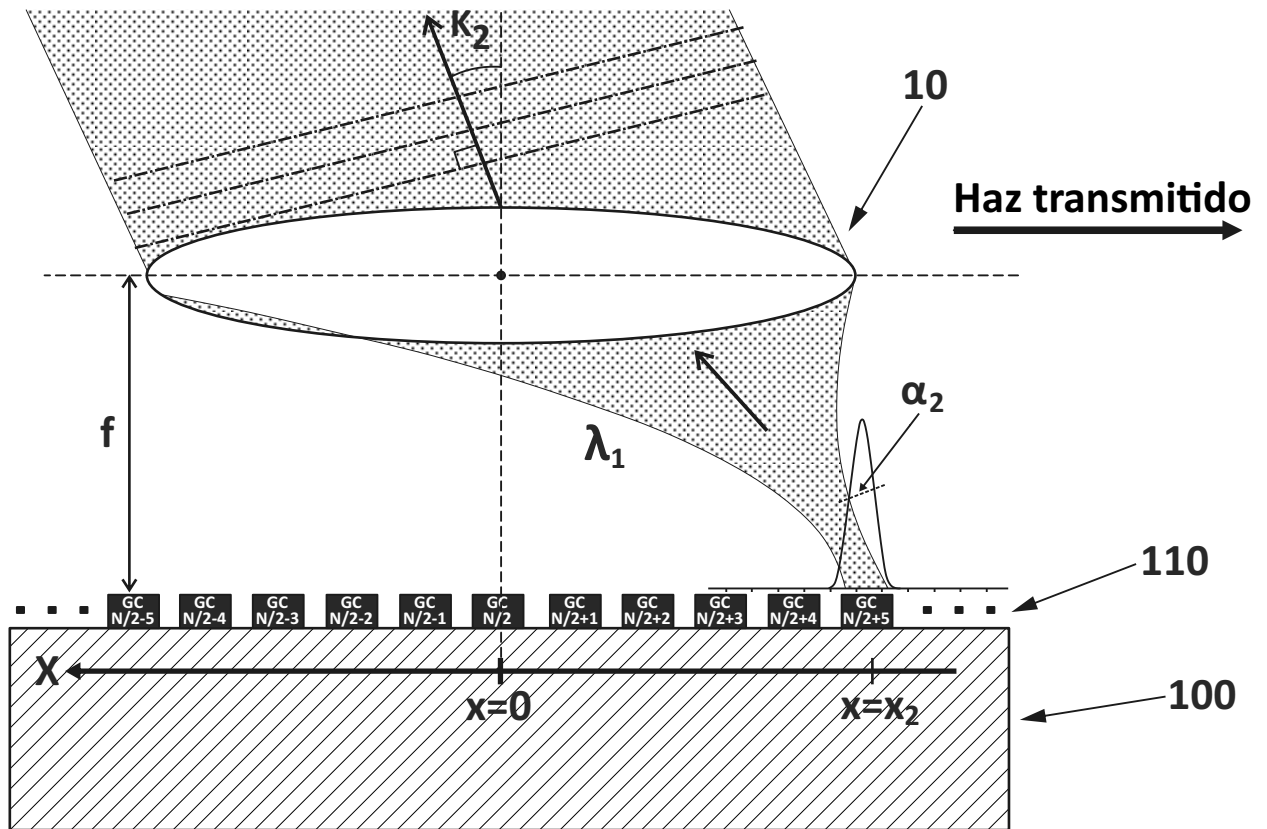


FIG. 6B

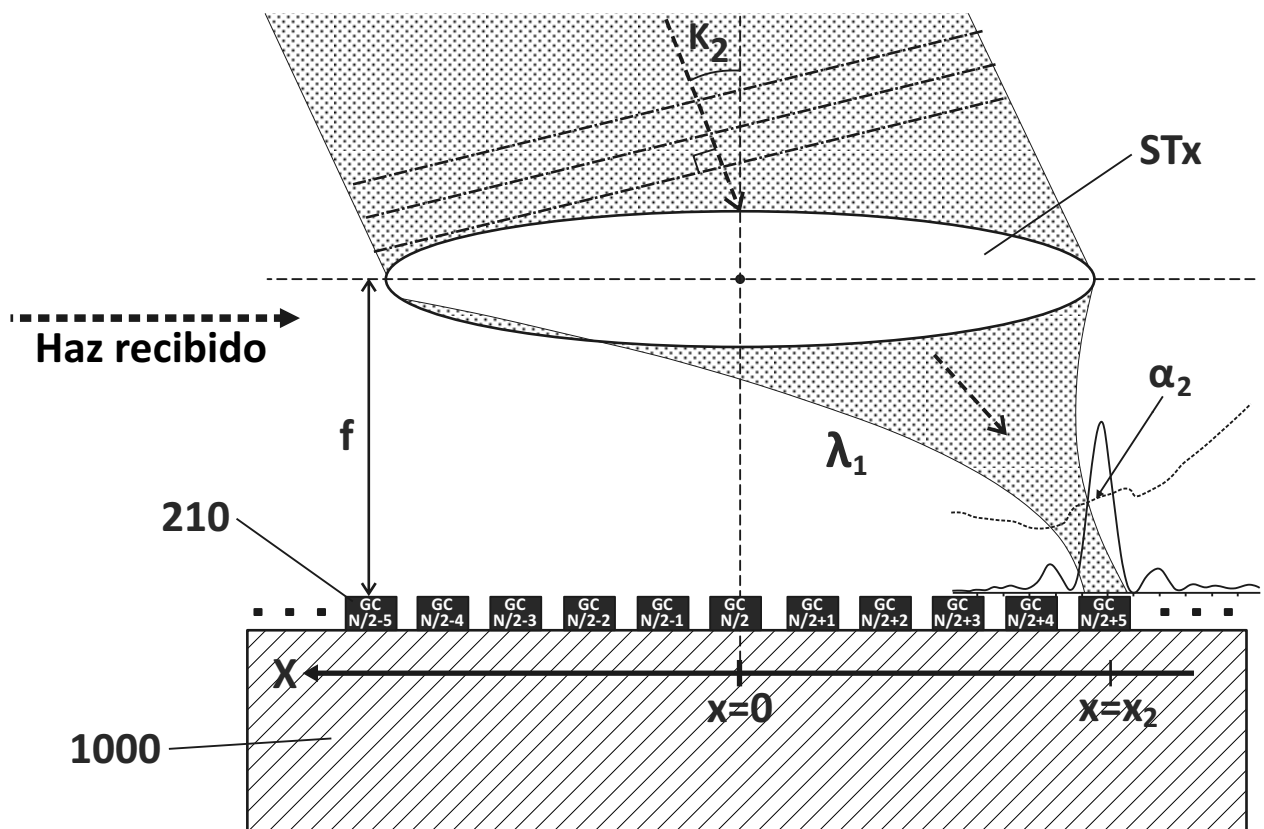


FIG. 6C

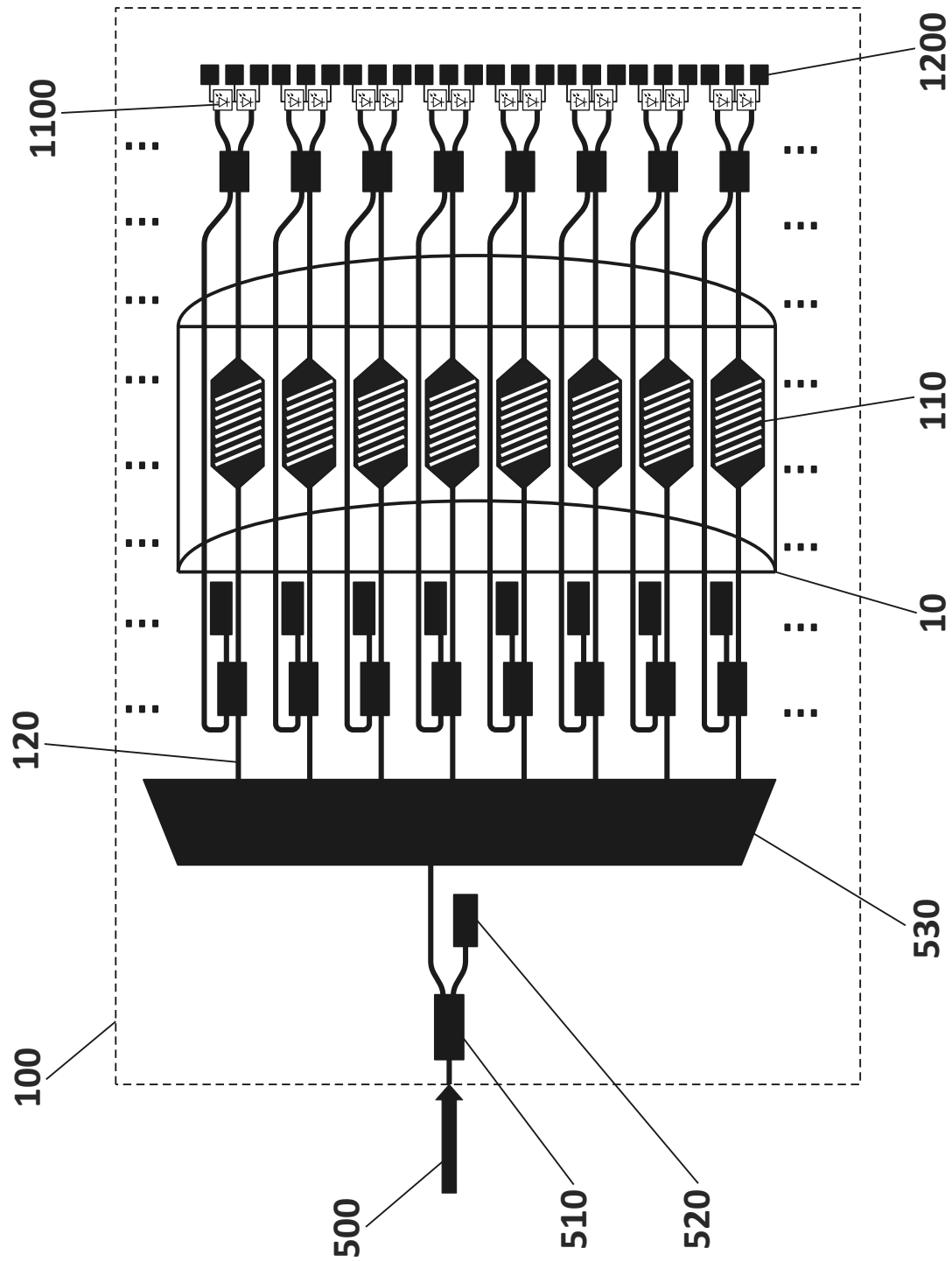


FIG. 7

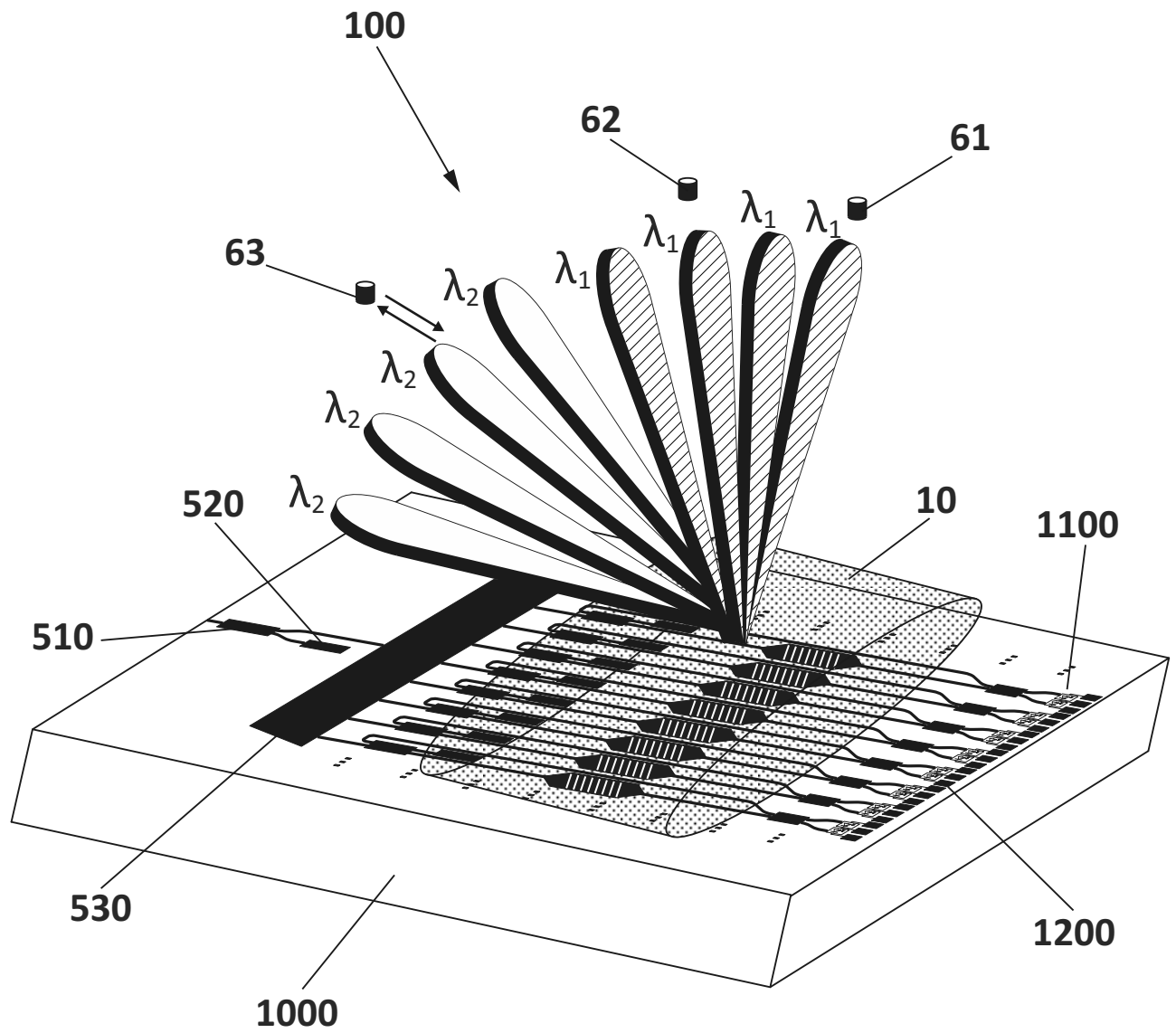


FIG. 8

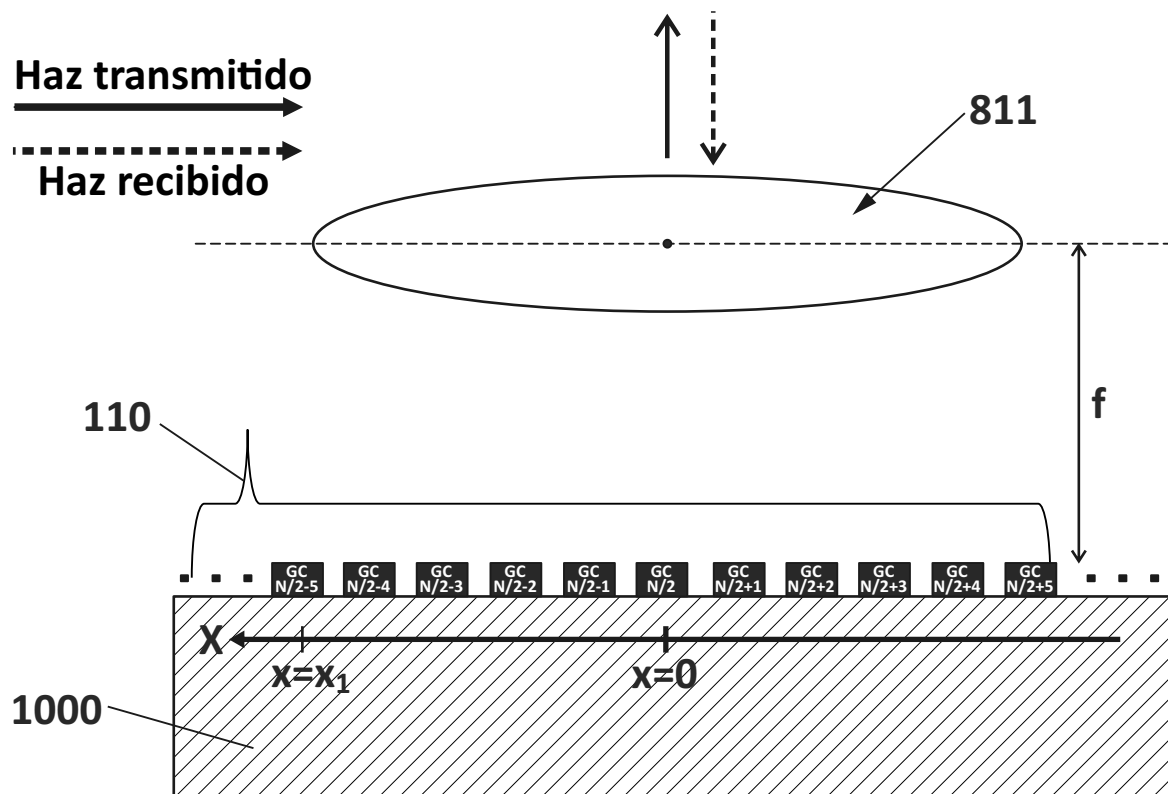


FIG. 9A

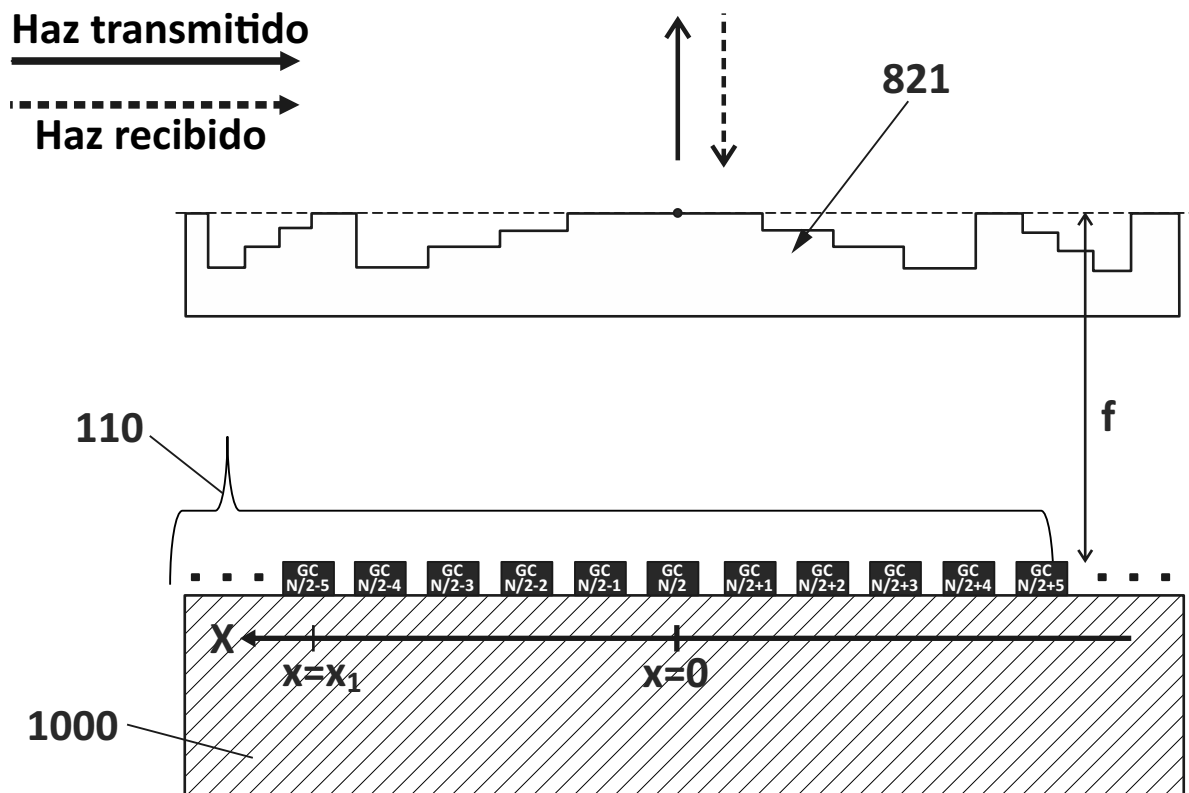


FIG. 9B

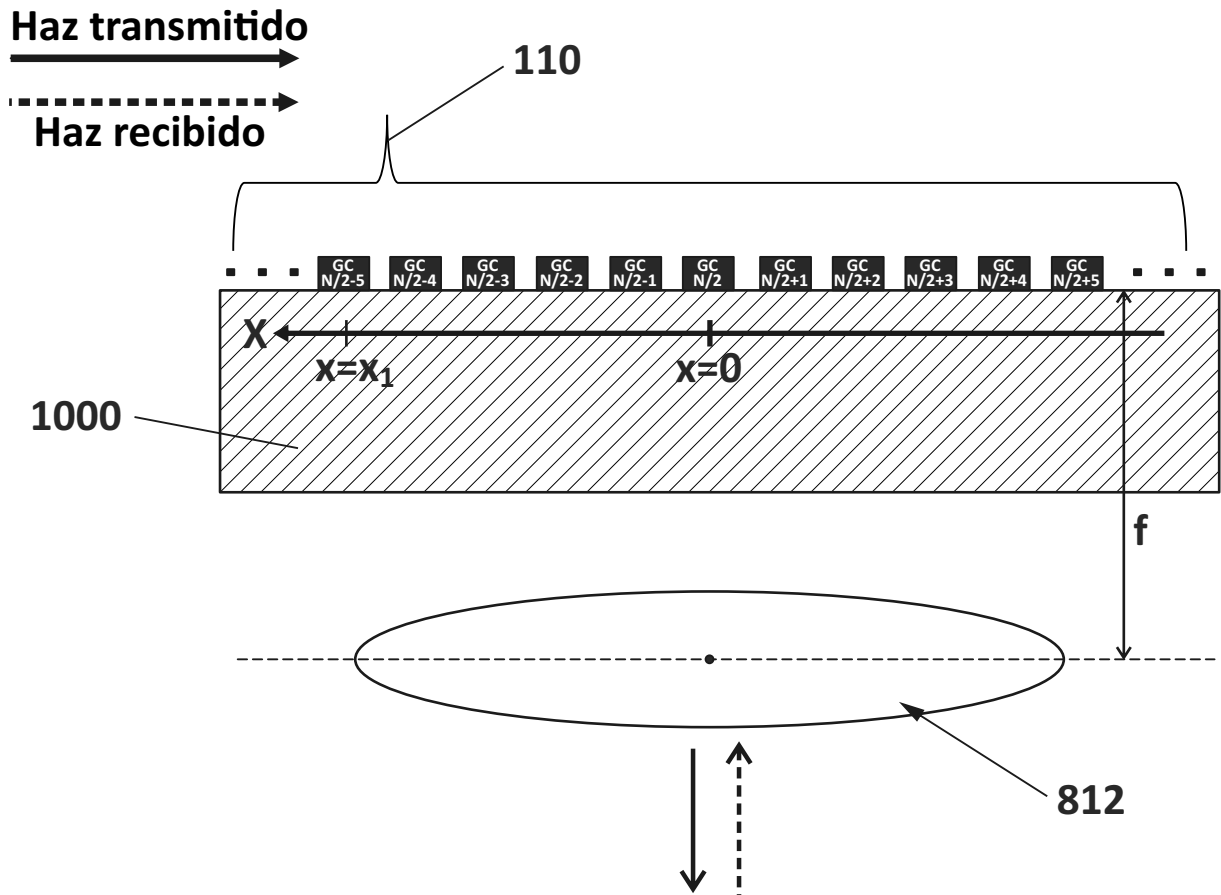


FIG. 9C

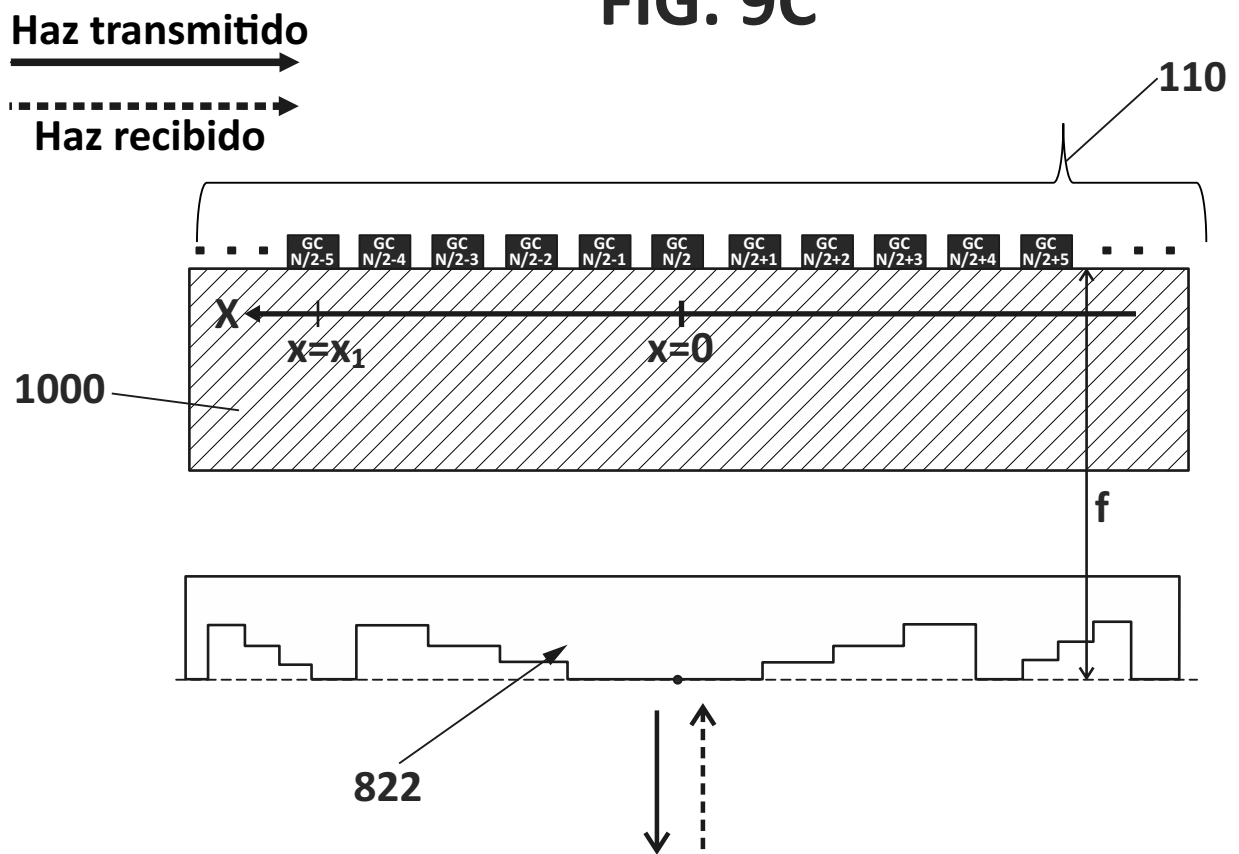


FIG. 9D

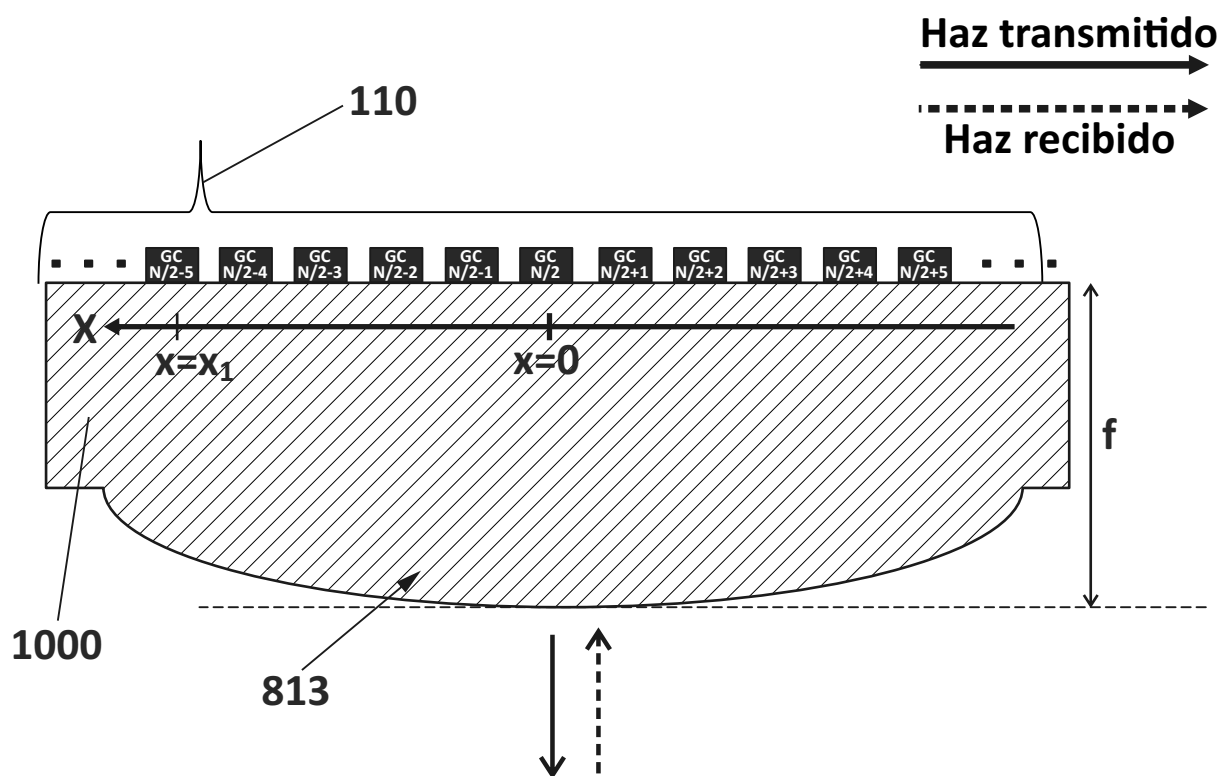


FIG. 9E

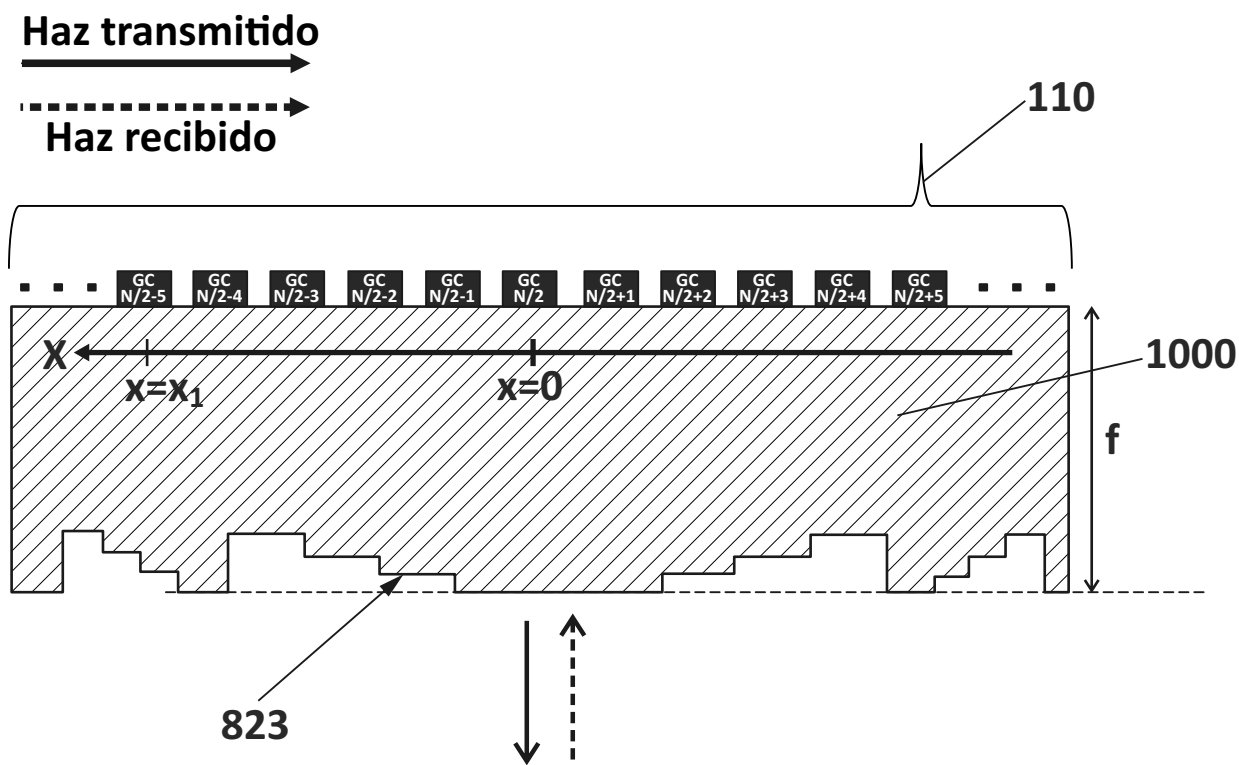


FIG. 9F

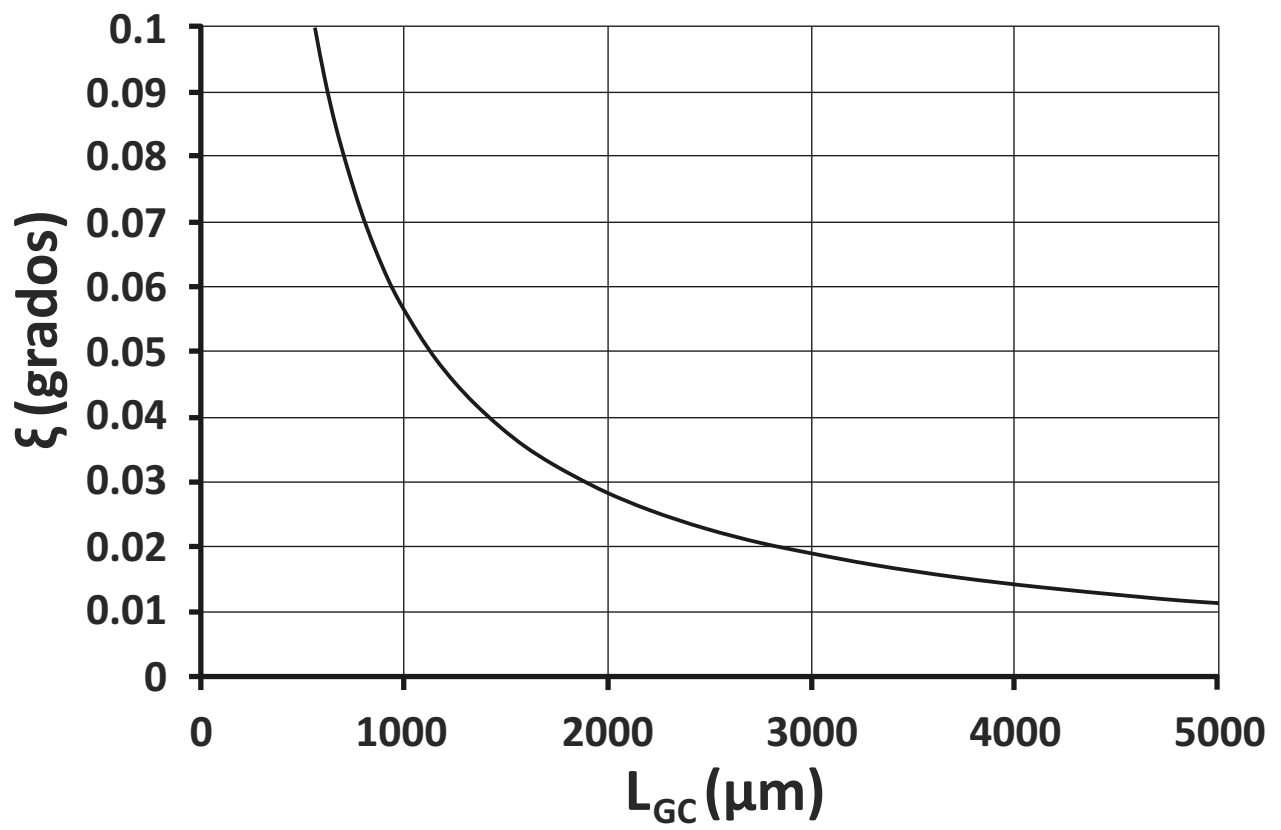


FIG. 10

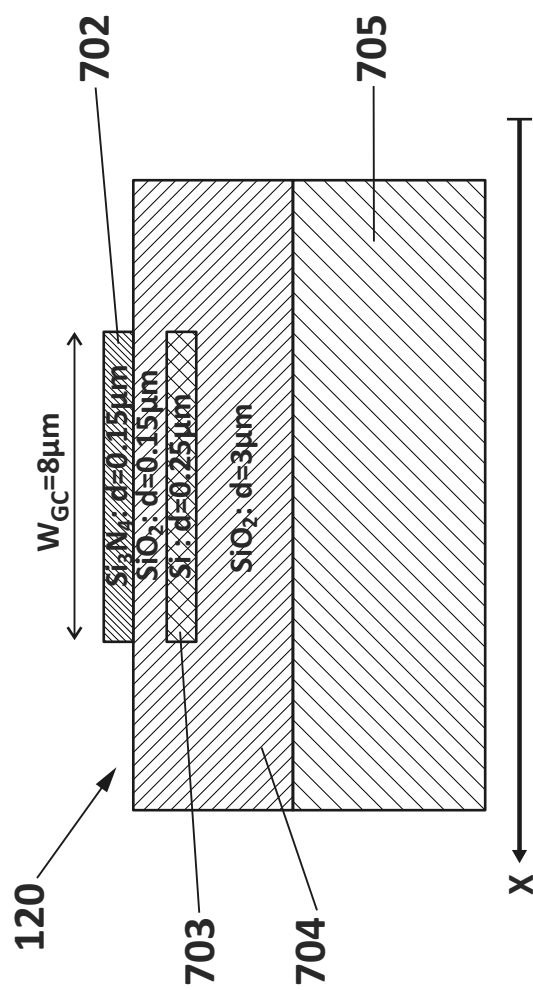


FIG. 11A

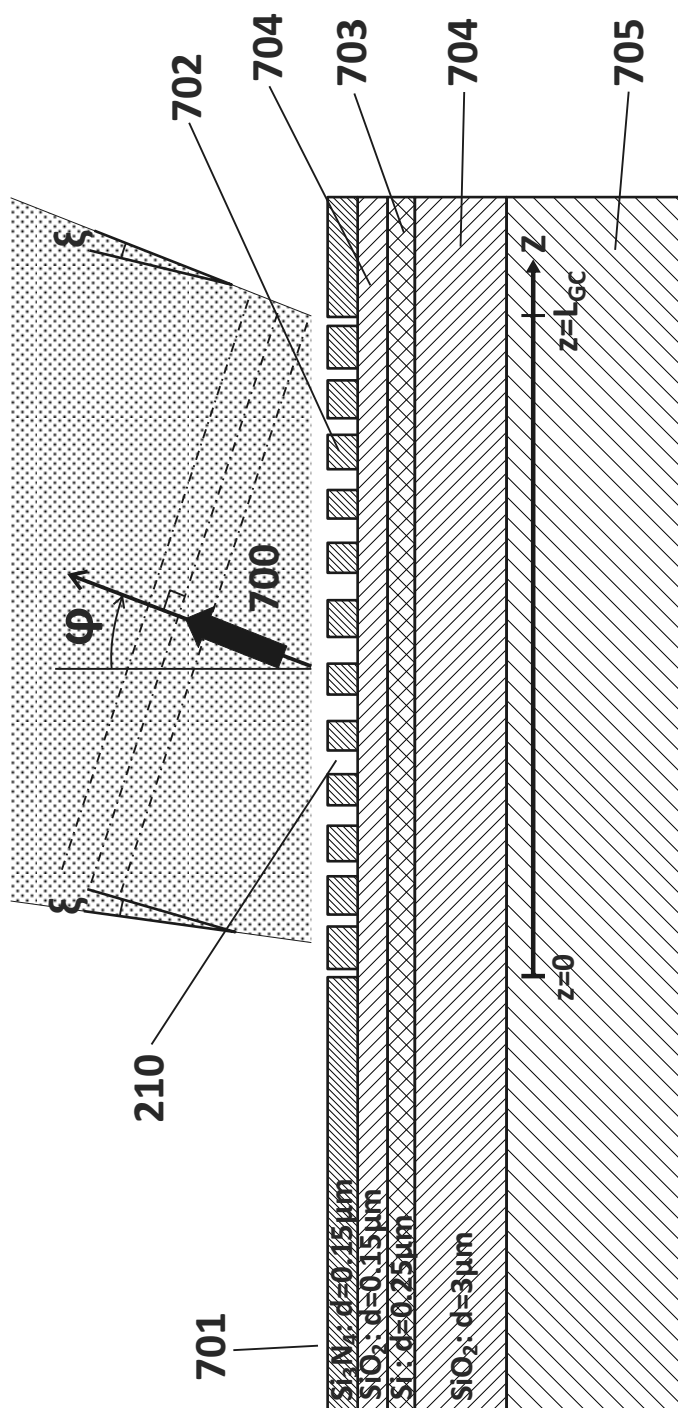


FIG. 11B

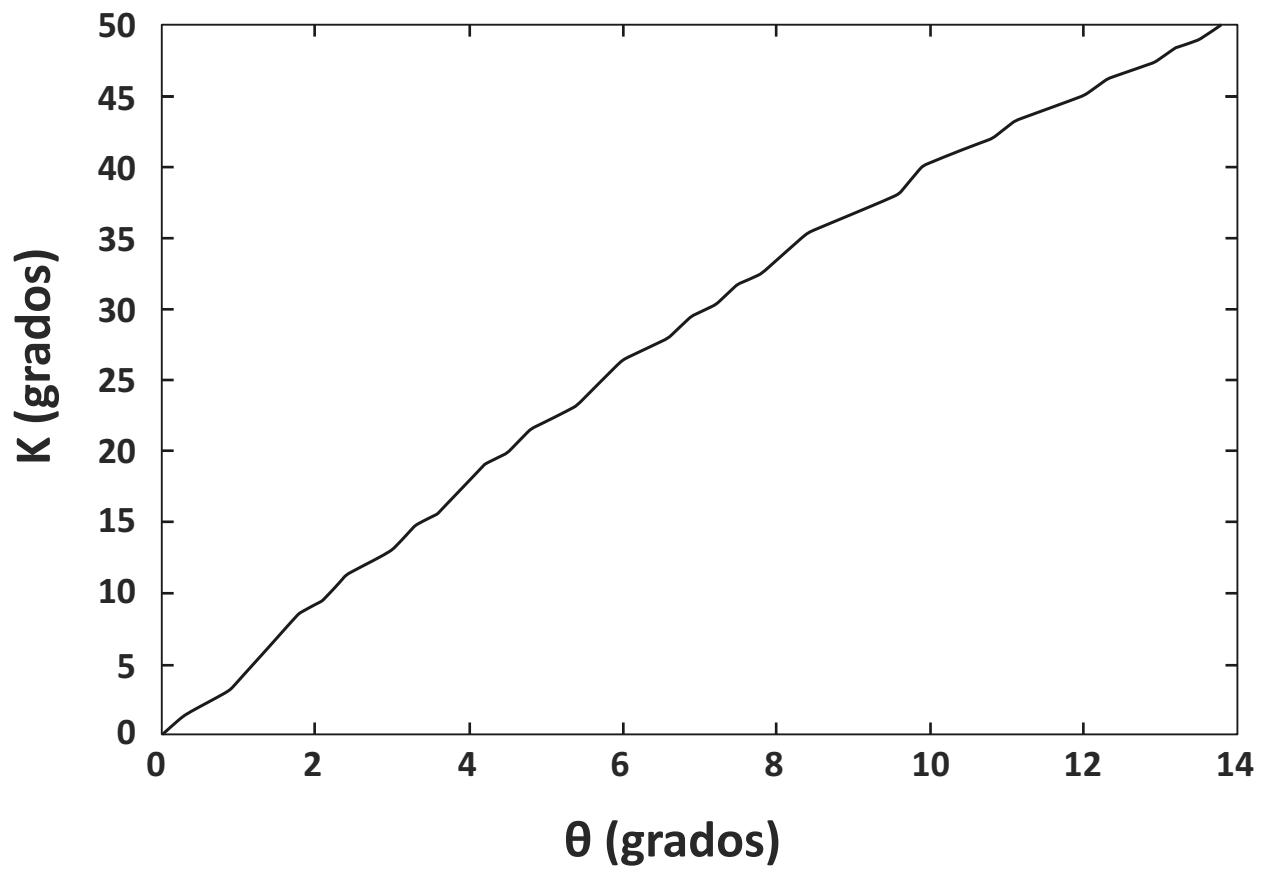


FIG. 12

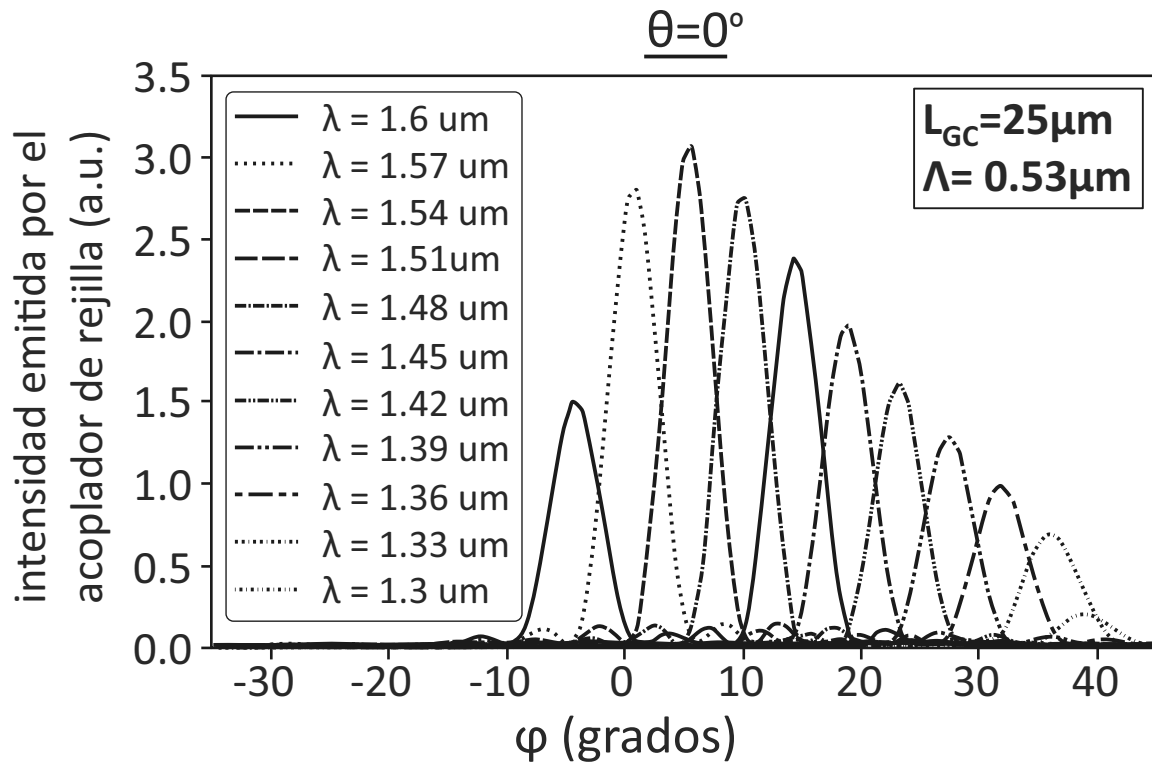


FIG. 13A

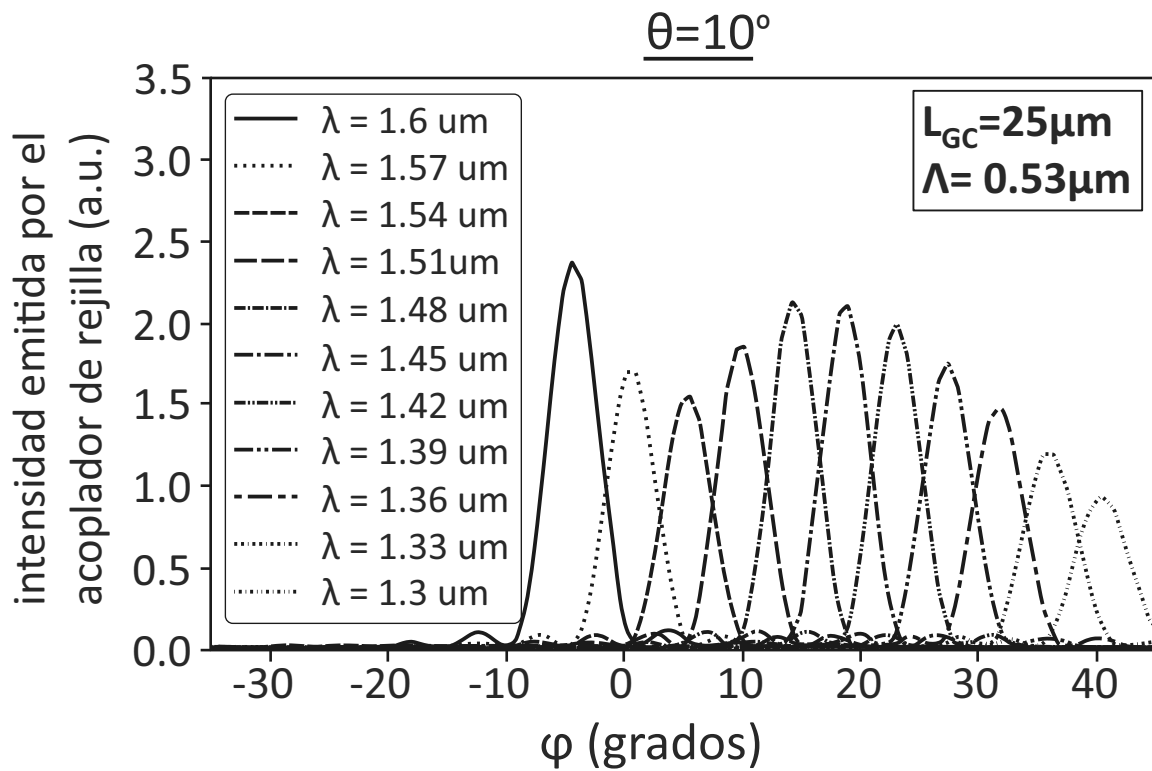


FIG. 13B

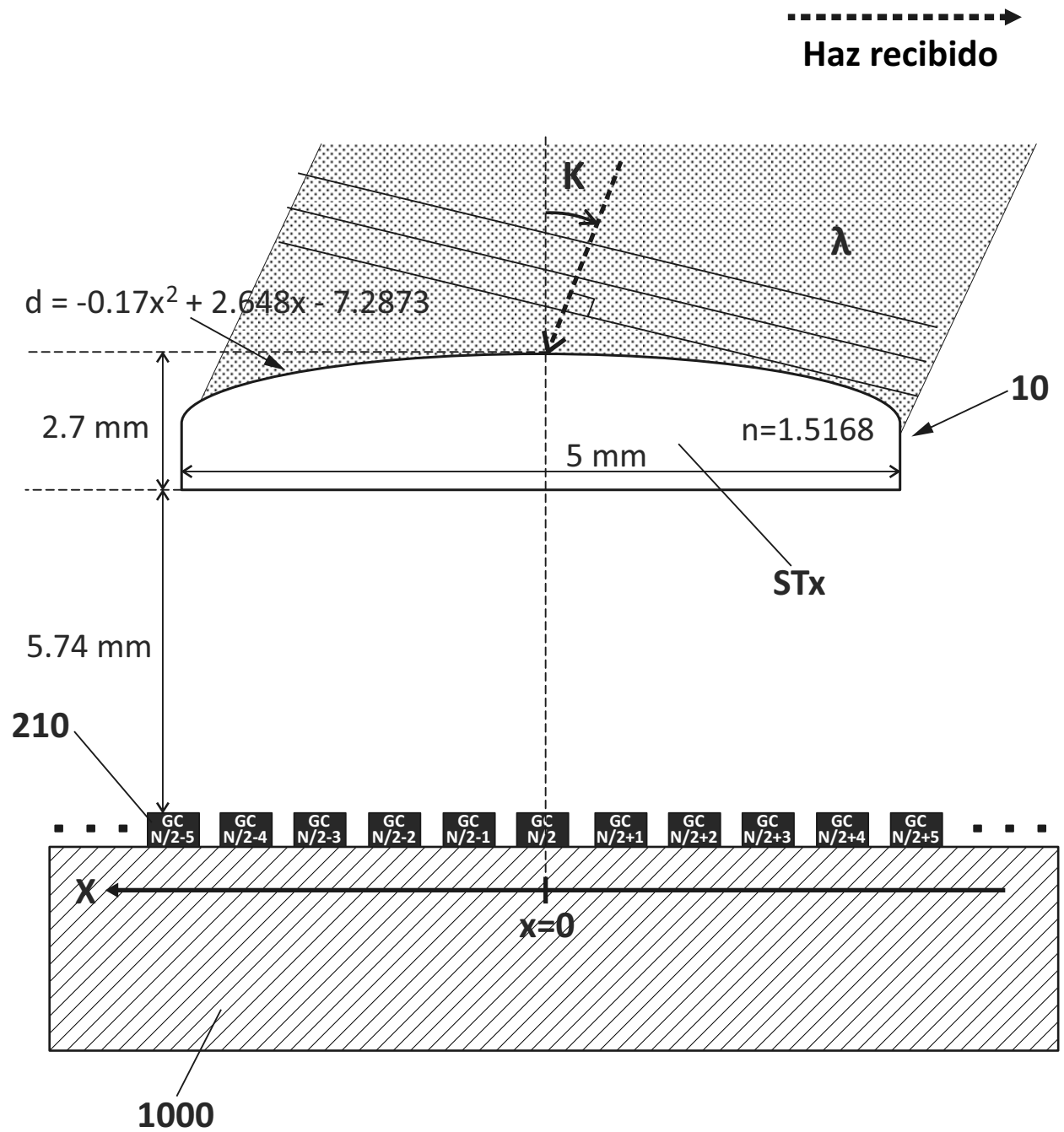


FIG. 14

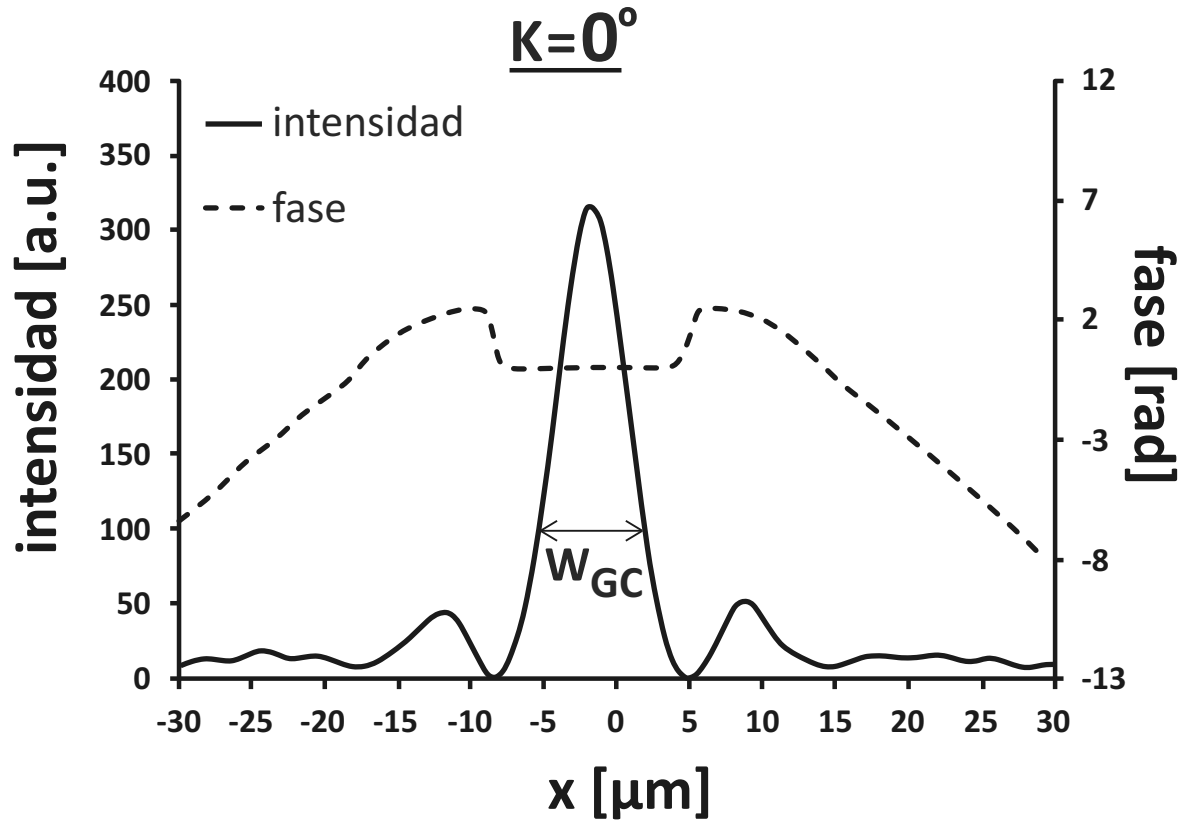


FIG. 15A

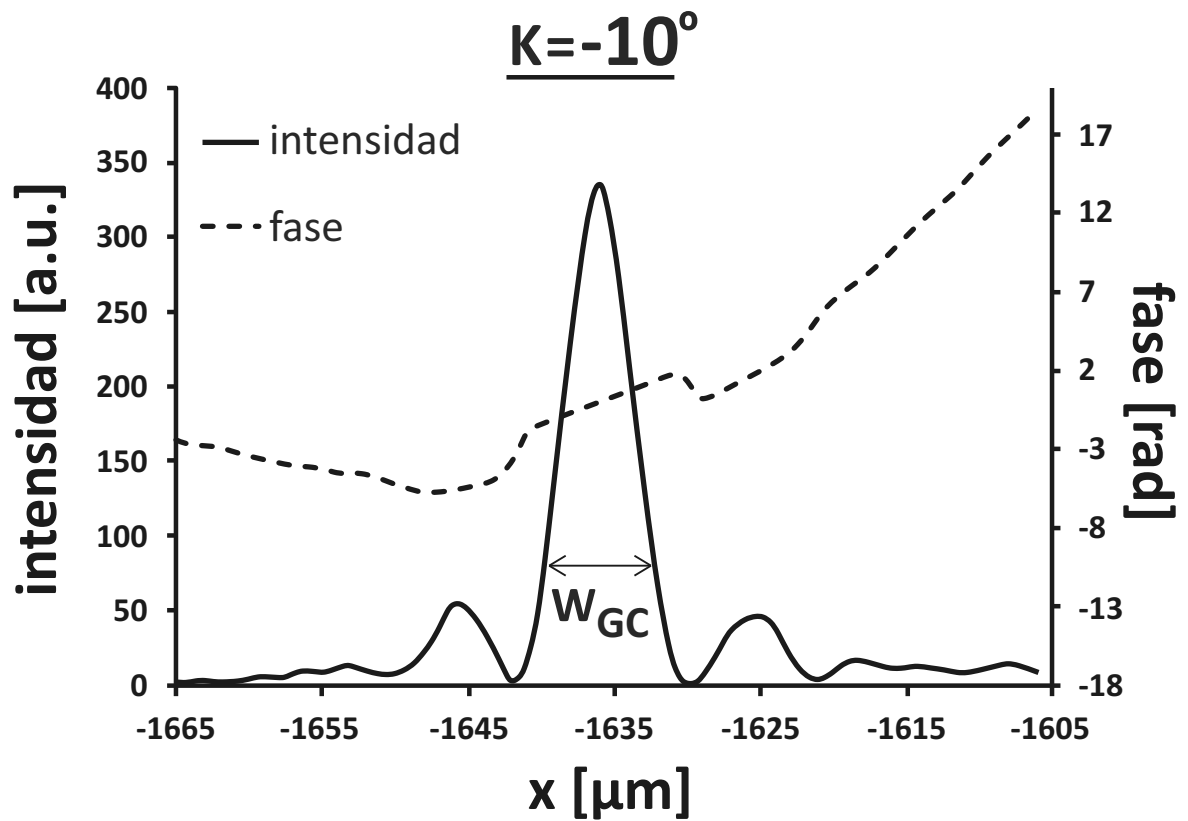
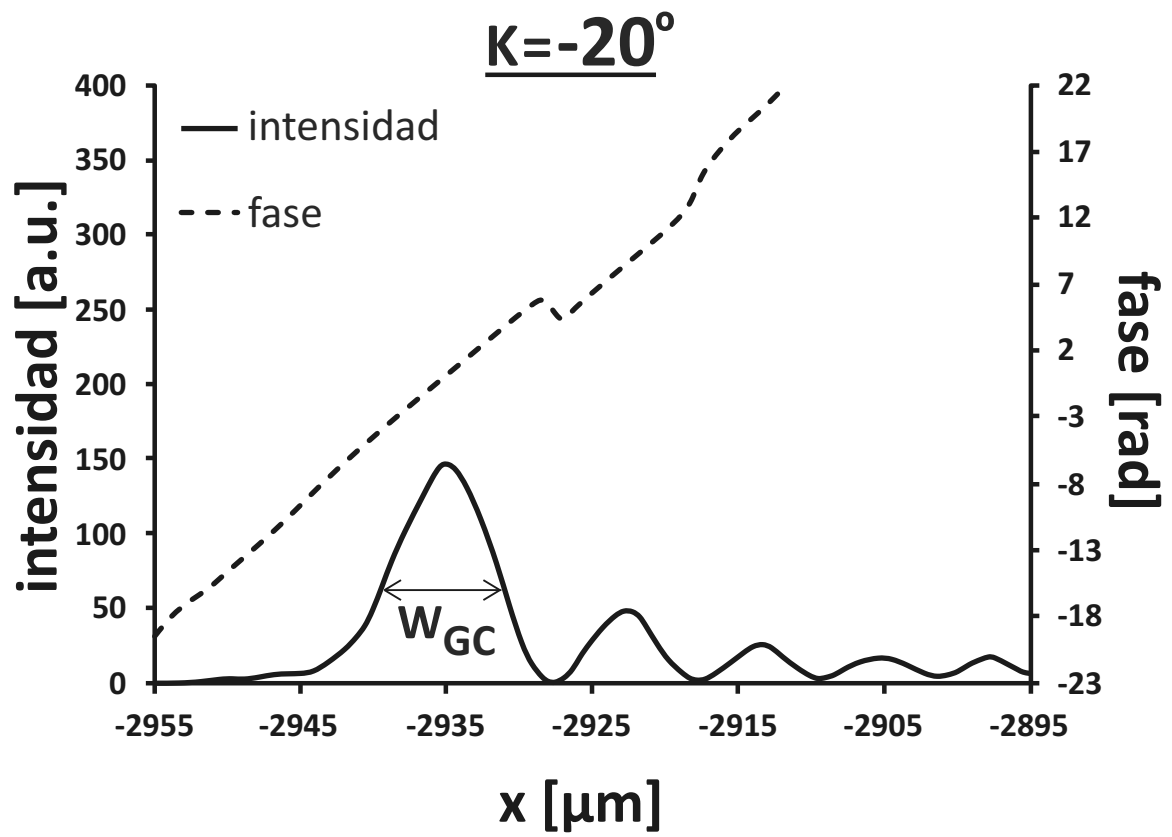


FIG. 15B

**FIG. 15C**



- 21 N.º solicitud: 202330364
22 Fecha de presentación de la solicitud: 10.05.2023
32 Fecha de prioridad:

INFORME SOBRE EL ESTADO DE LA TECNICA

51 Int. cl.: **G01S17/89** (2020.01)
G01S7/481 (2006.01)

DOCUMENTOS RELEVANTES

Categoría	56 Documentos citados	Reivindicaciones afectadas
X	LI CHAO et al.: “Monolithic FMCW Lidar chip with Integrated Transceiver Array and Lens-assisted Beam Steering (LABS)”. 2022 Conference on Lasers and Electro-Optics (CLEO), 15/05/2022 OSA, 15/05/2022, Páginas 1 - 2 [en línea] [recuperado el 11/03/2024], <DOI: doi: 10.1364/CLEO_SI.2022.SS1D.5>, pág. 1, fig. 1; pág. 2, párrafo 1, línea 3, y párrafo 2.	1-7
A	MARCHETTI, R. et al.: “High-efficiency grating-couplers: demonstration of a new design strategy”. Scientific reports, 30/11/2017, Vol. 7, Página 16670 [en línea] [recuperado el 11/03/2024]. Recuperado de Internet <URL: https://www.nature.com/articles/s41598-017-16505-z >, ISSN 2045-2322, <DOI: 10.1038/s41598-017-16505-z>, pág.1, fig. 1.	1-7
A	CN 112771404 A (SILC TECH INC) 07/05/2021, fig. 11.	1-7
Categoría de los documentos citados X: de particular relevancia Y: de particular relevancia combinado con otro/s de la misma categoría A: refleja el estado de la técnica O: referido a divulgación no escrita P: publicado entre la fecha de prioridad y la de presentación de la solicitud E: documento anterior, pero publicado después de la fecha de presentación de la solicitud		
El presente informe ha sido realizado ☒ para todas las reivindicaciones ☐ para las reivindicaciones nº:		
Fecha de realización del informe 11.03.2024	Examinador C. Ortíz Martínez	Página 1/3



- 21 N.º solicitud: 202330364
22 Fecha de presentación de la solicitud: 10.05.2023
32 Fecha de prioridad:

INFORME SOBRE EL ESTADO DE LA TECNICA

51 Int. cl.: **G01S17/89** (2020.01)
G01S7/481 (2006.01)

DOCUMENTOS RELEVANTES

Categoría	56 Documentos citados	Reivindicaciones afectadas
A	JP 2022013729 (SAMSUNG ELECTRONICS CO LTD) 18/01/2022, resumen; párrafos 8, 44.	1-7
A	HOOMAN, ABEDIASL et al.: “Monolithic optical phased-array transceiver in a standard SOI CMOS process”. Optics Express, 20150309., 09/03/2015, Vol. 23, páginas 6509, [en línea] [recuperado el 11/03/2024], <DOI: doi:10.1364/OE.23.006509>, introducción, párrafo 2, líneas 7-8.	1-7
A	MARTIJN J. R. HECK: “Highly integrated optical phased arrays: photonic integrated circuits for optical beam shaping and beam steering”. Nanophotonics, 20160625 de Gruyter, DE, 25/06/2016, Vol. 6 [en línea] [recuperado el 11/03/2024], ISSN 2192-8606, <DOI: doi:10.1515/nanoph-2015-0152>, todo el documento.	1-7
A	SPECTOR, STEVEN J.: “Review of lens-assisted beam steering methods”. Journal of Optical Microsystems, 20220103 Society of Photo-Optical Instrumentation Engineers, 1000 20th St. Bellingham WA 98225-6705 USA, 03/01/2022, Vol. 2, Página 11003, ISSN 2708-5260, [en línea] [recuperado el 11/03/2024] <DOI: doi: 10.1117/1.JOM.2.1.011003>, todo el documento.	1-7

Categoría de los documentos citados X: de particular relevancia Y: de particular relevancia combinado con otro/s de la misma categoría A: refleja el estado de la técnica	O: referido a divulgación no escrita P: publicado entre la fecha de prioridad y la de presentación de la solicitud E: documento anterior, pero publicado después de la fecha de presentación de la solicitud
---	---

El presente informe ha sido realizado ☒ para todas las reivindicaciones ☐ para las reivindicaciones nº:
--

Fecha de realización del informe 11.03.2024	Examinador C. Ortíz Martínez	Página 2/3
--	---	---------------------------------

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

G01S

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

AbS, WPIAP, INTERNET