

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 679 694**

51 Int. Cl.:

G02F 1/00 (2006.01)

G02F 1/355 (2006.01)

G02F 1/29 (2006.01)

G02F 1/31 (2006.01)

H01L 39/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **09.04.2009 PCT/GB2009/000937**

87 Fecha y número de publicación internacional: **15.10.2009 WO09125192**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **09.04.2009 E 09729539 (8)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **30.05.2018 EP 2281217**

54 Título: **El aparato comprende material transparente superconductor**

30 Prioridad:

10.04.2008 GB 0806470

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

30.08.2018

73 Titular/es:

**ASTRIUM LIMITED (100.0%)
Gunnels Wood Road, Stevenage
Hertfordshire SG1 2AS, GB**

72 Inventor/es:

BRANDT, DANIEL

74 Agente/Representante:

PONS ARIÑO, Ángel

ES 2 679 694 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín Europeo de Patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre Concesión de Patentes Europeas).

DESCRIPCIÓN

El aparato comprende material transparente superconductor

5 La presente invención se relaciona con un aparato óptico y elementos ópticos incluidos en dicho aparato óptico, y por ejemplo, se relaciona con el control de índices de refracción o dispersiones de dichos elementos ópticos para proporcionar los efectos ópticos deseados.

10 El recorrido de la luz a través del aparato óptico y la dispersión, el foco, el reflejo o transmisión de la luz por los elementos ópticos, como prismas, lentes y rejillas, dentro del aparato, generalmente depende de los índices de refracción de los elementos ópticos y cómo están ubicados unos respecto a los otros.

15 Las características ópticas, que incluyen el índice de refracción a cierta longitud de onda, de cada elemento óptico, usualmente se fija, y para obtener los efectos o recorridos ópticos deseados, los elementos con las características deseadas deben ser seleccionados y los elementos ópticos deben estar correctamente posicionados y alineados unos respecto a los otros. Para variar el recorrido o los efectos ópticos, los elementos ópticos deberán ser intercambiados por otros elementos con diferentes características, o se requiera mover de los elementos ópticos que a su vez requieren motores y mecanismos precisos y estables para mover los elementos ópticos.

20 Además, el grado al que pueden distinguirse diferentes longitudes de onda se cuantifica por el poder de resolución de los elementos o sistemas ópticos. El poder de resolución proporciona una medida del color de resolución del sistema. En el caso de las rejillas y los prismas el poder de resolución depende del tamaño físico del dispositivo y de su dispersión. La dispersión de un prisma de vidrio convencional es de 85000 m^{-1} , y para obtener altos poderes de resolución se requiere un prisma de gran tamaño físico.

25 Actualmente, los poderes de resolución ultra altos, por ejemplo mayores de 100.000 solo se encuentran disponibles para una pequeña cantidad de institutos especializados. Por ejemplo, el espectrógrafo Echelle en el Instituto Nacional de Estándares (NIST) en Estados Unidos provee un poder de resolución de un orden de hasta 1.000.000, pero mide 10,7 metros de largo y más de 1,5 metros de alto.

30 Se han utilizado conductores transparentes en aplicaciones relacionadas a la visualización, especialmente en la producción de pantallas de visualización. En un ejemplo, se utilizan conductores transparentes en pantallas de visualización LED porque permiten el suministro de circuitos de control que es muy transparente y no bloquea el paso de la luz producida por los LEDs. Asimismo, los conductores transparentes pueden ser utilizados para formar circuitos en paneles solares para que la radiación electromagnética atraviese el circuito y el material activo de las células lo absorba y así aumente su eficiencia. Sin embargo, el material transparente conductor no se utiliza para formar elementos ópticos que proporcionen los efectos y recorridos ópticos deseados.

40 Existen dos tipos diferentes de conductores transparentes: o la sucesión de capas de metal muy finas, Ag, Au o Cu separados por una lámina transparente o semiconductores de óxido de banda prohibida ancha. Un ejemplo del segundo tipo de material conductor transparente es el óxido de indio y estaño (ITO). Se han informado, por ejemplo, Mori, Journal of Applied Physics, 73, 1327, (1992) que en un estudio de procesos de disposición de ITO que se convierte en superconductor a bajas temperaturas. Las propiedades ópticas del material de óxido de indio y estaño en su estado superconductor no fueron consideradas.

45 La publicación de la patente estadounidense US5110792 describe una modulación óptica basada en un material superconductor donde el material cambia de estado superconductor a estado normal.

50 La invención mencionada tiene como objetivo proporcionar un aparato óptico, elementos ópticos o procedimientos mejores o al menos alternativos.

Como primer aspecto independiente se proporciona un elemento óptico que comprende un material transparente superconductor.

55 Al formar un elemento óptico con material transparente superconductor, se proporciona un elemento de alta dispersión en una banda de frecuencia de interés. La dispersión puede desviarse en la región de una longitud de onda crítica. Además, puede proporcionarse un elemento óptico que posee un índice de refracción dependiente de la longitud de la onda que varía con un parámetro físico, como temperatura o campo magnético. El elemento óptico puede proporcionar entonces propiedades ópticas que pueden utilizarse en una variedad de aplicaciones que se benefician de un gran índice de refracción variable y controlable.

60

Por material transparente superconductor se entiende material que, en al menos una parte de la fase superconductora, es al menos parcialmente transparente a la radiación electromagnética en al menos una longitud de onda o intervalo de longitudes de onda. La radiación electromagnética puede comprender luz visible.

- 5 Los efectos descritos aquí pueden surgir de la pérdida de simetría rotacional de la fase U (1) debido a la existencia de la función de las ondas macroscópicas que representan los pares de Cooper presentes en el estado superconductor abordado en la sección teórica a continuación. La fase o estado superconductor se considera como fase o estado en que existe una función de onda macroscópica que representa los portadores de carga superconductora. La transición a un estado de resistencia eléctrica cero asociada con el estado superconductor
10 generalmente tiene un ancho finito, y la resistencia eléctrica puede persistir en el estado superconductor debido a la variedad de sus efectos. Por consiguiente, las referencias al estado o fase aquí nombrados no deberían considerarse limitados a un estado o fase de resistencia eléctrica cero.

- El material transparente superconductor puede ser reglado en un eje óptico del elemento óptico. El material
15 transparente superconductor puede estar formado para proporcionar al menos una propiedad óptica deseada en el estado superconductor. Al menos una propiedad óptica deseada puede comprender una propiedad transmisiva, reflectiva, dispersiva o de refracción.

- El material transparente superconductor puede ser moldeado para proporcionar las características ópticas
20 deseadas. El material transparente superconductor puede ser moldeado para proporcionar al menos una característica óptica deseada en el estado superconductor.

- El material transparente superconductor puede ser formado para tener al menos una propiedad electrónica deseada. Al menos una propiedad electrónica deseada puede ser una propiedad electrónica deseada en el estado
25 superconductor. Al menos una propiedad electrónica deseada puede comprender un valor o intervalo de valores para al menos uno de los siguientes: la concentración de portadores de carga superconductora; una variación de la concentración de portadores de carga superconductora con temperatura, presión o campo magnético; una brecha energética superconductora; una temperatura crítica, un campo o longitud de onda; o una banda prohibida transparente.

- 30 El material transparente superconductor puede formarse para que al menos en una región del estado superconductor la longitud de onda superconductora crítica esté dentro de una banda prohibida transparente del material transparente superconductor.

- 35 El material transparente superconductor puede ser una capa de material superconductor de un espesor variable. La capa de material transparente superconductor puede tener un perfil cuneiforme.

El elemento óptico puede comprender un sustrato y tener una estructura en capas.

- 40 El material superconductor puede depositarse en el sustrato directamente o al menos en una capa inmediata. El sustrato puede comprender, por ejemplo vidrio o poliéster. El sustrato puede comprender una lente acromática de vidrio. La utilización de una lente acromática de vidrio puede minimizar los efectos ópticos del sustrato.

- El elemento óptico puede comprender posteriormente una capa metálica en contacto con el material transparente
45 superconductor. Si la capa metálica comprende un metal con una fuerte correlación con la función de la onda del electrón, como la plata, entonces la capa metálica puede proporcionar un efecto de proximidad inversa en la que la temperatura superconductora de transición y/o el campo magnético crítico del material transparente superconductor es aumentado, por ejemplo asociado con la concentración de la carga del vehículo.

- 50 De manera alternativa, la capa metálica puede comprender otros metales que proporcionan un efecto de proximidad en lugar de un efecto de proximidad inverso, y así reducir la concentración de la carga del vehículo en el material transparente superconductor. Dicha capa metálica puede ser utilizada para ajustar el material transparente superconductor para que tenga las características deseadas para una aplicación determinada. La utilización de una
55 capa metálica que proporciona un efecto de proximidad puede ser utilizada, por ejemplo, para proporcionar una mejor estabilidad.

- El material transparente superconductor puede comprender o estar formado por un material semiconductor de banda
60 prohibida ancha. El material transparente superconductor puede formarse al recocer o dopar el material semiconductor de la banda prohibida ancha.

El recocido puede comprender recocido en un aire de la atmósfera del aire y/o a una temperatura sustancialmente igual a 140°C. El recocido puede comprender recocido a una temperatura de un intervalo entre 120°C y 160°.

5 El material transparente superconductor puede comprender, o estar formado por material de óxido metálico. El material de óxido metálico puede ser un material de óxido metálico dopado. El material superconductor comprende una mezcla de al menos dos materiales de óxido metálico.

El material superconductor puede ser un material intermetálico, por ejemplo un material intermetálico de óxido.

10 El material transparente superconductor puede comprender al menos un material de óxido de titanio, un material de óxido de zinc, un material de óxido de cadmio, un material de indio, un compuesto de óxido de estaño, un material de óxido fluorado y un material de óxido molibdeno.

15 El material superconductor puede comprender un óxido de indio y estaño (ITO o InO:Sn). El material superconductor puede comprender al menos uno de los siguientes: $Ti_{1-x}Nb_xO_2$, $Cd_{1-x}Y_xSb_2O_6$, $SnO_2:F$, $ZNO:Al$, Cd_2SnO_4 , y $In_4Sn_3O_2$.

20 De manera alternativa, el material superconductor puede comprender material superconductor de un elevado T_c . El material superconductor de elevado T_c puede comprender un compuesto a base de Tl-, Ba- or Hg-, por ejemplo $Tl_2Ba_2Ca_2Cu_2O_8$, que puede ser dopado o no dopado. Las técnicas de enfriamiento de He líquido pueden no ser necesarias para al menos algunos materiales superconductores con T_c elevado y en su lugar se utilizarán técnicas de enfriamiento con N_2 líquido o enfriadores de tubo de etapa simple de pulso o enfriadores de esterlina.

25 El elemento óptico puede ser un prisma, una lente, un conmutador, un divisor de haz, un enrutador, un filtro, un dispositivo láser, un dispositivo no lineal o una compuerta lógica.

30 El elemento óptico puede ser étalon o un interferómetro. El elemento óptico puede configurarse para que cuando se utilice la radiación electromagnética se refleje en al menos uno de los límites del material transparente superconductor. La radiación electromagnética puede estar reflejada desde cada uno de los límites del material transparente superconductor. El elemento óptico puede comprender al menos dos capas reflectoras y el material transparente superconductor puede estar ubicado entre al menos dos capas reflectoras. De manera alternativa, el reflejo puede obtenerse de un desajuste en el índice de refracción entre el material transparente superconductor y su entorno, por ejemplo aire o vacío, y/o una discordancia en el índice de refracción entre el material transparente superconductor y el o un sustrato.

35 El elemento óptico puede comprender un arreglo de prismas y cada uno comprende material transparente superconductor. El arreglo puede ser un unidimensional o bidimensional. El arreglo puede ser un arreglo periódico. El arreglo de prismas puede formar un prisma de Fresnel.

40 El elemento óptico puede entonces comprender al menos dos capas reflectoras, y el material transparente superconductor puede estar ubicado entre al menos dos capas reflectoras.

45 El elemento óptico puede entonces comprender una cavidad resonantes y el material transparente superconductor puede estar ubicado en la cavidad resonante.

El material transparente superconductores puede estar formado y dispuesto para proporcionar un efecto magneto óptico en el estado superconductor.

50 El material transparente superconductor puede estar formado o dispuesto para proporcionar un medio de transmisión o reflejo de radiación electromagnética en el estado superconductor. El elemento óptico puede estar formado y ubicado para que el material transparente superconductor en el estado superconductor proporcione al menos un efecto en la radiación electromagnética. El efecto puede ser al menos un efecto magneto óptico, un efecto no lineal y un efecto Kerr.

55 El elemento transparente superconductor puede estar formando y dispuesto para estar operable en el estado superconductor como un medio no lineal. El material transparente superconductor puede estar formado y dispuesto para estar operable en el estado superconductor como un medio de Kerr.

60 En un aspecto independiente posterior, se proporciona un aparato óptico que comprende al menos un elemento óptico.

El elemento óptico puede proporcionarse en un eje óptico del aparato.

5 El aparato óptico puede comprender posteriormente medios para controlar al menos uno de los índices de refracción y la dispersión del material transparente superconductor. El aparato óptico puede comprender medios de control para controlar al menos una de las propiedades del material transparente superconductor en el estado superconductor. Al menos una propiedad puede comprender la concentración del portador de carga superconductora del material transparente superconductor de cada elemento óptico en el estado superconductor. El medio de control puede entonces controlar al menos uno de los índices de refracción y la dispersión del material
10 transparente superconductor.

El aparato puede comprender un sistema de control para controlar al menos un parámetro físico del cual el material transparente superconductor es sujeto y/o controla al menos una propiedad de la radiación electromagnética proporcionada al material transparente superconductor. El sistema de control puede comprender al menos uno de
15 los controladores de temperatura, un termómetro y sistema calentador y de enfriamiento. De manera alternativa o adicional el sistema de control puede comprender al menos una fuente del campo magnético, un blindaje magnético y un circuito de control. De manera alternativa o adicional el sistema de control puede comprender al menos una fuente de presión, una celda de presión y un circuito de control. De manera alternativa o adicional el circuito de control puede comprender al menos una fuente de radiación electromagnética, un controlador para controlar el
20 funcionamiento de la fuente, y uno o más elementos ópticos ubicados en un eje óptico del aparato y ubicados para controlar o seleccionar al menos una propiedad de la radiación electromagnética proporcionada para salir del material transparente superconductor. El medio de control puede comprender el sistema de control.

El o un medio de control puede estar configurado para controlar la temperatura del material transparente superconductor y/o el campo magnético del que el material transparente superconductor es sujeto.
25

El o un medio de control puede estar configurado para controlar la presión a la que el material transparente superconductor está sujeta.

30 El índice de refracción y la dispersión del material transparente superconductor en el estado superconductor usualmente depende fuertemente de la longitud de onda, y el medio para controlar el índice de refracción y/o la dispersión del material transparente superconductor puede estar configurado para controlar el índice de refracción o la dispersión para tener al menos una característica deseada a al menos una longitud de onda o intervalo de longitudes de onda. El medio para controlar el índice de refracción puede estar configurado para controlar λ_{crit} .
35

El medio de control puede configurarse para controlar si la radiación electromagnética de una longitud de onda predeterminada o las longitudes de onda son reflejadas transmitidas o absorbidas.

40 El medio de control puede configurarse para controlar el trayecto de la interacción que sigue la radiación electromagnética con el material transparente superconductor. El medio de control puede configurarse para controlar el trayecto de la radiación electromagnética que tiene una longitud de onda predeterminada o un intervalo de longitudes de onda.

45 El medio de control puede configurarse para guiar la radiación electromagnética recibida a un destino predeterminado. De esta manera, un trayecto deseado puede lograrse sin necesidad de convertir señales ópticas en señales eléctricas y nuevamente en señales ópticas. De esta manera, el estado cuántico del fotón o los fotones que conforman la señal óptica pueden conservarse y así proporcionar un ruteo cuántico sin demolición.

50 El aparato óptico puede entonces comprender un detector para detectar radiación electromagnética de al menos un elemento óptico. El detector puede comprender un arreglo de detectores.

55 El aparato puede comprender posteriormente medios para monitorear cambios en el índice de refracción o la dispersión del material superconductor. De manera alternativa o adicional el aparato puede comprender medios para recibir radiación electromagnética de una longitud de onda predeterminada o un intervalo de longitudes de onda de al menos un elemento óptico y medios para monitorear variación en la radiación electromagnética recibida, por ejemplo la posición de la radiación electromagnética en un arreglo de detectores.

60 El medio de control puede estar configurado para controlar a ambos al menos una propiedad de radiación electromagnética aplicada al material transparente superconductor y al menos una propiedad del material transparente superconductor en el estado superconductor y de esa manera proporcionar una respuesta no lineal. La

respuesta no lineal puede comprender una respuesta magneto óptica.

El medio de control puede configurarse para controlar a ambos, al menos una propiedad de la radiación electromagnética aplicada al material transparente superconductor y al menos una propiedad del material
5 transparente superconductor en el estado superconductor y así generar pulsos de luz ultracortos, o proporcionar modo de bloqueo de Kerr, o para enfocarse en sí mismo, o para proporcionar una generación de supercontinuo.

El aparato óptico puede comprender una fuente de radiación para aplicar radiación electromagnética a al menos un
10 elemento óptico.

El aparato óptico puede comprender posteriormente medios para aplicar radiación electromagnética a al menos uno de los elementos ópticos, y los medios para aplicar radiación electromagnética puede configurarse para controlar la radiación electromagnética aplicada para que sea tal que altere el índice de refracción del material transparente
15 superconductor.

El medio para aplicar la radiación electromagnética pueden configurarse para controlar la intensidad y/o la frecuencia o longitud de onda de la radiación electromagnética aplicada. El medio para aplicar radiación electromagnética puede configurarse para controlar que la radiación electromagnética tenga el componente de campo magnético deseado.
20

El medio para aplicar radiación electromagnética puede configurarse para aplicar radiación electromagnética de al menos una primera o segunda intensidad, y la radiación electromagnética de una segunda intensidad puede tener un componente de campo magnético que altera el índice de refracción del material transparente superconductor para que la radiación electromagnética de la segunda intensidad siga un trayecto diferente al de la radiación
25 electromagnética de la primera intensidad que sigue la interacción con el material transparente superconductor.

El medio para aplicar la radiación electromagnética puede comprender al menos dos entradas ópticas, que pueden estar ubicadas de manera que al estar en funcionamiento la radiación electromagnética de al menos dos entradas ópticas se combine y proporcione un elemento o al menos uno de los elementos ópticos. Cuando se encuentra en
30 funcionamiento, es posible que una, dos o ninguna de las entradas proporcione radiación electromagnética. Los medios para aplicar radiación electromagnética pueden configurarse para operar de manera que la radiación electromagnética de alguna de las entradas ópticas aisladas tiene una intensidad menor o igual a la primera intensidad y de manera que la radiación electromagnética de ambas entradas combinadas tiene una intensidad mayor o igual a la segunda intensidad. De esta manera, el aparato óptico puede estar configurado para realizar
35 operaciones lógicas en las entradas ópticas.

La radiación electromagnética de la primera intensidad puede estar reflejada desde el material transparente superconductor y la radiación electromagnética de la segunda intensidad puede ser transmitida por el material transparente superconductor.
40

El aparato óptico puede ser: un espectrómetro, un enrutador óptico, un interferómetro, un sensor de temperatura, presión o campo magnético; un procesador óptico o computadora; un láser, un dispositivo láser de línea fina; un filtro, un divisor de haz; un rayo láser direccional; un banco óptico personalizable; un dispositivo no lineal; un generador de pulso de luz ultracorta; un dispositivo de bloqueo de modo Kerr; un dispositivo de auto-enfoque; un
45 dispositivo de generación de supercontinuo o un monocromador

En un aspecto independiente posterior se proporciona un método de control para la radiación electromagnética, que comprende material transparente superconductor de enfriamiento; controla al menos una de las propiedades del material transparente superconductor para que tenga al menos una característica óptica deseada y aplique radiación
50 electromagnética al material transparente superconductor.

Controlar al menos una de las propiedades del material transparente superconductor puede comprender controlar la concentración del portador de carga superconductor del material transparente superconductor en el estado superconductor que puede, así, controlar al menos uno de los índices de refracción y la dispersión del material
55 transparente superconductor.

Controlar al menos una de las propiedades del material transparente superconductor puede comprender controlar la temperatura del material transparente superconductor, o controlar el campo magnético del que el material transparente superconductor es sujeto.
60

De manera alternativa o adicional, controlar al menos una de las propiedades del material transparente superconductor puede comprender controlar la presión del que el material superconductor es sujeto.

5 Al menos una propiedad del material transparente superconductor puede ser controlada, por ejemplo, al controlar la temperatura, presión o campo magnético para dirigir la radiación electromagnética de al menos una longitud de onda predeterminada o un intervalo de longitud de ondas a un destino predeterminado.

10 El método puede comprender posteriormente controlar el componente del campo magnético de la radiación electromagnética aplicada al material superconductor de manera que altere el índice de refracción del material transparente superconductor.

15 El método puede comprender posteriormente seleccionar al menos una de las propiedades de la radiación del campo electromagnético aplicada al material transparente superconductor en el estado superconductor y controlar la concentración del portador de carga superconductor del material transparente superconductor en el estado superconductor y así proporcionar una respuesta magneto óptica.

20 El método puede comprender posteriormente seleccionar al menos una de las propiedades de la radiación electromagnética aplicada al material transparente superconductor en el estado superconductor y controlar la concentración del portador de carga superconductor del material transparente superconductor en el estado superconductor y así proporcionar una respuesta óptica no lineal.

25 El método puede comprender posteriormente seleccionar al menos una de las propiedades de la radiación electromagnética aplicada al material transparente superconductor en el estado superconductor y controlar la concentración del portador de carga superconductor del material transparente superconductor en el estado superconductor para generar pulsos de luz ultracortos para proporcionar el modo de boqueo de Kerr, auto-enfoque o una generación de supercontinuo.

Al menos una propiedad puede comprender la concentración de portador de carga superconductor.

30 En un aspecto independiente se proporciona un sensor para detectar la variación de al menos un parámetro físico, que comprende medios para dirigir la radiación electromagnética para el material transparente superconductor que es sujeto de al menos un parámetro físico, medio para monitorear la variación en la radiación electromagnética siguiendo la interacción con el material transparente superconductor y los medios para determinar una variación de al menos un parámetro físico que depende de la variación de la radiación electromagnética.

35 La variación puede comprender variación en la posición de la radiación electromagnética en un arreglo de detectores y/o la variación en la intensidad y/o longitud de onda.

40 Con una calibración adecuada, cualquier cambio en al menos un parámetro físico del material transparente superconductor es sujeto puede ser monitoreado. Al menos un parámetro físico puede comprender temperatura, presión o campo magnético. El sensor puede ser, por ejemplo, un bolómetro, un termómetro, un sensor de presión o de campo magnético.

45 El aparato puede configurarse para operar en el estado superconductor, cerca de la transición superconductor, donde el índice de refracción varía fuertemente con temperatura, presión o campo magnético, y así proporciona una temperatura sensible, presión o medidor de campo magnético.

50 En relación a la invención, se proporciona un método de detección de variación de al menos un parámetro físico, que comprende dirigir la radiación electromagnética a un material transparente superconductor sujeto de al menos un parámetro físico, que monitorea la variación de la radiación electromagnética que sigue la interacción con el material transparente superconductor, y determina una variación de al menos un parámetro físico que depende de la variación en la radiación electromagnética.

55 Al menos un parámetro físico puede ser la temperatura, la presión o el campo magnético.

En otro aspecto independiente de la invención se proporciona un bolómetro que comprende material transparente superconductor.

60 En un aspecto independiente de la invención se proporciona un dispositivo de desfase para retrasar la radiación electromagnética que comprende material transparente superconductor y medios para dirigir la radiación

electromagnética a través del material transparente superconductor.

En relación a la invención se proporciona un método de radiación electromagnética lenta que comprende pasar la radiación electromagnética a través del material transparente superconductor.

5

En relación a la invención se proporciona un método de producir un elemento óptico que comprende proporcionar material transparente superconductor en una forma deseada en un eje óptico del elemento óptico. El método puede comprender moldear el material transparente superconductor para proporcionar las características ópticas deseadas.

10

El método puede comprender formar el material transparente superconductor para tener al menos una propiedad electrónica deseada en el estado superconductor.

15 El método puede comprender formar el material transparente superconductor para que en al menos una región del estado superconductor, la longitud de onda crítica superconductor esté dentro de un espacio de banda prohibida transparente del material transparente semiconductor.

El método puede comprender depositar el material transparente superconductor en un sustrato.

20 El método puede comprender controlar el nivel del oxígeno proporcionado durante la deposición del material transparente superconductor, y así controlar las propiedades eléctricas y/o materiales del material transparente semiconductor.

25 El método puede comprender controlar la estequiometría del material transparente superconductor y así controlar las propiedades eléctricas y/o materiales del material transparente semiconductor.

El método puede comprender recocer el material transparente superconductor.

30 El método puede comprender proporcionar una capa metálica en contacto con el material transparente superconductor.

35 El material transparente superconductor puede comprender o estar formado por una banda prohibida ancha de material semiconductor. El material transparente superconductor puede comprender, o estar formado por material de óxido metálico. El material transparente superconductor puede comprender al menos un material de óxido de titanio, un material de óxido de zinc, un material de óxido de cadmio, un material de indio, un compuesto de óxido de estaño, un material de óxido fluorado y un material de óxido molibdeno. El material transparente superconductor puede comprender material intermetálico. El material transparente semiconductor comprende óxido de indio y estaño (ITO)

40 El método puede comprender formar el elemento óptico para que sea operable como al menos un prisma, lentes, interruptor, divisor de haz, enrutador, filtro, étalon, interferómetro, dispositivo láser, dispositivo no lineal o compuerta lógica.

45 En un aspecto independiente posterior, se proporciona un elemento óptico configurado para operar de manera que los efectos electromagnéticos de la masa en reposo de fotones distinta de cero ocurran dentro del elemento, asociado con ruptura invariante de gauge dentro del material superconductor.

50 En otro aspecto independiente se proporciona un elemento óptico sustancial descrito aquí, con referencia a los dibujos adjuntos

En un aspecto independiente posterior se proporciona un aparato sustancial descrito aquí y hace referencia a los dibujos adjuntos.

55 En otro aspecto independiente se proporciona un método sustancial aquí descrito que hace referencia a los dibujos adjuntos.

Cualquier característica en un aspecto de la invención puede aplicarse a otro aspecto de la invención en una combinación adecuada. Especialmente, las características del aparato pueden ser aplicadas a las características del método y viceversa.

60

A continuación se describirán características de realizaciones de la invención, a título de ejemplo, con referencia a los dibujos adjuntos, en los cuales:

- La Figura 1 es un diagrama esquemático de un prisma de acuerdo con la realización;
- 5 La figura 2 es un gráfico de resistividad de una lámina de ITO versus el nivel de flujo de oxígeno durante el depósito;
- La figura 3a es un gráfico de la variación del índice de refracción de grupo, n_g , de óITO como función de la longitud de onda, λ ;
- La figura 3b es un gráfico de variación de la dispersión de ITO de la figura 2a como función de la longitud de onda, λ ;
- La Figura 4 es un diagrama esquemático de un étalon o interferómetro.
- 10 Las figuras 5a, 5b y 5c son gráficos de la respuesta de étalon para un étalon convencional, y una respuesta de étalon para un étalon transparente superconductor sin y con reflectores externos respectivamente;
- Las figuras 6a y 6b son diagramas esquemáticos de un ordenamiento óptico de ruteo;
- Las figuras 7a y 7b son diagramas esquemáticos que muestran realizaciones alternativas en general;
- Las figuras 8a y 8b son diagramas esquemáticas de una compuerta lógica;
- 15 La Figura 9 es un diagrama esquemático de una compuerta lógica de longitud de onda múltiple;
- La Figura 10 es un diagrama esquemático de un sensor;
- Las figuras 11a y 11b son gráficos que muestran la variación de los componentes reales e imaginarios de la fase y la velocidad grupal como función de la longitud de onda para un elemento transparente superconductor;
- La Figura 12 es un diagrama esquemático de un prisma convencional;
- 20 La Figura 13 es un diagrama esquemático de un prisma transparente superconductor;
- La figura 14 es un gráfico de poder de resolución con longitud de onda para un prisma transparente superconductor;
- La Figura 15 es un diagrama esquemático de un prisma superconductor posterior;
- La figura 16 es un gráfico de variación de índice de refracción de un elemento transparente superconductor con temperatura y flujo magnético;
- 25 La figura 17a es un gráfico de variación con potencia del rayo del índice de refracción debido al efecto Kerr, y la variación en el índice de refracción del elemento transparente superconductor; y
- La figura 18 es un gráfico del equivalente no lineal del elemento transparente superconductor como función de temperatura y la densidad del flujo magnético aplicado.
- 30 Se ha encontrado, en relación con la presente invención, que los materiales transparentes superconductores en estado superconductor pueden proporcionar dispersiones que muchas veces son más elevadas que las de los materiales convencionales.

- Como se describirá con más detalle a continuación, la velocidad de la luz es mucho más lenta en materiales transparentes superconductores cuando se encuentra en estado superconductor que al vacío como ha sido cuantificado en el índice de refracción. Los materiales convencionales alcanzan índices de refracción de ~ 5-6 mientras que al menos algunos de los materiales transparentes superconductores aquí descritos alcanzan índices mayores a 500 en estado superconductor, en la práctica. Incluso índices de refracción mayores son alcanzables con materiales transparentes superconductores cuando existe una elevada precisión del control de la temperatura y el campo magnético y un elevado control sobre la longitud de onda de la radiación electromagnética incidente.
- 35
- 40

- El índice de refracción proporciona una medida del ángulo a través de la cual la luz cambia su trayecto cuando ingresa en el material. La fracción de luz reflejada desde la superficie de un material depende del índice de refracción. Un índice de refracción elevado corresponde a un gran cambio en la dirección o a una gran fracción de la luz reflejada.
- 45

- Se ha encontrado, de acuerdo con la presente invención, que las dispersiones extremadamente elevadas, y en consecuencia poderes de resolución extremadamente elevados, pueden ser proporcionados por los materiales transparentes superconductores sobre una banda de onda angosta determinada por las características del material transparente superconductor, y que la banda de onda activa pueda ser controlada, tanto al controlar las características del material o los parámetros físicos, como la temperatura, la presión y el campo magnético del que el material es sujeto. De esta manera, las propiedades del material pueden ser controladas. Lejos de la banda de onda activa, la luz puede atravesar el material casi sin restricciones. Esto les permite a los componentes ópticos que pueden ser controlados de manera selectiva ser transparentes, reflejar una fracción de luz predeterminada (por ejemplo para proporcionar división de haz) o alterar su curso.
- 50
- 55

- Varias realizaciones serán descritas a continuación. Dichas realizaciones utilizan la dispersión de propiedades de los materiales transparentes superconductores para proporcionar elementos ópticos y aparatos que poseen diferentes aplicaciones. Se describe también la base teórica para la dispersión de propiedades del material transparente superconductor.
- 60

Un prisma 2 de acuerdo con la realización que muestra la figura 1. El prisma comprende una capa de óxido de indio y estaño (ITO) 4 depositado en un sustrato 6 transparente de vidrio o poliéster. En el ejemplo exhibido, el sustrato es una lente acromática. El prisma es alineado con un arreglo de detector 8, que comprende un arreglo de elementos detectores CCD o CMOS. El prisma 2 está montado en una masa termal 12 que incluye termómetro y un circuito calentador (no exhibido) controlado por el controlador 14.

Pueden utilizarse cualquier termómetro adecuado y circuito calentador. Los controladores de temperatura comúnmente disponibles para su venta pueden proporcionar control a un nivel de 500 μ K. De manera alternativa, pueden utilizarse controladores de temperatura que proporcionan control con una precisión de 0.2 μ K, por ejemplo como se describen en arXiv:cond-mat/0305469v2, 2003. Se proporcionará mayor estabilidad termal al incrementar la masa termal.

El prisma 2 y la masa termal están dentro un dispositivo de enfriamiento 16, en este caso una disolución refrigeradora, o refrigerador bombeado He⁴.

El termómetro y el circuito del calentador, las técnicas de control de la temperatura y los dispositivos de enfriamiento utilizados dependen, en la práctica, de los tiempos de la temperatura de operación, que como resultado depende de la temperatura de transición superconductor del material transparente superconductor. Por ejemplo, pueden utilizarse para materiales superconductores con un T_c elevado.

El prisma también puede ubicarse dentro del blindaje magnético (no exhibido), depende del nivel de sensibilidad requerido por el aparato. El blindaje magnético puede ser, por ejemplo, mu-metal y/o blindaje criopérmico y puede proporcionar blindaje en el nivel nT debajo. Además, un imán solenoide superconductor puede proporcionarse, dentro del blindaje, para aplicar un campo magnético deseado.

El prisma es moldeado para proporcionar características ópticas deseadas. En este caso, el prisma una cara frontal inclinada, y tiene un espesor de aproximadamente de 100 μ m.

La capa transparente superconductor puede estar formada por cualquier procedimiento que sea adecuado para formar estructuras en capas, que incluyan cualquier método de deposición catódica o al vapor.

Para lograr una lámina de óxido de indio y estaño que pueda someterse a una transición superconductor, se busca que se deposite la lámina para lograr un parámetro de desorden deseado. El parámetro de desorden determina si el comportamiento de la temperatura baja de la lámina es la de un metal o la de un semiconductor. En el óxido de indio y estaño la superconductividad puede encontrarse cerca de la transición metal-aislante. (MIT) El revestimiento producido en los procesos de deposición de óxido de indio y estaño no es óxido de indio y estaño estequiométrico. La estabilidad de la lámina y la conductividad son aumentadas por la deficiencia del oxígeno introducido en el proceso de revestimiento.

La resistividad de una lámina puede aumentarse cambiando el nivel de deficiencia del oxígeno durante el proceso de revestimiento. La deficiencia del oxígeno elevada (en otras palabras el flujo de oxígeno disminuido durante la deposición) lleva a concentraciones de portadores más elevados a movilidades de portadores más bajos mientras que la deficiencia disminuida (flujo de oxígeno elevado) conduce a concentraciones de vehículo menores y movilidades más elevadas, como lo muestra el gráfico de la figura 2. Un flujo de oxígeno elevado quiere decir que hay una gran alteración.

A medida que la alteración en la lámina con depósitos de banda ancha que conduce a aumentos de óxido, su comportamiento de conducción a bajas temperaturas experimenta una transición metal-aislante. (MIT) Se ha descubierto que las temperaturas de transición superconductor de las láminas de óxido metálico mejoran significativamente cerca de la transición metal-aislante. (Osofsky et al, Physical Review B, 66, 2002). La distancia r desde la transición metal-aislante se define como:

$$r = \frac{\sigma_{300K}}{\sigma_c} - 1 \quad (1)$$

Donde σ_{300K} es la conductividad a temperatura ambiente y σ_c es la conductividad en la transición metal-aislante.

Para el óxido de indio y estaño la conductividad crítica es $\sigma_c=(67.2\Omega\text{cm})^{-1}$ (Osofsky et al, Physical Review Letters, 87, 2001) y las láminas de oxígeno de indio y estaño dentro de una distancia $r\approx 5-10$ (Mori, Journal of Applied

Physics, 73:1327, 1992). La alteración, y consecuentemente el parámetro t pueden reducirse por una disposición posterior de baja temperatura ($\sim 140^\circ\text{C}$) recocida a temperatura ambiente.

5 En la presentación de la figura 1, el material transparente superconductor está formado por rayos de electrón o evaporación de láser pulsado del óxido de indio y estaño en el sustrato, con deposición posterior de baja temperatura recocido en aire a 140°C aproximadamente por al menos entre 90 y 120 minutos.

10 El perfil inclinado exhibido en la figura 1 se obtiene mediante una operación selectiva de un obturador móvil entre el material original y el material objetivo durante la disposición, por bombardeo iónico luego de la deposición. Cualquier otro perfil deseado, o forma tridimensional para el material transparente semiconductor puede obtenerse utilizando dichas técnicas.

15 En las variantes de las realizaciones de la figura 1, un material transparente superconductor alternativo es utilizado en lugar de óxido de indio y estaño. Se ha descubierto que los materiales superconductores pueden estar formados por materiales semiconductores de de banda prohibida ancha en estado normal. El material semiconductor de banda prohibida ancha puede estar recocido para formar un material transparente semiconductor.

20 Ejemplos de materiales alternativos incluyen $\text{Ti}_{1-x}\text{Nb}_x\text{O}_2$, $\text{Cd}_{1-x}\text{Y}_x\text{Sb}_2\text{O}_6$, $\text{SnO}_2:\text{F}$, $\text{ZNO}:\text{Al}$, Cd_2SnO_4 , y $\text{In}_4\text{Sn}_3\text{O}_2$. Dichos materiales pueden ser sujeto de recocido y/o dopaje para formar materiales transparentes semiconductores. También puede utilizarse materiales superconductores de T_c por ejemplo materiales superconductores TI-, Hg- o basados en Bi- con T_c elevado como por ejemplo $\text{Ti}_2\text{Ba}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_2\text{O}_8$.

25 Los superconductores poseen un índice de refracción que varía como función de la longitud de onda de radiación electromagnética aplicada, y que se desvía a medida que la longitud de onda se acerca al valor λ_{crit} .

30 La variación del grupo de índice de refracción de óxido de indio y estaño con una concentración de vehículo superconductor de 10^{21} cm^{-3} aproximadamente, debido a la ruptura invariante de gauge, y descuidar el grupo de índice de refracción del material (de aproximadamente 2) se exhibe en el gráfico de la figura 3a. La dispersión del material de óxido de indio y estaño de la figura 3a debido a la separación de ruptura invariable está ploteada versus la longitud de onda en la figura 3b.

35 El prisma de la figura 1 y las otras representaciones aquí descrita explotan la pendiente pronunciada del índice de refracción y la dispersión divergente con longitud de onda del material transparente superconductor para proporcionar elementos ópticos que tengas altos poderes de resolución y/o que puedan ser utilizados, por ejemplo, para el control de los índices de refracción en tiempo real.

40 Para un mayor uso, la región del índice de refracción con longitud de onda que posee una fuerte variación (que se acerca a λ_{crit}) coincide, al menos de manera parcial, con un intervalo de longitud de ondas para el cual el material es transparente. Se ha mostrado, por ejemplo en C.G.Granqvist et al, Thin Solid Films 411, 1-5 (2002) en un estudio de procesos de disposición que las láminas de óxido de indio y estaño de $2\mu\text{m}$ de espesor son transparentes en al menos el intervalo de longitud de ondas de $0.35\mu\text{m}$ a $0.7\mu\text{m}$ aproximadamente y para intervalos mayores de longitud de ondas si la concentración del vehículo es modificada. La concentración del vehículo depende de la deposición y los procesos de recocido. La transparencia en el estado superconductor no fue considerada.

45 En el ejemplo exhibido en la figura 1, el prisma 2 forma parte de un espectómetro. A medida que el índice de refracción se desvía fuertemente con la longitud de onda, el prisma 2 permite proporcionar dispersiones que muchas veces son más elevadas para prismas convencionales. Por ejemplo, las dispersiones pueden obtenerse en la práctica que son aproximadamente 10,000 veces más elevadas que aquellas de al menos algunos prismas convencionales.

50 En funcionamiento, el material transparente superconductor es enfriado para bajar la temperatura de transición superconductor, T_c , y es estabilizada a una temperatura deseada para operar utilizando el controlador 14 y el calentador y circuito de termómetro. La radiación electromagnética es enviada a través del prisma 2, y refractada para que cada componente de longitud de onda de la radiación electromagnética siga un trayecto diferente y sea recibida en un punto diferente en el arreglo de detector 8, y permite medir la intensidad relativa de los diferentes componentes de longitud de onda de la radiación electromagnética. De esta forma, el aparato de la figura 1 opera de manera similar a un espectómetro convencional. Sin embargo, como la dispersión que proporciona el material transparente superconductor es alta, la resolución proporcionada por el espectómetro también es alta y puede, potencialmente, proporcionar dispersiones mucho más elevadas que aquellas disponibles y utiliza prismas convencionales.

Las características del índice de refracción del material transparente superconductor en el estado superconductor, y así la resolución y otras características de funcionamiento del espectómetro, dependen fuertemente de la temperatura de funcionamiento elegida (y en otros parámetros físicos del que el material es sujeto, como por ejemplo el campo magnético y la presión).

El valor de λ_{crit} , que determina la longitud de ondas a la que el índice de refracción se desvía, se relaciona a la densidad de portadores de carga superconductor, n_s , dentro de los materiales de la siguiente manera:-

$$\lambda_{crit} \propto n_s^{-1/2} \quad (2)$$

La derivación de la ecuación (2) puede observarse a continuación.

Si se asume que la densidad de los portadores de carga superconductor en la muestra no pueden exceder la concentración del portador de carga en estado natural, la concentración del portador se convierte en la variable de control y establece la longitud de onda accesible.

La concentración del portador puede ser controlada al establecer los parámetros del material, por ejemplo al dopar o variar las proporciones de los componentes del material. Para cualquier material, la densidad de los portadores de carga superconductor en el estado superconductor puede alterarse al variar la temperatura T, el campo magnético H, o la presión. De esta manera, es posible un grado de control sobre λ_{crit} .

En el caso de la dependencia de la temperatura, la densidad de los portadores de carga superconductor como función de la temperatura se aproxima a:-

$$n_s^0(T) = n_s^0(0) \left[\frac{T_c^0 - T}{T_c^0} \right]^4 \quad (3)$$

Donde n_s^0 es la densidad superconductor de electrones o agujeros y T_c^0 es la transición Ginzburg-Landau de la temperatura. El superíndice 0 indica un campo magnético aplicado cero.

De esta manera, al variar la temperatura el valor de λ_{crit} puede elevarse arbitrariamente. El valor máximo para el número de portadores de carga superconductor se define por la magnitud de $n_s^0(0)$.

De acuerdo con Granqvist et al, Thin Solid Films 411, 1-5 (2002) para una concentración de carga de óxido de indio y estaño puede variar cambiando la composición exacta y la técnica de disposición. Sin embargo, el ancho de banda transparente se reduce con una mayor concentración del portador, y así hay un balance entre variar el ancho de banda transparente y variar las propiedades del índice de refracción en el estado superconductor.

En una variante de la realización de la figura 1, un revestimiento de plata de un espesor de 1nm aproximadamente es proporcionado en el sustrato 6, entre el sustrato 6 y el material 4 transparente superconductor. El revestimiento de plata proporciona un incremento en la concentración del portador en el material 4 transparente superconductor debido al efecto de proximidad inverso. Otros metales que poseen una función de onda electrónica fuertemente correlacionada puede utilizarse en lugar de plata. El efecto de proximidad inversa es analizado, por ejemplo en O.Bourgeois et al. Physical Review Letters, 88, 186403-186407 (2002).

Como la radiación electromagnética en una banda angosta sobre λ_{crit} no puede pasar el material pero es absorbido, la banda activa del material transparente superconductor de un espesor adecuado puede ser elegido para proporcionar un filtro óptico selectivo, y así eliminar la banda angosta de la radiación electromagnética aplicada al material. La banda de onda eliminada puede ser cambiada sin que se requiera ningún movimiento de las piezas.

El intervalo de temperaturas de funcionamiento útiles depende fuertemente de la aplicación elegida. Esto se debe a que la estabilidad de índice de refracción en cualquier longitud de onda cerca de una longitud de onda crítica aumenta fuertemente cuanto más cerca de T=0, H=0 se obtiene la longitud de onda crítica.

Por ejemplo, en el caso de un elemento óptico hecho de óxido de indio y estaño con una concentración de portador de $10^{21} m^{-3}$ y una temperatura crítica superconductor $T_c=3.5K$, a una temperatura de funcionamiento 100mK para un

sistema operado a $0.99\lambda_{\text{crit}}$ una variación de 0.1mK causará una variación del índice de refracción de menos de un 1%. Igualmente, una variación del campo magnético de 0.1 Gauss causará una variación en el índice de refracción de 0.1% aproximadamente.

- 5 En el caso de la realización de la figura 1, utilizado como espectrómetro, es importante mantener constante la temperatura y el campo magnético para asegurar que el espectro medido no varíe debido a la variación en las propiedades del índice de refracción.

En otras realizaciones descritas con más detalle a continuación, parámetros físicos, en especial la temperatura o
10 campo magnético varían intencionalmente para proporcionar los efectos ópticos deseados, por ejemplo conmutación, ruteo o mezclado.

Una segunda realización está ilustrada en la figura 4, la cual muestra un étalon o dispositivo 30 interferómetro fabry-perot. El dispositivo comprende material 32 transparente superconductor entre las capas 34 36 reflectora o
15 reflejadas. En funcionamiento, una porción 38 de la radiación electromagnética que pasa dentro del dispositivo está internamente reflejada desde el límite del material superconductor y las capas 34 36. Luego de cada reflejo interno una proporción 40 del la radiación electromagnética reflejada se transmite fuera del dispositivo a través de la capa 36 reflectora. Para ciertas longitudes de onda, se obtiene la interferencia constructiva de la radiación electromagnética transmitida fuera del dispositivo luego de cada reflejo interno. La longitud de ondas a la que ocurre
20 la interferencia constructiva dependen del espesor e índice de refracción del material del cual el dispositivo está formado, tanto como en la concentración del vehículo, la temperatura y el campo magnético. En una variante de la realización de la figura 4, las capas 34 36 reflectoras o reflejadas no están proporcionadas. En cambio, el reflejo de la radiación electromagnética se obtiene, en funcionamiento, debido al desajuste en el índice de refracción entre el material transparente superconductor y su entorno, por ejemplo un vacío.

25 Los etalones y dispositivos interferómetros fabry-perot hechos de material transparente superconductor se benefician de un índice de refracción elevados, alta reflexividad y dispersión anómala cerca de λ_{crit} . Ya que la respuesta de dichos dispositivos depende de diferencias en el largo del trayecto óptico el índice de refracción divergente cerca de λ_{crit} da como resultado una resolución divergente de ancho total en puntos mitad del máximo
30 (fwhm) cerca de λ_{crit} .

La respuesta de un étalon convencional hecho de un prisma de vidrio y con reflectores externos de un coeficiente de $R=0.9$ y un espesor de $10\mu\text{m}$ y una dispersión $D=85,400\text{m}^{-1}$ puede observarse e la figura 5a. La respuesta de un étalon hecho de óxido de indio y estaño son reflectores externos y con una concentración de portador $2.5 \times 10^{21} \text{ cm}^{-3}$
35 y un espesor de $10\mu\text{m}$ puede observarse en la figura 5b. La respuesta de un étalon idéntico al de la figura 5b pero que incluye reflectores de un coeficiente de reflexión de $R=0.9$ puede observarse en la figura 5c. Puede observarse que para un intervalo similar de longitud de bandas los dispositivos de óxido de indio y estaño proporcionan un mayor número, y más nítido, picos de respuesta que un dispositivo convencional. Pueden utilizarse étalon transparente convencional o los dispositivos interferómetros, por ejemplo, un dispositivo láser de línea fina, en el que
40 el rayo láser se aplica como entrada al étalon o dispositivo interferómetro.

El étalon o dispositivo interferómetro fabry-perot de la figura 4 puede ser operado a una temperatura fija de operación y campo magnético para asegurar que la salida del dispositivo no varíe durante la operación debido a la
45 variación de las características del índice de refracción dependientes de la temperatura (o del campo magnético o la presión). De manera alternativa, la temperatura y/o el campo magnético pueden variar durante el funcionamiento para proporcionar un étalon sincronizable o un interferómetro.

Al contrario, otras realizaciones dependen de la variación de los parámetros físicos, como la temperatura, el campo magnético o la presión durante el funcionamiento para proporcionar una variación deseada en el índice de refracción
50 del material transparente superconductor.

Debe observarse que cada una de las realizaciones aquí descritas también pueden ser operadas como sensores para detectar variación de al menos un parámetro físico del que del material transparente superconductor es sujeto. Por ejemplo, en el caso del aparato de la figura 1, puede monitorearse variación de la posición de la radiación
55 electromagnética de una longitud de onda pre establecida o intervalo de longitud de ondas en el arreglo 8 de detector. Una variación en la posición de la radiación electromagnética en el arreglo de detector puede ser indicador de variación en un índice de refracción causado por una variación en la temperatura (o presión o campo magnético). Otras características de la radiación electromagnética, como la intensidad y la longitud de onda, recibidas luego de la interacción con el material transparente superconductor también pueden ser monitoreadas por variaciones que
60 indican una variación en el parámetro físico. Si el aparato es calibrado adecuadamente, la variación en la

temperatura (o presión o campo magnético) puede ser cuantificado.

Un ejemplo de una realización que depende de la variación de los parámetros físicos, especialmente un aparato 50 de ruteo, puede observarse en las figuras 6a y 6b. La realización se muestra en sección transversal en la figura 6a y desde la parte superior en la figura 6b.

Se montaron una fuente de radiación 52 electromagnética, enrutadores 54 56 58 y un detector 60 en una estructura 62 de soporte. También se montan un calentador y circuito 64 66 68 de termómetro en una estructura 62 de soporte en contacto termal con un enrutador 54 56 58. El calentador y circuito de termómetro está conectado al circuito de control (no mostrado) y se utiliza para controlar la temperatura de cada enrutador y de esta manera para controlar las características del índice de refracción del enrutador. La estructura de soporte está en contacto termal con, un aparato 70 de refrigeración. La estructura soporte también puede estar ubicada dentro del blindaje magnético (no mostrado) depende del nivel de sensibilidad y control requeridos del aparato. El blindaje magnético puede ser, por ejemplo, mu-metal y/o blindaje criopérmico. De manera alternativa o adicional, el blindaje magnético también puede proporcionarse alrededor cada enrutador 54 56 58 individualmente.

Cada uno de los enrutadores 54 56 58 comprende material transparente superconductor y cada uno puede ser similar al prisma de la figura 1.

En funcionamiento, el aparato 50 enrutador es enfriado por debajo de una temperatura superconductor de transición del material transparente superconductor. La temperatura de cada enrutador 54 56 58 es controlada individualmente por el circuito controlador que utiliza el calentador y el circuito 64 66 68 termómetro. La radiación electromagnética es dirigida por la fuente 52 a uno de los enrutadores 54. La radiación electromagnética se dispersa por el enrutador 54 y la radiación electromagnética en cada longitud de onda es transmitida en una dirección respectiva diferente por el enrutador 54.

EL aparato enrutador es utilizado para enrutar la radiación electromagnética que posee una longitud de onda o intervalo de longitud de ondas. La temperatura del enrutador 54, y de esta manera sus características de índice de refracción, son controladas para que dirijan la radiación electromagnética que poseen una longitud de onda o intervalo de longitudes de onda a una seleccionada de los otros enrutadores 56 58. La temperatura, y así el índice electromagnético de ese enrutador 56 seleccionado también es controlado para dirigir la radiación electromagnética que posee una longitud de onda o intervalo de longitudes de onda del enrutador 56 seleccionado al detector 60. Si se desea cambiar el trayecto de la radiación electromagnética, la temperatura del enrutador 54 se altera para que la radiación electromagnética que posee una longitud de onda o intervalo de longitudes de onda se transmita a otro de los enrutadores 58, que a su vez transmite la radiación electromagnética que posee una longitud de onda o intervalo de longitudes de onda se transmite a otro enrutador al detector 60.

Las fuentes de campo magnético y el circuito de control puede ser utilizados en el lugar de, o tanto como, el calentador o circuito 64 66 68 de termómetro. Las fuentes de campo magnético puede ser imanes solenoides. De manera alternativa, fuentes de campo magnético con chip más pequeños. El enrutador de la radiación electromagnética puede ser variada al variar el campo magnético aplicado a los enrutadores 54 56 58. En general, los tiempos de respuesta más rápida son obtenidos al variar el campo magnético aplicado y no al variar la temperatura.

De manera similar, una fuente de presión y un circuito de control pueden ser utilizados en lugar de, o tanto como, el calentador y el circuito 64 66 68 de termómetro. La fuente de presión puede comprender una célula de presión en la que, por ejemplo, el material transparente superconductor puede ser intercalado entre placas de presión móviles o ubicadas en un yunque de diamante. Las presiones elevadas son generalmente requeridas para variar significativamente las propiedades de materiales transparentes superconductores en uso en estado superconductor y en ausencia de la fuente de presión generalmente no son suficientes para variar significativamente las propiedades del material transparente superconductor.

La representación de la figura 6 es un ejemplo simple de aparato enrutador que comprende tres enrutadores y dos trayectos ópticos posibles.

Otras representaciones proporcionan enrutadores ópticos más extensivos o aparatos interruptores, que comprenden más enrutadores o interruptores y/o que operan a largas distancias. Cierta cantidad de señales de frecuencia de láser son guiadas a lo largo de diferentes trayectos al seleccionar las frecuencias activas del material transparente superconductor, por ejemplo el óxido de indio y estaño, al controlar, por ejemplo, la temperatura o el campo magnético. Si se utilizan para comunicaciones ópticas significa que un cliente puede controlar de manera electrónica

una ruta a un huésped destino a través de interruptores transparentes superconductores al controlar la temperatura de los interruptores. Una ruta óptica ininterrumpida puede entonces establecerse y permitir una conexión óptica directa entre el cliente y el huésped sin tener que convertir la señal a una forma electrónica en la ruta entre el cliente y el huésped, y potencialmente proporcionar una mayor velocidad de comunicación.

5

Es importante resaltar que los enrutadores de la representación descrita pueden proporcionar un trayecto cuántico de no-demolición. De esta manera, al contrario de los enrutadores ópticos convencionales que convierten fotones en electrones y nuevamente en fotones los enrutadores aseguran que las funciones de las ondas mecánicas cuánticas de los fotones que conforman la radiación electromagnética de la ruta permanecen sin alteraciones a lo largo del procedimiento de ruteo. El ruteo cuántico de no-demolición es importante para la distribución cuántica esencial y la criptología cuántica. En dichas aplicaciones, la radiación electromagnética de la ruta usualmente se encuentra a una densidad muy baja, a niveles de un fotón.

10

Los enrutadores como se muestra en el ejemplo de la figura 6, pueden ser operados como interruptores. En especial, variaciones en temperatura y campo magnético pueden utilizarse para variar el índice de refracción para seleccionar si la radiación electromagnética de una longitud de onda predeterminada o un intervalo de longitudes de onda es transmitido o reflejado.

15

En realizaciones posteriores, campos magnético aplicados, por ejemplo los componentes de campos magnéticos de la radiación electromagnética aplicada son utilizados para cambiar el índice de refracción del material transparente superconductor y para proporcionar efectos magneto-ópticos, respectivamente.

20

Al controlar el estado superconductor del material transparente superconductor, por ejemplo el número de portadores de carga superconductora, y al controlar las propiedades de la radiación electromagnética aplicada, por ejemplo la densidad, la longitud de onda y/o el ancho de banda, puede proporcionarse cualquier efecto óptico no lineal deseado. Una variedad de aparatos ópticos conocidos proporcionan efectos no lineales o incluyen elementos no lineales. Un elemento transparente superconductor con temperatura asociada, campo magnético y/o dispositivos de control de presión pueden ser sustituidos en cualquier aparato óptico conocido, si es apropiado, para funcionar como elemento óptico no lineal.

25

Una futura realización se ilustra en la figura 7a. Una fuente de radiación 72 electromagnética y un elemento 74 transparente superconductor están ubicados en el eje óptico. La fuente de radiación 72 electromagnética está conectada a un controlador 76 que es operable para controlar propiedades de radiación electromagnética (por ejemplo, intensidad, longitud de onda y ancho de banda) de radiación electromagnética transmitida a lo largo del eje óptico. La fuente 72 puede ser una fuente láser o una fuente de banda ancha. Un sistema 77 de control de temperatura está asociado con un elemento transparente superconductor y es operable para controlar la temperatura del elemento 74 transparente superconductor en el estado superconductor, de esta manera para controlar el número de portadores de carga superconductora y así las propiedades ópticas del elemento 74 transparente superconductor. En variantes de la realización del campo magnético y/o los sistemas de control de presión se proporcionan además del sistema 77 de control de temperatura. El sistema 77 de control de temperatura (y los sistemas de campo magnético y/o de control de presión) no se muestra en detalle en la figura 7a, pero incluye los mismos o similares componentes ya que la temperatura (y el campo magnético y/o la presión) controlan los arreglos de las figuras 1 o 6.

30

35

40

El controlador 76 controla tanto las propiedades de la radiación electromagnética aplicada como la cantidad de portadores de carga superconductora (a través del control de la temperatura y/o la presión o el campo magnético) así controlar efectos transmisivos, reflectantes, refractarios o dispersivos proporcionados por el elemento 74 a la radiación electromagnética aplicada. En variantes especiales, y modos de operación, el efecto proporcionado por el elemento transparente superconductor es un efecto no lineal y el aparato proporciona al menos uno de los pulsos de luz ultracortos de generación, el modo de bloque de Kerr, auto enfoque o generación de supercontinuo. Componentes adicionales conocidos puede proporcionarse en el aparato para proporcionar efectos no lineales deseados, en concordancia con técnicas conocidas.

45

50

Una variantes de la realización de la figura 7a está ilustrada en la figura 7b, en la que el elemento 74 transparente superconductor está proporcionado entre elementos 78,79 reflectantes o parcialmente reflectante que forman una cavidad resonante.

55

En una realización posterior, interruptores o enrutadores pueden ser utilizados como dispositivos ópticos lógicos que pueden ser operados cerca de un campo magnético superconductor crítico H_c donde es posible encontrar regímenes donde el campo magnético con un rayo de luz es lo suficientemente fuerte para alterar significativamente las

60

propiedades ópticas del dispositivo.

En representaciones posteriores, los elementos ópticos con índice refractivo no lineal son utilizados para construir compuertas lógicas cuánticas en la que la no linealidad de los elementos ópticos tiene la suficiente magnitud para un
 5 único fotón A presente en el elemento óptico para alterar significativamente la propagación de un segundo fotón B a través del elemento. Se refiere al fotón A como un fotón de control y al fotón B como un fotón de señal.

En un ejemplo ilustrado en las figuras 8a y 8b, un dispositivos óptico lógico comprende material 80 transparente superconductor depositado en un sustrato 82. La temperatura del componente óptico y/o el campo magnético
 10 aplicado al dispositivo es controlado de manera similar a las representaciones de las figuras 1 a 5.

El dispositivo es operado en el estado superconductor, relativamente cerca a la transición superconductor y a tal punto en el diagrama de fase superconductor que inclusive cambios relativamente pequeños en el campo magnético causan cambios relativamente grandes en el índice de refracción. Bajo tales condiciones de operación se
 15 ha descubierto que el componente de campo magnético de radiación electromagnética aplicada al dispositivo, puede tener un efecto significativo en el índice de refracción del dispositivo, por sí mismo.

Como lo muestra la figura 8a, el índice de refracción del dispositivo es tal que la radiación electromagnética debajo de un nivel de energía predeterminado a una longitud de onda o intervalo de longitudes de onda se aplica al
 20 dispositivo, el índice de refracción del dispositivo es tal que la radiación electromagnética es reflejada. Si la radiación electromagnética sobre el nivel de potencia predeterminado a la longitud de onda predeterminada o intervalo de longitud de ondas, es aplicada al dispositivo el componente del campo magnético de la radiación electromagnética altera la concentración de carga del portador superconductor y así el índice superconductor del dispositivo, tal que la radiación electromagnética se transmite a través del dispositivo.

El en modo de operación elegido, el dispositivo es operado como una compuerta AND. El dispositivo está arreglado para recibir radiación electromagnética de dos (o más) entradas ópticas. Los niveles de energía de la radiación electromagnética de las entradas ópticas se establecen de manera que la radiación electromagnética de una u otra
 25 entrada sola esté debajo del nivel predeterminado necesario para cambiar el dispositivo de modo reflectante a transmisivo pero de manera que el nivel de energía de la radiación electromagnética de ambas entradas recibidas simultáneamente está sobre el nivel predeterminado.

De esta manera, en operación, si un rayo de radiación electromagnética es aplicada al dispositivo de una sola u otra de las entradas el rayo es reflejado. Si la radiación electromagnética es aplicada simultáneamente al dispositivo
 35 desde las dos entradas, los dos rayos de la radiación electromagnética son transmitidas a través de la radiación.

El dispositivo de las figuras 8a y 8b es un ejemplo de dispositivo transparente superconductor lógico que opera como compuerta AND. Muchos otros dispositivos transparente superconductores lógicos, que pueden tener diferentes funcionalidades, se pueden prever. Combinaciones de dichos dispositivos lógicos también se preven, para
 40 proporcionar procesadores ópticos o computadoras. Como cada dispositivo transparente superconductor lógico puede ser configurado para ser transparente a la luz debajo de la longitud de onda crítica, y como el índice refractivo y así las propiedades de reflejo/transmisión son fuertemente dependientes de la longitud de onda, un procesador óptico basado en dichos dispositivos pueden operar a cierta cantidad de longitud de ondas al mismo tiempo.

Un ejemplo de dispositivo de longitud de ondas múltiples se muestra en la figura 9. El dispositivo comprende dos capas de material 90 92 transparente superconductor separado por una capa 94 pasivada que es transparente a la radiación electromagnética en los intervalos de longitud de onda de interés. En este ejemplo, la capa pasivada está formada por Si. Las dos capas de material 90 92 transparente superconductor son de óxido de indio y estaño, pero
 50 son sujetos de diferentes condiciones de preparación diferente y, en operación, tienen densidades superconductoras de electrones y así longitudes de onda diferentes, a cualquier temperatura.

En el ejemplo mostrado una primera señal, indicada por una flecha sólida, aplicada por primera vez tiene una longitud de onda cerca de la longitud de onda crítica de la primera capa del material 90 transparente superconductor.
 55 De esta manera, interactúa con la primera capa 90 y, en este caso, es reflejado por la primera capa 90.

Una segunda señal, indicada por una flecha con línea discontinua, aplicada una segunda vez tiene una longitud de onda que está lejos de una longitud de onda crítica de una primera capa 90 y entonces atraviesa la primera capa 90 sin restricciones. La longitud de onda de la segunda señal está cerca de la longitud de onda crítica de la segunda
 60 capa 92, y entonces interactúa fuertemente con la segunda capa 92 luego de atravesar la primera capa 90 y se

refleja desde la segunda capa 92.

En un modo de operación en que los componentes del campo magnético de la primera y segunda señal buscan causar un efecto interruptor, la respuesta de etalon del dispositivo puede aprovecharse. En este caso la segunda
5 señal es elegida para tener tal magnitud que cambie el patrón de interferencia de la primera capa 90 en el próximo máximo para que virtualmente no influya en las propiedades de interruptor de la primera capa 90.

También puede anticiparse que todos los chips ópticos lógicos pueden construirse. En dichos chips, láminas de óxido de indio y estaño suficientemente delgadas y absorbentes pueden ser cambiados entre estados reflectantes y
10 transparentes por fotones individuales que llevan a procesadores de información totalmente ópticos. En combinación con ruteo cuántico de no demolición que puede proporcionar masivamente computación cuántica paralela.

Otras representaciones comprenden lentes formadas de material transparente superconductor. Dichas lentes tienen diferentes características de lentes convencionales ya que diferentes longitudes de onda se concentran a diferentes
15 distancias debido a la variación del índice de refracción con longitud de onda. Dichas lentes pueden ser utilizadas en monocromadores o en aplicaciones espectroscópicas (que operan de manera similar a un prisma al separar espacialmente diferentes componentes espectrales).

En otra representación, un banco óptico es proporcionado que comprende diferentes elementos ópticos, cada uno
20 comprende material transparente superconductor. Dicho banco es configurable por un usuario que controla la temperatura de, el campo magnético o la presión aplicada a, los distintos elementos ópticos. Dicho banco óptico es similar al aparato de ruteo exhibido en la figura 4 pero que usualmente incluiría un mayor número y variedad de diferentes tipos de elementos ópticos. Cada elemento óptico es móvil usualmente y/o reemplazable. El banco óptico puede ser configurado para un propósito particular al controlar la temperatura, presión o campo magnético aplicado
25 a varios elementos ópticos y/o al ubicar adecuadamente los elementos ópticos.

En otra representación, una serie de dispositivos de étalon transparente superconductor o interferómetro se posicionan frente a una fuente de luz, usualmente una fuente de luz blanca y las características de índice de refracción de cada étalon o dispositivo interferómetro es controlado para pasar un espectro electromagnético
30 deseado. De esta manera, la representación operaría como un sintetizador espectro electromagnético.

En otra representación, la radiación electromagnética es atravesada por material transparente superconductor en el estado superconductor para desacelerar la radiación electromagnética. La realización puede ser utilizada para retrasar la línea. La radiación electromagnética es, en general, normalmente incidente en el material transparente
35 superconductor en esa representación. Un divisor de haz es proporcionado de manera opcional antes de la línea de retraso, y una porción de radiación del divisor de haz es atravesada por la línea de retraso y una porción es transmitida sin retraso. La radiación electromagnética con y sin retraso pueden ser recombinadas subsecuentemente.

En la figura 10 se muestra una representación en la que un aparato óptico comprende material transparente
40 superconductor es operado como bolómetro. El bolómetro comprende una capa de material 100 transparente superconductor en un sustrato 102, vinculado por un vínculo 104 termal débil a un disipador térmico 106. Un arreglo 108 de detectores se proporciona adyacente al bolómetro. Una fuente de radiación electromagnética de monitoreo (no mostrada) también es proporcionada y es arreglada de manera relativa al bolómetro 100 102 y el arreglo 108 de
45 detector de manera que en radiación de monitoreo de operación (indicada por flechas con líneas discontinuas) es recibida por un arreglo 108 de detector luego de interacción con el material 100 transparente superconductor.

En operación, el bolómetro 100 102 es enfriado al estado superconductor, cerca de la longitud de onda y se expone a radiación para ser medida (indicada por flechas sólidas). La radiación a ser medida es recibida por el bolómetro y
50 absorbida por la capa de sustrato que causa un aumento de temperatura. El aumento de temperatura es medido al medir variación en la radiación de monitoreo y utiliza el arreglo 108 de detector.

Las representaciones descritas arriba están configuradas para operar dentro de las regiones visibles e infrarrojas cercanas del espectro electromagnético. Las representaciones también pueden ser operadas, por ejemplo, en
55 regiones de operación que caen dentro de al menos parte del intervalo desde el ultravioleta o ultravioleta lejano al infrarrojo lejano. En general no existe un límite máximo de operación de longitud de onda, si se presume que se utiliza un material adecuado, transparente en la región de longitud de onda de interés. La longitud de onda mínima de operación depende de las concentraciones de portador de los materiales disponibles.

60 El intervalo de temperaturas al que varias representaciones son operadas está limitado por el intervalo de longitudes

de onda para ser utilizados o investigados y la temperatura de transición superconductor del material transparente superconductor utilizado. Si se utiliza el óxido de indio y estaño, que tiene un T_c de un máximo de 3.5K aproximadamente, entonces el ruteo óptico y procesamiento óptico o representaciones de cálculo se pueden operar a temperaturas por debajo, pero aproximadas a la temperatura de transición de 3.5K y representaciones que requieren estabilidad más elevada, como los prismas o espectómetros, pueden ser operados a temperaturas más bajas, de 2K aproximadamente.

Algunos aspectos teóricos son discutidos ahora.

10 Los métodos estándar de modelado de electrodinámicas y respuesta a radiación electromecánica de superconductores están basadas en la aplicación de ecuaciones de Maxwell, mientras que se considera la conductividad infinita del superconductor y la interacción de fotones con pares de electrones superconductores (par de Cooper).

15 Sin embargo, para tener una imagen precisa del comportamiento de los fotones en un superconductor se ha descubierto que se requieren algunas modificaciones fundamentales del modelo que describe electromagnetismo. El vector y los potenciales escalares que pueden mostrarse para dar lugar a los campos de vectores magnéticos ya no son arbitrarios. También, ya que el sistema ya no es un ensamble de estados pero un estado cuántico bien definido con una función de onda macroscópica, la onda de función se convierte en observable y su fase ya no es arbitraria.

20 De esta manera, U(1) la simetría de fase rotacional se rompe en un material superconductor, y da lugar a electromagnetismo masivo y requiere aplicación de relaciones de Proca en lugar de ecuaciones de Maxwell.

El campo eléctrico y magnético puede definirse de acuerdo al potencial escalar ϕ y vector potencial \vec{A} :

25
$$\vec{B} = \nabla \times \vec{A} \quad (4a)$$

$$\vec{E} = -\left(\frac{1}{c}\right)\frac{\partial \vec{A}}{\partial t} - \nabla \phi \quad (4b)$$

30 En sistemas macroscópicos normales los campos \vec{E} y \vec{B} no cambian bajo las siguientes transformaciones:

$$\vec{A} = \vec{A}' + \nabla \chi(\vec{r}, t) \quad (5a)$$

$$\phi = \phi' + \frac{\partial \chi(\vec{r}, t)}{\partial t} \quad (5b)$$

35 Donde χ es una función arbitraria apropiada de \vec{r} y t.

Esas transformaciones dejan las soluciones para la ecuación de Schrödinger inalterada excepto para un corrimiento de fase local:

$$\psi' = \psi \exp\left(-i \frac{e\chi(\vec{r}, t)}{\hbar}\right) \quad (6)$$

40 La rotación de la fase de la función de onda compleja ψ deja el Hamiltoniano del sistema inalterado. Sin embargo, en un material superconductor puede observarse la fase local del parámetro de orden. La teoría de Ginzburg-Landau presenta un costo energético para gradientes en la fase. De esta manera, en un superconductor, la simetría de la fase electromagnética U(1) se rompe y las transformaciones de las ecuaciones (5a) y (5b) ya no son transformaciones de gauge.

Dicha ruptura de simetría causa que los fotones adquieran una masa en reposo distinta de cero a través del mecanismo Higgs.

50 La masa de un fotón puede calcularse como

$$m_\gamma = \frac{\mu_\gamma \hbar}{c} \quad (7)$$

Donde μ_γ^{-1} es la inversa reducida de la longitud de onda de Compton del fotón

- 5 Dentro de un superconductor, μ_γ^{-1} es igual al largo de la penetración de London λ_L , que permite que la masa de un fotón dentro de un superconductor se calcule así:

$$m_\gamma = \frac{\hbar}{\lambda_L c} \quad (8)$$

La velocidad de grupo v_g y la velocidad de fase v_p de fotones masivos es:

10

$$\begin{aligned} v_g &= c \left(1 - \frac{\mu_\gamma^2 c^2}{\omega^2} \right)^{1/2} \\ v_p &= c \left(1 - \frac{\mu_\gamma^2 c^2}{\omega^2} \right)^{1/2} \end{aligned} \quad (9)$$

Se sustituye λ_L por μ_γ^{-1} y expresa la fase y velocidades de grupo una función de vacío de longitud de onda λ en lugar de frecuencia angular ω se obtiene:

15

$$\begin{aligned} v_p &= c \left(1 - \frac{\lambda^2}{4\pi^2 \lambda_L^2} \right)^{-1/2} \\ v_g &= c \left(1 - \frac{\lambda^2}{4\pi^2 \lambda_L^2} \right)^{1/2} \end{aligned} \quad (10)$$

Como λ se acerca a cero la velocidad de grupo se acerca al valor del vacío. Las velocidades de grupo y fase se vuelven complejas sobre una longitud de onda crítica λ_{crit} , dadas por:

20

$$\lambda_{crit} = 2\pi\lambda_L \quad (11)$$

Sobre λ_{crit} los fotones no se propagan libremente pero decaen exponencialmente con distancia.

- 25 La variación de velocidad de fase y grupo con longitud de onda son ilustrados en los gráficos de las figuras 11a y 11b. La velocidad de fase y la velocidad de grupo son ploteadas como una función de longitud de onda de vacío de fotón, donde la longitud de onda de vacío de la luz incidente se da en unidades de longitud de onda críticas. Los gráficos muestran los componentes reales (en negro) e imaginarios (en rojo) de las velocidades complejas respectivamente. Las velocidades de fase y de grupo son o puramente reales o puramente imaginarias sobre el eje de longitud de onda real completo.

Puede mostrarse que el tratamiento de arriba es equivalente a considerar la propagación de la onda electromagnética a través de un gas libre de electrones de una frecuencia de plasma $\omega_p = c/\lambda_L$, que utiliza las ecuaciones de Maxwell sin masa. Si se utiliza la suposición de que la dispersión se produce entre electrones ya que están en estado superconductor, este enfoque conducirá a las relaciones dispersas de ecuación (10). De manera dinámica, esto es idéntico a asumir una masa en reposo de fotones distintos de cero. Históricamente, el comportamiento de propagación de la luz a través de un medio refractario ha proporcionado la inspiración para el mecanismo de Higgs.

- 40 Se puede considerar que existen dos tipos de índice de refracción, el índice de refracción de fase n_p y el índice de refracción de grupo n_g , donde $n_g = 1/n_p$. Para ópticas de refracción, utilizados para lentes, prismas y elementos ópticos similares, se utiliza el índice de refracción de fase $n_p \cdot n_p$. Los índices de refracción están dados por:

$$n_p(\lambda) = \frac{c}{v_p(\lambda)} \quad (12)$$

$$n_g(\lambda) = \frac{c}{v_g(\lambda)}$$

EL índice de refracción de grupo n_g de un superconductor como una función de longitud de onda en vacío λ se desviará como $\lambda \rightarrow \lambda_{crit}$. La figura 2a muestra el índice de refracción de grupo de óxido de indio y estaño como una función de frecuencia de fotón en vacío.

Si se tiene en consideración el poder de resolución, la expresión más simple para el poder de resolución R de un prisma, el límite de Raleigh está dado por:

$$R = B \frac{dn_p}{d\lambda} \quad (13)$$

10

Donde B es la base de ancho del prisma. Esta expresión es válida para el caso donde el rayo está limitado en una dirección por el ápice del prisma y el ángulo de incidencia es una desviación mínima δ . De esta manera, si el prisma tiene un eje de simetría normal para esta base, el ancho del rayo y el ancho efectivo de la base del prisma están relacionadas trigonométricamente a través del ángulo del ápice del prisma:

15

$$B \frac{dn}{d\lambda} = 2w \tan\left(\frac{A}{2}\right) \frac{dn}{d\lambda} \quad (14)$$

Donde w es el ancho de rayo transversal y A es el ángulo ápice, ilustrado esquemáticamente en la figura 12.

20

Si se toma la derivada de n w.r.t. λ se encuentra la dispersión $D=dn_p/d\lambda$ para que esté dada por:-

$$\frac{dn_p}{d\lambda} = \frac{d}{d\lambda} \left(1 - \frac{\lambda^2}{4\pi^2 \lambda_L^2} \right)^{-1/2} \quad (15a)$$

$$\frac{dn_p}{d\lambda} = -\frac{\lambda}{4\pi^2 \lambda_L^2} \left(1 - \frac{\lambda^2}{4\pi^2 \lambda_L^2} \right)^{-3/2} \quad (15b)$$

25

Las pendientes de ecuaciones (15a) y (15b) se desvían cerca de λ_{crit} .

Como puede observarse desde la ecuación (14) el límite intrínseco de poder de resolución para un prisma espectrómetro depende del volumen máximo del prisma y del ancho máximo del rayo disponible. La dispersión $D = dn/d\lambda$ es simplemente un factor de escala.

30

Sí, incluso para los prismas con $B=100\mu\text{m}$ (con un ancho de rayo 0.4 mm y un ángulo de ápice 7°) poderes de resolución de orden 10^7 . Es necesario utilizar ángulos de ápice relativamente pequeños, ya que de otra manera la desviación mínima δ es mayor a 90° en la longitud de onda de interés y los resultados de reflexión total interna.

35

Una representación posterior de un prisma transparente superconductor se muestra en la figura 13. Puede observarse que el diagrama de rayo parece apenas diferente al de un prisma normal ya que los rayos incidentes y transmitidos son alejados de la base del prisma. El prisma tiene un ángulo de ápice de 60° y una longitud de onda crítica de 750nm. Una longitud de onda incidente de 700 nm produce una fase de índice de refracción de $n_p=0.36$. A un ángulo de incidencia de $\alpha = 10.34^\circ$ la luz viaja paralela para la base de un prisma, en otras palabras, el prisma tiene una desviación mínima.

40

Puede observarse en las ecuaciones de Fresnel que para el prisma de la figura 13 ($\alpha = 10.34^\circ$, $\beta=\gamma=30^\circ$) el coeficiente de transmisión del prisma es mejor que un 72% para polarizaciones eléctricas transversales y mejor que 82% para polarizaciones magnéticas transversales, si se asume que el prisma está en vacío.

45

De la ecuación (13) puede observarse que el radio de resolución de dos prismas de la geometría idéntica y con poderes de resolución respectivos R_1 and R_2 solo depende del radio de sus dispersiones de fase respectivas. La fase de dispersión de un prisma convencional basado en vidrio F2 Schott es aproximadamente $-8.54 \times 10^4 \text{m}^{-1}$ mientras que el prisma transparente superconductor de la figura 13 con una longitud de onda crítica de 750nm tiene una dispersión de $3.5 \times 10^6 \text{m}^{-1}$. Consecuentemente, el poder de resolución del prisma transparente superconductor con una desviación mínima está a casi dos órdenes de mayor magnitud que aquellas de un prisma convencional de una geometría comparable. La variación de poder de resolución con longitud de onda para el prisma transparente superconductor está planteado en la figura 14.

Para los prismas transparentes superconductores para ser utilizados en lugar de prismas convencionales se recomienda que tengan ancho de base B comparable con los de prismas convencionales. Como el óxido de indio y estaño no es transparente en su estado de gran volumen, los prismas de óxido de indio y estaño usualmente se harían al depositar o mecanizar las láminas de óxido de indio y estaño en prismas microscópicos. En representaciones posteriores, ilustradas en la figura 15, una serie de prismas microscópicos se forman en un sustrato para formar lo que puede llamarse prisma Fresnel, análogo a las lentes Fresnel. Como los rayos incidentes y transmitidos son alejados de la base del prisma de los prismas transparentes superconductores, la serie de prismas microscópicos se comportan como un único prisma que tiene un ancho de base igual a la suma de los anchos de base de una serie de prismas microscópicos.

Los conductores y superconductores transparentes serán considerados en más detalle.

Previamente, se ha asumido de manera general que cualquier superconductor es opaco a cualquier fotón con energía $E_\gamma > 2\Delta$, donde la banda de energía superconductor Δ es de orden $100 \mu\text{eV}$.

Una nube de portadores de carga libres con una frecuencia de plasma ω_p excitados por la radiación de la frecuencia ω se comporta con un oscilador armónico, produce una fase de índice de refracción η_p dado por:-

$$\eta_p^2(\omega) = 1 + \frac{\omega_p^2}{-\omega + i\gamma\omega} \quad (16)$$

Disipación por el gas está gobernado por componente imaginario, que es proporcional al tiempo de dispersión inversa $1/\gamma$.

Para un material normal como ω se acerca a ω_p la pieza imaginaria de la ecuación (16) se convierte en dominante y el material es opaco. Consecuentemente, el comportamiento óptico extremo aquí descrito no puede ser observado por materiales en su estado normal. Como los electrones superconductores no se dispersan, el tiempo de dispersión superconductor $\gamma_s \rightarrow \infty$, y no se produce disipación para $\omega \rightarrow \omega_p$, que le da acceso al comportamiento óptico extremo del superconductor cerca de λ_{crit} , siempre y cuando la transparencia pueda ser asegurada por la estructura de banda como se ha indicado.

El óxido de indio y estaño es un material particularmente adecuado para utilizar como elemento transparente superconductor óptico. La longitud de onda crítica λ_{crit} para una lámina de óxido de indio y estaño con $n_s \approx 2 \times 10^{27} \text{m}^{-3}$ puede ser calculada para ser $\approx 550 \text{nm}$, que está bien dentro de la pasabanda transparente para la lámina de óxido de indio y estaño en una concentración de portador.

Puede demostrarse a través de experimento que el comportamiento de transmisión/absorción de un materia del estado superconductor se acerca al comportamiento de transmisión/absorción del mismo material en un estado normal mientras que la energía del fotón aumenta en comparación con 2Δ . Esto ocurre por la ruptura de pares de electrones superconductores (pares Cooper) por el fotón. Consecuentemente, cualquier electrón que sea excitado directamente por un fotón con energía $E_{\text{ph}} \gg 2\Delta$ se comporta y se dispersa como un electrón en estado normal. Los superconductores convencionales como Pbo Nb son opacos en el estado normal y superconductor. Sin embargo, como el óxido de indio y estaño tiene una transmisión óptica elevada/baja absorción en el estado normal todavía es transparente en su estado superconductor. Una consideración al operar óxido de indio y estaño como un elemento transparente superconductor es mantener el flujo de fotones lo suficientemente bajos para que la reducción en la densidad del par Cooper en la lámina de óxido de indio y estaño permanezca pequeña.

Para que un superconductor transparente sea útil es necesario mostrar que la longitud de onda crítica λ_{crit} está dentro de la banda de onda sobre la que opera la transparencia. La longitud de onda crítica puede ser calculada desde la profundidad de la penetración de London como:

$$\lambda_{crit} = 2\pi\lambda_L \quad (17)$$

La profundidad de la penetración de London puede ser calculada como:

5

$$\lambda_L^2 = \frac{m_s}{e^2 \mu_0 n_s} \quad (18)$$

Donde m_s es la masa de un único electrón superconductor, n_s es la densidad del electron superconductor y e es la carga electrónica.

10

Si se sustituye de (18) a (17) se obtiene

$$\lambda_{crit} = \frac{1}{n_s^{1/2}} \frac{2\pi m_s^{1/2}}{e \mu_0^{1/2}} \quad (19)$$

$$\lambda_{crit} \propto n_s^{-1/2} \quad (2) \text{ (ya indicado arriba)}$$

15 Como puede observarse, todos los parámetros de la ecuación (19) son constantes fundamentales excepto por la densidad del electrón superconductor n_s que da lugar a la dependencia expresada en la ecuación (2).

Si se presume que la densidad de los electrones superconductores en la muestra no pueden exceder la concentración de carga de portador del estado normal, entonces la concentración de estado de portador se convierte en la variable controladora y establece la longitud de onda mínima accesible. Al reducir la fracción de portadores en el estado superconductor (mediante, por ejemplo, el control de la temperatura o campo magnético) longitudes de onda más extensas estarán disponibles.

20

Un grado de control sobre λ_{crit} es posible, como puede entenderse de la aproximación dada por la ecuación (3) (explicada arriba) en un campo magnético aplicado cero y de la ecuación (20) en un campo magnético aplicado H:

25

$$n_s^0(T) = n_s^0(0) \left[\frac{T_c^0 - T}{T_c^0} \right] \quad (3)$$

$$n_s^0(T) = n_s^0(0) \left[\frac{T_c^0 - T}{T_c^0 (1 - H / H_c^0)^{1/2}} \right] \quad (20)$$

30

Donde n_s^0 es la densidad de electrones superconductores; T_c^0 es la temperatura de transición Ginzburg-Landau, H es el campo crítico superconductor a temperatura cero y H_c^0 el campo crítico superconductor a temperatura cero .

Así, al variar la temperatura, el valor de λ_{crit} puede variar arbitrariamente. El verdadero límite está en su valor mínimo, definido por la magnitud de $n_s^0(0)$.

35

Para el óxido de indio y estaño la concentración de portador puede variar al cambiar la composición exacta y la técnica de deposición. Sin embargo, pareciera que el ancho de banda transparente se reduce con el aumento de concentración de portador.

40

Se dice que la profundidad de penetracion London es ~16 nm y la concentración de vehículo de Al puede ser aproximadamente como se indica a continuación (si se asume que Al es monovalente):

$$n_{Al} = \frac{\rho_{Al}}{u_{Al}} N_A \quad (21)$$

45

Donde ρ_{Al} es la densidad de Aluminio, A_l el peso atómico y N_A el número Avogadro.

Si se utiliza (21) se descubre que la concentración de portador en Al es de orden $n_{Al}=(0.1 N_A) \text{ cm}^{-3}$. Las concentraciones de portador de hasta $2 \times 10^{21} \text{ cm}^{-3}$ han sido alcanzadas en el caso del óxido de indio y estaño. Si se utiliza la ecuación (2) se puede descubrir que una aproximación para el valor de λ_{crit} se espere del óxido de indio y estaño superconductor.

$$\frac{\lambda_{crit}^{ITO}}{\lambda_{crit}^{Al}} = \frac{n_{ITO}^{-1/2}}{n_{Al}^{-1/2}} \quad (22a)$$

$$\lambda_{crit}^{ITO} = \lambda_{crit}^{Al} \left(\frac{n_{Al}}{n_{ITO}} \right)^{1/2} \quad (22b)$$

10

Esto produce

$$\lambda_{crit}^{ITO} \approx 551 \text{ nm}$$

15

Que está bien dentro de la región transparente para una lámina de óxido de indio y estaño con una concentración de vehículo $n < 3 \times 10^{21} \text{ cm}^{-3}$. El coeficiente de transmisión como una función de longitud de onda para una $2 \mu\text{m}$ lámina de óxido de indio y estaño para concentraciones de portador diferentes ploteadas en Granqvist et al, Thin Solid Films 411, 1-5 (2002).

20

Dentro de los superconductores, los fotones tienen una masa en reposo distinta de cero y aplican electromagnetismo masivo. Se ha demostrado aquí que al basarse e electromagnetismo masivo el índice de refracción de materiales superconductores se acerca al infinito mientras que la longitud de onda de la radiación electromagnética incidente se eleva hacia la longitud de onda máxima λ_{crit} en la que la propagación de onda electromagnética es posible. La magnitud de λ_{crit} está gobernada por la densidad de portadores de carga superconductor.

25

EL tamaño físico requerido para que cualquier prisma obtenga cierto poder de resolución se diferencia solo por el factor de escala D . La dispersión D de un prisma superconductor hecho de óxido de indio y estaño con una concentración de vehículo $3 \times 10^{21} \text{ cm}^{-3}$ es de un orden 10^8 m^{-1} en una banda de onda angosta debajo de la longitud de onda crítica de 551 nm. Un valor típico para la dispersión de un prisma convencional es $D=8.54 \times 10^4 \text{ m}^{-1}$ a 590 nm, lo que implica que un prisma superconductor con dimensiones comparables podría, en la práctica, alcanzar un poder de resolución más grande por un factor de al menos mil que un prisma convencional de dimensiones comparables. Esa estimación está basada en un mínimo, a niveles de temperatura disponibles habitualmente y control de campo magnético. Si se proporcionan temperaturas más precisas y control de campo magnético, el poder de resolución del prisma superconductor puede incrementarse más.

30

El magneto óptico no lineal de óptica de transmisión transparente superconductor se trata como equivalente Kerr no lineal se computa para comparar la magnitud de magneto óptico no lineal en elementos transparentes superconductores electro óptica Kerr no lineal de puntos cuánticos y elementos ópticos macroscópicos no lineales.

40

Efectos no lineales en dispositivos Kerr de punto cuántico y cambios de fase controlados que utilizan puntos cuánticos y rayos continuos de control se han descrito en Fushman et al., Science, 320:769, 2008.

45

En un medio Kerr, cambios en índice de refracción Δ_K en respuesta a un campo eléctrico aplicado E son calculados como

$$\Delta_K = X^{(3)} E^2 \quad (23)$$

50

Donde $X^{(3)}$ es el tercer orden no lineal, también conocido como constante Kerr. Una constante Kerr tan elevada como $X^{(3)} = 2.4 \times 10^{-10} \text{ m}^2 \text{ V}^{-2}$ fue presentada recientemente (Fushman et al., Science, 320:769, 2008) para un punto cuántico único.

El pico de campo magnético E_C de un rayo continuo de control de intensidad $N \text{ (W/m}^2\text{)}$ puede

$$N = \sqrt{\frac{\epsilon \epsilon_0}{\mu \mu_0} E_c^2}$$

5 permitir el cálculo Δ_K .

5

La figura 16 muestra la variación de índice refractario η_0 de un elemento transparente superconductor con temperatura y flujo magnético (ploteado como fracciones de la temperatura crítica y el campo magnético). Puede observarse que el índice de refracción del elemento transparente superconductor a cierta longitud de onda λ es altamente no lineal en el plano H-T.

10

Para comparar la ausencia de linealidad en un elemento transparente superconductor con la ausencia de linealidad Kerr presentada por Fushman et al se encuentra el pico de campo magnético del rayo de control

$$B_C = \frac{1}{v_p} E_C$$

15 Donde v_p es la velocidad de fase de luz en el medio propagado. Ahora puede encontrarse el cambio en el índice de refracción de fase en un elemento transparente superconductor $\Delta_{SC}(T_0, B_0)$ a cierta temperatura dada T_0 y campo B_0 como:-

$$\Delta_{SC} = \eta_p(T_0, B_0 + B_C(N)) - \eta_p(T_0, B_0) \quad (24)$$

20

Para poder realizar predicciones cuantitativas sobre el cambio en el índice de refracción a un campo electromagnético dado es necesario especificar la densidad n_s^0 del vehículo del elemento transparente superconductor, su campo crítico T_C y el flujo de densidad crítica B_C . En la siguiente análisis se utiliza un elemento transparente superconductor con $n_s^0 = 3 \times 10^{21} \text{m}^{-3}$, $T_c = 1.5\text{K}$ y $B_c = 101\text{G}$.

25

Los cambios en el índice de refracción Δ_K y Δ_{SC} se han ploteado en la figura 17a como función de la densidad del rayo de control. El radio de Δ_K y $\Delta_{SC}(T_0, B_0)$ se ha ploteado en la figura 17b.

Para facilitar la comparación con información experimental, un equivalente no lineal

30

$$\chi^{eq} = \Delta_{SC} / E_C^2$$

Se ha calculado y ploteado en el plano H-T en la figura 18. Un ausencia de linealidad Kerr de $\chi^{(3)} = \chi^{eq}$ presentará un cambio en el índice de refracción $\Delta_K = \Delta_{SC}$ en presencia de un rayo de control de campo magnético E_C . Puede observarse desde la figura 18 que χ^{eq} se desvía a lo largo de la línea en el plano B-T por lo que $\lambda = \lambda_{crit}(B, T)$. Así, el χ^{eq} más elevado para una fuente de luz puramente monocromática está solo limitada por la precisión del control de campo y temperatura disponible.

35

Se ha demostrado entonces que las propiedades ópticas de un elemento transparente superconductor puede cambiar en respuesta a un campo magnético aplicado, y que para intensidades de índice de refracción por debajo de 0.01Wm^{-2} el cambio en índice de refracción que resulta de una respuesta no lineal de un elemento transparente superconductor es mayor que aquella de un sistema de punto cuántico único.

40

La ausencia de linealidad de elementos transparentes superconductores es un efecto magneto óptico: el campo magnético B en el rayo de control reduce el número de electrones en el estado superconductor, reduce consecuentemente la longitud de onda crítica λ_{crit} . Para poder comparar la ausencia de linealidad de un elemento transparente superconductor co un efecto Kerr en sistemas microscópicos y macroscópicos convencionales, el equivalente no lineal

45

$$\chi^{eq} = \Delta_{SC} / E_C^2$$

50

Se ha introducido. Las ausencias de linealidad de varios sistemas están dadas en la tabla 1. Puede observarse que a intensidades bajas de control de rayo, el superconductor transparente no lineal es aproximadamente seis órdenes mayor que las ausencias de linealidad de los sistemas macroscópicos. Es, de hecho, de una magnitud similar como el sistema de punto cuántico.

Sistema	Ausencia de linealidad χ (m^2/V^2)	Referencia
Agua	$9,4, 10^{-17}$	Hecht
Nitrobenceno	$43,1, 10^{-17}$	Hecht
tropomiosina	$3000, 10^{-17}$	Aragón y Hahn
Punto cuántico único	$2,4, 10^{-10}$	Walch y col.
Elemento transparente superconductor	0.7×10^{-10} (for $N=1W/m^2$)	
Hecht, Ópticas, Pearson Education, Inc., Addison Wesley, San Francisco, USA, 2002		
Aragón and Hahn, Colloids and Surfaces B: Biointerfaces, 56:19-25, 2007		

Dichas ausencias de linealidad ultra alta hacen aplicaciones como auto enfoque o modo de bloqueo Kerr y generación supercontinua disponible a una intensidad de entrada de rayo muy baja. Las ausencias de linealidad ultra altas en elementos transparentes superconductores macroscópicos también son útiles en cálculos ópticos y compuertas lógicas cuánticas.

La invención no se limita a las representaciones aquí descritas. Se entenderá que el material transparente superconductor puede ser utilizado como elemento óptico o en un aparato óptico en cualquier arreglo adecuado y puede proporcionar una variedad de efectos ópticos en el estado superconductor. Los efectos ópticos pueden ser seleccionados o controlados al seleccionar el material y las propiedades del material transparente superconductor, al seleccionar o controlar los parámetros físicos (por ejemplo, temperatura, presión y/o campo magnético) del que el material transparente superconductor es sujeto, y/o al seleccionar o controlar propiedades de la radiación electromagnética aplicada al material transparente superconductor.

Se entenderá que la invención ha sido descrita arriba puramente como ejemplo, y modificaciones de detalle puede realizarse dentro del ámbito de los reclamos adjuntos que definen la invención. Cada característica divulgada en la descripción reclama y (donde es apropiado) los dibujos pueden proporcionarse independientemente o en combinación apropiada.

REIVINDICACIONES

1. El aparato óptico comprende:
- 5 Un elemento óptico que comprende material superconductor (4; 32; 74; 80; 90, 92; 100) donde el material superconductor es al menos parcialmente transparente a la radiación electromagnética a al menos una longitud de onda en al menos una parte de la fase superconductora, y el índice de refracción del material semiconductor varía como función de longitud de onda y se desvía y varía fuertemente a medida que la longitud de onda se acerca a la longitud de onda superconductora crítica y así proporciona una dispersión de longitud de onda elevada y donde el material transparente superconductor está formado para que en al menos una parte de la fase superconductora, la longitud de onda superconductora crítica esté dentro de los tiempos de longitudes de onda por el que el material es transparente; y
- 10 los medios de control (12, 14, 64, 66, 68, 76, 77) para controlar al menos una propiedad del material superconductor transparente en la fase superconductora para variar la longitud de onda superconductora crítica.
- 15
2. Un aparato óptico de acuerdo con las reivindicación 1, donde el material transparente superconductor comprende, o al menos está formado de, un material superconductor de espacio de banda ancha.
- 20 3. Un aparato óptico de acuerdo con cualquier reivindicación precedente donde el elemento óptico es un prisma (2), lentes, interruptores, divisor de haz, enrutador (54, 56, 58), filtro, étalon (30), interferómetro (30), dispositivo láser, dispositivo no lineal o compuerta lógica.
4. Un aparato óptico de acuerdo con cualquier reivindicación precedente donde el elemento óptico comprende un arreglo de prisma y cada uno comprende material transparente superconductor o donde el elemento óptico comprende al menos dos capas reflectora (34, 36).
- 25 5. Un aparato óptico de acuerdo con cualquier reivindicación precedente donde el material transparente superconductor está formado y arreglado para proporcionar un efecto magneto óptico en la fase superconductora y/o
- 30 donde el material transparente superconductor está formado y arreglado para ser operable en la fase superconductora como un medio no lineal para la transmisión de radiación electromagnética.
6. El aparato óptico de acuerdo con cualquier reivindicación precedente donde el medio de control está configurado para controlar al menos uno fuera de la temperatura fuera del material transparente superconductor, el campo magnético del que el material transparente superconductor es sujeto y la presión del que el material transparente superconductor es sujeto.
- 35 7. El aparato óptico de acuerdo con la reivindicación 6, donde el medio de control (12, 14; 64, 66, 68; 76, 77) está configurado para controlar al menos uno de los índice de refracción y la dispersión del material transparente superconductor.
- 40 8. El aparato óptico de acuerdo con la reivindicación 6 o 7, donde el medio de control está configurado para llevar a cabo al menos una de las siguientes:
- 45 Controlar si la radiación electromagnética de la longitud de onda predeterminada o las longitudes de onda están reflejadas, transmitidas o absorbidas,
Controlar el trayecto de la radiación electromagnética que sigue la interacción con el material transparente superconductor, y
- 50 encausar la radiación electromagnética recibida a un destino predeterminado.
9. El aparato óptico de acuerdo con las reivindicaciones 6 a 8, donde el aparato óptico comprenderá un detector (8, 60) para detectar radiación electromagnética de un elemento óptico.
- 55 10. El aparato óptico de acuerdo con las reivindicaciones 6 a 9, donde el medio de control (76) está configurado para controlar ambos al menos una propiedad de radiación electromagnética aplicada al material transparente superconductor en la fase superconductora entonces proporcionar una respuesta óptica no lineal.
11. El aparato óptico de acuerdo con las reivindicaciones 6 a 10, comprenderá medios para aplicar radiación electromagnética al elemento óptico, donde el medio para aplicar radiación electromagnética está
- 60

configurado para controlar la radiación electromagnética aplicada para que sea tal que altere el índice de refracción del material transparente superconductor, donde, preferentemente, el medio para aplicar la radiación electromagnética está configurada para aplicar la radiación electromagnética de al menos una primera intensidad o una segunda intensidad, y la radiación electromagnética de una segunda intensidad tiene un componente de campo magnético que altera el índice de refracción del material transparente superconductor de manera que la radiación electromagnética de la segunda intensidad sigue un trayecto diferente al de la radiación de la primera intensidad que sigue la interacción con el material transparente superconductor y preferentemente, la radiación electromagnética de una primera intensidad es reflejada desde el material transparente superconductor y la radiación electromagnética de segunda intensidad es transmitida por el material transparente superconductor.

10

12. El aparato óptico de acuerdo con las reivindicaciones 5 a 10, donde el aparato óptico comprende uno de los siguientes: un espectómetro; un enrutador óptico: un interferómetro; un sensor de temperatura, de campo magnético o de presión; un procesador óptico u ordenador; un láser; un dispositivo láser de línea fina; un filtro; un divisor de haz; un rayo láser direccional; un banco óptico personalizable; una línea de retraso: un dispositivo no lineal; un generador de pulso de luz ultracorta; un dispositivo de bloqueo de modo Kerr; un dispositivo de auto-enfoque; un dispositivo de generación supercontinuo o un monocromador

15

13. Un método de controlar la radiación electromagnética, comprende:

20 Enfriar un elemento óptico que comprende un material superconductor a la fase superconductora, el material superconductor al menos parcialmente transparente a la radiación electromagnética a al menos una longitud de onda a al menos una parte de la fase superconductora, el material superconductor posee un índice de refracción que varía como una función de longitud de onda y se desvía y varía fuertemente a medida que la longitud de onda se acerca a la longitud de onda superconductora crítica y así proporciona una dispersión de longitud de onda elevada y se forma de manera que en al menos una parte de la fase superconductora, la longitud de onda superconductora crítica está dentro de un intervalo de longitudes de ondas para la cual el material es transparente;

25

Controlar al menos una propiedad del material transparente superconductor en el estado superconductor para variar la longitud de onda superconductora crítica para que el material transparente superconductor tenga al menos una característica óptica deseada; y

30

Aplicar radiación electromagnética al material transparente superconductor.

14. Un método de acuerdo a la reivindicación 13, donde controlar al menos una propiedad del material transparente superconductor comprende controlar la concentración de portadores de carga superconductora del material transparente superconductor en la fase superconductora, entonces controlar al menos uno de los índices de refracción y la dispersión del material transparente superconductor.

35

15. Un sensor para detectar variación de al menos un parámetro físico, que comprende:

medios para dirigir la radiación electromagnética del material superconductor (100) sujeto de al menos un parámetro físico, el material superconductor es al menos parcialmente transparente a la radiación electromagnética de al menos una longitud de onda en al menos una parte de la fase superconductora, el material superconductor tiene un índice de refracción que varía como una función de longitud de onda y se desvía y varía fuertemente a medida que la longitud de onda se acerca a la longitud de onda superconductora crítica y así proporciona una dispersión de longitud de onda elevada, y es formada para que al menos una parte de la fase superconductora, la longitud de onda superconductora crítica esté dentro de un intervalo de longitudes de onda para la cual el material es transparente y varía en respuesta a al menos un parámetro; medios para monitorear variación en la radiación electromagnética que sigue la interacción con el material transparente superconductor; y

40

45

medios para terminar una variación de al menos un parámetro físico que depende de la variación de la radiación electromagnética.

50

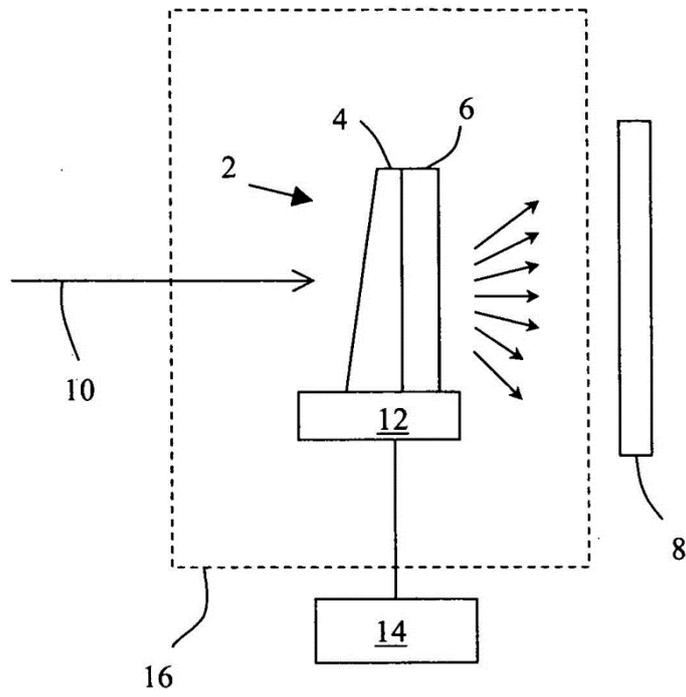


Fig.1

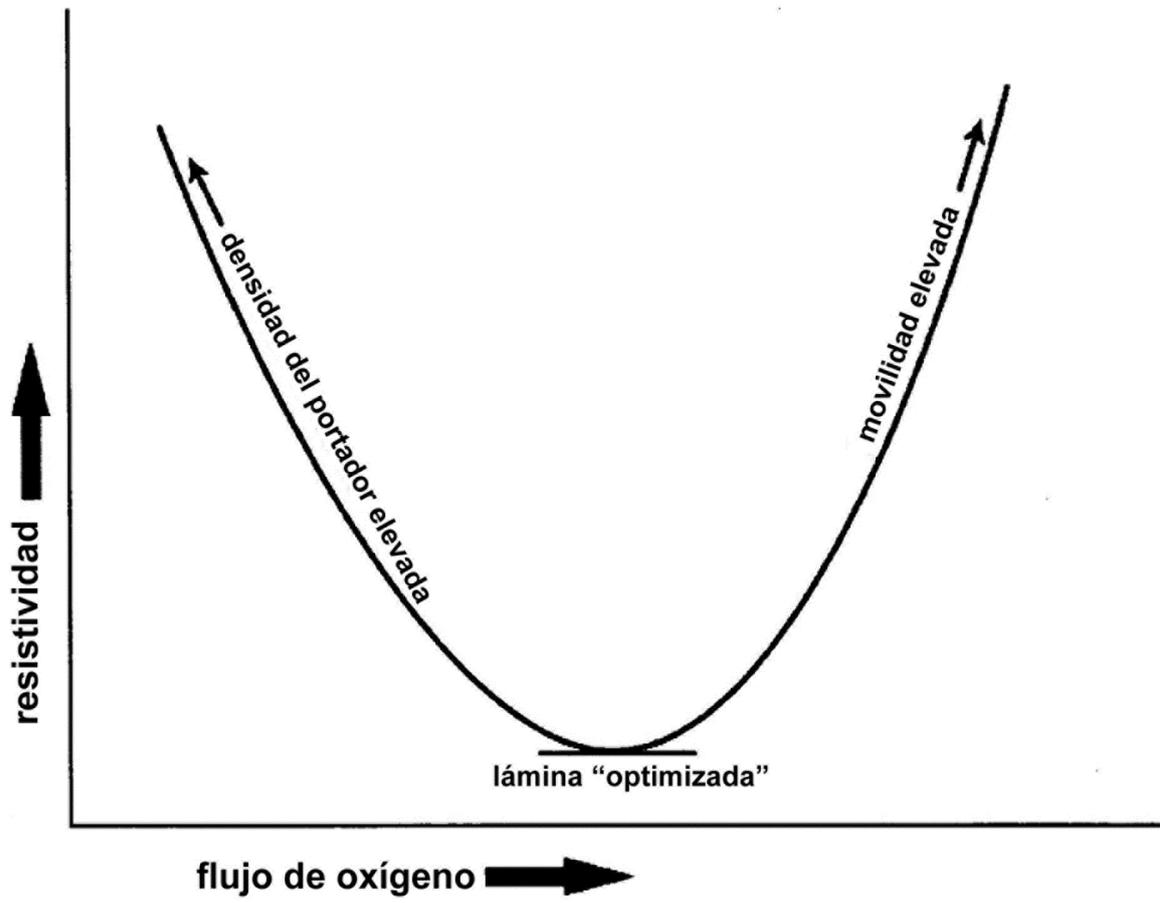


Fig.2

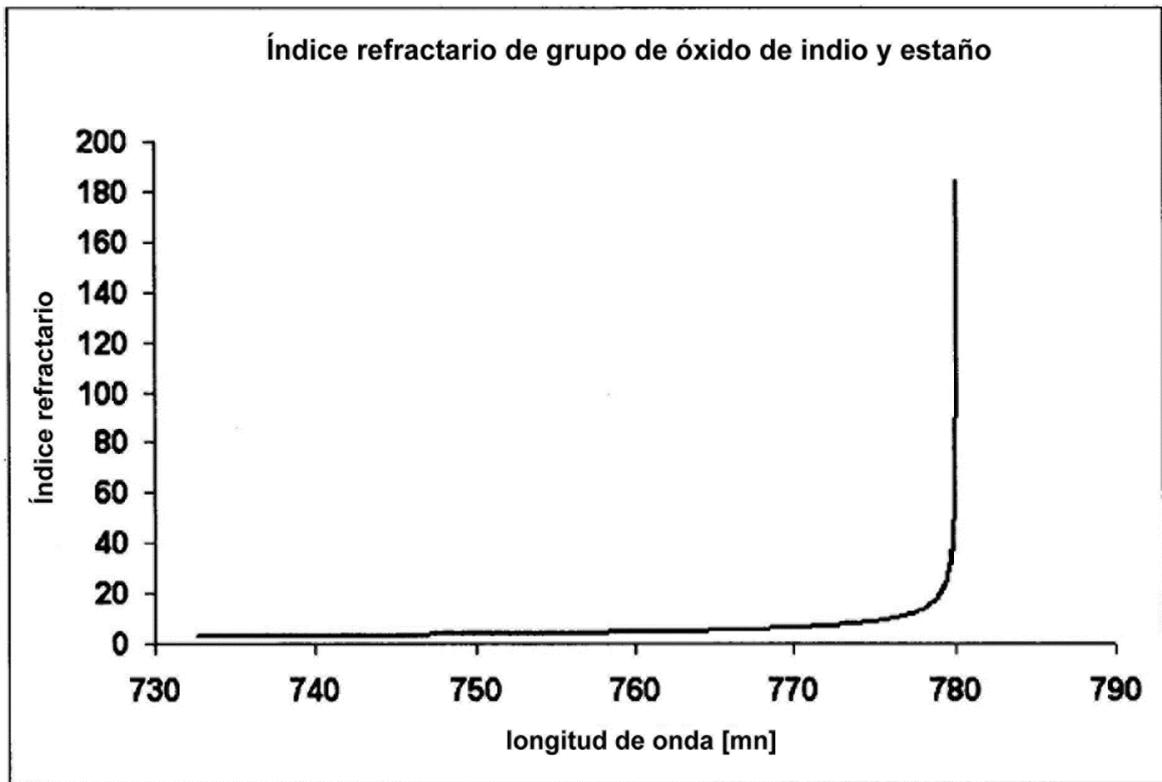


Fig.3a

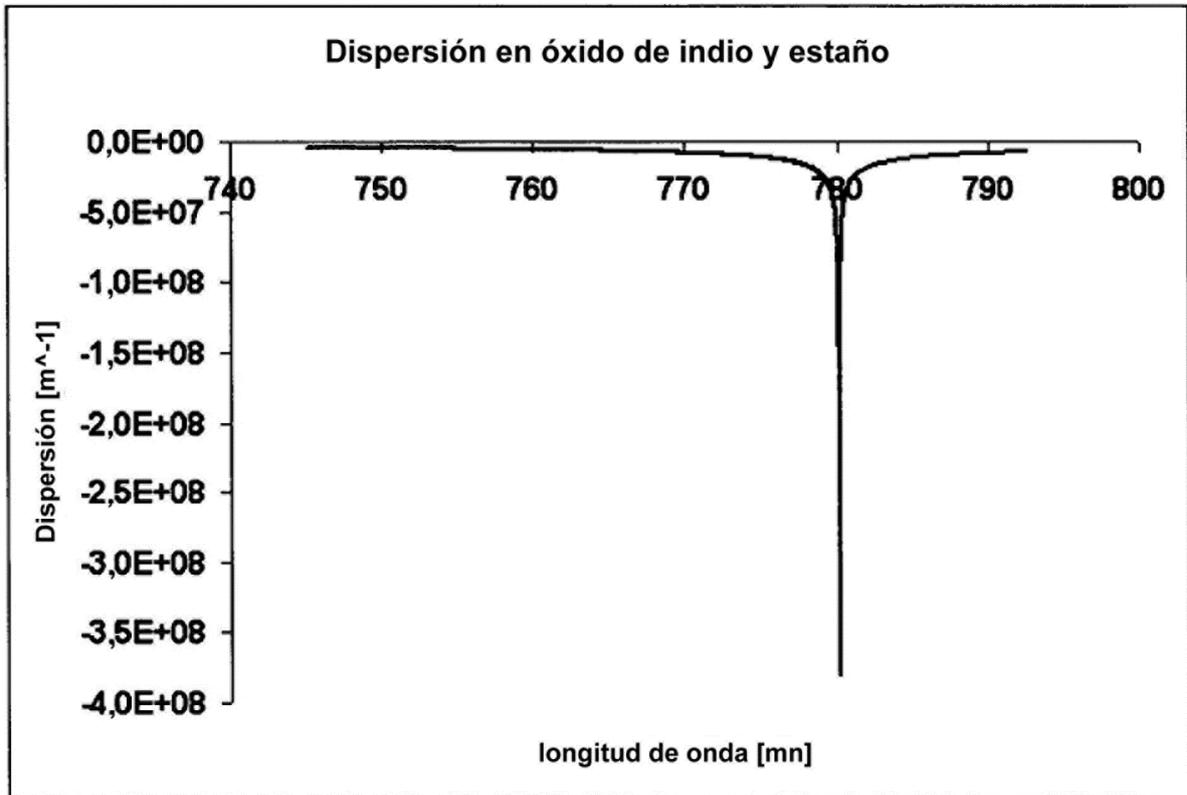


Fig.3b

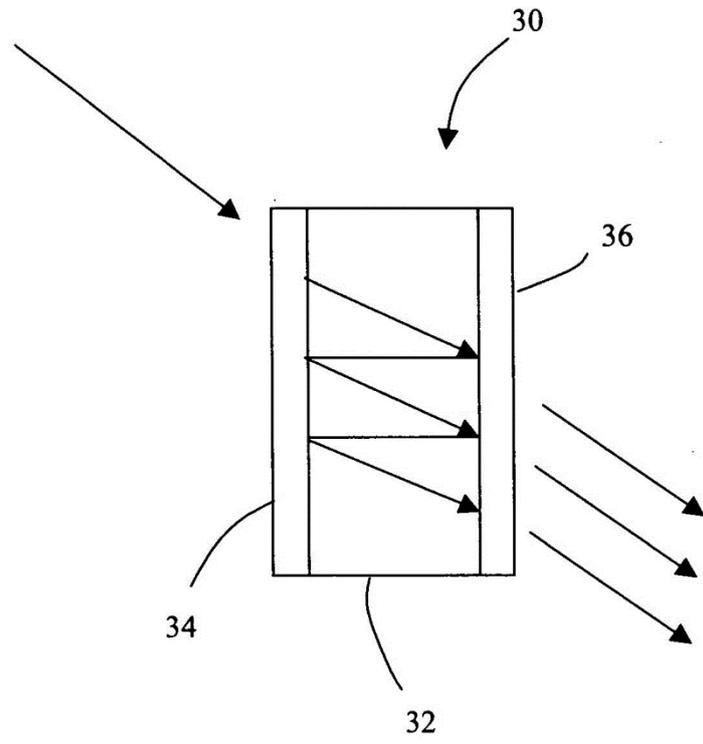


Fig.4

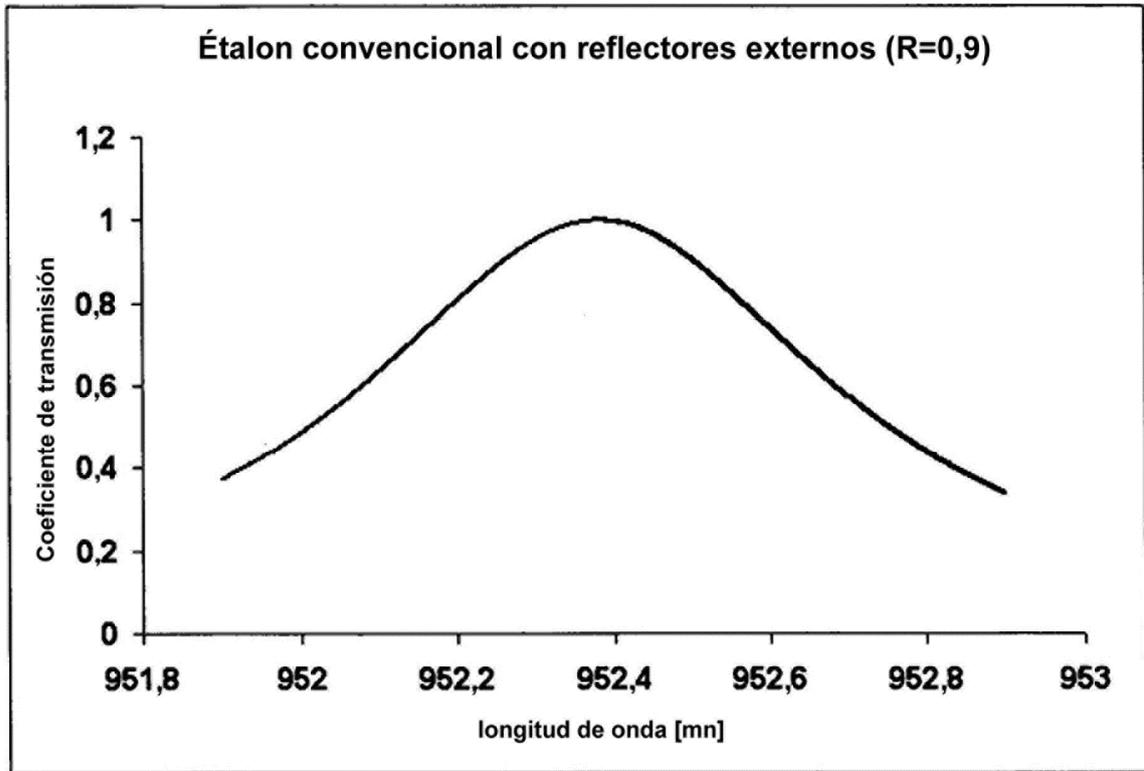


Fig.5a

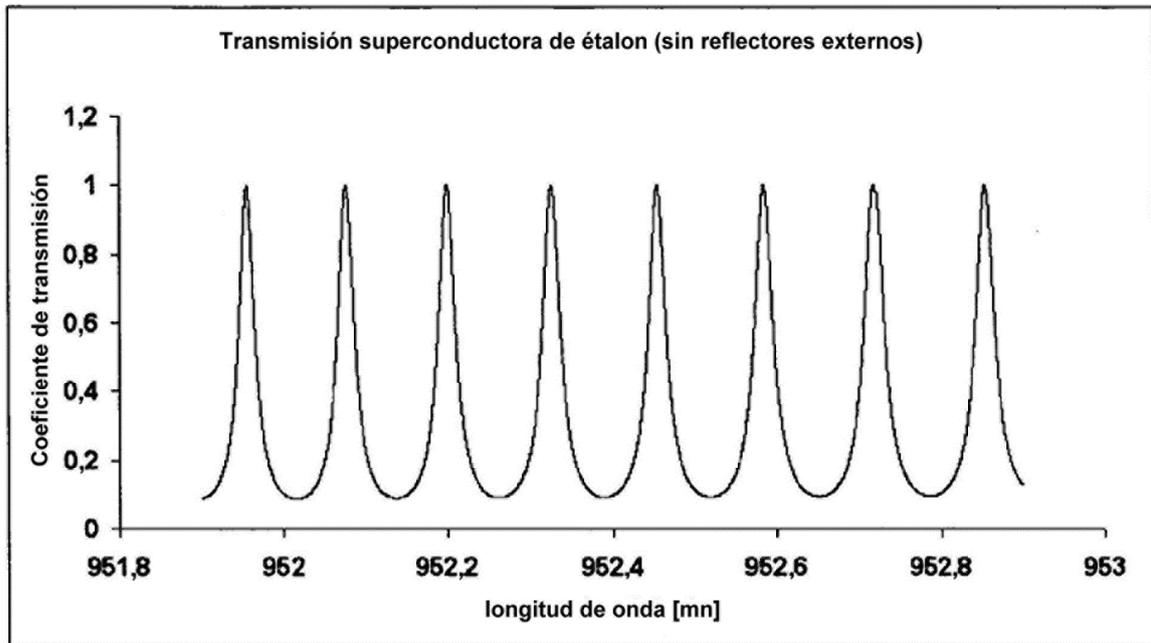


Fig.5b

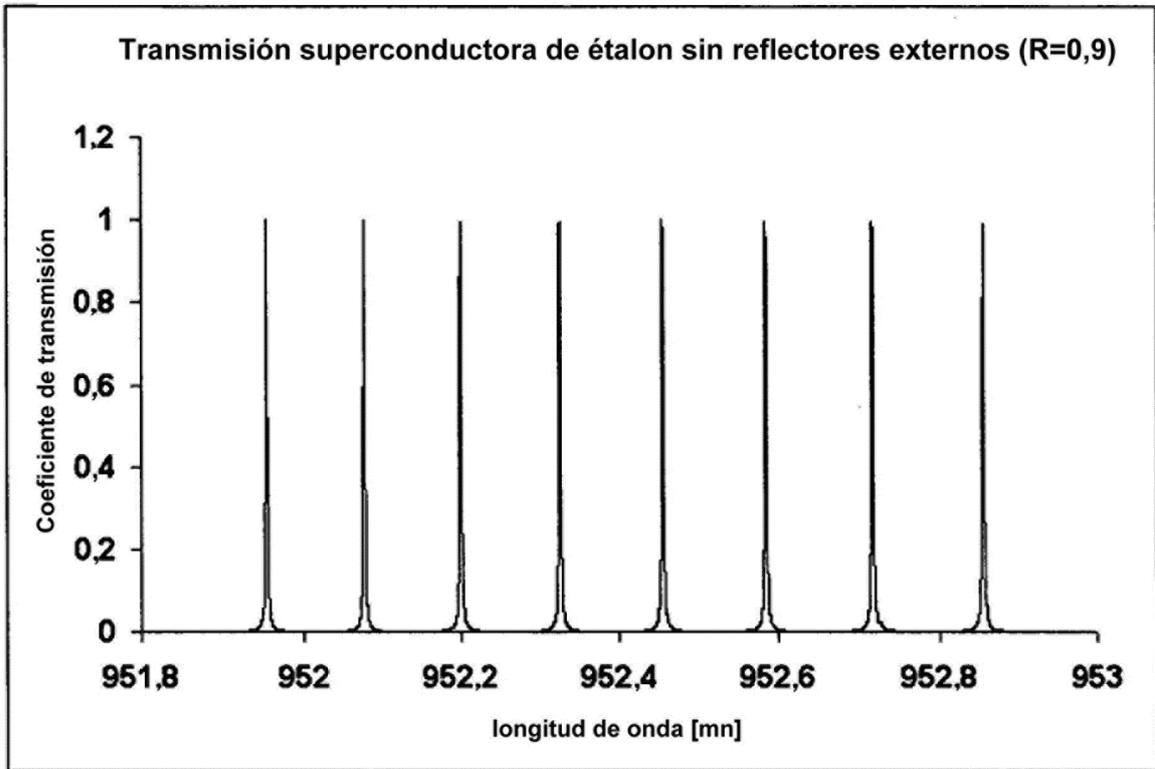
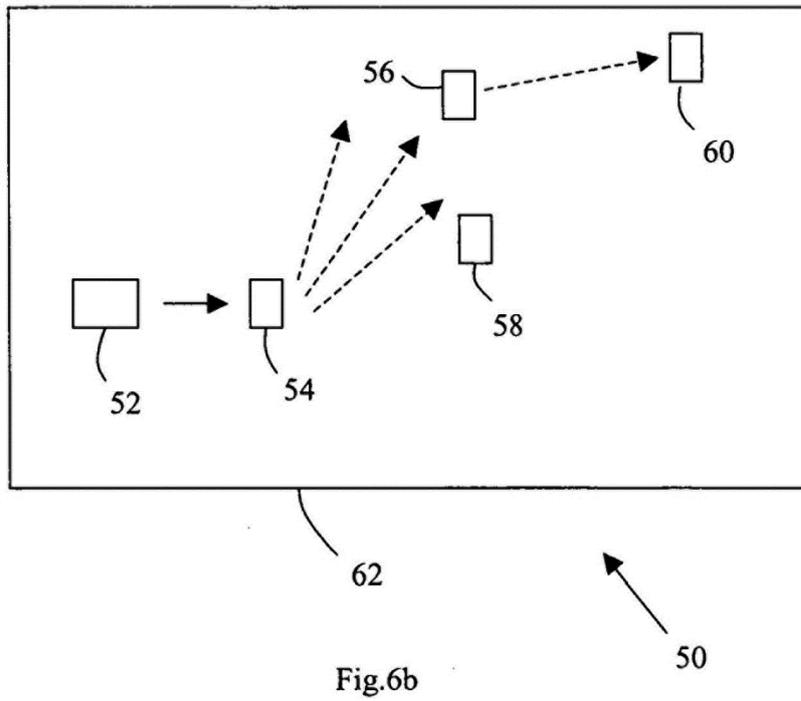
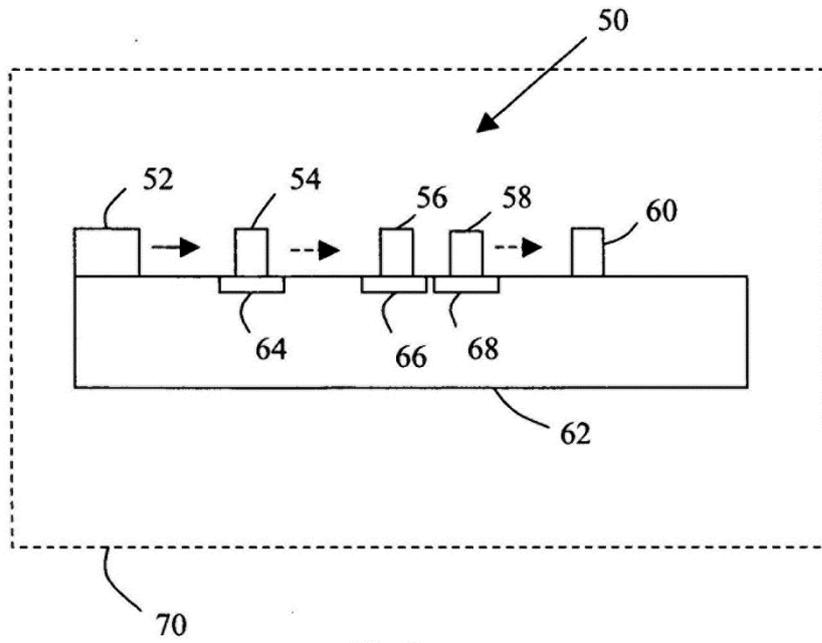


Fig.5c



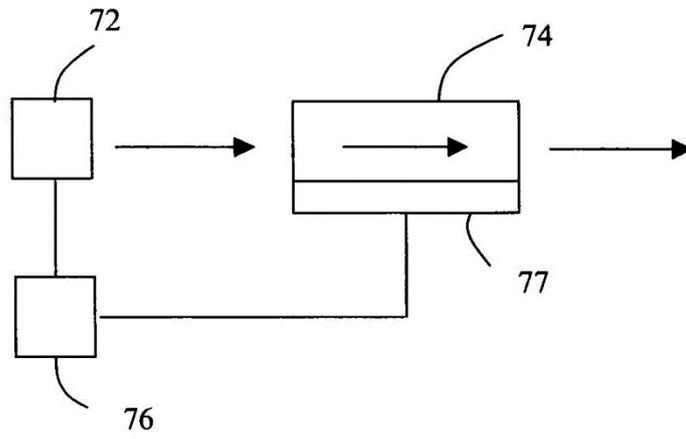


Fig.7a

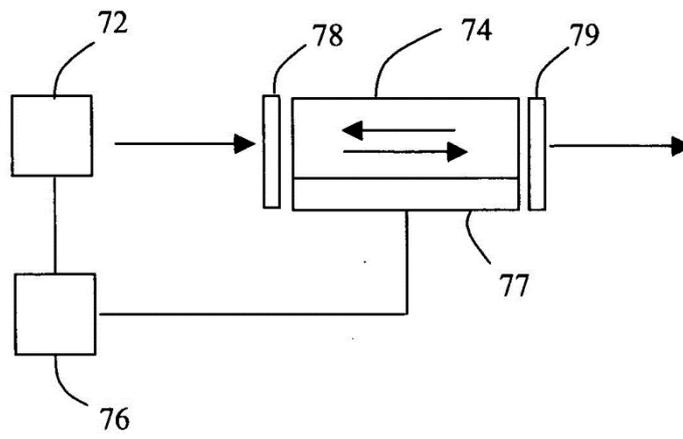


Fig.7b

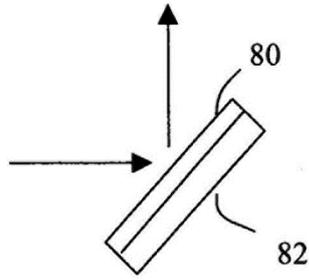


Fig.8a

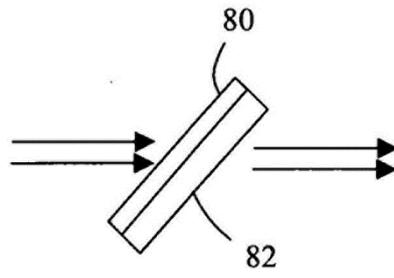


Fig.8b

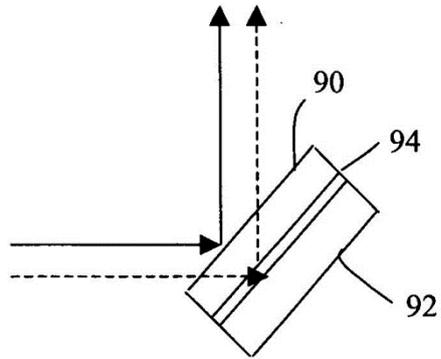


Fig.9

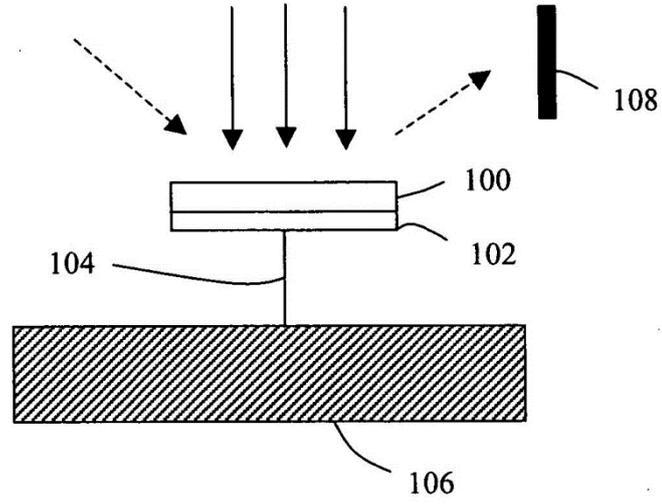


Fig.10

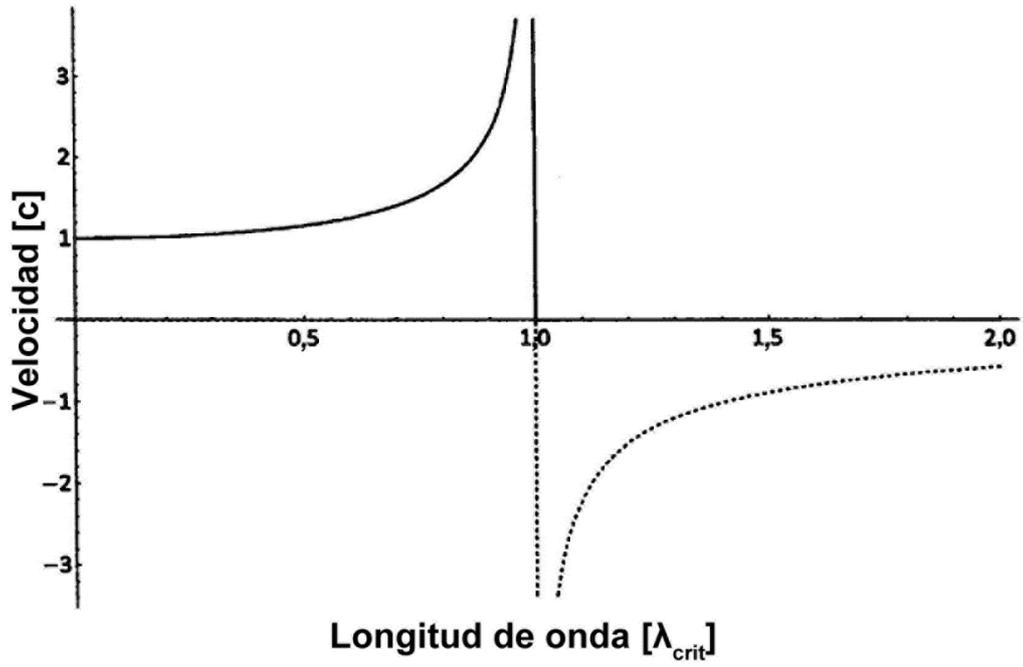


Fig.11a

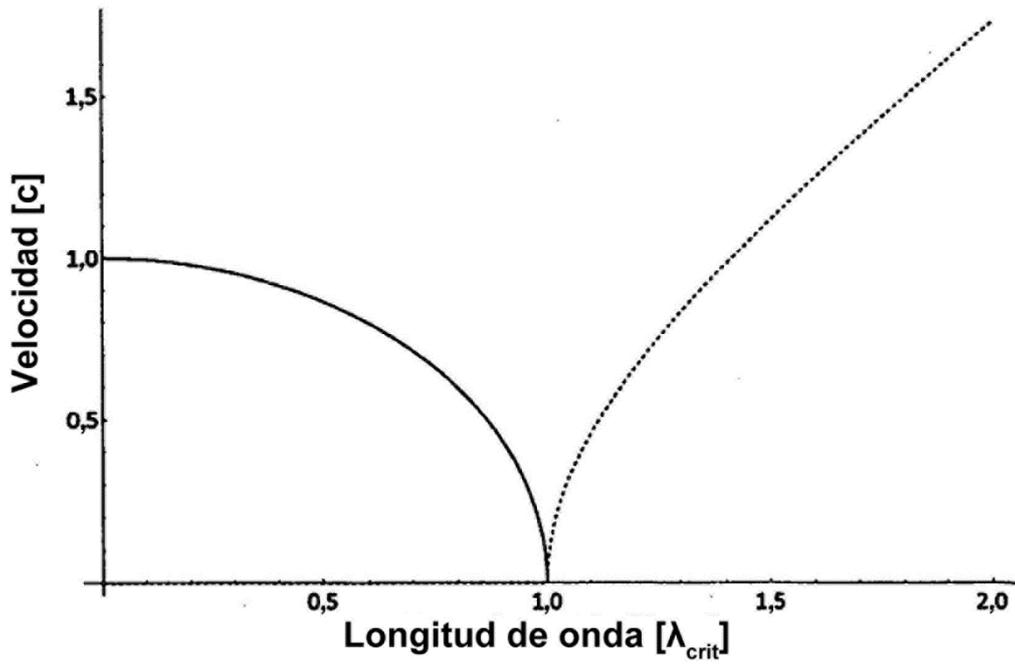
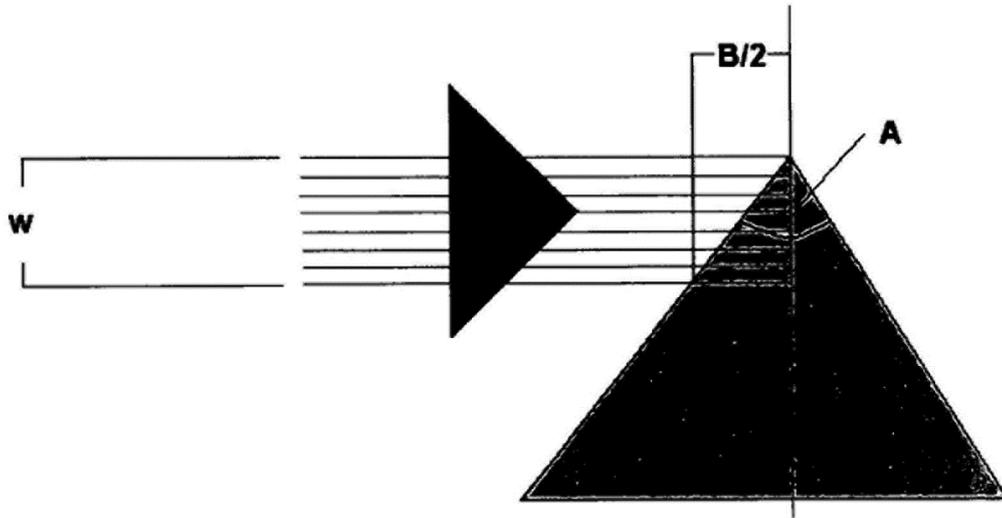


Fig.11b



TÉCNICA ANTERIOR

Fig.12

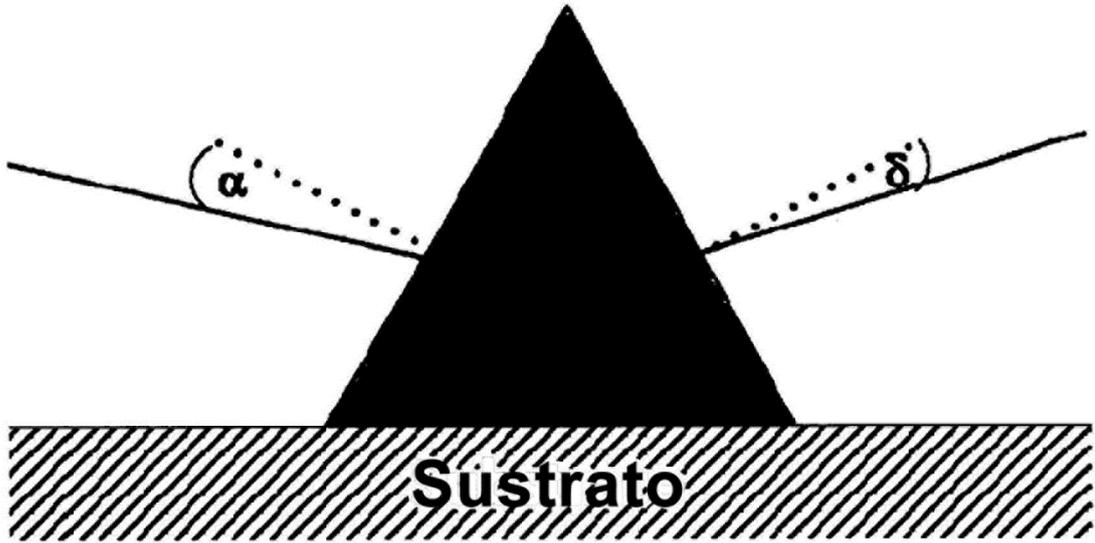


Fig.13

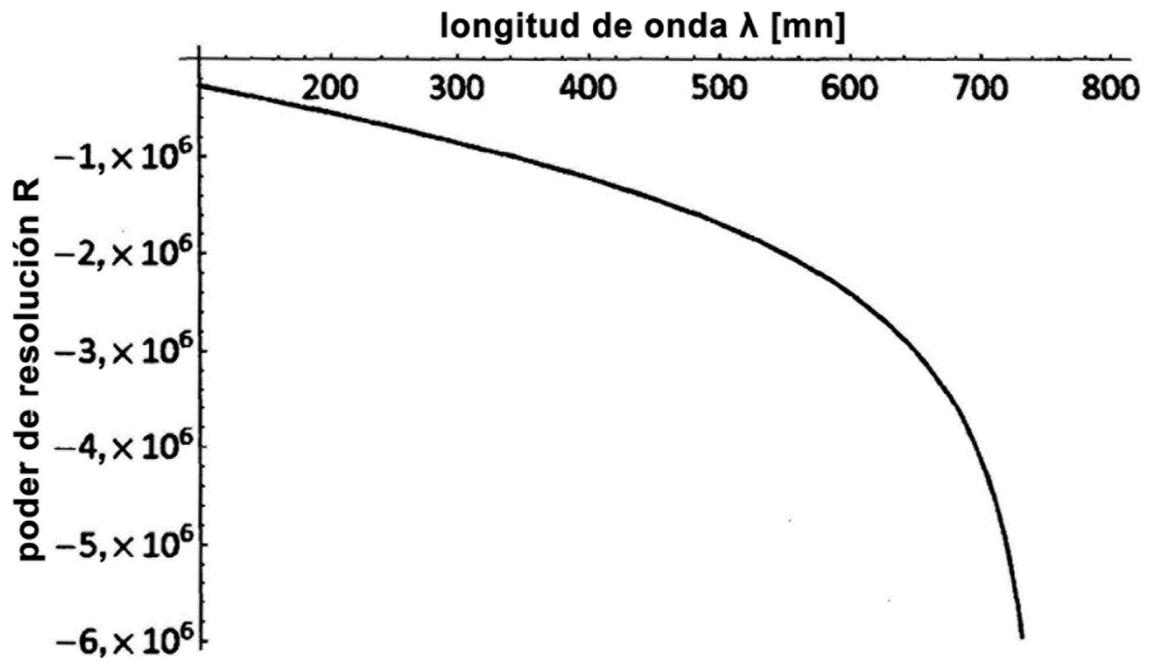


Fig.14

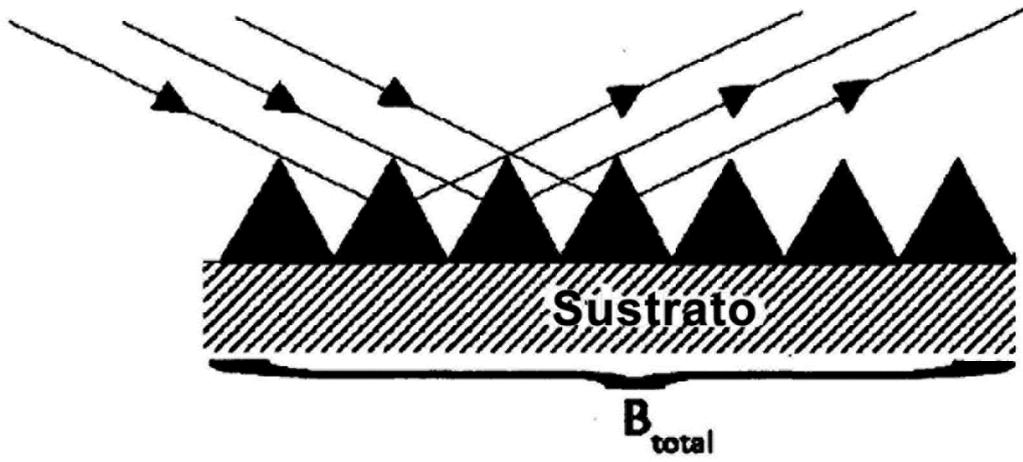


Fig.15

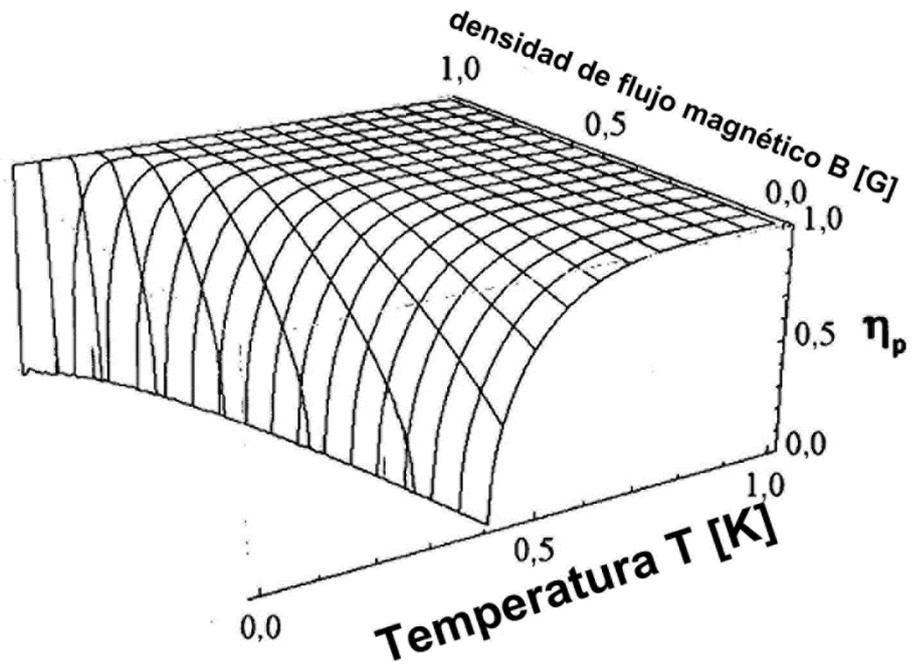


Fig.16

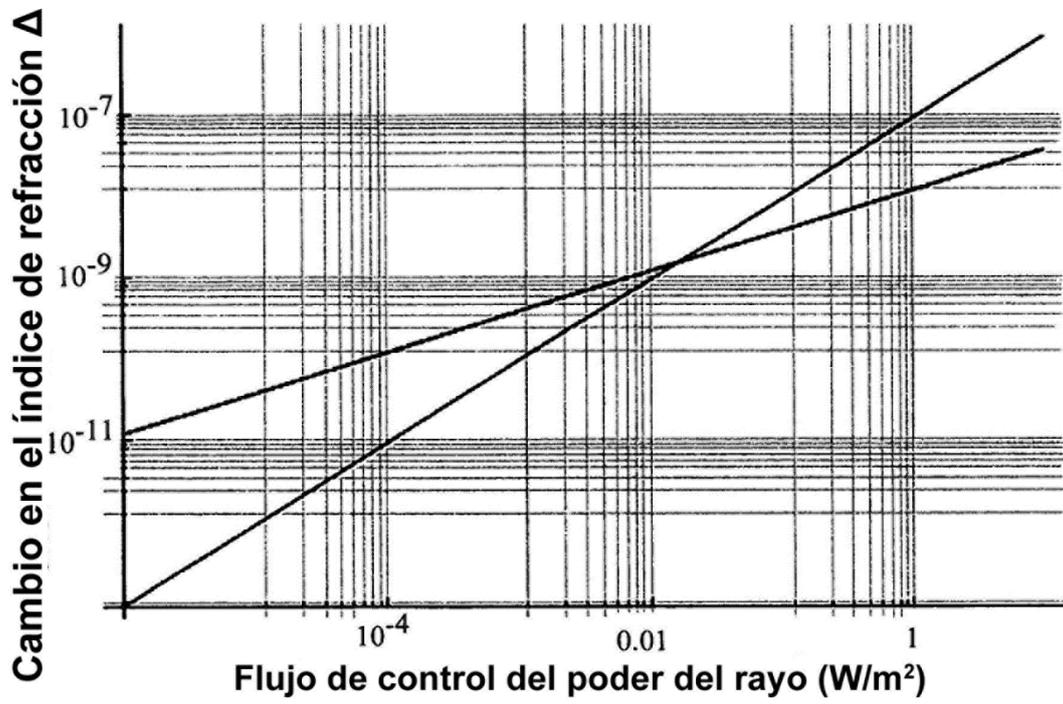


Fig.17a

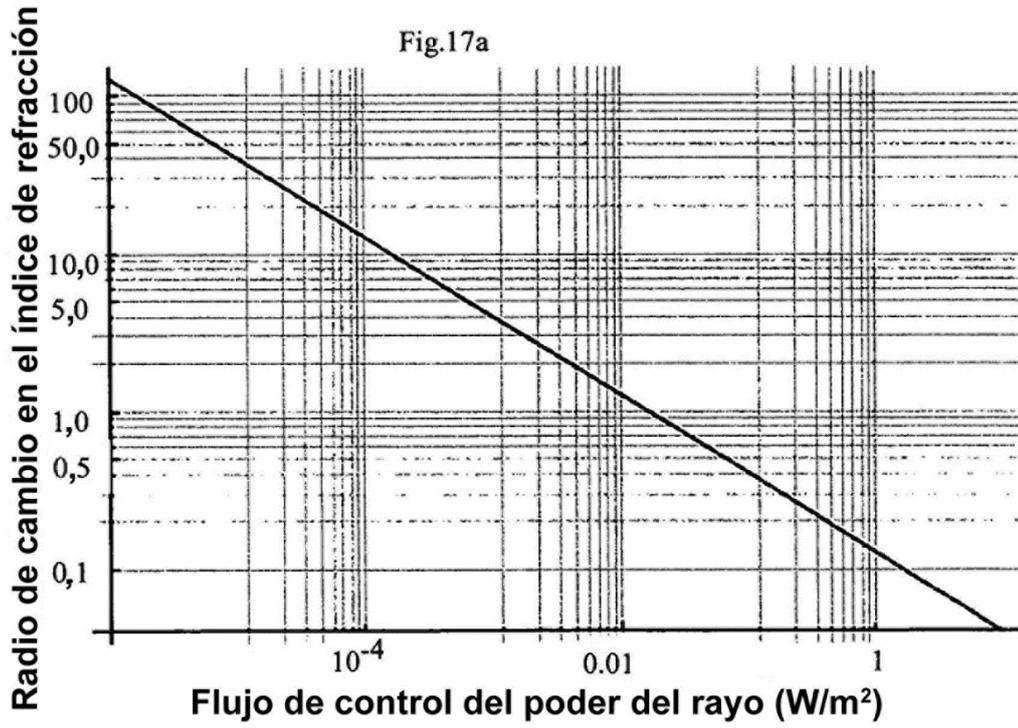


Fig.17b

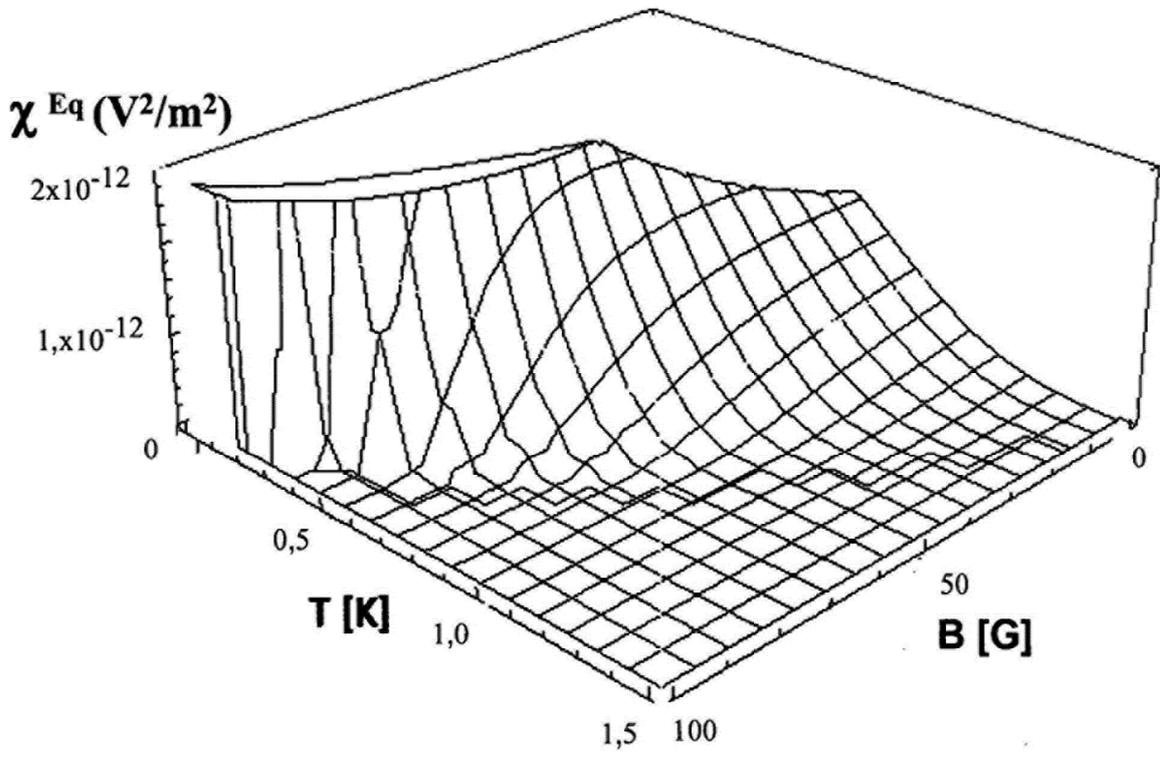


Fig.18