

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 836 268**

51 Int. Cl.:

G02B 6/122 (2006.01)

G01Q 60/22 (2010.01)

G01N 21/65 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **19.04.2017 E 17166975 (7)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **18.11.2020 EP 3287823**

54 Título: **Aguja óptica ahusada**

30 Prioridad:

24.08.2016 US 201662378684 P

20.12.2016 TW 105142127

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

24.06.2021

73 Titular/es:

**INDUSTRIAL TECHNOLOGY RESEARCH
INSTITUTE (50.0%)**

**No. 195, Sec. 4, Chung Hsing Road
Chutung, Hsinchu 31040, TW y**

NATIONAL TSING HUA UNIVERSITY (50.0%)

72 Inventor/es:

JIANG, RUEI-HAN;

CHU, JEN-YOU y

YEN, TA-JEN

74 Agente/Representante:

GONZÁLEZ PECES, Gustavo Adolfo

ES 2 836 268 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

Aguja óptica ahusada

5 **Campo técnico**

La divulgación se refiere a una estructura óptica y, en particular, se refiere a una aguja óptica ahusada.

10 **Antecedentes**

Junto con el desarrollo de la tecnología, los tamaños de los materiales y componentes se han reducido a una nanoescala, y la gente ha entrado en una nueva era de la nanotecnología. En diversos desarrollos de nanotecnología, la técnica de nano microscopía y la técnica de nano manipulación han atraído una gran atención y, con base en las técnicas antes mencionadas, los átomos, moléculas o disposición de moléculas se pueden controlar de acuerdo con las características del material, y se pueden crear nuevas técnicas aplicadas a la vida humana, por ejemplo, una técnica de litografía óptica, una técnica de detección de nanomateriales, detección de microarrastre, detección de ADN, etc. Sin embargo, en el desarrollo de la tecnología óptica, dado que una lente óptica está limitada por el límite de difracción de Abbe, el tamaño de una fuente de luz solo puede ser de varios cientos de nanómetros o más, lo que limita en gran medida el desarrollo de la tecnología óptica. Por otro lado, en la técnica de detección óptica, dado que la diferencia entre los tamaños de una fuente de luz y una nanosustancia es demasiado grande, la eficiencia de una fuerza de interacción entre la luz y la nanosustancia se reduce, lo que provoca una sensibilidad inadecuada de la detección óptica, por ejemplo, una señal Raman débil. Por lo tanto, bajo el actual desarrollo de la nanotecnología, es una de las tendencias de investigación más populares desarrollar una fuente de luz nanométrica estable.

En el actual desarrollo de la nanotecnología, la investigación del plasmón superficial ocupa un lugar importante. El plasmón de superficie es una onda de resonancia de gas de electrones colectivos que existe en la interfaz entre un metal y un dieléctrico, y dicha onda de resonancia puede producir un efecto de nanofoco de campo electromagnético para formar una fuente de nanoluz a través de un diseño de estructura específico, en el que la fuente de nanoluz tiene una nanoescala, y puede producir una fuerza de interacción de alta eficiencia con una sustancia con la nanoescala, de modo que se mejora la sensibilidad de la detección óptica para alcanzar el nivel de una sola molécula. En un nivel de la vida diaria, la tecnología de fuente de luz nano se puede aplicar para detectar contaminantes en el medio ambiente y alimentos tal como plastificantes, hormonas ambientales, fosfatos, etc., o aplicarse a la detección de campo biomédico, por ejemplo, calibración biológica no con base en colorantes, detección de antígenos, síntesis de ADN, detección de fármacos o biológicos y pruebas de tejidos, etc. Además, en el campo del microscopio, la tecnología de fuente de nanoluz se puede combinar con un procedimiento de espectroscopía Raman mejorada con punta (TERS) para aplicar a un microscopio de fuerza atómica (AFM), de esta manera, dicho dispositivo tiene tanto la sensibilidad de la espectroscopia Raman de superficie mejorada (SERS) como una resolución espectral ultraalta proporcionada por el AFM.

En el desarrollo actual de la estructura de la fuente de luz nano, el extremo frontal de una estructura en forma de aguja de una sonda se abre en 100 nm, y la fuente de luz a nanoescala se produce en un campo cercano de la abertura, aunque una intensidad de luz de la fuente de luz a nanoescala de dicha estructura está limitada por la teoría de Bethe, de modo que un flujo de luz de la fuente de nanoluz solo tiene una eficiencia de conversión de luz de 10^{-5} a 10^{-7} para disminuir la relación señal a ruido. Con el fin de mantener una relación señal a ruido suficiente para disminuir el tiempo de medición o el tiempo de exposición a la litografía, el tamaño real de una apertura de dicha estructura es de aproximadamente 50 a 100 nm, lo que da como resultado un hecho de que la resolución óptica es solo de 50 a 100 nm y una resolución espacial superior a 100 nm.

50 **Sumario**

La divulgación está dirigida a una aguja óptica ahusada como se define en la reivindicación 1.

La aguja óptica ahusada de la invención está adaptada para transportar la onda de plasmón superficial a la punta de la aguja óptica ahusada y formar un efecto de nanofoco en la punta para producir una fuente de luz a nanoescala de alta eficiencia, con el fin de mejorar la resolución y ganancia de emisión de luz. Alternativamente, la aguja óptica ahusada de la divulgación está adaptada para recibir una señal óptica desde la punta de la aguja óptica ahusada, para mejorar la resolución de medición.

Con el fin de hacer comprensibles las características y ventajas antes mencionadas y otras de la divulgación, a continuación, se describen en detalle varias realizaciones ejemplares acompañadas de figuras.

Breve descripción de los dibujos

La FIG. 1 es una vista lateral de una aguja óptica ahusada de acuerdo con una realización de la divulgación.

La FIG. 2 es una vista en sección transversal de la aguja óptica ahusada de la FIG. 1.

La FIG. 3A es una vista superior de la aguja óptica ahusada de la FIG. 1.

La FIG. 3B y la FIG. 3C son vistas superiores de una aguja óptica ahusada de acuerdo con otra realización.

La FIG. 4 es un diagrama esquemático de un dispositivo de fuente de luz que tiene la aguja óptica ahusada de la FIG. 1.

La FIG. 5A y la FIG. 5B son respectivamente diagramas esquemáticos de secciones transversales de una luz polarizada radial y una luz polarizada lineal.

La FIG. 6A a la FIG. 6C ilustra un flujo de fabricación de una aguja óptica ahusada de acuerdo con una realización de la divulgación.

La FIG. 7 es un diagrama de línea discontinua de variación del número de estructuras anulares de una aguja óptica ahusada y un factor de mejora de la intensidad de la luz de acuerdo con una realización de la divulgación.

La FIG. 8 es un diagrama de curva de variación de una mejora de la intensidad de luz de una fuente de nano-luz del dispositivo de fuente de luz de la FIG. 4 y una distancia desde la punta.

Descripción de realizaciones

La FIG. 1 es una vista lateral de una aguja óptica ahusada de acuerdo con una realización de la divulgación. La FIG. 2 es una vista en sección transversal de la aguja óptica ahusada de la FIG. 1. Refiriéndose a la FIG. 1 y la FIG. 2, en una realización de la divulgación, la aguja 50 óptica ahusada incluye una aguja 100 transmisora de luz ahusada y una capa 200 de transporte de ondas de plasmón superficial. La aguja 100 transmisora de luz ahusada tiene una primera punta T1, una parte 120 inferior y una superficie S1 curvada que conecta la primera punta T1 y la parte 120 inferior. Para ser específicos, la aguja 100 transmisora de luz ahusada de la presente realización es una estructura ahusada circularmente simétrica, y la superficie S1 curvada es una superficie ahusada de la aguja 100 transmisora de luz ahusada. La superficie ahusada puede ser una superficie cuasiparabólica, una superficie cónica u otras superficies curvas ahusadas circularmente simétricas, y en la presente realización, la superficie S1 curvada es, por ejemplo, una superficie cuasi-parabólica, como se muestra en la FIG. 1, aunque la divulgación no se limita a ello.

La FIG. 3A es una vista superior de la aguja óptica ahusada de la FIG. 1. La FIG. 3B y la FIG. 3C son vistas desde arriba de una aguja óptica ahusada de acuerdo con otras realizaciones de la divulgación. La FIG. 4 es un diagrama esquemático de un dispositivo de fuente de luz que tiene la aguja óptica ahusada de la FIG. 1. Refiriéndose a la FIG. 2 a la FIG. 4, en la presente realización, el dispositivo 75 de fuente de luz incluye una aguja 50 óptica ahusada y una fuente 300 de luz de excitación utilizada para emitir un rayo LB1 de excitación a la aguja 50 óptica ahusada, en la que la capa 200 de transporte de ondas de plasmón superficial se dispone sobre la superficie S1 curvada. En concreto, la capa 200 de transporte de ondas de plasmón superficial cubre la primera punta T1 y la superficie S1 curvada de la aguja 100 transmisora de luz ahusada. La capa 200 de transporte de ondas de plasmón superficial tiene una estructura 210 de hendidura curva. En concreto, la estructura 210 de hendidura curva es en realidad una brecha, como se muestra en la FIG. 2. Por lo tanto, la aguja 100 transmisora de luz ahusada interna puede entrar en contacto simultáneamente con la capa 200 de transporte de ondas de plasmón superficial y el aire a través de la brecha. Cuando la fuente 300 de luz de excitación proporciona una luz polarizada radial que ingresa a la aguja 100 transmisora de luz ahusada desde la parte 120 inferior, se induce una onda de plasmón superficial en la estructura 210 de hendidura curva y la onda de plasmón superficial se transporta sobre una superficie S2 exterior de la capa 200 de transporte de ondas de plasmón superficial de cara hacia afuera de la aguja 100 transmisora de luz ahusada. En la presente realización, un material de la aguja 100 transmisora de luz ahusada incluye dióxido de silicio, por ejemplo, vidrio con un componente principal de dióxido de silicio, y un material de la capa 200 de transporte de ondas de plasmón superficial puede ser metal, por ejemplo, oro, plata, aluminio, etc., que se adapta a una situación en la que el rayo LB1 de excitación es un rayo de luz visible ya que el dióxido de silicio es un material transparente para la luz visible. En otras realizaciones, el material de la aguja 100 transmisora de luz ahusada incluye silicio, por ejemplo, un componente principal de la misma es silicio, y el material de la capa 200 de transporte de ondas de plasmón superficial puede ser de un material semiconductor, por ejemplo, carburo de silicio, que se adapta a una situación en la que el rayo LB1 de excitación es un rayo de luz infrarroja ya que el silicio es un material transparente para la luz infrarroja, aunque la divulgación no se limita al mismo.

Además, en la presente realización, un grosor de la capa 200 de transporte de ondas de plasmón superficial es mayor que una profundidad D de penetración que el rayo LB1 de excitación penetra a través de la capa 200 de

transporte de ondas de plasmón superficial, y la profundidad de penetración D satisface: $D = \frac{\lambda}{4\pi(n_{sp}'')}$, en la que λ es

una longitud de onda del rayo LB1 de excitación, n_{sp}'' es una parte imaginaria de un índice de refracción de la capa

200 de transporte de ondas de plasmón superficial. Un ancho B de hendidura de la estructura 210 de hendidura curva

satisface: $B < \frac{\lambda}{2}$, en otras palabras, el ancho B de hendidura de la estructura 210 de hendidura curva es menor

que la mitad de la longitud de onda del rayo LB1 de excitación, por lo que se disminuye una transmitancia de luz de la hendidura para reducir el ruido, aunque la divulgación no se limita a ello.

Por otro lado, la estructura 210 de hendidura curva incluye una pluralidad de porciones P curvas dispuestas desde la primera punta T1 hasta un borde R de la parte 120 inferior y ubicadas entre la primera punta T1 y el borde R de la parte 120 inferior, y las direcciones de extensión de las porciones P curvas son diferentes a una dirección desde la primera punta T1 hasta el borde R de la parte 120 inferior. En concreto, la estructura 210 de hendidura curva es una hendidura anular simétrica circularmente que se extiende para formar un círculo, como se muestra en la FIG. 3A. Sin embargo, en otras realizaciones, visto desde una vista superior, la estructura 210 de hendidura curva puede ser una hendidura en espiral continua (como se muestra en la FIG. 3C), o puede estar construida por una pluralidad de hendiduras anulares en forma de C con diferentes radios tomando la primera punta T1 como centro común. En la presente realización, la hendidura anular se toma como ejemplo para la descripción, como se muestra en la FIG. 3A, aunque la divulgación no se limita a la misma. Además, en otras realizaciones, una distancia entre un centro de una proyección ortogonal de la estructura 210 de hendidura curva sobre un plano E de referencia paralelo a la parte 120 inferior y una proyección ortogonal de la primera punta T1 sobre el plano E de referencia no es mayor de 1/10 de la longitud de onda del rayo LB1 de excitación utilizado para conducir la aguja 50 óptica ahusada. Por ejemplo, tomando la estructura anular como ejemplo, una distancia entre una proyección ortogonal de un centro de la estructura anular en el plano E de referencia y una proyección ortogonal de la primera punta T1 en el plano E de referencia puede estar dentro de 1/10 de la longitud de onda del rayo LB1 de excitación, aunque la divulgación no se limita a ello.

Por otro lado, un extremo de la capa 200 de transporte de ondas de plasmón superficial de cara hacia afuera de la primera punta T1 es una segunda punta T2, y entre las porciones P curvas dispuestas desde la primera punta T1 de la aguja 100 transmisora de luz ahusada hasta el borde R de la parte 120 inferior, la distancia entre la segunda punta T2 y la porción P curvada más cercana a la segunda punta T2 y las distancias entre las porciones P curvas adyacentes son todas diferentes. En resumen, las distancias entre las porciones P curvas adyacentes dispuestas desde la primera punta T hasta el borde R de la parte 120 inferior son distancias específicas, y las distancias son diferentes entre sí, para producir una resonancia de plasmón superficial. Es decir, las porciones P curvas están ubicadas en las posiciones que producen la resonancia del plasmón superficial en la superficie S2 exterior de la capa 200 de transporte de ondas de plasmón superficial. En detalle, las posiciones reales de las porciones P curvas se determinan una a una hacia afuera desde el centro mediante un programa de simulación bidimensional de acuerdo con una apariencia de la superficie S2 exterior de la estructura 210 de hendidura curva, y luego se simula una resistencia del campo electromagnético óptima producida en la segunda punta T2 mediante un programa de simulación tridimensional. Por ejemplo, una distancia L1 entre la segunda punta T2 y la porción P curvada más cercana a la segunda punta T2 es 10 veces la mitad de la longitud de onda de la onda de plasmón superficial; una distancia L2 entre la porción P curvada más cercana a la segunda punta T2 y la porción P curvada en segundo lugar más cercana a la segunda punta T2 es 6 veces la mitad de la longitud de onda de la onda de plasmón superficial; una distancia L3 entre la porción P curvada en segundo lugar más cercana a la segunda punta T2 y la porción P curvada en tercer lugar más cercana a la segunda punta T2 es 3 veces la mitad de la longitud de onda de la onda de plasmón superficial; una distancia L4 entre la porción P curvada en tercer lugar más cercana a la segunda punta T2 y la porción P curvada en cuarto lugar más cercana a la segunda punta T2 es 4 veces la mitad de la longitud de onda de la onda de plasmón superficial; una distancia L5 entre la porción P curvada en cuarto lugar más cercana a la segunda punta T2 y la porción P curvada en quinto lugar más cercana a la segunda punta T2 es una vez la mitad de la longitud de onda de la onda de plasmón superficial; y una distancia L6 entre la porción P curvada en quinto lugar más cercana a la segunda punta T2 y la porción P curvada en sexto lugar más cercana a la segunda punta T2 es 2 veces la mitad de la longitud de onda de la onda de plasmón superficial, como se muestra en la FIG. 2 (solo se ilustran L1 y L2). En otras palabras, la distancia entre la segunda punta T2 y la porción P curvada más cercana a la segunda punta T2 y las distancias entre todas las porciones P curvas adyacentes pueden ser múltiplos enteros positivos de la mitad de la longitud de onda de la onda de plasmón superficial excitada. Por otro lado, la distancia L entre la segunda punta T2 y cada una de las porciones P curvas dispuestas desde la segunda punta T2 hasta el borde R de la parte 120 inferior

en la estructura 210 de hendidura curva, satisface: $0 < L \leq \frac{1}{2k_{sp}''}$, y $k_{sp} = k_{sp}' + ik_{sp}'' = \left[\frac{\omega}{c} \left(\frac{\varepsilon_1 \varepsilon_2}{\varepsilon_1 + \varepsilon_2} \right)^{1/2} \right]$,

en la que k_{sp} es una constante del vector de onda de la onda del plasmón superficial, k_{sp}' e ik_{sp}'' son

respectivamente una parte real y una parte imaginaria de k_{sp} , ω es una frecuencia de la fuente de luz de excitación, C es la velocidad de la luz, ε_1 es un coeficiente dieléctrico de la capa de transporte de ondas de plasmón superficial, ε_2 es una parte real de un coeficiente dieléctrico de la aguja 100 transmisora de luz ahusada. El ajuste de posición de la estructura 210 de hendidura curva y las porciones P curvas en la misma optimizadas por los programas de simulación pueden mejorar en gran medida el efecto de enfoque de la aguja 50 óptica ahusada, y la resistencia de mejora del campo eléctrico de la misma es mucho mayor que la de una sonda óptica de corriente principal general.

La FIG. 5A y FIG. 5B son respectivamente diagramas esquemáticos de secciones transversales de una luz polarizada radial y una luz polarizada lineal. Refiriéndose a la FIG. 4 a la FIG. 5B, la aguja 50 óptica ahusada de la divulgación es impulsada por el rayo LB1 de excitación, en la que el rayo LB1 de excitación puede ser una luz polarizada radial (como se muestra en la FIG. 5A), y entra en la aguja 50 óptica ahusada para conducir la misma desde la parte 120 inferior hacia la primera punta T1 a lo largo de una dirección perpendicular al plano E de referencia. Una dirección K1 de polarización de cada parte de la luz polarizada radial que rodea un eje central del rayo está en una dirección radial perpendicular al eje central, como se muestra en la FIG. 5A. En otras realizaciones, el rayo LB1 de excitación también puede ser una luz polarizada lineal (como se muestra en la FIG. 5B), que ingresa a la aguja óptica 50 ahusada para conducir la misma desde la parte 120 inferior hacia la primera punta T1 a lo largo de una dirección que incluye un ángulo con el plano E de referencia. En otras palabras, una dirección de incidencia del rayo LB1 de excitación implementada por la luz polarizada lineal no es paralela a una dirección desde la primera punta T1 hasta un centro de la parte 120 inferior, aunque la descripción no se limita a ello. Una dirección K2 de polarización de la luz polarizada lineal es perpendicular al eje central del rayo, y la dirección K2 de polarización de todo el rayo es hacia la misma dirección. Cuando la aguja 50 óptica ahusada es impulsada por el rayo LB1 de excitación, la estructura 210 de hendidura curva puede inducir la onda de plasmón superficial en la capa 200 de transporte de ondas de plasmón superficial, y la onda de plasmón superficial se enfoca en la segunda punta T2 para formar una fuente LB2 de luz a nanoescala. Concretamente, cuando el rayo LB1 de excitación entra en la aguja 100 transmisora de luz ahusada, la onda de plasmón superficial se induce en la estructura 210 de hendidura curva y la onda plasmón superficial se transporta en la superficie S2 exterior de la capa 200 de transporte de ondas de plasmón superficial para formar la resonancia de plasmón superficial. Finalmente, la onda de plasmón superficial se enfoca en la segunda punta T2 para formar la fuente LB2 de luz a nanoescala.

La FIG. 6A a la FIG. 6C ilustra un flujo de fabricación de una aguja óptica ahusada de acuerdo con una realización de la divulgación. Refiriéndose a la FIG. 6A a la FIG. 6C, en los pasos de fabricación de la aguja 50 óptica ahusada de la divulgación, en primer lugar, se prepara la aguja 100 transmisora de luz ahusada conectada a un sustrato, en la que la aguja 100 transmisora de luz ahusada se puede fabricar utilizando dióxido de silicio a través de un procedimiento de grabado no isotrópico, y la aguja 100 transmisora de luz ahusada incluye la primera punta T1 y la parte 120 inferior, como se muestra en la FIG. 6A. Luego, una capa 220 de reflexión y la capa 200 de transporte de ondas de plasmón superficial se recubren respectivamente sobre la aguja 100 transmisora de luz ahusada a manera de chisporroteo a lo largo de una dirección desde la parte 120 inferior hasta la primera punta T1 y una dirección desde la primera punta T1 hasta la parte 120 inferior (una dirección A de chisporroteo mostrada en la FIG. 6B). En la presente realización, un material de la capa 220 de reflexión recubierta y la capa 200 de transporte de ondas de plasmón superficial recubierta es metal, por ejemplo, oro, como se muestra en la FIG. 6B, aunque la divulgación no se limita a la misma. Luego, se adopta un rayo de iones enfocado para ahuecar el sustrato en la parte 120 inferior para facilitar el paso del rayo de excitación. En otras realizaciones, el sustrato en la parte 120 inferior no está ahuecado de modo que la aguja 50 óptica ahusada pueda utilizarse como sonda, en el que la capa 220 de reflexión puede servir como superficie de reflexión para reflejar, por ejemplo, un rayo láser en un microscopio de fuerza atómica (AFM). Por otro lado, de acuerdo con los datos de posición de la estructura 210 de hendidura curva determinados de antemano mediante el uso del programa de simulación bidimensional de acuerdo con la apariencia de la superficie S1 curvada de la aguja 100 transmisora de luz ahusada, se adopta el rayo de iones enfocado para formar la estructura 210 de hendidura curva sobre la superficie S1 curvada, con el fin de completar la aguja 50 óptica ahusada de la divulgación, como se muestra en la FIG. 6C.

La FIG. 7 es un diagrama de línea discontinua de variación del número de estructuras anulares de una aguja óptica ahusada y un factor de mejora de la intensidad de la luz de acuerdo con una realización de la divulgación. La FIG. 8 es un diagrama de curva de variación de una mejora de la intensidad de luz de una fuente de nanoluz del dispositivo de fuente de luz de la FIG. 4 y una distancia desde la punta. Refiriéndose a la FIG. 3A, la FIG. 7 y la FIG. 8, como se describió anteriormente, con respecto a la estructura 210 de hendidura curva en la aguja 50 óptica ahusada de la divulgación, la posición real de la misma se determina mediante el programa de simulación bidimensional adoptando la luz polarizada radial de acuerdo con una condición de resonancia de onda de plasmón. Una curva 410 en la FIG. 7 representa una relación entre la mejora de la intensidad de la luz correspondiente al número de estructuras anulares

en la estructura 210 de hendidura curva y una mejora de la intensidad del rayo LB1 de excitación: $E_F = \left| \frac{E_{\text{punta}}}{E_{\text{iluminación}}} \right|^2$

(factor de mejora), en la que E_{punta} se refiere a un campo eléctrico en la segunda punta T2, y $E_{\text{iluminación}}$ se refiere a un campo eléctrico del rayo LB1 de excitación, como se muestra en la escala izquierda de la FIG. 7, en la que el factor de mejora de la intensidad de la luz aumenta junto con el aumento del número de estructuras anulares, y cuanto más aumenta el número de estructuras anulares, el aumento de la mejora de la intensidad de la luz se vuelve más plano. Por ejemplo, cuando el número de estructuras anulares es 1, el factor E_{F1} de mejora de la intensidad de la luz de las mismas es aproximadamente 30, y cuando el número de estructuras anulares es 2, el factor E_{F2} de mejora de la intensidad de la luz de las mismas es de aproximadamente 50, de modo que la mejora total de la intensidad de la luz se puede incrementar aumentando el número de estructuras anulares, como se muestra por la curva 410 de la FIG. 7. Por otro lado, una curva 420 en la FIG. 7 representa una eficiencia de mejora de la intensidad de la luz

$$\frac{E_{FN}}{E_{F(N-1)}} \quad (\text{en la que } E_{FN} \text{ representa el valor de } E_F \text{ (es decir, el factor de mejora de la intensidad de la luz) en el}$$

5 caso de las N estructuras en forma de anillo) obtenida cuando la estructura 210 de hendidura curva tiene N estructuras en forma de anillo y cuando la estructura 210 de hendidura curva tiene (N-1) estructuras anulares, y la eficiencia de mejora de las mismas se aplanan gradualmente junto con el aumento del número de estructuras anulares, como se muestra en la escala derecha de la FIG. 7. Por ejemplo, la eficiencia de mejora de la intensidad de la luz obtenida en el caso de que el número de la estructura anular sea 1 y el número de la estructura anular sea 0 es aproximadamente 13, y la eficiencia de mejora de la intensidad de la luz obtenida en caso de que el número de la estructura anular es 2 y el número de la estructura en forma de anillo es 1 es aproximadamente 2. Por lo tanto, de acuerdo con el resultado de la FIG. 7, se aprende que la diferencia entre un efecto de mejora de la aguja 50 óptica ahusada con 7 estructuras anulares y un efecto de mejora de la aguja 50 óptica ahusada con 6 estructuras anulares no es grande, por lo que la aguja 50 óptica ahusada optimizada con 6 estructuras anulares ha alcanzado la optimización de la mejora de la intensidad del campo óptico. Cabe señalar que una mejora del campo eléctrico de una sonda de tipo de apertura general es aproximadamente 100 veces, y la mejora de la intensidad de la luz de la aguja 50 óptica manipulada fabricada de acuerdo con la divulgación puede alcanzar aproximadamente 4000 veces (como se muestra en la FIG. 8), que tiene un efecto de mejora 40 veces mayor que el de la sonda de tipo apertura general, y en la segunda punta T2, la mejora del campo eléctrico puede llegar incluso a 7000 veces. Por otro lado, con respecto a la fuente LB2 de luz a nanoescala producida en la segunda punta T2, se aprende que un ancho completo a la mitad del máximo (FWHM) W de la misma es de aproximadamente 7,8 nm de acuerdo con la relación entre el aumento de la intensidad de la luz y el distancia desde la segunda punta T2, y dado que la sonda utilizada en la divulgación es una sonda del tipo sin apertura, el radio de la punta de la aguja de la misma se puede reducir para mejorar la resolución espacial. En otras palabras, el tamaño de la fuente LB2 de luz a nanoescala puede considerarse de 7,8 nm, y la resolución óptica de la aguja 50 óptica ahusada de la divulgación puede alcanzar un tamaño inferior a 10 nm.

El procedimiento de fabricación de la aguja 50 óptica ahusada de la divulgación se puede combinar además con una técnica de sistemas microelectromecánicos (MEMS), de modo que la aguja 50 óptica ahusada de la divulgación tenga una mayor estabilidad en comparación con la sonda óptica convencional, y tiene mayor aplicabilidad en aplicaciones comerciales. La aguja 50 óptica ahusada de la divulgación también se puede aplicar a un campo de detección de material para que sirva como sonda, por ejemplo, aplicada a un microscopio óptico de barrido de campo cercano (NSOM), una espectroscopia Raman de mejora de punta (TERS) o un dispositivo de diodo emisor de luz para utilizar como una estructura de acoplamiento óptico. Es decir, la aguja 50 óptica ahusada en las realizaciones de la divulgación puede recibir una señal de luz externa a través de la segunda punta T2, para mejorar una resolución de medición.

En resumen, en la aguja óptica ahusada en las realizaciones de la divulgación, la capa de transporte de ondas de plasmón superficial tiene la estructura de hendidura curvada, para inducir una onda de plasmón superficial sobre la capa de transporte de ondas de plasmón superficial. De esta manera, la aguja óptica ahusada en las realizaciones de la divulgación está adaptada para transportar la onda de plasmón superficial hasta la punta de la aguja óptica ahusada y formar un efecto de nanofoco en la punta para producir una fuente de luz a nanoescala de alta eficiencia, y puede mejorar la resolución y la ganancia de emisión de luz. Alternativamente, la aguja óptica ahusada en las realizaciones de la divulgación está adaptada para recibir una señal óptica desde la punta de la aguja óptica ahusada, para mejorar la resolución de medición.

REIVINDICACIONES

1. Una aguja (50, 50a, 50b, 50c) óptica ahusada, que comprende:

5 una aguja (100) transmisora de luz ahusada, que tiene una primera punta (T1), una parte (120) inferior y una superficie (S1) curvada que conecta la primera punta (T1) y la parte (120) inferior; y

una capa (200) de transporte de ondas de plasmón superficial, dispuesta sobre la superficie (S1) curvada y que cubre la primera punta (T1);

10

caracterizada porque

la capa (200) de transporte de ondas de plasmón superficial tiene una estructura (210) de hendidura curvada formada por una pluralidad de porciones (P) de hendidura curvada en la capa (200) de transporte de ondas de plasmón superficial dispuesta desde la primera punta (T1) hasta un borde (R) de la parte (120) inferior y ubicada entre la primera punta (T1) y el borde (R) de la parte (120) inferior, y las direcciones de extensión de cada una de las porciones (P) de hendidura curvada son diferentes a una dirección desde la primera punta (T1) hasta el borde (R) de la parte (120) inferior;

20 una línea de sección transversal de la superficie curvada formada cortando la superficie (S1) curvada a lo largo de un plano que incluye un eje óptico de la aguja transmisora de luz ahusada es una línea curva; y

un extremo de la capa (200) de transporte de ondas de plasmón superficial de cara hacia afuera de la primera punta (T1) es una segunda punta (T2), una distancia (L1) entre la segunda punta (T2) y la porción curvada más cercana a la segunda punta (T2) entre las porciones (P) de hendidura curvada y las distancias (L2) entre dos porciones (P) de hendidura curvada adyacentes respectivamente en un plano de referencia que contiene la segunda punta (T2) y perpendicular a la parte (120) inferior, son todos diferentes.

30 2. La aguja (50, 50a, 50b, 50c) óptica ahusada según la reivindicación 1, en la que la aguja (50, 50a, 50b, 50c) óptica ahusada es accionada por una fuente (300) de luz de excitación, y se induce una onda de plasmón superficial en la estructura (210) de hendidura curvada, y las porciones (P) de hendidura curvada se ubican en posiciones que producen una resonancia de plasmón superficial en una superficie de la capa (200) de transporte de ondas de plasmón superficial mirando hacia afuera de la aguja (100) transmisora de luz ahusada, y se forma una fuente (LB2) de luz a nanoescala enfocando en un extremo de la capa (200) de transporte de ondas de plasmón superficial mirando hacia afuera de la primera punta (T1).

40 3. La aguja (50, 50a, 50b, 50c) óptica ahusada según la reivindicación 2, en la que la fuente (300) de luz de excitación proporciona una luz polarizada radial para accionar la aguja (50, 50a, 50b, 50c) óptica ahusada.

45 4. La aguja (50, 50a, 50b, 50c) óptica ahusada según la reivindicación 2, en la que la fuente (300) de luz de excitación proporciona una luz polarizada lineal a la aguja (50, 50a, 50b, 50c) óptica ahusada para accionar la aguja (50, 50a, 50b, 50c) óptica ahusada, y una dirección de incidencia de la luz polarizada lineal no es paralela a una dirección desde la primera punta (T1) hasta un centro de la parte (120) inferior.

5. La aguja (50, 50a, 50b, 50c) óptica ahusada según la reivindicación 1, en la que la aguja (100) transmisora de luz ahusada es una estructura ahusada circularmente simétrica.

50 6. La aguja (50, 50a, 50b, 50c) óptica ahusada según la reivindicación 5, en la que la superficie (S1) curvada es una superficie cuasiparabólica.

7. La aguja (50, 50a, 50b, 50c) óptica ahusada según la reivindicación 1, en la que un material de la aguja (100) transmisora de luz ahusada comprende dióxido de silicio.

55 8. La aguja (50, 50a, 50b, 50c) óptica ahusada según la reivindicación 7, en la que un material de la capa (200) de transporte de ondas de plasmón superficial es metal.

9. La aguja (50, 50a, 50b, 50c) óptica ahusada según la reivindicación 1, en la que un material de la aguja (100) transmisora de luz ahusada comprende silicio.

60

10. La aguja (50, 50a, 50b, 50c) óptica ahusada según la reivindicación 9, en la que la capa (200) de transporte de ondas de plasmón superficial es un material semiconductor.

65 11. La aguja (50, 50a, 50b, 50c) óptica ahusada según la reivindicación 1, en la que la aguja (50, 50a, 50b, 50c) óptica ahusada es accionada por una fuente (300) de luz de excitación, una distancia L entre la segunda punta (T2) y cada una de las porciones (P) de hendidura curvada dispuestas desde la segunda punta (T2) hasta el

borde (R) de la parte (120) inferior en la estructura (210) de hendidura curvada satisface: $0 < L \leq \frac{1}{2k_{sp}''}$, y

5 $k_{sp} = k_{sp}' + ik_{sp}'' = \left[\frac{\omega}{c} \left(\frac{\epsilon_1 \epsilon_2}{\epsilon_1 + \epsilon_2} \right)^{1/2} \right]$, en la que k_{sp} es una constante del vector de onda de la onda del plasmón

10 superficial, k_{sp}' e ik_{sp}'' son respectivamente una parte real y una parte imaginaria de k_{sp} , ω es una frecuencia de la fuente (300) de luz de excitación, c es una velocidad de la luz, ϵ_1 es un coeficiente dieléctrico de la capa (200) de transporte de ondas de plasmón superficial, ϵ_2 es una parte real de un coeficiente dieléctrico de la aguja (100) transmisora de luz ahusada.

15 12. La aguja (50, 50a, 50b, 50c) óptica ahusada según la reivindicación 1, en la que una distancia entre un centro de una proyección ortogonal de la estructura (210) de hendidura curvada sobre un plano (E) de referencia paralelo a la parte (120) inferior y una proyección ortogonal de la primera punta (T1) sobre el plano (E) de referencia no es más de 1/10 de una longitud de onda de una fuente (300) de luz de excitación utilizada para accionar la aguja (50, 50a, 50b, 20 50c) óptica ahusada.

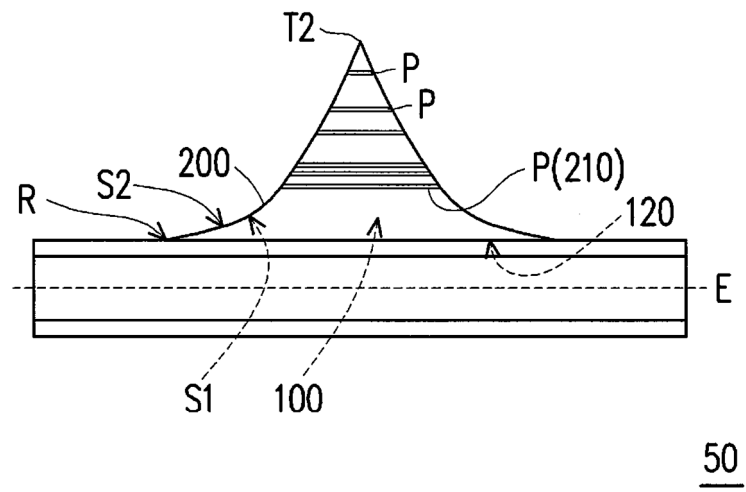


FIG. 1

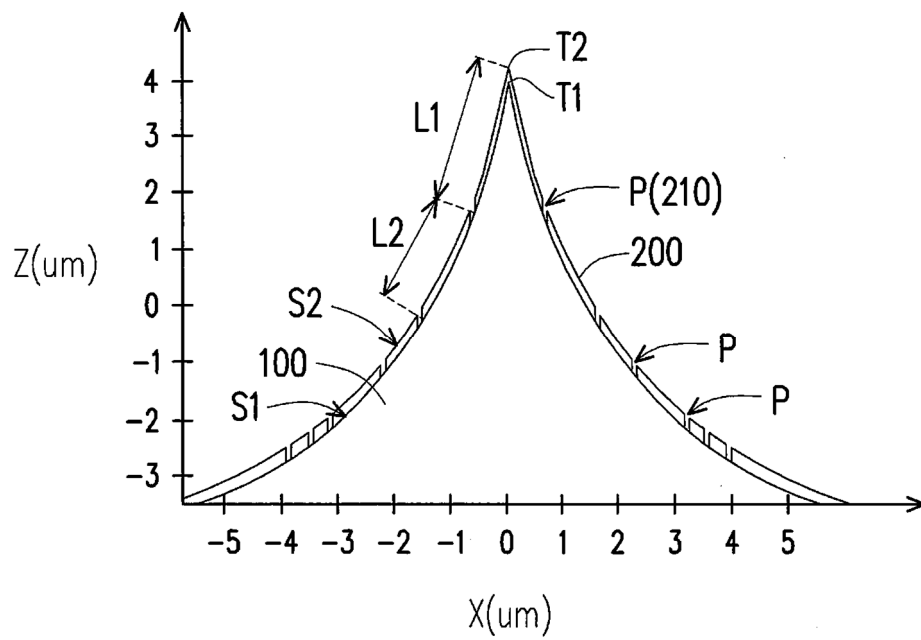
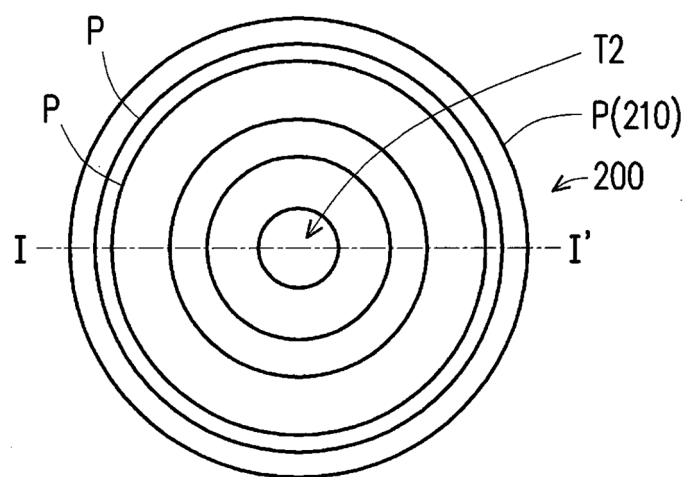
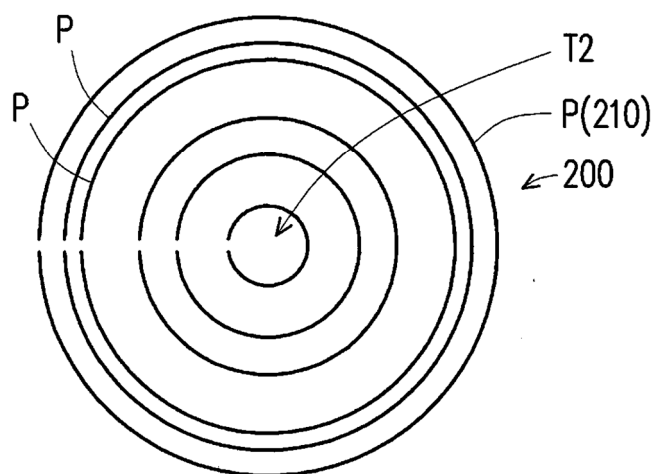


FIG. 2



50a

FIG. 3A



50b

FIG. 3B

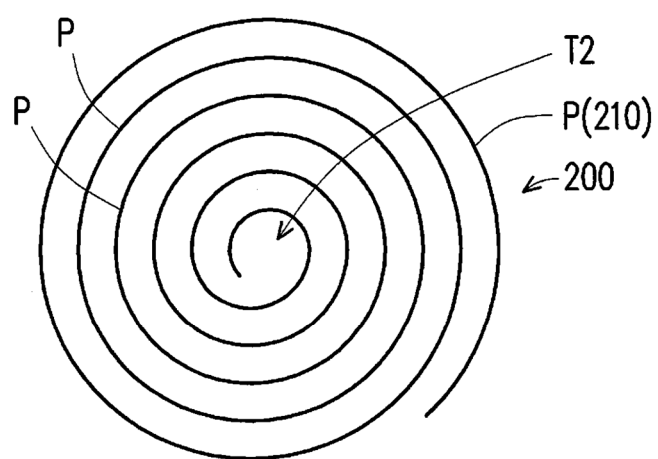


FIG. 3C

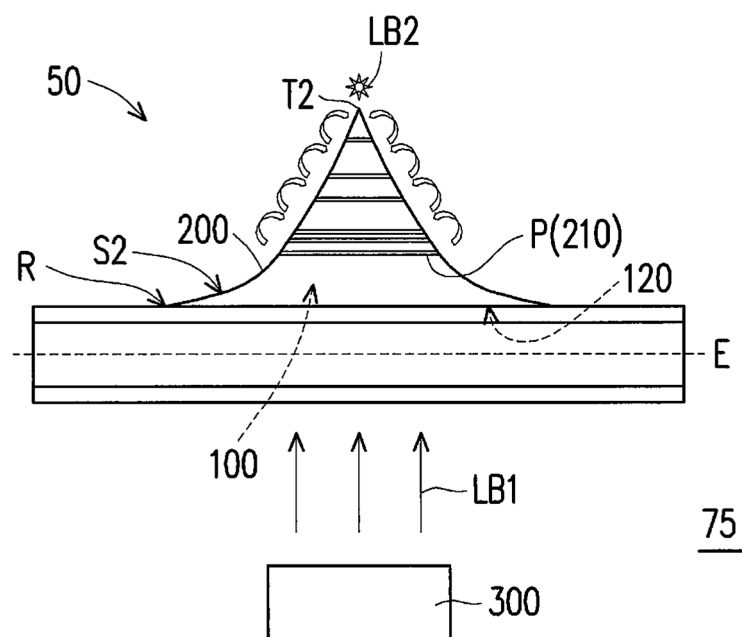


FIG. 4

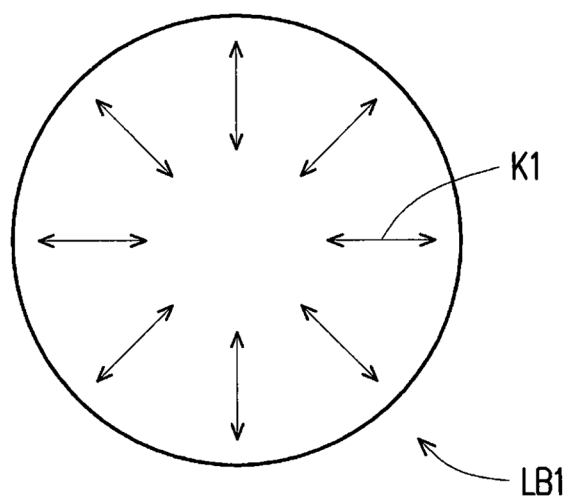


FIG. 5A

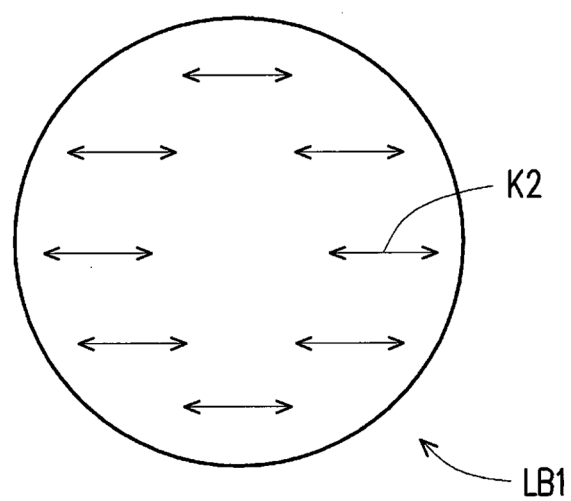


FIG. 5B

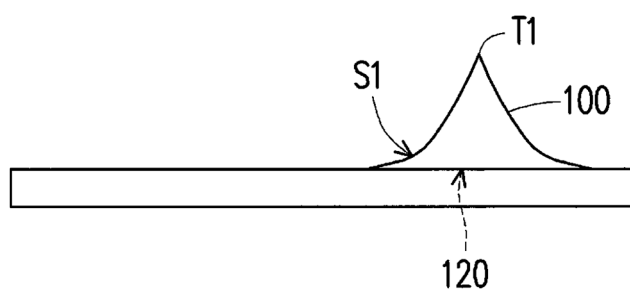


FIG. 6A

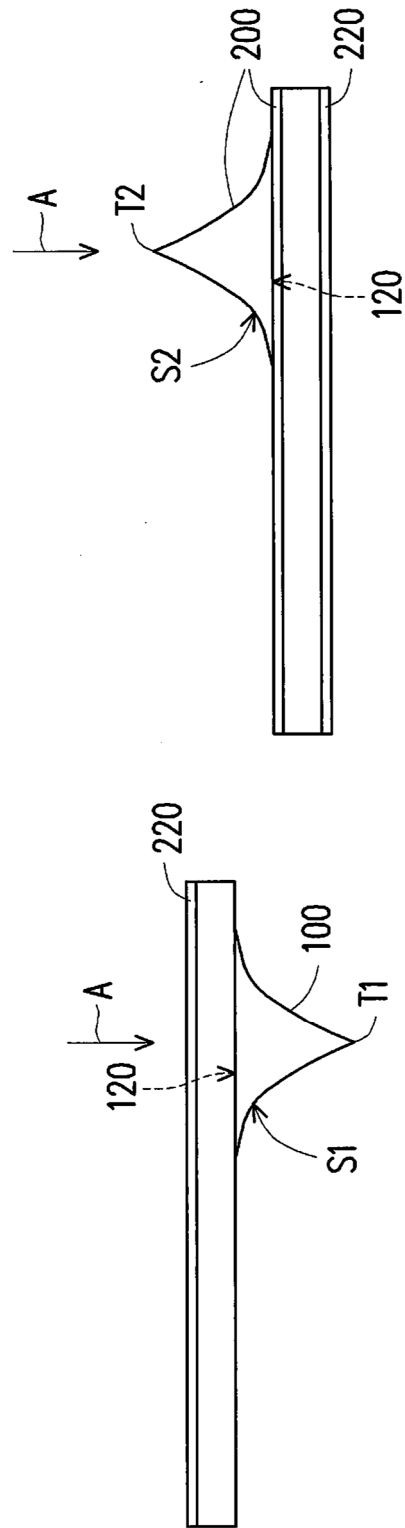


FIG. 6B

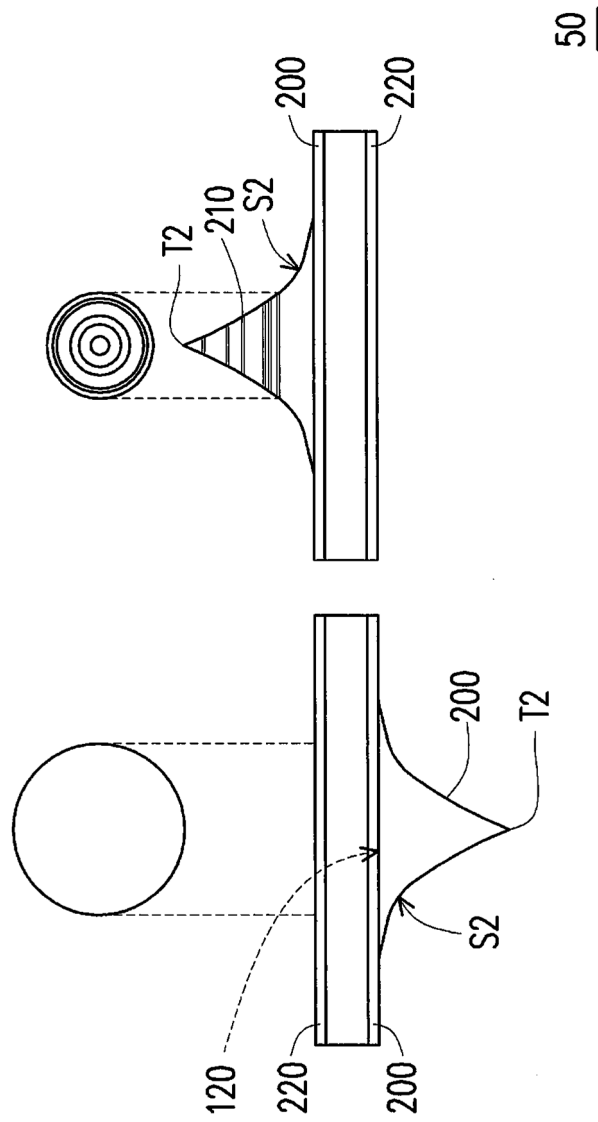


FIG. 6C

50

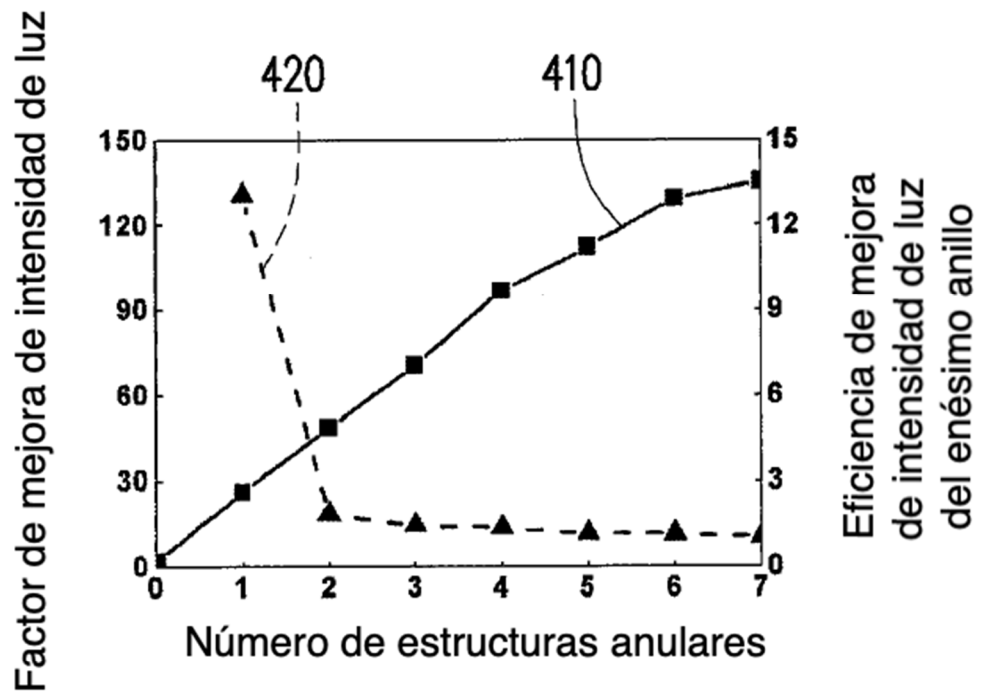


FIG. 7

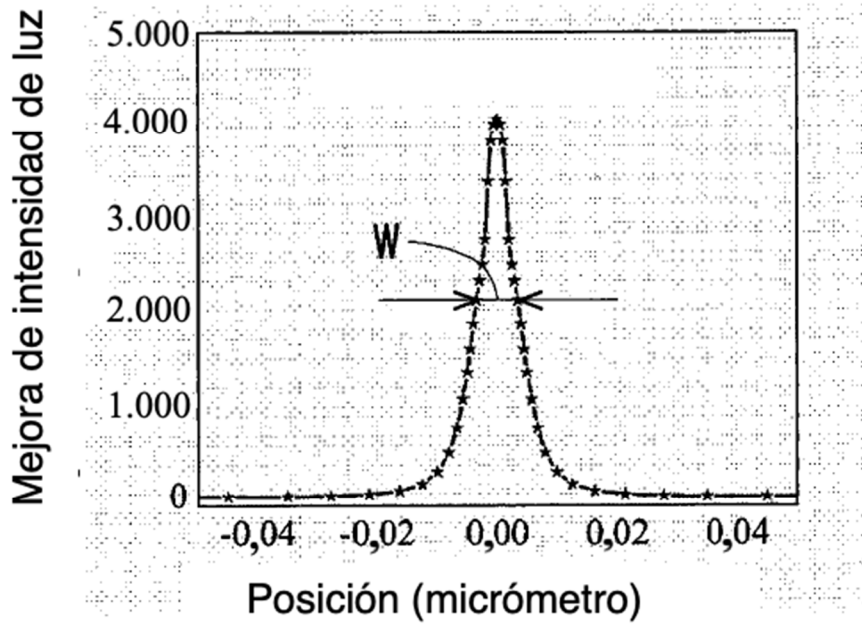


FIG. 8