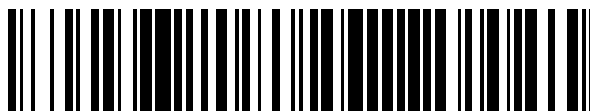


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 538 137**

51 Int. Cl.:

G02B 6/02 (2006.01)

G21K 1/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **17.07.2009 E 09784711 (5)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **15.04.2015 EP 2297600**

54 Título: **Trampa óptica**

30 Prioridad:

17.07.2008 GB 0813090

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
17.06.2015

73 Titular/es:

**UNIVERSITY COURT OF THE UNIVERSITY OF ST
ANDREWS (100.0%)
College Gates North Street
St Andrews, Fife KY16 9AJ, GB**

72 Inventor/es:

**MARCHINGTON, ROBERT;
PRAVEEN, ASHOK;
KISHAN, DHOLAKIA y
CIZMAR, TOMAS**

74 Agente/Representante:

VALLEJO LÓPEZ, Juan Pedro

ES 2 538 137 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

Trampa óptica

- 5 La presente invención se refiere a una trampa óptica de contrapropagación de haz doble de largo alcance que puede soportar múltiples longitudes de onda de forma simultánea.

Antecedentes de la invención

- 10 La micromanipulación óptica usando atrapamiento óptico es una herramienta potente y versátil para estudios en las ciencias biológicas y de los coloides. Una trampa óptica puede formarse usando dos haces divergentes de contrapropagación debido a una combinación de refracción óptica y dispersión óptica, tal como se describe, por ejemplo, en el artículo "*Demonstration of a Fibre-Optical Light-Force Trap*" por Constable et al., *Opt. Lett.* 18, 1867 (1993). La trampa que se describe por Constable et al. usa dos fibras ópticas que entregan luz a una región de
- 15 trampa en una geometría de contrapropagación. Esta trampa de haz doble puede integrarse fácilmente en dispositivos microfluidos, tiene un gran alcance de captura, no usa una luz estrechamente enfocada, y permite que se desacoplen el atrapamiento y la formación de imágenes.

- 20 En la última década se ha dispuesto de fibras de cristal fotónico (PCF, *photonic crystal fiber*). Las fibras de cristal fotónico se basan en las propiedades de los cristales fotónicos. Estos son capaces de confinar la luz en núcleos huecos o con unas características de confinamiento que no son posibles en la fibra óptica convencional. Las categorías de PCF incluyen fibras de banda prohibida fotónicas que confinan la luz mediante efectos de banda prohibida, fibras agujereadas, que usan agujeros de ventilación en sus secciones transversales, fibras asistidas por agujeros, que guían la luz mediante un núcleo de índice más alto convencional modificado por la presencia de
- 25 agujeros de ventilación, y fibras de Bragg que están formadas por anillos concéntricos de película de múltiples capas. Las PCF son normalmente uniformes a lo largo de su longitud, pero incluyen a partir de dos o más materiales, que lo más común es que se dispongan de forma periódica a lo largo de gran parte de la sección transversal de fibra, tal como se muestra en la figura 1.

- 30 Las PCF pueden diseñarse para tener unas propiedades enormemente diferentes en comparación con las fibras de sílice convencionales, véase por ejemplo, P. Russell, *Science* 299, 358 (2003). Con el diseño apropiado de la red cristalina, las fibras pueden diseñarse de tal modo que los tamaños de núcleo grandes (mucho más grandes que las fibras de modo único convencionales) pueden confinar cualquier longitud de onda de luz en un modo único. Estas fibras se conocen como fibras de cristal fotónico de modo único sin fin (ESM-PCF, *endlessly single mode photonic crystal fiber*) o fibras de cristal fotónico de área de modo grande (LMAPCF, *large mode area photonic crystal fiber*).
- 35

- El documento WO 2007/141539 describe un sistema microfluído que comprende unos medios para atrapar una partícula en una trampa óptica y una fuente de excitación de Raman para dar lugar a una dispersión de Raman a partir de la partícula mientras que esta se encuentra en la trampa óptica.
- 40

- El documento "*Demonstration of a Fiber Optic Light Force Trap*", *Optic Letters*, Vol 18, Nº 21, 1993, págs. 1867 - 1869, describe una trampa de fuerza luminosa tridimensional construida mediante el uso de láseres de diodo de infrarrojos con cables flexibles de conexión de fibra.

- 45 El documento "*Photonics-Crystal Fibers*", *Journal of Lightwave Technology*, Vol 24. Nº 12, 2006 págs. 4729 - 4749 analiza fibras de cristal fotónico y sus aplicaciones.

Sumario de la invención

- 50 De acuerdo con la presente invención, se proporciona un sistema para formar una trampa óptica, comprendiendo el sistema dos o más fibras de cristal fotónico y por lo menos una fuente de radiación para introducir radiación en las fibras de cristal fotónico, disponiéndose las fibras durante el uso para proporcionar salidas de contrapropagación para formar la trampa óptica, en el que la radiación para formar la trampa de haz doble comprende luz blanca,

- 55 Una ventaja de esto es que múltiples partículas de diferentes tipos pueden atraparse de forma simultánea, sin adolecer de efectos de interferencia. Así mismo, pueden lanzarse de forma simultánea diferentes longitudes de onda permitiendo el atrapamiento, por ejemplo, con espectroscopía.

- Las fibras pueden ser ESM-PCF. La por lo menos una fuente puede proporcionar múltiples longitudes de onda para introducir en las PCF. Pueden proporcionarse fuentes separadas para cada longitud de onda. Cada una de las múltiples longitudes de onda puede formar una trampa óptica. Una luz de cada longitud de onda puede usarse para proporcionar una trampa de onda estacionaria que es sensible a un tamaño y/o una forma y/o un índice de refracción de partícula particular. Pueden proporcionarse unos medios para mover las ondas estacionarias de tal modo que se hace que las partículas en el interior de la trampa avancen de una forma de tipo cinta transportadora.
- 60

65

Pueden proporcionarse unos medios para realizar una o más mediciones sobre una partícula cuando esta se encuentra en la trampa. Los medios pueden incluir uno o más haces de luz que se pasan a lo largo de por lo menos una de las fibras. La luz puede usarse para espectroscopía de fluorescencia o de Raman.

5 Breve descripción de los dibujos

Diversos aspectos de la invención se describirán a continuación solo a modo de ejemplo con referencia a los dibujos adjuntos, de los cuales:

- 10 La figura 2 es un sistema para formar una trampa de haz doble usando PCF;
La figura 3 muestra a) el perfil de intensidad y b) el perfil de intensidad sobre el eje para una PCF como una función de la distancia de propagación z más allá del extremo de la fibra;
La figura 4 es un histograma de posiciones en una trampa de PCF de haz doble que se forma usando una fuente de láser coherente;
- 15 La figura 5 es una imagen de partículas ópticamente limitadas en una trampa de luz blanca de coherencia baja de haz doble de fibra PCF;
La figura 6 es una imagen de una célula ópticamente atrapada en una trampa de luz blanca de coherencia baja de haz doble de fibra PCF;
- 20 La figura 7 es un sistema para generar una cinta transportadora óptica de longitud de onda múltiple para atrapar, transportar y clasificar partículas, y
La figura 8 es una imagen de unas partículas que se mueven en una cinta transportadora óptica de longitud de onda múltiple que se genera usando el sistema de la figura 7.

Descripción detallada de los dibujos

- 25 La presente invención usa PCF en diversos sistemas ópticos para crear trampas ópticas y generar mecanismos de transporte óptico basados en atrapamiento. El uso de las PCF en estas aplicaciones proporciona unas ventajas técnicas inesperadas.
- 30 La figura 2 muestra un sistema para formar una trampa de haz doble. Este tiene un láser coherente único que tiene el mismo diámetro de campo de modo que el modo fundamental de las fibras. Cada fibra se acopla a los extremos de dos PCF usando una lente apropiada para hacer coincidir el tamaño de punto enfocado con el bucle completo para asegurar una salida de polarización lineal y un funcionamiento de modo único. Las longitudes de las fibras se seleccionan de tal modo que hay una diferencia de longitud de trayectoria suficiente para asegurar que las dos salidas no interfieran una con otra y por lo tanto pueden considerarse mutuamente no coherentes. Entre las fibras se encuentra una cámara de muestras para contener la muestra que está siendo investigada. Las salidas de contrapropagación a partir de las PCF se usan para formar una trampa óptica en el interior de la cámara de muestras. Una cámara rápida (que no se muestra) combinada con un análisis de datos se usa para determinar posiciones de trampa y rigidez de trampa.
- 35 La figura 3 muestra a) el perfil de intensidad, y b) el perfil de intensidad sobre el eje para una PCF. En ambos casos, el perfil se muestra como una función de la distancia de propagación z más allá del extremo de la fibra. Debido a este perfil de intensidad sobre el eje característico, es posible, mediante el ajuste de la separación de las fibras, cambiar el potencial óptico axial para formar un potencial de atrapamiento convencional, potencial repulsivo (en el que las partículas se repelen lejos del centro de la trampa) y trampas de línea (con unas fuerzas de recuperación mínimas a lo largo de la dirección axial). Las características de la luz necesaria para formar estos tipos de trampa de haz doble se conocen en la técnica y por lo tanto no se describirán con detalle.
- 40 Podría usarse cualquier fibra PCF adecuada en el sistema de la figura 2, a pesar de que preferiblemente las fibras son ESM-PCF. En un ejemplo, las fibras usadas fueron unas ESM-PCF de núcleo de $25,2 \pm 0,4 \mu\text{m}$ suministradas por Crystal Fibre (código de producto LMA-25). El diámetro de campo de modo (MFD, *mode field diameter*) y la apertura numérica (NA, *numerical aperture*) a 1070 nm de estas fibras se citan como $19,9 \pm 2 \mu\text{m}$ y $0,04 \pm 0,01$ respectivamente. En contraposición a una fibra de modo único típica para infrarrojo cercano, la LMA-25 tiene un MFD considerablemente más grande y una divergencia de haz más baja. Las PCF tienen un modo de salida de forma hexagonal y en consecuencia la salida de modo no se propaga con una dependencia Gaussiana. A medida que el modo se propaga en el espacio libre, la intensidad sobre el eje se va enfocando. Esta 'longitud focal' aumenta a medida que se aumenta el diámetro del núcleo de la fibra y a medida que disminuye la longitud de onda, véase Dabirian, M. Akbari, y N. A. Mortensen, *Optics Express* 13, 3999 (2005). Para la fibra LMA-25, la longitud focal observada es de $130 \mu\text{m}$ para la luz de 1064 nm.
- 45 La figura 4 es un histograma de posiciones en una trampa de PCF de haz doble que se forma usando una fuente de láser coherente.
- 50 La figura 5 es una imagen de partículas ópticamente limitadas en una trampa de luz blanca de coherencia baja de haz doble de fibra PCF.
- 55 La figura 6 es una imagen de una célula ópticamente atrapada en una trampa de luz blanca de coherencia baja de haz doble de fibra PCF.
- 60 La figura 7 es un sistema para generar una cinta transportadora óptica de longitud de onda múltiple para atrapar, transportar y clasificar partículas, y
- 65 La figura 8 es una imagen de unas partículas que se mueven en una cinta transportadora óptica de longitud de onda múltiple que se genera usando el sistema de la figura 7.

sobre el atrapamiento de partículas puede moderarse o intensificarse mediante el control de las fases relativas entre las ondas estacionarias, que varía con la distancia del sitio de atrapamiento con respecto a las paredes de capilar. La figura 4 muestra este comportamiento de partícula en forma de histograma de posiciones de atrapamiento. A partir de esto, puede observarse que la rigidez de trampa de onda estacionaria es aproximadamente dos órdenes de magnitud más alta en comparación con la de una trampa de fibra convencional ($9,3 \pm 0,3 \cdot 10^{-3}$ pN / μm a una potencia de 300 mW).

Así como para el atrapamiento de longitudes de onda individuales, la disposición de haz doble de la figura 2 puede usarse para formar una trampa de luz blanca. Para mostrar esto, la fuente de luz monocromática de la figura 2 se sustituyó con una fuente de luz blanca, y en particular una fuente de luz de supercontinuo de 5 W (Modelo SC-500-6 de Fianium). El espectro del supercontinuo después de la salida se altera ligeramente para la entrada, debido a que las fibras tienen diferentes pérdidas por flexión para diferentes longitudes de onda. La potencia de salida de la fibra fue de aproximadamente 115 mW en cada rama. La eficiencia de transmisión de las fibras fue de aproximadamente un 50 % para la radiación de supercontinuo de banda ancha y en la salida de las fibras se obtuvo un espectro de 600 nm - 900 nm que presenta un pico a 720 nm. Se calculó que la longitud de coherencia era menor que 1 μm , que es lo bastante corta para obviar cualesquiera efectos de interferencia a partir de las paredes y entre las partículas. Esta disposición se usó para crear una trampa de luz blanca de haz doble individual, tal como se muestra en la figura 5. Esta trampa de luz de coherencia baja permite una unión óptica longitudinal de largo alcance de micropartículas en la trampa sin efecto perjudicial de interferencia alguno. De hecho, en experimentos, se observó un potencial de recuperación ideal.

En el interior de la trampa de luz blanca que se muestra en la figura 5, múltiples partículas se atrapan en grupos o cadenas. Las partículas se sitúan a sí mismas dependiendo tanto del potencial de atrapamiento como de los potenciales de unión inter-partícula. Las cadenas con números más grandes de partículas están densamente agrupadas y las separaciones en el interior de la cadena son más pequeñas que en el exterior de la cadena. En este caso, no obstante, se evitan los fenómenos de interferencia inter-partícula causados por la retrodispersión de luz mediante las partículas limitadas confinadas y la modulación consiguiente de las fuerzas ópticas debido a la interferencia de luz retrodispersada con el haz original. En el caso de una fuente coherente, la interferencia da como resultado una estabilidad múltiple en las separaciones inter-partícula con un periodo de la onda estacionaria. Debido a que la longitud de coherencia de la fuente de supercontinuo es menor que la separación inter-partícula, esta influencia puede moderarse. Con el fin de mostrar esto, se analizó la separación de dos partículas, y no se observó evidencia alguna de tal estabilidad múltiple.

Usando una fuente de luz blanca, puede crearse una trampa de haz doble de coherencia baja que obvia cuestiones en relación con la interferencia procedente de caras de fibra, paredes de capilar o interacciones de múltiples partículas. Esto permite estudios novedosos de unión óptica longitudinal de largo alcance en un potencial sustancialmente libre de interferencias.

Los campos monocromáticos de contrapropagación pueden crear trampas de onda estacionaria que pueden trasladarse en el espacio para obtener una cinta transportadora, tal como se describe por T. Cizmar et al., *Phys. Rev. B* 74, 035105 (2006) y Zemanek et al. *Opt. Soc. Am. A* 19, 1025 (2002). En particular, alterar la diferencia de fase entre los haces interferentes de contrapropagación puede proporcionar movimiento de los máximos y mínimos de onda estacionaria junto con los objetos atrapados. La partícula puede confinarse en un máximo o un mínimo en la intensidad de la onda estacionaria, dependiendo de los parámetros de partícula, por ejemplo, el tamaño y / o el índice de refracción. Para unos parámetros apropiados, la partícula puede hacerse sensible o no sensible a la presencia de la estructura de onda estacionaria. Mediante el uso de una PCF, esta forma conocida de cinta transportadora óptica puede extenderse para proporcionar una cinta transportadora óptica de longitud de onda doble que es capaz de transportar diferentes partículas usando diferentes longitudes de onda.

La figura 7 muestra un sistema para proporcionar una cinta transportadora óptica de longitud de onda doble usando las PCF. Este tiene dos fuentes de láser sumamente coherentes que funcionan a diferentes frecuencias, en el presente caso 780 nm y 1064 nm respectivamente. Las salidas de estos láseres se combinan y se acoplan a un extremo de cada una de dos PCF usando una lente apropiada. Cada fibra se coloca en un bucle completo para asegurar una salida de polarización lineal y un funcionamiento de modo único y las longitudes de fibra se seleccionan de tal modo que las salidas no interfieran. Entre las fibras se encuentra una cámara de muestras para contener la muestra que está siendo investigada. Las salidas de contrapropagación a partir de las PCF se usan para formar dos trampas ópticas de onda estacionaria en el interior de la cámara de muestras, una para partículas sensibles a la primera fuente de láser, en este ejemplo el láser de 780 nm, y la segunda para partículas sensibles al segundo láser, es decir, el láser de 1064 nm. Una cámara rápida (que no se muestra) combinada con un análisis de datos se usa para determinar posiciones de trampa y rigidez de trampa.

El uso de las PCF para formar la trampa de haz doble permite que se usen múltiples fuentes de luz, lo que aporta una selectividad más alta para la clasificación y la ubicación de partículas individuales de un tamaño y / o una forma y / o un índice de refracción variable.

Para probar el sistema de la figura 7, se seleccionó una muestra que tenía dos tamaños de partícula de poliestireno, en el presente caso 500 nm y 600 nm. Las partículas de 500 nm de diámetro son sensibles a la onda estacionaria a 780 nm a la vez que son no sensibles a la onda estacionaria a 1064 nm, y viceversa para las partículas de 600 nm de diámetro. Usando una mezcla de estos dos tamaños de partícula, es posible una ubicación selectiva de partículas en una cinta transportadora de color doble, tal como se muestra en la figura 8.

La figura 8 muestra los rastros para partículas en los campos monocromáticos de contrapropagación a medida que estos se trasladan en el espacio para obtener una cinta transportadora. El lado izquierdo de la figura 8 muestra los rastros de partícula cuando se hace que la onda estacionaria formada por el láser de 1064 nm se mueva y el lado derecho muestra los rastros de partícula cuando se hace que la onda estacionaria formada por el láser de 780 nm se mueva. A partir de esto, puede observarse que, mientras que la onda estacionaria de 1064 nm se estaba moviendo pero la onda de 780 nm se encontraba estacionaria, las partículas de 500 nm de diámetro, que nominalmente son no sensibles a la onda estacionaria de 1064 nm, mostraron algo de movimiento. No obstante, se determinó que este era el resultado de efectos de unión con las partículas de 600 nm, debido a la alta concentración de partículas en la muestra a prueba, y no de sensibilidad de la onda estacionaria de 1064 nm.

Usando dos (o más) PCF y láseres de frecuencia individual, puede proporcionarse un transporte controlable y selectivo de partículas en una cinta transportadora de color múltiple potenciada que podría usarse de forma eficiente como un dispositivo de clasificación para micropartículas.

Las PCF proporcionan unas oportunidades excelentes para aplicaciones de detección en las que va a captarse una señal óptica a partir de un fluido biológico o químico. La PCF puede usarse para entregar y / o captar la luz según se requiera para la aplicación de detección específica. No obstante, un problema con el uso de PCF es que esta tiene muchos agujeros diminutos en el interior de su estructura. Tras la inserción en un fluido, el fluido se arrastra al interior de los agujeros debido a efectos de capilaridad. Esto destruye el efecto de guiado de ondas que se requiere para la captación o la entrega de luz. En la actualidad, esto se aborda mediante la fijación de una tapa de extremo sólida a la fibra o la aplicación de presión para cerrar los agujeros en una sección corta en el extremo de la fibra. No obstante, esto es difícil de hacer en la práctica y requiere equipo de especialista.

De acuerdo con otro aspecto de la invención, se proporciona una técnica simple y efectiva para formar una tapa de extremo sobre una PCF. El método comporta la ubicación de un extremo de la fibra en un fluido, por ejemplo, un elastómero de silicio biocompatible, que puede arrastrarse al interior de los agujeros en la fibra y posteriormente endurecerse, para formar de ese modo una tapa de extremo. El material puede curarse para endurecer el mismo. Podría usarse cualquier material adecuado, con la condición de que este tenga una viscosidad tal que el mismo pueda arrastrarse al interior de los agujeros de fibra y pueda endurecerse mediante, por ejemplo, calentamiento. Como ejemplo, podrían usarse materiales fotosensibles, tales como resinas epoxídicas fotosensibles, por ejemplo, SU-8 o adhesivo óptico Norland.

Este método puede llevarse a cabo usando un equipo muy básico, tal como un vaso de precipitados para contener el fluido y una placa caliente para calentar y endurecer de ese modo el fluido una vez que este se ha arrastrado al interior del extremo de fibra.

Para proporcionar una trampa sobre microplaca de fibra de contrapropagación microfluida, las PCF pueden incorporarse a una microplaca microfluida que contiene canales de fluido. La técnica es de aplicación cuando se usa una técnica de moldeo para formar la microplaca microfluida, tal como en litografía blanda tal como se analiza en D. C. Duffy et al. *Analytical Chemistry* 70, 4974 (1998). Se forma un molde maestro que contiene unas estructuras en relieve para los canales de fluido, así como las fibras ópticas que se requieren para la entrega o la captación de haz. Las secciones de fibra óptica se sitúan y se fijan al molde por medio de una capa de adhesión delgada, tal como resina epoxídica SU-8 o adhesivo óptico Norland. Las microplacas microfluidas se cuelan a continuación a partir del molde maestro, que son una copia invertida del molde, es decir, la fibra sobre el molde produce un canal de dimensiones de tamaño de fibra en la microplaca y las estructuras en relieve producen unos canales de fluido. La fibra óptica puede insertarse a continuación en el canal de tamaño de fibra de la microplaca real para la entrega de haces. Mediante la incorporación de las fibras al molde, la alineación de las fibras se realiza cuando se fabrica el molde, de tal modo que todas las microplacas que se cuelan a partir del molde tienen unos canales de fibra óptica previamente alineados. De este modo puede obtenerse una ubicación cuidadosa de las fibras con respecto a otras fibras, los canales de fluido u otros componentes sobre la microplaca.

Para formar la disposición óptica para formar una trampa de haz doble de acuerdo con la invención, un único trozo de fibra PCF puede fijarse al molde, antes de definir un canal de fluido a lo largo de la PCF, en sentido perpendicular y que divide a esta en dos partes iguales. Después de moldear la microplaca a partir de este molde maestro, pueden insertarse fibras en ambos de los dos extremos del canal de fibra de tal modo que los extremos cortados (y opcionalmente con tapa) de la fibra se alinean con el borde de la pared del canal de fluido, formando de este modo una configuración de trampa de contrapropagación en el interior de la microplaca.

Un experto apreciará que son posibles variaciones de las disposiciones que se divulgan sin apartarse de la invención. Por ejemplo, debido a que las PCF pueden soportar múltiples longitudes de onda, estas proporcionan

unos medios muy simples y efectivos para atrapar partículas o células con una luz de una longitud de onda particular y realizar espectroscopía, por ejemplo, espectroscopía de Raman o de fluorescencia, o alguna otra medición óptica con una luz de una longitud de onda diferente. Como ejemplo, podría retenerse una partícula usando un primer color o de hecho la trampa de luz blanca que se ha descrito en lo que antecede y podría lanzarse otro color a una o ambas de las PCF para realizar la espectroscopía. La señal excitada puede captarse a lo largo de una de las fibras o usando una disposición de captación óptica situada de forma adecuada, tal como un objetivo de microscopio. Por consiguiente, la descripción anterior de la realización específica se hace solo a modo de ejemplo y no para fines de limitación. Al experto le será obvio que pueden hacerse modificaciones menores sin cambios significativos al funcionamiento que se describe.

5

10

REIVINDICACIONES

- 5 1. Un sistema para formar una trampa óptica, que comprende dos o más fibras de cristal fotónico (PCF) y por lo menos una fuente de radiación para introducir radiación en las fibras de cristal fotónico, disponiéndose las fibras para proporcionar salidas de contrapropagación para formar la trampa óptica, en donde la radiación para formar la trampa de haz doble comprende luz blanca.
2. Un sistema de acuerdo con la reivindicación 1, en el que las fibras son ESM-PCF.
- 10 3. Un sistema de acuerdo con la reivindicación 1 o la reivindicación 2, que comprende por lo menos una fuente para proporcionar múltiples longitudes de onda para introducir en las PCF.
4. Un sistema de acuerdo con la reivindicación 3, en el que se usan longitudes de onda de luz discretas, cada una para formar una trampa óptica separada.
- 15 5. Un sistema de acuerdo con la reivindicación 3 o la reivindicación 4, en el que la luz de por lo menos una de las longitudes de onda se dispone para formar una trampa de onda estacionaria que es sensible a un tamaño y / o una forma y / o un índice de refracción de partícula particulares.
- 20 6. Un sistema de acuerdo con la reivindicación 5, en el que se proporcionan unos medios para mover la por lo menos una onda estacionaria de tal modo que se hace que se muevan las partículas en el interior de la trampa formada por esa onda estacionaria.
- 25 7. Un sistema de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la disposición es tal que las PCF funcionan en un modo único.
8. Un sistema de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la disposición es tal que la salida de las PCF está linealmente polarizada.
- 30 9. Un sistema de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que comprende unos medios para realizar una o más mediciones sobre una partícula cuando está en la trampa.

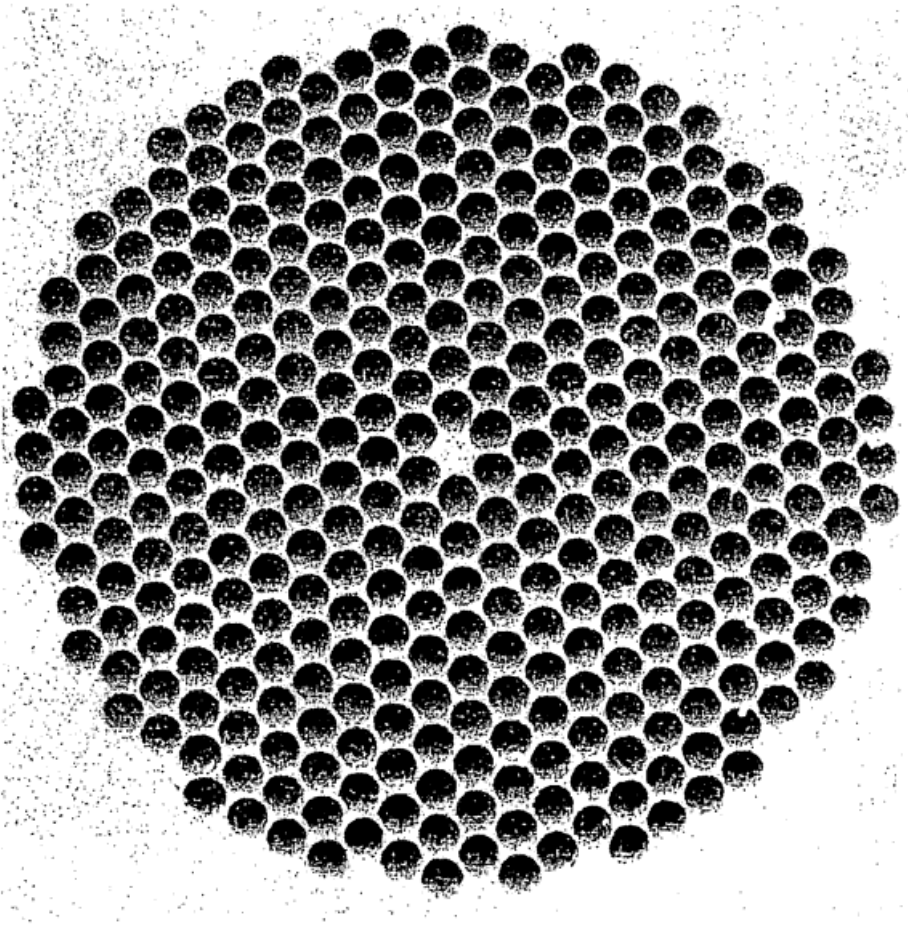
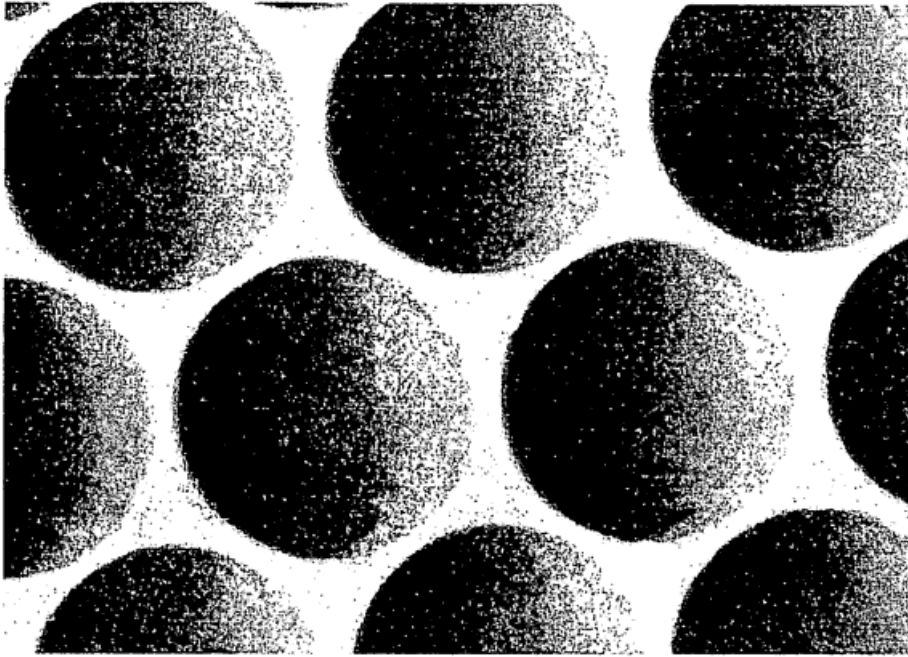


Figura 1

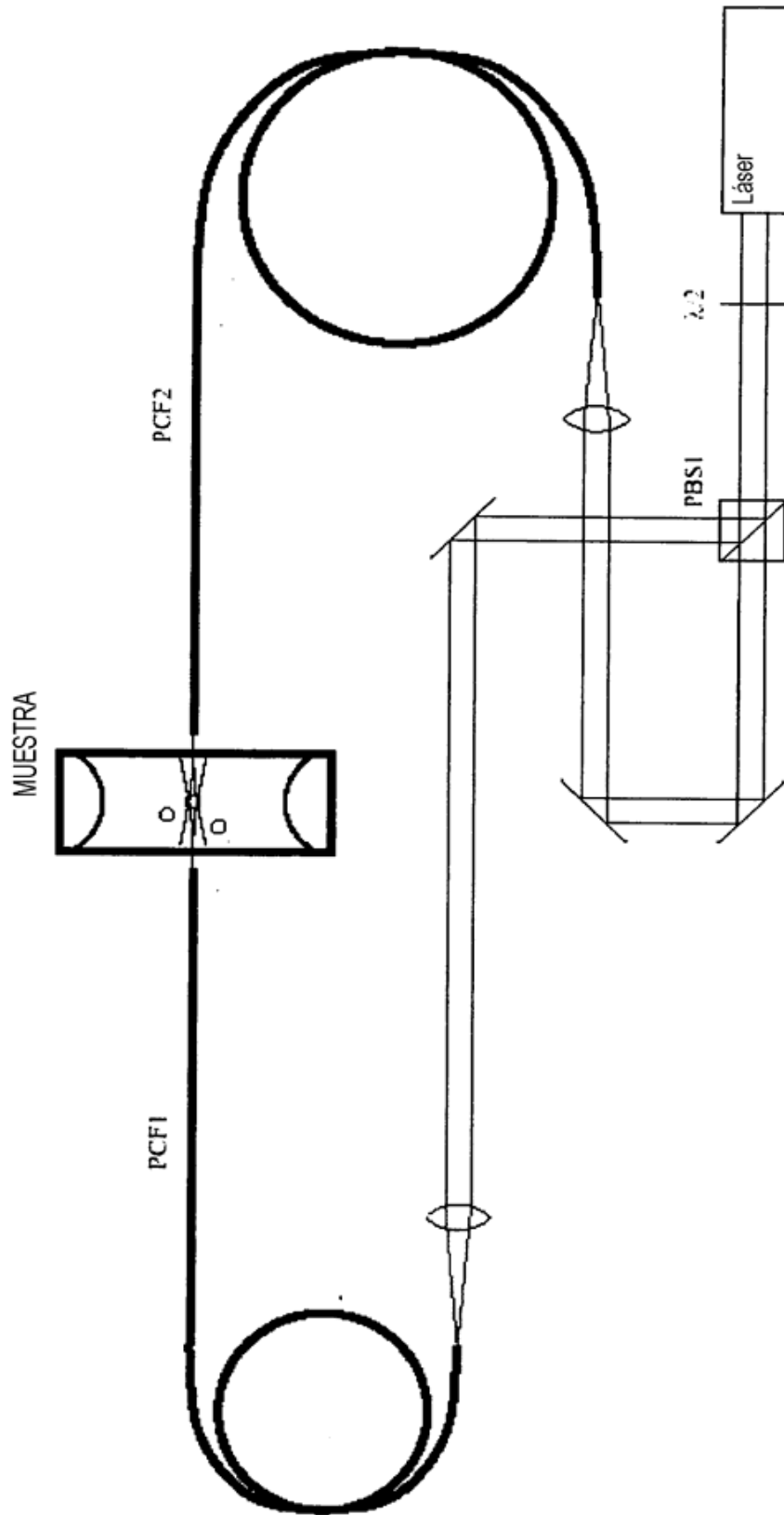


Figura 2

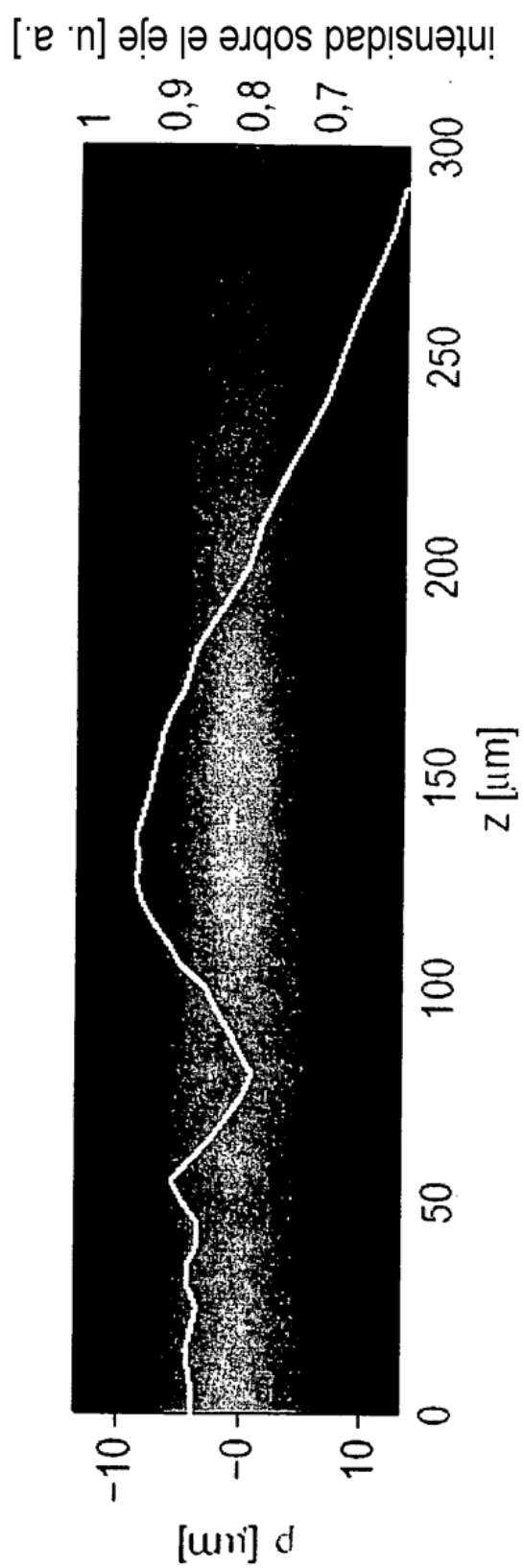


Figura 3

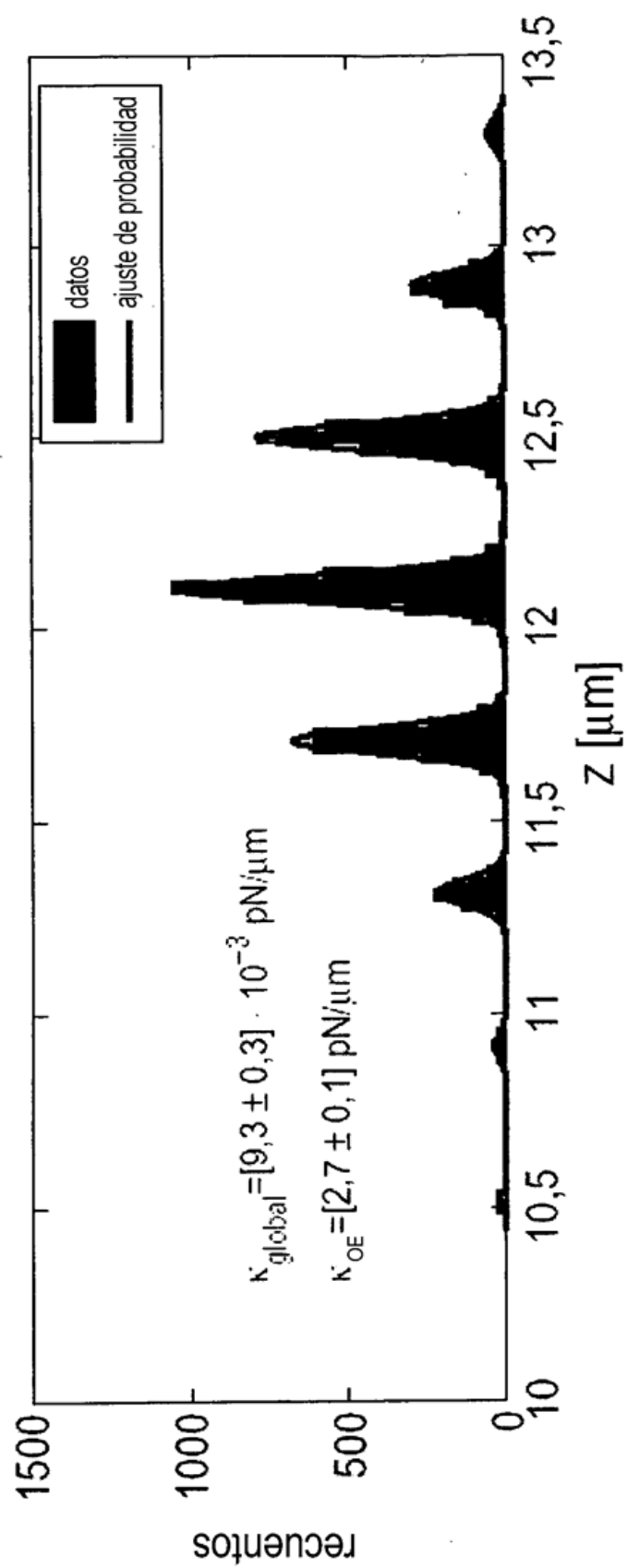


Figura 4

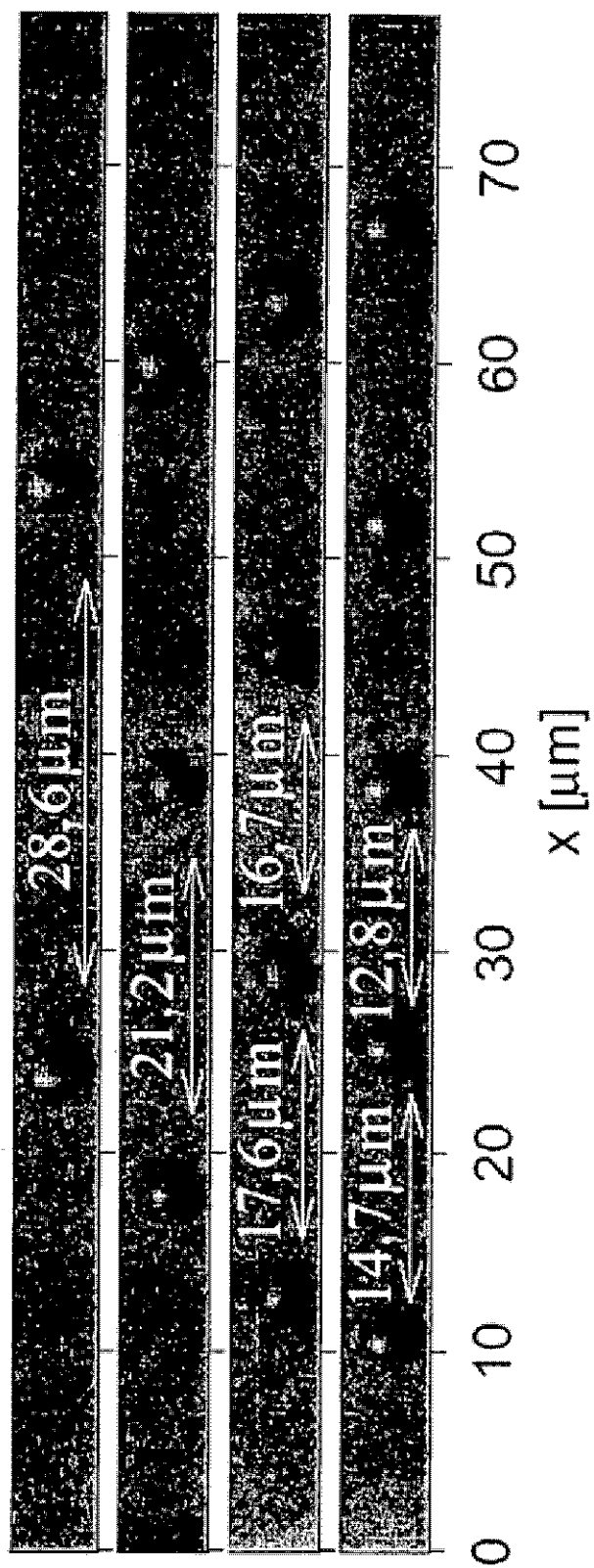


Figura 5

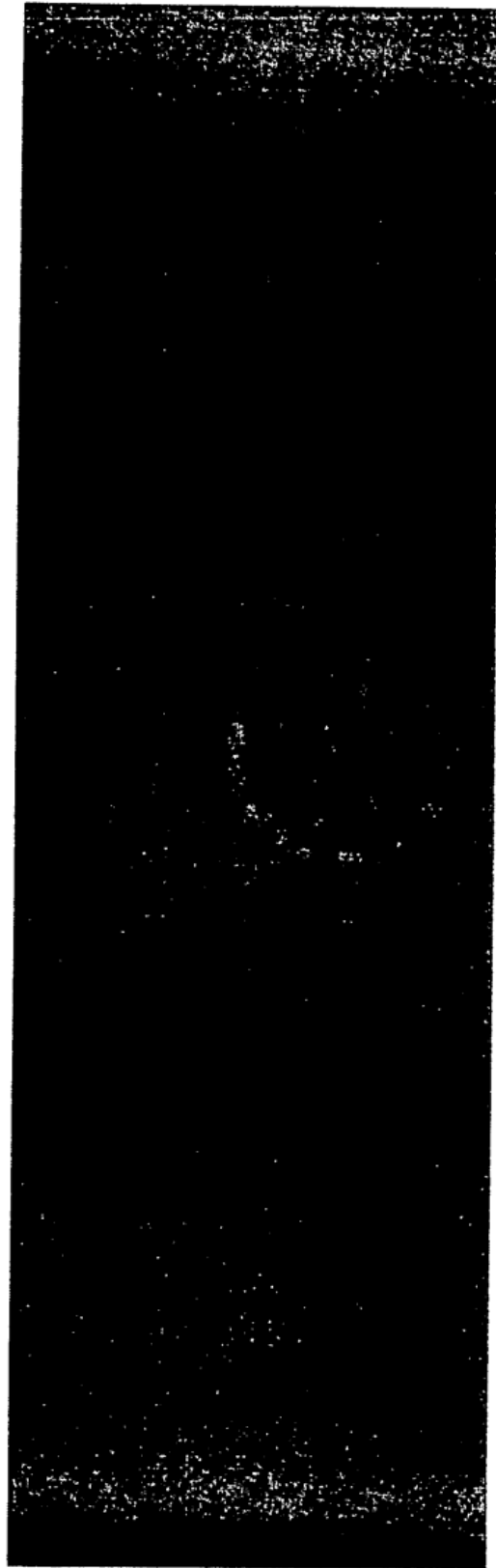


Figura 6

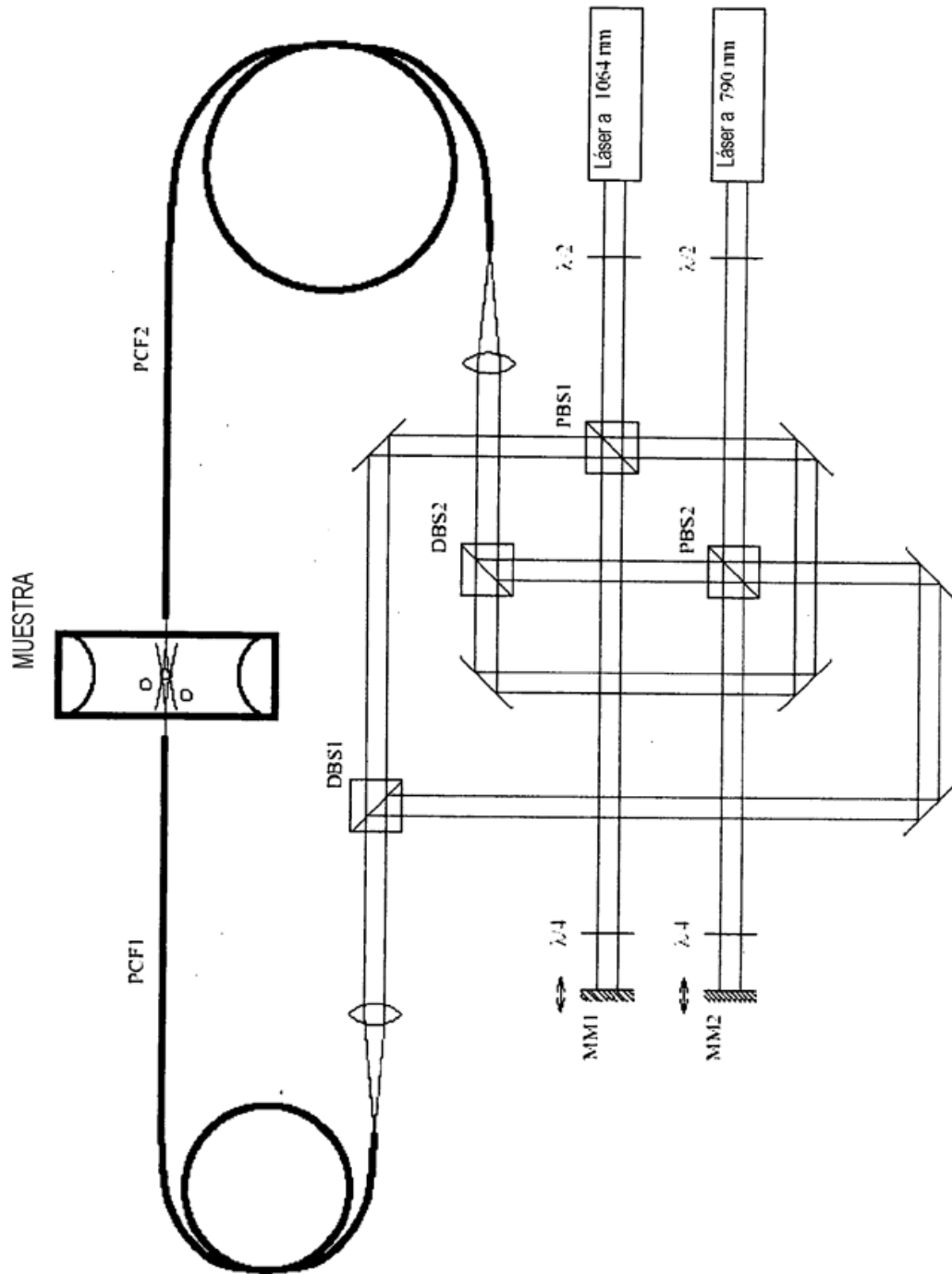


Figura 7

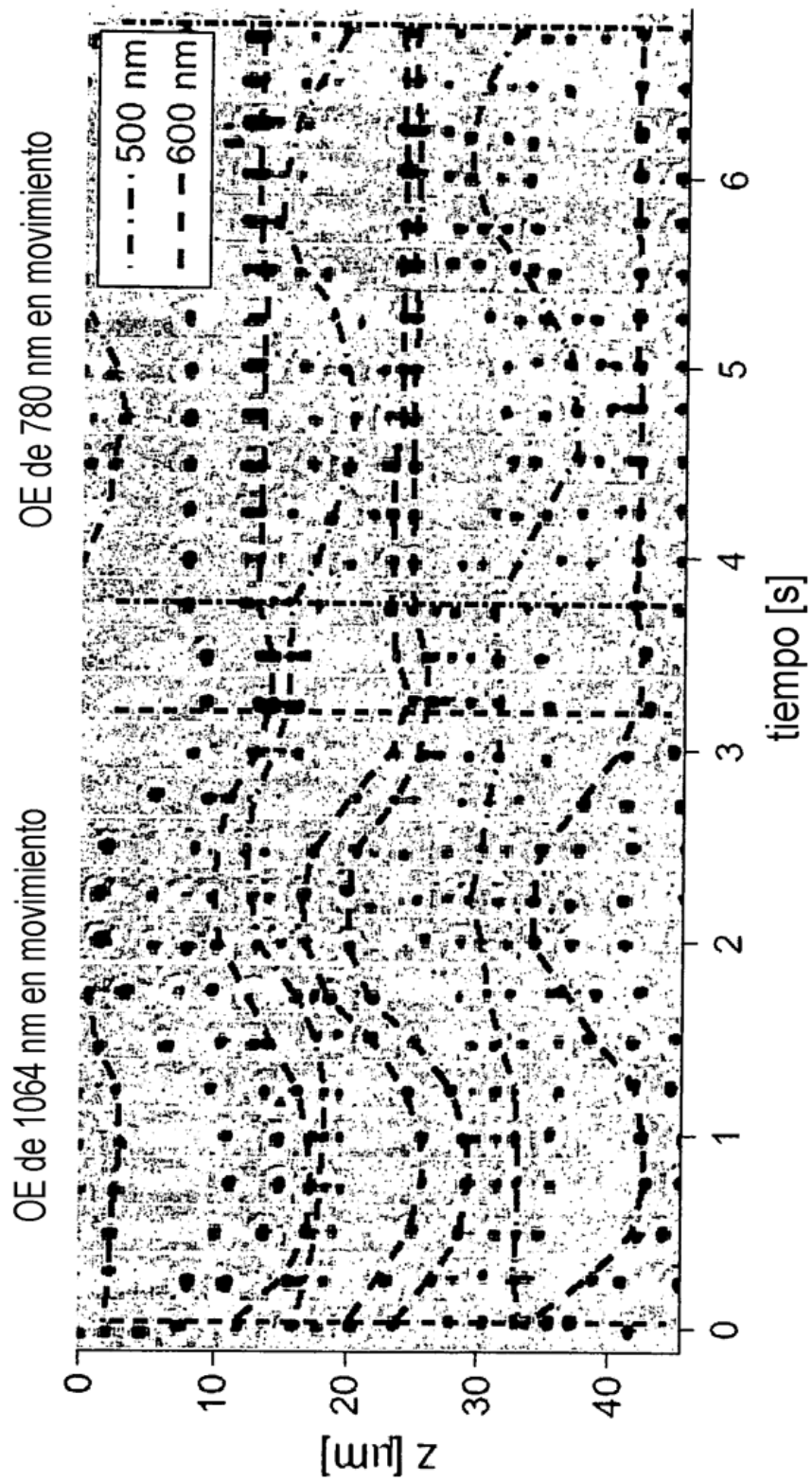


Figura 8