

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 649 815**

51 Int. Cl.:

G21K 1/00 (2006.01)

G02B 21/32 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **28.08.2009 PCT/GB2009/002089**

87 Fecha y número de publicación internacional: **04.03.2010 WO10023455**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **28.08.2009 E 09785020 (0)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **27.09.2017 EP 2342721**

54 Título: **Manipulación óptica de micropartículas**

30 Prioridad:

29.08.2008 GB 0815774

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

15.01.2018

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

**DHOLAKIA, KISHAN;
MAZILU, MICHAEL y
BAUMGARTL, JORG**

74 Agente/Representante:

VALLEJO LÓPEZ, Juan Pedro

ES 2 649 815 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

Manipulación óptica de micropartículas

- 5 La presente invención se refiere a la manipulación óptica y, en particular, a la manipulación óptica utilizando un haz de Airy, por ejemplo.

Antecedentes de la invención

- 10 La micromanipulación óptica se ha expandido para formar un campo sustancial que continúa teniendo un gran impacto sobre las ciencias biológicas y coloidales, véase Optical Micromanipulation de Dholakia, K. y otros, Chem. Soc. Rev. 37, 42-55 (2008). Un tema emergente particular es el del uso de nuevos campos de luz y matrices extendidas de trampas: todo ello puede agruparse bajo el título particular de "paisajes de energía óptica potencial".
15 La capacidad de influir en el movimiento de los objetos coloidales y biológicos en tales paisajes resulta importante para la observación de transiciones de fase, y para iniciar la clasificación óptica. Tales micropartículas responden al gradiente y a las fuerzas de dispersión ejercidas, y siguen trayectorias no acordes con la dirección de flujo del líquido en el que se proporcionan las partículas.

- 20 El documento EP 1.850.182 da a conocer un método para limpiar una superficie. El método incluye liberar al menos parcialmente contaminantes desde la superficie, con un dispositivo de liberación de contaminantes, y capturar los contaminantes parcialmente liberados con un dispositivo de eliminación de contaminantes, generando el dispositivo de eliminación de contaminantes al menos una trampa óptica para atrapar los contaminantes parcialmente liberados. También se dan a conocer un método de fabricación de dispositivos, un método de limpieza de una superficie de un elemento óptico, un conjunto de limpieza y un aparato de limpieza, y un aparato litográfico.

- 25 El documento "Optical micromanipulation using a Bessel light beam", de ARLT, J. y otros, Optics Communications, vol. 197 (2001), páginas 239 a 245, da a conocer una técnica para la manipulación óptica de partículas de tamaño micrométrico, incluyendo muestras biológicas, utilizando un haz de luz de Bessel de orden cero. El máximo central de dicho haz ofrece una línea focal de visión no difractante. Este enfoque lineal es muy adecuado para alinear rotacionalmente partículas de tipo tubular a lo largo de la dirección del haz, y para construir pilas de partículas.

- 30 El documento "A revolution in optical manipulation", de GRIER, D.G., Nature, vol. 424, 14 de agosto de 2003, páginas 810 a 816, da a conocer pinzas ópticas que utilizan las fuerzas ejercidas por un haz de luz fuertemente enfocado, para atrapar y desplazar objetos cuyos tamaños varíen desde decenas de nanómetros hasta decenas de micrómetros.

- 35 El documento "Controlled Rotation of Optically Trapped Microscope particles", de PATERSON, L. y otros, Science, vol. 292, 4 de mayo de 2001, páginas 912 a 914, da a conocer la rotación controlada de objetos ópticamente atrapados en un patrón de interferencia en espiral. Este patrón se genera interfiriendo con un haz de referencia en un haz de láser de forma anular. Los objetos quedan atrapados en los brazos espirales del patrón. El cambio de la longitud de la ruta óptica hace que este patrón gire y que, por lo tanto, giren los objetos atrapados.

- 40 El documento de TATARKOVA, S.A. y otros: "Brownian Particle in an Optical potential of the Washboard Type", Physical Review Letters, vol. 91, n.º 3, 1 de julio de 2003, páginas 038101-1 a 038101-4, da a conocer observaciones experimentales del transporte neto de microesferas de sílice, conducidas por fluctuación, en un potencial óptico bidimensional de simetría circular creado por un haz luminoso de Bessel. El campo óptico se diseña a medida para romper la simetría y para crear un potencial periódico (de tipo Washboard) inclinado estático.

Sumario de la invención

- 50 De acuerdo con la presente invención, se proporcionan un método y un sistema para manipular una o más partículas, según lo definido en las reivindicaciones independientes. En las reivindicaciones dependientes se definen algunas características opcionales. El método de la invención comprende elevar e impartir una aceleración a la una o más partículas, utilizando un haz de radiación, para hacer que la una o más partículas aceleren a lo largo de una o más trayectorias curvas. El haz puede comprender un haz de Airy, que tenga un perfil curvado, por ejemplo parabólico.

- 55 Es posible desplazar una partícula hacia arriba y a lo largo de una trayectoria curva, utilizando un haz de Airy, debido a la naturaleza fundamental del haz. El haz puede transmitir movimiento a la partícula sin la necesidad de flujo microfluídico o del movimiento del haz. Esta ventaja resulta significativa.

- 60 En el documento Nonspreading wave packets, A.m. J. Phys. 47, 264-267 (1979), Berry, M.V. y Balazs, N.L. han demostrado teóricamente que un paquete de ondas de Airy es una solución "libre de difracción" a la ecuación de Schrödinger para una partícula libre. En ausencia de cualquier potencial externo, el paquete de ondas puede acelerar libremente de manera transversal a su dirección de propagación. La analogía matemática entre la ecuación de Schrödinger y las ecuaciones de ondas paraxiales puede utilizarse para realizar haces de Airy de energía finita

en el dominio óptico, como se ha observado recientemente, véase el documento "Observation of Accelerating Airy Beams" de Siviloglou, GA, Broky, J., Dogariu, A. y Christodoulides, D.N., Phys. Rev. Lett. 99, 213901 (2007). El haz tiene la forma de un máximo central, y una serie de lóbulos laterales que exhiben movimiento transversal. Sin embargo, a día de hoy estos haces son un fenómeno curioso sin aplicación útil alguna.

5 Un haz de Airy presenta una aceleración transversal, asociada con su campo de luz. Puede inducirse a las trayectorias de partículas para que formen trayectorias parabólicas, acordes con dicha aceleración transversal. Además de uno o más haces de Airy, también pueden utilizarse otros haces parabólicos o combinaciones apropiadas de haces/conjuntos de haces/haces escaneados. Aunque en el presente documento se describe el uso de un haz de Bessel inclinado para manipular una partícula, debe comprenderse que el uso de un haz de Bessel inclinado para manipular una o más partículas no forma parte de la presente invención, y que no pertenece al alcance de las reivindicaciones independientes. En el documento Observation of accelerating parabolic beams, Optar. Express 16, 12866-12871 (2008), de Davis, J.A. y otros, se describen ejemplos de haces parabólicos.

15 La presente invención puede utilizarse para invocar la transferencia precisa o "eliminación" de partículas de un cuadrante dado, en una cámara de muestras, sin movimiento del haz de luz. Cuando se utiliza un haz de Airy, éste actúa a modo de "quitanieves" de tamaño micrométrico que atrae las partículas del fondo, para impulsarlas hacia arriba y hacia los lados.

20 Aunque puede resultar deseable evitar el uso de microfluidos y disposiciones de escaneo, en algunas circunstancias pueden utilizarse los mismos junto con los haces curvos descritos en el presente documento.

Breve descripción de los dibujos

25 Se describirán ahora diversos aspectos de la invención, sólo a modo de ejemplo, con referencia a los dibujos adjuntos, de los cuales:

- La Figura 1 es una serie de imágenes que muestran un haz de Airy a diferentes distancias de propagación;
- La Figura 2 es un diagrama esquemático de una configuración experimental para generar un haz de Airy;
- 30 La Figura 3 es una serie de imágenes que muestran la reducción de un haz de Airy, generándose estas imágenes utilizando parámetros determinados a partir de secciones transversales de intensidad, medidas;
- La Figura 4 es una imagen que muestra el efecto de limpieza de un haz de Airy;
- La Figura 5(a) es un gráfico del número de partículas en función del tiempo, en las cuatro secciones de la imagen de la Figura 4;
- 35 La Figura 5(b) es un gráfico de componentes X e Y medidos (símbolos cuadrados y circulares, respectivamente) frente a la distancia de propagación para un haz de Airy, en una primera dirección;
- La Figura 5(c) es un gráfico de los componentes X e Y medidos (símbolos cuadrados y circulares, respectivamente) frente a la distancia de propagación para un haz de Airy, en la dirección opuesta a la de la Figura 4(b);
- 40 La Figura 6(a) es una serie de imágenes obtenidas por experimentación con un haz de Airy, a diferentes distancias de propagación;
- La Figura 6(b) es una serie de imágenes obtenidas por experimentación de un haz de Airy, a diferentes distancias de propagación, en las que una partícula no transparente bloquea el punto principal del haz, y
- 45 Figura 6 (c) es una serie de imágenes obtenidas mediante el experimento de un haz de Airy a diferentes distancias de propagación, donde una partícula transparente bloquea el foco principal del haz, y
- La Figura 7 es una serie de imágenes que muestran partículas que se insuflan sobre una pared, utilizando un haz de Airy.

Descripción detallada de los dibujos

50 La presente invención, tal como se define en las reivindicaciones independientes, proporciona un sistema y un método para manipular ópticamente partículas utilizando un haz o combinación de haces, que pueden hacer levitar y proyectar partículas a lo largo de una trayectoria curva, de modo que puedan despejarse completamente áreas específicas. Las partículas se elevan y se desplazan a lo largo de una trayectoria tridimensional, utilizando el potencial óptico del haz, hasta que se supera la acción de elevación óptica y las partículas caen por la acción de la gravedad. El haz curvo acelerado induce una forma de deflexión transversal, que acompaña al guiado (traslación) vertical de un conjunto de partículas dado.

60 A modo de ejemplo de haz, que puede utilizarse para hacer que las partículas sigan una trayectoria curvada hacia arriba y hacia los lados, podría utilizarse un haz de Airy. Éste presenta un patrón de intensidad característico que arrastra las partículas hacia un máximo de intensidad principal, que guía las partículas verticalmente a lo largo de una trayectoria parabólica, hasta que se reduce el potencial óptico y la partícula cae. Esta propiedad peculiar de los haces de Airy permite eliminar partículas y células de un área, por ejemplo una sección de una cámara de muestras, y trasladarlas a otra área sin que sea necesario mover el haz o un flujo microfluídico.

65

La Figura 1 muestra una serie de imágenes de secciones transversales de intensidad bidimensionales, de un haz de Airy a diferentes distancias de propagación z (de izquierda a derecha: $z=0\mu\text{m}$, $z=30\mu\text{m}$, $z=60\mu\text{m}$, $z=90\mu\text{m}$). La desviación transversal total en la serie de imágenes de la Figura 1 es $\Delta x \approx 20\mu\text{m}$. En las mismas, puede observarse que el haz tiene un foco principal y una serie de lóbulos laterales, cuya intensidad disminuye al aumentar la distancia desde el foco principal.

El foco principal, que es "pseudo no difractante", sigue una trayectoria parabólica mientras se propaga. Esto es importante para el guiado de partículas a lo largo del eje de propagación del haz. La intensidad de los lóbulos laterales disminuye a medida que aumenta la distancia con respecto al foco principal, y el patrón de intensidad se difumina gradualmente mientras el haz se propaga, es decir, disminuye la profundidad relativa del pozo de potencial. Como consecuencia, para la clasificación, las partículas o los coloides se arrastrarán más eficazmente al foco principal si se proyecta el haz de Airy ligeramente antes del plano de la muestra, en lugar proyectarlo directamente en dicho plano.

Para generar un haz de Airy puede utilizarse cualquier técnica adecuada. Para los experimentos descritos en el presente documento, el enfoque utilizado fue el descrito por Siviloglou y otros en "Observation of Accelerating Airy Beams", Phys. Rev. Lett. 99, 213901 (2007). En la Figura 2 se muestra la configuración experimental. En la misma, un haz Gausiano incide sobre un modulador de máscara de fase/espacial de luz (SLM) adecuado. La máscara de fase es una imagen en escala de grises, que se transfiere a una matriz de cambios de fase entre 0 y 2π mediante un cristal líquido que es, en esencia, el SLM. El haz se refleja desde la máscara de fase sobre una lente, que está situada a una distancia del SLM que coincide con su longitud focal. La lente enfoca la luz de modo que se forme un haz de Airy en su plano focal, que es el plano de Fourier. La fuente de láser utilizada fue un láser Ar^+ (luz polarizada linealmente, longitud de onda de 514 nm). Las potencias del láser aplicadas en el plano de la muestra fueron de 25 mW , como es habitual.

Para acceder a la escala micrométrica, se redujo el haz de Airy utilizando una óptica apropiada, por ejemplo una óptica de telescopio inversor con dos lentes TL1 y TL2. Utilizando este tipo de disposición, se redujeron las dimensiones del haz de Airy desde aproximadamente 10 cm a aproximadamente $50\mu\text{m}$, en la dirección de propagación. Una vez dimensionado adecuadamente, se hizo incidir el haz sobre una muestra.

La configuración de Figura 2 permite la construcción adecuada del haz de Airy en el plano de Fourier, así como la proyección adecuada en el plano de la muestra, si todos los pares de lentes están montados en la configuración $2f$. Sin embargo, puede variarse la posición de las lentes para alterar la deflexión transversal. Las Figuras 3(a) a (c) muestran las trayectorias del haz de Airy para diversas posiciones diferentes de las lentes TL1 y TL2, utilizadas en la óptica de telescopio inversor. La Figura 3(b) muestra la trayectoria parabólica del foco principal del haz de Airy cuando el telescopio presenta la configuración $2f$, es decir cuando está montado a una distancia que coincida con la suma de sus distancias focales.

La Figura 3 muestra cómo el desajuste de la configuración $2f$, del telescopio de reducción de tamaño (lentes TL1 y TL2), afecta a la deflexión transversal Δx del haz de Airy. De esto puede deducirse que la trayectoria puede adaptarse, si se desajusta ligeramente la óptica del telescopio. En la Figura 3(a), la distancia entre las lentes del telescopio es menor que en la configuración $2f$, y en la Figura 3(c) es mayor. El desajuste es aproximadamente del 6% . En la Figura 3(c) la deflexión transversal del foco principal del haz de Airy llega a ser casi dos veces mayor que en la Figura 3(b). Las secciones transversales de intensidad unidimensional representadas, frente a la distancia de propagación, se calcularon sobre la base de la ecuación paraxial y se verificaron experimentalmente.

Desajustando cualquier posible distancia entre las lentes en la ruta óptica, o agregando una función de lente en el haz mediante el SLM, pueden obtenerse efectos de desviación transversales similares. Por ejemplo, la desviación transversal puede adaptarse mediante la modificación de la fase cúbica impuesta sobre el haz, por el modulador espacial de luz (SLM). Por ejemplo, si la fase cúbica es $k_x^3, k_y^3 = -20\pi \dots 20\pi$ en $1,5\text{ cm}$, el foco principal del haz de Airy se desvía por $\Delta x \approx 20\mu\text{m}$ a una distancia de propagación de $z \approx 80\mu\text{m}$. Si $k_x^3, k_y^3 = -50\pi \dots 50\pi$ en $1,5\text{ cm}$, entonces $\Delta x \approx 20\mu\text{m}$ a $z \approx 200\mu\text{m}$. En consecuencia, la curvatura se reduce. Se prevé un comportamiento similar para los patrones de haces creados de forma similar al haz de Airy, tales como los haces parabólicos.

El haz de Airy incidió sobre una cámara de muestras que contenía una suspensión acuosa de esferas de vidrio coloidales (con un diámetro de $1,5\mu\text{m}$). Las partículas de vidrio son pesadas (densidad de $1,5\text{ g/cm}^3$) y, por lo tanto, vuelven a sedimentar en las placas inferiores en pocos segundos; esto permite un acceso rápido a estudios básicos de guiado. La cámara de muestras tenía un diámetro de 1 cm y un grosor de $100\mu\text{m}$, y constaba de dos cubreobjetos con un espaciador de vinilo. Se formaron imágenes de las partículas con un objetivo de $40\times$ en el chip de una cámara CCD, y se grabaron las imágenes en un disco duro. Para grabar las trayectorias de las partículas se utilizó un algoritmo de detección estándar. Al agregar en el haz una función de lente, en este caso una fase cuadrada, mediante un modulador de luz espacial (SLM), pudo proyectarse el haz de Airy antes del plano de la muestra.

Para demostrar las propiedades de limpieza del haz de Airy, se expuso al haz una suspensión de partículas coloidales distribuidas homogéneamente, durante dos minutos. Como resultado, la distribución de partículas pasó a

ser altamente asimétrica, como puede observarse en la Figura 4, que muestra cómo un haz de Airy desplaza partículas movidas desde una sección de la muestra a otra sección de la misma. En este caso, el haz de Airy incide sobre el plano de la muestra desde abajo. Las partículas se arrastran hacia el foco principal en la sección 1, y luego se guían verticalmente a lo largo de una trayectoria parabólica que apunta hacia la sección 3. La intensidad del haz se expande a una altura de $z \approx 80 \mu\text{m}$, y las partículas caen desde el foco principal y sedimentan de nuevo en el fondo de la muestra, en la sección 3. De esta manera, el haz de Airy limpia la sección 1 y transporta las partículas con precisión hacia la sección 3.

La Figura 5 ilustra el efecto de limpieza de manera más cuantitativa. La Figura 5(a) muestra el número de partículas en función del tiempo, en las cuatro secciones de la Figura 4, en la que los cuadrados, círculos, triángulos y diamantes corresponden a las secciones 1-4, respectivamente. La línea gris vertical izquierda corresponde a la situación que se muestra en la imagen de la Figura 4. Se hizo girar entonces el haz de Airy 180° . A consecuencia de esto, se vacía la sección 3 y se transportan las partículas a la sección 1. Estos datos se muestran entre las dos líneas grises verticales. El número total de partículas aumentó durante la medición, lo que explica por qué el número de partículas en la sección verde sólo muestra una ligera disminución durante el primer intervalo de tiempo; las partículas se difunden hacia la sección verde desde el exterior, siendo arrastradas posteriormente hacia el foco principal del haz de Airy, simulando así un número de partículas bastante constante.

Para demostrar que las partículas siguen el foco principal del haz de Airy, las Figuras 5(b) y (c) muestran los componentes X y los componentes Y (símbolos cuadrados y circulares, respectivamente) de las trayectorias de las partículas, a lo largo del foco principal del haz de Airy, frente a la distancia de propagación z . Para una mayor claridad, los datos en la dirección Y se han desplazado verticalmente. Las Figuras 5(b) y (c) corresponden a haces de Airy que están orientados en direcciones opuestas.

Intuitivamente, se espera que una partícula coloidal en un haz láser modifique significativamente el patrón de intensidad. Sin embargo, se ha observado de manera inesperada que los haces de Airy exhiben propiedades de autocurativas. La Figura 6(a) muestra secciones transversales de intensidad bidimensional a diferentes distancias de propagación, similares a las mostradas en la Figura 1. En la Figura 6(b), una partícula no transparente bloquea el foco principal del haz de Airy, que reaparece gradualmente al aumentar la distancia de propagación, lo que demuestra que el haz exhibe propiedades autocurativas. En la Figura 6(c) se contempla una partícula transparente, que casi no afecta el perfil de intensidad del haz.

Como se ha demostrado anteriormente, pueden utilizarse haces de aceleración curva, tales como los haces de Airy, en la micromanipulación óptica. Presentan características únicas que pueden explotarse para nuevos métodos de captura y clasificación, a saber, que permitan despejar partículas y células de una cámara de muestras, y que permitan que las partículas sigan con precisión trayectorias parabólicas tridimensionales. Por ejemplo, la Figura 7 muestra dos compartimentos (con un tamaño de $100 \mu\text{m} \times 100 \mu\text{m}$) separados por unas paredes con una altura de $20 \mu\text{m}$. El haz de Airy (que se indica con el triángulo) permite transportar partículas sobre la pared, desde un compartimiento hacia el otro. Se prevé que estos efectos exhiban una selectividad en numerosas propiedades de partículas y células, incluyendo el tamaño, peso, y el índice de refracción. Cuando las partículas estén suspendidas en un líquido, el efecto también podrá depender de las propiedades de dicho líquido, por ejemplo su densidad e índice de refracción. Por lo tanto, las haces de Airy abren nuevas perspectivas para la clasificación y mezclado de partículas. Esto se ve reforzado por el hecho de que no se requiere un flujo microfluídico ni un movimiento complejo de los haces.

Los expertos en la materia apreciarán que son posibles variaciones de las disposiciones dadas a conocer, sin apartarse de la invención. Por ejemplo, aunque los haces descritos anteriormente se utilizan para desplazar células desde un área a otra, también podrían utilizarse en conjuntos de aerosol o de pulverización para despejar una ruta en el aire. De la misma manera, aunque se ha descrito un haz de Airy, podrían utilizarse otros haces con propiedades adecuadas. Por consiguiente, la anterior descripción de la realización específica se ha hecho a modo de ejemplo solamente, y no a efectos de limitación. Para los expertos en la materia será evidente que pueden efectuarse modificaciones menores sin que supongan cambios significativos en la operación descrita.

En el presente documento también se han descrito haces de Bessel inclinados, que presentan un foco central con una pluralidad de haces concéntricos. Para desviar partículas a lo largo de una trayectoria tridimensional, podría disponerse el haz de Bessel de modo que incida sobre una muestra, de manera que su foco principal provoque el levantamiento de una o más partículas. Podría entonces inclinarse el haz para impartir una aceleración, que haga que la partícula se proyecte hacia una trayectoria curva. Sin embargo, debe comprenderse que el uso de un haz de Bessel inclinado, para manipular de esta manera una o más partículas, no forma parte de la presente invención y no pertenece al alcance de las reivindicaciones independientes.

REIVINDICACIONES

- 5 1. Un método para manipular una o más partículas, comprendiendo el método elevar e impartir una aceleración a la una o más partículas utilizando un haz de radiación, en donde el haz se propaga a lo largo de una trayectoria curva para hacer que la una o más partículas se desplacen en una trayectoria curva, hasta que se supere la acción de elevación óptica y la una o más partículas caigan por la acción de la gravedad.
2. Un método de acuerdo con la reivindicación 1, en el que el haz tiene un perfil tridimensional.
- 10 3. Un método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el haz es un haz parabólico, por ejemplo un haz de Airy, comprendiendo el método opcionalmente proyectar el haz sobre un plano delante de un plano de una muestra que incluya la una o más partículas.
- 15 4. Un método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que comprende eliminar las partículas de una o más áreas utilizando el haz de radiación.
- 20 5. Un método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que comprende desplazar la una o más partículas desde un área hasta otra utilizando el haz y/o desplazar la una o más partículas sobre una barrera utilizando el haz, en donde la barrera es opcionalmente física u óptica, y/o desplazar la una o más partículas a lo largo de una trayectoria curva de tal forma que se eliminen las partículas de un plano dado.
- 25 6. Un método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que las partículas son partículas biológicas, por ejemplo células, opcionalmente con partículas dieléctricas adheridas.
- 30 7. Un método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que comprende clasificar las partículas según el tamaño y/o el peso y/o el índice de refracción.
- 35 8. Un método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que comprende desajustar una o más lentes en una trayectoria óptica del haz.
- 40 9. Un sistema para manipular una o más partículas, que comprende medios para generar uno o más haces de radiación para levantar y/o impartir una aceleración a la una o más partículas, para hacer que la una o más partículas se desplacen en una trayectoria curva hasta que se supere la acción de levantamiento óptico y la una o más partículas caigan por la acción de la gravedad, en donde el haz se propaga a lo largo de una trayectoria curva.
- 45 10. Un sistema de acuerdo con la reivindicación 9, en el que pueden operarse los medios de generación para generar un haz que tenga un perfil tridimensional.
- 50 11. Un sistema de acuerdo con las reivindicaciones 9 o 10, en el que pueden operarse los medios de generación para generar un haz parabólico, por ejemplo un haz de Airy, en donde, opcionalmente, el sistema comprende adicionalmente medios para proyectar el haz sobre un plano delante de un plano de una muestra que incluye la una o más partículas.
12. Un sistema de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 9 a 11, en el que el haz está adaptado para eliminar las partículas de una o más áreas.
13. Un sistema de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 9 a 12, en el que el haz está adaptado para desplazar la una o más partículas desde un área hasta otra, y/o está adaptado para desplazar la una o más partículas sobre una barrera, en donde la barrera es opcionalmente física u óptica.
14. Un sistema para clasificar partículas, que comprende un sistema para manipular una o más partículas de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 9 a 13.

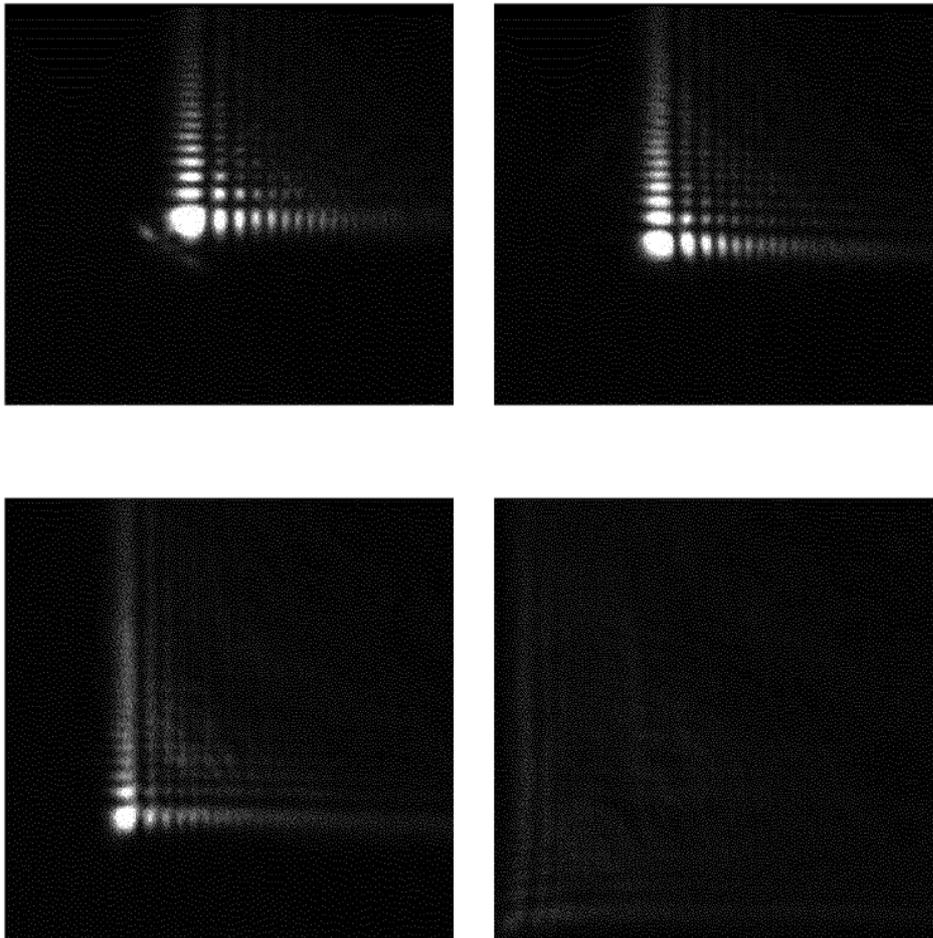


Figura 1

Configuración experimental

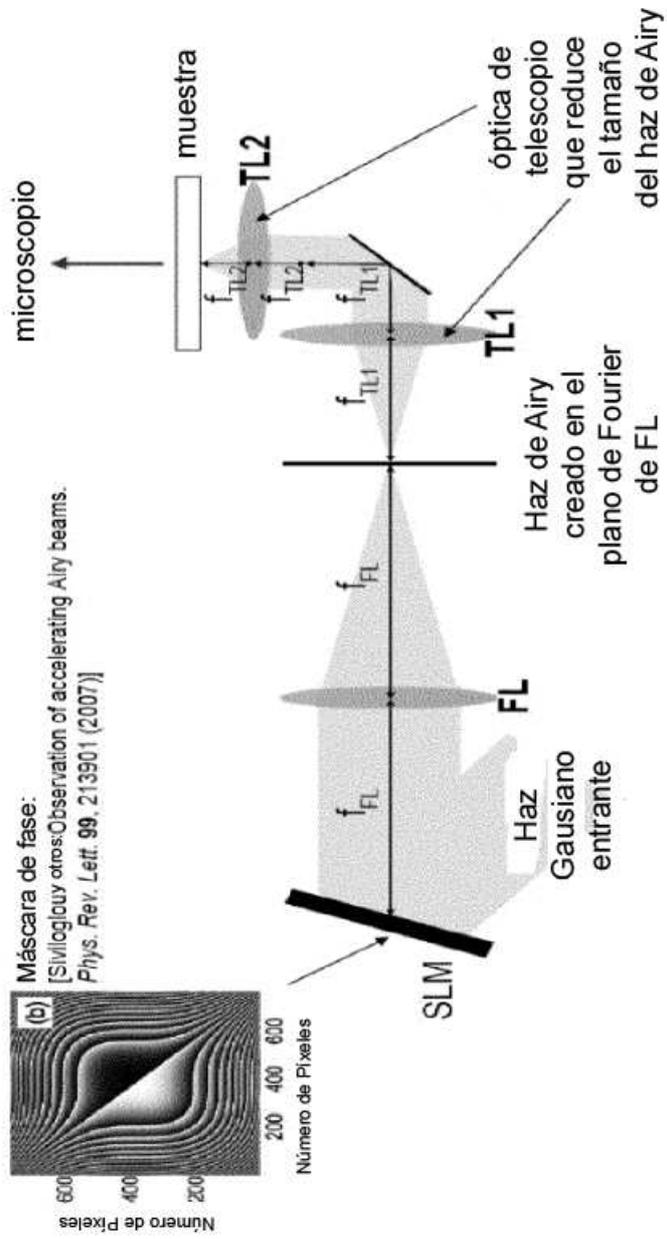


Figura 2

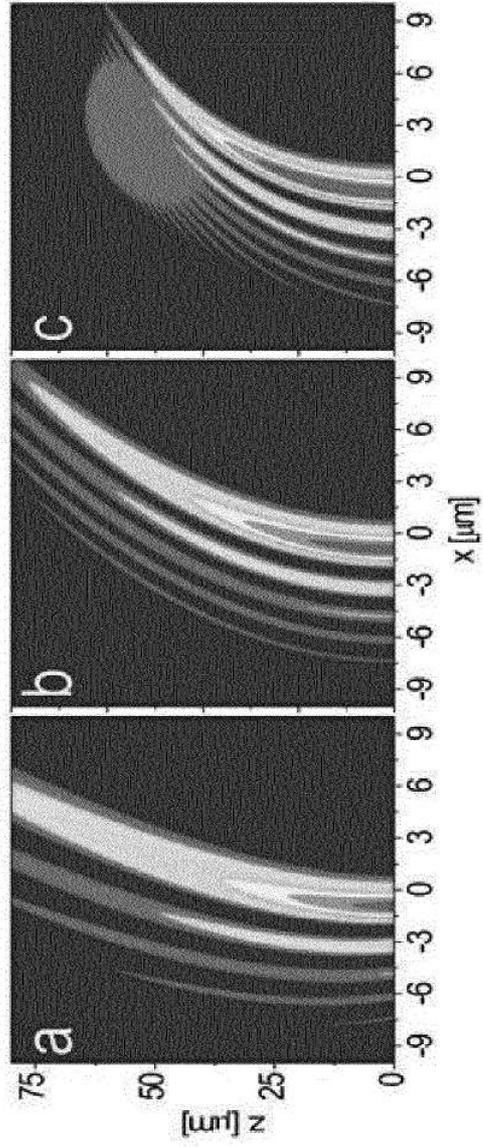


Figura 3

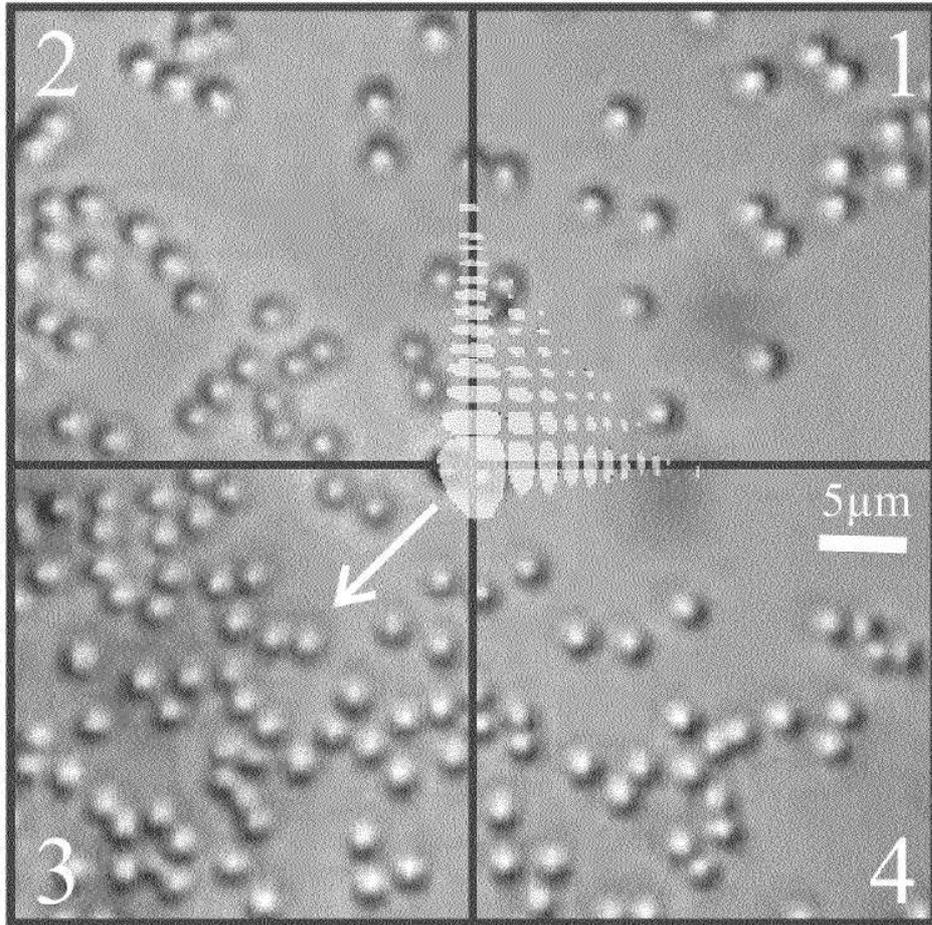


Figura 4

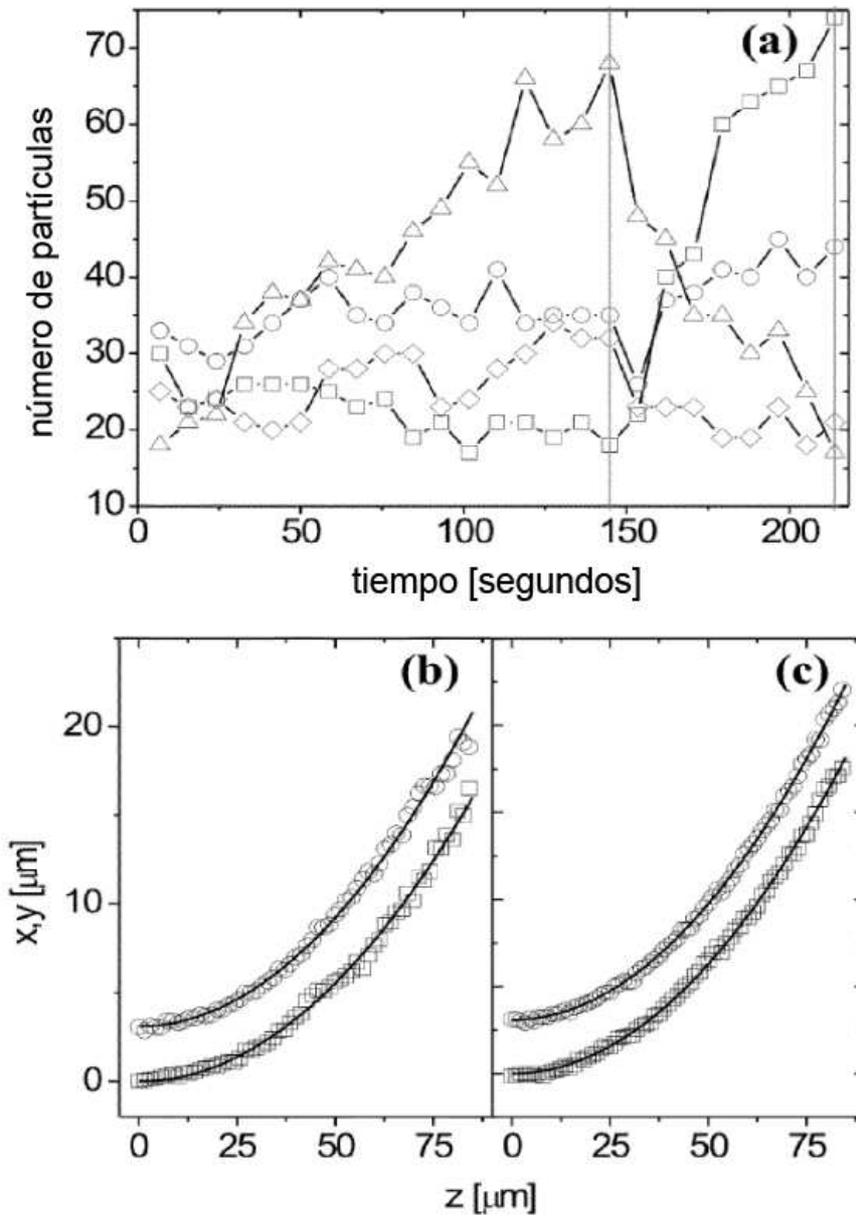


Figura 5

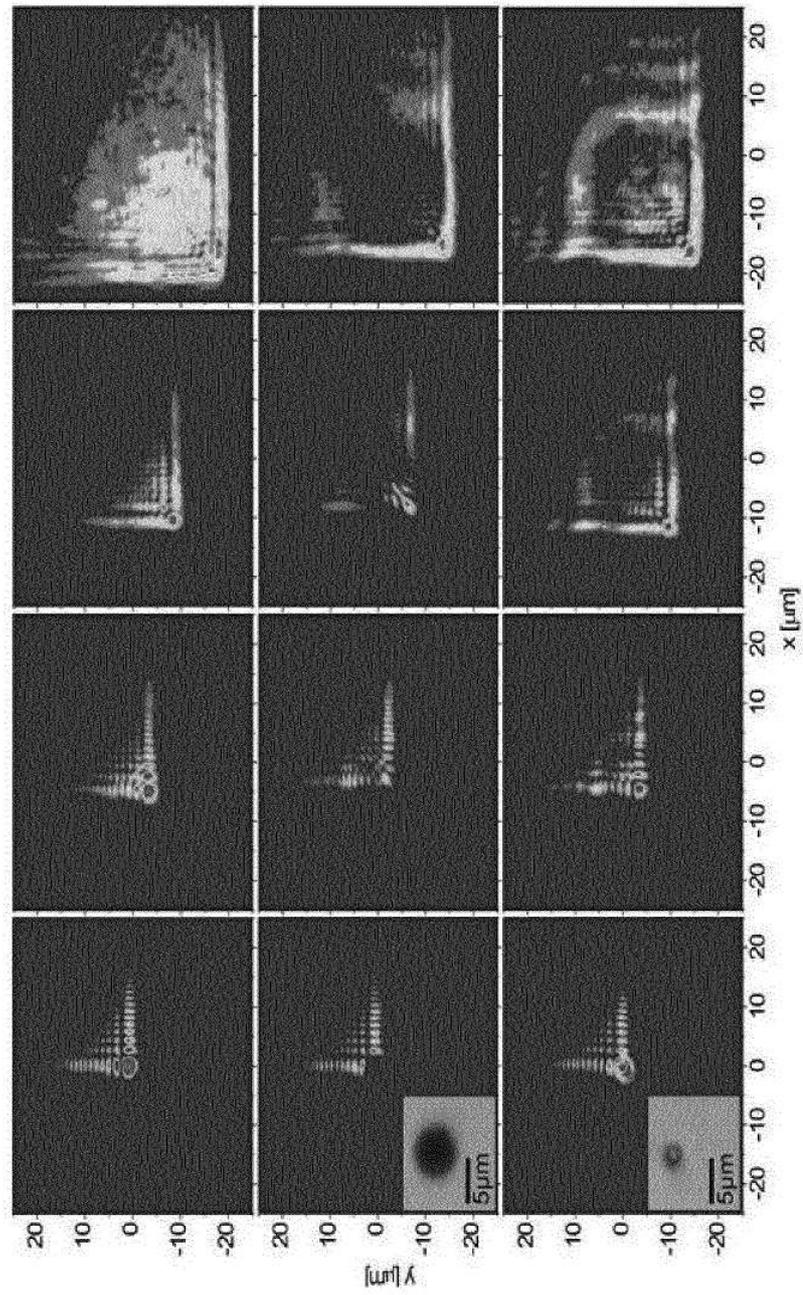


Figura 6

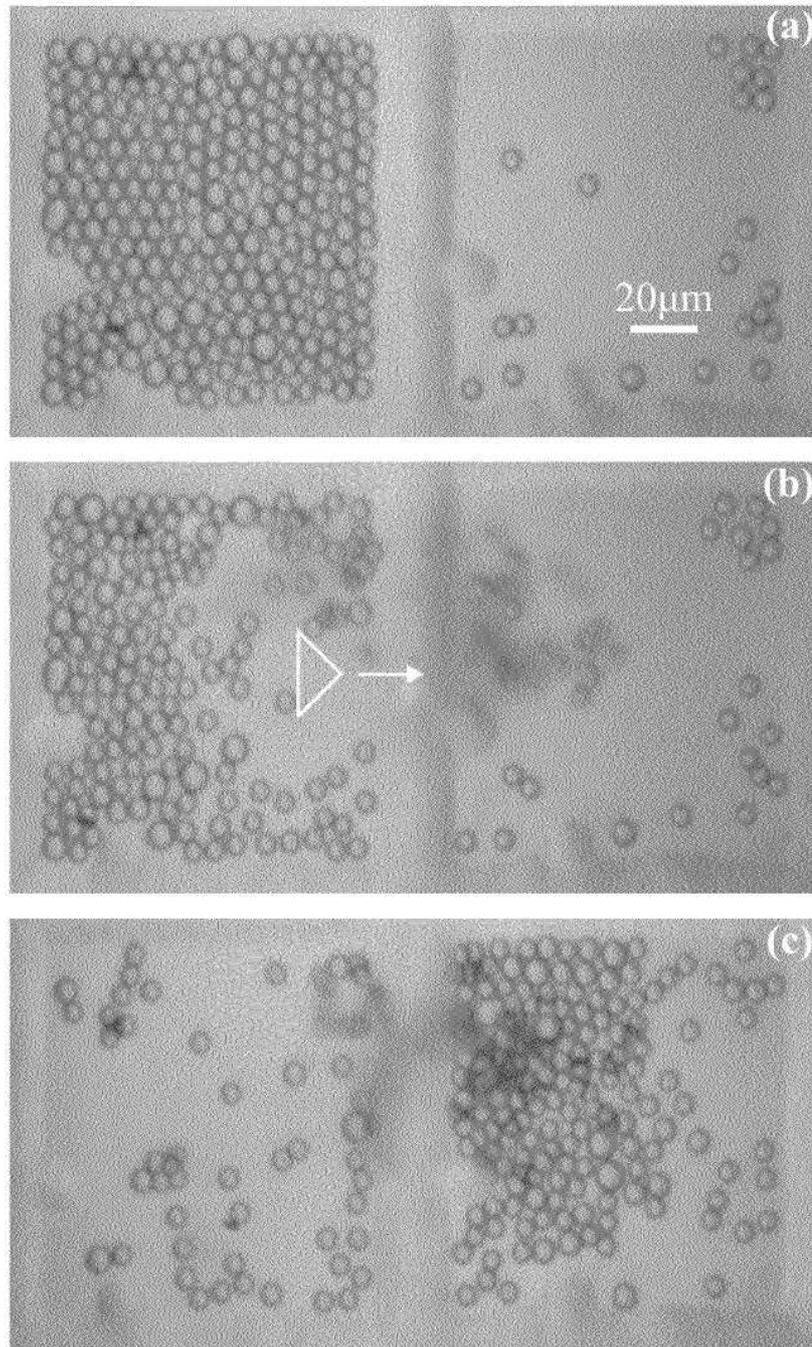


Figura 7