

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 546 789**

51 Int. Cl.:

G01Q 20/02 (2010.01)

G01Q 10/06 (2010.01)

G01Q 70/06 (2010.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **14.07.2005 E 05380157 (7)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **10.06.2015 EP 1744325**

54 Título: **Sistema y procedimiento de inspección de superficies de estructuras micro y nanomecánicas**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
28.09.2015

73 Titular/es:

**CONSEJO SUPERIOR DE INVESTIGACIONES
CIENTIFICAS (CSIC) (100.0%)
C/ Serrano, 117
28006 Madrid, ES**

72 Inventor/es:

**TAMAYO DE MIGUEL, FRANCISCO JAVIER;
MERTENS, JOHAN y
CALLEJA GÓMEZ, MONTSERRAT**

74 Agente/Representante:

CARPINTERO LÓPEZ, Mario

ES 2 546 789 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

Sistema y procedimiento de inspección de superficies de estructuras micro y nanomecánicas

Campo de la invención

5 La invención se refiere al campo de los dispositivos basados en estructuras micro o nanomecánicas, como son los micro o nanovoladizos, los micro o nanopuentes, las micro o nanomembranas, etc.

Estado de la técnica

10 Existe un interés cada vez mayor por los sistemas y procedimientos basados en elementos micromecánicos y nanomecánicos (H.G. Craighead, "Nanoelectromechanical systems", Science 290, páginas 1532-1535 (2000)). Los sistemas microelectromecánicos (MEMS) y los dispositivos basados en microvoladizo son dos ejemplos relevantes de este tipo de sistemas. Si mencionamos algunas aplicaciones, los acelerómetros MEMS se emplean en exploraciones y supervisiones sísmicas, la detección en airbag de automóviles y la navegación inercial. Se emplean tecnologías similares para monitorizar la presión sanguínea. Se han desarrollado microespejos MEMS como interruptores fotónicos para el sector de las telecomunicaciones ópticas; los microespejos también pueden emplearse para pantallas portátiles y aplicaciones de colocación de rayos láser. Los MEMS también pueden emplearse como transductores en sensores biológicos y químicos. Existe también una amplia gama de aplicaciones basadas en los microvoladizos, que pueden considerarse como una de las formas más simples de los MEMS. Por ejemplo, los microvoladizos se utilizan para el mapeado sensible de fuerzas de atracción y repulsión a escala nanométrica en microscopía de fuerzas atómicas (Y. Martin, C.C. Williams y H.K. Wickramasinghe, «Atomic Force Microscope-Force Mapping and Profiling on a sub 100-Å scale», Journal of Applied Physics 61, págs. 4723-4729 (1987), para sensores biológicos y químicos nanomecánicos ultrasensibles (B. Ilic, D. Czaplewski, H.G. Craighead, P. Neuzil, C. Campagnolo y C. Battf «Mechanical resonant immunospecific biological detector», Applied Physics Letters 77, págs. 450-452 (2000), para la detección de partículas cargadas (A.C. Stephan, T. Gaulden, A. -D. Brovm, M. Smith, L.F. Miller y T. Thundat, «Microcantilever charged-particle flux detector» Review of Scientific Instruments 73, págs. 36-41 (2002)), para escritura y lectura de almacenamiento de datos de densidad ultra alta (P. Vettiger et al, «Ultrahigh density, high-data-rate NEMS-based AFM data storage system», Microelectronics Engineering 46, págs. 11-17 (1999).

30 La caracterización de la forma, perfil, movimiento, tensión y esfuerzo de los MEMS y los microvoladizos desempeña un papel importante en el desarrollo y evolución de los productos. Además, la medida en tiempo real de la forma, perfil, movimiento, tensión y/o esfuerzo es de gran valor para monitorizar la respuesta mecánica, por ejemplo, de sensores químicos y biológicos que se basan en la forma, perfil, movimiento, tensión o esfuerzo de un MEMS o micro o nanovoladizos.

35 Los MEMS y los sistemas microvoladizo incluyen sistemas basados en voladizos provistos de un extremo fijo y otro extremo móvil; en estos sistemas, lo que se detecta normalmente es el desplazamiento y/o movimiento del extremo "libre". Sin embargo, existen también sistemas basados en voladizos sujetos por ambos extremos; entonces, el movimiento de la parte central puede ser detectado. Además, existen otras estructuras micro y nanomecánicas que son móviles y flexibles, como son las paletas sujetas doblemente cuya dirección de movimiento "fácil" se corresponde con la torsión de la paleta alrededor del eje de las bisagras que conectan la paleta a un armazón (sustancialmente, igual que una raqueta cuadrada fijada a un armazón mediante dos asas opuestas de la raqueta, extendiéndose a lo largo de un eje). Otros sistemas conocidos emplean membranas que están conectadas a un armazón mediante dos grupos de bisagras, lo que permite dos grados angulares de libertad.

40 En sensores químicos/biológicos basados en MEMS y microvoladizos, la superficie del elemento micro o nanomecánico está sensibilizada con receptores que reconocen selectivamente la sustancia objetivo. La colocación de la sustancia objetivo sobre la superficie del elemento micro o nanomecánico produce un cambio de la forma, perfil, tensión, esfuerzo y movimiento (vibración) del elemento mecánico. Este cambio suele medirse midiendo el desplazamiento de una parte representativa del elemento mecánico (normalmente se trata del extremo libre de un microvoladizo fijado por un solo extremo, pero también puede ser el centro de un microvoladizo fijado por ambos extremos, una parte de una lámina membranosa, etc.). Este desplazamiento puede ser de unos 1-100 nanómetros y, en muchos casos, es necesario obtener una resolución superior a 1 nm, dependiendo de la aplicación. Para la lectura del desplazamiento, existen varias técnicas como la detección capacitiva, detección basada en túnel de corriente, interferometría óptica, lectura piezorresistente y la técnica de deflexión de un haz óptico.

Ejemplos de MEMS y sistemas microvoladizo son revelados, por ejemplo, en:

Engel y otros «Trends in Cell Biology», Volumen 9, Febrero de 1999, páginas 77-80, "Atomic force microscopy: a powerful tool to observe biomolecules at work".

55 P. Vettiger et al, IBM J. Res. Develop., Volumen 44, Número 3, May 2000, páginas 323-339. "The milliipede- more than one thousand tips for future AFM storage"

WO-A-01/33226

WO-A-03/091458

El procedimiento de deflexión de haz óptico es el más sensible y presenta la ventaja de que puede implementarse fácilmente. La figura 1 ilustra de manera esquemática un sistema convencional de arte previo para la deflexión de haz óptico. Una fuente de luz 101 (normalmente un fuente láser) produce un haz de luz 102 (normalmente un haz de luz láser, en el espectro visible ultravioleta o infrarrojo) que es enfocado (es decir, enfocado directamente o a través de medios de dirección que implican, por ejemplo, uno o más espejos 103, etc.) sobre la parte del elemento mecánico donde ha de medirse el desplazamiento, por ejemplo, sobre el extremo de un microvoladizo 104. La deflexión del haz que se refleja del voladizo se mide con un detector sensible a la posición 105 (tal como un fotodetector, por ejemplo, un fotodetector segmentado, un fotodetector de captación continua de la posición, una matriz de fotodetectores, un CCD, etc.). Por ejemplo, puede emplearse un fotodetector segmentado que se divide en dos segmentos orientados en paralelo al eje de movimiento del voladizo. La deflexión del voladizo produce un desplazamiento del punto de láser reflejado sobre el fotodetector. Así, la diferencia de fotocorrientes entre los dos segmentos es proporcional a la deflexión del voladizo. Asimismo, la técnica de deflexión del haz óptico puede aplicarse a otros tipos de elementos mecánicos como son los voladizos fijados por ambos extremos, láminas membranosas, micropaletas, etc. Igualmente, puede ser aplicado para la lectura de otros tipos de desplazamientos en lugar de los desplazamientos fuera de plano, como movimientos torsionales de los microvoladizos y micropaletas, etc. (G. Meyer and N.M. Amer, "Simultaneous measurement of lateral and normal forces with an optical-beam-deflection atomic force microscope", Applied Physics Letters, vol. 57, pp. 2089- 2091).

Este sistema es adecuado para medir el comportamiento estático y mecánico de los elementos mecánicos como los voladizos, por ejemplo, la deflexión máxima, el valor medio de deflexión, la amplitud a una frecuencia de referencia (el elemento puede ser excitado externamente mediante un fuerza de excitación que oscile a la frecuencia de referencia), la etapa del movimiento con respecto a la señal de excitación externa, la frecuencia, etc. El desplazamiento estático, la amplitud, la frecuencia, etc. que se hayan medido pueden relacionarse entonces con un objeto que se tenga que medir y que interactúe con el voladizo y con señales y/o procedimientos empleados para estimular el objeto y/o voladizo.

Ahora bien, la técnica descrita anteriormente es práctica cuando se tenga que medir el desplazamiento/movimiento de una sola parte de un único elemento mecánico. Sin embargo, esta técnica no puede aplicarse a dispositivos basados en matrices que comprendan una pluralidad de elementos mecánicos en los que haya que medir el desplazamiento/movimiento de cada elemento. Estos dispositivos ofrecen multifuncionalidad y mayor velocidad y/o una información más completa que los dispositivos basados en un solo elemento mecánico. Por ejemplo, los sensores químicos y biológicos basados en matrices de microvoladizos pueden detectar varias sustancias sensibilizando cada voladizo con un receptor diferente. Además, puede resultar ventajoso obtener información sobre el desplazamiento de varias regiones del elemento mecánico para así obtener más información sobre el estímulo externo que se está midiendo o sobre los diferentes estímulos que interactúan con distintas partes del elemento mecánico.

Aunque la técnica de deflexión de haz óptico tal como se ha descrito antes puede resolver deflexiones tan pequeñas como 0,1 nm, la implementación de esta técnica para lecturas en matrices de voladizos ha resultado ser una cuestión compleja. Hasta ahora se han utilizado matrices de fuentes de luz y dichas fuentes tienen el mismo paso que la matriz de voladizos. Las fuentes de luz se activan y se desactivan individualmente, para la iluminación individual de cada voladizo de la matriz, y para la lectura secuencial de la deflexión de cada voladizo mediante un fotodetector de captación continua de la posición (un tipo de detector sensible a la posición). Este tipo de sistemas se revela, por ejemplo, en H.P. Lang, et al., Applied Physics Letters, Volumen 72, Número 3, 19 Enero 1998, págs. 383-385, "Sequential Position Readout from Arrays of Micromechanical Cantilever Sensors".

No obstante, esta técnica requiere el uso de tecnología sofisticada y la alineación precisa de los haces de luz, los microvoladizos y el fotodetector o los fotodetectores. Además, una matriz de haces de luz sólo será adecuada para matrices de microvoladizos que tengan del mismo paso (la distancia entre voladizos subsiguientes) y el mismo número de elementos.

Mar Alvarez y Javier Tamayo, "Optical sequential readout of microcantilever arrays for biological detection", Sensors and Actuators B 106 (2005), páginas 687-690, disponible en línea en www.sciencedirect.com, revela un sistema como el ilustrado en la figura 2, en el que los microvoladizos de una matriz 204 son iluminados por una sola fuente de luz láser 201 situada en un impulsor de bobina móvil unidimensional mediante el cual el haz láser incidente explora periódicamente la matriz en dirección perpendicular a los ejes longitudinales de los voladizos. Así, el extremo libre de cada voladizo de la micromatriz es iluminado secuencialmente. Cuando el haz láser sale reflejado de la superficie de un microvoladizo de la matriz, se detecta un aumento de la fotocorriente total de un detector sensible a la posición 205 que está colocado con una geometría adecuada para recoger el haz láser reflejado del voladizo (este incremento se corresponde con los picos de la fotocorriente detectada 206). Cuando se detecta el aumento de la fotocorriente, se determinan las coordenadas de posición del punto correspondiente donde el haz láser reflejado incide sobre el fotodetector basándose en las señales de la fotocorriente generadas por el detector y estas coordenadas pueden utilizarse entonces para determinar la deflexión del voladizo.

Por otra parte, en ocasiones puede ser necesario medir no sólo el desplazamiento de una parte específica del

voladizo u otro tipo de elemento mecánico, sino también el cambio general de curvatura o la forma general del voladizo o de un elemento similar, o bien parte del mismo. Así, se conoce una técnica que se ha aplicado a sensores microvoladizo y que emplea la curvatura de un voladizo provisto de una estructura de doble capa (por ejemplo una fina lámina de oro sobre silicio o nitruro de silicio). Las curvaturas de los voladizos sufren un cambio en respuesta a cualquier variación de temperatura o tensión superficial diferencial debida a la adsorción molecular. Para obtener el cambio de radio de curvatura, se conoce un sistema de medida basado en el uso de ocho diodos emisores de luz enfocados sobre varias posiciones de un voladizo de silicio bañado en oro. La deflexión en cada punto del voladizo se mide con la precisión de un subnanómetro mediante un detector sensible a la posición que emplea la técnica de deflexión de un haz óptico y, de este modo, se obtiene la curvatura del voladizo. Este procedimiento se divulga en Sangmin Jeon, et al., «Instant curvature measurement for microcantilever sensors», Applied Physics Letters, vol. 85, nº. 6, páginas 1083-1084 (9 de agosto de 2004).

Además de los sistemas en voladizo en los que ha de medirse el desplazamiento de una parte específica del voladizo, o en los que se ha de medir la curvatura del voladizo, puede haber estructuras mecánicas como las láminas membranosas sensibilizadas en diferentes regiones para un estímulo distinto, de manera que para obtener la información sobre cada estímulo es necesario medir el desplazamiento de cada región sensibilizada de la estructura mecánica.

Por otra parte, el mapeado del desplazamiento estático y dinámico de MEMS y sistemas microvoladizo desempeña un papel importante en la caracterización de estos sistemas para el desarrollo de dispositivos fiables, reproducibles y comercializables. Entre las técnicas para la representación gráfica del movimiento de estructuras micromecánicas, encontramos: Sistema de Interferómetro microscópico estroboscópico y vibrómetro Láser-Doppler. Estas técnicas pueden ser voluminosas y caras y algunas utilizan algoritmos complejos para obtener una imagen del desplazamiento y la vibración. Además, no siempre es posible medir simultáneamente los desplazamientos estático y dinámico empleando estas técnicas. Por ejemplo, el vibrómetro Láser-Doppler mide la velocidad fuera del plano de un punto de la estructura mecánica.

Descripción de la invención

Existen sistemas basados en elementos micro o nanomecánicos en los que el desplazamiento o la vibración de los elementos micro o nanomecánicos se mide en relación con un objeto externo que interactúa con los elementos. Por ejemplo, los sensores químicos y biológicos basados en elementos micro y nanomecánicos se basan en el hecho de que la adsorción de una sustancia sobre la superficie de un elemento mecánico varía las características de forma, perfil, tensión, esfuerzo y vibración del elemento mecánico. Este cambio se mide midiendo el desplazamiento del elemento mecánico en un punto específico y representativo, por ejemplo, un punto cercano al extremo libre de un voladizo sujeto por un solo extremo. Esto puede medirse con precisión empleando la técnica de deflexión de un haz óptico, dirigiendo un haz láser a un punto próximo al extremo de un voladizo. A partir del desplazamiento de ese punto, es posible deducir, utilizando modelos teóricos, el desplazamiento de todo el elemento mecánico. No obstante, estos modelos suponen condiciones ideales y no siempre son aplicables a las situaciones reales. Resultaría ventajoso poder obtener medidas en tiempo real del desplazamiento y el movimiento de una pluralidad de posiciones seleccionadas de una estructura mecánica o de una región de interés de esa estructura. Esto proporcionaría una mayor cantidad de información sobre cómo varía la estructura mecánica en relación con el objeto a medir, lo que a su vez implicaría mayor sensibilidad y una mayor relación señal-ruido. Por ejemplo, en algunos sensores microvoladizo, la curvatura a lo largo del microvoladizo está relacionada con las moléculas adsorbidas sobre el microvoladizo. Para obtener la curvatura, es necesario medir el desplazamiento de varias posiciones a lo largo del microvoladizo. En otros sensores basados en microestructuras mecánicas más complejas, las mediciones del perfil a lo largo de varios ejes proporcionarían más información sobre cómo cambia la microestructura mecánica en respuesta al objeto a medir. Además, puede haber estructuras mecánicas como las láminas membranosas sensibilizadas en distintas regiones para diferentes estímulos, de modo que para obtener la información sobre cada estímulo, es necesario medir el desplazamiento de cada región sensibilizada de la estructura mecánica. Igualmente, puede ser necesario medir el desplazamiento de elementos individuales que pertenezcan a matrices tridimensionales en aplicaciones que requieran multifuncionalidad, alta velocidad y grandes cantidades de información. Por tanto el solicitante ha considerado que existe la necesidad de un sistema y un procedimiento que proporcione la detección del desplazamiento y la vibración de una pluralidad de puntos seleccionados de elementos micro o nanomecánicos a lo largo de, al menos, una dirección o un eje, y que utilice una sola fuente de luz para detectar el mapa o perfil de: características de desplazamiento estático y vibración (amplitud, etapa, frecuencia, etc.) de una pluralidad de elementos que forman parte de una estructura micro o nanomecánica, tal como una matriz unidimensional o bidimensional.

Un primer aspecto de la invención está relacionado con un sistema para la inspección de la superficie dispuesto para detectar el desplazamiento relativo (correspondiente, por ejemplo, a la pendiente de una parte o región de una elemento) y/o las características de vibración de una pluralidad de puntos de diversos elementos (como los voladizos) que forman parte de una estructura mecánica (tal como una estructura micro o nanomecánica, como es una matriz de microvoladizos). El sistema comprende:

una fuente de luz (como es una fuente láser, por ejemplo, un diodo láser) dispuesta para generar, al menos, un haz de luz (por ejemplo, un rayo láser);

- 5 un detector sensible a la posición (por ejemplo, un fotodetector o algo similar dispuesto para general una señal de salida o un conjunto de señales de salida que, por un lado, dependa de la posición de un haz de luz incidente sobre dicho fotodetector y, por otro lado, de la intensidad de la luz del haz de luz incidente) dispuesto para recibir el haz de luz cuando es reflejado de la estructura mecánica y para generar, al menos, una señal de salida en respuesta a la recepción de dicho haz de luz;
- 10 un sistema de control electrónico (que puede implementarse en un ordenador personal o, por ejemplo, otro tipo de dispositivo electrónico programable, tal como un microcontrolador o un dispositivo similar);
- medios de exploración (es decir, algún tipo de mecanismo de exploración) para el desplazamiento relativo de dicho haz de luz con respecto a la estructura mecánica, para explorar dicha estructura mecánica con el haz de luz, siguiendo las instrucciones del sistema de control electrónico (el medios de exploración puede incluir un medio para desplazar el generador de haz de luz o parte del mismo y/o uno o más espejos y otros dispositivos de reflexión de luz, así como los correspondientes medios de accionamiento para desplazar los componentes pertinentes).
- 15 De acuerdo con la invención, el sistema de control electrónico está dispuesto para controlar los medios de exploración con el fin de desplazar el haz de luz a lo largo de la estructura mecánica a lo largo de una primera trayectoria con el objeto de detectar una pluralidad de posiciones de referencia subsiguientes a lo largo de dicha trayectoria. El sistema de control electrónico está asociado operativamente con el detector sensible a la posición para poder determinar dichas posiciones de referencia como resultado de un análisis de, al menos, una señal de salida de dicho detector sensible a la posición (por ejemplo, como resultado de la dependencia de posición de dicha
- 20 señal de salida, es decir, como resultado de analizar cómo varía la señal de salida durante el desplazamiento del haz de luz a lo largo de la estructura).
- El sistema de control electrónico también se encarga de controlar el medios de exploración para desplazar el haz de luz a lo largo de la estructura mecánica siguiendo una pluralidad de segundas trayectorias, estando cada una de dichas segundas trayectorias asociada a una de dichas posiciones de referencia (de modo que, por ejemplo, cada
- 25 segunda trayectoria comience en dicha posición de referencia o tenga una relación predeterminada con dicha posición de referencia).
- El sistema de control electrónico se ocupa además de obtener, durante el desplazamiento del haz de luz a lo largo de cada una de dichas segundas trayectorias, una pluralidad de salidas de señales de posición de dicho detector sensible a la posición. Estas salidas de señales de posición pueden emplearse para determinar las características de desplazamiento relativo y/o de vibración de los correspondientes puntos de la estructura inspeccionada.
- 30 Por lo tanto, la invención posibilita obtener información relacionada con un gran número de punto de diferentes elementos que componen una estructura, explorando dichos elementos de acuerdo con las correspondientes segundas trayectorias. Así, es posible obtener una información más completa.
- El sistema de control electrónico puede asociarse operativamente con dicho detector sensible a la posición para determinar dichas posiciones de referencia como resultado de un análisis de la amplitud (por ejemplo, la dependencia de posición de dicha amplitud) de, al menos, una de dichas señales de salida de dicho detector sensible a la posición.
- 35 Por ejemplo, el sistema de control electrónico puede asociarse operativamente con dicho detector sensible a la posición para determinar que una posición es una posición de referencia:
- 40 - cuando dicha posición se corresponda con un máximo local de la amplitud de, al menos, una de dichas señales de salida de dicho detector sensible a la posición (que puede deberse a una reflexión total del haz contra el elemento correspondiente);
- 45 - cuando dicha posición se corresponda con un mínimo local de la amplitud de, al menos, una de dichas señales de salida de dicho detector sensible a la posición (dicho mínimo local puede deberse, por ejemplo, a un espacio entre dos voladizos de una matriz de voladizos);
- cuando dicha posición se corresponda con un máximo local de pendiente de la amplitud de, al menos, una de dichas señales de salida de dicho detector sensible a la posición (esto puede deberse al margen de un voladizo de una matriz, donde existe un cambio repentino de la intensidad de luz reflejada); o
- 50 - cuando dicha posición se corresponda con una posición que tenga una relación especificada con posiciones correspondientes a máximos y/o mínimos locales de la amplitud de, al menos, una de dichas señales de salida de dicho detector sensible a la posición (por ejemplo, la posición de referencia puede elegirse para que se corresponda con una posición equidistante a dos posiciones correspondientes a mínimos locales en la intensidad de luz reflejada, es decir, a una posición entre los dos espacios a los lados de un voladizo de una matriz de voladizos).
- 55 La amplitud de, al menos, una de dichas señales de salida de dicho detector sensible a la posición puede ser

indicativa de la intensidad del haz de luz recibido por el detector sensible a la posición.

El sistema de control electrónico puede configurarse para:

desplazar el haz de luz a lo largo de dicha primera trayectoria;

5 al detectar una posición de referencia, interrumpir el desplazamiento del haz de luz a lo largo de dicha primera trayectoria y, en su lugar, desplazar el haz de luz a lo largo de una segunda trayectoria correspondiente a dicha posición de referencia;

subsecuentemente, continuar el desplazamiento del haz de luz por dicha primera trayectoria hasta detectar una subsecuente posición de referencia.

Como alternativa, el sistema de control electrónico puede configurarse para:

10 desplazar el haz de luz por dicha primera trayectoria hasta alcanzar un extremo de dicha primera trayectoria, mientras registra subsecuentes posiciones de referencia;

luego, tras alcanzar el extremo de dicha primera trayectoria, subsecuentemente desplazando el haz de luz por las segundas trayectorias correspondientes a las posiciones de referencia registradas.

15 Las segundas trayectorias pueden incluir un sustancial número de puntos de cada elemento o una región de cada elemento con el fin de obtener un gráfico general de la superficie de la pendiente, el desplazamiento y/o la vibración de dicho elemento o dicha región de dicho elemento.

La primera trayectoria puede ser, por ejemplo, una trayectoria sustancialmente recta en una primera dirección.

20 Las segundas trayectorias pueden ser, por ejemplo, trayectorias sustancialmente rectas en una dirección sustancialmente perpendicular a la primera trayectoria (una opción que puede ser adecuada cuando, por ejemplo, el objetivo es detectar la curvatura longitudinal de los voladizos dispuestos en paralelo en una matriz de voladizos).

25 De modo alternativo, las segundas trayectorias pueden ser, por ejemplo, trayectorias sustancialmente rectas en una dirección sustancialmente paralela a la primera trayectoria (esta configuración puede ser adecuada cuando el objetivo es medir la curvatura longitudinal de los elementos dispuestos uno detrás del otro en su dirección longitudinal, como voladizos dispuestos en orificios subsiguientes en un sustrato de silicio o algo similar, o cuando el objetivo es detectar la torsión alrededor del eje longitudinal de una pluralidad de elementos dispuestos en paralelo, como son las paletas o voladizos de una matriz).

La primera y/o la segunda trayectoria también pueden ser, por ejemplo, trayectorias sinuosas, zigzagueantes, sinusoidales y/o circulares y pueden tener cualquier relación adecuada con las primeras trayectorias.

30 La estructura mecánica puede ser, por ejemplo, una matriz de voladizos; si es así, entonces los elementos pueden ser los voladizos de dicha matriz de voladizos.

El sistema puede configurarse además para almacenar y/o tratar las salidas de las señales de posición como datos indicativos del desplazamiento de superficie (correspondiente, por ejemplo, al desplazamiento relativo o la pendiente de la superficie) y/o las características de vibración de un elemento correspondiente de la estructura mecánica, a lo largo de las correspondientes segundas trayectorias.

35 Otro aspecto de la invención de acuerdo con la reivindicación 17 se refiere a un procedimiento de inspección de superficie para detectar el desplazamiento relativo (correspondiente, por ejemplo, a un incremento de la pendiente de una parte o región de un elemento) y/o las características de vibración de una pluralidad de puntos de una pluralidad de elementos que forman parte de una estructura mecánica, estando formado dicho procedimiento por las etapas de:

40 dirigir un haz de luz hacia dicha estructura mecánica y producir un desplazamiento relativo de dicho haz de luz con relación a la estructura mecánica para explorar dicha estructura mecánica con el haz de luz;

45 recibir un haz de luz reflejado de dicha estructura mecánica, con un detector sensible a la posición dispuesto para generar, al menos, una señal de salida como respuesta a la recepción de dicho haz de luz (por ejemplo, un fotodetector o un dispositivo similar dispuesto para generar una señal de salida o un conjunto de señales de salida que, por un lado, dependa de la posición de un haz de luz incidente sobre dicho fotodetector y, por otro, de la intensidad de la luz del haz de luz incidente);

en el que la etapa para producir un desplazamiento relativo de dicho haz de luz con relación a la estructura mecánica se realice de manera que el haz de luz sea desplazado a lo largo de la estructura mecánica siguiendo una primera trayectoria.

50 De acuerdo con la invención, el procedimiento comprende además la etapa de detección de una pluralidad de

posiciones de referencia subsecuentes a lo largo de dicha primera trayectoria, siendo determinadas dichas posiciones de referencia mediante el análisis de, al menos, una señal de salida de dicho detector sensible a la posición.

5 La etapa de producción de un desplazamiento relativo de dicho haz de luz con relación a la estructura mecánica se lleva a cabo además para desplazar también el haz de luz por la estructura mecánica a lo largo de una pluralidad de segundas trayectorias, siendo asociada cada una de dichas segundas trayectorias con una de dichas posiciones de referencia.

El procedimiento incluye además obtener, durante el desplazamiento del haz de luz a lo largo de cada una de dichas segundas trayectorias, una pluralidad de salidas de señales de posición de dicho detector sensible a la posición.

10 Lo que se ha establecido en relación con la descripción del sistema también es aplicable al procedimiento, *mutatis mutandis*.

Por ejemplo, las posiciones de referencia pueden determinarse analizando la amplitud (por ejemplo, la dependencia de posiciones de dicha amplitud) de, al menos, una de dichas señales de salida de dicho detector sensible a la posición.

15 Puede determinarse una posición para que sea una posición de referencia de acuerdo con criterios diferentes, por ejemplo:

- cuando dicha posición corresponda a un máximo local de la amplitud de, al menos, una de dichas señales de salida de dicho detector sensible a la posición;
- 20 - cuando dicha posición corresponda a un mínimo local de la amplitud de, al menos, una de dichas señales de salida de dicho detector sensible a la posición;
- cuando dicha posición corresponda a un máximo local de la pendiente de la amplitud de, al menos, una de dichas señales de salida de dicho detector sensible a la posición;
- 25 - cuando dicha posición corresponda a una posición que tenga una relación especificada con las posiciones correspondientes a máximos y/o mínimos locales de la amplitud de, al menos, una de las señales de salida de dicho detector sensible a la posición;

como se ha explicado anteriormente.

La amplitud de, al menos, una de dichas señales de salida de dicho detector sensible a la posición puede ser indicativa de la intensidad del haz de luz recibido por el detector sensible a la posición.

30 La etapa de producir un desplazamiento relativo de dicho haz de luz con relación a la estructura mecánica puede realizarse de modo que:

- el haz de luz se desplace por dicha primera trayectoria; al detectarse una posición de referencia, el desplazamiento del haz de luz de dicha primera trayectoria es interrumpido y, en su lugar, el haz de luz se desplaza por una segunda trayectoria correspondiente a dicha posición de referencia; y, subsecuentemente, continúa el desplazamiento del haz de luz por dicha primera trayectoria, hasta que se detecta una posición de referencia siguiente;

o

- el haz de luz se desplaza por dicha primera trayectoria hasta alcanzar un extremo de dicha primera trayectoria, mientras registra posiciones de referencia subsecuentes; y luego, tras alcanzar el final de dicha primera trayectoria; el haz de luz es desplazado subsecuentemente por las segundas trayectorias correspondientes a las posiciones de referencia registradas.

Además, el procedimiento puede comprender la etapa de almacenar y/o tratar dichas salidas de señales de posición como datos indicativos de la pendiente de superficie, características de desplazamiento y/o vibración de un elemento correspondiente de la estructura mecánica, por las segundas trayectorias correspondientes.

45 Un aspecto adicional de la invención de acuerdo con la reivindicación 33 se refiere a un programa, tal como un programa informático, que comprende las instrucciones de programa para hacer que un sistema electrónico programable (compuesto, por ejemplo, de un ordenador personal u otro medio de control electrónico programable) lleve a cabo el procedimiento de la invención, cuando se ejecuta el programa en dicho sistema electrónico programable. El sistema puede comprender, además, la fuente de luz, el detector sensible a la posición y los medios de exploración, tal como se ha esbozado anteriormente. El programa puede incorporarse en un soporte de grabación (como es un soporte de grabación magnético u óptico, tal como una memoria de ordenador o una memoria de sólo lectura) o puede realizarse en una señal de portadora eléctrica.

Breve descripción de los dibujos

Para completar la descripción y con objeto de ofrecer una mejor comprensión de la invención, ofrecemos un conjunto de ilustraciones. Dichas ilustraciones forma una parte esencial de la descripción e ilustran una realización preferida de la invención, lo cual no debe interpretarse como limitación de ámbito de la invención, sino como sólo un ejemplo de cómo puede realizarse la invención. Las ilustraciones comprenden las siguientes figuras:

5 La figura 1 es una vista esquemática de un sistema del estado de la técnica anterior para la lectura de voladizos basada en la técnica de deflexión de un haz óptico para medir la deflexión de microvoladizos.

La figura 2 es una vista esquemática de un sistema del estado de la técnica anterior en el que se emplea un haz láser para explorar una matriz de microvoladizos.

10 Las figuras 3A y 3B son una vista esquemática de una realización de la invención.

La figura 4 es una ilustración esquemática del desplazamiento de la luz láser reflejada en el detector sensible a la posición, cuando varía la pendiente de la superficie (por ejemplo, una región de un voladizo), empleando la técnica de deflexión de un haz óptico.

Las figuras 5A-5C ilustran un experimento basado en la presente invención.

15 Las figuras 6A y 6B ilustran las curvas obtenidas con una realización de la presente invención, correspondientes a mediciones en tiempo real del desplazamiento absoluto del extremo del voladizo (figura 6A) y del radio de curvatura absoluto (figura 6B) de una pluralidad de microvoladizos durante la adsorción de MCH.

La figura 7 muestra las trayectorias exploradas de acuerdo con un experimento basado en una realización de la invención.

20 Las figuras 8A-8C muestran las señales de salida del detector sensible a la posición correspondientes a dicho experimento.

Las figuras 9A-9D muestran distintos ejemplo de posibles implementaciones de la primera y segundas trayectorias.

Descripción de una realización preferida de la invención

25 La figura 3A ilustra una vista, esquemática de una realización de la invención, en la que se emplea una fuente de luz 1 compuesta por un diodo láser para generar un haz láser 11 que es utilizado para explorar una estructura micromecánica 5 formada por una pluralidad de voladizos 51, provisto cada uno de un extremo fijado y un extremo libre.

30 Un detector sensible a la posición 2 formado por un fotodetector está dispuesto para recibir el haz de luz tras su reflexión en los voladizos 51 y para generar tres señales de salida, una con una amplitud que depende de la intensidad de la luz que incide sobre el detector sensible a la posición 2, y las otras dos con una amplitud que depende de las coordenadas de la posición donde incide la luz sobre dicho detector sensible a la posición.

35 Así, los voladizos 51 son diferenciados de los espacios que separan los voladizos debido a un incremento de la fotocorriente en el detector sensible a la posición, cuando la luz es reflejada de un voladizo, de modo similar al revelado en Mar Álvarez and Javier Tamayo, "Optical sequential readout of microcantilever arrays for biological detection", Sensors and Actuators B 206" (2005), páginas 687-690 (citado anteriormente).

40 El diodo láser 1 va montado sobre un dispositivo de exploración 4 para explorar el haz láser 11 a lo largo de diferentes rutas por la estructura mecánica 5, sustancialmente en el plano XY definido por los voladizos 51 (en su posición ideal no doblada). El dispositivo de exploración 4, en esta realización de la invención, se basa en dos impulsores lineales de bobina móvil perpendiculares basados en la fuerza de Lorentz entre una bobina tubular y un imán permanente. Los impulsores de bobina móvil normalmente permiten un margen de movimiento de unos pocos milímetros, velocidades entre 0,1 y varios mm/s y una precisión de 100 nm. No obstante, pueden emplearse otros procedimientos como motores lineales, impulsores piezoeléctricos, etc. Además, puede utilizarse un espejo intermedio para explorar el haz láser mediante el control del ángulo de inclinación.

45 Como se ha esbozado anteriormente, el haz láser reflejado es recogido por un (foto) detector sensible a la posición (PSD) que genera señales de salida indicativas de la intensidad de luz total y de la posición del punto reflejado, es decir, del punto donde el haz láser reflejado incide sobre la superficie pertinente del detector.

50 Además, dispone de un sistema de control electrónico 3 que se conecta al detector sensible a la posición para recibir y analizar las señales de salida de dicho detector sensible a la posición 2 y hasta el dispositivo de exploración 4 con el fin de controlar el dispositivo de exploración 4, de acuerdo con un programa almacenado en dicho sistema de control electrónico.

En los puntos de alta fotocorriente total recogida por el detector sensible a la posición (por ejemplo, mayor que un valor umbral o correspondiente a máximos locales en la fotocorriente total, mediante el cual dichos máximos locales pueden detectarse fácilmente empleando rutinas de software estándar adecuadas), se miden las coordenadas de posición del punto reflejado en el PSD. Como en la técnica de deflexión del haz óptico, la principal contribución a los cambios de posición del punto láser reflejado sobre el detector sensible a la posición se corresponde con los cambios del ángulo de inclinación (pendiente) a del voladizo, lo que da un movimiento s del punto láser reflejado en el detector sensible a la posición obtenido por $s \approx 2D\alpha$ para $\alpha \ll 1$, donde D es la distancia entre el voladizo y el detector sensible a la posición 2, como se muestra de modo esquemático en la figura 4, en la que la pendiente de un voladizo es incrementada a un ángulo α . La distancia s entre la incidencia sobre el detector sensible a la posición 2 del haz láser 11A antes del incremento de la pendiente y el haz láser HB después del incremento de la pendiente se ilustran esquemáticamente en la figura 4.

Los cambios del ángulo de inclinación que hay en el plano formado por los haces láser incidente y reflejado y los del plano perpendicular pueden desacoplarse midiendo las coordenadas del punto láser reflejado sobre el detector sensible a la posición a lo largo de un eje contenido en el plano de incidencia-reflexión y el otro en dirección perpendicular.

En esta realización de la invención, se pretende medir el perfil de los voladizos 51 a lo largo de sus ejes longitudinales. Así, de acuerdo con los principios subyacentes a la invención, el haz láser 11 se explora primero en una primera dirección (la trayectoria A de la figura 3B) perpendicular a la matriz para iluminar los extremos libres de los voladizos. Los máximos de fotocorriente se obtienen en el detector sensible a la posición lineal 2 en las posiciones del haz láser donde los extremos libres de los voladizos son iluminados. Estas posiciones, que se corresponden con los máximos locales de las fotocorrientes generadas en el detector sensible a la posición 2, se emplean como puntos iniciales de referencia (posiciones de referencia C en la figura 3B) para realizar una segunda exploración por cada voladizo (segundas trayectorias B). Este proceso es automatizado y controlado por el sistema de control electrónico, realizado en un ordenador personal (PC).

Durante las segundas trayectorias, las señales de posición (señales que identifican la posición de incidencia del haz láser reflejado sobre el detector sensible a la posición) son leídas del detector sensible a la posición y almacenadas. Estos datos pueden utilizarse fácilmente para obtener una estimación del perfil de la superficie de los voladizos 51 a lo largo de las segundas trayectorias B.

El desplazamiento vertical de cada voladizo puede describirse mediante una función que depende de la coordenada a lo largo de la longitud del voladizo, $z(x)$. El ángulo de inclinación en cada posición x donde incide el haz láser se obtiene aproximadamente por dz/dx . Por tanto, la posición del haz láser reflejado sobre el PSD se describe mediante

$s(x) \cong 2D \frac{dz}{dx}(x) + x \cos \beta$, donde el segundo sumando explica el efecto del desplazamiento del haz láser y β es el ángulo entre el haz láser incidente y el voladizo en su posición de reposo (ver la figura 4). Integrando la señal de salida $s(x)$ del detector sensible a la posición, el perfil del voladizo $z(x)$ puede obtenerse mediante:

$$z(x) = \frac{1}{2D} \int_0^x s(x') dx' - \frac{1}{4} \frac{x^2}{D} \cos \beta \quad (1)$$

Esta realización en particular de la invención se aplicó para obtener el perfil de cinco voladizos de silicio (de 400 μm de longitud, 100 μm de anchura y 1 μm de espesor) pertenecientes a una matriz durante un experimento de adsorción molecular. Los voladizos se bañaron previamente con una capa fina de oro por su lado inferior. Las distintas superficies de ambos lados de cada voladizo (superior->silicio, inferior->oro) implican diferencias entre dichas superficies en lo que se refiere a su adsorción de moléculas. Esto crea una diferencia de tensión de superficie que se traslada a la curvatura de los voladizos. Esta realización de la invención se comprobó midiendo el perfil de la matriz de microvoladizos en agua durante la inyección en la celda de fluido, donde se asignó la matriz, de una molécula orgánica denominada 6-mercapto-1-hexanol (MCH), que se adsorbe ávidamente en superficies de oro debido al fuerte enlace que se forma entre el grupo tiol del MCH y el oro. Esta fuerte adsorción no se produce sobre a superficie de silicio. Una representación esquemática del experimento se muestra en las figuras 5A-5C. La figura 5A muestra una sección transversal de la estructura de silicio que incluye voladizos de silicio 51 provistos de una gruesa capa de oro de 40 nm en su parte inferior, para adsorber el MCH, antes de recibir el MCH. La figura 5B muestra la misma estructura que la figura 5A, pero después de adsorber el MCH, mediante el cual los voladizos muestran un perfil curvado: la tensión de superficie diferencial entre las superficies de oro y de silicio hace que el voladizo se curve y que haya un cambio del radio de curvatura. La figura 5C muestra los perfiles medidos de los cinco microvoladizos que pertenecen a una matriz antes y después de la adsorción del MCH, aplicando la ecuación (1) anterior. En la figura 5C, el eje vertical representa el perfil del voladizo (en μm) y eje horizontal representa la distancia longitudinal a lo largo del voladizo desde la raíz de cada voladizo (también en μm). Las líneas discontinuas representan el perfil antes de la adsorción de MCH y las líneas continuas representan el perfil después de la adsorción de MCH. En el experimento, la separación entre los voladizos era de 250 μm .

Los perfiles de los cinco microvoladizos pueden medirse en tiempo real y pueden obtenerse en menos de un segundo, un tiempo muy inferior al tiempo normal que tardan las reacciones de superficie y la adsorción molecular (del orden de minutos). Por tanto, mediante la invención, es posible medir la evolución del perfil del voladizo durante la adsorción molecular y es posible obtener en tiempo real parámetros como el desplazamiento de los extremos del voladizo y el radio de curvatura. Las Figuras 6A y 6B muestran esquemáticamente las mediciones experimentales en tiempo real del desplazamiento absoluto de los extremos del voladizo (figura 6A) y del radio de curvatura absoluto (figura 6B) de los cinco microvoladizos durante la adsorción de MCH (indicado por la flecha) (en la figura 6B, sólo se muestran las curvas correspondientes a cuatro voladizos). La escala de tiempo se encuentra en el eje horizontal y los números dados corresponden a minutos.

5 El perfil en voladizo se obtiene aplicando la ecuación 1 procesando los datos obtenidos del detector sensible a la posición mediante el sistema de control electrónico durante las segundas trayectorias. La dependencia de posiciones de las salidas del detector sensible a la posición puede filtrarse, suavizarse, derivarse e integrarse mediante algoritmos numéricos. De este modo, datos relevantes como el perfil del voladizo, la curvatura media, la curvatura local en algunos puntos de interés, el desplazamiento del extremo libre del voladizo y de otras partes, el cambio de pendiente en varios puntos a lo largo del voladizo, etc. pueden obtenerse rápidamente en tiempo real programando debidamente el sistema de control electrónico, una tarea que puede realizar fácilmente la persona especializada en la materia.

10 El perfil en voladizo se obtiene aplicando la ecuación 1 procesando los datos obtenidos del detector sensible a la posición mediante el sistema de control electrónico durante las segundas trayectorias. La dependencia de posiciones de las salidas del detector sensible a la posición puede filtrarse, suavizarse, derivarse e integrarse mediante algoritmos numéricos. De este modo, datos relevantes como el perfil del voladizo, la curvatura media, la curvatura local en algunos puntos de interés, el desplazamiento del extremo libre del voladizo y de otras partes, el cambio de pendiente en varios puntos a lo largo del voladizo, etc. pueden obtenerse rápidamente en tiempo real programando debidamente el sistema de control electrónico, una tarea que puede realizar fácilmente la persona especializada en la materia.

15 El perfil en voladizo se obtiene aplicando la ecuación 1 procesando los datos obtenidos del detector sensible a la posición mediante el sistema de control electrónico durante las segundas trayectorias. La dependencia de posiciones de las salidas del detector sensible a la posición puede filtrarse, suavizarse, derivarse e integrarse mediante algoritmos numéricos. De este modo, datos relevantes como el perfil del voladizo, la curvatura media, la curvatura local en algunos puntos de interés, el desplazamiento del extremo libre del voladizo y de otras partes, el cambio de pendiente en varios puntos a lo largo del voladizo, etc. pueden obtenerse rápidamente en tiempo real programando debidamente el sistema de control electrónico, una tarea que puede realizar fácilmente la persona especializada en la materia.

20 Estos datos más completos de los perfiles de los voladizos proporcionan más información sobre la reacción de la superficie de los voladizos que la que se obtiene empleando las técnicas convencionales de deflexión de un haz óptico, que sólo proporcionan datos sobre las variaciones de la pendiente local en el extremo del voladizo. Además, la técnica proporciona valores absolutos del perfil del voladizo, en lugar de variaciones relativas de la pendiente local. En otras palabras, mediante el empleo de técnicas convencionales de deflexión de un haz óptico, es posible determinar las variaciones temporales de la pendiente local en el extremo del voladizo. Esta información apenas puede recuperarse una vez que el voladizo es retirado del dispositivo que forma parte del sistema óptico, es decir, la fuente de láser y el fotodetector. Sin embargo, la presente invención proporciona los perfiles absolutos del voladizo. Así el voladizo puede procesarse independientemente del dispositivo que comprende el sistema óptico de detección. Esto, por ejemplo, puede ser relevante para aplicaciones genómicas o proteómicas, en las que, por ejemplo, cada uno de los voladizos que forman parte de una matriz densa recibe una función con un receptor (proteínas o ácidos nucleicos). La matriz de voladizos es procesada con la muestra que ha de medirse (por ejemplo, el ARN o el producto proteínico de un conjunto de células o tejido). Tras exponer los voladizos a la muestra y las etapas de lavado, la matriz de voladizos puede volver a montarse en el dispositivo para medir el perfil de cada voladizo para comparar el nuevo perfil con el perfil original. El cambio de perfil puede relacionarse con la cantidad de genes expresados o las proteínas existentes en las células o tejidos analizados.

25 Así el voladizo puede procesarse independientemente del dispositivo que comprende el sistema óptico de detección. Esto, por ejemplo, puede ser relevante para aplicaciones genómicas o proteómicas, en las que, por ejemplo, cada uno de los voladizos que forman parte de una matriz densa recibe una función con un receptor (proteínas o ácidos nucleicos). La matriz de voladizos es procesada con la muestra que ha de medirse (por ejemplo, el ARN o el producto proteínico de un conjunto de células o tejido). Tras exponer los voladizos a la muestra y las etapas de lavado, la matriz de voladizos puede volver a montarse en el dispositivo para medir el perfil de cada voladizo para comparar el nuevo perfil con el perfil original. El cambio de perfil puede relacionarse con la cantidad de genes expresados o las proteínas existentes en las células o tejidos analizados.

30 La matriz de voladizos es procesada con la muestra que ha de medirse (por ejemplo, el ARN o el producto proteínico de un conjunto de células o tejido). Tras exponer los voladizos a la muestra y las etapas de lavado, la matriz de voladizos puede volver a montarse en el dispositivo para medir el perfil de cada voladizo para comparar el nuevo perfil con el perfil original. El cambio de perfil puede relacionarse con la cantidad de genes expresados o las proteínas existentes en las células o tejidos analizados.

35 De hecho, para obtener el desplazamiento real de los extremos del voladizo, se necesitan todos los datos del perfil. En sistemas anteriores basados en la técnica de deflexión de un haz de luz, sólo se puede obtener una estimación del desplazamiento del extremo del voladizo, que se basa en varias aproximaciones. Esto también se aplica a la determinación del radio de curvatura de un voladizo.

40 En otra aplicación de la realización de la invención descrita anteriormente, se deseaba obtener un mapa de los ángulos de inclinación (deformación) de los voladizos a lo largo del eje longitudinal y, también, en dirección perpendicular. Al igual que en el ejemplo anterior, se realiza una primera exploración (trayectoria A de la figura 3B) con el fin de iluminar los extremos libres de los voladizos que pertenecen a la matriz. Las posiciones de referencia (C) se determinaron en correspondencia con las posiciones que dieron los máximos de la intensidad de luz reflejada en el detector sensible a la posición (las posiciones están ilustradas como "soles" en la figura 7), que correspondían a la reflexión de la luz de los extremos libres de los voladizos. Asociada a esas posiciones de referencia, se explora un área asociada a cada microvoladizo realizando varias exploraciones paralelas (trayectorias B de la figura 7) a lo largo del eje largo de los voladizos. La exploración a lo largo de la primera trayectoria y las segundas trayectorias se representan mediante una línea discontinua y líneas continuas, respectivamente, en la figura 7.

45 un área asociada a cada microvoladizo realizando varias exploraciones paralelas (trayectorias B de la figura 7) a lo largo del eje largo de los voladizos. La exploración a lo largo de la primera trayectoria y las segundas trayectorias se representan mediante una línea discontinua y líneas continuas, respectivamente, en la figura 7.

50 Las figuras 8A-8C muestran las señales de salida medidas del detector sensible a la posición como función de las posiciones relativas del haz láser luminoso obtenidas durante la exploración a lo largo de las trayectorias B de la figura 7. Se seleccionaron las trayectorias B para explorar tres voladizos que pertenecían a la matriz. El detector sensible a la posición empleado fue un fotodetector lineal sensible a la posición bidimensional que proporcionar tres salidas eléctricas, una que es aproximadamente proporcional a la intensidad de la luz que ilumina el fotodetector y las otras dos que son aproximadamente proporcionales a las coordenadas (a lo largo de los ejes ortogonales de la superficie del fotodetector) del centroide de la luz que ilumina el fotodetector. El mapa de la salida indicativo de la intensidad de luz total reflejada de cada microvoladizo se muestra en la figura 8A (la escala a la derecha de la figura muestra la salida de intensidad total del detector sensible a la posición en mV). La figura 8B muestra un mapa de la señal de salida del detector sensible a la posición correspondiente a las coordenadas del haz de luz reflejado en el eje y del detector sensible a la posición (la escala a la derecha de la figura 8B representa la salida del eje y desde el detector sensible a la posición en mV). El detector sensible a la posición está dispuesto de modo que su eje y y el eje longitudinal de los voladizos se encuentren ambos en el plano formado por los haces de luz incidentes y reflejados. Por tanto, la salida del eje y es indicativa de la pendiente a lo largo del eje longitudinal de los voladizos. La pendiente creciente desde el extremo fijo hasta el extremo libre de un voladizo indica que los voladizos no son

60 La pendiente creciente desde el extremo fijo hasta el extremo libre de un voladizo indica que los voladizos no son

5 rectos, sino que están curvados. La figura 8C muestra un mapa de la señal de salida del detector sensible a la posición correspondiente a la coordenada x del haz de luz reflejado en el detector sensible a la posición (la escala de la derecha representa la salida correspondiente al eje x en mV). Esta señal es indicativa de la deformación (torsión) o la pendiente del voladizo en dirección perpendicular al eje longitudinal. Los datos indican que existe una formación torsional significativa de los voladizos.

10 Por supuesto, puede seleccionarse un gran número de diferentes trayectorias para la primera y segundas trayectorias. La figura 9A muestra un primer ejemplo de dichas trayectorias, similares a las citadas anteriormente, es decir, realizando una exploración en una primera dirección de acuerdo con la primera trayectoria A y, luego, realizando las segundas trayectorias B en dirección perpendicular a la primera dirección (en las figuras 9A-9D, los "soles" ilustran los puntos correspondientes a la "reflexión máxima" del haz de luz y, por tanto, a una amplitud máxima de las fotocorrientes generadas en el detector sensible a la posición).

15 La figura 9B muestra una realización alternativa, en la que las posiciones de referencia está desplazadas de las posiciones cubiertas por la primera trayectoria A (por ejemplo, definidas como provistas de una relación específica con los puntos de reflexión máxima a lo largo de la primera trayectoria) y donde las segundas trayectorias B siguen una ruta sinuosa, cruzando dicha primera trayectoria. Esta realización puede ser de utilidad para obtener un mapa de superficie del desplazamiento y/o vibración de los elementos mecánicos 51.

La figura 9C muestra una realización adicional en la que se efectúa una exploración en forma de "U" a lo largo de la primera trayectoria A y donde las segundas trayectorias son perpendiculares a la primera trayectoria en dirección "hacia afuera".

20 Por último, la figura 9D muestra una realización en la que las segundas trayectorias B son paralelas a la dicha primera trayectoria A y, en realidad, coinciden con partes de dicha primera trayectoria. Esta opción puede ser interesante, por ejemplo, cuando los elementos mecánicos son voladizos separados dispuestos en orificios subsiguientes en un substrato a lo largo de la primera trayectoria, o donde los elementos mecánicos 51, como se ilustra en la figura 9D, son dispositivos abisagrados situados en paralelo a lo largo de la primera trayectoria, mediante lo cual se pretende medir la torsión de estos dispositivos.

25 En este texto, el término "comprende" y sus derivados (como "que comprende", etc.) no deben entenderse con un dirección excluyente, es decir, estos términos no deben interpretarse como que se excluye la posibilidad de que lo se describe y se define pueda incluir más elementos, etapas, etc.

30 Por otra parte, la invención no se limita, evidentemente, a la(s) realización(es) aquí descrita(s), sino que abarca todas las variantes que puedan ser consideradas por cualquier persona experta en la materia (por ejemplo, en relación con la elección de materiales, dimensiones, componentes, configuración, etc.), dentro del ámbito general de la invención tal como se define en las reivindicaciones.

REIVINDICACIONES

1. Sistema de inspección de superficies dispuesto para detectar características de desplazamiento relativo y/o de vibración de diversos puntos de una pluralidad de elementos (51) que forman parte de una estructura mecánica (5), comprendiendo dicho sistema:
 - 5 una fuente de luz (1) dispuesta para generar, al menos, un haz de luz (11);
 - un detector sensible a la posición (2) dispuesto para recibir el haz de luz cuando es reflejado fuera de la estructura mecánica (5) y para generar, al menos, una señal de salida en respuesta a la recepción de dicho haz de luz;
 - un sistema de control electrónico (3);
 - 10 un medio de exploración (4) para el desplazamiento relativo de dicho haz de luz con relación a la estructura mecánica (5) con el fin de explorar dicha estructura mecánica con el haz de luz, siguiendo las instrucciones del sistema de control electrónico (3);

caracterizado porque

 - 15 dicho sistema de control electrónico (3) está dispuesto para controlar el medio de exploración (4) con el fin de desplazar el haz de luz por la estructura mecánica a lo largo de una primera trayectoria (A) con objeto de detectar una pluralidad de posiciones de referencia subsiguientes (C), cada una en un elemento, a lo largo de dicha primera trayectoria (A), en el que dicho sistema de control electrónico (3) está asociado operativamente con dicho detector sensible a la posición (2) para determinar dichas posiciones de referencia (C) como resultado de un análisis de, al menos, una señal de salida de dicho detector sensible a
 - 20 la posición (2);
 - en el que dicho sistema de control electrónico (3) está dispuesto además para controlar el medio de exploración (4) para desplazar el haz de luz por la estructura mecánica a lo largo de una pluralidad de segundas trayectorias (B), estando asociada cada una de dichas segundas trayectorias (B) con una de dichas posiciones de referencia (C);
 - 25 dicho sistema de control electrónico está dispuesto además para obtener, durante el desplazamiento del haz de luz a lo largo de cada una de dichas segundas trayectorias (B), una pluralidad de salidas de señales de posición de dicho detector sensible a la posición (2).
2. Sistema de acuerdo con la reivindicación 1, en el que el sistema de control electrónico (3) está asociado operativamente con dicho detector sensible a la posición (2) para determinar dichas posiciones de referencia (C) como resultado de un análisis de la amplitud de dicha, al menos, una señal de salida de dicho detector sensible a la posición (2).
3. Sistema de acuerdo con la reivindicación 2, en el que el sistema de control electrónico (3) está asociado operativamente con dicho detector sensible a la posición (2) para determinar que una posición es una posición de referencia cuando dicha posición se corresponda con un máximo local de la amplitud de dicha, al menos, una señal de salida de dicho detector sensible a la posición (2).
4. Sistema de acuerdo con la reivindicación 2, en el que el sistema de control electrónico (3) está asociado operativamente con dicho detector sensible a la posición (2) para determinar que una posición es una posición de referencia cuando dicha posición se corresponda con un mínimo local de la amplitud de dicha, al menos, una señal de salida de dicho detector sensible a la posición (2).
5. Sistema de acuerdo con la reivindicación 2, en el que el sistema de control electrónico (3) está asociado operativamente con dicho detector sensible a la posición (2) para determinar que una posición es una posición de referencia cuando dicha posición se corresponda con un máximo local de inclinación de la amplitud de dicha, al menos, una señal de salida de dicho detector sensible a la posición (2).
6. Sistema de acuerdo con la reivindicación 2, en el que el sistema de control electrónico (3) está asociado operativamente con dicho detector sensible a la posición (2) para determinar que una posición es una posición de referencia cuando dicha posición se corresponda con una posición que tiene una relación especificada con las posiciones correspondientes a máximos y/o mínimos locales de la amplitud de dicha, al menos, una señal de salida de dicho detector sensible a la posición (2).
7. Sistema de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 2-6, en el que la amplitud de dicha, al menos, una señal de salida de dicho detector sensible a la posición (2) es indicativa de la intensidad del haz de luz recibido, por dicho detector sensible a la posición (2).
8. Sistema de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que dicho sistema de control electrónico está dispuesto para:

desplazar el haz de luz a lo largo de dicha primera trayectoria (A);

al detectar una posición de referencia (C), interrumpir el desplazamiento del haz de luz a lo largo de dicha primera trayectoria (A) y, en su lugar, desplazar el haz de luz a lo largo de una segunda trayectoria (B) correspondiente a dicha posición de referencia (C); subsecuentemente continuar el desplazamiento del haz de luz a lo largo de dicha primera trayectoria (A) hasta detectar una posición de referencia (C) subsecuente.

- 5
9. Sistema de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1-7, en el que dicho sistema de control electrónico (3) está dispuesto para:

desplazar el haz de luz por dicha primera trayectoria (A) hasta alcanzar un extremo de dicha primera trayectoria (A), mientras registra subsecuentes posiciones de referencia (C);

10 posteriormente, tras alcanzar el extremo de dicha primera trayectoria (A), desplazando subsecuentemente el haz de luz por las segundas trayectorias (B) correspondientes a las posiciones de referencia registradas (C).

10. Sistema de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que dichas segundas trayectorias (B) incluyen un sustancial número de puntos de cada elemento o una región de cada elemento con el fin de obtener un gráfico general de la superficie de la pendiente, el desplazamiento y/o la vibración de dicho elemento o dicha región de dicho elemento.

11. Sistema de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la primera trayectoria (A) es sustancialmente una trayectoria recta en una primera dirección.

12. Sistema de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que dichas segundas trayectorias (B) son trayectorias sustancialmente rectas en dirección sustancialmente perpendicular a la primera trayectoria (A).

13. Sistema de acuerdo con las reivindicaciones 1-11, en el que dichas segundas trayectorias (B) son sustancialmente trayectorias rectas en dirección sustancialmente paralelo a la primera trayectoria (A).

14. Sistema de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1-10, en el que la primera y/o segundas trayectorias son trayectorias sinuosas y/o zigzagueantes.

15. Sistema de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la estructura mecánica (5) es una matriz de voladizos y en el que los elementos (51) son voladizos de dicha matriz de voladizos.

16. Sistema de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, estando dispuesto dicho sistema además para almacenar y/o tratar dichas salidas de señales de posición como datos indicativos de características de desplazamiento y/o vibración de la superficie de un correspondiente elemento (51) de la estructura mecánica (5), a lo largo de las correspondientes segundas trayectorias (B).

17. Procedimiento de inspección de superficies para detectar características de desplazamiento relativo y/o de vibración de diversos puntos de una pluralidad de elementos (51) que forman parte de una estructura mecánica (5), comprendiendo dicho procedimiento de las etapas de:

dirigir un haz de luz (11) hacia dicha estructura mecánica y producir un desplazamiento relativo de dicho haz de luz con respecto a la estructura mecánica (5) para escanear dicha estructura mecánica con el haz de luz; recibir un haz de luz reflejado por dicha estructura mecánica, con un detector sensible a la posición (2) dispuesto para producir al menos una señal de salida en respuesta a la recepción de dicho haz de luz;

en el que la etapa de producir un desplazamiento relativo de dicho haz de luz con respecto a la estructura mecánica (5) se realiza de manera que el haz de luz es desplazado a lo largo de la estructura mecánica a lo largo de una primera trayectoria (A), comprendiendo también el procedimiento la etapa de detectar una pluralidad de posiciones subsecuentes de referencia (C), cada una en un elemento, a lo largo de dicha primera trayectoria (A), determinándose dichas posiciones de referencia (C) mediante el análisis de al menos una señal de salida de dicho detector sensible a la posición (2);

caracterizado porque

la etapa de producir un desplazamiento relativo de dicho haz de luz con respecto a la estructura mecánica se realiza además para desplazar igualmente el haz de luz a lo largo de la estructura mecánica a lo largo de una pluralidad de segundas trayectorias (B), estando cada una de dichas segundas trayectorias (B) asociada con una de dichas posiciones de referencia (C); en el que el procedimiento incluye además la obtención, durante el desplazamiento del haz de luz a lo largo de cada una de dichas segundas trayectorias (B), de una pluralidad de salidas de señales de posición de dicho detector sensible a la posición (2).

18. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 17, en el que dichas posiciones de referencia (C) son determinadas mediante el análisis de la amplitud de dicha, al menos, una señal de salida de dicho detector

sensible a la posición (2).

19. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 18, en el que se determina que una posición es una posición de referencia cuando dicha posición se corresponde con un máximo local de la amplitud de dicha, al menos, una señal de salida de dicho detector sensible a la posición (2).
- 5 20. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 18, en el que se determina que una posición es una posición de referencia cuando dicha posición se corresponde con un mínimo local de la amplitud de dicha, al menos, una señal de salida de dicho detector sensible a la posición (2).
- 10 21. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 18, en el que se determina que una posición es una posición de referencia cuando dicha posición se corresponde con un máximo local de la pendiente de la amplitud de dicha, al menos, una señal de salida de dicho detector sensible a la posición (2).
22. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 18, en el que se determina que una posición es una posición de referencia cuando dicha posición se corresponde con una posición que guarda una relación especificada con posiciones correspondientes a máximos y/o mínimos locales de la amplitud de dicha, al menos, una señal de salida de dicho detector sensible a la posición (2).
- 15 23. Procedimiento de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 17-22, en el que la amplitud de dicha, al menos, una señal de salida de dicho detector sensible a la posición (2) es indicativa de la intensidad del haz de luz recibido por el detector sensible a la posición (2).
24. Procedimiento de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 17-23, en el que la etapa de producción de un desplazamiento relativo de dicho haz de luz con relación a la estructura mecánica (5) se realiza de modo que:
- 20 el haz de luz es desplazado a lo largo de dicha primera trayectoria (A);
- al detectar una posición de referencia (C), el desplazamiento del haz de luz a lo largo de dicha primera trayectoria (A) es interrumpido y, en su lugar, el haz de luz es desplazado a lo largo de una segunda trayectoria (B) correspondiente a dicha posición de referencia (C);
- 25 subsecuentemente, se continúa con el desplazamiento del haz de luz por dicha primera trayectoria hasta detectar una subsecuente posición de referencia (C).
25. Procedimiento de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 17-23, en el que la etapa de producción de un desplazamiento relativo de dicho haz de luz con relación a la estructura mecánica (5) se realiza de modo que:
- el haz de luz es desplazado por dicha primera trayectoria (A) hasta alcanzar un extremo de dicha primera trayectoria (A), mientras son registradas subsecuentes posiciones de referencia (C);
- 30 posteriormente, tras alcanzar el extremo de dicha primera trayectoria (A), el haz de luz es desplazado subsecuentemente a lo largo de las segundas trayectorias (B) correspondientes a las posiciones de referencia registradas (C).
26. Procedimiento de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 17-25, en el que dichas segundas trayectorias (B) incluyen un sustancial número de puntos de cada elemento o una región de cada elemento con el fin de obtener un gráfico general de la superficie de la pendiente, el desplazamiento y/o la vibración de dicho elemento o dicha región de dicho elemento.
- 35 27. Procedimiento de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 17-26, en el que la primera trayectoria (A) es una trayectoria sustancialmente recta en una primera dirección.
28. Procedimiento de acuerdo con las reivindicaciones 17-27, en el que dichas segundas trayectorias (B) son sustancialmente trayectorias rectas en dirección sustancialmente perpendicular a la primera trayectoria (A).
- 40 29. Procedimiento de acuerdo con las reivindicaciones 17-27, en el que dichas segundas trayectorias (B) son trayectorias sustancialmente rectas en dirección sustancialmente paralela a la primera trayectoria (A).
30. Procedimiento de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 17-26, en el que la primera y/o segundas trayectorias son trayectorias sinuosas y/o zigzagueantes.
- 45 31. Procedimiento de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 17-30, en el que la estructura mecánica (5) es una matriz de voladizos y en el que los elementos (51) son voladizos de dicha matriz de voladizos.
- 50 32. Procedimiento de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 17-31, comprendiendo además la etapa de almacenar y/o tratar dichas señales de salida de posición como datos indicativos de características de desplazamiento y/o vibración de la superficie de un correspondiente elemento (51) de la estructura mecánica (5), a lo largo de las correspondientes segundas trayectorias (B).

- 33.** Programa que comprende instrucciones de programa para hacer que un sistema electrónico programable lleve a cabo el procedimiento de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 17-32, cuando el programa es ejecutado en dicho sistema electrónico programable.
- 34.** Programa de acuerdo con la reivindicación 33, integrado en un soporte de grabación.

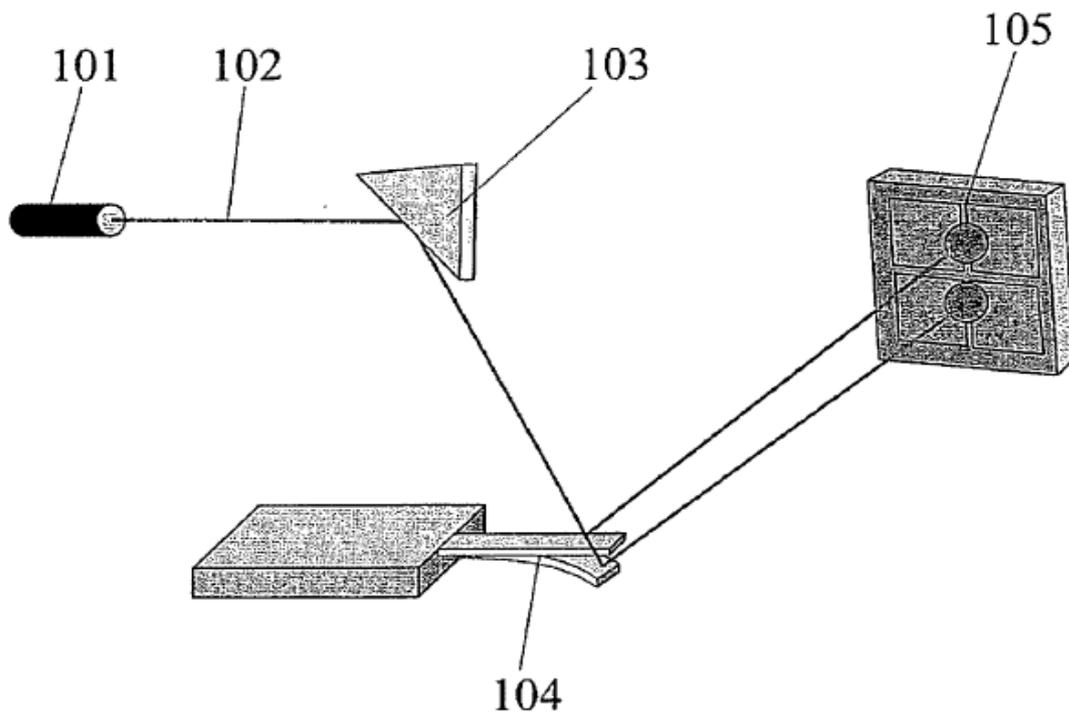


FIG. 1

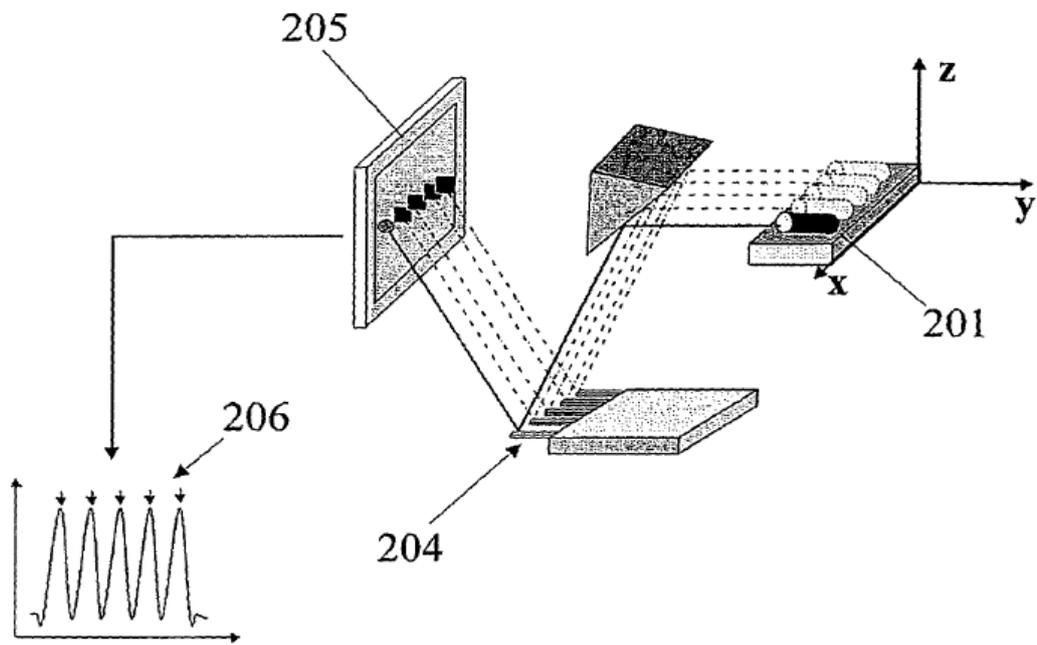


FIG. 2

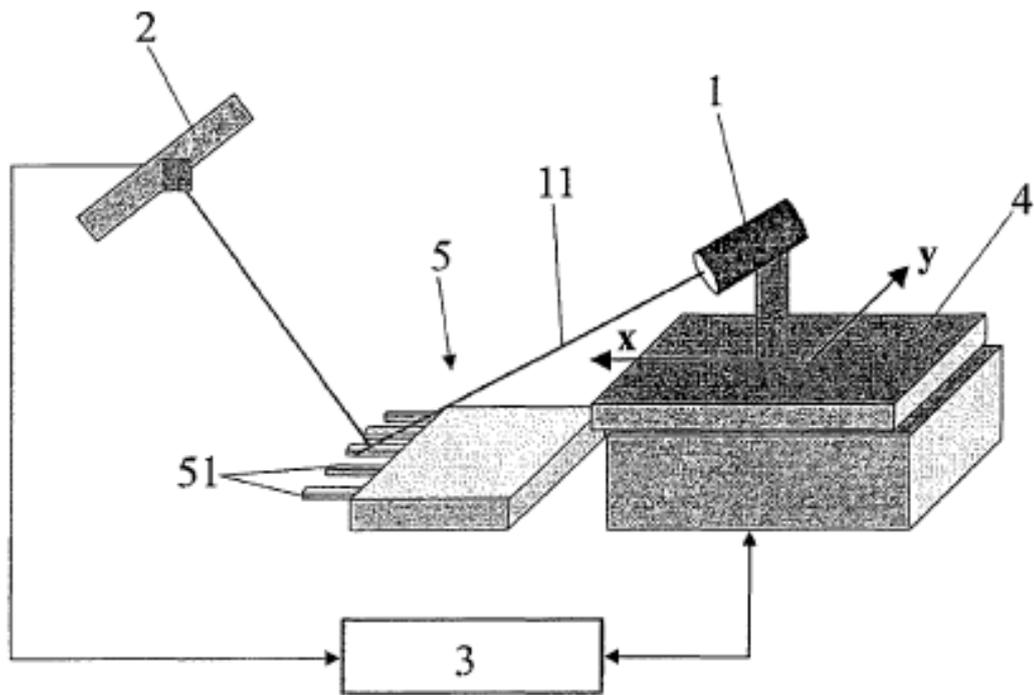


FIG. 3A

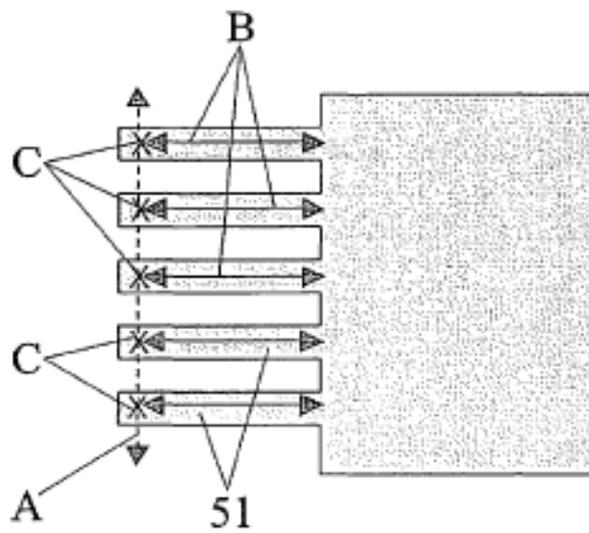


FIG. 3B

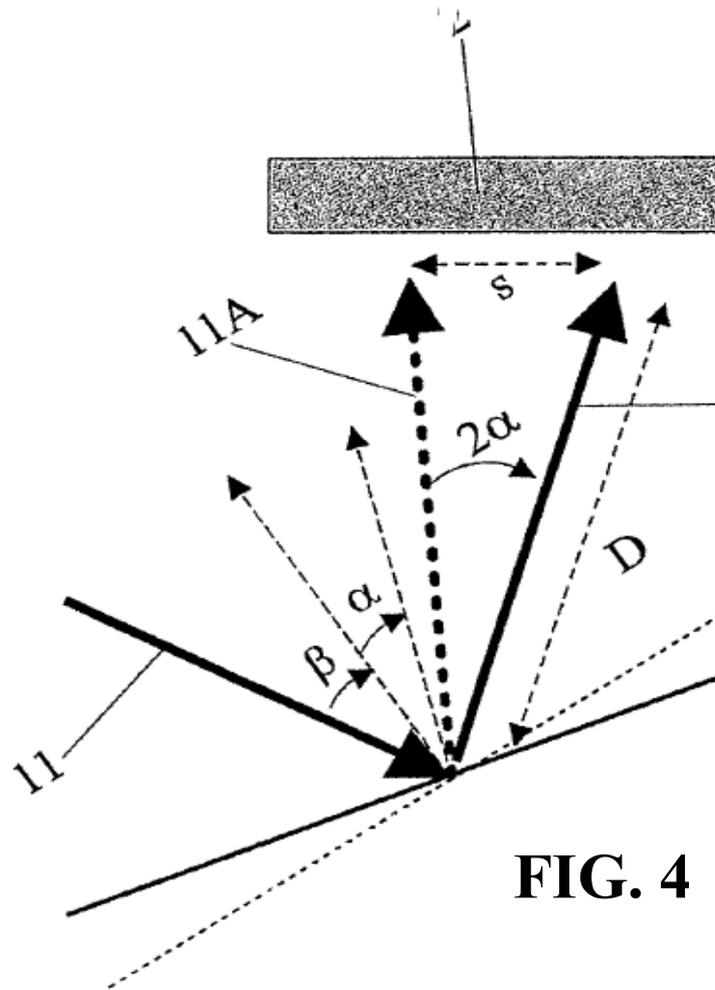


FIG. 4

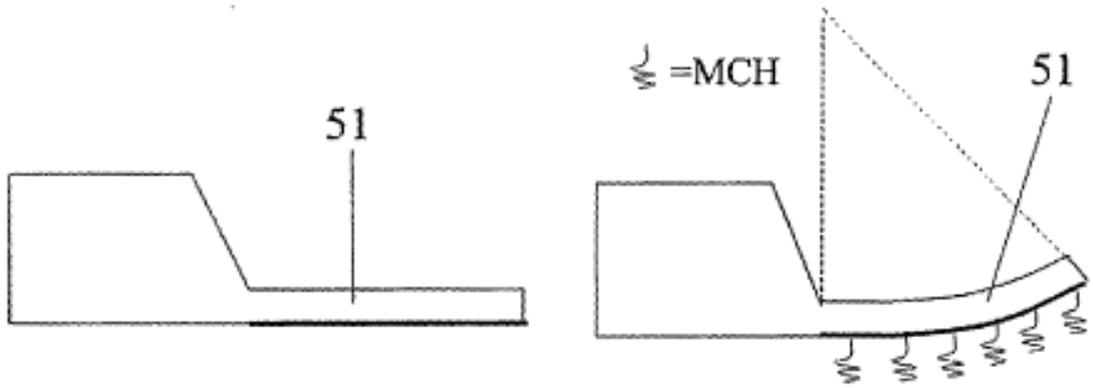


FIG. 5A

FIG. 5B

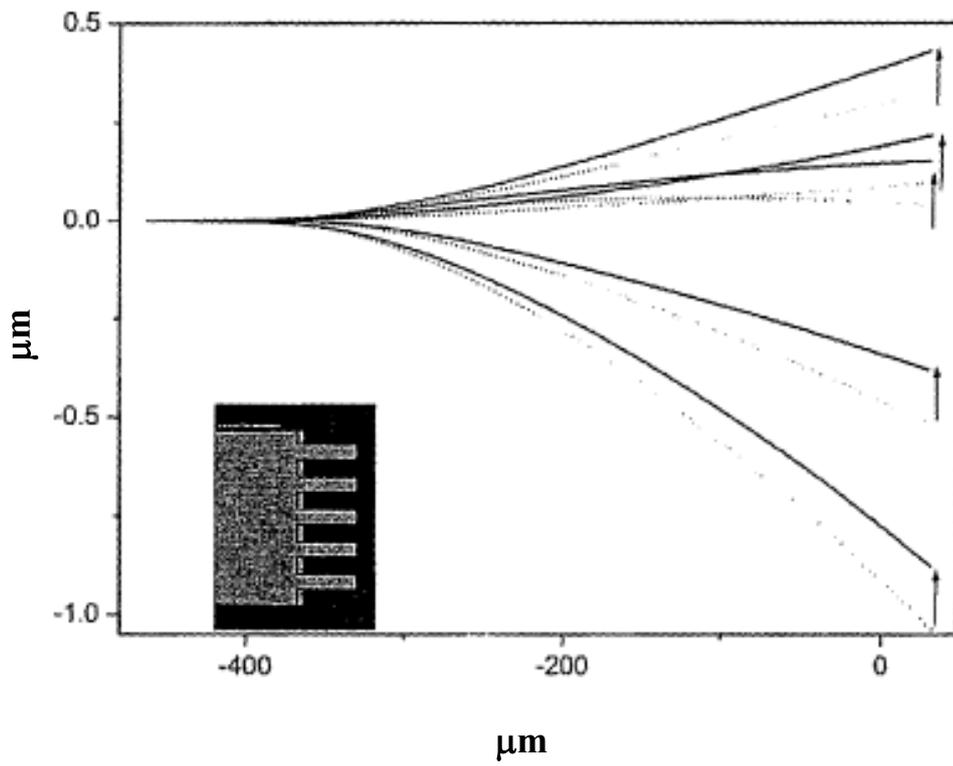


FIG. 5C

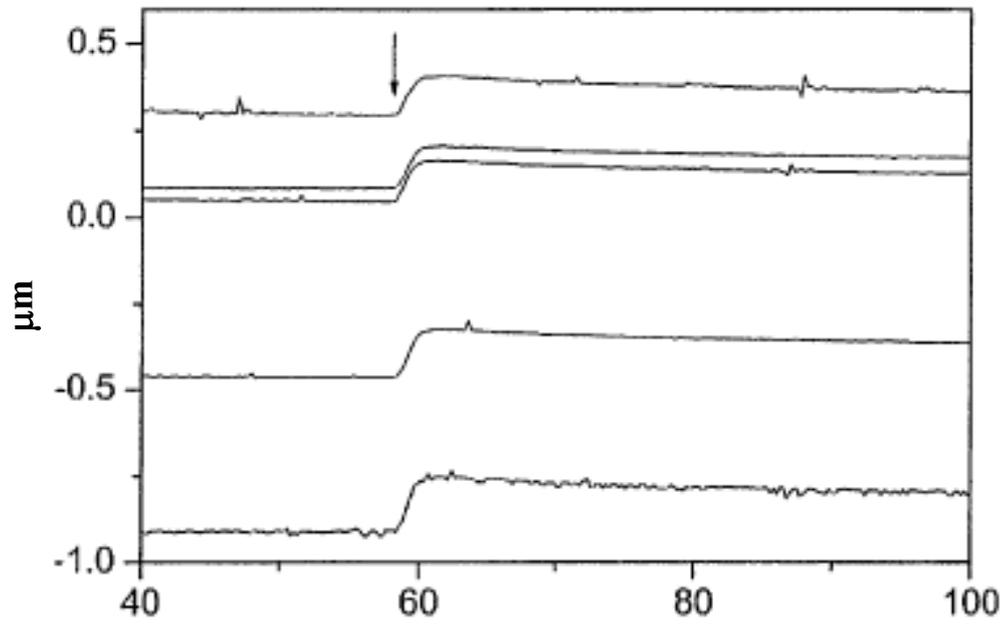


FIG. 6A

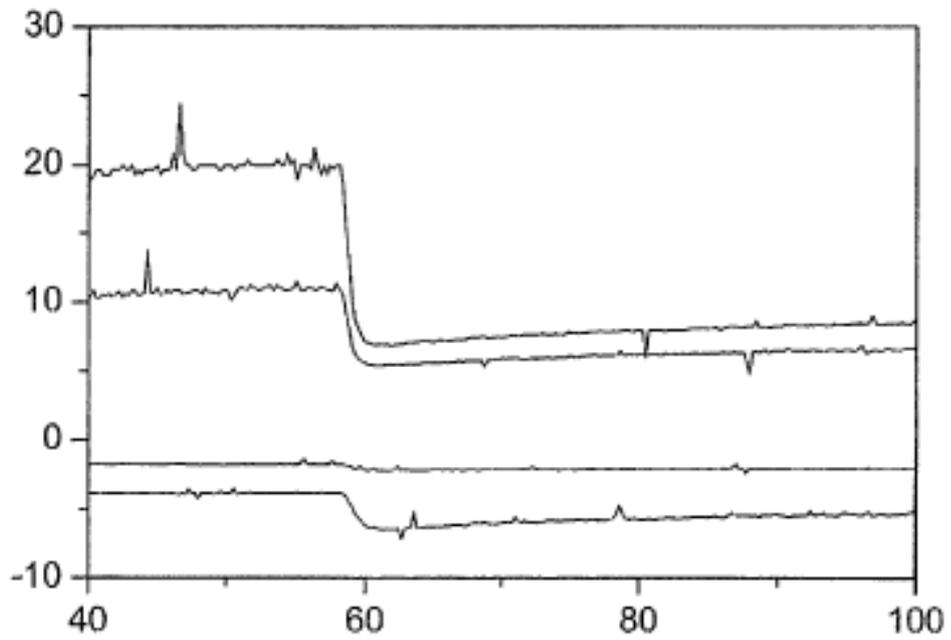


FIG. 6B

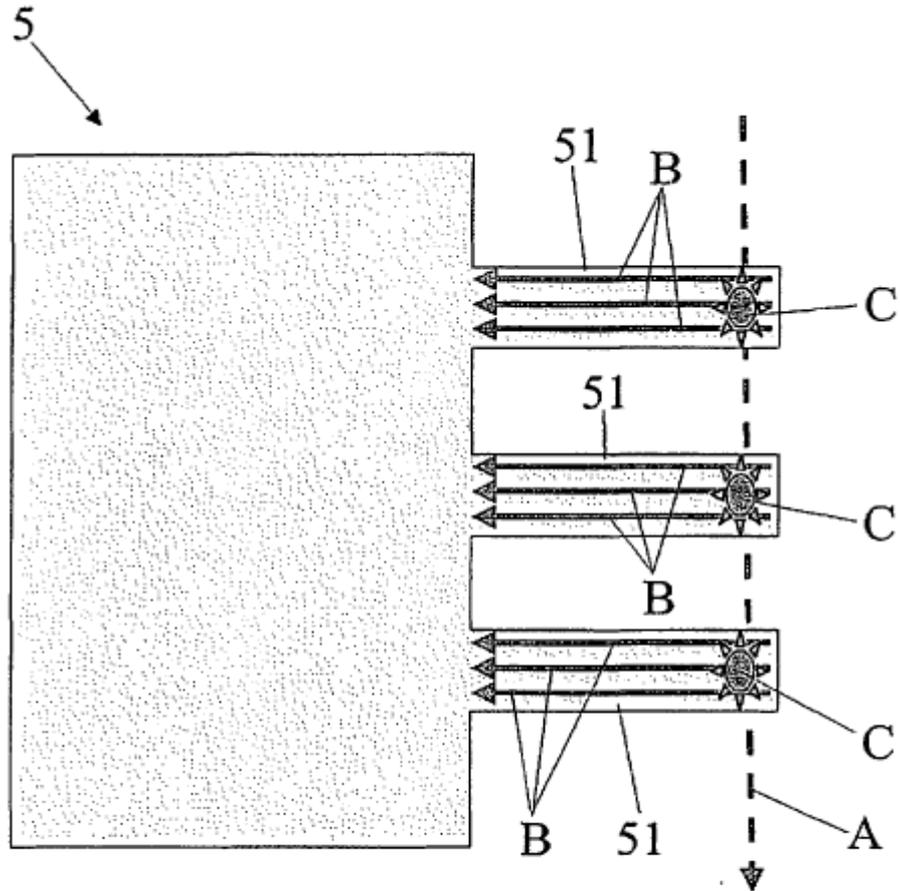


FIG. 7

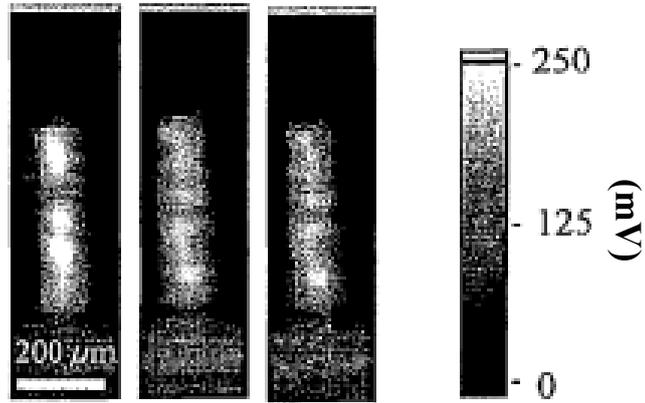


FIG. 8A

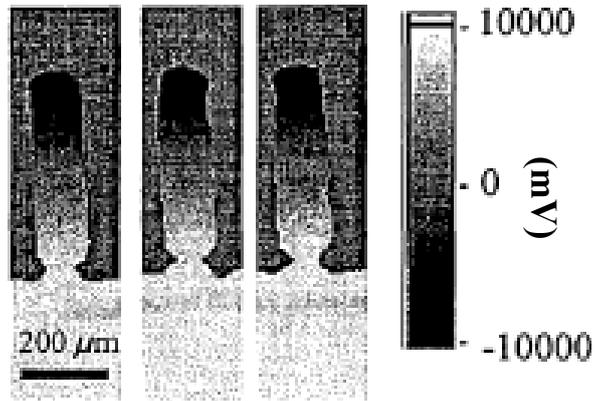


FIG. 8B

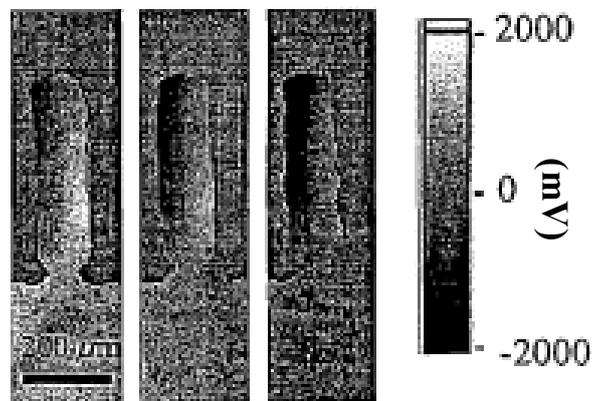


FIG. 8C

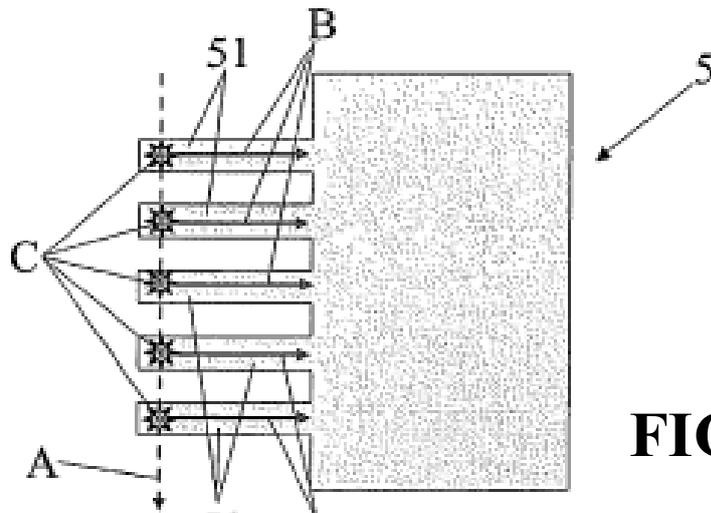


FIG. 9A

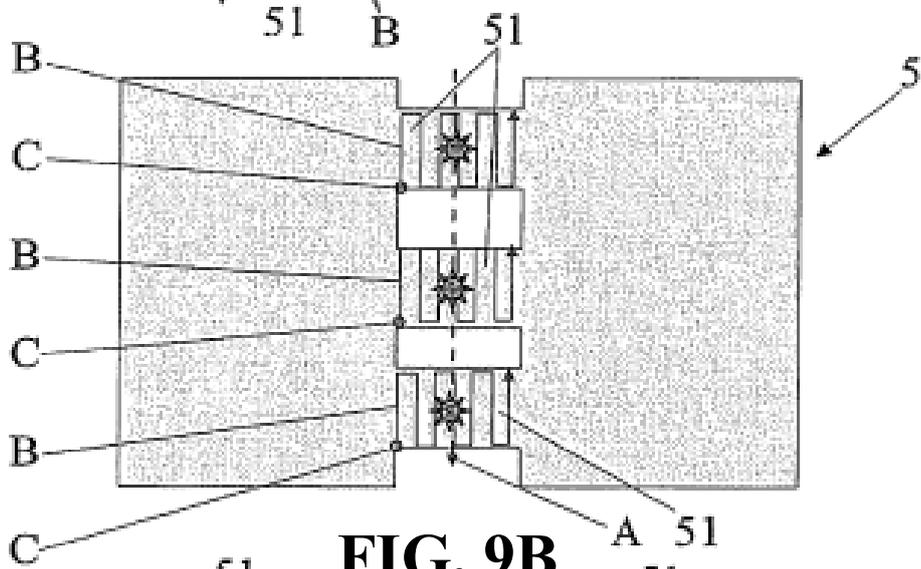


FIG. 9B

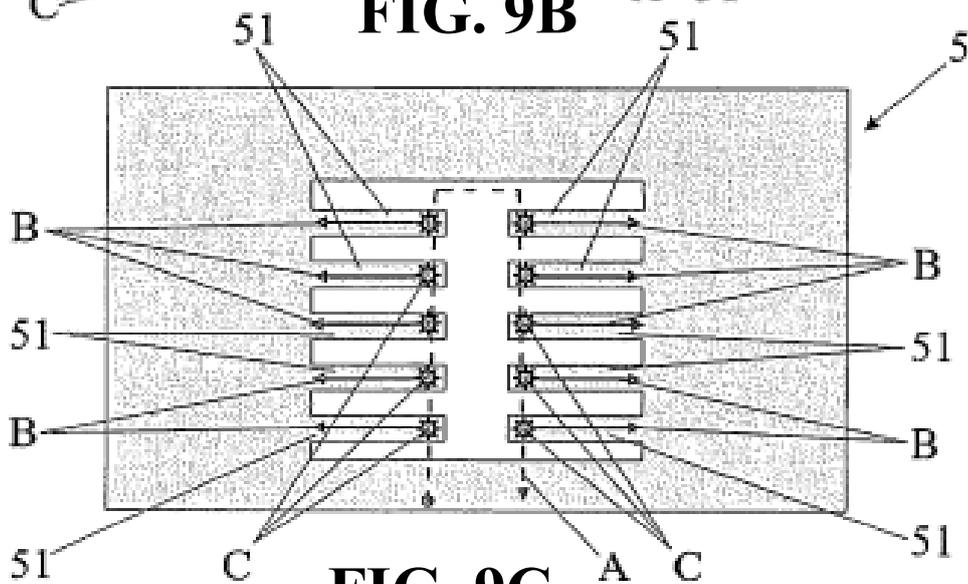


FIG. 9C

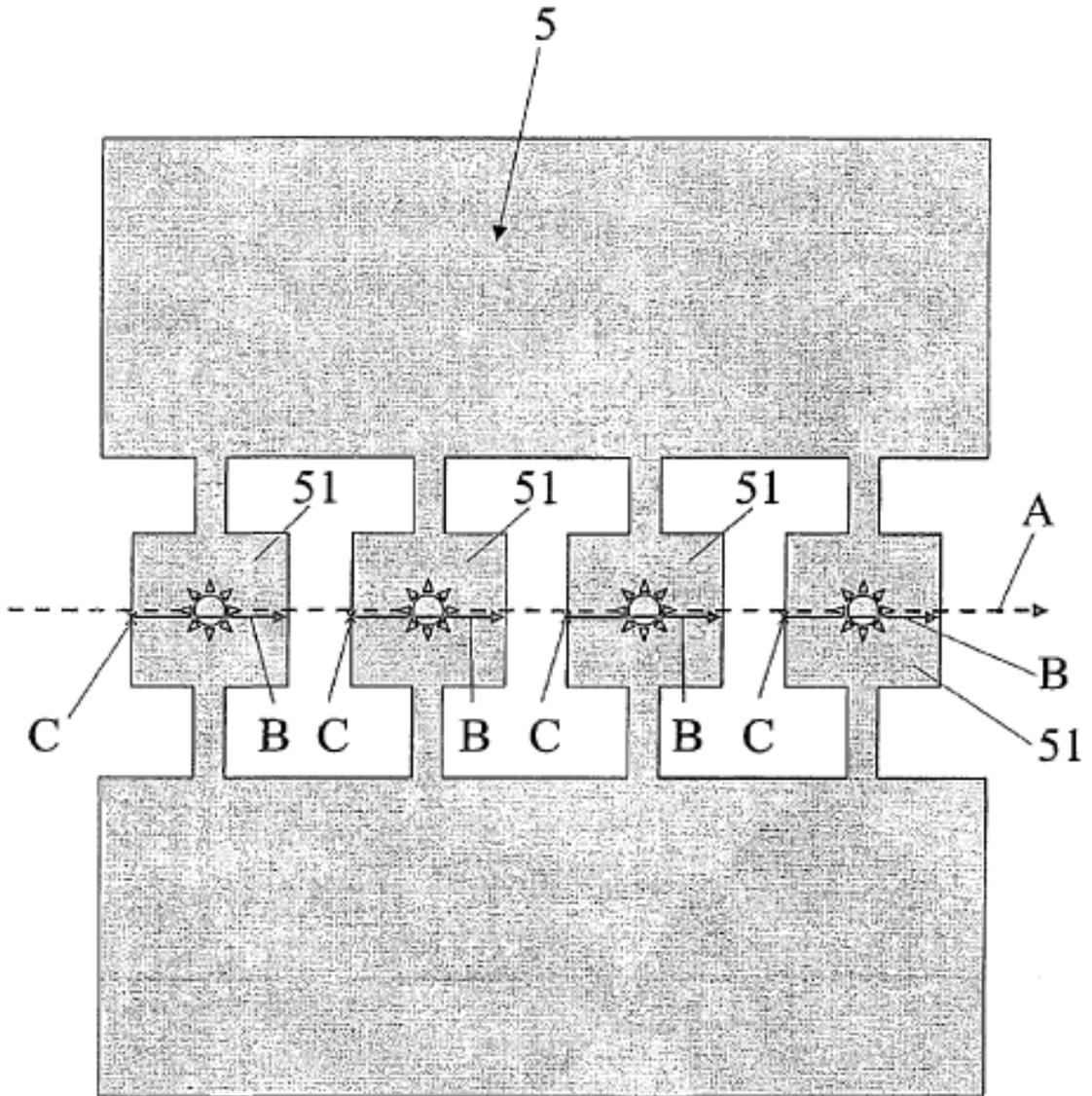


FIG. 9D