

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 399 935**

21 Número de solicitud: 201130910

51 Int. Cl.:

B82Y 35/00 (2011.01)

H01L 39/00 (2006.01)

12

SOLICITUD DE PATENTE

A1

22 Fecha de presentación:

02.06.2011

43 Fecha de publicación de la solicitud:

04.04.2013

56 Se remite a la solicitud internacional:

PCT/ES2012/000148

71 Solicitantes:

**UNIVERSIDAD CARLOS III DE MADRID (100.0%)
Parque Científico Universidad Carlos III Leganés
Tecnológico - Av. Gregorio Peces Barba 1
28918 LEGANÉS (Madrid) ES**

72 Inventor/es:

**PEREZ DÍAZ, José Luis;
DÍEZ JIMÉNEZ, Efrén;
VALIENTE BLANCO, Ignacio y
GARCÍA PRADA, Juan Carlos**

74 Agente/Representante:

GONZÁLEZ AHIJADO, Ángel

54 Título: **MECANISMO NANOPOSICIONADOR SIN CONTACTO DE LARGA CARRERA**

57 Resumen:

La presente invención se refiere a un mecanismo nanopoisionador sin contacto de carrera larga que emplean la levitación magnética superconductora para el guiado de un carril móvil levitante mediante unos elementos de guiado fijos permitiendo la ausencia de contacto entre el carro móvil y los elementos de guiado fijos. El citado mecanismo utiliza unos medios de control y desplazamiento compuestos por una o una pluralidad de bobinas o electroimanes para producir desplazamientos en el carro móvil con resolución nanométrica en una carrera larga mediante interacciones electromagnéticas.

Esta invención puede utilizarse en aplicaciones en ambientes criogénicos, como por ejemplo: telescopios interferométricos, componentes de procesos de nanofabricación y/o microscopios confocales de espectroscopia criogénica.

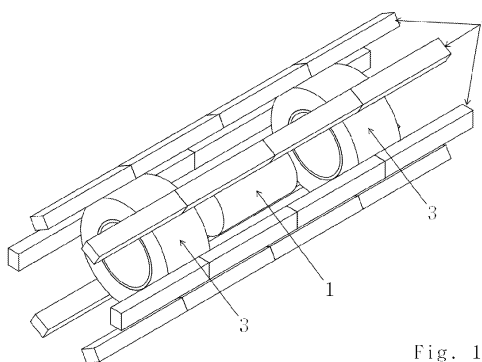


Fig. 1

DESCRIPCIÓN

Mecanismo nanoposicionador sin contacto de larga carrera.

5 **Sector de la técnica**

La presente invención se refiere a un mecanismo nanoposicionador lineal con un carro móvil levitante (1) y unos medios de guiado fijos (2) caracterizados por la ausencia de contacto entre ellos mantenido mediante levitación magnética superconductora y unos medios de control y desplazamiento (3), capaz de realizar desplazamientos con precisión nanométrica en una carrera larga y capaz de funcionar en entornos criogénicos.

La presente invención puede ser utilizada en aparatos en entornos criogénicos como, por ejemplo, telescopios interferométricos, componentes de procesos de nanofabricación y/o microscopios confocales de espectroscopia criogénica.

15 **Estado de la técnica**

Actualmente, el nanoposicionado se ha convertido en objetivo de desarrollo para satisfacer requerimientos de un gran número de industrias como la biomédica de precisión, la de semiconductores y/o comunicaciones ópticas. Los principales parámetros que caracterizan a los nanoposicionadores son la carrera o rango de desplazamiento, el número de grados de libertad, la precisión en la posición y la resolución. Otros factores a tener en cuenta son: estabilidad, velocidad en respuesta, ancho de banda, durabilidad, relación volumen/desplazamiento, consumo y complejidad del control

De las tecnologías actuales podemos hacer una distinción en tres grandes grupos:

- Posicionadores basados en materiales piezoeléctricos.

Actualmente, los actuadores piezoeléctricos son muy utilizados en aplicaciones que requieren un control de la posición con precisión nanométrica. Podemos encontrar diferentes dispositivos basados en materiales piezoeléctricos como por ejemplo las patentes: US 4,610,442, US 5,424,597, EP 1,353,110, DE 10 2006 034 162 (A1), US 2010,259,760 (A1), US 2008,148,589 y DE 20,2005,020,928 y compañías que los comercializan, como por ejemplo Physic Instrumente (Karlsruhe, Alemania) o Attocube (Munich, Alemania), que proporcionan actuadores basados en materiales piezoeléctricos de muy diversas formas y características.

Dichos mecanismos tienen una excelente precisión y resolución del orden de nanómetros, un buen comportamiento en frecuencia y pueden generar fuerzas significativas con un diseño muy compacto y de bajo consumo. Sin embargo, su principal limitación es la escasa longitud de la carrera; en la mayoría de los casos no superior a 1 mm. Además, son intrínsecamente dispositivos de contacto, en los que el movimiento se produce por la deformación del actuador lo que limita la vida útil de los mismos.

A pesar de dichas limitaciones principales, existen actuadores comerciales que proporcionan carreras de hasta 7 mm como podemos encontrar en el catálogo de Attocube. En este tipo de actuadores de "largo recorrido" la relación volumen/desplazamiento es muy alta, siendo no deseable en ciertas aplicaciones. Otros dispositivos intentan aumentar la carrera utilizando "inchworm motors" o motores oruga. Por ejemplo, la compañía Burleigh Instruments (Mississauga, Canadá) comercializa este tipo de mecanismos para los que afirman conseguir posicionamientos nanométricos a lo largo de varios centímetros. Sin embargo, la vida estimada de estos dispositivos es muy corta, reducida principalmente por los impactos mecánicos a los que se ven sometidos los componentes piezoeléctricos. También se reconocen ciertas limitaciones relacionadas con las vibraciones y estabilidad estructural para los "inchworm motors" y una gran limitación en la masa y tamaños máximos que son capaces de mover.

Adicionalmente existen otras limitaciones comunes a los dispositivos piezoeléctricos. La contracción/relajación de los elementos produce grietas en los materiales piezoeléctricos, disminuyendo su vida útil. Los voltajes requeridos para operar los actuadores piezoeléctricos suelen ser muy elevados, del orden de cientos de voltios, lo cual puede suponer un problema en situaciones donde las capacidades eléctricas están limitadas. Son sensibles a los cambios de temperatura y salvo excepciones, no son operativos en temperaturas criogénicas ni en vacío. Además presentan severas no-linealidades en el comportamiento dinámico y fenómenos de "creep" e histéresis como se muestra en los artículos "Modeling nonlinear behavior in a piezoelectric actuator" de Richter H, Misawa E., Lucca D. y Lu H. en Precision Engineering 2001; 25(2):128-37 y "Manipulation of nanoscale components with the AFM: principles and applications" de Requicha ,et al. en Proceedings of IEEE conference on Nanotechnology, 2001, p. 81-6.

- Híbridos.

Otro tipo de mecanismos se puede ver por ejemplo en las patentes US 4,835,434 o US 2008,246,353 (A1) y en diversos artículos relacionados al respecto: "A ball-screw driver mechanism with piezo-electric nut for preload

and motion control" Chen JS y Dwang IC en el the International Journal of Machine Tools and Manufacture 2000; 40:513-26; "Nanometer positioning of linear motion stage under static loads" de Awabdy BA et al. IEEE/ASME Transactions on Mechatronics 1998; 3(2):113-9; "Precision position control using combined piezo-VCM actuators" Liu et al. Precision Engineering 2005; 29(4):411-22; "A vibration resistant nanopositioner for mobile parallel-probe storage applications" Despont et al. Journal of Microelectromechanical Systems, 2007; 16-1 pp. 130-139.

En ellos se combinan métodos tradicionales de desplazamiento con mecanismos piezoeléctricos, dando lugar a mecanismos híbridos. Así, en ellos podemos encontrar diversas combinaciones: motores paso a paso + piezoeléctrico, "voice coils" + piezoeléctricos, micrómetros + piezoeléctricos que siguen siendo de contacto. En muchos de estos casos las limitaciones de la carrera no son tan severas, sin embargo el resto de inconvenientes comunes a los piezoeléctricos siguen estando presentes. En este tipo de mecanismos el control del posicionado se hace más complejo ya que cuentan con dos elementos a controlar: uno de paso fino y otro de paso grueso, afectando la estabilidad de uno en la del otro.

- Posicionadores basados en levitación electromagnética activa (maglev).

En diversos artículos y patentes relacionadas más adelante se describen nanoposicionadores sin contacto basados en levitación electromagnética activa. En comparación con los posicionadores piezoeléctricos, los sistemas activos de levitación magnética ofrecen los mismos niveles de precisión y resolución para carreras mayores. Así mismo algunos de ellos permiten movimientos en más de un grado de libertad. Al tratarse de mecanismos en los que no hay contactos entre la parte móvil y la fija los problemas de fatiga y duración de vida no son tan críticos. El concepto común de estos mecanismos es la utilización de la repulsión/atracción que hay entre materiales ferromagnéticos y bobinas o electroimanes para desplazar las partes móviles. Actuando sobre la corriente de las bobinas se logra controlar las fuerzas ejercidas sobre las partes móviles.

El principal inconveniente de estos sistemas activos de levitación es que requieren un control complejo y de gran velocidad de actuación, ya que son por naturaleza inestables. Esta necesidad de control se traduce en electrónicas más complejas, mayor número de sensores y consumos eléctricos mayores.

Así, por ejemplo, en el artículo titulado "Magnetic/fluid-bearing stage for atomic-scale motion control (the angstrom stage)" Holmes y Trumper, (Precision Engineering 1996;21:38-94) presentaban la construcción de una mesa de desplazamiento tridimensional de 100 μm de recorrido en cada dirección y 0.1 nm de resolución. La mesa está controlada por 12 actuadores bobina-imán (6 en dirección vertical y 6 en direcciones horizontales) con 6 sensores capacitivos que realimentaban el sistema de control. La bobina y el imán de los actuadores eran magnéticamente coaxiales pero el imán no podía nunca entrar dentro del núcleo de la bobina actuando ésta en repulsión o atracción sobre el imán. Las bobinas y los sensores se encontraban en la parte fija y los imanes y las sondas de los sensores en la parte levitante.

En el artículo titulado "High-precision magnetic levitation stage for photolithography", Precision Engineering 1998; 22(2):66-77, Kim y Trumper, diseñaron una mesa plana cuadrada de desplazamiento por suspensión magnética con 50 mm de carrera en las dos direcciones características y alcanzado una resolución de 10 nm. Este dispositivo estaba igualmente propulsado por repulsión y atracción de bobinas e imanes y sensorizado mediante elementos capacitivos. En este caso la configuración del bobinado y los imanes no era coaxial, sino que se trataba de una matriz de imanes permanentes con sus direcciones de magnetización situadas en una secuencia de giro de 90 grados. Las bobinas seguían dicha organización igualmente. Se utilizaban 4 de estas matrices para conseguir la levitación. El mismo tipo de mecanismo se aplica en un microscopio de sonda de barrido en el artículo "The long-range scanning stage: a novel platform for scanned-probe microscopy", Holmes M, Hocken R, Trumper DL, Precision Engineering 2000;24(3):191-209.

En el artículo titulado "Ultra precision motion control of a multiple degrees of freedom magnetic suspension stage". Shan X, Kuo SK, Zhang J y Menq CH. IEEE/ASME Transactions on Mechatronics 2002;7(1):67-78 los autores presentan una mesa de desplazamiento similar a las anteriores, salvo que en este caso se utilizan electroimanes y placas de hierro para ejercer la fuerza magnética. También se utilizan interferómetros láser en lugar de sensores capacitivos para la monitorización de la posición.

Más recientemente, S. Verma y W. Kim conjuntamente y en colaboración con otros autores han publicado una serie de artículos relacionados con un nanoposicionador de levitación magnética activa. Podemos encontrar todos los detalles en los artículos: "Six-Axis Nanopositioning Device With Precision Magnetic Levitation Technology" Verma S., Kim W. J. et al., IEEE/ASME Transactions on Mechatronics 2004;9(2):384-391; "Design and precision construction of novel magnetic-levitation-based multi-axis nanoscale positioning systems", Kim W. J., Verma, S., Precision Engineering 2007; 31,337-350 y "Multiaxis Maglev Positioner With Nanometer Resolution Over Extended Travel Range" Kim W. J., Verma, S., Journal of Dynamic Systems, Measurement, and Control, 2007: 129, 777-785. En ellos afirman que el mecanismo es capaz de lograr 3 nm de resolución en una carrera de 5 mm por dirección con 6 grados de libertad. Este mecanismo está actuado de nuevo por bobinas e imanes, imanes que en este caso están situados en el núcleo del bobinado con los necesarios juegos en cada dirección. Consta de 3 bobinados de

movimiento vertical y 3 de movimiento horizontal, estos últimos orientados en 120 grados respecto al anterior. El elemento levitante se ha diseñado de dos formas, una triangular y la otra en estrella de 3 puntas con el objetivo de reducir la masa, pero el funcionamiento de ambos es el mismo. En estos desarrollos la sensorización se hace con 6 sensores: 3 capacitivos y 3 ópticos.

En la patente WO 2007/098,277 titulada "6 Axis electromagnetically-actuated meso-scale nanopositioner" se describe un dispositivo muy similar a los anteriormente descritos, salvo que en esta patente citada caso los actuadores, en lugar de ser una o varias bobinas macroscópicas, se sustituyen por una matriz de actuadores MEMS bobina-imán.

- Posicionadores basados en levitación magnética-superconductora.

La levitación magnética-superconductora ha sido ampliamente estudiada y demostrada especialmente desde la aparición de superconductores de alta temperatura. Existe una extensa bibliografía al respecto, como por ejemplo los artículos "Levitation force and magnetic stiffness in bulk high-temperature superconductors" Chang P. Z., Moon F. C., Hull J. R. y Mulcahy T. M. Journal of Applied Physics, 1990, 67: 4358 o en "Effect of size on levitation force in a magnet/superconductor system" Yang Z. J., Hull J. R., Journal of Applied Physics 1996, 79(6): 3318-3323.

La levitación magnética-superconductora es capaz de proporcionar pasivamente estabilidad entre los elementos levitantes o móviles y los fijos. Esto se utiliza para sistemas de guiado de carros móviles. Así, por ejemplo, en las patentes JP 1,218,370, JP 4,281,377, US 5,298,875, US 5,455,706, JP 7,046,870, US 5,684,616, JP 2000,217,207, JP 2002,112,409 se describen diversos mecanismos de guiado y posicionamiento con resolución macroscópica. En los artículos "Implementation of a Non-Contact X-Y Mover With High Temperature Superconductors" Chen, I. et al. IEEE transactions on applied superconductivity, 2007,17(2):2075-2078 y "Position feedback control using magneto impedance sensors on conveyor with superconducting magnetic levitation" Iizuka T., Sakai N. Sensors and Actuators A: Physical, 2009,150:110-115 se detallan igualmente mecanismos de desplazamiento de elementos flotantes basados en levitación magnética-superconductora.

En el artículo "Study of Micro / Nano Scale Displacement by Electro-Maglev System Using Bulk Superconductors and Permanent Magnet" IEEE transactions on applied superconductivity, 2007, 17(2):2063-2066, Lin et al. describen un dispositivo microposicionador basado en levitación magnética-superconductora en el que un imán permanente se mantiene levitando sobre un superconductor sin contacto entre ellos y de forma estable, en una posición que viene determinada por la posición en que se haya enfriado el superconductor por debajo la temperatura crítica.

En esta configuración el imán se mantiene estabilizado en todos sus grados de libertad. Mediante la actuación de dos bobinas Helmholtz descritas en dicho artículo se puede desplazar ese punto de equilibrio verticalmente. Dado que la dirección de desplazamiento y la fuerza que soporta al imán son paralelas la actuación de las bobinas implica la modificación de los campos magnéticos en el superconductor. Ello conlleva una limitación de la carrera a menos de 100 μm con un consumo energético relativamente elevado e histéresis.

El mecanismo nanoposicionador sin contacto de carrea larga de la presente invención se compone de un carro móvil levitante (1), unos medios de guiado fijos (2) y unos medios de control y desplazamiento fijos (3) sin que exista contacto entre el carro móvil levitante (1) y los elementos fijos (2,3).

La presente invención se caracteriza por emplear la levitación magnética superconductora para el guiado de forma que, o bien el carro móvil levitante (1) es una o una pluralidad de piezas superconductoras y los medios de guiado fijos (2) son una o una pluralidad de piezas de imanes permanentes o electroimanes, o por el contrario, el carro móvil levitante (1) es una o una pluralidad de piezas de imanes permanentes o electroimanes y los medios de guiado fijos (2) son una o una pluralidad de piezas superconductoras.

Los medios de control y desplazamiento (3) se caracterizan por estar formados por una o una pluralidad de bobinas o electroimanes y los medios necesarios para hacer circular una o una pluralidad de corrientes eléctricas por ellas.

Para la consecución de un guiado con precisión nanométrica y un grado de libertad preferente para el desplazamiento es necesaria una posición de enfriamiento del carro móvil (1) de forma que la pieza o la pluralidad de piezas magnéticas (1 ó 2) generen un campo sobre la pieza o pluralidad de piezas superconductoras (2 ó 1) invariante a lo largo de la carrera útil del carro móvil levitante (1).

El control de la posición del carro móvil levitante (1) se consigue mediante la variación de la corriente o pluralidad de corrientes circulantes por los medios de control y desplazamiento (3) lo que permite gracias a las fuerzas electromagnéticas que sin contacto se ejercen mutuamente, desplazar el carro móvil (1) de forma estable con la precisión requerida sin desviar significativamente a éste de su trayectoria guiada.

Descripción de los dibujos

En la figura 1 se muestra una perspectiva axonométrica de una realización preferente de la presente invención en la que el carro móvil levitante (1) está formado por una única pieza superconductora cilíndrica, unos medios de guiado fijos (2) compuestos por un conjunto de seis barras de imanes permanentes distribuidas con simetría hexagonal. Los medios de control y desplazamiento (3) están formados por un par de bobinas cilíndricas y coaxiales.

En la figura 2 se muestra una sección de una segunda realización preferente de la presente invención en la que el carro móvil levitante (1) está formado por una única pieza de imán permanente, unos medios de guiado fijos (2) compuestos por un conjunto de tres piezas superconductoras. Los medios de control y desplazamiento (3) están formados por un par de bobinas o electroimanes con su eje perpendicular a la dirección de desplazamiento.

Descripción de realizaciones preferentes

Una primera realización preferente del mecanismo nanoposicionador sin contacto de carrera larga de la presente invención -conforme a la figura 1- dispone de un carro móvil levitante (1) formado por una única pieza superconductora cilíndrica con su eje alineado con la dirección de desplazamiento. Además dispone de unos medios de guiado fijos (2) compuestos por un conjunto de seis barras de imán permanente paralelas entre sí, distribuidas con simetría hexagonal en torno al eje que marca la dirección de desplazamiento y dirección de imanación axial con sentidos alternativos. Por último, dispone de unos medios de control y desplazamiento (3) formados por un conjunto de dos bobinas cuyo eje está alineado con la dirección de desplazamiento.

Una segunda realización preferente de la presente invención -conforme a la figura 2- dispone de un carro móvil levitante (1) formado por una única pieza de imán permanente cuya dirección de magnetización es perpendicular a la dirección de desplazamiento. Además dispone de unos medios de guiado fijos (2) compuestos por una o una pluralidad de piezas superconductoras y unos medios de control y desplazamiento (3) formados por una o una pluralidad de bobinas o electroimanes cuyo eje es paralelo a la dirección de magnetización del imán permanente que constituye el carro móvil (1).

Cualquier experto en la materia puede fácilmente variar posiciones, número y orientación de estos elementos sin por ello salir fuera del alcance de la presente invención.

REIVINDICACIONES

- 5 1. Un mecanismo nanoposicionador sin contacto de carrera larga que dispone de un carro móvil levitante (1) compuesto por una o una pluralidad de piezas superconductoras, unos medios de guiado fijos (2) formados por una o una pluralidad de imanes permanentes o electroimanes sin contacto entre el carro móvil (1) y los elementos de guiado fijos (2), mantenido mediante levitación magnética superconductora, y unos medios de control y desplazamiento (3) compuestos por una o una pluralidad de bobinas o electroimanes, capaz de realizar desplazamientos con precisión nanométrica en una carrera larga mediante la variación de las corrientes eléctricas circulantes por los medios de control y desplazamiento (3).
10
- 15 2. Un mecanismo nanoposicionador sin contacto de carrera larga que dispone de un carro móvil levitante (1) compuesto por una o una pluralidad de imanes permanentes, unos medios de guiado fijos (2) formados por una o una pluralidad de piezas superconductoras sin contacto entre el carro móvil (1) y los elementos de guiado fijos (2), mantenido mediante levitación magnética superconductora, y unos medios de control y desplazamiento (3) compuestos por una o una pluralidad de bobinas o electroimanes, capaz de realizar desplazamientos con precisión nanométrica en una carrera larga mediante la variación de las corrientes eléctricas circulantes por los medios de control y desplazamiento (3).
- 20 3. Un mecanismo nanoposicionador sin contacto de carrera larga conforme a la reivindicación 1 caracterizado además por contener el carro móvil levitante (1) una o una pluralidad de cilindros superconductores.
- 25 4. Un mecanismo nanoposicionador sin contacto de carrera larga conforme a la reivindicación 3 caracterizado además por estar el eje del carro móvil levitante (1) alineado con la dirección de movimiento.
- 30 5. Cualquier mecanismo nanoposicionador sin contacto de carrera larga conforme a las reivindicaciones 1,3 ó 4 caracterizado además por estar los elementos de guiado fijos (2) compuestos por una o una pluralidad de imanes permanentes o electroimanes distribuidos con simetría poligonal regular en torno del eje de desplazamiento.
- 35 6. Cualquier mecanismo nanoposicionador sin contacto de carrera larga de la reivindicación 1,3,4 ó 5 caracterizado además por estar los elementos de guiado fijos (2) compuestos por una o una pluralidad de imanes permanentes cuyas direcciones de imanación son paralelas a la dirección de desplazamiento.
- 40 7. Cualquier mecanismo nanoposicionador sin contacto de carrera larga de la reivindicación 1, 3, 4 ó 5 caracterizado además por estar los elementos de guiado fijos (2) compuestos por una o una pluralidad de imanes permanentes cuyas direcciones de imanación son perpendiculares a la dirección de desplazamiento.
- 45 8. Cualquier mecanismo nanoposicionador sin contacto de carrera larga de la reivindicación 1,2,3,4,5,6 ó 7 caracterizado además por contener los elementos de control y desplazamiento fijos (3) una o una pluralidad de bobinas o electroimanes cuyos ejes son coincidentes con la dirección de desplazamiento ubicados en cualquier punto de la carrera o incluso fuera del rango de desplazamiento.
- 50 9. Un mecanismo nanoposicionador sin contacto de carrera larga conforme a la reivindicación 2 caracterizado además por estar el carro móvil levitante (1) compuesto por una o una pluralidad de imanes permanentes cuya dirección de imanación sea paralela a la dirección de desplazamiento.
- 55 10. Un mecanismo nanoposicionador sin contacto de carrera larga conforme a la reivindicación 2 caracterizado además por estar el carro móvil levitante (1) compuesto por una o una pluralidad de imanes permanentes cuya dirección de imanación sea perpendicular a la dirección de desplazamiento.
- 60 11. Cualquier mecanismo nanoposicionador sin contacto de carrera larga de la reivindicación 2, 9 ó 10 caracterizado además por contener los elementos de control y desplazamiento fijos (3) una o una pluralidad de bobinas o electroimanes cuyos ejes son paralelos a la dirección de desplazamiento.
12. Cualquier mecanismo nanoposicionador sin contacto de carrera larga de la reivindicación 2, 9 ó 10 caracterizado además por contener los elementos de control y desplazamiento fijos (3) una o una pluralidad de bobinas o electroimanes cuyos ejes son perpendiculares a la dirección de desplazamiento.
13. Un mecanismo nanoposicionador sin contacto de carrera larga de cualquiera de las reivindicaciones anteriores caracterizado además por disponer de sensores o dispositivos destinados a medir el desplazamiento o la posición de cualquiera de los elementos que componen el mecanismo y en cualquiera de los 6 grados de libertad del sistema.

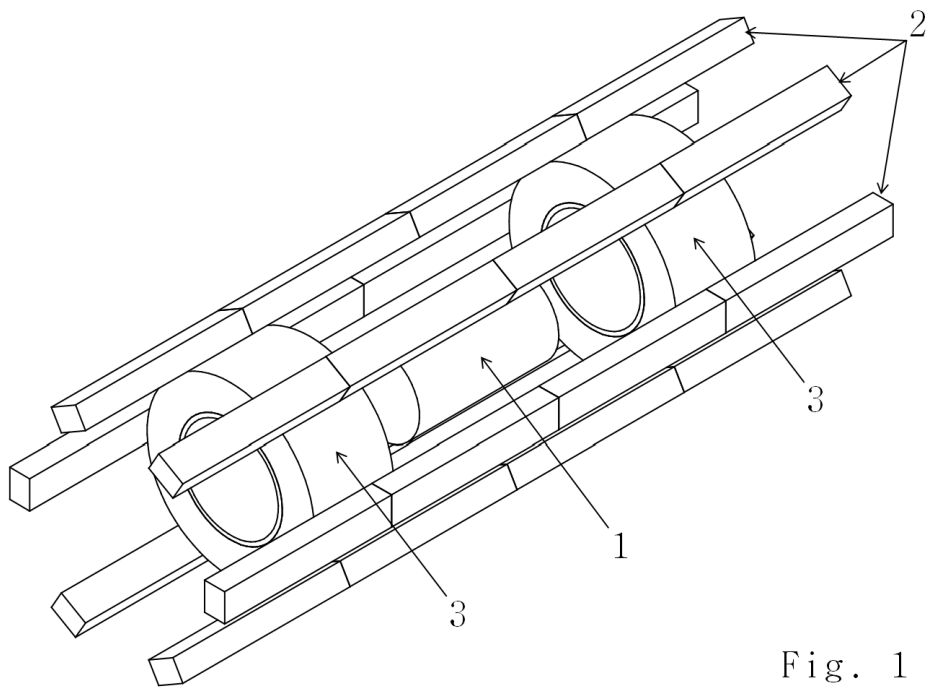


Fig. 1

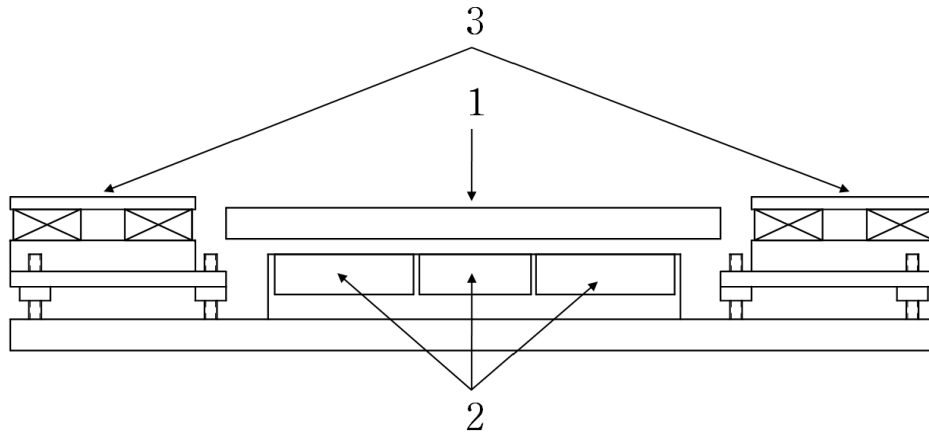


Fig. 2