

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 653 554**

51 Int. Cl.:

G02B 7/24 (2006.01)

G03F 7/20 (2006.01)

B25J 9/00 (2006.01)

G02B 7/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **23.09.2014 PCT/IB2014/001905**

87 Fecha y número de publicación internacional: **31.03.2016 WO16046583**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **23.09.2014 E 14790292 (8)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **06.12.2017 EP 3198321**

54 Título: **Sistema de ajuste para alinear elementos ópticos o muestras en vacío**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
07.02.2018

73 Titular/es:
**FMB FEINWERK- UND MESSTECHNIK GMBH
(100.0%)
Friedrich-Woehler-Str. 2
12489 Berlin, DE**

72 Inventor/es:
**DEIWIKS, JOCHEN;
MÜLLER, FRIEDER y
HENNINGER, HANS**

74 Agente/Representante:
SÁEZ MAESO, Ana

ES 2 653 554 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 de ajuste para alinear elementos ópticos o muestras en vacío

5 La invención se refiere a un sistema de ajuste para alinear elementos ópticos (espejos, rejillas, cristales, lentes) o muestras al vacío que consiste en al menos una cámara de vacío, al menos un elemento óptico ajustable en dirección espacial y/o una muestra ajustable en dirección espacial, con accionadores traslacionales en el estado no desviado (estado inactivo) que se proporcionan para ajustar la alineación de al menos un elemento óptico ajustable en la dirección espacial y/o de la al menos una muestra ajustable en dirección espacial en un máximo de tres direcciones espaciales que son esencialmente perpendiculares entre sí.

10 La exactitud de la posición ("precisión") de la iluminación requerida para la proyección ideal de radiación electromagnética en el rango de radiación de terahercios hasta el rango de radiación de rayos X duros sobre un objeto o sobre un elemento óptico es de muy alta significancia. Para dirigir la radiación a través de un elemento óptico o incluso a través de varios elementos ópticos posteriores al lugar correcto, por lo tanto, es necesario mover elementos ópticos o muestras reproducibles por fracciones de un segundo de arco en los tres grados de libertad de la rotación, pero también por unos pocos nanómetros en los tres grados de libertad de la traslación. Para lograr tal
15 precisión, no solo es necesario que el equipo provisto esté libre de vibraciones externas, como vibraciones sísmicas mínimas causadas por vehículos que pasan cerca, o de vibraciones naturales de edificios inducidas por una carga de viento cambiante. Además, también es necesario que el equipo provisto para la alineación de precisión esté libre de tensiones mecánicas internas que podrían conducir a una desalineación casi predecible de la alineación de precisión causada por la carga térmica durante el funcionamiento. Finalmente, es necesario que el equipo evite las
20 frecuencias propias mecánicas dentro o debajo de las frecuencias de red comunes internacionalmente de 50 Hz o 60 Hz y que también esté libre de armónicos que puedan ser inducidos por las frecuencias mencionadas anteriormente.

25 Se conocen varios conceptos para la alineación de precisión de elementos ópticos y/o muestras en una cámara de vacío que se evacua y conecta con la fuente de radiación. Para mantener el equipo lo más libre posible de frecuencias propias de baja frecuencia, es decir, de vibraciones naturales en el rango de hasta 50 Hz o 60 Hz o cualquier armónico correspondiente, los accionamientos (accionadores) y los elementos de conexión entre el espejo y el accionador se mantienen lo más cortos posible para evitar los modos propios a bajas frecuencias.

30 Para facilitar la alineación de precisión en los tres grados de libertad traslacionales, se conoce una serie cinemática para combinar plataformas deslizantes motorizadas o correderas motorizadas que permiten que el espejo y/o el elemento óptico y/o la muestra se muevan en direcciones espaciales mutuamente perpendiculares. Con la cinemática en serie, cada grado de libertad se asigna a exactamente un accionador.

35 La cinemática de serie proporciona la gran ventaja de un control muy simple, ya que en la cinemática de serie los efectos de los accionadores se acumularán en la forma de adición de vectores. Para facilitar los hasta seis grados de libertad de la alineación espacial, se usan combinaciones de accionamientos rotativos y traslacionales. Sin embargo, con cada combinación de diferentes unidades, una reacción mecánica es inevitable.

40 La gran desventaja de la cinemática serial relacionada con el propósito aquí descrito es que, con cada combinación de diferentes mecanismos de alineación, sus tolerancias de alineación se resumen en el mejor de los casos, que en el caso extremo están expuestos a la resonancia o desalineación térmica mencionadas anteriormente. Finalmente, también es posible que la reacción mecánica dé lugar a una indeterminación estática en el orden de la tolerancia del espejo a alinear.

45 La llamada plataforma Stewart/Gough/Cappell, frecuentemente descrita como un "hexápodo" en la terminología técnica, es un mecanismo conocido desde la década de 1950 para la alineación de precisión en seis grados de libertad. En este mecanismo de cinemática paralela, seis patas están conectadas como transmisiones lineales o hidráulicas en forma de tres triángulos dispuestos alrededor de un círculo y cada uno consta de dos accionamientos lineales/hidráulicos. Las tres puntas de los tres triángulos se encuentran en un segundo camino circular, de modo que las seis patas forman un total de seis triángulos, a saber, tres triángulos sobre la placa base y tres triángulos sobre sus puntas entre los triángulos que se encuentran sobre la placa base. Mediante un cambio en la posición espacial relativa de ambas trayectorias circulares en cualquier combinación de los seis grados de libertad entre sí, las longitudes de las seis patas se determinan definitivamente.

50 El beneficio de la cinemática paralela es la posibilidad de compensar cualquier error de guía inducido por tolerancia de un accionador por los otros accionadores. Sin embargo, esto también significa que la posición de los dos círculos en un hexápodo de cinemática paralela está mecánicamente sobre determinada, ya que los cambios en la longitud de todas las patas se superponen en términos espaciales, o, en otras palabras: Los cambios en las longitudes de las seis patas entre sí no se pueden realizar de forma independiente, porque las seis patas no están alineadas perpendicularmente entre sí. El equipo de control requerido para un mecanismo cinemático paralelo requiere en
55 parte algoritmos de cálculo altamente complejos para calcular la dependencia mutua de los accionadores.

Los hallazgos de la geometría analítica proporcionan la certeza de que un cambio en la posición de un objeto en seis grados de libertad es incompatible con seis cambios de longitud mutuamente independientes. Por lo tanto, no es posible implementar seis grados de libertad con cualquier número de movimientos de traducción mutuamente ortogonales. Esta imposibilidad se basa en la conclusión de que, aunque la traducción en direcciones espaciales mutuamente perpendiculares conmuta, este no es el caso para la rotación alrededor de direcciones espaciales mutuamente perpendiculares. Por lo tanto, la secuencia de movimientos de movimientos por lo demás idénticos determina el resultado de un cambio espacial en la posición.

Para alinear un elemento óptico y/o una muestra con la ayuda de un hexápodo para la iluminación con radiación magnética de electroEP en el rango de energía relevante para la invención con las condiciones auxiliares antes mencionadas (incluyendo, sin limitación, pobreza de resonancia), por lo tanto, es necesario mantener las seis patas muy cortas en relación con el diámetro del círculo de los triángulos dispuestos en círculo. La consecuencia es una superposición muy fuerte de los movimientos de las patas individuales, lo que significa que el control del movimiento debe proporcionar algoritmos de cálculo muy complejos para el control paralelo de las seis patas. El cambio en las longitudes de cada pierna se asocia con un cambio parasitario en la longitud de casi la misma magnitud en al menos una pata adyacente, lo que resulta en la necesidad de calcular la dependencia de los cambios individuales en la posición de las otras cinco patas para el control del movimiento. Otra propiedad poco ventajosa del hexápodo para el propósito descrito en este documento es la distribución de las posiciones alcanzables reproduciblemente en el espacio. La resolución espacial de las posiciones alcanzables de un hexápodo es una transformación no lineal en relación con la resolución reproducible de las longitudes de las patas de las seis patas. Las posiciones traslacionales reproducibles de manera realizable no están distribuidas uniformemente en el espacio, sino que están distribuidas en el espacio de una manera muy no lineal. Todavía hay que tener en cuenta otro aspecto, a saber, que la precisión requerida del cambio en las longitudes de las patas para el propósito descrito en este documento es tan alta, que en diferentes posiciones de hexápodos los cambios de longitud de dos o más patas correspondientes no pueden alinearse sin una tensión mecánica muy alta. Esta tensión mecánica mutuamente opuesta puede aumentar con la carga térmica, disminuyendo así la precisión requerida de la alineación.

Sería deseable combinar los beneficios de la cinemática en serie, donde cada grado de libertad se asigna exactamente a un accionador, con los beneficios de la cinemática paralela, donde cada accionador actúa sobre la posición del elemento ajustable espacialmente. Para el documento JP-B2-3070085 se conoce un sistema de ajuste no en serie para alinear una cámara de vacío que contiene un espejo dentro con seis grados de libertad. Otro enfoque para este fin se describe en la patente alemana DE 100 42 802 C2. Esta publicación informa sobre un sistema para la alineación de precisión de espejos para haces de sincrotrón donde tres unidades lineales mutuamente perpendiculares actúan directamente sobre el espejo. Las tres unidades lineales mutuamente perpendiculares están dispuestas en los ejes cartesianos y tienen el origen cartesiano como punto de intersección conjunto. Dos de los accionamientos lineales mutuamente perpendiculares están emparejados con al menos un accionamiento lineal dispuesto en paralelo a ellos, para crear la determinación estática, pero también para realizar rotaciones. Este mecanismo hace posible realizar casi cualquier combinación de movimientos en seis grados de libertad con el movimiento de una sola unidad o con el movimiento emparejado de dos unidades lineales en un rango muy estrecho alrededor del punto de reposo. Con cada movimiento traslacional otros dos accionamientos lineales están sujetos a un movimiento de cizallamiento que debe ser compensado por juntas y una variación de longitud determinada, aunque muy pequeña. Sin embargo, debido a los accionamientos lineales muy espaciados, basta con muy poco movimiento parasitario (en dirección transversal a la dirección de un accionamiento lineal), para cargar esta configuración con un esfuerzo mecánico muy alto. Esta tensión mecánica puede transferirse al espejo, lo que podría mostrar propiedades dicroicas inducidas por el estrés y posiblemente fuerce la radiación reflejada a un cambio no deseado en la polarización. Además, es necesario sacar los accionadores de una cámara de vacío requerida utilizando varillas de unión y fuelles a prueba de vacío, lo que reduce significativamente la inmunidad de resonancia de toda la configuración; o los accionadores mecánicos deben estar dispuestos dentro de la cámara de vacío, lo que podría ocasionar un gran esfuerzo y causar problemas con respecto a la calidad del vacío.

El objetivo de la presente invención es aumentar la precisión, reproducibilidad y tiempo de vida del equipo para la alineación de precisión de elementos ópticos y/o muestras.

El objetivo según la presente invención se logra fijando firmemente al menos un espejo ajustable en la dirección espacial y/o el al menos un elemento óptico ajustable en la dirección espacial y/o la muestra dentro de la cámara de vacío en relación con la cámara de vacío, con la cámara de vacío conectada indirecta o directamente con los accionadores traslacionales para alinear la posición espacial del espejo y/o el elemento óptico o la muestra.

Por lo tanto, la invención proporciona que el espejo y/o el elemento óptico y/o la muestra dentro de la cámara de vacío estén dispuestos en una posición fija con respecto a la cámara de vacío. "Posición fija" dentro del marco de esta solicitud significará que la orientación espacial del elemento óptico y/o la muestra no cambia en relación con la orientación espacial de la cámara de vacío. Para cambiar la orientación espacial del elemento óptico y/o muestra en relación con la radiación electromagnética en el rango de terahercios hasta el rango de radiación de rayos X duros, estos se alinean conjuntamente con la cámara de vacío. Por un lado, la cámara de vacío, que encierra el espejo, el elemento óptico y/o la muestra y los protege del aire, se conecta con la fuente de radiación; y en el otro lado, la cámara de vacío está conectada con el objetivo, si es un espejo y/o un elemento óptico en la cámara de vacío. La

5 conexión se realiza de forma flexible en forma de fuelles metálicos y herméticos al vacío. Dado que tanto el recinto externo de la cámara de vacío como el espejo y/o el elemento óptico y/o la muestra presente en la cámara de vacío deben alinearse de manera uniforme y precisa, por lo tanto, es necesario que los accionadores actúen desde el exterior en la cámara de vacío. Por un lado, inicialmente parece problemático, si un recinto junto con sus componentes interiores debe alinearse con precisión. Debido a la gran superficie de contacto de la cámara de vacío, este tipo de alineación parece ser muy sensible a las influencias externas. Por otro lado, sin embargo, esta configuración facilita un diseño muy pequeño y compacto de la cámara de vacío, que en otros sistemas que usan mecanismos complejos para mover el espejo y/o el elemento óptico y/o la muestra es comparativamente grande, exhibiendo así superficies de resonancia indeseablemente grandes.

10 Además, el conjunto descrito aquí facilita una alineación extremadamente precisa, porque los accionadores actúan de forma remota y con una palanca bastante grande hacia el centro de gravedad o el punto central o el punto activo del espejo y/o el elemento óptico y/o la muestra. Si los accionadores, por ejemplo, tienen un límite inferior de posicionamiento de menos de 20 nm por paso, con una palanca de unos 20 cm es posible una resolución angular de $\text{ArcSin}(20 \text{ nm}/20 \text{ cm})$ de aproximadamente 0.02" (arcosegundo), lo que significa que, para una distancia de 20 m
15 entre el espejo o el elemento óptico con respecto al objetivo, es posible una resolución espacial de 2 μm .

20 En la solución conocida, donde los accionadores actúan directamente sobre el espejo, esta configuración proporciona la gran ventaja de que la cámara de vacío no tiene elementos dentro de la cámara de vacío que afecten la calidad del vacío, que hay menos pasadores sensibles a las vibraciones de resonancia y que es posible una alineación de precisión que apenas se ha logrado hasta el momento, proporcionando simultáneamente una tolerancia muy pequeña de la alineación espacial.

Otro aspecto ventajoso de esta configuración es que los propios accionadores pueden montarse directamente sobre un bloque macizo de un material tal como material mineral, como granito, granito sintético u hormigón o de metal que comprende un alto amortiguamiento interno de bajas frecuencias en el rango de menos de 100 Hz. Esta configuración en conexión con una longitud accionadora corta facilita una alta resistencia a las vibraciones de resonancia.
25

Con el fin de asegurar la ausencia de cualquier reacción mecánica, tal como se requiere para lograr una precisión tan alta, de acuerdo con la realización de la invención se pretende que los accionadores traslacionales estén conectados con la cámara de vacío mediante flexiones. Las flexiones son preferiblemente flexiones de cardán que están presentes para compensar muy poco movimiento parasitario y que aseguran una muy alta rigidez de la configuración completa.
30

De manera favorable, los accionadores tienen una barra de acoplamiento con dos flexiones de cardán cada una, a través de la cual los accionadores están conectados mecánicamente con la cámara de vacío. Las dos flexiones de cardán en las barras de acoplamiento facilitan la compensación del movimiento parasitario en la medida de los recorridos requeridas aquí para ajustar el elemento óptico o la muestra.

35 Como una realización de la invención, se pretende que para una primera alineación traslacional y una primera alineación rotacional se proporcione un primer par de dos accionadores traslacionales, que en un estado no desviado (estado inactivo) son esencialmente paralelos entre sí, y para una segunda alineación traslacional y rotacional se proporciona un segundo par de dos accionadores traslacionales adicionales, que en estado no desviado (estado de inactividad) son esencialmente paralelos entre sí, con la dirección espacial del primer par en relación con la dirección espacial del segundo par en el estado no desviado (estado inactivo) que es esencialmente perpendicular entre sí; y para una tercera alineación rotacional se proporciona otro accionador traslacional, cuya dirección espacial en el estado no desviado (estado inactivo) esencialmente es paralelo a la dirección espacial del primer o segundo par, con los ejes de un máximo de dos accionadores que forman un punto de intersección de unión. Como se mencionó anteriormente, los términos de "paralelo" y "perpendicular" se refieren a los ejes de elevación de los accionadores.
40
45

A diferencia de lo que ofrece el estado de la técnica, los accionadores traslacionales para los tres grados de libertad traslacionales no actúan sobre el objeto a ajustar de tal forma que los tres formen un punto de intersección conjunto, pero está previsto que los accionadores actúen sobre las esquinas de un ortoedro imaginario, cuyo volumen retiene el espejo y/o el elemento óptico y/o la muestra a ajustar, aunque encerrados en la cámara de vacío. Dos accionadores, que son paralelos en el estado no desviado (estado inactivo), actúan en las diferentes esquinas de un primer borde conjunto del ortoedro imaginario, con los ejes de elevación de los dos accionadores paralelos que se extienden colineales con cada segundo y tercer borde del ortoedro. Esta acción de dos accionadores se repite para otro par de accionadores en dirección perpendicular en el ortoedro imaginario. Por la acción de dos pares de accionadores, de los cuales los accionadores dentro del par en el estado no desviado (estado inactivo) están alineados en paralelo y entre los dos pares en el estado no desviado (estado inactivo) están alineados perpendicularmente entre sí, el ortoedro accionado es ajustable en dos grados de libertad traslacionales y en dos grados de libertad rotacionales. Para realizar el movimiento traslacional, un par de accionadores mutuamente paralelos mueven el ortoedro imaginario mediante un movimiento concordante en la dirección deseada. Para realizar el movimiento de rotación, un par de accionadores mutuamente paralelos mueve el ortoedro imaginario mediante un
50
55

- movimiento en direcciones opuestas alrededor del eje de rotación deseado. Si bien es posible tener un tercer par de accionadores, que son mutuamente paralelos entre sí y alineados perpendicularmente a los otros accionadores, actúan sobre el ortoedro, dicho par ya no podría actuar independientemente de los pares de accionadores que ya están actuando. O bien un movimiento concordante que conduce a la traducción colisionaría con el movimiento de rotación de otro par, o viceversa. La introducción de un tercer par de accionadores, que son paralelos entre sí y alineados perpendicularmente a los pares de accionadores ya existentes, destruiría la independencia mutua de los accionadores, al menos en las proximidades del estado no desviado (estado inactivo). La realización de la invención proporciona que para una tercera alineación rotacional se proporciona otro accionador traslacional, con su dirección espacial en el estado no desviado (estado inactivo) que se extiende esencialmente en paralelo a la dirección espacial del primer y segundo par. Por lo tanto, se proporciona un triplete accionador y un par de accionadores para cubrir un total de cinco grados de libertad. El triplete accionador no es completamente independiente entre sí, pero se puede considerar como casi independiente dentro de los límites alrededor del estado no desviado (estado inactivo).
- 5
- 10
- 15 Para la determinación estática en el espacio se pretende ventajosamente que como sexto elemento se proporcione al menos una barra de acoplamiento con una flexión de cardán en cada extremo de la barra, que está conectado con un punto fijo de espacio en el medio de la proyección plana, que está limitado por los ejes traslacionales de los dos pares de accionadores. El punto de espacio fijo puede ser un ancla firmemente conectada con la base. Como alternativa, se prevé que el sexto elemento se diseñe como otro accionador traslacional, si se requiere el sexto grado de libertad de traslación longitudinal.
- 20 Para una resolución particularmente alta, ha demostrado ser ventajoso que cada uno de los accionadores sea un Accionamiento de husillo que se acciona mediante una caja de engranajes sin juego con un motor y que transfiere la posición mediante al menos una flexión a la posición de la cámara de vacío. Seleccionando adecuadamente el paso del husillo, la relación de engranaje de la caja de engranajes y la resolución del ángulo de rotación del motor, se puede implementar una resolución en el rango de algunos nm por paso en los accionadores traslacionales.
- 25 Para evitar frecuencias propias en el rango inferior a 100 Hz, las barras (K1, K2, K3, K4, K5 y K6) de acoplamiento con al menos una flexión (FG) preferiblemente deben tener una longitud de un máximo de 30 cm, de lo contrario, las barras de acoplamiento pueden estar sujetas a oscilaciones de resonancia de baja frecuencia (inferior a 100 Hz).
- 30 Para proporcionar medios para evitar aún mejor las frecuencias propias de baja frecuencia, los accionadores (X1, X2, Z1, Z2, Z3) preferiblemente deberían acomodarse en una base de gran masa que tenga una masa entre 100 kg y 3 t.
- La invención se explica con mayor detalle usando las siguientes figuras.
- La figura 1 es un diagrama esquemático que muestra una fuente de radiación electromagnética, aquí un sincrotrón 1, la cámara de vacío de acuerdo con la presente invención y un objetivo, mientras que las proporciones de los tres elementos se han modificado en gran medida en aras de la simplicidad.
- 35 La figura 1' es un diagrama esquemático como la figura 2, pero con un láser como fuente de radiación.
- La figura 1" es un diagrama esquemático como la figura 2, pero con una fuente roentgen (rayos X) como fuente de radiación.
- La figura 2 es un conjunto de cámara de vacío con la cámara de vacío dibujada en líneas punteadas, barras de acoplamiento y accionadores en una base.
- 40 La figura 3 es una vista en perspectiva desde abajo del conjunto de cámara de vacío de la figura 2.
- La figura 4 es una vista en despiece del conjunto de la cámara de vacío de las figuras 2 y 3.
- La figura 5 es un diagrama esquemático para ilustrar el movimiento parasitario.
- La figura 6 es un diagrama esquemático para ilustrar la acción de los accionadores.
- 45 La figura 1 muestra un diagrama esquemático en el que una fuente de radiación electromagnética se describe como el primer elemento E1. La salida de la fuente de radiación electromagnética 2 está conectada con el sistema de ajuste 3 como el segundo elemento E2, que en la cámara 3" de vacío posee un elemento 3' óptico para proyectar un punto de fuente de radiación virtual sobre un objetivo remoto 4 como el tercer elemento E3, que consiste aquí en una rejilla 5 y una abertura 6. La cámara 3" de vacío de acuerdo con la presente invención se alinea de manera muy precisa y ajustable para la deflexión y proyección muy precisas del punto de fuente de radiación virtual sobre el objetivo 4. El objetivo de la invención es diseñar la alineación lo más simple posible, al mismo tiempo que se reduce la susceptibilidad a la resonancia y la reacción mecánica y se aumenta la vida útil del conjunto. El sistema 3 de ajuste junto con el elemento óptico de la figura 1 se presenta en la figura 2 en detalle.
- 50

La figura 2 muestra una configuración del sistema de ajuste de acuerdo con la presente invención. El sistema de ajuste 3 tiene un fuelle metálico 5 y 6 en cada extremo que conecta la cámara 3" de vacío hermética al vacío en un lado con la salida de una fuente de radiación electromagnética 1. En el otro lado, la cámara de vacío está conectada con el objetivo de radiación, en este caso presente con un conjunto de rejilla/abertura de un monocromador. Un haz electromagnético 7 con un ángulo de apertura muy pequeño golpea el espejo 3' presente en la cámara 3" de vacío del sistema 3 de ajuste. Para alinear con precisión el haz 7 electromagnético, toda la cámara de vacío 3" se alinea usando pares mutuamente paralelos de accionadores X y Z. A continuación, las letras mayúsculas de X, Y, Z se refieren a un movimiento traslacional en la dirección de x, y, z, respectivamente, de un sistema de coordenadas cartesianas, y las letras minúsculas de x, y, z a un movimiento de rotación alrededor de los ejes x, y, z, respectivamente, de un sistema de coordenadas cartesianas.

Un primer par de accionadores X consiste en los dos accionadores X1 y X2 mutuamente paralelos, con los dos mismos accionadores montados firmemente como accionamientos del husillo STX1 y STX2 en una base 8 firme hecha de un material con alta amortiguación interna de bajas frecuencias en el rango de menos de 100 Hz, tales como material mineral, como granito, granito sintético u hormigón o de metal. A través de las barras de acoplamiento K1 y K2, los accionadores X1 y X2 están conectados con una jaula 10, que está formada como ortoedro y que abraza firmemente la cámara 3" de vacío. Las barras K1 y K2 de acoplamiento tienen cada una dos flexiones de cardán, que pueden absorber un movimiento parasitario no deseado, pero inevitable. El movimiento parasitario y su compensación por las barras de acoplamiento se explican con mayor detalle en la figura 5.

Como un segundo par de accionadores Z, dos accionadores Z1 y Z2 están conectados con la jaula 10 ortoedro, con los accionadores Z1 y Z2 también mutuamente paralelos; pero estos accionadores Z1 y Z2 muestran una alineación perpendicular a los accionadores X1 y X2. Todos los accionadores X1, X2, Z1 y Z2 son independientemente ajustables en un pequeño rango de ajuste alrededor de su estado no desviado (estado inactivo), sin que el reajuste de un primer accionador provoque necesariamente el reajuste de un segundo accionador. Tras la deflexión de un accionador, los otros accionadores y sus barras de acoplamiento deben compensar un posible movimiento parasitario. Sin embargo, el sistema aún está estáticamente indeterminado.

No sería posible agregar un tercer par de accionadores sin tener que sacrificar la independencia de los accionadores.

Para una rotación alrededor del eje x indicado, se instala otro único accionador Z3, que en el estado no desviado (estado inactivo) de todos los accionadores se alinea en paralelo al segundo par de accionadores Z formando así un triplete con ellos. Este accionador Z3 está previsto para ajustar un componente menos importante o que influye menos en la trayectoria del haz indicado del haz electromagnético 7. Si este accionador Z3 se mueve solo, la alineación del espejo 3' presente en la cámara de vacío 3" se modifica tanto mediante una rotación alrededor del eje x indicado como mediante una traslación a lo largo del eje z. Para mantener la independencia entre la rotación alrededor del eje x y la traslación a lo largo del eje z, el par Z y el accionador Z3 deben moverse en direcciones opuestas. Sin embargo, este tipo de acoplamiento todavía es aceptable como un acoplamiento fácil de manejar, ya que el movimiento exactamente opuesto no requiere una aritmética compleja en el controlador para controlar los accionadores.

Para el sexto grado de libertad, concretamente la traslación a lo largo del eje y, se proporciona una barra Y de acoplamiento con dos flexiones de cardán, que también está destinada a aceptar los movimientos de los otros cinco grados de libertad. Dado que la traslación a lo largo del eje y, que sigue esencialmente la trayectoria del haz ligeramente desviada del haz 7 electromagnético, en el ejemplo presentado aquí de una cámara de vacío con espejo, tiene el menor impacto en la trayectoria del haz del haz 7 electromagnético, la varilla de acoplamiento Y está firmemente conectada con la base 8 a través de un anclaje A, por lo tanto, como el último elemento que ofrece una determinación estática en el espacio que garantiza el posicionamiento firme e inmóvil del sistema 3 de ajuste en el espacio.

La figura 3 muestra la acción de los tres accionadores Z1, Z2 y Z3 formadores de tripletes en la jaula 10 ortoedro. Además, se ilustra cómo la barra Y de acoplamiento instalada como contra contenedor actúa sobre la jaula 10 aproximadamente entre las dos barras Z1 y Z2 de acoplamiento y está conectada aproximadamente debajo del centro del espejo 3' con un ancla A que está montada en la base 8.

Para ilustrar la configuración del conjunto completo, la figura 4 esboza el sistema 3 de ajuste según la presente invención junto con la cámara 3" de vacío, los accionadores X1, X2, Z1, Z2, Z3, así como Y, las correspondientes barras K1, K2, K3, K4, K5, K6 de acoplamiento y la jaula 10 en una vista en despiece ordenado. Los accionadores X1, X2, Z1, Z2, Z3 individuales están firmemente montados en las perforaciones correspondientes en una base 8 que está formando un ángulo. Los propios accionadores son impulsados por motores SMX1, SMX2, SMZ1, SMZ2, SMZ3. Mediante accionamientos del husillo con caja de cambios STX1, STX2, STZ1, STZ2, STZ3 que mueven las correspondientes barras K1, K2, K3, K4 y K5 de acoplamiento y finalmente la jaula 10 conectada de la cámara 3" de vacío. Por la acción de los accionadores X1, X2, Z1, Z2, Z3 en las esquinas de la jaula 10 ortoedro toda la cámara 3" de vacío se desplaza o gira dentro de los límites mecánicos del sistema, con la alineación espacial del espejo 3', cuya posición se fija en relación con la cámara 3" de vacío, moviéndose junto con la cámara 3" de vacío. Los

movimientos de la cámara de vacío son compensados por los fuelles metálicos herméticos al vacío 5 y 6, que está n equipados con una brida en cada lado.

- 5 Para ilustrar el movimiento parasitario, la figura 5 muestra cómo una barra de acoplamiento K equipada con dos flexiones de cardán FG1 y FG2 en estado no desviado está sujeta a tensión de corte, exagerada en esta figura, ejercida por un recorrido T transversal. La barra de acoplamiento K reacciona desviándose hacia el lado alrededor del recorrido T transversal. De este modo, debe aceptarse un movimiento parasitario en el extremo de la barra de acoplamiento. Sin embargo, cerca de la posición inactiva, el movimiento p parasitario es muy pequeño en relación con el recorrido T transversal y en una primera aproximación es proporcional a la diferencia de 1 menos el ángulo α indicado.
- 10 Cuanto mayor es la distancia entre las dos flexiones FG1 y FG2 de cardán, menor es el ángulo α en el recorrido T transversal indicado y menor es el movimiento p parasitario sobre una desviación a lo largo del recorrido T transversal. Sin embargo, para trazos transversales hasta un máximo de 5 mm, la distancia de las flexiones del cardán en la barra de acoplamiento K puede ascender a unos 10 cm, sin que el movimiento parasitario influya demasiado en las desviaciones perturbadas por el movimiento parasitario. En vista de estas proporciones, el movimiento parasitario es menor que (1-95%) del recorrido transversal para una acción de cizallamiento desde el estado inactivo. Dado 5 mm para T como el recorrido transversal máximo, el movimiento p parasitario es de aproximadamente 2.5 mm y se compensa con un movimiento en otros accionadores. Sin embargo, si solo se requieren pequeñas acciones de unos pocos μm en el elemento óptico/muestra, el movimiento parasitario se vuelve insignificante y, por lo tanto, no se requiere ningún movimiento de compensación de los otros accionadores.
- 15
- 20 La figura 6 muestra finalmente un diagrama esquemático de los accionadores que actúan en la presente invención, con los accionadores mostrados exclusivamente como accionadores traslacionales. La figura 6 debe leerse en conexión con la tabla a continuación.

Traslación/rotación	X1	X2	Z1	Z2	Z3	Y
Trasl. -X	+1	+1				
Trasl. -Y						(+1)
Trasl. -Z			+1	+1	+1	
Rot. -x			+1	+1	-1	
Rot. -y			-1	+1		
Rot. -z	-1	+1				

- 25 Para un movimiento traslacional en las direcciones X, Y y Z, es necesario,
- para un movimiento en dirección X (Transl. -X), es necesario mover los accionadores X1 y X2 en la misma dirección (ambos +1),
 - para un movimiento en la dirección Y (Transl. -Y), es necesario mover el accionador Y solo (+1), mientras que este accionador tendría solo un impacto muy pequeño en la trayectoria del haz,
- 30 - para un movimiento en la dirección Z (Transl. -Z), es necesario mover los accionadores Z1, Z2 y Z3 en la misma dirección (todos +1),
- para una rotación alrededor de x (Rot. -x), es necesario mover el par de accionadores Z (que consta del accionador Z1 y Z2) en la misma dirección y el accionador Z3 en la dirección opuesta,
 - para una rotación alrededor de y (Rot. -y), es necesario mover el par de accionadores Z (que consta del accionador Z1 y Z2) en direcciones opuestas, y
- 35 - para una rotación alrededor de z (Rot. -z), es necesario mover el par de accionadores X (que consta del accionador X1 y X2) en direcciones opuestas.

Lista de signos de referencia

ES 2 653 554 T3

1	Fuente de radiación electromagnética	K1	Varilla de acoplamiento
		K2	Varilla de acoplamiento
2	Salida de la fuente de radiación electromagnética	K3	Varilla de acoplamiento
3	Sistema de ajuste	K4	Varilla de acoplamiento
3'	Espejo	K5	Varilla de acoplamiento
3"	Cámara de vacío	K6	Varilla de acoplamiento
4	Objetivo	X	Par de accionadores
5	Rejilla	X1	Accionador
6	Abertura	X1'	Accionamiento de husillo
7	Haz	X2	Accionador
8	Base	X2'	Accionamiento de husillo
10	Jaula	Y	Varilla de acoplamiento
A	Ancla	Z	Par de actuadores
E1	Elemento	Z1	Accionador
E2	Elemento	Z2	Accionador
E3	Elemento	Z3	Accionador
FG1	Flexura	S	Trayectoria del haz
FG2	Flexura	SMX1	Motor
K	Varilla de acoplamiento	SMX2	Motor
SMZ1	Motor	STZ2	Accionamiento de husillo
SMZ2	Motor	STZ3	Accionamiento de husillo
SMZ3	Motor	T	Recorrido transversal
STX1	Accionamiento de husillo	p	Movimiento parasitario
STX2	Accionamiento de husillo		
STZ1	Accionamiento de husillo		

Reivindicaciones

1. Sistema de ajuste para alinear elementos ópticos y muestras al vacío (3) para proyectar radiación óptica o electromagnética, que consiste en

- al menos una cámara (3") de vacío,

5 - al menos un espejo (3') ajustable en la dirección espacial, y/o de

- al menos un elemento óptico ajustable en la dirección espacial, y/o de

- al menos una muestra ajustable en dirección espacial,

10 donde en el estado no desviado (estado inactivo) se proporcionan accionadores (X1, X2, Z1, Y, Z2, Z3) traslacionales para ajustar la alineación de al menos un espejo (3') ajustable en la dirección espacial y/o de al menos un elemento óptico ajustable en la dirección espacial o de al menos una muestra ajustable en la dirección espacial en un máximo de tres direcciones (X, Y, Z) espaciales esencialmente mutuamente perpendiculares,

caracterizado porque

15 al menos un espejo (3') ajustable en la dirección espacial (X, Y, Z, x, y, z) y/o el al menos un elemento óptico ajustable en la dirección espacial (X, Y, Z, x, y, z) y/o la muestra dentro de la cámara (3") de vacío está montada en una posición fija en relación con la cámara (3") de vacío,

con la cámara de vacío (3") conectada directa o indirectamente con accionadores (X1, X2, Z1, Z2, Z3) traslacionales para alinear la posición espacial del espejo (3') y/o el elemento óptico o la muestra, con lo cual

los accionadores traslacionales para los tres grados de libertad traslacionales no actúan sobre el objeto a ajustar de tal forma que los tres formen un punto de intersección conjunto, pero se establece que

20 los accionadores (X1, X2, Z1, Z2) actúan en las esquinas de un ortoedro imaginario, cuyo volumen retiene el espejo (3') y/o el elemento óptico y/o la muestra a ajustar, aunque encerrado en la cámara de vacío (3"), con lo cual

para cambiar la orientación espacial del espejo (3'), el elemento óptico y/o la muestra en relación con la radiación electromagnética, estos se alinean junto con toda la cámara de vacío, por lo que los accionadores (X1, X2, Z1, Z2) actúan desde el exterior en la cámara de vacío.

25 2. Sistema de ajuste para alinear elementos ópticos y muestras en vacío según la reivindicación 1,

caracterizado porque

los accionadores (X1, X2, Z1, Z2, Z3) traslacionales están conectados mediante flexiones (FG) con la cámara (3") de vacío.

3. Sistema de ajuste para alinear elementos ópticos y muestras en vacío de acuerdo con la reivindicación 2,

30 caracterizado porque

los accionadores (X1, X2, Z1, Z2, Z3) traslacionales tienen barras (K1, K2, K3, K4, K5) de acoplamiento con dos flexiones (FG) de cardán cada uno y están conectados a través de ellos con la cámara (3") de vacío.

4. Sistema de ajuste para alinear elementos ópticos y muestras en vacío de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 3,

35 caracterizado porque

para una primera alineación traslacional (X) y una primera alineación rotacional (z) se proporciona un primer par (X) de accionadores (X1, X2) traslacionales que en el estado no desviado (estado inactivo) son esencialmente paralelos entre sí, y

40 para una segunda alineación traslacional (Z) y una segunda alineación rotacional (y), se proporciona un segundo par (Z) de otros accionadores (Z1, Z2) traslacionales que en el estado no desviado (estado inactivo) son esencialmente paralelos entre sí,

con la dirección espacial del primer par (X) hacia la dirección espacial del segundo par (Z) en el estado no desviado (estado inactivo) que está esencialmente alineado perpendicularmente,

y

para una tercera alineación (x) rotacional se proporciona otro accionador (Z3) traslacional,

con su dirección espacial en el estado no desviado (estado inactivo) que es esencialmente paralelo al segundo (Z) par de dirección espacial, y

5 con los ejes de un máximo de dos accionadores (X2, Z1) formando un punto de intersección conjunto.

5. Sistema de ajuste para alinear elementos ópticos y muestras en vacío de acuerdo con la reivindicación 4, caracterizado porque

10 como sexto elemento, se proporciona un accionador (Y) traslacional, que está conectado con un punto fijo de espacio (A) aproximadamente en el medio de la proyección plana, que está limitado por los ejes traslacionales de los dos pares de accionadores (X, Z), con la dirección espacial del eje traslacional de este elemento en el estado no desviado (estado inactivo) esencialmente alineados perpendicularmente a la alineación de los dos pares de accionadores (X, Z).

6. Sistema de ajuste para alinear elementos ópticos y muestras en vacío de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 5,

15 caracterizado porque

el espejo (3') o el elemento óptico está dispuesto dentro de la cámara (3'') de vacío y es ajustable en la dirección espacial junto con la cámara (3'') de vacío.

7. Sistema de ajuste para alinear elementos ópticos y muestras en vacío de acuerdo con una de las reivindicaciones 2 a 6,

20 caracterizado porque

los accionadores (X1, X2, Z1, Z2, Z3) consisten cada uno en un accionamiento de husillo (STX1, STX2, STZ1, STZ2, STZ3) que se acciona a través de una caja de engranajes con un motor (SMX1, SMX2, SMZ1, SMZ2, SMZ3) y que transfiere sus posiciones a través de al menos una flexión (FG) cada una a la posición de la cámara (3'') de vacío.

25 8. Sistema de ajuste para alinear elementos ópticos y muestras en vacío de acuerdo con una de las reivindicaciones 3 a 7,

caracterizado porque

las barras (K1, K2, K3, K4, K5 y K6) de acoplamiento con al menos una flexión (FG) tienen una longitud máxima de 30 cm.

30 9. Sistema de ajuste para alinear elementos ópticos y muestras en vacío de acuerdo con la reivindicación 8,

caracterizado porque

los accionadores (X1, X2, Z1, Z2, Z3) están alojados en una base (8) de gran masa de entre 100 kg y 3 t.

Fig. 1

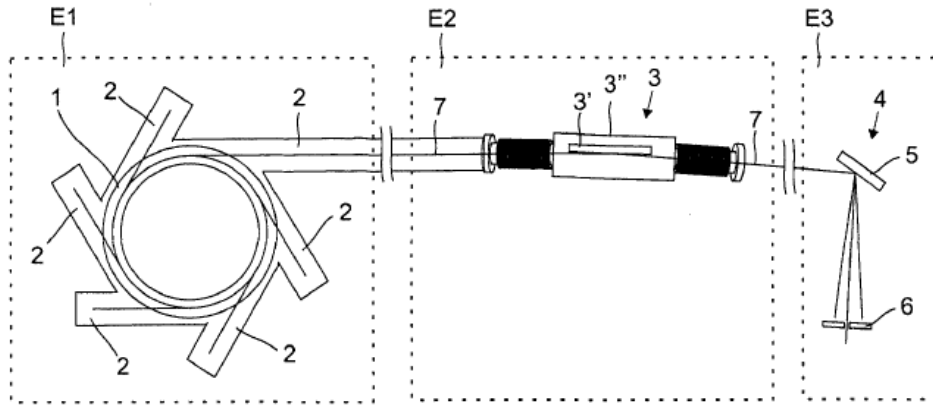


Fig. 1'

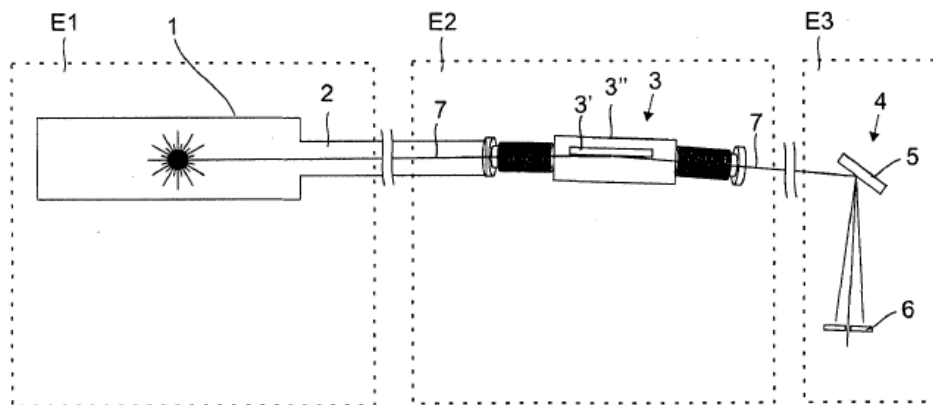


Fig. 1''

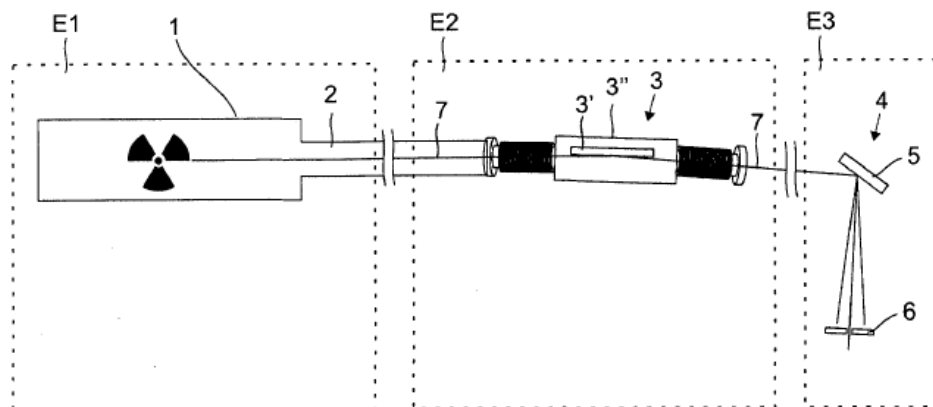


Fig. 2

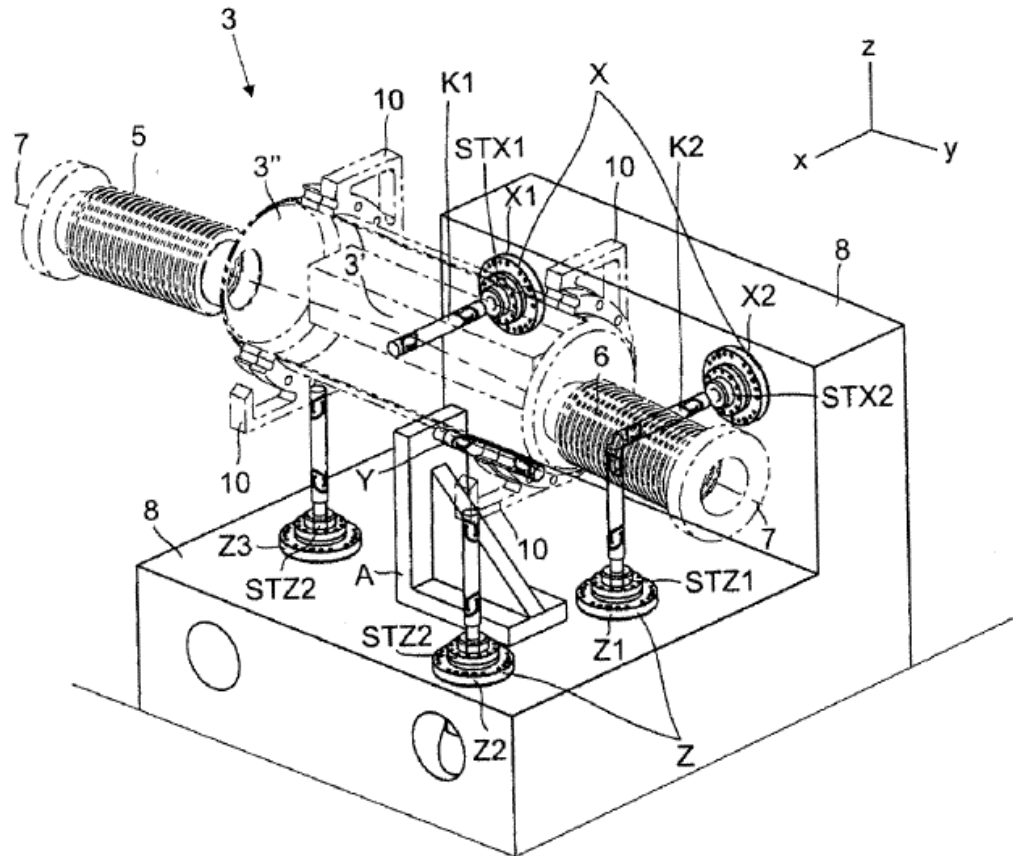


Fig. 3

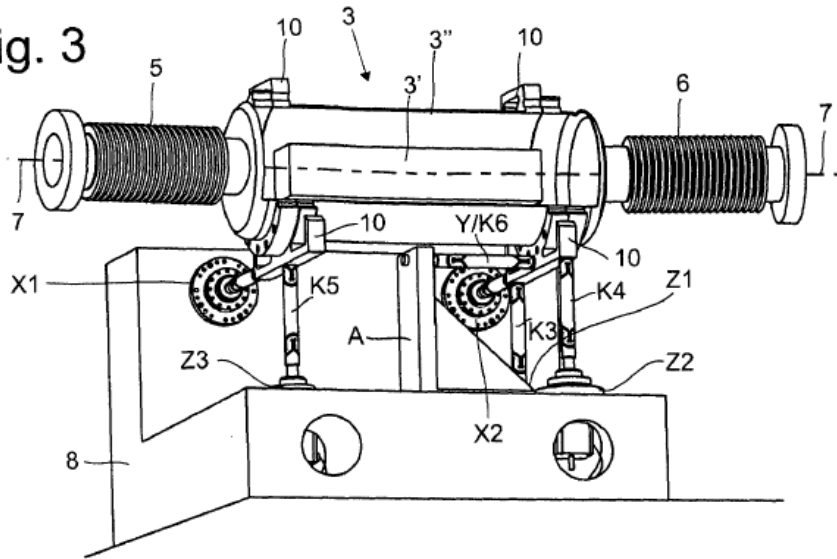


Fig. 4

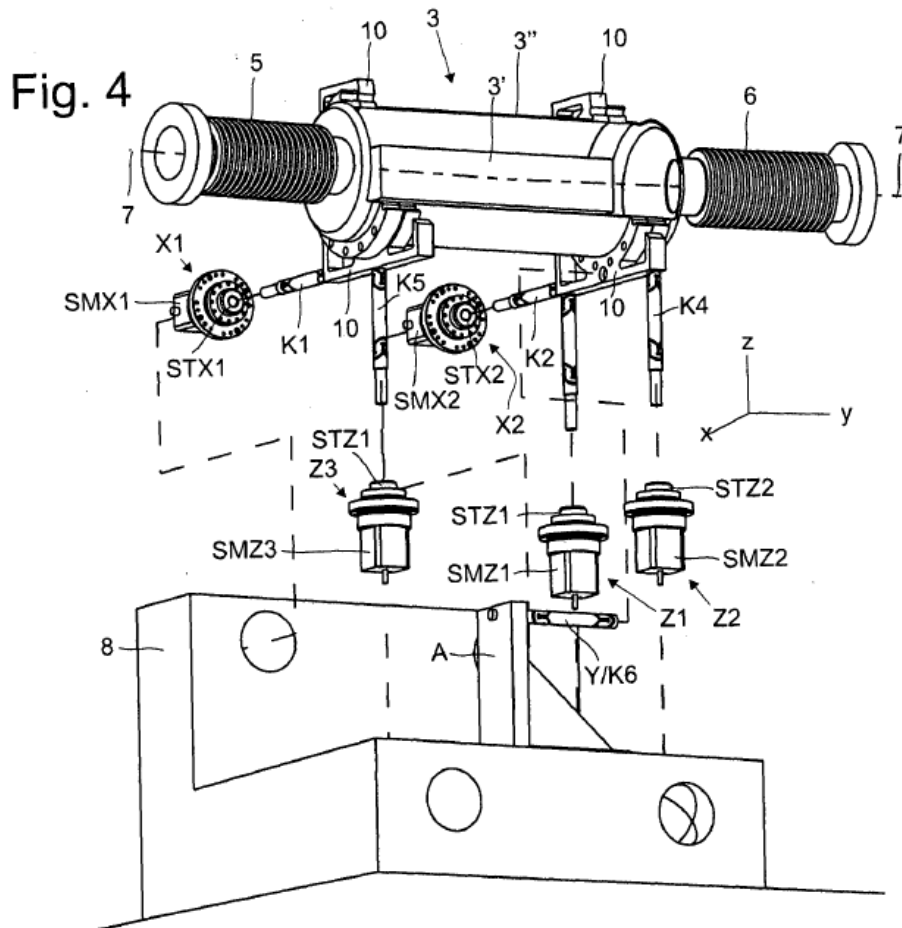


Fig. 5

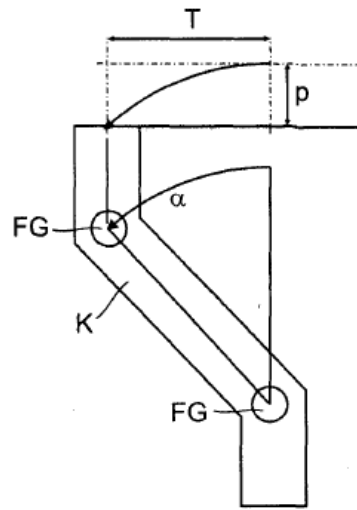


Fig. 6

