

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 642 836**

51 Int. Cl.:

**G01R 31/26** (2014.01)

**G01R 27/26** (2006.01)

**G01N 22/00** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **10.08.2005 PCT/US2005/028254**

87 Fecha y número de publicación internacional: **14.07.2017 WO06020631**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **10.08.2005 E 05779739 (1)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **12.07.2017 EP 1779124**

54 Título: **Dispositivo y sistema de tratamiento para la medición de la movilidad y la densidad de carga laminar en materiales laminares conductores**

30 Prioridad:

**11.08.2004 US 915877**  
**09.03.2005 US 659847 P**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:  
**20.11.2017**

73 Titular/es:

**LEHIGHTON ELECTRONICS INC. (100.0%)**  
**P.O. BOX 328**  
**LEHIGHTON, PA 18325-0328, US**

72 Inventor/es:

**BLEW, AUSTIN, R.;**  
**BRONKO, MICHAEL, W.;**  
**MURPHY, STEVEN, C.;**  
**NGUYEN, DANH;**  
**EBERHARDT, NIKOLAI;**  
**LICINI, JEROME, C. y**  
**ZUIDERVLIIET, WILLIAM**

74 Agente/Representante:

**CARPINTERO LÓPEZ, Mario**

ES 2 642 836 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

Dispositivo y sistema de tratamiento para la medición de la movilidad y la densidad de carga laminar en materiales laminares conductores

5 La presente invención versa sobre la medición y la representación no destructivas de materiales, usando microondas en la medición de la densidad y la movilidad de carga laminar y de la resistencia laminar en obleas semiconductoras y en dispositivos de visualización de panel plano.

10 Los instrumentos existentes que emplean microondas en la medición de la resistencia laminar en obleas de GaAs emplean una configuración de guíaondas en la banda X con una impedancia característica de 300 ohmios que no permite una medición precisa de las obleas con capas de revestimiento delgadas. Tales instrumentos se presentan en la patente estadounidense nº 4.605.893, de Norman Braslau. Una desventaja de estos instrumentos es una incapacidad de medir por separado las propiedades de múltiples capas conductoras en obleas que contienen tales capas; por ejemplo, una oblea de transistores de alta movilidad de electrones (HEMT), que contiene una capa bidimensional (2D) de canales y una capa de revestimiento. Por lo tanto, hay que medir la resistencia y la movilidad laminar a temperaturas por debajo de 300 grados Kelvin, tal como a 77 grados Kelvin, en tales sistemas existentes para aumentar la movilidad de la capa de canales con respecto a la conductancia de la capa de revestimiento. Estos instrumentos también requieren complicados procedimientos de calibración. El documento WO 02/090922 A2 da a conocer un módulo fuente de microondas que proporciona radiación de microondas a una frecuencia de 10 GHz y que está conectado a través de un acoplador a un ramal lateral y a un ramal principal con un ajuste de guíaondas circular para fijar la posición vertical position del guíaondas con una montura para sujetar una muestra de material de ensayo.

También se conocen técnicas destructivas para la medición de la resistencia y la movilidad laminares. Sin embargo, tales técnicas dañan necesariamente las obleas u otro material que se estén midiendo.

25 Un dispositivo para la medición no destructiva de la movilidad y la densidad de carga laminar en materiales laminares incluye una fuente de microondas, un guíaondas circular configurado para transmitir microondas recibidas de la fuente de microondas a un material laminar conductor, tal como una oblea semiconductoras o un dispositivo de visualización de panel plano, un primer detector para recibir la potencia directa de microondas, un segundo detector para detectar la potencia de microondas reflejada desde el material, y un tercer detector para detectar la potencia de efecto Hall. Un guíaondas circular, que tiene solo el modo  $TE_{11}$ , está terminado por la oblea detrás de la cual hay situado un corto a una distancia de una longitud de onda de  $\frac{1}{4}$ . Se aplica un campo magnético variable perpendicular al plano de la oblea (y a lo largo del eje del guíaondas). En esta configuración, una onda  $TE_{11}$  incidente dada causará dos ondas reflejadas. Una es la onda reflejada ordinaria en la misma polarización que la incidente. Esta es usada para medir la resistencia laminar. La otra onda reflejada está causada por el efecto Hall. Su polarización es perpendicular a la anterior onda y esta puede ser detectada por separado con una sonda debidamente configurada.

35 Un dispositivo (reivindicación 1) para la medición de la movilidad y la densidad de carga laminar en materiales laminares conductores incluye una fuente de microondas; un guíaondas circular situado para recibir una potencia de microondas de la fuente de microondas; una montura adaptada para colocar un elemento de material laminar en un emplazamiento de medición para recibir potencia de microondas transmitida desde el guíaondas circular; un imán situado para inducir un campo magnético en el emplazamiento de medición; un primer detector situado para detectar la potencia de la fuente de potencia de microondas; un segundo detector situado para detectar la potencia de la potencia de microondas reflejada desde un elemento de material laminar en el emplazamiento de medición; y un tercer detector situado para detectar la potencia de microondas de efecto Hall. Puede proporcionarse un cuarto detector para detectar la intensidad del campo magnético en el emplazamiento de medición. La montura puede tener una superficie y un disco situados en la montura, teniendo dicho disco una superficie plana rebajada con respecto a dicha superficie de la montura, siendo giratorio dicho disco alrededor de un eje sustancialmente perpendicular al plano de dicha superficie plana del disco, y teniendo dicho disco un orificio en el mismo, no siendo coaxial dicho orificio con dicho eje de rotación.

50 Un procedimiento (reivindicación 19) para la medición de la movilidad y la densidad de carga laminar en materiales laminares conductores incluye generar potencia de microondas; transmitir sucesivamente solo el modo  $TE_{11}$  de la potencia de microondas generada a una muestra de material natural; durante la etapa de transmisión, aplicar un campo magnético de intensidades seleccionadas; detectar la intensidad del campo de microondas en una posición directa; detectar la intensidad reflejada del campo de microondas desde cada uno de los cortos conductores y una muestra; detectar la intensidad del campo de microondas de efecto Hall; y, en función de las intensidades del campo de microondas detectadas, calcular valores para la movilidad y la densidad de carga laminar.

55 Se da a conocer un sistema automático de tratamiento para la medición de la movilidad y la densidad de carga laminar en materiales laminares conductores. El sistema puede comprender una fuente de microondas, un guíaondas situado para recibir potencia de microondas de dicha fuente de microondas, y un efector terminal adaptado para colocar un elemento de material laminar en un emplazamiento de medición para recibir la potencia de microondas transmitida desde dicho guíaondas circular. El efector terminal puede ser amovible entre una posición de

ajuste y una posición de ensayo, siendo la posición de ajuste una posición en la que la posición rotacional del elemento de material laminar es ajustable de manera selectiva, y siendo la posición de ensayo la posición en la que puede llevarse a cabo al menos un ensayo sobre el elemento de material laminar usando el guiaondas. El sistema puede comprender, además, un imán situado para inducir un campo magnético en el emplazamiento de ensayo, un primer detector para detectar la potencia de la fuente de potencia de microondas, un segundo detector para detectar la potencia de la potencia de microondas reflejada desde un elemento de material laminar en el emplazamiento de medición, y un tercer detector para detectar la potencia de microondas de efecto Hall.

El sistema automático de tratamiento puede comprender, además, un segundo efector terminal configurado para engranar el elemento de material laminar, y una unidad de resistencia laminar que tiene unas bobinas primera y segunda mutuamente enfrentadas para medir la resistencia laminar del elemento de material laminar, siendo amoviblemente ajustable el segundo efector terminal con respecto a la unidad de resistencia laminar para permitir que la unidad realice una pluralidad de mediciones sobre el elemento de material laminar.

Se da a conocer una montura para el material laminar que comprende un efector terminal para engranar un elemento de material laminar y moverlo a lo largo de un primer eje, estando configurado el efector terminal, además, para ser girado alrededor del primer eje usando un primer servomotor. También hay incluido un rotador-elevador para engranar el elemento de material laminar y moverlo a lo largo de un segundo eje sustancialmente perpendicular a dicho primer eje, estando configurado el rotador-elevador, además, para girar alrededor del segundo eje usando un segundo servomotor, comprendiendo cada uno de dicho primer efector terminal y de dicho rotador-elevador al menos un elemento de vacío para engranar dicho elemento de material laminar. La montura puede comprender, además, una base ajustable que es amovible usando un tercer servomotor, estando montado el efector terminal en la base ajustable para su movimiento con respecto al rotador-elevador.

En las figuras se muestran ejemplos.

La Fig. 1 es un diagrama esquemático de un aparato según un ejemplo de la invención.

La Fig. 2 es un diagrama esquemático de un aparato según un ejemplo de la invención.

La Fig. 3 es una vista de una porción de un aparato según un ejemplo de la invención.

La Fig. 4 es una sección transversal del aparato de la Figura 3.

La Fig. 5 es una vista del aparato.

Las Figuras 5A, 5B y 5C son vistas de un componente del aparato.

La Fig. 6 es un diagrama de flujo del soporte lógico usado según la invención.

La Fig. 7 es una vista en perspectiva de un sistema automático de manipulación de obleas para su uso con el aparato de las Figuras 1-5C.

La Fig. 8 es una vista en perspectiva del sistema de la Fig. 7, unido al aparato de las Figuras 1-5C.

La Fig. 9 es una vista en detalle del sistema de la Fig. 7, que ilustra diversos componentes del sistema.

La Fig. 10 es una vista en detalle de un efector terminal del sistema de la Fig. 7, engranado con un elemento de material laminar.

La Fig. 11 es una vista en detalle del efector terminal de la Fig. 10 en una posición girada.

La Fig. 12 es una vista en detalle del efector terminal y el elemento de material laminar de la Fig. 10 en una posición de ensayo.

La Fig. 13 es una vista en detalle del efector terminal y el elemento de material laminar de la Fig. 10 en una posición posterior al ensayo.

La Fig. 14 es una vista en perspectiva del sistema automático de manipulación de obleas de la Fig. 7, que incluye un subsistema de resistencia laminar.

La Fig. 15 es una vista en detalle del subsistema de resistencia laminar de la Fig. 14.

La Fig. 16 es una vista en detalle de un módulo de resistencia laminar del subsistema de la Fig. 14.

La Fig. 17 es una vista en detalle de un efector terminal del subsistema de resistencia laminar de la Fig. 14 engranado con un elemento de material laminar que ha de ser sometido a ensayo.

La Fig. 18 es una vista en detalle del efector terminal y el elemento de material laminar de la Fig. 17 configurado en una posición de ensayo dentro del módulo de resistencia laminar.

La Fig. 19 es una vista en detalle del efector terminal y el elemento de material laminar de la Fig. 14 en una posición posterior al ensayo.

### **Descripción detallada**

La presente invención incluye un aparato y un procedimiento para la medición de la resistencia laminar y la densidad de carga laminar en materiales semiconductores. El dispositivo incluye una fuente de microondas, que tiene una salida acoplada a una configuración de guiaondas en la que se desvía una pequeña cantidad de la onda incidente, y la mayor parte de la onda incidente es transmitida a lo largo de un ramal principal. El ramal principal está acoplado a un guiaondas circular. El guiaondas circular transmite únicamente el modo  $TE_{11}$  (eléctrico transversal 1, 1) de la potencia de microondas. El guiaondas circular recibe potencia en una interfaz, y emite potencia a una región de ensayo que tiene una montura para soportar ya sea un elemento conductor de ensayo, tal como un corto o una oblea u otro elemento laminar conductor que haya de ser sometido a ensayo. Se proporciona un imán para aplicar un campo magnético en la región de ensayo. Se detectan al menos cuatro valores en el cálculo de la resistencia

laminar y de la densidad de carga laminar en un procedimiento y un aparato de la invención. Se proporciona un detector para detectar la potencia total de la emisión de microondas. Se proporciona un segundo detector para detectar la intensidad de una onda convencional reflejada con la misma polarización que la onda incidente. Se proporciona un tercer detector para detectar una segunda onda reflejada que tiene una polarización opuesta a la de la onda incidente. Preferentemente, se proporciona una sonda de efecto Hall para detectar esta onda reflejada rotada, sonda que está eléctricamente acoplada a un acoplador direccional. La porción desviada de la onda incidente, después de atravesar un atenuador variable y un desfasador variable, también se acopla a este acoplador direccional de Hall para eliminar, mediante interferencias destructoras, cualquier señal incidente espuria en dicho detector. El acoplador direccional de Hall se acopla entonces a un detector. Un cuarto detector detecta la intensidad del campo magnético.

Las Figuras 1 y 2 representan esquemáticamente los componentes de un aparato 10 según la invención. El aparato 10 incluye el módulo fuente 15 de microondas, que puede proporcionar microondas que tienen una frecuencia de aproximadamente 10 GHz, aunque puedan emplearse otras frecuencias. Por ejemplo, pueden emplearse frecuencias más elevadas para permitir una menor área de medición en la oblea u otro elemento que esté siendo sometido a ensayo. El módulo fuente 15 puede incluir, por ejemplo, un diodo Gunn, y pueden emplearse otras fuentes. El módulo fuente 15 incluye la fuente 16 de microondas, tal como un diodo Gunn que esté acoplado a medios para desviar una pequeña porción de la potencia directa a un ramal lateral, o ramal de atenuación y fase. El medio para desviar una pequeña porción de la potencia directa a un ramal lateral puede ser un acoplador 21. El acoplador 21 puede ser, por ejemplo, un acoplador de guía transversal, y, más específicamente, a título de ejemplo, puede ser un acoplador de guía transversal de 20dB o un acoplador direccional. El acoplador direccional 21 está acoplado al ramal lateral 22, presentado posteriormente. La mayoría de la emisión de potencia de la fuente 16 está acoplada, a través del acoplador 21, a un segundo acoplador direccional 210. El segundo acoplador direccional 210 proporciona una porción de la potencia al detector 18 de potencia directa. El segundo acoplador direccional 210 puede ser un acoplador de 10dB. El segundo acoplador direccional 210 emite la mayoría de la potencia a través de un guíaondas, hacia el aislador 17. El aislador 17 puede ser convencional o de cualquier otro diseño adecuado para impedir que la potencia de otras partes del aparato 10 entre en la fuente 15. Puede usarse un segundo aislador en serie con el aislador 17.

El desvío de una porción de la potencia directa al ramal lateral 22 se usa para equilibrar debidamente la sonda de efecto Hall a cero en ausencia de un campo magnético aplicado. El ramal lateral 22 tiene un solo atenuador variable 35 controlador por ordenador y un desfasador variable 40 controlador por ordenador para producir una señal muy pequeña de la debida fase que puede ser usada para hacer una correlación ultrafina al poner a cero la sonda de efecto Hall en ausencia de un campo magnético. Dado que el atenuador variable 35 y el desfasador variable 40 están preferentemente controlados por ordenador, se facilitan los ajustes. Se entenderá que, en principio, el atenuador variable y el desfasador podrían ser manualmente ajustables.

La salida principal del acoplador 21 se denominará ramal principal 24. Preferentemente, el ramal principal 24 tiene un guíaondas para la transmisión de potencia de microondas a la transición 25. El ramal principal 24 puede incluir un guíaondas rectangular convencional 20. Según se muestra en la Fig. 2, en el ramal principal 24 se muestra el detector 23 de potencia reflejada. El detector 23 de potencia reflejada detecta la potencia de microondas que es transmitida desde la transición 25 hacia la fuente 15. El detector 23 de potencia reflejada detecta la potencia reflejada desde elementos de ensayo nuevamente hacia el ramal principal 24. El acoplador direccional 220, en el ramal principal 24 y acoplado a la fuente 15 y a la transición 25, dirige la potencia reflejada del ramal principal 24 al detector 23 de potencia reflejada.

Según se ha hecho notar en lo que antecede, se proporciona un guíaondas circular situado para recibir potencia de microondas desde la fuente 15. Específicamente, el guíaondas circular 50 está acoplado con la fuente 15 a través del acoplador 21 y del ramal principal 24. Hay un guíaondas rectangular convencional 20 acoplado mediante una transición adaptada 25 en el guíaondas circular 50. El guíaondas circular 50 es un guíaondas cilíndrico con una sección transversal circular. El guíaondas circular 50 transmite solo el modo  $TE_{11}$  de la potencia. La interfaz 25 del guíaondas circular está acoplada al guíaondas circular 50, mostrado, por ejemplo, en la Figura 2. El acoplamiento del guíaondas circular 50 con el guíaondas convencional 20 debe ser calibrado cuidadosamente para minimizar la reflexión y la pérdida de intensidad de la señal. A continuación, se expone el procedimiento de calibración. El guíaondas circular 50 está montado en la interfaz 25 perpendicular al eje mayor del guíaondas convencional 20. La calibración puede efectuarse mediante el ajuste de la posición del guíaondas circular 25 a lo largo de su eje mayor con respecto a la interfaz 25. En una realización, el guíaondas circular 50 está montado en la interfaz 25. Se proporciona un ajuste 55 del guíaondas circular en forma de un mango que rota el guíaondas circular 50, para que pueda ajustarse la posición rotacional del guíaondas circular 50.

Se proporciona una montura 60 para sujetar una muestra de material laminar en un emplazamiento de medición en el que se recibe la potencia de microondas transmitida desde el guíaondas circular 50. La muestra puede ser una oblea u otro material semiconductor 59 de ensayo. Se proporciona un corto móvil 65 en el lado opuesto de la oblea u otro material desde la abertura del guíaondas circular 50. El corto móvil 65 será colocado a una longitud de onda de  $\frac{1}{4}$  desde la oblea u otro material. El corto móvil 65 puede tener la forma de una clavija metálica pulida. El corto móvil 65 se monta en la montura 60, que puede tener la forma de un plato de vacuosujeción. La montura 60 está adaptada

para sujetar una oblea u otro material en forma de lámina en un extremo del guiaondas circular 50 opuesto a la interfaz 25. Se proporciona el corte móvil 65 dentro de la montura 60 y es capaz de ser situado con precisión. La montura 60 puede moverse con respecto al guiaondas circular 50 para ajustar el espacio entre el guiaondas 50 y el corto móvil 65.

5 Hay situado un detector, el detector 18 de potencia directa, en el módulo fuente 15 para detectar la potencia directa. Según se ha hecho notar anteriormente, un acoplador direccional 220 está situado en el ramal principal 24 para dirigir la potencia reflejada de microondas to detector 23. La potencia reflejada detectada por el detector 23 tiene la misma polarización que la potencia directa de microondas. La sonda 70 de Hall está insertada en el guiaondas circular 50 situada para detectar la potencia de microondas de efecto Hall reflejada desde material colocado en el plato de vacuosujeción. La sonda 70 de Hall puede estar situada en diversas posiciones dentro del guiaondas circular 50. La potencia de efecto Hall tiene una polarización perpendicular a la polarización de la onda incidente. Según se expresa posteriormente, el proceso de calibración y puesta a punto permite que el detector 95 de Hall detecte únicamente la potencia de efecto Hall.

15 La sonda 70 de Hall se acopla a través de la línea coaxial 75 a una entrada del acoplador direccional 80. El acoplador direccional 80 puede ser un acoplador direccional de 20 dB. La salida del ramal 22, después de atravesar el módulo atenuador y el desfaseador variable, se conecta a una entrada del acoplador direccional 80. La salida del acoplador direccional 80 se acopla al detector 95 de Hall. El proceso de calibración, según se describe posteriormente, permite que el detector 95 de Hall detecte únicamente la potencia que tenga una polarización perpendicular a la de la potencia directa. Esta potencia detectada por el detector 95 de Hall es, así, potencia de efecto Hall reflejada desde una muestra.

20 Ahora se describirán detalles de una realización ejemplar de la transición, del guiaondas circular y de la montura. La Figura 3 es una vista isométrica, con un recorte parcial, de la interfaz 25. La Figura 4 es una vista en sección a lo largo de la línea 4-4 de la Fig. 3. La interfaz 25 tiene una cámara rectangular primaria 100 acoplada en un extremo de la misma al guiaondas convencional 20. En un lado superior de la rectangular 100 se proporciona una abertura a la que está unido el guiaondas circular 50. Interior a la interfaz 25, frente al guiaondas convencional 20, se proporciona un tope 115 de haz que llena por completo una abertura y que tiene una cara ahusada, preferentemente con un ángulo de 30 grados con respecto a la vertical, en 120. Se apreciará que la interfaz 25 puede ser modificada por los expertos en la técnica mediante diseños alternativos para minimizar la reflexión y la pérdida en la interfaz entre el guiaondas circular 50 y el guiaondas convencional 20. En las Figuras 3-4 puede verse que el guiaondas circular 50 incluye un reborde 107 de la sonda en un extremo superior de la misma que tiene en él una abertura para una sonda en 110. En 110 puede insertarse una sonda de Hall.

25 La Figura 5 es una vista lateral que representa una disposición ejemplar que incluye el guiaondas circular 50, el soporte o montura 60, y soporte físico ejemplar relacionado. El soporte o montura 60 sirve para colocar un elemento de material laminar para recibir potencia de microondas del guiaondas circular 50. Se muestra al guiaondas convencional 20 acoplado a la interfaz 25. La interfaz 25 es mostrada acoplada al guiaondas circular 50. El reborde 107 de la sonda, situado en un extremo del guiaondas circular 50 frente al acoplamiento a la interfaz 25, está frente al soporte 60, en la forma de un plato de vacuosujeción. El plato 60 de vacuosujeción está soportado por un brazo, que es un soporte 62 de plato. El soporte 62 de plato está soportado por tornillos ajustables 121, 122, permitiendo con ello es ajuste de la posición del plato 60 de vacuosujeción en dos ejes. Los tornillos 121, 122 están soportados en el puente 124, el cual está montado, a su vez, de forma ajustable, según se muestra en 125, 126. Se puede proporcionar el muelle 123 en el tornillo 122 para reducir la transferencia de cualquier vibración en el puente 124. Se entenderá que pueden emplearse otras configuraciones para la colocación del soporte 60 con respecto al guiaondas circular 50.

35 La Figura 5 es una vista lateral que representa una disposición ejemplar que incluye el guiaondas circular 50, el soporte o montura 60, y soporte físico ejemplar relacionado. El soporte o montura 60 sirve para colocar un elemento de material laminar para recibir potencia de microondas del guiaondas circular 50. Se muestra al guiaondas convencional 20 acoplado a la interfaz 25. La interfaz 25 es mostrada acoplada al guiaondas circular 50. El reborde 107 de la sonda, situado en un extremo del guiaondas circular 50 frente al acoplamiento a la interfaz 25, está frente al soporte 60, en la forma de un plato de vacuosujeción. El plato 60 de vacuosujeción está soportado por un brazo, que es un soporte 62 de plato. El soporte 62 de plato está soportado por tornillos ajustables 121, 122, permitiendo con ello es ajuste de la posición del plato 60 de vacuosujeción en dos ejes. Los tornillos 121, 122 están soportados en el puente 124, el cual está montado, a su vez, de forma ajustable, según se muestra en 125, 126. Se puede proporcionar el muelle 123 en el tornillo 122 para reducir la transferencia de cualquier vibración en el puente 124. Se entenderá que pueden emplearse otras configuraciones para la colocación del soporte 60 con respecto al guiaondas circular 50.

40 Con referencia a la Fig. 5A, se muestra un ejemplo de soporte. En este ejemplo, un accesorio 500 de posicionamiento está montado de forma giratoria en una base 502. El accesorio 500 tiene en el mismo un disco giratorio 504 con un orificio cilíndrico pasante situado descentrado. El disco 504 puede ser descrito como un disco excéntrico en el accesorio 500. Más en particular, el accesorio 500 tiene una superficie, que es generalmente plana, y el disco 504 tiene una superficie 505 que puede ser plana y estar elevada de la superficie 501 de la montura. La superficie 501 de la montura y la superficie 505 del disco pueden ser paralelas. El disco 504 es giratorio alrededor de un eje sustancialmente perpendicular al plano de la superficie 501 de la montura. El orificio 506, que puede definir un cilindro circular recto, no es coaxial con el eje de rotación del disco 504. La rotación del disco 504 ajusta la posición del orificio 506 con respecto a la base 502, permitiendo efectivamente el ajuste del orificio 506 en la dirección vertical. El orificio 506 define la porción de una oblea u otro material fijado en el accesorio 500 expuesto a la salida del guiaondas circular 50. La rotación del disco 504 permite el ajuste vertical, que, combinado con el ajuste horizontal usando el tornillo 520 según se describe posteriormente, permite el alineamiento con el guiaondas 50. El accesorio 500 puede ser un accesorio de vacío o plato de vacuosujeción, que tiene una cámara interior a baja presión y pequeños orificios en la misma para fijar el material en el accesorio. Pueden realizarse conexiones a una bomba a través de una toma en 507. Puede emplearse el mango 510 para poner el accesorio 500 en su posición y sacarlo de la misma.

El accesorio 500 está montado de manera giratoria en la base 502 mediante un tornillo fijador 520 que presiona en un árbol que se extiende atravesando orificios en monturas elevadas 522, 524, que están rígidamente fijadas a la base 502. Un cojinete de empuje y un muelle de compresión en la montura 524 mantienen el accesorio 500 en su sitio. El tornillo 520 se acopla en un orificio roscado en la montura 522, para que la rotación del tornillo 520 mueva el árbol, permitiendo con ello el ajuste de precisión de la posición de la colocación del accesorio en un eje horizontal. En operación, la posición del accesorio se ajusta mediante el ajuste tanto del tornillo 520 como del disco giratorio 504 hasta que el accesorio esté debidamente situado. El accesorio 500 puede ser bloqueado entonces en su sitio. El brazo 530, también fijado rígidamente a la base 502, impide la rotación del accesorio 500 más allá de un punto predefinido. Una superficie cóncava aproximadamente semicilíndrica definida en el dedo 532 del brazo 530 recibe un mando cilíndrico 507 en un borde del accesorio 500. Con referencia a la Fig. 5B, se muestra el accesorio 500 en una posición cerrada u operativa desde el lado opuesto.

Con referencia a la Fig. 5C, la base 502 está dividida en una porción estacionaria 540 y una porción amovible 542, en la que se monta el accesorio 500. La porción amovible 542 es amovible con respecto a la porción estacionaria 540 perpendicular al eje del tornillo 520, permitiendo con ello el ajuste de la posición del accesorio 500 para ajustar el espacio entre el accesorio 500 (y, por ende, de cualquier muestra montada en el mismo) y la abertura de guías circular 50. En esta realización, surcos 543 y raíles 544 coincidentes, y pasadores 548 y orificios 549 coincidentes, permiten el ajuste de la porción amovible 542 solamente en una dirección. Un pasador roscado 550 tiene una cabeza 551 que se acopla con una superficie de la porción amovible 542; el cuerpo 552 del pasador 550 atraviesa un orificio liso 554 en la porción amovible 542 y se acopla con un orificio roscado 556 en la porción estacionaria 540. Se mantiene una separación constante, además, proporcionando un dispositivo para empujar a la porción amovible 542 hasta la separación máxima permitida por la posición del pasador 550. Se muestra un ejemplo como el muelle helicoidal 558, que se acopla en las superficies de la porción amovible 542 y de la porción estacionaria 540. Puede emplearse cualquier sustituto adecuado para el muelle helicoidal 558.

Con referencia nuevamente a la Fig. 5, la Figura 5 también muestra en general la posición del imán 130, que proporciona el campo magnético necesario. El campo magnético se aplica perpendicular al plano de la oblea u otra muestra y a lo largo del eje mayor del guíaondas circular 50. El diseño de uno o más imanes adecuados para proporcionar la intensidad deseada del campo magnético está dentro del nivel de un dominio normal de la técnica. Según se hace notar posteriormente, en un ejemplo, la intensidad del campo magnético en la oblea u otro elemento colocado en el soporte es, idealmente, de hasta 1 tesla o mayor, si es necesario.

Ahora se expondrán la calibración y el funcionamiento del aparato. Todo este proceso puede ser llevado a cabo a temperatura ambiente. Se entiende que la temperatura ambiente incluye un intervalo de temperaturas en las que los seres humanos pueden trabajar con comodidad. La temperatura ambiente excluye las temperaturas bajas, tales como la temperatura de ebullición del nitrógeno líquido a presión atmosférica. Preferentemente, los medidores de potencia están conectados al cable del detector de Hall, a una entrada o emplazamiento de potencia directa y a un emplazamiento de potencia reflejada. Se proporciona un magnetómetro para medir la intensidad del campo magnético. Preferentemente, se usan medidores comerciales con comunicaciones de bus RS232 o IEEE 488. En el plato de vacuosujeción se sitúa y se posiciona un corto 58, tal como una placa de PC recubierta de cobre chapada en oro. Se aumenta al máximo el ajuste 35 de atenuación controlado por ordenador. La posición del guíaondas circular 50 se ajusta para obtener una potencia mínima en el detector 95 de Hall. Mientras se monitoriza el medidor de potencia del detector de Hall, se ajusta entonces el ajuste 35 de atenuación controlado por ordenador, preferentemente de manera automática usando el soporte lógico informático, para llevar la potencia detectada a un mínimo. A continuación, se regula el ajuste 40 de fase controlado por ordenador, preferentemente de forma automática usando el soporte lógico informático, para obtener un mínimo de la potencia de Hall detectada. El ajuste de la atenuación y el ajuste de fase son regulados automáticamente usando el soporte lógico informático para obtener un mínimo aquí. Se registran la potencia del detector Hall, la potencia del detector directo y la potencia del detector reflejado. Se quita el corto y se lo sustituye con la muestra que ha de ser sometida a ensayo. Se regula el corto ajuste 65 de puesta a punto de la posición del plato de vacuosujeción para obtener una potencia reflejada mínima. El ajuste 55 del guíaondas circular, el ajuste 35 de la atenuación y el ajuste 40 de fase se regulan todos para un mínimo en el detector Hall. A continuación, se registran las tres potencias para un campo magnético nulo, y después, sucesivamente, a intensidades del campo magnético incrementalmente mayores. La intensidad del campo varía de 0 a  $9 \times 10^{-4}$  T como mínimo. Preferentemente, se varía el campo magnético automáticamente usando un soporte lógico informático que controla la alimentación eléctrica del imán para obtener el campo magnético deseado. En principio, con desarrollos adicionales, podrían usarse intensidades del campo magnético significativamente menores según el procedimiento. El número de valores del campo magnético y la separación entre los valores del campo magnético pueden ser optimizados para maximizar la precisión del análisis.

Acto seguido, los datos son interpretados para obtener lecturas de movilidad, densidad de carga laminar y resistencia laminar. Con referencia a la Figura 6, se proporciona una visión general del soporte lógico. El soporte lógico puede ser escrito para un ordenador personal que use un chip Intel Pentium o uno compatible como procesador, y los sistemas operativos DOS o Windows. El sistema de soporte físico descrito anteriormente está indicado en general por el bloque 600. El primer módulo, 605, es un módulo de adquisición y control de señales. Este módulo recibe señales de los detectores en el aparato descrito anteriormente y controla el desfaseador variable y el módulo atenuador, así como el imán. Las señales recibidas son: detección de la potencia de Hall; detección de

la potencia directa del corto de Cu y la oblea; detección de la potencia reflejada del corto de Cu y la oblea; y detección de la intensidad del campo magnético. Se hace que esas señales atraviesen amplificadores de potencia y/o receptores superheterodinos hasta convertidores analógico-digital, y el módulo 605 obtiene valores de la salida digital. Una vez que estas señales son adquiridas, los correspondientes valores de entrada de tensión son pasados al módulo 610 de correlación de señales para su procesamiento ulterior.

El módulo 610 de correlación de señales recibe entradas del módulo 605 de adquisición de señales como tensiones no tratadas de entrada. Estas tensiones son introducidas en algoritmos para obtener valores en unidades IRE correctas. Esta etapa es una correlación sencilla.

La salida del módulo 610 de correlación de señales es recibida por el módulo 615 de transformación. El módulo de transformación convierte la salida en una estructura 625 de ficheros de salida Sigma que luego es leída por el módulo 630 de análisis espectral de movilidad. El fichero de salida Sigma está compuesto de 14 líneas de información general de ensayo, que normalmente incluye el nombre, la fecha e información similar de la muestra, seguido por una línea que contiene el grosor de la muestra, seguido por una línea para cada campo magnético en el que se recogieron datos Hall. Cada una de estas líneas de datos contiene registros separados por tabuladores para el campo magnético, Sigma\_XX, SD\_XX, Sigma\_XY y SD\_XY, siendo SD\_XX y SD\_XY las desviaciones típicas para los valores de Sigma\_XX y Sigma\_XY, respectivamente. Todos los registros están en unidades MKSA, es decir, los grosores en metros, el campo magnético en teslas, y las conductividades en siemens/metro. Se usa este fichero como entrada para el módulo de análisis espectral de la movilidad para obtener los valores finales de movilidad y las densidades de carga laminar. Este módulo se compone de dos bibliotecas informáticas separadas de enlace dinámico, que llevan a cabo diversos cálculos matemáticos para analizar los datos Hall dependientes del campo magnético. Estos módulos leen datos de entrada del fichero de salida Sigma y generan un fichero 635 de salida del espectro de movilidad cuyos picos indican la presencia de tipos diferenciados de portadora y un fichero 640 de ajuste multiportadora que incluye los valores más probables de movilidad y densidad de carga laminar para esos tipos de portadora.

La única manera de encontrar soluciones que sean más precisas o cuantitativas que los picos del espectro de movilidad es restringir el intervalo de las soluciones posibles haciendo suposiciones sobre las portadoras de la muestra. Por ejemplo, la técnica de ajuste multiportadora parte de la premisa explícita de que hay un número fijo de portadoras, cada una con una movilidad diferenciada.

Los cálculos llevados a cabo por el soporte lógico implican los principios siguientes. Cuando se ajusta a la debida distancia el corto de microondas en la parte posterior de la cavidad detrás de la oblea, la relación entre un coeficiente  $\Gamma$  de reflexión de la amplitud, la resistencia laminar de la oblea R, y la impedancia Z del guiaondas circular para el modo TE<sub>11</sub> es:

$$\Gamma = (R - Z) / (R + Z)$$

Se ha descubierto que, para un guiaondas circular de radio 1,045 cm, la impedancia es 697,5 ohmios/cuadrado, que permite una medición precisa de un revestimiento delgado.

Debe determinarse el campo eléctrico de microondas en la oblea. La amplitud del campo eléctrico en diversos ejes —por ejemplo, E<sub>x</sub>— se representa como E<sub>x</sub> = (1 +  $\Gamma$ ) (P<sub>incidente</sub>/A)<sup>1/2</sup> y E<sub>y</sub> = (P<sub>Hall</sub>/A)<sup>1/2</sup>. En la dirección x, la amplitud es la suma de las amplitudes de onda incidente y reflejada o la amplitud de la onda transmitida (estacionaria). Para la dirección y, la única señal de microondas en propagación es la onda de Hall, que es generada en la oblea y detectada en la dirección reflejada. El valor A es una constante, que puede ser determinada por la integración en la sección transversal circular del modo del guiaondas. La conductividad,  $\sigma_{xx}$  o  $\sigma_{xy}$ , dependiendo del eje, puede representarse usando estos valores, como  $\sigma_{xx} = (1/Z) (1 - \Gamma^2 - F^2) / ((1 + \Gamma)^2 + F^2)$ , y como  $\sigma_{xy} = (F / (2Z(1 + \Gamma))) ((1 + \Gamma) (3 - \Gamma) - F^2) / ((1 + \Gamma)^2 + F^2)$ , siendo  $F = E_{y1}^- / E_{x1}^+$ . Hay también un coeficiente constante usado para multiplicar los valores teóricos de F, dado que las corrientes que son localmente perpendiculares al modo TE<sub>11</sub> excitado no se acoplan exactamente con el modo TE<sub>11</sub> ortogonal. La constante puede obtenerse por integración y tiene un valor entre 0 y 1. El anterior análisis supone que los modos adicionales que se generan cerca de la oblea son despreciables. En algunos casos, eso no es válido. Para esos casos, se ha desplegado un análisis multimodal y puede ser usado para determinar Sigma\_XX y Sigma\_XY a partir de las potencias reflejadas de microondas.

Para obtener la movilidad, los resultados de los cálculos anteriores son empleados junto con la intensidad B del campo magnético detectado. Para una especie de portadora en una en una única capa conductora, la movilidad de la portadora está dada por  $\mu = (\sigma_{xy}/B) / \sigma_{xx}$ .

El procedimiento de ajuste multiportadora funciona como sigue: En primer lugar, el programa determina el mejor ajuste para una sola portadora usando el procedimiento Símplex para minimizar la desviación de mínimos cuadrados entre los datos de Hall ajustados y medidos ( $\sigma_{xx}$  y  $\sigma_{xy}$ ). La incertidumbre en cada uno de los datos medidos es usada para ponderar los términos en la suma de mínimos cuadrados y obtener con ello la solución más probable. Las

incertidumbres en la movilidad derivada y la densidad de portadoras son estimadas a partir de los componentes de la matriz hessiana en el mínimo (en la solución).

5 A continuación, el programa determina el mejor ajuste usando dos portadoras. Los valores de partida para el procedimiento Símplex son obtenidos desplazando la portadora única determinada previamente a movilidades ligeramente mayores y menores. El procedimiento Símplex es idéntico al procedimiento para una sola portadora, salvo que ahora hay dos movilidades que variar. Las incertidumbres en los parámetros derivados son determinadas, nuevamente, como en la descripción para una sola portadora. El programa también usa la prueba F de Fisher para estimar la significación de la segunda portadora; es decir, estima si la adición de la segunda portadora mejoró el ajuste lo bastante como para concluir que probablemente exista una segunda portadora. Esta es una característica muy útil, dado que permite al usuario estimar el número de portadoras estadísticamente significativas que están presentes en la muestra. El procedimiento continúa, añadiendo una portadora cada vez y estimando la significación de las portadoras añadidas, hasta que el número de portadoras supere la mitad del número de campos magnéticos, punto en el que termina el procedimiento.

15 A continuación, se presenta un resumen de resultados de ensayo que comparan las técnicas anteriores con las técnicas destructivas conocidas, concretamente la técnica de Hall de CC de campo magnético único con contactos:

TABLA

**SUMARIO DE RESULTADOS DE ENSAYOS pHEMT**

**A – HALL DE CC DE CAMPO MAGNÉTICO ÚNICO CON CONTACTOS**

**B – RF DE CAMPOS MAGNÉTICOS MÚLTIPLES SIN CONTACTOS**

**MUESTRAS pHEMT DE REVESTIMIENTO DELGADO**

	Movilidad de la OBLEA nº 1 en cm <sup>2</sup> /V-s	Carga laminar × E12 portadoras/cm <sup>2</sup>
A	5391	2,67
B	4721	2,848
B	4780	2,837
B	4753	2,859
	4751,3	2,848
DE	24,115	0,00898146
DE%	0,508%	0,315%
	Movilidad de la OBLEA nº 2 en cm <sup>2</sup> /V-s	Carga laminar × E12 portadoras/cm <sup>2</sup>
A	5391	2,67
B	4721	2,831
B	4780	2,852
B	4753	2,827
	4751,3	2,83666667
DE	24,115	0,01096459
DE%	0,508%	0,387%
<b>MUESTRA pHEMT DE REVESTIMIENTO GRUESO</b>		
	Movilidad en cm <sup>2</sup> /V-s	Carga laminar × E12 portadoras/cm <sup>2</sup>
A	7096	2,44
B	7783	1,46

20 Puede proporcionarse soporte lógico de análisis para ser usado en mediciones no destructivas sin contactos de obleas completas semiconductoras o materiales de dispositivos de visualización de panel plano para ser usados por operarios con formación mínima. Los investigadores experimentados están dotados de la capacidad de llevar a cabo estudios detallados variando parámetros de ensayo fácilmente accesibles. Tales parámetros de ensayo incluyen la intensidad del campo magnético y la atenuación de la señal de microondas a lo largo del ramal. El soporte lógico también puede proporcionar una visualización gráfica, incluyendo gráficos de los espectros de movilidad con la conductividad y la concentración como funciones de la movilidad.

25 Se pueden mostrar gráficos de densidad y movilidad de carga laminar en función del campo magnético usando una solución de una sola portadora para los datos de cada campo. La solución de una sola portadora es usada como una comprobación general del análisis; una muestra con una sola portadora debería presentar la misma densidad y la misma movilidad de carga laminar con independencia del campo magnético. En cambio, una muestra con más de una portadora detectable debería presentar variaciones en función del campo magnético.

30 Todos los resultados pueden presentarse como números de concentración laminar en la ventana de texto del soporte lógico. Podría lanzarse un cálculo de la concentración volumétrica de las portadoras eléctricas poniendo un tic en la ventana de la pantalla de resultados del soporte lógico. Si se selecciona esta operación, la técnica multiportadora extrae la solución de una sola portadora y la presenta en una ventana separada, junto con los campos de entrada para el grosor de las capas y el tipo de portadora. Esta información es usada a continuación para calcular las anchuras de vaciado desde las interfaces de la superficie superior y del sustrato de interfaz eléctrica física, para poder obtener el verdadero grosor de la capa conductora. Alternativamente, el usuario podría introducir

un grosor y hacer que el programa presentara los resultados volumétricos para el ajuste de una a muchas portadoras en función del grosor introducido.

Debería hacerse notar que pueden usarse técnicas de análisis de campo único como alternativa al análisis multiportadora descrito en lo que antecede.

- 5 Se apreciará que pueden obtenerse variaciones en la movilidad y la densidad de carga laminar en una capa realizando un ensayo en una muestra, moviendo a continuación la muestra en la montura en el plano perpendicular al eje central del guiondas circular 50, y repitiendo entonces el ensayo. Se puede repetir este procedimiento para obtener un mapa de la movilidad y la densidad de carga laminar.

#### **Subsistema automático de representación**

- 10 La **Fig. 7** ilustra un subsistema para ser usado con el aparato descrito en relación con las **Figuras 1-5C**, y que puede ser usado para automatizar el procedimiento de representación de la movilidad de la oblea o el panel plano. Este subsistema automático **700** de representación de la movilidad (denominado "autocartógrafo" en lo sucesivo), puede ser montado dentro y/o encima de un armario **702** del sistema. La **Fig. 8** muestra el armario **702** del autocartógrafo colocado y unido al sistema de representación de la movilidad de las **Figuras 1-5C**. Según se  
15 apreciará, el autocartógrafo **700** puede ser proporcionado como una actualización a los sistemas actuales de representación de la movilidad, o como una opción integrada para unidades nuevas que hayan de ser construidas.

- La **Fig. 9** muestra los principales componentes del autocartógrafo **700**, incluyendo un rotador-elevador **704**, un efector terminal **706**, un servomotor **708** para hacer girar el efector terminal alrededor de su eje longitudinal, una superficie **710** de rodadura del eje x, y un servomotor **712** para ajustar la superficie de rodadura del eje x. No se  
20 muestran los servomotores que harán funcionar el rotador-elevador **704**. El rotador-elevador **704** elevará y hará girar a la oblea **59** que ha de ser sometida a ensayo. El efector terminal **706** sujetará la oblea **59** sometida a ensayo, y el servomotor **708** asociado con el efector terminal **706** hará girar al efector terminal (y a la oblea) hasta la orientación vertical deseada para que la oblea pueda ser insertada en el área de ensayo.

- La **Fig. 10** es una vista en detalle de la oblea **59** montada en el efector terminal **706** usando un par de pasadores **714** de alineamiento. Un operario cargaría una oblea **59** que ha de ser sometida a ensayo en el efector terminal **706** usando los pasadores **714** de alineamiento situados para recibir la oblea de tamaño particular que ha de ser sometida a ensayo. Se proporcionaría una pluralidad de ubicaciones diferentes para los pasadores correspondientes a los diferentes tamaños de oblea para permitir que el usuario asentara fácilmente la oblea en el efector terminal en la posición debida para el ensayo. Una vez que la oblea **59** está colocada en el efector terminal **706**, el operario  
25 pondrá en marcha un programa automatizado de ensayo controlado por ordenador, que active automáticamente los elementos **707** de vacío (**Fig. 18**) situados en el efector terminal **706** para sujetar la oblea **56** en su sitio durante el ensayo.

- La **Fig. 11** muestra cómo se usa el servomotor **708** para hacer girar al efector terminal **706** y la oblea **59** 90 grados para que asuman una posición vertical deseada para el ensayo. Una vez que se alcanza la posición vertical, el servomotor **712** asociado con la superficie **710** de rodadura del eje x funcionará moviendo el efector terminal **706** y la oblea **59** a lo largo del eje x hasta una posición de ensayo (**Fig. 12**), entre los polos del imán **713** del sistema de representación de la movilidad de las **Figuras 1-5C**. Esta es la posición de ensayo. El programa de ensayo informatizado controlará el rendimiento del ensayo deseado de la movilidad y la recogida de puntos de datos necesarios para completar el mapa de movilidad, de la manera descrita previamente en relación con las **Figuras 1-6**.  
35

- Después de que se recoja la serie de puntos de datos, la oblea es retirada del imán **130** y es girada de nuevo a su posición horizontal, usando el servomotor **708** asociado con el efector terminal **706**, según se muestra en la **Fig. 13**. En este punto, el conjunto rotador-elevador **704** se elevará para acoplarse con la oblea **59**. El rotador-elevador se acoplará con la oblea usando uno o más elementos de vacío (no mostrados) y hará girar la oblea para cambiar el ángulo zeta de la oblea (el ángulo al que se producirá un conjunto particular de barridos de datos), preparando la oblea para la recogida de otra serie de puntos de datos de ensayo de la manera ya descrita. Así, una vez que se ha alcanzado el ángulo zeta apropiado, el rotador-elevador **704** volverá a bajar la oblea hasta el efector terminal **708**, los elementos de vacío del efector terminal serán accionados, y el efector terminal y la oblea volverán a ser girados 90 grados. El efector terminal y la oblea volverán a ser movidos entre los polos del imán **130** y la serie deseada de puntos de datos recogidos para la nueva posición del ángulo zeta. Este procedimiento de ensayo se repetirá hasta  
40 que se recoja el número deseado de puntos de datos para la oblea sometida a ensayo. En una realización, se obtendrá un mapa completo de la movilidad de la oblea usando esta técnica.

Según se ha hecho notar previamente, todas las etapas anteriores pueden ser automatizadas y controladas usando un programa informático apropiado.

- 55 **Subsistema de resistencia laminar**

La **Fig. 14** muestra el subsistema autocartográfico de las **Figuras 7-13**, unido al sistema de medición de la movilidad de las **Figuras 1-5C**, en combinación con una prestación de subsistema adicional para medir automáticamente la resistencia laminar de una oblea. La **Fig. 15** ilustra los principales componentes de los subsistemas combinados de los módulos autocartográfico y de resistencia laminar, incluyendo un par de efectores terminales **706, 716**, un servomotor **708** para controlar la rotación de ambos efectores terminales alrededor de su eje longitudinal, y un módulo **718** de resistencia laminar. Se proporciona una superficie **710** de rodadura deslizando para mover los efectores terminales a lo largo del plano del eje x en relación con el sistema de medición de la movilidad y el módulo **718** de resistencia laminar. Los efectores terminales **706, 716** y el servomotor **708** serán montados en la superficie **710** de rodadura deslizando, y el módulo **718** de resistencia laminar permanecerá estacionario. No se muestra el servomotor que operará el rotador-elevador **704**.

El módulo **718** de resistencia laminar puede tener un par de bobinas enfrentadas **720, 722** (**Fig. 16**) usadas para medir la resistencia de la oblea **59** u otro material laminar apropiado (por ejemplo, un panel plano) colocado entre las mismas. Los principios de operación del módulo **718** de resistencia laminar, así como los detalles del diseño, son dados a conocer en las patentes estadounidenses n<sup>os</sup> 6.711.948 B2, expedida el 30/3/2004, y 6.443.002 B2, expedida el 3/9/2002, cedidas a Leighton Electronics.

El autocartógrafo de esta realización se configurará y funcionará de la misma manera descrita anteriormente en relación con las **Figuras 7-13**.

La **Fig. 16** muestra el módulo **718** de resistencia laminar con mayor detalle, ilustrando la posición de las bobinas superior e inferior **720, 722** de medición, entre las cuales se insertará una oblea o lámina **59** para su ensayo usando el efector terminal **716** y sus componentes asociados.

La **Fig. 17** muestra una oblea ejemplar **59** colocada en el efector terminal **716** asociado con el módulo **718** de resistencia laminar antes de ser insertada en el módulo para su ensayo. La **Fig. 18** muestra la oblea **59** colocada dentro del módulo **718** de resistencia laminar para su ensayo. Para lograr esta colocación, el operario del sistema colocará la oblea **59** sobre el efector terminal **716** usando pasadores de posicionamiento (no mostrados) similares a los usados para el efector terminal **708**. El operario iniciará entonces un programa informático configurado para controlar el movimiento del efector terminal **716** a lo largo de la dirección x con respecto al módulo **718** de resistencia laminar. El programa activará automáticamente los elementos **724** de vacío (**Fig. 15**) del efector terminal **716** para sujetar la oblea **59** en su sitio. El programa hará entonces que el efector terminal **716** se deslice a lo largo del eje x (mediante la operación del servomotor **712**) para colocar la oblea dentro del módulo **718** de resistencia laminar. Así, la oblea se moverá entre las bobinas **720, 722** a una pluralidad de emplazamientos de ensayo a lo largo del eje x para efectuar la serie deseada de mediciones de la resistencia laminar.

La **Fig. 19** muestra la oblea **59** retirada del módulo **718** de resistencia laminar después de efectuar una primera serie de mediciones de ensayo. El rotador-elevador **704** es colocado para que se acople con la oblea, la eleve separándola del efector terminal y la haga girar para cambiar el ángulo zeta. Una vez que se alcanza el nuevo ángulo zeta deseado, el rotador-elevador **704** vuelve a colocar la oblea sobre el efector terminal **716**, los elementos **724** de vacío serán reactivados para inmovilizar la oblea en el efector terminal, y se usará el servomotor **712** de la superficie de rodadura del eje x para reinsertar la oblea **59** en el módulo **718** de resistencia laminar de la manera previamente descrita para recoger otra serie de puntos de datos asociados con el nuevo ángulo zeta. Este procedimiento volverá a llevarse a cabo hasta que se complete la representación de la resistencia laminar. Se apreciará que todas estas etapas pueden automatizarse y controlarse usando un programa informático apropiado.

Aunque la invención ha sido descrita en lo que antecede con respecto a realizaciones particulares, serán evidentes para los expertos en la técnica modificaciones y sustituciones dentro del alcance de la invención, definido por las reivindicaciones.

## REIVINDICACIONES

1. Un dispositivo para la medición de la movilidad y la densidad de carga laminar en materiales laminares conductores que comprende:
  - 5 una fuente (15) de microondas;
  - un primer guiaondas situado para recibir potencia de microondas de dicha fuente de microondas;
  - una montura ajustable (60) adaptada para colocar de manera ajustable un elemento de material laminar en una pluralidad de emplazamientos de medición para recibir una potencia de microondas transmitida desde dicho primer guiaondas;
  - 10 un imán (130) situado para inducir un campo magnético en el emplazamiento de ensayo;
  - un primer detector (18) para detectar la potencia de la fuente de potencia de microondas;
  - un segundo detector (23) para detectar la potencia de la potencia de microondas reflejada desde un elemento de material laminar en un emplazamiento de medición entre la pluralidad de emplazamientos de medición;
  - un tercer detector para detectar la potencia de microondas de efecto Hall,
  - 15 en el que dicha montura ajustable comprende, además, un primer efector terminal adaptado para colocar el elemento de material laminar en la pluralidad de emplazamientos de medición para recibir una potencia de microondas transmitida desde dicho primer guiaondas, siendo amovible dicho primer efector terminal entre una posición de ajuste y una posición de ensayo,
  - en el que dicha posición de ajuste es una posición en la que la posición rotacional del elemento de material laminar es ajustable de manera selectiva, y dicha posición de ensayo es una posición en la que se puede llevar a cabo al menos un ensayo sobre el elemento de material laminar usando el primer guiaondas,
  - 20 en el que el dispositivo comprende además un rotador-elevador para engranar dicho elemento de material laminar y moverlo a lo largo de un segundo eje sustancialmente perpendicular a un eje longitudinal de dicho primer efector terminal, estando configurado el rotador-elevador, además para rotar alrededor del segundo eje usando una unidad motriz,
  - en el que cada uno de dicho primer efector terminal y de dicho rotador-elevador comprenden al menos un elemento de vacío para engranar dicho elemento de material laminar,
  - en el que el rotador-elevador es operable cuando dicho elemento de material laminar está en dicha posición de ajuste, elevando el rotador-elevador dicho elemento de material laminar de dicho primer efector terminal para su rotación cuando dicho material laminar está en dicha posición de ajuste,
  - 30 en el que dicho primer efector terminal engrana dicho elemento de material laminar en dicha posición de ensayo mientras se lleva a cabo dicho al menos un ensayo sobre el elemento de material laminar usando el primer guiaondas.
2. Dispositivo de la reivindicación 1 que, además, comprende una sonda situada en dicho primer guiaondas, estando acoplada dicha sonda a dicho tercer detector, siendo dicho primer guiaondas un guiaondas circular.
3. Dispositivo de la reivindicación 2 que, además, comprende un acoplador direccional situado para recibir potencia de microondas de dicha fuente, estando acoplado dicho acoplador direccional a un ramal lateral y un ramal principal, estando acoplado dicho ramal principal a dicho primer guiaondas, y estando acoplado dicho ramal lateral a dicho tercer detector.
- 40 4. Dispositivo de la reivindicación 3 en el que dicho ramal lateral está acoplado a dicho tercer detector a través de un atenuador variable (35) y de un desfasador variable (40).
5. Dispositivo de la reivindicación 1 que, además, comprende medios de cálculo para recibir datos de dichos detectores y para calcular la movilidad y la densidad de carga laminar en función de dichos datos.
6. Dispositivo de la reivindicación 5 que, además, comprende un amplificador de potencia para recibir una señal de al menos uno de dichos detectores y para proporcionar una señal de salida a dichos medios de cálculo.
7. Dispositivo de la reivindicación 5 que, además, comprende un receptor superheterodino para recibir una señal de al menos uno de dichos detectores y para proporcionar una señal de salida a dichos medios de cálculo.
8. Dispositivo de la reivindicación 1 que, además, comprende un segundo guiaondas entre dicha fuente de microondas y dicho primer guiaondas, en el que dicho primer guiaondas está situado de manera ajustable con respecto a dicho segundo guiaondas.
- 50 9. Dispositivo de la reivindicación 8 en el que dicho segundo detector está situado para detectar la intensidad reflejada de un campo de microondas en dicho segundo guiaondas, comprendiendo dicho dispositivo, además, un cuarto detector para detectar la intensidad del campo magnético en el emplazamiento de medición.

10. Dispositivo de la reivindicación 1 que, además, comprende un corto, hecho de material conductor, estando montado dicho corto de manera ajustable con respecto a dicho dispositivo para que dicho emplazamiento de medición esté entre dicho corto y un extremo de dicho primer guiaondas.
11. Dispositivo de la reivindicación 1, en el que dicha montura ajustable, además, comprende:
- 5 un cuerpo que tiene una primera superficie plana;  
un disco situado en dicha montura, siendo giratorio dicho disco alrededor de un eje sustancialmente perpendicular a un plano de dicha primera superficie plana, teniendo dicho disco, además, un orificio en el mismo que no es coaxial con dicho eje de rotación;  
10 en el que dicho disco está configurado para hacer contacto con dicho elemento de material laminar para colocar de manera ajustable dicho elemento de material laminar para que al menos un emplazamiento de dicha pluralidad de emplazamientos de medición esté situado adyacente a dicho primer guiaondas para recibir una potencia de microondas de dicho primer guiaondas.
12. Dispositivo de la reivindicación 11, en el que dicha montura ajustable comprende un plato (62) de vacuosujeción.
- 15 13. Dispositivo de la reivindicación 11 que, además, comprende una base, estando situada dicha montura ajustable de forma giratoria sobre la base.
14. Dispositivo de la reivindicación 11, en el que dicha montura ajustable está situada en una porción ajustable de dicha base, por lo que se puede ajustar una separación entre dicha montura ajustable y un guiaondas de dicho aparato de ensayo.
- 20 15. Dispositivo de la reivindicación 1, en el que dicho primer efector terminal tiene un eje longitudinal, siendo giratorio dicho primer efector terminal alrededor de dicho eje longitudinal, siendo además trasladable dicho efector terminal con respecto a dicho dispositivo a lo largo de dicho eje longitudinal.
- 25 16. Dispositivo de la reivindicación 1 que, además, comprende una unidad motriz del efector terminal, estando asociada dicha unidad motriz del efector terminal con dicho primer efector terminal para hacer girar dicho primer efector terminal alrededor de dicho eje longitudinal, en el que dicho primer efector terminal está en una posición rotada cuando dicho elemento de material laminar está en dicha posición de ensayo para dicho al menos un ensayo que ha de efectuarse en el elemento de material laminar usando el primer guiaondas.
17. Dispositivo de la reivindicación 1 que, además, comprende:
- 30 un segundo efector terminal configurado para engranar dicho elemento de material laminar; y  
una unidad de resistencia laminar que tiene unas bobinas primera y segunda mutuamente enfrentadas para medir una propiedad de resistencia laminar de dicho elemento de material laminar, en el que dicho segundo efector terminal es ajustable de manera amovible con respecto a dicha unidad de resistencia laminar para permitir que la unidad mida dicha propiedad de resistencia laminar en una pluralidad de emplazamientos en dicho elemento de material laminar.
- 35 18. Dispositivo de la reivindicación 1 que, además, comprende una base ajustable que es amovible con respecto a dicho dispositivo usando una cuarta unidad motriz, estando montado el efector terminal en la base ajustable para su movimiento con respecto al rotador-elevador.
19. Un procedimiento de operación para la medición de la movilidad y la densidad de carga laminar en un elemento conductor (59) de material laminar, comprendiendo el procedimiento las etapas de:
- 40 suministrar una potencia (15) de microondas;  
proporcionar un primer guiaondas, situado para recibir la potencia de microondas;  
adaptar una montura ajustable (60) para colocar de manera ajustable el elemento (59) de material laminar en una pluralidad de emplazamientos de medición para recibir potencia de microondas transmitida desde dicho primer guiaondas;
- 45 en el que
- un imán (130) está situado para inducir un campo magnético en un emplazamiento de ensayo;
  - un primer detector (18) detecta la potencia de la potencia de microondas;
  - un segundo detector (23) detecta la potencia de la potencia reflejada de microondas, reflejada desde el elemento de material laminar en un emplazamiento de medición entre una pluralidad de emplazamientos de medición;
  - 50 - un tercer detector detecta la potencia de microondas de efecto Hall para un elemento (59) de material laminar, tal como una oblea

- en el que dicha montura ajustable comprende, además, un primer efector terminal adaptado para colocar el elemento de material laminar en la pluralidad de emplazamientos de medición para recibir una potencia de microondas transmitida desde dicho primer guiaondas, siendo amovible dicho primer efector terminal entre una posición de ajuste y una posición de ensayo,
- 5 en el que dicha posición de ajuste es una posición en la que la posición rotacional del elemento de material laminar es ajustable de manera selectiva, y dicha posición de ensayo es una posición en la que se puede llevar a cabo al menos un ensayo sobre el elemento de material laminar usando el primer guiaondas,
- en el que el dispositivo comprende, además, un rotador-elevador para engranar dicho elemento de material laminar y moverlo a lo largo de un segundo eje sustancialmente perpendicular a un eje longitudinal de dicho primer efector terminal, estando configurado el rotador-elevador, además para rotar alrededor del segundo eje usando una unidad motriz,
- 10 en el que cada uno de dicho primer efector terminal y de dicho rotador-elevador comprenden al menos un elemento de vacío para engranar dicho elemento de material laminar,
- en el que el rotador-elevador es operable cuando dicho elemento de material laminar está en dicha posición de ajuste, elevando el rotador-elevador dicho elemento de material laminar de dicho primer efector terminal para su rotación cuando dicho material laminar está en dicha posición de ajuste,
- 15 en el que dicho primer efector terminal engrana dicho elemento de material laminar en dicha posición de ensayo mientras se lleva a cabo dicho al menos un ensayo sobre el elemento de material laminar usando el primer guiaondas.
- 20 **20.** El procedimiento de la reivindicación 19, teniendo la potencia de microondas una frecuencia de al menos 10 GHz.

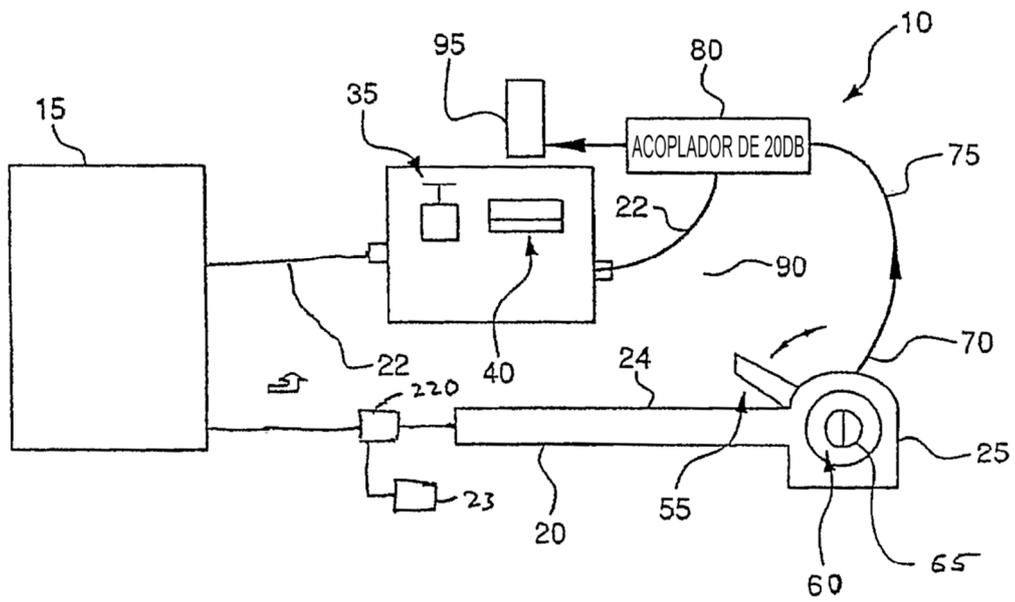


FIG. 1

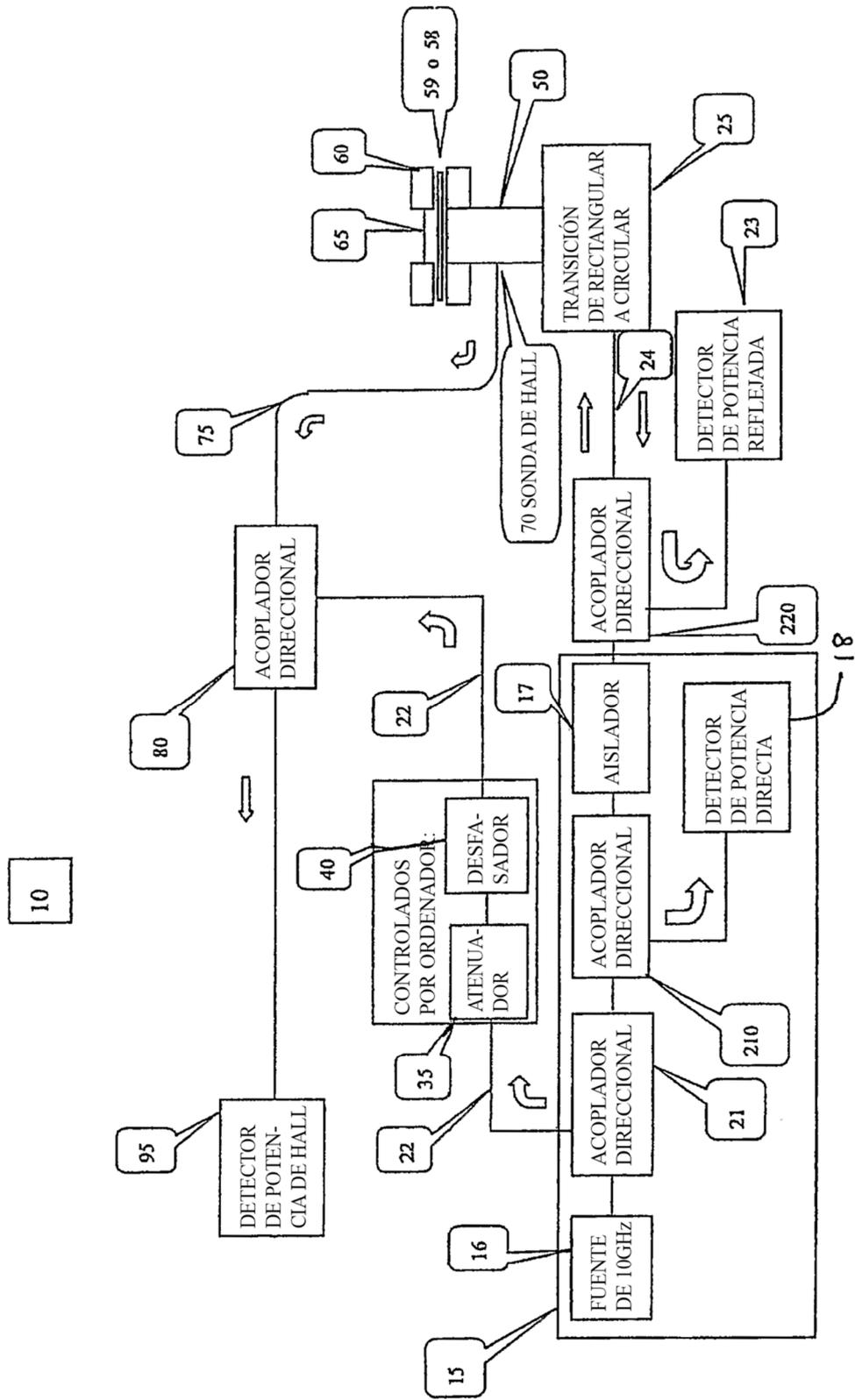


FIG 2

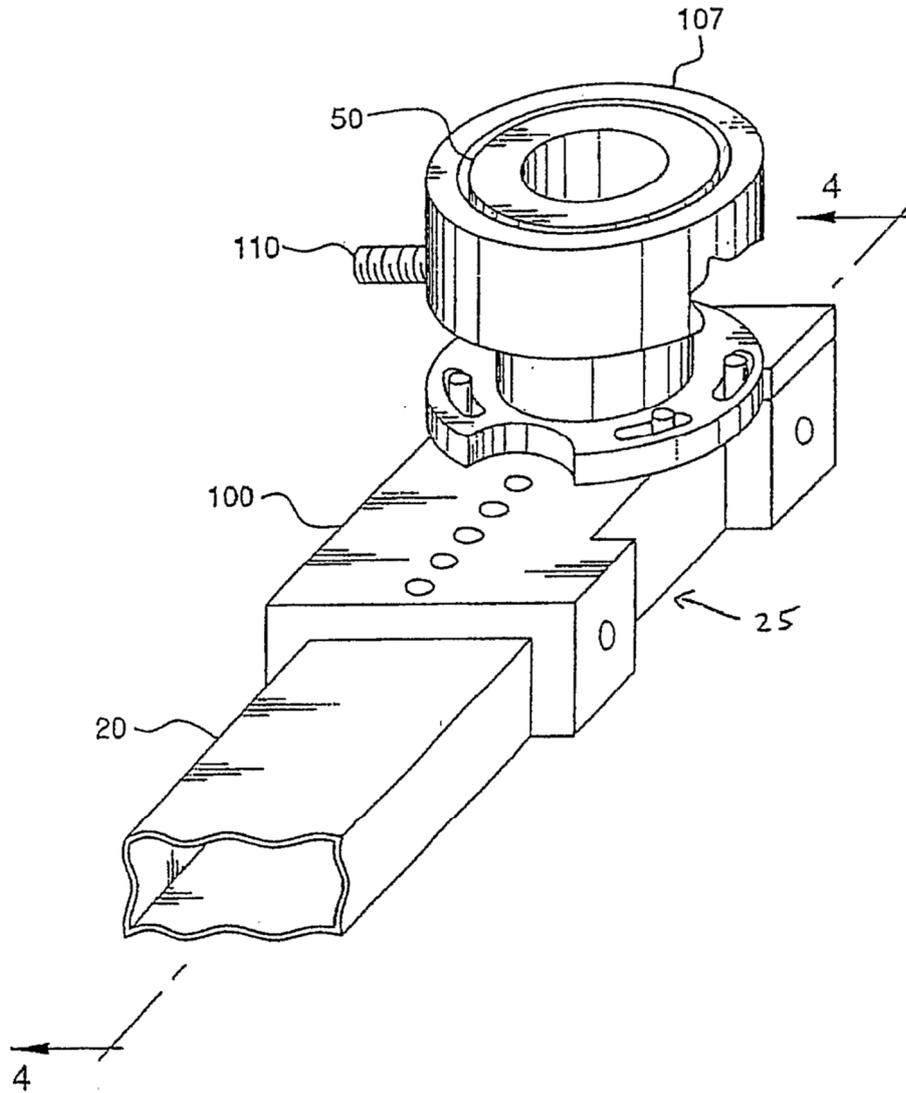


FIG. 3

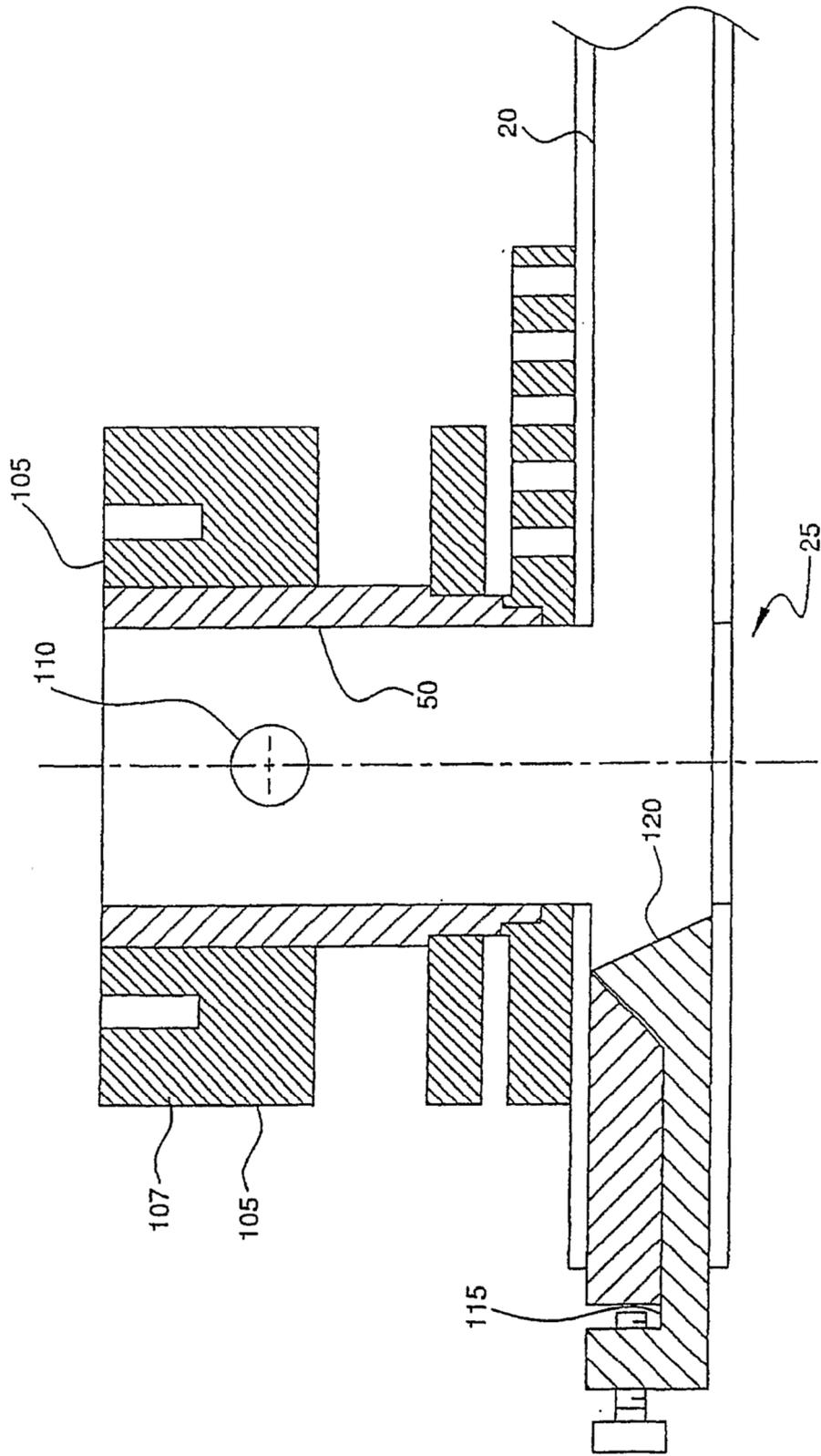
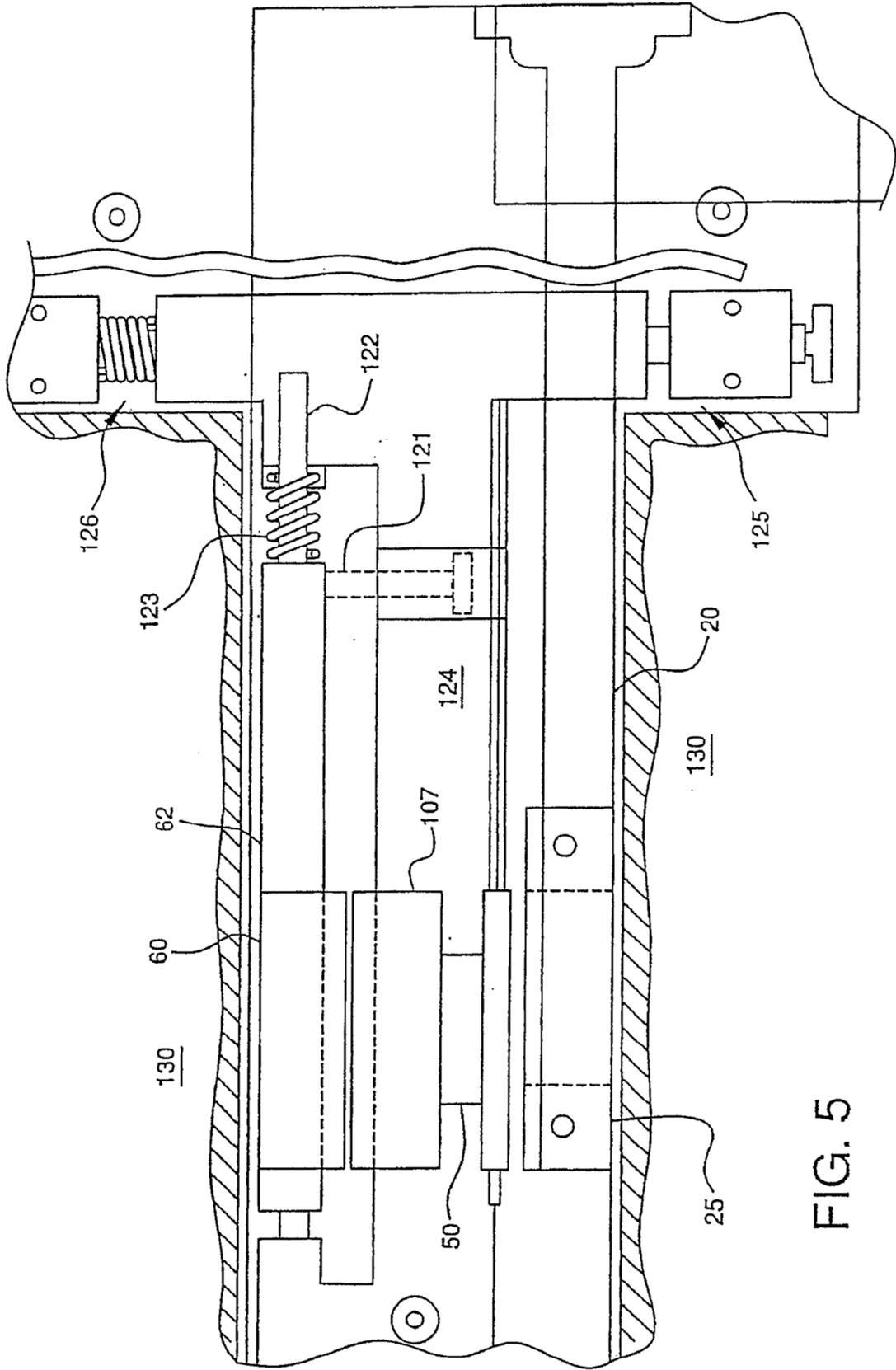


FIG. 4



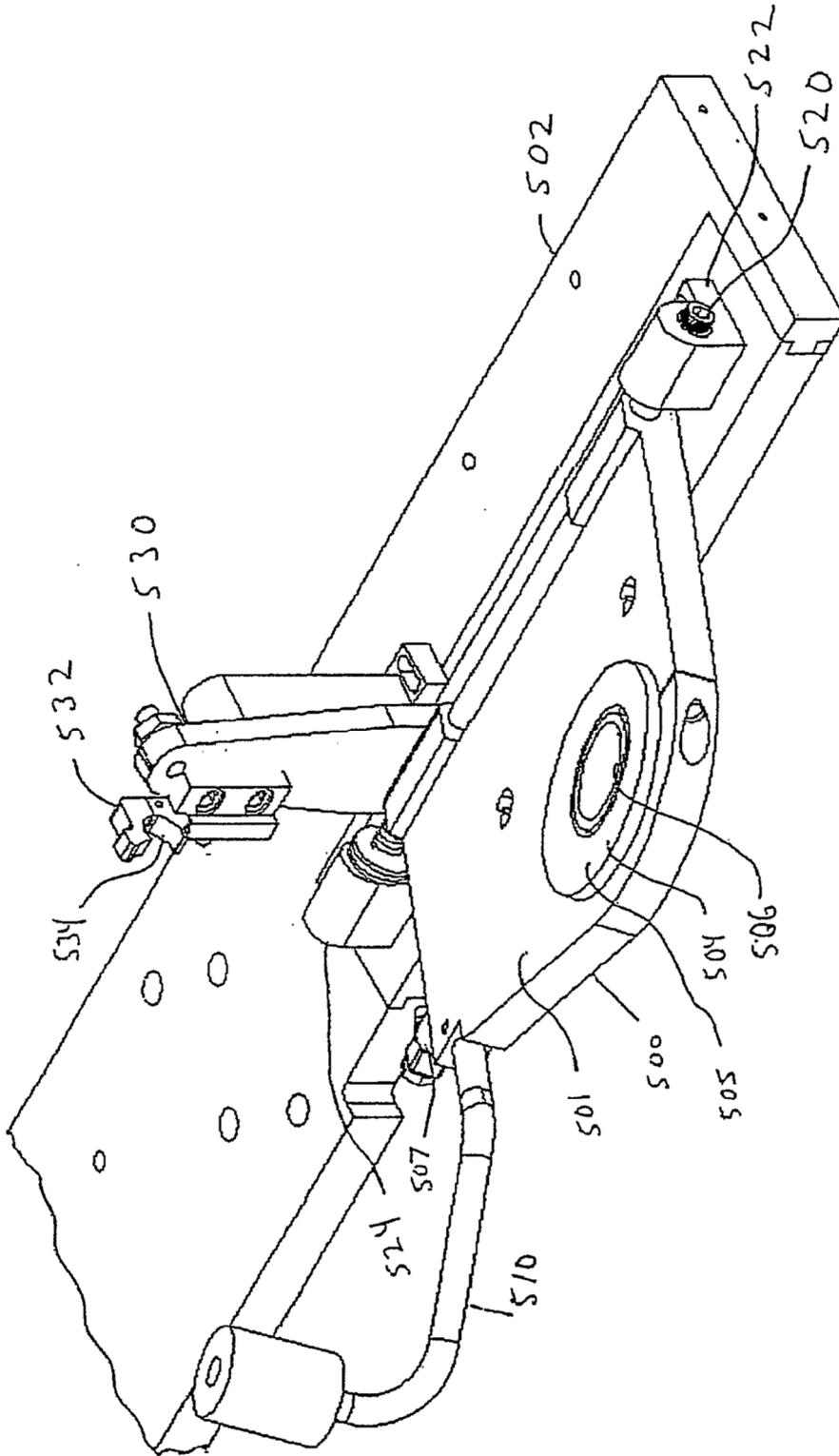


Fig. 5A

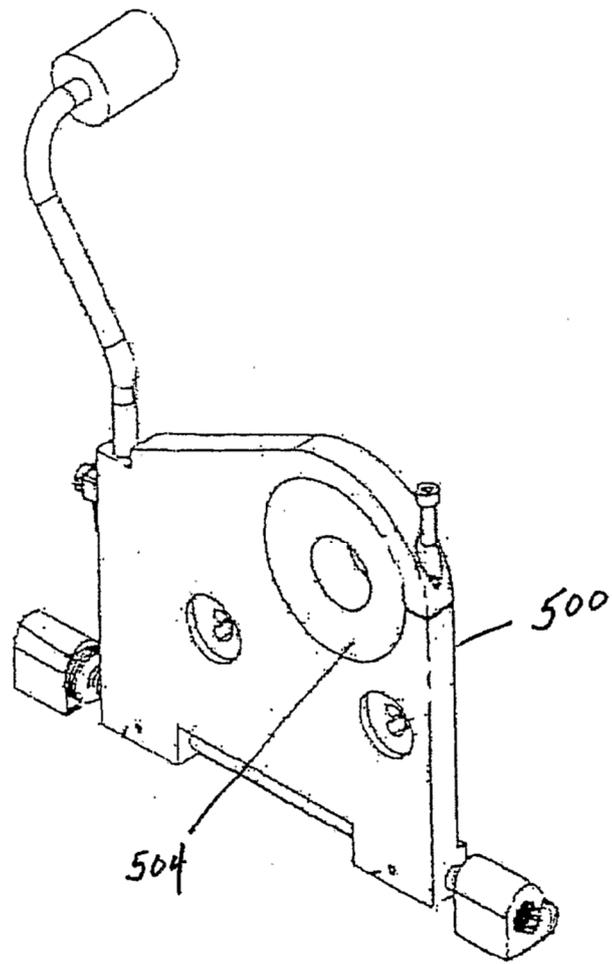


FIG. 5B

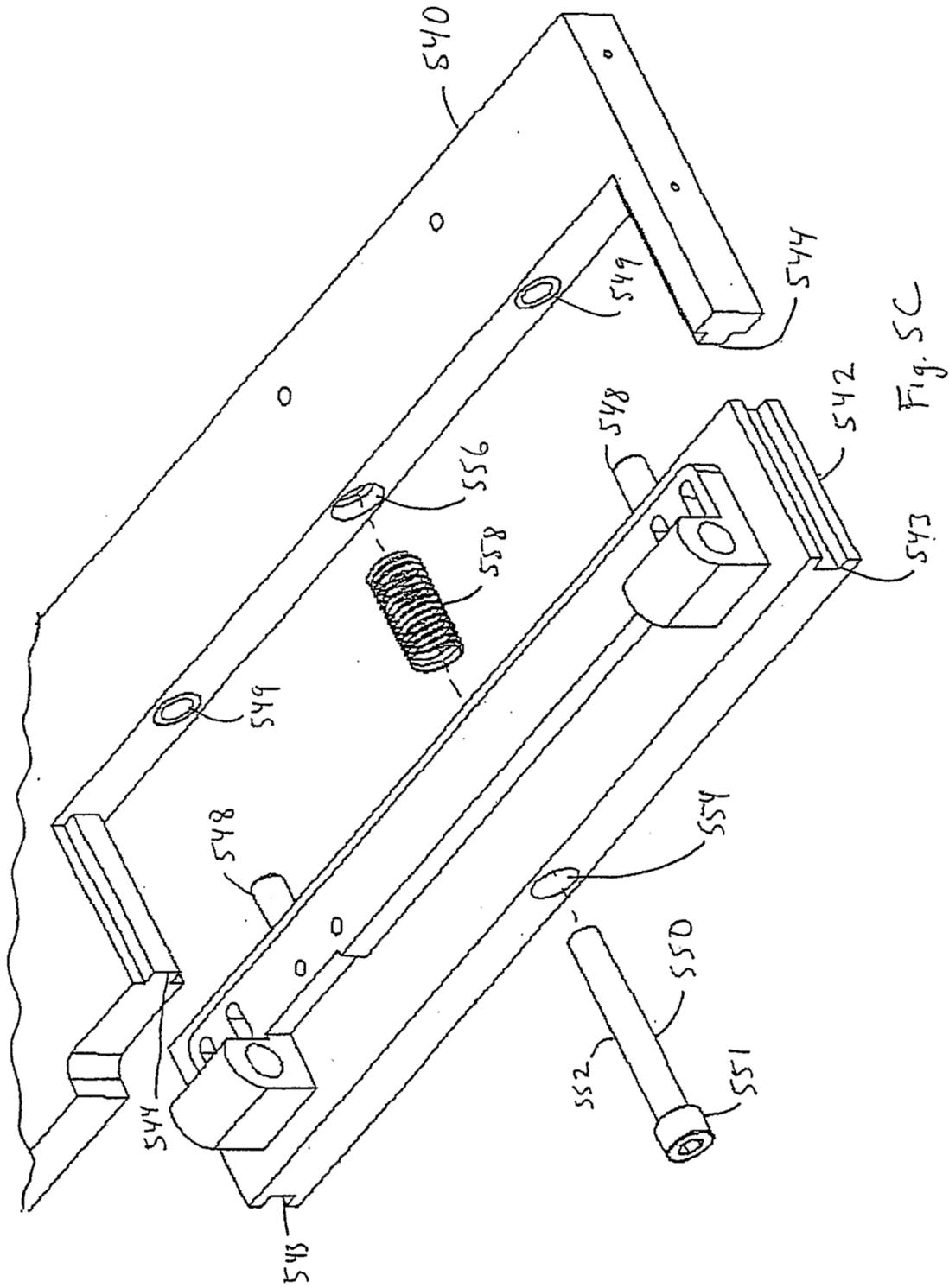


Fig. 5C

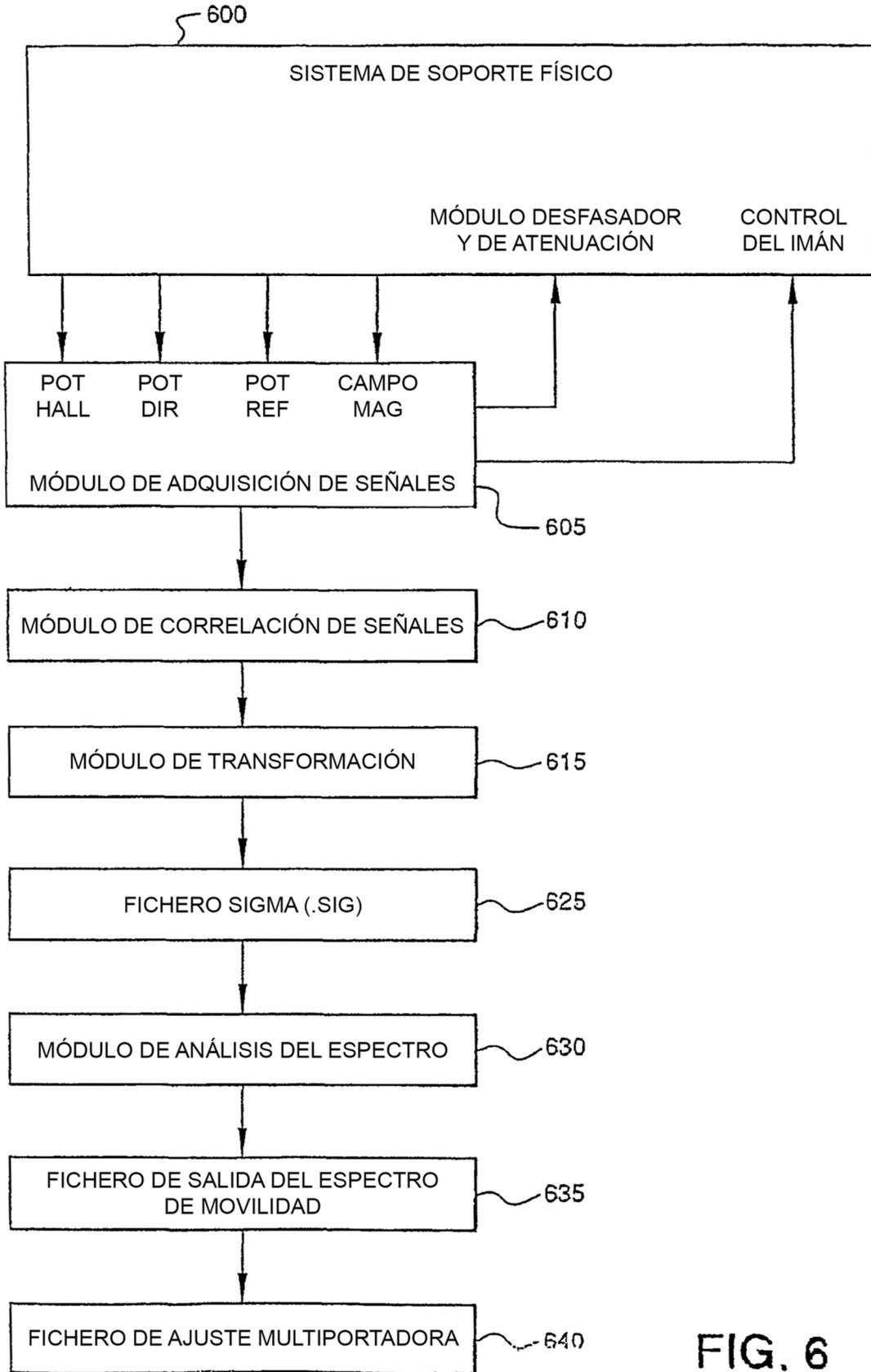
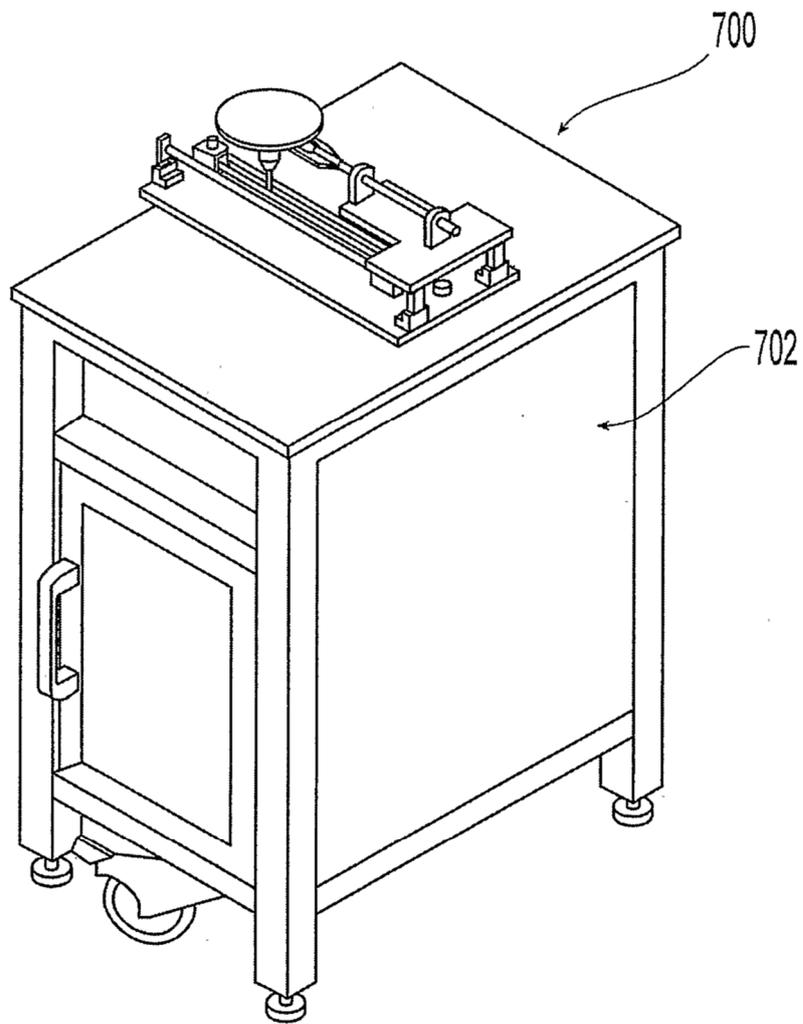
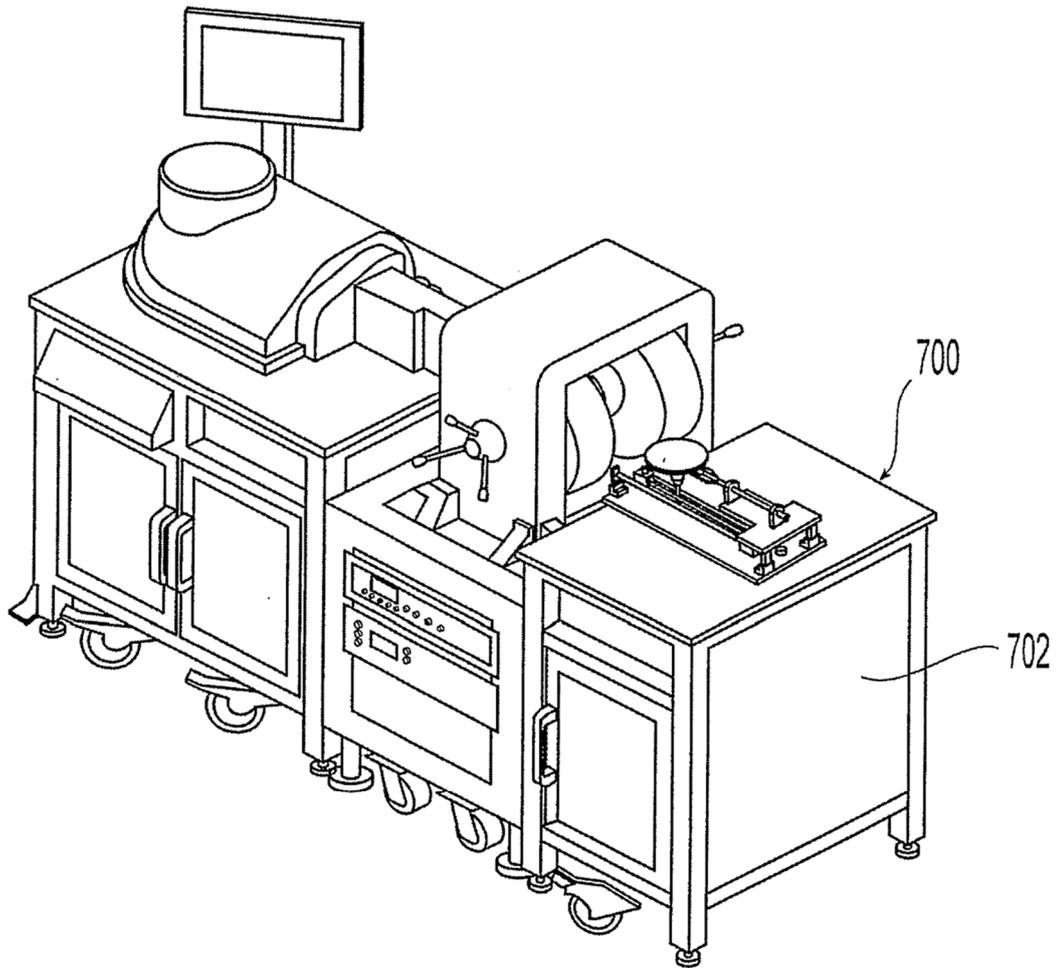


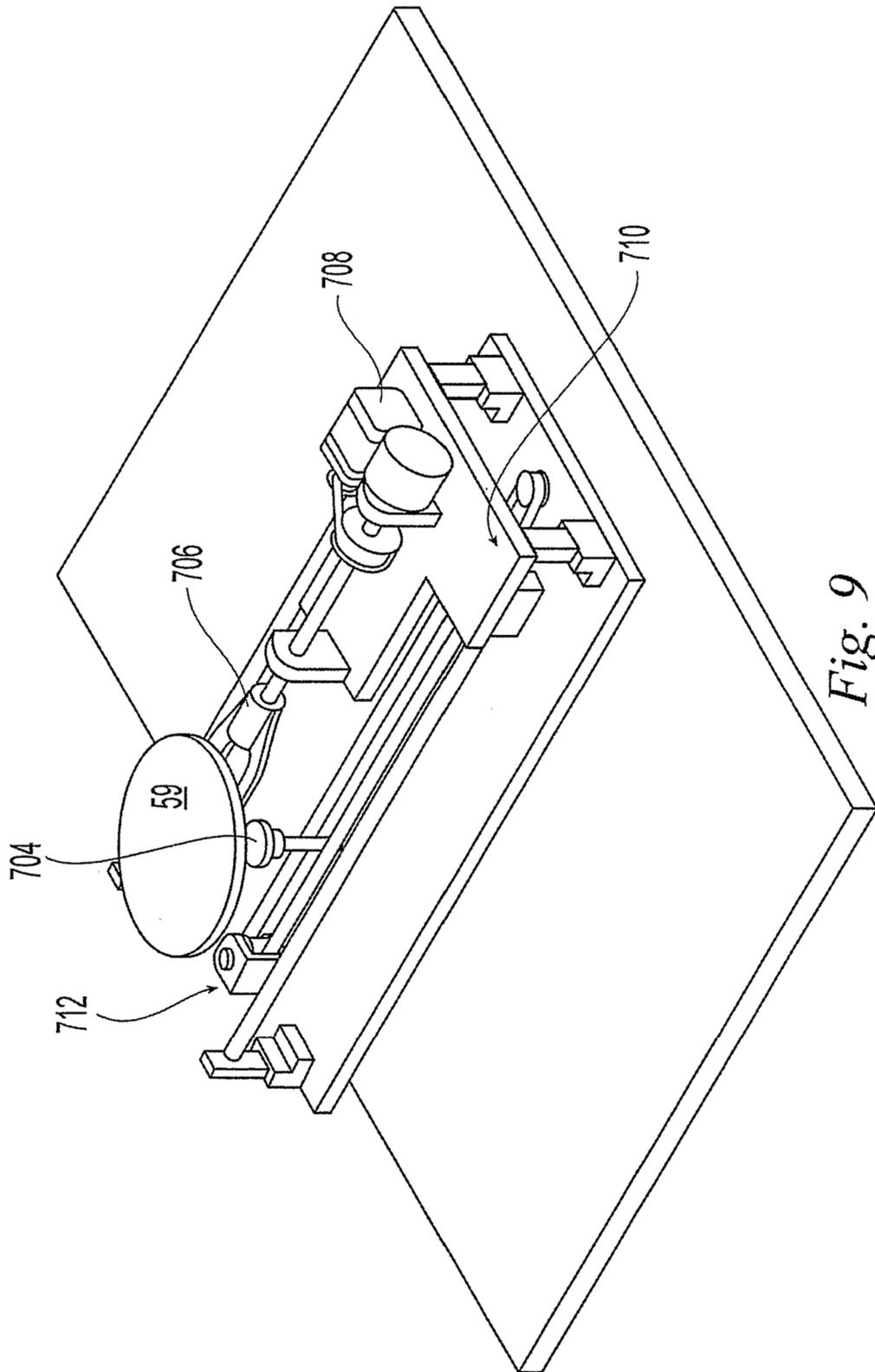
FIG. 6



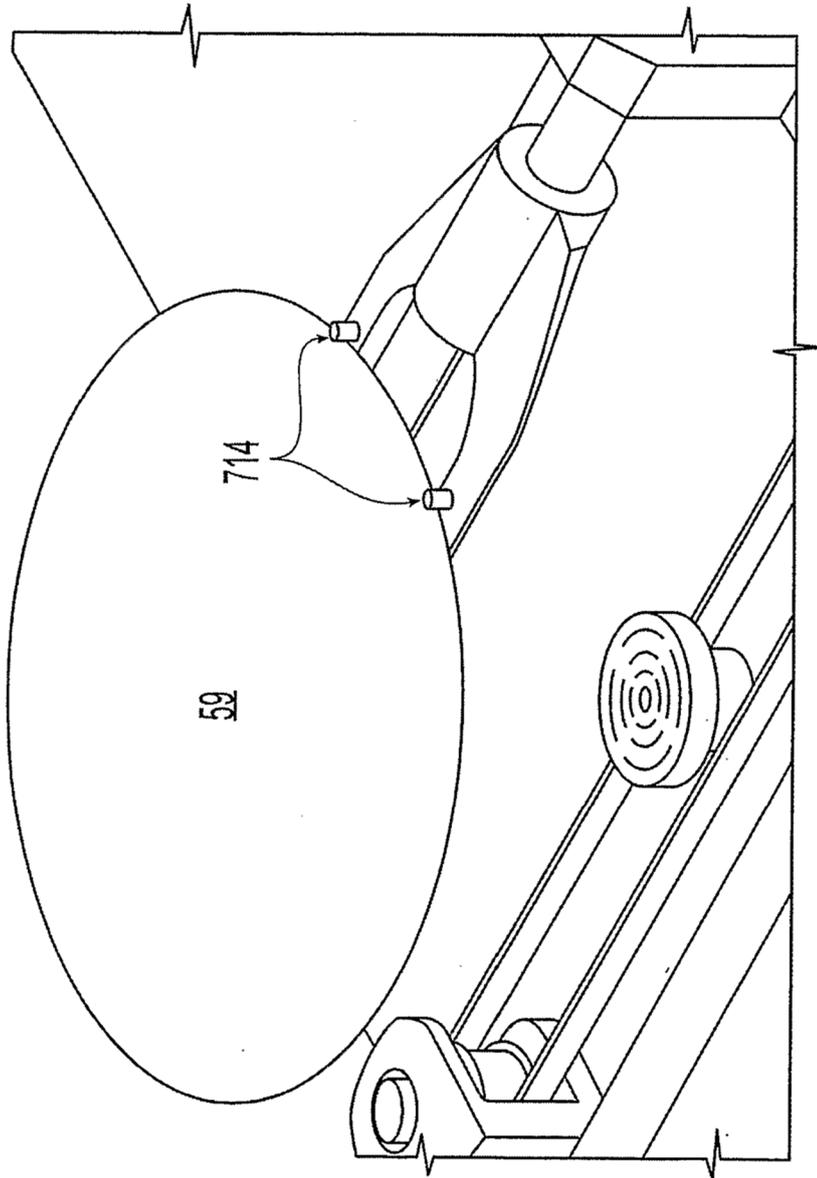
*Fig. 7*



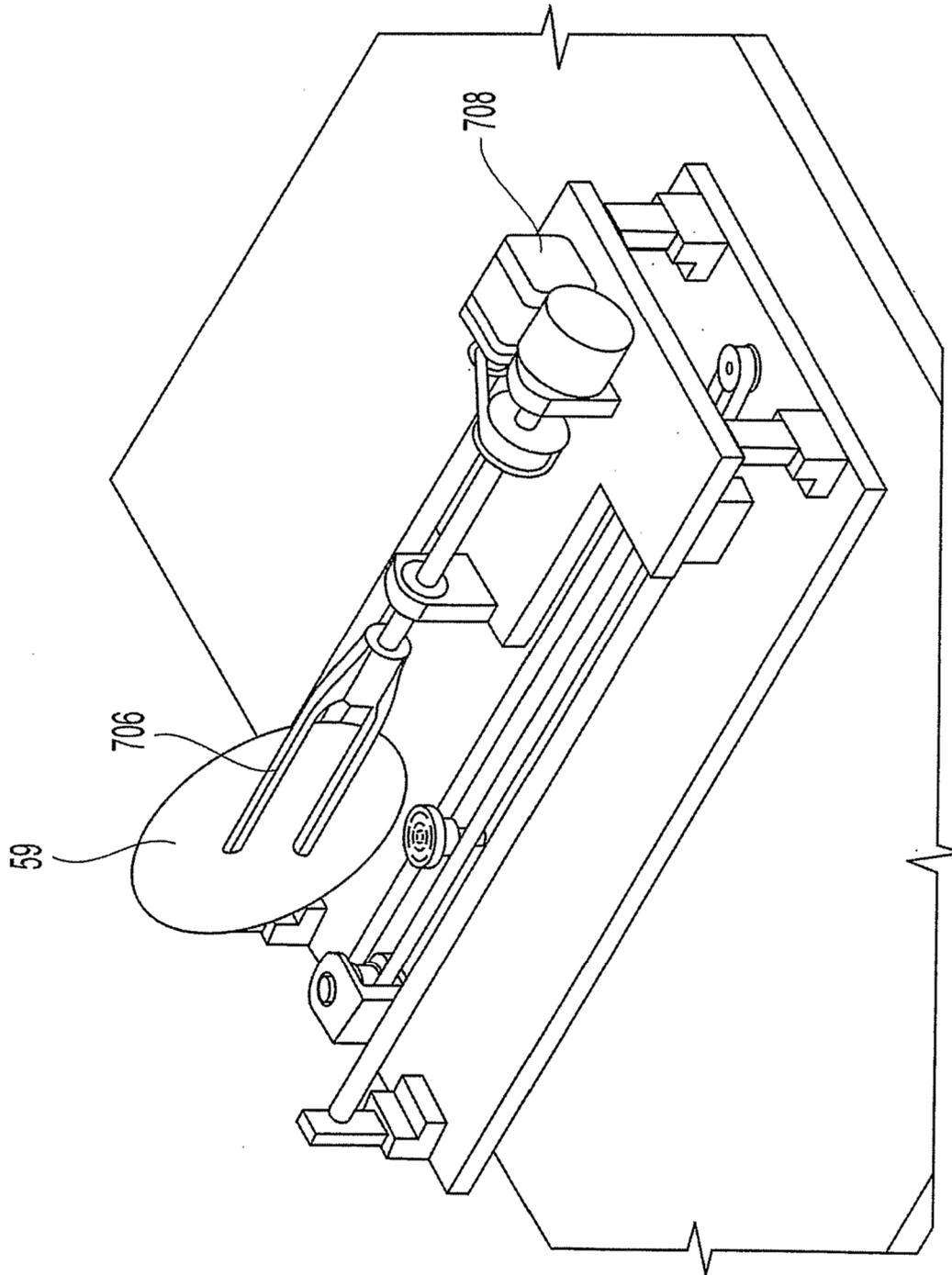
*Fig. 8*



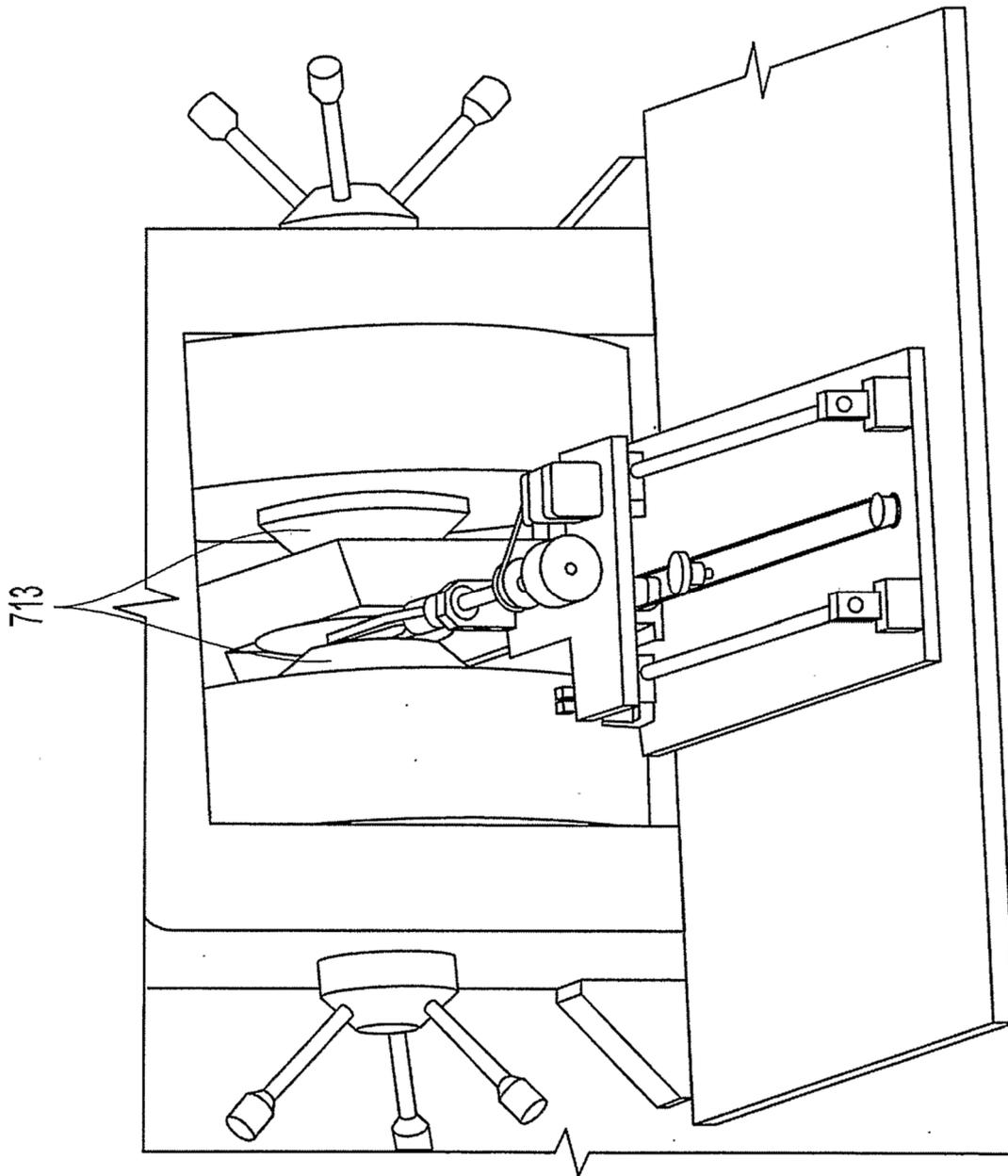
*Fig. 9*



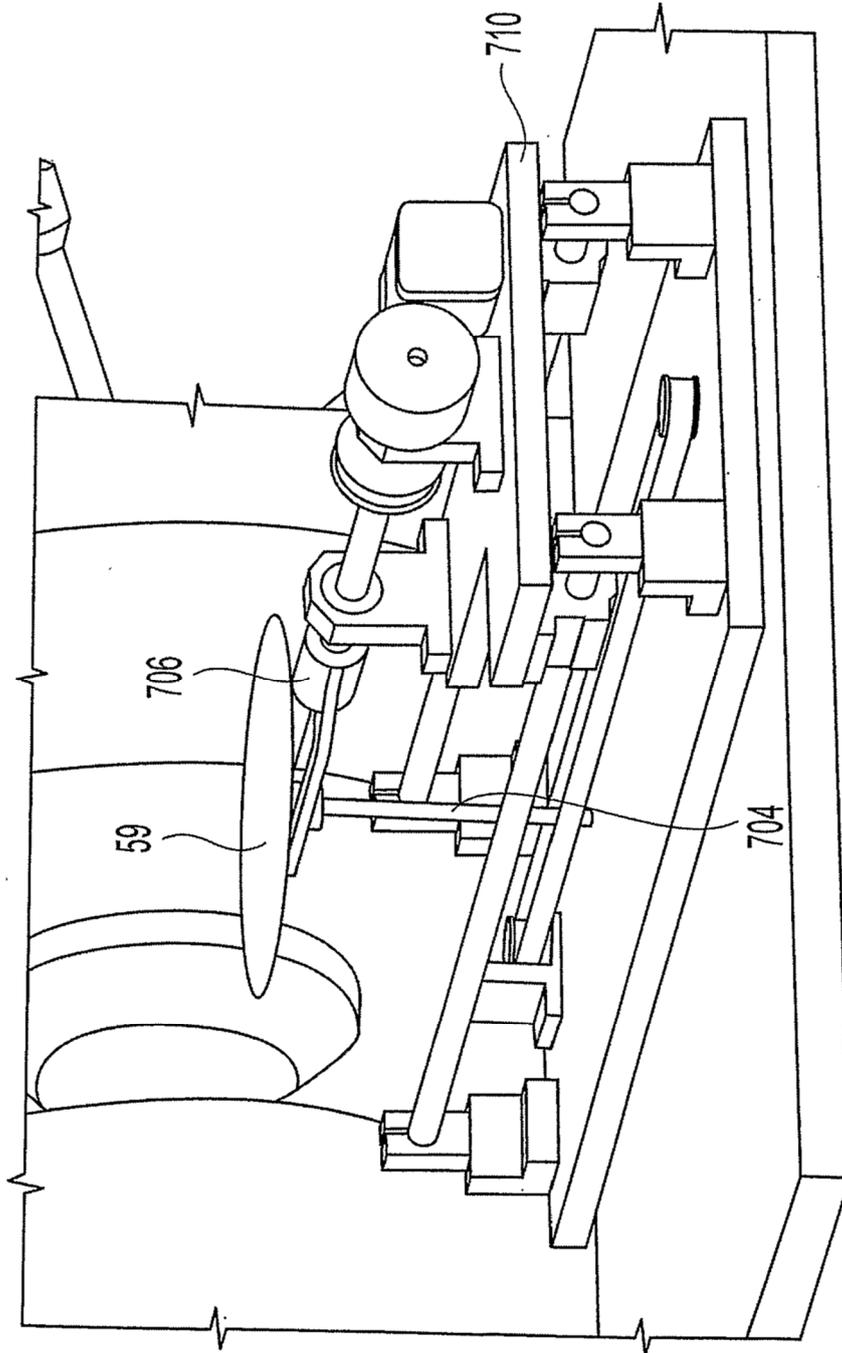
*Fig. 10*



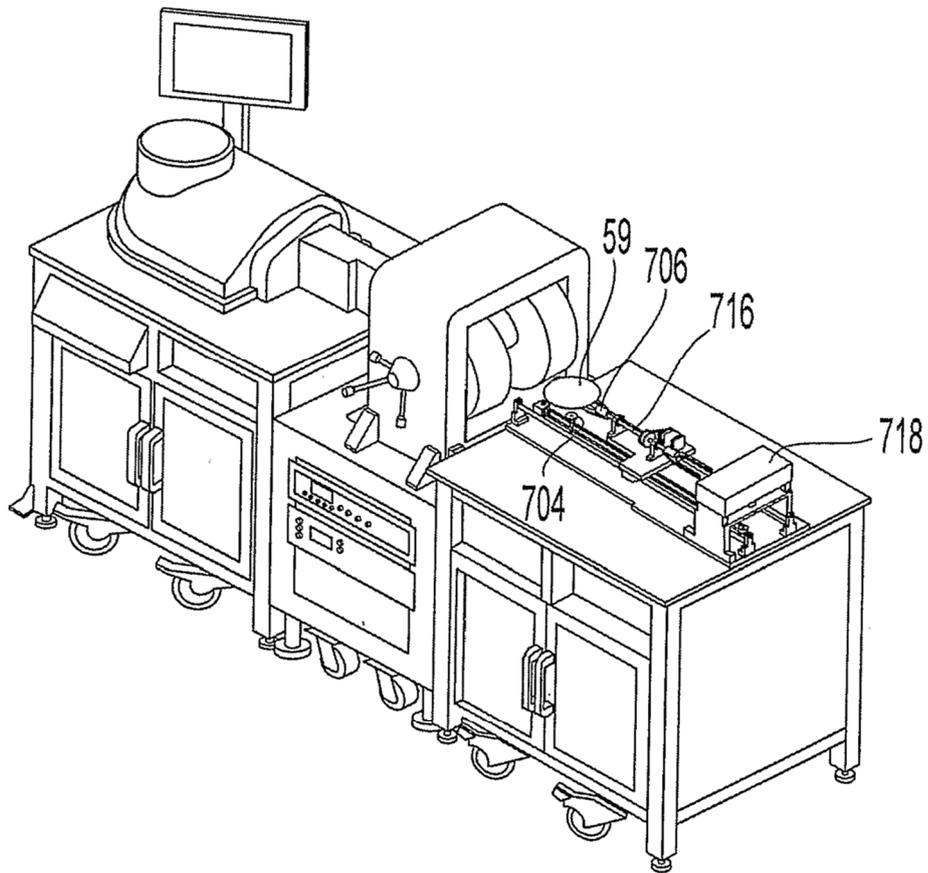
*Fig. 11*



*Fig. 12*



*Fig. 13*



*Fig. 14*

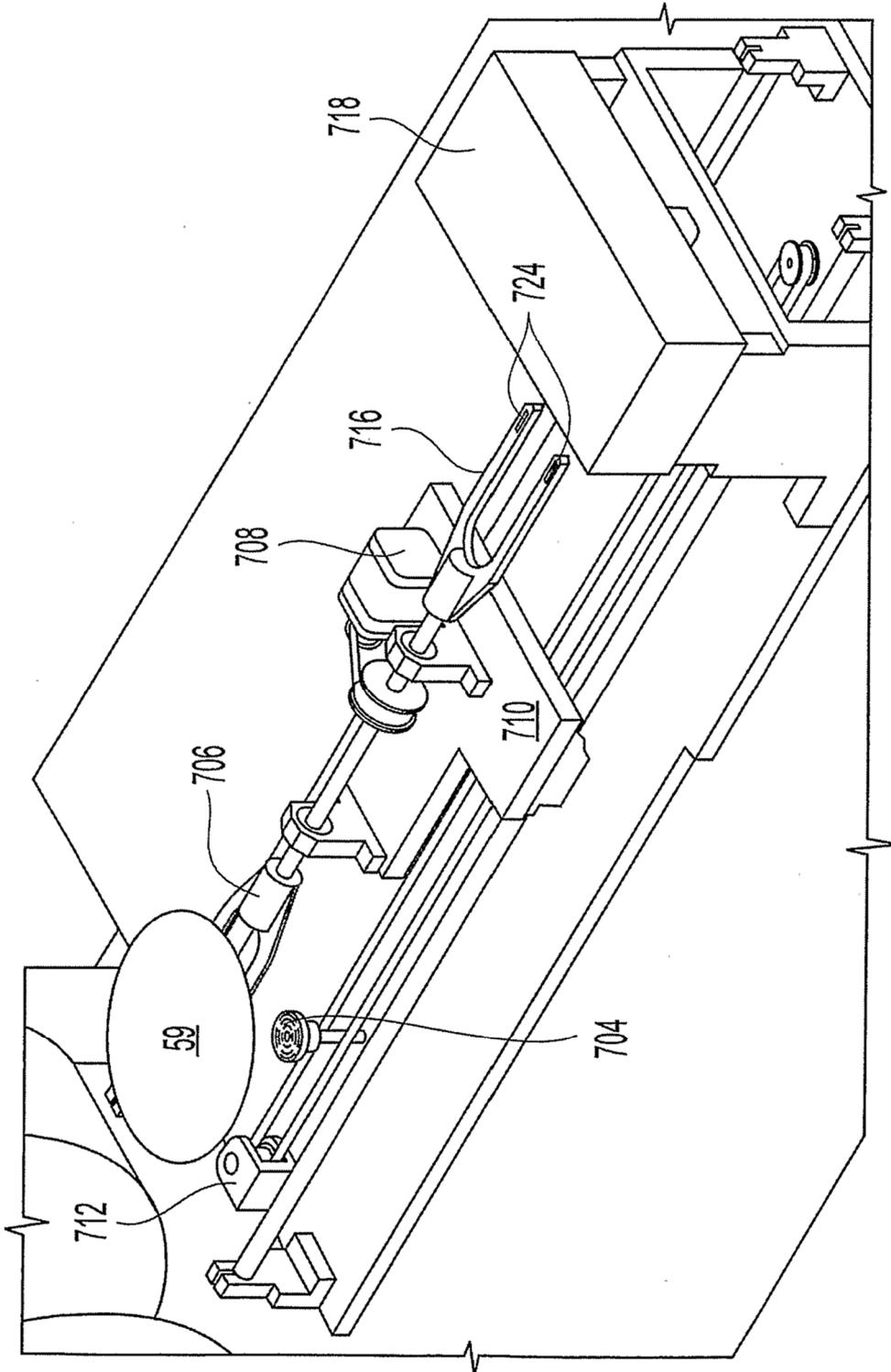
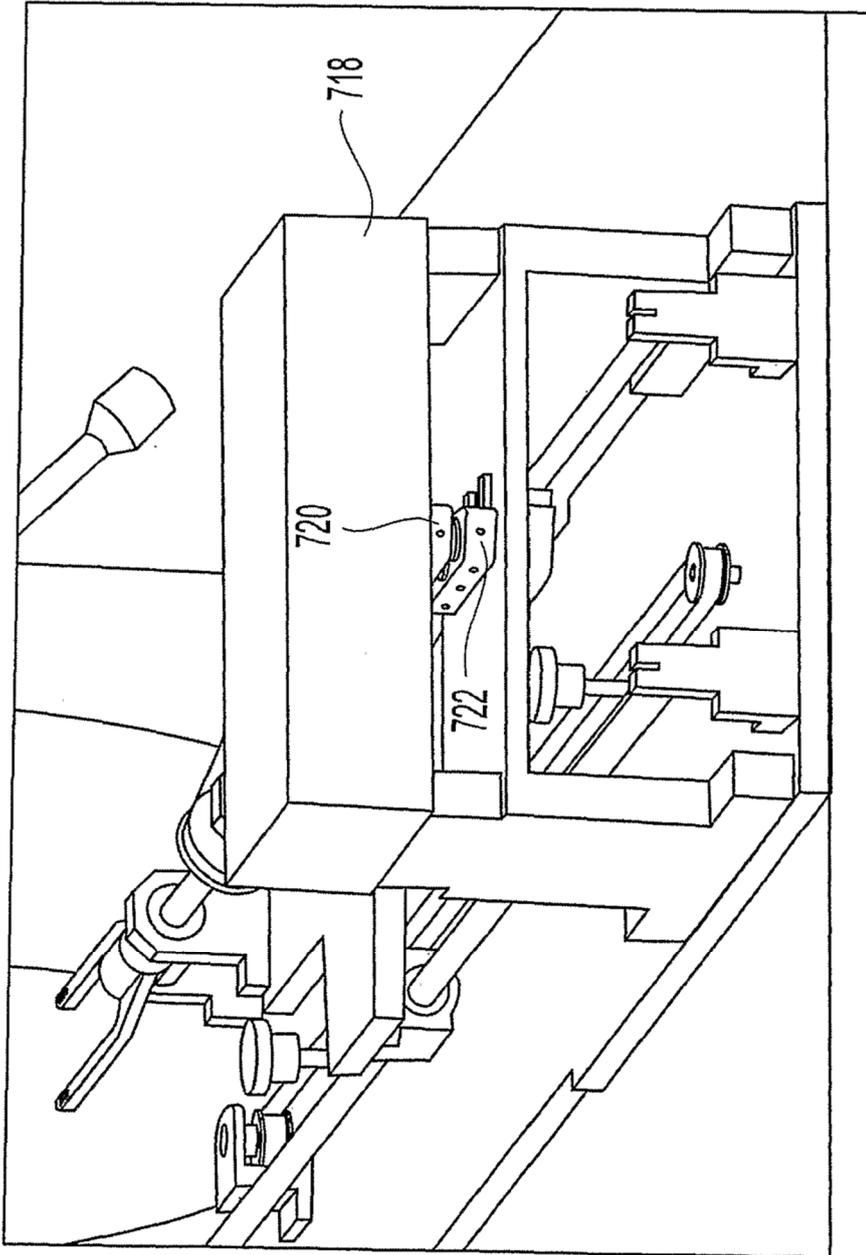
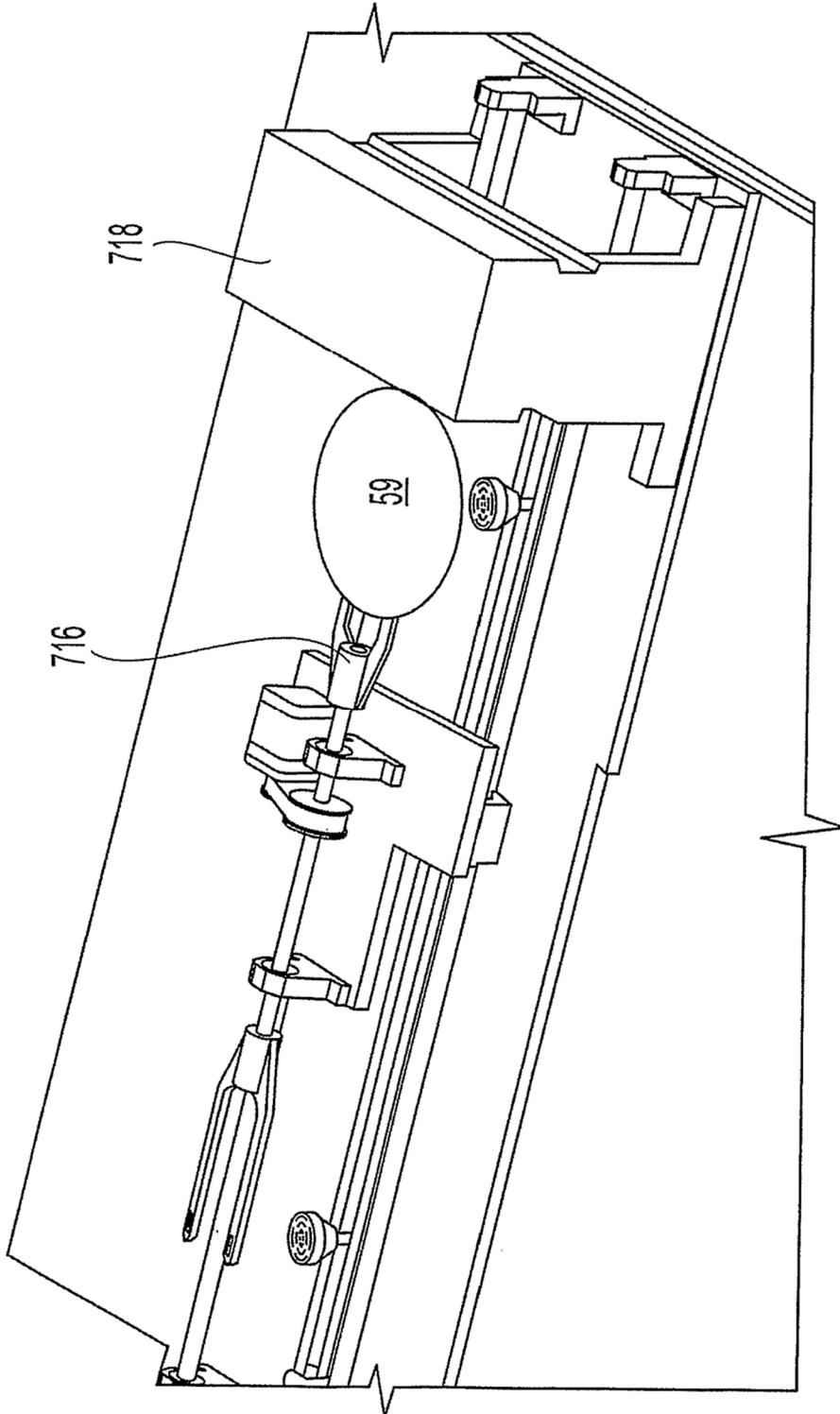


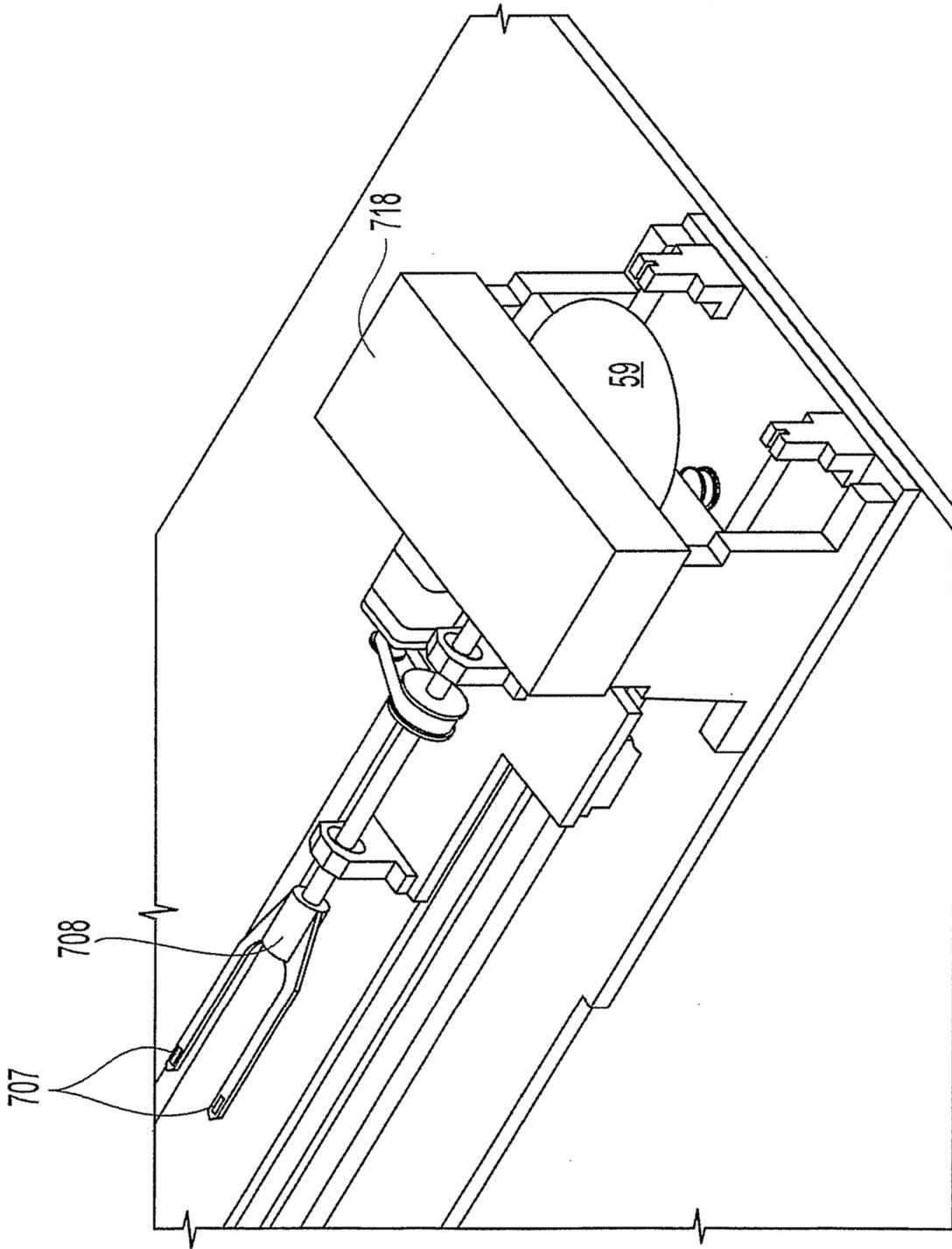
Fig. 15



*Fig. 16*



*Fig. 17*



*Fig. 18*

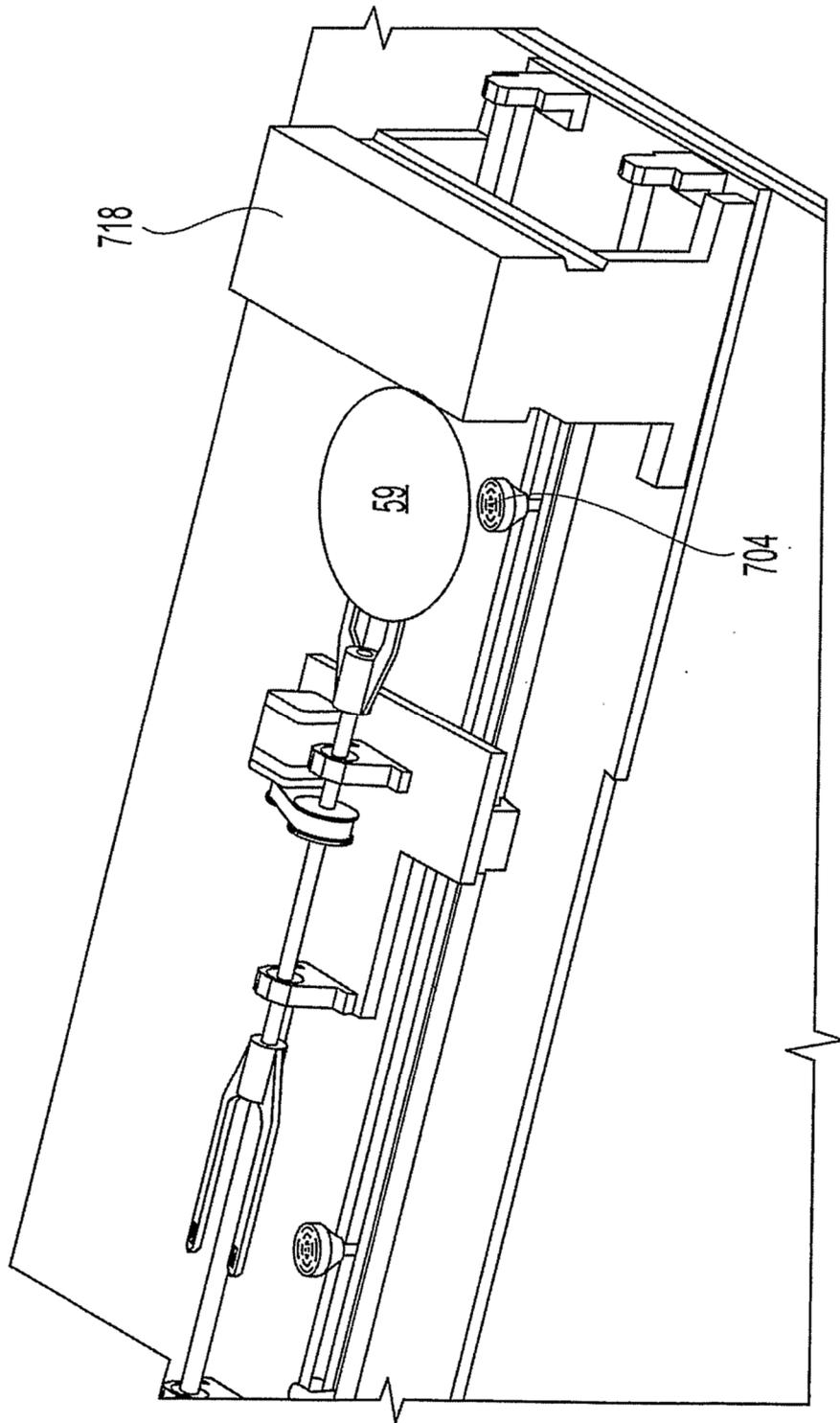


Fig. 19