

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 788 731**

51 Int. Cl.:

| | |
|-------------------|-----------|
| G01F 11/08 | (2006.01) |
| G01F 11/02 | (2006.01) |
| G01F 11/06 | (2006.01) |
| F04B 17/00 | (2006.01) |
| F04B 43/04 | (2006.01) |
| F04B 43/09 | (2006.01) |

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **13.07.2016 PCT/EP2016/066631**

87 Fecha y número de publicación internacional: **19.01.2017 WO17009375**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **13.07.2016 E 16738432 (0)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **12.02.2020 EP 3325925**

54 Título: **Sistema de bomba de desplazamiento positivo y métodos para la dispensación de gotas**

30 Prioridad:

10.07.2015 SE 1551015
10.07.2015 US 201514796286

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
22.10.2020

73 Titular/es:

GINOLIS OY (100.0%)
90460 Oulunsalo, FI

72 Inventor/es:

LITHELL, PER OSKAR;
HINTSALA, TOPI y
PALOVIIITA, JARMO

74 Agente/Representante:

ISERN JARA, Jorge

ES 2 788 731 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 bomba de desplazamiento positivo y métodos para la dispensación de gotas

5 Antecedentes de la invención

La presente invención se refiere al campo de los dispositivos y métodos para dispensar pequeños volúmenes, tales como nanolitros, de líquido utilizando una bomba de desplazamiento positivo. Un tipo de bomba de desplazamiento positivo, conocida como "bomba de fuelle" comprende un cuerpo con cámara que encierra un fuelle en donde el espacio entre el fuelle y las paredes de la cámara está destinado a llenarse con un líquido que se debe dispensar y el líquido se dispensa a través de una salida por expansión del fuelle. En otro tipo de bomba de fuelle, el líquido a dispensar está dentro del fuelle y el líquido se distribuye moviendo el extremo libre del fuelle por medio de una varilla accionada por un accionador situada entre el extremo libre del fuelle y una parte fija del cuerpo de la bomba. Otro tipo de bomba de desplazamiento positivo es una bomba de jeringa en la que el desplazamiento del pistón de una jeringa dentro de un cilindro de jeringa hace que el fluido sea aspirado o extraído de la salida de la jeringa.

El documento US5638986 describe una bomba de fuelle en la que el espacio de dosificación está formado por el volumen interior de un fuelle corto que se comprime y expande a lo largo de su eje longitudinal mediante una varilla de estiramiento y contracción hecha de material piezoeléctrico que está en contacto directo con el centro de una superficie terminal del fuelle. La varilla puede expandirse y contraerse en la dirección longitudinal del fuelle y actúa en el centro del fuelle. El espacio de dosificación cambia su volumen de forma no lineal cuando el fuelle se comprime primero lentamente desde el centro del mismo y luego más rápido tanto desde el centro como de los pliegues del fuelle. Como el movimiento limitado del material piezoeléctrico se transfiere directamente al fuelle, la repetibilidad del tamaño de gota dispensado es buena, pero solo se puede dispensar un pequeño número de gotas antes de que el piezomaterial llegue al final de su recorrido y el fuelle necesite rellenarse.

El documento US8323882 describe una bomba de jeringa que es accionada por un motor paso a paso y un husillo asociado. Dichos sistemas pueden sufrir problemas mecánicos que afectan a su precisión. Por ejemplo, el huelgo en el husillo puede conducir a una dispensación imprecisa en la que las gotas que estaban destinadas a dispensarse al comienzo de una operación de dispensación no se dispensan realmente cuando el sistema ocupa el huelgo en el sistema. Además, es posible que la fricción o la fricción estática en el sistema evite que el motor paso a paso realice realmente un paso completo (y por lo tanto no pueda dispensar ningún fluido). Cuando el motor paso a paso se acciona posteriormente para realizar el siguiente paso, es posible que supere la fricción y se mueva dos pasos en lugar del paso único recién ordenado, dispensando de este modo el doble de la cantidad prevista de fluido. Esto no es un problema cuando se pretende dispensar grandes volúmenes, ya que pueden implicar decenas o cientos de pasos continuos, pero en el caso de pequeñas gotas que requieren solo uno o unos pocos pasos, esta fricción significa que la repetibilidad de tamaños de gotas muy pequeños es a menudo mala.

Los documentos DE 10 2013 108948 A1, US 2007/129681 A1, US2013/287607 A1 y US 2004/045148 A1 describen sistemas de bomba de desplazamiento positivo accionados por un accionador piezoeléctrico lineal.

Del documento W02002/082024 se conoce un ejemplo de una bomba de fuelle de la técnica anterior que intenta superar las desventajas de las bombas de desplazamiento positivo anteriores. Esto describe una bomba de fuelle en la que el accionador tiene la forma de una bobina de voz que comprende un imán y una bobina de corriente. El imán (alternativamente, la bobina de corriente) está unido al extremo móvil del fuelle y la bobina de corriente (alternativamente, el imán) está unida al cuerpo. La aplicación de una corriente eléctrica a la bobina de corriente produce un campo magnético que atrae o repele el imán y, por lo tanto, cambia el volumen del fuelle. Una disminución en el volumen del fuelle obliga a un volumen similar de líquido a abandonar el fuelle a través de una boquilla de dispensación. Tales bombas de fuelle tienen baja fricción y, por lo tanto, no sufren los problemas de fricción asociados con las bombas de jeringa.

La figura 1 muestra un ejemplo de una bomba de desplazamiento positivo de la técnica anterior que comprende un cuerpo 1 que tiene una cubierta superior 3, una parte inferior 5 y una chaqueta cilíndrica 7 entre ellos. Un fuelle 9 flexible se coloca centralmente en el espacio definido por la chaqueta 7. El fuelle puede ser un fuelle de níquel/cobalto o fuelle de plástico reforzado con fibra o similar. El extremo inferior 10 del fuelle 9 está unido a una pared intermedia 11 que se extiende a través de la chaqueta y el extremo móvil, 13, opuesto del fuelle está dispuesto para un movimiento lineal en las direcciones axiales del fuelle y la chaqueta 7 del cuerpo. El extremo móvil 13 del fuelle es movido por un accionador 17 formado por una varilla que se extiende axialmente 19 unida a una bobina de corriente anular 21 y un imán permanente 23 unido a la parte inferior 5 del cuerpo, y que coopera magnéticamente con la bobina de corriente. La bobina de corriente 21 está unida directamente al extremo móvil 13 del fuelle y está dispuesta para moverse en la dirección axial de la chaqueta 7 en una ranura anular 25 formada en el imán 23 sin entrar en contacto con el imán. La corriente eléctrica puede pasar a la bobina de corriente 21 a través de los conductores 27, ajustando la magnitud de la corriente mediante un medio de control tal como un microprocesador 29 y un circuito de accionamiento. Según la dirección de la corriente, la bobina de corriente 21 y el imán 23 se atraen o repelen entre sí. La fuerza de atracción o repulsión depende de la fuerza de la corriente en la bobina 21. Normalmente, la corriente puede ajustarse casi continuamente en el intervalo de ajuste disponible. Para centralizar el extremo del fuelle y la bobina de corriente 21 en

el eje de la chaqueta 7 y linealizar sus movimientos, se coloca un centralizador 31 entre la chaqueta y el extremo del fuelle. El centralizador se representa esquemáticamente como un resorte plisado, cónico truncado. El extremo más ancho 33 del resorte está unido a la superficie interna de la chaqueta 7 del cuerpo y el extremo truncado 35 al soporte 36 de la varilla conectado al extremo móvil 13 del fuelle 9. El centralizador 31 tiene una alta rigidez lateral mientras cede libremente en la dirección axial.

En la construcción de la bomba de desplazamiento positivo, la fuerza de resorte del fuelle 9 y la fuerza de resorte del centralizador 31 actúan una contra la otra para equilibrar el extremo móvil 13 del fuelle en una posición cero ($X=0$) en caso de que no haya corriente eléctrica en la bobina de corriente 21. De este modo, el extremo móvil 13 del fuelle puede moverse a ambos lados de la posición de equilibrio de acuerdo con la dirección de la corriente eléctrica que pasa a través de la bobina 21.

Una cámara de líquido 37 llena con el líquido a dosificar se forma entre el exterior del fuelle 9, la pared intermedia, la chaqueta y la cubierta. La operación de dosificación realizada por el dispositivo se basa en los cambios de volumen de dicha cámara de líquido. La cámara de líquido 37 tiene un canal de llenado 39 provisto de una bomba 41 que puede suministrar líquido desde el suministro de líquido 42 y también puede actuar como una válvula para cerrar el espacio. Un canal de dosificación 43 conduce desde la cámara de líquido a una punta de dosificación 45 que descarga la cantidad de líquido dosificado en forma de gotas 47. El dispositivo presentado puede usarse para producir tiras reactivas para análisis químicos sobre un sustrato 49 como se muestra en la Figura 1. Se pueden inyectar gotas de líquido 47 en la tira 49 desde la punta de dosificación 47. La bomba de desplazamiento positivo que se muestra puede usarse en una dosificación en serie productiva en la que la cámara de líquido 37 se llena con el líquido a dosificar, y después, decenas o incluso cientos de pequeñas dosis de líquido que tienen un volumen igual se dosifican por medio del accionador 17 que constriñe la cámara de líquido para provocar las operaciones de dosificación. En la posición inicial, cuando el fuelle se retrae a su máxima extensión, el imán 23 y la bobina de corriente 21 se atraen entre sí contra las fuerzas de resorte totales del fuelle 9 y el centralizador 15. Entonces, paso a paso, la magnitud de la corriente se puede reducir para disminuir las fuerzas de atracción del imán y la bobina. Esto hace que la bobina y el extremo del fuelle se alejen axialmente del imán, constriñendo así la cámara de líquido que rodea el fuelle de manera gradual. Normalmente, cada disminución gradual de la magnitud de corriente corresponde a la descarga de una cantidad predeterminada de líquido 47 desde la punta de dosificación 45. Una vez que la magnitud de la corriente eléctrica en la bobina ha alcanzado el valor de cero, se alcanza dicho equilibrio o posición cero ($X=0$) del extremo móvil del fuelle. La dosificación adicional se logra invirtiendo la dirección de la corriente eléctrica y aumentando la magnitud de la corriente eléctrica paso a paso, empujando así la fuerza repelente entre el imán y la bobina el extremo móvil del fuelle contra las fuerzas de resorte totales del fuelle y el centralizador y, por lo tanto, constriñendo aún más la cámara de líquido. De esta manera, la dosificación en serie puede continuar hasta que el extremo móvil del fuelle alcance el final de su intervalo de movimiento práctico $+X_p$ y $-X_p$, que normalmente se establece por la corriente máxima que el sistema puede proporcionar a la bobina de voz que corresponde a la fuerza máxima que la bobina puede ejercer y es menor que los movimientos máximos teóricos $+X_t$ y $-X_t$ que podrían ser físicamente posibles en el dispositivo.

Un problema con tales dispositivos es que el intervalo de trabajo de la bobina de voz está limitado por las corrientes necesarias para mover la bobina de corriente con respecto al imán. Esto se debe a que la corriente necesaria para desplazar la bobina desde su posición de reposo (es decir, su posición cuando no fluye corriente a través de ella) no varía linealmente con la distancia, sino que aumenta cuadráticamente con la distancia a la que la bobina está desde su posición de reposo. Esto significa que el intervalo de trabajo real de la bomba, es decir, el volumen que puede dispensar antes de que necesite rellenarse es mucho menor que el intervalo de trabajo teóricamente posible de la bomba, ya que está limitado por la capacidad de corriente (y, por lo tanto, la potencia que puede generar) de la bobina de corriente/accionador magnético del sistema. Cuanto más lejos esté la bobina de voz de su posición de reposo, mayor es la corriente necesaria para moverla y/o mantenerla en posición. Además de requerir una fuente de alimentación de alta potencia que solo se utiliza a plena capacidad cuando la bobina de voz alcanza los extremos de su intervalo, las corrientes extraídas por la bobina de voz generan calor en el sistema que puede afectar a la precisión y la estabilidad de la dispensación. Además, la bobina de voz conduce a cargas inductivas en los circuitos eléctricos que deben diseñarse para soportar estas cargas.

Un inconveniente adicional con una bomba de fuelle accionada por bobina de voz es que no es rígida en la dimensión axial. Tal accionamiento lineal electromagnético depende del control continuo de la corriente para lograr y mantener una posición deseada que requiere circuitos y controladores de control costosos.

Breve descripción de la invención

La invención se refiere a una bomba de desplazamiento positivo que supera el problema mencionado anteriormente por medio de un dispositivo que tiene las características de la reivindicación 1 y un método que tiene las características de la reivindicación 7.

En una primera realización de un dispositivo de acuerdo con la presente invención, una bomba de desplazamiento positivo está provista esencialmente de un motor piezoeléctrico lineal para accionar la bomba y un codificador lineal que garantiza la precisión y la repetibilidad del posicionamiento del miembro móvil de la bomba.

En una realización adicional de la presente invención, el codificador lineal está en conexión directa con el pistón u otro miembro móvil de una bomba de desplazamiento positivo que elimina la necesidad de un enlace (que es un curso potencial de errores) entre el miembro móvil y el codificador.

- 5 En otra realización de la presente invención, el codificador lineal está en conexión directa con el fuelle de una bomba de fuelle que garantiza la precisión y la repetibilidad del posicionamiento del fuelle.

10 En una realización adicional de la presente invención, el codificador lineal está en conexión directa con el eje de una bomba de fuelle que elimina la necesidad de un enlace (que es un curso potencial de errores) entre el fuelle y el codificador.

15 El motor piezoeléctrico lineal puede accionarse para mover el fuelle en todo el intervalo de posible expansión y contracción del fuelle. La invención se refiere además a métodos para dispensar con precisión pequeños volúmenes de líquido con buena repetibilidad utilizando una bomba de desplazamiento positivo accionada por un motor piezoeléctrico lineal en el que la dispensación del líquido tiene lugar cuando el motor está parado después de acumular una presión positiva en la bomba y la dispensación se controla abriendo una válvula y cerrándola después de un período de tiempo programado o predeterminado. Esto garantiza un tamaño de gota preciso.

20 Breve descripción de los dibujos

La figura 1 muestra esquemáticamente una sección a través de una realización de una bomba de fuelle de la técnica anterior que comprende un accionador de bobina de voz.

25 La figura 2 muestra esquemáticamente una sección a través de una primera realización de una bomba de fuelle que comprende un accionador lineal de motor piezoeléctrico de acuerdo con la presente invención.

Las figuras 3a)-3d) muestran esquemáticamente cómo se puede accionar un accionador lineal andante para mover una varilla.

30 Descripción detallada de la invención

A continuación, todas las presiones mencionadas son presiones manométricas a menos que se describa lo contrario.

35 La figura 2 muestra esquemáticamente una primera realización de una bomba de desplazamiento positivo de acuerdo con la presente invención.

Una bomba de desplazamiento positivo de acuerdo con la presente invención comprende un cuerpo 301 que tiene una cubierta superior 303, una parte inferior 305 y una chaqueta cilíndrica 307 entre ellos. Un fuelle 309 flexible se coloca centralmente en el espacio definido por la chaqueta 307. El fuelle puede ser un fuelle de níquel/cobalto o fuelle de plástico reforzado con fibra o similar. El extremo inferior 310 del fuelle 309 está unido a una pared intermedia 311 que se extiende a través de la chaqueta. Una porción del fuelle como el extremo móvil, 313, opuesto del fuelle está dispuesto para un movimiento lineal en las direcciones axiales del fuelle y la chaqueta 307 del cuerpo. El extremo móvil 313 del fuelle se mueve mediante un accionador 317 formado por una varilla que se extiende axialmente 319 y un accionador lineal 321 unido a la cubierta 303 o a la parte inferior 305 del cuerpo. El accionador lineal 321 está dispuesto para moverse en la varilla hacia adelante y hacia atrás en la dirección axial del cuerpo. Preferiblemente, el accionador lineal es un accionador lineal "andante" que comprende al menos un motor piezoeléctrico lineal: en la figura 2, se muestran dos motores piezoeléctricos 323, 323' dispuestos en lados opuestos de la varilla y conectados entre sí mediante una barra de enlace superior 324 y una barra de enlace inferior 324'. Como se muestra con más detalle en las figuras 3a)-3d) (en las que se omiten las barras de enlace para mayor claridad), cada motor piezoeléctrico lineal tiene una pluralidad de patas deformables 325a-325d, 325a'-325d' que son operables en una dirección hacia adelante y hacia atrás para desplazar la varilla axialmente. El motor piezoeléctrico se controla mediante señales eléctricas que se generan mediante un medio de control tal como un microprocesador 326 y se pasa al motor piezoeléctrico 323, 323' a través de los conductores 327. Las señales hacen que las patas seleccionadas se doblen y se enderecen y la coordinación entre las señales puede hacer que las patas muevan la varilla hacia adelante en una primera dirección, por ejemplo, hacia la parte inferior del cuerpo o para mover la varilla hacia atrás en la dirección opuesta hacia la cubierta del cuerpo. En ausencia de una señal, las patas agarran la varilla y resisten cualquier movimiento de la varilla como se muestra en la figura 3a). Las patas 325a-325d, 325a'-325d' son operables en pares, de manera que, si, por ejemplo, los primeros pares de patas de cada motor lineal, que comprende las patas 325b y 325d, respectivamente 325b' y 325d' de cada motor lineal, son operados para doblar y mover la varilla en un paso d en la dirección X, entonces los segundos pares de patas que comprenden las patas 325a y 325c, respectivamente 325a' y 325c' se retraen de la varilla en la dirección opuesta (es decir, -X) como se muestra en la figura 3b). El movimiento adicional de la varilla en la dirección X se logra accionando los segundos pares de patas que inicialmente se retraeron para extenderse ahora para agarrar y empujar la varilla en la dirección X (como se muestra en las figuras 3c) y 3d) mientras los primeros pares de patas que inicialmente empujaron la varilla en la dirección X ahora se retrae de la varilla y se dobla en la dirección -X. Cada uno de estos pasos está determinado por la estructura de los motores lineales y puede ser del orden de 5 micrómetros o incluso menos. A medida que las patas agarran la varilla cuando no se les envía ninguna

señal, no se requiere energía para mantener la varilla en una posición.

Una cámara de líquido 337 llena con el líquido a dosificar se forma entre el exterior del fuelle 309, la pared intermedia, la chaqueta y la cubierta. La operación de dosificación realizada por el dispositivo se basa en cambios de volumen de dicha cámara de líquido causados por el movimiento del fuelle. La cámara de líquido 337 tiene un canal de llenado 339 con un primer segmento de canal 339a que conduce desde la cámara de líquido a una válvula de carga 341 que puede permitir o evitar el flujo de líquido en el canal de llenado y, por lo tanto, actúa como una válvula para evitar el flujo hacia o desde la cámara de líquido. El canal de llenado 339 tiene un segundo segmento que conduce desde la válvula de carga 341 a un suministro de líquido 342. Un primer segmento 343a del canal de dosificación 343 conduce desde la cámara de líquido a una válvula de dosificación 344 que está conectada por un segundo segmento del canal de dosificación 343b a una punta de dosificación 345 para descargar la cantidad de líquido dosificado en forma de gotas 347. La válvula de dosificación 344 puede operarse para abrirse para permitir el flujo a través del canal de dosificación 343 o cerrarse para evitar el flujo a través del canal de dosificación 343. El dispositivo puede usarse para producir tiras reactivas para análisis químicos sobre un sustrato 349. Dichas tiras reactivas o chips comprenden conjuntos de pequeñas regiones de prueba donde cada región de prueba contiene reactivos que se han agregado a un líquido y que se dispensan en el líquido en forma de gotas. El líquido en las gotas dispensadas posteriormente se ha evaporado, dejando el reactivo en la superficie del sustrato. Para que la tira reactiva dé resultados consistentes cuando se usa, es importante que la cantidad de reactivo en cada región de prueba sea lo más parecida posible. Se pueden inyectar gotas de líquido 347 en la tira 349 desde la punta de dosificación 347. La bomba de desplazamiento positivo que se muestra puede usarse en una dosificación en serie productiva en la que la cámara de líquido 337 se llena con el líquido a dosificar, y después, decenas o incluso cientos de pequeñas dosis de líquido que tienen un volumen controlado con precisión pueden dosificarse por medio del accionador 317 expandiendo el fuelle y, por lo tanto, construyendo la cámara de líquido para provocar las operaciones de dosificación.

Cuando se utiliza una bomba de desplazamiento positivo, la cantidad de un líquido dado dispensado desde la punta de dosificación depende principalmente de la presión dentro de la bomba (la "presión del sistema") y el tiempo de apertura de la válvula de dispensación. Las bombas se pueden calibrar distribuyendo gotas a microescala a presiones conocidas y tiempos de apertura de válvulas conocidos y midiendo el peso de cada gota. Los resultados de estas pruebas se pueden guardar en una tabla de calibración electrónica o física que proporciona el volumen de gota dispensado por presión conocida del sistema y tiempo de apertura de la válvula. Esto permite al usuario determinar qué presión y tiempo de apertura de la válvula son necesarios para dispensar un volumen de gota deseado. Cuando se van a dispensar una serie de gotas, el usuario puede determinar la presión de dispensación deseada y el tiempo de apertura de la válvula establecido apropiado a partir de la tabla de calibración. Preferiblemente, la calibración se realiza para varias presiones del sistema. Por ejemplo, se puede determinar que a una presión de dispensación deseada de 40 kPa, un tiempo de apertura de la válvula de 1200 ms permitirá dispensar 50 nl de fluido a una presión más alta, por ejemplo, 60 kPa, un tiempo de apertura de la válvula de 800 ms permite dispensar 50 nl de fluido.

Un ciclo de dispensación en un método de dispensación tiene las etapas de cargar líquido en la cámara de líquido, presionar el líquido y dispensar una o más gotas hasta que la presión en el líquido caiga a un valor mínimo predeterminado o el líquido se agote después de lo cual, para permitir una mayor dispensación, es necesario cargar más líquido en la cámara de líquido. En dicho método durante la etapa de dispensación, durante el tiempo en que la válvula de dispensación está abierta, el accionador lineal es estacionario y es la presión previamente acumulada en la cámara de líquido del movimiento anterior del accionador lineal lo que provoca la expulsión de una gota de la punta de dosificación cuando se abre la válvula de dosificación.

En un ejemplo de un método de dispensación según la presente invención, la presión del sistema deseada y el tiempo de apertura de la válvula establecido se determinan para el volumen de gota deseado predeterminado y se ingresan al sistema de control o se configuran manualmente. En el caso de que varias combinaciones diferentes de presión del sistema y tiempos de apertura de la válvula pudieran dar el volumen de gotas deseado que, en general, una presión más alta y un tiempo de apertura más corto reduce la posibilidad de que la gota se adhiera a la punta de dosificación en lugar de rechazarse. Sin embargo, una presión demasiado alta también conduce a velocidades de expulsión altas que pueden ser desventajosas; por ejemplo, esto puede conducir a que la gota se atomice o se frene al impactar.

La calibración también se puede utilizar para encontrar el intervalo de movimiento del accionador lineal sobre el cual la distancia recorrida por el accionador lineal produce sustancialmente el mismo cambio en el volumen de la cámara de líquido. Esto se puede lograr moviendo el motor/fuelle a cierta distancia fija, abriendo la válvula y luego cerrándola después de un tiempo predeterminado y midiendo el peso del líquido dispensado por microbalanza. Después de esto, la bomba se puede probar adicionalmente distribuyendo la carrera completa de la bomba en pequeñas cantidades (por ejemplo, 1 ml) para determinar el intervalo de movimiento del motor/fuelle sobre el cual el volumen dispensado permanece lineal, es decir, el intervalo de movimiento donde un movimiento de x da un volumen dispensado de y .

Durante la dispensación de un líquido, el valor de la presión real del sistema para un tiempo de apertura de la válvula de dispensación establecido necesario para dispensar una gota de un volumen deseado predeterminado puede ser realmente diferente al valor que se muestra en la tabla de calibración. Esto puede deberse a diferencias en las propiedades del líquido que se dispensa, cambios en el sistema de bomba, deterioro por uso, etc. Por ejemplo, la presión real de dispensación necesaria para dispensar 50 nl en un tiempo de apertura de la válvula de 1200 ms puede

ser en realidad 41 kPa en lugar del valor de 40 que se muestra en la tabla de calibración. Por lo tanto, antes de dispensar un líquido sobre un sustrato, es necesario asegurarse de que la presión en el sistema de bomba sea la presión real necesaria para el tiempo de apertura de la válvula establecido. Esto se logra presionando primero el sistema a la presión nominal deseada del sistema y luego dispensando para desperdiciar una pluralidad de gotas durante una etapa de estabilización de presión como se describe a continuación. Una vez que la presión se ha estabilizado, puede realizarse la dispensación real.

Para comenzar a dispensar desde una primera posición, por ejemplo, la posición completa (como se muestra en el fuelle y la varilla con líneas discontinuas en la figura 2), la válvula de carga se abre para permitir el flujo de líquido desde el suministro de líquido 342 hacia la cámara de líquido 337, la válvula dispensadora 344 está cerrada, y el accionador lineal 321 se acciona para retraer el fuelle en su máxima extensión de modo que la cámara de líquido contenga la cantidad máxima de líquido que se debe dispensar. Por supuesto, la dispensación no tiene que comenzar desde esta posición completamente completa; esta posición se elige simplemente para ilustrar el método de acuerdo con la invención. La válvula de carga 341 se cambia a su posición cerrada, evitando así que el líquido regrese al suministro de líquido 342. El accionador lineal se acciona para mover la varilla 319 una distancia de modo que el fuelle 309 se expanda, aumentando así la presión del líquido en contacto fluido con la cámara de líquido 337, es decir, el fluido en la propia cámara de fluido y las porciones del canal de llenado 339 y el canal de dosificación 343 en contacto de fluido con la cámara de líquido cuando la válvula de carga y la válvula de dosificación están cerradas, hasta que sea igual a la presión deseada del sistema. Preferiblemente, la presión del sistema deseada, buscada, es igual o superior a 10 kilopascales (kPa) e igual o inferior a 100 kilopascales (1 bar). Más preferiblemente, la presión deseada del sistema está dispuesta para que sea igual o mayor que 20 kilopascales e igual o menor que 70 kPa. Incluso más preferiblemente, la presión deseada del sistema está dispuesta para ser igual o mayor que 25 kilopascales e igual o menor que 60 kPa. Más preferiblemente, el aumento de presión durante esta etapa de presurización previa a la dispensación está dispuesto para que sea igual o mayor que 30 kilopascales e igual o menor que 50 kPa. Parece que el uso de presiones tan bajas ha producido la ventaja inesperada de que el volumen de las gotas distribuidas no varía mucho durante un ciclo de dispensación. No es necesario que el aumento de la presión del líquido dentro de la cámara de líquido 337 se mida directamente por un sensor de presión. Durante la calibración del dispositivo, el movimiento del accionador lineal que causará una disminución conocida en el volumen de la cámara de líquido y, por lo tanto, un aumento conocido en la presión se puede determinar sobre el intervalo útil del volumen variable de la cámara. Por ejemplo, si se sabe que para un dispositivo específico un movimiento de 50 mm conduce a un aumento de la presión de 100 kPa, entonces para ese dispositivo la distancia predeterminada máxima a la que el accionador lineal estaría programado para moverse se limitaría a 25 mm si la presión máxima de dispensación previa se debe mantener a 50 kPa.

Una vez que se ha obtenido la presurización deseada del fluido, por ejemplo una presión deseada de nominalmente 40 kPa, se realiza una etapa de estabilización de la presión previa a la dispensación en la que se opera la bomba para garantizar que la presión de dispensación real requerida de alrededor de 40 kPa (por ejemplo, 41 kPa) que realmente proporciona el tamaño de gota deseado se encuentre y se mantenga a un valor estable dentro de la cámara de fluido antes de comenzar la dispensación. Primero se ajusta el volumen predeterminado deseado de cada una de las gotas que se van a dispensar, por ejemplo 50 nl. El tiempo de apertura de la válvula apropiado, por ejemplo 1200 ms, necesario para dispensar este volumen a la presión previa a la dispensación se obtiene de la tabla de datos de calibración y se establece, y se calcula la distancia a la que el accionador lineal tiene que moverse para reducir el volumen de la cámara de fluido en 50 nl. Por ejemplo, si el área efectiva de un fuelle es de 50 mm², entonces un movimiento de 1 mm provocaría un cambio en el volumen de 50 nl y para dispensar un volumen de 50 nl, el accionador funcionaría en pasos de 1 mm.

La presión de dispensación estable se logra de la siguiente manera:

el método comienza con la válvula dispensadora 344 cerrada y luego la varilla se mueve la distancia requerida para dispensar una gota del tamaño deseado, por ejemplo, 1 mm para una gota de 50 nl. La válvula se abre durante el tiempo de apertura de la válvula establecido, por ejemplo 1200 ms, y la gota se desecha. Esta secuencia se repite. Preferiblemente, la secuencia se repite una pluralidad de veces N, donde N es igual o mayor que 50 e igual o menor que 1000, más preferiblemente igual o mayor que 100 e igual o menor que 750, incluso más preferiblemente, N es igual o mayor que 150 e igual o menor que 500 y aún más preferiblemente N es igual o mayor que 200 e igual o menor que 350. Durante esta secuencia, la presión en el sistema de dispensación se acercará gradualmente a la presión de dispensación real requerida ya que, si la presión es inicialmente demasiado alta, entonces se dispensará más fluido en cada gota de lo previsto, bajando así el aumento de presión causado por el próximo movimiento de la varilla. En cambio, si la presión es inicialmente muy baja, entonces se dispensará menos fluido del previsto durante el tiempo de apertura de la válvula y el movimiento posterior de la varilla causará un aumento de presión mayor de lo esperado. Al final de esta secuencia, la presión dentro del sistema de distribución se habrá estabilizado a la presión de dispensación requerida, real y correcta de, por ejemplo, 41 kPa necesarios para dispensar una gota de 50 nl durante un período de apertura de la válvula de 1200 ms y el volumen de líquido dispensado por apertura de la válvula será el mismo que la disminución en el volumen de la cámara de fluido causada por el movimiento de la varilla, es decir, exactamente 50 nl. El uso de este método de estabilización previo a la dispensación significa que no es necesario conocer la presión de dispensación real, exacta y requerida en el sistema, ya que el método asegura que la presión en el sistema convergerá en lo que es necesario para que la cantidad deseada de fluido se dispense durante el tiempo real de apertura de la válvula. En otras palabras, durante esta fase de estabilización, el volumen de las gotas distribuidas no

será necesariamente preciso: si la presión es demasiado alta para comenzar, las gotas iniciales serán mayores que el cambio de volumen causado por el movimiento de la varilla, conduciendo así a una disminución gradual de la presión hacia la presión correcta. Si la presión es demasiado baja para comenzar, las gotas iniciales serán más pequeñas que el cambio de volumen causado por el movimiento de la varilla, conduciendo así a un aumento gradual de la presión hacia la presión de dispensación deseada.

Si en lugar de desperdiciarse las gotas se dispensan en una microescala, entonces, como es muy difícil medir el peso de unas gotas de 50 nl, se mide el peso de una serie de gotas (por ejemplo, 50 o 100 gotas). La estabilización puede considerarse completa cuando la diferencia de peso entre dos series consecutivas de gotas difiere en menos de una cantidad establecida, por ejemplo 5 % o 3 % o 1 %.

Tras la estabilización de la presión del sistema, posteriormente, puede ocurrir la dispensación del fluido sobre el objetivo deseado.

Esto se logra moviendo la varilla a la distancia predeterminada necesaria para dispensar el mismo volumen deseado predeterminado que se usó durante la etapa de estabilización, por ejemplo 50 nl, sosteniendo la barra estacionaria y luego abriendo la válvula dispensadora 344 el mismo período de tiempo establecido necesario para dispensar una gota, por ejemplo, 1200 ms. La válvula dispensadora se cierra entonces. El sustrato y/o la punta dispensadora se mueven a la posición donde se dispensará la próxima gota, la varilla se mueve la distancia predeterminada necesaria para dispensar el volumen deseado, la válvula dispensadora se abre nuevamente por la cantidad de tiempo establecido necesario para dispensar la gota, se dispensa la gota y se cierra la válvula dispensadora. Este ciclo de mover la punta o sustrato, mover la varilla por la distancia predeterminada necesaria para dispensar el volumen deseado, abrir la válvula dispensadora durante el tiempo establecido y luego cerrar la válvula dispensadora se repite hasta que se haya dispensado el número requerido de gotas o la bomba esté abandonando su intervalo de movimiento calibrado o el líquido que se está distribuyendo se haya agotado. Así, durante la dispensación, el movimiento del accionador solo tiene lugar cuando se impide el flujo de líquido fuera de la cámara de líquido y, por lo tanto, el movimiento del accionador conduce a un aumento de la presión en la cámara. Por supuesto, se permite el movimiento del accionador para llenar la cámara de líquido.

Un accionador lineal piezoeléctrico es un accionador lineal en el que, en ausencia de influencias externas, la fuerza requerida para producir un cambio unitario en el desplazamiento lineal de una varilla del accionador es independiente de la posición de la varilla en el momento en que se desplaza. Como se describió anteriormente con referencia a las figuras 2 y 3a)-3d), el accionador lineal es preferiblemente un accionador lineal piezoeléctrico "andante". Tal accionador lineal es autoblocante y no requiere corriente y, por lo tanto, no genera calor cuando está parado. En un sistema de bomba de fuelle bien diseñado y construido adecuadamente, la fuerza requerida para mover la varilla permanece sustancialmente igual en al menos el intervalo medio de movimiento X de la varilla. La excepción a esto es cuando el sistema de varilla y accionador está influenciado por fuerzas mecánicas relacionadas con la construcción del dispositivo, por ejemplo, aumentar la resistencia al movimiento cuando el fuelle alcanza los extremos de su recorrido y ya no se deforma uniformemente.

Con señales de accionamiento adecuadas, el movimiento de cada par de patas puede sincronizarse. Como el accionador lineal se fija a la chaqueta o parte inferior del dispositivo, no puede moverse con respecto a la chaqueta o parte inferior del dispositivo y el movimiento de las patas se transforma en movimiento axial de la varilla que se encuentra entre ellas. Por lo tanto, las patas pueden "hacer caminar" la varilla hacia adelante y hacia atrás, paso a paso. Con patas muy pequeñas, la distancia recorrida por la varilla en un paso completo del accionador lineal también puede ser muy pequeña. Por ejemplo, si la longitud de paso del accionador lineal es de dos micrómetros, entonces la varilla se puede mover en pasos completos de dos micrómetros. Además, si se requieren pasos que son más pequeños que la longitud de paso del dispositivo, esto también es posible interrumpiendo el movimiento del accionador lineal mientras realiza un paso. Las señales de accionamiento son impulsos eléctricos y se pueden suministrar a prácticamente cualquier velocidad y tensión hasta el máximo permitido para el accionador lineal. Las señales de accionamiento rápidas provocarán una progresión rápida del motor piezoeléctrico, mientras que las señales de accionamiento lento provocarán una progresión lenta del motor piezoeléctrico. Esto significa que la velocidad de movimiento de las patas se puede controlar con precisión incluso a velocidades muy bajas, de modo que el movimiento se aproxima a ser un movimiento continuo, (es decir, un movimiento análogo). Por ejemplo, al accionar el accionador lineal para moverse a una velocidad ilustrativa de un nanómetro por minuto, es posible producir movimientos extremadamente pequeños con precisión al detener el movimiento después de que haya transcurrido un intervalo de tiempo adecuado, por ejemplo, 6 segundos si el movimiento deseado es 0,1 nanómetros. La varilla se puede detener en cualquier lugar a lo largo de su intervalo de movimiento con una precisión de una fracción de un nanómetro. El acoplamiento de fricción directa entre las patas y la varilla significa que el dispositivo funcionará normalmente sin ninguna reacción negativa medible o huelgo mecánico. Además de dar impulso directo, las patas también dan un bloqueo de apagado, de fuerza completa, sin consumir energía.

Se ha encontrado que se puede lograr una dispensación precisa y confiable de gotas mediante movimientos sorprendentemente pequeños del accionador lineal que generan presiones relativamente bajas en el fluido en el sistema de dispensación.

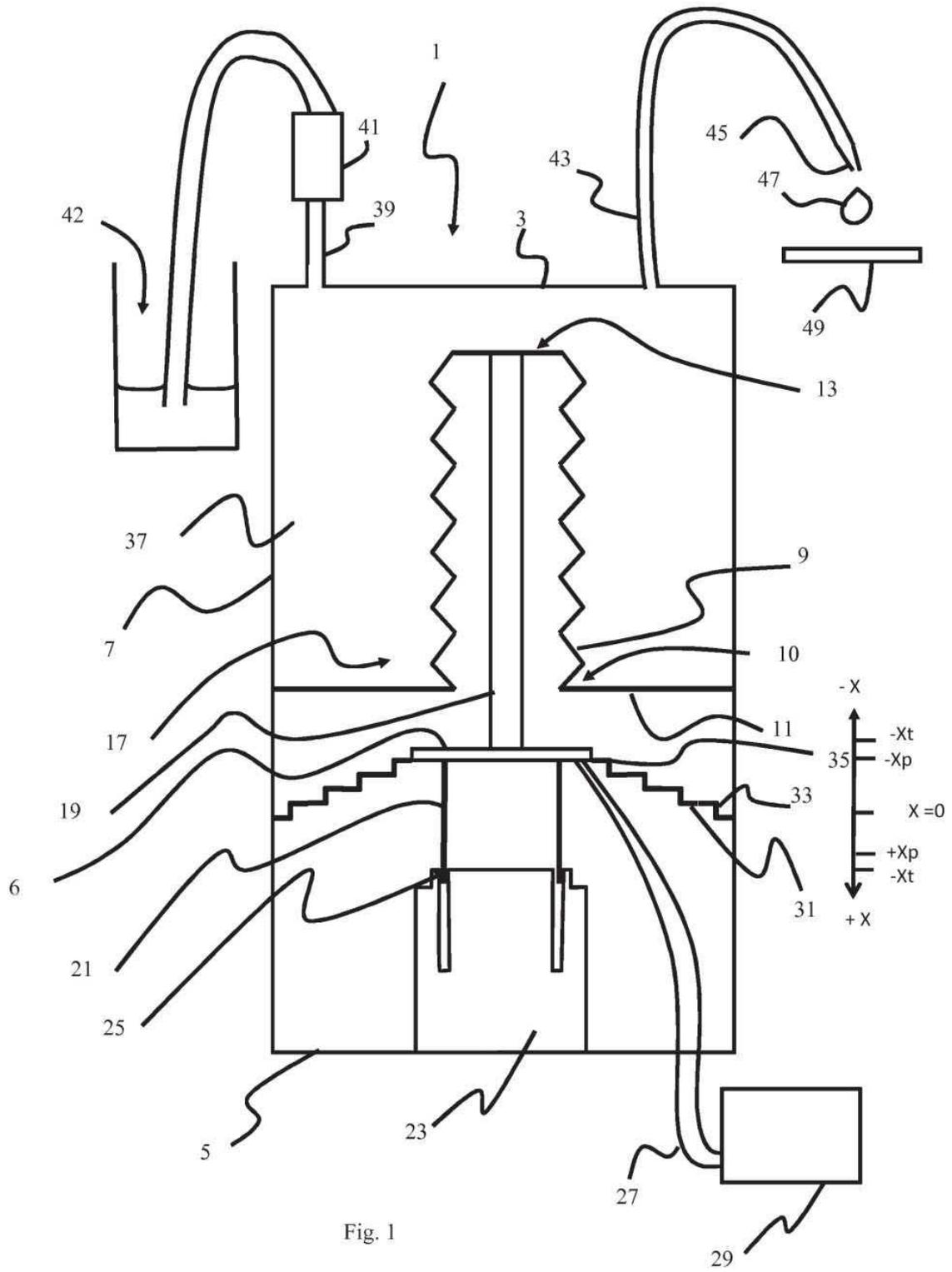
Una bomba de desplazamiento positivo de acuerdo con la invención está provista de un codificador lineal que mide el desplazamiento de una o más de las partes que se mueven linealmente de la bomba. El codificador puede proporcionarse para medir el desplazamiento lineal de la varilla y/o el desplazamiento lineal del extremo u otra parte del fuelle. Tal codificador permite medir el desplazamiento real de la varilla y/o el fuelle y puede utilizarse por el sistema de control para asegurar que el desplazamiento real de la varilla y/o el fuelle corresponde al desplazamiento deseado de la varilla y/o el fuelle formando así parte de un sistema de retroalimentación que se puede utilizar para garantizar la precisión del tamaño de la gota y la dispensación. Usar tal codificador, que proporciona una alta exactitud, precisión y fiabilidad, elimina la necesidad de realizar la calibración más difícil de la bomba en sí. Tal calibración de la bomba puede ser requerida debido a variaciones en la longitud del paso entre motores y otras variaciones en la longitud del paso causadas por fricción interna y por variaciones en la carga en el motor.

La invención ha sido ilustrada por medio de un tipo de bomba de desplazamiento de fuelle en la cual el fuelle cambia el volumen de una cámara que contiene líquido dispuesta fuera del fuelle. La invención también se puede realizar usando una bomba de fuelle en la que la cámara que contiene líquido se encuentra en el interior del fuelle y el líquido se distribuye moviendo un extremo móvil del fuelle más cerca del extremo opuesto del fuelle, disminuyendo así el volumen de la cámara que contiene líquido. La invención también se puede realizar en forma de realizaciones de la invención provista de una bomba de jeringa en la que el vástago del pistón de la jeringa se mueve axialmente mediante un accionador piezo-lineal del tipo descrito anteriormente y se acciona en un método análogo al descrito antes. En tales dispositivos, la cara del pistón de la bomba de jeringa puede corresponder a la porción móvil de la bomba y el interior del cilindro de la jeringa entre la cara del pistón y la cara terminal de la jeringa corresponde a la cámara de líquido de la bomba. Alternativamente, el pistón puede permanecer estacionario y el cilindro de la jeringa puede ser la porción móvil de la bomba.

Cualquier realización de la invención puede modificarse para usar un único canal de líquido que puede usarse para aspirar líquido en la cámara de líquido de la bomba cuando se va a llenar la cámara y que también se puede usar para dispensar líquido cuando se dispensan las gotas.

REIVINDICACIONES

1. Sistema de bomba de desplazamiento positivo para la dispensación de gotas de líquido que comprende una bomba con una cámara que contiene líquido (337) con una porción móvil (313), un accionador (321) adaptado para mover dicha porción móvil de dicha cámara para cambiar el volumen de dicha cámara, una salida de líquido (343) en comunicación fluida con dicha cámara, una válvula dispensadora (344) para controlar el flujo a través de dicha salida de líquido y medios de control (326) para controlar dicho accionador y dicha válvula, caracterizado por que comprende además un codificador lineal que mide el desplazamiento de una o más de las partes que se mueven linealmente de la bomba y que dicho accionador es un accionador piezo-lineal autoblocante en el que la fuerza requerida para producir un cambio unitario en el desplazamiento lineal de dicha porción móvil de dicha cámara es sustancialmente independiente de la posición del accionador.
2. Sistema de bomba de desplazamiento positivo de acuerdo con la reivindicación 1 caracterizado por que el accionador lineal es un motor piezoeléctrico andante.
3. Sistema de bomba de desplazamiento positivo de acuerdo con la reivindicación 1 o la reivindicación 2 caracterizado por que dicha bomba es una bomba de fuelle que comprende un fuelle (309) y en donde dicha porción móvil de dicha cámara es un extremo del fuelle.
4. Sistema de bomba de desplazamiento positivo de acuerdo con la reivindicación 1 o la reivindicación 2 caracterizado por que dicha bomba es una bomba de jeringa que comprende un émbolo de jeringa dentro de un cilindro de jeringa en donde dicha parte móvil de dicha cámara es el émbolo de jeringa o el cilindro de jeringa.
5. Sistema de bomba de desplazamiento positivo de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, en donde dicho codificador lineal está en conexión directa con dicho miembro móvil.
6. Sistema de bomba de desplazamiento positivo de acuerdo con la reivindicación 3, en donde dicho codificador lineal está en conexión directa con el fuelle o un eje de la bomba de fuelle.
7. Método para obtener una presión de dispensación estable en la cámara de líquido de un sistema de bomba de desplazamiento positivo de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1-6 caracterizado por las siguientes etapas secuenciales:
- i) cargar dicha cámara con líquido,
 - ii) establecer un tiempo de apertura de la válvula dispensadora en un tiempo establecido;
 - iii) presurizar dicho líquido en dicha cámara a una presión de dispensación deseada,
 - iv) estabilizar la presión en dicha cámara a la presión de dispensación real requerida mediante la dispensación de una pluralidad de gotas a desechar; en donde cada gota se dispensa accionando dicho accionador para mover la porción móvil de dicha cámara una distancia predeterminada en la dirección necesaria para disminuir el volumen de dicha cámara por el volumen previsto de la gota;
 - detener el movimiento de dicho accionador;
 - abrir dicha válvula dosificadora durante el tiempo establecido; y,
 - cerrar dicha válvula dosificadora después de que haya transcurrido dicho tiempo predeterminado.
8. Método de acuerdo con la reivindicación 7, en donde la pluralidad de gotas dispensadas a desechar es igual o mayor que 50 e igual o menor que 1000.
9. Método de acuerdo con la reivindicación 8, en donde la pluralidad de gotas dispensadas a desechar es igual o mayor que 100 e igual o menor que 750.
10. Método de dispensación precisa de gotas, cada una de un volumen predeterminado, sobre un sustrato mediante un sistema de bomba de desplazamiento positivo de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1-6 que comprende las etapas i) a iv) del método para obtener una presión de dispensación estable de acuerdo con la reivindicación 7 y que comprende además las etapas de:
- v) dispensar una gota sobre un sustrato colocando dicha punta de dosificación sobre dicho sustrato, accionar dicho accionador para mover la porción móvil de dicha cámara una distancia predeterminada en la dirección necesaria para disminuir el volumen de dicha cámara por el volumen predeterminado de la gota;
 - detener el movimiento de dicho accionador;
 - abrir dicha válvula dosificadora durante el tiempo establecido; y,
 - cerrar dicha válvula dosificadora después de que haya transcurrido dicho tiempo predeterminado.



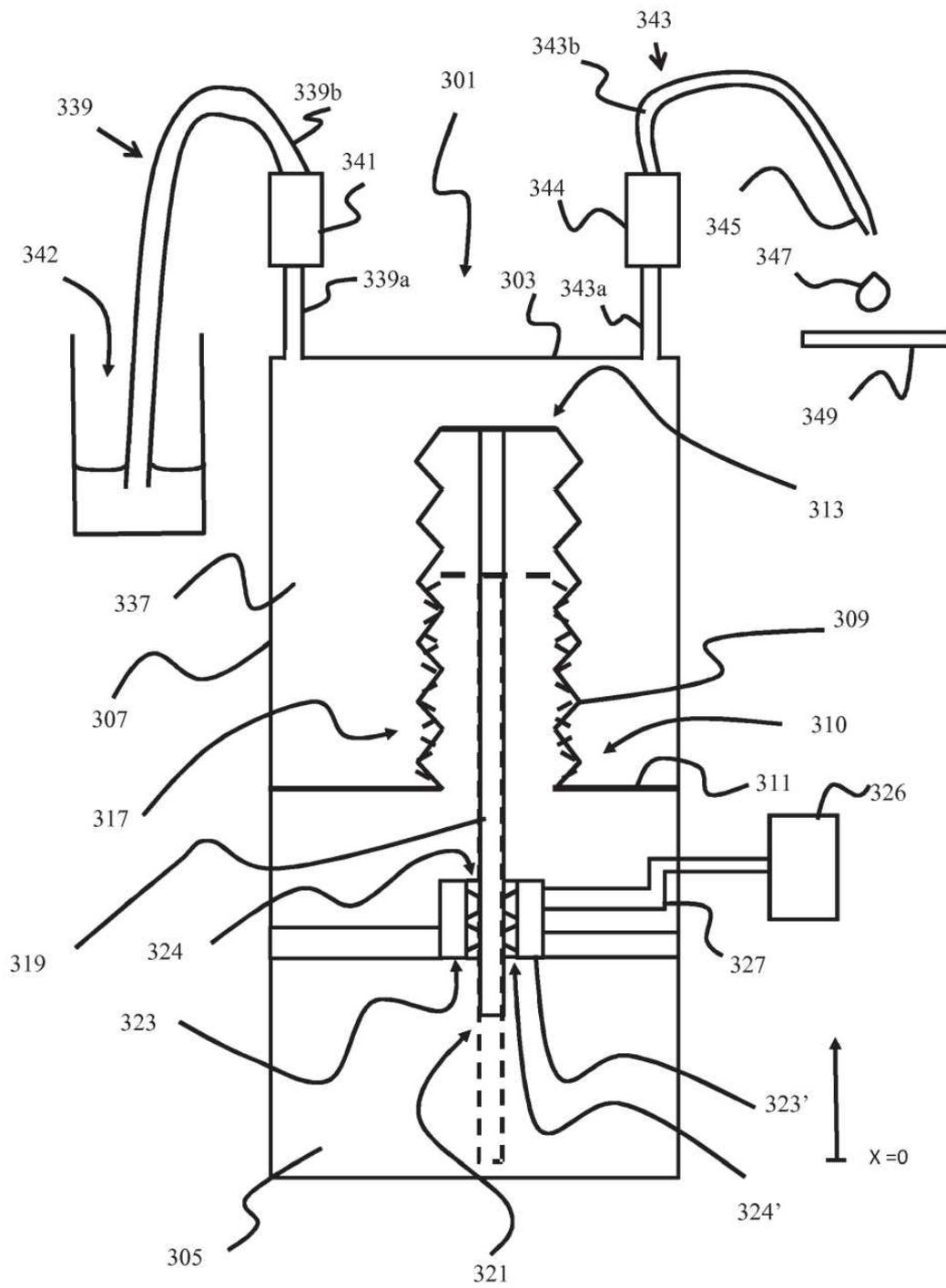


Fig. 2

