



19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

11 Número de publicación: **2 358 161**

51 Int. Cl.:

G01F 1/84 (2006.01)

G01F 1/684 (2006.01)

G01F 1/688 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Número de solicitud europea: **08075910 .3**

96 Fecha de presentación : **02.12.2008**

97 Número de publicación de la solicitud: **2078936**

97 Fecha de publicación de la solicitud: **15.07.2009**

54 Título: **Caudalímetro con tubo de flujo de silicio.**

30 Prioridad: **11.01.2008 NL 1034905**

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:
06.05.2011

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:
06.05.2011

73 Titular/es: **BERKIN B.V.**
Nijverheidsstraat 1A
7261 AK Ruurlo, NL

72 Inventor/es: **Lammerink, Theodorus Simon Josef;**
Dijkstra, Marcel;
Haneveld, Jeroen y
Wiegerink, Remco John

74 Agente: **Elzaburu Márquez, Alberto**

ES 2 358 161 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

El invento se refiere a un caudalímetro para medir el flujo de un medio.

Un caudalímetro de Coriolis es un instrumento efectivo para medir flujos.

5 Otra categoría está formada por caudalímetros de tipo térmico. El invento tiene como propósito crear un caudalímetro y una tecnología para su fabricación que haga posible la medida de caudales de flujo muy pequeños, por debajo de 1 g/h, en combinación con una tecnología de fabricación universal que haga posible la fabricación de diferentes tipos de dispositivos de medida y su integración con los equipos de sensores adicionales referidos más arriba.

10 El caudalímetro de acuerdo con el invento está caracterizado para este propósito por que dispone de un sensor de flujo que comprende un chip de sistema con un sustrato de silicio dispuesto en un portador, que tiene una abertura en la que se dispone un tubo de flujo de nitruro de silicio para transportar un medio cuyo caudal de flujo debe medirse, donde el tubo tiene dos extremos que se fusionan a través de una pared de la abertura en un canal revestido de nitruro de silicio en el sustrato de silicio.

15 El documento EP-A-1 291 621 describe un sensor de flujo sensible al calor que comprende un sustrato fabricado a partir de, por ejemplo, una oblea de silicio en la que se forma un orificio. La oblea tiene conductos tubulares que se comunican con el orificio. Se forma una sección de comparación de resistencia para detectar temperaturas de fluido en una película que se dispone sobre el orificio. No existe tubo construido en el seno del orificio. Además, los conductos tubulares no tienen paredes de nitruro de silicio.

20 El documento de patente de EE. UU. US-B1-6 477 901 describe un sensor de flujo de Coriolis que incluye un sustrato a cuya superficie superior se adhiere una porción de un sistema de tubos, mientras que el resto del sistema de tubos se suspende por encima del sustrato, creando de esta forma una sección de tubos independiente. Por consiguiente, la porción de tubos independiente no está dispuesta en el seno de un orificio en el sustrato. Además, el tubo no está fabricado de nitruro de silicio, sino de silicio.

25 El invento se refiere también a un método para fabricar un chip de sistema para un caudalímetro tal como se describe más arriba. Este método está caracterizado por los siguientes pasos:

30 crear un sustrato de silicio monocristalino en el que se materializa un tubo de nitruro de silicio por medio de pasos de deposición de nitruro de silicio y decapado parcial y exposición parcial a través del decapado con el fin de materializar una estructura tubular que esté fija en al menos una cara y que está por lo demás libre, valiéndose de tecnología de microcanal de superficie.

Se explicará a continuación el invento con más detalle, por medio de ejemplos, con referencia a los dibujos en los que:

35 La Figura 1a es un diagrama en vista elevada de una realización de un caudalímetro de acuerdo con el invento con un chip de sistema y un sensor de flujo de Coriolis;

La Figura 1b es una vista elevada frontal del caudalímetro de la Figura 1a;

La Figura 1c es una vista en sección transversal del caudalímetro de la Figura 1a;

La Figura 2a presenta una clarificación del funcionamiento de un sensor de flujo de Coriolis en un

montaje con un tubo de Coriolis en forma de U (con una indicación en el diagrama del accionamiento y detección de la vibración del tubo de Coriolis);

La Figura 2b muestra un accionamiento de Lorentz (torsión) y una detección capacitiva (aleteo) del tubo;

5 La Figura 2c muestra un accionamiento térmico (torsión) y una detección capacitiva (aleteo) del tubo;

La Figura 2d muestra un accionamiento térmico (aleteo, sin imanes) y una detección capacitiva (torsión);

10 La Figura 3a muestra un detalle del chip de sistema de la Figura 1 con un sensor de presión de Pirani claramente visible;

La Figura 3b es una vista en sección transversal del chip de sistema con acoplamiento fluídico de tubos de conexión;

Las Figuras 4a-j son vistas en secciones transversales que atraviesan un chip de sistema durante la fabricación;

15 La Figura 5a muestra detalles de la fabricación de un codo redondeado en un perfil de tubo;

La Figura 5b muestra conexiones paralelas a un tubo;

Las Figuras 6a y b muestran detalles de los medios de detección capacitiva de un chip de sistema;

20 La Figura 7a es una vista elevada de un chip de sistema con tubo de Coriolis con medios de excitación térmica;

La Figura 7b muestra en forma de diagrama un chip de sistema con tubo de Coriolis con medios de detección capacitiva alternativos;

La Figura 8 muestra un chip de sistema con tubo de Coriolis y medios de detección óptica;

25 La Figura 9a muestra una primera realización de un chip de sistema con un sensor de flujo de tipo térmico;

La Figura 9b muestra una segunda realización de un chip de sistema con un sensor de flujo de tipo térmico; y

La Figura 10 muestra un chip de sistema con tubo de Coriolis con una brida magnética para excitación mediante fuerza de Lorentz.

30 Se han asignado los números de referencia a componentes correspondientes en las Figuras tanto como ha sido posible.

La Figura 1a muestra un chip 17 de sistema que comprende un sustrato 1 de silicio monocristalino en el que se ha decapado una abertura 4. El chip 17 de sistema dispone en este ejemplo de un sensor de flujo de Coriolis con un tubo 3 de Coriolis de nitruro de silicio que está suspendido libremente en la abertura 4. En otro ejemplo el sensor de flujo puede ser un sensor térmico de flujo. En cualquier caso puede integrarse un sensor 2 de presión absoluta, tal como un sensor de presión de Pirani, dentro de o sobre el sustrato 1. El tubo de Coriolis tiene forma de espira, en este caso forma de espira rectangular. Otras formas de espira, tales como triangular, trapezoidal, o con forma de U, son también

35

posibles.

El chip 17 de sistema está montado (de manera monolítica) con dos imanes 9, 9' permanentes mutuamente opuestos que están dispuestos en un portador 5, por ejemplo una PCB (placa de circuito impreso) de un material cerámico o una resina sintética con pistas de cobre dispuesta sobre él. El sustrato está fabricado a partir de una oblea de silicio <1,0,0> montada sobre el portador 5. Las conexiones eléctricas entre el chip 17 de sistema y el portador 5 se consiguen mediante los así llamados hilos de soldadura dispuestos en los grupos 6, 7 y 8. Los hilos 6 de soldadura (desde y hacia el chip del sensor) sirven para condicionar la temperatura del chip / c.q. control de temperatura. Un sensor de temperatura local y un sensor 2 de presión (ambiente) pueden estar presentes, si así se desea.

El sensor 2 de presión, si está presente, mide la presión absoluta. Esto es importante ya que el factor de calidad de la vibración del tubo depende entre otros factores de la presión del aire.

Los hilos 7 de soldadura sirven para llevar el tubo 3 suspendido libremente a un estado de vibración. Los hilos 8 de soldadura sirven para controlar los elementos de lectura para el tubo suspendido libremente.

El tubo 3 suspendido libremente junto con los imanes 9, 9' con forma de vástago, un conductor 10 de corriente (hilo) en el tubo 3, y los elementos sensores capacitivos 11 en el tubo y 12 en el chip 17 de sistema, forma un así denominado caudalímetro de Coriolis, que se clarifica adicionalmente en las Figuras 2a a 2c. Puede disponerse opcionalmente un cuerpo de material magnético débil entre los imanes 9 y 9' con forma de vástago en un lugar determinado en el seno de la espira con el fin de mejorar la eficiencia del montaje magnético.

El acoplamiento hidráulico del chip 17 de sistema al mundo exterior se consigue de mediante bloques 13 y 14 de presión (Figura 1b). Las conexiones 16 y 16' del fluido están presentes en el bloque 14 de presión. La aplicación de una fuerza de presión entre el bloque 13 de presión, el sustrato 1, y el bloque 14 de presión crea un cierre estanco a gases de la conexión de fluido entre los tubos 15, 15' y el sustrato 1 (consúltese la Figura 3b para más detalles).

La Figura 1b muestra el mismo dispositivo que la Figura 1a, pero visto desde el frente. La "cara superior" del chip 17 de sistema se sitúa en la línea central 18 de los imanes 9 y 9' con forma de vástago.

La Figura 1c muestra el mismo dispositivo que la Figura 1a, pero esta vez muestra una sección transversal en el área del chip de sistema. Son visibles los hilos 7 de soldadura para el control del accionamiento del tubo en la placa de circuito impreso desde/hacia el chip del sensor, como lo son los hilos 8 de soldadura para el control de detección del tubo en la placa de circuito impreso desde/hacia el chip del sensor. Por consiguiente, los hilos 6, 7 y 8 de soldadura prestan servicio a los transductores/sensores integrados del sensor de Coriolis.

(En un prototipo de sensor, se utilizan contactos de Kelvin para una medida de temperatura del tubo y clavijas de sonda para las conexiones).

Puede disponerse una carcasa alrededor del montaje completo para su protección; esto no se muestra.

Puede integrarse opcionalmente una medida de presión del medio que fluye a través del tubo.

También puede integrarse una medida de flujo térmico del medio, si así se desea.

Más aún, también es posible una medida de presión absoluta por medio de una medida de presión relativa (una membrana en algún lugar del tubo) con respecto a la presión ambiental absoluta medida. Se obtiene por consiguiente un sistema de medida multiparámetro completo.

5 La Figura 2a muestra un tubo 3 de Coriolis con forma de U que fue fabricado utilizando tecnología MST, que está suspendido libremente, y que está enclavado parcialmente en el sustrato de silicio en el que se fusiona en canales de admisión y escape presentes en el sustrato y que emana de la cara del sustrato 1 opuesta a la porción 3 suspendida libremente. El campo magnético 31 aplicado se indica mediante flechas B, y la corriente eléctrica transportada a través del conductor 10 en el tubo 3 para generar las fuerzas de Lorentz se referencia con el número 32.

10 Durante el funcionamiento, un medio entra por 21 y sale por 21'. El flujo másico de un medio es la masa que atraviesa una sección transversal del tubo por segundo. Si la masa es una cantidad autocontenida, el flujo másico a través del tubo con forma de U de la Figura 2a debe ser el mismo en todas partes (de otro modo la masa se acumularía en algún lugar, o desaparecería masa en algún lugar).

15 Por lo tanto, el flujo másico Q tiene el mismo (constante) módulo (o "longitud" del vector) en todas partes en el tubo 3. Sin embargo, Q apunta en la dirección positiva del eje x en la porción 22 del tubo y en la dirección negativa del eje x en la porción 26 del tubo.

Existen los siguientes métodos para generar y emplear un caudalímetro de masa de Coriolis con el tubo con forma de U de la Figura 2a:

20 se genera un modo de torsión por medio de excitación de Lorentz, es decir un movimiento de torsión (consúltese la Figura 2b); o se genera calor en la red 10 conductora por medio de excitación térmica, lo que conduce a un modo de aleteo (consúltese la Figura 2c).

Método 1, Figura 2b:

25 El tubo con forma de U se acciona (se hace vibrar) alrededor de un eje 29 de rotación (= el eje x), que en el caso de un flujo másico conduce a una fuerza de Coriolis en el lugar en el que la distancia al eje de rotación cambia, situado en la porción 24 del tubo. Esta fuerza de Coriolis en la porción 24 del tubo provoca la rotación del tubo 3 con forma de U alrededor de un eje 30 de rotación (= el eje y), lo que conduce a un movimiento de traslación de la porción 24 del tubo. Se referencia este movimiento de accionamiento (vibratorio) con el número 34 en la Figura 2b. La rotación inducida por Coriolis resultante
30 alrededor del eje y es proporcional al flujo másico y resulta en un movimiento 35 en el eje z de la porción 24 del tubo. La porción 24 del tubo lleva a cabo ambos movimientos de manera simultánea, es decir la vibración 34 de torsión accionada y el movimiento 35 de aleteo (proporcional al flujo másico).

Método 2, Figura 2c:

35 El tubo es aleteado, o accionado (se hace vibrar) alrededor del eje 30 de rotación (= eje y); esto, en el caso de un flujo másico, conduce de nuevo a una fuerza de Coriolis en el lugar en el que la distancia al eje de rotación cambia, situado esta vez en la porción 22 del tubo (hacia arriba) y en la porción 26 del tubo (hacia abajo), provocando una rotación en la porción 24 del tubo. Se referencia el movimiento de accionamiento (vibratorio) de la porción 24 del tubo en la dirección del eje z con el número 36 en la Figura

2c. La rotación inducida por Coriolis resultante alrededor del eje x 29 es proporcional al flujo másico y resulta en un movimiento 37 en el eje x de la porción 24 del tubo. De nuevo, la porción 24 del tubo lleva a cabo ambos movimientos de manera simultánea, es decir la vibración 36 de aleteo accionada y la vibración 37 de torsión que es proporcional al flujo másico.

5 El número de referencia 11 (11', 11'') en las Figuras previas indica medios (salientes o bornes de nitruro de silicio) en o sobre la parte de conexión entre las ramas del tubo 3 con forma de U. Estos forman capacidades eléctricas junto con sus medios equivalentes (salientes o bornes) 12 (12', 12'') en el lado del sustrato. Esto hace posible detectar los movimientos del tubo de una manera capacitiva. Pueden utilizarse uno, dos, o tres de tales pares de bornes, por ejemplo. Se describirán más adelante alternativas con
10 referencia a las Figuras 6a y 6b.

La Figura 2d muestra en forma de diagrama un chip de sistema con el mismo tubo 3 con forma de U que se muestra en la Figura 2a, y que también está suspendido de la misma manera. En este caso, sin embargo, el accionamiento de Lorentz se combina con un accionamiento térmico (torsión). Los elementos resistivos 40, 40' y 41, 41' se disponen en el sustrato para este propósito, y suministran calor a
15 las ramas 22 y 26 del tubo 3 con forma de U cuando se energizan. Los elementos resistivos en este caso se disponen en las porciones 38, 38' salientes (protuberancias) del sustrato 1. Cuando son energizados, cada uno de los elementos resistivos envía una onda dinámica de calor en la dirección del eje z a través de la porción saliente respectiva. El ajuste de las corrientes energizantes proporciona una posibilidad de compensación.

20 La Figura 3a muestra un detalle del chip de sistema de la Figura 1a con capas 42, 42' gruesas de metal para guiar la fuerza de compresión hacia la superficie principal del sustrato de silicio con el fin de proteger las carcasas enclavadas en el lado opuesto a las aberturas de fluido y para dejar expuesta la membrana de nitruro de silicio. El sensor 2 de presión integrado es claramente visible.

25 La Figura 3b es una vista en sección transversal tomada en el plano IV-j en la Figura 3a después de haber situado un bloque 13 de presión. El acoplamiento fluídico de las aberturas de conexión del chip de sistema (canales 40, 40' enclavados) con un tubo 16 de fluido aplicado externamente es claramente visible en esta sección transversal. La conexión está sellada de una manera estanca a gases a través de una deformación plástica de los anillos 42, 43 de metal entre los bloques 13, 14 de presión por un lado y el sustrato 1 de silicio por el otro. El bloque 14 de presión sobresale a través de la abertura 15 en el portador
30 5.

El chip de sistema descrito más arriba será considerado como una PCB (placa de circuito impreso) fluídica, por cuanto una estructura tubular que tiene las funciones deseadas se materializa en un sustrato en un proceso en la sala limpia. La estructura tubular de acuerdo con el invento puede ser fabricada utilizando la así denominada tecnología de microcanal de superficie (MST).

35 Un ejemplo de esto es el método siguiente:
una primera capa de nitruro de silicio (Si_xN_y), de por ejemplo 500 nm de grosor, rica en silicio, se crea en ambas caras de un sustrato (oblea) de silicio de tipo p orientado en el plano $\langle 100 \rangle$. A continuación una capa de cromo de 50 nm de grosor se deposita sobre la cara superior. Sobre

esta capa de cromo se lleva a cabo un trazado con una máscara foto-resistente que posee filas de orificios alargados (con dimensiones de, por ejemplo, $6 \times 2 \mu\text{m}$), con pequeños espaciados entre los orificios (por ejemplo $2 \mu\text{m}$). El trazado en la capa de cromo se transfiere por medio de decapado iónico reactivo (RIE) a la capa subyacente de nitruro. La forma del canal se define mediante decapado isótropo de plasma a través de los orificios en la capa de nitruro de silicio. Después de que la máscara resistiva ha sido eliminada, se remueve la máscara de cromo y se hace crecer una segunda capa de Si_xN_y hasta un espesor de aproximadamente $1.4 \mu\text{m}$. Esto formará la pared del canal (pared del tubo) y al mismo tiempo sella los orificios de decapado en la primera capa de nitruro.

Posteriormente, se crea por deposición una capa de cromo/platino de 10/100 nm y se somete a un trazado por medio de litografía de despegue (*lift-off*) con el fin de formar la pista metálica (el electrodo) que resulta necesario para posibilitar el accionamiento de la estructura (por ejemplo un accionamiento de Lorentz).

Más aún, se crean ventanas de distribución en la cara inferior de la oblea y orificios de acceso fluido al tubo en la cara superior de la oblea por medio de decapado iónico reactivo RIE, y la estructura se separa por medio de decapado a través de la oblea (KOH).

Una realización preferida del método de acuerdo con el invento será clarificada a continuación con referencia a las Figuras 4a-j.

La Figura 4a se refiere a una oblea de silicio en la que se hace crecer la primera capa de nitruro de silicio y se somete a trazado en ambas caras, lo que da lugar a una sección transversal como la mostrada en la Figura 4a: el número 45 designa la capa-1 de nitruro de silicio en la cara superior, el número 46 designa la capa-1 de nitruro de silicio en la cara inferior, el número 47 designa las aberturas trazadas en la capa 45 para los tubos 3, 21 de nitruro de silicio, y el número 48 designa las aberturas trazadas en la capa 46 para el acoplamiento entre el fluido y el mundo exterior.

Figura 4b: después de que el sustrato (cara 46) ha sido decapado, se decapa de manera anisótropa una cavidad 49 a través de las aberturas 48. Nota: ¡los pasos 4b y 4c pueden ser intercambiados!

Figura 4c: después de que el sustrato (cara 45) ha sido decapado, se decapan de manera isótropa las cavidades 50 a través de las aberturas 47. Nota: ¡de nuevo los pasos 4b y 4c pueden ser intercambiados!

La Figura 4d muestra la situación después de que la segunda capa de nitruro de silicio, más gruesa, se ha hecho crecer: el número 51 designa la capa-2 de nitruro de silicio. Todo está recubierto con el mismo grosor, también en los diversos orificios. Esto también se denomina "deposición conforme". La deposición de la capa de nitruro de silicio crea una cavidad 52.

Figura 4e: deposición de una capa de metal y trazado de esta capa 10. Esto formará el conductor 10 de corriente (consúltese la Figura 1a) en el tubo. El número de referencia 53 designa el hilo de suministro para el electrodo del tubo de los condensadores de detección. Este electrodo 53 está situado en los bornes 11 localizados en el tubo (consúltese la Figura 2a). Esto será discutido con mayor detalle

con referencia a la Figura 6.

Figura 4f: trazado de la capa de nitruro de silicio (por ahora dual, 45 + 51) en la cara superior. ¡Si se omite este paso, el tubo 3 estará suspendido por completo desde una membrana 45 + 51 de nitruro de silicio en la cara superior después del último paso de decapado (4j)! El número de referencia 54 designa las aberturas en la doble capa superior de nitruro de silicio.

Figura 4g: creación y trazado de una capa foto-resistente en las áreas de los componentes de los condensadores de detección, donde el número 55 designa la capa resistiva que servirá como capa espaciadora.

Figura 4h: creación y trazado de una segunda capa de metal más gruesa. El trazado formará los futuros electrodos de cruce en el área del condensador de detección, donde el número 56 designa el electrodo trazado, y el número 42 designa una capa en el área de las aberturas de fluido para proteger los canales 21 enclavados.

Figura 4i: trazado de la capa doble inferior de nitruro de silicio en la cara 46, donde el número 57 designa una abertura en la capa de nitruro de silicio 46 + 51 para decapar la abertura 4.

La Figura 4j es una vista en sección transversal tomada en el plano IV-j de la Figura 3a: el decapado anisótropo por KOH del sustrato 1 a través de la abertura 57 en la máscara da lugar a este resultado. Los bornes 11 y 12 adquieren ahora funcionalidad y pueden ser identificados. En este montaje definitivo funcional, la antigua cavidad 52 se ha transformado en el tubo 21 enclavado y en el tubo 3 libre. Nótese que el decapado del orificio en la cara 46 puede llevarse a cabo de manera isótropa o anisótropa. El decapado isótropo para liberar el tubo 3 puede ser incluso realizado desde el "frente", es decir desde la cara 45 (a través de las aberturas 54 en la Figura 4f), pero en ese caso el proceso de decapado debe ser isótropo.

En resumen, los pasos son como sigue:

A) Creación de una primera capa de nitruro de silicio en ambas caras de la oblea de silicio. La estructura tubular se traza en la cara superior, los orificios que serán decapados se trazan en la cara inferior.

B) Decapado de un orificio en el lado inferior de la oblea con una profundidad mayor que el grosor de la oblea menos el grosor deseado del tubo.

C) Decapado isótropo a través de los orificios libres de la cara superior: se define el tubo. Cuanto más largo sea el decapado, más grueso será el tubo.

D) Deposición de la segunda capa de nitruro de silicio, más gruesa, en un horno tubular LPCVD. Todos los materiales mojados se convierten por consiguiente en nitruro de silicio.

E) Deposición y trazado de la primera capa de metal (red conductora).

F) Exposición de la cara superior del tubo de Coriolis (en dos o tres lados).

G) Aplicación de una capa foto-resistente que servirá como espaciador para la lectura capacitiva.

H) Creación y trazado de la segunda capa de metal, más gruesa. Esta capa sirve también como una capa intermedia para los bloques 13 de presión (consúltese la Figura 1).

I) Creación de la máscara de decapado para la exposición del tubo de Coriolis a través de

decapado.

J) Separación del chip de la oblea mediante serrado o ruptura. Esto está facilitado porque los orificios están cubiertos por una lámina delgada para serrado en la cara inferior.

5 La Figura 5a es una vista en planta que muestra detalles de los codos redondeados en las formas de tubo posibles de un chip de sistema con un sensor de flujo de Coriolis o un sensor térmico de flujo. El método de acuerdo con el invento utiliza una máscara para formar codos redondeados durante la fabricación del tubo de flujo, donde las aberturas alargadas de la máscara tienen un paso pequeño y se extienden de manera sustancialmente tangencial.

10 Son visibles: detalles del tubo 21 y del tubo 3 con una esquina 23 redondeada (consúltese la Figura 2a); sustrato 1; tubo 3 libre; conductor 10 de corriente eléctrica para excitación de Lorentz o excitación térmica; borne 11 con condensador de detección debajo del electrodo; transición 20 del tubo 21 enclavado al tubo 3 libre; tubo enclavado 21; codo 23 en el tubo 3 a través de la red de aberturas 47; frente 24 del tubo 3; pared 27 fija en el que se sitúan las transiciones 20, 20'; electrodo 53 para los condensadores 10 y 53 de detección (donde ambos están situados en la primera capa de metal).

15 La Figura 5b muestra una realización en la que un cierto número de tubos paralelos se unen para formar un solo tubo. Esto es un método para obtener una resistencia hidráulica más baja. Los tubos pueden estar enclavados en el sustrato, por ejemplo, o bien la misma estructura tubular puede hacerse libre en su integridad sin una transición 20, es decir siendo todos tubos de tipo 3 (suspendidos libremente). Esto puede conseguirse por cuanto la máscara que define las aberturas de tipo 54 (Figura 4f) y la máscara que define las aberturas de tipo 57 (Figura 4i) están adaptadas de manera correspondiente.

20

Las Figuras 6a y 6b muestran con más detalle dos realizaciones de los medios para la detección capacitiva de las vibraciones del tubo integrados en un único cristal. Se muestra un detalle del tubo 3, de la cara 24 frontal, con electrodos para lectura capacitiva, mostrando: sustrato 1; frente 2 del tubo libre; conductor 10 de corriente para excitación de Lorentz o excitación térmica; borne 11 en el tubo 3; borne 12 en la cara opuesta del sustrato 1; electrodo 53 de tubo de los condensadores de detección; electrodos 60 realizados en la segunda capa de metal; área 61 de soldadura; electrodo 62 interdigitado en la cara del sustrato; electrodo 63 interdigitado en la cara del tubo.

25

Los bornes están situados en dos niveles distintos en la realización de la Figura 6a, de manera que se hace necesaria una capa espaciadora. En la realización de la Figura 6b, los bornes (los dedos mutuamente entrelazados) están situados en un único plano, lo que proporciona una mayor libertad de diseño.

30

La Figura 7a muestra una parte de un chip de sistema con un tubo de Coriolis con forma de U y medios para la excitación térmica de las vibraciones del tubo, representando una visión general de la excitación térmica. Dos resistencias 65, 65' calentadoras independientes montadas en las ramas 22 y 26 del tubo 3 de Coriolis con forma de U calientan y no calientan las ramas de manera alternativa. Esto provoca que el tubo 3 lleve a cabo un movimiento de torsión alrededor del eje 29 (de modo que esta situación es diferente a la de la Figura 2a, en la que el accionamiento térmico siempre genera el modo de aleteo). Cuando se disipa potencia eléctrica en la resistencia 65 calentadora, la temperatura en la porción

35

22 del tubo aumenta y esta porción se curva en la dirección descendente.

Cuando se disipa potencia eléctrica en la resistencia 65' calentadora, lo mismo ocurre allí. Consecuentemente, el tubo llevará a cabo un movimiento de retorcimiento alrededor del eje 29 debido a la disipación alternativa de potencia en las ramas.

5 La Figura 7b muestra una parte de un chip de sistema con un tubo 3 de Coriolis con forma de U suspendido en un lado de la abertura 4 y provisto de electrodos 68, 69 para la lectura capacitiva. Un tubo 66 con forma de U adicional suspendido en el lado opuesto de la abertura 4 se sitúa en un lugar diametralmente opuesto del tubo 3 con forma de U con el fin de posicionar los electrodos con forma digitada en los bornes 68 y 69 exactamente en el mismo nivel del eje z. La excitación en el caso de la
10 Figura 7b puede ser la misma que en la Figura 7a.

La figura 8 muestra una parte de un chip de sistema con un tubo 3 de Coriolis que comprende medios para la lectura óptica del movimiento del tubo 3 de Coriolis. Una combinación de láseres PSD (detector sensible a la posición) mide la traslación y la rotación de una posición de reflejo en el tubo 3 (una capa de metal en los bornes 11, 11' y 11'' utilizada también en las realizaciones precedentes proporciona
15 tres puntos de medida para tres láseres PSD).

Son visibles: un láser 80; un haz de luz 81 del láser; un espejo 82 orientado en un ángulo de 45° con el fin de dirigir el haz hacia el tubo 3; un detector 83 sensible a la posición; un haz 84 incidente en el PSD después de tres reflexiones.

20 La Figura 9a muestra una parte de un caudalímetro con un chip de sistema y un sensor térmico de flujo fabricado utilizando la tecnología discutida más arriba. El sustrato 1 tiene una abertura 4 en la que un tubo 3 con forma de espira que tiene forma de U está suspendido libremente. El tubo 3 está conectado a canales enclavados en el sustrato 1. Una resistencia 91 calentadora está montada en el centro del brazo conector del tubo 3 libre. Una termopila 90 está montada entre las dos ramas del tubo 3 libre para medir una diferencia de temperatura entre las ramas, la diferencia de temperatura entre las cuales es una
25 medida del flujo. El tubo con forma de U puede estar fijado de manera opcional por el brazo conector de la U a la pared de la abertura 4 opuesta.

Todo esto está montado de manera tal que el caudalímetro funciona de acuerdo con el principio de sensor térmico de flujo descrito en el documento EP 774 649.

30 La Figura 9b muestra una alternativa a la realización de la Figura 9a. La espira libre con forma de U de la Figura 9a se transforma en una espira en la que dos ramas 95 y 95' están suspendidas libremente y asoman completamente a través de la abertura 4, mientras que el brazo conector entre las dos ramas es un canal 21 enclavado en el sustrato 1. Se sitúan resistencias 94 y 94' calentadoras en los centros de las dos ramas 95 y 95', respectivamente. Se montan termopilas 93 y 93' de manera simétrica entre las dos ramas 95, 95' en ambos lados de los calentadores 94, 94'. Esto hace que la Figura 9b sea una versión
35 doble de la Figura 9a.

Un sensor térmico de flujo basado en el así denominado principio TBA es también apropiado para ser fabricado con la tecnología descrita más arriba.

Brida magnética para excitación de Lorentz (así denominada excitación de torsión):

La excitación de Lorentz puede conseguirse de una manera alternativa por medio de una brida magnética en lugar de utilizar dos imanes permanentes.

Las Figuras 10a y 10b muestran un chip 106 de sistema con un tubo 101 de Coriolis y una brida 100 magnética para excitación de Lorentz del tubo de Coriolis. La Figura 10a muestra un tubo 101 de Coriolis con forma de espira (forma de U en este caso) con la brida 100 magnética en posición vertical (en un plano transversal al plano del tubo 101 de Coriolis).

Descripción de la realización con chip de sistema en Tecnología de Microsistemas (MST):

La brida 100 magnética para excitación de Lorentz, en la que se acomoda un imán permanente, debe proporcionar una espira de un material magnético débil, tal como hierro dulce, que esté tan completamente cerrada como sea posible, con entrehierros solamente en aquellas localizaciones en las que el tubo 101 de flujo de Coriolis cruza el camino de la espira. Se consigue en consecuencia una resistencia mínima para las líneas de campo magnético que cruzan entre los polos 102, 102'. La realización preferida de la brida 100 magnética es aquella que comprende no sólo la porción con forma de C o con forma de U en el lado externo del tubo 101, sino también una parte 103 más pequeña, de tipo haz, en el seno de la espira del tubo 101. La parte mencionada acorta el camino que debe ser cruzado por las líneas de campo y por consiguiente reduce la resistencia magnética, de manera que un imán más pequeño y/o una corriente eléctrica más débil a través de la capa conductora en el tubo 101 puede ser suficiente para materializar una determinada fuerza de Lorentz. Adicionalmente, la parte 103 de tipo haz funciona como una guía de flujo: atrae a las líneas de campo hacia sí misma de manera que no existe campo magnético interferente actuando en lugares del tubo fuera de los entrehierros 105, 105'. La porción con forma de C o con forma de U está construida a partir de dos mitades simétricas entre las cuales se sitúa el imán 104 permanente.

El chip 106 de sistema con el tubo 101 de Coriolis se fabrica a partir de una oblea de silicio fina en un número de pasos de decapado y de deposición en el proceso de "microcanal". Esto da como resultado un tubo que está suspendido libremente de sus tubos 107, 108 de admisión y de escape en una armadura 109 de silicio. Esta armadura 109 está abierta en dos lados. Se crea una caja cerrada, comparativamente plana, en la que una base y una tapa se pegan a la armadura 109 en un paso de fabricación siguiente. Puede hacerse el vacío en esta caja debido a que un tubo vibrando en el vacío puede ser mantenido en movimiento suministrando menos energía. En el caso de una medida óptica del desplazamiento del tubo 101, con una fuente de luz y un detector situados fuera de la caja, la tapa y/o la base de la caja pueden estar fabricadas a partir de un material transparente, tal como vidrio.

Antes de que se cierre la caja, se sitúa la brida 100 magnética en su lugar: los extremos de la porción con forma de C de la brida 100 se pegan en las escotaduras de la armadura 109 que fueron eliminadas por decapado durante la fabricación. La parte 103 de tipo haz de la brida, que se sitúa en el seno de la espira del tubo 101, se pega a la base de la caja antes o después de que esta base se pegue a la armadura 109.

La Figura 10a muestra una etapa en la fabricación en la que la brida 100 magnética completa ha sido situada en su lugar, pero la tapa todavía no ha sido pegada sobre la caja. Se muestran los tubos 107,

108 de admisión y escape emanando dentro del plano de la armadura adhiriéndose al tubo 101 de Coriolis, pero pueden situarse alternativamente en el plano de la armadura remoto con relación al tubo 101 de Coriolis. La Figura muestra la realización preferida con un cuerpo 103 magnético débil guiador de flujo en el seno de la espira del tubo 103.

5 La Figura 10b muestra una realización de un chip 111 de sistema con un tubo 112 de Coriolis en la cual una brida 110 magnética para excitación por fuerza de Lorentz está situada en un plano paralelo al plano del tubo 112 de Coriolis. En ambos casos se hace necesario para la generación de las fuerzas de Lorentz que el tubo 101, 112 de Coriolis se dote con una red conductora o con una capa conductora (no mostrada) que esté conectada a una fuente de corriente eléctrica (no mostrada) con el fin de hacer pasar una corriente alterna a través del tubo.

10

Debe hacerse notar que las realizaciones del accionamiento de Lorentz y accionamiento térmico, con detección óptica o capacitiva como se describe más arriba, pueden también ser utilizadas en otras realizaciones de caudalímetros con tubos de flujo fabricados utilizando tecnología MST, por ejemplo el caudalímetro de Coriolis descrito en el documento US 6.477.901.

15

En resumen, el invento se refiere a un sistema de medida de fluido y de flujo que comprende un chip de silicio monocristalino en el que un tubo de nitruro de silicio ha sido (parcialmente) decapado y un tubo de nitruro de silicio (suspendido libremente/descansando) ha sido (parcialmente) expuesto por decapado, con conexiones (de fluido) en la base.

REIVINDICACIONES

- 5 1.- Un caudalímetro con un sensor de flujo que comprende un chip (17) de sistema que comprende un sustrato (1) de silicio dispuesto en un portador (5), en una abertura (4) en la cual se sitúa un tubo (3) de flujo de nitruro de silicio para transportar un medio cuyo caudal de flujo debe medirse, donde dicho tubo (3) tiene dos extremos que se fusionan a través de una pared (27) de la abertura (4) en un canal revestido de nitruro de silicio en el sustrato (1) de silicio.
- 2.- Un caudalímetro tal como se reivindica en la reivindicación 1, **caracterizado por que** los canales están conectados a través del portador (5) a líneas (16, 16') de conexión al mundo exterior.
- 10 3.- Un caudalímetro tal como se reivindica en la reivindicación 1, en el que el tubo (3) de flujo tiene forma de espira y está suspendido libremente de las paredes de la abertura (4) en tres lados.
- 4.- Un caudalímetro tal como se reivindica en la reivindicación 1, que comprende medios (A) para hacer vibrar el tubo y medios (B) para detectar el movimiento del tubo.
- 15 5.- Un caudalímetro tal como se reivindica en la reivindicación 4, en el que los medios (A) comprenden una red (10) conductora en el tubo (3) de flujo, medios para hacer pasar una corriente alterna a través de la red conductora, y medios (9, 9') para generar un campo magnético permanente en el área del tubo (3) de flujo.
- 6.- Un caudalímetro tal como se reivindica en la reivindicación 4, en el que los medios (A) excitan térmicamente el tubo de flujo.
- 20 7.- Un caudalímetro tal como se reivindica en la reivindicación 4, en el que los medios (A) funcionan mediante el calentamiento y el enfriamiento del dimorfo constituido por el tubo (3) y la red conductora creada sobre él.
- 8.- Un caudalímetro tal como se reivindica en la reivindicación 5, en el que los medios (B) funcionan de manera capacitiva, donde la red conductora actúa como una armadura de un condensador.
- 25 9.- Un caudalímetro tal como se reivindica en la reivindicación 5, en el que los medios (B) funcionan de manera óptica, donde un haz (81) de luz es dirigido a la red conductora y se detecta la luz (84) reflejada.
- 30 10.- Un caudalímetro tal como se reivindica en la reivindicación 1, en el que el tubo (3) de flujo tiene forma de U, está suspendido libremente de la pared de la abertura (4) en tres lados, y está asociado con una termopila (90) que está dispuesta con el fin de medir una diferencia de temperatura entre las ramas de la U.
- 11.- Un caudalímetro tal como se reivindica en la reivindicación 1, **caracterizado por que** el tubo (3) de flujo de nitruro de silicio forma parte de un sensor de flujo de Coriolis o de un sensor térmico de flujo.
- 35 12.- Un caudalímetro tal como se reivindica en la reivindicación 1, **caracterizado por** un primer tubo de flujo de nitruro de silicio para un sensor de flujo de Coriolis y un segundo tubo de flujo de nitruro de silicio para un sensor térmico de flujo.
- 13.- Un caudalímetro tal como se reivindica en la reivindicación 1, **caracterizado por que** el tubo de flujo forma parte de un sensor de flujo de Coriolis, y **por que** están presentes medios para excitación de

Lorentz para excitar el tubo de Coriolis así como medios de excitación adicionales.

14.- Un caudalímetro tal como se reivindica en la reivindicación 5, caracterizado por que los medios para generar un campo magnético permanente comprenden dos imanes permanentes mutuamente opuestos.

5 15.- Un caudalímetro tal como se reivindica en la reivindicación 5, caracterizado por que el tubo (101) de flujo tiene forma de U y por que los medios para generar un campo magnético permanente comprenden una brida (100) magnética que acomoda un imán (104) permanente, donde la mencionada brida (100) magnética proporciona una espira de material magnético débil que tiene una porción con forma de C o con forma de U en el lado exterior del tubo (101) de flujo con entrehierros en aquellas localizaciones en las que el tubo (101) de flujo cruza el camino de la espira.

10

16.- Un caudalímetro tal como se reivindica en la reivindicación 15, caracterizado por que la brida (100) magnética tiene una parte (103) de tipo haz que se extiende en el seno de la espira del tubo (101) con forma de U.

15

17.- Un caudalímetro tal como se reivindica en la reivindicación 15, caracterizado por que la porción con forma de C o con forma de U está construida a partir de dos mitades simétricas entre las cuales se sitúa el imán (104) permanente.

20

18.- Un método para fabricar un chip de sistema para un caudalímetro, en el que se crea un sustrato de silicio monocristalino en el que se materializa un tubo de nitruro de silicio por medio de pasos de deposición de nitruro de silicio y decapado parcial y exposición parcial a través del decapado, de manera tal que se materializa una estructura tubular que esté fija en al menos una cara y que esté por lo demás libre, valiéndose de tecnología de microcanal de superficie.

25

19.- Un método tal como se reivindica en la reivindicación 18, en el que el sustrato tiene dos superficies principales mutuamente opuestas, donde la estructura tubular suspendida libremente se adhiere a una de las superficies principales, y donde una o más conexiones entre los tubos y el mundo exterior es o son creadas en la otra superficie principal.

0.- Un método tal como se reivindica la reivindicación 18, caracterizado por los siguientes pasos:

A)

30

A1. Creación de un sustrato de silicio (oblea).

A2. Creación de una primera capa de nitruro de silicio en ambas caras de la oblea de silicio.

La estructura tubular se traza en la cara superior (estructura de orificios alargados), los orificios de conexión que serán decapados se trazan en la cara inferior.

35

B) Decapado de un orificio en el lado inferior de la oblea para cada conexión de tubo con una profundidad mayor que el grosor de la oblea menos el grosor deseado del tubo.

C) Decapado isotrópico a través de los orificios libres de la cara superior con el fin de definir el tubo durante un periodo de tiempo necesario para materializar un determinado diámetro de tubo.

D) Deposición de una segunda capa de nitruro de silicio.

E) Deposición y trazado de una primera capa de metal (red conductora).

- F) Exposición del tubo en dos o tres caras en la cara superior.
- G) (Opcional) Aplicación de una capa gruesa foto-resistente que servirá como espaciador.
- H) Creación y trazado de una segunda capa de metal.
- I) Creación de una máscara de decapado para la exposición del tubo a través de decapado, por ejemplo en un proceso de decapado isótropo o anisótropo.
- J) Separación del chip de la oblea.

5

21.- Un método tal como se reivindica en la reivindicación 18, en el que se materializa un tubo (3) de flujo con forma de espira con codos (23) redondeados.

10

22.- Un método tal como se reivindica en la reivindicación 18, en el que en uno y en el mismo proceso se integra también una estructura de sensores electrónicos en/sobre el sustrato.

23.- Un método tal como se reivindica en la reivindicación 18, en el que la estructura de sensores electrónicos comprende un sensor (2) de presión.

24.- Un método tal como se reivindica en la reivindicación 18, en el que el sensor de presión es un sensor de presión de Pirani.

15

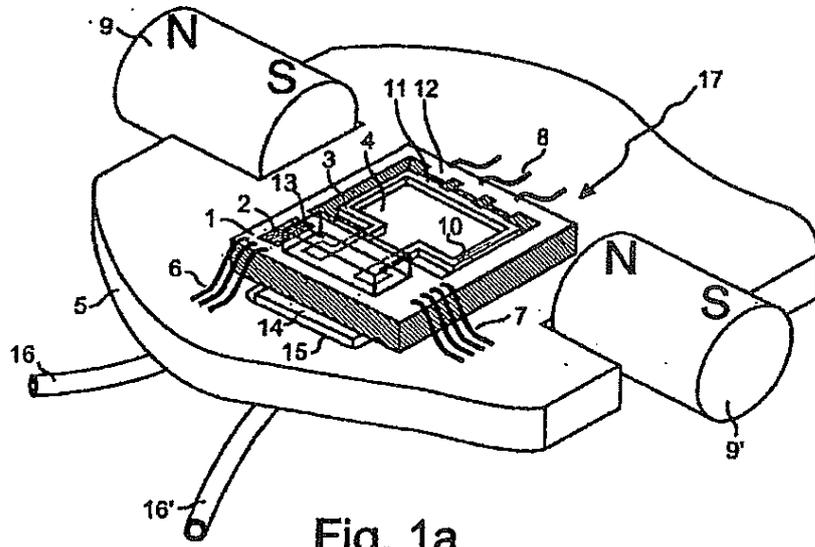


Fig. 1a

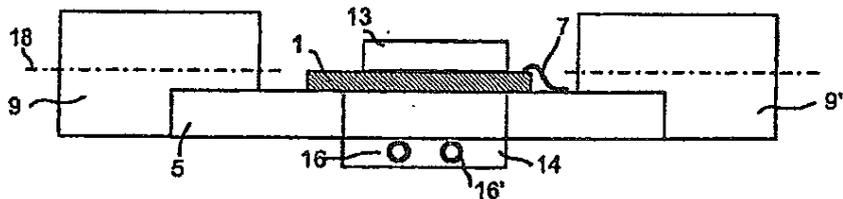


Fig. 1b

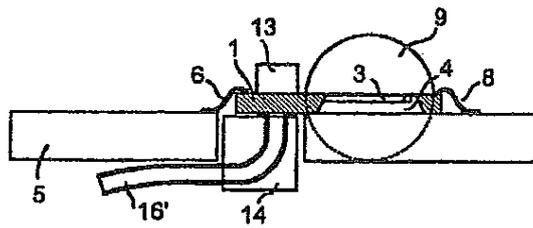


Fig. 1c

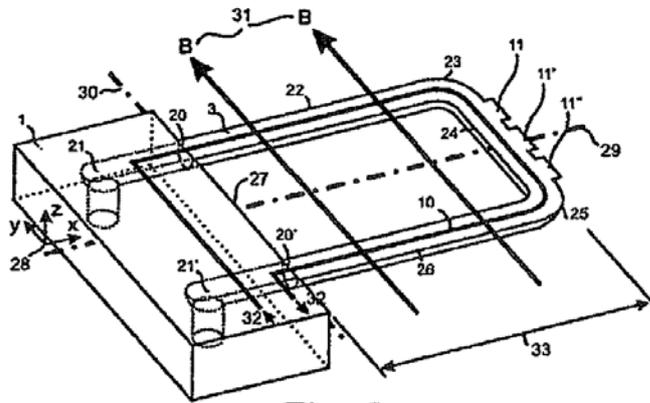


Fig. 2a

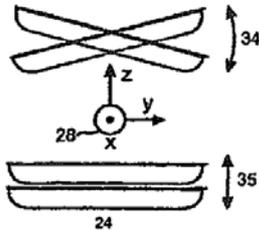


Fig. 2b

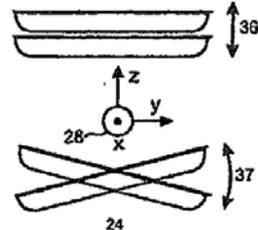


Fig. 2c

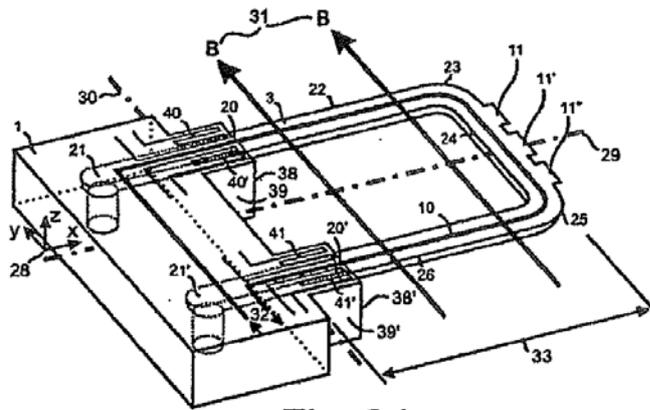


Fig. 2d

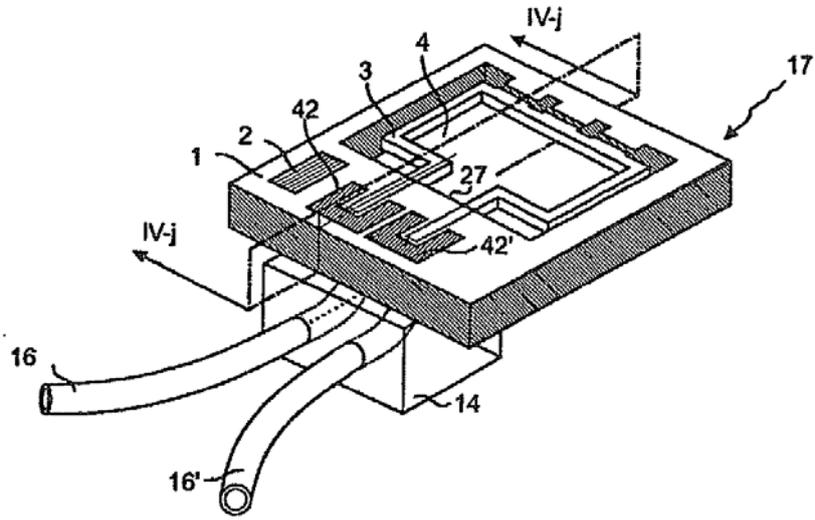


Fig. 3a

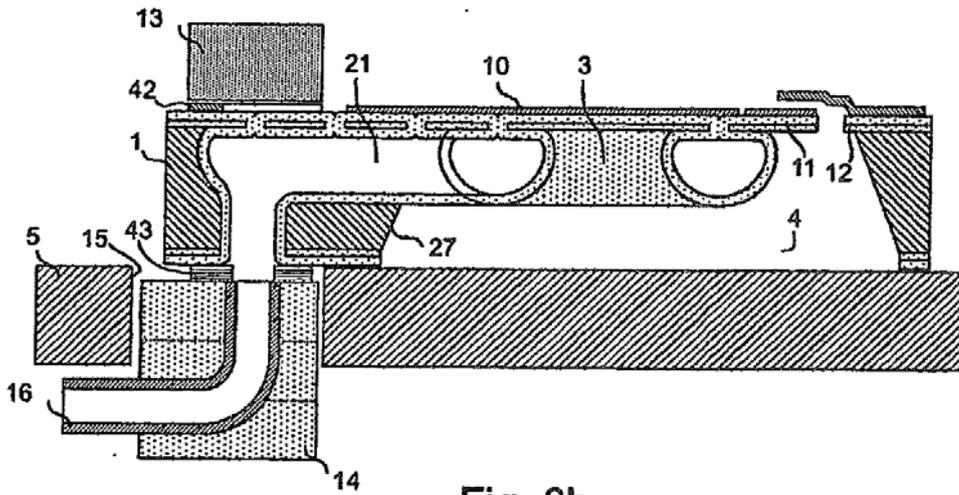
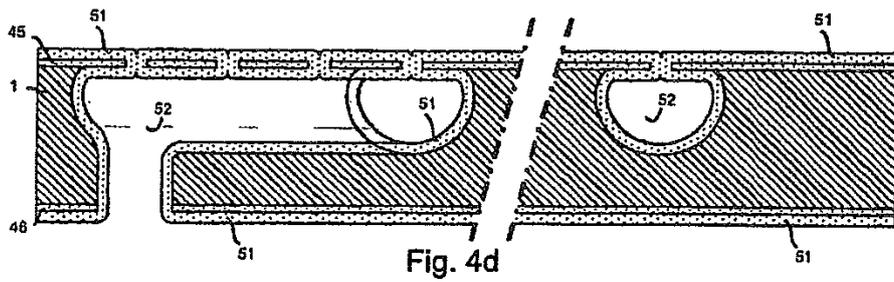
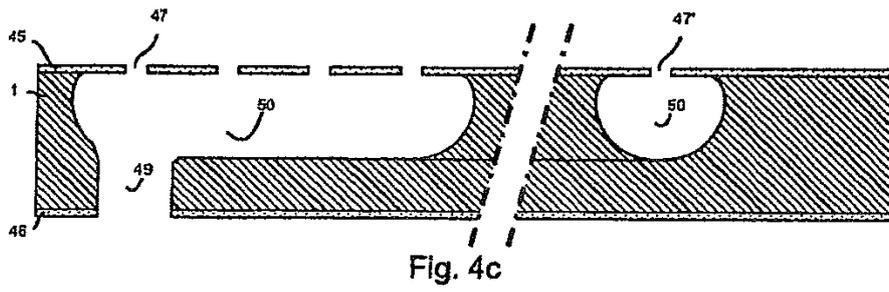
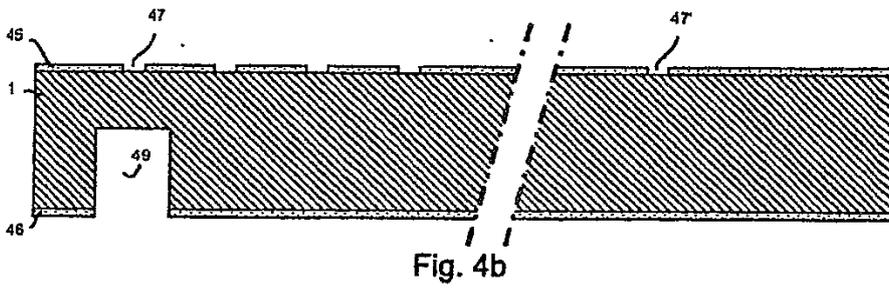
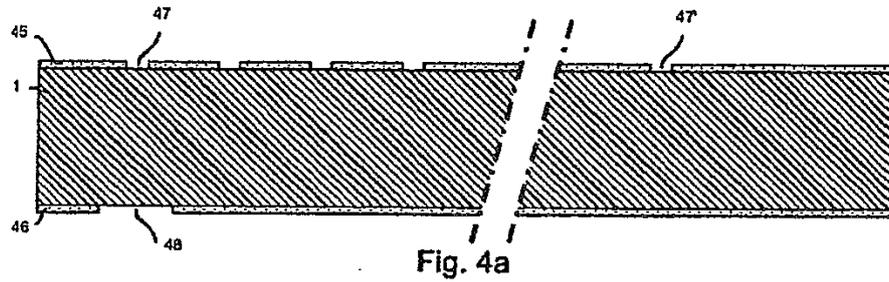
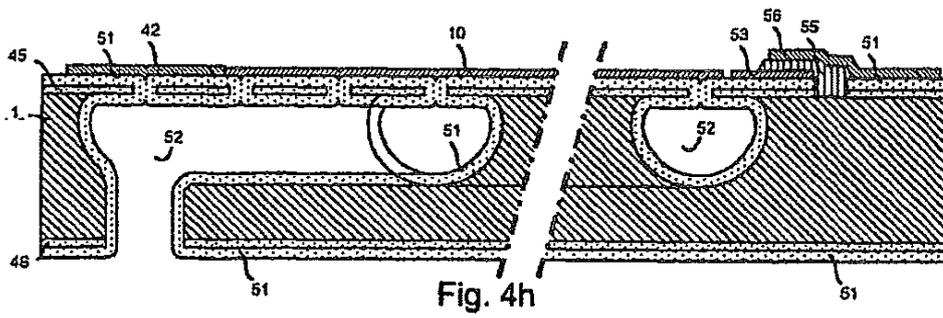
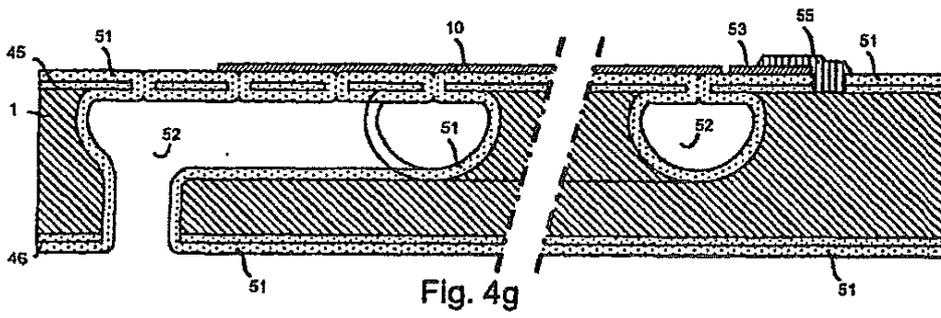
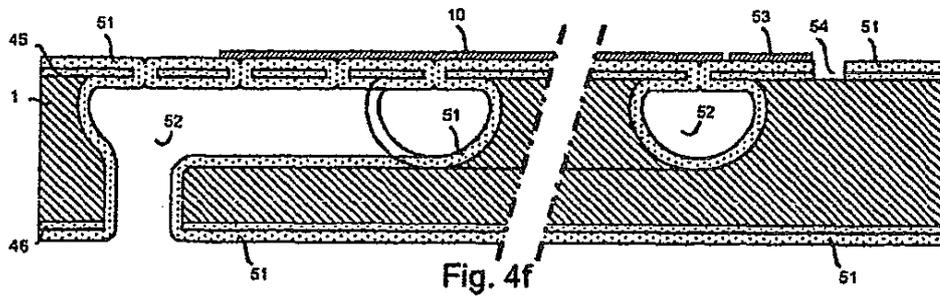
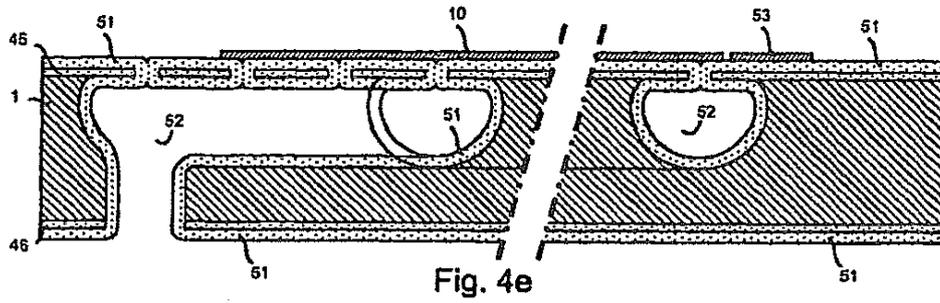


Fig. 3b





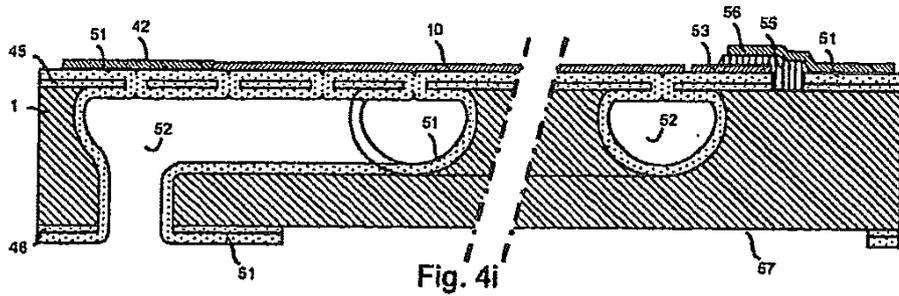


Fig. 4i

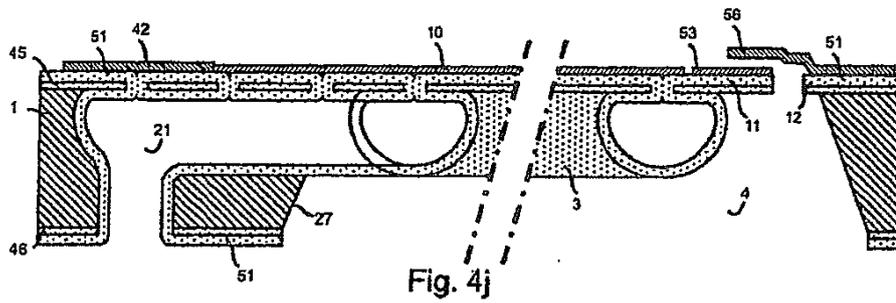


Fig. 4j

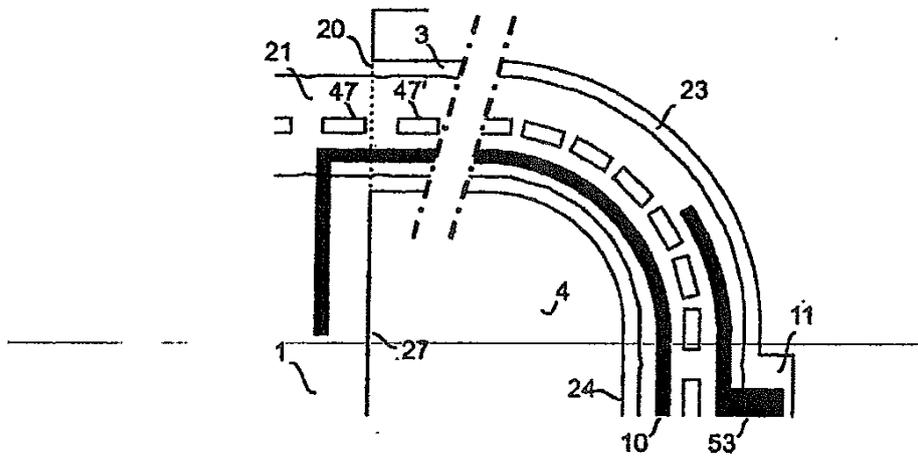


Fig. 5a

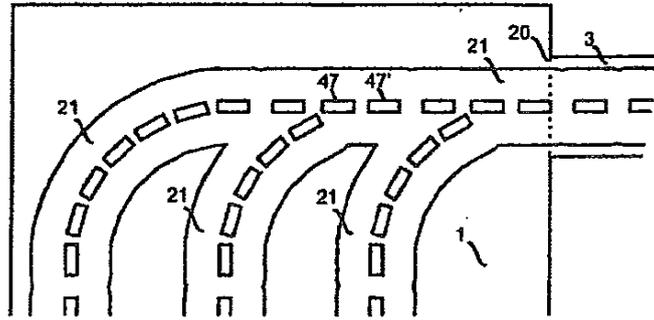


Fig. 5b

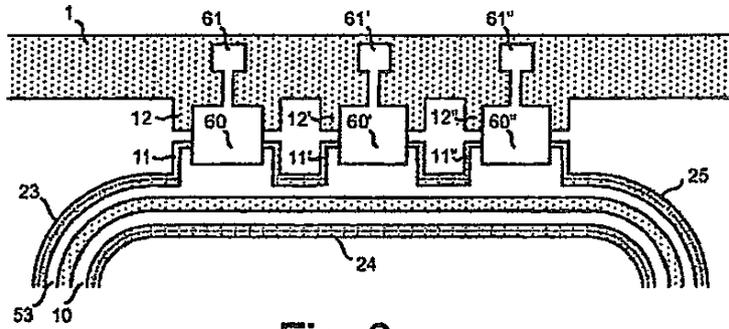


Fig. 6a

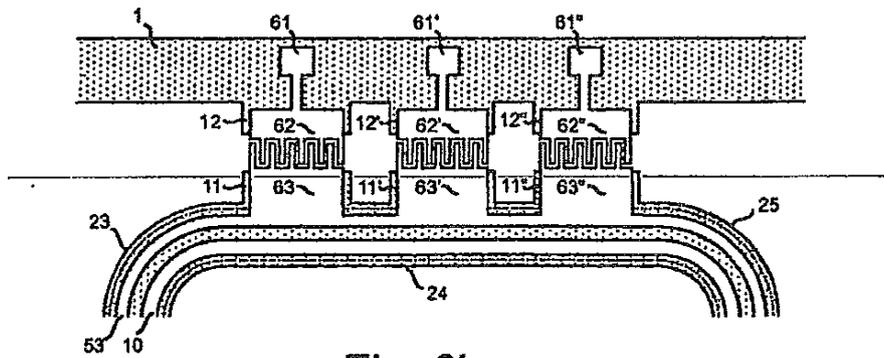


Fig. 6b

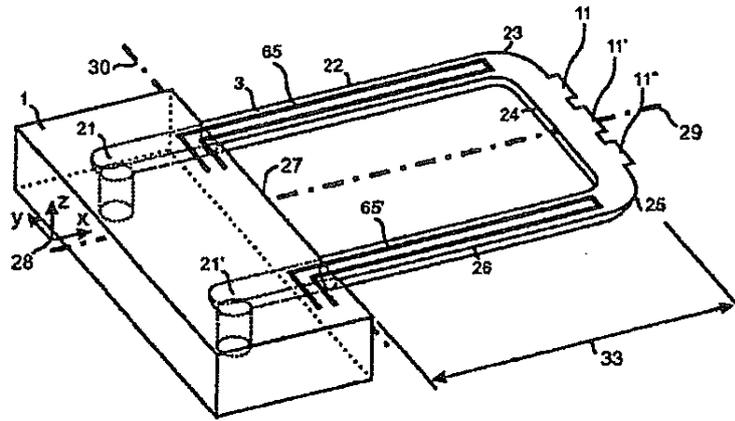


Fig. 7a

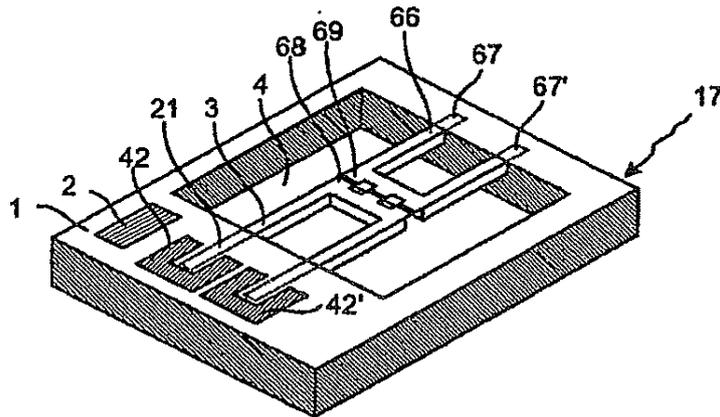


Fig. 7b

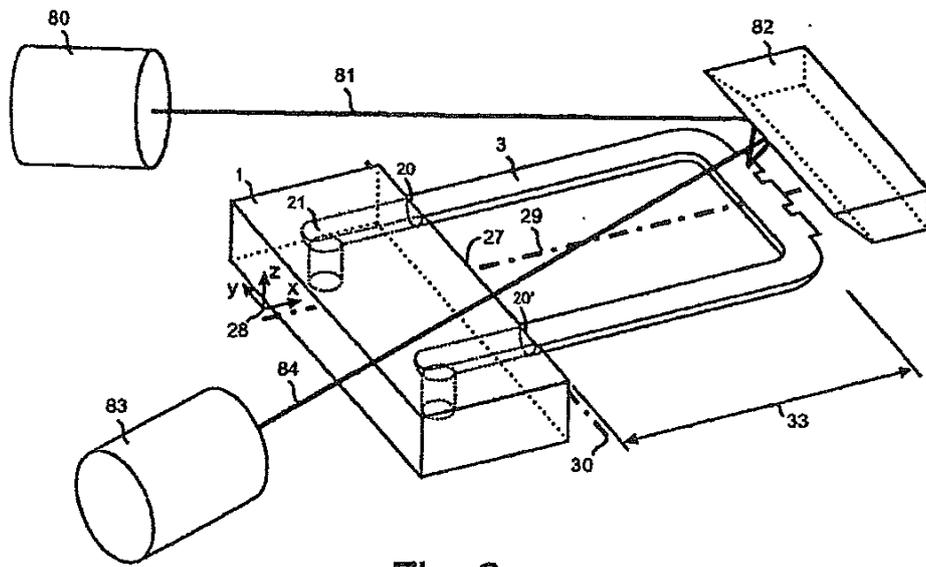


Fig. 8

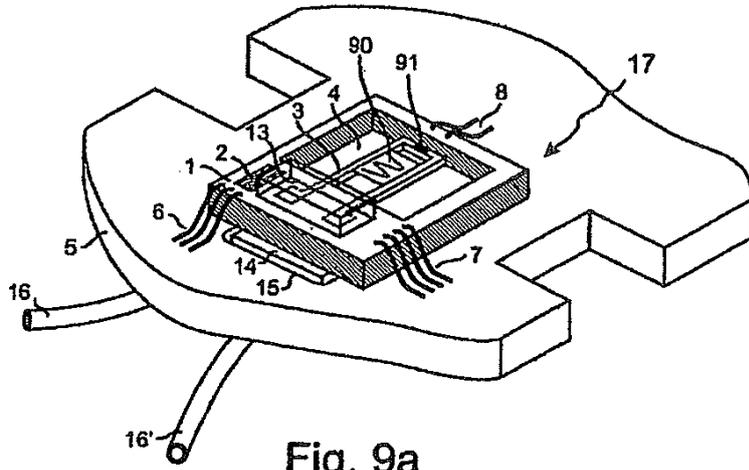


Fig. 9a

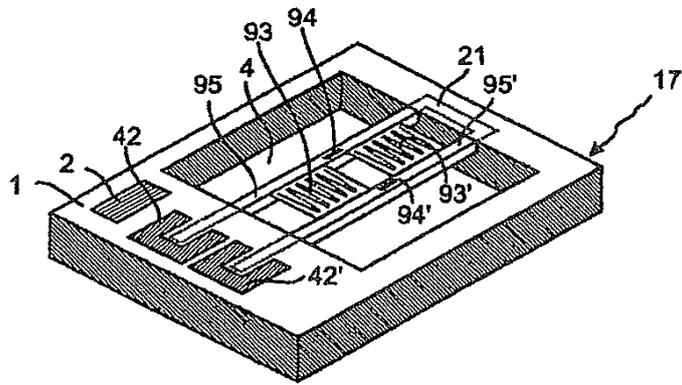


Fig. 9b

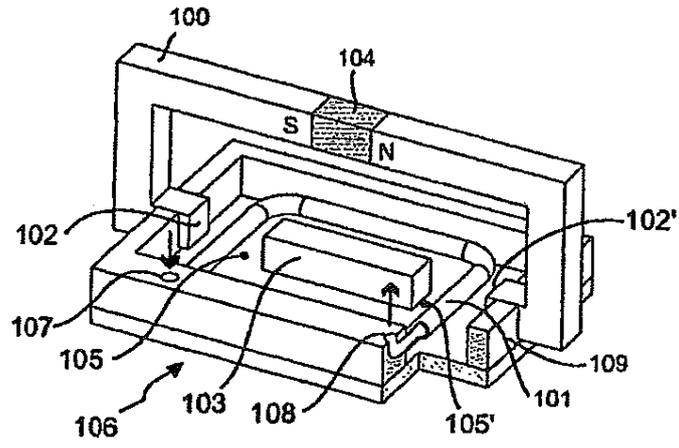


Fig. 10a

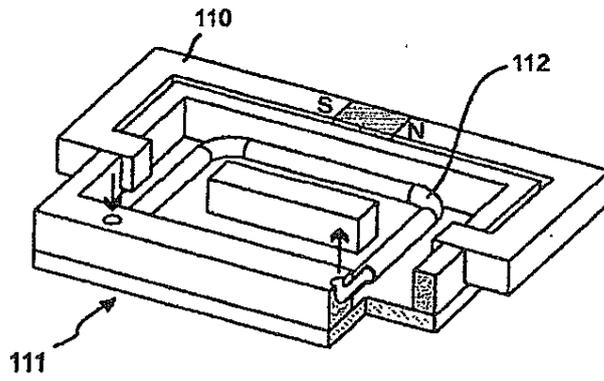


Fig. 10b