

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 374 057**

51 Int. Cl.:  
**H01H 61/04** (2006.01)  
**B81B 7/02** (2006.01)  
**B81B 3/00** (2006.01)  
**H01H 37/32** (2006.01)  
**H01H 9/20** (2006.01)  
**H01H 37/46** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 96 Número de solicitud europea: **06808916 .8**  
96 Fecha de presentación: **18.03.2006**  
97 Número de publicación de la solicitud: **1866235**  
97 Fecha de publicación de la solicitud: **19.12.2007**

54 Título: **ACTUADORES E INTERRUPTORES MEMS.**

30 Prioridad:  
**18.03.2005 US 662829 P**  
**18.03.2006 US 308358**

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:  
**13.02.2012**

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:  
**13.02.2012**

73 Titular/es:  
**RÉSEAUX MEMS**  
**SUITE 3700 800 SQUARE VICTORIA**  
**MONTREAL QC H4Z 1E9, CA**

72 Inventor/es:  
**LU, Jun y**  
**MENARD, Stephane**

74 Agente: **Curell Aguilá, Mireya**

ES 2 374 057 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**

Actuadores e interruptores MEMS.

**5 Campo de la invención**

La presente solicitud se refiere en general al campo de los sistemas microelectromecánicos (MEMS) y, en particular, a dispositivos MEMS mejorados que no requieren dispositivos de limitación de corriente adicionales.

**10 Antecedentes de la invención**

Los sistemas microelectromecánicos (MEMS) son pequeñas estructuras mecánicas móviles construidas utilizando procedimientos de semiconductor bien caracterizados. Ventajosamente, pueden proporcionarse MEMS como actuadores, que han demostrado ser muy útiles en muchas aplicaciones.

Los actuales actuadores MEMS son bastante pequeños y tienen una longitud de sólo unos pocos cientos de micrones, y una anchura de sólo unas decenas de micrones. Dichos actuadores MEMS están configurados y dispuestos típicamente en voladizo. En otras palabras, tienen un extremo sujeto a un sustrato y un extremo libre opuesto que es móvil entre al menos dos posiciones, siendo una de ellas una posición neutra y las otras, posiciones desviadas.

Los mecanismos de accionamiento electrostáticos, magnéticos, piezoeléctricos y térmicos están entre los mecanismos de actuación más comunes que emplean MEMS. Es de particular importancia el mecanismo de actuación térmica.

Como se entiende por los expertos en la materia, la desviación de un actuador MEMS térmico deriva de un potencial que se aplica entre un par de terminales denominados "almohadillas de anclaje", cuyo potencial provoca un flujo de corriente que eleva la temperatura de la estructura. Esta temperatura elevada provoca finalmente que una parte de la misma se contraiga o se alargue, dependiendo del material que se utilice.

Un uso posible de actuadores MEMS es configurarlos como interruptores. Estos interruptores están realizados a partir de al menos un actuador. En el caso de múltiples actuadores, estos se hacen funcionar típicamente en secuencia para conectar o liberar una de sus partes con respecto a una parte similar en el otro actuador. Estos actuadores forman un interruptor que puede abrirse o cerrarse selectivamente utilizando un voltaje de control aplicado entre las almohadillas de anclaje correspondientes en cada actuador.

Los interruptores MEMS tienen muchas ventajas. Entre otras cosas, son muy pequeños y relativamente económicos, dependiendo de la configuración. Debido a que son extremadamente pequeños, puede disponerse un número muy grande de interruptores MEMS en una sola pastilla.

Como ventaja adicional, los interruptores MEMS consumen una potencia eléctrica mínima y su tiempo o tiempos de respuesta son extremadamente cortos. De manera impresionante, un ciclo completo de cierre o apertura de un interruptor MEMS puede ser tan corto como unos pocos milisegundos.

No obstante, aunque los actuadores e interruptores MEMS de la técnica anterior han probado ser satisfactorios en cierto grado, permanece una necesidad general de mejorar adicionalmente sus prestaciones, fiabilidad y manufacturabilidad. Por ejemplo, un factor que aumenta generalmente los costes totales de un sistema que utiliza interruptores MEMS es la inclusión de alguna protección adicional que se requiere frecuentemente en mercados particulares.

Uno de estos tipos de protección adicional que eleva el coste de sistemas basados en MEMS es un dispositivo limitador de corriente. Estos limitadores de corriente son dispositivos externos que protegen cada interruptor MEMS de ser dañado por un pico de corriente relativamente grande que tenga lugar en uno de los circuitos. Dichos picos de corriente, aunque usualmente breves en longitud, pueden dañar interruptores MEMS no protegidos. La eliminación de la necesidad de numerosos limitadores de corriente en sistemas basados en MEMS reduciría significativamente los costes totales de estos sistemas y representaría un avance significativo en la técnica.

En este campo técnico, el documento 2004/211178 A1 se refiere a un actuador MEMS en voladizo montado sobre un sustrato, comprendiendo el actuador:

- un elemento de brazo caliente alargado que tiene dos partes espaciadas entre sí, provista cada una de ellas, en un extremo, de una correspondiente almohadilla de anclaje conectado al sustrato, conectándose entre sí las partes en un extremo común que está frente a las almohadillas de anclaje;
- un elemento de brazo frío alargado adyacente y sustancialmente paralelo al elemento de brazo caliente,

presentando el elemento de brazo frío en un extremo una almohadilla de anclaje conectada al sustrato, y un extremo libre que está frente a la almohadilla de anclaje del mismo; y

- 5 - un dispositivo de sujeción dieléctrico sujeto sobre el extremo común de las partes del elemento de brazo caliente y el extremo libre del elemento de brazo frío para acoplar mecánicamente el elemento de brazo caliente y el elemento de brazo frío y mantenerlos eléctricamente independientes.

### Sumario de la invención

10 Se han desarrollado estructuras MEMS mejoradas que emplean un elemento conductor móvil y una pluralidad de terminales de contacto estacionarios portacorriente que permiten ventajosamente una mayor capacidad de transporte de corriente que los dispositivos de la técnica anterior, en los que las corrientes fluían a través de elementos conductores móviles. Ventajosamente, y en fuerte contraste con la técnica anterior, las estructuras inventivas según las reivindicaciones 1 y (12) pueden transportar corrientes en exceso de 1,0 amperios sin  
15 necesidad de dispositivos de limitación de corriente adicionales. En consecuencia, los sistemas que emplean estas estructuras inventivas presentan unos costes totales de fabricación del sistema significativamente menores.

### Breve descripción del dibujo

20 Es posible una comprensión más completa de la presente invención haciendo referencia al dibujo adjunto, en el que:  
La figura 1 es un esquema de un ejemplo de interruptor MEMS según la presente invención;  
Las figuras 2a y 2b son unas vistas laterales de actuadores empleados por el interruptor MEMS de la figura 1;  
25 Las figuras 3a-3e muestran esquemáticamente un ejemplo del movimiento relativo de los actuadores MEMS de las figuras 2a y 2b cuando van de la posición "abierta" a la posición "cerrada";  
La figura 4 muestra un esquema de una forma de realización alternativa del ejemplo de interruptor MEMS de la figura 1;  
30 La figura 5 muestra un esquema de otra forma de realización alternativa del ejemplo de interruptor MEMS de la figura 1;  
Las figuras 6a-6c muestran un esquema de todavía otra forma de realización alternativa del ejemplo de interruptor MEMS de la figura 1;  
La figura 7 muestra un esquema de todavía otra forma de realización alternativa del ejemplo de interruptor MEMS de la figura 1, en la que se emplean cuatro juegos de terminales de contacto;  
40 La figura 8 es un esquema de todavía otra forma de realización alternativa del interruptor MEMS de la figura 1, en la que un actuador está provisto de un segundo elemento de brazo caliente;  
La figura 9 es un esquema de otra forma de realización alternativa del interruptor MEMS de la figura 1 que emplea un único elemento de brazo caliente;  
45 La figura 10 es un esquema de otra forma de realización alternativa del interruptor MEMS de la figura 1;  
La figura 11 es una vista lateral izquierda de la forma de realización de la figura 10;  
50 La figura 12 es una vista en sección transversal de la forma de realización de la figura 10;  
Las figuras 13a-13e muestran la secuencia de funcionamiento del interruptor MEMS de la figura 10;  
55 La figura 14 muestra un esquema de una forma de realización alternativa del interruptor MEMS de la figura 10;  
Las figuras 15a-15e muestran la secuencia de funcionamiento del interruptor MEMS de las figuras 14;  
La figura 16 muestra un esquema de otra forma de realización alternativa del interruptor MEMS de la figura 1;  
60 La figura 17 es una vista lateral del interruptor MEMS de la figura 16; y  
La figura 18 es una vista en sección transversal del interruptor MEMS de la figura 17.

### 65 Descripción detallada

La figura 1 muestra un ejemplo de un interruptor MEMS (100) construido según los principios de la presente invención. El interruptor (100) comprende dos actuadores MEMS (10, 10'). El interruptor MEMS (100) se utiliza para cerrar y abrir selectivamente un circuito entre un par de terminales de contacto (102, 104) utilizando un elemento conductor móvil (106) montado en el extremo de un brazo de soporte (108).

De acuerdo con una posible forma de realización de la invención, al menos dos brazos de soporte se disponen sobre el mismo actuador MEMS.

Cuando el interruptor MEMS (100) está en una posición cerrada, los terminales de contacto (102, 104) están en acoplamiento eléctrico - es decir, una corriente eléctrica puede fluir entre los dos terminales de contacto (102, 104). Este acoplamiento eléctrico se materializa cuando el elemento conductor móvil (106) "cortocircuita" eléctricamente el par de terminales de contacto (102, 104).

A la inversa, cuando el interruptor MEMS (100) está en una posición abierta, los terminales de contacto (102, 104) no están eléctricamente acoplados y ninguna corriente eléctrica apreciable fluye entre ellos. En formas de realización preferidas, el elemento conductor móvil (106) está chapeado en oro.

Se ha descubierto que el uso de terminales de contacto (102, 104) tales como los mostrados y un elemento conductor móvil (106) permite la conducción de corrientes más altas que en los dispositivos MEMS en los que una trayectoria de conducción eléctrica va a lo largo de un tramo de los propios actuadores MEMS (10, 10'). Ventajosamente, y como resultado directo de la estructura MEMS inventiva (100), ahora es posible emplear interruptores MEMS, evitando al mismo tiempo el uso de limitadores de corriente. Como resultado, los costes de fabricación totales de los sistemas que emplean interruptores MEMS pueden reducirse significativamente.

Haciendo referencia de nuevo a las figuras 2a y 2b, se muestran vistas laterales de los actuadores (10, 10') de la figura 1 que están montados sobre un sustrato (12) en forma de voladizo. Un ejemplo del sustrato (12) es una pastilla de silicio, un sustrato muy bien caracterizado. Sin embargo, como puede apreciarse fácilmente por los expertos en la materia, la presente invención no está limitada a sustratos de silicio.

Haciendo referencia de nuevo a la figura 1, cada uno de los actuadores (10, 10') comprende un elemento de brazo caliente alargado (20, 20') que tiene dos partes (22, 22') separadas entre sí. Cada parte separada (22, 22') está provista, en un extremo, de una almohadilla de anclaje (24, 24') correspondiente conectada al sustrato (12).

En cada actuador (10, 10'), las partes (22, 22') separadas entre sí son sustancialmente paralelas y están conectadas entre sí en un extremo común (26, 26') que se muestra frente a las almohadillas de anclaje (24, 24') y que cubre el sustrato (12).

Cada uno de los actuadores (10, 10') comprende también un elemento de brazo frío separado (30, 30') adyacente y sustancialmente paralelo al elemento de brazo caliente correspondiente (20, 20'). El elemento de brazo frío (30, 30') tiene, en un extremo, una almohadilla de anclaje (32, 32') conectada al sustrato (12) y un extremo libre (34, 34') que se muestra frente a la almohadilla de anclaje (32, 32') del mismo. El extremo libre (34, 34') está dispuesto sobre el sustrato (12).

Un dispositivo de sujeción dieléctrico (40, 40') está sujeto sobre el extremo común (26, 26') de las partes (22, 22') del elemento de brazo caliente (20, 20') y sobre el extremo libre (34, 34') del elemento de brazo frío (30, 30'). El dispositivo de sujeción dieléctrico (40, 40') está destinado a acoplar mecánicamente el elemento de brazo caliente (20, 20') y el elemento de brazo frío (30, 30') y a conservarlos eléctricamente independientes, manteniéndolos así en una relación separada con un espaciamiento mínimo entre ellos para evitar un contacto directo o un cortocircuito en funcionamiento normal, así como para mantener el voltaje de resistencia requerido, cuyo voltaje es proporcional al espaciamiento entre los elementos (20, 30 y 20', 30') correspondientes.

Deberá observarse que puede incrementarse el voltaje máximo utilizado cambiando la atmósfera ambiente. Por ejemplo, el uso de gases electronegativos como atmósfera ambiente incrementaría el voltaje de resistencia. Un ejemplo de este tipo de gases es hexafluoruro de azufre, SF<sub>6</sub>.

El dispositivo de sujeción dieléctrico (40, 40') se moldea preferentemente en su sitio en la localización deseada y se sujeta por adhesión directa. El moldeo directo permite además hacer que entre una pequeña cantidad de material en el espacio entre las partes antes de solidificarse. Ventajosamente, el dispositivo de sujeción dieléctrico (40, 40') puede sujetarse al elemento de brazo caliente (20, 20') y el elemento de brazo frío (30, 30') de una manera diferente a la mostrada en las figuras. Además, los dispositivos de sujeción dieléctricos (40, 40') pueden ser transparentes, como se ilustra en algunas de las figuras.

Cada dispositivo de sujeción dieléctrico (40, 40') está realizado preferentemente en un material de fotorreserva. Se ha encontrado que un material muy adecuado para ese fin, que es también fácil de fabricar, es el material conocido en el mercado como "SU-8". El SU-8 es una fotorreserva negativa para UV cercano, de tipo epoxi, basada en la resina epoxi EPON SU-8 (de Shell Chemical). Por supuesto, puede utilizarse también otra fotorreserva, dependiendo

de los requisitos de diseño particulares. Otros posibles materiales adecuados incluye poliimida, vidrio sobrehilado, óxido, nitruro, ORMOCORE™, ORMOCCLAD™ u otros polímeros. Además, es posible también, y está bien dentro del alcance de la presente invención, el recurso de combinar diferentes materiales. Como puede apreciarse, el hecho de disponer cada dispositivo de sujeción dieléctrico (40, 40') sobre el actuador correspondiente (10, 10') es ventajoso debido a que permite utilizar los materiales anteriormente mencionados, lo que, a cambio, proporciona más flexibilidad sobre el material del dispositivo de sujeción y una mayor fiabilidad.

En uso, cuando se aplica un voltaje de control en las almohadillas de anclaje (24, 24') del elemento de brazo caliente (20, 20'), se desplaza una corriente hacia las partes primera y segunda (22, 22'). En las diversas formas de realización ilustradas en la presente memoria, el material o materiales que constituyen los elementos de brazo caliente (20, 20') son un material sustancialmente conductor seleccionado de modo que aumente de longitud cuando se calienta. Sin embargo, los elementos de brazo frío (30, 30') no presentan sustancialmente tal alargamiento, puesto que no está pasando inicialmente ninguna corriente a través de ellos. El resultado de esta disposición es que, cuando se aplica un voltaje de control a las almohadillas de anclaje (24, 24'), el flujo de corriente resultante en los elementos de brazo caliente (20, 20') da como resultado su calentamiento y el extremo libre de cada actuador (10, 10') se desvía lateralmente debido a la configuración asimétrica de las partes, moviendo así los actuadores (10, 10') desde una posición neutra hasta una posición desviada. A la inversa, el recurso de retirar el voltaje de control de las almohadillas de anclaje (24, 24') da como resultado el enfriamiento del elemento de brazo caliente (20, 20'), provocando así que éste se mueva hasta su posición original. Ventajosamente, ambos movimientos (de neutra a desviada y de desviada de nuevo a neutra) tienen lugar muy rápidamente.

Preferentemente, cada elemento de brazo frío (30, 30') comprende una sección más estrecha (36, 36') junto a su almohadilla de anclaje (32, 32') con el fin de facilitar el movimiento entre la posición neutra y la posición desviada. Cada sección más estrecha (36, 36') tiene una anchura lateralmente reducida desde el exterior en comparación con una sección más ancha (38, 38') del elemento de brazo frío (30, 30'). En la forma de realización preferida, la reducción de anchura es en ángulo recto. Como puede apreciarse por los expertos en la materia, son posibles también otras formas.

Cada uno de los actuadores (10, 10') en la forma de realización mostrada en la figura 1 incluye un juego de dos dispositivos de sujeción (50, 50') dieléctricos adicionales separados uno de otro. Estos dispositivos de sujeción (50, 50') dieléctricos adicionales están dispuestos transversalmente sobre las partes (22, 22') del elemento de brazo caliente (20, 20') y sobre el elemento de brazo frío (30, 30'). Generalmente, se adhieren a estas partes.

Es ventajoso disponer al menos uno de estos dispositivos de sujeción (50, 50') dieléctricos adicionales en cada actuador (10, 10') para proporcionar resistencia adicional al elemento de brazo caliente (20, 20') al reducir su longitud efectiva, impidiendo así la distorsión del elemento de brazo caliente (20, 20') a lo largo del tiempo. Puesto que el intersticio entre las partes es extremadamente pequeño, los dispositivos de sujeción adicionales (50, 50') reducen cualquier riesgo de un cortocircuito entre las dos partes (22, 22') del elemento de brazo caliente (20, 20') o entre la parte (22, 22') del elemento de brazo caliente (20, 20'), que está físicamente más próxima al elemento de brazo frío (30, 30'), y el propio elemento de brazo frío (30, 30') al mantenerlos en una configuración de separación neutra.

Adicionalmente, puesto que el elemento de brazo frío (30, 30') puede utilizarse para transportar señales de alto voltaje en algunas configuraciones, la parte (22, 22') del elemento de brazo caliente (20, 20') más próxima al elemento de brazo frío (30, 30') puede deformarse, moviéndose así hacia el elemento de brazo frío (30, 30') y aproximándose más a éste debido a la fuerza electrostática entre ellos creada por la señal de alto voltaje. Si la parte (22, 22') del elemento de brazo caliente (20, 20') llega a estar demasiado cerca del elemento de brazo frío (30, 30'), puede producirse una perforación de voltaje, destruyendo el interruptor MEMS (100). Finalmente, puesto que las dos partes (22, 22') del elemento de brazo caliente (20, 20') son relativamente largas, tienden a distorsionarse cuando se calientan para crear la desviación, reduciendo así la carrera efectiva de los actuadores (10, 10').

Como puede apreciarse, el recurso de utilizar uno, dos o más dispositivos de sujeción dieléctricos adicionales (50, 50') tiene muchas ventajas, incluyendo el incremento de la rigidez de las partes (22, 22') del elemento de brazo caliente (20, 20'), el incremento de la carrera de los actuadores (10, 10'), la reducción de los riesgos de cortocircuitos entre las partes (22, 22') del elemento de brazo caliente (20, 20') y el incremento del voltaje de perforación entre los elementos de brazo frío (30, 30') y los elementos de brazo caliente (20, 20').

Los dispositivos de sujeción dieléctricos adicionales (50, 50') están realizados preferentemente a partir de un material idéntico o similar al de los dispositivos de sujeción dieléctricos adicionales (40, 40'). Se permite ventajosamente que cantidades pequeñas de los materiales fluyan entre las partes antes de solidificarse con el fin de mejorar la adhesión. Además, pueden disponerse uno o más agujeros o pasajes (no mostrados) en los elementos de brazo frío (30, 30') para recibir una cantidad pequeña de material antes de que se solidifique a fin de asegurar una mejor adhesión.

Los dispositivos de sujeción (50, 50') adicionales están dispuestos preferentemente en puntos ampliados (22a, 22a') a lo largo de la longitud de cada actuador (10, 10'). Estos puntos ampliados (22a, 22a') ofrecen una superficie de

contacto mayor y contribuyen también a disipar más calor cuando fluye una corriente en ellos. Los recursos de proporcionar una superficie mayor y permitir que se disipe más calor aumentan el tiempo de vida del actuador.

5 Continuando con la discusión de la figura 1, puede observarse que esta figura muestra además que cada actuador (10, 10') de la forma de realización preferida comprende un elemento de punta correspondiente (60, 60') sujeto al extremo libre (34, 34') del elemento de brazo frío (30, 30'). En esta configuración, los elementos de punta (60, 60') se utilizan para realizar un enganche mecánico que permita que el interruptor MEMS (100) permanezca en sus posiciones de "conexión" sin requerir potencia. En algunas otras configuraciones en las que es necesario crear una conexión eléctrica entre los elementos de punta (60, 60'), la superficie de las bridas de contacto (62, 62') de cada elemento de punta (60, 60') está diseñada preferentemente para disminuir la resistencia de contacto cuando dos de tales elementos de punta (60, 60') hacen contacto uno con otro. Esto puede obtenerse utilizando elementos de punta (60, 60') realizados en oro, ya sea completamente de oro o chapeados con oro. Otros materiales posibles incluyen una aleación de cobalto-oro, paladio, etc. Los materiales de este tipo proporcionan una resistencia de contacto inferior en comparación con el níquel, que es el material preferido para los elementos de brazo frío (30, 30'). Los elementos de brazo caliente (20, 20') están realizados también preferentemente en níquel. Pueden utilizarse otros materiales para los elementos de brazo caliente (20, 20') y los elementos de brazo frío (30, 30').

20 Haciendo referencia de nuevo a la figura 2a, se muestra que el elemento de punta (60') de un actuador (10') está sujeto debajo del extremo libre (34, 34') del elemento de brazo frío correspondiente (30, 30'). Preferentemente, está sujeto utilizando la adhesión natural de los materiales cuando se chapean uno sobre otro, aunque pueden utilizarse también otros medios. Si los elementos de punta (60, 60') están realizados en níquel, entonces se construirían simultáneamente los brazos frío y caliente con el níquel y, por tanto, éste sería una parte integrante del elemento de brazo frío (30, 30').

25 Las figuras 3a a 3e muestran esquemáticamente un ejemplo del movimiento relativo de los actuadores MEMS (10, 10') cuando el interruptor MEMS (100) va de una posición "abierta" a una posición "cerrada", cerrando así el circuito entre los dos terminales de contacto (102, 104). Para moverse de una posición a la otra, los actuadores (10, 10') se hacen funcionar en secuencia.

30 Más particularmente, la figura 3a muestra la posición inicial del interruptor MEMS (100). En la figura 3b, el elemento de brazo caliente del segundo actuador (10') es activado de modo que el elemento de punta (60') se desvía hacia su derecha. A continuación, en la figura 3c, el elemento de punta (60) del primer actuador (10) se desvía hacia su derecha tras la activación del correspondiente elemento de brazo caliente.

35 La figura 3d muestra el voltaje de control en el segundo actuador (10') al ser liberado, lo que provoca que su brida (62') se acople al lado trasero de la brida (62) del primer actuador (10) cuando vuelve a su posición neutra. Entonces, en la figura 3e, se libera seguidamente el voltaje de control del primer actuador (10), permitiendo así un acoplamiento estable entre ambos actuadores (10, 10'). El cierre del interruptor MEMS (100) es muy rápido, ocurriendo todo esto en típicamente unos pocos milisegundos. Ventajosamente, el interruptor MEMS (100) puede abrirse invirtiendo las operaciones anteriores.

40 Como puede verse, se mueve el elemento conductor móvil (106), en la figura 3a a la figura 3e, desde una posición en la que está fuera de acoplamiento con los terminales de contacto (102, 104) hasta una posición en la que es empujado contra los terminales de contacto (102, 104), de tal manera que se cierre un circuito. El brazo de soporte (108) se curva ligeramente cuando se cierra el circuito, creando esto una fuerza de resorte que mantiene el elemento conductor (106) en un buen acoplamiento positivo. Una señal o simplemente una corriente puede transmitirse entonces entre ambos terminales de contacto correspondientes (102, 104). Deberá notarse en este punto que, si se requiere, los actuadores MEMS (10, 10') pueden utilizarse todavía para transmitir una señal a través de su propia estructura, aunque esta trayectoria no sería tan óptima como la que está entre los dos terminales de contacto (102, 104). En este caso, el extremo libre (34) incluiría un dispositivo de sujeción dieléctrico para aislar eléctricamente el brazo de soporte (108) y el actuador (10).

45 La figura 4 ilustra una forma de realización alternativa. Esta forma de realización es similar a la ilustrada en la figura 1 con la excepción de que comprende un elemento conductor móvil (106') para acoplar unos terminales de contacto (102', 104') y un brazo de soporte correspondiente (108') montado sobre el segundo actuador (10').

50 La figura 5 ilustra otra forma de realización alternativa de nuestra estructura de interruptor MEMS de la invención. Comprende los dos elementos conductores móviles (106, 106') y los dos brazos de soporte correspondientes (108, 108'). Cuando se cierra, este interruptor MEMS (100) crea simultáneamente dos circuitos. En esta forma de realización, un dispositivo de sujeción dieléctrico (120, 120') está dispuesto entre cada extremo libre (34, 34') y los brazos de soporte (108, 108') correspondientes para aislar eléctricamente cada contacto.

55 La figura 6A ilustra otra forma de realización alternativa. Comprende un elemento conductor móvil (106) que está situado en el extremo de un brazo de soporte (108) que tiene una pluralidad de segmentos paralelos. Esta configuración similar a un resorte proporciona más flexibilidad al brazo de soporte (108) cuando el elemento conductor móvil (106) hace tope en los dos terminales de contacto (102, 104). Como puede apreciarse fácilmente, la

flexibilidad puede tener un efecto sobre la resistencia de contacto y el ciclo de vida.

La figura 6B muestra una variación de la forma de realización mostrada en la figura 6A. Uno de los actuadores MEMS (10, 10') del interruptor (100) tiene un elemento de brazo caliente (20) que se dispone en ángulo con referencia al elemento de brazo frío (30). Ventajosamente, este desplazamiento angular proporciona alguna compensación para el esfuerzo suplementario ejercido por el brazo de soporte (108) sobre el dispositivo de sujeción dieléctrico (120) cuando se cierra el interruptor MEMS (100).

Además, este desplazamiento angular impide también que el actuador (10) se mueva hacia fuera de su posición original después de muchos ciclos, como resultado de la fatiga. Sin el ángulo en el elemento de brazo caliente (20), el intersticio entre el elemento de contacto móvil (106) y los terminales de contacto (102, 104) puede aumentar gradualmente a lo largo del tiempo con ciclos repetidos. Como puede apreciarse fácilmente, el ángulo proporciona una mayor estabilidad lateral al actuador (10).

Preferentemente, el brazo de soporte (108) está realizado de una sola pieza con el elemento de brazo frío (30) y está diseñado con una parte de base rígida y una parte similar a un resorte dispuesta de manera algo simétrica alrededor de un eje central que se extiende hacia y entre los terminales de contacto (102, 104). La figura 6C muestra una variación de la estructura mostrada en la figura 6B, en la que los actuadores (10, 10') no están provistos de puntos ampliados (22a, 22a').

La figura 7 muestra otra forma de realización alternativa en la que se utilizan cuatro juegos de terminales de contacto (102, 104) y (102', 104'). Cada brazo de soporte (108, 108') lleva dos elementos de contacto móviles (106, 106') correspondientes y está conformado en una configuración similar a un resorte que tiene dos segmentos sustancialmente paralelos. Cada elemento de contacto móvil (106, 106') se ha hecho eléctricamente independiente del brazo de soporte (108) por medio de un dispositivo de sujeción (110, 110') correspondiente.

La figura 8 muestra una forma de realización alternativa en el interruptor MEMS (100), en la que uno de los actuadores (10, 10') está provisto de un segundo elemento de brazo caliente (23) opuesto al primer elemento de brazo caliente (22). El segundo elemento de brazo caliente (23) tiene dos correspondientes almohadillas de anclaje 25. Este segundo elemento de brazo caliente (23) se activa durante la liberación del interruptor MEMS (100) desde una posición cerrada hasta una posición abierta. Esto puede ser útil para contrarrestar las fuerzas de adhesión o microsoldadura, si las hay, que pudieran ocurrir entre el elemento conductor móvil (106) y los dos terminales de contacto (102, 104). Si estas fuerzas exceden de la fuerza de retorno natural cuando el actuador (10) vuelve a su posición inicial, entonces el segundo elemento de brazo caliente (23) puede proporcionar la fuerza necesaria adicional sobre el lado opuesto para contrarrestarlas.

La figura 9 ilustra otra forma de realización alternativa en la que cada actuador (10, 10') se construye utilizando elementos de un solo brazo caliente en lugar de elementos de brazo caliente doble. Esta configuración reduce el tamaño total y aumenta la flexibilidad del interruptor MEMS (100). Por otro lado, una configuración de elemento de un solo brazo caliente reduce la carrera efectiva y las fuerzas aplicadas a los terminales de contacto (102, 104). Un actuador (10) tiene tres almohadillas de anclaje (24, 25 y 32), pero tiene dos elementos de un solo brazo caliente (22, 23), y el otro actuador (10') tiene dos almohadillas de anclaje (24', 32'), pero sólo un elemento de brazo caliente (20') de una única parte que está conectado directamente al elemento de brazo frío (30'). Un dispositivo de sujeción dieléctrico (120) está dispuesto entre el extremo libre (34) y el brazo de soporte (108) y entre el extremo libre (34) y el elemento de brazo frío (30).

Las figuras 10 a 18 ilustran una clase diferente de interruptores MEMS (100). En estos interruptores MEMS (100), el elemento conductor móvil (106) se mueve verticalmente durante el proceso de apertura o cierre del circuito.

En la figura 10, la parte más próxima a las almohadillas de anclaje (24, 24') es el primer actuador (10), que mueve el segundo actuador (10') verticalmente utilizando partes (22) del elemento de brazo caliente (20). Se suministra la corriente eléctrica al segundo actuador (10') a través de las almohadillas de anclaje (24') y los elementos de brazo (30) del primer actuador (10). El primer y segundo actuadores (10, 10') están conectados entre sí por medio de un dispositivo de sujeción (40). Cuando se activan, las partes (22') del elemento de brazo caliente (22) del segundo actuador (10') mueven el brazo de soporte (108') y el elemento conductor móvil (106') hacia la derecha. El brazo de soporte (108') está aislado eléctricamente del elemento conductor móvil (106') por medio de un dispositivo de sujeción (40'). La figura 11 es una vista lateral izquierda de esta disposición. La figura 12 es una vista en sección transversal tomada a lo largo de la línea XII-XII de la figura 10.

Las figuras 13a a 13e muestran la secuencia de funcionamiento del interruptor MEMS (100) de las figuras 10 a 12, como se ve por la línea XIII-XIII de la figura 10. La posición "abierta" inicial se muestra en la figura 13a. La figura 13b muestra el elemento conductor móvil (106') al ser elevado cuando se activa el primer actuador. Cuando se activa el primer actuador, su elemento de brazo caliente se calienta por una corriente eléctrica que fluye en él. Esto aumenta la longitud del elemento de brazo caliente. Puesto que el elemento de brazo caliente (20) está ligeramente desplazado en sentido vertical con respecto a los elementos de brazo frío (30), como se muestra en la figura 12, el extremo del primer actuador (10) que está hacia fuera de las almohadillas de anclaje correspondientes se elevará

verticalmente. En consecuencia, se elevarán también el segundo actuador (10'), el brazo de soporte (108') y el elemento conductor móvil (106').

5 La figura 13c muestra la posición del elemento conductor móvil (106') con referencia al contacto terminal (104') una vez que se acciona el segundo actuador (10'). Entonces, se libera el voltaje en el primer actuador de modo que el primer actuador sea forzado a volver a su posición inicial. El elemento conductor móvil (106') se moverá hacia abajo hasta que haga contacto con el terminal de contacto (104'). Finalmente, se libera el voltaje del segundo actuador y el extremo libre del segundo actuador será forzado a volver hacia su posición inicial a la izquierda. Esto mantendrá una fuerza entre el terminal de contacto (104') y el elemento conductor móvil (106'). Deberá notarse que todo este proceso está ocurriendo en un tiempo extremadamente corto y que puede alterarse invirtiendo las etapas anteriormente mencionadas.

15 La figura 14 ilustra una forma de realización alternativa que es algo similar a la de las figuras 10 a 12. En esta forma de realización, los terminales de contacto (102', 104') no proporcionan un soporte horizontal al elemento conductor móvil (106') cuando el interruptor MEMS (100) está en una posición cerrada. Las figuras 15a a 15e ilustran las diversas etapas para cerrar el circuito. Estas etapas son similares a las de las figuras 13a a 13e, con la excepción de que el elemento conductor móvil (106') no reposará sobre el terminal de contacto (104') cuando el circuito esté cerrado.

20 Las figuras 16 a 18 ilustran otra forma de realización. En esta forma de realización, el primer actuador (10) mueve el elemento conductor móvil (106') en un plano horizontal. El segundo actuador (10') mueve verticalmente el elemento conductor móvil. El funcionamiento de esta forma de realización sigue siendo similar al ilustrado en las figuras 13a a 13e, de modo que las partes no mencionadas en esta sección se refieran al mismo elemento en las figuras 10 a 14. La figura 17 muestra una vista lateral de esta configuración. La figura 18 muestra una sección transversal tomada a lo largo de la línea XVIII-XVIII de la figura 16.

30 Como puede verse en la figura 16, el "elemento de brazo frío" (30') puede integrarse en el elemento de brazo caliente (20'). Sin embargo, puesto que no fluiría ninguna corriente en él, el elemento de brazo frío (30') permanecerá con la misma longitud cuando la corriente fluya hacia dentro de las dos partes (22') del elemento de brazo caliente (20'). Puesto que las dos partes (22') del elemento de brazo caliente (20') están ligeramente por debajo del nivel del elemento de brazo frío (30), el brazo de soporte (108') y el elemento conductor móvil (106') se moverán hacia arriba.

35 Como puede apreciarse, las diversas configuraciones del interruptor MEMS (100) aquí descritas pueden diseñarse para resistir una corriente relativamente grande entre los terminales de contacto. Ventajosamente, esta corriente puede exceder de un amperio, posiblemente incluso más. Por tanto, pueden omitirse los limitadores de corriente del diseño del sistema utilizando esta configuración de interruptor MEMS. Típicamente, cada actuador (10, 10') es activado con una corriente entre 50 a 200 mA. Son posibles también otros valores.

40 Se entiende que las realizaciones anteriormente descritas ilustran sólo algunas de las posibles formas de realización específicas que pueden representar aplicaciones de la invención.

**REIVINDICACIONES**

1. Interruptor microelectromecánico (MEMS) montado sobre un sustrato (12), comprendiendo el interruptor MEMS:

5 un primer actuador MEMS en voladizo (10, 10') que comprende un primer elemento de brazo caliente (20, 20') que presenta un extremo (24, 24') fijado al sustrato (12), un primer elemento de brazo frío (30, 30') que presenta un extremo (32, 32') fijado al sustrato (12), un primer dispositivo de sujeción dieléctrico (40, 40') que fija juntos un extremo libre (26, 26') del primer elemento de brazo caliente (20, 20') y un extremo libre (34, 34') del primer elemento de brazo frío (30, 30'), y un primer elemento de punta (60, 60') fijado al extremo libre (34, 34') del primer elemento de brazo frío (30, 30');

15 un segundo actuador MEMS en voladizo (10, 10') que comprende un segundo elemento de brazo caliente (20, 20') que presenta un extremo (24, 24') fijado al sustrato (12), un segundo elemento de brazo frío (30, 30') que presenta un extremo (32, 32') fijado al sustrato (12) y un segundo dispositivo de sujeción dieléctrico (40, 40') que sujeta juntos un extremo libre (26, 26') del segundo elemento de brazo caliente (20, 20') y un extremo libre (34, 34') del segundo elemento de brazo frío (30, 30'), y un segundo elemento de punta (60, 60') fijado al extremo libre (34, 34') del segundo elemento de brazo frío (30, 30'), siendo los actuadores MEMS (10, 10') selectivamente móviles para colocar el interruptor en una posición desenclavada o en una posición enclavada, enclavándose mecánicamente entre sí el primer y segundo elementos de punta (60, 60') en la posición enclavada; y

20 un par de terminales de contacto (102, 104, 102', 104') previstos sobre el sustrato (12);

25 estando caracterizado el interruptor MEMS (100) porque al menos uno de los actuadores MEMS (10, 10') incluye al menos un brazo de soporte (108, 108') que presenta un primer extremo conectado al extremo libre (34, 34') del correspondiente elemento de brazo frío (30, 30'), soportando el brazo de soporte un elemento conductor (106, 106') en un segundo extremo del mismo, estando configurados y dispuestos el brazo de soporte (108, 108') y su elemento conductor (106, 106') para acoplar eléctricamente ambos terminales de contacto (102, 104, 102', 104') cuando el interruptor está en la posición enclavada, y para estar fuera de acoplamiento con los terminales de contacto cuando el interruptor está en la posición desenclavada.

30 2. Interruptor MEMS según la reivindicación 1, caracterizado porque los dos actuadores MEMS (10, 10') están posicionados de manera sustancialmente perpendicular uno con respecto al otro.

35 3. Interruptor MEMS según la reivindicación 1, caracterizado porque el brazo de soporte (108, 108') incluye un dispositivo de sujeción dieléctrico (40, 40') entre el brazo de soporte (108, 108') y el elemento conductor (106, 106').

4. Interruptor MEMS según la reivindicación 1, caracterizado porque el brazo de soporte (108, 108') incluye una parte de resorte.

40 5. Interruptor MEMS según la reivindicación 1, caracterizado porque están previstos al menos dos brazos de soporte (108, 108') que soportan unos elementos conductores (106, 106') correspondientes y al menos dos pares de terminales de contacto (102, 104, 102', 104'), estando conectado un primer brazo de soporte al primer actuador MEMS (10, 10') y estando conectado un segundo brazo de soporte al segundo actuador MEMS (10, 10'), siendo cada elemento conductor selectivamente móvil en y fuera de acoplamiento con un respectivo par de los pares de terminales de contacto (102, 104, 102', 104').

45 6. Interruptor MEMS según la reivindicación 1, caracterizado porque están dispuestos al menos dos brazos de soporte (108, 108') en el mismo actuador de los actuadores MEMS (10, 10').

50 7. Interruptor MEMS según la reivindicación 1, caracterizado porque el elemento de brazo frío (30, 30') de al menos uno de los actuadores MEMS (10, 10') está angularmente desplazado con respecto al elemento de brazo caliente (20, 20') correspondiente.

55 8. Interruptor MEMS según la reivindicación 1, caracterizado porque al menos uno de los actuadores MEMS (10, 10') comprende un elemento de brazo caliente adicional situado en un lado opuesto del correspondiente primer o segundo elemento de brazo frío (30, 30') con respecto al correspondiente primer o segundo elemento de brazo caliente (20, 20'), presentando el elemento caliente adicional un extremo fijado al sustrato (12) y un extremo libre fijado al correspondiente primer o segundo dispositivo de sujeción (40, 40').

60 9. Interruptor MEMS según la reivindicación 8, caracterizado porque los dos elementos de brazo caliente (20, 20') de dicho al menos uno de los actuadores MEMS (10, 10') son eléctricamente independientes.

65 10. Interruptor MEMS según la reivindicación 8, caracterizado porque cada uno de los dos elementos de brazo caliente (20, 20') de dicho al menos uno de los actuadores MEMS (10, 10') tiene una parte única, estando conectadas eléctricamente ambas partes al elemento de brazo frío en el extremo libre del mismo.

- 5 11. Interruptor MEMS según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 9, caracterizado porque cada elemento de brazo caliente (20, 20') incluye dos partes de brazo paralelas conectadas independientemente al sustrato (12, 12') en unas almohadillas de anclaje correspondientes y conectadas juntas en el extremo libre (26, 26') del elemento de brazo caliente (20, 20').
- 10 12. Interruptor microelectromecánico (MEMS) montado sobre un sustrato, comprendiendo el interruptor MEMS:
- un primer actuador MEMS en voladizo (10, 10') que tiene un extremo conectado al sustrato (12);
  - 15 - un segundo actuador MEMS en voladizo (10, 10') conectado a un extremo libre del primer actuador MEMS (10, 10');
  - uno de entre el primer y segundo actuadores MEMS presenta un extremo libre verticalmente móvil, presentando el otro un extremo libre horizontalmente móvil;
  - 20 - un par de terminales de contacto (102, 102', 104, 104') previstos sobre el sustrato (12), presentando al menos uno de los terminales una parte en resalte;
  - al menos un brazo de soporte (108, 108') que presenta un primer extremo conectado al extremo libre del segundo actuador MEMS (10, 10'), soportando el brazo de soporte (108, 108') un elemento conductor en el segundo extremo libre del mismo, estando el brazo de soporte y su elemento conductor acoplados eléctricamente a ambos terminales de contacto y enclavados mecánicamente con la parte en resalte en una posición enclavada del interruptor, y estando fuera de acoplamiento con los terminales de contacto cuando el interruptor está en una posición desenclavada.
- 25 13. Interruptor MEMS según la reivindicación 12, caracterizado porque el primer actuador MEMS (10, 10') tiene el extremo libre verticalmente móvil, comprendiendo el primer actuador MEMS (10, 10') un elemento de brazo caliente (20, 20') que presenta dos partes (22, 22') separadas entre sí, presentando cada una un primer extremo (24, 24') fijado al sustrato (12) y un segundo extremo común (26, 26') conectado a un dispositivo de sujeción (50, 50').
- 30 14. Interruptor MEMS según la reivindicación 13, caracterizado porque el primer actuador MEMS (10, 10') comprende dos elementos de brazo frío (30, 30') separados entre sí, presentando cada uno un primer extremo fijado al sustrato (12) y un segundo extremo libre (34, 34') conectado al dispositivo de sujeción (50, 50') por encima del segundo extremo común (26, 26') del elemento de brazo caliente (20, 20').
- 35 15. Interruptor MEMS según la reivindicación 14, caracterizado porque el segundo actuador MEMS (10, 10') comprende un elemento de brazo caliente (20, 20') que presenta un primer extremo conectado al extremo libre (34, 34') de uno de los elementos de brazo frío (30, 30') del primer actuador MEMS (10, 10'), y un elemento de brazo frío (30, 30') que presenta un primer extremo conectado al extremo libre (34, 34') del otro de los elementos de brazo frío (30, 30') del primer actuador MEMS (10, 10') y un segundo extremo conectado a un segundo extremo del elemento de brazo caliente (20, 20').
- 40 16. Interruptor MEMS según la reivindicación 14 ó 15, caracterizado porque el primer actuador MEMS (10, 10') incluye un dispositivo de sujeción dieléctrico (40, 40') entre el elemento de brazo caliente (20, 20') y los elementos de brazo frío (30, 30').
- 45 17. Interruptor MEMS según cualquiera de las reivindicaciones 12 a 15, caracterizado porque comprende un dispositivo de sujeción dieléctrico (120, 120') entre el brazo de soporte y su elemento conductor (106, 106').
- 50 18. Interruptor MEMS según la reivindicación 12, caracterizado porque el primer actuador MEMS (10, 10') comprende dos elementos de brazo frío (30, 30') separados entre sí, presentando cada uno un primer extremo fijado al sustrato (12) y un segundo extremo libre (34, 34') conectado al dispositivo de sujeción.
- 55 19. Interruptor MEMS según la reivindicación 18, caracterizado porque el segundo actuador MEMS (10, 10') presenta el extremo libre verticalmente móvil, comprendiendo el segundo actuador MEMS (10, 10') dos elementos de brazo caliente (20, 20') separados entre sí, presentando cada uno un primer extremo sujeto al extremo libre de un respectivo elemento de los elementos de brazo frío (30, 30') del primer actuador MEMS (10, 10'), y un segundo extremo común al que está conectado el brazo de soporte.
- 60

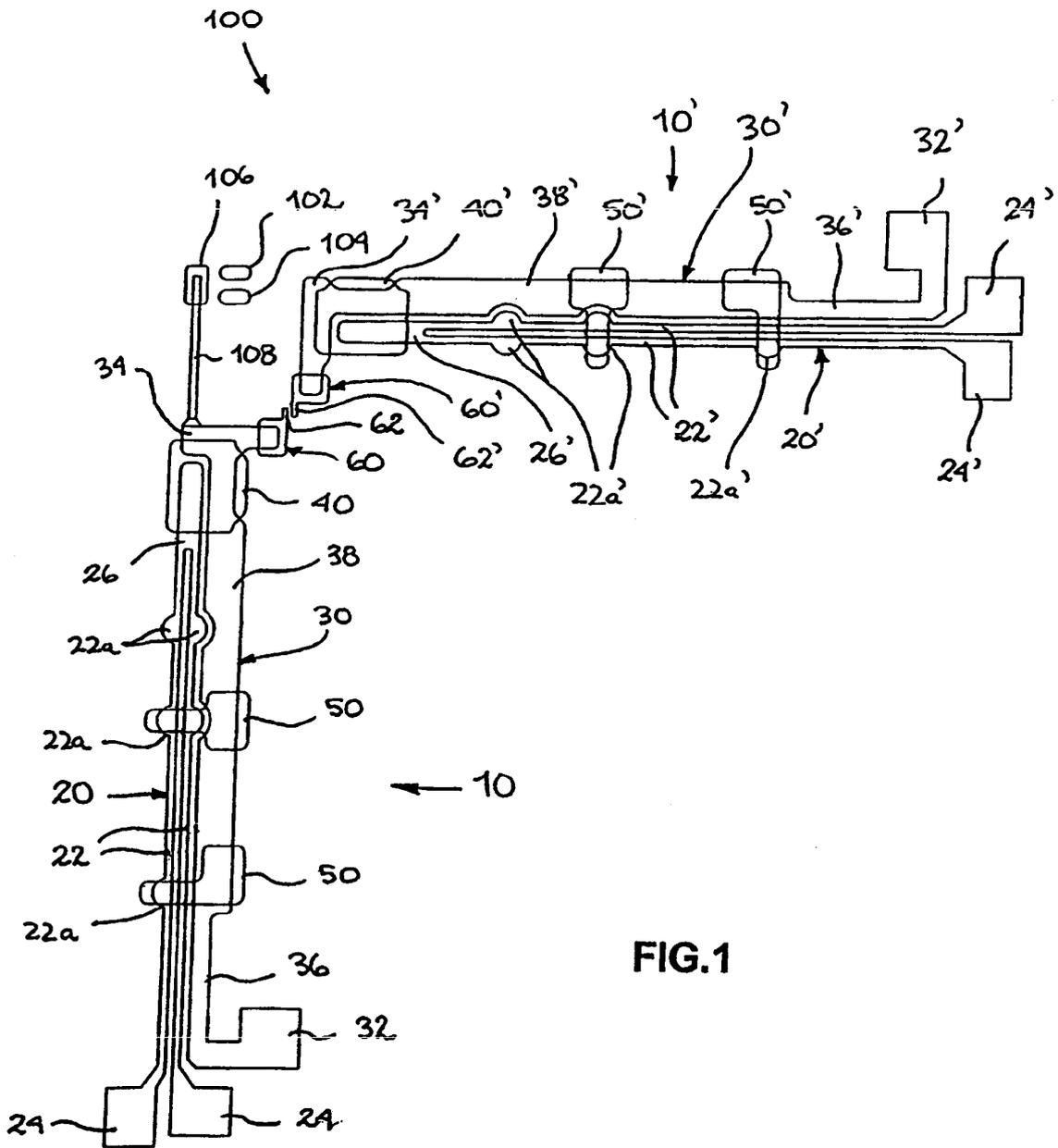


FIG.1

FIG.2a

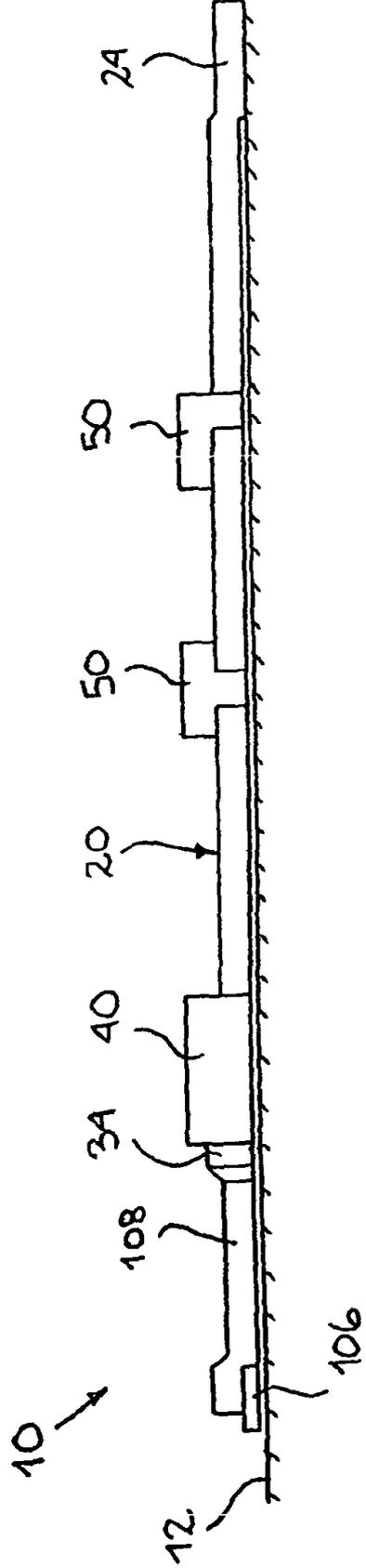
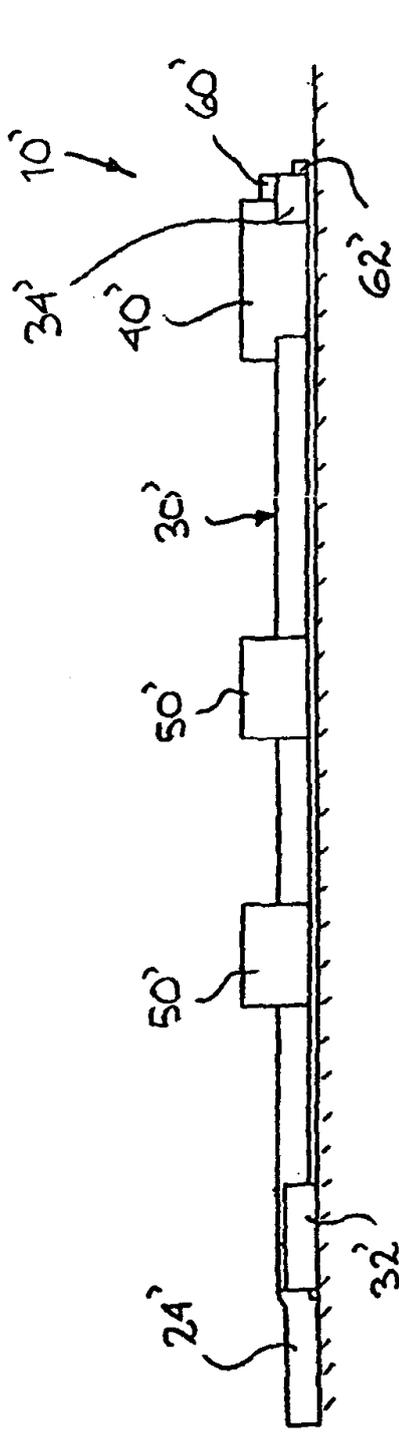
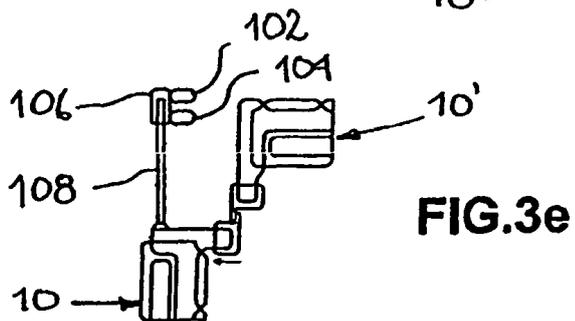
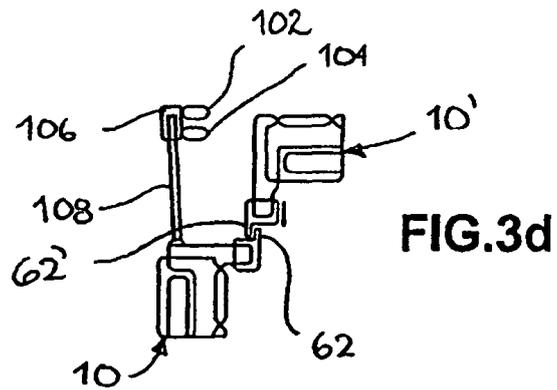
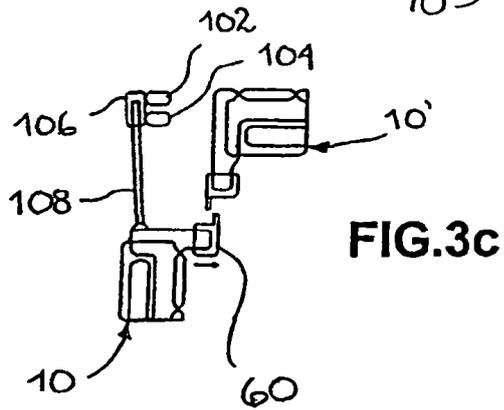
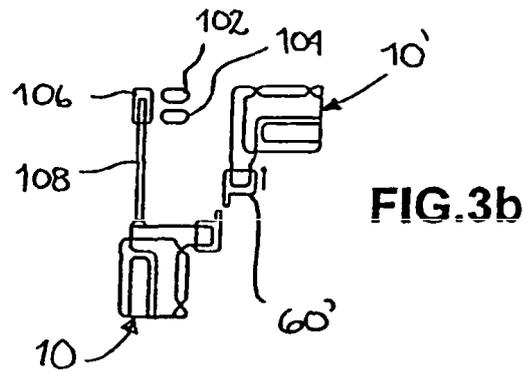
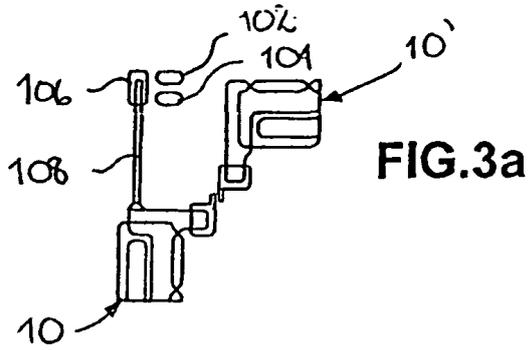
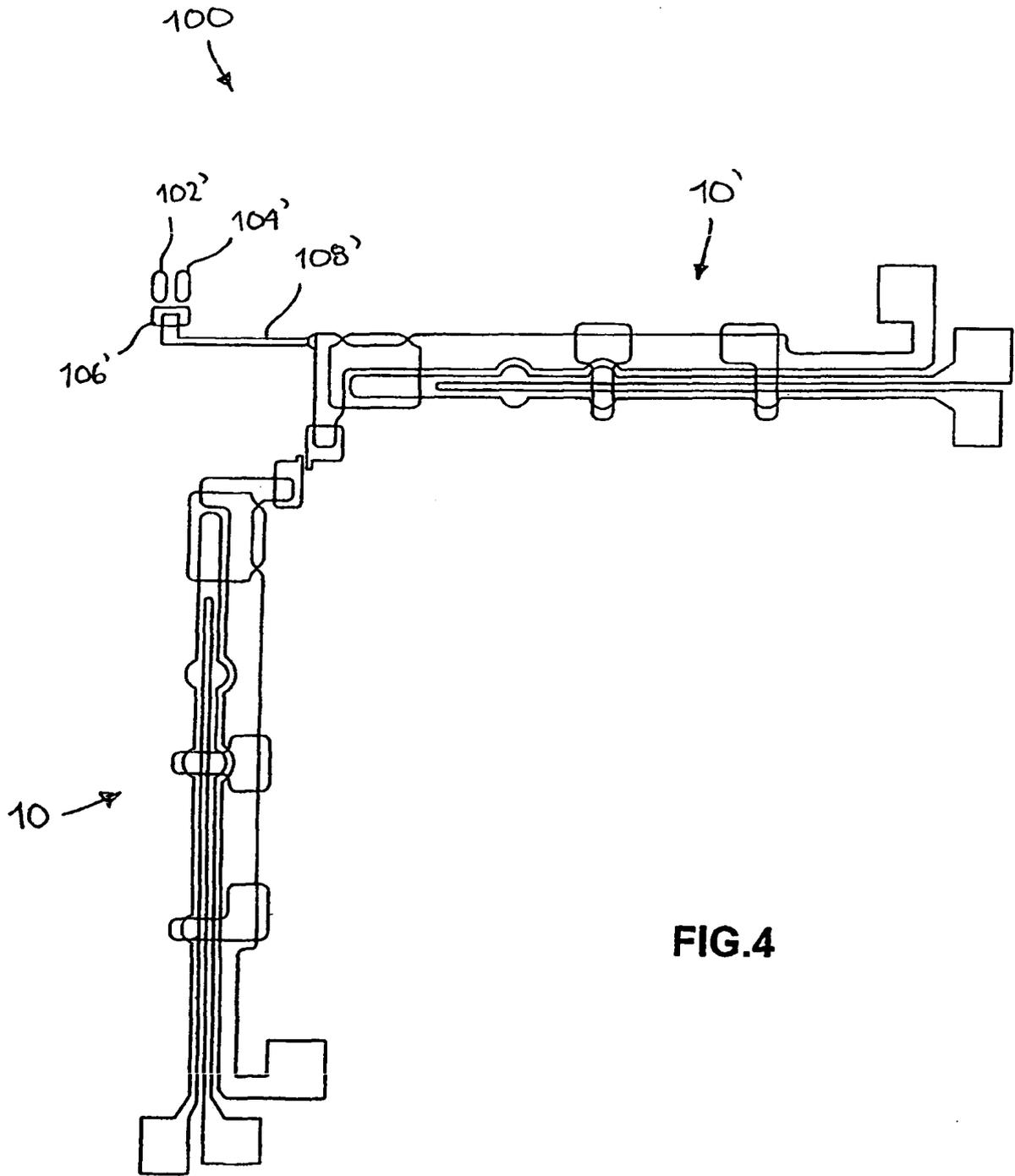


FIG.2b





**FIG.4**

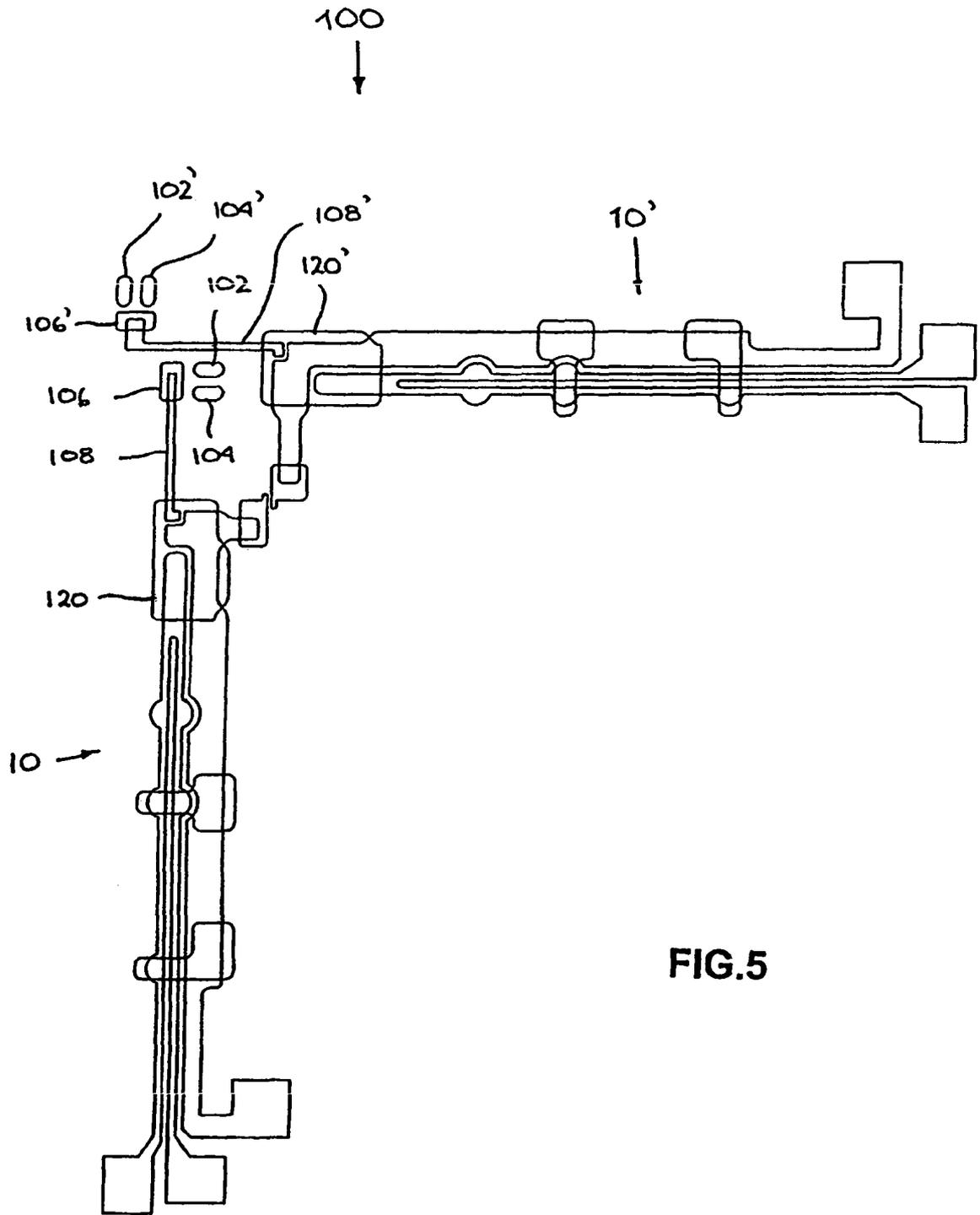


FIG.5

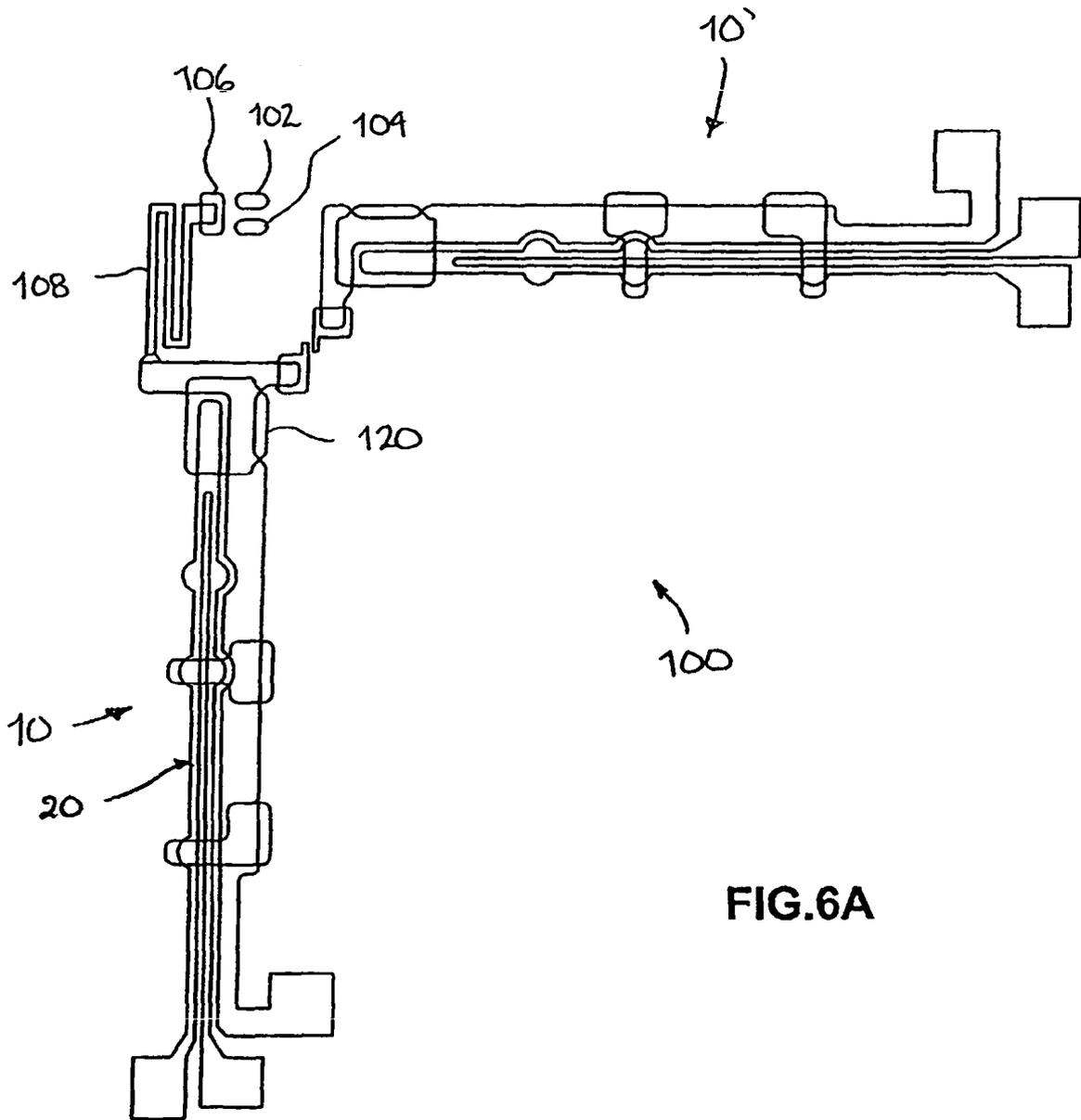
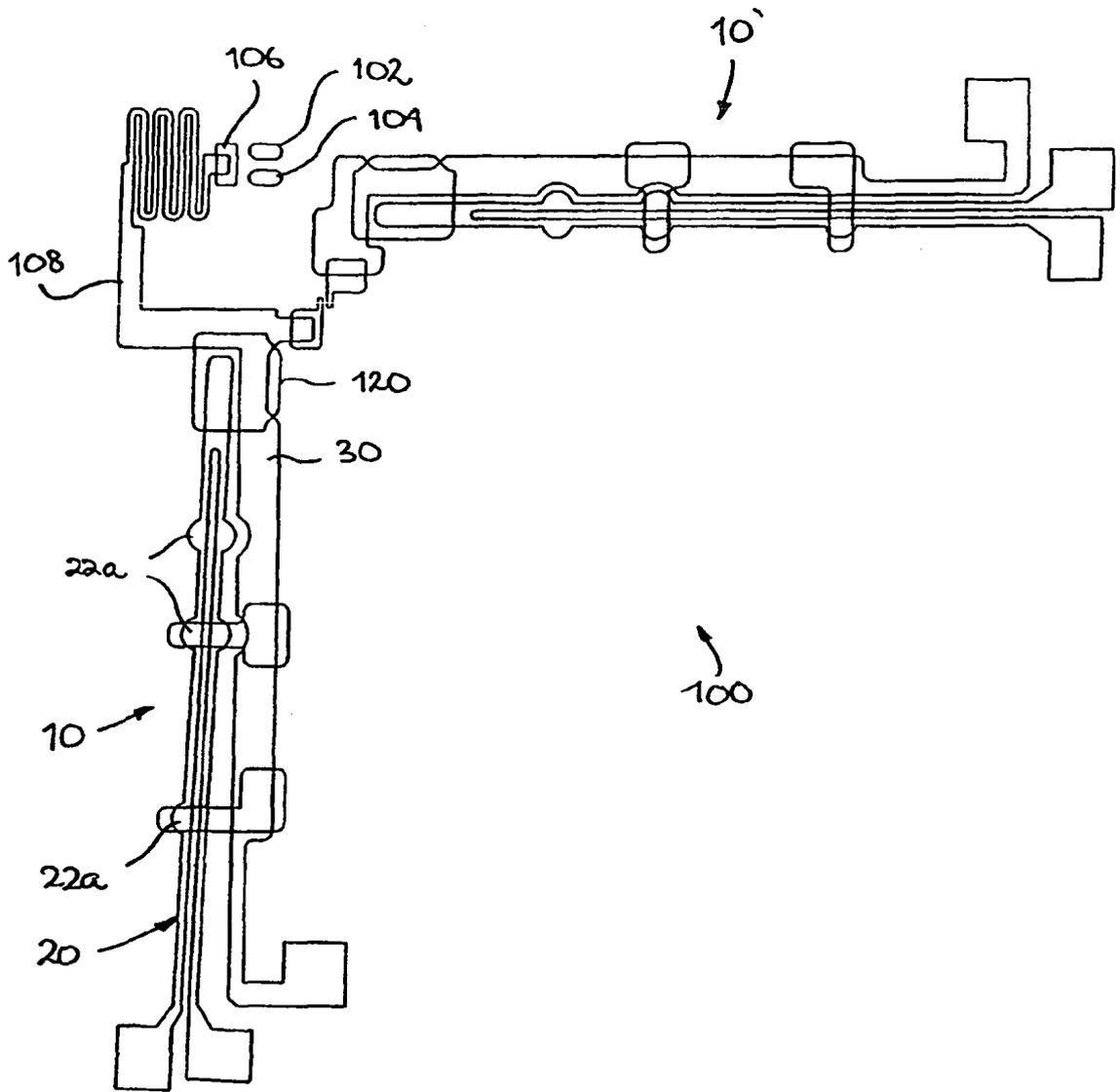


FIG.6A



**FIG.6B**

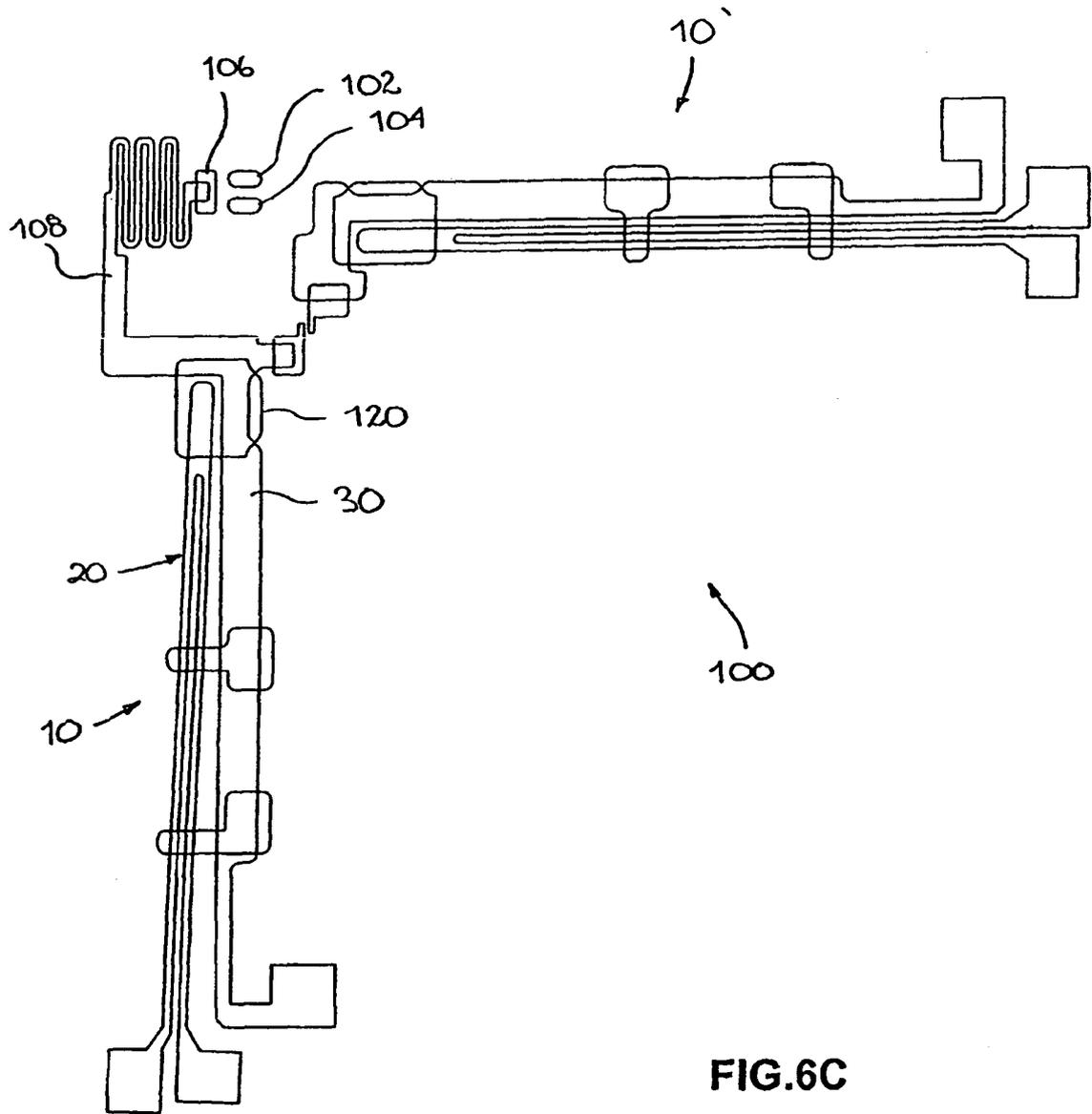


FIG.6C

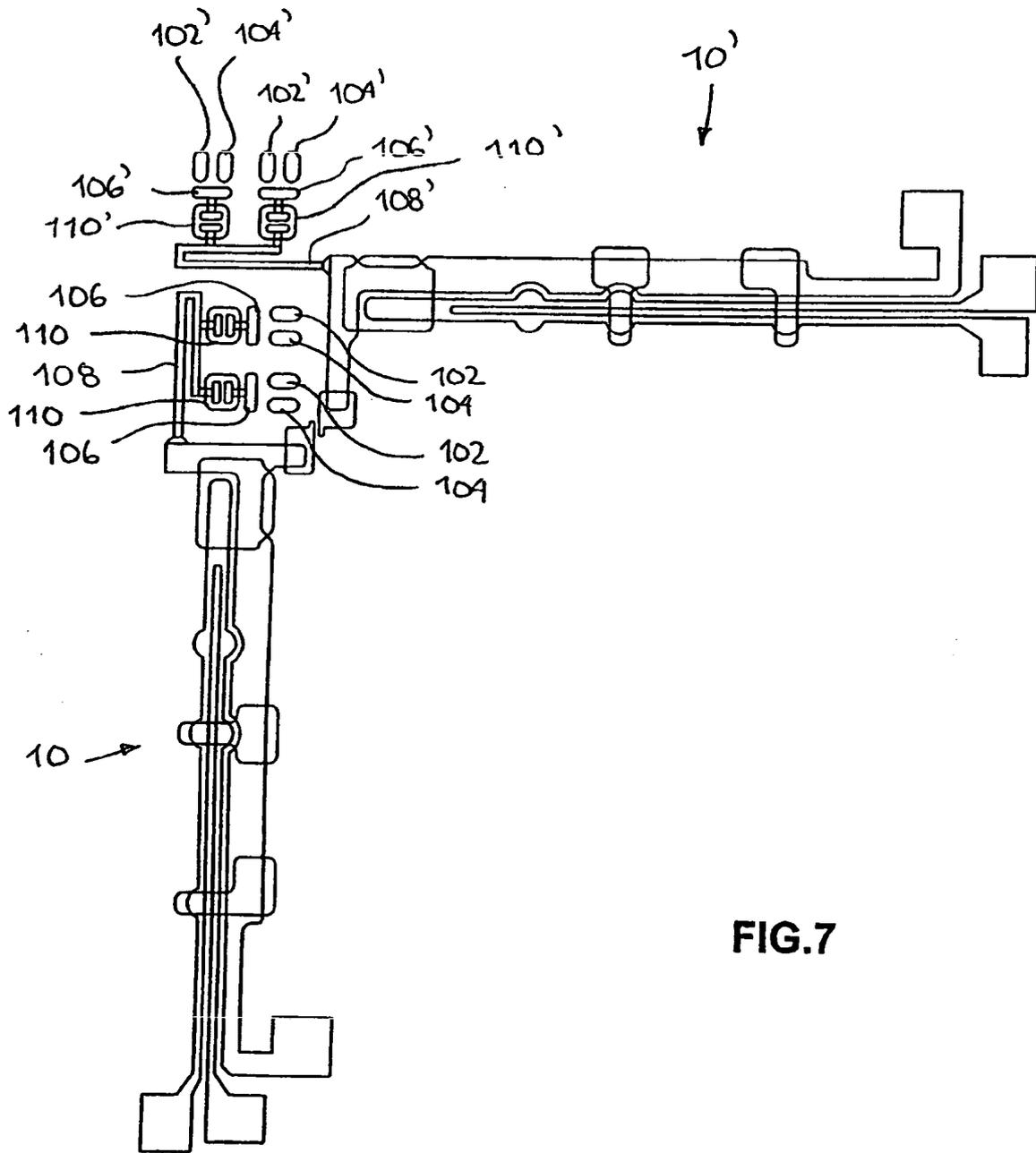
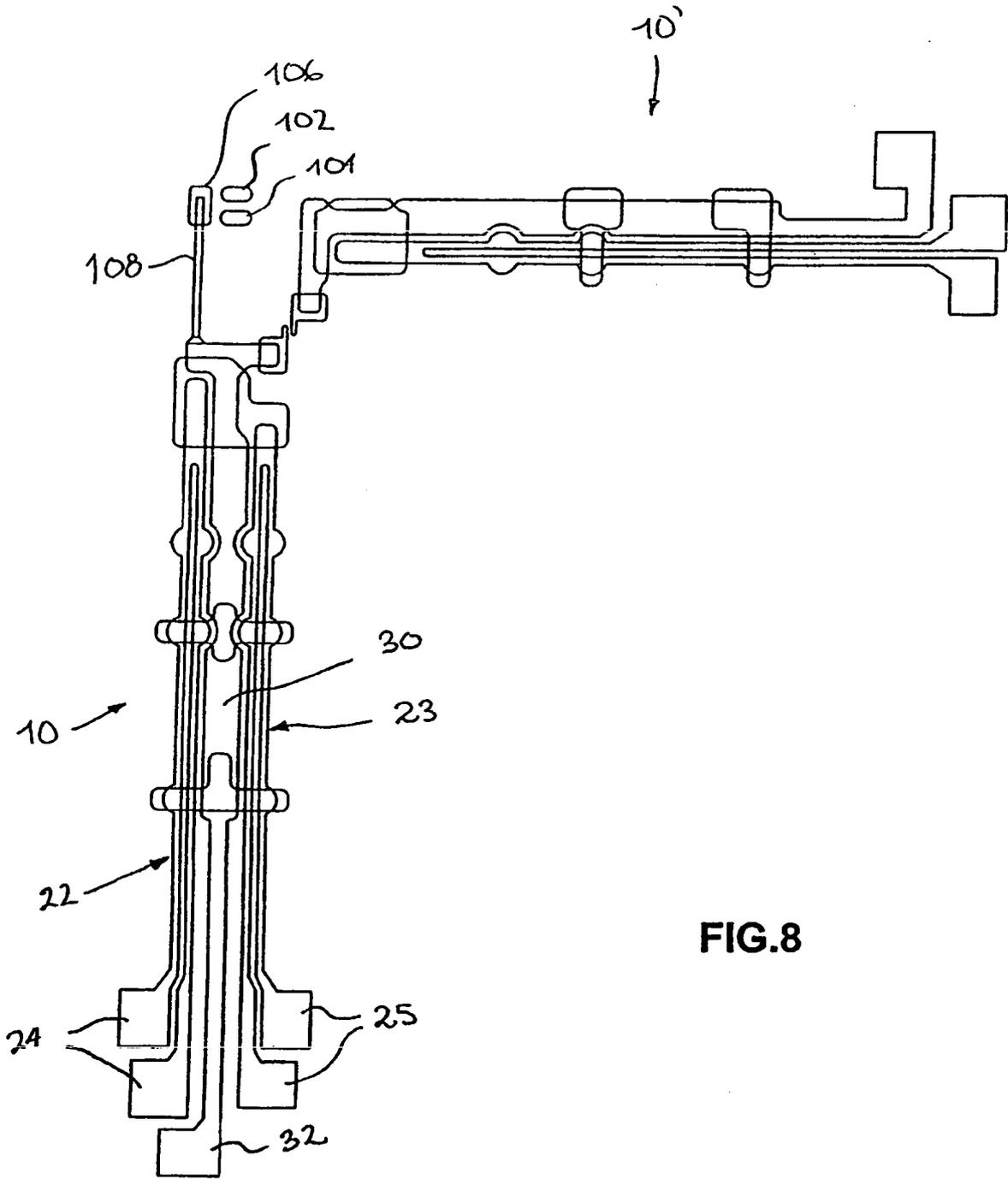


FIG.7



**FIG.8**

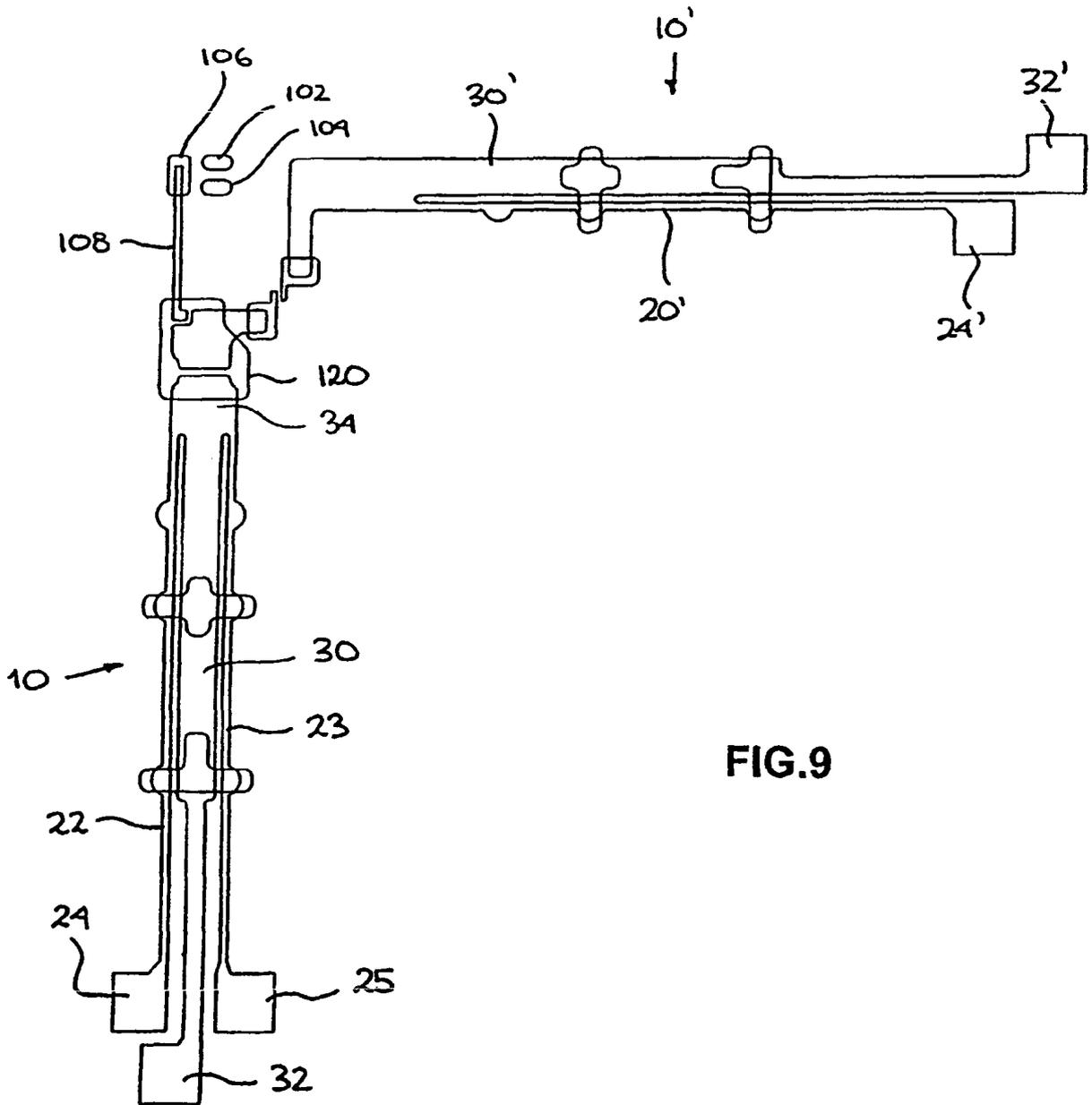


FIG.9



FIG.11

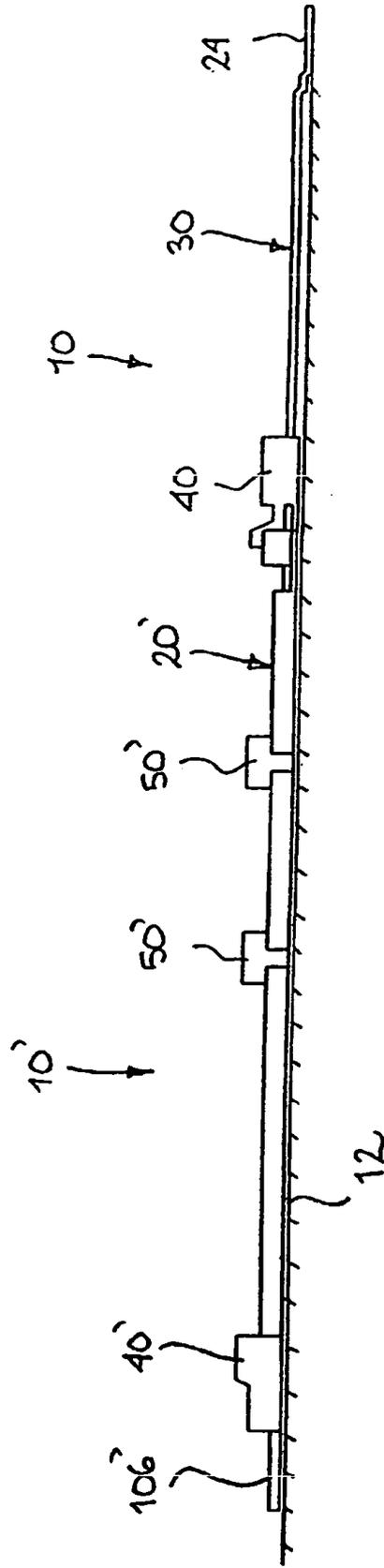
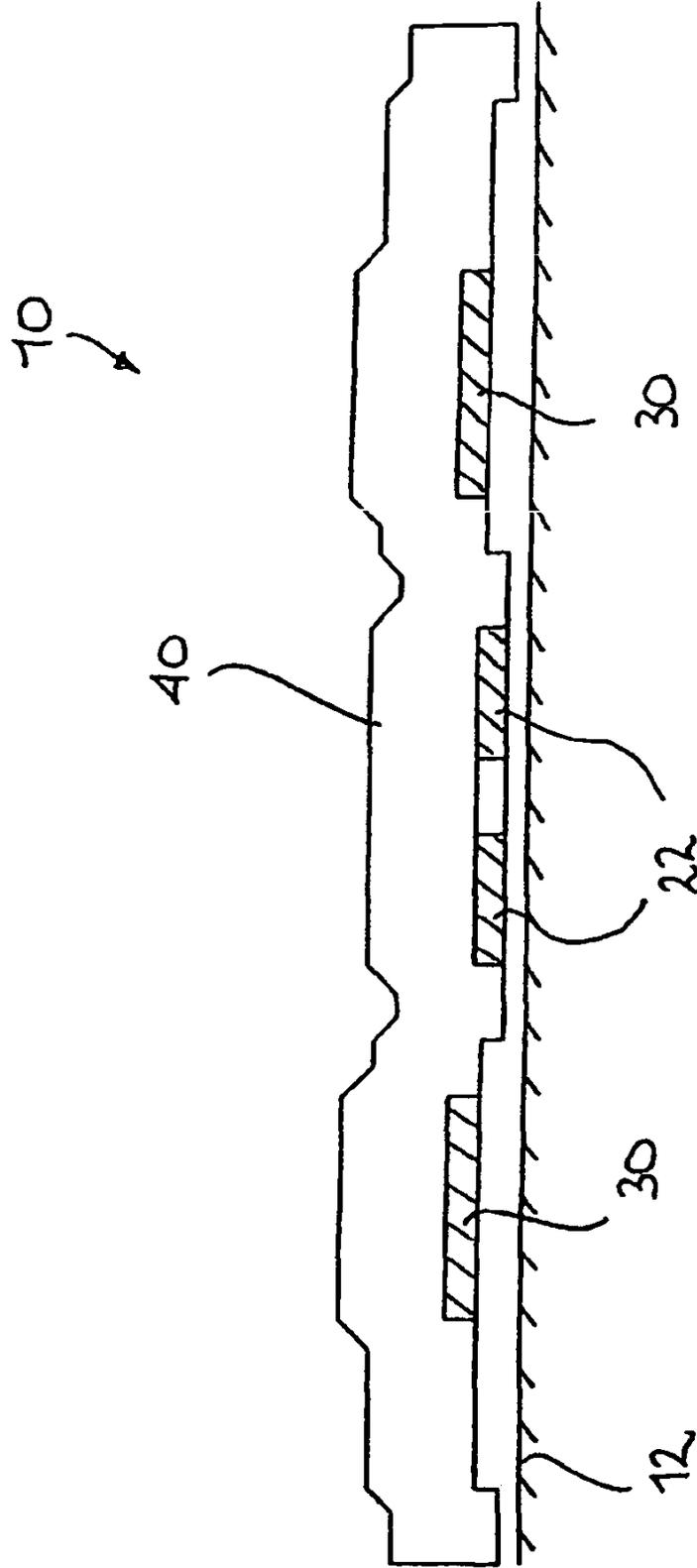
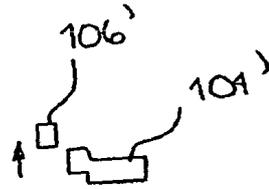


FIG.12

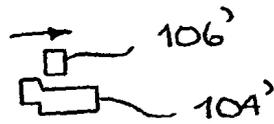




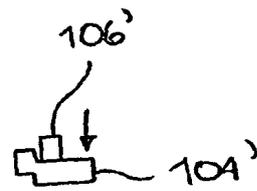
**FIG.13a**



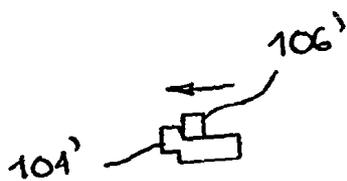
**FIG.13b**



**FIG.13c**



**FIG.13d**



**FIG.13e**

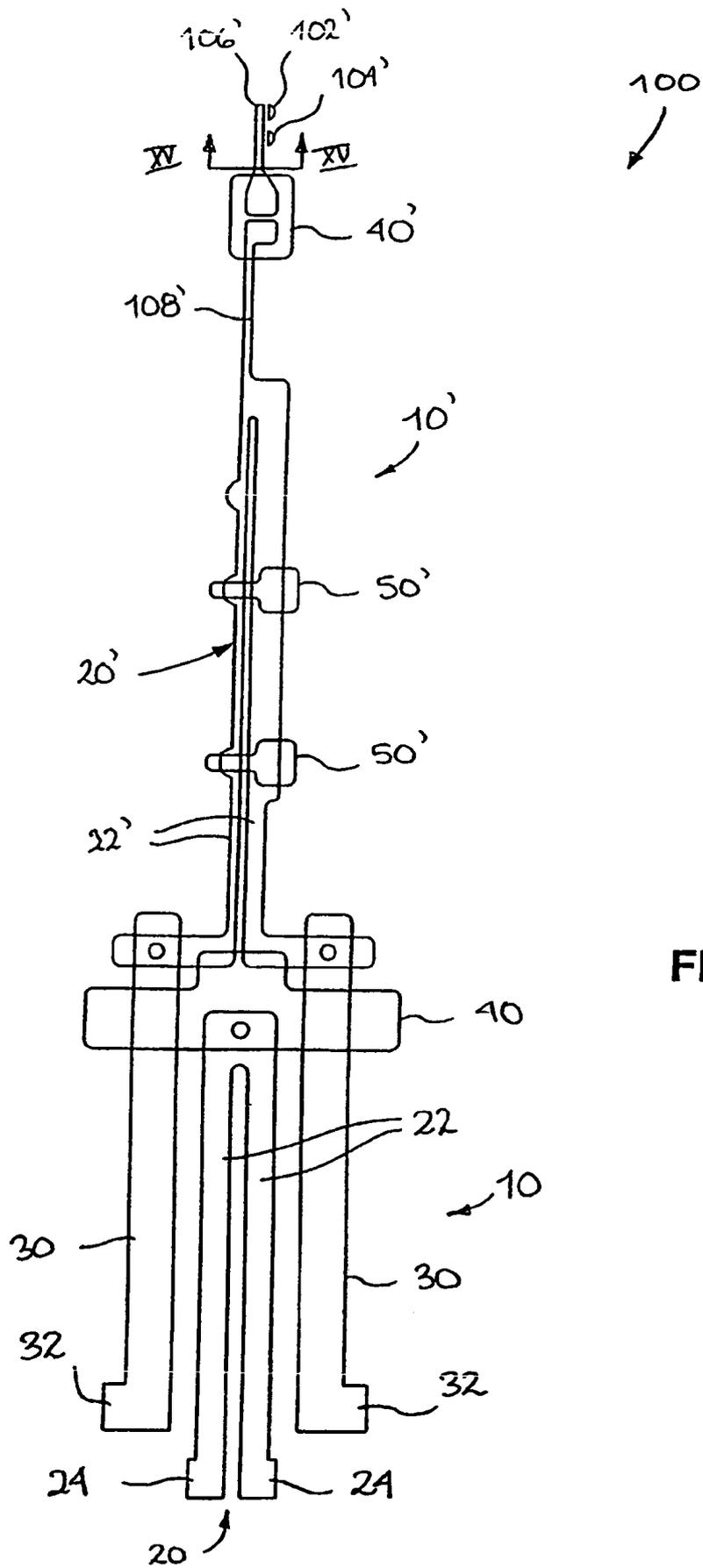
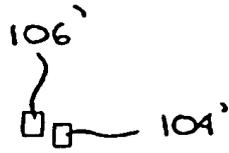
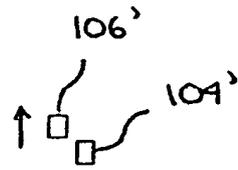


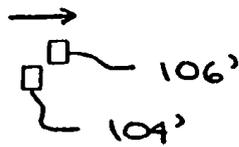
FIG.14



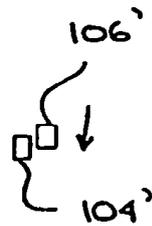
**FIG.15a**



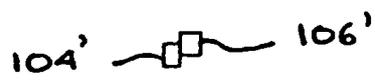
**FIG.15b**



**FIG.15c**



**FIG.15d**



**FIG.15e**

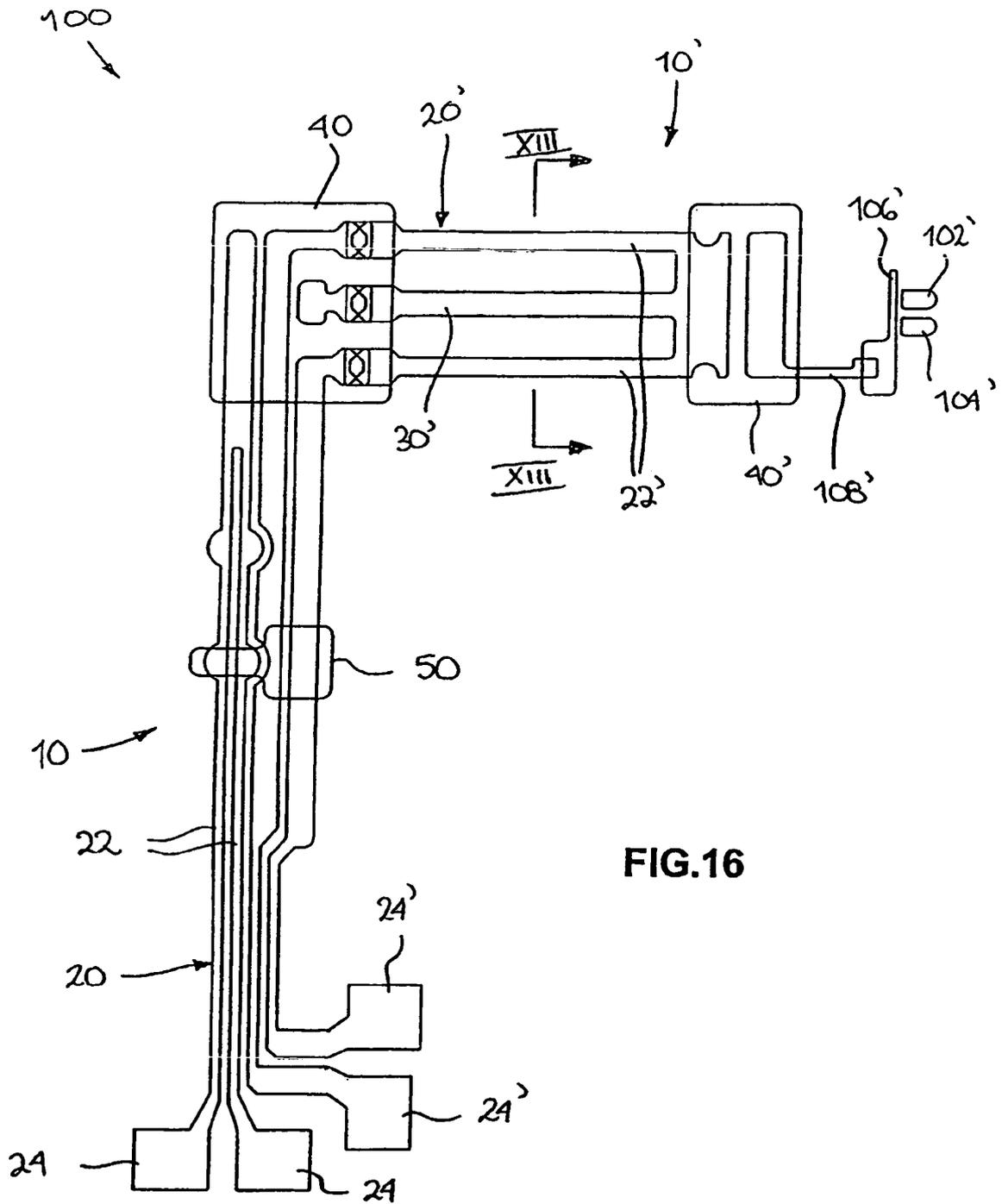
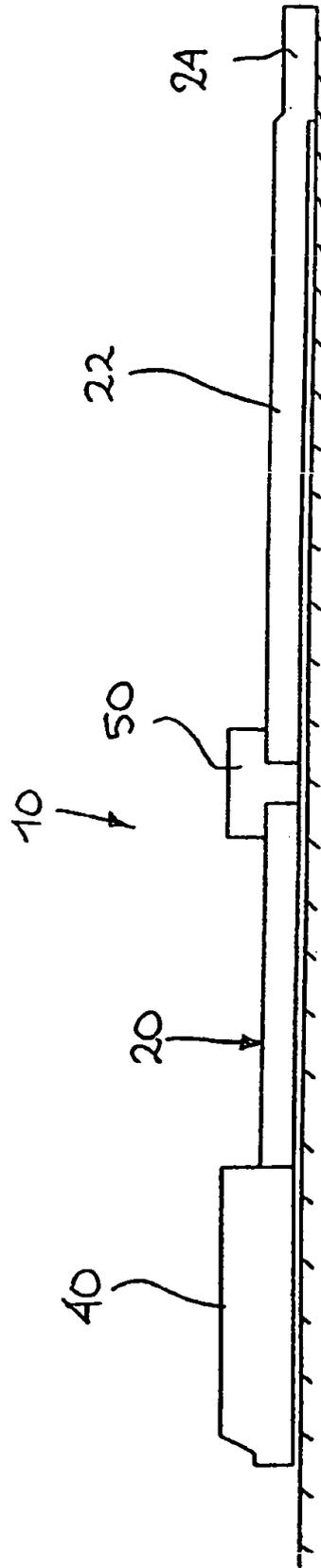


FIG.16

FIG.17



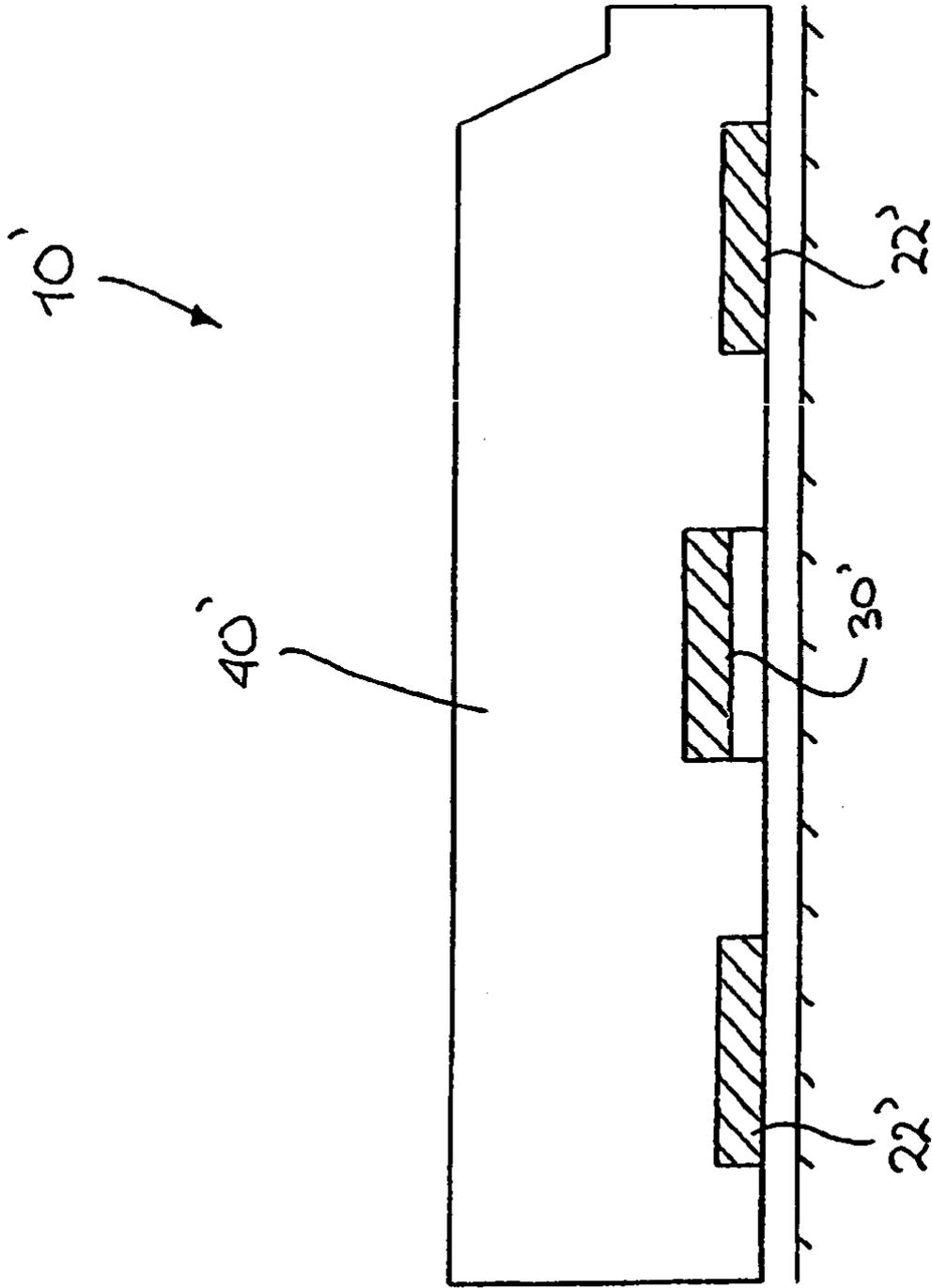


FIG.18