



①9



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

①1 Número de publicación: **2 277 188**

⑤1 Int. Cl.:

H03H 9/00 (2006.01)

B81B 3/00 (2006.01)

H03H 9/24 (2006.01)

①2

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

⑧6 Número de solicitud europea: **04027961 .4**

⑧6 Fecha de presentación : **25.11.2004**

⑧7 Número de publicación de la solicitud: **1538747**

⑧7 Fecha de publicación de la solicitud: **08.06.2005**

⑤4 Título: **Resonador electrostático micromecánico.**

③0 Prioridad: **04.12.2003 JP 2003-405839**
16.02.2004 JP 2004-38468
27.02.2004 JP 2004-54180
27.02.2004 JP 2004-54182
25.08.2004 JP 2004-244835

④5 Fecha de publicación de la mención BOPI:
01.07.2007

④5 Fecha de la publicación del folleto de la patente:
01.07.2007

⑦3 Titular/es: **SEIKO EPSON CORPORATION**
4-1, Nishishinjuku 2-chome
Shinjuku-ku, Tokyo 163-0811, JP

⑦2 Inventor/es: **Kihara, Ryuji;**
Nakajima, Takuya y
Furuhata, Makoto

⑦4 Agente: **Elzaburu Márquez, Alberto**

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

Vibrador electrostático micromecánico.

La presente invención se refiere a un vibrador electrostático micromecánico y, más concretamente, se refiere a una estructura de un vibrador electrostático micromecánico apropiado para un vibrador de alta frecuencia que tiene un cuerpo de vibrador que está formado sobre un sustrato que usa una técnica de Sistemas Micro-Electro-Mecánicos (MEMS: Micro Electro Mechanical Systems).

Recientemente, ha evolucionado una sociedad de información altamente desarrollada en todo el mundo, y han progresado rápidamente mercados de comunicaciones y de multimedia. Por ejemplo, se extendió un teléfono celular para uso personal y se hizo presente un nuevo negocio que usa un medio de internet. Entre ellos, el teléfono celular, que es considerado una fuerza motora para la edad de la información, tiene muchas funciones distintas de la simple función de teléfono. Por ejemplo, el teléfono celular está evolucionando de manera que transmite y recibe datos a elevada velocidad y a gran escala, tales como música de alta calidad o imágenes móviles en color, además de voces, caracteres e imágenes. Con el fin de habilitar tales funciones, que no existen hasta ahora, en el teléfono celular o similares, se requiere la "miniaturización y el bajo peso" de los componentes electrónicos debido a la limitación de espacio por el momento. Además de una tendencia a la miniaturización de la caja del teléfono celular, comienza a aparecer una restricción debido a la limitación de operación, y así se considera que aumentará en el futuro una demanda de "adelgazamiento". Entretanto, últimamente, comienza a aparecer drásticamente una demanda en un mercado para "alta frecuencia" de acuerdo con información a gran escala. Por ejemplo, está ampliamente extendida una LAN (red de área local) inalámbrica, apareció un producto Bluetooth (diente azul) y se aprobó un uso público de UWB (Ultra Wide Band: Banda Ultra Ancha) en los Estados Unidos de América. Además, se usa un aparato de comunicación en varios campos, tal como un sensor de vehículo, un ordenador personal de cuaderno de notas, etc. Con el fin de mantener elevadas propiedades bajo tales diversos ambientes, se requiere una "elevada fiabilidad", que no existe hasta el momento.

Como unos medios para conseguir las diversas demandas descritas anteriormente, se pone como ejemplo una tecnología de MEMS (Micro Electro Mechanical System). El MEMS es un componente de alto valor añadido que es creado con "micromecanización" basada en técnicas de tratamiento de precisión de un semiconductor. Junto con un circuito, pueden ser integrados en un pequeño tamaño una estructura de precisión, un sensor, un actuador o una fuente de energía. Aumentan las demandas de aparatos inalámbricos tales como el teléfono celular, la LAN inalámbrica, un sensor dispuesto en función inalámbrica, y de este modo se expandieron estudios de MEMS de RF (Radio Frecuencia) en este campo. El MEMS de RF atrae la atención como una técnica que realiza la miniaturización de circuitos de RF. Es decir, componentes pasivos de un circuito de RF tales como un conmutador conmutable de antena, un filtro de RF o un resonador se fabrican usando las técnicas de MEMS de RF, y de este modo se espera que un aparato de comunicaciones se preste en general a ser miniaturizado y a tener

un elevado rendimiento.

Un vibrador de alta frecuencia que utiliza una técnica convencional de MEMS de RF incluye un vibrador electrostático micromecánico (en lo que sigue denominado, para simplificar, "vibrador ME"), en el que la vibración mecánica de un cuerpo en vibración es excitada por una fuerza electrostática basada en energía de corriente alterna (CA), y se utiliza un cambio de capacitancia debido a la vibración mecánica del cuerpo de vibración. Como el vibrador ME, es conocido un vibrador en forma de dientes de peine en el que están dispuestos opuestamente electrodos que tienen una estructura en dientes de peine para ser acoplados entre sí (por ejemplo, véase [1] WILLIAM C. TANG, *et al.* "Laterally Driven Resonant Microstructures", *Sensores y Actuadores*, 20 (1989), P. 25-32). En este vibrador, puesto que la parte de electrodo tiene una estructura de dientes de peine, el área superficial es amplia y se usa un voltaje de activación relativamente bajo. Además, puesto que el desplazamiento y el cambio de condensador están en relación lineal, es ventajoso por el hecho de que se obtiene una respuesta lineal.

Además, corrientemente se sugiere un vibrador en el que estén dispuestos electrodos en lados izquierdo y derecho o en lados superior e inferior de una parte de viga, y la energía de CA es suministrada a los electrodos de tal manera que vibra el cuerpo de vibración, cuyos dos extremos están soportados por la porción de viga (por ejemplo, véase [2] -T. Hsu. *et al.* "Q-optimized lateral free-free beam micromechanical resonators", *Digest of Technical Papers, la 11ª Int. Conf. sobre Sensores y Actuadores de Estado Sólido (Transducers' 01)*, Munich, Alemania, 10-14 de junio de 2001, pp. 1110-1113).

Además, se conoce un vibrador en el que están dispuestos un par de electrodos en oposición mutua en ambos lados de la porción circunferencial exterior de un disco cuya porción central está soportada, y la energía de CA es suministrada a los electrodos de tal manera que el disco vibra en un modo de alargamiento de orden elevado (por ejemplo, véase [3] J. R. Clark, *et al.* "High-Q VHF micromechanical contour-mode disk resonators", *Technical Digest, IEEE Int. Electron Devices Meeting, San Francisco, California, 11-13 de Dic. de 2000*, pp. 399-402).

Entre los diversos vibradores ME descritos anteriormente, en el vibrador ME que comprende una estructura de electrodos en dientes de peine cuyos dos extremos están soportados por la porción de viga y otras partes móviles, la vibración es causada por la flexión de la parte de viga. De este modo, se hace referencia al mismo como un vibrador de modo de flexión (vibración de flexión). Además, en el vibrador ME, en el que un par de electrodos están dispuestos en oposición mutua en ambos extremos del disco, se usa la vibración de alargamiento del disco. De este modo, se hace referencia a un vibrador de modo de alargamiento (vibración de alargamiento).

A propósito, en el vibrador ME de modo de flexión, es posible aumentar el desplazamiento de vibración y es posible obtener un voltaje de salida grande con un voltaje de activación relativamente bajo. Sin embargo, puesto que una frecuencia de vibración que se puede obtener está normalmente en un intervalo bajo de aproximadamente decenas de kHz a centenas de kHz, en particular, varios MHz como máximo, existe

un problema por el hecho de que es difícil una frecuencia más elevada del cuerpo en vibración.

Además, en el vibrador ME que comprende la anterior estructura convencional de forma de dientes de peine anteriormente mencionada, resulta grande la capacitancia entre un electrodo de activación y un electrodo. Además, adoptando la estructura en forma de dientes de peine, resultan grandes las zonas de proyección planas del electrodo de activación y el electrodo móvil, y de este modo aumenta la capacitancia entre los electrodos y el sustrato.

En adición, existe una capacitancia entre porciones de cableado o terminales de conexión (patillas de unión) conectadas de manera conductora a los electrodos y al sustrato. Esto no está limitado al vibrador que comprende la estructura en forma de dientes de peine. Puesto que es difícil hacer una estructura de precisión debido al aumento de resistencia de una línea de cableado o conexión conductora, la capacitancia resulta relativamente grande cuando la estructura de electrodo del vibrador ME está construida de manera precisa.

Cada una de las capacitancias tiene una componente normal que no depende del electrodo móvil, sino que una componente de la capacitancia debido a una acción de deslizamiento plana del electrodo móvil es considerablemente menor que la componente normal de la capacitancia. Es decir, la componente de cambio de la capacitancia que cambia por el electrodo móvil contribuye a una acción de salida del vibrador electrostático, pero la relación de la componente de cambio de la capacitancia a la componente normal es pequeña. Por lo tanto, con el fin de obtener una señal de salida efectiva desde el vibrador electrostático, se necesita elevar el voltaje de activación. De este modo, es difícil obtener bajo voltaje y bajo consumo de potencia. Esto es un serio impedimento al uso práctico y a la comercialización de productos.

Entretanto, con el fin de diseñar para conseguir alta frecuencia, lo más preferible es un vibrador electrostático en modo de alargamiento, y el vibrador en forma de disco anteriormente mencionado es efectivo para construir un vibrador de elevada frecuencia. Sin embargo, puesto que el vibrador de modo de alargamiento tiene un desplazamiento (amplitud) de vibración pequeño, la señal de salida resulta también pequeña. Para ampliar el desplazamiento de vibración, se necesita aumentar la fuerza electrostática. Así, es necesario elevar el voltaje de entrada que es suministrado a los electrodos. Es decir, similarmente, es difícil elevar la relación del voltaje de salida al voltaje de entrada. Por lo tanto, existe el problema de que es difícil diseñar para obtener bajo voltaje y bajo consumo de energía o potencia.

Además, en este vibrador, con el fin de diseñar para obtener alta frecuencia, es necesario ampliar el espesor del cuerpo de vibración en forma de disco, o reducir el radio de la forma de disco. Con el fin de ampliar el espesor del cuerpo de vibración, se requiere un tiempo de proceso largo en el momento de la fabricación y de este modo existe una limitación para aumentar el espesor del cuerpo de vibración. Además, si la forma del disco resulta pequeña, es muy difícil detectar la magnitud de cambio de la capacitancia. De este modo, es difícil obtener la salida. Además, se aumenta el voltaje de activación, y aumenta una relación de área superficial que ocupa la porción de soporte al cuerpo de vibración. Por lo tanto, existe el

problema de que aumentan las pérdidas.

El documento WO 02/17482 A2 describe un vibrador electrostático micromecánico del tipo a que se refiere la parte del preámbulo de la reivindicación 1. El vibrador electrostático micromecánico conocido comprende un cuerpo de vibración en forma de placa, un par de electrodos de excitación dispuestos en oposición mutua en porciones circunferenciales exteriores opuestas del cuerpo de vibración con un espacio de separación entre cada electrodo de excitación y la respectiva porción circunferencial exterior del cuerpo de vibración, medios de alimentación para aplicar energía de CA en fase al par de electrodos de excitación, y medios de detección para obtener un voltaje de salida correspondiente a un cambio de capacitancia entre el cuerpo de vibración y los electrodos de excitación que resulta de una vibración del cuerpo de vibración excitado por dicha energía de CA.

El documento US 6.369.374 B1 describe un filtro que incluye un resonador micromecánico. El resonador comprende una membrana que es excitada eléctricamente para moverse y con ello cambiar su distancia a una superficie reflectante dentro del resonador. Esto cambia la reflectividad del resonador, que es capturada por medios ópticos.

La presente invención ha sido hecha para resolver los problemas anteriores, y es un objeto de la presente invención proporcionar un vibrador electrostático micromecánico y un método de fabricarlo que facilite el diseño para alta frecuencia en comparación con la técnica anterior. Es otro objeto de la presente invención proporcionar un vibrador electrostático micromecánico de este tipo que tenga una relación grande de voltaje de salida a voltaje de entrada, así como bajo voltaje de activación y bajo consumo de potencia.

Estos objetos se consiguen mediante un vibrador electrostático micromecánico según se reivindica en la reivindicación 1. Realizaciones preferidas de la invención constituyen el objeto de las reivindicaciones dependientes.

Como resultado de examen previo, se confirma que es posible obtener alta frecuencia haciendo la forma plana del cuerpo de vibración de forma plana en una configuración que tenga un contorno curvado que comprenda porciones de cuello, en comparación con un caso en el que se use un cuerpo de vibración convencional que tenga una forma plana circular. Así, es posible diseñar para conseguir alta frecuencia sin aumentar el espesor del cuerpo de vibración o reducir el radio del cuerpo de vibración. Como resultado, es posible realizar fácilmente un vibrador de alta frecuencia sin aumentar el tiempo de fabricación y reducir la señal de salida efectiva.

En la presente invención, el contorno de la forma plana del cuerpo de vibración comprende preferiblemente porciones de arco circular y porciones de cuello, estando ambos extremos de cada una de las porciones de cuello suavemente conectadas entre las porciones de arco circular. De acuerdo con esta construcción, puesto que no está presente una porción en ángulo en el contorno del cuerpo de vibración, mientras se consigue más alta frecuencia como se ha descrito anteriormente, es posible obtener vibración natural estable y reducir la pérdida de la energía de vibración. En este caso, la porción de arco circular no necesariamente ha de ser exactamente un arco circular. Si la parte de arco circular está construida en una forma de arco como un todo, aquella puede ser un arco elíptico

o puede ser un arco cuya curvatura sea cambiada gradualmente. Sin embargo, la forma plana del cuerpo de vibración es preferiblemente una forma simétrica para el par de electrodos (por ejemplo, simetría de líneas de la cual un eje de simetría es una línea bisectora vertical de un segmento de línea que conecta las partes de centro del par de electrodos).

En la presente invención, el cuerpo de vibración está soportado preferiblemente por una porción de soporte formada en un sustrato y está construida en una forma que es alargada en la proximidad de la porción de soporte. De acuerdo con esta construcción, haciendo que el cuerpo de vibración esté soportado por la parte de soporte y de una forma que se estire en la proximidad de la porción de soporte, es posible reducir la influencia de la parte de soporte en una vibración de alargamiento, y es posible conseguir fácilmente alta frecuencia de acuerdo con la forma plana del cuerpo de vibración. Aquí, el sustrato está preferiblemente hecho de un aislador. De este modo, es posible evitar la influencia de la capacitancia parásita entre la estructura del vibrador y el sustrato.

En la presente invención, el cuerpo de vibración está hecho preferiblemente de una capa de silicio o de una capa de un compuesto de silicio (una película a utilizar en un proceso de CI: por ejemplo, poli-Si, SiN o similares) construido sobre un sustrato de silicio que sirve como el sustrato. De acuerdo con esta construcción, construyendo el cuerpo de vibración hecho de la capa de silicio sobre el sustrato, es posible formar fácilmente el vibrador mediante un proceso convencional de fabricación de semiconductores de silicio.

En la presente realización, el cuerpo de vibración es preferiblemente un cuerpo de forma plana cuya porción central está soportada. De acuerdo con esta construcción, es posible permitir que el cuerpo de vibración vibre efectivamente en el modo de alargamiento con la porción de centro como un fulcro. Además, debido al cuerpo en forma de placa, es posible ampliar más el desplazamiento de la vibración de alargamiento. Además, fabricando el cuerpo de vibración en el cuerpo en forma de placa, resulta posible fabricar de manera extremadamente fácil en cuerpo de vibración mediante un proceso de formación de película delgada tal como un proceso de fabricación de semiconductores.

En la presente realización, un par de electrodos de excitación están preferiblemente dispuestos a ambos lados del cuerpo de vibración con el cuerpo de vibración interpuesto entre ellos. De acuerdo con esta construcción, puesto que la fuerza electrostática puede actuar sobre el cuerpo de vibración desde ambos lados del mismo, es posible realizar más eficazmente una excitación de vibración de alargamiento.

Además, en cada una de las realizaciones anteriormente mencionadas, el cuerpo de vibración, el electrodo de excitación, el segundo electrodo de excitación y otros están preferiblemente formados sobre un sustrato. En particular, si el sustrato está hecho de un sustrato semiconductor, se puede construir un circuito semiconductor como un cuerpo con el vibrador. Aquí, el sustrato está hecho preferiblemente de un aislador. Por lo tanto, es posible evitar la influencia de la capacitancia entre la estructura del vibrador y el sustrato.

Además, en cada una de las realizaciones anteriormente mencionadas, se dispone preferiblemente una

capa de cableado para ser conectada de manera conductora al cuerpo de vibración o al electrodo de excitación, y se hace que la distancia desde la capa de cableado al sustrato sea mayor que la distancia desde el cuerpo de vibración o el electrodo de excitación al sustrato. De acuerdo con esta realización, puesto que la distancia desde la capa de cableado al sustrato es mayor que la distancia desde el cuerpo de vibración o el electrodo de excitación al sustrato, es posible reducir la capacitancia generada entre la capa de cableado y el sustrato. De este modo, resultan pequeños los componentes normales de la capacitancia y es posible elevar de manera correspondiente la relación de componentes de cambio de la capacitancia que resulta de la vibración. Como resultado, es posible mejorar las características de salida del vibrador electrostático, y es posible reducir un voltaje de activación.

Aquí, la capa de cableado significa la construcción de una conexión conductora para suministrar potencial al cuerpo de vibración o al electrodo de excitación o para obtener una señal del cuerpo de vibración o del electrodo de excitación, por ejemplo, una porción de cableado, un terminal de conexión (patilla de unión) o similar en realizaciones que se han de describir en lo que sigue. En el cuerpo de vibración y el electrodo de excitación, el cuerpo de vibración puede ser construido movable de tal manera que la fuerza electrostática pueda ser generada entre el cuerpo de vibración y el electrodo de excitación.

En la presente realización, la capa de cableado está preferiblemente formada sobre una capa aislante que comprende una superficie separada del sustrato, más lejos que una superficie sobre la que se ha de formar el cuerpo de vibración o el electrodo de excitación. De acuerdo con esta construcción, puesto que la capa de cableado se forma sobre la capa aislante, es posible disponer de manera fácil y segura la capa de cableado en una posición separada del sustrato más que el cuerpo de vibración o el electrodo de excitación.

En este caso, preferiblemente, el cuerpo de vibración o el electrodo de excitación se construye sobre una superficie del aislador formado sobre el sustrato, y la capa aislante tiene una constante dieléctrica inferior a la del aislador. Si se hace así, es posible reducir más la capacitancia entre la capa de cableado y el sustrato, en comparación con el caso en el que la capa aislante y el aislador tienen la misma constante dieléctrica (en caso de que, por ejemplo, estén hechos como la misma capa de aislamiento) o el caso en que la capa aislante tiene una constante dieléctrica mayor que el aislador.

Además, la capa aislante es preferiblemente una película porosa. De acuerdo con esta construcción, puesto que la capa aislante está hecha de película porosa, es posible disminuir la constante dieléctrica de la capa aislante. De este modo, es posible reducir más la capacitancia entre la capa de cableado y el sustrato.

En la presente realización, se establece preferiblemente una separación entre la capa de cableado y el sustrato. De acuerdo con esta construcción, puesto que la separación se establece entre la capa de cableado y el sustrato, es posible disminuir más la constante dieléctrica sustancial entre la capa de cableado y el sustrato. De este modo, es posible reducir más la capacitancia entre la capa de cableado y el sustrato.

En cada una de las realizaciones anteriormente

mencionadas, el sustrato es preferiblemente un sustrato de silicio. De acuerdo con esta construcción, puesto que un circuito integrado de semiconductor o similar puede ser formado apropiadamente sobre el sustrato de silicio, es posible construir una estructura de circuito tal como el circuito integrado de semiconductor y el vibrador electrostático como un cuerpo. En este caso, como se ha descrito anteriormente, se forman preferiblemente una película piezoeléctrica delgada, un electrodo y una capa de cableado sobre el sustrato de silicio con las capas de aislamiento entre ellos. Además, el sustrato puede incluir un sustrato semiconductor sobre el cual se pueda crear un CI tal como SiGe ó GaAs.

Además, entre el sustrato y el cuerpo de vibración o el electrodo de excitación se forma preferiblemente una capa de aislamiento. De este modo, es posible reducir la capacitancia parásita entre la estructura de vibrador y el sustrato como un todo.

Además, el cuerpo de vibración o el electrodo de excitación está hecho preferiblemente de polisilicio, silicio amorfo o similares. Estos materiales pueden ser fácilmente formados mediante técnicas de fabricación de semiconductores. En particular, es ventajoso en el proceso en un caso en el que el vibrador electrostático sea formado sobre el sustrato de silicio.

Además, en cada una de las realizaciones anteriormente mencionadas, el sustrato está hecho preferiblemente de un aislador. De acuerdo con esta construcción, puesto que el vibrador ME se forma usando el sustrato hecho del aislador, es posible reducir la capacitancia parásita entre la estructura de vibrador formado sobre el sustrato y el sustrato. Como resultado, puesto que una corriente que fluya a través de la capacitancia parásita se reduce drásticamente, es posible mejorar el rendimiento del vibrador.

Además, puesto que el sustrato está hecho de vidrio, es posible reducir el coste de material del sustrato, y es posible además utilizar técnicas que sean establecidas en la fabricación de un elemento de presentación visual de cristal líquido, en el momento de realizar los procesos de precisión para el sustrato de vidrio. De este modo, es posible obtener el vibrador ME de alto rendimiento mientras se reduce el coste de fabricación.

Además, un método de fabricación de un vibrador ME de la presente invención, que comprenda un sustrato, un cuerpo de vibración dispuesto sobre el sustrato, y un electrodo de excitación dispuesto en oposición al cuerpo de vibración, comprende un paso de formación de una porción cóncava, de formar una porción cóncava sobre una superficie de al menos uno de un primer sustrato hecho de un aislador y un segundo sustrato que tiene una capa activa sobre la superficie, un paso de unión de sustratos, de unir el primer sustrato y el segundo sustrato de tal manera que una superficie del primer sustrato y una superficie del segundo sustrato se enfrenten entre sí, y un paso de formación de vibrador, de realizar un proceso predeterminado sobre la segunda superficie, con la que permanece al menos una parte de la capa activa, para formar el cuerpo de vibración y el electrodo de excitación sobre el primer sustrato.

De acuerdo con esta realización, el primer sustrato y el segundo sustrato se unen de tal manera que una superficie del primer sustrato y una superficie del segundo sustrato se enfrenten entre sí, y un proceso predeterminado sobre la segunda superficie, con

la que permanece al menos una parte de la capa activa, se realiza para formar el cuerpo de vibración y el electrodo de excitación sobre el primer sustrato. De este modo, puesto que el espacio de separación puede ser establecido entre el cuerpo de vibración y el sustrato mediante la porción cóncava, es posible fabricar el vibrador ME a bajo costo y con elevada productividad. Además, puesto que el vibrador ME resultante comprende la estructura de vibrador sobre el sustrato hecho del aislador, es posible reducir la capacitancia parásita entre la estructura del vibrador y el sustrato. Por lo tanto, es posible fabricar el vibrador ME de elevado rendimiento.

En este caso, el paso de formación de la porción cóncava puede comprender el paso de atacar químicamente la capa activa del segundo sustrato en una magnitud predeterminada en una posición en la que se haya de formar la estructura de vibrador. Además, se puede incluir un paso de atacar químicamente la superficie del primer sustrato en una magnitud predeterminada frente a la posición del segundo sustrato en la que se ha de formar la estructura de vibrador.

Además, puesto que el sustrato está hecho de vidrio, es posible reducir el coste del material del sustrato, y además es posible utilizar técnicas que estén establecidas en la fabricación de un elemento de presentación visual de cristal líquido, en el momento de realizar procesos de precisión para el sustrato de vidrio. De este modo, es posible obtener el vibrador ME de elevado rendimiento mientras se reduce el coste de fabricación.

En la presente realización, el paso de formación del vibrador comprende preferiblemente un paso de adelgazamiento, de adelgazar el segundo sustrato unido al primer sustrato con un espesor predeterminado, y un paso de ataque químico, de atacar químicamente el segundo sustrato adelgazado en una forma predeterminada en un estado en el que permanece al menos una parte de la capa activa. De acuerdo con esta construcción, después de haber unido el primer sustrato y el segundo sustrato, es adelgazado el segundo sustrato hasta el espesor predeterminado, y se ataca químicamente el segundo sustrato adelgazado a la forma predeterminada. De este modo, es posible formar la estructura de vibrador hecha de un semiconductor (capa activa) sobre el sustrato hecho del aislador a bajo coste y con elevada eficacia, usando técnicas de fabricación existentes.

En la presente realización, el segundo sustrato comprende preferiblemente un sustrato de silicio, una película de aislamiento formada en el sustrato de silicio, y la capa activa formada sobre la película de aislamiento, y el paso de adelgazamiento es un paso de suprimir el sustrato de silicio realizando un tratamiento de pulido o un tratamiento de ataque químico en el sustrato de silicio incluido en el segundo sustrato. De acuerdo con esta construcción, al menos uno de entre el tratamiento de pulido y el tratamiento de ataque químico se realiza sobre el sustrato de silicio que está dispuesto sobre el segundo sustrato, que está unido al primer sustrato, para suprimir con ello el sustrato de silicio. De este modo, es posible formar de manera precisa la capa activa y la película de aislamiento teniendo cada una el espesor predeterminado sobre el primer sustrato.

Además, la capa activa puede ser hecha de cualesquiera materiales con los que pueda ser construido el cuerpo de vibración o el electrodo de excitación del

vibrador ME, es decir, los que generan la fuerza electrostática cuando se suministra energía.

Las figuras 1A y 1B son una vista esquemática en planta y una vista en sección recta longitudinal de una construcción de una primera realización.

Las figuras 2A y 2B son diagramas que ilustran un modo de realización de la primera realización, y la figura 2C es un diagrama que ilustra un modo de vibración de un cuerpo de vibración en forma de disco de acuerdo con una técnica anterior.

Las figuras 3A y 3B son una vista esquemática en planta y una vista en sección recta longitudinal de una construcción de una segunda realización.

Las figuras 4A y 4B son vistas en planta que muestran ejemplos de formas planas de otros cuerpos de vibración.

Las figuras 5A a 5F son vistas en sección transversal que muestran un proceso de fabricación de la primera realización.

Las figuras 6A a 6D son vistas en sección transversal que muestran el proceso de fabricación de la primera realización.

A continuación se describirá una primera realización de la presente invención con referencia a los dibujos adjuntos. La figura 1 muestra una estructura de un vibrador ME 100 de acuerdo con la primera realización de la presente invención, junto con una construcción de circuito, y la figura 1A es una vista esquemática en planta y la figura 1B es una vista en sección recta longitudinal.

En el vibrador ME 100, una película de aislamiento 102 para aislar una estructura de vibrador está formada sobre una superficie del sustrato 101 hecha de un sustrato de silicio o similar. Sobre el sustrato 101 o la película de aislamiento 102 son construidos una porción de soporte 104 y un cuerpo de vibración 105. Además, a ambos lados del cuerpo de vibración 105 (en el ejemplo mostrado en el dibujo, los lados superior e inferior en la figura 1A o los lados delantero y trasero en la figura 1B) están dispuestos un par de electrodos de excitación 107 en oposición mutua a una posición circunferencial exterior del cuerpo de vibración 105 con un espacio de separación 106 entre ellos.

Además, en el vibrador ME 100 está dispuesto un circuito de alimentación 110 que constituye medios de alimentación energía de CA en fase al par de electrodos de excitación 107. En el circuito de alimentación 110 están dispuestos una fuente 111 de energía de CA y una línea de alimentación 112 para conexión a la fuente 111 de energía de CA y a los electrodos de excitación 107. El circuito de alimentación 110 está preferiblemente construido como un tipo monolítico sobre el mismo sustrato 101. Sin embargo, el circuito de alimentación 110 puede ser construido separadamente del sustrato 101 o puede ser sólo una estructura de cableado para suministrar energía de CA desde una fuente externa.

Además, está dispuesto un circuito de salida 120 que constituye unos medios de detección para emitir a una señal de salida de acuerdo con una vibración de alargamiento del cuerpo de vibración 105, junto con el electrodo de salida 103. En el circuito de salida 120, una inductancia 122 está conectada entre un nodo de potencial 123 de fuente de energía y una línea de salida 121 del electrodo de salida 103, y una resistencia de carga 125 está conectada entre la línea

de salida 121 y masa. Además, una capacitancia 124 está conectada entre el electrodo de salida 103 y la unión entre la resistencia de carga 125 y el terminal de salida 126.

El cuerpo de vibración 105 genera vibración en la que la forma plana del cuerpo de vibración 105 se alarga en un plano entre el par de electrodos de excitación 107, y el espacio de separación 106 es cambiado de acuerdo con la vibración de alargamiento. De este modo, la capacitancia entre el cuerpo de vibración 105 y los electrodos de excitación 107 aumenta y disminuye. Puesto que el aumento y la disminución de la capacitancia aparecen como una corriente de salida I_o en el circuito de salida 120, un potencial de salida V_o de acuerdo con la corriente de salida I_o y la resistencia de carga 125 es emitida hacia el terminal de salida 126. El potencial de salida V_o tiene una forma de onda de vibración correspondiente a una frecuencia de vibración natural del cuerpo de vibración 105.

La vibración de alargamiento del cuerpo de vibración 105 es una vibración en la dirección del diámetro que sigue un cambio de forma del contorno (porción circunferencial exterior) de la forma plana del cuerpo de vibración 105 en forma de placa, y resulta de la fuerza electrostática entre el cuerpo de vibración 105 y los electrodos de excitación 107. En el modo de vibración, el cuerpo de vibración 105 tiene una frecuencia de vibración natural que está determinada por la forma plana, el espesor y la densidad o la característica elástica del material constituyente (por ejemplo módulo de Young o la relación de Poisson).

El cuerpo de vibración 105 está soportado por la porción de soporte 104 formada sobre el sustrato 101 y además está construido en una forma que es alargada en la proximidad de la porción de soporte 104. De este modo, está construido de tal manera que, en la vibración de alargamiento, se reduce la influencia de la porción de soporte 104, y la alta frecuencia es obtenida fácilmente de acuerdo con la forma plana del cuerpo de vibración.

La forma plana del cuerpo de vibración 105 comprende una forma de contorno curvada que comprende porciones de cuello, como se muestra en los dibujos. Más concretamente, como se muestra en la figura 2A, el contorno del cuerpo de vibración 105 comprende una pluralidad de porciones de arco circular 105a y 105b (en el ejemplo, se muestran dos porciones de arco circular) y una pluralidad de porciones de cuello 105c y 105d (en el ejemplo se muestran dos porciones de cuello), conectando suavemente cada una de las partes de cuello las porciones de arco circular. En el ejemplo mostrado en los dibujos, las porciones de arco circular 105a y 105b son simétricas, y las partes de cuello 105c y 105d son también simétricas.

Los electrodos de excitación 107, indicados por líneas llenas en la figura 1, están dispuestos en oposición a las porciones de cuello 105c y 105d del cuerpo de vibración 105, respectivamente. Sin embargo, la estructura de electrodos puede ser construida mediante electrodos de excitación 107' que estén dispuestos en oposición a las porciones de arco circular 105a y 105b dispuestas a ambos lados con las porciones de cuello 105c y 105d como centro, respectivamente, como se muestra en las líneas de trazos y puntos de la figura 1. Además, la estructura de electrodo puede ser construida mediante electrodos de excitación 107'' que estén dispuestos en oposición a una porción de centro de las porciones de arco circular 105a y 105b,

como se muestra en líneas de trazos y puntos en la figura 1.

Aquí, como se muestra en una línea de puntos y trazos de la figura 2A, en el modo de alargamiento en el que la anchura entre las porciones de arco circular 105a y 105b y la anchura entre las partes de cuello 105c y 105d se alargan inversamente, el ejemplo basado en la presente realización se compara con un ejemplo comparativo en el que se usa el vibrador en forma de disco mostrado en la figura 2C. En el ejemplo comparativo, el vibrador en forma de disco que tiene un diámetro r que es igual a la distancia entre las porciones de arco circular 105a y 105b en la presente realización. El espesor t del cuerpo de vibración y la estructura de electrodos conectada a los medios de alimentación son los mismos que los de la presente realización. A propósito, en el ejemplo y en el ejemplo comparativo, el espesor t del cuerpo de vibración es $1\ \mu\text{m}$, el diámetro r es $10\ \mu\text{m}$ y el material del cuerpo de vibración es polisilicio. Además, en ambos ejemplos y en el ejemplo comparativo está dispuesta una porción de soporte circular que tiene un diámetro de $1\ \mu\text{m}$ en la porción central del vibrador. Y entonces, se realiza un análisis de la frecuencia de vibración natural. Como las constantes del material del cuerpo de vibración para este cálculo, el módulo de Young es $160\ \text{GPa}$, la relación de Poisson es $0,3$ y la densidad es $2500\ \text{kg/m}^3$. Como resultado, aunque la frecuencia de vibración natural en el ejemplo comparativo es de aproximadamente $385\ \text{MHz}$, la frecuencia de vibración natural en la presente realización es de aproximadamente $441\ \text{MHz}$. Además, como se muestra en la figura 2B, en el cuerpo de vibración 105 de la presente realización la frecuencia de vibración natural en el modo de vibración, en el que la anchura entre las porciones de arco circular 105a y 105b y la anchura entre las porciones de cuello 105c y 105d se alargan en fase, es aproximadamente $983\ \text{MHz}$. De este modo, se confirma que el vibrador ME de la presente realización puede conseguir una frecuencia más elevada en comparación con el ejemplo comparativo de la estructura convencional.

Segunda realización

A continuación se describirá el vibrador ME 200 de acuerdo con una segunda realización de la presente invención con referencia a la figura 3. El vibrador 200 tiene el cuerpo de vibración 205 que tiene aproximadamente la misma forma plana que el cuerpo de vibración de la primera realización. Sin embargo, el cuerpo de vibración 205 de la segunda realización es diferente del cuerpo de vibración 105 de la primera realización en que la porción central de un par de porciones de cuello está conectada a la porción de soporte 204 en forma de viga. La porción de soporte 204 soporta el cuerpo de vibración 205 desde ambos lados en una forma de viga y está construido para ser alargado de manera aproximadamente horizontal (es decir, en paralelo con la superficie del sustrato 201). Además, otro extremo de la porción de soporte 204 está conectado al electrodo de salida 203.

Además, en la presente realización, un par de electrodos de excitación 207 están dispuestos en oposición a la parte central de las porciones de arco circular del cuerpo de vibración 205. Energía de CA es suministrada en fase a los electrodos de excitación 207 por la fuente 211 de energía de CA y la línea de alimentación 212 del circuito de alimentación 210. Además, el circuito de salida 220 está conectado al electrodo

de salida 203. Como la primera realización, están dispuestos, en el circuito de salida 220, la línea de salida 221, la inductancia 222, el nodo de potencial 223 de la fuente de energía, la capacitancia 224, la resistencia de carga 225 y el terminal de salida 226.

Como la primera realización, en esta realización es también posible conseguir una frecuencia más elevada del cuerpo de vibración 205. Además, puesto que el cuerpo de vibración 205 y la porción de soporte 204 pueden ser construidos en la misma capa y tener la misma altura, queda aquí un margen para el proceso de formación de película en comparación con la primera realización, y resulta posible formar el cuerpo de vibración rápidamente con elevada capacidad de reproducción.

Otras realizaciones

La figura 4 es una vista en planta de cuerpos de vibración que tienen otras formas planas que pueden ser usadas en lugar de los cuerpos de vibración anteriormente mencionados. La forma plana del cuerpo de vibración 2305 de la figura 4A tiene un contorno en el que están dispuestas tres porciones de arco circular 2305a, 2305b y 2305c alrededor de su centro y porciones de cuello 2305d, 2305e y 2305f, respectivamente conectadas a las porciones de arco circular. Además, la forma plana del cuerpo de vibración 2405 mostrada en la figura 4B tiene un contorno en el que están dispuestas cuatro porciones de arco circular 2405a, 2405b, 2405c y 2405d y partes de cuello 2405e, 2405f, 2405g y 2405h, respectivamente conectadas a las porciones de arco circular.

Método de fabricación

Las figuras 5 y 6 son vistas en sección transversal que muestran un ejemplo de un procedimiento de fabricación del vibrador ME 100 de la primera realización anteriormente mencionada. En este procedimiento, en primer lugar, como se muestra en la figura 5A, la capa de aislamiento 102A, hecha de SiO_2 , y la capa de aislamiento 102B, hecha de Si_3N_4 , son formadas sobre el sustrato 101, hecho de silicio o similar. La capa de aislamiento 102A puede ser formada por un método de oxidación térmica o similar y la capa de aislamiento 102B puede ser formada por un método de CVD de plasma o similar. La capa de aislamiento 102A y la capa de aislamiento 102B constituyen la película de aislamiento 102 anteriormente mencionada.

A continuación, como se muestra en la figura 5B, se forma una abertura 102x en la capa de aislamiento 102A y en la capa de aislamiento 102B usando un método fotolitográfico o similar y, como se muestra en la figura 5C, una capa conductora 103p, hecha de un material metálico tal como aluminio, se forma sobre ella usando un método de deposición con vapor, un método de deposición electrónica o similar. Y después, modelando la capa de aislamiento 103p mediante el método fotolitográfico o similar, se forman el electrodo de salida 103 y el electrodo de entrada 107p, como se muestra en la figura 5D.

Seguidamente, como se muestra en la figura 5E, se forma una capa sacrificable 108 hecha de película de PSG (phosphorus doped glass: vidrio dopado con fósforo) mediante el método de CVD o similar, y, además, como se muestra en la figura 5F, se forma una abertura 108x. A continuación, como se muestra en la figura 6A, una capa conductora 105S se forma como película con polisilicio o similar. En esta situación, la porción de soporte 104 es formada simultáneamente

dentro de la abertura 108x. Además, como se muestra en la figura 6B, se forma una máscara 109 a partir de una sustancia protectora o similar, y la capa conductora 105S es modelada a través de la máscara 109. Como resultado, como se muestra en la figura 6C, se forman el cuerpo de vibración 105, el espacio de separación 106 y el electrodo 107.

Finalmente, como se muestra en la figura 5D, la capa sacrificable 108 es eliminada por ataque químico o similar, de tal manera que se completa la estructura de vibrador mostrada en la figura 1. Aquí, los electrodos de excitación 107 están soportados sobre una capa de soporte (hecha de la capa sacrificable o similar anteriormente mencionada) que no está mostrada. Además, los electrodos de excitación 107 están conectados para conducción al electrodo de entrada 107p sobre el sustrato a través de un orificio de contacto (no mostrado) o similar.

Como se ha descrito anteriormente, en la presente invención, puesto que las partes de cuello están dispuestas en el contorno de la forma plana del cuerpo de vibración, es posible obtener alta frecuencia. Además, puesto que resulta fácil el control del modo de vibración de alargamiento (modo de vibración cuando se cambia el contorno) del cuerpo de vibración por medio de las partes de cuello, resulta posible generar de manera más estable la vibración de alargamiento. Por ejemplo, disponiendo las porciones de cuello se pueden obtener una pluralidad de frecuencias de vibración naturales. De este modo es posible usar un cuerpo de vibración a diferentes frecuencias de vibración de acuerdo con la estructura de electrodos, la frecuencia aplicada y similares. Además, como los electrodos de excitación 107 y 107'' de la primera realización, pueden ser dispuestos una pluralidad de grupos

de electrodos de excitación, en los que los electrodos de excitación de cada grupo estén dispuestos en oposición al cuerpo de vibración desde direcciones diferentes. En este caso, resulta posible usar apropiadamente un grupo de electrodos de excitación para una característica de frecuencia requerida.

En la presente realización, el cuerpo de vibración tiene una forma plana que es simétrica con respecto al par de electrodos de excitación que se han de disponer en ambos lados del mismo, de manera que se pueden generar vibraciones estables. Una forma que es simétrica con respecto al par de electrodos de excitación significa, por ejemplo, una forma de una simetría de línea cuyo eje de simetría es una línea bisectora vertical de un segmento de línea que conecta las partes centrales del par de electrodos de excitación. En este caso, puede ser también una forma de una simetría de líneas cuyo eje de simetría sea el segmento de línea que conecta las partes centrales del par de electrodos. Por ejemplo, usando los cuerpos de vibración 105 y 205 en las realizaciones primera y segunda o el cuerpo de vibración 2405 mostrado en la figura 4B, se puede conseguir elevada simetría.

Además, el vibrador ME de la presente invención no está limitado a los ejemplos mostrados en los dibujos, sino que puede ser modificado de diversas maneras dentro del alcance de las reivindicaciones. Por ejemplo, los vibradores ME en las realizaciones anteriormente mencionadas están contruidos de manera que tienen separados el circuito de entrada y el circuito de salida, pero se pueden adoptar diversas construcciones, tal como una construcción en la que el circuito de entrada y el circuito de salida estén realizados con una estructura de circuitos común.

REIVINDICACIONES

1. Un vibrador electrostático micromecánico que comprende un cuerpo de vibración (105; 205; 2305; 2405) en forma de placa, un par de electrodos de excitación (107; 207) dispuestos en oposición mutua en porciones circunferenciales exteriores opuestas del cuerpo de vibración (105; 205; 2305; 2405) con un espacio de separación (106; 206) entre cada electrodo de excitación (107; 207) y la respectiva porción circunferencial exterior del cuerpo de vibración, medios de alimentación (110; 111; 112; 210; 211; 212) para aplicar energía de CA en fase al par de electrodos de excitación (107; 207), y medios de detección (120; 220) para obtener un voltaje de salida correspondiente a un cambio de capacitancia entre el cuerpo de vibración (105; 205; 2305; 2405) y los electrodos de excitación (107; 207) que resulta de una vibración del cuerpo de vibración (105; 205; 2305; 2405) excitado por dicha energía de CA, **caracterizado** porque

la forma plana del cuerpo de vibración (105; 205; 2305; 2405) consiste principalmente en al menos dos círculos que se solapan entre sí.

2. El vibrador de acuerdo con la reivindicación 1, en el que en las regiones de intersección de dichos círculos el contorno de la forma plana del cuerpo de vibración (105; 205; 2305; 2405) es suavizada por porciones de cuello (105c; 105d; 2305d, 2305e, 2305f; 2405e, 2405f, 2405g, 2405h).

3. El vibrador de acuerdo con la reivindicación 1 o la 2, en el que el cuerpo de vibración (105; 205; 2305; 2405) está soportado por una porción de soporte (104; 204) formada sobre un sustrato (101; 201) y su forma se alarga en la proximidad de la porción de soporte (104; 204).

4. El vibrador de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, en el que el cuerpo de vibra-

ción (105; 205; 2305; 2405) está hecho de una capa de silicio o una capa de compuesto de silicio que está dispuesta sobre un sustrato de silicio que sirve como el sustrato (101; 201).

5. El vibrador (100; 200) de acuerdo con la reivindicación 3 o la 4, que comprende además:

una capa de cableado (103p; 107p) conectadas de manera conductora al cuerpo de vibración o al electrodo de excitación,

en el que la distancia desde la capa de cableado al sustrato es mayor que la distancia desde el cuerpo de vibración o el electrodo de excitación al sustrato.

6. El vibrador de acuerdo con la reivindicación 5, en el que la capa de cableado (103p; 107p) está formada sobre una capa de aislamiento (102B) que comprende una superficie separada del sustrato (101) más que una superficie sobre la que está formado el cuerpo de vibración o el electrodo de excitación.

7. El vibrador de acuerdo con la reivindicación 6, en el que el cuerpo de vibración o el electrodo de excitación está construido sobre una superficie de un aislador (102) que está formada sobre el sustrato (101) y la capa de aislamiento tiene una constante dieléctrica inferior a la del aislador.

8. El vibrador de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 6 ó 7, en el que la capa de aislamiento es una película porosa.

9. El vibrador de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 5 a 7, en el que se establece una separación entre la capa de cableado y el sustrato (101; 201).

10. El vibrador de acuerdo con la reivindicación 3 o la 4, en el que el sustrato (101; 201) es un sustrato hecho de un aislador.

11. El vibrador de acuerdo con la reivindicación 10, en el que el sustrato está hecho de vidrio.

FIG. 1A

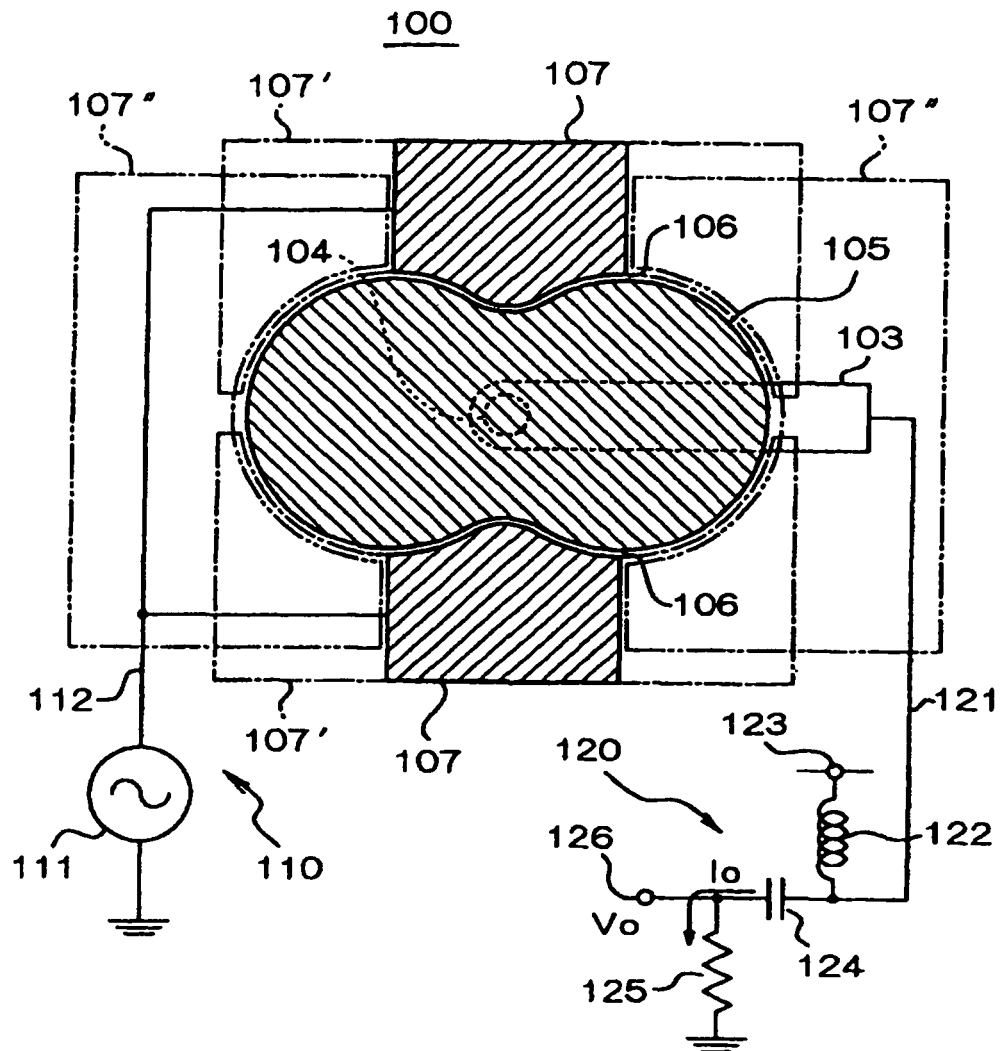


FIG. 1B

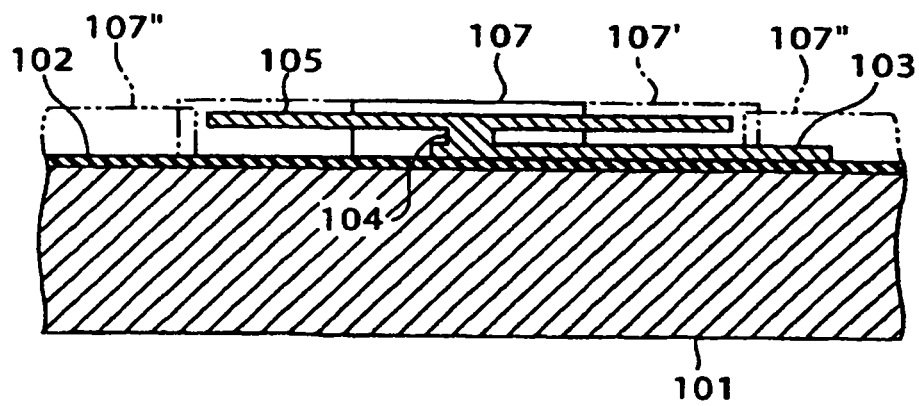


FIG. 2A

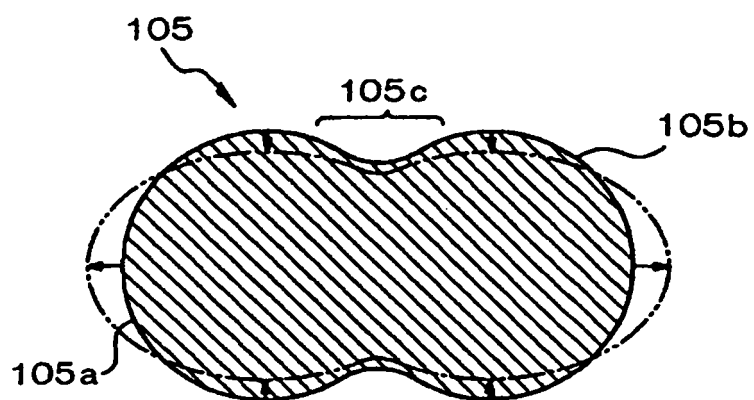


FIG. 2B

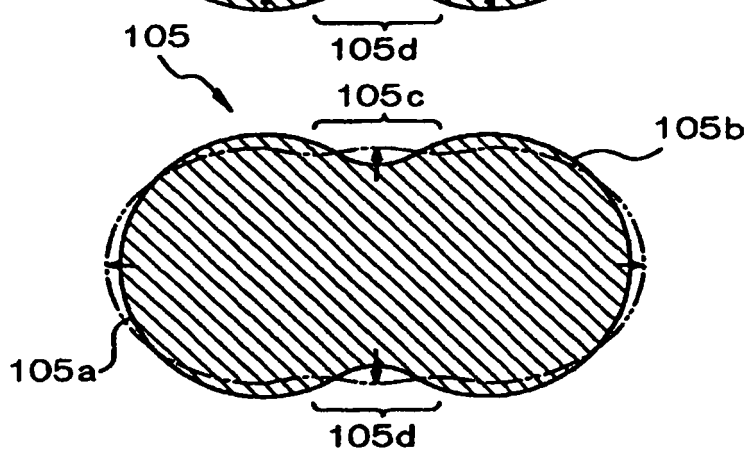


FIG. 2C

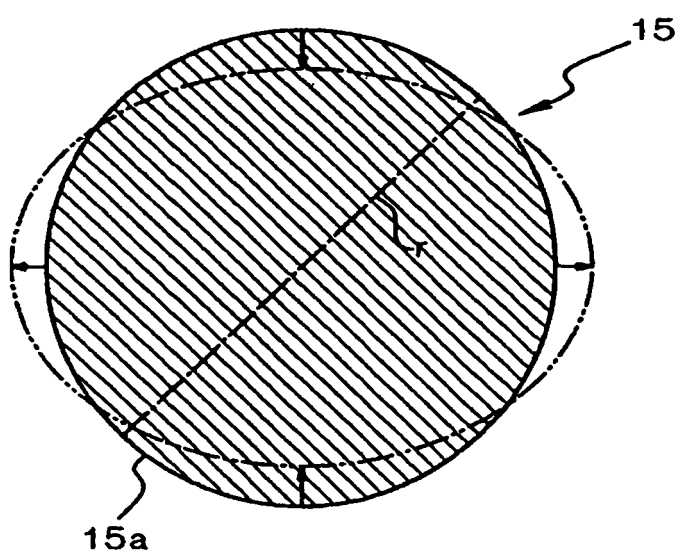


FIG. 3A

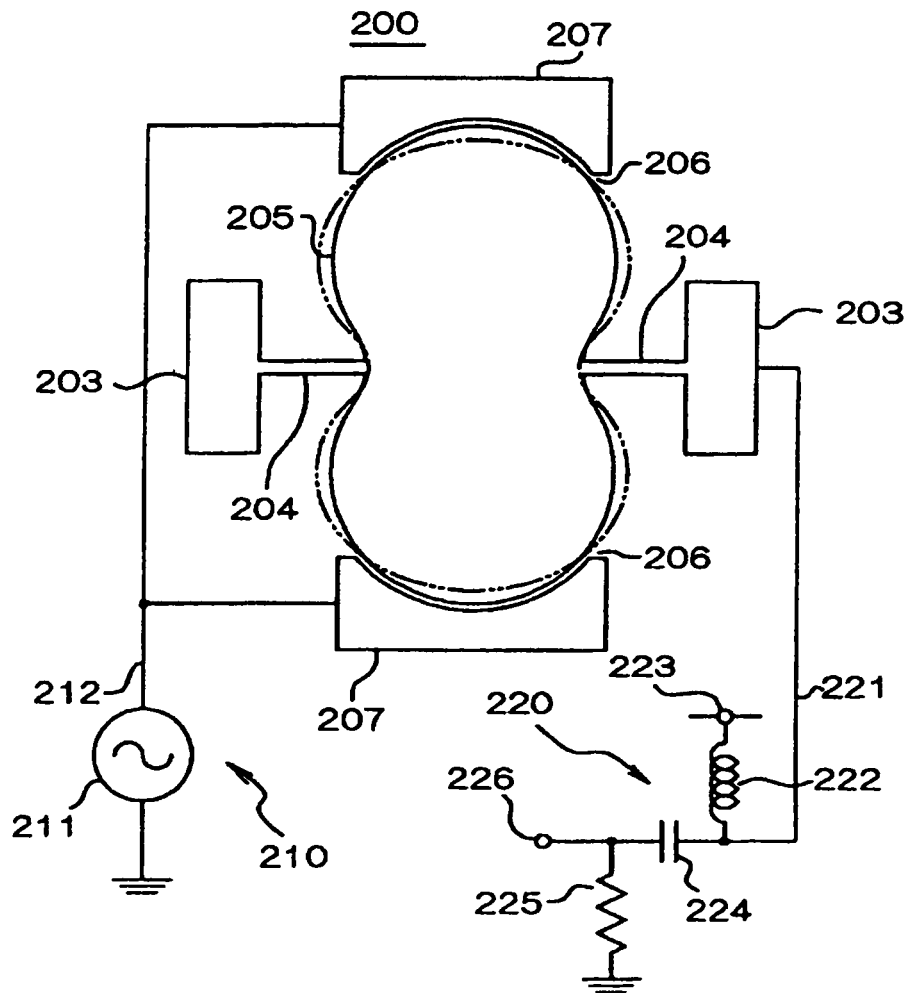


FIG. 3B

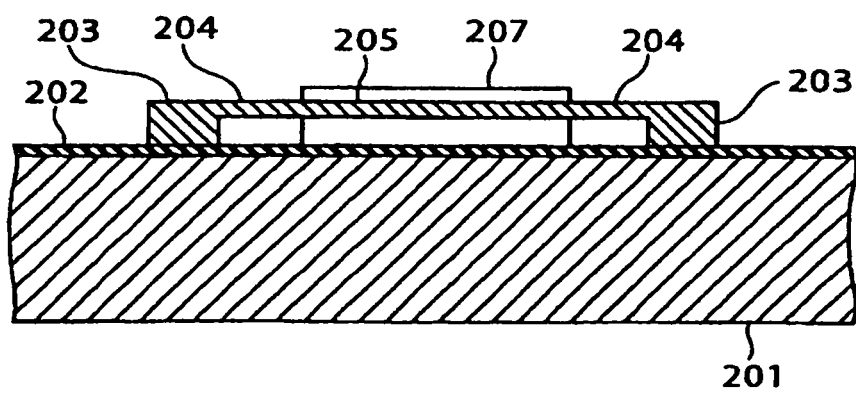


FIG. 4A

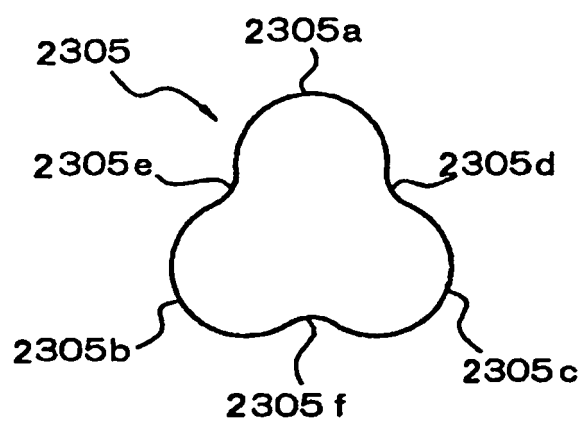


FIG. 4B

