

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 527 092**

51 Int. Cl.:

B06B 1/02 (2006.01)

B08B 3/12 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **18.03.2007 E 07753508 (6)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **17.12.2014 EP 1997159**

54 Título: **Aparato de procesado megasónico con barrido de frecuencia de transductores de modo de espesor**

30 Prioridad:

17.03.2006 US 783213 P

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

20.01.2015

73 Titular/es:

**MEGASONIC SWEEPING INCORPORATED
(100.0%)
Scotch Road, P.O. Box 7266
Trenton, NJ 08628, US**

72 Inventor/es:

GOODSON, MICHAEL J.

74 Agente/Representante:

UNGRÍA LÓPEZ, Javier

ES 2 527 092 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

Aparato de procesado megasónico con barrido de frecuencia de transductores de modo de espesor

5 Antecedentes de la invención**Campo de la invención**

10 Esta invención se refiere en general a un aparato de procesado megasónico y a métodos asociados que implican uno o más transductores piezoeléctricos que operan en modo de espesor a frecuencias megasónicas de al menos 300 KHz o más altas, y se refiere más en concreto a mejorar el rendimiento barriendo la frecuencia de una señal de accionamiento en un rango completo de frecuencias predeterminado o programable que abarca las frecuencias de resonancia de todos los transductores.

15 Descripción de la técnica relevante

El procesado megasónico implica generar y usar energía de alta frecuencia a frecuencias superiores a 300 KHz. Muchos sistemas megasónicos operan a frecuencias de o cerca de 1.000 KHz, o un megahercio. Aunque 1 MHz es la frecuencia de consenso preferida para muchas aplicaciones, el rango de frecuencia es mucho más alto, con 20 frecuencias de hasta 10 MHz. Los usos típicos para sistemas megasónicos incluyen limpiar objetos delicados, tal como pastillas de semiconductores y medios de unidades de disco. Tal proceso de limpieza megasónica implica colocar los objetos a limpiar en un depósito lleno de fluido, y aplicar energía vibracional a frecuencias megasónicas a una superficie o superficies radiantes del depósito. Se usa uno o más transductores piezoeléctricos para generar la energía vibracional. Un generador suministra una señal de accionamiento de corriente alterna a la frecuencia de 25 resonancia de los transductores. Los transductores megasónicos operan en modo de espesor, donde un elemento piezoeléctrico es excitado por una señal de accionamiento de corriente alterna que produce la expansión y la contracción alternas del transductor, expandiendo y contrayendo primariamente el grosor del transductor. Un transductor piezoeléctrico que tiene un grosor de 2 mm (0,080 pulgada) tiene una frecuencia de resonancia fundamental, en modo de espesor, de 1.000 KHz.

30 El procesado megasónico tiene algunas semejanzas con el procesado ultrasónico, que implica frecuencias fundamentales más bajas, típicamente de aproximadamente 25 KHz a aproximadamente 192 KHz. Los transductores ultrasónicos están equilibrados en masa típicamente, con masas inertes a ambos lados de un elemento piezoeléctrico, y tienen un componente de movimiento radial significativo en ángulos rectos al componente de grosor. Una construcción común de un transductor ultrasónico es apilar varias capas de elementos 35 piezoeléctricos en forma de aro entre dos masas, y mantener el conjunto conjuntamente con un perno de compresión axial. La limpieza ultrasónica se basa en la cavitación, que es la formación y el aplastamiento de burbujas en el fluido.

40 A las frecuencias usadas para limpieza megasónica, no tiene lugar cavitación significativa, de modo que la acción de limpieza se basa en otro mecanismo conocido como microflujo, que es un flujo general de partículas separadas que se alejan de los transductores megasónicos. Este flujo consta de ondas planas que se originan en la superficie en la que los transductores están montados. La naturaleza plana de estos microflujos afecta a la distribución de energía megasónica por todo el depósito. Una forma de mejorar la distribución es cubrir un alto porcentaje del área 45 superficial del depósito con transductores. Otra forma, aunque menos eficiente, es oscilar o mover las piezas a procesar por todo el depósito de modo que todas las superficies estén expuestas a energía megasónica suficientemente alta.

50 Es conocido que la actividad ultrasónica de modo radial en un depósito de limpieza se puede beneficiar de un proceso de barrido o variación de la frecuencia de la señal de accionamiento. Sin embargo, toda la industria considera que no se puede barrer frecuencias megasónicas porque las ondas sonoras son demasiado pequeñas y débiles para cualquier beneficio de barrido. Además, se ha pensado que no sería beneficioso barrer frecuencias megasónicas a causa de los transductores de modo de espesor y la naturaleza plana resultante de las vibraciones megasónicas y debido a los diferentes mecanismos de limpieza utilizados en comparación con los ultrasonidos.

55 Se conocen técnicas de limpieza megasónica por WO 2005/027202 y por FR 2762240. US2004/182414 describe aplicaciones de frecuencia microsónica y W02005/124885 describe aplicaciones ultrasónicas de baja frecuencia.

Resumen de la invención

60 La invención se define en las reivindicaciones independientes a las que ahora se hará referencia. Se exponen elementos ventajosos en las reivindicaciones dependientes.

65 La presente invención se refiere a un aparato y método de procesado megasónico que tienen uno o más transductores piezoeléctricos (PZT) que operan en modo de espesor a frecuencias megasónicas superiores a 300 KHz. Un generador megasónico que opera a frecuencias megasónicas mueve los transductores con una señal de

accionamiento de frecuencia variable que varía o barre todo un rango de frecuencia de barrido predeterminado o programable. El generador megasónico genera la señal de accionamiento a frecuencias megasónicas para energizar los transductores piezoeléctricos megasónicos para hacerlos vibrar en modo de espesor a sus frecuencias de resonancia megasónica. Los transductores piezoeléctricos emiten energía a las frecuencias megasónicas que pueden ser usadas para varias aplicaciones, tal como limpiar objetos en un depósito lleno de fluido. El generador varía o barre repetidas veces la frecuencia de la señal de accionamiento a través de un rango de frecuencias de barrido que incluye las frecuencias de resonancia de todos los transductores piezoeléctricos megasónicos.

Otro aspecto de la presente invención implica agrupar los transductores piezoeléctricos megasónicos en grupos que tienen frecuencias de resonancia similares, y alimentar cada grupo con una señal de accionamiento de barrido de frecuencia separada procedente de un generador que opera dentro de un rango de frecuencias de barrido que incluye las frecuencias de resonancia del grupo de transductores asociados. Esto subdivide el rango general de frecuencias de barrido en rangos secundarios más pequeños, que pueden solaparse o no, y reduce el rango de cada barrido de frecuencia. El efecto de agrupar transductores es aumentar de forma proporcional la cantidad de tiempo que cualquier transductor concreto esté operando a o cerca de su frecuencia de resonancia y mejorar por ello la eficiencia.

La presente invención abarca un sistema megasónico que incluye uno o más transductores piezoeléctricos y uno o más generadores megasónicos acoplados a los transductores para suministrar señales de accionamiento megasónico de frecuencia variable en rangos de frecuencia y tasas de barrido seleccionables o programables.

Cuando se usa un proceso megasónico, por ejemplo, para limpiar pastillas de silicio o medios de unidades de disco, el barrido de la señal de accionamiento a través de las frecuencias de resonancia de todos los transductores megasónicos de modo de espesor igualará la energía megasónica generada por los transductores y hará que los transductores funcionen al unísono. Esto da lugar a una distribución más uniforme de la energía megasónica y a un mejor rendimiento. También se puede lograr la misma uniformidad de energía megasónica y funcionalidad mejoradas en procesado de líquidos, pruebas no destructivas, formación de imágenes médicas, y otros procesos que usen transductores megasónicos de modo de espesor barriendo el rango de frecuencias de resonancia de los transductores. El proceso de barrido de frecuencia también prolongará la vida de los transductores megasónicos porque es menos estresante para los transductores que operar a una sola frecuencia fija. El proceso de barrido de frecuencia también mejora la uniformidad de energía megasónica en todo el depósito u otro aparato porque cada transductor opera a su frecuencia de resonancia durante al menos parte de cada ciclo de barrido de frecuencia. Se espera que cualquier aplicación o proceso que use frecuencias megasónicas se beneficie de la distribución uniforme de potencia creada por el barrido de la señal de accionamiento a través de todas las frecuencias de resonancia de los transductores.

Una clave para optimizar la eficiencia de un proceso megasónico es tener energía uniforme por toda la superficie radiante excitada con megasónicos. Para ello, preferiblemente 80% o más del área de la superficie radiante está cubierto por transductores megasónicos de modo de espesor. Además, cada transductor megasónico produce energía megasónica consistente barriendo la frecuencia de la señal de accionamiento a través de las frecuencias de resonancia más altas y más bajas de un grupo de transductores.

Para un mejor rendimiento, cada transductor megasónico tiene que ser energizado sustancialmente lo mismo que otros transductores megasónicos unidos a la misma superficie. Para lograrlo, la frecuencia de accionamiento es barrida a través de las frecuencias de resonancia de todos los transductores. El barrido de las frecuencias de resonancia de los transductores megasónicos mueve cada transductor a su frecuencia de resonancia en algún punto en cada ciclo. Esto crea en el rendimiento del transductor una uniformidad no lograda previamente en la industria.

Además, el barrido de frecuencia de los transductores megasónicos reduce el "efecto fuente" observado con transductores megasónicos de frecuencia fija. Se considera que el efecto fuente es producido por un transductor que opera a su frecuencia de resonancia con una señal de accionamiento de frecuencia fija, que produce una subida brusca significativa de líquido en el depósito encima del transductor. El barrido de la señal de accionamiento de frecuencia megasónica asegura que cualquier transductor concreto no sea movido de forma continua en su frecuencia de resonancia, eliminando la subida brusca asociada con el efecto fuente. En cambio, la energía megasónica es distribuida uniformemente por todo el depósito porque todos los transductores están operando eficientemente a sus frecuencias de resonancia en algún punto durante cada ciclo de barrido.

El barrido de frecuencia es mucho más dramático con las frecuencias megasónicas que con las frecuencias ultrasónicas como de 40 KHz. Se han observado mejoras en el suministro de potencia de 500 a 700% con barrido de frecuencia de resonancia megasónica y esto significa un procesado sustancialmente mejor.

No todas las características y las ventajas descritas en la memoria descriptiva están incluidas, y en particular, muchas características y ventajas adicionales serán evidentes a los expertos en la técnica a la luz de los dibujos, la memoria descriptiva y las reivindicaciones de la invención. Además, se deberá indicar que la terminología usada en la memoria descriptiva se ha seleccionado principalmente a efectos de legibilidad e ilustrativos, y pueden no haberse seleccionado para delinear o circunscribir la materia de la invención, siendo necesario recurrir a las reivindicaciones

para determinar dicha materia de la invención.

Breve descripción de los dibujos

5 La figura 1 es una vista general en perspectiva de un sistema de procesado megasónico según la presente invención.

La figura 2 es una vista en perspectiva superior de un depósito usado en el sistema de procesado megasónico de la presente invención.

10 La figura 3 es una vista en perspectiva inferior del depósito.

La figura 4 es una vista en alzado lateral del depósito.

15 La figura 5 es una vista inferior del depósito.

La figura 6 es una vista esquemática del sistema de procesado megasónico y una vista en sección del depósito y un transductor megasónico montado con un generador que suministra señales de accionamiento al transductor para crear vibraciones megasónicas en el líquido del depósito.

20 La figura 7 es un gráfico de la frecuencia en función del tiempo de una señal de accionamiento usada en una realización de la presente invención.

25 La figura 8 es un gráfico de la frecuencia en función del tiempo de dos señales de accionamiento usadas en otra realización de la presente invención en la que el período de barrido es el mismo que en la figura 7.

La figura 9 es un gráfico de la frecuencia en función del tiempo de dos señales de accionamiento usadas en otra realización de la presente invención en la que la tasa de barrido es la misma que en la figura 7.

30 **Descripción detallada de las realizaciones preferidas**

Los dibujos ilustran varias realizaciones preferidas de la presente invención a efectos de ilustración solamente.

35 Un aspecto de la presente invención es un aparato y método de procesado megasónico que tiene un generador megasónico con un rango de frecuencias de barrido programable y una tasa de barrido programable. El rango de frecuencias de barrido es el rango de frecuencias o anchura de banda dentro del que el generador megasónico envía una señal de accionamiento para accionar uno o más transductores piezoeléctricos megasónicos de modo de espesor a sus frecuencias de resonancia. La tasa de barrido es el número de veces que las frecuencias de resonancia son barridas por segundo.

40 El generador megasónico incluye un controlador u otro dispositivo de control con medios para que el usuario pueda seleccionar o programar el rango de frecuencias de barrido o la anchura de banda y la tasa de barrido para la señal de accionamiento. El usuario introduce una o más combinaciones del rango de frecuencias de barrido y la tasa de barrido al dispositivo de memoria del generador. El generador genera y envía la señal de accionamiento según el rango de frecuencias de barrido y la tasa de barrido seleccionados por el usuario.

45 Cuando se usa en una aplicación de limpieza, por ejemplo, el transductor o los transductores piezoeléctricos megasónicos se pueden montar en la parte inferior o los lados de un depósito, o encerrarse en un depósito sumergible dentro del depósito. El generador de frecuencia de barrido puede ser usado para accionar transductores megasónicos en aplicaciones distintas de la limpieza. Preferiblemente, los transductores son cristales piezoeléctricos o cerámica piezoeléctrica (también conocidos como PZTs), tal como titanato de bario o circonato titanato de plomo, operando en modo de espesor. El uso de diferentes tasas de barrido o rangos de frecuencia de barrido en el mismo proceso puede mejorar la limpieza de algunas partes porque algunas frecuencias pueden ser más efectivas que otras.

50 Un dispositivo que barre la frecuencia de la señal de accionamiento se incorpora al generador megasónico que genera la señal de accionamiento. El generador incluye una interfaz de usuario que incluye uno o más dispositivos de entrada, tal como botones, selectores, software, teclado, interfaz gráfica de usuario, conexión de red, u otros dispositivos de entrada, que permitan al usuario establecer un rango de frecuencias de barrido o anchura de banda en que el generador opera, así como establecer una tasa de barrido a la que el generador barre en el rango programado. Los controles para que el usuario programe el rango de frecuencias de barrido y la tasa de barrido pueden ser analógicos o digitales.

60 Como se representa en las figuras 1-6, una realización de la presente invención es un sistema de limpieza 10 que incluye un depósito de limpieza de cuarzo 12 conteniendo un limpiador o solución de limpieza 14 y una o más piezas 15 a limpiar. Se suministra energía megasónica al líquido limpiador 14 por uno o más transductores de frecuencia

5 megasónica 16 fijados a la parte inferior del depósito 12. Alternativamente, los transductores megasónicos podrían fijarse a uno o más lados del depósito o sumergirse en el depósito. Preferiblemente, el transductor megasónico 16 tiene un elemento piezoeléctrico (PZT) 18 unido con adhesivo o montado de otro modo a un lado de una chapa de carburo de silicio 20. El otro lado de la chapa de carburo de silicio 20 está unido con adhesivo o montado de otro modo a la superficie exterior inferior del depósito de limpieza 12. Preferiblemente, las capas de unión 22 entre la chapa de carburo de silicio 20 y el depósito 12 y entre la chapa de carburo de silicio y el elemento piezoeléctrico 18 están compuestas de lámina de cobre perforada y un adhesivo de adaptación de impedancia. Alternativamente, las capas de unión pueden estar compuestas de epoxi u otro adhesivo usado para unir a troquel chips semiconductor a sustratos de empaquetado.

10 El elemento piezoeléctrico puede ser cuadrado, rectangular, o un disco circular, u otra forma que tenga grosor uniforme. Por ejemplo, para operación a una frecuencia nominal de 1.000 KHz, el elemento piezoeléctrico 18 tendría un grosor de aproximadamente 2 mm (0,08 pulgada), la chapa de carburo de silicio 20 tendría un grosor de aproximadamente 4,8 mm (0,19 pulgada), y la parte inferior del depósito de cuarzo 12 tendría un grosor de aproximadamente 5,1 mm (0,20 pulgada). El transductor 16 y el sistema de limpieza 10 son solamente un ejemplo de un transductor y un aparato que incorpora la presente invención.

15 Como se representa en las figuras 3-6, los transductores 16 son preferiblemente de forma rectangular y están dispuestos paralelos uno a otro. Preferiblemente, los transductores 16 cubren una porción sustancial de la superficie inferior del depósito 12, preferiblemente al menos 80%. Es deseable generar energía megasónica y transferirla al depósito 12 y el fluido 14 uniformemente por toda el área de la superficie en la que los transductores 16 están montados. Cubrir un alto porcentaje del área superficial de la parte inferior del depósito con transductores asegura que la energía megasónica transferida al fluido 14 sea relativamente uniforme.

20 Como se representa en la figura 6, los transductores 16 son movidos por una señal de accionamiento suministrada por hilos eléctricos 24 por un generador programable 26. El generador 26 es programado por el usuario a través de una entrada o interfaz de usuario 28 para establecer el rango de frecuencias de barrido o la anchura de banda y la tasa de barrido de la señal de accionamiento enviada por el generador.

25 Un transductor piezoeléctrico de frecuencia megasónica opera en modo de espesor de tal manera que los voltajes aplicados hagan que el grosor del transductor se expanda y contraiga. Estas expansiones y contracciones son transmitidas a través del resonador de carburo de silicio 20 y el depósito 12 al fluido 14 y los objetos 15 situados en el depósito. Como se representa en la figura 6, estas vibraciones de frecuencia megasónica son primariamente ondas horizontales 17, a condición de que los transductores 16 estén en la parte inferior del depósito 12. Las ondas se propagan hacia arriba y transportan partículas limpiadas o separadas de los objetos 15 presentes en el depósito. Éste es un procesado conocido como microflujo, en el que hay un movimiento neto hacia arriba, lejos de la fuente de energía megasónica. Como se representa en las figuras 1 y 2, el depósito tiene un rebosadero por encima del que fluyen el fluido excedente y las partículas, y una bomba y filtro para recircular y limpiar el fluido.

30 La frecuencia de resonancia es por lo general la frecuencia donde las propiedades mecánicas y eléctricas de un transductor pueden transmitir más eficientemente las ondas de sonido. En transductores megasónicos que operan en modo de espesor, el grosor del transductor determina la frecuencia de resonancia. Por ejemplo, un transductor que tenga 2 mm (0,08 pulgada) de grosor tendrá una frecuencia de resonancia de aproximadamente 1.000 KHz. Un transductor que tenga 1,65 mm (0,065 pulgada) de grosor tendrá una frecuencia de resonancia de aproximadamente 1230 KHz. Un transductor que tenga 1,3 mm (0,050 pulgada) de grosor tendrá una frecuencia de resonancia de aproximadamente 1600 KHz. El término "frecuencia de resonancia" se usa aquí para indicar la frecuencia fundamental más baja donde el transductor instalado tiene una resonancia natural.

35 Como se ha indicado anteriormente, un transductor piezoeléctrico que tiene un grosor de 2 mm (0,080 pulgada) tiene una frecuencia de resonancia fundamental de 1.000 KHz. Una tolerancia en el grosor de dicho transductor tiene un efecto significativo en la frecuencia de resonancia. Una variación del grosor de 0,025 mm (0,001 pulgada) produciría una varianza de la frecuencia de resonancia de 12,5 KHz. Además, las dos superficies principales del transductor deberán ser planas y coplanares, pero las varianzas también pueden afectar a la frecuencia de resonancia. Aunque sea deseable desde el punto de vista del rendimiento que todos los transductores tengan exactamente la misma frecuencia de resonancia, desde el punto de vista de la tolerancia de fabricación, es inviable. Sin embargo, el barrido de frecuencia de la presente invención supera este obstáculo.

40 Una ventaja de la presente invención es que el barrido de la frecuencia de la señal de accionamiento a través de las frecuencias de resonancia de todos los transductores distribuye las ondas de sonido por igual entre los transductores. Esto hace posible tener una energía megasónica sustancialmente igual en todo el depósito. Esto es importante porque los transductores de modo de espesor producen ondas de sonido que van verticalmente desde la parte inferior a la parte superior del depósito con poco ensanchamiento en direcciones laterales. La distribución uniforme de energía megasónica se puede lograr mejor barriendo justo fuera de las frecuencias de resonancia más altas y más bajas de los transductores.

45 Otra ventaja de la presente invención es que acomoda tolerancias en las frecuencias de resonancia de los

transductores. El rendimiento es mejor si se minimizan las varianzas de la frecuencia de resonancia. Elegir transductores exactamente con la misma frecuencia de resonancia ayudará a minimizar las varianzas (aunque a mayor costo), pero incluso entonces habrá algunas varianzas de los adhesivos u otros materiales de unión usados para montar los transductores porque cualquier variación del grosor crea una variación en la frecuencia en aplicaciones de modo de espesor. Barrer la frecuencia de la señal de accionamiento según la presente invención acomoda tales variaciones inevitables.

Otra ventaja adicional de la presente invención es que reduce las subidas de fluido en el depósito. Sin barrer la señal de accionamiento, los transductores a o más próximos a la frecuencia de la señal de accionamiento tienden a crear una potente fuerza ascendente que empuja el fluido hacia arriba, a veces hasta 5 cm (dos pulgadas) por encima del nivel superficial. Tales subidas de la superficie son un problema porque hacen que se incorpore aire al fluido cuando se recircula, lo que puede interferir con el proceso megasónico. Las subidas también son un problema porque, si el líquido es solvente, se evaporará en el aire y puede ser nocivo para el operador y o las personas presentes en la zona, especialmente si el fluido es un ácido u otro material peligroso. El barrido de la señal de accionamiento con la presente invención reduce estos problemas.

Como se representa en la figura 7, el generador 26 varía la frecuencia de la señal de accionamiento en función del tiempo. Por ejemplo, la frecuencia de la señal de accionamiento puede variar linealmente en una configuración de dientes de sierra en un rango programado de frecuencias de barrido 30 que incluye las frecuencias de resonancia 31 de todos los transductores megasónicos 16. El rango de frecuencias de barrido o la anchura de banda del generador es programado por un usuario y almacenado en un dispositivo de memoria asociado con el generador 26. La tasa a la que varía la frecuencia se determina por la tasa de barrido programada por el usuario y almacenada en el dispositivo de memoria del generador. El generador puede ser programado para variar las frecuencias de la señal de accionamiento según otras funciones o programas y no tiene que limitarse a funciones lineales que forman una configuración de triangular onda o dientes de sierra como se representa en la figura 7. La variación en frecuencia puede ser, por ejemplo, sinusoidal, exponencial y otras funciones. La señal de accionamiento propiamente dicha puede ser de forma de onda sinusoidal, cuadrada, triangular u otra. Las tasas de barrido no tiene que ser la misma para barrido hacia arriba (frecuencia creciente) y hacia abajo (frecuencia decreciente). Preferiblemente, el usuario también puede poner el número de períodos y puede establecer los tiempos de reposo cuando el generador apague la señal de accionamiento.

En una aplicación de limpieza, algunas partes se pueden limpiar mejor con un solo transductor en lugar de múltiples transductores. En tal configuración, el rendimiento del transductor se puede mejorar usando un programa de software que identifique la frecuencia de resonancia óptima y barra a través de esta frecuencia dentro de un rango definido. Para mejores resultados, la frecuencia de accionamiento puede ser barrida en un rango de barrido de 1% o menos para asegurar que la frecuencia de resonancia del transductor sea excitada repetidas veces. Un beneficio de la presente invención es que reduce los efectos adversos de la deriva de la frecuencia de resonancia porque la frecuencia de resonancia de cada transductor es excitada cada ciclo aunque cambie con el tiempo, a condición de que el rango de barrido o la anchura de banda sea suficientemente ancho.

De ordinario se usan múltiples transductores megasónicos 16 para una tarea o proceso dado, en cuyo caso es común accionar todos los transductores con el mismo generador y señal de accionamiento. Sin embargo, donde se usan múltiples transductores puede no haber una sola frecuencia óptima debido a variaciones de rendimiento y tolerancias de fabricación entre los transductores. Las tolerancias de producción dan lugar a transductores megasónicos que tienen frecuencias de resonancia dentro de un rango de 3% a 4%. Por ejemplo, a 1000 KHz, un rango de 4% sería más o menos 20 KHz de los 1000 KHz nominales, o un rango de 980 a 1020 KHz.

En tales aplicaciones, según la presente invención, es apropiado barrer repetidas veces la frecuencia de la señal de accionamiento para asegurar que al menos parte del tiempo el transductor 16 esté operando a o cerca de su frecuencia de resonancia. Con el fin de hacer que cada transductor 16 opere a o cerca de su frecuencia de resonancia, el generador barre un rango de frecuencias de barrido predeterminado que está diseñado para llegar a las frecuencias de resonancia más bajas y más altas 31 del grupo de transductores. La función de frecuencia de barrido del generador 26 cubre dicho rango de varianza. La función de barrido de frecuencia puede ser fija o se puede programar de manera que sea variable en cuanto a la velocidad (barridos por segundo) o el rango (frecuencias mínima y máxima).

Otro aspecto de la presente invención se refiere a agrupar los transductores piezoeléctricos megasónicos en múltiples grupos según sus frecuencias de resonancia, y mover cada grupo con una señal de accionamiento de frecuencia variable separada. Los transductores con frecuencias de resonancia similares son agrupados conjuntamente para reducir el rango de frecuencias que el generador debe barrer con el fin de poner el grupo de transductores en funcionamiento a o cerca de sus frecuencias de resonancia. Reducir el rango de frecuencia del barrido incrementa el tiempo que cada transductor opera a o cerca de su frecuencia de resonancia.

Cuando se reduce el rango de cobertura de frecuencia de barrido, la tasa de barrido se puede incrementar para crear más actividad si es preciso por una aplicación particular, o si la tasa de barrido sigue siendo la misma, entonces la tasa de repetición se incrementa. El resultado es que la transmisión megasónica a cada frecuencia de

resonancia de transductor será más grande dado que el barrido cubre una extensión más pequeña y el transductor opera un mayor porcentaje de tiempo a o cerca de su frecuencia de resonancia, lo que incrementa la eficiencia del proceso megasónico.

5 Este punto se ilustra en las figuras 7, 8 y 9. En la figura 7, un solo generador barre la señal de accionamiento entre frecuencias mínima y máxima en un rango 30. En la figura 8, se usan dos generadores para cubrir el mismo rango general, pero cada generador cubre un rango secundario 32 que es la mitad del rango completo 30. La mitad de los transductores tienen frecuencias de resonancia 31' en el rango secundario superior 32', y la otra mitad de los transductores tienen frecuencias de resonancia 31" en el rango secundario inferior 32". El número de barridos por unidad de tiempo es el mismo en las figuras 7 y 8. En la figura 9, la tasa de cambio de la frecuencia de barrido es la misma que en la figura 7, pero el rango se corta por la mitad de modo que haya el doble de barridos en el mismo período de tiempo.

15 Como un ejemplo de agrupamiento, supóngase que se usan doce transductores megasónicos en un proceso que tiene las frecuencias de resonancia nominales siguientes (en KHz):

1010	1030	1015	1007
1019	1004	1027	1038
1022	1014	1031	1040

20 Estas frecuencias van desde un mínimo de 1004 KHz a un máximo de 1040 KHz, para un rango total de 36 KHz (± 18 KHz) centrado en 1022 KHz. Barrer la frecuencia de la señal de accionamiento para incluir las frecuencias de resonancia de los doce transductores requeriría un barrido total de 36 KHz.

Estos doce transductores podrían dividirse en dos grupos, A y B, para reducir el rango de barrido:

Generador A	Generador B		
1004	1014	1022	1031
1007	1015	1027	1038
1010	1019	1030	1040

30 Los transductores movidos por el generador A son del rango de 1004 KHz a 1019 KHz, para un rango total de 15 KHz ($\pm 7,5$ KHz) centrado en 1011,5 KHz. Los transductores movidos por el generador B son del rango de 1022 KHz a 1040, para un rango total de 18 KHz (± 9 KHz) centrado en 1031 KHz. Agrupando los transductores según sus frecuencias de resonancia y reduciendo el rango de barrido para cada generador de barrido, el número de barridos por unidad de tiempo se puede incrementar o la tasa de barrido se puede reducir, lo que permite que los transductores se muevan a o cerca de sus frecuencias de resonancia más a menudo, lo que mejora el proceso megasónico.

45 Según la presente invención, los rangos de frecuencia de barrido se ponen ligeramente fuera de las frecuencias de resonancia máxima y mínima para los transductores asociados. Así, en el ejemplo anterior, el rango de frecuencias de barrido del generador A se podría poner a 1003 a 1020 KHz o 1002 a 1021 KHz y el rango de frecuencias de barrido del generador B se podría poner a 1021 a 1041 KHz o 1020 a 1042 KHz. Esto asegura que cada transductor opere tanto por debajo como por encima de su frecuencia de resonancia en cada ciclo de barrido de frecuencia y también permite desplazamientos de las frecuencias de resonancia que puede haber debido a calentamiento u otras variables.

55 Los transductores pueden estar agrupados dentro de un sistema o proceso individual o entre múltiples sistemas o procesos que operen simultáneamente. Por ejemplo, si hay dos depósitos con múltiples transductores cada uno y ambos depósitos serán usados simultáneamente, se pueden agrupar transductores del grupo más grande de todos los transductores en los dos depósitos. Los agrupamientos se pueden seleccionar también para producir un resultado más uniforme puesto que los transductores accionados por un solo generador no tienen que estar un junto a otro o usarse con el mismo depósito que esté en el grupo. Dado que todos los transductores operan simultáneamente, el diseñador de la disposición de transductor se puede centrar en maximizar la eficiencia del agrupamiento sin tener en cuenta dónde estén situados los elementos de los grupos.

60 Como un ejemplo de agrupamiento entre múltiples procesos simultáneos, supóngase que los mismos doce transductores megasónicos expuestos en el ejemplo anterior están situados en dos depósitos diferentes:

65 Depósito 1	Depósito 2
---------------	------------

1010 1030 1015 1007

1019 1004 1027 1038

5 1022 1014 1031 1040

Los doce transductores de los depósitos 1 y 2 están divididos en dos grupos según las frecuencias de resonancia y son movidos por los generadores A y B de la siguiente manera (el número de depósito se indica entre paréntesis):

10	Generador A		Generador B	
	1004 (1)	1014 (1)	1022 (1)	1031 (2)
	1007 (2)	1015 (2)	1027 (2)	1038 (2)
15	1010 (1)	1019 (1)	1030 (1)	1040 (2)

El generador A mueve cuatro transductores del depósito 1 y dos transductores del depósito 2. El generador B mueve dos transductores del depósito 1 y cuatro transductores del depósito 2. Dado que todos los transductores operan al mismo tiempo, este agrupamiento permite que los dos generadores barran rangos más pequeños.

Así, en procesos de limpieza y otros donde se usan múltiples depósitos o sistemas, todos los transductores en los múltiples depósitos o sistemas se pueden combinar para crear una clasificación óptima de frecuencias a agrupar conjuntamente, siendo accionado cada grupo por un generador de barrido diferente. Por ejemplo, en cuatro procesos que utilicen cuatro depósitos, los transductores de alguno o de los cuatro depósitos pueden estar en red conjuntamente para lograr el rango de frecuencias óptimo para barrido. Naturalmente, todos los procesos deben estar activos al mismo tiempo para dicho agrupamiento.

Otro aspecto de la presente invención es la construcción del transductor megasónico 16 y su montaje en otra estructura, tal como la parte inferior del depósito 12, usando una capa metálica perforada y adhesivo de adaptación de impedancia. Como se representa en las figuras 4 y 6, el transductor megasónico 16 tiene preferiblemente una chapa de carburo de silicio 20 entre el elemento piezoeléctrico 18 y la superficie del depósito de limpieza 12 u otra estructura en la que se monte el transductor. El elemento piezoeléctrico 18 está unido a la chapa de carburo de silicio 20, y el conjunto está unido al depósito 12 con capas de unión compuestas de una lámina metálica perforada, preferiblemente cobre, y un adhesivo.

La lámina perforada de cobre (u otro metal) mejora la planeidad y la uniformidad de grosor de la capa de unión 22. El cobre perforado tiene un grosor predeterminado que permite distribuir uniformemente el adhesivo, evitando así irregularidades o la no uniformidad de grosor del adhesivo sin usar una plantilla u otro dispositivo de estabilización. El metal perforado proporciona una estructura plana controlable para mantener la uniformidad del grosor del adhesivo. El metal perforado también sirve como un electrodo entre el elemento piezoeléctrico y la chapa de carburo de silicio.

La aplicación de la presente invención no se limita a operaciones de limpieza. El mismo principio de barrer la energía acústica para transductores megasónicos se puede aplicar a otros usos de microflujo de energía megasónica, tal como pruebas no destructivas, u otras aplicaciones que usen transductores de modo de espesor que tengan frecuencias de resonancia fundamentales de al menos 300 KHz. Los transductores megasónicos de barrido crean ráfagas de energía más grandes, que crean una actividad de microflujo mejorada y más fuerte que mejora la eficiencia de la limpieza por microflujo y otros usos del microflujo. El microflujo es un flujo de líquido energizado creado por la liberación de energía ultrasónica que es demasiado débil para producir cavitación. A frecuencias superiores a 300 KHz, las cavitaciones dejan de existir, pero la energía de frecuencia megasónica crea un flujo del líquido.

Por la descripción anterior será evidente que la invención aquí descrita proporciona un aparato y método de procesado megasónico nuevos y ventajosos utilizando una señal de accionamiento de frecuencia variable. La explicación anterior describe y explica simplemente métodos y realizaciones ejemplares de la presente invención. Como entenderán los expertos en la técnica, la invención se puede realizar de otras varias formas. Consiguientemente, se ha previsto que la descripción de la presente invención sea ilustrativa, pero no limitativa, del alcance de la invención, que se expone en las reivindicaciones siguientes.

60

REIVINDICACIONES

1. Un aparato de procesado megasónico, incluyendo:

5 un depósito (12) adaptado para contener fluido (14) y una o más piezas (15) a procesar;

una pluralidad de transductores piezoeléctricos (16) adaptados para proporcionar vibraciones al depósito (12) y su contenido, donde cada transductor (16) tiene una frecuencia de resonancia fundamental de al menos 300 KHz;

10 y un generador (26) acoplado a los transductores para suministrar una señal de accionamiento;

15 donde al menos algunas de las frecuencias de resonancia fundamentales de los transductores (16) son diferentes y definen un rango de frecuencias de resonancia de transductor, definiendo la frecuencia de resonancia fundamental de un transductor piezoeléctrico una frecuencia de resonancia fundamental máxima y definiendo la frecuencia de resonancia fundamental de otro transductor piezoeléctrico una frecuencia de resonancia fundamental mínima; y

20 el generador (26) tiene una función de frecuencia de barrido que puede funcionar para suministrar la señal de accionamiento a una frecuencia variable en todo un rango de barrido de frecuencia predeterminado (30) que va desde una frecuencia de accionamiento máxima que excede de la frecuencia de resonancia fundamental máxima, y una frecuencia de accionamiento mínima que es justamente menor que la frecuencia de resonancia fundamental mínima, donde la cantidad que la frecuencia de accionamiento máxima excede de la frecuencia de resonancia fundamental máxima es igual a la cantidad que la frecuencia de accionamiento mínima es menor que la frecuencia de resonancia fundamental mínima,

25 donde el generador (26) incluye una interfaz de usuario (28) para establecer un rango de frecuencia regulable y una tasa de barrido regulable.

2. Un aparato según la reivindicación 1, donde la tasa de barrido es del rango de 50 a 1200 barridos por segundo.

30 3. Un aparato según la reivindicación 1, donde el aparato tiene al menos cuatro transductores (16) y dos generadores (26), donde los transductores (16) están agrupados por frecuencias de resonancia similares para dividir el rango de barrido de frecuencia en rangos secundarios más pequeños, y donde cada grupo de transductores es accionado por un generador separado que genera una señal de accionamiento que tiene una frecuencia variable que varía dentro de un rango de frecuencia que incluye y excede del rango de frecuencias de resonancia fundamentales de todos los transductores de su grupo asociado.

35 4. Un aparato según la reivindicación 1, donde dichos transductores piezoeléctricos (16) operan en modo de espesor.

40 5. Un aparato según la reivindicación 1, incluyendo al menos dos depósitos, estando adaptado cada depósito para contener fluido y una o más piezas a procesar;

45 donde la pluralidad de transductores piezoeléctricos están agrupados por frecuencias de resonancia fundamentales similares para dividir el rango de barrido de frecuencia en rangos secundarios más pequeños, y donde cada grupo de transductores es accionado por un generador separado que genera una señal de accionamiento que tiene una frecuencia variable que varía dentro de un rango de barrido de frecuencia que incluye y excede del rango de frecuencias de resonancia fundamentales de todos los transductores de su grupo asociado, y

50 donde diferentes transductores en cada grupo de transductores están acoplados a diferentes depósitos de los al menos dos depósitos.

55 6. Un aparato según la reivindicación 1, donde el generador (26) suministra una señal de accionamiento a un rango de barrido de frecuencia y tasa de barrido predeterminados, y donde el generador incluye un medio programable para definir un rango de barrido de frecuencia y una tasa de barrido para la señal de accionamiento.

7. Un método de procesado megasónico, incluyendo los pasos de:

proporcionar un depósito (12) adaptado para contener fluido (14) y uno o más piezas (15) a procesar;

60 proporcionar una pluralidad de transductores piezoeléctricos (16) adaptados para proporcionar vibraciones al depósito (12) y su contenido, donde cada transductor (16) tiene una frecuencia de resonancia fundamental de al menos 300 KHz, y donde al menos algunas de las frecuencias de resonancia fundamentales de los transductores (16) son diferentes y definen un rango de frecuencias de resonancia de transductor, definiendo la frecuencia de resonancia fundamental de un transductor piezoeléctrico una frecuencia de resonancia fundamental máxima y definiendo la frecuencia de resonancia fundamental de otro transductor piezoeléctrico una frecuencia de resonancia fundamental mínima;

- 5 proporcionar un generador acoplado a los transductores para suministrar una señal de accionamiento, donde el generador tiene una función de frecuencia de barrido que puede funcionar para suministrar la señal de accionamiento a una frecuencia variable durante todo un rango de barrido de frecuencia (30) que va desde una frecuencia de accionamiento máxima que justo excede de la frecuencia de resonancia fundamental máxima, y una frecuencia de accionamiento mínima que es justamente menor que la frecuencia de resonancia fundamental mínima, y donde la cantidad que la frecuencia de accionamiento máxima excede de la frecuencia de resonancia fundamental máxima es igual a la cantidad que la frecuencia de accionamiento mínima es menor que la frecuencia de resonancia fundamental mínima.
- 10 y donde el generador (26) incluye una interfaz de usuario (28) para recibir una tasa de barrido programada por el usuario y el rango de frecuencia para el generador.
- 15 8. El método de la reivindicación 7, donde la tasa de barrido es del rango de 50 a 1200 barridos por segundo.
9. El método de la reivindicación 7, incluyendo:
- proporcionar al menos cuatro transductores y dos generadores;
- 20 agrupar los transductores por frecuencias de resonancia similares para dividir el rango de barrido de frecuencia en rangos secundarios más pequeños, y
- alimentar cada grupo de transductores por un generador separado que genera una señal de accionamiento que tiene una frecuencia variable que varía dentro de un rango de frecuencia que incluye y excede del rango de frecuencias de resonancia fundamentales de todos los transductores de su grupo asociado.
- 25 10. El método de la reivindicación 7, donde los transductores piezoeléctricos operan en modo de espesor.
- 30 11. El método de la reivindicación 7, incluyendo proporcionar al menos dos depósitos, estando adaptado cada depósito para contener fluido y una o más piezas a procesar;
- agrupar la pluralidad de transductores piezoeléctricos por frecuencias de resonancia fundamentales similares para dividir el rango de barrido de frecuencia en rangos secundarios más pequeños;
- 35 alimentar cada grupo de transductores por un generador separado que genera una señal de accionamiento que tiene una frecuencia variable que varía dentro de un rango de frecuencia que incluye y excede del rango de frecuencias de resonancia fundamentales de todos los transductores de su grupo asociado; y
- 40 acoplar diferentes transductores en cada grupo de transductores a diferentes depósitos de los al menos dos depósitos.
12. El método de la reivindicación 7, incluyendo programar el generador para definir el rango de barrido de frecuencia y la tasa de barrido para la señal de accionamiento.

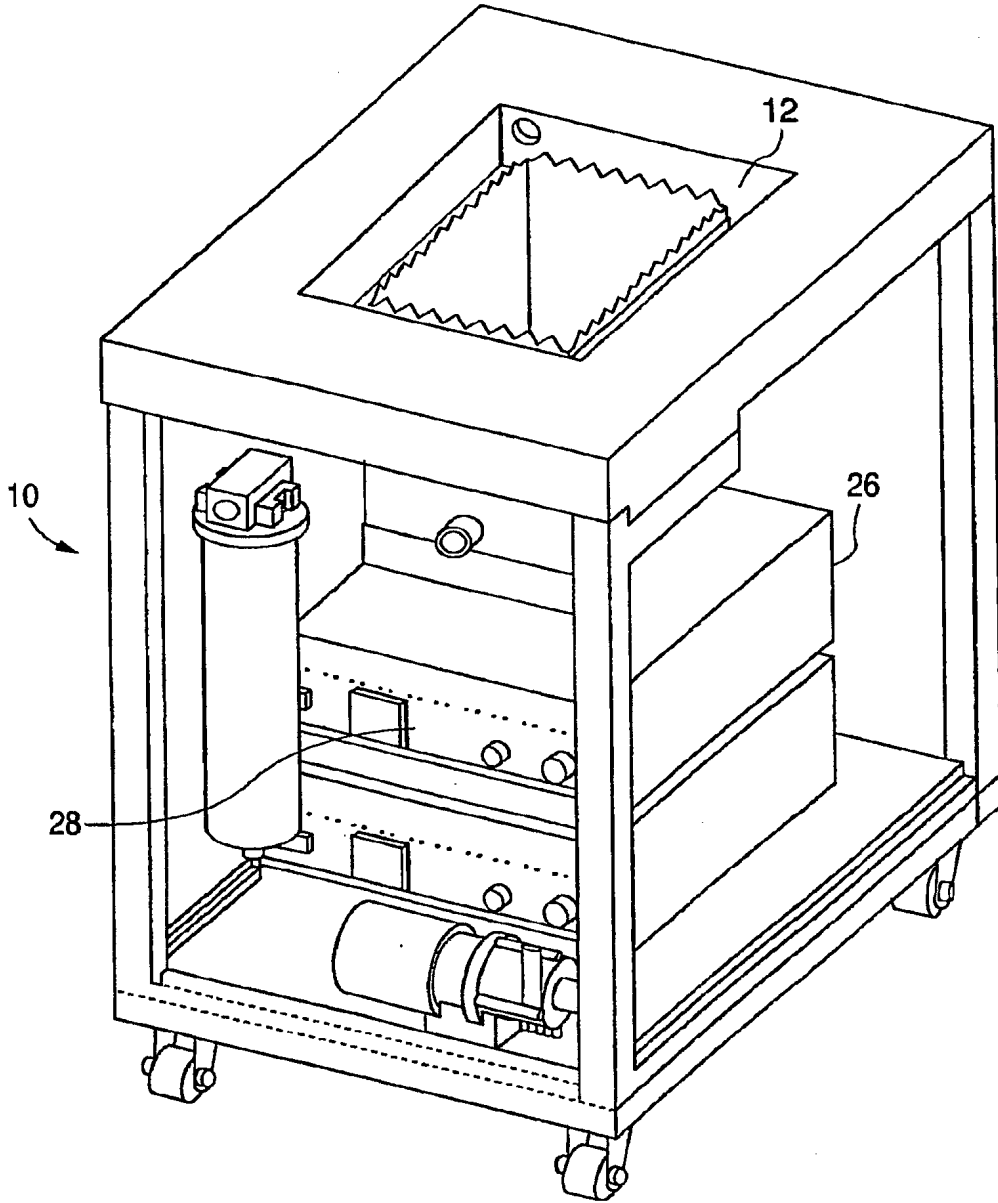


FIG. 1

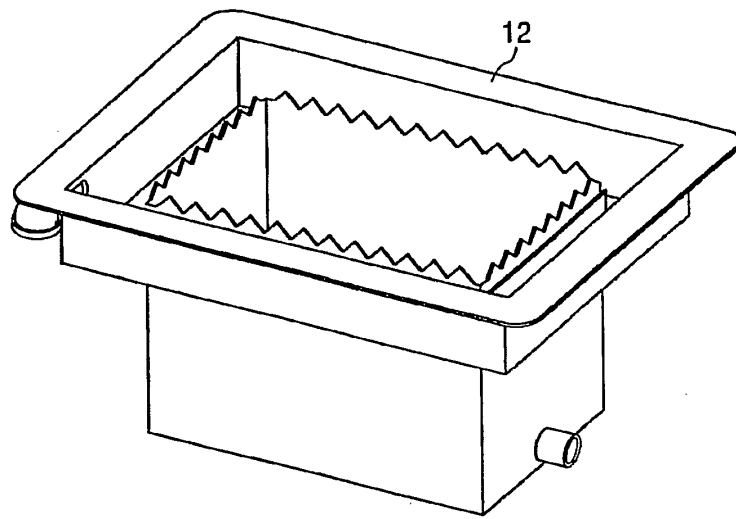


FIG. 2

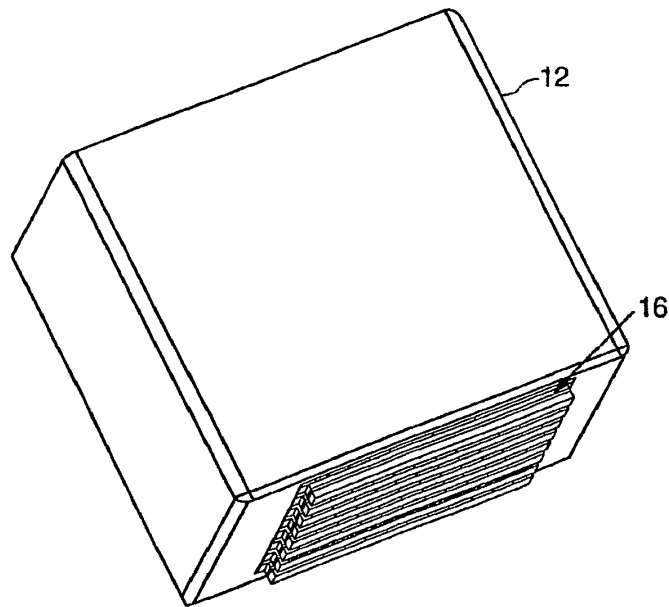


FIG. 3

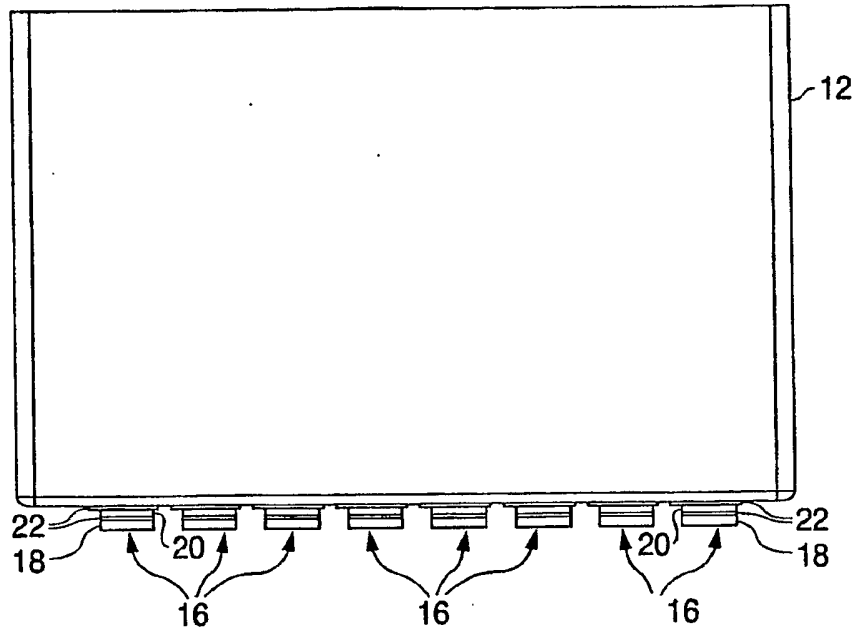


FIG. 4

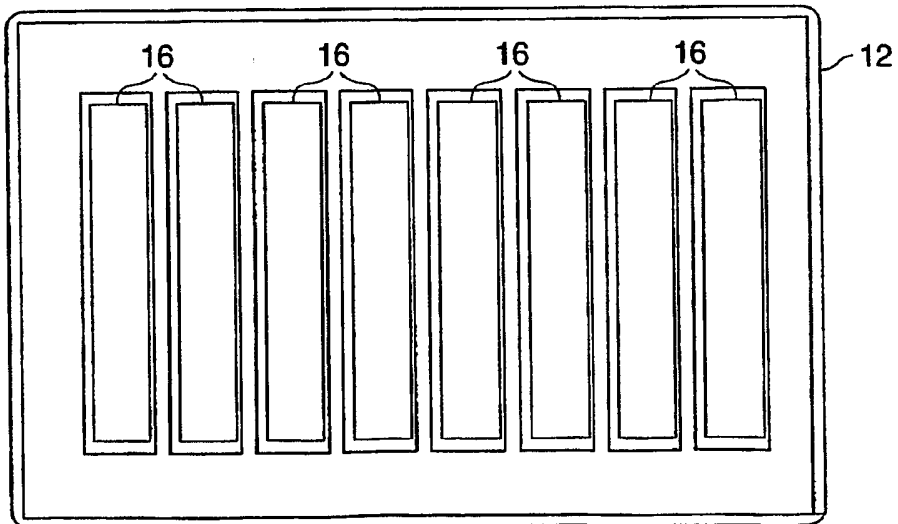


FIG. 5

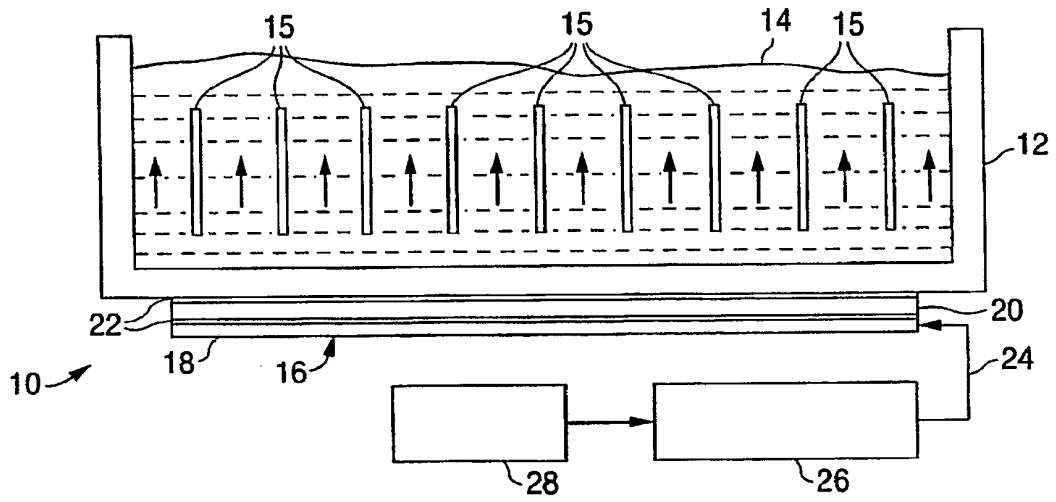


FIG. 6

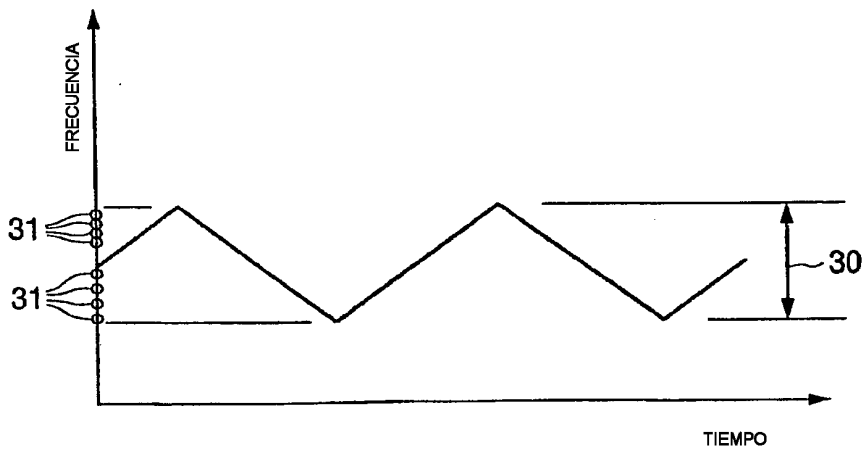


FIG. 7

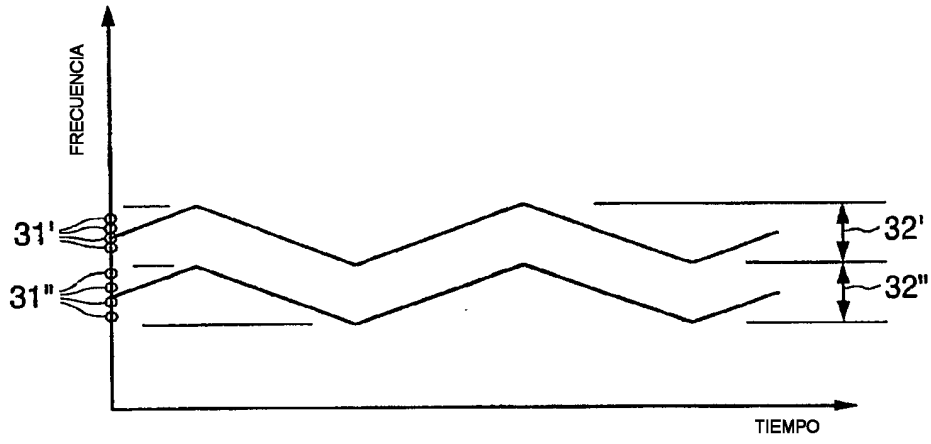


FIG. 8

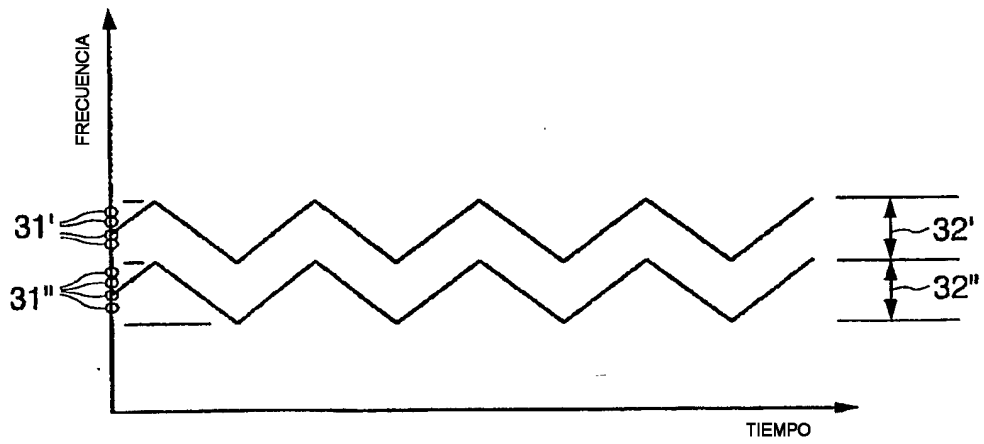


FIG. 9