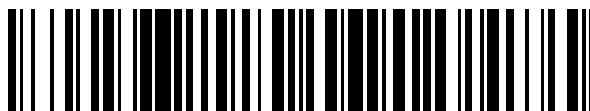


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 447 431**

51 Int. Cl.:

G01V 1/38 (2006.01)
H04R 1/44 (2006.01)
G01D 5/353 (2006.01)
G01L 9/08 (2006.01)
G01D 5/26 (2006.01)
G01H 9/00 (2006.01)
H04R 23/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **21.11.2006 E 06804547 (5)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **20.11.2013 EP 1961260**

54 Título: **Aparato para medir presión acústica**

30 Prioridad:

21.11.2005 AU 2005906457

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
12.03.2014

73 Titular/es:

THALES UNDERWATER SYSTEMS PTY LIMITED (50.0%)
274 Victoria Road
Rydalmere, NSW 2116, AU y
THE COMMONWEALTH OF AUSTRALIA (50.0%)

72 Inventor/es:

BEDWELL, IAN

74 Agente/Representante:

CARPINTERO LÓPEZ, Mario

ES 2 447 431 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 para medir presión acústica

5 Campo de la invención

La presente invención se refiere a procedimientos, sistemas y aparatos para medir presión acústica, y más concretamente a unos sensores e hidrófonos de presión acústica mejorados. En un modo de realización, la invención proporciona un procedimiento para filtrar los efectos sustanciales provocados sobre sensores acústicos por la presión hidrostática en cuerpos líquidos, a la vez que permite la detección de la señal acústica débil de interés. La invención se ha desarrollado concretamente para proporcionar hidrófonos que pueden ser desplegados en el océano como parte de un conjunto de detección de fibra de láser, y se describirá en lo que sigue con referencia a esta aplicación. Sin embargo, se apreciará que la invención no está limitada a este campo de uso concreto.

15 Antecedentes de la invención

Los conjuntos de hidrófonos conocidos utilizados en aplicaciones de detección remota, tales como conjuntos en el lecho marino y disposiciones submarinas, por ejemplo, hacen uso típicamente de dispositivos piezoeléctricos que requieren una instrumentación activa local. Esto hace que estos conjuntos del estado de la técnica anterior sean susceptibles a ser detectados por terceros no autorizados. Asimismo necesitan de cableado de datos y potencia y preamplificadores, lo que hace que tales conjuntos de hidrófonos del estado de la técnica anterior sean voluminosos, difíciles de desplegar y mantener.

En un intento de abordar estos problemas, se han desarrollado hidrófonos basados en tecnología de fibra óptica. Por ejemplo, es conocido bobinar una cantidad relativamente grande de fibra óptica alrededor de una bobina, y medir subsiguientemente los efectos provocados por las tensiones sobre esta fibra para realizar determinaciones de presión. Sin embargo, las metodologías y aparatos conocidos para implementar la tecnología de fibra óptica en hidrófonos dan como resultado un equipo voluminoso y complejo, requiriendo tal equipo a menudo múltiples fibras ópticas y acoplamientos de fibras. Adicionalmente, la complejidad de tales dispositivos hace difícil gestionar un gran número de dispositivos en combinación.

Otro problema que dificulta la aplicabilidad del equipo de detección óptica conocido en aplicaciones de hidrófonos se denomina habitualmente como la compensación de presión en profundidad. Por ejemplo, una señal acústica que va a ser detectada por un sensor es típicamente una pequeña onda de presión que se denominará en lo que sigue como "presión dinámica". A modo de ejemplo no limitativo, una onda de presión dinámica típica tiene una amplitud de hasta aproximadamente 100 Pa y se encuentra en un intervalo de frecuencias de entre aproximadamente 10 Hz y 20 kHz. Cuando se sumerge, el sensor está sometido además a una presión hidrostática que se denominará en lo que sigue como "presión estática". En el océano esta presión estática aumenta típicamente en aproximadamente 100.000 Pa por cada 10 m de profundidad. Por ello, en profundidad, la presión estática es típicamente muchos órdenes de magnitud más grande que la presión dinámica. Desafortunadamente, típicamente es la presión dinámica la interesante. La diferencia de magnitud entre presiones estática y dinámica puede provocar que un hidrófono o un sistema de detección similar se sature y se vuelva sordo a la presión dinámica significativamente menor. Como consecuencia, la señal deseada se detectan insuficientemente o en algunos casos no se detecta en absoluto. En algunos casos, la presión estática afecta al equipo óptico de un modo tal que necesita el uso de un ancho de banda óptica relativamente grande para transmitir la señal resultante a lo largo de un cable de fibra óptica. Estas y otras complicaciones se acumulan cuando se utiliza un número de sensores en combinación.

Se apreciará que la publicación de patente norteamericana US 6.137.621 describe un sistema de registro acústico que tiene una sonda para ser colocada en un orificio taladrado en un pozo. La sonda tiene un transmisor para proporcionar una señal acústica y receptores para responder a la señal, para proporcionar señales de recepción que contienen información acerca de las propiedades de formaciones terrestres en el orificio taladrado.

El artículo "A fiber laser system hydrophone array", de D. J. Hill et al., describe resultados de un estudio acerca del uso de láseres de fibra como hidrófonos en un conjunto ultrafino. Se evalúan tanto estructuras de tipo DBR como DFB y se encuentra que sus rendimientos de ruido son comparables.

Además, la publicación de patente internacional WO 01/35062 describe un sistema de detección que comprende un sensor electromecánico que produce una señal eléctrica en respuesta a un cambio en un parámetro físico que es monitorizada por el sensor. Un modulador de fase óptico está conectado con el sensor electromecánico para recibir la señal eléctrica del mismo.

Es un objeto de la presente invención superar o aliviar al menos una de las desventajas del estado de la técnica anterior, o proporcionar una alternativa útil.

65 Resumen de la invención

De acuerdo con un primer aspecto de la invención, se proporciona un hidrófono para su inmersión en un cuerpo líquido que define una presión estática dependiente de la profundidad y una presión dinámica, incluyendo el hidrófono:

5 un sensor para detectar una señal eléctrica que tiene un primer componente indicativo de la presión estática y un segundo componente indicativo de la presión dinámica;

un filtro conectado eléctricamente con el sensor de modo que reciba la señal eléctrica, filtre el primer componente, y emita una señal eléctrica filtrada que indica sustancialmente tan sólo el segundo componente; y

10 un transductor conectado eléctricamente con el filtro, respondiendo el transductor a este segundo componente para actuar sobre un láser de realimentación distribuida en un cable de fibra óptica de modo que convierta la señal eléctrica filtrada en una deformación correspondiente en el láser de realimentación distribuida tal que el láser de realimentación distribuida proporcione una señal de salida óptica que corresponde a la deformación y por tanto indicativa de la presión dinámica.

15 De acuerdo con otro aspecto de la invención, se proporciona un hidrófono para su inmersión en un cuerpo líquido que define una presión estática dependiente de la profundidad y una presión dinámica, incluyendo el hidrófono:

20 un alojamiento externo que incluye un sensor piezoeléctrico para proporcionar una señal eléctrica que tiene un primer componente indicativo de la presión estática y un segundo componente indicativo de la presión dinámica;

un filtro conectado eléctricamente con el sensor piezoeléctrico de modo que reciba la señal eléctrica, filtre el primer componente, y emita una señal eléctrica filtrada indicativa sustancialmente tan sólo del segundo componente; y

25 un transductor dispuesto en el alojamiento, incluyendo el transductor al menos un actuador piezoeléctrico conectado eléctricamente con el filtro de tal modo que el actuador piezoeléctrico es movable en respuesta a la señal eléctrica filtrada, estando conectado mecánicamente el actuador piezoeléctrico con un láser de realimentación distribuida en un cable de fibra óptica de modo que convierta la señal eléctrica filtrada en una deformación correspondiente en el láser de realimentación distribuida tal que el láser de realimentación distribuida proporcione una señal de salida óptica que
30 corresponde con la deformación y por tanto indicativa de la presión dinámica.

Breve descripción de los dibujos

35 Modos de realización de la invención se describirán a continuación, tan sólo a modo de ejemplo, con referencia a los dibujos adjuntos, en los cuales:

la figura 1 es un diagrama de circuito de un primer modo de realización de la invención;

40 la figura 2 es un diagrama de circuito de un segundo modo de realización de la invención;

la figura 3 es una vista lateral en sección transversal de un transductor;

45 la figura 4 es un diagrama de circuito que muestra una pluralidad de sensores y transductores asociados conectados con un cable de fibra óptica;

la figura 5 es un diagrama de circuito que muestra una disposición alternativa en la que una pluralidad de sensores pueden estar conectados con un cable de fibra óptica;

50 la figura 6 es una vista lateral en sección transversal de un tercer modo de realización de la invención;

la figura 7 es una vista en perspectiva de un actuador piezoeléctrico bimorfo;

la figura 8 es una vista lateral de un actuador piezoeléctrico bimorfo en un estado neutro;

55 la figura 9 es una vista lateral de un actuador piezoeléctrico bimorfo al cual se ha aplicado un voltaje;

la figura 10 es una vista lateral en sección transversal de un modo de realización adicional de la invención; y

60 la figura 11 ilustra esquemáticamente un modo de realización adicional de la invención.

Descripción detallada

65 A continuación se describen procedimientos y aparatos para medir propiedades de presión de un cuerpo acuático, concretamente propiedades de presión dinámica que se ven afectadas por la presencia de señales acústicas. En algunos modos de realización, se proporciona una unidad de hidrófono óptico, incluyendo esta unidad un sensor de presión acoplado con un transductor. El sensor de presión responde a propiedades de presión en el cuerpo acuático para

proporcionar una señal indicativa de presión, típicamente en forma de una señal eléctrica. Esta señal es proporcionada al transductor, en algunos modos de realización sometida a un proceso de filtrado que filtra sustancialmente un componente de la señal que es indicativo de una presión estática para así revelar mejor un componente de la señal que es indicativo de la presión dinámica. El transductor responde a la señal eléctrica para actuar proporcionalmente sobre un láser de realimentación distribuida en un cable de fibra óptica. En algunos modos de realización, esto incluye deformar el láser de realimentación distribuida para afectar así a propiedades de longitud de onda de una señal óptica generada por ese láser de realimentación distribuida. En algunos modos de realización, una pluralidad de unidades de hidrófono similares se distribuyen a lo largo de un único cable de fibra óptica común que tiene una pluralidad respectiva de láseres de realimentación distribuida. Los láseres de realimentación distribuida se sintonizan individualmente de tal modo que la deformación en cada porción sea observable individualmente mediante el análisis de las propiedades de la señal óptica generada. Esto permite comparar la presión dinámica medida por cada unidad de hidrófono y analizarla posteriormente en una ubicación central.

En referencia inicialmente a la figura 1, una unidad de hidrófono óptico 10 está adaptada para su inmersión en un cuerpo líquido, que es típicamente el océano. La unidad de hidrófono 10 incluye un sensor 11 que está expuesto al campo de presión acuática para proporcionar una señal eléctrica indicativa de la presión del océano en el punto en el que se despliega el sensor. Más concretamente, el sensor 11 proporciona una señal de voltaje que es proporcional al campo de presión acuática.

En algunos modos de realización, el sensor 11 está definido por un hidrófono convencional no óptico o componentes de hidrófono conocidos adaptados inherentemente para proporcionar tal señal de voltaje.

La unidad de hidrófono 10 incluye asimismo un transductor 12 conectado eléctricamente con el sensor 11 mediante conductores 13 y 14. El transductor 12 actúa sobre una región del cable de fibra óptica 15 de modo que permita la conversión de la señal eléctrica del sensor 11 en una señal de salida óptica correspondiente que es transmitida a lo largo del cable de fibra óptica 15.

En algunos modos de realización, el transductor actúa sobre una porción activa del láser del cable de fibra óptica. Por ejemplo, el transductor actúa sobre un láser de realimentación distribuida. El transductor responde a señales eléctricas del sensor 11 para aplicar deformación al láser de realimentación distribuida, siendo el grado de deformación proporcional a la señal eléctrica del sensor 11. Esto convierte la señal eléctrica en una deformación correspondiente en el láser de realimentación distribuida tal que el láser de realimentación distribuida proporciona una señal de salida óptica que corresponde con la tensión y por tanto indicativa de la presión dinámica.

Se apreciará que en la práctica el láser de realimentación distribuida proporciona la señal óptica como respuesta a una alimentación, por ejemplo, una alimentación de un láser de bombeo situado en un extremo del cable de fibra óptica. Cualquier referencia en esta descripción a proporcionar o generar una señal de salida óptica bien con un transductor o con un láser de realimentación distribuida debe ser leída como requiriendo implícitamente tal alimentación.

Un extremo del cable de fibra óptica 15 está unido típicamente a un dispositivo de decodificación de la señal de la fibra óptica, que recibe, decodifica y almacena una señal óptica que es transmitida a lo largo del cable de fibra óptica 15. En algunos modos de realización, el dispositivo de alimentación y decodificación está dispuesto en el mismo extremo del cable.

Se apreciará que el uso de un sensor para monitorizar presión, en combinación con un transductor para convertir información de presión eléctrica en información óptica, separa efectivamente la detección acústica de la señal de presión de la función de transducción óptica y aborda ambas con dispositivos distintos.

Como se indicó anteriormente, la presión a una profundidad dada consiste típicamente en una presión estática dependiente de la profundidad y una presión dinámica. La presión estática es esencialmente constante para cualquier profundidad dada, mientras que la presión dinámica es variable con el tiempo. La presión estática es habitualmente muchos órdenes de magnitud mayor que la presión dinámica cuando el hidrófono se despliega a una profundidad significativa. Por ello, aunque en profundidad el sensor 11 proporciona una señal eléctrica que tiene un primer componente indicativo de la presión estática y un segundo componente indicativo de la presión dinámica, debido a sus tamaños relativos el segundo componente puede quedar ahogado por el primer componente. Para muchas aplicaciones esto es indeseable, ya que típicamente es la presión dinámica la que va a ser detectada por la unidad de hidrófono 10. Por esta razón, el modo de realización de la figura 2 incluye un filtro que está conectado eléctricamente con el sensor 11 de modo que reciba la señal eléctrica, filtre el primer componente, y emita al transductor 12 una señal eléctrica filtrada indicativa sustancialmente tan sólo del segundo componente. En otras palabras, el componente de la señal eléctrica que surge sustancialmente debido a la presión estática (esto es, el primer componente) es filtrado, dejando sustancialmente tan sólo el componente de la señal eléctrica que surge debido sustancialmente a la presión dinámica (esto es, el segundo componente). Por ello, el filtro compensa efectivamente el hidrófono en profundidad.

En el modo de realización de la figura 2, el filtro incluye una resistencia 16 conectada eléctricamente en paralelo con el sensor 11. La resistividad R de la resistencia 15 actúa conjuntamente con la capacidad C inherente del sensor 11 para formar un circuito sintonizado RC. La resistencia 16 define por lo tanto una frecuencia de corte f_0 mediante la cual se

filtran componentes de frecuencia de la señal eléctrica que están por debajo de f_0 . La frecuencia de corte viene dada por la siguiente fórmula:

$$f_0 = 1/(2\pi R C)$$

5 El sensor 11 puede ser un sensor cerámico piezoeléctrico pasivo, que tiene una capacidad de $C = 20$ nF. Para una aplicación ejemplar en la cual se requiere una frecuencia de corte de aproximadamente 8 Hz, la anterior fórmula da como resultado un valor para la resistividad R de 1 M Ω .

10 Aunque en lo que sigue los filtros se describen predominantemente en términos de filtros sustancialmente definidos por una resistencia, en otros modos de realización se utilizan otros componentes tales como inductores y condensadores. El diseño de tales filtros será entendido por aquellos expertos en la técnica, y se reconocerán diversas combinaciones adecuadas de resistencias, condensadores e inductores para su uso en otros modos de realización.

15 El modo de realización de la figura 5 permite la interconexión eléctrica de un gran número de sensores 11 para formar un sensor compuesto, por ejemplo un haz de detección de presión que ocupa un único canal óptico. Esto es, la información eléctrica procedente de los sensores 11 se convierte en una señal óptica común. Modos de realización típicos de un sensor compuesto incluyen desde 2 a más de 100 hasta muchos miles de sensores de presión U interconectados eléctricamente, cuya salida puede ser transducida a un único cable de fibra óptica 15. Los sensores 11, como se muestra en la figura 5 están conectados eléctricamente en paralelo entre sí. Esta disposición proporciona una salida que tiene una mayor capacidad y un menor voltaje en comparación con un modo de realización alternativo (no ilustrado), en el cual los sensores 11 están conectados eléctricamente entre sí en serie. Como es conocido por los expertos en la técnica, es posible seleccionar una conexión en paralelo o en serie, o una combinación de las dos, dependiendo de la salida deseada. En cualquier caso, las señales eléctricas generadas por el gran número de sensores 11 se suman eléctricamente para formar una señal de salida total para el canal. La señal de salida total es comunicada a una ubicación remota por medio del cable de fibra óptica 15. Para algunas aplicaciones, tales como para aquellas en el campo de conjuntos remolcados, es preferible enlazar muchos sensores 11 por canal. Por ejemplo, es deseable a veces enlazar aproximadamente de 10 a 20 sensores para formar un único canal óptico. Para otras aplicaciones puede ser necesario enlazar hasta 400 sensores 11 para formar un único canal óptico. Esto se puede conseguir utilizando diversos modos de realización de la presente invención. Sin embargo, hasta donde conoce el inventor, no se ha conseguido fácilmente utilizar conjuntos de hidrófonos de fibra de láser del estado de la técnica anterior.

La figura 4 ilustra un modo de realización en el cual cada uno de una pluralidad de sensores 11 está conectado eléctricamente con una pluralidad respectiva de transductores 12. En contraste con la disposición de la figura 5, esta disposición no suma las contribuciones de cada uno de los sensores 11. En su lugar, la salida de cada uno de los sensores 11 es alimentada a su transductor 12 respectivo y transmitida a continuación ópticamente a lo largo del cable 15 en un formato multiplexado. Esto permite que el decodificador desmultiplique la señal óptica para extraer información relativa a la presión detectada por cada sensor individual 11. Tal disposición encuentra aplicación típicamente en aplicaciones de detección remota, por ejemplo conjuntos del lecho marino.

40 En algunos modos de realización, el transductor 12 es un transductor pasivo. En modos de realización en los que tanto el sensor 11 como el transductor 12 son componentes pasivos no es necesario proporcionar una fuente de alimentación externa a estos componentes para el funcionamiento del hidrófono. Esto contribuye a minimizar el volumen del cableado necesario para desplegar el hidrófono. El uso de circuitos pasivos en el "extremo húmedo" del cable convierte asimismo a esta disposición de hidrófonos en menos susceptible de detección por terceros, en comparación con aquellos sistemas en los cuales el hidrófono está alimentado por una fuente de alimentación externa. Esto da como resultado modos de realización que son más sencillos, más fiables, más ligeros y más fáciles de desplegar.

50 En algunos modos de realización, la capacidad del transductor 12 se corresponde sustancialmente con la capacidad del sensor 11. Esto es, ambos componentes tienen una capacidad similar.

El cable de fibra óptica 15 incluye una región activa de láser en forma de un láser de realimentación distribuida 18, que en algunos modos de realización incorpora una cavidad central activa y elementos de rejilla de Bragg dispuestos en lados opuestos de la cavidad. Cuando se transmite radiación de bombeo de, por ejemplo, 980 nm en la región activa del láser, se emite una señal óptica que tiene una longitud de onda que varía de acuerdo con una deformación mecánica que actúa sobre el láser de realimentación distribuida. Información adicional relativa a tal disposición se proporciona en la solicitud provisional de patente australiana copendiente nº 2004905573, cuyos contenidos se incorporan aquí en su totalidad por referencia.

60 Como se discute en detalle a continuación, algunos modos de realización hacen uso de un transductor que convierte una señal eléctrica en un movimiento mecánico. El transductor está acoplado físicamente con el láser de realimentación distribuida 18 de tal modo que el movimiento mecánico imparte una deformación mecánica correspondiente sobre el láser de realimentación distribuida. Esto afecta a las propiedades ópticas del cable 15 de un modo observable. En concreto, cuando se aplica una alimentación al láser de realimentación distribuida se genera una señal óptica que tiene una longitud de onda correspondiente con la deformación.

La figura 3 ilustra un modo de realización de un transductor 12 para su uso con modos de realización de la presente invención. El transductor 12 está alojado en un alojamiento rígido 17, de modo que aisle el transductor 12 de la presión ejercida por el cuerpo líquido. El transductor 12 incluye un actuador piezoeléctrico 19 (denominado asimismo como "curvador piezoeléctrico") conectado mecánicamente con la porción del cable de fibra óptica 15 que tiene el láser de realimentación distribuida IS. Más concretamente, la porción del cable de fibra óptica 15 está unida a lo largo de su longitud a un lado del curvador piezoeléctrico 19. Esta unión asegura que cualquier movimiento de curvado que pueda sufrir el curvador piezoeléctrico 19 provocará una deformación mecánica correspondiente en el láser de realimentación distribuida 18. El curvador piezoeléctrico 19 está montado sobre dos patas 50 y 51 para permitir que el actuador 19 se curve como respuesta a señales eléctricas recibidas.

Los conductores 13 y 14 conectan eléctricamente el actuador piezoeléctrico 19 con el sensor 11. Así, la señal eléctrica generada por el sensor U es alimentada al actuador piezoeléctrico 19, provocando que éste se curve y deforme así el láser de realimentación distribuida 18 como respuesta a la señal eléctrica. Esto a su vez provoca una variación correspondiente en la señal óptica emitida desde el láser de realimentación distribuida 18 y transmitida a continuación a lo largo del cable de fibra óptica 15 hasta el dispositivo de decodificación de la señal de fibra óptica. De este modo, el transductor 12 convierte la señal eléctrica del sensor 11 en una señal óptica en el cable de fibra óptica 15.

La figura 6 ilustra otro modo de realización de la unidad de hidrófono 20 para su inmersión en un cuerpo líquido que define una presión estática dependiendo de la profundidad y una presión dinámica. La unidad de hidrófono 20 tiene un alojamiento externo 21 que comprende un sensor piezoeléctrico 22 y una pareja de tapones terminales 23 y 24. El sensor piezoeléctrico 22 tiene forma cilíndrica y 60 mm de longitud y 20 mm de diámetro. El sensor piezoeléctrico 22 proporciona una señal eléctrica que tiene un primer componente indicativo de la presión estática y un segundo componente indicativo de la presión dinámica.

Una resistencia 25 está conectada eléctricamente con el sensor piezoeléctrico 22. La combinación de la resistencia 25 con la capacidad inherente del sensor piezoeléctrico 22 funciona efectivamente como un filtro que recibe la señal eléctrica del sensor piezoeléctrico 22, filtra el primer componente, y emite una señal eléctrica filtrada indicativa sustancialmente tan sólo del segundo componente, proporcionando así una compensación en profundidad.

El transductor 29 está dispuesto en el alojamiento 21, aislando así el transductor 29 de la presión del cuerpo líquido. El transductor 29 incluye dos actuadores piezoeléctricos bimorfos 30 y 31, separados axialmente entre sí. Los bimorfos 30 y 31 se muestran mejor en las figuras 7 a 9. Cuando no se aplica voltaje a los bimorfos, estos asumen un estado plano neutro, como se muestra en las figuras 7 y 8. Sin embargo, los bimorfos 30 y 31 están contruidos a partir de dos capas interconectadas de material piezoeléctrico que están polarizadas de tal modo que, tras la aplicación de un voltaje, una de las capas piezoeléctrica se expande y la otra se contrae. Esto provoca que los bimorfos 30 y 31 se curven, como se muestra en la figura 9. Los actuadores piezoeléctricos bimorfos 30 y 31 están conectados eléctricamente con la resistencia 25 de tal modo que los dos bimorfos 30 y 31 se mueven en direcciones opuestas como respuesta a la señal eléctrica filtrada.

Una porción del cable de fibra óptica 32, que incluye el láser de realimentación distribuida 33, se extiende en un estado tensado suavemente entre medias de los dos bimorfos 30 y 31. Esto es, una porción del cable 32 es sostenida por los dos bimorfos 30 y 31. Por tanto, el curvado de los bimorfos 30 y 31 imparte una deformación correspondiente sobre el láser de realimentación distribuida 33, de modo que convierte la señal eléctrica filtrada en una señal de salida óptica correspondiente en el cable de fibra óptica 32.

La elasticidad mecánica del transductor 29 se corresponde sustancialmente con la elasticidad mecánica del cable de fibra óptica 32. Adicionalmente, la salida de potencia del sensor piezoeléctrico 22 se corresponde con la eficiencia y salida de deformación requerida de los actuadores piezoeléctricos 30 y 31. Más concretamente, en el modo de realización mostrado en la figura 6, el sensor piezoeléctrico 22 tiene una sensibilidad de 0,2 mV por Pascal de presión acústica. La energía eléctrica proporcionada por el sensor piezoeléctrico 22 viene dada por la ecuación $(C \cdot V^2)/2$. Así pues, la energía eléctrica proporcionada por el sensor piezoeléctrico 22 por Pascal de presión acústica es de 400×10^{-18} J. La deformación requerida en el láser de realimentación distribuida 33 por Pascal de presión acústica es de 1×10^{-9} c y el cable de fibra óptica 32 tiene una constante de rigidez $k = 16$ kN/m. La energía mecánica requerida para deformar el cable 32 viene dada por $(kx^2)/2$. Así pues, la energía mecánica requerida para deformar el cable 32 por Pascal de presión acústica es de 20×10^{-18} J. Los bimorfos 30 y 31 tienen una eficiencia efectiva de, aproximadamente, un 10%. Así pues, la alimentación de energía eléctrica de 400×10^{-18} J por Pascal de presión acústica en los bimorfos 30 y 31 da como resultado alrededor de 40×10^{-18} J de energía mecánica con la cual deformar la fibra. Por lo tanto se sigue que la salida de potencia del sensor piezoeléctrico 22 es más que suficiente para permitir que los bimorfos 30 y 31 impartan la deformación requerida sobre el láser de realimentación distribuida 33.

La figura 10 ilustra otro modo de realización de la invención, en forma de una unidad de hidrófono 20. De nuevo, esta unidad de hidrófono 20 está diseñada para su inmersión en un cuerpo líquido que define una presión estática dependiente de la profundidad y una presión dinámica. La unidad de hidrófono 20 incluye un primer alojamiento 36 para contener componentes de detección de presión, y un segundo alojamiento separado 43 para contener componentes ópticos y de transducción.

El alojamiento 43 incluye tapones terminales 42 y 46 conectados mediante una pared lateral conductora. Bajo presión, el alojamiento se comprime y al hacerlo actúa sobre una pareja de elementos piezoeléctricos 44 y 45. Como respuesta, estos elementos proporcionan una señal eléctrica que tiene componentes que indican tanto la presión estática como dinámica del cuerpo líquido. Más concretamente, estos elementos proporcionan una señal eléctrica que tiene un primer componente indicativo de la presión estática y un segundo componente indicativo de la presión dinámica.

El alojamiento 36 es rígido para aislar los componentes mantenidos en el mismo de los efectos tanto de la presión estática como dinámica. Una pareja de apilamientos piezoeléctricos 37 y 39 se dispone en el alojamiento 36, estando acoplados eléctricamente estos apilamientos con los elementos piezoeléctricos 44 y 45 por medio de las paredes laterales conductoras del alojamiento 43. Cuando se aplica presión estática o dinámica o ambas al alojamiento 43, esta presión es amplificada por el cociente del área del alojamiento 46 respecto a los elementos piezoeléctricos 44 y 45, y los elementos piezoeléctricos 44 y 45 producen un voltaje proporcional a la presión aplicada.

El voltaje producido por los elementos piezoeléctricos 43 y 45 varía a lo largo del tiempo como resultado de las presiones estática y dinámica. Como en el caso de los modos de realización anteriores, la unidad de hidrófono 20 está configurada de tal modo que efectos de voltaje provocados por la presión estática se filtran. Con este fin, se proporciona una resistencia 40 eléctricamente entre medias de los elementos piezoeléctricos 43 y 45 y los acoplamientos piezoeléctricos 37 y 39. La resistencia 40, a la luz de la capacidad inherente de los elementos piezoeléctricos 44 y 45 y de los apilamientos piezoeléctricos 37 y 39, funciona efectivamente como un filtro que recibe la señal de voltaje eléctrico de los elementos piezoeléctricos 44 y 45 y filtra los efectos de la presión estática. Esta señal de voltaje filtrada se aplica a los apilamientos piezoeléctricos 37 y 39, que en respuesta se extienden o contraen. Como tal, en el presente modo de realización, los apilamientos piezoeléctricos 27 y 39 está afectado sustancialmente tan sólo por la presión dinámica.

Aunque la resistencia se ilustra como externa a los alojamientos 46 y 43, en la práctica se puede situar en cualquiera de estos alojamientos. En algunos modos de realización, ambos alojamientos están contenidos en un tubo común relleno de aceite.

Un beneficio asociado con el posicionamiento de los apilamientos piezoeléctricos 37 y 39 en el alojamiento rígido 36 es que un láser de realimentación distribuida 38 en un cable de fibra óptica 39 puede ser aislado efectivamente de la influencia directa de la presión ejercida por el cuerpo líquido. Una porción del cable de fibra óptica 34, que incluye el láser de realimentación distribuida 38, se extiende en un estado suavemente tensado entre medias de los dos apilamientos piezoeléctricos 37 y 39, que sostienen esta porción del cable. Así pues, la extensión o contracción de los apilamientos piezoeléctricos 37 y 39 imparte una deformación correspondiente sobre el láser de realimentación distribuida 38, de modo que convierta la señal eléctrica filtrada en una señal de salida óptica correspondiente en el cable de fibra óptica 34. Los apilamientos piezoeléctricos 37 y 39 están espaciados en el alojamiento 39 para proporcionar una cantidad relativamente alta de amplitud de deformación sobre la región activa del cable de fibra óptica tras la extensión o contracción de estos apilamientos.

La combinación del alojamiento 43 y los elementos piezoeléctricos 44 y 45 proporciona un voltaje proporcional a la presión acústica. Los apilamientos piezoeléctricos 37 y 39 convierten a continuación este voltaje en un desplazamiento sobre el cable de fibra óptica, dotando así al hidrófono de una sensibilidad global a la presión acústica.

La figura 11 ilustra un modo de realización en forma de un sistema de hidrófono 60. El sistema 60 incluye una unidad de bombeo láser/recepción 61 para proporcionar una señal de realimentación a un cable de fibra óptica 62, y para medir señales recibidas a través del cable 62. El cable 62 incluye una pluralidad de láseres de realimentación distribuida separados entre sí, cada uno de los cuales tiene aproximadamente 50 mm de longitud. Cada láser de realimentación distribuida incluye un elemento dopante de tierras raras, tal como erbio, y una cavidad resonante/rejilla de Bragg. Los conjuntos de cavidad resonante/rejilla de Bragg están sintonizados individualmente de tal modo que cada láser de realimentación distribuida genera señales ópticas que tienen longitudes de onda en un intervalo diferente. La longitud de onda de la señal generada para un láser de realimentación distribuida dado cae dentro de este intervalo, determinándose el valor preciso por el grado de deformación mecánica impartido sobre el láser en un momento determinado.

Una unidad de hidrófono óptico 63 está dispuesta para contener cada láser de realimentación distribuida, y así aislar cada uno de estos de los efectos de la presión externa. Cada unidad 63 tiene aproximadamente 100 mm de longitud, y se apreciará que esta longitud es típicamente suficiente para contener y aislar uno de los láseres de realimentación distribuida. Las unidades de hidrófono óptico específicas utilizadas varían entre modos de realización, y se seleccionan opcionalmente de entre las unidades descritas anteriormente. Típicamente, cada unidad es una unidad similar que incluye:

- Un componente de detección de presión para proporcionar una señal eléctrica indicativa de la presión ejercida por el cuerpo acuático. Por ejemplo, un sensor piezoeléctrico que proporciona una señal eléctrica como respuesta a variaciones de presión sin necesidad de una fuente de alimentación externa.
- Un transductor que responde a la señal eléctrica para ejercer una deformación mecánica correspondiente en la región activa del láser contenida. Por ejemplo, en algunos modos de realización, un actuador piezoeléctrico que cambia de forma y/o configuración como respuesta a la señal eléctrica se acopla mecánicamente con la región activa del láser. De nuevo, el uso de un componente piezoeléctrico niega la necesidad de una fuente de alimentación

externa.

- Un filtro, tal como una resistencia entre medias del componente de detección de presión y el transductor, para filtrar aspectos de la señal eléctrica que son indicativos de presión estática.

En uso, el cable 62 y las unidades 63 se despliegan en un cuerpo acuático. El láser de bombeo proporciona una alimentación, y las señales ópticas generadas por el láser de alimentación distribuida son recibidas subsiguientemente. Datos indicativos de las señales ópticas recibidas se almacena típicamente para un análisis posterior. Este análisis incluye identificar a partir de las señales recibidas componentes de la señal que fueron generados en cada una de las unidades 63, o más concretamente en el láser de realimentación distribuida de cada una de estas unidades. Se debe apreciar que la sintonización individual de los láseres de realimentación distribuida hacer esto posible, y efectivamente cada unidad funciona en un canal único. Los componentes de las señales generadas relativos a cada unidad son procesados a continuación para determinar las medidas de presión dinámica realizadas por cada unidad. Esto se consigue analizando la componente de señal óptica a la luz del conocimiento de las propiedades del láser de realimentación distribuida, la sensibilidad del transductor a las señales eléctricas, los efectos de filtrado, y la sensibilidad del sensor de presión a cambios de presión.

Algunos de los modos de realización proporcionan una o más de las siguientes ventajas en un contexto de detección de láser de fibra:

- Mejoran el problema de compensación en profundidad, mejorando así potencialmente la sensibilidad y disminuyendo los requerimientos de ancho de banda para comunicar la señal de presión dinámica procedente de cada sensor individual 11.
- Reducen o eliminan la dependencia de una fuente de alimentación eléctrica externa mediante el uso de circuitos eléctricos pasivos en el “extremo húmedo”.
- Permiten utilizar un gran número de elementos de detección para formar una señal de presión combinada, que en un modo de realización ocupa un canal óptico, ampliando así la aplicación conjuntos de hidrófonos de láser de fibra a campos tales como conjuntos remolcados.
- Permiten fabricar unidades de hidrófonos pequeñas y sencillas, y espaciar estas unidades a lo largo de un único cable de fibra óptica.

Se debe apreciar que en la anterior descripción de modos de realización ejemplares de la invención, diversos elementos de la invención se agrupan a veces entre sí en un único modo de realización, figura o descripción de la misma a los efectos de simplificar la descripción y contribuir a la comprensión de uno o más de los diversos aspectos inventivos. Este procedimiento de descripción, sin embargo, no debe ser interpretado como un reflejo de una intención de que la invención reivindicada requiera más elementos de los expresamente recitados en cada reivindicación. Antes bien, como reflejan las siguientes reivindicaciones, los aspectos inventivos se basan en menos de todos los elementos de un único de los modos de realización anteriormente descritos. Así pues, las reivindicaciones que siguen a esta descripción detallada están por ello expresamente incorporadas en esta descripción detallada, representando cada reivindicación por sí misma un modo de realización distinto de esta invención. Además, aunque algunos modos de realización descritos aquí incluyen algunas y no otras características incluidas en otros modos de realización, se pretende que combinaciones de características de distintos modos de realización caigan dentro del ámbito de la invención, y formen diferentes modos de realización, como se entendería por aquellos expertos en la técnica. Por ejemplo, en las siguientes reivindicaciones, cualquiera de los modos de realización reivindicados puede ser utilizado en cualquier combinación.

Así pues, aunque se ha descrito lo que se consideran los modos de realización preferidos de la invención, aquellos expertos en la técnica reconocerán que se pueden realizar otras y adicionales modificaciones a los mismos, y se pretende reivindicar todos los mencionados cambios y modificaciones como dentro del ámbito de la invención. Por ejemplo, se puede añadir o borrar funcionalidad a los diagramas de bloques y se pueden intercambiar elementos entre bloques funcionales.

De acuerdo con un aspecto de la invención, el hidrófono puede incluir una pluralidad de sensores conectados eléctricamente con el transductor.

Además, al menos algunos de los sensores están conectados eléctricamente en paralelo entre sí.

Además, al menos algunos de los sensores están conectados eléctricamente en serie entre sí.

REIVINDICACIONES

1. Un hidrófono (10) para su inmersión en un cuerpo líquido que define una presión estática dependiente de la profundidad y una presión dinámica, comprendiendo el hidrófono:

un sensor (11) para proporcionar una señal eléctrica que tiene un primer componente indicativo de la presión estática y un segundo componente indicativo de la presión dinámica;

un filtro conectado eléctricamente con el sensor (11) de modo que reciba la señal eléctrica, filtre el primer componente, y emita una señal eléctrica filtrada que indica sustancialmente tan sólo el segundo componente; y

un transductor (12, 29) conectado eléctricamente con el filtro, respondiendo el transductor (12, 29) a este segundo componente para actuar sobre un láser de realimentación distribuida (18, 33, 38) en un cable de fibra óptica (15, 32, 62) de modo que convierta la señal eléctrica filtrada en una deformación correspondiente en el láser de realimentación distribuida (18, 33, 38) tal que el láser de realimentación distribuida (18, 33, 38) proporcione una señal de salida óptica que corresponde a la deformación y por tanto indicativa de la presión dinámica.

2. Un hidrófono (10) de acuerdo con la reivindicación 1, en el que el transductor (12, 29) es un transductor pasivo (12, 29).

3. Un hidrófono (10) de acuerdo con la reivindicación 2, en el que una impedancia del transductor (12, 29) se corresponde sustancialmente con una impedancia del sensor (11).

4. Un hidrófono (10) de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que una elasticidad mecánica del transductor (12, 29) se corresponde sustancialmente con una elasticidad mecánica del cable de fibra óptica (15, 32, 62).

5. Un hidrófono (10) de acuerdo cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el filtro define una frecuencia de corte tal que son filtrados componentes de frecuencia de la señal eléctrica por debajo de la frecuencia de corte.

6. Un hidrófono (10) de acuerdo cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el filtro incluye una resistencia (16, 25) conectada eléctricamente en paralelo con el sensor (11), actuando la resistencia (16, 25) en conjunción con una capacidad del sensor (11) para formar un circuito sintonizado RC.

7. Un hidrófono (10) de acuerdo cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el sensor (11) es un sensor cerámico piezoeléctrico

8. Un hidrófono (10) de acuerdo cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el transductor (12, 29) está alojado en un alojamiento rígido (17, 36) de modo que el transductor (12, 29) quede aislado de la presión ejercida por el cuerpo líquido.

9. Un hidrófono (10) de acuerdo cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el láser de realimentación distribuida (18, 33, 38) define una longitud de onda emitida que varía de acuerdo con una deformación mecánica que actúa sobre el láser de realimentación distribuida (18, 33, 38) y en el que el transductor (12, 29) incluye un actuador piezoeléctrico (19) conectado mecánicamente con una porción del cable de fibra óptica (15, 32, 62) que incluye el láser de realimentación distribuida (18, 33, 38), estando conectado eléctricamente el actuador piezoeléctrico (19) con el sensor (11), de modo que deforme el láser de realimentación distribuida (18, 33, 38) como respuesta a la señal eléctrica.

10. Un hidrófono (10) de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 8, incluyendo además el hidrófono:

un alojamiento externo (21) que incluye dicho sensor (11) y

en el que el transductor (12, 29) está dispuesto en el alojamiento (21), incluyendo el transductor (12, 29) al menos un actuador piezoeléctrico (19) conectado eléctricamente con el filtro, de tal modo que el actuador piezoeléctrico (19) es movable como respuesta a la señal eléctrica filtrada y en el que el actuador piezoeléctrico (19) está conectado mecánicamente con el láser de realimentación distribuida (18, 33, 38) de modo que convierta la señal eléctrica filtrada en la deformación correspondiente sobre el láser de realimentación distribuida (18, 33, 38).

11. Un hidrófono (10) de acuerdo con la reivindicación 10, en el que el actuador piezoeléctrico (19) es un primer actuador piezoeléctrico bimorfo (30).

12. Un hidrófono (10) de acuerdo con la reivindicación 11 que incluye además un segundo actuador piezoeléctrico bimorfo (31) separado del primer actuador piezoeléctrico bimorfo (30), incluyendo el cable de fibra óptica (15, 32, 62)

la región activa del láser, que se extiende entre medias de los actuadores piezoeléctricos bimorfos primero y segundo (30, 31).

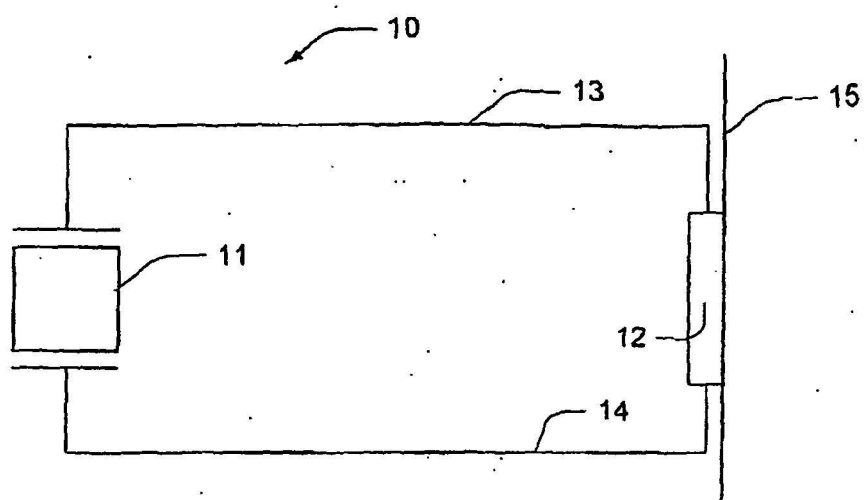


FIG. 1

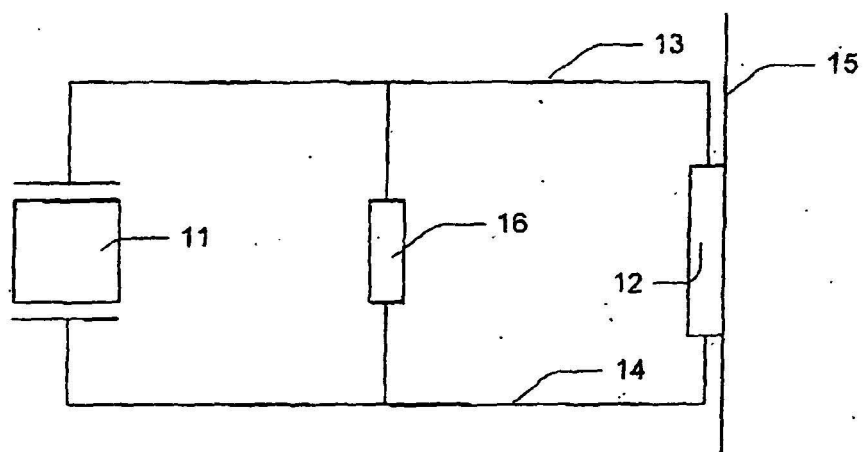


FIG. 2

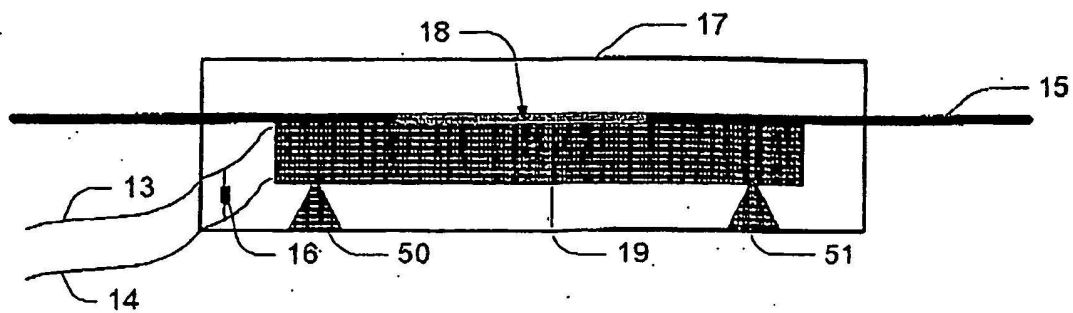


FIG. 3

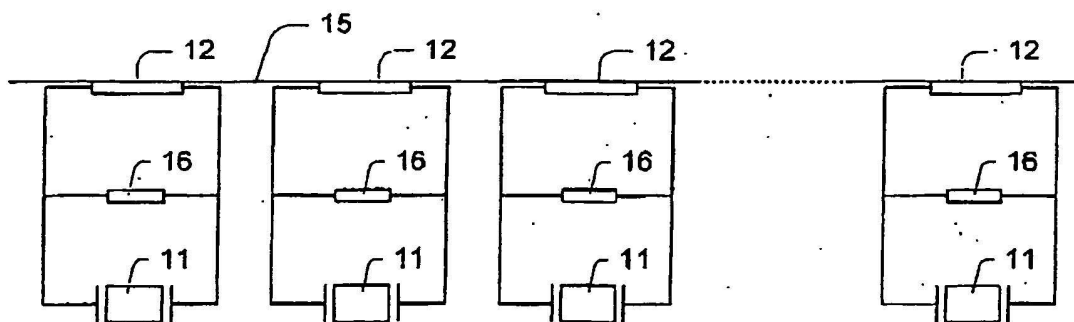


FIG. 4

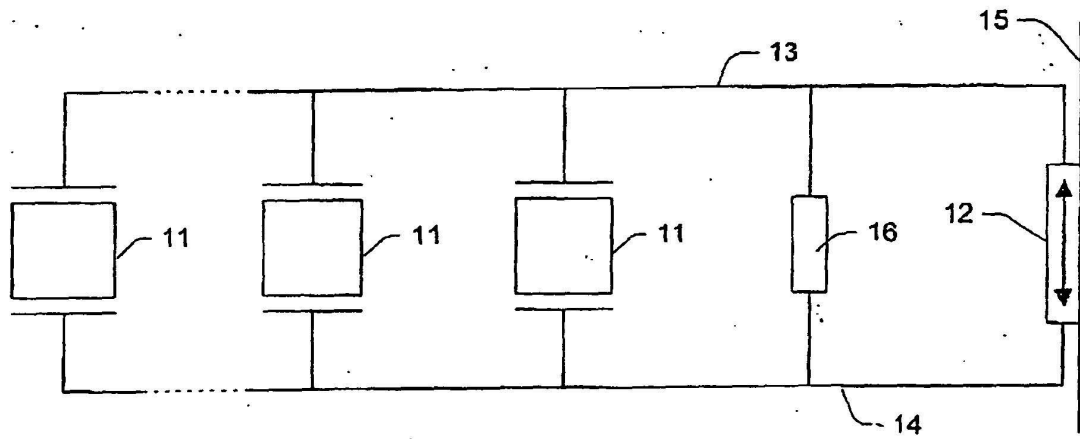


FIG. 5

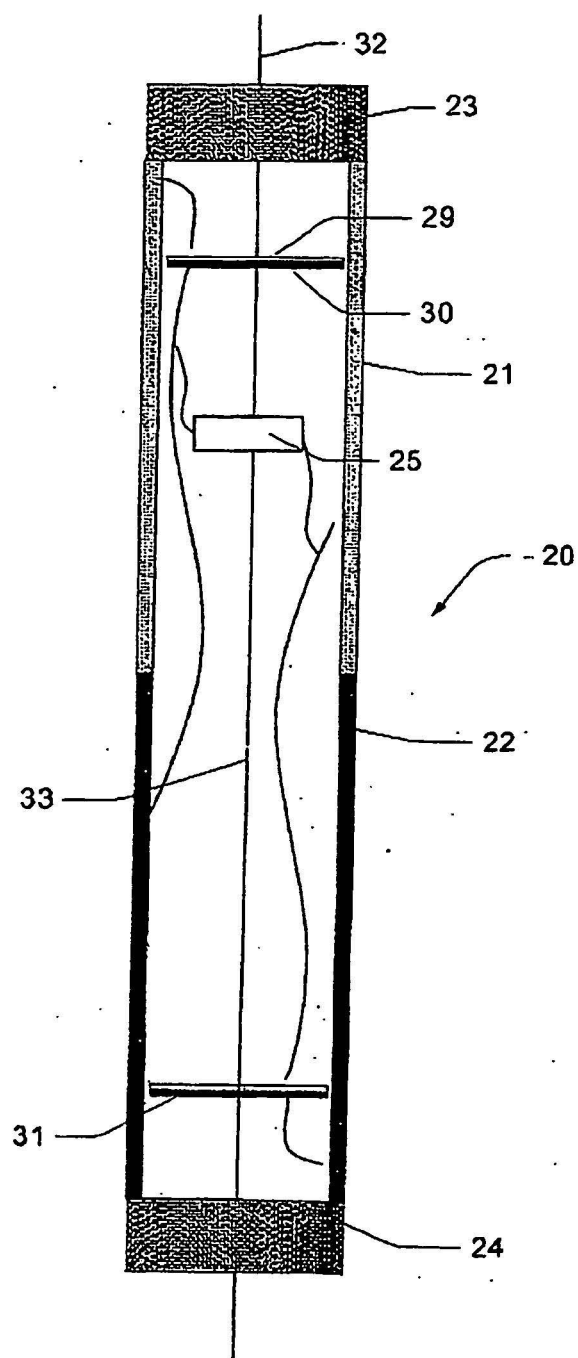


FIG. 6

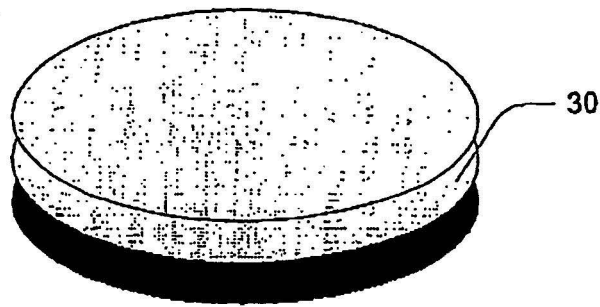


FIG. 7

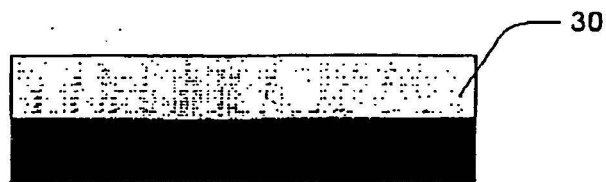


FIG. 8

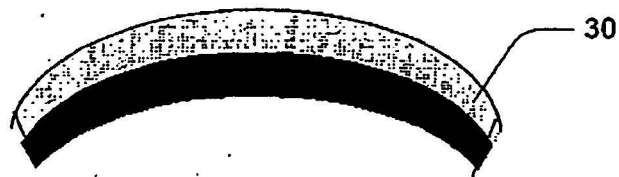


FIG. 9

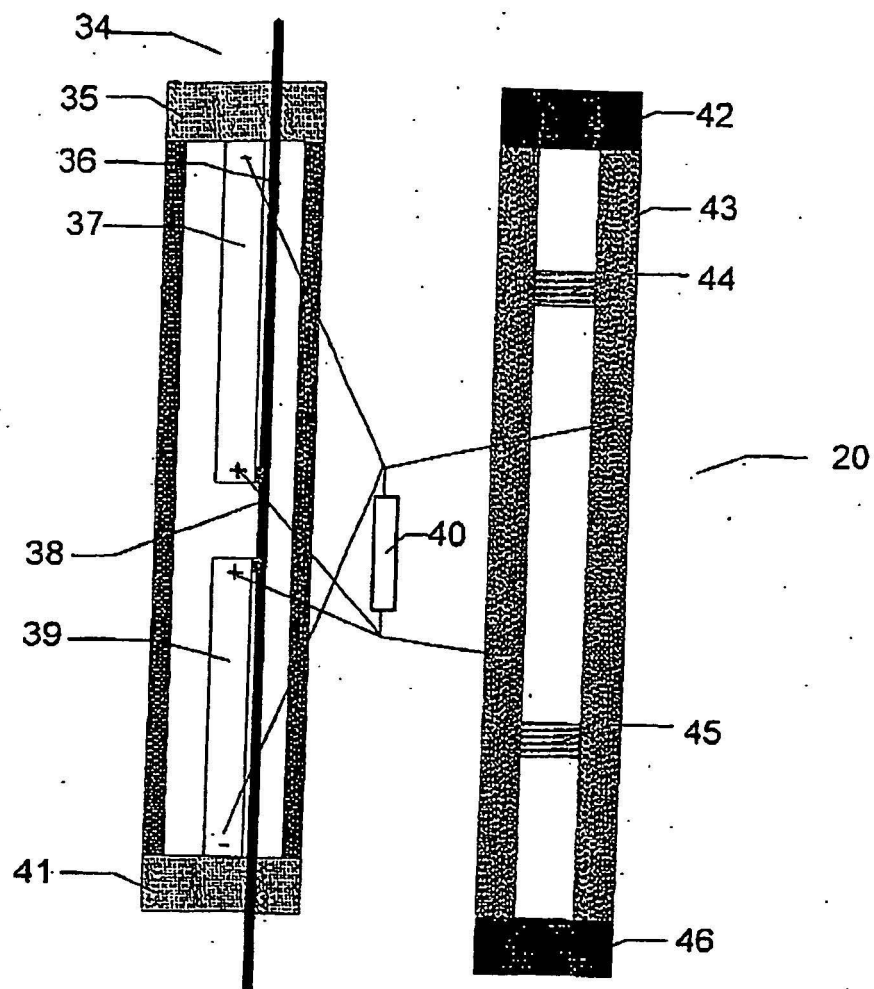


FIG. 10

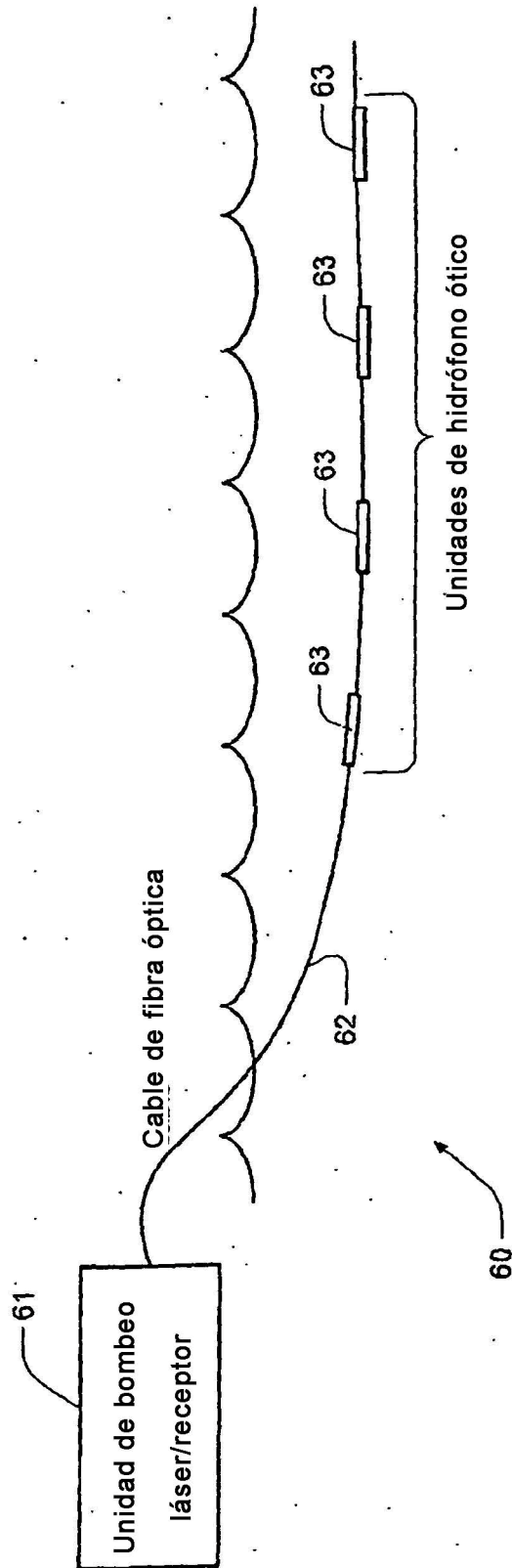


FIG. 11