



European Patent Office



(11)

EP 0 927 987 A2

(12)

EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(51) Int. Cl.⁶: **G10K 13/00**

(21) Anmeldenummer: 98124257.1

(22) Anmeldetag: 18.12.1998

(72) Erfinder:

- Pfeiffer, Helmut
79585 Steinen (DE)
- Flögel, Karl
79650 Schopfheim (DE)
- Klotz-Engmann, Gerold, Dr.
79689 Maulburg (DE)

(30) Priorität: 30.12.1997 DE 19758243

(71) Anmelder:
ENDRESS + HAUSER GMBH + CO.
D-79689 Maulburg (DE)

(74) Vertreter:
Schwepfnger, Karl-Heinz, Dipl.-Ing.
Prinz & Partner GbR
Manzingerweg 7
81241 München (DE)

(54) Schallwandlersystem

(57) Das Schallwandlersystem enthält eine Biegeschwingerplatte, die mit einem elektromechanischen Wandler gekoppelt und so ausgebildet ist, daß sie bei der Systembetriebsfrequenz zu Biegeschwingungen höherer Ordnung angeregt wird, bei denen sich auf der Biegeschwingerplatte Knotenlinien ausbilden, zwischen denen abwechselnd gegenphasig schwingende erste und zweite Schwingungsbauchzonen liegen. Zur Beeinflussung der Schallabstrahlung ist in den zueinander gleichphasig und zu den ersten Schwingungsbauchzonen gegenphasig schwingenden zweiten Schwingungsbauchzonen auf der dem Übertragungsmedium abgewandten Rückseite der Biegeschwingerplatte jeweils ein Massering konzentrisch zum Mittelpunkt der Biegeschwingerplatte angebracht. Infolge der vergrößerten Masse schwingen die zweiten Schwingungsbauchzonen mit wesentlich kleinerer Amplitude als die ersten Schwingungsbauchzonen, so daß sich die von den ersten und zweiten Schwingungsbauchzonen erzeugten gegenphasigen Schallwellen nicht vollständig gegenseitig kompensieren können. Dadurch entsteht ein Strahlungsdiagramm mit ausgeprägter Richtwirkung in der Richtung senkrecht zur Biegeschwingerplatte.

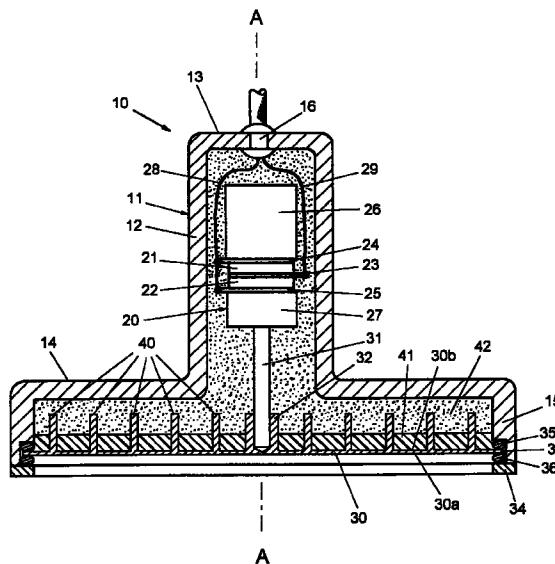


Fig. 1

EP 0 927 987 A2

Beschreibung

[0001] Die Erfindung bezieht sich auf ein Schallwandlersystem mit einem elektromechanischen Wandler, einer kreisrunden Biegeschwingerplatte, die mit dem elektromechanischen Wandler gekoppelt und so ausgebildet ist, daß sie bei der Systembetriebsfrequenz zu Biegeschwingungen höherer Ordnung angeregt wird, bei denen sich auf der Biegeschwingerplatte Knotenlinien ausbilden, zwischen denen abwechselnd gegenphasig schwingende erste und zweite Schwingungsbauchzonen liegen, so daß die Biegeschwingerplatte Schallwellen in ein an die eine Seite der Biegeschwingerplatte angrenzendes Übertragungsmedium abstrahlt bzw. durch über das Übertragungsmedium ankommende Schallwellen zu Biegeschwingungen angeregt wird, und mit Einrichtungen zur Beeinflussung der Schallabstrahlung der Biegeschwingerplatte

[0002] Schallwandlersysteme dieser Art werden insbesondere als Schallsender und/oder Schallempfänger zur Entfernungsmessung nach dem Echolotprinzip verwendet. Hierbei wird die Laufzeit einer von einem Schallsender abgestrahlten Schallwelle bis zu einem reflektierenden Objekt und die Laufzeit der am Objekt reflektierten Echoschallwelle zurück zu einem Schallempfänger gemessen. Bei bekannter Schallgeschwindigkeit ist die Laufzeit ein Maß für die zu messende Entfernung. Die Frequenz der Schallwelle kann im hörbaren Bereich oder im Ultraschallbereich liegen. In den meisten Fällen erfolgt die Entfernungsmessung nach dem Impulslaufzeitverfahren, in dem ein kurzer Schallimpuls ausgesendet und der am Objekt reflektierte Echoimpuls empfangen wird. In diesem Fall kann das gleiche Schallwandlersystem abwechselnd als Schallsender und als Schallempfänger verwendet werden.

[0003] Ein verbreitetes Anwendungsgebiet dieser Entfernungsmessung mit Schallwellen ist die Füllstandsmessung. Hierzu wird das Schallwandlersystem über dem zu messenden Füllgut oberhalb des höchsten vorkommenden Füllstandes so angebracht, daß es eine Schallwelle nach unten auf das Füllgut abstrahlt und die an der Oberfläche des Füllguts nach oben reflektierte Echoschallwelle empfängt. Die gemessene Laufzeit der Schallwelle ergibt dann den Abstand der Füllgutoberfläche vom Schallwandlersystem, und bei bekannter Einbauhöhe des Schallwandlersystems kann daraus der zu messende Füllstand berechnet werden.

[0004] Für die Erzielung großer Reichweiten bei der Entfernungsmessung mit Schallwellen werden leistungsstarke Schallwandlersysteme mit gutem Wirkungsgrad benötigt, damit das empfangene Echosignal noch eine für die Auswertung ausreichende Intensität hat. Der Wirkungsgrad hängt hauptsächlich von zwei Faktoren ab:

1. von der Anpassung des Schallwandlersystems an die Impedanz des Übertragungsmediums;

2. von der Richtwirkung des Schallwandlersystems beim Senden und beim Empfang der Schallwellen.

[0005] Die bei den bekannten Schallwandlersystemen verwendeten Biegeschwingerplatten dienen der Impedanzanpassung. Bei der Füllstandsmessung ist das Übertragungsmedium für die Schallwellen gasförmig, z.B. Luft, und das gleiche gilt auch für viele andere Anwendungsgebiete. Die üblichen elektromechanischen Wandler, wie piezoelektrische Wandler, magnetostriktive Wandler usw., haben in der Regel eine akustische Impedanz, die von der akustischen Impedanz von Luft oder anderen gasförmigen Übertragungsmedien sehr verschieden ist. Sie dienen deshalb bei den bekannten Schallwandlersystemen nur zur Anregung der großflächigen Biegeschwingerplatten, die die eigentlichen Schallstrahler bzw. Schallempfänger bilden und eine gute Impedanzanpassung an Luft oder andere gasförmige Übertragungsmedien ergeben.

[0006] Hinsichtlich der angestrebten Richtwirkung erscheinen die großflächigen Biegeschwingerplatten ebenfalls von Vorteil, da bekanntlich die Bündelung einer Strahlungskeule um so enger ist, je größer die Ausdehnung der Strahlungsfläche im Verhältnis zur Wellenlänge ist. Dem steht aber bei den Schallwandlersystemen mit einer in Biegeschwingungen höherer Ordnung versetzten Biegeschwingerplatte das Problem entgegen, daß die abwechselnd gegenphasig schwingenden Schwingungsbauchzonen gegenphasige Schallwellen abstrahlen, die miteinander zur Interferenz kommen.

[0007] Zur Vermeidung dieses ungünstigen Strahlungsdiagramms ist es aus der Zeitschrift "The Journal of the Acoustical Society of America", Vol.51, No. 3 (Teil 2), S. 953 bis 959, bekannt, die den Schwingungsbauchzonen entsprechenden Bereiche der Biegeschwingerplatte abwechselnd mit unterschiedlicher Dicke auszubilden. Der Dickenunterschied ist so bemessen, daß den von den dickeren Bereichen abgestrahlten Schallwellen eine Phasendrehung um 180° erteilt wird. Die von allen Schwingungsbauchzonen abgestrahlten Schallwellen sind dann gleichphasig, so daß das Strahlungsdiagramm ein ausgeprägtes Strahlungsmaximum in der Achsrichtung in Form einer scharf gebündelten Keule aufweist. Die Herstellung einer solchen Biegeschwingerplatte ist jedoch kompliziert und teuer. Ferner ist das mit einer solchen Biegeschwingerplatte ausgestattete Schallwandlersystem sehr schmalbandig, denn die Phasendrehung um 180° tritt nur für eine ganz bestimmte, durch die Struktur der Biegeschwingerplatte festgelegte Frequenz ein. Es ist daher nicht für einen Impulsbetrieb geeignet.

[0008] Bei einem aus der EP-PS 0 039 986 bekannten Schallwandlersystem sind die den abwechselnden Schwingungsbauchzonen entsprechenden Bereiche der Biegeschwingerplatte ebenfalls so ausgebildet, daß den von jeder zweiten Schwingungsbauchzone erzeugten Schallwellen eine Phasendrehung um 180° erteilt

wird, so daß die von allen Schwingungsbauchzonen abgestrahlten Schallwellen im wesentlichen gleichphasig sind. Zu diesem Zweck ist auf die betreffenden Bereiche der Abstrahlfläche der Biegeschwingerplatte ein verlustarmes akustisches Ausbreitungsmaterial von solcher Dicke aufgebracht, daß die gewünschte Phasendrehung erzielt wird. Als verlustarmes akustisches Ausbreitungsmaterial für diesen Zweck werden geschlossenzellige Schaumkunststoffe oder ungeschäumte Elastomere vorgeschlagen. Dieses Material muß entsprechend der Form der Schwingungsbauchzonen ausgeschnitten und auf die Biegeschwingerplatte aufgeklebt werden. Dadurch ergeben sich Probleme, wenn das Schallwandlersystem im Betrieb mechanischen Beanspruchungen oder chemischen Einwirkungen ausgesetzt ist, wie es insbesondere bei der Füllstandsmessung der Fall ist. Die aufgeklebten Kunststoffteile sind leicht verletzbar und weisen gegenüber vielen chemisch aggressiven Medien nur eine geringe Beständigkeit auf. Ferner vergrößern sie die Gefahr einer die Funktionsfähigkeit beeinträchtigenden Ansatzbildung von staubförmigen, pulverförmigen oder klebrigen Füllgütern.

[0009] Bei einem aus der DE-PS 36 02 351 bekannten Schallwandlersystem ist zur Beeinflussung der Schallabstrahlung ein Schallstrahlformer vorgesehen, der für Schallwellen undurchlässige Schallwellensperren aufweist, die im Abstand von der Biegeschwingerplatte und von dieser akustisch entkoppelt vor jeweils gleichphasig zueinander schwingenden Schwingungsbauchzonen liegen, während vor den übrigen, zu diesen Schwingungsbauchzonen gegenphasig schwingenden Schwingungsbauchzonen für Schallwellen durchlässige Bereiche liegen. Der Schallstrahlformer ergibt die Wirkung, daß von der Biegeschwingerplatte nur gleichphasige Schallwellen abgestrahlt werden, während die dazu gegenphasigen Schallwellen durch die Schallwellensperren unterdrückt werden.

[0010] Aufgabe der Erfindung ist die Schaffung eines Schallwandlersystems der eingangs angegebenen Art, das eine gute Richtwirkung aufweist und zugleich sehr unempfindlich gegen Störgeräusche, Verschmutzung, Ansatzbildung und die Einwirkung aggressiver Medien ist.

[0011] Nach der Erfindung wird diese Aufgabe dadurch gelöst, daß in den zueinander gleichphasig und zu den ersten Schwingungsbauchzonen gegenphasig schwingenden zweiten Schwingungsbauchzonen auf der dem Übertragungsmedium abgewandten Rückseite der Biegeschwingerplatte jeweils ein Massering konzentrisch zum Mittelpunkt der Biegeschwingerplatte angebracht ist.

[0012] Bei dem erfindungsgemäßen Schallwandlersystem ergeben die in den gleichphasig schwingenden zweiten Schwingungsbauchzonen angebrachten Masseringe die Wirkung, daß diese Schwingungsbauchzonen mit verringerter Amplitude schwingen, während zugleich die Schwingungsamplitude der zu diesen zwei-

ten Schwingungsbauchzonen gegenphasig schwingenden ersten Schwingungsbauchzonen vergrößert wird. Die von abwechselnden Schwingungsbauchzonen abgestrahlten Schallwellen, die zueinander gegenphasig sind und miteinander zur Interferenz kommen, haben daher sehr unterschiedliche Amplituden, so daß die schwächeren Schallwellen unterdrückt werden und sich nur noch gleichphasige Schallwellen erheblicher Intensität in der Hauptstrahlungsrichtung senkrecht zur Biegeschwingerplatte ausbreiten. Dadurch ergibt sich ein Strahlungsdiagramm mit ausgeprägter Richtwirkung in der Hauptstrahlungsrichtung. Dabei ist die den Umgebungseinflüssen ausgesetzte Stirnseite des Schallwandlersystems ausschließlich durch die glatte und ebene Vorderseite der Biegeschwingerplatte gebildet, während alle Einrichtungen zur Beeinflussung der Schallabstrahlung auf der gegen die Umwelteinflüsse geschützten Rückseite der Biegeschwingerplatte angeordnet sind. Dadurch ergibt sich die große Unempfindlichkeit des Schallwandlersystems gegen Verschmutzung, Ansatzbildung und die Einwirkung aggressiver Medien. Das Schallwandlersystem eignet sich daher besonders gut für einen Einsatz unter rauen Umgebungsbedingungen, wie sie insbesondere bei industriellen Anwendungen herrschen.

[0013] Vorteilhafte Ausgestaltungen und Weiterbildungen der Erfindung sind in den Unteransprüchen gekennzeichnet.

[0014] Weitere Merkmale und Vorteile der Erfindung ergeben sich aus der folgenden Beschreibung von Ausführungsbeispielen, die in der Zeichnung dargestellt sind. In der Zeichnung zeigen:

Fig. 1 eine schematische Schnittansicht eines Schallwandlersystems nach der Erfindung,

Fig. 2 eine Draufsicht auf die dem Übertragungsmedium abgewandte Rückseite der Biegeschwingerplatte des Schallwandlers von Fig. 1,

Fig. 3 eine schematische Darstellung zur Erläuterung der Funktionsweise der Biegeschwingerplatte eines Schallwandlersystems bekannter Art,

Fig. 4 eine schematische Darstellung zur Erläuterung der Funktionsweise der Biegeschwingerplatte des Schallwandlersystems von Fig. 1 und

Fig. 5 eine abgeänderte Ausführungsform des Schallwandlersystems von Fig. 1.

[0015] Das in Fig. 1 dargestellte Schallwandlersystem 10 hat ein Gehäuse 11 mit einem rohrförmigen Abschnitt 12, der am einen Ende durch einen Boden 13 verschlossen ist und am entgegengesetzten offenen

Ende in einen erweiterten Abschnitt 14 übergeht, der die Form einer flachen Schale mit einem Rand 15 hat. In einer Öffnung des Bodens 13 ist eine Kabeldurchführung 16 angebracht. Das ganze Gehäuse 11 ist rotationssymmetrisch zu seiner Achse A-A, so daß der Rand 15 des erweiterten Abschnitts 14 kreisrund ist.

[0016] Im rohrförmigen Abschnitt 12 ist ein elektromechanischer Wandler 20 angeordnet, der bei dem dargestellten Ausführungsbeispiel ein piezoelektrischer Wandler ist. Er besteht aus zwei Piezoelementen 21 und 22, die sandwichartig unter Einfügung einer Mittelelektrode 23 zwischen zwei Außenelektroden 24, 25 angeordnet sind. Der aus den Piezoelementen 21, 22 und den Elektroden 23, 24, 25 bestehende Sandwichblock ist zwischen einer Stützmasse 26 und einer Koppelmasse 27 eingespannt. Die beiden Außenelektroden 24 und 25 sind elektrisch mit einem gemeinsamen Anschlußleiter 28 verbunden. Die Mittelelektrode 23 ist mit einem zweiten Anschlußleiter 29 verbunden. Somit sind die beiden Piezoelemente 21, 22 elektrisch parallel geschaltet, während sie mechanisch in Serie liegen.

[0017] In dem erweiterten flachen Abschnitt 14 ist eine dünne kreisrunde Biegeschwingerplatte 30 angeordnet, die durch eine Stange 31 mit dem elektromechanischen Wandler 20 mechanisch verbunden ist. Die Stange 31 ragt in die axiale Bohrung einer in der Mitte der Biegeschwingerplatte 30 angebrachten Buchse 32, mit der sie auf geeignete Weise fest verbunden ist, beispielsweise durch Einschrauben, Einpressen, Verschweißen oder Verlöten. Die Biegeschwingerplatte 30 liegt im Abstand vom Boden des erweiterten Gehäuseabschnitts 14. Ihr Durchmesser ist etwas größer als der Innendurchmesser des Randes 15 und etwas kleiner als der Innendurchmesser einer am stirnseitigen Ende des Randes 15 gebildeten Ausnehmung 33, in der der Rand der Biegeschwingerplatte 30 mittels eines Halterings 34 zwischen zwei O-Ringen 35 und 36 eingespannt ist. Der Haltering kann in einer beliebigen geeigneten Weise an dem Rand 15 befestigt sein, beispielsweise mittels Schrauben oder durch Schweißen, Löten oder Kleben. Die O-Ringe 35 und 36 dienen zur Körperschallentkopplung zwischen der Biegeschwingerplatte 30 und dem Gehäuse 11, und sie verhindern zugleich das Eindringen von unerwünschten Fremdstoffen in das Innere des Gehäuses 11 rings um den Rand der Biegeschwingerplatte 30.

[0018] Die Vorderseite 30a der Biegeschwingerplatte 30, die mit dem Übertragungsmedium (z. B. Luft) in Kontakt steht, in das Schallwellen abgestrahlt oder aus dem Schallwellen empfangen werden sollen, ist vollkommen glatt und eben. Dagegen sind auf der dem Übertragungsmedium abgewandten Rückseite 30b der Biegeschwingerplatte 30, die im Inneren des erweiterten Gehäuseabschnitts 14 liegt, kreisrunde konzentrische Masseringe 40 angebracht, die in Fig. 1 im Schnitt und in Fig. 2 in Draufsicht auf der Rückseite 30b der Biegeschwingerplatte 30 zu erkennen sind. Die Masseringe 40 können auf beliebige geeignete Weise mit der

Biegeschwingerplatte 30 verbunden sein. Sie können, wie bei dem Ausführungsbeispiel von Fig. 1 dargestellt ist, ebenso wie die zentrale Buchse 32 in einem Stück mit der Biegeschwingerplatte 30 gefertigt sein, beispielsweise dadurch, daß sie aus einer massiven Metallplatte herausgefräst sind. Sie können aber auch als getrennte Teile hergestellt und dann auf der Biegeschwingerplatte 30 befestigt werden, beispielsweise durch Schweißen, Löten oder Kleben. Auch in diesem Fall bestehen die Masseringe 40 vorzugsweise aus Metall. Die nicht von der Buchse 32 und den Masseringen 40 besetzten Abschnitte der Rückseite 30b der Biegeschwingerplatte 30 sind mit einem Schaumstoff 41 bedeckt, dessen Dicke kleiner als die Höhe der Masseringe 40 ist. Der gesamte übrige Innenraum des Gehäuses 11 ist mit einer Vergußmasse 42 aus einem Kunststoff hoher Dämpfung gefüllt, in die auch die aus dem Schaumstoff 41 herausragenden Abschnitte der Masseringe 40 eingebettet sind. Der Schaumstoff 41 verhindert, daß die Vergußmasse 42 mit der Biegeschwingerplatte 30 in Kontakt kommt. Der Schaumstoff 41 kann beispielsweise aus Polyethylen oder Polybutadien bestehen. Für die Vergußmasse 42 kann das unter der Marke "Nafturan" bekannte 2-Komponenten-Gießharz auf Polyurethanbasis oder der unter der Marke "Eccosil" bekannte Silikon-Gummi verwendet werden.

[0019] Das in Fig. 1 dargestellte Schallwandlersystem 10 dient dem Zweck, elektrische Schwingungen in Schallwellen umzusetzen, die in der Richtung der Achse A-A, also senkrecht zur Ebene der Biegeschwingerplatte 30 ausgesendet werden, oder Schallwellen, die aus dieser Richtung kommen, in elektrische Schwingungen umzusetzen. Die Sende- und Empfangsrichtung liegt in Fig. 1 senkrecht unter dem Schallwandlersystem, was der üblichen Einbauweise entspricht, wenn das Schallwandlersystem nach Art eines Echolotes zur Messung eines Füllstandes verwendet wird. In diesem Anwendungsfall ist das Schallwandlersystem oberhalb des höchsten vorkommenden Füllstandes montiert, und die Schallwellen laufen durch die Luft nach unten, bis sie auf die Oberfläche des Füllguts treffen und dort reflektiert werden, so daß sie als Echosignale zu dem Schallwandlersystem zurückkehren. Aus der Laufzeit der Schallwellen ergibt sich der Abstand zwischen der Füllgutoberfläche und dem Schallwandlersystem, und aus diesem Abstand kann der Füllstand berechnet werden. Zur Laufzeitmessung werden die Schallwellen gewöhnlich in Form von kurzen Impulsen ausgesendet, und es wird der Zeitabstand bis zum Eintreffen der Echoimpulse gemessen. In diesem Fall kann das dargestellte Schallwandlersystem abwechselnd als Schallsender und als Schallempfänger verwendet werden.

[0020] Für andere Anwendungszwecke, beispielsweise zur Entfernungsmessung, kann das Schallwandlersystem natürlich in jeder beliebigen anderen Richtung betrieben werden.

[0021] In allen Fällen sind zur Erzielung großer Reich-

weiten mit möglichst gutem Wirkungsgrad, also für den Empfang ausreichend starker Echosignale mit möglichst geringer Sendeleistung, zwei Forderungen zu erfüllen:

1. eine gute Anpassung des Schallwandlersystems an die akustische Impedanz des Übertragungsmediums, z.B. Luft;
2. eine gute Richtwirkung, d.h. eine möglichst scharfe Bündelung des Schallwellenbündels (Schallstrahls) in der gewünschten Übertragungsrichtung, also in der Richtung der Achse A-A.

[0022] Zur Erfüllung der ersten Forderung wird die Biegeschwingerplatte 30 als Schallstrahler verwendet. Wenn an die Elektroden 23, 24, 25 über die Anschlußleiter 28, 29 eine elektrische Wechselspannung angelegt wird, führen die Piezoelemente 21, 22 Dickenschwingungen aus, die den mit den Elementen 26, 27 abgestimmten Koppelschwinger zu longitudinalen Resonanzschwingungen anregen, die auf die Stange 31 übertragen werden, so daß diese in Longitudinalschwingungen in der Richtung der Achse A-A versetzt wird. Die Systembetriebsfrequenz, d.h. die Frequenz der elektrischen Wechselspannung und somit die Frequenz der vom piezoelektrischen Wandler erzeugten mechanischen Schwingung, ist wesentlich höher als die Biegeschwings-Eigenresonanzfrequenz der Biegeschwingerplatte 30, so daß die Biegeschwingerplatte 30 von der Stange 31 zu Biegeschwingungen höherer Ordnung angeregt wird. Die in Biegeschwingungen höherer Ordnung versetzte großflächige Biegeschwingerplatte 30 ergibt eine gute Impedanzanpassung an das Übertragungsmedium Luft oder ein anderes gasförmiges Übertragungsmedium.

[0023] Der Erfüllung der zweiten Forderung dienen die auf der Rückseite 30b der Biegeschwingerplatte 30 angebrachten Masseringe 40. Die Funktion der Masseringe 40 und die dadurch erzielte Wirkung wird an Hand der Figuren 3 und 4 erläutert.

[0024] Fig. 3 zeigt schematisch das Schwingungsverhalten eines Abschnitts einer zu Biegeschwingungen höherer Ordnung angeregten Biegeschwingerplatte herkömmlicher Art, die aus einer auf beiden Seiten glatten und ebenen dünnen Metallplatte gleichförmiger Dicke besteht. Die Gerade M bezeichnet die Mittelebene der Biegeschwingerplatte in der Ruhelage. Im angeregten Zustand bilden sich auf der Biegeschwingerplatte konzentrische Knotenlinien K aus, die während der Schwingungen in der Ruhelage auf der Mittelebene M bleiben. Die Abstände der Knotenlinien K sind durch die Systembetriebsfrequenz bestimmt; alle Knotenlinien haben voneinander den gleichen Abstand $\lambda/2$, der der halben Wellenlänge der stehenden Biegewelle entspricht, die sich bei der Systembetriebsfrequenz auf der Biegeschwingerplatte 30 ausbildet. Zwischen den Knotenlinien K liegen ringförmige Mem-

branabschnitte, die abwechselnde erste Schwingungsbauchzonen B1 und zweite Schwingungsbauchzonen B2 bilden. Alle ersten Schwingungsbauchzonen B1 schwingen gleichphasig zueinander. Alle zweiten Schwingungsbauchzonen B2 schwingen ebenfalls gleichphasig zueinander, aber gegenphasig zu den ersten Schwingungsbauchzonen B1. In Fig. 3 ist der Schwingungszustand der Schwingungsbauchzonen B1 und B2 in einem Zeitpunkt, der der maximalen Auslenkung in einer Richtung entspricht, durch eine volle Linie dargestellt, und der Schwingungszustand in einem Zeitpunkt, der der maximalen Auslenkung in der entgegengesetzten Richtung, also nach einer Phasenänderung um 180° entspricht, ist durch eine gestrichelte Linie dargestellt. Die Amplituden der Auslenkungen sind für die Schwingungsbauchzonen B1 und B2 gleich groß; sie sind zur Verdeutlichung übertrieben groß dargestellt.

[0025] Jede Schwingungsbauchzone erzeugt eine Schallwelle, die sich in dem angrenzenden Übertragungsmedium ausbreitet. Hinsichtlich der angestrebten Richtwirkung besteht jedoch das Problem, daß die von benachbarten Schwingungsbauchzonen erzeugten Schallwellen jeweils gegenphasig zueinander sind, wobei diese abwechselnd gegenphasigen Schallwellen bei dem in Fig. 3 dargestellten Schallwandlersystem herkömmlicher Art gleiche Amplituden haben, so daß sie sich in der gewünschten Ausbreitungsrichtung senkrecht zur Ebene M der Biegeschwingerplatte gegenseitig kompensieren. Eine solche Schallwellenverteilung ergibt keine ausgeprägte Richtwirkung in der senkrecht zur Biegeschwingerplatte liegenden Achsrichtung; vielmehr hat das Richtdiagramm starke Strahlungsnebenkeulen, die konzentrisch zu dieser Achsrichtung liegen, und weitere schwächere Nebenzipfel. Infolge dieser schlechten Richtwirkung geht insbesondere bei größeren Meßentfernungen der größte Teil der gesendeten Schallenergie verloren, ohne zum Schallwandlersystem zurückzukehren. Das Schallwandlersystem hat beim Empfang das gleiche Richtdiagramm wie beim Senden.

[0026] Fig. 4 zeigt das Schwingungsverhalten der mit den Masseringen 40 versehenen Biegeschwingerplatte 30 von Fig. 1. Die Masseringe 40 sind so angeordnet, daß bei Schwingungen mit der Systembetriebsfrequenz jeweils ein Massering 40 in der Mitte jeder zweiten Schwingungsbauchzone B2 liegt, während die ersten Schwingungsbauchzonen B1 frei von Masseringen 40 sind. Infolge der zusätzlichen Masse schwingen die zweiten Schwingungsbauchzonen B2 mit verringerter Amplitude um die Mittelebene M der Biegeschwingerplatte 30. Der Abstand zwischen zwei Knotenlinien K, zwischen denen eine mit einem Massering 40 versehene zweite Schwingungsbauchzone B2 liegt, ist auf $\lambda/2 - \Delta$ verringert, und der Abstand zwischen zwei Knotenlinien K, zwischen denen eine erste Schwingungsbauchzone B1 liegt, ist entsprechend auf $\lambda/2 + \Delta$ vergrößert. Dies hat zur Folge, daß die ersten Schwingungsbauchzonen B1 mit einer wesentlich größeren Amplitude als die zweiten Schwingungsbauchzonen B2

schwingen und dementsprechend die von den ersten Schwingungsbauchzonen B1 erzeugten Schallwellen eine wesentlich größere Amplitude haben als die von den zweiten Schwingungsbauchzonen B2 erzeugten Schallwellen. Die zueinander parallelen gegenphasigen Schallwellen können sich daher nicht mehr vollständig gegenseitig kompensieren; vielmehr werden die von den ersten Schwingungsbauchzonen B1 stammenden Schallwellen nur geringfügig abgeschwächt, während die von den zweiten Schwingungsbauchzonen B2 stammenden Schallwellen vollständig unterdrückt werden. Dadurch ergibt sich für das Schallwandlersystem von Fig. 1 eine Schallabstrahlung mit ausgeprägter Richtwirkung in der Richtung der Achse A-A, also senkrecht zur Ebene der Biegeschwingerplatte 30.

[0027] Die Masseringe 40 müssen in gleichen Abständen angeordnet sein, damit die dazwischen liegenden ringförmigen Membranabschnitte der ersten Schwingungsbauchzonen B1 auf gleicher Resonanzfrequenz und in Phase schwingen. Die Resonanzfrequenz kann durch den Ringabstand und die Plattendicke variiert werden. Weiterhin ist darauf zu achten, daß der Mittenabstand der Schwingungsbauchzonen kleiner als die Schallwellenlänge in Luft ist, da sonst durch konstruktive Interferenz der von den einzelnen Schwingungsbauchzonen stammenden Schallwellen zusätzliche Nebenmaxima in der Richtcharakteristik entstehen.

[0028] Durch geringfügiges Verstimmen einzelner ringförmiger Membranabschnitte kann die radiale Amplitudenverteilung und damit die Richtcharakteristik an gegebene Anforderungen angepaßt werden. Zur Reduktion der Nebenmaxima in der Richtcharakteristik kann die Verteilung beispielsweise an eine Gauß-Verteilung oder an eine Kaiser-Bessel-Verteilung angepaßt werden.

[0029] Bei der Distanzmessung nach dem Impuls-Echolotverfahren wird, wie zuvor erläutert wurde, das Schallwandlersystem abwechselnd als Sender und als Empfänger verwendet. Infolge des Nachschwingens nach der Aussendung jedes Schallimpulses kann der Schallwandler nicht sofort als Empfänger arbeiten, so daß eine Totzeit besteht, in der Echoimpulse von Nahzielen nicht empfangen werden können. Die kürzeste meßbare Distanz wird als Blockdistanz bezeichnet. Um diese Blockdistanz zu verkürzen, ist es erforderlich, das Nachschwingen möglichst kurz zu halten, was durch eine entsprechende Dämpfung erreicht werden kann. Bei dem in Fig. 1 dargestellten Schallwandlersystem wird diese Dämpfung auf vorteilhafte Weise dadurch erreicht, daß die auf der Rückseite 30b der Biegeschwingerplatte 30 angebrachten Masseringe 40 teilweise in die Vergußmasse 42 hoher Dämpfung eingebettet sind. Dadurch wird das Impulsverhalten des Schallwandlersystems wesentlich verbessert und das Nachschwingen deutlich reduziert.

[0030] In Fig. 5 ist eine abgeänderte Ausführungsform des Schallwandlersystems von Fig. 1 dargestellt. Gegenüber dem Schallwandlersystem von Fig. 1

besteht zunächst der Unterschied, daß der elektromechanische Wandler 20 mit der Biegeschwingerplatte 30 nicht über eine in der Mitte der Biegeschwingerplatte 30 angebrachte Buchse gekoppelt ist, sondern über den innersten Massering 40. Zu diesem Zweck ist am Ende der Stange 31 ein Kopplungsteil 48 angebracht, das mit der der Biegeschwingerplatte 30 abgewandten Stirnseite des innersten Masserings 40 verbunden ist. Somit erfolgt die Anregung der Schwingungen der Biegeschwingerplatte 30 in einer zweiten Schwingungsbauchzone B2 und nicht, wie bei der Ausführungsform von Fig. 1, in einer ersten Schwingungsbauchzone B1. Da die zweiten Schwingungsbauchzonen B2 mit einer geringeren Amplitude schwingen als die ersten Schwingungsbauchzonen B1, ergibt sich durch diese Art der Anregung automatisch eine Amplitudentransformation und damit ein höherer Wirkungsgrad des Schallwandlersystems. Da alle Masseringe 40 gleichphasig und mit gleicher Amplitude schwingen, ist es auch möglich, den elektromechanischen Wandler 20 über das Kopplungsteil 48 mit mehreren Masseringen 40 zu verbinden.

[0031] Ein weiterer Unterschied gegenüber der Ausführungsform von Fig. 1 besteht bei der Ausführungsform von Fig. 5 darin, daß auf der Rückseite 30b der Biegeschwingerplatte 30 in jeder ersten Schwingungsbauchzone ebenfalls ein Massering 50 angebracht ist, der in der zentralen Schwingungsbauchzone zu einer Massescheibe 51 geschrumpft ist. Die Masseringe 50 und die Massescheibe 51 haben eine sehr viel kleinere Masse als jeder Massering 40. Diese zusätzlichen kleinen Masseteile 50, 51 ermöglichen eine Abstimmung der Resonanzfrequenz der die ersten Schwingungsbauchzonen bildenden ringförmigen Membranabschnitte.

[0032] Die beiden Maßnahmen, durch die sich die Ausführungsform von Fig. 5 von der Ausführungsform von Fig. 1 unterscheidet, sind unabhängig voneinander; die Anregung der Biegeschwingerplatte 30 über die Masseringe 40 kann auch angewendet werden, wenn die Masseteile 50, 51 nicht vorhanden sind, und andererseits könnten Masseringe nach Art der Masseringe 50 auch bei der Ausführungsform von Fig. 1 angebracht werden.

[0033] In allen Fällen zeichnet sich das Schallwandlersystem dadurch aus, daß die den Umgebungseinflüssen ausgesetzte Stirnseite des Schallwandlersystems ausschließlich durch die glatte und ebene Vorderseite der Biegeschwingerplatte 30 gebildet ist, während alle Einrichtungen zur Beeinflussung der Schallabstrahlung auf der gegen die Umwelteinflüsse geschützten Rückseite der Biegeschwingerplatte angeordnet sind. Das Schallwandlersystem ist daher sehr unempfindlich gegen Verschmutzung, Ansatzbildung und die Einwirkung aggressiver Medien.

Patentansprüche

1. Schallwandlersystem mit einem elektromechanischen Wandler, einer kreisrunden Biegeschwingerplatte, die mit dem elektromechanischen Wandler gekoppelt und so ausgebildet ist, daß sie bei der Systembetriebsfrequenz zu Biegeschwingungen höherer Ordnung angeregt wird, bei denen sich auf der Biegeschwingerplatte Knotenlinien ausbilden, zwischen denen abwechselnd gegenphasig schwingende erste und zweite Schwingungsbauchzonen liegen, so daß die Biegeschwingerplatte Schallwellen in ein an die eine Seite der Biegeschwingerplatte angrenzendes Übertragungsmedium abstrahlt bzw. durch über das Übertragungsmedium ankommende Schallwellen zu Biegeschwingungen angeregt wird, und mit Einrichtungen zur Beeinflussung der Schallabstrahlung der Biegeschwingerplatte, dadurch gekennzeichnet, daß in den zueinander gleichphasig und zu den ersten Schwingungsbauchzonen gegenphasig schwingenden zweiten Schwingungsbauchzonen auf der dem Übertragungsmedium abgewandten Rückseite der Biegeschwingerplatte jeweils ein Massering konzentrisch zum Mittelpunkt der Biegeschwingerplatte angebracht ist.

5

10

15

20

25
2. Schallwandlersystem nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß in den ersten Schwingungsbauchzonen auf der dem Übertragungsmedium abgewandten Rückseite der Biegeschwingerplatte jeweils ein zum Mittelpunkt der Biegeschwingerplatte konzentrischer Massering angebracht ist, dessen Masse wesentlich kleiner als die Masse jedes in einer zweiten Schwingungsbauchzone angebrachten Masserings ist.

30

35
3. Schallwandlersystem nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Masseringe aus Metall bestehen.

40
4. Schallwandlersystem nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß die Masseringe einstückig mit der Biegeschwingerplatte ausgebildet sind.

45
5. Schallwandlersystem nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß der sich an die Rückseite der Biegeschwingerplatte anschließende Raum mit einer Vergußmasse hoher Dämpfung gefüllt ist, in die die in den zweiten Schwingungsbauchzonen angebrachten Masseringe wenigstens teilweise eingebettet sind.

50
6. Schallwandlersystem nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß die nicht von den Masseringen bedeckten Abschnitte der Rückseite der Biegeschwingerplatte mit einem Schaumstoff bedeckt sind, dessen Dicke kleiner als die Höhe der Masse-

55

ringe ist und der verhindert, daß die Vergußmasse mit der Biegeschwingerplatte in direkte Berührung kommt.

7. Schallwandlersystem nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß der elektromechanische Wandler direkt mit der Biegeschwingerplatte in deren Mitte gekoppelt ist.

8. Schallwandlersystem nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß der elektromechanische Wandler mit der Biegeschwingerplatte über wenigstens einen der Masseringe gekoppelt ist.

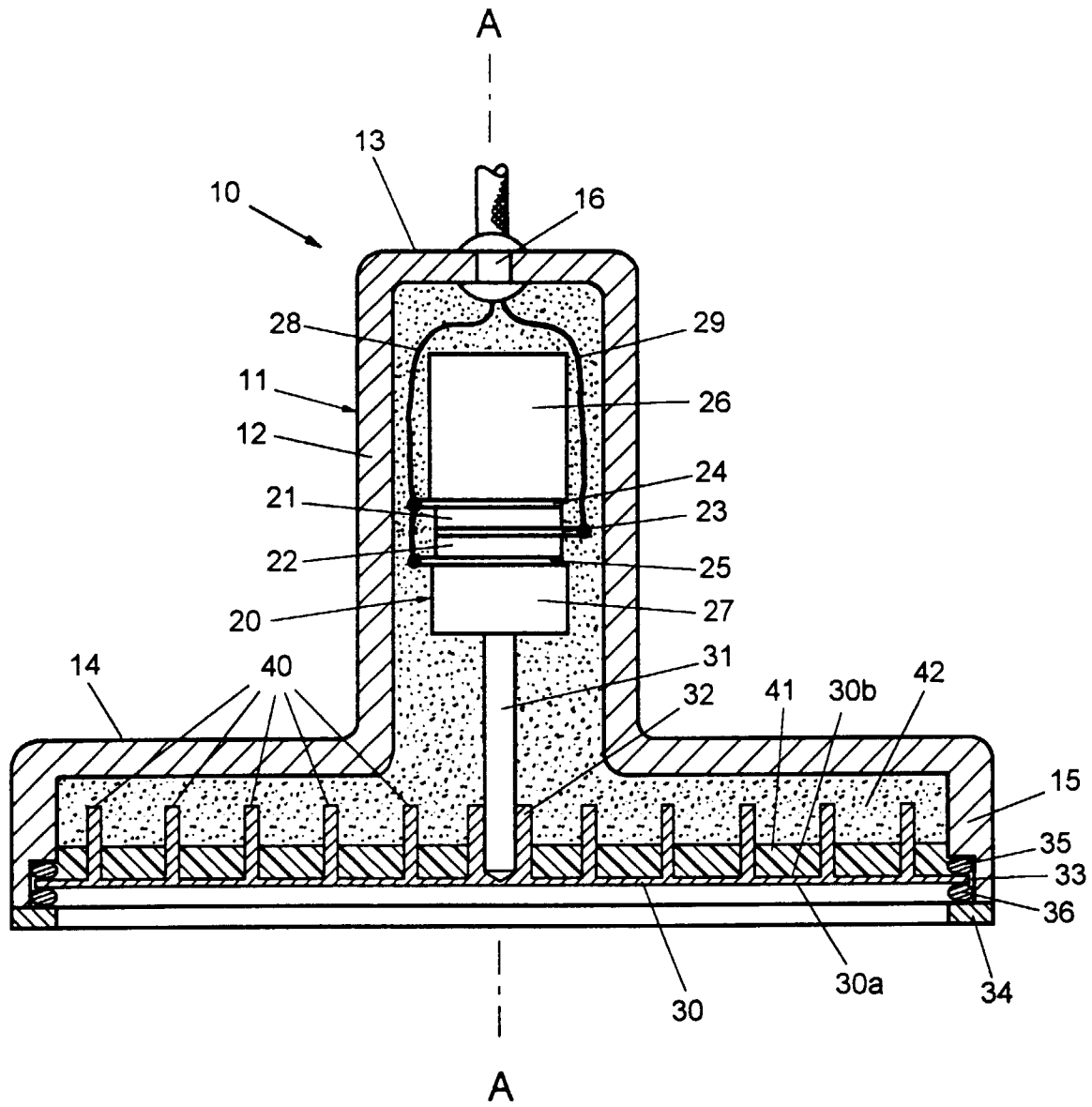


Fig. 1

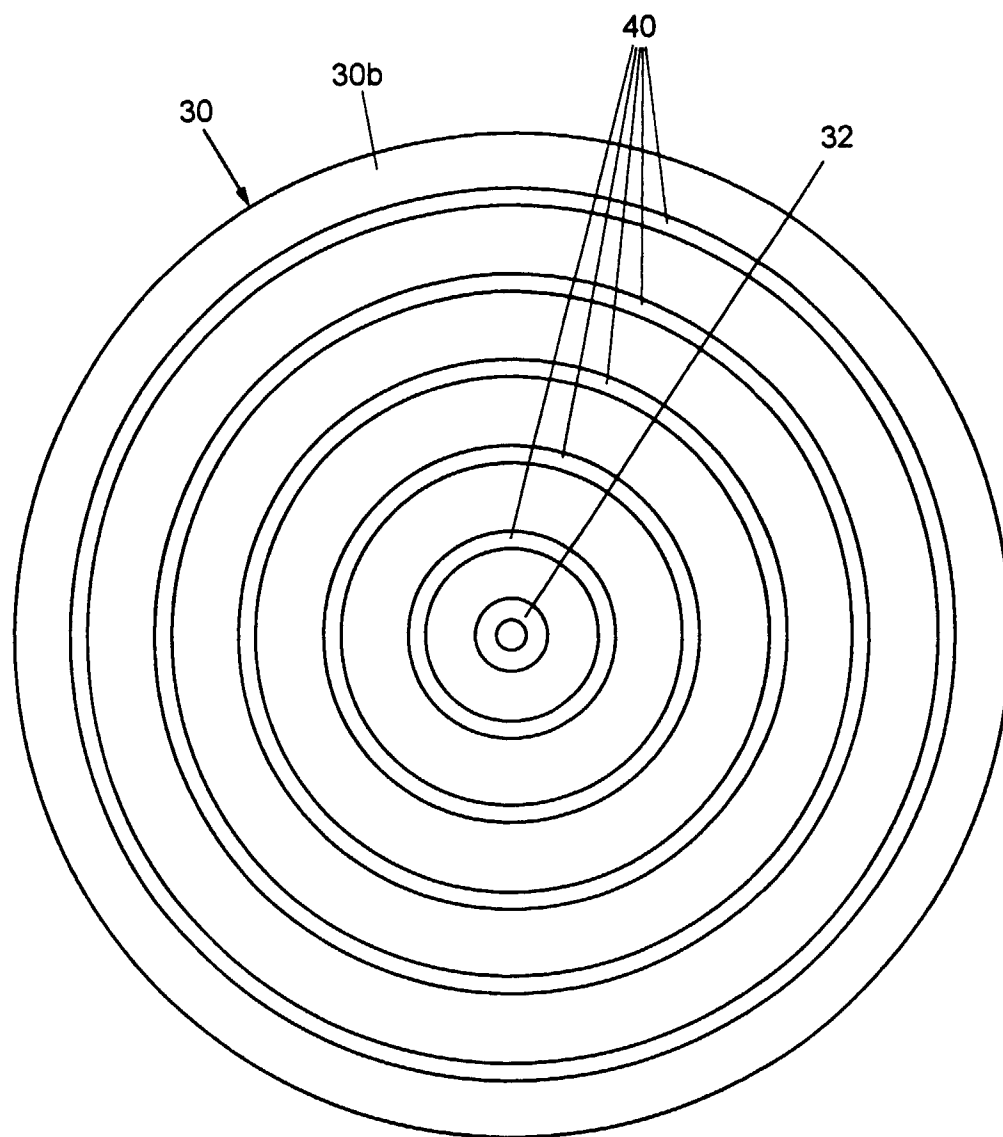


Fig. 2

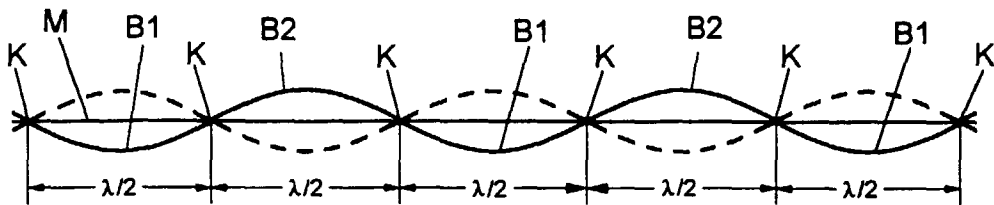


Fig. 3

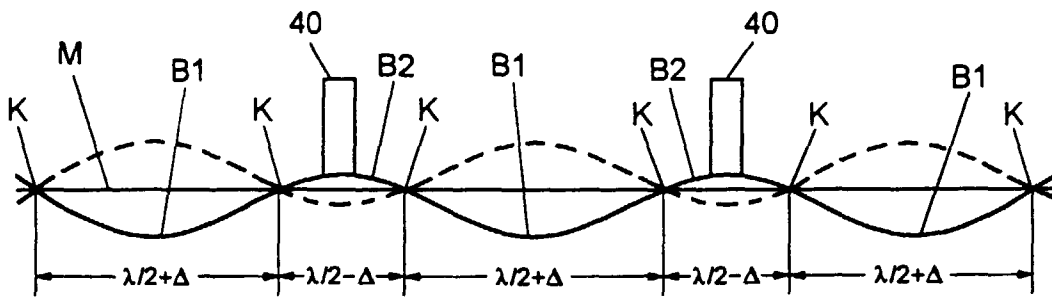


Fig. 4

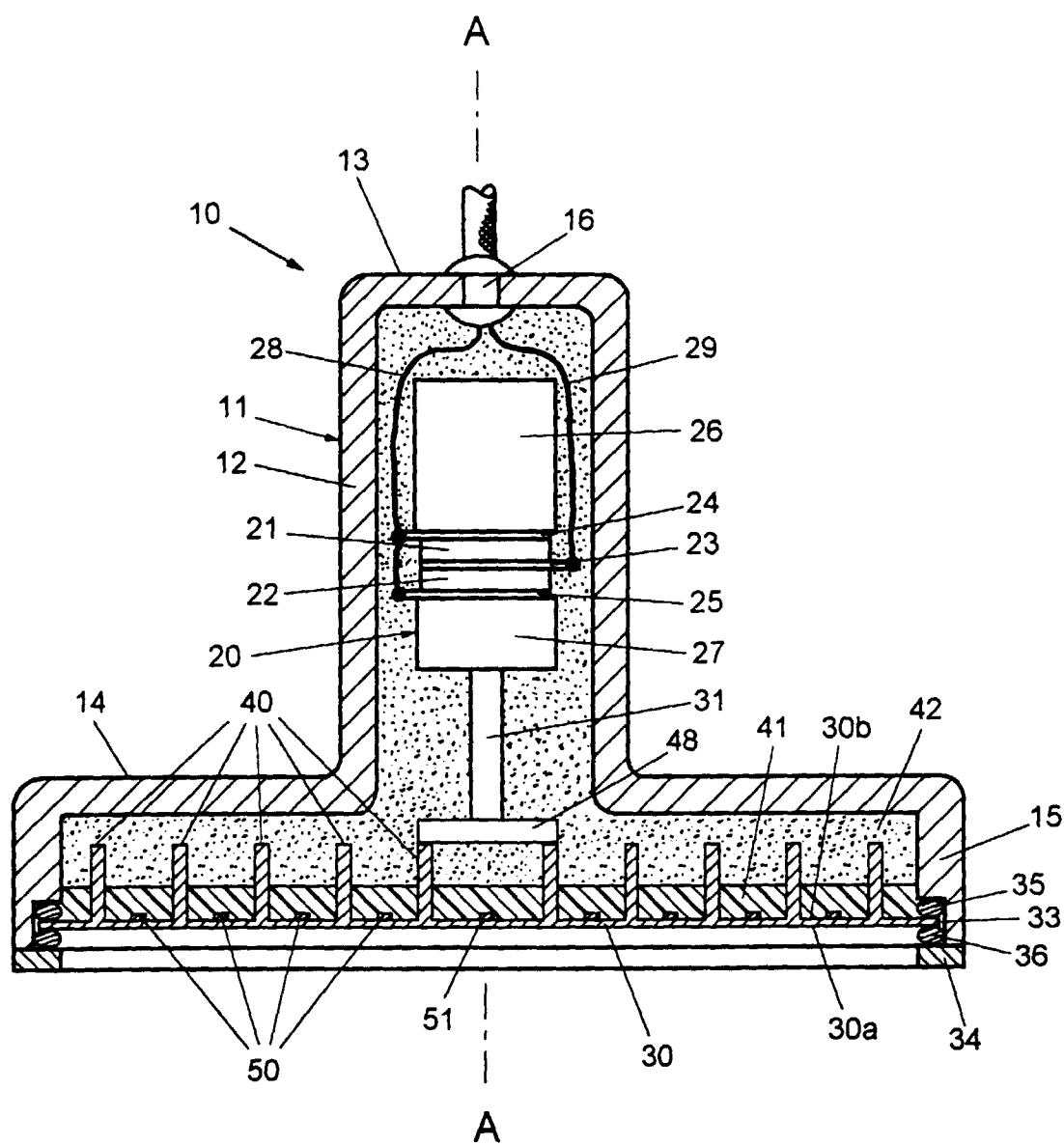


Fig. 5