



Europäisches Patentamt
European Patent Office
Office européen des brevets



Veröffentlichungsnummer: **0 472 085 B1**

12

EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT

- 49 Veröffentlichungstag der Patentschrift: **11.01.95** 51 Int. Cl.⁸: **B06B 1/06**
21 Anmeldenummer: **91113510.1**
22 Anmeldetag: **12.08.91**

54 **Ultraschallsensor.**

30 Priorität: **24.08.90 EP 90116268**

43 Veröffentlichungstag der Anmeldung:
26.02.92 Patentblatt 92/09

45 Bekanntmachung des Hinweises auf die
Patenterteilung:
11.01.95 Patentblatt 95/02

84 Benannte Vertragsstaaten:
DE FR NL

56 Entgegenhaltungen:
EP-A- 0 227 985
EP-A- 0 351 285
US-A- 4 911 172

73 Patentinhaber: **SIEMENS AKTIENGESELL-
SCHAFT**
Wittelsbacherplatz 2
D-80333 München (DE)

72 Erfinder: **Schätzle, Ulrich, Dipl.-Ing.**
Rodensteinstrasse 1
W-8524 Neunkirchen (DE)

EP 0 472 085 B1

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach der Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents kann jedermann beim Europäischen Patentamt gegen das erteilte europäische Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch ist schriftlich einzureichen und zu begründen. Er gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist (Art. 99(1) Europäisches Patentübereinkommen).

Beschreibung

Die Erfindung betrifft einen Ultraschallsensor, insbesondere für Stoßwellenmessungen, aufweisend eine piezoelektrische Folie, eine Signalelektrode und eine Masseelektrode.

Derartige Ultraschallsensoren sind grundsätzlich sowohl zur lokalen Druckmessung als auch zur Feldvermessung in Ultraschallfeldern geeignet. Dabei sind von den Sensoren allerdings eine Reihe von Anforderungen zu erfüllen, und zwar müssen die Sensoren eine ausreichend hohe obere Grenzfrequenz, eine insbesondere bei der Messung von fokussierten Stoßwellen ausreichend lange Standzeit und für die Feldmessung eine ausreichend hohe Empfindlichkeit aufweisen.

Ein Ultraschallsensor, der diese Anforderungen im wesentlichen erfüllt, ist in der EP-A-0 227 985 beschrieben. Im Falle dieses Ultraschallsensors sind die Masse- und die Signalelektrode räumlich getrennt von der piezoelektrischen Folie angeordnet, wobei die Koppelung des durch die Ultraschall- bzw. Stoßwelleneinwirkung erzeugten Wechseladungssignals von der piezoelektrischen Folie auf die Elektroden unter Zwischenfügung einer Flüssigkeit erfolgt. Je nachdem, ob es sich bei der Flüssigkeit um eine dielektrische Flüssigkeit oder um einen Elektrolyten handelt, erfolgt dabei die Signalkoppelung kapazitiv oder über den durch die Flüssigkeit gebildeten Serienwiderstand. Nachteilig an dem bekannten Ultraschallsensor ist, daß insbesondere bei Schallfeldvermessungen die Empfindlichkeit des Sensors wegen des relativ großen Abstandes zwischen der piezoelektrischen Folie und den Elektroden nicht in allen Fällen ausreicht. Nachteilig ist außerdem, daß Verfälschungen der Meßergebnisse durch nichtlineare Kompressionseigenschaften der zwischen der piezoelektrischen Folie und den Elektroden befindlichen Flüssigkeit, Kavitationseffekte in dieser Flüssigkeit und Lageeinflüsse auftreten können. Die Anwesenheit von Flüssigkeit zwischen der Piezoelektrischen Folie und den Elektroden kann vermieden werden, wenn wie im Falle der EP-A-0 351 285 auf beiden Seiten der piezoelektrischen Folie Elektroden abgelagert werden, die diejenige Oberfläche der piezoelektrischen Folie, der sie zugeordnet sind, vollständig bedecken. Außerdem besteht nach dem Vorbild der US-A-4 911 172 die Möglichkeit, die piezoelektrische Folie mit einer Elektrode mittels einer dünnen Klebstoffschicht zu verkleben, wobei die elektrische Verbindung durch kapazitive Koppelung durch die Klebstoffschicht hindurch erfolgt. Beide Sensorarten weisen jedoch bei Beaufschlagung mit Stoßwellen hoher Intensität keine zufriedenstellende Standzeiten auf.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, einen Ultraschallsensor der eingangs genannten Art

so auszubilden, daß die genannten Anforderungen erfüllt, die mit der Anwesenheit einer Flüssigkeit zwischen den Elektroden und der piezoelektrischen Folie verbundenen Nachteile vermieden und die Voraussetzungen dafür geschaffen sind, Ultraschallsensoren mit dem jeweiligen Anwendungsfall angepaßter Empfindlichkeit realisieren zu können.

Nach der Erfindung wird diese Aufgabe durch einen, insbesondere für Stoßwellenmessungen vorgesehenen Ultraschallsensor gelöst, welcher eine wenigstens in einem Bereich polarisierte piezoelektrische Folie, eine auf der einen Seite der piezoelektrischen Folie angeordnete Signalelektrode und eine auf der anderen Seite der piezoelektrischen Folie angeordneten Masseelektrode aufweist, wobei wenigstens zwischen der Signalelektrode und der piezoelektrischen Folie oder zwischen der Masseelektrode und der piezoelektrischen Folie eine dielektrische Koppelschicht vorgesehen ist, wobei die piezoelektrische Folie, die Signalelektrode, die Masseelektrode und die Koppelschicht Bestandteile einer Multilayer-Struktur sind und wobei sich die Signalelektrode und der polarisierte Bereich der piezoelektrischen Folie in einem die druckempfindliche Sensorfläche bildenden Bereich überlappen. Wesentlich ist außerdem, daß die Koppelschicht sowohl von der piezoelektrischen Folie als auch von der Signalelektrode bzw. der Masseelektrode durch eine zu der Multilayer-Struktur gehörige dünne Schicht eines der akustischen Koppelung dienenden Materials getrennt ist. Infolge des Umstandes, daß die piezoelektrische Folie, die Signalelektrode und die Masseelektrode Bestandteile einer Multilayer-Struktur sind, weist der erfindungsgemäße Ultraschallsensor einen robusten Aufbau auf und ist daher für Stoßwellenmessungen prädestiniert. Zugleich sind infolge des Multilayer-Aufbaus die mit der Anwesenheit von Flüssigkeiten zwischen den Elektroden und der piezoelektrischen Folie verbundenen Probleme vermieden, da der kapazitive Abgriff der Oberflächenladungen durch die Koppelschicht(en) hindurch erfolgt. Die Empfindlichkeit des erfindungsgemäßen Ultraschallsensors läßt sich leicht den jeweiligen Erfordernissen anpassen, indem die innerhalb der Multilayer-Struktur vorliegenden Abstände zwischen der Signal- bzw. Masseelektrode einerseits und der piezoelektrischen Folie andererseits durch geeignete Wahl der Dicke der Koppelschicht(en) den jeweiligen Erfordernissen entsprechend gewählt werden, wobei ein geringerer Abstand zu einer höheren Empfindlichkeit führt. Allerdings geht mit einer abnehmenden Dicke der Koppelschicht(en) eine Verringerung der Standzeit des erfindungsgemäßen Ultraschallsensors einher, da die Koppelschicht(en), die elastisch nachgiebig sein muß bzw. müssen, eine wichtige Schutzfunktion erfüllt bzw. erfüllen, indem sie die elastische Stoßenergie der Stoßwellen infolge ihrer

elastischen Nachgiebigkeit dämpft bzw. dämpfen. Die Dicke der Koppelschicht(en) sollte daher wenigstens der doppelten, vorzugsweise wenigstens der fünffachen Dicke der piezoelektrischen Folie entsprechen. Bei dem Material der Koppelschichten(en) handelt es sich vorzugsweise um ein Material, dessen akustische Impedanz an die desjenigen Mediums angepaßt ist, in dem der Ultraschallsensor eingesetzt werden soll, da dann Signalverfälschungen infolge von Reflexionen an den Grenzflächen der Koppelschicht(en) weitgehend ausgeschlossen sind. Ein weiterer wesentlicher Vorteil des erfindungsgemäßen Ultraschallsensors besteht darin, daß sich die Größe der Sensorfläche und damit die bei Messungen mit dem erfindungsgemäßen Ultraschallsensor erzielbare Ortsauflösung leicht den jeweiligen Bedürfnissen anpassen läßt, indem die Abmessungen und die Gestalt desjenigen Bereichs, in dem sich die Signalelektrode und die piezoelektrische Folie überlappen, den jeweiligen Bedürfnissen entsprechend gewählt werden. Hohe obere Grenzfrequenzen des erfindungsgemässen Ultraschallsensors sind infolge der Verwendung einer piezoelektrischen Folie, die sehr dünn (10 μm) sein kann, ohne weiteres realisierbar. Die die Koppelschicht sowohl von der piezoelektrischen Folie als auch von der Signal- bzw. Masseelektrode trennende Schicht dient der akustischen Koppelung der an sie angrenzenden Layer der Multilayer-Struktur. Die Schicht sollte eine Dicke aufweisen, die deutlich geringer, z.B. 5fach, vorzugsweise 10fach geringer, als die für die obere Grenzfrequenz des Ultraschallsensors maßgebliche Dicke der piezoelektrischen Folie ist, um schädliche akustische Auswirkungen auszuschließen. Als Material für die Schicht eignet sich insbesondere Silikonkautschuk. Dieses Material ist einerseits aufgrund seiner Eigenschaften in der Lage, die erforderliche akustische Koppelung der Layer untereinander zu bewirken. Andererseits kann Silikonkautschuk aufgrund seiner Klebstoffeigenschaften zum mechanischen Zusammenhalt der angrenzenden Layer der Multilayer-Struktur beitragen oder diesen vollständig bewirken.

Zweckmäßigerweise ist wenigstens die Signalelektrode oder die Masseelektrode mit einer elastisch nachgiebigen, vorzugsweise elektrisch isolierenden Deckschicht als Bestandteil der Multilayer-Struktur versehen. Durch diese Maßnahme wird ein nochmals verbesserter Schutz des Ultraschallsensors gegen die Einwirkung von Stoßwellen erreicht, da auch ein Schutz für die Elektrode(n) gegeben ist. Die Schutzwirkung nimmt mit der Dicke der Deckschicht zu, wobei mit zunehmender Dicke der Deckschicht infolge zunehmender Dämpfung der hochfrequenten akustischen Signalanteile die obere Grenzfrequenz des Ultraschallsensors sinkt. Auch die Deckschicht ist vorzugsweise aus den im Zu-

sammenhang mit der (den) Koppelschicht(en) erläuterten Gründen aus einem Material gebildet, dessen akustische Impedanz an die des Mediums angepaßt ist, in dem der Ultraschallsensor eingesetzt wird.

Experimentelle Untersuchungen haben gezeigt, daß bei Veränderungen der Summe der Dicken der Koppelschicht(en) und der Deckschicht(en) das Produkt aus Empfindlichkeit und Standzeit des Sensors ungefähr konstant ist. Es lassen sich also ohne weiteres Ultraschall-Sensoren realisieren, die eine sehr hohe Empfindlichkeit aufweisen, wie sie beispielsweise zu Ultraschallfeldvermessungen, Messungen unfokussierter Stoßwellen oder Messungen fokussierter Stoßwellen außerhalb deren Fokuszone erforderlich sind. Daß derart hochempfindliche Ultraschallsensoren in der Fokuszone von sehr energiereichen Stoßwellen nur eine vergleichsweise geringe Standzeit besitzen, ist dabei unbedeutend, da sich ohne weiteres erfindungsgemäße Stoßwellensensoren mit für diesen Anwendungsfall ausreichender Haltbarkeit herstellen lassen, die dann allerdings eine vergleichsweise geringe Empfindlichkeit besitzen, was jedoch in Anbetracht der hohen Druckamplituden energiereicher Stoßwellen keinerlei Nachteil darstellt.

Eine besonders vorteilhafte Ausführungsform der Erfindung sieht vor, daß die Signalelektrode und die piezoelektrische Folie jeweils von streifenförmiger Gestalt und einander kreuzend angeordnet sind, wobei die einfache Gestalt der Folie und der Signalelektrode eine einfache Herstellung und einen unproblematischen Zusammenbau des Ultraschallsensors ermöglichen. Eine weitere besonders vorteilhafte Ausführungsform der Erfindung sieht vor, daß der Ultraschallsensor einen die Multilayer-Struktur tragenden, mit einer gekrümmten Stirnfläche versehenen Tragkörper aufweist, wobei sich die Sensorfläche im Bereich der gekrümmten Stirnfläche befindet. Es ist dann sehr einfach möglich, die Multilayer-Struktur herzustellen, in dem die einzelnen Komponenten auf dem Tragkörper miteinander verklebt werden, wobei im Bereich der Sensorfläche die für eine einwandfreie Funktion des Ultraschallsensors wesentlichen homogenen und gasblasenfreien Klebungen infolge der gekrümmten Stirnfläche des Tragkörpers sehr leicht hergestellt werden kann. Gemäß einer besonders bevorzugten Ausführungsform der Erfindung sind die Bestandteile der Multilayer-Struktur einander überlappend auf den vorzugsweise wenigstens im wesentlichen zylindrischen Tragkörper gewunden. Es ergibt sich dann eine spiralartige Anordnung der Bestandteile der Multilayer-Struktur, die infolge des Umstandes, daß die Bestandteile der Multilayer-Struktur unter Ausübung einer Zugkraft auf den Tragkörper gewunden und miteinander verklebt werden können, auf sichere und nochmals einfachere Weise die

Herstellung der erforderlichen homogenen und gasblasenfreien Klebungen ermöglicht.

Es versteht sich, daß für die Komponenten des Ultraschallsensors vorzugsweise solche Werkstoffe zu verwenden sind, deren akustische Impedanz möglichst genau der akustischen Impedanz desjenigen Mediums entspricht, in dem sich die zu messenden Ultraschall- bzw. Stoßwellen ausbreiten, um störende Reflexionen an Grenzflächen zu vermeiden. Komponenten des Ultraschallsensors mit stark abweichender akustischer Impedanz sollten in Schallausbreitungsrichtung eine Dicke aufweisen, die deutlich unterhalb der kürzesten zu messenden Wellenlänge liegt.

Ausführungsbeispiele der Erfindung sind in den beigefügten Zeichnungen stark vergrößert dargestellt. Es zeigen:

- Fig. 1 und 2 in schematischer Darstellung Längsschnitte durch einen erfindungsgemäßen Ultraschallsensor gemäß den Linien I-I und II-II in Fig. 3,
 Fig. 3 eine Ansicht des Ultraschallsensors in Richtung des Pfeiles III in Fig. 1,
 Fig. 4 die Einzelheit gemäß A in Fig. 1 in vergrößerter Darstellung, und
 Fig. 5 bis 8 in zu den Fig. 1 bis 4 analoger Darstellung einen weiteren erfindungsgemäßen Ultraschallsensor.

Der Ultraschallsensor nach den Fig. 1 bis 4 weist als wesentlichstes Element einen Folienstreifen 1 eines piezoelektrischen polymeren Werkstoffs auf, wobei der Folienstreifen 1 in seiner Gesamtheit polarisiert ist. Auf den Folienstreifen 1 auftreffende Ultraschall- bzw. Stoßwellen, die Schalleinfallrichtung für die der Ultraschallsensor maximale Empfindlichkeit aufweist, entspricht der Richtung des Pfeiles III in Fig. 1, erzeugen an dem Folienstreifen in ihrem zeitlichen Verlauf dem der Ultraschall- bzw. Stoßwellen entsprechende Oberflächenladungsschwingungen. Diese werden mit Hilfe einer ebenfalls streifenförmigen Signalelektrode 2 und einer großflächigen Masseelektrode 3 abgegriffen und über an die Elektroden 2,3 angeschlossene Leitungen 4,5 einem nicht dargestellten geeigneten Verstärker zugeführt, an dessen Ausgang ein verstärktes, den zeitlichen Verlauf der Oberflächenladungsschwingungen wiedergebendes Signal zur Verfügung steht. Der Abgriff der Oberflächenladungsschwingungen erfolgt kapazitiv, da sowohl zwischen der Signalelektrode 2 und dem Folienstreifen 1 als auch dem Folienstreifen 1 und der Masseelektrode 3 jeweils eine Koppelschicht 6 bzw. 7 eines dielektrischen Werkstoffs vorgesehen ist. Die Masseelektrode 3 ist mit einer elastischen, elektrisch isolierenden Deckschicht 8 versehen.

Wie insbesondere aus der Fig. 3 ersichtlich ist, kreuzt die streifenförmige Signalelektrode 2 den Folienstreifen 1 unter einem Winkel von 90° , so daß sich der Folienstreifen 1 und die Signalelektrode 2 in einem kleinen Bereich überlappen, dessen Flächeninhalt sich aus dem Produkt der Breite des Folienstreifens 1 und der Signalelektrode 2 ergibt. Bei dem genannten Bereich handelt es sich um die sowohl für Unter- als auch Überdruck druckempfindliche Sensorfläche 9.

Die Deckschicht 8, die Masseelektrode 3, die Koppelschicht 7, der Folienstreifen 1, die Koppelschicht 6 und die Signalelektrode 2 bilden eine Multilayer-Struktur, die an einem Tragkörper 10 quadratischen Querschnitts angebracht ist, der eine um eine parallel zur Mittelachse des Folienstreifens 1 verlaufende Achse konvex gekrümmte Stirnfläche 11 aufweist, in deren Bereich sich die Sensorfläche 9 befindet. Die Multilayer-Struktur - die Dicken der einzelnen Layer sind in den Fig. 1 bis 4 aus Gründen der Anschaulichkeit übertrieben dargestellt - wird vorzugsweise in der Weise hergestellt, daß beginnend mit der mittels eines geeigneten Klebstoffs auf den Tragkörper 10 aufgeklebten Signalelektrode 2 die einzelnen Elemente des Ultraschallsensors in der aus den Fig. 1 und 2 ersichtlichen Folge und Anordnung mittels geeigneter Klebstoffe miteinander verbunden werden. Dabei erleichtert die gekrümmte Stirnfläche 11 des Tragkörpers 10 das Aufziehen der einzelnen Layer und die Herstellung von homogenen und gasblasenfreien Klebungen im Bereich der Sensorfläche 9. Die mit S1 bis S4 bezeichneten Klebstoffschichten sind in Fig. 4 dargestellt. Die piezoelektrische Folie 1 ist derart in die Klebstoffschicht S1 eingebettet, daß die piezoelektrische Folie 1 sowohl von der Koppelschicht 6 als auch von der Koppelschicht 7 durch eine Klebstoffschicht S1a bis S1b getrennt ist. Zwischen der Koppelschicht 6 und dem Tragkörper 10 befindet sich die Klebstoffschicht S2, in die die Signalelektrode 2 ähnlich eingebettet ist wie die piezoelektrische Folie in die Klebstoffschicht S1. Die Signalelektrode 2 ist demnach von der Koppelschicht 6 durch die Klebstoffschicht S2a und von dem Tragkörper 10 durch die Klebstoffschicht S2b getrennt. Zwischen der Masseelektrode 3 und der Koppelschicht 7 befindet sich die Klebstoffschicht S3. Die Klebstoffschicht S4 ist zwischen der Masseelektrode 3 und der Deckschicht 8 vorgesehen. Es versteht sich, daß in Fig. 4 die Dicken der Klebstoffschichten in Relation zu den Dicken der übrigen Bauelemente übertrieben dargestellt sind.

Die großflächige Masseelektrode 3, die sich wie die Deckschicht 8 und die Koppelschichten 6 und 7 über die gesamte Breite B des Tragkörpers 10 erstreckt, dient neben ihrer Funktion als Elektrode der elektrischen Abschirmung des Ultraschallsensors.

Der Folienstreifen 1 besteht vorzugsweise aus Polyvinylidenfluorid (PVDF). Es kommen aber auch andere piezoelektrisch aktivierbare Polymerfolien in Frage. Die Dicke des Folienstreifens 1 bestimmt maßgeblich die obere Grenzfrequenz des Sensors und sollte zur Messung von Stoßwellen mit sehr steilen Pulsflanken, deren Anstiegszeiten eine Mikrosekunde unterschreiten können, 100 μm nicht wesentlich überschreiten. Bei ausgeführten Prototypen beträgt die Breite des Folienstreifens zwischen 1 und 2 mm.

Die Materialien der Koppelschichten 6 und 7, der Deckschicht 8 und des Tragkörpers 10 sollten stoßwellenunempfindlich, d.h. elastisch nachgiebig sein und eine an die akustische Impedanz desjenigen Mediums, in dem die Messungen mittels des Ultraschallsensors erfolgen und sich die Ultraschall- bzw. Stoßwellen demgemäß ausbreiten, angepaßte akustische Impedanzen aufweisen. Für Messungen in Wasser eignen sich als Materialien z.B. Weichgummi oder Weich-PVC. Die akustische Impedanz dieser Materialien kann jeweils durch den Weichmachergehalt eingestellt werden kann, wobei mit zunehmendem Weichmachergehalt die akustische Impedanz abnimmt. Die genannten Werkstoffe weisen außerdem gute dielektrische Eigenschaften auf. Die Dicken der Koppelschichten 6 und 7 sollten 1000 μm nicht wesentlich überschreiten, da andernfalls infolge des dann relativ großen Abstandes der Signalelektrode 2 und der Masselektrode 3 von dem Folienstreifen 1 die Empfindlichkeit des Ultraschallsensors zu gering wird. Es wurden Prototypen realisiert, deren Empfindlichkeit in Abhängigkeit von der Dicke der Koppelschichten 6,7 15 mV/MPa bzw. 340 mV/MPa beträgt. Die Dicke der Deckschicht 8 sollte 2000 μm nicht wesentlich übersteigen, da andernfalls durch eine zunehmende Dämpfung hochfrequenter Signalanteile eine Begrenzung der meßbaren Anstiegssteilheit bei Stoßwellen bzw. der oberen Grenzfrequenz bei Ultraschallwellen auftritt. Um sicherzustellen, daß sie ihre Schutzfunktion erfüllen können, sollten die Koppelschichten 6 und 7 jeweils wenigstens z.B. zweimal, vorzugsweise wenigstens fünfmal, und die Deckschicht 8 beispielsweise wenigstens viermal, vorzugsweise wenigstens zehnmal so dick sein wie die verwendete piezoelektrische Folie 1.

Als Material für die Signalelektrode 2 und die Masselektrode 3 eignet sich wegen ihrer guten Korrosions- und Stoßwellenbeständigkeit dünne Edelstahlfolie, die außerdem eine ausreichende elektrische Leitfähigkeit aufweist. Es können jedoch Folien anderer elektrisch leitender Werkstoffe verwendet werden, deren Beständigkeit mit der von Edelstahlfolien vergleichbar ist. Im Falle der Verwendung von Edelstahlfolien sollte deren Dicke, die Dicke der piezoelektrischen Folie 1 und damit maximal 100 μm nicht wesentlich übersteigen, da

dann die Dicke der Signalelektrode 2 und der Masselektrode 3 im Vergleich zu der der oberen Grenzfrequenz des Ultraschallsensors entsprechenden Wellenlänge so klein ist, daß keine Beeinträchtigungen durch Reflexionen zu erwarten sind. Bei ausgeführten Prototypen beträgt die Breite der Signalelektrode zwischen 1 und 2 mm.

Als Klebstoff zur Verbindung der einzelnen Layer eignet sich beispielsweise Silikonkautschuk, der eine an Wasser etwa angepaßte akustische Impedanz aufweist. Die Dicke der zwischen den einzelnen Layern vorhandenen Klebstoffschichten S1, S1a, S2, S2a, S2b, S3 und S4, die nur in Fig. 4 dargestellt sind, sollte deutlich geringer (beispielsweise wenigstens um den Faktor 5, vorzugsweise 10) als die Dicke der zu verklebenden Layer sein. Die Klebstoffschichten S1, S1a, S1b, S2, S2a, S2b, S3 und S4 sichern den Zusammenhalt der Multilayer-Struktur. Sie dienen außerdem der akustischen Koppelung einander benachbarter Layer der Multilayer-Struktur und müssen daher frei von Gasblasen sein. Dies gilt insbesondere für die die akustische Koppelung der piezoelektrischen Folie 1 mit den Koppelschichten 6 bzw. 7 bewirkenden Klebstoffschichten S1a und S1b.

Abgesehen von dem wesentlichen Vorteil, daß der beschriebene Sensor infolge seiner an dem Tragkörper 10 angebrachten Multilayer-Struktur äußerst robust ist, besitzt er den weiteren wesentlichen Vorteil, daß seine physikalischen Eigenschaften weitgehend von geometrischen Größen abhängen, die sich durch einfache konstruktive Maßnahmen beeinflussen lassen.

So beeinflussen die Breiten des Folienstreifens 1 und der Signalelektrode 2 die Ortsauflösung, die Richtcharakteristik und die Empfindlichkeit des Ultraschallsensors. Im einzelnen nimmt die Ortsauflösung mit abnehmender Breite der genannten Elemente zu, während die Empfindlichkeit abnimmt. Die Richtcharakteristik des Ultraschallsensors hängt von dem Verhältnis, in dem die Breiten des Folienstreifens 1 und der Signalelektrode 2 zueinander stehen, und von dem Kreuzungswinkel der genannten Elemente ab.

Von den Dicken der Koppelschichten 6 und 7 hängen die Standzeit, die Empfindlichkeit und in gewissem Maße die obere Grenzfrequenz des Ultraschallsensors ab. So nimmt mit zunehmender Dicke der Koppelschichten 6 bzw.7 die Standzeit des Ultraschallsensors zu, während gleichzeitig seine Empfindlichkeit abnimmt. Die obere Grenzfrequenz nimmt mit zunehmender Dicke der Koppelschichten 6 bzw.7 ab, da in diesen hochfrequente Signalanteile eine höhere akustische Dämpfung als vergleichsweise niederfrequente Signalanteile erfahren.

Es wird also deutlich, daß sich ohne weiteres Sensoren mit auf bestimmte Anwendungsfälle spe-

ziell zugeschnittenen Eigenschaften herstellen lassen.

Abweichend von dem zuvor beschriebenen Ausführungsbeispiel kann der Tragkörper 10 auch einen kreisförmigen Querschnitt aufweisen. Die Multilayer-Struktur tragende Stirnfläche 11 des Tragkörpers besitzt dann die Gestalt einer Halbkugel.

Das in den Fig. 5 bis 8 dargestellte Ausführungsbeispiel unterscheidet sich von dem zuvor beschriebenen zunächst dadurch, daß ein zylindrischer Tragkörper 12 vorgesehen ist, auf den die Bestandteile der Multilayer-Struktur spiralartig einander überlappend gewunden sind. Demnach ist zunächst die Signalelektrode 13 auf den Tragkörper 12 gewunden, wobei die Signalelektrode 13 der Tragkörper 12 auf einem Winkel von etwas mehr als 180° umschlingt. Dabei wird so vorgegangen, daß zunächst das in Fig. 5 linke Ende der Signalelektrode 13, die analog zu der Signalelektrode 2 streifenförmig ausgebildet ist, mit dem Tragkörper 12 verklebt wird. Nach Abbinden dieser Klebung wird die Signalelektrode 13 unter Zugausübung um den mit einem geeigneten Klebstoff bestrichenen Tragkörper 12 gewunden. Nach Abbindung der Verklebung der Signalelektrode 13 mit dem Tragkörper 12 wird ein Koppelstreifen 14 mit seinem einen Ende derart mit dem Tragkörper 12 und der Signalelektrode 13 verklebt, daß er das in Fig. 5 rechte Ende der Signalelektrode 13 um einen Winkel von beispielsweise 15 bis 30° überlappt. Nach Abbinden dieser Klebung wird der Koppelstreifen 14, der sich anders als die Signalelektrode 13 über die gesamte Breite des Tragkörpers 12 erstreckt, unter Zuggabe eines geeigneten Klebstoffes in knapp zwei Windungen unter Zugausübung um den mit der Signalelektrode 13 versehenen Tragkörper 12 gewunden. Dabei wird im Bereich des in Fig. 5 linken Endes der Signalelektrode 13 ein als Anschluß für die Signalelektrode 13 dienender Metallstreifen 15 zwischen die erste Windung des Koppelstreifens 14 und die Signalelektrode 13 gewickelt. Der Metallstreifen 15 steht seitlich über den Tragkörper 12 vor. Damit eine einwandfreie elektrisch leitfähige Verbindung des Metallstreifens 15 mit der Signalelektrode 13 vorliegt, muß darauf geachtet werden, daß zwischen beiden kein Klebstoff vorhanden ist. Zwischen die erste und die zweite Windung des Koppelstreifens 14 ist der piezoelektrisch aktivierte Folienstreifen 16 gebracht, der derart angeordnet ist, daß er die streifenförmige Signalelektrode 13 unter einem Winkel von 90° kreuzt, wobei die Mittelachse des Folienstreifens 16 parallel zur Mittelachse des zylindrischen Tragkörpers 12 verläuft. Bei demjenigen Bereich, in dem sich die Signalelektrode 13 und der Folienstreifen 16 überlappen, handelt es sich wieder um die sowohl für Unter- als auch Überdruck

druckempfindliche Sensorfläche 17 des Ultraschallsensors, die sich im Bereich der Mantelfläche des zylindrischen Tragkörpers 12 befindet. Aus dem Vorstehenden wird deutlich, daß die beiden Windungen des Koppelstreifens 14 Koppelschichten 18 und 19 bilden, die den Koppelschichten 6 und 7 im Falle des zuvor beschriebenen Ausführungsbeispiels entsprechen. Um die beiden Windungen des Koppelstreifens 14 ist die sich über die gesamte Breite des Tragkörpers 12 erstreckende Masseelektrode 20 in einer nahezu vollständigen Windung gewunden. Dabei wird so vorgegangen, daß eine Ende der Masseelektrode 20 zunächst mit dem Ende der zweiten Windung des Koppelstreifens 14 verklebt wird. Nach Abbinden dieser Klebung wird die Masseelektrode 20, die sich übrigens über die gesamte Breite des Tragkörpers 12 erstreckt, unter Zugabe von Klebstoff unter Zugausübung um die äußere Windung des Koppelstreifens 14 gewunden. Dabei wird ein zweiter Metallstreifen 21 als elektrischer Anschluß für die Masseelektrode 20 zwischen dieser und die äußere Windung des Koppelstreifens 14 gewickelt. Der Metallstreifen 21 steht wie der Metallstreifen 15 seitlich über den Tragkörper 12 vor. Zur Gewährleistung eines einwandfreien elektrischen Kontaktes darf sich zwischen dem Metallstreifen 21 und der Masseelektrode 20 kein Klebstoff befinden. Die erwähnten Klebungen ergänzen sich wie in der die Einzelheit B gemäß Fig. 5 zeigenden Fig. 8 dargestellt zu einer einzigen spiralförmigen Klebstoffschicht S, in die die Signalelektrode 13 und der piezoelektrisch aktivierte Folienstreifen 16 ähnlich wie bei dem zuvor beschriebenen Ausführungsbeispiel eingebettet sind. Der Folienstreifen 16 ist somit von der Koppelschicht 18 durch die Klebstoffschicht Sa und von der Koppelschicht 19 durch die Klebstoffschicht Sb getrennt. Die Klebstoffschicht Sc und Sd trennen die Signalelektrode 13 von der Koppelschicht 19 bzw. dem Tragkörper 12.

Die Layer 13, 14 und 20 können günstigerweise bei genauer Kenntnis der jeweils erforderlichen Länge der Layer auch vor dem Aufwinden auf den Tragkörper 12 an ihren Überlappungsstellen miteinander verklebt werden. Die so entstandene "Layerkette" kann dann in einem Vorgang unter Zugabe von Klebstoff und unter Zugausübung auf den Tragkörper 12 aufgewunden werden, ohne daß Abbindezeiten abgewartet werden müssen.

Die beschriebene Multilayer-Struktur ist mit einem im wesentlichen quaderförmigen Halteteil 22 durch eine zwischen der Masseelektrode 20 und dem Halteteil 22 befindliche Klebstoffschicht S5 verbunden, wobei das Halteteil 22, dessen Breite der des Tragkörpers 12 entspricht, an seiner einen Stirnfläche eine konkave Ausnehmung 23 zur Aufnahme der genannten Multilayer-Struktur aufweist. Die Verklebung der Multilayer-Struktur mit dem

Halteteil 22 erfolgt zwischen der Masseelektrode 20 und der Oberfläche der Ausnehmung 23.

Im Bereich der Sensorfläche 17 umfaßt die Multilayer-Struktur außerdem die sich über die gesamte Breite des Tragkörpers 12 erstreckende Deckschicht 24, deren die Masseelektrode 20 umschlingender Bereich mit dieser verklebt ist. Die freien Enden der Deckschicht 24 sind mit den einander gegenüberliegenden Seitenflächen des Halteteiles 22 verklebt.

Bezüglich ihrer Funktion, ihrer Abmessungen und ihrer Werkstoffe stimmen die einzelnen Layer des Ultraschallsensors gemäß den Fig. 4 bis 8 mit denen des Ultraschallsensors gemäß den Fig. 1 bis 3 überein. Auch die Funktion der Klebstoffschichten S, Sa, Sb, Sc, Sd, S5 entspricht der Funktion der entsprechenden Klebstoffschichten des zuvor beschriebenen Ausführungsbeispiels. Als Klebstoff zur Verbindung der einzelnen Layer eignet sich beispielsweise Silikonkautschuk. Die zwischen den einzelnen Layern vorhandenen Klebstoffschichten sind aus Gründen der Übersichtlichkeit in den Fig. 5 bis 7 nicht dargestellt. Auch der Klebstoff, der sich in der in den Fig. 5 und 6 gezeigten Spalte im Bereich der Signalelektrode 13, des Folienstreifens 16, der Metallstreifen 15 und 21 und der Enden des Koppelstreifens 14, die in der Praxis äußerst schmal sind, befindet, ist aus Gründen der Übersichtlichkeit in den genannten Figuren nicht dargestellt, jedoch in Fig. 8 am Beispiel des Folienstreifens 16 dargestellt. Infolge des Umstandes, daß die Dicken der einzelnen Layer in den Fig. 5 bis 8 übertrieben dargestellt sind, weist die Multilayer-Struktur in der Praxis Unrundheiten auf, die gegenüber den in Fig. 5 dargestellten verschwindend gering sind. Übrigens sind in Fig. 8 die Dicken der Klebstoffschichten im Vergleich zu den Dicken der übrigen Layer wieder übertrieben dargestellt.

Anders als in den Fig. 5 bis 7 dargestellt, besteht auch die Möglichkeit, die Deckschicht 24 so auszuführen, daß sie die Masseelektrode 20 vollständig umschlingt. In diesem Falle würde die Befestigung der Multilayer-Struktur an dem Halteteil 22 durch eine Klebung zwischen der Deckschicht 24 und der Oberfläche der dem Krümmungsradius der Deckschicht 24 angepaßten Ausnehmung 23 erfolgen.

Anstelle des zylindrischen Tragkörpers 12 können auch andersartig geformte Tragkörper vorgesehen sein. Wesentlich ist jedoch, daß diese im Bereich der Sensorfläche 17 eine konvex gekrümmte Fläche aufweisen, so daß beim Aufwinden der Bestandteile der Multilayer-Struktur auf den Tragkörper im Bereich der Sensorfläche 17 keine Luftblasen entstehen können. Die Vermeidung von Luftblasen und das Entstehen einer homogenen Klebung werden durch die im Falle des Ultraschallsensors nach den Fig. 4 bis 8 beim Aufwinden der

einzelnen Layer kontinuierlich mögliche Zugausübung besonders begünstigt.

Die im Zusammenhang mit dem Ultraschallsensor gemäß den Fig. 1 bis 4 erläuterten Vorteile gelten für den zuletzt beschriebenen sinngemäß.

Abweichend von den zuvor beschriebenen Ausführungsbeispielen kann der Ultraschallsensor auch als selbsttragende Multilayer-Struktur ausgeführt sein, mit der Folge, daß ein dem Tragkörper 10 vergleichbares Bauteil dann überflüssig ist.

Der Folienstreifen 1 muß nicht in seiner Gesamtheit polarisiert sein. Es genügt vielmehr, wenn in demjenigen Bereich, in dem sich Folienstreifen 1 und Signalelektrode 2 kreuzen, ein ausreichend großer piezoelektrisch aktivierter Folienbereich vorhanden ist.

Falls der mechanische Zusammenhalt der Multilayer-Struktur anderweitig gesichert ist, müssen sich zwischen den Layern nicht notwendigerweise Klebstoffschichten befinden. Es können vielmehr, insbesondere zwischen den Koppelschichten und der piezoelektrischen Folie sowie der Signal- bzw. Masseelektrode, Schichten eines zähflüssigen, nicht adhäsiv wirkenden Stoffes geeigneter akustischer Eigenschaften vorgesehen sein.

Patentansprüche

1. Ultraschallsensor, insbesondere für Stoßwellenmessungen, aufweisend eine wenigstens in einem Bereich polarisierte piezoelektrische Folie (1; 16), eine auf der einen Seite der piezoelektrischen Folie (1; 16) angeordnete Signalelektrode (2; 13) und eine auf der anderen Seite der piezoelektrischen Folie (1; 16) angeordnete Masseelektrode (3; 20), wobei wenigstens zwischen der Signalelektrode (2; 13) und der piezoelektrischen Folie (1; 16) oder zwischen der Masseelektrode (3; 20) und der piezoelektrischen Folie (1; 16) eine elastisch nachgiebige, dielektrische Koppelschicht (6 bzw. 7; 18 bzw. 19) vorgesehen ist, wobei die piezoelektrische Folie (1; 16), die Signalelektrode (2; 13), die Masseelektrode (3; 20) und die Koppelschicht (6 bzw. 7; 18 bzw. 19) Bestandteile einer Multilayer-Struktur sind und wobei sich die Signalelektrode (2; 13) und der polarisierte Bereich der piezoelektrischen Folie (1; 16) in einem eine druckempfindliche Sensorfläche (9; 17) bildenden Bereich überlappen.
2. Ultraschallsensor nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, daß wenigstens die Signalelektrode (2; 13) oder die Masseelektrode (3; 20) mit einer elastisch nachgiebigen Deckschicht (8; 24) als Bestandteil der Multilayer-Struktur versehen ist.

3. Ultraschallsensor nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Signalelektrode (2; 13) und die piezoelektrische Folie (1; 16) jeweils von streifenförmiger Gestalt und einander kreuzend angeordnet sind. 5
4. Ultraschallsensor nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet**, daß wenigstens die Masseelektrode (3; 20) oder die Signalelektrode (2; 13) durch eine elektrisch leitende Folie aus stoßwellenbeständigem Material gebildet ist. 10
5. Ultraschallsensor nach Anspruch 4, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Folie aus Edelstahl gebildet ist. 15
6. Ultraschallsensor nach einem der Ansprüche 1 bis 5, **dadurch gekennzeichnet**, daß die piezoelektrische Folie (1; 16) aus Polyvinylidenfluorid (PVDF) gebildet ist. 20
7. Ultraschallsensor nach einem der Ansprüche 1 bis 6, **dadurch gekennzeichnet**, daß wenigstens eine Koppelschicht (6 bzw. 7; 18 bzw. 19) aus Weichgummi oder Weich-PVC gebildet ist. 25
8. Ultraschallsensor nach einem der Ansprüche 1 bis 7, **dadurch gekennzeichnet**, daß der Ultraschallsensor einen die Multilayer-Struktur tragenden mit einer konvex gekrümmten Fläche (11; 25) versehenen Tragkörper (10; 12) aufweist, wobei sich die Sensorfläche (9; 17) im Bereich der gekrümmten Fläche (11; 25) befindet. 30
9. Ultraschallsensor nach Anspruch 8, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Bestandteile der Multilayer-Struktur einander überlappend auf den vorzugsweise wenigstens im wesentlichen zylindrischen Tragkörper (12) gewunden sind. 40

Claims

1. An ultrasonic sensor, in particular for shock wave measurements, comprising a piezoelectric foil (1; 16) polarized at least in one region, a signal electrode (2; 13) arranged on one side of the piezoelectric foil (1; 16), and an earth electrode (3; 20) arranged on the other side of the piezoelectric foil (1; 16), where an elastically resilient, dielectric coupling layer (6 and 7; 18 and 19) is provided at least between the signal electrode (2; 13) and the piezoelectric foil (1; 16) or between the earth electrode (3; 20) and the piezoelectric foil (1; 16), where the piezoelectric foil (1; 16), the signal electrode (2; 13), the earth electrode (3; 20) and the 45

coupling layer (6 and 7; 18 and 19) are components of a multi-layer structure and where the signal electrode (2; 13) and the polarized region of the piezoelectric foil (1; 16) overlap in a region forming a pressure-sensitive sensor surface (9; 17). 5

2. An ultrasonic sensor as claimed in Claim 1, characterised in that at least the signal electrode (2; 13) or the earth electrode (3; 20) is provided with an elastically resilient covering layer (8; 24) as part of the multi-layer structure. 10
3. An ultrasonic sensor as claimed in Claim 1 or 2, characterised in that the signal electrode (2; 13) and the piezoelectric foil (1; 16) are in each case strip-shaped and are arranged crossing one another. 15
4. An ultrasonic sensor as claimed in one of Claims 1 to 3, characterised in that at least the earth electrode (3; 20) or the signal electrode (2; 13) is formed by an electrically conductive foil composed of shock-wave-resistant material. 20
5. An ultrasonic sensor as claimed in Claim 4, characterised in that the foil is formed from high-grade steel. 25
6. An ultrasonic sensor as claimed in one of Claims 1 to 5, characterised in that the piezoelectric foil (1; 16) is formed from polyvinylidene fluoride (PVDF). 30
7. An ultrasonic sensor as claimed in one of Claims 1 to 6, characterised in that at least one coupling layer (6 and 7; 18 and 19) is formed from soft rubber or soft PVC. 35
8. An ultrasonic sensor as claimed in one of Claims 1 to 7, characterised in that the ultrasonic sensor comprises a carrier member (10; 12) which bears the multi-layer structure and is provided with a convexly curved surface (11; 25), where the sensor surface (9; 17) is located in the region of the curved surface (11; 25). 40
9. An ultrasonic sensor as claimed in Claim 8, characterised in that the components of the multi-layer structure are wound overlapping one another onto the preferably at least substantially cylindrical carrier member (12). 45

Revendications

1. Capteur d'ultrasons, notamment pour des mesures d'ondes de choc, comportant une feuille piézoélectrique (1; 16), dont au moins une 50

- zone est polarisée, une électrode de transmission de signal (2;13) disposée sur l'une des faces de la feuille piézoélectrique (1;16) et une électrode de masse (3;20) disposée sur l'autre face de la feuille piézoélectrique (1;16), une couche diélectrique de couplage flexible élastiquement (6 ou 7; 18 ou 19) étant disposée au moins entre l'électrode de transmission de signal (2;13) et la feuille piézoélectrique (1;16) ou entre l'électrode de masse (3;20) et la feuille piézoélectrique (1;16), la feuille piézoélectrique (1;16), l'électrode de transmission de signal (2;13), l'électrode de masse (3;20) et la couche de couplage (6 ou 7; 18 ou 19) faisant partie d'une structure à couches multiples, tandis que l'électrode de transmission de signal (2;13) et la zone polarisée de la feuille piézoélectrique (1;16) se recouvrent dans une partie formant une surface (9;17) de capteur, sensible à la pression.
2. Capteur d'ultrasons suivant la revendication 1, caractérisé par le fait qu'au moins l'électrode de transmission de signal (2;13) ou l'électrode de masse (3;20) comporte une couche de revêtement flexible élastiquement (8;24) faisant partie de la structure à couches multiples.
3. Capteur d'ultrasons suivant la revendication 1 ou 2, caractérisé par le fait que l'électrode de transmission de signal (2;13) et la feuille piézoélectrique (1;7) possèdent chacune une configuration en forme de bande et sont disposées de manière à se croiser.
4. Capteur d'ultrasons suivant l'une des revendications 1 à 3, caractérisé par le fait qu'au moins l'électrode de masse (3;20) ou l'électrode de transmission de signal (2;13) est formée par une feuille conductrice de l'électricité et en un matériau résistant aux ondes de choc.
5. Capteur d'ultrasons suivant la revendication 4, caractérisé par le fait que la feuille est en acier spécial.
6. Capteur d'ultrasons suivant l'une des revendications 1 à 5, caractérisé par le fait que la feuille piézoélectrique (1;16) est en fluorure de polyvinylidène (PVDF).
7. Capteur d'ultrasons suivant l'une des revendications 1 à 6, caractérisé par le fait qu'au moins une couche de couplage (6 ou 7; 18 ou 19) est réalisée en caoutchouc mou ou en PVC mou.
8. Capteur d'ultrasons suivant l'une des revendications 1 à 7, caractérisé par le fait que le capteur d'ultrasons comporte un corps de support (10;12), qui porte la structure à couches multiples et qui comporte une surface courbée (11;25), dont la courbure est convexe, la surface (9;17) du capteur étant située dans la zone de la surface courbée (11;25).
9. Capteur d'ultrasons suivant la revendication 8, caractérisé par le fait que les constituants de la structure à couches multiples sont enroulés en superposition sur le corps de support (12), qui est de préférence au moins sensiblement cylindrique.

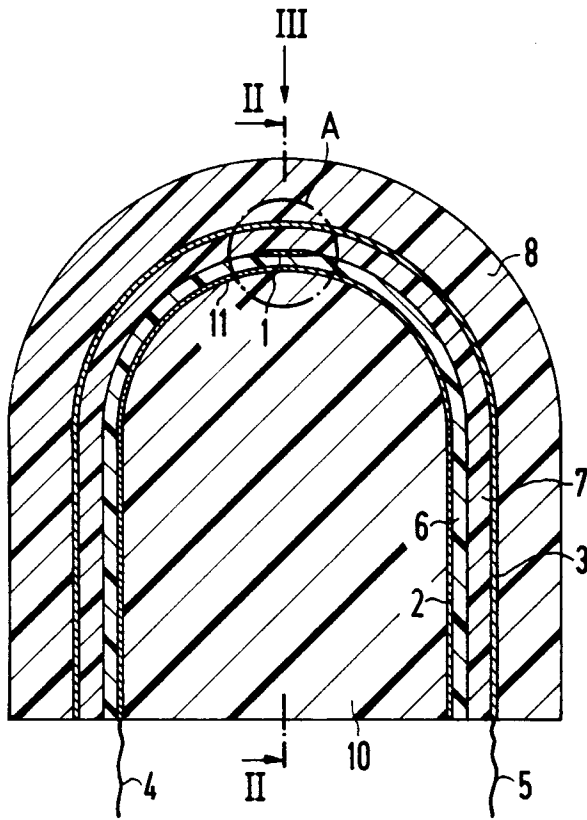


FIG 1

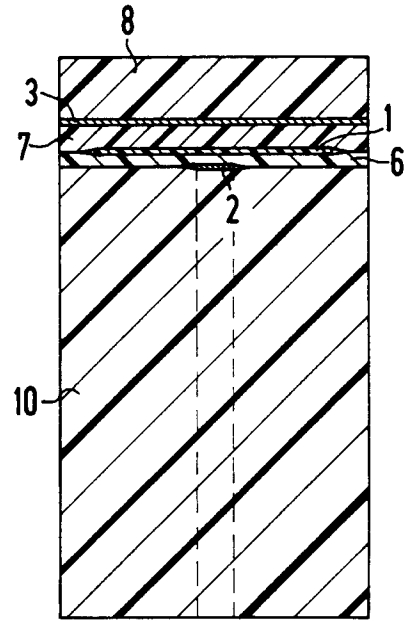


FIG 2

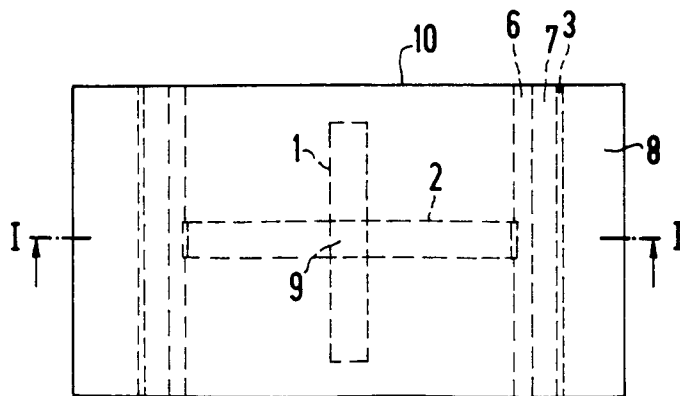


FIG 3

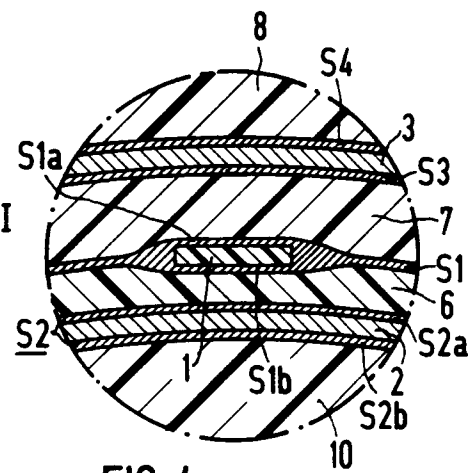


FIG 4

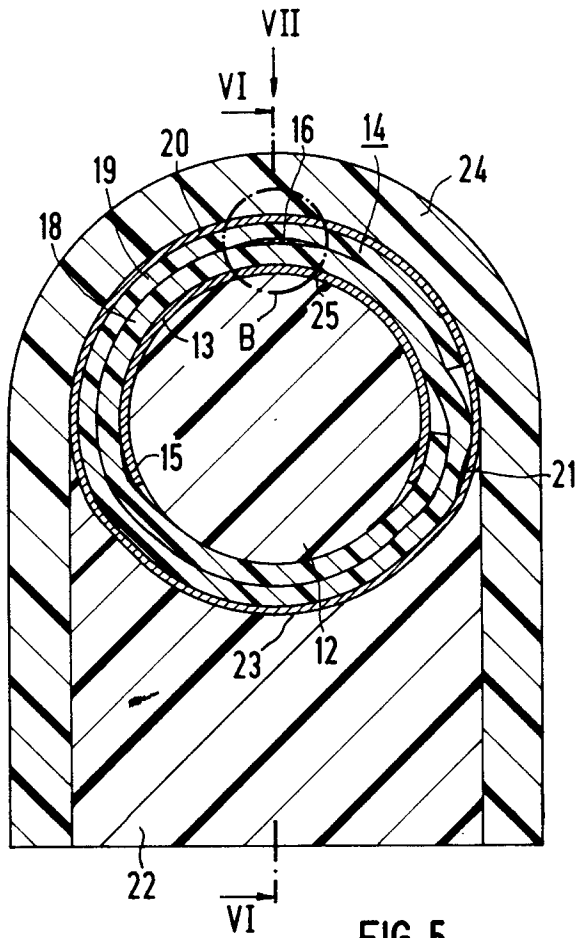


FIG 5

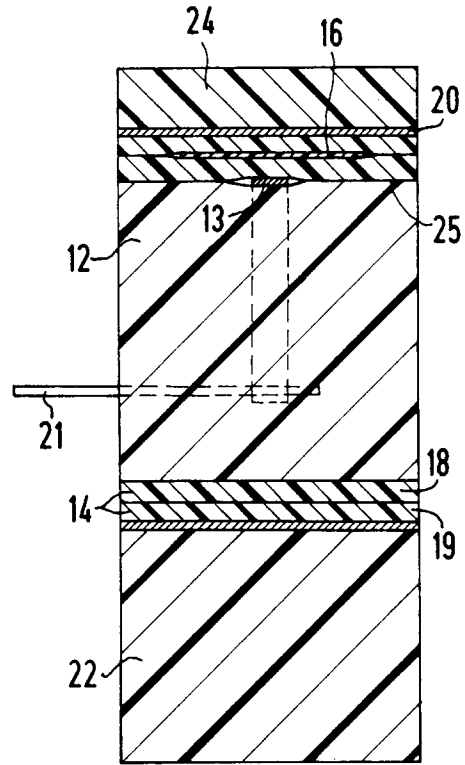


FIG 6

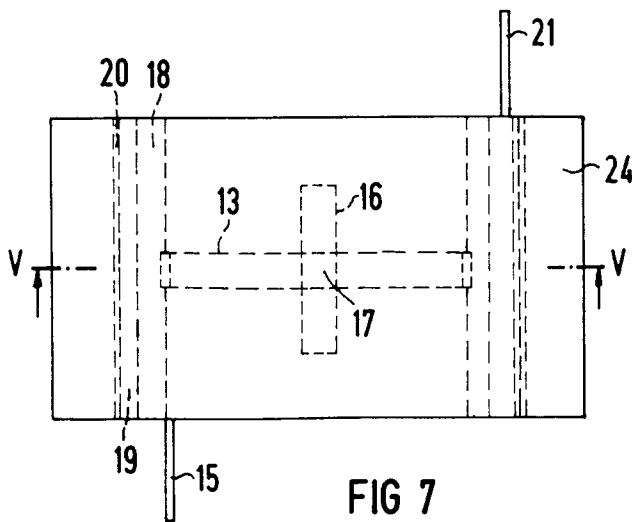


FIG 7

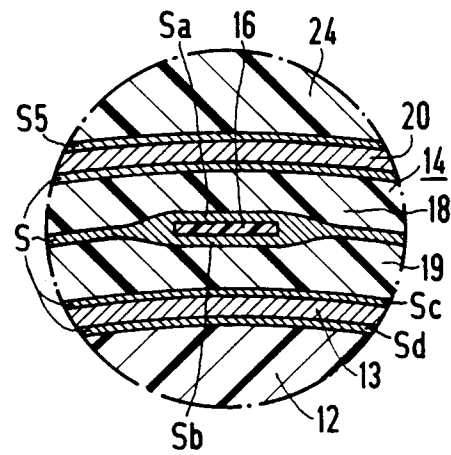


FIG 8