

(19)



Europäisches Patentamt

European Patent Office

Office européen des brevets



(11)

EP 1 181 988 A2

(12)

EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(43) Veröffentlichungstag:

27.02.2002 Patentblatt 2002/09

(51) Int Cl.7: **B06B 1/06**

(21) Anmeldenummer: **01119332.3**

(22) Anmeldetag: **10.08.2001**

(84) Benannte Vertragsstaaten:

**AT BE CH CY DE DK ES FI FR GB GR IE IT LI LU
MC NL PT SE TR**

Benannte Erstreckungsstaaten:

AL LT LV MK RO SI

(30) Priorität: **17.08.2000 DE 10040344**

(71) Anmelder: **SICK AG**

79183 Waldkirch (DE)

(72) Erfinder:

- **Herrmann, Volker, Dr.
01665 Klipphausen (DE)**
- **Pfeifer, Günther
01237 Dresden (DE)**
- **Kochan, Michael
01458 Medingen (DE)**

(74) Vertreter: **Manitz, Finsterwald & Partner**

**Postfach 31 02 20
80102 München (DE)**

(54) **Piezoelektrischer Ultraschallwandler**

(57) Die Erfindung betrifft einen Ultraschallwandler, insbesondere vom Längsschwinger-Typ, mit zumindest einem zwischen zwei Spannabschnitten angeordneten piezoelektrischen Element und wenigstens einem Spannorgan, mit dem das piezoelektrische Element

über die Spannabschnitte vorgespannt ist, wobei als Spannorgan eine ringförmige Spannfeder vorgesehen ist, in deren Wandung wenigstens eine Umfangsausparung ausgebildet ist.

EP 1 181 988 A2

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft einen Ultraschallwandler, insbesondere vom Längsschwinger-Typ, mit zumindest einem zwischen zwei Spannabschnitten angeordneten piezoelektrischen Element und wenigstens einem Spannorgan, mit dem das piezoelektrische Element über die Spannabschnitte vorgespannt ist.

[0002] Derartige Ultraschallwandler werden auch als zusammengesetzte Längsschwinger oder $\lambda/2$ -Schwinger bezeichnet. Das mit Elektrodenflächen versehene piezoelektrische Element wird derart polarisiert und kontaktiert, daß beim Anlegen einer Wechselspannung geeigneter Frequenz die Gesamtstruktur in Resonanz bezüglich der axialen Richtung gelangt. Das zwischen den Spannabschnitten angeordnete Piezoelement befindet sich dabei in einem Bereich maximaler mechanischer Spannung und minimaler mechanischer Schwingungsgeschwindigkeit. Die Abstrahlung des Ultraschalls erfolgt von der freien Stirnseite eines der als Wellenleiter wirkenden Spannabschnitte. Um eine möglichst hohe Sendeleistung bei ausreichender Stabilität der Anordnung zu erreichen, wird das piezoelektrische Element über die Spannabschnitte mittels eines Spannorgans vorgespannt.

[0003] Aufgabe der Erfindung ist es, einen Ultraschallwandler der eingangs genannten Art mit möglichst geringer Baugröße zu schaffen, bei dem eine möglichst große Vorspannung des piezoelektrischen Elementes erzielt werden kann, ohne daß die Schwingungseigenschaften des Ultraschallwandlers nachteilig beeinträchtigt werden.

[0004] Die Lösung dieser Aufgabe erfolgt durch die im kennzeichnenden Teil des Anspruchs 1 angegebenen Merkmale, wonach als Spannorgan eine ringförmige Spannfeder vorgesehen ist, in deren Wandung wenigstens eine Umfangsaussparung ausgebildet ist.

[0005] Durch das Vorsehen einer Umfangsaussparung in einem ringförmigen Spannorgan wird bei minimaler axialer Baulänge ein maximaler Federweg erzielt. Durch den im Vergleich zur Baulänge großen Federweg können hohe Vorspannungen des piezoelektrischen Elementes realisiert werden, ohne dabei die zulässige Belastbarkeit der Spannfeder zu überschreiten. Daher ist die Spannfeder auch bei hohen Vorspannungen zu Schwingungen in der Lage, die den Betrieb des Ultraschallwandlers nicht beeinträchtigen.

[0006] Durch die geringe axiale Baulänge der erfindungsgemäßen Spannfeder wirkt diese lediglich mit den unmittelbar an das piezoelektrische Element angrenzenden Bereichen der Spannabschnitte zusammen. In diesen Bereichen sind die Schwingungsamplituden und Schwingungsgeschwindigkeiten klein. Vorzugsweise wird die erfindungsgemäße Spannfeder mit den beiden Spannabschnitten verschraubt, indem diese unter Zwischenlage des piezoelektrischen Elementes von entgegengesetzten Seiten in die ringförmige Spannfeder eingeschraubt werden. Durch die erfin-

dungsgemäß ermöglichte minimale axiale Baulänge wird vermieden, daß die Spannfeder mit den Spannabschnitten an axial weit vom piezoelektrischen Element entfernten Gewindebereichen starker Schwingungsaktivität zusammenwirkt. Störende Dämpfungswirkungen in den Gewindebereichen werden auf diese Weise vermieden.

[0007] Ein weiterer Vorteil der Erfindung ist, daß die Spannfeder durch geeignete Dimensionierung der Umfangsaussparung gezielt an den jeweiligen Ultraschallwandler angepaßt werden kann. In vorteilhafter Weise kann die Umfangsaussparung derart dimensioniert werden, daß bei der jeweils gewünschten Sollvorspannung für das piezoelektrische Element einerseits ein ausreichender Federweg vorhanden ist und andererseits die maximal zulässige Spannung oder Belastbarkeit des die Spannfeder bildenden Materials nicht überschritten ist.

[0008] Des weiteren kann die Umfangsaussparung gezielt - insbesondere auch in Abhängigkeit von den Abmessungen der Spannfeder selbst - derart bemessen werden, daß im Arbeitsfrequenzbereich des Ultraschallwandlers keine Eigenschwingungsmoden der Spannfeder auftreten. Insbesondere der Betrieb von breitbandigen Längsschwingern wird dadurch im Hauptübertragungsfrequenzbereich oder Arbeitsfrequenzbereich durch die Spannfeder nicht beeinträchtigt. Außerdem kann die Spannfeder durch entsprechende Ausgestaltung der Umfangsaussparung derart ausgebildet werden, daß auch solche Eigenschwingungsmoden der Spannfeder vermieden werden, die zwar außerhalb des Arbeitsfrequenzbereiches des Ultraschallwandlers liegen, aber dennoch zu nachteiligen Störungen von dessen Betrieb führen können.

[0009] Erfindungsgemäß kann daher auf einfache Weise eine Optimierung des Eigenschwingungsspektrums der Spannfeder in Abhängigkeit von den Eigenschaften oder dem Betriebsverhalten des jeweiligen Ultraschallwandlers erfolgen.

[0010] Die aufgrund der Erfindung möglichen großen Federwege haben den Vorteil, daß der Einfluß von Änderungen der Umgebungsparameter wie z.B. der Temperatur auf den Betrieb des Ultraschallwandlers minimal ist und Alterungsvorgänge im Federwerkstoff kompensiert werden. Erfindungsgemäß läßt sich also eine hohe Resistenz gegen variierende Arbeits- bzw. Umgebungsbedingungen und gegen Alterung erzielen.

[0011] Die Umfangsaussparung ist vorzugsweise schlit- oder spaltförmig ausgebildet. Des weiteren erstreckt sich die Umfangsaussparung in radialer Richtung bevorzugt durch die ganze Wandung der Ringfeder, d.h. vorzugsweise ist die Wandung der Ringfeder über den Winkelbereich der Umfangsaussparung in axialer Richtung unterbrochen.

[0012] Gemäß einer besonders bevorzugten Ausführungsform ist vorgesehen, daß die Umfangsaussparung zumindest teilweise mit einem schwingungsdämpfenden Material gefüllt ist. Störende Ein- und Ausschwing-

vorgänge können durch eine derartige Maßnahme gezielt gedämpft und auf diese Weise unwirksam gemacht werden.

[0013] Bevorzugt wird ein Vergußmaterial eingesetzt, mit dem die Umfangsaussparung ausgegossen wird.

[0014] Von besonderem Vorteil ist das Vorsehen einer die Umfangsaussparung zumindest teilweise ausfüllenden Dämpfungsmasse in Anwendungen, bei denen mit dem Ultraschallwandler kurze Ultraschallimpulse ausgesendet bzw. empfangen werden sollen, da hierbei der Ein- und Ausschwingfunktion des Ultraschallwandlers in meßtechnischer Hinsicht eine große Bedeutung zukommt.

[0015] Eine besonders gute Anpassung der Spannfeder an die jeweiligen Anforderungen ist dann möglich, wenn gemäß einer weiteren bevorzugten Ausführung die Spannfeder zwei axial beabstandete Umfangsaussparungen aufweist.

[0016] Mit einer derartigen zweistufigen Konstruktion können hohe Vorspannungen bei gleichzeitig großen Federwegen erzielt werden, ohne die axiale Baulänge wesentlich zu erhöhen und ohne die Vermeidung von störenden Eigenschwingungsmoden wesentlich zu erschweren.

[0017] Grundsätzlich wird die der Erfindung zugrundeliegende Aufgabe auch durch das Vorsehen von drei oder mehr Umfangsaussparungen zufriedenstellend gelöst. Die Umgehung bzw. Unterdrückung der störenden Eigenschwingungsmoden ist dann allerdings mit größerem Aufwand verbunden. In derartigen Fällen kann es vorteilhaft sein und ist es erfindungsgemäß möglich, die Bauteile des Ultraschallwandlers in Abhängigkeit von den optimierten Eigenschaften der Spannfeder zu dimensionieren, anstatt die Spannfeder an den Ultraschallwandler anzupassen.

[0018] Weitere bevorzugte Ausführungsformen der Erfindung sind auch in den Unteransprüchen, der Beschreibung sowie der Zeichnung angegeben.

[0019] Die Erfindung wird im folgenden beispielhaft unter Bezugnahme auf die Zeichnung beschrieben, deren einzige Figur eine geschnittene Seitenansicht eines erfindungsgemäßen Ultraschallwandlers zeigt.

[0020] Der erfindungsgemäße Ultraschallwandler umfaßt zwei zylindrische Spannabschnitte 12, 14, von denen der eine 12 aus einem schweren Metall wie z.B. Stahl und der andere 14 aus einem leichten Metall, insbesondere Titan, Aluminium oder Magnesium hergestellt ist. Erfindungsgemäß kommen prinzipiell auch andere Materialien in Frage.

[0021] Die beiden Spannabschnitte 12, 14 sind jeweils mit einem Außengewinde 13, 15 versehen, über die sie mit dem Innengewinde 19 einer ringförmigen Spannfeder 18 verschraubt sind. Die Spannfeder 18 dient als ein Spannorgan, mit dem ein piezoelektrisches Element 16 zwischen den einander zugewandten Stirnseiten der mit der Spannfeder 18 verschraubten Spannabschnitte 12, 14 zusammengedrückt werden kann. Durch die Einschraubtiefe der Spannabschnitte 12, 14

kann eine jeweils gewünschte Vorspannung des piezoelektrischen Elementes 16 eingestellt werden.

[0022] Das piezoelektrische Element 16 ist bevorzugt aus einer Piezokeramik hergestellt und kann - wie es in der Figur angedeutet ist - in mehrere Scheiben 16a, 16b aufgeteilt sein.

[0023] Die Piezoscheiben 16a, 16b sind mit flächigen Elektroden 28 versehen, die über Anschlüsse 32 mit einer Wechselspannung vorgegebener Frequenz derart angesteuert werden können, daß die axiale Länge des piezoelektrischen Elementes 16, d.h. jeweils die Scheibendicke, entsprechend zeitlich variiert. Das Piezoelement 16 bildet somit eine axiale Kraftquelle, mit der bei passender Frequenz der angelegten Wechselspannung die Gesamtanordnung in axiale Schwingungen oder Längsschwingungen versetzt und dabei zu einer Längsresonanz angeregt werden kann.

[0024] Die freie Stirnseite des aus dem leichten Material hergestellten (in der Figur rechten) Spannabschnitts 14 dient dabei als Sende- und/oder Empfangsfläche 34, über welche die Ultraschallsignale abgestrahlt bzw. über welche Ultraschallsignale empfangen werden.

[0025] Während das piezoelektrische Element 16 im Bereich größter mechanischer Spannung und kleinster Schwingungsgeschwindigkeit der Gesamtstruktur liegt, ist die Schwingungsgeschwindigkeit in der Ebene der Sende- und/oder Empfangsfläche 34 maximal. Dieser Effekt kann dadurch verstärkt werden, daß der aus dem leichten Werkstoff bestehende Spannabschnitt 14 in Richtung der Sende- und/oder Empfangsfläche 34 verjüngend ausgebildet wird, wobei jedoch vor dem freien Ende der Durchmesser des Spannabschnitts 14 wieder derart zunimmt, daß die Sende- und/oder Empfangsfläche 34 von einem plattenförmigen Endabschnitt 50 gebildet wird. Auf diese Weise wird eine Gewichtsminimierung erzielt, wobei aufgrund der flächenvergrößernden Platte 50 die Größe der Sende- bzw. Empfangsfläche 34 nicht verringert wird. In der Figur ist eine derartige Ausgestaltung des Spannabschnitts 14 durch gestrichelte Linien lediglich schematisch angedeutet.

[0026] Allgemein wird eine derartige zusammengesetzte Struktur, bei der ein einoder mehrteiliges piezoelektrisches Element 16 zwischen zwei Spannabschnitten 12, 14 eingeklemmt ist, auch als Längsschwinger oder als $\lambda/2$ -Schwinger bezeichnet.

[0027] Ein derartiger Ultraschallwandler wird beispielsweise in industriellen Anwendungen zur Abstandsmessung und Durchflußmessung eingesetzt, indem kurze Ultraschallimpulse abgesendet und empfangen werden.

[0028] Im in der Figur linken Spannabschnitt 12 ist ein zentraler Kanal 36 vorgesehen, dessen Mittelachse mit der Längsachse 27 der Gesamtanordnung zusammenfällt. Der Kanal 36 sowie zentrale Durchbrüche 17a, 17b in den Piezoscheiben 16a, 16b dienen zur Aufnahme von Anschlußleitungen 38 zur Ansteuerung der Elektroden 28 über die Anschlüsse 32, wobei dies in der Figur

lediglich schematisch angedeutet ist.

[0029] Die Spannfeder 18 zum Vorspannen des Piezoelementes 16 weist eine geringe axiale Baulänge auf und ist in einem mittleren, im Bereich des Piezoelementes 16 angeordneten Abschnitt bezüglich stirnseitiger Randabschnitte, in denen die Spannfeder 18 mit den Spannabschnitten 12, 14 verschraubt ist, radial nach außen erweitert.

[0030] In diesem mittleren Abschnitt sind in der Wandung der Spannfeder 18 zwei Umfangsaussparungen 22, 24 mit identischem rechteckigen Querschnitt ausgebildet. An den Umfangsaussparungen 22, 24 ist die Wandung der Spannfeder 18 vollständig durchtrennt, d. h. die Wandung der Spannfeder 18 ist durch die Aussparungen 22, 24 im entsprechenden Umfangsbereich in axialer Richtung unterbrochen.

[0031] Die Umfangsaussparungen 22, 24 erstrecken sich über einen in Abhängigkeit von der jeweiligen Anwendung größeren oder kleineren Winkelbereich, d. h. größeren oder kleineren Teil des Umfangs der Spannfeder 18. Dabei ist es bevorzugt, wenn die verbleibenden Umfangsabschnitte, die jeweils zwei der durch die Aussparungen 22, 24 axial getrennten Bereiche 18a, 18b, 18c der Spannfeder 18 miteinander verbinden, in Umfangsrichtung gegeneinander versetzt angeordnet sind. So ist es beispielsweise möglich, die beiden Aussparungen 22, 24 jeweils derart auszubilden, daß sie in Umfangsrichtung lediglich durch einen vergleichsweise kurzen Steg unterbrochen sind, wobei die beiden Stege um 180° gegeneinander in Umfangsrichtung versetzt angeordnet sind.

[0032] Durch das Vorsehen der Aussparungen oder Schlitze oder Spalte 22, 24 werden in der Wandung der Spannfeder 18 Biegespannungszonen gebildet, die als Federelemente wirken. Dadurch wird der insgesamt zur Verfügung stehende axiale Federweg der Spannfeder 18 vergrößert, ohne daß hierzu eine Vergrößerung von deren axialer Baulänge erforderlich ist.

[0033] Die Umfangsaussparungen 22, 24 sind in Abhängigkeit von den Abmessungen, insbesondere der axialen Länge, der Spannfeder 18 derart bemessen und angeordnet, daß im Arbeitsfrequenzbereich oder Hauptübertragungsfrequenzbereich des Ultraschallwandlers keine Eigenschwingungen der Spannfeder 18 entstehen. Die Spannfeder 18 kann somit durch passende Ausgestaltung der Umfangsaussparungen 22, 24 in besonders einfacher Weise an den jeweiligen Ultraschallwandler bzw. an dessen geforderten Betriebsparameter angepaßt werden.

[0034] Die Umfangsaussparungen 22, 24 sind des weiteren mit einer Dämpfungsmasse 26 ausgegossen, wodurch störende Ein- und Ausschwingeffekte gedämpft werden. Derartige Ein- und Ausschwingvorgänge können durch außerhalb des Arbeitsfrequenzbereiches des Ultraschallwandlers liegende Eigenschwingungen der Spannfeder 18 angeregt werden. Prinzipiell ist ein zufriedenstellender Betrieb des erfindungsgemäßen Ultraschallwandlers auch ohne Ausgießen der Aus-

sparungen 22, 24 möglich. Ohne das schwingungsdämpfende Material in den Umfangsaussparungen 22, 24 kann es allerdings unter bestimmten Konstellationen passieren, daß der Betrieb des Ultraschallwandlers durch die Eigenschwingungen der Ringfeder 18 beeinträchtigt wird. Dies wird durch das Material in den Aussparungen 22, 24 sicher vermieden.

[0035] Durch die Wahl eines passenden Dämpfungsmaterials 26, z.B. einer elastischen Vergußmasse, kann die Spannfeder 18 gezielt an die jeweiligen Gegebenheiten angepaßt werden.

[0036] Abweichend von der vorstehend beschriebenen Ausführungsform der Erfindung mit einer zweistufigen Aussparungs-, Schlitz- oder Spaltkonstruktion kann die Spannfeder 18 auch lediglich mit einer einzigen Umfangsaussparung oder alternativ auch mit drei oder einer noch größeren Anzahl von Umfangsaussparungen versehen sein.

20 Bezugszeichenliste

[0037]

12	Spannabschnitt
13	Außengewinde
14	Spannabschnitt
15	Außengewinde
16	piezoelektrisches Element
16a	Scheibe
16b	Scheibe
17a	Durchbruch
17b	Durchbruch
18	Spannorgan, Spannfeder
18a	Bereiche der Spannfeder
18b	Bereiche der Spannfeder
18c	Bereiche der Spannfeder
19	Innengewinde
22	Umfangsaussparung
24	Umfangsaussparung
25	Dämpfungsmaterial
26	Vergußmasse
27	Längsachse
28	Elektrode
32	Anschluß
34	Sende- und/oder Empfangsfläche
36	Kanal
38	Anschlußleitungen
50	plattenförmiger Endabschnitt

Patentansprüche

1. Ultraschallwandler, insbesondere vom Längsschwinger-Typ, mit zumindest einem zwischen zwei Spannabschnitten (12, 14) angeordneten piezoelektrischen Element (16) und wenigstens einem Spannorgan (18), mit dem das piezoelektrische Element (16) über die Spannabschnitte (12, 14)

- vorgespannt ist,
dadurch gekennzeichnet,
daß als Spannorgan eine ringförmige Spannfeder (18) vorgesehen ist, in deren Wandung wenigstens eine Umfangsaussparung (22, 24) ausgebildet ist. 5
2. Ultraschallwandler nach Anspruch 1,
dadurch gekennzeichnet,
daß zwei axial beabstandete Umfangsaussparungen (22, 24) vorgesehen sind. 10
3. Ultraschallwandler nach Anspruch 1 oder 2,
dadurch gekennzeichnet,
daß das Eigenschwingungsspektrum der Spannfeder (18) in Abhängigkeit von dem jeweiligen Ultraschallwandler, insbesondere von dessen Arbeitsfrequenzbereich, optimiert ist. 15
4. Ultraschallwandler nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet,
daß die Spannfeder (18) derart ausgebildet ist, daß im Arbeitsfrequenzbereich des Ultraschallwandlers Eigenschwingungen der Spannfeder (18) vermieden sind. 20 25
5. Ultraschallwandler nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet,
daß die Spannfeder (18) derart ausgebildet ist, daß Ein- und/oder Ausschwingvorgänge, die durch Eigenschwingungen der Spannfeder (18) außerhalb des Arbeitsfrequenzbereiches des Ultraschallwandlers hervorgerufen werden, unterdrückt sind. 30 35
6. Ultraschallwandler nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet,
daß die Umfangsaussparung (22, 24) zumindest teilweise mit einem schwingungsdämpfenden Material, insbesondere mit einer Vergußmasse (26), gefüllt ist. 40
7. Ultraschallwandler nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet,
daß die Umfangsaussparung (22, 24) schlitz- oder spaltförmig ist. 45
8. Ultraschallwandler nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet,
daß die Umfangsaussparung (22, 24) einen rechteckigen Querschnitt aufweist. 50 55
9. Ultraschallwandler nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet,
daß die axialen Begrenzungsflächen der Umfangsaussparung (22, 24) senkrecht zur Längsachse (27) der Spannfeder verlaufen.
10. Ultraschallwandler nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet,
daß die Wandung der Spannfeder (18) an der Umfangsaussparung (22, 24) vollständig durchtrennt ist.
11. Ultraschallwandler nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet,
daß die Spannfeder (18) im Bereich der Umfangsaussparung (22, 24) gegenüber ihren stirnseitigen Randabschnitten radial nach außen erweitert ist.
12. Spannorgan für einen Ultraschallwandler nach dem Oberbegriff des Anspruchs 1,
dadurch gekennzeichnet,
daß es in Form einer ringförmigen Spannfeder (18) vorgesehen ist, in deren Wandung wenigstens eine Umfangsaussparung (22, 24) ausgebildet ist.
13. Spannorgan nach Anspruch 12 mit den eine Spannfeder (18) betreffenden Merkmalen eines der Ansprüche 2 bis 11.

