



(19)  
**Bundesrepublik Deutschland**  
**Deutsches Patent- und Markenamt**

(10) **DE 10 2007 014 161 B4 2009.06.04**

(12)

## Patentschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2007 014 161.2**  
 (22) Anmeldetag: **23.03.2007**  
 (43) Offenlegungstag: **25.09.2008**  
 (45) Veröffentlichungstag  
 der Patenterteilung: **04.06.2009**

(51) Int Cl.<sup>8</sup>: **G01L 1/00 (2006.01)**  
**G01L 1/16 (2006.01)**  
**E01D 19/04 (2006.01)**  
**G01M 7/00 (2006.01)**

Innerhalb von drei Monaten nach Veröffentlichung der Patenterteilung kann nach § 59 Patentgesetz gegen das Patent Einspruch erhoben werden. Der Einspruch ist schriftlich zu erklären und zu begründen. Innerhalb der Einspruchsfrist ist eine Einspruchsgebühr in Höhe von 200 Euro zu entrichten (§ 6 Patentkostengesetz in Verbindung mit der Anlage zu § 2 Abs. 1 Patentkostengesetz).

(73) Patentinhaber:  
**Jäger, Frank-Michael, 04416 Markkleeberg, DE**

(72) Erfinder:  
**gleich Patentinhaber**

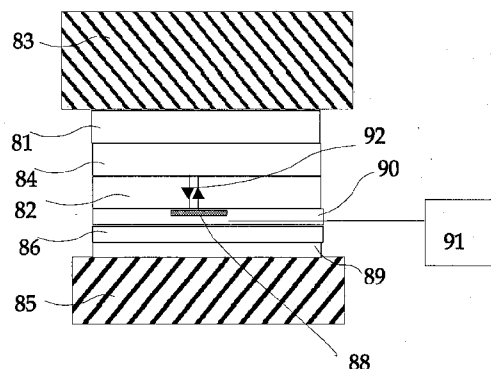
(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht  
 gezogene Druckschriften:

**DE 199 13 895 A1**  
**DE 44 02 608 A1**  
**DE 20 2005 015571 U1**  
**DE 101 26 539 A1**  
**DE 693 19 850 T2**

(54) Bezeichnung: **Vorrichtung und Verfahren zur Lastmessung an Lagern von Bauwerken**

(57) Hauptanspruch: Vorrichtung zur Lastmessung an Lagern von Bauwerken und zur Messung der Flächenpressung zwischen den die Vertikal- und/oder Horizontalkräfte übertragenden Lagerteilen, mit zwischen den Lagerteilen angeordneten Gleitschichten zur Übertragung der Kräfte mit:

- a) einem Lagerteil welches wenigstens einen piezoelektrischen Sensor zur Einleitung von Ultraschallwellen besitzt,
- b) einer Anordnung zur Messung der Ultraschallimpulslaufzeiten in einem die vertikalen Kräfte aufnehmenden Lagerteil,
- c) einer Einheit zur Datenübertragung und/oder Datenspeicherung,
- d) und einer Krafteinleitung ganz oder teilweise durch den Ultraschallwellensensor.



**Beschreibung**

**[0001]** Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung zur Messung der Auflast von Brückenlagern innerhalb der die Horizontal- und/oder Vertikalkräfte übertragenden Lagerteile. Die Erfindung betrifft ferner ein Verfahren zur Messung von Auflasten an Lagern von Bauwerken.

**[0002]** Bei Bauwerken der vorgenannten Art, insbesondere Brücken mit einem oder mehreren Auflagern, kann es zur Gewährleistung und des Nachweises der Betriebssicherheit wünschenswert oder erforderlich sein alle Veränderungen der Lastaufnahme und deren Verteilung auf die Lagerpunkte zu ermitteln und zu erfassen.

**[0003]** Während der Herstellung von Brückenbauwerken im Takt-Schiebe-Verfahren werden die Takt-schiebelager unterschiedlich belastet. Die Kontrolle auf mögliche Veränderungen an den Lastaufnahme-punkten kann so zum Beispiel Unterbausetzungen oder andere Störungen in der Krafteinleitung in den Untergrund feststellen. Lastumlagerungen an Lagerpunkten lassen sich nicht nur während der Herstellungsphase des Bauwerkes sondern auch während des regulären Betriebes feststellen. Dieses kann besonders in erdbebengefährdeten Gebieten von Bedeutung sein.

**Stand der Technik**

**[0004]** Zur Spannungsermittlung an Bauwerken gibt es außer dem Umweg der Ermittlung geometrischer Größen mit optischen Geräten (Dehnungsmessung mit faseroptischen-Sensoren oder Dehnmessstreifen) für die Erfassung der Bewegung von Bauteilen auch noch die Längenmessverfahren mit Schwingseiten oder faseroptischen Sensoren.

**[0005]** Es gibt auch Anwendungen zur Spannungsmessung mit hydraulischen Kissen oder Kolbensystemen.

**[0006]** Stellvertretend seien hier für die Messverfahren, die zur Spannungsbestimmung mit hydraulischen Druckaufnehmern arbeiten, die bekannten Druckkissen nach Glötzl, genannt.

**[0007]** Mit diesen hydraulischen Kissen kann zum Beispiel auch der Kraftschluss zum Baugrund gemessen werden.

**[0008]** Diese Methoden besitzen mehrere wesentliche Nachteile. So muss die absolute Dichtheit zur Aufrechterhaltung des Druckes in dem System gewährleistet sein. Zur Druckbeaufschlagung mit Hydrauliköl sind Absperrrichtungen notwendig, die aber potentielle Stellen für Undichtheiten sind. Weitere Nachteile für Langzeitmessungen sind die Vorhal-

tung von Pumpen und Vorratsgefäßen zur Druckkompensation bei Druckmessdosen oder Druckmesskissen.

**[0009]** Mit Druckaufnehmern kann auch die Auflast von Lagern gemessen werden. Diese Auflastmessung soll Bauwerksüberlastungen und daraus resultierende Schäden erkennen.

**[0010]** Werden die Elastomere, die unter Druck ein Fließverhalten zeigen, wie Flüssigkeiten betrachtet, kann durch Annahme eines quasi-hydrostatischen Druckausgleiches die Auflast bestimmt werden.

**[0011]** So wird nach Druckschrift DE 199 13 895 A1 die Auflast an Lagern (Elastomerlager) durch Druckmessung mit Druckaufnehmern gemessen.

**[0012]** Diese Methode wird aber durch die starke Temperaturabhängigkeit der Elastomere beeinflusst. Auch sind der Einfluss innerer und äußerer Reibungskräfte gegeben.

**[0013]** Das Zeitstandsverhalten von Metallen ist wesentlich stabiler als das von polymolekularen Elastomeren.

**[0014]** Eine wichtige Bedingung ist die Formstabilität. Ein Kriechen des Messkörpers würde zur Verlängerung der Messstrecke und damit zu fehlerhaften Messergebnissen führen. Durch Bewehrung muss ein Fließen des Elastomers verhindert werden.

**[0015]** In der DE 44 02 608 A1 werden Lager für Bauwerke beschrieben, die Kraftmesselemente mit Dehnmessstreifen verwenden. Hier soll u. A. die Verformung der Lagerplatte gemessen werden. Auch wird hier die Verwendung der Krafteinleitungsplatten als Kondensator vorgeschlagen. Messtechnisch ist aber die Messung der Kapazität eines aus Lagerplatten und Elastomer gebildeten Kondensators problematisch. Die dielektrischen Eigenschaften des Elastomers sind zur Messung sehr ungünstig, da sehr klein und vorn umgebenden Klima abhängig. Zweitens beträgt der Plattenabstand mehrere Zentimeter und die sich daraus ergebende Kapazität ist sehr klein. Eine Messanordnung zur lastabhängigen Kapazitätsbestimmung ist ohne HF-gerechten Aufbau nicht möglich, dieser ist aber unter Praxisbedingungen unter einer Brücke wirtschaftlich nicht realisierbar.

**[0016]** Weiterhin sind im Stand der Technik die Druckabhängigkeit der Eigenschaften der Wellenausbreitung in unterschiedlichen Medien bekannt. Mit der Messung der Ausbreitungsgeschwindigkeit von Kompressions- und/oder Scherwellen können richtungsabhängige Spannungen gemessen werden.

**[0017]** In der DE 20 2005 015 571 U1 wird eine Vor-

richtung zur Spannungsermittlung im Gebirge beschrieben, bei der ein oder mehrere Ultraschallsensoren in Bohrlöcher eingebracht werden, wobei die Messung der Ultraschallparameter nicht direkt im Gebirge erfolgt, sondern in einer, die Gebirgsspannung aufnehmenden Bohrlochsonde, die mit einem in der Sonde enthaltenem, nicht kompressiblen Medium.

**[0018]** Ferner wird in der DE 101 26 539 A1 eine Vorrichtung zur Verformungs- und/oder Bewegungserfassung genannt. Die dort offengelegte Vorrichtung benötigt ein Paar piezoelektrischer Sensoreinheiten zur Abstandsmessung und einen verformbaren Wellenleiter aus einem Polymer. Wesentliche Nachteile und Hinderungsgründe für eine Anwendung zur Lastmessung an Bauwerken bestehen unter anderem aus:

- das Zeitstandsverhalten von Polymeren unter hohen mechanischen Belastungen ist ungenügend, die Polymere zeigen Verhalten wie Flüssigkeiten,
- hohe Temperaturabhängigkeit der mechanischen Eigenschaften,
- die Transmissionseigenschaften der Polymere für Ultraschall erfordern relativ niedrige Ultraschallfrequenzen und bewirken damit eine nur ungenügende Laufzeitauflösung, damit wird die Wegmessung zur Messung der Auflast unbrauchbar.

**[0019]** Die DE 693 19 850 T2 betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung zum Messen von Normaldruck und Scherdruck unter Verwendung eines piezoelektrischen Sensors. Dabei werden sowohl die piezoelektrische Spannung am Piezosensor bei Kräfteinwirkung als auch die Abstandsveränderung in einem Polymer gemessen.

**[0020]** Neben den schon vorstehend genannten Nachteilen der Messungen an durch Kräfteinwirkung deformierte Polymere, sind weitere Einschränkungen zu beachten. So können dort nur Kraftmessungen über die Laufzeit bei jeweils nur 4–6  $\mu$ s erfolgen.

**[0021]** Für stabile und praxisrelevante Messungen an Bauwerkslagern sind langzeitstabile Messkörper erforderlich. Zudem erfordern die Laständerungen im MPa-Bereich noch verwertbare Messergebnisse der Laufzeit mit Auflösungen zwischen ns und ps (Nano- und Piko-sekunden).

**[0022]** Neben der Laufzeitänderung durch das elastische Verhalten der Messkörper muss auch die Abhängigkeit der Ultraschallgeschwindigkeit von der einwirkenden Kraft beachtet werden.

#### Aufgabenstellung

**[0023]** Aufgabe der Erfindung ist es, eine geeignete Überwachungseinrichtung für Brückenlager zu

schaffen, die ohne Verformungs- oder Druckmessung an Teilen der Lagerkörper, Lastaufnahmen über eine Messung der Spannung innerhalb der Lagerkörper ermöglicht und durch den Vergleich und Analyse der gemessenen Werte mit älteren Werten Schädigungen früh erkennt.

**[0024]** Die Lösung der gestellten Aufgabe ist in den gekennzeichneten Merkmalen der Ansprüche 1 und 7 beschrieben.

**[0025]** Die weiteren Ansprüche geben vorteilhafte Weiterbildungen der Vorrichtung zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens wieder.

**[0026]** Das erfindungsgemäße Verfahren zur Lastmessung an Brückenlagern durch die Langzeitbeobachtung und des Vergleiches von Spannungsmessungen innerhalb der Lagerkörper mittels Ultraschall beruht auf dem akusto-elastischen Effekt. Die Laufzeit eines Ultraschallimpulses innerhalb eines Lagerkörpers wird gemessen.

**[0027]** Die Schallgeschwindigkeit der Ultraschallwellen ist abhängig von den elastischen Spannungen innerhalb des Messkörpers, hier zum Beispiel in einer Lagerplatte.

**[0028]** Voraussetzung für diese Messung ist der form- und kraftschlüssige Schluss der Messkörper mit der Lagerplatte.

**[0029]** Die Verbindung der Messkörper kann durch spezielle Koppelmedien, zum Beispiel durch Kleben an die Bauteile oder durch andere kraft- und form-schlüssige Verbindungen erfolgen.

**[0030]** Wird in den metallischen Ankerplatten der Lager die Ultraschalllaufzeit gemessen, ist eine Messung der Auflast auf die Lager vorteilhaft und leicht möglich.

**[0031]** Zur Erzielung einer hohen Auflösung werden möglichst kurze Sendeimpulse und steile Flanken des Empfangsimpulses benötigt. Das setzt eine gute Ultraschall-Leitfähigkeit der Messstrecken oder Messkörper voraus.

**[0032]** Beim Einsatz von Metallen werden diese Forderungen weitestgehend erfüllt. Die Adaption der Ultraschallwandler in metallische Körper ist leicht möglich.

**[0033]** Die Kräfteinleitung über die Außenflächen in die Messkörper und die damit verbundene Stauchung wird als negative Dehnung messtechnisch erfasst.

**[0034]** Die Messung der Laufzeit der Ultraschallimpulse, d. h. die Ermittlung der Schallgeschwindigkeit,

ist mit einem oder mehreren Ultraschallsensoren möglich. Dabei kann ein Sensor als Sender und Empfänger arbeiten und eine oder mehrere Reflexionen des Ultraschalls an der Wandung der Messstrecke auswerten. Auch zwei oder mehrere Ultraschallsensoren, d. h. getrennte Sender und Empfänger, können vorteilhaft verwendet werden.

**[0035]** Der akusto-elastische Effekt kann sowohl durch die Messung der longitudinalen (Schub-)Welle als auch durch die Messung der transversalen (Scher-)Welle oder durch Auswertung der Veränderung beider Wellen erfolgen.

**[0036]** In vorteilhafter Weise wird mindestens eine PVDF-Folie an eine Lagerplatte befestigt, so dass die Schallwellen in Richtung der eingeleiteten Last verlaufen.

**[0037]** Technisch lässt sich das durch Zwischenlegen der PVDF-Folie zwischen plane Lagerplatten erreichen.

**[0038]** Die Reflexion der Ultraschallwelle erfolgt an der Phasengrenze Lagerplatte-Elastomer.

**[0039]** Das beidseitige Abstrahlen von Ultraschallwellen aus der PVDF-Folie kann durch ein Material mit hohem Schallwiderstand erreicht werden.

**[0040]** Eine andere Methode ist das Einbringen einer Dünnen Schicht mit einer Textur, zum Beispiel Glasvlies. Auch Lacke mit einer bestimmten Pigmentstruktur, welche die Ultraschallwellen stark streut, sind geeignet.

**[0041]** Damit wird eine definierte Laufzeitmessung in nur einer Lagerschicht erreicht.

**[0042]** Die Änderung der Schallgeschwindigkeit durch die Änderung der akusto-elastischen Koeffizienten ist im Verhältnis zur absoluten Schallgeschwindigkeit sehr klein.

**[0043]** Die direkte messtechnische Auswertung durch eine übliche Laufzeitmessung (time of flight) ist zu ungenau, da hier die Auflösung nicht ausreicht.

**[0044]** Eine direkte Frequenzzählung über Mikroprozessoren scheidet aus, da die Zykluszeit (Rechentakt) um den Faktor 1000 bis 10000 größer ist als die geforderte nutzbare Auflösung. Metallplatten von wenigen Zentimetern ergeben bei nur einer Reflexion Laufzeiten des Ultraschallimpulses kleiner 10  $\mu$ s.

**[0045]** Sollen Belastungen von nur einigen MPa gemessen werden, muss die Auflösung unter 0,1 ns liegen.

**[0046]** Zur Erfassung von Lastumlagerungen (oder auch Spannungsumlagerungen) in der Größenordnung 100 kPa und kleiner reichen auch moderne Messanordnungen wie die TDC (Time-to-Digital-Converter) mit Auflösungen bis etwa 0,15 ns nicht aus.

**[0047]** Mit elektronischen Maßnahmen kann die Messempfindlichkeit (hier auch als Auflösung bezeichnet) erhöht werden. So können die Ultraschallsensoren (Sendewandler und Empfangswandler) in einer Regelschleife (PLL-Oszillator) oder als pulsed-phase-locked-loop (PPLL) betrieben werden. Man erreicht einen Phasen-Shift kleiner 0,001°, das entspricht einem Zeitversatz von etwa 0,002 Nanosekunden. Damit ist die Auflösung ca. zweimal besser als bekannte Verfahren mit FFT-basierten Auswertungen und Kreuzkorrelationen der Echosignale.

#### Ausführungsbeispiele

**[0048]** Weitere vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung ergeben sich aus den Merkmalen der Unteransprüche. Im Folgenden soll die Erfindung anhand von Ausführungsbeispielen beschrieben werden. Es zeigen:

**[0049]** **Fig. 1** eine Ausführungsvariante und Vorrichtung zur Auflastmessung von Brückenlager mit Elastomerschicht zwischen den Lagerplatten

**[0050]** **Fig. 2** eine schematische Darstellung einer Ausführungsvariante mit Trägerfolie zur Kontaktierung der PVDF-Folie

**[0051]** In **Fig. 1** ist eine Ausführungsvariante und Vorrichtung zur Auflastmessung von Brückenlagern mit einer Elastomerschicht zwischen der oberen Lagerplatte **81** und unteren Lagerplatte **82** dargestellt.

**[0052]** Die Auflast der Brückenbauwerksteile **83** wird von der oberen Lagerplatte **81** getragen. Zwischen der oberen Lagerplatte **81** und der unteren Lagerplatte **82** befindet sich eine Elastomerschicht **84**.

**[0053]** In der unteren Lagerplatte **82** wird die Laufzeit der Ultraschallwellen **92** gemessen. Dazu ist die ultraschallaussendende und ultraschallempfangende PVDF-Folie **88** mit einer Elektronikeinheit **91** verbunden. Die PVDF-Folie **88** ist auf einer Kontaktfolie **90** befestigt. Unter der Kontaktfolie **90** befindet sich eine Schutzlage mit Textur **86**. Diese Schutzlage mit Textur **86** verhindert das Ausbreiten der Ultraschallwellen **92** in Richtung Brückenpfeiler **85**. Zum Schutz der Schutzlage mit Textur **86** gegen mechanische Beschädigung durch Betonrauigkeiten ist darunter eine Schutzplatte **89** angeordnet.

**[0054]** Die elektrische Verbindung zwischen der PVDF-Folie **88** und der Elektronikeinheit **91** kann na-

türlich mit unterschiedlichen Mitteln erfolgen. Wird dazu zum Beispiel Koaxialkabel verwendet wird zum mechanischen Schutz des Koaxialkabels in die Schutzplatte **89** eine Rille oder Nut eingearbeitet.

**[0055]** Die Elektroneinheit **91** ermittelt die Ultraschalllaufzeiten der in der unteren Lagerplatte **82** reflektierten Ultraschallwellen **92** mit einer Auflösung besser 0,01%.

**[0056]** Dazu werden die in der Beschreibung erwähnten elektronischen Mittel verwendet.

**[0057]** Die Elastomerschicht **84** kann natürlich in einer anderen, hier nicht weiter dargestellten Ausführungsform des Lagers mit Auflastmessung als Gleitschicht ausgebildet werden. Damit sind Auflastmessungen während großer Bewegungen zwischen oberer Lagerplatte **81** und unterer Lagerplatte **82** möglich. Diese Bewegungen treten zum Beispiel beim Bau von Brückenbauwerken nach dem Takt-Schiebe-Verfahren auf.

**[0058]** Mit der erfindungsgemäßen Auflastmessung und dem beschriebenen Brückenlager ist während des Schiebevorganges der Brücke eine Auflastmessung möglich. Nach dem Bau der Brücke kann die untere Lagerplatte **82** mit der PVDF-Folie **88** zur Auflastmessung unter der fertigen Brücke verbleiben.

**[0059]** Fig. 2 ist eine schematische Darstellung einer Ausführungsvariante mit Trägerfolie **93** zur Kontaktierung der PVDF-Folie **88** mit der Elektroneinheit **91**. Zwischen der unteren Lagerplatte **82** und der Schutzplatte **89** ist die Trägerfolie **93** mit der aufgetragenen PVDF-Folie **88** dargestellt. Die Leiterbahnen **15** und **16** zur Verbindung der PVDF-Folie **88** mit der Elektroneinheit **91** können noch mit hier nicht dargestellten Abschirmschichten hergestellt werden. Dazu wird für die Trägerfolie **93** eine Multi-Layer-Leiterplattenfolie verwendet.

**[0060]** Besitzt die Leiterplattenfolie eine Textur aus Glasgewebe, wird die Abstrahlung der Ultraschallwellen in die Schutzplatte **89** verhindert.

**[0061]** Durch die Verwendung eines füllstoffhaltigen Lackes kann der Ultraschall ebenfalls gestreut werden.

**[0062]** Die in Fig. 2 gezeigte Vorrichtung kann vorteilhaft als kompakte Einheit gefertigt werden.

**[0063]** Die erfindungsgemäße Auflastmessung an Brückenlagern beschränkt sich nicht nur auf Elastomerlager und Gleitlager.

**[0064]** Bei allen Bauteillagern, wo die Ultraschallwellengeschwindigkeit in Feststoffen gemessen werden kann, ist die Auflastmessung durch die Messung

der mechanischen Spannung möglich.

## Patentansprüche

1. Vorrichtung zur Lastmessung an Lagern von Bauwerken und zur Messung der Flächenpressung zwischen den die Vertikal- und/oder Horizontalkräfte übertragenden Lagerteilen, mit zwischen den Lagerteilen angeordneten Gleitschichten zur Übertragung der Kräfte mit:

- a) einem Lagerteil welches wenigstens einen piezoelektrischen Sensor zur Einleitung von Ultraschallwellen besitzt,
- b) einer Anordnung zur Messung der Ultraschallimpulslaufzeiten in einem die vertikalen Kräfte aufnehmenden Lagerteil,
- c) einer Einheit zur Datenübertragung und/oder Datenspeicherung,
- d) und einer Kraftereinleitung ganz oder teilweise durch den Ultraschallwellensensor.

2. Vorrichtung gemäß Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die piezoelektrischen Sensoren aus einer piezoelektrischen Folie bestehen.

3. Vorrichtung gemäß Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die piezoelektrischen Sensoren aus mindestens einer auf einem Lagerteil haftenden piezoelektrischen Schicht bestehen.

4. Vorrichtung gemäß einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass die piezoelektrischen Sensoren teilweise oder ganz die Fläche zwischen den Lagerteilen bedecken.

5. Vorrichtung gemäß einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass die piezoelektrischen Sensoren mittels einer zwischen den Lagerteilen befindlichen Kontakteinrichtung mit der Anordnung zur Messung der Ultraschalllaufzeiten verbunden sind.

6. Vorrichtung nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, dass die Kontakteinrichtung flächenhaft zwischen den Lagerteilen als Schicht oder durch eine Folie gebildet wird.

7. Verfahren zur Lastmessung an Lagern von Bauwerken und zur Messung der Flächenpressung zwischen den die Vertikal- und/oder Horizontalkräfte übertragenden Lagerteilen, mit zwischen den Lagerteilen angeordneten Gleitschichten zur Übertragung der Kräfte mit nachfolgenden Verfahrensschritten:

- a) Aufnahme der vertikalen Kräfte in ein Lagerteil,
- b) Entkopplung der horizontalen und vertikalen Kräfte,
- c) Einleitung von Ultraschallwellen in ein Lagerteil,
- d) Messung der Ultraschallimpulslaufzeiten in einem die vertikalen Kräfte aufnehmenden Lagerteil,
- e) Übermittlung und/oder Bewertung der gemessenen

nen Ultraschalllaufzeiten.

Es folgen 2 Blatt Zeichnungen

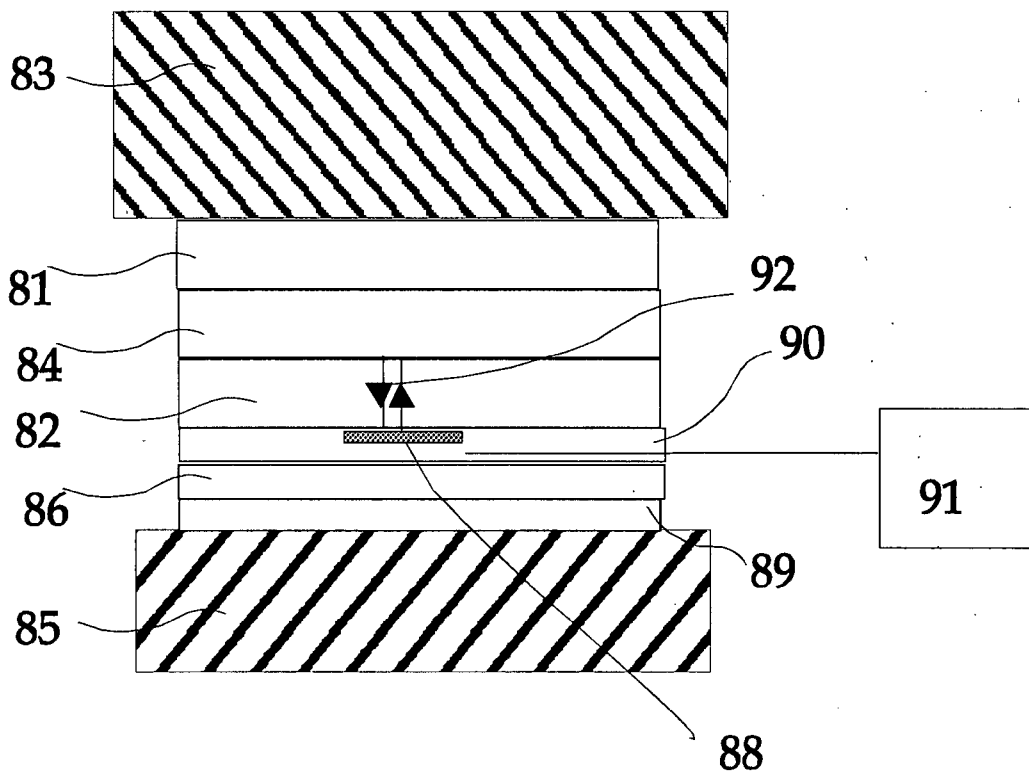


Fig. 1

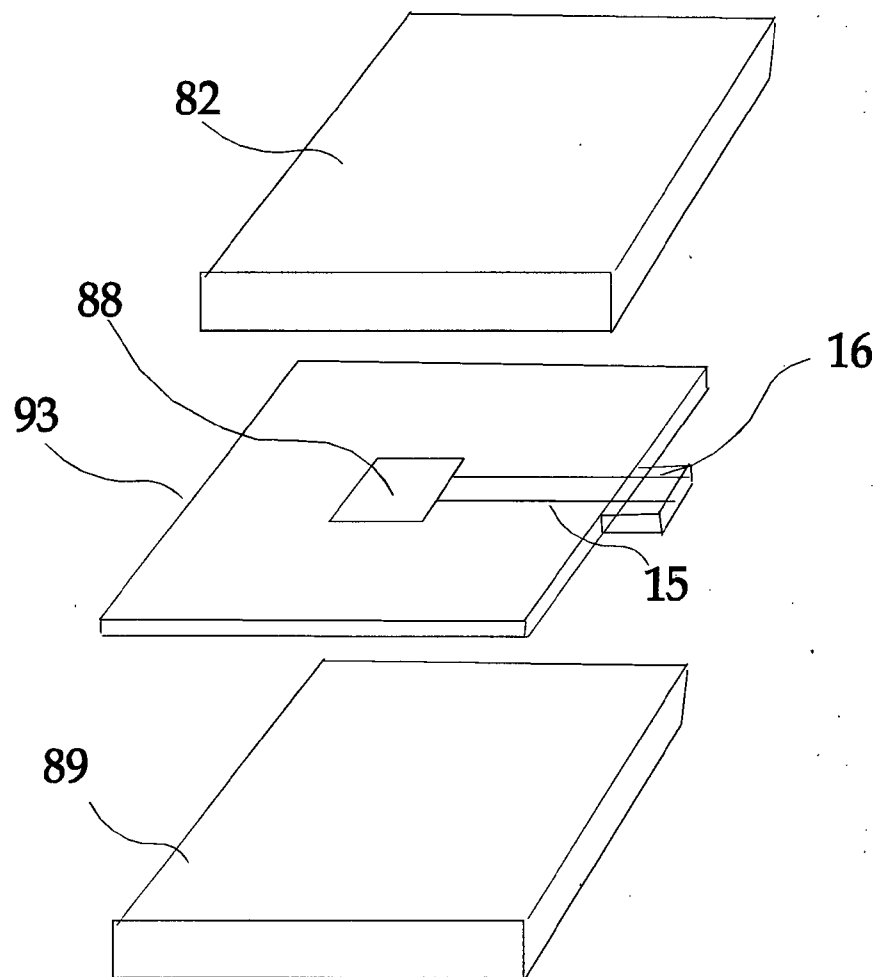


Fig. 2