



(19)  
Bundesrepublik Deutschland  
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) DE 699 11 625 T2 2004.07.01

(12)

## Übersetzung der europäischen Patentschrift

(97) EP 1 108 345 B1

(21) Deutsches Aktenzeichen: 699 11 625.2

(86) PCT-Aktenzeichen: PCT/GB99/02640

(96) Europäisches Aktenzeichen: 99 940 315.7

(87) PCT-Veröffentlichungs-Nr.: WO 00/13464

(86) PCT-Anmeldetag: 24.08.1999

(87) Veröffentlichungstag

der PCT-Anmeldung: 09.03.2000

(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: 20.06.2001

(97) Veröffentlichungstag

der Patenterteilung beim EPA: 24.09.2003

(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: 01.07.2004

(51) Int Cl.<sup>7</sup>: H04R 17/00

H04R 7/04, H04R 9/06

(30) Unionspriorität:

9818719 28.08.1998 GB

(73) Patentinhaber:

New Transducers Ltd., London, GB

(74) Vertreter:

WUESTHOFF & WUESTHOFF Patent- und  
Rechtsanwälte, 81541 München

(84) Benannte Vertragsstaaten:

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

(72) Erfinder:

BANK, Graham, Woodbridge, Suffolk IP12 4LS,  
GB; HARRIS, Neil, Whittlesford, Cambridge CB2  
4NL, GB; MORECROFT, Denis, Huntingdon,  
Cambridgeshire PE29 6XT, GB

(54) Bezeichnung: LAUTSPRECHER MIT EINEM RESONANTEN PLATTENFÖRMIGEN ELEMENT

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 eingelebt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist (Art. 99 (1) Europäisches Patentübereinkommen).

Die Übersetzung ist gemäß Artikel II § 3 Abs. 1 IntPatÜG 1991 vom Patentinhaber eingereicht worden. Sie wurde vom Deutschen Patent- und Markenamt inhaltlich nicht geprüft.

**Beschreibung****Technisches Gebiet**

[0001] Die Erfindung betrifft Lautsprecher, und insbesondere aber nicht ausschließlich betrifft die Erfindung Schwingungserreger zum Erregen von Resonanz in resonanten plattenförmigen Lautsprechern z. B. der in unserer internationalen Patent anmeldung WO 97/09842 beschriebenen allgemeinen Art, die als Lautsprecher mit 'verteilten Moden' bekannt wurden.

**Stand der Technik**

[0002] Eine bekannte Form von Erregern, die zum Antreiben einer Lautsprecherplatte mit verteilten Moden verwendet wird, beruht auf der Umwandlung eines elektrischen Eingangs in eine Kraft, die senkrecht auf die Plattenoberfläche aufgebracht wird. Dadurch werden vom Antriebspunkt ausgehende Biegewellen erzeugt. Durch geeignetes Positionieren dieses Punkts auf der Lautsprecherplatte können die Moden in der Platte mit ausreichender Dichte gekoppelt werden, um die Platte als Lautsprecher wirken zu lassen.

[0003] Ein Nachteil dieses Plattenerregungsverfahrens besteht darin, dass das Aufbringen der Kraft nahe dem mittleren Abschnitt der Platte gewöhnlich vorzuziehen ist, was z. B. bei einer transparenten Platte, die zusammen mit einer Sichtanzeige verwendet wird, bei der der Schwingungserreger nicht sichtbar sein sollte, nicht möglich wäre.

[0004] Von einem typischen Krafterreger herrührende Biegewellen verursachen auch einen Ganzkörper- (d. h. Trommel-) Modus, dessen ausgestrahltes Schallfeld eine Grenze stören kann, die zur Bildung eines Hohlraums parallel zur Plattenrückseite und in deren nächster Nähe platziert ist. Mit einem solchen Hohlraum hinter einer Platte kann der Ganzkörpermodus bei einer unerwünscht hohen Frequenz auftreten. Diese begrenzt den Niederfrequenzbereich des Lautsprechers und kann bei der dominierenden Resonanz des gekoppelten Systems auch zu einer übermäßigen Resonanz oder Spalte im Frequenzgang führen.

[0005] Es ist eine Aufgabe der Erfindung, ein Verfahren und Mittel zum Erregen einer resonanten Lautsprecherplatte nahe einem Rand der Platte bereitzustellen.

[0006] Es ist eine weitere Aufgabe der Erfindung, ein Verfahren und Mittel zum Erregen einer resonanten Lautsprecherplatte bereitzustellen, die die Erregung von Ganzkörpermoden verringern.

**Offenbarung der Erfindung**

[0007] Erfindungsgemäß ist ein Lautsprecher mit einem resonanten plattenförmigen Element, das eine akustische Leistung zu erzeugen vermag, und einem

Schwingungserregungssystem auf dem plattenförmigen Element, das auf letzteres Biegewellenenergie aufzubringen vermag, dadurch gekennzeichnet, dass das Schwingungserregungssystem eine Torsionskraft auf das plattenförmige Element aufbringen kann. Zusätzlich kann das Schwingungserregungssystem in der Lage sein, eine Scherkraft auf das plattenförmige Element aufzubringen.

[0008] Der Schwingungserreger kann mit dem plattenförmigen Element so gekoppelt sein, dass er eine Mehrzahl Knotenlinien im plattenförmigen Element überspannt.

[0009] Das Schwingungserregungssystem kann eine Aufhängung aufweisen, an der das plattenförmige Element angebracht ist, wobei die Aufhängung als Drehpunkt fungiert, um den zumindest ein Abschnitt einer Kante des plattenförmigen Elements in der Gegend des Schwingungserregungssystems schwenken kann. Die Aufhängung kann aus Kunststoffschaumstoff mit hoher Schersteifigkeit bestehen.

[0010] Das Schwingungserregungssystem kann eine piezoelektrische Einrichtung aufweisen, die am plattenförmigen Element angebracht ist, um auf letzteres durch abwechselndes Einleiten von Zug und Druck in die Ebene des plattenförmigen Elements ein Biegepaar aufzubringen. Die piezoelektrische Einrichtung kann an einer Fläche des plattenförmigen Elements angebracht sein. Spiegelbildliche piezoelektrische Einrichtungen können an entgegengesetzten Flächen des plattenförmigen Elements angebracht sein. Die oder jede piezoelektrische Einrichtung kann eine Unimorph-Einrichtung sein. Die piezoelektrische Einrichtung kann einen neben der Aufhängung angeordneten Abschnitt und einen von der Aufhängung entfernt angeordneten Abschnitt aufweisen. Die piezoelektrische Einrichtung kann eine dünne streifenartige Einrichtung sein, die mittels Klebstoff am plattenförmigen Element befestigt ist. Die piezoelektrische Einrichtung kann aus PZT bestehen. Das plattenförmige Element kann transparent sein. Die piezoelektrische Einrichtung kann transparent sein. Das Schwingungserregungssystem kann eine Trägheitseinrichtung aufweisen. Die Trägheitseinrichtung kann eine Trägheitsmasse aufweisen, die am plattenförmigen Element befestigt ist, um relative Bewegung dazwischen zu verhindern. Die Trägheitseinrichtung kann ein Trägheits-Schwingungserreger sein. An entgegengesetzten Seiten des plattenförmigen Elements können gegenüberliegend angeordnete Trägheits-Schwingungserreger vorhanden sein. Ein zusätzlicher Trägheits-Schwingungserreger kann auf dem plattenförmigen Element vorhanden und mit dem ersten Trägheits-Schwingungserreger in Gegenphase gekoppelt sein, um eine unerwünschte Gesamtkörperbewegung des plattenförmigen Elements zu dämpfen.

[0011] Das Schwingungserregungssystem kann einen elektrodynamischen Motor aufweisen, der einen Rotor mit einem Strom führenden Leiterfeld aufweist und am plattenförmigen Element so angeordnet ist,

dass seine Achse parallel zur Ebene des Elements verläuft, und der ein Mittel zur Erzeugung eines lokalen Magnetfelds aufweist, in dem der Rotor angeordnet ist, um auf das Element eine Torsionskraft aufzu bringen.

[0012] Das Schwingungserregungssystem kann eine piezoelektrische Einrichtung aufweisen, die allgemein rechteckig und diagonal ausgerichtet ist, um als Verdrehen zu fungieren. Das Schwingungserregungssystem kann ein starr mit dem plattenförmigen Element gekoppeltes und von diesem hervorstehendes Element sowie Mittel zum Induzieren von Biegemomenten in diesem Element aufweisen. Das Element kann allgemein senkrecht zum plattenförmigen Element angeordnet sein, und Biegemomente können durch Verlagerung in einem vom plattenförmigen Element beabstandeten Teil des Elements erzeugt werden, wobei die Verlagerung allgemein senkrecht zum Element erfolgt. Die Verlagerung kann mittels einer piezoelektrischen Einrichtung bewirkt werden. Die Verlagerung kann mittels einer Trägheitseinrichtung bewirkt werden.

[0013] Von einem anderen Aspekt aus ist die Erfindung ein Verfahren zur Herstellung eines Lautsprechers mit einem resonanten plattenförmigen Element, das durch Aufbringen von Biegewellenenergie zum Erzeugen einer akustischen Leistung erregt werden kann, umfassend Festlegen des plattenförmigen Elements, Abbilden des plattenförmigen Elements zur Bestimmung der Lage von Knotenlinien, Anordnen eines Schwingungserregungssystems auf dem plattenförmigen Element, um auf letzteres Biegewellenenergie aufzubringen, wobei das Schwingungserregungssystem mehrere Knotenlinien über spannt, und Anbringen des Schwingungserregungssystems auf dem plattenförmigen Element, um auf letzteres eine Torsionskraft aufzubringen.

[0014] Das plattenförmige Element kann hinsichtlich Geometrie, Größe und/oder mechanischer Impedanz festgelegt werden.

[0015] Das plattenförmige Element kann mittels einer Finite-Elemente-Analyse abgebildet werden.

[0016] Das Verfahren kann das Anbringen des plattenförmigen Elements an einer Aufhängung der gestalt, dass die Aufhängung als Drehpunkt fungiert, um den ein benachbarter Abschnitt des plattenförmigen Elements schwenken kann, sowie das Anordnen und Befestigen eines Schwingungserregers auf dem benachbarten Abschnitt des plattenförmigen Elements umfassen, um dieses zu biegen.

[0017] Von einem anderen Aspekt aus ist die Erfindung ein Schwingungserreger zum Aufbringen von Biegewellenenergie auf ein steifes resonantes plattenförmiges Lautsprecherelement, der auf das Element eine Torsionskraft aufzubringen vermag.

#### Kurzbeschreibung der Zeichnungen

[0018] Die Erfindung ist in den beiliegenden Zeichnungen beispielhaft schematisch dargestellt, in de-

nen:

[0019] **Fig. 1** eine perspektivische Ansicht einer ersten Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Lautsprechers ist;

[0020] **Fig. 2** eine Seitenansicht einer zweiten Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Lautsprechers ist;

[0021] **Fig. 2a** eine Knotenkarte des Lautsprechers aus **Fig. 2** ist, und zum Vergleich zeigt **Fig. 2b** eine Knotenkarte einer frei aufgehängten Lautsprecherplatte aus dem Stand der Technik;

[0022] **Fig. 3** eine Draufsicht des Lautsprechers aus **Fig. 2** ist;

[0023] **Fig. 4** eine Draufsicht einer Variante des Lautsprechers der **Fig. 2** und **3** ist;

[0024] **Fig. 5** eine Draufsicht einer dritten Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Lautsprechers ist;

[0025] **Fig. 6** eine Seitenansicht des Lautsprechers aus **Fig. 5** ist;

[0026] **Fig. 6a** eine Draufsicht einer Variante des in den **Fig. 5** und **6** gezeigten Lautsprechers ist;

[0027] **Fig. 6b** eine Seitenansicht eines Lautsprechers ist, der eine Variante des in **Fig. 6a** gezeigten Lautsprechers darstellt;

[0028] **Fig. 6c** eine Seitenansicht einer Variante des in **Fig. 6b** gezeigten Lautsprechers ist;

[0029] **Fig. 7** eine perspektivische Ansicht einer vierten erfindungsgemäßen Ausführungsform ist;

[0030] **Fig. 8** eine Seitenansicht des Lautsprechers aus **Fig. 7** ist;

[0031] **Fig. 9** eine Seitenansicht einer ersten Variante des Lautsprechers der **Fig. 7** und **8** ist;

[0032] **Fig. 10** und **10a** eine Seitenansicht bzw. Draufsicht einer zweiten Variante des Lautsprechers der **Fig. 7** und **8** ist;

[0033] **Fig. 11** eine perspektivische Ansicht einer fünften Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Lautsprechers ist;

[0034] **Fig. 12** eine perspektivische Ansicht einer ersten Variante des Lautsprechers aus **Fig. 11** ist;

[0035] **Fig. 13** eine perspektivische Ansicht einer zweiten Variante des Lautsprechers aus **Fig. 11** ist;

[0036] **Fig. 14** eine Seitenansicht eines sechsten erfindungsgemäßen Lautsprechers ist;

[0037] **Fig. 15** eine Seitenansicht des Lautsprechers aus **Fig. 14** ist, die grafisch zeigt, wie die Lautsprecherplatte im Betrieb gebogen wird;

[0038] **Fig. 16** eine Seitenansicht eines Teils des Lautsprechers aus **Fig. 14** in einem vergrößerten Maßstab ist, die Einzelheiten eines Schwingungserregers zeigt;

[0039] **Fig. 17** eine perspektivische Explosionsansicht eines Teils eines Lautsprechers ist, die eine siebte Ausführungsform der Erfindung zeigt, die einen elektrodynamischen Torsions-Schwingungserreger aufweist;

[0040] **Fig. 18** eine perspektivische Ansicht einer weiteren Ausführungsform des elektrodynamischen Torsions-Schwingungserregers für einen Lautspre-

cher ist;

- [0041] **Fig.** 19 eine Endansicht des in einem Lautsprecher positionierten Erregers aus **Fig.** 18 ist;
- [0042] **Fig.** 20 eine perspektivische Ansicht eines Teils eines Lautsprechers ist, die den Erreger aus **Fig.** 18 in Position zeigt;
- [0043] **Fig.** 21a und 21b perspektivische Skizzen sind, die Schritte bei der Bildung einer Schwingspule für den Erreger von **Fig.** 18 zeigen;
- [0044] **Fig.** 22 eine perspektivische Ansicht eines Teils einer weiteren Lautsprecherausführungsform ist;
- [0045] **Fig.** 23 eine Querschnittsansicht des Teils eines in **Fig.** 22 gezeigten Lautsprechers ist;
- [0046] **Fig.** 24 eine perspektivische Ansicht einer Ausführungsform eines piezoelektrischen Biomorph-Torsions-Schwingungserregers ist, der an einer Erde befestigt ist;
- [0047] **Fig.** 24a und 24b entsprechende perspektivische Ansichten sind, die den Aufbau des Biomorph-Schwingungserregers aus **Fig.** 24 zeigen;
- [0048] **Fig.** 25 eine Ansicht in der Richtung eines Pfeils 'C' aus **Fig.** 24 ist; und
- [0049] **Fig.** 26 eine Ansicht in der Richtung eines Pfeils 'D' aus **Fig.** 24 ist.

#### Beste Arten zur Verwirklichung der Erfindung

[0050] In den Zeichnungen sind mehrere Ausführungsformen von resonanten plattenförmigen Lautsprechern der in der Internationalen Patentanmeldung WO 97/09842 beschriebenen allgemeinen Art dargestellt und beschrieben, die neuartige Formen von Schwingungserregungssystemen haben, die die Erregung von Ganzkörpermoden in der Platte verhindern oder verringern sollen und/oder vom zentralen Bereich der Platte entfernt platziert werden können.

[0051] **Fig.** 1 zeigt einen Lautsprecher 5 mit einem resonanten plattenförmigen Element 1, das von einem Schwingungserregungssystem 2, das ein Paar elektrodynamische Trägheits-Schwingungserreger 4 aufweist, denen über Signalleitungen 7 Energie zugeführt wird, zum Schwingen erregt wird, wobei die Erreger auf der Platte beabstandet sind und entgegengesetzt arbeiten, um ein Schaukelpaar zu schaffen und die Platte zum Auslösen von Biegewellenschwingungen in ihr zu biegen.

[0052] **Fig.** 2 und 3 zeigen eine Ausführungsform des Lautsprechers 5, bei der ein Schwingungserregersystem 2 zum Auslösen von Biegewellenschwingungen in eine Platte 1 eine periphere Plattenaufhängung 3, z. B. aus einem Kunststoffschaumstoff mit hoher Schersteifigkeit, z. B. geschäumtem Polyvinylchlorid, die so beschaffen ist, dass sie der Ablenkung der Plattenperipherie standhält aber als Drehpunkt fungiert, um der Platte Schwenken um die Aufhängung zu erlauben, und einen elektrodynamischen Trägheits-Schwingungserreger 4 umfasst, der auf der Platte in einer Entfernung von der Plattenperipherie nach innen angebracht ist und unter Verwendung

der Aufhängung 3 als Drehpunkt Biegewellen in die Platte auslöst.

[0053] Wie in **Fig.** 2a dargestellt, besteht die Wirkung des Befestigens der Platte 1 auf einer relativ starren Aufhängung, die als Drehpunkt oder Gelenk fungiert (die technisch betrachtet als "einfach gestützt" beschrieben werden könnte), darin, Knotenlinien in der Platte, die allgemein parallel zum Plattenrand verlaufen, zum Plattenrand hin zu bewegen, verglichen mit der Position der entsprechenden Knotenlinien in einer allgemein übereinstimmenden aber elastisch oder frei an den Kanten aufgehängten Platte, siehe **Fig.** 2b, und der Erreger 4 ist einwärts der Plattenumrandung positioniert, so dass das die Randaufhängung 3 und den Erreger 4 umfassende Schwingungserregungssystem mehrere dieser Knotenlinien überbrückt. Wir haben festgestellt, dass dies zur Erzeugung einer effektiven Plattenerregung wichtig ist, und dass ein Positionieren des Erregers auf der Außenseite dieser Knotenlinien nicht zu einer solch nutzbaren Plattenerregung führt.

[0054] **Fig.** 2b zeigt bei A die in WO 97/09842 geleherte bevorzugte Erregerposition, während zwei alternative randnahe Antriebspositionen mit B bzw. C gekennzeichnet sind. Es ist klar, dass sich die Orte B und C dennoch in einer beträchtlichen Entfernung vom Plattenrand befinden und sich nicht für eine Lautsprecheranordnung eignen, in der der Erreger vor einem Anblick versteckt werden muss, z. B. bei der die Lautsprecherplatte transparent ist und einen Teil eines Anzeigeschirms bildet. Die in **Fig.** 2, 2a und 3 gezeigte Anordnung überwindet oder mindert diese Schwierigkeit.

[0055] **Fig.** 2 zeigt ein durch das Erregungssystem 2 erzeugtes Kräftepaar der Länge y. Es ist klar, dass bei dieser Ausführungsform, bei der das Erregungssystem 2 die Aufhängung 3 aufweist, die Aufhängung nur in der Gegend des Erregers 4 als Drehpunkt oder Scharnier fungieren muss und die periphere Plattenaufhängung an anderen Stellen von elastischer Art, z. B. aus weichem Schaumgummi, sein könnte. Versuche haben aber gezeigt, dass die periphere Aufhängung falls gewünscht ununterbrochen sein und ganz aus dem Schaumstoffkunststoff mit hoher Scherfestigkeit bestehen kann.

[0056] Unter Bezugnahme auf **Fig.** 4 ist eine Lautsprecheranordnung gezeigt, die allgemein derjenigen aus den oben genannten **Fig.** 2 und 3 ähnlich ist und das Auftreten eines Ganzkörpermodus in der Platte 1 vermeiden oder verringern soll, wie er auftreten könnte, wenn sich die Platte in unmittelbarer Nähe zu einer Grenze befindet, so dass ein Hohlraum zwischen der Platte und Grenze gebildet wird und in dem Fluid in dem Hohlraum erzeugte Moden die Moden der Platte beeinträchtigen. Diesem wird in der Anordnung der **Fig.** 4 durch Auswahl einer zweiten Erregerantriebsposition begegnet, typischerweise auf der bezüglich der Plattenmittellinie dem primären Erreger 4 gegenüberliegenden Seite, und Anbringen eines zweiten Erregers 4a an der zweiten Positi-

on, so dass die Erreger **4** und **4a** als Paar arbeiten, der zweite Erreger jedoch in umgekehrter Polarität zu dem primären Erreger ausgeschlossen ist, um den Ganzkörpermodus zu vermeiden, zu verringern oder zu beseitigen. Um zu verhindern, dass der zweite Erreger **4a** den Betrieb des primären Erregers **4** bei anderen Frequenzen als denen der unerwünschten Ganzkörpermoden beeinträchtigt, ist ein Bandpass- oder Tiefpassfilter **6** im Signalweg des Erregers **4a** positioniert, um seinen Betrieb auf den interessierenden Frequenzbereich zu beschränken. Anstatt den zweiten Erreger **4a** mit umgekehrter Phase elektrisch auszuschließen, wäre es stattdessen möglich, den zweiten Erreger auf der Platte an einer solchen Position anzubringen, dass er mechanisch in Umkehrphase ausgeschlossen ist.

[0057] **Fig.** 5 und 6 zeigen ein Ausführungsbeispiel des Lautsprechers **5**, das besonders zur Verwendung in einer Sichtanzeigevorrichtung geeignet ist, bei der die Platte **1** transparent ist, z. B. aus einem durchsichtigen Polystyrol, Polycarbonat, Acryl, Glas usw. oder Verbundstoffen dieser Materialien, wodurch eine Sichtanzeigetafel **10**, z. B. eine Flüssigkristallanzeigetafel, durch die Platte **1** sichtbar ist. Bei einer solchen Anordnung ist es natürlich erforderlich, dass ein Schwingungserreger **8** nicht in den Anzeigeschirmbereich eindringt, und dies kann durch Anbringen des Erregers in der Nähe eines Randes der Platte **1** erreicht werden. Ferner befindet sich bei einer solchen Anordnung die Platte **1** notwendigerweise in unmittelbarer Nähe zu einer durch die Anzeigeplatte **10** gebildete Grenze, so dass ein Hohlraum **9** dazwischen gebildet ist.

[0058] Bei dieser Ausführungsform ist der Erreger **8** ein Streifen aus piezoelektrischem Material, z. B. PZT, und mittels eines Klebstoffs an der Platte **1** befestigt, um vom Plattenrand oder der Plattenperipherie zu einer Stelle einwärts des Plattenrandes zu überspannen. Die Platte ist an ihrer Peripherie an einem Schaumstoffkunststoff mit hoher Schersteifigkeit so aufgehängt, dass die Aufhängung ein Scharnier oder einen Drehpunkt bildet, wie oben unter Bezugnahme auf die **Fig.** 2 und 3 beschrieben ist. Demgemäß ist der Erreger **8** so angeordnet, dass er eine Gruppe Knotenlinien nahe dem und allgemein parallel zum Plattenrand überspannt. Der Erreger **8** ist eine Unimorph-Einrichtung, die so angeordnet ist, dass sie durch Längenänderungen arbeitet, um eine Scherkraft auf die Plattenfläche aufzubringen und so die Platte um einen durch die Aufhängung **3** an einer Position in der Gegend des Erregers bereitgestellten Drehpunkt zu biegen.

[0059] Da bei dieser Ausführungsform Moden im Fluid im Hohlraum **9** die Moden in der Platte **1** nachteilig beeinflussen können, so dass ein Ganzkörpermodus bei einer unerwünscht hohen Frequenz auftritt, kann ein zweiter Antiphasenerreger **8a**, der dem Erreger **8** allgemein ähnlich ist, so an einer Platte positioniert werden, wie oben unter Bezugnahme auf **Fig.** 4 beschrieben ist. Alternativ kann der zweite Er-

reger **8a** so auf der Platte positioniert werden, dass er zur Verdoppelung der in die Platte eingespeisten Leistung wirkt, um die Lautstärke zu erhöhen.

[0060] Falls gewünscht, könnte die Platte **10** transparent sein, z. B. aus Glas, so dass der Lautsprecher **5** vor einem Objekt positioniert werden kann, z. B. einer Sichtanzeigeeinheit, um durch den Lautsprecher betrachtet zu werden, wodurch Schall und Sicht einander zugeordnet werden können. Außerdem können die Erreger **8**, **8a** aus einem transparenten piezoelektrischen Material bestehen.

[0061] Es versteht sich, dass auf Wunsch das die Aufhängung **3** und den Piezo-Unimorph-Erreger **8** umfassende Erregersystem in einem Lautsprecher verwendet werden könnte, der keine Rückenplatte **10** hat.

[0062] Bei den Lautsprecherausführungsformen der **Fig.** 2 bis 6 könnte die Aufhängung **3** mit hoher Schersteifigkeit durch eine Plattenrandversteifung (nicht dargestellt) ersetzt werden, die entweder am Plattenrand angebracht oder einstückig damit ist, wobei der versteifte Rand einen Teil des Erregersystems bildet. Der Plattenrand kann somit frei aufgehängt werden, falls gewünscht. Wie in **Fig.** 6a gezeigt ist, kann ferner die periphere Aufhängung **3** mit hoher Scherfestigkeit durch eine Trägheitsmasse **34** ersetzt werden, die an einem knotenmäßig dichten oder niedrigbiegenden Amplitudengrenzen der Platte geeignet positioniert ist, um einen Bezugspunkt zu bilden, wobei der Erreger **8** so positioniert ist, dass er sich von dem Bezugspunkt zu einem geeignet schwingungsmäßig aktiven benachbarten Bereich erstreckt, so dass das durch das die Trägheitsmasse **34** und den Erreger **8** umfassende Erregersystem aufgebrachte Kräftepaar eine Anzahl oder Gruppe Knotenlinien in ähnlicher wie der oben unter Bezugnahme auf **Fig.** 2a beschriebenen Weise überspannt, wodurch es einen guten Kopplung mit dem Bereich und daher mit der Platte bereitstellt. Bei diesem Ausführungsbeispiel ist die Aufhängung **3** mit hoher Schersteifigkeit durch eine elastische Randaufhängung **39** ersetzt.

[0063] **Fig.** 6b zeigt eine Ausführungsform des Lautsprechers **5**, die der aus **Fig.** 6a allgemein ähnlich ist und bei der es keine Rückenplatte gibt, wie die in **Fig.** 6a mit **10** gekennzeichnete.

[0064] **Fig.** 6c ist eine Ausführungsform des Lautsprechers **5**, die der aus **Fig.** 6b sehr ähnlich ist und ein Erregersystem mit einem entgegengesetzten Paar Trägheitsmassen **24** und Erreger **8** auf entgegengesetzten Seiten der Platte aufweist, um somit den Antrieb und damit die Lautstärke zu verstärken und zu erhöhen.

[0065] Falls gewünscht, könnte der durch die Trägheitsmasse **34** gebildete Bezugspunkt bei den Ausführungsformen aus **Fig.** 6a bis 6c durch einen Stift oder eine Punktklemme (nicht dargestellt) auf der Platte ersetzt werden.

[0066] **Fig.** 7 und 8 der Zeichnungen zeigen einen resonanten Plattenlautsprecher **5**, bei dem mittels ei-

nes Erregersystems **2** mit einem plattenähnlichen Hebelement **11**, das an einer geeigneten Knotenposition starr an der Platte **1** angebracht ist und sich allgemein in rechten Winkeln zur Ebene der Platte **1** erstreckt, Biegewellenenergie in eine Platte **1** eingeleitet werden. Ein elektrodynamischer Trägheits-Schwingungserreger **4** ist auf dem Hebelement **11** angebracht, um zum Aufbringen eines Rotations- oder Biegepaars auf die Platte Kraft in rechten Winkeln zur Ebene des Elements **11** aufzubringen. [0067] **Fig.** 9 zeigt eine erste Variante der Lautsprecherausführungsform aus **Fig.** 8, bei der das Hebelement **11** sich durch die Platte **1** erstreckt, wodurch entgegengesetzte Erreger **4** an entgegengesetzten Enden des Hebelements angebracht werden können, um die Antriebskraft zu erhöhen.

[0068] **Fig.** 10 und 10a zeigen eine zweite Variante des Lautsprechers aus **Fig.** 8, bei der die Platte **1** an einer Aufhängung **3** der unter Bezugnahme auf die **Fig.** 2 und 3 beschriebenen Art angebracht ist und sich auf einer Seite über diese Aufhängung hinaus erstreckt, so dass ein Erregungssystem, das ein Hebelement **11** und einen Trägheitserreger **4** aufweist, auswärts der Aufhängung **3** angebracht ist und durch Biegen der Platte um den durch die Aufhängung **3** bereitgestellten Drehpunkt arbeitet.

[0069] **Fig.** 11 zeigt einen Lautsprecher **5**, bei dem Biegewellen mittels eines in einem Schlitz in der Platte angebrachten elektrodynamischen Rotations- oder Torsions-Schwingungserregers **12** in eine Platte **1** eingetragen werden. Diese Erregerklasse ist unten unter Bezugnahme auf die **Fig.** 17 bis 21 ausführlicher beschrieben.

[0070] **Fig.** 12 zeigt eine Variante des Lautsprechers aus **Fig.** 11, bei dem der Rotations- oder Torsionserreger **12** mit einem Rand der Platte **1** gekoppelt ist, so dass der Erreger auswärts angeordnet ist.

[0071] **Fig.** 13 zeigt eine Variante des Lautsprechers aus **Fig.** 12, bei dem ein piezoelektrischer Rotationsschwingungserreger **13** mit einem Rand der Platte **1** gekoppelt ist und an seinem fernen Ende eine Trägheitsmasse **14** aufweist oder statt dessen mit Erde verbunden ist, z. B. mit einem Lautsprecherrahmen (nicht dargestellt). Eine solche Anordnung ist unten in **Fig.** 24 bis 26 genauer gezeigt.

[0072] **Fig.** 14 bis 16 der Zeichnungen zeigen einen Lautsprecher **5**, bei dem eine Platte **1** mittels eines in entgegengesetzten Positionen an entgegengesetzten Flächen der Platte **1** angeordneten Paars piezoelektrischer Differenziererreger **15** mit Biegewellenenergie erregt wird. Jeder Erreger **15** weist ein entgegengesetztes Unimorph-Paar mit entgegengesetzter Orientierung auf, in den Zeichnungen durch die Plus- und Minuszeichen angegeben und Ende-an-Ende aneinandergefügt, um einen Streifen zu bilden. Die Erreger arbeiten durch Längenänderungen und während sich somit eine Hälfte jedes Erregers längenmäßig zusammenzieht, verlängert sich die andere. Der Erreger auf einer Seite der Platte ist so angeordnet, dass er dem Erreger auf der anderen Seite gegenü-

berliegt. Die Erreger bringen so Scherkräfte auf die Platte auf, um sie zu veranlassen, sich mit einer Doppelkrümmung zu biegen, wie in **Fig.** 15 gezeigt. Die Rotationspaare und ihre Achsen **16** sind in **Fig.** 16 gezeigt. Die Erreger können aus einem PZT-Material bestehen.

[0073] **Fig.** 17 zeigt eine Lautsprecherausführungsform mit einem elektrodynamischen Torsions-Schwingungserreger **12** vom Trägheitstyp mit einer Schwingspule **17** und einem Magnetsystem **18**, die einen Motor bilden, bei dem die Schwingspule der Rotor ist. Die Schwingspule **17** weist eine Spule **20** auf, die auf einen Former **19** gewickelt ist, der abgeflacht und lang ist, um zwei parallele Sätze Windungen zu bilden. Das Magnetsystem **18** weist einen Dauerstabmagnet **21** auf, an dem ein Pol **22** zentral angebracht ist und der auf einem nicht magnetischen Abstandhalter **23** abgestützt ist. Der Pol **22** und der Magnet **21** sind sandwichartig zwischen Seitenplatten **24**, die Nuten **26** definierende kronenartige Ausparungen **25** aufweisen, angeordnet.

[0074] Da der Erreger **12** eine Torsionseinrichtung ist, befindet sich die Rotationsachse des durch die Schwingspule gebildeten Rotors in der Ebene der Platte **1**, um sicherzustellen, dass keine unerwünschten Momente aufgebracht werden. Ein genügender Abstand zwischen der Spulen- und Magnetbaugruppe muss vorgesehen werden, damit eine ausreichende Winkelrotation zwischen den beiden auftreten kann.

[0075] Wie dargestellt, ist die Spule **17** durch ihre entgegengesetzten Seiten in einem Schlitz oder einer Öffnung **27** in der Platte befestigt, und da der Fluss durch die Spule fließen muss, sind Bereiche der Seitenplatten **24** entfernt, um die Nuten **26** zur Aufnahme der Spulen-/Plattenbefestigungslaschen **28** zu bilden. Diese Befestigungslaschen **28** erstrecken sich vom Schlitz **27** nach innen, um die Schwingspule zu berühren und an der Platte **1** zu befestigen. Die Laschen **28** können durch Klebemittel an der Schwingspule **17** befestigt werden. Das Magnetsystem **18** kann mit einem einfachen Aufhängungsmittel, z. B. elastischem Mittel (nicht dargestellt) an der Platte befestigt werden.

[0076] Falls gewünscht, könnte das Magnetsystem auch an einer Bezugserde befestigt werden.

[0077] Eine alternative Ausführungsform des elektrodynamischen Trägheits-Motortorsions-Schwingungserregers **12**, die die Scherkraft im Spulenformer verringert, ist in den **Fig.** 18 bis 21 gezeigt, in denen eine Spule **20** an einem zylindrischen Formerrohr **19** zum Ausbilden eines Rotors angebracht ist. Durch Aufwickeln der Spule entlang eines rohrförmigen Formers **10** werden die Wirkungen der Scherkraft verringert. Eine flexible gedruckte Schaltung **29**, die danach um die Spule gewickelt wird, könnte ebenfalls die Windungen bilden, wie in **Fig.** 21a und 21b gezeigt ist. PADDICK zeigt im U.S. Patent 5,446,979 ein solches Verfahren für herkömmliche kreisförmige Schwingspulen, bei der vorliegenden

Anwendung schlagen wir aber vor, den Leiter der Länge des rohrförmigen Formers entlang aufzuwickeln. Das Magnetsystem **18** wird durch einen Dauermagnet **21** gebildet, der mit äußereren Polstücken **24** verbunden ist, die einen Nordpol und Südpol bilden, während ein zentraler zylinderförmiger Pol **22** durch ein nicht magnetisches Abstandstück **23** am Magnet **21** festgehalten wird.

[0078] Wie in den **Fig. 19** und **20** gezeigt, ist der Erreger **12** in einem Schlitz **27** in einer Platte **1** angebracht, wobei seine Achse in der Ebene der Platte liegt und entgegengesetzte Seiten eines Spulenformers **19** an der Platte **1** befestigt sind, um ein alternatives Kräftepaar auf letztere aufzubringen, wenn ein Signal an die Spule angelegt wird. Das Magnetsystem **18** kann auf einer elastischen Aufhängung (nicht dargestellt) angebracht werden, so dass die Einrichtung aufgrund der Masse des Magnetsystems als Träigkeitserreger arbeitet.

[0079] Wie in den **Fig. 22** und **23** gezeigt, ist das Einleiten einer Torsionskraft in die Platte auch mit einem Erreger **30** möglich, der ein Paar piezoelektrische Unimorph-Elemente **31**, **32** aufweist, die in der Platte **1** in einem Schlitz **27** angebracht und an entgegengesetzten Enden eines sich durch die Platte erstreckenden und an einem Ende des Schlitzes starr angebrachten Hebels **11** befestigt sind. Die Elemente **31**, **32** sind in einem Winkel zueinander angeordnet, mit den entgegengesetzten Enden des Hebels **11** verbunden und an ihren entgegengesetzten Enden miteinander verbunden.

[0080] Das erste piezoelektrische Element **31**, das sich bei Anlegen einer Spannung an seine Elektroden verlängert, ist am oberen Ende des Hebels **11** angebracht, wobei sein entgegengesetztes Ende mit einer Träigkeitsmasse **34** verbunden ist, die in die Platte **1** eingebettet oder an ihr aufgehängt ist. Das zweite piezoelektrische Element **32** ist auf der entgegengesetzten Seite der Platte angeordnet und dem ersten elektrisch entgegengesetzt ausgeschlossen, so dass eine an seine Elektroden angelegte Spannung bewirkt, dass es sich verkürzt. Ein Ende des Elements **32** ist mit dem unteren Ende des Hebels verbunden, und das andere Ende ist mit der Träigkeitsmasse **34** verbunden. Die Wirkungen der zwei piezoelektrischen Einrichtungen erzeugen zusammen am Hebel ein Moment, das Biegewellen in die Platte einleitet. Ein Bezugspunkt wird entweder durch die Träigkeitsmasse **34** bereitgestellt, oder es wird eine Verbindung zu einer Erde hergestellt, um einen Bezugspunkt bereitzustellen.

[0081] Der Hebelerreger **30** ist in Bezug auf die Platte angeordnet, um die maximale Rotation und die optimale Modendichte einzuleiten. Er könnte vollständig in die Platte eingelassen werden, wie gezeigt, oder an oder in der Nähe des Randes der Platte angebracht sein. Eine Reihe von solchen Erregern könnten angeordnet sein, um zur Verbesserung der Modendichte Biegewellen gemeinsam einzuleiten.

[0082] Die **Fig. 24** bis **26** zeigen ein Ausführungs-

beispiel eines Torsions-Schwingungserregers **13** für einen Lautsprecher **5** der in **Fig. 13** gezeigten Art mit einem allgemein rechteckigen piezoelektrischen Bimorph-Verdreher **35**, der ein diagonal ausgerichtetes oberes Element **36** und ein diagonal ausgerichtetes unteres Element **37** aufweist, so dass eine angelegte Spannung das obere Element veranlasst, sich diagonal zusammenzuziehen, während das untere Element veranlasst wird, sich diagonal auszudehnen, wie durch Pfeile in **Fig. 24a** gezeigt ist, wobei das obere und untere Element miteinander verklebt sind, um einen Bimorph-Bieger mit einer resultierenden Verdrehungswirkung zu bilden. Dieser Erreger könnte unmittelbar auf einer Platte **1** verwendet werden, um die Platte zum Schwingen zu erregen, jedoch könnte eine weitere Verfeinerung darin bestehen, ein Ende des mit **38** gekennzeichneten Bimorphs zu erden, so dass das Verdrehen nun am ungeerdeten Ende mit doppelter Größe eintritt. Diese Erde könnte die Form eines beträchtlichen Rahmens annehmen oder sie kann eine Träigkeitsmasse sein.

#### Industrielle Anwendbarkeit

[0083] Die Erfindung beschreibt eine neue Klasse von Lautsprechern und Schwingungserregern für Lautsprecher, die mittels Torsion arbeiten und die gegenüber Krafterregern hinsichtlich ihrer Fähigkeit, an unterschiedlichen Stellen auf einem in Schwingung zu versetzenden Plattenelement zu arbeiten und hinsichtlich ihrer Fähigkeit, Ganzkörpermomente in dem in Schwingung zu versetzenden Plattenelement zu verhindern oder zu verringern, im Vergleich zu Krafterreger mögliche Vorteile aufweisen.

#### Patentansprüche

1. Lautsprecher mit einem resonanten plattenförmigen Element und einem Schwingungserregungssystem auf dem plattenförmigen Element, das auf letzteres Biegewellenenergie aufzubringen vermag, um das plattenförmige Element eine akustische Leistung erzeugen zu lassen, dadurch gekennzeichnet, dass das Schwingungserregungssystem eine Torsionskraft auf das plattenförmige Element aufbringen kann.
2. Lautsprecher nach Anspruch 1, bei dem das Schwingungserregungssystem eine Scherkraft auf das plattenförmige Element aufbringen kann.
3. Lautsprecher nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass der Schwingungserreger mit dem plattenförmigen Element so gekoppelt ist, dass er eine Mehrzahl Knotenlinien im plattenförmigen Element überspannt.
4. Lautsprecher nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem das Schwingungserregungssystem eine Aufhängung aufweist, an der das plattenförmige Element befestigt ist.

mige Element angebracht ist, wobei die Aufhängung als Drehpunkt fungiert, um den zumindest ein Abschnitt eines Randes des plattenförmigen Elements in der Gegend des Schwingungserregungssystems schwenken kann.

5. Lautsprecher nach Anspruch 4, bei dem die Aufhängung aus einem Kunststoffschaumstoff mit hoher Schersteifigkeit besteht.

6. Lautsprecher nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem das Schwingungserregungssystem eine am plattenförmigen Element angebrachte piezoelektrische Einrichtung aufweist, um auf es ein Biegepaar aufzubringen durch abwechselndes Einleiten von Zug und Druck in die Ebene des plattenförmigen Elements.

7. Lautsprecher nach Anspruch 6, bei dem die piezoelektrische Einrichtung an einer Fläche des plattenförmigen Elements angebracht ist.

8. Lautsprecher nach Anspruch 6 oder 7 mit an entgegengesetzten Flächen des plattenförmigen Elements angeordneten spiegelbildlichen piezoelektrischen Einrichtungen.

9. Lautsprecher nach einem der Ansprüche 6 bis 8 in Abhängigkeit von Anspruch 5 oder 6, bei dem die piezoelektrische Einrichtung einen neben der Aufhängung angeordneten Abschnitt und einen entfernt von der Aufhängung angeordneten Abschnitt aufweist.

10. Lautsprecher nach einem der Ansprüche 6 bis 9, bei dem die piezoelektrische Einrichtung eine dünne streifenartige Einrichtung ist, die mittels Klebstoff am plattenförmigen Element befestigt ist.

11. Lautsprecher nach einem der Ansprüche 6 bis 10, bei dem die piezoelektrische Einrichtung eine Unimorph-Einrichtung ist.

12. Lautsprecher nach Anspruch 11, bei dem die Unimorph-Einrichtung gegenüberliegende Teile aufweist, die so angeordnet sind, dass die Länge eines Teils zunimmt, während sich das andere Teil zusammenzieht.

13. Lautsprecher nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem das plattenförmige Element transparent ist.

14. Lautsprecher nach einem der Ansprüche 6 bis 13, bei dem die piezoelektrische Einrichtung transparent ist.

15. Lautsprecher nach einem der Ansprüche 6 bis 14, bei dem die piezoelektrische Einrichtung aus PZT besteht.

16. Lautsprecher nach einem der Ansprüche 1 bis 5 oder 13, bei dem das Schwingungserregungssystem eine Träigkeitseinrichtung aufweist.

17. Lautsprecher nach Anspruch 16, bei dem die Träigkeitseinrichtung eine träge Masse aufweist, die starr am plattenförmigen Element befestigt ist, um einen Drehpunkt zu bilden.

18. Lautsprecher nach Anspruch 16, bei dem die Träigkeitseinrichtung ein Trägheits-Schwingungserreger ist.

19. Lautsprecher nach Anspruch 18 mit gegenüberliegenden an entgegengesetzten Seiten des plattenförmigen Elements angeordneten Trägheits-Schwingungserregern.

20. Lautsprecher nach Anspruch 18 oder 19, mit einem zusätzlichen Trägheits-Schwingungserreger auf dem plattenförmigen Element, der mit dem ersten Trägheits-Schwingungserreger in Gegenphase gekoppelt ist, um eine unerwünschte Gesamtkörperbewegung des plattenförmigen Elements zu dämpfen.

21. Lautsprecher nach einem der Ansprüche 1 bis 5 oder 13, bei dem das Schwingungserregungssystem einen elektrodynamischen Motor, der einen Rotor mit einem Strom führenden Leiterfeld hat und am plattenförmigen Element so befestigt ist, dass seine Achse parallel zur Ebene des Elements verläuft, um auf dieses eine Torsionskraft aufzubringen, sowie einen Magneten zur Bildung eines Magnetfeldes aufweist, in dem der Rotor angeordnet ist.

22. Lautsprecher nach einem der Ansprüche 1 bis 5, 13, 16 oder 18, bei dem das Schwingungserregungssystem eine piezoelektrische Bimorph-Einrichtung aufweist, die allgemein rechteckig und diagonal ausgerichtet ist, um als Verdreher zu fungieren.

23. Lautsprecher nach einem der Ansprüche 1 bis 5, 13, 21 oder 22, bei dem das Schwingungserregungssystem ein starr mit dem plattenförmigen Element gekoppeltes und von diesem hervorstehendes Element sowie Mittel zum Induzieren von Biegemomenten in diesem Element aufweist.

24. Lautsprecher nach Anspruch 23, bei dem das Element allgemein senkrecht zum plattenförmigen Element angeordnet ist, Biegemomente durch Verlagerung in einem vom plattenförmigen Element beabstandeten Teil des Elements erzeugt werden, und die Verlagerung allgemein senkrecht zum Element erfolgt.

25. Lautsprecher nach Anspruch 24, bei dem die Verlagerung mittels eines piezoelektrischen Einrichtung bewirkt wird.

26. Lautsprecher nach Anspruch 24 oder 25, bei dem die Verlagerung mittels einer Träigkeitseinrichtung bewirkt wird.

27. Verfahren zur Herstellung eines Lautsprechers mit einem resonanten plattenförmigen Element, das durch Aufbringen von Biegewellenenergie erregt werden kann, um eine akustische Leistung zu erzeugen, umfassend Festlegen des plattenförmigen Elements, Abbilden des plattenförmigen Elements zur Bestimmung der Lage von Knotenlinien, Anordnen eines Schwingungserregungssystems auf dem plattenförmigen Element, um auf dieses Biegewellenenergie aufzubringen, wobei das Schwingungserregungssystem eine Mehrzahl der Knotenlinien überspannt, und Anbringen des Schwingungserregungssystems auf dem plattenförmigen Element, um auf dieses eine Torsionskraft aufzubringen.

28. Verfahren nach Anspruch 27, bei dem das plattenförmige Element hinsichtlich Geometrie, Größe und/oder mechanischer Impedanz festgelegt wird.

29. Verfahren nach Anspruch 27 oder 28, bei dem das plattenförmige Element mittels einer Finite-Elemente-Analyse abgebildet wird.

30. Verfahren nach einem der Ansprüche 27 bis 29, umfassend das Anbringen des plattenförmigen Elements an einer Aufhängung dergestalt, dass die Aufhängung als Drehpunkt fungiert, um den ein benachbarter Abschnitt des plattenförmigen Elements schwenken kann, sowie Anordnen und Befestigen eines Schwingungserregers auf dem benachbarten Abschnitt des plattenförmigen Elements, um dieses zu biegen.

31. Schwingungserreger zum Aufbringen von Biegewellenenergie auf ein steifes resonantes plattenförmiges Lautsprecherelement, der auf das Element eine Torsionskraft aufzubringen vermag.

Es folgen 14 Blatt Zeichnungen

Fig. 1.

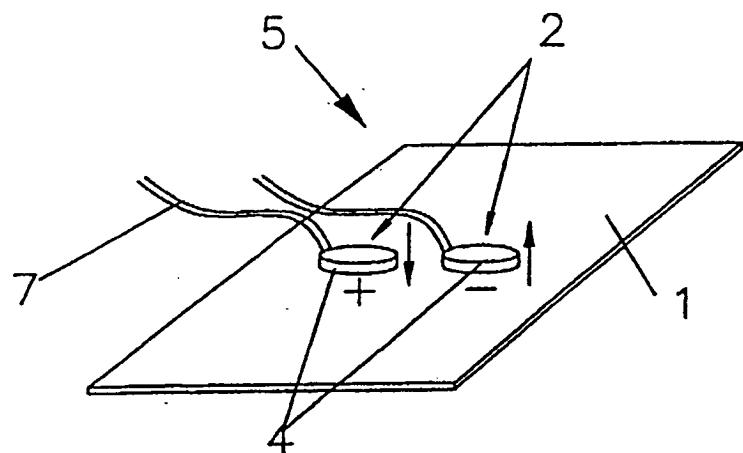


Fig. 2.

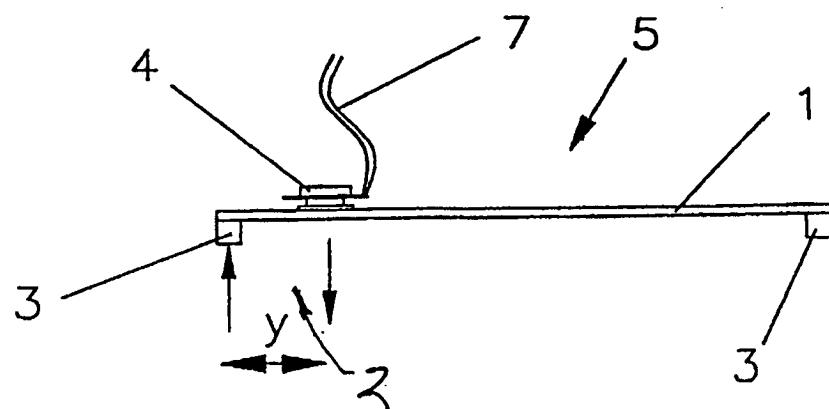


Fig. 2a.

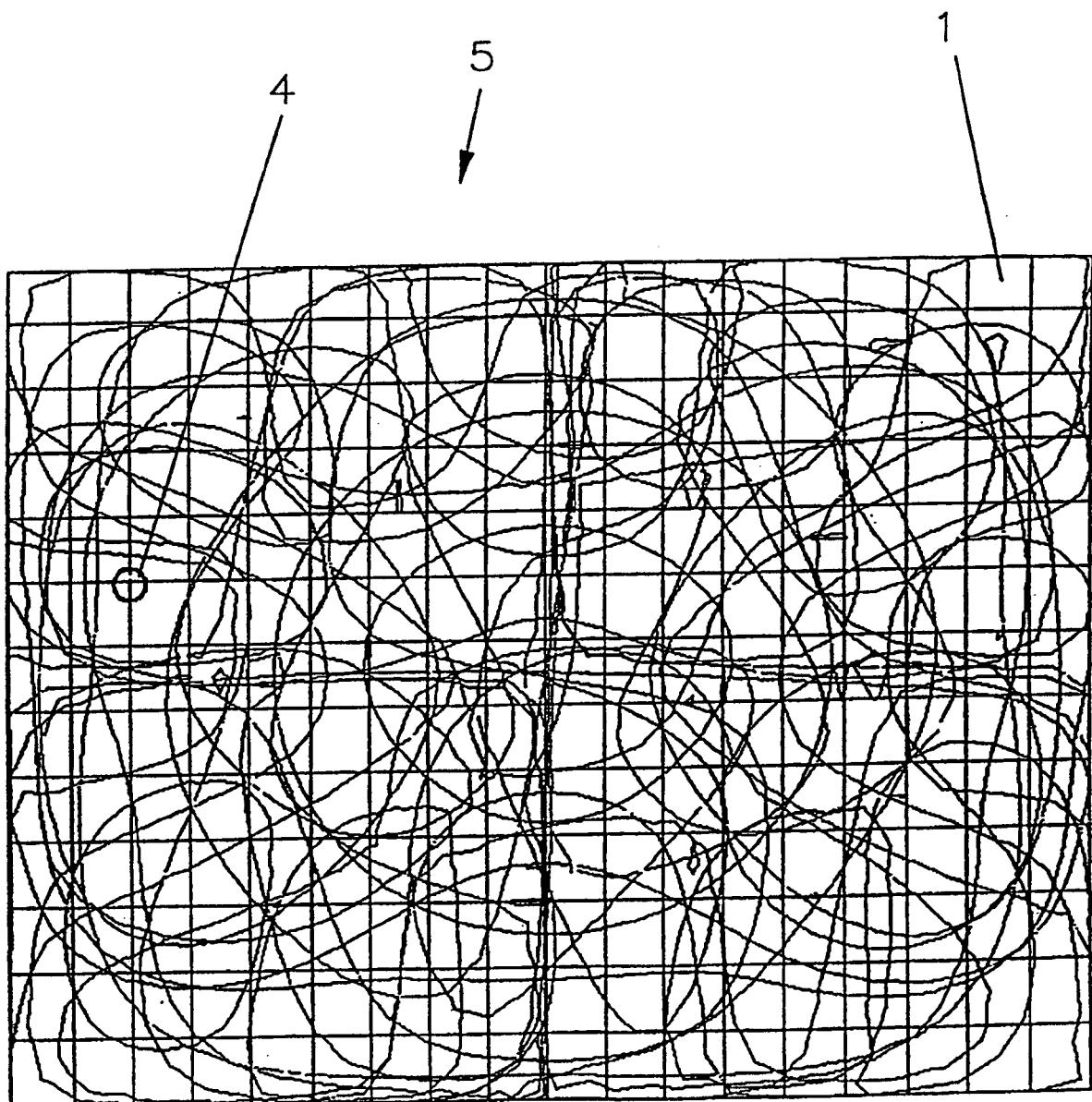


Fig. 2b.

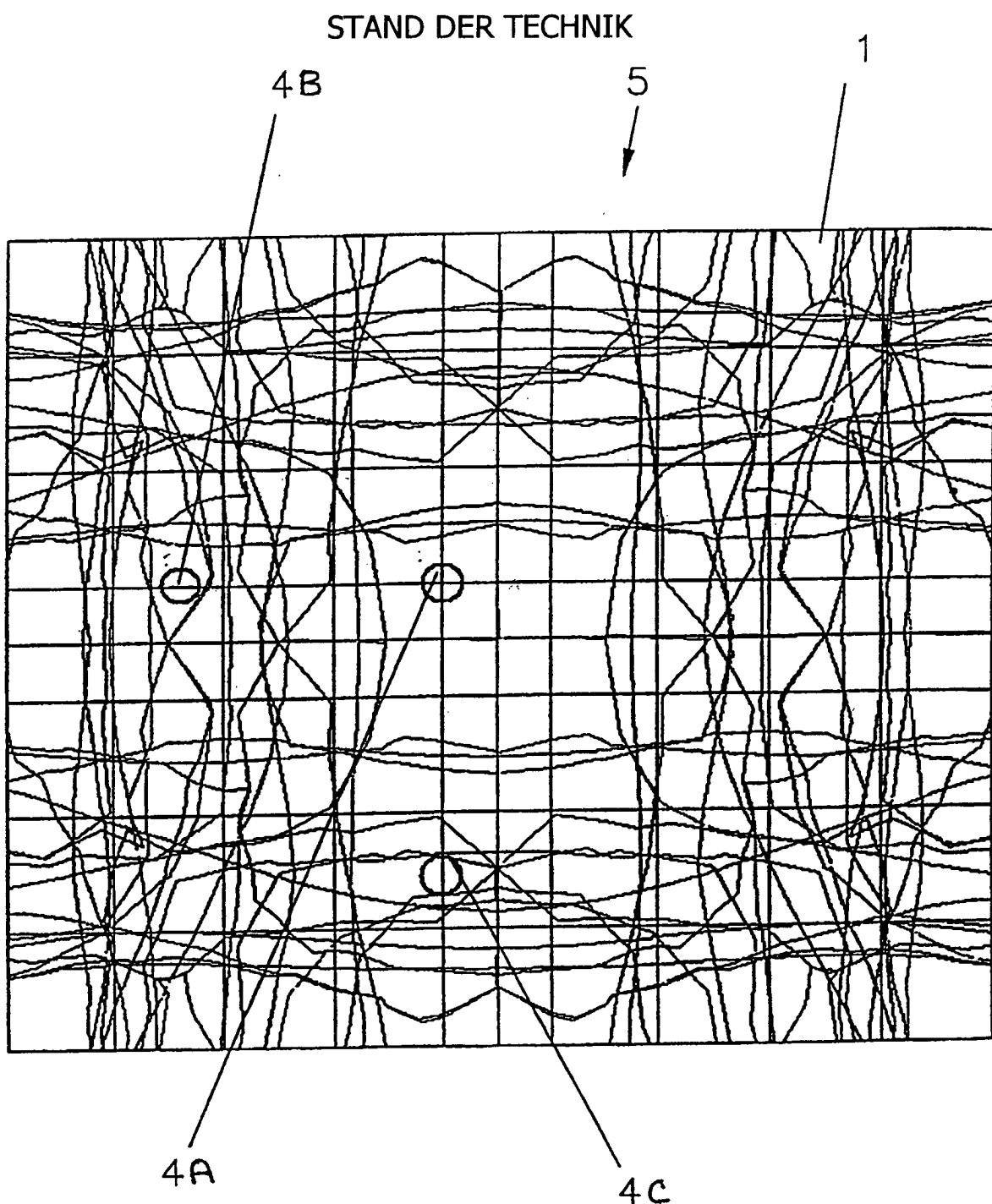


Fig. 3.

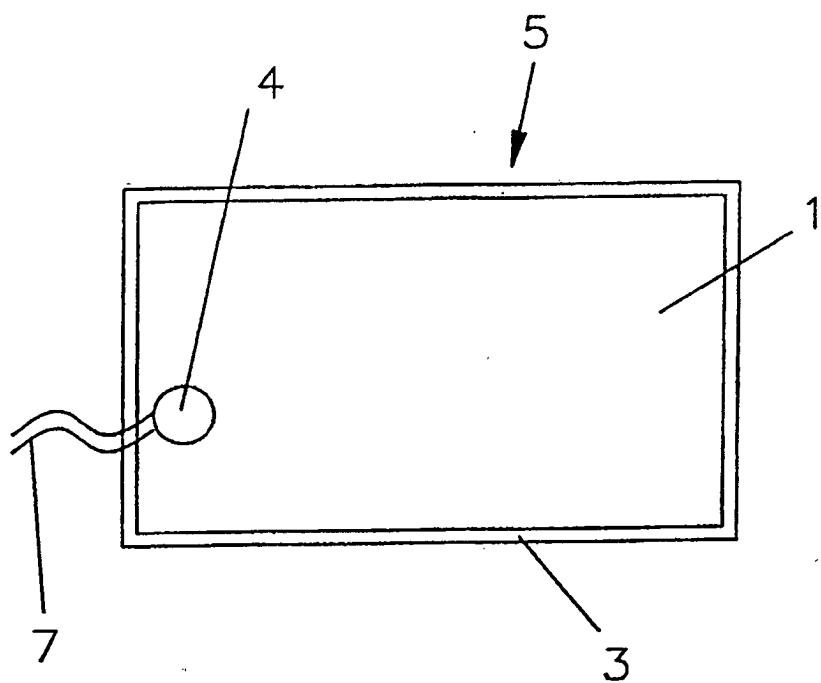


Fig. 4.

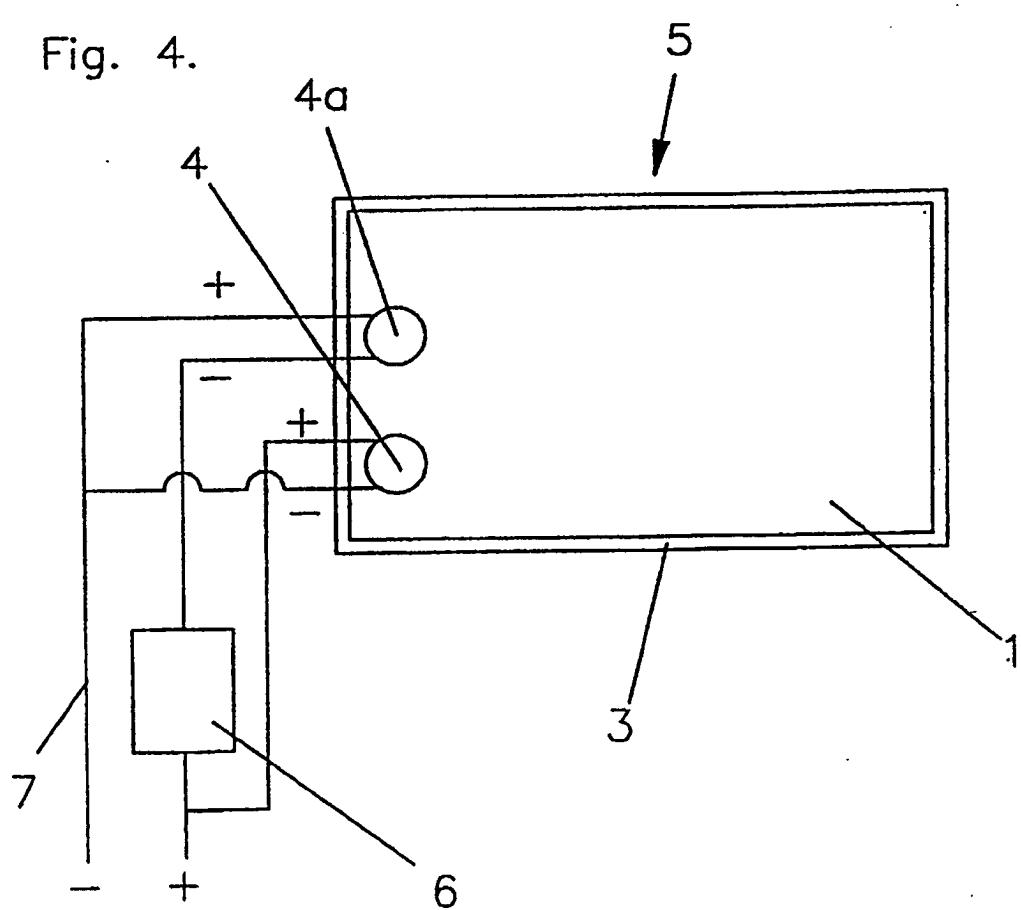


Fig. 5.

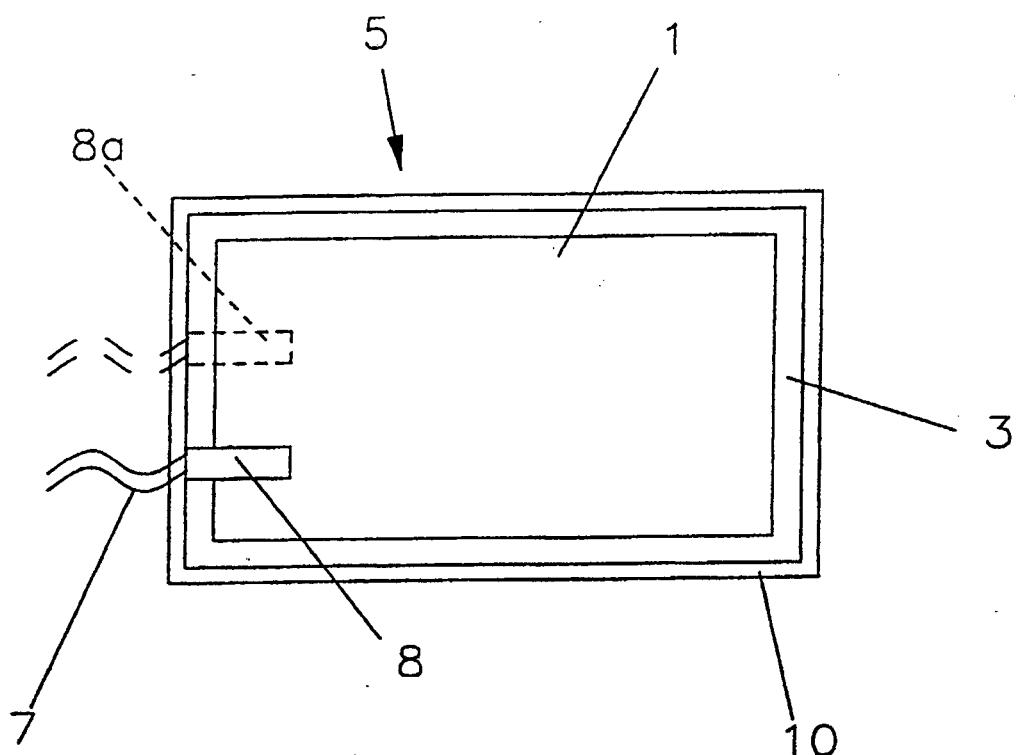


Fig. 6.

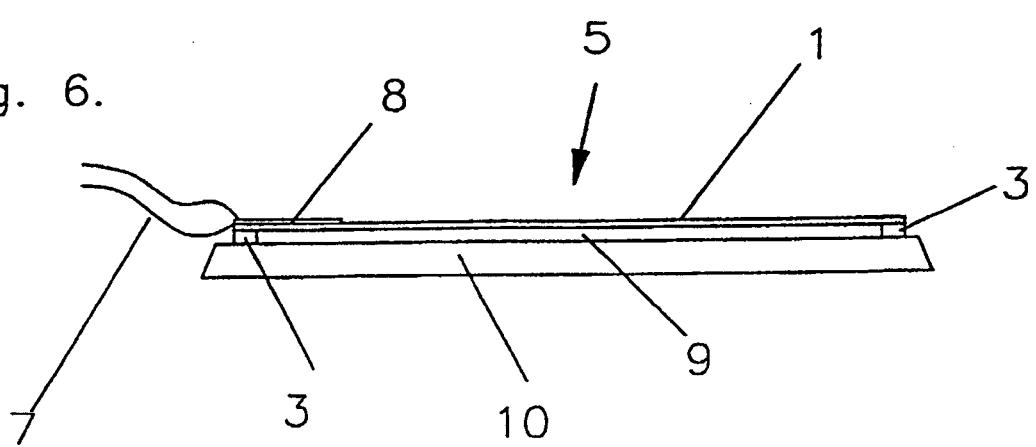


Fig. 6a.

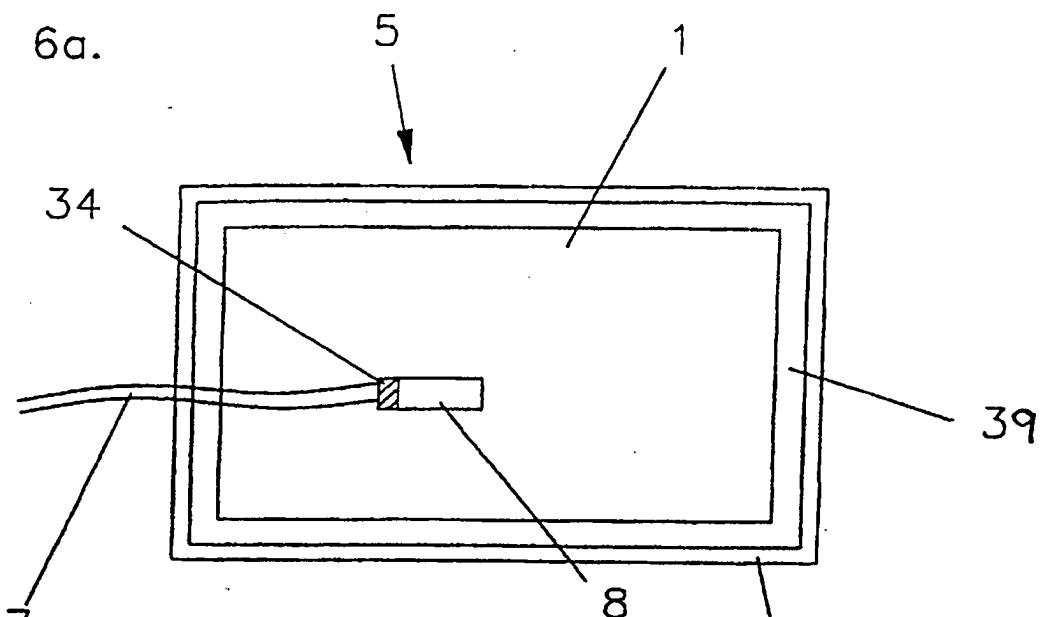


Fig. 6b.

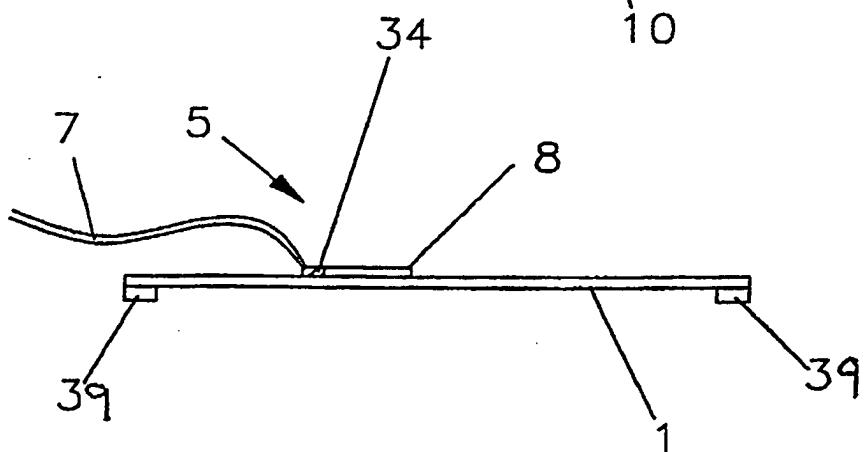


Fig. 6c.

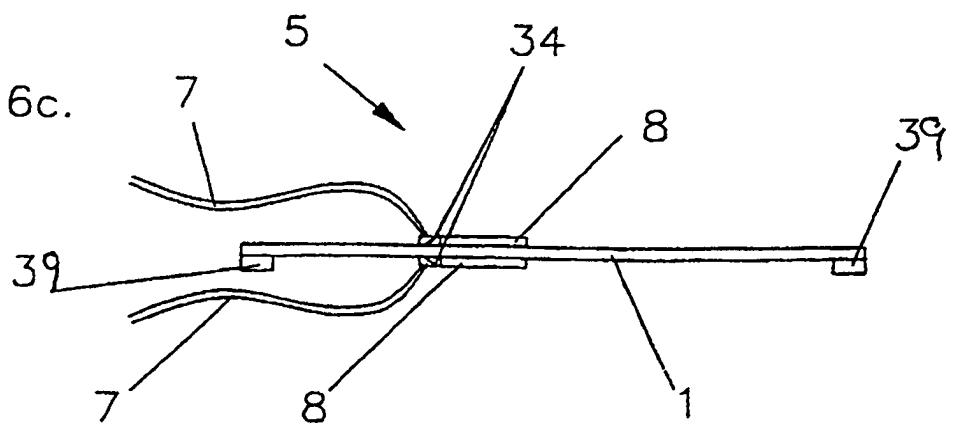


Fig. 7.

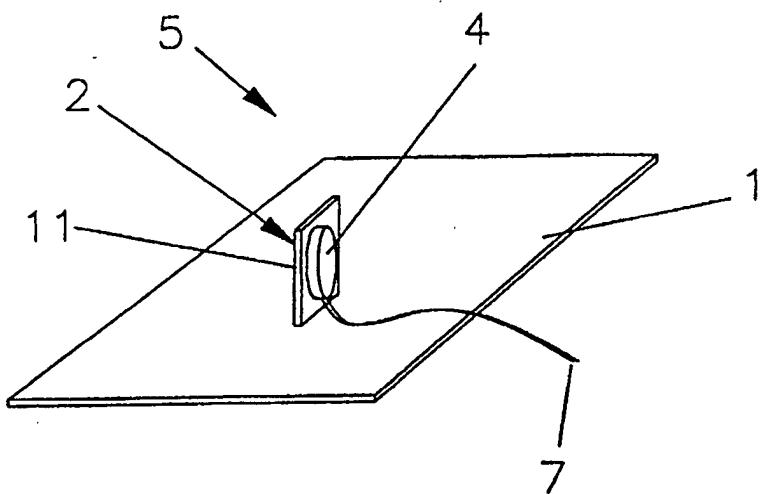


Fig. 8.

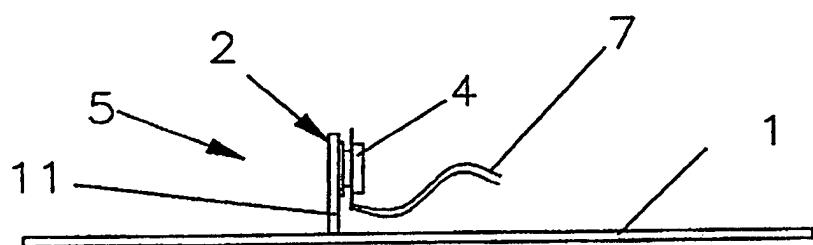


Fig. 9.

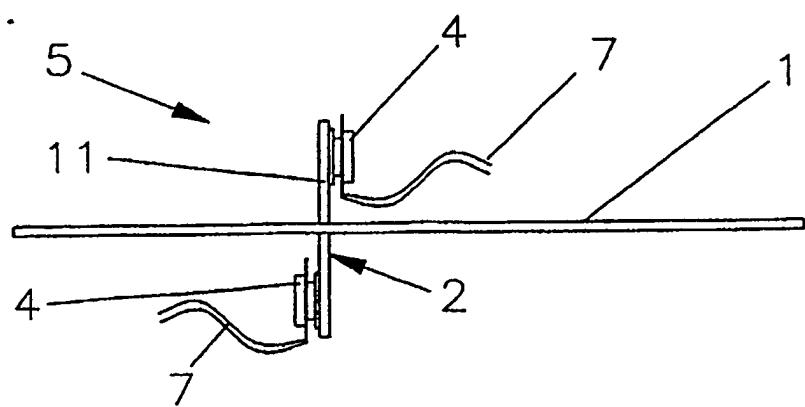


Fig. 10.

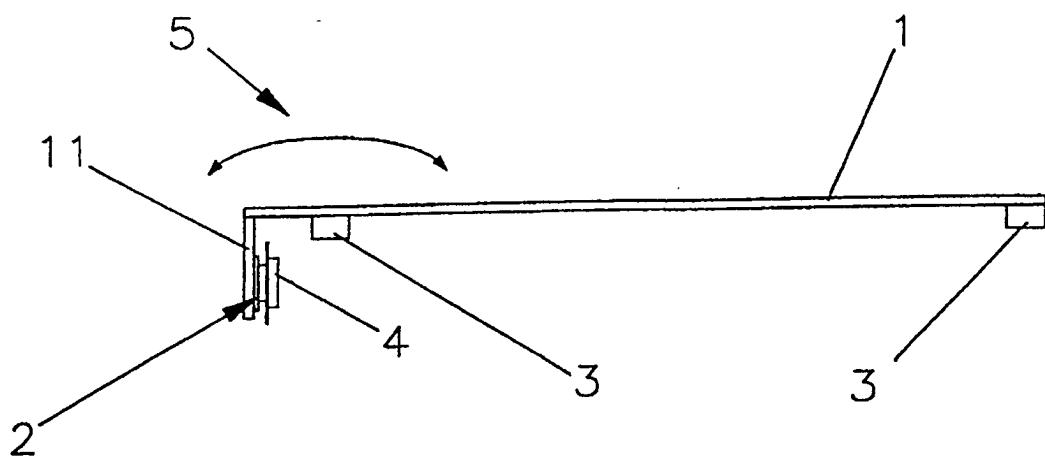


Fig. 10a.

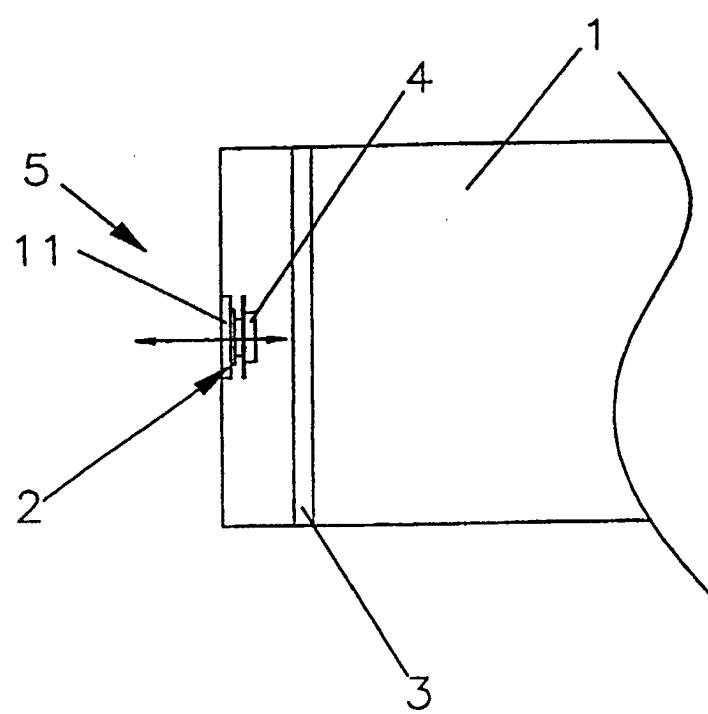


Fig. 11.

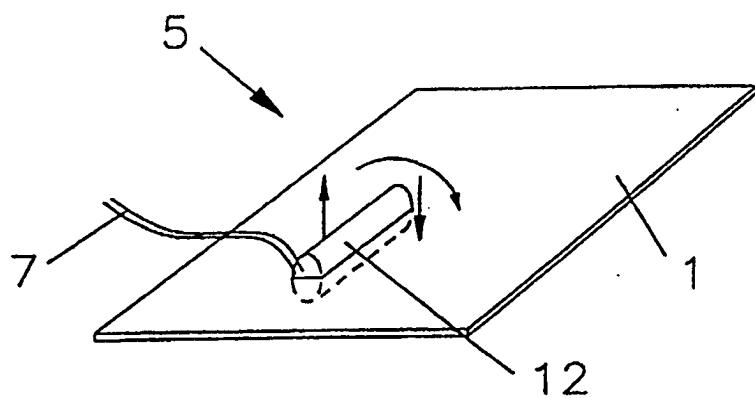


Fig. 12.

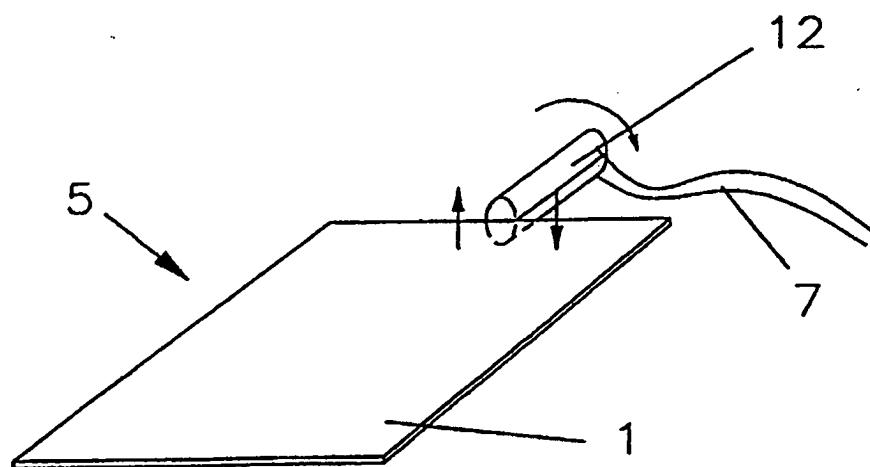


Fig. 13.

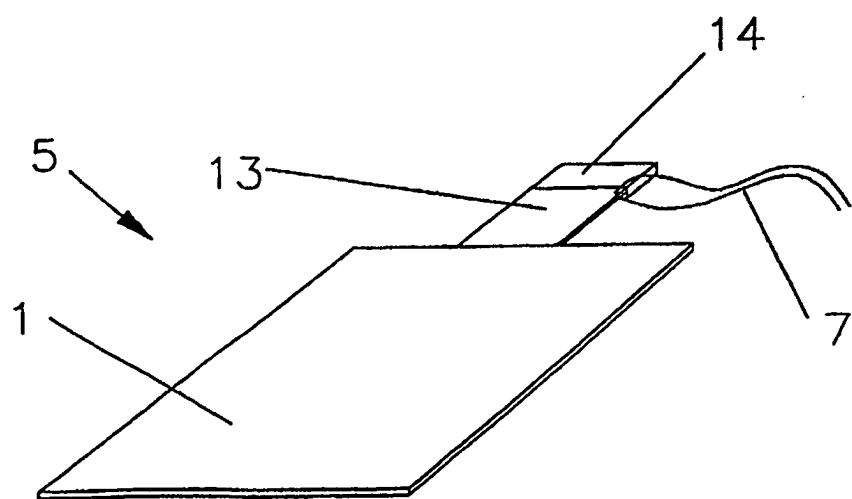


Fig. 14.

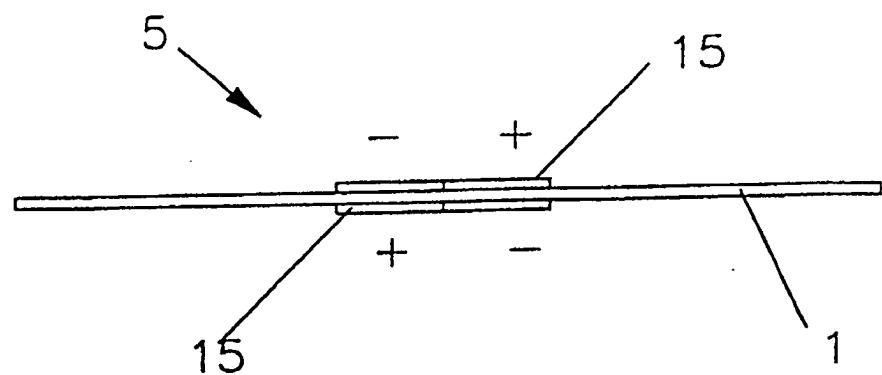


Fig. 15.

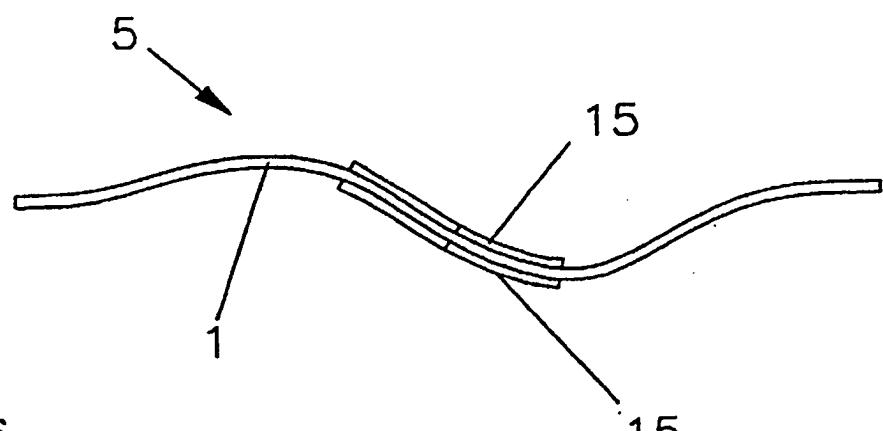


Fig. 16.

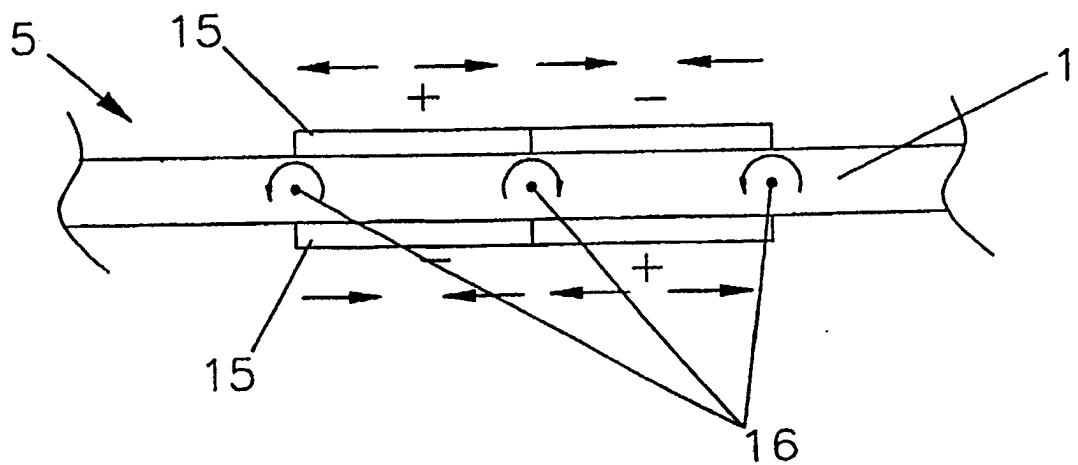


Fig. 17.

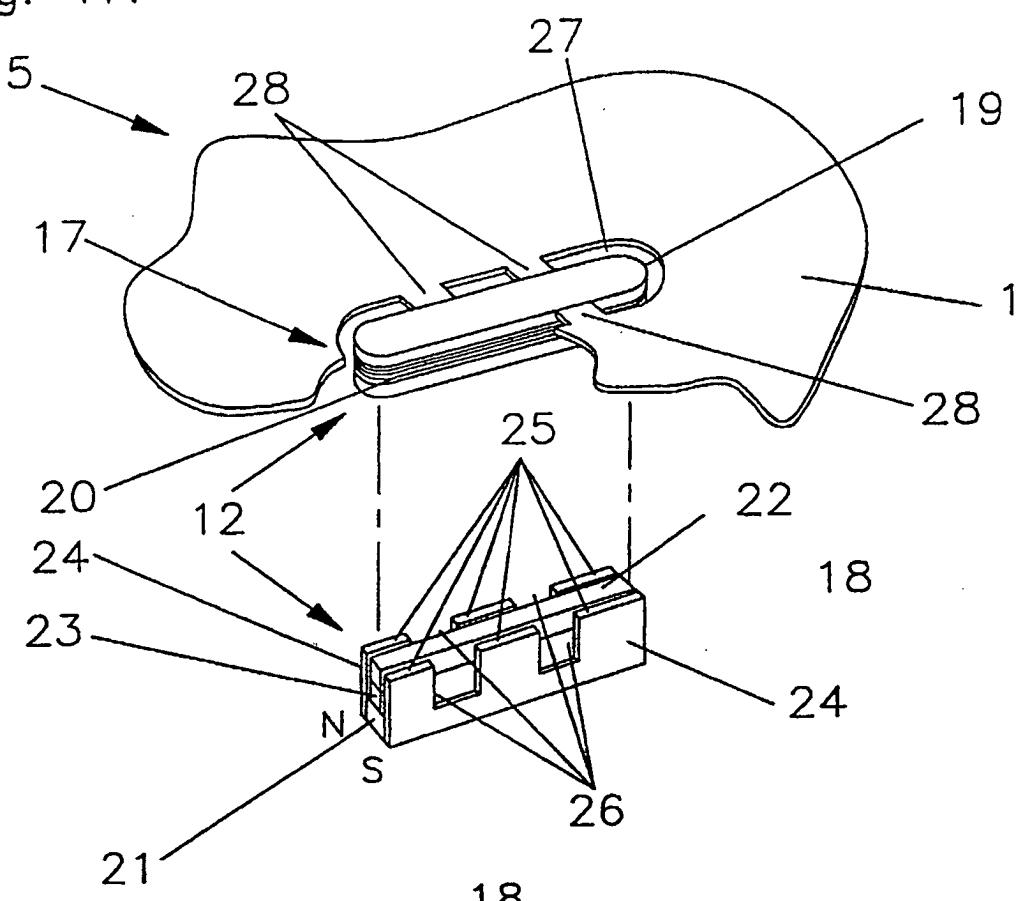


Fig. 18.

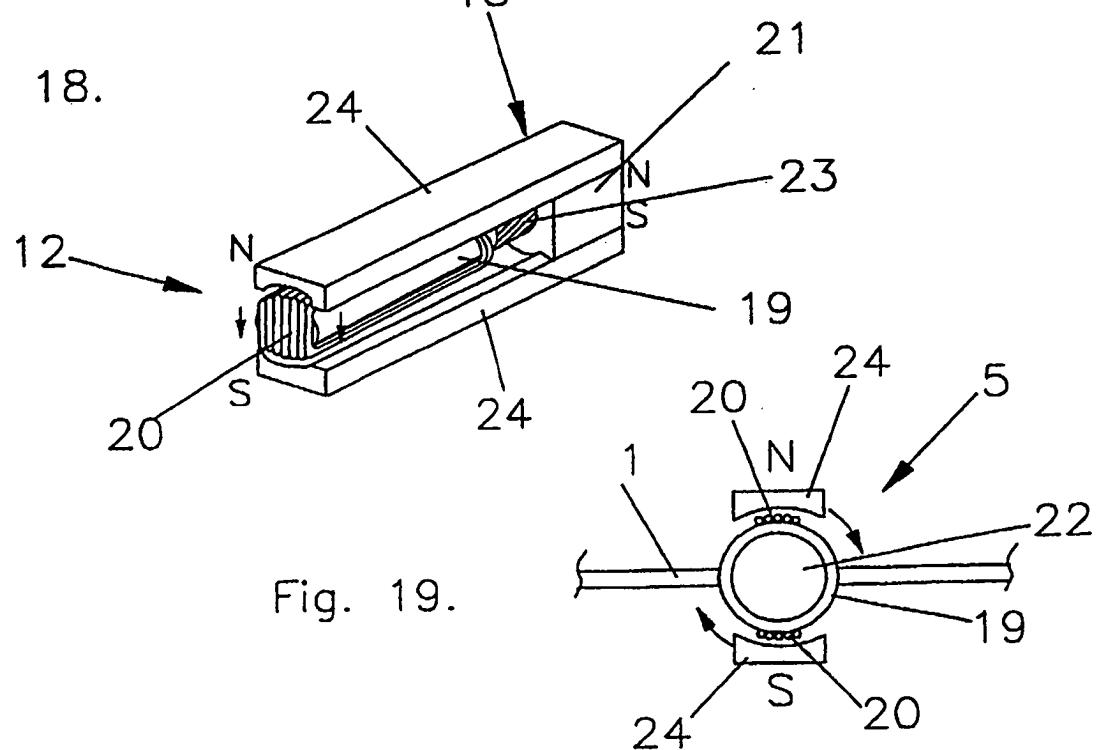


Fig. 20.

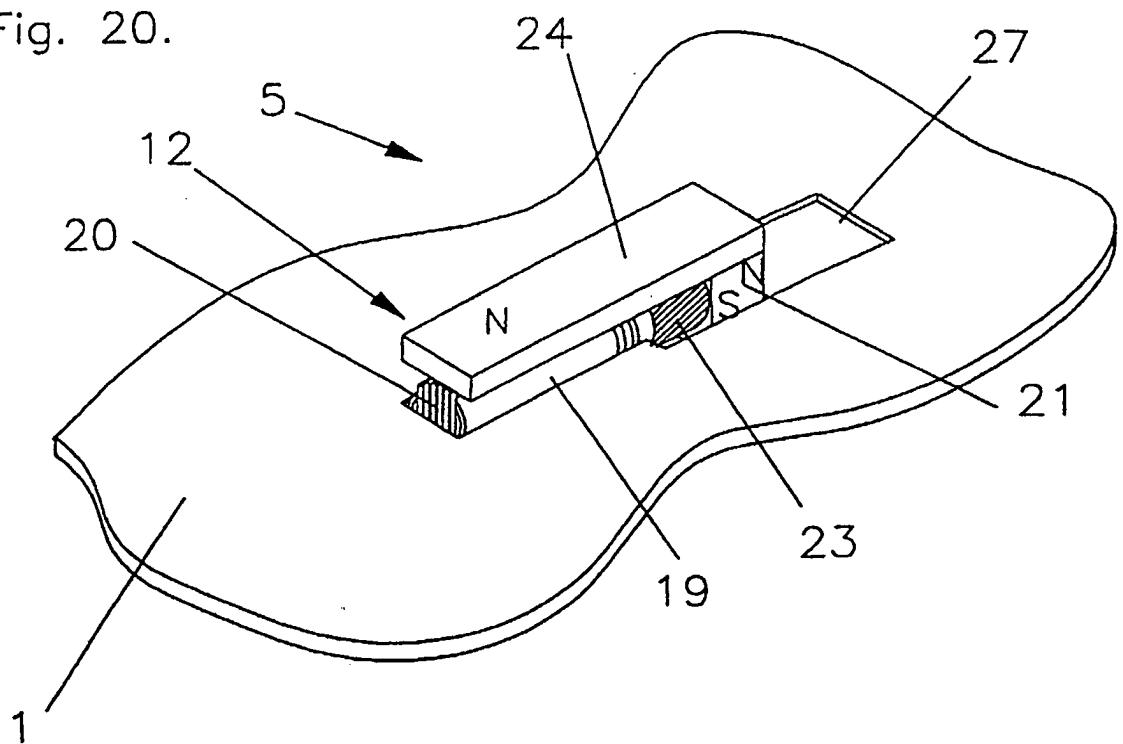


Fig. 21a

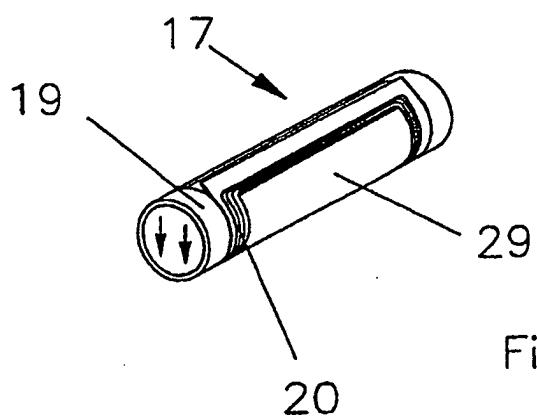
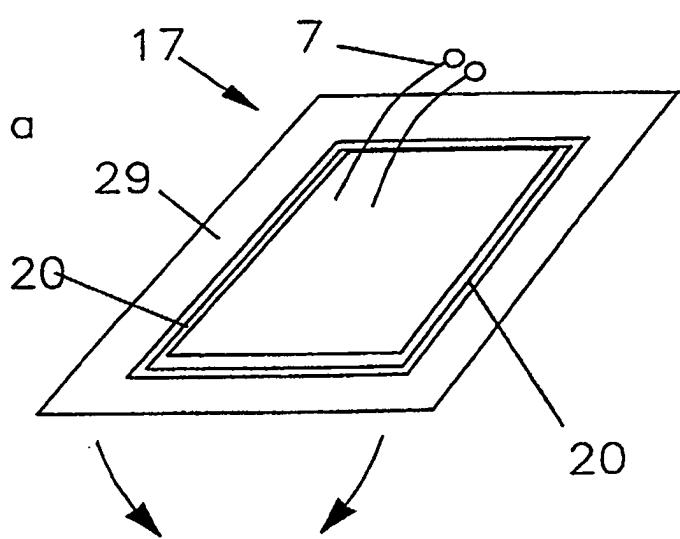


Fig. 21b

Fig. 22.

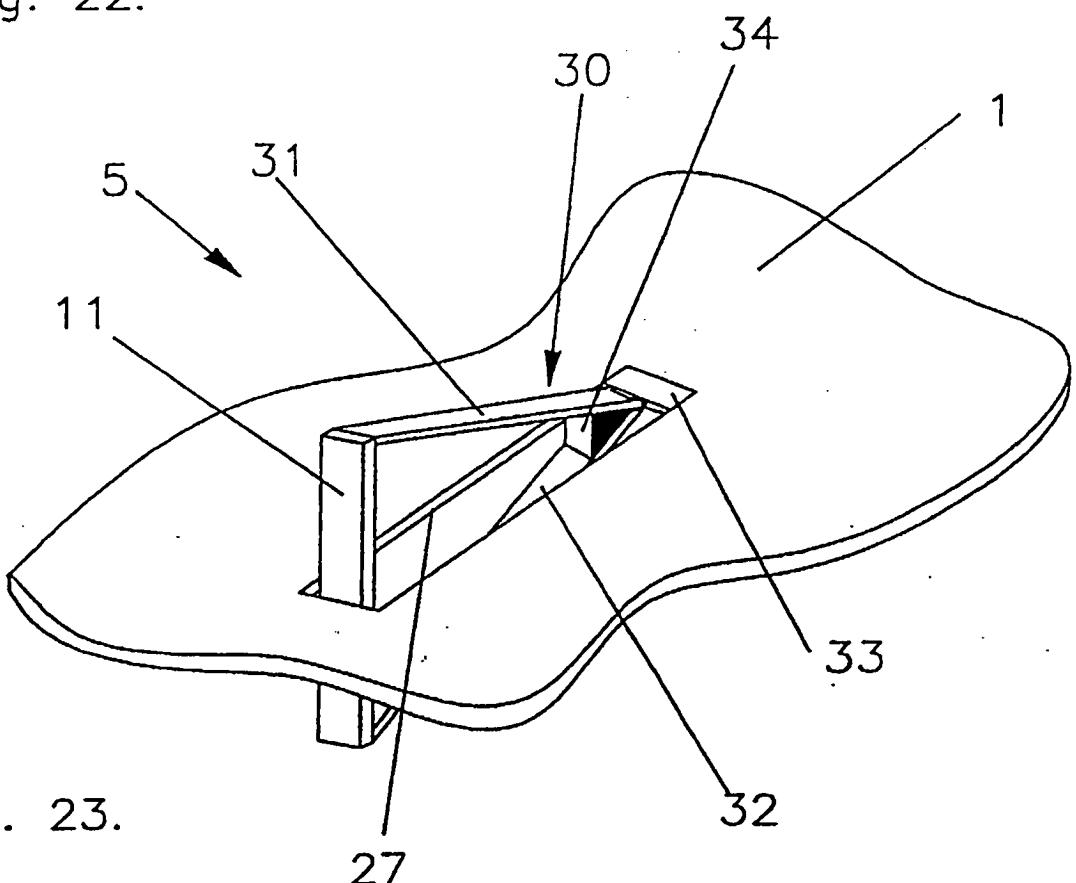


Fig. 23.

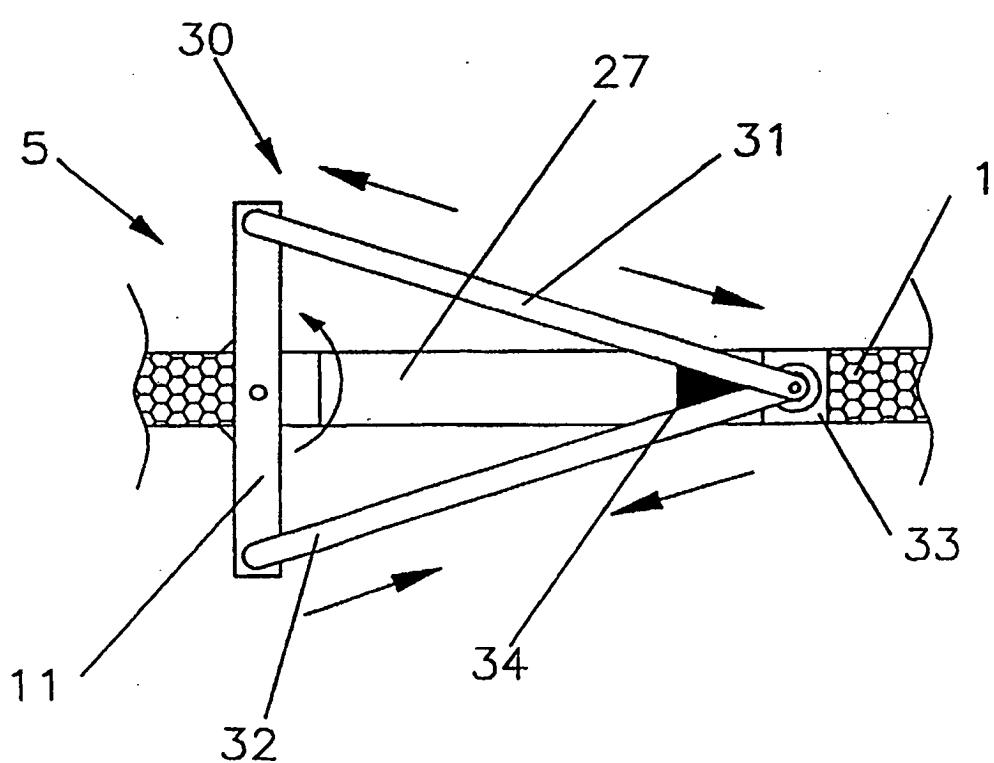


Fig. 24.

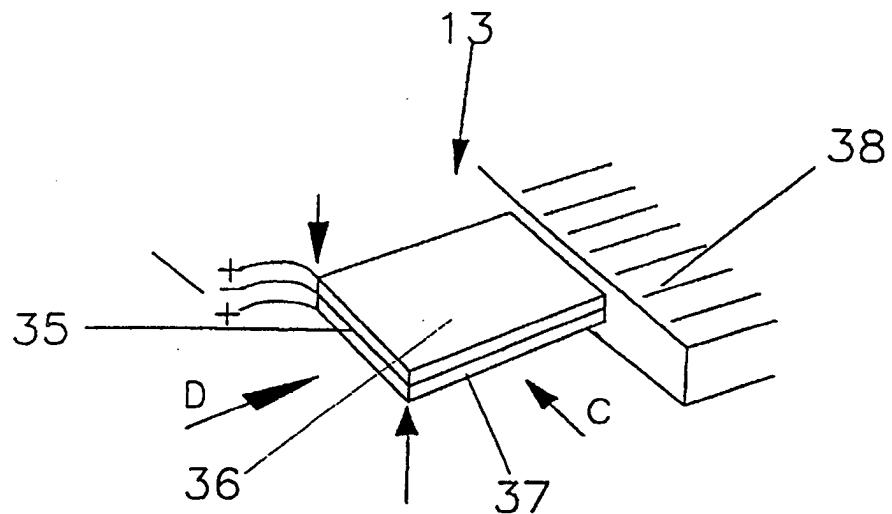


Fig. 24a. 13

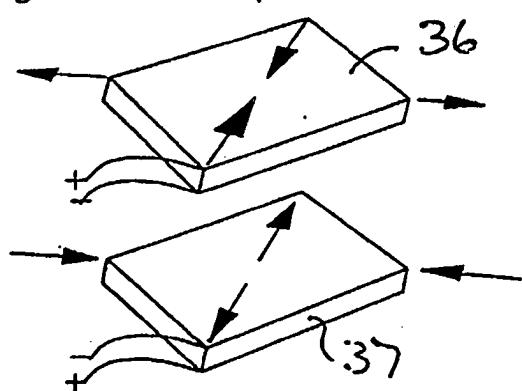


Fig. 24b.

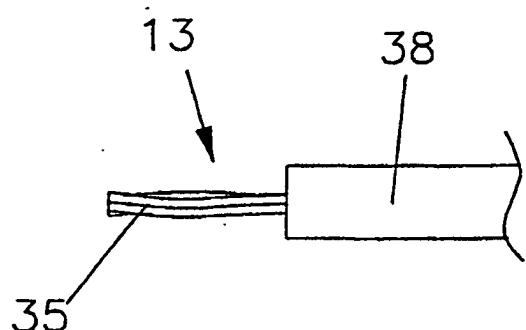
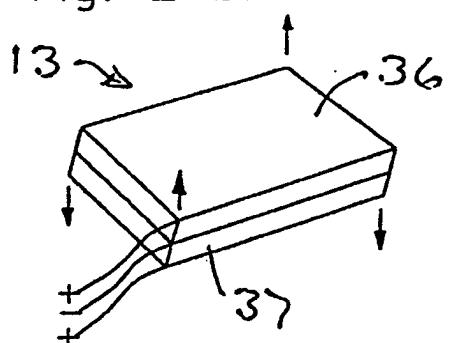


Fig. 25.

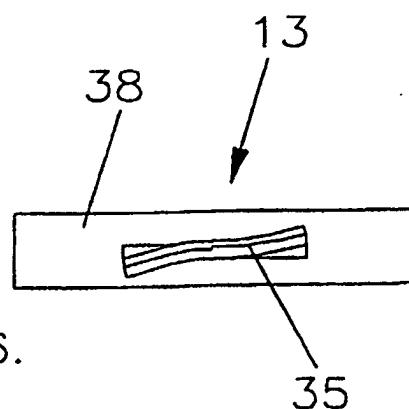


Fig. 26.