



**Patentgesuch für die Schweiz und Liechtenstein**  
Schweizerisch-liechtensteinischer Patentschutzvertrag vom 22. Dezember 1978

**(12) AUSLEGESCHRIFT A3**

(11)

**641 925 G**

(21) Gesuchsnummer: 4479/80

(71) Patentbewerber:  
Hitachi, Ltd., Chiyoda-ku/Tokyo (JP)

(22) Anmeldungsdatum: 11.06.1980

(72) Erfinder:  
Akio Kumada, Kokubunji-shi/Tokyo (JP)  
Shigeo Nakamura, Hino-shi/Tokyo (JP)

(30) Priorität(en):  
15.06.1979 JP 54-74698  
25.04.1980 JP 55-54226

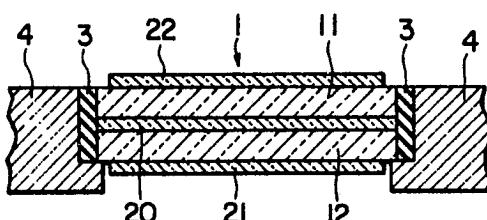
(74) Vertreter:  
Patentanwälte Dr.-Ing. Hans A. Troesch und  
Dipl.-Ing. Jacques J. Troesch, Zürich

(42) Gesuch  
bekanntgemacht: 30.03.1984

(56) Recherchenbericht siehe Rückseite

**(54) Transparenter Flachlautsprecher.**

(57) Der transparente Flachlautsprecher weist einen Zweielement-Resonator (1) auf. Dieser ist in ein Gehäuse (4) unter Zwischenschaltung einer Dichtung (3) eingesetzt. Beim Resonator (1) sind transparente Platten (11, 12) aus piezoelektrischem Keramikmaterial (Lanthan dotiertes Zirconiumtitanat) zwischen die jeweils benachbarten transparenten Elektroden (20, 21, 22) aus Zinnoxid SnO<sub>2</sub>, Indiumoxid eingesetzt. Wenn elektrische Signale an die Elektroden angelegt werden, wird eine elliptische flache Glasplatte in Schwingungen versetzt, um Schall an die Umgebung zu übertragen. Ein derartiger Lautsprecher kann einen vergleichsweise grossen Raum in einem Gerät einnehmen, ohne dass er die verschiedenen Anzeigen beeinträchtigt. Der transparente Flachlautsprecher stellt einen Lautsprecher grosser Leistungsfähigkeit dar, der im Vergleich zu Geräten kleiner Grösse ein grosses Schallvolumen liefern kann, auch wenn er bei geringer Spannung betrieben wird.





# RAPPORT DE RECHERCHE RECHERCHENBERICHT

Demande de brevet No.:  
 Patentgesuch Nr.:

CH 4479/80

HO 14 165

## Documents considérés comme pertinents Einschlägige Dokumente

Catégorie Kategorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes. Kennzeichnung des Dokuments, mit Angabe, soweit erforderlich, der massgeblichen Teile	Revendications concernées Betrifft Anspruch Nr.
P/A	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN, Band 3, Nr. 106, 7. September 1979, Seite 107E135 & JP - A - 54 83 472 (SUWA SEIKOSHA K.K.) (03-07-1979)  --	1,2
A	<u>FR - A - 2 154 704 (TIMEX CORP.)</u>  * Figuren * & DE - A - 2 247 155  --	1  Domaines techniques recherchés Recherchierte Sachgebiete (INT. CL*)
A	<u>FR - A - 2 408 168 (EBAUCHES S.A.)</u>  * Figuren * & DE - A - 2 848 525  --	1  H 04 R G 04 G G 04 C G 10 K
A	JOURNAL OF THE ACOUSTICAL SOCIETY OF AMERICA, Band 58, Nr. 4, Oktober 1975 NEW YORK (US) S.S.H. CHEN: "Extensional vibration of thin plates of various shapes", Seiten 828-831.  * Figuren 1,2 *	1  Catégorie des documents cités Kategorie der genannten Dokumente X: particulièrement pertinent à lui seul von besonderer Bedeutung allein betrachtet Y: particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie A: arrière-plan technologique technologischer Hintergrund O: divulgation non-écrite nichtschriftliche Offenbarung P: document intercalaire Zwischenliteratur T: théorie ou principe à la base de l'invention der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E: document de brevet antérieur, mais publié à la date de dépôt ou après cette date älteres Patentdokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldeatum veröffentlicht worden ist D: document cité dans la demande in der Anmeldung angeführtes Dokument L: document cité pour d'autres raisons aus andern Gründen angeführtes Dokument  &: membre de la même famille, document correspondant. Mitglied der gleichen Patenfamilie; übereinstimmendes Dokument

Rapport de recherche établi sur la base des dernières revendications transmises avant le commencement de la recherche.  
 Der Recherchenbericht wurde mit Bezug auf die letzte, vor der Recherche übermittelte, Fassung der Patentansprüche erstellt.

## Etendue de la recherche/Umfang der Recherche

Revendications ayant fait l'objet de recherches  
 Recherchierte Patentansprüche: alle

Revendications n'ayant pas fait l'objet de recherches  
 Nicht recherchierte Patentansprüche:  
 Raison:  
 Grund:

DaI. d'achèvement de la recherche/Abschlussdatum der Recherche

Examinateur OEB/EPA Prüfer

11. Oktober 1982

## PATENTANSPRÜCHE

1. Transparenter Flachlautsprecher, mit mindestens einem Resonator und einer Platte aus piezoelektrischem Material, die zwischen mindestens einem Paar von Elektroden gehalten ist, wobei der Resonator von der Platte aus piezoelektrischem Material erregt wird, dadurch gekennzeichnet, dass der Resonator (5), sämtliche Elektroden (21, 22) und die Platte (13) aus piezoelektrischem Material transparent sind, und dass der Resonator (5) einen Umfang in Form einer ebenen Figur besitzt, die sich durch eine glatte Kurve beschreiben lässt, mit mindestens zwei Krümmungszentren.

2. Flachlautsprecher nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der Resonator (5) die Form einer Ellipse aufweist.

3. Flachlautsprecher nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass die grosse Achse der Ellipse um einen Faktor  $\sqrt{1,75} - \sqrt{2,25}$  länger ist als ihre kleine Achse.

4. Flachlautsprecher nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Form des Resonators (5) in normiertem Zustand sich durch die Gleichung  $X^n + Y^n = 1$  beschreiben lässt, wobei  $4 \leq n \leq 20$  gilt.

5. Flachlautsprecher nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Form des Resonators (5) in normiertem Zustand sich durch die Gleichung  $X^n/a + Y^n/b = 1$  beschreiben lässt, wobei  $2 \leq n \leq 20$  gilt.

6. Flachlautsprecher nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Form des Resonators (5) in normiertem Zustand sich durch die Gleichung  $X^n/a + Y^n/b = 1$  beschreiben lässt, wobei  $4 \leq n \leq 20$  und  $1 \leq b/a \leq \sqrt{2,5}$  gelten.

7. Flachlautsprecher nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, dass die Form des Resonators (5) einen Polygonzug bildet, dessen Ecken glatt geformt sind.

8. Flachlautsprecher nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, dass das Verhältnis der Eckradien, bezogen auf die Kantenlänge, zwischen 3 und 30% liegt.

9. Flachlautsprecher nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Form des Resonators (5) aus einer glatten Kombination von gewünschten Teilen einer Vielzahl von Formen aus der Gruppe zusammengesetzt ist, die aus einer Ellipse, einer normierten Form gemäß der Gleichung  $X^n + Y^n = 1$  mit  $4 \leq n \leq 20$ , einer normierten Form gemäß der Gleichung  $X^n/a + Y^n/b = 1$  mit  $2 \leq n \leq 20$  sowie einem Polygonzug besteht, dessen Ecken glatt geformt sind.

---

Die Erfindung betrifft einen transparenten Flachlautsprecher, mit mindestens einem Resonator und einer Platte aus piezoelektrischem Material, die zwischen mindestens einem Paar von Elektroden gehalten ist, wobei der Resonator von der Platte aus piezoelektrischem Material erregt wird.

In jüngster Zeit haben Sprach-Syntheseeinrichtungen in mikro-elektronische Geräte Eingang gefunden, beispielsweise bei Armbanduhren, die Melodien von sich geben, und elektronischen Kleinrechnern. Bei elektronischen Armbanduhren sind mehrere Funktionen erforderlich geworden, da die Zeitanzeige nicht auf eine visuelle Anzeige begrenzt ist, sondern es ist auch erforderlich, bestimmte Zeitpunkte akustisch zum Ausdruck zu bringen, beispielsweise als Alarmsignal oder dergleichen.

Beispielsweise weist eine herkömmliche Konstruktion einer digitalen elektronischen Uhr dieser Art eine optische Anzeige, die mit einer Zeichenanzeige oder Zeigeranzeige versehen ist, einen Metallkörper, der den Uhrenmodul trägt, ein in den Körper eingebautes, piezoelektrisches Element und eine vordere Glasplatte auf, die so aufgesetzt ist, dass sie ein-

stückig mit dem piezoelektrischen Element ist. Die Glasplatte mit einem piezoelektrischen Element schwingt in Resonanz in einem vorgegebenen Frequenzband durch Anlegen eines elektrischen Warn- oder Alarmsignals, und die Schwingung erzeugt ein Summersignal, eine Melodie oder dergleichen. Im Sommer für die Uhr wird der Ton mit einer beliebigen bestimmten Frequenz innerhalb eines Frequenzbereiches von 2 bis 4 kHz gewählt, und der Resonator wird bei seiner einzigen Resonanzfrequenz erregt, um den Ton bei der geringstmöglichen Spannung zu erzeugen. Da somit die Resonanzfrequenz des Resonators denkbar einfach und damit der Q-Wert höher ist, wird die Leistungsfähigkeit höher, so dass der scheibenförmige Resonator in der Praxis verwendet werden und frei von Unterresonanzen usw. ist.

Derartige Summer für Uhren sind beispielsweise in der JP-OS 55 171/1978 beschrieben.

Weiterhin ist in jüngerer Zeit eine Uhr bekanntgeworden, die die Funktion aufweist, nicht nur ein Summersignal, sondern auch eine Melodie zu erzeugen. Derartige Digitaluhren, die auf das Ohr ansprechen, werden auch für die Fahrer von Rennwagen und Fahrrädern sowie für visuell benachteiligte Menschen verwendet.

Das Summersignal ist jedoch insofern nachteilig, als es ursprünglich intensiv als Alarmsignal oder Gefahrenton aufgefasst wird und damit eine grössere psychologische Rastlosigkeit als erforderlich hervorruft, so dass es nicht als angenehmes Geräusch empfunden wird. Um die Tonqualität dahingehend zu ändern, dass der Summerton einer menschlichen Stimme ähnlich wird, sind aufwendige und platzraubende zusätzliche Schaltungen mit einer Sprachsyntheseeinrichtung erforderlich. Es erscheint nicht möglich, eine derartige Massnahme auch bei elektronischen Einrichtungen kleiner Grösse, z. B. digitalen Uhren, zu ergreifen.

Weiterhin hat man bereits daran gedacht, eine eine Stimme oder einen Ton liefernde Quelle, wie z. B. einen sehr kleinen miniaturisierten Lautsprecher im Inneren des Körpers einer Uhr unterzubringen. Da jedoch eine Uhr ursprünglich eine hermetische Abdichtung wegen der Wasserdichtigkeit usw. erfordert, ist eine derartige Konstruktion insofern ungewünscht, als sie ein perforiertes Teil zur Schallemission aufweist; des weiteren sind bei kleinen elektronischen Geräten, wie z. B. Uhren, dekorative Faktoren zu berücksichtigen. Insbesondere der Einbau eines zusätzlichen Bauteils für eine andere Funktion auf der Seite der Anzeige beeinträchtigt ein ansprechendes Äusseres und ist aus kommerziellen Gründen zu beanstanden. Dies hat zu dem Nachteil geführt, dass ein Raum zum Einbau von schallproduzierenden Einrichtungen immer noch begrenzt ist.

Ausserdem sind viele elektronische Rechner und Einrichtungen zu Unterrichtszwecken oder dergleichen in jüngster Zeit mit Sprachsyntheseeinrichtungen versehen worden, also kleinen Sprecheinrichtungen, die menschliche Stimmen nachmachen. Diese Anordnungen werden im allgemeinen mit Batterien betrieben, und es ist erwünscht, sie mit geringer Grösse und kleinem Gewicht auszustatten. In diesem Zusammenhang nimmt ein Lautsprecherteil einen grossen Raum ein, so dass es erwünscht ist, derartige Teile zu miniaturisieren. Ein Kleinlautsprecher hat jedoch den Nachteil, dass er eine geringere Tonqualität aufweist.

Aus der FR-PS 2 154 704 ist es bekannt, als Resonator eines Schallgebers an einer Uhr, einen Uhrenteil, wie Gehäuse, Glas, Brille zu verwenden, und ihn mittels eines Piezo-Schwingers anzuregen. Nebst der dadurch erzielten ungefüglichen Klangqualität, insbesondere bedingt durch discrete Resonanzstellen im Frequenzgang des Resonators, wird das Erscheinungsbild der Uhr durch den Swinger beeinträchtigt, oder, soll dies vermieden werden, ist der Swinger mit komplizierter Form auszulegen.

Die FR-PS 2 408 168 beschreibt ebenfalls den Einsatz des Uhrglases als Resonator. Damit es als Ganzes schwingen kann, ist es elastisch gelagert. Nebst den gleichen Nachteilen, wie die aus der FR-PS 2 154 704 bekannte Technik, sind hier zusätzliche Lagerstellen vorzusehen, die einerseits die für die Resonatorschwingung notwendigen Bedingungen erfüllen, andererseits die für eine Uhrglasmontage ohnehin zu stellenden Anforderungen.

Aufgabe der Erfindung ist es, einen Lautsprecher vorzuschlagen, der einen vergleichsweise grossen Raum in einem Gerät, wie in einer Uhr, einnehmen kann, ohne dessen Erscheinungsbild, wie das verschiedener Anzeigen, zu beeinträchtigen. Er soll, gemessen an seiner Grösse, ein grosses Schallvolumen liefern, auch wenn an geringer Spannung betrieben.

Um dies zu erreichen, zeichnet sich der transparente Flachlautsprecher eingangs genannter Art nach dem Wortlaut des Anspruchs 1 aus.

Hinsichtlich der Formen der Umfangsgestalt sind eine Ellipse, eine Kurve, die sich durch die Gleichung  $X^n/a + Y^n/b = 1$  beschreiben lässt, eine ebene Figur, die durch Formen der Ecken eines Polygonzuges, der eine Ellipse umschreibt oder in eine Ellipse eingeschrieben ist, oder ähnliche Formen besonders für den Lautsprecher geeignet.

Für den Resonator lässt sich ein transparentes anorganisches Material, wie z.B. Glas, Quarz und Saphir oder ein transparentes synthetisches Harz mit vorgegebener Härte verwenden, wie z.B. Acrylharz. Der erfindungsgemäss Lautsprecher ist besonders wirksam, wenn ein Resonator verwendet wird, dessen Länge etwa im Bereich zwischen 1 und 10 cm liegt.

Als piezoelektrisches Material können Kristalle von transparenten Keramiken auf der Basis von PZT ( $Pb(Zr, Ti)O_3$ ) verwendet werden, wie z.B. mit Lanthan dotiertes Zirconium-Titanat PLZT, ( $PbBa$ ) ( $Zr, Ti$ )<sub>3</sub>, ( $PbSr$ ) ( $Zr, Ti$ )<sub>3</sub> und ( $PbCa$ ) ( $ZrTi$ )<sub>3</sub>, Bariumtitanat oder ein organisches Material, wie z.B. Polyvinylidenfluorid.

Für die transparenten Elektroden können Dünnsfilme von an sich bekannten  $In_2O_3-SnO_2$  Systemen usw. in zufriedenstellender Weise verwendet werden.

Die Erfindung wird nachstehend anhand der Beschreibung von Ausführungsbeispielen und unter Bezugnahme auf die Zeichnung näher erläutert. Die Zeichnung zeigt in:

Fig. 1 einen Teilschnitt eines bei einem erfindungsgemässen Lautsprecher verwendeten Resonators;

Fig. 2a bis 2h grafische Darstellungen zur Erläuterung des Frequenzganges von transparenten Flachlautsprechern;

Fig. 3 Diagramme zur Erläuterung der Formen von Resonatoren;

Fig. 4a bis 4l grafische Darstellungen zur Erläuterung des Frequenzganges von transparenten Flachlautsprechern;

Fig. 5 Diagramme zur Erläuterung von Formen der Resonatoren;

Fig. 6 eine schematische Darstellung im Schnitt eines transparenten Flachlautsprechers zur Verwendung bei einer Digitaluhr;

Fig. 7 eine Draufsicht zur Erläuterung des Gehäuses der Digitaluhr gemäss Fig. 6; und in

Fig. 8 eine Draufsicht zur Erläuterung eines Gehäuses eines miniaturisierten Radiogerätes.

In Fig. 1 erkennt man eine schematische Darstellung im Schnitt der wesentlichen Teile eines erfindungsgemässen transparenten Flachlautsprechers.

Ein Zweielement-Resonator 1 ist in ein Gehäuse 4 unter Zwischenschaltung einer Dichtung 3 eingesetzt. Der Resonator 1 ist so aufgebaut, dass transparente Platten 11 und 12 aus piezoelektrischem Keramikmaterial, wie z.B. mit Lan-

than dotiertes Zirconiumtitanat, das im allgemeinen kurz mit PLZT bezeichnet wird, zwischen die jeweils benachbarten transparenten Elektroden 20, 21 und 22 aus Zinnoxid  $SnO_2$ , Indiumoxid oder dergleichen eingesetzt sind. Wenn 5 vorgegebene elektrische Signale an die Elektroden angelegt werden, so wird eine nicht dargestellte elliptische flache Glasplatte in Schwingungen versetzt, um Schall an die Umgebung zu übertragen.

Nimmt man beispielsweise einen Fall an, wo eine Zeitanzeige oder Zeitansage «3 Uhr» mit Schall oder akustischen Signalen erfolgen soll, die von dem Lautsprecher einer elektrischen Uhr erzeugt werden. Sprachsynthesemittel, welche Stimmen oder Sprachtöne von Zeitintervallen bzw. Zeiteinheiten liefern, sind als quantisierte digitale Sprachinformation vorher in einem Festwertspeicher oder ROM gespeichert.

Wenn die Zeiger den Zeitpunkt «3 Uhr» angezeigt haben, so werden die Sprachsyntheseeinrichtungen nacheinander ausgelesen und in Form von elektrischen Signalen an 20 den Resonator 1 übertragen. Der Lautsprecher verkündet dann «es ist jetzt 3 Uhr».

Um die Sprach- oder Tonsignalerzeugung des Lautsprechers der einer natürlichen menschlichen Stimme anzunähern, wurden Versuche durchgeführt, wobei die Form des 25 Resonators variiert wurde. Dabei ergab sich, dass die nachstehend beschriebenen Formen besonders günstig für den angegebenen Zweck sind.

Tabelle 1 gibt die Ergebnisse der Versuche im Zusammenhang mit dem Frequenzgang des Lautsprechers an, der 30 durch Variation der Form der transparenten flachen Glasplatte erhalten wurde. In diesem Falle wurden die Längen der grossen und kleinen Achse der Ellipse geändert. Obwohl keine Einheiten angegeben sind, weil die Abmessungen normaliert wurden, betrug die kleine Achse beispielsweise 2 cm. 35 Das Glas bestand aus üblichem Hartglas und hatte eine Dicke von 1,0 mm.

Der Lautsprecher lässt sich bevorzugt in Fällen verwenden, wo die grosse Achse  $\sqrt{1,5}$  bis  $\sqrt{2,5}$  länger als die kleine Achse ist, wobei es noch günstiger ist, wenn die grössere 40 Achse etwa  $\sqrt{1,75}$  bis  $\sqrt{2,25}$  länger als die kleine Achse ist. Das Aussehen der Frequenzverteilungen der Schallausgänge für diese Fälle ist in Fig. 2 bis 2h dargestellt. Die jeweiligen Figuren entsprechen den Beispielen Nr. 1 bis 8 in Tabelle 1. Wenn die grosse Achse gegenüber der kleinen Achse ein Verhältnis von 1 : 1 hat, d.h. die Form der Glasplatte ist ein Kreis, so ist der Gütefaktor Q des Plattenresonators sehr scharf und hoch. Wenn die grosse Achse  $\sqrt{1,5}$  bis  $\sqrt{2,5}$  länger ist als die kleine Achse, dann hat der Resonator so viele Schwingungsmoden, dass er dann Resonanzen in einem 45 ziemlich engen Frequenzbereich aufweist. Somit tritt kein Spitzenwert bei einer bestimmten Frequenz zutage, sondern es tritt eine Frequenzverteilung mit Breitbandbereichen auf. Die Breitbandbereiche lagen innerhalb einer Bandbreite von 1,0 bis 4,0 kHz, und Sprachsyntheseeinrichtungen mit ungefähr 200 Worten konnten an einem Ort in einem Abstand von 1 m vom Lautsprecher klar gehört werden. Dies reicht aus, um einer normalen Unterhaltung zuzuhören. Darüber hinaus konnte ein ausreichend grosses hörbares Schallvolumen mit einer Batterie erreicht werden, deren Spannung ungefähr 50 1,5 V betrug.

Tabelle 1

Nr.	Grosse Achse	Kleine Achse	Frequenzgang
1	$\sqrt{1,0}$	1,0	schlecht
2	$\sqrt{1,25}$	1,0	schlecht
3	$\sqrt{1,5}$	1,0	gut
4	$\sqrt{1,75}$	1,0	besser

Tabelle 1 (Fortsetzung)

Nr.	Grosse Achse	Kleine Achse	Frequenzgang
5	$\sqrt{2,0}$	1,0	sehr gut
6	$\sqrt{2,25}$	1,0	besser
7	$\sqrt{2,5}$	1,0	gut
8	$\sqrt{2,75}$	1,0	schlecht

In Tabelle 2 sind die Ergebnisse von Versuchen hinsichtlich des Frequenzganges des Lautsprechers angegeben, der durch Variation der Form des Resonators erhalten wurde. In diesem Falle wurde der Einfluss der Form oder Gestalt auf den Frequenzgang experimentell untersucht, indem man die Form des Resonators dadurch variierte, dass man einen Wert  $n$  bei der nachstehenden Gleichung (1) variierte:

$$X^n + Y^n = 1 \quad (1),$$

wobei  $n$  = positive Zahl.

Fig. 3 dient zur näheren Erläuterung der Tabelle 2 und zeigt grafisch einen Teil des obigen Ausdruckes, nämlich den ersten Quadranten. Wie sich aus der Figur entnehmen lässt, ergibt sich im Fall  $n = 1$  ein Quadrat, im Fall  $n = 2$  ein Kreis und bei  $n = \infty$  ein Quadrat. Wenn der Wert  $n$  immer grösser wird, so nähert sich die Form des Kreises immer mehr einem Quadrat.

Tabelle 2

Nr.	n	Frequenzgang	Bemerkungen
1	1	schlecht	Rhombus
2	2	schlecht	Kreis
3	3	möglich	
4	4	besser	
5	5	sehr gut	
6	10	sehr gut	
7	20	besser	
8	30	möglich	
9	50	schlecht	
10	$\infty$	schlecht	Quadrat

Wie sich aus Tabelle 2 entnehmen lässt, ergaben die Versuche, dass Werte zwischen  $n = 3$  und  $n = 20$  für den Lautsprecher verwendbare Eigenschaften lieferten, vorzugsweise in einem Bereich von  $n = 5$  bis  $n = 10$ , wo sich Eigenschaften für einen vorteilhaften Lautsprecher ergeben. Man nimmt an, dass der Grund, warum sich der Fall eines Kreises als ungeeignet erweist, der gleiche wie oben ist. Da im Falle eines Quadrates die vier Ecken als singuläre Punkte bei Resonanz wirken, wird sich eine grosse Anzahl von schädlichen Resonanzmoden entwickeln, um das Ausgangssignal sowie die Klangfülle drastisch zu verringern, so dass die Wirkung des Lautsprechers abnimmt. Dementsprechend ist ohne weiteres einsichtig, dass die optimale Form zwischen dem Kreis und dem Quadrat liegt.

Ferner wurde die Form des Resonators als eine Form untersucht, die sich durch die folgende Gleichung in normierter Form darstellen lässt:

$$X^n/a + Y^n/b = 1$$

wobei  $n$  = positive Zahl.

Im Ergebnis stellte sich heraus, dass Formen der nachstehend näher beschriebenen Art für den Lautsprecher günstig sind.

(1) Im Falle  $n = 1$  ergeben sich ungünstige Eigenschaften für den Lautsprecher unabhängig vom Verhältnis  $b/a$ .

(2) Im Falle  $n = 2$  ist ein Bereich zwischen  $\sqrt{1,5}$  bis  $\sqrt{2,5}$  bezüglich des Achsenverhältnisses günstig, wie es in Tabelle 5 angegeben worden ist. Dies ist der Fall der oben beschriebenen Ellipse.

(3) Im Falle  $n = 3$  erweitert sich ein Bereich zwischen  $\sqrt{1,25}$  bis  $\sqrt{2,5}$  hinsichtlich des Achsenverhältnisses  $b/a$  als günstig.

(4) Für die Fälle  $20 \geq n \geq 4$  ist ein Bereich zwischen 1 und  $\sqrt{2,5}$  bezüglich des Achsenverhältnisses günstig.

Bei Werten von  $n = 2$  bis 4 ist der untere Grenzwert des Achsenverhältnisses im wesentlichen eine Grösse, die sich durch Interpolation jedes Wertes erhalten lässt.

(5) In den Fällen, wo  $n > 20$  gilt, ergeben sich ungünstige Eigenschaften unabhängig vom Achsenverhältnis.

Insgesamt ist ein Bereich günstig, bei dem  $n = 4$  bis 20 und  $b/a = \sqrt{1,75}$  bis  $\sqrt{2,25}$  gilt.

In Tabelle 3 sind die Ergebnisse der Frequenzgänge angegeben, die sich durch Variation der Form des Resonators ergaben. Fig. 4a bis 4l zeigen den Frequenzgang der Schallausgangssignale. Die jeweiligen Figuren entsprechen folgenden Formen:

1)  $n = 1, b = a$  (Vergleichsbeispiel)

2)  $n = 2, b = a$  (Vergleichsbeispiel)

3)  $n = 4, b = a\sqrt{1,75}$

4)  $n = 4, b = a\sqrt{2}$

5)  $n = 4, b = a\sqrt{2,25}$

6)  $n = 5, b = a\sqrt{2}$

7)  $n = 10, b = a\sqrt{2}$

8)  $n = 20, b = a\sqrt{1,75}$

9)  $n = 20, b = a\sqrt{2}$

10)  $n = 20, b = a\sqrt{2,25}$

11)  $n = 30, b = a\sqrt{2}$

12)  $n = 30, b = a$  (Vergleichsbeispiel).

Die Beispiele mit den Nr. 1, 2 und 12 sind solche Beispiele, die für den Lautsprecher ungünstig sind.

Tabelle 3

Nr.	n	a	b	Frequenzgang
1	4	1	$\sqrt{1,75}$	möglich
2	4	1	$\sqrt{2,0}$	gut
3	4	1	$\sqrt{2,25}$	möglich
4	5	1	$\sqrt{1,75}$	besser
5	5	1	$\sqrt{2,0}$	sehr gut
6	5	1	$\sqrt{2,25}$	besser
7	10	1	$\sqrt{1,75}$	besser
8	10	1	$\sqrt{2,0}$	sehr gut
9	10	1	$\sqrt{2,25}$	besser
10	20	1	$\sqrt{1,75}$	möglich
11	20	1	$\sqrt{2,0}$	gut
12	20	1	$\sqrt{2,25}$	möglich

Tabelle 4 gibt die Ergebnisse von Versuchen bezüglich der Frequenzeigenschaften des Lautsprechers an, die durch Variation der Form des Resonators durchgeführt wurden. In 60 diesem Falle waren die Ecken einer Glasplatte mit einer Kantenlänge von 3 cm durch Abschleifen oder Abschrägen abgerundet, und der Radius des Formteiles wurde durch den prozentualen Anteil bezüglich der Länge einer Seitenkante der Platte angegeben. Fig. 5 zeigt, wie das Verhältnis des Radius des Formteiles relativ zur Länge einer Seitenkante zu nehmen ist. Im dargestellten Falle bildet der Polygonzug ein Quadrat, wobei die Länge einer Seitenkante und der Radius des Formteiles an der Ecke mit 1 bzw. R bezeichnet sind.

Dasselbe gilt auch für die anderen Polygonzüge. Das Material und die Dicke der Glasplatten waren die gleichen wie beim vorherigen Versuch.

Tabelle 4

Nr.	Verhältnis von R : 1	Frequenzgang
1	1%	schlecht
2	2%	schlecht
3	3%	gut
4	4%	gut
5	5%	besser
6	7%	besser
7	10%	sehr gut
8	20%	besser
9	30%	gut
10	50%	schlecht

Wie sich aus der Tabelle entnehmen lässt, kann der Frequenzgang bei Werten zwischen 3 und 30%, ausgedrückt in Werten des Verhältnisses von R : 1 des Formteiles, d. h. in diesem Falle zwischen 0,9 und 9 mm, für den Lautsprecher verwendet werden, wobei noch günstigere Eigenschaften zwischen 5 und 20% dieses Wertes erreicht werden. Die bevorzugten Abmessungen werden auch auf einer Frequenzverteilung basieren, die Breitbandbereiche und ein mögliches Klangvolumen besitzt. Obwohl bei diesem Versuch eine Seitenkante 3 cm lang war, darf der Vollständigkeit halber darauf hingewiesen werden, dass die Grösse nicht auf diesen Wert begrenzt ist, sondern dass auch Längen etwa in der Größenordnung von 1 bis 10 cm für elektronische Anordnungen kleiner Grösse möglich bzw. realistisch sind. Wenn sich die Grösse ändert, so ist auch eine Verschiebung der mittleren Position der Frequenzverteilung mit Breitbandbereichen zu verzeichnen, und es versteht sich eigentlich von selbst, dass ein günstiger Schall- oder Klangbereich gewählt werden kann, indem man den Resonator für einen Klang mit niedriger Tonhöhe klein und für einen Klang mit hoher Tonhöhe gross macht. Ausserdem wurden in den Fällen, wo die Proben des Resonators rechteckig waren oder die Form von Polygonzügen, wie z. B. einem Fünfeck, einem Sechseck oder einem Achteck besassen, ähnliche Eigenschaften ermittelt, und zwar aufgrund der Formung der Ecken der Polygonzüge. In diesen Fällen hatten die Frequenzverteilungen Breitbandbereiche, besassen jedoch etwas komplizierte Formen. Es stellte sich jedoch heraus, dass derartige Frequenzverteilungen einen zufriedenstellenden Betrieb gewährleisten, ohne den Lautsprecher zu beeinträchtigen.

Die Polygonzüge sollten vorzugsweise vergleichsweise länglich sein. Bezuglich des Verhältnisses zwischen den Längen der schmaleren und breiteren Seitenkanten sind Werte in der Größenordnung von  $1 : \sqrt{1,5}$  bis  $1 : \sqrt{2,5}$  wie im Falle der Ellipse vorzuziehen.

Formen, die durch Bearbeitung oder Abrundung der Ecken von Polygonzügen erhalten wurden, die der oben angegebenen Ellipse umschrieben oder in diese eingeschrieben werden, sind für den Lautsprecher ebenfalls zu empfehlen. Bei den Ellipsen sind solche, bei denen die grössere Achse um einen Faktor  $\sqrt{1,5}$  bis  $\sqrt{2,5}$ , vorzugsweise  $\sqrt{1,75}$  bis  $\sqrt{2,25}$  länger als die kleine Achse geeignet, wie es oben erläutert worden ist, während das Verhältnis des Formteiles geeigneterweise zwischen 5 und 20% ausgedrückt in prozentualen Anteilen des Radius des Formteiles bezogen auf eine Seitenkante liegt.

Beispiele derartiger Formen sollen nachstehend näher erläutert werden. Eine transparente Platte aus piezoelektrischer Keramik aus mit Lanthan dotiertem Zirconiumtitanat

(PLZT), die eine Dicke von 0,2 mm und die Form einer Ellipse mit einer grossen Achse von 30 mm und einer kleinen Achse von 22 mm besass, wurde hergestellt. Die transparente piezoelektrische Keramikplatte wurde mit transparenten Elektroden auf beiden Hauptflächen versehen und einem Polungsprozess unterworfen. Eine verstärkte Glasplatte, die eine Dicke von 0,6 mm und die Form eines der Ellipse umschriebenen Achteckes besass, wurde hergestellt, und ihre Umfangsecken kreisförmig abgerundet, so dass sie einen Radius besass, der 10% jeder Seitenkante ausmachte. Der Abstand der parallelen längeren Seiten betrug 23 mm und der der parallelen kürzeren Seiten 33 mm. Die fertige Platte aus verstärktem Glas wurde als Resonator verwendet und mit einem transparenten Bindemittel mit der transparenten piezoelektrischen Platte verbunden. Der so hergestellte transparente Flachlautsprecher besass einen Frequenzgang, der akustisch günstig war.

Auch wenn bei der äusseren Form des oben angegebenen Resonators die einander gegenüberliegenden geraden Linien in Kurven geändert waren, die sich durch  $X^7/33 + Y^7/23 = 1$  beschreiben lassen, wurde ein ausreichend guter Frequenzgang im Bereich 1 bis 4 kHz erreicht.

Auf diese Weise sind auch die Figuren, bei denen die verschiedenen oben beschriebenen Formen glatt miteinander kombiniert sind, für den Lautsprecher günstig.

Die verschiedenen oben erläuterten Versuche lassen sich vom Standpunkt des Flachlautsprechers aus folgendermassen zusammenfassen.

Die Entwicklung des Frequenzganges bei einem Miniaturl-Flachlautsprecher, insbesondere die Eigenschaften von Mehrfachresonanzen, die der Reihe nach im Breitband verteilt sind, wird durch die Form des Resonators stark beeinflusst. In dem Falle, wo die Form einen Kreis bildet, stellt sich die Resonanzfrequenz als einzelnes Maximum bei einer bestimmten Frequenz dar, so dass der kreisförmige Resonator zur Verwendung als Lautsprecher ungeeignet ist. In dem Falle, wo die Form ein Viereck bildet, wie z. B. ein Quadrat oder ein Rechteck, oder wo es sich um einen Polygonzug mit mehreren Seitenkanten handelt, geht der Sprachausgangspegel deutlich zurück und das Klangvolumen des Lautsprechers ist unzureichend.

Somit wird eine vom Kreis abweichende Form verwendet oder alternativ die Ecken eines Viereckes oder Polygonzuges abgerundet, d. h. sie werden einer Bearbeitung oder Glättung unterworfen, so dass ein Frequenzverteilungsprofil mit einer Bandbreite innerhalb eines Frequenzbereiches von zumindest 1 bis 4 kHz erreicht werden kann, und es lässt sich ein Lautsprecher mit geeignetem Frequenzgang als Sprechrichtung herstellen.

Diesbezüglich ist es zur Erzeugung eines klaren Klanges unter Verwendung des Lautsprechers wünschenswert, dass der Lautsprecher einen flachen Frequenzgang über das gesamte höherfrequente Band von 30 Hz bis 30 kHz aufweist.

Da es sich jedoch nur um Sprechsignale handelt, kann das Band extrem komprimiert werden. Beispielsweise können auch in dem Falle, wo der Frequenzgang auf einen Bereich zwischen 1 bis 3 kHz begrenzt ist, ziemlich klare Stimmen oder Schallsignale erzeugt werden. Im praktischen Betrieb reicht eine sprachfrequente Frequenzbandbreite von mindestens 500 Hz aus.

Da der erfindungsgemässen Lautsprecher die Resonaneigenschaften verwendet, kann er kein besonders breites Band annehmen. Als charakteristische Eigenschaften kann er jedoch ein Band abdecken, das breit genug ist, um Stimmen oder Sprechsignale zu reproduzieren und ausreichend wirksame Mittel besitzen, um klare Stimmen bzw. Sprechsignale zu liefern.

Der erfindungsgemässen transparente Flachlautsprecher ist unzureichend, um eine Symphonie zu reproduzieren, er reicht jedoch aus, um eine alltägliche Unterhaltung und eine Melodie wiederzugeben, und er kann einfache Begriffe usw. für eine Zeitangabe, Warnsignale, Bemerkungen usw. in Form von Worten als sog. Sprecheinrichtung von sich geben.

Auf diese Weise besitzt der Lautsprecher gemäss der Erfindung die Funktion einer Sprecheinrichtung, anders als eine herkömmliche Hifi-Lautsprecheranlage zur originalgetreuen Wiedergabe von Schall; so weit kann der erfindungsgemässen Flachlautsprecher ein grosses Schallvolumen bzw. Klangfülle bezogen auf seine geringe Grösse und die geringe Leistung haben. Da darüber hinaus sowohl der Resonator als auch die Erregerplatte aus transparenten Materialien bestehen, ist auch der ästhetische Effekt hoch, was den Vorteil mit sich bringt, dass der Lautsprecher im grossen Umfang für elektronische Anordnungen geringer Grösse anwendbar ist, wie z.B. für Uhren, deren Bedeutung als Accessoire beträchtlich ist.

Fig. 6 zeigt eine schematische Darstellung im Schnitt eines Anwendungsfalles eines transparenten Lautsprechers bei einer «sprechenden» Uhr. Die «sprechende» Uhr wird hergestellt, indem man als Schallerzeuger einen Zweielelement-Resonator verwendet, bei dem transparente piezoelektrische Keramikteile 13, die mit transparenten Elektroden 21 und 22 versehen sind, in einen Glasdeckel 5 einer Armbanduhr mit einem transparenten Bindemittel eingeklebt sind.

Nachstehend sollen konkrete Ausführungsbeispiele für die Anwendung näher beschrieben werden. Fig. 7 zeigt eine Draufsicht zur Erläuterung einer «sprechenden» Uhr der oben genannten Art. Das Bezugszeichen 10 bezeichnet eine Anzeigplatte der Uhr, und die Bezugszeichen 71 und 72 bezeichnen einen Schalter zum Umschalten der Zeitanzeige bzw. einen Schalter zum Einstellen einer Anzeigezeit auf eine gewünschte Alarmzeit. Beim Drücken des Schalters 71 für die Änderung der Zeitanzeige geht die Anzeigplatte 10 in eine Betriebsart über, welche die gesetzte Alarmzeit anzeigt. Der Schalter 72 wird gedrückt, um die Anzeigezeit auf die Zeit einzustellen, bei der der Benutzer den Alarnton hören will. Anschliessend wird der Schalter 71 wieder gedrückt, um die Anzeigplatte in die Betriebsstellung für die normale Zeitanzeige zu bringen.

Wenn der Zeitpunkt erreicht ist, für den der Alarm eingestellt worden ist, so wird ein Sprech- oder Melodiesignal als Alarmsignal von einer in einem Modul enthaltenen Schaltung geliefert und mit einem Transistor 9 auf 6 V<sub>p-p</sub> verstärkt. Dann wird ein elektrisches Signal für die Melodie an die transparenten Elektroden auf beiden Oberflächen der piezoelektrischen Keramikteile über die beiden Kontakte 81 und 82 angelegt. Eine derartige elektronische Schaltung kann in zufriedenstellender Weise mit der herkömmlichen Technologie von Mikromodulen auf dem Gebiet der Halbleitertechnik hergestellt werden. Zu diesem Zeitpunkt werden Melodiesignale oder Klangtöne vom Glasdeckel 5 der sprechenden Armbanduhr abgegeben. Bei dem erfindungsgemässen transparenten Flachlautsprecher arbeitet der gesamte Glasdeckel als Lautsprecher. Somit ist der Emissionsbereich für Schall gross, und es kann eine Melodie oder ein Tonsignal mit ergiebiger Klangfülle geliefert werden, auch wenn eine Batterie 11 mit einer Spannung von 1,3 V für Uhren als Energieversorgung verwendet wird. Da der Modul für die Uhr von metallischen Gehäusen 4 und 6 umschlossen ist, ist die Luft innerhalb der Gehäuse eingeschlossen, und Töne im Inneren der Gehäuse kommen kaum heraus, auch wenn der Schalldruck aufgrund der Schwingung des Lautsprechers angestiegen ist. Da jedoch der Glasdeckel selbst als Schallquelle in der oben beschriebenen

Wise schwingt, wird eine ausreichend grosse Klangfülle nach aussen emittiert, unabhängig vom Einschluss der Luft innerhalb des Gehäuses. Ein weiterer Vorteil besteht darin, dass aufgrund der Tatsache, dass die Schallabgabefläche stets frei liegt, der Schall nicht abgefangen oder unterbrochen wird, wie es beim Unterbringen eines Lautsprechers im Inneren einer Uhr der Fall ist.

Wenn der transparente Lautsprecher in dieser Weise verwendet wird, so besteht ein ganz wesentlicher Vorteil darin, dass ein Resonator mit grosser Fläche gebaut werden kann, ohne dass der Anzeigeeffekt von Flüssigkristallen oder licht-emittierenden Halbleiterelementen oder dergleichen beeinträchtigt wird, die gleichzeitig mit dem Resonator in einem Gerät eingebaut sind. Insbesondere ist die Verwendung des transparenten Lautsprechers bei Anordnungen geringer Grösse vorteilhaft.

Bei dem Beispiel eines erfindungsgemässen transparenten Lautsprechers bei einer sprechenden Uhr hatte die Oberfläche des Glasdeckels 5 die Form einer Ellipse, bei der die grosse Achse und die kleine Achse in einem Verhältnis von  $\sqrt{2} : 1$  standen. Nach dem Ankleben des transparenten piezoelektrischen Resonators auf die Innenseite wurde der Glasdeckel in das Gehäuse 4 unter Verwendung einer Dichtung 3 eingesetzt, so dass der transparente Lautsprecher entstand. Ein Ausgang eines Generators für sinusförmigen Schall mit fester Amplitude wurde an den Lautsprecher angelegt, wobei die Frequenz des Ausgangs im Bereich von 1 bis 30 kHz variiert wurde. Der Frequenzgang der vom transparenten Lautsprecher gelieferten Tonsignale war der gleiche wie im Falle der Fig. 2e und besass eine Frequenzverteilung mit einem breiten Frequenzband zwischen 1,5 und 4,0 kHz.

Auf diese Weise wird der elliptische Resonator mit einem Achsenverhältnis von  $\sqrt{2} : 1$  zu einem Breitbandresonator, bei dem der Frequenzgang von der niedrigsten Resonanz zur höchsten Resonanz kontinuierlich verbunden sind, da die Resonanzfrequenz des Zweielelement-Resonators proportional zum Quadrat der Länge des Resonators ist.

Wenn der elliptische transparente Lautsprecher, bei dem das Verhältnis der Längen der grossen und kleinen Achsen  $\sqrt{2} : 1$  beträgt, verwendet wird, so ergibt sich ein Resonanzlautsprecher, der ein Band von Resonanzfrequenzverhältnissen von 2 : 1 abdeckt.

Fig. 8 ist eine typische Darstellung für den Fall, wo der transparente erfindungsgemässen Lautsprecher bei einem miniaturisierten Radiogerät verwendet wird. Das Radiogerät ist so aufgebaut, dass ein Radioempfänger mit einem Chip als integrierter Schaltung in ein Gehäuse eingebaut ist, dessen Grösse gleich dem einer Armbanduhr ist, wobei ein Draht für eine Antenne 55 und ein einstellbarer Kondensator 53 als Lautstärkesteuerung mit einem Schalter 54 zusammengebaut und ein transparenter Lautsprecher 57 in das Gehäuse eingesetzt ist. Der transparente Lautsprecher 57 kann als Fenster für eine abgestimmte Frequenzanzeige dienen. Er beeinträchtigt beispielsweise nicht die Anzeigeeffekte eines Pfeiles 56 zur Anzeige einer Frequenz, der sich bei Einstellung des einstellbaren Kondensators bewegt; das gleiche gilt für ein Anzeigeelement, das den Grad der Abstimmung anzeigt, wenn der Radioempfänger auf die Frequenz einer Radiostation abgestimmt worden ist. Diese Anzeigeeinrichtungen und der Lautsprecher brauchen nicht in getrennten Teilen angeordnet zu werden, was für die Miniaturisierung vorteilhaft ist.

Wie oben im einzelnen beschrieben, kann gemäss der Erfindung ein Lautsprecher mit geringer Grösse und guten Sprech- oder Schalleigenschaften unter Verwendung eines Resonators bestimmter Form hergestellt werden, wobei sich eine Vielzahl von Anwendungsmöglichkeiten ergibt. Dabei

können die Ecken des Resonators direkt bei der Herstellung oder nachträglich geglättet, abgeschrägt oder abgerundet werden, wie es oben erläutert worden ist. Selbstverständlich ist es auch möglich, die Umfangsform des Resonators dekorativ zu modifizieren, ohne die Kontur für eine vorgegebene Frequenzverteilung dabei zu beeinträchtigen.

Zusammenfassend wird gemäß der Erfindung somit ein Lautsprecher angegeben, der einen vergleichsweise grossen Bereich in einer Anordnung einnehmen kann, ohne die verschiedenen Anzeigeeffekte zu beeinträchtigen. Der transparente Flachlautsprecher stellt dabei einen Lautsprecher hoher Leistungsfähigkeit dar, der in Anbetracht seiner geringen Grösse ein grosses Klangvolumen liefern kann, auch wenn er bei niedriger Spannung betrieben wird.

Ein derartiger Flachlautsprecher weist mindestens einen transparenten Resonator und eine zwischen mindestens einem Paar von Elektroden gehaltene Platte aus piezoelektrischem Material auf, wobei der Resonator von der piezoelektrischen Platte erregt wird und der Resonator einen Umfang mit einer Form aufweist, die sich durch eine Kurve darstellen lässt oder aber durch gerade Linien, die mit glatten Kurven mit mindestens zwei Krümmungszentren verbunden sind.

10 Als Umfangsformen sind für den Lautsprecher eine Ellipse, eine Kurve gemäß der Gleichung  $X^n/a + Y^n/b = 1$ , eine ebene Figur, die durch Umformen der Ecken eines Polygonzuges erhalten ist, der einer Ellipse umschrieben oder in diese eingeschrieben wird, besonders günstig.

FIG. 1

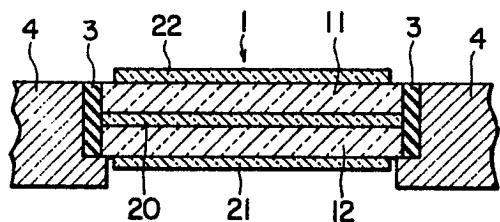


FIG. 3

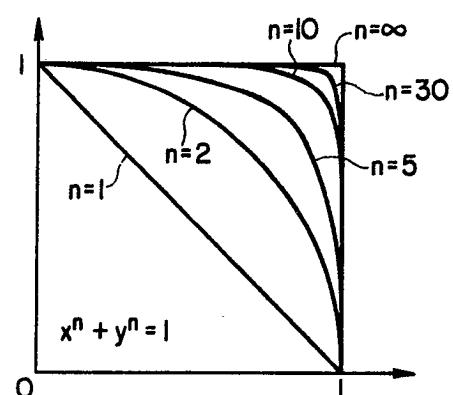
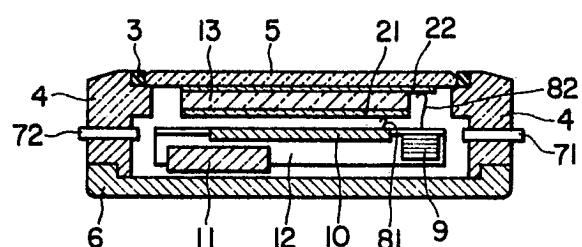


FIG. 6



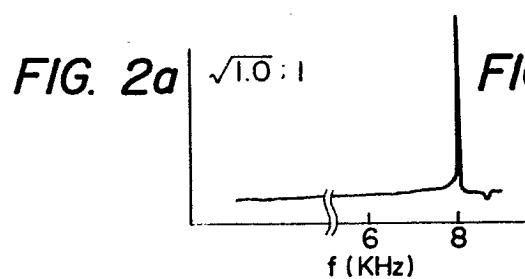
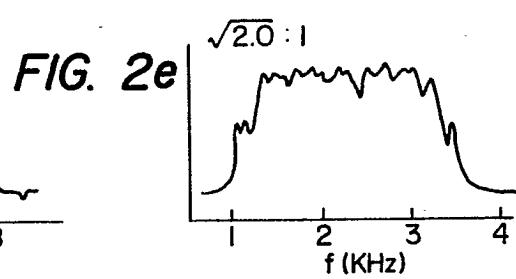
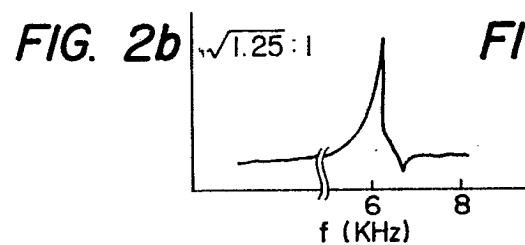
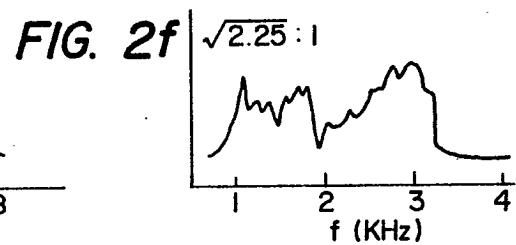
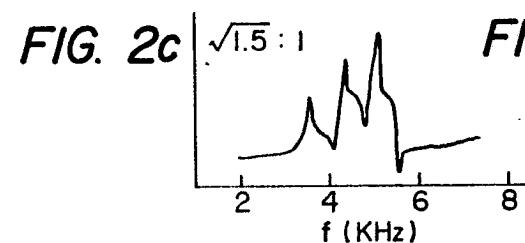
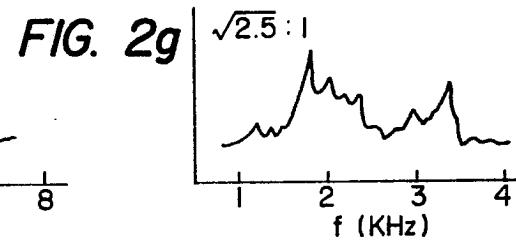
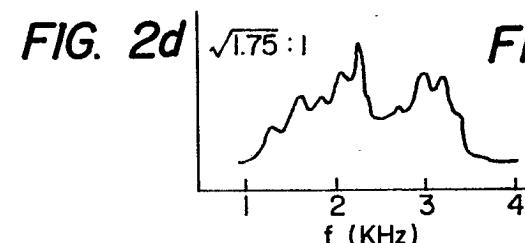
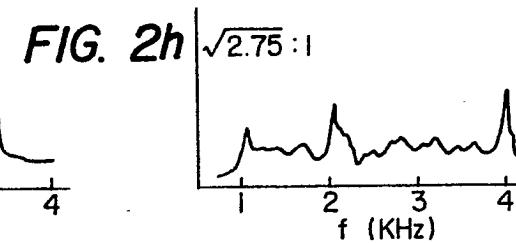
**FIG. 2a****FIG. 2e****FIG. 2b****FIG. 2f****FIG. 2c****FIG. 2g****FIG. 2d****FIG. 2h**

FIG. 4a

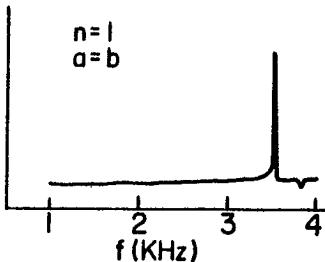


FIG. 4b

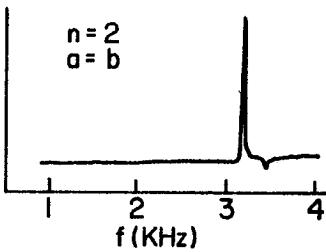


FIG. 4c

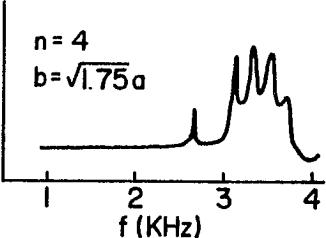


FIG. 4d

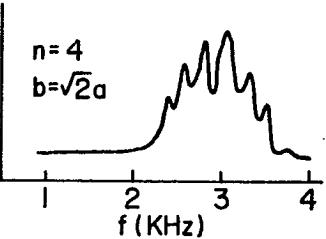


FIG. 4e

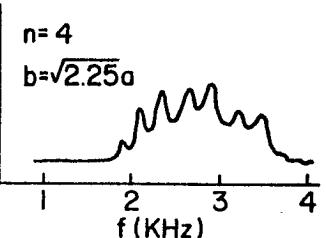


FIG. 4f

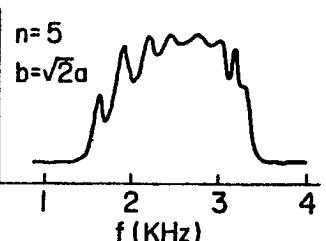


FIG. 4g

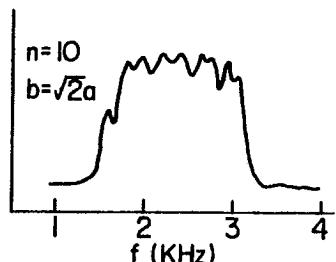


FIG. 4h

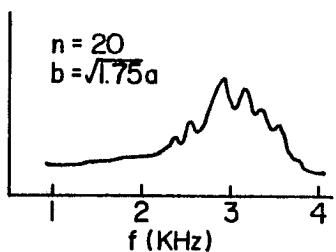


FIG. 4i

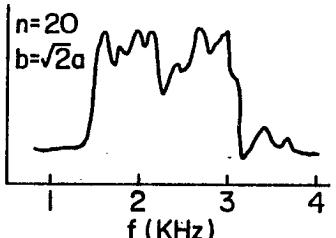


FIG. 4j

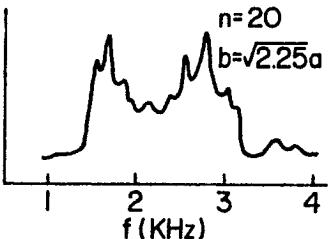


FIG. 4k

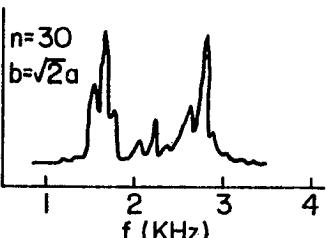


FIG. 4l

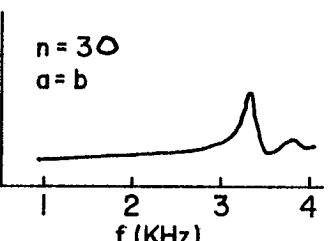


FIG. 5

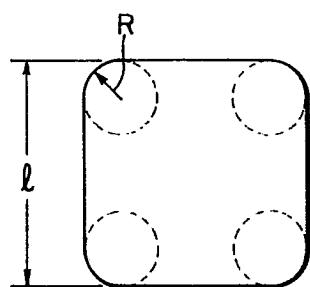


FIG. 7

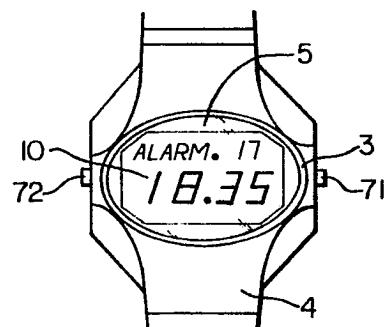


FIG. 8

