



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 698 19 209 T2 2004.08.05**

(12)

Übersetzung der europäischen Patentschrift

(97) **EP 1 062 056 B1**

(51) Int Cl.⁷: **B06B 3/00**

(21) Deutsches Aktenzeichen: **698 19 209.5**

(86) PCT-Aktenzeichen: **PCT/US98/13308**

(96) Europäisches Aktenzeichen: **98 934 180.5**

(87) PCT-Veröffentlichungs-Nr.: **WO 99/046060**

(86) PCT-Anmeldetag: **26.06.1998**

(87) Veröffentlichungstag
der PCT-Anmeldung: **16.09.1999**

(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: **27.12.2000**

(97) Veröffentlichungstag
der Patenterteilung beim EPA: **22.10.2003**

(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: **05.08.2004**

(30) Unionspriorität:

42239 13.03.1998 US

(84) Benannte Vertragsstaaten:

CH, DE, ES, FR, GB, IT, LI, NL

(73) Patentinhaber:

**Minnesota Mining & Manufacturing Company, St.
Paul, Minn., US**

(72) Erfinder:

**NAYAR, K., Satinder, Saint Paul, US;
GOPALKRISHNA, S., Haregoppa, Saint Paul, US;
D'SA, M., Joseph, Saint Paul, US**

(74) Vertreter:

Vossius & Partner, 81675 München

(54) Bezeichnung: **AKUSTISCHES HORN**

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

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

[0001] Die Erfindung betrifft akustische Hörner. Insbesondere betrifft die vorliegende Erfindung akustische Hörner mit Schlitzen oder kleinen Öffnungen.

[0002] Ein Horn ist ein akustisches Werkzeug beispielsweise aus Aluminium, Titan oder Sinterstahl, das mechanische Schwingungsenergie auf ein Werkstück überträgt. Die Verschiebung oder Amplitude des Horns ist der Spitze-Spitze-Wert der Bewegung der Stirnfläche des Horns. Das Verhältnis der Horngangsamplitude zur Horneingangsamplitude ist die Verstärkung. Die Verstärkung ist eine Funktion des Masse- oder Volumenverhältnisses zwischen den Eingangs- und Ausgangsabschnitten des Horns. Im allgemeinen stimmt bei Hörnern die Amplitudenrichtung an der Ausgangsfläche des Horns mit der Richtung der angreifenden mechanischen Schwingungen am Eingangsende überein.

[0003] Ein akustisches Horn überträgt bzw. führt Energie mit ausgewählter Wellenlänge, Frequenz und Amplitude zu. Typischerweise überträgt das akustische Horn Energie mit Ultraschallpegeln und wird als Ultraschallhorn bezeichnet. Im allgemeinen werden Ultraschallhörner mit einer Eigenfrequenz von etwa 20 kHz hergestellt. Die Länge des Horns ist gleich einem ganzzahligen Vielfachen einer Halbwellenlänge des verwendeten Materials. Jedes Horn weist für jedes ganzzahlige Vielfache einer Halbwellenlänge eine Knotenebene auf. (Eine Knotenebene oder Knotenlinie ist die Stelle auf dem Horn mit der Schwingungsamplitude null.) Für Materialien wie z. B. Aluminium, Titan und Stahl ist die Halbwellenlänge ($\lambda/2$) bei 20 kHz annähernd gleich 12,7 cm (5 Zoll). Daher betragen die Hornlängen normalerweise 12,7, 25,4 oder 38,1 cm (5, 10 oder 15 Zoll). Die Beziehung zwischen der Eigenfrequenz (f) des Horns, der Hornlänge (L) und den Materialeigenschaften des Horns, wie z. B. dem Elastizitätsmodul (E) und der Dichte (ρ), wird durch Vereinfachen des Horns zu einem Feder-Masse-System ermittelt.

[0004] Obwohl ein Horn als einfaches bearbeitetes Werkstück erscheint, muß es, um richtig zu funktionieren, so konstruiert werden, daß es innerhalb eines vorgegebenen Frequenzbereichs in Resonanz gerät. Wenn unerwünschte Resonanzen auftreten, schwingt das Horn gleichzeitig in mehr als einer Richtung, mit zerstörerischen Ergebnissen. Nichterfüllung aller dieser Bedingungen kann zum Bruch des Horns, zur Beschädigung des Wandlers oder anderer Systemkomponenten und zu einer weniger als optimalen Ausgangsleistung führen.

[0005] Idealerweise bestehen Hörner aus Materialien, die ein hohes Festigkeits-Gewichts-Verhältnis und niedrige Verluste bei Ultraschallfrequenzen aufweisen. Titan weist die besten akustischen Eigenschaften der hochfesten Legierungen auf. Titanhörner können mit einer Carbidschicht verblendet werden, um für Verschleißfestigkeit bei Anwendungen mit hoher Amplitude zu sorgen. Hörner aus wärmebehandelter Stahlliegierung weisen eine verschleißfeste Oberfläche auf, aber höhere Ultraschallverluste beschränken die Verwendung dieser Hörner auf Anwendungen mit niedriger Amplitude, wie z. B. das Einfügen bzw. Einpressen. Es werden auch Aluminiumhörner verwendet.

[0006] Die Hornverschiebungsamplitude bezeichnet die Spitze-Spitze-Auslenkung der Stirnfläche des Horns. Ein Horn mit einer Verschiebungsamplitude von 0,0127 cm (0,005 Zoll) bewegt sich über eine Distanz von Spitze zu Spitze von 0,127 cm (0,005 Zoll). Die Horngeschwindigkeit ist die Bewegungsgeschwindigkeit der Hornstirnfläche. Wenn ein stabförmiges Horn mit seiner Eigenfrequenz (oder Resonanzfrequenz) angesteuert wird, expandieren und kontrahieren die Enden in Längsrichtung bezüglich seines Mittelpunkts und verlängern und verkürzen den Stab abwechselnd, aber im Mittelpunkt oder der Knotenebene tritt keine Longitudinalbewegung auf. Die Ultraschallspannung am Knoten ist jedoch am größten und nimmt an den beiden Enden auf null ab.

[0007] Wenn der Ausgangsabschnitt des Stabes verkleinert wird, dann wird seine Querschnittsfläche kleiner als die des Eingangsbereichs, und die Amplitude nimmt zu. Wenn zum Beispiel das Querschnittsflächenverhältnis zwischen den Eingangs- und Ausgangsabschnitten eines Horns 2 : 1 beträgt, wird ein Eingangssignal von 0,0127 cm (0,005 Zoll) auf das Zweifache verstärkt und ergibt ein Ausgangssignal von 0,025 cm (0,010 Zoll).

[0008] Verschiedene Hornkonstruktionen veranschaulichen, wie verschiedene Querschnittsflächen eine Amplitudentransformation hervorbringen. Das Stufenhorn, das aus zwei Abschnitten mit jeweils unterschiedlichen, aber gleichbleibenden Querschnittsflächen besteht, weist für ein gegebenes Verhältnis der Eingangs- zur Ausgangsfläche die höchste Verstärkung auf. Während die Verstärkung eines Stufenhorns am höchsten ist, ist auch die Spannung im Knotenbereich (der die Knotenebene einschließt) im Vergleich zu anderen Konstruktionen am höchsten, wenn die Hörner mit vergleichbaren Ausgangsamplituden eingesetzt werden. Im Stufenhorn erreicht die Spannung an dem Radius zwischen den beiden Abschnitten ein Maximum, und ein Materialbruch tritt höchstwahrscheinlich in diesem Bereich auf, wenn das Horn mit einer zu hohen Amplitude angesteuert wird. Der sehr hohe Verstärkungsfaktor (bis zu 9 : 1) dieser Hörner und die ungünstige Spannungscharakteristik beschränken die Anwendung der Stufenhornkonstruktion.

[0009] Exponentialhörner haben eine sehr günstige Spannungs-Amplitude-Beziehung, aber eine sehr niedrige Verstärkung. Die allmähliche Verjüngung dieser Konstruktion (die einer Exponentialkurve folgt), verteilt innere Spannungen über einen großen Bereich, was zu einer niedrigen Spannung im Knotenbereich führt. Exponentialhörner werden hauptsächlich für Anwendungen eingesetzt, die eine große Kraft und eine niedrige

Amplitude erfordern, wie z. B. das Einfügen bzw. Einpressen von Metallteilen.

[0010] Das Katenoidhorn, dessen Form einer Katenoid- bzw. Kettenflächenkurve folgt, vereinigt die besten Kennwerte des Stufenhorns und des Exponentialhorns. Bei mäßiger Spannung werden ziemlich hohe Amplitudenwerte erreicht. Sowohl Exponential- als auch Katenoidhörner sind mit Gewindebohrung am Ausgangsende verfügbar, wodurch viele verschiedene Spitzenkonfigurationen an diesen Hörnern angebracht werden können.

[0011] Stabförmige oder Rechteckhörner weisen viele Konfigurationen auf, und ihre Stirnflächenlänge liegt im Bereich von 0,3 cm (0,125 Zoll) bis 2,54 cm (1 Zoll) oder mehr. Rechteckhörner können abgestuft oder konisch zulaufend sein, und Hörner von weniger als 9 cm (3,5 Zoll) sind manchmal durchgehend massiv. Längere Hörner weisen Schlitze auf, welche die Knotenebene schneiden, um die Querspannung durch Aufteilung kritischer Abmessungen, die eine unerwünschte Querbewegung oder andere Schwingungsformen erzeugen, zu reduzieren. Das Ergebnis des Schlitzens ist ein Netz von Einzelelementen, die alle in einem longitudinalen Modus schwingen, wobei die seitliche Bewegung reduziert und unerwünschte Schwingungsformen unterdrückt werden. Geschlitzte Stabhörner sind mit Längen bis zu 60 cm (24 Zoll) hergestellt worden.

[0012] Rundhörner können hohl oder massiv hergestellt werden und sind in Größen bis zu 30,5 cm (12 Zoll) Durchmesser hergestellt worden. Rundhörner von mehr als 9 cm (3,5 Zoll) Durchmesser müssen gleichfalls geschlitzt werden, um radiale oder kreuzgekoppelte Spannungen zu vermindern.

[0013] Im allgemeinen ist die Hornfrequenz unabhängig von der Querschnittsfläche. Das heißt, daß zwei Hörner von unterschiedlicher Querschnittsfläche, die aus dem gleichen Material hergestellt werden, annähernd die gleiche Wellenlänge aufweisen. In breiten Rechteckhörnern mit Schlitzen werden die Schlitze parallel zur Schwingungsrichtung angebracht. In einem Block-Rechteckhorn werden die Schlitze in zwei zueinander senkrechten Richtungen parallel zur Bewegungsrichtung angebracht. In Hörnern mit rundem Querschnitt werden Diagonalschlitze angebracht. Die Schlitze beginnen dicht am Eingangsende des Horns, durchqueren die Knotenebene und enden dicht am Ausgangsende des Horns, wie in US-A-4 315 181 beschrieben. Der Zweck der vertikalen Schlitze besteht darin, an der Ausgangsstirnfläche eine geregelte oder gleichmäßige Amplitude zu erzielen. Anzahl und Abmessung der Schlitze bestimmen die Gleichmäßigkeit der Amplitude an der Schweißfläche. Die Länge des Horns wird jedoch wegen der Schlitze nicht verändert; die Halbwellenlänge beträgt noch immer 12,7 cm (5 Zoll).

[0014] US-A-4 131 505 offenbart ein großes massives Horn mit einer Energieabgabe und einer Energiezufuhr. Die Abgabe ist zur Anwendung auf eine Last brauchbar. Das Horn ist mit einer Nut in der Hornseitenfläche rund um die Hornachse versehen, die vorzugsweise näher am Ausgangsende des Horns angebracht ist. Diese Nut dient zur Korrektur eines Amplitudenabfalls der Schallenergie am oder in der Nähe des Außenkantenabschnitts am Ausgangsende des Horns.

[0015] Ein erfindungsgemäßes akustisches Horn überträgt Energie mit ausgewählter Wellenlänge, Frequenz und Amplitude. Das Horn ist hohl und weist mindestens eine Knotenebene und eine Eigenschwingungsfrequenz auf. Das Horn weist eine Außenfläche, eine Innenfläche und mindestens einen durchgehenden Ausschnitt in der Außenfläche auf, der sich von der Innenfläche zur Außenfläche erstreckt. Der Ausschnitt ist in einer Längsposition an der Oberfläche angebracht, die die Knotenebene nicht berührt. Die Hornlänge ist eine Funktion von der Form, Größe, Anzahl und Lage der Ausschnitte und ist kleiner als die Länge eines massiven Horns mit der gleichen Eigenschwingungsfrequenz.

[0016] Zu den Ausschnitten können mindestens eine der Ausschnittsformen Schlitz, Loch und Nut gehören.

[0017] Dieses Horn kann eine Nut in der Innenfläche und mehrere von der Nut ausgehende Durchgangsöffnungen aufweisen.

[0018] Das Horn kann mit einer Eigenfrequenz schwingen, und die Länge des Horns kann kleiner als eine Halbwellenlänge der Schwingung sein.

[0019] Die Ausschnitte können entlang der Schwingungsachse des Horns angebracht werden, können senkrecht oder in einem Winkel zur Schwingungsachse stehen und können gleichmäßig oder zufällig verteilt sein.

[0020] Nachstehend werden bevorzugte Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung unter Bezugnahme auf die Zeichnungen beschrieben. Dabei zeigen:

[0021] **Fig. 1** eine perspektivische Ansicht eines Horns nach einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung;

[0022] **Fig. 2** eine perspektivische Ansicht eines Horns nach einer anderen Ausführungsform der vorliegenden Erfindung;

[0023] **Fig. 3** eine perspektivische Ansicht eines Horns nach einer weiteren Ausführungsform der vorliegenden Erfindung;

[0024] **Fig. 4** eine Seitenansicht des Horns von **Fig. 3**;

[0025] **Fig. 5** eine Querschnittsansicht des Horns von **Fig. 3**;

[0026] **Fig. 6** eine perspektivische Ansicht eines Horns nach einer weiteren Ausführungsform der vorliegenden Erfindung;

[0027] **Fig. 7** eine perspektivische Ansicht eines Horns nach einer weiteren Ausführungsform der vorliegenden

den Erfindung; und

[0028] **Fig. 8** eine Querschnittsansicht eines Horns nach einer weiteren Ausführungsform der vorliegenden Erfindung;

[0029] Die vorliegende Erfindung betrifft ein Axialschwingungshorn mit Ausschnitten, die eine Veränderung der Hornlänge zulassen. Die Querschnittsfläche des Horns kann rund oder rechteckig sein oder irgendeine andere geometrische oder andere Form aufweisen. Die Ausschnitte können durch Entfernen von Material aus dem Horn, durch Formen der Ausschnitte zusammen mit dem Horn oder auf irgendeine andere bekannte Weise hergestellt werden. Diese Ausschnitte sind über die Länge des Horns verteilt und können irgendeine geometrische Form aufweisen, wie z. B. rechteckige oder anders geformte Schlitze; runde, elliptische oder anders geformte Löcher, Nuten, oder irgendeine Kombination der obigen Formen. Die Gesamtlänge des Horns kann in Abhängigkeit von der Anzahl und Lage der Ausschnitte sowie von der Form und Größe der Ausschnitte variieren. Die Ausschnitte können entlang der Schwingungsachse des Horns angebracht werden. Jeder Ausschnitt ist entweder senkrecht oder in einem anderen Winkel zur Schwingungsachse des Horns ausgerichtet. Die Ausschnitte können entweder regelmäßig oder zufällig verteilt sein.

[0030] **Fig. 1** zeigt eine perspektivische Ansicht eines Horns. Das Horn **10** weist ein Eingangsende **12**, ein Ausgangsende **14** und eine Außenfläche **16** auf. Das Horn **10** ist als massives, zylinderförmiges Horn mit voller Wellenlänge dargestellt und weist zwei Knotenebenen **18a** und **18b** in Abständen von je einer Viertelwellenlänge vom Eingangs- bzw. Ausgangsende auf. In der Außenfläche **16** sind eine Reihe von Ausschnitten ausgebildet, die als gerade Schlitze **20** dargestellt sind. Wie dargestellt, schneidet keiner der Schlitze **20** die Knotenebenen **18a** und **18b**.

[0031] Alternativ kann das Horn ein Halbwellenlängenhorn mit einer einzigen Knotenebene in der Mitte zwischen dem Eingangs- und Ausgangsende sein.

[0032] Der Hauptzweck der Ausschnitte besteht darin, eine Veränderung, speziell eine Verkürzung, der Hornlänge zu ermöglichen. Die Ausschnitte lassen in Verfahrensanwendungen außerdem Gas, Flüssigkeit, Pulver oder festes Material durch.

[0033] Betrachtet man eine charakteristische (segmentierte) Länge l eines Horns mit einer Querschnittsfläche A . Die Grundeigenfrequenz für die Axialschwingung für diese Länge ist in Gleichung **1** dargestellt.

$$f = l^{-1} \sqrt{\frac{E}{\rho}} \quad (1)$$

[0034] Ein Ausschnitt, wie z. B. ein Schlitz, in dieser charakteristischen Länge l des Horns kann eine Höhe h und eine Querschnittsfläche des Schlitzes A_{slot} aufweisen. R_a ist das Verhältnis der Querschnittsfläche am Schlitzquerschnitt zur Fläche des massiven Querschnitts.

[0035]

$$R_a = A_{\text{slot}}/A$$

R_l ist das Verhältnis der Schlitzhöhe h zur charakteristischen Länge l .

$$R_l = h/l$$

[0036] Durch Annahme eines Feder-Masse-Systems und Elimination der insignifikanten Terme höherer Ordnung kann die folgende Näherungsbeziehung zwischen der Eigenfrequenz der massiven und geschlitzten Abschnitte eingeführt werden.

$$f_{\text{slot}} = f_{\text{solid}} \sqrt{\frac{R_a}{(R_a + R_l)}} \quad (2)$$

[0037] Dies bedeutet, daß für jeden geschlitzten Abschnitt die Eigenfrequenz kleiner ist als die Eigenfrequenz des massiven Abschnitts. Wir betrachten die charakteristische Länge als die Periodizitätslänge der Schlitze. Wenn die charakteristische Länge wiederholt wird, um ein Horn herzustellen, dann ist die Beziehung zwischen der Gesamtlänge eines geschlitzten Horns (L_{slot}) und der Länge eines massiven Horns (L_{solid}) mit der gleichen Frequenz von 20 kHz:

$$L_{\text{slot}} = L_{\text{solid}} \sqrt{\frac{R_a}{(R_a + R_l)}} \quad (3)$$

[0038] Dies bedeutet, daß bei einer Verteilung der Schlitze entlang der Hornlänge die Gesamtlänge eines geschlitzten Horns kleiner ist als die eines massiven Horns mit der gleichen Frequenz. Wenn die Schlitze dichter

beieinander liegen, ist R_i höher, und L_{slot} ist niedriger als beim massiven Horn.

[0039] In einem Beispiel hat ein in **Fig. 2** dargestelltes Vierkanthorn **22** eine Querschnittsfläche von $2,54 \text{ cm} \times 2,54 \text{ cm}$ oder $6,45 \text{ cm}^2$ (1 Zoll^2). Die Schlitze **20** sind $1,27 \text{ cm}$ ($0,5 \text{ Zoll}$) breit und $0,51 \text{ cm}$ ($0,2 \text{ Zoll}$) hoch. Die Schlitze **20** sind in Abständen von $1,27 \text{ cm}$ ($0,5 \text{ Zoll}$) verteilt, und die charakteristische Länge 1 beträgt $1,27 \text{ cm}$ ($0,5 \text{ Zoll}$). Die Fläche des massiven Querschnitts A beträgt $6,45 \text{ cm}^2$ (1 Zoll^2), und die Fläche des Horns am geschlitzten Querschnitt A_{slot} beträgt $1,61 \text{ cm}^2$ ($0,5 \text{ Zoll}^2$). Die Werte von R_a und R_i sind $0,5$ bzw. $0,4$. Mit Hilfe von Gleichung 3 erhält man, daß die Länge dieses geschlitzten Horns $74,5\%$ der Länge eines ähnlich geformten massiven Horns beträgt. Wenn für ein Horn mit voller Wellenlänge das massive Horn $25,4 \text{ cm}$ (10 Zoll) lang ist, dann braucht das geschlitzte Horn nur $18,9 \text{ cm}$ ($7,45 \text{ Zoll}$) lang zu sein.

[0040] In einem weiteren Beispiel hat ein hohles Rundhorn **24**, das in den **Fig. 3–5** dargestellt ist, einen Außendurchmesser von $2,54 \text{ cm}$ (1 Zoll) und einen Innendurchmesser von $0,76 \text{ cm}$ ($0,3 \text{ Zoll}$). Diese Form hat eine zur Außenfläche **16** konzentrische Innenfläche **26**. (Andere Versionen dieses hohlen Horns können nicht runde und nicht konzentrische Innenflächen aufweisen.) Dieses Horn **24** weist winklige Schlitze **28** auf. Die Schlitzhöhe beträgt annähernd $0,15 \text{ cm}$ ($0,06 \text{ Zoll}$), und die Schlitze sind um $0,599 \text{ cm}$ ($0,236 \text{ Zoll}$) voneinander beabstandet. Die Schlitze **28** werden mit einem Winkel β von 52° ausgeführt. (Jede Seitenwand des Schlitzes ist bezüglich der anderen Seitenwand in einem Winkel γ von 26° gegen die Parallele nach außen geneigt, so daß die Schlitzbreite von der Innenwand zur Außenwand des Hohlzylinders zunimmt, wie in **Fig. 5** dargestellt.) Die Werte von R_a und R_i sind $0,29$ bzw. $0,254$. Unter Verwendung von Gleichung 3 findet man, daß die Länge des geschlitzten Horns 73% der Länge eines massiven Horns ohne Schlitze beträgt. Wenn die Länge des massiven Horns $24,4 \text{ cm}$ ($9,6 \text{ Zoll}$) beträgt, dann ist die Länge des geschlitzten Horns $17,8 \text{ cm}$ ($7,0 \text{ Zoll}$). Mit der Methode der finiten Elemente, einem Computermodellierungsverfahren, wird die Hornlänge zu $16,1 \text{ cm}$ ($6,35 \text{ Zoll}$) bestimmt. Das tatsächlich hergestellte Horn wurde für eine Länge von $15,6 \text{ cm}$ ($6,15 \text{ Zoll}$) auf 20 kHz abgestimmt.

[0041] Die folgende Tabelle zeigt die volle Wellenlänge des obigen Horns für verschiedene Schlitzwinkel.

Schlitzwinkel ($^\circ$)	90	52	0	keine Schlitze
volle Wellenlänge (cm)	11,1	16,15	22,1	24,4

[0042] In dem Maße, wie mehr Material aus dem Schlitz entfernt wird, kann das Horn kürzer sein. Außerdem können die Ecken der Schlitze mit Bohrungen abgerundet werden, um die Spannungskonzentration zu minimieren und die Lebensdauer des Horns zu verlängern.

[0043] In einer Modifikation dieses hohlzylinderförmigen Horns **24'** können Bohrungen **32** senkrecht zur Schwingungsachse angebracht und über die Länge des Horns verteilt werden, wie in **Fig. 6** dargestellt. Der Durchmesser der Bohrungen und ihre Abstände bestimmen die Länge und die Verstärkung des Horns. Zur Bestimmung der vollen Wellenlänge eines hohlen Horns mit einem Außendurchmesser von $2,29 \text{ cm}$ ($0,9 \text{ Zoll}$) und einem Innendurchmesser von $0,76 \text{ cm}$ ($0,3 \text{ Zoll}$) für verschiedene Bohrungsdurchmesser kann die Methode der finiten Elemente angewandt werden. Die Löcher sind in Abständen von $0,60 \text{ cm}$ ($0,236 \text{ Zoll}$) angebracht. Die folgende Tabelle zeigt einige Ergebnisse.

Bohrungsdurchmesser (cm)	0,2	0,38	0,54
volle Wellenlänge (cm)	24,84	23,70	22,40

[0044] Da im Vergleich zu geschlitzten Hörnern nicht viel Material entfernt wird, änderte sich die Länge nicht wesentlich.

[0045] **Fig. 7** zeigt ein Horn **30** mit mehreren unterschiedlichen Ausschnittarten. In der Außenfläche **16** sind Schlitze **20**, **28**, Bohrungen **32** und Nuten **34** ausgebildet. Horizontale Nuten **34** können über die Länge des Horns verteilt werden. Ebenso wie in den Fällen der Schlitze **20**, **28** und der Bohrungen **32** bestimmt auch die Abmessung der Nuten **34** die Hornlänge.

[0046] In einer weiteren, in **Fig. 8** dargestellten Ausführungsform kann ein hohles Horn **36** umlaufende Nuten **38** aufweisen, die entlang der Innenfläche **26** des Horns ausgebildet sind und sich vollständig um die Innenfläche herum erstrecken. Von jeder Nut **38** können ein oder mehrere Durchgangslöcher, Schlitze oder andere Ausschnitte (dargestellt sind die Löcher **32**) durch das Horn bis zur Außenfläche **16** des Horns **36** hindurchgehen. In einer weiteren Ausführungsform können Nuten **34** auch an der Außenfläche des Horns vorgesehen werden.

[0047] In allen diesen Ausführungsformen können Ausschnitte gleichmäßig oder ungleichmäßig verteilt und in einer Reihe angeordnet oder zufällig verteilt sein. Zusammenfassend läßt sich sagen, daß die Ausschnitte in den bekannten Hörnern benutzt werden, um eine gesteuerte Verschiebung zu erhalten, die seitliche Bewegung zu minimieren und unerwünschte Schwingungsformen zu unterdrücken. Die vorliegende Erfindung weist

Ausschnitte auf, die über die Länge des Horns verteilt sind, um die Gesamtlängen-Kennwerte zu verändern. (Mit den bekannten Hörnern wird dies nicht erreicht.) An der Erfindung können verschiedene Änderungen und Modifikationen vorgenommen werden, ohne vom Umfang der Erfindung abzuweichen, wie er durch die beigefügten Patentansprüche definiert ist.

Patentansprüche

1. Akustisches Horn (**10, 22, 24, 24', 30, 36**) zur Übertragung von Energie mit ausgewählter Wellenlänge, Frequenz und Amplitude, wobei das Horn hohl ist und mindestens eine Knotenebene sowie eine Eigenschwingungsfrequenz hat und aufweist:
eine Außenfläche (**16**) und eine Innenfläche (**26**); und
mindestens einen durchgehenden Ausschnitt (**20, 28**), der sich von der Innenfläche zur Außenfläche erstreckt und an der Außenfläche an einer Längsposition angeordnet ist, die die Knotenebene nicht berührt, wobei die Hornlänge eine Funktion von der Form, Größe, Anzahl und Lage der Ausschnitte ist und kleiner ist als die Länge eines massiven Horns mit der gleichen Eigenschwingungsfrequenz.
2. Akustisches Horn nach Anspruch 1, wobei der Ausschnitt mindestens eine der Ausschnittformen Schlitz (**20**), Bohrung (**32**) und Nut (**34**) aufweist.
3. Akustisches Horn nach Anspruch 1, das ferner eine Nut (**38**) in der Innenfläche und mehrere von der Nut ausgehende Durchgangsöffnungen aufweist.
4. Akustisches Horn nach Anspruch 1, wobei die Länge des Horns kleiner als eine Halbwellenlänge der Schwingung ist.
5. Akustisches Horn nach Anspruch 1, wobei die Ausschnitte entlang der Schwingungsachse des Horns angebracht sind.
6. Akustisches Horn nach Anspruch 1, wobei jeder Ausschnitt entweder senkrecht oder in einem Winkel zur Schwingungsachse angeordnet ist, und wobei die Ausschnitte entweder gleichmäßig oder zufällig verteilt sind.

Es folgen 3 Blatt Zeichnungen

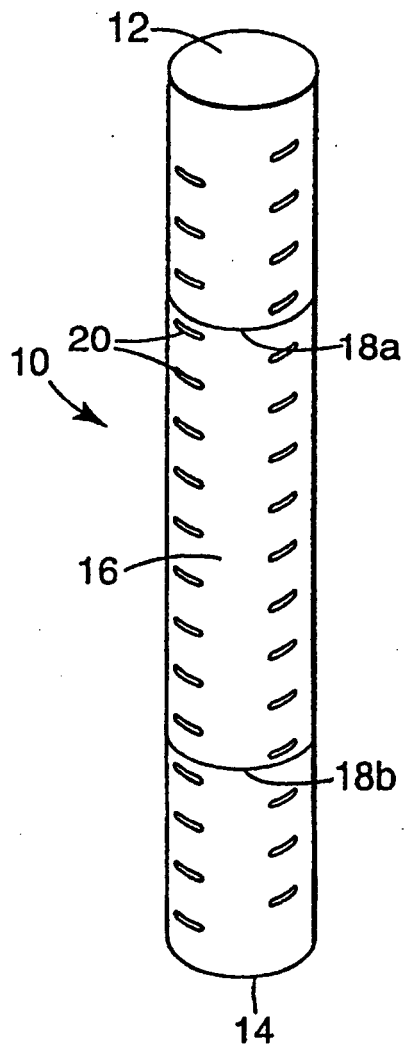


Fig. 1

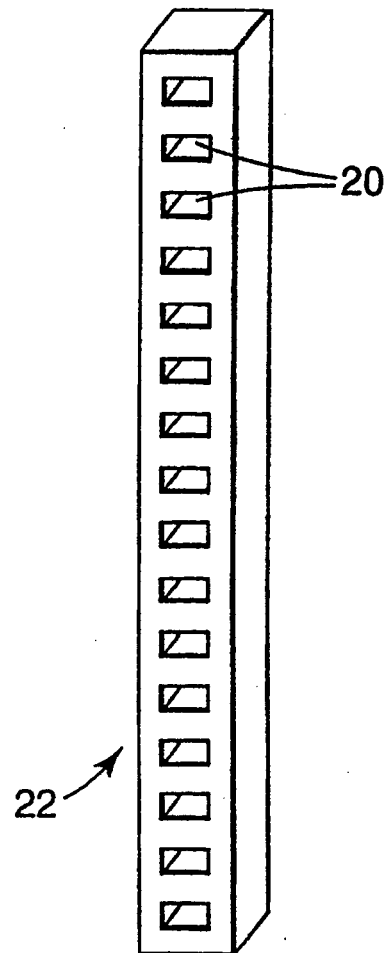


Fig. 2

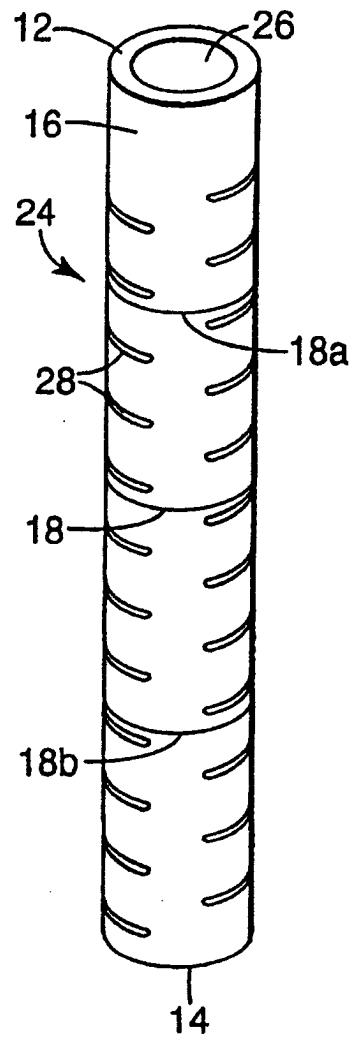


Fig. 3

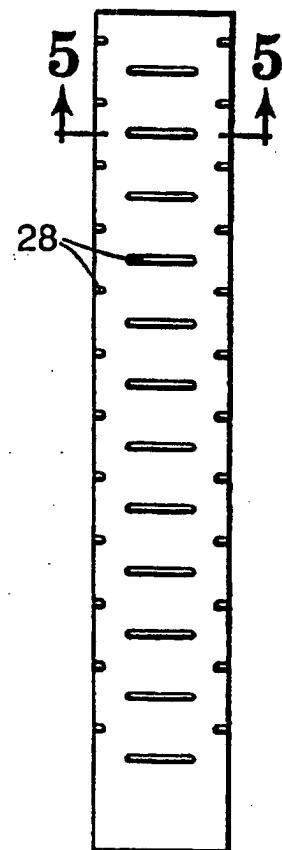


Fig. 4

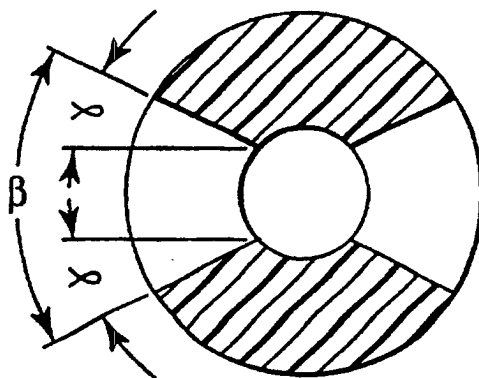


Fig. 5

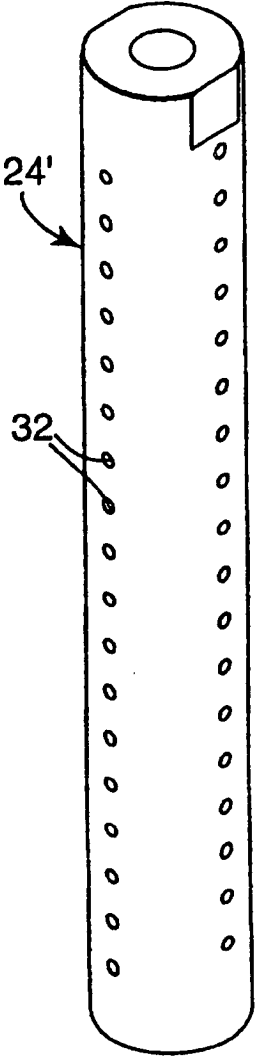


Fig. 6

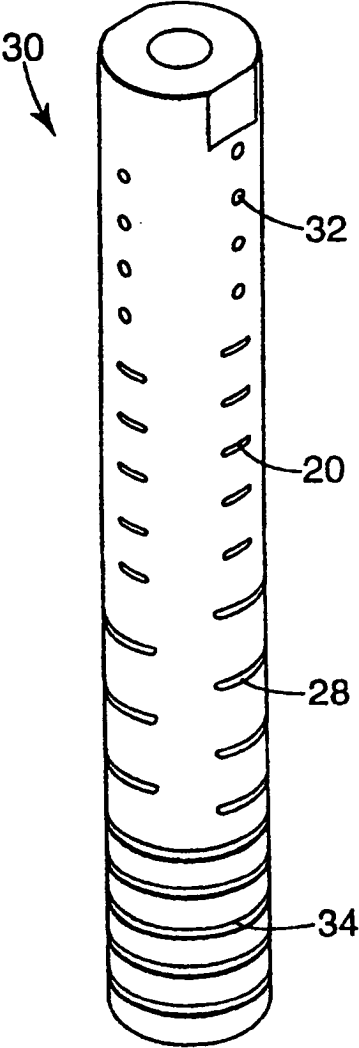


Fig. 7

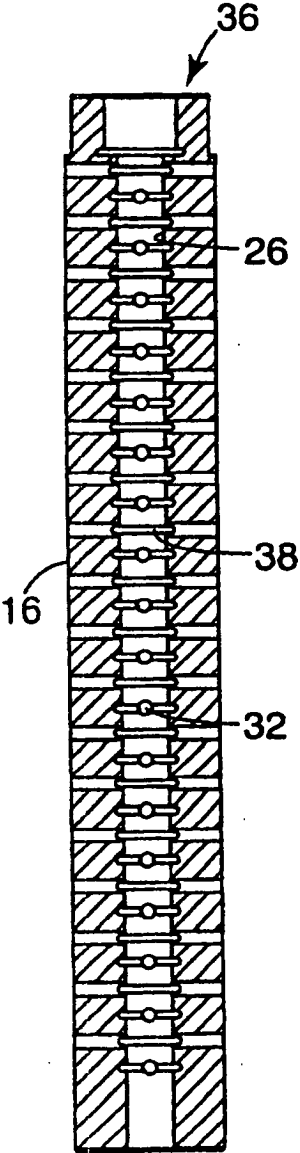


Fig. 8