

12 **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

21 Anmeldenummer: **89103276.5**

51 Int. Cl.4: **H04R 19/00**

22 Anmeldetag: **24.02.89**

30 Priorität: **05.03.88 DE 3807251**

71 Anmelder: **SENNHEISER ELECTRONIC KG**
Wennebostel
D-3002 Wedemark(DE)

43 Veröffentlichungstag der Anmeldung:
13.09.89 Patentblatt 89/37

72 Erfinder: **Kühnel, Wolfgang, Dipl.-Ing.**
Parcusstrasse 9
D-6100 Darmstadt(DE)

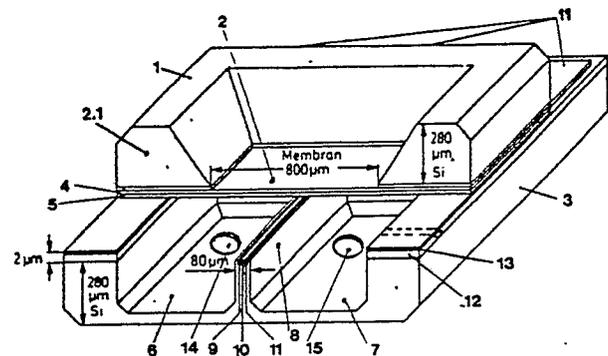
84 Benannte Vertragsstaaten:
AT CH DE ES FR GB LI

54 **Kapazitiver Schallwandler.**

57 Kapazitive Schallwandler sehr kleiner Bauart, insbesondere Mikrofone, bestehen aus mindestens zwei zusammengefügt Halbleiterchips, welche eine Membraneinheit und eine feststehende Gegenelektrodenstruktur verkörpern und mittels bekannter Methoden der Halbleitertechnologie hergestellt werden. Durch die sehr kleine Bauart entstehen hohe Strömungsverluste, welche zu einem hohen Rauschen und einer geringen Empfindlichkeit und einem schlechten Frequenzgang führen.

Der Wandler nach der Erfindung weist besonders geringe Strömungsverluste auf, wodurch die genannten Nachteile stark vermindert werden. Er ist dadurch gekennzeichnet, daß der akustisch aktive Teil der Membraneinheit (1) mit mindestens einer Gegenelektrodenstruktur (3), welche von der Membraneinheit durch einen Luftspalt getrennt ist, ein einem Feldeffekttransistor vergleichbares System bildet. Die aus halbleitendem Grundmaterial gebildete Membraneinheit umfaßt eine akustisch aktive Membranfläche (2), deren der Gegenelektrodenstruktur zugewandte Seite (5) elektrisch leitend ist. Die Gegenelektrodenstruktur (3) besteht aus einer aus halbleitendem Grundmaterial herausgearbeiteten durch eine Source-Drain-Anordnung begrenzte Kanalstrecke (8), deren geometrische Breitenabmessung in der Größenordnung von einem Zehntel der lateralen Abmessung der aktiven Membranfläche liegt.

Fig. 5



EP 0 331 992 A2

Kapazitiver Schallwandler

Die Erfindung bezieht sich auf einen kapazitiven Schallwandler, welcher aus einer Membraneinheit und mindestens einer feststehenden Gegenelektrodenstruktur aus halbleitenden Material besteht. Der Wandler dient als Mikrofon der Umsetzung von Schalldruckänderungen in elektrische Signale. Kapazitive Mikrofone nach dem bisherigen elektrostatischen Prinzip bestehen aus einer Membran und zumindest einer feststehenden Gegenelektrode. Die Membran besitzt eine bestimmte Zugspannung, mit der die akustischen Eigenschaften der Mikrofonkapsel beeinflusst werden können. Die Gegenelektrode ist mit Kanälen und Bohrungen versehen, einerseits, damit die Luft aus dem vom Membran und Gegenelektrode begrenzten Luftspalt in ein Rückvolumen des Wandlers abströmen kann und andererseits, um die Dämpfungsverluste im Luftspalt zu reduzieren, die die Empfindlichkeit des Mikrofon herabsetzen und den Frequenzgang ungünstig beeinflussen. Die Signalwandlung geschieht durch Auswertung der relativen Kapazitätsänderung des Wandlers.

Die neueren Verfahren der Halbleitertechnologie erlauben die Herstellung von Miniaturwandlern auf mikromechanischem Wege, beispielsweise auf der Basis von Silizium. In der Literaturstelle KAPAZITATIVE SILIZIUMSENSOREN FÜR HÖRSCHALLANWENDUNGEN, erschienen 1986 im VDI-Verlag, ISBN 3-18-141610-9, wird der Aufbau eines Silizium-Mikrofon beschrieben. Dieser auf mikromechanischem Wege hergestellte Wandler besitzt die Abmessungen von ca. $1,6 \times 2 \times 0,6 \text{ mm}^3$. Die aktive Membranfläche besteht aus einer mit einer Metallschicht überzogenen Siliziumnitrid-Schicht, der, durch einen Luftspalt getrennt, eine ebenfalls aus Silizium hergestellte Gegenelektrode gegenübersteht.

Bei halbleitertechnologisch hergestellten Miniaturmikrofonen ergeben sich besondere Nachteile, die durch Dämpfungsverluste im sehr engen Luftspalt bedingt sind. Wird die Membran von einem periodischen Wechseldruck zu Schwingungen angeregt, so bildet sich im Luftspalt eine Strömung. Der Strömungswiderstand ist jedoch umso höher, je schmäler der Luftspalt ist, da die Verluste in erster Linie durch Reibung an den Wänden zustande kommen. Der Strömungswiderstand ist außerdem frequenzabhängig; er nimmt mit steigenden Frequenzen zu, so daß die Empfindlichkeit zu höheren Frequenzen hin stark absinkt. Da die Dämpfungsverluste nicht linear mit einer Spaltverengung zunehmen sondern progressiv, so ist der negative Einfluß bei Mikrofonen der beschriebenen Art besonders hoch. Die Möglichkeit, die Gegenelektrode zu durchlöchern ist wegen ihrer geringen Größe

und wegen fehlender Technologie zur Zeit nicht gegeben. Bei dem in der Literaturstelle angegebenen Mikrofon sinkt daher die Empfindlichkeit aufgrund von Luftspaltverlusten auf Werte unter -60 dB , bezogen auf 1 V/Pa und der Frequenzgang ist auf einige Kilohertz begrenzt.

Luftspaltdämpfungen, die zwischen Membran und Gegenelektrode auftreten, ließen sich durch Verringerung der lateralen Abmessungen der Gegenelektrode verringern. Laterale Abmessungen sind hier die Abmessungen senkrecht zur Strömungsrichtung der Luft. Durch solche Verkleinerungen sinkt jedoch auch die Ruhekapazität des Wandlers. Die untere Grenze derselben liegt im Hinblick auf die Höhe des in einer Niederfrequenz-Schaltung gewonnenen Signals bei etwa 1 pF . Eine Verkleinerung der Gegenelektrodenmaße, die zu einer Verringerung des Strömungswiderstandes führen könnte, kommt daher bei dieser geringen Ruhekapazität nicht mehr in Betracht.

Die Erfindung hat sich die Aufgabe gestellt, ein mit den Mitteln der Halbleitertechnologie hergestelltes Miniaturmikrofon zu schaffen, bei welchem die aktive Fläche der Membran hinsichtlich eines guten Wirkungsgrades wie bei bisher bekannten Mikrofonen erhalten bleibt, die im Luftspalt auftretenden Dämpfungsverluste jedoch durch eine geeignete Gestaltung der Gegenelektrode so verringert werden, daß die Nachteile bisher bekannter Mikrofone vermieden werden. Diese Aufgabe wird mit den im kennzeichnenden Teil des Patentanspruchs 1 angegebenen Merkmalen gelöst.

Eine in ihren lateralen Abmessungen wesentlich verkleinerte Gegenelektrode, die zwangsläufig auch zu geringeren Dämpfungsverlusten führt, kann verwendet werden, wenn man davon abgeht, das Ausgangssignal des Wandlers durch die relative Änderung seiner Ruhekapazität zu gewinnen. Erfindungsgemäß lassen sich daher kleinere Ruhekapazitäten verwenden, wenn man durch die Bewegungen der Membran die Eingangskapazität eines aktiven Elementes steuert.

Feldeffekttransistoren besitzen Gate-Kanal-Kapazitäten im Bereich von 10^{-15} F , also von $1/1000$ der oben beispielsweise genannten Membran-Gegenelektrodenkapazität von 1 pF . Wird also die Drain-Kanal-Source-Struktur eines Feldeffekttransistors einer Membran gegenüber angeordnet, so werden die Strömungsverluste aufgrund der benötigten sehr geringen Abmessungen der Gegenelektrodenstruktur weitgehend eliminiert. Dieser Effekt tritt bereits auf, wenn die Breite der Gegenelektrodenstruktur ungefähr ein Zehntel der Abmessungen der aktiven Membranfläche beträgt.

Ein kapazitiver Schallwandler nach der Erfin-

derung wird anhand einer Zeichnung nachfolgend und beispielsweise beschrieben. Es zeigen

die Fig. 1 den prinzipiellen Aufbau eines nach der Erfindung arbeitenden Schallwandlers, die Fig. 2 ein Kleinsignal-Ersatzschaltbild die Fig. 3 ein mechanisches Ersatzschaltbild die Fig. 4 eine Frequenzgangdarstellung die Fig. 5 eine schematische Darstellung eines Schallwandlers nach der Erfindung die Fig. 6 eine beispielweise Anordnung mehrerer Schallwandler auf einem Wafer.

Der prinzipielle Aufbau eines kapazitiven Schallwandlers nach der Erfindung, im folgenden FET-Mikrofon genannt, ist in der Fig. 1 dargestellt. Eine beispielsweise mit Aluminium metallisierte Membran befindet sich, getrennt durch einen Luftspalt d_L über einer Drain-Kanal-Source-Struktur, die im folgenden Gegenelektrodenstruktur genannt wird. Die Kanalzone dieser Struktur ist mit einer Oxid-Schutzschicht überzogen. Ein schwach p-dotiertes Siliziumsubstrat bildet die Kanalzone L, die stark n-dotierten Elektroden bilden Drain und Source des FETs. Es handelt sich hier beispielsweise um einen N-Kanal-Anreicherungstyp. Die Spannung U_{GS} , angelegt zwischen der Membran und dem Source-Anschluß bestimmt den Arbeitspunkt des Feldeffekttransistors.

Das FET-Mikrofon wird zweckmäßigerweise in einer Source-Schaltung betrieben. Diese ist in der Figur 3 ebenso dargestellt, wie das dazugehörige Kleinsignal-Ersatzschaltbild. Die Betriebsspannung U_B wird dem Mikrofon über den Drain-Widerstand R_d zugeführt, der auf dem die Gegenelektrode bildenden Chip gleich integriert werden kann. Am Drain-Anschluß wird die Mikrofonausgangsspannung U_a abgegriffen; die Membran ist gegenüber Source mit der Spannung U_{GS} vorgespannt. In der dargestellten Kleinsignalersatzschaltung der Fig. 3 wird die Stromquelle mit der mechanisch-elektrischen Steilheit S_{me} durch die Membranauslenkung X gesteuert. Der eingepreßte Strom erzeugt im Drain-Widerstand R_d einen Spannungsabfall, der der Ausgangsspannung U_a entspricht.

Zur Berechnung von Frequenzgang und Empfindlichkeit des FET-Mikrofons wird das in Abb. 2 gezeigte mechanische Ersatzschaltbild zugrunde gelegt. $R_{S(w)}$ und $M_{S(w)}$ stellen die Strahlungsimpedanz Z_{mS} der Membran dar, M_M die Masse und C_M die Nachgiebigkeit der Membran, die mit der Schnelle v_m schwingt. Das rückwärtige Luftvolumen wird durch die Nachgiebigkeit C_V repräsentiert. Die Eingangskraft $K = p \times A$ setzt sich aus der Membranfläche A und dem vor der Membran herrschenden Wecheldruck p zusammen.

Aufgrund der Frequenzabhängigkeit der Strahlungsimpedanz müssen für das Ersatzschaltbild zwei Gültigkeitsbereiche unterschieden werden.

Unterhalb von etwa 155 kHz gilt für die Strahlungsimpedanz Z_{mS} :

$$Z_{mS} = R_S + j\omega M_S,$$

mit $R_S = 2,245 \times 10^{-16} \text{ kg sec} \times \omega^2$ und $M_S = 3,163 \times 10^{-10} \text{ kg}$.

Oberhalb 155 kHz ergibt sich für die Strahlungsimpedanz:

$$Z_{mS} = R_S + j\omega M_S,$$

mit $R_S = 2,840 \times 10^{-4} \text{ kg/sec}$ und $M_S = (240,5 \text{ kg/sec}^2) / \omega^2$.

Die Membranelemente dynamische Masse M_M und Nachgiebigkeit C_M haben die Werte:

$$M_M = 7,384 \times 10^{-10} \text{ kg und}$$

$$C_M = 1/30T \text{ (Zugspannung } T \text{ in N/m im Bereich } 20 \dots 200 \text{ N/m)}.$$

Für die Nachgiebigkeit des rückwärtigen Luftvolumens V gilt:

$$C_V = V/\rho_0 C^2 A_{eff}^2 \bullet$$

Als effektive Querschnittsfläche A_{eff} wird die Membranfläche angesetzt, $A_{eff} = a^2$. Das Volumen ergibt sich durch die Waferdicke, die die Rückvolumenhöhe darstellt. Sie beträgt 280 um. Somit folgt für C_V :

$$C_V = 2,866 \times 10^{-3} \text{ sec}^2/\text{kg}.$$

Masse, Nachgiebigkeit und Reibungsverluste der Luft im Luftspalt können vernachlässigt werden, da die Breite des Luftspaltes, der Breite der Drain-Kanal-Source-Struktur entsprechend wesentlich kleiner ist als die lateralen Abmessungen der Membran und der Öffnungen des Rückvolumens.

Die Rückwirkung des elektrischen Teils des FET-Mikrofons auf seine mechanischen Eigenschaften entfällt, da die Membran das elektrische Feld im Luftspalt durch die Vorspannung U_{GS} niederohmig treibt. Bei herkömmlichen Kondensatormikrofonen in Niederfrequenzschaltung kann jedoch die Wirkung der angeschlossenen Schaltung auf das mechanische Verhalten des Wandlers nicht vernachlässigt werden. Eingangswiderstand und -kapazität des Vorverstärkers erzeugen eine Dämpfung und eine transformierte "elektrische" Nachgiebigkeit, die in das Schwingungsverhalten der Membran und damit in das Verhalten des gesamten Wandlers eingehen.

Für die mechanische Impedanz Z_m folgt:

$$Z_m = K/v_m = Z_{mS} + j\omega M_M + 1/j\omega C_{ges},$$

$$\text{wobei } C_{ges} = (1/C_M + 1/C_V)^{-1}.$$

Mit $v_m = j\omega x$ und Membranfläche A folgt:

$$U_a = -S_{me} \times R_D = -S_{me} R_D v_m / j\omega = -S_{me} R_D A / j\omega Z_m.$$

Für die Mikrofonempfindlichkeit M_e und ihren Frequenzgang folgt daraus:

$$M_e = U_a/p = -S_{me} R_D A / j\omega Z_m$$

$$= -S_{me} R_D A C_{ges} \times 1 / (1 - \omega^2 M_M C_{ges} + j\omega Z_{mS} C_{ges})$$

Man erkennt, daß die Mikrofonempfindlichkeit proportional mit der mechanisch-elektrischen Steilheit S_{me} und dem Drainwiderstand R_D ansteigt. Diese lassen sich jedoch nicht beliebig vergrößern,

da die verfügbare Höhe der Betriebsspannung U_B und die maximal einstellbare elektrische Membrantorspannung U_{GS} (Durchschlagfeldstärke im Kanal) Obergrenzen darstellen. Eine große Gesamtnachgiebigkeit C_{ges} bedingt eine "weiche" Membran (hohe Nachgiebigkeit C_M) und ein großes Rückvolumen (C_V). Auch hier sind gewisse Grenzen gesetzt. Die kleine Membranfläche A von Subminiaturwandlern stellt ein inhärentes Problem dar.

Eine grafische Darstellung der Abhängigkeit der Empfindlichkeit M_e von der Frequenz zeigt die Abb. 4 für verschiedene mechanische Membrantorspannungen und Rückvolumina.

Eine zweckmäßige Ausführungsform eines kapazitiven Schallwandlers nach der Erfindung wird anhand der Fig. 5 beschrieben. Das FET-Mikrofon besteht aus zwei Chips, von denen der obere als Membraneinheit 1 die Membran 2 trägt und der untere als Gegenelektrodenstruktur 3 die Drain-Kanal-Source-Struktur 8 des FETs trägt. Die Membran 2 besteht aus einer 150 nm starken Schicht 4 aus Siliziumnitrid, deren mechanische Spannungseigenschaften durch Ionenimplantationen während des Herstellungsprozesses beeinflusst werden können. Die Membran 2 wird von einem Stützrahmen 2.1 gehalten, welcher die Membran walförmig umgibt und aus dem halbleitenden Grundmaterial, vorzugsweise Silizium besteht. Sie ist auf ihrer Unterseite mit einer 100 nm-starken Aluminiumschicht 5 bedampft. Diese Bedampfung stellt das Gate des FETs dar. In dem unteren Chip werden durch Plasmaätzen zwei wannenförmige Gruben 6 und 7 eingebracht, die das Rückvolumen des Mikrofons bilden. Zwischen den Gruben befindet sich ein 80 μ m-breiter Steg 8, der die Drain-Kanal-Source-Struktur 9, 10 und 11 des FETs trägt. Der Abstand des Kanals 10 zur Aluminiumschicht der Membran 5 beträgt 2 μ m. Auf der Gegenelektrodenstruktur 3 sind ferner drei nicht weiter im einzelnen dargestellte Anschlußpads 11 für Drainkontakt, Sourcekontakt und die Aluminiumschicht der Membran, welche den Gate-Kontakt darstellt, angebracht. Eine Ausgleichsbohrung für den statischen Luftdruck befindet sich im Siliziumoxid-Rand 12 des Gegenelektrodenchips, sofern die Mikrofonkapsel als Druckwandler mit akustisch abgeschlossenen Volumen arbeiten soll.

Die Prozeßschritte zur Herstellung sowohl des Chips für die Membraneinheit als auch des Chips für die Gegenelektrodenstruktur sind dem in der Halbleitertechnologie bewanderten Fachmann bekannt und brauchen hier somit nicht weiter beschrieben zu werden. Um das Zusammenfügen der beiden Halbleiterchips zu ermöglichen, wird noch auf die Siliziumoxidschicht 12 eine Aluminiumschicht 13 aufgebracht. Die beiden Chips werden nun durch Erwärmung miteinander verbunden, wobei sich die gegenüberliegenden Aluminiumflächen

der Membraneinheit 5 und der Gegenelektrodenstruktur 13 miteinander verschmelzen.

Der in Fig. 5 beschriebene Wandler kann auch zu einem Gegentaktwandler erweitert werden, indem eine zweite Gegenelektrodenstruktur mit einem geeignet geformten Steg ähnlich dem Steg 8 in der durch den Wall vorgegebenen Vertiefung der Membraneinheit 1 eingesetzt wird. In diesem Fall muß dann die Membran 2 auf beiden Seiten eine Metallisierung erhalten. Soll der Wandler in der beschriebenen Weise als Gegentaktwandler arbeiten oder gemäß einer anderen zweckmäßigen Ausbildungsform eine Druckgradientencharakteristik erhalten, so sind die vor beziehungsweise hinter der Membran liegenden Volumina über Öffnungen mit dem äußeren Schallfeld zu verbinden. In der Fig. 5 sind solche Öffnungen mit den Bezugsziffern 14 und 15 beispielsweise eingezeichnet.

Bei der beschriebenen Wandlerausführung ist zunächst in der Gegenelektrodenstruktur für die Kanalzone das N- oder P-Kanal-Anreicherungsprinzip verwendet worden. In vorteilhafter Weise kann jedoch auch für die Kanalzone das Verarmungsprinzip eingesetzt werden. Da hier bereits ein Arbeitspunkt in der FET-Schaltung vorgeben ist, kann hier die gesonderte Vorspannung für das Gate entfallen, da sie in bekannter Weise über einen im Source-Stromkreis eingesetzten Widerstand selbst erzeugt werden kann.

Wie aus den Herstellungsverfahren für integrierte Schaltungen bekannt geworden ist, werden sehr viele einander gleiche Baueinheiten auf einem sogenannten Wafer gleichzeitig hergestellt und nach abgeschlossenem Herstellungsverfahren auseinandergetrennt. Bei der Herstellung von kapazitiven Schallwandlern nach der Erfindung ist es nun ebenfalls möglich, sehr viele Kleinstmikrofone auf einem Wafer herzustellen, sie aber nicht zu vereinzeln, sondern in besonders geformten Gruppen herauszutrennen. Durch die Reihenanordnung mehrerer nebeneinanderliegender Mikrofonssysteme und deren elektrische Zusammenschaltung ist es möglich, beispielsweise ein Interferenz-Richtmikrofon zu erhalten.

Ein großer Vorteil bei einem kapazitiven Wandler nach der Erfindung liegt darin, daß einer relativ großen aktiven Membranfläche, die für einen guten akustischen Wirkungsgrad des Wandlers gefordert wird, nur ein kleiner Teil der Membranfläche einer Gegenelektrodenstruktur gegenüber liegt und somit die Strömungsverluste vernachlässigbar klein werden. Daraus ergibt sich ein großer linearer Übertragungsbereich bei sehr guter Empfindlichkeit, wie aus der Fig. 4 zu erkennen ist. Weiterhin ist auch das Rauschverhalten des Wandlers außerordentlich günstig, da der durch Dämpfungen im Luftspalt hervorgerufene Rauschanteil prinzipbedingt sehr niedrig ausfällt. Kapazitive Wandler werden zumeist

in der sogenannten Niederfrequenzschaltung betrieben und benötigen daher einen Vorwiderstand, dessen thermisches Rauschen ebenfalls mit wachsendem Widerstandswert zunimmt. Sinkende Wandlerruhekapazitäten bei Miniaturmikrofonen bedingen bei gleicher unterer Grenzfrequenz jedoch größer werdende Vorwiderstände, worin bei den bisherigen Ausführungen ein unlösbares Problem bestand. Da das FET-Mikrofon keinen Vorwiderstand benötigt, ist damit ebenfalls der Rauschanteil wesentlich verringert worden.

Das Rauschverhalten kann auch dadurch verbessert werden, daß mehrere auf dem Wafer gemeinsam entstandene FET-Mikrofone parallel geschaltet als eine Mikrofoneinheit betrieben werden.

Ansprüche

1. Kapazitiver Schallwandler, bestehend aus mindestens zwei zusammengefügt Halbleiterchips, welche eine Membraneinheit und eine feststehende Gegenelektrodenstruktur verkörpern und mittels bekannter Methoden der Halbleitertechnologie hergestellt werden,

dadurch gekennzeichnet,

daß der akustisch aktive Teil der Membraneinheit mit mindestens einer Gegenelektrodenstruktur, welche von der Membraneinheit durch einen Luftspalt getrennt ist, ein einem Feldeffekttransistor vergleichbares System bildet derart, daß einerseits die aus halbleitendem Grundmaterial gebildete Membraneinheit eine akustisch aktive Membranfläche umfaßt, deren der Gegenelektrodenstruktur zugewandte Seite elektrisch leitend ist, und andererseits die Gegenelektrodenstruktur aus einer aus halbleitenden Grundmaterial herausgearbeiteten, durch eine Source-Drain-Anordnung begrenzten Kanalstrecke besteht, deren geometrische Breitenabmessung in der Größenordnung von einem Zehntel der lateralen Abmessung der aktiven Membranfläche liegt.

2. Kapazitiver Schallwandler nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet,** daß als Grundmaterial für die Membraneinheit und die Gegenelektrodenstruktur Silizium eingesetzt wird, und die aktive Fläche der Membraneinheit aus einer Siliziumnitrid-Schicht besteht, welche mit Aluminium bedampft und deren mechanische Spannung durch Ionenimplantation bestimmt ist.

3. Kapazitiver Schallwandler nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet,** daß nach Art eines Gegentaktwandlers beide Seiten der aktiven Fläche der Membran metallisiert sind und jeder Seite eine Gegenelektrodenstruktur zugeordnet ist.

4. Kapazitiver Wandler nach einem der vorhergehenden Ansprüche,

dadurch gekennzeichnet,

daß in der Gegenelektrodenstruktur für die Kanalzone das N- oder P-Kanal-Anreicherungsprinzip verwendet wird.

5. Kapazitiver Wandler nach einem der vorhergehenden Ansprüche,

dadurch gekennzeichnet,

daß in der Gegenelektrodenstruktur für die Kanalzone das N- oder P-Kanal-Verarmungsprinzip verwendet wird.

6. Kapazitiver Wandler nach einem der vorhergehenden Ansprüche,

gekennzeichnet

durch eine durch ein abgeschlossenes Volumen der Gegenelektrodenstruktur bedingte Druckwandlercharakteristik.

7. Kapazitiver Wandler nach einem der vorhergehenden Ansprüche,

gekennzeichnet

durch eine durch in der Gegenelektrodenstruktur außerhalb des Kanalbereichs angeordnete Öffnungen bedingte Druckgradientencharakteristik.

8. Mehrfachwandler unter Verwendung von kapazitiven Schallwandlern nach einem der vorhergehenden Ansprüche,

gekennzeichnet

durch die elektrische Zusammenschaltung mehrerer auf einem Wafer in Reihe angeordneter und gleichzeitig hergestellter Wandler zu einem Interferenz-Richtmikrofon.

9. Mehrfachwandler unter Verwendung von kapazitiven Wandlern nach einem der vorhergehenden Ansprüche,

gekennzeichnet

durch die elektrische Parallelschaltung mehrerer auf einem Wafer gemeinsam herausgetrennter Wandlerysteme.

10. Kapazitiver Wandler nach einem der vorhergehenden Ansprüche,

dadurch gekennzeichnet,

daß auf der Gegenelektrodenstruktur weitere, Verstärkerschaltungen bildende Bauelemente integriert sind.

Fig. 1

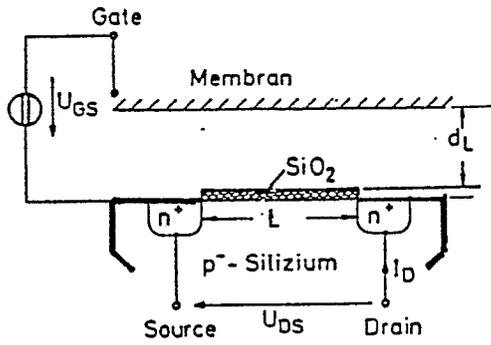


Fig. 2

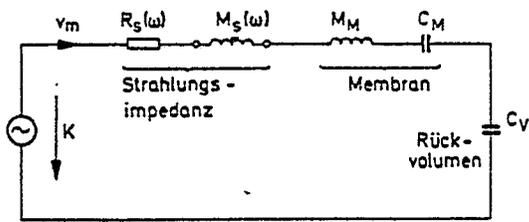


Fig. 3

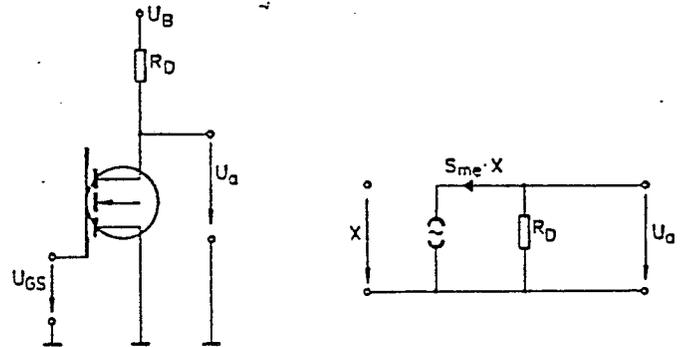
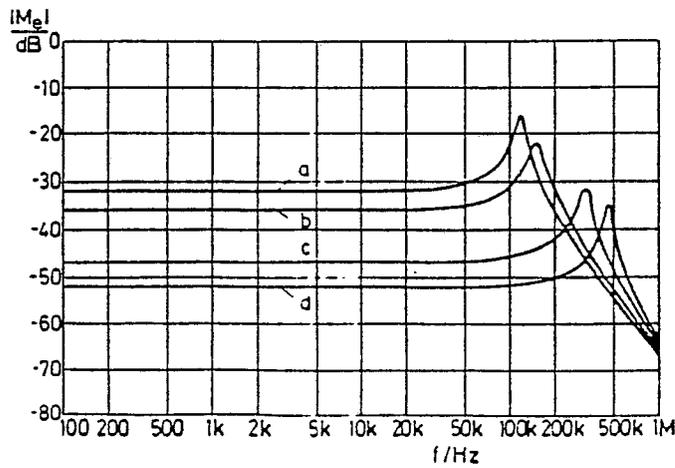


Fig. 4



dB re 1 V/Pa

	$T / \frac{N}{m}$	V
a	20	∞
b	20	$a^2 * 280 \mu m$
c	100	$= 0,18 mm^3$
d	200	

Fig. 5

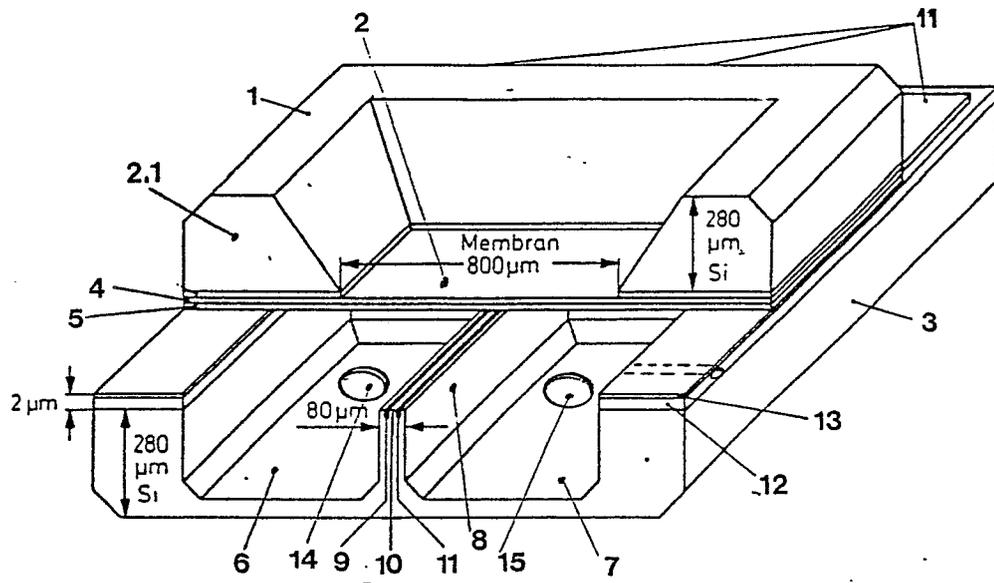


Fig. 6

