

(19)



(11)

**EP 2 039 215 B1**

(12)

**EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT**

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des Hinweises auf die Patenterteilung:  
**08.08.2018 Patentblatt 2018/32**

(51) Int Cl.:  
**H04R 23/00 (2006.01)**

(21) Anmeldenummer: **07763720.5**

(86) Internationale Anmeldenummer:  
**PCT/AT2007/000311**

(22) Anmeldetag: **26.06.2007**

(87) Internationale Veröffentlichungsnummer:  
**WO 2008/000007 (03.01.2008 Gazette 2008/01)**

(54) **ELEKTROAKUSTISCHER WANDLER**

ELECTROACOUSTIC TRANSDUCER

TRANSDUCTEUR ÉLECTROACOUSTIQUE

(84) Benannte Vertragsstaaten:  
**AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MT NL PL PT RO SE SI SK TR**  
Benannte Erstreckungsstaaten:  
**AL BA HR MK RS**

(72) Erfinder: **FISCHER, Balthasar**  
**1020 Wien (AT)**

(30) Priorität: **27.06.2006 AT 10822006**

(74) Vertreter: **Patentbüro Paul Rosenich AG**  
**Büro und Gewerbezentrum (BGZ)**  
**Rotenbodenstrasse 12**  
**9497 Triesenberg (LI)**

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:  
**25.03.2009 Patentblatt 2009/13**

(56) Entgegenhaltungen:  
**GB-A- 386 315 JP-A- 60 018 100**  
**US-B1- 6 301 034 US-B1- 6 590 661**

(73) Patentinhaber: **Xarion Laser Acoustics GmbH**  
**1030 Wien (AT)**

**EP 2 039 215 B1**

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents im Europäischen Patentblatt kann jedermann nach Maßgabe der Ausführungsordnung beim Europäischen Patentamt gegen dieses Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist. (Art. 99(1) Europäisches Patentübereinkommen).

**Beschreibung**

1. Gegenstand der Erfindung

5 **[0001]** Die Erfindung betrifft die getreue Umwandlung von akustischen Signalen (Geräusche, Sprache und Musik) in elektrische Signale. Die elektrischen Signale lassen sich dann mit herkömmlichen Methoden übertragen oder speichern. Hier wird ein Mikrofon vorgestellt, das die Schallwellen direkt in optische und danach in elektrische Signale umwandelt, ohne dass die Hilfe beweglicher Bauteile wie beispielsweise einer Membran dazu nötig wäre.

10 **[0002]** Dafür benützt das neuartige Mikrofon den Einfluss der Schallwellen, genauer ihrer Druckschwankungen, auf die Lichtgeschwindigkeit eines Laserstrahls, der das Medium des Schallfeldes durchquert. Die Änderung der Lichtgeschwindigkeit  $\Delta c$  ist proportional zum Schalldruck  $\tilde{p}$ . Mit Hilfe einer Interferenzanordnung kann diese kleine Änderung  $\Delta c$  bestimmt und dann in ein dem Schalldruck proportionales elektrisches Signal gewandelt werden. Das ist das Ausgangssignal des neuen Mikrofons.

15 2. Stand der Technik

**[0003]** Bei den heute verwendeten Mikrofonen (Schallwandlern) verformt der Schalldruck elastische Bauteile, z.B. eine Membran. Die Verformung wird in das elektrische Messsignal umgewandelt.

20 **[0004]** Sehr verbreitet ist das dynamische Mikrofon, bei dem die Auslenkung der Membran eine Spannung in einer Spule induziert. Die grösste Dynamik erreicht heute das Kondensatormikrofon, bei dem die Verformung der Membran zu einer Änderung der Kapazität des Kondensators führt. Seit kürzerer Zeit gibt es auch Mikrofone, bei denen optische Methoden (z.B. Interferenz oder Reflexion) zur Messung der Membranauslenkung dienen. Stets sind bewegliche oder verformbare Materialien involviert (Membran, Tauchspule, Bändchen, Kohlestaub).

25 **[0005]** Beispiele für elektroakustische Wandler ohne mechanische Teile können in der JP 60 028100A, der US 6,590,661 und der GB 386,315 gefunden werden.

3. Nachteile

30 **[0006]** Die mechanischen Systeme besitzen Eigenschwingungen und ihre Auslenkung ist beschränkt, wodurch das elektrische Ausgangssignal teilweise verfälscht wird. Es ist schwierig, solche Einflüsse in dem großen Druckbereich (Hörschwelle 20 pPa, Schmerzgrenze 100 Pa) und in dem weiten Frequenzbereich (20 Hz bis 20 kHz) zuverlässig zu kompensieren.

**[0007]** Die mechanischen Systeme sprechen auch auf Körperschall und auf Luftströmungen an, was zu Störsignalen führen kann.

35 **[0008]** Empfindliche, genaue und rauscharme Mikrofone sind in der Regel nicht hinreichend klein und stören so das zu messende Schallfeld.

**[0009]** Bei den elektrisch messenden Systemen (Kondensator, Tauchspule) können elektromagnetische Streufelder das Ausgangssignal beeinträchtigen.

40 4. Aufgabe

**[0010]** Gewünscht wird ein Schallwandler, der die Schallwellen unverzerrt in elektrische Signale umsetzt und dabei ohne bewegliche Bauteile auskommt. Er soll im gesamten hörbaren Frequenzbereich und bei allen Lautstärken arbeiten.

45 5. Lösung

**[0011]** Die Aufgabe wird gelöst mit einem elektroakustischen Wandler gemäß Anspruch 1. Die Lichtgeschwindigkeit in einem Medium ist

50 
$$c_M = \frac{c}{n} \quad (1)$$

c: Lichtgeschwindigkeit im Vakuum  $c = 3 \cdot 10^8$  ms

55 n: Brechzahl des Mediums

**[0012]** Die Brechzahl von Luft bei 15°C und unter einem Druck von 0,101 MPa beträgt 1,000326 für Licht der Wellenlänge 0,2  $\mu\text{m}$  und 1,000274 für Licht der Wellenlänge 1  $\mu\text{m}$ . Sie ist also für UV-Licht um  $326 \cdot 10^{-6}$  und für IR-Licht um

$274 \cdot 10^{-6}$  grösser als die Brechzahl 1 im Vakuum.

**[0013]** Mit dem Druck ändert sich auch die Brechzahl etwa wie

$$\frac{dn}{dp} = \frac{0,3 \cdot 10^{-3}}{10^5 Pa} = 3 \cdot 10^{-9} \frac{1}{Pa} \quad (2)$$

doch abhängig von der Lichtwellenlänge. Damit ändert sich auch die Lichtgeschwindigkeit (Gl. 1) gemäss:

$$\Delta c_M = \frac{-c}{n^2} \frac{dn}{dp} \Delta p \quad (3)$$

**[0014]** Beispielsweise nimmt die Lichtgeschwindigkeit in Luft um 0,9 m/s ab, wenn der Luftdruck um 1 Pa erhöht wird.

**[0015]** Die Veränderung der Lichtgeschwindigkeit nach Gl. 3 kann benützt werden, um den Schalldruck zu bestimmen:  $\Delta c$  des Lichtstrahls ist proportional zum Schalldruck  $\bar{p}$  in dem durchquerten Schallfeld.

**[0016]** Mit Hilfe der Interferenz der zwei Hälften eines geteilten Laserstrahls kann diese kleine Geschwindigkeitsänderung  $\Delta c$  bestimmt werden. In Fig. 1 ist der Aufbau schematisch dargestellt.

**[0017]** Nach der Teilung am Spiegel B wird der eine Strahl auf dem Weg der Länge  $L_1$  durch das Schallfeld S geführt. Der andere Strahl verläuft auf dem Weg der Länge  $L_2$  durch das schallisolierte Gehäuse G. Heide Strahlen interferieren hinter dem Spiegel C. Der Detektor H bestimmt die Intensität des Lichts und gibt ein proportionales elektrisches Signal.

**[0018]** Die beiden Strahlen werden durch die zwei Wellengleichungen beschrieben:

$$E_1 = A \cos(\omega t - L_1 k_1) \quad (4)$$

$$E_2 = A \cos(\omega t - L_2 k_2) \quad (5)$$

A: Amplitude  
 $\omega$ : Kreisfrequenz  $\omega = 2\pi\nu$ ;  $\nu$ : Frequenz des Lichts  
 $L_1$ : Weg zwischen den Spiegeln im Schallfeld S  
 $L_2$ : Weg im schallisolierten Gehäuse G  
 (Anmerkung: Die übrigen Lichtwege werden als gleich lang angenommen. Sie sind dann für die Rechnung ohne Einfluß)

$$k_1 = \frac{2\pi}{\lambda_1} = \frac{\omega}{c_M + \Delta c} = \frac{\omega}{c_M} \left( 1 - \frac{\Delta c}{c_M} \right) \quad (6)$$

$k_1$ : Wellenzahl im Schallfeld (Anmerkung: Die

Reihe darf nach dem ersten Glied abgebrochen werden, weil  $\frac{\Delta c}{c_M}$  sehr klein ist gegen 1)

$$k_2 = \frac{2\pi}{\lambda_2} = \frac{\omega}{c_M} \quad (7)$$

$k_2$ : Wellenzahl im geschützten Gehäuse

$\lambda_1$  und  $\lambda_2$ : Wellenlängen

**[0019]** Am Empfänger herrscht eine Lichtintensität  $I$  proportional zu  $(E_1 + E_2)^2$ .

**[0020]** Wegen der zeitlichen Mittelung über eine Lichtperiode fällt die Zeitabhängigkeit fort und für die Intensität am Empfänger ergibt sich

$$I = I_0 \{ 1 - \cos(L_1 k_1 - L_2 k_2) \} \quad (8)$$

$$I = I_0 - I_0 \cos \left\{ \frac{\omega}{c_M} (L_1 - L_2) - \frac{\omega}{c_M} \frac{\Delta c}{c_M} L_1 \right\} \quad (9)$$

5

[0021] Trigonometrische Umformung

$$I = I_0 - I_0 \left\{ \cos \frac{\omega}{c_M} (L_1 - L_2) \cos \frac{\omega}{c_M} L_1 \frac{\Delta c}{c_M} \right\} - I_0 \left\{ \sin \frac{\omega}{c_M} (L_1 - L_2) \sin \frac{\omega}{c_M} L_1 \frac{\Delta c}{c_M} \right\} \quad (10)$$

15 [0022] Über dem Gangunterschied  $(L_1 - L_2)$  läßt sich  $\frac{\omega}{c_M} (L_1 - L_2)$  auf jeden Wert zwischen 0 und  $2\pi$  einstellen,

$$(L_1 - L_2) = \frac{c_M}{\omega} \left( \frac{\pi}{2} + z 2\pi \right)$$

wobei Vielfache von  $2\pi$  dazu addiert werden dürfen. Wird dafür der Wert (z ganze Zahl), so verschwindet die Cosinus-Funktion.

20

[0023] Es bleibt lediglich

$$I = I_0 - I_0 \sin \left\{ 2\pi \frac{L_1}{\lambda} \frac{\Delta c}{c_M} \right\} \quad (11)$$

25

$$\frac{2\pi}{\lambda} \quad \frac{\omega}{c_M}$$

30 [0024] Hierbei tritt mit der Wellenlänge  $\lambda$  an die Stelle von

[0025] Weil das Argument der Sinus-Funktion sehr klein gegen 1 ist, kann sie näherungsweise durch ihr Argument ersetzt werden.

[0026] Die Abnahme der Intensität  $I_0 - I$  (gemessen am Empfänger)

35

$$I_0 - I = I_0 \frac{2\pi L_1}{\lambda} \frac{\Delta c}{c_M} \quad (12)$$

40

[0027] Sie ist proportional zur Änderung der Lichtgeschwindigkeit  $\Delta c$  und zur Länge  $L_1$  des Lichtwegs im Schallfeld. Wegen G1. (3) ist sie dann auch proportional zum Schalldruck  $\tilde{p}$ . Auf dieser Proportionalität von Schalldruck und Änderung der Intensität am Empfänger beruht die Funktion des vorgeschlagenen Mikrophons ohne Membran.

6. Die Erfindung wird an einem Ausführungsbeispiel unter Bezugnahme auf die Zeichnung näher erläutert.

45

[0028] Ein Prototyp eines membranlosen Mikrophons mit Hilfe von Lichtinterferenz existiert derzeit noch nicht. Hingegen konnte das Prinzip, wie es unter 5. Lösung beschrieben ist, anhand eines Versuchsaufbaus gemäß Fig. 1 bestätigt werden. Als Strahlenquelle dient eine Laserdiode aus einem leistungsstarken grünen Laserpointer. Es handelt sich um einen diodengepumpten Neodym Yttrium-Aluminium-Granat Laser (Nd: YAG-Laser) mit Frequenzverdoppelung. Die Wellenlänge beträgt 532 nm, die Ausgangsleistung beträgt maximal 5 mW.

50

[0029] Der Laser ist aus dem Gehäuse ausgebaut worden und mittels eines Halterelements auf dem optischen Tisch montiert. Zur Strahlteilung werden sogenannte *beam splitter cubes* eingesetzt, da sie im Vergleich zu einem halbdurchlässigen Spiegel den Strahl sauberer auftrennen, d.h. keine Sekundärreflexionen verursachen. Ferner werden versilberte Spiegel verwendet, um eine möglichst hohe Reflektanz zu erzielen. Beim Detektor handelt es sich um eine Photodiode, die mit einen bereits integrierten Vorverstärker ein Ausgangssignal von 0,4 A/W liefert (Newport Battery Biased Silicon Pin Detector). Das Ausgangssignal des Detektors wird einem digitalen Speicheroszilloskop (Tektronix TDS220) zugeführt.

55

[0030] Als Schallquelle kommt ein Elac™ Lautsprecher, angeschlossen an einen kleinen Verstärker, zum Einsatz. Die Signale werden durch einen Funktionsgenerator (KR-Lab Sweep Generator F 47) erzeugt.

[0031] Beispielsweise wurden drei von dem Tongenerator erzeugte Sinustöne mit 500 Hz, 1 kHz und 2 kHz von dem membranlosen Mikrofon gemessen und auf dem Oszilloskop als Funktion der Zeit dargestellt.

7. Vorteile der Erfindung

5

[0032]

10

15

- Überraschenderweise gelingt es bereits mit der Experimentierform des neuen Mikrofons, Schallsignale ohne Hilfe bewegter Teile (Membranen), also ohne Mechanik, in elektrische Signale umzuwandeln.
- Nach der notwendigen Entwicklung, könnte das Mikrofon klein, robust und kompakt gebaut werden. Sein Einfluss auf das Schallfeld wäre dann gering.
- Weil das Mikrofon optisch arbeitet, haben elektromagnetische Störfelder kaum Einfluss.
- Das Prinzip der Erfindung kann auch bei anderen Medien als Luft für die Schallmessung eingesetzt werden.
- Dank der Interferenzmethode zwischen den beiden Laserstrahlen bleiben Änderungen des Luftdrucks (Wetter, Arbeitshöhe) ohne Einfluss.

Patentansprüche

20

1. Elektroakustischer membranloser Wandler mit:

25

30

einer Laserquelle (A);  
einen Detektor (H) mit einem optischen Empfänger;  
zwei Paaren von planparallelen unbeweglichen Spiegeln einem Strahlteiler (B), der einen Laserstrahl einer Laserquelle (A) in einen ersten Strahl und einen zweiten Strahl aufteilt;  
einem Schallfeld (S), durch welches der erste Strahl geführt wird; und  
einem schallisolierten Gehäuse (G), durch welches der zweite Strahl verläuft;  
wobei die Ausbreitungsgeschwindigkeit des ersten Strahls sich entsprechend dem Schalldruck im Schallfeld (S) ändert, wobei der Detektor (H) ein elektrisches Signal erzeugt, das wenigstens von der Änderung der Ausbreitungsgeschwindigkeit des ersten Strahls abhängt,  
wobei beide Strahlen jeweils mehrfach zwischen den zwei Paaren von planparallelen unbeweglichen Spiegeln (z.B. D, E) reflektiert werden, und das eine Spiegelpaar (D, E) und sein Zwischenraum dem Schall ausgesetzt ist, **dadurch gekennzeichnet, dass** das zweite Spiegelpaar und sein Zwischenraum vor Schall geschützt ist.

35

2. Elektroakustischer Wandler nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Variation der Ausbreitungsgeschwindigkeit des ersten Strahls durch Interferenz mit dem zweiten Strahl erfasst wird.

40

3. Elektroakustischer Wandler nach Anspruch 1, wobei ein Gangunterschied zwischen den beiden Laserstrahlen auf  $\lambda/4 + \lambda z$  einstellbar ist, wobei z ganzzahlig ist.

45

4. Elektroakustischer Wandler nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Pulsfrequenz der Laserquelle (A) oberhalb des Hörbereichs liegt.

5. Elektroakustischer Wandler nach Anspruch 1, bei dem das Gehäuse (G) eine Öffnung für einen Druckausgleich zwischen dem Gehäuseinneren und der umgebenden Atmosphäre aufweist.

Claims

50

1. An electroacoustic membrane-free transducer having:

55

a laser source (A);  
a detector (H) having an optical receiver;  
two pairs of plane-parallel immovable mirrors  
a beam splitter (B), which splits a laser beam of a laser source (A) into a first beam and a second beam;  
a sound field (S), through which the first beam is guided; and  
a sound-insulated housing (G), through which the second beam runs;  
the propagation speed of the first beam changing in accordance with the sound pressure in the sound field (S),

the detector (H) generating an electrical signal, which depends at least on the change of the propagation speed of the first beam,

both beams being reflected multiple times in each case between the two pairs of plane-parallel immovable mirrors (e.g. D, E), and the one mirror pair (D, E) and the intermediate space thereof being exposed to the sound, **characterized in that** the second mirror pair and the intermediate space thereof is protected from sound.

2. The electroacoustic transducer according to Claim 1, **characterized in that** the variation of the propagation speed of the first beam is detected by means of interference with the second beam.

3. The electroacoustic transducer according to Claim 1, wherein a path difference between the two laser beams can be set to  $\lambda/4 + \lambda z$ , wherein z is an integer.

4. The electroacoustic transducer according to Claim 1, **characterized in that** the pulse rate of the laser source (A) is above the audible range.

5. The electroacoustic transducer according to Claim 1, in which the housing (G) has an opening for a pressure equalization between the housing interior and the surrounding atmosphere.

## Revendications

1. Transducteur électroacoustique sans membrane avec :

une source laser (A),

un détecteur (H) avec un récepteur optique,

deux paires de miroirs parallélépipédiques immobiles,

un séparateur de faisceau (B), qui divise un faisceau laser d'une source laser (A) en un premier faisceau et un deuxième faisceau,

un champ acoustique (S) à travers lequel le premier faisceau est guidé, et

un boîtier insonorisé (G), à travers lequel passe le deuxième faisceau,

la vitesse de propagation du premier faisceau variant selon la pression acoustique dans le champ acoustique (S), le détecteur (H) générant un signal électrique, qui dépend au moins de la variation de la vitesse de propagation du premier faisceau,

les deux faisceaux étant respectivement réfléchis plusieurs fois entre les deux paires de miroirs (par.: D, E) parallélépipédiques immobiles et une paire de miroirs (D, E) et son espace intermédiaire étant exposés au son, **caractérisé en ce que** la deuxième paire de miroirs et son espace intermédiaire sont protégés du son.

2. Transducteur électroacoustique selon la revendication 1, **caractérisé en ce que** la variation de la vitesse de propagation du premier faisceau est saisie par interférence avec le deuxième faisceau.

3. Transducteur électroacoustique selon la revendication 1, une différence de chemin entre les deux faisceaux laser pouvant être réglée à  $\lambda/4 + \lambda z$ , z étant un nombre entier.

4. Transducteur électroacoustique selon la revendication 1, **caractérisé en ce que** la fréquence de pulsion de la source laser (A) se situe au-dessus de la gamme acoustique.

5. Transducteur électroacoustique selon la revendication 1, pour lequel le boîtier (G) comporte une ouverture pour une compensation de pression entre l'intérieur du boîtier et l'atmosphère environnante.

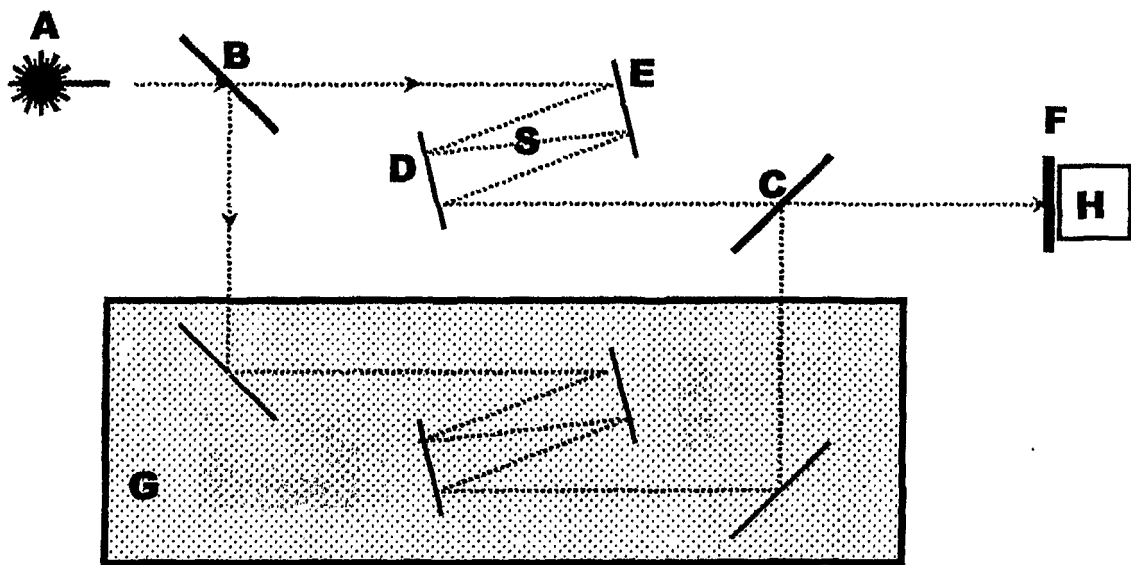


Fig. 1

**IN DER BESCHREIBUNG AUFGEFÜHRTE DOKUMENTE**

*Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde ausschließlich zur Information des Lesers aufgenommen und ist nicht Bestandteil des europäischen Patentdokumentes. Sie wurde mit größter Sorgfalt zusammengestellt; das EPA übernimmt jedoch keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.*

**In der Beschreibung aufgeführte Patentdokumente**

- JP 60028100 A [0005]
- US 6590661 B [0005]
- GB 386315 A [0005]