



(19)  
Bundesrepublik Deutschland  
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 600 27 234 T2 2007.02.01**

(12) **Übersetzung der europäischen Patentschrift**

(97) **EP 1 074 873 B1**

(51) Int Cl.<sup>8</sup>: **G02F 1/11 (2006.01)**

(21) Deutsches Aktenzeichen: **600 27 234.6**

(96) Europäisches Aktenzeichen: **00 306 525.7**

(96) Europäischer Anmeldetag: **31.07.2000**

(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: **07.02.2001**

(97) Veröffentlichungstag

der Patenterteilung beim EPA: **12.04.2006**

(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: **01.02.2007**

(30) Unionspriorität:

**368306            03.08.1999    US**

(84) Benannte Vertragsstaaten:

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

(73) Patentinhaber:

**Crystal Technology, Inc., Palo Alto, Calif., US**

(72) Erfinder:

**Kump, John D., Hillsborough, California 94010, US**

(74) Vertreter:

**Epping Hermann Fischer,  
Patentanwalts-gesellschaft mbH, 80339 München**

(54) Bezeichnung: **Akustooptische Vorrichtung mit verbesserter Elektrode**

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 vorliegende Erfindung betrifft das Design von Elektroden für Anwendungen wie etwa auf dem Gebiet der Akustooptik und betrifft insbesondere eine Elektrode mit einem ausgeglichenen Schwerpunkt, weichen Rändern und einem Apodisationsverhältnis von über Eins.

## VERWANDTE INFORMATIONEN

**[0002]** Akustooptische (AO) Einrichtungen basieren auf dem photoelastischen Effekt bestimmter Kristalle. Die Kristalle sind so ausgelegt, dass Schallwellen die optischen Eigenschaften der Kristalle ändern. Schallwellen werden in der Regel unter Verwendung piezoelektrischer Wandler in einen Kristall eingekoppelt. Während sich die Schallwellen in dem Kristall ausbreiten, ändern Bereiche von Kompression und Verdünnung die optischen Eigenschaften des Kristalls. Durch den Kristall durchgelassenes Licht wird dann abgelenkt, moduliert und/oder hinsichtlich seiner Frequenz verschoben, während sich das Licht durch die Kristalle ausbreitet. Änderungen bei den optischen Eigenschaften des Kristalls ergeben sich aus der Änderung beim Brechungsindex, die durch die von den Schallwellen erzeugte Beanspruchung hervorgerufen wird. Für eine gute allgemeine Erörterung akustooptischer Einrichtungen siehe Akis P. Goutzoulis, Dennis R. Pape, Design and Fabrication of Acousto-Optic Devices, Marcel Dekker, Inc., New York, NY, 1994.

**[0003]** Piezoelektrische Wandler werden ausgebildet, indem piezoelektrische Materialien zwischen einer oberen Elektrode und einer unteren Elektrode platziert werden. Um mehrkanalige Einrichtungen zu erzeugen, können mehrere Elektroden verwendet werden. Bei einigen Designs ist es wünschenswert, ein Array von Elektroden zu verschachteln um überlappende Schallfelder zu erzeugen. Solche Arrays von Elektroden bestehen oftmals aus apodisierten Elektroden. Eine apodisierte Elektrode ist eine Elektrode, deren Höhe über die Interaktionslänge der Elektrode variiert. Das Apodisationsverhältnis einer Elektrode ist die größte Höhe der Elektrode dividiert durch die kleinste Höhe der Elektrode.

**[0004]** Beim Einsatz in akustooptischen Anwendungen ist es im Allgemeinen die Regel, dass Licht beim Ausbreiten in einer Richtung parallel zur Interaktionslänge einer Elektrode und senkrecht zur Höhe der Elektrode auf einen akustooptischen Kristall trifft. Der Schwerpunkt einer Elektrode ist der Massenmittelpunkt der Elektrode.

**[0005]** Im Stand der Technik sind apodisierte Elektroden so entwickelt worden, dass der Flächenschwerpunkt der Elektrode am Mittelpunkt der Interaktionslänge der Elektrode auftritt. Um dies zu erzielen, weisen solche Elektroden nach dem Stand der Technik jedoch eine Gestalt auf, die im Grunde die Summe aus zwei primitiven Formen ist, in der Regel zwei Trapeze. Wenn zwei Trapeze miteinander verbunden werden, um eine gemeinsame Form zu bilden, dann ist die Steigung des Randes der gemeinsamen Form an dem Schnittpunkt der beiden Trapeze diskontinuierlich.

**[0006]** US-A-4,516,838 beschreibt eine akustooptische Einrichtung mit einem verschachtelten Array von Elektroden, wobei die Form der Elektroden aus zwei Trapezen besteht, die miteinander verbunden sind, um eine gemeinsame Form zu bilden.

**[0007]** Aus EP-A-0171012 ist ein akustooptischer Wandler bekannt. Die Einrichtung weist nur ein Paar rechteckige Elektroden auf, was es gestattet, einen maximalen Flächeninhalt auf den Wandler mit den Elektroden zu bedecken. Es wird erwähnt, dass Elektroden mit Gaußscher Form in älteren Einrichtungen verwendet worden sind.

## KURZE DARSTELLUNG DER ERFINDUNG

**[0008]** Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung wird eine akustooptische Einrichtung angegeben, die einen akustooptischen Kristall umfasst, durch den sich Licht entlang einer ersten Achse ausbreitet. Mehrere Elektroden sind entlang einer im Wesentlichen senkrecht zur ersten Achse verlaufenden zweiten Achse positioniert. Jede der Elektroden weist eine Interaktionslänge entlang der ersten Achse auf. Die Form der Elektrode ist gegeben durch einen oberen Rand, der definiert ist durch eine Öffnungsfunktion  $Y(x)$ , wobei  $x$  eine Entfernung entlang der Interaktionslänge ist, die Öffnungsfunktion  $Y(x)$  und eine erste und eine zweite Ableitung der Öffnungsfunktion  $Y(x)$  weisen keine Diskontinuitätspunkte entlang der Interaktionslänge der Elektrode auf, und die Öffnungsfunktion  $Y(x)$  ist asymmetrisch bezüglich einer Spiegelebene, die senkrecht zur  $x$ -Achse am Mittelpunkt der Interaktionslänge der Elektrode angeordnet ist. Ein Apodisationsverhältnis der Elektrode ist definiert durch den Höchstwert von  $Y(x)$  dividiert durch den Mindestwert von  $Y(x)$ . Die-

ses Verhältnis ist größer als Eins entlang einer Richtung parallel zu der Interaktionslänge der Elektrode. Der Flächenschwerpunkt der Elektrode liegt an einem Mittelpunkt der Interaktionslänge der Elektrode.

**[0009]** Die vorliegende Erfindung gestattet ein Design von Elektroden, die eine einzelne primitive Form mit Rändern mit einer kontinuierlichen ersten und zweiten Ableitung durch die ganze Interaktionslänge aufweisen. Dies gestattet "weiche" Ränder für eine Schallfeldprofilierung unter Beibehaltung des Flächenschwerpunkts am Mittelpunkt der Interaktionslänge.

#### KURZE BESCHREIBUNG DER ZEICHNUNGEN

**[0010]** [Fig. 1](#) zeigt das allgemeine Layout einer akustooptischen Einrichtung.

**[0011]** [Fig. 2](#), [Fig. 3](#) und [Fig. 4](#) zeigen Beispiele von Elektrodenformen nach dem Stand der Technik.

**[0012]** [Fig. 5](#) zeigt eine gemäß einer bevorzugten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung geformte Elektrode.

**[0013]** [Fig. 6](#) zeigt ein Array von verschachtelten Elektroden, geformt gemäß einer bevorzugten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung.

#### BESCHREIBUNG DER BEVORZUGTEN AUSFÜHRUNGSFORM

**[0014]** Die vorliegende Erfindung betrifft ein Elektrodendesign, das für eine akustooptische Interaktion optimal ist. Wie aus den beschriebenen Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung hervorgeht, kann eine Elektrode hergestellt werden, die einen Flächenschwerpunkt am Mittelpunkt der Interaktionslänge aufweist. Außerdem gibt es einen großen Dynamikbereich der Elektrodenapodisation, weiche Ränder für Schallfeldprofilierung und die Fähigkeit zum Verschachteln eines Arrays von Elektroden in überlappende Schallfelder. Bei einer bevorzugten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung wird eine diskrete Öffnungsfunktion verwendet, um die Elektrodenform im Hinblick auf die Interaktionslänge (L) der Elektrode, die größte Höhe (H) der Elektrode und das Apodisationsverhältnis (A) der Elektrode zu definieren.

**[0015]** [Fig. 1](#) zeigt eine Seitenansicht einer akustooptischen Einrichtung mit einem akustooptischen Kristall **14**, piezoelektrischem Material **12**, einer oder mehreren oberen Elektroden **11** und unteren Elektroden **13**. Die Elektroden sind durch die Dicke des piezoelektrischen Materials **12** getrennt. Durch Linien und Pfeil **15** dargestellte Schallwellen werden von dem piezoelektrischen Material **12** als Reaktion auf ein Signal an der oder den oberen Elektroden **11** und unteren Elektroden **13** erzeugt. Pfeile **16** stellen einfallende optische Strahlen dar, die in Richtung auf den akustooptischen Kristall **14** durchgelassen werden. Der Brechungsindex im akustooptischen Kristall **14** variiert auf der Basis der von dem piezoelektrischen Material erzeugten und durch den akustooptischen Kristall **14** durchgelassenen Schallwellen. Die Schallwellen können verwendet werden, um zu steuern, welcher Anteil der einfallenden optischen Strahlen gebeugt wird, während sich die optischen Strahlen durch den akustooptischen Kristall **14** ausbreiten.

**[0016]** Die Form der Elektroden beeinflusst die Form der sich durch den akustooptischen Kristall **14** ausbreitenden Schallwellen.

**[0017]** Beispielsweise zeigt [Fig. 2](#) eine Draufsicht auf ein Array von verschachtelten Elektroden gemäß dem Stand der Technik. Das Array von verschachtelten Elektroden enthält eine Elektrode **21**, eine Elektrode **22**, eine Elektrode **23**, eine Elektrode **24** und eine Elektrode **25**. Das Array von verschachtelten Elektroden befindet sich auf einem akustooptischen Kristall. Pfeile **28** stellen die Ausbreitungsrichtung einfallender optischer Strahlen dar. Die optischen Strahlen breiten sich nach Eintritt in den akustooptischen Kristall durch den akustooptischen Kristall aus (oder werden wegreflektiert).

**[0018]** Eine Interaktionslänge jeder Elektrode verläuft parallel zu einem in [Fig. 2](#) gezeigten Pfeil **29**. Ein Apodisationsverhältnis der Elektrode **21** kann berechnet werden durch Dividieren einer größten Höhe **27** der Elektrode **21** durch eine kleinste Höhe **26** der Elektrode **21**.

**[0019]** Die in [Fig. 2](#) gezeigten Elektroden weisen jeweils einen Flächenschwerpunkt am Mittelpunkt der Interaktionslänge auf. Jedoch ist jede in [Fig. 2](#) gezeigte Elektrode im Grunde die Summe aus zwei primitiven Formen.

**[0020]** Beispielsweise zeigt [Fig. 3](#), dass die Form der Elektrode **21** die Summe aus einem Trapez **31** und einem Trapez **32** ist. Die Form der Elektrode **22** ist die Summe aus einem Trapez **33** und einem Trapez **34**. Wo sich die Trapeze schneiden, ist die Steigung des Rands diskontinuierlich. Dies ist für eine Schallfeldprofilierung von Nachteil.

**[0021]** Insbesondere schneiden sich die Ränder des Trapezes **31** und des Trapezes **32** für die Elektrode **21** an einem Punkt **35** und an einem Punkt **36**. Somit ist am Punkt **35** und am Punkt **36** die Steigung des Rands der Elektrode **21** diskontinuierlich. Dies ist für eine Schallfeldprofilierung von Nachteil. Analog schneiden sich die Ränder des Trapezes **33** und des Trapezes **34** für die Elektrode **22** an einem Punkt **37** und an einem Punkt **38**. Somit ist am Punkt **37** und am Punkt **38** die Steigung des Rands der Elektrode **22** diskontinuierlich. Dies ist für eine Schallfeldprofilierung von Nachteil.

**[0022]** Ein weiterer signifikanter Mangel an dem in [Fig. 2](#) und [Fig. 3](#) gezeigten Elektrodendesign stellt sich ein, wenn die Apodisationsverhältnisse der Elektroden erhöht werden, um überlappende Schallfelder zu erzeugen.

**[0023]** Dies wird durch [Fig. 4](#) veranschaulicht. In [Fig. 4](#) weisen Elektrode **41**, Elektrode **42**, Elektrode **43**, Elektrode **44** und Elektrode **45** jeweils ein sehr hohes Apodisationsverhältnis auf. Die Elektroden **42** und **44** liegen in Form einer Fliege vor. Wenn das Apodisationsverhältnis für Elektroden mit dieser Form erhöht wird, nimmt die Höhe der Mittelsektion ab. Diese Abnahme bei der Querschnittsfläche führt einen finiten elektrischen Widerstand zwischen den zwei primitiven Trapezformen proportional zu dem Apodisationsverhältnis ein. Wenn das Apodisationsverhältnis bis auf Unendlich erhöht würde, dann würde dies theoretisch auch der elektrische Widerstand zwischen den beiden Trapezen machen, die diese Fliegen-Elektroden bilden. Dieser Effekt kann bei Anwendungen, die ein mehrkanaliges akustooptisches Verhalten erfordern, die Leistung der akustooptischen Einrichtung verschlechtern.

**[0024]** Insbesondere spielt bei mehrkanaligen akustooptischen Einrichtungen die elektrische Zwischenverbindung zu den Elektroden eine wichtige Rolle, nicht nur für die gewünschte akustooptische Leistung, sondern auch für Größe und Kosten. Aus Gründen der Einfachheit wird zum elektrischen Verbinden mit einer Elektrode in einem mehrkanaligen Array von Elektroden gewünscht, die Verbindung zum einen oder zum anderen Ende der Interaktionslänge der Elektrode herzustellen. Dies erfolgt üblicherweise auf abwechselnde Weise beim Fortschreiten von einer Elektrode zu der nächsten. Dies wird als ein unsymmetrisches Antriebsszenario bezeichnet. Es ist die am wenigsten komplexe aller mehrkanaligen elektrischen Zwischenverbindungsverfahren.

**[0025]** Fliegenförmige Elektroden wie etwa Elektroden **42** und **44**, in [Fig. 4](#) gezeigt, weisen einen begrenzten Dynamikbereich für das Apodisationsverhältnis auf, das für einen unsymmetrischen Antrieb verwendet werden kann. Die erzeugte Schallenergie jedes Trapezes differiert um den oben erörterten Effekt eines finiten elektrischen Widerstands. In der Praxis wird die von rautenförmigen Elektroden **41**, **43** und **45** erzeugte Schallenergie unsymmetrisch zu der von fliegenartigen Elektroden **42** und **44** erzeugten Schallenergie sein. Diese Asymmetrie in der erzeugten Schallenergie begrenzt die Effektivität des Elektrodenarrays.

**[0026]** [Fig. 5](#) zeigt eine gemäß einer bevorzugten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung geformte Elektrode **53**. Die Elektrode **53** besteht aus einer einzelnen primitiven Form mit Rändern mit einer kontinuierlichen ersten und zweiten Ableitung über die ganze Interaktionslänge, wodurch man "weiche" Ränder für die Schallfeldprofilierung erhält. Ein Flächenschwerpunkt **54** der Elektrode **53** tritt am Mittelpunkt einer Interaktionslänge **58** der Elektrode **53** auf. Das heißt, eine Länge **59**, die bei der Interaktionslänge der Elektrode **53** beginnt und bei dem Flächenschwerpunkt **54** endet, ist gleich eine Hälfte der Interaktionslänge **58**. Die Interaktionslänge **58** der Elektrode **53** verläuft entlang einer x-Achse **51**. Die Höhe der Elektrode **53** wird parallel zu einer y-Achse **52** gemessen.

**[0027]** Die Elektrode **53** ist symmetrisch um die x-Achse **51**. Somit kann das Apodisationsverhältnis der Elektrode **53** berechnet werden durch Dividieren der Höhe **56** (was die Hälfte der größten Höhe der Elektrode **53** darstellt) durch die Höhe **57** (was die Hälfte der kleinsten Höhe der Elektrode **53** darstellt).

**[0028]** Entlang der Interaktionslänge der Elektrode **53** wird eine Öffnungsfunktion  $Y(x)$  verwendet, um eine Öffnung **55** von der x-Achse zum oberen Rand der Elektrode **53** zu definieren. Bei einer bevorzugten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung weist die Öffnungsfunktion  $Y(x)$  eine Form auf der Basis von  $\sin(x)$  auf. Beispielsweise ist der obere Rand der Elektrode **53** definiert durch die in der folgenden Gleichung 1 dargelegte Öffnungsfunktion:

Gleichung 1

$$Y(x) = \frac{H}{2} \left[ 1 - \frac{R-1}{R \cdot L} \left( x + \frac{\pi \cdot L}{6} \cdot \sin \left( \frac{2\pi \cdot x}{L} \right) \right) \right]$$

**[0029]** Der untere Rand der Elektrode **53** ist ein Spiegelbild des oberen Rands der Elektrode **53**. Somit ist der untere Rand der Elektrode **53** definiert durch die in der folgenden Gleichung 2 dargelegte Öffnungsfunktion  $Y(x)$ :

Gleichung 2

$$Y(x) = (-1) \frac{H}{2} \left[ 1 - \frac{R-1}{R \cdot L} \left( x + \frac{\pi \cdot L}{6} \cdot \sin \left( \frac{2\pi \cdot x}{L} \right) \right) \right]$$

**[0030]** Die durch Gleichungen 1 und 2 beschriebene Elektrodenform weist weiche Ränder auf und ist entlang der Interaktionslänge apodisiert. Wenn sich das Apodisationsverhältnis Unendlich nähert, kann die Elektrode in einem Array verschachtelt sein und dennoch von einer unsymmetrischen elektrischen Verbindung angetrieben werden, ohne die Summe abgestrahlter Schallenergie von dem Array zu beeinflussen. Jede Elektrode in einem Array kann von beiden Seiten angetrieben werden. Außerdem tritt der Flächenmittelpunkt für jede Elektrode am Mittelpunkt der Interaktionslänge auf.

**[0031]** Es können jedoch andere Öffnungsfunktionen verwendet werden, mit denen die gleichen Ziele erreicht werden. Beispielsweise weist bei einer alternativen bevorzugten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung die Öffnungsfunktion  $Y(x)$  eine Form auf der Basis von  $\sin^2(x)$  auf. Beispielsweise ist der obere Rand von Elektrode **53** definiert durch in der folgenden Gleichung 3 dargelegte Öffnungsfunktion:

Gleichung 3

$$Y(x) = \frac{H}{2} \left[ 1 + \frac{R-1}{R} \left( \frac{\pi}{3} \cdot \sin^2 \left( \frac{\pi \cdot x}{L} + \frac{3 \cdot \pi}{4} \right) - \left( \frac{\pi}{6} + \frac{x}{L} \right) \right) \right]$$

**[0032]** Der untere Rand der Elektrode **53** ist ein Spiegelbild des oberen Rands der Elektrode **53**. Somit ist der untere Rand der Elektrode **53** definiert durch die in der folgenden Gleichung 4 dargelegte Öffnungsfunktion  $Y(x)$ :

Gleichung 4

$$Y(x) = (-1) \frac{H}{2} \left[ 1 + \frac{R-1}{R} \left( \frac{\pi}{3} \cdot \sin^2 \left( \frac{\pi \cdot x}{L} + \frac{3 \cdot \pi}{4} \right) - \left( \frac{\pi}{6} + \frac{x}{L} \right) \right) \right]$$

**[0033]** Im Wesentlichen ist eine Öffnungsfunktion unter der Voraussetzung optimal, dass sie bestimmte Kriterien erfüllt. Zuerst wird die Elektrode apodisiert. Außerdem erzeugt die Öffnung einen Rand mit weichen Rändern (d.h. hat keine Diskontinuitätspunkte). Außerdem tritt der Flächenschwerpunkt der Elektrode am Mittelpunkt der Interaktionslänge der Elektrode auf. Die letzten zwei erörterten Kriterien sind erfüllt, wenn eine Öffnungsfunktion  $Y(x)$  der folgenden Gleichung 5 genügt:

Gleichung 5

$$\frac{\int_0^L Y(x) \cdot x dx}{\int_0^L Y(x) \cdot dx} = \frac{L}{2}$$

**[0034]** Zu zusätzlichen positiven Merkmalen zählt, eine Form zu haben, wo das Apodisationsverhältnis bis auf Unendlich erhöht werden kann. Es ist außerdem von Vorteil, wenn die Elektrode in einem Array von Elektroden verschachtelt werden kann und jede Elektrode in dem Array von beiden Seiten von einer unsymmetrischen elektrischen Zwischenverbindung angetrieben werden kann, ohne die Summe der abgestrahlten Schallenergie von dem Array zu beeinflussen. Wie vom Fachmann auf dem Gebiet verstanden wird, kann es viele

mögliche Öffnungsfunktionen geben, die allen diesen Kriterien genügen, zusätzlich zu den oben angegebenen Beispielen der Öffnungsfunktionen  $Y(x)$ .

### Patentansprüche

1. Akustooptische Einrichtung, die folgendes umfasst:

- einen akustooptischen Kristall, durch den sich Licht entlang einer ersten Achse ausbreitet; und
  - mehrere Elektroden, die entlang einer im wesentlichen senkrecht zur ersten Achse verlaufenden zweiten Achse positioniert sind, wobei jede Elektrode folgendes aufweist:
    - eine Interaktionslänge mit einem Mittelpunkt entlang der ersten Achse
    - einen Flächenschwerpunkt an einem Mittelpunkt der Interaktionslänge jeder Elektrode
    - wobei ein oberer Rand jeder Elektrode durch eine Öffnungsfunktion  $Y(x)$  definiert wird, wobei  $x$  eine Entfernung entlang der Interaktionslänge ist
    - wobei ein Apodisationsverhältnis jeder Elektrode durch den Höchstwert von  $Y(x)$  dividiert durch den Mindestwert von  $Y(x)$  definiert wird, wobei das Apodisationsverhältnis größer ist als Eins entlang einer Richtung parallel zur Interaktionslänge der Elektrode,
- dadurch gekennzeichnet**, dass
- die Öffnungsfunktion  $Y(x)$  und eine erste Ableitung der Öffnungsfunktion  $Y(x)$  keine Diskontinuitätspunkte entlang der Interaktionslänge der Elektrode aufweisen und die Öffnungsfunktion  $Y(x)$  asymmetrisch bezüglich einer Spiegelebene ist, die senkrecht zur  $x$ -Achse am Mittelpunkt der Interaktionslänge der Elektrode angeordnet ist.

2. Einrichtung nach Anspruch 1, wobei die mehreren Elektroden ein verschachteltes Array von Elektroden sind.

3. Einrichtung nach Anspruch 2, wobei die Öffnungsfunktion  $Y(x)$  den oberen Rand so definiert, dass das Apodisationsverhältnis nahe Unendlich erhöht wird und jede Elektrode von beiden Seiten der Interaktionslänge durch eine elektrische Zwischenverbindung angetrieben werden kann, im wesentlichen ohne die Summe der abgestrahlten Schallenergie von dem Array von Elektroden zu beeinflussen.

4. Einrichtung nach Anspruch 1, wobei, wenn  $L$  die Interaktionslänge einer Öffnung darstellt, die Öffnungsfunktion  $Y(x)$  der folgenden Gleichung genügt:

$$\frac{\int_0^L Y(x) * x dx}{\int_0^L Y(x) * dx} = \frac{L}{2}$$

5. Einrichtung nach Anspruch 1, wobei, wenn  $L$  die Interaktionslänge einer Öffnung darstellt,  $H$  eine größte Höhe der Elektrode und  $R$  das Apodisationsverhältnis darstellen, die Öffnungsfunktion  $Y(x)$  so ist, wie durch die folgende Gleichung definiert:

$$Y(x) = \frac{H}{2} \left[ 1 - \frac{R-1}{R*L} \left( x + \frac{\pi * L}{6} * \sin \left( \frac{2\pi * x}{L} \right) \right) \right]$$

6. Einrichtung nach Anspruch 1, wobei, wenn  $L$  die Interaktionslänge einer Öffnung darstellt,  $H$  eine größte Höhe der Elektrode und  $R$  das Apodisationsverhältnis darstellen, wobei die Öffnungsfunktion  $Y(x)$  durch die folgende Gleichung definiert wird:

$$Y(x) = \frac{H}{2} \left[ 1 + \frac{R-1}{R} \left( \frac{\pi}{3} * \sin^2 \left( \frac{\pi * x}{L} + \frac{3 * \pi}{4} \right) - \left( \frac{\pi}{6} + \frac{x}{L} \right) \right) \right]$$

7. Einrichtung nach Anspruch 1, wobei die Elektrode einen unteren Rand besitzt, der durch eine Öffnungsfunktion  $-Y(x)$  definiert wird.

8. Einrichtung nach Anspruch 7, wobei, wenn  $L$  die Interaktionslänge einer Öffnung darstellt,  $H$  eine größte Höhe der Elektrode und  $R$  das Apodisationsverhältnis darstellen, die Öffnungsfunktion  $Y(x)$  für den oberen Rand so ist, wie durch die folgende Gleichung definiert:

$$Y(x) = \frac{H}{2} \left[ 1 - \frac{R-1}{R \cdot L} \left( x + \frac{\pi \cdot L}{6} \cdot \sin \left( \frac{2\pi \cdot x}{L} \right) \right) \right]$$

und die Öffnungsfunktion  $-Y(x)$  für den unteren Rand durch die folgende Gleichung definiert wird:

$$Y(x) = (-1) \frac{H}{2} \left[ 1 - \frac{R-1}{R \cdot L} \left( x + \frac{\pi \cdot L}{6} \cdot \sin \left( \frac{2\pi \cdot x}{L} \right) \right) \right]$$

9. Einrichtung nach Anspruch 7, wobei, wenn L die Interaktionslänge einer Öffnung darstellt, H eine größte Höhe der Elektrode und R das Apodisationsverhältnis darstellen, die Öffnungsfunktion  $Y(x)$  durch die folgende Gleichung definiert wird:

$$Y(x) = \frac{H}{2} \left[ 1 + \frac{R-1}{R} \left( \frac{\pi}{3} \cdot \sin^2 \left( \frac{\pi \cdot x}{L} + \frac{3 \cdot \pi}{4} \right) - \left( \frac{\pi}{6} + \frac{x}{L} \right) \right) \right]$$

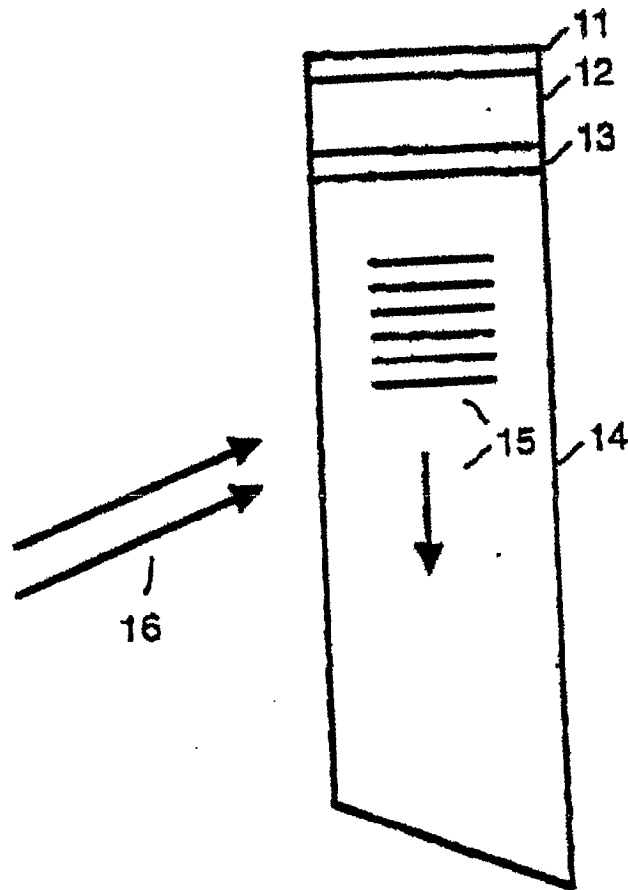
und die Öffnungsfunktion  $-Y(x)$  für den unteren Rand durch die folgende Gleichung definiert wird:

$$Y(x) = (-1) \frac{H}{2} \left[ 1 + \frac{R-1}{R} \left( \frac{\pi}{3} \cdot \sin^2 \left( \frac{\pi \cdot x}{L} + \frac{3 \cdot \pi}{4} \right) - \left( \frac{\pi}{6} + \frac{x}{L} \right) \right) \right]$$

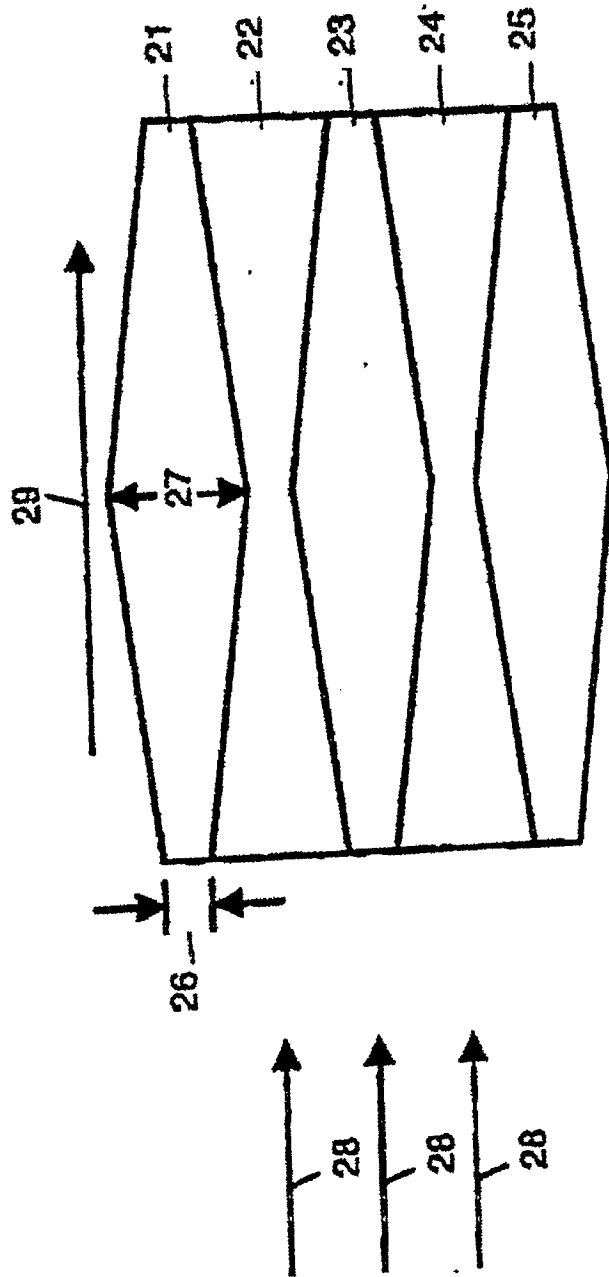
10. Einrichtung nach Anspruch 1, wobei eine zweite Ableitung der Öffnungsfunktion  $Y(x)$  keine Diskontinuitätspunkte entlang der Interaktionslänge der Elektrode aufweist.

11. Einrichtung nach Anspruch 1, wobei jede Elektrode einen ersten Rand aufweist, der im Wesentlichen neben der ganzen Länge eines zweiten Rands von einer anderen Elektrode von den mehreren Elektroden verläuft.

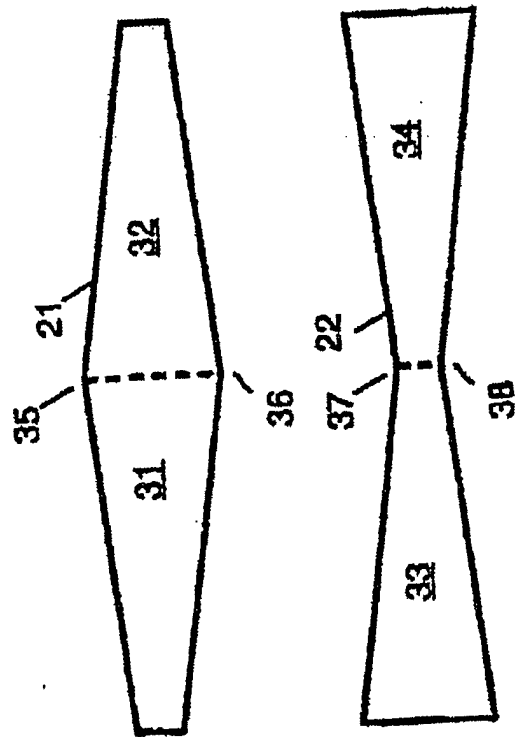
Es folgen 6 Blatt Zeichnungen



FIGUR 1



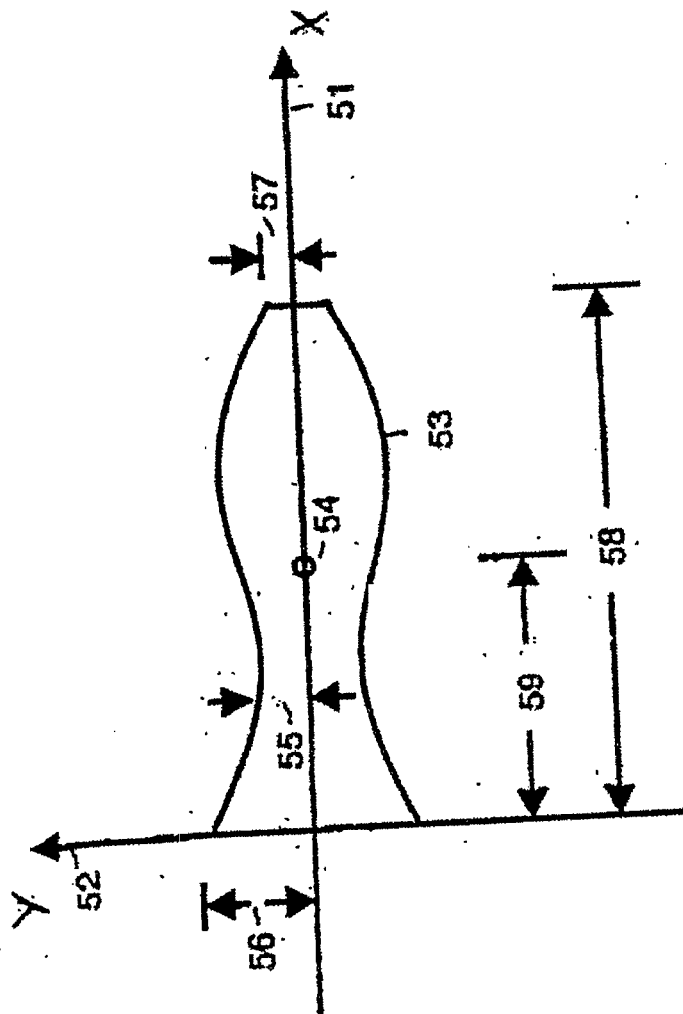
FIGUR 2 (STAND DER TECHNIK)



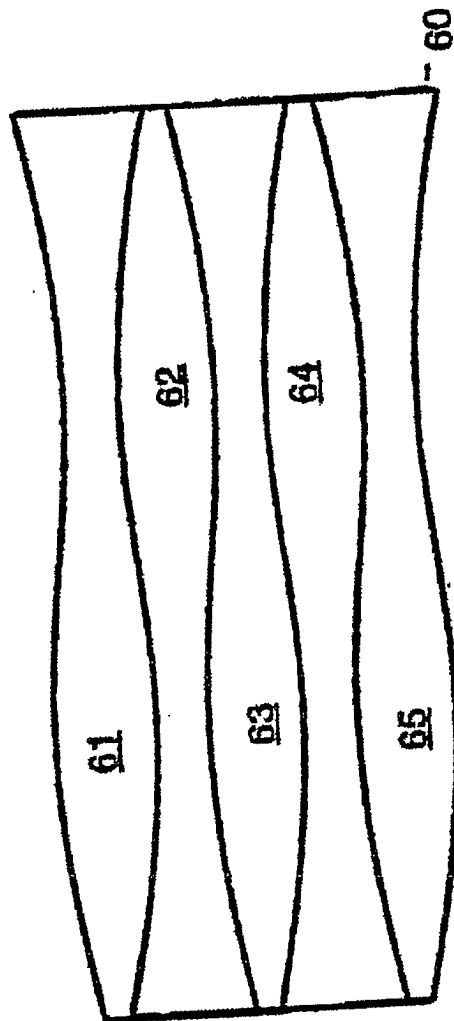
FIGUR 3  
(STAND DER TECHNIK)



**FIGUR 4**  
**(STAND DER TECHNIK)**



FIGUR 5



FIGUR 6