

(19)



Europäisches Patentamt

European Patent Office

Office européen des brevets



(11)

EP 0 838 271 B1

(12)

EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des
Hinweises auf die Patenterteilung:
07.01.2004 Patentblatt 2004/02

(51) Int Cl.7: **B06B 1/06**

(21) Anmeldenummer: **97117979.1**

(22) Anmeldetag: **16.10.1997**

(54) **Ultraschallwandler**

Ultrasound transducer

Transducteur ultrasonore

(84) Benannte Vertragsstaaten:
BE DE FR SE

(30) Priorität: **28.10.1996 DE 19644762**

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:
29.04.1998 Patentblatt 1998/18

(73) Patentinhaber: **intelligeNDT Systems & Services
GmbH & Co. KG
91058 Erlangen (DE)**

(72) Erfinder:
• **Ritter, Joachim, Dipl.Ing.
91077 Neunkirchen am Brand (DE)**

• **Rueckelt, Bernd, Dipl.Ing.
91052 Erlangen (DE)**

(74) Vertreter: **Mörtel & Höfner
Patentanwälte
Blumenstrasse 1
90402 Nürnberg (DE)**

(56) Entgegenhaltungen:
EP-A- 0 688 610 US-A- 5 422 532
US-A- 5 481 154

EP 0 838 271 B1

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).

Beschreibung

[0001] Die Erfindung bezieht sich auf einen Ultraschallwandler mit einem in einer Längsrichtung ausgedehnten piezoelektrischen Körper.

[0002] Aus Krautkrämer, Werkstoffprüfung mit Ultraschall", 5. Auflage, 1986, Springer Verlag Berlin, Seiten 207 bis 209, ist es bekannt, zum Abtasten eines großen Prüflings sogenannte Breitstrahlprüfköpfe zu verwenden, mit denen eine Prüfbahn bis zu einer Breite von 100 mm auf einmal erfaßt werden kann. In einem solchen Breitstrahlprüfkopf ist ein langer und schmaler rechteckförmiger Ultraschallwandler eingebaut. Mit zunehmender Länge des Ultraschallwandlers, d.h. mit zunehmender Breite der Prüfbahn, wird es jedoch zunehmend schwieriger, eine homogene Schallfeldverteilung zu erzielen. Lange, schmale Ultraschallwandler erzeugen nämlich eine Schallcharakteristik, bei der an den schmalseitigen Schwingenden bedingt durch Schallreflexion eine signifikante Amplitudenüberhöhung auftritt. Diese Amplitudenüberhöhung kann dabei mehrere Dezibel betragen.

[0003] Aus der EP 0 688 610 A2 ist ein Breitstrahlprüfkopf für die Ultraschallprüftechnik bekannt, der zur Unterdrückung dieser Amplitudenüberhöhung im Bereich seiner Schmalseiten mit einem Loch oder einem seitlichen Einschnitt versehen ist.

[0004] Der Erfindung liegt nun die Aufgabe zugrunde, einen Ultraschallwandler mit einem in einer Längsrichtung ausgedehnten piezoelektrischen Körper anzugeben, bei dem eine Amplitudenüberhöhung an den Schwingenden weitgehend unterdrückt ist.

[0005] Die genannte Aufgabe wird gemäß der Erfindung gelöst mit einem Ultraschallwandler mit den Merkmalen des Patentanspruches 1 oder des Patentanspruches 6.

[0006] Gemäß Patentanspruch 1 enthält ein Ultraschallwandler einen in einer Längsrichtung ausgedehnten piezoelektrischen Körper, der im Randbereich mit einer Ausnehmung versehen ist, deren Tiefe kleiner ist als die Dicke des piezoelektrischen Körpers, so dass dessen Querschnittsfläche senkrecht zu dieser Längsrichtung in einem Randbereich kleiner ist als in einem Mittenbereich. Durch diese Maßnahme ist das aktive Volumen des piezoelektrischen Körpers im Bereich der Stirnseiten verringert, so daß in einem Randbereich die Empfangsempfindlichkeit und die bei der elektrischen Anregung erzeugte, auf die gesamte Breite des piezoelektrischen Körpers bezogene mittlere Schwingungsamplitude verringert ist.

[0007] Insbesondere ist im Randbereich des piezoelektrischen Körpers eine Ausnehmung, vorzugsweise eine Nut, vorgesehen.

[0008] In einer vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung ist die Nut auf einer Flachseite des piezoelektrischen Körpers angeordnet.

[0009] In einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung ist die Ausnehmung an den Ecken des

piezoelektrischen Körpers vorgesehen.

[0010] Gemäß Patentanspruch 6 enthält ein Ultraschallwandler einen in einer Längsrichtung ausgedehnten piezoelektrischen Körper, der an seinen Flachseiten zumindest in seinem Mittenbereich jeweils mit einer zusammenhängenden elektrisch leitfähigen Schicht versehen ist, die auf wenigstens einer dieser Flachseiten den einer Stirnfläche benachbarten Randbereich der Oberfläche des piezoelektrischen Körpers nur teilweise abdeckt. Auch in diesem Fall ist im Randbereich die Empfangsempfindlichkeit und die bei der elektrischen Anregung erzeugte, auf die gesamte Breite des piezoelektrischen Körpers bezogene mittlere Schwingungsamplitude verringert.

[0011] Den in den unabhängigen Patentansprüchen wiedergegebenen Ultraschallwandlern liegt die Idee zugrunde, die im Randbereich eines in Längsrichtung ausgedehnten piezoelektrischen Schwingers auftretenden akustischen Überhöhungseffekte dadurch zu verringern, daß ein aus der Amplitude des elektrischen Feldes, das bei der elektrischen Anregung des Schwingers im Volumen des piezoelektrischen Körpers erzeugt wird, über die gesamte Querschnittsfläche gebildetes Integral im Randbereich des piezoelektrischen Körpers kleiner ist als im Mittenbereich.

[0012] Zur weiteren Erläuterung der Erfindung wird auf die Ausführungsbeispiele der Zeichnung verwiesen, in deren

Figur 1 ein Ultraschallwandler gemäß der Erfindung in einer perspektivischen Ansicht schematisch veranschaulicht ist.

Figuren 2 und 3 zeigen weitere Ausgestaltungen eines Ultraschallwandlers gemäß der Erfindung jeweils in einer Seitenansicht und in

Figuren 4 und 5 sind in einer Draufsicht weitere vorteilhafte Ausgestaltungen eines Ultraschallwandlers gemäß der Erfindung dargestellt.

Figuren 6 und 7 veranschaulichen jeweils in einer Seitenansicht weitere Ausführungsformen gemäß der Erfindung. In

Figur 8 ist die Amplitude eines mit einem Ultraschallwandler gemäß der Erfindung empfangenen Echos in Abhängigkeit einer in Längsrichtung des Ultraschallwandlers sich erstreckenden Ortskoordinate dargestellt.

[0013] Gemäß Figur 1 enthält ein Ultraschallwandler einen in einer Längsrichtung 1 ausgedehnten schmalen piezoelektrischen Körper 2, vorzugsweise ein piezokeramischer Körper, der an seinen Flachseiten mit elektrisch leitfähigen Schichten 6 und 8 versehen ist. Die Elektrode 8 überdeckt im dargestellten Ausführungsbeispiel die gesamte Flachseite des piezoelektrischen Kör-

pers 2. Im Bereich seiner senkrecht zur Längsrichtung 1 orientierten Stirnseiten 10 und 12, d.h. in seinem Randbereich, ist der piezoelektrische Körper 2 jeweils mit einer Ausnehmung versehen. Im Ausführungsbeispiel ist dies eine v-förmige Nut 14 bzw. 16, die sich in einer der beiden Flachseiten parallel zu den Stirnseiten 10 und 12 des piezoelektrischen Körpers 2 erstrecken.

[0014] Die Nuten 14 und 16 können beispielsweise durch Sägen hergestellt werden. Aus fertigungstechnischen Gründen ist es vorteilhaft, die Nuten 14 und 16 in den piezoelektrischen Körper 2 einzubringen, nachdem dieser mit der leitfähigen Schicht 6 versehen ist, so daß die leitfähigen Schicht 6 in drei räumlich und elektrisch voneinander getrennte Bereiche 6a, 6b und 6c aufgeteilt ist.

[0015] Die Tiefe t der Nuten 14 und 16 beträgt vorzugsweise wenigstens 50% der Dicke h des piezoelektrischen Körpers 2. Sie sind vorzugsweise in einem Abstand d von der Schwingerkante angeordnet, der wenigstens 0,1mm, insbesondere wenigstens 0,5mm beträgt. In einem konkreten Ausführungsbeispiel hat der piezoelektrische Körper 2 eine Länge $l = 20\text{mm}$, eine Höhe $h = 1\text{mm}$ und Breite $b = 3\text{mm}$. Die Nuten 4 befinden sich in einem Abstand $d = 1\text{mm}$ von der Schingerkante und haben eine Breite von $e = 0,1\text{mm}$ und eine Tiefe von $t = 0,6\text{mm}$.

[0016] In der Figur ist zu erkennen, daß eine gestrichelt gezeichnete Querschnittsfläche A_R senkrecht zur Längsrichtung 1 im Bereich der Nut 14 kleiner ist als eine ebenfalls gestrichelt gezeichnete Querschnittsfläche A_M im Mittenbereich. Dadurch ist im Randbereich das aktiv schwingende Volumen des piezoelektrischen Körpers 2 kleiner als im Mittenbereich. Dieser Effekt wird dadurch verstärkt, daß nur die innere leitfähige Schicht 6b und die leitfähige Schicht 8 als Elektroden angesteuert werden, so daß bei der elektrischen Anregung des piezoelektrischen Körpers 2 die Amplitude des elektrischen Feldes und damit auch die Schwingungsamplitude im Randbereich niedriger ist als im Mittenbereich.

[0017] In Figur 2 ist in einer Seitenansicht eine weitere Ausführungsform dargestellt, in der eine Nut 18 in der einen und eine weitere Nut 20 in der gegenüberliegenden Flachseite eines piezoelektrischen Körpers 22 angeordnet sind. Die Herstellung der Nuten 20, 18 erfolgt vorzugsweise, nachdem die Flachseiten mit elektrisch leitfähigen Schichten 24 und 26 beschichtet sind. Durch die Nuten 18 und 20 werden diese Schichten 24 und 26 jeweils in zwei elektrisch voneinander getrennte Bereiche 24a und 24b bzw. 26a und 26b aufgeteilt, von denen sich jeweils die leitfähigen Schichten 24a und 26a ausgehend von einer innenliegenden Kante der Nut 20 bzw. 18 bis zum Rand des piezoelektrischen Körpers 22 erstrecken.

[0018] Gemäß Figur 3 ist ein piezoelektrischer Körper 28 vorgesehen, der auf einer Flachseite in seinem Randbereich jeweils mit einer Nut 30 und 32 mit rechteckförmigem Querschnitt versehen ist. Auch in diesem Ausführungsbeispiel werden auf einer Flachseite drei

elektrisch und räumlich voneinander getrennte elektrisch leitfähige Schichten 6a, 6b und 6c gebildet.

[0019] In Ausführungsbeispiel gemäß Figur 4 ist ein piezoelektrischer Körper 34 in seinen stirnseitigen Randbereichen jeweils mit einer Ausnehmung 36 versehen, die ausgehend von einem gestrichelt eingezeichneten Grundkörper mit rechteckigen Flachseiten beispielsweise durch Absägen der Ecken hergestellt ist, so daß der piezoelektrische Körper 34 eine sechseckige, wabenähnliche Form erhält.

[0020] Im Ausführungsbeispiel gemäß Figur 5 ist ein ovaler piezoelektrischer Körper 38 dargestellt, bei dem Ausnehmungen 40 im Randbereich vorgesehen, die abgerundet sind. Solche abgerundeten Ausnehmungen 40 können durch Abätzen der Ecken eines ebenfalls gestrichelt eingezeichneten Grundkörpers mit rechteckigem Querschnitt hergestellt werden.

[0021] In Anlehnung an die Ausführungsbeispiele gemäß Figuren 4 und 5 sind im Ausführungsbeispiel gemäß Figur 6 die Ecken eines piezoelektrischen Körpers 42 nicht vollständig sondern nur ausgehend von einer Flachseite bis zu einer Tiefe t abgetragen, so daß die entstehenden dreieckförmigen oder abgerundeten Ausnehmungen 44 einen Absatz bilden.

[0022] In einer vereinfachten Ausführungsform erfolgt der Abtrag bei bereits mit einer elektrisch leitfähigen Schicht 45 beschichteten piezoelektrischen Körper 42 nur bis zu seiner Oberfläche, d. h. bis zu einer der Schichtdicke D dieser Schicht 45, so daß in diesem Bereich die Ausnehmung 44 lediglich durch einen vollständigen Abtrag der elektrisch leitfähigen Schicht 45 gebildet ist. Somit ist nur ein Teilbereich des den Stirnflächen 102 und 122 benachbarten Randbereiches des piezoelektrischen Körpers 42 von der elektrisch leitfähigen Schicht 45 abgedeckt. An den Ecken des piezoelektrischen Körpers 42 wird auf diese Weise eine Zone gebildet, die nicht von einer daraufliegenden elektrisch leitfähigen Schicht abgedeckt ist. Auf diese Weise wird auch dann, wenn kein Material des piezoelektrischen Körpers 42 abgetragen ist, beim Anlegen einer elektrischen Spannung an die elektrisch leitfähigen Schichten die elektrische Feldstärke im Randbereich des piezoelektrischen Körpers 42 und damit die erzeugte mechanische Schwingungsamplitude gegenüber seinem Mittenbereich reduziert.

[0023] In der weiter vereinfachten Ausführungsform gemäß Figur 7 ist eine elektrisch leitfähige Schicht 48 auf einer Flachseite eines piezoelektrischen Körpers 46 jeweils im Randbereich mit einer Nut 50 versehen, die sich nur bis zur Oberfläche des piezoelektrischen Körpers 46 erstreckt und die elektrisch leitfähige Schicht 48 in drei elektrisch und räumlich voneinander getrennte Bereiche 48a, 48b und 48c aufteilt. Die mittlere elektrisch leitfähige Schicht 48b erstreckt sich analog zum Ausführungsbeispiel gemäß Figur 1 nicht bis zu den Stirnseiten 52, 54 und deckt somit nicht die gesamte Flachseite des piezoelektrischen Körpers 46 ab. Das unmittelbar unter den elektrischen Schichten 48a und

48c befindliche Volumen des piezoelektrischen Körpers 46 ist somit sowohl im Empfangs- als auch im Sendefall nicht oder zumindest nicht unmittelbar aktiv am Zustandekommen des Empfangssignals oder der gesendeten Ultraschallwelle beteiligt.

[0024] In Figur 8 ist der Kurvenverlauf a der Empfindlichkeit eines Ultraschallwandlers gemäß dem anhand von Figur 1 näher erläuterten Ausführungsbeispiel gegen eine sich in seine Längsrichtung erstreckende Ortskoordinate x aufgetragen. Dieser Kurvenverlauf a wird gemessen, wenn der Ultraschallwandler sukzessive über einen ortsfest in einem Prüfling befindlichen, echoerzeugenden Störer hinweg bewegt wird. Wenn der Ultraschallwandler mit seiner Kante an der Schmalseite den Fehler erreicht beginnt die Höhe des Echoimpulses steil anzusteigen, erreicht dann ein Plateau und fällt bei im Bereich der gegenüberliegenden Schwingerkante steil ab. In der Figur ist zum Vergleich außerdem ein Kurvenverlauf b eingetragen, der sich mit einem aus dem Stand der Technik bekannten Ultraschallwandler gleicher Abmessungen ergibt. Es ist zu erkennen, daß dort eine gestrichelt eingetragene Überhöhung b auftritt, die bei dem Ultraschallwandler gemäß der Erfindung nahezu vollständig eliminiert ist.

Patentansprüche

1. Ultraschallwandler mit einem in einer Längsrichtung (1) ausgedehnten piezoelektrischen Körper (2; 22; 28; 42), der im Randbereich mit einer Ausnehmung (14, 16; 18, 20; 30, 32; 44) versehen ist, deren Tiefe (t) kleiner ist als die Dicke (h) des piezoelektrischen Körpers (2), so dass dessen Querschnittsfläche (A_R , A_M) senkrecht zu dieser Längsrichtung (1) in einem Randbereich des Körpers kleiner ist als in einem Mittenbereich.
2. Ultraschallwandler nach Anspruch 1, bei dem als Ausnehmung eine Nut (14, 16; 18, 20; 30, 32) vorgesehen ist.
3. Ultraschallwandler nach Anspruch 2, bei dem die Nut (14, 16; 30, 32) auf einer Flachseite des piezoelektrischen Körpers (2; 28) angeordnet ist.
4. Ultraschallwandler nach Anspruch 1, bei dem die Ausnehmung (36; 40; 44) an den Ecken des piezoelektrischen Körpers (34; 38; 42) vorgesehen ist.
5. Ultraschallwandler mit einem in einer Längsrichtung (1) ausgedehnten piezoelektrischen Körper (2; 22; 28; 42; 46), der an seinen Flachseiten zumindest in seinem Mittenbereich jeweils mit einer zusammenhängenden elektrisch leitfähigen Schicht (6b; 24a, 24b; 45; 48b) versehen ist, die auf wenigstens einer dieser Flachseiten den einer Stirnfläche (10; 12; 102; 122) benachbarten Randbereich der

Oberfläche des piezoelektrischen Körpers (2; 22; 28; 42; 46) nur teilweise abdeckt.

5 Claims

1. Ultrasonic transducer having a piezoelectric body (2; 22; 28; 42) which is extended in a longitudinal direction (1) and, in the edge region, is provided with a recess (14, 16; 18, 20; 30, 32; 44) whose depth (t) is less than the thickness (h) of the piezoelectric body (2), so that the cross-sectional area (A_R , A_M) thereof perpendicular to the said longitudinal direction (1) is smaller in an edge region of the body than in a central region.
2. Ultrasonic transducer according to Claim 1, in which a groove (14, 16; 18, 20; 30, 32) is provided as the recess.
3. Ultrasonic transducer according to Claim 2, in which the groove (14, 16; 30, 32) is arranged on a flat side of the piezoelectric body (2; 28).
4. Ultrasonic transducer according to Claim 1, in which the recess (36; 40; 44) is provided at the corners of the piezoelectric body (34; 38; 42).
5. Ultrasonic transducer having a piezoelectric body (2; 22; 28; 42; 46) which is extended in a longitudinal direction (1) and, at its flat sides, at least in its central region, is provided in each case with a contiguous electrically conductive layer (6b; 24a, 24b; 45; 48b) which, on at least one of the said flat sides, only partially covers the edge region - adjacent to an end face (10; 12; 102; 122) - of the surface of the piezoelectric body (2; 22; 28; 42; 46).

40 Revendications

1. Transducteur ultrasonore comprenant un corps (2, 22, 28, 42) piézoélectrique s'étendant dans une direction (1) longitudinale et muni dans la partie du bord d'un évidement (14, 16, 18, 20, 30, 32, 44) dont la profondeur (t) est plus petite que l'épaisseur (h) du corps (2) piézoélectrique de sorte que sa surface (A_R , A_M) de section transversale perpendiculairement à cette direction (1) longitudinale est plus petite dans une partie du bord du corps que dans une partie du milieu.
2. Transducteur ultrasonore suivant la revendication 1, dans lequel il est prévu comme évidement une rainure (14, 16, 18, 20, 30, 32).
3. Transducteur ultrasonore suivant la revendication 2, dans lequel la rainure (14, 16, 30, 32) est dispo-

sée sur une face plate du corps (2, 28) piézoélectrique.

4. Transducteur ultrasonore suivant la revendication 1, dans lequel l'évidemment (36, 40, 44) est prévu aux coins du corps (34, 38, 42) piézoélectrique. 5
5. Transducteur ultrasonore ayant un corps (2, 22, 28, 42, 46) piézoélectrique s'étendant dans une direction (1) longitudinale et muni sur ses faces plates au moins dans sa partie du milieu respectivement d'une couche (6b, 24a, 24b, 45, 48b) conductrice de l'électricité d'un seul tenant qui, au moins sur l'une de ses faces plates, ne recouvre que partiellement la partie du bord, voisine d'une surface (10, 12, 102, 122) frontale, de la surface du corps (2, 22, 28, 42, 46) piézoélectrique. 10 15

20

25

30

35

40

45

50

55

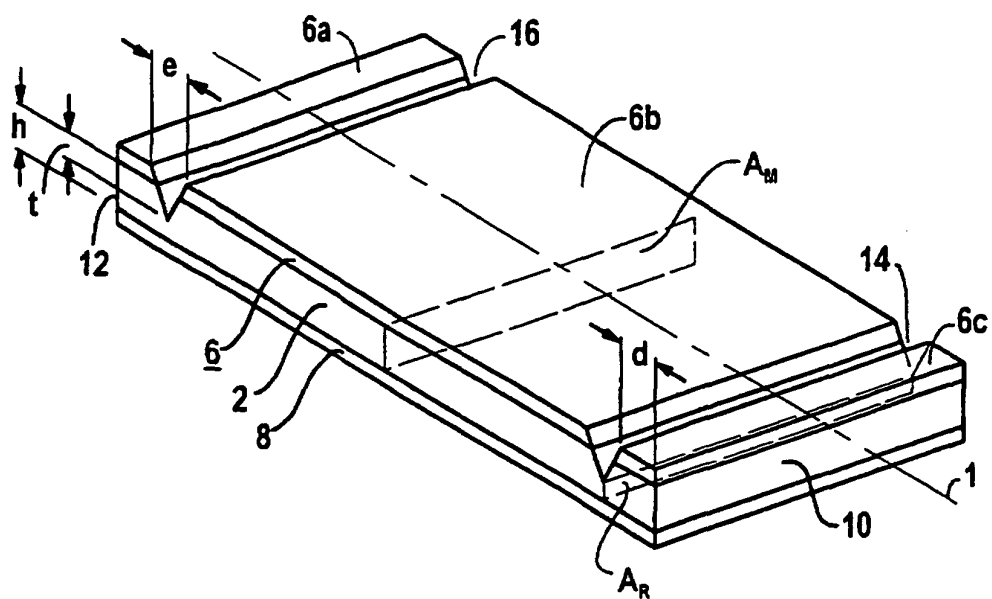


FIG 1

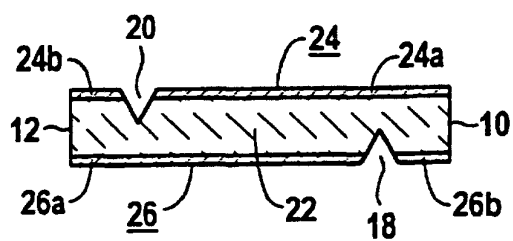


FIG 2

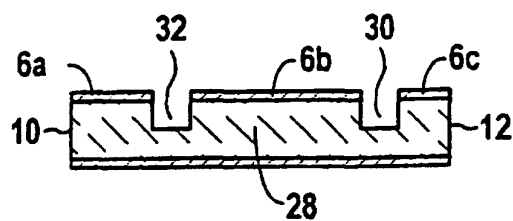


FIG 3

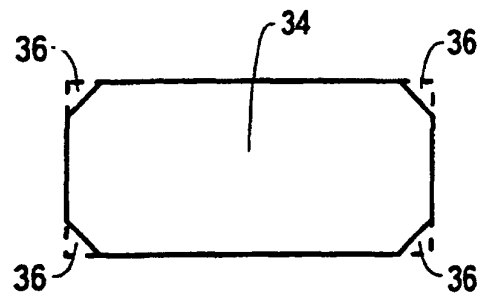


FIG 4

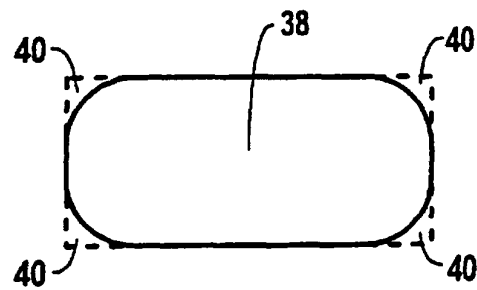


FIG 5

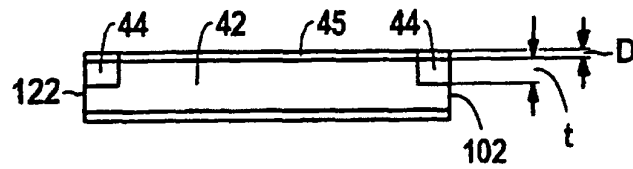


FIG 6

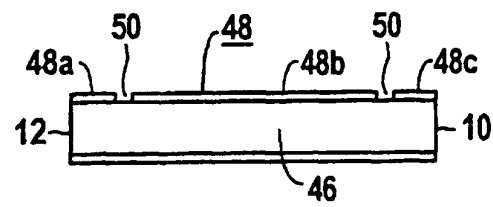


FIG 7

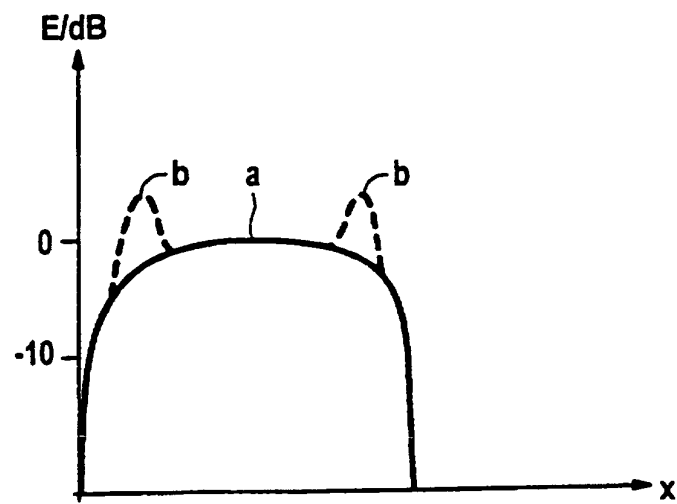


FIG 8