



(19)  
**Bundesrepublik Deutschland**  
**Deutsches Patent- und Markenamt**

(10) **DE 101 19 442 B4 2009.01.08**

(12)

## Patentschrift

(21) Aktenzeichen: **101 19 442.0**  
 (22) Anmeldetag: **20.04.2001**  
 (43) Offenlegungstag: **29.11.2001**  
 (45) Veröffentlichungstag  
 der Patenterteilung: **08.01.2009**

(51) Int Cl.<sup>8</sup>: **H03H 3/02 (2006.01)**  
**H03H 3/08 (2006.01)**  
**H03H 9/25 (2006.01)**  
**H03H 9/64 (2006.01)**  
**H03H 9/145 (2006.01)**

Innerhalb von drei Monaten nach Veröffentlichung der Patenterteilung kann nach § 59 Patentgesetz gegen das Patent Einspruch erhoben werden. Der Einspruch ist schriftlich zu erklären und zu begründen. Innerhalb der Einspruchsfrist ist eine Einspruchsgebühr in Höhe von 200 Euro zu entrichten (§ 6 Patentkostengesetz in Verbindung mit der Anlage zu § 2 Abs. 1 Patentkostengesetz).

(30) Unionspriorität:  
**09/566,868      08.05.2000      US**

(73) Patentinhaber:  
**Avago Technologies Wireless IP (Singapore) Pte.  
 Ltd., Singapore, SG**

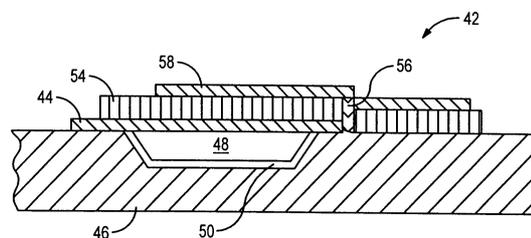
(74) Vertreter:  
**Dilg Haeusler Schindelmann  
 Patentanwaltsgesellschaft mbH, 80636 München**

(72) Erfinder:  
**Ruby, Richard C., Menlo Park, Calif., US**

(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht  
 gezogene Druckschriften:  
**US 55 87 620 A**  
**EP 09 73 256 A1**  
**EP 09 63 040 A2**  
**LARSON, J.D., u.a.: A BAW Antenna Duplexer for  
 the  
 1990 MHz PCS Band. In: IEEE Ultrasonics  
 Symposium  
 . 1999, Vol.2, S.887-890;**

(54) Bezeichnung: **Hohlraumüberspannende Bodenelektrode eines akustischen Volumenwellenresonators**

(57) Hauptanspruch: Verfahren zum Herstellen eines akustischen Resonators (42; 62; 92) auf einem Substrat (46; 78), wobei das Substrat (46; 78) einen Hohlraum (48; 76) aufweist, der in einer Oberfläche des Substrats (46; 78) gebildet ist, wobei das Verfahren folgende Schritte umfaßt:  
 Bilden einer Bodenelektrode (44; 64) über dem Hohlraum (48; 76) in dem Substrat (46; 78), derart, daß sich die Kanten der Bodenelektrode (44; 64) über jede Kante des Hohlraums (48; 78) erstrecken, um mit dem Substrat (46; 78) in Kontakt zu sein;  
 Bilden eines piezoelektrischen Materials (54, 94) auf der Bodenelektrode (44; 64) und auf dem Substrat (48; 78), derart, daß sich zumindest eine piezoelektrische Kante (56) des piezoelektrischen Materials (54, 94) über eine entsprechende Kante der Bodenelektrode (44; 64) hinaus erstreckt, so daß sich die zumindest eine piezoelektrische Kante (56) auf dem Substrat (48; 78) befindet; und  
 Bilden einer oberen Elektrode (58, 96; 74) auf dem...



**Beschreibung**

**[0001]** Die Erfindung bezieht sich allgemein auf akustische Resonatoren und insbesondere auf Lösungsansätze zum Tragen eines akustischen Resonators auf einem Substrat.

**[0002]** Akustische Resonatoren, die aus dünnen Filmen gebildet sind, können in einer Anzahl von Anwendungen, die eine genau gesteuerte Frequenz erfordern, verwendet werden. Ein akustischer Dünnschichtvolumenresonator (FBAR = Thin Film Bulk Acoustic Resonator) oder ein gestapelter akustischer Dünnschichtvolumenresonator (SBAR = Stacked Thin Film Bulk Acoustic Resonator) kann als ein Filter in einem Zellulartelefon oder anderen Gerät verwendet werden, bei dem Größe, Kosten, und Frequenzstabilität wichtige Faktoren sind.

**[0003]** Ein FBAR umfaßt einen dünnen Film aus piezoelektrischem Material zwischen zwei leitfähigen Elektroden, während ein SBAR zusätzliche Schichten aus piezoelektrischem Material umfaßt, wobei jede dieser Schichten zwei Elektroden voneinander trennt. Die aktiven Schichten eines FBAR oder SBAR hängen durch Tragen der Schichten um den Umfang in der Luft. Die Luft/Resonatorgrenzflächen an beiden Seiten des Schichtstapels fangen die Energie ein, die während dem Betrieb erzeugt wird.

**[0004]** Wenn ein zeitvariables elektrisches Feld durch Anlegen eines Signals über zwei Elektroden, die durch eine piezoelektrische Schicht getrennt sind, erzeugt wird, wandelt das piezoelektrische Material einen Teil der elektrischen Energie in mechanische Energie in der Form von Schallwellen um. Die Schallwellen breiten sich in die gleiche Richtung aus wie das elektrische Feld und werden an den Luft/Resonatorgrenzflächen reflektiert. Bei einem ordnungsgemäß hergestellten FBAR oder SBAR haben die Schallwellen eine bestimmte mechanische Resonanz.

**[0005]** Ein FBAR oder SBAR kann als ein Filter verwendet werden, da dieser als ein elektronischer Resonator wirkt, wenn demselben ermöglicht wird, mit seiner mechanischen Resonanzfrequenz zu arbeiten. Bei dieser mechanischen Resonanzfrequenz ist die halbe Wellenlänge der Schallwellen, die sich durch den Resonator ausbreiten, ungefähr gleich der Gesamt-Dicke des Resonators für eine gegebene Phasengeschwindigkeit des Schalls in dem piezoelektrischen Material. Da die Schallgeschwindigkeit um viele Größenordnungen kleiner ist als die Lichtgeschwindigkeit, kann der resultierende Resonator kompakt sein. Ein Resonator für Anwendungen, bei denen eine Frequenz im Gigahertzbereich gewünscht ist, kann mit physikalischen Abmessungen mit einem Durchmesser von weniger als 100 Mikrometer und mit einer Dicke von einigen Mikrometern

hergestellt werden.

**[0006]** Ein FBAR wird herkömmlicherweise auf der Oberfläche eines Substrats durch Aufbringen der Bodenelektrode, des piezoelektrischen Films, und dann der oberen Elektrode hergestellt. Daher gibt es eine obere Luft/Resonatorgrenzfläche, und nur die untere Grenzfläche erfordert einige Entwurfsauswahlen. Es gibt mehrere bekannte Lösungsansätze zum Erhalten der gewünschten Charakteristika an der unteren Grenzfläche.

**[0007]** Der erste Lösungsansatz umfaßt das Wegätzen des Substratmaterials von der Rückseite des Substrats her. Falls das Substrat Silizium ist, wird das Silizium unter Verwendung eines KOH-Ätzens von der Rückseite weggeätzt, das ein starkes basisches Ätzen ist. Dieser Lösungsansatz ist im U.S.-Patent Nr. 5,587,620 an Ruby et al. detailliert beschrieben. Unter Bezugnahme auf [Fig. 1](#) kann eine Schicht **10** aus  $\text{Si}_3\text{N}_4$  auf eine obere Oberfläche eines Siliziumsubstrats **12** aufgebracht werden. Die Rückseite des Substrats **12** wird dann unter Verwendung des KOH geätzt. Vorzugsweise werden während des Ätzschritts ungefähr 80% des Siliziumsubstrats entfernt, wobei ein Rest **14** zurückbleibt, der strukturelle Stabilität schafft. Die Metallisierung der Bodenelektrode **16** wird dann auf der  $\text{Si}_3\text{N}_4$ -Schicht **10** gebildet. Danach kann Aluminiumnitrid (AlN) als piezoelektrische Schicht **18** aufgebracht werden. Eine zweite Elektrode **20** wird nachfolgend auf der Oberfläche der piezoelektrischen Schicht **18** gebildet. Wie in [Fig. 2](#) gezeigt, werden, falls ein SBAR und nicht ein FBAR hergestellt werden soll, eine zweite piezoelektrische Schicht **22** und eine dritte Elektrode **24** ebenfalls gebildet.

**[0008]** Nach Abschluß der Herstellung der dritten Elektrode **24** wird der Rest **14** des Silizium innerhalb des vorher geätzten Hohlraums durch einen langsamen Ätzprozeß, der leichter gesteuert werden kann als das KOH-Ätzen, entfernt. Beispielsweise kann eine Tetramethylammoniumhydroxid-(TMAH)-Ätzlösung verwendet werden, da es weniger wahrscheinlich ist, dass diese das AlN der piezoelektrischen Schichten **18** und **22** angreift. Das Ergebnis ist, daß ein SBAR **26** von [Fig. 2](#) gebildet ist.

**[0009]** Ein Problem bei diesem ersten Lösungsansatz ist, daß er zu einem relativ niedrigen Herstellungsausbeute führt. Die Hohlräume, die in dem Wafer **12** gebildet werden, machen den Wafer sehr empfindlich und hoch anfällig für Zerbrechen. Ferner bildet das Naßätzen unter Verwendung von KOH Seitenwände mit einer Neigung von  $54,7^\circ$ . Dies beschränkt die größtmögliche Dichte zum Herstellen der akustischen Resonatoren auf einem Wafer mit gegebener Größe. Beispielsweise erfordern Bauteile mit Seitenabmessungen von ungefähr  $150 \mu\text{m} \times 150 \mu\text{m}$ , die auf einem  $530 \mu\text{m}$  dicken Standard-Silizium-

wafer gebildet sind, ein Rückseitenätzloch, das ungefähr  $450\ \mu\text{m} \times 450\ \mu\text{m}$  groß ist. Folglich können nur ungefähr 11% des Wafers produktiv genutzt werden.

**[0010]** Ein zweiter Lösungsansatz zum Bilden der Luft/Resonatorgrenzflächen besteht darin, eine Luftbrückentyp-FBAR/SBAR-Gerät zu schaffen. Typischerweise wird eine Opferschicht aufgebracht und der akustische Resonatorschichtstapel wird dann auf der Opferschicht hergestellt. Am oder gegen Ende des Prozesses wird die Opferschicht entfernt. Da die gesamte Verarbeitung auf der Vorderseite durchgeführt wird, leidet dieser Lösungsansatz nicht unter zweiseitiger Ausrichtung und großflächigen Rückseitenhohlräumen. Dieser Lösungsansatz hat jedoch andere inhärente Schwierigkeiten. Zunächst ist es schwierig, das Verfahren bei größeren Bauteilen auszuführen. Typischerweise ist die Opferschicht thermisch gewachsenes Siliziumdioxid, das nachfolgend unter Verwendung von Fluorwasserstoff (hydrofluoric = HF-) Gas entfernt wird, das eine Ätzrate in der Größenordnung von 1000 bis 3000 Angström/Minute aufweist. Um unter Bauteilbereichen zu ätzen, die sich in der Größenordnung von  $150\ \mu\text{m} \times 150\ \mu\text{m}$  oder größer befinden, ist eine Ätzzeit von mehr als 500 Minuten erforderlich. Zusätzlich dazu, daß sie übermäßig lang ist, führt das Aussetzen der Metallelektroden gegenüber dem Ätzmittel für Zeitdauern von mehr als 30 Minuten zur Delaminierung der Metallelektroden von dem piezoelektrischen Material.

**[0011]** Ein dritter Lösungsansatz wird manchmal als der „fest befestigte Resonator“ (SMR = solidly mounted resonator) bezeichnet, da sich am Boden des Bauteils keine Luftzwischenräume befinden. Am Boden des Bauteils wird durch Verwenden eines akustischen Braggreflektors eine große akustische Impedanz erzeugt. Der Braggreflektor besteht aus Schichten von Materialien mit abwechselnd hoher und niedriger akustischer Impedanz. Jede Dicke ist festgelegt, um bei einer Viertelwellenlänge der Resonanzfrequenz zu liegen. Mit ausreichend Schichten ist die wirksame Impedanz der piezoelektrisch/Elektroden-grenzfläche viel höher als die akustische Impedanz des Bauteils, und fängt dadurch die Schallwellen wirksam innerhalb der piezoelektrischen Schicht ein. Während dieser Lösungsansatz einige der Probleme, die hinsichtlich des Erzeugens einer freistehenden bzw. freischwebenden Membran erörtert wurden, vermeidet, weist er Schwierigkeiten auf. Die Auswahl der Materialien, die im Braggreflektor verwendet werden, ist beschränkt, da Metallschichten parasitäre Kondensatoren bilden würden, die die elektrische Leistungsfähigkeit des Bauteils verringern würden. Darüber hinaus ist der Grad des Unterschieds bei der akustischen Impedanz von Schichten, die aus den erhältlichen dielektrischen Materialien hergestellt sind, nicht groß, so daß mehr Schichten benötigt werden. Dies kompliziert den Herstellungsprozeß, da die Spannung auf jeder Schicht gut gesteuert werden

muß. Nach vielen Schichten trägt das Bauteil nicht zur Integration mit anderen aktiven Elementen bei, da es schwierig ist, Durchkontaktierungen durch eine große Anzahl von Löchern zu machen. Ferner wird von Bauteilen dieses Typs berichtet, daß dieselben wesentlich niedrigere wirksame Kopplungskoeffizienten aufweisen als Bauteile mit Luftbrücken.

**[0012]** Akustische Resonatoren können alleine oder in Kombination verwendet werden. Beispielsweise wird ein Bandpaßfilter durch elektrisches Verbinden mehrerer Resonatoren zum Liefern eines gewünschten Filteransprechcharakteristika gebildet. Mehrere Filtertopologien sind möglich. Eine bevorzugte Topologie ist die Halbleitertopologie, bei der eine Gruppe von Resonatoren in Reihe geschaltet sind (Reihenresonatoren), und zwischen den Reihenresonatoren befinden sich Nebenschlußresonatoren, die geerdet sind. Die Reihenresonatoren sind derart hergestellt, daß ihre Resonanzfrequenz ungefähr 2% bis 3% höher ist als die der Nebenschlußresonatoren. Da die Dicke der piezoelektrischen Schichten für die Reihen- und die Nebenschlußresonatoren gleich sein kann, wird die piezoelektrische Aufbringung oft unter Resonatoren „gemeinschaftlich verwendet“. In der Tat ist es für einen Entwickler verlockend, die piezoelektrische Schicht als eine Membran zu verwenden, die die Hauptträgerstruktur liefert, welche die oben beschriebenen, KOH-geätzten Rückseitenhohlräume überspannt. Dieses „gemeinschaftliche Verwenden“ der piezoelektrischen Schicht trägt dazu bei, den Verlust von vereinnahmten Platinenplatz zu mildern, der durch den  $54,7^\circ$  Ätzwinkel entsteht.

**[0013]** Ungeachtet des Lösungsansatzes zum Bilden der Luft/Resonatorgrenzfläche ist die herkömmliche Denkweise, daß sich die obere Elektrode und die Bodenelektrode auf den gegenüberliegenden Seiten von nur freistehenden Bereichen der piezoelektrischen Schicht befinden sollten. Dies begrenzt den Bereich, in dem akustische Energie erzeugt wird, auf freistehende Regionen, so daß es weniger wahrscheinlich ist, daß akustische Energie in das darunter liegende Substrat verloren geht. Es ist außerdem eine herkömmliche Denkweise, daß als Folge des Ziels des Erreichens von Komponentenminimierung das Schaffen separater Resonatoren mit separaten Hohlräumen nicht wünschenswert wäre.

**[0014]** Was benötigt wird, ist ein Verfahren zur Herstellung eines akustischen Resonators mit einem freistehenden Abschnitt, der in der Lage ist, einem weiten Bereich von Spannungen zu widerstehen, und zwar sowohl Druckspannungen als auch Zugspannungen, und der einen relativ hohen Gütefaktor (Q) zeigt.

**[0015]** Die EP 0 973 256 A1 beschreibt ein BAW-Bauelement, das ein piezoelektrisches Dünnschichtelement aufweist. Das BAW-Bauelement umfasst

ein Substrat, eine Bodenelektrode, die auf einer Oberfläche des Substrats gebildet ist, einen piezoelektrischen Film, der auf der Bodenelektrode angeordnet ist und eine erste obere Elektrode, die auf dem piezoelektrischen Film vorgesehen ist. In dem Substrat ist eine Ausnehmung gebildet, wobei die Bodenelektrode die Ausnehmung vollständig überdeckt. Das piezoelektrische Material ist lediglich auf der Bodenelektrode angeordnet, und die obere Elektrode ist auf dem piezoelektrischen Bereich gegenüberliegend zu der Ausnehmung angeordnet.

**[0016]** Larson, J. D. u. a. beschreibt in „A BAW Antenna Duplexer for the 1900 MHz PCS Band“, in IEEE ULTRASONICS SYMPOSIUM 1999, Vol. 2, Seiten 887–890 einen BAW-Antennenduplexer, der ein FBAR-Resonatorfilter mit einer Leiter-Struktur verwendet.

**[0017]** Es ist die Aufgabe der vorliegenden Erfindung, einen akustischen Resonator und ein Verfahren zum Herstellen desselben zu schaffen, so daß bei gleichem Gütefaktor einem größeren Bereich von Spannungen gehalten werden kann.

**[0018]** Diese Aufgabe wird durch ein Verfahren gemäß Anspruch 1 sowie einen akustischen Resonator gemäß Anspruch 9 gelöst.

**[0019]** Gemäß einem Aspekt schafft die vorliegende Erfindung ein Filter mit den erfindungsgemäßen Resonatoren.

**[0020]** Ein Filter wird unter Verwendung von festen akustischen Resonatoren mit hohem Gütefaktor gebildet, wobei jeder Resonator seinen eigenen Hohlraum aufweist und eine Bodenelektrode umfaßt, die sich im wesentlichen über die Gesamtheit eines offenen Bereichs erstreckt, der innerhalb eines Träger-substrats gebildet ist. Die Bodenelektrode ist in Kontakt mit allen Seiten des offenen Bereichs, so daß sie eine nichtgetragene innere Region innerhalb getragener Umfangsregionen umfaßt. Die Bodenelektrode ist eine Schicht eines Schichtstapels, der mindestens eine piezoelektrische Schicht und mindestens eine andere Elektrodenschicht umfaßt. Dies führt zu einer wesentlichen Verbesserung gegenüber akustischen Resonatoren, bei denen die Bodenelektrode mindestens eine Kante aufweist, die sich innerhalb des nichtgetragenen Bereichs des Schichtstapels befindet.

**[0021]** Bei einem Ausführungsbeispiel der Erfindung ist der offene Bereich innerhalb des Substrats durch Ätzen eines Hohlraums von der Oberfläche, auf der der akustische Resonatorschichtstapel aufgebracht werden soll, gebildet. Der Hohlraum erstreckt sich nur teilweise durch das Substrat, daß ein Siliziumwafer sein kann. Der Hohlraum wird dann mit einem Opfermaterial gefüllt, das nachfolgend entfernt

wird.

**[0022]** Die Bodenelektrode wird vorzugsweise direkt auf dem Opfermaterial gebildet, es kann aber auch eine Zwischenschicht eingeschlossen sein. Die Bodenelektrode erstreckt sich an allen Seiten des Hohlraums über das Opfermaterial hinaus. Falls der Hohlraum durch einen anisotropen Ätzschritt gebildet wird, weist der Hohlraum wahrscheinlich mindestens drei Seiten auf. Daher wird die Bodenelektrode eine getragene innere Region und drei oder mehr substratgetragene Umfangsregionen aufweisen.

**[0023]** Die piezoelektrische Schicht wird auf der Bodenelektrode gebildet. Vorzugsweise erstreckt sich die piezoelektrische Schicht über alle Kanten der Bodenelektrode hinaus. Das piezoelektrische Material (z. B. AlN) ist ein Stengelmateriale, das ohne weiteres an den Kanten der Bodenelektrode eine Abwärtsstufe bildet. Dieses Charakteristikum des piezoelektrischen Materials bewirkt eine Verringerung der Leistungsfähigkeit, wenn eine Kante der Bodenelektrode wie bei dem herkömmlichen Lösungsansatz innerhalb der Hohlraumregion endet. Bei der Verwendung dieses herkömmlichen Lösungsansatzes mit einer nichtgetragenen Abwärtsstufe wird die verzerrte und schlecht gebildete piezoelektrische Stengelmembran an der nichtgetragenen Stufenkante die elektrische Leistungsfähigkeit nachteilig beeinflussen. Ferner erzeugt die Abwärtsstufe eine mechanische Schwäche bei der strukturellen Membran, was möglicherweise zu Rissen führt. Durch Versehen der Überlappung der Bodenelektrode auf allen Seiten des Hohlraums wird dagegen der Gütefaktor (Q) erhöht.

**[0024]** Vorzugsweise umfaßt die obere Elektrode Seiten, die sich innerhalb des durch den Hohlraum definierten Bereichs befinden. Beispielsweise können drei Seiten der oberen Elektrode innerhalb des „Rahmens“ des Hohlraumes liegen, so daß nur eine Kante die Kante des Hohlraums überlappt und sich auf dem Abschnitt des Siliziums befindet, das sich in Kontakt mit dem Schichtstapel befindet. Dies reduziert die Wirkungen jeglicher parasitären FBAR oder SBAR, die an den Stufenkanten der Bodenelektroden gebildet sind.

**[0025]** Nachdem der Schichtstapel aufgebracht wurde, wird das Opfermaterial aus dem Hohlraum entfernt. Freilaßlöcher zum Entfernen des Materials können innerhalb des Schichtstapels gebildet werden. Das bevorzugte Ausführungsbeispiel beschränkt die Freilaßlöcher jedoch auf den Umfang des Hohlraums. Es wurde herausgefunden, daß dies den Gütefaktor des akustischen Resonators verbessert, da es weniger innere Diskontinuitäten gibt, die eine Umwandlung oder einen Verlust von Energie des lateralen Modus verursachen.

**[0026]** Bei einem Ausführungsbeispiel umfaßt die

Bodenelektrode eine schlangelinienförmige Kante, die einen Abschnitt von einer Seite des Hohlraums frei von Überlappung durch die Bodenelektrode läßt, so daß eine obere Elektrode diesen Abschnitt überlappen kann. Daher können die obere Elektrode und die Bodenelektrode die gleiche Seite überlappen, ohne daß die piezoelektrische Schicht außerhalb der nichtgetragenen inneren Region dazwischen angeordnet ist.

**[0027]** Ein Vorteil der Erfindung liegt darin, daß durch Platzieren der Stufenkante der Bodenelektrode und des piezoelektrischen Materials weg von dem Hohlraum der freistehende Abschnitt des akustischen Resonators viel stärker wird und in der Lage ist, einem größeren Bereich von Spannungen, sowohl Druckspannungen als auch Zugspannungen, zu widerstehen. Ein weiterer Vorteil liegt darin, daß das Bewegen der Stufenkante der Bodenelektrode weg von dem Hohlraum den Gütefaktor erhöht. Beim herkömmlichen Lösungsansatz des Platzierens der Kante der Bodenelektrode innerhalb des Hohlraums wird jede erzeugte Energie des lateralen Modus von dem schlecht gebildeten piezoelektrischen Material an den Stufenkanten reflektiert. Ein Teil der Energie erfährt eine Modenumwandlung und geht verloren, während ein anderer Teil durch inherente Stöße mit Fehlstellen und Störstellen, die sich an der schlecht gebildeten Kante befinden, direkt in Wärme umgewandelt wird. Durch Platzieren der Kante auf die Oberfläche des Substrats wirken jedoch die Kanten des Hohlraums als hochreflektierende Kanten, die die Energie in den freistehenden Abschnitt des akustischen Resonators zurück reflektieren. Diese Reflexion bringt einen Teil der Energie aus dem parasitären lateralen Modus zurück.

**[0028]** Der Bereich von Filmspannungen, der von einem akustischen Resonator, der gemäß der Erfindung gebildet wurde, toleriert wird, war beträchtlich. Bauteile mit Filmspannungen von bis zu  $6 \times 10^4$  N/cm<sup>2</sup> Druckspannung und beinahe  $10^5$  N/cm<sup>2</sup> Zugspannung wurden gebildet. Andere Ausführungen begannen bei viel geringeren Filmspannungen zu versagen (d. h. zu brechen oder zu knicken). Die Verbesserungen des Gütefaktors betragen mindestens einen Faktor von zwei. Es wurde herausgefunden, daß eine Verbesserung um weitere 10% bis 20% ein Ergebnis des Bewegens der Freilaßlöcher von der Mitte des freistehenden Abschnitts zu den Kanten des Hohlraums war.

**[0029]** Bevorzugte Ausführungsbeispiele der vorliegenden Erfindung werden nachfolgend bezugnehmend auf die beiliegenden Zeichnungen näher erläutert. Es zeigen:

**[0030]** [Fig. 1](#) eine Seitenschnittansicht, eines teilweise bergestellten SBAR gemäß einem Lösungsansatz des Standes der Technik.

**[0031]** [Fig. 2](#) eine Seitenschnittansicht des SBAR von [Fig. 1](#) nach zusätzlichen Herstellungsschritten.

**[0032]** [Fig. 3](#) eine Seitenschnittansicht eines FBAR, das gemäß Schritten gebildet ist, die in der EP 0963 040 A die an den Bevollmächtigten der vorliegenden Erfindung übertragen ist, beschrieben sind.

**[0033]** [Fig. 4](#) eine Draufsicht des FBAR von [Fig. 3](#).

**[0034]** [Fig. 5](#) eine Seitenschnittansicht eines ersten Schritts des Bildens eines FBAR oder SBAR gemäß der Erfindung.

**[0035]** [Fig. 6](#) ist eine Seitenschnittansicht des geätzten Substrats von [Fig. 5](#), bei dem auf einer oberen Oberfläche Opfermaterial gebildet ist.

**[0036]** [Fig. 7](#) eine Seitenschnittansicht des Substrats von [Fig. 6](#), bei dem das Opfermaterial anders entfernt wurde als in dem Hohlraum, der in [Fig. 5](#) geätzt wurde.

**[0037]** [Fig. 8](#) eine Seitenschnittansicht des Substrats von [Fig. 7](#), nachdem ein Schichtstapel gebildet wurde, um einen akustischen Resonator zu schaffen.

**[0038]** [Fig. 9](#) eine Seitenschnittansicht des Substrats von [Fig. 8](#), nachdem das Opfermaterial von dem in [Fig. 5](#) gebildeten Hohlraum entfernt wurde.

**[0039]** [Fig. 10](#) eine Draufsicht des FBAR von [Fig. 9](#).

**[0040]** [Fig. 11](#) eine Draufsicht eines FBAR, der gemäß einem anderen Ausführungsbeispiel der Erfindung gebildet ist.

**[0041]** [Fig. 12](#) eine schematische Ansicht eines Filters mit FBAR, die gemäß der Erfindung gebildet sind.

**[0042]** [Fig. 13](#) eine Seitenschnittansicht eines SBAR, der gemäß der Prinzipien der [Fig. 8](#) bis [Fig. 10](#) gebildet ist.

**[0043]** Die Erfindung kann durch Bezugnahme auf einen früheren Lösungsansatz zum Bilden eines FBAR leichter verstanden werden. Der Lösungsansatz, der in der EP 0 963 040 A beschrieben ist, führt zu dem FBAR **28**, der in den [Fig. 3](#) und [Fig. 4](#) dargestellt ist. Der FBAR umfaßt eine piezoelektrische Schicht **30**, die zwischen einer Bodenelektrode **32** und einer oberen Elektrode **34** angeordnet ist. Der herkömmliche Lösungsansatz war, die Bodenelektrode des freistehenden Abschnitts des akustischen Resonators über eine Kante zu positionieren, aber nicht alle der Kanten des Trägerrahmens, der durch das Ätzen des Hohlraums **36** definiert ist, zu bedecken (d. h. zu überlappen). Ein typisches Material für die piezoelektrische Schicht **30** ist Aluminiumnitrid (AlN),

das ein säulenförmiges Material ist, das an der Stufenkante der Bodenelektrode **32** verzerrt und schlecht gebildet ist. Diese schlechte Bildung ist in den [Fig. 3](#) und [Fig. 4](#) durch die Region **40** dargestellt. Die schlecht gebildete Region erstreckt sich entlang aller nichtgetragenen Kanten der Bodenelektrode, wie es durch die schraffierte dreiseitige Region **40** in [Fig. 4](#) angezeigt ist.

**[0044]** Unter kurzer Bezugnahme auf den FBAR **42** der [Fig. 9](#) und [Fig. 10](#), wurden die Kanten der Bodenelektrode **44** von der nichtgetragenen inneren Region des Schichtstapels entfernt, so daß alle Kanten der Bodenelektrode mit dem Substrat **46** in Kontakt sind. Hinsichtlich des FBAR **28** von den [Fig. 3](#) und [Fig. 4](#) hat der FBAR **42** aufgrund der parasitären Überlappung bei der sich beide der Elektroden **44** und **58** und die piezoelektrische Schicht **54** direkt auf dem Substrat **46** befinden, einen leicht niedrigeren Kopplungskoeffizienten (d. h.  $kt^2$ ). Die Verringerung bei dem Kopplungskoeffizienten wird jedoch durch die Erhöhung des Gütefaktors (Q) mehr als ausgeglichen. Da die Leistungsfähigkeit durch das Produkt des Kopplungskoeffizienten und Q gemessen wird, wird die gesamte Leitungsfähigkeit des FBAR **42** durch Bilden der Bodenelektrode derart, daß sie sich über alle Seiten einer Bodenresonator/Luftsgrenzfläche erstreckt, verbessert.

**[0045]** Das Verfahren zum Bilden des FBAR **42** der [Fig. 9](#) und [Fig. 10](#) wird mit Bezugnahme auf die [Fig. 5](#) bis [Fig. 8](#) beschrieben. In [Fig. 5](#) wird ein Abschnitt des Substrats **46** gezeigt, das eine Vertiefung **48** enthält. Das Mittel zum Bilden der Vertiefung ist für die Erfindung nicht wesentlich. Ein KOH-Ätzmittel kann verwendet werden, um die Vertiefung anisotropisch zu ätzen, so daß sie Seitenwände mit einer  $54,7^\circ$  Neigung aufweist, wie es im Stand der Technik bekannt ist. Das Ätzen wird beendet, bevor eine Öffnung durch die Gesamtheit des Substrats **46** gebildet wird. Daher wird eine umgekehrte und kegelförmige pyramidische Form gebildet. Die Entfernung über die Vertiefung an ihrer obersten Ausdehnung, wie sie in der Ausrichtung von [Fig. 5](#) zu sehen ist, kann  $30\ \mu\text{m}$  betragen. Es wird darauf hingewiesen, daß die Tiefe der Vertiefung unter dem FBAR-Stapel, der nachfolgend gebildet wird, nur ausreichend akustisch von dem darunterliegenden Substrat entkoppelt sein muß. Daher kann die Tiefe weniger als  $5\ \mu\text{m}$  betragen.

**[0046]** Eine dünne Schicht von Thermooxid wird vorzugsweise auf der Oberfläche des Siliziumsubstrat **46** aufgewachsen, um nachfolgend aufgebraachte Filme davon abzuhalten, in das Substrat einzudringen. Insbesondere ist die Besorgnis, daß phosphoreszierendes Material von einer Opferschicht **52** von [Fig. 6](#) in das Siliziumsubstrat **46** eindringt und das Silizium in einen Leiter umwandelt, was den elektrischen Betrieb des Endprodukts stören würde.

**[0047]** In [Fig. 6](#) wird die Opferschicht **52** unter Verwendung bekannter Techniken aufgebracht. Obwohl es nicht wesentlich ist, kann die Opferschicht aus Phosphorsiliziumglas (PSG) bestehen. Das PSG wird unter Verwendung von Silan und  $\text{P}_2\text{O}_5$ -Quellen bei einer Temperatur von ungefähr  $450^\circ\text{C}$  aufgebracht, um ein weiches, glasähnliches Material zu bilden, das ungefähr 8% phosphoreszierend ist. Dieser Niedrigtemperaturprozeß ist dem Fachmann auf diesem Gebiet gut bekannt und wird hier nicht detailliert erörtert. Das PSG ist die bevorzugte Wahl für die Opferschicht, da es ein sehr sauberes, träges Material ist das bei der relativ niedrigen Temperatur aufgebracht werden kann und in einer verdünnten  $\text{H}_2\text{O}:\text{HF}$ -Lösung bei einer sehr hohen Ätzrate geätzt werden kann. Bei einem Verdünnungsverhältnis von 10:1 werden Ätzraten in der Größenordnung von  $3\ \mu\text{m}$  pro Minute erhalten.

**[0048]** Leider ist eine natürliche PSG-Opferschicht eine schlechte Basis zum Bauen eines akustischen Resonators. Auf der Atomebene ist die Oberfläche einer solchen Schicht sehr rau. Ein akustischer Resonator des FBAR/SBAR Typs erfordert ein piezoelektrisches Material, bei dem die Kristalle in Säulen wachsen, die zu der Ebene der Elektroden senkrecht sind. Versuche, gut parallel ausgerichtete piezoelektrische Filme auf der Oberfläche einer PSG-Schicht zu züchten, führen im besten Fall zu schlechtem polykristallinen Material, das wenig oder keine piezoelektrische Wirkung zeigt, da die vielen Facetten der rauhen Oberfläche Kristallwachstum in eine Mehrzahl von Richtungen auslösen.

**[0049]** Die Schwierigkeiten im Zusammenhang mit der Verwendung von PSG zum Bilden der Opferschicht **52** können überwunden werden durch Polieren der Oberfläche der PSG-Schicht mit einer Masse, um den oberen Abschnitt der PSG-Schicht außerhalb der in [Fig. 5](#) gebildeten Vertiefung **48** zu entfernen. Die daraus folgende Struktur ist in [Fig. 7](#) gezeigt. Die verbleibende PSG-Opferschicht **52** kann unter Verwendung einer verfeinerten Masse poliert werden. Alternativ für beide Polierschritte kann eine einzige verfeinerte Masse verwendet werden, falls die zusätzliche Polierzeit nicht störend ist. Das Ziel ist, eine „Spiegel-ähnliche“ Verarbeitung zu erzeugen. Obwohl gezeigt wird, daß das Thermooxid **50** von der Oberfläche des Substrats **46** die verschieden ist zu der unterhalb der Opferschicht **52**, poliert wird, ist dies nicht wesentlich.

**[0050]** Das Reinigen des Siliziumwafers **46** ist ebenfalls wichtig. Die Masse hinterläßt Stücke von Siliziumabsplitterungen auf der Oberfläche des Substrats. Diese Absplitterungen müssen entfernt werden. Beim bevorzugten Ausführungsbeispiel wird dies erreicht durch Verwenden eines zweiten Polierrads mit einer steifen harten Polsterung, wie z. B. das, das unter dem eingetragenen Warenzeichen POLYTEX

(Rodel, Connecticut) verkauft wird. Entionisiertes Wasser wird als Schmiermittel verwendet. Das Substrat **46** wird, nachdem es poliert wurde, in entionisiertes Wasser gelegt, bis es für den letzten Reinigungsschritt fertig ist. Das Siliziumsubstrat sollte zwischen dem letzten Polierschritt und dem letzten Reinigungsschritt nicht trocknen. Der letzte Reinigungsschritt besteht aus Eintauchen des Substrats in eine Reihe von Behältern, die verschiedene Chemikalien enthalten. Jeder Behälter wird einer Ultraschallagitation unterzogen. Solche Reinigungsbänke sind in der Technik gut bekannt und werden hier nicht detailliert beschrieben.

**[0051]** Als Folge des Prozesses liefert eine glatte Oberfläche des Substrats **46** und der Opferschicht **52** eine Basis für die Aufbringung von hochtexturiertem, c-axialen piezoelektrischen Material, das vorzügliche piezoelektrische Eigenschaften aufweist, trotz der Tatsache, daß es keine kristalline Struktur enthält, die die piezoelektrische Schicht „impft“.

**[0052]** Obwohl die obige Identifizierung ein spezielles Polier- und Reinigungssystem angezeigt hat, kann dieses durch andere Polier- und Reinigungssysteme ersetzt werden, falls diese eine Oberfläche mit der erforderlichen Glätte liefern. Beim bevorzugten Ausführungsbeispiel hat die Endoberfläche eine RMS (root-mean-squared = quadratischer Mittelwert) Abweichung in der Höhe von weniger als  $0,5\ \mu\text{m}$ , wie mit einer Atomkraft-Mikroskopsonde gemessen.

**[0053]** Nachdem die Oberfläche der Struktur von **Fig. 7** gereinigt wurde, werden die Schichten, die den akustischen Resonator bilden, auf den Oberflächen des Substrats **46** und der Opferschicht **52** aufgebracht. Bezugnehmend auf **Fig. 8** ist die Bodenelektrode **44** eine erste Schicht. Das bevorzugte Elektrodenmaterial ist Molybden, es können aber auch andere Materialien eingesetzt werden. Beispielsweise können die Elektroden aus Aluminium, Wolfram, Gold, Platin, Palladium, oder Titan gebaut sein. Molybden wird aufgrund seines niedrigen thermoelastischen Verlusts bevorzugt. Molybden weist ungefähr 56 mal weniger thermoelastischen Verlust auf als Aluminium.

**[0054]** Nachdem die Bodenelektrode **44** aufgebracht wurde, wird die piezoelektrische Schicht **54** aufgebracht. Das bevorzugte Material für die piezoelektrische Schicht ist durch Zerstäuben aufgebracht. Da die Aufbringung des AlN zum Bilden einer piezoelektrischen Schicht in der Technik gut bekannt ist, wird der Aufbringungsprozeß nicht beschrieben. Beim bevorzugten Ausführungsbeispiel weist die piezoelektrische Schicht eine Dicke zwischen  $0,1\ \mu\text{m}$  und  $10\ \mu\text{m}$  auf.

**[0055]** Wie vorher angemerkt, erstreckt sich die Bodenelektrode **44** über die Gesamtheit der in **Fig. 5**

geformten Vertiefung **48**, die aber jetzt die Opferschicht **52** umfaßt. In **Fig. 8** erstreckt sich die piezoelektrische Schicht **54** über die Kante der Bodenelektrode **44**, so daß das säulenförmige piezoelektrische Material eine schlecht gebildete Stufenkante **56** umfaßt, die sich auf der Oberfläche des Substrats **46** befindet. Dies steht im Gegensatz zu der nichtgetragenen Stufenkante **40** des in den **Fig. 3** und **Fig. 4** gezeigten vorherigen Lösungsansatzes.

**[0056]** Im nächsten Schritt wird eine obere Elektrode **58** aufgebracht. Die obere Elektrode ist ebenfalls vorzugsweise aus Molybden gebaut. Nachdem der Schichtstapel des FBAR **42** gebildet wurde, wird die Opferschicht **52** aus der vorher gebildeten Vertiefung entfernt. Aus praktischer Sicht kann das PSG-Material durch Bohren von Löchern in den Schichtstapel entfernt werden, um Zugang zu dem Opfermaterial durch die vorher beschriebene verdünnte  $\text{H}_2\text{O}$ : HF-Lösung zu schaffen. Es wurde jedoch festgestellt, daß durch Beschränken der Freilaßlöcher auf den Umfang der Vertiefung **48** ein höherer Gütefaktor erreicht werden kann. Bezugnehmend auf die Draufsicht von **Fig. 10** werden Oberflächen HF-Freilaßlöcher **60** gebildet, um eine Einrichtung zum Entfernen des Opfermaterials an der Vertiefung **48** zu schaffen. Dies hinterläßt den Schichtstapel nach wie vor mit einer nichtgetragenen inneren Region und vier integrierten Umfangsregionen, die an der Oberfläche des Substrats **46** befestigt sind.

**[0057]** Wie in der Draufsicht von **Fig. 10** gezeigt, überlappt die obere Elektrode **58** nur eine der Kanten der Vertiefung **48**. Obwohl die parasitäre Natur des FBAR relativ klein ist, können die Auswirkungen durch Bilden eines Elektrode-Piezoelektrik-Elektrode-Stapels über nur einem Abschnitt des Siliziumsubstrats **46** gesteuert werden.

**[0058]** **Fig. 11** ist eine Draufsicht eines weiteren Ausführungsbeispiels eines FBAR **52**, der gemäß der Erfindung gebildet ist. Dieses Ausführungsbeispiel kann als eine „Zunge-und-Vertiefungsanordnung“ bezeichnet werden, da die Bodenelektrode **64** eine oder mehrere Aussparungen **66** und **68** umfaßt, durch die verschälerte Abschnitte **70** und **72** der oberen Elektrode **74** verlaufen. Der Hohlraum **76** in dem Substrat **78** wird durch gestrichelte Linien gezeigt, da der Hohlraum durch die obere Elektrode und die Bodenelektrode bedeckt ist. Wie in der Draufsicht gesehen werden kann, überlappt die obere Elektrode **74** die Bodenelektrode **64** nur in Bereichen über dem Hohlraum **76**. Obwohl der Gütefaktor des FBAR **62** leicht geringer ist als der Gütefaktor für den FBAR **42** von **Fig. 9**, und es ein leicht höheres Risiko des Reißens gibt, hat der FBAR **62** den Vorteil des Ausschließens jeglichen parasitären Koppelns mit dem darunter liegenden Substrat **78**. Das Risiko des Reißens ist nur leicht erhöht, da sich die Bodenelektrode nach wie vor über alle Kanten des Hohlraums **76** erstreckt, und

da die Regionen, in denen das säulenförmige piezoelektrische Material (nicht gezeigt) von der Bodenelektrode „Abwärtsstufen bildet“, minimal sind.

**[0059]** Bezugnehmend auf [Fig. 12](#) wird ein Filter **80** mit einer Halbleitertopologie gezeigt, und er enthält fünf Resonatoren **82, 84, 86, 88** und **90**. Jeder der Resonatoren ist gemäß der oben beschriebenen Erfindung gebildet. Die Resonatoren **82, 84** und **86** sind in Reihe geschaltet, während die Resonatoren **88** und **90** Nebenschlußresonatoren sind, die geerdet werden können. Wie in der Technik bekannt ist, besteht der Hauptunterschied zwischen den Reihen- und Nebenschlußresonatoren in der Auswahl der Mittelfrequenzen. Im Falle der Halbleitertopologie sind die Nebenschlußresonatoren auf eine niedrigere Frequenz eingestellt als die Reihenresonatoren.

**[0060]** Es wurde herausgefunden, daß jeder Resonator **82, 84, 86, 88** und **90** den höchstmöglichen Gütefaktor haben muß, um einen hohen Filter-Gütefaktor zu erreichen (der sich in Stufeneinfassungen, niedrigen Einfügungsverlusten im Durchlaßband, und einer hohen Selektivität pro Stufe äußert). Um dies zu implementieren, sollte jeder Resonator seinen eigenen Hohlraum aufweisen, wobei die Bodenelektroden, wie in [Fig. 11](#) gezeigt, alle vier Seiten des Hohlraums überspannen.

**[0061]** Obwohl der Herstellungsprozeß hinsichtlich des Bildens eines FBAR beschrieben und dargestellt wurde, ist der Prozeß, wie in [Fig. 13](#) dargestellt, genauso auf die Bildung eines SBAR anwendbar. Ein SBAR-Schichtstapel **92** umfaßt eine Bodenelektrode **44**, eine piezoelektrische Schicht **54**, und eine Elektrode **58**. Diese Schichten können funktional und strukturell identisch sein mit denen, die mit Bezug auf [Fig. 9](#) beschrieben wurden, außer, daß die Dicke der Elektrode **58** wichtig ist, da eine weitere piezoelektrische Schicht **94** auf der Elektrode **58** gebildet wird. Folglich sollte die Elektrode **58** eine Dicke von weniger als 1000 Angström aufweisen. Eine weitere Elektrode **96** ist auf der piezoelektrischen Schicht gebildet. Die oben identifizierten Prozesse zum Bilden der ersten piezoelektrischen Schicht **54** und der Elektrode **58** betreffen die Bildung der zweiten piezoelektrischen Schicht **94** und der neuen Elektrode **96**. Wahlweise können zusätzliche piezoelektrische Schichten und Elektroden hinzugefügt werden.

**[0062]** Der SBAR-Schichtstapel **92** umfaßt eine nichtgetragene innere Region, die sich über der Vertiefung **48** in dem Substrat **46** befindet. Die Bodenelektrode **44** umfaßt vier Umfangsregionen, die mit der Oberfläche des Substrats **46** oder mit einer Zwischenschicht, die auf der Oberfläche des Substrats gebildet ist, in Kontakt sind.

**[0063]** Obwohl die Opferschicht als aus PSG gebildet beschrieben wurde, können auch andere Materi-

alien verwendet werden. Beispielsweise können andere Formen von Glas, wie z. B. Aufschleuder-Glas verwendet werden. Zusätzlich gibt es Kunststoffe, wie z. B. Polyvinyl, Polypropylen, und Polystyren, die entweder durch Schleudern auf das Material aufgebracht werden können oder durch Aufbringen des Materials, während sich das Substrat in einer speziellen Kammer befindet. Die Opferschichten können unter Verwendung eines organischen Abziehers oder eines O<sub>2</sub> Plasmaätzmittels entfernt werden. Wie bei der PSG-Opferschicht ist das Polieren bei diesen Materialien wesentlich, da die Oberflächen dieser Materialien typischerweise nicht atomar glatt sind.

**[0064]** Das bevorzugte Ausführungsbeispiel der Erfindung ist eines, bei dem der offene Substratbereich, der von der Bodenelektrode überspannt ist, durch Erzeugen der oben beschriebenen Vertiefung **48** gebildet ist. Die überspannende Bodenelektrode kann jedoch ebenfalls mit Bauteilen verwendet werden, bei denen ein offener Bereich durch Erzeugen eines Hohlraums ganz durch das Substrat gebildet wird.

### Patentansprüche

1. Verfahren zum Herstellen eines akustischen Resonators (**42; 62; 92**) auf einem Substrat (**46; 78**), wobei das Substrat (**46; 78**) einen Hohlraum (**48; 76**) aufweist, der in einer Oberfläche des Substrats (**46; 78**) gebildet ist, wobei das Verfahren folgende Schritte umfaßt:

Bilden einer Bodenelektrode (**44; 64**) über dem Hohlraum (**48; 76**) in dem Substrat (**46; 78**), derart, daß sich die Kanten der Bodenelektrode (**44; 64**) über jede Kante des Hohlraums (**48; 78**) erstrecken, um mit dem Substrat (**46; 78**) in Kontakt zu sein;

Bilden eines piezoelektrischen Materials (**54, 94**) auf der Bodenelektrode (**44; 64**) und auf dem Substrat (**48; 78**), derart, daß sich zumindest eine piezoelektrische Kante (**56**) des piezoelektrischen Materials (**54, 94**) über eine entsprechende Kante der Bodenelektrode (**44; 64**) hinaus erstreckt, so daß sich die zumindest eine piezoelektrische Kante (**56**) auf dem Substrat (**48; 78**) befindet; und

Bilden einer oberen Elektrode (**58, 96; 74**) auf dem piezoelektrischen Material.

2. Verfahren gemäß Anspruch 1, bei dem die obere Elektrode (**58, 94; 74**) derart gebildet wird, daß dieselbe eine der Kanten des Hohlraums (**48; 76**) überlappt.

3. Verfahren gemäß Anspruch 2, bei dem die Bodenelektrode (**64**) im Bereich der Kante des Hohlraums (**76**), die durch die obere Elektrode (**74**) überlappt wird, zumindest eine Aussparung (**66, 68**) aufweist, wobei die obere Elektrode (**74**) im Bereich der genannten Kante zumindest einen verschmälerten Abschnitt (**70, 72**) aufweist, der oberhalb der zumindest einen Aussparung (**66, 68**) angeordnet ist, so

daß die obere Elektrode (74) die Bodenelektrode (64) nur in Bereichen über dem Hohlraum (76) überlappt.

4. Verfahren gemäß einem der Ansprüche 1 bis 3, das ferner den Schritt des Bildens des Hohlraums (48; 76) in dem Substrat (46; 78) umfaßt.

5. Verfahren gemäß Anspruch 4, bei dem der Schritt des Bildens des Hohlraums folgendes umfaßt: Bilden einer Vertiefung (48; 76) in dem Substrat (46; 78); Füllen der Vertiefung (48; 76) mit einem Opfermaterial (52); Aufbringen der Bodenelektrode (44; 64) über die Opferschicht und auf das Substrat (46; 78); und Entfernen des Opfermaterials (52) nach dem Bilden der Bodenelektrode (44; 64), der oberen Elektrode und des piezoelektrischen Materials (54).

6. Verfahren gemäß Anspruch 4 oder 5, bei dem der Schritt des Bildens des Hohlraums ferner das Bilden von Freilaßbereichen (60) für die Entfernung des Opfermaterials umfaßt.

7. Verfahren gemäß Anspruch 5 oder 6, bei dem der Schritt des Bildens des Hohlraums ferner das Bereitstellen einer Schutzschicht in der Vertiefung umfaßt, um eine Diffusion des Opfermaterials (52) in das Substrat (64; 78) zu verhindern.

8. Verfahren gemäß einem der Ansprüche 1 bis 6, mit folgenden Schritten: Bilden eines weiteren piezoelektrischen Materials (94) auf der oberen Elektrode (58); und Bilden einer weiteren oberen Elektrode (96) auf dem weiteren piezoelektrischen Material.

9. Akustischer Resonator mit: einem Substrat (46; 78), das einen Hohlraum (48; 76) aufweist, der in einer Oberfläche des Substrats (46; 78) gebildet ist; einer Bodenelektrode (44; 64) über dem Hohlraum (48; 76) in dem Substrat (46; 78), wobei sich die Kanten der Bodenelektrode (44; 64) über jede Kante des Hohlraums (48; 78) erstrecken, um mit dem Substrat (46; 78) in Kontakt zu sein; einem piezoelektrischen Material (54, 94) auf der Bodenelektrode (44; 64) und auf dem Substrat (48; 78), wobei sich zumindest eine piezoelektrische Kante (56) des piezoelektrischen Materials (54, 94) über eine entsprechende Kante der Bodenelektrode (44; 64) hinaus erstreckt, so daß sich die zumindest eine piezoelektrische Kante (56) auf dem Substrat (48; 78) befindet; und einer oberen Elektrode (58, 96; 74) auf dem piezoelektrischen Material.

10. Akustischer Resonator gemäß Anspruch 9, bei dem die obere Elektrode (58, 94; 74) eine der Kanten des Hohlraums (48; 76) überlappt.

11. Akustischer Resonator gemäß Anspruch 10, bei dem die Bodenelektrode (64) im Bereich der Kante des Hohlraums (76), die durch die obere Elektrode (74) überlappt wird, zumindest eine Aussparung (66, 68) aufweist, wobei die obere Elektrode (74) im Bereich der genannten Kante zumindest einen verschmälerten Abschnitt (70, 72) aufweist, der oberhalb der zumindest einen Aussparung (66, 68) angeordnet ist, so daß die obere Elektrode (74) die Bodenelektrode (64) nur in Bereichen über dem Hohlraum (76) überlappt.

12. Filter mit einer Mehrzahl von ersten akustischen Resonatoren (82, 84, 86) gemäß einem der Ansprüche 9 bis 11, die in Reihe geschaltet sind, und einer Mehrzahl von zweiten akustischen Resonatoren (88, 90) gemäß einem der Ansprüche 9 bis 11, die zwischen benachbarte erste akustische Resonatoren parallel geschaltet sind, wobei die ersten und zweiten akustischen Resonatoren auf einem Substrat (46; 78) gebildet sind.

Es folgen 6 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

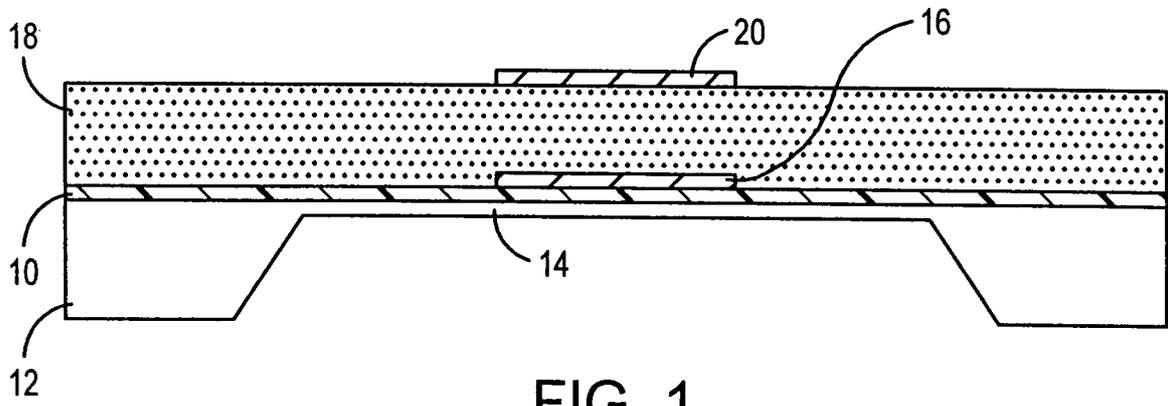


FIG. 1

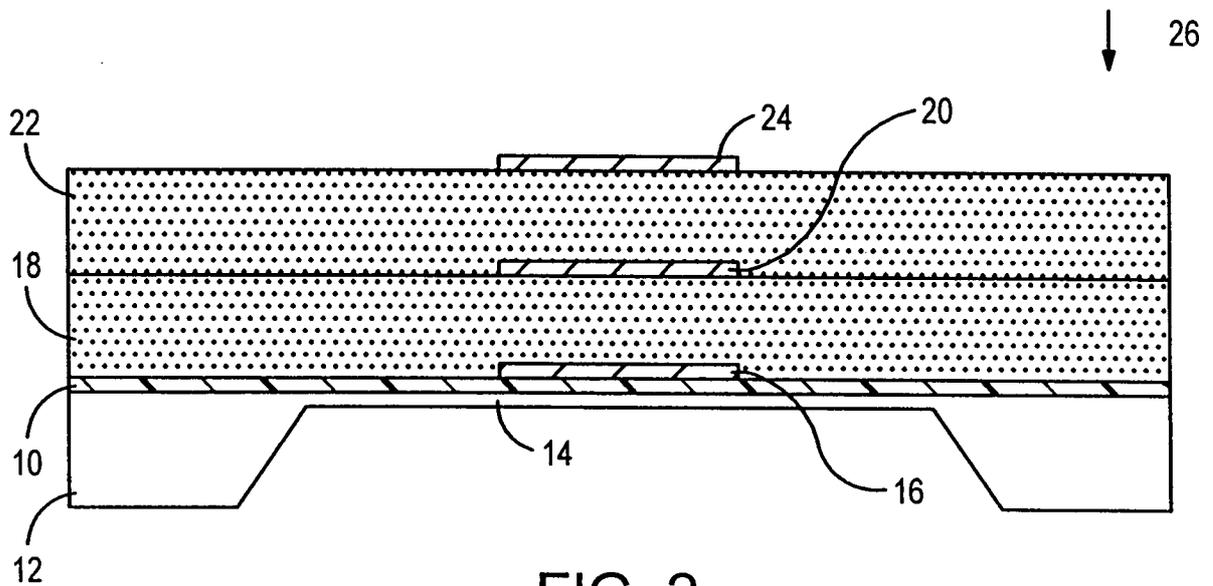


FIG. 2

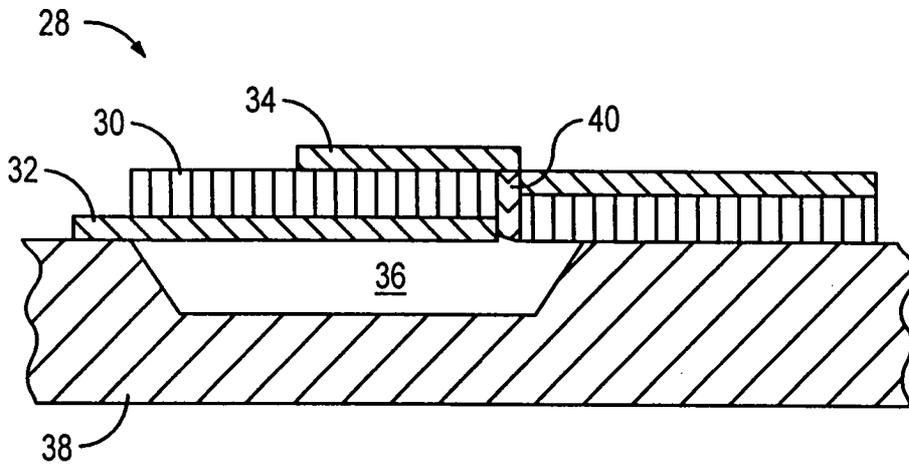


FIG. 3

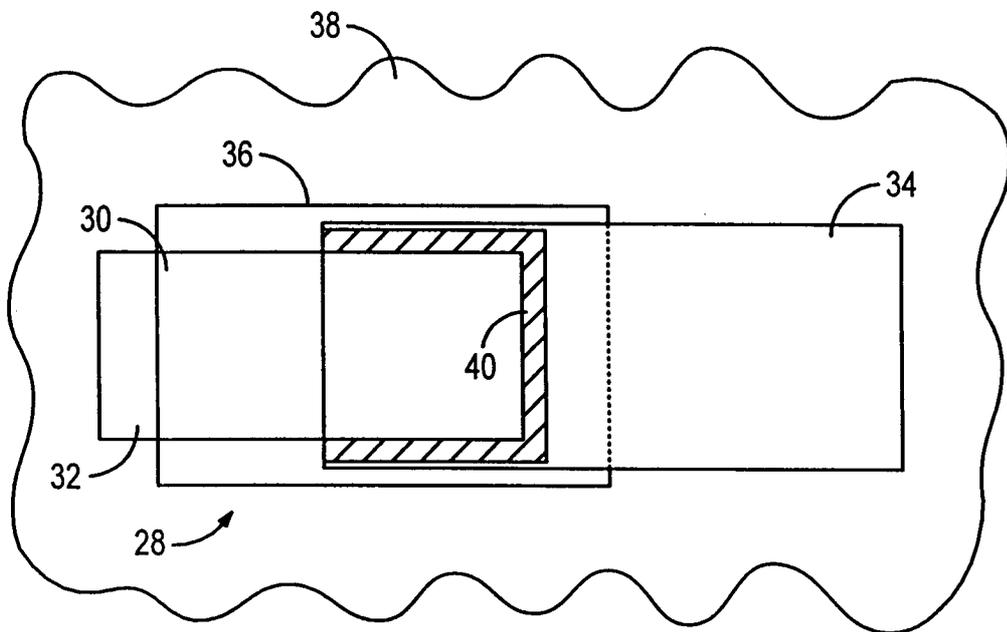


FIG. 4

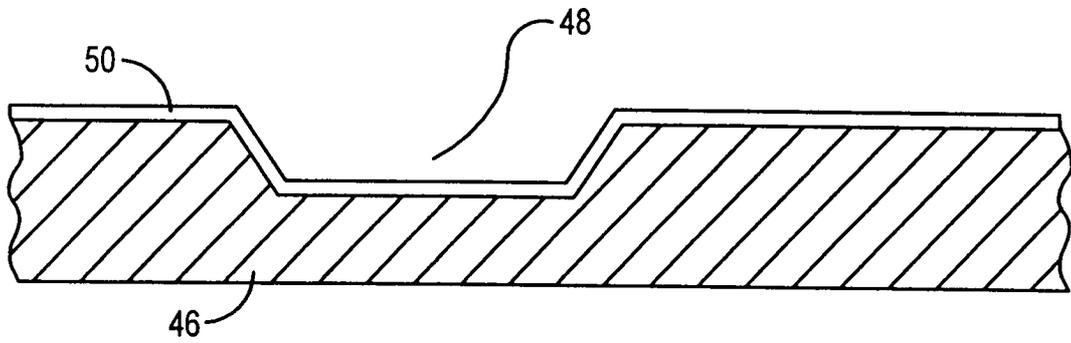


FIG. 5

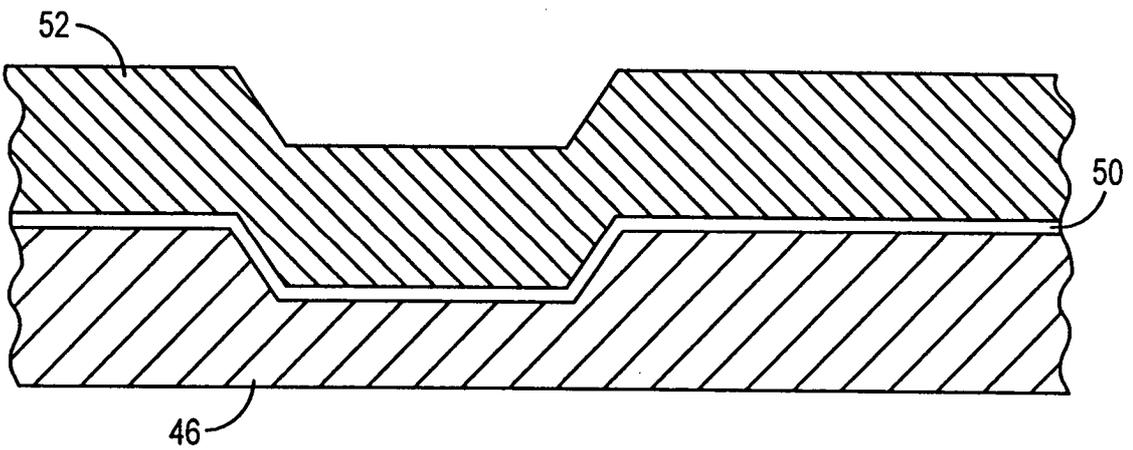


FIG. 6

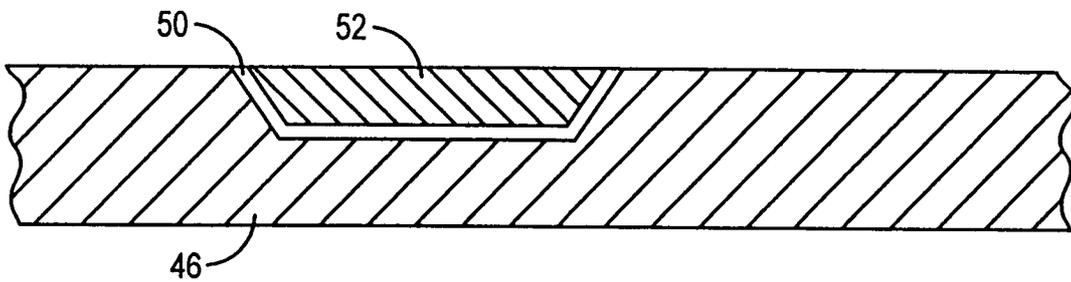


FIG. 7

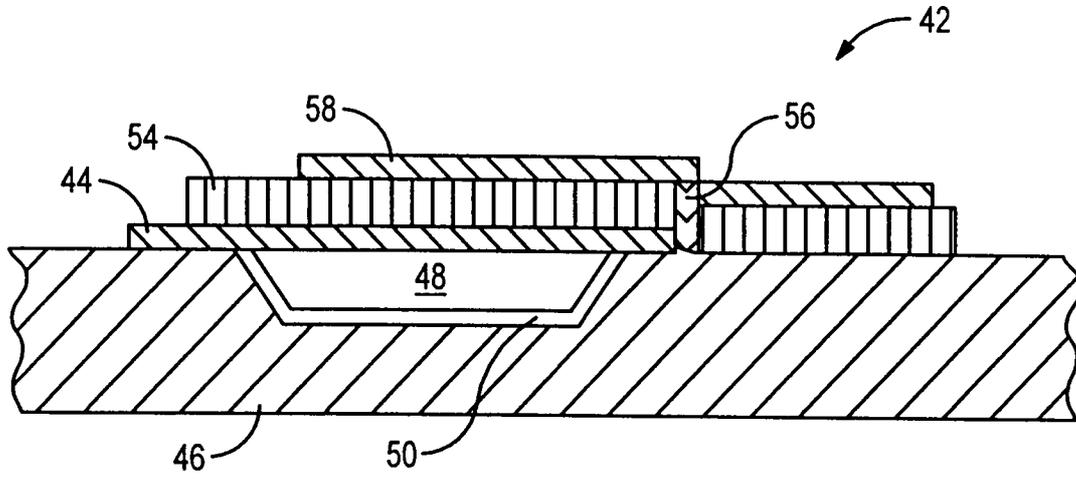


FIG. 9

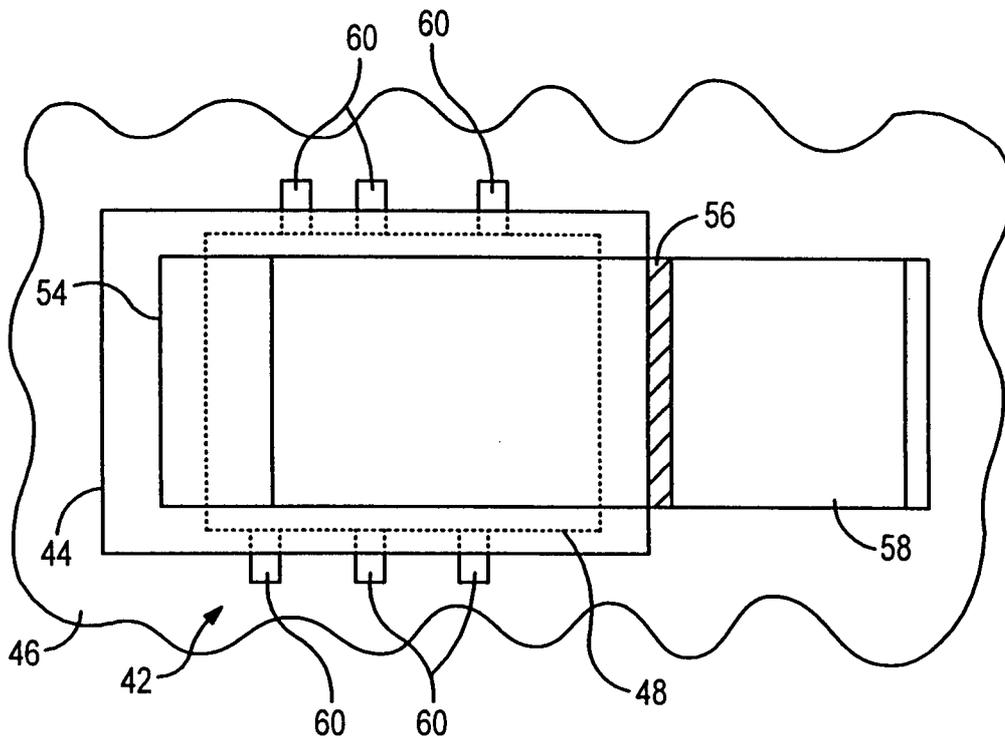


FIG. 10

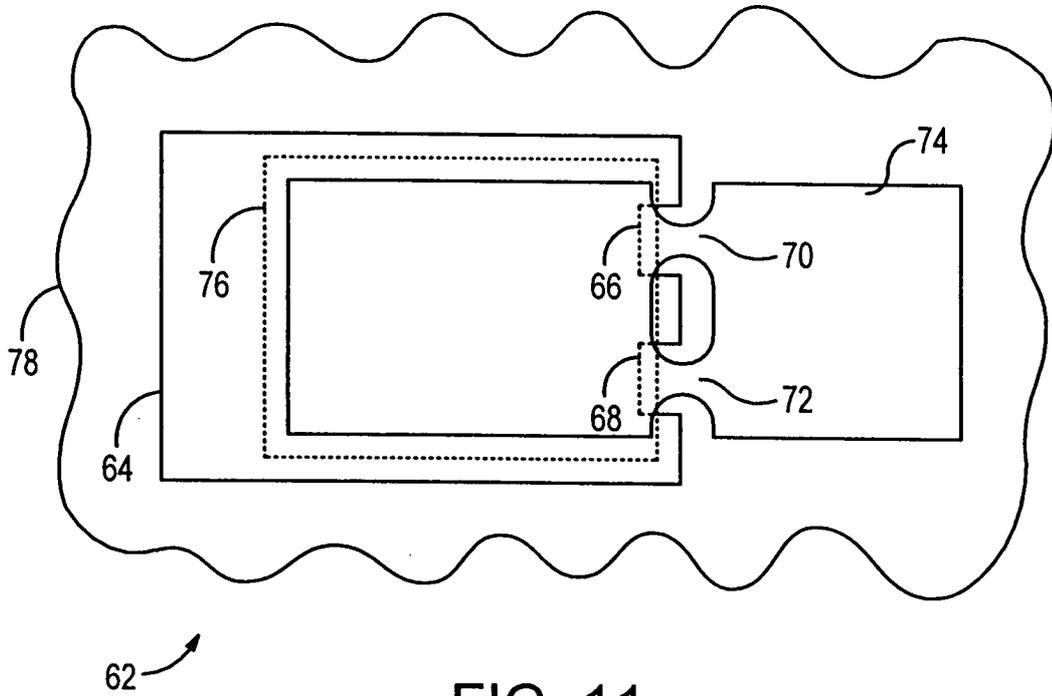


FIG. 11

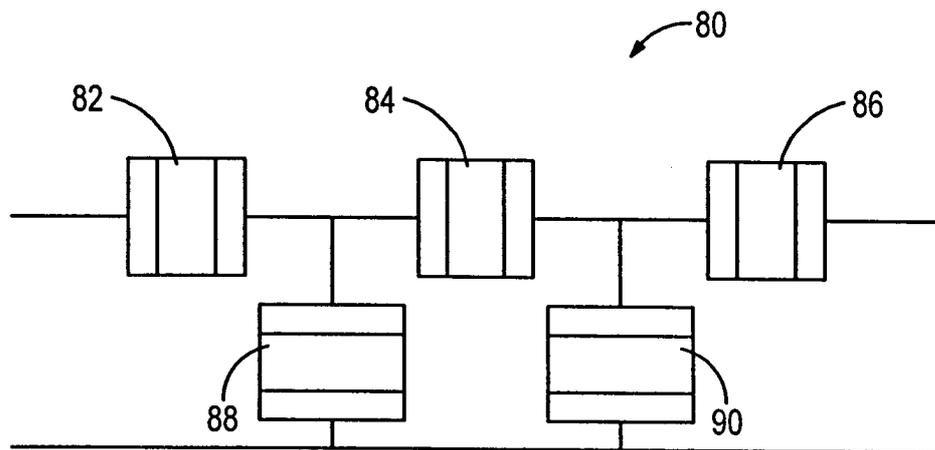


FIG. 12

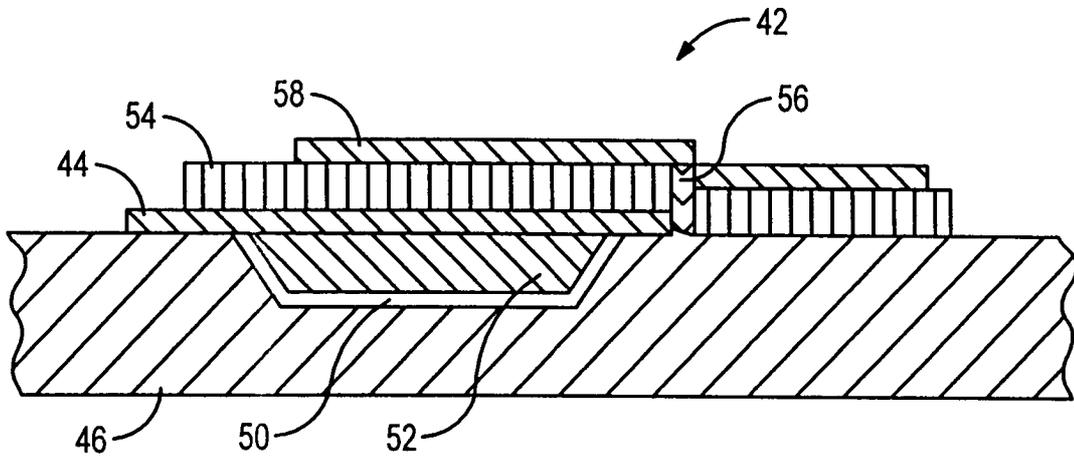


FIG. 8

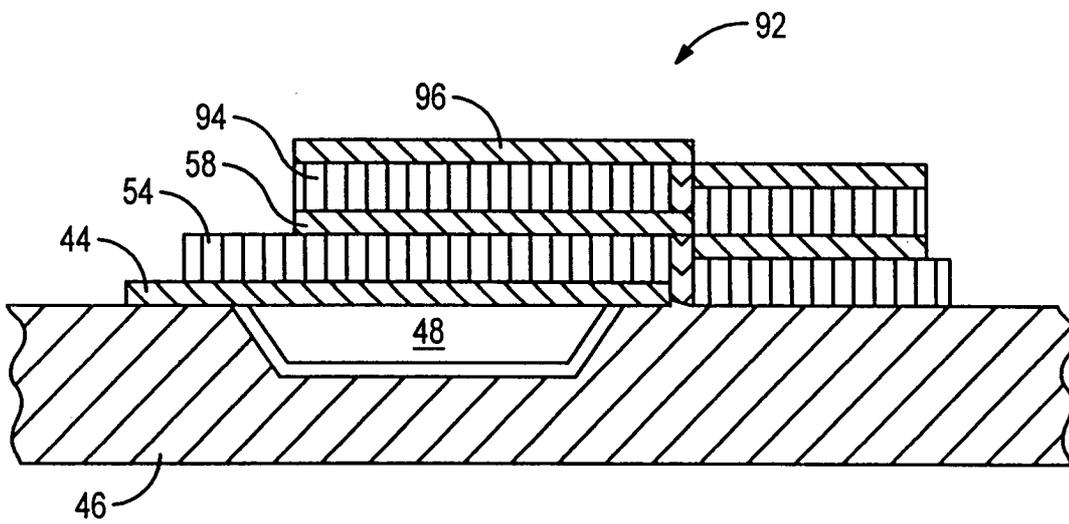


FIG. 13