



(10) **DE 11 2004 002 004 B4** 2018.03.29

(12) **Patentschrift**

(21) Deutsches Aktenzeichen: **11 2004 002 004.2**
(86) PCT-Aktenzeichen: **PCT/US2004/036136**
(87) PCT-Veröffentlichungs-Nr.: **WO 2005/043754**
(86) PCT-Anmeldetag: **29.10.2004**
(87) PCT-Veröffentlichungstag: **12.05.2005**
(43) Veröffentlichungstag der PCT Anmeldung
in deutscher Übersetzung: **31.08.2006**
(45) Veröffentlichungstag
der Patenterteilung: **29.03.2018**

(51) Int Cl.: **H03H 9/10 (2006.01)**
H03H 9/13 (2006.01)
H03H 9/17 (2006.01)
H03H 9/58 (2006.01)

Innerhalb von neun 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:

10/699,481	30.10.2003	US
10/699,289	30.10.2003	US
10/965,541	13.10.2004	US
10/965,637	13.10.2004	US

(73) Patentinhaber:

**Avago Technologies General IP (Singapore) Pte.
Ltd., Singapore, SG**

(74) Vertreter:

**Dilg Haeusler Schindelmann
Patentanwalts-gesellschaft mbH, 80636 München,
DE**

(72) Erfinder:

**Larson III, John D., Palo Alto, Calif., US; Ellis,
Stephen L., Pleasanton, Calif., US; Oshmyanski,
Yury, Laguna Beach, Calif., US**

(56) Ermittelter Stand der Technik:

US	6 548 942	B1
US	5 872 493	A

(54) Bezeichnung: **Akustische Filmvolumenresonator-Vorrichtungen (FBAR-Vorrichtungen) mit vereinfachtem Gehäuseeinbau**

(57) Hauptanspruch: Eine eingekapselte akustische Filmvolumenresonator-Vorrichtung, FBAR-Vorrichtung, (100), die folgende Merkmale aufweist:

ein Substrat (102);

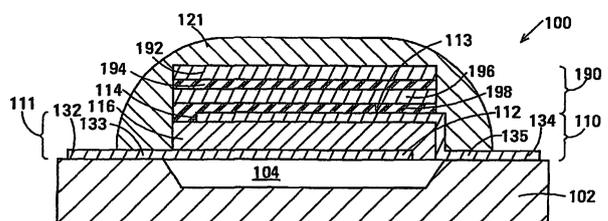
einen FBAR-Stapel (111) über dem Substrat (102), wobei der FBAR-Stapel (111) einen FBAR (110) umfasst und eine dem Substrat (102) ferne obere Oberfläche aufweist, wobei der FBAR (110) gegenüberliegende planare Elektroden (112, 114) und ein piezoelektrisches Element (116) zwischen den Elektroden (112, 114) aufweist;

eine Einrichtung (104) zum akustischen Isolieren des FBAR-Stapels (111) von dem Substrat (102);

ein Kapselungsmittel (121), das den FBAR-Stapel (111) bedeckt; und

einen akustischen Bragg-Reflektor (190) zwischen der oberen Oberfläche des FBAR-Stapels (111) und dem Kapselungsmittel (121), wobei der akustische Bragg-Reflektor (190) eine metallische Bragg-Schicht (192) und eine zu der metallischen Bragg-Schicht (192) benachbarte Kunststoff-Bragg-Schicht (194) umfasst, wobei die FBAR-Vorrichtung (100) eine Bandpasscharakteristik aufweist, die eine Mittenfrequenz aufweist;

wobei zumindest eine der Bragg-Schichten (192, 194) eine nominelle Dicke aufweist, die gleich einem Viertel der Wellenlänge in dem Material der jeweiligen Bragg-Schicht (192, 194) eines akustischen Signals ist, dessen Frequenz gleich der Mittenfrequenz ist, und wobei die metallische Bragg-Schicht (192, 194) dünner ist als die nominelle Dicke.



Beschreibung

Hintergrund

[0001] FBAR-Vorrichtungen bzw. FBAR-Bauelemente, die einen oder mehr akustische Filmvolumenresonatoren (FBARs – film bulk acoustic resonators) beinhalten, bilden einen Bestandteil einer sich ständig erweiternden Vielfalt an elektronischen Produkten, insbesondere an drahtlosen Produkten. Beispielsweise beinhalten moderne Mobiltelefone einen Duplexer, bei dem jedes der Bandpassfilter eine Leiterschaltung umfasst, wobei jedes Element der Leiterschaltung ein FBAR ist. Ein Duplexer, der FBARs beinhaltet, wird von Bradley et al. in der US-Patentschrift Nr. 6,262,637 mit dem Titel Duplexer Incorporating Thin-film Bulk Acoustic Resonators (FBARs) offenbart. Ein derartiger Duplexer besteht aus einem Senderbandpassfilter, das zwischen dem Ausgang des Senders und der Antenne in Reihe geschaltet ist, und einem Empfängerbandpassfilter, das mit einem 90°-Phasenschieber zwischen der Antenne und dem Eingang des Empfängers in Reihe geschaltet ist. Die Mittenfrequenzen der Durchlassbänder des Senderbandpassfilters und des Empfängerbandpassfilters sind voneinander versetzt. Auf FBARs beruhende Leiterfilter werden auch bei anderen Anwendungen verwendet.

[0002] Fig. 1 zeigt ein exemplarisches Ausführungsbeispiel eines FBAR-basierten Bandpassfilters **10**, das sich zur Verwendung als Senderbandpassfilter eines Duplexers eignet. Das Senderbandpassfilter besteht aus Reihen-FBARs **12** und Nebenschluss-FBARs **14**, die in einer Leiterschaltung verbunden sind. Reihen-FBARs **12** weisen eine höhere Resonanzfrequenz auf als Nebenschluss-FBARs **14**.

[0003] Fig. 2 zeigt ein exemplarisches Ausführungsbeispiel **30** eines FBAR. Der FBAR **30** besteht aus einem Paar von Elektroden **32** und **34** und einem piezoelektrischen Element **36** zwischen den Elektroden. Das piezoelektrische Element und die Elektroden sind über einem in einem Substrat **42** definierten Hohlraum **44** aufgehängt. Diese Art und Weise, den FBAR aufzuhängen, ermöglicht, dass der FBAR ansprechend auf ein zwischen die Elektroden angelegtes elektrisches Signal mechanisch schwingt.

[0004] Die US-Patentanmeldung Seriennummer 10/699,289, veröffentlicht als US 2005 093653 A1, offenbart ein Bandpassfilter, das einen entkoppelten gestapelten akustischen Volumenresonator (DSBAR – decoupled stacked bulk acoustic resonator) beinhaltet, der aus einem unteren FBAR, einem auf dem unteren FBAR gestapelten oberen FBAR und einem akustischen Entkoppler zwischen FBARs besteht. Jeder der FBARs besteht aus einem Paar von Elektroden und einem piezoelektrischen Element zwischen den Elektroden. Ein elektrisches Eingangssignal wird zwischen Elektroden des unteren FBAR und des oberen FBAR angelegt und liefert ein bandpassgefiltertes elektrisches Ausgangssignal zwischen seinen Elektroden. Das elektrische Eingangssignal kann alternativ zwischen die Elektroden des oberen FBAR angelegt werden, wobei das elektrische Ausgangssignal in diesem Fall von den Elektroden des unteren FBAR genommen wird.

[0005] Die US-Patentanmeldung Seriennummer 10/699,481, veröffentlicht als US 2005 093656 A1, offenbart einen akustisch gekoppelten Filmtransformator (FACT – film acoustically-coupled transformer), der aus zwei entkoppelten gestapelten akustischen Volumenresonatoren (DSBARs) besteht. Eine erste elektrische Schaltung verbindet die unteren FBARs der DSBARs in Reihe oder parallel miteinander. Eine zweite elektrische Schaltung verbindet die oberen FBARs der DSBARs in Reihe oder parallel miteinander. Je nach den Konfigurationen der elektrischen Schaltungen können symmetrische oder asymmetrische FACT Ausführungsbeispiele, die Impedanzwandlungsverhältnisse von 1:1 oder 1:4 aufweisen, erhalten werden. Derartige FACTs liefern auch eine galvanische Isolierung zwischen der ersten elektrischen Schaltung und der zweiten elektrischen Schaltung.

[0006] Der oben unter Bezugnahme auf Fig. 2 beschriebene FBAR und Vorrichtungen wie z. B. Leiterfilme, DSBARs und FACTs, die einen oder mehrere FBARs beinhalten, werden in der vorliegenden Offenbarung generisch als FBAR-Vorrichtungen bezeichnet.

[0007] Derzeit werden die FBAR-Stapel von tausenden von FBAR-Vorrichtungen gleichzeitig auf einem Wafer aus Silizium oder einem anderen geeigneten Material hergestellt. Jede FBAR-Vorrichtung umfasst zusätzlich einen Abschnitt des Wafers als ihr Substrat. Ein FBAR-Stapel besteht aus Schichten verschiedener Materialien, in denen zumindest ein FBAR definiert ist. FBAR-Vorrichtungen sind üblicherweise in ein Gehäuse eingebaut, das von Merchant et al. in der US-Patentanmeldung Nr. 6,090,687, die an die Anmelderin der vorliegenden Offenbarung übertragen ist, beschrieben ist. Der Wafer, auf dem die FBAR-Stapel hergestellt werden, wird als FBAR-Wafer bezeichnet. Jeder FBAR-Stapel, der auf dem FBAR-Wafer hergestellt wird, ist von einer auf der Oberfläche des FBAR-Wafers angeordneten ringförmigen Dichtung umgeben. Ein Abdeckungswafer wird dann neben dem FBAR-Wafer platziert und an die Dichtungen gebondet. Der FBAR-Wafer, der Abdeckungswafer

und die Dichtungen sowie die FBARs zwischen den Wafern bilden einen Waferstapel. Der Waferstapel wird dann zu einzelnen eingekapselten FBAR-Vorrichtungen vereinzelt, wobei eine beispielhafte derselben in der Querschnittsansicht in **Fig. 3** gezeigt ist.

[0008] **Fig. 3** zeigt eine eingekapselte FBAR-Vorrichtung **50**, die aus einer FBAR-Vorrichtung **52** und einem Gehäuse **54** besteht. Die FBAR-Vorrichtung besteht aus einem FBAR-Stapel **56** und einem Substrat **58**. Das Substrat **58** bildet außerdem einen Bestandteil des Gehäuses **54**. Der FBAR-Stapel **56** besteht aus Schichten verschiedener Materialien, in denen zumindest ein FBAR definiert ist. Der FBAR-Stapel **56** ist über einem in dem Substrat **58** definierten Hohlraum **60** aufgehängt. Das Substrat **58** war vor der Vereinzlung ein Bestandteil des oben erwähnten FBAR-Wafers. Der FBAR-Stapel **56** ist von einer ringförmigen Dichtung **62** umgeben, die an die Hauptoberfläche des Substrats **58** gebondet ist. Die Abdeckung **64**, die vor der Vereinzlung ein Bestandteil des oben erwähnten Abdeckungswafers war, ist an die Dichtung **62** gegenüber dem Substrat **58** gebondet. Das Substrat **58**, die Dichtung **62** und die Abdeckung **64** definieren kollektiv eine hermetisch abgedichtete Kammer **66**, in der sich der FBAR-Stapel **56** befindet.

[0009] Wie oben erwähnt wurde, ist der FBAR-Stapel **56** über dem in dem Substrat **58** definierten Hohlraum **60** aufgehängt. Die große Nichtübereinstimmung zwischen den akustischen Impedanzen der Materialien des FBAR-Stapels **56** (üblicherweise mehrere zehn Megarayleighs (Mrayl)) und der Luft oder dem anderen Gas in dem Hohlraum **60** (etwa 1 Kilorayleigh (krayl)) isoliert den FBAR-Stapel **56** akustisch von dem Substrat **58**. Hierbei gilt [im MKS-Einheitensystem]: $1 \text{ rayl} = 1 \text{ Pa} \cdot \text{s} \cdot \text{m}^{-1}$. Desgleichen wird die obere Oberfläche **68** des FBAR-Stapels **56**, die fern von dem Substrat **58** ist, durch einen Zwischenraum **70** von der Abdeckung **64** getrennt. Der Zwischenraum **70** ist üblicherweise mit Luft oder einem anderen Gas gefüllt. Die große Nichtübereinstimmung zwischen den akustischen Impedanzen der Materialien des FBAR-Stapels **56** und der Luft oder dem anderen Gas in dem Zwischenraum **70** isoliert den FBAR-Stapel **56** akustisch von der Abdeckung **64**. Somit ist der FBAR-Stapel **56** sowohl von dem Substrat **58** als auch von der Abdeckung **64** akustisch entkoppelt und kann somit ansprechend auf ein zwischen seine Elektroden angelegtes elektrisches Signal mechanisch frei schwingen. Obwohl das Gehäuse **54** der in **Fig. 3** gezeigten eingekapselten FBAR-Vorrichtung **50** relativ einfach und kostengünstig ist, ist ein einfacherer und kostengünstigerer Gehäuseeinbau erhältlich. Ein Beispiel eines derartigen Gehäuseeinbaus beinhaltet ein Einkapseln des FBAR-Stapels in ein Kapselungsmittel (nicht gezeigt), das den FBAR-Stapel und einen Teil des Substrats bedeckt. Jedoch verschlechtert ein mechanischer Kontakt zwischen dem Kapselungsmittel und der von dem Substrat ferneren oberen Oberfläche **68** des FBAR-Stapels die elektrischen Eigenschaften der eingekapselten FBAR-Vorrichtung, da der FBAR-Stapel nicht mehr mechanisch frei schwingen kann.

[0010] Somit wird eine eingekapselte FBAR-Vorrichtung benötigt, bei der der FBAR-Stapel effektiv von dem Kapselungsmittel akustisch isoliert ist.

Zusammenfassung der Erfindung

[0011] Bezüglich eines ersten Aspekts liefert die Erfindung eine eingekapselte akustische Filmvolumenresonator-Vorrichtung (FBAR-Vorrichtung), die ein Substrat, einen FBAR-Stapel über dem Substrat, ein Element zum akustischen Isolieren des FBAR-Stapels von dem Substrat, ein den FBAR-Stapel bedeckendes Kapselungsmittel und einen akustischen Bragg-Reflektor zwischen der oberen Oberfläche des FBAR-Stapels und dem Kapselungsmittel umfasst. Der FBAR-Stapel umfasst einen FBAR und weist eine von dem Substrat ferne obere Oberfläche auf. Der FBAR umfasst gegenüberliegende planare Elektroden und ein piezoelektrisches Element zwischen den Elektroden. Der akustische Bragg-Reflektor umfasst eine metallische Bragg-Schicht und eine Kunststoff-Bragg-Schicht, die zu der metallischen Bragg-Schicht benachbart ist.

[0012] Beispiele einer FBAR-Vorrichtung umfassen einen FBAR wie z. B. einen FBAR, der ein Element eines Leiterfilters liefert, einen gestapelten akustischen Volumenresonator (SBAR – stacked bulk acoustic resonator), einen entkoppelten gestapelten akustischen Volumenresonator (DSBAR), ein Bandpassfilter, ein Gekoppelter-Resonator-Filter und einen akustisch gekoppelten Filmtransformator (FACT).

[0013] Das große Verhältnis zwischen den akustischen Impedanzen des Metalls der metallischen Bragg-Schicht und dem Kunststoffmaterial der Kunststoff-Bragg-Schicht befähigt den akustischen Bragg-Reflektor, eine ausreichende akustische Isolierung zwischen dem FBAR und dem Kapselungsmittel zu liefern, damit die Frequenzantwort der FBAR-Vorrichtung keine oder nur geringfügige Störartefakte aufweist, die sich aus einer unerwünschten akustischen Kopplung zwischen dem FBAR und dem Kapselungsmittel ergeben.

[0014] Das große Verhältnis zwischen den akustischen Impedanzen des Metalls der metallischen Bragg-Schicht und dem Kunststoffmaterial der Kunststoff-Bragg-Schicht bedeutet, dass die FBAR-Vorrichtung zusätzlich zu den Schichten, die den FBAR selbst bilden, üblicherweise aus zwischen einer und vier Bragg-Schichten bestehen kann. Dies bedeutet, dass der Herstellungsvorgang der FBAR-Vorrichtung gemäß der Erfindung nicht oder nur geringfügig komplexer ist als der Herstellungsvorgang einer herkömmlichen FBAR-Vorrichtung desselben Typs. Der akustische Bragg-Reflektor ermöglicht, dass zum Einkapseln der FBAR-Vorrichtung ein einfacherer und kostengünstiger Prozess verwendet wird.

[0015] Die niedrige Geschwindigkeit des Schalls bei Kunststoffmaterialien bedeutet, dass die Kunststoff-Bragg-Schichten relativ dünn sind. Demgemäß ist die Gesamthöhe der Akustik des akustischen Bragg-Reflektors gering.

[0016] Bezüglich eines zweiten Aspekts liefert die Erfindung eine eingekapselte akustische Filmvolumenresonator-Vorrichtung (FBAR-Vorrichtung), die ein Substrat, einen FBAR-Stapel über dem Substrat, ein Element zum akustischen Isolieren des FBAR-Stapels von dem Substrat, ein den FBAR-Stapel bedeckendes Kapselungsmittel und einen akustischen Bragg-Reflektor zwischen der oberen Oberfläche des FBAR-Stapels und dem Kapselungsmittel umfasst. Der FBAR-Stapel umfasst einen FBAR und weist eine von dem Substrat ferne obere Oberfläche auf. Der FBAR umfasst gegenüberliegende planare Elektroden und ein piezoelektrisches Element zwischen den Elektroden. Der akustische Bragg-Reflektor umfasst eine erste Bragg-Schicht und eine zweite Bragg-Schicht, die zu der ersten Bragg-Schicht benachbart ist. Die erste Bragg-Schicht umfasst ein erstes Material, das eine akustische Impedanz von weniger als fünf aufweist. Die zweite Bragg-Schicht umfasst ein zweites Material, das eine akustische Impedanz von mehr als 50 aufweist. Bei einem Ausführungsbeispiel weist das erste Material eine akustische Impedanz von weniger als drei auf, und das zweite Material weist eine akustische Impedanz von mehr als 60 auf.

[0017] Bezüglich eines letzten Aspekts liefert die Erfindung eine eingekapselte akustische Filmvolumenresonator-Vorrichtung (FBAR-Vorrichtung), die ein Substrat, einen FBAR-Stapel über dem Substrat, ein Element zum akustischen Isolieren des FBAR-Stapels von dem Substrat, ein den FBAR-Stapel abdeckendes Kapselungsmittel und einen akustischen Bragg-Reflektor zwischen der oberen Oberfläche des FBAR-Stapels und dem Kapselungsmittel umfasst. Der FBAR-Stapel umfasst einen FBAR und weist eine dem Substrat ferne obere Oberfläche auf. Der FBAR umfasst gegenüberliegende planare Elektroden und ein piezoelektrisches Element zwischen den Elektroden. Der akustische Bragg-Reflektor umfasst eine erste Bragg-Schicht und eine zu der ersten Bragg-Schicht benachbarte zweite Bragg-Schicht. Die erste Bragg-Schicht umfasst ein erstes Material, das eine erste akustische Impedanz aufweist, und die zweite Bragg-Schicht umfasst ein zweites Material, das eine zweite akustische Impedanz aufweist. Die zweite akustische Impedanz und die erste akustische Impedanz weisen ein Verhältnis von mehr als zehn auf. Bei einem Ausführungsbeispiel weisen die zweite akustische Impedanz und die erste akustische Impedanz ein Verhältnis von mehr als 16 auf.

Kurze Beschreibung der Zeichnungen

[0018] Fig. 1 ist eine schematische Zeichnung eines Leiterfilters, das FBARs gemäß dem Stand der Technik beinhaltet.

[0019] Fig. 2 ist eine Querschnittsansicht eines FBAR gemäß dem Stand der Technik.

[0020] Fig. 3 ist eine Querschnittsansicht einer eingekapselten FBAR-Vorrichtung gemäß dem Stand der Technik.

[0021] Fig. 4A ist eine Draufsicht auf ein erstes Ausführungsbeispiel einer eingekapselten FBAR-Vorrichtung gemäß der Erfindung.

[0022] Fig. 4B ist eine Querschnittsansicht des ersten Ausführungsbeispiels der eingekapselten FBAR-Vorrichtung, die in Fig. 4A entlang der Schnittlinie 4B-4B gezeigt ist.

[0023] Fig. 4C und Fig. 4D sind Querschnittsansichten alternativer Strukturen des akustischen Bragg-Reflektors der in Fig. 4A gezeigten eingekapselten FBAR-Vorrichtung.

[0024] Fig. 5 ist eine Querschnittsansicht eines zweiten Ausführungsbeispiels einer eingekapselten FBAR-Vorrichtung gemäß der Erfindung.

[0025] Fig. 6A ist eine Draufsicht auf ein drittes Ausführungsbeispiel einer eingekapselten FBAR-Vorrichtung gemäß der Erfindung.

[0026] Fig. 6B ist eine Querschnittsansicht des dritten Ausführungsbeispiels der eingekapselten FBAR-Vorrichtung, die in Fig. 6A entlang der Schnittlinie 6B-6B gezeigt ist.

[0027] Fig. 7A ist eine Draufsicht auf ein viertes Ausführungsbeispiel einer eingekapselten FBAR-Vorrichtung gemäß der Erfindung.

[0028] Fig. 7B ist eine Querschnittsansicht des vierten Ausführungsbeispiels der FBAR-Vorrichtung, die in Fig. 7A entlang der Schnittlinie 7B-7B gezeigt ist.

[0029] Fig. 7C ist eine Querschnittsansicht des vierten Ausführungsbeispiels der FBAR-Vorrichtung, die in Fig. 7A entlang der Schnittlinie 7C-7C gezeigt ist.

[0030] Fig. 7D ist ein schematisches Diagramm der elektrischen Schaltungen des vierten Ausführungsbeispiels der in Fig. 7A gezeigten eingekapselten FBAR-Vorrichtung.

[0031] Fig. 8A–Fig. 8M sind Draufsichten, die einen Prozess zum Herstellen eines Ausführungsbeispiels einer eingekapselten FBAR-Vorrichtung gemäß der Erfindung veranschaulichen.

[0032] Fig. 8N–Fig. 8Z sind Querschnittsansichten entlang der Schnittlinien 8N-8N mit 8Z-8Z in den Fig. 8A–Fig. 8M.

Ausführliche Beschreibung

[0033] Fig. 4A und Fig. 4B sind eine Draufsicht bzw. eine Querschnittsansicht eines ersten exemplarischen Ausführungsbeispiels **100** einer eingekapselten FBAR-Vorrichtung gemäß der Erfindung. Die eingekapselte FBAR-Vorrichtung **100** umfasst einen FBAR-Stapel **111**, der einen FBAR **110** umfasst. Der FBAR **110** ist ein beispielhafter FBAR eines FBAR-Leiterfilters, z. B. des in Fig. 1 gezeigten, oder ein exemplarischer FBAR eines Duplexers. Die übrigen FBARs eines derartigen Leiterfilters oder Duplexers bilden ferner einen Bestandteil des FBAR-Stapels **111**. Jedoch sind die übrigen FBARs bei den Fig. 4A und Fig. 4B weggelassen, um die Zeichnung zu vereinfachen.

[0034] Unter Bezugnahme auf Fig. 4B besteht die eingekapselte FBAR-Vorrichtung **100** aus einem Substrat **102**, einem FBAR-Stapel **111** über dem Substrat, einem Element, das den FBAR-Stapel von dem Substrat isoliert, einem den FBAR-Stapel **111** bedeckenden Kapselungsmittel **121** und einem akustischen Bragg-Reflektor **190** zwischen der oberen Oberfläche **113** des FBAR-Stapels **111** und dem Kapselungsmittel **121**. Der akustische Bragg-Reflektor **190** umfasst eine erste metallische Bragg-Schicht **192**, die zu einer ersten Kunststoff-Bragg-Schicht **194** benachbart ist. Bei dem gezeigten Beispiel ist die erste metallische Bragg-Schicht **192** zu dem Kapselungsmittel **121** benachbart, und der akustische Bragg-Reflektor **190** besteht ferner aus einer zweiten metallischen Bragg-Schicht **196**, die zu der ersten Kunststoff-Bragg-Schicht **194** benachbart ist, und aus einer zweiten Kunststoff-Bragg-Schicht **198**, die zu der zweiten metallischen Bragg-Schicht **196** benachbart ist. Die zweite Kunststoff-Bragg-Schicht **198** ist zu der oberen Oberfläche **113** des FBAR-Stapels **111** benachbart. Ferner besteht bei dem gezeigten Beispiel der FBAR-Stapel **111** aus einer einzigen FBAR-Vorrichtung **110**, die gegenüberliegende planare Elektroden **112** und **114** und ein piezoelektrisches Element **116** zwischen den Elektroden aufweist.

[0035] Bei dem gezeigten Beispiel erfüllt der in dem Substrat **102** definierte Hohlraum **104** ferner die Funktion, den FBAR-Stapel **111** von dem Substrat **102** akustisch zu isolieren. Zusätzlich isoliert der akustische Bragg-Reflektor **190** den FBAR-Stapel akustisch von dem Kapselungsmittel **121**. Somit wird der FBAR-Stapel **111** sowohl von dem Substrat **102** als auch von dem Kapselungsmittel **121** akustisch isoliert und kann somit ansprechend auf ein zwischen die Elektroden **112** und **114** des FBAR **110** angelegtes elektrisches Signal mechanisch frei schwingen.

[0036] Bragg-Schichten, die in der vorliegenden Offenbarung als benachbart beschrieben sind, berühren einander üblicherweise physisch, wie in Fig. 4B gezeigt ist. Jedoch können benachbarte Bragg-Schichten durch Zwischenschichten getrennt sein, vorausgesetzt, dass derartige Zwischenschichten einen vernachlässigbaren Effekt auf die akustischen Eigenschaften der benachbarten Bragg-Schichten aufweisen.

[0037] Ein Element, das in dem vorliegenden Dokument als über einem anderen Element angeordnet beschrieben ist, berührt üblicherweise ein anderes Element physisch, wie dies die fernseitige Elektrode **114** und das piezoelektrische Element **116** tun. Jedoch kann ein als über einem anderen Element befindlich beschriebenes Element alternativ durch ein oder mehr andere Elemente von diesem anderen Element getrennt sein. Beispielsweise kann das piezoelektrische Element **116** als über dem Substrat **102** befindlich beschrieben werden, ist jedoch bei dem in **Fig. 4B** gezeigten Ausführungsbeispiel durch die Elektrode **112** von dem Substrat getrennt.

[0038] Gemäß der Verwendung in der vorliegenden Offenbarung bezieht sich der Begriff FBAR-Stapel auf einen Stapel von Schichten verschiedener Materialien, der einen oder mehrere FBARs umfasst. Bei Ausführungsbeispielen, bei denen der Stapel mehr als einen FBAR umfasst, können sich die FBARs auf derselben Ebene in dem FBAR-Stapel oder auf unterschiedlichen Ebenen in dem FBAR-Stapel befinden, oder manche der FBARs können sich auf derselben Ebene in dem FBAR-Stapel befinden, und manche der FBARs können sich auf unterschiedlichen Ebenen in dem FBAR-Stapel befinden. Beispielsweise befinden sich die FBARs in einem FBAR-Leiterfilter üblicherweise auf derselben Ebene in dem FBAR-Stapel, die FBARs in einem entkoppelten gestapelten akustischen Volumenresonator (DSBAR) befinden sich auf unterschiedlichen Ebenen in dem FBAR-Stapel, und manche der FBARs eines akustisch gekoppelten Dünnschichttransformators (FACT) befinden sich auf derselben Ebene in dem FBAR-Stapel, und manche der FBARs des FACT befinden sich auf unterschiedlichen Ebenen in dem FBAR-Stapel.

[0039] Die eingekapselte FBAR-Vorrichtung **100** weist eine Bandpassfrequenzantwortcharakteristik auf, die eine Mittenfrequenz aufweist. Gemäß der Verwendung in der vorliegenden Offenbarung bezieht sich der Begriff Bragg-Schicht auf eine Schicht, die eine nominelle Dicke t eines ungeraden ganzzahligen Vielfachen eines Viertels der Wellenlänge λ_n in dem Material der Bragg-Schicht eines akustischen Signals aufweist, dessen Frequenz gleich der Mittenfrequenz ist, d. h. $t = (2m + 1)\lambda_n/4$, wobei m eine Ganzzahl ist, die größer als oder gleich Null ist. Bragg-Schichten, bei denen die Ganzzahl m Null ist, verringern üblicherweise die Wahrscheinlichkeit, dass die Frequenzantwort der eingekapselten FBAR-Vorrichtung Störartefakte aufweist. Bei derartigen Bragg-Schichten beträgt die nominelle Dicke der Bragg-Schicht ein Viertel der Wellenlänge in dem Material der Schicht des oben erwähnten akustischen Signals, d. h. $t = \lambda_n/4$. Eine Schicht dieser Dicke wird als Viertelwellenschicht bezeichnet. Überdies, wie nachfolgend ausführlicher beschrieben wird, liefern Ausführungsbeispiele, bei denen zumindest die metallischen Bragg-Schichten dünner als Viertelwellenschichten sind, manche $\lambda_n/16$ dünn sind, eine ausreichende akustische Isolierung für einen Einsatz bei vielen Anwendungen.

[0040] Die Erfinder entdeckten, dass die durch einen akustischen Bragg-Reflektor gelieferte akustische Isolierung von dem Verhältnis der akustischen Impedanzen der Materialien der Bragg-Schichten, die den akustischen Bragg-Reflektor bilden, abhängt. Die effektive akustische Impedanz $Z_{\text{eff}1}$, die durch eine erste Bragg-Schicht dargestellt wird, die zu einer anderen Schicht benachbart ist, ist die akustische Impedanz, die man an der Oberfläche der von der anderen Schicht fernsten ersten Bragg-Schicht sieht. Die durch die erste Bragg-Schicht präsentierte effektive akustische Impedanz hängt von der akustischen Impedanz der ersten Bragg-Schicht und der effektiven akustischen Impedanz, die der ersten Bragg-Schicht durch die andere Schicht präsentiert wird, ab. Die effektive akustische Impedanz, die durch die erste Bragg-Schicht präsentiert wird, ist durch Folgendes gegeben:

$$Z_{\text{eff}1} = Z_p^2/Z_m \quad (1)$$

wobei Z_p die akustische Impedanz des Materials der ersten Bragg-Schicht ist, und Z_m die akustische Impedanz der anderen Schicht ist.

[0041] Beispielsweise hängt die effektive akustische Impedanz an der Oberfläche der ersten metallischen Bragg-Schicht **192**, die dem Kapselungsmittel **121** fern ist, von der akustischen Impedanz des Materials der ersten metallischen Bragg-Schicht **192** und von der akustischen Impedanz des Materials des Kapselungsmittels ab. Bei diesem Beispiel ist $Z_{\text{eff}1}$ die effektive akustische Impedanz, die an der Oberfläche der ersten metallischen Bragg-Schicht **192**, die dem Kapselungsmittel **121** fern ist, präsentiert wird, Z_p ist die akustische Impedanz des Materials der ersten metallischen Bragg-Schicht **192**, und Z_m ist die akustische Impedanz des Materials des Kapselungsmittels **121**.

[0042] Die durch die Gleichung (1) definierte Beziehung liegt zwischen jeder Bragg-Schicht und der vorhergehenden Bragg-Schicht vor. In der Gleichung (1) ist Z_m die effektive akustische Impedanz, die der Bragg-Schicht durch die vorhergehende Bragg-Schicht präsentiert wird.

[0043] Beispielsweise präsentiert die erste metallische Bragg-Schicht **192** der ersten Kunststoff-Bragg-Schicht **194** die effektive akustische Impedanz $Z_{\text{eff}1}$. Die erste Kunststoff-Bragg-Schicht **194** wandelt die effektive akustische Impedanz $Z_{\text{eff}1}$ in eine andere effektive akustische Impedanz $Z_{\text{eff}2}$ um und präsentiert die effektive akustische Impedanz $Z_{\text{eff}2}$ der zweiten metallischen Bragg-Schicht **196**. Die zweite metallische Bragg-Schicht **196** wandelt die effektive akustische Impedanz $Z_{\text{eff}2}$ in eine andere effektive akustische Impedanz $Z_{\text{eff}3}$ um und präsentiert die effektive akustische Impedanz $Z_{\text{eff}3}$ der zweiten Kunststoff-Bragg-Schicht **198**. Die zweite Kunststoff-Bragg-Schicht **198** wandelt die effektive akustische Impedanz $Z_{\text{eff}3}$ in eine andere effektive akustische Impedanz $Z_{\text{eff}4}$ um und präsentiert die effektive akustische Impedanz $Z_{\text{eff}4}$ dem FBAR **110**. Die effektive akustische Impedanz $Z_{\text{eff}4}$ ist auch die effektive akustische Impedanz des akustischen Bragg-Reflektors **190**.

[0044] Die Nichtübereinstimmung der akustischen Impedanz zwischen dem FBAR-Stapel **111** und der durch den akustischen Bragg-Reflektor **190** an der zweiten Kunststoff-Bragg-Schicht **198** präsentierten effektiven akustischen Impedanz liefert die akustische Isolierung zwischen dem FBAR-Stapel **111** und dem Kapselungsmittel **121**. Die durch die Bragg-Schichten **192**, **194**, **196** bzw. **198** präsentierten effektiven akustischen Impedanzen wechseln von der ersten metallischen Bragg-Schicht **192** zu der zweiten Kunststoff-Bragg-Schicht **198** zwischen hoch und niedrig, wobei die hohe Impedanz zunimmt und die niedrige Impedanz abnimmt.

[0045] Damit der akustische Bragg-Reflektor **190** eine effektive akustische Isolierung liefert, kann die effektive akustische Impedanz, die er dem FBAR-Stapel **111** präsentiert, größer oder geringer sein als die akustische Impedanz des FBAR-Stapels. Die durch den akustischen Bragg-Reflektor **190** gelieferte akustische Isolierung kann durch den Absolutwert des Verhältnisses der effektiven akustischen Impedanz des akustischen Bragg-Reflektors **190** und der akustischen Impedanz des FBAR-Stapels **111** quantifiziert werden, in Dezibel (das Zwanzigfache des Logarithmus des Verhältnisses) ausgedrückt. Ein Erhöhen der akustischen Isolierung verringert die Wahrscheinlichkeit, dass die Frequenzantwort der FBAR-Vorrichtung **100** unerwünschte Störartefakte auf Grund einer unerwünschten Kopplung zwischen dem FBAR-Stapel **111** und dem Kapselungsmittel **121** aufweist.

[0046] Gemäß der Erfindung sind Materialien von Abwechselnden der Bragg-Schichten des akustischen Bragg-Reflektors **190** ein Kunststoffmaterial bzw. ein Metall, insbesondere ein feuerfestes Metall wie z. B. Wolfram oder Molybdän. Das große Verhältnis zwischen den akustischen Impedanzen von Metallen und Kunststoffmaterialien ermöglicht, dass unter Verwendung relativ weniger Bragg-Schichten eine akustische Isolierung von vielen Zehn Dezibel erhalten wird. Mehrere feuerfeste Metalle sind erhältlich, die eine akustische Impedanz von mehr als 50 Mrayl aufweisen und die mit den bei typischen FBAR-Herstellungsprozessen verwendeten Ätzmitteln kompatibel sind. Molybdän beispielsweise weist eine akustische Impedanz von etwa 63 Mrayl auf. Es sind mehrere Kunststoffmaterialien erhältlich, die eine akustische Impedanz von weniger als 5 Mrayl aufweisen und die mit den bei typischen FBAR-Herstellungsprozessen verwendeten hohen Temperaturen und Ätzmitteln kompatibel sind. Die akustischen Impedanzen mancher derartiger Kunststoffmaterialien betragen nur etwa 2 Mrayl. Somit sind mehrere Kombinationen von Metallen und Kunststoffen erhältlich, die ein Akustische-Impedanz-Verhältnis von mehr als zehn aufweisen. Molybdän und ein vernetztes Polyphenylenpolymer, das nachfolgend beschrieben wird, weisen ein Akustische-Impedanz-Verhältnis von etwa 30 auf.

[0047] Kunststoffmaterialien, die mit den hohen Temperaturen ($> 400^{\circ}\text{C}$) und Ätzmitteln kompatibel sind, denen die erste Kunststoff-Bragg-Schicht **194** und die zweite Kunststoff-Bragg-Schicht **198** während der Aufbringung der ersten metallischen Bragg-Schicht **192** und der zweiten ersten metallischen Bragg-Schicht **196** unterworfen werden, sind mit akustischen Impedanzen im Bereich von etwa 2 Mrayl bis etwa 4 Mrayl erhältlich.

[0048] Eine Verwendung eines Metalls, z. B. eines feuerfesten Metalls, mit einer akustischen Impedanz von mehr als etwa 50 Mrayl als Material der ersten metallischen Bragg-Schicht **192** und der zweiten metallischen Bragg-Schicht **196**, und eine Verwendung eines Kunststoffmaterials, das eine akustische Impedanz von weniger als etwa 5 Mrayl aufweist, als Material der ersten Kunststoff-Bragg-Schicht **194** und der zweiten Kunststoff-Bragg-Schicht **198** führt zu einem Ausführungsbeispiel des akustischen Bragg-Reflektors **190**, der dem FBAR-Stapel **111** eine effektive akustische Impedanz von etwa 400 Rayleighs (rayl) präsentiert. Angenommen, der FBAR-Stapel **111** weist eine effektive akustische Impedanz von etwa 50 Mrayl auf, so führt dies zu einer akustischen Isolierung von über 100 dB. Der akustische Bragg-Reflektor **190** liefert eine ausreichende akustische Isolierung zwischen dem FBAR-Stapel **111** und dem Kapselungsmittel **121**, so dass die Frequenzantwort des FBAR **110** eine Frequenzantwort aufweist, die im Wesentlichen frei von Störartefakten ist. Ausführungsbeispiele, bei denen das Kunststoffmaterial eine akustische Impedanz von etwa 2 Mrayl aufweist, liefern eine errechnete akustische Isolierung von über 120 dB. Zum Vergleich beträgt die errechnete akustische Isolierung, die durch den in **Fig. 3** gezeigten Zwischenraum **70** geliefert wird, weniger als etwa 90 dB. Das Gas in dem Zwischenraum weist eine akustische Impedanz von etwa 1 krayl auf.

[0049] Bei Ausführungsbeispielen, die eine noch höhere akustische Isolierung zwischen dem FBAR-Stapel **111** und dem Kapselungsmittel **121** erfordern, können zusätzliche Paare von Bragg-Schichten aus Kunststoff und Metall zwischen der ersten metallischen Bragg-Schicht **192** und dem Kapselungsmittel **121** vorliegen. Jedoch reicht die durch das veranschaulichte Ausführungsbeispiel des akustischen Bragg-Reflektors **190** gelieferte akustische Isolierung für die meisten Anwendungen aus.

[0050] Die Elektrode **112**, die Elektrode **114** und die piezoelektrische Schicht **116** bilden eine mechanische Struktur, die eine mechanische Resonanz aufweist, die die Mittenfrequenz des Durchlassbandes des FBAR **110** definiert. Die Elektrode **112**, die Elektrode **114** und das piezoelektrische Element **116** weisen eine ähnliche Dicke auf wie die entsprechenden Elemente eines herkömmlichen FBAR, dessen Bandpassfrequenzantwort dieselbe nominelle Mittenfrequenz aufweist. Folglich weist die eingekapselte FBAR-Vorrichtung **100** ähnliche elektrische Charakteristika auf wie eine ähnliche konventionelle FBAR-Vorrichtung, z. B. die in **Fig. 3** gezeigte, bei der das obere Ende des FBAR-Stapels durch einen Zwischenraum von dem Gehäuse isoliert ist.

[0051] Die eingekapselte FBAR-Vorrichtung **100** weist zusätzlich eine Anschlusskontaktstelle **132**, eine Anschlusskontaktstelle **134**, eine elektrische Bahn **133**, die die Anschlusskontaktstelle **132** elektrisch mit der Elektrode **112** verbindet, und eine elektrische Bahn **135**, die die Anschlusskontaktstelle **134** elektrisch mit der Elektrode **114** verbindet, auf. Die Anschlusskontaktstellen **132** und **134** werden dazu verwendet, elektrische Verbindungen von der eingekapselten FBAR-Vorrichtung **100** zu externen elektrischen Schaltungen (nicht gezeigt) herzustellen.

[0052] Wie nachstehend beschrieben wird, ist die Herstellung des FBAR-Stapels **111** und des akustischen Bragg-Reflektors **190** der eingekapselten FBAR-Vorrichtung **100** auf Grund des Erfordernisses, den akustischen Bragg-Reflektor **190** zu bilden, indem zusätzliche Schichten eines Materials auf die obere Oberfläche **113** des FBAR-Stapels **111** aufgebracht und dort strukturiert werden, etwas komplexer als die Herstellung des FBAR-Stapels **56** der in **Fig. 3** gezeigten herkömmlichen, mittels eines Zwischenraums isolierten eingekapselten FBAR-Vorrichtung. Dagegen wird die FBAR-Vorrichtung **100** einfach dadurch eingekapselt, dass der FBAR-Stapel **111** und der akustische Bragg-Reflektor **190** mit einem Kapselungsmaterial eingekapselt werden und das Kapselungsmaterial gehärtet wird, um das Kapselungsmittel **121** zu bilden. Bei einem Ausführungsbeispiel ist das Kapselungsmaterial Polyimid, was nachstehend ausführlicher beschrieben wird. Bei anderen Ausführungsbeispielen ist das Kapselungsmaterial ein kaltvulkanisierender Gummi (RTV – room-temperature vulcanizing rubber), ein glasbeladenes Epoxid oder ein anderes geeignetes Kapselungsmaterial. Bei Anwendungen, bei denen eine hermetische Einkapselung wünschenswert ist, kann das Kapselungsmittel **121** zusätzlich eine dünne Abdichtschicht aus Metall (nicht gezeigt) umfassen, die als Beschichtung auf die Außenoberfläche des gehärteten Kapselungsmaterials aufgebracht wird. Geeignete Metalle umfassen Aluminium und Gold. Die zusätzliche Metallabdichtschicht verringert die Porosität des Kapselungsmittels **121** beträchtlich.

[0053] Der FBAR-Stapel **111** kann durch ein Kapselungsmittel bedeckt sein, das sich von dem Kapselungsmittel **121** unterscheidet. Beispielsweise kann ein niedriges Profil aufweisendes Ausführungsbeispiel des in **Fig. 3** gezeigten Gehäuses **54**, bei dem die Abdeckung **64** den akustischen Bragg-Reflektor **190** berührt, ein Kapselungsmittel liefern, das den FBAR-Stapel **111** bedeckt.

[0054] Bei in der vorliegenden Offenbarung beschriebenen Ausführungsbeispielen der eingekapselten FBAR-Vorrichtungen ist das Kunststoffmaterial der Kunststoff-Bragg-Schichten Polyimid. Polyimid wird von E. I. du Pont de Nemours and Company unter dem Warenzeichen Kapton® vertrieben. Bei derartigen Ausführungsbeispielen bestehen die Kunststoff-Bragg-Schichten **194** und **198** jeweils aus Polyimid, das mittels Schleuderbeschichtung aufgebracht wurde. Polyimid weist eine akustische Impedanz von etwa 4 Mrayl auf.

[0055] Bei anderen Ausführungsbeispielen ist das Kunststoffmaterial der Kunststoff-Bragg-Schichten Poly(paraxylylen). Bei derartigen Ausführungsbeispielen bestehen die Kunststoff-Bragg-Schichten **194** und **198** jeweils aus Poly(paraxylylen), das mittels Aufdampfung aufgebracht wurde. Poly(paraxylylen) ist in der Technik auch als Parylen bekannt. Der Dimer-Vorläufer Di-Paraxylylen, aus dem Parylen hergestellt ist, und Ausrüstung zum Durchführen einer Vakuumaufdampfung von Parylenschichten sind von vielen Lieferanten erhältlich. Parylen weist eine akustische Impedanz von etwa 2,8 Mrayl auf.

[0056] Bei weiteren Ausführungsbeispielen ist das Kunststoffmaterial der Kunststoff-Bragg-Schichten ein vernetztes Polyphenylenpolymer. Bei derartigen Ausführungsbeispielen bestehen die Kunststoff-Bragg-Schichten **194** und **198** jeweils aus dem mittels Schleuderbeschichtung aufbrachten vernetzten Polyphenylenpolymer. Vernetzte Polyphenylenpolymere wurden als dielektrische Materialien mit niedriger Dielektrizitätskonstante zur Verwendung bei integrierten Schaltungen entwickelt und bleiben folglich bei den hohen Temperaturen, denen

das vernetzte Polyphenylenpolymer während der anschließenden Aufbringung und Strukturierung der metallischen Bragg-Schichten des akustischen Bragg-Reflektors **190** ausgesetzt wird, stabil. Die Erfinder entdeckten, dass vernetzte Polyphenylenpolymere zusätzlich eine errechnete akustische Impedanz von etwa 2 Mrayl aufweisen. Die niedrige akustische Impedanz von vernetzten Polyphenylenpolymeren ermöglicht, dass Ausführungsbeispiele des akustischen Bragg-Reflektors **190**, bei denen das Kunststoffmaterial der Kunststoff-Bragg-Schichten ein vernetztes Polyphenylenpolymer ist, eine besonders hohe akustische Isolierung liefern.

[0057] Vorläuferlösungen, die verschiedene Oligomere enthalten, die polymerisieren, um jeweilige vernetzte Polyphenylenpolymere zu bilden, werden von The Dow Chemical Company, Midland, MI, USA, unter dem Warenzeichen SiLK vertrieben. Die Vorläuferlösungen werden mittels Schleuderbeschichtung aufgebracht. Das vernetzte Polyphenylenpolymer, das aus einer dieser als SiLK™ J bezeichneten Vorläuferlösungen erhalten wird und das zusätzlich einen Adhäsionsverbesserer enthält, weist eine errechnete akustische Impedanz von 2,1 Mrayl, d. h. etwa 2 Mrayl, auf.

[0058] Die Oligomere, die polymerisieren, um vernetzte Polyphenylenpolymere zu bilden, werden aus Monomeren hergestellt, die Biscyclopentadienon und aromatisches Acetylen enthalten. Eine Verwendung derartiger Monomere bildet lösliche Oligomere ohne das Erfordernis einer übermäßigen Substitution. Die Vorläuferlösung enthält ein spezifisches Oligomer, das in Gamma-Butyrolacton- und Cyclohexanon-Lösungsmitteln aufgelöst ist. Der Prozentsatz des Oligomers in der Vorläuferlösung bestimmt die Schichtdicke, wenn die Vorläuferlösung aufgeschleudert wird. Nach der Aufbringung verdampft die Aufbringungswärme die Lösungsmittel und härtet dann das Oligomer aus, um ein vernetztes Polymer zu bilden. Die Biscyclopentadienone reagieren mit den Acetylenen in einer 4 + 2-Cycloadditionsreaktion, die einen neuen aromatischen Ring bildet. Weiteres Aushärten führt zu dem vernetzten Polyphenylenpolymer. Die oben beschriebenen vernetzten Polyphenylenpolymere sind von Godschalx et al. in der US-Patentschrift Nr. 5,965,679 offenbart. Zusätzliche praktische Einzelheiten werden von Martin et al., Development of Low-Dielectric Constant Polymer for the Fabrication of Integrated Circuit Interconnect, 12 ADVANCED MATERIALS, 1769 (2000), beschrieben. Im Vergleich zu Polyimid weisen vernetzte Polyphenylenpolymere eine geringere akustische Impedanz, eine geringere akustische Dämpfung und eine niedrigere Dielektrizitätskonstante auf. Ferner ist eine aufgeschleuderte Schicht der Vorläuferlösung in der Lage, einen qualitativ hochwertigen Film des vernetzten Polyphenylenpolymers mit einer Dicke in der Größenordnung von 200 nm zu erzeugen, was eine typische Dicke der Kunststoff-Bragg-Schichten **194** und **198** ist.

[0059] Jede der Bragg-Schichten **192**, **194**, **196** und **198** weist eine nominelle Dicke auf, die ein Viertel der Wellenlänge in dem Material der Bragg-Schicht eines akustischen Signals aufweist, dessen Frequenz gleich der Mittenfrequenz des Durchlassbandes des FBAR **110** ist. Bei Bragg-Schichten, die eine Viertelwelle dick sind, präsentiert der akustische Bragg-Reflektor **190** eine errechnete effektive akustische Impedanz von etwa 65 rayl bei Kunststoff-Bragg-Schichten aus Polyimid und etwa 4 rayl bei Kunststoff-Bragg-Schichten aus vernetztem Polyphenylenpolymer. Diese akustischen Impedanzen entsprechen akustischen Isolierungen von etwa 118 dB bzw. 142 dB.

[0060] Bei einem Ausführungsbeispiel eines akustischen Bragg-Reflektors **190**, der dahin gehend strukturiert ist, bei etwa 2 GHz zu arbeiten, und bei dem das Kunststoffmaterial der Kunststoff-Bragg-Schichten **194** und **198** vernetztes Polyphenylenpolymer ist und das Metall der metallischen Bragg-Schichten **192** und **196** Molybdän ist, beträgt die Dicke der Kunststoff-Bragg-Schichten etwa 190 nm, und die Dicke der metallischen Bragg-Schichten etwa 800 nm. Vorläuferlösungen für vernetzte Polyphenylenpolymere, die dahin gehend formuliert sind, mit einer Dicke von etwa 190 nm aufgeschleudert zu werden, sind im Handel erhältlich. Polyimid kann ebenfalls in Schichten dieser Dicke aufgeschleudert werden. Dementsprechend ist ein Bilden von Kunststoff-Bragg-Schichten **194** und **198** als nominelle Viertelwellenschichten unkompliziert. Dagegen ist ein Aufspüttern von Molybdän in einer Dicke von 800 nm mit einer hohen Materialqualität und ein Strukturieren einer derartigen Schicht unter Verwendung heutiger Produktionstechnologie schwierig. Jedoch bedeutet die große effektive akustischen Impedanzwandlung, die dadurch erhalten wird, dass eine Kunststoff-Bragg-Schicht neben einer Bragg-Schicht aus feuerfestem Metall angeordnet wird, dass eine entsprechend starke akustische Isolierung mit metallischen Bragg-Schichten erhalten werden kann, die wesentlich dünner sind als Viertelwellenschichten. Teststrukturen, die metallische Bragg-Schichten einer Dicke von nur 220 nm (kaum dicker als Sechzehntelwelle-Schichten) verwenden, liefern akzeptable Ergebnisse. Eine Verwendung von metallischen Bragg-Schichten von etwa 300 nm, deren Dicke gleich der Dicke der Elektroden **112** und **114** des FBAR **110** ist, liefert gute Ergebnisse.

[0061] Eine Verwendung von metallischen Bragg-Schichten, die dünner sind als Viertelwellenschichten, bei dem akustischen Bragg-Reflektor **190** liefert eine größere proportionale Verringerung der akustischen Iso-

lierung, während die Anzahl von Bragg-Schichten verringert wird. Bei einer Verwendung der heutigen Herstellungstechnologie werden bessere Ergebnisse und niedrigere Kosten üblicherweise erhalten, wenn mehr Bragg-Schichten verwendet werden, bei denen die metallischen Bragg-Schichten dünner sind als Viertelwellenschichten, als wenn weniger Bragg-Schichten verwendet werden, bei denen die metallischen Bragg-Schichten Viertelwellenschichten sind.

[0062] Fig. 4C und Fig. 4D sind Querschnittsansichten von vereinfachten Beispielen der eingekapselten FBAR-Vorrichtung **100** gemäß der Erfindung, bei denen der akustische Bragg-Reflektor aus weniger Bragg-Schichten besteht als der in Fig. 4B gezeigte akustische Bragg-Reflektor **190**. Die in den Fig. 4C–Fig. 4D gezeigten eingekapselten FBAR-Vorrichtungen ähneln in der Draufsicht der in Fig. 4A gezeigten eingekapselten FBAR-Vorrichtung **100**.

[0063] Bei der in Fig. 4C gezeigten eingekapselten FBAR-Vorrichtung ist die zweite Kunststoff-Bragg-Schicht **198** (Fig. 4B) weggelassen, und der akustische Bragg-Reflektor **191** besteht aus der ersten metallischen Bragg-Schicht **192**, die zu der ersten Kunststoff-Bragg-Schicht **194** benachbart ist, und der zweiten metallischen Bragg-Schicht **196**, die zu der ersten Kunststoff-Bragg-Schicht **194** benachbart ist. Die zweite metallische Bragg-Schicht **196** ist zu der oberen Oberfläche **113** des FBAR-Stapels **111**, d. h. zu der Elektrode **114**, benachbart. Die Elektrode **114** kann durch eine isolierende Schicht, die wesentlich dünner ist als eine Viertelwellenschicht, elektrisch von der zweiten metallischen Bragg-Schicht **196** isoliert sein. Bei Bragg-Schichten, die eine Viertelwelle dick sind, präsentiert der akustische Bragg-Reflektor **191** eine errechnete effektive akustische Impedanz von etwa 25 Grayl mit Kunststoff-Bragg-Schichten aus Polyimid und von etwa 99 Grayl mit Kunststoff-Bragg-Schichten aus vernetztem Polyphenylenpolymer. Diese akustischen Impedanzen entsprechen akustischen Isolierungen von etwa 74 dB bzw. 86 dB.

[0064] Bei der in Fig. 4D gezeigten eingekapselten FBAR-Vorrichtung sind die zweite Kunststoff-Bragg-Schicht **198** und die zweite metallische Bragg-Schicht **196** (Fig. 4B) weggelassen, und der akustische Bragg-Reflektor **193** besteht aus der ersten metallischen Bragg-Schicht **192**, die zu der ersten Kunststoff-Bragg-Schicht **194** benachbart ist. Der FBAR **110** befindet sich auf der Oberfläche der ersten Kunststoff-Bragg-Schicht **194**. Die erste Kunststoff-Bragg-Schicht **194** ist zu der oberen Oberfläche **113** des FBAR-Stapels **111** benachbart. Bei Bragg-Schichten einer Viertelwellendicke präsentiert der akustische Bragg-Reflektor **193** eine errechnete effektive akustische Impedanz von etwa 16 krayl mit Kunststoff-Bragg-Schichten aus Polyimid und von etwa 4 krayl mit Kunststoff-Bragg-Schichten aus vernetztem Polyphenylenpolymer. Diese akustischen Impedanzen entsprechen akustischen Isolierungen von etwa 70 dB bzw. 82 dB.

[0065] Fig. 5 ist eine Querschnittsansicht eines zweiten exemplarischen Ausführungsbeispiels **200** einer eingekapselten FBAR-Vorrichtung gemäß der Erfindung. Die eingekapselte FBAR-Vorrichtung **200** ähnelt in der Draufsicht der in Fig. 4A gezeigten eingekapselten FBAR-Vorrichtung **100**. Die eingekapselte FBAR-Vorrichtung **200** umfasst den FBAR-Stapel **111**, der den FBAR **110** umfasst. Der FBAR **110** ist ein exemplarischer FBAR eines FBAR-Leiterfilters, z. B. des in Fig. 1 gezeigten, oder ein exemplarischer FBAR eines Duplexers. Die verbleibenden FBARs eines derartigen Leiterfilters oder Duplexers bilden ferner einen Bestandteil des FBAR-Stapels **111**. Jedoch sind die übrigen FBARs bei Fig. 5 weggelassen, um die Zeichnung zu vereinfachen. Elemente der eingekapselten FBAR-Vorrichtung **200**, die Elementen der oben unter Bezugnahme auf Fig. 4A und Fig. 4B beschriebenen eingekapselten FBAR-Vorrichtung **100** entsprechen, sind unter Verwendung derselben Bezugszeichen angegeben und werden hier nicht erneut ausführlich beschrieben.

[0066] Die eingekapselte FBAR-Vorrichtung **200** besteht aus dem Substrat **102**, dem FBAR-Stapel **111** über dem Substrat, einem Element, das den FBAR-Stapel von dem Substrat isoliert, dem Kapselungsmittel **121**, das den FBAR-Stapel **111** bedeckt, und dem akustischen Bragg-Reflektor **190** zwischen der oberen Oberfläche **113** des FBAR-Stapels **111** und dem Kapselungsmittel **121**. Der akustische Bragg-Reflektor **190** umfasst eine erste metallische Bragg-Schicht **192**, die zu der ersten Kunststoff-Bragg-Schicht **194** benachbart ist. Bei dem gezeigten Beispiel ist die erste metallische Bragg-Schicht **192** zu dem Kapselungsmittel **121** benachbart, und der akustische Bragg-Reflektor **190** besteht zusätzlich aus der zweiten metallischen Bragg-Schicht **196**, die zu der ersten Kunststoff-Bragg-Schicht **194** benachbart ist, und aus der zweiten Kunststoff-Bragg-Schicht **198**, die zu der zweiten metallischen Bragg-Schicht **196** benachbart ist. Die Bragg-Schicht **198** ist zu der oberen Oberfläche **113** des FBAR-Stapels **111** benachbart. Bei dem gezeigten Beispiel besteht der Stapel **111** ferner aus einer einzigen FBAR-Vorrichtung **110**, die gegenüberliegende planare Elektroden **112** und **114** und ein piezoelektrisches Element **116** zwischen den Elektroden aufweist.

[0067] Bei der FBAR-Vorrichtung erfüllt ein zwischen dem FBAR-Stapel **111** und dem Substrat **102** angeordneter akustischer Bragg-Reflektor **180** die Funktion, den FBAR-Stapel **111** von dem Substrat **102** akustisch zu

isolieren, wie in der US Patentanmeldung Seriennr. 10/969,744 mit dem Titel Cavityless Film Bulk Acoustic Resonator (FBAR) Devices, veröffentlicht als US 2005 104690 A1, beschrieben ist. Außerdem isoliert der akustische Bragg-Reflektor **190** den FBAR-Stapel akustisch von dem Kapselungsmittel **121**, wie oben beschrieben wurde. Somit ist der FBAR-Stapel **111** sowohl von dem Substrat **102** als auch von dem Kapselungsmittel **121** akustisch isoliert und kann daher ansprechend auf ein zwischen die Elektroden **112** und **114** des FBAR **110** angelegtes elektrisches Signal frei schwingen.

[0068] Der akustische Bragg-Reflektor **180** umfasst eine erste metallische Bragg-Schicht **182**, die zu einer ersten Kunststoff-Bragg-Schicht **184** benachbart ist. Bei dem gezeigten Beispiel ist die erste metallische Bragg-Schicht **182** zu dem Substrat benachbart, und der akustische Bragg-Reflektor **180** besteht zusätzlich aus einer zweiten metallischen Bragg-Schicht **186**, die zu der ersten Kunststoff-Bragg-Schicht **184** benachbart ist, und aus einer zweiten Kunststoff-Bragg-Schicht **188**, die zu der zweiten metallischen Bragg-Schicht **186** benachbart ist.

[0069] Die Materialien der metallischen Bragg-Schichten **182** und **186** sind üblicherweise dieselben wie die der oben beschriebenen metallischen Bragg-Schichten **192** und **196**, obwohl unterschiedliche Materialien verwendet werden können. Die Materialien der Kunststoff-Bragg-Schichten **184** und **188** sind üblicherweise dieselben wie die der oben beschriebenen metallischen Bragg-Schichten **194** und **198**, obwohl unterschiedliche Materialien verwendet werden können. Die Bragg-Schichten **182**, **184**, **186** und **188** sind nominell Viertelwellenschichten. Jedoch sind die metallischen Bragg-Schichten **182** und **186** ähnlich den metallischen Bragg-Schichten **192** und **196** zur leichteren Herstellung üblicherweise dünner als Viertelwellenschichten.

[0070] Ähnlich dem akustischen Bragg-Reflektor **190** kann der akustische Bragg-Reflektor **180** aus mehr oder weniger Bragg-Schichten bestehen als die in **Fig. 5** beispielhaft genannte Anzahl. Eine der zweiten metallischen Bragg-Schicht **186** und der zweiten Kunststoff-Bragg-Schicht **186**, oder beide, kann bzw. können auf ähnliche Weise, wie dies unter Bezugnahme auf **Fig. 4C** und **Fig. 4D** oben beschrieben wurde, weggelassen werden. Überdies weisen typische Materialien des Substrats **102** eine höhere akustische Impedanz auf als das Kapselungsmittel **121**, so dass eine effektive akustische Isolierung von dem Substrat **102** dadurch erhalten werden kann, dass die Reihenfolge der ersten metallischen Bragg-Schicht **182** und der ersten Kunststoff-Bragg-Schicht **184** umgekehrt wird, um die erste Kunststoff-Bragg-Schicht **184** benachbart zu dem Substrat **102** anzuordnen. Somit besteht ein weiteres Ausführungsbeispiel des akustischen Bragg-Reflektors **180** einfach aus der ersten metallischen Bragg-Schicht **182** und der ersten Kunststoff-Bragg-Schicht **184**, wobei die erste Kunststoff-Bragg-Schicht **184** benachbart zu dem Substrat **102** ist, und die erste metallische Bragg-Schicht **182** benachbart zu dem FBAR-Stapel **111** ist. Bei einem weiteren Ausführungsbeispiel ist die zweite Kunststoff-Bragg-Schicht **186** zwischen der ersten metallischen Bragg-Schicht **182** und dem FBAR-Stapel **111** angeordnet. Bei einem wieder anderen Ausführungsbeispiel sind die zweite Kunststoff-Bragg-Schicht **186** und die zweite metallische Bragg-Schicht **188** in ihrer Reihenfolge zwischen der ersten metallischen Bragg-Schicht **182** und dem FBAR-Stapel **111** angeordnet.

[0071] Im Gegensatz zu der eingekapselten FBAR-Vorrichtung **100** benötigt die eingekapselte FBAR-Vorrichtung **200** keine Durchführung einer Freigabeätzung zum Ende des Herstellungsprozesses hin, um Opfermaterial aus dem Hohlraum **104** in dem Substrat **102** der FBAR-Vorrichtung **100** zu entfernen. Die fehlende Notwendigkeit der Durchführung einer Freigabeätzung erhöht die Bandbreite an Materialien, die zum Herstellen der FBAR-Vorrichtung **200** verwendet werden können, da die Materialien nicht mit einer Freigabeätzung kompatibel sein müssen.

[0072] Die FBAR-Vorrichtung **200** weist zusätzlich eine Anschlusskontaktstelle **132**, eine Anschlusskontaktstelle **134**, eine elektrische Bahn **133**, die die Anschlusskontaktstelle **132** elektrisch mit der Elektrode **112** verbindet, und eine elektrische Bahn **135**, die die Anschlusskontaktstelle **134** elektrisch mit der Elektrode **114** verbindet, auf. Die Anschlusskontaktstellen **132** und **134** werden dazu verwendet, elektrische Verbindungen von der FBAR-Vorrichtung **200** zu (nicht gezeigten) externen elektrischen Verbindungen herzustellen.

[0073] **Fig. 6A** und **Fig. 6B** sind eine Draufsicht bzw. eine Querschnittsansicht eines dritten exemplarischen Ausführungsbeispiels **300** einer eingekapselten FBAR-Vorrichtung gemäß der Erfindung. Die FBAR-Vorrichtung **300** ist ein Bandpassfilter, bei dem der FBAR-Stapel aus zwei FBARs und einem akustischen Entkoppler zwischen den FBARs besteht. Die FBARs und der akustische Entkoppler bilden einen einzigen entkoppelten gestapelten akustischen Volumenresonator (DSBAR). Das Beispiel der in **Fig. 6A** und **Fig. 6B** gezeigten und nachfolgend beschriebenen FBAR-Vorrichtung **300** weist einen akustischen Bragg-Reflektor auf, der bezüglich seiner Struktur dem akustischen Bragg-Reflektor **190** ähnelt, der oben unter Bezugnahme auf **Fig. 4A** und **Fig. 4B** beschrieben wurde und zwischen der oberen Oberfläche des FBAR-Stapels und dem Kapselungs-

mittel angeordnet ist, um den FBAR-Stapel akustisch von dem Kapselungsmittel zu isolieren. Der akustische Bragg-Reflektor kann alternativ gemäß der obigen Beschreibung unter Bezugnahme auf **Fig. 4C** und **Fig. 4D** strukturiert sein. Bei dem Beispiel der in den **Fig. 6A** und **Fig. 6B** gezeigten und nachfolgend beschriebenen FBAR-Vorrichtung **300** ist der FBAR-Stapel über einem in dem Substrat definierten Hohlraum aufgehängt, um den FBAR-Stapel akustisch von dem Substrat zu isolieren. Die FBAR-Vorrichtung **300** kann alternativ dazu einen zusätzlichen akustischen Bragg-Reflektor aufweisen, der ähnlich einem der Ausführungsbeispiele des oben unter Bezugnahme auf **Fig. 5** beschriebenen akustischen Bragg-Reflektors **180** zwischen dem Substrat und dem FBAR-Stapel ist, um den FBAR-Stapel akustisch von dem Substrat zu isolieren.

[0074] Die FBAR-Vorrichtung **300** weist ein Substrat **102**, einen FBAR-Stapel **311** über dem Substrat, ein Element, das den FBAR-Stapel akustisch von dem Substrat isoliert, ein den FBAR-Stapel bedeckendes Kapselungsmittel **121** und einen akustischen Bragg-Reflektor **190** zwischen der oberen Oberfläche **313** des FBAR-Stapels und dem Kapselungsmittel auf.

[0075] Bei der FBAR-Vorrichtung **300** besteht der FBAR-Stapel **111** aus einem unteren FBAR **110**, einem über dem unteren FBAR **120** gestapelten oberen FBAR **120** und aus einem akustischen Entkoppler **130** zwischen den FBARs. Der FBAR **110** besteht aus gegenüberliegenden planaren Elektroden **112** und **114** und aus einem piezoelektrischen Element **116** zwischen den Elektroden. Der FBAR **120** besteht aus gegenüberliegenden planaren Elektroden **122** und **124** und einem piezoelektrischen Element **126** zwischen den Elektroden.

[0076] Der akustische Entkoppler **130** ist zwischen den FBARs **110** und **120**, genauer gesagt zwischen der Elektrode **114** des FBAR **110** und der Elektrode **122** des FBAR **120**, angeordnet. Der akustische Entkoppler steuert die Kopplung akustischer Energie zwischen den FBARs **110** und **120**. Der akustische Entkoppler koppelt weniger akustische Energie zwischen den FBARs, als durch einen direkten Kontakt zwischen den FBARs gekoppelt würde. Bei dem in **Fig. 6B** gezeigten Beispiel besteht der akustische Entkoppler **130** aus einer akustischen Entkopplungsschicht eines akustischen Entkopplungsmaterials.

[0077] Bei dem gezeigten Beispiel ist der FBAR-Stapel **311** über dem in dem Substrat **102** definierten Hohlraum **104** aufgehängt. Der Hohlraum **104** erfüllt die Funktion des akustischen Isolierens des FBAR-Stapels **311** von dem Substrat **102**. Außerdem ist der akustische Bragg-Reflektor **190** zwischen dem Kapselungsmittel **121** und der oberen Oberfläche **313** des FBAR-Stapels **311** angeordnet, um den FBAR-Stapel akustisch von dem Kapselungsmittel zu isolieren. Die Struktur des akustischen Bragg-Reflektors **190** wird oben unter Bezugnahme auf **Fig. 4A** und **Fig. 4B** beschrieben. Das große Akustische-Impedanz-Verhältnis zwischen dem Metall der metallischen Bragg-Schichten **192** und **196** und dem Kunststoffmaterial der Kunststoff-Bragg-Schichten **194** und **198** befähigt den akustischen Bragg-Reflektor **190**, dem FBAR-Stapel **311** eine sehr niedrige effektive akustische Impedanz zu präsentieren. Das große Akustische-Impedanz-Verhältnis zwischen dem akustischen Bragg-Reflektor **190** und dem FBAR-Stapel **311** befähigt den akustischen Bragg-Reflektor **190**, eine ausreichende akustische Isolierung zwischen dem FBAR-Stapel **311** und dem Kapselungsmittel **121** zu liefern, um es den FBARs **110** und **120**, die den DSBAR **106** darstellen, zu ermöglichen, ansprechend auf ein elektrisches Signal, das zwischen die Elektroden eines derselben angelegt wird, mechanisch zu schwingen. Die akustische Energie, die in dem FBAR erzeugt wird, der das elektrische Eingangssignal empfängt, gelangt durch den akustischen Entkoppler **130** in den anderen FBAR. Der die akustische Energie empfangende FBAR wandelt einen Teil der akustischen Energie in ein zwischen seinen Elektroden geliefertes elektrisches Ausgangssignal um. Das elektrische Signal, das zwischen den Elektroden des die akustische Energie empfangenden FBAR ausgegeben wird, weist eine Bandpassfrequenzantwortcharakteristik auf, die im Wesentlichen frei von unerwünschten Störartefakten ist, die sich aus einer unerwünschten akustischen Kopplung zwischen dem FBAR-Stapel **311** und dem Kapselungsmittel **121** ergeben.

[0078] Bei dem gezeigten Beispiel sind die Elektroden **112** und **114** des FBAR **110** durch elektrische Bahnen **133** bzw. **135** mit den Anschlusskontaktstellen **132** bzw. **134** elektrisch verbunden. Außerdem sind die Elektroden **122** und **124** des FBAR **120** durch elektrische Bahnen **137** und **139** mit den Anschlusskontaktstellen **134** bzw. **138** elektrisch verbunden. Bei einem Ausführungsbeispiel, das eine elektrische Isolierung zwischen Eingang und Ausgang liefert, ist die elektrische Bahn **137** mit einer zusätzlichen (nicht gezeigten) Anschlusskontaktstelle statt mit der Anschlusskontaktstelle **134** verbunden. Die Anschlusskontaktstellen **132**, **134** und **138** werden dazu verwendet, elektrische Verbindungen von der FBAR-Vorrichtung **300** zu (nicht gezeigten) externen elektrischen Schaltungen herzustellen.

[0079] Bei dem gezeigten Beispiel liefert eine akustische Entkopplungsschicht den akustischen Entkoppler **130**. Die akustische Entkopplungsschicht ist ebenfalls eine Viertelwellenschicht aus Kunststoffmaterial. Dasselbe Kunststoffmaterial kann bei der akustischen Entkopplungsschicht und bei den Kunststoff-Bragg-Schich-

ten **194** und **198** verwendet werden. Die akustische Impedanz des Kunststoffmaterials der akustischen Entkopplungsschicht bestimmt die Durchlassbandbreite der FBAR-Vorrichtung **300**. Das Erfordernis, eine festgelegte Durchlassbandbreite zu liefern, kann dazu führen, dass die akustische Entkopplungsschicht aus einem anderen Kunststoffmaterial besteht als die Kunststoff-Bragg-Schichten **194** und **198**.

[0080] Fig. 7A ist eine Draufsicht eines vierten exemplarischen Ausführungsbeispiels **400** einer eingekapselten FBAR-Vorrichtung gemäß der Erfindung. Die FBAR-Vorrichtung **400** ist ein akustisch gekoppelter Filmtransformator (FACT), bei dem der FBAR-Stapel aus vier FBARs besteht, die als zwei entkoppelte gestapelte akustische Volumenresonatoren (DSBARs) angeordnet sind. Fig. 7B und Fig. 7C sind Querschnittsansichten entlang der Schnittlinien 7B-7B bzw. 7C-7C in Fig. 7A. Fig. 7D ist eine schematische Zeichnung der elektrischen Schaltungen des in Fig. 7A gezeigten und nachstehend beschriebenen Beispiels des FACT **400**. Das in Fig. 7A und Fig. 7B gezeigte und nachfolgend beschriebene Beispiel der FBAR-Vorrichtung **400** weist einen akustischen Bragg-Reflektor auf, der von seiner Struktur her dem akustischen Bragg-Reflektor **190** ähnelt, der oben unter Bezugnahme auf Fig. 4A und Fig. 4B beschrieben wurde und zwischen der oberen Oberfläche des FBAR-Stapels und dem Kapselungsmittel angeordnet ist, um den FBAR-Stapel akustisch von dem Kapselungsmittel zu isolieren. Der akustische Bragg-Reflektor kann alternativ dazu wie oben unter Bezugnahme auf Fig. 4C und Fig. 4D beschrieben strukturiert sein. Bei dem in Fig. 7A und Fig. 7B gezeigten und nachstehend beschriebenen Beispiel der FBAR-Vorrichtung **400** ist der FBAR-Stapel über einem in dem Substrat definierten Hohlraum aufgehängt, um den FBAR-Stapel akustisch von dem Substrat zu isolieren. Die FBAR-Vorrichtung **400** kann alternativ dazu einen zusätzlichen akustischen Bragg-Reflektor aufweisen, der ähnlich einem der Ausführungsbeispiele des oben unter Bezugnahme auf Fig. 5 beschriebenen akustischen Bragg-Reflektors **180** zwischen dem Substrat und dem FBAR-Stapel ist, um den FBAR-Stapel akustisch von dem Substrat zu isolieren.

[0081] Der FACT **400** weist ein Substrat **102**, einen FBAR-Stapel **411** über dem Substrat, ein Element, das den FBAR-Stapel akustisch von dem Substrat isoliert, ein Kapselungsmittel **121**, das den FBAR-Stapel bedeckt, und einen akustischen Bragg-Reflektor **190** zwischen der oberen Oberfläche **413** des FBAR-Stapels und dem Kapselungsmittel auf. Der FBAR-Stapel **411** umfasst einen gestapelten akustischen Volumenresonator (DSBAR) **106** und einen DSBAR **108**. Der DSBAR **106** besteht aus dem unteren FBAR **110**, dem oberen FBAR **120**, der auf dem unteren FBAR **110** gestapelt ist, und dem akustischen Entkoppler **130** zwischen den FBARs. Der DSBAR **108** besteht aus einem unteren FBAR **150**, einem oberen FBAR **160**, der auf dem unteren FBAR **150** gestapelt ist, und einem akustischen Entkoppler **170** zwischen den FBARs. Der FACT **400** besteht zusätzlich aus einer elektrischen Schaltung, die die unteren FBARs **110** und **150** der DSBARs **106** bzw. **108** miteinander verbindet, und einer elektrischen Schaltung, die die oberen FBARs **120** und **160** der DSBARs **106** bzw. **108** miteinander verbindet. Fig. 7D zeigt ein Beispiel, bei dem eine elektrische Schaltung **141** den unteren FBAR **110** des DSBAR **106** und den unteren FBAR **150** des DSBAR **108** antiparallel verbindet, und bei dem eine elektrische Schaltung **142** den oberen FBAR **120** des DSBAR **106** und den oberen FBAR **160** des DSBAR **108** in Reihe verbindet.

[0082] Bei dem DSBAR **106** besteht der untere FBAR **110** aus gegenüberliegenden planaren Elektroden **112** und **114** und einem piezoelektrischen Element **116** zwischen den Elektroden, und der obere FBAR **120** besteht aus gegenüberliegenden planaren Elektroden **122** und **124** und einem piezoelektrischen Element **126** zwischen den Elektroden. Bei dem DSBAR **108** besteht der untere FBAR **150** aus gegenüberliegenden planaren Elektroden **152** und **154** und einem piezoelektrischen Element **156** zwischen den Elektroden, und der obere FBAR **160** besteht aus gegenüberliegenden planaren Elektroden **162** und **164** und einem piezoelektrischen Element **166** zwischen den Elektroden.

[0083] Bei dem FACT **400** befindet sich der akustische Entkoppler **130** des DSBAR **106** zwischen dem unteren FBAR **110** und dem oberen FBAR **120**; genauer gesagt zwischen der Elektrode **114** des unteren FBAR **110** und der Elektrode **122** des oberen FBAR **120**. Der akustische Entkoppler **130** steuert die Kopplung akustischer Energie zwischen dem FBAR **110** und dem FBAR **120**. Der akustische Entkoppler **130** koppelt weniger akustische Energie zwischen den FBARs **110** und **120** als gekoppelt würde, wenn die FBARs in direktem Kontakt zueinander stünden, wie sie es bei einem herkömmlichen gestapelten akustischen Volumenresonator (SBAR) wären. Überdies befindet sich der akustische Entkoppler **170** des DSBAR **108** zwischen den FBARs **150** und **160**; genauer gesagt zwischen der Elektrode **154** des unteren FBAR **150** und der Elektrode **162** des oberen FBAR **160**. Der akustische Entkoppler **170** steuert das Koppeln akustischer Energie zwischen den FBARs **150** und **160**. Der akustische Entkoppler **170** koppelt weniger akustische Energie zwischen den FBARs **150** und **160** als gekoppelt würde, wenn die FBARs in direktem Kontakt zueinander stünden. Das durch die akustischen Entkoppler **130** und **170** definierte Koppeln akustischer Energie bestimmt die Durchlassbandbreite des FACT **400**.

[0084] Bei dem in **Fig. 7A–Fig. 7C** gezeigten Beispiel sind die akustischen Entkoppler **130** und **170** jeweilige Bestandteile einer akustischen Entkopplungsschicht **131**. Bei anderen Ausführungsbeispielen bestehen die akustischen Entkoppler **130** und **170** jeweils aus akustischen Entkopplungsschichten aus akustischen Entkopplungsmaterialien, die unterschiedliche akustische Impedanzen aufweisen, wie in der US-Patentanmeldung Seriennummer 10/965,449 von John D. Larson et al., veröffentlicht als US 2005 093658 A1, mit dem Titel Pass Bandwidth Controlled in Decoupled Stacked Bulk Acoustic Resonator Devices (Agilent Anwaltsaktenzeichen Nr. 10040955-1), die an die Anmelderin der vorliegenden Offenbarung übertragen ist, beschrieben ist. Bei anderen Ausführungsbeispielen sind die akustischen Entkoppler **130** und **170** strukturell unabhängig.

[0085] Der akustische Bragg-Reflektor **190**, der zwischen der oberen Oberfläche **413** des FBAR-Stapels **411** und dem Kapselungsmittel **121** angeordnet ist, liefert eine akustische Isolierung zwischen den DSBARs **106** und **108** und dem Kapselungsmittel. Die Struktur des akustischen Bragg-Reflektors **190** wird oben unter Bezugnahme auf **Fig. 4A** und **Fig. 4B** beschrieben. Das große Akustische-Impedanz-Verhältnis zwischen dem Metall der metallischen Bragg-Schichten **192** und **196** und dem Kunststoffmaterial der Kunststoff-Bragg-Schichten **194** und **198** befähigt den akustischen Bragg-Reflektor **190**, dem DSBAR **106** und dem DSBAR **108** eine sehr hohe effektive Impedanz zu präsentieren. Das große Akustische-Impedanz-Verhältnis zwischen dem akustischen Bragg-Reflektor **190** und den DSBARs **106** und **108** befähigt den akustischen Bragg-Reflektor **190**, zwischen den DSBARs **106** und **108** und dem Kapselungsmittel **121** eine ausreichende akustische Isolierung zu liefern, um zu ermöglichen, dass die FBARs **110** und **120** ansprechend auf ein elektrisches Eingangssignal, das zwischen den Elektroden eines derselben angelegt wird, mechanisch zu schwingen, und um zu ermöglichen, dass die FBARs **150** und **160** ansprechend auf ein elektrisches Eingangssignal, das zwischen die Elektroden eines derselben angelegt wird, mechanisch zu schwingen. Bei jedem DSBAR gelangt die akustische Energie, die in dem FBAR erzeugt wird, der das elektrische Eingangssignal empfängt, durch den jeweiligen akustischen Entkoppler **130** oder **170** zu dem anderen FBAR. Der die akustische Energie empfangende FBAR wandelt einen Teil der akustischen Energie in ein elektrisches Ausgangssignal um, das zwischen seinen Elektroden bereitgestellt wird. Das zwischen den Elektroden des die akustische Energie aufnehmenden FBAR ausgegebene elektrische Signal weist eine Bandpassfrequenzantwortcharakteristik auf, die im Wesentlichen frei von unerwünschten Störartefakten ist.

[0086] **Fig. 7D** zeigt schematisch ein Beispiel der elektrischen Schaltungen, die die DSBARs **106** und **108** miteinander verbinden und die die DSBARs **106** und **108** mit (nicht gezeigten) externen elektrischen Schaltungen verbinden. Die elektrische Schaltung **141** verbindet die unteren FBARs **110** und **150** auf antiparallele Weise und mit einem Signalanschluss **143** und einem Masseanschluss **144**. Bei dem in den **Fig. 7A–Fig. 7C** gezeigten Ausführungsbeispiel liefert die Anschlusskontaktstelle **138** einen Signalanschluss **143**, und die Anschlusskontaktstellen **132** und **172** liefern einen Masseanschluss **144**. Bei dem Ausführungsbeispiel wird die elektrische Schaltung **141** durch eine elektrische Bahn **133**, die sich von der Anschlusskontaktstelle **132** zu der Elektrode **112** des FBAR **110** erstreckt, durch eine elektrische Bahn **137**, die sich von der Elektrode **114** des FBAR **110** zu einer Verbindungskontaktstelle **136** erstreckt, die in elektrischem Kontakt mit einer Verbindungskontaktstelle **176** steht, durch eine elektrische Bahn **139**, die sich von der Verbindungskontaktstelle **176** zu einer Signalkontaktstelle **138** erstreckt, durch eine elektrische Bahn **177**, die sich von der Verbindungskontaktstelle **176** zu der Elektrode **152** des FBAR **150** erstreckt, durch eine elektrische Bahn **173**, die sich von einer Elektrode **154** des FBAR **150** zu der Anschlusskontaktstelle **172** erstreckt, und durch eine elektrische Bahn **167**, die die Anschlusskontaktstellen **132** und **172** miteinander verbindet, geliefert.

[0087] Bei dem in **Fig. 7D** gezeigten exemplarischen elektrischen Diagramm verbindet die elektrische Schaltung **142** die oberen FBARs **120** und **160** in Reihe und mit Signalanschlüssen **145** und **146** und mit einem optionalen Mittelabgriffsanschluss **147**. Bei dem in **Fig. 7A–Fig. 7C** gezeigten Ausführungsbeispiel liefern die Anschlusskontaktstellen **134** und **174** Signalkontaktstellen **145** und **146**, und die Anschlusskontaktstelle **178** liefert den Mittelabgriffsanschluss **147**. Bei dem Ausführungsbeispiel wird die elektrische Schaltung **142** durch eine elektrische Bahn **135**, die sich von der Anschlusskontaktstelle **134** zu der Elektrode **124** des FBAR **120** erstreckt, durch eine elektrische Bahn **171**, die sich von der Elektrode **122** des FBAR **120** zur Elektrode **162** des FBAR **160** erstreckt, durch eine elektrische Bahn **179**, die sich von der Bahn **171** zu dem Mittelabgriff **137** erstreckt, und durch eine elektrische Bahn **175**, die sich von der Elektrode **164** des FBAR **160** zu der Anschlusskontaktstelle **174** erstreckt, geliefert. Ebenfalls gezeigt sind Anschlusskontaktstellen **163** und **168**, die durch eine elektrische Bahn **169** miteinander verbunden sind und die lokale Massen für die Anschlusskontaktstellen **134** und **174** liefern. Bei dem gezeigten Beispiel erstreckt sich die elektrische Bahn **169** zusätzlich zu der Anschlusskontaktstelle **178**. Bei anderen Beispielen wird die Anschlusskontaktstelle **178** floatend belassen.

[0088] Die in **Fig. 7D** veranschaulichten elektrischen Verbindungen liefern einen FACT mit einer symmetrischen Primärwicklung und einem Impedanzwandlungsverhältnis von 4:1, oder einen FACT mit einer symme-

trischen Sekundärwicklung und einem Impedanzwandlungsverhältnis von 1:4. Die unteren FBARs können alternativ parallel, in Reihe und in Anti-Reihe miteinander verbunden sein, und die oberen FBARs können alternativ parallel, antiparallel und in Anti-Reihe miteinander verbunden sein, um andere Impedanzwandlungsverhältnisse zu erzielen, wie in der nachfolgenden Tabelle 1 gezeigt ist.

	Parallel	Reihe	Antiparallel	Anti-Reihe
Parallel	U 1:1 NIEDRIG	X	X	U 1:4
Reihe	X	B 1:1 HOCH	B 4:1	X
Antiparallel	X	B 1:4	B 1:1 NIEDRIG	X
Anti-Reihe	U 4:1	X	X	U 1:1 HOCH

[0089] In der Tabelle 1 geben die Reihenbezeichnungen die Konfiguration der elektrischen Schaltung **141** an, und die Spaltenbezeichnungen geben die Konfiguration der elektrischen Schaltung **142** an, B gibt an, dass der FACT elektrisch symmetrisch ist, U gibt an, dass der FACT asymmetrisch ist, und X gibt einen funktionsuntüchtigen FACT an. Das gezeigte Impedanzwandlungsverhältnis ist die Impedanzwandlung von der durch die Reihenbezeichnung angegebenen Konfiguration der elektrischen Schaltung **141** zu der durch die Spaltenbezeichnung angegebenen Konfiguration der elektrischen Schaltung **142**. Für die Konfigurationen, die ein Impedanzwandlungsverhältnis von 1:1 aufweisen, bezeichnet NIEDRIG, dass der FACT eine niedrige Impedanz aufweist, die äquivalent zu der von zwei parallel geschalteten FBARs ist, und HOCH gibt an, dass der FACT eine hohe Impedanz aufweist, die äquivalent zu der von zwei in Reihe geschalteten FBARs ist.

[0090] Eine Wafer-Ebene-Herstellung wird verwendet, um tausende von FBAR-Vorrichtungen, die den oben beschriebenen FBAR-Vorrichtungen **100**, **200**, **300** oder **400** ähneln, gleichzeitig herzustellen. Auf Grund einer derartigen Wafer-Ebene-Herstellung werden die FBAR-Vorrichtungen kostengünstig in der Herstellung. Ein Beispiel eines Herstellungsverfahrens, das dazu verwendet wird, ein Ausführungsbeispiel der oben unter Bezugnahme auf **Fig. 6A** und **Fig. 6B** beschriebenen FBAR-Vorrichtung **300** herzustellen, wird als Nächstes unter Bezugnahme auf die Draufsichten der **Fig. 8A–Fig. 8M** und der Querschnittsansichten der **Fig. 8K–Fig. 8Z** beschrieben. Mit unterschiedlichen Masken kann der Prozess auch dazu verwendet werden, Ausführungsbeispiele der FBAR-Vorrichtungen **100**, **200** und **400** herzustellen. Das Durchlassband des Ausführungsbeispiels der FBAR-Vorrichtung **300**, deren Herstellung beschrieben wird, weist eine nominelle Mittenfrequenz von etwa 1,9 GHz auf. Ausführungsbeispiele zum Betrieb bei anderen Frequenzen sind bezüglich der Struktur und Herstellung ähnlich, weisen jedoch andere Dicken und laterale Abmessungen als die nachstehend beispielhaft Aufgeführten auf. Das Beispiel der FBAR-Vorrichtung **300**, deren Herstellung nachstehend beschrieben wird, weist einen akustischen Bragg-Reflektor auf, der bezüglich seiner Struktur dem oben unter Bezugnahme auf **Fig. 4A** und **Fig. 4B** beschriebenen akustischen Bragg-Reflektor **190** ähnelt. Der beschriebene Prozess kann dahin gehend modifiziert werden, weniger Bragg-Schichten aufzubringen, um akustische Bragg-Reflektoren herzustellen, die so strukturiert sind, wie dies oben unter Bezugnahme auf **Fig. 4C** und **Fig. 4D** beschrieben wurde.

[0091] Es ist ein Wafer aus einem Einkristall-Silizium vorgesehen. Ein Teil des Wafers stellt für jede in der Herstellung befindliche FBAR-Vorrichtung ein Substrat dar, das dem Substrat **102** der FBAR-Vorrichtung **300** entspricht. **Fig. 8A–Fig. 8M** und **Fig. 8K–Fig. 8Z** veranschaulichen, und die folgende Beschreibung beschreibt die Herstellung der FBAR-Vorrichtung **300** in und auf einem Abschnitt des Wafers, der das Substrat **102** bildet. Während die FBAR-Vorrichtung **300** hergestellt wird, werden die übrigen FBAR-Vorrichtungen auf dem Wafer auf ähnliche Weise hergestellt.

[0092] Der Wafer wird selektiv einer Nassätzung unterzogen, um einen Hohlraum **104**, wie in **Fig. 8A** und **Fig. 8N** gezeigt ist, in der Position jeder FBAR-Vorrichtung zu bilden. Eine Schicht aus einem Füllmaterial (nicht gezeigt) wird mit einer Dicke, die ausreichend ist, um jeden Hohlraum zu füllen, auf die Oberfläche des Wafers aufgebracht. Die Oberfläche des Wafers wird anschließend planarisiert, wobei danach jeder Hohlraum mit Füllmaterial gefüllt ist. **Fig. 8A** und **Fig. 8N** zeigen ferner den Hohlraum **104** in dem Substrat **102**, der mit einem Füllmaterial **105** gefüllt ist.

[0093] Bei einem Ausführungsbeispiel war das Füllmaterial Phosphosilikatglas (PSG), das unter Verwendung eines chemischen Tiefdruck-Aufdampfens (LPCVD – low-pressure chemical vapor deposition) aufgebracht wurde. Das Füllmaterial kann alternativ dazu mittels Sputtern oder Aufschleudern aufgebracht werden.

[0094] Als Alternative dazu, den Hohlraum **104** zu bilden und mit dem Füllmaterial **105** zu füllen, werden abwechselnde Bragg-Schichten aus Metall und Kunststoff auf die Oberfläche des Wafers **102** aufgebracht und dahin gehend strukturiert, einen akustischen Bragg-Reflektor zu definieren, der ähnlich dem in **Fig. 5** gezeigten akustischen Bragg-Reflektor **180** ist. Der akustische Bragg-Reflektor **180** oder der Hohlraum **104** erfüllt die Funktion des akustischen Isolierens des FBAR-Stapels **311** (**Fig. 6B**) von dem Substrat **102**, wie oben beschrieben wurde.

[0095] Eine erste Metallschicht wird auf die Hauptoberfläche des Substrats **102** und des Füllmaterials **105** aufgebracht. Die erste Metallschicht wird wie in den **Fig. 8A** und **Fig. 8N** gezeigt dahin gehend strukturiert, die Elektrode **112**, die Anschlusskontaktstelle **132** und die sich zwischen der Elektrode **112** und der Anschlusskontaktstelle **132** erstreckende elektrische Bahn **133** zu definieren.

[0096] Die Elektrode **112** weist in der Regel eine asymmetrische Form in einer zu der Hauptoberfläche des Wafers parallelen Ebene auf. Eine asymmetrische Form minimiert laterale Modi in dem FBAR **110** (**Fig. 6B**), von dem die Elektrode **112** ein Bestandteil ist. Dies ist in der US-Patentschrift Nr. 6,215,375 von Larson III et al., deren Offenbarung durch Bezugnahme in die vorliegende Offenbarung aufgenommen ist, beschrieben. Die Elektrode **112** belässt einen Teil der Oberfläche des Füllmaterials **105** freiliegend, so dass das Füllmaterial später mittels Ätzen beseitigt werden kann, wie nachstehend beschrieben wird.

[0097] Unter weiterer Bezugnahme auf **Fig. 6B** ist die Elektrode **114** in einer zweiten Metallschicht definiert, die Elektrode **122** ist in einer dritten Metallschicht definiert, und die Elektrode **124** ist in einer vierten Metallschicht definiert, wie nachstehend ausführlich beschrieben wird. Die Metallschichten, in denen die Elektroden definiert sind, sind derart strukturiert, dass die Elektroden **112** und **114** des FBAR **110** in jeweiligen Ebenen, die zu der Hauptoberfläche des Wafers parallel sind, dieselbe Form, Größe, Orientierung und Position aufweisen, und dass die Elektroden **122** und **124** des FBAR **120** dieselbe Form, Größe, Orientierung und Position aufweisen. Üblicherweise weisen die Elektroden **114** und **122** zusätzlich dieselbe Form, Größe, Orientierung und Position auf.

[0098] Bei einem Ausführungsbeispiel war das Material jeder der Metallschichten Molybdän, das mittels Sputtern in einer Dicke von etwa 300 nm aufgebracht wurde. Die Metallschichten wurden jeweils mittels Trockenätzen strukturiert. Die in jeder der dritten mit sechsten Metallschicht definierten Elektroden waren zu einer Fläche von etwa 12.000 μm^2 pentagonal. Andere Elektrodenflächen ergeben andere charakteristische Impedanzen. Andere feuerfeste Metalle wie z. B. Wolfram, Niob und Titan können alternativ als das Material der Metallschichten verwendet werden. Die Metallschichten können jeweils alternativ Schichten aus mehr als einem Material umfassen.

[0099] Ein Faktor, der beim Auswählen des Materials der Elektroden der FBAR-Vorrichtung **300** zu berücksichtigen ist, sind die akustischen Eigenschaften des Elektrodenmaterials: die akustischen Eigenschaften des Materials bzw. der Materialien der übrigen Metallteile der FBAR-Vorrichtung sind weniger wichtig als andere Eigenschaften, z. B. die elektrische Leitfähigkeit. Somit kann sich das Material bzw. können sich die Materialien der übrigen Metallteile der FBAR-Vorrichtung **300** von dem Material der Elektroden unterscheiden.

[0100] Eine Schicht aus einem piezoelektrischen Material wird aufgebracht und, wie in **Fig. 8B** und **Fig. 8O** gezeigt ist, dahin gehend strukturiert, das piezoelektrische Element **116** zu definieren. Die piezoelektrische Schicht ist dahin gehend strukturiert, die Elektrode **112** zu bedecken, jedoch die Anschlusskontaktstelle **132** und einen Teil der Oberfläche des Füllmaterials **105** freizulegen. Andere Abschnitte des piezoelektrischen Elements **116** erstrecken sich über das Substrat **102** außerhalb des Hohlraums **104**.

[0101] Bei einem Ausführungsbeispiel war das piezoelektrische Material, das aufgebracht wurde, um das piezoelektrische Element **116** und das piezoelektrische Element **126**, das nachfolgend beschrieben werden, zu bilden, Aluminiumnitrid und wurde mit einer Dicke von etwa 1,4 μm mittels Sputtern aufgebracht. Das piezoelektrische Material wurde anhand von Nassätzen in Kaliumhydroxid oder anhand von Trockenätzen auf Chlorbasis strukturiert. Alternative Materialien für die piezoelektrischen Schichten **116** und **126** umfassen Zinkoxid, Kadmiumsulfid und gepolte ferroelektrische Materialien wie z. B. ferroelektrische Perowskit-Materialien, einschließlich Bleizirconiumtitanat, Bleimetaniobat und Bariumtitanat.

[0102] Die zweite Metallschicht wird aufgebracht und dahin gehend strukturiert, die Elektrode **114**, die Anschlusskontaktstelle **134** und die elektrische Bahn **135**, die sich zwischen der Elektrode **114** und der Anschlusskontaktstelle **134** erstreckt, zu definieren, wie in **Fig. 8C** und **Fig. 8P** gezeigt ist. Damit ist die Herstellung des FBAR **110** abgeschlossen.

[0103] Anschließend wird eine Schicht aus akustischem Entkopplungsmaterial aufgebracht und dahin gehend strukturiert, den akustischen Entkoppler **130** zu definieren, wie in den **Fig. 8D** und **Fig. 8Q** gezeigt ist. Der akustische Entkoppler **130** wird dahin gehend strukturiert, zumindest die Elektrode **114** zu bedecken, und wird zusätzlich dahin gehend strukturiert, die Anschlusskontaktstellen **132** und **134** und einen Teil des Füllmaterials **105** freizulegen. Der akustische Entkoppler ist üblicherweise eine dritte Bragg-Schicht aus Kunststoffmaterial.

[0104] Bei einem Ausführungsbeispiel war das akustische Entkopplungsmaterial des akustischen Entkopplers **130** Polyimid mit einer Dicke von etwa 200 nm, d. h. einem Viertel der Mittenfrequenzwellenlänge in dem Polyimid. Das Polyimid wurde mittels Schleuderbeschichtung aufgebracht und mittels Photolithographie strukturiert. Polyimid ist lichtempfindlich, so dass kein Photoresist benötigt wird. Wie oben angemerkt wurde, können als akustisches Entkopplungsmaterial auch andere Kunststoffmaterialien verwendet werden. Das akustische Entkopplungsmaterial kann anhand anderer Verfahren als Schleuderbeschichten aufgebracht werden.

[0105] Bei einem Ausführungsbeispiel, bei dem das akustische Entkopplungsmaterial Polyimid war, wurde der Wafer anfänglich bei einer Temperatur von etwa 250°C an der Luft und schließlich bei einer Temperatur von etwa 415°C in einer inerten Atmosphäre, z. B. einer Stickstoffatmosphäre, gehärtet, bevor eine weitere Verarbeitung durchgeführt wurde. Das Härten bringt flüchtige Bestandteile des Polyimids zum Verdampfen und verhindert, dass die Verdampfung derartiger flüchtiger Bestandteile während eines nachfolgenden Verarbeitens eine Trennung von anschließend aufgetragenen Schichten bewirkt.

[0106] Die dritte Metallschicht wird aufgebracht und dahin gehend strukturiert, die Elektrode **122** und die elektrische Bahn **137**, die sich von der Elektrode **122** zu der Anschlusskontaktstelle **134** erstreckt, zu definieren, wie in **Fig. 8E** und **Fig. 8R** gezeigt ist. Die Anschlusskontaktstelle **134** ist ebenfalls durch die Bahn **135** elektrisch mit der Elektrode **114** verbunden.

[0107] Eine zweite Schicht aus piezoelektrischem Material wird aufgebracht und dahin gehend strukturiert, das piezoelektrische Element **126** zu definieren, wie in **Fig. 8F** und **Fig. 8S** gezeigt ist. Die zweite piezoelektrische Schicht ist dahin gehend strukturiert, Anschlusskontaktstellen **132** und **134** und einen Teil des Füllmaterials **105** freizulegen.

[0108] Die vierte Metallschicht wird aufgebracht und dahin gehend strukturiert, die Elektrode **124**, die Anschlusskontaktstelle **138** und die elektrische Bahn **139**, die sich von der Elektrode **124** zu der Anschlusskontaktstelle **138** erstreckt, zu definieren, wie in den **Fig. 8G** und **Fig. 8T** gezeigt ist. Damit ist die Herstellung des FBAR **120** und des FBAR-Stapels **311** abgeschlossen.

[0109] Auf die freiliegenden Oberflächen der Anschlusskontaktstellen **132**, **134** und **138** wird eine (nicht gezeigte) Schutzschicht aus Gold aufgebracht. Bei Ausführungsbeispielen, bei denen das Kapselungsmittel metallisiert wird, wie nachfolgend beschrieben wird, wird außerdem über jede der elektrischen Bahnen **133**, **137** und **139** eine (nicht gezeigte) isolierende Schicht aufgebracht.

[0110] Eine Schicht aus Kunststoffmaterial wird auf die obere Oberfläche **313** des FBAR-Stapels **311** aufgebracht und wird, wie in den **Fig. 8H** und **Fig. 8U** gezeigt ist, dahin gehend strukturiert, die zweite Kunststoff-Bragg-Schicht **198** zu bilden.

[0111] Bei einem Ausführungsbeispiel war das Kunststoffmaterial, das aufgebracht wurde, um die zweite Kunststoff-Bragg-Schicht **198** und die erste Kunststoff-Bragg-Schicht **194**, deren Aufbringung nachfolgend beschrieben wird, zu bilden, Polyimid. Das Polyimid wurde aufgeschleudert, gehärtet und dahin gehend strukturiert, die zweite Kunststoff-Bragg-Schicht **198** und die erste Kunststoff-Bragg-Schicht **194** mit jeweils einer Dicke von etwa 200 nm, d. h. einem Viertel der Mittenfrequenzwellenlänge in dem Polyimid, zu definieren. Das Strukturieren des Polyimids erfolgt wie nachstehend beschrieben wird. Nachdem jede Schicht aus Polyimid aufgebracht wurde, wurde der Wafer anfänglich bei einer Temperatur von etwa 250°C an der Luft und schließlich bei einer Temperatur von etwa 415°C in einer inerten Atmosphäre, z. B. Stickstoffatmosphäre, gehärtet, bevor eine weitere Verarbeitung durchgeführt wurde. Das Härten bringt flüchtige Bestandteile des Polyimids zum Verdampfen und verhindert, dass die Verdampfung derartiger flüchtiger Bestandteile während einer nachfolgenden Bearbeitung eine Trennung von anschließend aufgetragenen Schichten bewirkt.

[0112] Bei einem anderen Ausführungsbeispiel war das Kunststoffmaterial, das aufgebracht wurde, um die zweite Kunststoff-Bragg-Schicht **198** und die erste Kunststoff-Bragg-Schicht **194** zu bilden, Parylen, das mittels Vakuumaufdampfung aus dem Dimer-Vorläufer Diparaxylylen aufgebracht wurde.

[0113] Bei einem anderen Ausführungsbeispiel war das Kunststoffmaterial, das aufgebracht wurde, um die zweite Kunststoff-Bragg-Schicht **198** und die erste Kunststoff-Bragg-Schicht **194** zu bilden, eine Vorläuferlösung für ein vernetztes Polyphenylenpolymer. Die Vorläuferlösung wurde aufgeschleudert, gehärtet und dahin gehend strukturiert, die zweite Kunststoff-Bragg-Schicht **198** und die erste Kunststoff-Bragg-Schicht **194** mit jeweils einer Dicke von etwa 187 nm, d. h. einem Viertel der Mittenfrequenzwellenlänge in dem vernetzten Polyphenylenpolymer, zu definieren. Im Folgenden wird die Strukturierung von vernetztem Polyphenylenpolymer beschrieben. Bei einem Beispiel war die Vorläuferlösung für das vernetzte Polyphenylenpolymer eine Vorläuferlösung, die von The Dow Chemical Company vertrieben und als SiLK™ J bezeichnet wird. Alternativ dazu kann die Vorläuferlösung eine beliebige geeignete der Vorläuferlösungen sein, die derzeit oder in Zukunft von The Dow Chemical Company unter dem Warenzeichen SiLK vertrieben werden. Bei bestimmten Ausführungsbeispielen wurde eine Schicht aus einem Adhäsionsverbesserer aufgebracht, bevor die Vorläuferlösung aufgeschleudert wurde. Vorläuferlösungen, die Oligomere enthalten, die, wenn sie gehärtet werden, ein vernetztes Polyphenylenpolymer bilden, das eine akustische Impedanz von etwa 2 Mrayl aufweist, können jetzt oder in Zukunft von anderen Lieferanten erhältlich sein und können eventuell ebenfalls verwendet werden. Nachdem jede Schicht der Vorläuferlösung aufgebracht wurde, wurde der Wafer bei einer Temperatur im Bereich zwischen etwa 385°C und etwa 450°C in einer inerten Umgebung, z. B. unter Vakuum oder in einer Stickstoffatmosphäre, gehärtet, bevor eine weitere Verarbeitung durchgeführt wurde. Das Härten vertreibt zuerst die organischen Lösungsmittel aus der Vorläuferlösung und bewirkt anschließend, dass sich das Oligomer vernetzt, wie oben beschrieben wurde, um das vernetzte Polyphenylenpolymer zu bilden.

[0114] Auf die Oberfläche der zweiten Kunststoff-Bragg-Schicht **184** wird eine fünfte Metallschicht aufgebracht und dahin gehend strukturiert, die zweite metallische Bragg-Schicht **196** zu definieren, wie in **Fig. 8I** und **Fig. 8V** gezeigt ist.

[0115] Bei einem Ausführungsbeispiel waren die fünfte und die sechste Metallschicht, deren Aufbringung nachfolgend beschrieben wird, jeweils Schichten aus Molybdän, die jeweils in einer Dicke von etwa 800 nm mittels Sputtern aufgebracht wurden. Bei einem anderen Ausführungsbeispiel mit drei oder mehr Bragg-Schichten betrug die Dicke der fünften Metallschicht und der sechsten Metallschicht 300 nm, wie oben beschrieben wurde. Die Metallschichten wurden mittels Trockenätzen strukturiert. Andere feuerfeste Metalle wie z. B. Wolfram, Niob und Titan können alternativ dazu als das Material der fünften und der sechsten Metallschicht verwendet werden.

[0116] Eine Schicht aus Kunststoffmaterial wird wie oben beschrieben auf die Oberfläche der zweiten metallischen Bragg-Schicht **196** aufgebracht und wurde dahin gehend strukturiert, die erste Kunststoff-Bragg-Schicht **194** zu definieren, wie in **Fig. 8J** und **Fig. 8W** gezeigt ist.

[0117] Die sechste Metallschicht wird auf die Oberfläche der ersten Kunststoff-Bragg-Schicht **194** aufgebracht und dahin gehend strukturiert, die erste metallische Bragg-Schicht **192** zu definieren, wie in **Fig. 8K** und **Fig. 8X** gezeigt ist. Die Aufbringung der sechsten Metallschicht, um die erste metallische Bragg-Schicht **192** zu bilden, schließt die Herstellung des akustischen Bragg-Reflektors **190** ab.

[0118] Der FBAR-Stapel **311** und der akustische Bragg-Reflektor **190** werden anschließend durch das Kapselungsmittel **121** bedeckt, wie in **Fig. 8M** und **Fig. 8Z** gezeigt ist.

[0119] Bei einem Ausführungsbeispiel wird ein Tropfen eines Kapselungsmaterials auf die freiliegende Oberfläche des akustischen Bragg-Reflektors **190** aufgebracht. Das Kapselungsmaterial läuft von dem akustischen Bragg-Reflektor herunter, um die Oberseite und die Seiten des akustischen Bragg-Reflektors **190** und des FBAR-Stapels **311** zu bedecken. Das Kapselungsmaterial wird gehärtet, um das Kapselungsmittel **121** zu bilden. Bei einem Ausführungsbeispiel ist das Kapselungsmaterial Polyimid. Das Polyimid-Kapselungsmaterial wird wie oben beschrieben gehärtet, um das Kapselungsmittel **121** zu bilden.

[0120] Bei anderen Ausführungsbeispielen wird das Kapselungsmaterial mittels Spritzgießen aufgebracht. Alternative Kapselungsmaterialien sind ein kaltvulkanisierender Gummi (RTV – room-temperature vulcanizing rubber), ein glasbeladenes Epoxid oder ein anderes geeignetes Kapselungsmaterial. Andere Anwendungstechniken sind möglich.

[0121] Bei Ausführungsbeispielen, die eine hermetische Kapselung benötigen, wird ein zusätzlicher Prozess durchgeführt, bei dem das gehärtete Kapselungsmaterial mit einer (nicht gezeigten) Metallabdichtschicht bedeckt wird, um das Kapselungsmittel **121** zu bilden. Geeignete Materialien der Metallabdichtschicht umfassen Aluminium und Gold. Die Metallabdichtschicht verringert die Porosität des Kapselungsmittels beträchtlich. Die

Metallabdichtschicht wird dahin gehend strukturiert, die Anschlusskontaktstellen **132**, **134** und **138** freizulegen. Die oben beschriebene isolierende Schicht, die vor der Kapselung auf die elektrischen Bahnen **133**, **137** und **139** aufgebracht wird, verhindert, dass die Metallabdichtschicht die elektrischen Bahnen elektrisch miteinander verbindet. Alternativ dazu kann das Kapselungsmittel **121** die Anschlusskontaktstellen bedecken. Bei einem derartigen Ausführungsbeispiel erstrecken sich Durchkontaktierungen durch das Substrat **102**, um die Anschlusskontaktstellen **132**, **134** und **138** mit Anschlusskontaktstellen zu verbinden, die gegenüber den Anschlusskontaktstellen **132**, **134** und **138** auf der Oberfläche **103** des Substrats **102** angeordnet sind.

[0122] Anschließend wird der Wafer in einzelne FBAR-Vorrichtungen, einschließlich der FBAR-Vorrichtung **300**, unterteilt.

[0123] Die FBAR-Vorrichtung **300** ist in einer elektrischen Wirtsvorrichtung, z. B. einem drahtlosen Telefon, angebracht, und elektrische Verbindungen werden zwischen den Anschlusskontaktstellen **132**, **134** und **138** der FBAR-Vorrichtung und Kontaktstellen, die Bestandteil der Wirtsvorrichtung sind, hergestellt.

[0124] Wie oben erwähnt wurde, ist ein alternatives akustisches Entkopplungsmaterial des akustischen Entkopplers **130** ein vernetztes Polyphenylenpolymer. Nachdem die dritte Metallschicht dahin gehend strukturiert wurde, die Elektrode **114** zu definieren, wie oben unter Bezugnahme auf **Fig. 8C** und **Fig. 8P** beschrieben wurde, wird die Vorläuferlösung für das vernetzte Polyphenylenpolymer auf eine Weise aufgeschleudert, die der oben unter Bezugnahme auf **Fig. 8D** und **Fig. 8Q** beschriebenen ähnelt, wird jedoch nicht strukturiert. Die Formulierung der Vorläuferlösung und die Aufschleudergeschwindigkeit werden so ausgewählt, dass das vernetzte Polyphenylenpolymer eine Schicht mit einer Dicke von etwa 187 nm bildet. Dies entspricht einem Viertel der Wellenlänge λ_n in dem vernetzten Polyphenylenpolymer eines akustischen Signals, das eine Frequenz aufweist, die gleich der Mittenfrequenz des Durchlassbandes der FBAR-Vorrichtung **300** ist. Der Wafer wird anschließend gemäß der obigen Beschreibung gehärtet, um zu bewirken, dass sich das Oligomer, das einen Bestandteil der Vorläuferlösung darstellt, vernetzt, um das vernetzte Polyphenylenpolymer zu bilden.

[0125] Anschließend wird die dritte Metallschicht auf eine Weise, die der oben unter Bezugnahme auf **Fig. 8E** und **Fig. 8R** beschriebenen ähnelt, auf die Schicht des vernetzten Polyphenylenpolymers aufgebracht, wird jedoch anfänglich ähnlich der Strukturierung des akustischen Entkopplers **130**, der in **Fig. 8D** gezeigt ist, dahin gehend strukturiert, eine harte Maske zu definieren, die später dazu verwendet wird, die Schicht des vernetzten Polyphenylenpolymers dahin gehend zu strukturieren, den akustischen Entkoppler **130** zu definieren. Die anfänglich strukturierte dritte Metallschicht weist denselben Umfang auf wie der akustische Entkoppler **130** und legt die Anschlusskontaktstellen **132** und **134** und Teile des Füllmaterials **105** frei.

[0126] Anschließend wird die Schicht des vernetzten Polyphenylenpolymers wie in **Fig. 8D** gezeigt strukturiert, wobei die anfänglich strukturierte dritte Metallschicht als Hartätzmaske verwendet wird. Das Strukturieren der Schicht des vernetzten Polyphenylenpolymers definiert den Umfang des akustischen Entkopplers **130**, der die Anschlusskontaktstellen **132** und **134** und Teile des Füllmaterials **105** freilegt. Die Strukturierung wird mit einer Sauerstoffplasmaätzung durchgeführt.

[0127] Die dritte Metallschicht wird anschließend dahin gehend erneut strukturiert, wie in den **Fig. 8E** und **Fig. 8R** gezeigt ist, die Elektrode **122** und die elektrische Bahn **137**, die sich zwischen der Elektrode **122** und der Anschlusskontaktstelle **134** erstreckt, zu definieren.

[0128] Die Herstellung des Ausführungsbeispiels der FBAR-Vorrichtung **300** mit einer Schicht aus vernetztem Polyphenylenpolymer als ihrem akustischen Entkoppler wird abgeschlossen, indem die oben unter Bezugnahme auf **Fig. 8F–Fig. 8M** und **Fig. 8S–Fig. 8M** beschriebene Verarbeitung durchgeführt wird.

[0129] Desgleichen wird bei Ausführungsbeispielen, bei denen die zweite Kunststoff-Bragg-Schicht **198** eine Schicht aus vernetztem Polyphenylenpolymer ist, die Schicht aus vernetzten Polyphenylenpolymer, die aufgebracht wird, um die zweite Kunststoff-Bragg-Schicht **198** zu bilden, aufgebracht, und die fünfte Metallschicht wird aufgebracht. Die fünfte Metallschicht wird anschließend anfänglich dahin gehend strukturiert, die zweite Kunststoff-Bragg-Schicht **198** zu definieren, die Schicht des vernetzten Polyphenylenpolymers wird unter Verwendung der anfänglich strukturierten fünften Metallschicht als Hartätzmaske verwendet, und die fünfte Metallschicht wird anschließend dahin gehend neu strukturiert, die zweite metallische Bragg-Schicht **196** zu definieren. Bei Ausführungsbeispielen wie z. B. dem in den **Fig. 8H** und **Fig. 8I** gezeigten Ausführungsbeispiel, bei denen die zweite Kunststoff-Bragg-Schicht und die zweite metallische Bragg-Schicht denselben Umfang aufweisen, definiert die anfängliche Strukturierung der fünften Metallschicht die zweite metallische Bragg-Schicht **196**, und die oben beschriebene Neustrukturierung der fünften Metallschicht wird weggelassen. Eine ähnliche

Technik kann dazu verwendet werden, die zweite Kunststoff-Bragg-Schicht **198** in einer Schicht aus Parylen zu definieren.

[0130] Desgleichen wird bei Ausführungsbeispielen, bei denen die erste Kunststoff-Bragg-Schicht **194** eine Schicht aus vernetztem Polyphenylenpolymer ist, die Schicht aus vernetztem Polyphenylenpolymer, die aufgebracht wird, um die erste Kunststoff-Bragg-Schicht **194** zu bilden, aufgebracht, und die sechste Metallschicht wird aufgebracht. Die sechste Metallschicht wird dann anfänglich dahin gehend strukturiert, die erste Kunststoff-Bragg-Schicht **194** zu definieren, die Schicht des vernetzten Polyphenylenpolymers wird unter Verwendung der anfänglich strukturierten sechsten Metallschicht als Hartätzmaske strukturiert, und die sechste Metallschicht wird anschließend dahin gehend neu strukturiert, die erste metallische Bragg-Schicht **192** zu definieren. Bei Ausführungsbeispielen wie z. B. dem in **Fig. 8J** und **Fig. 8K** gezeigten Ausführungsbeispiel, bei denen die erste Kunststoff-Bragg-Schicht und die erste metallische Bragg-Schicht denselben Umfang aufweisen, definiert die anfängliche Strukturierung der sechsten Metallschicht die erste metallische Bragg-Schicht **192**, und die oben beschriebene Neustrukturierung der sechsten Metallschicht wird weggelassen. Eine ähnliche Technik kann dazu verwendet werden, die erste Kunststoff-Bragg-Schicht **196** in einer Schicht aus Parylen zu definieren.

Patentansprüche

1. Eine eingekapselte akustische Filmvolumenresonator-Vorrichtung, FBAR-Vorrichtung, (**100**), die folgende Merkmale aufweist:

ein Substrat (**102**);

einen FBAR-Stapel (**111**) über dem Substrat (**102**), wobei der FBAR-Stapel (**111**) einen FBAR (**110**) umfasst und eine dem Substrat (**102**) ferne obere Oberfläche aufweist, wobei der FBAR (**110**) gegenüberliegende planare Elektroden (**112**, **114**) und ein piezoelektrisches Element (**116**) zwischen den Elektroden (**112**, **114**) aufweist;

eine Einrichtung (**104**) zum akustischen Isolieren des FBAR-Stapels (**111**) von dem Substrat (**102**);

ein Kapselungsmittel (**121**), das den FBAR-Stapel (**111**) bedeckt; und

einen akustischen Bragg-Reflektor (**190**) zwischen der oberen Oberfläche des FBAR-Stapels (**111**) und dem Kapselungsmittel (**121**), wobei der akustische Bragg-Reflektor (**190**) eine metallische Bragg-Schicht (**192**) und eine zu der metallischen Bragg-Schicht (**192**) benachbarte Kunststoff-Bragg-Schicht (**194**) umfasst, wobei die FBAR-Vorrichtung (**100**) eine Bandpasscharakteristik aufweist, die eine Mittenfrequenz aufweist; wobei zumindest eine der Bragg-Schichten (**192**, **194**) eine nominelle Dicke aufweist, die gleich einem Viertel der Wellenlänge in dem Material der jeweiligen Bragg-Schicht (**192**, **194**) eines akustischen Signals ist, dessen Frequenz gleich der Mittenfrequenz ist, und

wobei die metallische Bragg-Schicht (**192**, **194**) dünner ist als die nominelle Dicke.

2. Die eingekapselte FBAR-Vorrichtung (**300**) gemäß Anspruch 1, bei der:

der FBAR ein unterer FBAR (**110**) ist; und

die FBAR-Vorrichtung (**300**) zusätzlich folgende Merkmale aufweist:

einen auf dem unteren FBAR (**110**) gestapelten oberen FBAR (**120**), wobei der obere FBAR (**120**) gegenüberliegende planare Elektroden (**122**, **124**) und ein piezoelektrisches Element (**126**) zwischen den Elektroden (**122**, **124**) aufweist, und

einen akustischen Entkoppler (**130**) zwischen den FBARs (**110**, **120**).

3. Die eingekapselte FBAR-Vorrichtung (**400**) gemäß Anspruch 2, bei der:

der untere FBAR (**110**), der obere FBAR (**162**) und der akustische Entkoppler (**130**) einen ersten entkoppelten gestapelten akustischen Volumenresonator, DSBAR, (**106**) bilden;

der FBAR-Stapel (**411**) zusätzlich einen zweiten DSBAR (**108**) aufweist, der einen unteren FBAR (**150**), einen oberen FBAR (**160**) und einen akustischen Entkoppler (**170**) zwischen den FBARs (**150**, **160**) umfasst; und

die FBAR-Vorrichtung (**400**) zusätzlich folgende Merkmale aufweist:

eine erste elektrische Schaltung (**141**), die die unteren FBARs (**110**, **150**) miteinander verbindet, und

eine zweite elektrische Schaltung (**142**), die die oberen FBARs (**120**, **160**) miteinander verbindet.

4. Die eingekapselte FBAR-Vorrichtung (**300**) gemäß Anspruch 1, bei der:

der FBAR ein erster FBAR (**110**) ist;

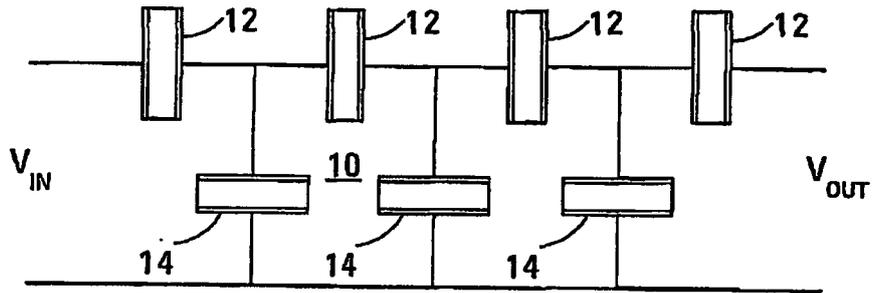
der FBAR-Stapel (**311**) zusätzlich einen oder mehr zusätzliche FBARs (**120**) umfasst; und

die FBARs (**110**, **120**) als Leiterfilter miteinander verbunden sind.

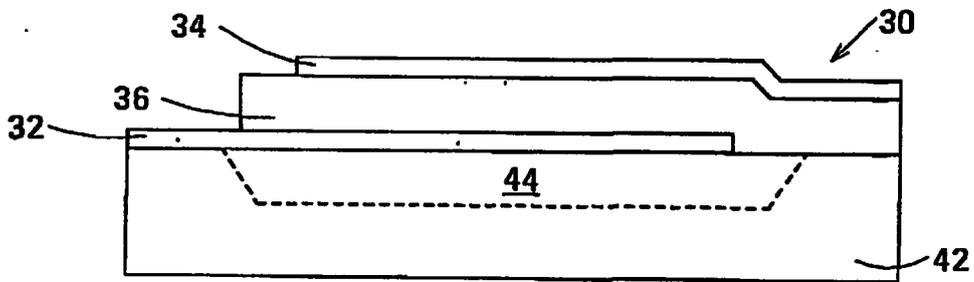
5. Die eingekapselte FBAR-Vorrichtung (100) gemäß einem der Ansprüche 1 bis 4, bei der die Kunststoff-Bragg-Schicht (194) Polyimid umfasst.
6. Die eingekapselte FBAR-Vorrichtung (100) gemäß einem der Ansprüche 1 bis 4, bei der die Kunststoff-Bragg-Schicht (194) Parylen umfasst.
7. Die eingekapselte FBAR-Vorrichtung (100) gemäß einem der Ansprüche 1 bis 4, bei der die Kunststoff-Bragg-Schicht (194) ein vernetztes Polyphenylenpolymer umfasst.
8. Die eingekapselte FBAR-Vorrichtung (100) gemäß Anspruch 7, bei der das vernetzte Polyphenylenpolymer aus einer Vorläuferlösung gebildet ist, die von The Dow Chemical Company vertrieben wird.
9. Die eingekapselte FBAR-Vorrichtung (100) gemäß einem der Ansprüche 1 bis 8, bei der die metallische Bragg-Schicht (192) ein feuerfestes Metall umfasst.
10. Die eingekapselte FBAR-Vorrichtung (100) gemäß einem der Ansprüche 1 bis 9, bei der die metallische Bragg-Schicht (192) zu dem Kapselungsmittel benachbart ist.
11. Die eingekapselte FBAR-Vorrichtung (100) gemäß Anspruch 10, bei der: die metallische Bragg-Schicht (192) eine erste metallische Bragg-Schicht (192) ist; der akustische Bragg-Reflektor (190) zusätzlich eine zweite metallische Bragg-Schicht (196) aufweist, die zu der Kunststoff-Bragg-Schicht (194) gegenüber der ersten metallischen Bragg-Schicht (192) benachbart ist.
12. Die eingekapselte FBAR-Vorrichtung (100) gemäß Anspruch 11, bei der: die Kunststoff-Bragg-Schicht (194) eine erste Kunststoff-Bragg-Schicht (194) ist; der akustische Bragg-Reflektor (190) zusätzlich eine zweite Kunststoff-Bragg-Schicht (198) aufweist, die zu der zweiten metallischen Bragg-Schicht (196) gegenüber der ersten Kunststoff-Bragg-Schicht (194) benachbart ist.
13. Die eingekapselte FBAR-Vorrichtung (100) gemäß einem der Ansprüche 1 bis 12, bei der die Einrichtung zum akustischen Isolieren des FBAR-Stapels (111) von dem Substrat (102) einen in dem Substrat (102) definierten Hohlraum (104) umfasst, über dem der FBAR-Stapel (111) aufgehängt ist.
14. Die eingekapselte FBAR-Vorrichtung (200) gemäß einem der Ansprüche 1 bis 12, bei der: der akustische Bragg-Reflektor (190) ein erster akustischer Bragg-Reflektor (190) ist; und die Einrichtung zum akustischen Isolieren des FBAR-Stapels von dem Substrat einen zweiten akustischen Bragg-Reflektor (180) umfasst, wobei der zweite akustische Bragg-Reflektor (180) eine metallische Bragg-Schicht (182) umfasst, die zu einer Kunststoff-Bragg-Schicht (184) benachbart ist.
15. Die eingekapselte FBAR-Vorrichtung (100) gemäß einem der Ansprüche 1 bis 14, bei der: die Kunststoff-Bragg-Schicht (194) ein Kunststoffmaterial umfasst, das eine akustische Impedanz von weniger als $5 \text{ Pa}\cdot\text{s}\cdot\text{m}^{-1}$ aufweist; und die metallische Bragg-Schicht (192) ein Metall umfasst, das eine akustische Impedanz von mehr als $50 \text{ Pa}\cdot\text{s}\cdot\text{m}^{-1}$ aufweist.
16. Die eingekapselte FBAR-Vorrichtung (100) gemäß einem der Ansprüche 1 bis 14, bei der: die Kunststoff-Bragg-Schicht (194) ein Kunststoffmaterial umfasst, das eine erste akustische Impedanz aufweist; und die metallische Bragg-Schicht (192) ein Metall umfasst, das eine zweite akustische Impedanz aufweist; die zweite akustische Impedanz und die erste akustische Impedanz ein Verhältnis von mehr als zehn aufweisen.

Es folgen 11 Seiten Zeichnungen

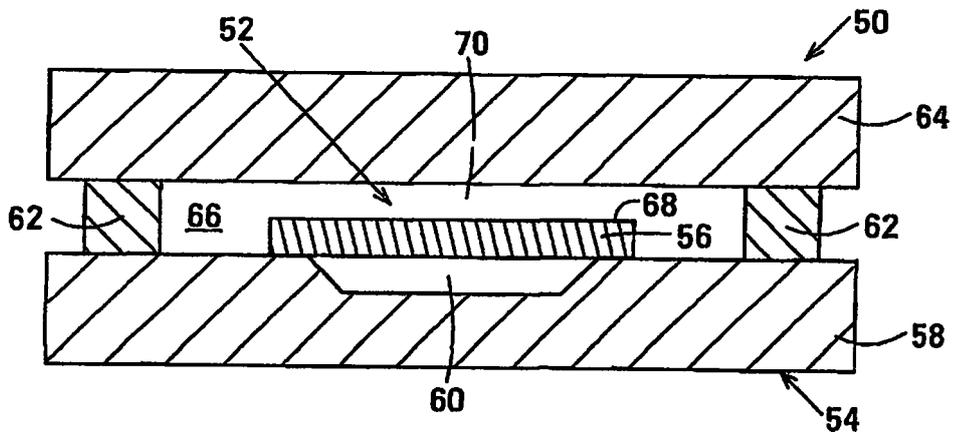
Anhängende Zeichnungen



FIGUR 1
(STAND DER TECHNIK)



FIGUR 2
(STAND DER TECHNIK)



FIGUR 3
(STAND DER TECHNIK)

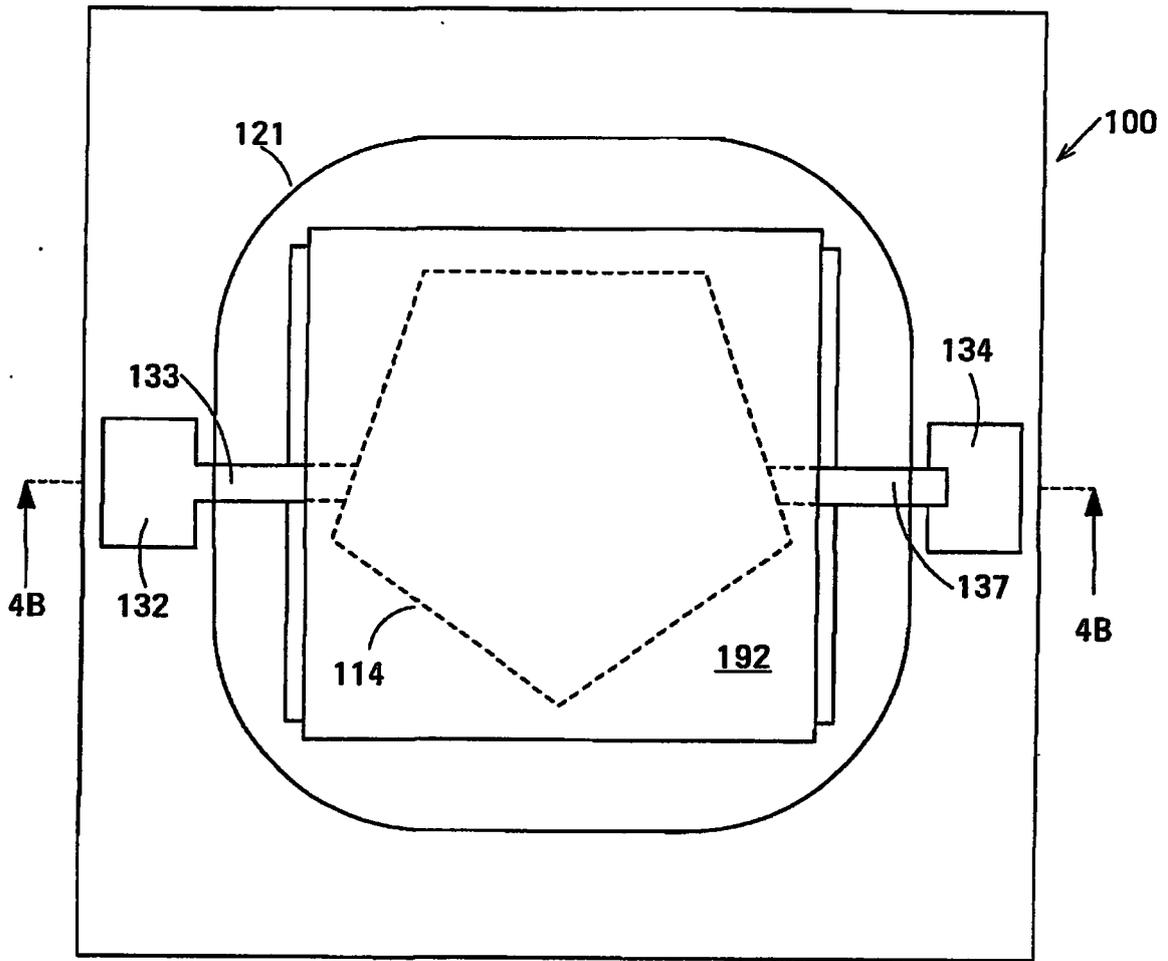


FIGURE 4A

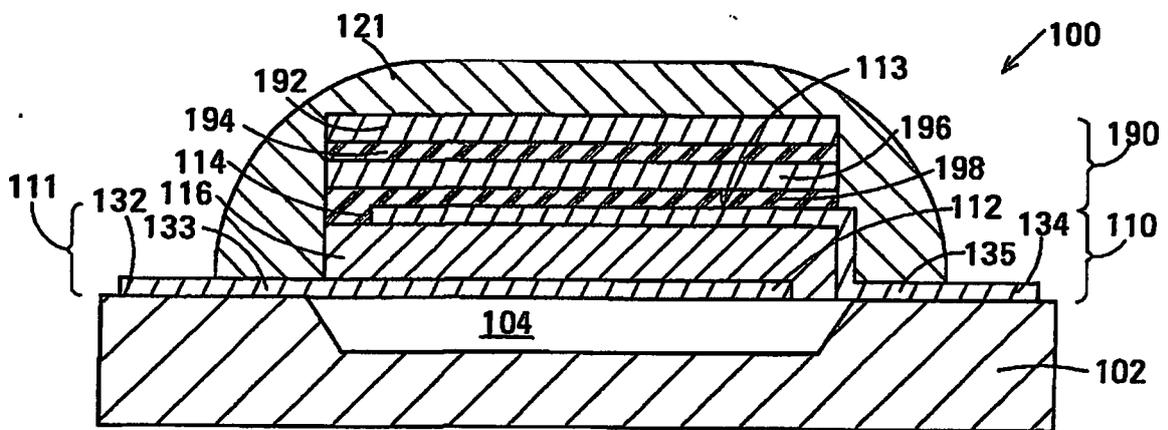
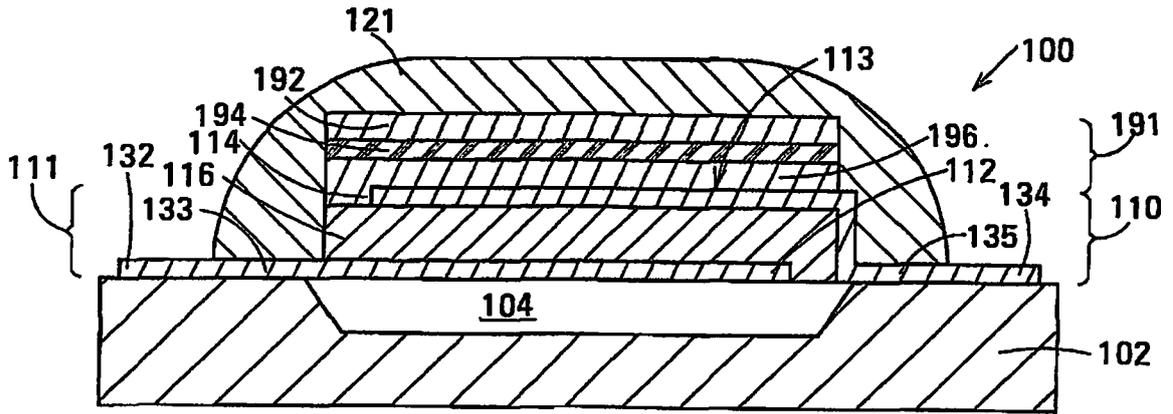
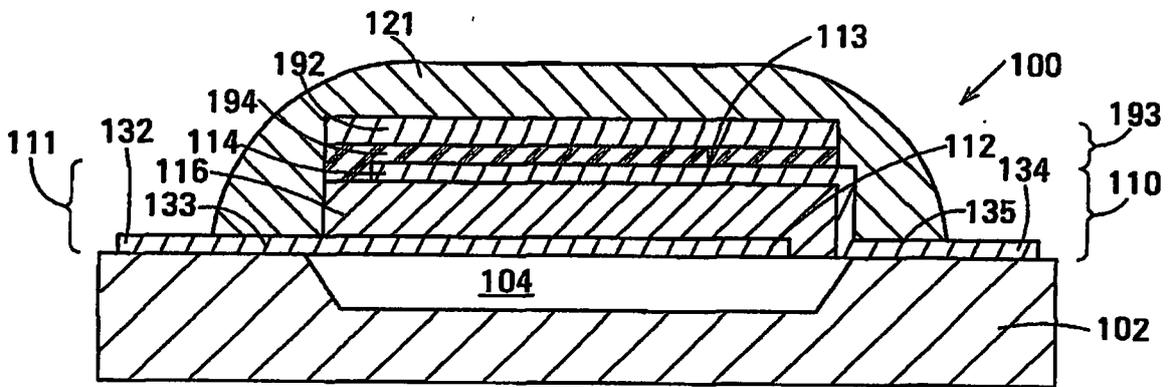


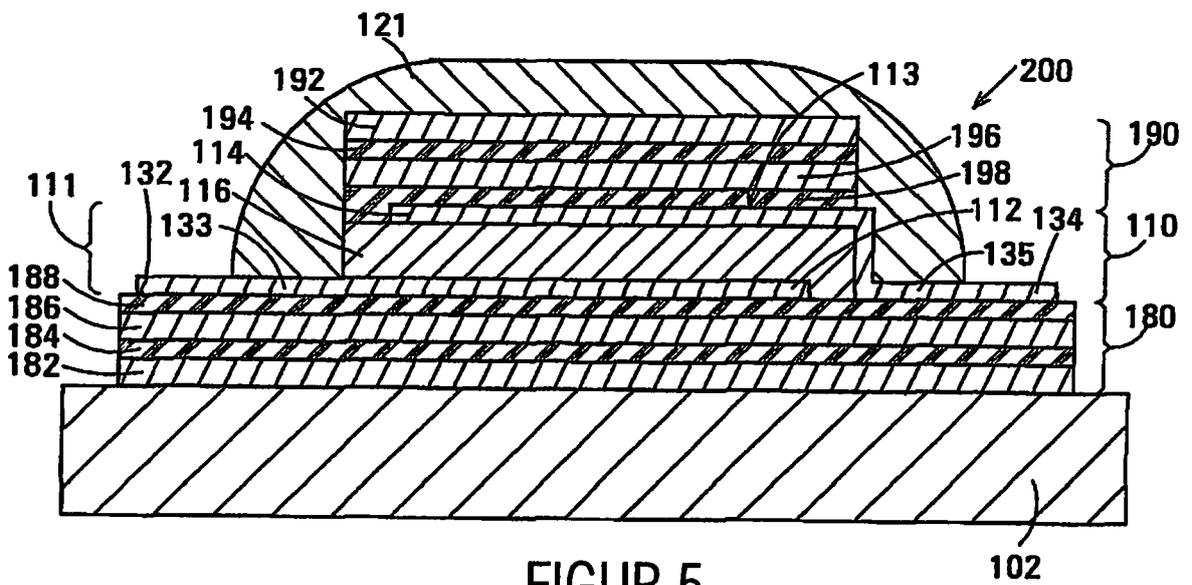
FIGURE 4B



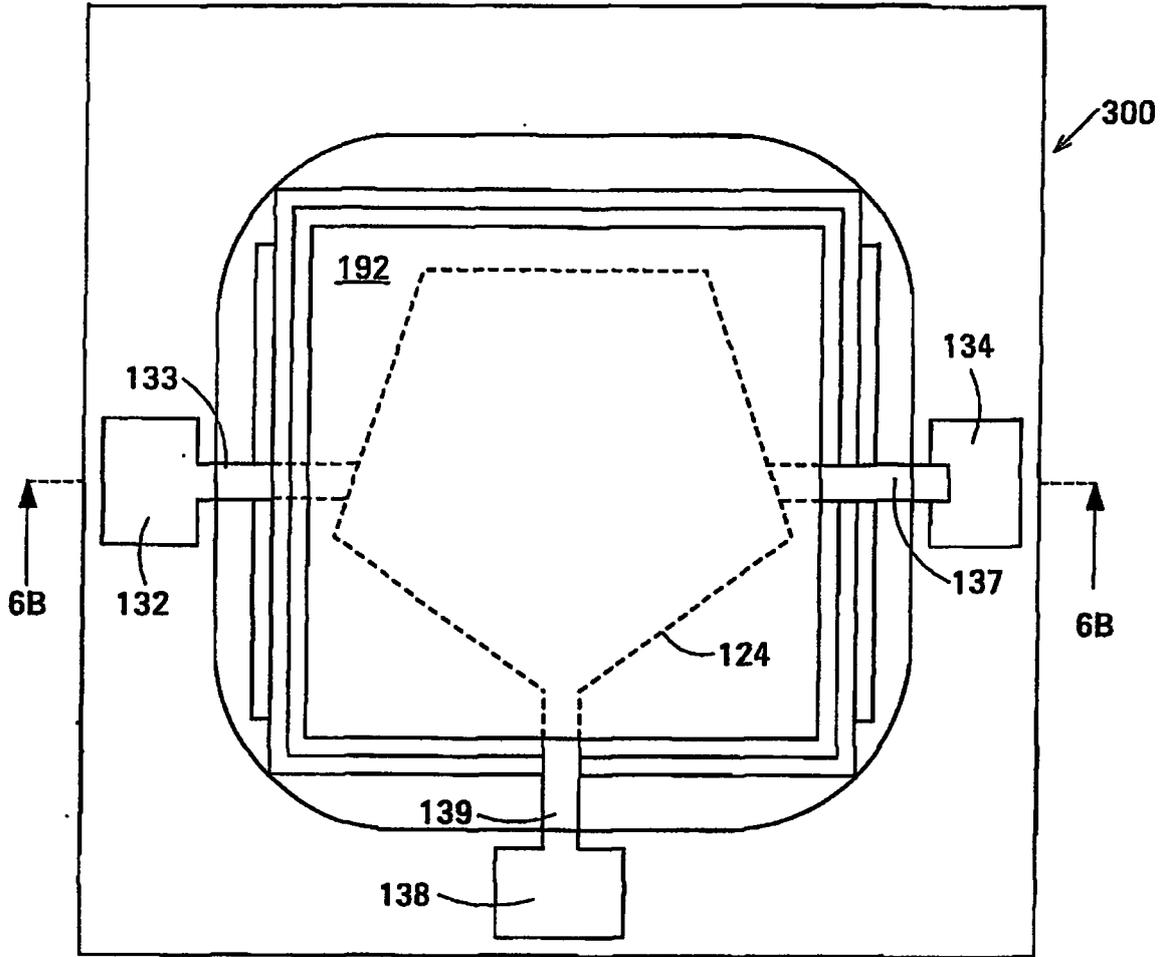
FIGUR 4C



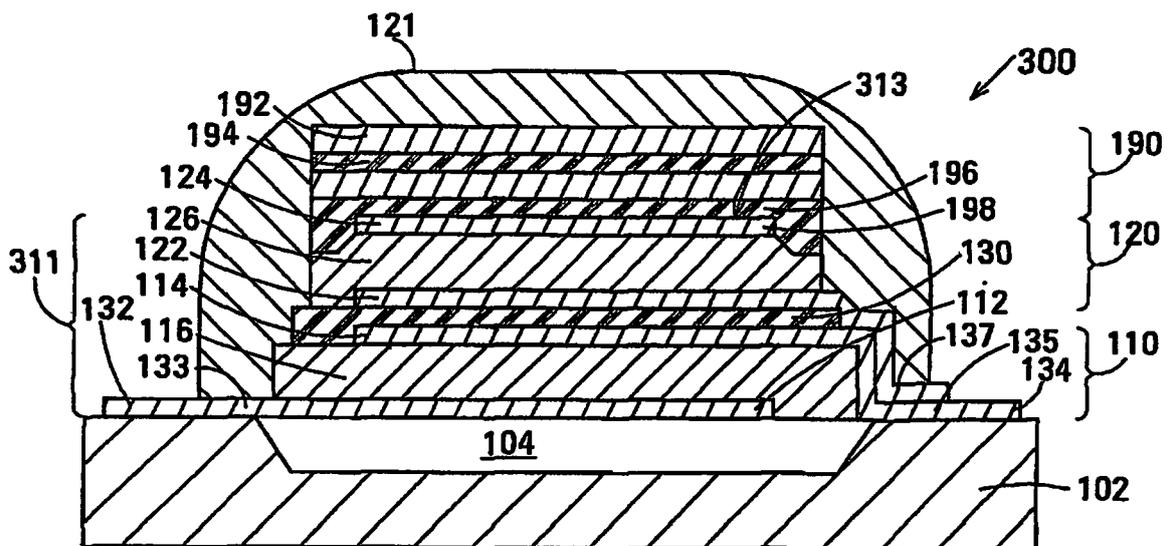
FIGUR 4D



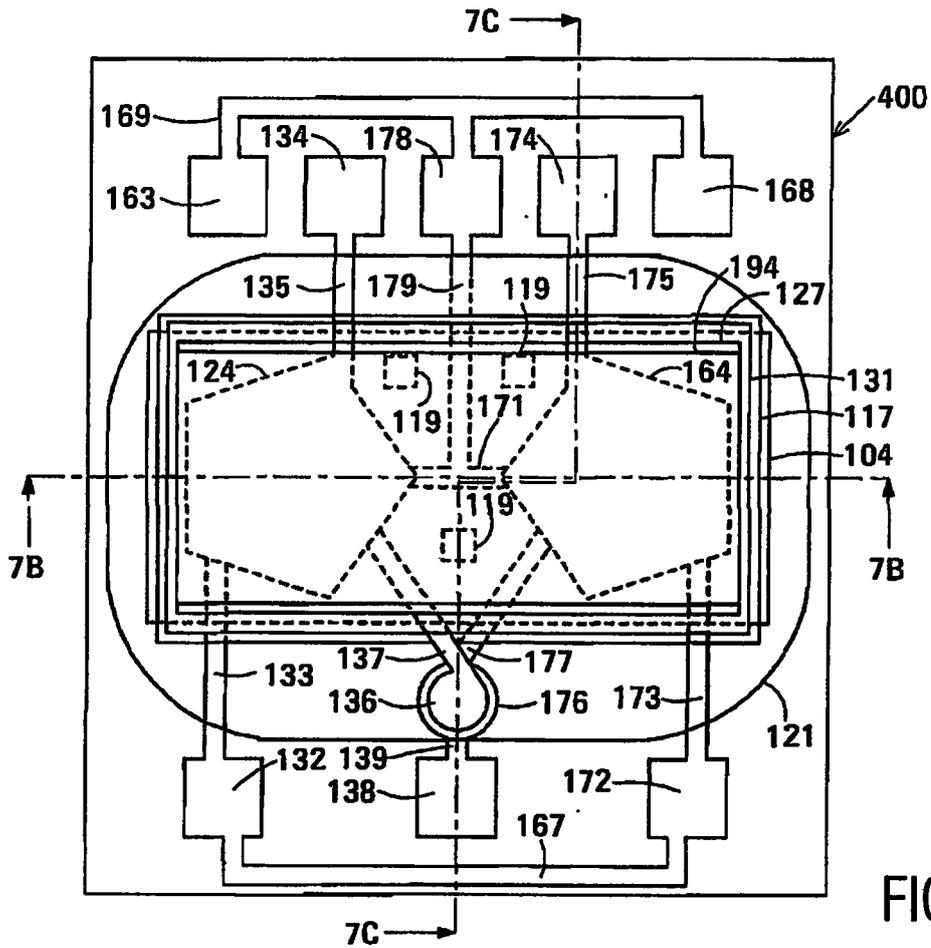
FIGUR 5



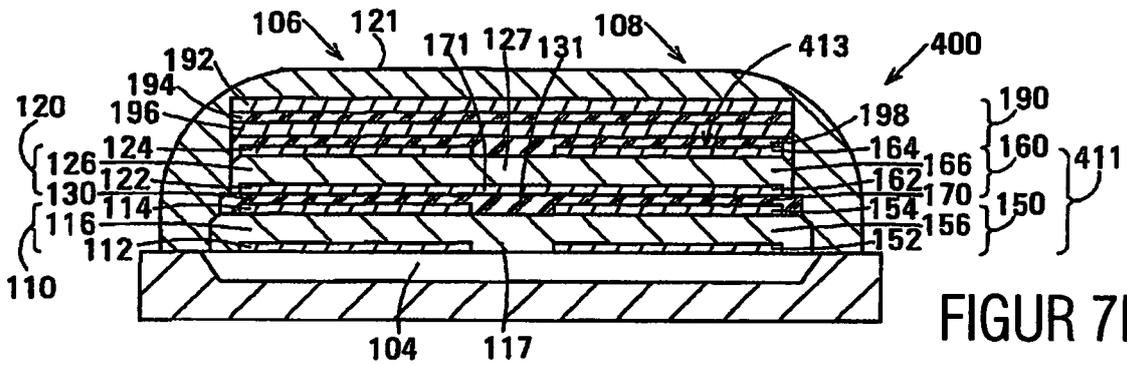
FIGUR 6A



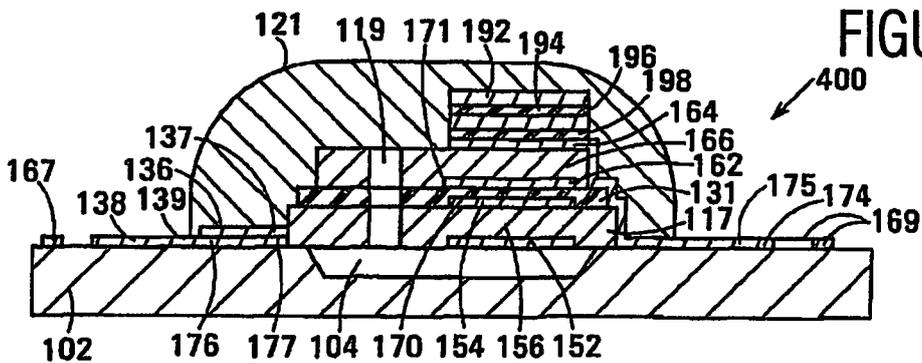
FIGUR 6B



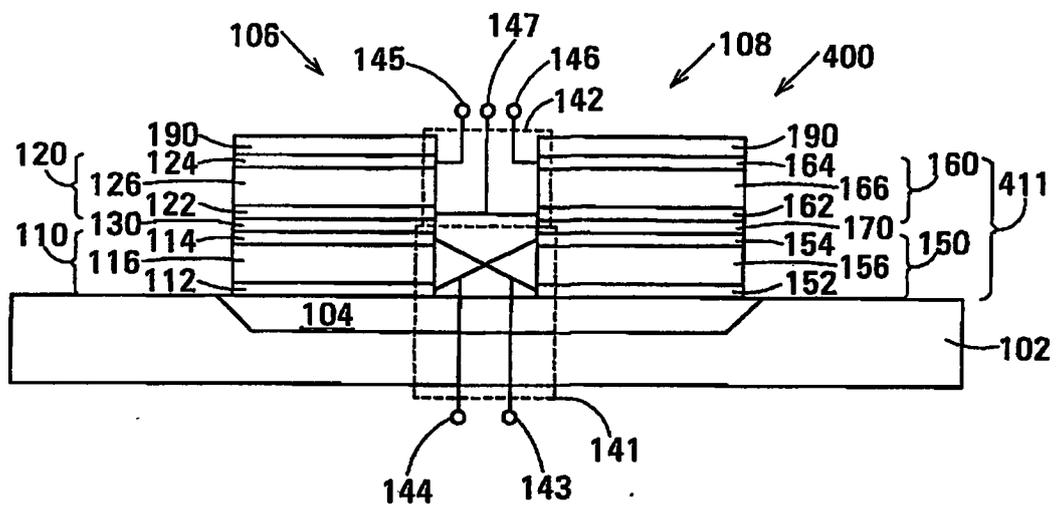
FIGUR 7A



FIGUR 7B

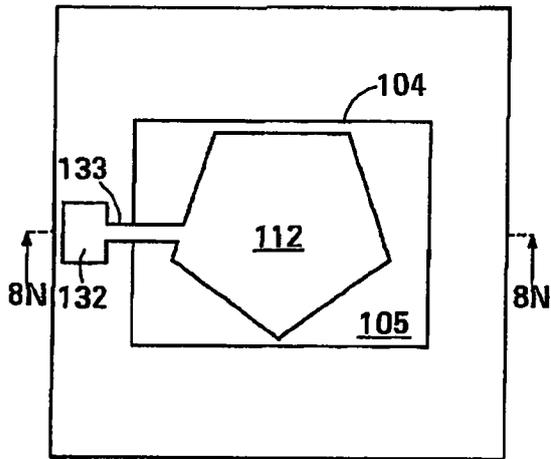


FIGUR 7C

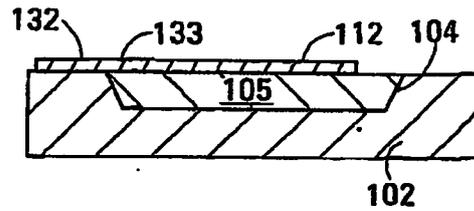


FIGUR 7D

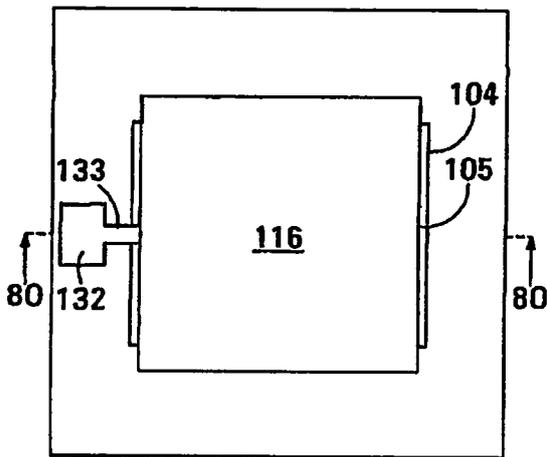
FIGUR 8A



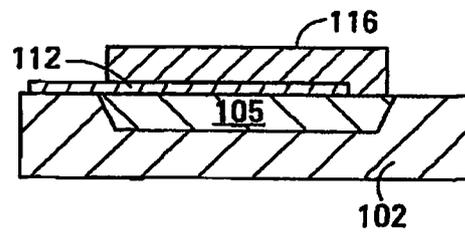
FIGUR 8N



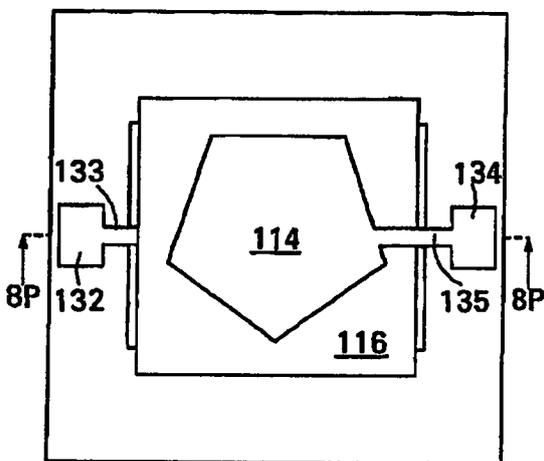
FIGUR 8B



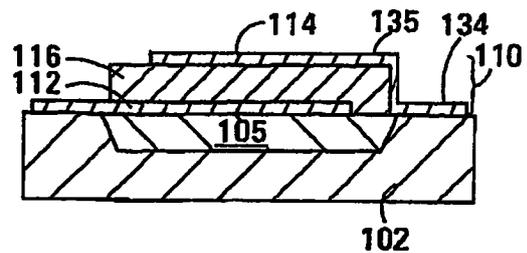
FIGUR 8O



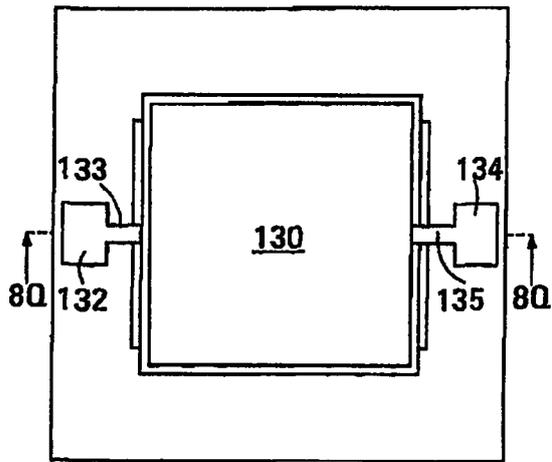
FIGUR 8C



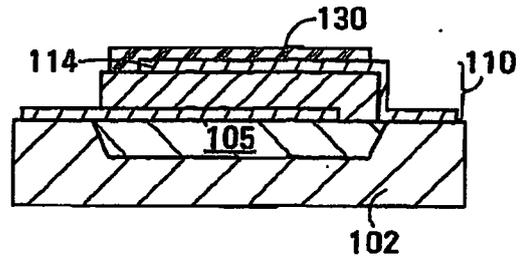
FIGUR 8P



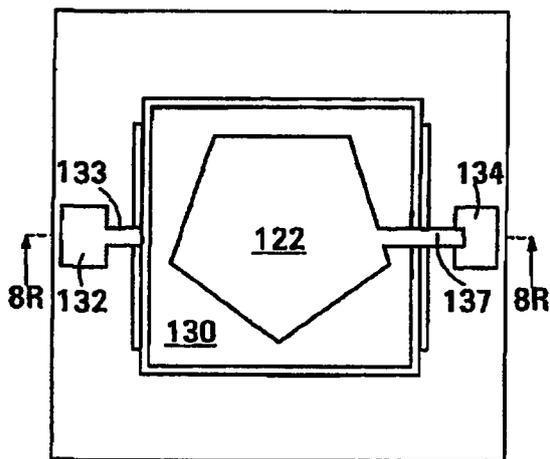
FIGUR 8D



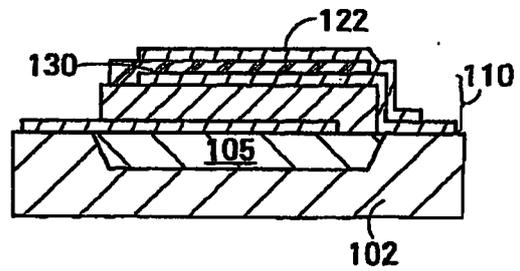
FIGUR 8Q



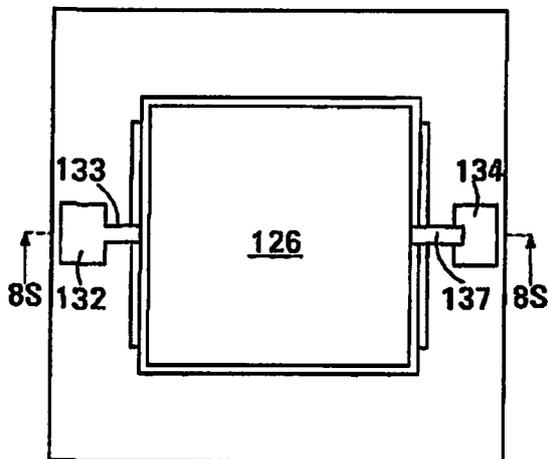
FIGUR 8E



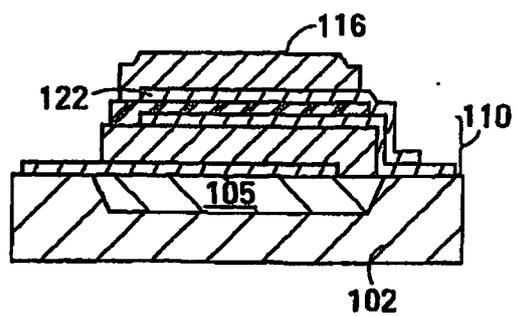
FIGUR 8R



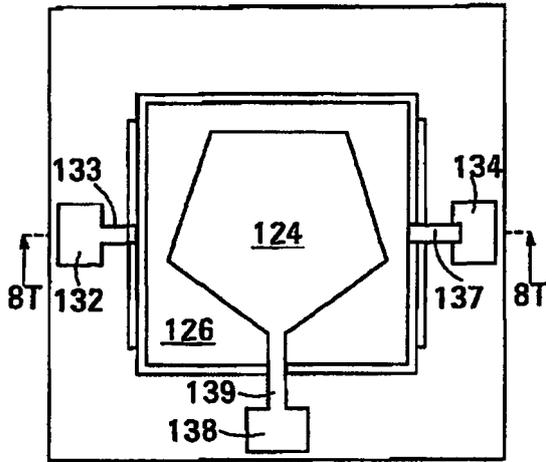
FIGUR 8F



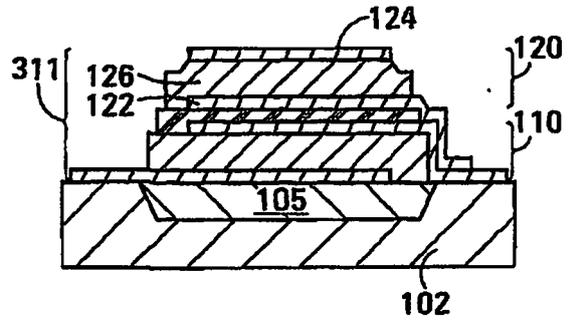
FIGUR 8S



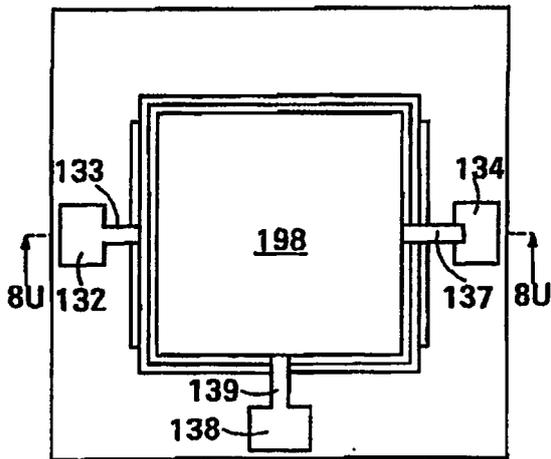
FIGUR 8G



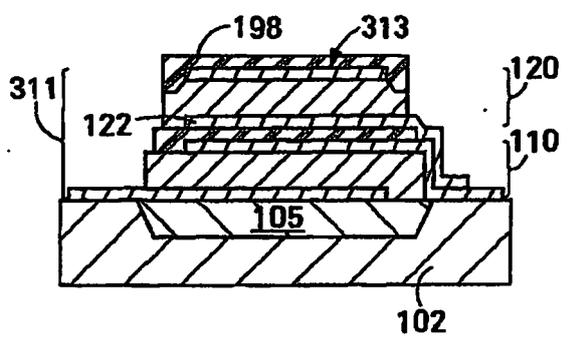
FIGUR 8T



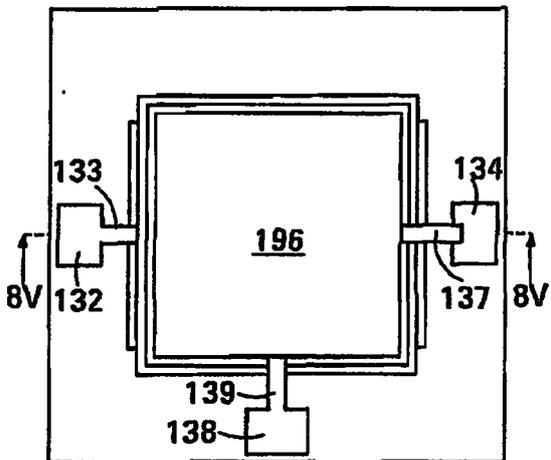
FIGUR 8H



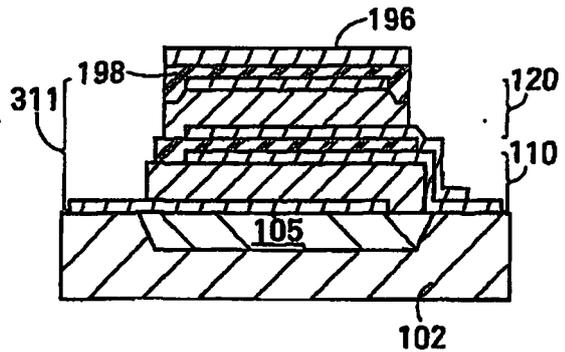
FIGUR 8U



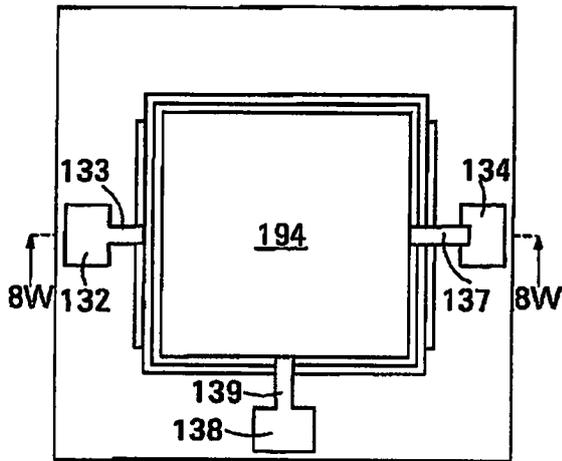
FIGUR 8I



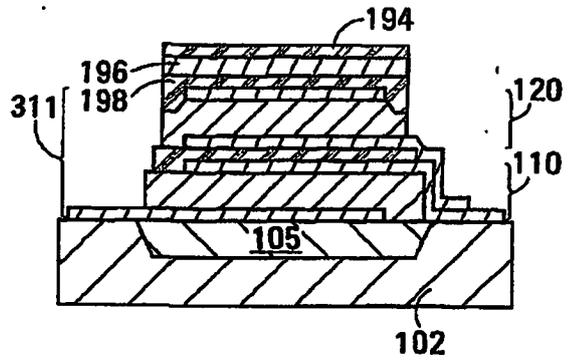
FIGUR 8V



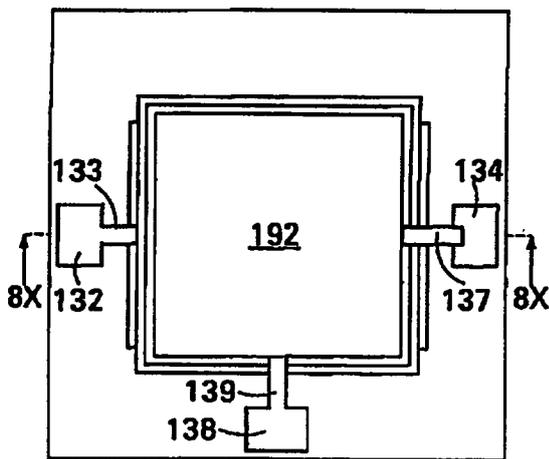
FIGUR 8J



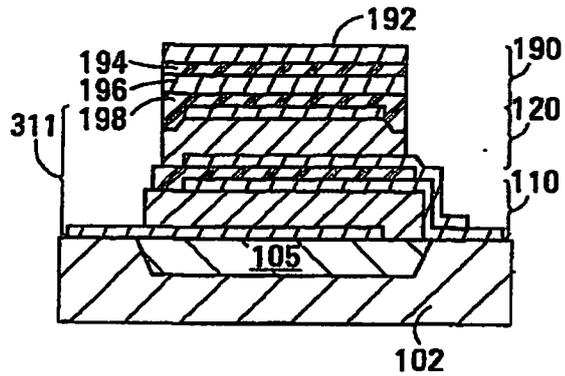
FIGUR 8W



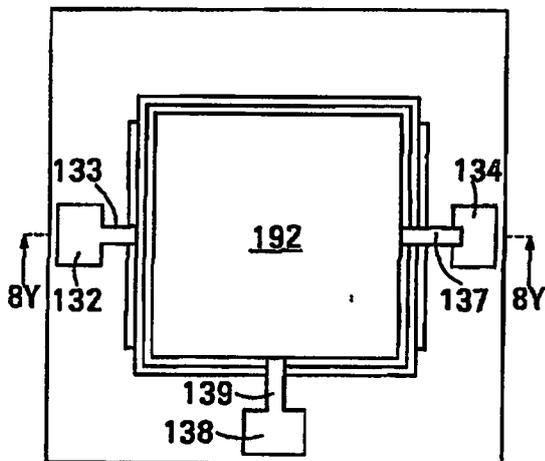
FIGUR 8K



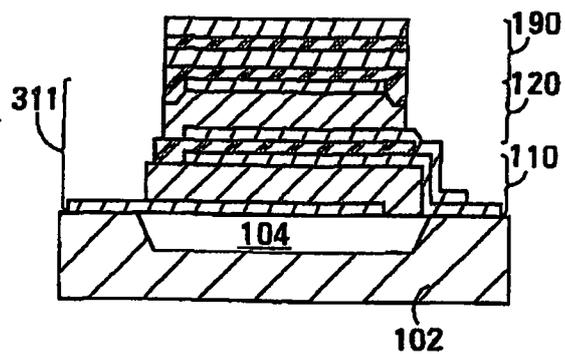
FIGUR 8X

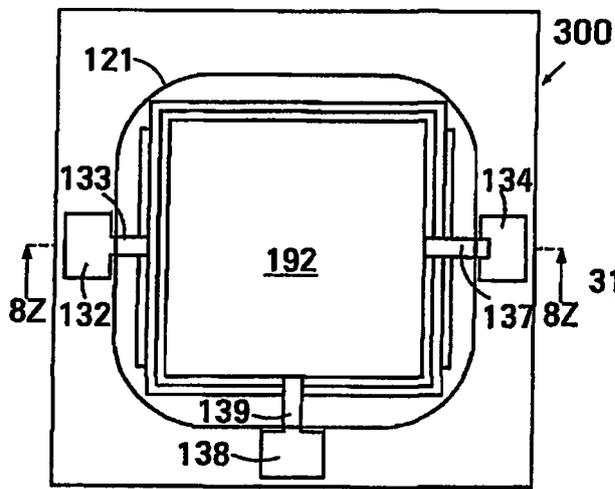


FIGUR 8L

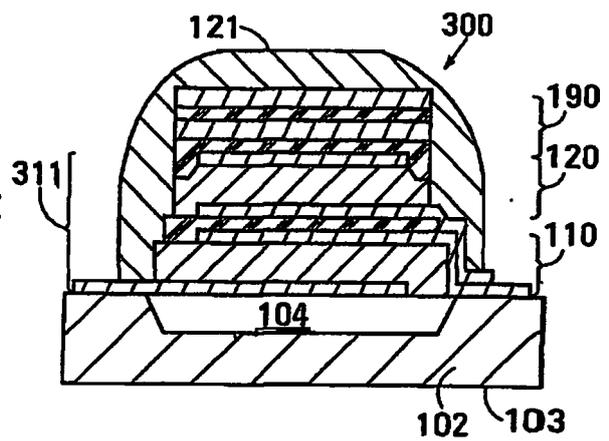


FIGUR 8Y





FIGUR 8M



FIGUR 8Z