



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 11 2004 001 968 T5 2006.10.19**

(12)

Veröffentlichung

der internationalen Anmeldung mit der
 (87) Veröffentlichungs-Nr.: **WO 2005/043755**
 in deutscher Übersetzung (Art. III § 8 Abs. 2 IntPatÜG)
 (21) Deutsches Aktenzeichen: **11 2004 001 968.0**
 (86) PCT-Aktenzeichen: **PCT/US2004/036150**
 (86) PCT-Anmeldetag: **29.10.2004**
 (87) PCT-Veröffentlichungstag: **12.05.2005**
 (43) Veröffentlichungstag der PCT Anmeldung
 in deutscher Übersetzung: **19.10.2006**

(51) Int Cl.⁸: **H03H 9/58 (2006.01)**

(30) Unionspriorität:
10/699,289 30.10.2003 US
10/699,481 30.10.2003 US

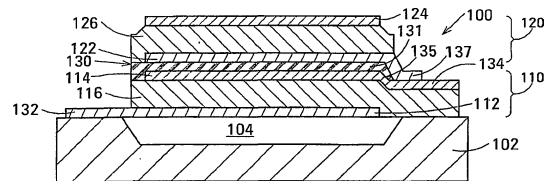
(74) Vertreter:
Schoppe, Zimmermann, Stöckeler & Zinkler, 82049 Pullach

(71) Anmelder:
Avago Technologies General IP (Singapore) Pte. Ltd, Singapore, SG

(72) Erfinder:
Larson III, John D., Palo Alto, Calif., US; Ellis, Stephen L., Pleasanton, Calif., US

(54) Bezeichnung: **Entkoppeltes, gestapeltes, akustisches Volumenresonator-Bandpassfilter mit steuerbarer Durchlassbandbreite**

(57) Hauptanspruch: Ein Bandpassfilter, das folgende Merkmale aufweist:
 einen unteren akustischen Filmvolumenresonator (FBAR),
 einen oberen FBAR, der auf den unteren FBAR gestapelt ist, wobei jeder FBAR gegenüberliegende planare Elektroden und ein piezoelektrisches Element zwischen den Elektroden aufweist; und
 einen akustischen Entkoppler zwischen den FBARs, der eine Schicht aus einem akustischen Entkopplungsmaterial aufweist.



Beschreibung

Hintergrund

[0001] Elektrische Bandpassfilter werden bei vielen unterschiedlichen Typen von Verbraucher- und industriellen elektronischen Produkten verwendet, um elektrische Signale in einem Bereich von Frequenzen auszuwählen oder abzulehnen. In den letzten Jahren hat sich die physische Größe solcher Produkte tendenziell wesentlich verringert, während sich die Schaltungskomplexität der Produkte tendenziell erhöht hat. Folglich besteht ein Bedarf nach hochminiaturisierten Hochleistungs-Bandpassfiltern. Ein spezieller Bedarf nach solchen Bandpassfiltern existiert bei Zellulartelefonen, bei denen die Antenne mit dem Ausgang des Senders und dem Eingang des Empfängers durch einen Duplexer verbunden ist, der zwei Bandpassfilter umfasst.

Stand der Technik

[0002] Moderne Zellulartelefone lagern einen Duplexer ein, bei dem jedes der Bandpassfilter eine Leiterschaltung umfasst, wobei jedes Element der Leiterschaltung ein akustischer Filmvolumenresonator (FBAR; film bulk acoustic resonator) ist. Ein solcher Duplexer wird offenbart von Bradley u. a. in dem U.S.-Patent Nr. 6,262,637 mit dem Titel „Duplexer Incorporating Thin-film Bulk Acoustic Resonators (FBARs)“, die dem Bevollmächtigten dieser Offenbarung zugewiesen ist. Ein solcher Duplexer besteht aus einem Sender-Bandpassfilter, das in Reihe zwischen den Ausgang des Senders und die Antenne geschaltet ist, und einem Empfänger-Bandpassfilter, das in Reihe mit einem 90°-Phasenverschieber zwischen der Antenne und dem Eingang des Empfängers geschaltet ist. Die Mittenfrequenzen der Durchlassbänder des Sender-Bandpassfilters und des Empfänger-Bandpassfilters sind voneinander versetzt.

[0003] Fig. 1 zeigt ein exemplarisches Ausführungsbeispiel eines FBAR-basierten Bandpassfilters **10**, das geeignet ist zur Verwendung als das Sender-Bandpassfilter eines Duplexers. Das Sender-Bandpassfilter besteht aus einer Reihe von FBARs **12** und Nebenschluss-FBARs **14**, die in einer Leiterschaltung verbunden sind. Reihen-FBARs **12** weisen eine höhere Resonanzfrequenz auf als Nebenschluss-FBARs **14**.

[0004] FBARs werden offenbart durch Ruby u. a. in dem U.S.-Patent Nr. 5,587,620 mit dem Titel Tunable Thin Film Acoustic Resonators and Method of Making Same, das nun dem Bevollmächtigten dieser Offenbarung zugewiesen ist. Fig. 2 zeigt ein exemplarisches Ausführungsbeispiel **20** eines FBAR. Der FBAR **20** besteht aus einem Paar von Elektroden **24** und **26** und einer Schicht eines piezoelektrischen Ma-

terials **22**, die sandwichartig zwischen den Elektroden angeordnet ist. Das piezoelektrische Material und die Elektroden sind über einem Hohlraum **28** aufgehängt, der in einem Substrat **30** definiert ist. Diese Art des Aufhängens des FBAR ermöglicht, dass der FBAR mechanisch ansprechend auf ein elektrisches Signal in Resonanz ist, das zwischen den Elektroden angelegt ist. Andere Aufhängungs-Schemata, die ermöglichen, dass der FBAR mechanisch in Resonanz ist, sind möglich.

[0005] Ebenfalls in dem oben erwähnten U.S.-Patent Nr. 5,587,620 ist ein gestapelter akustischer Dünnschicht-Volumenresonator (SBAR; stacked thin-film bulk acoustic resonator) offenbart. Fig. 3 zeigt ein exemplarisches Ausführungsbeispiel **40** des SBAR, der in dem U.S.-Patent Nr. 5,587,620 offenbart ist. Der SBAR **40** besteht aus zwei Schichten **22**, **42** eines piezoelektrischen Materials, die mit drei Elektroden **24**, **26**, **44** verschachtelt sind. Ein elektrisches Eingangssignal ist zwischen den Elektroden **44** und **26** angelegt und ein elektrisches Ausgangssignal ist zwischen den Elektroden **24** und **26** vorgesehen. Die Mittelelektrode **26** ist sowohl dem Eingang als auch dem Ausgang gemein.

[0006] Der SBAR, der in dem U.S.-Patent Nr. 5,587,620 offenbart ist, sollte vielversprechend zur Verwendung als ein Bandpassfilter sein, da er eine inhärente Bandpasscharakteristik aufweist. Praktische Beispiele des SBAR weisen jedoch eine äußerst schmale Durchlassbandbreite auf, die den SBAR ungeeignet zur Verwendung bei den meisten Bandpass-Filteranwendungen macht, einschließlich der Zellulartelefon-Duplexeranwendung, auf die oben Bezug genommen wurde. Die schmale Durchlassbandbreite des SBAR ist in Fig. 4 ersichtlich, die die Frequenzantwort eines praktischen Beispiels des SBAR **40**, gezeigt in Fig. 3 (Kurve **46**), mit der Frequenzantwort eines praktischen Beispiels des FBAR-basierten Bandpassfilters vergleicht, das in Fig. 1 gezeigt ist (Kurve **48**). Fig. 4 zeigt ferner, dass, während die Frequenzantwort des Leiterfilters, das in Fig. 1 gezeigt ist, vorteilhafter Weise scharf außerhalb des Durchlassbandes fällt, wenn sich die Frequenzdifferenz von der Mittenfrequenz weiter erhöht, die Frequenzantwort auf unerwünschte Weise wieder ansteigt.

Aufgabenstellung

[0007] Was daher benötigt wird ist ein Bandpassfilter mit einem niedrigen Einfügungsverlust und einer flachen Frequenzantwort in seinem Durchlassband, einer Durchlassbandbreite in dem Bereich von ungefähr 3% bis ungefähr 5% einer Mittenfrequenz irgendwo von ungefähr 0,5 GHz bis ungefähr 10 GHz und eine gute Außerband-Unterdrückung. Was ferner benötigt wird ist ein solches Bandpassfilter mit der strukturellen Einfachheit des SBAR.

Zusammenfassung der Erfindung

[0008] Die Erfindung schafft bei einem Aspekt ein Bandpassfilter, das einen unteren akustischen Filmvolumenresonator (FBAR), einen oberen FBAR, der auf den unteren FBAR gestapelt ist, und zwischen den FBARs einen akustischen Entkoppler mit einer Schicht eines akustischen Entkopplungsmaterials aufweist. Jeder der FBARs hat gegenüberliegende planare Elektroden und ein piezoelektrisches Element zwischen den Elektroden. Der akustische Entkoppler steuert die Kopplung von akustischer Energie zwischen den FBARs. Genauer gesagt koppelt der akustische Entkoppler weniger akustische Energie zwischen den FBARs als durch direkten Kontakt zwischen den FBARs gekoppelt wäre, wie bei dem herkömmlichen SBAR, der in [Fig. 3](#) gezeigt ist. Die reduzierte akustische Kopplung gibt dem Bandpassfilter erwünschte Eigenschaften wie z. B. einen niedrigen Einfügungsverlust und eine flache Frequenzantwort in seinem Durchlassband, eine Durchlassbandbreite im Bereich von ungefähr 3% bis ungefähr 5% der Mittenfrequenz und eine gute Außerband-Unterdrückung.

[0009] Bei einem anderen Aspekt schafft die Erfindung ein Bandpassfilter, das durch eine Mittenfrequenz gekennzeichnet ist. Das Bandpassfilter weist einen unteren akustischen Filmvolumenresonator (FBAR), einen oberen FBAR, der auf den unteren FBAR gestapelt ist, und zwischen den FBARs eine Schicht eines akustischen Entkopplungsmaterials auf. Jeder FBAR weist gegenüberliegende planare Elektroden und ein piezoelektrisches Element zwischen den Elektroden auf. Die Schicht eines akustischen Entkopplungsmaterials weist eine Nenndicke gleich einem Viertel der Wellenlänge bei dem akustischen Entkopplungsmaterial eines akustischen Signals auf, das in der Frequenz gleich der Mittenfrequenz ist. Das akustische Entkopplungsmaterial weist eine niedrigere akustische Impedanz auf als das piezoelektrische Element.

Ausführungsbeispiel

Kurze Beschreibung der Zeichnungen

[0010] [Fig. 1](#) ist eine schematische Zeichnung eines Bandpassfilters, das die FBARs einlagert.

[0011] [Fig. 2](#) ist eine schematische Seitenansicht eines FBAR.

[0012] [Fig. 3](#) ist eine schematische Seitenansicht eines herkömmlichen SBAR.

[0013] [Fig. 4](#) ist ein Diagramm, das die berechnete Frequenzantwort des herkömmlichen SBAR, der in [Fig. 3](#) gezeigt ist, und die des FBAR-basierten Bandpassfilters, das in [Fig. 1](#) gezeigt ist, vergleicht.

[0014] [Fig. 5A](#) ist eine Draufsicht eines Beispiels eines ersten Ausführungsbeispiels eines Bandpassfilters gemäß der Erfindung.

[0015] [Fig. 5B](#) ist eine Querschnittansicht des Bandpassfilters, das in [Fig. 5A](#) gezeigt ist, entlang der Schnittlinie 5B-5B.

[0016] [Fig. 5C](#) ist eine vergrößerte Querschnittansicht eines Teils des Bandpassfilters, das in [Fig. 5A](#) gezeigt ist, entlang der Schnittlinie 5B-5B, die einen akustischen Entkoppler gemäß der Erfindung zeigt.

[0017] [Fig. 5D](#) ist eine vergrößerte Querschnittansicht eines Teils des Bandpassfilters, das in [Fig. 5A](#) gezeigt ist, entlang der Schnittlinie 5B-5B, die einen alternativen akustischen Entkoppler zeigt.

[0018] [Fig. 6](#) ist ein Diagramm, das die berechneten Frequenzantworten von Ausführungsbeispielen des Bandpassfilters gemäß der Erfindung vergleicht, die akustische Entkoppler aus akustischen Entkopplungsmaterialien mit unterschiedlichen akustischen Impedanzen einlagert.

[0019] [Fig. 7A](#) bis [Fig. 7J](#) sind Draufsichten, die einen Prozess zum Herstellen eines Bandpassfilters gemäß der Erfindung darstellen.

[0020] [Fig. 7K](#) bis [Fig. 7S](#) sind Querschnittansichten entlang der Schnittlinien 7K-7K, 7L-7L, 7M-7M, 7N-7N, 7O-7O, 7P-7P, 7Q-7Q, 7R-7R, 7S-7S bzw. 7T-7T in den [Fig. 7A-Fig. 7J](#).

[0021] [Fig. 8](#) ist eine schematische Zeichnung eines Beispiels eines zweiten Ausführungsbeispiels eines Bandpassfilters gemäß der Erfindung.

[0022] [Fig. 9](#) ist ein Diagramm, das die berechnete Frequenzantwort des Ausführungsbeispiels des Bandpassfilters, das in [Fig. 8](#) gezeigt ist, mit dem Ausführungsbeispiel des Bandpassfilters, das in [Fig. 5A](#) und [Fig. 5B](#) gezeigt ist, vergleicht.

Detaillierte Beschreibung

[0023] Ein herkömmlicher SBAR **40**, der in [Fig. 3](#) gezeigt ist, kann derart betrachtet werden, dass er aus zwei FBARs besteht, wobei einer auf den anderen gestapelt und in Kontakt mit demselben ist. Einer der FBARs besteht aus einer piezoelektrischen Schicht **22**, die sandwichartig zwischen den Elektroden **24** und **26** angeordnet ist. Der andere der FBARs besteht aus einer piezoelektrischen Schicht **42**, die sandwichartig zwischen Elektroden **26** und **44** angeordnet ist. Die Elektrode **26**, die beiden FBARs gemeinsam ist, liefert eine enge Kopplung von akustischer Energie zwischen den FBARs. Dies führt dazu, dass die FBARs akustisch hoch überkoppelt sind, so dass der SBAR **40** die einzelne Lorentz-Resonanz

aufweist, die bei Kurve 46 von [Fig. 4](#) dargestellt ist. Die einzelne Lorentz-Resonanz macht es schwierig oder unmöglich, ein Bandpassfilter mit solchen erwünschten Charakteristika zu entwerfen, wie z. B. einem breiten Durchlassband, einer flachen In-Band-Frequenzantwort und einem scharfen Abfall (Roll-Off) außerhalb des Durchlassbandes.

[0024] [Fig. 5A](#) ist eine schematische Seitenansicht, die die Struktur eines exemplarischen Ausführungsbeispiels 100 eines Bandpassfilters gemäß der Erfindung zeigt. [Fig. 5B](#) ist eine Querschnittsansicht entlang der Schnittlinie 5B-5B in [Fig. 5A](#). Das Bandpassfilter 100 besteht aus einem gestapelten Paar aus akustischen Filmvolumenresonatoren (FBARs) 110 und 120 und einem akustischen Entkoppler 130 zwischen den FBARs 110 und 120. Bei dem gezeigten Beispiel ist der FBAR 120 auf dem FBAR 110 gestapelt. Eine Struktur, die aus einem gestapelten Paar aus FBARs und einem akustischen Entkoppler zwischen den FBARs besteht, wird als ein entkoppelter gestapelter akustischer Volumenresonator (DS-BAR; decoupled stacked bulk acoustic resonator) bezeichnet, um denselben von dem oben beschriebenen, herkömmlichen SBAR zu unterscheiden, bei dem die FBARs einander direkt kontaktieren.

[0025] Der FBAR 110 besteht aus gegenüberliegenden planaren Elektroden 112 und 114 und einer Schicht 116 eines piezoelektrischen Materials zwischen den Elektroden. Der FBAR 120 besteht aus gegenüberliegenden planaren Elektroden 122 und 124 und einer Schicht 126 eines piezoelektrischen Materials zwischen den Elektroden. Der akustische Entkoppler 130 ist zwischen der Elektrode 114 des FBAR 110 und der Elektrode 122 des FBAR 120 angeordnet. Der akustische Entkoppler steuert die Kopplung von akustischer Energie zwischen den FBARs 110 und 120. Genauer gesagt koppelt der akustische Entkoppler weniger akustische Energie zwischen den FBARs als durch direkten Kontakt zwischen den FBARs gekoppelt werden würde, wie bei dem herkömmlichen SBAR, der in [Fig. 3](#) gezeigt ist. Folglich sind die FBARs 110 und 120 nicht überkoppelt, und das Bandpassfilter 100 weist eine relativ breite und flache In-Band-Antwort und einen scharfen Abfall außerhalb des Durchlassbandes auf, anstelle der einzelnen Lorentz-Antwort des überkoppelten, herkömmlichen SBAR, die in [Fig. 4](#) gezeigt ist (Kurve 46). Die Frequenzantwort des Bandpassfilters 100 wird nachfolgend weiter Bezug nehmend auf [Fig. 6](#) beschrieben.

[0026] Bei dem gezeigten Beispiel sind die gestapelten FBARs 110 und 120 über einem Hohlraum 104 aufgehängt, der in einem Substrat 102 definiert ist. Diese Art des Aufhängens der gestapelten FBARs ermöglicht, dass die gestapelten FBARs mechanisch ansprechend auf ein elektrisches Eingangssignal in Resonanz sind, das zwischen den Elektroden von ei-

nem derselben angelegt ist. Andere Aufhängungs-Schemata, die ermöglichen, dass die gestapelten FBARs mechanisch ansprechend auf ein elektrisches Eingangssignal in Resonanz sind, sind möglich. Zum Beispiel können die gestapelten FBARs über einem fehlangepassten akustischen Bragg-Reflektor (nicht gezeigt) angeordnet sein, der in oder auf dem Substrat 102 gebildet ist, wie durch Lakin in dem U.S.-Patent Nr. 6,107,721 offenbart wird.

[0027] [Fig. 5C](#) ist eine vergrößerte Ansicht eines ersten Ausführungsbeispiels eines akustischen Entkopplers 130, bei dem der akustische Entkoppler aus einer Schicht 131 eines akustischen Entkopplungsmaterials, das zwischen den Elektroden 114 und 122 der FBARs 110 bzw. 120 angeordnet ist, besteht ([Fig. 5B](#)). Die Schicht 131 eines akustischen Entkopplungsmaterials weist eine Nenndicke bzw. nominelle Dicke auf, die ein ungerades, ganzzahliges Mehrfaches von einem Viertel der Wellenlänge in dem akustischen Entkopplungsmaterial eines akustischen Signals ist, das hinsichtlich der Frequenz gleich der Mittenfrequenz des Bandpassfilters 100 ist. Das akustische Entkopplungsmaterial weist eine akustische Impedanz auf, die geringer ist als die des piezoelektrischen Materials, das die FBARs 110, 120 bildet. Bei Ausführungsbeispielen des Bandpassfilters 100, die zusätzlich eine elektrische Isolation zwischen Eingang und Ausgang liefern, weist das akustische Entkopplungsmaterial zusätzlich einen hohen spezifischen elektrischen Widerstand bzw. Resistivität und eine niedrige dielektrische Permittivität auf.

[0028] Wie oben erwähnt wurde, weist das akustische Entkopplungsmaterial eines akustischen Entkopplers 130 eine akustische Impedanz auf, die geringer ist als die des piezoelektrischen Materials der FBARs 110 und 120. Das akustische Entkopplungsmaterial weist ferner eine akustische Impedanz auf, die wesentlich größer ist als die von Luft. Die akustische Impedanz eines Materials ist das Verhältnis von Belastung zu Partikelgeschwindigkeit bei dem Material und wird in Rayleighs gemessen, abgekürzt als rayl. Das piezoelektrische Material der Schichten 116, 126 der FBARs ist üblicherweise Aluminiumnitrid (AlN). Die akustische Impedanz von AlN ist üblicherweise ungefähr 35 Mrayl, und die von Molybdän, einem typischen Elektrodenmaterial, ist ungefähr 63 Mrayl. Die akustische Impedanz von Luft ist ungefähr 1 krayl. Bei Ausführungsbeispielen des Bandpassfilters 100, bei denen die Materialien der FBARs 110, 120, so sind, wie sie oben angegeben wurden, arbeiten Materialien mit einer akustischen Impedanz im Bereich von ungefähr 2 Mrayl bis ungefähr 8 Mrayl gut als das akustische Entkopplungsmaterial der Schicht 131.

[0029] [Fig. 6](#) zeigt, wie die berechnete Frequenzantwort des Bandpassfilters 100 von der akustischen Impedanz des akustischen Entkopplungsma-

terials der Schicht **131** abhängt, die ein Ausführungsbeispiel des akustischen Entkopplers **130** bildet. Das dargestellte Ausführungsbeispiel weist eine Mittenfrequenz von ungefähr 1.900 MHz auf. Berechnete Frequenzantworten für Ausführungsbeispiele, bei denen das akustische Entkopplungsmaterial eine akustische Impedanz von ungefähr 4 Mrayl aufweist, z. B. Polyimid (Kurve **140**), ungefähr 8 Mrayl (Kurve **142**) und ungefähr 16 Mrayl (Kurve **144**) sind gezeigt. Es ist ersichtlich, dass die Breite des Durchlassbandes des Bandpassfilters sich mit einer ansteigenden akustischen Impedanz des akustischen Entkopplungsmaterials erhöht. Dementsprechend können durch Treffen einer geeigneten Auswahl des akustischen Entkopplungsmaterials Ausführungsbeispiele des Bandpassfilters **100** mit einer gewünschten Bandpasscharakteristik hergestellt werden.

[0030] Das Ausführungsbeispiel, bei dem das akustische Entkopplungsmaterial der Schicht **131** Polyimid ist (Kurve **140**), weist eine gewisse Unterkopplung einer akustischen Energie zwischen den FBARs **110**, **120** auf, weist aber nichts desto trotz ein Durchlassband auf, das üblicherweise breit ist. Das Ausführungsbeispiel, bei dem das akustische Entkopplungsmaterial eine akustische Impedanz von ungefähr 8 Mrayl aufweist (Kurve **142**), zeigt eine annähernd kritische Kopplung von akustischer Energie zwischen den FBARs **110**, **120**. Das Ausführungsbeispiel, bei dem die akustische Impedanz des akustischen Entkopplungsmaterials ungefähr 16 Mrayl ist (Kurve **144**), weist eine Doppelspitze bei der In-Band-Antwort auf, die typisch für eine wesentliche Überkopplung einer akustischen Energie zwischen FBARs **110**, **120** ist. Ein Ausführungsbeispiel, bei dem das akustische Entkopplungsmaterial eine akustische Impedanz zwischen 2 Mrayl und 8 Mrayl aufwies, würde eine In-Band-Antwort aufweisen, die einen flachen Abschnitt umfassen würde, der eine kritische Kopplung einer akustischen Energie zwischen den FBARs **110**, **120** anzeigt. [Fig. 6](#) zeigt ferner, dass Ausführungsbeispiele, bei denen das akustische Entkopplungsmaterial eine akustische Impedanz von 8 Mrayl oder weniger aufweist, einen Einfügungsverlust von weniger als 3 dB aufweisen und einige Ausführungsbeispiele einen Einfügungsverlust von weniger als 1 dB aufweisen.

[0031] Das Ausführungsbeispiel des akustischen Entkopplers **130**, der in [Fig. 5C](#) gezeigt ist, besteht aus einer Schicht **131** eines akustischen Entkopplungsmaterials mit einer Nenndicke gleich einem Viertel der Wellenlänge eines akustischen Signals in dem akustischen Entkopplungsmaterial, das hinsichtlich Frequenz gleich der Mittenfrequenz des Bandpassfilters ist, d. h., $t \approx \lambda_n/4$, wobei t die Dicke der Schicht **131** ist und λ_n die Wellenlänge des akustischen Entkopplungsmaterials eines akustischen Signals ist, das bezüglich Frequenz gleich der Mittenfrequenz des Bandpassfilters **100** ist. Eine Dicke der

Schicht **131** innerhalb von ungefähr $\pm 10\%$ der Nenndicke kann alternativ verwendet werden. Eine Dicke außerhalb dieses Bereichs kann mit einer gewissen Verschlechterung beim Verhalten verwendet werden. Die Dicke der Schicht **131** sollte jedoch wesentlich von $0 \lambda_n$ bei einem Extrem (siehe [Fig. 3](#)) und $\lambda_n/2$ bei dem anderen Extrem abweichen.

[0032] Allgemeiner ausgedrückt bestehen andere Ausführungsbeispiele des akustischen Entkopplers **130**, der in [Fig. 5C](#) gezeigt ist, aus einer Schicht **131** eines akustischen Entkopplungsmaterials mit einer Nenndicke gleich einem ungeraden, ganzzahligen Mehrfachen von einem Viertel der Wellenlänge bei dem akustischen Entkopplungsmaterial eines akustischen Signals, das bezüglich Frequenz gleich der Mittenfrequenz des Bandpassfilters **100** ist, d. h., $t \approx (2m + 1)\lambda_n/4$, wobei t und λ_n sind, wie oben definiert ist, und m eine ganze Zahl gleich oder größer Null ist. In diesem Fall kann eine Dicke der Schicht **131**, die von der Nenndicke durch ungefähr $\pm 10\%$ von $\lambda_n/4$ abweicht, alternativ verwendet werden. Eine Dicke-Toleranz außerhalb dieses Bereichs kann mit einer gewissen Leistungsver schlechterung verwendet werden, aber die Dicke der Schicht **131** sollte wesentlich von einem ganzzahligen Mehrfachen von $\lambda_n/2$ abweichen. Ausführungsbeispiele des akustischen Entkopplers **130** jedoch, bei denen die Dicke der Schicht **131** des akustischen Entkopplungsmaterials ein ungerades, ganzzahliges Mehrfaches größer als Eins von einem Viertel der Wellenlänge bei dem akustischen Entkopplungsmaterial eines akustischen Signals ist, das bezüglich Frequenz gleich der Mittenfrequenz des Bandpassfilters **100** ist, weisen üblicherweise Frequenzantworten auf, die unerwünschte Antwortartefakte zeigen, aufgrund der Fähigkeit solcher dickeren Schichten, mehrere Akustik-Moden zu tragen.

[0033] Bei einem Ausführungsbeispiel eines akustischen Entkopplers **130** wird die Schicht **131** durch Schleuderbeschichten des akustischen Entkopplungsmaterials über die Elektrode **114** gebildet. Eine Schicht, die durch Schleuderbeschichten gebildet wird, weist üblicherweise Regionen unterschiedlicher Dicke auf, aufgrund der Konturenggebung der Oberfläche, die durch das akustische Entkopplungsmaterial der Schicht **131** beschichtet wird. Bei einem solchen Ausführungsbeispiel ist die Dicke der Schicht **131** des akustischen Entkopplungsmaterials die Dicke des Abschnitts der Schicht, der zwischen den Elektroden **114** und **122** angeordnet ist.

[0034] Viele Kunststoffmaterialien weisen akustische Impedanzen in dem Bereich auf, der oben angegeben ist, und können in Schichten einheitlicher Dicke in den oben angegebenen Dicke-Bereichen aufgebracht sein. Solche Kunststoffmaterialien sind daher potentiell geeignet zur Verwendung als das akustische Entkopplungsmaterial der Schicht **131**

des akustischen Entkopplers **130**. Das akustische Entkopplungsmaterial muss jedoch auch in der Lage sein, den hohen Temperaturen der Herstellungsoperationen zu widerstehen, die ausgeführt werden, nachdem die Schicht **131** des akustischen Entkopplungsmaterials auf die Elektrode **114** aufgebracht ist, um einen akustischen Entkoppler **130** zu bilden. Wie nachfolgend detaillierter beschrieben wird, werden bei praktischen Ausführungsbeispielen des Bandpassfilters **100** die Elektroden **122** und **124** und die piezoelektrische Schicht **126** durch Sputtern aufgebracht, nachdem die Schicht **131** aufgebracht wurde. Temperaturen bis zu 400°C werden während dieser Aufbringungsprozesse erreicht. Somit wird ein Kunststoff, der bei solchen Temperaturen stabil bleibt, als das akustische Entkopplungsmaterial verwendet.

[0035] Kunststoffmaterialien weisen üblicherweise eine sehr hohe akustische Dämpfung pro Einheitslänge auf, im Vergleich zu den anderen Materialien der FBARs **110** und **120**. Da jedoch das oben beschriebene Ausführungsbeispiel des akustischen Entkopplers **130** aus der Schicht **131** des akustischen Kunststoffentkopplungsmaterials besteht, das üblicherweise weniger als 1 µm dick ist, ist die akustische Dämpfung, die durch die Schicht **131** des akustischen Entkopplungsmaterials eingebracht wird, üblicherweise vernachlässigbar.

[0036] Bei einem Ausführungsbeispiel wird ein Polyimid als das akustische Entkopplungsmaterial der Schicht **131** verwendet. Polyimid wird unter dem Markenzeichen Kapton® von E. I. du Pont de Nemours and Company verkauft. Bei einem solchen Ausführungsbeispiel besteht der akustische Entkoppler **130** aus der Schicht **131** aus Polyimid, die auf die Elektrode **114** durch Schleuderbeschichten aufgebracht ist. Polyimid weist eine akustische Impedanz von ungefähr 4 Mrayl auf.

[0037] Bei einem anderen Ausführungsbeispiel wird ein Poly(Para-Xylylen) als das akustische Entkopplungsmaterial der Schicht **131** verwendet. Bei einem solchen Ausführungsbeispiel besteht der akustische Entkoppler **130** aus der Schicht **131** aus Poly(Para-Xylylen), die auf die Elektrode **114** durch Vakuumaufbringung aufgebracht wird. Poly(Para-Xylylen) ist in der Technik auch als Parylen bekannt. Der Dimer-Präkursor Di-Para-Xylylen, aus dem Parylen hergestellt ist, und eine Ausrüstung zum Ausführen einer Vakuumaufbringung von Schichten aus Parylen, sind von vielen Herstellern erhältlich. Parylen weist eine akustische Impedanz von ungefähr 2,8 Mrayl auf.

[0038] Bei einem anderen Ausführungsbeispiel wird ein vernetztes Polyphenylen-Polymer als das akustische Entkopplungsmaterial der Schicht **131** verwendet. Bei einem solchen Ausführungsbeispiel besteht der akustische Entkoppler **130** aus der Schicht **131**

des vernetzten Polyphenylen-Polymer zur Elektrode **114**, die durch Schleuderbeschichten aufgebracht wird. Vernetzte Polyphenylen-Polymere wurden als dielektrische Materialien mit niedriger dielektrischer Konstante zur Verwendung bei integrierten Schaltungen entwickelt und bleiben folglich bei hohen Temperaturen stabil, denen der akustische Entkoppler **130** während der nachfolgenden Herstellung des FBAR **120** ausgesetzt ist. Die Erfinder haben herausgefunden, dass vernetzte Polyphenylen-Polymere zusätzlich eine berechnete akustische Impedanz von ungefähr 2 Mrayl aufweisen. Diese akustische Impedanz liegt in dem Bereich von akustischen Impedanzen, die ein Bandpassfilter **100** mit einer nützlichen Durchlassbandbreite schaffen.

[0039] Präkursor-Lösungen, die verschiedene Oligomere enthalten, die polymerisieren, um entsprechende vernetzte Polyphenylen-Polymere zu bilden, werden verkauft von The Dow Chemical Company, Midland, MI, unter dem Warenzeichen SiLK. Die Präkursor-Lösungen werden durch Schleuderbeschichten aufgebracht. Das vernetzte Polyphenylen-Polymer, das aus einer dieser Präkursor-Lösungen erhalten wird, bezeichnet als SiLK™ J, das zusätzlich einen Haft-Beschleuniger bzw. -Verstärker enthält, weist eine berechnete akustische Impedanz von 2,1 Mrayl, d. h. ungefähr 2 Mrayl, auf.

[0040] Die Oligomere, die polymerisieren, um vernetzte Polyphenylen-Polymere zu bilden, werden aus Biscyclopentadienon- und aromatischen Acetylen-enthaltenden Monomeren vorbereitet. Das Verwenden solcher Monomere bildet lösliche Oligomere ohne den Bedarf nach unangebrachter Substitution. Die Präkursor-Lösung enthält ein spezifisches Oligomer, das in Gamma-Butyrolacton- und Cyclohexanon-Lösungsmitteln gelöst ist. Der Prozentsatz des Oligomers in der Präkursor-Lösung bestimmt die Schichtdicke, wenn die Präkursor-Lösung aufgeschleudert wird. Nach der Aufbringung verdampft das Ausüben von Wärme die Lösungsmittel, 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. Ein weiteres Aushärten führt zu dem vernetzten Polyphenylen-Polymer. Die oben beschriebenen vernetzten Polyphenylen-Polymere werden offenbart von Godshalx u. a. in dem U.S.-Patent Nr. 5,965,679. Zusätzliche praktische Details werden beschrieben von Martin u. a., Development of Low-Dielectric Constant Polymer for the Fabrication of Integrated Circuit Interconnect, 12 ADVANCED MATERIALS, 1769 (2000). Im Vergleich zu Polyimid weisen vernetzte Polyphenylen-Polymere eine niedrigere akustische Impedanz, eine niedrigere akustische Dämpfung und eine niedrigere dielektrische Konstante auf. Ferner ist eine aufgeschleuderte Schicht der Präkursor-Lösung in der Lage, einen Hochqualitätsfilm aus vernetztem

Polyphenylen-Polymer mit einer Dicke im Bereich von 200 nm zu erzeugen, was eine typische Dicke eines akustischen Entkopplers **130** ist.

[0041] Bei einem alternativen Ausführungsbeispiel weist das akustische Entkopplungsmaterial der Schicht **131**, die einen akustischen Entkoppler **130** bildet, eine akustische Impedanz auf, die wesentlich größer ist als die der Materialien der FBARs **110** und **120**. Keine Materialien mit dieser Eigenschaft sind gegenwärtig bekannt, aber solche Materialien werden vielleicht zukünftig erhältlich, oder FBAR-Materialien mit niedrigerer akustischer Impedanz werden vielleicht zukünftig erhältlich. Die Dicke der Schicht **131** eines solchen akustischen Entkopplungsmaterials mit hoher akustischer Impedanz ist wie oben beschrieben.

[0042] [Fig. 5D](#) ist eine vergrößerte Ansicht eines Teils des Bandpassfilters **100**, die ein zweites Ausführungsbeispiel des akustischen Entkopplers **130** zeigt, der eine Bragg-Struktur **161** einlagert. Die Bragg-Struktur **161** besteht aus einem Bragg-Element **163** mit niedriger akustischer Impedanz, das sandwichartig zwischen Bragg-Elementen **165** und **167** mit hoher akustischer Impedanz angeordnet ist. Ein Bragg-Element **163** mit niedriger akustischer Impedanz ist eine Schicht eines Materials mit niedriger akustischer Impedanz, wohingegen die Bragg-Elemente **165** und **167** mit hoher akustischer Impedanz jeweils eine Schicht eines Materials mit hoher akustischer Impedanz sind. Die akustischen Impedanzen der Materialien der Bragg-Elemente sind als „niedrig“ und „hoch“ im Hinblick aufeinander und im Hinblick auf die akustische Impedanz des piezoelektrischen Materials der Schichten **116** und **126** charakterisiert. Bei Ausführungsbeispielen eines Bandpassfilters **100**, die zusätzlich eine elektrische Isolation zwischen Eingang und Ausgang liefern, weist zumindest eines der Bragg-Elemente zusätzlich einen hohen elektrischen spezifischen Widerstand und eine niedrige dielektrische Permittivität auf.

[0043] Jede der Schichten, die die Bragg-Elemente **161**, **163** und **165** bilden, weist eine Nenndicke gleich einem ungeraden, ganzzahligen Mehrfachen von einem Viertel der Wellenlänge eines akustischen Signals in dem Material der Schicht auf, das hinsichtlich seiner Frequenz gleich der Mittenfrequenz des Bandpassfilters **100** ist. Schichten, die von der Nenndicke durch ungefähr $\pm 10\%$ von einem Viertel der Wellenlänge abweichen, können alternativ verwendet werden. Eine Dickentoleranz außerhalb dieses Bereichs kann mit einer gewissen Verhaltensverschlechterung verwendet werden, aber die Dicke der Schichten sollte wesentlich von einem ganzzahligen Mehrfachen von einer Hälfte der Wellenlänge abweichen.

[0044] Bei einem Ausführungsbeispiel ist ein Bragg-Element **163** mit einer niedrigen akustischen

Impedanz eine Schicht aus Siliziumdioxid (SiO_2), die eine akustische Impedanz von ungefähr 13 Mrayl aufweist, und jedes der Bragg-Elemente **165** und **167** mit hoher akustischer Impedanz ist eine Schicht desselben Materials wie das der Elektroden **114** bzw. **122**, d. h. Molybdän, das eine akustische Impedanz von ungefähr 63 Mrayl aufweist. Das Verwenden des selben Materials für Bragg-Elemente **165** und **167** mit hoher akustischer Impedanz und die Elektroden **114** bzw. **122** der FBARs **110** bzw. **120** ([Fig. 5B](#)) ermöglicht, dass Bragg-Elemente **165** und **167** mit hoher akustischer Impedanz zusätzlich als Elektroden **114** bzw. **122** dienen.

[0045] Bei einem Beispiel weisen Bragg-Elemente **165** und **167** mit hoher akustischer Impedanz eine Dicke von einem Viertel der Wellenlänge von einem akustischen Signal in Molybdän auf, das bezüglich seiner Frequenz gleich der Mittenfrequenz eines Bandpassfilters **100** ist, und ein Bragg-Element **163** mit niedriger akustischer Impedanz weist eine Dicke von drei Viertel der Wellenlänge eines akustischen Signals in SiO_2 auf, das bezüglich seiner Frequenz gleich der Mittenfrequenz des Bandpassfilters ist. Das Verwenden einer Schicht der Dicke von drei Viertel der Wellenlänge aus SiO_2 anstelle einer Schicht der Dicke von einem Viertel der Wellenlänge aus SiO_2 als Bragg-Element **163** mit niedriger akustischer Impedanz reduziert die Kapazität zwischen den FBARs **110** und **120**.

[0046] Bei Ausführungsbeispielen, bei denen die Differenz bei der akustischen Impedanz zwischen Bragg-Elementen **165** und **167** mit hoher akustischer Impedanz und Bragg-Element **163** mit niedriger akustischer Impedanz relativ niedrig ist, kann die Bragg-Struktur **161** aus mehr als einem (z. B. n) Bragg-Element mit niedriger akustischer Impedanz bestehen, das mit einer entsprechenden Anzahl (d. h. $n + 1$) von Bragg-Elementen mit hoher akustischer Impedanz verschachtelt ist. Nur eines der Bragg-Elemente muss isolierend sein. Zum Beispiel kann die Bragg-Struktur aus zwei Bragg-Elementen mit niedriger akustischer Impedanz verschachtelt mit drei Bragg-Elementen hoher akustischer Impedanz aufgebaut sein.

[0047] Eine Wafer-Skala-Herstellung wird verwendet, um Tausende von Bandpassfiltern herzustellen zur gleichen Zeit, die ähnlich zu dem Bandpassfilter **110** sind. Eine solche Wafer-Skala-Herstellung macht die Bandpassfilter kostengünstig herzustellen. Ein exemplarisches Herstellungsverfahren wird als Nächstes Bezug nehmend auf die Draufsichten von [Fig. 7A–Fig. 7J](#) und die Querschnittsansichten von [Fig. 7K–Fig. 7T](#) beschrieben. Das Durchlassband des Ausführungsbeispiels des Bandpassfilters **100**, dessen Herstellung beschrieben wird, weist eine Nenn-Mittenfrequenz von ungefähr 1,9 GHz auf. Ausführungsbeispiele für einen Betrieb bei anderen

Frequenzen sind in der Struktur und Herstellung ähnlich, weisen jedoch unterschiedliche Dicken und laterale Abmessungen zu jenen auf, die nachfolgend exemplarisch ausgeführt werden.

[0048] Ein Wafer eines einkristallinen Siliziums wird bereitgestellt. Ein Abschnitt des Wafers bildet für jedes Bandpassfilter, das hergestellt wird, ein Substrat, das dem Substrat **102** des Bandpassfilters **100** entspricht. [Fig. 7A–Fig. 7J](#) und [Fig. 7K–Fig. 7T](#) stellen die Herstellung des Bandpassfilters **100** bei und auf einem Abschnitt des Wafers dar und die nachfolgende Beschreibung beschreibt dieselbe. Wenn das Bandpassfilter **100** hergestellt wird, werden die verbleibenden Bandpassfilter auf ähnliche Weise hergestellt.

[0049] Der Abschnitt des Wafers, der das Substrat **102** des Bandpassfilters **100** bildet, wird selektiv nassgeätzt, um den Hohlraum **104** zu bilden, wie in [Fig. 7A](#) und [Fig. 7K](#) gezeigt ist.

[0050] Eine Schicht eines Füllmaterials (nicht gezeigt) wird auf die Oberfläche des Wafers mit einer Dicke aufgebracht, die ausreichend ist, um die Hohlräume zu füllen. Die Oberfläche des Wafers wird dann planarisiert, um die Hohlräume gefüllt mit dem Füllmaterial zu lassen. [Fig. 7B](#) und [Fig. 7L](#) zeigen den Hohlraum **104** in dem Substrat **102** gefüllt mit dem Füllmaterial **105**.

[0051] Bei einem Ausführungsbeispiel war das Füllmaterial Phosphorsilikatglas (PSG) und wurde unter Verwendung einer herkömmlichen chemischen Niederdruck-Dampfaufbringung (LPCVD; low-pressure chemical vapor deposition) aufgebracht. Das Füllmaterial kann alternativ durch Sputtern oder durch Schleuderbeschichten aufgebracht werden.

[0052] Eine Schicht aus Metall wird auf die Oberfläche des Wafers und das Füllmaterial aufgebracht. Das Material wird strukturiert, um die Elektrode **112**, eine Bond-Anschlussfläche **132** und eine elektrische Spur **133** zu definieren, die sich zwischen der Elektrode **112** und der Bond-Anschlussfläche **132** erstreckt, wie in [Fig. 7C](#) und [Fig. 7M](#) gezeigt ist. Die Elektrode **112** weist üblicherweise eine unregelmäßige Form in einer Ebene parallel zu der Hauptoberfläche des Wafers auf. Eine unregelmäßige Form minimiert laterale Moden bei dem FBAR **110**, von dem sie einen Teil bildet, wie in dem U.S.-Patent Nr. 6,215,375 an Larson III u. a. beschrieben ist. Die Elektrode **112** wird geformt und angeordnet, um einen Teil der Oberfläche des Füllmaterials **105** freizulegen, so dass das Füllmaterial später durch Ätzen entfernt werden kann, wie nachfolgend beschrieben wird.

[0053] Die Metallschichten, in denen die Elektroden **112**, **114**, **122** und **124** ([Fig. 5B](#)) definiert sind, wer-

den derart strukturiert, dass in entsprechenden Ebenen parallel zu der Hauptoberfläche des Wafers Elektroden **112** und **114** die selbe Form, Größe, Ausrichtung und Position aufweisen, die Elektroden **122** und **124** die selbe Form, Größe, Ausrichtung und Position aufweisen und die Elektroden **114** und **122** üblicherweise die selbe Form, Größe, Ausrichtung und Position aufweisen.

[0054] Bei einem Ausführungsbeispiel war das Metall, das aufgebracht wurde, um die Elektrode **112**, Bond-Anschlussfläche **132** und Spur **133** zu bilden, Molybdän. Das Molybdän wurde mit einer Dicke von ungefähr 300 nm durch Sputtern aufgebracht und wurde durch Trockenätzen strukturiert, um eine pentagonale Elektrode mit einem Bereich von ungefähr 12.000 Quadrat- μm zu definieren. Andere feuerfeste Metalle, wie z. B. Wolfram, Niobium und Titan können alternativ als das Material der Elektrode **112**, der Bond-Anschlussfläche **132** und der Spur **133** verwendet werden. Die Elektrode, Bond-Anschlussfläche und Spur können alternativ Schichten aus mehr als einem Material aufweisen.

[0055] Eine Schicht eines piezoelektrischen Materials wird aufgebracht und wird strukturiert, um die piezoelektrische Schicht **116** zu definieren, wie in [Fig. 7D](#) und [Fig. 7N](#) gezeigt ist. Die piezoelektrische Schicht **116** wird strukturiert, um einen Teil der Oberfläche des Füllmaterials **105** und der Bond-Anschlussfläche **132** der Elektrode **112** freizulegen. Die piezoelektrische Schicht **116** wird zusätzlich strukturiert, um Fenster **119** zu definieren, die Zugriff auf zusätzliche Teile der Oberfläche des Füllmaterials liefern.

[0056] Bei einem Ausführungsbeispiel war das piezoelektrische Material, das aufgebracht wird, um die piezoelektrische Schicht **116** zu bilden, Aluminiumnitrid und wurde mit einer Dicke von ungefähr 1,4 μm durch Sputtern aufgebracht. Das piezoelektrische Material wurde durch Nassätzen in Kaliumhydroxid oder durch chlor-basiertes Trockenätzen strukturiert. Alternative Materialien für die piezoelektrische Schicht **116** umfassen Zinkoxid, Kadmiumsulfid und gepolte, ferroelektrische Materialien, wie z. B. ferroelektrische Perovskit-Materialien, einschließlich Blei-Zirkonium-Titanat, Blei-Meta-Niobat und Barium-Titanat.

[0057] Eine Schicht eines Materials wird aufgebracht und wird strukturiert, um die Elektrode **114**, eine Bond-Anschlussfläche **134** und eine elektrische Spur **135** zu definieren, die sich zwischen der Elektrode **114** und der Bond-Anschlussfläche **134** erstreckt, wie in [Fig. 7E](#) und [Fig. 7O](#) gezeigt ist.

[0058] Bei einem Ausführungsbeispiel war das Metall, das aufgebracht wurde, um die Elektrode **114** zu bilden, Molybdän. Das Molybdän wurde mit einer Di-

cke von ungefähr 300 nm durch Sputtern aufgebracht und wurde durch Trockenätzen strukturiert. Andere feuerfeste Metalle können alternativ als das Material der Elektrode **114**, der Bond-Anschlussfläche **134** und der Spur **135** verwendet werden. Die Elektrode, die Bond-Anschlussfläche und die Spur können alternativ Schichten aus mehr als einem Material aufweisen.

[0059] Eine Schicht eines akustischen Entkopplungsmaterials wird dann aufgebracht und wird strukturiert, um einen akustischen Entkoppler **130** zu definieren, wie in [Fig. 7F](#) und [Fig. 7T](#) gezeigt ist. Der akustische Entkoppler **130** wird geformt, um zumindest die Elektrode **119** abzudecken und wird zusätzlich geformt, um einen Teil der Oberfläche des Füllmaterials **105** und der Bond-Anschlussflächen **132** und **134** freizulegen. Der akustische Entkoppler **130** wird zusätzlich strukturiert, um Fenster **119** zu definieren, die Zugriff auf zusätzliche Teile der Oberfläche des Füllmaterials liefern.

[0060] Bei einem Ausführungsbeispiel war das akustische Entkopplungsmaterial Polyimid mit einer Dicke von ungefähr 600 nm, d. h. drei Viertel der Mittenfrequenz-Wellenlänge in dem Polyimid. Das Polyimid wurde durch Schleuderbeschichten aufgebracht und wurde durch Photolithographie strukturiert. Polyimid ist photoempfindlich, so dass kein Photoresist benötigt wird. Wie oben erwähnt wurde, können andere Kunststoffmaterialien als das akustische Entkopplungsmaterial verwendet werden. Das akustische Entkopplungsmaterial kann durch andere Verfahren als Schleuderbeschichten aufgebracht werden.

[0061] Bei einem anderen Ausführungsbeispiel war das akustische Entkopplungsmaterial Polyimid mit einer Dicke von ungefähr 200 nm, d. h. einem Viertel der Mittenfrequenzwellenlänge in dem Polyimid. Das Polyimid wurde durch Schleuderbeschichten aufgebracht und wurde durch Photolithographie strukturiert, wie oben beschrieben wurde.

[0062] Bei einem Ausführungsbeispiel, bei dem das akustische Entkopplungsmaterial Polyimid war, wurde nach dem Aufbringen und Strukturieren des Polyimids der Wafer anfänglich bei einer Temperatur von ungefähr 250°C in Luft gebacken und schließlich bei einer Temperatur von ungefähr 415°C in einer inerten Atmosphäre, wie z. B. einer Stickstoffatmosphäre, bevor eine Weiterverarbeitung ausgeführt wurde. Das Backen verdampft flüchtige Bestandteile des Polyimids und verhindert, dass die Verdampfung solcher flüchtiger Bestandteile während einer nachfolgenden Verarbeitung eine Abtrennung von nachfolgend aufgetragenen Schichten verursacht.

[0063] Eine Metallschicht wird aufgebracht und wird strukturiert, um die Elektrode **122** und eine elektri-

sche Spur **137** zu definieren, die sich von der Elektrode **122** zu der Bond-Anschlussfläche **134** erstreckt, wie in [Fig. 7G](#) und [Fig. 7Q](#) gezeigt ist. Die Bond-Anschlussfläche **134** wird ebenfalls elektrisch mit der Elektrode **114** durch die Spur **135** verbunden.

[0064] Bei einem Ausführungsbeispiel war das Metall, das aufgebracht wurde, um die Elektrode **122** zu bilden, Molybdän. Das Molybdän wurde mit einer Dicke von ungefähr 300 nm durch Sputtern aufgebracht und wurde durch Trockenätzen strukturiert. Andere feuerfeste Metalle können alternativ als das Material der Elektrode **122** und der Spur **137** verwendet werden. Die Elektrode und die Spur können alternativ Schichten aus mehr als einem Material aufweisen.

[0065] Eine Schicht eines piezoelektrischen Materials wird aufgebracht und strukturiert, um eine piezoelektrische Schicht **126** zu definieren. Die piezoelektrische Schicht **126** wird geformt, um Bond-Anschlussflächen **132** und **134** freizulegen und um einen Teil der Oberfläche des Füllmaterials **105** freizulegen, wie in [Fig. 7H](#) und [Fig. 7R](#) gezeigt ist. Die piezoelektrische Schicht **126** wird zusätzlich strukturiert, um Fenster **119** zu definieren, die einen Zugriff auf zusätzliche Teile der Oberfläche des Füllmaterials liefern.

[0066] Bei einem Ausführungsbeispiel war das piezoelektrische Material, das aufgebracht wurde, um die piezoelektrische Schicht **126** zu bilden, Aluminiumnitrid und wurde mit einer Dicke von ungefähr 780 nm durch Sputtern aufgebracht. Das piezoelektrische Material wurde durch Nassätzen in Kaliumhydroxid oder durch chlor-basiertes Trockenätzen strukturiert. Alternative Materialien für die piezoelektrische Schicht **126** umfassen Zinkoxid, Kadmiumsulfid und gepolte ferroelektrische Materialien, wie z. B. ferroelektrische Perovskit-Materialien, die Blei-Zirkonium-Titanat, Blei-Meta-Niobat und Barium-Titanat umfassen.

[0067] Eine Metallschicht wird aufgebracht und strukturiert, um die Elektrode **124**, eine Bond-Anschlussfläche **138** und eine elektrische Spur **139** zu definieren, die sich von der Elektrode **124** zu der Bond-Anschlussfläche **138** erstreckt, wie in [Fig. 7I](#) und [Fig. 7S](#) gezeigt ist.

[0068] Bei einem Ausführungsbeispiel war das Metall, das aufgebracht wurde, um die Elektrode **124** zu bilden, Molybdän. Das Molybdän wurde mit einer Dicke von ungefähr 300 nm durch Sputtern aufgebracht und wurde durch Trockenätzen strukturiert. Andere feuerfeste Metalle können alternativ als das Material der Elektrode **124**, der Bond-Anschlussfläche **138** und der Spur **139** verwendet werden. Die Elektrode, Bond-Anschlussfläche und Spur können alternativ Schichten aus mehr als einem Material aufweisen.

[0069] Der Wafer wird dann isotropisch nassgeätzt, um das Füllmaterial **105** aus dem Hohlraum **104** zu entfernen. Wie oben erwähnt wurde, bleiben Abschnitte der Oberfläche des Füllmaterials **105** freigelegt, z. B. durch die Fenster **119**. Der Ätzprozess lässt das Bandpassfilter **100** aufgehängt über dem Hohlraum **104**, wie in [Fig. 7J](#) und [Fig. 7I](#) gezeigt ist.

[0070] Bei einem Ausführungsbeispiel war das Ätzmittel, das zum Entfernen von Füllmaterial **105** verwendet wurde, verdünnte Flußsäure.

[0071] Eine Goldschuttschicht wird auf die freiliegenden Oberflächen der Bond-Anschlussflächen **132**, **134** und **138** aufgebracht.

[0072] Der Wafer wird dann in individuelle Bandpassfilter unterteilt, einschließlich des Bandpassfilter **100**. Jedes Bandpassfilter wird in einem Paket befestigt und elektrische Verbindungen werden zwischen den Bond-Anschlussflächen **132**, **134** und **138** des Bandpassfilters und den Anschlussflächen hergestellt, die Teil des Pakets sind.

[0073] Ein Ausführungsbeispiel, bei dem der akustische Entkoppler **130** eine Bragg-Struktur einlagert, wie in [Fig. 5D](#) gezeigt ist, wird durch einen Prozess hergestellt, der ähnlich zu dem ist, der oben beschrieben wurde. Der Prozess unterscheidet sich wie folgt: Nachdem eine Schicht aus piezoelektrischem Material aufgebracht und strukturiert ist, um eine piezoelektrische Schicht **116** zu bilden, wird eine Schicht aus Metall aufgebracht und wird strukturiert, um ein Bragg-Element **165** mit hoher akustischer Impedanz, das in [Fig. 5D](#) gezeigt ist, eine Bond-Anschlussfläche **134** und eine elektrische Spur **135** zu definieren, die sich zwischen dem Bragg-Element **165** mit hoher akustischer Impedanz und der Bond-Anschlussfläche **134** erstreckt, auf eine Weise, ähnlich zu der, die in [Fig. 7E](#) und [Fig. 7O](#) gezeigt ist. Die Metallschicht wird mit einer Nennstärke, gleich einem ungeraden, ganzzahligen Mehrfachen von einem Viertel der Wellenlänge eines akustischen Signals in dem Metall aufgebracht, das bezüglich Frequenz gleich der Mittenfrequenz des Bandpassfilters **100** ist. Das Bragg-Element **165** mit hoher akustischer Impedanz dient zusätzlich als die Elektrode **114**, wie in [Fig. 5D](#) gezeigt ist.

[0074] Bei einem Ausführungsbeispiel ist dass Metall, das aufgebracht wird, um ein Bragg-Element **165** mit hoher akustischer Impedanz zu bilden, Molybdän. Das Molybdän wird mit einer Dicke von ungefähr 820 nm (einem Viertel Wellenlänge in Mo) durch Sputtern aufgebracht und wird durch Trockenätzen strukturiert. Andere feuerfeste Metalle können alternativ als das Material des Bragg-Elements **165** mit hoher akustischer Impedanz, der Bond-Anschlussfläche **134** und der Spur **135** verwendet werden. Das Bragg-Element mit hoher akustischer Impedanz, die

Bond-Anschlussfläche und die Spur können alternativ Schichten aus mehr als einem Material aufweisen.

[0075] Eine Schicht eines Materials mit niedriger akustischer Impedanz wird dann aufgebracht und wird strukturiert, um ein Bragg-Element **136** mit niedriger akustischer Impedanz zu definieren, auf eine Weise ähnlich zu der, die in [Fig. 7F](#) und [Fig. 7P](#) gezeigt ist. Die Schicht eines Materials mit niedriger akustischer Impedanz wird mit einer Nennstärke, gleich einem ungeraden, ganzzahligen Mehrfachen von einem Viertel der Wellenlänge eines akustischen Signals in dem Material aufgebracht, das in der Frequenz gleich der Mittenfrequenz des Bandpassfilters **100** ist. Ein Bragg-Element **163** mit niedriger akustischer Impedanz wird geformt, um zumindest das Bragg-Element **165** mit hoher akustischer Impedanz abzudecken und wird zusätzlich geformt, um einen Teil der Oberfläche des Füllmaterials **105** und der Bond-Anschlussflächen **132** und **134** freizulegen. Die Schicht aus Material mit niedriger akustischer Impedanz wird zusätzlich strukturiert, um Fenster **119** zu definieren, die Zugriff auf zusätzliche Teile der Oberfläche des Füllmaterials liefern.

[0076] Bei einem Ausführungsbeispiel ist das Material mit niedriger akustischer Impedanz SiO_2 mit einer Dicke von ungefähr 790 nm. Das SiO_2 wird durch Sputtern aufgebracht und wird durch Ätzen strukturiert. Ein anderes Material mit niedriger akustischer Impedanz, das als das Material des Bragg-Elements mit niedriger akustischer Impedanz verwendet werden kann, umfasst Phosphorsilikatglas (PSG), Titaniumdioxid und Magnesiumfluorid. Das Material mit niedriger akustischer Impedanz kann alternativ durch andere Verfahren als Sputtern aufgebracht werden.

[0077] Eine Metallschicht wird aufgebracht und wird strukturiert, um ein Bragg-Element **167** mit hoher akustischer Impedanz zu definieren, das in [Fig. 5D](#) gezeigt ist, und eine elektrische Spur **137**, die sich von dem Bragg-Element **167** mit hoher akustischer Impedanz zu der Bond-Anschlussfläche **134** auf eine ähnliche Weise zu der erstreckt, die in den [Fig. 7G](#) und [Fig. 7Q](#) gezeigt ist. Die Bond-Anschlussfläche **134** ist ferner elektrisch mit dem Bragg-Element **167** mit hoher akustischer Impedanz durch die Spur **135** verbunden. Die Metallschicht wird mit einer Nennstärke aufgebracht, die gleich einem ungeradzahligen, ganzzahligen Mehrfachen von einem Viertel der Wellenlänge eines akustischen Signals in dem Metall ist, das bezüglich der Frequenz gleich der Mittenfrequenz des Bandpassfilters **100** ist. Ein Bragg-Element **167** mit hoher akustischer Impedanz dient zusätzlich als Elektrode **122**, wie in [Fig. 5D](#) gezeigt ist.

[0078] Bei einem Ausführungsbeispiel ist das Metall, das aufgebracht wird, um ein Bragg-Element **167** mit hoher akustischer Impedanz und die elektrische Spur **137** zu bilden, Molybdän. Das Molybdän wird

mit einer Dicke von ungefähr 820 nm (einem Viertel der Wellenlänge in Mo) durch Sputtern aufgebracht und wird durch Trockenätzen strukturiert. Andere feuerfeste Metalle können alternativ als das Material des Bragg-Elements **167** mit hoher akustischer Impedanz und der Spur **137** verwendet werden. Das Bragg-Element mit hoher akustischer Impedanz und die Spur können alternativ Schichten aus mehr als einem Material aufweisen.

[0079] Eine Schicht eines piezoelektrischen Materials wird dann aufgebracht und wird strukturiert, um eine piezoelektrische Schicht **126** zu definieren, wie oben Bezug nehmend auf [Fig. 7A](#) und [Fig. 7R](#) beschrieben wurde, und der Prozess fährt wie oben beschrieben fort, um die Herstellung des Bandpassfilters **100** fertigzustellen.

[0080] Bei einem anderen Ausführungsbeispiel ist das akustische Entkopplungsmaterial der Schicht **131** ein vernetztes Polyphenylen-Polymer. Nachdem die Schicht aus Metall strukturiert wurde, um die Elektrode **114** zu definieren, wird wie oben Bezug nehmend auf [Fig. 7E](#) und [Fig. 7O](#) beschrieben wurde, wird die Präkursor-Lösung für das vernetzte Polyphenylen-Polymer auf eine Weise aufgeschleudert, ähnlich zu der, die oben Bezug nehmend auf [Fig. 7F](#) und [Fig. 7P](#) beschrieben wurde, wird jedoch nicht strukturiert. Die Formulierung der Präkursor-Lösung und die Aufschleudergeschwindigkeit sind so ausgewählt, dass das vernetzte Polyphenylen-Polymer eine Schicht mit einer Dicke von ungefähr 187 nm bildet. Dies entspricht einem Viertel der Wellenlänge λ_n eines akustischen Signals in dem vernetzten Polyphenylen-Polymer mit einer Frequenz gleich der Mittenfrequenz des Durchlassbandes des Bandpassfilters **100**. Der Wafer wird dann bei einer Temperatur im Bereich von ungefähr 385°C bis ungefähr 450°C in einer inerten Umgebung gebacken, wie z. B. unter Vakuum oder in einer Stickstoff-Atmosphäre, bevor ein weiteres Verarbeiten ausgeführt wird. Das Backen treibt zuerst die organischen Lösungsmittel aus der Präkursor-Lösung und verursacht dann, dass sich das Oligomer wie oben beschrieben vernetzt, um das vernetzte Polyphenylen-Polymer zu bilden.

[0081] Eine Metallschicht wird dann auf die Schicht des vernetzten Polyphenylen-Polymers auf eine ähnliche Weise zu der aufgebracht, die oben Bezug nehmend auf [Fig. 7G](#) und [Fig. 7Q](#) beschrieben wurde, wird aber anfänglich ähnlich zu der Strukturierung des akustischen Entkopplers **130** strukturiert, wie in [Fig. 7F](#) gezeigt ist, um eine Hartmaske zu definieren, die später verwendet wird, um die Schicht des vernetzten Polyphenylen-Polymers zu strukturieren, um den akustischen Entkoppler **130** zu definieren. Die anfänglich strukturierte Metallschicht weist den selben Umfang auf wie der akustische Entkoppler **130**, legt Bond-Anschlussflächen **132** und **134** und einen Teil der Oberfläche des Füllmaterials **105** frei und

weist Fenster in den vorgesehenen Positionen der Fenster **119** in dem akustischen Entkoppler **130** auf.

[0082] Die Schicht des vernetzten Polyphenylen-Polymers wird dann strukturiert, wie in [Fig. 7F](#) gezeigt ist, mit der anfänglich strukturierten Metallschicht als Hartätzmaske. Das Strukturieren der Schicht des vernetzten Polyphenylen-Polymers definiert den Umfang des akustischen Entkopplers **130**, was Bond-Anschlussflächen **132** und **134** und einen Teil der Oberfläche des Füllmaterials **105** freilegt und Fenster **119** bildet, die Zugriff auf zusätzliche Teile der Oberfläche des Füllmaterials liefern. Die Strukturierung wird mit einem Sauerstoffplasmaätzen ausgeführt.

[0083] Die Materialschicht wird dann neu strukturiert, wie in [Fig. 7G](#) und [Fig. 7Q](#) gezeigt ist, um eine Elektrode **122** und eine elektrische Spur **137** zu definieren, die sich zwischen der Elektrode **122** und der Bond-Anschlussfläche **134** erstreckt.

[0084] Die Herstellung des Ausführungsbeispiels des Bandpassfilters **100** mit einer Schicht eines vernetzten Polyphenylen-Polymers wie seines akustischen Entkopplers wird fertiggestellt durch Ausführung der Verarbeitung, die oben Bezug nehmend auf [Fig. 7H](#), [Fig. 7I](#), [Fig. 7J](#), [Fig. 7R](#), [Fig. 7S](#) und [Fig. 7T](#) beschrieben ist.

[0085] Bei einem Ausführungsbeispiel war die Präkursor-Lösung für das vernetzte Polyphenylen-Polymer eine solche, die verkauft wurde von The Dow Chemical Company und bezeichnet wird als SiLK™ J. Alternativ kann die Präkursor-Lösung jegliche Geeignete der Präkursor-Lösungen sein, die von der Dow Chemical Company unter dem Warenzeichen SiLK verkauft werden. Bei bestimmten Ausführungsbeispielen wurde eine Schicht eines Haftbeschleunigers aufgebracht, bevor die Präkursor-Lösung aufgeschleudert wurde. Präkursor-Lösungen, die Oligomere enthalten, die, wenn sie ausgehärtet werden, ein vernetztes Polyphenylen-Polymer bilden, mit einer akustischen Impedanz von ungefähr 2 Mrayl, können von anderen Vertreibern jetzt oder in der Zukunft erhältlich sein und können ebenfalls verwendet werden.

[0086] Das Bandpassfilter **100** wird wie folgt verwendet. Die Bond-Anschlussfläche **134**, die elektrisch mit den Elektroden **114** und **122** verbunden ist, liefert einen Masseanschluss des Bandpassfilters **100**, die Bond-Anschlussfläche **132**, die elektrisch mit der Elektrode **112** verbunden ist, liefert einen Eingangsanschluss des Bandpassfilters **100**, und die Bond-Anschlussfläche **138**, die elektrisch mit der Elektrode **124** verbunden ist, liefert einen Ausgangsanschluss des Bandpassfilters **100**. Der Eingangsanschluss und der Ausgangsanschluss können ausgetauscht werden.

[0087] Wie oben erwähnt wurde, kann das Bandpassfilter **100** zusätzlich eine elektrische Isolierung zwischen dem Eingang und Ausgang schaffen. Bei einem solchen Ausführungsbeispiel ist eine zusätzliche Bond-Anschlussfläche (nicht gezeigt) in dem Metall definiert, in dem die Elektrode **122** und die Spur **137** definiert sind, und die Spur **137** erstreckt sich von der Elektrode **122** zu der zusätzlichen Bond-Anschlussfläche und nicht zu der Bond-Anschlussfläche **134**. Bond-Anschlussflächen **132** und **134**, die elektrisch mit den Elektroden **112** bzw. **114** verbunden sind, liefern ein Paar aus Eingangsanschlüssen, und die zusätzliche Bond-Anschlussfläche (nicht gezeigt), die elektrisch durch die Spur **137** mit der Elektrode **122** verbunden ist, und die Bond-Anschlussfläche **138**, die elektrisch mit der Elektrode **124** verbunden ist, liefern ein Paar aus Ausgangsanschlüssen. Die Eingangsanschlüsse und die Ausgangsanschlüsse sind elektrisch voneinander isoliert. Wiederum können die Eingangsanschlüsse und die Ausgangsanschlüsse ausgetauscht werden.

[0088] Ein Vergleich von [Fig. 6](#) mit Kurve **46** aus [Fig. 4](#) zeigt, dass die Steigung der Außerband-Frequenzantwort des Bandpassfilters **100** weniger steil ist als die des Bandpass-Leiterfilters **10**, das in [Fig. 1](#) gezeigt ist. Der Vergleich zeigt ferner, dass im Gegensatz zu der des Bandpass-Leiterfilters **10** die Frequenzantwort des Bandpassfilters **100** nach dem anfänglichen scharfen Abfall nicht wieder steigt. [Fig. 8](#) ist eine schematische Zeichnung eines exemplarischen Ausführungsbeispiels **200** eines Bandpassfilters gemäß der Erfindung mit einer Außerband-Frequenzantwort, die eine steilere Steigung aufweist als die des Bandpassfilters **100**, und bei der nach dem anfänglichen scharfen Abfall die Frequenzantwort auf einen im Wesentlichen niedrigeren Pegel ansteigt als das Bandpass-Leiterfilter, das in [Fig. 1](#) gezeigt ist.

[0089] Das Bandpassfilter **200** besteht aus einem vereinfachten FBAR-basierten Leiterfilter **210**, das mit dem Bandpassfilter **100** in Reihe geschaltet ist, wie oben Bezug nehmend auf [Fig. 5A](#) und [Fig. 5B](#) beschrieben ist. Das Leiterfilter **210** besteht aus einer Reihe von FBARs **212** und **214** und einem Nebenschluss-FBAR **216**. Reihen-FBARs **212** und **214** weisen eine höhere Resonanzfrequenz auf als der Nebenschluss-FBAR **216**.

[0090] Bei dem Bandpassfilter **100** ist die Elektrode **112** mit Masse verbunden, die Elektroden **114** und **122** sind mit dem Ausgang des Leiterfilters **110** verbunden, d. h. mit der Elektrode **218** des FBAR **214**, und die Elektrode **124** liefert den Ausgangsanschluss des Bandpassfilters **200**. Die FBARs **212**, **214** und **216** und das Bandpassfilter **100** sind so strukturiert, dass das Bandpassfilter **100** ein breiteres Durchlassband aufweist als das Leiterfilter **210**.

[0091] [Fig. 9](#) ist ein Diagramm, das die berechnete Frequenzantwort des Bandpassfilters **200** (Kurve **242**) und die des Bandpassfilters **100** zeigt, das in [Fig. 5A](#) und [Fig. 5B](#) gezeigt ist (Kurve **244**). Das Diagramm zeigt, dass die Außerband-Frequenzantwort des Bandpassfilters **200** eine steilere Steigung aufweist als die des Bandpassfilters **100**, und der Pegel, auf den die Frequenzantwort ansteigt, nach dem anfänglichen scharfen Abfall niedriger ist als der des Bandpass-Leiterfilters, das in [Fig. 4](#) gezeigt ist.

[0092] Wie in dem oben erwähnten U.S.-Patent Nr. 6,262,637 offenbart ist, sind die FBARs, die ein FBAR-basiertes Leiterfilter bilden, üblicherweise alle unter Verwendung einer gemeinsamen Schicht eines piezoelektrischen Materials hergestellt. Das Bandpassfilter **200** kann auf ähnliche Weise hergestellt sein. Der FBAR **110** ([Fig. 5B](#)) des Bandpassfilters **100** wird unter Verwendung der selben Schicht aus piezoelektrischem Material hergestellt wie die FBARs **212**, **214** und **216**. Die Elektrode **112** des FBAR **110** ist Teil der selben Metallschicht wie die Elektrode **220** des FBAR **216**. Die Elektrode **114** des FBAR **110** ist Teil der selben Metallschicht wie die Elektrode **218** des FBAR **214**. Nach der Herstellung von FBARs **110**, **212**, **214** und **216** wird eine Schicht aus akustischem Entkopplungsmaterial aufgebracht und wird strukturiert, um einen akustischen Entkoppler **130** auf der Elektrode **114** zu definieren. Der FBAR **120** wird dann auf dem akustischen Entkoppler unter Verwendung eines ähnlichen Prozesses zu dem hergestellt, der oben beschrieben ist.

[0093] Elektrische Verbindungen mit der Elektrode **222** des FBAR **212** und mit der Elektrode **220** des FBAR **216** liefern die Eingangsanschlüsse des Bandpassfilters **200**, während die elektrischen Verbindungen mit den Elektroden **112** und **124** des Bandpassfilters **100** die Ausgangsanschlüsse des Bandpassfilters **200** liefern.

[0094] Diese Offenbarung beschreibt die Erfindung detailliert unter Verwendung darstellender Ausführungsbeispiele. Die Erfindung jedoch, die durch die beiliegenden Ansprüche definiert wird, ist nicht auf die präzisen beschriebenen Ausführungsbeispiele beschränkt.

Zusammenfassung

[0095] Das Bandpassfilter (**100**) weist einen unteren akustischen Filmvolumenresonator (FBAR) (**110**), einen oberen FBAR (**120**), der auf den unteren FBAR gestapelt ist, und zwischen den FBARs einen akustischen Entkoppler (**130**) auf, der eine Schicht (**131**) aus einem akustischen Entkopplungsmaterial aufweist. Jeder der FBARs weist gegenüberliegende planare Elektroden (z. B. **112**, **114**) und ein piezoelektrisches Element (z. B. **116**) zwischen den Elektroden auf. Der akustische Entkoppler steuert die Kopplung

von akustischer Energie zwischen den FBARs. Genauer gesagt koppelt der akustische Entkoppler weniger akustische Energie zwischen den FBARs, als durch einen direkten Kontakt zwischen den FBARs gekoppelt werden würde. Die reduzierte akustische Kopplung verleiht dem Bandpassfilter wünschenswerte In-Band- und Außer-Band-Eigenschaften.

Patentansprüche

1. Ein Bandpassfilter, das folgende Merkmale aufweist:

einen unteren akustischen Filmvolumenresonator (FBAR), einen oberen FBAR, der auf den unteren FBAR gestapelt ist, wobei jeder FBAR gegenüberliegende planare Elektroden und ein piezoelektrisches Element zwischen den Elektroden aufweist; und einen akustischen Entkoppler zwischen den FBARs, der eine Schicht aus einem akustischen Entkopplungsmaterial aufweist.

2. Das Bandpassfilter gemäß Anspruch 1, wobei: das Bandpassfilter durch eine Mittenfrequenz gekennzeichnet ist; und die Schicht eines akustischen Entkopplungsmaterials eine Nenndicke gleich einem ungeraden, ganzzahligen Mehrfachen von einem Viertel der Wellenlänge in dem akustischen Entkopplungsmaterial, eines akustischen Signals, das bezüglich der Frequenz gleich der Mittenfrequenz ist, aufweist.

3. Das Bandpassfilter gemäß Anspruch 1, wobei: das Bandpassfilter durch eine Mittenfrequenz gekennzeichnet ist; und die Schicht eines akustischen Entkopplungsmaterials eine Nenndicke gleich einem Viertel der Wellenlänge in dem akustischen Entkopplungsmaterial, eines akustischen Signals, das bezüglich der Frequenz gleich der Mittenfrequenz ist, aufweist.

4. Das Bandpassfilter gemäß Anspruch 1, 2 oder 3, bei dem der akustische Entkoppler strukturiert ist, um eine im Wesentlichen kritische Kopplung akustischer Energie zwischen den FBARs zu liefern.

5. Das Bandpassfilter gemäß Anspruch 1, 2, 3 oder 4, bei dem das akustische Entkopplungsmaterial eine niedrigere akustische Impedanz aufweist als das piezoelektrische Element.

6. Das Bandpassfilter gemäß Anspruch 5, bei dem: das piezoelektrische Element eine akustische Impedanz aufweist; und das akustische Entkopplungsmaterial eine akustische Impedanz zwischen der akustischen Impedanz des piezoelektrischen Elements und der akustischen Impedanz von Luft aufweist.

7. Das Bandpassfilter gemäß einem der vorange-

henden Ansprüche, bei dem das akustische Entkopplungsmaterial eine akustische Impedanz im Bereich von ungefähr 2 Mrayl bis ungefähr 8 Mrayl aufweist.

8. Das Bandpassfilter gemäß einem der Ansprüche 1 bis 7, bei dem das akustische Entkopplungsmaterial Kunststoff aufweist.

9. Das Bandpassfilter gemäß einem der Ansprüche 1 bis 7, bei dem das akustische Entkopplungsmaterial Polyimid aufweist.

10. Das Bandpassfilter gemäß einem der Ansprüche 1 bis 7, bei dem das akustische Entkopplungsmaterial Poly(Para-Xylylen) aufweist.

11. Das Bandpassfilter gemäß einem der Ansprüche 1 bis 7, bei dem das akustische Entkopplungsmaterial ein vernetztes Polyphenylen-Polymer aufweist.

12. Das Bandpassfilter gemäß Anspruch 11, bei dem das vernetzte Polyphenylen-Polymer aus einer Präkursor-Lösung gebildet ist, die von The Dow Chemical Company unter dem Warenzeichen SiLK verkauft wird.

13. Ein Bandpassfilter, das durch eine Mittenfrequenz gekennzeichnet ist, wobei das Bandpassfilter folgende Merkmale aufweist:

einen unteren akustischen Filmvolumenresonator (FBAR) und einen oberen FBAR, der auf den unteren FBAR gestapelt ist, wobei jeder FBAR gegenüberliegende planare Elektroden und ein piezoelektrisches Element zwischen den Elektroden aufweist; und zwischen den FBARs, eine Schicht eines akustischen Entkopplungsmaterials mit einer Nenndicke gleich einem Viertel der Wellenlänge in dem akustischen Entkopplungsmaterial, eines akustischen Signals, das bezüglich der Frequenz gleich der Mittenfrequenz ist, wobei das akustische Entkopplungsmaterial eine niedrigere akustische Impedanz aufweist als das piezoelektrische Element.

14. Das Bandpassfilter gemäß Anspruch 13, bei dem das akustische Entkopplungsmaterial eines aufweist aus Polyimid, Poly(Para-Xylylen) und vernetztem Polyphenylen-Polymer.

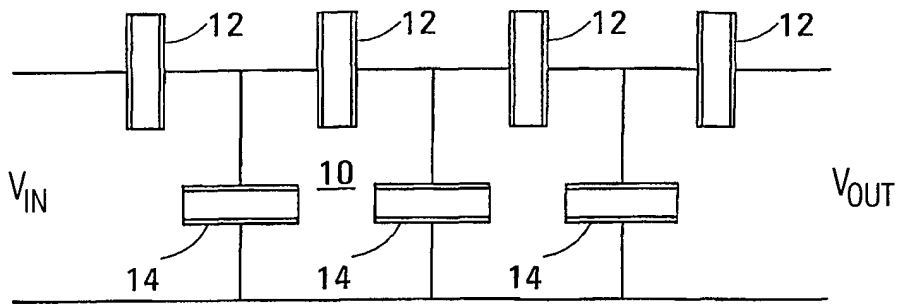
15. Ein Bandpassfilter, das folgende Merkmale aufweist:

einen unteren akustischen Filmvolumenresonator (FBAR), einen oberen FBAR, der auf den unteren FBAR gestapelt ist, wobei jeder FBAR gegenüberliegende planare Elektroden und ein piezoelektrisches Element zwischen den Elektroden aufweist; und zwischen den FBARs, einen akustischen Entkoppler, der eine akustische Entkopplungsschicht aus einem akustischen Entkopplungsmaterial mit einer akusti-

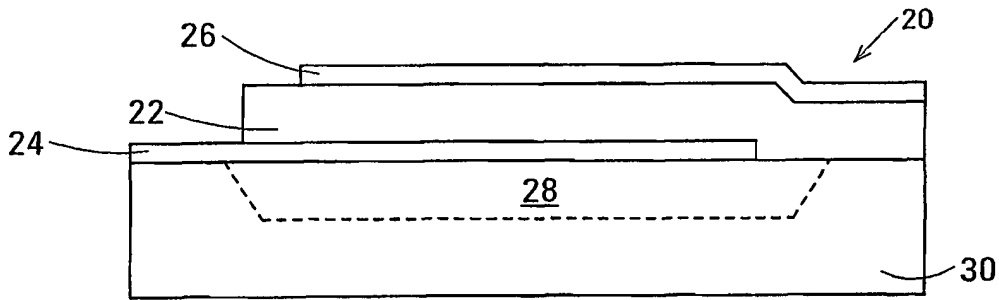
schen Impedanz von ungefähr 2 Mrayl aufweist.

Es folgen 10 Blatt Zeichnungen

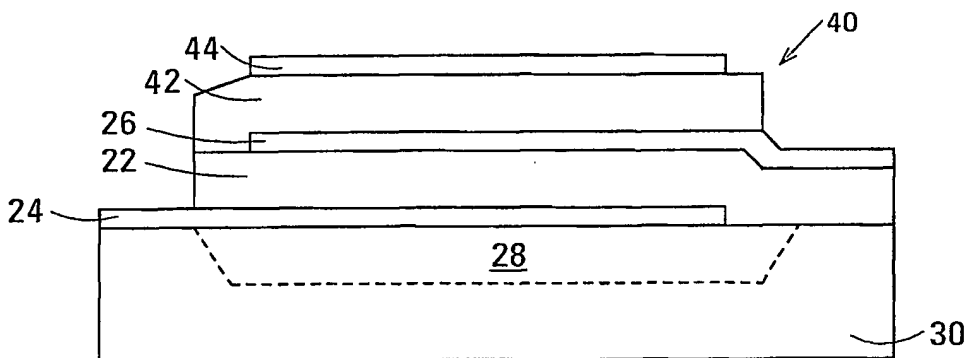
Anhängende Zeichnungen



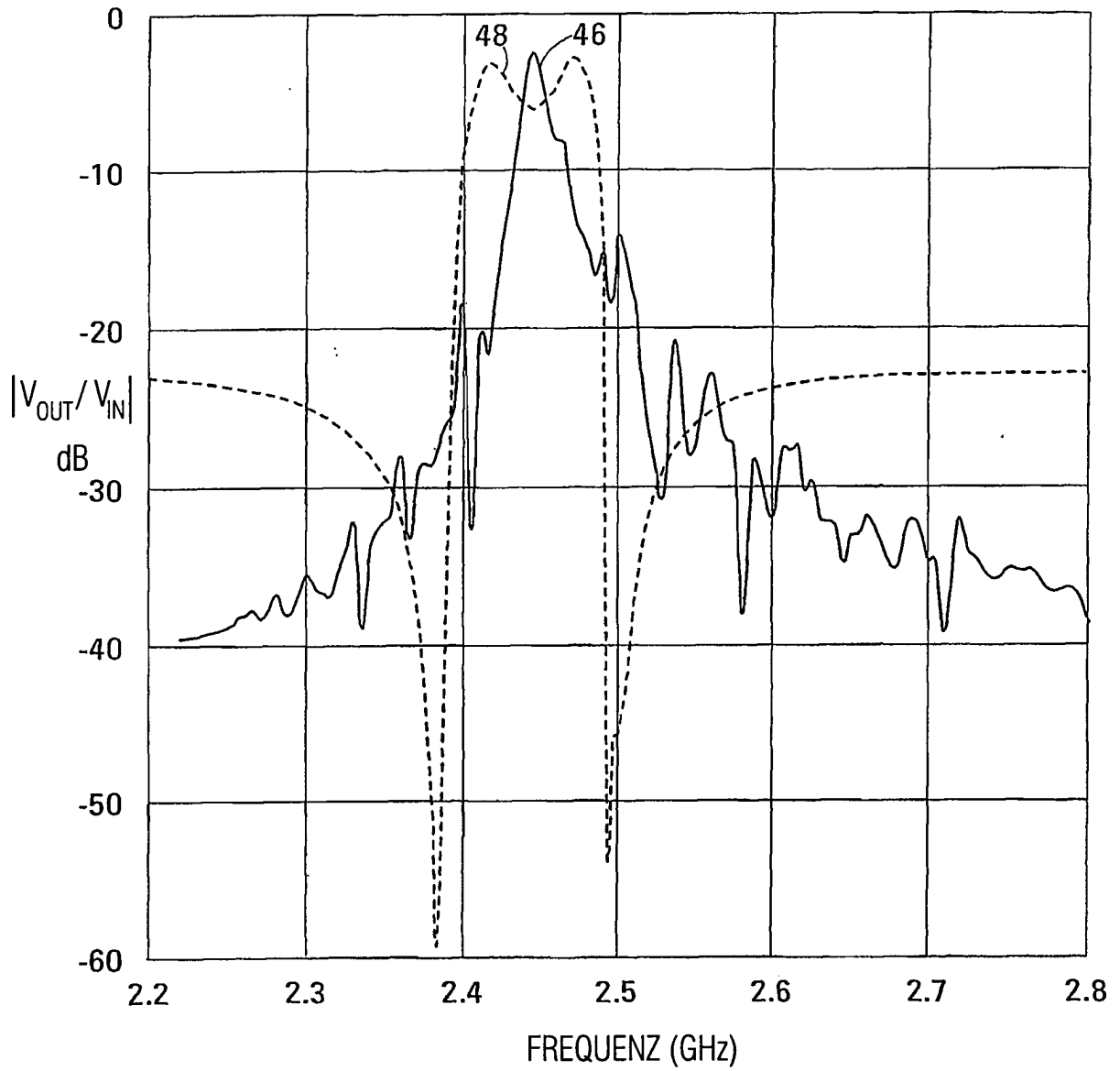
FIGUR 1
(STAND DER TECHNIK)



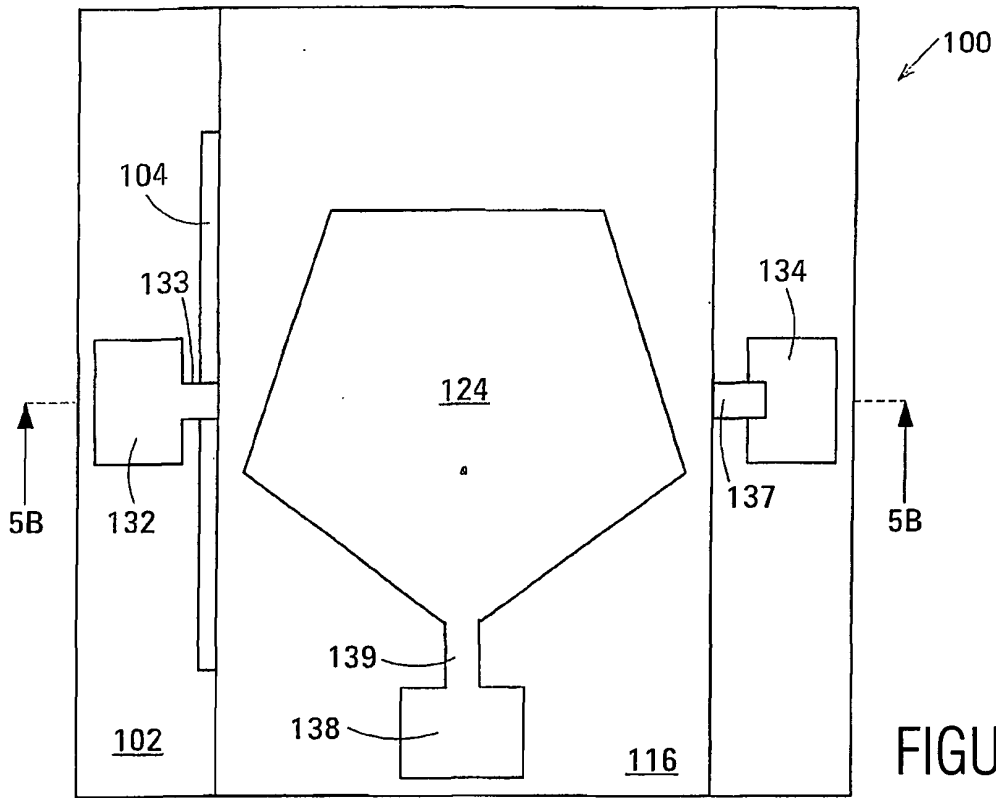
FIGUR 2
(STAND DER TECHNIK)



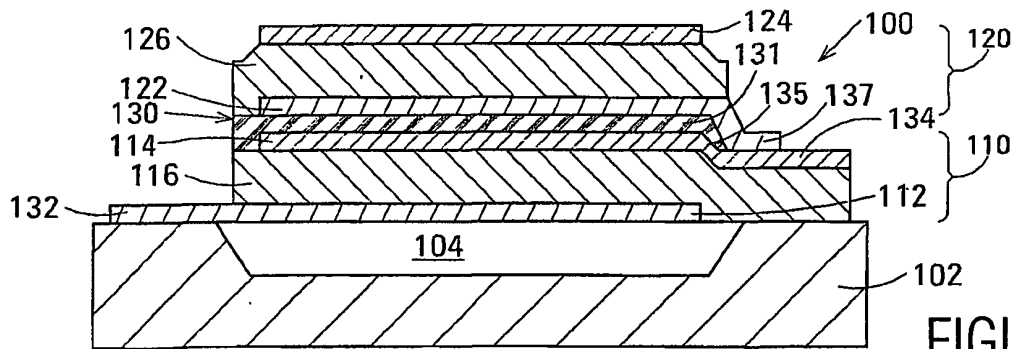
FIGUR 3
(STAND DER TECHNIK)



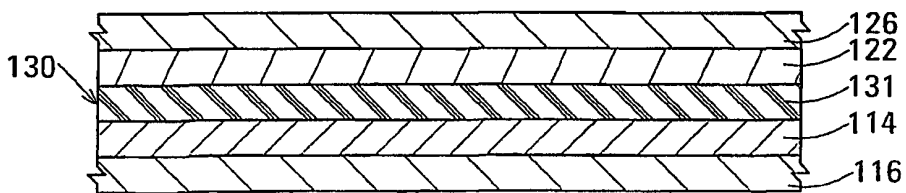
FIGUR 4
(STAND DER TECHNIK)



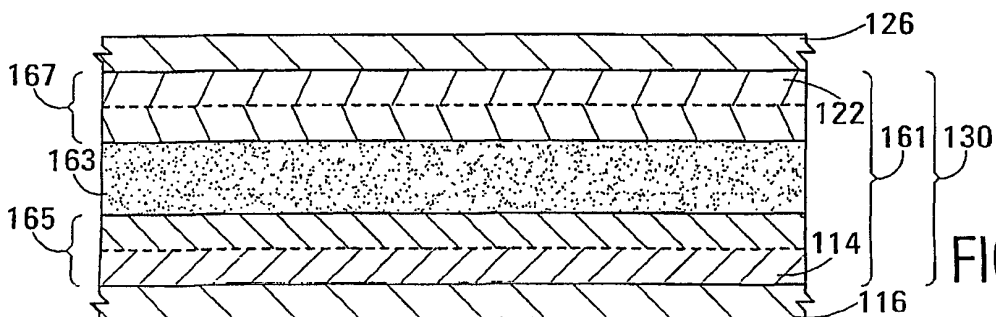
FIGUR 5A



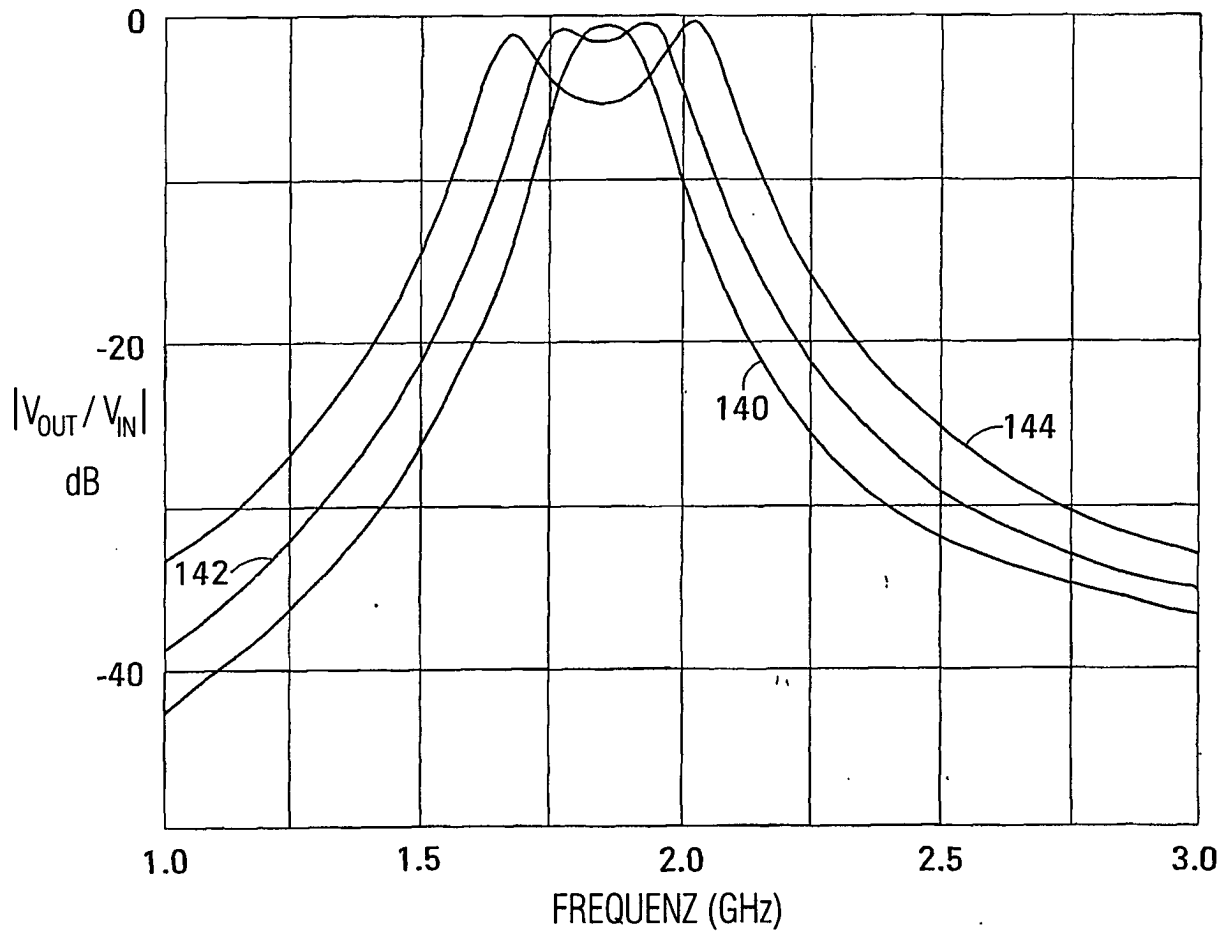
FIGUR 5B



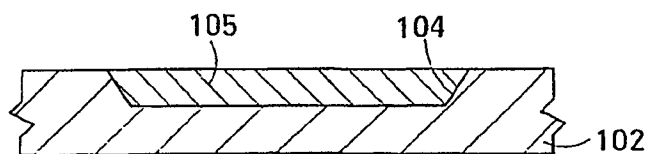
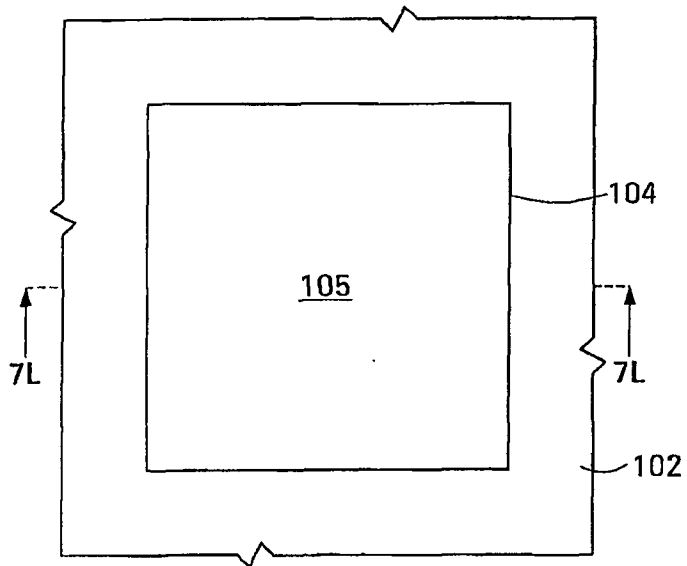
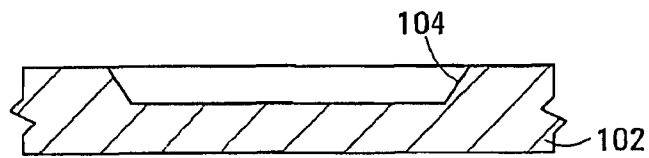
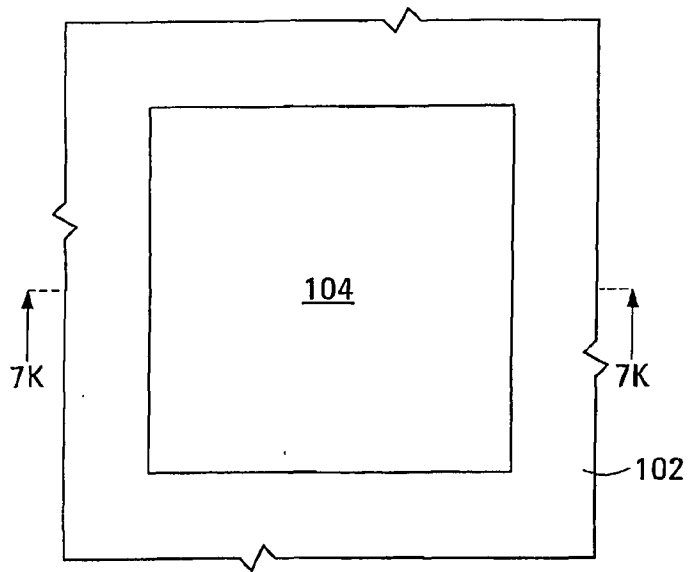
FIGUR 5C

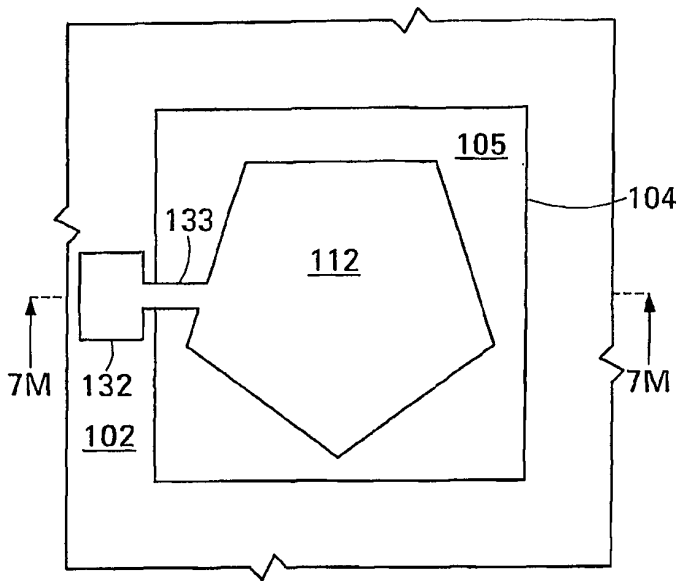


FIGUR 5D

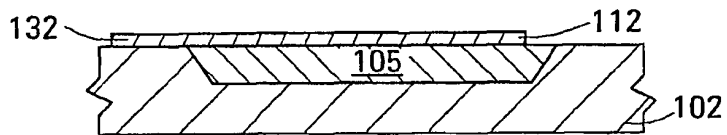


FIGUR 6

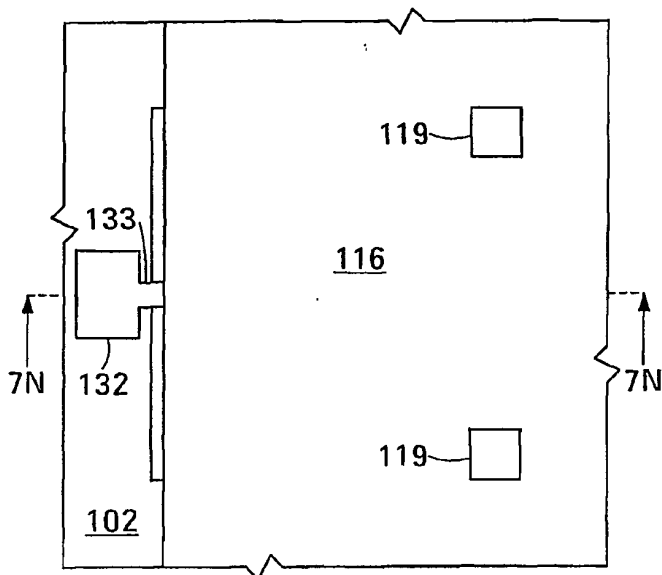




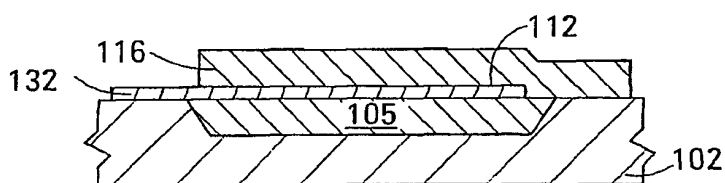
FIGUR 7C



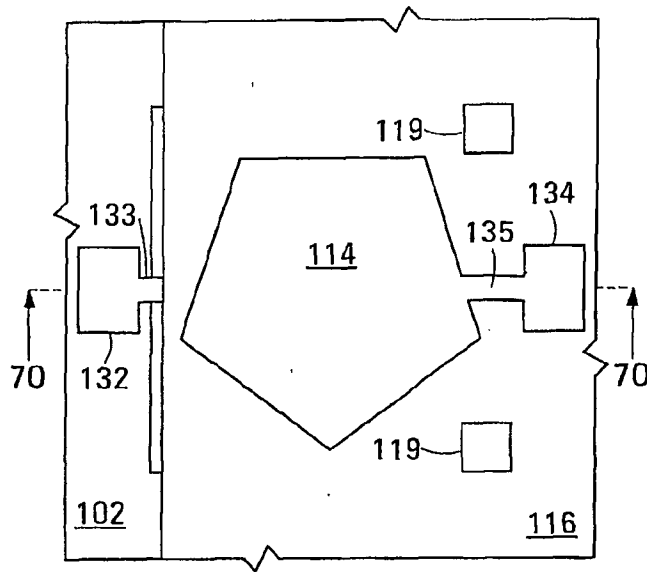
FIGUR 7M



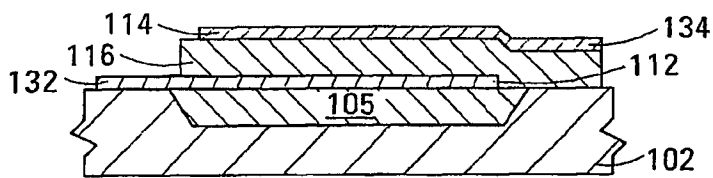
FIGUR 7D



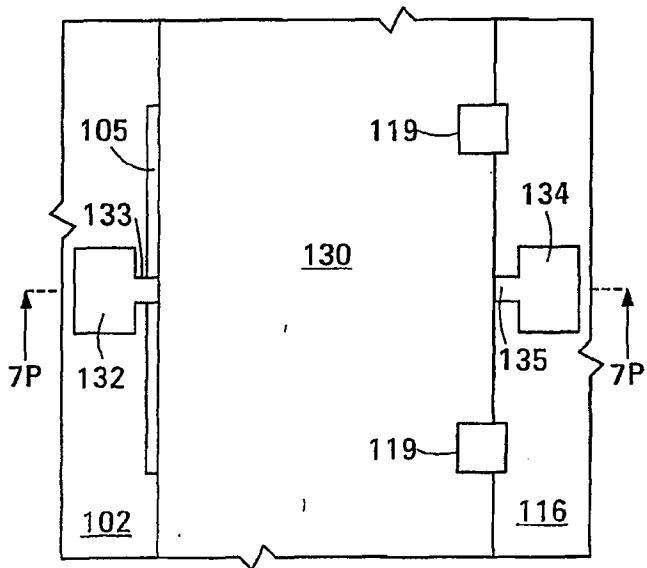
FIGUR 7N



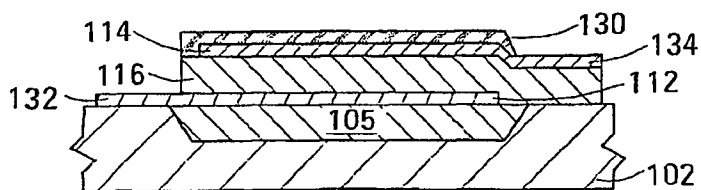
FIGUR 7E



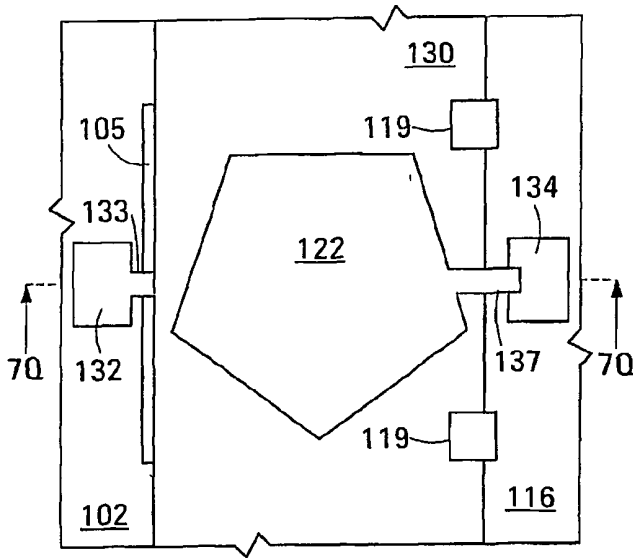
FIGUR 70



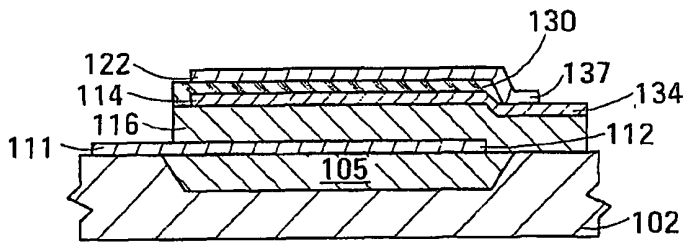
FIGUR 7F



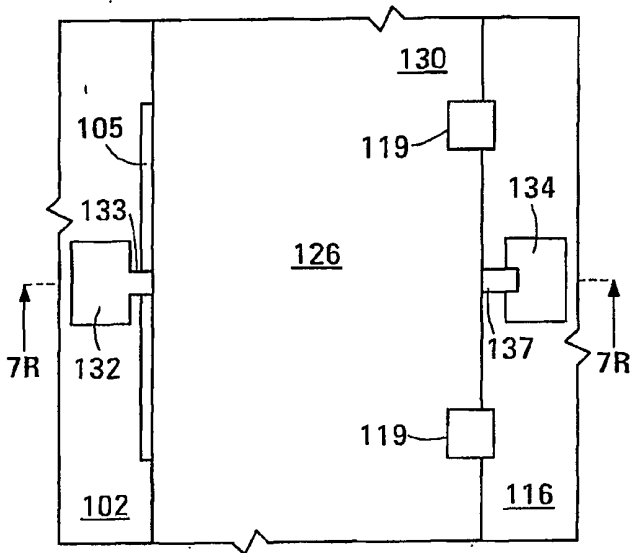
FIGUR 7P



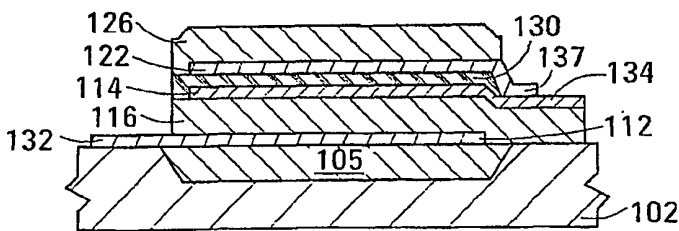
FIGUR 7G



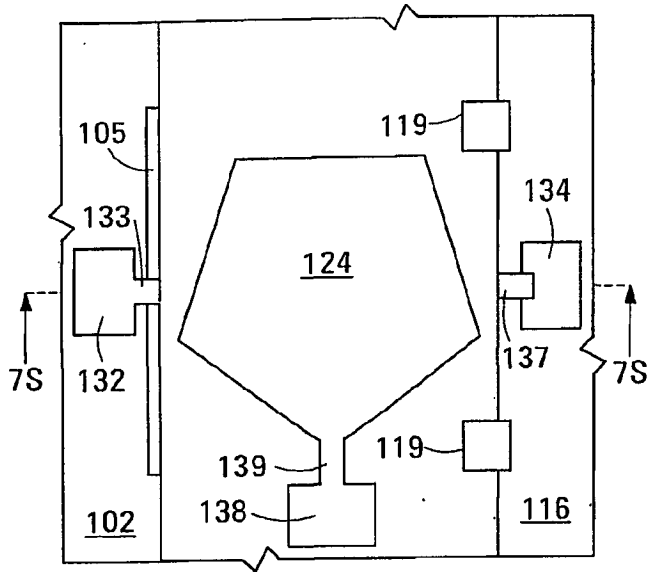
FIGUR 7Q



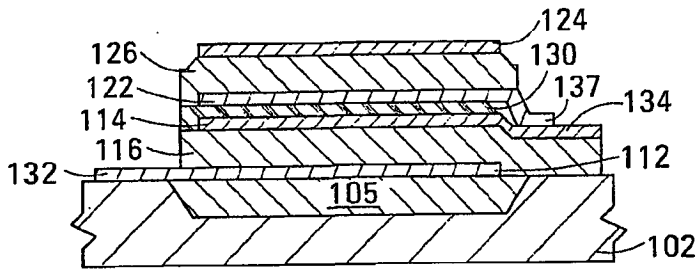
FIGUR 7H



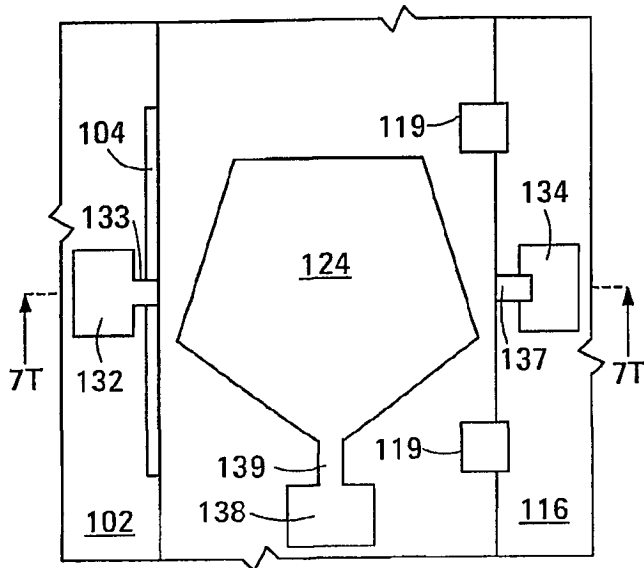
FIGUR 7R



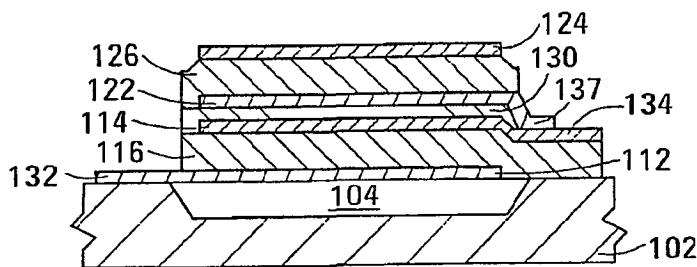
FIGUR 7I



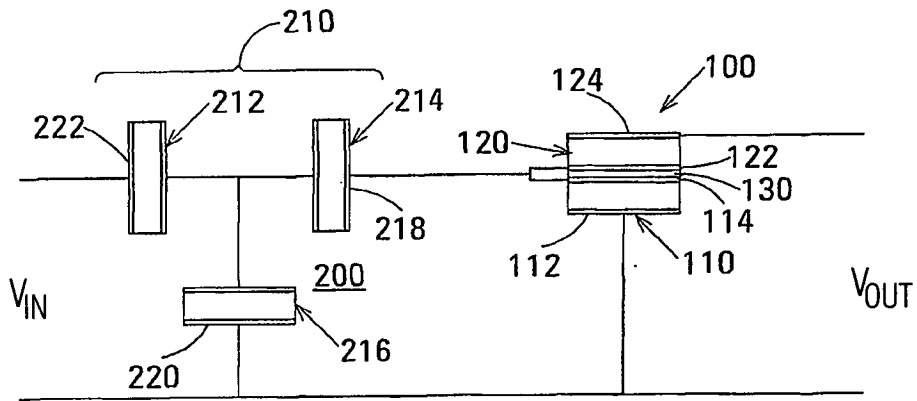
FIGUR 7S



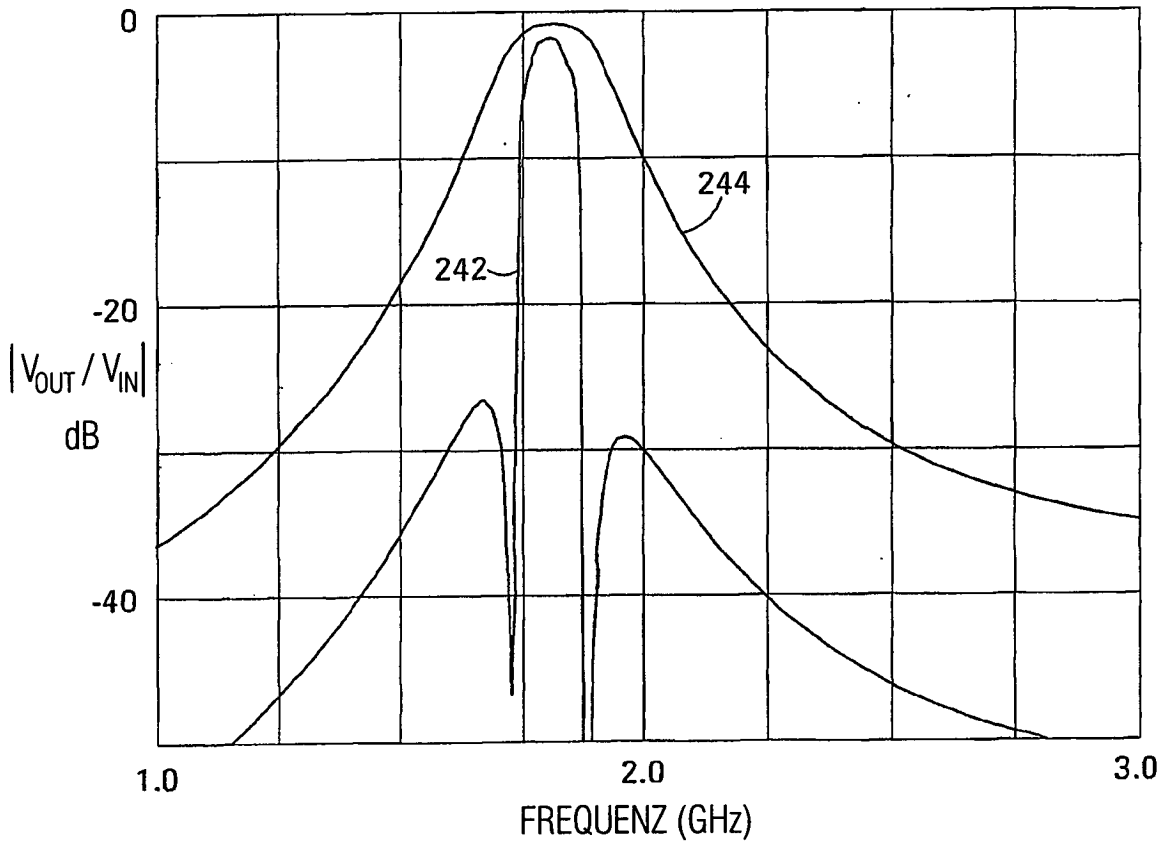
FIGUR 7J



FIGUR 7T



FIGUR 8



FIGUR 9