



(19) Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) DE 11 2004 002 038 T5 2006.09.21

(12)

Veröffentlichung

der internationalen Anmeldung mit der
(87) Veröffentlichungs-Nr.: **WO 2005/043752**
in deutscher Übersetzung (Art. III § 8 Abs. 2 IntPatÜG)
(21) Deutsches Aktenzeichen: **11 2004 002 038.7**
(86) PCT-Aktenzeichen: **PCT/US2004/036089**
(86) PCT-Anmeldetag: **29.10.2004**
(87) PCT-Veröffentlichungstag: **12.05.2005**
(43) Veröffentlichungstag der PCT Anmeldung
in deutscher Übersetzung: **21.09.2006**

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

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

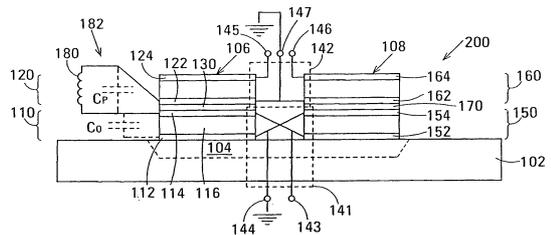
(74) Vertreter:
Schoppe, Zimmermann, Stöckeler & Zinkler, 82049 Pullach

(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; Sarkesik, Naghmeh, Cupertino, Calif., US

(54) Bezeichnung: **Akustisch gekoppelter Filmtransformator mit erhöhter Gleichtaktunterdrückung**

(57) Hauptanspruch: Ein akustisch gekoppelter Filmtransformator (FACT), der folgende Merkmale aufweist:
einen ersten entkoppelten gestapelten akustischen Volumenresonator (DSBAR) und einen zweiten DSBAR, wobei jeder DSBAR folgende Merkmale aufweist:
einen unteren akustischen Filmvolumenresonator (FBAR) und einen oberen FBAR, wobei der obere FBAR 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;
eine erste elektrische Schaltung, die die unteren FBARs verbindet; und
eine zweite elektrische Schaltung, die die oberen FBARs verbindet; wobei:
bei zumindest einem der DSBARs der akustische Entkoppler, eine der Elektroden des unteren FBAR, die zu dem akustischen Entkoppler benachbart ist, und eine der Elektroden des oberen FBAR, die zu dem akustischen Entkoppler benachbart ist, einen parasitären Kondensator bilden;
und
der FACT außerdem einen Induktor aufweist, der elektrisch parallel zu dem parasitären Kondensator geschaltet ist.



Beschreibung

Hintergrund

[0001] Transformatoren bzw. Wandler werden bei vielen Typen von elektronischen Vorrichtungen verwendet, um solche Funktionen wie ein Umwandeln von Impedanzen, ein Verbinden einer Eintaktschaltungsanordnung mit einer symmetrischen Schaltungsanordnung oder umgekehrt und ein Bereitstellen einer elektrischen Isolation durchzuführen. Jedoch weisen nicht alle Transformatoren alle diese Eigenschaften auf. Zum Beispiel liefert ein Autotransformator keine elektrische Isolation.

[0002] Transformatoren, die bei Audio- und Funkfrequenzen bis zu VHF wirksam sind, sind gewöhnlich als gekoppelte Primär- und Sekundärwicklungen um einen Hochpermeabilitätskern gebaut. Strom in den Wicklungen erzeugt einen Magnetfluss. Der Kern enthält den Magnetfluss und erhöht die Kopplung zwischen den Wicklungen. Ein Transformator, der in diesem Frequenzbereich wirksam ist, kann auch unter Verwendung eines optischen Kopplungselements realisiert sein. Ein Optokopplungselement, das in diesem Modus verwendet wird, wird in der Technik als ein Optoisolator bezeichnet.

[0003] Bei Transformatoren, die auf gekoppelten Wicklungen oder Optokopplungselementen basieren, wird das elektrische Eingangssignal in eine andere Form (d. h. einen Magnetfluss oder Photonen) umgewandelt, die mit einer geeigneten Transformierungsstruktur (d. h. einer weiteren Wicklung oder einem Lichtdetektor) in Wechselwirkung tritt, und wird an dem Ausgang als ein elektrisches Signal wiederhergestellt. Zum Beispiel wandelt ein Optokopplungselement ein elektrisches Eingangssignal unter Verwendung einer Licht emittierenden Diode in Photonen um. Die Photonen gehen durch eine optische Faser oder freien Raum, der Isolation liefert. Eine Photodiode, die durch die Photonen beleuchtet wird, erzeugt ein elektrisches Ausgangssignal aus dem Photonenstrom. Das elektrische Ausgangssignal ist eine Nachbildung des elektrischen Eingangssignals.

[0004] Bei UHF- und Mikrowellenfrequenzen werden spulenbasierte Transformatoren aufgrund solcher Faktoren wie Verluste im Kern, Verluste in den Wicklungen, Kapazität zwischen den Wicklungen und einer Schwierigkeit, dieselben klein genug zu machen, um wellenlängenbezügliche Probleme zu verhindern, unbrauchbar. Transformatoren für derartige Frequenzen basieren auf Viertelwellenlängenübertragungsleitungen, z. B. Marchand-Typ, verbundene Reiheneingangs-/Parallel- ausgangsleitungen usw. Es gibt auch Transformatoren, die auf mikrobearbeiteten gekoppelten Spulensätzen basieren und klein genug sind, sodass Wellenlängeneffekte unwichtig sind. Derartige Transformatoren weisen je-

doch Probleme mit einem hohen Einfügungsverlust auf.

[0005] Alle gerade beschriebenen Transformatoren zur Verwendung bei UHF- und Mikrowellenfrequenzen weisen Abmessungen auf, die dieselben zur Verwendung bei modernen Miniaturanwendungen hoher Dichte, wie z. B. Zellulartelefonen, wenig erwünscht machen. Derartige Transformatoren neigen auch dazu, teuer zu sein, da dieselben nicht durch einen Losprozess hergestellt werden können und da dieselben im Wesentlichen eine chipexterne Lösung sind. Außerdem weisen dieselben, obwohl derartige Transformatoren normalerweise eine Bandbreite aufweisen, die zur Verwendung bei Zellulartelefonen akzeptabel ist, normalerweise einen Einfügungsverlust auf, der größer als 1 dB ist, was zu hoch ist.

[0006] Optokopplungselemente werden aufgrund der Übergangskapazität der Eingangs-LED, der Nicht-Linearitäten, die dem Photodetektor inhärent sind, der begrenzten Leistungshandhabungsfähigkeit und einer nicht ausreichenden Isolation, um eine gute Gleichaktunterdrückung zu liefern, nicht bei UHF- und Mikrowellenfrequenzen verwendet.

[0007] Die U.S.-Patentanmeldung Serien-Nr. 10/699,481 offenbart einen akustisch gekoppelten Filmtransformator (film acoustically-coupled transformer – FACT), der auf entkoppelten gestapelten akustischen Volumenresonatoren (decoupled stacked bulk acoustic resonators – DSBARs) basiert. Ein DSBAR ist aus einem gestapelten Paar von akustischen Filmvolumenresonatoren (film bulk acoustic resonators – FBARs) und einem akustischen Entkoppler zwischen den FBARs gebildet. [Fig. 1A](#) veranschaulicht schematisch ein Ausführungsbeispiel **100** eines derartigen FACT. Der FACT **100** weist einen ersten entkoppelten gestapelten akustischen Volumenresonator (DSBAR) **106** und einen zweiten DSBAR **108** auf, die über einem Hohlraum **104** in einem Substrat **102** hängen. Der DSBAR **106** weist einen unteren FBAR **110**, einen oberen FBAR **120**, der auf den unteren FBAR **110** gestapelt ist, und ein akustisches Kopplungselement **130** zwischen denselben auf, und der DSBAR **108** weist einen unteren FBAR **150**, einen oberen FBAR **160**, der auf den unteren FBAR **150** gestapelt ist, und ein akustisches Kopplungselement **170** zwischen denselben auf. Jeder der FBARs weist gegenüberliegende planare Elektroden und ein piezoelektrisches Element zwischen den Elektroden auf. Zum Beispiel weist der FBAR **110** gegenüberliegende planare Elektroden **112** und **114** mit einem piezoelektrischen Element **116** zwischen denselben auf.

[0008] Der FACT **100** weist außerdem eine erste elektrische Schaltung **141**, die den unteren FBAR **110** des DSBAR **106** und den unteren FBAR **150** des DSBAR **108** verbindet, und eine zweite elektrische

Schaltung **142** auf, die den oberen FBAR **120** des DSBAR **106** und den oberen FBAR **160** des DSBAR **108** verbindet.

[0009] Bei dem Ausführungsbeispiel des im Vorhergehenden beschriebenen FACT, das in [Fig. 1A](#) gezeigt ist, verbindet die elektrische Schaltung **141** die unteren FBARs **110** und **150** anti-parallel und mit Anschlüssen **143** und **144**, und die elektrische Schaltung **142** schaltet die oberen FBARs **120** und **160** in Reihe zwischen Anschlüsse **145** und **146**. Bei dem gezeigten Beispiel weist die elektrische Schaltung **142** außerdem einen Mittelabgriffsanschluss **147** auf, der mit Elektroden **122** und **162** der oberen FBARs **120** bzw. **160** verbunden ist. Dieses Ausführungsbeispiel weist ein 1:4-Impedanzwandlungsverhältnis zwischen der elektrischen Schaltung **141** und der elektrischen Schaltung **142** oder ein 4:1-Impedanzwandlungsverhältnis zwischen der elektrischen Schaltung **142** und der elektrischen Schaltung **141** auf.

[0010] Bei anderen Ausführungsbeispielen schaltet die elektrische Schaltung **141** die unteren FBARs **110** und **150** elektrisch entweder anti-parallel oder in Reihe, und die elektrische Schaltung **142** schaltet die oberen FBARs elektrisch entweder anti-parallel oder in Reihe.

[0011] Alle Ausführungsbeispiele des im Vorhergehenden beschriebenen FACT weisen eine geringe Größe auf, sind in der Lage, eine Eintaktschaltungsanordnung mit einer symmetrischen Schaltungsanordnung oder umgekehrt zu verbinden, und liefern eine elektrische Isolation zwischen Primär- und Sekundärwicklung. Die speziell im Vorhergehenden beschriebenen Ausführungsbeispiele sind auch nominal elektrisch symmetrisch.

[0012] Das Ausführungsbeispiel, das in [Fig. 1A](#) gezeigt ist, ist von besonderem Interesse für eine Anzahl von Anwendungen. Obwohl dieses Ausführungsbeispiel jedoch nominal elektrisch symmetrisch ist, ist seine Gleichaktunterdrückung geringer als es viele potentielle Anwendungen erfordern. Die Gleichaktunterdrückung einer Differenzvorrichtung wird quantitativ durch ein Gleichaktunterdrückungsverhältnis (CMRR) bestimmt, wobei es sich um das Verhältnis der Gegentaktspannungsverstärkung zu der Gleichaktspannungsverstärkung der Differenzvorrichtung handelt.

[0013] Ein Lösungsansatz zum Erhöhen des Gleichaktunterdrückungsverhältnisses besteht darin, die Dicke des akustischen Entkopplers zu erhöhen. Ein Erhöhen der Dicke des akustischen Entkopplers bewirkt jedoch, dass die Frequenzantwort des FACT störende Artefakte aufweist, die durch die Fähigkeit des dickeren akustischen Entkopplers bewirkt werden, mehr als eine einzige akustische Mode

zu unterstützen. Derartige störende Antwortartefakte sind bei vielen Anwendungen unerwünscht.

[0014] Was deshalb benötigt wird, ist ein FACT, der die Vorteile des im Vorhergehenden beschriebenen FACT aufweist, der jedoch ein erhöhtes Gleichaktunterdrückungsverhältnis und eine glatte Frequenzantwort aufweist.

Zusammenfassung der Erfindung

[0015] In einem ersten Aspekt liefert die Erfindung einen akustisch gekoppelten Filmtransformator (FACT), der einen ersten entkoppelten gestapelten akustischen Volumenresonator (DSBAR) und einen zweiten DSBAR aufweist. Jeder DSBAR weist einen unteren akustischen Filmvolumenresonator (FBAR), einen oberen FBAR, der auf den unteren FBAR gestapelt ist, und einen akustischen Entkoppler zwischen den FBARs auf. Jeder FBAR weist gegenüberliegende planare Elektroden und ein piezoelektrisches Element zwischen den Elektroden auf. Der FACT weist außerdem eine erste elektrische Schaltung, die den unteren FBAR des ersten DSBAR mit dem unteren FBAR des zweiten DSBAR verbindet, und eine zweite elektrische Schaltung auf, die den oberen FBAR des ersten DSBAR mit den oberen FBARs des zweiten DSBAR verbindet. Bei zumindest einem der DSBARs bilden der akustische Entkoppler, eine der Elektroden des unteren FBAR, die zu dem akustischen Entkoppler benachbart ist, und eine der Elektroden des oberen FBAR, die zu dem akustischen Entkoppler benachbart ist, einen parasitären Kondensator. Der FACT weist außerdem einen Induktor auf, der elektrisch parallel zu dem parasitären Kondensator geschaltet ist. Der Induktor erhöht das Gleichaktunterdrückungsverhältnis des FACT.

[0016] In einem letzten Aspekt liefert die Erfindung ein DSBAR-Bauelement, das eine Bandpasscharakteristik aufweist, die durch eine Mittenfrequenz charakterisiert ist. Das DSBAR-Bauelement weist einen unteren akustischen Filmvolumenresonator (FBAR), einen oberen FBAR, der auf den unteren FBAR gestapelt ist, und einen akustischen Entkoppler zwischen den FBARs auf. Jeder FBAR weist gegenüberliegende planare Elektroden und ein piezoelektrisches Element zwischen den Elektroden auf. Der akustische Entkoppler ist strukturiert, um eine Phasenänderung, die nominal gleich $\pi/2$ ist, bei einem akustischen Signal zu bewirken, das frequenzmäßig gleich der Mittenfrequenz ist.

Kurze Beschreibung der Zeichnungen

[0017] [Fig. 1A](#) ist eine schematische Zeichnung der elektrischen Schaltungen eines Ausführungsbeispiels eines akustisch gekoppelten 1:4- oder 4:1-Filmtransformators (FACT) gemäß dem Stand der Technik.

[0018] [Fig. 1B](#) ist ein schematisches Diagramm, das den parasitären Kondensator zeigt, der in dem FACT vorliegt, der in [Fig. 1A](#) gezeigt ist, wenn der Mittelabgriff geerdet ist.

[0019] [Fig. 1C](#) ist ein schematisches Diagramm, das die parasitären Kondensatoren zeigt, die in dem FACT vorliegen, der in [Fig. 1A](#) gezeigt ist, wenn der Mittelabgriff schwebt bzw. floatet.

[0020] [Fig. 2A](#) ist ein schematisches Diagramm eines exemplarischen Ausführungsbeispiels eines akustisch gekoppelten Filmtransformators (FACT) mit geerdetem Mittelabgriff mit einem hohen Gleichaktunterdrückungsverhältnis (CMRR) gemäß der Erfindung.

[0021] [Fig. 2B](#) ist ein schematisches Diagramm eines exemplarischen Ausführungsbeispiels eines FACT mit floatendem Mittelabgriff mit einem hohen CMRR gemäß der Erfindung.

[0022] [Fig. 3A](#) ist ein schematisches Diagramm eines exemplarischen Ausführungsbeispiels eines FACT mit geerdetem Mittelabgriff mit einem hohen CMRR gemäß der Erfindung, der eine Gleichstromisolation zwischen Primär- und Sekundärwicklung liefert.

[0023] [Fig. 3B](#) ist ein schematisches Diagramm eines exemplarischen Ausführungsbeispiels eines FACT mit floatendem Mittelabgriff mit einem hohen CMRR gemäß der Erfindung, der eine Gleichstromisolation zwischen Primär- und Sekundärwicklung liefert.

[0024] [Fig. 4A](#), [Fig. 4B](#) u. [Fig. 4C](#) sind eine Grundrissansicht bzw. Querschnittsansichten entlang der Schnittlinien 4B-4B bzw. 4C-4C in [Fig. 4A](#) eines FACT-Moduls mit einem hohen CMRR, das die Basis von praktischen Ausführungsbeispielen eines FACT gemäß der Erfindung bildet.

[0025] [Fig. 5](#) ist eine Grundrissansicht eines ersten praktischen Ausführungsbeispiels eines FACT mit einem hohen CMRR gemäß der Erfindung.

[0026] [Fig. 6](#) ist eine Grundrissansicht eines zweiten praktischen Ausführungsbeispiels eines FACT mit einem hohen CMRR gemäß der Erfindung.

[0027] [Fig. 7](#) ist eine Grundrissansicht eines dritten praktischen Ausführungsbeispiels eines FACT mit einem hohen CMRR gemäß der Erfindung, der eine Gleichstromisolation zwischen Primär- und Sekundärwicklung liefert.

[0028] [Fig. 8A](#), [Fig. 8B](#) u. [Fig. 8C](#) sind eine Grundrissansicht, eine Seitenansicht bzw. eine Querschnittsansicht entlang der Schnittlinie 8C-8C in

[Fig. 8A](#) eines vierten praktischen Ausführungsbeispiels eines FACT mit einem hohen CMRR gemäß der Erfindung.

[0029] [Fig. 8D](#) und [Fig. 8E](#) sind Grundrissansichten der Substrate, die einen Teil des FACT bilden, der in den [Fig. 8A-Fig. 8C](#) gezeigt ist.

[0030] [Fig. 9A](#) und [Fig. 9B](#) sind eine Grundrissansicht bzw. eine Querschnittsansicht entlang der Schnittlinie 9B-9B in [Fig. 9A](#) eines fünften praktischen Ausführungsbeispiels eines FACT mit einem hohen CMRR gemäß der Erfindung.

[0031] [Fig. 10A](#) und [Fig. 10B](#) sind eine Grundrissansicht bzw. eine Querschnittsansicht entlang der Schnittlinie 10B-10B in [Fig. 10A](#) eines sechsten praktischen Ausführungsbeispiels eines FACT mit einem hohen CMRR gemäß der Erfindung, der eine Gleichstromisolation zwischen Primär- und Sekundärwicklung liefert.

[0032] [Fig. 11A](#) bis [Fig. 11H](#) sind Grundansichten und [Fig. 11I-Fig. 11P](#) sind Querschnittsansichten entlang der Schnittlinien 11I-11I bis 11P-11P jeweils in den [Fig. 11A](#) bis [Fig. 11H](#), die einen Prozess veranschaulichen, der verwendet werden kann, um Ausführungsbeispiele des FACT herzustellen, der in den [Fig. 10A-Fig. 10B](#) gezeigt ist.

Detaillierte Beschreibung

[0033] Die Erfinder haben herausgefunden, dass bei Ausführungsbeispielen des akustisch gekoppelten Filmtransformators (FACT) **100**, der im Vorhergehenden unter Bezugnahme auf [Fig. 1A](#) beschrieben ist, eine Signalfrequenz-Spannungsdifferenz zwischen den Elektroden an gegenüberliegenden Seiten zumindest eines der akustischen Entkoppler **130** und **170** während eines normalen Betriebs bestehen kann. [Fig. 1B](#) zeigt den FACT **100**, der in [Fig. 1A](#) gezeigt ist, bei einer typischen Anwendung, bei der der Anschluss **144**, der mit den Elektroden **112** und **154** verbunden ist, geerdet ist, und ein Mittelabgriffsanschluss **147**, der mit den Elektroden **122** und **162** verbunden ist, ebenfalls geerdet ist. Bei dieser Anwendung besteht eine Signalfrequenz-Spannungsdifferenz zwischen den Elektroden **114** und **122** auf gegenüberliegenden Seiten des akustischen Entkopplers **130**. Wenn dieselbe an den parasitären Kondensator C_p angelegt wird, der aus den Elektroden **114** und **122** und dem akustischen Entkoppler **130** gebildet ist, bewirkt diese Spannungsdifferenz, dass ein Signalfrequenzstrom zwischen der elektrischen Schaltung **141** und der elektrischen Schaltung **142** fließt. Dieser Stromfluss senkt die Gleichaktunterdrückung des FACT **100**. Ein Kondensatorsymbol, das mit C_p etikettiert ist und mit gestrichelten Linien gezeigt ist, stellt den parasitären Kondensator C_p dar, der aus den Elektroden **114** und **122** und dem akus-

tischen Entkoppler **130** gebildet ist. Die Kapazität des parasitären Kondensators ist bei Ausführungsbeispielen maximal, bei denen die Dicke des akustischen Entkopplers minimal ist, d. h. die Dicke des akustischen Entkopplers ist nominal gleich einem Viertel der Wellenlänge eines akustischen Signals, das frequenzmäßig gleich der Mittenfrequenz des Durchlassbandes des FACT **100** ist. Ein derartiger akustischer Entkoppler bewirkt eine Phasenänderung von $\pi/2$ Radian bei dem akustischen Signal.

[0034] Bei dieser Offenbarung wird ein Element, das mit einer niedrigen Impedanz bei der Signalfrequenz anstelle von Masse verbunden ist, als geerdet betrachtet.

[0035] [Fig. 1C](#) zeigt den FACT **100** bei einer weiteren exemplarischen Anwendung, bei der die Elektroden **112** und **154** geerdet sind und die elektrische Schaltung **142** floatet. Bei dieser Anwendung besteht eine Signalfrequenz-Spannungsdifferenz zwischen den Elektroden **114** und **122** an gegenüberliegenden Seiten des akustischen Entkopplers **130**, und eine Signalfrequenz-Spannungsdifferenz besteht außerdem zwischen den Elektroden **154** und **162** an gegenüberliegenden Seiten des akustischen Entkopplers **170**. Wenn dieselbe an den parasitären Kondensator C_p angelegt wird, der aus der Elektrode **154**, der Elektrode **162** und dem akustischen Entkoppler **170** gebildet ist, bewirkt diese Spannungsdifferenz, dass ein zusätzlicher Strom zwischen der elektrischen Schaltung **141** und der elektrischen Schaltung **142** fließt. Dieser Stromfluss beeinträchtigt weiter das Gleichtaktunterdrückungsverhältnis des FACT **100**. Ein Kondensatorsymbol, das mit C_p etikettiert ist und mit gestrichelten Linien gezeigt ist, stellt den parasitären Kondensator C_p dar, der durch die Elektroden **154** und **162** und den akustischen Entkoppler **170** bereitgestellt ist.

[0036] [Fig. 2A](#) ist eine schematische Zeichnung, die ein Ausführungsbeispiel **200** eines akustisch gekoppelten Filmtransformators (FACT) gemäß der Erfindung zeigt. Der FACT **200** dient zur Verwendung bei einer Anwendung, die derjenigen ähnlich ist, die im Vorhergehenden unter Bezugnahme auf [Fig. 1B](#) beschrieben ist, wobei die Elektroden **112** und **154**, die mit dem Anschluss **144** verbunden sind, geerdet sind, und die Elektroden **122** und **162**, die mit dem Mittelabgriffanschluss **147** verbunden sind, ebenfalls geerdet sind. Elemente des FACT **200**, die Elementen des FACT **100** entsprechen, der im Vorhergehenden unter Bezugnahme auf [Fig. 1B](#) beschrieben ist, sind durch die gleichen Bezugszeichen angezeigt und werden hier nicht noch einmal beschrieben. Bei dem FACT **200** ist ein Induktor **180** zwischen der Elektrode **114** und die Elektrode **122** an gegenüberliegenden Seiten des akustischen Entkopplers **130** geschaltet. Dies schaltet den Induktor **180** parallel zu dem parasitären Kondensator C_p . Der Induktor **180**

erhöht erheblich das Gleichtaktunterdrückungsverhältnis des FACT **200** relativ zu demjenigen des FACT **100** durch ein Verringern des Stromflusses zwischen der elektrischen Schaltung **141** und der elektrischen Schaltung **142**. Der Induktor **180** verbessert außerdem die Eingangsanpassung.

[0037] Der FACT **200** weist ein Durchlassband auf. Der Induktor **180** und die Parallelkombination des parasitären Kondensators C_p und der Kapazität C_0 zwischen den Anschlüssen **143** und **144** bilden eine Parallelresonanzschaltung **182**, die eine Resonanzfrequenz in dem Durchlassband aufweist. Bei einem Ausführungsbeispiel ist die Resonanzfrequenz gleich der Mittenfrequenz des Durchlassbandes des FACT **200**. Die Impedanz der Parallelresonanzschaltung **182** hängt von einer Beziehung zwischen der Signalfrequenz und der Resonanzfrequenz der Resonanzschaltung ab und ist bei der Resonanzfrequenz maximal. Bei Signalfrequenzen über und unter der Resonanzfrequenz ist die Impedanz der Parallelresonanzschaltung **182** geringer als bei der Resonanzfrequenz, ist jedoch bei allen Signalfrequenzen in dem Durchlassband des FACT **200** wesentlich größer als diejenige des parasitären Kondensators C_p allein. Dementsprechend ist der Strom, der zwischen der elektrischen Schaltung **141** und der elektrischen Schaltung **142** durch die Parallelresonanzschaltung **182** fließt, wesentlich geringer als derjenige, der durch den parasitären Kondensator C_p alleine fließen würde. Folglich ist das Gleichtaktunterdrückungsverhältnis des FACT **200** größer als dasjenige des FACT **100**, der in [Fig. 1B](#) gezeigt ist.

[0038] [Fig. 2B](#) ist eine schematische Zeichnung, die ein Ausführungsbeispiel **202** eines FACT gemäß der Erfindung zeigt. Der FACT **202** dient zur Verwendung bei einer Anwendung, die derjenigen ähnlich ist, die im Vorhergehenden unter Bezugnahme auf [Fig. 1C](#) beschrieben ist, wobei die Elektroden **112** und **124** geerdet sind und die elektrische Schaltung **142** floatet. Elemente des FACT **202**, die Elementen des FACT **100**, der im Vorhergehenden unter Bezugnahme auf [Fig. 1B](#) beschrieben ist, und des FACT **200** entsprechen, der im Vorhergehenden unter Bezugnahme auf [Fig. 2A](#) beschrieben ist, sind durch die gleichen Bezugszeichen angezeigt und werden hier nicht noch einmal beschrieben. Der FACT **202** weist einen Induktor **180**, der zwischen der Elektrode **114** und die Elektrode **122** an gegenüberliegenden Seiten des akustischen Entkopplers **130** geschaltet ist, und einen Induktor **181** auf, der zwischen der Elektrode **154** und die Elektrode **162** an gegenüberliegenden Seiten des akustischen Entkopplers **170** geschaltet ist. Die Induktoren **180** und **181** erhöhen erheblich das Gleichtaktunterdrückungsverhältnis des FACT **202** relativ zu demjenigen des FACT **100** durch ein Verringern des Stromflusses zwischen der elektrischen Schaltung **141** und der elektrischen Schaltung **142**. Der Induktor **180** verbessert außerdem die Ein-

gangs Anpassung.

[0039] Der Induktor **180** und die Parallelkombination des parasitären Kondensators C_p und der Zwischenanschlusskapazität C_0 bilden eine Parallelresonanzschaltung **182**, die eine Resonanzfrequenz in dem Durchlassband des FACT **202** aufweist. Der Induktor **181** und der parasitäre Kondensator C_p bilden eine Parallelresonanzschaltung **183**, die eine Resonanzfrequenz in dem Durchlassband des FACT **202** aufweist. Bei einem Ausführungsbeispiel weisen die Parallelresonanzschaltungen **182** und **183** jeweilige Resonanzfrequenzen auf, die gleich der Mittenfrequenz des Durchlassbandes des FACT **202** sind. Die Impedanz der Parallelresonanzschaltungen **182** und **183** hängt von einer Beziehung zwischen der Signalfrequenz und der Resonanzfrequenz der jeweiligen Resonanzschaltung ab und ist bei der Resonanzfrequenz maximal. Bei Signalfrequenzen über und unter der Resonanzfrequenz ist die Impedanz der Parallelresonanzschaltungen **182** und **183** geringer als bei der Resonanzfrequenz, ist jedoch bei allen Signalfrequenzen in dem Durchlassband des FACT **202** wesentlich größer als diejenige der parasitären Kondensatoren C_p und C_p' allein. Dementsprechend ist der Strom, der zwischen der elektrischen Schaltung **141** und der elektrischen Schaltung **142** durch die Parallelresonanzschaltungen **182** und **183** fließt, wesentlich geringer als derjenige, der durch die parasitären Kondensatoren C_p und C_p' allein fließen würde. Folglich ist das Gleichaktunterdrückungsverhältnis des FACT **202** größer als dasjenige des FACT **100** bei der Anwendung, die in [Fig. 1C](#) gezeigt ist.

[0040] Bei dem FACT **200**, der in [Fig. 2A](#) gezeigt ist, verbindet der Induktor **180** die elektrische Schaltung **141** und die elektrische Schaltung **142** bei Gleichstrom. Folglich liefert der FACT **200** keine elektrische Isolation zwischen der elektrischen Schaltung **141** und der elektrischen Schaltung **142** bei Gleichstrom. [Fig. 3A](#) ist eine schematische Zeichnung, die ein Ausführungsbeispiel **300** eines FACT gemäß der Erfindung zeigt, der außerdem eine elektrische Isolation zwischen den elektrischen Schaltungen **141** und **142** bei Gleichspannungen bis zur Durchbruchspannung eines Isolationskondensators **184**, der in Reihe mit dem Induktor **180** geschaltet ist, liefert. Der FACT **300** dient zur Verwendung bei einer Anwendung, die derjenigen ähnlich ist, die im Vorhergehenden unter Bezugnahme auf [Fig. 1B](#) beschrieben ist, wobei die Elektroden **112** und **154**, die mit dem Anschluss **144** verbunden sind, geerdet sind, und die Elektroden **122** und **162**, die mit dem Mittelabgriffanschluss **147** verbunden sind, ebenfalls geerdet sind. Elemente des FACT **300**, der in [Fig. 3A](#) gezeigt ist, die Elementen des FACT **200** entsprechen, der in [Fig. 2A](#) gezeigt ist, sind unter Verwendung der gleichen Bezugszeichen angezeigt und werden hier nicht noch einmal beschrieben.

[0041] Bei dem FACT **300** sind der Isolationskondensator **184** und der Induktor **180** in Reihe zwischen die Elektrode **114** und die Elektrode **122** an gegenüberliegenden Seiten des akustischen Entkopplers **130** geschaltet. Wie es im Vorhergehenden beschrieben ist, bilden der Induktor **180** und die Parallelkombination des parasitären Kondensators C_p und der Zwischenelektrodenkapazität C_0 eine Parallelresonanzschaltung **182**, die den Stromfluss zwischen der elektrischen Schaltung **141** und der elektrischen Schaltung **142** verringert. Der Induktor **180** bildet außerdem eine Reihenresonanzschaltung mit dem Isolationskondensator **184**. Normalerweise ist die Kapazität des Isolationskondensators **184** zumindest das Vierfache derjenigen der Parallelkombination des parasitären Kondensators C_p und der Zwischenelektrodenkapazität C_0 , so dass die Reihenresonanzfrequenz des Induktors **180** und des Isolationskondensators **184** zumindest eine Oktave niedriger als die Parallelresonanzfrequenz des Induktors **180** und der Parallelkombination der parasitären Kapazität C_p und der Zwischenelektrodenkapazität C_0 ist. Dies setzt die Reihenresonanzfrequenz außerhalb des Durchlassbandes des FACT **300**. Folglich weist der Isolationskondensator **184** eine vernachlässigbare Wirkung auf die Frequenzantwort der Parallelresonanz in dem Durchlassband des FACT **300** auf. Die Kapazität des Isolationskondensators **184** kann alternativ geringer sein als diejenige, die eben beschrieben wurde, in diesem Fall kann die Wirkung des Isolationskondensators **184** auf die Frequenzantwort der Parallelresonanz in dem Durchlassband des FACT **300** jedoch geringer als vernachlässigbar sein.

[0042] [Fig. 3B](#) ist eine schematische Zeichnung, die ein Ausführungsbeispiel **302** eines FACT gemäß der Erfindung zeigt. Der FACT **302** dient zur Verwendung bei einer Anwendung, die derjenigen ähnlich ist, die im Vorhergehenden unter Bezugnahme auf [Fig. 1C](#) beschrieben ist, wobei die Elektroden **112** und **154** geerdet sind und die elektrische Schaltung **142** floatet. Elemente des FACT **302**, der in [Fig. 3B](#) gezeigt ist, die Elementen des FACT **202** entsprechen, der in [Fig. 2B](#) gezeigt ist, sind unter Verwendung der gleichen Bezugszeichen angezeigt und werden hier nicht noch einmal beschrieben. Der FACT **302** weist den Induktor **180** und den Isolationskondensator **184**, die in Reihe zwischen die Elektrode **114** und die Elektrode **122** an gegenüberliegenden Seiten des akustischen Entkopplers **130** geschaltet sind, und den Induktor **181** und einen Isolationskondensator **185** auf, die in Reihe zwischen die Elektrode **154** und die Elektrode **162** an gegenüberliegenden Seiten des akustischen Entkopplers **170** geschaltet sind.

[0043] Der Induktor **180** und der Isolationskondensator **184**, die in Reihe geschaltet sind, verringern einen Stromfluss zwischen der elektrischen Schaltung **141** und der elektrischen Schaltung **142** und isolieren

die elektrische Schaltung **141** auf die im Vorhergehenden beschriebene Weise von der elektrischen Schaltung **142** bei Gleichstrom. Der Induktor **181** und der Isolationskondensator **185**, die in Reihe geschaltet sind, verringern einen Stromfluss zwischen der elektrischen Schaltung **141** und der elektrischen Schaltung **142** und isolieren die elektrische Schaltung **141** auf eine Weise, die derjenigen ähnlich ist, die im Vorhergehenden beschrieben ist, von der elektrischen Schaltung **142** bei Gleichstrom.

[0044] Die [Fig. 4A](#) bis [Fig. 4C](#) sind eine Grundrissansicht bzw. zwei Querschnittsansichten eines Ausführungsbeispiels **400** eines Akustisch-gekoppelter-Filmtransformator-(FACT) Moduls, das einen Teil von praktischen Ausführungsbeispielen eines FACT mit einem hohen Gleichtaktunterdrückungsverhältnis bildet, der im Folgenden beschrieben wird. Elemente des FACT-Moduls **400**, die Elementen des FACT **100** entsprechen, der im Vorhergehenden unter Bezugnahme auf die [Fig. 1A](#) und [Fig. 1B](#) beschrieben ist, sind durch die gleichen Bezugszeichen angezeigt und werden hier nicht noch einmal beschrieben.

[0045] Das FACT-Modul **400** ist aus einem Substrat **102** und entkoppelten gestapelten akustischen Volumenresonatoren (DSBARs) **106** und **108** gebildet. Jeder DSBAR ist aus einem unteren akustischen Filmvolumenresonator (FBAR), einem oberen FBAR und einem akustischen Entkoppler zwischen den FBARs gebildet. Das FACT-Modul **400** ist außerdem aus einer elektrischen Schaltung, die den unteren FBAR **110** des DSBAR **106** mit dem unteren FBAR **150** des DSBAR **108** verbindet, und einer elektrischen Schaltung, die den oberen FBAR **120** des DSBAR **106** mit dem oberen FBAR **160** des DSBAR **108** verbindet, gebildet.

[0046] Bei dem DSBAR **106** ist der untere FBAR **110** aus gegenüberliegenden planaren Elektroden **112** und **114** und einem piezoelektrischen Element **116** zwischen den Elektroden gebildet, und der obere FBAR **120** ist aus gegenüberliegenden planaren Elektroden **122** und **124** und einem piezoelektrischen Element **126** zwischen den Elektroden gebildet. Bei dem DSBAR **108** ist der untere FBAR **150** aus gegenüberliegenden planaren Elektroden **152** und **154** und einem piezoelektrischen Element **156** zwischen den Elektroden gebildet, und der obere FBAR **160** ist aus gegenüberliegenden planaren Elektroden **162** und **164** und einem piezoelektrischen Element **166** zwischen den Elektroden gebildet.

[0047] Bei dem FACT-Modul **400** ist bei dem DSBAR **106** der akustische Entkoppler **130** zwischen dem unteren FBAR **110** und dem oberen FBAR **120** angeordnet; insbesondere 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 zwi-

schen den FBARs **110** und **120**. Der akustische Entkoppler **130** koppelt weniger akustische Energie zwischen den FBARs **110** und **120** als gekoppelt würde, wenn sich die FBARs in direktem Kontakt miteinander befinden würden. Außerdem ist der akustische Entkoppler **170** bei dem DSBAR **108** zwischen den FBARs **150** und **160** angeordnet; insbesondere zwischen der Elektrode **154** des unteren FBAR **150** und der Elektrode **162** des oberen FBAR **160**. Der akustische Entkoppler **170** steuert die Kopplung 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 sich die FBARs in direktem Kontakt miteinander befinden würden. Das Koppeln akustischer Energie, das durch die akustischen Entkoppler **130** und **170** definiert ist, bestimmt die Bandbreite des Durchlassbandes des FACT-Moduls **400**.

[0048] Bei dem Beispiel, das in den [Fig. 4A](#) bis [Fig. 4C](#) gezeigt ist, sind die akustischen Entkoppler **130** und **170** jeweilige Teile einer akustischen Entkopplungsschicht **131**. Die akustische Entkopplungsschicht **131** ist eine Schicht aus akustischem Entkopplungsmaterial. Eine wichtige Eigenschaft des akustischen Entkopplungsmaterials der akustischen Entkopplungsschicht **131** ist eine akustische Impedanz, die sich wesentlich von derjenigen der FBARs **110**, **120**, **150** und **160** unterscheidet. Andere wichtige Eigenschaften des akustischen Entkopplungsmaterials sind ein hoher elektrischer spezifischer Widerstand und eine niedrige dielektrische Permittivität, um eine elektrische Isolation zwischen der Primärwicklung und der Sekundärwicklung des FACT zu liefern.

[0049] Die akustische Entkopplungsschicht **131** weist eine nominale Dicke t zwischen den Elektroden **114** und **122** und zwischen den Elektroden **154** und **162** auf, die gleich einem ungeraden ganzzahligen Vielfachen eines Viertels der Wellenlänge λ_n in dem akustischen Entkopplungsmaterial eines akustischen Signals ist, das frequenzmäßig gleich der Mittenfrequenz des Durchlassbandes des FACT-Moduls **400** ist, d. h. $t = (2m + 1)\lambda_n/4$, wobei m eine Ganzzahl ist, die größer oder gleich Null ist. Eine derartige akustische Entkopplungsschicht bewirkt eine Phasenänderung eines ungeraden ganzzahligen Vielfachen von $\pi/2$ Radian bei einem akustischen Signal, das eine Frequenz aufweist, die nominal gleich der Mittenfrequenz des Durchlassbandes des FACT-Moduls **400** ist. Eine akustische Entkopplungsschicht, die sich von der nominalen Dicke um etwa $\pm 10\%$ von $\lambda_n/4$ unterscheidet, kann alternativ dazu verwendet werden. Eine Dicke-Toleranz außerhalb dieses Bereichs kann mit einer gewissen Leistungsver schlechterung verwendet werden, aber die Dicke der akustischen Entkopplungsschicht **131** sollte sich erheblich von einem ganzzahligen Vielfachen von $\lambda_n/2$ unterscheiden.

[0050] Ausführungsbeispiele des FACT-Moduls **400**, die ein Ausführungsbeispiel der akustischen Entkopplungsschicht **131** umfassen, bei dem der Wert der Ganzzahl m Null ist ($t = \lambda_n/4$), weisen eine Frequenzantwort auf, die sich wesentlich näher an einer idealen Frequenzantwort befindet als Ausführungsbeispiele, bei denen die akustische Entkopplungsschicht eine nominale Dicke aufweist, die größer als $\lambda_n/4$ ($m > 0$) ist. Ein derartiges Ausführungsbeispiel der akustischen Entkopplungsschicht wird als eine akustische Entkopplungsschicht minimaler Dicke bezeichnet. Eine akustische Entkopplungsschicht minimaler Dicke bewirkt eine Phasenänderung von $\pi/2$ Radian bei einem akustischen Signal, das eine Frequenz aufweist, die nominal gleich der Mittenfrequenz des Durchlassbandes des FACT-Moduls **400** ist. Die Frequenzantwort von Ausführungsbeispielen des FACT-Moduls, die eine akustische Entkopplungsschicht minimaler Dicke aufweisen, weist nicht die im Vorhergehenden erwähnten störenden Antwortartefakte auf, die von Ausführungsbeispielen gezeigt werden, bei denen die nominale Dicke der akustischen Entkopplungsschicht größer als das Minimum ist. Wie es im Vorhergehenden erwähnt ist, wurde eine glatte Frequenzantwort bislang auf Kosten dessen erhalten, dass der parasitäre Kondensator C_p eine wesentlich größere Kapazität aufweist, und Ausführungsbeispiele, die eine glatte Frequenzantwort aufweisen, hatten deshalb normalerweise ein geringes Gleichtaktunterdrückungsverhältnis. Ausführungsbeispiele des FACT gemäß der Erfindung verwenden einen Induktor, um die Wirkung der hohen parasitären Kapazität zu verringern, die sich aus einer akustischen Entkopplungsschicht minimaler Dicke ergibt. Somit weisen Ausführungsbeispiele des FACT gemäß der Erfindung sowohl ein hohes CMRR als auch die glatte Frequenzantwort auf, die durch die akustische Entkopplungsschicht minimaler Dicke geliefert wird.

[0051] Ein Induktor, oder ein Induktor und ein Sperrkondensator in Reihe, können bei einem beliebigen Bauelement, wie z. B. einem akustisch gekoppelten Transformator oder einem Bandpassfilter, das ein oder mehr DSBARs umfasst, zwischen die Elektroden, die an gegenüberliegenden Seiten des akustischen Entkopplers angeordnet sind, geschaltet sein, um die Wirkung der parasitären Kapazität zwischen den Bestandteil-FBARs auf die Eigenschaften des Bauelements zu verringern. Derartige Bauelemente werden allgemein als DSBAR-Bauelemente bezeichnet. Ein Verringern der Wirkung der parasitären Kapazität ermöglicht, dass die Vorteile des Verwendens eines akustischen Entkopplers minimaler Dicke bei jedem beliebigen DSBAR-Bauelement erhalten werden können.

[0052] Viele Kunststoffmaterialien weisen akustische Impedanzen in dem im Vorhergehenden angegebenen Bereich auf und können in Schichten gleich-

mäßiger Dicke in den im Vorhergehenden angegebenen Dickebereichen angewendet werden. Derartige Kunststoffmaterialien sind deshalb potentiell zur Verwendung als das akustische Entkopplungsmaterial der akustischen Entkopplungsschicht **131** geeignet, die die akustischen Entkoppler **130** und **170** liefert. Das akustische Entkopplungsmaterial muss jedoch auch in der Lage sein, den Temperaturen der Herstellungsoperationen zu widerstehen, die durchgeführt werden, nachdem die akustische Entkopplungsschicht **131** auf die Elektroden **114** und **154** aufgebracht worden ist, um die akustischen Entkoppler **130** und **170** zu bilden. Die Elektroden **122**, **124**, **162** und **164** und die piezoelektrischen Elemente **126** und **166** werden durch Sputtern aufgebracht, nachdem die akustische Entkopplungsschicht **131** aufgebracht worden ist. Temperaturen von bis zu 300°C werden während dieser Aufbringungsprozesse erreicht. Somit wird ein Kunststoff, der bei derartigen Temperaturen stabil bleibt, als das akustische Entkopplungsmaterial verwendet.

[0053] Bei einem Ausführungsbeispiel wird ein Polyimid als das akustische Entkopplungsmaterial der Schicht **131** verwendet. Polyimid wird unter dem Warenzeichen Kapton[®] von E.I. du Pont de Nemours and Company vertrieben. Bei einem derartigen Ausführungsbeispiel sind die akustischen Entkoppler **130** und **170** aus einer Schicht **131** aus Polyimid gebildet, die auf die Elektroden **114** und **154** durch Schleuderbeschichtung aufgebracht wird. Polyimid weist eine akustische Impedanz von etwa 4 Megarayleigh (Mrayl) auf.

[0054] Bei einem weiteren Ausführungsbeispiel wird ein Poly-(Para-Xylylen) als das akustische Entkopplungsmaterial der Schicht **131** verwendet. Bei einem derartigen Ausführungsbeispiel sind die akustischen Entkoppler **130** und **170** aus einer Schicht **131** aus Poly-(Para-Xylylen) gebildet, die durch Vakuumaufbringung auf die Elektroden **114** und **154** aufgebracht wird. Poly-(Para-Xylylen) ist in der Technik auch als Parylen bekannt. Der Dimer-Vorläufer Di-Para-Xylylen, aus dem Parylen hergestellt wird, und eine Ausrüstung zum Durchführen einer Vakuumaufbringung von Schichten von Parylen sind von vielen Lieferanten erhältlich. Parylen weist eine akustische Impedanz von etwa 2,8 Mrayl auf.

[0055] Bei einem weiteren Ausführungsbeispiel ist das akustische Entkopplungsmaterial der akustischen Entkopplungsschicht **131** ein vernetztes Polyphenylenpolymer. Bei einem derartigen Ausführungsbeispiel ist die akustische Entkopplungsschicht **131** eine Schicht aus einem vernetzten Polyphenylenpolymer. Vernetzte Polyphenylenpolymere wurden als dielektrische Materialien mit einer niedrigen dielektrischen Konstante zur Verwendung bei integrierten Schaltungen entwickelt und bleiben folglich bei den hohen Temperaturen stabil, denen die akus-

tische Entkopplungsschicht **131** während der nachfolgenden Herstellung der FBARs **120** und **160** eingesetzt wird. Die Erfinder haben herausgefunden, dass vernetzte Polyphenylenpolymere außerdem eine berechnete akustische Impedanz von etwa 2 Mrayl aufweisen. Diese akustische Impedanz befindet sich in dem Bereich von akustischen Impedanzen, der dem FACT-Modul **400** eine nützliche Durchlassbandbreite liefert.

[0056] Vorläuferlösungen, die verschiedene Oligomere enthalten, die sich polymerisieren, um jeweilige vernetzte Polyphenylenpolymere zu bilden, werden unter dem Warenzeichen SiLK von The Dow Chemical Company, Midland, MI, vertrieben. Die Vorläuferlösungen werden durch Schleuderbeschichtung aufgebracht. Das vernetzte Polyphenylenpolymer, das von einer dieser Vorläuferlösungen erhalten wird, die als SiLK™ J bezeichnet wird, die außerdem einen Haftungspromotor enthält, weist eine berechnete akustische Impedanz von 2,1 Mrayl, d. h. etwa 2 Mrayl auf.

[0057] Die Oligomere, die sich polymerisieren, um vernetzte Polyphenylenpolymere zu bilden, werden aus Biscyclopentadienon und aromatisches Acetylen enthaltenden Monomeren hergestellt. Ein Verwenden derartiger Monomere bildet lösliche Oligomere ohne die Notwendigkeit einer unangemessenen Substitution. Die Vorläuferlösung enthält ein spezifisches Oligomer, das in Gammabutyrolacton- und Cyclohexanon-Lösungsmitteln aufgelöst ist. Der Anteil des Oligomers in der Vorläuferlösung bestimmt die Schichtdicke, wenn die Vorläuferlösung aufgeschleudert wird. Nach der Aufbringung verdampft ein Anwenden von Hitze die Lösungsmittel, härtet dann das Oligomer, 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 Härten führt zu dem vernetzten Polyphenylenpolymer. Die im Vorhergehenden beschriebenen vernetzten Polyphenylenpolymere sind von Godschalx u. a. in dem U.S.-Patent Nr. 5,965,679 offenbart. Zusätzliche praktische Details sind von Martin u. a., Development of Low-Dielectric Constant Polymer for the Fabrication of Integrated Circuit Interconnect, 12 ADVANCED MATERIALS, 1769 (2000), beschrieben. Verglichen mit Polyimid weisen vernetzte Polyphenylenpolymere eine niedrigere akustische Impedanz, eine niedrigere akustische Dämpfung und eine niedrigere dielektrische Konstante auf. Außerdem ist eine aufgeschleuderte Schicht der Vorläuferlösung in der Lage, einen qualitativ hochwertigen Film des vernetzten Polyphenylenpolymers mit einer Dicke der Größenordnung von 200 nm zu erzeugen, wobei es sich um eine typische Dicke der akustischen Entkopplungsschicht **131** handelt.

[0058] Bei einem weiteren Ausführungsbeispiel sind

die akustischen Entkoppler **130** und **170** aus akustischen Entkopplungsschichten (nicht gezeigt) aus akustischen Entkopplungsmaterialien gebildet, die unterschiedliche akustische Impedanzen aufweisen, wie es in der U.S.-Patentanmeldung Serien-Nr. XX/XXX,XXX von John D. Larson III und Stephen Ellis mit dem Titel Pass Bandwidth Control in Decoupled Stacked Bulk Acoustic Resonator Devices beschrieben ist. Die akustischen Impedanzen und Dicken der akustischen Entkopplungsschichten definieren zusammen die akustische Impedanz der akustischen Entkoppler **130** und **170** und die Phasenänderung, die durch dieselben bewirkt wird. Die akustische Impedanz der akustischen Entkoppler definiert wiederum die Durchlassbandbreite des FACT-Moduls **400**.

[0059] Bei einem exemplarischen Ausführungsbeispiel waren die akustischen Entkoppler aus einer akustischen Entkopplungsschicht aus vernetztem Polyphenylenpolymer auf einer akustischen Entkopplungsschicht aus Polyimid gebildet. Derartige akustische Entkoppler liefern ein Ausführungsbeispiel des FACT-Moduls **400** mit einer Durchlassbandbreite, die zwischen den Durchlassbandbreiten von Ausführungsbeispielen liegt, bei denen die akustischen Entkoppler aus einer einzigen akustischen Entkopplungsschicht **131** aus Polyimid gebildet sind oder aus einer einzigen akustischen Entkopplungsschicht **131** aus dem vernetzten Polyphenylenpolymer gebildet sind.

[0060] Bei einem alternativen Ausführungsbeispiel weist das akustische Entkopplungsmaterial der akustischen Entkopplungsschicht **131** eine akustische Impedanz auf, die wesentlich größer als bei den Materialien der FBARs **110** und **120** ist. Keine Materialien, die diese Eigenschaft aufweisen, sind derzeit bekannt, es kann jedoch sein, dass derartige Materialien in Zukunft verfügbar werden, oder dass FBAR-Materialien geringerer akustischer Impedanz in Zukunft verfügbar werden. Die Dicke der akustischen Entkopplungsschicht **131** aus einem derartigen akustischen Entkopplungsmaterial hoher akustischer Impedanz ist wie im Vorhergehenden beschrieben.

[0061] Bei einem weiteren Ausführungsbeispiel (nicht gezeigt) umfassen die akustischen Entkoppler **130** und **170** jeder eine Bragg-Struktur, die aus einem Bragg-Element niedriger akustischer Impedanz gebildet ist, das sandwichartig zwischen Bragg-Elementen hoher akustischer Impedanz angeordnet ist. Das Bragg-Element niedriger akustischer Impedanz ist eine Schicht aus einem Material niedriger akustischer Impedanz, wohingegen die Bragg-Elemente hoher akustischer Impedanz jedes eine Schicht aus Material hoher akustischer Impedanz sind. Die akustischen Impedanzen der Bragg-Elemente sind als „niedrig“ und „hoch“ bezüglich einander und außer-

dem bezüglich der akustischen Impedanz des piezoelektrischen Materials der Schichten **116**, **126**, **156** und **166** charakterisiert. Zumindest eines der Bragg-Elemente weist außerdem einen hohen elektrischen spezifischen Widerstand und eine niedrige dielektrische Permittivität auf, um eine elektrische Isolation zwischen Eingang und Ausgang des FACT-Moduls **400** zu liefern.

[0062] Jede der Schichten, die die Bragg-Elemente bilden, weist eine nominale Dicke auf, die gleich einem ungeraden ganzzahligen Vielfachen eines Viertels der Wellenlänge in dem Material der Schicht eines akustischen Signals ist, das frequenzmäßig gleich der Mittenfrequenz des FACT-Moduls **400** ist. Schichten, die sich von der nominalen Dicke um etwa $\pm 10\%$ eines Viertels der Wellenlänge unterscheiden, können alternativ dazu verwendet werden. Eine Dicken-Toleranz außerhalb dieses Bereichs kann bei gewisser Leistungsver schlechterung verwendet werden, aber die Dicke der Schichten sollte sich wesentlich von einem ganzzahligen Vielfachen der Hälfte der Wellenlänge unterscheiden.

[0063] Bei einem Ausführungsbeispiel ist das Bragg-Element niedriger akustischer Impedanz eine Schicht aus Siliziumdioxid (SiO_2), das eine akustische Impedanz von etwa 13 Mrayl aufweist, und jedes der Bragg-Elemente hoher akustischer Impedanz ist eine Schicht aus dem gleichen Material wie die Elektroden **114**, **122**, **154** und **162**, z. B. Molybdän, das eine akustische Impedanz von etwa 63 Mrayl aufweist. Ein Verwenden des gleichen Materials für die Bragg-Elemente hoher akustischer Impedanz und die Elektroden der FBARs **110**, **120**, **150** und **160** ermöglicht, dass die Bragg-Elemente hoher akustischer Impedanz zusätzlich als die Elektroden der FBARs dienen, die benachbart zu den akustischen Kopplungselementen sind.

[0064] Der DSBAR **106** und der DSBAR **108** sind benachbart zueinander über einem Hohlraum **104** hängend angeordnet, der in einem Substrat **102** definiert ist. Das Hängen der DSBARs über einem Hohlraum ermöglicht, dass die gestapelten FBARs bei jedem DSBAR mechanisch in Resonanz sind. Andere Aufhängungsschemata, die ermöglichen, dass die gestapelten FBARs mechanisch in Resonanz sind, sind möglich. Zum Beispiel können die DSBARs über einem fehlangepassten akustischen Bragg-Reflektor (nicht gezeigt) angeordnet sein, der in oder auf dem Substrat **102** gebildet ist, wie es durch Lakin in dem U.S.-Patent Nr. 6,107,721 offenbart ist.

[0065] Unter zusätzlicher Bezugnahme auf [Fig. 2A](#) liefert eine Bondanschlussfläche **138**, die auf der Hauptoberfläche des Substrats **102** angeordnet ist, den Signalanschluss **143** der elektrischen Schaltung **141** des FACT-Moduls **400**. Eine Bondanschlussfläche **132**, die auf der Hauptoberfläche des Substrats

102 angeordnet ist, und eine Bondanschlussfläche **172**, die auf der Hauptoberfläche einer piezoelektrischen Schicht **117** angeordnet ist, die die piezoelektrischen Elemente **116** und **156** liefert, bilden zusammen den Masseanschluss **144** der elektrischen Schaltung **141**. Eine Zwischenverbindungsanschlussfläche **176**, die auf der Hauptoberfläche des Substrats angeordnet ist, eine elektrische Bahn **177**, die sich von der Elektrode **152** zu der Zwischenverbindungsanschlussfläche **176** erstreckt, eine Zwischenverbindungsanschlussfläche **136** in elektrischem Kontakt mit der Zwischenverbindungsanschlussfläche **176**, eine elektrische Bahn **137**, die sich von der Elektrode **114** zu der Zwischenverbindungsanschlussfläche **136** erstreckt, und eine elektrische Bahn **139**, die sich von der Zwischenverbindungsanschlussfläche **176** zu der Bondanschlussfläche **138** erstreckt, bilden den Teil der elektrischen Schaltung **141**, der die Elektrode **114** des FBAR **110** mit der Elektrode **152** des FBAR **150** und mit dem Signalanschluss **143** elektrisch verbindet. Eine elektrische Bahn **133**, die sich von der Elektrode **112** zu der Bondanschlussfläche **132** erstreckt, eine elektrische Bahn **167**, die sich von der Bondanschlussfläche **132** zu der Bondanschlussfläche **172** erstreckt, und eine elektrische Bahn **173**, die sich von der Elektrode **154** zu der Bondanschlussfläche **172** erstreckt, bilden den Teil der elektrischen Schaltung **141**, der die Elektrode **112** des FBAR **110** elektrisch mit der Elektrode **154** des FBAR **150** verbindet.

[0066] Eine Bondanschlussfläche **134** und eine Bondanschlussfläche **174**, die auf der Hauptoberfläche der piezoelektrischen Schicht **127** angeordnet sind, die die piezoelektrischen Elemente **126** und **166** liefert, bilden Signalanschlüsse **145** und **146** der elektrischen Schaltung **142**. Eine Bondanschlussfläche **178**, die auf der Hauptoberfläche der akustischen Entkopplungsschicht **131** angeordnet ist, bildet den Mittelabgriffanschluss **147** der elektrischen Schaltung **142**. Bondanschlussflächen **163** und **168**, die auf der Hauptoberfläche der piezoelektrischen Schicht **127** angeordnet sind, liefern zusätzliche Masseverbindungen.

[0067] Eine elektrische Bahn **171**, die sich zwischen der Elektrode **122** und der Elektrode **162** über die Oberfläche der akustischen Entkopplungsschicht **131** erstreckt, und eine elektrische Bahn **179**, die sich zwischen der elektrischen Bahn **171** und der Bondanschlussfläche **178** erstreckt, bilden den Teil der elektrischen Schaltung **142**, der den FBAR **120** und den FBAR **160** in Reihe und mit dem Mittelabgriffanschluss **147** verbindet. Eine elektrische Bahn **135**, die sich zwischen der Elektrode **124** und der Bondanschlussfläche **134** erstreckt, und eine elektrische Bahn **175**, die sich zwischen der Elektrode **154** und der Bondanschlussfläche **174** erstreckt, bilden den Teil der elektrischen Schaltung **142**, der den FBAR **120** und den FBAR **160** mit den Signalanschlüssen

145 und **146** verbindet. Eine elektrische Bahn **169** erstreckt sich zwischen der Bondanschlussfläche **163** und der Bondanschlussfläche **168**, die die Masseanschlüsse der elektrischen Schaltung **142** liefern. Bei diesem Ausführungsbeispiel erstreckt sich die elektrische Bahn **169** außerdem zu der Bondanschlussfläche **178**, um den Mittelabgriffanschluss **147** ([Fig. 2A](#)) mit der Masse der elektrischen Schaltung **142** zu verbinden.

[0068] Tausende von FACT-Modulen, die dem FACT-Modul **400** ähnlich sind, werden gleichzeitig durch eine Herstellung im Wafermaßstab hergestellt. Eine derartige Herstellung im Wafermaßstab macht die FACT-Module kostengünstig in der Herstellung. Ein exemplarischer Herstellungsprozess, der mit unterschiedlichen Masken verwendet werden kann, um Ausführungsbeispiele des FACT-Moduls **400** herzustellen, ist im Folgenden beschrieben.

[0069] [Fig. 5](#) ist eine Grundrissansicht eines ersten praktischen Ausführungsbeispiels **500** eines FACT mit erhöhtem CMRR gemäß der Erfindung. Elemente des FACT **500**, die dem FACT-Modul **400** entsprechen, das in den [Fig. 4A](#) bis [Fig. 4C](#) gezeigt ist, sind unter Verwendung der gleichen Bezugszeichen angezeigt und werden hier nicht noch einmal beschrieben.

[0070] Der FACT **500** ist aus dem FACT-Modul **400**, einer Tochterplatine **511** und dem Induktor **180** ([Fig. 2A](#)) gebildet, der bei dem gezeigten Beispiel als ein Oberflächenbefestigungsinduktor **513** ausgeführt ist. In einer leitfähigen Schicht auf der Hauptoberfläche **515** der Tochterplatine **511** definiert sind Bondanschlussflächen **521**, **522**, **523**, **524**, **525**, **526**, **527** und **528**, Anschluss-Anschlussflächen **531**, **532**, **533**, **534**, **535**, **536**, **537** und **538** und Anbringungsanschlussflächen **541** und **543**. Ebenfalls in der leitfähigen Schicht der Tochterplatine **511** definiert sind eine Bahn **551**, die sich zwischen der Bondanschlussfläche **521** und der Anschluss-Anschlussfläche **531** erstreckt; eine Bahn **552**, die sich zwischen der Bondanschlussfläche **522** und der Anschluss-Anschlussfläche **532** erstreckt; eine Bahn **553**, die sich zwischen der Bondanschlussfläche **523** und der Anschluss-Anschlussfläche **533** erstreckt; eine Bahn **554**, die sich zwischen der Bondanschlussfläche **524** und der Anschluss-Anschlussfläche **534** erstreckt; eine Bahn **555**, die sich zwischen der Bondanschlussfläche **525** und der Anschluss-Anschlussfläche **535** erstreckt; eine Bahn **556**, die sich zwischen der Bondanschlussfläche **526** und der Anschluss-Anschlussfläche **536** erstreckt; eine Bahn **557**, die sich zwischen der Bondanschlussfläche **527** und der Anschluss-Anschlussfläche **537** erstreckt; und eine Bahn **558**, die sich zwischen der Bondanschlussfläche **528** und der Anschluss-Anschlussfläche **538** erstreckt.

[0071] Ebenfalls in der leitfähigen Schicht der Tochterplatine **511** definiert sind eine Bahn **561**, die sich zwischen der Bondanschlussfläche **526** und der Anbringungsanschlussfläche **541** erstreckt, und eine Bahn **563**, die sich zwischen der Bondanschlussfläche **522** und der Anbringungsanschlussfläche **543** erstreckt.

[0072] Das FACT-Modul **400** ist auf der Hauptoberfläche **515** der Tochterplatine **511** mit Bondanschlussflächen **172**, **138**, **132**, **163**, **134**, **178**, **174** und **168** gegenüber Bondanschlussflächen **521**, **522**, **523**, **524**, **525**, **526**, **527** bzw. **528** befestigt. Bonddrähte **571**, **572**, **573**, **574**, **575**, **576**, **577** und **578** erstrecken sich zwischen den Bondanschlussflächen **172**, **138**, **132**, **163**, **134**, **178**, **174** bzw. **168** des FACT-Moduls **400** und den Bondanschlussflächen **521**, **522**, **523**, **524**, **525**, **526**, **527** bzw. **528** der Tochterplatine **511** und verbinden dieselben elektrisch.

[0073] Alternativ dazu ist das FACT-Modul **400** mit Anschluss-Anschlussflächen (nicht gezeigt) konfiguriert, die auf der Hauptoberfläche (nicht gezeigt) des Substrats **102** gegenüber einer Hauptoberfläche **103** auf eine Weise angeordnet sind, die derjenigen ähnlich ist, die im Folgenden unter Bezugnahme auf die [Fig. 8A](#) bis [Fig. 8C](#) beschrieben ist. Die Anschluss-Anschlussflächen sind elektrisch durch Durchgangslöcher (nicht gezeigt), die sich durch das Substrat zu den Bondanschlussflächen **172**, **138**, **132**, **163**, **134**, **178**, **174** und **168** erstrecken, verbunden. Die Bondanschlussflächen **521**, **522**, **523**, **524**, **525**, **526**, **527** bzw. **529** sind auf der Hauptoberfläche **515** der Tochterplatine **511** in Positionen angeordnet, die den Positionen der Anschluss-Anschlussflächen an dem FACT-Modul **400** entsprechen. Das FACT-Modul **400** wird dann an der Tochterplatine **511** befestigt, wobei die Anschluss-Anschlussflächen an dem FACT-Modul mit den Bondanschlussflächen an der Tochterplatine unter Verwendung von Lötmittelhöckern oder einer anderen geeigneten Verbindungstechnik verbunden sind.

[0074] Der Oberflächenbefestigungsinduktor **513** ist an den Anbringungsanschlussflächen **541** und **543** befestigt. Alternativ dazu kann ein Nicht-Oberflächenbefestigungsinduktor elektrisch mit den Anbringungsanschlussflächen **541** und **543** verbunden sein.

[0075] Bei dem FACT **500** ist ein Ende des Induktors **513** mit der Elektrode **122** des FBAR **120** ([Fig. 4B](#)) elektrisch durch die Anbringungsanschlussfläche **541**, die Bahn **561**, die Bondanschlussfläche **526**, den Bonddraht **576**, die Bondanschlussfläche **178**, die Bahn **179** und einen Teil der Bahn **171** ([Fig. 4A](#)) verbunden. Außerdem ist das andere Ende des Induktors **513** mit der Elektrode **114** des FBAR **110** elektrisch durch die Anbringungsanschlussfläche **543**, die Bahn **563**, die Bondan-

schlussfläche **522**, den Bonddraht **572**, die Bondanschlussfläche **138**, die Bahn **139**, die Zwischenverbindungsanschlussflächen **176** und **136** und die Bahn **137** verbunden. Somit ist der Induktor **513** mit den Elektroden **114** und **122** an gegenüberliegenden Seiten des akustischen Entkopplers **130** auf eine Weise verbunden, die derjenigen ähnlich ist, die in [Fig. 2A](#) gezeigt ist.

[0076] Bei einem Beispiel des FACT **500**, der zum Betrieb bei einer Frequenz von etwa 1,9 GHz strukturiert war, bei dem die akustischen Entkoppler **130** und **170** eine nominale Dicke aufwiesen, die gleich einem Viertel der Wellenlänge in dem akustischen Entkopplungsmaterial eines akustischen Signals war, das frequenzmäßig gleich der Mittenfrequenz des Durchlassbandes des FACT war, betrug der parasitäre Kondensator C_p zwischen den Elektroden **114** und **122** etwa 1 pF, die Kapazität C_0 zwischen den Eingangsanschlüssen **143** und **144** ([Fig. 2A](#)) betrug etwa 1,2 pF, und die Induktivität des Induktors **513** betrug etwa 3,2 nH.

[0077] [Fig. 6](#) ist eine Grundrissansicht eines zweiten praktischen Ausführungsbeispiels **502** eines FACT mit erhöhtem CMRR gemäß der Erfindung. Elemente des FACT **502**, die dem FACT-Modul **500**, das in [Fig. 5](#) gezeigt ist, und dem FACT-Modul **400**, das in den [Fig. 4A](#) bis [Fig. 4C](#) gezeigt ist, entsprechen, sind unter Verwendung der gleichen Bezugszeichen angezeigt und werden hier nicht noch einmal beschrieben.

[0078] Bei dem FACT **502** ist der Induktor **180** als eine Spiralbahn **514** ausgeführt, die in der leitfähigen Schicht der Tochterplatine **511** definiert ist. Bei diesem Ausführungsbeispiel ist die Tochterplatine **511** eine Mehrschichtplatine, und eine Bahn **565** befindet sich auf einer Ebene unter der Hauptoberfläche **515** der Tochterplatine. Die Bahn **565** ist mit der Spiralbahn **514** und mit einer Bahn **563** durch Durchgangslöcher **516** verbunden. Alternativ dazu kann der Induktor **180** als eine schlangenförmige Bahn ausgeführt sein, die in der leitfähigen Schicht der Tochterplatine **511** definiert ist. In diesem Fall muss die Tochterplatine **511** keine Mehrschichtplatine sein.

[0079] [Fig. 7](#) ist eine Grundrissansicht eines dritten praktischen Ausführungsbeispiels **504** eines FACT mit erhöhtem CMRR gemäß der Erfindung. Der FACT **504** liefert eine Gleichstromisolation zwischen den elektrischen Schaltungen **141** und **142** ([Fig. 3A](#)). Elemente des FACT **504**, die dem FACT-Modul **500**, das in [Fig. 5](#) gezeigt ist, und dem FACT-Modul **400**, das in den [Fig. 4A](#) bis [Fig. 4C](#) gezeigt ist, entsprechen, sind unter Verwendung der gleichen Bezugszeichen angezeigt und werden hier nicht noch einmal beschrieben.

[0080] Der FACT **504** ist aus dem FACT-Modul **400**,

der Tochterplatine **511**, dem Induktor **180** ([Fig. 3A](#)), der bei dem gezeigten Beispiel als ein Oberflächenbefestigungsinduktor **513** ausgeführt ist, und einem Isolationskondensator **184** ([Fig. 3A](#)), der bei dem gezeigten Beispiel als ein Oberflächenbefestigungskondensator **517** ausgeführt ist, gebildet. Außerdem sind in einer leitfähigen Schicht auf der Hauptoberfläche **515** der Tochterplatine **511** Anbringungsanschlussflächen **545** und **547** und Leiterbahnen **565** und **567** definiert. Die Leiterbahn **565** erstreckt sich zwischen der Anbringungsanschlussfläche **543** und der Anbringungsanschlussfläche **545**, und die Leiterbahn **567** erstreckt sich zwischen der Anbringungsanschlussfläche **547** und der Bondanschlussfläche **522**.

[0081] Der Oberflächenbefestigungsinduktor **513** ist an den Anbringungsanschlussflächen **541** und **543** befestigt, wie es im Vorhergehenden beschrieben ist. Der Oberflächenbefestigungskondensator **517** ist an den Anbringungsanschlussflächen **545** und **547** befestigt. Alternativ dazu kann ein Nicht-Oberflächenbefestigungsinduktor elektrisch mit den Anbringungsanschlussflächen **541** und **543** verbunden sein, und/oder ein Nicht-Oberflächenbefestigungsisolationskondensator kann elektrisch mit den Anbringungsanschlussflächen **545** und **547** verbunden sein. Ein Induktor, der in der leitfähigen Schicht der Tochterplatine **511** ähnlich der Spiralbahn **514** definiert ist, die im Vorhergehenden unter Bezugnahme auf [Fig. 6](#) beschrieben ist, kann die Anbringungsanschlussflächen **541** und **543** und den Oberflächenbefestigungsinduktor **513** ersetzen.

[0082] Bei dem FACT **504** ist ein Ende des Induktors **513** mit der Elektrode **122** des FBAR **120** ([Fig. 4B](#)) elektrisch durch die Anbringungsanschlussfläche **541**, die Bahn **561**, die Bondanschlussfläche **526**, den Bonddraht **576**, die Bondanschlussfläche **178**, die Bahn **179** ([Fig. 4A](#)) und einen Teil der Bahn **171** ([Fig. 4A](#)) verbunden. Das andere Ende des Induktors **513** ist mit einem Ende des Isolationskondensators **517** elektrisch durch die Anbringungsanschlussfläche **543**, die Bahn **565** und die Anbringungsanschlussfläche **545** verbunden. Das andere Ende des Isolationskondensators **517** ist mit der Elektrode **114** des FBAR **110** durch die Anbringungsanschlussfläche **547**, die Bahn **567**, die Bondanschlussfläche **522**, den Bonddraht **572**, die Bondanschlussfläche **138**, die Bahn **139**, die Zwischenverbindungsanschlussfläche **176**, die Zwischenverbindungsanschlussfläche **136** und die Bahn **137** verbunden. Somit sind der Induktor **513** und der Isolationskondensator **517**, die in Reihe geschaltet sind, mit den Elektroden **114** und **122** an gegenüberliegenden Seiten des akustischen Entkopplers **130** auf eine Weise verbunden, die derjenigen ähnlich ist, die in [Fig. 3A](#) gezeigt ist.

[0083] Bei einem Beispiel, das demjenigen ähnlich ist, das im Vorhergehenden unter Bezugnahme auf

Fig. 5 beschrieben ist, bei dem der parasitäre Kondensator C_p etwa 1 pF betrug, und die Zwischenanschlusskapazität C_0 etwa 1,2 pF betrug, wies der Isolationskondensator **517** eine Kapazität von etwa 8 pF und eine Durchbruchspannung von mehr als der maximalen Gleichspannung auf, die zwischen den elektrischen Schaltungen **141** und **142** (**Fig. 3A**) spezifiziert war.

[0084] Jeder der FACTs **500**, **600** und **700** wird durch ein Befestigen der Tochterplatine **511** an der gedruckten Schaltungsplatine einer elektronischen Hostvorrichtung (nicht gezeigt), wie z. B. einem Zellulartelefon, und ein Herstellen elektrischer Verbindungen zwischen den Anschluss-Anschlussflächen **531**, **532**, **533**, **534**, **535**, **536**, **537** und **538** und entsprechenden Anschlussflächen an der gedruckten Schaltungsplatine verwendet. Viele Techniken sind in der Technik zum Befestigen einer Tochterplatine an einer gedruckten Schaltungsplatine bekannt und werden deshalb hier nicht beschrieben. Die Tochterplatine **511** kann alternativ so strukturiert sein, dass dieselbe an der gedruckten Schaltungsplatine der elektronischen Hostvorrichtung als ein Flip-Chip oder unter Verwendung von Lötmitelhöckern befestigt werden kann.

[0085] Die **Fig. 8A**, **Fig. 8B** und **Fig. 8C** sind eine Grundrissansicht, eine Seitenansicht bzw. eine Querschnittsansicht entlang der Schnittlinie 8C-8C in **Fig. 8A** eines vierten praktischen Ausführungsbeispiels **600** eines FACT mit einem hohen CMRR gemäß der Erfindung. Bei dem FACT **600** sind die DSBARs **106** und **108**, die elektrischen Schaltungen **141** und **142** und der Induktor **181** in einer hermetischen Umhüllung umschlossen, zu der das Substrat des FACT-Moduls gehört. Die **Fig. 8D** und **Fig. 8E** sind jeweils Grundrissansichten eines Ausführungsbeispiels **601** des FACT-Moduls **400** und eines Hilfssubstrats **611**, die zusammen mit einer Ringdichtung **607** den FACT **600** bilden. Elemente des FACT **600**, die dem FACT-Modul **400** entsprechen, das in den **Fig. 4A** bis **Fig. 4C** gezeigt ist, sind unter Verwendung der gleichen Bezugszeichen angezeigt und werden hier nicht noch einmal beschrieben.

[0086] Der FACT **600** ist aus dem Ausführungsbeispiel **601** des FACT-Moduls **400**, das im Vorhergehenden unter Bezugnahme auf die **Fig. 4A** bis **Fig. 4C** beschrieben ist, dem Hilfssubstrat **611**, der Ringdichtung **607** und dem Induktor **180** (**Fig. 2A**) gebildet, der bei dem gezeigten Beispiel als ein Oberflächenbefestigungsinduktor **613** ausgeführt ist. **Fig. 8D** ist eine Grundrissansicht des FACT-Moduls **601**, das einen Teil des FACT **600** bildet. Das FACT-Modul **601** weist ein Substrat **602** auf, das relativ zu dem Substrat **102** des Ausführungsbeispiels des FACT-Moduls **400**, das im Vorhergehenden unter Bezugnahme auf die **Fig. 4A** bis **Fig. 4C** beschrieben ist, in der x- und y-Richtung erweitert ist. Eine

Ringanschlussfläche **605** ist auf der Hauptoberfläche **609** des Substrats **602** angeordnet, die die DSBARs **106** und **108** (**Fig. 4A**) und die Bondanschlussflächen **172**, **138**, **132**, **163**, **134**, **178**, **174** und **168** umgibt. Die Bondanschlussflächen **132** und **138** und die Zwischenverbindungsanschlussfläche **176** sind auf der Hauptoberfläche **609** angeordnet. Die Ringdichtung **607** weist normalerweise eine Abmessung in der z-Richtung von mehr als der Summe der z-Richtungsabmessungen des DSBAR **106** oder des DSBAR **108** und des Oberflächenbefestigungsinduktors **613** auf und ist an der Ringanschlussfläche **605** angeordnet.

[0087] Eine Anschluss-Anschlussfläche ist auf der Hauptoberfläche **615** des Substrats **602** gegenüber jeder der Bondanschlussflächen **172**, **138**, **132**, **163**, **134**, **178**, **174** und **168** angeordnet. Die Hauptoberfläche **615** liegt der Hauptoberfläche **609** gegenüber. Ein leitfähiges Durchgangsloch erstreckt sich durch das Substrat **602** von jeder der Verbindungsanschlussflächen **132**, **138**, **178**, **168** und **172** zu ihrer jeweiligen Anbringungsanschlussfläche. Die Orte der Durchgangslöcher **621**, **622**, **623**, **624**, **625**, **626**, **627** und **628** sind in **Fig. 8D** mit gestrichelten Linien angezeigt. Die Seitenansicht von **Fig. 8B** zeigt Anschluss-Anschlussflächen **631** und **638**, die auf der Hauptoberfläche **615** angeordnet sind. Die Querschnittsansicht von **Fig. 8C** zeigt Anschluss-Anschlussflächen **632** und **636**, die auf der Hauptoberfläche **615** gegenüber den Bondanschlussflächen **138** bzw. **178** angeordnet und mit den Bondanschlussflächen **138** bzw. **178** durch die Durchgangslöcher **622** bzw. **626**, die sich durch das Substrat **602** erstrecken, elektrisch verbunden sind.

[0088] Unter zusätzlicher Bezugnahme auf **Fig. 8D** sind zylindrische Zwischenverbindungsversprünge **672** und **676** auf der Oberfläche der Bondanschlussflächen **138** bzw. **178** angeordnet. Die Zwischenverbindungsversprünge **672** und **676** weisen eine Abmessung in der z-Richtung auf, die größer oder gleich der Abmessung der Dichtung **607** in der z-Richtung ist.

[0089] **Fig. 6E** zeigt die Hauptoberfläche **617** des Hilfssubstrats **611**. Die Hauptoberfläche **617** liegt der Hauptoberfläche **609** des Substrats **602** gegenüber, wenn der FACT **600** zusammengesetzt ist. Auf der Hauptoberfläche **617** angeordnet sind eine Ringanschlussfläche **619**, Verbindungsanschlussflächen **682** und **686**, Anbringungsanschlussflächen **641** und **642** und elektrische Bahnen **661** und **663**. Bei einem Ausführungsbeispiel sind die Ringanschlussfläche **619**, die Verbindungsanschlussflächen **682** und **686**, die Anbringungsanschlussflächen **641** und **642** und die elektrischen Bahnen **661** und **663** in einer leitfähigen Schicht (nicht gezeigt) definiert, die auf der Hauptoberfläche **617** angeordnet ist.

[0090] Die Ringanschlussfläche **619** ist in Form und Abmessungen der Ringanschlussfläche **605** auf dem Substrat **602** ähnlich und nimmt die Dichtung **607** in Eingriff, wenn der FACT **600** zusammengesetzt ist. Die Verbindungsanschlussflächen **682** und **686** sind in Form und Abmessungen den Bondanschlussflächen **138** und **178** ähnlich und sind auf der Hauptoberfläche **617** relativ zu der Ringanschlussfläche **619** derart angeordnet, dass dieselben die Zwischenverbindungsvorsprünge **672** bzw. **676** in Eingriff nehmen, wenn die Ringanschlussfläche **619** sich in Eingriff mit der Dichtung **607** befindet. Die Positionen der Zwischenverbindungsvorsprünge **672** und **672** und der Dichtung **607** bei einer Ineingriffnahme sind mit gestrichelten Linien in **Fig. 6E** angezeigt. Die elektrische Bahn **661** erstreckt sich von der Verbindungsanschlussfläche **686** zu der Anbringungsanschlussfläche **641**, und die elektrische Bahn **663** erstreckt sich von der Verbindungsanschlussfläche **682** zu der Anbringungsanschlussfläche **643**.

[0091] Der Oberflächenbefestigungsinduktor **613** ist an den Anbringungsanschlussflächen **641** und **643** befestigt. Alternativ dazu kann ein Nicht-Oberflächenbefestigungsinduktor elektrisch mit den Anbringungsanschlussflächen **641** und **643** verbunden sein.

[0092] Bei dem FACT **600** ist ein Ende des Induktors **613** mit der Elektrode **122** des FBAR **120** (**Fig. 2B**) elektrisch durch die Anbringungsanschlussfläche **641**, die Bahn **661**, die Verbindungsanschlussfläche **686**, den Zwischenverbindungsvorsprung **676**, die Bondanschlussfläche **178**, die Bahn **179** und einen Teil der Bahn **171** (**Fig. 4A**) verbunden. Außerdem ist das andere Ende des Induktors **613** mit der Elektrode **114** des FBAR **110** (**Fig. 2B**) elektrisch durch die Anbringungsanschlussfläche **643**, die Bahn **663**, die Verbindungsanschlussfläche **682**, den Zwischenverbindungsvorsprung **672**, die Bondanschlussfläche **138**, die Bahn **139**, die Zwischenverbindungsanschlussflächen **176** und **136** und die Bahn **137** verbunden. Somit ist der Induktor **613** mit den Elektroden **114** und **122** an gegenüberliegenden Seiten des akustischen Entkopplers **130** auf eine Weise verbunden, die derjenigen ähnlich ist, die in **Fig. 2A** gezeigt ist.

[0093] Ein Induktor, der der Spiralbahn **514** ähnlich ist, die im Vorhergehenden unter Bezugnahme auf **Fig. 6** beschrieben ist, kann in der leitfähigen Schicht des Hilfssubstrats **611** definiert sein und die Anbringungsanschlussflächen **641** und **643** und den Oberflächenbefestigungsinduktor **613** ersetzen. Zusätzliche Anbringungsanschlussflächen, die den Anbringungsanschlussflächen **545** und **547** ähnlich sind, die im Vorhergehenden unter Bezugnahme auf **Fig. 7** beschrieben sind, können zusätzlich in der leitfähigen Schicht des Hilfssubstrats **611** definiert sein. Elektrische Bahnen, die zusätzlich in der leitfähigen

Schicht definiert sind, schalten einen Oberflächenbefestigungs- oder anderen Typ von Isolationskondensator, der an den zusätzlichen Anbringungsanschlussflächen befestigt ist, elektrisch in Reihe mit dem Induktor zwischen die Verbindungsanschlussflächen **682** und **686**, um eine Gleichstromisolation zwischen den elektrischen Schaltungen **141** und **142** auf eine Weise zu liefern, die derjenigen ähnlich ist, die im Vorhergehenden unter Bezugnahme auf die **Fig. 3A**, **Fig. 3B** und **Fig. 7** beschrieben ist.

[0094] Bei einem Ausführungsbeispiel ist die Dichtung **607** aus einem nicht hermetischen Material gebildet, das mit einer Schicht aus Abdichtungsmaterial beschichtet ist, und die Zwischenverbindungsvorsprünge **672** und **676** sind aus einem nicht leitfähigen Material gebildet, das mit einer Schicht aus elektrisch leitfähigem Material beschichtet ist, wie es in der U.S.-Patentanmeldung Serien-Nr. 10/890,343 von Larson III u. a. beschrieben ist, die an den Anmelder dieser Offenbarung übertragen ist. Das gleiche Material oder andere Materialien können als das nicht hermetische Material und das nicht leitfähige Material verwendet werden. Das gleiche Material oder andere Materialien können als das Abdichtungsmaterial und das leitfähige Material verwendet werden. Bei einem weiteren Ausführungsbeispiel ist die Dichtung **607** aus einem Material gebildet, das mit Silizium bondet, wie es in dem U.S.-Patent Nr. 6,090,687 von Merchant u. a. beschrieben ist, das an den Anmelder dieser Offenbarung übertragen ist.

[0095] Der FACT **600** wird durch ein Befestigen desselben an der gedruckten Schaltungsplatine einer elektronischen Hostvorrichtung (nicht gezeigt) und ein Anbringen der Anschluss-Anschlussflächen 5631–638 an entsprechenden Anschlussflächen an den gedruckten Schaltungsplatinen unter Verwendung von Lötmittelhöckern oder einem anderen geeigneten Anbringungsprozess verwendet.

[0096] Ein exemplarischer Prozess zum Herstellen des FACT **600** wird nun beschrieben. Obwohl die Herstellung eines einzigen FACT beschrieben wird, werden die zu beschreibenden Prozesse normalerweise bei Wafern angewandt, bei denen Tausende von Bauelementen gebildet werden, die mit dem FACT **600** identisch sind.

[0097] Das FACT-Modul **602** wird unter Verwendung eines Prozesses hergestellt, der demjenigen ähnlich ist, der im Folgenden unter Bezugnahme auf die **Fig. 11A** bis **Fig. 11P** beschrieben ist, jedoch unter Verwendung anderer Masken. Ein Strukturieren einer der Metallschichten, normalerweise der ersten Metallschicht, die im Verlauf des FACT-Modulherstellungsprozesses aufgebracht wird, definiert zusätzlich die Ringanschlussfläche **604** auf der Hauptoberfläche **609** des Substrats **602**.

[0098] Die Zwischenverbindungsversprünge **672** und **676** und die Dichtung **607** werden an den Bondanschlussflächen **138** und **178** bzw. der Ringanschlussfläche **609** des Substrats **602** durch ein Aufbringen einer Schicht eines nachgiebigen Materials, wie z. B. Polyimid, auf der Hauptoberfläche **609** gebildet. Die Schicht aus nachgiebigem Material wird durch Photolithographie und ein Entwicklungslösungsmittel strukturiert, um die Zwischenverbindungsversprünge **672** und **676** und die Dichtung **607** zu definieren. Die Zwischenverbindungsversprünge und die Dichtung werden dann mit einem Beschichtungsmaterial beschichtet. Um die Zwischenverbindungsversprünge **672** und **676** und die Dichtung **607** zu beschichten, wird zunächst eine Startschicht (z. B. eine Schicht aus Titan) auf das Substrat aufgesputtert und wird überall außer an den Zwischenverbindungsversprünge **672** und **676** und der Dichtung **607** entfernt. Dann werden die Zwischenverbindungsversprünge **672** und **676** und die Dichtung **607** mit einer relativ dicken Schicht aus einem elektrisch leitfähigen Material, wie z. B. Gold, elektroplattiert. Die Beschichtung macht die Dichtung **607** und die Zwischenverbindungsversprünge **672** und **676** elektrisch leitfähig und macht außerdem die Dichtung **607** gegenüber Gasen, wie z. B. Luft und Wasserdampf, undurchlässig.

[0099] Durchgangslöcher werden in dem Substrat **602** an Orten gebildet, die unter den Bondanschlussflächen **172**, **138**, **132**, **163**, **134**, **178**, **174** und **168** liegen, und werden in dem Substrat **602** gebildet. Photolithographie und anisotropes Ätzen werden verwendet, oder es wird eine andere geeignete Herstellungstechnik verwendet, um Löcher zu bilden, die sich jeweils durch das Substrat **602** und, wo vorhanden, die Schichten, die auf das Substrat **602** aufgebracht sind, zu den darüber liegenden Bondanschlussflächen erstrecken. Die Löcher werden dann mit einem leitfähigen Material gefüllt, wie z. B. Kupfer oder Gold. Eine Schicht (nicht gezeigt) aus einem elektrisch leitenden Material, wie z. B. Gold, wird dann auf die Hauptoberfläche **615** des Substrats **602** aufgebracht. Die Schicht wird strukturiert, um eine Anschluss-Anschlussfläche zu definieren, die elektrisch mit jedem der Durchgangslöcher und somit mit einer jeweiligen der Verbindungsanschlussflächen **172**, **138**, **132**, **163**, **134**, **178**, **174** und **168** verbunden ist. Bei einem Ausführungsbeispiel wird Gold durch Aufdampfung auf die Hauptoberfläche **615** aufgebracht. Das Gold wird strukturiert, um die Anschluss-Anschlussflächen zu definieren. Die Dicke der Anschluss-Anschlussflächen wird dann durch ein Plattieren derselben mit zusätzlichem Gold erhöht. Die Anschluss-Anschlussflächen **631**, **632**, **636** und **638** sind in den [Fig. 8B](#) und [Fig. 8C](#) gezeigt.

[0100] Eine Schicht aus elektrisch leitendem Material (nicht gezeigt) wird auf die Hauptoberfläche **617** des Hilfssubstrats **611** durch eine geeignete Aufbrin-

gungstechnik aufgebracht. Das Hilfssubstrat **611** ist normalerweise ein Teil eines Wafers aus Silizium, Keramik oder einem anderen Material. Keramik hat den Vorteil, dass dasselbe geringe elektrische Verluste bei Mikrowellenfrequenzen aufweist. Das elektrisch leitfähige Material ist normalerweise Gold, ein weiteres elektrisch leitfähiges Material. Die Schicht aus elektrisch leitendem Material kann aus zwei oder mehr Schichten aus unterschiedlichen Materialien gebildet sein. Die Verbindungsanschlussflächen **682** und **686**, die Anbringungsanschlussflächen **641** und **643**, die elektrischen Bahnen **661** und **663** und die Ringanschlussfläche **619** werden in der elektrisch leitenden Schicht unter Verwendung eines geeigneten Prozesses, wie z. B. Photolithographie und Ätzen oder ein Abhebeprozess, definiert. Die Orte und Formen der Verbindungsanschlussflächen **682** und **686** und der Ort und die Form der Ringanschlussfläche **619** auf dem Hilfssubstrat **611** entsprechen jeweils den Orten und Querschnittsformen der Zwischenverbindungsversprünge **672** und **676** und dem Ort und der Form der Dichtung **607** auf dem Substrat **602**. Die Form der Verbindungsanschlussflächen **682** und **686** kann sich jedoch von der Querschnittsform der Zwischenverbindungsversprünge **672** bzw. **676** unterscheiden.

[0101] Der Oberflächenbefestigungsinduktor **613** wird an den Anbringungsanschlussflächen **641** und **643** unter Verwendung einer herkömmlichen Oberflächenbefestigungsanbringungstechnik befestigt. Bei Ausführungsbeispielen wie dem, das in [Fig. 3A](#) gezeigt ist, die einen Kondensator in Reihe mit dem Induktor **613** aufweisen, wird der Kondensator zusätzlich an seinen jeweiligen Anbringungsanschlussflächen befestigt. Bei Ausführungsbeispielen, bei denen der Induktor **180** als eine spiral- oder schlangenförmige Bahn ausgeführt ist, die in der elektrisch leitfähigen Schicht definiert ist, die auf das Hilfssubstrat **611** aufgebracht ist, wird kein Induktorbefestigungsprozess durchgeführt.

[0102] Das Hilfssubstrat **611** wird umgedreht und gegenüber dem Substrat **602** angeordnet, wobei die Ringanschlussfläche **619** und die Anbringungsanschlussflächen **682** und **686** mit der Dichtung **607** bzw. den Zwischenverbindungsversprünge **672** und **676** ausgerichtet sind. Das Hilfssubstrat **611** wird dann gegen das Substrat **602** gepresst und an dasselbe gebondet. Das Zusammenpressen der Substrate bringt die Zwischenverbindungsversprünge **672** und **676** in Kontakt mit den Verbindungsanschlussflächen **682** bzw. **686** und bringt die Dichtung **607** in Kontakt mit der Ringanschlussfläche **619**. Wenn die Substrate zusammengepresst werden, ermöglicht das nachgiebige Material der Zwischenverbindungsversprünge, dass sich die Zwischenverbindungsversprünge ohne ein Brechen oder anderes Versagen verformen, und das nachgiebige Material der Dichtung **607** ermöglicht, dass sich die Dichtung ohne ein

Brechen oder anderes Versagen verformt. Normalerweise werden die Substrate **602** und **611** gebondet, während dieselben zusammengespreßt werden. Verschiedene bekannte oder in der Zukunft zu entwickelnde Bondtechniken können verwendet werden, um die Substrate **602** und **611** zu bonden.

[0103] Bei einem Ausführungsbeispiel wird thermisches Druckbonden verwendet. Bei einem derartigen Ausführungsbeispiel ist das elektrisch leitfähige Material, das verwendet wird, um die Zwischenverbindungsvorsprünge **672** und **676** und die Dichtung **607** zu beschichten, Gold (Au). Bevor die Substrate **602** und **611** gebondet werden, wird eine Schicht aus Zinn (Sn) auf die goldbeschichteten Zwischenverbindungsvorsprünge und die Dichtung aufgebracht. Die Substrate **602** und **611** werden dann zusammengespreßt, bis die Zwischenverbindungsvorsprünge **672** und **676** und die Dichtung **607** sich in einem engen Kontakt mit den Verbindungsanschlussflächen **682** und **686** bzw. der Ringanschlussfläche **619** befinden, und die Anordnung wird erhitzt, bis die Gold- und Zinnbeschichtung an den Zwischenverbindungsvorsprüngen und der Dichtung zu schmelzen beginnt. An diesem Punkt haftet das Beschichtungsmaterial an dem Material der Ringanschlussfläche **619** und der Verbindungsanschlussflächen **682** und **686**. Die Anordnung lässt man dann abkühlen. Das geschmolzene Beschichtungsmaterial verfestigt sich, wenn die Anordnung abkühlt, und das verfestigte Material bildet eine Verbindung zwischen den Verbindungsanschlussflächen **682** und **686** und den Zwischenverbindungsvorsprüngen **672** bzw. **676** und zwischen der Dichtung **607** und der Ringanschlussfläche **619**. Die zusätzliche Schicht aus Zinn auf den goldbeschichteten Zwischenverbindungsvorsprüngen und der Dichtung trägt dazu bei, eine stärkere Verbindung während des thermischen Druckbondens zu bilden.

[0104] Die nachgiebigen Materialien der Zwischenverbindungsvorsprünge **672** und **676** und der Dichtung **607** stellen sicher, dass die Zwischenverbindungsvorsprünge **672** und **676** und die Dichtung **607** auf dem Substrat **611** mit den Verbindungsanschlussflächen **682** und **686** und der Ringanschlussfläche **619** auf dem Hilfssubstrat **611** in engem Kontakt sind. Die nachgiebigen Materialien der Zwischenverbindungsvorsprünge **672** und **676** und der Dichtung **607** ermöglichen, dass sich die Zwischenverbindungsvorsprünge **672** und **676** und die Dichtung **607** verformen, bis die Zwischenverbindungsvorsprünge **672** und **676** einen elektrischen Kontakt mit geringem Widerstandswert mit den Verbindungsanschlussflächen **682** bzw. **686** bilden und die Dichtung **607** die Ringanschlussfläche **619** entlang ihres gesamten Umfangs kontaktiert. Zum Beispiel ist es aufgrund von Unvollkommenheiten bei der Herstellung der Zwischenverbindungsvorsprünge **672** und **676** und der Dichtung **607** möglich, dass die Dichtung **607** die Ringanschlussfläche **619** kontaktiert, bevor

einer oder beide der Zwischenverbindungsvorsprünge **672** und **676** die Verbindungsanschlussflächen **682** bzw. **686** kontaktieren. In diesem Fall verformt sich die Dichtung **607**, um zu ermöglichen, dass die Substrate **602** und **611** weiter zusammengespreßt werden, bis die Zwischenverbindungsvorsprünge sich in engem Kontakt mit ihren jeweiligen Kontaktanschlussflächen befinden. Auf ähnliche Weise können sich einer oder beide der Zwischenverbindungsvorsprünge **672** und **676** oder Abschnitte der Dichtung **607** verformen, um zu ermöglichen, dass der gesamte Umfang der Dichtung einen engen physischen Kontakt mit der Ringanschlussfläche **619** herstellt. Der enge physische Kontakt zwischen den Zwischenverbindungsvorsprüngen und ihren jeweiligen Kontaktanschlussflächen und zwischen der Dichtung und der Ringanschlussfläche **619** während des Bondens hilft dabei, sicherzustellen, dass die Zwischenverbindungsvorsprünge eine zuverlässige elektrische Leitung geringer Impedanz zwischen den Elektroden **114** und **112** und dem Induktor **613** liefern, und dass die Dichtung **607** eine zuverlässige hermetische Abdichtung für die Kammer liefert, die durch die Substrate **602** und **611** und die Dichtung **607** begrenzt wird.

[0105] Der im Vorhergehenden beschriebene Prozess zum Zusammensetzen der Substrate **602** und **611**, um eine hermetisch abgedichtete Kammer zu bilden, ist genauer in der im Vorhergehenden erwähnten U.S.-Patentanmeldung Serien-Nr. 10/890,343 und außerdem in der ebenfalls übertragenen U.S.-Patentanmeldung Serien-Nr. 10/723,095 von Bai beschrieben.

[0106] Der FACT **600** wird durch ein Befestigen desselben auf der gedruckten Schaltungsplatine einer elektronischen Hostvorrichtung unter Verwendung der Anschluss-Anschlussflächen, wie z. B. der Anschluss-Anschlussflächen **631**, **632**, **636** und **638** auf der Hauptoberfläche **615** des Substrats **602**, verwendet.

[0107] Bei einem praktischen Ausführungsbeispiel des FACT **202**, der in [Fig. 2B](#) gezeigt ist, oder des FACT **302**, der in [Fig. 3B](#) gezeigt ist, ist ein zusätzlicher Zwischenverbindungsvorsprung (nicht gezeigt) an der Bondanschlussfläche **172** angeordnet, um eine elektrische Verbindung mit dem Hilfssubstrat **611** von der Elektrode **154** zu liefern. Bei einem derartigen Ausführungsbeispiel sind eine Verbindungsanschlussfläche (nicht gezeigt), die dem zusätzlichen Zwischenverbindungsvorsprung entspricht, und Befestigungsanschlussflächen zum Befestigen eines zusätzlichen Oberflächenbefestigungsinduktors (und eines optionalen zusätzlichen Isolationskondensators) in der leitfähigen Schicht des Hilfssubstrats **611** definiert. Eine zusätzliche elektrische Bahn (nicht gezeigt) verbindet das andere Ende des zusätzlichen Induktors direkt oder über den zusätzlichen Isolati-

onskondensator mit der Verbindungsanschlussfläche **686**.

[0108] Die [Fig. 9A](#) und [Fig. 9B](#) sind eine Grundrissansicht bzw. eine Querschnittsansicht entlang der Schnittlinie 9B-9B in [Fig. 9A](#) eines fünften praktischen Ausführungsbeispiels **700** eines akustisch gekoppelten Filmtransformators (FACT) mit erhöhtem CMRR gemäß der Erfindung. Bei dem FACT **700** ist ein Induktor zwischen die Elektroden **114** und **122** geschaltet, in einer Anordnung, die derjenigen ähnlich ist, die in [Fig. 2A](#) gezeigt ist. Der Induktor ist an dem Substrat angeordnet, das einen Teil eines Ausführungsbeispiels des FACT-Moduls **400** bildet, das im Vorhergehenden unter Bezugnahme auf die [Fig. 4A](#) bis [Fig. 4C](#) beschrieben ist. Elemente des FACT **700**, die dem FACT-Modul **400** entsprechen, das im Vorhergehenden unter Bezugnahme auf die [Fig. 4A](#) bis [Fig. 4C](#) beschrieben ist, sind unter Verwendung der gleichen Bezugszeichen angezeigt und werden hier nicht noch einmal beschrieben.

[0109] Der FACT **700** ist aus einem Ausführungsbeispiel **701** des FACT-Moduls **400**, das im Vorhergehenden unter Bezugnahme auf die [Fig. 4A](#) bis [Fig. 4C](#) beschrieben ist, gebildet. Bei dem FACT-Modul **701** ist ein Substrat **702** in der -x-Richtung relativ zu dem Substrat **102** des Ausführungsbeispiels des FACT-Moduls **400** erweitert. Eine piezoelektrische Schicht **717** und eine akustische Entkopplungsschicht **731** erstrecken sich zusätzlich über den erweiterten Abschnitt des Substrats **702**. Der Induktor **180** ([Fig. 2A](#)) ist als ein Spiralinduktor **713** ausgeführt, der in einer leitfähigen Schicht definiert ist, die an der Oberfläche der akustischen Entkopplungsschicht **731** angeordnet ist.

[0110] Eine elektrische Bahn **763** erstreckt sich in der -x-Richtung über die Hauptoberfläche der piezoelektrischen Schicht **717** von der Elektrode **114** zu einer Zwischenverbindungsanschlussfläche **741**. Die akustische Entkopplungsschicht **731** bedeckt eine Bahn **763**, ein Fenster **733**, das in der akustischen Entkopplungsschicht **731** definiert ist, liefert jedoch einen Zugang zu der Zwischenverbindungsanschlussfläche **741**. Der Spiralinduktor **713** ist als eine Spiralbahn **714** strukturiert, die an der Oberfläche der akustischen Entkopplungsschicht **731** angeordnet ist. Eine Zwischenverbindungsanschlussfläche **743**, die die Zwischenverbindungsanschlussfläche **741** durch das Fenster **733** elektrisch kontaktiert, ist an dem inneren Ende der Spiralbahn **714** angeordnet. Eine elektrische Bahn **761** erstreckt sich in der -x-Richtung über die Oberfläche der akustischen Entkopplungsschicht **731** von der Elektrode **122** zu dem äußeren Ende der Spiralbahn **714**.

[0111] Die [Fig. 10A](#) und [Fig. 10B](#) sind eine Grundrissansicht bzw. eine Querschnittsansicht entlang der Schnittlinie 10B-10B in [Fig. 10A](#) eines sechsten

praktischen Ausführungsbeispiels **704** eines akustisch gekoppelten Filmtransformators (FACT) mit erhöhtem CMRR gemäß der Erfindung. Bei dem FACT **704** sind ein Induktor und ein Kondensator in Reihe zwischen die Elektroden **114** und **122** geschaltet, in einer Anordnung, die derjenigen ähnlich ist, die in [Fig. 3A](#) gezeigt ist. Der Kondensator und der Induktor sind auf dem Substrat angeordnet, das einen Teil eines Ausführungsbeispiels des FACT-Moduls **400** bildet, das im Vorhergehenden unter Bezugnahme auf die [Fig. 4A](#) bis [Fig. 4C](#) beschrieben ist. Elemente des FACT **700**, die dem FACT-Modul **400**, das im Vorhergehenden unter Bezugnahme auf die [Fig. 4A](#) bis [Fig. 4C](#) beschrieben ist, und dem FACT **700** entsprechen, der im Vorhergehenden unter Bezugnahme auf die [Fig. 9A](#) und [Fig. 9B](#) beschrieben ist, sind unter Verwendung der gleichen Bezugszeichen angezeigt und werden hier nicht noch einmal beschrieben.

[0112] Der FACT **704** ist aus dem im Vorhergehenden beschriebenen Ausführungsbeispiel **701** des FACT-Moduls **400** gebildet, wobei das Substrat **702** in der -x-Richtung erweitert ist und die piezoelektrische Schicht **717** und die akustische Entkopplungsschicht **731** sich über den erweiterten Abschnitt des Substrats **702** erstrecken. Der Induktor **180** ([Fig. 3A](#)) ist als ein Spiralinduktor **713** ausgeführt, der in einer leitfähigen Schicht definiert ist, die auf der Oberfläche der akustischen Entkopplungsschicht **731** angeordnet ist. Der Kondensator **184** ([Fig. 3A](#)) ist als ein Parallelplattenkondensator **715** ausgeführt, der einen Teil der akustischen Entkopplungsschicht **731** als sein Dielektrikum aufweist.

[0113] Eine Platte **718** des Parallelplattenkondensators **715** ist auf der Hauptoberfläche der piezoelektrischen Schicht **717** angeordnet. Eine elektrische Bahn **763** erstreckt sich in der -x-Richtung über die Hauptoberfläche der piezoelektrischen Schicht **717** von der Elektrode **114** zu der Platte **718**. Eine elektrische Bahn **765** erstreckt sich mit etwa 45° bezüglich der x-Richtung über die Hauptoberfläche der piezoelektrischen Schicht **717** von einer Zwischenverbindungsanschlussfläche **745**, die außerhalb der Platte **718** angeordnet ist, zu der Zwischenverbindungsanschlussfläche **741**, die in der Mitte des Spiralinduktors **713** angeordnet ist. Die akustische Entkopplungsschicht **731** bedeckt die Bahn **763**, die Bahn **765** und die Platte **718**, ein Fenster **733** und ein Fenster **735**, die in der akustischen Entkopplungsschicht **731** definiert sind, liefern jedoch einen Zugang zu der Zwischenverbindungsanschlussfläche **741** bzw. der Zwischenverbindungsanschlussfläche **745**.

[0114] Die andere Platte **719** des Kondensators **715** und der Spiralinduktor **713** sind auf der Hauptoberfläche der akustischen Entkopplungsschicht **731** angeordnet. Der Spiralinduktor **713** ist als eine Spiralbahn **714** strukturiert, die auf der Hauptoberfläche der

akustischen Entkopplungsschicht **731** angeordnet ist. Eine elektrische Bahn **761** erstreckt sich weiter über die Oberfläche der akustischen Entkopplungsschicht **731** von der Elektrode **122** zu dem äußeren Ende der Spiralbahn **714**. Eine Zwischenverbindungsanschlussfläche **743**, die die Zwischenverbindungsanschlussfläche **741** durch das Fenster **733** elektrisch kontaktiert, ist an dem inneren Ende der Spiralbahn **714** angeordnet.

[0115] Eine elektrische Bahn **767** erstreckt sich in der y-Richtung über die Hauptoberfläche der akustischen Entkopplungsschicht **731** von der Platte **719** zu einer Zwischenverbindungsanschlussfläche **747**. Die Zwischenverbindungsanschlussfläche **747** kontaktiert elektrisch die Zwischenverbindungsanschlussfläche **745** durch das Fenster **735**, um die Reihenschaltung des Induktors **713** und des Kondensators **715** zwischen den Elektroden **114** und **122** zu vervollständigen.

[0116] Bei einigen Ausführungsbeispielen ist der Hohlraum **104** erweitert, so dass derselbe außerdem unter dem Spiralinduktor **713** liegt. Dies erhöht die Trennung zwischen dem Induktor und dem Material des Substrats **702**, was elektrische Verluste verringert.

[0117] Bei praktischen Ausführungsbeispielen der Schaltungen, die in den [Fig. 2B](#) und [Fig. 3B](#) gezeigt sind, die auf den praktischen Ausführungsbeispielen basieren, die in den [Fig. 9A](#), [Fig. 9B](#), [Fig. 10A](#) und [Fig. 10B](#) gezeigt sind, sind das Substrat **702**, die piezoelektrische Schicht **717** und die akustische Entkopplungsschicht **731** außerdem in der +x-Richtung (nicht gezeigt) erweitert. Ein zusätzlicher Spiralinduktor ist auf der zusätzlichen Erweiterung des Substrats in der +x-Richtung angeordnet und ist zwischen die Elektroden **154** und **162** geschaltet, wie es in [Fig. 2B](#) gezeigt ist. Alternativ dazu sind ein zusätzlicher Spiralinduktor, der in Reihe mit einem zusätzlichen Parallelplattenkondensator geschaltet ist, auf der zusätzlichen Erweiterung des Substrats in der +x-Richtung angeordnet und sind zwischen die Elektroden **154** und **162** geschaltet, wie es in [Fig. 3B](#) gezeigt ist.

[0118] Ein Prozess, der verwendet werden kann, um den FACT **704** herzustellen, der im Vorhergehenden unter Bezugnahme auf die [Fig. 10A](#) und [Fig. 10B](#) beschrieben ist, wird anschließend unter Bezugnahme auf die Grundrissansichten der [Fig. 11A](#) bis [Fig. 11H](#) und die Querschnittsansichten der [Fig. 11I](#) bis [Fig. 11P](#) beschrieben. Das Durchlassband des Ausführungsbeispiels des FACT **704**, dessen Herstellung beschrieben wird, weist eine nominale Mittenfrequenz von etwa 1,9 GHz auf. Ausführungsbeispiele zur Operation bei anderen Frequenzen sind in Struktur und Herstellung ähnlich, weisen jedoch Dicken und laterale Abmessungen auf, die sich von den im Folgenden als Beispiel verwendeten

unterscheiden. Außerdem kann der Prozess mit anderen Masken auch verwendet werden, um Ausführungsbeispiele des FACT **700**, der im Vorhergehenden unter Bezugnahme auf die [Fig. 9A](#) und [Fig. 9B](#) beschrieben ist, und die verschiedenen Ausführungsbeispiele des FACT-Moduls **400** herzustellen, das hauptsächlich im Vorhergehenden unter Bezugnahme auf die [Fig. 4A](#) bis [Fig. 4C](#) beschrieben ist. Tausende von FACTs, die dem FACT **704** ähneln, werden gleichzeitig durch eine Herstellung im Wafermaßstab hergestellt. Eine derartige Herstellung im Wafermaßstab macht die FACTs kostengünstig in der Herstellung.

[0119] Ein Wafer aus Einkristallsilizium wird bereitgestellt. Ein Abschnitt des Wafers bildet für jeden FACT, der hergestellt wird, ein Substrat, das dem Substrat **702** des FACT **704** entspricht. Die [Fig. 11A](#) bis [Fig. 11H](#) und die [Fig. 11I](#) bis [Fig. 11P](#) veranschaulichen die Herstellung des FACT **704** in und auf einem Abschnitt des Wafers, und die folgende Beschreibung beschreibt dies. Wenn der FACT **704** hergestellt wird, werden die anderen FACTs auf dem Wafer auf ähnliche Weise hergestellt.

[0120] Der Abschnitt des Wafers, der das Substrat **702** des FACT **704** bildet, wird selektiv nassgeätzt, um einen Hohlraum zu bilden. Eine Schicht Füllmaterial (nicht gezeigt) wird auf die Oberfläche des Wafers mit einer Dicke aufgebracht, die ausreichend ist, um jeden Hohlraum zu füllen. Die Oberfläche des Wafers wird dann planarisiert, was jeden Hohlraum mit Füllmaterial gefüllt zurücklässt. Die [Fig. 11A](#) und [Fig. 11I](#) zeigen den Hohlraum **104** in Substrat **702** mit Füllmaterial **105** gefüllt.

[0121] Bei einem Ausführungsbeispiel war das Füllmaterial Phosphorsilikatglas (PSG) und wurde unter Verwendung einer herkömmlichen chemischen Niederdruckdampfauflage (LPCVD) aufgebracht. Das Füllmaterial kann alternativ dazu durch Sputtern oder durch Schleuderbeschichtung aufgebracht werden.

[0122] Eine erste Metallschicht wird auf die Oberfläche des Substrats **702** und das Füllmaterial **105** aufgebracht. Die erste Metallschicht wird strukturiert, wie es in den [Fig. 11B](#) und [Fig. 11J](#) gezeigt ist, um die Elektrode **112**, die Elektrode **152**, die Bondanschlussfläche **132**, die Bondanschlussfläche **138** und die Zwischenverbindungsanschlussfläche **176** zu definieren. Das Strukturieren definiert auch in der ersten Metallschicht die elektrische Bahn **133**, die sich zwischen der Elektrode **112** und der Bondanschlussfläche **132** erstreckt, die elektrische Bahn **177**, die sich zwischen der Elektrode **152** und der Zwischenverbindungsanschlussfläche **177** erstreckt, und die elektrische Bahn **139**, die sich zwischen der Zwischenverbindungsanschlussfläche **176** und der Bondanschlussfläche **138** erstreckt.

[0123] Die Elektrode **112** und die Elektrode **152** weisen normalerweise eine asymmetrische Form in einer Ebene auf, die parallel zu der Hauptoberfläche des Wafers ist. Eine asymmetrische Form minimiert laterale Moden in dem FBAR **110** und dem FBAR **150** ([Fig. 2A](#)), zu denen die Elektroden gehören. Dies ist in dem U.S.-Patent Nr. 6,215,375 von Larson III u. a. beschrieben. Die Elektrode **112** und die Elektrode **152** lassen einen Teil der Oberfläche des Füllmaterials **105** freiliegend, so dass das Füllmaterial später durch ein Ätzen entfernt werden kann, wie es im Folgenden beschrieben ist.

[0124] Unter zusätzlicher Bezugnahme auf [Fig. 2A](#) werden die Elektroden **114** und **154** in einer zweiten Metallschicht definiert, die Elektroden **122** und **162** werden in einer dritten Metallschicht definiert, und die Elektroden **124** und **164** werden in einer vierten Metallschicht definiert, wie es im Folgenden beschrieben ist. Die Metallschichten, in denen die Elektroden definiert sind, werden derart strukturiert, dass in jeweiligen Ebenen, die zu der Hauptoberfläche des Wafers parallel sind, die Elektroden **112** und **114** des FBAR **110** die gleiche Form, Größe, Ausrichtung und Position aufweisen, die Elektroden **122** und **124** des FBAR **120** die gleiche Form, Größe, Ausrichtung und Position aufweisen, die Elektroden **152** und **154** des FBAR **150** die gleiche Form, Größe, Ausrichtung und Position aufweisen, und die Elektroden **162** und **164** des FBAR **160** die gleiche Form, Größe, Ausrichtung und Position aufweisen. Normalerweise weisen die Elektroden **114** und **122** außerdem die gleiche Form, Größe, Ausrichtung und Position auf, und die Elektroden **154** und **162** weisen außerdem die gleiche Form, Größe, Ausrichtung und Position auf.

[0125] Bei einem Ausführungsbeispiel war das Material jeder der Metallschichten Molybdän, das durch Sputtern mit einer Dicke von etwa 300 nm aufgetragen wurde. Die Elektroden, die in jeder der Metallschichten definiert waren, waren fünfeckig, wobei jede eine Fläche von etwa 12.000 Quadratµm aufwies. Andere Elektrodenflächen ergeben andere charakteristische Impedanzen. Andere hochschmelzende Metalle, wie z. B. Wolfram, Niobium und Titan, können alternativ dazu als das Material der Metallschichten verwendet werden. Die Metallschichten können jede alternativ dazu Schichten aus mehr als einem Material aufweisen. Ein zu berücksichtigender Faktor beim Auswählen des Materials der Elektroden des FACT **704** sind die akustischen Eigenschaften des Elektrodenmaterials: die akustischen Eigenschaften der ein oder mehr Materialien der restlichen Metallteile des FACT **704** sind weniger wichtig als andere Eigenschaften, wie z. B. elektrische Leitfähigkeit. Somit können sich die ein oder mehr Materialien der restlichen Metallteile des FACT **704** von dem Material der Elektroden unterscheiden.

[0126] Eine Schicht aus piezoelektrischem Material

wird aufgebracht und wird strukturiert, wie es in den [Fig. 11C](#) und [Fig. 11K](#) gezeigt ist, um eine piezoelektrische Schicht **717** zu definieren, die das piezoelektrische Element **116** des FBAR **110** und das piezoelektrische Element **156** des FBAR **150** liefert. Die piezoelektrische Schicht **717** erstreckt sich über das Substrat **702** über die Erstreckung des Hohlraums **104** hinaus, um einen Träger für den Spiralinduktor **713** und den Kondensator **715** zu liefern. Die piezoelektrische Schicht **717** wird strukturiert, um einen Teil der Oberfläche des Füllmaterials **105**, die Bondanschlussflächen **132** und **138** und die Zwischenverbindungsanschlussfläche **176** freizulegen. Die piezoelektrische Schicht **717** wird außerdem strukturiert, um Fenster **119** zu definieren, die einen Zugang zu zusätzlichen Teilen der Oberfläche des Füllmaterials liefern.

[0127] Bei einem Ausführungsbeispiel war das piezoelektrische Material, das aufgebracht wurde, um die piezoelektrische Schicht **717** und die piezoelektrische Schicht **727**, die im Folgenden beschrieben sind, aufzubringen, Aluminiumnitrid, das durch Sputtern mit einer Dicke von etwa 1,4 µm aufgebracht wurde. Das piezoelektrische Material wurde durch Nassätzen in Kaliumhydroxid oder durch ein chlorbasiertes Trockenätzen strukturiert. Alternative Materialien für die piezoelektrischen Schichten umfassen Zinkoxid, Kadmiumsulfid und gepolte ferroelektrische Materialien, wie z. B. ferroelektrische Perowskit-Materialien, einschließlich Bleizirkoniumtitanat, Bleimantaniobat und Bariumtitanat.

[0128] Eine zweite Metallschicht wird auf die piezoelektrische Schicht **717** aufgebracht und wird strukturiert, wie es in den [Fig. 11D](#) und [Fig. 11L](#) gezeigt ist, um die Elektrode **114**, die Elektrode **154**, die Platte **718** des Kondensators **715** ([Fig. 10A](#)), die Bondanschlussfläche **172**, die Zwischenverbindungsanschlussfläche **136** in elektrischem Kontakt mit der Zwischenverbindungsanschlussfläche **176** und die Zwischenverbindungsanschlussflächen **741** und **745** zu definieren. Das Strukturieren definiert außerdem in der zweiten Metallschicht die elektrische Bahn **137**, die sich zwischen der Elektrode **114** und der Zwischenverbindungsanschlussfläche **136** erstreckt, die elektrische Bahn **173**, die sich zwischen der Elektrode **154** und der Bondanschlussfläche **172** erstreckt, die elektrische Bahn **763**, die sich zwischen der Elektrode **114** und der Platte **718** erstreckt, die elektrische Bahn **765**, die sich zwischen den Zwischenverbindungsanschlussflächen **741** und **745** erstreckt, und die elektrische Bahn **167**, die sich zwischen den Bondanschlussflächen **132** und **172** erstreckt.

[0129] Eine Schicht aus akustischem Entkopplungsmaterial wird dann aufgebracht und wird strukturiert, wie es in den [Fig. 11E](#) und [Fig. 11M](#) gezeigt ist, um die akustische Entkopplungsschicht **731** zu definieren, die den akustischen Entkoppler **130** und

den akustischen Entkoppler **170** liefert. Die akustische Entkopplungsschicht **731** erstreckt sich über das Substrat **702** über die Erstreckung des Hohlraums **104** hinweg, um das Dielektrikum des Kondensators **715** und einen Träger für den Spiralinduktor **713** zu liefern. Die akustische Entkopplungsschicht **731** wird strukturiert, um zumindest die Elektrode **114** und die Elektrode **154** zu bedecken und einen Teil der Oberfläche des Füllmaterials **105**, die Bondanschlussflächen **132**, **138** und **172** und die Zwischenverbindungsanschlussflächen **136** und **176** freizulegen. Die akustische Entkopplungsschicht **731** wird außerdem strukturiert, um die Fenster **119** zu definieren, die einen Zugang zu zusätzlichen Teilen der Oberfläche des Füllmaterials liefern, und um die Fenster **733** und **735** zu definieren, die einen Zugang zu den Zwischenverbindungsanschlussflächen **741** bzw. **745** liefern.

[0130] Bei einem Ausführungsbeispiel war das akustische Entkopplungsmaterial Polyimid mit einer Dicke von etwa 200 nm, d. h. ein Viertel der Mittenfrequenzwellenlänge in dem Polyimid. Das Polyimid wurde durch Schleuderbeschichten aufgebracht, um die akustische Entkopplungsschicht **731** zu bilden, und wurde durch Photolithographie strukturiert. Polyimid ist photoempfindlich, so dass kein Photoresist benötigt wird. Wie es im Vorhergehenden erwähnt wurde, können andere Kunststoffmaterialien als das akustische Entkopplungsmaterial verwendet werden. Das akustische Entkopplungsmaterial kann durch andere Verfahren als Schleuderbeschichten aufgebracht werden.

[0131] Bei einem Ausführungsbeispiel, bei dem das akustische Entkopplungsmaterial Polyimid war, wurde der Wafer nach dem Aufbringen und Strukturieren des Polyimids anfangs bei einer Temperatur von etwa 250°C in Luft und schließlich bei einer Temperatur von etwa 415°C in einer inerten Atmosphäre, wie z. B. einer Stickstoffatmosphäre, gebacken, bevor eine weitere Verarbeitung durchgeführt wurde. Das Backen verdampft flüchtige Bestandteile des Polyimids und verhindert, dass die Verdampfung derartiger flüchtiger Bestandteile während einer nachfolgenden Verarbeitung eine Trennung von nachfolgend aufgetragenen Schichten bewirkt.

[0132] Eine dritte Metallschicht wird auf die akustische Entkopplungsschicht **731** aufgebracht und wird strukturiert, wie es in den [Fig. 11F](#) und [Fig. 11N](#) gezeigt ist, um die Elektrode **122**, die Elektrode **162**, die Spiralbahn **714**, die den Spiralinduktor **713** bildet, die Platte **719** des Kondensators **715** ([Fig. 10A](#)), die Bondanschlussfläche **178**, die Zwischenverbindungsanschlussfläche **743** an dem inneren Ende der Spiralbahn **714** in elektrischem Kontakt mit der Zwischenverbindungsanschlussfläche **741** und die Zwischenverbindungsanschlussfläche **747** in elektrischem Kontakt mit der Zwischenverbindungs-

schlussfläche **745** zu definieren. Das Strukturieren definiert auch in der dritten Metallschicht die elektrische Bahn **171**, die sich zwischen der Elektrode **122** und der Elektrode **162** erstreckt, die elektrische Bahn **179**, die sich zwischen der elektrischen Bahn **171** und der Bondanschlussfläche **178** erstreckt, die elektrische Bahn **761**, die sich zwischen der Elektrode **122** und dem äußeren Ende der Spiralbahn **714** erstreckt, und die elektrische Bahn **767**, die sich zwischen der Platte **719** und der Zwischenverbindungsanschlussfläche **747** erstreckt.

[0133] Eine Schicht aus piezoelektrischem Material wird aufgebracht und wird strukturiert, wie es in den [Fig. 11G](#) und [Fig. 11O](#) gezeigt ist, um die piezoelektrische Schicht **727** zu definieren, die das piezoelektrische Element **126** des FBAR **120** und das piezoelektrische Element **166** des FBAR **150** liefert. Die piezoelektrische Schicht **727** wird strukturiert, um den Induktor **713**, den Kondensator **715**, die Bondanschlussflächen **132**, **138**, **178** und **172**, die Zwischenverbindungsanschlussflächen **136** und **176** und einen Teil der Oberfläche des Füllmaterials **105** freizulegen. Die piezoelektrische Schicht **727** wird außerdem strukturiert, um die Fenster **119** zu definieren, die einen Zugang zu zusätzlichen Teilen der Oberfläche des Füllmaterials liefern.

[0134] Eine vierte Metallschicht wird aufgebracht und wird strukturiert, wie es in den [Fig. 11H](#) und [Fig. 11P](#) gezeigt ist, um die Elektrode **124**, die Elektrode **164**, die Bondanschlussfläche **163**, die Bondanschlussfläche **134**, die Bondanschlussfläche **174** und die Bondanschlussfläche **168** zu definieren. Das Strukturieren definiert auch in der vierten Metallschicht die elektrische Bahn **135**, die sich von der Elektrode **124** zu der Bondanschlussfläche **134** erstreckt, die elektrische Bahn **175**, die sich von der Elektrode **164** zu der Bondanschlussfläche **174** erstreckt, und die elektrische Bahn **169**, die sich von der Bondanschlussfläche **163** und der Bondanschlussfläche **168** zu der Bondanschlussfläche **178** erstreckt.

[0135] Der Wafer wird dann isotrop nassgeätzt, um das Füllmaterial **105** aus dem Hohlraum **104** zu entfernen. Wie es im Vorhergehenden erwähnt ist, bleiben Abschnitte der Oberfläche des Füllmaterials **105** z. B. durch die Fenster **119** freiliegend. Der Ätzprozess hinterlässt den FACT **704** über dem Hohlraum **104** hängend, wie es in den [Fig. 10A](#) und [Fig. 10B](#) gezeigt ist.

[0136] Bei einem Ausführungsbeispiel war das Ätzmittel, das verwendet wurde, um das Füllmaterial **105** zu entfernen, verdünnte Flusssäure.

[0137] Eine Goldschutzschicht wird auf die freiliegenden Oberflächen der Bondanschlussflächen **172**, **138**, **132**, **163**, **134**, **178**, **174** und **168** aufgebracht.

[0138] Der Wafer wird dann in einzelne FACTs, einschließlich des FACT 704, geteilt. Jeder FACT wird dann in einem Gehäuse befestigt, und elektrische Verbindungen werden zwischen den Bondanschlussflächen 172, 132, 163, 134, 178, 174 und 168 des FACT und Anschlussflächen, die zu dem Gehäuse gehören, hergestellt.

[0139] Bei einem Ausführungsbeispiel wird der FACT 704 in einem hermetischen Gehäuse gehäust, das demjenigen ähnlich ist, das im Vorhergehenden unter Bezugnahme auf die Fig. 8A bis Fig. 8E beschrieben ist. Es werden jedoch andere Komponenten als der Induktor 180 und optional der Kondensator 184 an der Oberfläche des Hilfssubstrats befestigt.

[0140] Bei einem weiteren Ausführungsbeispiel ist das akustische Entkopplungsmaterial der akustischen Entkopplungsschicht 731 ein vernetztes Polyphenylenpolymer. Nachdem die zweite Metallschicht strukturiert worden ist, um die Elektroden 114 und 154 zu definieren, wie es im Vorhergehenden unter Bezugnahme auf die Fig. 11D und Fig. 11L beschrieben ist, wird die Vorläuferlösung für das vernetzte Polyphenylenpolymer auf eine Weise aufgeschleudert, die derjenigen ähnlich ist, die im Vorhergehenden unter Bezugnahme auf die Fig. 11E und Fig. 11M beschrieben ist, wird jedoch nicht strukturiert. Die Formulierung des vernetzten Polyphenylenpolymers und die Schleudergeschwindigkeit sind 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 frequenzmäßig gleich der Mittenfrequenz des Durchlassbandes des FACT 704 ist. Der Wafer wird dann bei einer Temperatur in dem Bereich von etwa 385°C bis etwa 450°C in einer inerten Umgebung, wie z. B. unter Vakuum oder in einer Stickstoffatmosphäre, gebacken, bevor ein weiteres Verarbeiten durchgeführt wird. Das Backen vertreibt zuerst die organischen Lösungsmittel aus der Vorläuferlösung und bewirkt dann, dass sich das Oligomer vernetzt, wie es im Vorhergehenden beschrieben ist, um das vernetzte Polyphenylenpolymer zu bilden.

[0141] Die dritte Metallschicht wird dann auf die Schicht aus vernetztem Polyphenylenpolymer auf eine Weise aufgebracht, die derjenigen ähnlich ist, die im Vorhergehenden unter Bezugnahme auf Fig. 11F beschrieben ist, wird jedoch anfangs auf eine Weise strukturiert, die derjenigen ähnlich ist, die in Fig. 11E gezeigt ist, um eine Hartmaske zu definieren, die verwendet wird, um die Schicht aus vernetztem Polyphenylenpolymer zu strukturieren, um die akustische Entkopplungsschicht 731 zu definieren. Die anfangs strukturierte dritte Metallschicht weist die gleiche Erstreckung wie die akustische Entkopplungsschicht 731 auf und weist Fenster an den fol-

genden Orten auf: über einem Teil der Oberfläche des Füllmaterials 105, über den Bondanschlussflächen 132, 138 und 172 und an den vorgesehenen Orten der Fenster 119, 733 und 735 in der akustischen Entkopplungsschicht 731.

[0142] Die Schicht aus vernetztem Polyphenylenpolymer wird dann, wie es in Fig. 11E gezeigt ist, mit der anfangs strukturierten dritten Metallschicht als einer Hartätzmaske strukturiert. Das Strukturieren definiert die folgenden Merkmale in der Schicht aus vernetztem Polyphenylenpolymer: die Erstreckung der akustischen Entkopplungsschicht 731, Fenster, die einen Zugang zu einem Teil der Oberfläche des Füllmaterials 105 und zu den Bondanschlussflächen 132, 138 und 172 liefern, Fenster 733 und 735, die einen Zugang zu den Zwischenverbindungsanschlussflächen 741 bzw. 745 liefern, und Fenster 119, die einen Zugang zu zusätzlichen Teilen der Oberfläche des Füllmaterials liefern. Das Strukturieren wird mit einem Sauerstoffplasmaätzen durchgeführt.

[0143] Die dritte Metallschicht wird dann erneut strukturiert, wie es in den Fig. 11F und Fig. 11N gezeigt ist, um die Elektrode 122, die Elektrode 162, die Spiralbahn 714, die den Spiralinduktor 713 bildet, die Platte 719 des Kondensators 715 (Fig. 10A), die Bondanschlussfläche 178, die Zwischenverbindungsanschlussfläche 743 an dem inneren Ende der Spiralbahn 714 in elektrischem Kontakt mit der Zwischenverbindungsanschlussfläche 741 und die Zwischenverbindungsanschlussfläche 747 in elektrischem Kontakt mit der Zwischenverbindungsanschlussfläche 745 zu definieren. Das erneute Strukturieren definiert auch in der dritten Metallschicht die elektrische Bahn 171, die sich zwischen der Elektrode 122 und der Elektrode 162 erstreckt, die elektrische Bahn 179, die sich zwischen der elektrischen Bahn 171 und der Bondanschlussfläche 178 erstreckt, die elektrische Bahn 761, die sich zwischen der Elektrode 122 und dem äußeren Ende der Spiralbahn 714 erstreckt, und die elektrische Bahn 767, die sich zwischen der Platte 719 und der Zwischenverbindungsanschlussfläche 747 erstreckt.

[0144] Eine Herstellung des Ausführungsbeispiels des FACT 704 mit einer akustischen Entkopplungsschicht aus vernetztem Polyphenylenpolymer wird durch ein Durchführen der Bearbeitung abgeschlossen, die im Vorhergehenden unter Bezugnahme auf die Fig. 11G, Fig. 11H, Fig. 11O und Fig. 11P beschrieben ist.

[0145] Bei einem Ausführungsbeispiel war die Vorläuferlösung für das vernetzte Polyphenylenpolymer eine, die von The Dow Chemical Company vertrieben und mit SiLK™ J bezeichnet wird. Alternativ dazu kann es sich bei der Vorläuferlösung um eine beliebige geeignete der Vorläuferlösungen handeln, die von The Dow Chemical Company unter dem Warenzei-

chen SiLK vertrieben werden. Bei bestimmten Ausführungsbeispielen wurde eine Schicht eines Haftungspromotors aufgebracht, bevor die Vorläuferlösung aufgeschleudert wurde. Vorläuferlösungen, die Oligomere enthalten, die, wenn dieselben 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 ebenfalls verwendet werden.

[0146] Diese Offenbarung beschreibt die Erfindung unter Verwendung veranschaulichender Ausführungsbeispiele im Detail. Die Erfindung, die durch die angehängten Ansprüche definiert ist, ist jedoch nicht auf die genau beschriebenen Ausführungsbeispiele beschränkt.

Zusammenfassung

[0147] Der akustisch gekoppelte Filmtransformator (FACT) (z. B. **200**) weist einen ersten (**106**) und einen zweiten (**108**) entkoppelten gestapelten akustischen Volumenresonator (DSBAR) auf. Jeder DSBAR weist einen unteren akustischen Filmvolumenresonator (FBAR) (z. B. **110**), einen oberen FBAR (z. B. **120**) auf dem unteren FBAR und einen akustischen Entkoppler (z. B. **130**) zwischen den FBARs auf. Jeder FBAR weist gegenüberliegende planare Elektroden (z. B. **112, 114**) und ein piezoelektrisches Element (z. B. **116**) zwischen den Elektroden auf. Eine erste elektrische Schaltung (z. B. **141**) verbindet den unteren FBAR (**110, 150**) des ersten DSBAR und des zweiten DSBAR. Eine zweite elektrische Schaltung (z. B. **142**) verbindet die oberen FBARs (**120, 160**) des ersten DSBAR und des zweiten DSBAR. Bei zumindest einem der DSBARs bilden der akustische Entkoppler und eine Elektrode jedes des unteren FBAR und des oberen FBAR, die zu dem akustischen Entkoppler benachbart ist, einen parasitären Kondensator (C_p). Der FACT weist außerdem einen Induktor (**180**) auf, der elektrisch parallel zu dem parasitären Kondensator geschaltet ist. Der Induktor erhöht das Gleichaktunterdrückungsverhältnis des FACT.

Patentansprüche

1. Ein akustisch gekoppelter Filmtransformator (FACT), der folgende Merkmale aufweist:
einen ersten entkoppelten gestapelten akustischen Volumenresonator (DSBAR) und einen zweiten DSBAR, wobei jeder DSBAR folgende Merkmale aufweist:

einen unteren akustischen Filmvolumenresonator (FBAR) und einen oberen FBAR, wobei der obere FBAR 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;

eine erste elektrische Schaltung, die die unteren FBARs verbindet; und
eine zweite elektrische Schaltung, die die oberen FBARs verbindet; wobei:

bei zumindest einem der DSBARs der akustische Entkoppler, eine der Elektroden des unteren FBAR, die zu dem akustischen Entkoppler benachbart ist, und eine der Elektroden des oberen FBAR, die zu dem akustischen Entkoppler benachbart ist, einen parasitären Kondensator bilden; und
der FACT außerdem einen Induktor aufweist, der elektrisch parallel zu dem parasitären Kondensator geschaltet ist.

2. Der FACT gemäß Anspruch 1, wobei:
der FACT ein Durchlassband aufweist; und
der Induktor und der parasitäre Kondensator einen Teil einer Parallelresonanzschaltung bilden, die eine Resonanzfrequenz in dem Durchlassband aufweist.

3. Der FACT gemäß Anspruch 1 oder 2, wobei:
der FACT außerdem ein Substrat aufweist, das angeordnet ist, um die DSBARs zu tragen, wobei das Substrat eine Hauptoberfläche aufweist; und
der Induktor über dem Substrat angeordnet ist.

4. Der FACT gemäß Anspruch 3, bei dem der Induktor folgende Merkmale aufweist:
eine Schicht aus isolierendem Material; und
ein induktives Element über der Schicht aus isolierendem Material.

5. Der FACT gemäß Anspruch 1, 2, 3 oder 4, wobei:
der FACT außerdem folgende Merkmale aufweist:
ein Substrat, das die DSBARs trägt, und
eine Tochterplatine, die elektrisch leitende Bahnen aufweist; und
das Substrat und der Induktor an der Tochterplatine durch die Leiterbahnen elektrisch verbunden befestigt sind.

6. Der FACT gemäß Anspruch 1, 2, 3 oder 4, wobei:
der FACT außerdem ein Gehäuse aufweist, das die DSBARs unterbringt, wobei das Gehäuse folgende Merkmale aufweist:
ein erstes Substrat, das die DSBARs trägt,
ein zweites Substrat, das parallel zu dem ersten Substrat angeordnet ist, und
eine Dichtung, die sich zwischen dem ersten Substrat und dem zweiten Substrat erstreckt; und
der Induktor an dem zweiten Substrat befestigt ist.

7. Der FACT gemäß Anspruch 6, bei dem die Substrate und die Dichtung zusammen eine hermetische Kammer definieren, in der die DSBARs und der Induktor angeordnet sind.

8. Der FACT gemäß Anspruch 1, 2, 3 oder 4, wo-

bei:

der FACT außerdem ein Gehäuse aufweist, das folgende Merkmale aufweist:

ein erstes Substrat, das die DSBARs trägt,
ein zweites Substrat, das parallel zu dem ersten Substrat angeordnet ist, und
eine Dichtung, die sich zwischen dem ersten Substrat und dem zweiten Substrat erstreckt; und
der Induktor in einer Metallschicht definiert ist, die auf einer Oberfläche des zweiten Substrats angeordnet ist.

9. Der FACT gemäß Anspruch 8, bei dem:
das Gehäuse außerdem einen Zwischenverbindungsvorsprung aufweist, der sich zwischen dem ersten Substrat und dem zweiten Substrat erstreckt; und
der Induktor elektrisch über den Zwischenverbindungsvorsprung mit einer der Elektroden des parasitären Kondensators verbunden ist.

10. Der FACT gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche, der außerdem einen Isolationskondensator aufweist, der elektrisch in Reihe mit dem Induktor geschaltet ist.

11. Der FACT gemäß Anspruch 10, bei dem:
der Induktor ein Teil einer Parallelresonanzschaltung ist, die eine Resonanzfrequenz aufweist; und
der Induktor und der Isolationskondensator eine Reihenresonanz bei einer Frequenz aufweisen, die sich von der Resonanzfrequenz um mehr als eine Oktave unterscheidet.

12. Der FACT gemäß Anspruch 10 oder 11, bei dem:
der Isolationskondensator ein Paar von parallelen Platten und ein Dielektrikum zwischen den parallelen Platten aufweist;
eine der parallelen Platten und eine der Elektroden des parasitären Kondensators Teile einer ersten leitfähigen gemeinsamen Schicht sind;
die andere der parallelen Platten und die andere der Elektroden des parasitären Kondensators Teile einer zweiten gemeinsamen leitfähigen Schicht sind; und
das Dielektrikum des Isolationskondensators und das akustische Kopplungselement Teile einer dritten gemeinsamen Schicht sind.

13. Ein DSBAR-Bauelement, das eine Bandpasscharakteristik aufweist, die durch eine Mittenfrequenz charakterisiert ist, wobei das DSBAR-Bauelement 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
einen akustischen Entkoppler zwischen den FBARs, wobei der akustische Entkoppler strukturiert ist, um

eine Phasenänderung, die nominal gleich $\pi/2$ ist, bei einem akustischen Signal zu bewirken, das frequenzmäßig gleich der Mittenfrequenz ist.

14. Das DSBAR-Bauelement gemäß Anspruch 13, bei dem:
der akustische Entkoppler nicht mehr als eine akustische Entkopplungsschicht aus akustischem Entkopplungsmaterial aufweist; und
die akustische Entkopplungsschicht eine Dicke aufweist, die nominal gleich einem Viertel der Wellenlänge des akustischen Signals in dem akustischen Entkopplungsmaterial ist.

15. Das DSBAR-Bauelement gemäß Anspruch 13, bei dem der akustische Entkoppler akustische Entkopplungsschichten aus akustischen Entkopplungsmaterialien aufweist, die unterschiedliche akustische Impedanzen aufweisen.

16. Das DSBAR-Bauelement gemäß Anspruch 13, 14 oder 15, bei dem:
der akustische Entkoppler und benachbarte der Elektroden des unteren FBAR und der Elektroden des oberen FBAR einen parasitären Kondensator bilden; und
das DSBAR-Bauelement außerdem einen Induktor aufweist, der elektrisch parallel zu dem parasitären Kondensator geschaltet ist.

Es folgen 19 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

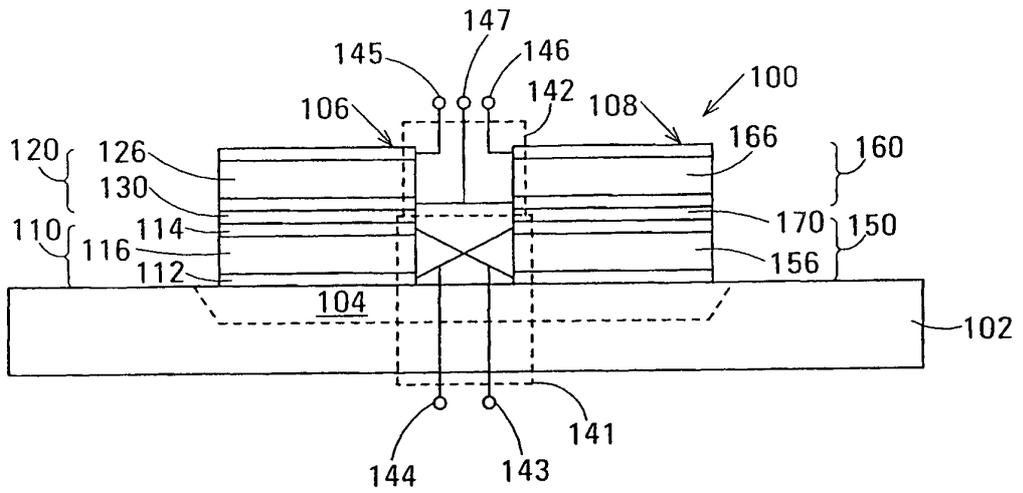


FIG. 1A

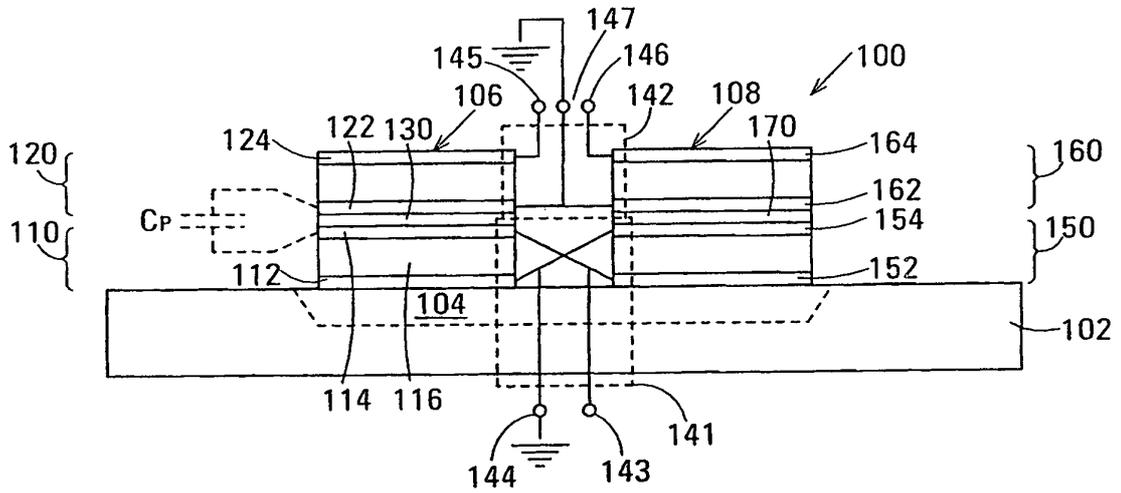


FIG. 1B

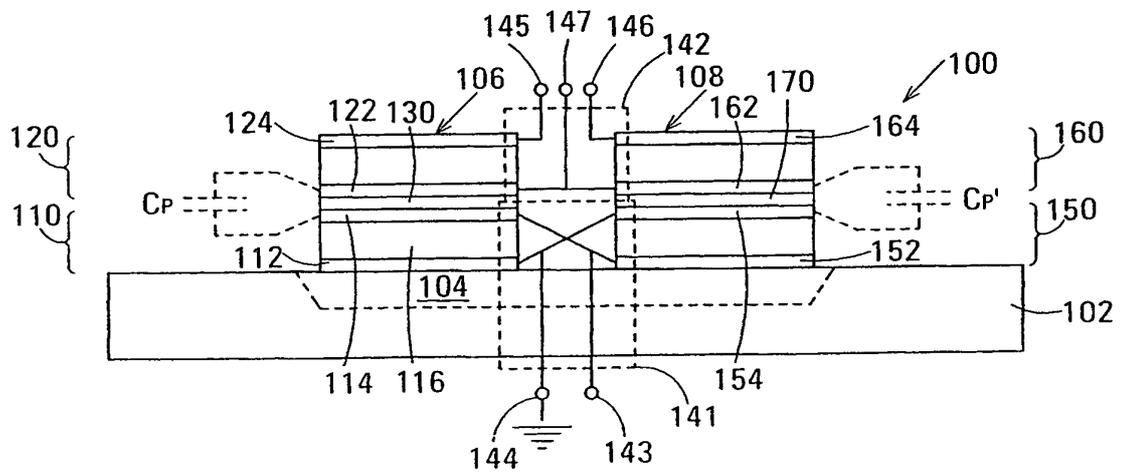


FIG. 1C

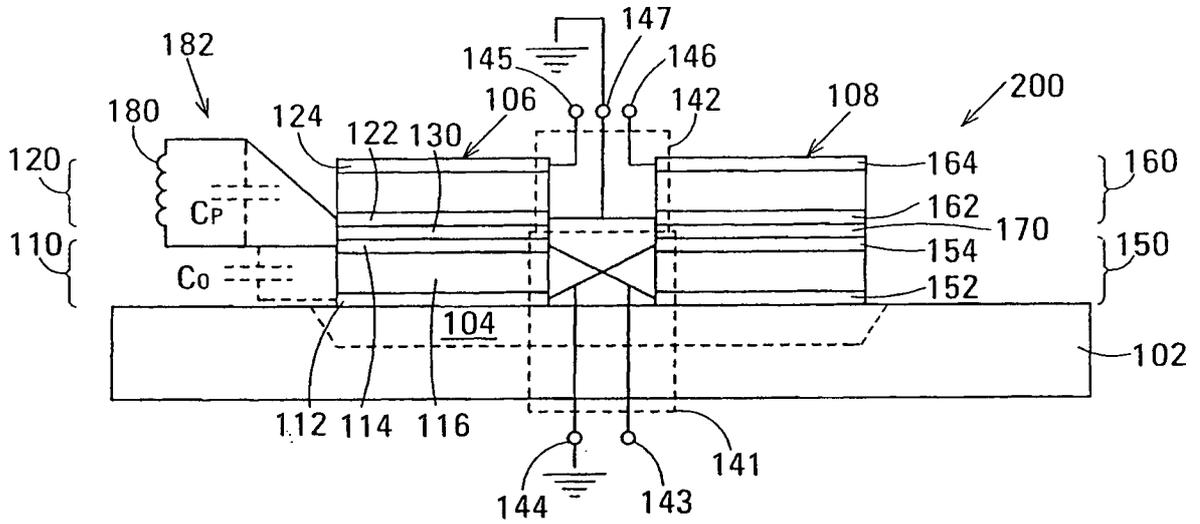


FIG. 2A

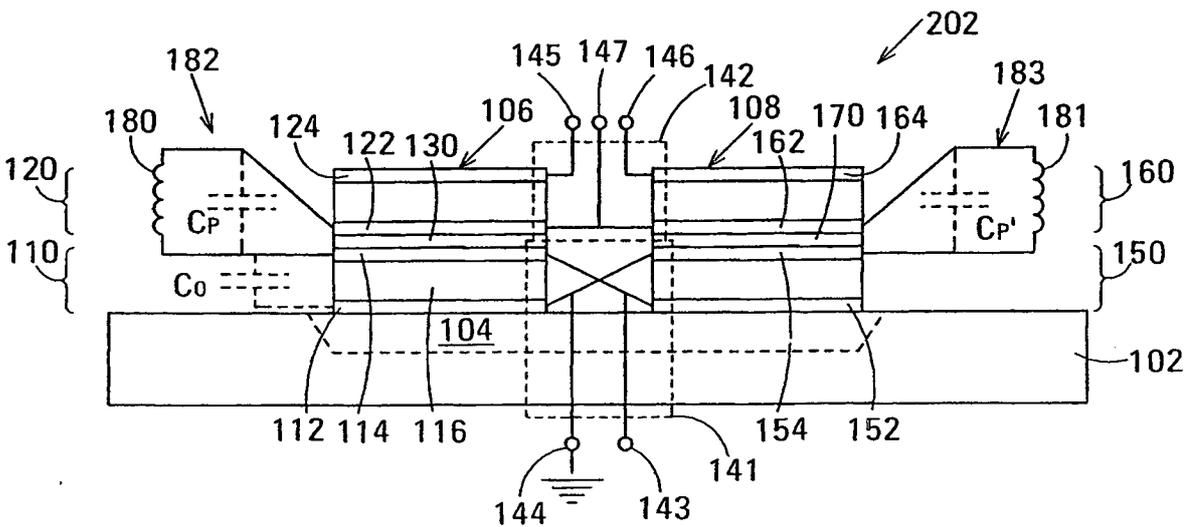


FIG. 2B

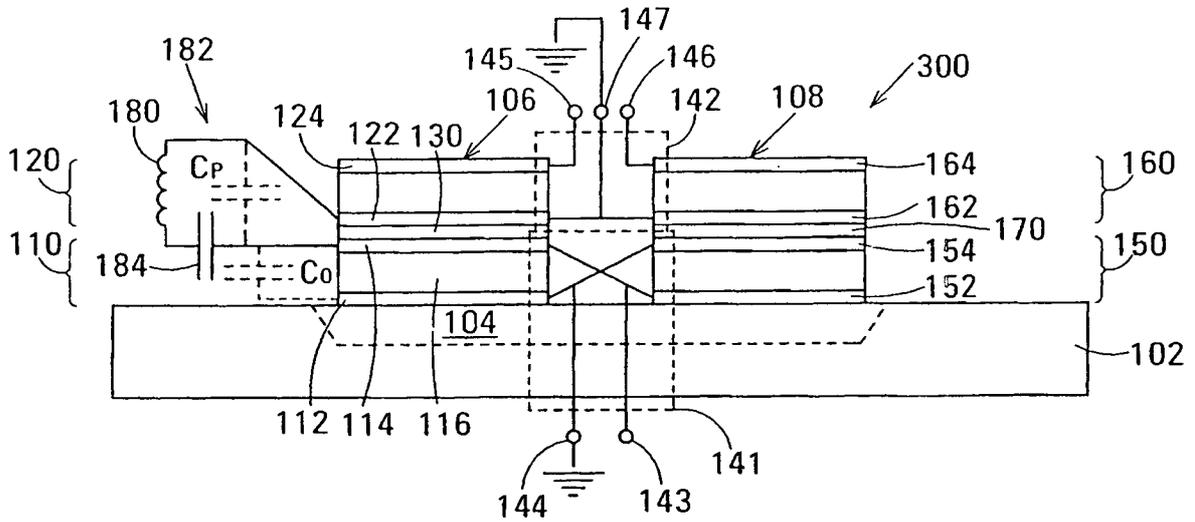


FIG. 3A

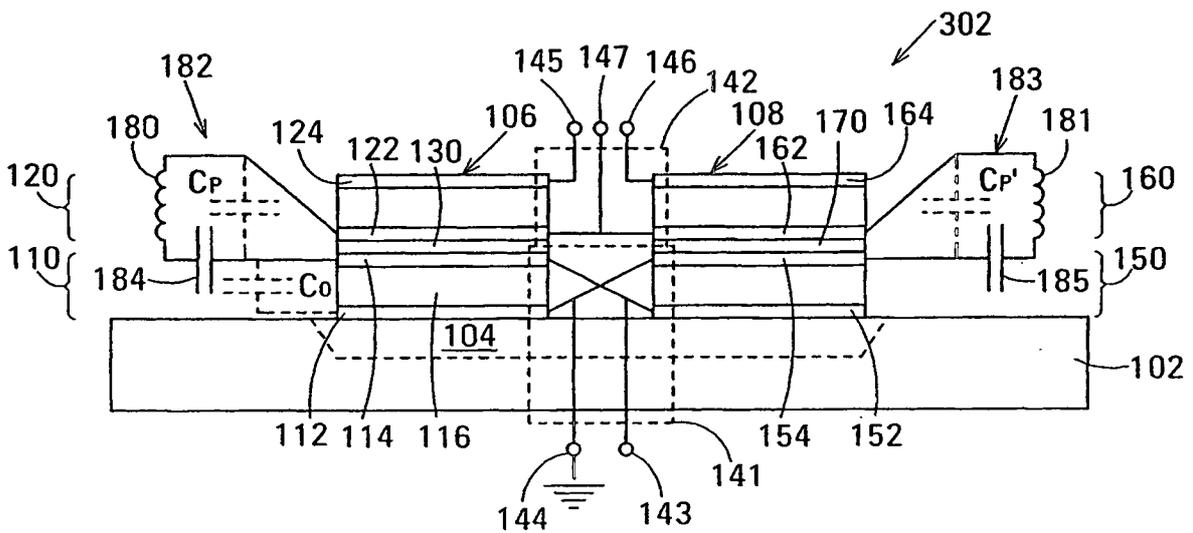


FIG. 3B

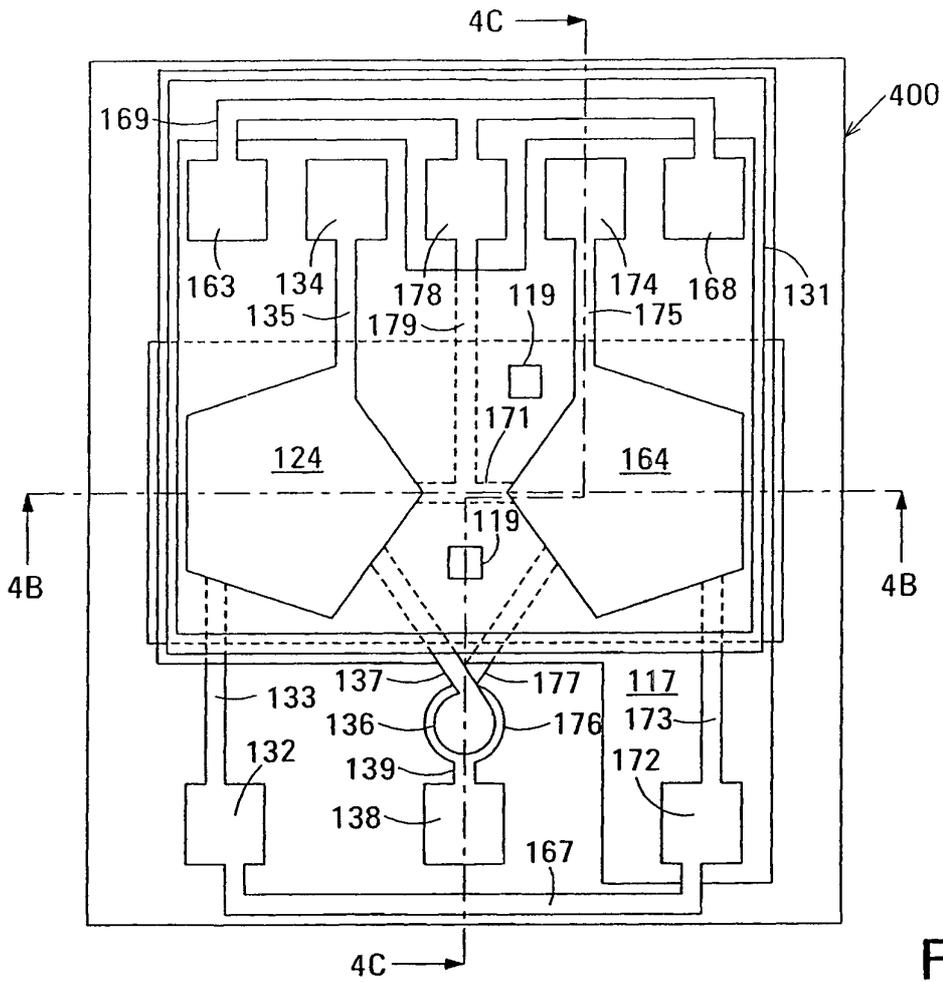


FIG. 4A

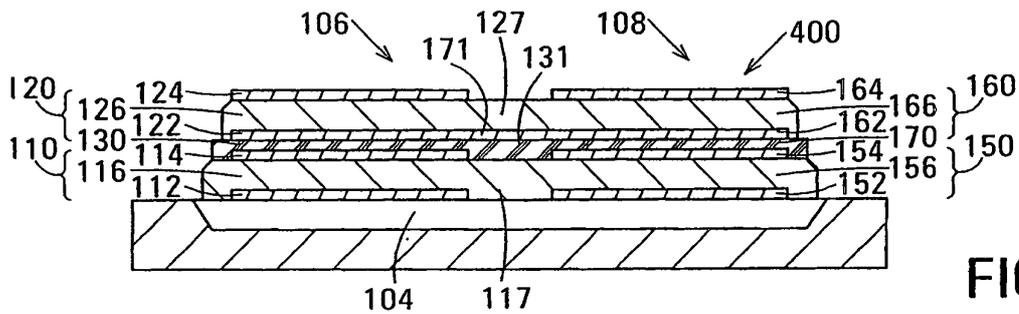


FIG. 4B

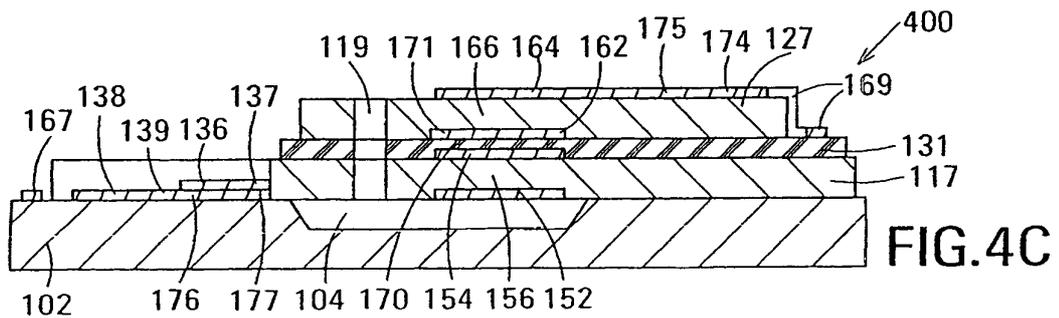


FIG. 4C

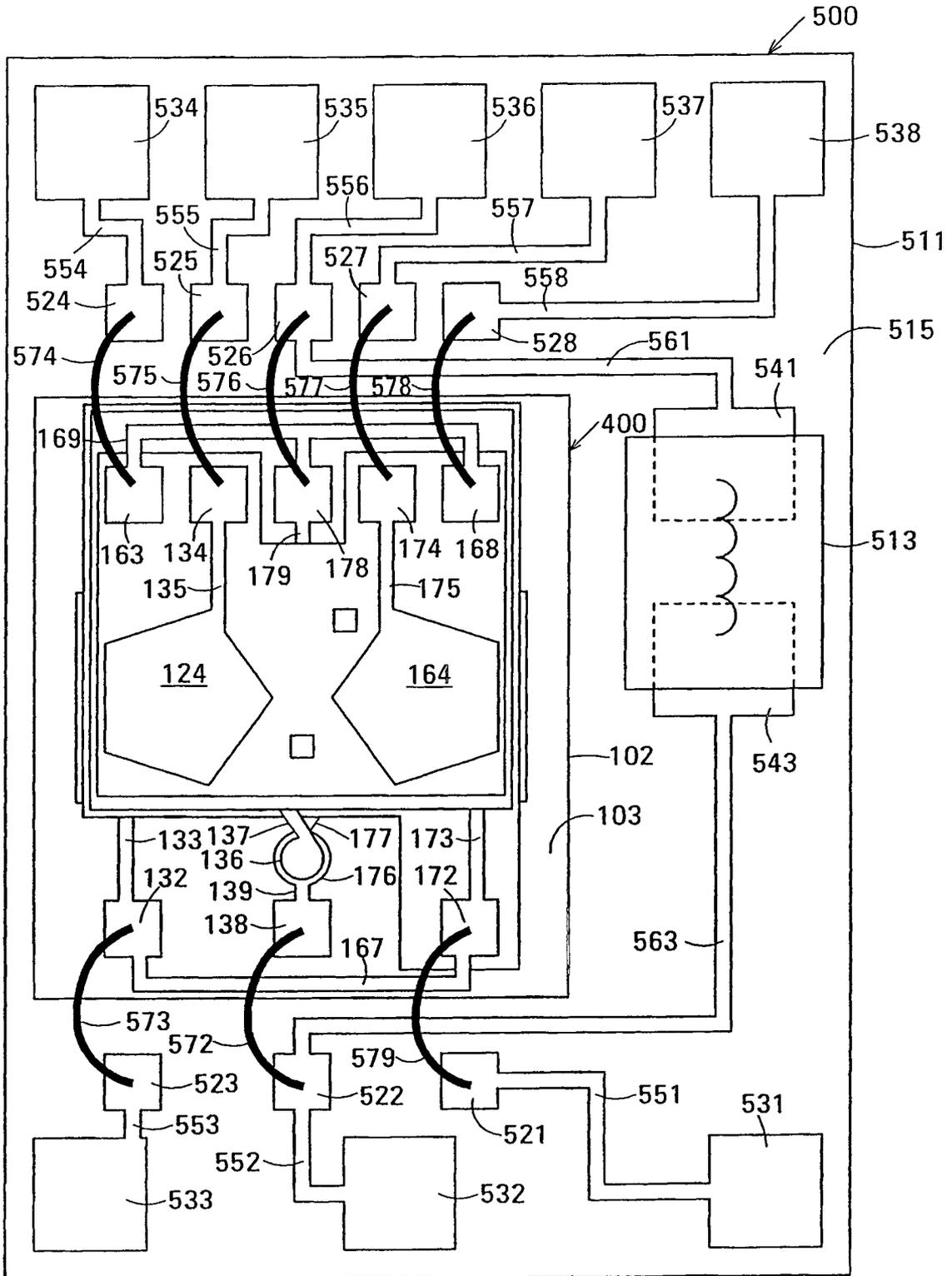


FIG. 5

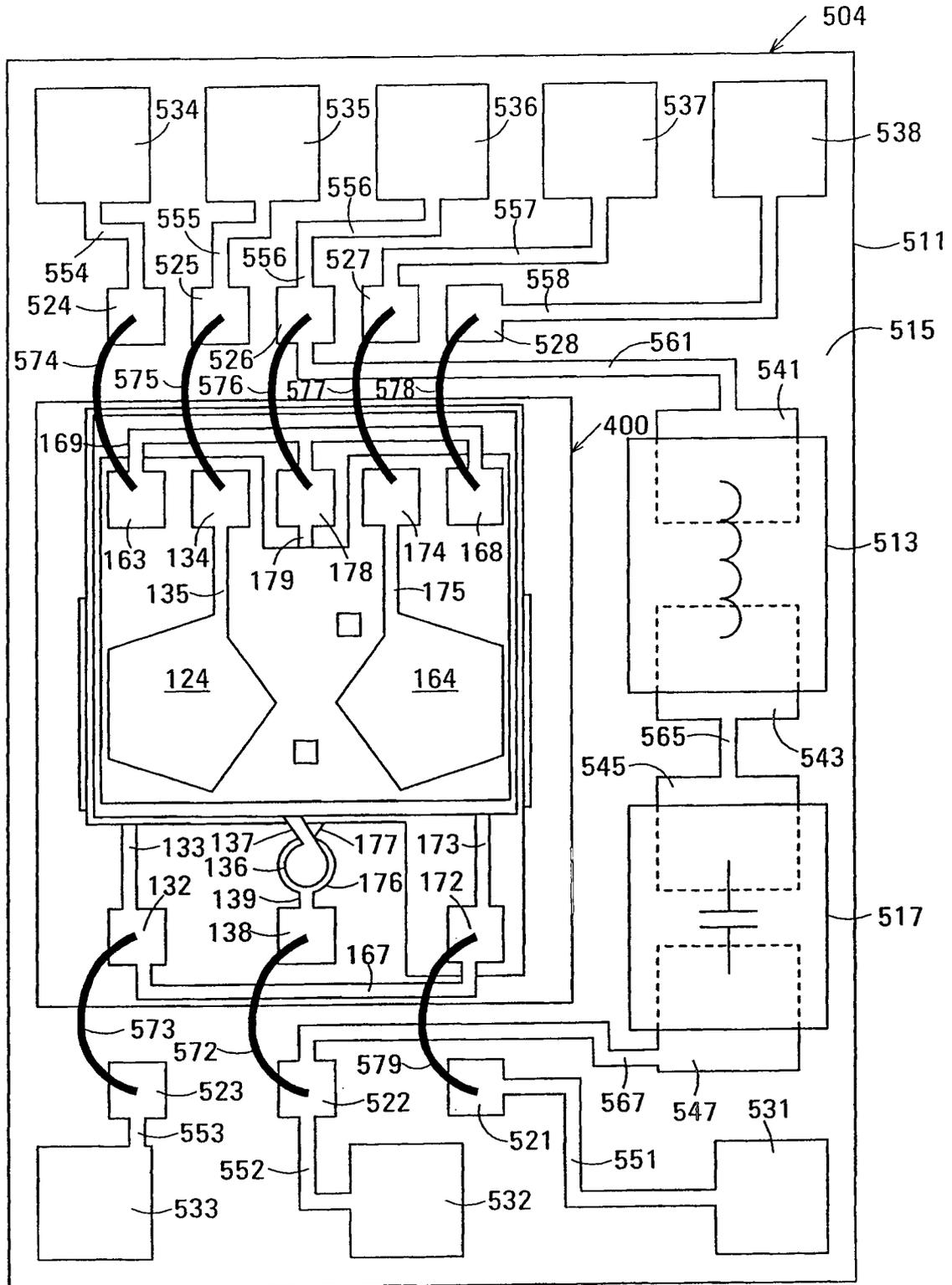


FIG. 7

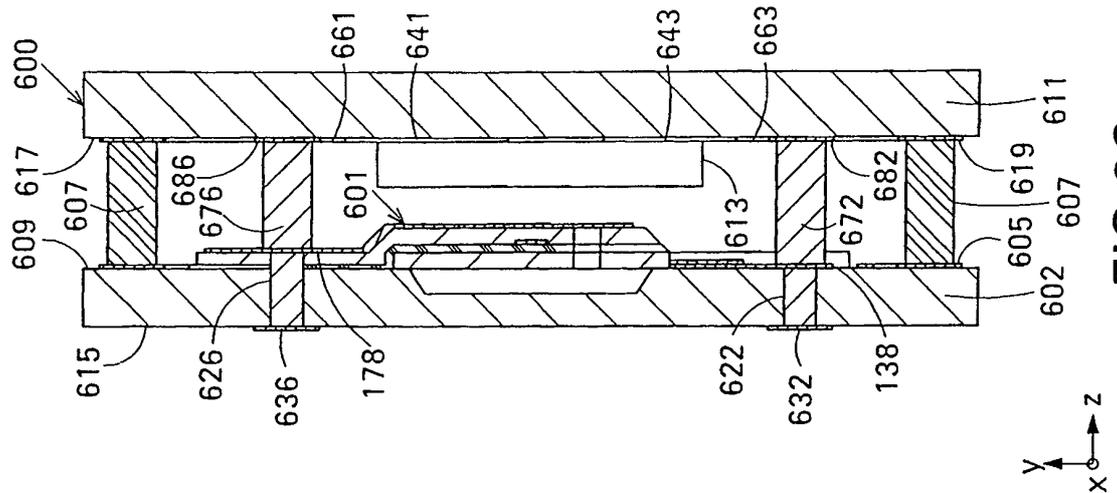


FIG. 8C

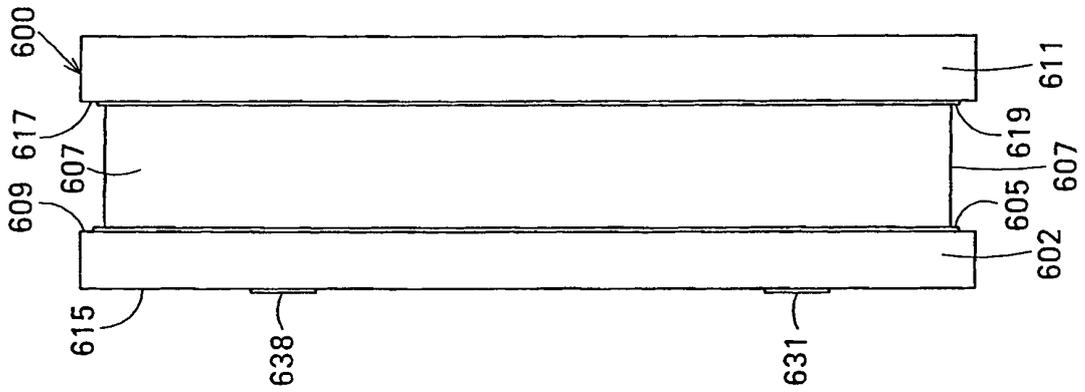


FIG. 8B

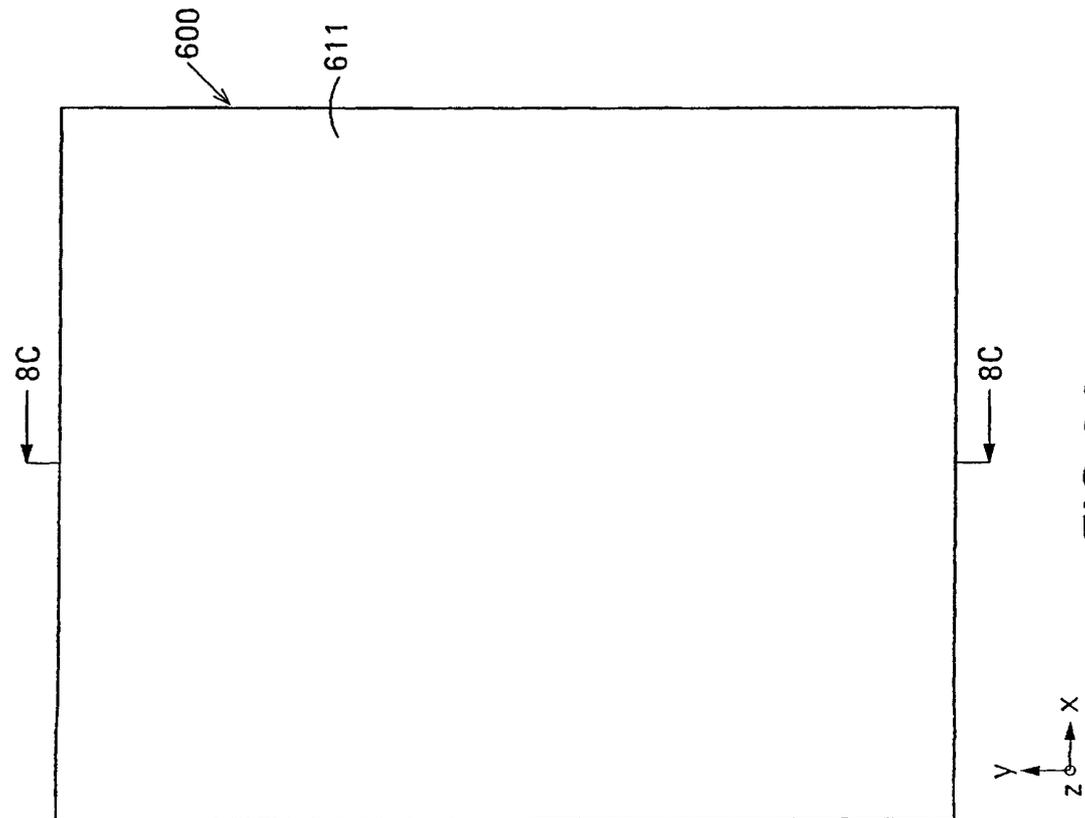


FIG. 8A

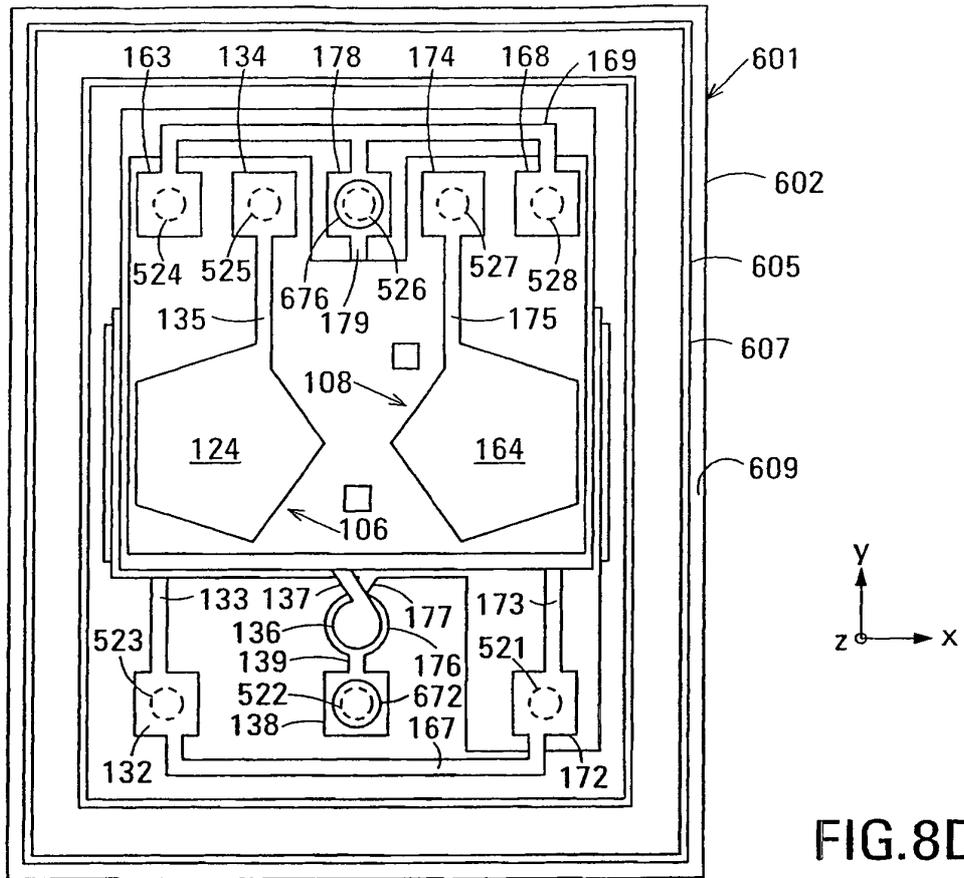


FIG. 8D

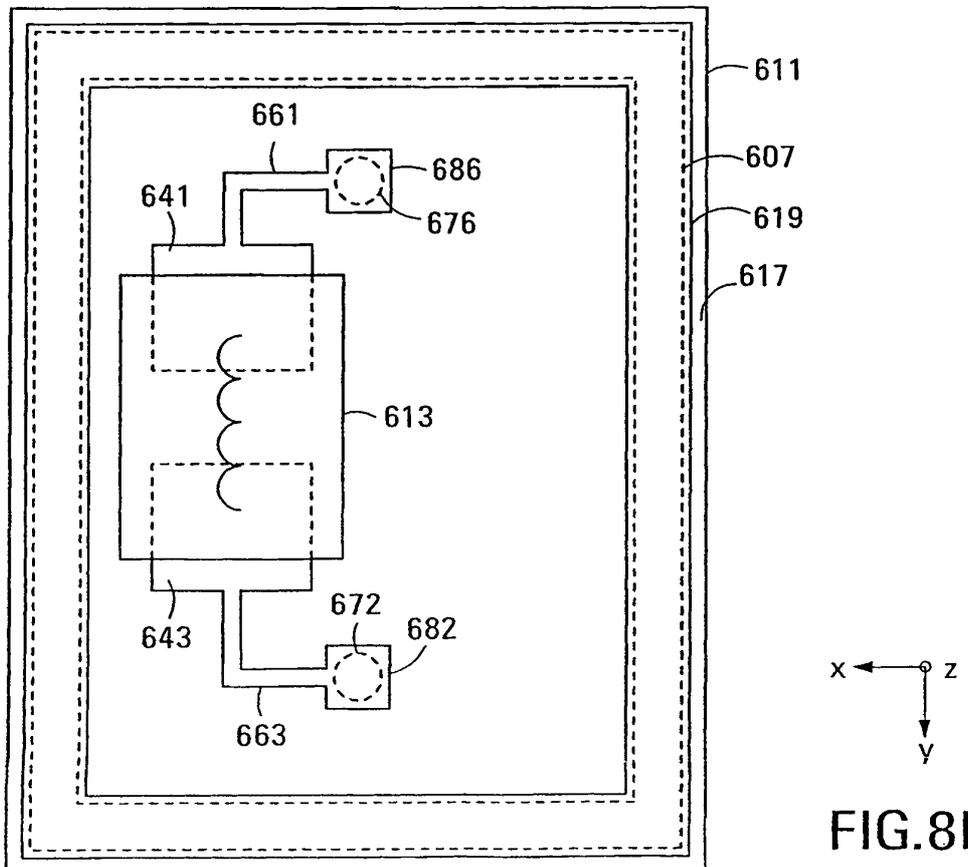


FIG. 8E

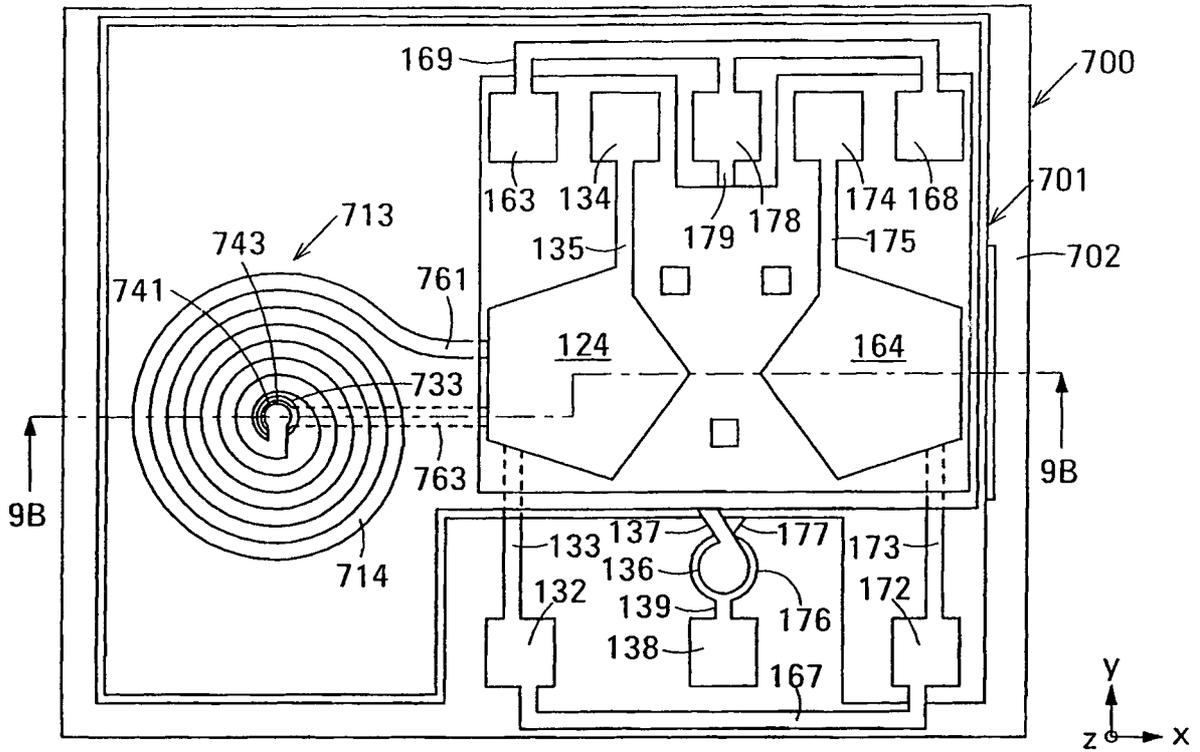


FIG. 9A

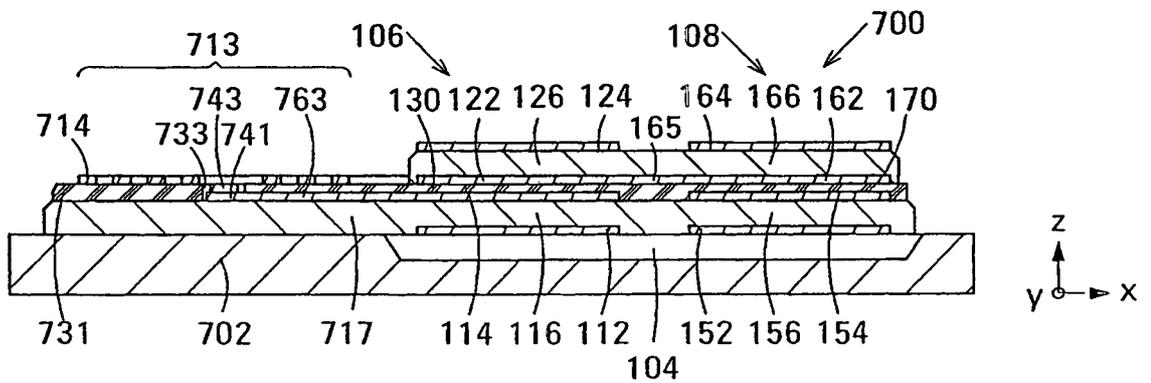


FIG. 9B

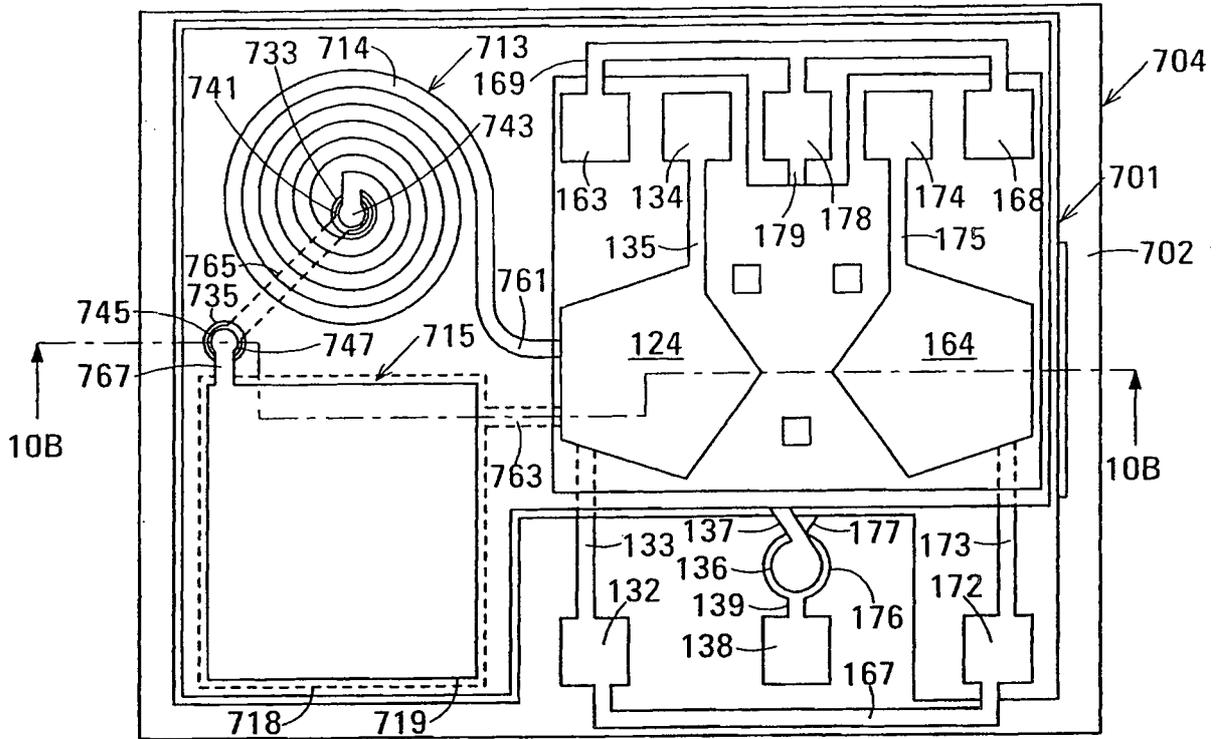


FIG. 10A

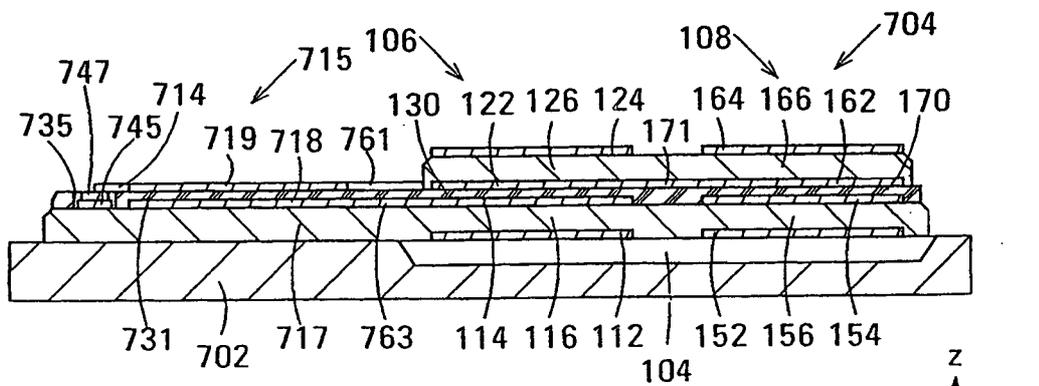


FIG. 10B

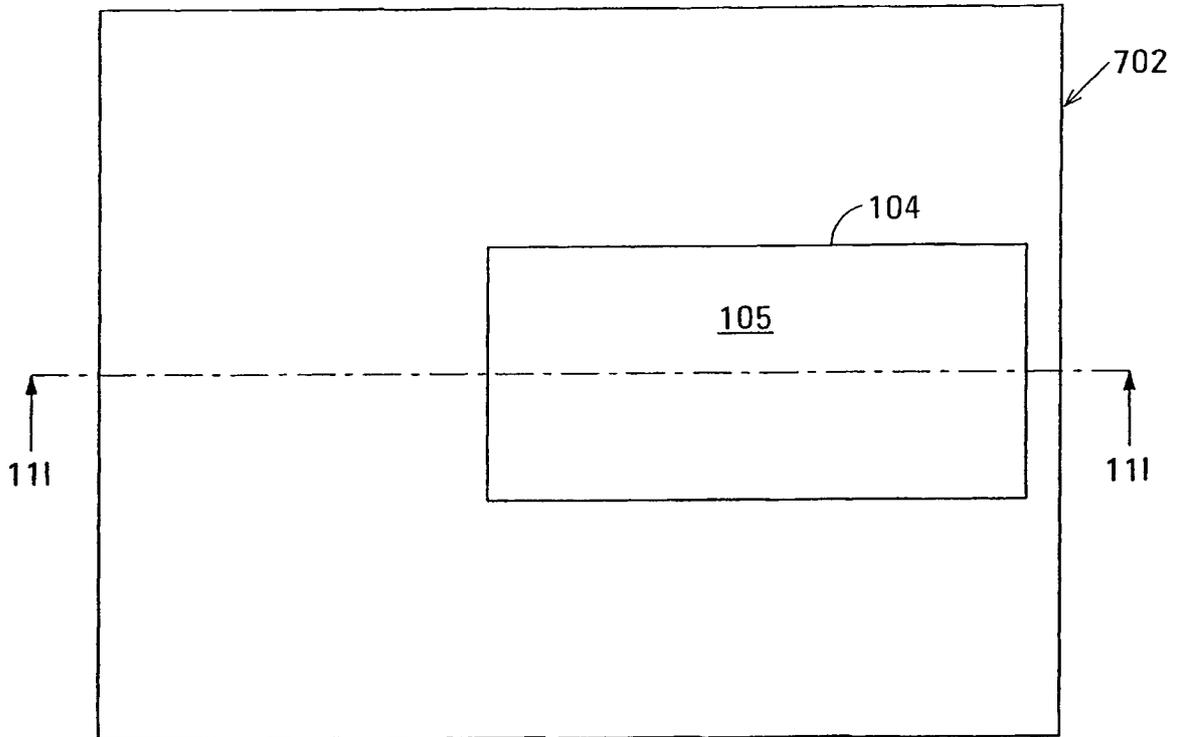


FIG. 11A

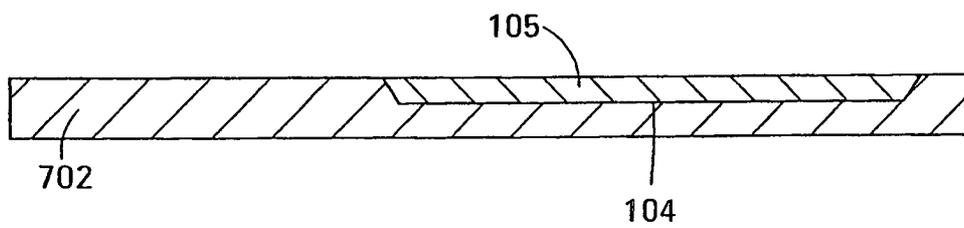


FIG. 11I

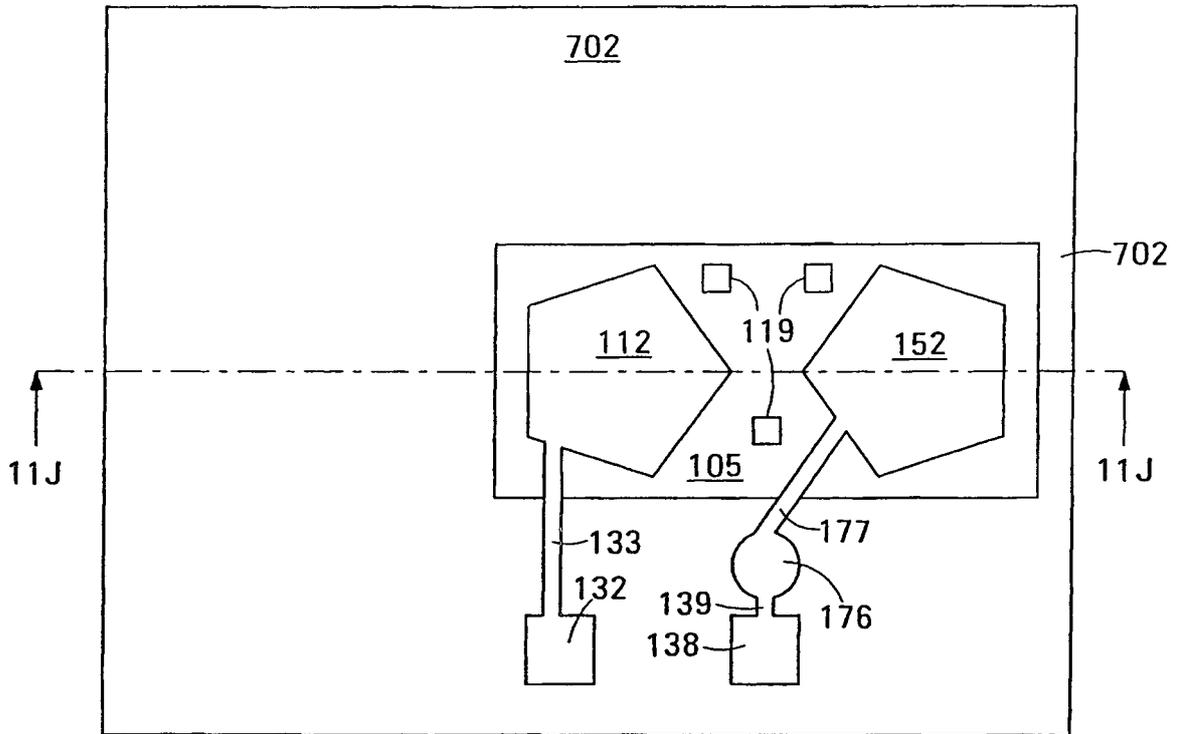


FIG. 11B

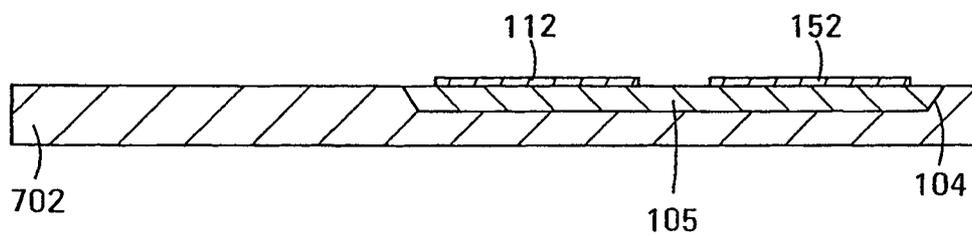


FIG. 11J

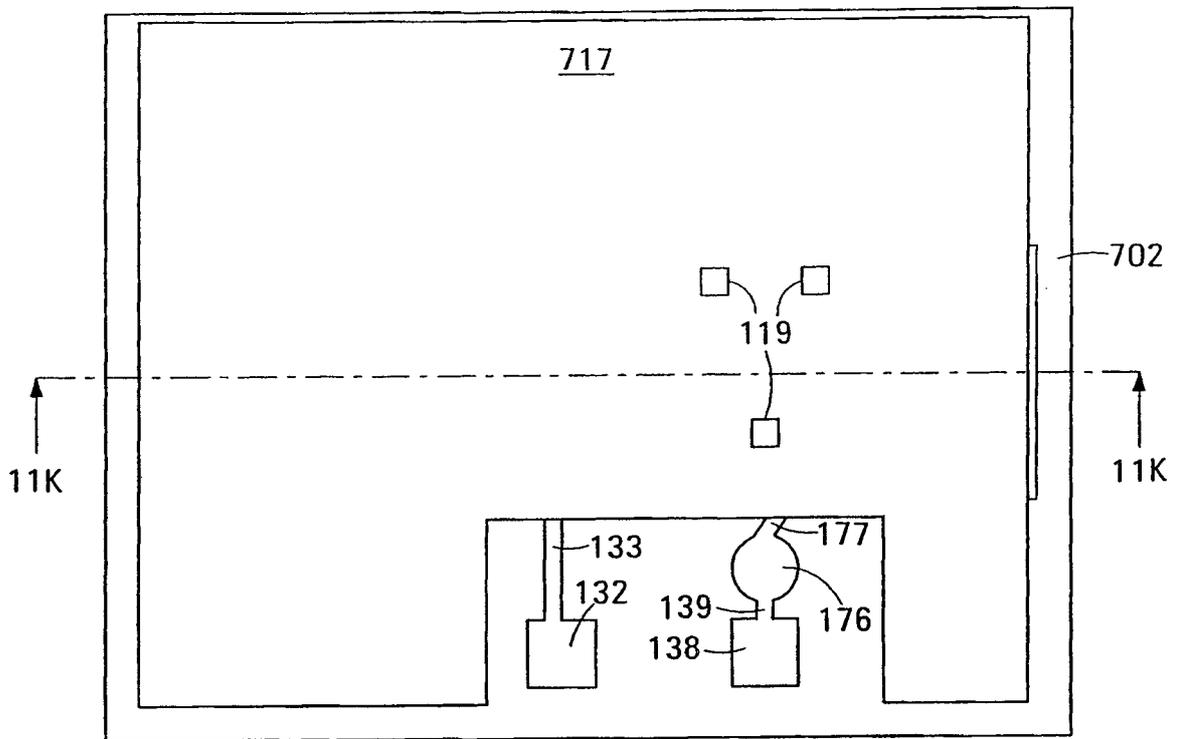


FIG. 11C

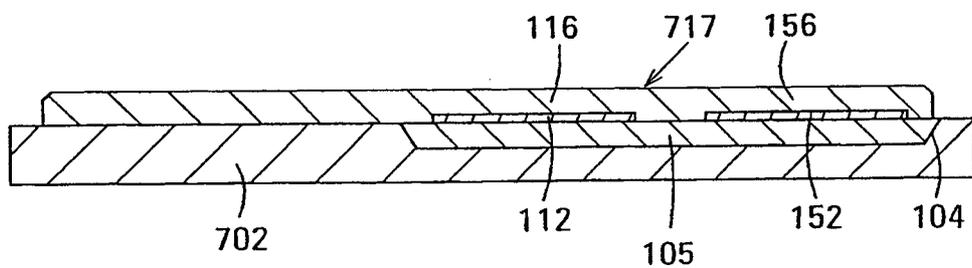


FIG. 11K

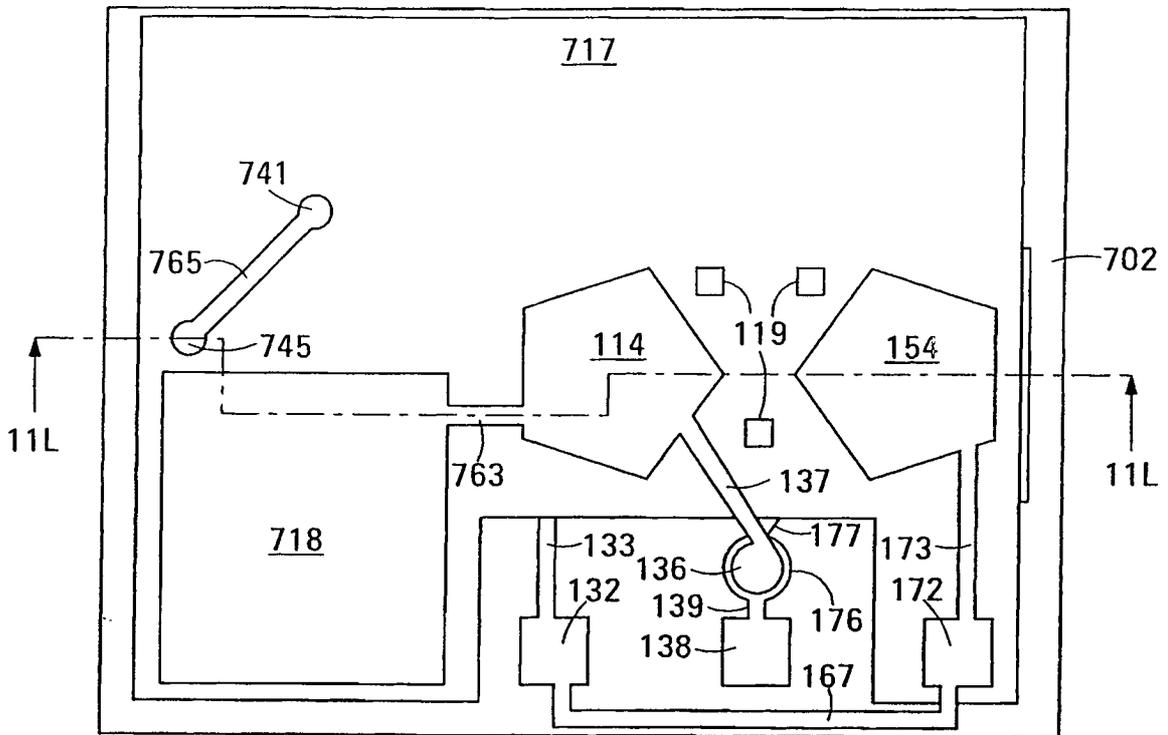


FIG.11D

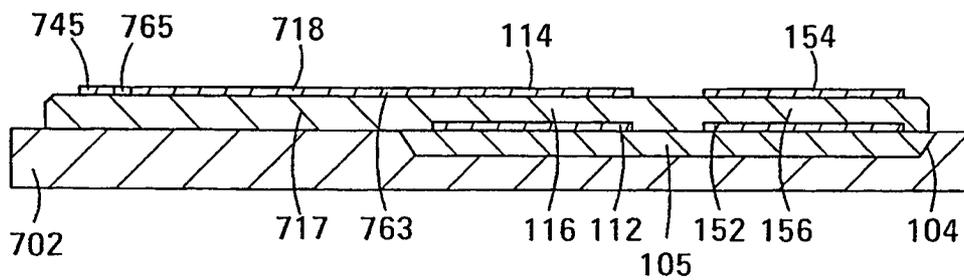


FIG.11L

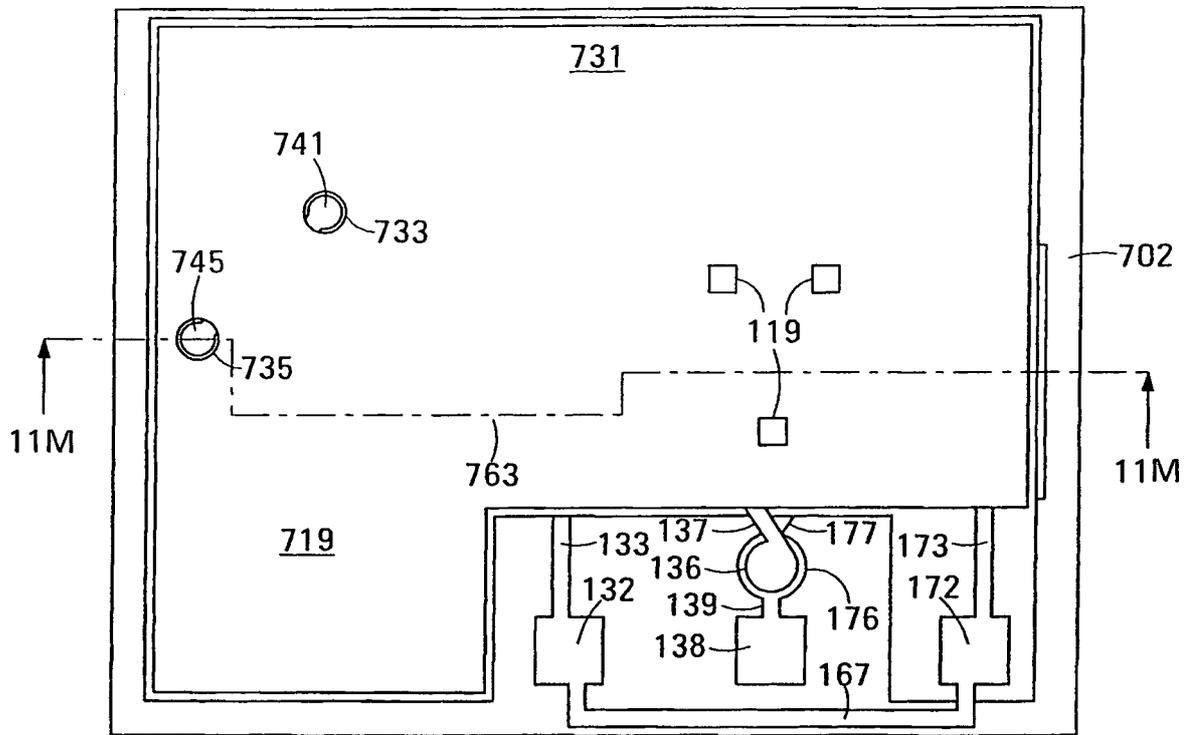


FIG. 11E

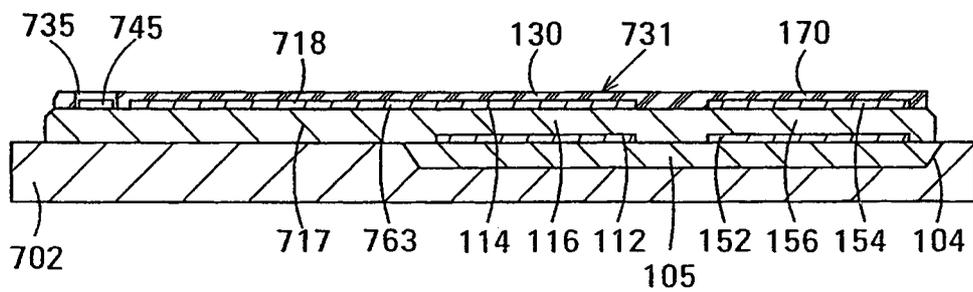


FIG. 11M

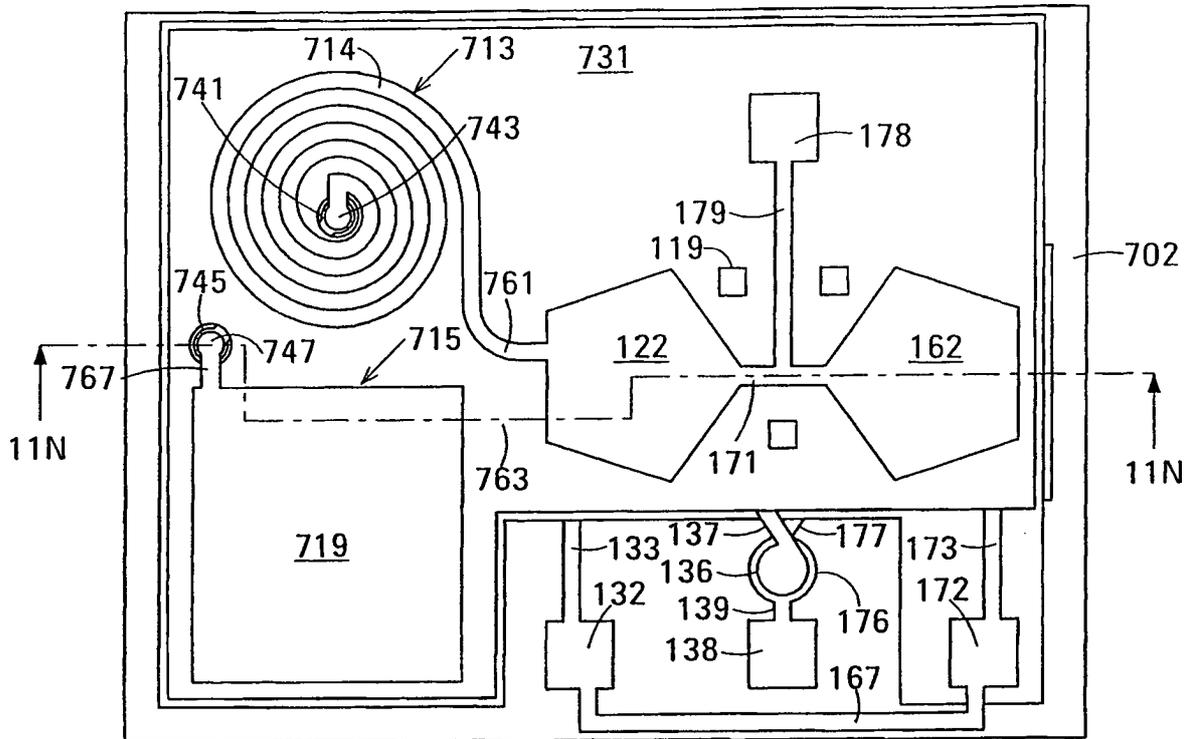


FIG.11F

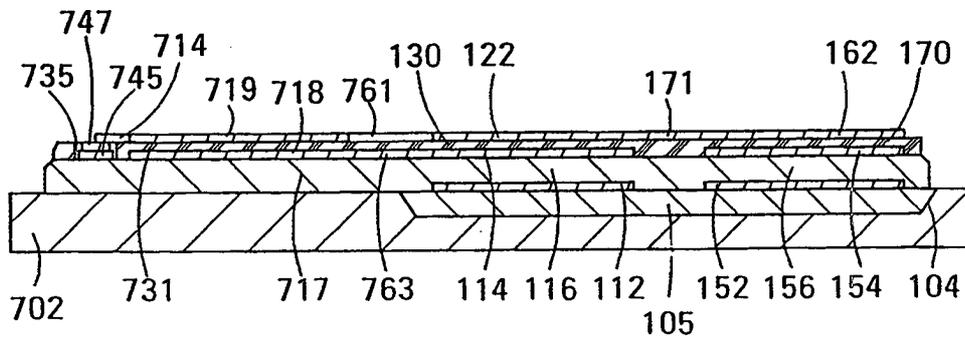


FIG.11N

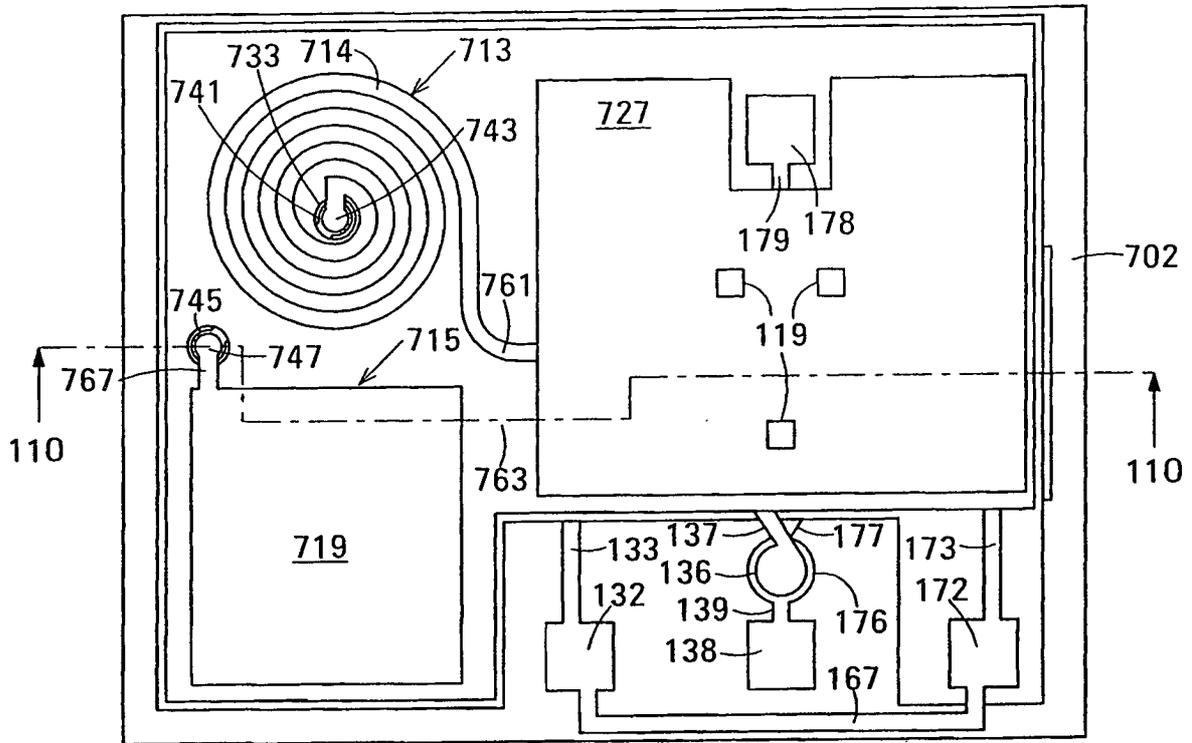


FIG.11G

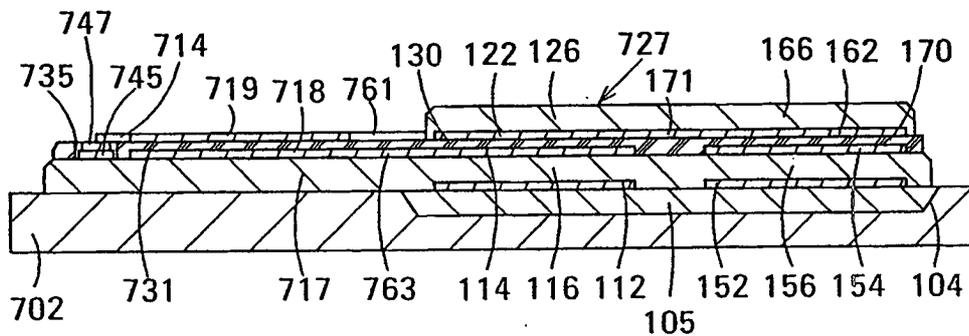


FIG.11O

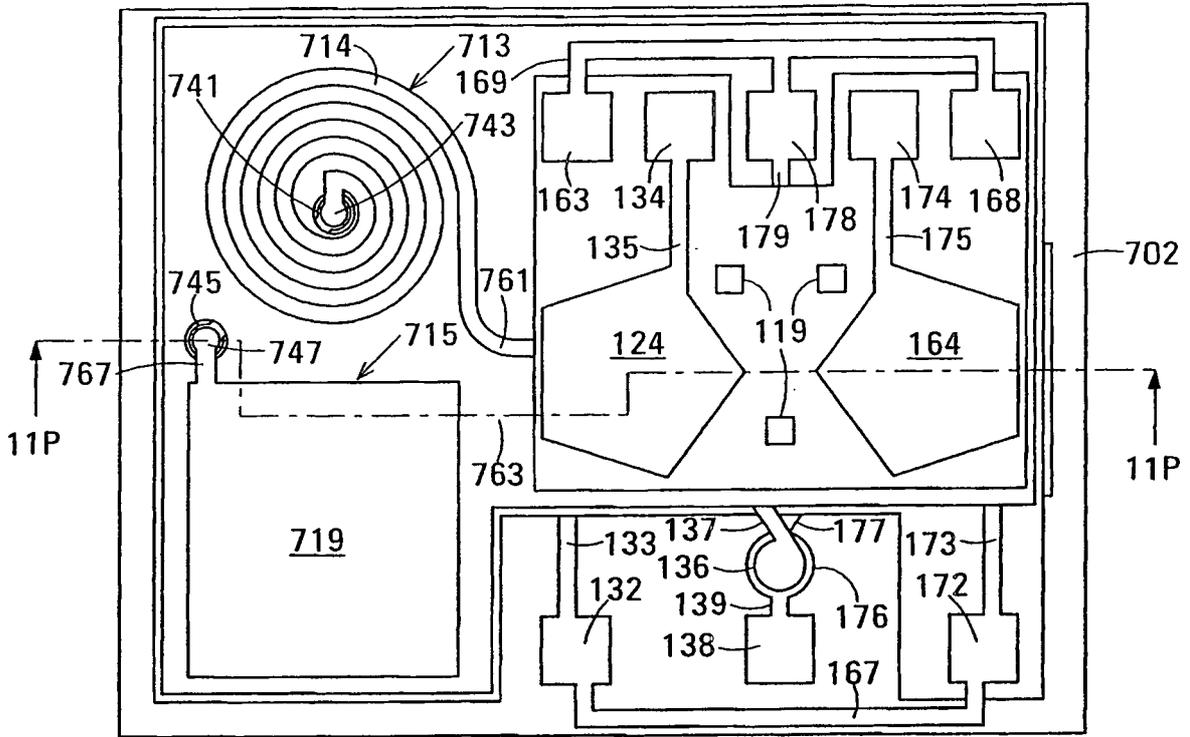


FIG.11H

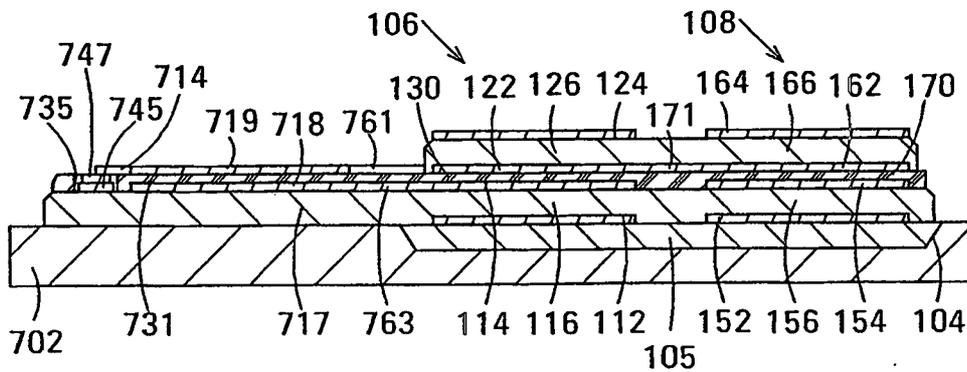


FIG.11P