



(11) **EP 2 266 162 B1**

(12) **EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT**

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des Hinweises auf die Patenterteilung:
23.11.2011 Patentblatt 2011/47

(51) Int Cl.:
H01P 7/06 ^(2006.01) **H01P 11/00** ^(2006.01)
H01P 1/208 ^(2006.01)

(21) Anmeldenummer: **09730813.4**

(86) Internationale Anmeldenummer:
PCT/EP2009/002575

(22) Anmeldetag: **07.04.2009**

(87) Internationale Veröffentlichungsnummer:
WO 2009/124730 (15.10.2009 Gazette 2009/42)

(54) **RESONANZFILTER MIT GERINGEM VERLUST**

RESONANCE FILTER HAVING LOW LOSS

FILTRE À RÉSONANCE À FAIBLES PERTES

(84) Benannte Vertragsstaaten:
AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MK MT NL NO PL PT RO SE SI SK TR

(30) Priorität: **08.04.2008 DE 102008017967**

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:
29.12.2010 Patentblatt 2010/52

(73) Patentinhaber: **EADS Deutschland GmbH**
85521 Ottobrunn (DE)

(72) Erfinder:
• **GAUTIER, William**
89073 Ulm (DE)
• **SCHÖNLINER, Bernhardt**
82054 Sauerlach (DE)

(74) Vertreter: **Schäfer, Matthias W.**
Schwanseestraße 43
81549 München (DE)

(56) Entgegenhaltungen:
WO-A-2004/045018

- **WILLIAM GAUTIER ET AL: "High Q Micro-machined Cavity Resonator Filter in Low-Cost Silicon Technology" MICROWAVE CONFERENCE, 2008. EUMC 2008. 38TH EUROPEAN, IEEE, PISCATAWAY, NJ, USA, 27. Oktober 2008 (2008-10-27), Seiten 1193-1196, XP031407380 ISBN: 978-2-87487-006-4**
- **HARLE L ET AL: "A horizontally integrated micromachined filter" MICROWAVE SYMPOSIUM DIGEST, 2004 IEEE MTT-S INTERNATIONAL FORT WORTH, TX, USA JUNE 6-11, 2004, PISCATAWAY, NJ, USA, IEEE, Bd. 2, 6. Juni 2004 (2004-06-06), Seiten 437-440, XP010727573 ISBN: 978-0-7803-8331-9**

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents im Europäischen Patentblatt kann jedermann nach Maßgabe der Ausführungsordnung beim Europäischen Patentamt gegen dieses Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist. (Art. 99(1) Europäisches Patentübereinkommen).

EP 2 266 162 B1

Beschreibung

Gebiet der Erfindung

[0001] Die Erfindung betrifft das Gebiet von Resonanzfiltern. Genauer betrifft die Erfindung solche Resonanzfilter, die für einen Einsatz im Mikro- und Millimeterwellenbereich geeignet sind, und hier insbesondere solche Filter, die mit mikrotechnischen Verfahren hergestellt werden. Außerdem betrifft die Erfindung ein Verfahren zur Herstellung derartiger Filter.

Stand der Technik

[0002] Filter zum Trennen von Frequenzen sind in der Technik weit verbreitet. Insbesondere in der Nachrichtentechnik kommen elektrische und optische Filter zum Einsatz. Diese Filter haben ganz allgemeinen die Aufgabe, ein an ihrem Eingang anliegendes breites Spektrum aus Frequenzen einzugrenzen und/oder zu transformieren und an ihrem Ausgang zur Verfügung zu stellen.

[0003] Ein wichtiges Kriterium für die Güte eines Filters ist dessen Effektivität in der Übertragung ausschließlich des gewünschten Frequenzbereiches. Ein guter Filter hingegen blockiert möglichst genau nur diejenigen Frequenzen, welche außerhalb des gewünschten Bereiches liegen, und lässt die Frequenzen innerhalb des gewünschten Bandes nahezu ungehindert, also verlustfrei, passieren.

[0004] Der Verlustfaktor und die Trennschärfe, welche vereinfacht durch den so genannten Q-Faktor (auch Gütefaktor) des Filters angegeben werden kann, sind demnach wichtige Unterscheidungsmerkmale von Filtern. Gewünscht sind im Normalfall Filter mit geringen Verlusten und hoher Güte.

[0005] Speziell im Bereich der Nachrichtentechnik, wo Nachrichten mit hohen Frequenzen, geringen Leistungen und über große Entfernungen hinweg übermittelt werden, sind diese Kriterien von besonderer Relevanz.

[0006] Ein häufig benutztes physikalisches Prinzip zur Realisierung von Filtern beruht auf Resonanz; die entsprechenden Filter heißen dementsprechend Resonanzfilter. Diese werden beispielsweise als Hohlleiter- oder in Koaxial-Bauform angeboten. Derartige Filter erfüllen zwar die technischen Anforderungen hoher Güte und geringer Verluste, sind jedoch bauartbedingt groß, schwer und teuer. Des Weiteren sind derartige Filter nur schwer mit der ebenen Bauform konventioneller Schaltungstechnik kombinierbar.

[0007] Zur Umgehung insbesondere des Nachteils der Größe und fehlenden geringen Bauhöhe werden so genannte Kavitäten- Resonanzfilter bzw. planare Hohlraumfilter eingesetzt. Die Kavitäten derartiger Resonanzfilter werden dabei beispielsweise durch Ätzen aus Siliziumwafern hergestellt. Hier sind zwei unterschiedliche Bauarten bekannt. Nach einer ersten Bauart werden die Kavitäten mittels Nassätzen mehrerer einzelner Wafer hergestellt. Danach werden die bearbeiteten Wafer

aufeinander gelegt, exakt zueinander positioniert und dauerhaft miteinander verbunden. Die Kopplung der unterschiedlichen Schichten erfolgt mittels Öffnungen in einer die Wafer bedeckenden Metallschicht. Nach einer zweiten Bauart werden die Kavitäten mittels RIE (reactive ion etching) hergestellt. Dieses Verfahren erlaubt zusätzlich die Herstellung der zur Kopplung einzelner Wafer notwendigen Kopplungsöffnungen zusammen mit den Kavitäten und im gleichen Wafer.

[0008] Nachteilig an der ersten Bauart ist die Notwendigkeit der Justage einer Vielzahl von (zum Beispiel fünf oder mehr) Wafers, die exakt übereinander gelegt und positioniert werden müssen. Ein Nachteil der zweiten Bauart liegt in den hohen Kosten, die eine Fertigung mittels RIE mit sich bringt, da hier trotz der Verwendung von Silizium als Basismaterial der Vorteil einer kostengünstigen Fertigung durch Nassätztechniken nicht genutzt werden kann.

[0009] Die WO 2004 045018 A1 überwindet die oben beschriebenen Nachteile durch das Ätzen von Kavitäten mittels nasschemischer Verfahren in mindestens zwei Siliziumwafer und anschließendes übereinander positionieren derselben. Die Resonanzkavitäten werden dabei durch Kavitäten gebildet, die jeweils in beiden Wafers vorhanden sind. Die Kopplungskavitäten befinden sich hingegen in lediglich einem der Wafer. Auch hier ist eine genaue Positionierung der Wafer zueinander notwendig, insbesondere dann, wenn mehr als zwei Wafer einen Filter formen, aber auch deswegen, weil die Resonanzkavitäten aus zwei Hälften bestehen, und nur bei genauem Zusammenbau die gewünschten Filtereigenschaften zeigen.

Aufgabe der Erfindung und Lösung

[0010] Die Aufgabe der Erfindung ist demnach eine Vermeidung der im Stand der Technik beschriebenen Nachteile wie insbesondere eine fehlende Integrierbarkeit in planare Schaltungstechnik, eine zu große Baugröße, ein zu hohes Gewicht, sowie zu hohe Kosten durch eine aufwändige Fertigungstechnik. Gleichzeitig soll die Erfindung einen Filter mit sehr geringen Verlusten und einer hohen Güte bereitstellen.

[0011] Die Aufgabe wird durch die in Anspruch 1 vorgeschlagene Vorrichtung und das in Anspruch 7 vorgeschlagene Verfahren gelöst. Dementsprechend wird ein Resonanzfilter mit geringem Verlust und hohem Q-Faktor bereitgestellt, der aus zwei Schichten besteht, von denen eine erste Schicht ausschließlich Resonanzkavitäten und eine zweite Schicht ausschließlich Kopplungskavitäten trägt. Es wird außerdem ein Verfahren zur Herstellung des erfindungsgemäßen Filters bereitgestellt.

[0012] Weitere bevorzugte Ausführungsformen sind den abhängigen Ansprüchen, der nachfolgenden detaillierten Beschreibung, sowie den begleitenden Figuren sowie deren Beschreibung zu entnehmen.

Figurenbeschreibung

[0013] Die einzige Figur zeigt einen Resonanzfilter 1 erfindungsgemäßen Aufbaues in Querschnittsansicht.

Beschreibung

[0014] Dementsprechend ist der Filter 1 aus genau zwei Schichten aufgebaut, und zwar aus einer ersten Schicht 2 und einer zweiten Schicht 3.

[0015] Die erste Schicht 2 umfasst zwei Resonanzkavitäten 4. Diese sind nach allen Richtungen hin verschlossen, bis auf eine Richtung, die an der Oberfläche der ersten Schicht 2 liegt. Von dieser Richtung her sind die Kavitäten 4 erzeugt worden, indem selektiv Material aus der ersten Schicht 2 entfernt wurde. Zwischen den beiden Resonanzkavitäten befindet sich eine Trennwand 8.

[0016] Die zweite Schicht 3 umfasst eine Kopplungskavität 5. Auch diese ist nach allen Richtungen hin verschlossen, bis auf eine Richtung, die an der Oberfläche der zweiten Schicht 3 liegt. Von dieser Richtung her ist die Kavität 5 erzeugt worden.

[0017] Die beiden Schichten 2 und 3 sind dergestalt übereinander gelegt, dass sich die jeweiligen Oberflächen, in denen sich die Kavitäten 4 und 5 befinden, berühren. Weiter sind die beiden Schichten 2 und 3 so übereinander positioniert, dass die Kopplungskavität 5 eine Verbindung zwischen den beiden Resonanzkavitäten 4 erzeugt.

[0018] Schließlich umfasst der Filter 1 noch einen Eingang 6 und einen Ausgang 7, welcher jeweils an eine der beiden Resonanzkavitäten 4 grenzt, so dass das entsprechende, zu filternde Signal in den Filter ein- bzw. aus ihm ausgekoppelt werden kann. Der Ein- und/oder der Ausgang sind dabei als MSLs, angedeutet durch die dick gezeichneten horizontalen Linien, ausgeführt.

[0019] Die Erfindung betrifft einen Resonanzfilter, der für den Einsatz im Mikro- und Millimeterwellenbereich geeignet ist, und mit mikrotechnischen Verfahren hergestellt werden kann. Außerdem betrifft die Erfindung ein Verfahren zur Herstellung derartiger Filter, welches insbesondere dadurch gekennzeichnet ist, dass es kostengünstige Herstellungsmethoden aus der Siliziumtechnologie nutzt. In der Anwendung zeigt der Filter geringe Verluste und eine hohe Güte, seine Bauform ist klein und eben, und er lässt sich daher gut in die planare Fertigung von mikroelektronischen Schaltungen integrieren.

[0020] Der erfindungsgemäße Resonanzfilter zum Einsatz im Mikro- und Millimeterwellenbereich besteht nach einer bevorzugten Ausführungsform aus Silizium. Er weist eine erste Schicht auf, welche ihrerseits n aneinander grenzende Resonanzkavitäten aufweist, wobei n mindestens 2 ist. Je nach Anwendungsfall kann die Anzahl der Schichten auch größer als 2 sein. Die Resonanzkavitäten sind dabei jeweils durch eine Trennwand voneinander getrennt. Er weist außerdem eine zweite Schicht mit Kopplungskavitäten auf. Die Anzahl der

Kopplungskavitäten ist vorteilhafterweise mindestens $n-1$, da beispielsweise eine Kopplungskavität zwei Resonanzkavitäten miteinander koppelt, oder zwei Kopplungskavitäten ausreichen, um drei Resonanzkavitäten miteinander zu koppeln.

[0021] Die Kavitäten der ersten Schicht sind dabei ausschließlich als Resonanzkavitäten und die Kavitäten der zweiten Schicht ausschließlich als Kopplungskavität(en) ausgebildet. Das heißt, dass sich in der ersten Schicht keine Kopplungskavitäten oder Teile davon und in der zweiten Schicht keine Resonanzkavitäten oder Teile davon befinden. Hierdurch findet sich die funktionale Trennung der Aufgaben auch in den getrennt voneinander herstellbaren Schichten wieder, woraus unter anderem der Vorteil erwächst, dass jede Schicht mit einem optimal auf ihre Aufgabe abgestimmten Fertigungsverfahren hergestellt werden kann.

[0022] Jede der Resonanz- und Kopplungskavitäten ist dabei nur einseitig und besonders bevorzugt zu einer ihrer Außenflächen hin offen. Demnach besitzt keine der Schichten senkrecht durch sie hindurch laufende Durchbrüche oder Öffnungen, was die Stabilität und Handhabbarkeit der sehr dünnen Wafer-Schichten erhöht.

[0023] Erfindungsgemäß ist die zweite Schicht so auf der ersten Schicht angeordnet, dass die einzelnen Resonanzkavitäten der ersten Schicht mittels der Kopplungskavität(en) der zweiten Schicht untereinander verbunden sind. In einer Draufsicht auf den flächig ausgebildeten Filter überlappen sich die erste Resonanzkavität mit der ersten Kopplungskavität, diese wiederum mit der zweiten Resonanzkavität, und so fort. Die Kopplungskavitäten überbrücken dabei die Trennwände, die sich zwischen den Resonanzkavitäten befinden, und schaffen so eine durchgehende Verbindung zwischen der ersten und der letzten Resonanzkavität. Eine besonders exakte Positionierung der zweiten auf der ersten Schicht ist nicht notwendig, solange sichergestellt ist, dass die erfindungsgemäße Verbindung zwischen den einzelnen Resonanzkavitäten gewährleistet ist. Dies ist bei der vorliegenden Erfindung so, da die elektromagnetische Kopplung durch die Kopplungsaktivität nicht sehr empfindlich auf Positionierungstoleranzen reagiert.

[0024] Der Filter ist als monolithisches Bauteil ausgebildet, da beide Schichten dauerhaft und fest miteinander verbindbar ausgestaltet sind. Die dauerhafte und feste Verbindung der Schichten miteinander wird beispielsweise durch Thermokompressionsbonden der Schichten erreicht. Nach einer weiteren Ausführungsform kann das dauerhafte und hermetische Verbinden der Schichten durch anodisches Bonden, Silizium-Direktbonden, Glas-Frit Bonden, Niedertemperatur-Bonden oder durch adhäsives Bonden, beispielsweise mit Klebstoff oder Photolack erfolgen. Besteht zumindest eine der Schichten aus einem anderen Material als Silizium, beispielsweise aus Glas, Kunststoff oder Keramik, wird das dauerhafte und hermetische Verbinden der Schichten an die Art der Verbindungsflächen angepasst. Nach einer bevorzugten Ausführungsform weist der Filter auch Einrichtungen zur

Ein- und Auskopplung des zu filternden Signals auf. Nach einer besonders bevorzugten Ausführungsform liegen diese in Form von MSLs (microstrip lines) vor. Besonders bevorzugt haben die MSLs eine Breite im Bereich von 1 bis 10 Mikrometern und eine Länge im Bereich von 100 bis 1000 Mikrometern. Die MSLs können zur besseren Ein- bzw. Auskopplung des Signals auch mit einem Dielektrikum gefüllt sein oder daraus bestehen. Die Länge der MSL kann dabei beliebig sein.

[0025] Bevorzugt sind die Geometrien des Filters und insbesondere der Resonanzkavitäten so bemessen, dass sie für den Einsatz des Filters im Mikro- bis Millimeterwellenbereich ausgelegt sind. Nach einer anderen Ausführungsform sind die Geometrien so bemessen, dass der Filter für den Einsatz in Bereichen kleinerer, nach einer weiteren Ausführungsform für den Einsatz in Bereichen größerer Wellenlängen geeignet ist. Diese Anpassung kann bevorzugt durch eine Vergrößerung bzw. Verkleinerung und hierbei insbesondere einer Verlängerung bzw. Verkürzung der Resonanzkavitäten erreicht werden.

[0026] Nach einer weiteren bevorzugten Ausführungsform sind die Geometrien der Resonanzkavitäten derart ausgestaltet, dass sie veränderbar sind, wodurch der Betriebswellenlängenbereich ebenfalls veränderbar wird. Auf diese Weise kann der Filter an unterschiedliche Aufgaben angepasst werden, ohne ihn ersetzen zu müssen.

[0027] Nach einer anderen bevorzugten Ausführungsform ist der Filter abstimmbar ausgestaltet. Das bedeutet, dass er über geeignete Einrichtungen verfügt, die eine einfache und dauerhafte Änderung des Betriebswellenlängenbereiches in gewissen Grenzen ermöglichen. Da die Eigenschaften von Resonanzfiltern aufgrund leichter Variationen im Herstellungsprozess ebenfalls gewissen Variationen unterliegen und/oder Temperaturänderungen im laufenden Betrieb erfahren, die insbesondere auch ihre Resonanzfrequenz betreffen, die unter anderem für ihren Betriebswellenlängenbereich maßgeblich ist, ist es vorteilhaft, wenn nach der Fertigung eines Filters eine Möglichkeit zum nachträglichen Feinabstimmen der Resonanzfrequenz gegeben ist. Dies kann beispielsweise dadurch geschehen, dass geometrische Merkmale wie kürzbar ausgestaltete Zungen, vergrößerbar ausgestaltete Durchgänge zu Nebenkammern, abtragbar ausgestaltete Schichten oder ähnliches vorgesehen sind, die durch äußere Einwirkung, beispielsweise mittels Laserablation, leicht so verändert werden können, dass sie die Resonanzfrequenz entsprechend beeinflussen. Dies kann auch elektronisch mit einer integrierten Schaltung zur Frequenzabstimmung geschehen und/oder dadurch, dass im Filter weitere gekoppelten Strukturen integriert sind, die einen Teil der Leistung aus dem Hohlraum auskoppeln. Solche Strukturen können ferroelektrische Abstimmioden oder Kapazitätsdioden sein, deren Kapazität beispielsweise durch Anlegen einer Spannung und/oder Änderung der Temperatur verstimmbar ist. Weitere Einrichtungen zur Abstimmung umfassen Komponente mit einem oder

mehreren integrierten Kondensatoren, deren Kapazitäten geändert werden können, beispielsweise durch elektrooptische und/oder thermooptische Veränderungen von vorhandenen Polymeren oder dadurch, dass Kondensatoren aus einem festen und einem beweglichen Teil bestehen, beispielsweise aus einer Membrane oder einem Streifen, die sich gegenüberstehen und gegenseitig isoliert sind, wobei die Verschiebung des beweglichen Teils elektrostatisch, piezoelektrisch und/oder thermisch betätigt wird. Noch weitere Einrichtungen zur Abstimmung des Filters umfassen Stichleitungen, die durch Laserstrahlinduzierte Materialveränderungen abgeglichen werden. Nach anderen Ausführungsformen kann mindestens eine der Schichten des Filters anstelle aus Silizium aus einem Material wie Glas, Kunststoff und Keramik bestehe. Je nach Anforderung an die Betriebsumgebung des Filters (z.B. besonders hohe Temperaturen) und Möglichkeiten der zugrunde liegenden Fertigungstechnologie kann die Verwendung eines anderen Materials als Silizium sinnvoll oder auch notwendig sein.

[0028] Nach einer bevorzugten Ausführungsform des Filters weist die erste Schicht eine Dicke im Bereich von 1.200 Mikrometern und die zweite Schicht eine Dicke im Bereich von 200 Mikrometern auf. Nach anderen Ausführungsformen können beide Schichten gleich dick sein. Nach wieder einer anderen Ausführungsform können beide Schichten ursprünglich aus einer Schicht bestehen, die nach dem Einbringen der entsprechenden Strukturen (insbesondere der Kavitäten) in einzelne Segmente aufgetrennt wird, welche dann die erste bzw. die zweite Schicht bilden. Nach einer besonders bevorzugten Ausführungsform weist der Resonanzfilter demnach in einer ersten, dickeren Schicht zwei Resonanzkavitäten mit einem rechteckigen Grundriss und einem trapezförmigen Querschnitt und außerdem eine Trennwand auf, die dergestalt angeordnet ist, dass sie beide Resonanzkavitäten voneinander trennt. Außerdem weist er eine in einer zweiten, dünneren Schicht angeordnete und ebenfalls rechteckige, bevorzugt jedoch kleinere Kopplungskavität mit einem trapezförmigen Querschnitt auf. Dabei sind die lateralen Abmessungen der Kopplungskavität zumindest so groß, dass diese wenigstens einige Mikrometer größer als die Dicke der Trennwand ist. Die Kopplungsaktivität reicht dabei typischerweise ca. 100 bis 500 Mikrometern über die Trennwand hinaus. Die zweite Schicht und die erste Schicht sind dergestalt übereinanderlegbar ausgestaltet, dass die Kopplungskavität, wenn sie über der Trennwand angeordnet ist, diese in Richtung der Resonanzkavitäten beidseitig symmetrisch überragt, so dass sie eine Verbindung zwischen beiden Resonanzkavitäten bildet. Zusätzlich weist der Filter außerdem Einrichtungen zur Ein- und Auskopplung in Form von MSLs (microstrip lines) auf, die jeweils auf der außenliegenden Oberfläche der zweiten Schicht angeordnet sind und eine Position und Länge aufweisen, aufgrund derer sich jede MSL zumindest teilweise oberhalb der jeweils darunter liegenden Resonanzkavität befinden, so dass eine gute Ein- und Auskoppelung des Si-

gnals gewährleistet ist. Wie bereits weiter oben angesprochen, wird auch ein Verfahren zur Herstellung des erfindungsgemäßen Resonanzfilters bereitgestellt. Dieses Verfahren nutzt bevorzugt mikrotechnische Fertigungsverfahren für Siliziumwafer, wobei klar ist, dass im Falle anderer Filtermaterialien (insbesondere im Hinblick auf die Materialien der ersten und/oder zweiten Schicht) ein entsprechend an das Material angepasstes Fertigungsverfahren ausgewählt werden muss. Daher sind die in den hier aufgezählten Schritten genannten Ausführungsformen nicht als Einschränkung, sondern vielmehr als Richtschnur aufzufassen.

[0029] Demnach weist das Verfahren folgende Schritte auf:

- Bereitstellen einer ersten Schicht, die bevorzugt aus Silizium besteht;
- Maskieren der ersten Schicht, beispielsweise mittels entsprechender Resists und Belichtungsverfahren;
- Herstellen von Resonanzkavitäten in der ersten Schicht, bevorzugt mittels Ätzen;
- Bereitstellen einer zweiten Schicht, die bevorzugt ebenfalls aus Silizium besteht;
- Maskieren der zweiten Schicht, vorzugsweise mit denselben Methoden wie die erste Schicht;
- Herstellen einer oder mehrerer Kopplungskavitäten in der zweiten Schicht, bevorzugt ebenfalls mit denselben Methoden wie die erste Schicht;
- Positionieren der zweiten Schicht auf der ersten Schicht, so dass die Resonanzkavitäten mittels der Kopplungskavität(en) miteinander verbunden werden, wobei sich die Kopplungskavität(en) oberhalb der Trennwand bzw. der Trennwände befinden und diese überbrücken;
- dauerhaftes Verbinden der positionierten ersten und zweiten Schicht miteinander, so dass der Verbindungsspalt hermetisch dicht ist, wobei bevorzugt Verfahren aus der Mikroelektronik oder Mikrotechnik, wie zum Beispiel Waferbonden oder Kleben, zum Einsatz kommen.

[0030] Die Reihenfolge der hier aufgezählten Schritte kann ggf. dahingehend variiert werden, dass bestimmte Schritte wie z.B. das Maskieren zur Rationalisierung zusammengefasst werden können. Beispielsweise können beide Schichten parallel maskiert und anschließend gemeinsam behandelt (z.B. geätzt) werden, wobei das Maskieren und Behandeln zumindest zeitlich parallel erfolgen kann, aber auch räumlich parallelisierbar ist. Das bedeutet, dass beide Schichten zunächst aus einer einzigen Schicht bestehen, dann maskiert, behandelt, und

schließlich voneinander getrennt werden.

[0031] Nach einer besonders bevorzugten Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens erfolgt die Behandlung der Schichten insbesondere zur Herstellung der Kavitäten mittels KOH- oder TMAH-Ätzen. Diese Verfahren zur Behandlung von Silizium sind seit langem etablierter Stand der Technik und daher besonders kostengünstig und erprobt in ihrer Anwendung.

[0032] Nach einer weiteren bevorzugten Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens werden die Siliziumschichten vor oder nach ihrem Zusammenbringen einseitig oder beidseitig metallisiert und/oder strukturiert. Da Gold eine hohe elektrische Leitfähigkeit besitzt, nicht oxidiert und beim Thermokompressionsbonden verwendet werden kann, wird vorzugsweise Gold für die sehr dünne Metallisierung verwendet. Andere Materialien, die ebenfalls über eine gute elektrische Leitfähigkeit verfügen, können für die Metallisierung der Schichten auch verwendet werden, wie z.B. Kupfer, Aluminium oder andere Metallegierungen. Die weitere Strukturierung der Schichten erfolgt durch konventionelles Aufschleudern von Fotolack, Belichtung und anschließendes Trocken- und/oder Nassätzen.

[0033] Nach einer weiteren bevorzugten Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens erfolgt das dauerhafte Verbinden der Schichten durch Thermokompressionsbonden der Schichten. Nach einer weiteren Ausführungsform erfolgt das dauerhafte und hermetische Verbinden der Schichten durch anodisches Bonden, Silizium-Direktbonden, Glas-Frit Bonden, Nieder-temperatur-Bonden oder durch adhäsives Bonden, beispielsweise mit Klebstoff oder Photolacke. Besteht zumindest eine der Schichten aus einem anderen Material als Silizium wird das dauerhafte und hermetische Verbinden der Schichten an die Art der Schnittstelle angepasst.

[0034] Nach einer anderen bevorzugten Ausführungsform, in welcher Kunststoff als Schichtmaterial zum Einsatz kommt, erfolgt die Herstellung der Kavitäten mittels Heißprägen, Spritzgießen oder so genannten Nano-Imprint-Verfahren. Bei geringen Stückzahlen und sehr hohen geforderten Genauigkeiten bietet sich das Heißprägen als besonders bevorzugtes Fertigungsverfahren an. Für sehr hohe Stückzahlen und weniger hohe Anforderungen an die Genauigkeit kann das Spritzgießen als Herstellungsverfahren gewählt werden. Im Falle extrem kleiner Geometrien (Kavitätstiefen von einem Mikrometer) und ebenfalls großen Stückzahlen kann bevorzugt das Nano-Imprint-Verfahren zur Fertigung ausgewählt werden, bei welchem beispielsweise mittels einer erhitzten Rolle hochgenaue Strukturen in den Kunststoff eingeprägt werden.

[0035] Nach einer weiteren Ausführungsform, in welcher Glas als Schichtmaterial zum Einsatz kommt, können bevorzugt Glasätztechniken oder besonders bevorzugt fotostrukturierbares Glas genutzt werden.

[0036] Nach noch einer weiteren Ausführungsform, in welcher Keramik als Schichtmaterial zum Einsatz

kommt, können bevorzugt Sintertechniken Verwendung finden.

[0037] Durch Verwendung des erfindungsgemäßen Verfahrens wird eine kostengünstige und einfache Herstellbarkeit des erfindungsgemäßen Resonanzfilters sichergestellt.

Bezugszeichenliste

[0038]

- 1 Filter
- 2 erste Schicht, erster Wafer
- 3 zweite Schicht, zweiter Wafer
- 4 Resonanzkavität, Kavität
- 5 Kopplungskavität, Kavität
- 6 Eingang
- 7 Ausgang
- 8 Trennwand

Patentansprüche

1. Resonanzfilter (1) aus Silizium zum Einsatz im Mikro- und Millimeterwellenbereich, der folgendes aufweist:

- (a) eine ersten Schicht (2) mit n aneinander grenzenden Resonanzkavitäten (4), wobei n mindestens 2 ist, und die jeweils durch eine Trennwand (8) voneinander getrennt sind;
- (b) eine zweite Schicht (3) mit zumindest n-1 Kopplungskavitäten (5);

dadurch gekennzeichnet, dass die Kavitäten (4) der ersten Schicht (2) ausschließlich als Resonanzkavitäten (4) und der zweiten Schicht (3) ausschließlich als Kopplungskavität(en) (5) ausgebildet sind, und einseitig offen sind, und dass die zweite Schicht (3) auf der ersten Schicht (2) derart angeordnet ist, dass die einzelnen Resonanzkavitäten (4) der ersten Schicht (2) mittels des bzw. der Kopplungskavitäten (5) der zweiten Schicht (3) untereinander verbunden sind, und dass der Filter (1) als monolithisches Bauteil ausgebildet ist.

- 2. Filter nach Anspruch 1, weiter aufweisend Einrichtungen (6), (7) zur Ein- und Auskopplung des zu filternden Signals in Form von MSLs (microstrip lines).
- 3. Filter nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekenn-**

zeichnet, dass die Geometrien seiner Resonanzkavitäten (4) für den Einsatz des Filters im Mikro- bis Millimeterwellenbereich ausgelegt sind.

- 4. Filter nach einem der Ansprüche 1 bis 3, bei welchem mindestens eine der Schichten (2), (3) anstelle aus Silizium aus einem Material aus der Gruppe umfassend Glas, Kunststoff und Keramik besteht.
- 5. Filter nach einem der Ansprüche 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** die erste Schicht (2) eine Dicke im Bereich von 1.200 Mikrometern und die zweite Schicht (3) eine Dicke im Bereich von 200 Mikrometern aufweist.
- 6. Filter nach einem der Ansprüche 1 bis 5, **dadurch gekennzeichnet, dass** er in einer ersten, dickeren Schicht (2) zwei Resonanzkavitäten (4) mit einem rechteckigen Grundriss und einem trapezförmigen Querschnitt außerdem eine Trennwand (8) aufweist, die dergestalt angeordnet ist, dass sie beide Resonanzkavitäten (4) voneinander trennt, und dass er außerdem eine in einer zweiten, dünneren Schicht (3) eine ebenfalls rechteckige, jedoch kleinere Kopplungskavität (5) mit einem trapezförmigen Querschnitt aufweist, deren laterale Abmessungen zumindest so groß sind, dass die Kopplungskavität (5) wenigstens einige Mikrometer größer als die Dicke der Trennwand (8) ist, und dass die zweite Schicht (3) und die erste Schicht (2) dergestalt übereinanderlegbar ausgestaltet sind, dass die Kopplungskavität (5), wenn sie über der Trennwand (8) angeordnet ist, diese in Richtung der Resonanzkavitäten (4) beidseitig symmetrisch überragt, so dass sie eine Verbindung zwischen beiden Resonanzkavitäten (4) bildet, und dass er außerdem Einrichtungen zur Ein- und Auskopplung (6), (7) in Form von MSLs (microstrip lines) aufweist, die jeweils auf der außenliegenden Oberfläche der zweiten Schicht (3) angeordnet sind und eine Länge aufweisen, aufgrund derer sich jede MSL zumindest teilweise oberhalb der jeweils darunter liegenden Resonanzkavität (4) befindet.
- 7. Verfahren zum Herstellen eines Resonanzfilters (1) mittels mikrotechnischer Fertigungsverfahren aus einem Siliziumwafer, wobei das Verfahren folgende Schritte aufweist:
 - a) Bereitstellen einer ersten Schicht (2);
 - b) Maskieren der ersten Schicht (2);
 - c) Herstellen von Resonanzkavitäten (4) mittels Ätzen in der ersten Schicht (2);
 - d) Bereitstellen einer zweiten Schicht (3);
 - e) Maskieren der zweiten Schicht (3);
 - f) Herstellen einer oder mehrerer Kopplungskavitäten (5) mittels Ätzen in der zweiten Schicht (5);
 - g) Positionieren der zweiten Schicht (3) auf der

- ersten Schicht (2), so dass die Resonanzkavitäten (4) mittels der Kopplungskavität(en) (5) miteinander verbunden werden;
 h) dauerhaftes Verbinden der positionierten Schichten (2), (3), so dass der Verbindungsspalt hermetisch dicht ist,
 wobei die Kavitäten (4) der ersten Schicht (2) ausschließlich als Resonanzkavitäten (4) und der zweiten Schicht (3) ausschließlich als Kopplungskavität(en) (5) ausgebildet sind.
8. Verfahren nach Anspruch 7, wobei nach Schritt c) die Metallisierung der ersten Schicht auf der Seite mit den Resonanzkavitäten folgt
9. Verfahren nach Anspruch 7 oder 8, wobei nach Schritt f) die Metallisierung und Strukturierung der Metallschicht auf beiden Seiten der zweiten Schicht folgt.
10. Verfahren nach Anspruch 7 - 9, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Herstellung der Kavitäten (4), (5) mittels KOH- oder TMAH-Ätzen erfolgt.

Claims

1. A resonant filter (1) made of silicon for use in the micrometre and millimetre wave range, comprising the following:
- (a) a first layer (2) with n adjacent resonant cavities (4), wherein n is at least 2, and the resonant cavities (4) are in each case separated from one another by a dividing wall (8);
- (b) a second layer (3) with at least n-1 coupling cavities (5);
- characterised in that** the cavities (4) of the first layer (2) are designed exclusively as resonant cavities (4), and the cavities of the second layer (3) are designed exclusively as a coupling cavity or coupling cavities (5), and are open on one side, and **in that** the second layer (3) is arranged on the first layer (2) in such a manner that the individual resonant cavities (4) of the first layer (2) are interconnected by means of the coupling cavity or coupling cavities (5) of the second layer (3), and **in that** the filter (1) is designed as a monolithic component.
2. The filter according to claim 1, further comprising devices (6), (7) for coupling and decoupling the signal to be filtered, in the form of microstrip lines (MSLs).
3. The filter according to claim 1 or 2, **characterised in that** the geometries of its resonant cavities (4) are designed for use of the filter in the micrometre to the

millimetre wave range.

4. The filter according to any one of claims 1 to 3, in which at least one of the layers (2), (3) instead of being made of silicon, comprises a material from the group comprising glass, plastics and ceramics.
5. The filter according to any one of claims 1 to 4, **characterised in that** the first layer (2) comprises a thickness in the region of 1200 micrometres, and the second layer (3) comprises a thickness in the region of 200 micrometres.
6. The filter according to any one of claims 1 to 5, **characterised in that** in a first, thicker, layer (2) it comprises two resonant cavities (4) of a rectangular layout view and a trapezoidal cross section and furthermore a dividing wall (8) that is arranged in such a manner that it separates the two resonant cavities (4) from one another; and **in that**, furthermore, said filter comprises a coupling cavity (5), arranged in a second, thinner, layer (3), and also of rectangular design, which coupling cavity (5) is, however, smaller, with a trapezoidal cross section, with the lateral dimensions of the coupling cavity (5) being at least large enough for said coupling cavity (5) to be at least a few micrometres larger than the thickness of the dividing wall (8); and **in that** the second layer (3) and the first layer (2) are designed in such a manner, so that they can be placed one on top of the other, that the coupling cavity (5), when it is arranged above the dividing wall (8), projects beyond the aforesaid in the direction of the resonant cavities (4) symmetrically on both sides so that it forms a connection between both resonant cavities (4); and **in that**, in addition, the filter also comprises devices for coupling and decoupling (6), (7) in the form of microstrip lines (MSLs), which in each case are arranged on the outside surface of the second layer (3) and comprise a length such that each MSL at least in part is located above the respective resonator cavity (4) located below it.
7. A method for manufacturing a resonant filter (1) by means of microengineering manufacturing methods from a silicon wafer, with the method comprising the following steps:
- a) providing a first layer (2);
- b) masking the first layer (2);
- c) manufacturing resonant cavities (4) in the first layer (2) by means of etching;
- d) providing a second layer (3);
- e) masking the second layer (3);
- f) manufacturing one or several coupling cavities (5) in the second layer (5) by means of etching;
- g) positioning the second layer (3) onto the first layer (2) so that the resonant cavities (4) are

- connected to one another by means of the coupling cavity or cavities (5);
- h) permanently connecting the positioned layers (2), (3) so that the connection gap is hermetically tight, wherein the cavities (4) of the first layer (2) are designed exclusively as resonant cavities (4), and the cavities of the second layer (3) are designed exclusively as a coupling cavity or coupling cavities (5).
8. The method according to claim 7, wherein after step c) metallisation of the first layer takes place on the side comprising the resonant cavities.
9. The method according to claim 7 or 8, wherein after step f) metallisation and structuring of the metal layer takes place on both sides of the second layer.
10. The method according to claims 7-9, **characterised in that** manufacturing the cavities (4), (5) takes place by means of KOH etching or TMAH etching.

Revendications

1. Filtre résonnant (1) en silicium destiné à être employé dans la gamme des ondes micrométriques et millimétriques qui comprend :
- (a) une première couche (2) avec n cavités de résonance contiguës (4), où n est au moins 2, étant séparées les unes des autres par une cloison de séparation (8) ;
- (b) une deuxième couche (3) avec au moins n-1 cavités de couplage (5) ;
- caractérisé en ce que** les cavités (4) de la première couche (2) sont conçues exclusivement comme cavités de résonance (4) et **en ce que** les cavités de la deuxième couche (3) sont conçues exclusivement comme une/des cavité(s) de couplage (5), ouvertes sur un côté, et **en ce que** la deuxième couche (3) est disposée sur la première couche (2) de telle sorte que les cavités de résonance (4) individuelles de la première couche (2) sont interconnectées via la ou les cavités de couplage (5) de la deuxième couche (3), et **en ce que** le filtre (1) forme un composant monolithique.
2. Filtre selon la revendication 1, comprenant en outre des dispositifs (6), (7) pour le couplage et le découplage du signal à filtrer sous forme de lignes microrubans.
3. Filtre selon la revendication 1 ou 2, **caractérisé en ce que** les géométries de ses cavités de résonance (4) sont conçues pour une utilisation du filtre dans la gamme des ondes micrométriques à millimétri-

ques.

4. Filtre selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, dans lequel au moins une des couches (2), (3) se compose, au lieu de silicium, d'un matériau appartenant au groupe comprenant le verre, le plastique et la céramique.
5. Filtre selon l'une quelconque des revendications 1 à 4, **caractérisé en ce que** la première couche (2) présente une épaisseur de l'ordre de 1200 microns et la deuxième couche (3) une épaisseur de l'ordre de 200 microns.
6. Filtre selon l'une quelconque des revendications 1 à 5, **caractérisé en ce que** dans une première couche (2) plus épaisse, il présente deux cavités de résonance (4) présentant une forme rectangulaire et une section trapézoïdale ainsi qu'une cloison de séparation (8) disposée de telle sorte qu'elle sépare les deux cavités de résonance (4), et **en ce que**, dans une deuxième couche (3) plus fine, il présente en outre une cavité de couplage (5) également rectangulaires mais plus petite présentant une section trapézoïdale dont les dimensions latérales sont au minimum telles que la cavité de couplage (5) est plus grande que l'épaisseur de la cloison de séparation (8) d'au minimum quelques microns, et **en ce que** la deuxième couche (3) et la première couche (2) sont superposables de telle sorte que la cavité de couplage (5), lorsqu'elle est disposée au-dessus de la cloison de séparation (8), dépasse cette dernière des deux côtés de façon symétrique dans la direction des cavités de résonance (4) de sorte à créer une interconnexion entre les deux cavités de résonance (4), et **en ce qu'il** présente en outre des dispositifs (6), (7) pour le couplage et le découplage sous forme de lignes microrubans disposés chacun sur la surface extérieure de la deuxième couche (3) et présentant une longueur telle que chaque ligne microruban se situe au moins en partie au-dessus de la cavité de résonance (4) correspondante se situant en-dessous.
7. Procédé de fabrication d'un filtre résonnant (1) selon une méthode de fabrication microtechnique à partir d'une plaquette en silicium, le procédé comprenant les étapes suivantes :
- a) réalisation d'une première couche (2) ;
- b) masquage de la première couche (2) ;
- c) réalisation de cavités de résonance (4) par gravure de la première couche (2) ;
- d) réalisation d'une seconde couche (3) ;
- e) masquage de la seconde couche (3) ;
- f) réalisation d'une ou de plusieurs cavités de couplage (5) par gravure de la seconde couche (5) ;

g) positionnement de la seconde couche (3) sur la première couche (2) de sorte que les cavités de résonance (4) soient interconnectées au moyen de la/des cavité(s) de couplage (5) ;
 h) liaison permanente des couches (2), (3) ainsi positionnées de sorte que l'espace de liaison soit hermétiquement étanche,

où les cavités (4) de la première couche (2) sont conçues exclusivement comme des cavités de résonance (4), et celles de la deuxième couche (3) exclusivement comme une/des cavité(s) de couplage (5).

8. Procédé selon la revendication 7 où l'étape c) est suivie de la métallisation de la première couche sur la face présentant les cavités de résonance.
9. Procédé selon la revendication 7 ou 8 où que l'étape f) est suivie de la métallisation et de la structuration de la couche métallique sur les deux faces de la deuxième couche.
10. Procédé selon les revendications 7 - 9 **caractérisé en ce que** les cavités (4), (5) sont réalisées par gravure KOH ou TMAH.

30

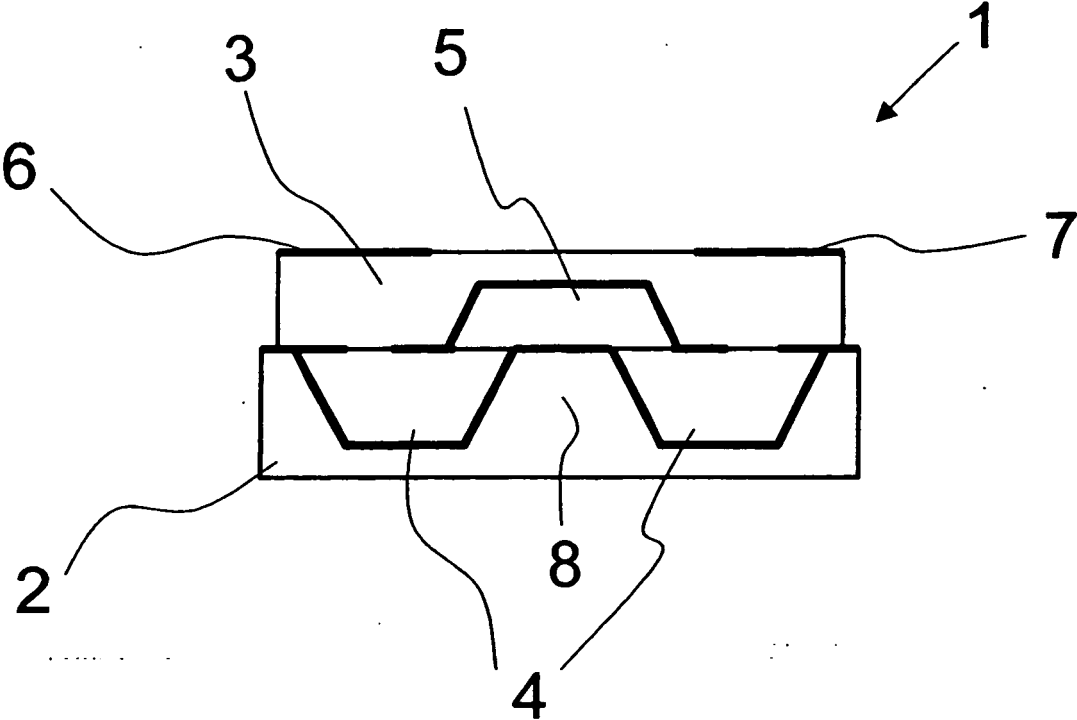
35

40

45

50

55



IN DER BESCHREIBUNG AUFGEFÜHRTE DOKUMENTE

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde ausschließlich zur Information des Lesers aufgenommen und ist nicht Bestandteil des europäischen Patentdokumentes. Sie wurde mit größter Sorgfalt zusammengestellt; das EPA übernimmt jedoch keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

In der Beschreibung aufgeführte Patentdokumente

- WO 2004045018 A1 [0009]