



(12) **Veröffentlichung**

der internationalen Anmeldung mit der
(87) Veröffentlichungs-Nr.: **WO 2021/041016**
in der deutschen Übersetzung (Art. III § 8 Abs. 2
IntPatÜbkG)
(21) Deutsches Aktenzeichen: **11 2020 004 113.1**
(86) PCT-Aktenzeichen: **PCT/US2020/045654**
(86) PCT-Anmeldetag: **10.08.2020**
(87) PCT-Veröffentlichungstag: **04.03.2021**
(43) Veröffentlichungstag der PCT Anmeldung
in deutscher Übersetzung: **14.07.2022**

(51) Int Cl.: **H03H 9/25 (2006.01)**

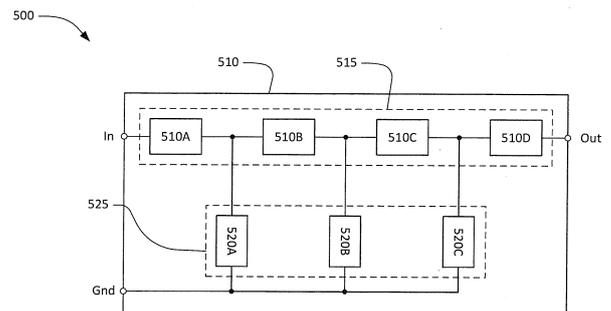
(30) Unionspriorität: 62/892,980 28.08.2019 US 62/904,152 23.09.2019 US 16/988,213 07.08.2020 US	(74) Vertreter: Samson & Partner Patentanwälte mbB, 80538 München, DE
(71) Anmelder: Resonant Inc., Austin, TX, US	(72) Erfinder: Yantchev, Ventsislav, Goleta, CA, US; Turner, Patrick, Goleta, CA, US; Hammond, Robert B., Goleta, CA, US

Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen.

(54) Bezeichnung: **Transversal angeregter akustischer Filmvolumenresonator mit mehreren Membrandicken und Herstellungsverfahren**

(57) Zusammenfassung: Es werden Filtervorrichtungen und -verfahren offenbart. Eine Filtervorrichtung umfasst ein Substrat mit einer Oberfläche. Eine Rückfläche einer einkristallinen piezoelektrischen Platte ist an der Oberfläche des Substrats angebracht, wobei Teile der einkristallinen piezoelektrischen Platte eine Vielzahl von Membranen bilden, die entsprechende Hohlräume im Substrat überspannen. Auf einer Vorderfläche der piezoelektrischen Platte ist eine Leiterstruktur gebildet, die eine Vielzahl von Interdigitalwandlern (IDT) einer Vielzahl von Resonatoren enthält. Ineinander verschachtelte Finger von mindestens einem ersten IDT der Vielzahl von IDT sind auf einer Membran mit einer ersten Dicke angeordnet, und ineinander verschachtelte Finger von mindestens einem zweiten IDT der Vielzahl von IDT sind auf einer Membran mit einer zweiten Dicke angeordnet, die geringer als die erste Dicke ist.



Beschreibung

HINTERGRUND

Gebiet

[0001] Diese Offenbarung bezieht sich auf Hochfrequenzfilter, die akustische Wellenresonatoren verwenden, und insbesondere auf Filter zur Verwendung in Kommunikationsausrüstung.

Beschreibung des verwandten Standes der Technik

[0002] Ein Hochfrequenzfilter (HF-Filter) ist ein Zwei-Port-Gerät, das so eingerichtet ist, dass es einige Frequenzen durchlässt und andere Frequenzen sperrt, wobei „Durchlassen“ Übertragen mit relativ geringem Signalverlust bedeutet und „Sperrband“ Blockieren oder wesentliches Dämpfen bedeutet. Der Bereich der von einem Filter durchgelassenen Frequenzen wird als „Durchlassband“ des Filters bezeichnet. Der Bereich der von einem solchen Filter gesperrten Frequenzen wird als „Sperrband“ des Filters bezeichnet. Ein typisches HF-Filter hat mindestens ein Durchlassband und mindestens ein Sperrband. Spezifische Anforderungen an ein Durchlass- oder Sperrband hängen von der spezifischen Anwendung ab. Zum Beispiel kann ein „Durchlassband“ als ein Frequenzbereich definiert werden, in dem die Einfügungsdämpfung eines Filters besser als ein definierter Wert wie 1 dB, 2 dB oder 3 dB ist. Ein „Sperrband“ kann als ein Frequenzbereich definiert werden, in dem die Unterdrückung eines Filters je nach Anwendung größer als ein definierter Wert wie 20 dB, 30 dB, 40 dB oder mehr ist.

[0003] HF-Filter werden in Kommunikationssystemen verwendet, in denen Informationen über drahtlose Verbindungen übertragen werden. HF-Filter finden sich beispielsweise in den HF-Frontends von Mobilfunk-Basisstationen, Mobiltelefonen und Computergeräten, Satellitentransceivern und Bodenstationen, IoT-Geräten (Internet der Dinge), Laptops und Tablets, Festpunktfunkverbindungen und anderen Kommunikationssystemen. HF-Filter werden auch in Radar- und elektronischen und informationstechnischen Kriegsführungssystemen eingesetzt.

[0004] HF-Filter erfordern in der Regel viele Design-Kompromisse, um für jede spezifische Anwendung den besten Kompromiss zwischen Leistungsparametern wie Einfügungsdämpfung, Unterdrückung, Isolierung, Belastbarkeit, Linearität, Größe und Kosten zu erzielen. Spezifische Design- und Fertigungsmethoden und -verbesserungen können gleichzeitig einer oder mehreren dieser Anforderungen zugutekommen.

[0005] Leistungsverbesserungen an den HF-Filtern in einem Drahtlossystem können sich auf die Sys-

temleistung auf breiter Front auswirken. Verbesserungen bei HF-Filtern können genutzt werden, um die Systemleistungsverbesserungen vorzusehen, wie z. B. größere Zellen, längere Batterielebensdauer, höhere Datenraten, größere Netzwerkkapazität, niedrigere Kosten, verbesserte Sicherheit, höhere Zuverlässigkeit usw. Diese Verbesserungen können auf vielen Ebenen des Drahtlossystems sowohl einzeln als auch in Kombination realisiert werden, wie zum Beispiel auf der Ebene des HF-Moduls, des HF-Transceivers, des mobilen oder festen Subsystems oder des Netzwerks.

[0006] Der Wunsch nach größeren Bandbreiten der Kommunikationskanäle führt zwangsläufig zur Nutzung höherer Frequenzbänder. Die aktuelle LTE™-Spezifikation (Long Term Evolution) legt Frequenzbänder von 3,3 GHz bis 5,9 GHz fest. Diese Bänder werden gegenwärtig nicht genutzt. Künftige Vorschläge für drahtlose Kommunikationen umfassen Millimeterwellen-Kommunikationsbänder mit Frequenzen bis zu 28 GHz.

[0007] Hochleistungs-HF-Filter für aktuelle Kommunikationssysteme enthalten üblicherweise akustische Wellenresonatoren, einschließlich akustische Oberflächenwellenresonatoren (Surface Acoustic Wave Resonator, SAW-Resonator), akustische Volumenwellenresonatoren (Bulk Acoustic Wave Resonator, BAW-Resonator), akustische Filmvolumenwellenresonatoren (Film Bulk Acoustic Wave Resonator, FBAR-Resonator) und andere Arten von akustischen Resonatoren. Diese bestehenden Technologien sind jedoch nicht gut für den Einsatz bei den höheren Frequenzen geeignet, die für zukünftige Kommunikationsnetze vorgeschlagen werden.

Figurenliste

Fig. 1 zeigt eine schematische Draufsicht und zwei schematische Querschnittsansichten eines transversal angeregten akustischen Folienvolumenresonators (XBAR).

Fig. 2 ist eine erweiterte schematische Querschnittsansicht eines Teils des XBAR von **Fig. 1**.

Fig. 3 ist eine alternative schematische Querschnittsansicht des XBAR von **Fig. 1**.

Fig. 4 ist eine Grafik, die eine akustische Schermode in einem XBAR darstellt.

Fig. 5 ist ein schematisches Blockdiagramm eines Bandpassfilters, das sieben XBAR enthält.

Fig. 6A ist eine schematische Querschnittsansicht eines Filters mit einer dielektrischen Schicht zur Einstellung einer Frequenztrennung zwischen Shunt-Resonatoren und Serienresonatoren.

Fig. 6B ist eine schematische Querschnittsansicht eines Filters mit unterschiedlichen piezoelektrischen Membrandicken zur Einstellung einer Frequenztrennung zwischen Shunt-Resonatoren und Serienresonatoren.

Fig. 7 ist eine Reihe von schematischen Querschnittsansichten, die ein Verfahren zur Steuerung der Dicke einer piezoelektrischen Membran veranschaulichen.

Fig. 8 ist ein Flussdiagramm eines Verfahrens zur Herstellung eines mit XBAR implementierten Filters.

Fig. 9 ist ein Flussdiagramm eines anderen Verfahrens zur Herstellung eines mit XBAR implementierten Filters.

Fig. 10 ist ein Flussdiagramm eines anderen Verfahrens zur Herstellung eines mit XBAR implementierten Filters.

Fig. 11 ist ein Flussdiagramm eines anderen Verfahrens zur Herstellung eines mit XBAR implementierten Filters.

[0008] In dieser Beschreibung werden Elementen, die in Zeichnungen erscheinen, drei- oder vierstellige Bezugsbezeichner zugewiesen, wobei die beiden niedrigstwertigen Ziffern für das Element spezifisch sind und die ein oder zwei höchstwertigen Ziffern die Zeichnungsnummer sind, bei der das Element zuerst eingeführt wird. Bei einem Element, das nicht in Verbindung mit einer Zeichnung beschrieben wird, kann davon ausgegangen werden, dass es dieselben Merkmale und dieselbe Funktion wie ein zuvor beschriebenes Element mit demselben Bezugsbezeichner hat.

AUSFÜHRLICHE BESCHREIBUNG

Vorrichtungsbeschreibung

[0009] **Fig. 1** zeigt eine vereinfachte schematische Draufsicht und orthogonale Querschnittsansichten eines transversal angeregten akustischen Filmvolumenresonators (XBAR) 100. XBAR-Resonatoren wie der Resonator 100 können in einer Vielzahl von HF-Filtern verwendet werden, darunter Bandsperrfilter, Bandpassfilter, Duplexer und Multiplexer. XBAR eignen sich besonders für den Einsatz in Filtern für Kommunikationsbänder mit Frequenzen über 3 GHz.

[0010] Der XBAR 100 besteht aus einer Dünnschicht-Leiterstruktur, die auf einer Oberfläche einer piezoelektrischen Platte 110 mit parallelen Vorder- und Rückflächen 112 bzw. 114 gebildet ist. Die piezoelektrische Platte ist eine dünne einkristalline Schicht aus einem piezoelektrischen Material wie Lithiumniobat, Lithiumtantalat, Lanthangalliumsilikat, Galliumnitrid oder Aluminiumnitrid. Die piezoelektrische Platte wird so geschnitten, dass die Ausrichtung der

X-, Y- und Z-Kristallachsen in Bezug auf die Vorder- und die Rückfläche bekannt und konsistent ist. In den in diesem Patent vorgestellten Beispielen sind die piezoelektrischen Platten Z-geschnitten, d. h. die Z-Achse verläuft normal zu den Oberflächen. XBAR können jedoch auch auf piezoelektrischen Platten mit anderen kristallographischen Ausrichtungen hergestellt werden.

[0011] Die Rückfläche 114 der piezoelektrischen Platte 110 ist an einem Substrat 120 angebracht, das die piezoelektrische Platte 110 mechanisch unterstützt. Das Substrat 120 kann z. B. aus Silizium, Saphir, Quarz oder einem anderen Material bestehen. Die piezoelektrische Platte 110 kann mit Hilfe eines Wafer-Bonding-Verfahrens an das Substrat 120 gebondet, auf dem Substrat 120 aufgewachsen oder auf andere Weise an dem Substrat angebracht sein. Die piezoelektrische Platte kann direkt oder über eine oder mehrere Materialzwischenschichten an dem Substrat angebracht sein.

[0012] Die Leiterstruktur des XBAR 100 umfasst einen Interdigitalwandler (IDT) 130. Der IDT 130 umfasst eine erste Vielzahl von parallelen Fingern, wie z. B. Finger 136, die sich von einer ersten Sammelschiene 132 aus erstrecken, und eine zweite Vielzahl von Fingern, die sich von einer zweiten Sammelschiene 134 aus erstrecken. Die erste und die zweite Vielzahl paralleler Finger sind ineinander verschachtelt. Die ineinander verschachtelten Finger überlappen sich in einem Abstand AP, der allgemein als „Apertur“ des IDT bezeichnet wird. Der Mitte-zu-Mitte-Abstand L zwischen den äußersten Fingern des IDT 130 ist die „Länge“ des IDT.

[0013] Die erste und die zweite Sammelschiene 132, 134 dienen als Anschlüsse des XBAR 100. Ein Hochfrequenz- oder Mikrowellensignal, das zwischen den beiden Sammelschienen 132, 134 des IDT 130 angelegt wird, regt eine akustische Welle innerhalb der piezoelektrischen Platte 110 an. Wie noch näher erläutert wird, handelt es sich bei der angeregten akustischen Welle um eine Scherwelle, die sich in der Richtung senkrecht zur Oberfläche der piezoelektrischen Platte 110 ausbreitet, die auch senkrecht oder quer zur Richtung des von den IDT-Fingern erzeugten elektrischen Feldes verläuft. Daher wird die XBAR als ein transversal angeregter Filmvolumenwellenresonator betrachtet.

[0014] Im Substrat 120 wird ein Hohlraum 140 gebildet, so dass ein Teil 115 der piezoelektrischen Platte 110, die den IDT 130 enthält, über dem Hohlraum 140 aufgehängt ist, ohne das Substrat 120 zu berühren. „Hohlraum“ hat die übliche Bedeutung von „ein leerer Raum innerhalb eines festen Körpers“. Bei dem Hohlraum 140 kann es sich um ein Loch handeln, das das Substrat 120 vollständig durchdringt (wie in den Abschnitten A-A und B-B gezeigt), oder

um eine Aussparung im Substrat 120 (wie nachfolgend in **Fig. 3** gezeigt). Der Hohlraum 140 kann z. B. durch selektives Ätzen des Substrats 120 vor oder nach dem Anbringen der piezoelektrischen Platte 110 und des Substrats 120 gebildet sein. Wie in **Fig. 1** dargestellt, hat der Hohlraum 140 eine rechteckige Form mit einer Ausdehnung, die größer als die Apertur AP und die Länge L des IDT 130 ist. Der Hohlraum eines XBAR kann eine andere Form haben, z. B. ein regelmäßiges oder unregelmäßiges Vieleck. Der Hohlraum eines XBAR kann mehr oder weniger als vier Seiten haben, die gerade oder gekrümmt sein können.

[0015] Der Teil 115 der piezoelektrischen Platte, der über dem Hohlraum 140 aufgehängt ist, wird hier als „Membran“ bezeichnet (in Ermangelung eines besseren Begriffs), da er physisch der Membran eines Mikrofons ähnelt. Die Membran kann kontinuierlich und nahtlos mit dem Rest der piezoelektrischen Platte 110 um den gesamten oder fast den gesamten Umfang des Hohlraums 140 verbunden sein.

[0016] Zur Vereinfachung der Darstellung in **Fig. 1** ist der geometrische Abstand und die Breite der IDT-Finger im Verhältnis zur Länge (Dimension L) und Apertur (Dimension AP) des XBAR stark übertrieben. Ein typischer XBAR hat mehr als zehn parallele Finger in dem IDT 110. Ein XBAR kann Hunderte, möglicherweise Tausende von parallelen Fingern in dem IDT 110 haben. Ebenso ist die Dicke der Finger in den Querschnittsansichten stark übertrieben.

[0017] **Fig. 2** zeigt eine detaillierte schematische Querschnittsansicht des XBAR 100 von **Fig. 1**. Die piezoelektrische Platte 110 ist eine einkristalline Schicht aus piezoelektrischem Material mit einer Dicke t_s . t_s kann z. B. 100 nm bis 1500 nm betragen. Bei der Verwendung in Filtern für LTE™-Bänder von 3,4 GHz bis 6 GHz (z. B. Bänder 42, 43, 46) kann die Dicke t_s z. B. 200 nm bis 1000 nm betragen.

[0018] Auf der Vorderseite der piezoelektrischen Platte 110 kann optional eine vorderseitige dielektrische Schicht 214 gebildet sein. Die „Vorderseite“ des XBAR ist per Definition die vom Substrat abgewandte Oberfläche. Die vorderseitige dielektrische Schicht 214 hat eine Dicke t_{fd} . Die vorderseitige dielektrische Schicht 214 wird zwischen den IDT-Fingern 238 gebildet. Obwohl in **Fig. 2** nicht dargestellt, kann die vorderseitige dielektrische Schicht 214 auch über den IDT-Fingern 238 abgeschieden sein. Auf der Rückseite der piezoelektrischen Platte 110 kann optional eine rückseitige dielektrische Schicht 216 gebildet sein. Die rückseitige dielektrische Schicht 216 hat eine Dicke t_{bd} . Die dielektrischen Schichten 214, 216 auf der Vorder- und Rückseite können aus einem nicht-piezoelektrischen dielektrischen Material bestehen, wie z. B. Siliziumdioxid oder Siliziumnitrid. t_{fd} und t_{bd} können z. B. 0 bis

500 nm betragen. t_{fd} und t_{bd} sind typischerweise geringer als die Dicke t_s der piezoelektrischen Platte, t_{fd} und t_{bd} sind nicht notwendigerweise gleich, und die vorder- und die rückseitige dielektrische Schicht 214, 216 sind nicht notwendigerweise aus demselben Material. Die vorder- und/oder die rückseitige dielektrische Schicht 214, 216 kann aus mehreren Schichten aus zwei oder mehr Materialien bestehen.

[0019] Die IDT-Finger 238 können aus Aluminium oder einer Legierung im Wesentlichen aus Aluminium, Kupfer oder einer Legierung im Wesentlichen aus Kupfer, Beryllium, Gold oder einem anderen leitfähigen Material bestehen. Unter und/oder über den Fingern können dünne (im Verhältnis zur Gesamtdicke der Leiter) Schichten aus anderen Metallen, wie Chrom oder Titan, gebildet sein, um die Haftung zwischen den Fingern und der piezoelektrischen Platte 110 zu verbessern und/oder die Finger zu passivieren oder zu verkapseln. Die Sammelschienen (132, 134 in **Fig. 1**) des IDT können aus denselben oder anderen Materialien wie die Finger bestehen.

[0020] Dimension p ist der Mitte-zu-Mitte-Abstand oder „Abstand“ („Pitch“) der IDT-Finger, der auch als Abstand des IDT und/oder als Abstand des XBAR bezeichnet werden kann. Dimension w ist die Breite oder „Marke“ („Mark“) der IDT-Finger. Der IDT eines XBAR unterscheidet sich wesentlich von den IDT, die in akustischen Oberflächenwellenresonatoren (SAW) verwendet werden. In einem SAW-Resonator beträgt der Abstand des IDT die Hälfte der akustischen Wellenlänge bei der Resonanzfrequenz. Außerdem liegt das Verhältnis von Marke zu Abstand bei einem SAW-Resonator-IDT in der Regel bei 0,5 (d. h. die Marke oder Fingerbreite beträgt etwa ein Viertel der akustischen Wellenlänge bei Resonanz). Bei einem XBAR beträgt der Abstand p des IDT typischerweise das 2 bis 20-Fache der Breite w der Finger. Darüber hinaus beträgt der Abstand p des IDT typischerweise das 2 bis 20-Fache der Dicke t_s der piezoelektrischen Platte 212. Die Breite der IDT-Finger in einem XBAR ist nicht auf ein Viertel der akustischen Wellenlänge bei Resonanz beschränkt. Die Breite der IDT-Finger eines XBAR kann beispielsweise 500 nm oder mehr betragen, so dass der IDT mit optischer Lithographie hergestellt werden kann. Die Dicke t_m der IDT-Finger kann von 100 nm bis etwa gleich der Breite w betragen. Die Dicke der Sammelschienen (132, 134 in **Fig. 1**) des IDT kann gleich oder größer als die Dicke t_m der IDT-Finger sein.

[0021] **Fig. 3** ist eine alternative Querschnittsansicht entlang der in **Fig. 1** definierten Schnittebene A-A. In **Fig. 3** ist eine piezoelektrische Platte 310 an einem Substrat 320 angebracht. Eine optionale dielektrische Schicht 322 kann sandwichartig zwischen der piezoelektrischen Platte 310 und dem Substrat 320 angeordnet sein. Unter dem Teil der piezoelektri-

schen Platte 310, der den IDT eines XBAR enthält, wird im Substrat ein Hohlraum 340 gebildet, der das Substrat 320 nicht vollständig durchdringt. Der Hohlraum 340 kann z. B. durch Ätzen des Substrats 320 vor dem Anbringen der piezoelektrischen Platte 310 gebildet werden. Alternativ kann der Hohlraum 340 durch Ätzen des Substrats 320 mit einem selektiven Ätzmittel gebildet werden, das das Substrat durch eine oder mehrere in der piezoelektrischen Platte 310 vorgesehene Öffnungen 342 erreicht.

[0022] Der in **Fig. 3** gezeigte XBAR 300 wird im Folgenden als „vorderseitige geätzte“ Konfiguration bezeichnet, da der Hohlraum 340 von der Vorderseite des Substrats 320 aus geätzt wird (vor oder nach Anbringen der piezoelektrischen Platte 310). Der XBAR 100 von **Fig. 1** wird hier als „rückseitig geätzte“ Konfiguration bezeichnet, da der Hohlraum 140 von der Rückseite des Substrats 120 aus nach dem Anbringen der piezoelektrischen Platte 110 geätzt wird.

[0023] **Fig. 4** ist eine grafische Darstellung der primären akustischen Mode von Interesse in einem XBAR. **Fig. 4** zeigt einen kleinen Teil eines XBAR 400 mit einer piezoelektrischen Platte 410 und drei ineinander verschachtelten IDT-Fingern 430. An die ineinander verschachtelten Finger 430 wird eine HF-Spannung angelegt. Diese Spannung erzeugt ein zeitlich veränderliches elektrisches Feld zwischen den Fingern. Die Richtung des elektrischen Feldes ist lateral oder parallel zur Oberfläche der piezoelektrischen Platte 410, wie durch die Pfeile mit der Bezeichnung „elektrisches Feld“ angegeben. Aufgrund der hohen Dielektrizitätskonstante der piezoelektrischen Platte ist das elektrische Feld in der Platte im Vergleich zur Luft stark konzentriert. Das laterale elektrische Feld führt zu einer Scherverformung der piezoelektrischen Platte 410 und regt somit eine akustische Schermode stark an. In diesem Zusammenhang wird „Scherverformung“ als Verformung definiert, bei der parallele Ebenen in einem Material parallel bleiben und einen konstanten Abstand beibehalten, während sie sich relativ zueinander bewegen. Eine „akustische Schermode“ ist definiert als eine akustische Schwingungsmode in einem Medium, die zu einer Scherverformung des Mediums führt. Die Scherverformungen in dem XBAR 400 werden durch die Kurven 460 dargestellt, wobei die nebenstehenden kleinen Pfeile eine schematische Darstellung der Richtung und des Ausmaßes der atomaren Bewegung liefern. Das Ausmaß der atomaren Bewegung sowie die Dicke der piezoelektrischen Platte 410 wurden zur besseren Veranschaulichung stark übertrieben dargestellt. Während die atomaren Bewegungen überwiegend lateral verlaufen (d. h. horizontal, wie in **Fig. 4** dargestellt), verläuft die Richtung des akustischen Energieflusses der angeregten primären akustischen Schermode im Wesentlichen orthogonal zur Oberfläche der pie-

zoelektrischen Platte, wie durch den Pfeil 465 angedeutet.

[0024] Betrachtet man **Fig. 4**, so ist unmittelbar unter den IDT-Fingern 430 im Wesentlichen kein elektrisches Feld vorhanden, so dass akustische Moden in den Bereichen 470 unter den Fingern nur minimal angeregt werden. In diesen Bereichen kann es zu evaneszenten akustischen Bewegungen kommen. Da unter den IDT-Fingern 430 keine akustischen Schwingungen angeregt werden, ist die an die IDT-Finger 430 gekoppelte akustische Energie gering (z. B. im Vergleich zu den Fingern eines IDT in einem SAW-Resonator), was die viskosen Verluste in den IDT-Fingern minimiert.

[0025] Ein akustischer Resonator, der auf akustischen Scherwellenresonanzen basiert, kann eine bessere Leistung erzielen als die derzeitigen akustischen Filmvolumenresonatoren (FBAR) und akustische Volumenwellenvorrichtungen mit fest montiertem Resonator (SMR BAW), bei denen das elektrische Feld in der Dickenrichtung angelegt wird. In solchen Vorrichtungen ist die akustische Mode kompressiv mit atomaren Bewegungen und der Richtung des akustischen Energieflusses in Richtung der Dicke. Darüber hinaus kann die piezoelektrische Kopplung für Scherwellen-XBAR-Resonanzen im Vergleich zu anderen akustischen Resonatoren hoch sein (> 20 %). Die hohe piezoelektrische Kopplung ermöglicht den Entwurf und die Realisierung von Mikrowellen- und Millimeterwellenfiltern mit beträchtlicher Bandbreite.

[0026] **Fig. 5** ist ein schematischer Schaltplan für ein Hochfrequenz-Bandpassfilter 500 mit XBAR. Das Filter 500 hat eine herkömmliche Leiterfilterarchitektur mit vier Serienresonatoren 510A, 510B, 510C, 510D und drei Shunt-Resonatoren 520A, 520B, 520C. Die vier Serienresonatoren 510A, 510B, 510C und 510D sind zwischen einem ersten Anschluss und einem zweiten Anschluss in Reihe geschaltet. In **Fig. 5** sind der erste und der zweite Anschluss mit „In“ bzw. „Out“ bezeichnet. Das Filter 500 ist jedoch symmetrisch und jeder Anschluss kann als Eingang oder Ausgang des Filters dienen. Die drei Shunt-Resonatoren 520A, 520B, 520C sind von den Knoten zwischen den Serienresonatoren an Masse angeschlossen. Alle Shunt-Resonatoren und Serienresonatoren sind XBAR. Obwohl in **Fig. 5** nicht dargestellt, können alle Resonatoren in mehrere elektrisch parallel geschaltete Teilresonatoren unterteilt sein. Jeder Teilresonator kann eine eigene Membran haben.

[0027] Das Filter 500 kann ein Substrat mit einer Oberfläche, eine einkristalline piezoelektrische Platte mit parallelen Vorder- und Rückflächen und einen akustischen Bragg-Reflektor umfassen, der sandwichartig zwischen der Oberfläche des Substrats und der Rückfläche der einkristallinen piezoelektri-

schen Platte angeordnet ist. Das Substrat, der akustische Bragg-Reflektor und die piezoelektrische Platte werden durch das Rechteck 510 in **Fig. 5** dargestellt. Eine auf der Vorderfläche der einkristallinen piezoelektrischen Platte gebildete Leiterstruktur enthält Interdigitalwandler (IDT) für jeden der vier Serienresonatoren 510A, 510B, 510C, 510D und der drei Shunt-Resonatoren 520A, 520B, 520C. Alle IDT sind so eingerichtet, dass sie akustische Scherwellen in der einkristallinen piezoelektrischen Platte als Reaktion auf entsprechende Hochfrequenzsignale, die an jeden IDT angelegt werden, anregen.

[0028] In einem Leiterfilter, wie dem Filter 500, sind die Resonanzfrequenzen von Shunt-Resonatoren in der Regel niedriger als die Resonanzfrequenzen von Serienresonatoren. Die Resonanzfrequenz eines SM XBAR-Resonators wird zum Teil durch den IDT-Abstand bestimmt. Der IDT-Abstand wirkt sich auch auf andere Filterparameter wie Impedanz und Belastbarkeit aus. Bei breitbandigen Filteranwendungen ist es unter Umständen nicht praktikabel, die erforderliche Differenz zwischen den Resonanzfrequenzen von Shunt- und Serienresonatoren nur durch Unterschiede in dem IDT-Abstand zu erreichen.

[0029] Wie in Patent Nr. 10,601,392 beschrieben, kann eine erste dielektrische Schicht (dargestellt durch das gestrichelte Rechteck 525) mit einer ersten Dicke t_1 über den IDT einiger oder aller Shunt-Resonatoren 520A, 520B, 520C abgeschieden sein. Eine zweite dielektrische Schicht (dargestellt durch das gestrichelte Rechteck 515) mit einer zweiten Dicke t_2 , die geringer als t_1 ist, kann auf die IDT der Serienresonatoren 510A, 510B, 510C, 510D abgeschieden sein. Die zweite dielektrische Schicht kann sowohl über den Shunt- als auch über den Serienresonatoren abgeschieden sein. Die Differenz zwischen der Dicke t_1 und der Dicke t_2 definiert einen Frequenzversatz zwischen den Serien- und den Shunt-Resonatoren. Einzelne Serien- oder Shunt-Resonatoren können auf unterschiedliche Frequenzen abgestimmt sein, indem der Abstand der entsprechenden IDT verändert ist. In einigen Filtern können mehr als zwei dielektrische Schichten mit unterschiedlichen Dicken verwendet werden, wie in der parallel anhängigen Anmeldung 16/924,108 beschrieben.

[0030] Alternativ oder zusätzlich können die Shunt-Resonatoren 510A, 510B, 510C, 510D auf einer piezoelektrischen Platte mit einer Dicke t_3 und die Serienresonatoren auf einer piezoelektrischen Platte mit einer Dicke t_4 , die geringer als t_3 ist, gebildet sein. Die Differenz zwischen den Dicken t_3 und t_4 definiert einen Frequenzversatz zwischen den Serien- und Shunt-Resonatoren. Einzelne Serien- oder Shunt-Resonatoren können auf unterschiedliche Frequenzen abgestimmt sein, indem der

Abstand der entsprechenden IDT verändert ist. In einigen Filtern können drei oder mehr verschiedene piezoelektrische Plattendicken verwendet werden, um eine zusätzliche Frequenzabstimmung zu ermöglichen.

[0031] **Fig. 6A** ist eine schematische Querschnittsansicht durch einen Shunt-Resonator und einen Serienresonator eines Filters 600A, der dielektrische Dicke verwendet, um die Frequenzen von Shunt- und Serienresonatoren zu trennen. Eine piezoelektrische Platte 610A ist an einem Substrat 620 angebracht. Teile der piezoelektrischen Platte bilden Membranen, die Hohlräume 640 im Substrat 620 überspannen. Auf den Membranen sind ineinander verschachtelte IDT-Finger, wie z. B. Finger 630, gebildet. Eine erste dielektrische Schicht 650 mit einer Dicke t_1 ist über dem IDT des Shunt-Resonators gebildet. Eine zweite dielektrische Schicht 655 mit einer Dicke t_2 ist sowohl über dem Shunt- als auch über dem Serienresonator abgeschieden. Alternativ kann eine einzige dielektrische Schicht mit der Dicke $t_1 + t_2$ sowohl über dem Shunt- als auch über dem Serienresonator abgeschieden sein. Die dielektrische Schicht über dem Serienresonator kann dann mit einem maskierten Trockenätzverfahren auf die Dicke t_2 ausgedünnt werden. In beiden Fällen definiert die Differenz zwischen der Gesamtdicke der dielektrischen Schichten ($t_1 + t_2$) über dem Shunt-Resonator und der Dicke t_2 der zweiten dielektrischen Schicht einen Frequenzversatz zwischen dem Serien- und dem Shunt-Resonator.

[0032] Die zweite dielektrische Schicht 655 kann auch zur Abdichtung und Passivierung der Oberfläche des Filters 600A dienen. Die zweite dielektrische Schicht kann aus demselben Material wie die erste dielektrische Schicht oder aus einem anderen Material bestehen. Die zweite dielektrische Schicht kann ein Laminat aus zwei oder mehr Teilschichten aus unterschiedlichen Materialien sein. Alternativ kann eine zusätzliche dielektrische Passivierungsschicht (in **Fig. 6A** nicht dargestellt) über der Oberfläche des Filters 600A gebildet sein. Wie nachfolgend beschrieben wird, kann die Dicke der letzten dielektrischen Schicht (d. h. entweder der zweiten dielektrischen Schicht 655 oder einer zusätzlichen dielektrischen Schicht) zur Feinabstimmung der Frequenz des Filters 600A lokal angepasst sein. Daher kann die letzte dielektrische Schicht als „Passivierungs- und Abstimmungsschicht“ bezeichnet werden.

[0033] **Fig. 6B** ist eine schematische Querschnittsansicht durch einen Shunt-Resonator und einen Serienresonator eines Filters 600B, der die Dicke einer piezoelektrischen Platte verwendet, um die Frequenzen von Shunt- und Serienresonatoren zu trennen. Eine piezoelektrische Platte 610B ist auf einem Substrat 620 angebracht. Teile der piezoelektrischen Platte bilden Membranen, die Hohlräume

640 im Substrat 620 überspannen. Auf den Membranen sind ineinander verschachtelte IDT-Finger, z. B. Finger 630, gebildet. Die Membran des Shunt-Resonators hat eine Dicke t_3 . Die piezoelektrische Platte 610B wird selektiv so ausgedünnt, dass die Membran des Serienresonators eine Dicke t_4 aufweist, die geringer als t_3 ist. Die Differenz zwischen t_3 und t_4 definiert einen Frequenzversatz zwischen dem Serien- und dem Shunt-Resonator. Eine Passivierungs- und Abstimmungsschicht 655 ist sowohl über dem Shunt- als auch über dem Serienresonator abgeschieden.

Verfahrensbeschreibung

[0034] Fig. 7 ist eine Reihe von schematischen Querschnittsansichten, die ein Verfahren zur Steuerung der Dicke einer piezoelektrischen Membran veranschaulichen. Ansicht A zeigt eine piezoelektrische Platte 710 mit ungleichmäßiger Dicke, die an ein Substrat 720 gebondet ist. Die piezoelektrische Platte 710 kann z. B. aus Lithiumniobat oder Lithiumtantalat bestehen. Das Substrat 720 kann ein Silizium-Wafer oder ein anderes, bereits beschriebenes Material sein. Die dargestellte Dickenvariation der piezoelektrischen Platte 710 ist stark übertrieben. Die Dickenvariation sollte 10 % der Dicke der piezoelektrischen Platte nicht überschreiten und kann einige Prozent oder weniger betragen.

[0035] Ansicht B zeigt eine optische Messung der Dicke der piezoelektrischen Platte mit einem optischen Dickenmessgerät 730 mit einer Lichtquelle 732 und einem Detektor 734. Das optische Dickenmessgerät 730 kann z. B. ein Ellipsometer/Reflektometer sein. Das optische Dickenmessgerät 730 misst das von der Oberfläche der piezoelektrischen Platte 710 und von der Grenzfläche zwischen der piezoelektrischen Platte 710 und dem Substrat 720 reflektierte Licht. Die Reflexionen von einem bestimmten Messpunkt auf der piezoelektrischen Platte können mit mehreren Lichtwellenlängen, Einfallswinkeln und/oder Polarisationszuständen gemessen werden. Die Ergebnisse mehrerer Messungen werden verarbeitet, um die Dicke der piezoelektrischen Platte an dem Messpunkt zu bestimmen.

[0036] Der Messvorgang wird wiederholt, um die Dicke der piezoelektrischen Platte an mehreren Messpunkten auf der Oberfläche der piezoelektrischen Platte zu bestimmen. Die mehreren Punkte können beispielsweise ein Gitter oder eine Matrix von Messpunkten auf der Oberfläche der Platte bilden. Die Messdaten können verarbeitet und interpoliert werden, um eine Karte der Dicke der piezoelektrischen Platte zu erstellen.

[0037] Ansicht C zeigt die Abtragung von überschüssigem Material von der piezoelektrischen Platte mit Hilfe eines Materialabtragungswerkzeugs.

In diesem Zusammenhang ist „überschüssiges Material“ definiert als Teile der piezoelektrischen Platte, die über eine bestimmte Plattendicke hinausgehen. Das abzutragende überschüssige Material ist in Ansicht C schraffiert dargestellt. Bei dem Materialabtragungswerkzeug kann es sich beispielsweise um eine abtastende Ionenfräse 740, ein Werkzeug zum reaktiven Ionenätzen auf Fluorbasis oder ein anderes Werkzeug handeln. Die abtastende Ionenfräse 740 tastet einen Strahl 745 mit hochenergetischen Ionen über die Oberfläche des piezoelektrischen Materials ab. Durch das Auftreffen des Ionenstrahls 745 auf die piezoelektrische Platte wird Material an der Oberfläche durch Sublimation oder Sputtern abgetragen. Der Ionenstrahl 745 kann ein oder mehrere Male in einem Rastermuster über die Oberfläche der piezoelektrischen Platte abgetastet werden. Der Ionenstrom oder die Verweilzeit des Ionenstrahls 745 kann während der Rasterabtastung variiert werden, um die Tiefe des an jedem Punkt der piezoelektrischen Platte abgetragenen Materials entsprechend der Karte der Dicke der piezoelektrischen Platte zu steuern. Das Ergebnis ist eine piezoelektrische Platte mit wesentlich verbesserter Dicken gleichmäßigkeit, wie in Ansicht D gezeigt. Die Dicke an jedem Punkt der piezoelektrischen Platte kann im Wesentlichen gleich der Sollplattendicke sein, wobei „im Wesentlichen gleich“ bedeutet, dass sie so weit wie möglich gleich ist, begrenzt durch die Genauigkeit der Messung und die Fähigkeiten der Materialabtragungswerkzeuge.

[0038] Ansicht E zeigt die selektive Abtragung zum Ausdünnen von gewählten Teilen der piezoelektrischen Platte. Gewählte Teile der piezoelektrischen Platte können z. B. ausgedünnt werden, um Membranen für Serienresonatoren bereitzustellen, wie zuvor in Fig. 5B gezeigt. Gewählte Teile der piezoelektrischen Platte können mit der abtastenden Ionenfräse oder einem anderen abtastenden Materialabtragungswerkzeug ausgedünnt werden, wenn das Werkzeug eine ausreichende räumliche Auflösung hat, um die Bereiche der piezoelektrischen Platte zu unterscheiden, die ausgedünnt werden sollen. Alternativ kann ein abtrastendes oder nicht abtrastendes Materialabtragungswerkzeug 750 oder ein Ätzverfahren verwendet werden, um Material von Teilen der Oberfläche der piezoelektrischen Platte abzutragen, die durch eine Maske 752 definiert sind. Das Ergebnis ist eine piezoelektrische Platte mit Bereichen reduzierter Dicke 760, die sich für die Membranen von Serienresonatoren eignen, wie in Ansicht F gezeigt.

[0039] Fig. 8 ist ein vereinfachtes Flussdiagramm, das ein Verfahren 800 zur Herstellung einer Filtervorrichtung mit XBAR zeigt. Insbesondere dient das Verfahren 800 zur Herstellung einer Filtervorrichtung unter Verwendung einer frequenzeinstellenden dielektrischen Schicht über Shunt-Resonatoren, wie

in **Fig. 7A** dargestellt. Das Verfahren 800 beginnt bei 805 mit einem Vorrichtungssubstrat und einer dünnen Platte aus piezoelektrischem Material, die auf einem Opfersubstrat angeordnet ist. Das Verfahren 800 endet bei 895 mit einer fertigen Filtervorrichtung. Das Flussdiagramm in **Fig. 8** enthält nur die wichtigsten Verfahrensschritte. Verschiedene herkömmliche Verfahrensschritte (z. B. Oberflächenvorbereitung, Reinigung, Inspektion, Einbrennen, Glühen, Überwachung, Prüfung usw.) können vor, zwischen, nach und während der in **Fig. 8** gezeigten Schritte durchgeführt werden.

[0040] Während **Fig. 8** allgemein ein Verfahren zur Herstellung einer einzelnen Filtervorrichtung beschreibt, können mehrere Filtervorrichtungen gleichzeitig auf einem gemeinsamen Wafer (bestehend aus einer piezoelektrischen Platte, die an ein Substrat gebondet ist) hergestellt werden. In diesem Fall kann jeder Schritt des Verfahrens 800 gleichzeitig an allen Filtervorrichtungen auf dem Wafer durchgeführt werden.

[0041] Das Flussdiagramm in **Fig. 8** zeigt drei Varianten des Verfahrens 800 zur Herstellung eines XBAR, die sich darin unterscheiden, wann und wie die Hohlräume im Substrat der Vorrichtung gebildet werden. Die Hohlräume können in den Schritten 810A, 810B oder 810C gebildet werden. In jeder der drei Varianten des Verfahrens 800 wird nur einer dieser Schritte durchgeführt.

[0042] Die piezoelektrische Platte kann z. B. aus Lithiumniobat oder Lithiumtantalat bestehen, die beide mit Z-Schnitt, gedrehtem Z-Schnitt oder gedrehtem YX-Schnitt versehen sein können. Die piezoelektrische Platte kann auch aus einem anderen Material und/oder mit einem anderen Schnitt bestehen. Das Vorrichtungssubstrat kann vorzugsweise aus Silizium bestehen. Das Vorrichtungssubstrat kann aus einem anderen Material bestehen, das die Bildung tiefer Hohlräume durch Ätzen oder andere Verfahren ermöglicht.

[0043] In einer Variante des Verfahrens 800 werden ein oder mehrere Hohlräume in dem Vorrichtungssubstrat bei 810A gebildet, bevor die piezoelektrische Platte bei 815 an das Substrat gebondet wird. Für jeden Resonator in einer Filtervorrichtung kann ein separater Hohlraum gebildet werden. Die ein oder mehreren Hohlräume können mit herkömmlichen photolithographischen Techniken und Ätztechniken hergestellt werden. In der Regel durchdringen die bei 810A gebildeten Hohlräume das Vorrichtungssubstrat nicht, und die resultierenden Resonatorvorrichtungen haben einen Querschnitt wie in **Fig. 3** dargestellt.

[0044] Bei 815 wird die piezoelektrische Platte an das Vorrichtungssubstrat gebondet. Die piezoelektri-

sche Platte und das Vorrichtungssubstrat können durch ein Wafer-Bonding-Verfahren gebondet werden. In der Regel sind die Kontaktflächen des Vorrichtungssubstrats und der piezoelektrischen Platte hochglanzpoliert. Eine oder mehrere Schichten aus Zwischenmaterialien, wie z. B. ein Oxid oder Metall, können auf der Kontaktfläche der piezoelektrischen Platte oder des Vorrichtungssubstrats gebildet oder abgeschieden werden. Eine oder beide Kontaktflächen können z. B. durch ein Plasmaverfahren aktiviert werden. Die Kontaktflächen können dann mit erheblicher Kraft zusammengepresst werden, um molekulare Bindungen zwischen der piezoelektrischen Platte und dem Vorrichtungssubstrat oder den Zwischenschichten herzustellen.

[0045] Bei 820 kann das Opfersubstrat entfernt werden. Beispielsweise können die piezoelektrische Platte und das Opfersubstrat aus einem Wafer aus piezoelektrischem Material bestehen, in den Ionen implantiert wurden, um Defekte in der Kristallstruktur entlang einer Ebene zu erzeugen, die eine Grenze zwischen der späteren piezoelektrischen Platte und dem Opfersubstrat bildet. Bei 820 kann der Wafer entlang der Defektebene gespalten werden, z. B. durch einen thermischen Schock, wobei das Opfersubstrat abgelöst wird und die piezoelektrische Platte gebondet an das Vorrichtungssubstrat bleibt. Die freiliegende Oberfläche der piezoelektrischen Platte kann poliert oder auf andere Weise bearbeitet werden, nachdem das Opfersubstrat abgelöst wurde.

[0046] Dünne Platten aus einkristallinen piezoelektrischen Materialien, die auf ein nichtpiezoelektrisches Substrat laminiert sind, sind im Handel erhältlich. Zum Zeitpunkt dieser Anmeldung sind sowohl Lithiumniobat- als auch Lithiumtantalat-Platten erhältlich, die an verschiedene Substrate wie Silizium, Quarz und Quarzglas gebondet sind. Dünne Platten aus anderen piezoelektrischen Materialien können jetzt oder in Zukunft verfügbar sein. Die Dicke der piezoelektrischen Platte kann zwischen 300 nm und 1000 nm betragen. Handelt es sich bei dem Substrat um Silizium, kann zwischen der piezoelektrischen Platte und dem Substrat eine SiO_2 -Schicht angeordnet sein. Wenn ein handelsübliches Laminat aus piezoelektrischer Platte und Vorrichtungssubstrat verwendet wird, werden die Schritte 810A, 815 und 820 des Verfahrens 800 nicht durchgeführt.

[0047] Eine erste Leiterstruktur, die die IDT der einzelnen XBAR enthält, wird bei 845 durch Abscheiden und Strukturieren einer oder mehrerer Leiterschichten auf der Vorderseite der piezoelektrischen Platte gebildet. Die Leiterschicht kann z. B. aus Aluminium, einer Aluminiumlegierung, Kupfer, einer Kupferlegierung oder einem anderen leitfähigen Metall bestehen. Optional können eine oder mehrere Schichten

aus anderen Materialien unterhalb (d. h. zwischen der Leiterschicht und der piezoelektrischen Platte) und/oder oberhalb der Leiterschicht angeordnet sein. So kann beispielsweise ein dünner Film aus Titan, Chrom oder einem anderen Metall verwendet werden, um die Haftung zwischen der Leiterschicht und der piezoelektrischen Platte zu verbessern. Eine zweite Leiterstruktur aus Gold, Aluminium, Kupfer oder einem anderen Metall mit höherer Leitfähigkeit kann über Teilen der ersten Leiterstruktur (z. B. den IDT-Sammelschienen und den Verbindungen zwischen den IDT) gebildet werden.

[0048] Jede Leiterstruktur kann gebildet werden, indem bei 845 die Leiterschicht und gegebenenfalls eine oder mehrere andere Metallschichten nacheinander auf die Oberfläche der piezoelektrischen Platte abgeschieden werden. Das überschüssige Metall kann dann durch Ätzen durch den strukturierten Photolack abgetragen werden. Die Leiterschicht kann z. B. durch Plasmaätzen, reaktives Ionenätzen, nasschemisches Ätzen oder andere Ätztechniken geätzt werden.

[0049] Alternativ kann jede Leiterstruktur bei 845 mit einem Lift-off-Verfahren hergestellt werden. Über die piezoelektrische Platte kann Photolack abgeschieden werden, der so strukturiert wird, dass die Leiterstruktur entsteht. Die Leiterschicht und gegebenenfalls eine oder mehrere andere Schichten können nacheinander auf die Oberfläche der piezoelektrischen Platte abgeschieden werden. Der Photolack kann dann entfernt werden, wodurch das überschüssige Material abgetragen wird und die Leiterstruktur übrig bleibt.

[0050] Bei 850 können eine oder mehrere frequenzinstellende dielektrische Schicht(en) durch Abscheiden einer oder mehrerer Schichten aus dielektrischem Material auf der Vorderseite der piezoelektrischen Platte gebildet werden. Beispielsweise kann eine dielektrische Schicht über den Shunt-Resonatoren gebildet werden, um die Frequenzen der Shunt-Resonatoren im Verhältnis zu den Frequenzen der Serienresonatoren abzusenken. Die eine oder mehrere dielektrischen Schichten können mit einem herkömmlichen Abscheidungsverfahren wie der physikalischen Gasphasenabscheidung, der Atomlagenabscheidung, der chemischen Gasphasenabscheidung oder einem anderen Verfahren abgeschieden werden. Ein oder mehrere lithographische Verfahren (unter Verwendung von Photomasken) können verwendet werden, um die Abscheidung der dielektrischen Schichten auf ausgewählte Bereiche der piezoelektrischen Platte zu beschränken. Beispielsweise kann eine Maske verwendet werden, um eine dielektrische Schicht so zu begrenzen, dass sie nur die Shunt-Resonatoren bedeckt.

[0051] Bei 855 wird eine dielektrische Passivierungs-/Abstimmungsschicht über der piezoelektrischen Platte und die Leiterstrukturen abgeschieden. Die dielektrische Passivierungs-/Abstimmungsschicht kann die gesamte Oberfläche des Filters bedecken, mit Ausnahme der Pads für die elektrischen Verbindungen zu den Schaltkreisen außerhalb des Filters. In einigen Ausführungsformen des Verfahrens 800 kann die dielektrische Passivierungs-/Abstimmungsschicht gebildet werden, nachdem die Hohlräume in dem Vorrichtungssubstrat entweder bei 810B oder 810C geätzt worden sind.

[0052] In einer zweiten Variante des Verfahrens 800 werden ein oder mehrere Hohlräume auf der Rückseite des Vorrichtungssubstrats bei 810B gebildet. Für jeden Resonator in einer Filtervorrichtung kann ein separater Hohlraum gebildet werden. Die ein oder mehreren Hohlräume können durch anisotropes oder orientierungsabhängiges Trocken- oder Nassätzen gebildet werden, um Löcher durch die Rückseite des Vorrichtungssubstrats zur piezoelektrischen Platte zu öffnen. In diesem Fall haben die resultierenden Resonatorvorrichtungen einen Querschnitt wie in **Fig. 1** dargestellt.

[0053] In einer dritten Variante des Verfahrens 800 können ein oder mehrere Hohlräume in Form von Vertiefungen im Substrat der Vorrichtung bei 810C durch Ätzen des Substrats mit einem durch Öffnungen in der piezoelektrischen Platte eingeführten Ätzmittel gebildet werden. Für jeden Resonator in einer Filtervorrichtung kann ein separater Hohlraum gebildet werden. Der eine oder die mehreren bei 810C gebildeten Hohlräume durchdringen das Substrat der Vorrichtung nicht, und die resultierenden Resonatorvorrichtungen haben einen Querschnitt wie in **Fig. 3** dargestellt.

[0054] Im Idealfall erfüllen nach der Herstellung der Hohlräume bei 810B oder 810C die meisten oder alle Filtervorrichtungen auf einem Wafer eine Reihe von Leistungsanforderungen. Normale Verfahrenstoleranzen führen jedoch zu Abweichungen bei Parametern wie den Dicken der bei 850 und 855 gebildeten dielektrischen Schicht, Abweichungen bei der Dicke und den Leitungsbreiten der bei 845 gebildeten Leiter und IDT-Finger sowie Abweichungen bei der Dicke der PZT-Platte. Diese Abweichungen tragen dazu bei, dass die Leistung der Filtervorrichtung von den Leistungsanforderungen abweicht.

[0055] Zur Verbesserung der Ausbeute an Filtervorrichtungen, die die Leistungsanforderungen erfüllen, kann die Frequenzabstimmung durch selektive Einstellung der Dicke der Passivierungs-/Abstimmungsschicht erfolgen, die über den Resonatoren bei 855 abgeschieden wurde. Die Frequenz des Durchlassbandes einer Filtervorrichtung kann durch Hinzufügen von Material zur Passivierungs-/Abstimmungs-

schicht gesenkt werden, und die Frequenz des Durchlassbandes der Filtervorrichtung kann durch Abtragen von Material von der Passivierungs-/Abstimmungsschicht erhöht werden. Typischerweise ist das Verfahren 800 so ausgerichtet, dass Filtervorrichtungen mit Durchlassbändern hergestellt werden, die anfänglich niedriger sind als ein erforderlicher Frequenzbereich, aber durch Abtragen von Material von der Oberfläche der Passivierungs-/Abstimmungsschicht auf den gewünschten Frequenzbereich abgestimmt werden können.

[0056] Bei 860 kann eine Testkarte oder ein anderes Mittel zum Herstellen elektrischer Verbindungen mit dem Filter verwendet werden, um Hochfrequenztests und Messungen von Filtereigenschaften wie der Eingangs-Ausgangs-Übertragungsfunktion zu ermöglichen. In der Regel werden HF-Messungen an allen oder einem großen Teil der Filtervorrichtungen durchgeführt, die gleichzeitig auf einer gemeinsamen piezoelektrischen Platte und einem gemeinsamen Substrat hergestellt werden.

[0057] Bei 865 kann eine globale Frequenzabstimmung durchgeführt werden, indem Material von der Oberfläche der Passivierungs-/Abstimmungsschicht mit einem selektiven Materialabtragungswerkzeug wie z. B. einer Ionenfräse, wie zuvor beschrieben, abgetragen wird. Die „globale“ Abstimmung erfolgt mit einer räumlichen Auflösung, die gleich oder größer ist als die einer einzelnen Filtervorrichtung. Ziel der globalen Abstimmung ist es, das Durchlassband jeder Filtervorrichtung in Richtung eines gewünschten Frequenzbereichs zu verschieben. Die Testergebnisse von 860 können verarbeitet werden, um eine globale Konturenkarte zu erstellen, die die Menge des abzutragenden Materials als Funktion der zweidimensionalen Position auf dem Wafer angibt. Das Material wird dann entsprechend der Konturenkarte mit dem selektiven Materialabtragungswerkzeug abgetragen.

[0058] Bei 870 kann eine lokale Frequenzabstimmung zusätzlich zu oder anstelle der globalen Frequenzabstimmung bei 865 durchgeführt werden. Die „lokale“ Frequenzabstimmung wird mit einer räumlichen Auflösung durchgeführt, die kleiner ist als eine einzelne Filtervorrichtung. Die Testergebnisse von 860 können verarbeitet werden, um eine Karte zu erstellen, die die Menge an Material angibt, die an jeder Filtervorrichtung abgetragen werden muss. Die lokale Frequenzabstimmung kann die Verwendung einer Maske erfordern, um die Größe der Bereiche, von denen Material abgetragen wird, zu begrenzen. Beispielsweise kann eine erste Maske verwendet werden, um die Abstimmung nur auf Shunt-Resonatoren zu beschränken, und eine zweite Maske kann anschließend verwendet werden, um die Abstimmung nur auf Serienresonatoren zu beschränken (oder umgekehrt). Dies würde eine

unabhängige Abstimmung der unteren Bandgrenze (durch Abstimmung von Shunt-Resonatoren) und der oberen Bandgrenze (durch Abstimmung von Serienresonatoren) der Filtervorrichtungen ermöglichen.

[0059] Nach der Frequenzabstimmung bei 865 und/oder 870 wird die Filtervorrichtung bei 875 fertiggestellt. Zu den Vorgängen, die bei 875 vorkommen können, gehören das Herstellen von Bondpads oder Lötstellen oder anderen Mitteln zur Herstellung einer Verbindung zwischen der Vorrichtung und externen Schaltkreisen (falls solche Pads nicht bei 845 hergestellt wurden), das Herausschneiden einzelner Filtervorrichtungen aus einem Wafer, der mehrere Filtervorrichtungen enthält, andere Verpackungsschritte und zusätzliche Tests. Nachdem jede Filtervorrichtung fertiggestellt ist, endet das Verfahren bei 895.

[0060] Fig. 9 ist ein vereinfachtes Flussdiagramm, das ein Verfahren 900 zur Herstellung eines Filters zeigt, der XBAR enthält. Das Verfahren 900 beginnt bei 905 mit einem Substrat und einer Platte aus piezoelektrischem Material und endet bei 995 mit einem fertigen Filter. Das Flussdiagramm in Fig. 9 enthält nur die wichtigsten Verfahrensschritte. Verschiedene herkömmliche Verfahrensschritte (z. B. Oberflächenvorbereitung, Reinigung, Inspektion, Brennen, Glühen, Überwachung, Prüfung usw.) können vor, zwischen, nach und während der in Fig. 9 dargestellten Schritte durchgeführt werden.

[0061] Das Flussdiagramm in Fig. 9 zeigt zwei Varianten des Verfahrens 900 zur Herstellung eines Filters, die sich darin unterscheiden, wann und wie die Hohlräume im Substrat gebildet werden. Die Hohlräume können in den Schritten 810B oder 810C gebildet werden. In jeder der beiden Varianten des Verfahrens 900 wird nur einer dieser Schritte durchgeführt.

[0062] Die Verfahrensschritte mit den Bezugsziffern 815 bis 875 sind im Wesentlichen die gleichen wie die entsprechenden Schritte des Verfahrens 800 von Fig. 8. Die Beschreibungen dieser Schritte werden nicht wiederholt. Der wesentliche Unterschied zwischen dem Verfahren 900 und dem Verfahren 800 besteht darin, dass die HF-Tests 960 und die Frequenzabstimmung 965 durchgeführt werden, bevor die Hohlräume bei 810B oder 810C gebildet werden. Wenn die Abstimmung durchgeführt wird, während der Bereich der Resonatoren noch auf dem Substrat abgebracht ist, bietet das Substrat der piezoelektrischen Platte mechanischen Halt und wirkt als Senke für die Wärme, die entsteht, wenn Material von der dielektrischen Passivierungs-/Abstimmungsschicht abgetragen wird. Dadurch wird eine Beschädigung der Membran vermieden, die auftreten kann, wenn die Abstimmung nach der

Bildung der Hohlräume erfolgt, wie bei dem Verfahren 800.

[0063] Da die Abstimmung durchgeführt wird, während der Bereich der Resonatoren noch auf dem Substrat angebracht ist, können die HF-Tests bei 960 nicht die tatsächlichen Leistungsparameter eines Filters messen. Stattdessen werden bei den HF-Tests bei 960 andere Parameter gemessen, die mit der Leistung des Filters korreliert werden können, nachdem die Hohlräume gebildet wurden. Die HF-Tests bei 960 können die Resonanzfrequenzen anderer akustischer Moden messen, die nach der Bildung der Hohlräume noch vorhanden sein können oder auch nicht. Diese Moden können Sezawa-Moden, Rayleigh-Moden und verschiedene akustische Volumenmoden umfassen. Beispielsweise können die Eingangs-/Ausgangsübertragungsfunktionen von Filtervorrichtungen und/oder die Admittanzen einzelner Resonatoren an allen oder einem großen Teil der Filtervorrichtungen gemessen werden, die gleichzeitig auf einer gemeinsamen piezoelektrischen Platte und einem gemeinsamen Substrat hergestellt werden.

[0064] Die Testergebnisse von 960 werden verarbeitet, um die Leistung der Filtervorrichtungen vorherzusagen, die wiederum zur Erstellung einer Konturenkarte verwendet wird, die die Menge des abzutragenden Materials als Funktion der zweidimensionalen Position auf dem Wafer angibt. So kann beispielsweise ein neutrales Netzwerk trainiert werden, um die Admittanz eines Resonators über eine Frequenzspanne von 0 bis 1 GHz in eine Vorhersage der Materialmenge umzuwandeln, die an einer bestimmten Stelle auf der Konturenkarte abgetragen werden muss.

[0065] Bei 965 wird die Frequenz der Filtervorrichtungen selektiv abgestimmt, indem Material von der Oberfläche der Passivierungs-/Abstimmungsschicht entsprechend der bei 960 erzeugten Konturenkarte abgetragen wird. Das Material kann mit einem selektiven Materialabtragungswerkzeug, wie z. B. einer Ionenfräse, wie zuvor beschrieben, bei 965 abgetragen werden. Nach der Frequenzabstimmung kann das Verfahren 900 beendet werden, wie zuvor in Bezug auf das Verfahren 800 beschrieben wurde.

[0066] Fig. 10 ist ein vereinfachtes Flussdiagramm, das ein weiteres Verfahren 1000 zur Herstellung einer Filtervorrichtung mit XBAR zeigt. Insbesondere dient das Verfahren 1000 zur Herstellung einer Filtervorrichtung mit zwei oder mehr unterschiedlichen piezoelektrischen Membrandicken. Beispielsweise kann eine Vorrichtung unterschiedliches Membrandicken für Serien- und Shunt-Resonatoren aufweisen. Das Verfahren 1000 beginnt bei 1005 mit einem Substrat und einer Platte aus piezoelektrischem Material, die auf einem Opfersubstrat angeordnet ist, und

endet bei 1095 mit einer fertigen Filtervorrichtung. Das Flussdiagramm in Fig. 10 enthält nur die wichtigsten Verfahrensschritte. Verschiedene herkömmliche Verfahrensschritte (z. B. Oberflächenvorbereitung, Reinigung, Inspektion, Brennen, Glühen, Überwachung, Prüfung usw.) können vor, zwischen, nach und während der in Fig. 10 gezeigten Schritte durchgeführt werden.

[0067] Das Flussdiagramm in Fig. 10 zeigt drei Varianten des Verfahrens 1000 zur Herstellung einer XBAR-Vorrichtung, die sich darin unterscheiden, wann und wie die Hohlräume im Substrat gebildet werden. Die Hohlräume können in den Schritten 810A, 810B oder 810C gebildet werden. In jeder der drei Varianten des Verfahrens 1000 wird nur einer dieser Schritte durchgeführt.

[0068] Die Verfahrensschritte mit den Bezugsziffern 815 bis 875 sind im Wesentlichen die gleichen wie die entsprechenden Schritte des Verfahrens 800 von Fig. 8. Die Beschreibungen dieser Schritte werden nicht wiederholt. Der wesentliche Unterschied zwischen dem Verfahren 1000 und dem Verfahren 800 besteht in der Hinzufügung der Schritte 1030 und 1035.

[0069] Bei 1030 werden ausgewählte Bereiche der piezoelektrischen Platte ausgedünnt. Beispielsweise können die Bereiche der piezoelektrischen Platte, die zu den Membranen der Serienresonatoren werden, wie in Ansicht E von Fig. 7 gezeigt, ausgedünnt werden. Das Ausdünnen kann mit einem abtastenden Materialwerkzeug, z. B. einer Ionenfräse, durchgeführt werden. Alternativ können die auszudünnenden Bereiche durch eine Maske definiert werden, und das Material kann mit einer Ionenfräse, einem Sputter-Ätzwerkzeug oder einem Nass- oder Trockenätzverfahren abgetragen werden. In allen Fällen ist eine genaue Steuerung der Tiefe des über die Oberfläche des Wafers abgetragenen Materials erforderlich. Nach dem Ausdünnen wird die piezoelektrische Platte in Bereiche mit zwei oder mehr unterschiedlichen Dicken unterteilt.

[0070] Die Oberfläche, die nach dem Abtragen des Materials von der piezoelektrischen Platte verbleibt, kann beschädigt sein, insbesondere wenn eine Ionenfräse oder ein Sputter-Ätzwerkzeug bei 1030 verwendet wird. Eine Form der Nachbearbeitung, wie z. B. Glühen oder ein anderes thermisches Verfahren, kann bei 1035 durchgeführt werden, um die beschädigte Oberfläche zu reparieren.

[0071] Nachdem die piezoelektrische Platte bei 1030 selektiv ausgedünnt und etwaige Oberflächenbeschädigungen bei 1035 repariert worden sind, können die verbleibenden Schritte des Verfahrens 1000 (wie in Fig. 10 dargestellt) die gleichen sein wie die entsprechenden Schritte des Verfahrens

800, wobei der HF-Test 860 und die Frequenzabstimmung 865 nach der Bildung der Hohlräume bei 810A, 810B oder 810C erfolgen. Alternativ können die übrigen Schritte des Verfahrens 1000 (in **Fig. 10** nicht dargestellt) die gleichen sein wie die entsprechenden Schritte des Verfahrens 900, wobei der HF-Test 960 und die Frequenzabstimmung 965 vor der Bildung der Hohlräume bei 810B oder 810C erfolgen. Die Bildung der frequenzeinstellenden dielektrischen Schichten bei 850 erfolgt nicht notwendigerweise während des Verfahrens 1000.

[0072] **Fig. 11** ist ein vereinfachtes Flussdiagramm, das ein weiteres Verfahren 1100 zur Herstellung einer Filtervorrichtung mit XBAR zeigt. Insbesondere dient das Verfahren 1100 zur Herstellung einer Filtervorrichtung mit zusätzlichen Schritten zur Verbesserung der Dickengleichmäßigkeit der piezoelektrischen Platte, wie zuvor in **Fig. 7** dargestellt. Das Flussdiagramm in **Fig. 11** enthält nur die wichtigsten Verfahrensschritte. Verschiedene herkömmliche Verfahrensschritte (z. B. Oberflächenvorbereitung, Reinigung, Inspektion, Einbrennen, Glühen, Überwachung, Prüfung usw.) können vor, zwischen, nach und während der in **Fig. 11** dargestellten Schritte durchgeführt werden. Die mit Bezugsziffern 815 bis 875 bezeichneten Verfahrensschritte sind im Wesentlichen die gleichen wie die entsprechenden Schritte des Verfahrens 800 von **Fig. 8**. Die Verfahrensschritte 1030 und 1035 sind im Wesentlichen die gleichen wie die entsprechenden Schritte des Verfahrens 1000 von **Fig. 10**. Die Beschreibungen dieser Schritte werden nicht wiederholt.

[0073] Das Flussdiagramm in **Fig. 11** zeigt mehrere Varianten des Verfahrens 1100 zur Herstellung eines XBAR, die sich darin unterscheiden, wann und wie Hohlräume im Substrat gebildet und wie die Frequenzen der Shunt-Resonatoren von den Frequenzen der Serienresonatoren versetzt werden. Die Hohlräume können in den Schritten 810B oder 810C gebildet werden. Nur einer dieser Schritte wird in jeder Variante des Verfahrens 1100 durchgeführt. Die Frequenzen der Shunt-Resonatoren können von den Frequenzen der Serienresonatoren durch Bildung einer frequenzeinstellenden dielektrischen Schicht über den Shunt-Resonatoren bei 850 versetzt werden. Alternativ können die Frequenzen der Shunt-Resonatoren gegenüber den Frequenzen der Serienresonatoren durch Ausdünnen der piezoelektrischen Platte, die die Membranen der Serienresonatoren bilden werden, bei 1030 versetzt werden. Einer oder beide dieser Schritte werden in allen Varianten des Verfahrens 1100 durchgeführt.

[0074] Der Hauptunterschied zwischen dem Verfahren 1100 und den zuvor beschriebenen Verfahren besteht in der Hinzufügung der Schritte 1120 und 1125. Bei 1120 werden optische Messungen der Dicke der piezoelektrischen Platte mit einem opti-

schen Dickenmessgerät wie z. B. einem Ellipsometer/Reflektometer vorgenommen. Das optische Dickenmessgerät kann Licht messen, das von der Oberfläche der piezoelektrischen Platte und von der Grenzfläche zwischen der piezoelektrischen Platte und dem Substrat reflektiert wird. Die Reflexionen von einem bestimmten Messpunkt auf der piezoelektrischen Platte können mit mehreren Lichtwellenlängen, Einfallswinkeln und/oder Polarisationszuständen gemessen werden. Die Ergebnisse mehrerer Messungen werden verarbeitet, um die Dicke der piezoelektrischen Platte an dem Messpunkt zu bestimmen.

[0075] Der Messvorgang wird wiederholt, um die Dicke der piezoelektrischen Platte an mehreren Messpunkten auf der Oberfläche der piezoelektrischen Platte zu bestimmen. Die mehreren Punkte können beispielsweise ein Gitter oder eine Matrix von Messpunkten auf der Oberfläche der Platte bilden. Die Messdaten können verarbeitet und interpoliert werden, um eine Karte der Dicke der piezoelektrischen Platte zu erstellen.

[0076] Bei 1125 wird überschüssiges Material von der piezoelektrischen Platte mit einem Materialabtragungswerkzeug abgetragen, wie zuvor in Ansicht C von **Fig. 7** gezeigt. Das Materialabtragungswerkzeug kann z. B. eine abtastende Ionenfräse oder ein anderes Werkzeug sein. Mit einer abtastenden Ionenfräse tastet ein Strahl hochenergetischer Ionen die Oberfläche der piezoelektrischen Platte ab. Durch das Auftreffen des Ionenstrahls auf die piezoelektrische Platte wird Material an der Oberfläche durch Sublimation oder Sputtern abgetragen. Der Ionenstrahl kann ein- oder mehrmals in einem Rastermuster über die Oberfläche der piezoelektrischen Platte abgetastet werden. Der Ionenstrom oder die Verweilzeit des Ionenstrahls kann während der Rasterabtastung variiert werden, um die Tiefe des an jedem Punkt der piezoelektrischen Platte abgetragenen Materials in Übereinstimmung mit der Karte der Dicke der piezoelektrischen Platte zu steuern. Das Ergebnis ist eine piezoelektrische Platte mit wesentlich verbesserter Dickengleichmäßigkeit. Die Dicke an jedem Punkt der piezoelektrischen Platte kann im Wesentlichen gleich der zuvor definierten Solldicke sein.

[0077] Optional können Teile der piezoelektrischen Platte, die zu Membranen von Serienresonatoren werden sollen, bei 1030 ausgedünnt werden. Schäden an der freiliegenden Oberfläche der piezoelektrischen Platte, die bei 1125 und/oder 1030 entstanden sind, können durch Nachbearbeitung bei 1035, wie zuvor beschrieben, beseitigt werden.

[0078] Die übrigen Schritte des Verfahrens 1100 (wie in **Fig. 11** dargestellt) können die gleichen sein wie die entsprechenden Schritte des Verfahrens 800,

außer dass die Bildung der frequenzeinstellenden dielektrischen Schicht bei 850 nicht durchgeführt werden kann, wenn die piezoelektrische Platte bei 10 30 selektiv ausgedünnt wird. In beiden Fällen können der HF-Test 860 und die Frequenzabstimmung 865/870 erfolgen, nachdem die Hohlräume bei 810B oder 810C gebildet wurden. Alternativ können die übrigen Schritte des Verfahrens 1100 (in **Fig. 11** nicht dargestellt) die gleichen sein wie die entsprechenden Schritte des Verfahrens 900, wobei der HF-Test 960 und die Frequenzabstimmung 965 erfolgen, bevor die Hohlräume bei 810B oder 810C gebildet werden.

(aber für die Verwendung des ordinalen Ausdrucks), um die Anspruchselemente zu unterscheiden. Wie hier verwendet, bedeutet „und/oder“, dass die aufgelisteten Elemente Alternativen sind, aber die Alternativen enthalten auch jede Kombination der aufgelisteten Elemente.

Abschließende Bemerkungen

[0079] In dieser gesamten Beschreibung sollten die gezeigten Ausführungsformen und Beispiele als Muster betrachtet werden und nicht als Einschränkungen der offenbarten oder beanspruchten Vorrichtungen und Vorgehensweisen. Obwohl viele der hier dargestellten Beispiele spezifische Kombinationen von Verfahrenstätigkeiten oder Systemelementen beinhalten, sollte verstanden werden, dass diese Tätigkeiten und diese Elemente auf andere Weise kombiniert werden können, um die gleichen Ziele zu erreichen. Im Hinblick auf Flussdiagramme können zusätzliche und weniger Schritte unternommen werden, und die gezeigten Schritte können kombiniert oder weiter verfeinert werden, um die hier beschriebenen Verfahren zu erreichen. Tätigkeiten, Elemente und Merkmale, die nur im Zusammenhang mit einer Ausführungsform diskutiert werden, sollen nicht von einer ähnlichen Rolle in anderen Ausführungsformen ausgeschlossen werden.

[0080] Wie hier verwendet, bedeutet „Vielzahl“ zwei oder mehr. Wie hier verwendet, kann ein „Satz“ von Elementen einen oder mehrere solcher Elemente umfassen. In der hier verwendeten Form, sei es in der schriftlichen Beschreibung oder in den Ansprüchen, sind die Begriffe „umfassend“, „einschließend“, „tragend“, „aufweisend“, „enthaltend“, „einbeziehend“ und dergleichen so zu verstehen, dass sie unbegrenzt sind, d. h. dass sie einschließen, aber nicht darauf beschränkt sind. Nur die Übergangspräsen „bestehend aus“ bzw. „bestehend im Wesentlichen aus“ sind geschlossene oder halbgeschlossene Übergangspräsen mit Bezug auf Ansprüche. Die Verwendung von ordinalen Ausdrücken wie „erster“, „zweiter“, „dritter“ usw. in den Ansprüchen, um ein Anspruchselement zu ändern, bedeutet an sich keine Priorität, keinen Vorrang oder keine Reihenfolge eines Anspruchselements gegenüber einem anderen oder die zeitliche Reihenfolge, in der die Tätigkeiten eines Verfahrens ausgeführt werden, sondern sie werden lediglich als Kennzeichnungen verwendet, um ein Anspruchselement mit einem bestimmten Namen von einem anderen Element mit demselben Namen zu unterscheiden

ZITATE ENTHALTEN IN DER BESCHREIBUNG

Zitierte Patentliteratur

- WO 10601392 [0029]
- WO 16/924108 [0029]

Patentansprüche

1. Filtervorrichtung, umfassend:
ein Substrat mit einer Oberfläche;
eine einkristalline piezoelektrische Platte mit einer Vorder- und einer Rückfläche, wobei die Rückfläche an der Oberfläche des Substrats angebracht ist, wobei Teile der einkristallinen piezoelektrischen Platte eine Vielzahl von Membranen bilden, die entsprechende Hohlräume in dem Substrat überspannen; und
eine Leiterstruktur, die auf der Vorderfläche gebildet ist, wobei die Leiterstruktur eine Vielzahl von Interdigitalwandlern (IDT) einer Vielzahl von Resonatoren enthält, wobei
ineinander verschachtelte Finger von mindestens einem ersten IDT der Vielzahl von IDT auf einer Membran mit einer ersten Dicke angeordnet sind, und
ineinander verschachtelte Finger von mindestens einem zweiten IDT der Vielzahl von IDT auf einer Membran mit einer zweiten Dicke, die geringer als die erste Dicke ist, angeordnet sind.
2. Filtervorrichtung nach Anspruch 1, wobei die ineinander verschachtelten Finger eines oder mehrerer der mehreren IDT auf entsprechenden Membranen angeordnet sind, die andere Dicken zwischen der ersten Dicke und der zweiten Dicke aufweisen.
3. Filtervorrichtung nach Anspruch 1, wobei die Vielzahl von Membranen umfasst:
mindestens eine Membran mit der ersten Dicke;
mindestens eine Membran mit der zweiten Dicke;
und
eine oder mehrere Membranen mit einer oder mehreren zusätzlichen Dicken zwischen der ersten Dicke und der zweiten Dicke.
4. Filtervorrichtung nach Anspruch 1, wobei die einkristalline piezoelektrische Platte und alle IDT so eingerichtet sind, dass ein entsprechendes Hochfrequenzsignal, das an jeden IDT angelegt wird, eine entsprechende primäre akustische Schermode innerhalb der entsprechenden Membran anregt.
5. Filtervorrichtung nach Anspruch 4, wobei eine Richtung des akustischen Energieflusses aller primären akustischen Schermoden im Wesentlichen orthogonal zu der Vorder- und der Rückfläche der entsprechenden Membranen verläuft.
6. Filtervorrichtung nach Anspruch 4, wobei die einkristalline piezoelektrische Platte entweder aus Lithiumniobat oder Lithiumtantalat besteht.
7. Filtervorrichtung nach Anspruch 1, wobei die zweite Dicke größer als oder gleich 200 nm ist,

- und
die erste Dicke kleiner als oder gleich 1000 nm ist.
8. Filtervorrichtung nach Anspruch 1, wobei jeder der mehreren IDT auf einer entsprechenden Membran angeordnet ist, die einen entsprechenden Hohlraum überspannt.
 9. Filtervorrichtung nach Anspruch 1, wobei die Vielzahl von Resonatoren mindestens einen Shunt-Resonator und mindestens einen Serienresonator umfasst,
die Finger des IDT des mindestens einen Shunt-Resonators auf einer Membran mit der ersten Dicke angeordnet sind, und
die Finger des IDT des mindestens einen Serienresonators auf einer Membran mit der zweiten Dicke angeordnet sind.
 10. Filtervorrichtung nach Anspruch 1, wobei die Vielzahl von Resonatoren eine Vielzahl von Shunt-Resonatoren und eine Vielzahl von Serienresonatoren umfasst,
die Finger der IDT aller Shunt-Resonatoren auf Membranen mit der ersten Dicke angeordnet sind, und
die Finger der IDT aller Serienresonatoren auf Membranen mit der zweiten Dicke angeordnet sind.
 11. Verfahren zur Herstellung einer Filtervorrichtung, umfassend:
Anbringen einer Rückfläche einer piezoelektrischen Platte mit gegenüberliegenden Vorder- und Rückflächen und einer ersten Dicke an einer Oberfläche eines Substrats;
selektives Ausdünnen von Teilen der piezoelektrischen Platte von der ersten Dicke auf eine zweite Dicke, die geringer als die erste Dicke ist;
Bilden von Hohlräumen in dem Substrat, so dass Teile der einkristallinen piezoelektrischen Platte eine Vielzahl von Membranen bilden, die die entsprechenden Hohlräume überspannen; und
Bilden einer Leiterstruktur auf der Vorderfläche, wobei die Leiterstruktur eine Vielzahl von Interdigitalwandlern (IDT) einer Vielzahl von Resonatoren enthält, wobei
ineinander verschachtelte Finger von mindestens einem ersten IDT der Vielzahl von IDT auf einer oder mehreren Membranen mit der ersten Dicke angeordnet sind, und
ineinander verschachtelte Finger von mindestens einem zweiten IDT der Vielzahl von IDT auf einer oder mehreren Membranen mit der zweiten Dicke angeordnet sind.
 12. Verfahren nach Anspruch 11, ferner umfassend:
selektives Ausdünnen zusätzlicher Teile der piezoelektrischen Platte auf eine dritte Dicke zwischen der ersten Dicke und der zweiten Dicke, wobei

ineinander verschachtelte Finger von mindestens einem dritten IDT der Vielzahl von IDT auf einer Membran mit der dritten Dicke angeordnet sind.

13. Verfahren nach Anspruch 11, ferner umfassend:

selektives Ausdünnen zusätzlicher Teile der piezoelektrischen Platte auf eine oder mehrere zusätzliche Dicken zwischen der ersten Dicke und der zweiten Dicke.

14. Verfahren nach Anspruch 11, wobei die ein-kristalline piezoelektrische Platte und alle IDT so eingerichtet sind, dass ein entsprechendes Hochfrequenzsignal, das an jeden IDT angelegt wird, eine entsprechende primäre akustische Schermode innerhalb der entsprechenden Membran anregt.

15. Verfahren nach Anspruch 14, wobei eine Richtung des akustischen Energieflusses aller primären akustischen Schermoden im Wesentlichen orthogonal zu der Vorder- und der Rückfläche der entsprechenden Membranen verläuft.

16. Verfahren nach Anspruch 14, wobei die ein-kristalline piezoelektrische Platte entweder aus Lithiumniobat oder Lithiumtantalat besteht.

17. Verfahren nach Anspruch 11, wobei die zweite Dicke größer als oder gleich 200 nm ist, und die erste Dicke kleiner als oder gleich 1000 nm ist.

18. Verfahren nach Anspruch 11, wobei jeder der mehreren IDT auf einer entsprechenden Membran angeordnet ist, die einen entsprechenden Hohlraum überspannt.

19. Verfahren nach Anspruch 11, wobei die Vielzahl von Resonatoren mindestens einen Shunt-Resonator und mindestens einen Serienresonator umfasst, die Finger des IDT des mindestens einen Shunt-Resonators auf einer Membran mit der ersten Dicke angeordnet sind, und die Finger des IDT des mindestens einen Serienresonators auf einer Membran mit der zweiten Dicke angeordnet sind.

20. Verfahren nach Anspruch 11, wobei die Vielzahl von Resonatoren eine Vielzahl von Shunt-Resonatoren und eine Vielzahl von Serienresonatoren umfasst, die Finger der IDT aller Shunt-Resonatoren auf Membranen mit der ersten Dicke angeordnet sind, und die Finger der IDT aller Serienresonatoren auf Membranen mit der zweiten Dicke angeordnet sind.

Es folgen 11 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

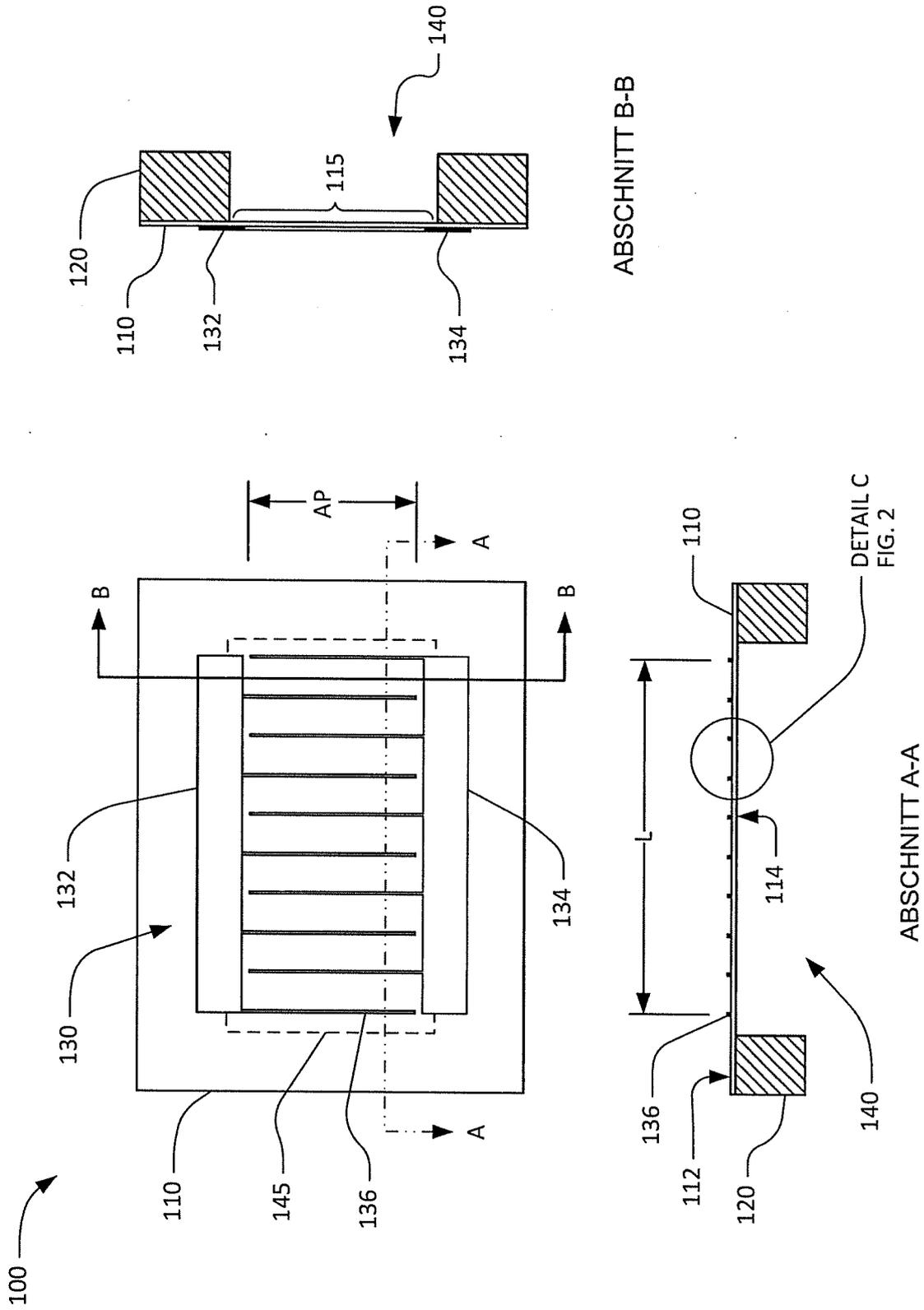


FIG. 1
STAND DER TECHNIK

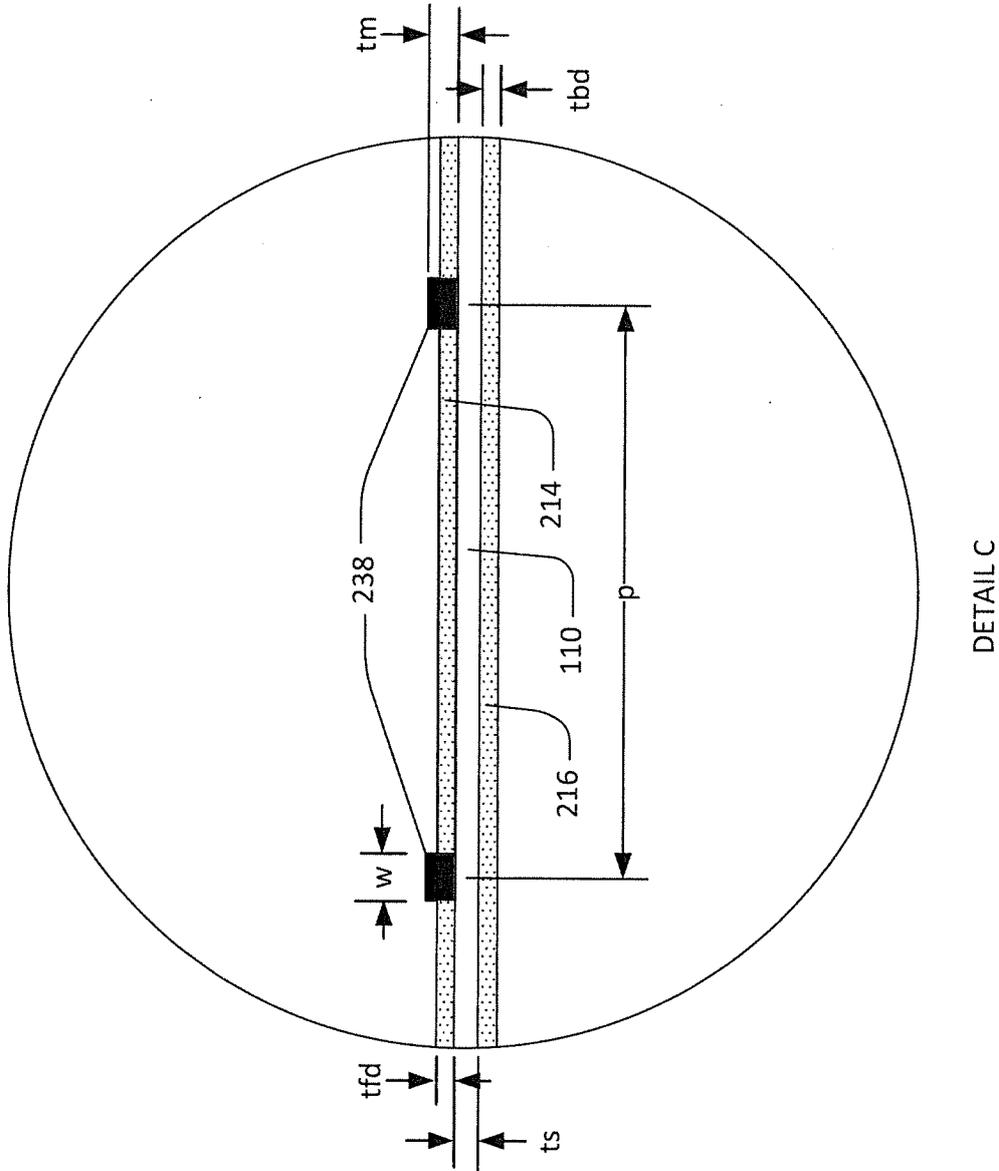


FIG. 2
STAND DER TECHNIK

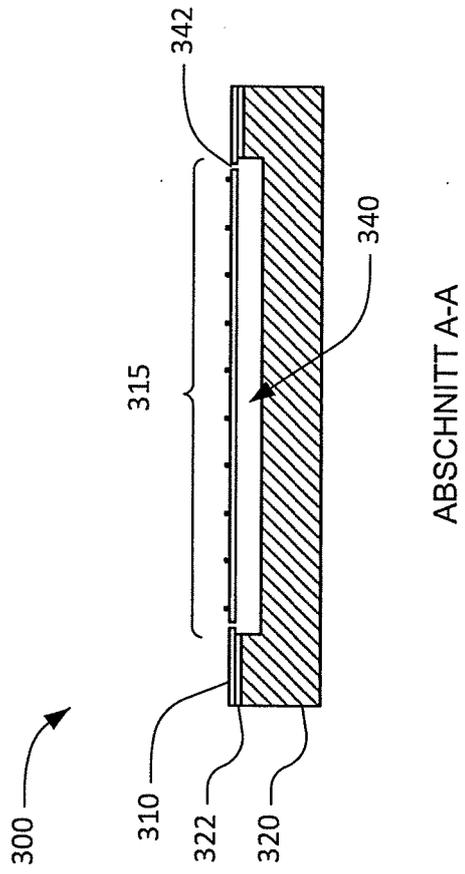


FIG. 3
STAND DER TECHNIK

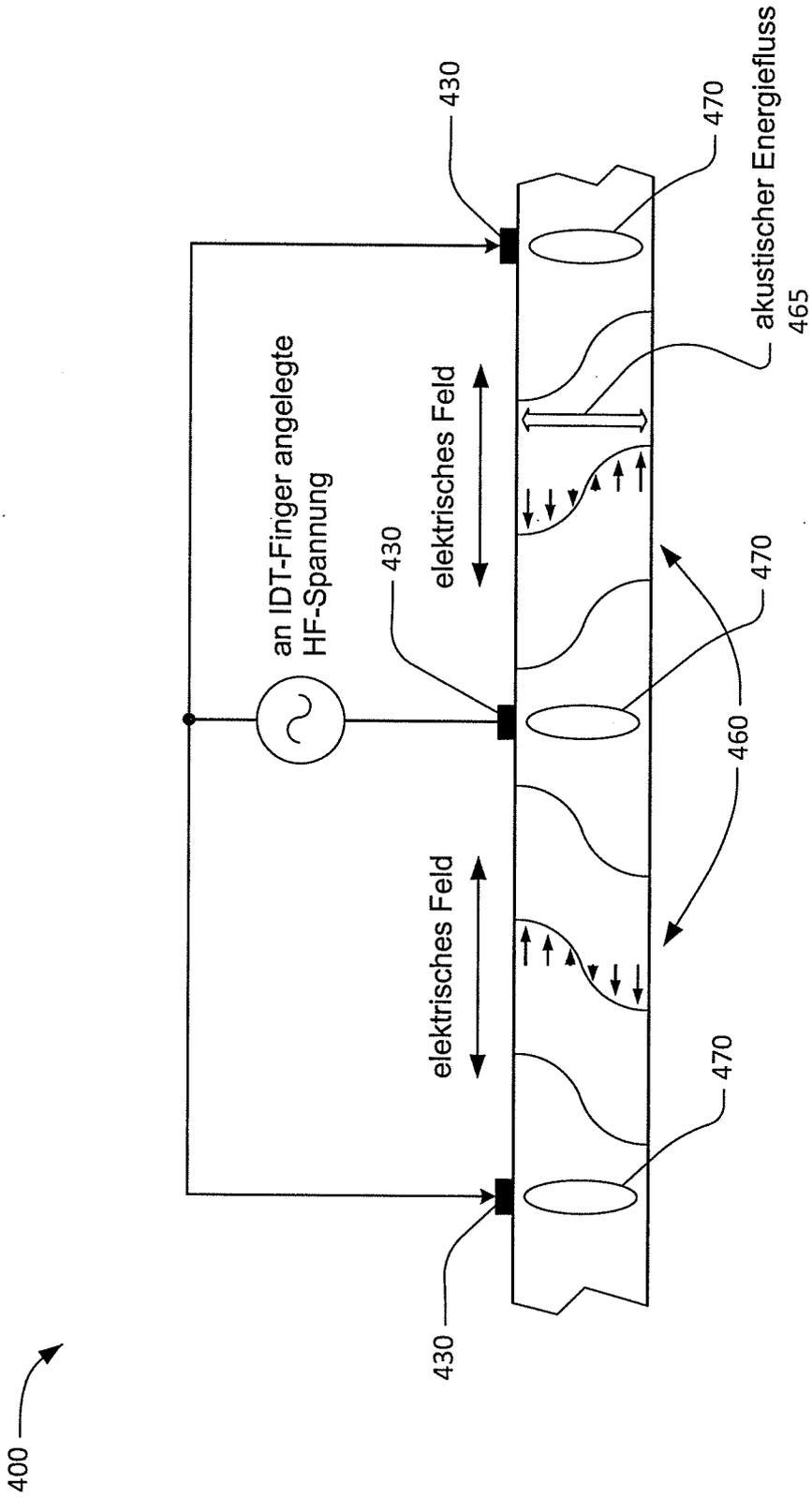


FIG. 4

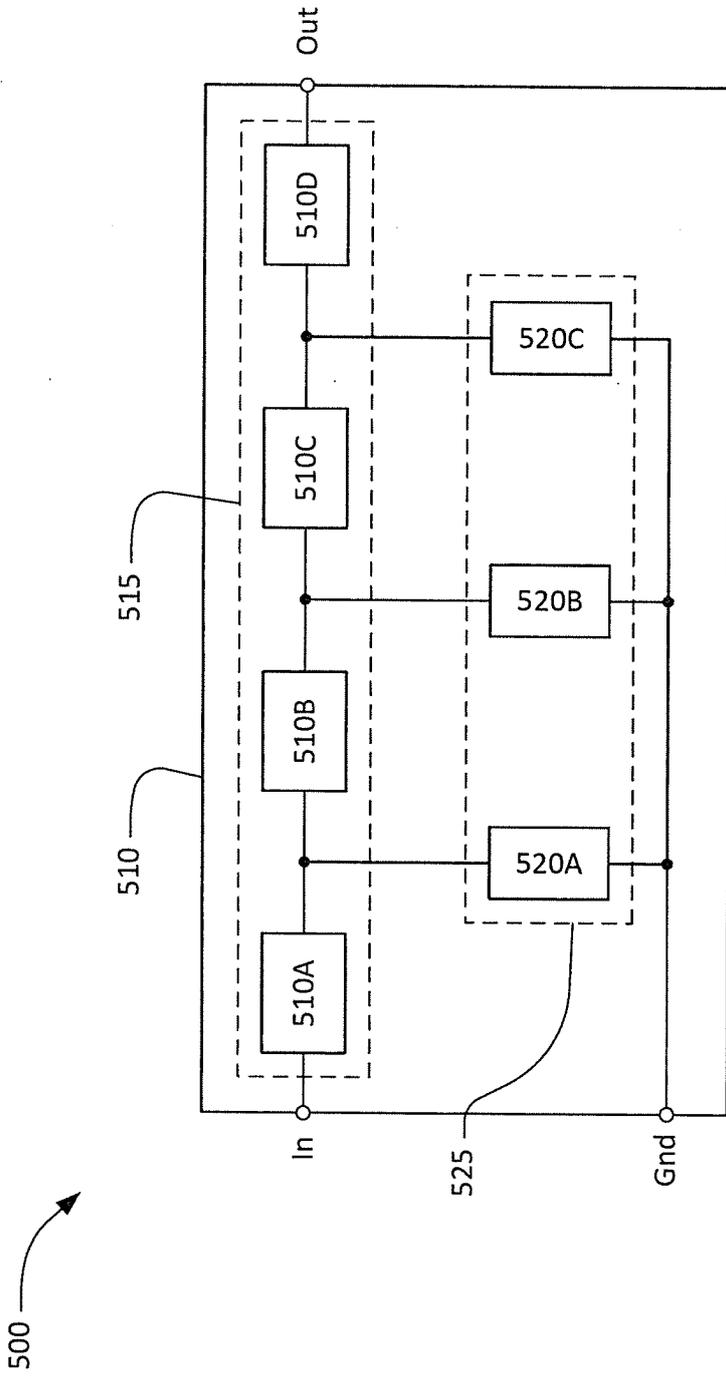


FIG. 5

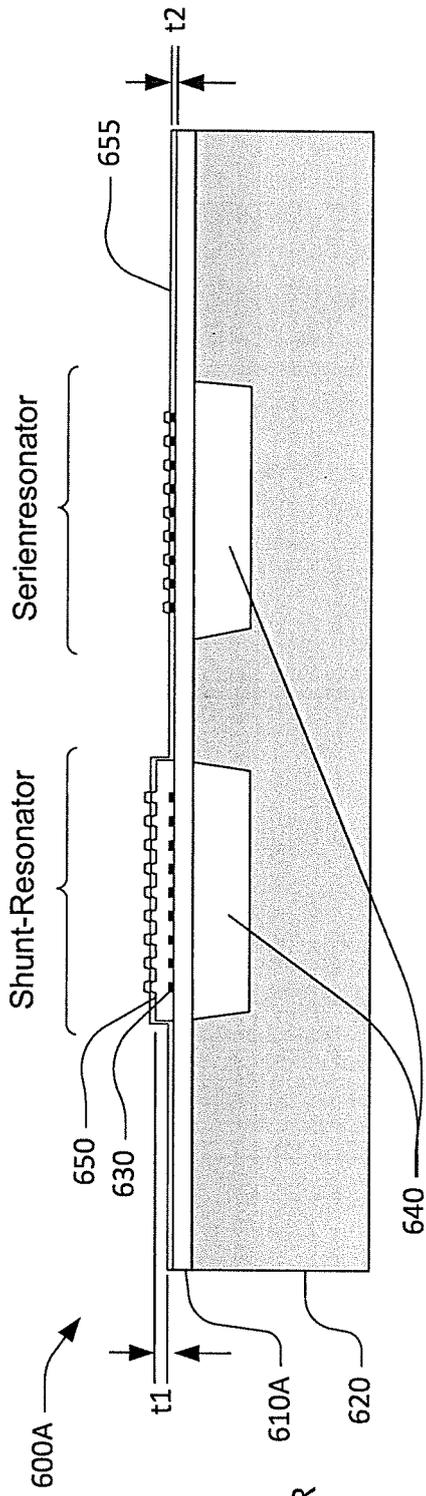


FIG. 6A
STAND DER
TECHNIK

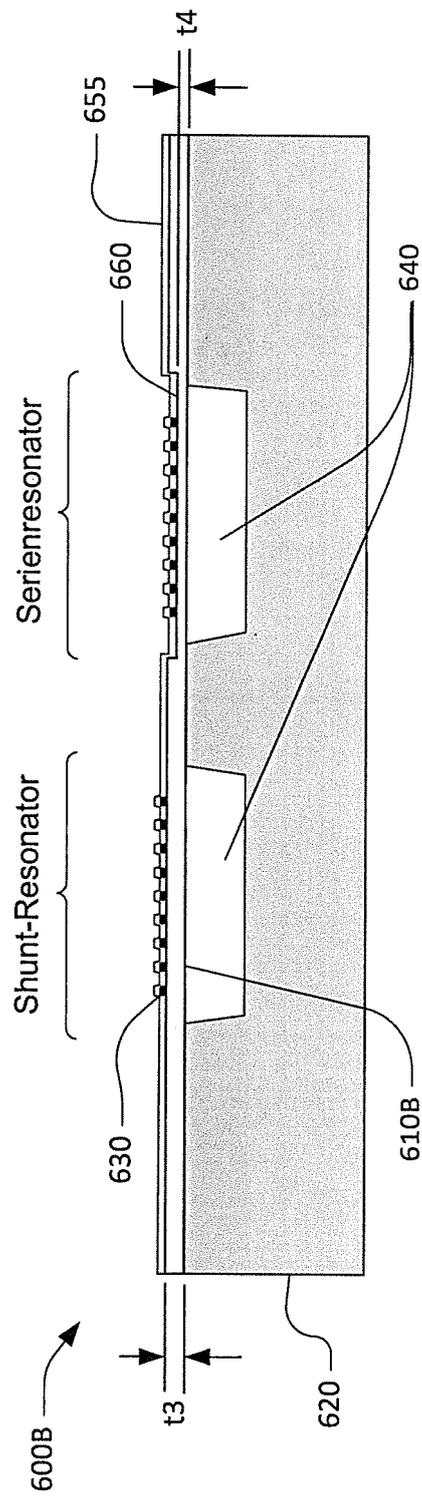


FIG. 6B

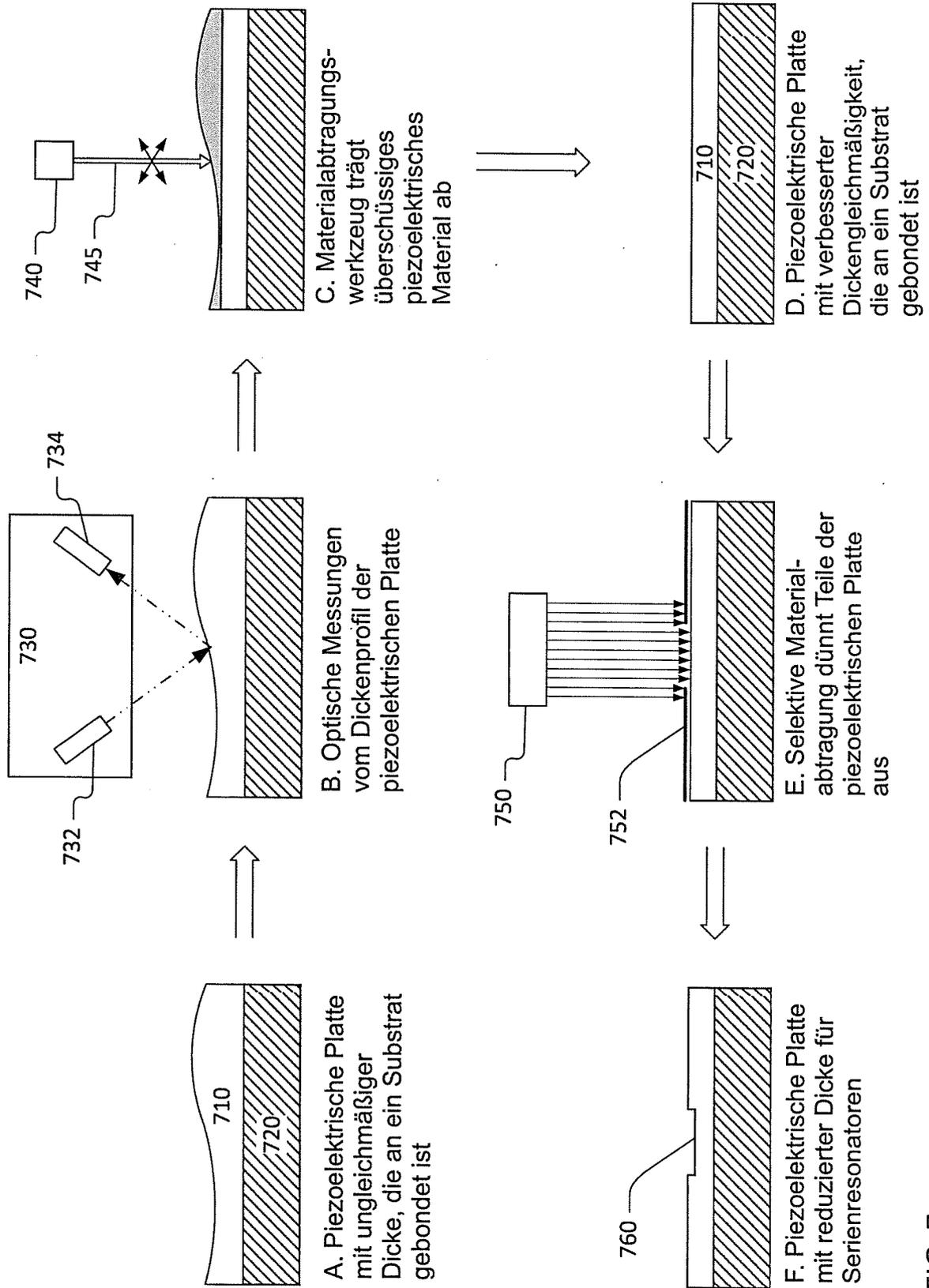
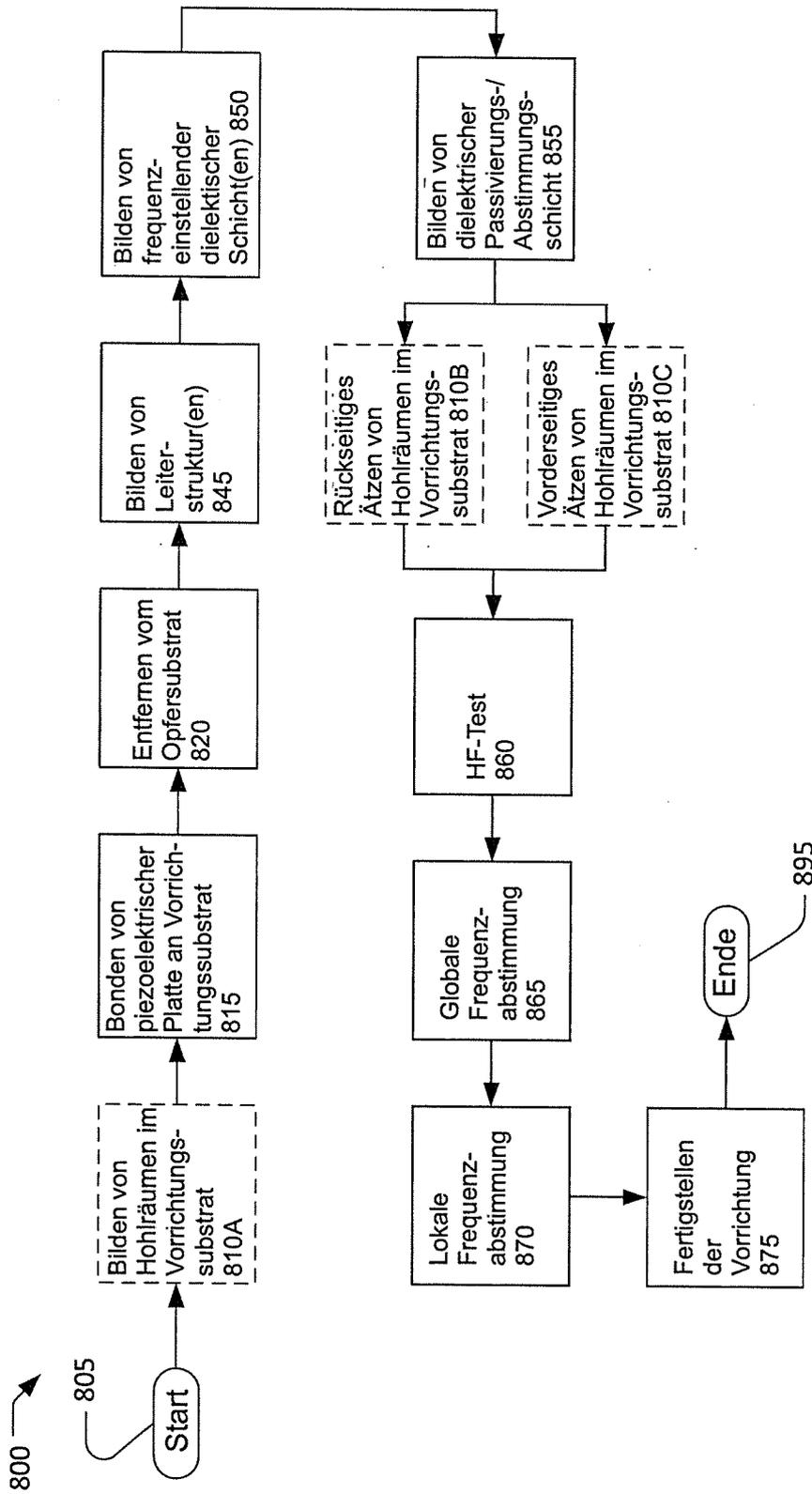
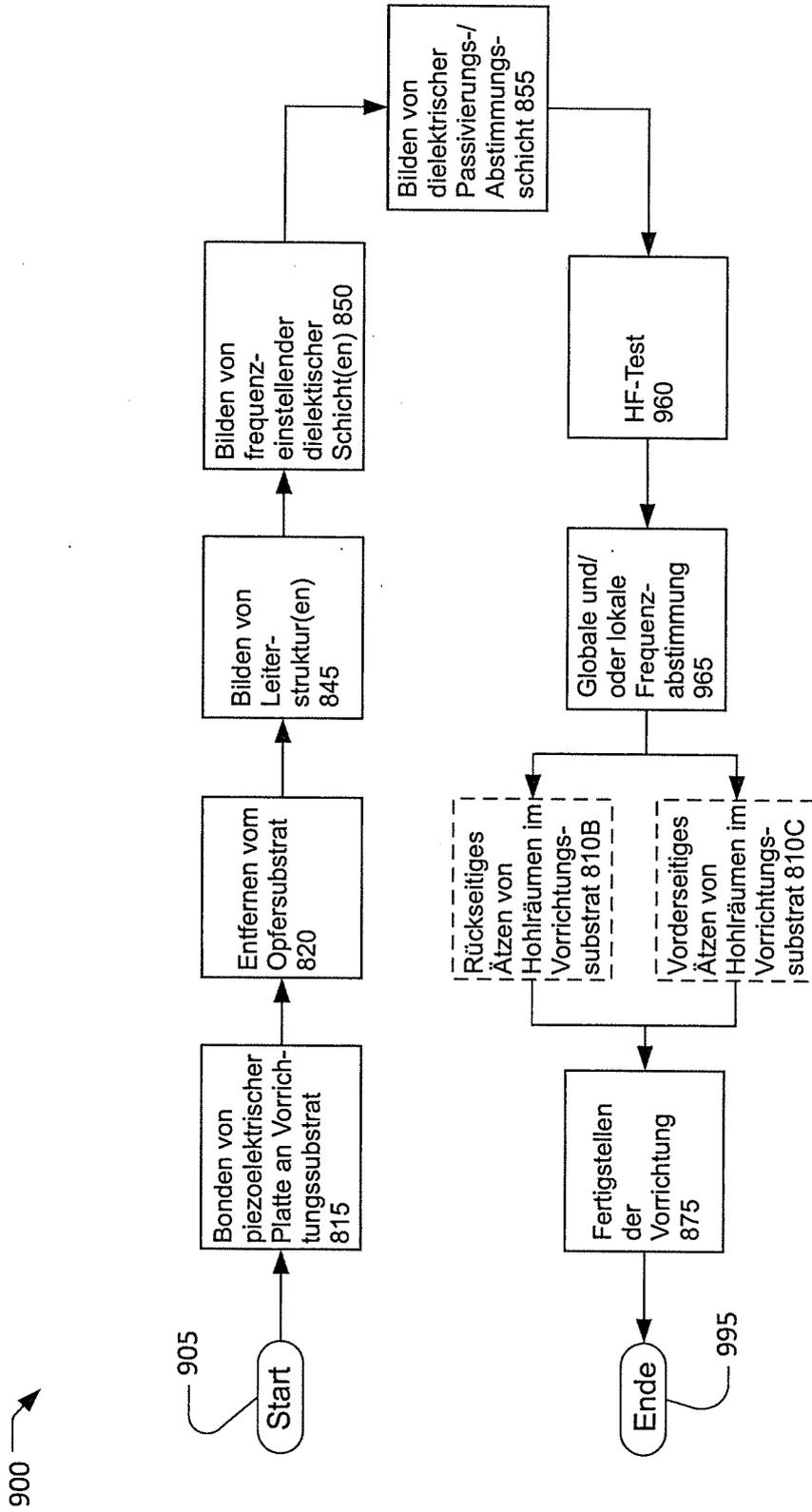


FIG. 7



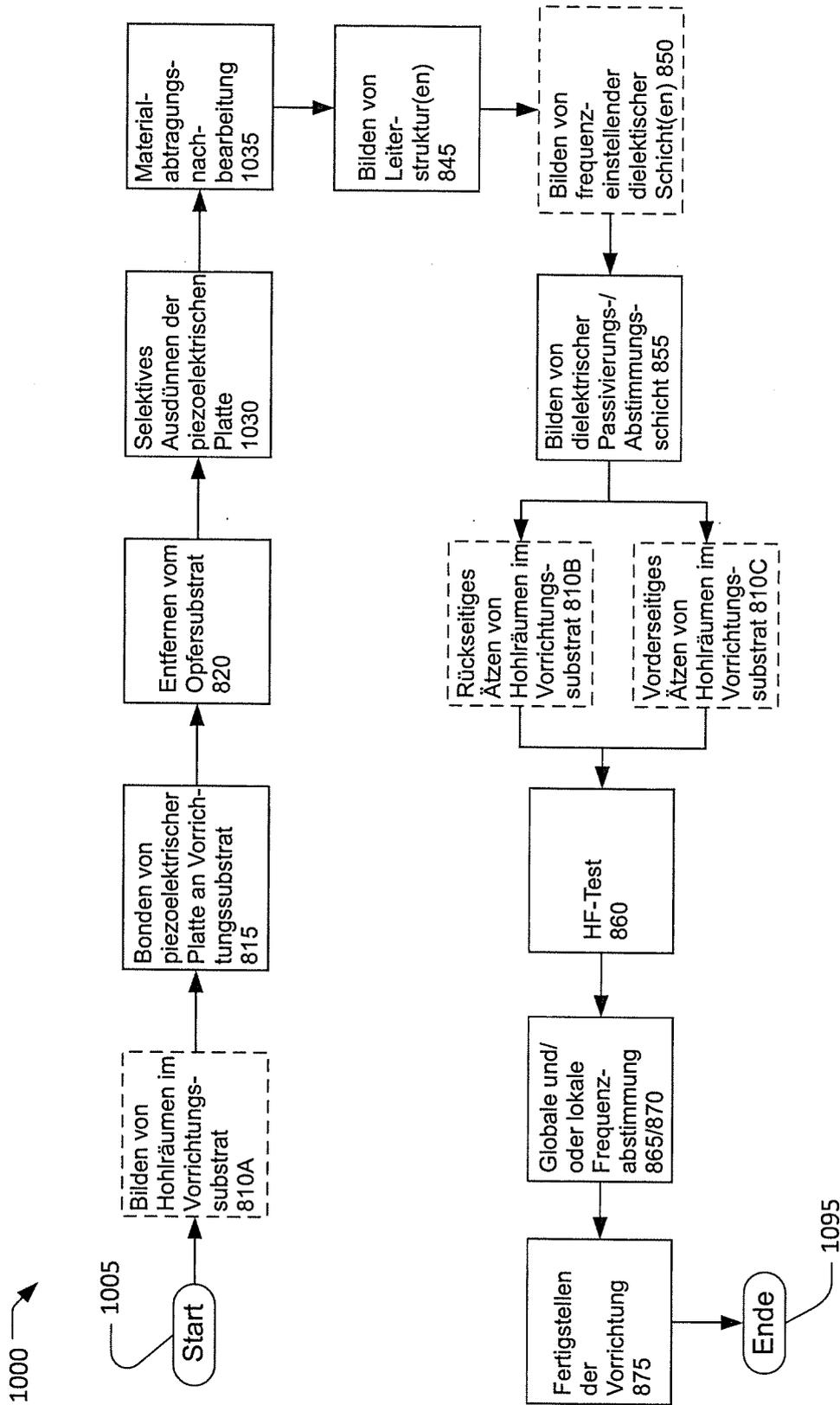
Anmerkungen: Nur eine der Maßnahmen 810A, 810B, 810C wird in jeder der drei Varianten des Verfahrens 800 durchgeführt.

FIG. 8



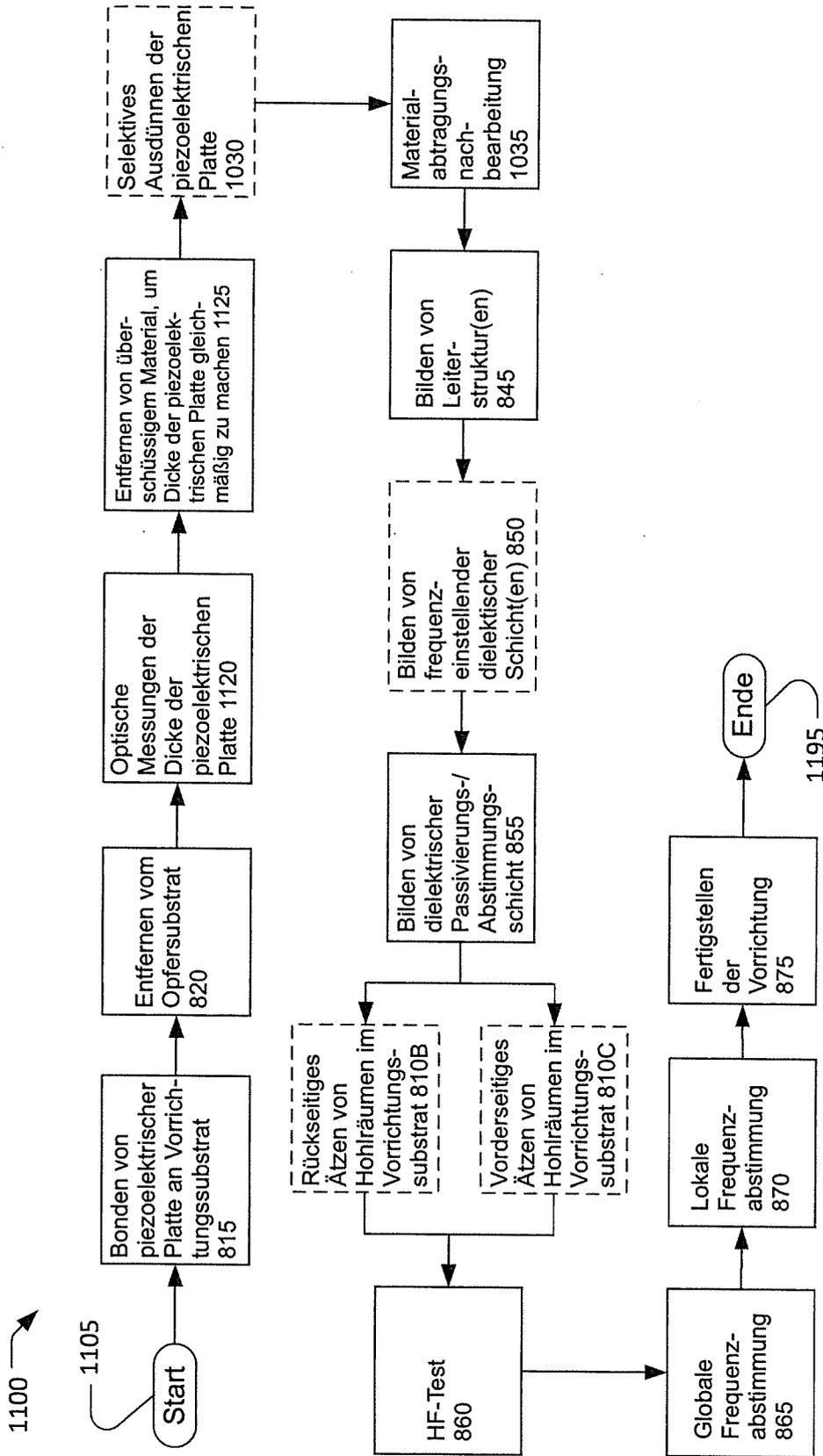
Anmerkungen: Nur eine der Maßnahmen 810B, 810C wird in jeder der zwei Varianten des Verfahrens 900 durchgeführt.

FIG. 9



Anmerkungen: Nur eine der Maßnahmen 810A, 810B, 810C wird in jeder der drei Varianten des Verfahrens 1000 durchgeführt.

FIG. 10



Anmerkungen: Nur eine der Maßnahmen 810B, 810C wird in dem Verfahren 1100 durchgeführt. Eine oder beide der Maßnahmen 1030, 850 kann in dem Verfahren 1100 durchgeführt werden.

FIG. 11