



(12) **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:
16.06.2004 Patentblatt 2004/25

(51) Int Cl.7: **H03H 3/007, H03H 9/02**

(21) Anmeldenummer: **03025954.3**

(22) Anmeldetag: **13.11.2003**

(84) Benannte Vertragsstaaten:
**AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR
HU IE IT LI LU MC NL PT RO SE SI SK TR**
Benannte Erstreckungsstaaten:
AL LT LV MK

(71) Anmelder: **FORSCHUNGSZENTRUM JÜLICH
GMBH
52425 Jülich (DE)**

(72) Erfinder:
• **Klein, Norbert, Dr.
41189 Mönchengladbach (DE)**
• **Krishnananda, Soami Daya
52428 Jülich (DE)**

(30) Priorität: **10.12.2002 DE 10257822**

(54) **Vorrichtung zur Frequenzabstimmung eines Hohlraumresonators oder dielektrischen Resonators**

(57) Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung zur elektrischen Frequenzabstimmung eines Hohlraumresonators oder dielektrischen Resonators. Die Vorrichtung ist gekennzeichnet durch eine auf einem dielektrischen Substrat aufgebrachtene Metallschicht (24), die von min-

destens einem Spalt (25) unterbrochen ist, wobei der Spalt durch mindestens ein mikromechanisches Strukturelement (27) überbrückt wird, dessen Abstand zur Metallschicht elektrisch variiert werden kann. Dadurch bildet die Vorrichtung eine Wand mit elektrisch steuerbarer Transparenz für bestimmte Wellentypen.

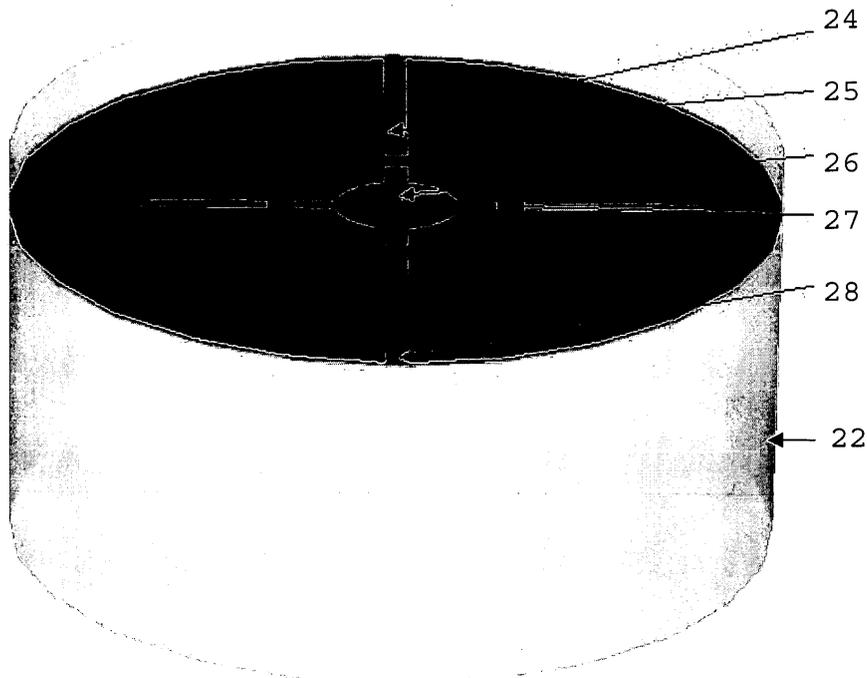


Fig. 2

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung zur Frequenzabstimmung eines Hohlraumresonators oder dielektrischen Resonators und entsprechende Resonatoren mit einer solchen Vorrichtung.

[0002] Bedingt durch die intensive Nutzung verfügbarer Frequenzbänder in der Mikrowellenkommunikation, ist für zukünftige Generationen von Kommunikationssystemen eine möglichst flexible, d. h. zeitlich variable Nutzung von Teilbändern für bestimmte Zwecke unerlässlich. Beispielsweise werden bei intensivem Internetverkehr über mobile Kommunikationseinrichtungen die notwendigen Bandbreiten für den "uplink" vom mobilen Terminal zur Basisstation und den "downlink" umgekehrt zeitlich stark schwanken, so daß eine zeitlich variable, Software gesteuerte Zuordnung von Frequenzintervallen zur Steigerung der übertragbaren Datenraten, führen kann. Für solche Aufgaben sind schnell abstimmbare Mikrowellenfilter, auf der Basis schnell abstimmbarer Resonatoren mit hoher Güte, eine wichtige Voraussetzung. Neben vielen möglichen Filteranwendungen sind abstimmbare Resonatoren mit hoher Güte für spannungsgesteuerte Oszillatoren (VCOs), die bei zahlreichen Anwendungen der Mikrowellen-Kommunikations-, Sensor- und Meßtechnik zum Einsatz kommen, von Bedeutung.

[0003] Aus dem Stand der Technik bekannte Verfahren zur Frequenzabstimmung von Hohlraumresonatoren bzw. dielektrischen Resonatoren basieren entweder auf der Bewegung von metallischen bzw. dielektrischen Formkörpern über makroskopische Distanzen, wie z. B. aus DE 198 41 078 C1 bekannt, oder auf integrierten steuerbaren Halbleiterbauelementen (z. B. Varaktordioden). Erstere erlauben zwar relativ große Abstimmbereiche bei gleichzeitig hohen Güten (≈ 10.000). Nachteilig sind aber die Umschaltzeiten zwischen verschiedenen Positionen extrem langsam (≈ 1 sec). Letztere erlauben zwar eine Frequenzabstimmung in sehr kurzen Zeiten (≈ 10 Mikrosekunden). Nachteilig führen sie aber aufgrund hoher Verluste durch Wärmedissipation in dem verwendeten Halbleitermaterial zu einer starken Degradation der Güten (≈ 1000).

[0004] Aus Brown et al., 1999 (A. R. Brown, P. Blondy and G. M. Rebeiz (1999). Microwave and millimeter-wave high-Q micromachined resonators. Int. J. of RF and Microwave Computer-Aided Engineering, Vol. 9, pp. 326-337) ist bekannt, verlustarme Schalter mit kurzen Schaltzeiten im Mikrowellen- bzw. Millimeterbereich mit der sogenannten MEMS-Technologie (Micromachined Electromechanical Systems) herzustellen.

[0005] Aufgrund der Kleinheit der MEMS-Strukturen werden diese bislang in Verbindung mit planaren Mikrowellen-Leitungsstrukturen eingesetzt. Diese weisen nachteilig aufgrund von Verlusten durch Wärmedissipation in den metallischen Komponenten keine besonders hohen Güten auf.

[0006] Aufgabe der Erfindung ist es eine Vorrichtung

zur elektrischen Frequenzabstimmung eines Hohlraumresonators bzw. eines dielektrischen Resonators bereit zu stellen, welche eine hohe Güte bei gleichzeitig schneller Abstimmbarkeit des Resonators ermöglicht. Ferner ist es Aufgabe der Erfindung, einen entsprechenden abstimmbaren Resonator bereit zu stellen.

[0007] Die Aufgabe wird durch eine Vorrichtung mit der Gesamtheit der Merkmale des Patentanspruchs 1 gelöst. Vorteilhafte Ausgestaltungen ergeben sich aus den jeweils darauf rückbezogenen Patentansprüchen.

[0008] Die erfindungsgemäße Vorrichtung zur Frequenzabstimmung eines Hohlraumresonators oder dielektrischen Resonators umfaßt eine, auf einem dielektrischen Substrat aufgebrachte, Metallschicht. Die Metallschicht ist von mindestens einem Spalt unterbrochen. Der Spalt wird durch mindestens ein mikromechanisches Strukturelement überbrückt. Der Abstand vom mikromechanischen Strukturelement zur Metallschicht kann variiert werden. Dadurch bildet die Vorrichtung eine Wand mit elektrisch steuerbarer Transparenz für bestimmte Wellentypen, die der elektrischen Frequenzabstimmung eines abgeschirmten Resonators dient.

[0009] Das dielektrische Substrat ist vorteilhaft z. B. aus Saphir, Aluminiumoxidkeramik oder hochohmigem Silizium erhältlich. Die hierauf aufgebrachte Metallschicht weist besonders vorteilhaft eine hohe Leitfähigkeit auf. Sie ist z. B. aus Gold, Silber oder Kupfer erhältlich. Das oder die mikromechanischen Strukturelemente sind insbesondere streifenförmig ausgestaltet. Sie sind vorzugsweise ebenfalls aus einem Metall hoher Leitfähigkeit erhältlich.

[0010] Bei dem Resonator handelt es sich um einen dielektrischen Resonator oder um einen Hohlraumresonator. Dabei wird in einem metallischen Hohlraum die erfindungsgemäße Vorrichtung so arrangiert, daß diese Vorrichtung wie eine semitransparente Wand, das heißt eine Wand mit elektrisch steuerbarer Transparenz für bestimmte elektromagnetische Wellentypen, zur Wirkung kommt. Der abstimmbare Resonator ist dadurch in zwei Teilresonatoren unterteilt. Für den gebräuchlichen TE_{011} bzw. $TE_{01\delta}$ Wellentyp eines zylinderförmigen Hohlraumresonators bzw. eines dielektrischen Resonators besteht die Anordnung aus einer auf einem dielektrischen Substrat aufgebrachten Metallschicht, die von mindestens einem radial verlaufenden Spalt unterbrochen wird. Die mikromechanische Anordnung wird in diesem Fall durch mindestens einen metallischen Streifen ausgebildet, der in einem gewissen Abstand oberhalb des Spaltes bzw. der metallischen Schicht angeordnet ist. Durch Variation dieses Abstandes kann entweder zwischen einer kapazitiven Spaltüberbrückung, bei endlichem Abstand zwischen Streifen und Metallschicht, und einer resistiven Spaltüberbrückung, wenn kein Abstand zwischen Streifen und Metallschicht vorliegt, umgeschaltet oder die Kapazität durch kontinuierliche Änderung des Abstandes kontinuierlich variiert werden. Eine Änderung des Abstandes im Mikrometerbereich führt dabei zu einer Änderung der Resonanz-

frequenz im Prozentbereich. Aufgrund dieser extrem geringen Bewegungsamplituden lassen sich hier im Vergleich zu konventionellen mechanischen Abstimmeelementen deutlich kürzere Schaltzeiten realisieren. Gegenüber konventionellen elektronischen Abstimmverfahren wie z. B. mittels Halbleiter-Varaktordioden, sind die Verluste durch Wärmedissipation deutlich geringer, so daß die so hergestellten abstimmbaren Resonatoren erheblich höhere Güten aufweisen. Der Abstand zwischen Streifen und Spalt bzw. Metallschicht kann durch in der MEMS-Technologie bekannte Aktuatoren bzw. Aktuationsmethoden variiert werden, z. B. durch piezoelektrische, elektrostatische oder thermische Aktuatorik, z. B. durch den Bimetalleffekt.

[0011] Ein, eine solche Vorrichtung aufweisender, Hohlraumoder dielektrischer Resonator weist daher eine hohe Güte bei gleichzeitig schneller Abstimmbarkeit auf.

[0012] Vorteilhaft weist die Vorrichtung eine Vielzahl an radial verlaufenden Spalten zur Frequenzabstimmung des TE_{011} bzw. $TE_{01\delta}$ Wellentyps auf.

[0013] In einer weiteren Ausgestaltung der Erfindung werden die Spalten vorzugsweise jeweils von einer Vielzahl von mikromechanischen Strukturelementen überbrückt. Je mehr Spalten und mikromechanische Strukturelemente die erfindungsgemäße Vorrichtung umfaßt, um so größer ist die Anzahl der durch die Spalten und mikromechanischen Strukturelemente erzeugten metallisierten Kreissektoren auf der erfindungsgemäßen Vorrichtung. Durch separate elektrische Ansteuerung einzelner Segmente wird eine digitale Frequenzabstimmung über eine große Anzahl von Frequenzintervallen ermöglicht.

[0014] Die radial verlaufenden Spalten verlaufen vorteilhaft ausgehend von einer Öffnung. Die Öffnung liegt in der Mitte der metallischen Schicht. Sie kann aber zusätzlich auch im dielektrischen Substrat der erfindungsgemäßen Vorrichtung vorliegen. Auf diese Weise wird vorteilhaft die Wirkung erzielt, daß die einzelnen Sektoren der metallischen Schicht elektrisch voneinander getrennt sind und somit die oben erwähnte Ansteuerung einzelner Sektoren möglich wird.

[0015] In einer weiteren Ausgestaltung der Erfindung ist das oder die mikromechanischen Strukturelemente an einer ihrer Seiten mit der auf dem dielektrischen Substrat aufgebracht Metallschicht eines Sektors verbunden. Der Abstand zwischen Strukturelement und benachbartem Sektor kann variiert werden. Über die Variation des Abstandes erfolgt die Frequenzabstimmung.

[0016] Es ist auch möglich, daß das oder die mikromechanischen Strukturelemente Bestandteil eines weiteren dielektrischen Substrats sind. Die Spalten sind in der metallischen Oberfläche eines dielektrischen Substrats angeordnet und werden mittels der Strukturelemente eines zweiten Substrats überbrückt. Auf diese Weise wird die Wirkung erzielt, daß der Abstand zwischen allen mikromechanischen Strukturelementen und der Metallschicht des ersten dielektrischen Sub-

strats gleichmäßig variiert werden kann (analoge Frequenzabstimmung). Die Variation des Abstands der mikromechanischen Strukturelemente von den Spalten kann durch piezoelektrische Aktuatoren erfolgen.

[0017] Ein Resonator mit erfindungsgemäßer Vorrichtung zur Frequenzabstimmung kann insbesondere für den TE_{011} oder $TE_{01\delta}$ Wellentyp verwendet werden.

[0018] Im weiteren wird die Erfindung an Hand einiger Ausführungsbeispiele und der beigefügten Figuren 1 bis 5 näher beschrieben.

[0019] Figur 1: Anordnung eines abgeschirmten dielektrischen Resonators mit semitransparenter Wand umfassend mikromechanische Strukturelemente.

[0020] Figur 2: Beispiel für den Aufbau einer erfindungsgemäßen semitransparenten Wand ($N = 4$, $k = 1$) für den TE_{011} / $TE_{01\delta}$ Wellentyp, wobei die Spalte mittels streifenförmiger mikromechanischer Strukturelemente überbrückt werden ($k = 1$).

[0021] Figur 3: Erfindungsgemäße Vorrichtung mit radial verlaufenden Spalten ($N = 12$), wobei die Spalte mittels streifenförmiger mikromechanischer Strukturelemente überbrückt werden ($k = 11$).

[0022] Figur 4: Abstimmbarer Resonator mit piezoelektrischer Aktuatorik.

[0023] Figur 1 zeigt beispielhaft einen erfindungsgemäßen Resonator bestehend aus einem dielektrischen Zylinder 4, der in einem zylinderförmigen metallischen Abschirmgehäuse 2 angeordnet ist. Die mikromechanische Strukturelemente umfassende semitransparente Wand 3, ist in einem gewissen Abstand parallel zur Stirnseite 1a des Zylinders 1' oberhalb des dielektrischen Zylinders 4 angeordnet. Dadurch bildet die Vorrichtung eine Trennwand zwischen zwei Teilresonatoren. Im vorliegenden Fall ist der untere Teilresonator 1'' ein metallischer Hohlraumresonator mit dielektrischer Füllung 4 (abgeschirmter dielektrischer Resonator) und der obere Teilresonator ein metallischer Hohlraumresonator 1', dessen Transparenz für bestimmte elektromagnetische Wellentypen durch mikromechanische Bewegungen steuerbar ist.

[0024] Figur 2 zeigt einen möglichen Aufbau einer semitransparenten Wand umfassend mikromechanische Strukturelemente. Es handelt sich beispielhaft um eine Anordnung für den TE_{011} bzw. $TE_{01\delta}$ Wellentyp eines abgeschirmten Hohlraum- bzw. dielektrischen Resonators.

[0025] Bei dem Aufbau in Fig. 2 handelt es sich um eine metallische Wand, z. B. eine metallische Schicht 24, in der Figur dunkelgrau dargestellt, die auf einem schwarz dargestellten dielektrischem Trägersubstrat 28 angeordnet ist. Angedeutet ist weiter die Anordnung der Vorrichtung in einem metallischen Abschirmgehäuse 22, die der Abschirmung 2 der Figur 1 entspricht. In der metallischen Schicht 24 sind vier radial verlaufende Spalten 25 angeordnet. Die Spalten 25 werden z. B. lithographisch hergestellt und stellen Bereiche ohne Metallisierung dar. Hierdurch wird die metallische Schicht 24 in vier separat ansteuerbare Sektoren unterteilt, von

denen nur der Sektor rechts oben mit Bezugszeichen 24 versehen ist. Die vier Spalten 25 verlaufen ausgehend von einer in der Mitte der metallischen Schicht angeordneten Öffnung 26. Die Öffnung 26 weist einen im Vergleich zum Resonator Durchmesser kleinen Durchmesser auf. Da die vom Resonatorfeld des TE_{011} bzw. TE_{018} Wellentyps in die metallische Schicht 24 induzierten hochfrequenten Wechselströme in azimuthaler Richtung verlaufen, bildet jeder Spalt 25 eine Unterbrechung der Stromlinien, die zu einer effektiven Abstrahlung elektromagnetischer Energie in einen oberen Teilresonator 1', wie in Figur 1 dargestellt, führt. Auf diese Weise wird eine Verkopplung beider Teil-Resonatoren 1' und 1'', wie in Fig. 1 dargestellt, realisiert.

[0026] Bei den im Beispiel dargestellten vier mikromechanischen Strukturelementen 27 handelt es sich um metallische Streifen, die an jeweils einer ihrer Seiten mit der metallischen Schicht 24 verbunden sind. Die mikromechanischen Strukturelemente 27 überbrücken je einen Spalt 25 lokal an dieser Stelle. Nur das rechts angeordnete mikromechanische Strukturelement 27 ist mit Bezugszeichen versehen. Besteht kein Abstand zwischen den Metallstreifen 27 und der Metallschicht 24, so wird der Spalt 25 resistiv überbrückt. In diesem Fall wird an dieser Stelle die Strahlungsankopplung an einen oberen Teilresonator 1', wie in Fig. 1 dargestellt, reduziert, was zu einer Änderung gegenüber einem endlichen Abstand zwischen Metallstreifen 27 und Metallschicht 24, und damit zur Frequenzabstimmung führt. Im Falle eines geringen Abstands zwischen Streifen 27 und Metallschicht 24 ergibt sich durch den Überlapp zwischen Streifen 27 und metallischer Schicht 24 eine zur Spaltkapazität parallel geschaltete Kapazität, dessen Variation durch Abstandsänderung ebenfalls zu einer Frequenzänderung und damit zur Frequenzabstimmung führt.

[0027] Beispielhaft ergibt die Simulation für einen aus kommerziell erhältlich Mikrowellenkeramiken bestehenden dielektrischen Resonator mit einer Resonanzfrequenz von 1,9 GHz, eine Frequenzänderung von ca. 20 MHz bei einer Änderung des Abstands zwischen vier Streifen 27 auf vier Spalten 25 zwischen null und zehn Mikrometern (Streifen 2×5 mm, Spalt 2 mm Durchmesser). Die Resonatorgüte von ca. 30000 ist dabei gegenüber einem entsprechenden Resonator ohne Abstimmvorrichtung kaum verändert.

[0028] Figur 3 zeigt beispielhaft eine erfindungsgemäße Vorrichtung für $N = 12$ Spalten 35 und $k = 11$ Streifen 37 als mikromechanische Strukturelemente je Spalt 35. Die Spalten 35 verlaufen radial ausgehend von einer kreisförmigen Öffnung 36 ohne Metallisierung. Die Öffnung 36 ist im Zentrum der metallischen Schicht angeordnet. Jeweils nur ein Spalt und ein Streifen sind aus Platzgründen mit Bezugszeichen versehen. Dadurch wird die metallische Schicht 34 in zwölf elektrisch voneinander getrennte und separat ansteuerbare Sektoren unterteilt. Werden die Streifen 37 etwa als freischwebende Cantilever ausgelegt, die an jeweils einer Seite

mit der metallischen Schicht 34 verankert sind, so läßt sich eine gewünschte Bewegung der Streifen z. B. durch Verbiegen der Streifen 37 erzeugen. Durch in der MEMS-Technologie bekannte Aktuationsmethoden, wie z. B. elektrostatische Anziehung oder piezoelektrische Verbiegung, läßt sich die gewünschte Abstandsänderung mit extrem schnellen Schaltzeiten von 10 Mikrosekunden bis 10 Millisekunden erreichen. Hier würde z. B. eine sektorweise elektrische Vorspannung zur Betätigung des jeweiligen Aktuationsmechanismus aller mikromechanischen Strukturelemente 37 eines Spaltes 35 führen, so daß der Resonator eine inhärente digitale Spannungs-Frequenz-Charakteristik aufweisen würde.

[0029] Figur 4 zeigt eine mögliche Anordnung zur analogen gleichförmigen Bewegung aller Streifen 11b, die als strukturierte Metallschicht auf einem dielektrischen Substrat 9b aufgebracht sind, mit Hilfe piezoelektrischer Aktuatoren 10. Das Substrat 9a umfaßt die Spaltenanordnung 11a als strukturierte Metallschicht. Dabei wird ein bestehender Luftspalt 8 zwischen den dielektrischen Substraten 9a und 9b, welche mit den strukturierten Metallisierungen 11a und 11b auf den jeweils zueinander gewandten Seiten versehen sind, mit Hilfe von mindestens drei Piezoaktuatoren 10 variiert. In der Bildebene sind nur zwei Piezoaktuatoren 10 gezeigt, von denen nur der in der Bildebene linke Aktuator mit Bezugszeichen versehen ist.

[0030] Auf diese technologisch leicht zu realisierende Weise können besonders hohe Resonatorgüten erreicht werden, da hier Metallisierungen mit geringen Verlusten (z. B. Silberschichten) verwendet werden können, die in der MEMS-Technologie schwierig zu realisieren sind. Diese Variante eignet sich auch für Metallisierungen aus supraleitenden Metallen, so daß auf diese Weise abstimmbare kryogene Resonatoren mit extrem hoher Güte realisierbar sind. Des Weiteren ist für diese Realisierung keine MEMS-Technologie erforderlich. Statt dessen können kommerziell erhältliche piezoelektrische Aktuatoren verwendet werden. Es sind weiterhin gezeigt, der abgeschirmte dielektrische Resonator 41'' als unterer Teilresonator mit dielektrischer Füllung 44, sowie der obere Teilresonator 41'.

[0031] Die dargestellten Vorrichtungen zur Frequenzabstimmung sind an die Geometrie eines kreiszylindrischen Hohlraumresonators bzw. dielektrischen Resonators angepaßt. Grundsätzlich ist für die Vorrichtung auch eine andere Geometrie als eine kreisförmige vorstellbar, um die Frequenzabstimmung eines Resonators zu erzielen.

[0032] Eine abstimmbare Filterstruktur umfaßt mehrere miteinander verkoppelte Hohlraumresonatoren und/oder dielektrische Resonatoren mit erfindungsgemäßer Vorrichtung zur Frequenzabstimmung.

[0033] Ein abstimmbarer Oszillator umfaßt einen Halbleiterverstärker und einen Hohlraumresonator oder dielektrischen Resonator mit erfindungsgemäßer Vorrichtung zur Frequenzabstimmung.

Patentansprüche

1. Vorrichtung zur Frequenzabstimmung eines Hohlraumresonators oder dielektrischen Resonators, umfassend eine auf einem dielektrischen Substrat aufgebrachte Metallschicht (24, 34), welche wenigstens einen Spalt (25, 35) aufweist, wobei der Spalt (25, 35) durch mindestens ein mikromechanisches Strukturelement (27, 37) überbrückt wird, dessen Abstand zur Metallschicht (24, 34) variiert werden kann. 5 10
2. Vorrichtung nach vorhergehendem Anspruch, **gekennzeichnet durch**, eine Vielzahl an Spalten (25, 35). 15
3. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **gekennzeichnet durch** wenigstens einen radial verlaufenden Spalt (25, 35). 20
4. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **gekennzeichnet durch** eine Vielzahl an mikromechanischen Strukturelementen (27, 37). 25
5. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, daß** mindestens ein mikromechanisches Strukturelement (27, 37) an einer Seite mit der auf dem dielektrischen Substrat aufgebrachten Metallschicht (24, 34) verbunden ist. 30 35
6. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **gekennzeichnet durch**, eine im Vergleich zum Resonatordurchmesser kleine Öffnung (26, 36), welche insbesondere in der Mitte der Metallschicht (24, 34) angeordnet ist. 40
7. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, daß** das oder die mikromechanischen Strukturelemente (11b) Bestandteile eines weiteren dielektrischen Substrats (9b) sind. 45 50
8. Vorrichtung Anspruch 7, **dadurch gekennzeichnet, daß** die mikromechanischen Strukturelemente (11b) des weiteren dielektrischen Substrats (9b) die Spalte(n) der metallischen Schicht (11a) eines dielektrischen Substrats (9a) überbrücken. 55
9. Hohlraumresonator oder dielektrischer Resonator, umfassend eine Vorrichtung zur Frequenzabstimmung nach einem der vorhergehenden Ansprüche.
10. Hohlraumresonator oder dielektrischer Resonator nach Anspruch 9 mit weiteren Elementen zur Ankopplung.
11. Abstimmbare Filterstruktur umfassend mehrere miteinander verkoppelte Hohlraumresonatoren und/oder dielektrische Resonatoren nach Anspruch 9 oder 10.
12. Abstimmbarer Oszillator umfassend einen Halbleiterverstärker und einen Hohlraumresonator oder dielektrischen Resonator nach Anspruch 9 oder 10.
13. Verwendung eines Hohlraumresonators oder dielektrischen Resonators nach Anspruch 9 oder 10 zur Frequenzabstimmung eines TE_{011} oder $TE_{01\delta}$ Wellentyps.

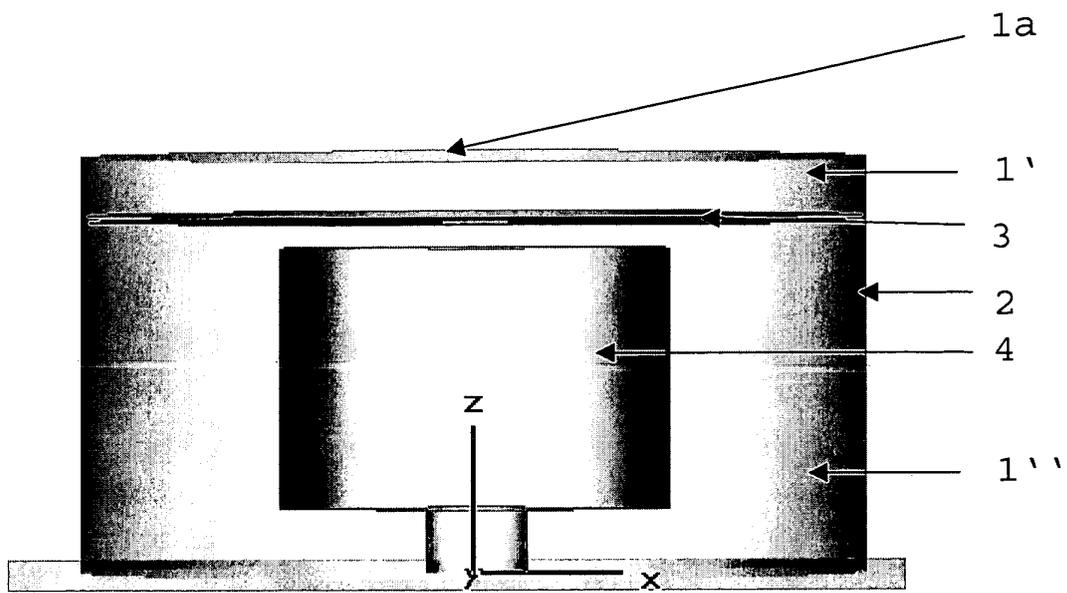


Fig. 1

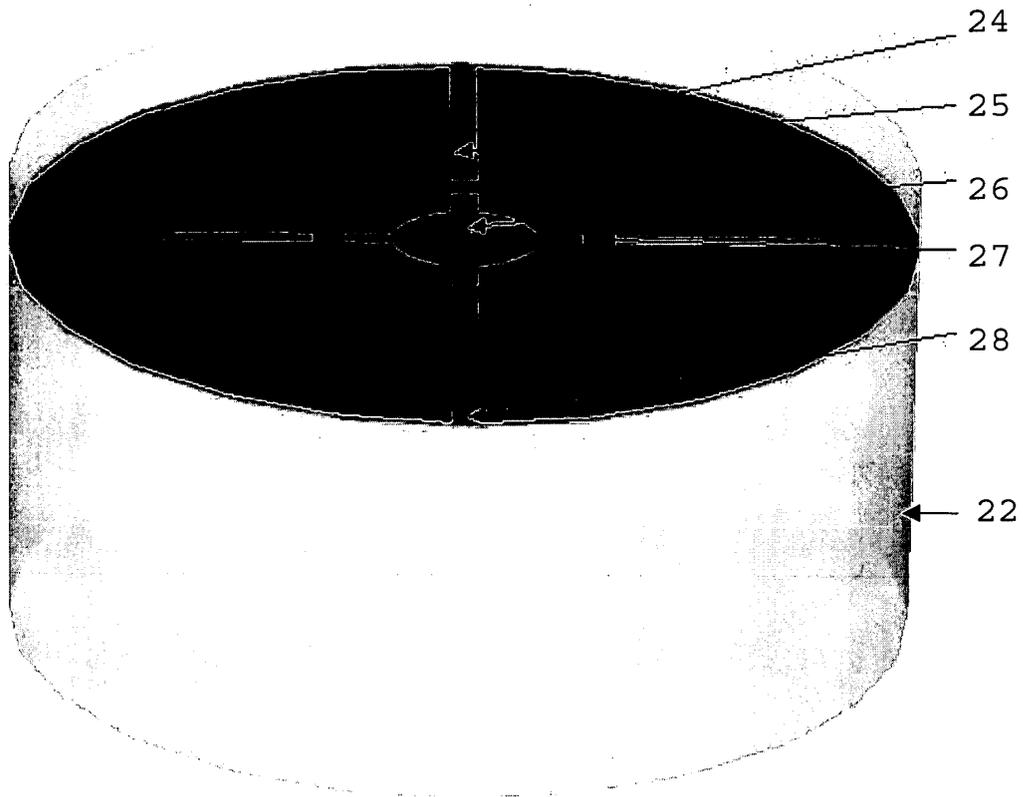


Fig. 2

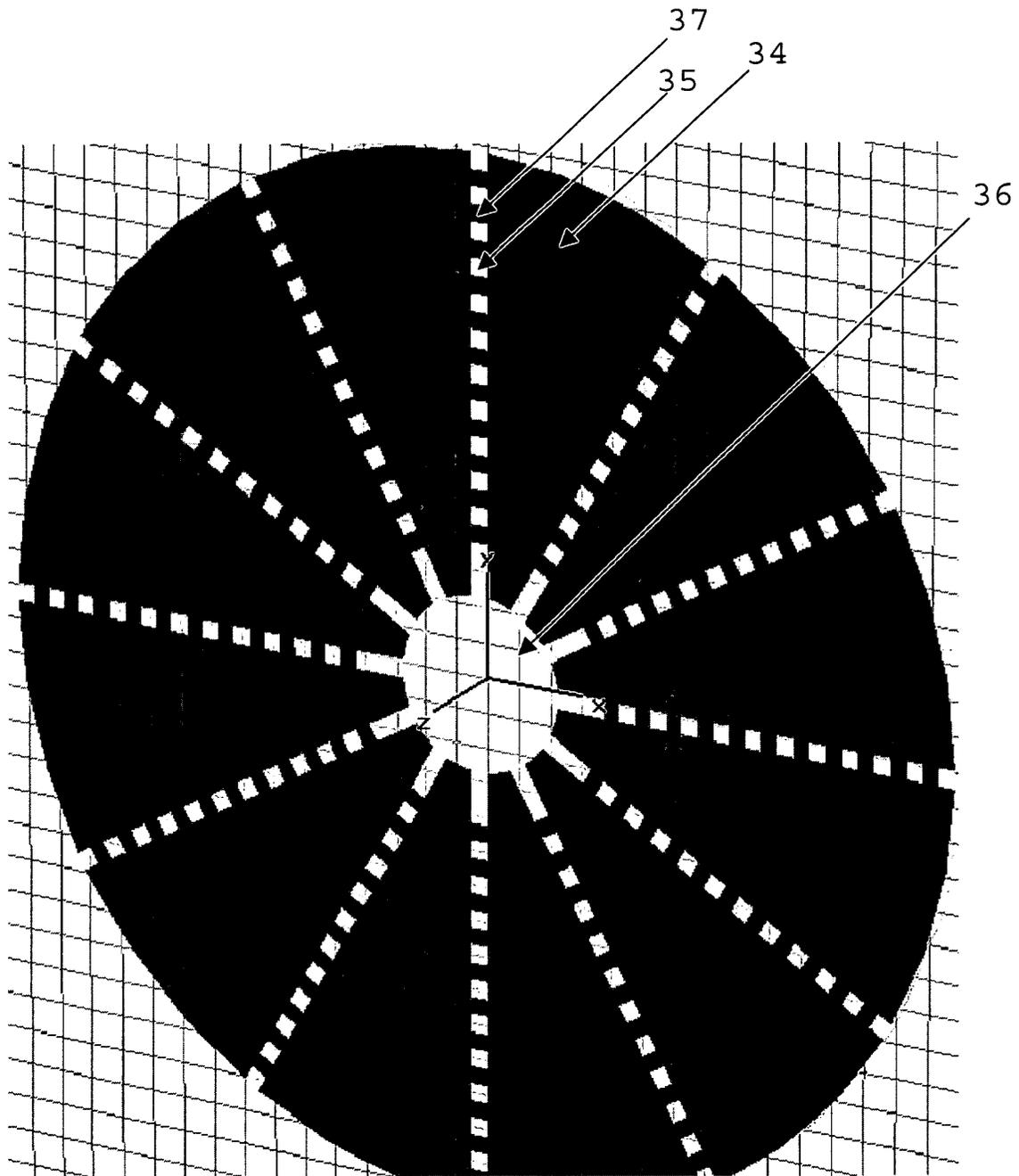


Fig. 3

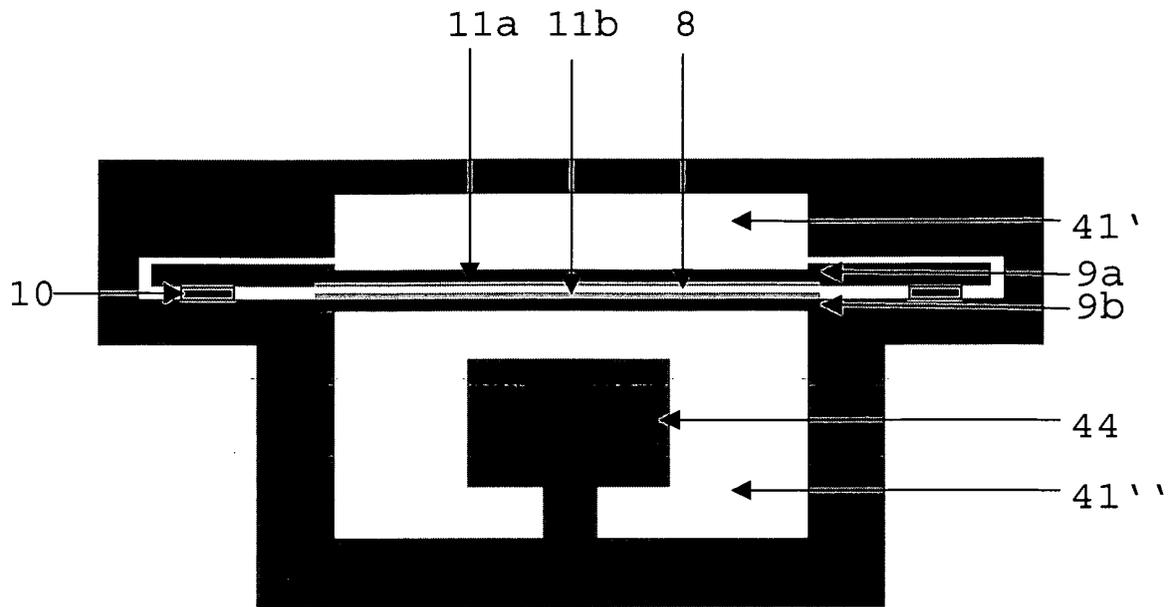


Fig. 4