

(19)



Europäisches Patentamt

European Patent Office

Office européen des brevets



(11)

EP 1 112 603 B1

(12)

EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des
Hinweises auf die Patenterteilung:

09.07.2003 Patentblatt 2003/28

(21) Anmeldenummer: **99944392.2**

(22) Anmeldetag: **13.08.1999**

(51) Int Cl.7: **H01P 7/06**

(86) Internationale Anmeldenummer:
PCT/EP99/05959

(87) Internationale Veröffentlichungsnummer:
WO 00/014823 (16.03.2000 Gazette 2000/11)

(54) **ABSTIMMBARER HOHLRAUMRESONATOR**

TUNEABLE CAVITY RESONATOR

RESONATEUR A CAVITE ACCORDABLE

(84) Benannte Vertragsstaaten:

**AT BE CH CY DE DK ES FI FR GB GR IE IT LI LU
MC NL PT SE**

(30) Priorität: **09.09.1998 DE 19841078**

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:
04.07.2001 Patentblatt 2001/27

(73) Patentinhaber:

- **Forschungszentrum Jülich GmbH
52425 Jülich (DE)**
- **Tesat-Spacecom GmbH & Co. KG
71522 Backnang (DE)**

(72) Erfinder:

- **GHOSH, Indra
D-50823 Köln (DE)**

- **KLEIN, Norbert
D-41289 Mönchengladbach (DE)**
- **POPPE, Ulrich
D-52349 Düren (DE)**
- **SCHIEBER, Klaus
D-71522 Backnang (DE)**

(74) Vertreter: **Paul, Dieter-Alfred, Dipl.-Ing. et al
Paul & Albrecht,
Patentanwaltssozietät,
Hellersbergstrasse 18
41460 Neuss (DE)**

(56) Entgegenhaltungen:
US-A- 3 343 106 US-A- 4 178 562

EP 1 112 603 B1

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach der Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents kann jedermann beim Europäischen Patentamt gegen das erteilte europäische Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch ist schriftlich einzureichen und zu begründen. Er gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist. (Art. 99(1) Europäisches Patentübereinkommen).

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft einen abstimmbaren Hohlraumresonator nach dem Oberbegriff des Anspruchs 1. Ferner betrifft die Erfindung einen abstimmbaren Mikrowellenoszillator, der einen derartigen Hohlraumresonator verwendet.

[0002] Abstimmbare Hohlraumresonatoren kommen u.a. in Mikrowellenoszillatoren zum Einsatz, die zur Erzeugung von Trägersignalen in der Mikrowellenkommunikation verwendet werden. Derartige Oszillatoren bestehen im wesentlichen aus einem Mikrowellenverstärker, der in Rückkopplung betrieben wird, und einem Hohlraumresonator hoher Güte, der sich in dem Rückkopplungsweig des Oszillators befindet und das in dem Verstärker generierte Phasenrauschen filtert. Außerdem verwendet ein solcher Mikrowellenoszillator einen mechanischen oder elektrischen Phasenschieber zur Einstellung der Phasenbedingung in dem Rückkopplungsweig und einen Hochfrequenzkoppler zur Auskopplung des Nutzsignals (Trägersignals).

[0003] Die Einstellung der Oszillatorfrequenz erfolgt zweistufig: Zur Grobeinstellung wird zunächst die Resonanzfrequenz des abstimmbaren Hohlraumresonators in geeigneter Weise verändert. Dies erfolgt mittels der Stelleinrichtung, durch die die Lage der Abstimm-
scheibe gegenüber dem Resonatorkörper verstellt wird. Zur Feineinstellung der Oszillatorfrequenz wird dann mittels des Phasenschiebers durch ein Verstellen der Phase im Rückkopplungsweig des Oszillators die Oszillatorfrequenz innerhalb der Resonanzbreite des abgestimmten Hohlraumresonators gezielt verschoben.

[0004] Eine Schwierigkeit bei einer solchen zweistufigen Abstimmung eines oszillators resultiert daraus, daß der durch die Phasenverstellung erreichbare maximale Frequenzhub relativ klein ist und bei Resonatorgüten oberhalb 10^4 (d.h. $Q > 10^4$) beispielsweise nur etwa 100 kHz beträgt. Eine vollständige Durchstimmbarkeit des Mikrowellenoszillators kann jedoch nur dann erreicht werden, wenn die bei der Resonanzfrequenzabstimmung (d.h. der Abstimmung des Hohlraumresonators) erreichbare minimale Frequenzänderung $\Delta\omega_R$ (min) kleiner als der angesprochene maximale Frequenzhub bei Variation der Phase im Rückkopplungsweig des Oszillators ist. Um diese Forderung zu erfüllen, werden Hohlraumresonatoren mit einer extrem hohen Abstimmgenauigkeit benötigt.

[0005] Dabei ist zu berücksichtigen, daß sich mit zunehmender Güte Q eines Hohlraumresonators die Anforderungen an die Einstellgenauigkeit des Abstimmmechanismus zur Erzielung einer vorgegebenen Abstimmgenauigkeit erhöhen.

[0006] In der Praxis treten daher häufig Schwierigkeiten hinsichtlich der konstruktiven Auslegung des Abstimmmechanismus auf, und es hat sich gezeigt, daß die gewünschten hohen Einstellgenauigkeiten in Verbindung mit den erforderlichen Vibrationsfestigkeiten und einer guten Reproduzierbarkeit der Abstimmeinstellung

nicht immer erreicht werden.

[0007] In der Veröffentlichung "Temperature compensated high-Q dielectric resonators for long term stable low phase noise oscillators", Proceedings of the 1997 Frequency Control Symposium, I. S. Ghosh et al., Seiten 1024 - 1029 ist ein abstimmbarer Hohlraumresonator nach dem Oberbegriff des Anspruchs 1 beschrieben. Dieser Hohlraumresonator erfüllt bei einer Güte $Q \approx 10^5$ die für eine kontinuierliche Durchstimmbarkeit eines Mikrowellenoszillators erforderlichen Anforderungen an die Abstimmgenauigkeit.

[0008] Aus der DE 1 687 622 ist eine Vorrichtung zur Abstandseinstellung zwischen einem feststehenden und einem bewegbaren Wandungsteil eines Hohlraumresonators bekannt, wobei an dem feststehenden Wandungsteil ein Hebel drehbar angeordnet ist, der über ein Lager mit dem bewegbaren wandungsteil in Eingriff steht. Über einen konusförmig auslaufenden Abschnitt wird der Hebel verstellt. Hierdurch wird die wand des Hohlraumresonators bewegt, um die Frequenz des Resonators zu verstimmen. Der lineare Hub, welcher der Hebel an seinem freien Ende durchläuft, wird an der Wand des Resonators in einen reduzierten Linearhub übersetzt.

[0009] Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, einen Hohlraumresonator zu schaffen, der eine hohe Einstellgenauigkeit in bezug auf seine Resonanzfrequenz aufweist. Insbesondere soll ein Hohlraumresonator bereitgestellt werden, der eine hohe Güte aufweist und dennoch beim Einsatz in einem Mikrowellenoszillator eine vollständige Durchstimmbarkeit desselben ermöglicht. Ferner zielt die Erfindung darauf ab, einen vollständig durchstimmbaren Mikrowellenoszillator mit einem Hohlraumresonator hoher Güte zu schaffen.

[0010] Zur Lösung der Aufgabe sind die Merkmale der Ansprüche 1 und 12 vorgesehen.

[0011] Durch die erfindungsgemäß vorgesehene Übersetzungsmechanik wird erreicht, daß bei einer Betätigung der Stelleinrichtung nicht der von der Stelleinrichtung erzeugte Linearhub, sondern ein gegenüber diesem reduzierter Linearhub die Abstimm-
scheibe verstellt. Dies hat zur Folge, daß die mit der Stelleinrichtung erreichbare Minimalhubänderung in eine noch kleinere, auf die Abstimm-
scheibe wirkende Minimalhubänderung transformiert wird. Im Ergebnis wird die Einstellgenauigkeit der Abstimm-
scheibe verglichen mit der Einstellgenauigkeit der Stelleinrichtung um das vorgegebene Verhältnis der Übersetzungsmechanik erhöht. Dabei wird das vorgegebene Verhältnis (d. h. das Übersetzungsverhältnis) durch die Federkonstanten der beiden Federelemente bestimmt. Die Verwendung zweier gegeneinander drückender Federelemente weist den Vorteil auf, daß die Übersetzungsmechanik kontinuierlich und in hohem Maße frei von Bewegungsspiel arbeitet.

[0012] In diesem Fall kennzeichnet sich eine besonders bevorzugte Ausführungsvariante dadurch, daß das erste Federelement aus wenigstens einer Tellerfeder gebildet ist und das zweite Federelement von einer um-

fangsseitig fixierten, von der Tellerfeder zentral beaufschlagten Plattenfeder realisiert wird. Eine solche Federmechanik läßt sich ausreichend starr auslegen, um gegenüber äußeren Erschütterungen bzw. Vibrationen unempfindlich zu sein. Ferner können geeignete Teller- und Plattenfedern mit den erforderlichen hohen Federkonstanten problemlos hergestellt werden.

[0013] Die Stelleinrichtung besteht vorzugsweise aus einem insbesondere manuell betätigbaren, mechanischen Stellglied und einem dem mechanischen Stellglied nachgeschalteten ersten elektromechanischen Stellglied, insbesondere ersten Piezoelement. Das erste elektromechanische Stellglied ermöglicht eine elektrische Ansteuerung der Stelleinrichtung, was insbesondere dann von Vorteil ist, wenn die Stelleinrichtung in einem Regelschleifenbetrieb zur Einstellung der Resonanzfrequenz ω_R betrieben wird. Das elektromechanische Stellglied kann beispielsweise auch zur Kompensation von temperaturbedingten Drifts eingesetzt werden und kann darüber hinaus in einem begrenzten Hubbereich eine Betätigung des mechanischen Stellglieds überflüssig machen.

[0014] Vorzugsweise besteht die Abstimmsscheibe aus einem dielektrischen Material, insbesondere Saphir. Eine derartige Abstimmsscheibe weist vor allem bei tiefen Temperaturen sehr geringe dielektrische Verluste auf, wodurch sich eine hohe Güte $Q \approx 10^7$ des Hohlraumresonators (definiert als das Produkt der Resonanzfrequenz ω_R mit dem Quotienten aus der in dem Resonator gespeicherten Feldenergie und der in dem Resonator auftretenden Verlustleistung) erzielen läßt.

[0015] Grundsätzlich kann es sich bei der erfindungsgemäßen, lageveränderlichen Abstimmsscheibe auch um ein Wandelement (beispielsweise Deckenwand) des Hohlraumresonators handeln. Eine besonders bevorzugte Ausführungsform der Erfindung kennzeichnet sich jedoch dadurch, daß in dem Resonatorkörper ein dielektrischer Körper vorgesehen ist, und daß die Abstimmsscheibe innerhalb des Resonatorkörpers unter einem geringen Abstand d zu einer ebenen Oberfläche des dielektrischen Körpers angeordnet ist. Bei einer derartigen Bauweise ist ein Großteil der Feldenergie in dem dielektrischen Körper gespeichert, wobei mittels einer Lageveränderung der Abstimmsscheibe eine feinfühligke Änderung der Resonanzfrequenz des Hohlraumresonators erreichbar ist.

[0016] Bei Verwendung eines dielektrischen Körpers besteht eine weitere konstruktiv vorteilhafte Realisierungsvariante darin, den dielektrischen Körper auf einem mittels eines zweiten elektromechanischen Stellglieds, insbesondere zweiten Piezoelements in seiner Höhe veränderlichen Hubboden anzubringen. Auf diese Weise läßt sich ohne großen Aufwand ein gewünschter Nominal- oder Ausgangsabstand zwischen der Abstimmsscheibe und der ebenen Oberfläche des dielektrischen Körpers vorgeben, welcher dann durch die erfindungsgemäße Stelleinrichtung mit nachgeschalteter Übersetzungsmechanik in geeigneter Weise feinjustiert

wird.

[0017] Die Erfindung wird nachfolgend in beispielhafter Weise unter Bezugnahme auf ein Ausführungsbeispiel anhand der Zeichnung erläutert; in dieser zeigt:

Fig. 1: eine schematische Schnittdarstellung eines erfindungsgemäßen Hohlraumresonators;

Fig. 2: ein Blockschaltbild eines den in Fig. 1 gezeigten Hohlraumresonator verwendenden Mikrowellenoszillators; und

Fig. 3 ein Schaubild, in dem die Änderung der Oszillatorfrequenz Δf als Funktion der Lageänderung Δx_2 der Abstimmsscheibe dargestellt ist.

[0018] Fig. 1 zeigt einen Hohlraumresonator 1 in Zylinderbauweise mit einer Resonanzfrequenz ω_R im GHz-Bereich. Der Hohlraumresonator 1 weist eine kreisscheibenförmige Bodenplatte 2, eine zylindrische Umfangswand 3 und eine Deckenwand 4 auf. Die Resonator-Wandelemente 2, 3 und 4 bestehen aus einem Metall guter elektrischer Leitfähigkeit wie beispielsweise Cu oder einem HTSL-Material und definieren in ihrem Inneren einen Hohlraum 5.

[0019] Die Bodenplatte 2 weist über ihren Umfang verteilte Durchgangsbohrungen 6 auf, welche von Gewindeschrauben 7 durchlaufen werden, mittels denen die Bodenplatte 2 an einem bodenseitigen Flansch 8 der Umfangswand 3 festgelegt ist. Zwischen der Bodenplatte 2 und dem Flansch 8 ist ein ringscheibenförmiges Abstandselement 9 vorgegebener Stärke und darüber ein kreisscheibenförmiger Hubboden 10 angeordnet.

[0020] Im zentralen Bereich zwischen der Bodenplatte 2 und dem Hubboden 10 befindet sich ein Mehrschicht-Piezoelement 11. Das Mehrschicht-Piezoelement 11 weist einen Maximalhub von einigen μm auf, welcher auf den Hubboden 10 übertragen werden kann und eine zentrale Auswölbung desselben herbeiführt.

[0021] Im zentralen Bereich oberhalb des Mehrschicht-Piezoelements 11 ist auf dem Hubboden 10 ein dielektrisches Sockelelement 12 angeordnet, das einen dielektrischen Zylinder 30 trägt. Der dielektrische Zylinder 30 besteht aus einem dielektrischen Material mit einer hohen Dielektrizitätskonstante ϵ (beispielsweise Saphir) und ist coaxial mit der Umfangswand 3 des Hohlraumresonators 1 angeordnet.

[0022] Durch die zylindrische Umfangswand 3 hindurch ragen in den Hohlraum 5 eine Einkoppelantenne 13a und eine Auskoppelantenne 13b hinein. Die Ein- und Auskoppelantennen 13a, 13b sind jeweils als Koaxialkabel mit endseitig ausgebildeten Koaxialschleifen ausgeführt.

[0023] Die Deckenwand 4 des Hohlraumresonators 1 ist mittels eines ringscheibenförmigen Abstandselements 14 vorgegebener Stärke von einem deckenseitigen Flansch 15 der Umfangswand 3 beabstandet und

in ähnlicher Weise wie die Bodenwand 2 über Durchgangsbohrungen 16 durchsetzende Gewindeschrauben 17 an dem deckenseitigen Flansch 15 fixiert.

[0024] Durch die Verwendung von Abstandselementen 9, 14 mit variablen Stärken kann eine verhältnismäßig grobe Voreinstellung der Resonanzfrequenz ω_R des Hohlraumresonators 1 vorgenommen werden.

[0025] Eine in Form einer dünnen, metallischen Scheibe ausgebildete Plattenfeder 18 ist randseitig zwischen dem ringscheibenförmigen Abstandselement 14 und der Deckenwand 4 fixiert. Die Plattenfeder 18 begrenzt in ihrem zentralen Bereich einen in der Deckenwand 4 vorhandenen, zylinderförmigen Federaufnahmeraum 19. Der Federaufnahmeraum 19 enthält in dem hier dargestellten Beispiel drei übereinander angeordnete Tellerfedern 20, die um ein zentrales Führungselement 21 herum gelagert und bodenseitig an der Plattenfeder 18 abgestützt sind.

[0026] Oberhalb der Deckenwand 4 befindet sich eine Mikrometerschraube 22, die aus einem fest mit der Deckenwand 4 verbundenen Schraubenfutter 23 und einem darin in einem Feingewinde geführten Drehglied 24 besteht. Das Drehglied 24 beaufschlagt mit einem bodenseitig vorstehenden Stellstift 24a das obere Ende eines in einer Zentralbohrung des Schraubenfutters 23 geführten Stempels 25, dessen unteres Ende ein auf die obere Tellerfeder 20 wirkendes erstes Mehrschicht-Piezoelement 26 beaufschlagt.

[0027] Bei einer Verstellung des Drehgliedes 24 wird der Stempel 25 mit hoher Einstellgenauigkeit (beispielsweise 50 μm pro Umdrehung) in Axialrichtung bewegt. Der Bewegungsweg wird auf das erste Mehrschicht-Piezoelement 26 übertragen und kann von diesem zusätzlich verändert, d.h. verkürzt oder verlängert werden. Der ausgangsseitig des ersten Mehrschicht-Piezoelements 26 auftretende Linearhub Δx_1 wirkt auf die oberste Tellerfeder 20 und komprimiert diese. Die Tellerfedern 20 drücken auf die Plattenfeder 18 und lenken diese in ihrem zentralen Bereich um einen Auslenkungsweg Δx_2 aus. Aufgrund der von der Plattenfeder 18 ausgeübten Gegenkraft ist der ausgangsseitige Auslenkungsweg Δx_2 kleiner als der eingangsseitige Linearhub Δx_1 . Die Reduzierung des Auslenkungswegs Δx_2 bezüglich Δx_1 wird durch die Federkonstante k_1 des Tellerfederstapels und die Federkonstante k_2 der Plattenfeder 18 bestimmt.

[0028] Bei gleichen Federkonstanten $k_1 = k_2$ wird eine Bewegungswegverkürzung um den Faktor 2 erzielt.

[0029] An der von dem Federaufnahmeraum 19 abgewandten Seite der Plattenfeder 18 ist über einen Stiel 27 eine Abstimmzscheibe 28 angebracht. Die Abstimmzscheibe 28 erstreckt sich parallel und unter einem kleinen Abstand d zu einer ebenen Oberfläche 29 des dielektrischen Zylinders 30. Bei einer zentralen Auslenkung Δx_2 der Plattenfeder 18 in bodenseitiger Richtung verlagert sich die Abstimmzscheibe 28 ebenfalls um Δx_2 , so daß sich ein zuvor eingestellter Abstand d zwischen der Abstimmzscheibe 28 und dem zylindrischen Körper

30 auf $d - \Delta x_2$ verkürzt.

[0030] Fig. 2 zeigt in Form eines Blockschaltbildes den prinzipiellen Aufbau eines Mikrowellenoszillators, der den in Fig. 1 dargestellten Hohlraumresonator 1 verwendet. Ein Verstärkersignal 41 eines Verstärkers 40 wird einem Hochfrequenzkoppler 42 zugeführt. Der Hochfrequenzkoppler 42 koppelt aus dem Verstärkersignal 41 einerseits ein Nutzsignal 43 aus und leitet das Verstärkersignal 41 andererseits zu dem Hohlraumresonator 1 weiter. Die Einkopplung des Verstärkersignals 41 in den Hohlraumresonator 1 erfolgt über die Eingangsantenne 13a.

[0031] Über die Ausgangsantenne 13b wird ein Ausgangssignal 44 aus dem Hohlraumresonator 1 ausgekoppelt und einem elektrisch oder mechanisch betätigbaren Phasenschieber 45 zugeführt, welcher zur Einstellung der Phasenbedingung in dem Rückkopplungszweig 41, 42, 1, 44, 45 vorgesehen ist. Das von dem Phasenschieber 45 erzeugte phasenverschobene Rückkopplungssignal 46 wird in den Verstärker 40 eingespeist.

[0032] Wie bereits erwähnt, kann der Mikrowellenoszillator nur dann kontinuierlich durchgestimmt werden, wenn der Hohlraumresonator 1 eine geforderte Einstellgenauigkeit der Resonanzfrequenz $\Delta\omega_R$ von etwa 100 kHz oder weniger erreicht. Ungünstig ist dabei, daß die Abstimmsteilheit $\Delta\omega_R/\Delta x_2$ eines Hohlraumresonators proportional mit seiner Güte Q zunimmt. Bei Resonatoren 1 mit vergleichsweise geringer Güte ($Q \approx 10^4$) wird eine typische Abstimmsteilheit von 10 kHz/ μm beobachtet. Dies bedeutet, daß die Einstellgenauigkeit des Abstimmmechanismus in Hinblick auf die erreichbare Lagegenauigkeit der Abstimmzscheibe 28 nur etwa 10 μm betragen muß, um die geforderte Abstimmgenauigkeit $\Delta\omega_R$ der Resonanzfrequenz von 100 kHz zu erreichen.

[0033] Demgegenüber beträgt die Abstimmsteilheit bei einer Güte von $Q \approx 10^7$ bereits 10³ kHz/ μm . Eine Güte von $Q \approx 10^7$ läßt sich bei dem erfindungsgemäßen Hohlraumresonator 1 durch eine Kühlung desselben auf etwa 77K erzielen, weil sich für sogenannte Whispering-Gallery-Moden auf diese Weise die in dem dielektrischen Zylinder 30 auftretenden dielektrischen Verluste deutlich reduzieren lassen. Um eine kontinuierliche Durchstimmbarkeit eines Mikrowellenoszillators mit dem gekühlten Hohlraumresonator 1 zu erreichen, muß der Abstimmmechanismus des Hohlraumresonators 1 dann eine Einstellgenauigkeit von 0,1 μm aufweisen.

[0034] Die in Fig. 1 dargestellten Übersetzungsmechanik 18, 20 ermöglicht (bei Verwendung einer Mikrometerschraube 22 einer Einstellgenauigkeit von 50 μm pro Umdrehung) eine derartige Einstellgenauigkeit und gestattet somit die Realisierung eines vollständig durchstimmbaren Mikrowellenoszillators mit einem Hohlraumresonator 1 der Güte $Q \approx 10^7$.

[0035] Die hohe Einstellgenauigkeit des Abstimmmechanismus 22, 20, 18 beruht neben der erfindungsgemäßen Reduzierung des Bewegungsweges durch die Übersetzungsmechanik 18, 20 auch darauf, daß auf-

grund der Konstruktion der Übersetzungsmechanik 18, 20 aus hintereinander geschalteten Federelementen in dieser praktisch kein Bewegungsspiel auftritt. Dadurch wird auch eine hohe Reproduzierbarkeit der Einstellungsposition ermöglicht.

[0036] Ein weiterer wesentlicher Vorteil des Abstimmmechanismus 22, 20, 18 ist seine mechanische Stabilität und Vibrationsfestigkeit insbesondere bei verhältnismäßig niedrigen Anregungsfrequenzen (< 1 kHz). Diese beruht neben der bereits erwähnten robusten und im wesentlichen spielfreien Konstruktion der Übersetzungsmechanik 18, 20 zum einen auf den hohen mechanischen Eigenfrequenzen der Plattenfeder 18 und zum anderen auf den hohen Kräften, die aufgewendet werden müssen, um diese auszulenken (beispielsweise ist $k_2 = 5000$ N/mm). Dadurch wird eine ausgesprochen geringe Mikrofonieanfälligkeit erreicht und es ist sogar möglich, den Hohlraumresonator 1 mittels eines kommerziellen Kleinkühlers 1 zu kühlen, ohne daß ein Übersprechen der Kühlervibrationen in das Resonanzfrequenzspektrum beobachtet wird.

[0037] Vorzugsweise können auch die ersten und zweiten Mehrschicht-Piezoelemente 26, 11 zur elektrischen Einstellung der Resonanzfrequenz ω_R verwendet werden. Das erste Mehrschicht-Piezoelement 26 bewirkt dabei eine Bewegung der Abstimmsscheibe 28 relativ zu dem ortsfesten dielektrischen Zylinder 30, während ein Betrieb des zweiten Mehrschicht-Piezoelements 11 eine Bewegung des dielektrischen Zylinders 30 relativ zu der ortsfesten Abstimmsscheibe 28 zur Folge hat. Dabei ermöglicht insbesondere das der Übersetzungsmechanik 18, 20 vorgeschaltete erste Mehrschicht-Piezoelement 26 eine sehr genaue elektrische Feineinstellung der Resonanzfrequenz ω_R und eignet sich deshalb in besonderem Maße als Stellglied zur Regelung der Resonanzfrequenz ω_R in einem Regelschleifenbetrieb.

[0038] In Fig. 3 ist ein Diagramm dargestellt, das das Abstimmverhalten des in Fig. 2 gezeigten Oszillators unter den folgenden beispielhaften Bedingungen verdeutlicht: Der Hohlraumresonator 1 ist auf eine Temperatur von 77K gekühlt und weist einen dielektrischen Zylinder 30 aus Saphir auf. Es wird eine Mikrometerschraube 22 mit einem Hub von 50 μ m pro Umdrehung, drei Tellerfedern 20 und eine 1 mm starke Plattenfeder 18 ($k_2 = 5000$ N/mm) verwendet. Die Abstimmsscheibe 28 besteht aus Saphir und weist eine Dicke von 0,5 mm auf. Die Abstimmung erfolgt bei einer Frequenz von 23 GHz.

[0039] Auf der im linken Bildbereich der Fig. 3 dargestellten y-Achse ist die Änderung der Oszillatorfrequenz Δf als Funktion des auf der x-Achse aufgetragenen Linearhubs Δx_2 der Abstimmsscheibe 28 dargestellt. Eine Variation des Linearhubs Δx_2 von 0,75 mm entspricht einer Frequenzänderung von 45 MHz.

[0040] Bei den genannten Bedingungen wird eine minimale mechanische Lageänderung der Abstimmsscheibe 28 von $\Delta x_2(\min) < 0,2 \mu$ m erreicht. Dies entspricht

gemäß Fig. 3 bei kleinen Abständen $d < 0,3$ mm zwischen der Abstimmsscheibe 28 und dem dielektrischen Zylinder 30 etwa einer minimalen Änderung der Resonanzfrequenz $\Delta\omega_R(\min)$ von 4 kHz. Diese durch die mechanische Verstimmung des Hohlraumresonators 1 erzielbare Frequenzänderung ist somit deutlich geringer als die von dem Phasenschieber 45 herbeiführbare maximale Frequenzvariation von etwa 100 kHz, d.h. die eingangs genannte Bedingung für die kontinuierliche Durchstimmbarkeit des Mikrowellenoszillators ist gut erfüllt.

[0041] Die auf der im rechten Bildbereich der Fig. 3 dargestellten y-Achse aufgetragene Güte Q des Hohlraumresonators 1 ist über den gesamten Abstimmbereich des Mikrowellenoszillators weitgehend konstant und beträgt in dem hier dargestellten Beispiel $Q > 2 \cdot 10^6$. Dabei tritt auch während eines Einstellvorgang praktisch keine Gütegradation des Hohlraumresonators 1 auf.

Patentansprüche

1. Abstimmbarer Hohlraumresonator, der

- einen einen Hohlraum (5) definierenden Resonatorkörper (2, 3, 4),
- eine in ihrer Lage gegenüber dem Resonatorkörper (2, 3, 4) veränderliche und dabei die Resonanzfrequenz ω_R des Hohlraumresonators (1) beeinflussende Abstimmsscheibe (28) und
- eine Stelleinrichtung (22, 26) zur mechanischen Lageveränderung der Abstimmsscheibe (28) umfaßt,

gekennzeichnet durch eine Übersetzungsmechanik (18, 20), die die Stelleinrichtung (22, 26) bewegungsmäßig mit der Abstimmsscheibe (28) koppelt und einen von der Stelleinrichtung (22, 26) erzeugten Linearhub Δx_1 unter vorgegebenem Verhältnis U in einen auf die Abstimmsscheibe (28) wirkenden, reduzierten Linearhub Δx_2 übersetzt, wobei die Übersetzungsmechanik (18, 20) ein erstes Federelement (20), dessen stalleinrichtungsseitiges Ende mit dem von der Stelleinrichtung (22, 26) erzeugten Linearhub Δx_1 auslenkbar ist, und ein zweites Federelement (18), das das stalleinrichtungsferne Ende des ersten Federelements (20) mit einer Gegenkraft beaufschlagt, umfaßt.

- ### 2. Abstimmbarer Hohlraumresonator nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß
- das erste Federelement aus wenigstens einer Tellerfeder (20) gebildet ist, und daß das zweite Federelement von einer umfangsseitig fixierten, von der Tellerfeder (20) zentral beaufschlagten Plattenfeder (18) realisiert ist.

3. Abstimmbarer Hohlraumresonator nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet**,

- daß der Resonatorkörper aus einer zylindrischen Umfangswand (3), einer Deckenwand (4) und einer Bodenwand (2) besteht,
- daß in der Deckenwand (4) und/oder der Bodenwand (2) ein zur Umfangswandachse koaxialer, einen Tellerfederstapel (20) enthaltender zylindrischer Federaufnahmeraum (19) ausgebildet ist, und daß die Plattenfeder (18) in ihrem radial äußeren Bereich zwischen einem Flansch (15) der Umfangswand (3) und der Decken- oder Bodenwand (4; 2) fixiert ist.

4. Abstimmbarer Hohlraumresonator nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Stelleinrichtung (22, 26) ein insbesondere manuell betätigbares mechanisches Stellglied, insbesondere Drehstellglied (22) und ein dem mechanischen Stellglied (22) nachgeschaltetes erstes elektromechanisches Stellglied, insbesondere erstes Piezoelement (26) umfaßt.

5. Abstimmbarer Hohlraumresonator nach Anspruch 3, **dadurch gekennzeichnet**, daß zwischen dem Flansch (15) der Umfangswand (3) und der Boden- und/oder Deckenwand (2; 4) eine oder mehrere Abstandselemente (9; 14) vorgegebener Stärke angeordnet sind.

6. Abstimmbarer Hohlraumresonator nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Abstimscheibe (28) aus einem dielektrischen Material, insbesondere Saphir, besteht.

7. Abstimmbarer Hohlraumresonator nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**,

- daß in dem Resonatorkörper (2, 3, 4) ein dielektrischer Körper (30) vorgesehen ist, und
- daß die Abstimscheibe (28) innerhalb des Resonatorkörpers (2, 3, 4) unter einem geringen Abstand d zu einer ebenen Oberfläche (29) des dielektrischen Körpers (30) angeordnet ist.

8. Abstimmbarer Hohlraumresonator nach Anspruch 7, **dadurch gekennzeichnet**, daß der dielektrische Körper (30) auf einem mittels eines zweiten elektromechanischen Stellglieds, insbesondere zweiten Piezoelements (11) in seiner Höhe veränderlichen Hubboden (10) angebracht ist.

9. Abstimmbarer Hohlraumresonator nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, daß das erste und/oder das zweite elek-

tromechanische Stellglied (11; 26) ein von einer Ansteuerschaltung ausgegebenes elektrisches Steuersignal empfängt, mittels dem der Hohlraumresonator (1) in einem Frequenz-Regelschleifenbetrieb betrieben wird.

10. Abstimmbarer Hohlraumresonator nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, daß der Hohlraumresonator (1) thermisch an eine externe Kühleinrichtung, insbesondere einen mechanischen Kleinkühler angeschlossen ist.

11. Abstimmbarer Mikrowellenoszillator mit einem Hohlraumresonator nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **gekennzeichnet durch** einen Verstärker (40), der ein den Hohlraumresonator (1) anregendes Verstärkersignal (41) ausgibt, einen Phasenschieber (45), der ein aus dem Hohlraumresonator (1) ausgekoppeltes Ausgangssignal (44) entgegennimmt und ein gegenüber dem Ausgangssignal (44) phasenverschiebbares Rückkopplungssignal (46) bereitstellt, welches einem Eingang des Verstärkers (40) zugeführt wird.

12. Abstimmbarer Mikrowellenoszillator nach Anspruch 11, **dadurch gekennzeichnet**, daß der Hohlraumresonator 1 eine Güte $Q > 10^6$, insbesondere $Q > 10^7$ aufweist, und daß die Übersetzungsmechanik (18, 20) des Hohlraumresonators (1) so ausgelegt ist, daß die durch eine minimal mögliche Verstellung der Stelleinrichtung (22) erzielbare Minimaländerung der Resonanzfrequenz $\Delta\omega_R(\min)$ kleiner als der durch eine Verstellung des Phasenschiebers (45) maximal erzielbare Frequenzhub $\Delta\omega_R$ der Resonanzfrequenz ω_R ist.

Claims

1. A tunable cavity resonator that comprises

- a resonator body (2, 3, 4) defining a cavity (5);
- a tuning plate (28) whose position with respect to the resonator body (2, 3, 4) is modifiable and which influences the resonance frequency ω_R of the cavity resonator; and
- an adjustment device (22, 26) for mechanically changing the position of the tuning plate (28),

characterized by a conversion ratio mechanism (18, 20) which couples the adjustment device (22, 26) to the tuning plate (28) in terms of movement and which converts a linear excursion Δx_1 generated by the adjustment device (22, 26), at a predefined ratio U , into a reduced linear excursion Δx_2 that acts on the tuning plate (28), the conversion ratio mechanism (18, 20) comprising a first spring

- element (20) whose end toward the adjustment device is deflectable with the linear excursion Δx_1 generated by the adjustment device (22, 26), and a second spring element (18) which impinges with an opposing force on the end of the first spring element (20) remote from the adjustment device. 5
2. The tunable cavity resonator as defined in Claim 1, **characterized in that** the first spring element is formed from at least one cup spring (20); and that the second spring element is implemented by a plate spring (18) that is immobilized at the periphery and impinged upon centrally by the cup spring (20). 10
3. The tunable cavity resonator as defined in Claim 2, **characterized in that** 15
- the resonator body comprises a cylindrical peripheral wall (3), a cover wall (4), and a bottom wall (2); 20
 - a cylindrical spring receiving space (19) coaxial with the peripheral wall axis and containing a cup spring stack (20) is configured in the cover wall (4) and/or the bottom wall (4); and that the plate spring (18) is immobilized in its radially external region between a flange (15) of the peripheral wall (3) and the cover wall or bottom wall (4; 2). 25
4. The tunable cavity resonator as defined in one of the foregoing claims, **characterized in that** the adjustment device (22, 26) comprises an, in particular, manually actuable mechanical actuating element, in particular a rotary actuating element (22), and a first electromechanical actuating element, in particular a first piezoelement (26), downstream from the mechanical actuating element (22). 30 35
5. The tunable cavity resonator as defined in Claim 3, **characterized in that** one or more spacer elements (9; 14) of predefined thickness are arranged between the flange (15) of the peripheral wall (3) and the bottom wall and/or cover wall (2; 4). 40
6. The tunable cavity resonator as defined in one of the foregoing claims, **characterized in that** the tuning plate (28) is made of a dielectric material, in particular sapphire. 45
7. The tunable cavity resonator as defined in one of the foregoing claims, **characterized in that** 50
- a dielectric element (30) is provided in the resonator body (2, 3, 4); and that
 - the tuning plate (28) is arranged inside the resonator body (2, 3, 4) at a small distance d from a flat surface (29) of the dielectric element (30). 55
8. The tunable cavity resonator as defined in Claim 7, **characterized in that** the dielectric element (30) is mounted on a displaceable base (10) whose height can be modified by means of a second electromagnetic actuating element, in particular a second piezoelement (11).
9. The tunable cavity resonator as defined in one of the foregoing claims, **characterized in that** the first and/or second electromagnetic actuating element (11; 26) receives an electrical control signal, output by an activation circuit, by means of which the cavity resonator (1) is operated in a closed-loop frequency control mode.
10. The tunable cavity resonator as defined in one of the foregoing claims, **characterized in that** the cavity resonator (1) is thermally connected to an external cooling device, in particular to a mechanical miniature cooler.
11. A tunable microwave oscillator having a cavity resonator as defined in one of the foregoing claims, **characterized by** an amplifier (40) which outputs an amplifier signal (41) that excites a cavity resonator (1); and by a phase shifter (45) which receives an output signal (44) coupled out from the cavity resonator (1) and makes available a feedback signal (46), phase-shifted with respect to the output signal (44), which is delivered to one input of the amplifier (40).
12. The tunable microwave oscillator as defined in Claim 11, **characterized in that** the cavity resonator (1) has a quality $Q > 10^6$, in particular $Q > 10^7$; and that the conversion ratio mechanism (18, 20) of the cavity resonator (1) is designed in such a way that the minimum change in the resonance frequency $\Delta\omega_R(\min)$ achievable by a minimum possible displacement of the adjustment device (22) is less than the maximum frequency excursion $\Delta\omega_R$ of the resonance frequency ω_R achievable by a displacement of the phase shifter (45).

Revendications

1. Résonateur à cavité syntonisable comprenant :

- un corps de résonateur (2, 3, 4) délimitant une cavité (5),
- un disque de syntonisation (28) dont la position par rapport au corps du résonateur (2, 3, 4) est variable et qui influence donc la fréquence de résonance ω_R du résonateur à cavité (1) et
- un dispositif de réglage (22, 26) pour le changement de position du disque de syntonisation (28),

- caractérisé par** un mécanisme de transmission (18, 20) qui couple le mouvement du dispositif de réglage (22, 26) avec celui du disque de syntonisation (28), et convertit une course linéaire ΔX_1 produite par le dispositif de réglage (22, 26) en une course linéaire réduite ΔX_2 agissant sur le disque de syntonisation (28) avec un rapport U prédéterminé, le mécanisme de transmission (18, 20) comprenant un premier élément de ressort (20) dont l'extrémité du côté du dispositif de réglage peut être déplacée grâce à la course linéaire ΔX_1 produite par le dispositif de réglage (22, 26), et un deuxième élément de ressort (18) qui applique une force contraire sur l'extrémité opposée au dispositif de réglage du premier élément de ressort (20).
2. Résonateur à cavité syntonisable selon la revendication 1, **caractérisé en ce que** le premier élément de ressort est constitué d'au moins une rondelle-ressort (20) et **en ce que** le deuxième élément de ressort est constitué d'une membrane-ressort (18) fixée circonférentiellement et au centre de laquelle s'appuie la rondelle-ressort (20).
3. Résonateur à cavité syntonisable selon la revendication 2, **caractérisé** :
- **en ce que** le corps du résonateur est constitué d'une paroi périphérique cylindrique (3), d'une paroi de couvercle (4) et d'une paroi de fond (2),
 - **en ce que**, dans la paroi de couvercle (4) et/ou dans la paroi du fond (2) se trouve un espace de logement cylindrique (19), coaxial à l'axe de la paroi extérieure, contenant une pile de rondelles-ressorts (20), et en ce que la membrane-ressort (18) est fixée au niveau de sa bordure extérieure entre une bride (15) de la paroi extérieure (3) et de la paroi de couvercle ou de fond (4 ; 2).
4. Résonateur à cavité syntonisable selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** le dispositif de réglage (22, 26) comprend un élément de réglage mécanique, en particulier actionnable manuellement, plus particulièrement un élément de réglage rotatif (22) et un premier élément de réglage électromécanique branché en aval de l'élément de réglage mécanique (22), plus particulièrement un premier élément piézoélectrique (26).
5. Résonateur à cavité syntonisable selon la revendication 3, **caractérisé en ce que**, entre la bride (15) de la paroi périphérique (3) et de la paroi de fond et/ou de couvercle (2 ; 4) sont disposés un ou plusieurs éléments d'écartement (9 ; 14) d'une épaisseur prédéterminée.
6. Résonateur à cavité syntonisable selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** le disque de syntonisation (28) est constitué d'un matériau diélectrique, plus particulièrement de saphir.
7. Résonateur à cavité syntonisable selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé** :
- **en ce que**, dans le corps du résonateur (2, 3, 4) est prévu un corps diélectrique (30) et
 - **en ce que** le disque de syntonisation (28) se trouve à l'intérieur du corps du résonateur (2, 3, 4) à une faible distance d d'une surface plane (29) du corps diélectrique (30).
8. Résonateur à cavité syntonisable selon la revendication 7, **caractérisé en ce que** le corps diélectrique (30) est fixé sur un fond de levage (10) dont la position en hauteur est modifiée à l'aide d'un deuxième élément de réglage électromécanique, plus particulièrement un deuxième élément piézoélectrique (11).
9. Résonateur à cavité syntonisable selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** le premier et/ou le deuxième élément de réglage électromécanique (11 ; 26) reçoit un signal de commande électrique provenant d'un circuit de commande, à l'aide duquel le résonateur à cavité (1) est utilisé dans un mode de fonctionnement avec boucle de régulation de fréquence.
10. Résonateur à cavité syntonisable selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** le résonateur à cavité (1) est relié thermiquement à un dispositif de refroidissement, plus particulièrement un petit refroidisseur mécanique.
11. Oscillateur à micro-ondes syntonisable avec un résonateur à cavité selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé par** un amplificateur (40) qui envoie un signal d'amplificateur (41) d'excitation au résonateur à cavité (1), un déphaseur (45) qui reçoit un signal de sortie (44) provenant du résonateur à cavité (1) et qui génère un signal de réinjection (46) dont la phase peut être décalée par rapport à celle du signal de sortie (44) et qui est entré dans l'amplificateur (40).
12. Oscillateur à micro-ondes syntonisable selon la revendication 11, **caractérisé en ce que** le résonateur à cavité (1) présente un facteur de qualité $Q > 10^6$, plus particulièrement $Q > 10^7$, et **en ce que** le mécanisme de transmission (18, 20) du résonateur à cavité (1) est conçu de telle sorte que la modification minimale de la fréquence de résonance $\Delta\omega_R$ (min), obtenue par un réglage minimal du dispositif

de réglage (22), est inférieure à la course de fréquence maximale $\Delta\omega_R$ de la fréquence de résonance ω_R réglage qui peut être obtenue par un réglage du déphaseur (45).

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

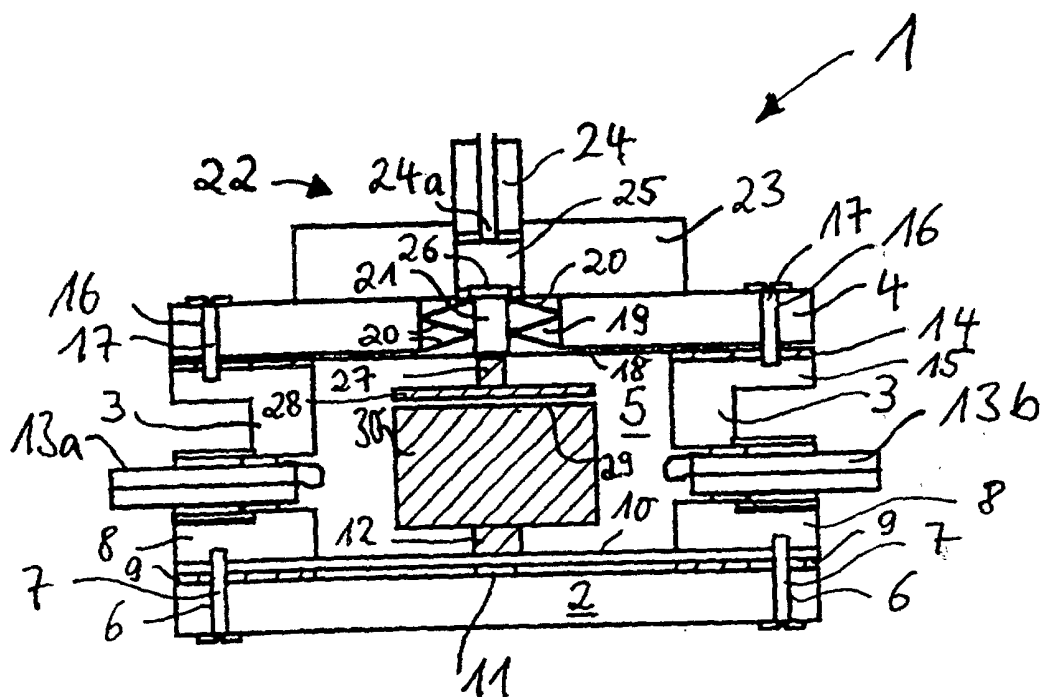


FIG. 1

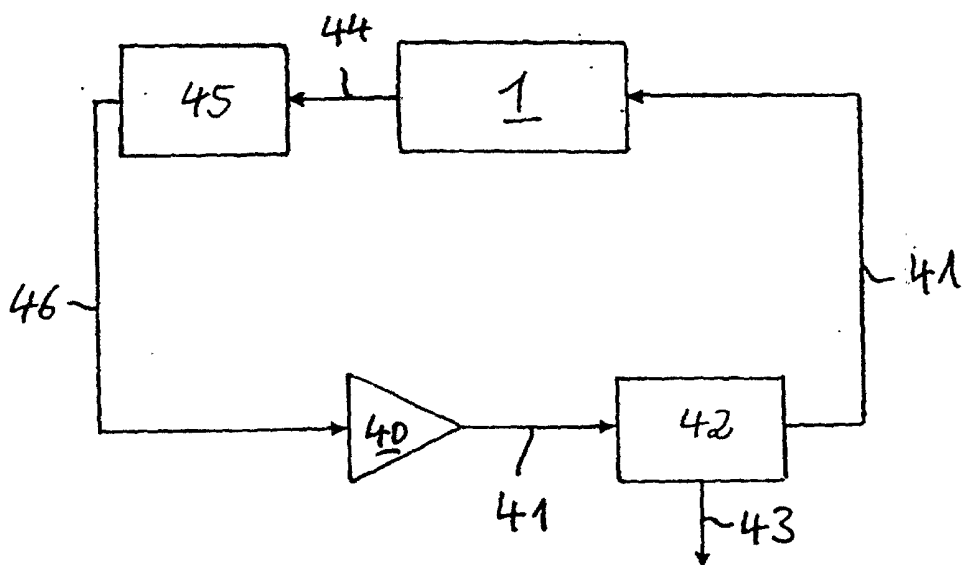


FIG. 2

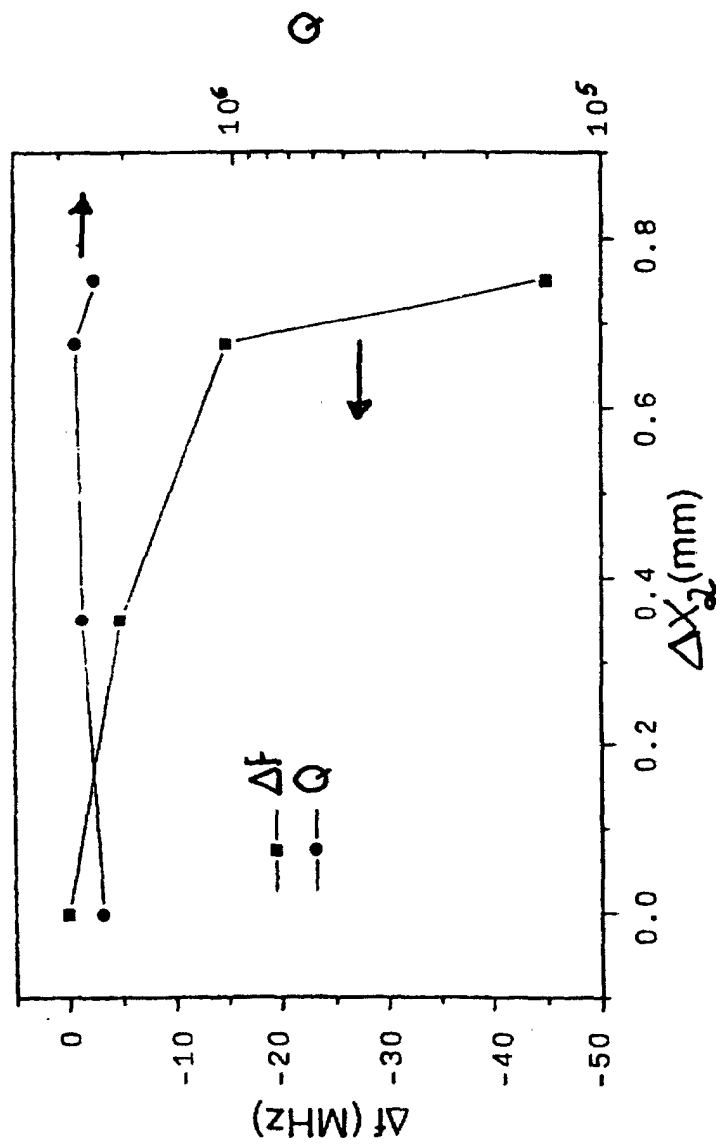


FIG. 3