



(12) **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:  
**07.12.2005 Patentblatt 2005/49**

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

(21) Anmeldenummer: **04013104.7**

(22) Anmeldetag: **03.06.2004**

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

- **Hesselbarth, Jan**  
**8482 Sennhof (CH)**
- **Nüchter, Peter**  
**8340 Hinweil (CH)**
- **Stanelli, Daniel**  
**9630 Wattwil (CH)**

(71) Anmelder: **HUBER+SUHNER AG**  
**9100 Herisau (CH)**

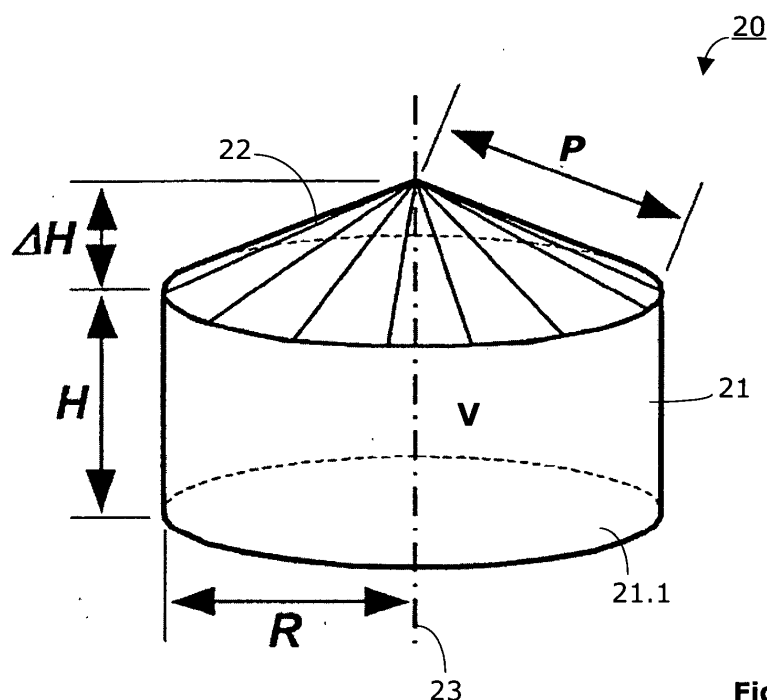
(74) Vertreter: **OK pat AG**  
**Chamerstrasse 50**  
**6300 Zug (CH)**

(72) Erfinder:  
• **Goebel, Uhland**  
**8492 Wila (CH)**

(54) **Hohlraumresonator, Verwendung eines Hohlraumresonators und Oszillatorschaltung**

(57) Hohlraumresonator (20) mit Temperaturkompensation, der einen Topf (21) und eine Abdeckung (22) umfasst, die zusammen ein Hohlraum-Resonanzvolumen (V) umschliessen. Der Topf (21) umfasst ein erstes Material, das einen ersten Temperatúrausdehnungskoeffizienten ( $a_1$ ) hat, und die Abdeckung (22) umfasst ein zweites Material, das einen zweiten Temperatúrausdehnungskoeffizienten ( $a_2$ ) hat. Der zweite Temperatúraus-

dehnungskoeffizient ( $a_2$ ) ist grösser als der erste Temperatúrausdehnungskoeffizient ( $a_1$ ) und bei einer Temperaturerhöhung ergibt sich eine Ausdehnung des Topfes (21) und eine Verformung der Abdeckung (22), die jede für sich als auch zusammen eine Vergrösserung des Hohlraum-Resonanzvolumens (V) bewirken. Gleichzeitig bleibt die Resonanzfrequenz im Wesentlichen konstant.



**Fig. 2**

## Beschreibung

**[0001]** Die vorliegende Erfindung bezieht sich auf Hohlraumresonatoren und deren Verwendung speziell in Oszillatorschaltungen.

**[0002]** Resonatoren sind wichtige Bauteile, die in verschiedensten Anwendungen zum Einsatz kommen. So benötigen zum Beispiel Mikrowellen-Systeme Resonatoren mit hoher Güte, die in Filtern und Schwingkreisen (Oszillatoren) eingesetzt werden. Man muss eine Auswahl treffen zwischen Hohlraumresonatoren und dielektrischen Resonatoren, wobei die Grösse, das Gewicht, die Kosten und andere Aspekte eine Rolle spielen können.

**[0003]** Hohlraumresonatoren in den verschiedenen bekannten Ausführungsformen unterliegen bei Temperaturänderung einer Veränderung der Resonanzfrequenz, was für die meisten Anwendungen unerwünscht ist. Eine Temperaturänderung kann sich durch eine Veränderung der Umgebungstemperatur, durch eine Temperaturänderung in einer integrierten Oszillatorschaltung oder durch Verluste ergeben, die in dem resonanten Hohlraum auftreten. Durch eine Temperaturänderung ergibt sich eine Veränderung der Dimensionen des Resonators, was zu der erwähnten Änderung der Resonanzfrequenz führt.

**[0004]** Es gibt verschiedene Ansätze, um den Temperatureinfluss auf Resonatoren zu reduzieren. Es ist zum Beispiel möglich, die durch eine Temperaturänderung verursachte Resonanzfrequenzänderung durch das Einfügen eines dielektrischen Teils in den Hohlraum zu reduzieren, wobei das dielektrische Teil einen geeigneten Temperaturkoeffizienten der dielektrischen Permittivität aufweisen muss.

**[0005]** Eine andere Möglichkeit ist es einen Hohlraum aus verschiedenen Materialien mit unterschiedlichen Temperatureausdehnungskoeffizienten aufzubauen. Diese Möglichkeit ist hinlänglich bekannt und wird eingesetzt für sogenannte "coaxial re-entrant cavity" Resonatoren. Ein Beispiel eines solchen Resonators ist zum Beispiel in dem Japanischen Patent JP 52075154, das am 23.6.1977 publiziert wurde, beschrieben. Fig. 1A und 1B zeigen einen Resonator 10 gemäss diesem Japanischen Patent in stark vereinfachter Darstellung. Wie aus den Fig. 1A und 1B zu erkennen ist, gibt es einen Stab 12, der co-axial in einen Hohlraum 11 des Resonators 10 eindringt. In Fig. 1A ist ein Zustand mit niedriger Temperatur T gezeigt. Wird die Temperatur auf T' erhöht, so dehnt sich der Hohlraum 11 aus, wie in Fig. 1B durch Pfeile entlang des Umfangs angedeutet. Der Stab 12 wird bei einer Temperaturerhöhung länger. Werden die Materialien des Hohlraums 11 und des Stabes 12 so gewählt, dass der Stab 12 eine kleinere Ausdehnung erfährt, so wird die sogenannte kapazitive Lücke (Bereich 13) zwischen dem unteren Stabende und der unteren Wand des Hohlraums 11 grösser. Diese Änderung der kapazitiven Lücke (Verringerung der kapazitiven Belastung des Resonators bei Temperaturerhö-

hung) im Bereich 13 führt dazu, dass die Resonanzfrequenz des Resonators 10 in einem gewissen Temperaturbereich relativ konstant bleibt. Ein Nachteil eines solchen re-entrant cavity Resonators 10 ist der relativ schlechte Gütefaktor Q. Besonders bei hohen Frequenzen über 10GHz verschlechtert sich der Gütefaktor Q wegen der hohen Feldkonzentration in der kapazitiven Lücke und ihrer unmittelbaren Umgebung zusehends.

**[0006]** Es gibt andere Resonatoren, die mit Mitteln zum Kompensieren des Temperatureinflusses ausgestattet sind. Diese Art der Resonatoren werden auch als "clamped cavity" Resonatoren bezeichnet. Ein Beispiel eines solchen Resonators ist dem US-Patent US 2,528,387 zu entnehmen. Der Hohlraum des Resonators wird gemäss diesem Ansatz so gestaltet, dass die geometrischen Änderungen, die sich durch eine Temperaturänderung normalerweise ergeben würden lokal beschränkt oder sogar unterdrückt werden. Dies kann durch eine geeignete Wahl von Materialien und Massnahmen geschehen, die dafür sorgen, dass das Volumen des Resonators konstant gehalten wird indem eine Vergrösserung des Querschnitts durch eine Reduzierung der Länge kompensiert wird. Weitere ähnliche Beispiele sind den US Patentschriften US 4,706,053 und US 6,529,104 zu entnehmen, die auch jeweils Mittel und Wege vorschlagen, um das Volumen eines Resonators bei einer Temperaturerhöhung näherungsweise konstant zu halten.

**[0007]** Andere Resonatoren wiederum sind aus Invar® oder ähnlichen Materialien gefertigt, die einen geringen Temperatureausdehnungskoeffizienten haben. Invar ist jedoch teuer und schwer zu bearbeiten.

**[0008]** Ausgehend von dem eingangs genannten Stand der Technik stellt sich die Aufgabe, einen Resonator zu schaffen, der eine Änderung der Resonanzfrequenz bei Temperaturänderung verhindert oder reduziert. Ausserdem geht es gemäss Erfindung darum einen Resonator zu schaffen, der kostengünstig ist.

**[0009]** Es ist eine weitere Aufgabe der Erfindung, verschiedene Verwendungsmöglichkeiten für einen solchen neuartigen Resonator mit Temperaturkompensation und entsprechende Oszillatorschaltungen bereit zu stellen.

**[0010]** Gemäss Erfindung wird ein Hohlraumresonator bereit gestellt, dessen Volumen sich bei einer Temperaturerhöhung vergrössert, respektive bei einer Temperaturabsenkung verkleinert, ohne dass dabei die Resonanzfrequenz eine stärkere Änderung erfährt. Um dies zu erreichen, umfasst der Hohlraumresonator einen Topf und mindestens eine Abdeckung, die aus Materialien mit unterschiedlichem Temperatureausdehnungskoeffizienten gefertigt sind, wobei die mindestens eine Abdeckung einen grösseren Temperatureausdehnungskoeffizienten hat als der Topf. Obwohl beide Teile des Hohlraumresonators, nämlich der Topf und die Abdeckung bei einer Temperaturerhöhung zu einer Vergrösserung des Hohlraumvolumens beitragen, kann die Resonanzfrequenz bei geeigneter Wahl der Hohlleiter-

mode im wesentlichen konstant gehalten werden, da sich die Abdeckung durch geeignete Formgebung nach aussen wölbt und sich dadurch eine feldarme Zone im Bereich der Abdeckung bildet.

**[0011]** Um die eingangs genannte Aufgabenstellung zu erfüllen, wird ein Hohlraumresonator mit den Merkmalen gemäss Anspruch 1, die Verwendung eines Hohlraumresonators mit den Merkmalen gemäss Anspruch 16 und eine Oszillatorschaltung mit den Merkmalen gemäss Anspruch 17 bereitgestellt.

**[0012]** Weitere erfindungsgemässe Ausführungsformen des Hohlraumresonators sind den abhängigen Patentansprüchen 2 bis 15 zu entnehmen und weitere erfindungsgemässe Ausführungsformen der Oszillatorschaltung sind den abhängigen Patentansprüchen 18 bis 19 zu entnehmen.

**[0013]** Die Erfindung ist im Folgenden, anhand in den Zeichnungen dargestellter Ausführungsbeispiele, ausführlich beschrieben. Es zeigen:

Fig. 1A, 1B eine schematische Schnittdarstellung eines konventionellen re-entrant cavity Resonators, wobei Fig. 1A den Zustand bei einer Temperatur T und Fig. 1B bei einer höheren Temperatur T' darstellt;

Fig. 2 eine schematische Ansicht eines Hohlraumresonators in einer ersten Ausführungsform der Erfindung;

Fig. 3A, 3B eine schematische Darstellung der Intensitätsverteilung der elektrischen Feldstärke in einem Hohlraumresonator gemäss Erfindung, wobei Fig. 3A den Zustand bei einer Temperatur T und Fig. 3B bei einer höheren Temperatur T' darstellt;

Fig. 4A, 4B eine schematische Schnittdarstellung eines konventionellen Hohlraumresonators, wobei Fig. 4A den Zustand bei einer Temperatur T und Fig. 4B bei einer höheren Temperatur T' darstellt;

Fig. 4C, 4D eine schematische Schnittdarstellung eines Hohlraumresonators gemäss Erfindung, wobei Fig. 4C den Zustand bei einer Temperatur T und Fig. 4D bei einer höheren Temperatur T' darstellt;

Fig. 5 eine schematische Schnittdarstellung einer Schaltung mit einem Hohlraumresonator in einer weiteren Ausführungsform der Erfindung;

Fig. 6 ein schematisches Blockdiagramm einer weiteren Schaltung mit einem Hohlraumresonator in einer weiteren Ausführungsform der Erfindung;

rungsform der Erfindung;

Fig. 7 eine schematische Schnittdarstellung eines Hohlraumresonators in einer weiteren Ausführungsform der Erfindung.

Detaillierte Beschreibung:

**[0014]** Im Folgenden werden Begriffe erläutert und definiert, die in der Beschreibung und den Patentansprüchen mehrfach auftauchen.

**[0015]** Es handelt sich bei dem Hohlraumresonator um ein Bauteil, das in einem vorgegebenen Wellenlängenbereich, zum Beispiel im Mikrowellenbereich, schwingt. Wie der Begriff "Hohlraumresonator" aussagt, weist ein solcher Resonator einen Hohlraum auf, dessen Wände einen Körper bilden, der den Hohlraum in Wesentlichen umschliesst. Dieser Körper wird hierin unabhängig von seiner eigentlichen Form als Topf bezeichnet. Typischerweise hat ein solcher Hohlraum zum Beispiel die Form eines Zylinders, eines Prismas oder einer Kugel und die Wände sind aus Metall oder mit einer Metallschicht versehen, wobei das Metall oder die Metallschicht eine sehr hohe elektrische Leitfähigkeit aufweist. Besonders geeignet sind Kupfer, eine Kupferlegierung (zum Beispiel CuW), Gold oder Silber, oder ein supraleitendes Material, um einige Beispiele zu nennen.

**[0016]** Anders als bei den bisher bekannten Ansätzen, wird gemäss Erfindung ein Hohlraumresonator bereitgestellt, dessen Volumen sich bei einer Temperaturerhöhung vergrössert, respektive bei einer Temperaturabsenkung verkleinert, ohne dass dabei die Resonanzfrequenz eine stärkere Änderung erfährt. Im Folgenden werden Ausführungsbeispiele beschrieben und es wird die Wirkungsweise anhand der Ausführungsbeispiele erläutert.

**[0017]** Eine erste Ausführungsform der Erfindung ist in Fig. 2 dargestellt. Gezeigt ist eine schematische Ansicht eines Hohlraumresonators 20. Der Hohlraumresonator 20 weist einen zylinderförmigen Topf 21 mit einem Boden 21.1 und eine Abdeckung 22 auf, die zusammen einen Hohlraum-Resonanzvolumen V umschliessen. Der Hohlraumresonator 20 zeichnet sich dadurch aus, dass der Topf 21 ein erstes (metallisches) Material umfasst, das einen ersten Temperaturausdehnungskoeffizienten  $\alpha_1$  hat. Die Abdeckung 22 hingegen umfasst ein zweites (metallisches) Material, das einen zweiten Temperaturausdehnungskoeffizienten  $\alpha_2$  hat. Gemäss Erfindung ist der zweite Temperaturausdehnungskoeffizient  $\alpha_2$  grösser als der erste Temperaturausdehnungskoeffizient  $\alpha_1$ , d.h.  $\alpha_2 > \alpha_1$ . Das führt dazu, dass sich bei einer Temperaturerhöhung eine Ausdehnung des Topfes 21 und eine Verformung der Abdeckung 22 ergibt, die zusammen eine Vergrösserung des Hohlraum-Resonanzvolumens V bewirken, wenn die Abdeckung 22 nach aussen gewölbt ist (die Aussenwölbung wird sich unter den beschriebenen Bedingungen bei Temperatur-

erhöhung verstärken).

**[0018]** Im gezeigten Ausführungsbeispiel hat der Topf 21 eine zylindrische Form mit einem Radius R und einer (Resonator-)Höhe H. Als Abdeckung 22 dient ein kuppelförmiges Element, das eine Höhe  $\Delta H$  und eine Länge P hat. Der Topf 21 und die Abdeckung 22 sind rotations-symmetrisch um die Achse 23 angeordnet. Die Rotati-onssymmetrie ist von Vorteil für den Herstellprozess (Drehen), ist aber nicht wesentlich für die prinzipielle Funktionsweise der erfindungsgemässen Kompensati-on.

**[0019]** Die Resonanzfrequenz  $f_{R, TM_{010}}$  des  $TM_{010}$  Modes in einem Hohlraumresonator mit rein zylindrischem Hohlraum hängt nicht von der Höhe H des Topfes ab und ist durch folgende Gleichung gegeben:

$$f_{R, TM_{010}} = 0.38274 \cdot \frac{c}{R},$$

**[0020]** wobei c die Lichtgeschwindigkeit und R der Radius des Topfes ist. Für den hier vorliegenden Fall ( $0 < \Delta H \ll H$ ) ist die Feldverteilung ähnlich jener des  $TM_{010}$  Mode. Die oben stehende Formel gilt dabei näherungsweise, so dass sie als gute erste Abschätzung im Design-Prozess verwendet werden kann. Die Tatsache, dass die Resonanzfrequenz unabhängig von H ist, gilt ebenfalls nur für  $\Delta H = 0$ , anderenfalls ist eine gering-fügige Abhängigkeit (Effekt höherer Ordnung) der Resonanzfrequenz von der Höhe H vorhanden. Für diesen  $TM_{010}$ -ähnlichen Mode, falls der Topf 21 aus einem Metall mit einem Temperatursdehnungskoeffizienten  $\alpha_1$  gefertigt wäre, ist der Temperaturkoeffizient der Resonanzfrequenz  $-\alpha_1$ . Gemäss Erfindung wird nun eine Abdeckung 22 vorgesehen, deren Temperatursdehnungskoeffizient  $\alpha_2$  grösser ist als der erste Temperatursdehnungskoeffizient  $\alpha_1$  des Topfes 21. Das führt dazu, dass die Abdeckung sich bei einer Temperaturerhöhung nach aussen wölbt. Falls die Abdeckung 22 zum Beispiel kuppelförmig ist, wie in Fig. 2 gezeigt, so wird die "Kuppel" spitzer und es ergibt sich eine Gesamtvolumen des Hohlraums  $V'$  das grösser ist als das ursprüngliche Volumen V (wobei sich sowohl das Volumen des Topfes als auch jenes der Kuppel vergrössern).

**[0021]** Zusätzlich zur Vergrösserung des Volumens von V zu  $V'$ , ergibt sich aber auch eine Änderung der geometrischen Verhältnisse im Bereich der Abdeckung 22. Der Einfluss der Volumen- und Geometrieänderung auf die elektrischen Eigenschaften des Resonators 20 wird im Folgenden anhand der Figuren 3A und 3B erläutert. In Fig. 3A ist die Verteilung der Intensität der elektrischen Feldstärke E bei einer ersten Temperatur T gezeigt. Die Abdeckung 22 hat, wie in Fig. 2 eine Länge P und eine Höhe  $\Delta H$ . Wird die Temperatur von T auf  $T'$  erhöht, so ergibt sich die in Fig. 3B angedeutete Situation, wo sich die Abdeckung 22 etwas nach oben hin gewölbt hat. Die Länge P wird zur Länge  $P'$  und der Neigungswinkel  $\beta$  wird zu  $\beta'$  mit  $P < P'$ ,  $\Delta H < \Delta H'$  und  $\beta < \beta'$ . In Näherung nimmt dabei P mit dem Materialausdehnungskoeffizienten  $\alpha_2$  zu, während  $\Delta H$  aufgrund der Hebelwirkung viel stärker zunimmt. In der Abbildung 3B ist zu erkennen, dass sich die elektrische Feldstärke im Bereich der weiter nach aussen gewölbten Abdeckung 22 reduziert. Es entsteht im gezeigten Beispiel im Bereich der Deckelspitze eine feldarme Zone 24, da die Feldverteilung entlang der Abdeckung 22 nach aussen wandert. Diese Reduktion der elektrischen Feldstärke entspricht einer Reduktion der kapazitiven Last des Resonators 20, was wiederum eine Erhöhung der Resonanzfrequenz  $f_R$  zur Folge hat. In dem in den Figuren 3A und 3B gezeigten Beispiel beträgt das Verhältnis  $P'/R = 1.01$  und das Verhältnis in Fig. 3B  $P'/R' = 1.02$ . Bereits derart kleine geometrische Veränderungen im Bereich der Abdeckung reichen aus, um den Einfluss der Temperatur auf die Resonanzfrequenz zu reduzieren, oder bei Bedarf (Überkompensation) sogar umzukehren.

**[0022]** Um diesen Effekt der lokalen Feldstärkenreduktion ausnutzen zu können, muss, wie bereits beschrieben, der Temperatursdehnungskoeffizient  $\alpha_2$  der Abdeckung 22 grösser sein als der Temperatursdehnungskoeffizient  $\alpha_1$  des Topfes 21. Das führt dazu, dass beim Erhöhen der Temperatur von T auf  $T'$  der Radius R des Topfes 21 grösser wird und die kuppelförmige Abdeckung 22 sich weiter nach aussen wölbt. Durch die Vergrösserung des Radius R ergibt sich eine Abnahme der Resonanzfrequenz  $f_R$  und durch die stärker gewölbte Abdeckung ergibt sich eine Zunahme der Resonanzfrequenz  $f_R$ .

**[0023]** Es bildet sich gemäss Erfindung durch die Verformung der Abdeckung bei Temperaturzunahme in den verschiedenen Ausführungsformen ein zusätzliches Volumen, das dazu beiträgt, dass sich das Gesamtvolumen des Hohlraums vergrössert. Entgegen der Erwartung des Durchschnittsfachmanns führt diese Vergrösserung des Volumens aber nicht zu einer Verringerung der Resonanzfrequenz, da sich, wie beschrieben, eine geometrische Veränderungen im Bereich der Abdeckung einstellt und sich dort eine feldarme Zone ausbildet.

**[0024]** Das Prinzip der vorliegenden Erfindung wird im Folgenden anhand der Figuren 4A - 4D beschrieben, wobei es sich bei den Figuren und der folgenden Beschreibung um eine stark vereinfachte Darstellung des wirklichen Sachverhalts handelt. Bei dieser vereinfachten Darstellung wird davon ausgegangen, dass ein Hohlraumresonator als eine Kombination einer Kapazität C und einer Induktivität L angesehen werden kann, wie man der folgenden Gleichung entnehmen kann, wobei  $f_R$  die Resonanzfrequenz ist:

$$f_R = \frac{1}{2\pi\sqrt{L \cdot C}}.$$

**[0025]** In Fig. 4A ist ein konventioneller Hohlraumresonator 30 mit einem Topf 31 gezeigt, der in alle Rich-

tungen geschlossen ist. Dieser Hohlraumresonator 30 hat bei der Temperatur T ein Volumen V, eine Kapazität C und eine Induktivität L. Wird nun die Temperatur von T auf T' erhöht, so ergibt sich der in Fig. 4B gezeigte Zustand. Würde sich nur die Höhe H des Resonatortopfes 31 ändern, so bliebe die Resonanzfrequenz  $f_R$  aufgrund der Eigenschaften der TM010-Mode konstant, d. h.  $f_R = f'_R$ , denn hierbei verkleinert sich die Kapazität, d. h.,  $C' < C$  und die Induktivität vergrößert sich, d. h.,  $L' > L$ . Bei der Temperaturerhöhung vergrößert sich aber auch der Radius R des Topfes 31, was sowohl zu einer Vergrößerung der Induktivität führt, d. h.  $L' > L$  als auch zu einer Vergrößerung der Kapazität, d. h.,  $C' > C$ . Das Volumen V hat sich durch die Veränderung der Höhe H und des Radius R auf V' vergrößert, die Kapazität C' hat sich verändert, d. h.  $C' \neq C$ , und die Induktivität hat sich vergrößert, d. h.  $L' > L$ , wie bereits erwähnt. Da das Produkt aus Induktivität und Kapazität im Fall einer Höhenänderung konstant bleibt, sich jedoch im Fall einer Vergrößerung des Radius R vergrößert ( $L'C' > LC$ ), ergibt sich eine unerwünschte Verringerung der Resonanzfrequenz  $f_R$ . Eine Temperaturkompensation kann auf diesem Wege nicht erreicht werden.

**[0026]** In den Figuren 4C und 4D ist nun das Verhalten eines erfindungsgemässen Resonators 40 gezeigt. Der Resonator 40 hat eine Abdeckung 42 mit einem kegelförmigen Bereich, der sich in den gezeigten Abbildungen nach unten wölbt. Dieser Hohlraumresonator 40 hat bei der Temperatur T ein Volumen  $V_1$ , eine Kapazität  $C_1$  und eine Induktivität  $L_1$ . Die Induktivität  $L_1$  ist ungefähr gleich gross wie die Induktivität L in Fig. 4A, da das Hinzufügen einer gewölbten Abdeckung keine wesentliche H-Feldänderung und damit keine wesentliche Induktivitätsänderung hervorruft. Die Kapazität  $C_1$  ist jedoch kleiner als die Kapazität C, da sich das E-Feld durch die spitze Ausführung der Abdeckung 42 verringert.

**[0027]** Wird nun die Temperatur von T auf T' erhöht, so ergibt sich der in Fig. 4D gezeigte Zustand, wobei die Dimensionsänderungen des Resonators 40 bewusst übertrieben dargestellt worden sind. Das Volumen  $V_1$  hat sich auf  $V'_1$  vergrößert, die Kapazität  $C'_1$  ist kleiner geworden, d. h.  $C'_1 < C_1$ , und die Induktivität hat sich vergrößert, d. h.  $L'_1 > L_1$ . Es gilt auch, dass  $L'_1$  ungefähr so gross ist wie L' beim Resonator 30 (siehe Fig. 4B). Dadurch, dass sich die Kapazität verkleinert und die Induktivität vergrößert, kann die Temperaturabhängigkeit der Resonanzfrequenz nach Wunsch beeinflusst werden. Wichtig ist, dass die temperaturbedingten Änderungen von L und C getrennt voneinander durch die Konstruktion des Resonators 30 beeinflusst werden können.

**[0028]** Ein erfindungsgemässer Hohlraumresonator kann wie folgt dimensioniert werden. In einem ersten Schritt kann die Materialwahl getroffen und eine Resonanzfrequenz  $f_R$  vorgegeben werden. Der Topf kann zum Beispiel CuW und die Abdeckung CuBe umfassen. Dann werden die Dimensionen des Topfes (H und R), sowie die Abmessungen der Abdeckung (P und  $\Delta H$ )

festgelegt.

Nun kann mit einem kommerziell erhältlichen Simulationsprogramm, welches das vorliegende Eigenwertproblem für die Maxwell'schen Differentialgleichungen für die gegebene Geometrie löst, die Resonanzfrequenz  $f_R$  berechnet werden. Dabei lässt sich die Rotationssymmetrie der geometrischen Anordnung ausnutzen, was es erlaubt, genaue Simulationsergebnisse in kurzer Zeit zu erhalten. Stimmt der berechnete Wert der Resonanzfrequenz  $f_R$  nicht mit der Vorgabe überein, so können die Ausgangsgrößen (z.B. H, R und  $\Delta H$ ) modifiziert werden, um die Berechnung dann zu wiederholen. In einem nachfolgenden Schritt kann der Einfluss einer Temperaturveränderung (Erhöhung oder Reduktion der Temperatur) auf die Form des Topfes und der Abdeckung ermittelt werden. Das geschieht mittels kommerziell erhältlicher Simulationsprogramme für diese mechanische Problemstellung oder aber auf experimentellem Wege. Ausserdem können die mechanischen Spannungen in dem Topf und/oder der Abdeckung berechnet/simuliert werden. Falls die mechanischen Spannungen zu gross sein sollten, können die Ausgangsgrößen (z.B. H, R und  $\Delta H$ ) erneut modifiziert werden, um die Berechnung dann zu wiederholen. Nun kann die Abhängigkeit der Resonanzfrequenz  $f_R$  von der Temperatur berechnet/simuliert werden. Bei dieser Berechnung können Vorgaben für die mechanischen Toleranzen einfließen. Falls die Abhängigkeit der Resonanzfrequenz  $f_R$  von der Temperatur in einem vorgegebenen Bereich liegt, können die Berechnungen beendet werden, ansonsten können die Ausgangsgrößen (z.B. H, R und  $\Delta H$ ) erneut modifiziert werden, um die Berechnung dann zu wiederholen.

**[0029]** Bei geeigneter Wahl der Geometrie und der Materialien des Topfes und der Abdeckung der verschiedenen Ausführungsformen der Erfindung ergibt sich zumindest in einem vorgegebenen Temperaturbereich (z.B. Arbeitstemperatur  $\pm 50K$ ) eine Reduktion der Temperaturabhängigkeit der Resonanzfrequenz  $f_R$  oder eine komplette Kompensation oder gar eine Umkehr der Temperaturabhängigkeit (Überkompensation).

**[0030]** Die Erfindung ist besonders zum Einsatz in Schaltungen geeignet, die zum Verarbeiten von Hochleistungssignalen für die Breitbandkommunikation ausgelegt sind.

**[0031]** Ein erfindungsgemässer Resonator kann Bestandteil einer Filterschaltung sein, die einen Oszillator mit dem Resonator im Rückkopplungszweig umfasst. Durch diese Art der Anordnung wird nur eine Frequenz durchgelassen.

**[0032]** Die Schaltung kann gemäss Erfindung auf einem keramischen Substrat, zum Beispiel einem mehrlagigen LTCC (Low Temperature Cofired Ceramics) Substrat, aufgebaut sein. Ein solches Substrat kann auf einer Grundplatte sitzen, die wiederum den erfindungsgemässen Resonator trägt. Vorzugsweise haben das keramische Substrat und die Grundplatte einen kompatiblen (d.h., nur geringfügig unterschiedlichen) Tempe-

raturausdehnungskoeffizienten, um einen stabilen Verbund bilden zu können.

**[0033]** Bevorzugt ist eine Ausführungsform einer Schaltung 50, bei der der Topf 51 des Resonators in einer Grundplatte 53 der Schaltung ausgebildet ist, wie in Fig. 5 gezeigt. Die Grundplatte 53 ist mit einem Substrat 54 verbunden und kann als Wärmesenke dienen, z.B. als Wärmesenke für elektronische Bauteile, welche auf der entgegengesetzten Seite des Substrats 54 montiert sind. In das Substrat 54 und/oder auf dem Substrat 54 sind Elemente der Schaltung 50 integriert (diese Elemente sind nicht gezeigt). Der Topf 51 ist im gezeigten Beispiel zylinderförmig. Im Bereich des Topfbodens ist eine leitende Fläche 57 vorgesehen, die in Fig. 5 als dicke metallische Schicht angedeutet ist. Am gegenüberliegenden Ende des Topfes 51 ist eine Abdeckung 52 vorgesehen. Diese Abdeckung 52 umfasst einen äusseren ringförmigen Bereich 52.1, der im Wesentlichen parallel zu leitenden Fläche 57 verläuft. Im Bereich um die Zylinderachse 58 herum ist die Abdeckung 52.2 kegelförmig nach unten gewölbt. Es sind jeweils ein Koppelloch 55 zum Einkoppeln einer elektromagnetischen Welle und ein Koppelloch 56 zum Auskoppeln der Welle vorgesehen. Alternativ könnte diese Ein- und Auskoppelung auch durch ein- und dasselbe Koppelloch erfolgen. Typischerweise sind auf dem Substrat 54 Streifenleiter angeordnet, um die Welle zur Einkoppelstelle 55 zu führen und auf der anderen Seite 56 wieder aufzunehmen und weiterzuleiten. Die Streifenleiter sind in Fig. 5 nicht dargestellt.

**[0034]** Vorzugsweise wird in einer erfindungsgemässen Schaltung das erste Material so gewählt ist, dass der Temperatureausdehnungskoeffizient  $\alpha_1$  der Grundplatte zu dem Temperatureausdehnungskoeffizienten  $\alpha_3$  des Substrates passt.

**[0035]** Eine weitere Schaltung 60 gemäss Erfindung, ist in Fig. 6 in Form eines Blockdiagramms dargestellt. Es handelt sich um eine Oszillatorschaltung 60 mit einem erfindungsgemässen Resonator 80, der einen Topf 61 und eine Abdeckung 62 aufweist. Es sind eine Einkoppelstelle 66 und eine Auskoppelstelle 65 im Boden des Topfes 61 vorgesehen. Das ausgekoppelte Signal wird in eine Leitung eingekoppelt, die zu einem Verstärker (Low Noise Amplifier) 63 führt, wo das Signal verstärkt wird. In der gezeigten Ausführungsform ist ein optionales Dämpfungsglied 64 mit zwei PIN-Dioden vorgesehen, das die Leistung durch "clipping" begrenzt. Es kann ein Phasenstellglied 67 vorgesehen sein, um die Phasenlage statisch einstellen zu können. Auch das Phasenstellglied 67 ist optional. Ausgangsseitig ist ein weiterer Verstärker 68 vorgesehen, um ausreichend grosse Ausgangssignalleistung zu erzeugen. Dieser zweite Verstärker 68 ist üblicherweise auf eine gute Abführung der Verlustwärme angewiesen, was durch die vorliegende Struktur (mit massiver, gut wärmeleitender Bodenplatte 53, Fig. 5) gewährleistet werden kann. Auf der Ausgangsseite vom Verstärker 68 liegt der Ausgang (OUT) der Oszillatorschaltung. An diesem Ausgang

wird der Schaltung 60 Leistung entnommen. Ein geringer Teil der Leistung wird über die Einkoppelstelle 66 in den Resonator 80 geführt. Der Resonator 80 liegt somit im Rückkopplungspfad der Schaltung 60.

**[0036]** Um Temperaturverschiebungen der Oszillationsfrequenz der Oszillatorschaltung 60 auszugleichen, die durch Bauteile der Schaltung 60 verursacht werden können, kann die Temperaturkompensation des Resonators 80 so ausgelegt sein, dass der Resonator 80 an sich eine Unter- oder Überkompensation zeigt.

**[0037]** In der bevorzugten Ausführungsform, die in Fig. 6 gezeigt ist, umfasst die Schaltung 60 ein elektrisches Bauteil 64, um die Leistung zu begrenzen. Damit kann ein stabiler Schwingungszustand erreicht werden. Leistung kann aus der Schaltung 60 an einer geeigneten Stelle (mit OUT bezeichnet) ausgekoppelt werden, wobei das Auskoppeln kapazitiv, induktiv oder direkt erfolgen kann. Wichtig ist, dass die Gesamtverstärkung in der Schaltung 60 ausreicht und die Phasenlage stimmt, damit die Oszillation einsetzt und die Schaltung 60 stabil schwingt.

**[0038]** Eine weitere Ausführungsform eines Hohlraumresonators 70, gemäss Erfindung, ist in Fig. 7 gezeigt. Der Resonator 70 weist einen zylinderförmigen Topf 71 und eine Abdeckung 72 auf, die so ausgelegt sind, dass die erfindungsgemässe Temperaturkompensation zum Einsatz kommt. Die Wände 71.1 des Topfes 71, die Grundplatte 74 (zum Beispiel in Form einer einseitig metallisierten Keramikplatte) und die Abdeckung 72 umschliessen zusammen ein Hohlraum-Resonanzvolumen. Der Topf 71 umfasst ein erstes (metallisches oder metallisiertes) Material, das einen ersten Temperatureausdehnungskoeffizienten  $\alpha_1$  hat, der vorzugsweise im Bereich zwischen 4 ppm/K und 10 ppm/K liegt. Die Abdeckung 72 umfasst ein zweites (metallisches oder metallisiertes) Material, das einen zweiten Temperatureausdehnungskoeffizienten  $\alpha_2$  hat, der vorzugsweise im Bereich zwischen 10 ppm/K und 20 ppm/K liegt. Damit ist der zweite Temperatureausdehnungskoeffizient  $\alpha_2$  grösser ist als der erste Temperatureausdehnungskoeffizient  $\alpha_1$ . Bei einer Temperaturerhöhung ergibt sich eine Ausdehnung des Topfes 71, wie durch die nach aussen weisenden Pfeile 76 angedeutet und eine Verformung der Abdeckung 72, wie durch die Pfeile 75 und 77 angedeutet. Zusammengenommen bewirken diese Ausdehnungen/Verformungen eine Vergrösserung des Hohlraum-Resonanzvolumens, wobei die Resonanzfrequenz in einem vorgegebenen (Toleranz-)Bereich bleibt.

**[0039]** Im Folgenden sind weitere beispielhafte Angaben zu dem Resonator 70 gemacht. Der Radius R des Topfes 71 liegt typischerweise zwischen 2.5 mm und 10 mm. Im gezeigten Ausführungsbeispiel beträgt der Radius 4 mm. Die Höhe H beträgt typischerweise zwischen 2 mm und 20 mm. Im gezeigten Ausführungsbeispiel beträgt die Gesamthöhe ca. 4 mm (Gesamthöhe = H +  $\Delta H$ ). Die Abdeckung 72 kann einen umlaufenden Kragen 72.1 aufweisen, um die Abdeckung 72 mit der Wand

71.1 des Topfes 71 verbinden zu können. Zu diesem Zweck kann der Topf 71 im oberen Bereich einen grösseren Radius aufweisen als im unteren Bereich. Dadurch ergibt sich eine umlaufende Stufe 71.2 auf die die Abdeckung 72 aufgesetzt werden kann. Die Abdeckung 72 weist im gezeigten Ausführungsbeispiel eine Verdickung 72.2 im Zentrum auf. Im Bereich der Verdickung 72.2 ist eine durchgehende Bohrung vorgesehen, die axial verläuft. Durch diese Bohrung hindurch kann ein dielektrischer Stab 73 in den Hohlraum des Resonators 70 eingeführt werden. Mit diesem Stab 73, der optional ist, kann die Resonanzfrequenz in gewissen Grenzen justiert werden, da der Stab 73 je nach Lage im Hohlraum die effektive Permittivität ändert.

**[0040]** Der Resonator-Topf kann gemäss Erfindung gebohrt, gefräst, gedreht, gegossen, tiefgezogen oder anders gefertigt werden. Vorzugsweise werden die Innenwände des Topfes nachbearbeitet, um eine Oberfläche mit geringer Oberflächenrauigkeit zu erzeugen. Besonders als Nachbearbeitung geeignet ist das Rollieren, Schleifen, Polieren, Beschichten.

**[0041]** Besonders vorteilhaft ist eine Ausführungsform bei der die Wände des Topfes eine geringe Rauigkeit aufweisen und vorzugsweise mit Gold und/oder Silber beschichtet sind.

**[0042]** In einer besonders vorteilhaften Ausführungsform wird durch spezielle Massnahmen sicher gestellt, dass die Abdeckung und der Topf leitend miteinander verbunden sind. Diese elektrische Verbindung kann auf dem gesamten Umfang der Abdeckung oder aber auf einem wesentlichen Teil dieses Umfanges vorliegen. Vorzugsweise wird die Abdeckung mit dem Topf durch eine Löt- oder Schweissverbindung elektrisch und mechanisch verbunden.

**[0043]** Eine weitere Ausführungsform zeichnet sich dadurch aus, dass 1a: anstelle eines Topfes mit nur einer Abdeckung ein Topf (zum Beispiel aus einer prismatischen oder runden Röhre gefertigt) verwendet wird, der auf beiden Seiten Abdeckungen aufweist. In diesem Fall können beide Abdeckungen mit dem beschriebenen Funktionsprinzip zur Kompensation beitragen.

**[0044]** Es wird als ein Vorteil der Erfindung angesehen, dass bei Verwendung der  $TM_{010}$ -Mode die Höhe H des Topfes frei gewählt werden kann. Es muss hier nicht wie bei Hohlleiter-Resonatoren die Bedingung erfüllt sein, dass die Höhe des Resonators der halben Wellenlänge entspricht. Man gewinnt durch die Erfindung einen zusätzlichen Freiheitsgrad beim Festlegen der Dimensionen des Resonators. Die (Resonator-) Höhe H kann so gewählt werden, dass sich ein grosser Gütefaktor Q ergibt. Gemäss Erfindung kann zum Beispiel ein Gütefaktor von 2500 erreicht werden (bei  $f_R \sim 30$  GHz und Gold-Metallisierung an der Oberfläche von Topf und Abdeckung).

**[0045]** Vorzugsweise ist die erfindungsgemässe Abdeckung kuppel-, dom- oder kegel-artig geformt und bildet - aus Richtung des Topfes betrachtet - eine Kavität. Es sind aber auch andere Formen denkbar.

**[0046]** Die vorliegende Erfindung wird als eine echte Alternative zu den Resonatoren angesehen, die eingangs als "clamped cavity" Resonatoren bezeichnet wurden. Bei der vorliegenden Erfindung handelt es sich um eine echte Verbesserung des re-entrant Ansatzes, der im Zusammenhang mit den Figuren 1A und 1B beschrieben wurde. Ein Vorteil gegenüber den re-entrant Resonatoren ist die wesentlich höhere Güte. Als ein Vorteile gegenüber "clamped cavity" Resonatoren wie auch gegenüber re-entrant Resonatoren wird angesehen, dass mehr Freiheitsgrade in der Auswahl von Materialien und Form zur Verfügung stehen und dass eine einfachere Montage möglich ist. Ausserdem ist eine geringere Empfindlichkeit gegenüber Fertigungstoleranzen vorhanden.

**[0047]** Je nach Ausführungsform der Erfindung lässt sich ein Resonator realisieren, der eine Abhängigkeit der Resonanzfrequenz von der Temperatur hat, die im Bereich zwischen -10 ppm/K und +10 ppm/K liegt. Die Abhängigkeit der Resonanzfrequenz  $f_R$  kann in einem vorgegebenen Rahmen je nach Anwendung festgelegt werden und durch entsprechende Auslegung des Resonators kann dieser Rahmen gemäss Vorgabe eingehalten werden.

**[0048]** Der durch die vorliegende Erfindung erreichbare Kompensationseffekt wird durch die Wahl der Materialien und durch die Geometrie quantitativ bestimmt. Vorzugsweise wird für den Topf ein Material verwendet, das einen Ausdehnungskoeffizienten  $\alpha_1$  zwischen 4 ppm/K und 10 ppm/K aufweist (zum Beispiel eine Kupfer-Wolfram Legierung, CuW, mit  $\alpha_1 = 6.1$  ppm/K). Die Abdeckung dagegen umfasst ein Material, das vorzugsweise einen Ausdehnungskoeffizienten  $\alpha_2$  zwischen 10 ppm/K und 20 ppm/K aufweist (zum Beispiel eine andere Kupferlegierung wie Kupfer-Berillium, CuBe, mit  $\alpha_2 = 17.0$  ppm/K). Besonders vorteilhaft sind Ausführungsformen, bei denen der zweite Temperaturexpansionskoeffizient  $\alpha_2$  zwischen 1.1 und 5 mal grösser ist als der erste Temperaturexpansionskoeffizient  $\alpha_1$ .

**[0049]** Die erfindungsgemässen Resonatoren haben den Vorteil, dass ihr Gütefaktor Q nicht durch die Temperaturkompensationsmassnahmen beeinträchtigt wird, wie das zum Beispiel bei den "re-entrant Resonatoren" der Fall ist.

**[0050]** Die Erfindung erlaubt es Resonatoren bereit zu stellen, die einen hohen Gütefaktor Q und niedrige Verluste aufweisen. Derartige Resonatoren sind besonders gut für Oszillatorschaltungen mit niedrigem Rauschen (low-noise) geeignet. In (aus mehreren Resonatoren zusammengesetzten) Filterschaltungen erlauben hochgütige Resonatoren die Realisierung von steifflanken, d.h., besonders frequenzselektiven, Filtern und / oder von Filtern mit besonders niedriger Einfügedämpfung im Durchlass-Frequenzbereich.

**[0051]** Es ist ein weiterer Vorteil der Erfindung, dass dasselbe Wirkprinzip auch auf andere Resonanzmoden  $TE_{m0m}$  in einem rechteckförmigen Hohlraum oder  $TM_{0n0}$  (mit  $m, n > 0$  und ganzzahlig) in einem kreisförmigen

migen Hohlraum angewandt werden kann. Viele dieser Resonanzmoden führen zu mechanisch aufwändigeren (z.B. rechteckigen anstelle kreisrunden) und toleranzempfindlicheren Strukturen. Der Vorteil liegt aber, wie beschrieben, in der Erreichbarkeit höherer Güten (niedrigerer Verluste).

## Patentansprüche

1. Hohlraumresonator (20; 40; 80; 70) mit Temperaturkompensation, der einen Topf (21; 41; 51; 61; 71) und eine Abdeckung (22; 42; 52.1, 52.2; 62; 72) umfasst, die zusammen ein Hohlraum-Resonanzvolumen (V) umschliessen, **dadurch gekennzeichnet, dass**

- der Topf (21; 41; 51; 61; 71) ein erstes Material umfasst, das einen ersten Temperaturausdehnungskoeffizienten ( $\alpha_1$ ) hat,
- die Abdeckung (22; 42; 52.1, 52.2; 62; 72) ein zweites Material umfasst, das einen zweiten Temperaturausdehnungskoeffizienten ( $\alpha_2$ ) hat,

wobei der zweite Temperaturausdehnungskoeffizient ( $\alpha_2$ ) grösser ist als der erste Temperaturausdehnungskoeffizient ( $\alpha_1$ ) und sich bei einer Temperaturerhöhung eine Ausdehnung des Topfes (21; 41; 51; 61; 71) und eine Verformung der Abdeckung (22; 42; 52.1, 52.2; 62; 72) ergibt, die zusammen eine Vergrößerung des Hohlraum-Resonanzvolumens (V) bewirken.

2. Hohlraumresonator (20; 40; 80; 70) nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Hohlraumresonator (20; 40; 80; 70) in Betrieb eine Resonanzfrequenz ( $f_R$ ) aufweist und die Vergrößerung des Hohlraum-Resonanzvolumens (V) bei einer Temperaturerhöhung so erfolgt, dass die Resonanzfrequenz ( $f_R$ ) in einem vorgegebenen Rahmen stabil bleibt, oder dass die Resonanzfrequenz ( $f_R$ ) einen vorgegebenen Temperaturkoeffizienten aufweist, der ungleich Null ist.

3. Hohlraumresonator (20; 40; 80; 70) nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Resonanzfrequenz ( $f_R$ ) mindestens eines Resonanz-Modus stabil bleibt.

4. Hohlraumresonator (20; 40; 80; 70) nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** sich durch die Verformung der Abdeckung (22; 42; 52.1, 52.2; 62; 72) eine lokale Reduktion einer elektrischen Feldstärke ( $\vec{E}$ ) in dem Hohlraum-Resonanzvolumen ergibt.

5. Hohlraumresonator (20; 40; 80; 70) nach Anspruch

1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** sich durch die Verformung der Abdeckung (22; 42; 52.1, 52.2; 62; 72) eine Reduktion einer kapazitiven Last des Hohlraumresonators (20; 40; 80; 70) ergibt.

6. Hohlraumresonator (20; 40; 80; 70) nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** sich einerseits die Abdeckung (22; 42; 52.1, 52.2; 62; 72) durch die Verformung der Abdeckung (22; 42; 52.1, 52.2; 62; 72) aufwölbt und sich **dadurch** eine Erhöhung der Resonanzfrequenz ( $f_R$ ) ergibt und sich andererseits der Durchmesser des Topfes (21; 41; 51; 61; 71) durch die Ausdehnung des Topfes (21; 41; 51; 61; 71) vergrößert und sich **dadurch** eine Reduzierung der Resonanzfrequenz ( $f_R$ ) ergibt, wobei sich die Erhöhung der Resonanzfrequenz ( $f_R$ ) und die Reduzierung der Resonanzfrequenz ( $f_R$ ) im Wesentlichen ausgleichen, um so in einem Temperaturbereich zu gewährleisten, dass die Resonanzfrequenz ( $f_R$ ) im wesentlichen stabil bleibt.

7. Hohlraumresonator (20; 40; 80; 70) nach einem der Ansprüche 1 bis 5, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Abdeckung (22; 42; 52.1, 52.2; 62; 72) kuppel- oder kegel-artig geformt ist und aus Richtung des Topfes (21; 41; 51; 61; 71) betrachtet eine Kavität bildet.

8. Hohlraumresonator (20; 40; 80; 70) nach Anspruch 1, 2 oder 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** es sich um einen Hohlraumresonator (20; 40; 80; 70) handelt, der zur Integration in eine metallische Grundplatte eines keramischen Substrates (54; 74), vorzugsweise die Grundplatte einer LT-CC-Mehrschicht-Keramik, geeignet ist.

9. Hohlraumresonator (20; 40; 80; 70) nach Anspruch 8, **dadurch gekennzeichnet, dass** das erste Material so gewählt ist, dass der erste Temperaturausdehnungskoeffizienten ( $\alpha_1$ ) der Grundplatte zu dem Temperaturausdehnungskoeffizienten ( $\alpha_3$ ) des Substrates (54; 74) passt.

10. Hohlraumresonator (20; 40; 80; 70) nach Anspruch 1, 2 oder 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Hohlraumresonator (20; 40; 80; 70) einen Gütefaktor (Q) hat, der im wesentlichen durch die Resonatorhöhe (H) des Topfes (21; 41; 51; 61; 71) bestimmt ist.

11. Hohlraumresonator (20; 40; 80; 70) nach Anspruch 1, 2 oder 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Topf (21; 41; 51; 61; 71) eine Kupferlegierung, vorzugsweise eine Kupfer-Wolfram Legierung (CuW), und die Abdeckung (22; 42; 52.1, 52.2; 62; 72) eine andere Kupferlegierung, vorzugsweise eine Kupfer-Berillium (CuBe) umfasst.



12. Hohlraumresonator (20; 40; 80; 70) nach Anspruch 1, 2 oder 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** der zweite Temperatúrausdehnungskoeffizient ( $\alpha_2$ ) zwischen 1.1 und 5 mal grösser ist als der erste Temperatúrausdehnungskoeffizient ( $\alpha_1$ ). 5
13. Hohlraumresonator (20; 40; 80; 70) nach Anspruch 1, 2 oder 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Topf (21; 41; 51; 61; 71) inwendig eine geringe Rauigkeit aufweist und vorzugsweise mit Gold und/oder Silber beschichtet ist. 10
14. Hohlraumresonator (20; 40; 80; 70) nach Anspruch 1, 2 oder 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** Mittel (73) zum Beeinflussen der Resonanzfrequenz vorgesehen sind, die vorzugsweise partiell in das Hohlraum-Resonanzvolumen hineinragen und dort die effektive Permittivität ändern. 15
15. Hohlraumresonator (20; 40; 80; 70) nach Anspruch 1, 2 oder 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** Mittel (55, 56; 65, 66) zum Ein- und Auskoppeln einer elektro-magnetischen Welle vorgesehen sind, wobei vorzugsweise je ein Koppelloch zum Ein- und Auskoppeln vorgesehen ist. 20  
25
16. Verwendung eines Hohlraumresonators (20; 40; 80; 70) nach einem der Ansprüche 1 bis 15 in einem Mikrowellensystem (50; 60), wobei der Hohlraumresonator (20; 40; 80; 70) Teil einer Oszillatorschaltung ist. 30
17. Oszillatorschaltung (50; 60) **dadurch gekennzeichnet, dass** ein Hohlraumresonator (20; 40; 80; 70) nach einem der Ansprüche 1 bis 15 Teil der Oszillatorschaltung (50; 60) ist. 35
18. Oszillatorschaltung (50; 60) nach Anspruch 17, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Oszillatorschaltung (50; 60) in oder auf ein keramisches Substrat (54; 74), vorzugsweise eine LTCC-Mehrschicht-Keramik, integriert ist. 40
19. Oszillatorschaltung (50; 60) nach Anspruch 18, **dadurch gekennzeichnet, dass** ein Teil der Oszillatorschaltung (50; 60) auf einer Seite des keramischen Substrates (54; 74) und der Hohlraumresonator (20; 40; 80; 70) auf einer anderen Seite des keramischen Substrates (54; 74) angeordnet sind. 45  
50

55

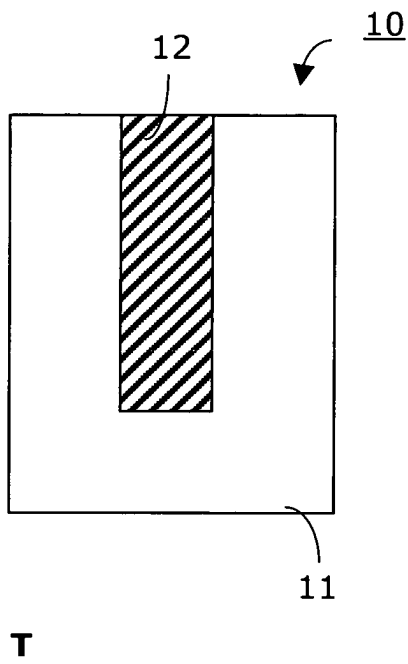


Fig. 1A

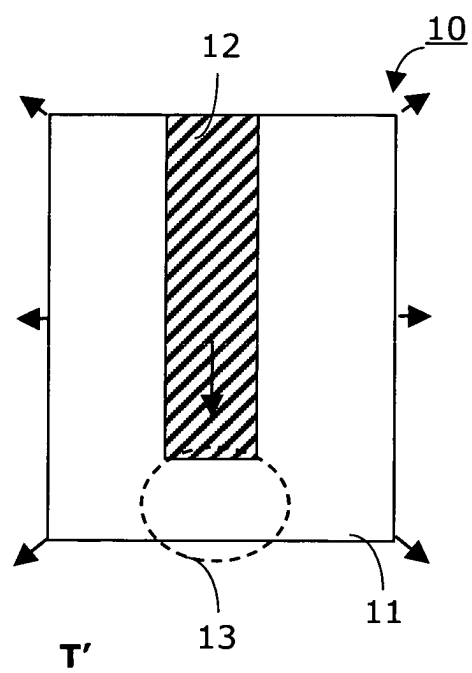


Fig. 1B

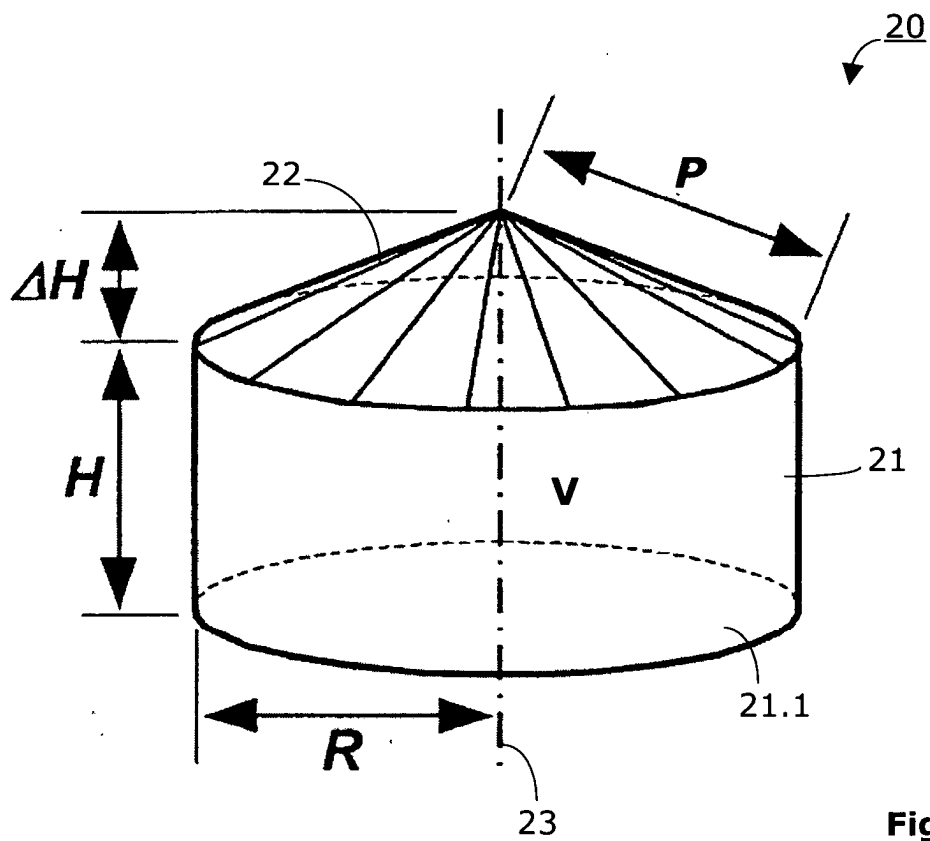
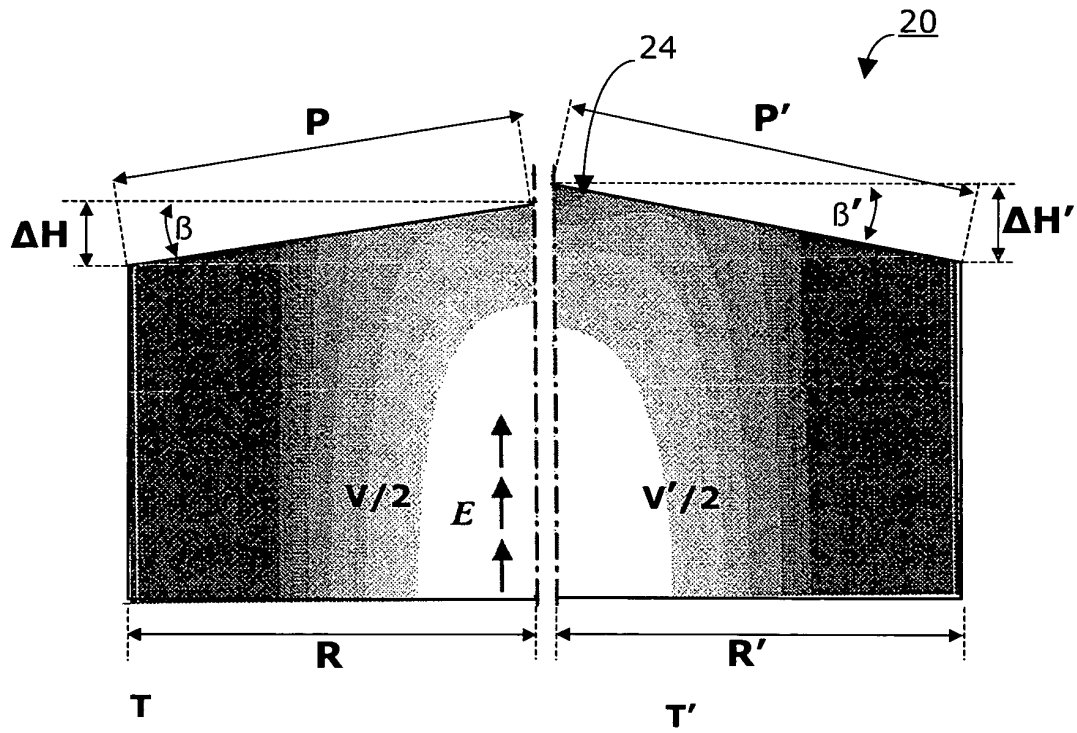
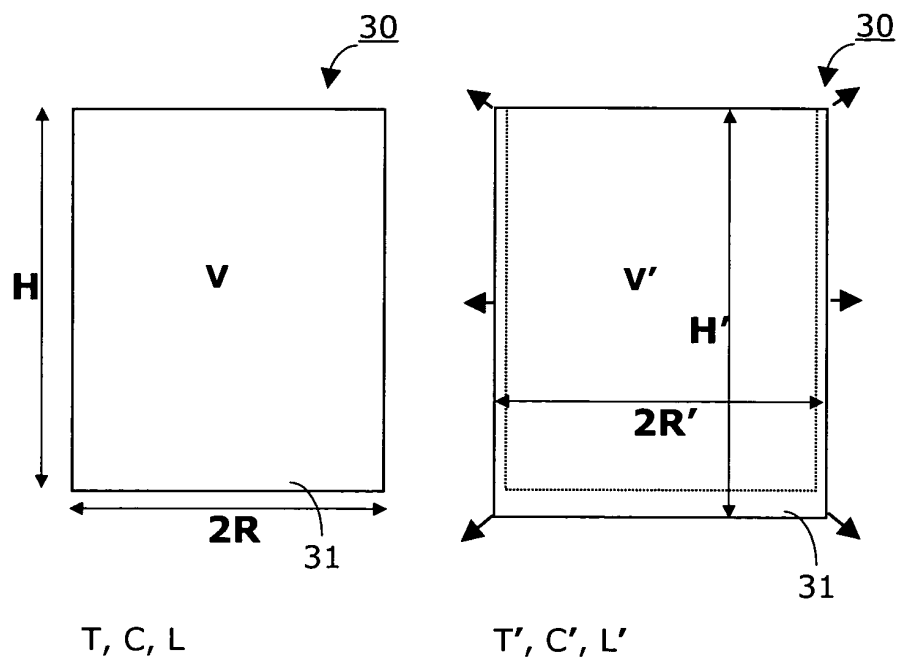


Fig. 2



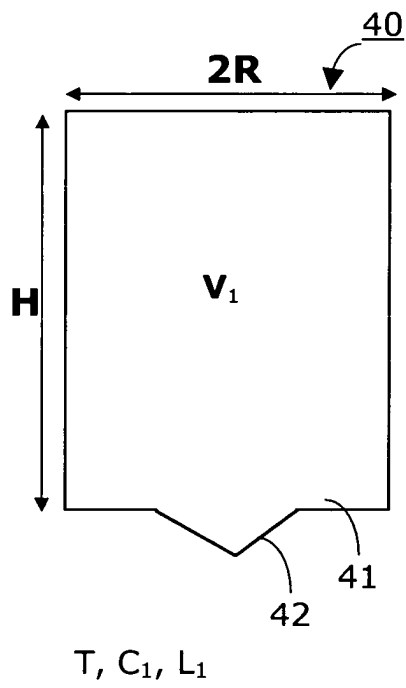
**Fig. 3A**

**Fig. 3B**

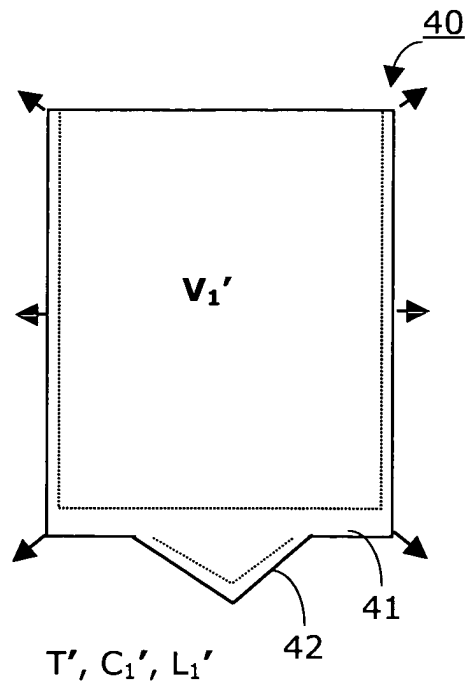


**Fig. 4A**

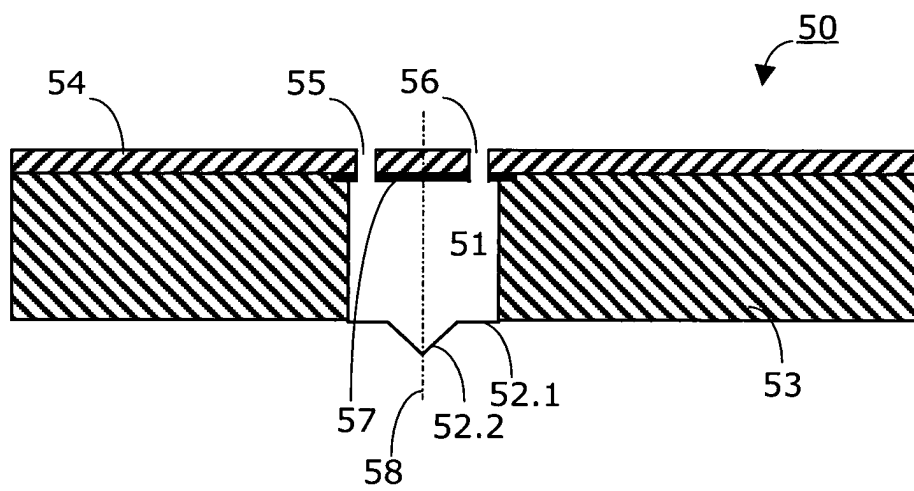
**Fig. 4B**



**Fig. 4C**



**Fig. 4D**



**Fig. 5**

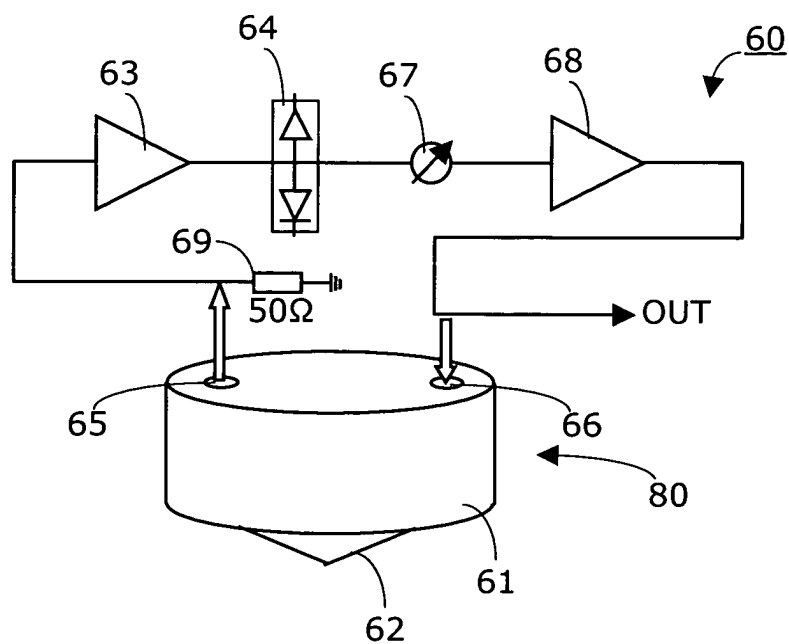


Fig. 6

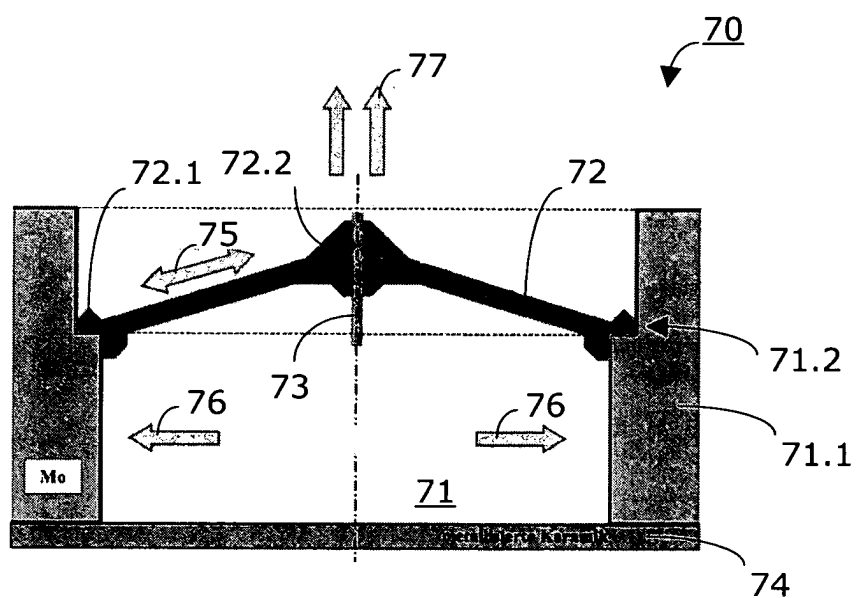


Fig. 7



Europäisches  
Patentamt

# EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung  
EP 04 01 3104

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (Int.Cl.7)
X	US 5 867 077 A (LUNDQUIST STEVEN BARTON) 2. Februar 1999 (1999-02-02) * Spalte 1, Zeile 5 - Zeile 10 * * Spalte 2, Zeile 13 - Zeile 55; Abbildung 1 * * Spalte 4, Zeile 45 - Spalte 5, Zeile 25 *	1-6,10, 12,13	H01P7/06
Y		7-9,11, 14-19	
Y	----- US 3 202 944 A (GRANDE VINCENT J) 24. August 1965 (1965-08-24) * Spalte 2, Zeile 15 - Zeile 35 * * Spalte 6, Zeile 54 - Zeile 74; Abbildung 6 *	7	
Y	----- US 6 356 172 B1 (JOKIO KALLE ET AL) 12. März 2002 (2002-03-12) * Spalte 1, Zeile 61 - Zeile 64 * * Spalte 2, Zeile 35 - Zeile 57; Abbildung 1 * * Spalte 3, Zeile 13 - Zeile 34 *	8,9,11, 16-19	
Y	----- US 4 706 053 A (GIAVARINI ANDREA) 10. November 1987 (1987-11-10) * Spalte 2, Zeile 9 - Zeile 42; Abbildungen 1,2 * ----- -/--	14,15	H01P H03B
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort <b>Den Haag</b>		Abschlußdatum der Recherche <b>26. November 2004</b>	Prüfer <b>Pastor Jiménez, J-V</b>
KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie A : technologischer Hintergrund O : mündliche Offenbarung P : Zwischenliteratur		T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E : älteres Patentdokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist D : in der Anmeldung angeführtes Dokument L : aus anderen Gründen angeführtes Dokument & : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument	

1  
EPO FORM 1503 03.82 (P04C03)



Europäisches  
Patentamt

EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung  
EP 04 01 3104

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (Int.Cl.7)
A	SONG I ET AL: "PHASE NOISE ENHANCEMENT OF THE GAAS HIGH ELECTRON MOBILITY TRANSISTORS USING MICROMACHINED CAVITY RESONATORS AT KA-BAND" JAPANESE JOURNAL OF APPLIED PHYSICS, PUBLICATION OFFICE JAPANESE JOURNAL OF APPLIED PHYSICS. TOKYO, JP, Bd. 38, Nr. 6A/B, PART 2, 15. Juni 1999 (1999-06-15), Seiten L601-L602, XP000902417 ISSN: 0021-4922 * Seite L601, linke Spalte, Zeile 20 - Zeile 35 *	16-19	
X	US 6 433 656 B1 (DAMASCHKE JUERGEN ET AL) 13. August 2002 (2002-08-13) * Spalte 1, Zeile 5 - Zeile 28 * * Spalte 1, Zeile 57 - Zeile 59 * * Spalte 3, Zeile 14 - Zeile 50; Abbildung 1 * * Spalte 4, Zeile 41 - Zeile 55; Abbildung 3 *	1-6	RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (Int.Cl.7)
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort <b>Den Haag</b>		Abschlußdatum der Recherche <b>26. November 2004</b>	Prüfer <b>Pastor Jiménez, J-V</b>
KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie A : technologischer Hintergrund O : mündliche Offenbarung P : Zwischenliteratur T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E : älteres Patentdokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist D : in der Anmeldung angeführtes Dokument L : aus anderen Gründen angeführtes Dokument & : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument			

1  
EPO FORM 1503 03.82 (P04C03)

**ANHANG ZUM EUROPÄISCHEN RECHERCHENBERICHT  
ÜBER DIE EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG NR.**

EP 04 01 3104

In diesem Anhang sind die Mitglieder der Patentfamilien der im obengenannten europäischen Recherchenbericht angeführten Patentdokumente angegeben.

Die Angaben über die Familienmitglieder entsprechen dem Stand der Datei des Europäischen Patentamts am  
Diese Angaben dienen nur zur Unterrichtung und erfolgen ohne Gewähr.

26-11-2004

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
US 5867077 A	02-02-1999	CA 2187829 A1	16-10-1997
US 3202944 A	24-08-1965	DE 1212602 B	17-03-1966
		FR 1355100 A	13-03-1964
		GB 1020043 A	16-02-1966
US 6356172 B1	12-03-2002	AU 7680400 A	16-07-2001
		EP 1250722 A1	23-10-2002
		WO 0150544 A1	12-07-2001
US 4706053 A	10-11-1987	IT 1185323 B	12-11-1987
		AU 591135 B2	30-11-1989
		AU 5927186 A	05-02-1987
		CN 86105853 A ,B	28-01-1987
		DE 3688158 D1	06-05-1993
		DE 3688158 T2	02-09-1993
		EP 0211455 A2	25-02-1987
		JP 2011316 C	02-02-1996
		JP 7048607 B	24-05-1995
		JP 62026903 A	04-02-1987
		NO 862891 A ,B,	30-01-1987
		ZA 8605420 A	25-03-1987
US 6433656 B1	11-07-2002	DE 19859028 A1	29-06-2000
		EP 1014467 A2	28-06-2000
		US 2002089398 A1	11-07-2002

EPO FORM P0461

Für nähere Einzelheiten zu diesem Anhang : siehe Amtsblatt des Europäischen Patentamts, Nr.12/82