

温度自动补偿信道滤波器用微波介质材料的研究

王依琳, 赵梅瑜, 李 蔚, 吴文骏

(中国科学院上海硅酸盐研究所, 上海 200050)

摘要:作为介质加载同轴谐振腔滤波器用介质材料,其最重要的性能指标是具有能充分补偿谐振腔谐振频率温度系数的材料谐振频率温度系数.作者就这一核心问题,对 $(\text{Zr}_{1-x}\text{Sn}_x)\text{TiO}_3$ 微波介质材料的谐振频率温度系数的调节和品质因数 Q 值的提高进行了研究,当 $(\text{Zr}_{1-x}\text{Sn}_x)\text{TiO}_3$ 微波介质材料的谐振频率温度系数调节到 $10.66\text{ppm}/^\circ\text{C}$ 时,滤波器的频率漂移在 $-40\sim 85^\circ\text{C}$ 温度范围内可控制在 500kHz 以下.同时,当材料的 Q 值达到 $9000(5\text{GHz})$ 以上时,滤波器通带波形的矩形系数得到明显改善,选择性能达到使用要求.

关键词:滤波器;微波介质陶瓷材料;温度补偿

中图分类号: TN713

文献标识码: A

1 引言

移动通讯基站在收发用户信号时,都要通过滤波器将信道外的干扰信号控制到允许的电平,以免对邻近信道构成干扰.对于这类大功率信号微波滤波器,通常采用大尺寸的镀银同轴腔结构,以实现尽可能高的 Q 值来减小插入损耗,提高选择性能.用于新一代移动通讯基站的滤波器为适应基站更强大的传输功能和体积重量控制标准,需要做到选择性能更好,尺寸更小.介质加载同轴谐振腔滤波器由于采用了高 Q 值、高介电常数的微波介质陶瓷材料,使滤波器的尺寸大大减小,而 Q 值则可提高数倍.更为重要的是,在一定的温度范围内陶瓷介质材料可以对金属腔体因温度变化所产生的频率漂移作自动补偿,使得滤波器的频率漂移在 $-25\sim 85^\circ\text{C}$ 温度区间,可控制在 500kHz 以下.

微波介质陶瓷材料具有高的介电常数、高的 Q 值及低的谐振频率温度系数,作为介质加载同轴谐振腔滤波器用介质材料,其最重要的性能指标是具有能充分补偿谐振腔谐振频率温度系数的材料谐振频率温度系数.我们围绕这一核心问题开展了系统的材料研究:运用材料组份设计调节材料的谐振频率温度系数,通过掺杂和工艺改良提高材料的 Q 值,研制出了符合温度自动补偿要求,具有高 Q 值的微波介质陶瓷元件.

2 实验过程

选用为介电常数 39 的 $\text{ZrO}_2\text{-SnO}_2\text{-TiO}_2$ 系统,该系统的介质谐振频率温度系数为 $\pm 5\text{ppm}/^\circ\text{C}$, Q 值在 5GHz 时约为 9000 左右.采用高纯 ZrO_2 (江西)、 TiO_2 (江苏)、 SnO_2 (日本),用固相合成法制备 $\text{Zr}_{1-x}\text{Sn}_x\text{TiO}_4$ ($x=0.15\sim 0.25$) 粉体,按常规功能陶瓷制备工艺制备相关尺寸及形状的陶瓷元件和 $\phi 12\times 6$ 的圆柱状样品.用安捷伦的 E8363A 网络分析仪,以 TE₀mn 圆电模式的介质谐振器法测量圆柱状样品的复介电常数及谐振频率温度系数,测量的温度范围为 $-25\sim 85^\circ\text{C}$.相应的陶瓷元件安装在同轴谐振腔

收稿日期: 2005-09-01

作者简介: 王依琳(1958-),女,学士,高级工程师. E-mail: wyl@mail.sic.ac.cn

内,测量谐振器在 25~85℃ 温度范围内的谐振频率漂移.

3 结果和讨论

3.1 材料谐振频率温度系数与材料组成

通常用于微波介质谐振器的 $(\text{Zr}_{1-x}\text{Sn}_x)\text{TiO}_3$ 陶瓷材料具有优良的微波介电性能,谐振频率温度系数几乎为零,但是当它作为同轴谐振腔加载介质时,其谐振频率温度系数必须大于零,且大小应与金属腔的设计相匹配,当环境温度变化时,能有效地补偿金属腔体热胀冷缩造成的频率漂移.实验表明,当介质材料的谐振频率温度系数为 8~10ppm/℃ 时,滤波器的频率漂移在 -40~85℃ 温度范围内可控制在 500kHz 以下.

表 1 数据显示,Zr/Sn 比和掺杂元素对谐振频率温度系数都有一定的影响.当 Zr/Sn 比变大时材料的谐振频率温度系数变大,但此时材料的 Q 值有所下降.如 BW-1 和 E9-1 样品,掺杂物相同,由于 Zr/Sn 比后者较前者大,后者谐振频率温度系数亦明显变大的同时 Q 则明显下降.

材料的谐振频率温度系数 τ_f 值在大小很大程度上取决于材料的晶相组成微波介质陶瓷的谐振频率温度系数 τ_f 与材料的介电常数温度系数 τ_ϵ 和热膨胀系数 α 有如下关系

$$\tau_f = -1/2\tau_\epsilon - \alpha_l \quad (1)$$

其中陶瓷材料热膨胀系数 α 一般小于 10ppm/℃,因此, τ_f 主要取决于 τ_ϵ . τ_ϵ 则与晶格几何形状及质点极化率有关,Zr⁴⁺ 与 Sn⁴⁺ 的半径比约为 1.22,当 Zr/Sn 比增大时,材料的晶格常数会略为增大,导致 τ_ϵ 朝负方向变化.有研究表明^[1],当 Sn 含量增大时,由于 Sn 的偏析,使得界面能下降,材料的 Q 值相应提高. Q 值变小则可能与晶格有序度的变化、晶格内能增大及 Sn 偏析的减少或消失有关.

表 1 材料组成与微波介电性能

Tab. 1 Materials content and microwave dielectric property

编号	Zr/Sn 比	掺杂元素	品质因数 Q	测试频率 (GHz)	谐振频率温度系数 (ppm/℃)
Bw-1	4	Zn, Ni, W	10520	5	-2.53
D1-5	4	Zn, W, Mn	6180	5	4.62
E6-1	5.67	Zn, W, Mn	7300	5	8.37
E9-1	5.67	Zn, Ni, W	7586	5	8.50
E9-3	5.67	Zn, Ni, Ge(0.5%)9115	5	10.66	
E9-8	5.67	Zn, Ni, Ge(2.0%)7955	5	6.12	

3.2 改善材料品质因数 Q 值

本实验结果显示,Sn 含量减小, Q 值明显下降.但滤波器通带要有足够的陡度,介质材料必须有较高的 Q 值.

表 1 的数据显示掺杂元素对材料品质因数 Q 和谐振频率温度系数 τ_f 均有影响,添加适量的 Ge⁴⁺ 离子有助于提高材料的品质因数 Q ,而谐振频率温度系数仍较高.Ge⁴⁺ 的离子半径为 0.44,小于 Zr⁴⁺ (0.82)和 Sn⁴⁺ (0.67),加入适量的 GeO₂ 可能会平衡 Sn⁴⁺ 减少引起的晶格内能的变化,测试结果表明 E9-3 具有较高的 Q 值,且谐振频率温度系数较高.但当 GeO₂ 添加量过大时,则导致 Q 值和谐振频率温度系数同时回落.表 2 列出了加载不同编号陶瓷元件的同轴谐振腔滤波器的频率漂移.从中可以看出 E9-3 作为加载介质的同轴谐振腔滤波器具有最佳的频率稳定性.

表 2 装载陶瓷介质元件同轴谐振腔滤波器的频率漂移

Tab. 2 Frequency drift of coaxial resonance cavity filter with dielectric ceramics

材料	编号通频带宽 (MHz)	常温谐振频率 (MHz)	高温谐振频率 (MHz)	温升 (℃)	总漂移量 (kHz)	每度漂移 (kHz/℃)
国外	6	2679.100	2678.575	60	525	8.7
D1-5	6	2703.775	2702.725	60	1050	17.5
E6-1	5	2764.500	2763.800	60	700	11.66
E9-3	5	2700.000	2699.800	60	200	3.3
E9-8	5	2667.506	2666.935	60	571	9.52

4 结论

调节 Zr/Sn 比及适量的离子掺杂可微调材料的谐振频率温度系数,使之与同轴谐振腔匹配。适量的 Ge^{4+} 掺杂能提高材料的品质因数 Q 值,有助于提高通带波形的矩形系数。

参考文献:

- [1] Roy Christoffersen, Peter K, Davies, *et al.* J. Am. Ceram. Soc, 1994, 77(60):1441-1445.

Investigation of Microwave dielectric Materials Using in Temperature Auto-compensate Channel Filters

WANG Yi-lin, ZHAO Mei-yu, LI Wei, WU Wen-jun
(Shanghai Institute of Ceramics, Shanghai 200050, China)

Abstract: The most important property of dielectric materials using in co-coaxial resonator cavity is the temperature coefficient of resonant frequency, which can sufficient compensate the temperature coefficient of resonant frequency of resonator cavity. For this key question, the authors studied the adjustment of the temperature coefficient of resonant frequency and the raising of quality factor Q of $(\text{Zr}_{1-x}\text{Sn}_x)\text{TiO}_3$ microwave dielectric materials. When the temperature coefficient of resonant frequency of $(\text{Zr}_{1-x}\text{Sn}_x)\text{TiO}_3$ microwave dielectric materials was adjusted to 10.66 ppm/℃, the frequency drift of filters can controlled below 500 kHz in the temperature range from -40℃ to 85℃. At the same time, when Q value of materials is above 9000 (5GHz), the squareness coefficient of the pass-band wave form of filters was get apparently improved, and the select property of filters could meet the application demand.

Key words: filters; microwave dielectric materials; temperature compensate

微波滤波器设计培训——视频课程

易迪拓培训(www.edatop.com)由数名来自于研发第一线的资深工程师发起成立, 致力和专注于微波、射频、天线设计研发人才的培养, 是国内最大的微波射频和天线设计人才培养基地。客户遍布中兴通讯、研通高频、国人通信等多家国内知名公司, 以及台湾工业技术研究院、永业科技、全一电子等多家台湾地区企业。

我们推出的微波滤波器设计培训专题, 有资深工程师领衔主讲, 课程既有微波滤波器设计原理的详细解释, 也有各种仿真分析工具的实际设计应用讲解, 设计原理和设计仿真实践相结合, 向大家呈现各种结构的微波滤波器的完整设计流程。旨在帮助大家透彻地理解并实际的掌握各种微波滤波器的设计。



微波滤波器设计培训专题视频课程

高清视频, 专家授课, 中文讲解, 直观易学; 既有微波滤波器设计原理的详细解释, 也有像 ADS、CST、HFSS 各种仿真分析工具的实际设计应用讲解, 旨在帮助大家透彻地理解并实际的掌握各种微波滤波器的设计。

课程网址: <http://www.edatop.com/peixun/filter/>

更多专业培训课程:

- **HFSS 视频培训课程**

网址: <http://www.edatop.com/peixun/hfss/>

- **CST 视频培训课程**

网址: <http://www.edatop.com/peixun/cst/>

- **天线设计专业培训课程**

网址: <http://www.edatop.com/peixun/antenna/>