

2.4 GHz 石英窄带低损耗声表面横波谐振滤波器

周卫,刘善群,陈峻,邵静,刘积学,吴燕,朱明,赖彬,

喻卫兵,许东辉,田亚睿,曾武,伍平

(中国电子科技集团公司第二十六研究所,重庆 400060)

摘要:该文描述了一种工作频率在 S 波段的低损耗极窄带声表面横波谐振滤波器,解决了整机系统在高频率 S 波段载波近端的杂波抑制。采用一阶温度系数为 0 的石英基片及比瑞利型声表面波波速高 1.6 倍的声表面横波,制作出 3 dB 带宽大于 1% 的低损耗窄带谐振滤波器,其工作频率达 2.4 GHz,损耗为 5.77 dB,3 dB 带宽为 3.0 MHz,在 50 Ω 测试系统中测试,偏离中心频率 ± 7 MHz 的阻带抑制为 25 dB;在 $-40 \sim +85$ $^{\circ}\text{C}$ 内,频率漂移仅为 705 kHz。

关键词:声表面横波;谐振器;滤波器

中图分类号:TN384

文献标识码:A

2.4 GHz Surface Transverse Wave Resonator Filter with Low Loss and Narrowband on Quartz

ZHOU Wei, LIU Shanqun, CHEN Jun, SHAO Jing, LIU Jixue, WU Yan, ZHU Ming,

LAI Bing, YU Weibing, XU Donghui, TIAN Yarui, ZENG Wu, WU Ping

(26th Institute of China Electronics Technology Group Corporation, Chongqing 400060, China)

Abstract: A surface transverse wave resonator filter with narrow bandwidth and low loss in S-band was introduced, which could solve the problem of clutter suppression near the carry of high frequency in the system. Quartz substrate with zero first stage temperature was used, and the surface transverse wave with 1.6 higher velocity than that of then Rayleigh wave was generated. The narrow bandwidth and low loss resonator filter was made with 3 dB bandwidth larger than 1%. The insertion loss was 5.77 dB, bandwidth of 3 dB was 3.0 MHz. Measuring in the 50 Ω system, the suppress at the ± 7 MHz via the center frequency was more than 25 dB; the frequency drift was only 705 kHz at the temperature range of $-40 \sim +85$ $^{\circ}\text{C}$.

Key words: surface transverse wave; resonator; filter

0 引言

石英压电晶片具有一阶温度系数为 0 的特点,是晶体体声波器件的主要晶片材料,包括晶体滤波器和晶体谐振器。但晶体体声波器件激励的频率与所用石英压电晶片的厚度成比例,更高的工作频率,需加工更薄的晶片,由于受限于晶片加工工艺,越薄的晶片,越易脆裂,因此,晶体体声波器件的工作频率不高,一般不超过 300 MHz。

声表面波(SAW)是在压电石英基片上采用叉指换能器(IDT)结构,激励的 SAW,当采用瑞利型 SAW 时,声速为 3 170 m/s;采用声表面横波(STW)模式,其声速可高达 5 100 m/s,是瑞利型 SAW 波速的 1.6 倍,可制作出更高频率的器件^[1]。

本文采用 AT36 $^{\circ}$ 压电石英基片制作出工作频率达 2.4 GHz,损耗为 5.77 dB,3 dB 带宽为 1.24% 的窄带低损耗声表面波横波谐振滤波器。

1 设计原理

输入 IDT 激励的声波有时作为假响应被输出换能器检测到,一般是在基片底面反射后再到达输出换能器,因为这种体声波可通过磨砂底面消除。还有另一种形式的体声波,它不经底面反射,直接到达输出换能器,这种体声波称为掠面体波(SS-BW)^[2],显然这种体声波不能通过磨砂底面消除。

假如 IDTs 之间沉积周期金属条栅的周期等于 IDT 的周期,使波速减慢,从 SSBW 转换为 STW。在这种情况下,栅的减慢效应决定了波能量接近表

收稿日期:2014-08-22

作者简介:周卫(1967-),四川省达州人,高级工程师,硕士,主要从事声表面波器件及应用技术的研究。

面,阻止了进入晶体体内的能量耗散,这一现象称为能量陷阱。能量陷阱使 k 矢量变为平行于基片表面,且减少了器件损耗。这样器件便有一个低损耗^[3-4]。图 1 为 SSBW 和 STW 的传播。

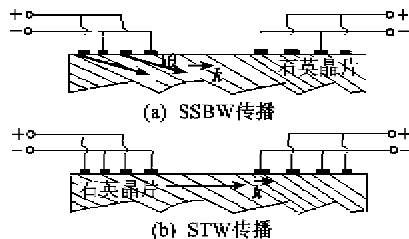


图 1 SSBW 和 STW 的传播

2 实际制作

本文设计的 STW 谐振滤波器在两 IDTs 之间加入了使 SSBW 能被嵌制到石英基片表面传播中间栅,如图 2 所示^[7-8]。

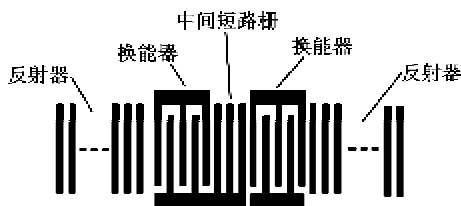


图 2 结构图

本设计的 2.4 GHz 极窄带宽低损耗 SAW 谐振滤波器,由于考虑带宽窄,因此,中间短路栅的指数取 25 对,换能器指数为 75 对,反射器为 500 条。

3 结果及分析

极窄带低损耗声表面横波谐振滤波器的实际测试图分别如图 3~5 所示。其中中心频率为 2.4 GHz,损耗为 5.77 dB,3 dB 带宽为 3.0 MHz(见图 3)。在偏离中心频率 ± 7 MHz 处的抑制约为 25 dB,远端抑制大于 21 dB(见图 4),是理想的高频低损耗极窄带谐振滤波器。图 5 为远端测试图,其带外抑制为 20~30 dB。

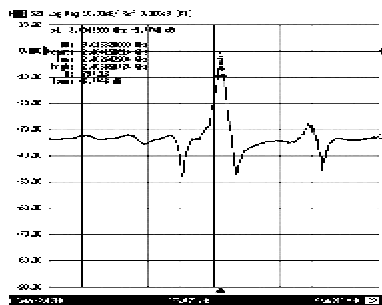


图 3 2.4 GHz 声表面横波谐振滤波器测试图

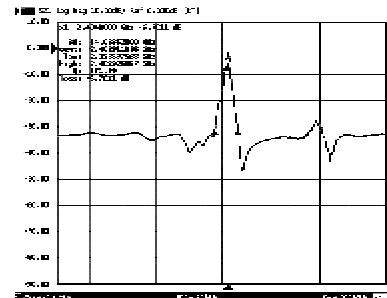


图 4 偏离中心频率 ± 7 MHz 处带外抑制

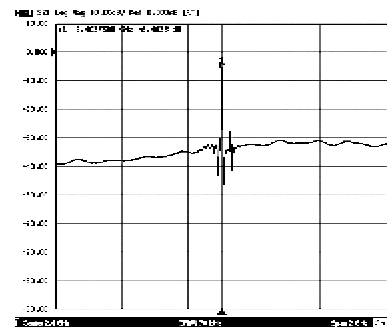


图 5 远端抑制测试图

3.1 频率-温度特性

以压电石英基片为材料制作的器件,其一阶温度系数为 0。石英晶体体声波器件的温度性能遵从三阶曲线关系,声表面横波器件则呈抛物线的二阶曲线特点,即

$$\frac{\Delta f}{f} = -4 \times 10^{-8} \times \left(\frac{T - T_0}{T_0} \right)^2 \quad (1)$$

式中: Δf 为随温度变化的频率; f 为中心频率; T_0 为拐点温度; T 为测试温度。

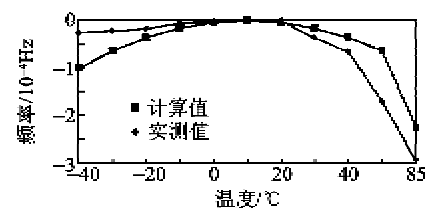


图 6 频率-温度曲线

3.2 STW 谐振滤波器功率承受能力

STW 谐振滤波器由于是 SSBW 被钳制表面传播的波,因此能承受较高的射频功率电平。这特点使以 STW 器件为频控元件的微波振荡器成为具有低的热噪声基底^[7-8],STW 器件的最大 RF 功率电平为

$$P_{\max} = \left(\frac{|T_{12}|_p}{2.050} \right)^2 \frac{mDW}{Q_{12}\lambda} \quad (2)$$

式中: λ 为波长; $|T_{12}|_p$ 为剪切压缩的最大因子,对于 Al-Cu 金属膜,其值为 2.8×10^8 N/m; m 为有效腔体长度; D 为在基片内的有效穿透深度,典型的是

0.75 λ ; W 为声孔径。

由式(2)可知,本文采用 Al-Cu 金属膜制作的 2.4 GHz 声表面横波谐振滤波器,能承受的最大功率值可达 1.3 W。

4 结束语

声表面横波谐振滤波器的声速比瑞利型声表面波声速高 1.6 倍,更适合制作高频器件。与石英晶体体声波器件相比,同样以压电石英晶片为基片材料,采用 Al-Cu 金属膜制作的器件频率可达 2.4 GHz,而石英晶体体声波器件频率很难超过 300 MHz。

声表面横波谐振滤波器具有高的基波工作频率,良好的频率温度特性,在 $-40\sim+85\text{ }^{\circ}\text{C}$ 内,中心频率为 2.4 GHz 的声表面横波器件仅变化了 705 kHz,其频率漂移极小。而声表面横波可耐更高功率的性能,使得其在高频器件中具有更广泛的适用范围。

参考文献:

- [1] ZHOU Wei, LIU X L. 2 GHz STW resonators of low insertion loss, low Q [C]//Honolulu, Hawaia, USA: IEEE International Frequency Control Symposium, 2008;184-186.
- [2] LEWIS M. Surface skimming bulk wave, SSBW[J]. Proc IEEE Ultrason Symp, 1977;744-752.
- [3] YANTCHEV V M, STRASHILOV V L. Coupling of

modes analysis of stw resonators including loss mechanism[J]. IEEE Trans on Ultrasonic, Ferroelectrics, and Frequency Control, 2002,49(3): 331-336.

- [4] VENTURA P, DUFILÉ P, HECHT F. Optimized STW devices with buried electrodes based on a mixed FEM/BEM numerical model[C]//Florida, USA: 2011 IEEE International Ultrasonics Symposium Proceedings, 2011;563-567.
- [5] SOLUCH W. Design and properties of STW asynchronous resonators on quartz[J]. IEEE Trans on UFFC, 2007, 54;413-417.
- [6] 周卫,杨正兵,曾武,等. 高频声表面横波谐振器研制[J]. 压电与声光, 2013,35(1):13-15.
ZHOU Wei, YANG Zhengbing, ZENG Wu, et al. Study of surface transverse wave resonators with high frequency[J]. Piezoelectrics & Acoustooptics, 2013, 35(1):13-15.
- [7] 周卫,毛繁,将创新,等. Colpitts 型低噪声声表面横波振荡器[J]. 压电与声光, 2014,36(2):176-177.
ZHOU Wei, MAO Fan, JIANG Chuangxin, et al. Colpitts type surface transverse wave oscillator with low phase noise[J]. Piezoelectrics & Acoustooptics, 2014,36(2):176-177.
- [8] CAVIN M S, ALMAR R C. An oscillator design using low g -sensitivity, low phase noise devices[C]//Seattle, Washington: Proc IEEE 1995 International Frequency Control Symposium, 1995;476-485.

(上接第 404 页)

4 结束语

在经典滤波器理论计算的基础上,结合优秀的射频 EDA 仿真软件,是优化设计集总参数 LC 滤波器非常实用和方便的方法。理论计算得出的各调谐元件的数值为仿真优化提供原始数据,仿真优化后所得集中参数可为产品开发提供可靠的支持,节约调试时间。该数字调谐滤波器具有高跳频速度,宽频带等特性,可应用于跳频通信系统。

参考文献:

- [1] 林生,金京林,葛红,等. 数字设计原理与实践[M]. 北京:机械工业出版社,2003.
- [2] 王子宇,张肇仪,徐承和,等. 射频电路设计——理论与应用[M]. 北京:电子工业出版社,2002.
- [3] 宋波,陈江,于再兴. 跳频滤波器研制初探[J]. 军事通信技术, 2001,22(1): 68-70.
SONG Bo, CHEN Jiang, YU Zaixing. Research of center frequency hopping filter[J]. Journal of Military Communications Technology, 2001,22(1):68-70.
- [4] 甘本拔,吴万春. 现代滤波器的结构与设[M]. 北京:科学出版社,1973.