

级联型声表面横波滤波器

周卫,王岚,黎亮

(中国电子科技集团公司第二十六研究所,重庆 400060)

摘要:该文介绍了在压电石英基片上具有一阶温度系数为0的声表面横波滤波器,制作出高频、高带外抑制窄带滤波器,并采用两只声表面横波滤波器级联后的方式,提高带外抑制性能。测试结果表明,滤波器的频率为1 219.4 MHz,损耗为9.38 dB,−1 dB带宽为0.743 MHz,−3 dB带宽为1.06 MHz,−40 dB带宽为2.94 MHz,群延时波动在偏离中心频率−100~100 kHz时的值小于100 ns,且输入、输出端驻波均小于2。

关键词:声表面横波;滤波器;群延时波动;带内波纹;插入损耗;驻波

中图分类号:TN65 **文献标识码:**A **DOI:**10.11977/j.issn.1004-2474.2019.06.018

Cascading Surface Transverse Wave Filter

ZHOU Wei, WANG Lan, LI Liang

(The 26th Research Institute of China Electronic Science and Technology Group Corporation, Chongqing 400060, China)

Abstract: The surface transverse wave (STW) filter with zero of first order temperature coefficient on quartz substrate is introduced in this paper. The high frequency narrow band filter with high out-of-band rejection has been fabricated, and two STW filters are cascaded to improve the out-of-band rejection performance. The measurement results show that the STW filter has center frequency of 1 219.4 MHz, insertion loss of 9.38 dB, −1 dB bandwidth of 0.743 MHz, −3 dB bandwidth of 1.06 MHz, −40 dB bandwidth of 2.94 MHz, the group delay ripple of less than 100 ns at offset of −100~100 kHz of center frequency, and the standing wave of less than 2 both at the input and output ends.

Key words: surface transverse wave; filter; group delay ripple; passband ripple; insertion loss; standing wave

0 引言

弱压电石英基片具有一阶温度系数为0的频率温度特性,适合制作高频窄带滤波器。在AT-36°石英基片旋转90°传播方向上,采用使掠面体波(SSBW)被钳制到表面传播的模式激励声表面波(SAW),被称为表面横波(STW)。可激励出高达5 070 m/s的声速,适合制作高频器件。

通常在石英基片上激励的SAW模式,有双模耦合滤波器(DMS)、横向耦合模式滤波器(TCF)、耦合谐振滤波器(CRF)及STW。在这些压电石英基片上激励的声波模式中,只有STW模式是采用使SSBW被钳制到表面传播的模式激励的SAW,即STW模式是将改变原本潜入晶片体内传播的SSBW,使其沿着晶片表面传播,且改变了传播方向的STW的声速,是在压电石英基片上的传播速度为SSBW的声速,即为高的声速,为瑞利型SAW声传播速度的1.6倍,达到5 070 m/s,这样高的声速,更适合制作高频率滤波器。

本文描述了在压电石英基片上新研制出的声表面横波滤波器,频率为1 219.4 MHz,单只滤波器的损耗约为4.5 dB,2只串联损耗为9.38 dB,−1 dB

带宽为0.743 MHz,在其通带波纹小于1 dB,在−100~+100 kHz时的群延时波动小于100 ns,输入、输出端驻波小于2。

1 设计原理

STW滤波器的结构特点是由向基片内部传播的SSBW^[1],采用在两叉指换能器之间,加入短路栅的结构,使SSBW被钳制到基片表面传播,而不会深入基片内^[2-3]。

本设计为2只声表面横波滤波器的级联,一方面要求2个单只滤波器的频率非常准确,且单只STW滤波器的损耗和带宽等性能,需要合理设计,既要兼顾带宽要求,又要考虑群延时波动小的特点;另一方面,由于是低损耗滤波器,因此,为了增加声表面横波的传播,减少传播损耗,需选择合适的中间短路栅指条数,以便增加声波传播的耦合,减少传播损耗,降低器件的插入损耗^[4-5]。

本文设计滤波器的L波段极窄带滤波器,为带宽低损耗声表面横波滤波器,中间短路栅的指条数取25条,换能器指条数为 85λ (其中 λ 为声表面横波波长),反射器指条数为350条^[7]。在压电石英基片上激励的各种SAW声速如表1所示。

表1 压电石英基片上激励的声波的特性参数

声波类型	声速/ ($m \cdot s^{-1}$)	机电耦合 系数/%	温度系数/ μC^{-1}
DMS,TCF	3 150	0.14	0
STW	5 070	0.18	0

本文研制的L波段声表面横波滤波器(STWF)的具体设计参数如表2所示。

表2 设计参数

换能器数	2	反射器数	2
换能器长度	85λ	反射器指数条数	350
中间短路栅指数条数	25	(h/λ)/%	3.0

2 结果及分析

本设计的STWF测试时需加外匹配电感,其匹配电路如图1所示,匹配电路相对较简单,仅在输入、输出端各并联一只6.8 nH的电感。

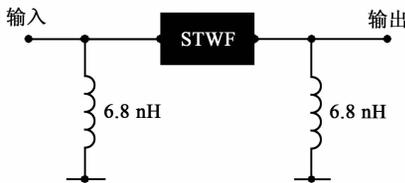
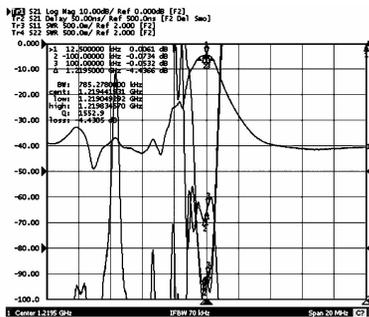
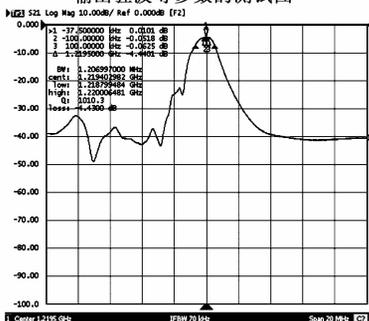


图1 匹配电路

图2为1#STWF外加匹配时的测试图。由图2(a)可看出,1#声表面横波滤波器的损耗为4.43 dB,-1 dB带宽为785 kHz,在-1 dB带宽中心频率-100~100 kHz的群延时波动小于50 ns,输入、输出驻波小于1.5。由图2(b)可知,-3 dB带宽为1.206 MHz,偏离峰值-4 MHz和+4 MHz处的抑制大于30 dB。



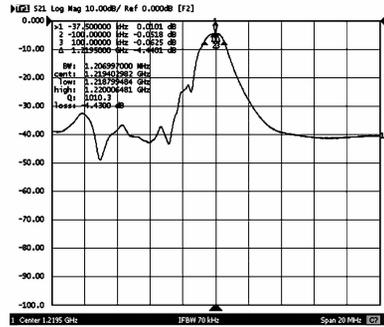
(a) 频率幅度、群延时波动、输入和输出驻波等参数的测试图



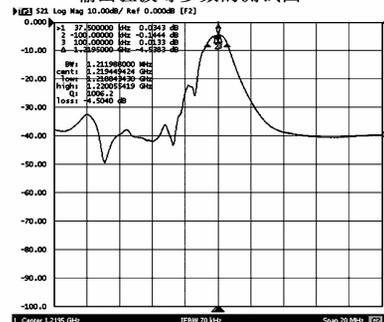
(b) -3 dB带宽测试图

图2 1#滤波器带匹配时频率幅度、群延时、驻波等参数测试图

图3为2#STWF外加匹配时的测试图。由图3(a)可得2#声表面横波滤波器的损耗为4.51 dB,-1 dB带宽为790 kHz,在-1 dB带宽中心频率-0.1~0.1 MHz的群延时波动小于50 ns,输入、输出驻波小于1.5。由图3(b)所示,-3 dB带宽为1.21 MHz,偏离峰值-4 MHz和+4 MHz处的抑制大于30 dB。



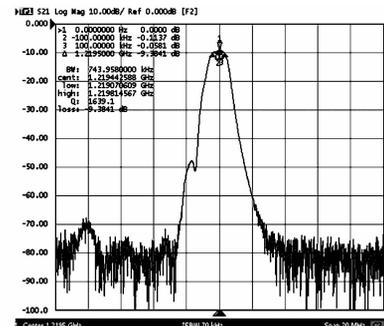
(a) 频率幅度、群延时波动、输入和输出驻波等参数的测试图



(b) -3 dB带宽测试图

图3 2#滤波器带匹配时频率幅度、群延时、驻波等参数测试图

图4为1#和2#滤波器级联后的-1 dB、-3 dB及-40 dB带宽等参数测试图。级联后滤波器损耗为9.38 dB,-1 dB带宽为0.743 MHz(见图4(a))。由图4(b)、(c)可看出,-3 dB带宽为1.06 MHz,-40 dB带宽为2.94 MHz。由图4可知,级联后滤波器的带外抑制大幅度提高,在-4 MHz和+4 MHz处的抑制大于60 dB。



(a) -1 dB带宽测试图

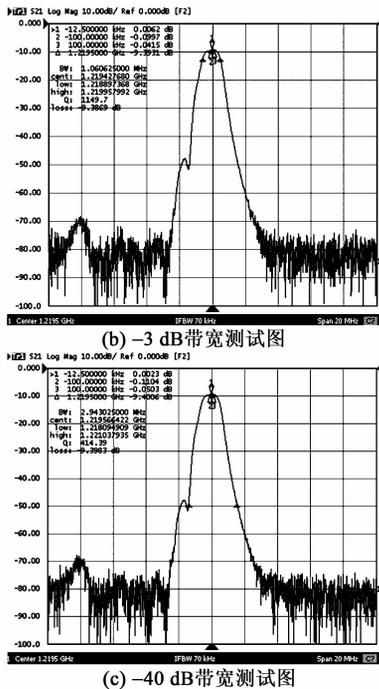


图4 1#、2#滤波器级联的-1 dB、-3 dB、-40 dB带宽等参数测试图

图5为1#、2#滤波器级联后的频率幅度、群延时、驻波测试图。由图可知,在-1 dB带宽中心频率 $0.1 \sim 0.1$ MHz时群延时波动小于50 ns;输入端驻波小于1.7;输出端驻波小于1.8。

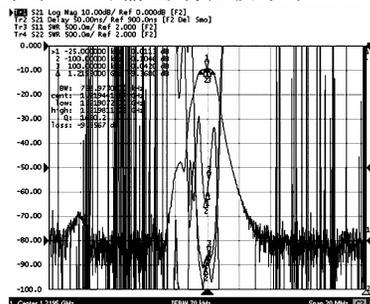


图5 1#、2#滤波器级联后的频率幅度、群延时、输入、输出驻波测试图

3 讨论

在AT-36°石英基片上可激励出高达5 070 m/s的声速,适合制作高频滤波器。本文研制的是2只声表面横波滤波器级联后的特点。对比单只滤波器和2只级联后滤波器的特点^[8]可知,单只滤波器的损耗、群延时波动、驻波等性能,均优于2只滤波器级联后的性能,但2只滤波器级联后的带外抑制,远高于单只滤波器。单只滤波器的带宽(如-1 dB带宽),比级联后的滤波器的带宽宽,即级联后的带外抑制几乎是2只单滤波器的叠加,但其损耗也是2只单滤波器的叠加。而级联后滤波器的群延时波动并非2只单个滤波器的群延时波动的叠加,而是小于2只单个滤波器群延时波动的叠加。因此,在应用时需要依据具体应用要求,如损耗可在应用后用

其他方式得以补偿,且带外抑制必须要求很高。

无论是2只滤波器级联应用,还是单只器件应用,本文设计的声表面横波滤波器的驻波均小于2,便于在整机中应用。

4 结束语

现代通讯技术向更高频率、更小体积方向发展,因此,研究和应用高声速器件,是当今的重要科技技术的重要突破,如体声波(BAW)的西萨瓦波,其声波传播速度可达8 000 m/s,在高频延迟线方向得以应用。而采用谐振型膜的薄膜体声波(FBAR)结构的滤波器,其研制出的器件频率已达29 GHz,但由于基片原因,其频率随温度变化率相对于温度系数为0的石英基片上的声表面横波滤波器要大,因此,FBAR滤波器不适合做极窄带滤波器。

基于石英基片的STW滤波器具有高达5 070 m/s的声传播速度,适合制作高频滤波器,如L波段、S波段。目前研制出的声表面横波滤波器的带宽窄,对于信号近端抑制需求的系统,本研制的声表面横波滤波器可满足指标要求,但对于信号带宽宽一些的系统应用,或要求更宽温度范围的使用,本研制的声表面横波滤波器的应用都会受限,特别是因为通带带宽的制约,对制作的精度要求很高,这就限制了产品的合格率,在现今声表面波滤波器竞争激烈的市场中受限,无论是成本、产品制作周期等因素,都受到影响。因此,声表面横波滤波器将会向更宽的带宽方向和更适合大批量生产的方向发展,应用将更广泛。

参考文献:

- [1] AULD B A, THOMPSON D F. Temperature compensation of surface transverse wave for stable oscillator applications using shallow gratings[C]//S. I. : IEEE Ultrasonics Symposium, 1984: 213-217.
- [2] ALMAR R, HORINE B, ANDERSEN J. High frequency stw resonator filter[C]//S. I. : IEEE Ultrasonics Symposium, 1992: 51-56.
- [3] SCHOLL G, RUILE W, RUSSER P H. P-matrix modeling of transverse-mode coupled resonator filters[C]//S. I. : 1993 Ultrasonics Symposium, 1993: 41-46.
- [4] CHEN D P, SCHWAB M A, LAMBERT C, et al. Precise design technique of saw transversely coupled resonator filters on quartz[C]//S. I. : IEEE Ultrasonics Symposium, 1994: 67-70.
- [5] STRASHILOV V L, DJORDJEV K D, BOYANOV B I, et al. A coupling-of-modes approach to the analysis of STW devices[J]. IEEE Transactions on Ultrasonics, Ferroelectrics, and Frequency Control, 1997, 44(3): 652-657.
- [6] RRIEDT J M, ALZUAGA S, RATIER N, et al. Design of asynchronous STW resonators for filters and high stability sources applications[C]//S. I. : IEEE Ultrasonics Symposium, 2005: 1315-1318.
- [7] ZHOU Wei, LIU X L. 2 GHz STW resonators of low insertion loss, low Q [C]//S. I. : IEEE International Frequency Control Symposium, 2008: 184-186.
- [8] 周卫. GHz 石英基片声表面横波谐振器和谐波滤波器[J]. 压电与声光, 2018 40(2): 192-194.
ZHOU Wei. GHz surface transverse wave resonators and resonance filters on quartz substrate[J]. Piezoelectrics & Acoustooptics, 2018 40(2): 192-194.