

高阻带抑制宽带低损耗声表面波滤波器研究

毛世平¹, 曾庆高¹, 陈彦光¹, 蒋世义¹, 彭昱皓²

(1. 中国电子科技集团公司第二十六研究所, 重庆 400060; 2. 天津大学 电气自动化与信息工程学院, 天津 300072)

摘 要:基于分布间隙纵向耦合五换能器结构, 加入谐振器单元, 采用 41°Y-X LiNbO₃ 基片材料, 通过优化设计, 研制出中心频率 232 MHz, 3 dB 带宽 23.2 MHz 的声表面波滤波器。该产品的插入损耗为 -1.9 dB, 相对带宽达到 10%, 矩形系数 2.2, 阻带抑制大于 50 dB, 产品综合性能指标优异, 有很好的实用性。

关键词:大带宽; 声表面波滤波器; 五换能器; 谐振器

中图分类号: TN65

文献标识码: A

DOI: 10.11977/j.issn.1004-2474.2018.03.008

Study on Broadband and Low Loss SAW Filter With High Stop-band Rejection

MAO Shiping¹, ZENG Qinggao¹, CHEN Yanguang¹, JIANG Shiyl¹, PENG Yuhao²

(1. The 26th Institute of China Electronics Technology Group Corporation, Chongqing 400060, China;

2. School of Electrical and Information Engineering, Tianjin University, Tianjin 300072, China)

Abstract: Based on the distributed gap and longitudinally-coupled five-transducer structure, adding into the resonator element and optimizing the design, a SAW filter with center frequency of 232 MHz and 3 dB bandwidth of 23.2 MHz has been developed by using 41°Y-X LiNbO₃ piezoelectric material as the substrate. The product has the features of insertion loss of -1.9 dB, relative bandwidth of 10%, and shape factor of about 2.2 and stop-band rejection of 50 dB. The comprehensive performance specification of the product is excellent and has good practicability.

Key words: wide bandwidth; surface acoustic wave filter; five-IDT; resonator

0 引言

声表面波(SAW)射频滤波器以其低损耗、小体积、高矩形度等特点而被广泛应用在雷达、电子对抗、卫星通信技术中, 对射频信号进行隔离、选通, 限定发射机在其工作频带内的辐射信号, 同时阻止接收噪声信号的干扰, 是射频系统中的关键器件。随着通信技术的不断发展, 当前通信系统中大容量信息交换对高频、宽带通信提出了新的要求, 且对阻带抑制、损耗的要求也越来越高。

宽带 SAW 滤波器主要采用大机电耦合系数的压电材料, 如 64°Y-X LiNbO₃、15°Y-X LiNbO₃、41°Y-X LiNbO₃ 等^[1]。本文介绍了一种采用 41°Y-X LiNbO₃ 基片材料, 基于分布间隙纵向耦合五换能器 SAW 滤波器设计方法。通过优化设计参数, 研制出一款高阻带抑制宽带低损耗声表面波滤波器, 其基本参数为: 中心频率为 232 MHz, 3 dB 带宽

23.2 MHz, 相对带宽达到 10%, 插入损耗 -1.9 dB, 矩形系数 2.2, 阻带抑制大于 50 dB。

1 基本原理

纵向耦合 SAW 滤波器一般由叉指换能器(IDT)、反射栅(Ref)、传播空隙等部分组成, 如图 1 所示^[2]。

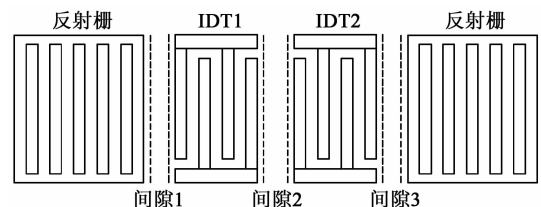


图 1 谐振型低损耗 SAW 滤波器结构示意图

纵向耦合 SAW 滤波器的设计主要采用耦合模(COM)分析方法。通常的 COM 方程为

$$\frac{\partial U_+(x)}{\partial x} = -j\theta_u U_+(x) - \kappa_{12} U_-(x) + j\zeta V \quad (1)$$

收稿日期: 2018-04-26

基金项目: 国家科技部重点研发计划项目资助

作者简介: 毛世平(1978-), 男, 重庆云阳人, 高级工程师, 硕士, 主要从事 SAW/BAW 器件的研究。E-mail: 13883674379@139.com。

$$\frac{\partial U_{-}(x)}{\partial x}=+\kappa_{12}^{*} U_{+}(x)+j \theta_{\mathrm{u}} U_{-}(x)-j \zeta^{*} V$$

(2)

$$\frac{\partial I(x)}{\partial x}=-4 j \zeta^{*} U_{+}(x)-4 j \zeta U_{-}(x)+j \omega C V$$

(3)

式中: $U_{\pm}(x)$ 为沿 $\pm x$ 方向传播的模的振幅; κ_{12} 和 κ_{12}^{*} 为互耦系数; θ_{u} 为失谐系数; ζ 和 ζ^{*} 为转换系数, 表示激励效率大小; C 为 IDT 静电容。

通过 COM 方程求出构成滤波器单元的 $\boldsymbol{P}$ 矩阵, 再通过 $\boldsymbol{P}$ 矩阵级联得到滤波器的 $\boldsymbol{Y}$ 矩阵, 然后加入外围网络的阻抗, 可得到滤波器的 S 参数。

纵向耦合 SAW 滤波器根据所用谐波模工作模式可分成多种结构, 高阶纵向模式的谐振频率比低阶模式的谐振频率低。图 1 是采用一阶和二阶纵向模式的滤波器结构, 图 2 是采用一阶和三阶纵向模式的纵向耦合滤波器结构。

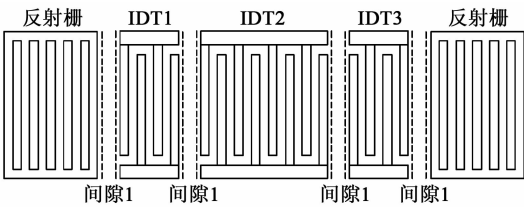


图 2 三换能器滤波器结构示意图

由于一、二阶模式的频率差比一、三阶模式的频率差小, 因而采用图 2 结构的滤波器, 其通带比采用图 1 结构滤波器的通带更宽, 因此可以通过增加通带内的波模数量, 利用多个更高次模来提高滤波器的带宽。图 3 为五换能器滤波器结构示意图。由图可见, 通过增加换能器数量来增加通带内的波模数量, 可实现更宽的相对带宽^[3]。

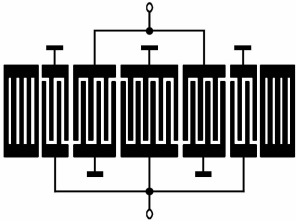


图 3 五换能器滤波器结构示意图

2 器件设计

2.1 基片材料选择

纵向耦合 SAW 滤波器的带宽与选择的压电基片材料的耦合系数密切相关。常用压电基片材料机电耦合系数如表 1 所示。

表 1 常用压电基片材料机电耦合系数

LiNbO ₃ 材料	机电耦合系数/%
64°Y-X	11
41°Y-X	17
15°Y-X	23
42°Y-X	5

因 15°Y-X LiNbO₃ 杂波较多, 为实现较宽的带宽, 且兼顾性能, 本文采用 41°Y-X LiNbO₃ 作为基片材料。

2.2 损耗优化设计

2.2.1 仿真设计

对五换能器纵向耦合结构进行优化, 采用分布间隙结构进行仿真设计, 滤波器芯片优化设计数据如表 2 所示。表中, λ 为波长。

表 2 滤波器芯片优化设计数据

孔径	IDT1 指条数	IDT2 指条数	IDT3 指条数	IDT4 指条数	IDT5 指条数	Ref 指条数
45 λ	8	11	15	11	8	25

仿真曲线如图 4 所示。

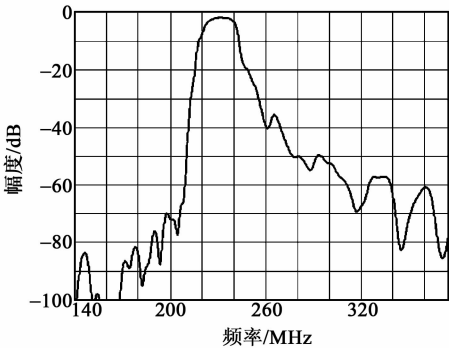


图 4 基于分布间隙纵向耦合五换能器设计仿真曲线

2.2.2 测试结果

根据仿真设计, 开展了工艺流片, 优化后测试频率响应曲线与优化前进行了比较, 如图 5 所示。由

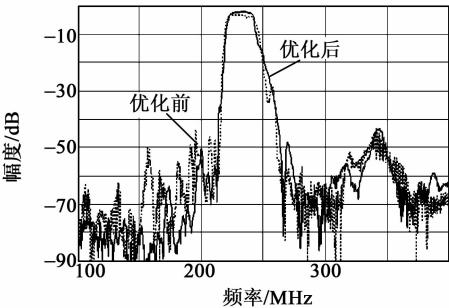


图 5 优化前、后测试频率响应曲线比较图

图可看出,在保持相对带宽(10%)的前提下,插入损耗由 3.15 dB 降低到 1.90 dB,低端阻带由 40 dB 改善到 50 dB 以上,性能得到较大提升,但高端阻带 42 dB,与优化前相当^[4]。

2.3 高端阻带抑制优化设计

2.3.1 仿真设计

在 2.2 节设计的基础上,开展了滤波器结构优化设计,增加谐振器以提高矩形系数,改善高端阻带抑制。谐振器设计数据如表 3 所示。

表 3 谐振器设计数据

孔径	IDT 指条数	Ref1 指条数	Ref2 指条数
15λ	8 010	20	20

仿真曲线如图 6 所示。

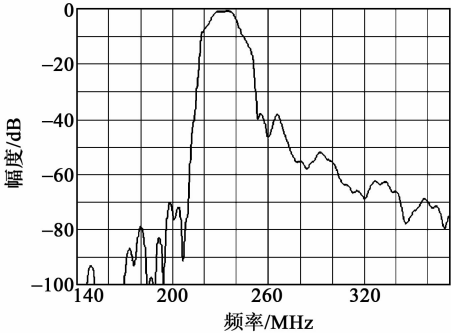


图 6 增加谐振器后测试设计仿真曲线

2.3.2 测试结果

根据仿真设计,开展了工艺流片。增加谐振器前、后制作的滤波器频率响应曲线的比较如图 7 所示。由图可以看出,在实现宽带和低损耗指标的前提下,高端过渡带明显收窄,矩形系数得到大幅提升,高端阻带由 42 dB 提高至约 50 dB,滤波器性能得到大幅度提升。

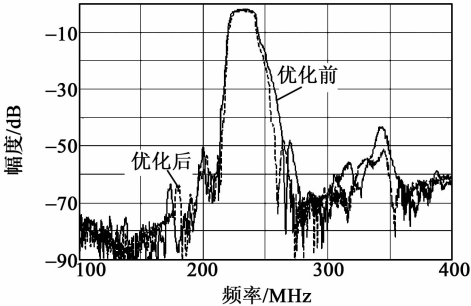


图 7 增加谐振器前、后测试曲线比较图

3 应用实例

采用该技术设计了一款频率为 540 MHz 声表面波滤波器,测试曲线如图 8 所示。

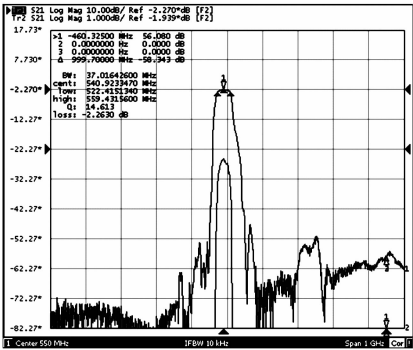


图 8 540 MHz 滤波器测试曲线

该滤波器体积仅为 3 mm×3 mm×1.4 mm,插入损耗为 2.2 dB,阻带抑制 50 dB,已应用于某型接收机系统。

4 结束语

通过仿真分析和实际制作验证,基于分布间隙纵向耦合五换能器结构,加入谐振器,并采用 41°Y-X LiNbO₃ 基片材料,最终实现了 10% 的相对带宽,器件的矩形系数得到大幅度提升,阻带抑制由 40 dB 提高到 50 dB 以上,插入损耗由 3.15 dB 降低到 1.90 dB。本文研制的器件具有大带宽、低损耗、高矩形度、高阻带抑制及小体积等特点,能够更好地满足现代通信系统的大容量信息交换对低损耗、高频、宽带、高抑制度的要求。

在研究过程中,SAW 滤波器电性能特性与实际工艺条件参数、封装等寄生参数密切相关,实际设计时还需考虑工艺加工能力、寄生参数的影响,要根据实际工艺环境,提取参数,才能保证设计准确性。

参考文献:

[1] 胡爱民,马晋毅. 微声电子器件—信息化武器装备的特种元件[M]. 北京:国防工业出版社,2008.

[2] 水永安. 声表面波与声表面波器件[M]. 南京:南京大学,1998:153-155.

[3] 陈彦光,吕翼,蒋世义,等. 低幅相畸变 SAW 滤波器技术研究[J]. 压电与声光,2012,34(3):334-336.

CHEN Yanguang, LV Yi, JIANG Shiyi, et al. Study on SAW filter with low amplitude and phase time-varying[J]. Piezoelectrics & Acoustooptics, 2012, 34(3):334-336.

[4] 蒋世义,张幸,陈彦光,等. 基于纵向耦合结构的宽带声表面波滤波器设计[J]. 压电与声光,2013,35(3):315-317.

JIANG Shiyi, ZHANG Xing, CHEN Yanguang, et al. Design of wide-band surface acoustic wave filter based on longitudinal coupling structure[J]. Piezoelectrics & Acoustooptics, 2013, 35(3):315-317.