

文章编号:1004-2474(2014)05-0685-03

低损耗射频 SAW 滤波器的设计

耿胜董, 万明, 黄昆

(广东风华高新科技股份有限公司, 广东肇庆 526020)

摘要:采用 $42^\circ\text{Y-X LiTaO}_3$ 基片, 利用耦合模(COM)模型和 P 矩阵级联的方法对低损耗声表面波(SAW)梯形滤波器进行仿真设计。通过分析 SiO_2 厚度对滤波器中心频率偏移的影响、建立等效电路模型对封装进行仿真, 成功地设计制作了一款中心频率为 1 575 MHz, 带外抑制大于 20 dB, 最低插入损耗为 -1.2 dB 的四级 SAW 梯形滤波器, 测试结果与仿真结果相吻合。

关键词:耦合模(COM)模型和 P 矩阵级联; 低损耗; 声表面波(SAW)梯形滤波器; 中心频率偏移; 等效电路模型

中图分类号: TN384

文献标识码: A

Design of Low Loss RF SAW Filter

GENG Shengdong, WAN Ming, HUANG Kun

(Fenghua Advanced Technology Holding Co., LTD, Zhaoqing 526020, China)

Abstract: The simulation and design of SAW low loss ladder filter with $42^\circ\text{Y-X LiTaO}_3$ substrate have been carried out by using COM and P matrix cascading technology. By analyzing the impact of SiO_2 layer thickness on the center frequency deviation of filter and establishing the equivalent circuit model to simulate the package, a 4-order SAW ladder filter with the out-of-band rejection of more than 20 dB and the insertion loss of less than -1.2 dB at the center frequency of 1 575 MHz has been designed. The simulation result and measurement result agree well.

Key words: COM module and P matrix cascading; low loss; SAW ladder filter; center frequency deviation; equivalent circuit model

0 引言

声表面波(SAW)滤波器利用压电单晶的压电效应和逆压电效应, 实现声学信号和电学信号间的转化, 叉指换能器(IDT)的频率选择性可实现滤波的功能。SAW 滤波器由于其陡峭的波形, 在手机和移动通讯中应用广泛。SAW 梯形滤波器是由单端口谐振器按梯形结构排列组合而成, 具有插入损耗小, 功率容量大, 无需外围电路匹配等优点, 适用于移动通讯领域。射频 SAW 滤波器设计中常用方法有耦合模(COM)模型和 P 矩阵级联法, 在已有研究^[1-5]中都已证明 COM 模型和 P 矩阵级联的仿真结果与实际结果相符。

随着通讯技术的飞速发展, 通讯设备呈小型化、低损耗的发展趋势, 这对 SAW 滤波器的要求越来越高, 如何降低插入损耗成为 SAW 滤波器设计中最关键的技术之一。本文基于 COM 模型和 P 矩阵

级联方法, 探讨了 SiO_2 薄膜厚度和封装对 SAW 滤波器的影响, 设计并制作了一款适用于 GPS 领域的 SAW 滤波器, 且具有较小的插入损耗(-1.2 dB)。

1 实验

1.1 SAW 梯形滤波器的设计

选用工作在漏波(SH)模式的 $42^\circ\text{Y-X LiTaO}_3$ 基片, 首先计算出 COM 参数。目前计算 COM 参数最常用的模型是由 Ken-ya Hashimoto^[6]提出的, 利用开源软件 FEMSDA 计算 COM 参数。

为实现 20 dB 的带外抑制, 本文采用四阶级联 II 型梯形结构, 如图 1 所示。由 4 个单端口谐振器级联而成, 其中 S_1 、 S_2 为串联谐振器, P_1 、 P_3 为并联谐振器, P_3 为 P_1 的镜像、 S_2 为 S_1 的镜像。为减小因级联造成的反射损失, 防止通带下陷, 特在 2 个级联间增加 1 个并联谐振器 P_2 来实现阻抗匹配。

收稿日期: 2014-01-08

作者简介: 耿胜董(1986-), 男, 河南鹤壁人, 工程师, 硕士, 主要从事射频无源器件的研究。

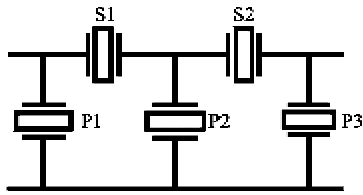


图1 SAW梯形滤波器结构

采用COM模型和P矩阵级联法设计SAW梯形滤波器。设计时,串联谐振器的谐振频率及并联谐振器的反谐振频率都与梯形滤波器的中心频率相等;滤波器的静电容乘积采用定K设计;为使曝光能量能同时兼顾IDT和反射栅,提高曝光精度,设计时要求这两种栅的宽度不能相差太大。本文所有的单端口谐振器均采用图2所示的结构。

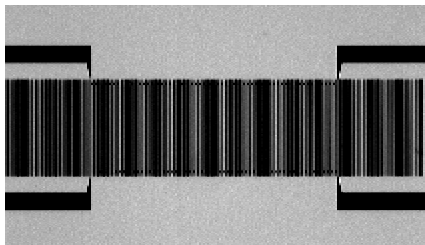


图2 SAW单端口谐振器

1.2 SiO₂厚度对SAW梯形滤波器的影响

在陶瓷管壳封装的SAW滤波器内可能会有残留的O₂和水蒸气混入到管壳内部,这会导致表面电极图形的氧化和腐蚀,影响滤波器的使用。为提高器件的可靠性,SAW滤波器表面通常会覆盖一层致密的SiO₂保护膜,但同时SiO₂也会对SAW滤波器的性能造成影响。根据Lardat^[7]和Kawaguchi^[8]的研究,可推导出中心频率漂移和SiO₂膜厚度的关系。表面覆盖25 nm的SiO₂后,SAW滤波器的中心频率将向低频偏移,插入损耗也会增大。因此,在设计时,中心频率比实际应用频率稍高。各单端口谐振器的结构参数如表1所示。

表1 各谐振器参数

几何尺寸	S1,S2	P1,P3	P2
波长/ μm	2.490	2.580	2.580
孔径/ μm	30.15	52.01	91.21
IDT数量	76	57	65
反射栅数量	18	20	20
Al电极厚度/nm	180	180	180

1.3 封装对SAW梯形滤波器的影响

封装对SAW滤波器的影响主要是考虑封装管壳和焊点的影响,特别是在高频时,这些影响更显著,需对封装进行精确仿真。封装所用陶瓷管壳的

仿真主要方法有

1) 利用HFSS建立管壳的3D模型,进行电磁仿真。

2) 利用等效电路模型,即通过实验提取集总参数进行仿真。

本文中,封装管壳和焊点都采用图3所示的等效电路模型来仿真,焊点间的影响用互感来表示。封装对滤波器性能的影响如图4所示。由图4可看出,封装管壳和焊点对滤波器的通带特性和带外抑制都有影响。

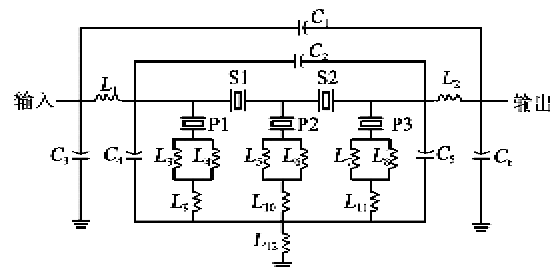


图3 封装的等效电路模型

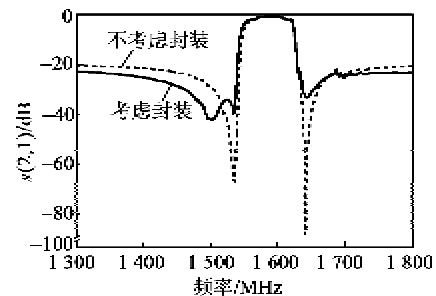


图4 封装对SAW性能影响

2 实验结果与讨论

图5为制作的SAW梯形滤波器的实物图,封装尺寸为3.0 mm×3.0 mm(为便于观察内部结构,所选样品未加装顶层金属封盖),满足了目前小型化的需求。图6为S参数实测曲线,测量范围为1300~1800 MHz。该滤波器实测中心频率为1575 MHz,带外抑制为25 dB,具有较低的插入损耗,最低为-1.2 dB。

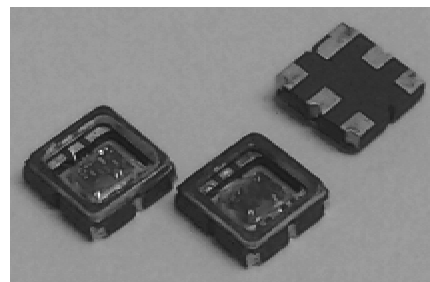


图5 SAW梯形滤波器实物图

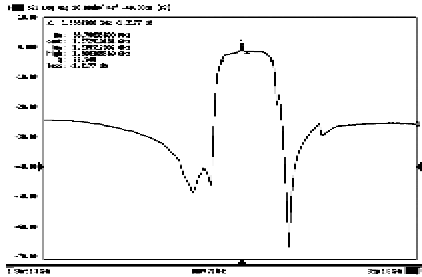


图 6 SAW 梯形滤波器测试结果

图 7 为 SiO₂ 厚度对滤波器性能影响。由图可看出,表面覆盖 25 nm 的 SiO₂ 后,SAW 滤波器的中心频率由 1 579 MHz 降低为 1 573 MHz,插入损耗由 -0.9 dB 增大为 -1.2 dB。图 8 为考虑封装后的仿真曲线与实测曲线对比。由图可看出,采用等效电路模型对封装管壳和焊点的仿真结果也与实测结果相吻合。

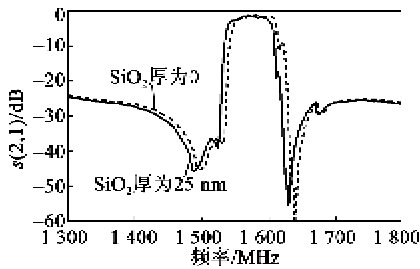


图 7 SiO₂ 厚度对滤波器性能影响

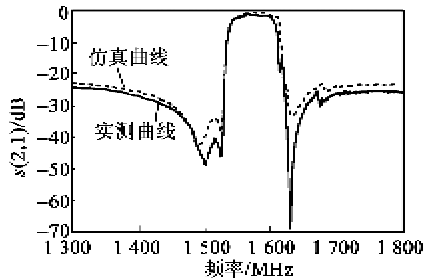


图 8 考虑封装后的仿真曲线与实测曲线对比

3 结束语

本文选用工作在 SH 模式的 LiTaO₃ 基片,基于 COM 模型和 P 矩阵级联法,在单端口谐振器的基础上设计射频 SAW 梯形滤波器。通过分析 SiO₂ 厚度对 SAW 滤波器中心频率的影响,建立等效电路模型对封装管壳和焊点进行仿真,设计制作出了一款可应用于 GPS 领域的 SAW 梯形滤波器,具有较低的插入损耗(-1.2 dB),实测结果和仿真结果有很好的吻合度。

参考文献:

[1] 徐方迁,金步平.声表面波在厚金属栅阵中的耦合模参

数[J].声学学报,2010,35(4):441-445.

XU Fangqian, JIN Buping. Coupling-of-modes parameters for surface acoustic waves propagating under metallic grating with finite thickness[J]. Acta Acustica, 2010, 35(4):441-445.

[2] 杨海峰,邢孟江.具有三阶谐振腔的 S 波段 LTCC 带通滤波器设计[J].重庆理工大学学报:自然科学版,2012,26(6):98-101.

YANG Haifeng, XING Mengjiang. A design of S-band LTCC passband filter with three resonant cavities[J]. Journal of Chongqing University of Technology, Natural Science, 2012, 26(6):98-101.

[3] 聂广琳,程红亚,汤劲松.基于 COM 参数提取技术设计 SAW 梯形滤波器[J].压电与声光,2008,30(1):3-5.

NIE Guanglin, CHENG Hongya, TANG Jinsong. Design SAW ladder type filters based on COM parameters extracting[J]. Piezoelectrics & Acousto-optics, 2008, 30(1):3-5.

[4] 周东祥,郭宁敏,易鹏程,等.基于 COM 模型的声表面波滤波器仿真与设计[J].华中科技大学学报:自然科学版,2011,39(1):20-24.

ZHOU Dongxiang, GUO Ningmin, YI Pengcheng, et al. Simulation and design of SAW filter based on COM modes[J]. Journal of Huazhong University of Science and Technology, Natural Science Edition, 2011, 39(4):20-24.

[5] 陈秉试.基于改进搜索者算法的 IIR 滤波器设计[J].重庆邮电大学学报:自然科学版,2013,25(4):445-449.

CHEN Bingshi. Design of digital IIR filter based on modified seeker optimization algorithm[J]. Journal of Chongqing University of Posts and Telecommunications, Natural Science Edition, 2013, 25(4):445-449.

[6] HASHIMOTO K Y, YAMAGUCHI M. Analysis of excitation and propagating of acoustic wave under periodic metallic-grating structure for SAW device modeling[C]//Baltimore; IEEE Ultrasonics Symposium, 1993:143-148.

[7] LARDAT R, STEICHEN W, PASTUREAUD T M. Thin layer mechanical constants extraction using SAW and stratified Green functions-examples of SAW sensitivity to silica layer[C]//Honolulu; IEEE Ultrasonics Symposium, 2003:307-311.

[8] MASAYA K, ATSUOMI F. Accurate FEM/BEM modeling of SAW devices coated with dielectric layers[C]//New York; IEEE Ultrasonics Symposium, 2007:1680-1685.