

考虑封装的 SAW 谐振式传感器仿真研究

蔡飞达^{1,2}, 李红浪¹, 柯亚兵¹, 田亚会¹, 卢孜筱^{1,2}

(1. 中国科学院声学研究所, 北京 100190; 2. 中国科学院大学, 北京 100490)

摘要:针对小体积射频声表面波(SAW)传感器性能受封装影响大的问题, 该文提出了耦合模(COM)模型与三维电磁分析结合的仿真方法。利用 COM 模型计算出芯片的单端口 S 参数; 使用三维电磁场仿真软件 HFSS 对表面贴装的陶瓷封装结构进行建模, 仿真计算出封装的 S 参数; 对芯片及封装结构 S 参数在电路仿真软件 ADS 中进行结合, 得出考虑封装的 SAW 谐振式传感器仿真结果。实验制作了工作在 428.5 MHz 的 SAW 单端谐振传感器, 采用该文所述方法仿真的理论结果与实验测量结果更接近, 验证了上述方法的可行性。

关键词:声表面波; 谐振式传感器; 传感器封装; 电磁仿真

中图分类号: TN384; TM283

文献标识码: A

DOI: 10.11977/j.issn.1004-2474.2019.01.003

Study on Simulation of SAW Resonant Sensor Considering Packaging

CAI Feida^{1,2}, LI Honglang¹, KE Yabing¹, TIAN Yahui¹, LU Zixiao^{1,2}

(1. Institute of Acoustics, Chinese Academy of Science, Beijing 100190, China;

2. University of Chinese Academy of Science, Beijing 100490, China)

Abstract: Aiming at the problem that the performance of RF SAW sensor with small size is influenced significantly by the package, a simulation method combining the coupling-of-modes (COM) model and the 3D electromagnetic analysis has been presented in this paper. First, the single port S parameter of the chip was calculated by using COM model. Then the model of the ceramic package structure with surface mounting is established by using the high frequency structure simulator (HFSS) and its S parameter is calculated. Lastly, the simulation results of SAW resonant sensor considering package are obtained by combining the S parameters of the chip and the package structure in ADS software. The SAW single port resonant sensor operating at 428.5 MHz has been fabricated experimentally. The simulation result obtained by using the method described in this article is more close to the experimental results, which verified the feasibility of the above-mentioned method.

Key words: SAW; resonant sensor; sensor package; electromagnetic simulation

0 引言

自 20 世纪 70 年代声表面波(SAW)传感器问世以来, SAW 传感技术已在物理、化学、生物等各个领域取得了广泛的应用^[1-3]。SAW 传感器通常由叉指换能器(IDT)、基片和反射栅 3 部分组成, 分为延迟线型和谐振型。其中, SAW 谐振型传感器的反射栅与 IDT 形成谐振腔, SAW 信号在谐振腔中谐振。与延迟线型 SAW 传感器相比, 谐振型 SAW 传感器具有低插入损耗, 带宽占用少及结构紧凑等优势, 可以实现更小的封装体积^[4-5]。

随着 SAW 器件体积的减小, SAW 传感器对封

装造成的影响更敏感。在 433 MHz 或更高的射频频段, SAW 传感器的封装尺度已与电磁波信号的波长可比, 导致封装的寄生参数影响显著^[6]。传统的、只基于耦合模(COM)模型的仿真结果和实际封装器件的测试结果差距逐渐增大。因此, 在设计阶段就必须对传感器封装带来的电磁影响进行仿真, 进而在制作前获得更准确的仿真结果, 提高传感器设计的成功率。

SAW 器件封装仿真通常是将管壳和焊点等结构抽象成一个由集总参数原件及传输线组成的电路网络进行模拟^[7]。通过对集总原件参数的不断调

收稿日期: 2018-03-12

基金项目: 国家重点研发计划基金资助项目(2016YFB0402705); 国家自然科学基金资助项目(61627816)

作者简介: 蔡飞达(1991-), 男, 安徽蚌埠人, 博士生, 主要从事声表面波传感器研究。E-mail: caifeida@mail.ioa.ac.cn。通信作者: 李红浪(1976-), 男, 研究员, 博士, 主要从事声表面波理论仿真及传感器结构应用的研究。E-mail: lhl@mail.ioa.ac.cn。

整,使仿真结果和测量数据相对应。由于集总参数原件数量与网络复杂度的限制,这种方法不能精确地描述汇流条、焊盘连线、焊盘与压电晶体等结构之间的三维电磁场分布关系^[6]。因此,本文提出使用 COM 模型对 SAW 谐振式传感器芯片进行仿真,同时联合三维电磁场仿真软件 HFSS 对汇流条及封装进行仿真,在 ADS 软件中通过多端口参数级联,得到考虑封装的 SAW 谐振式传感器的 S 参数响应。

1 SAW 谐振器 COM 模型仿真

COM 理论是研究 SAW 传感器重要的理论方法之一^[8]。采用 COM 仿真 SAW 谐振器的一般流程为:首先根据材料特性计算模型的参数,再利用模型方程分别计算器件内部 IDT 和反射栅的 P 矩阵,然后根据 IDT 和反射栅的连接关系将二者 P 矩阵级联得到整个器件的 P 矩阵。最后利用 P 矩阵得出散射矩阵、导纳矩阵等,进而计算出器件的时域响应和频域响应。

本文仿真的 SAW 谐振器工作在 428.3 MHz 左右,膜厚 0.3 μm ;叉指换能器指条对数为 90 对,金属化比为 0.4;双侧反射栅指条对数各为 160 对,反射栅金属化比为 0.4,COM 模型仿真的 S_{11} 结果如图 1 所示。

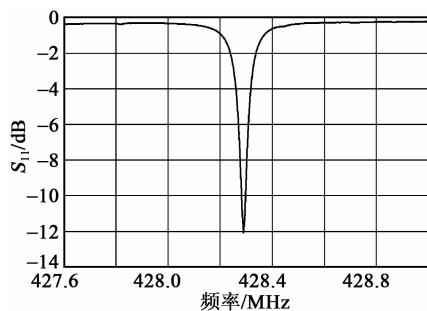


图 1 COM 模型仿真结果

2 传感器封装结构的电磁仿真及其与 COM 模型的结合

传统 SAW 谐振器 COM 模型仿真只计算出了 IDT 和反射栅共同组成谐振腔的 S 参数。针对封装结构对芯片整体电磁相应的影响,提出在传统 COM 模型基础上,对传感器封装管壳进行电磁仿真,并与 COM 模型结果进行结合分析。对结构中的陶瓷管壳、硅铝丝邦线、汇流条、晶元基片均需在 HFSS 中进行建模并仿真。本文仿真使用的封装是 NTK 公司 5 mm×5 mm 的表面贴装器件(SMD)陶瓷管壳;仿真的芯片尺寸为 3.60 mm×2.58 mm×

0.48 mm,材料为石英,在 HFSS 中建模效果如图 2 所示。

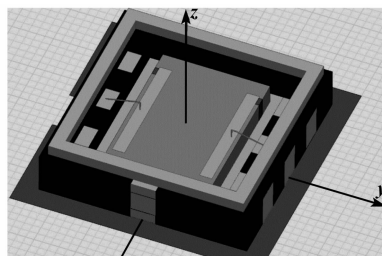


图 2 HFSS 建模效果图

材料方面,压电基片采用石英参数,介电常数为 3.78;陶瓷管壳根据生产厂家资料选取氧化铝陶瓷仿真,介电常数为 9.8;管壳中金属层材料为镍,硅铝丝及汇流条仿真使用材料为铝。

环境设置方面,根据器件在印刷电路板(PCB)上的实际工作情况,将管壳默认接地管脚和谐振器其中一侧信号管脚使用理想地平面进行连接,另一侧连接信号的引脚悬空。封装仿真时,采用集总参数端口的激励方式,求解各端口 S 参数。由于信号管脚到谐振器汇流条的电器连接均为非理想导体,所以,在谐振器汇流条处和理想地平面之间分别设置两个集总参数端口,仿真其传输特性^[9]。连接信号管脚的汇流条设置为端口 3、连接至接地引脚的汇流条设置为端口 2,在信号管脚与理想地平面之间设置端口 1。设置情况如图 3 所示。

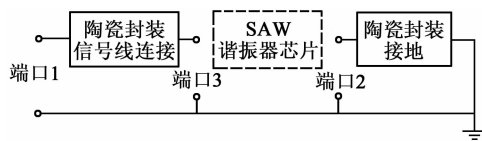


图 3 端口设置

为了在不影响计算精度的情况下,减少 HFSS 在有限元求解过程中的计算量,本文对传感器结构模型建立的过程中网格的划分主要进行了两方面简化:

- 1) 将实际截面为圆柱形的硅铝丝抽象成为 3 个六棱柱的组合。
- 2) 将芯片侧边半圆管状金属镀层简化为片状镀膜。

上述简化在保证仿真精度的前提下,加快了仿真速度^[10]。仿真结果如图 4 所示,图中虚线表示端口 1 与端口 3 之间的插入损耗,由于两个端口之间通过管壳中的金属结构短接,故插入损耗较小,约为 0.1 dB;图中实线表示端口 2 与端口 3 之间的信号

泄漏,由于无 SAW 谐振器相连,故呈现断路状态,泄漏约为 -52.2 dB。

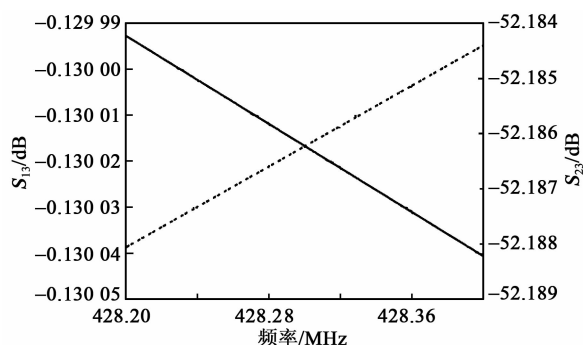


图 4 端口插损

在得到芯片的单端口 S 参数和 HFSS 仿真的 3 个端口的 S 参数后,在电路仿真软件 ADS 中进行级联,仿真芯片与管壳整体级联后的单端口 S 参数响应,端口负载设置为 $50\ \Omega$,扫频频段为 $427\sim 429$ MHz,步进 1 kHz,仿真电路设置如图 5 所示。

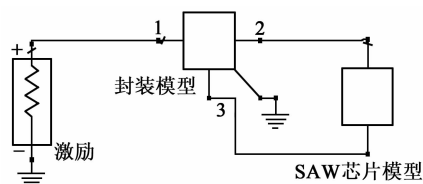


图 5 ADS 电路原理图

3 仿真与实验结果对比

本文使用网络分析仪对仿真的 SAW 谐振型传感器进行实际测试,该传感器对温度、压力敏感,因此,测试环境应保证恒温、恒压。封装为密闭结构,认为压力不变,温度方面则使用高精度恒温箱保证恒温。同时,为了排除网络分析仪及射频同轴电缆的影响,在连接测试 PCB 前,对网络分析仪及射频同轴电缆进行开路校准。测试使用的 PCB 如图 6 所示。

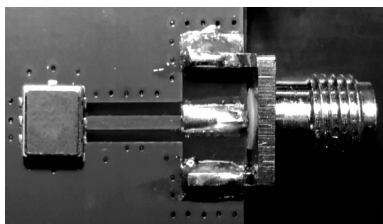


图 6 PCB 测试板

最终将实测数据、SAW 谐振器仿真数据、考虑封装的 SAW 谐振器数据进行对比,结果如图 7、8 所示。由图 8 可知,仅使用 COM 模型进行仿真的 S_{11} 幅度最小值对应的频率为 428.290 MHz,吸收峰幅度约为 -12.5 dB;实际器件 S_{11} 幅度最小值对应

的频率为 428.282 MHz,吸收峰幅度约为 -17 dB;两者频率相差 8 kHz,吸收峰幅度相差 4.5 dB。考虑封装的 SAW 传感器仿真结果的 S_{11} 幅度最小值对应的频率为 428.283 MHz,吸收峰幅度约为 -15 dB,与实际情况频率相差 1 kHz,吸收峰幅度相差 2 dB。因此,考虑封装的 SAW 传感器仿真结果比仅使用 COM 模型进行的仿真更接近实际情况。

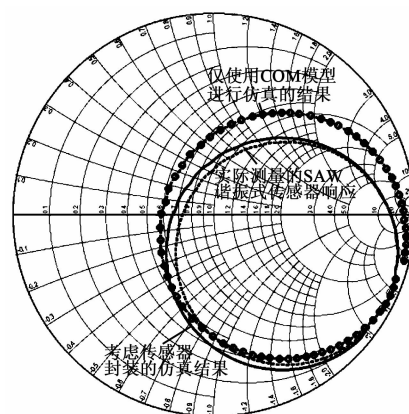


图 7 实测数据与仿真数据史密斯圆图对比

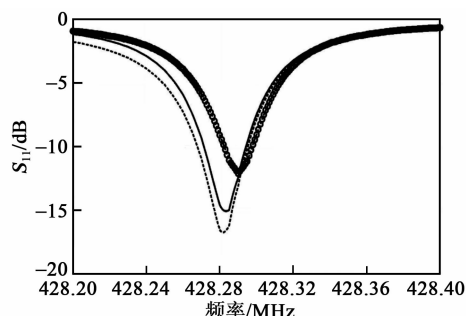


图 8 实测数据与仿真数据幅度对比

4 结束语

针对带封装、小体积射频声表面波传感器的精确仿真,本文在 COM 模型的基础上,使用三维电磁波仿真软件 HFSS 对传感器封装结构进行仿真,使用电路仿真软件 ADS 对 COM 模型仿真结果和传感器封装结构的 S 参数进行结合,考虑了封装对传感器电学响应的影响,实际测量结果与改进仿真方法后的仿真结果更吻合。

参考文献:

- [1] 叶韬,金浩,董树荣,等.无线无源声表面波传感器研究进展[J].传感器与微系统,2014,33(12):1-4.
- [2] REINDL L, SCHOLL G, OSTERTAG T, et al. SAW devices as wireless passive sensors [C]//S.I.: IEEE, Ultrasonics Symposium, 2002:363-367.