

doi: 10.11857/j.issn.1674-5124.2018100090



# FBAR 板上测试技术综述

许夏茜<sup>1</sup>, 高 杨<sup>2</sup>, 刘婷婷<sup>1</sup>

(1. 西南科技大学信息工程学院, 四川 绵阳 621010; 2. 中国工程物理研究院电子工程研究所, 四川 绵阳 621999)

**摘 要:** 随着对薄膜体声波谐振器(FBAR)器件性能要求的增高, FBAR 器件参数的精确测试变得十分关键, 该文从测试夹具结构以及对测试夹具的去嵌入校准这两个 FBAR 参数测试精度要素考虑, 综述 FBAR 板上测试技术的研究现状, 讨论测试夹具结构设计过程中的寄生效应、阻抗匹配以及夹结构设计等问题, 并分析去嵌入校准的原理、误差模型以及各校准方法的优缺点。通过降低寄生效应、优化阻抗匹配、改善校准方法、优化误差模型可提高 FBAR 板上测试的准确性, 并以此给出的一套板上测试夹具设计及测试流程。

**关键词:** FBAR; 测试夹具; 校准; S 参数

中图分类号: TN06; TM934.72

文献标志码: A

文章编号: 1674-5124(2019)02-0011-05

## Review on FBAR on-board testing technology

XU Xiaxi<sup>1</sup>, GAO Yang<sup>2</sup>, LIU Tingting<sup>1</sup>

(1. School of Information Engineering, Southwest University of Science and Technology, Mianyang 621010, China;  
2. Institute of Electronic Engineering, China Academy of Engineering Physics, Mianyang 621999, China)

**Abstract:** Accurate testing of film bulk acoustic resonator (FBAR) device parameters is one of the most critical factors of FBAR design. Two aspects must be thought in designing test fixture, which are test fixture structure and de-embedding calibration. In this paper, the research on FBAR on-board testing technology is reviewed. The parasitic effects, impedance matching and structure of the test fixture design process are discussed. The principle and error model of de-embedding calibration are analyzed. The advantages and disadvantages of each calibration method, and the calibration standards are summarized. And then give the FBAR on-board testing flow chart.

**Keywords:** FBAR; test fixture; calibration; S parameter

## 0 引 言

薄膜体声波谐振器 (film bulk acoustic resonator, FBAR) 是一种电声谐振器, 具有工作频率高、尺寸

小、品质因素高等优点。在过去十年, FBAR 射频 (RF) 滤波器成为移动通信设备 RF 部分的核心部件<sup>[1]</sup>。FBAR 器件参数的精确测试变得十分关键。

收稿日期: 2018-10-21; 收到修改稿日期: 2018-11-23

基金项目: 国家自然科学基金(61574131); 四川省教育厅资助科研项目(17ZA0402); 西南科技大学博士研究基金(15zx7156)

作者简介: 许夏茜(1992-), 女, 四川乐山市人, 硕士研究生, 专业方向为微电子机械系统研究。

通信作者: 高 杨(1972-), 男, 四川绵阳市人, 研究员, 博士, 从事微电子机械系统研究。





结果带来影响<sup>[18]</sup>,因此夹具去嵌入必不可少,而其中的关键又在于校准方法的选择。文献[19]介绍了一种标刻度的双端口矢量网络分析仪进行 PCB 元件夹具去嵌入测试方法,该方法基于最小均方值的夹具参数估计算法提取夹具参数。文献[20]介绍了一种采用 SOLT 校准程序,然后执行 THRL(through, high and low reflection)标准,但该方法复杂且繁琐,不利于推广。文献[21]中报告了一种后置去嵌入的方法测试目标 S 参数的夹具测试技术,该方法也采用 SOLT 校准程序,但不执行 THRL 标准,因此其测试过程更加简单,避免了在测试窄带微波电路时的复杂校准过程,为夹具优化设计提供了一个思路。目前,常见的校准方法主要有 SOLT(Short-Open-Load-Thru)、TRL(Thru-Reflect-Line)、LRM(Line-Reflect-Match)、LRRM(Line-Reflect-Reflect-Match)、SOLR(Short-Open-Load-Reflect)等。本文总结了 SOLT 和 TRL 方法的 12 项误差参数<sup>[22]</sup>,在表 2 中比较了两者的优缺点并分析了其使

用环境。文献[23]中给出了 TRL 校准方法推导出 DUT 真实 S 参数的数学推导过程。文献[16]中给出了使用 SOLT 方法校准最终得到 S 参数的数学推导过程。

## 2.4 校准标准件

每种校准方法都有其一套校准标准件,表 3 中总结了常见的各标准件的含义及其简要制作过程。

SOLT 校准采用短路、开路、负载和直通校准,如图 3 所示。TRL 方法采用的是去嵌入方法的思想,但是它不需要已知的负载,而是采用直通、反射、传输线 3 种连接方式进行校准<sup>[25-26]</sup>,其标准件如图 4 所示。

## 3 夹具设计流程

本文分析了 FBAR 板上测试夹具设计方法,得出如图 5 所示的夹具以及测试流程图。该流程图分为 3 个主要步骤:设计测试夹具、夹具校准的标准件以及结合矢量网络分析仪测试 DUT 的 S 参数。首先设计测试夹具,再设计去嵌入校准的标准件,

表 2 TRL 与 SOLT 方法对比<sup>[6, 15, 23-24]</sup>

名称	标准件	使用环境	优点	缺点
TRL	直通	非同轴环境:共面波导、微带线	校准准确度只依赖于传输线的特性阻抗而不依赖于其他标准,精度高,校准件制作要求相对于 SOLT 方法要低一些	获取测试夹具精确的 S 参数比较困难;需要测试人员提前设计精确的直通、反射、传输线标准件;印制电路板的叠层、各叠层的厚度、所用材料的介电常数难以确定
	反射			
	传输线			
SOLT	短路	同轴环境,高频探针,在片测试	操作简单,实现比较容易;在高频段(8~40 GHz)范围内,测试结果更优	对标准件的要求非常高,必须很好的定义负载匹配;精度相对较低;无法修正夹具引入的失配误差;DUT 的接口与校准件的接口均为 SMA 或 BNC
	开路			
	负载			
	直通			

表 3 各标准件的介绍<sup>[11, 16]</sup>

标准件	解释	制造
短路	短路端接已知精确反射系数	一个简单的导线连接到顶层的地平面,再在传输线的尽头打一些接地孔实现与底层地平面的连接
开路	与短路一样,两者可互换,有时开路可用具有一定偏移量的短路代替	用一端悬空的共面传输线实现
负载	电阻终端,一般为 50 Ω	用表面贴片电阻可实现良好的负载件(使用 2 个并联的 100 Ω 电阻替代单个 50 Ω,可将寄生电感减半)
匹配	匹配负载,通常和直通一起使用	
直通	50 Ω 直通线,典型的 0 长度	直接将待测器件端口 1 和端口 2 相连
传输线	定义 S 参数归一阻抗的传输线,通常是 50 Ω,非 0 长度传输线	用传输线将 1 端口和 2 端口连接起来(通常,传输线的特性阻抗约为 50 Ω)
反射	自校准过程中的反射终端,两个端口的反射系数相同,但值未知	分别在 1 端口和 2 端口连接具有强反射的负载(保证负载的反射系数相同)

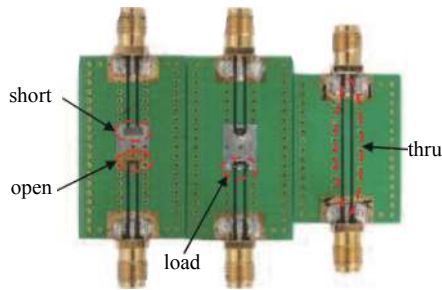


图 3 SOLT 校准标准件<sup>[2]</sup>

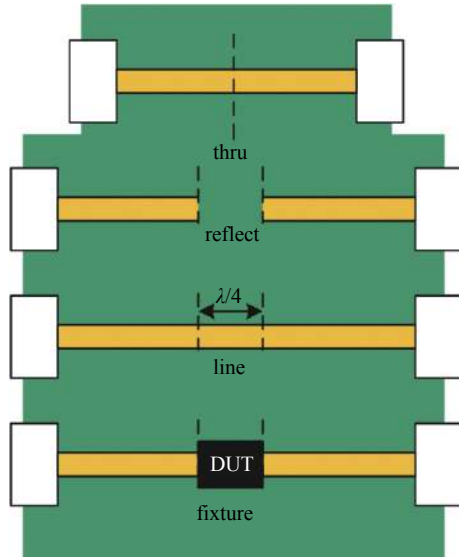


图 4 TRL 校准标准件

并测试其 S 参数且将其预存入矢量网络分析仪, 使网络分析仪能够自动完成去嵌入计算, 修正由于测试夹具而引入的误差, 测得 DUT(本文中为 FBAR) 的 S 参数。

#### 4 结束语

随着 FBAR 滤波器逐渐发展成为移动通信设备在射频领域中的核心, FBAR 器件性能测试的精度也逐渐提升。而影响 FBAR 测试夹具的测试精度的影响因素有很多, 包括 FBAR 测试夹具结构的设计以及测试夹具校准方法的选用。从测试夹具本身来看, 可以通过优化设计 FBAR 测试夹具结构, 优化夹具 PCB 设计以及 PCB 上引线布局, 降低寄生效应; 保证测试系统的阻抗要匹配良好, 沿信号路径的反射、端口间的寄生馈通最小化; 保证待测器件与测试夹具接脚的充分接触, 尽可能使滤波器的测试性能接近真实性能值。从校准来看, 可以通过建立合理的误差模型, 选择合适的校准方法, 设计高精度的校准流程标准套件, 对夹具进行校准操作, 以保证尽可能得到待测器件的真实性能值。

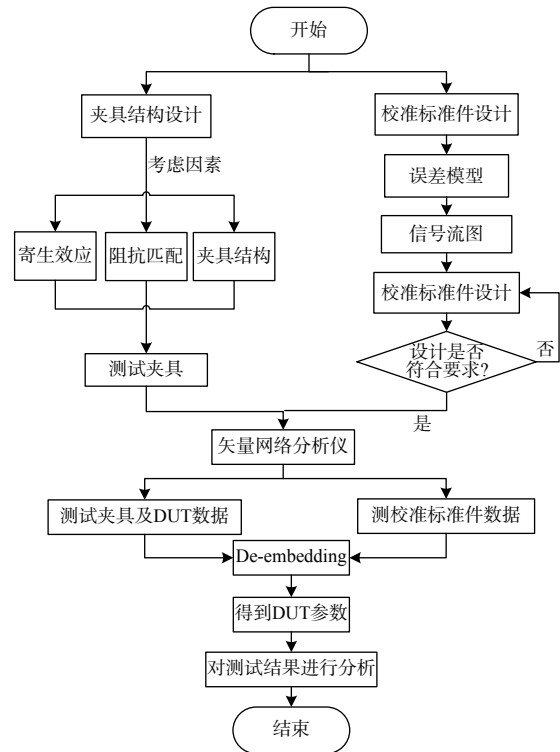


图 5 夹具设计及测试流程

#### 参考文献

- [1] BILZER H, PITSCHI F M, KIWITT J E, et al. Optimized test PCBs for SAW/FBAR RF filters[C]// Proceedings of the IEEE Ultrasonics Symposium, 2004.
- [2] 徐航. 基于 FBAR 的微质量传感器的设计及应用技术研究[D]. 上海: 上海交通大学, 2013.
- [3] 童志义. 探针测试设备简介[J]. 电子工业专用设备, 2008, 37(2): 28-31.
- [4] XU H, SU Y, YANG H, et al. An accurate in-fixture measurement method for AlN film bulk acoustic resonators[C]// Proceedings of the International Symposium on Information Science & Engineering, 2012.
- [5] 邹传云. 高频电子线路[M]. 北京: 清华大学出版社, 2012: 218-223;
- [6] 芮金城, 曹锐, 陶晓辉. 微波测试夹具及其 TRL 校准件的设计与制作[J]. 电子科技, 2017, 30(11): 93-95.
- [7] 金娇, 唐雄心. 一种滤波器测试夹具: 205301378[P]. 2016-06-08.
- [8] GHULAM M, HU A Y, ZHENG C, et al. Characterization of millimeter-wave active and passive components embedded in test fixtures[C]//Proceedings of the IEEE computer society. 11th International Conference on Frontiers of Information Technology, 2013.
- [9] CHEN Z Y, WANG Y L, LIU Y, et al. Two-port calibration of test fixtures with OSL method[C]//Proceedings of the 2002 3rd International Conference on Microwave and Millimeter Wave Technology, 2002.

状流相含率测量最大相对误差 6% 以内。说明声发射和支持向量机回归技术的相结合, 对相含率模型建立来说是成功的。

### 参考文献

- [1] 谭超, 董峰. 多相流过程参数检测技术综述[J]. 自动化学报, 2013, 39(11): 1923-1932.
- [2] 方立德, 吕晓晖, 田季, 等. 基于近红外差压技术的气液两相流双参数测量[J]. 中国测试, 2018, 44(1): 21-26.
- [3] 方立德, 李婷婷, 李丹, 等. 新型气液两相流相含率检测装置特性研究[J]. 中国测试, 2017, 43(3): 121-125.
- [4] FORDHAM E J, LENN C P, HOLMES A, et al. Corrections of gradiomanometer data for volume fractions in two-phase flows[J]. Measurement Science and Technology, 1999, 10(12): 131-135.
- [5] BOURDEL E, PASQUET D, DENORME P, et al. Measurement of the moisture content with a cylindrical resonating cavity in TM<sub>010</sub> mode[J]. IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, 2000, 49(5): 1023-1028.
- [6] LUCAS G P, PANAQIOTOPOULOS N. Oil volume fraction and velocity profiles in vertical, bubbly oil-in-water flows[J]. Flow Measurement and Instrumentation, 2009, 20(3): 127-135.
- [7] TOLLEFSEN J, HAMMER A. Capacitance sensor design for reducing errors in phase concentration measurements[J]. Flow Measurement and Instrumentation, 1998, 9(1): 25-32.
- [8] LUCAS G P, PANAQIOTOPOULOS N. Oil volume fraction and velocity profiles in vertical, bubbly oil-in-water flows[J]. Flow Measurement and Instrumentation, 2009, 20(3): 127-135.
- [9] 张易农, 彭静, 程耀华, 等. 多种超声流量计对气液两相流流量计量的试验研究[J]. 中国测试, 2017, 43(9): 143-147.
- [10] 毕雪芹, 倪原, 雷志勇. 基于双频多普勒法的超声波流量测试[J]. 探测与控制学报, 2008(4): 73-75.
- [11] 王鑫, 李美慧, 岳晓庆, 等. 油气管道两相段塞流的声发射测试实验[J]. 实验室研究与探索, 2017, 36(9): 51-54.
- [12] 张凯, 胡东芳, 王保良, 等. 基于 CCERT 与声发射技术的气液固三相流相含率测量[J]. 北京航空航天大学学报, 2017, 43(11): 2352-2358.
- [13] HURST H E. Long-term storage capacity of reservoirs[J]. Transactions of American Society of Civil Engineers, 1951(116): 770-808.

(编辑:刘杨)

(上接第 15 页)

- [10] 雷静. 非同轴微波器件测试夹具的设计与应用[J]. 电子元件与材料, 2011, 30(7): 60-63.
- [11] 李秀萍, 高建军. 微波射频测量技术基础[M]. 北京: 机械工业出版社, 2007: 19-20;
- [12] 王静祎. 微波电路测试时嵌入与去嵌入技术研究[D]. 西安: 西安电子科技大学, 2013: 37-42;
- [13] 张肇仪, 周乐柱, 吴德明, 等. 微波工程[M]. 3 版. 北京: 电子工业出版社, 2007: 138-143, 165-168.
- [14] 赵伟. 多端口矢量网络分析仪校准技术研究[D]. 南京: 南京航空航天大学, 2011.
- [15] 卢俊峰. 微波平面电路网络 S 参数测试校准方法的研究[D]. 西安: 西安电子科技大学, 2011.
- [16] 叶荣芳, 徐佳. SOLT 校准方法及其在射频测量中的应用[J]. 电子器件, 2006, 29(1): 179-182.
- [17] 赵伟, 赵永久, 袁春花, 等. 一种基于 10 项误差模型的二端口矢量网络分析仪校准方法[J]. 电子学报, 2011, 39(10): 2469-2472.
- [18] 胡为东. S 参数测试中针对夹具或探头的新一代去嵌方法[J]. 中国集成电路, 2013, 22(8): 79-84.
- [19] SAVIN A A, GUBA V G, SINOGIN M V, et al. A simple test fixture de-embedding method for PCB components measurements using a calibrated vector network analyzer [C]//Proceedings of the European Microwave Conference. IEEE, 2015.
- [20] KOMPA G, SCHLECHTWEIG M, VAN R F. Precisely calibrated coaxial-to-microstrip transitions yield improved performance in GaAs FET characterization[J]. IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, 1990, 38(1): 62-68.
- [21] LEHNA A, BANGERT A. Practical in-fixture measurement technique for narrowband microwave sub-circuits [C]// Proceedings of the 2016 16th Mediterranean Microwave Symposium, 2017.
- [22] 李伟, 王志功, 李智群. S 参数测试校准技术中 SOLT 和 TRL 校准方法的比较[C]//第五届中国测试学术会议论文集, 2008.
- [23] 陈婷, 杨春涛, 陈云梅, 等. TRL 校准方法原理及应用[J]. 计量技术, 2007(7): 46-50.
- [24] 王尊峰, 杨保国, 马景芳. 基于 TRL 校准的夹具测试技术浅析[J]. 国外电子测量技术, 2017, 36(7): 110-113.
- [25] 廖康佑, 林进康, 祁子年. 夹具上的测试与 TRL 校正[J]. 电子测试, 2003(9): 116-123.
- [26] 刘迪. 怎样设计和验证 TRL 校准件及具体过程[J]. 电子产品世界, 2008(3): 116-119.

(编辑:李刚)