

采用还原基片的声表面波滤波器可靠性研究

倪 焯, 袁 燕, 张 倩, 任秀娟, 刘启迪, 张志阳, 张志悦

北京航天微电科技有限公司, 北京

收稿日期: 2024年1月17日; 录用日期: 2024年1月31日; 发布日期: 2024年3月14日

摘 要

分析了压电基片热释电效应产生的机理和使用中带来的问题, 采用还原基片(以下简称黑片)可以有效提高声表面波滤波器的抗静电能力。针对采用黑片工艺的声表面波滤波器可靠性展开研究: 选取不同种类的黑片, 进行不同芯片尺寸的声表面波滤波器粘接固化、筛选试验和装配后的剪切/粘接强度测试, 并进行结构分析、鉴定检验和元器件评估。试验结果表明, 黑片满足声表面波滤波器的高可靠性要求, 对后续在高可靠声表面波滤波器中的应用具有指导意义。

关键词

热释电效应, 还原基片, 声表面波滤波器, 可靠性

A Study on Reliability of SAW Filters with Reduction Wafers

Ye Ni, Yan Yuan, Qian Zhang, Xiujuan Ren, Qidi Liu, Zhiyang Zhang, Zhiyue Zhang

Beijing Aerospace Micro-Electronics Technology Co., Ltd., Beijing

Received: Jan. 17th, 2024; accepted: Jan. 31st, 2024; published: Mar. 14th, 2024

Abstract

The mechanism of pyroelectric effect and the problems in the use of piezoelectric wafers are analyzed. It is proposed that the reduction wafers (black wafers) can effectively improve the antistatic ability of SAW (surface acoustic wave) filters. The reliability of SAW filters using black wafers technology is studied. Select different kinds of black wafers, carry out the shear/bonding strength test of SAW filters with different chip sizes after bonding curing, screening test and assembly. Then carry out the identification test, the structural analysis and the component evaluation. The test results show that the black wafers meet the high reliability requirements of SAW filters, which has guiding significance for the subsequent application in high reliability of SAW filters.

文章引用: 倪焯, 袁燕, 张倩, 任秀娟, 刘启迪, 张志阳, 张志悦. 采用还原基片的声表面波滤波器可靠性研究[J]. 仪器与设备, 2024, 12(1): 1-10. DOI: 10.12677/iae.2024.121001

Keywords

Pyroelectric Effect, Reduction Wafers, SAW Filters, Reliability

Copyright © 2024 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

声表面波滤波器大多采用钽酸锂(LiTaO₃, 简称 LT)、铌酸锂(LiNbO₃, 简称 LN)压电单晶基片作为衬底。

LT 和 LN 基片具有较高的热释电系数[1] (LT 晶体热释电系数为 $23 \times 10^{-5} \text{ C/m}^2 \cdot \text{K}$, LN 晶体热释电系数为 $4 \times 10^{-5} \text{ C/m}^2 \cdot \text{K}$ [2]), 基片在温度变化时表面容易积累大量静电荷, 由于基片本身为绝缘体, 静电荷不容易消散, 当静电场足够高时, 静电荷释放容易打裂基片, 损伤光刻胶图形, 烧毁金属叉指电极, 如图 1 所示, 降低芯片的成品率及可靠性, 制作高频器件时尤其明显。

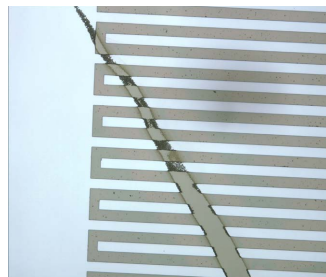


Figure 1. The photoresist pattern damage caused by electrostatic charge release
图 1. 静电荷释放造成的光刻胶图形损伤

普通压电基片制作的声表面波器件, 在温度变化时会出现偶发的、瞬时(ns 级)幅频信号突变, 在高灵敏度要求的调相系统中就会产生较大的影响。如图 2 所示。

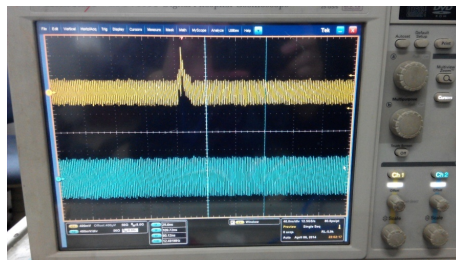


Figure 2. The amplitude frequency signal mutation caused by electrostatic charge release
图 2. 静电荷释放造成的幅频信号突变

另外, 普通压电基片的透光性, 在光刻时会导致基片背面形成漫反射, 从而引起线宽失真; 基片表面反射回光刻胶层的紫外光还会与入射光产生干涉, 光强在光刻胶层中形成驻波分布[3], 显影后光刻胶边缘轮廓有一定的起伏, 最终可能导致叉指线条边缘陡直度下降, 影响光刻精度和器件电性能, 如图 3 所示。

为解决基于以上普通压电基片出现的问题, 自 1998 年开始, 国外展开了黑片的工艺研究及产业化应

用, 美国 CTI 采用化学还原扩散技术开发出低电阻率黑色 LN 晶体, 2003 年日本 Yamaju 开发了低电阻率黑色 LT 晶体[4]。制备原理是将待还原的压电基片放入还原炉中, 抽真空后, 充入 CO_2 和 H_2 [5], 升温至还原温度后, 保温一定时间后降至室温, 获得黑片。还原温度越高, 基片越黑。黑片的黑化程度可以通过数字高阻计测试基片的导电性判断。国内于 2004 年也展开了该类工艺研究, 多家基片供应商能够提供此类基片, 如图 4 所示。

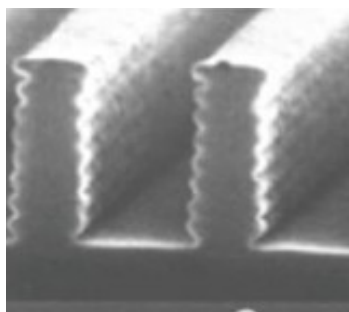


Figure 3. The lines made from ordinary piezoelectric wafers

图 3. 普通压电基片制作出的线条



Figure 4. The physical drawing of ordinary piezoelectric wafers and reduction wafers

图 4. 普通压电基片和黑片实物图

通过对比实验, 将普通压电基片和黑片分别放置于 130°C 烘箱加热 10 min 后, 取出放在负电极上, 20 s 内降至室温加上正电极, 用毫伏表测量上下表面电位差普通压电基片热电位差大于 600 mV, 而黑片上下表面电位差小于 5 mV。表明黑片的热释电效应基本接近消除。同时黑片对短波的透过率影响较大, 有利于消除光刻时的漫反射效应和干涉驻波效应的影响, 从而提高光刻工艺的精准控制, 如图 5 所示。

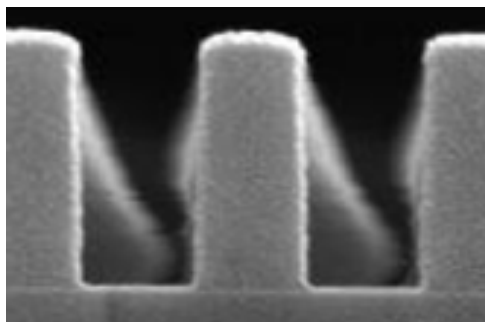


Figure 5. The lines made from black wafers

图 5. 黑片制作出的线条

2. 黑片工艺的可靠性研究

本文针对采用黑片工艺的声表面波滤波器可靠性展开研究。通过以下试验结果判定黑片是否满足声表面波滤波器的高可靠性要求。

- 1) 选取现声表面波滤波器制作常用的 7 种类型黑片(LN, LT), 分别切割成 6 种不同尺寸, 采用粘接胶粘接固化、筛选、焊接装配后, 进行外观检查及剪切拉力测试。
- 2) 随机选取应用黑片生产的 3 种声表面波滤波器, 进行结构分析。
- 3) 对应用黑片生产的 3 种声表面波滤波器, 进行鉴定试验。
- 4) 依据认定方案, 从黑片和普通压电基片生产的 3 种声表面波滤波器中抽取产品, 进行元器件评估。

2.1. 可靠性试验方案

2.1.1. 芯片粘接方案

采用 7 种类型黑片(LN、LT)制作的声表面波滤波器, 芯片尺寸、封装形式、剪切/粘接强度判据要求, 如表 1 所示。

Table 1. The failure criterion of shear/bonding strength of different chips sizes

表 1. 不同尺寸芯片的剪切/粘接强度失效判据

序号	芯片尺寸/mm ²	封装形式	1 倍失效判据/Kgf	2 倍失效判据/Kgf
1	1.2 × 1.2	陶瓷表贴	0.8	1.6
2	4.0 × 2.0	陶瓷表贴	2.5	5.0
3	3.0 × 6.0	陶瓷表贴	2.5	5.0
4	3.5 × 8.0	陶瓷表贴	3.9	7.8
5	7.0 × 6.0	金属插针	4.16	8.32
6	10 × 5.0	金属插针	4.27	8.55

2.1.2. 筛选试验条件

试验方法按照 GJB548B-2005 《微电子器件试验方法和程序》执行。具体项目包括:

- 1) 稳定性烘焙, 方法 1008.1 条件 B: 125℃ ± 3℃, 96 h。
- 2) 温度循环, 方法 1010.1 条件 B: -(55 ± 3)℃~(125 ± 3)℃, 恒温时间不少于 30 min, 转换时间不超过 1 min, 循环 10 次。
- 3) 机械冲击, 方法 2002.1: Y1 方向, 1500 g, 脉冲宽度 0.5 ms, 3 次。
- 4) 电老炼, 方法 1015.1: T = (100 ± 3)℃, h = 96 小时。
- 5) 检漏, 方法 1014.1: 将所有器件检漏(细检漏 A1, 粗检漏 C1, R1 根据器件内腔体积而定)。

2.1.3. 装配工艺条件

- 1) 对于金属插针管座封装的样品, 采用手工焊装配工艺。将器件与印制板紧密接触, 印制板表面无阻焊, 焊接温度 320℃, 连续焊接时间 5 s。
- 2) 对于陶瓷管座封装的样品, 采用回流焊装配工艺。最高焊接温度 230℃。

2.1.4. 结构分析

随机选取应用黑片生产的 3 种声表面波滤波器, 型号分别为 72 MHz、770 MHz、2218 MHz, 每种型号各抽取 2 只进行结构分析, 通过一系列破坏性和非破坏性检验、分析和试验, 对元器件的设计、工艺和材料等满足评价要求和相关项目运行要求的能力做出早期判断。

2.1.5. 鉴定检验

依据产品详细规范进行鉴定试验。鉴定检验项目及技术要求见表 2。

Table 2. The identification and inspection procedure

表 2. 鉴定检验程序

组别	检验项目	技术要求
1 组	尺寸、外观及机械检验	尺寸、外观及机械检验符合规范要求。
	电性能(室温、高温、低温)	室温、低温-55℃, 高温+85℃, 电性能符合规范要求。
	温度循环	-55 - 100℃~125 + 150℃, 先低温后高温, 转换时间不大于 1 min, 各温度下停留时间不小于 10 min, 循环次数: 10 次。
	扫频振动	按 GJB548B-2005 中方法 2007, 条件 A。
	机械冲击	按 GJB548B-2005 方法 2002.1, 条件 B (1500 g), Y1 方向, 5 次。
2 组	PIND	按 GJB548B-2005 中方法 2020.1 试验条件 A 或 B 规定进行试验(20 g, 90 Hz)。
	耐湿	按 GJB548B-2005 方法 1004.1 的规定进行试验。 细检漏: 压力 0.517 MPa, 加压 4 h 漏气速率 $R1 \leq 5 \times 10^{-9} \text{ Pa}\cdot\text{m}^3/\text{s}$;
	密封	粗检漏: 压力 0.517 MPa, 加压 2 h 无连续气泡逸出。
	终点电测试(室温)	电性能符合规范要求。
	盐雾	按 GJB548B-2005 中方法 1009.2 试验条件 A 规定进行试验。 细检漏: 压力 0.517 MPa, 加压 4 h 漏气速率 $R1 \leq 5 \times 10^{-9} \text{ Pa}\cdot\text{m}^3/\text{s}$;
3 组	密封	粗检漏: 压力 0.517 MPa, 加压 2 h 无连续气泡逸出。
	寿命	GJB548B-2005 方法 1005.1 的规定进行试验: 试验温度: $100^\circ\text{C} \pm 3^\circ\text{C}$; 工作状态: 工作频率为: 770 MHz, 信号源阻抗和负载阻抗符合规范要求, 额定输入功率为: 10 dBm; 试验时间: 500 h。
4 组	终点电测试(室温)	电性能符合规范要求。
5 组	可焊性(所有引线)	按 GJB548B-2005 方法 2003.1 的规定进行: a) 每个器件受试引出端数目: 全部引出端; b) 蒸汽老化时间: 4 h。
	引线牢固性	GJB548B-2005 中方法 2004.2 条件 A。
6 组	静电放电	GJB548B-2005 方法 3015 的规定。
7 组	内部水汽含量	按 GJB548B-2005 方法 1018.1 试验温度 100℃ 下试验时, 内部水汽含量不大于 5000×10^{-6} 。
	内部目检	应按 GJB4027A-2006 工作项目 1300 的有关规定进行内部目检。
8 组	键合强度(破坏性键合拉力试验)	按 GJB548B-2005 方法 2011.1 的规定进行试验。
	附着强度/剪切强度	对于芯片面积大于等于 30 mm^2 的芯片, 应按 GJB548B-2005 方法 2027.1 进行附着强度试验, 对于芯片面积小于 30 mm^2 的芯片, 应按 GJB548B-2005 中方法 2019.2 规定进行试验。

2.1.6. 元器件评估

从黑片和普通压电基片生产的 3 种声表面波滤波器中抽取产品, 按照表 3 要求进行产品功能性能分析、极限评估和寿命考核强化试验。

Table 3. The breakdown of component evaluation items
表 3. 元器件评估项目分解表

序号	评估试验项目	样品数量
1	产品功能性能分析	带内插损温度梯度曲线
		带内插损和阻带抑制随输入功率的变化曲线
2	极限评估	1 分组 温度应力极限
		2 分组 抗安装能力极限
3	寿命考核强化试验	各 2 只

极限评估试验包括 2 个分组，各分组的试验程序、方法见表 4。

Table 4. The limit assessment test procedure
表 4. 极限评估试验程序

序号	极限试验项目	试验方法及要求
分组 1	电性能测试	按认定方案进行。
	温度循环	具体试验步骤如下： 初始条件：GJB548B-2005 方法 1010 条件 B， $-55^{\circ}\text{C}\sim+125^{\circ}\text{C}$ ，循环次数：100 次，保持时间 30 min，转换时间小于 1 min； 试验后：按认定方案表 1 要求测试电性能；要求对比每次试验后的测试结果，不能存在异常变化； 步进条件：循环次数步进 100 次； 终止条件：1 只器件失效或总循环次数为 500 次。
	制样镜检	试验后的样品按专用试验方案进行样品剖面的制备，重点检查金属化与基片之间的粘接质量。
分组 2	电性能测试	按认定方案进行。
	耐焊接热	按 GJB360B 方法 210 条件 B 进行，并采用下列细则： 初始条件：温度： $(260 \pm 5)^{\circ}\text{C}$ ；时间： $(10 \pm 1)\text{s}$ ；焊接次数：1 次； 试验后 4 h 内按表 1 要求测试电性能； 步进条件：焊接次数增加 1 次； 终止条件：总焊接次数增加至 5 次或 1 只器件失效。 注：陶瓷封装产品耐焊接热试验由高温贮存替代，试验温度与贮存时间同焊接试验的焊接温度与时间。

寿命考核强化试验的试验项目、条件见表 5。

Table 5. The enhanced test procedure for life assessment
表 5. 寿命考核强化试验程序

序号	试验项目	试验条件
1	高温寿命	试验温度： $(100 + 3)^{\circ}\text{C}$ ；工作状态：工作频率为：72 MHz，额定输入功率为：10 dBm；试验时间：1000 h。
2	电性能(常温)	按采购规范测试方法。

2.2. 可靠性试验分析

2.2.1. 芯片剪切/粘接强度测试

将表 1 中采用不同尺寸黑片制作的声表面波滤波器，分别进行剪切/粘接强度测试，数值和对比结果如图 6 所示。

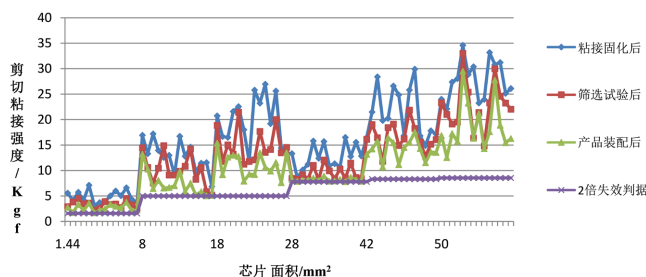


Figure 6. The numerical comparison of shear/bonding strength of different chips sizes
图 6. 不同尺寸芯片的剪切/粘接强度数值对比图

测试结果表明, 采用不同尺寸黑片制作的声表面波滤波器, 在粘接固化、筛选和焊接装配后, 剪切/粘接强度均大于 2 倍失效判据要求。同时, 采用高倍显微镜进行检验, 芯片无裂纹或碎纹, 满足高等级产品的可靠性要求。

2.2.2. 结构分析

经过分析, 黑片制作的声表滤波器结构、工艺、材料进行分析, 无航天禁(限)用的结构、工艺和材料。各项试验检查无异常。综上, 分析认为该项目器件为高可靠产品可用。

2.2.3. 鉴定检验

采用黑片制作的产品试验结果均合格, 鉴定结论合格, 鉴定检验为一次性通过。

2.2.4. 产品功能性能分析

1) 带内插损温度梯度曲线对比

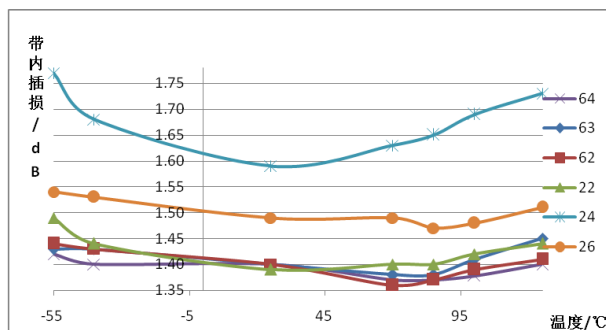


Figure 7. The 72 MHz comparison of temperature gradient curves of band interpolation loss
图 7. 72 MHz 产品带内插损温度梯度曲线对比

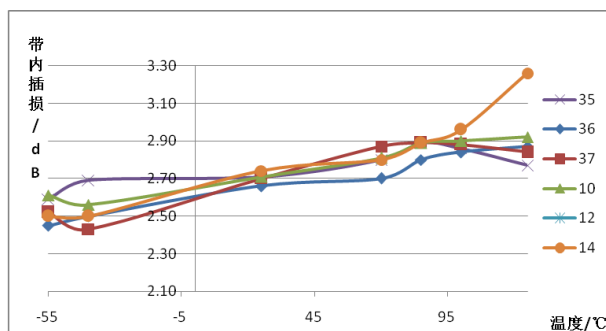


Figure 8. The 770 MHz comparison of temperature gradient curves of band interpolation loss
图 8. 770 MHz 产品带内插损温度梯度曲线对比

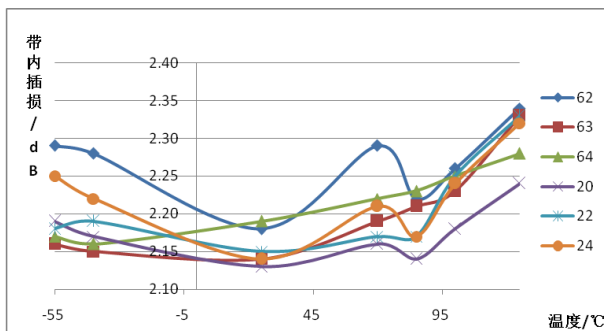


Figure 9. The 2218 MHz comparison of temperature gradient curves of band interpolation loss
图 9. 2218 MHz 产品带内插损温度梯度曲线对比

对黑片和普通压电基片产品在-55℃、-40℃、+25℃、+70℃、+85℃、+100℃、+125℃对应温度下的带内插损分别进行测试，并记录数据，绘制带内插损随温度变化的拟合曲线，如图 7、图 8、图 9 所示。

以上结果表明，采用黑片和普通压电基片生产的声表面波滤波器插损随温度变化的拟合曲线基本保持一致。

2) 带内插损和阻带抑制随输入功率的变化曲线对比

对黑片和普通压电基片产品在 0 dBm、5 dBm、10 dBm、15 dBm、20 dBm 对应功率下的带内插损和阻带抑制分别进行测试，并记录数据，绘制带内插损和阻带抑制随功率变化的拟合曲线，如图 10~15 所示。

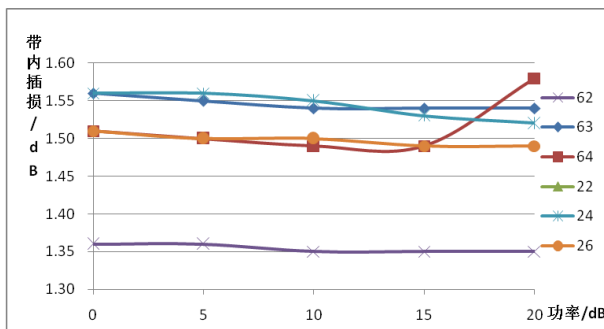


Figure 10. The 72 MHz comparison of power gradient curves with interpolation loss
图 10. 72 MHz 产品带内插损功率梯度曲线对比

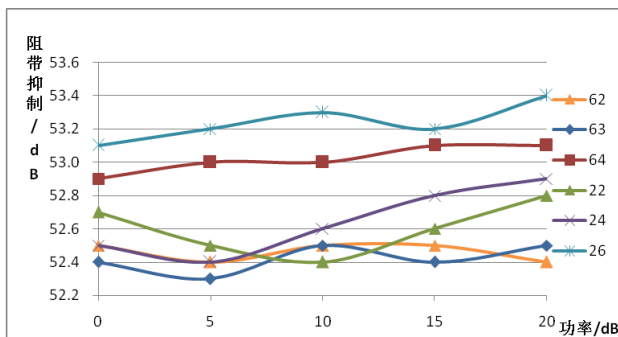


Figure 11. The 72 MHz comparison of stop band suppression power gradient curves
图 11. 72 MHz 产品阻带抑制功率梯度曲线对比

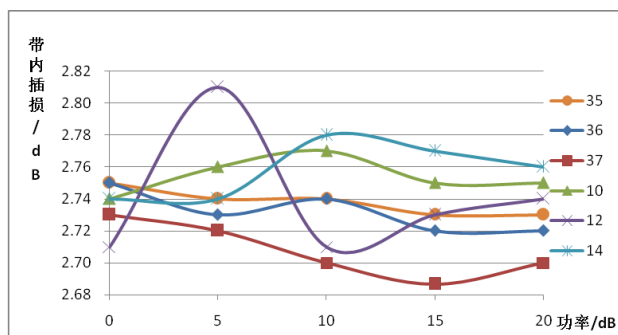


Figure 12. The 770 MHz comparison of power gradient curves with interpolation loss
图 12. 770 MHz 产品带内插损功率梯度曲线对比

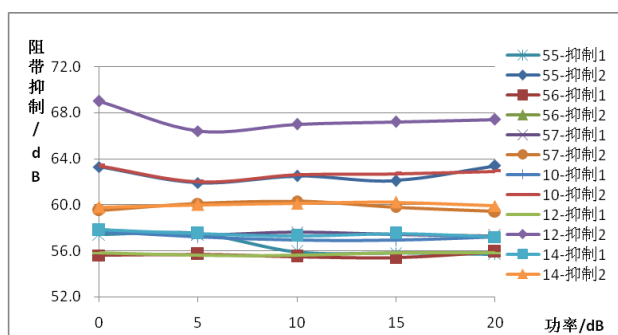


Figure 13. The 770 MHz comparison of stop band suppression power gradient curves
图 13. 770 MHz 产品阻带抑制功率梯度曲线对比

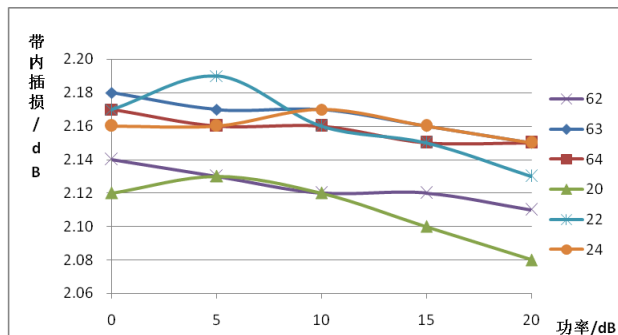


Figure 14. The 2218 MHz comparison of power gradient curves with interpolation loss
图 14. 2218 MHz 产品带内插损功率梯度曲线对比

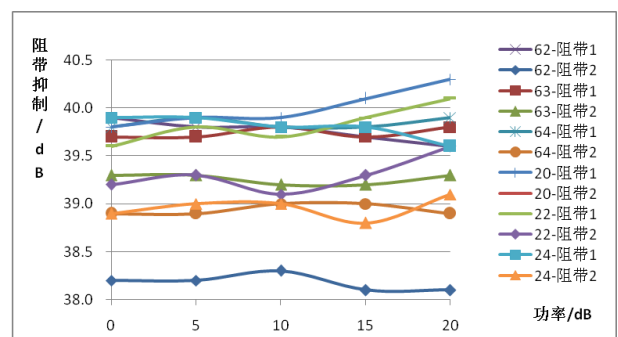


Figure 15. The 2218 MHz comparison of stop band suppression power gradient curves
图 15. 2218 MHz 产品阻带抑制功率梯度曲线对比

以上结果表明,采用黑片和普通压电基片生产的声表面波滤波器的带内插损和阻带抑制随功率变化的拟合曲线基本保持一致。

2.2.5. 极限评估

极限评估试验按照表 4 的试验项目要求,进行考核,分别进行了温度应力极限测试和抗安装能力极限测试,经验证达到考核要求。

2.2.6. 寿命考核强化试验

寿命考核强化试验按照表 5 的试验项目要求,进行考核,进行了高温寿命测试,经验证达到考核要求。

3. 结论

1) 将 7 种类型黑片(LN、LT),分别切割成 6 种尺寸的芯片,按照声表面波滤波器的高可靠性要求进行粘接,在粘接固化、筛选试验和装配后,剪切/粘接强度大于国军标 2 倍失效判据要求,同时,采用高倍显微镜检查,芯片无裂纹或碎纹。

2) 采用黑片制作的 3 种型号声表面波滤波器产品: 72 MHz、770 MHz、2218 MHz,试验结果均合格,鉴定检验为一次性通过。

3) 采用黑片制作的声表滤波器结构分析结论为高可靠产品可用。

4) 元器件评估试验的产品功能性能分析中,对比了黑片和普通压电基片生产的声表面波滤波器,结论是:插损随温度变化的拟合曲线基本保持一致,带内插损和阻带抑制随功率变化的拟合曲线基本保持一致,幅频特性曲线基本保持一致。

5) 采用黑片生产的声表面波滤波器极限评估和寿命考核强化试验合格。

6) 综上所述,本文所述黑片可以正式应用于高等级声表面波滤波器生产制作中,同时提升了器件的高可靠性保证。

参考文献

- [1] 张显洪, 陈彦光, 朱勇, 等. 声表滤波器热释电效应的研究[J]. 压电与声光, 2017, 39(6): 797-799.
- [2] 夏宗仁, 贝伟斌, 崔坤, 等. 黑色 LiNbO_3 和 LiTaO_3 晶片 SAW 器件研究[C]. 2006 和谐开发中国西部声学学术交流会议论文集, 2006: 29-32.
- [3] Michael Quirk, Julian Serda. 半导体制造技术[M]. 韩郑生, 等, 译. 北京: 电子工业出版社, 2004: 354-355.
- [4] Barie, N., Wessa, T., Bruns, M., et al. (2004) Love Wave in SiO_2 layers on STW-Resonators Based on LiTaO_3 . *Talanta*, **62**, 71-79. [https://doi.org/10.1016/S0039-9140\(03\)00407-7](https://doi.org/10.1016/S0039-9140(03)00407-7)
- [5] 夏宗仁, 崔坤, 徐家跃. 弱热释电效应黑色铌酸锂、钽酸锂晶体研究[J]. 压电与声光, 2004, 26(2): 126-128.