

声表滤波器热释电效应的研究

张显洪, 陈彦光, 朱 勇, 陈尚权

(中国电子科技集团公司第二十六研究所, 重庆 400060)

摘要:该文分析了热释电效应产生的机理,极化强度与温度变化的关系,进而分析了钽酸锂和铌酸锂的热释电效应,这两种材料是制作声表面波滤波器的基片材料。取3只128°铌酸锂白片样品数进行试验,当温度变化时,热释电效应引起静电放电一般约为6V,但有1只器件在温度变化到-50℃左右时,会出现振荡波形峰-峰值约在25V的最大波形,这些静电会对声表面波器件本身或后级电路造成严重影响。通过分析静电放电失效模式,提出了器件防静电的方法。最后,验证了声表面波滤波器使用还原基片用于防静电的方案。

关键词:声表滤波器;热释电效应;静电放电;铌酸锂;钽酸锂

中图分类号:TN65 **文献标识码:**A

Study on Pyroelectric Effect of Surface Acoustic Wave Filter

ZHANG Xianhong, CHEN Yanguang, ZHU Yong, CHEN Shangquan

(26th Institute of China Electronics Technology Group Corporation, Chongqing 400060, China)

Abstract: The mechanism of piezoelectric effect and the relationship between the polarization intensity and temperature are analyzed in this paper. And then the pyroelectric effects of LiTaO_3 and LiNbO_3 are analyzed. These two materials are the substrate materials for fabricating surface acoustic wave filters. 3 samples of white 128° LiNbO_3 wafers are selected to do the test. It is found that the pyroelectric effect caused by electrostatic discharge is generally about 6 volts when the temperature changes. But when the temperature changes to -55°C or so, a device appears the oscillating waveform peak-to-peak value of about 25 volts waveform. This static electricity will seriously affect the surface acoustic wave device itself or the post-stage circuit. By analyzing the failure mode of the electrostatic discharge (ESD), the anti-electrostatic method of the device is proposed in this paper. Finally, the scheme of using reduction substrate for anti-electrostatic of SAW filter is verified.

Key words: acoustic wave filter; pyroelectric effect; electrostatic discharge; LiNbO_3 ; LiTaO_3

0 引言

随着红外技术的发展,热释电已广泛应用于医疗、军事、遥感、航空航天空间技术等领域,但在声表滤波器的制作和使用过程中,热释电效应具有负面效应。在声表滤波器的设计过程中,若不考虑基片材料的热释电效应产生的负面效应,则器件尤其是高频器件在工艺制作、高温储存、温变实验及电路应用过程中,引起的静电效应会烧坏器件本身或使器件本身的性能下降,并对后级电路造成影响。这从我们生产声表器件的工艺,以及一些用户反馈回来的信息得到印证。那么什么是热释电效应,它产生

的机理是什么,静电效应的失效模式是如何分析的,声面器件如何规避热释电效应引起的负面效应,本文将对这些问题进行研究。

1 机理分析

热释电效应指的是电介质的极化随温度改变的现象。当温度改变时,极化发生变化,原先的自由电荷不能再完全屏蔽束缚电荷,表面出现了自由电荷,它们在附近的空间形成电场,对带电微粒有吸引或排斥作用。如果与外电场连接,则可在电路中观测到电流,升温 and 降温两种情况下的电流方向相反,如图1所示。

收稿日期:2017-01-17

基金项目:国家重大预研项目

作者简介:张显洪(1966-),男,重庆秀山人,高级工程师,硕士,主要从事声表面波滤波器器件的研究。

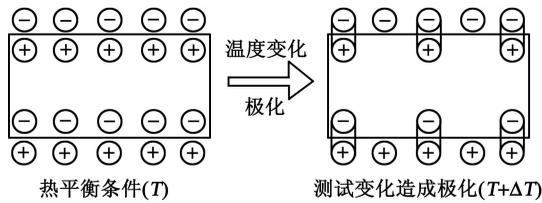


图1 热释电效应形成的原理

极化电荷量由极化强度决定。极化强度受温度变化决定,极化强度变化量(ΔP_s)为

$$\Delta P_s = P \times \Delta T \quad (1)$$

式中: ΔT 为温度变化量; P 为热释电系数(材料决定的常数)。

当晶体表面温度变化时,其极化强度随之变化,晶体表面的极化电荷也将产生变化,如图2所示。图中, T_c 为居理温度。

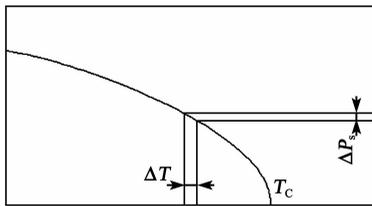


图2 热释电材料极化强度与温度的关系

2 声表滤波器的基片材料

自发极化是指因物质本身的结构在某个方向上正、负电荷中心不重合而固有极化。一般情况下,晶体的自发极化产生的表面束缚电荷被吸附在晶体表面上的自由电荷所屏蔽,当温度发生变化时,自发极化发生变化,从而释放出表面吸附的部分电荷。晶体冷却时,电荷极化与加热时相反。热释电材料是一种压电材料,是不具有中心对称性的晶体。

过去声表滤波器常用基片材料有钽酸锂(LiTaO_3 ,简称LT)和铌酸锂(LiNbO_3 ,简称LN),这两种片子简称白片。所有采用 LiTaO_3 和 LiNbO_3 晶片的声表面波器件都具有弱热释电效应,在温度变化,特别是在温度突变时,常规基片的表面会产生、积累静电荷,积累到一定程度后会释放静电波形,释放静电波形的电压与热释电系数、温度变化率、极化面积大小有关:

$$U = \rho \times A \times \frac{dT}{dt} \times R_L \quad (2)$$

式中: ρ 为热释电系数; $\frac{dT}{dt}$ 为温度变化率; A 为极化面积; R_L 为基片材料的体电阻。

如果生产过程中芯片未建立静电释放通道,静电对芯片指条影响较大。因此,我们在生产过程中均采用了防静电处理措施,但器件在作温循实验时也会出现热释电效应。表1为 LiNbO_3 和 LiTaO_3 的一些物理特性。

表1 LiNbO_3 和 LiTaO_3 的物理特性

	$T_c/^\circ\text{C}$	相对介电常数	热膨胀系数/ $10^{-6}^\circ\text{C}^{-1}$	热释电系数/ $(\text{C} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{K}^{-1})$
LiNbO_3	1 200	55	15.4	0.4×10^{-8}
LiTaO_3	600	47	16.1	2.3×10^{-7}

同时,我们由文献[1]中得到基片材料 128° LiNbO_3 白片的热电位差约为30 mV。

为了验证基片材料的热释电效应,我们用120#,厚0.75 mm的基片材料 LiNbO_3 (白片)做成的声表滤波器进行试验验证。样品数3只,温度从 25°C 变化到 100°C ,保温10 min;再从 100°C 变到 -55°C ,保温10 min;然后,从 -55°C 变到 100°C ,保温10 min;最后,从 100°C 回到 25°C ,完成一个循环。温度变化率为 $10^\circ\text{C}/\text{min}$ 。

实验结果显示,完成一次循环要出现多次如图3所示的振荡波形(图3显示的是示波器捕捉到的静电波形,横轴每格2 ns,纵轴每格4 V)。示波器捕捉到的振荡波形峰-峰值一般约在6 V;但有的器件在温度变化到 -50°C 时,会出现振荡波形峰-峰值在25 V左右的最大波形。这是由于基片材料通过热释电效应引起的静电放电现象。

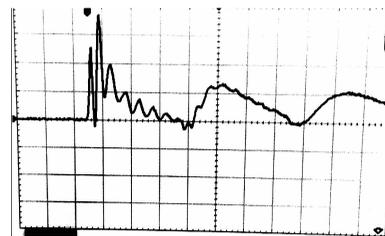


图3 振荡波形

3 静电放电(ESD)失效模式分析

一般ESD的模型有很多种,但常见的有人体模型、机器模型和充电器件模型。1974年,speakman提出了因元器件本身累积电荷而迅速放电可能造成元器件损坏,这种失效称为器件充放电(即CDM)失效^[1-2]。其原理:CDM指芯片(IC)因摩擦或其他因素在IC内部累积了静电荷,但在静电荷累积过程中IC并未被损伤,随后带静电的IC在处理过程中,当

其接触到接地电位时,IC内部的静电便会由IC内部流出,造成放电现象,这就是CDM放电,简称充电放电模式。声表滤波器在做温变试验时,基片材料的热释电效应造成了静电烧伤。因为器件的封装尺寸很小,其电容和电感值很小(约为5 pF, 10 nH),故放电时间极短,电流能在1 ns内达到很高。若保护电路不能及时导通,则静电荷通过元器件结构中的寄生电容进行放电,IC栅极氧化层易被损坏。放电示意图如图4所示。

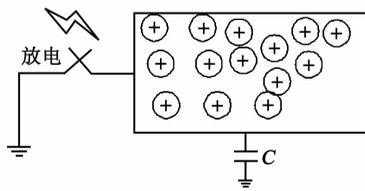


图4 放电示意图

4 改进方法

4.1 增加声表滤波器应提供静电防护电路

在使用热释电材料设计的声面滤波器时,应考虑设计一条低阻抗放电通道的静电防护电路,并将电压钳位在一定水平。

比如在声表滤波器的后级并一个雪崩二极管,利用二极管反向雪崩击穿特性,使静电钳位;或者,声表滤波器的后级并联一个几百纳亨的电感,目的是要求具有较快的导通速度和小的等效电容,以减小保护电路对电性能的影响。这样就不会对后级电路产生严重影响,这在声表行业几十年来的应用中得到了验证。

4.2 工艺上用还原片(黑片)替代现有的片子(白片)

目前,国内外声表专业同行大多数均对LT和LN晶片进行了去热释电处理,我们称为黑片。理论上,去热释电处理的压电基片(黑片)的体电阻比同类的白片约低3个数量级,极大地降低了静电荷积累水平。采用这种黑化处理的基片制作的产品的静电防护能力明显提高;同时,去热释电处理后的晶片除颜色加深,体电阻降低外,其他物理性质未发生改变。我们从文献[3-6]得到基片材料 128°LiNbO_3 黑片的热电位差为5 mV以下。

为了验证此结论,我们用1 000#,厚0.5 mm

的基片材料 LiNbO_3 (黑片)做成的声表滤波器进行温变试验。样品数3只,温度从25℃变化到100℃,保温10 min;再从100℃变到-55℃,保温10 min;然后,从-55℃变到100℃,保温10 min;最后,100℃回到25℃,完成一个循环。温度变化率为10℃/min。

实验结果显示,未捕捉到5 V以上的热释电效应引起的静电放电波形,这说明黑片防静电能力明显增强。

5 结束语

作为声表器件的设计人员,一定要了解声表器件基片材料的热释电效应,知道热释电效应的负面作用,即电荷累积引起的静电放电对器件本身的烧伤及后级电路的影响。因此,在生产过程中的高温烘烤,环境试验中高温储存,温度冲击,耐湿试验及运输过程,都要对器件进行防静电处理。目前,设计声表滤波器时,热释电效应较小的基片材料用黑片替代白片成为国内外同行的首选。

参考文献:

- [1] 蔡依林. 器件充电放电模式的静电防护[J]. 信息技术与标准化, 2008(10): 31-33.
- [2] 马璇. 半导体器件应用中的可靠性及失效分析[J]. 电子元器件应用, 2000(12): 32-36.
- [3] 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.
XIA Zongren, CUI Kun, XU Jiayue. Study on free-pyro black LiNbO_3 and LiTaO_3 crystals[J]. Piezoelectrics & Acoustooptics, 2004, 26(2): 126-128.
- [4] SHEN J, ROMEK B. Black lithium niobate SAW device fabrication and performance evaluation[C]//USA: Proceedings of the IEEE Ultrasonics Symposium, 2000: 269-273.
- [5] BORDUI P F, JUNDT D H, STANDIFER E M, et al. Chemically reduced lithium niobate single crystals: Processing, properties and improved surface acoustic wave device fabrication and performance[J]. Journal of Applied Physics, 1999, 85(7): 3766-3769.
- [6] 颜涛, 姚淑华, 刘宏, 等. 表面还原处理对钽酸锂晶片电学性质的影响[J]. 稀有金属, 2009(10): 714-716.