

热释电红外探测器 PZT 晶片粘接质量控制

黄江平, 冯江敏, 王 羽, 苏玉辉, 信思树, 李玉英

(昆明物理研究所, 云南 昆明 650223)

摘要: 热释电红外探测器芯片研制中, 晶片粘接是芯片研制中的关键工艺之一。本文详细论述了粘接胶的选择依据及晶片粘接质量控制。确定了适合器件研制的粘接胶和粘接工艺流程。对粘接中出现的问题及解决办法进行了讨论。研制出了完全能满足器件工艺要求的热释电探测器 PZT 晶片。

关键词: 热释电红外探测器; 粘接胶; 晶片粘接; 质量控制

中图分类号: TN215

文献标识码: A

文章编号: 1001-8891(2013)12-0764-04

Quality Control of the PZT Wafer Bonding in Pyroelectric Infrared Detector

HUANG Jiang-ping, FENG Jiang-min, WANG Yu, SU Yu-hui, XIN Si-shu, LI Yu-ying

(Kunming Institute of Physics, Kunming 650223, China)

Abstract: The wafer bonding is one of the key technologies in pyroelectric infrared detector chip development. This paper discusses the selection basis of bonding glue and quality control of wafer bonding in details, also determines the adhesive glue and the technology suitable for detector development, and analyzes the problems and the resolution method in the course of wafer bonding. The PZT wafer that can fully meet the technology requirements of pyroelectric detector is provided.

Key words: pyroelectric infrared detector, adhesive glue, wafer bonding, quality control

0 引言

热释电红外探测器由于具有室温工作、无需制冷、响应频谱宽、使用方便、成本低等特点, 可广泛应用于工业、农业、环境、军事、医疗等领域。热释电探测器结构常设计为有衬底结构和无衬底结构(悬空结构)两种。我们研制的探测器是有衬底结构的, 其结构示意图如图1所示。图中所指的热释电材料为锆钛酸铅体材料即 PZT 晶体材料, 衬底为 K₉ 玻璃, 粘接胶为一种双组份环氧胶。

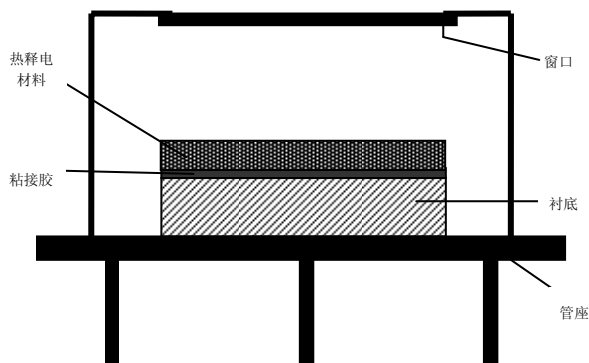


图1 热释电红外探测器结构示意图

Fig.1 Pyroelectric infrared detector structure diagram

热释电红外探测器研制的关键技术之一是芯片研制, 其光敏元所用热释电材料厚度很薄(一般达10 μm 左右), 需经过切割、双面磨抛、晶片和衬底的粘接等一系列复杂工艺方能达到使用要求。而晶片粘接又是芯片研制工艺中的重中之重。粘接胶的选择、粘接界面的处理、具体操作的精细化都直接影响着晶片粘接的质量, 而晶片粘接质量又直接影响着器件制造的成品率和可靠性。因此, 结合热释电红外探测器的结构特点及我们在晶片粘接过程中出现的各种问题(如胶层中出现气泡、粘接不牢、磨抛过程中材料大面积脱落、胶层厚薄不均匀等), 我们开展了寻找合适的粘接胶和粘接工艺、有效的排气方法、粘接界面的清洗、粘接胶厚度及均匀性、粘接压力、粘接后的胶层固化、晶片压放等一系列粘接质量控制工艺研究。

1 粘接胶的选择

目前, 世界上适用于不同用途的粘接胶形形色色, 达10000种以上。基于热释电红外探测器 PZT 晶片粘接的特殊性, 我们选择粘接胶, 主要根据以

收稿日期: 2013-06-22; 修订日期: 2013-08-22.

作者简介: 黄江平(1960-), 女, 高级工程师, 长期从事红外探测器工艺研究。E-mail: h13648837758@126.com。

下几个方面^[1-2]:

1) 粘接强度

选择粘接胶, 应根据机械粘接的位置和受力情况选择与之相适应的强度胶。热释电红外探测器 PZT 晶片必须良好地粘附于衬底上, 这样才能确保在振动冲击条件下有足够的粘接强度。

2) 耐介质性能

空气、水、油、酸等统称介质, 我们工作过程中接触的介质主要也就是这几种, 使用粘接胶时, 应选择耐使用介质的胶。

3) 内应力问题

对于不同弹性模量的粘接胶, PZT 芯片所受的内应力不同。粘接胶的弹性模量越大, 产生的内应力也越大。并且 PZT 芯片工作时的温度循环, 还将在粘接界面产生剪切应力, 影响器件的性能和粘接的可靠性。所以要求粘接胶具有较小的弹性模量, 以减小界面或胶层的内应力。

4) 稳定性

由于热释电红外探测器封装时需抽真空, 所以要求粘接胶的化学性质稳定, 在真空下饱和蒸汽分压低, 不易分解破坏器件的真空性能。

5) 耐温性能

每一种粘接胶完全固化后的胶层都有一个可承受的温度范围, 如可在 $-50^{\circ}\text{C}\sim 150^{\circ}\text{C}$ 范围内适用, 超过此限, 粘接胶将明显下降。

6) 固化时间

固化时间是指粘接时粘接胶在常温下从胶状转变成固体胶层所需的时间, 可分为瞬干胶和慢干胶两种。一般来说, 慢干胶的粘接强度和抗介质性能

优于瞬干胶。

2 粘胶工艺流程

根据上述理论, 我们选择了一种双组份环氧胶作为我们大面积 $22\text{ mm}\times 22\text{ mm}$ PZT 材料和衬底的粘接胶。工艺流程如图 2 所示。

3 粘接质量控制

在确定了 PZT 晶片的粘接胶和粘胶工艺流程后, 粘接过程中还有许多操作细节需注意, 它们将直接影响晶片粘接质量, 需从如下几个方面控制:

1) 匀胶

首先将环氧胶的 B 组份(固化剂)倒入 A 组份(环氧树脂混合物)的小玻璃瓶内, 小心反复倒置数次, 使其呈充分均匀状态(无丝状物)。

双组份粘接胶必须混合完全, 粘接胶若混合不均会造成粘接胶成分改变, 性能大大弱于预期值, 造成粘结强度不够, 严重时可导致磨抛过程中材料从边缘甚至中间部位就开始脱落^[3]。

2) 排气

对混合后的粘接胶进行抽真空排气又叫“真空脱泡”处理。以防止粘接时粘接胶中仍有气泡带来的空洞。粘接界面胶层中不能有气泡, 否则当 PZT 材料背减薄磨抛到一定厚度时胶层中的“气泡”(见图 3)将使膜面形成“空洞”, 此时材料可能还不到我们所需的厚度(我们所需的厚度一般在 $10\mu\text{m}$ 左右), 还需继续抛光, 此时“空洞”内将有大量抛光料填入。随着抛光的继续, “空洞”不断增大, 其结果是导致膜层大面积脱落, 前功尽弃, 见图 4^[4-5]。

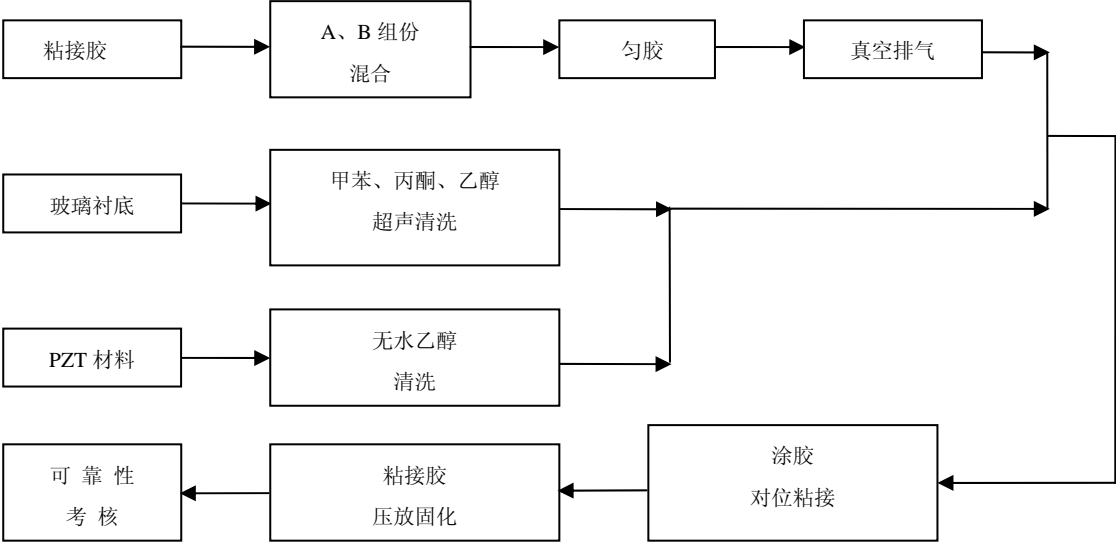


图 2 粘胶工艺流程图 Fig.2 The bonding process diagram

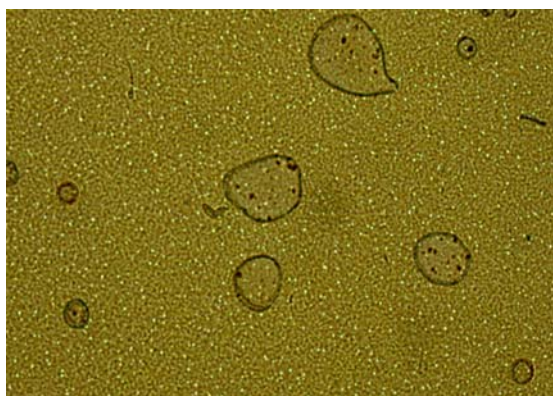


图3 粘接胶固化后在粘接界面形成的气泡
Fig.3 The bubbles forming in the bonding interface
after adhesive glue curing

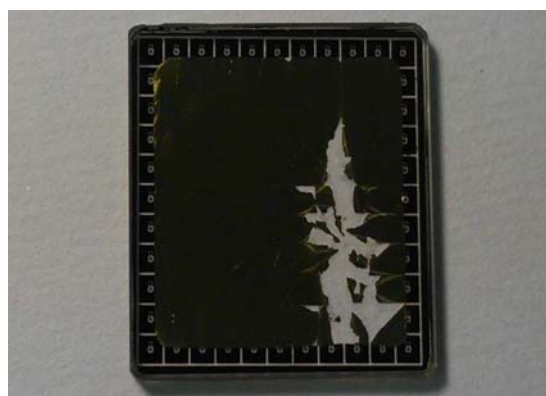


图4 减薄抛光后材料膜层大面积脱落
Fig.4 Large area exfoliation of the material after polishing

3) 清洗

粘接界面的清洗主要是对衬底玻璃的清洗以去除表面的油脂、颗粒和水分等。一般用甲苯、丙酮、无水乙醇逐次超声清洗，氮气吹干。而对另一粘接面PZT材料（镀有铬金）而言，因其才从真空室中取出，一般不用清洗，若有少许灰尘则无水乙醇中轻涮，氮气吹干即可。

4) 对位粘接

滴胶适量，将PZT材料镀铬金一面和衬底玻璃对位粘接。粘接的过程中，轻转两粘接界面位置以排除原有胶中及操作过程中带来的气泡并达到使胶层薄而均匀的目的。

5) 粘接界面胶层厚度应尽可能薄，这样粘接胶在固化时的应力会小些，对本来已经很薄的材料牵扯力也会小些。这需要在匀胶和排气时掌控好时间，即要在较短的时间里做完必须的工作，又要尽快地在胶还比较稀的时候就完成粘接工作，这样既满足了胶层薄的要求，又能达到最好粘接效果。我们一般需在2 h之内完成粘胶和材料固定压放工作，并能保证胶厚控制在 $1\sim 2\mu\text{m}$ ^[6]。

6) 粘接界面胶层厚度必须均匀，胶层厚度的均匀才能保证材料厚度的均匀。否则当PZT材料减薄接近 $10\mu\text{m}$ 左右时，若材料的厚度不均匀（假如一边厚，一边薄），胶厚的一边则材料就薄，就有可能还不到所需厚度时，材料边缘就产生破损。见图5。从另一方面而言，材料的厚薄尺寸 d 还直接关系到热释电红外探测器的电容值 C ，由于铁电晶片的厚度 d 与探测器的电容 C 成反比，与铁电探测器的响应率 R 成反比，见表1。所以制备厚度尽可能薄的铁电晶片可以提高探测器的响应率^[7]。

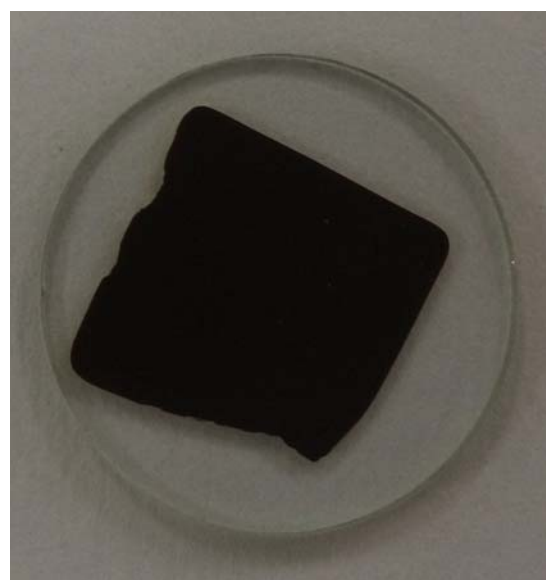


图5 胶层厚度不均匀导致材料边缘破损
Fig.5 The material edge damage caused by the uneven
thickness of the glue

因此，保证晶片的所需厚度、边缘完整性、厚度均匀性，降低表面损伤程度，是提高器件探测率的主要途径。这就是磨抛工艺中磨抛后材料厚度和均匀性对探测器性能的影响，同时也进一步说明了粘接界面胶层厚度必须均匀的重要性和必要性。

7) 压放固化

根据我们所选用的环氧胶特性，固化周期（室温）需7天，考虑到粘接胶在界面和胶层的内应力及PZT材料的内应力，我们一般要加压放置至少7天以上才进行下道工序，以保证粘接质量，并通过设计专用夹具来完成这项工作^[8-9]。

表 1 磨抛后材料厚度与电容及响应率关系

Table 1 The relationship between material thickness and capacitance or response after polishing

芯片编号	材料厚度 $d/\mu\text{m}$	电容 C/pF	响应率 $R/(\text{V/W})$
1	8.9	76	2560
2	10.6	64	2351
3	12.1	53	2010
4	13.2	46	1806
5	14.5	38	1460
6	15.3	29	1103

4 结语

通过对热释电红外探测器 PZT 晶片粘接胶的选择，粘接过程中的理论分析和反复实验，匀胶、排气、压放等保证粘接及胶层质量关键工序的控制，我们研制出了完全能满足器件工艺要求的热释电红外探测器 PZT 晶片，见图 6 和图 7，并大幅度提高了芯片研制成品率及器件的成品率。研制的芯片装配成探测器后按国军标要求经历了环境试验和高过载冲击等一系列严酷考验，仍能保持性能完好，足以证明我们芯片粘接的可靠性和牢固性。



图 6 粘接胶固化后无气泡的粘接界面显微照片
Fig.6 The microscope photo of bonding interface without bubbles after adhesive glue curing

致谢

文中粘接界面显微照片由袁俊提供，赵鹏、太云见、王宗文、史衍丽等教授及龚晓霞同事均对本文提出宝贵意见，在此一并致谢！

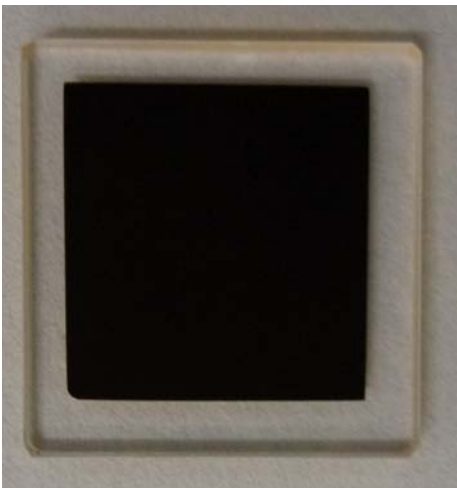


图 7 满足热释电红外探测器要求的 PZT 晶片
Fig.7 PZT wafer meeting the requirements of pyroelectric infrared detector

参考文献：

[1] 小申. 如何选择胶粘剂[N]. 中国有色金属报, 2005-08-06(7).

[2] Tummala P R, Rymaszewski E J, Klopfenstein A G, et al. *Microelectronics Packaging Handbook*[M]. Beijing: Electronic Industry Press, 2001.

[3] 程顺昌, 王艳, 黄芳, 等. 胶封器件密封失效分析[J]. 半导体光电, 2011, 32(4): 539-541.

[4] 葛秋玲, 王洋, 丁荣峥. 芯片粘接失效模式及粘接强度提高途径[J]. 电子与封装, 2009, 9(6): 1-4.

[5] 陈颖, 孙博, 谢劲松, 等. 芯片粘接空洞对功率器件散热特性的影响[J]. 半导体技术, 2007, 32(10): 859-862.

[6] 梁颖, 黄春跃, 李天明. 热循环加载条件下有空洞芯片粘接层应力分析[J]. 机械强度, 2012, 34(6): 907-911.

[7] 雷程, 梁庭, 王凯, 等. 热释电探测器敏感层材料关键性能参数测试[J]. 传感器与微系统, 2013, 32(3): 147-149.

[8] 王东法. 环氧树脂固化过程中沸腾现象的探讨[J]. 电子工艺技术, 2009, 30(3): 169-171.

[9] 熊雄, 朱颖峰, 王微, 等. HgCdTe 焦平面红外探测器封装中的芯片粘接技术[J]. 红外技术, 2012, 34(8): 444-447.