

文章编号: 1672-8785(2021)08-0013-05

底涂剂在大面阵红外探测器 粘接工艺中的应用研究

赵 璨 刘 伟 王 冠 袁羽辉

(华北光电技术研究所, 北京 100015)

摘 要: 硅橡胶粘接剂具有良好的耐低温性能, 因此常被用于制冷型红外探测器复合基板的粘接工艺。研究了底涂剂对硅橡胶粘接强度的影响。拉伸试验结果表明, 直接粘接的试样在液氮温度下的平均粘接强度为 4.07 MPa, 而使用底涂剂预处理的试样的平均粘接强度则达到 6.34 MPa。另外, 通过观察拉伸试样断口, 发现使用底涂剂预处理的试样的断口表面有更多的硅橡胶残留。因此, 使用底涂剂预处理可以有效地增加硅橡胶的粘接强度, 有助于提高红外探测器的可靠性。

关键词: 硅橡胶粘接剂; 红外探测器; 底涂剂

中图分类号: TN215 文献标志码: A DOI: 10.3969/j.issn.1672-8785.2021.08.003

Application of Primer in Bonding Process of Large Area Array Infrared Detector

ZHAO Can, LIU Wei, WANG Guan, YUAN Yu-hui

(North China Research Institute of Electro-Optics, Beijing 100015, China)

Abstract: Silicone rubber adhesive has good low temperature resistance, so it is often used in the bonding process of composite substrate of cooled infrared detector. The effect of the primer on the bonding strength of silicone rubber was studied. The tensile results show that the average bonding strength of the sample directly bonded was 4.07 MPa at liquid-nitrogen temperature, while the average bonding strength of the sample pretreated with the primer reached 6.34 MPa. In addition, by observing the fracture surface of tensile sample, it is found that more silicon rubber remained on the fracture surface of the sample pretreated with the primer. Therefore, pretreatment with the primer can effectively improve the bonding strength of silicone rubber, which is helpful to improve the reliability of infrared detectors.

Key words: silicone rubber adhesive; infrared detector; primer

收稿日期: 2021-04-10

作者简介: 赵璨(1994-), 男, 河北保定人, 助理工程师, 硕士, 主要从事红外探测器杜瓦结构设计及封装研究。E-mail: zhaocantju@163.com

0 引言

随着制冷型红外探测器的飞速发展,其在航空航天、国防工业等领域的应用变得越来越广泛^[1-2]。为了满足各类需求,探测器的面阵规模越来越大,从传统的 320×256、640×512 一直增大到 1k×1k、2k×2k 和 2.7k×2.7k。此外,国际上的先进探测器生产商已经实现了 4k×4k 超大面阵探测器的生产和应用^[3-5]。

图 1 为复合基板结构的示意图。探测器芯片的基板通常由金属基板和非金属基板两部分粘接而成。其中,非金属基板连接探测器芯片,金属基板与制冷机相连。由于硅橡胶粘接剂具有良好的耐低温性和耐候性^[6],两层基板之间通常使用硅橡胶进行粘接。随着红外探测器面阵规模的增大,结构设计中会相应地增大基板的面积,在制冷过程中基板层间所受的应力也会增大。所以粘接面常会脱开失效,由此导致的故障经常出现在大面阵红外探测器中。因此,制备大面阵红外探测器所用的粘接剂需要具有更高的可靠性。

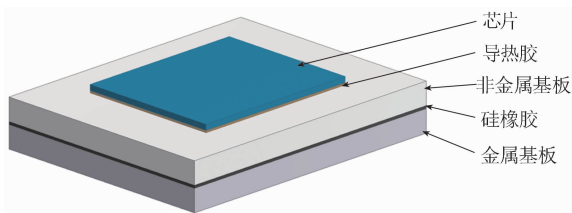


图 1 复合安装基板的示意图

底涂剂是粘接领域中常用的一种辅助处理剂,可以辅助增强母材与粘接剂之间的结合力^[7-8]。本文研究了底涂剂对硅橡胶粘接强度的影响。拉伸试验结果表明,粘接之前使用底涂剂对母材进行预处理,可以有效地增加母材之间的粘接强度。此外,本文通过光学显微镜观察了拉伸试样的断口。结果表明,硅橡胶与金属之间的结合力大于硅橡胶与陶瓷之间的结合力。最后对底涂剂的作用机理进行了简要分析和阐述。本文的研究内容对于提高大面阵红外探测器的可靠性具有一定的指导意义。

1 实验方法

1.1 实验材料与设备

本文所用的实验材料有铝块($\Phi 10\text{ mm}\times 12\text{ mm}$, $Ra0.8\text{ }\mu\text{m}$)、氧化铝陶瓷片($95\%\text{ Al}_2\text{O}_3$, $\Phi 20\text{ mm}\times 0.8\text{ mm}$, $Ra0.1\text{ }\mu\text{m}$)、无水乙醇、硅橡胶(双组分)和底涂剂。

本文所用的实验设备有化学清洗台、烘箱、电子天平、甩胶机、拉力测试仪和深焦光学显微测量仪。

1.2 粘接试样制备

1.2.1 材料表面处理

将金属和陶瓷试样放入无水乙醇中,进行超声清洗 10 min,以去除因机加工而附着在试样表面上的油污、灰尘及其他杂质;最后将试样放入烘箱中烘烤 24 h,待其完全干燥后备用。

1.2.2 粘接试样

为了对比底涂剂对硅橡胶粘接强度的影响,实验选取两组试样。其中一组试样在粘接之前使用底涂剂进行预处理,其操作流程主要如下:(1)在铝块和 Al_2O_3 陶瓷片的粘接面上均匀地涂刷一层极薄的底涂剂,并将其晾至完全变干;(2)在涂有底涂剂的粘接面上涂抹硅橡胶,并将铝块和 Al_2O_3 陶瓷片压紧(粘接面处有少量硅橡胶溢出时方为合格)。另一组试样直接使用硅橡胶进行粘接。粘接之后的试样如图 2 所示。

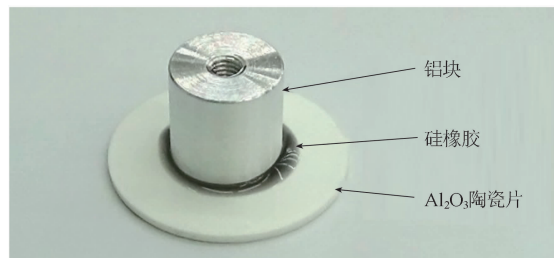


图 2 拉伸试样图

1.2.3 固化处理

本实验选择室温($25\text{ }^\circ\text{C}$)固化,并将固化时间分别设置为 12 h、24 h、36 h、48 h、60 h 和 72 h。表 1 列出了试样的具体处理条件和固化条件。

表 1 试样的处理条件和固化条件

处理条件	固化温度 $T/^\circ\text{C}$	固化时间 t/h
直接粘接	25	12、24、36、48、60、72
使用底涂剂预处理	25	12、24、36、48、60、72

1.3 测试和表征方法

粘接强度试验按照 GJB 548A-1996《微电子器件试验方法和程序》进行, 使用拉力测试仪拉伸试样。记录每个试样在拉伸过程中所受的最大拉力值, 待试样达到设定的固化时间后立即进行拉伸试验。由于红外探测器的工作温度接近于液氮温度 (-196°C), 为了更好地反映硅橡胶在实际工作条件下的粘接强度, 拉伸试验在液氮温度下进行。液氮温度下的拉伸试验装置如图 3 所示。将装有液氮的容器固定在拉力测试仪的底部, 并使用环氧胶将试样的陶瓷片一侧与容器底部粘接固定。用拉力测试仪拉伸试样的铝块一侧, 直至铝块与 Al_2O_3 陶瓷片完全断开。

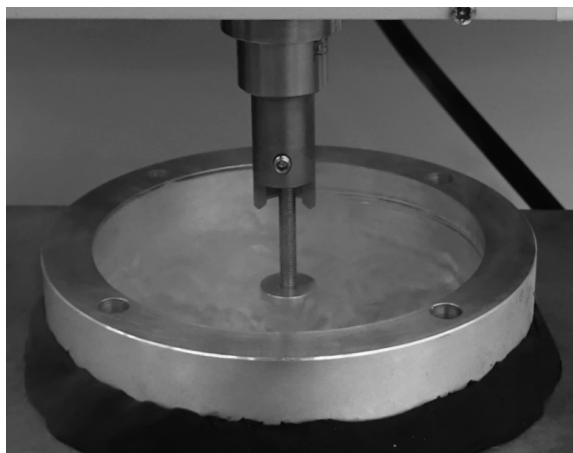


图 3 拉伸试验装置图

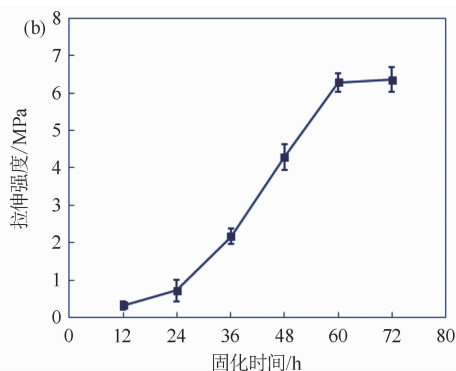
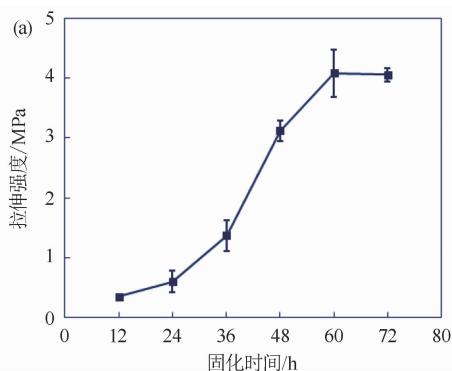


图 4 不同试样的粘接强度: (a)直接粘接; (b)使用底涂剂预处理

在拉伸试样断口表征时, 使用光学显微镜拍摄试样的断口, 观察硅橡胶在铝块和 Al_2O_3 陶瓷片断口上的附着情况。

2 结果与分析

2.1 粘接强度分析

粘接强度的计算公式为

$$\sigma = \frac{F}{S} \quad (1)$$

式中, σ 为试样的粘接强度, F 为试样在拉伸过程中所受的最大拉力, S 为试样粘接面的面积。

图 4 所示为不同试样的粘接强度。当固化时间为 12 h、24 h、36 h 和 48 h 时, 两组试样的粘接强度随固化时间的增长而显著增加。当固化时间达到 60 h 左右后, 由于硅橡胶分子链之间的交联固化完成, 硅橡胶已经完全固化, 因此试样的粘接强度不再增加。对比图 4 (a)和图 4(b)可知, 当固化时间为 12 h 和 24 h 时, 两种处理条件下制备的试样的粘接强度均小于 1 MPa, 且两者的强度差别不大。这是因为此时硅橡胶尚未固化, 强度大小主要由硅橡胶的粘性决定; 当固化时间达到 36 h 和 48 h 时, 使用底涂剂预处理的试样的粘接强度已略高于直接粘接的试样; 当硅橡胶完全固化 (60 h 和 72 h) 之后, 直接粘接的试样的平均粘接强度为 4.07 MPa, 而使用底涂剂预处理的试

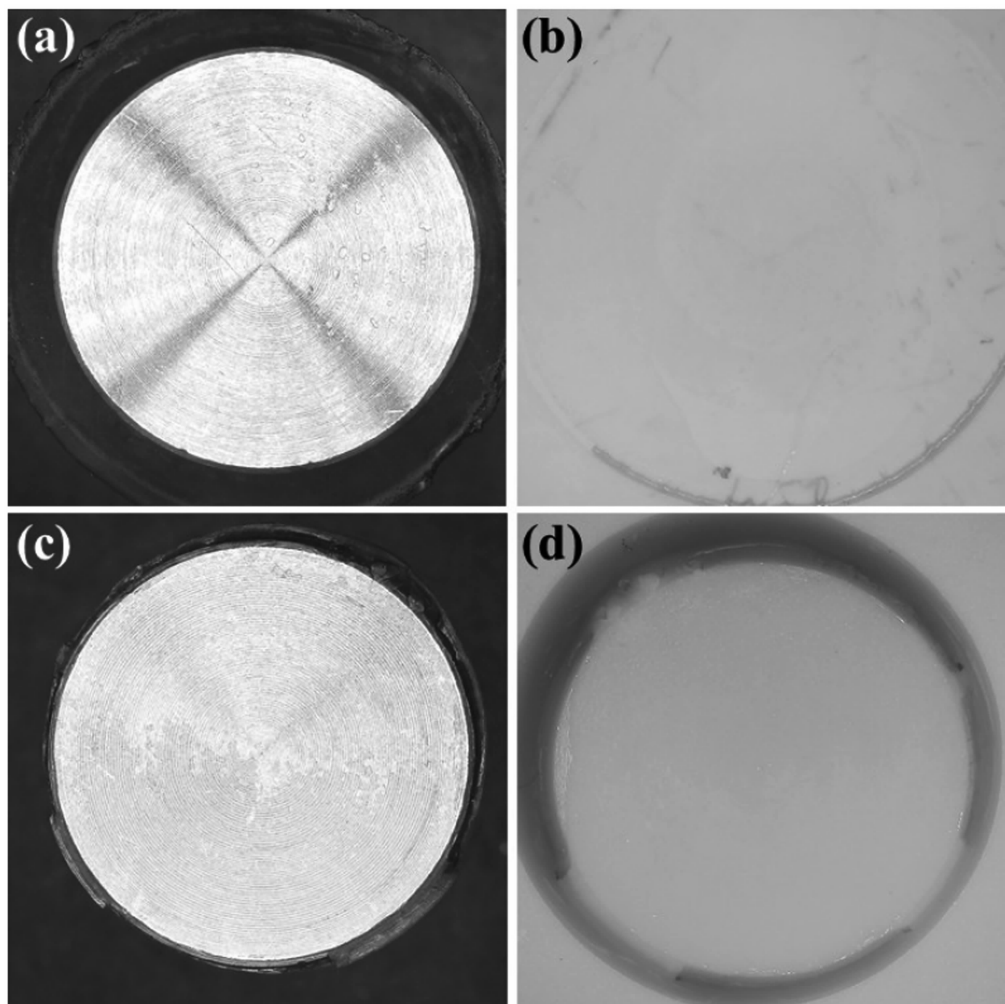


图 5 拉伸试样断口的显微形貌：(a)铝块(直接粘接)；(b)Al₂O₃ 陶瓷片(直接粘接)；
(c)铝块(用底涂剂预处理)；(d)Al₂O₃ 陶瓷片(用底涂剂预处理)

样的平均粘接强度达到 6.34 MPa，具有较为显著的提升。

2.2 拉伸试样断口分析

图 5 为不同处理条件下的试样在室温固化 72 h 后的拉伸试样断口形貌图。由图 5(a)和图 5(b)可见，直接粘接的试样断开之后，硅橡胶绝大部分附着在铝块一侧，而 Al₂O₃ 陶瓷片一侧基本上没有硅橡胶残留。这说明 Al₂O₃ 陶瓷与硅橡胶之间的结合力比铝与硅橡胶之间的结合力更小，断开主要发生在 Al₂O₃ 陶瓷与硅橡胶的界面上。而使用底涂剂预处理的试样在拉断之后，Al₂O₃ 陶瓷片上已有少量硅橡胶附着，即部分区域出现了内聚破坏，说明此时已有部分断开发生在硅橡胶的胶层之中。造成这种差

异的原因是底涂剂增加了硅橡胶与 Al₂O₃ 陶瓷之间的结合力，且局部的结合力超过了硅橡胶的强度。

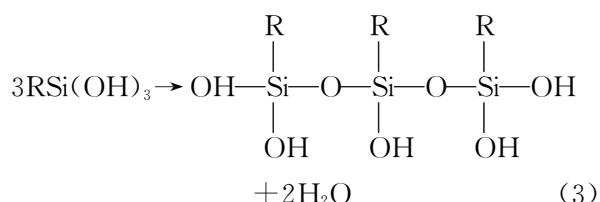
由上述分析可知，当大面阵红外探测器低温工作时，陶瓷基板与硅橡胶之间的界面属于薄弱点，容易在应力作用下发生断开；而通过使用底涂剂预处理可以较大程度地提升硅橡胶与母材之间的结合力。

2.3 底涂剂的作用机理

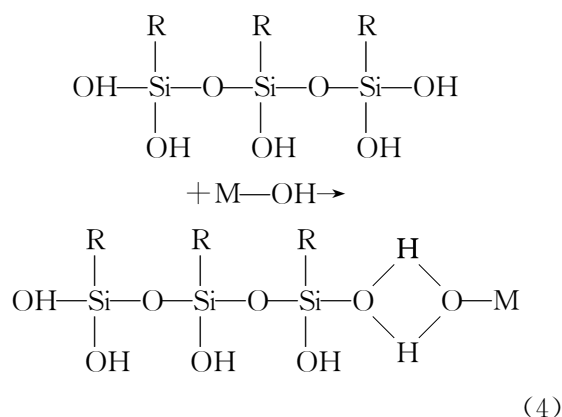
底涂剂的主要成分为硅烷偶联剂。硅烷偶联剂与空气中的水分发生水解反应，生成含有羟基的硅醇。其反应方程式为



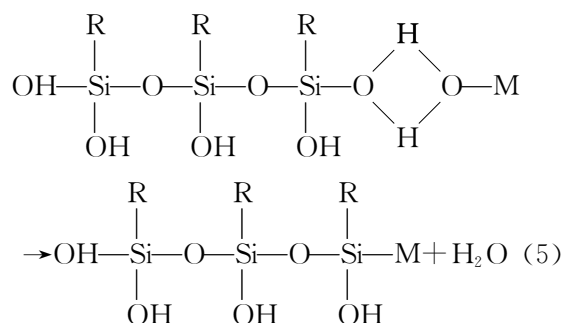
然后硅醇脱水缩合成含有硅羟基的低聚硅氧烷。其反应方程式为



接着低聚硅氧烷与母材表面上的羟基形成氢键, 其反应方程式为



最后脱水与母材形成共价键, 其反应方程式为



此时, 硅橡胶与母材之间的结合力由直接粘接时的范德华力变为具有更高强度的化学键, 因此硅橡胶的粘接强度有了较为明显的提高。

3 结论

在大面阵红外探测器复合基板的粘接工艺中, 通过使用底涂剂预处理可以较大程度地提高金属基板与非金属基板之间的粘接强度, 从而提升大面阵红外探测器的可靠性。通过实验研究和机理分析, 得到以下结论:

(1) 在液氮温度下, 直接使用硅橡胶进行粘接的试样的平均粘接强度为 4.07 MPa, 而

使用底涂剂预处理后其平均粘接强度增大至 6.34 MPa。使用底涂剂预处理可以较大程度地提升金属与陶瓷之间的粘接强度。

(2) Al_2O_3 陶瓷与硅橡胶之间的结合力比铝与硅橡胶之间的结合力更小。因此在红外探测器中, 陶瓷基板与硅橡胶之间的界面属于薄弱点。使用底涂剂预处理可以较大程度地提升硅橡胶与母材之间的结合力。

(3) 直接粘接时硅橡胶与母材之间的结合力主要为范德华力, 而使用底涂剂预处理后结合力变为具有更高强度的化学键, 因此硅橡胶的粘接强度有了较为明显的提高。

结果表明, 底涂剂预处理工艺对于提高大面阵红外探测器的可靠性具有一定的指导意义, 但其粘接工艺研究仍具有很大的挑战性。

参考文献

- [1] 牟宏山. InSb 红外焦平面探测器现状与进展 [J]. *激光与红外*, 2016, **46**(4): 394-399.
- [2] 柏伟. 碲化钢红外焦平面探测器发展现状 [J]. *红外*, 2019, **40**(8): 1-14.
- [3] 张磊, 东海杰, 王春生, 等. 拼接红外探测器冷头设计 [J]. *激光与红外*, 2017, **47**(5): 591-594.
- [4] Barry S, Lynn M, Chad F, et al. RVS Large Format Arrays for Astronomy [C]. *SPIE*, 2016, **9915**: 99152X.
- [5] 王鑫, 周立庆, 谭振. 制冷型大面阵红外探测器研制进展 [J]. *红外*, 2019, **40**(12): 1-9.
- [6] 魏乐愚, 王程浩, 邬祚强, 等. 高性能航空 KH-CL-RTV-2 型硅橡胶胶粘剂的粘接工艺研究 [J]. *中国胶粘剂*, 2017, **26**(10): 5-7.
- [7] 魏仕涛, 张叶琴, 夏志伟, 等. 电力电气用硅橡胶增粘底涂剂对基材的粘接可靠性探析 [J]. *有机硅材料*, 2017, **31**(Z1): 120-123.
- [8] 马嘉浩, 陈健健, 程冠之, 等. 新型硅烷偶联剂提升混凝土湿面粘接性能和耐水性的研究 [J]. *中国胶粘剂*, 2018, **12**(3): 29-33.