

# 硅片力学性能及热膨胀系数的热稳定性研究

王晓燕<sup>1</sup>, 翟秀静<sup>1</sup>, 张延安<sup>1</sup>, 符岩<sup>1</sup>, 郑双<sup>2</sup>

(1, 东北大学 辽宁 沈阳 110004 2, 沈阳航空工业学院 辽宁 沈阳 110032)

**摘要** 在 -100~100 °C 范围内试验测量并分析了不同温度下硅片力学性能及热膨胀系数的变化规律。结果表明: 随温度升高硅片由完全弹性变形转变为弹塑性变形, 温度越高, 塑性变形出现越早, 其比例也随温度升高而增大; 当材料表现为完全弹性变形时, 弹性模量随温度升高而增加, 抗拉强度则随之降低; 当材料表现为弹塑性变形时, 弹性模量随温度升高而降低, 抗拉强度随温度升高而升高, 且产生塑性变形所需外加载荷随温度升高而降低, 硅片热膨胀系数则随温度升高而增加, 较低温度时热膨胀系数增加很快, 而较高温度下热膨胀系数逐渐趋于平缓。

**关键词** 硅片; 力学性能; 弹塑性变形; 热膨胀系数

中图分类号: V45

文献标识码: A

文章编号: 1006-7086(2009)03-0156-04

## THERMAL STABILITY OF MECHANICAL PROPERTY AND THERMAL EXPAND COEFFICIENT OF SILICONE CHIP

WANG Xiao-yan<sup>1</sup>, ZHAI Xiu-jing<sup>1</sup>, ZHANG Ting-an<sup>1</sup>, FU Yan<sup>1</sup>, ZHENG Shuang<sup>2</sup>

(1. Northeastern University, Shenyang, 110004, China ;

2. Shenyang Institute of Aeronautical Engineering, Shenyang, 110032, China)

**Abstract** : In this paper, evolvement of mechanical property and thermal expand coefficient of silicone chip under different temperature were investigated in the temperature range of -100~100°C. The results showed that complete elastic deformation changes into elastic-plastic deformation in silicone chip with increasing temperature. The plastic deformation appears earlier under higher temperature. When the material exhibited complete elasticity, elastic modulus is increasing and tension strength is reducing with increase of temperature. When the material exhibited elastic-plastic, elastic modulus is reducing and tension strength is increasing with increase of temperature and external load that produces plasticity is also reducing. Thermal expand coefficient of silicone chip increased with increase of temperature, its increasing rate is greater at low temperatures, and becomes flat at high temperatures.

**Key words** silicone chip; mechanical property; elastic-plastic deformation; thermal expand coefficient

## 1 引言

硅片作为各种空间航天器的理想电源得到了广泛的应用<sup>[1,2]</sup>,但随着飞行器运行时因反复进出地球阴影而经受非常苛刻的高低温交变作用<sup>[3,4]</sup>,在这种环境作用下,材料的组织结构可能发生改变,产生热应力应变,进而引起材料性能的变化<sup>[5-8]</sup>,包括力学性能与热学性能等,影响航天器运行的安全可靠。因此,研究大梯度温度场作用下硅片力学性能与热膨胀系数的演变规律是考察评价飞行器可靠性的重要指标,也为飞行器结构的合理设计奠定坚实的理论基础。作者主要探讨温度场-100~100 °C条件下硅片力学性能及其热膨胀系数的演变规律。

## 2 试验材料及方法

以厚度 0.3 mm 的单晶硅硅片为研究对象,试验测量均沿(100)晶向进行,根据图 1 所示形状和尺寸裁

收稿日期: 2009-06-15.

作者简介: 王晓燕(1972-)女,辽宁省黑山县人,博士,从事材料与环境交互作用、能源材料等研究。

成力学性能测试试样,用于测量热膨胀系数的试样,其原始长度为 200 mm。

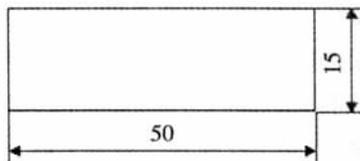


图1 力学性能测试试样

为研究材料力学性能及热膨胀系数的热稳定性且保证试验条件的一致性,试验中对所有样品均施加了图2所示的温度场,温度循环范围为-100~100℃,升温及降温速率均为4.44℃/min。样品尺寸较小,厚度很薄,所以试验时材料温度的均匀性很好。在图2所标出各温度点分别取样,并在该温度下测试材料的力学性能及热膨胀系数,每一温度下各测试指标的试验结果均取5个试样测试结果的平均值作为最后数据。在乌克兰低温物理研究所的德国产拉伸试验机FTP-100/1及自制试验夹具上用四点弯曲法测试了硅片在各温度下的力学性能,在乌克兰卧式热膨胀仪ИЗА-2上测试其热膨胀系数。为保证高低温条件下热膨胀系数测试试验的顺利进行,自行研制了图3a、b所示加热冷却辅助装置,热膨胀仪ИЗА-2的测量范围为0~200mm,其测试精度达0.001mm。

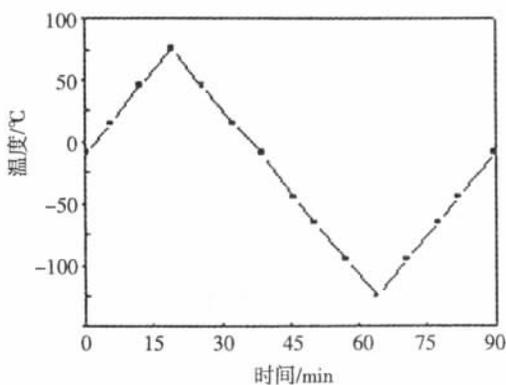
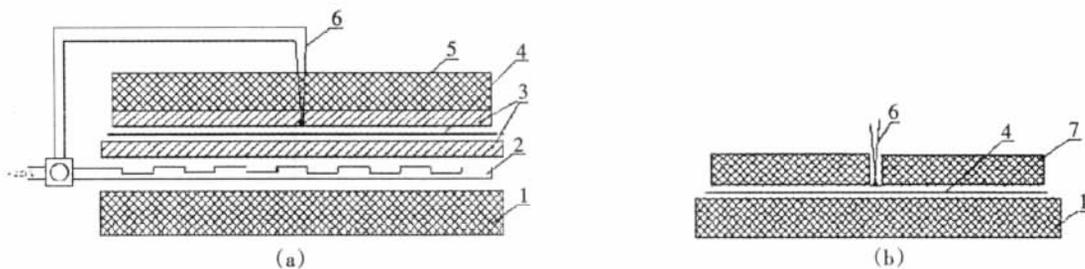


图2 温度场温度-时间关系曲线



a.加热装置;b.冷却装置。

1.隔热板;2.加热元件;3.带有纵向凹槽的铜板;

4.试样;5.保温盖;6.热电偶;7.盖板。

图3 试样的加热冷却装置

### 3 试验结果与讨论

图4为采用四点弯曲法测试硅片力学性能过程中获得的不同温度下载荷-位移关系曲线。-100℃时硅片的载荷-位移曲线几乎为一直线,没有拐点,室温下载荷-位移曲线出现了拐点,而100℃时载荷-位移曲线也有拐点,且拐点的位置下移。作者认为,硅材料在较低温度下进行弯曲试验时仅发生弹性变形,属于脆性材料;弯曲试验在较高温度下进行,材料中出现了塑性变形,弹塑性变形的拐点随温度的升高而提前。硅单晶的晶格有较高的键能,位错的滑移需要有一个初始驱动力来克服晶格势垒及位错间的相互作用,而这里的初始驱动力由两部分组成,一是弯曲载荷作用产生的剪切应力,二是温度升高产生的热能也为开动位错提供了

部分能量,温度越高提供的热能也越大,使得材料在较低的载荷(应力)作用下即可发生塑性变形。

图 5 给出了硅片抗拉强度及弹性模量与温度的关系曲线。结果表明,硅片的弹性模量与温度的关系曲线呈凹向下的抛物线状,室温以下时随温度的升高而升高,当温度达到室温及其以上时, $E$  随温度的升高而降低。结合图 4 曲线分析认为:硅属于脆性材料,在弹性模量曲线拐点以下温度试验时完全表现为弹性变形,且此时材料的弹性模量随温度升高而升高,当温度升高到拐点以上时,材料在变形过程中先后分别经历弹性变形和塑性变形两阶段,且塑性变形阶段随温度升高而提前,即弹性变形阶段随之缩短。此外由曲线不难看出:硅片的抗拉强度与温度的关系曲线呈凹向上的抛物线状,它在拐点温度以下随温度升高而降低,当达到拐点以上温度时, $\sigma_b$  随温度的升高而上升,曲线的拐点位于零度附近。

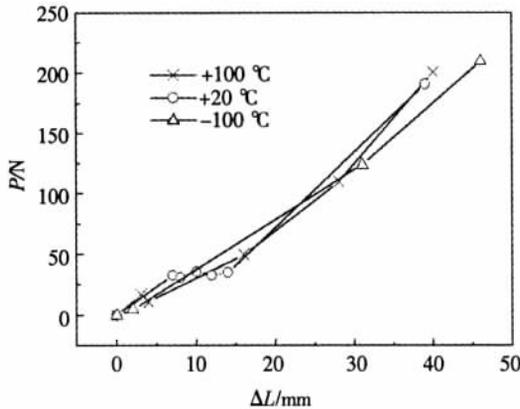


图 4 不同温度下硅片载荷-位移曲线(四点弯曲法)

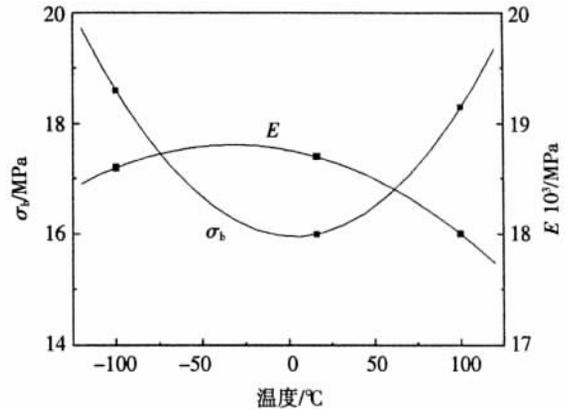


图 5 硅片力学性能与温度的关系

硅片热膨胀系数与温度的关系曲线示于图 6 中。由图可见,硅片的热膨胀系数随温度的升高而增加,低温时变化的速度较快,曲线斜率约为 0.013 0,高温阶段曲线斜率显著下降,约为 0.002 5。硅随温度升高由单纯的弹性变形转变为弹塑性变形,且弹性变形的比例随温度升高而减小,塑性变形比例相应增加,使得材料热膨胀系数也随之提高。

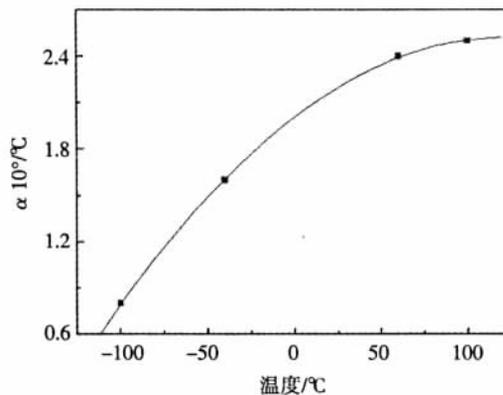


图 6 硅片热膨胀系数与温度的关系

硅片的力学性能及热膨胀系数在 $-100 \sim 100$  °C范围内变化较大,因此,在其加工、飞行器结构应用及性能寿命分析的模拟计算中必须考察其性能的热稳定性问题。

#### 4 结 论

由分析得出如下结论:

(1)在某一温度以下进行弯曲试验,硅片完全表现为弹性变形,弹性模量随温度升高而增加,抗拉强度随温度升高而降低;

(2)随温度升高,硅片由完全弹性变形转变为弹塑性变形,且塑性变形随温度升高提前出现,其比例也随温度升高而增大,产生塑性变形所需外加载荷随温度升高而降低,此时硅片弹性模量随温度升高而降低,抗拉强度随温度升高而升高;

(3)硅片热膨胀系数随温度升高而增加,较低温度时热膨胀系数增加很快,而较低温度下热膨胀系数增加的速度趋于缓慢。

参考文献:

- [1] 王鸿芳.中国海洋一号电源系统设计与在轨性能评估[J]. 航天器工程, 2003, 12(3):97~101.
- [2] WANG X Y, GENG H B, HE S Y, *et al.* Effect of Thermal Expansion Coefficient on Stress in Solar Panel under Temperature Field [J]. International Journal of Adhesion and Adhesives, 2007, 27(4):288~297.
- [3] 沃西源,谭放,常跃东.空间环境对聚合物基复合材料性能的影响[J]. 航天返回与遥感, 2001, 22(4):58~60.
- [4] 张丽新,杨士勤,何世禹,等.硅橡胶黏合剂在空间环境下的性能演变[J]. 橡胶工业, 2002, 49(8):503~507.
- [5] 耿洪滨.热循环对TC4钛合金组织与机械性能的影响[J].金属学报, 1996, 32(1):51~56.
- [6] RAN Y KIM. Dimensional Stability of Composite in a Space Thermal Environment [J]. Composites Science and Technology, 2000, 60: 2601~2608.
- [7] 郑茂繁.离子发动机栅极组件的热应力分析[J].真空与低温, 2006, 12(1):33~36.
- [8] 袁泽亮,范垂祯.微波GaAs功率场效应晶体管稳态温度场的数值模拟[J].真空与低温, 1994, 13(3):156~161.

新书推荐

## 《泄漏检测方法与应用》

2009年10月由机械工业出版社出版

本书由兰州物理研究所肖祥正研究员编著。

全书共分18章。第1、2章论述与泄漏检测相关的基本知识和物理基础;第3章至第15章详细介绍了十三种泄漏检测方法;第16章介绍了密闭电子元器件的检测;第17章介绍了标准漏孔及其校准方法;第18章介绍了检漏安全知识;书后还附有泄露检测技术的基本术语、国内外部分泄露检测标准、国内外主要氦质谱检漏仪性能及参考文献等资料。

本书内容系统全面,既有理论分析,又有实际操作和应用,有些重要方法后还有应用实例,内容丰富,实用性强。可作为泄漏检测人员的培训教材,可供从事泄漏检测研究和检测人员使用,亦可供大学相关专业的教师和学生参考。

如有需要,请与兰州物理研究所肖祥正研究员联系,邮编:730000;电话:(0931)4585497;传真:(0931)8265391。