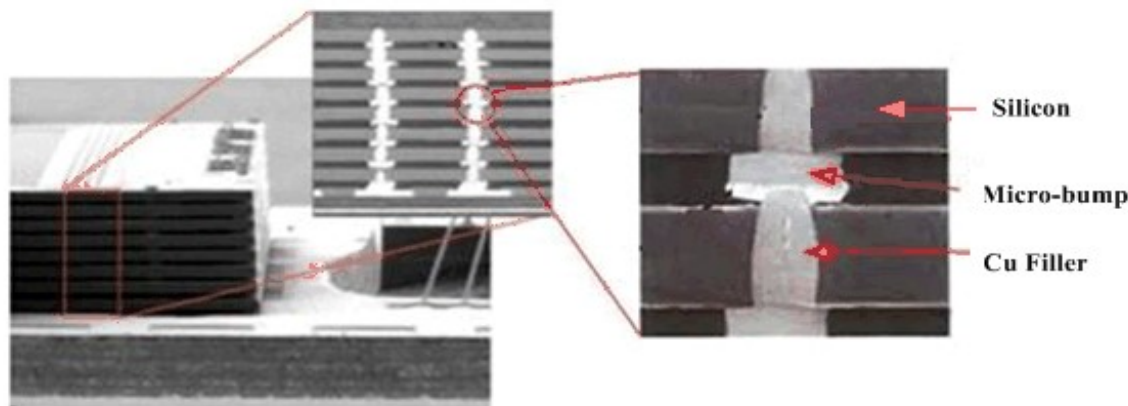


TSV界面滑移现象及其对应力的影响

提纲

- TSV热机械应力及其评价方法
- TSV中的界面滑移现象及其造成的失效
- 显微红外光弹法及其在TSV结构应力评价方面的应用
- 考虑TSV界面滑移现象的定量应力评价
- 总结

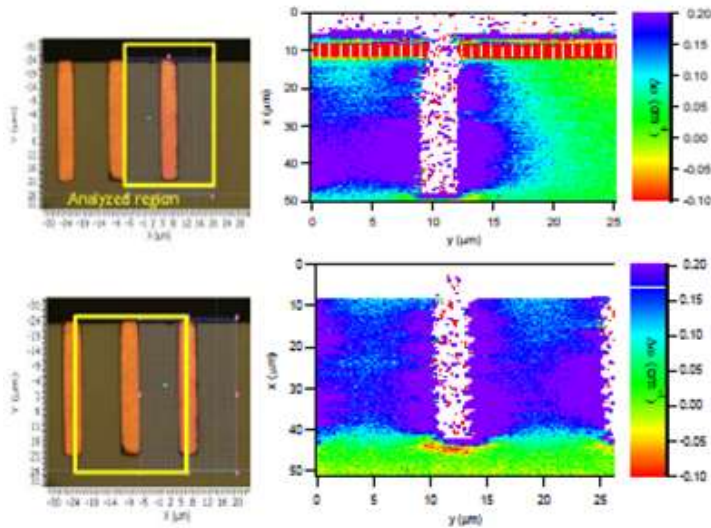
TSV热机械应力及其评价方法



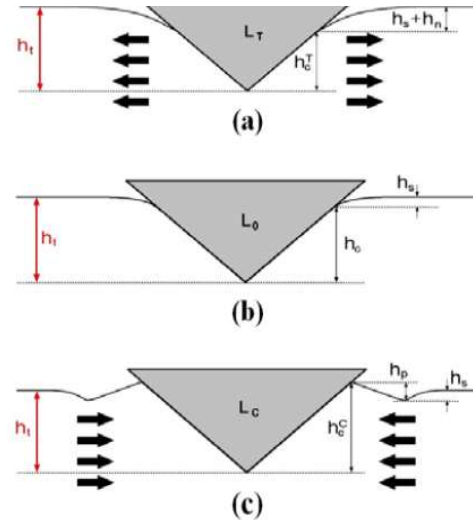
基于TSV的三维封装及其结构示意图

- TSV的热机械可靠性是3D packaging的关键问题之一
- 两个核心问题：
 - (1) TSV结构的应力有多大？随温度如何变化？
 - (2) TSV应力的影响范围（KOZ）多大？

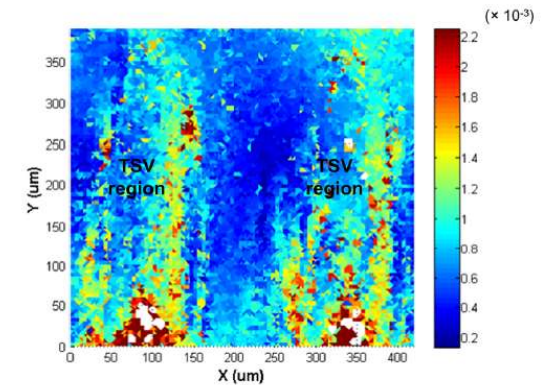
微拉曼光谱法



纳米压痕法



(同步) X射线衍射法

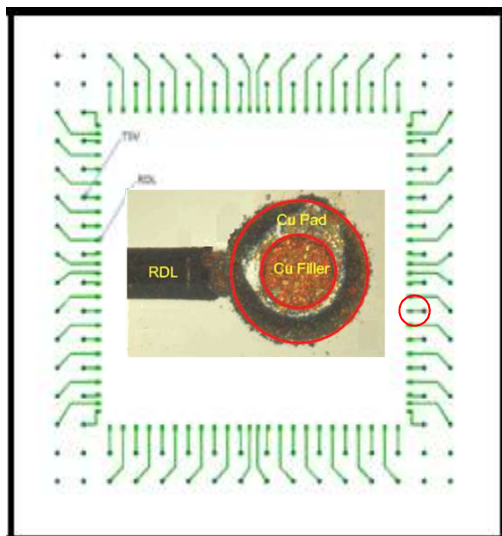


现有实验方法的局限性:

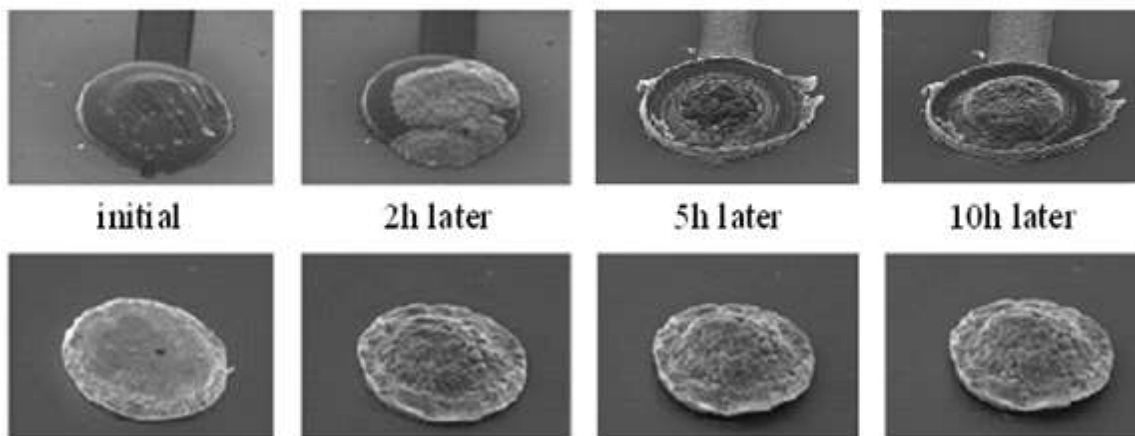
- 表面测试
- 多为扫描方式（逐点测试），实时性差
- 高温测量不便，需标定排除温度影响等。

有限元方法的困难：零应力温度选择；电镀化学应力的处理；界面滑移因素的考虑

TSV中的界面滑移现象及其造成的失效

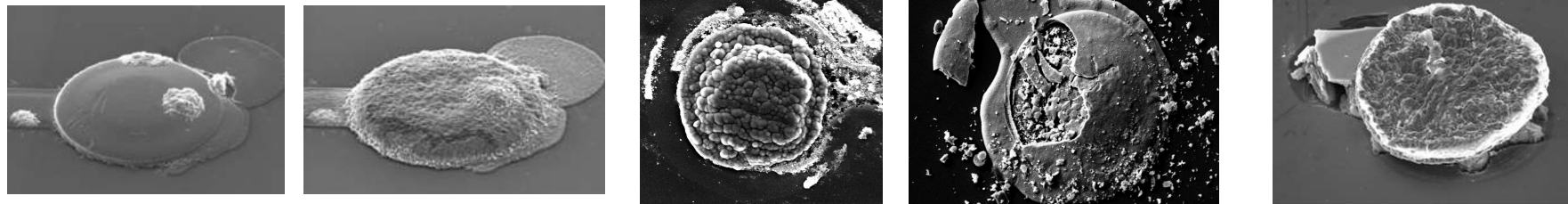


带有112个TSV的芯片

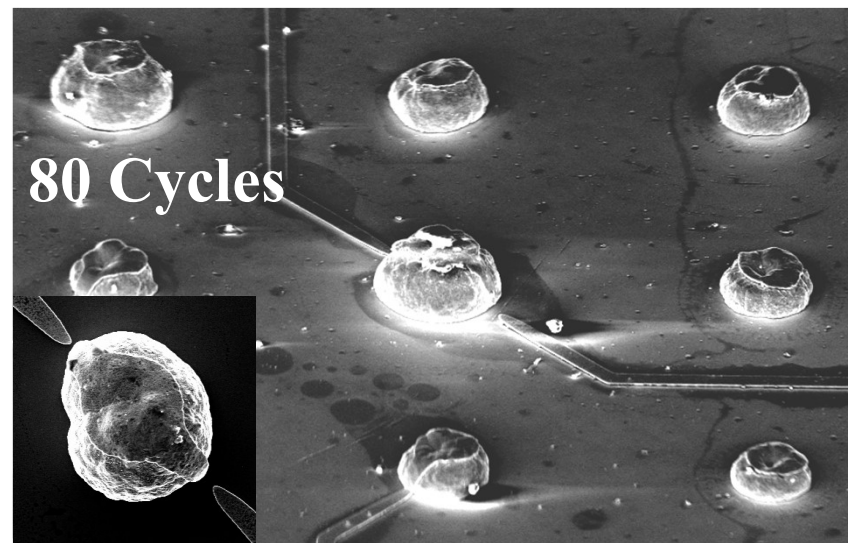
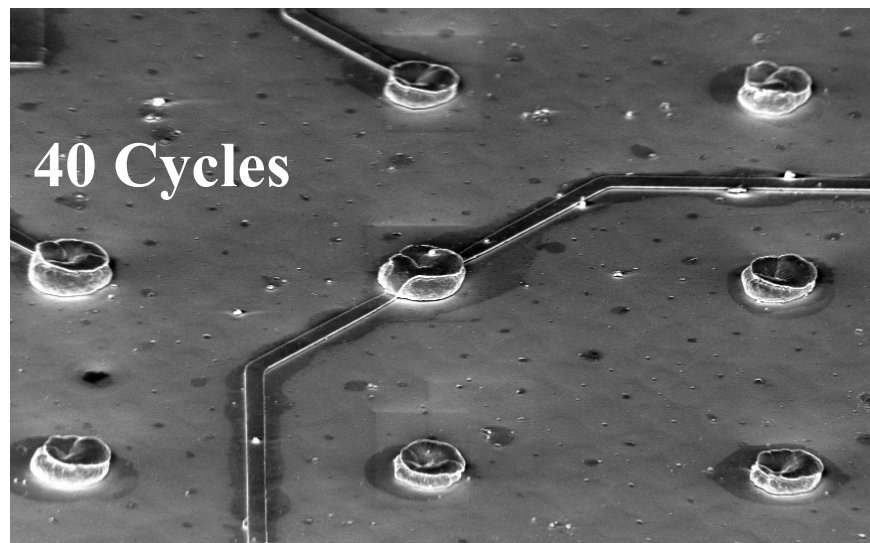


SEM 下原位观察TSV两端在300C退火10小时过程中的形貌变化
铜突出 (Cu pumping) 但没有界面裂纹 (即界面滑移)

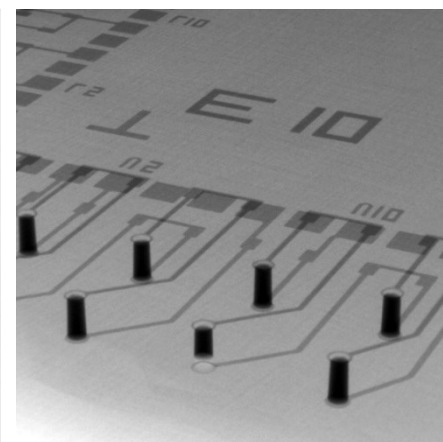
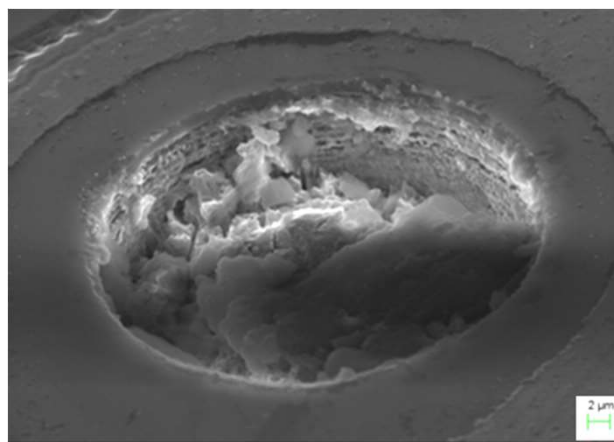
Cu pumping导致的其它失效模式

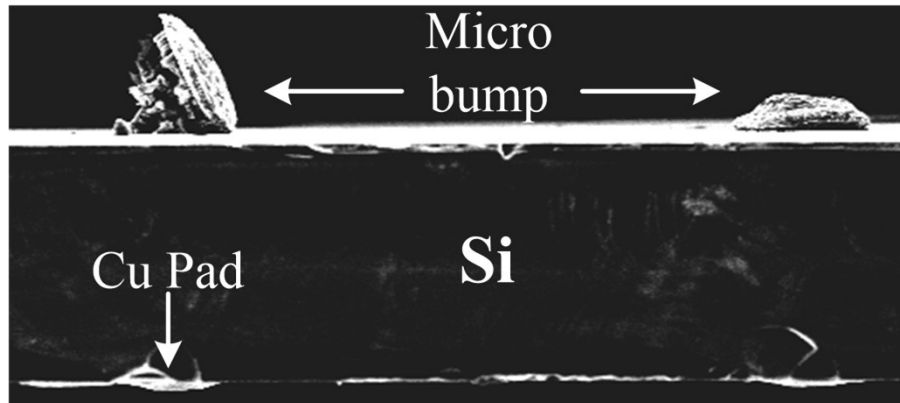
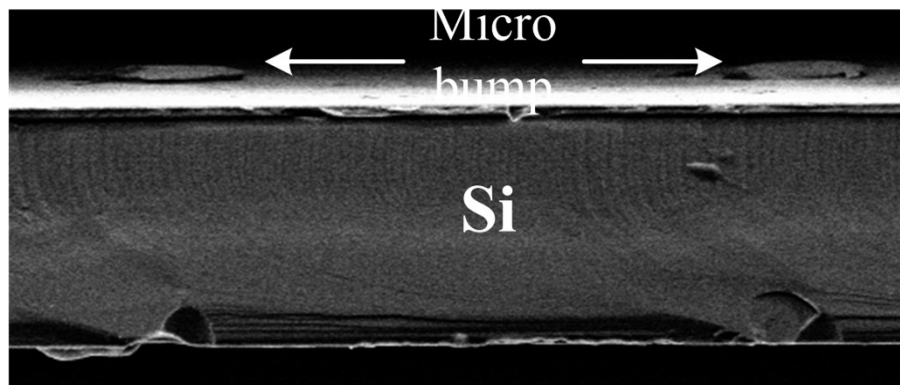


热循环 (-55C-125C) 过程中的TSV形貌变化:
Cu Pumping 不断加大; RDL被拉断



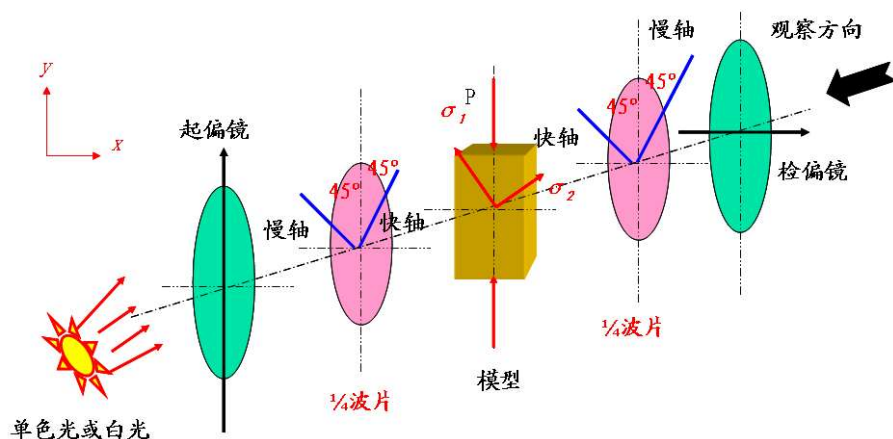
热循环的最后阶段: Cu
filler发生疲劳断裂, 外
部突出的铜剥落



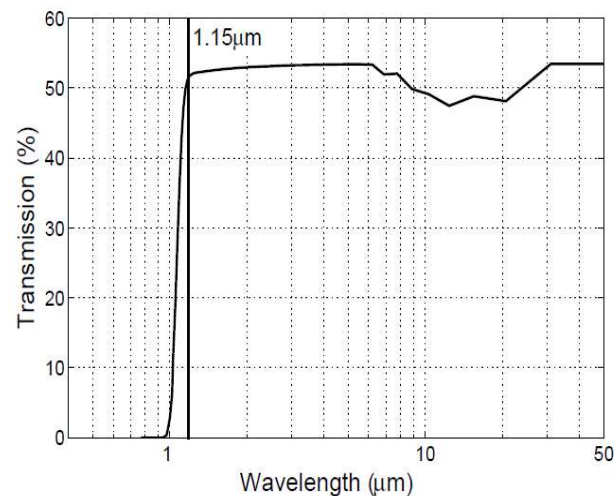


界面滑移一般只发生在TSV一端

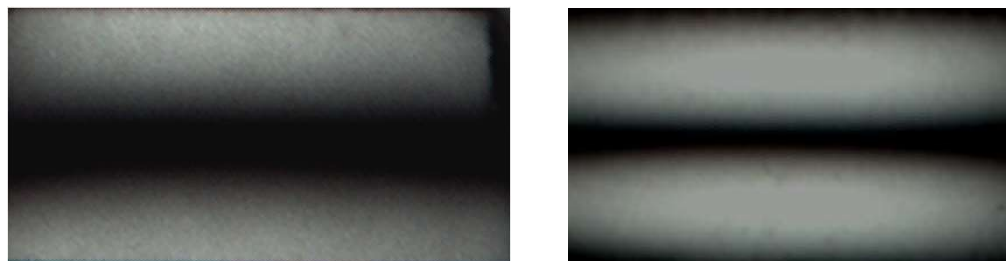
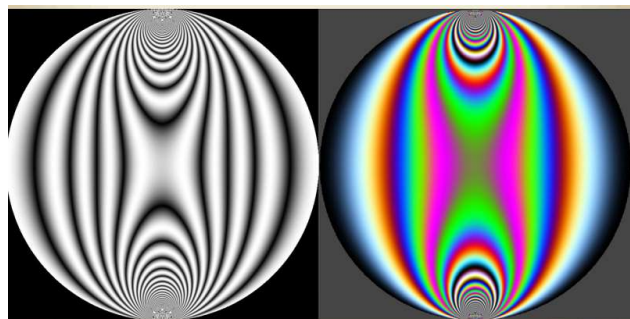
显微红外光弹法及其在TSV结构应力评价方面的应用



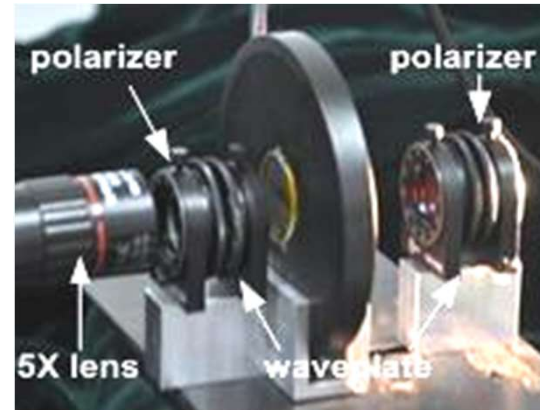
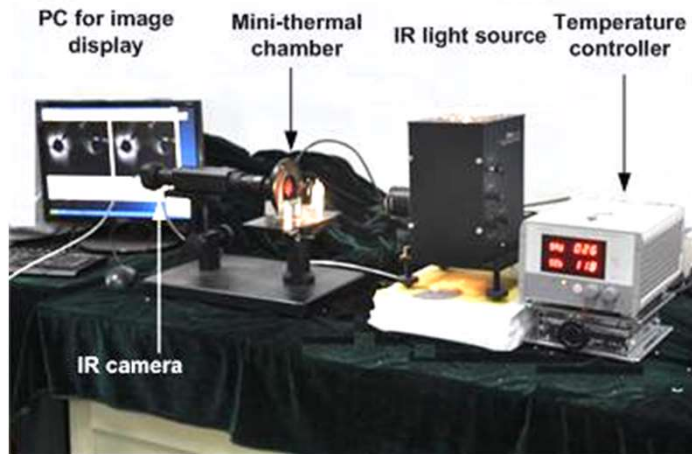
光弹法原理



硅的红外通过率



0.4mm厚硅梁的红外光弹条纹



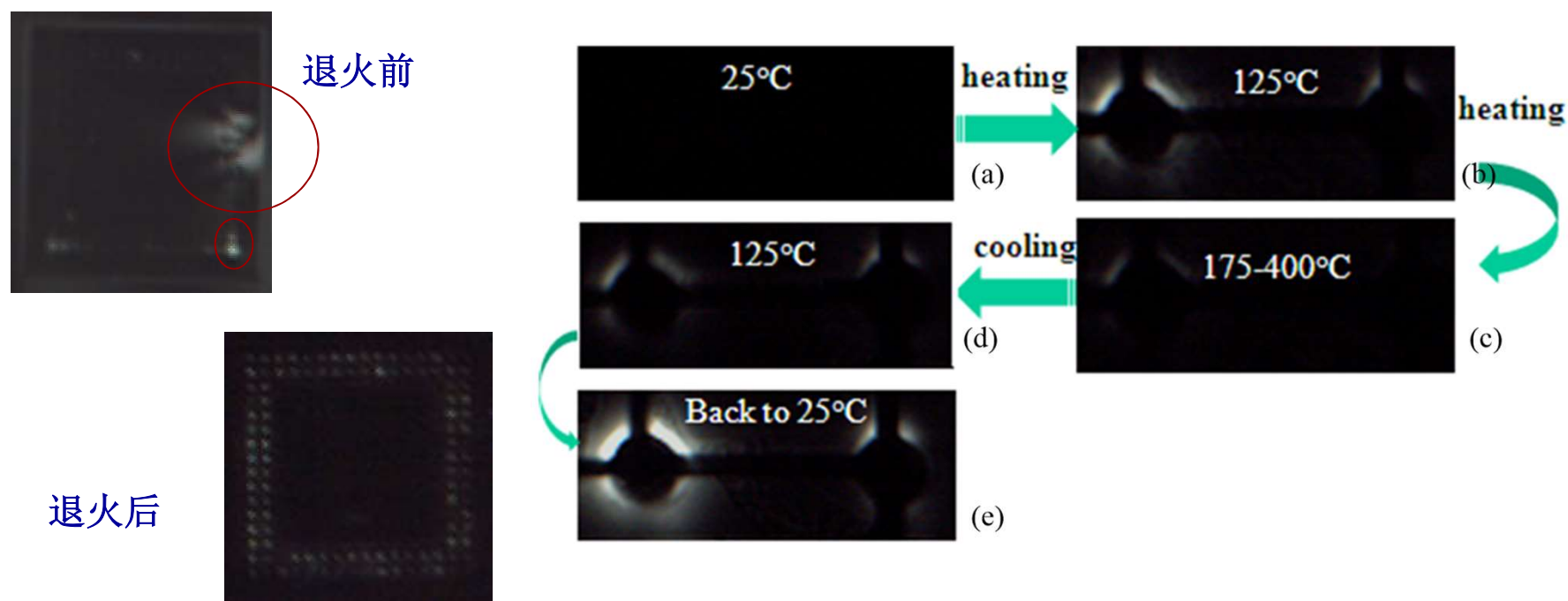
自研的显微红外光弹系统

主要技术参数:

- 有效工作波段: **1150-1200nm**
- 最大测试试件尺寸: 直径**24mm**
- 光学放大倍数: **20X, 5X, 0.02X**
- 试件加热范围 **室温-415°C**

(无热历史) TSV 在热加载过程中的光弹条纹

(温升速度 $3^{\circ}\text{C}/\text{min}$, 自然冷却) (无热历史)



定性分析：无热历史的试件在加热过程中，应力先增后减，冷却过程中应力持续增加，至室温时应力达到最大值

有热历史的TSV试件，在加热过程（ $3^{\circ}\text{C}/\text{min}$ ）中光弹条纹持续减弱，表明其中应力持续减小

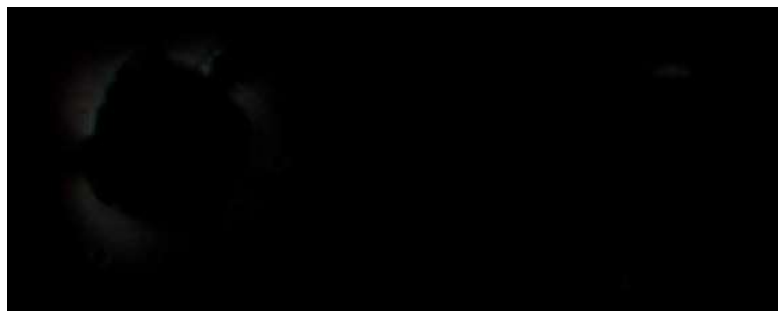
室温下的光弹条纹



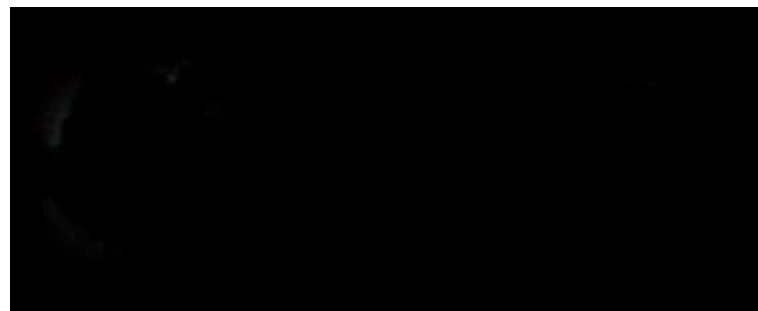
155°C 光弹条纹



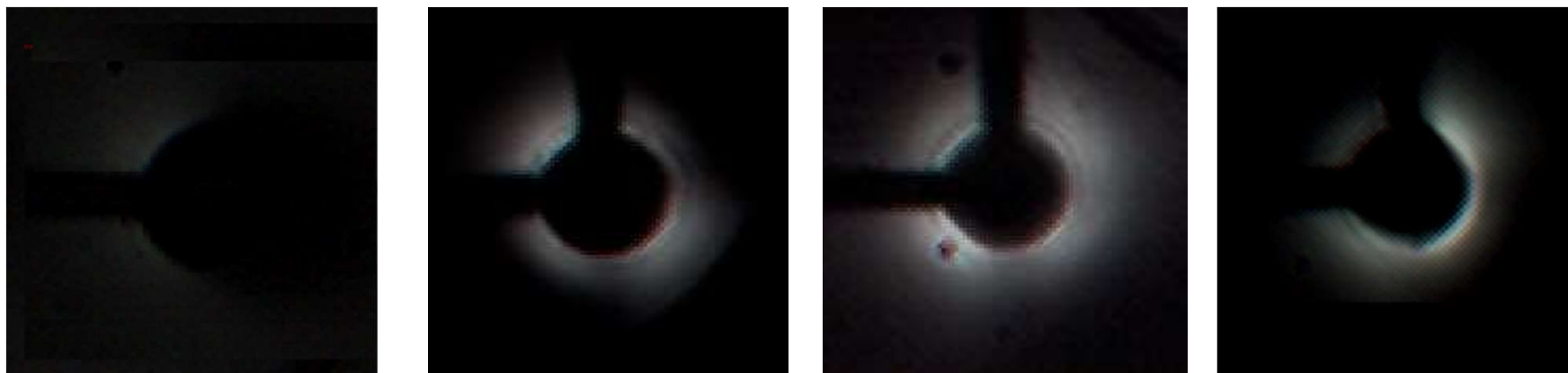
190°C 光弹条纹



210°C 及以上光弹条纹



TSV应力随热循环次数的变化



(a) 初始

(b) 经历80个循环

(c) 经历160个循环

(d) 经历240个循环

TSV应力随着热循环的增加先增加后衰减

热载荷对TSV应力的变化都可以通过界面滑移来解释：

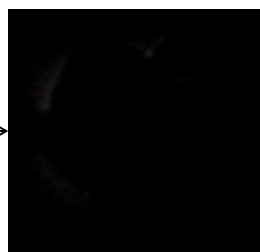
- 高温条件下的界面滑移可以释放应力，并且使TSV保持零应力状态
- 热循环中渐增的界面滑移使得应力增加，但Cu Filler最终的热疲劳损伤/断裂使得TSV应力又呈现下降趋势。

考虑TSV界面滑移现象的定量应力评价

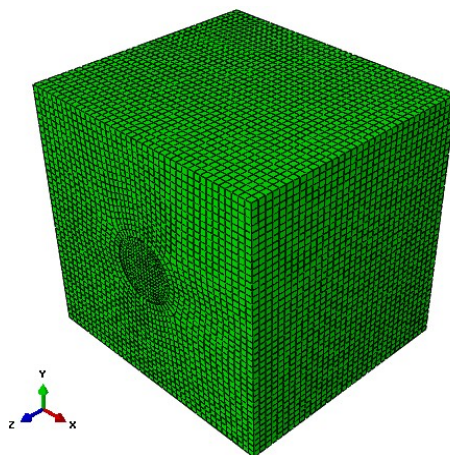
三维应力的定量分析需要借助于有限元



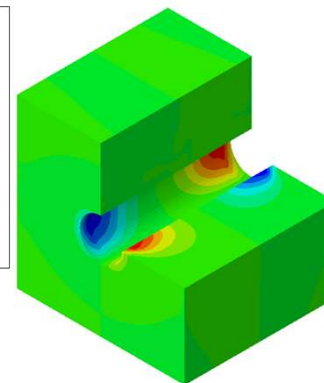
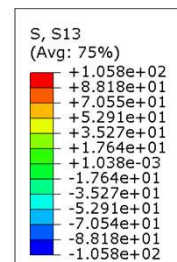
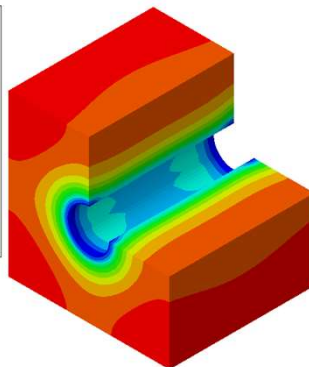
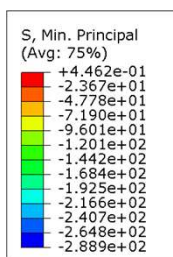
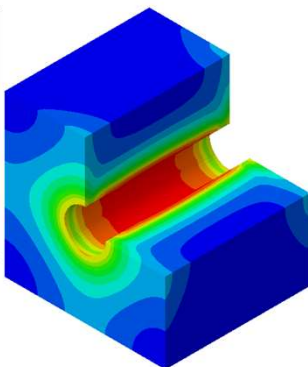
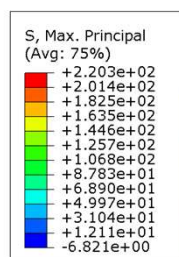
25°C



215°C



- 单个TSV建模，周期性边界条件
- 215°C 为零应力温度



总结与结论

- 显微红外光弹系统可以全场、实时、无损地监测TSV结构应力及其随工艺条件的变化，可以作为工艺优化等的辅助工具；
- TSV的铜膨出引起诸多失效模式，有助于高温时释放热应力，但容易引起常温和低温时应力的增加；
- 与有限元方法结合可以定量分析TSV结构应力。
- TSV应力影响区域是一个宽度约为TSV直径的环形带。

谢谢！