



## PDC 3: 无铅焊点的性能和可靠性

Jeffrey C. Suhling 教授 美国奥本大学

### 课程摘要:

本课程将概述用于电子组装和封装的无铅焊料材料的机械行为和可靠性的实验表征和建模方法。课程将重点关注如何使该主题适用于半导体封装工程师，并将结合汽车、航空航天和计算机行业的多个案例研究。课程内容包括：焊料的成分和微观结构、机械表征方法、无铅焊料的实验应力-应变和蠕变测试数据、材料特性、本构模型（弹性、塑性、蠕变、粘塑性）、单晶粒焊点的机械响应及相关建模方法、循环应力-应变行为和疲劳规律、微观结构演变和老化效应、各种组件的热循环可靠性测试数据、循环载荷下的损伤累积以及焊点可靠性的有限元建模方法。课程还将讨论一些最新进展，包括低温焊接和先进封装中的微凸块。详细主题列表请参见下方大纲。

### 课程大纲:

1. 电子封装用焊料简介
  - a. 成分和微观结构
  - b. 锡铅合金、SAC 合金、SAC+X 合金、锡铋合金、锡银合金等
  - c. 低温焊料 (LTS) 和 SAC-LTS 混合焊料组件
2. 焊料机械行为的实验测试方法
  - a. 单轴和剪切力学测试（应力-应变、蠕变）
  - b. 纳米压痕测试和小焊点测试
3. 无铅焊料机械行为（块状焊料）
  - a. 单轴和剪切应力-应变行为
    - i. 重要无铅焊料的文献数据
    - ii. 材料特性（模量、泊松比、屈服应力、UTS）
    - iii. 经验模型、温度和速率依赖性
  - b. 蠕变行为
    - i. 重要无铅焊料的文献数据焊料
    - ii. 材料特性（蠕变速率）
    - iii. 经验蠕变速率模型、应力和温度相关性
  - c. 本构模型
    - i. 弹性、弹塑性、蠕变、粘塑性 (Anand)
    - ii. 有限元代码和行业案例研究中的实际应用



4. 无铅焊料力学行为 (单晶焊料)
  - a. 纳米压痕数据 (模量、硬度、蠕变)
  - b. 单晶机械测试
  - c. 锡的各向异性行为 (弹性、塑性)
  - d. 本构模型 (弹性、晶体塑性)
  - e. 案例研究和先进封装的实际应用
5. 循环应力-应变行为
  - a. 温度和应变范围相关性
  - b. 本构模型和疲劳规律
6. 老化和损伤的影响
  - a. 等温老化效应
    - i. 微观结构演变
    - ii. 应力-应变和蠕变行为
    - iii. 本构模型和疲劳定律的变化
  - b. 循环载荷引起的损伤
    - i. 微观结构演变
    - ii. 应力-应变和蠕变行为 (本体)
    - iii. 本构模型和疲劳定律的变化
7. 焊点可靠性
  - a. 使用有限元分析的传统方法
    - i. 本构模型 (Anand 法、蠕变定律)
    - ii. 有限元网格划分、体积平均法、收敛性
    - iii. 故障预测
    - iv. 行业案例研究
  - b. 使用有限元分析的先进方法
    - i. 不断发展的微观结构和损伤机制

### 讲师简介:

Jeffrey C. Suhling 于 1985 年获得威斯康星大学工程力学博士学位。随后, 他加入奥本大学机械工程系, 目前担任 Quina 杰出教授兼系主任。在担任系主任之前, 他曾担任美国国家科学基金会先进汽车电子中心 (CAVE) 的主任。他的研究兴趣包括固体力学在电子封装中的应用, 尤其侧重于无铅焊料和硅传感器。在 IEEE, Suhling 博士在过去 30 年一直是电子封装协会 (EPS) 的会员。他曾担任多个 EPS 领导职务, 包括教育副总裁 (2019-2022)、财务副总裁 (2023-2024) 和候任总裁 (2025)。