

第3章 元器件失效分析技术

3.1 电子元器件失效分析技术

光学显微镜分析技术

红外显微镜分析技术

显微红外热像仪分析技术

声学显微镜分析技术

液晶热点检测技术

光辐射显微分析技术

3.2 电子元器件失效分析常用设备

元器件失效分析的常用设备

国外可靠性失效分析实验室设备情况

3.1 电子元器件失效分析技术

3.1.1 光学显微镜分析技术

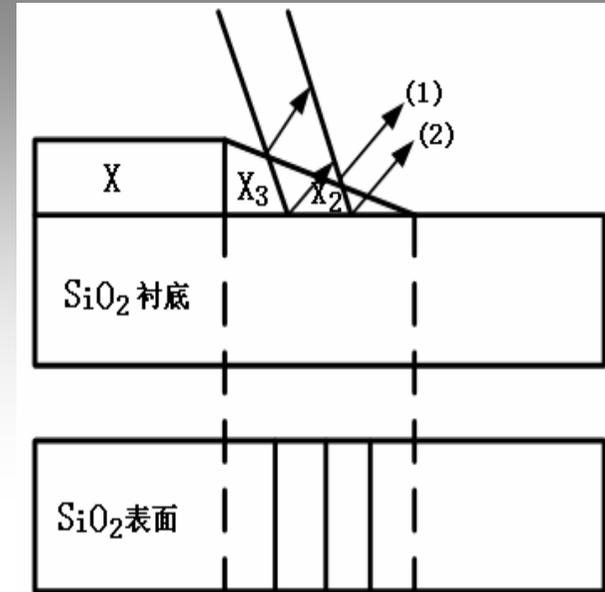
- 立体显微镜和金相显微镜结合使用，可进行器件的外观以及失效部位的表观形状、分布、尺寸、组织、结构、缺陷和应力等观察。
- 如观察分析芯片在过电应力下的各种烧毁与击穿现象、引线内外键合情况、芯片裂缝、沾污、划伤、氧化层缺陷及金属层腐蚀等。

1. 明、暗场观察

- 明场观察光洁表面可获得一个明亮清晰的图像。
- 暗场观察让较大入射角度的入射光线照明样品。对观察有小空洞或隆起物等不光滑表面的样品有效。

2. 光的干涉法测薄膜厚度

■ 干涉条纹测量原理：当两道光的光程差为半波长的奇数倍，两道光的相位相反，出现暗条纹。在 SiO_2 台阶上将出现明暗相间的干涉条纹。



3. 微分干涉相衬观察

- 观察到样品表面的双折射现象。如果样品的双折射是内部的应力引起，则可通过偏振光干涉法观察到应力在样品表面的分布。
- 偏光干涉法的另一主要应用，是在集成电路芯片涂覆一层向列相液晶，利用液晶的相变点来检测集成电路芯片上的热点。

3.1.2 红外显微镜分析技术

- 红外显微镜采用近红外（波长在**0.75~3 μ m**）辐射源做光源，并用红外变像管成像的红外显微镜分析技术。
- 锗、硅等半导体材料及薄金属层对近红外光是透明的。利用红外显微镜，不用剖切芯片就能观察到芯片的内部的缺陷和芯片的焊接情况。
- 适合于塑料封装半导体器件的失效分析。
- 红外显微技术对微电子器件的微小面积进行高精度非接触测温的方法。

■ 红外显微技术在半导体器件失效分析中的应用:

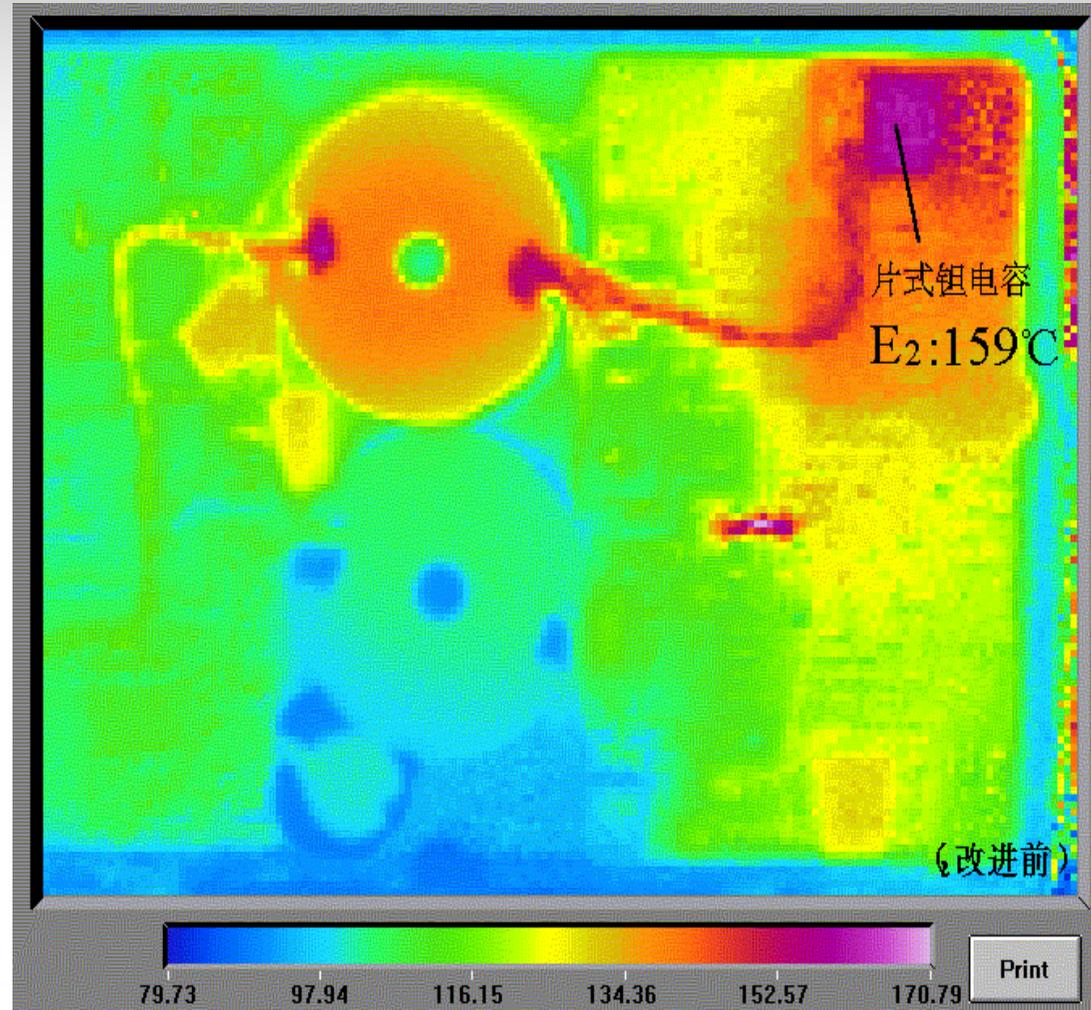
1. 从芯片背面正入射透过衬底，在芯片表面反射回来。
此方式可以检查金属与半导体的接触质量、金属腐蚀、金属化连线的对准情况和引线键合情况等。
2. 从芯片的表面正入射，透过硅衬底后，在芯片的底面处反射回来，可以无损地检查芯片与底座之间的焊接情况。
3. 用透射方式。去掉封装管帽，把芯片底部的焊接层磨去并抛光。观察时在金属层和硅化物层有针孔的地方出现亮点，针孔位置、大小和密度。
4. **pn** 结加正偏压时，观察硅表面发出的红外光。
5. 偏振光观察方式。材料内部存在缺陷和应力时，局部区域的光学性质产生变异。可观察到半导体材料本身缺陷或封装引入的管芯应力。

3.1.3 显微红外热像仪分析技术

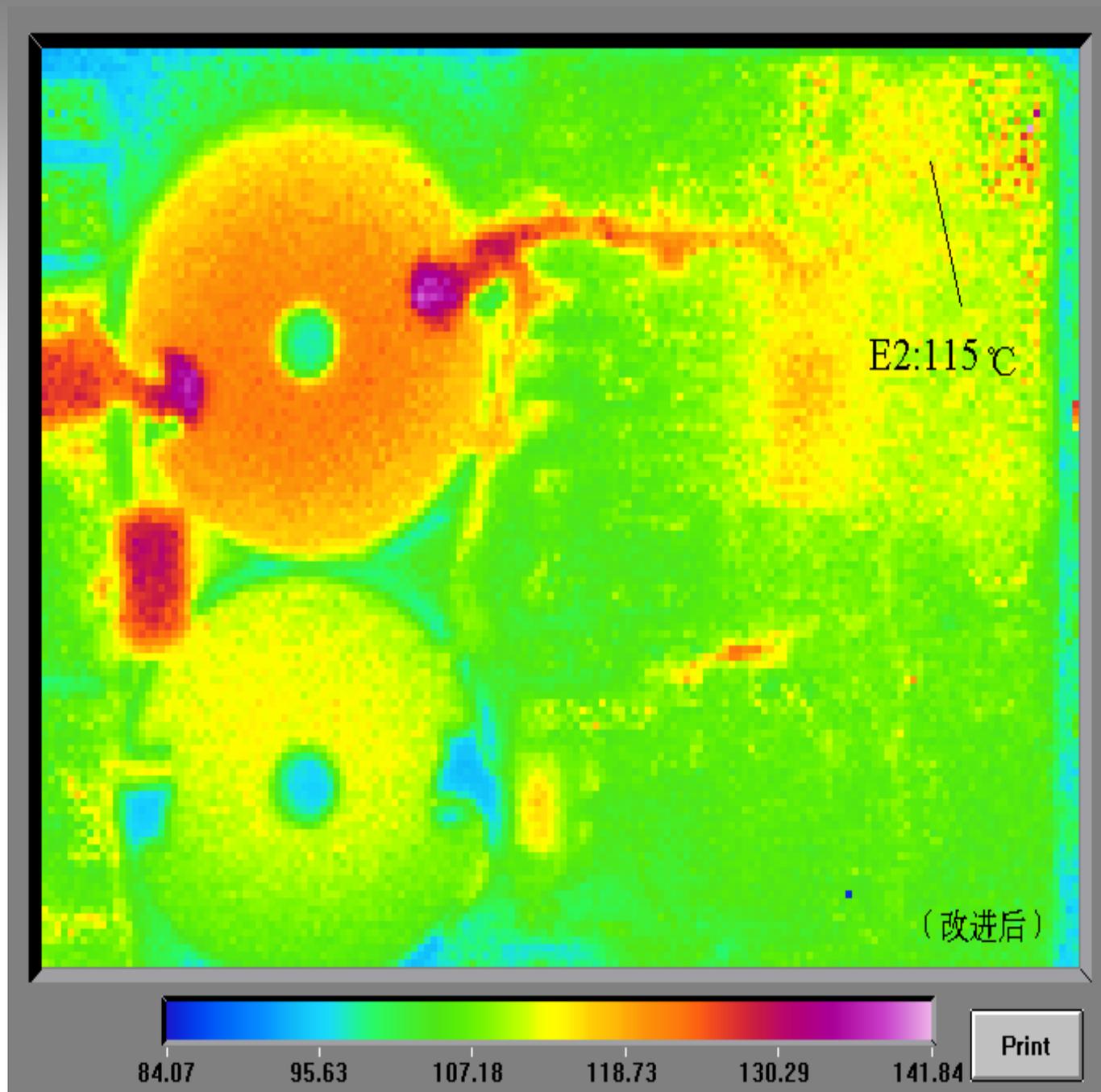
- 显示芯片上反常热分布，暴露不合理的设计和工艺缺陷等,检测：
 1. 芯片与管座间的黏结性能；
 2. 由于晶体缺陷、杂质和静电放电引起的漏电通道；
 3. CMOS电路闩锁通道；
 4. 划伤处或氧化层台阶处金属化层的局部发热；
 5. 多层布线互连孔的局部发热等，分析互连的异常情况；
 6. 由大电流引起的内引线过分发热；
 7. 芯片裂缝；针孔漏电和扩散尖端处的局部发热等。
 8. 测定器件的热阻（静态、动态热阻）。
- 20世纪90年代中期发展起来的多元面阵探头显微红外热像仪，不仅测量结构相对简单，而且测量速度更快、空间分辨率更高。

图是一个混合集成电路（初步设计定型后）热设计验证的温度分布图。

片式电容器温度超出了标准规定的 125°C 上限，热性能不合格。



设计改进后，电容器温度下降至115℃，达到了产品的热设指标。



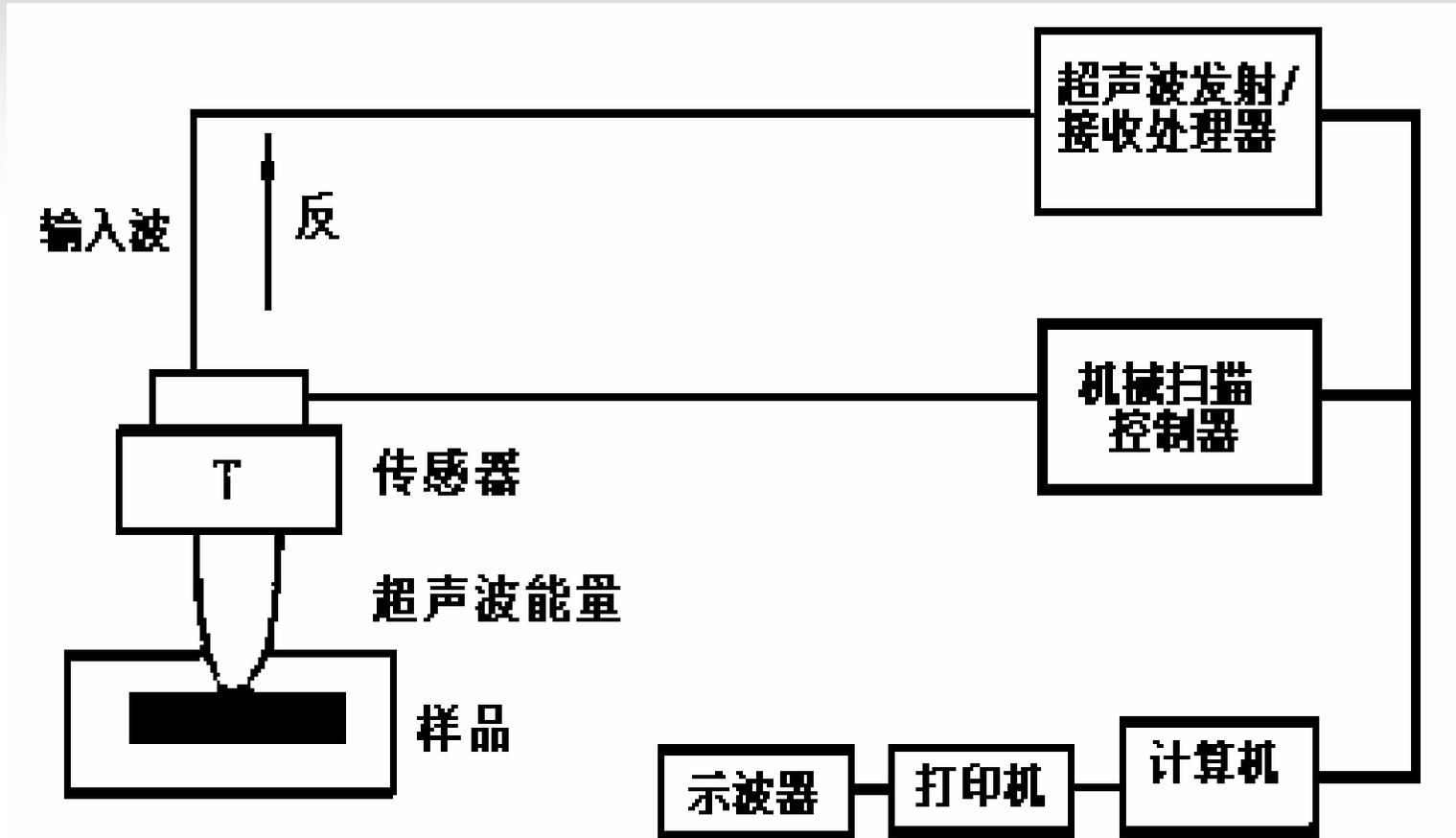
- 目前在集成电路中广泛使用计算机辅助设计（**CAD**）工具，其中热分析工具，可以在版图布局，布线的初步确定后，或在完成设计后，在直流工作状态下对芯片进行热分析。
- 热分析可以直观地给出芯片表面的温度分布及等温线。
- 如果将设计时芯片的温度分布与显微红外热像仪分析的结果进行比较。更可进一步地获得芯片在制备工艺过程中引进的缺陷，热分布及最高热点的变化。从而有助于失效部位的定位和失效机理的分析。

3.1.4 声学显微镜（Scanning Acoustic Microscopy 超声波扫描显微镜）分析技术

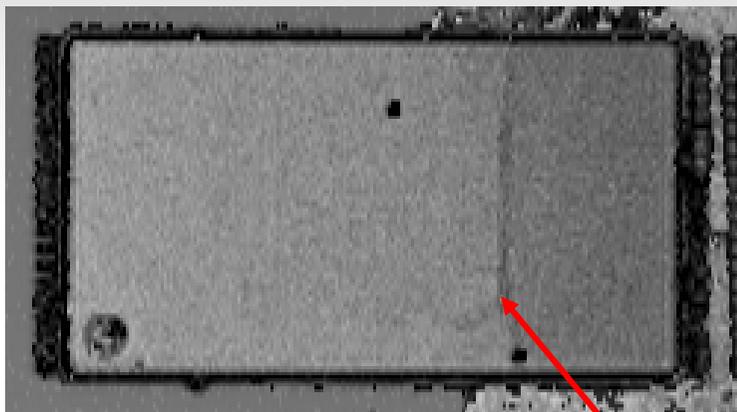
超声波扫描显微镜系统外观图



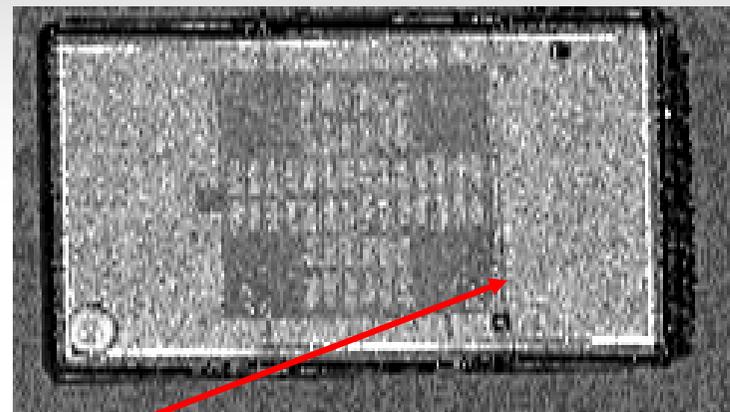
扫描声学显微镜工作原理



封装壳上的裂纹



Board_b1b.bmp



B2a.bmp

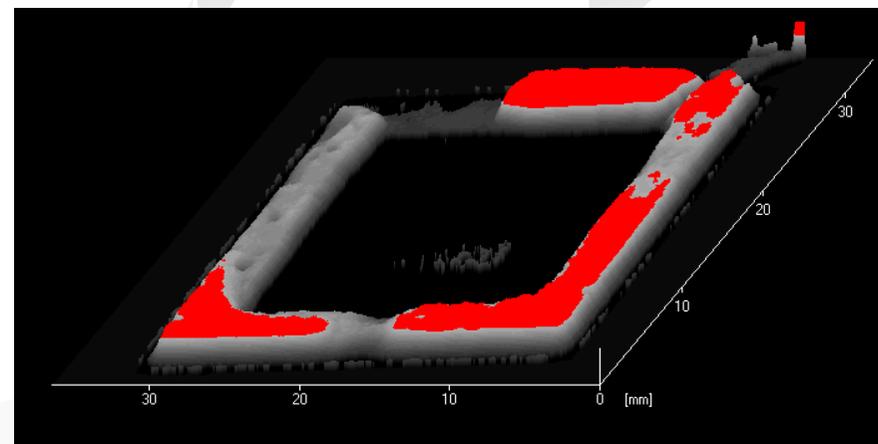
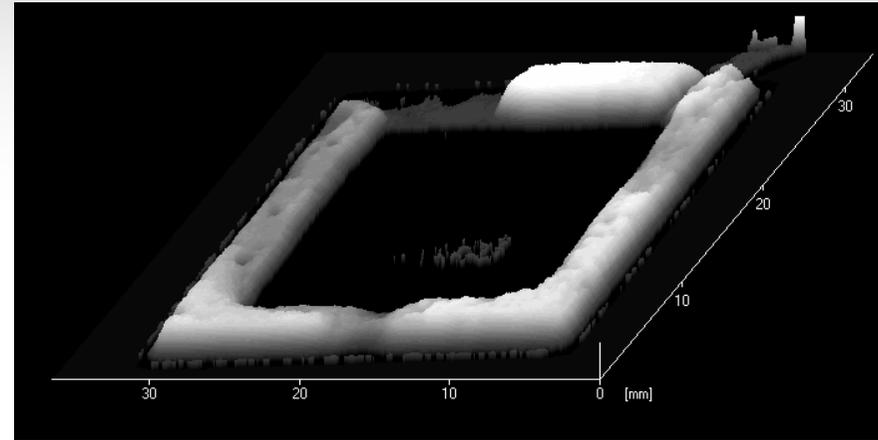
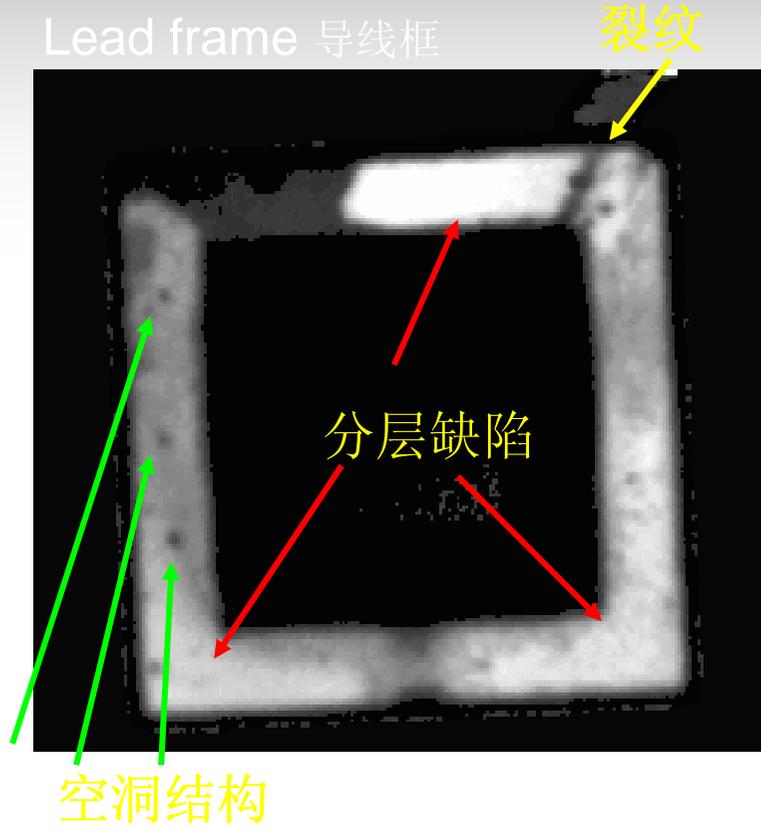
裂纹

- 使用超声波显微镜可以检测到封装材料内部裂纹。

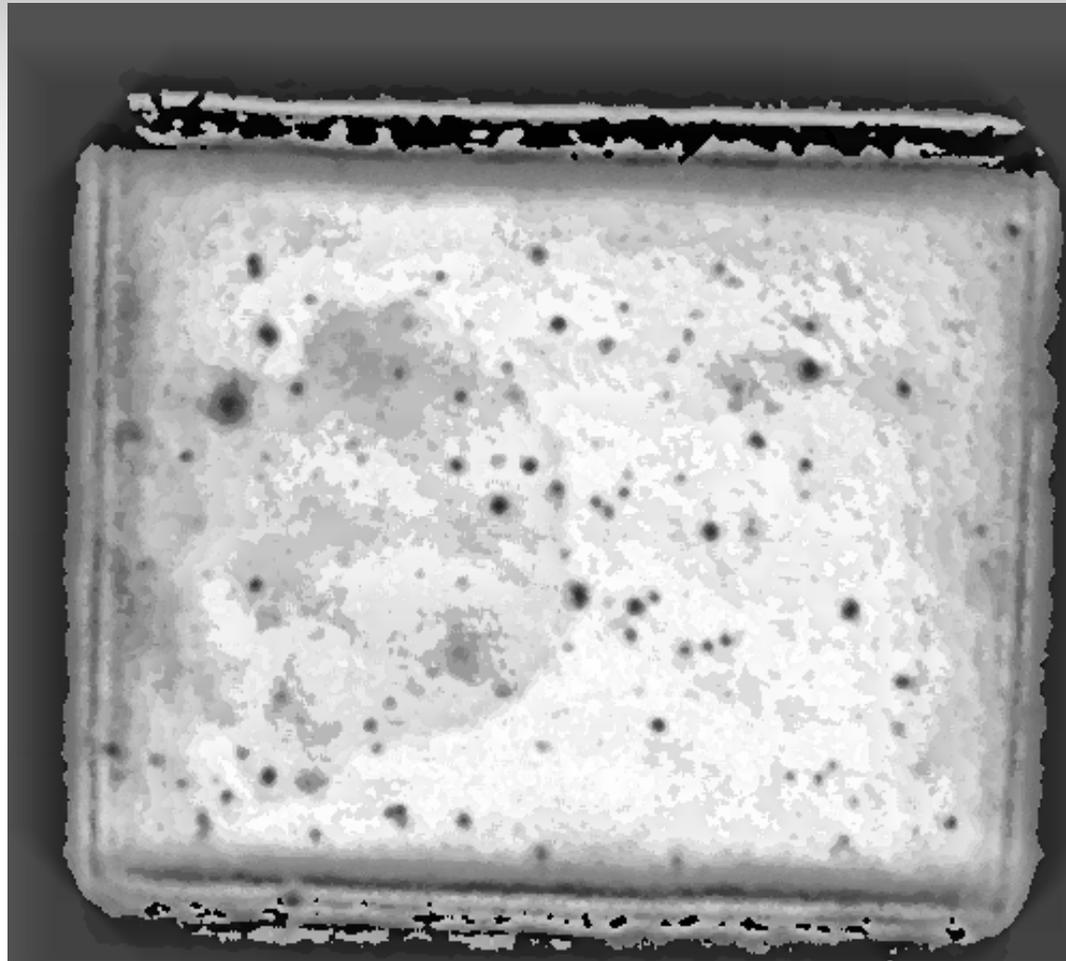
- 封装器件内部结构可以被清晰地看到。

导线框上的分层缺陷

Lead frame 导线框



扫描图像

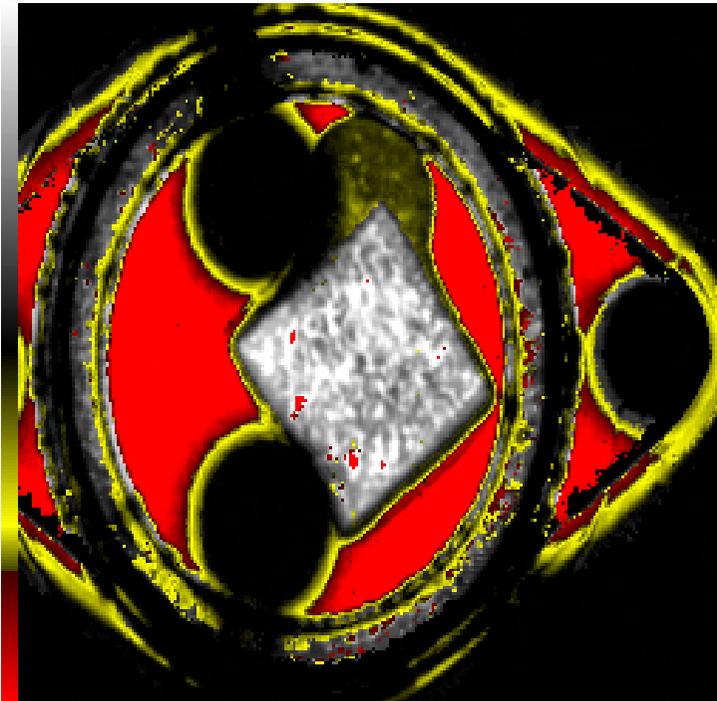


样品提供：成都宏明电子集团有限公司

- 有三种不同的声学显微镜：扫描激光声学显微镜（SLAM），扫描声学显微镜(SAM)，C型扫描声学显微镜（C-SAM）。
- 从能观察到物体的深度来说，每一种类型的声学显微镜都有其自己的应用区域。
- SLAM能观察到样品内部的所有区域；
- C-SAM能观察样品表面下几毫米的区域；
- SAM则只能观察到样品表面几微米的区域。

C-SAM来检查混合集成电路大功率晶体三极管芯片 粘接情况的对比图例

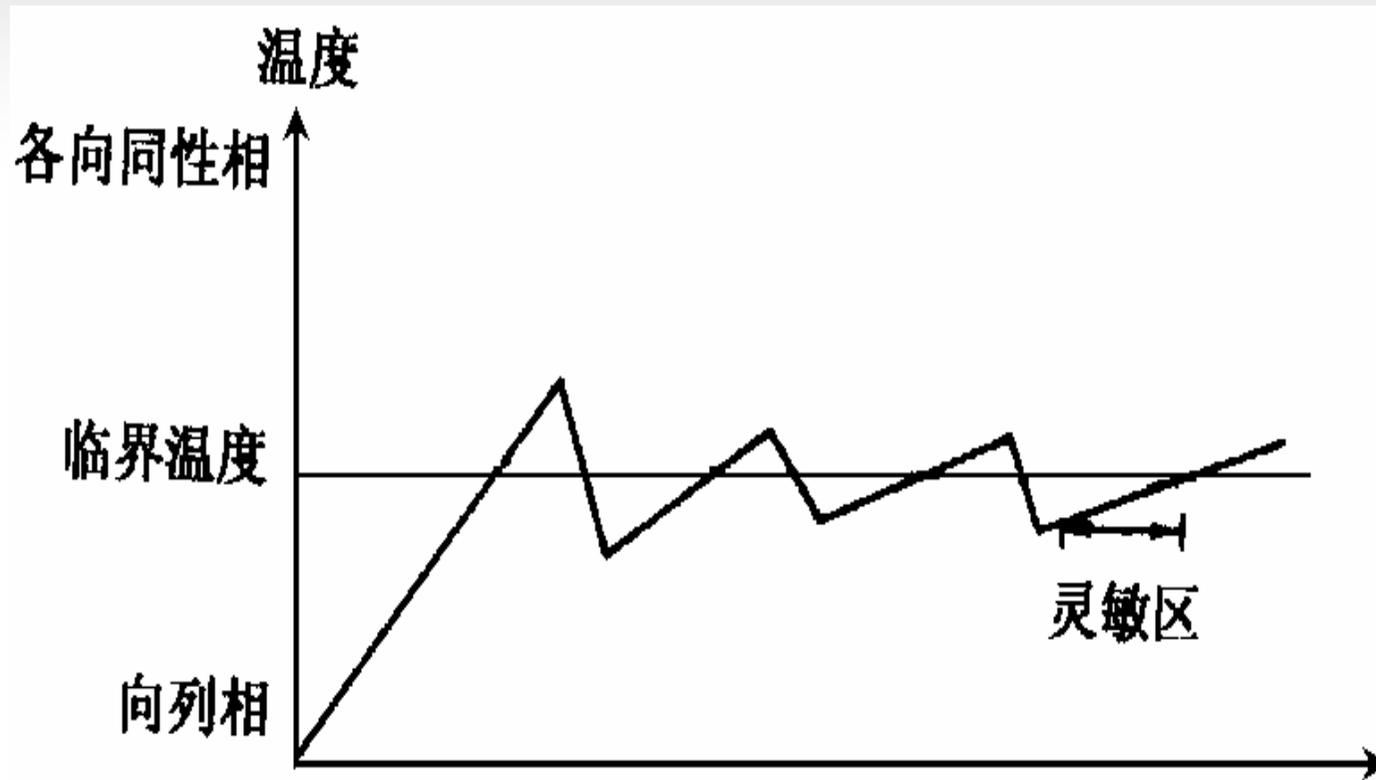
(a) 芯片粘接正常； (b) 芯片粘接失效。



3.1.5 液晶热点检测技术

- 液晶当低于某一临界温度 T_c （相变温度）时，具有晶体的各向异性性质。温度高过某一临界温度 T_c 时，就会变成各向同性的液体。
- 通过在正交偏振光下观察液晶的相变点而检测热点。

液晶工作温度



液晶热点检测技术应用

- 用于检测氧化层针孔的方法：在 SnO_2 透明导电玻璃与被测 SiO_2 层间注入厚约 $10\ \mu\text{m}$ 的液晶层，当在 SnO_2 和Si的金属底座之间加直流电以后，若 SnO_2 层有针孔，在针孔处形成漏电通道处的液晶出现动态光散射的湍流现象。
- 在显微镜中可看到往上冒泡的漩涡图形，从而发现针孔的位置，由图形大小可估计针孔的大小。
- 液晶热点检测每次大约10分钟，是一种快速的分析方法。液晶热点检测的空间分辨率 $1\ \mu\text{m}$ ，能量分辨率 $3\ \mu\text{W}$ 。由于它的空间分辨率比红外热像仪更高，所以对芯片失效定位的判定更好。
- 利用液晶热点检测技术：确定管芯上的耗能区域，研究缺陷、杂质和静电放电引起的漏电通道，在结内的不规则电流分布，CMOS电路的闩锁区域等。

3.1.6 光辐射显微分析技术

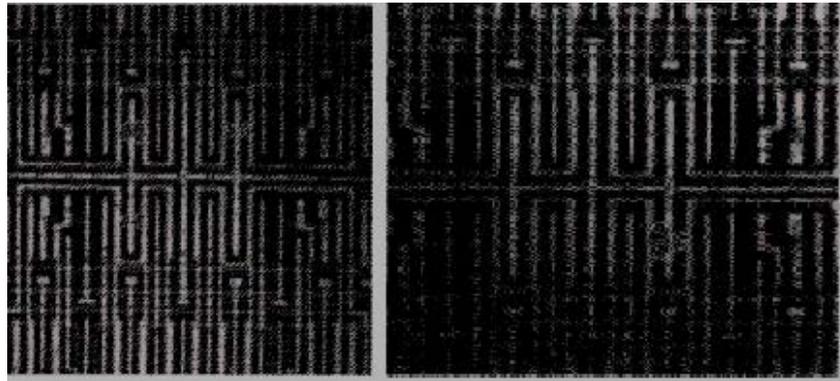
- 半导体器件内部载流子发生能级跃迁都会伴有一定的光子发射，产生光辐射现象。
- 光辐射显微分析技术就是显微探测光辐射现象的技术。
- 半导体器件和集成电路中的光辐射现象：
 1. 非平衡少子注入到势垒和扩散区并与多子复合而产生光子。
 2. 在局部的强场作用下高速载流子与晶格原子发生碰撞离化，发射出光子。
 3. 介质发光，在高电场下，有隧道电流流过二氧化硅和氮化硅等介质薄膜时，就会有光子发射。

光辐射显微在失效分析方面的应用

- 探测的缺陷和损伤类型：漏电结、接触尖峰、pn结缺陷、栅氧化缺陷、栅针孔、静电放电（ESD）损伤、闩锁效应、热载流子、饱和态晶体管以及开关态晶体管等。微漏电点失效定位。
- 光辐射显微技术无需专门制样，也不用对样品进行剥离或对失效部位进行隔离，对样品没有破坏性；不需要真空环境，可方便地施加各种静态或动态的电应力等。

闩锁效应的光辐射探测：

- 对CC4011样品当样品发生闩锁时，可探测到很强的发光现象，在每次探测时发光的具体位置有所不同，但均出现在CMOS管区域，
- 图(a)、(b)分别为两次探测时的发光现象。这说明对这种器件来说，闩锁触发通道有一定的随机性，但存在易触发区域即CMOS管。



3.2 电子元器件失效分析常用设备

3.2.1 元器件失效分析的常用设备

1. 确认失效模式和机理的一般设备

- 1) 外观检查设备 以放大镜、光学显微镜的设备和尺寸测量工具为主。
- 2) 电性能验证设备必备万用表、示波器。根据适用于测试器件功能、性能的设备，有关的因素是：
 - (a) 被测器件。
 - (b) 器件极限规范。
 - (c) 一级测试能力（最小要求）。
 - (d) 二级测试能力（具有次要意义的要求）。
 - (e) 数据要求。特别是原始数据、数据处理、数据分析能力及特殊的软件工具。

选配原则

- 选配是指失效分析单位自己购置测试设备。选配时除考虑科学性（标准的或公认的测试原理）、适用性（不过时）、可靠性、易操作等原则外，还要注意：
 - (a) 硬件。根据需求而不是价格。
 - (b) 软件。除注重对测试设备的控制，也要考察测试程序生成、测试生成、数据采集和分析能力。
 - (c) 售后支持。包括服务、应用和维护。
 - (d) 投资的回收。

2. 国内失效分析设备情况

- 我国军用标准微电子器件试验方法和程序中微电路的失效分析（GJB-548A -方法5003），将试验条件按A、B、C和自选测量由低向高分为4个等级。
- 以国内某元器件质量保证单位失效分析设备情况，达到了试验条件A、B和C的要求。
- 在自选测量的残余气体分析、表面轮廓曲线、光扫描、红外扫描、扫描电子显微和电子束微分析、电子显微等6类分析设备中只有扫描电子显微和电子束微分析、电子显微分析等。
- 国内某元器件质量保证单位失效分析设备情况见表7-6~表7-9。参见姚立真《电子元器件可靠性物理》电子工业出版社 2004.8

3.2.2 国外可靠性失效分析 实验室设备

- 可靠性分析鉴定实验室为了进行各种失效分析和可靠性评价，必须配备一定能力的仪器设备。
- 美国雷声公司的可靠性分析实验室配备的仪器设备。
- 参见姚立真《电子元器件可靠性物理》
电子工业出版社 2004.8