



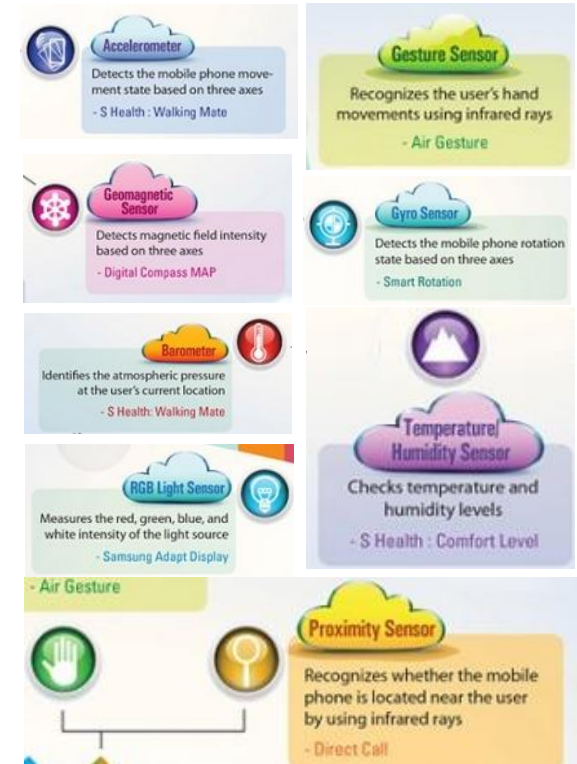
MEMS测试分析平台

张文燕 @ 上海

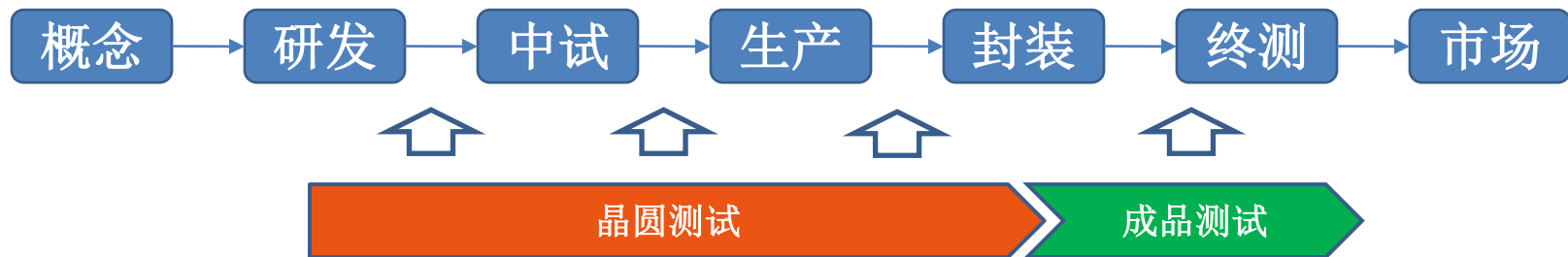
上海微技术工业研究院(SITRI)

内容

- MEMS测试技术
- MEMS分析技术
- SITRI测试分析平台介绍



MEMS测试



产品R&D阶段

验证器件可以工作和可以生产。在这一阶段，采用**晶圆级测试**可以获得早期器件特征，降低开发时间和成本。

产品试量产阶段

验证器件以较高成品率量产的能力，开发出可量产的设备方案以及用于量产的测试方案。通过采用**晶圆级测试**可以降低开发时间和成本。

量产阶段

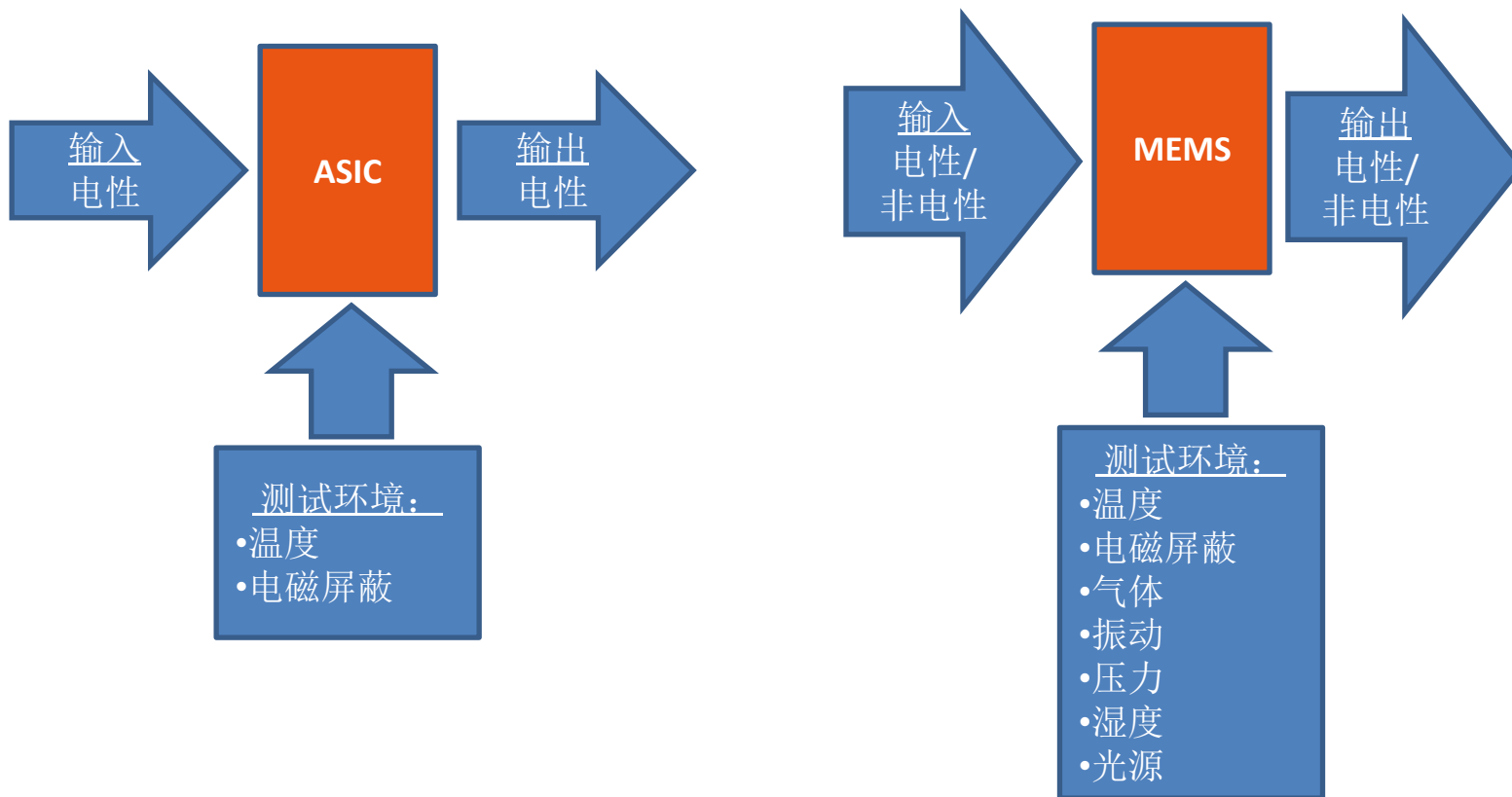
最大化吞吐量和降低成本。

由于一般MEMS产品的成品率比IC产品要低很多，**晶圆级测试**可以极大地降低MEMS量产产品的封装成本。

封装后进行**成品测试**，筛选不良产品，确保上市产品性能良好。

MEMS测试与ASIC测试的异同

MEMS测试：电学测试+非电学测试

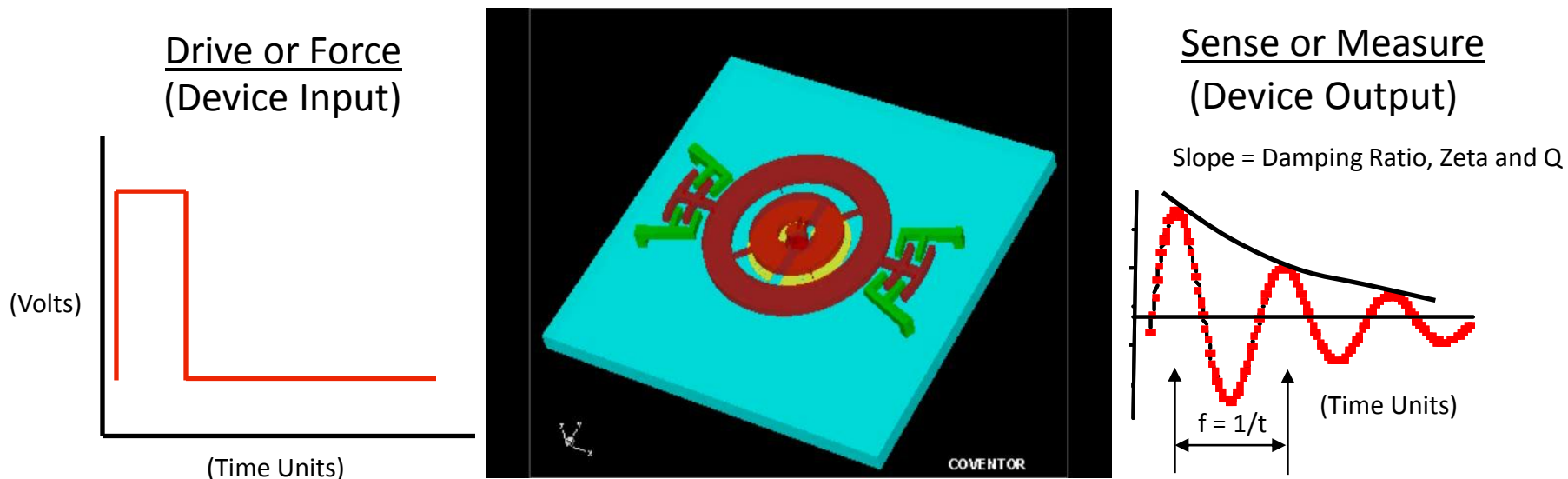


晶圆测试和成品测试均涉及非电性的输入输出，且需要有特定的测试环境

动态晶圆测试方法

什么是动态晶圆测试?

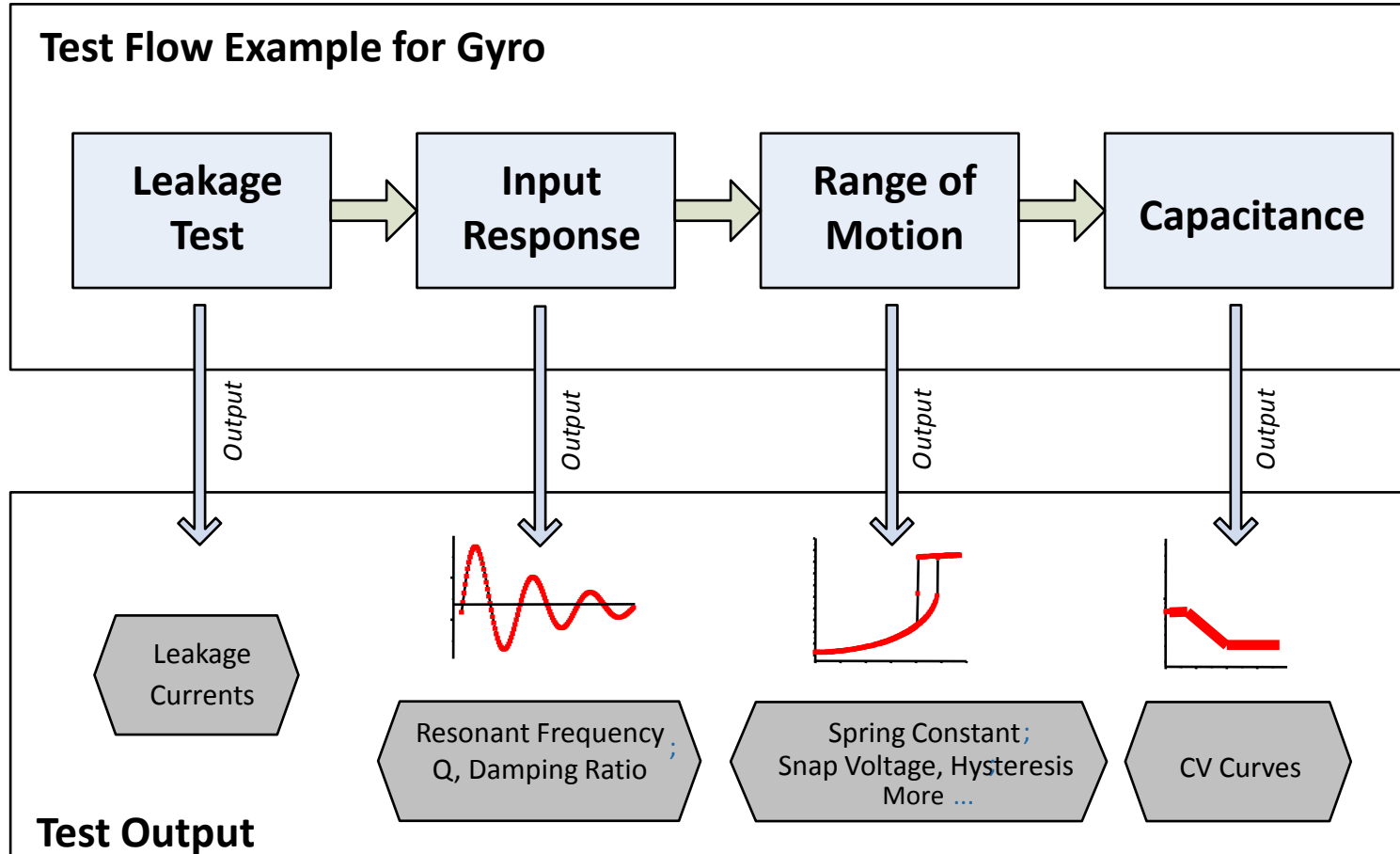
通过静电输入驱动，检测或测量MEMS元件，从而确定它的动态力学行为（如固有频率、阻尼系数、品质因素、正交误差、迟滞等）



原理：静电力驱动

Proof Mass和轴极板间的电压差产生静电力，静电力推动Proof mass做运动，当信号到达产品的共振频率点时，机械产生最高振幅。微信号通过放大电路及滤波电路采集后做分析。此方法适用于电容式传感器

动态晶圆测试流程



MEMS晶圆测试难点及解决方案

CP测量技术难点:

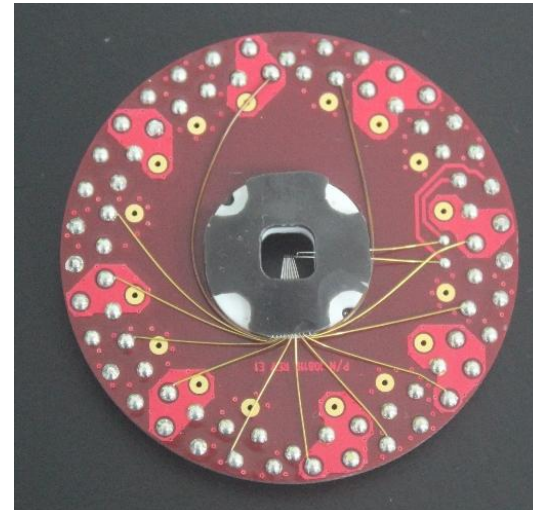
微结构的信号十分微弱，信号经常被噪声淹没，极易受到干扰

解决方案:

1. 对于探针卡材质，选取低漏电，低寄生电容的材质
2. 采取动静态分开测试，静态参数测试需检测所有端口，探针较多，但不易受干扰，可以使用独立探针卡；而动态测试易受探针间干扰，只需连接驱动，检测轴等几个端口，减少探针数量。



静态参数探针卡



动态参数探针卡

MEMS成品测试方法 _ 环境模拟

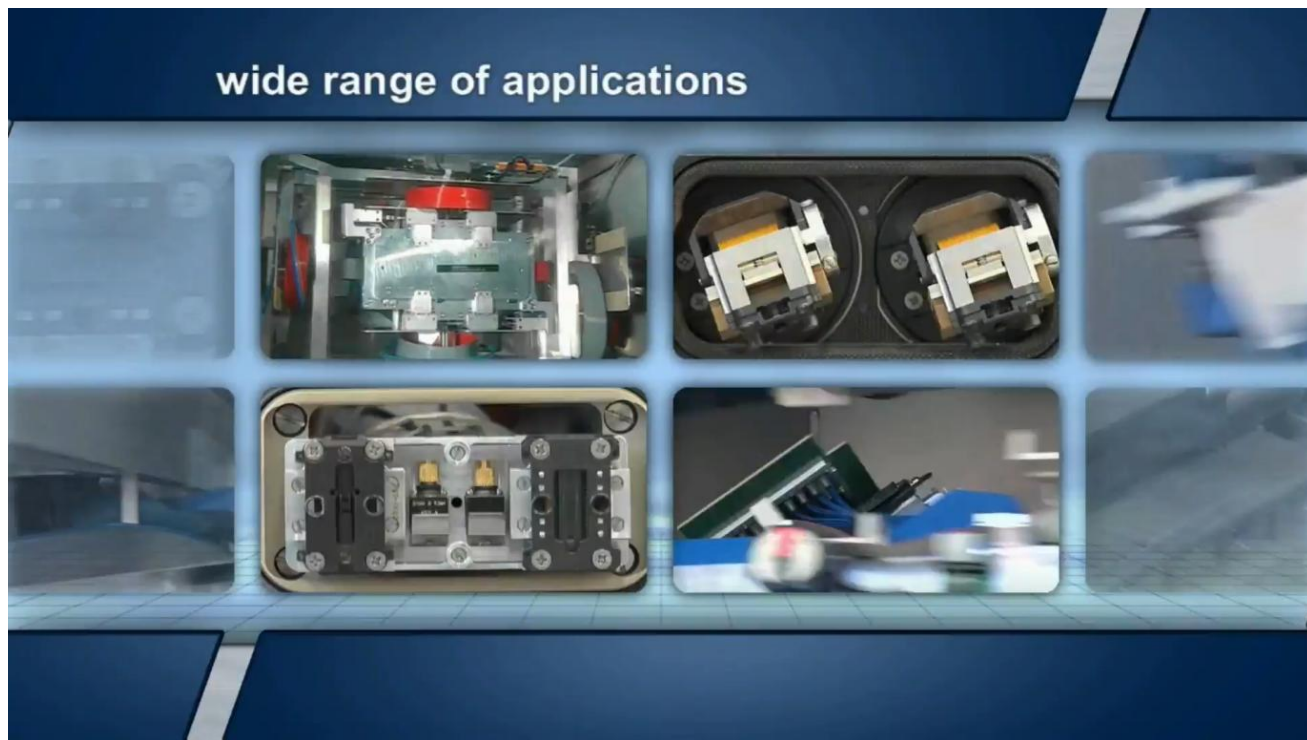
测试设备模拟各种MEMS传感器使用环境:

对于惯性传感器, 设备提供转动, 振动, 翻转等物理条件捕捉传感器的输出信号;

对于温湿度传感器, 设备通过测试部位的温度及湿度变化, 捕捉传感器输出信号;

对于压力传感器, 设备通过制造不同的压强环境, 捕捉传感器输出信号;

对于磁性传感器, 通过控制磁线圈上电流的变化, 转换为磁场变化, 捕捉传感器输出信号, 最终根据设计规格确认产品性能。



MEMS成品测试难点

成品测量技术难点：

1. MEMS传感器种类繁多，激励不一，并且向高集成发展，如9轴运动传感器，环境传感器等。
需要解决激励源的融合问题，减少测试次数
2. 被测器件在运动或高压状态下容易出现和DUT板接触不良的情况
3. MEMS与ASIC集成在一颗封装内，因信号强度的差异，难以同时对MEMS和ASIC进行测试，且出现问题时，难以判断问题出在MEMS还是ASIC

解决方案：

1. 选择稳定的，可靠性高的测试设备，并定期校正测试设备的激励
2. 选择接触性较好的接触方式（如pogo pin），确保被测器件同测试板良好接触
3. 对MEMS和ASIC分别进行晶圆级测试后再进行封装，减少成品测试时间，且提高成品良率

MEMS测试主流设备介绍

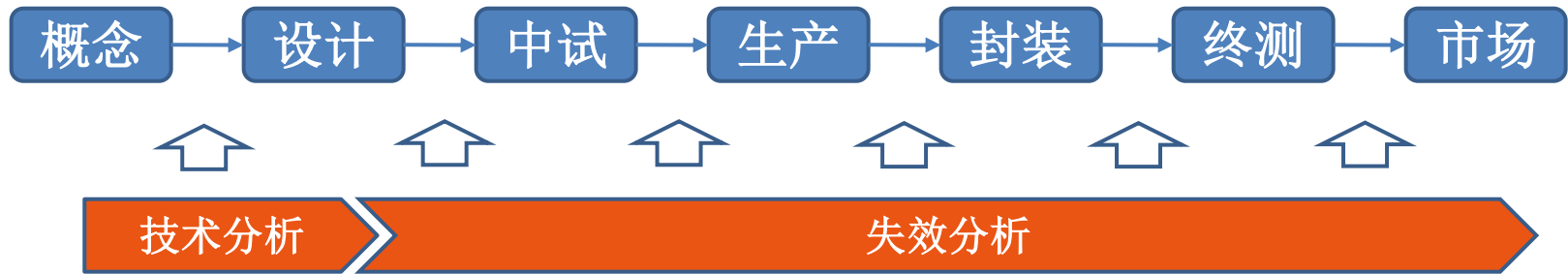
动态晶圆测试（静电力驱动）



环境模拟



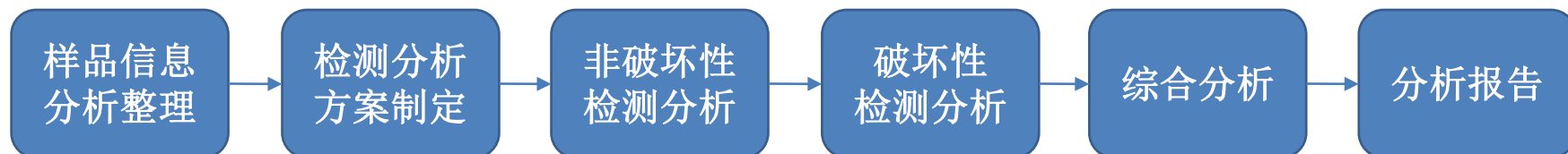
MEMS分析



技术分析 调研技术可靠性
知识产权的应用
了解竞品技术和成本，明确市场定位
教学与新工程师培训

失效分析 发现失效MEMS的故障
分析失效原因，找到影响良率的关键因素

MEMS分析技术



非破坏性分析

- X-RAY
- 超声波扫描显微镜
- IR（半破坏性）

破坏性分析

- 去封装
- 截面分析
- 化学染色

图像采集

- OM
- SEM
- TEM

材料分析

- 能谱仪EDS
- 拉曼光谱
- 红外光谱

非破坏性检测分析

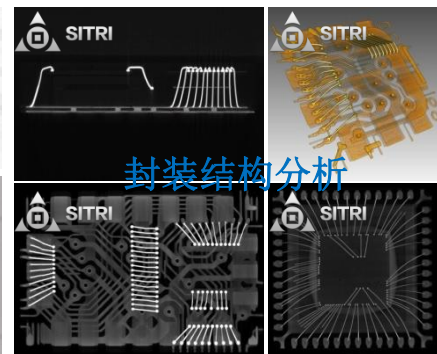
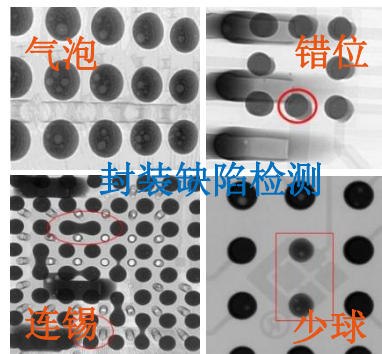
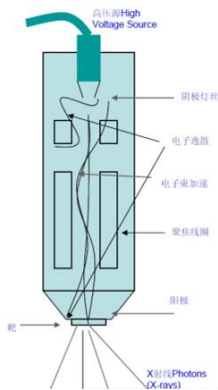
X-RAY

用途 检测封装内部的工艺缺陷和结构分析

优点 快速、直观、无损检测

缺点 无法观察器件内部结构和缺陷

最小缺陷识别能力大于2um



超声波扫描显微镜SAM

用途 检测器件/材料内部的缺陷位置、大小和分布状态

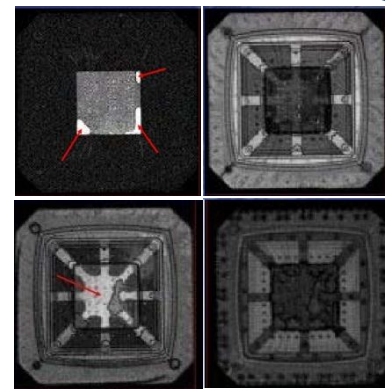
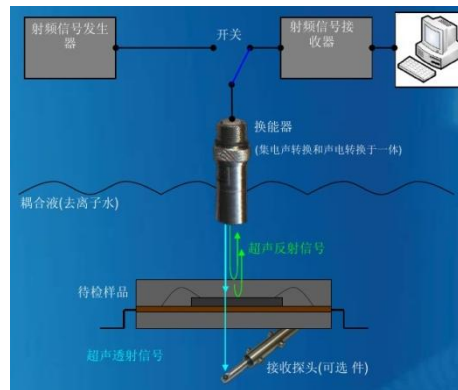
优点 无损检测，对粘结层面敏感

能检测出气孔、裂纹、夹杂和分层等缺陷

能穿透大多数材料，对人体无害

缺点 需要液体进行超声波传输

很难检测数表面粗糙或者内部有很多气泡的样品



IR显微镜

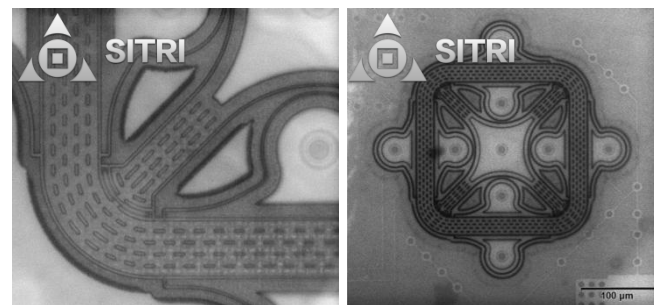
用途 适用于晶圆级的非破坏检查以及带有Silicon Cap的MEMS器件内部结构观察

优点 非破坏性检测(适用于晶圆级，对已封装的需要去封装)

可选用不同波长进行观察 (800nm到20um)

缺点 由红外光波长导致只能观察类似玻璃的材料

精确度有限，尺寸测量在微米级，放大倍率最大1000x

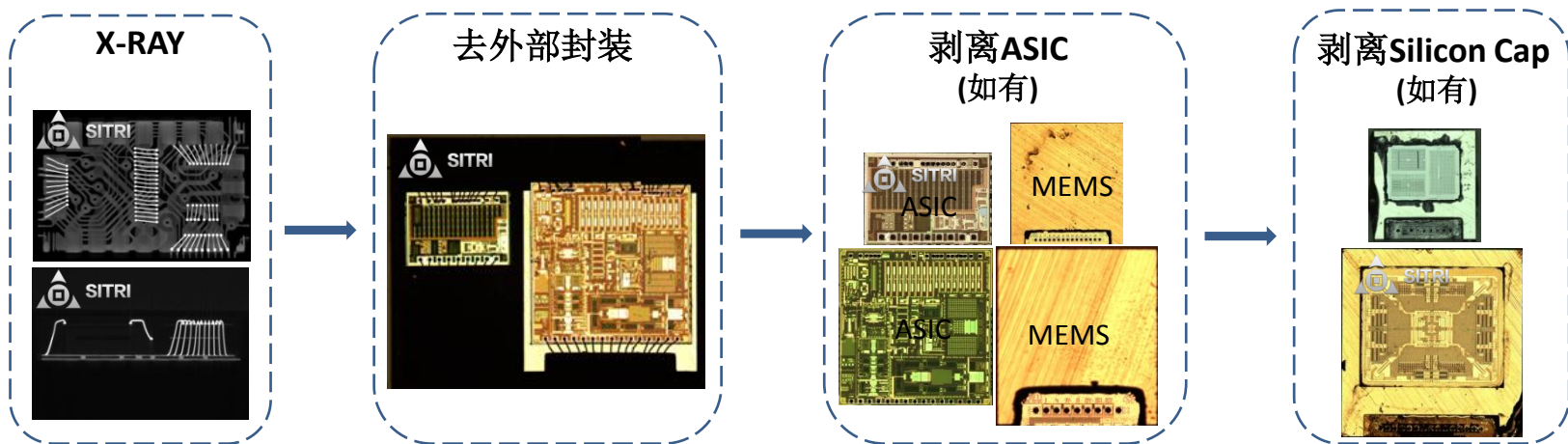


破坏性分析_去封装

传统IC去封装方法

去封装方法	设备	适用类型	开封特点	材料
化学湿法	手工	金线	成本低，难以定位	发烟硝酸 浓硫酸
	化学开封机	金线	定位精度较高，可保持框架	
激光	激光开封机	铝、铜、金线	精度高，速度快	激光，少量酸

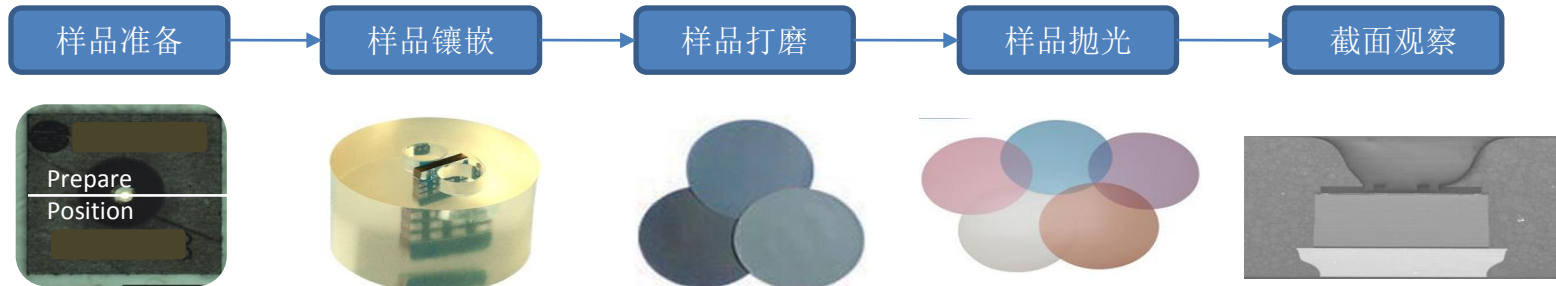
MEMS去封装流程（以惯性MEMS为例）



- 去封装前通过X-RAY定位芯片位置和数量，对MEMS的去封装很关键
- 有Silicon Cap的MEMS，需要通过加热/机械的方法，才能去掉Silicon Cap
- 通常需要多种去封装技术配合使用

破坏性分析_截面分析(Cross Section)

传统截面分析步骤



样品准备 准备样品到目标截面区域附近，可用切割仪切割

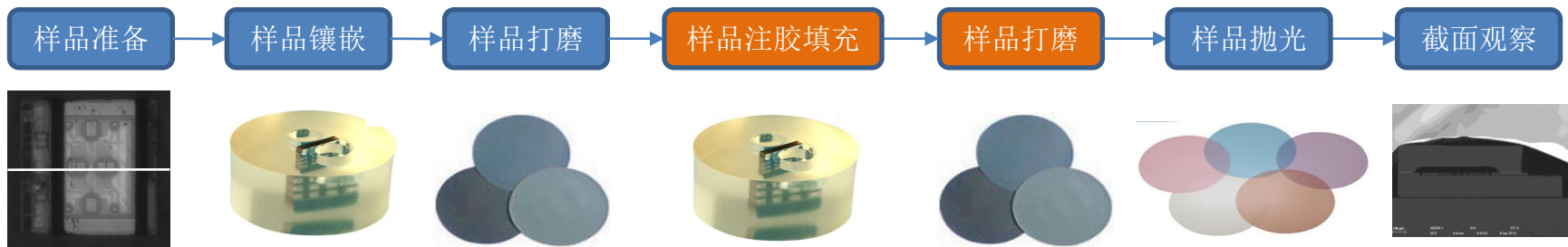
样品打磨 粗磨到目标区域(砂纸)

截面观察 显微镜观察并采样(>0.35um OM , <0.35um SEM)

样品镶嵌 冷镶嵌技术(树脂、固化剂、脱模剂)

样品抛光 对目标区域抛光(抛光机、抛光液、抛光布)

MEMS截面分析步骤



样品准备 准备样品，通过红外透视显微镜进行定位目标截面区域附近，可用切割仪切割

样品镶嵌 冷镶嵌技术(树脂、固化剂、脱模剂)

样品注胶填充 侧向进行注胶填充进行固化

样品抛光 对目标区域抛光(抛光机、抛光液、抛光布)

样品打磨 粗磨到目标区域(砂纸)

样品打磨 继续粗磨到目标区域(砂纸)

截面观察 显微镜观察并采样(>0.35um OM , <0.35um SEM)

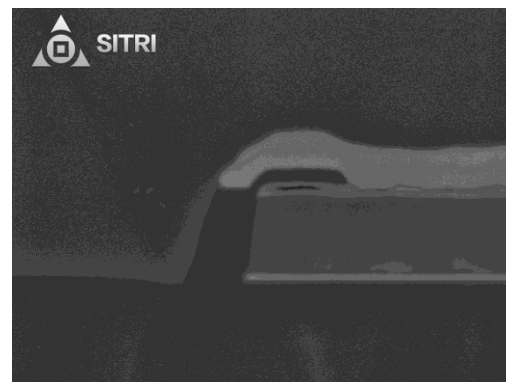
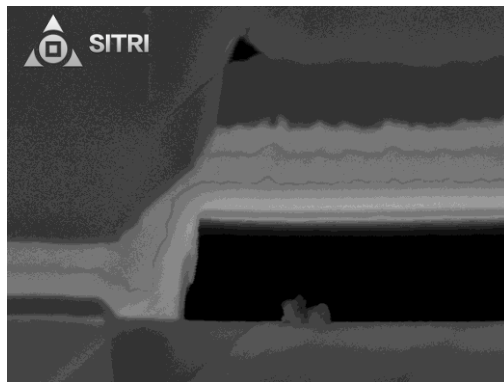
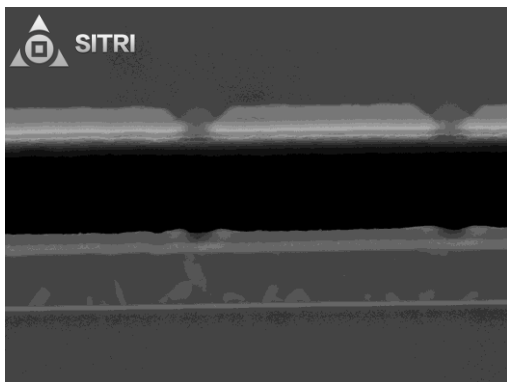
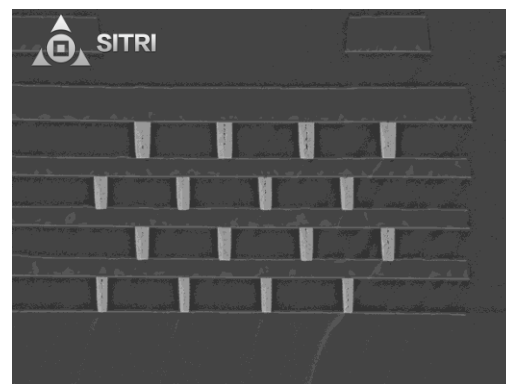
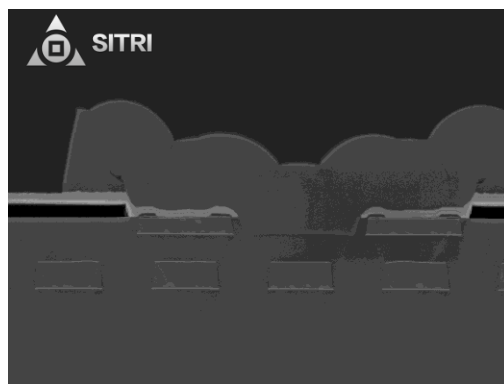
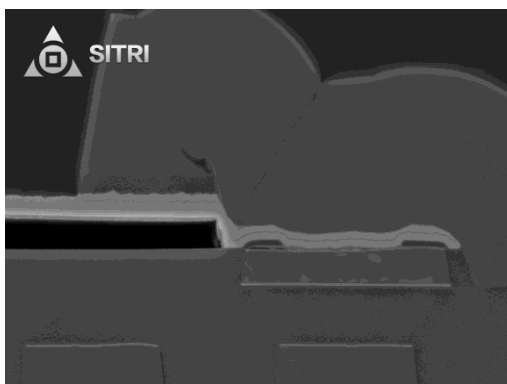
破坏性分析_截面分析加工辅助工具

离子束切割

基本原理 在真空条件下，将氦、氦、氩等惰性气体，通过离子源产生离子束并经过加速、集束、聚焦后，投射到样品表面的加工部位，以实现去除材料的加工

适用范围 多层膜材料、软硬复合材料、带有孔缝结构、热敏感性、脆性、非均质样品等高难度材料

加工特点 加工精度高、污染少、应力和形变小，成本高



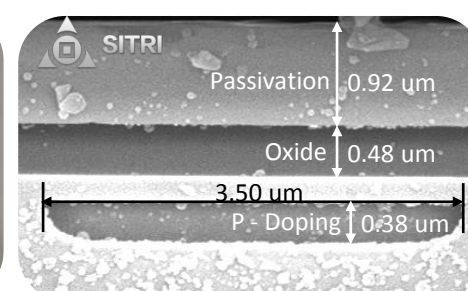
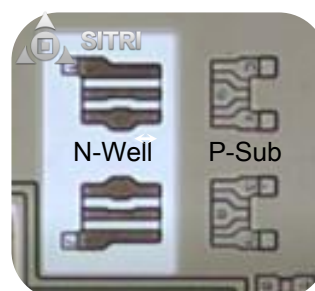
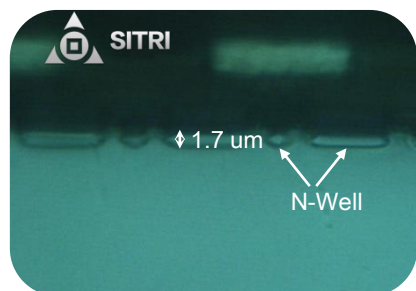
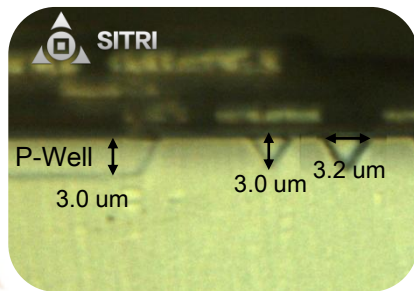
破坏性分析_化学染色

目的 对pn结进行分析

应用 芯片的失效分析、制程监控、工艺进程等场合

原理 利用 pn结的p区与n区在染色溶液里的反应速率不同的原理，在一定条件下显现出p区与n区之间的界限

染色方法	染色机制	溶液成分	适用范围	极限结深(um)
铬酸溶液	电化学腐蚀	三氧化铬(CrO_3)、氢氟酸(HF)和水(H_2O)	硼掺杂P区 (中/重掺杂)	0.1
醋酸溶液	电化学腐蚀	氢氟酸(HF)、硝酸(HNO_3)和醋酸(CH_3COOH)	硼掺杂P区 (中/重掺杂)	0.2
BOE溶液	电化学腐蚀	氢氟酸(HF)、氟化铵(NH_4F)和硝酸(HNO_3)	硼掺杂P区 (重掺杂)	0.2
硫酸铜溶液	置换反应	硫酸铜($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$)、氢氟酸(HF)和水(H_2O)	磷掺杂n区 (中/重掺杂)	0.5



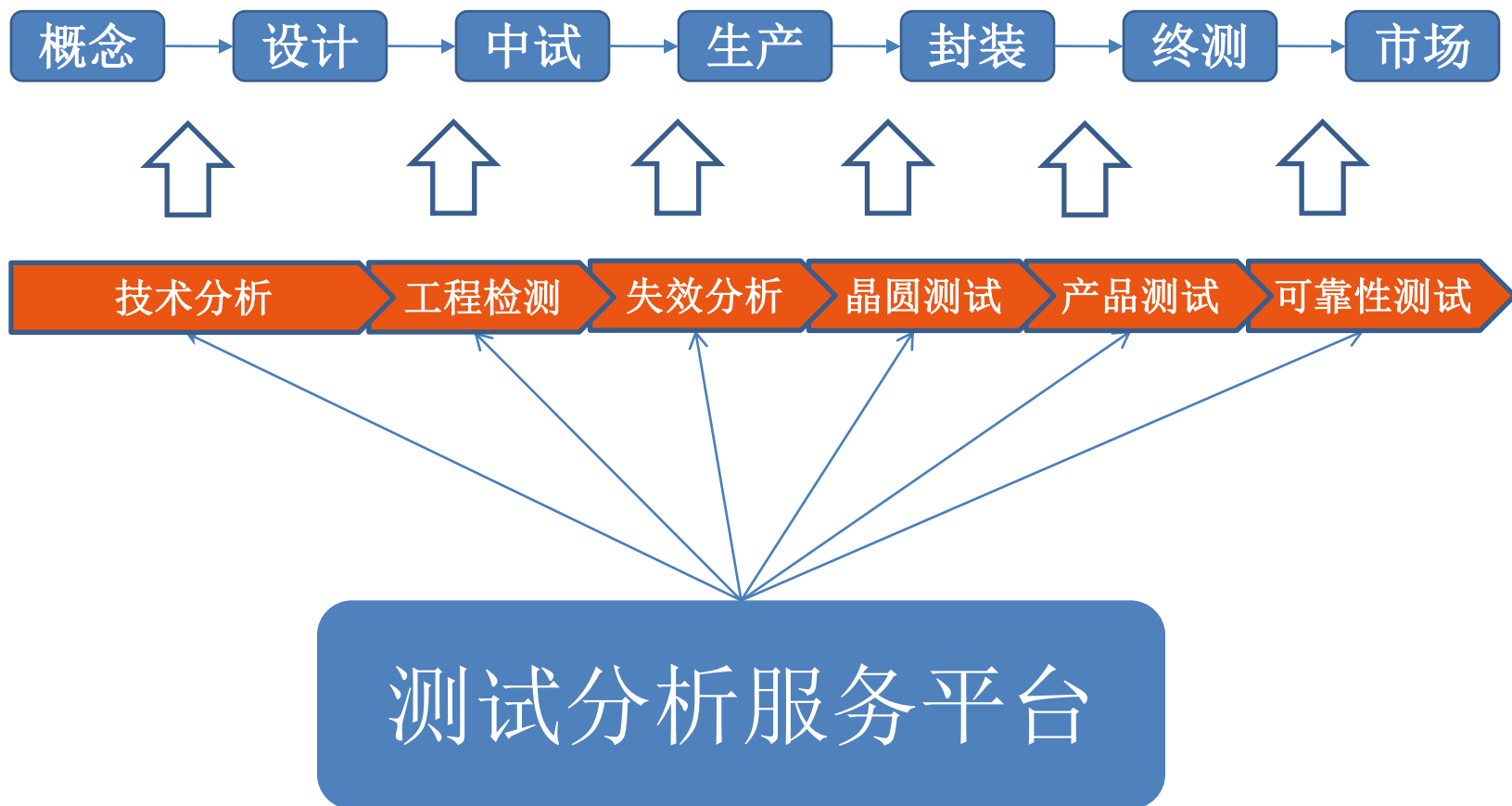
SITRI 上海微技术工业研究院



上海微技术工业研究院
Shanghai Industrial μ Technology Research Institute



SITRI 工程服务





谢 谢

joy.zhang@sitrigroup.com
www.sitrigroup.com