

微电子器件可靠性

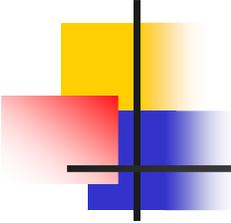
Reliability of Microelectronic Devices

西安电子科技大学 XIDIDIAN UNIVERSITY

V2.0 © 2007 韩孝勇 Han XiaoYong

xyhan5151@yahoo.com.cn www.dianzichan.com

第五次课 失效分析



第五次课 失效分析

本次课主要内容:

一般分析仪器

红外光显微镜

红外热像仪

声学显微镜

液晶热点检测技术

电子显微镜

电子能谱及质谱

补充材料:

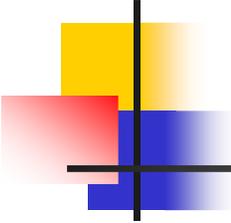
各种分析手段比较

失效分析实例

失效分析图片

本次课要点:

- 1、了解各种分析手段的用途和特点，如果有失效工作需要做，知道该用什么方法去做。



一般分析仪器

1、必要的电测仪器

- 万用表 示波器 测试仪，信号源 逻辑分析仪等；

用途：

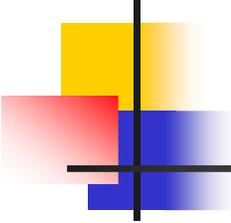
基本电学测量。

2、光学显微镜

- 立体显微镜：几倍~100倍，景深大，普通用途。
- 金相显微镜：几十~1000倍，景深小；可以做明场暗场观察；

用途：

- 器件外观失效部位的形状、分布、尺寸、组织、结构、缺陷、应力等观察。

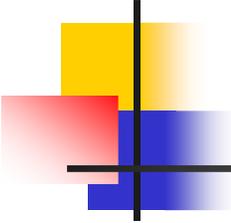


红外光显微镜

结构与金相显微镜相同，
但用红外做光源（红外光）

许多材料对近红外透明，
比如可以透过塑料。不用解剖便可看到内部缺陷。

用途：可以看到
金属化缺陷；
焊接不良；
针孔；
CMOS闩锁等。



红外热像仪

利用光学系统对样品进行高速扫描，并将样品表面各点的热辐射会聚到检测器，变成电信号，并有显示器显示（非接触测热）

（类似士兵的夜视仪器）

空间分辨率**10um**,热分辨率**0.1C**

用途：

- 芯片与管座沾接不良；
- 漏电通道（缺陷，杂质，静电）；
- CMOS闩锁；
- 局部热点；
- 芯片裂缝；
- 测热阻；
- PN结发光。

声学显微镜

- 扫描激光声学显微镜SLAM（内部所有区域）
- 扫描声学显微镜SAM（表面下几个微米）
- C型扫描声学显微镜C-SAM（表面下几个毫米）

- 下面用超声波，上面用激光扫描，有缺陷的地方吸收声波，振动发生变化。

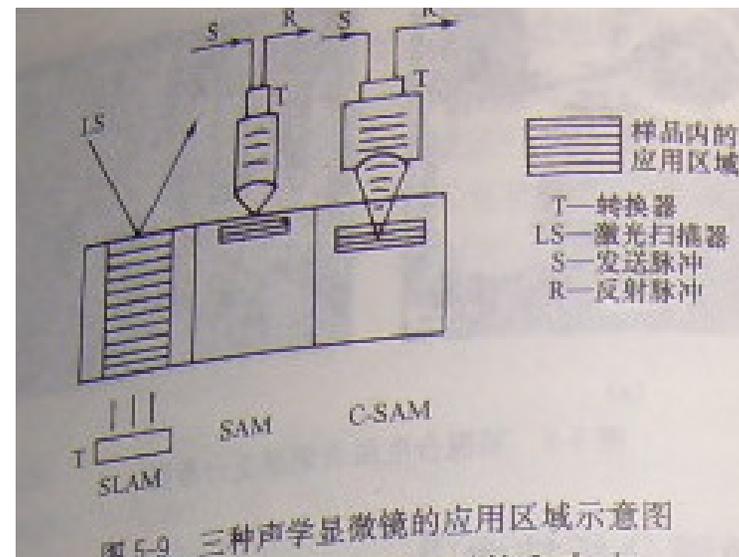
用途：

管芯粘接情况；

引线键合情况；

多层结构完整性；

空洞、裂缝等。



SLAM

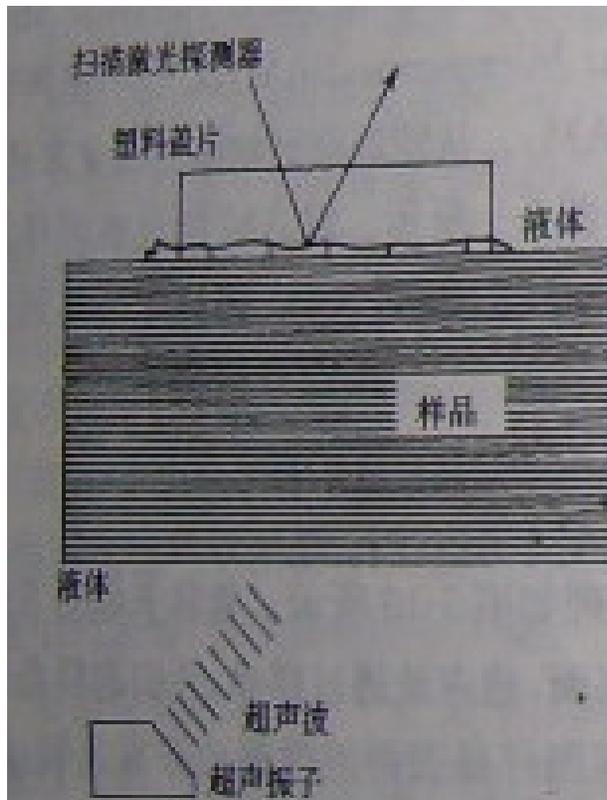


图 5-10 SLAM 工作原理图

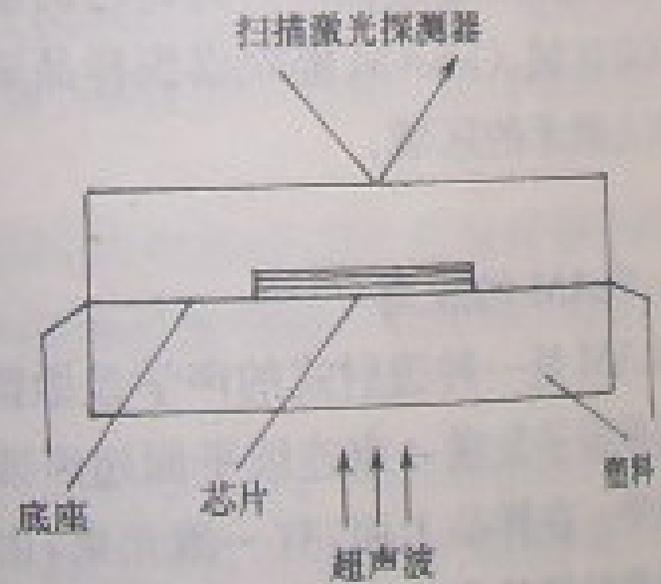
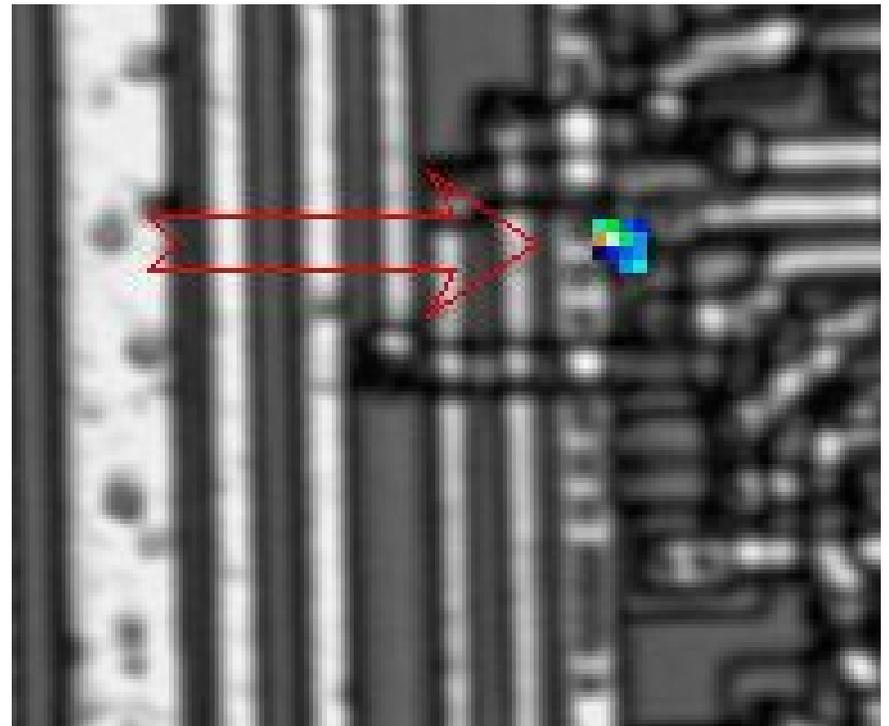
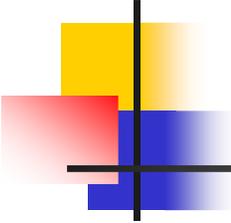


图 5-11 SLAM 检查芯片黏结情况的原理图

光辐射显微镜 EMMI

- 微光探测技术，可以定位失效点。
- 见照片EMMI





液晶热点检测技术LC

液晶在不同温度下，可以由各向异性变为各向同性（临界温度30~90C）

空间分辨率1um，能量分辨率3um，比红外热像仪优

用途：

漏电通道；

不规则电流分布；

闩锁区；

针孔；

LC动画见文件夹二十几个文件

电子显微镜——透

- 透射电镜 (TEM Transmission Electron Microscope)
- 电子束会聚后透过样品，再放大后成像。
- 点分辨率0.5nm，放大倍数50~8x10⁵间连续可调。
- 景深大，可以得到样品三维细节。
- 主要用来研究表面微观结构，晶体缺陷相变等。
- 缺点：样品制作要求高(<300nm)

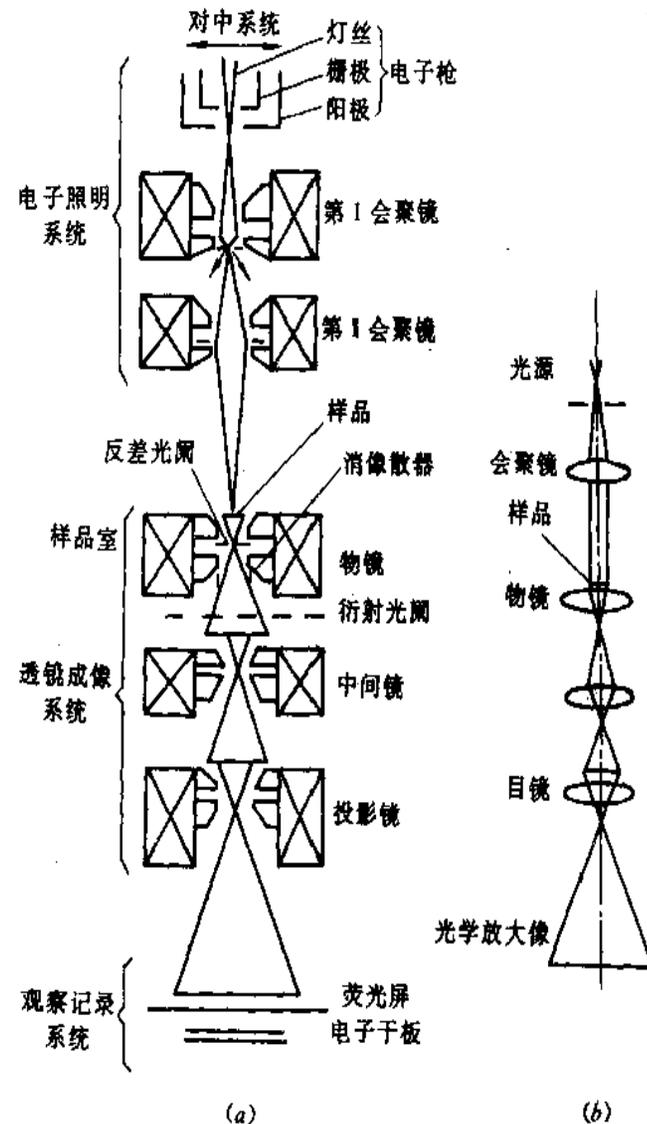
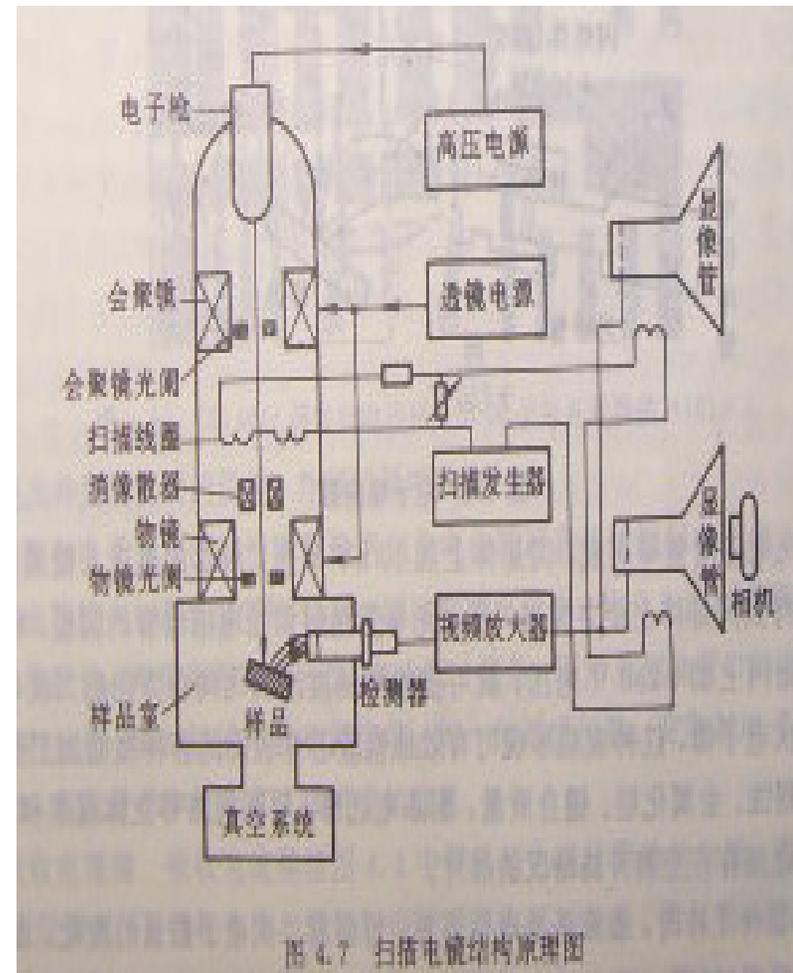


图 4.5 透射电镜原理图

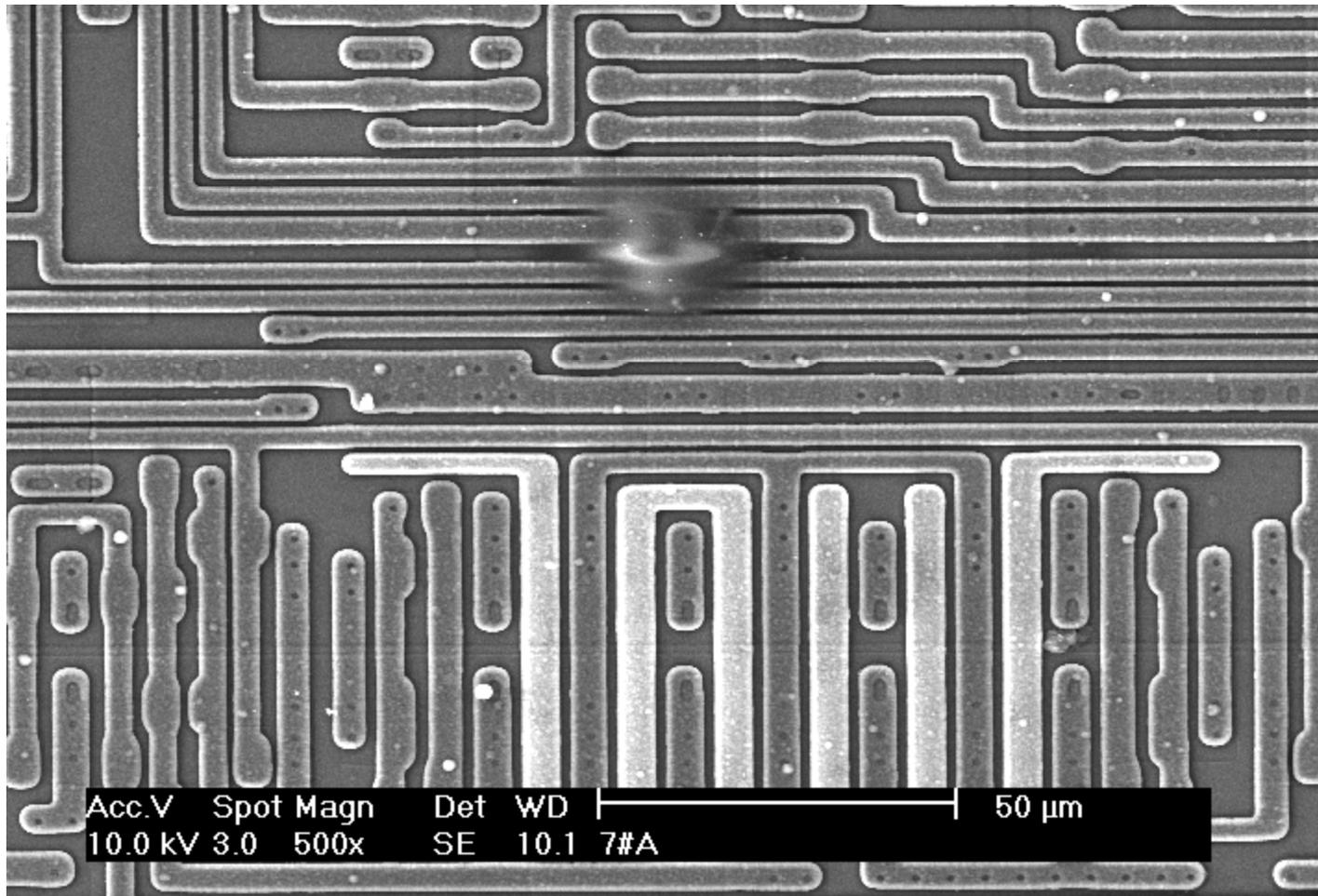
(a) 透射电镜的电子光学结构；(b) 相应光学显微镜结构

电子显微镜——扫描电镜

- 扫描电镜（SEM Scanning Electron Microscope）
- 电子束扫描样品表面，分析入射电子与表面作用后的信号，在荧光屏显示。
- 放大倍数：5万~10万倍连续可调。
- 景深大，视野大，图象清晰，立体感强
- 分辨率2nm~10nm
- 应用：
 - 二次电子像
 - 背散射电子像
 - 吸收电流像
 - 电子束感生电势像



更多色SEM照片，见文件夹

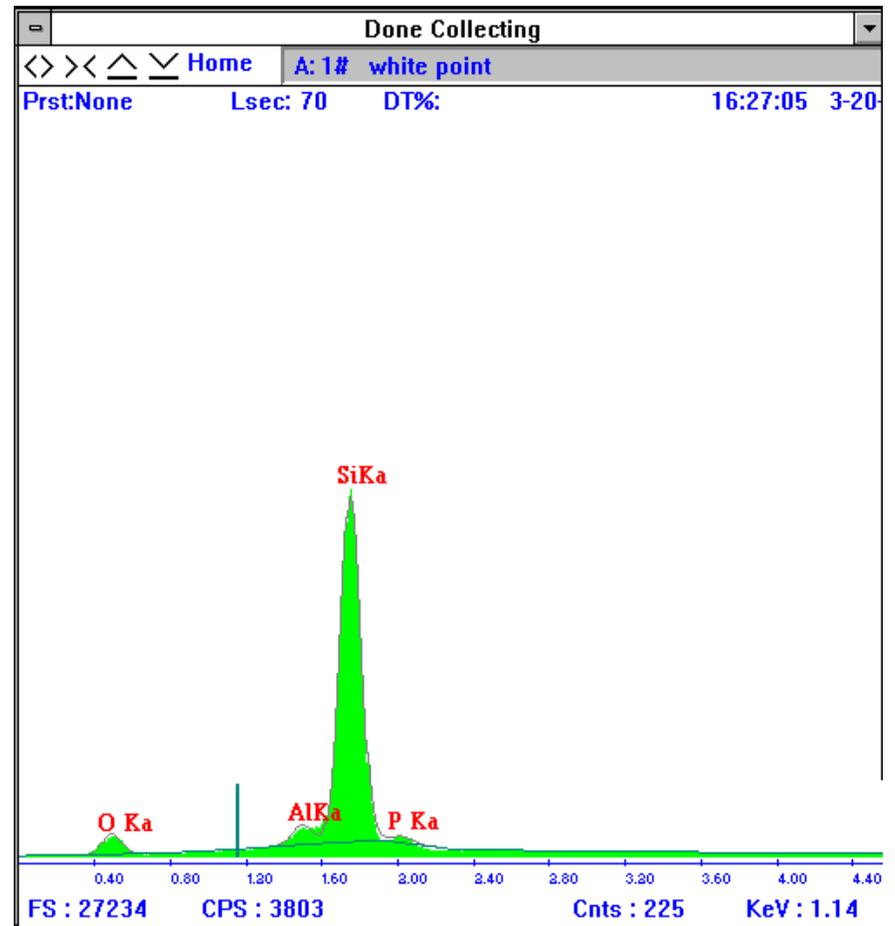


电子显微镜——电子探针

X射线谱仪

电子束照射到样品上，分析样品上各元素受激发而发射的特征X射线，进行定量或定性分析。

可以与扫描电镜同用



俄歇电子能谱

电子束照射到样品上，分析样品上各元素受激发而产生俄歇电子，进行定量或定性分析。

可带剥蚀枪，进行逐层剥开分析。

能量分辨率：**0.3%~1.2%**

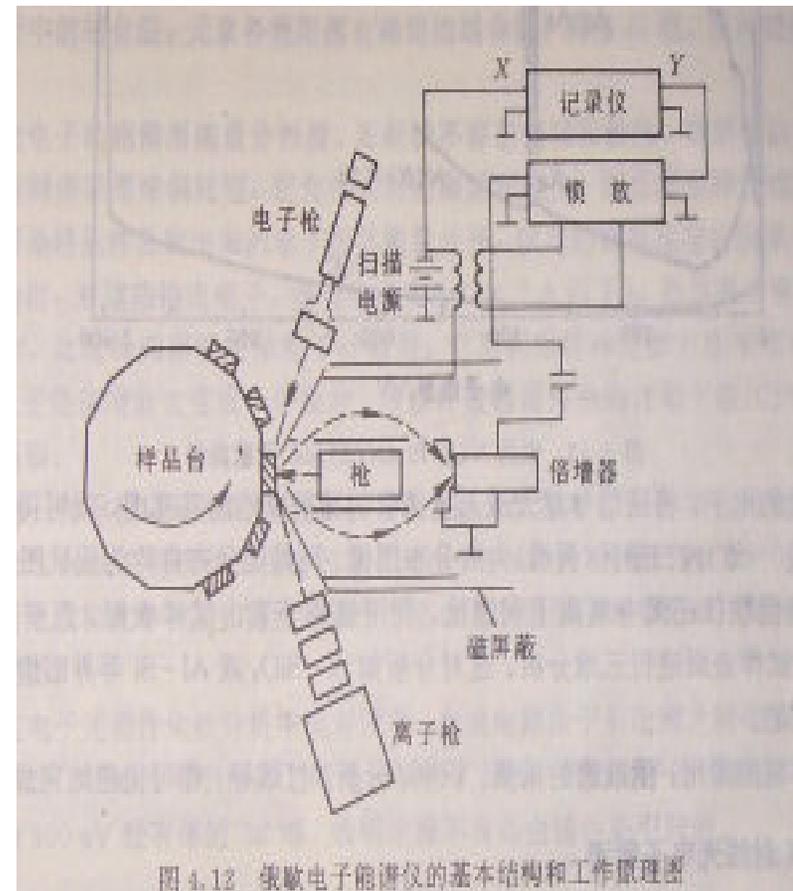


图 4.12 俄歇电子能谱仪的基本结构和工作原理图

X射线光电电子能谱

利用电子束与不同原子作用时产生的特征X射线，能分析出该点的化学成分。

深度：0.5nm~2.5nm 灵敏度：10⁻⁶g

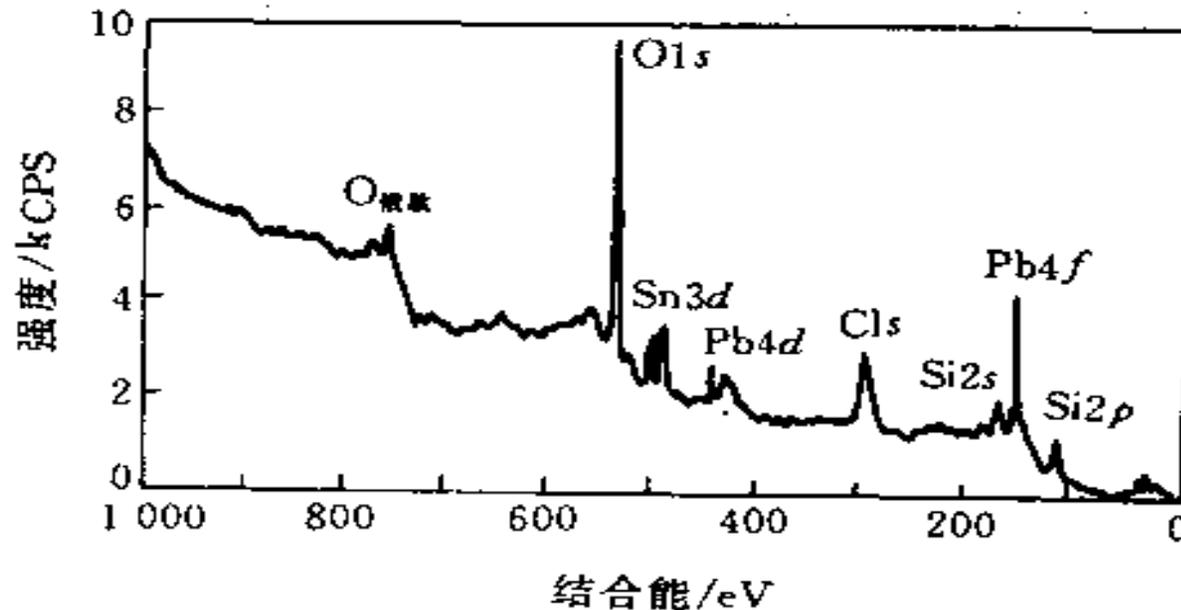


图 4.15 绝缘不良的集成电路封装用铅玻璃的 X 射线光电电子能谱

离子探针

- 用聚焦的离子束轰击样品，对产生的二次离子按荷质比分离和检测，分析样品组分。

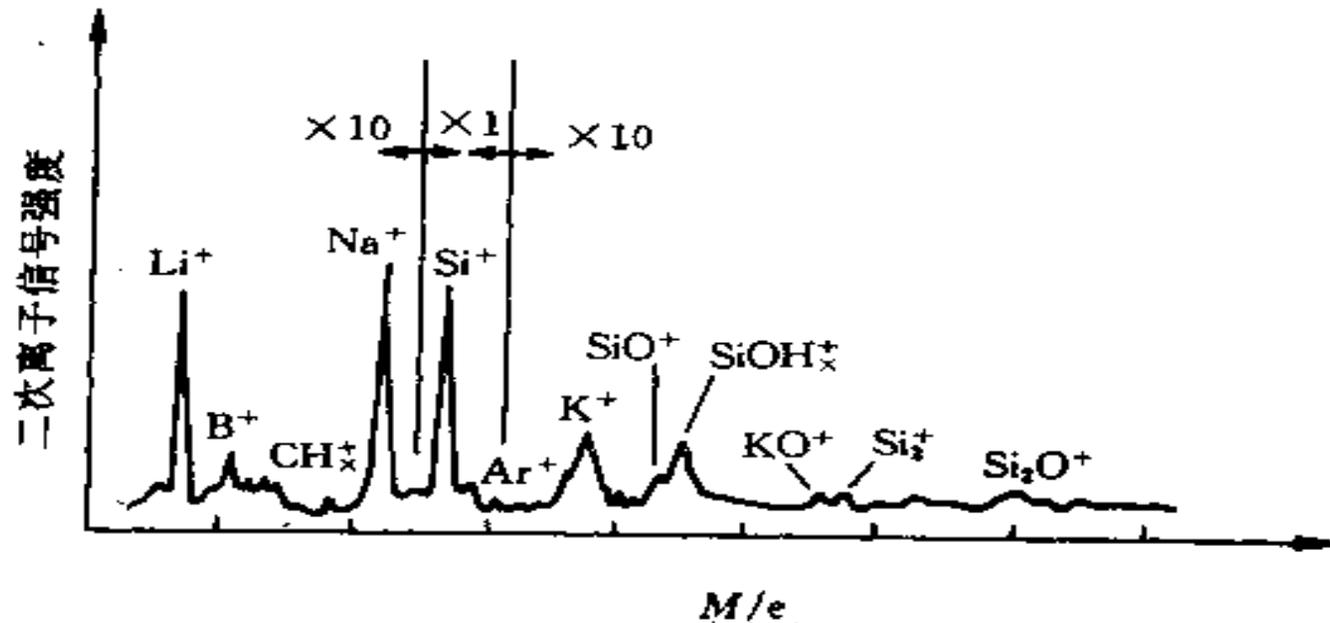


图 4.16 集成电路 SiO₂ 钝化层的 SIMS 谱

部分微分析法比较

缩写	名称(英文名称)	输入	检测	原理或方法	得到的信息	应用	分辨能力
AES	俄歇电子能谱法 Auger Electron Spectroscopy	电子 (0.1~5keV)	俄歇电子	俄歇电子能量分光(利用CMA等),用微分曲线记录	表面的元素(Li以上)分析,与离子枪并用可分析深度方向的元素	表面氧化,污染,杂质分析,深度方向元素分析,中间反应层的成分分析	(直径)0.1~1mm (厚度)10~20Å
DLTS	深能级瞬态能谱法 Deep Level Transient Spectroscopy	正向偏置脉冲电压	结电容	在正向加脉冲电压,一面升温一面检测由俘获的载体放出的热引起的结电容的瞬态变化量	陷阱能级,密度,俘获断面积(可直接测定)	杂质、结晶缺陷的鉴别,发光元件的退化分析	俘获浓度 $\geq 10^{13} \text{cm}^{-3}$

部分微分析法比较

EBIC	电子束感应电流法 Electron Beam Induced Current	电子 (10~40keV)	电 流	由电子束激励的电子-空穴引起的金属-半导体或pn结两端的电势效应分布	结附近的结晶缺陷等, 载体复合中心的存在	贯穿pn结位错的存在, 发光元件的退化的分析, 扩散长度的测定	(直径) 1微米~几微米 (厚度) 几微米
EDX	能量色散X射线光谱法 Energy Dispersive X ray Spectroscopy	X射线(几keV~30keV)	电 子	利用Si(Li)等半导体探测器(SSD)检测波峰来分析辐射X射线的能量(波长)	利用X射线的能量分布来分析元素成分(灵敏度0.1%以上)	作为EP-MA的手段加以利用	(直径) > 100Å (使用STEM时) (厚度) 0.3~几微米(取决于能量、物质)
EL	电致发光法 Electroluminescence	电 流	光	对加正向电压, 注入的少数载体复合时发出的光进行分析	禁带宽度, 发光复合中心的能级和相对浓度	发光元件的退化分析, 工艺过程引起的缺陷, 杂质的评价	空面分解时使用PL法

部分微分析法比较

缩写	名称(英文名称)	输入	检测	原理或方法	得到的信息	应用	分辨能力
EPMA (XMA)	电子探针显微分析法 Electron Probe Micro Analysis	电子 (几 keV~ 50keV)	特征 X 射线	用 EDX 或 WDX 对发生的特征 X 射线进行分析	元素成分分析 (用 EDX 在 Na 以上, 用 WDX 在硼以上)	分析晶片、元件的成分 (不能分析极薄的膜), 检测污染、附着	(直径) 0.5 μ m) (厚度) 0.3 微米 ~ 几微米 (取决于能量、物质)
IMA	离子探针质谱分析法 Ion Microprobe (Mass) Analysis	离子(Ar、O、 Cs 等) (几 keV~ 30keV)	二次离子	用初级离子使表面物质溅射离子化, 使用质谱仪分析, 有微离子束扫描式和像变换式	一维的元素成分分析, 深度方向成分分析 (成分灵敏度 ppb ~ ppm 元素依存性大)	多层晶体取向延长层成分分析, 杂质扩散, 残余杂质分析	(直径)1~ 2 μ m, 用表面电离型离子为 0.1 μ m (厚度)几十埃到 100 埃

部分微分析法比较

IR	红外吸收光谱法 Infrared Absorption Spectroscopy	光子 (红外 2.5~16 μm)	光子 (透射)	改变红外线的振动频率(波长),测定由于照射、分子振动引起的吸收光谱	根据分子特有的吸收带鉴别物质,或分析分子结构	测定 Si 中的氧、碳浓度	(波数) $> 0.1\text{cm}^{-1}$
LEED	低能电子衍射法 Low Energy Electron Diffraction	电子 (15~500V)	电子 (衍射)	使低速电子线垂直入射试样表面,使反射衍射图像在半圆球形荧光屏上成像	表面结晶结构,吸附状态,表面原子重排列等(超周期晶格的结构)	薄膜结晶结构,半导体表面吸附层	(厚度)几原子层
RBS	卢瑟福背散射法 Rutherford Back Scattering	H ⁺ 、He ⁺ 离子 (几百 eV~几 MeV)	散射离子	测定向后方非弹性(Rutherford)散射的离子的能量分光和数量	表面构成原子的重排列,利用沟道现象获得杂质原子的晶格间位置,缺陷的存在	晶片表面重排列,杂质扩散原子位置,薄膜(SiO ₂ /Si等)的结构分析	(厚度)50 埃到 200 埃 (重元素还要小)

部分微分析法比较

缩写	名称(英文名称)	输入	检测	原理或方法	得到的信息	应用	分辨能力
SAM	扫描式俄歇电子显微镜法 Scanning Auger Microscopy	电子 (3~20keV)	俄歇电子	微电子束扫描的 AES (SEM式 $\leq 200\text{\AA}$, CMA式~ 1000\AA)	表面薄膜的三维元素成分分析, 化学移动的分析稍困难	晶片、元件表面的局部成分分析, 各种污染、氧化、反应层的分析	(直径) >500 埃 (厚度)几埃到20埃
SEM	扫描电子显微镜法 Scanning Electron Microscopy	电子 (5~50keV)	二次电子 反射电子	使微电子束扫描, 使其与一次束扫描的二次电子(SE)或反射电子(BE)的强度同步, 并记录	表面凸凹形状, 定性的成分分析	各种材料、元件的表面形状, 测长基准等, 也有能同时记录的	(直径) >30 埃

部分微分析法比较

SIMS	二次离子质谱法 Secondary Ion Mass Spectroscopy	离子(Ar, O) (几百 eV~10keV)	二次离子	用初级离子使表面物质溅射离子化,用质谱仪分析,初级离子为非扫描	表面物质的元素成分分析(不能进行二维分布),但是,比1(M)MA灵敏度离	表面单原子层的成分分析,表面吸附、污染、杂质分析,离子注入层的杂质分析	(直径)100~500 μ m (厚度)单个到几个原子层
SPV	表面光电压法 Surface Photovoltaic	光	光致电压	是与 EBIC 相同的原理,将对 pn 结等进行扫描时发生的光致电压作为二维图像记录	结构缺陷或大结晶缺陷存在位置,载体寿命	pn 结及 IC 电路的缺陷评价,载体寿命的非接触测定	(直径)几微米
SR	扩展电阻法 Spreading Resistance	电压	电流	检测在半导体表面接触的金属探针加正向电压时流过的电流,求比电阻。二探针法	比电阻	测定晶体块比电阻、外延片比电阻	(宽、厚)几微米

部分微分析法比较

缩写	名称(英文名称)	输入	检测	原理或方法	得到的信息	应用	分辨能力
STEM	扫描透射电子显微镜法 Scanning Transmission Election Microscopy	电子 (几十~200keV)	电子 (透射,衍射) 二次电子	含有能使一次辐射电子束扫描机构的 TEM	可获得二次电子引起的 SEM 模型图像,多数能附加 EELS	可作为 AEM 使用	(直径)~10 埃 (厚度)几十埃
Strobo SEM	频闪扫描或电子显微镜法 Stroboscopic SEM	电子 (几~30keV)	二次电子	利用放出二次电子射线量取决于物质的表面电位的原理,使与脉冲状辐照电子束相位同步,测定电位分布	电子电路等中的载体的流动,电位变化,信号传输速度等	IC 电路中 以 ps 为单位的电位变化,动作分析	(直径) > 30 埃
TEM	透射电子显微镜法 Transmission Electron Microscopy	电子 (30~200keV)	电子 (射线,衍射)	记录由一次热电子或电场放射电子引起的衍射或透射放大图像。亦称 CEM	利用键的断面形状、衍射分析结晶结构、缺陷等的存在	半导体材料中的结晶缺陷(位错,析出物等),结晶结构的分析	(直径)~几埃 (厚度)~50 埃(立体像)

部分微分析法比较

UPS	紫外光电子能谱法 Ultraviolet Photoemission Spectroscopy	光子 (紫外线, 4~40keV)	光电子	测定紫外激励的光电子(价电子, 传导电子)的能量分光、浅能级电子的能量	表面物质的元素成分分析、电子的表面能级、离解、非离解的推断, 化学结合状态	表面处理状态, 跃迁金属和吸附电子的相互作用, 界面反应层的结构	(厚度)单原子层
WDX	波长色散 X 射线光谱法 Wavelength Dispersive X-ray Spectroscopy	电子 (几~几十 keV)	X 射线(衍射)	利用分光结晶引起的布拉格反射对辐照 X 射线的波长进行分光, 进行光电变换后测定强度	通过 X 射线强度的波长分布分析元素成分(灵敏度 0.01% 以上)	作为 EP-MA 的手段加以利用	(直径)数微米 (厚度) 0.3 微米到数微米 (取决于能量, 物质)

部分微分析法比较

缩写	名称(英文名称)	输入	检测	原理或方法	得到的信息	应用	分辨能力
XD	X射线衍射法 X ray Diffractometry	X射线	X射线(衍射)	记录在晶格面上作布拉格反射的衍射X射线图形或强度	结晶结构分析,方位检测,照相机,记录法(单晶、粉末等)	结晶性、缺陷(双晶等)评价	(厚度) 0.1微米到数十微米
XMA	X射线显微分析法 X ray Microprobe Analysis			与EPMA同			
XPS	X射线光电子能谱法 X-ray Photo-emission Spectroscopy	X射线 (几~10keV)	光电子	对X射线(通常为AlK、MgK等)激励的光电子(内层电子)进行能量分光	在化学结合状态下原子轨道能量发生位移。特别是检测轻元素的化学位移	元素成分、结晶的能带结构、结合状态测定,半导体-绝缘膜界面分析	(厚度)10埃到数十埃

部分微分析法比较

XRFS	荧光 X 射线光谱法 X-ray Fluorescence Spectroscopy	X 射线, RI 射线源 (10~100keV)	特征 X 射线 (荧光)	利用二次 (荧光) X 射 线的 EDX 或 WDX 进行分 光分析	元素成分 分析 (N 以 上), 利用双 结晶法对 Ni 以下有困难	表面附着 物质分析	(厚度) 0.1 微米到数微 米
XRT	X 射线形貌分析法 X-ray Topography	X 射线 (几~30keV)	X 射线(衍射)	使衍射的 X 射线束进 行平行于试 件的扫描, 记 录对应于单 晶的衍射图 像	拍摄结晶 缺陷、析出 物、杂质浓度 条纹或使它 们在 TV 画 面上成像	晶片内的 缺陷分布(晶 体块、元件处 理), 应变分 布等	(直径) ~ 5 μ m (厚度) ~ 10 μ m

性能比较

名称	探测粒子	观测粒子	原理和方法	分析面积	信息的深度
LEED (低能电子衍射法)	电子 (10~500V)	散射电子	利用表面二维晶格的散射	~ ϕ 零点几毫米	1~数毫升
SEM(SSD) (扫描电子显微镜法)	电子 (数十千伏)	二次电子, X射线	利用扫描表面形态测量学、特征X射线观测元素分布	$\phi 10^{-13} \sim 0.3\text{mm}$	~1微米
EPMA (电子探针显微分析法)	电子 (数十千伏)	X射线	同上	$\phi 10^{-13} \sim 0.3\text{mm}$	~1微米
AES (俄歇电子能谱法)	电子 (数百~数千伏)	俄歇电子	通过测定俄歇电子的能量鉴别元素	$\phi 0.1 \sim 1\text{mm}$	~10埃
SAM (扫描俄歇电子显微镜法)	电子 (1~10kV)	俄歇电子	通过测定俄歇电子的能量分析元素分布	$\phi 5 \times 10^{-4} \sim 0.1\text{mm}$	~10埃
APS (外观电压光谱法)	电子 (数百~10千伏)	光电子	测定电子外壳能级发射的电位阈值	ϕ 数毫米	10~50埃
RBS (卢瑟福反散射法)	He ⁺ , H ⁺ (~MV)	反射离子	反散射离子的强度、能量分布	$\phi \sim 1$ 毫米	深度~微米 精度~150埃
IMA, SIMS (离子探针分析法, 二次离子质谱分析法)	离子 (数百~20kV离子)	溅射离子	溅射离子的质谱分析	$\phi 10^{-3} \sim 1\text{mm}$	密耳到数密耳
XPS (X射线光电子能谱法)	特征X射线	光电子	通过测定光电子的能量决定外壳的能级	1~3mm ²	5~20埃
UPS (真空紫外光电子能谱法)	紫外线	光电子	通过测定光电子的能量决定浅的能级	~0.1cm ²	密耳到30埃
LMA (激光显微分光法)	光子	光谱	测定激光照射引起的发光光谱	$\phi 20 \sim 200\mu\text{m}$	~100微米
CL (阴极发光法) 激活分析法	电子 中子等	光谱 γ 射线, 质子	测量中子引起的核反应, 发射, 化学分离, 放射线	$\phi 0.1 \sim 1\mu\text{m}$	~微米

注: ML(monolayer), 单原子层

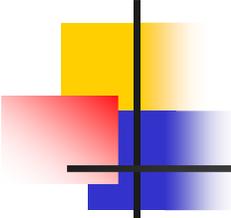


性能比较

附录 C 各种表面分析方法的性能比较

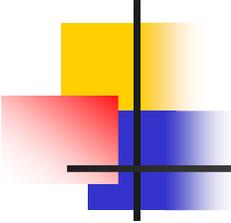
方 法	元素	同位素	离子种类	表面结构	表面分布	深度分布	表面观察	结合状态	定量	定性	非破坏性	污染的影响	试样预处理	不能分析的元素
LEED	×	×	×	○	×	×	×	×	×	×	○	×	○	全部元素
RHEED	×	×	×	⊙	○	○	×	○	×	×	○	×	○	全部元素
SEM(SSD)	⊙	×	×	×	⊙	○	⊙	×	⊙	⊙	○	×	×	H, He, Li
AES	⊙	×	×	×	○	⊙	○	○	○	⊙	⊙	○	×	H, He
SAM	⊙	×	×	×	⊙	⊙	⊙	○	○	⊙	⊙	○	×	H, He
EPMA	⊙	×	×	×	⊙	○	⊙	×	⊙	⊙	○	×	×	H, He, Li
ISS	⊙	○	×	×	○	⊙	×	○	○	○	○	×	○	H
RBS	⊙	○	×	×	○	⊙	×	○	⊙	⊙	⊙	×	○	H, He, 接近重元素质量的元素
IMA	⊙	⊙	⊙	×	⊙	⊙	⊙	○	○	⊙	○	×	○	探测原子
IEX	⊙	×	×	×	○	○	×	×	⊙	⊙	○	×	○	H, He
SCANIR	⊙	×	×	×	○	⊙	○	×	○	⊙	○	×	○	真空放射紫外线的元素不是不可能
XPS	⊙	×	×	×	×	○	×	⊙	○	⊙	⊙	×	○	H
UPS	×	×	×	×	×	×	×	○	×	×	⊙	×	○	全部元素
APS	⊙	×	×	×	×	×	×	○	×	⊙	○	×	○	H, He
LMA	⊙	×	○	×	○	×	×	×	○	○	×	×	○	卤素, 稀有气体 H, N, C, O, P, S
CL	○	×	×	×	○	○	⊙	×	○	○	⊙	×	○	非发光元素
激活分析法	⊙	○	×	×	○	○	×	×	⊙	⊙	×	○	×	H, 稀有气体

- 注: 1. 对于各项目, ⊙为是, ○为是或可能, ×为不或不可能。
 2. 关于污染的影响, ×为有, ○为无; 关于试样的预处理, ×需要, ○为不需要。
 3. 符号表面分析元素的分布、特性和定量。
 4. 非破坏性栏内写有两个以上符号的是由于分析目的、分析对象的不同而有不同评价。



广州五所分析设备及分析案例

- 见5个网页及5个PDF文件



本次课完

- 回顾讲过的内容。

补充材料：

各种分析手段比较

失效分析实例

失效分析图片

广州五所分析设备及分析案例