

微电子器件可靠性

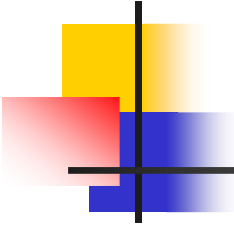
Reliability of Microelectronic Devices

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

第九次课 工艺可靠性



第九次课 工艺可靠性

本次课主要内容:

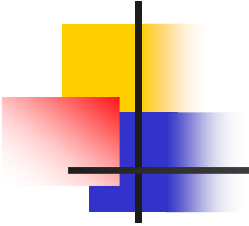
工艺可靠性的技术思路
原材料 设备 环境

微电子测试图技术

- 参考补充:
- 清华pcm图形
- Rc1 pcm图形
- 套刻图形71

本次课要点:

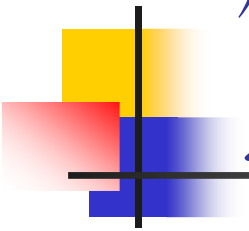
- 了解工艺可靠性的基本概念和技术思路;
- 看懂握微电子测试图;



“工艺可靠性”的基本概念

1. 什么是“工艺可靠性”

- 工艺可靠性是研究在**IC**工艺加工阶段如何满足可靠性要求。
- 具体地说，是通过分析**IC**可靠性与工艺过程的关系，从可靠性角度确定对相应工艺条件和工艺参数的要求，并在不断提高工艺水平和工序能力的基础上，加强工艺参数的监测和工艺过程的统计控制，以保证能持续地生产出高可靠的**IC**产品。



研究“工艺可靠性”问题的基本出发点

① “可靠性是靠设计、制造出来的”已成为普遍认可的基本观点

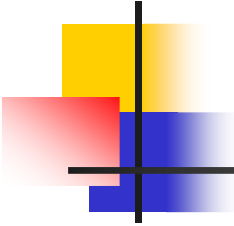
- 随着可靠性水平向发展，就不能只依靠筛选试验来保证产品的可靠性，而必须从设计和制造两方面解决可靠性问题。

② 可靠性与质量，特别是与IC成品率有着很强的正相关关系。

- 高成品率的产品一般可靠性高；反之则低；

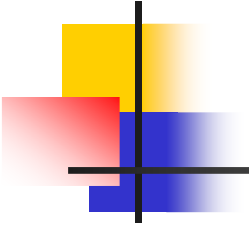
③ 从IC特性参数考虑，IC可靠性对工艺的要求有时与IC特性参数对工艺的要求是矛盾的。

- 在出现这种情况时，确定工艺参数要求的原则应该是在优先保证可靠性的前提下兼顾特性参数的要求，进行折衷协调处理。



工艺可靠性的技术思路

- 1、原材料控制
- 2、设备与工艺控制
- 3、环境洁净度控制



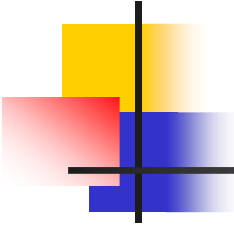
1. 原材料控制

- PPM技术: Parts Per Million

- 随着原材料质量水平的提高, 需要用PPM, 即百万分之几的方式表示不合格品率。

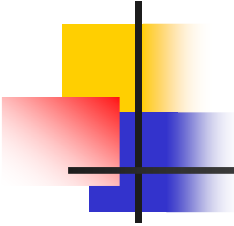
- SPC技术:

- 为了保证持续生产出高可靠的IC, 对原材料不但要求其质量水平高, 而且要求每批原材料之间的质量一致性好。



2、设备与工艺控制

- 可靠性与工艺参数相关性分析：
 - 结合具体工艺过程，采用可靠性试验、可靠性模拟等技术，根据**IC**可靠性指标，针对主要失效机理，确定出与可靠性关系密切的那些工艺参数的控制规范。这样就将表征**IC**产品可靠性的失效率指标转化为对有关工艺参数的控制要求。
- 工艺条件的优化确定：
 - 确定对工艺参数的控制要求以后，下一步工作就是针对具体的工艺设备，采用实验设计方法，优化确定应采用的工艺条件。
- 工序能力分析和工艺的**6σ**设计；
 - 利用各种工艺参数监测技术，采集足够量的工艺参数，进行工序能力分析，确定实际工艺满足工艺参数规范要求的能力。
- 工艺统计控制：
 - 通过上述**3**步工作，只能保证工艺水平能够满足具有一定可靠性要求生产的需要。为了保证能持续、稳定地生产出高可靠的产品，还应采用统计过程控制(**SPC**)技术，保证生产线的统计受控状态。



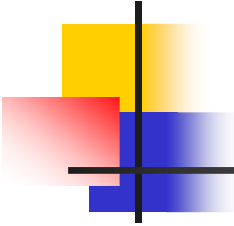
3. 环境洁净度控制

主要影响三大方面：

- 1、成品率
- 2、性能
- 3、可靠性

主要污染物：

- 1、微粒
- 2、金属离子
- 3、化学品
- 4、细菌

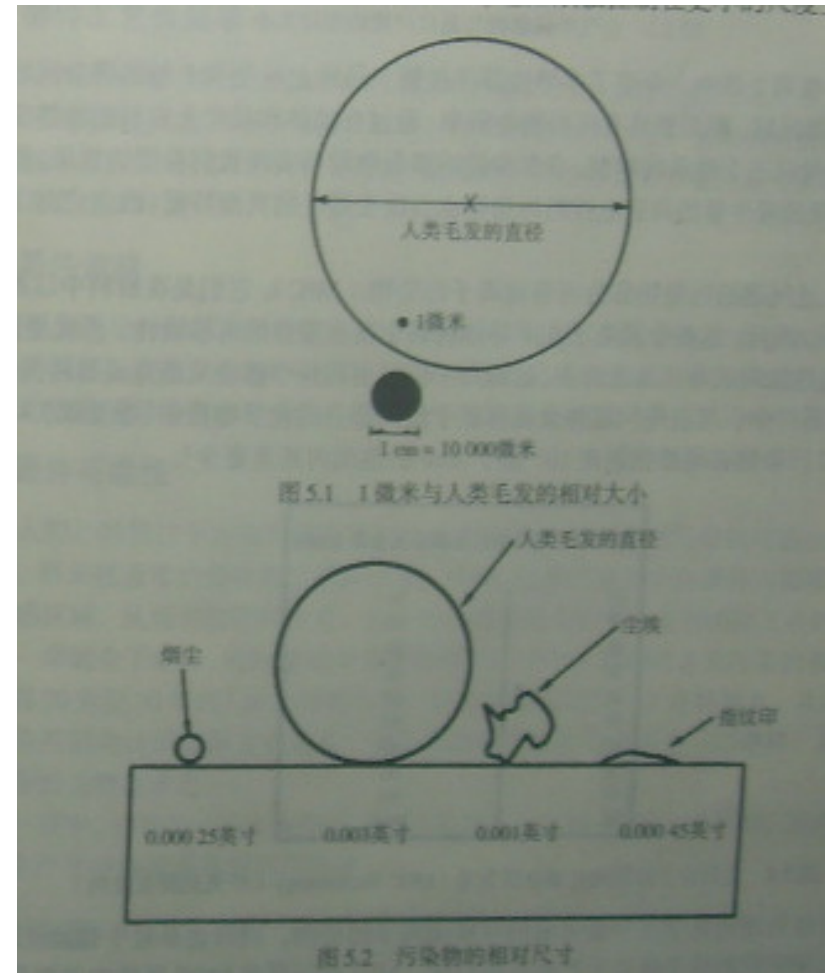


污染源

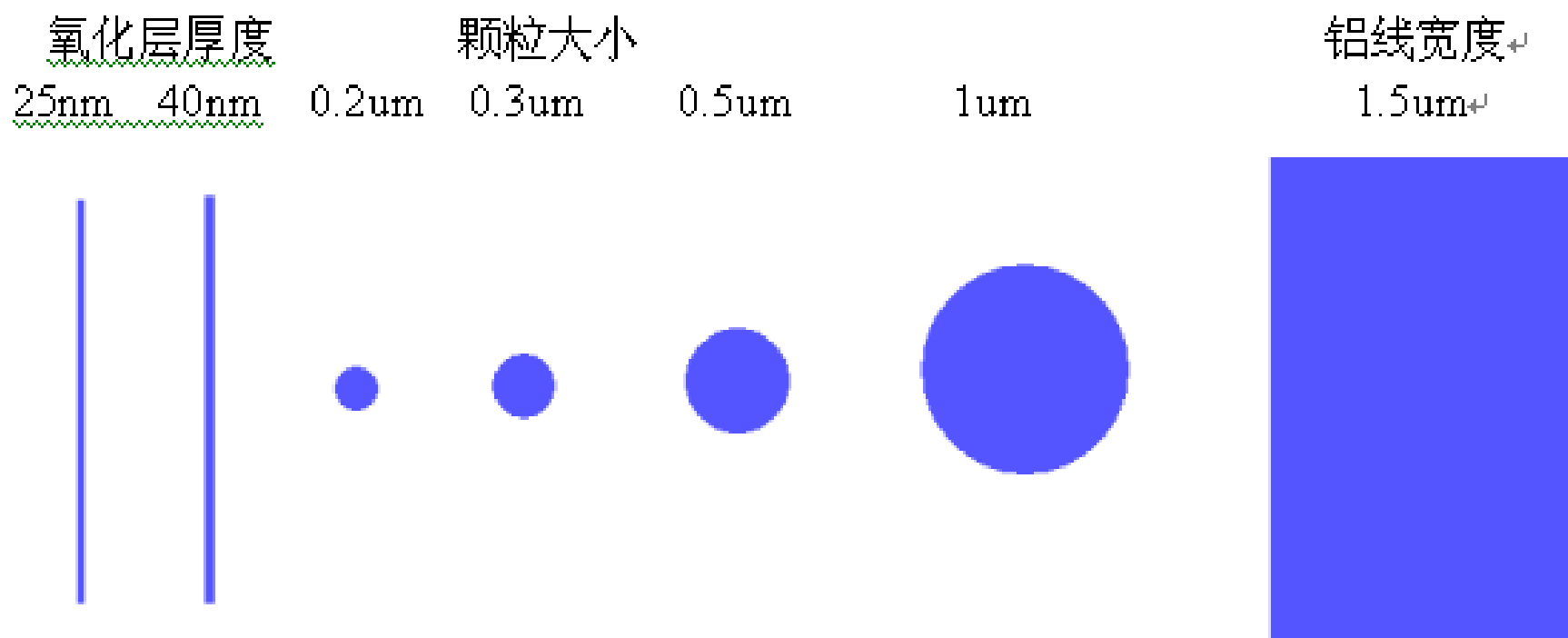
- 空气
- 设备
- 人员
- 纯净水
- 化学液体
- 化学气体
- 静电

污染物的尺寸对照

- 毛发 100um
- 尘埃
- 烟尘
- 指纹



氧化层厚度与灰尘颗粒对比



国家标准GB50073-2001

■ 洁净室及洁净区空气中悬浮粒子洁净度等级

空气 洁净度 等级 (N)	大于或等于表中粒径的最大浓度限值 (pc/m ³)					
	0.1um	0.2um	0.3um	0.5um	1um	5um
1	10	2				
2	100	24	10	4		
3	1000	237	102	35	8	
4	10000	2370	1020	352	83	
5	100000	23700	10200	3520	832	29
6	1000000	237000	102000	35200	8320	293
7				352000	83200	2930
8				3520000	832000	29300
9				35200000	8320000	293000

硅片生产车间

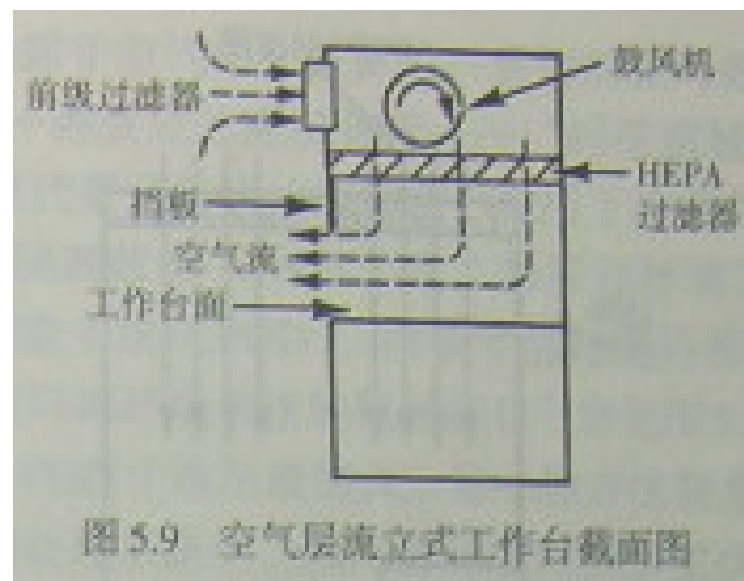
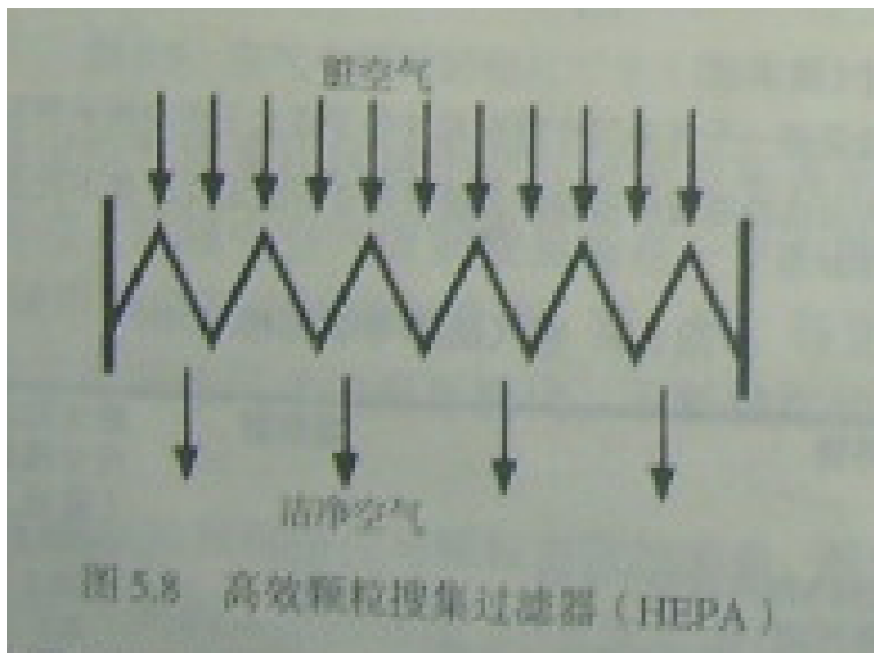
- 光刻車間
 - 0.2um Class 10 Clean Room
- 擴散車間
 - 0.5um Class 10,000 Clean Room



更衣室 (Changing Room)



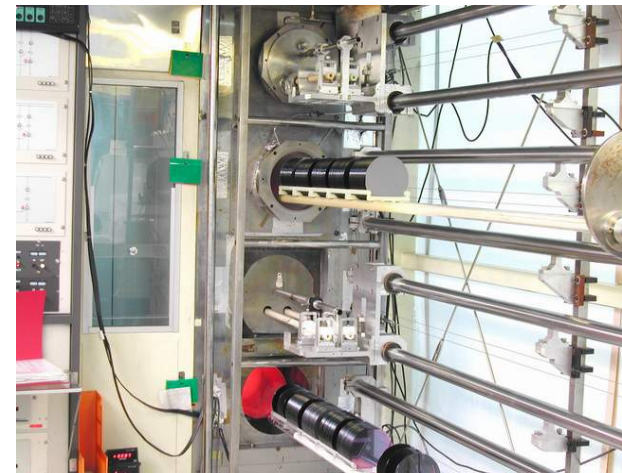
洁净设备——高效过滤器



光刻車間

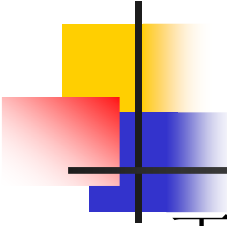


擴散及氧化爐管



清洗台 (Clean Station)





工艺参数监测技术

■ 工艺参数监测技术分为4类:

■ 原位测量(In situ measurement):

- 指在某一工序的工艺过程中,通过特定的传感器等手段,实时连续监测过程中工艺参数的变化情况。在某些情况下,可根据预先设置某一工艺参数数值,自动控制工艺的终止。

■ 在线测量(In-line measurement):

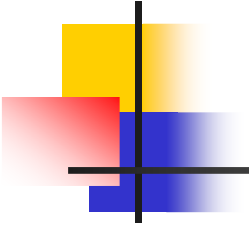
- 指某工序加工结束后立即进行测试,以获得能表征该工序结果的工艺参数。例如:掺杂工序用四探针测量方块电阻。

■ 芯片工艺结束后的测试(end-of-line test):

- 在完成管芯工艺加工后,通过专门设计的微电子测试图结构,可以同时测量芯片加工过程中各主要工序的工艺参数。

■ 离线测试和分析(off-line test and analysis):

- 在工艺加工以后进行离线测试和分析。最典型的分析技术是微分析,即对器件中比最小尺寸还小一个数量级的微区的形貌、结构、组分和微量杂质进行分析和测试。



微电子测试图技术

- (1) 微电子测试图技术的含义：
 - 微电子测试图是指这样一类用于微电子器件生产中的图形结构：它们与电路管芯经历相同的工艺过程，通过对这些图形进行简单的电学测量(一般为直流测量)或直接用显微镜观察，就可以提取到有关生产工艺参数和单元器件或电路的电参数，成为收集微电子器件生产工艺参数信息的主要手段。

- (2) 微电子测试图技术的特点
 - 测试结果准确：与IC同时经历完全相同的工艺过程；
 - 适用范围广：可以测量常规方法难以获得的一些工艺参数；
 - 能得到该参数在晶片上及不同晶片间的统计分布情况；
 - 测试结构一般所占用的面积并不大；
 - 测试方法简单；

范德堡公式

对于厚度为 W 、表面无空洞的任意形状半导体薄层材料，在其侧面随意安排四个点接触电极，按顺序记为 M、N、O、P 电极，如图 6.3 所示。

若使电流从 M 点流进，N 点流出，测出 O 和 P 两点之间的电压为 U_{OP} ，记其比值为：

$$R(MN, OP) = \frac{U_{OP}}{I_{MN}}$$

接着依次轮换电流、电压电极，使电流从 N 点流进，O 点流出，测出 P 和 M 两点间的电压 U_{PM} ，记其比值为：

$$R(NO, PM) = \frac{U_{PM}}{I_{NO}}$$

范德堡推得：该半导体材料电阻率与上述两个电阻间的关系为

$$\rho = \frac{\pi W}{\ln 2} \frac{(R(MN, OP) + R(NO, PM))}{2} f\left(\frac{R(MN, OP)}{R(NO, PM)}\right) \quad (6.1)$$

式中 $f(R(MN, OP)/R(NO, PM))$ 是一个与比值 $R(MN, OP)/R(NO, PM)$ 有关的函数，其值可用数值计算方法求得，结果如图 6.4 所示。由图可见，当两个电阻相等时，即如果 $R(MN, OP) = R(NO, PM)$ ，则 $f=1$ 。随着两个电阻值差别的增大， f 值与 1 的偏离也越

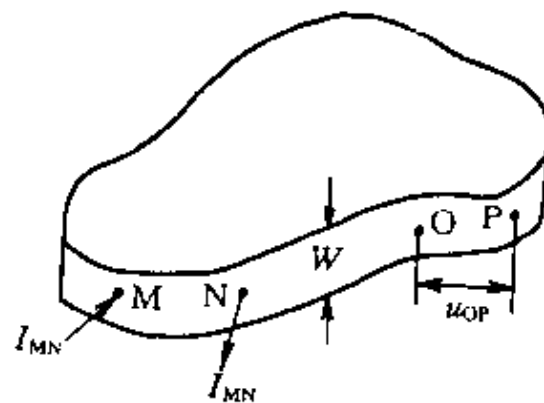
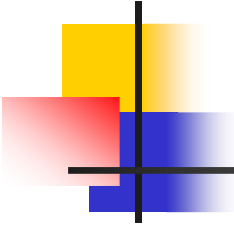


图 6.3 范德堡公式推导用图



范德堡公式

当电极对称时:

$$\rho = \frac{\pi W}{\ln 2} \frac{R(MN, OP) + R(NO, PM)}{2} = \frac{\pi W}{\ln 2} \frac{U}{I}$$

$R_s = \rho / W$, 代入

$$R_s = \frac{\rho}{W} = \frac{\pi}{\ln 2} \frac{U}{I} = 4.532 \frac{U}{I}$$

范德堡测试图形

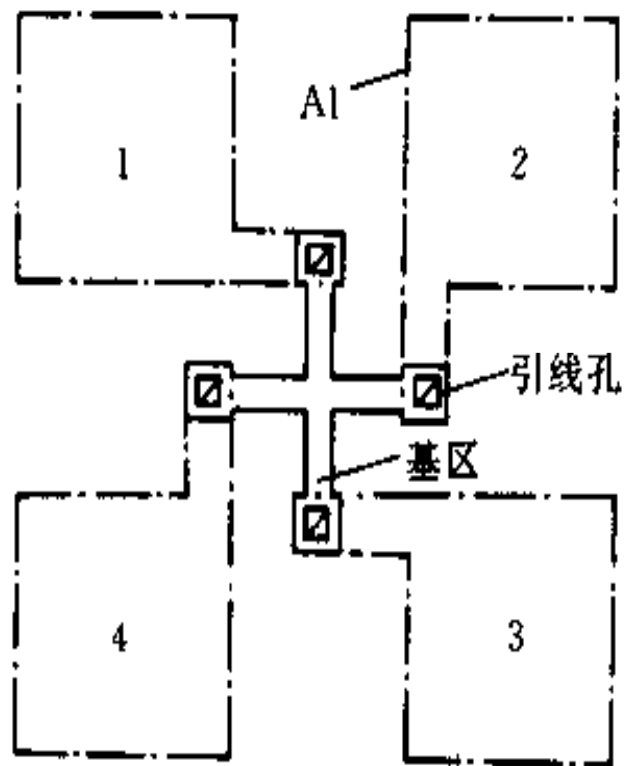


图 6.5 范德堡图形

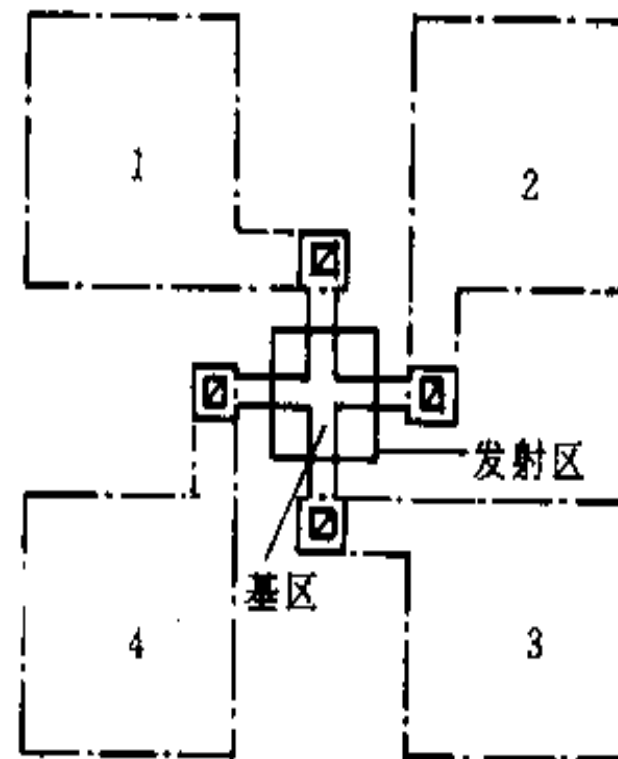
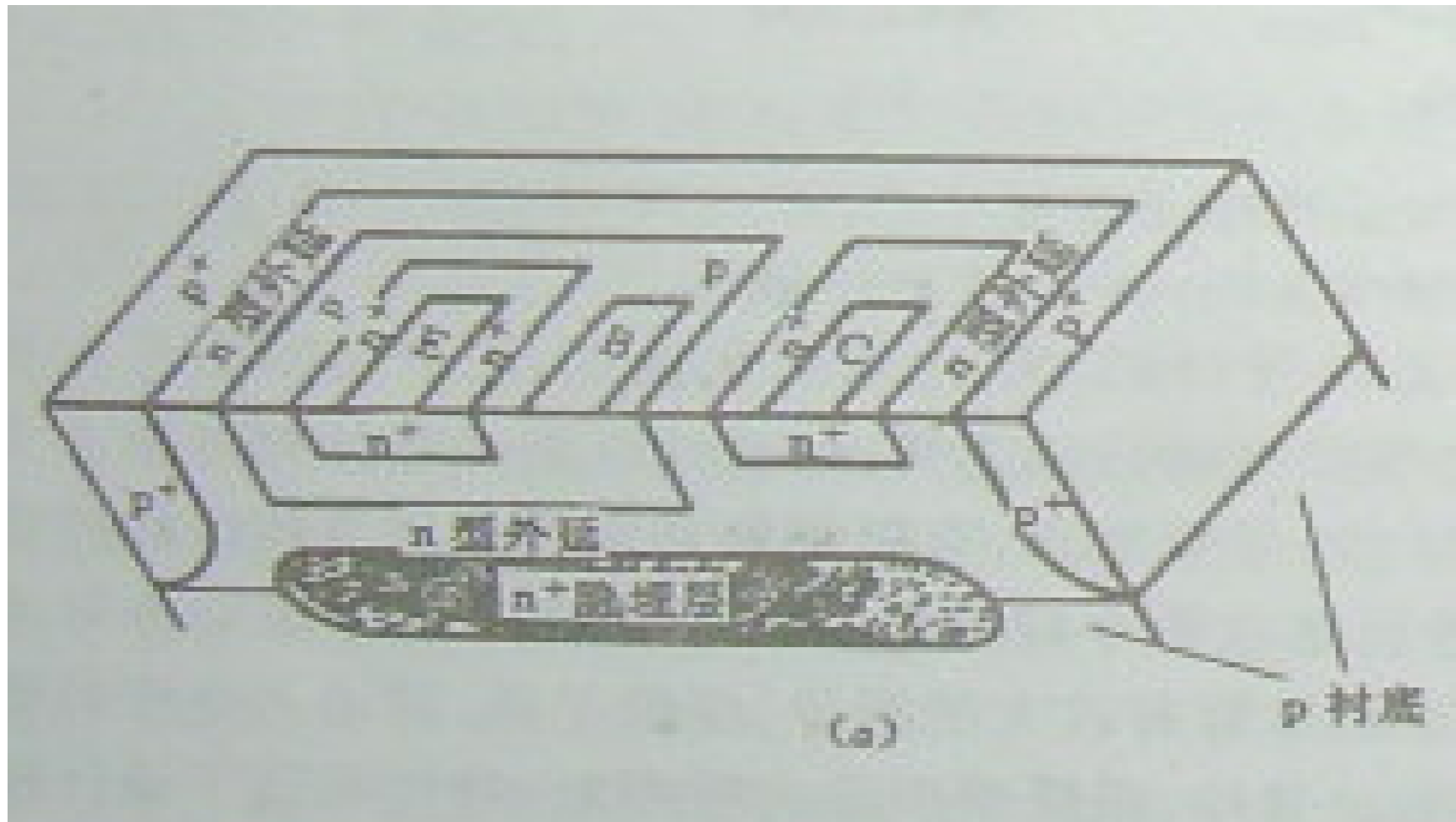
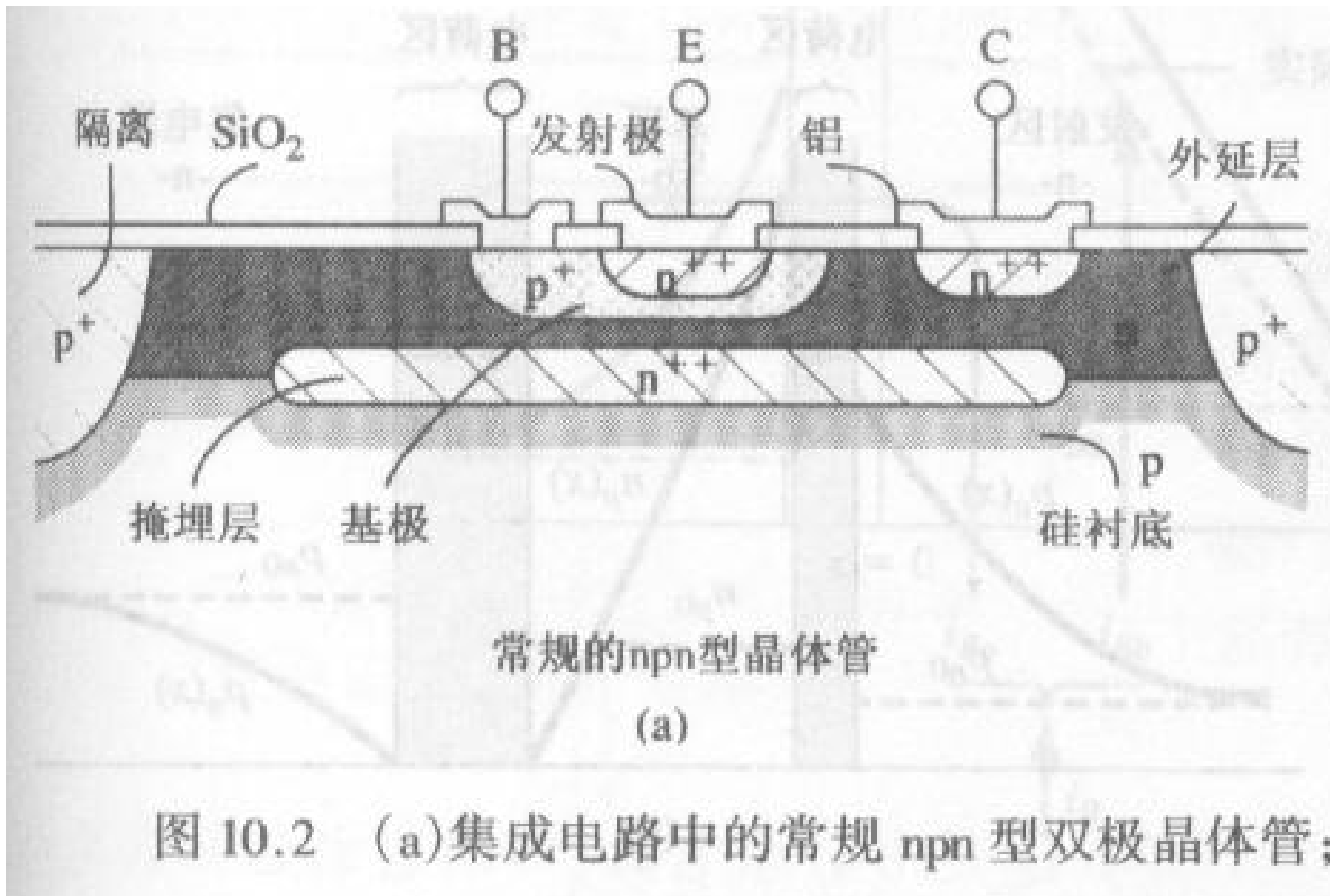


图 6.6 测量内基区方块电阻的测试图形

双极晶体管的剖面图



双极晶体管的剖面图



常用的方块电阻测试结构

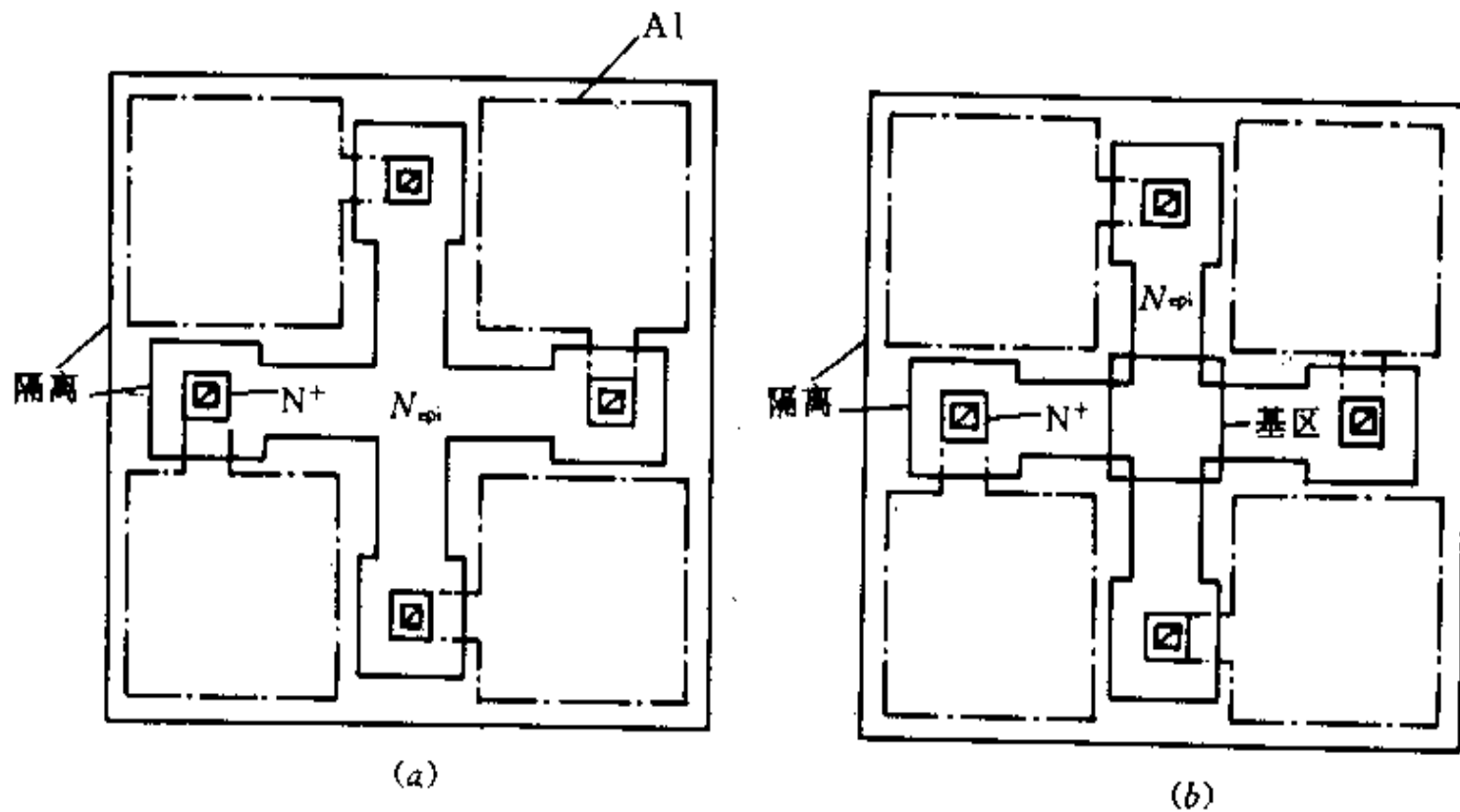


图 6.7 用于外延层的测试结构

(a) 外延层方块电阻测试结构；(b) 外延沟道层方块电阻测试结构

常用的方块电阻测试结构

通过外延把埋层引出来测量

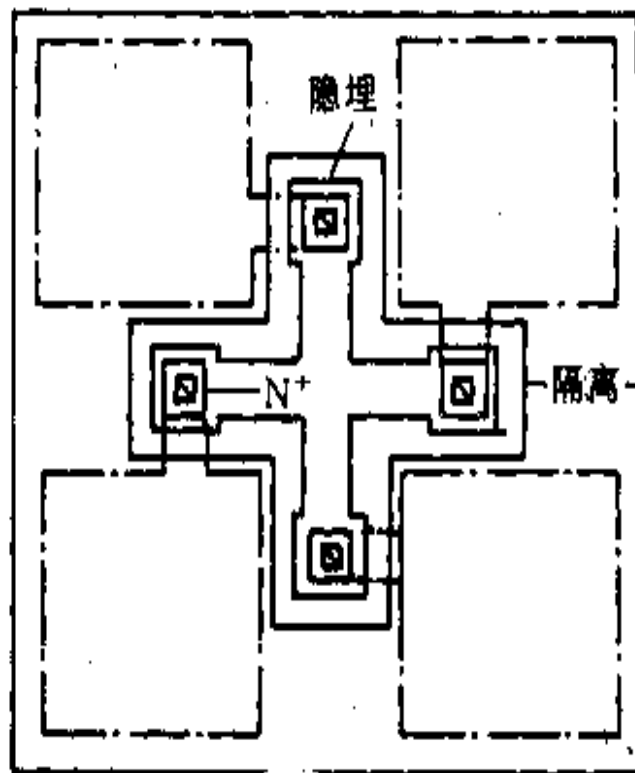


图 6.8 埋层方块电阻测试结构

用埋层隔离P型衬底和所测的隔离层

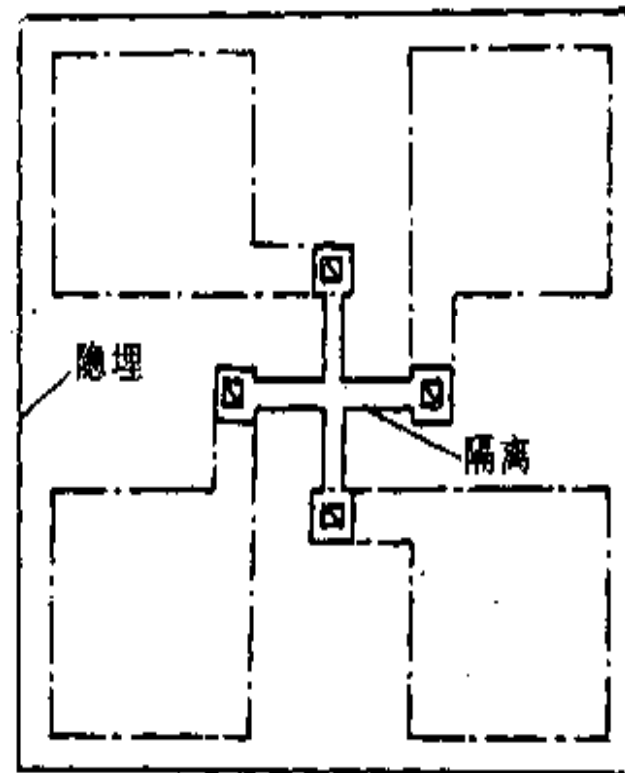


图 6.9 隔离掺杂方块电阻测试结构

常用的方块电阻测试结构

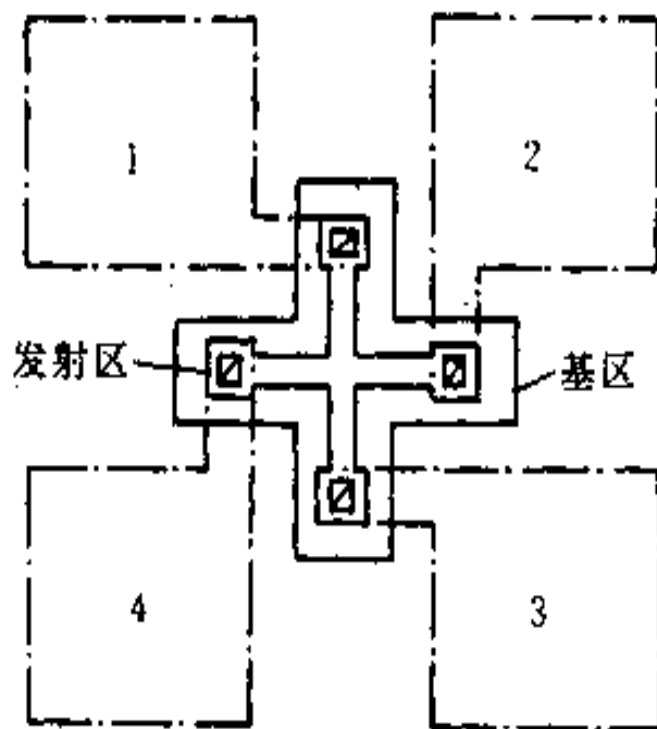


图 6.10 发射区方块电阻测试结构

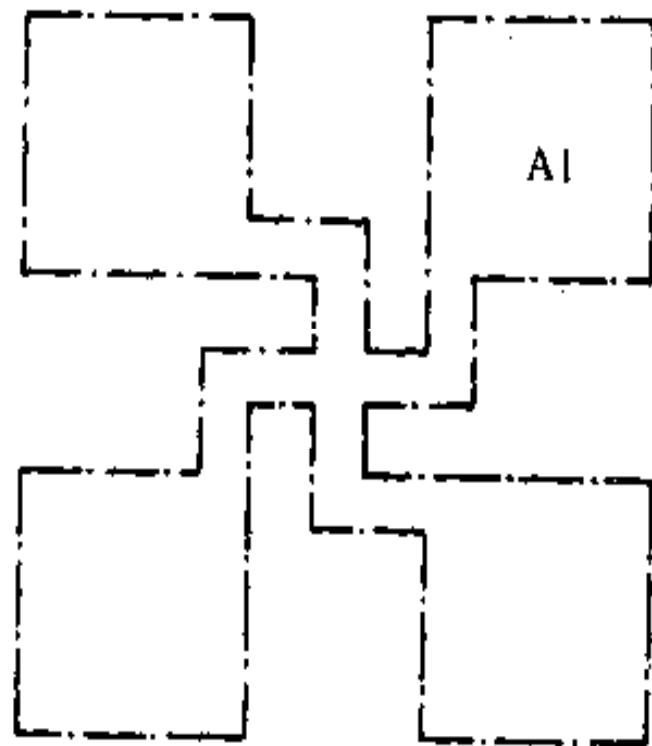
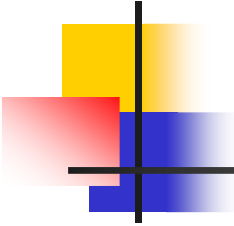


图 6.11 金属层方块电阻测试结构



范德堡测试图形的设计要点

- 1、根据具体工艺流程，正确合理地安排图形中各层次的图形结构关系；
- 2、为了保证计算公式修正系数可取为**1**，设计的图形应高度对称；
- 3、为使杂质分布变化量不大，设计宽度不应太大（也不能太小）；
- 4、十字图形引出臂长度的合理选取：误差与宽长比的关系；
- 5、要考虑横向参杂的影响；

引出臂长宽比

- 引出臂长宽比越大，测试精度越高；
- 如果引出臂长宽比过大，则引出臂的串联电阻以及表面漏电均会变大，导致另一种类型的测试误差；
- 结合等效网络分析可得，取臂长宽比为1—2，可以同时满足上述两方面要求，保证测试精度；

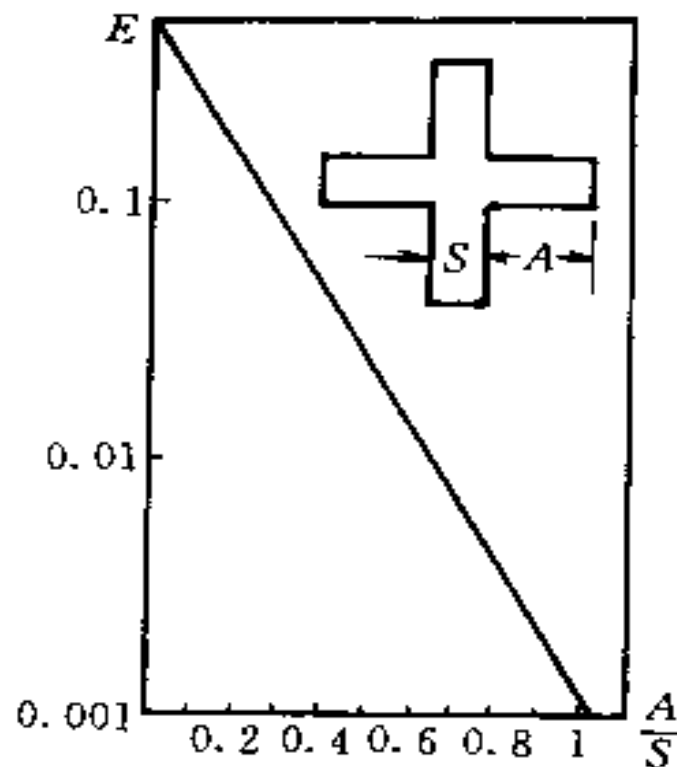


图 6.12 测试精度 E 与引出臂长宽比的关系

金半接触电阻测试图

“两种接触”

- 1、垂直型
- 2、水平型

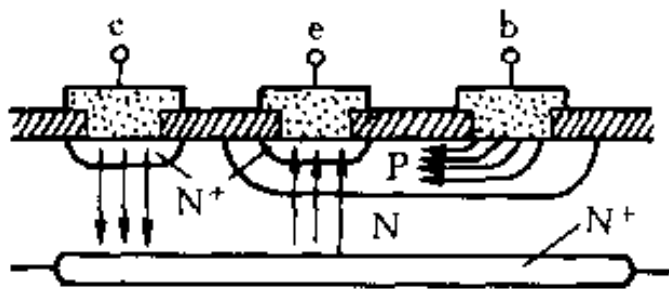


图 6.13 典型的双极晶体管结构

“三种接触电压降”

A前向边 前向压降 V_f

B后向边 后向压降 V_e

C侧向边 侧向压降 V_s

$$V_f > V_s > V_e$$

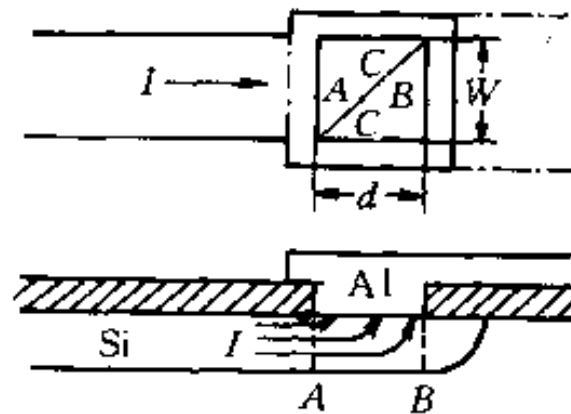


图 6.14 水平型接触的情况

垂直型接触电阻的测试

$$R_{cv} = R_{cs}$$

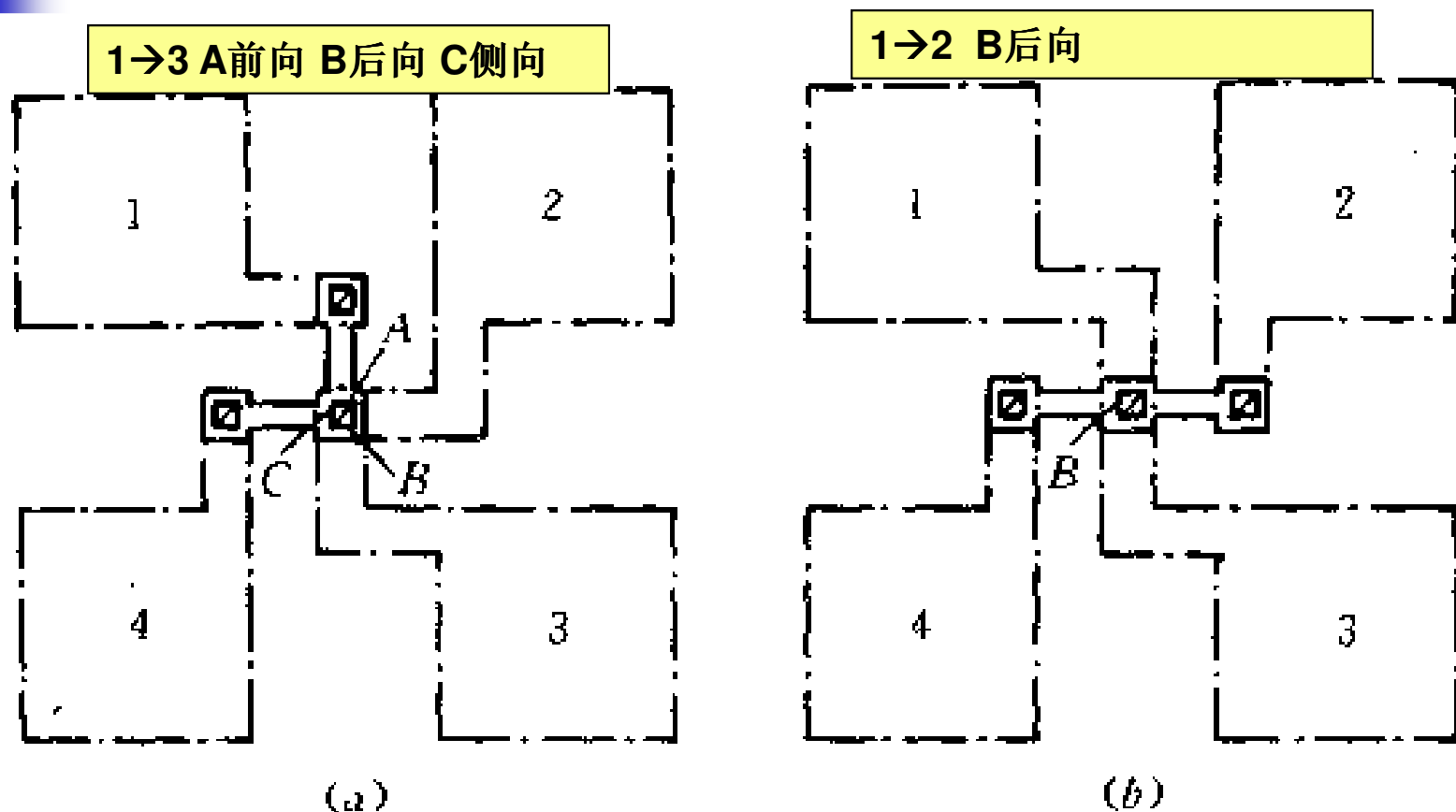


图 6.15 (a) R_{cv} 测试图结构；(b) R_{cs} 测试图结构

水平型接触电阻的测试

2→3 A前向 4 5测V

$V_{45}=V_0+2V_f$ 测 R_1 R_2 做回归减小误差

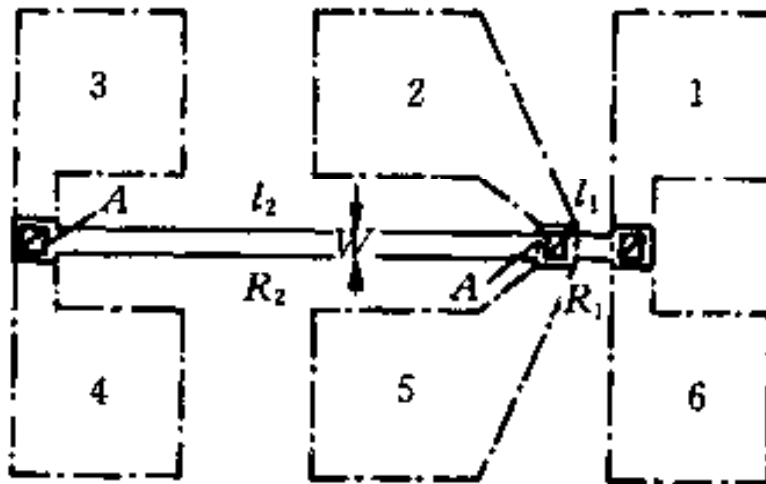


图 6.16 双电阻条结构

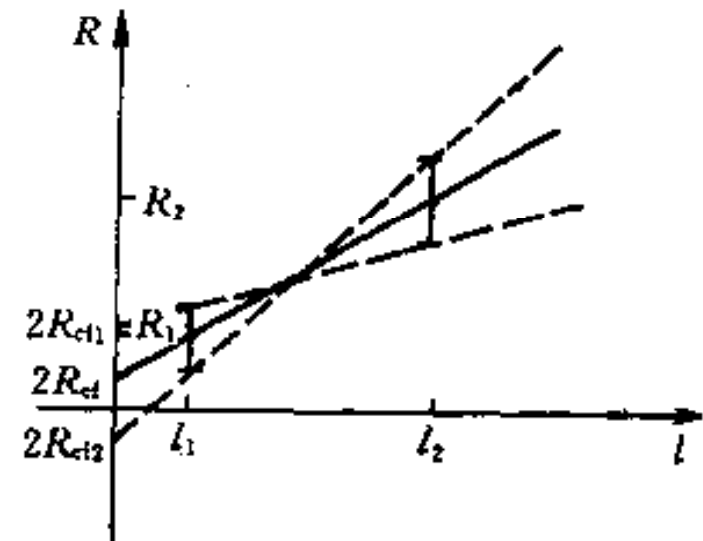


图 6.17 $R-l$ 关系

光刻套刻误差测试结构

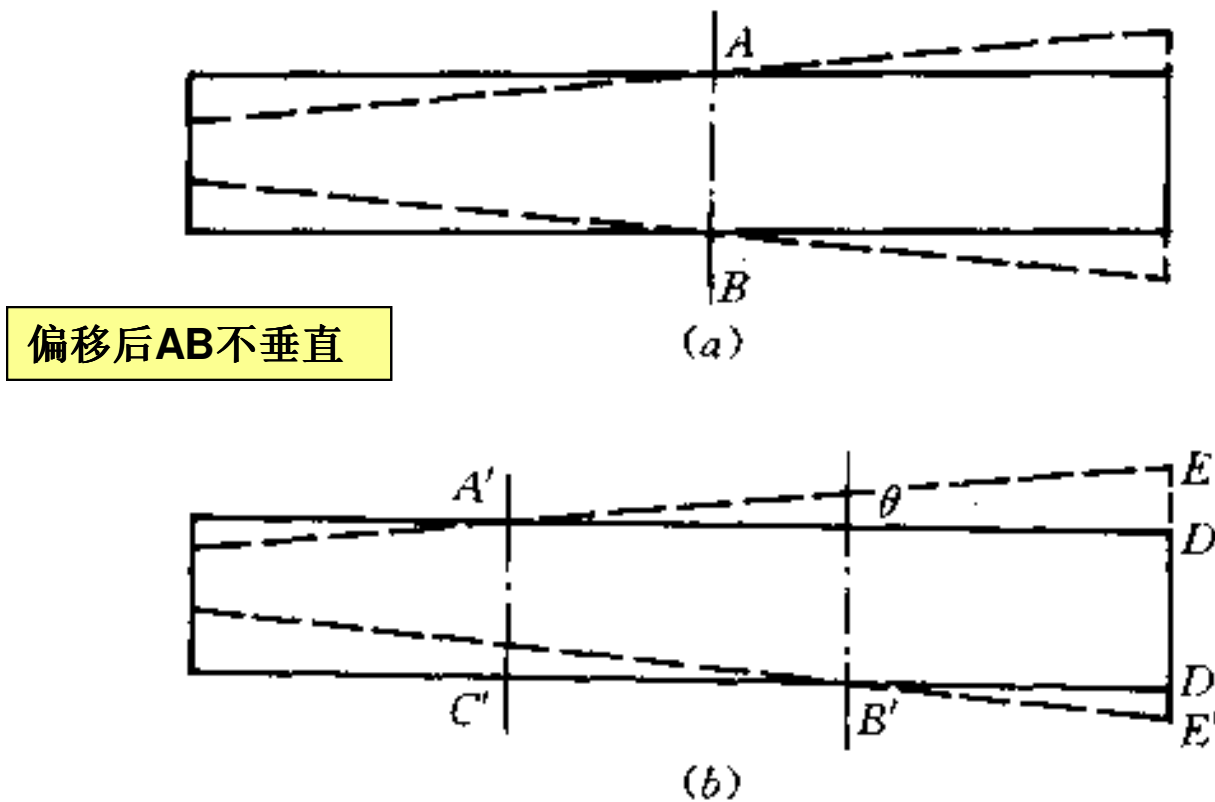


图 6.18 光刻套刻误差测试结构原理图

光刻参数测试图形

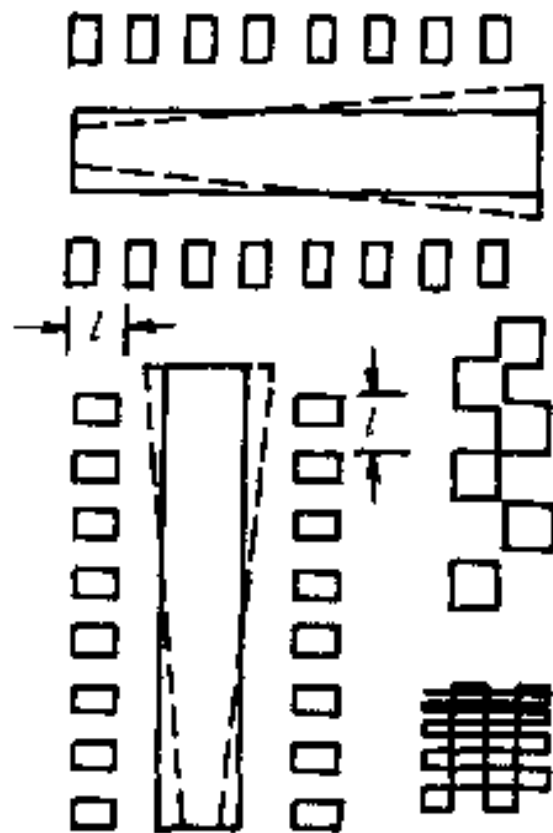
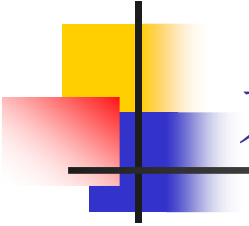


图 6.19 光刻工艺参数测试结构



本次课完

- 回顾讲过的内容。
 - 参考补充：
 - 清华pcm图形
 - Rcl pcm图形
 - 套刻图形71
- 用ledit观看，在文件夹：ic for class