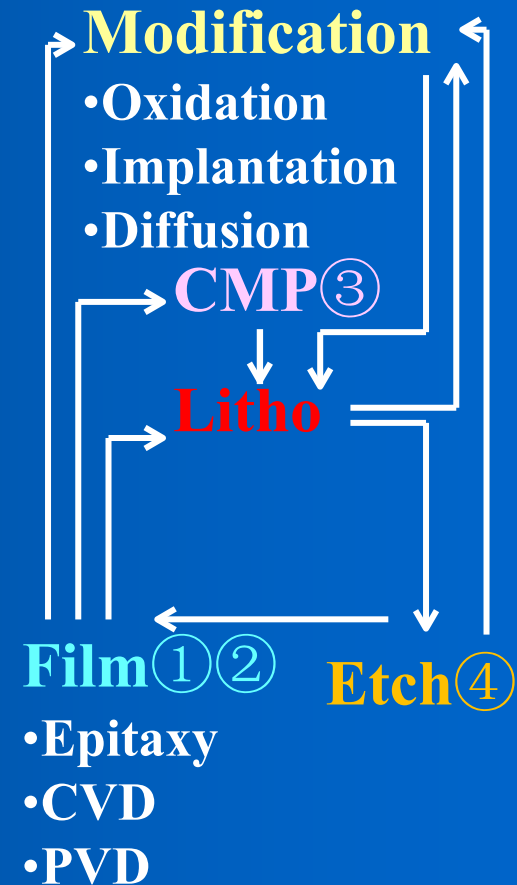


# 第四章 光刻原理

## 光刻的作用和目的？

### 图形的产生和布局

35%的成本来自于光刻工艺

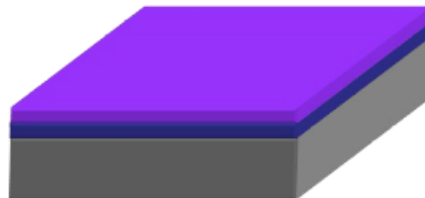


## 第四章 光刻原理

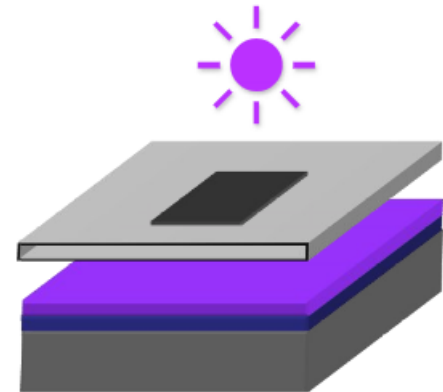
**光刻**是把掩膜版上的电路图形超精确地转移到涂覆在硅片上的光刻胶膜上，为后续刻蚀或离子注入提供掩蔽膜，以完成图形的最终转移的工艺过程。



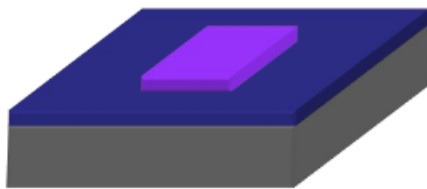
衬底准备



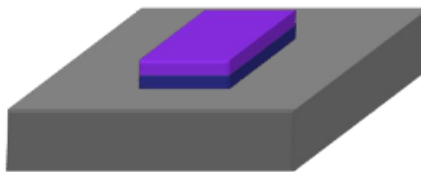
涂胶 & 前烘



曝光



显影 & 坚膜



刻蚀



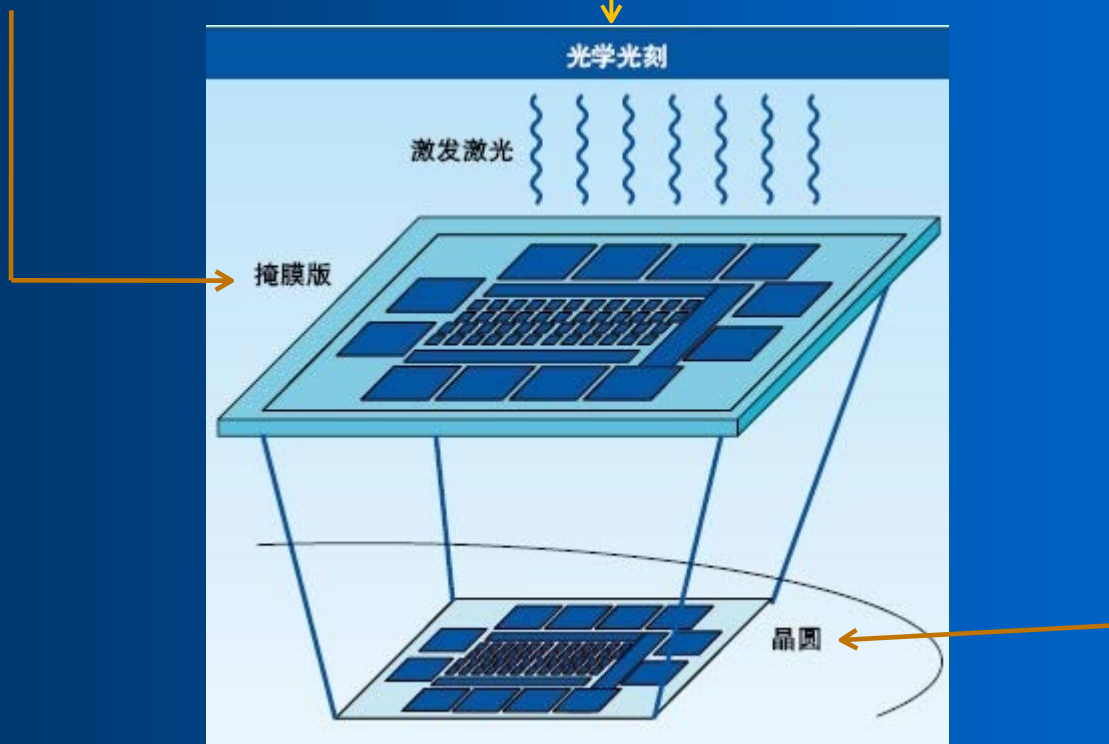
去胶

# 第四章 光刻原理



光刻机

曝光  
显影  
定影



感光层

光刻胶

## 第四章 光刻原理

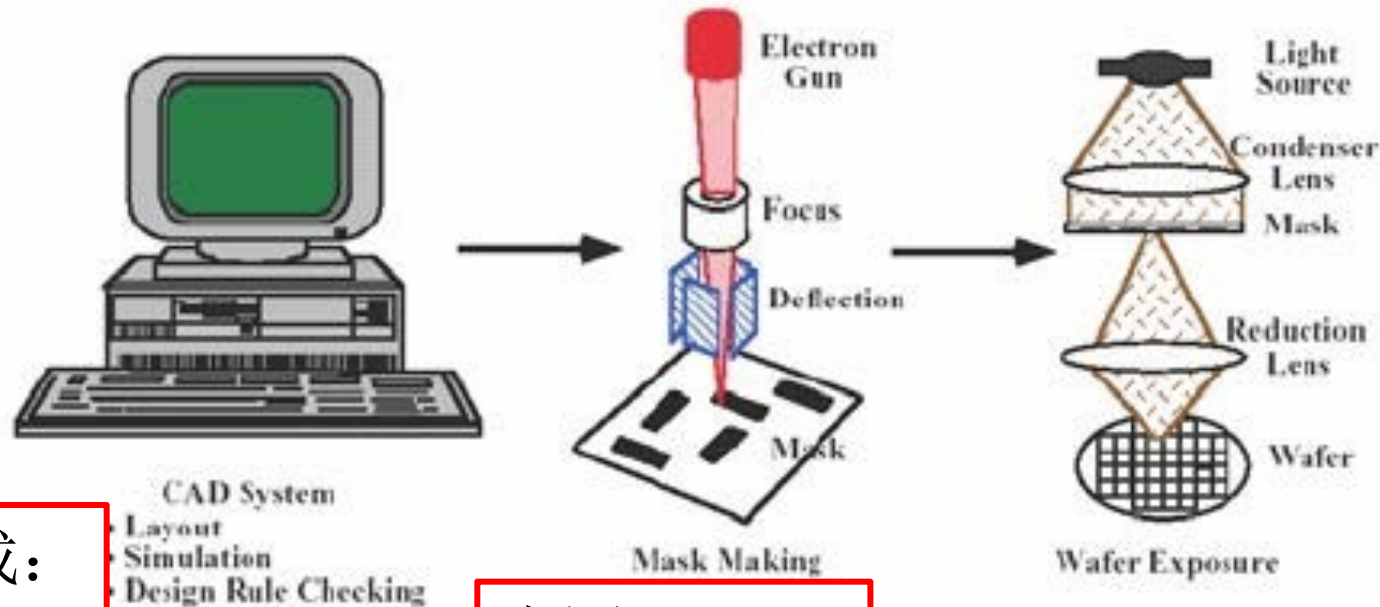
光刻要求

分辨率: (高)  
 曝光视场(大)  
 图形对准精度(高)  
 产率 (throughput) (大)  
 缺陷密度(低)

成品率  
 Yield:

$$Y \cong e^{-ND_0A_c}$$

$D_0$ : 单位面积缺陷数,  $A_c$ : 芯片面积,  $N$ : 掩膜版层数



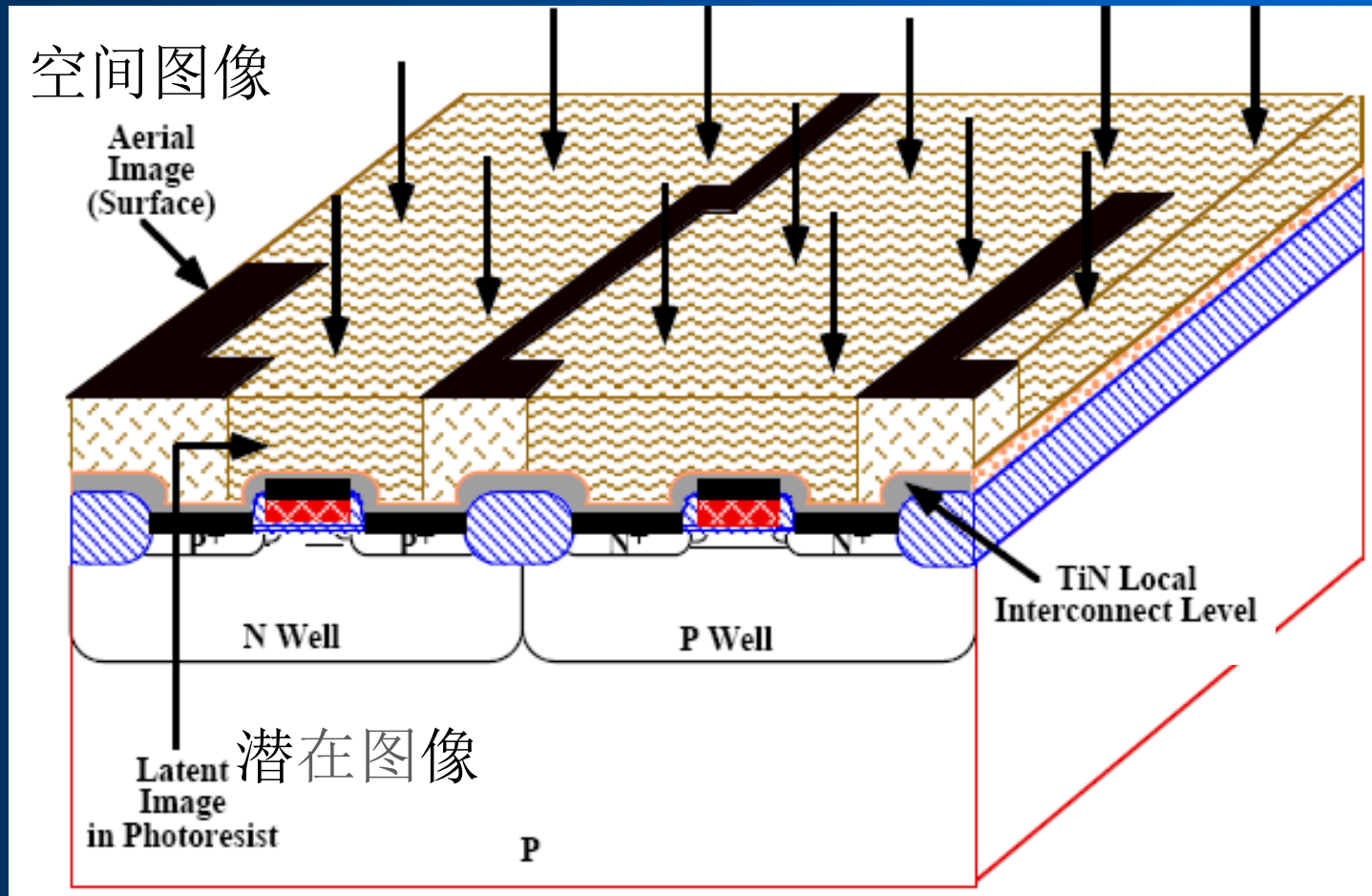
图形转移技术组成:

- 掩膜版设计
- 掩膜版制作
- 光刻

光源  
 曝光系统  
 光刻胶



# 第四章 光刻原理



## 第四章 光刻原理

## 光源

光源	波长 $\lambda$ (nm)	术语	技术节点
汞灯	436	g线	$>0.5\mu\text{m}$
汞灯	365	i线	$0.5/0.35\mu\text{m}$
KrF(激光)	248	DUV	$0.25/0.13\mu\text{m}$
ArF(激光)	193	193DUV	$0.09\mu\text{m}$ $\downarrow$ $10\text{nm}\dots$
$\text{F}_2$ (激光)	157	VUV	?
激光激发Xe 等离子体	13.5	EUV	新兴光刻技术



→ NGL: X射线(0.5nm), 电子束(0.62Å), 离子束(0.12 Å)



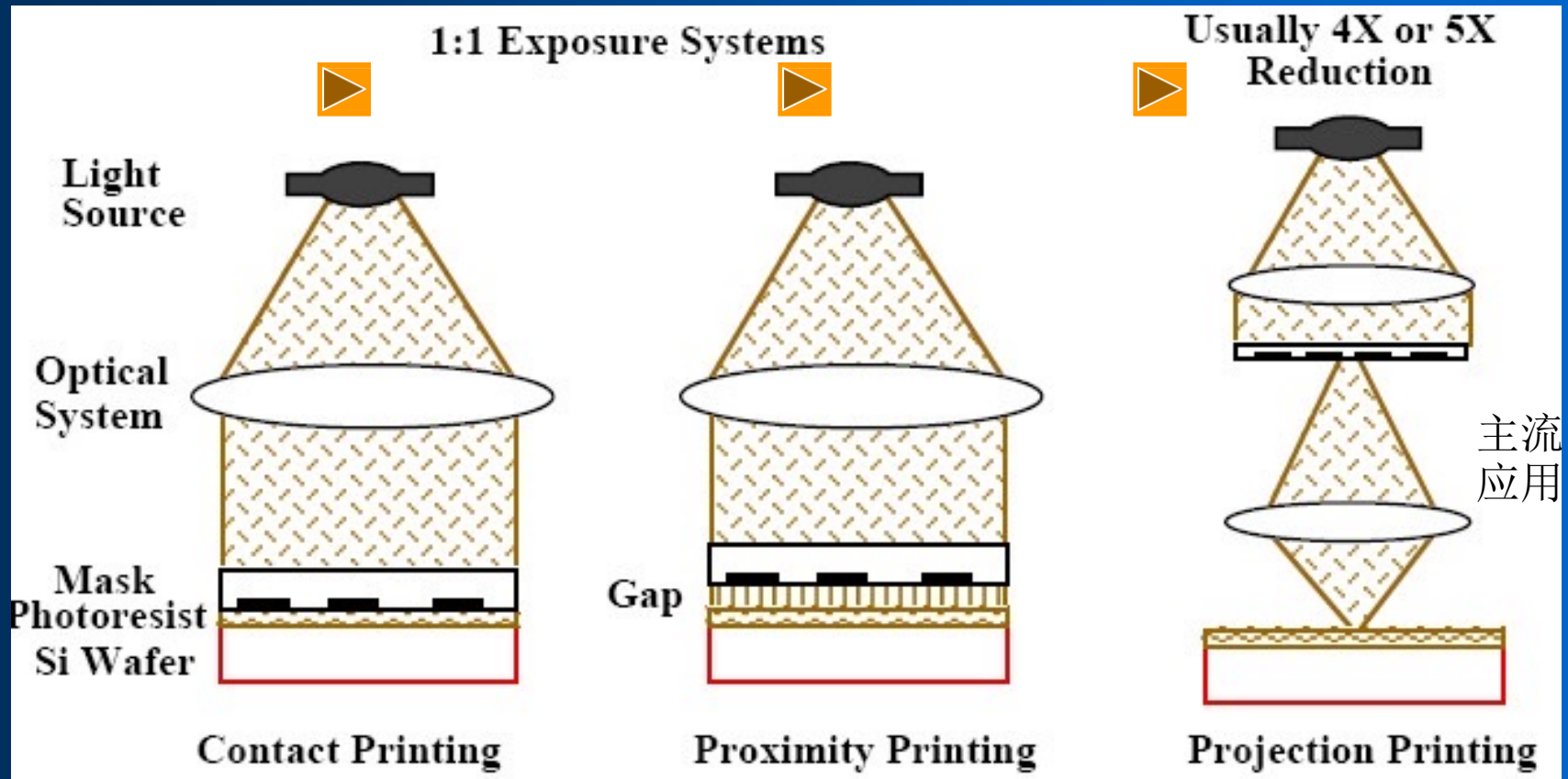
# 第四章 光刻原理

## 三种硅片曝光系统

接触式

接近式

投影式（步进stepper/  
扫描scanner）

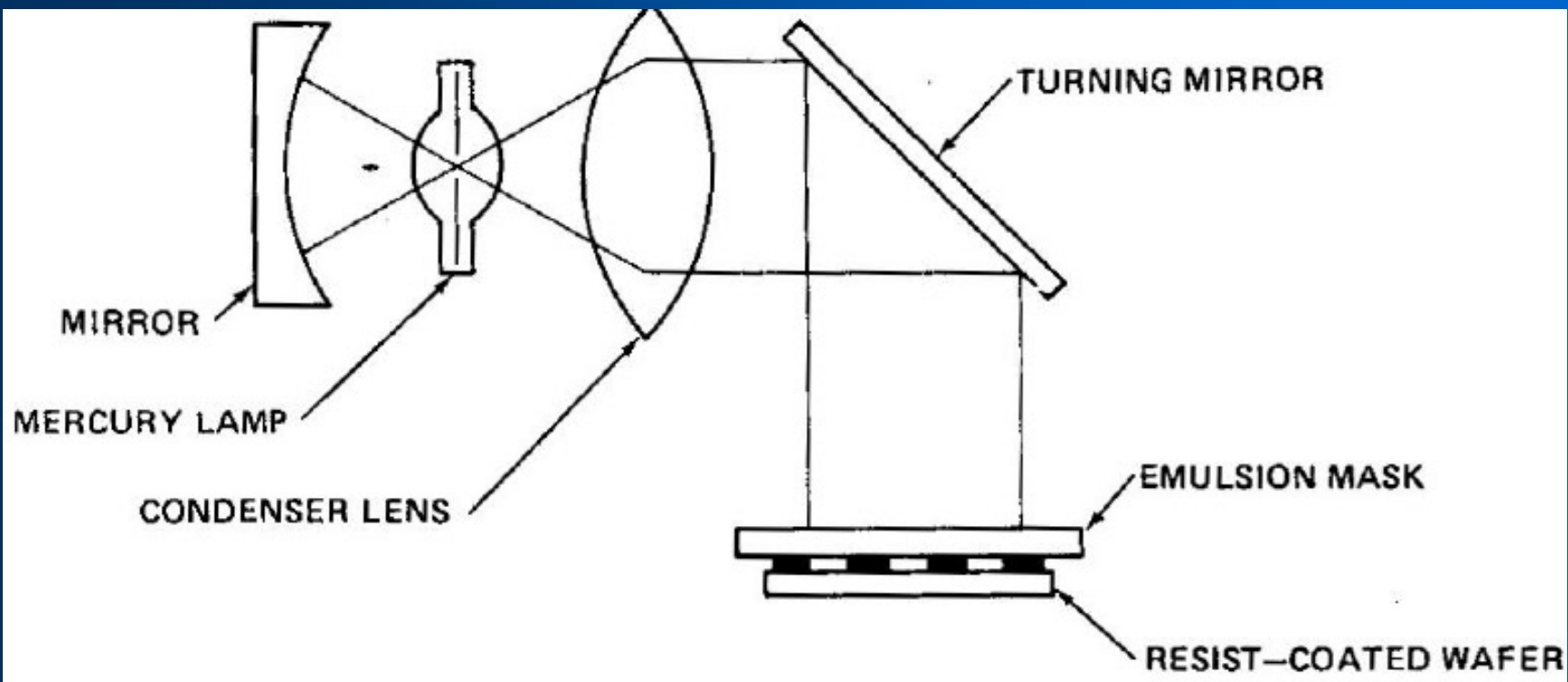


1:1曝光系统

4或5倍缩小曝光系统

# 第四章 光刻原理

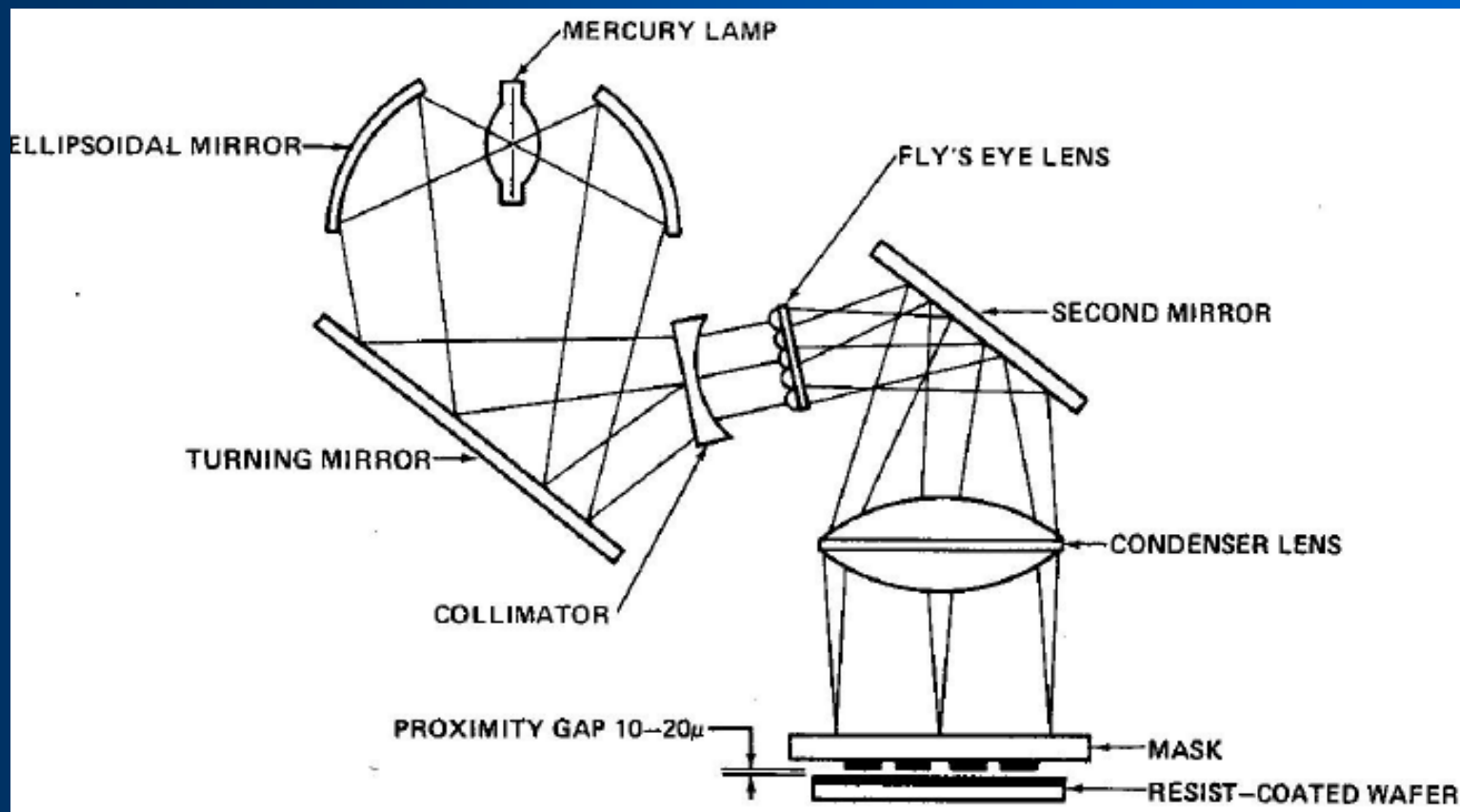
## 接触式光刻机原理图





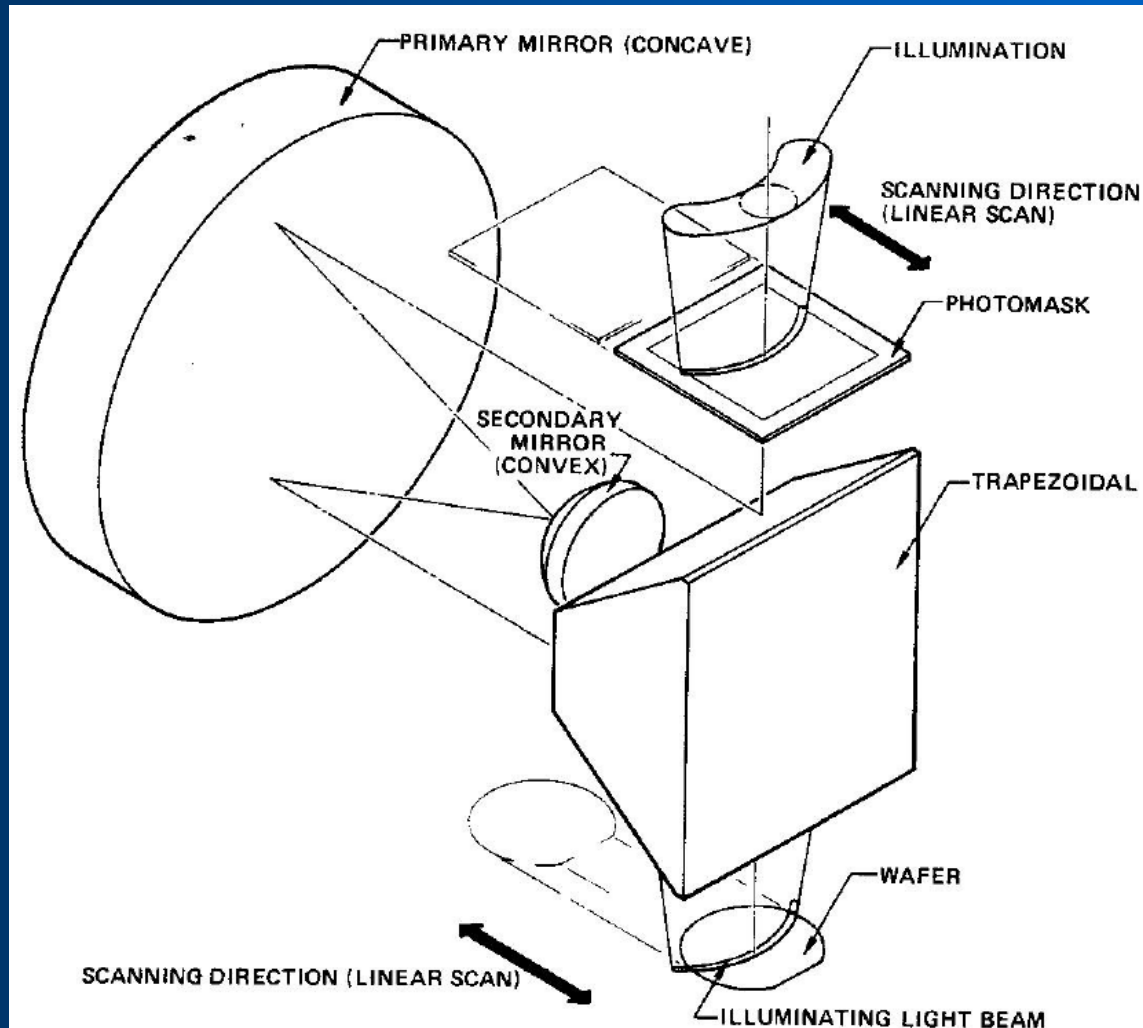
# 第四章 光刻原理

## 接近式光刻机原理图



## 第四章 光刻原理

扫描投影式光刻机（1:1）原理图

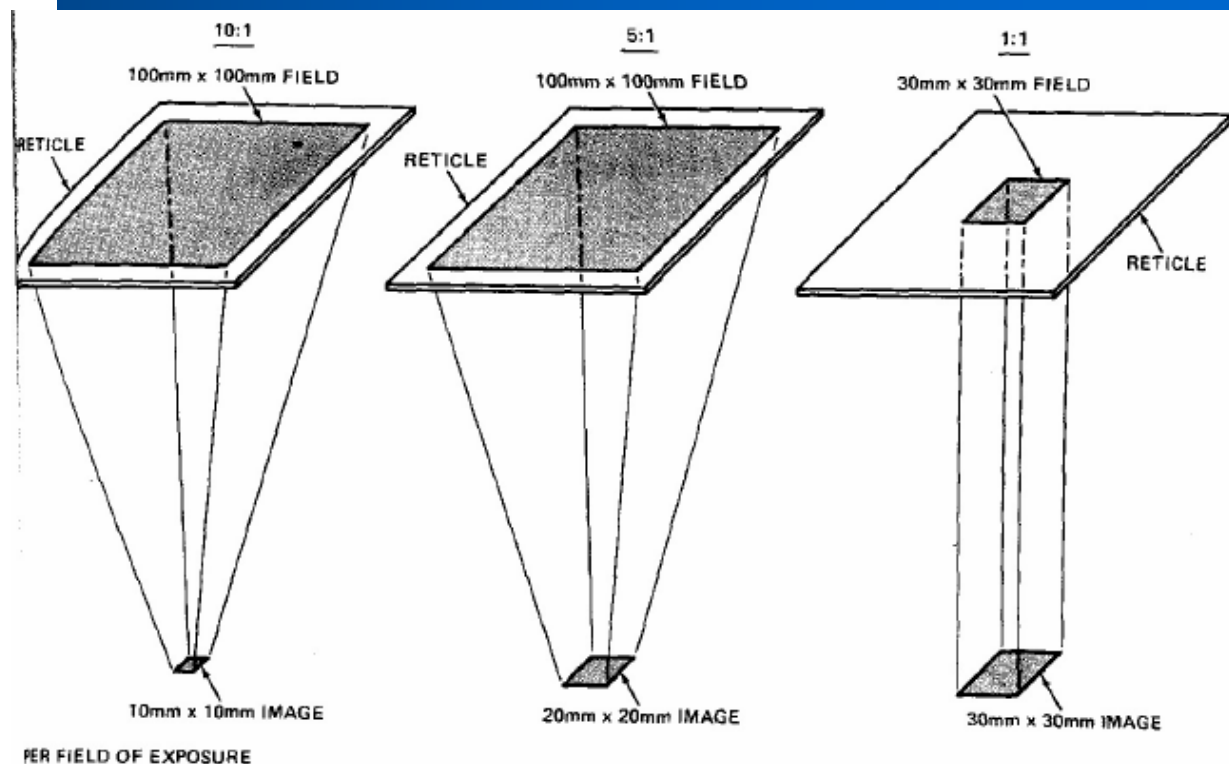
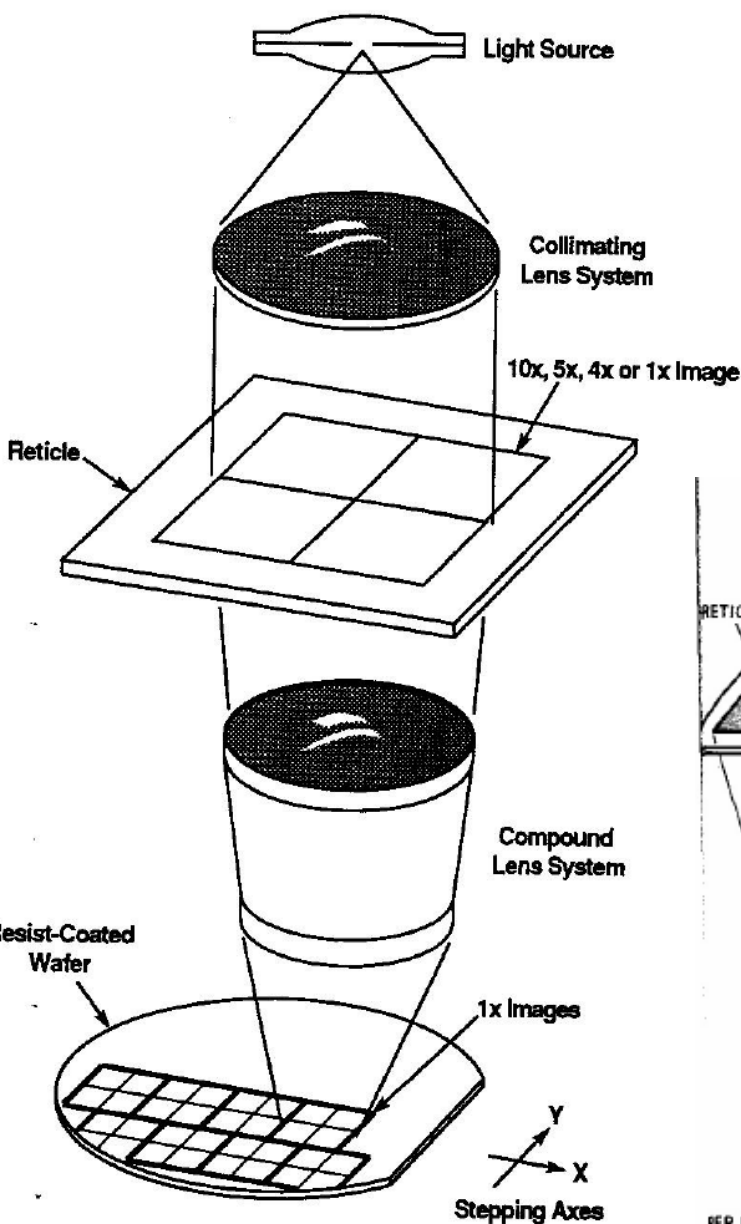


# 第四章 光刻原理

## 步进扫描式

### 步进投影式光刻机原理图

投影掩模版称为“**reticle**”——与空间图像之间有一定放大比例

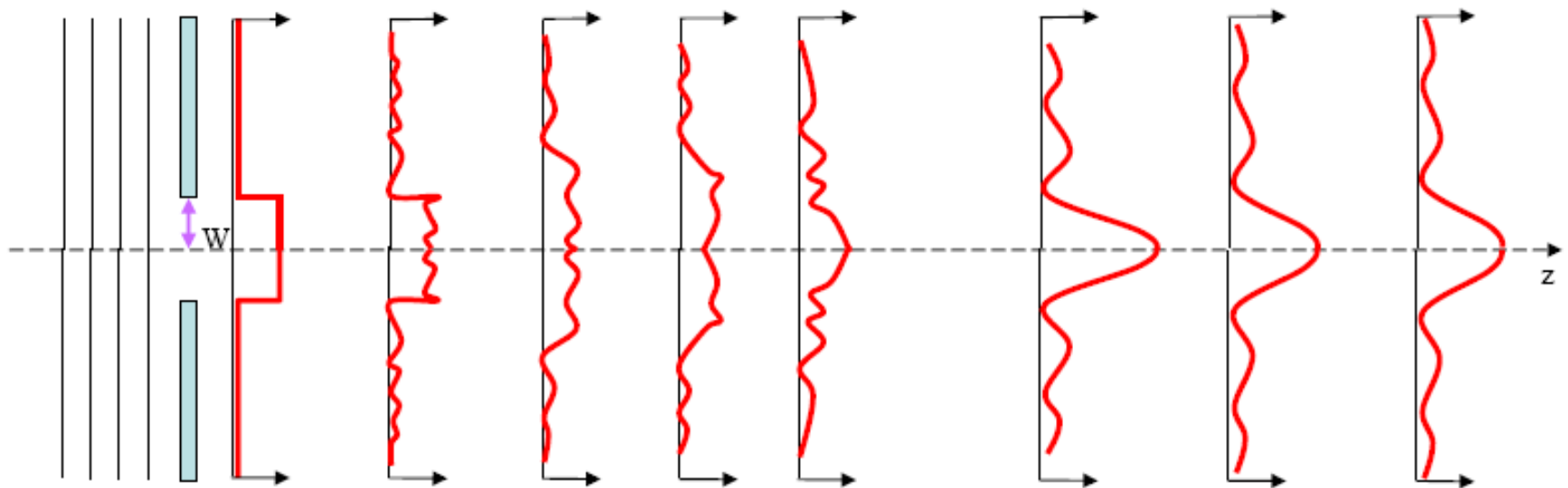


## 第四章 光刻原理

## 曝光系统

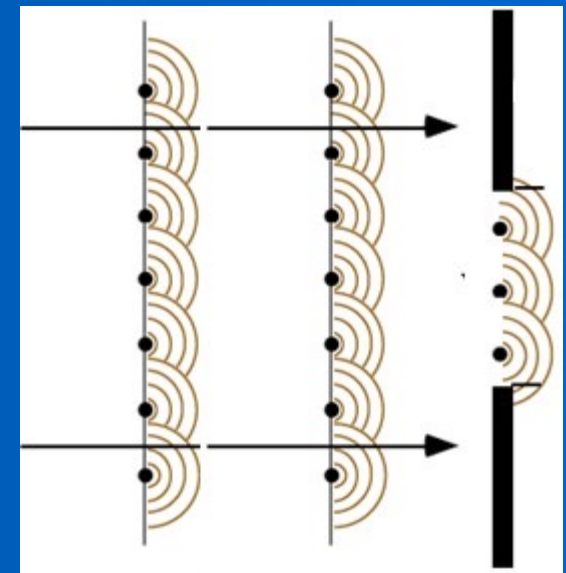
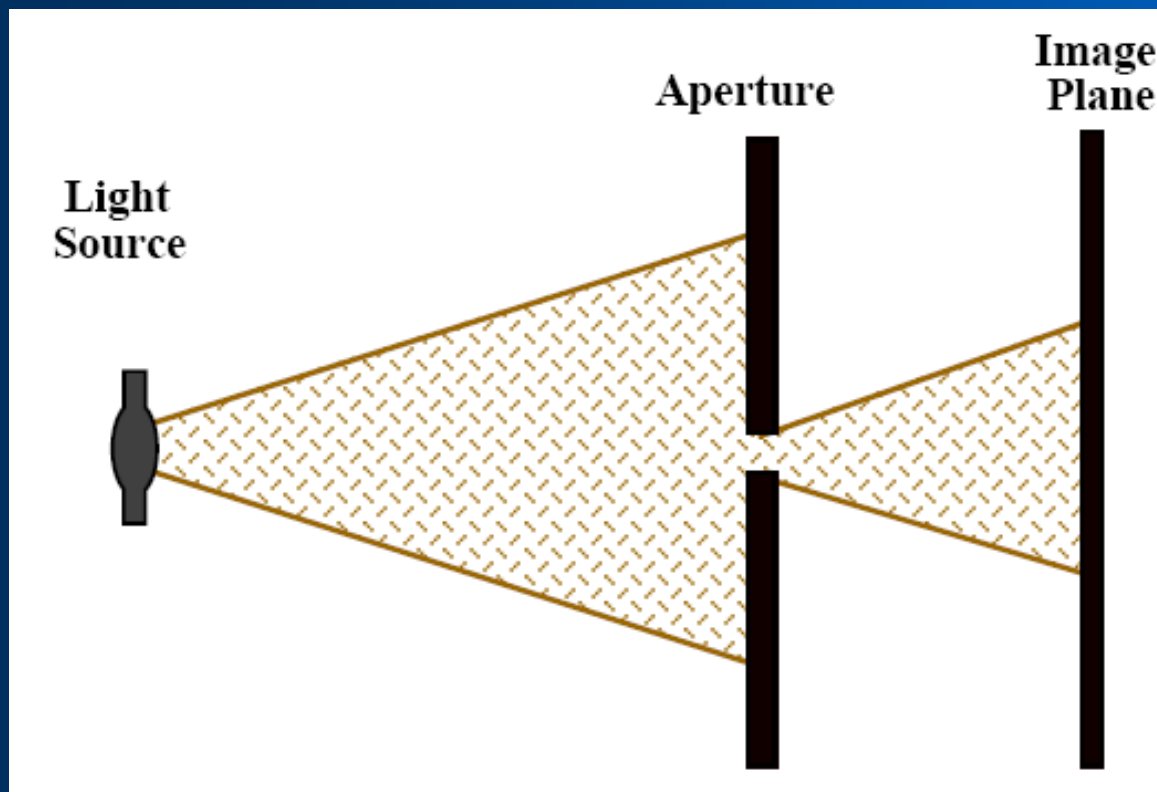
Near Field (Fresnel) Diffraction

Far Field (Fraunhofer) Diffraction



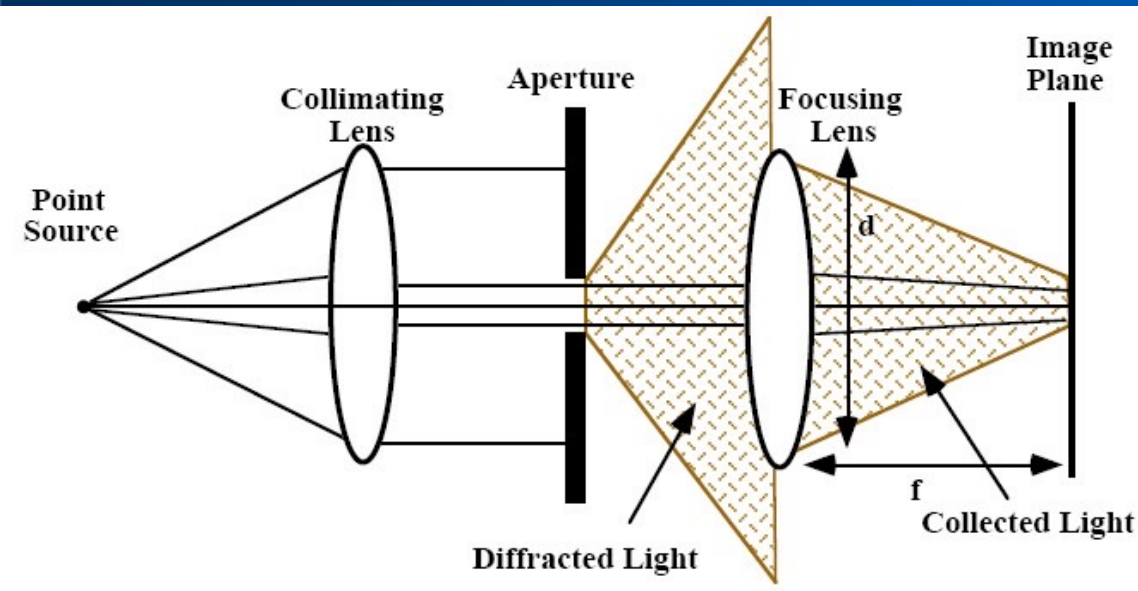
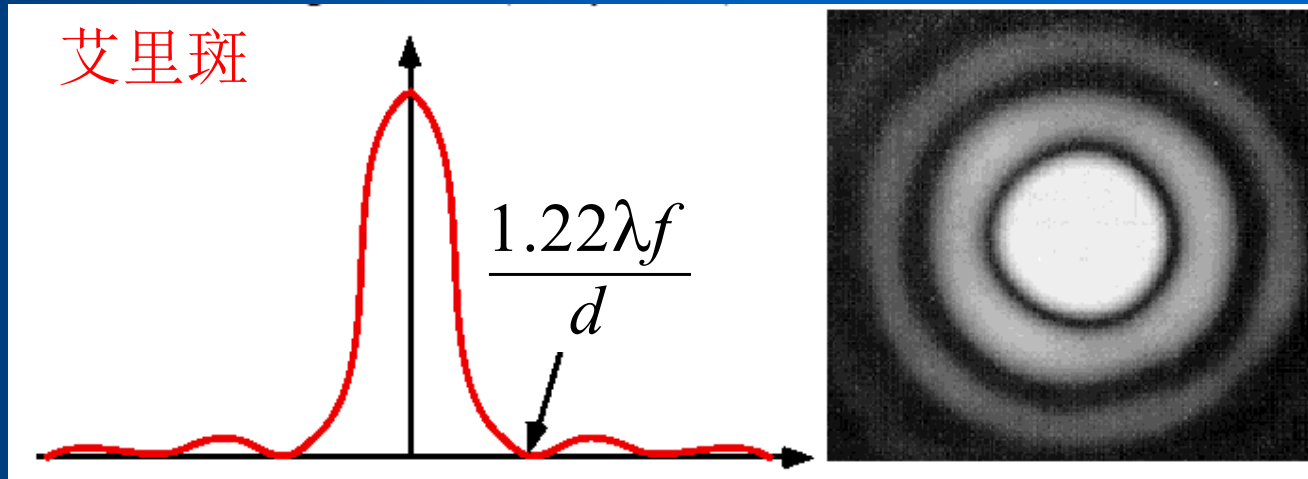
## 第四章 光刻原理

接触式和接近式——近场衍射（**Fresnel**）  
像平面靠近孔径，二者之间无镜头系统



## 第四章 光刻原理

投影式——远场  
衍射（**Fraunhofer**）  
像平面远离孔径，  
在孔径和像之间设  
置镜头



$$\text{中心极大半径} = \frac{1.22\lambda f}{d}$$

# 第四章 光刻原理

## 投影式

基本参数:

- 分辨率(resolution)
- 焦深(depth of focus)
- 视场(field of view)
- 调制传递函数(MTF—modulation transfer function)
- 套刻精度(alignment accuracy)
- 产率(throughput)
- .....

机械  
设计

光学系统决定

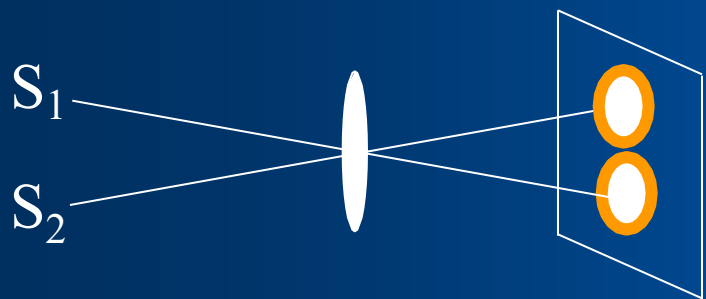


# 第四章 光刻原理

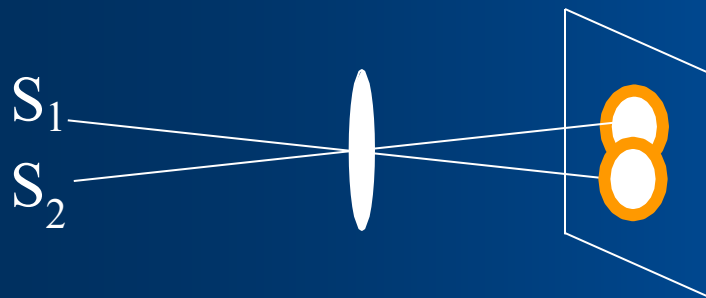
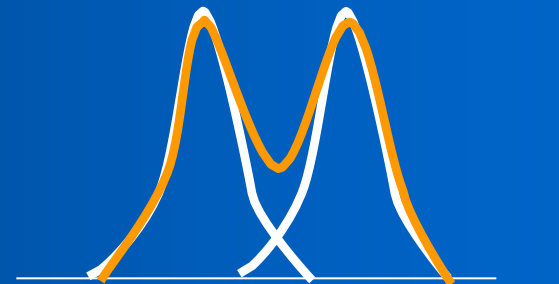
瑞利给出恰可分辨两个物点的判据：

点物 $S_1$ 的爱里斑中心恰好与另一个点物 $S_2$ 的爱里斑边缘（第一衍射极小）相重合时，恰可分辨两物点。

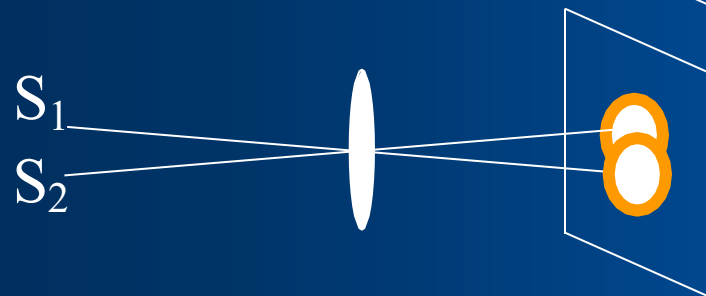
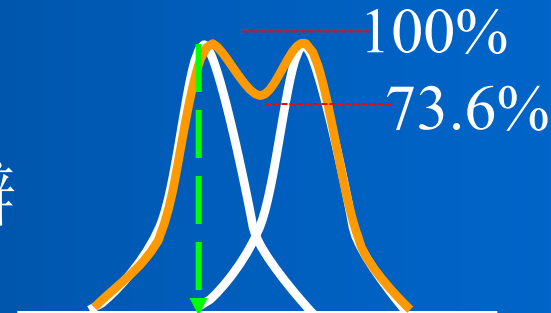
分辨率



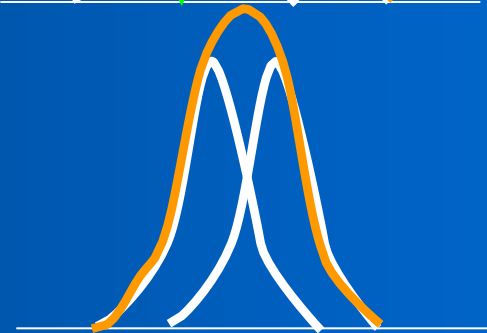
可分辨



恰可分辨



不可分辨



## 第四章 光刻原理

两个爱里斑之间的分辨率（瑞利判据）：

$$R = \frac{1.22\lambda f}{d} = \frac{1.22\lambda f}{n(2f \sin \alpha)} = \frac{0.61\lambda}{n \sin \alpha}$$

**数值孔径**：收集衍射光的能力。**n**为折射率

$$NA = n \sin \alpha$$

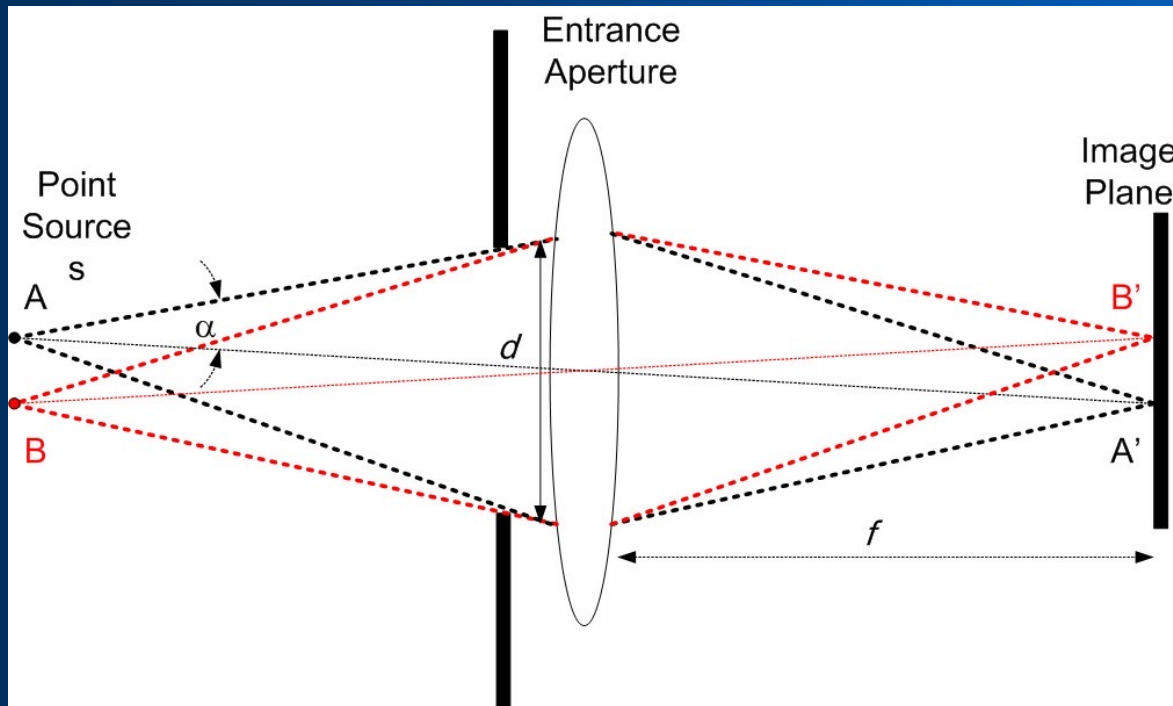
分辨率R：分辨的最小线宽

$$R = k_1 \frac{\lambda}{NA}$$

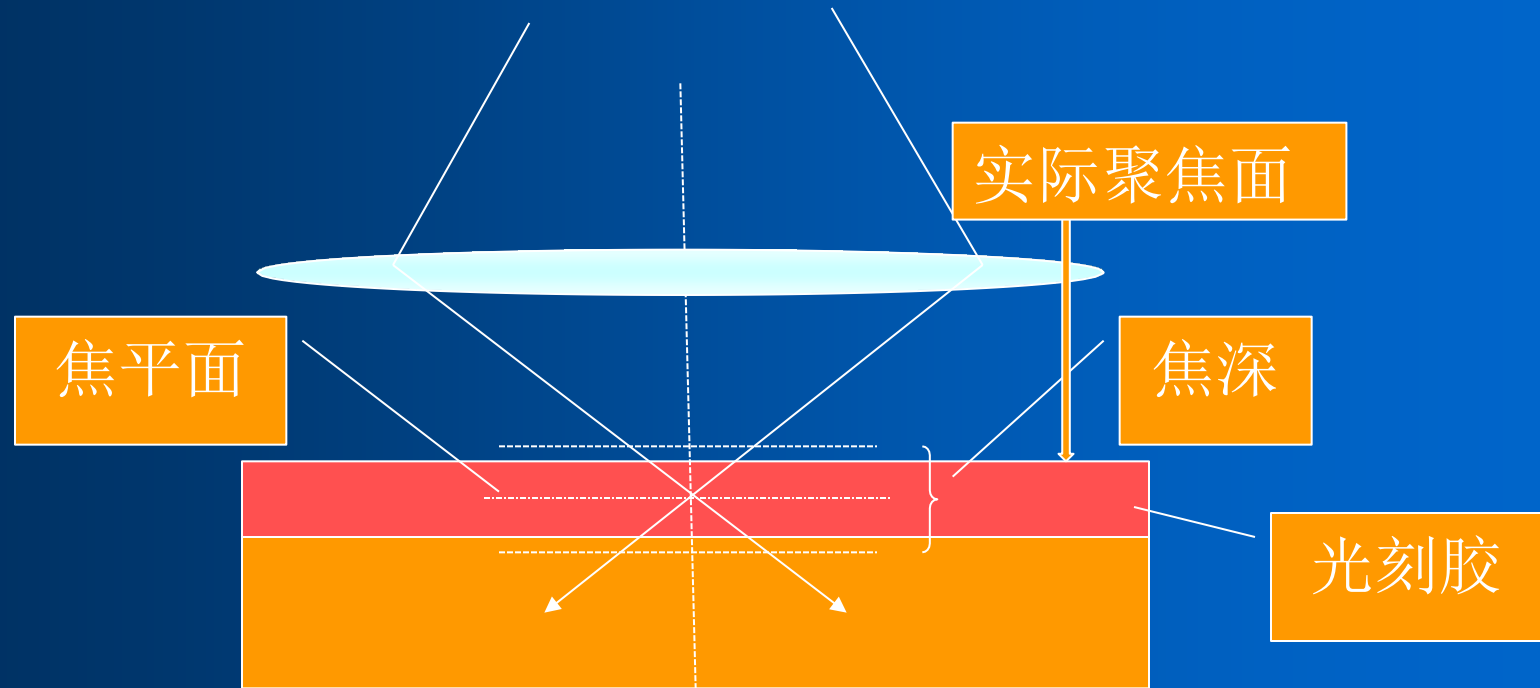
瑞利方程

$$k_1 = 0.6-0.8$$

提高分辨率：  
 $NA \uparrow, \lambda \downarrow, k_1 \downarrow$



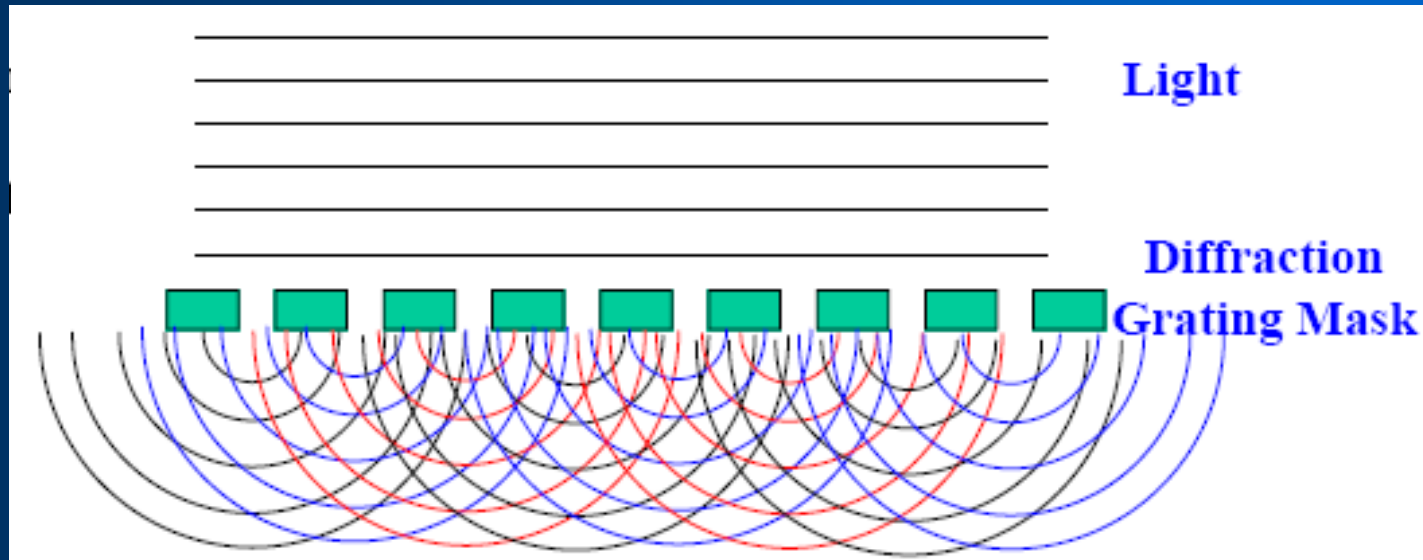
## 第四章 光刻原理



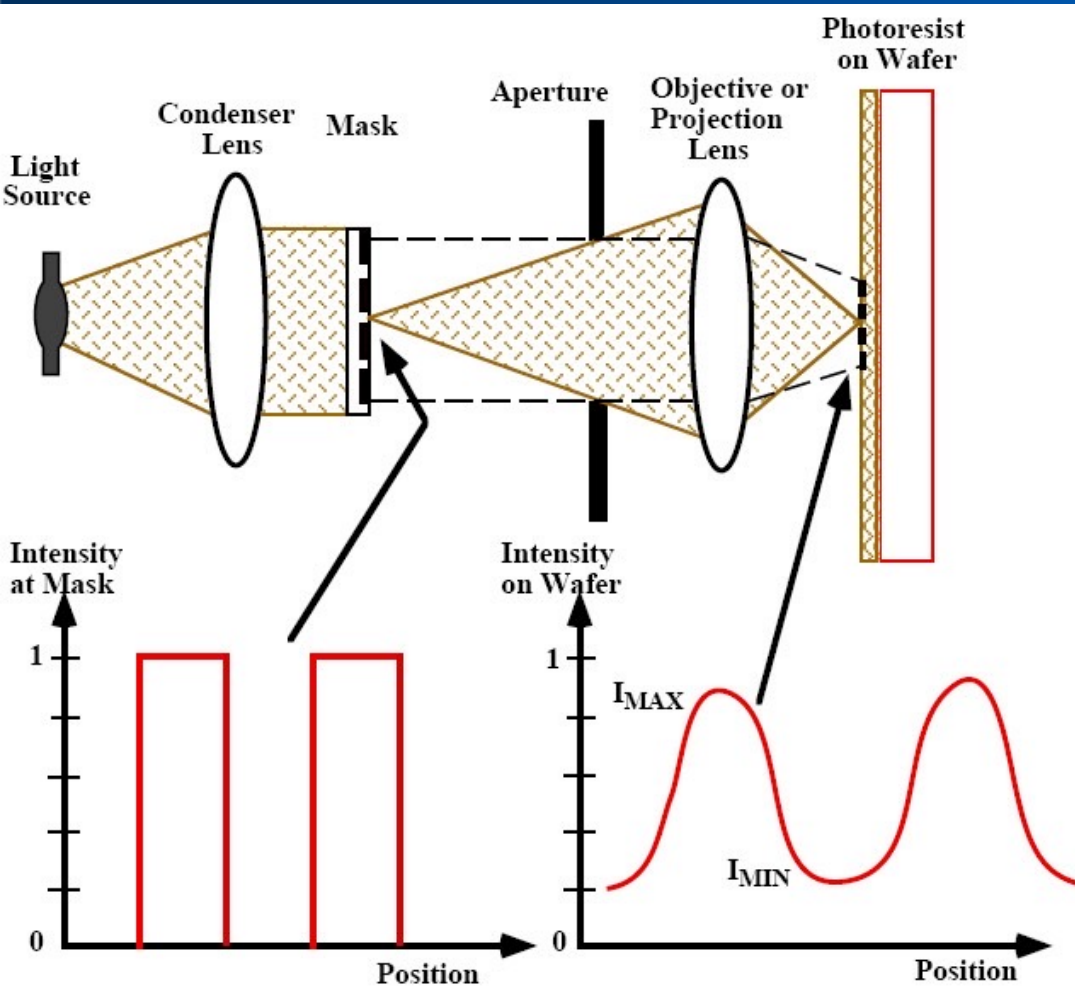
IC技术中，焦深只有 $1\mu\text{m}$ ，甚至更小

# 第四章 光刻原理

调制传递函数MTF  
——对比度



## 第四章 光刻原理



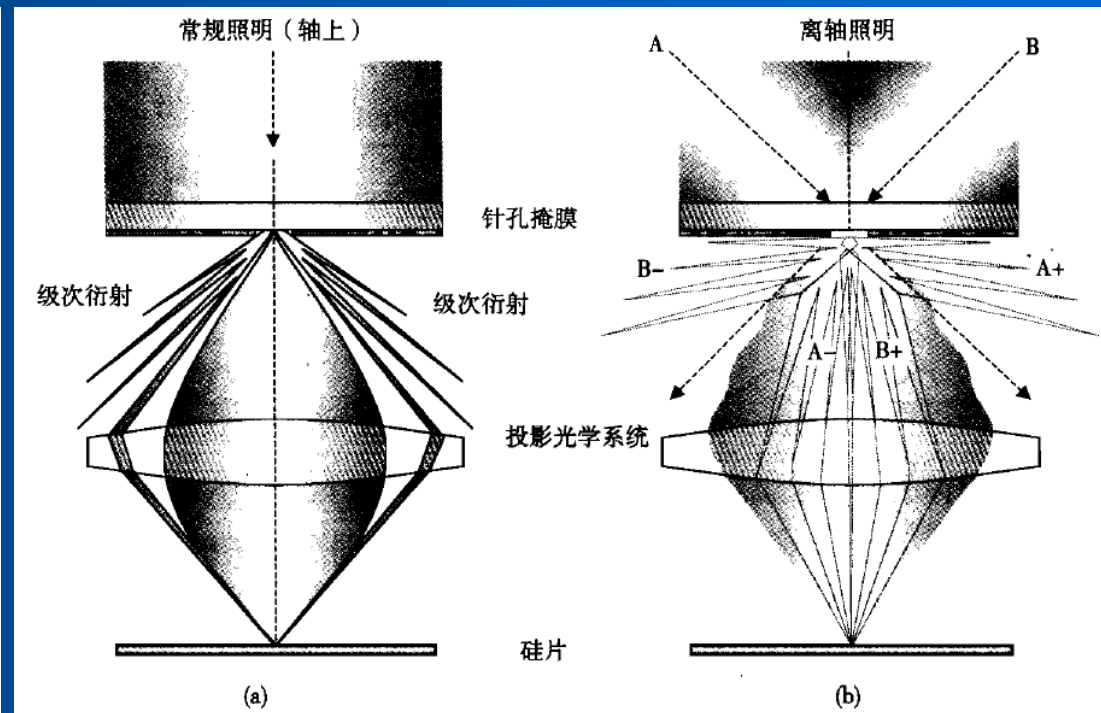
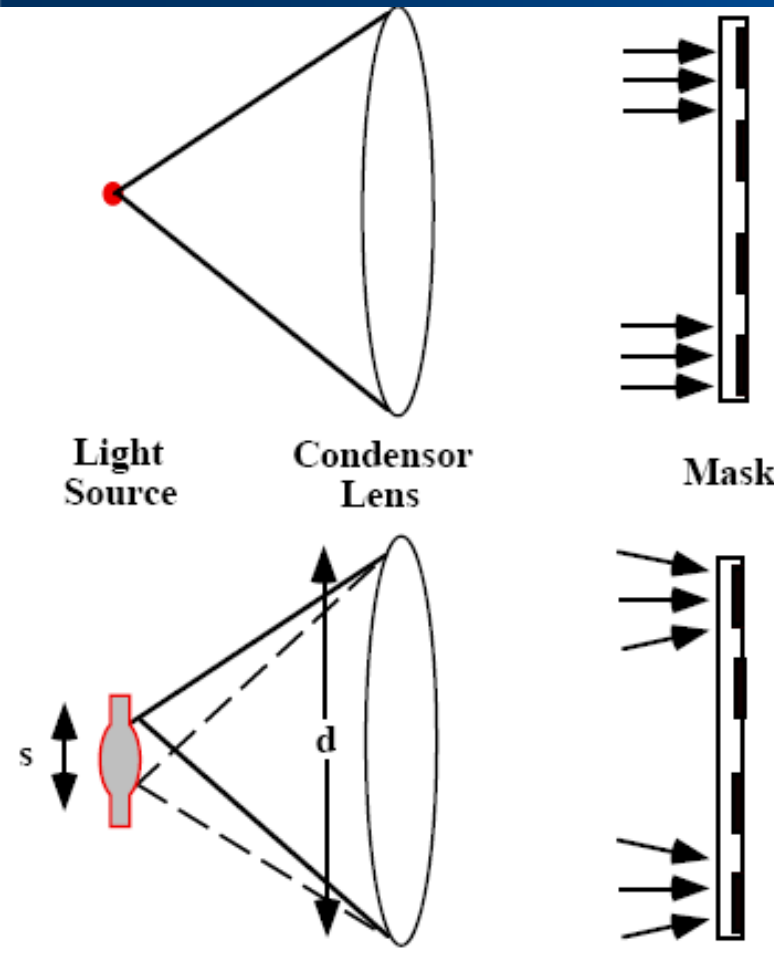
$$MTF = \frac{I_{\max} - I_{\min}}{I_{\max} + I_{\min}}$$

一般要求 $MTF > 0.5$   
与尺寸有关

MTF代表对比度的传输  
损失，保真度

# 第四章 光刻原理

## MTF与光的部分相干度S

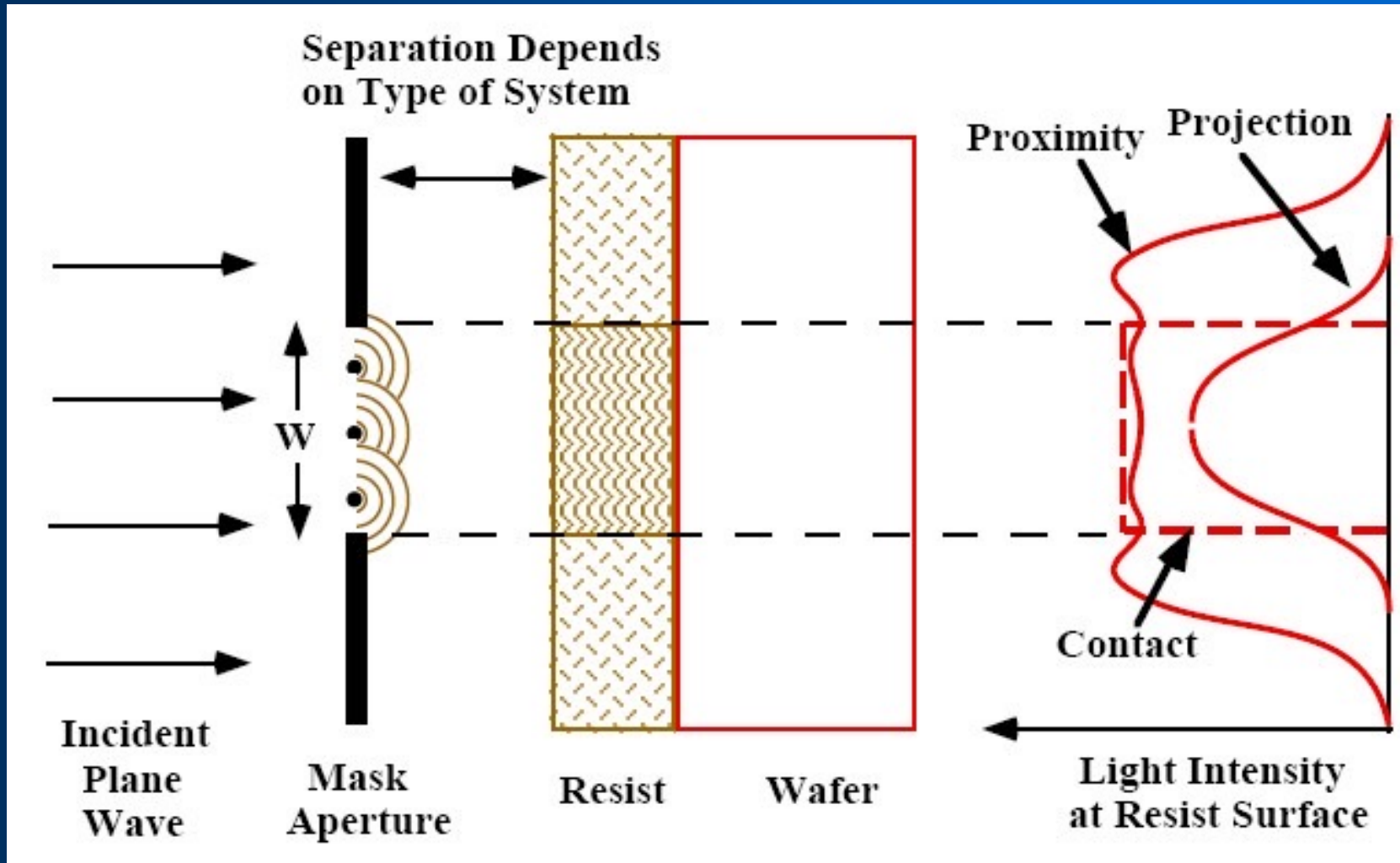


s增加, 越来越不相干  
一般 $S=0.5-0.7$

$$S = \frac{\text{光源直径 } s}{\text{聚光镜直径 } d} \quad \text{或} \quad S = \frac{NA_{\text{聚光光路}}}{NA_{\text{投影光路}}}$$

# 第四章 光刻原理

## 两类曝光系统的空间图像比较

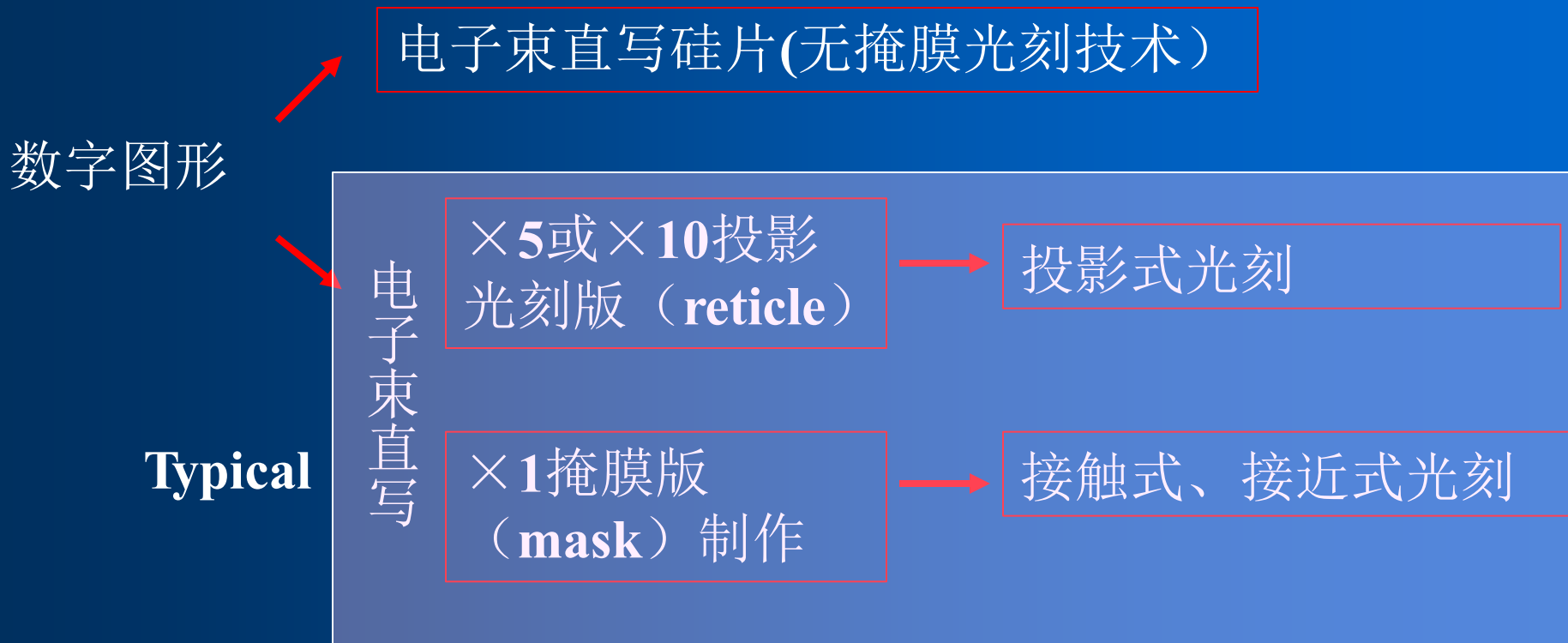




## 第四章 光刻原理

### 掩膜版制作

CAD设计、模拟、验证后由图形发生器产生数字图形



# 第四章 光刻原理

电子束直写



高透明度（散射小）  
热膨胀小

- $\times 5$ 或 $\times 10$ 投影光刻版（**reticle**）在制版时容易检查缺陷
- 版上缺陷可以修补
- 蒙膜保护防止颗粒玷污

光刻胶

~10~15nmARC（**anti-reflection coating**）

~80nmCr

熔融石英玻璃片



# 第四章 光刻原理

## 掩模版制作过程

