

中国科学院高能物理研究所

*Institute of High Energy Physics, Chinese Academy of Sciences*

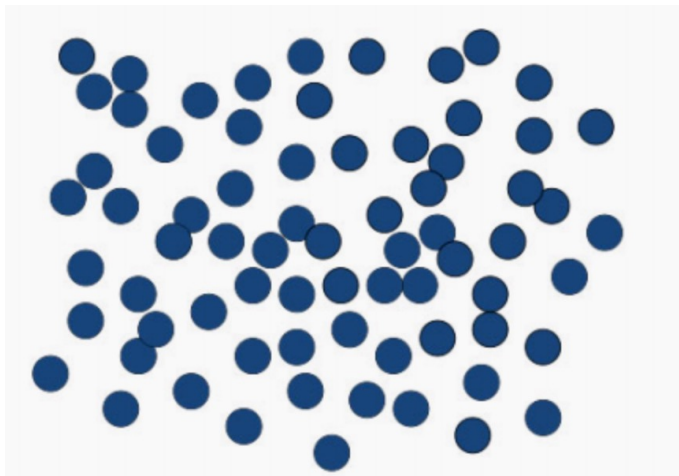
# 半导体探测器工艺

---

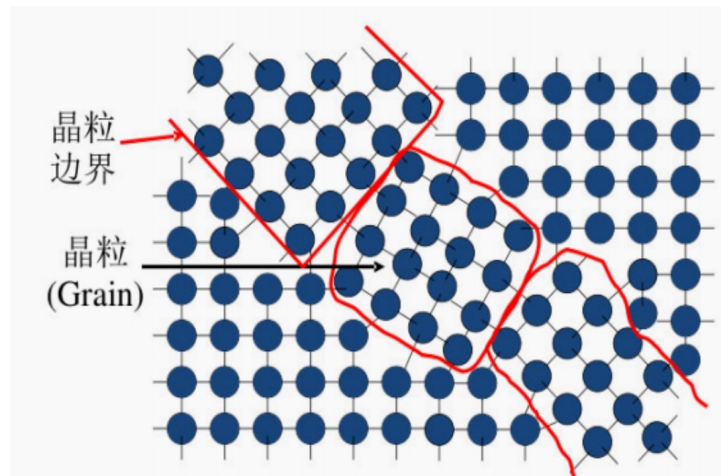
张希媛

# 晶圆制造材料

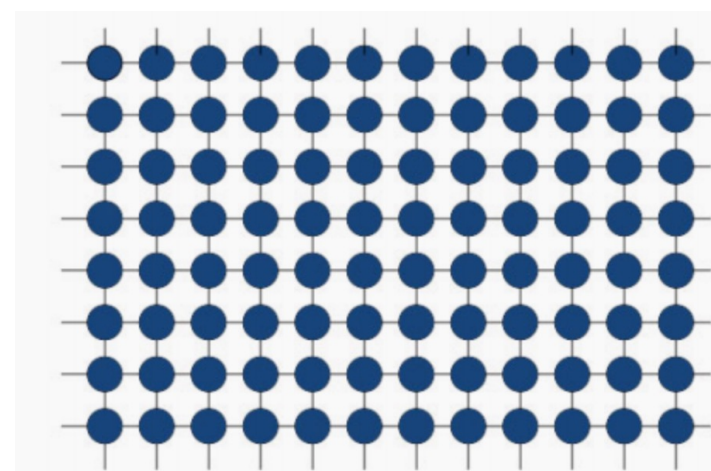
- 原子在固体材料中的排列方式：非晶态、多晶态、单晶态



原子排列无序



部分原子排列有序，  
有一定的重复模式



所有原子以重复方式排列

- 单晶材料：石英(单晶二氧化硅)、红宝石和蓝宝石，以及钻石（单晶碳）
- 半导体发展中的第一个晶体管用多晶锗制成，然而为了制造一个微型晶体管，需要单晶态半导体衬底，因为从晶粒边界散射的电子会严重影响PN结的特性。

# 晶圆制造材料

- 为什么使用硅材料？
  - 早期的半导体工业中，单晶锗用于制造二极管和晶体管等电子元件，从 20 世纪 60 年代开始，硅才来快速取代锗成为集成电路工业的主流
  - 硅是地球上最丰富的元素之一，仅次于氧
  - 成本低，以二氧化硅为主要成分的石英砂可以在大量地方找到
  - 可氧化生长二氧化硅，早期使用二氧化锗很难形成，高温下也不稳定，最致命的是其水溶性
  - 硅材料带隙大于锗，击穿电场高，且 SiO<sub>2</sub> 可以作为钝化层容易形成 MIS/MOS

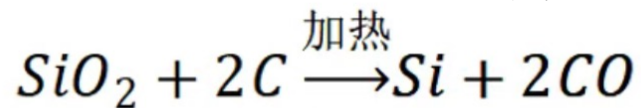
表 4.1 硅元素参数列表

名 称	硅
符号	Si
原子序数	14
原子量	28.0855
发现者	Jöns Jacob Berzelius
发现地	瑞典
发现年代	1824 年
名称来源	来自拉丁字“Silicis”，意思为燧石
单晶硅的键长	2.352 Å
固体密度	2.33 g/cm <sup>3</sup>
摩尔体积	12.06 cm <sup>3</sup>
音速	2200 m/s
硬度	6.5
电阻率	100 000 μΩ · cm
反射率	28%
熔点	1414℃
沸点	2900℃
热传导系数	150 W/(m <sup>-1</sup> · K <sup>-1</sup> )
线性热膨胀系数	2.6 × 10 <sup>-6</sup> K <sup>-1</sup>
刻蚀材料（湿法）	HNO <sub>4</sub> 和 HF, KOH, 等等
刻蚀材料（干法）	HBr, Cl <sub>2</sub> , NF <sub>3</sub> , 等等
CVD 原材料	SiH <sub>4</sub> , SiH <sub>2</sub> Cl <sub>2</sub> , SiHCl <sub>3</sub> , SiCl <sub>4</sub>

资料来源：<http://www.webelements.com/silicon/>。

# 晶圆生产技术

- 天然Si 材料形成：
- 主要原理：利用高温加热时碳与 SiO<sub>2</sub> 发生反应，C 取代 Si 形成 Si 和 CO



普通石英砂

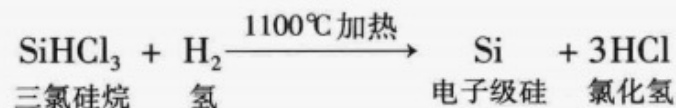
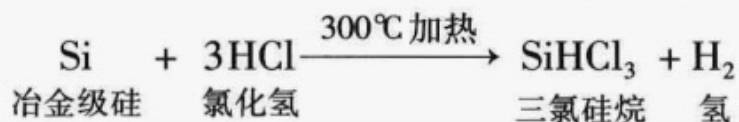


冶金级硅

- 因为硅氧之间的化学键很强，所以二氧化硅非常稳定，因此用碳进行还原需要非常高的温度。将纯的石英砂和碳放入高温炉中，反应中所有的碳并不需要有很高的纯度，因此煤、焦炭甚至木屑都可以使用
- 这个过程将产生纯度为98%~99%的多晶硅，也称为天然硅或冶金级硅

## ● Si 材料的提纯

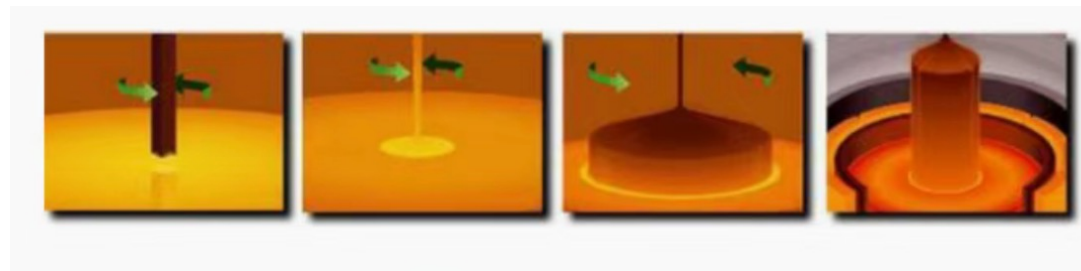
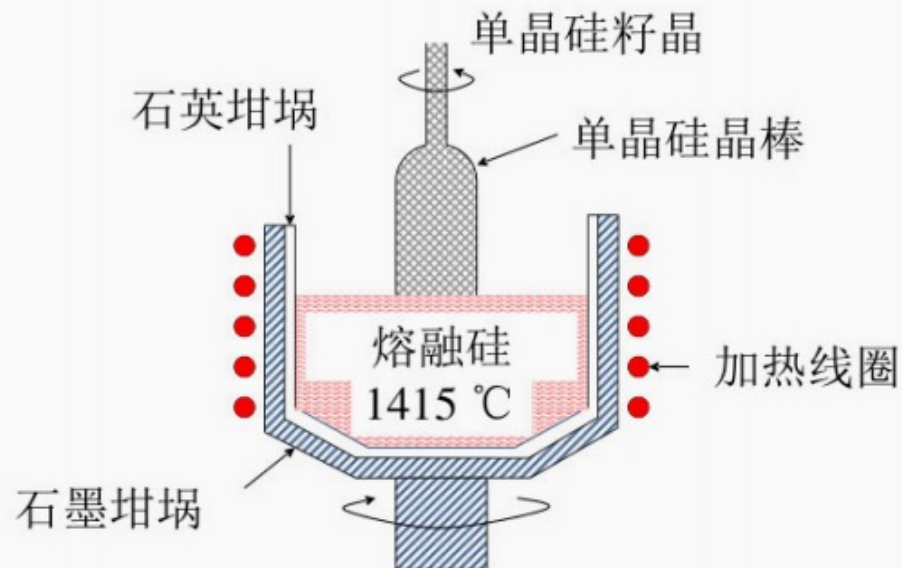
- 天然 Si 磨成很细的粉末，将 Si 粉放进反应炉内与 HCl 在 300° C 反应生成SiHCl<sub>3</sub>
- SiHCl<sub>3</sub> 在高温时可以和氢反应沉积高纯度的多晶硅



# 晶圆生产技术

- 为了制造单晶硅棒，需要通过高温过程将电子级硅和一个单晶硅籽晶一起熔化，这种熔融的硅接着就按照与籽晶相同的晶体结构凝固。半导体工业中有两种常用方法产生单晶硅，即查克洛斯基法(CZochralski method,CZ)和悬浮区熔法(Floating Zone method,FZ)。
- CZ法：更便宜、拉单晶时可掺杂、更大的晶圆（300mm）

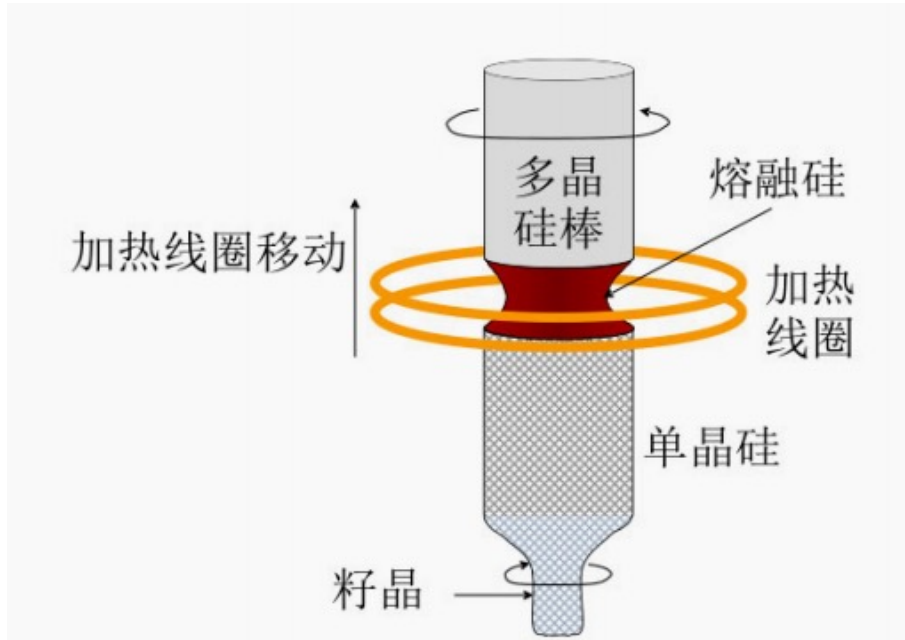
CZ法(直拉法): Czochralski发明



- 慢速转动夹具上的单晶硅籽晶棒逐渐降低到熔融的硅
- 籽晶体的表面就浸在熔融的硅中并开始熔化，籽晶晶体的温度被精确控制在刚好略低于硅的熔点(过度冷却)
- 当系统达到热稳定时，籽晶晶体就被缓慢拉出并同时把熔融的硅拉出来，使其沿籽晶晶体的方向凝固
- 晶棒是一整条单晶硅，在超过48小时的提拉过程后形成，籽晶晶体的旋转和熔化可以改善整个晶棒掺杂物的均匀性

# 晶圆生产技术

- 悬浮区熔法：纯度更高（不使用坩埚）、更昂贵、晶圆更小（150mm）、主要用于功率器件、掺杂用中子嬗变掺杂技术（均匀性高）。

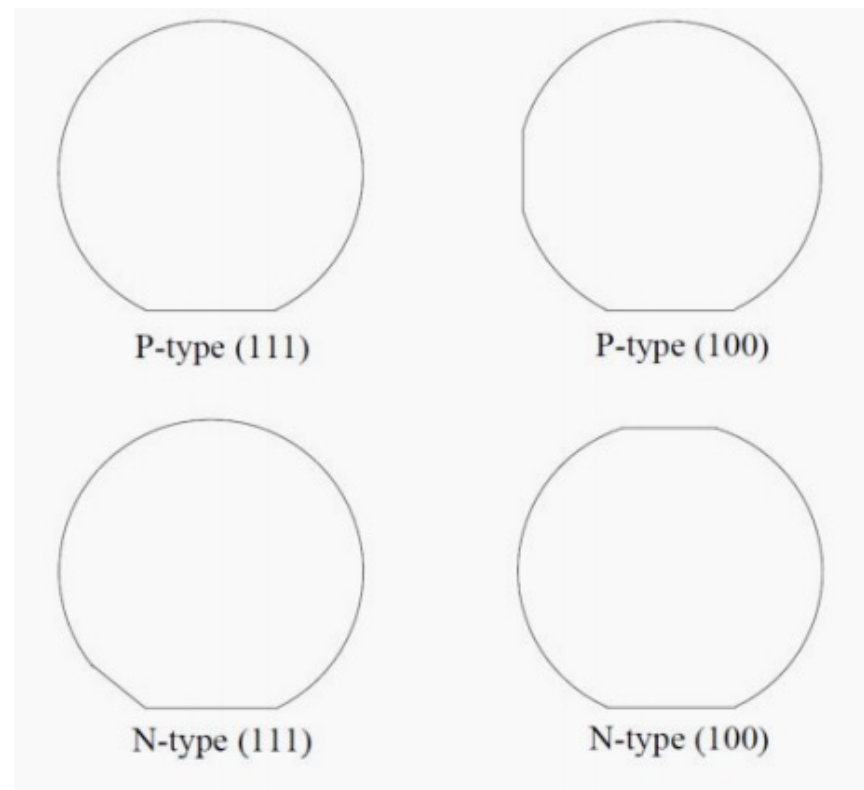
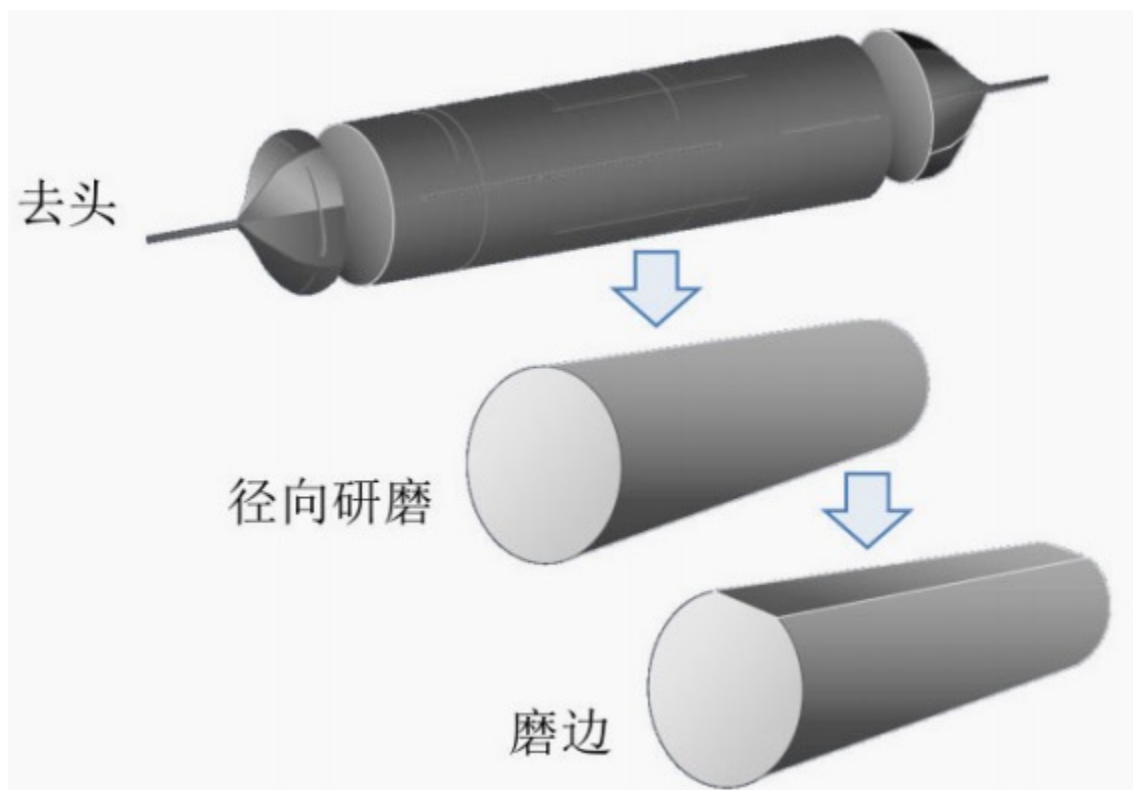


- 工艺过程是将一条长度为50~100cm的多晶硅晶棒垂直放置
- 加热线圈将多晶硅棒的低端熔化，然后把籽晶熔入已经熔化的区域。
- 熔体将通过熔融硅的表面张力而悬浮在籽晶和多晶硅棒之间，然后加热线圈并缓慢升高温度将熔融硅上方部分的多晶硅棒熔化。
- 此时靠近籽晶晶体一端的熔融硅开始凝固，形成与籽晶相同的晶体结构。
- 当加热线圈扫过整个多晶硅晶棒后，便将整个多晶硅棒转变成单晶硅晶棒。晶棒的直径主要由顶部和底部的相对旋转速率控制。

- 使用悬浮区熔法制造的最大晶圆直径为150mm（6英寸）；CZ法为量产300mm（12英寸）晶圆的标准
- 熔体与晶体的界面很复杂，很难得到无位错晶体；
- 成本很高，需要高纯度多晶硅棒作为原材料。然而在CZ法中，任何一种高纯度硅(如晶圆锯切的粉末、晶棒末端的切块和同类的材料)都可以作为原材料

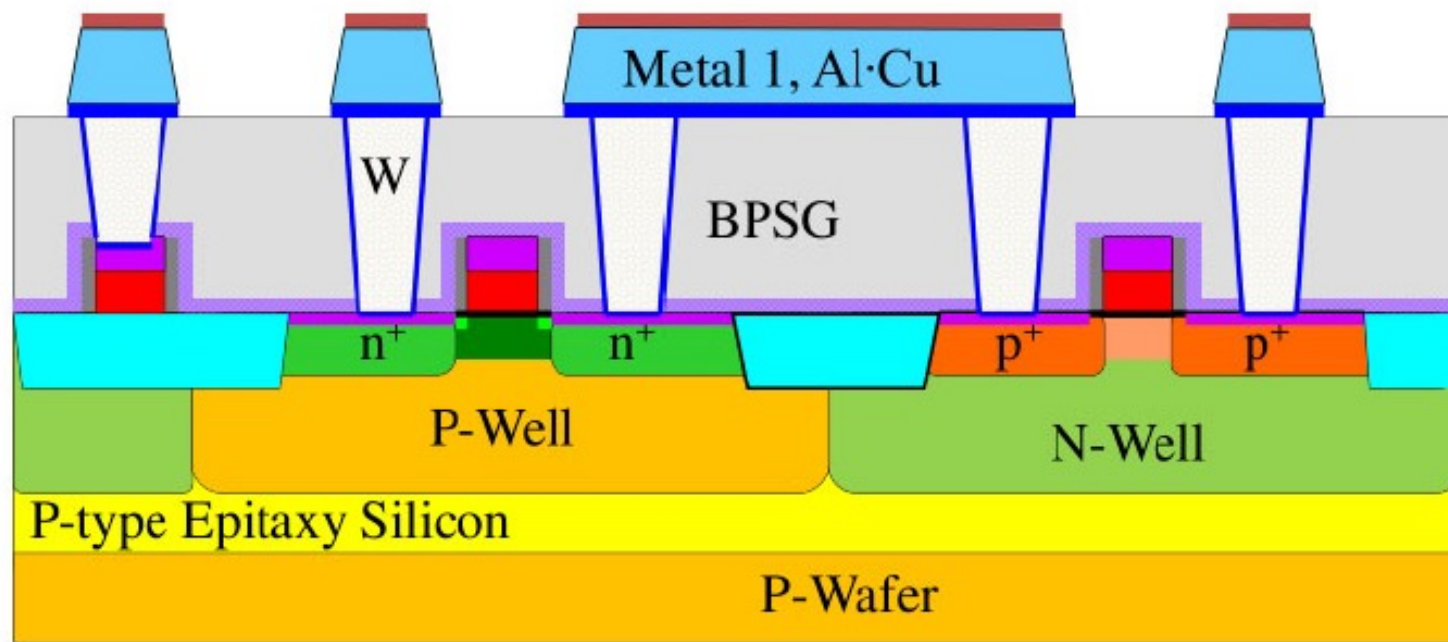
# 晶圆生产技术

- 晶圆的形成
- 机器将两边的末端切除，研磨晶棒的侧面并去除由自动化直径控制过程形成的槽沟，然后在晶棒上磨出平边(150 mm 或更小)，标示出这个晶体的晶格方向



# 外延硅生长技术

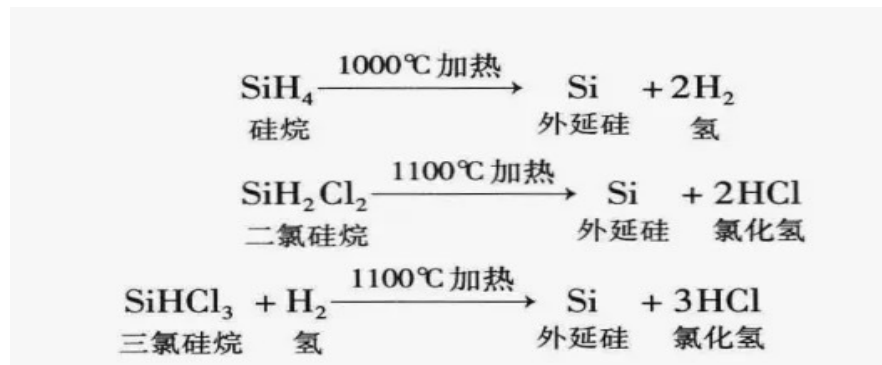
- 外延硅生长
- 外延(Epitaxy)这个词源自两个希腊字，epi的意思是在某物之上，而 taxis的意思是安排好的、有秩序的
- 外延层：在单晶衬底上生长一层薄的单晶层，外延层的氧、碳含量更低，可以改善性能



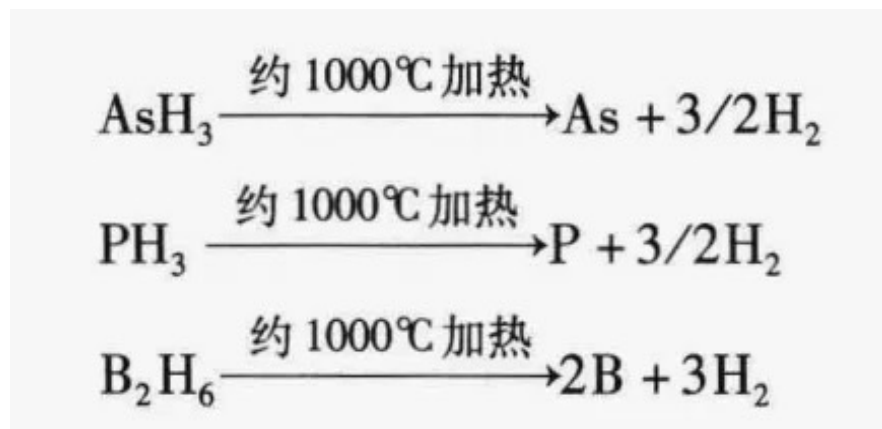
# 外延硅生长技术

- CVD外延工艺过程

- 约1000°C的高温CVD硅外延层生长是半导体工业生长单晶硅常用的方法
- 外延气源：硅烷（SiH<sub>4</sub>）、二氯硅烷（DCS,SiH<sub>2</sub>Cl<sub>2</sub>）和三氯硅烷（TCS,SiHCl<sub>3</sub>）；



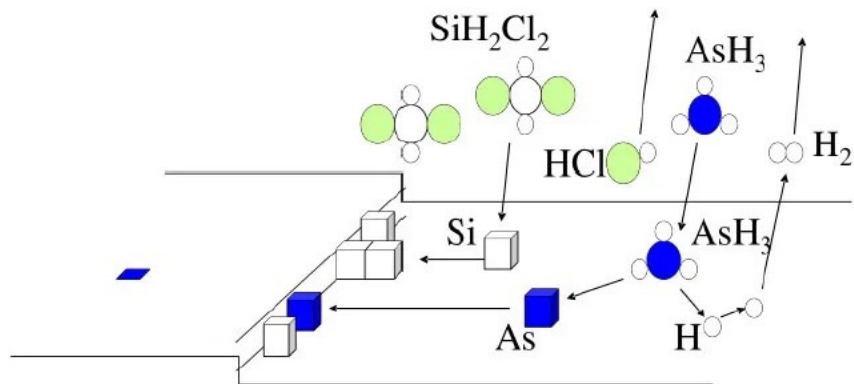
- 外延硅可以使用气相掺杂，高温情况下，这些掺杂的氢化物受热分解释放出**砷、磷、硼**进入外延硅薄膜中，这个工艺过程可以进行外延层的临场掺杂。
- **掺杂气源：砷化氢（AsH<sub>3</sub>）、三氢化磷（PH<sub>3</sub>）和氢化硼（B<sub>2</sub>H<sub>6</sub>）**



# 外延硅生长技术

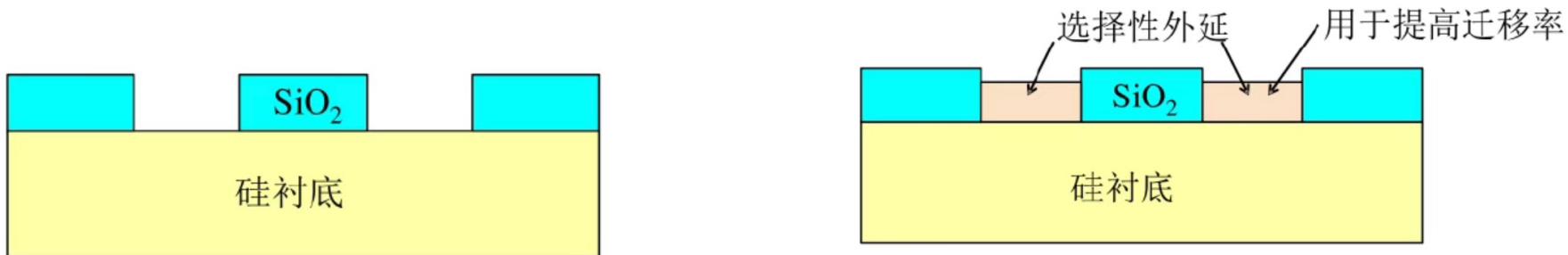
## ● 外延硅生长和掺杂工艺过程

- 首先将原材料如 $\text{SiH}_2\text{Cl}_2$ 和 $\text{AsH}_3$ ，引入反应室使原材料分子扩散到晶圆表面，
- 接着这些分子在表面上吸附、分解，最后产生反应
- 附着原子的固体副产品将在表面移动，并和其他的表面原子产生化学键形成和衬底晶体相同的晶格结构，挥发性的副产品将从高温表面脱附并扩散出去



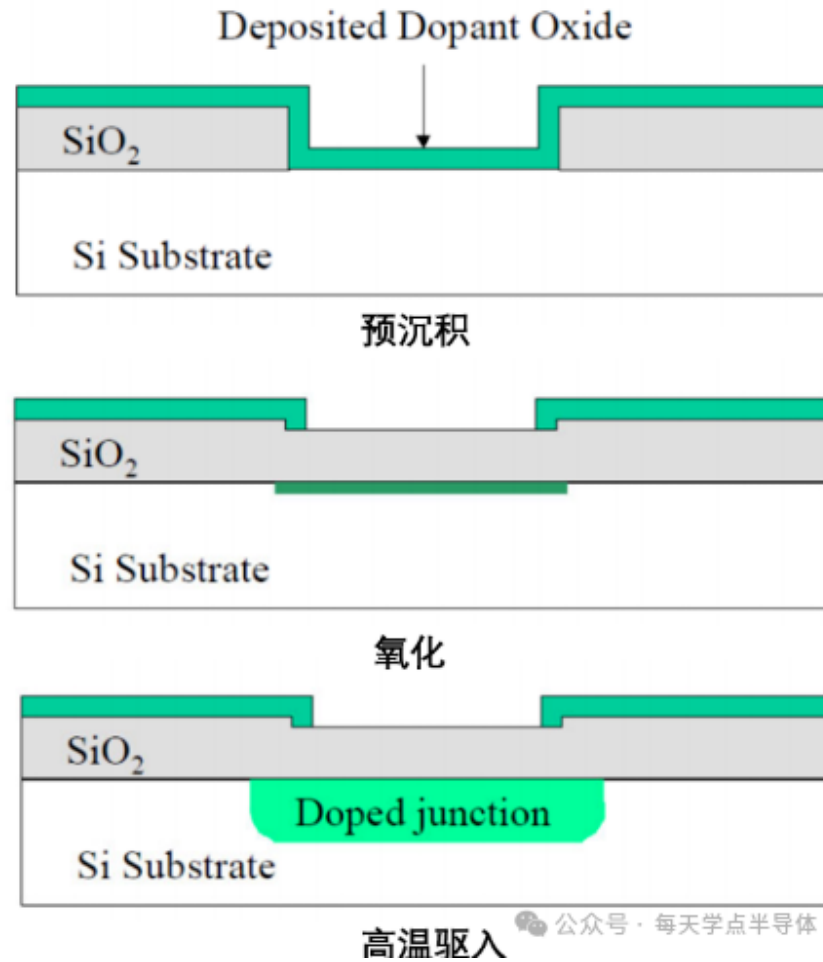
## ● 选择性外延:

选择性外延是另一个可能的发展方向，二氧化硅用于作为外延的遮蔽层，因此外延层只会在有硅暴露出的区域生长，这样可以增加元器件封装的密度和减小寄生电容



# 扩散与离子注入

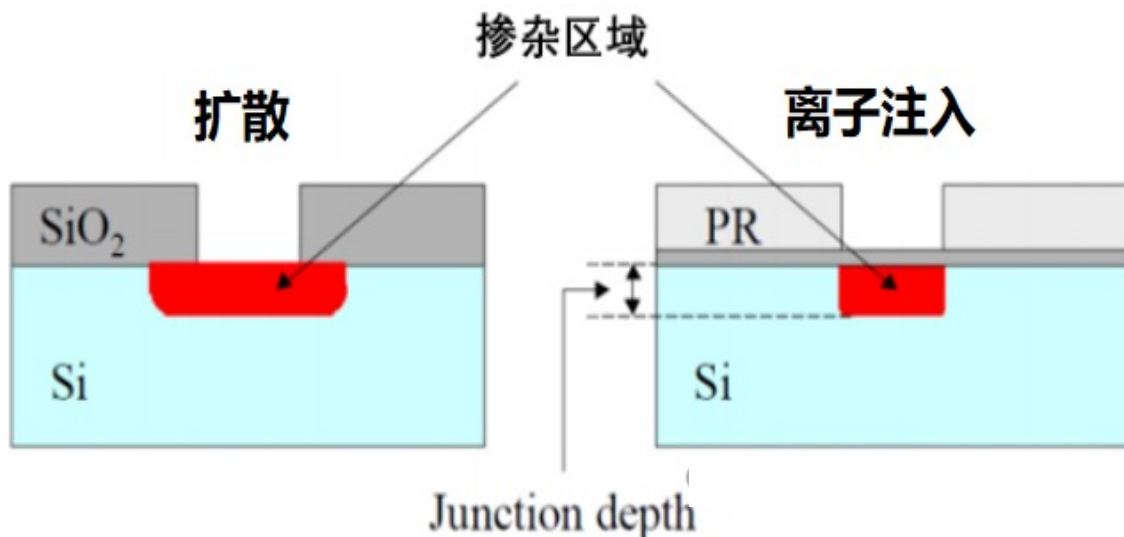
- 目的：通过掺杂改变半导体材料的导电率
- 主要方法：扩散（20世纪70年代中期之前）、离子注入
- 扩散工艺主要过程
  - 预沉积：将氧化掺杂物薄层沉积在晶圆表面；
  - 氧化：将氧化掺杂物掺入生长的二氧化硅中，并且在靠近硅与二氧化硅界面的硅衬底表面形成高浓度的掺杂物区；
  - 掺杂物高温驱入：高温离子掺杂过程是将掺杂物原子扩散进入硅衬底达到设计要求的深度；
- 扩散工艺的缺点：
  - 掺杂物浓度和结深无法独立控制；
  - 掺杂物的分布轮廓由扩散过程的自然特性造成



# 扩散与离子注入

## ● 离子注入的优点:

- 更好的工艺控制能力，可以独立控制掺杂浓度与结深；
- 离子注入可以在很广的掺杂物浓度范围内进行（ $10^{11}$ - $10^{17}$  atom/cm<sup>2</sup>）；
- 离子注入是低温过程，厚的光刻胶就可以作为阻挡层；
- 非等向性掺杂轮廓；

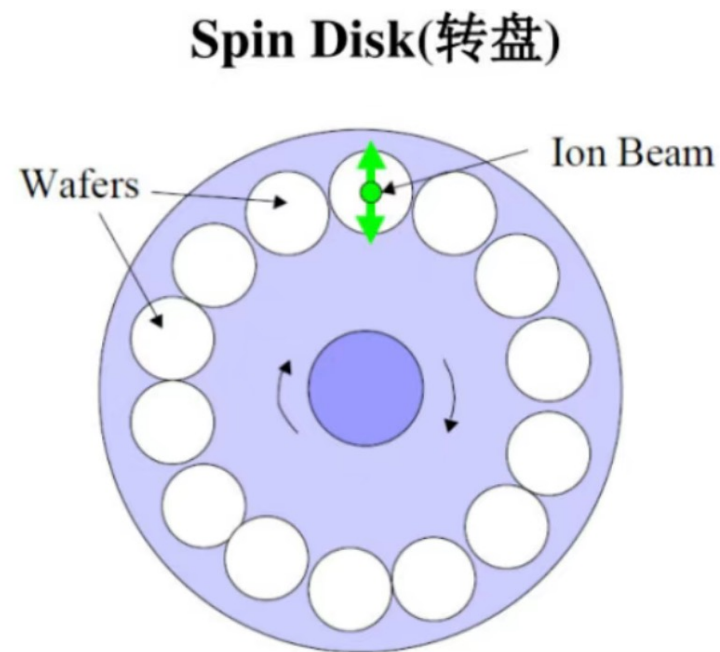
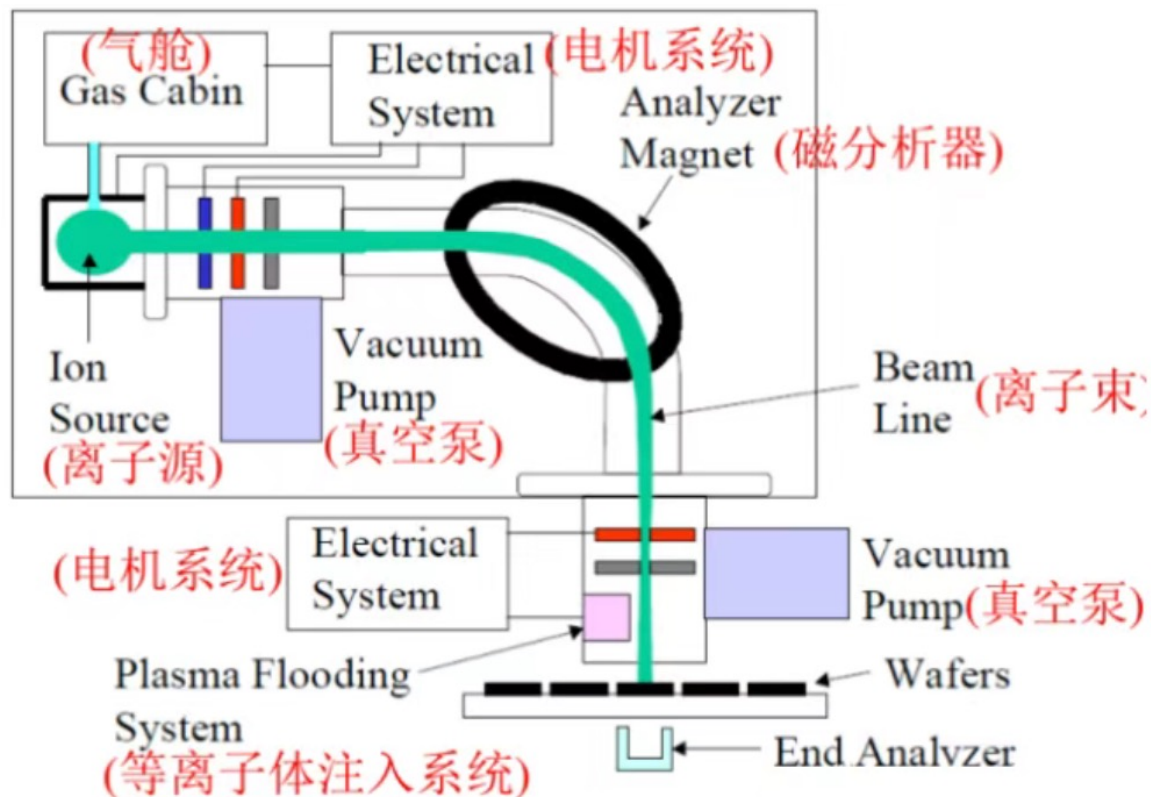


离子注入与扩散工艺比较

扩 散	离子注入
高温，硬遮蔽层	低温，光刻胶作为遮蔽层
等向性掺杂轮廓	非等向性掺杂轮廓
不能独立控制掺杂浓度和结深	可以独立控制掺杂浓度和结深
批量工艺	批量及单晶圆工艺

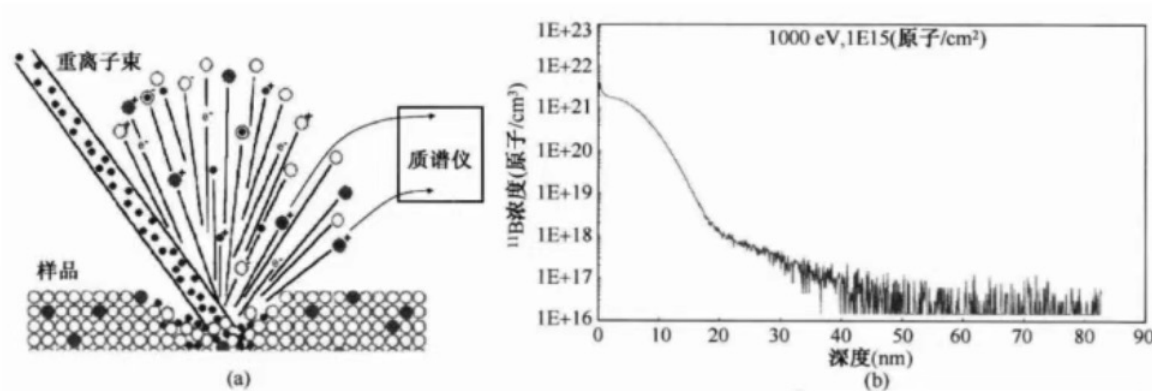
# 扩散与离子注入

离子注入机是一个非常庞大的设备，可能是半导体生产中最大的设备。离子注入机包含了几个子系统：  
气体系统、电机系统、真空系统、控制系统和最重要的射线系统。



# 离子注入工艺评估

- 离子注入工艺最重要的因素：掺杂物种类、结深、掺杂物浓度
  - 掺杂物种类：离子注入机的质谱仪可以决定
  - 掺杂物浓度：离子束电流与注入时间的乘积决定
  - 结深：掺杂物离子的能量决定
- 二次质谱仪原理：使用一个主要的重离子束轰击样品表面并收集不同时间溅射的二次离子质谱，可测量掺杂种类、掺杂浓度和掺杂浓度的深度剖面
- SIMS是一个标准的离子注入测量方法，因为它可以测量并评估所有离子注入过程中的关键因素
- 缺点：该方法是破坏性的，溅射的光斑尺寸大，速度慢



(a) SIMS 示意图; (b) 1 keV<sup>11</sup>B 离子注入的 SIMS 测量结果

# 离子注入工艺评估

- 四点探针法

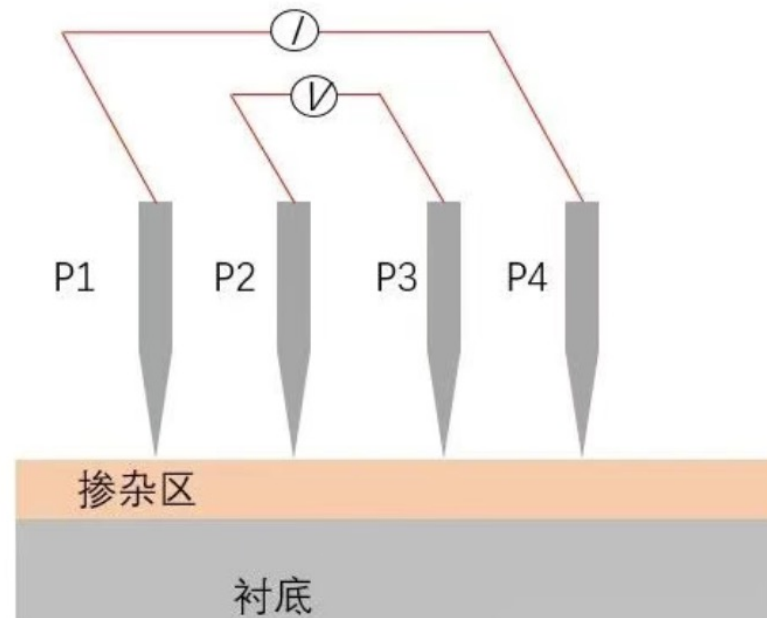
原理:

四探针法是离子注入监测中最常使用的测量工具，可以测量硅表面的薄片电阻。离子注入过程中，薄片电阻 $R_s$ ，由 $R_s = \rho/t$ 定义

电阻系数 $\rho$ : 由掺杂物浓度决定;

厚度 $t$ : 主要由掺杂结深决定，结深由掺杂物离子的能量决定。

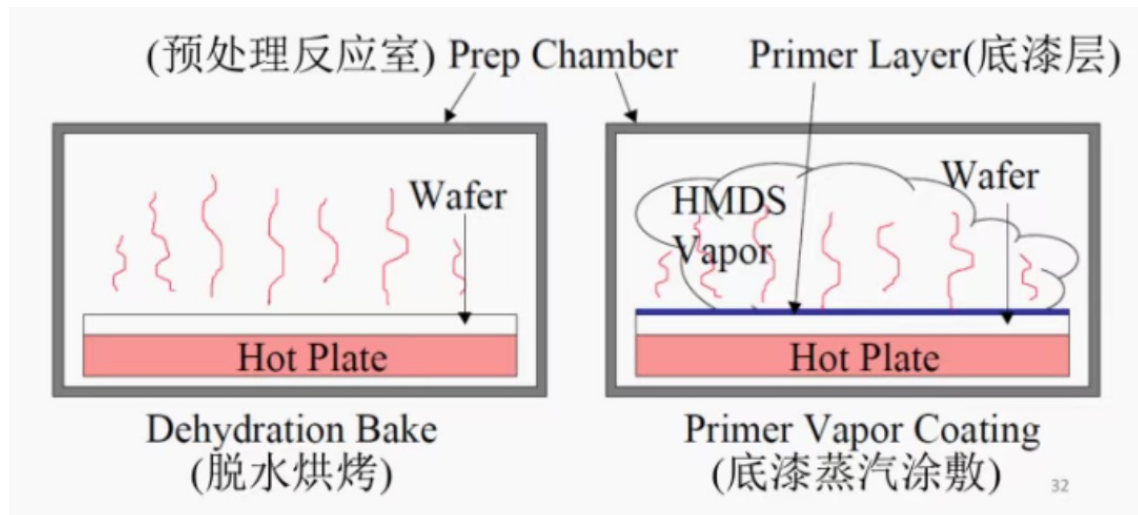
薄片电阻的测量可以提供有关掺杂物浓度的信息，因为结深可以由已知的离子能量、离子种类和衬底材料估计



- 热波法
- 光电  $R_s$  测量

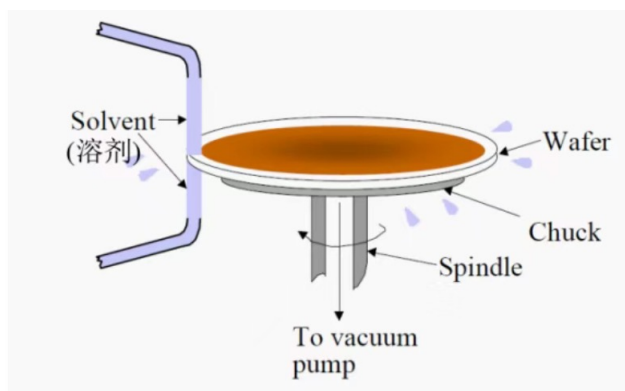
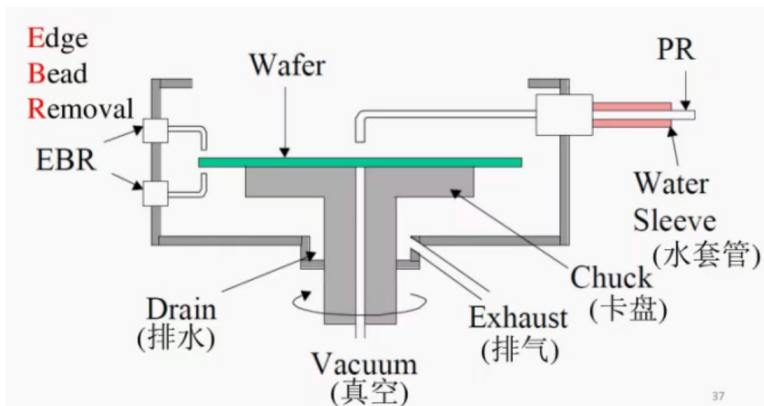
# 光刻工艺

- 光刻工艺的主要流程
- 晶圆清洗：化学清洗（溶剂、酸液去除有机和无机污染物），清洗后再用超纯水洗涤和甩干
- 预处理
  - 前烘：去除晶圆表面湿气，干净脱水的表面利于光刻胶附着，光刻胶附着差，导致图形化失效
  - 烘烤条件：150~200 °C，1~2min
  - 底漆层涂敷：增强光刻胶粘附能力，一般使用HMDS（Hexamethyldisilazane，六甲基二戊烷）
  - 预处理后，旋涂光刻胶之前需要在冷板上降温

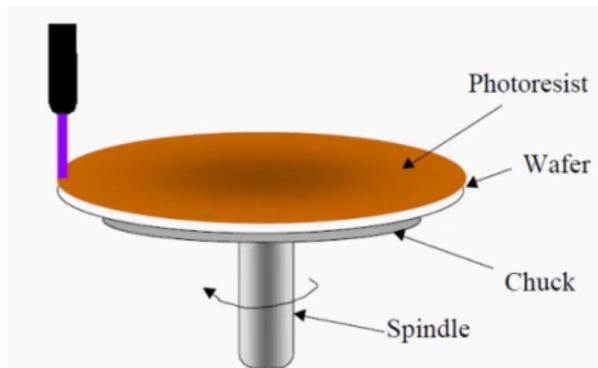


# 光刻工艺

- 涂胶：旋涂法，晶圆放置在真空吸盘上，利用高速旋涂时形成的离心力将光刻胶均匀涂覆在晶圆表面
- 边缘球状物移除（EBR）技术：晶圆边缘的光刻胶回覆盖堆积在一起，形成球状物，易在后续工艺中引入颗粒污染，因此需采用EBR技术去除边缘的光刻胶。
- EBR技术可采用化学与光学的方法，化学方法主要采用溶剂溶解晶圆边缘的光刻胶，并将其冲走。

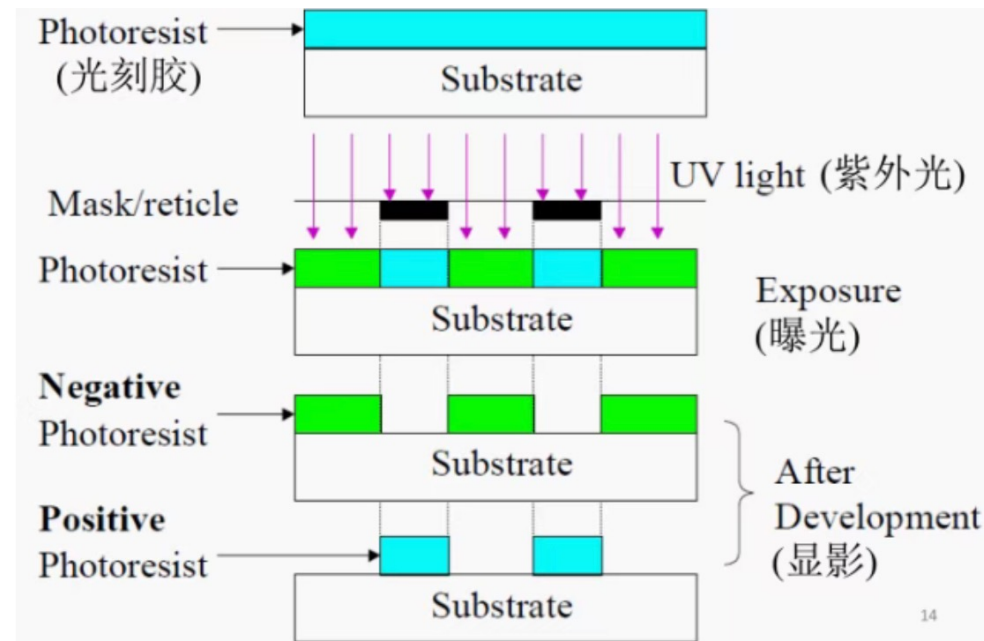


- 光学方法主要讲晶圆边缘部分曝光，通过显影去除



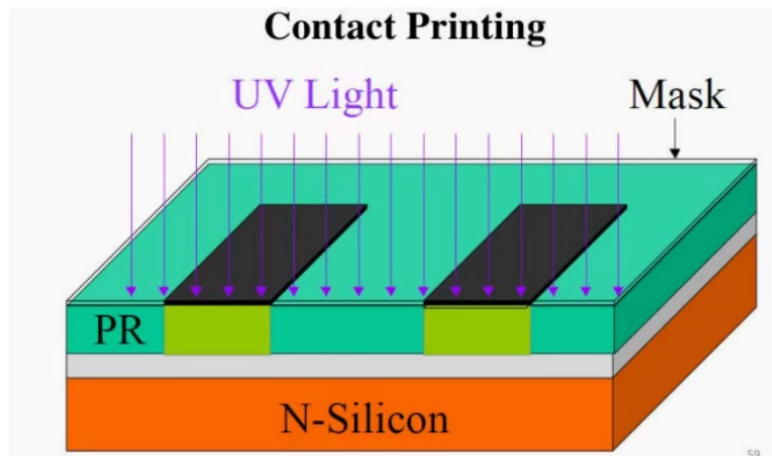
# 光刻工艺

- 光刻胶：一种临时涂敷在晶圆表面上的感光材料，可将光刻版或倍缩光刻版上的光学图形转印到晶圆表面
- 由于光刻胶只对紫外线感光而对可见光不感光，所以光刻技术并不需要类似于冲洗底片的暗室。而且光刻胶对黄光不感光，因此所有的半导体工艺间都使用黄光照明光刻区域，这就是所谓的**黄光区**
- 正胶：曝光部分去除；
- 负胶：曝光部分保留；
- 正胶分辨率更高；
- 光刻胶薄膜越薄，分辨率就越高。但光刻胶薄膜越薄，抗刻蚀和离子注入的能力也就越低。
- 光刻胶的自由度包括光刻胶对不同旋转速率、烘烤温度及曝光量的容许度。工艺的**自由度越大，也就越稳定**



# 光刻工艺

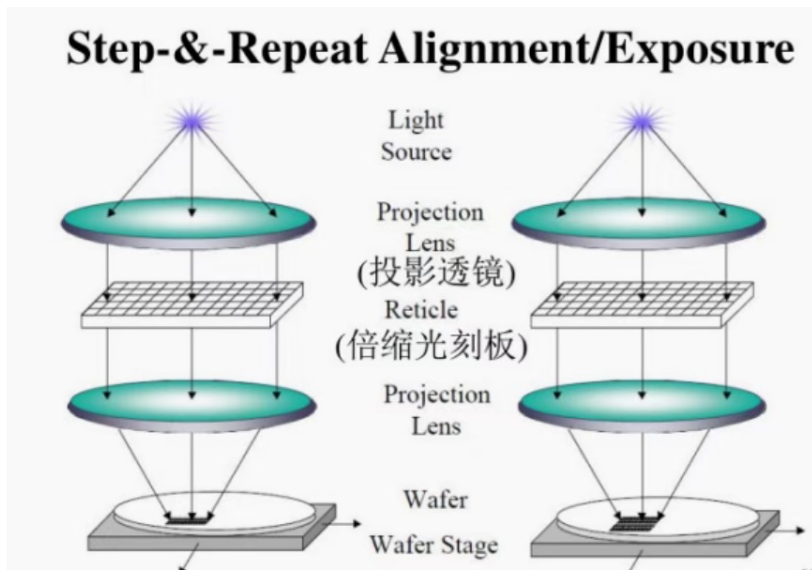
- 软烘烤：光刻胶涂覆后进行的烘烤：增强光刻胶粘附，祛除光刻胶中的大量溶剂，是光刻胶从液态转为固态
- 烘烤不足会导致光刻胶脱落，光刻胶内残留的过多溶剂也会导致曝光不灵敏，分辨率下降；烘烤不足还会在晶圆上形成模糊的图像。烘烤过度也会导致曝光不灵敏
- 软烘烤之后，晶圆被放在冷却平板上冷却到室温。在对准和曝光过程中，晶圆的温度必须保持不变，因为热膨胀会使300mm 的硅晶圆在1°C的温差下产生0.75 $\mu\text{m}$ 的尺寸差距
- 对准和曝光：光刻技术中最关键的工艺过程。这个工艺技术决定是否能成功地将光刻版或倍缩光刻版上的集成电路设计图形转移到晶圆表面的光刻胶上
- **接触式：**最简单的曝光系统，分辨率在亚微米级别；接触式投影工艺中，光刻版与晶圆上的光刻胶直接接触（间距1~2 $\mu\text{m}$ ），紫外线从光刻版的透明区域穿过并将下面的光刻胶曝光。光刻版上的微粒容易在晶圆上形成缺陷，光刻板寿命也短。



# 光刻工艺

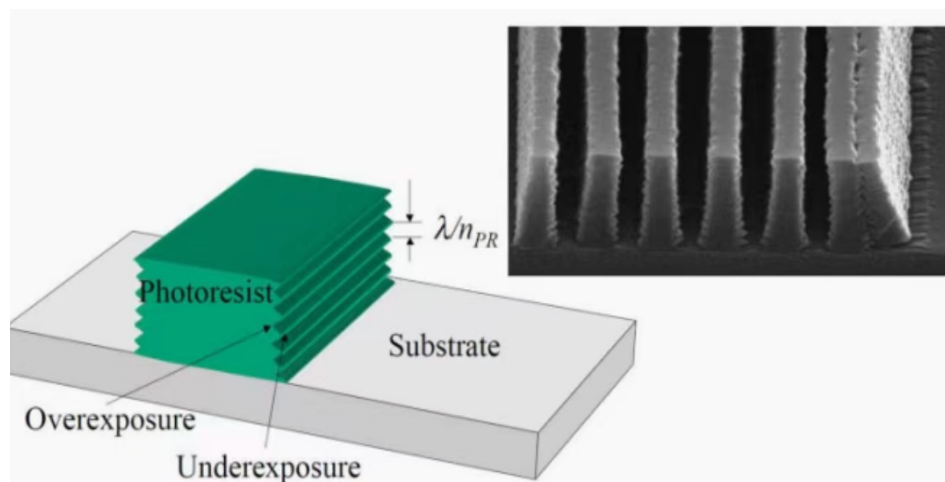
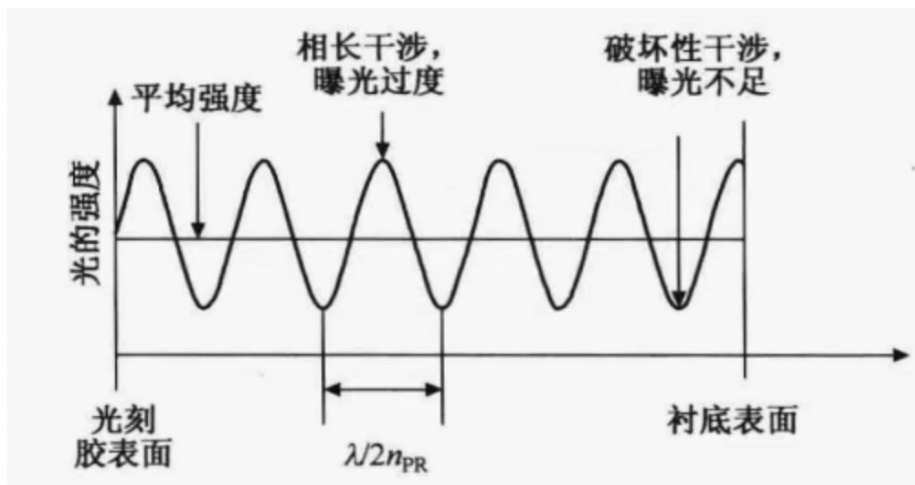
- **步进机：精度~0.25um；价格昂贵**

- 步进机系统比其他光学曝光系统复杂。比如，步进机的每个曝光过程都需要对准，而且每个晶圆需要20~ 100次的曝光才能覆盖整个晶圆
- 接触式曝光机对每个晶圆只需对准一次。对于亚微米的光刻技术，对准的容错空间非常小。为了满足一定的生产量，每一个对准与曝光过程只允许花费1~2s的时间，因此步进机系统需要一个自动的对准系统
- 许多应用于亚微米半导体制造的光刻胶，当软烘烤完成时必须尽快曝光，否则曝光的分辨率就可能因为光刻胶内的感光剂产生衰退而受到影响。因此在大部分生产中，步进机与晶圆轨道系统内的涂敷机和显影机整合成一体



# 光刻工艺

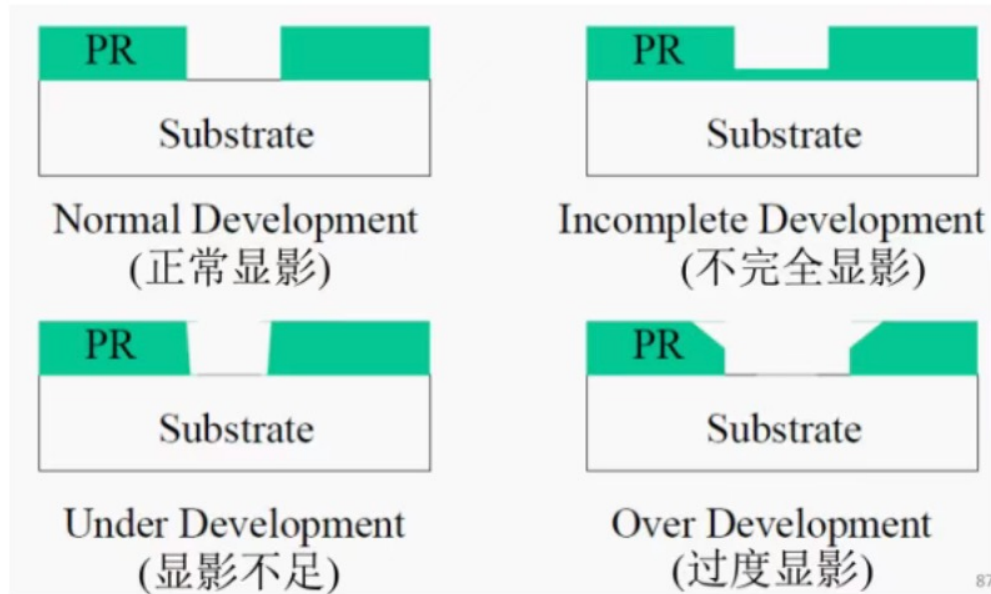
- 曝光后烘烤
- 曝光的光线从光刻胶与衬底的界面反射，会与入射的曝光光线产生干涉，并通过不同深度的相长干涉以及破坏性干涉产生驻波效应
- 驻波效应将在光刻胶层的曝光过度及曝光不足区域形成条纹状结构。



- 通过曝光后烘烤 (PEB) 过程降低
- 光刻胶内加染料可以减小反射强度
- 在晶圆表面沉积金属薄膜与电介质层作为抗反射镀膜层(ARC)可以减少晶圆表面的反射。
- 有机的抗反射镀膜层，这种镀膜层可以在光刻胶旋转涂敷之前使用光刻胶自旋涂敷机涂敷到晶圆表面

# 光刻工艺

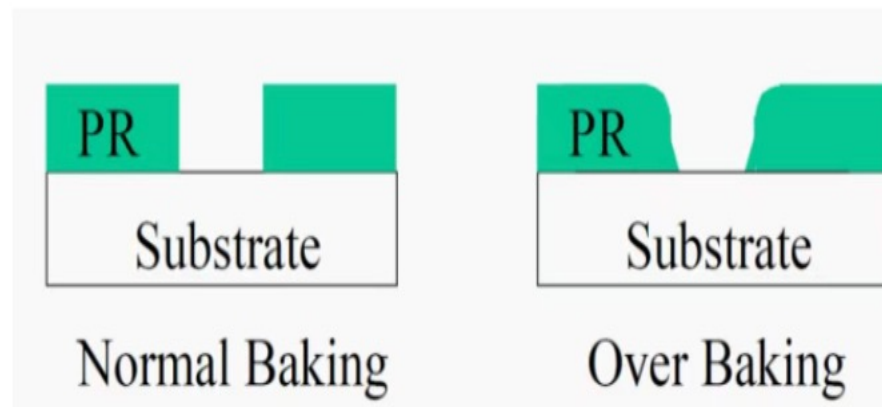
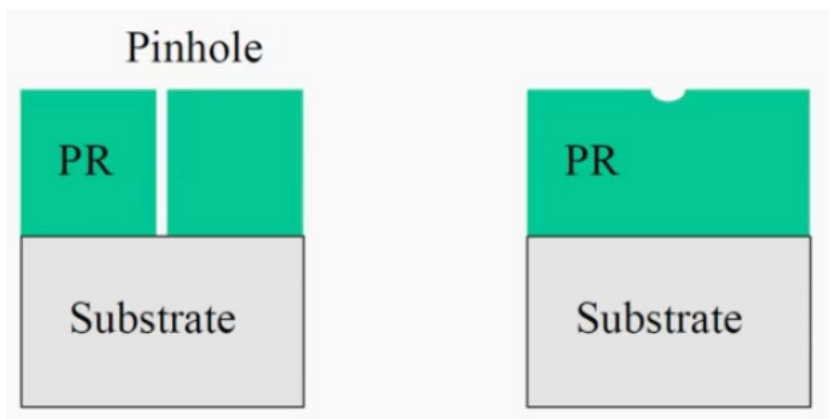
- 显影：显影会去除不必要的光刻胶，形成由光刻版定义的图像
- 正胶通常使用弱碱物质作为显影剂。最常使用氢氧化四甲基氨——TMAH( (CH<sub>3</sub>)<sub>4</sub>NOH)
- 负光刻胶最常使用的显影剂是二甲苯，乙酸丁酯通常用做洗涤。



- 显影过程中，曝光的光刻胶与未曝光的光刻胶都会溶解在显影剂中，二者之间的选择性必须足够高，以获得良好的分辨率。
- 对于显影过程，温度的控制(包括显影剂温度和晶圆温度)非常重要。不同的光刻胶使用不同的显影剂，而且显影温度也不同。

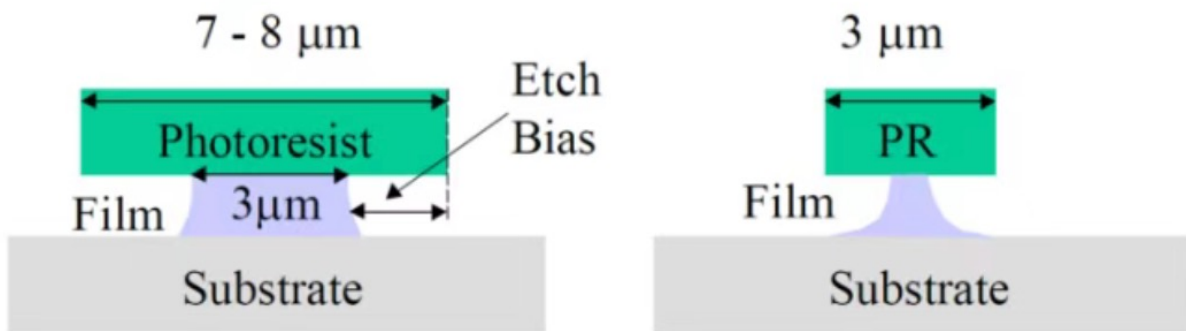
# 光刻工艺

- 硬烘烤：
  - 显影之后，晶圆将通过一个硬烘烤过程。硬烘烤会除去光刻胶内的残余溶剂、增加光刻胶的强度，并通过进一步的聚合作用改进光刻胶刻蚀与离子注入的抵抗力，同时由于进一步的加热脱水而增强了光刻胶在晶圆上的附着力。
  - 硬烘烤的时间和温度需要精确控制，因为烘烤不足会造成光刻胶的高刻蚀速率，并影响光刻胶在晶圆上的附着力，烘烤过度则会造成低的分辨率。

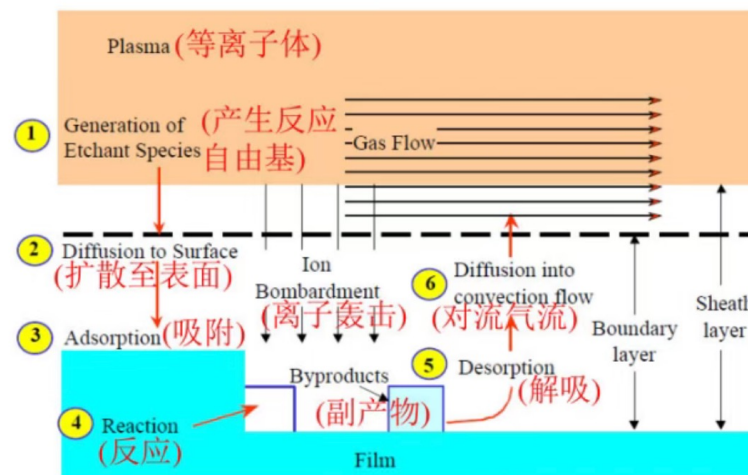


# 刻蚀工艺

- 湿法刻蚀：用化学溶液将未被光刻胶覆盖的材料溶解达到图形转移
- 当图形尺寸缩小到**3um**以下时，湿法刻蚀就逐渐被干法刻蚀取代，这是因为湿法刻蚀为等向性刻蚀，会造成光刻胶底切效应以及关键尺寸损失。

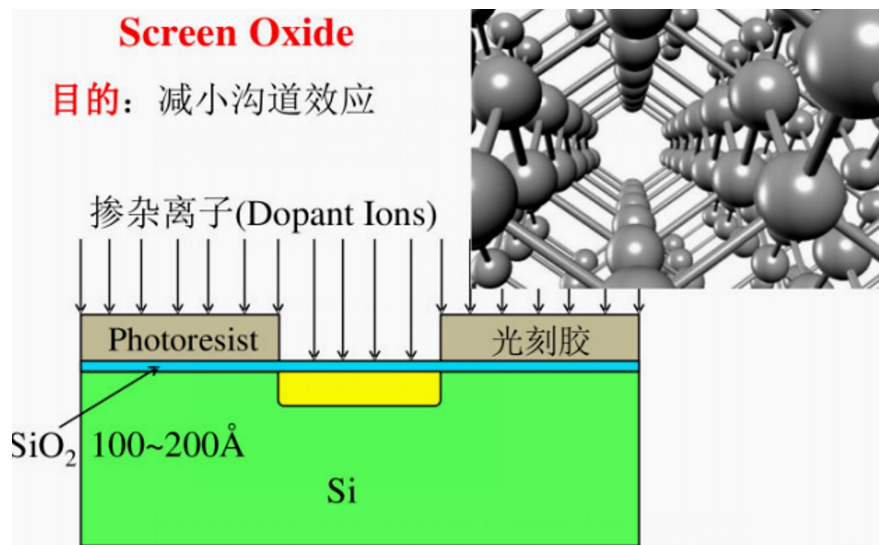


- 等离子体刻蚀：首先将刻蚀气体注入真空反应室。
- 当压力稳定后再利用射频产生辉光放电等离子体。
- 部分刻蚀剂受高速电子撞击后将分解产生自由基，接着自由基扩散到边界层下的晶圆表面并被表面吸附。
- 在离子轰击作用下，自由基很快和表面的原子或分子发生反应而形成气态的副产品。
- 从晶圆表面脱附而出的易挥发性副产品扩散穿过边界层进入对流气流中，并从反应室中排出。



# 氧化工艺

- 离子注入工艺通常使用屏蔽氧化层，阻挡光刻胶以避免硅片受污染，也可以在离子进入单晶硅之前先将离子散射以减小沟道效应。屏蔽氧化层的厚度大约为**100~200Å**。下图显示了屏蔽氧化层在离子注入方面的应用。



**离子注入的沟道效应：**离子注入中的沟道效应（Channeling Effect）是指在晶体材料中，注入的离子沿着晶体原子排列较为稀疏的方向穿透得比预期更深的现象。这种效应会导致离子注入的深度与分布与设计预期不符，从而影响器件的性能和一致性。

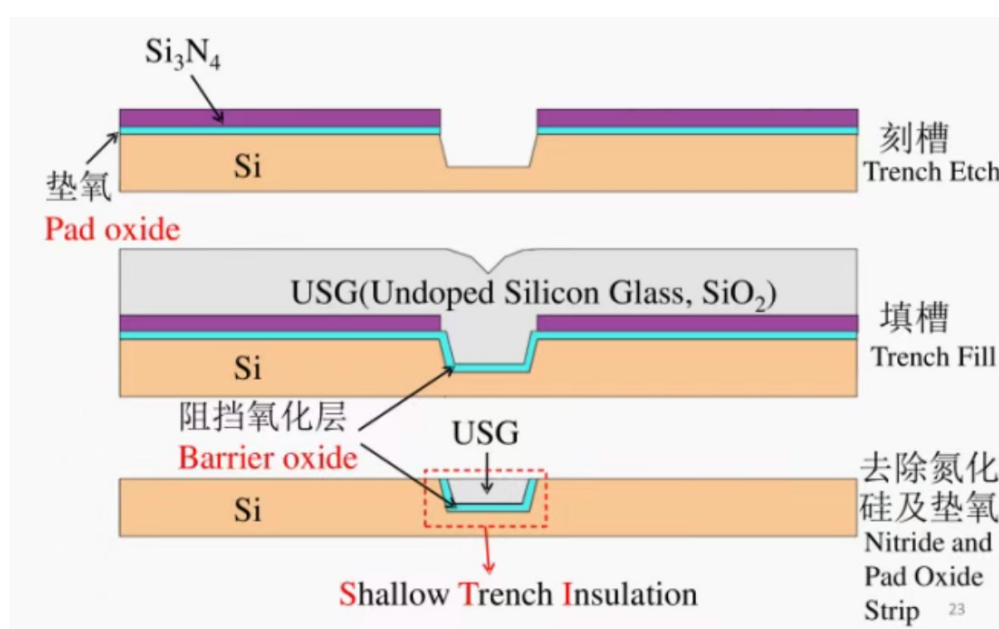
# 氧化工艺

## ● 离子注入过程中如何减少沟道效应？

- **调整离子注入角度：**通过调整离子注入的角度，使离子的入射方向与晶格沟道不对齐，可以显著减少沟道效应。常见的做法是将注入角度设为**晶面法线的7度到10度之间**，这有助于打乱离子的路径，减少沿通沟穿透的概率。
- **表面无序化处理：**在顶部沉积非晶材料，如氧化硅。氧化硅必须非常薄，大概在十几个纳米左右。这样可以改变离子注入过程中的局部结构环境。非晶态薄膜由于其无序的原子排列，没有晶格沟道，因此可以有效地打乱进入离子的路径，降低其沿晶格沟道直接穿透到深层的可能性。
- **注入前无定形处理：**通过预先注入某些轻离子（如氢或氦），在晶格中引入缺陷，这些缺陷可以作为散射中心，减少后续掺杂离子的沟道穿透。

# 氧化工艺

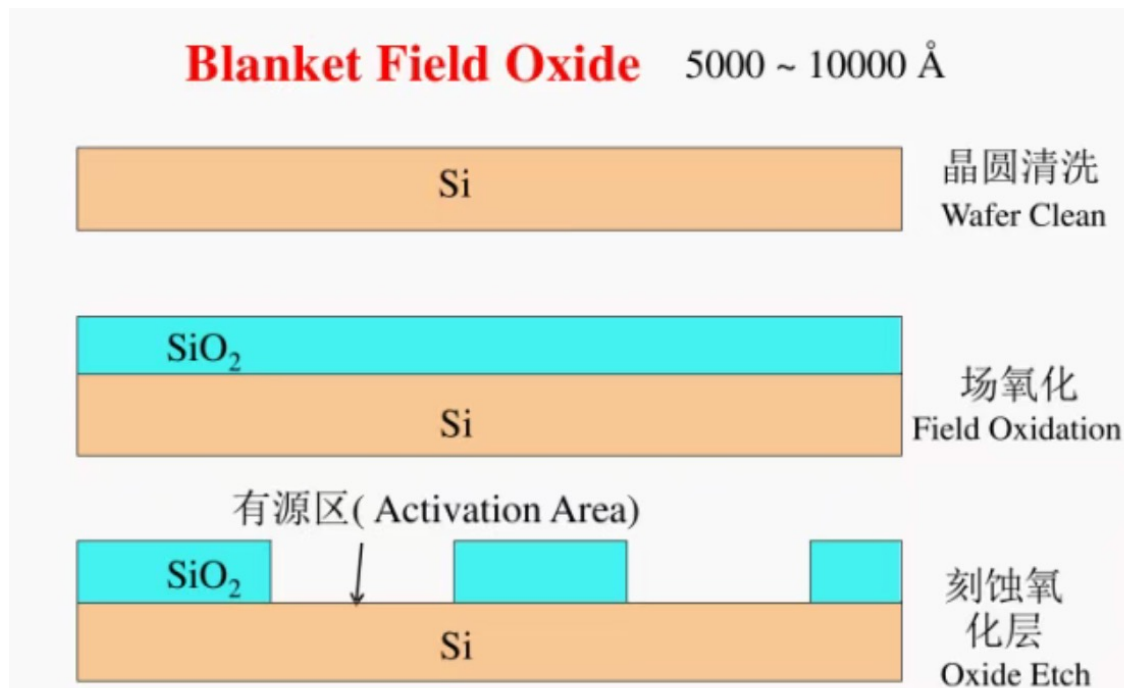
- 高温生长的二氧化硅在硅的局部氧化（LOCOS）和浅沟槽隔离（Shallow Trench Isolation, STI）形成时作为氮化硅的衬垫层。如果没有二氧化硅垫层作为应力缓冲，氮化硅的张力将导致硅晶圆产生裂缝甚至破裂。衬垫层的厚度大约为**150Å**。
- 进行STI 浅沟槽填充工艺之前，二氧化硅可以用于作为阻挡层以防止硅片受到污染。浅沟槽填充是一种电介质化学气相沉积过程，使用未掺杂硅玻璃(Undoped Silicate Glass, USG)的沉积填充浅沟槽来隔离相邻晶体管的电性能。由于化学气相沉积总是带有少量杂质，所以必须有一层致密的热生长二氧化硅阻挡层阻挡可能的污染物。



# 氧化工艺

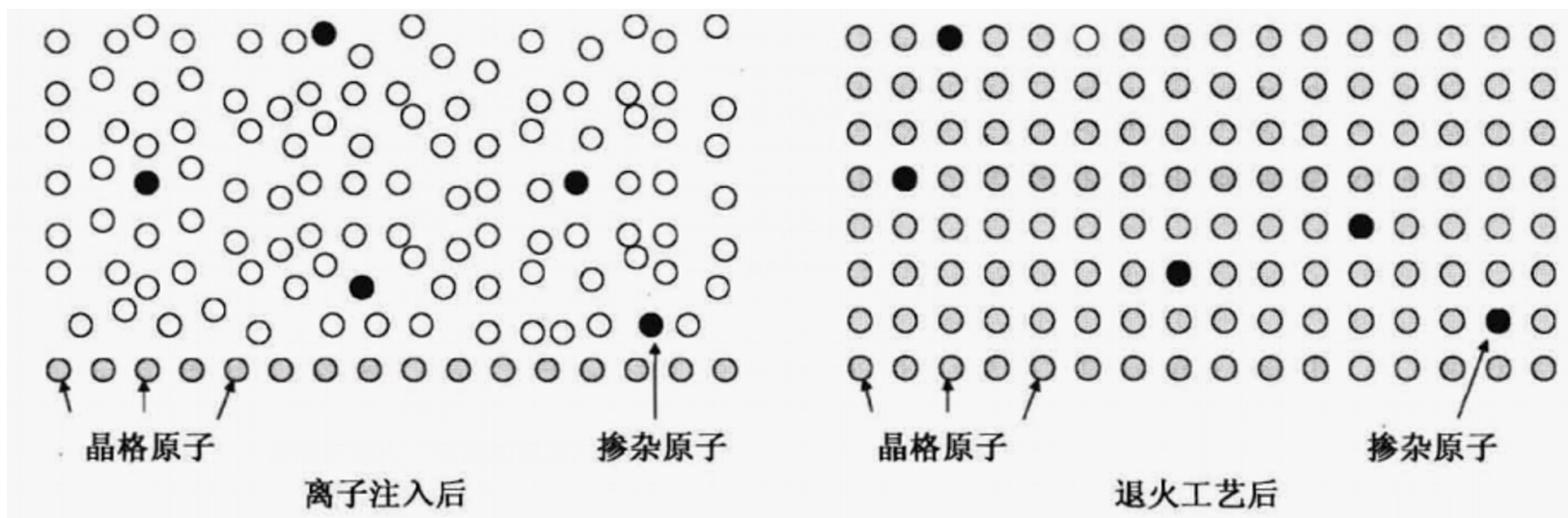
- 场氧:

整面全区覆盖式氧化层是最简单的隔离工艺，早期的半导体生产普遍使用这种技术。热生长一层**5000~10000Å**的二氧化硅，通过光刻技术使其图形化，再用**氢氟酸刻蚀氧化层**，接着将器件区打开后就可以开始晶体管的制造过程了。

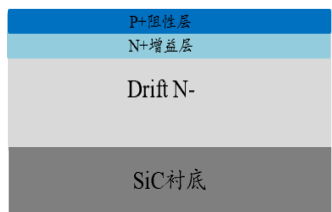


# 退火工艺

- 离子注入后退火
- 目的：晶格修复
- 离子注入过程中，高能掺杂物离子将对靠近晶圆表面的硅晶体结构造成破坏。为了满足元器件性能的要求，必须利用退火工艺将晶格的损伤修复，使其恢复单晶结构并激活掺杂物。当掺杂物原子在单晶晶格位置时，才能有效提供电子或空穴作为传导电流的主要载流子。
- 高温工艺中，原子利用热能快速移动，并寻找停留在自由能最低的单晶晶格位置，这样就修复了单晶的结构。



# 器件流片流程



① 全外延结构



② 刻蚀终端过刻至增益层以下



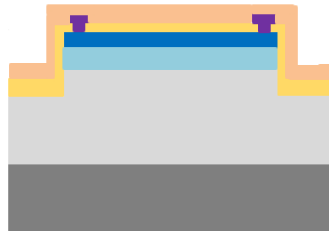
③ 热氧化+钝化层100nm



④ 刻蚀钝化层



⑤ 磁控溅射欧姆接触金属电极  
Ni/Ti/Al



⑥ 钝化层沉积50/200/400nm



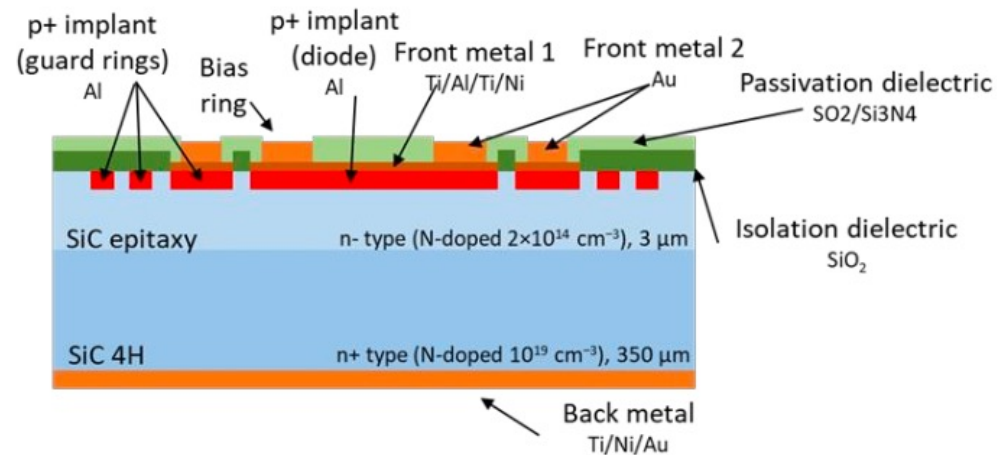
⑦ 刻蚀钝化层



⑧ 沉积PAD金属+场板



⑨ 衬底减薄+背底金属沉积



思考：如果不用刻蚀终端，采用保护环终端等注入终端；不用全外延生长，采用离子注入应该如何设计工艺流程呢？

# 绘制光刻板

<https://gdsfactory.github.io/gdsfactory/index.html>

<https://www.klayout.de/>

## GDSFactory 9.43.0

build docs passing pypi v9.43.0 python 3.11 | 3.12 | 3.13 downloads 5M license MIT coverage 74% launch binder

GDSFactory is a Python library for designing chips (Photonics, Analog, Quantum, MEMS), PCBs, and 3D-printable objects. We aim to make hardware design accessible, intuitive, and fun—empowering everyone to build the future.

As input you write python code, as an output GDSFactory creates CAD files (GDS, OASIS, STL, GERBER).

1. Run Python Code

```
import gdsfactory as gf

c = gf.Component()
ref1 = c.add_ref(gf.components.rectangle(size=(10, 10), layer=(1, 0)))
ref2 = c.add_ref(gf.components.text("Hello", size=10, layer=(2, 0)))
ref3 = c.add_ref(gf.components.text("world", size=10, layer=(2, 0)))

ref3.xmax = ref2.xmin - 1
ref3.xmin = ref2.xmax + 1
ref3.rotate(10)
c.show()
```

2. Write CAD (GDS, OASIS, STL, GERBER)

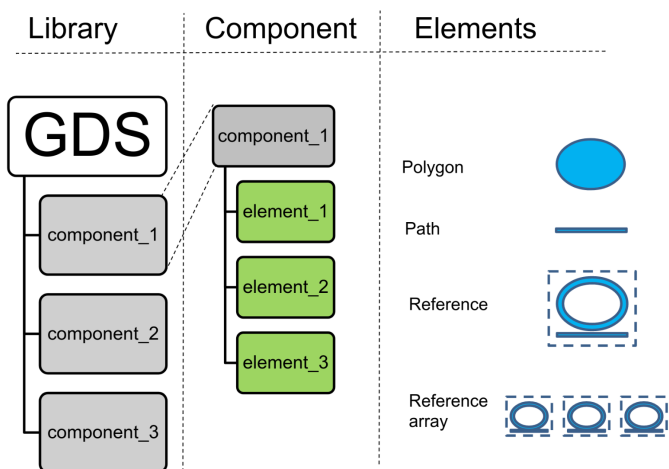
3. Run simulations

KLayout About Get KLayout Package Index Forum FSi

FSiC Conference 2026 in Ljubljana, 6-8 July

Registration closes 22 June. Talks on open EDA, open hardware, education, licensing.

Register Now



KLayout - Your Mask Layout Friend

# 绘制光刻板

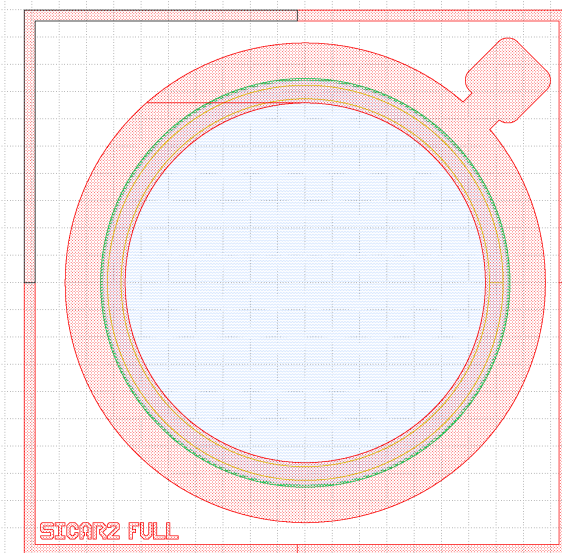
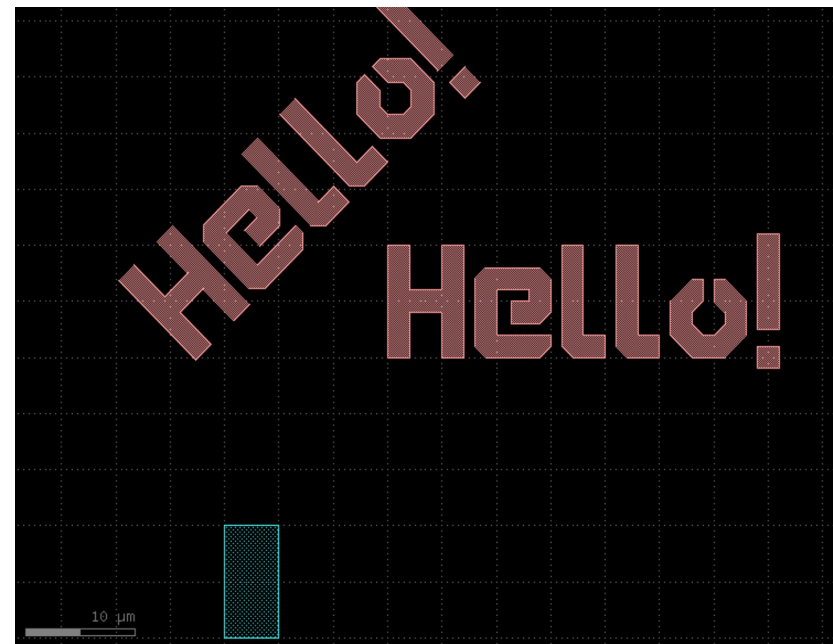
```
c = gf.Component()

# Create some new geometry from the functions available in the geometry library.
t = gf.components.text("Hello!")
r = gf.components.rectangle(size=(5, 10), layer=(2, 0))

# Add references to the new geometry to c, our blank component.
text1 = c.add_ref(t) # Add the text we created as a reference.
# Using the << operator (identical to add_ref()), add the same geometry a second time.
text2 = c << t
r = c << r # Add the rectangle we created.

# Now that the geometry has been added to "c", we can move everything around:
text1.movey(25)
text2.move((5, 30))
text2.rotate(45)
r.movex(-15)

print(c)
c.plot()
```





谢

谢

观

看