



# 太阳能利用技术



## 第四章

### 晶硅太阳能电池 的生产工艺

张 涛

工程热物理



## 教学要求：

了解：太阳能电池的不同分类；

掌握：太阳电池的工作原理-光生伏特效应；太阳电池的光学特性；

应用：根据太阳电池的结构得到太阳电池的等效电路；

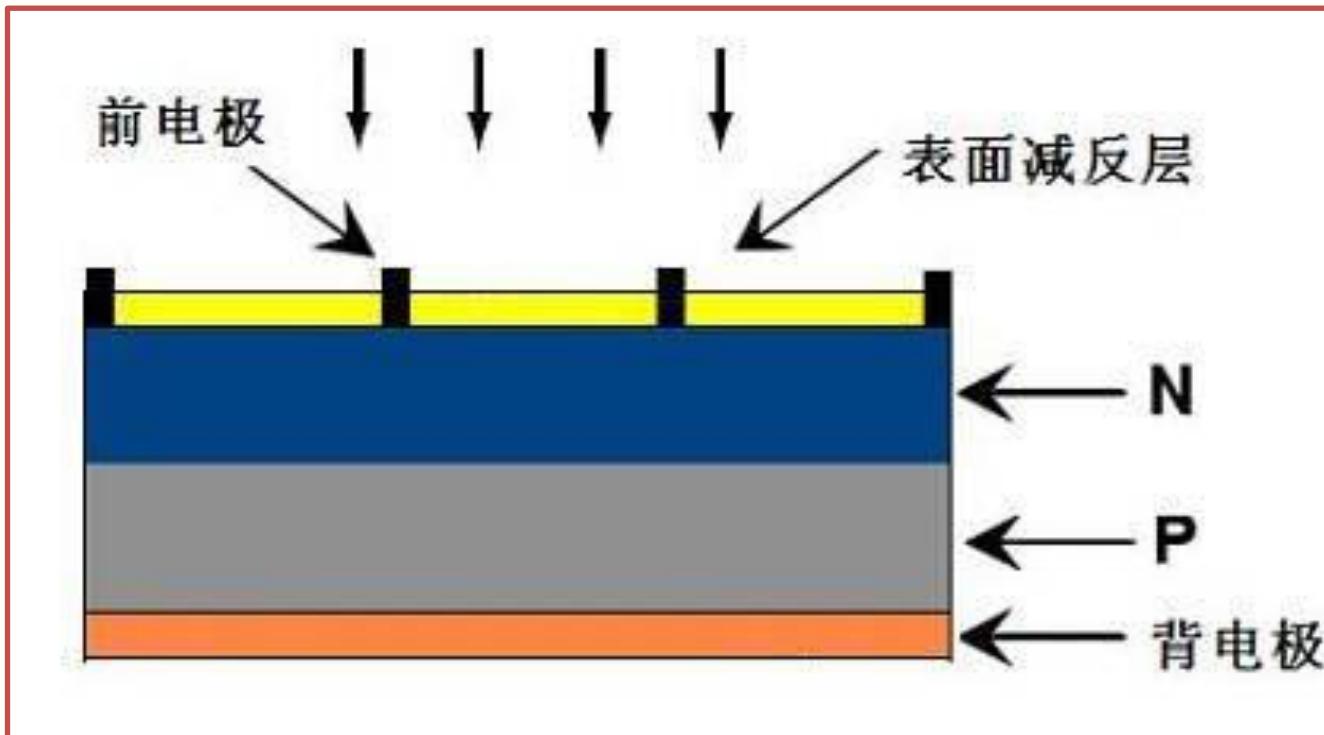


## 教学要点：

- (1) 太阳能电池的分类；
- (2) 半导体（本征半导体、掺杂半导体）；
- (3) PN结及光生伏打效应；
- (4) 太阳电池的等效电路及光电转换；
- (5) 太阳电池的主要参数及检测。

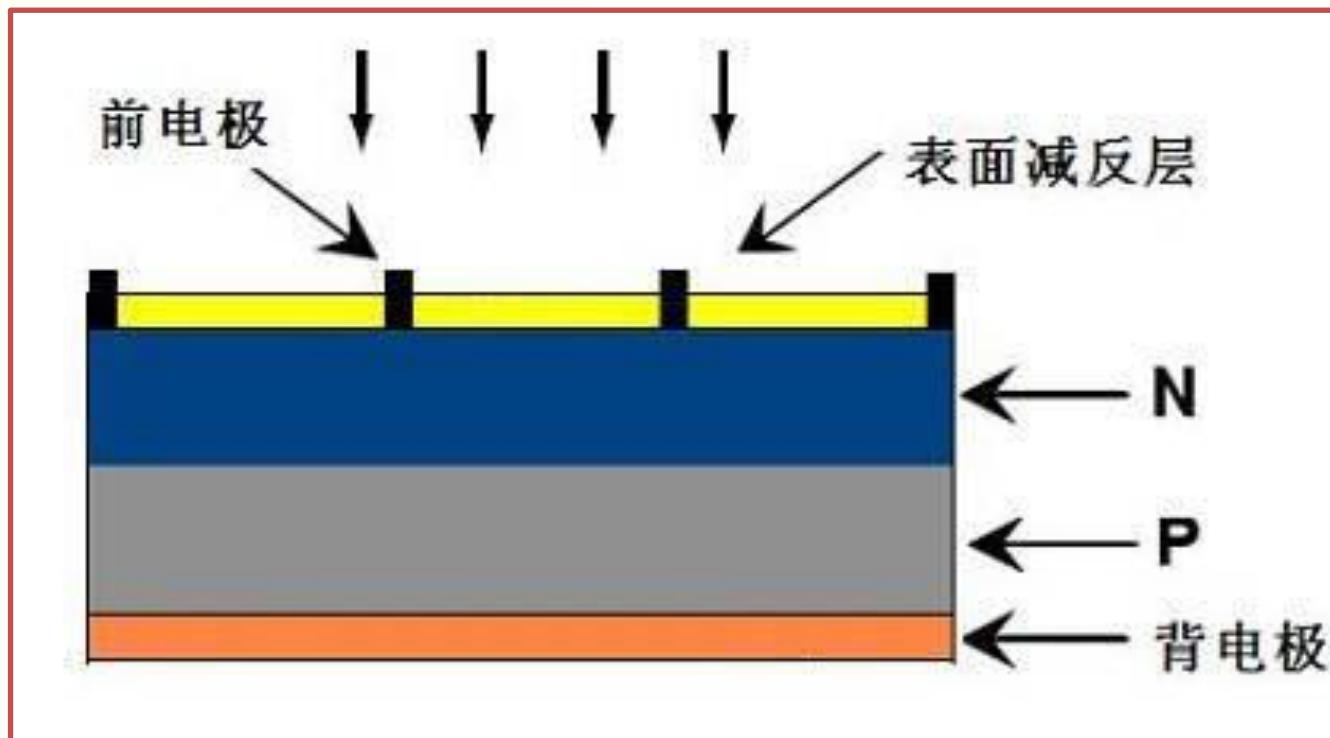
# 晶硅太阳电池的结构

- ◆ 基体材料是薄片P型单晶硅
- ◆ 上层为N型的顶区
- ◆ 电池顶区引出的电极是上电极，一般为铝-银材料
- ◆ 由电池底部引出的电极为下电极，一般采用镍-锡
- ◆ 为减少入射光的损失，上表面还覆盖二氧化硅构成的减反膜



# 晶硅太阳电池的结构

- ◆一般结构为P<sup>+</sup>/N或N<sup>+</sup>/P型结构。其中上标的“+”表示太阳电池**正面光照半导体**材料的导电类型
- ◆第二个符号表示背面衬底的半导体材料；
- ◆太阳光照时，输出电压特性为P型侧电极为正，N型侧电极为负





### 三、晶硅电池工艺

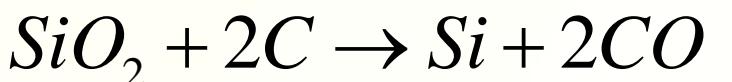
硅的提纯 → 硅片切割 → 去除损伤层 → 制绒 → 扩散制结 →  
边缘刻蚀、清洗 → 沉积减反射层 → 丝网印刷上下电极 →  
共烧形成金属接触 → 电池片测试



### 三、晶硅电池工艺

#### ➤ 硅的提纯

硅是地球外壳**第二位**最丰富的元素。在目前工业提炼工艺中，一般采用 SiO<sub>2</sub> 的结晶态，即**石英砂**在**电弧炉**中用**碳还原**的方法冶炼得反应方程为：



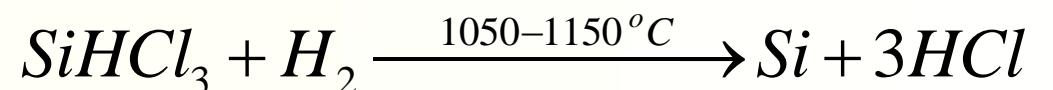
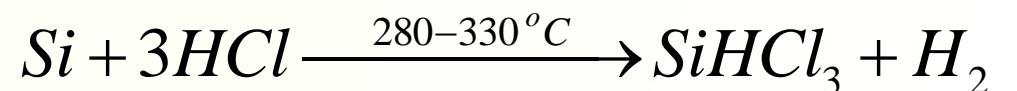
冶金级硅的熔炼并不难。这样被复原出来的硅的纯度约**98-99%**。一般的半导体器件要求硅的**纯度六个9以上**。大规模集成电路的要求更高，硅的纯度必须达到九个9。目前，人们已经能制造出纯度为十二个9 的单晶硅。



### 三、晶硅电池工艺

#### ➤ 硅的提纯

目前处于世界主流的传统提纯工艺主要有两种：**改良西门子法和硅烷法**。改良西门子法是以HCl（或H<sub>2</sub>, Cl<sub>2</sub>）和冶金级工业硅为原料，在高温下合成为SiHCl<sub>3</sub>，然后通过精馏工艺，提纯得到高纯SiHCl<sub>3</sub>，最后用超高纯的氢气对SiHCl<sub>3</sub>进行还原，得到高纯多晶硅棒。



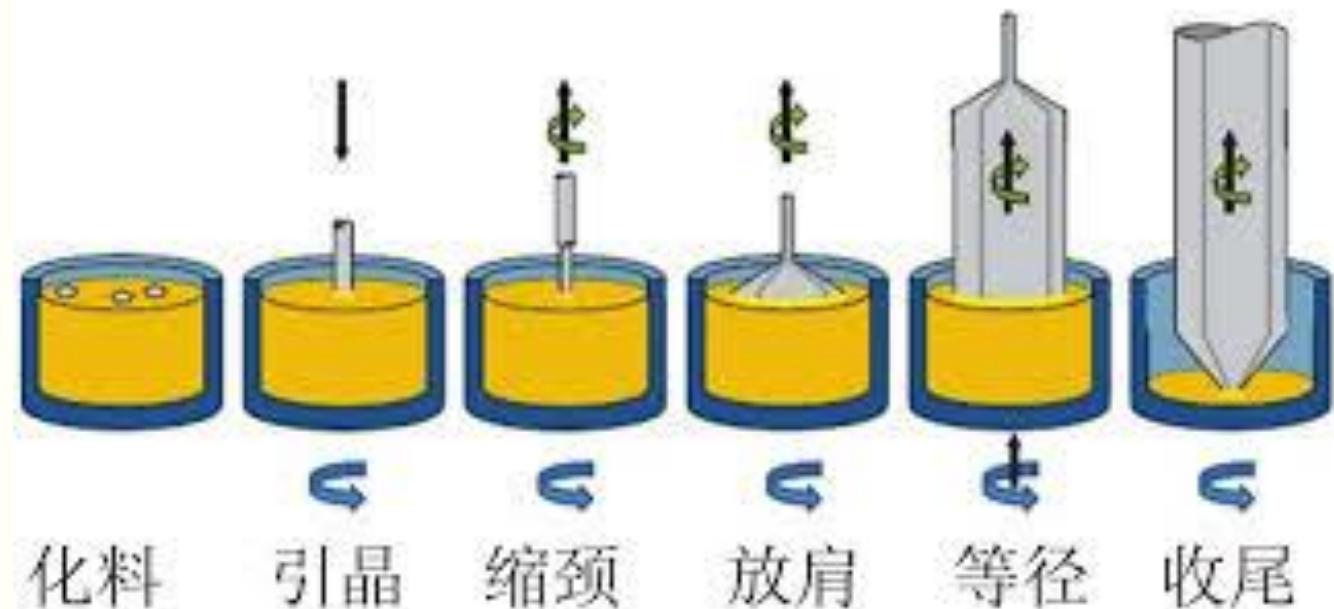
### 三、晶硅电池工艺-硅的提炼

形成晶硅硅圆的方式主要有**尖嘴形核法**和**提拉法**

以提拉法为例：筷子大小的**高纯度单晶硅**置于硅液表面，通过旋转提拉的方式使得固液接触面的硅重新结晶。

CZ法的特点是用石墨电阻加热，将装在高纯度石英坩埚中的多晶硅熔化，然后将籽晶插入熔体表面进行熔接，同时转动籽晶，再反转坩埚，籽晶缓慢向上提升，经过引晶、放大、转肩、等径生长、收尾等过程，一支硅单晶就生长出来了。

实际的工艺  
控制是保密  
的





### 三、晶硅电池工艺

#### ➤ 硅片切割

- ◆ 硅片切割技术主要分为**内圆切割和多线切割技术**。目前硅片切割技术**多采用多线切割技术**，相比以前的内圆切割，有切割效率高，成本低，材料损耗少的优点。
- ◆ 目前硅片切割厚度通常在200um左右。实际**太阳能电池的最佳性能厚度是在60-100um**，之所以维持在200um左右是从太阳能电池的机械性考虑，硅片厚度减少不能适应一些电池工艺，如腐蚀，丝网印刷等，硅片厚度的减少带来了很大的电池制备技术难点。



### 三、晶硅电池工艺

#### ➤ 硅片切割

- ◆ 以前硅片、电池工艺、组件制造三部分几乎**平分成本**，各占33%左右；
- ◆ 现在由于电池工艺和组件制造方面技术的改进，三者各占成本比例约为50%、25%、25%；**在硅片切割过程中硅材料损失约为50%，浪费严重。**



### 三、晶硅电池工艺

#### ➤ 去除损伤层

硅片经过初步清洗去污后，要进行表面腐蚀，这是由于机械切片后，在硅片表面留下的平均为30~50nm厚的**损伤层**，腐蚀液有**酸性和碱性**两类。

#### 1、酸性腐蚀法



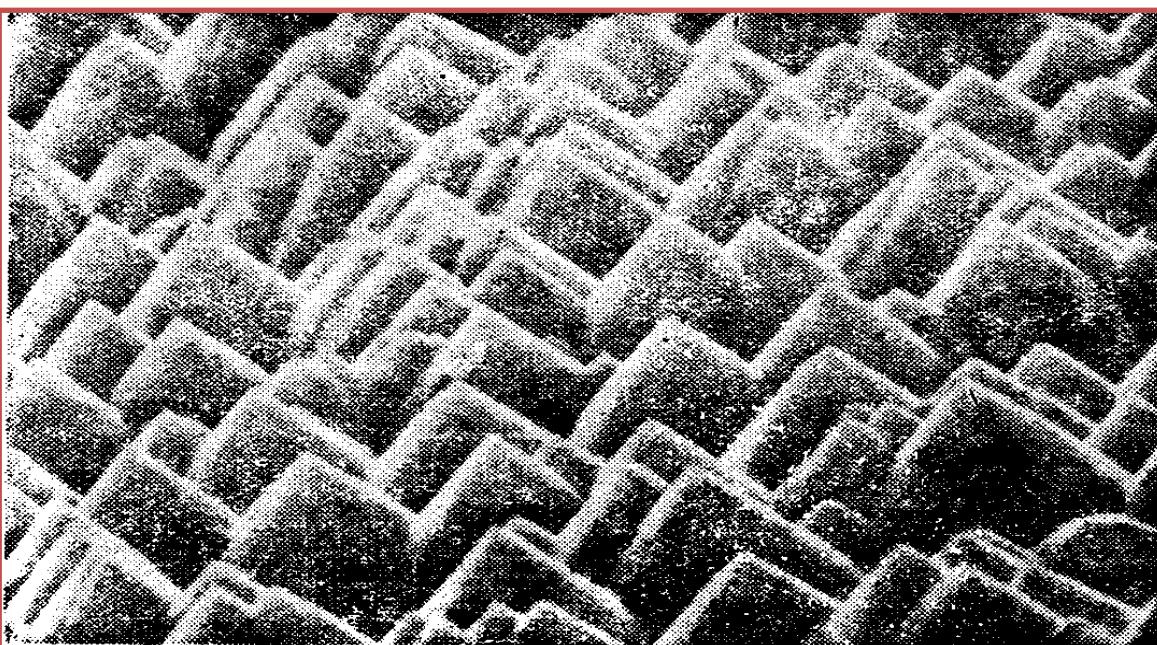
#### 2、碱性腐蚀法



### 三、晶硅电池工艺

#### ➤ 制绒

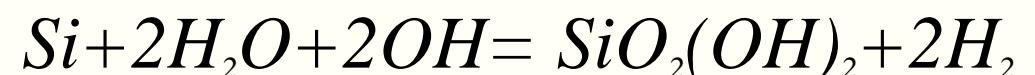
- ◆ 单晶硅片在一定浓度范围的碱溶液中被腐蚀时是各向异性的，不同晶向上的腐蚀速率不一样。
- ◆ 利用这一原理，将特定晶向的单晶硅片放入碱溶液中腐蚀，即可在硅片表面产生出许多细小的金字塔状外观，这一过程称为单晶碱制绒。



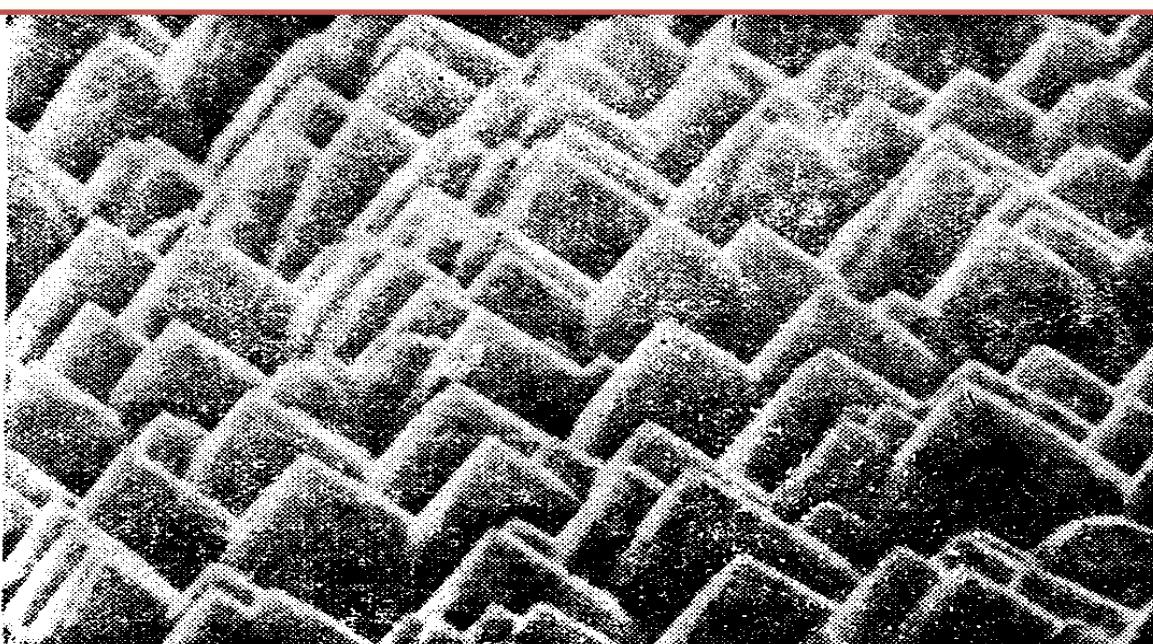
### 三、晶硅电池工艺

#### ➤ 制绒

硅的各向异性腐蚀液通常用热的碱性溶液，如氢氧化钠，氢氧化钾，氢氧化锂，联氨和乙二胺等。



由于入射光在表面的多次反射和折射，增加了光的吸收，其反射率很低。





### 三、晶硅电池工艺

#### ➤ 扩散制结

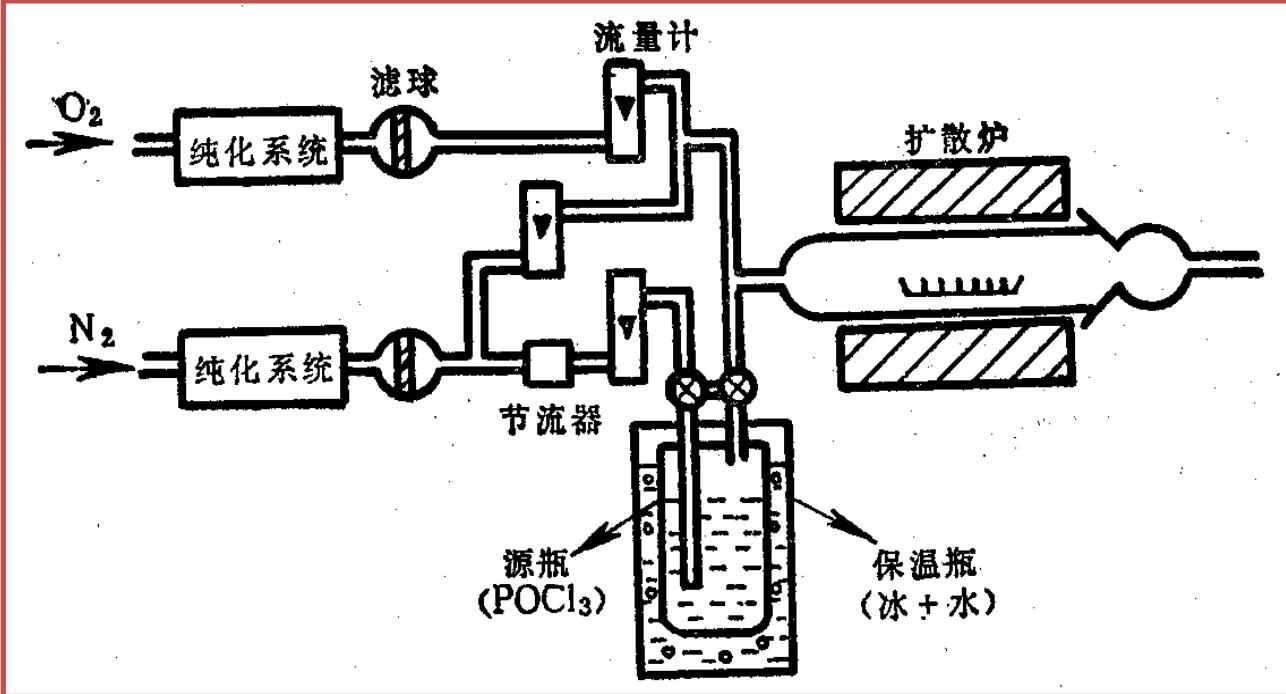
- ◆ 扩散的目的在于形成PN结，太阳能电池片制造最核心的部分，扩散工艺的好坏也直接影响电池片效率的多少。
- ◆ 值得注意的是制PN结并非单纯的将两个不同的电池片(P型硅和N型硅)叠加在一起，P型硅和N型硅必须产生良好的内部接触，因此通常采用在P型硅片的一面扩散制成N型。
- ◆ 扩散一般通过扩散炉进行，工艺温度高于900°C，但目前已经在开发低温的扩散工艺。如果是使用n型片制备太阳电池，则需要扩散硼(B)。

### 三、晶硅电池工艺

#### ➤ 扩散制结

**扩散的方法：**

1. 三氯氧磷( $\text{POCl}_3$ )液态源扩散
2. 喷涂磷酸水溶液后链式扩散
3. 丝网印刷磷浆料后链式扩散等



目前国内多采用**第一种方法(稳定、可控性强)**，它是通过气体携带法将杂质带入扩散炉内实现扩散。

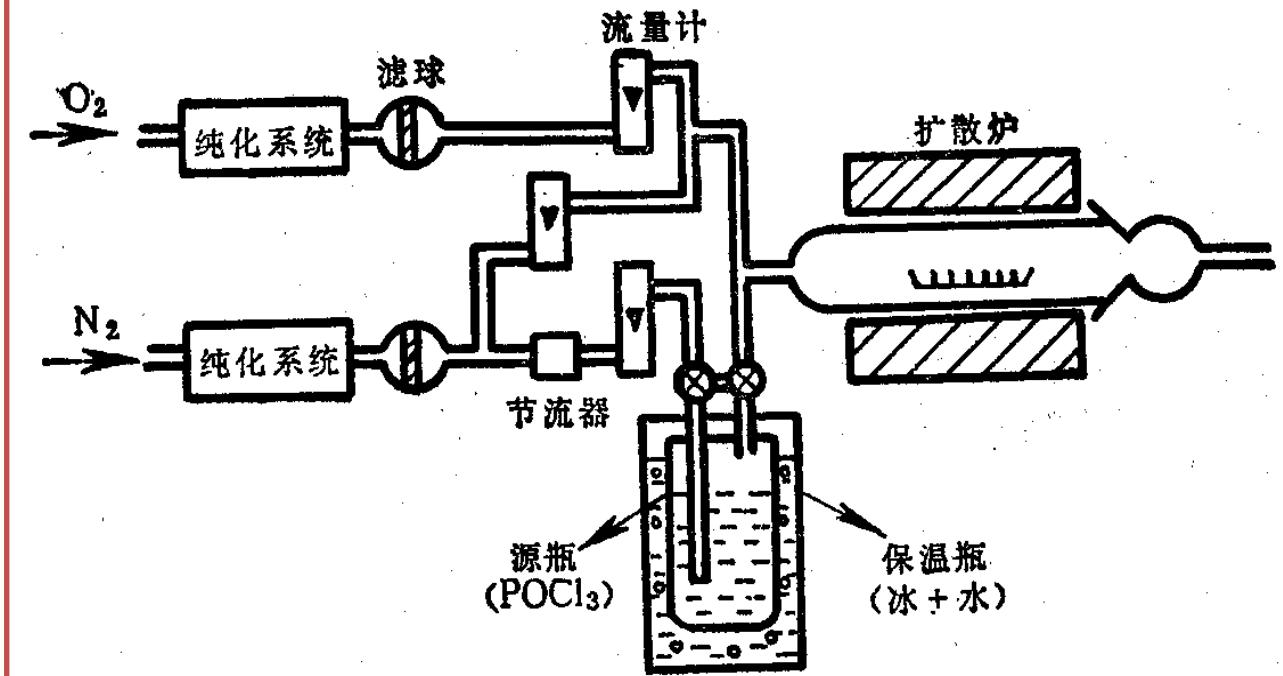
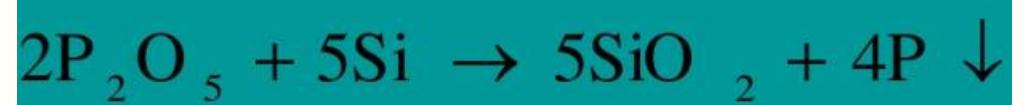
### 三、晶硅电池工艺

#### ➤ 扩散制结

1. POCl<sub>3</sub>在高温下分解生成PCl<sub>5</sub>和P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>:



2. 生成的P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>在扩散温度下与硅反应，生成SiO<sub>2</sub>和磷原子：



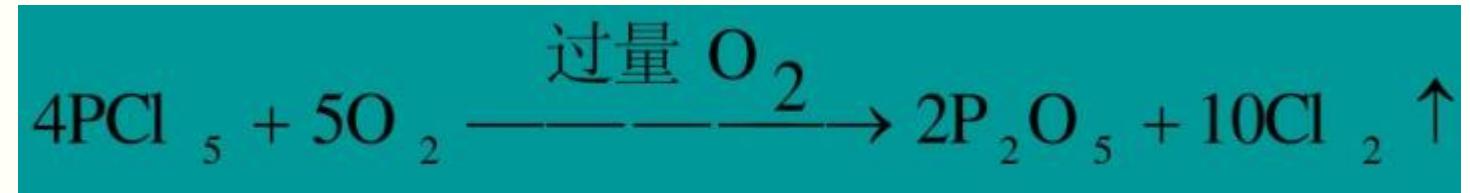
由上面的反应式可知，POCl<sub>3</sub>在热分解时，其分解是不充分的（5P-2P）并且生成的PCl<sub>5</sub>不易分解，对硅片表面产生腐蚀作用，影响扩散效果；



### 三、晶硅电池工艺

#### ➤ 扩散制结

3. 但在有外来O<sub>2</sub>参与反应的情况下，PCl<sub>5</sub>会进一步分解成P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>并放出Cl<sub>2</sub>:



4. 生成的P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>又进一步与硅反应，生成SiO<sub>2</sub>和磷原子，因此，在磷扩散时，为了促使POCl<sub>3</sub>完全分解并避免PCl<sub>5</sub>对硅片表面产生腐蚀，必须在通氮气的同时通入一定流量的O<sub>2</sub>；而在O<sub>2</sub>通入时，POCl<sub>3</sub>总的热分解的化学反应式为：





### 三、晶硅电池工艺

#### ➤ 扩散制结

POCl<sub>3</sub>分解所产生的P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>沉积在硅片表面，P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>与硅反应生成SiO<sub>2</sub>和磷原子，并在硅片表面形成一层磷-硅玻璃，然后**磷原子再向硅中进行扩散**，这样在基体上就形成了p-n结，达到了扩散的目的。



### 三、晶硅电池工艺-刻蚀去边

#### ➤ 刻蚀去边

扩散过程中，在硅片的**周边表面**也形成了扩散层。周边扩散层使电池的**上下电极形成短路环**，必须将它除去。周边上存在任何微小的**局部短路**都会使电池**并联电阻下降**，以至成为废品。

- ◆ 去边的方法有**腐蚀法**，即将硅片两面掩好。在硝酸、氢氟酸组成的腐蚀液中腐蚀 30 秒钟左右。
- ◆ 工业化生产用**等离子干法腐蚀**，在辉光放电条件下通过氟和氧交替对硅作用，去除含有扩散层的周边。



### 三、晶硅电池工艺

#### ➤ 沉积减反层

- ◆ 沉积减反射层的目的在于上表面沉积一层减反射薄膜，**减少表面反射，增加折射率。**
- ◆ 工业中采用**等离子体增强化学气相沉积（PECVD）**，制备氮化硅**SiNx**减反射膜。
- ◆ 原理：利用低温等离子制作能量源，样品低于低气压下辉光放电的电极上，通入适量的高纯度反应气体 $\text{SiH}_4$ 和 $\text{NH}_3$ 。利用辉光放电气体经一系列化学反应和等离子体反应，在样品表面形成 $\text{SiNx:H}$ 薄膜。**蓝色透明薄膜，膜厚为75nm至80nm**



### 三、晶硅电池工艺

#### ➤ 丝网印刷

- ◆ 电极的制备是太阳电池制备过程中一个至关重要的步骤，它不仅决定了发射区的结构，而且也决定了电池的串联电阻和电池表面被金属覆盖的面积。
- ◆ 最早采用**真空蒸镀或化学电镀技术**，而现在普遍采用**丝网印刷法**，即通过特殊的印刷机和模版将银浆铝浆（银铝浆）印刷在太阳电池的正背面，以形成正负电极引线。**前电极一般用银浆，后电极用银铝浆，而背面场则用铝浆印刷而成**



### 三、晶硅电池工艺

#### ➤ 共烧形成金属接触

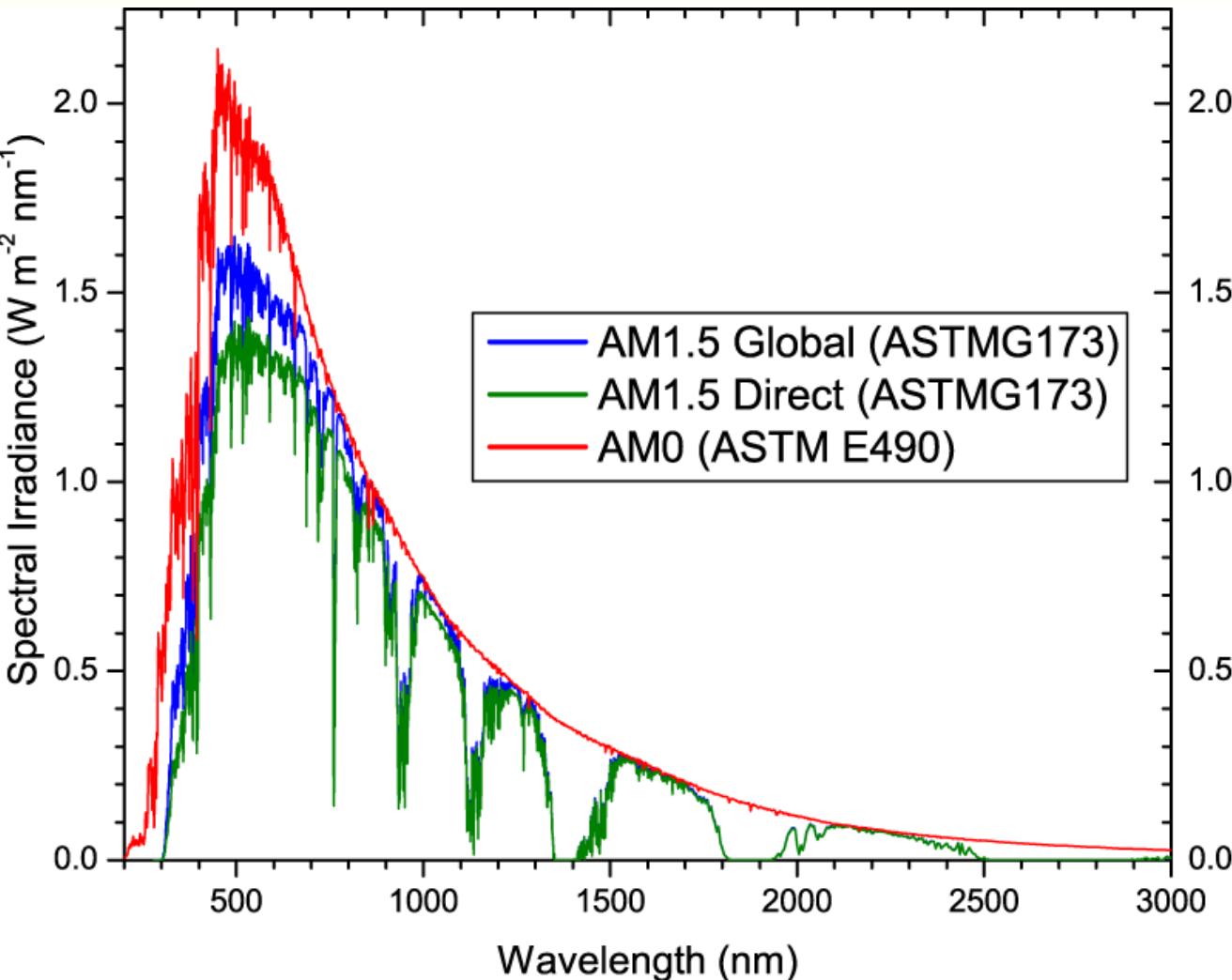
为了使银、铝浆电极与硅材料完全紧密接触，还需通过烧结过程，烧结使双方材料表面的原子相互融入，特别是可以**烧穿减反射膜**，使上电极与硅半导体紧密接触，同时n型层形成**良好的欧姆接触**，而背面的铝扩散入硅中，在背表面形成p+的重掺区，从而形成背表面场。

### 三、测试分拣

#### ➤ 标准测试条件

太阳电池受到光照时产生的电能与**光源辐照度、温度和照射光的光谱分布**有关，因此必须规定**标准测试条件**

- ◆ 光源辐照度： $1000\text{W/m}^2$
- ◆ 测试温度： $25\text{ }^\circ\text{C}$
- ◆ AM1.5 地面太阳光谱辐照度分布





太阳能利用技术



工程热物理