



太阳能利用技术

第十一章

聚光光伏及 多结电池

张 涛

工程热物理



教学要求:

了解：聚光发电的优缺点；多结电池；

掌握：聚光光伏的关键部件及其分类；

熟悉：追踪系统的应用；



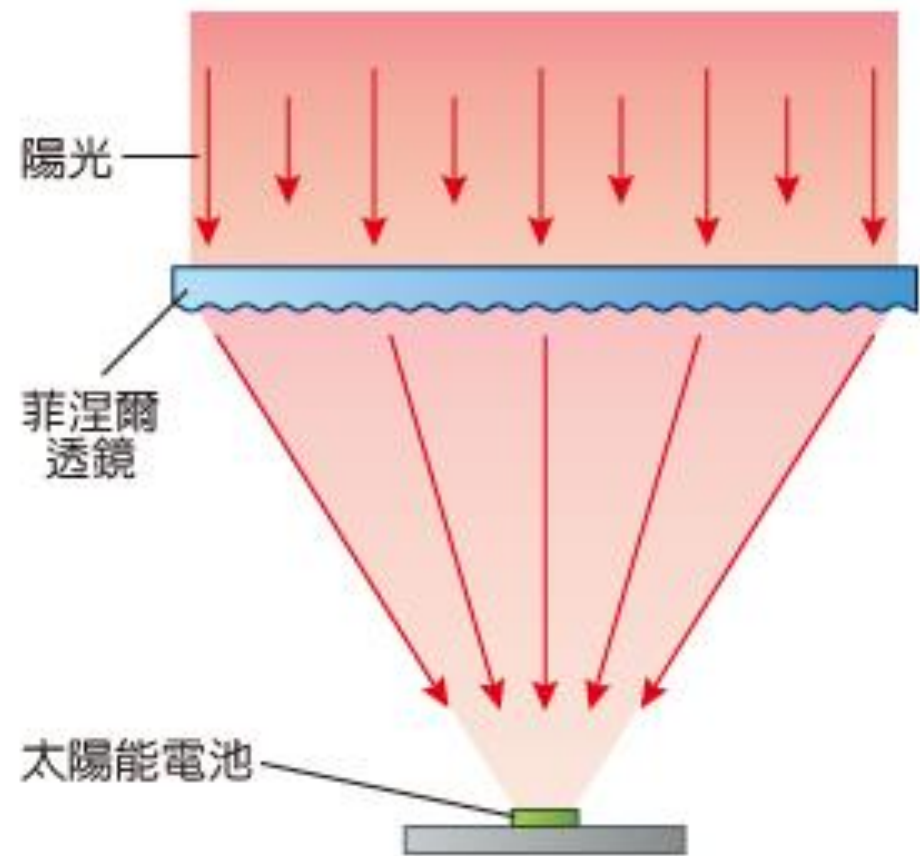
教学要点:

- (1) 聚光光伏发电及其优缺点;
- (2) 聚光光伏部件;
- (3) 聚光光伏系统;
- (4) 太阳能跟踪系统的分类及应用;
- (5) 多结电池的分类及结构特点。

一、聚光光伏

为什么要采用聚光光伏

- 太阳电池的发电量与光照强度有关，一定范围内，**光照强度越大，发电量越大**；
- 一定范围内，入射光辐射增加时，太阳电池的短路电流和开路电压都要提高，并且短路电流与光照强度成正比，**光电效率提高**；
- 聚光部件的成本要低于太阳电池的成本，采用聚光可以减少对电池片的消耗，**降低光伏发电成本**



一、聚光光伏



聚光光伏-结构

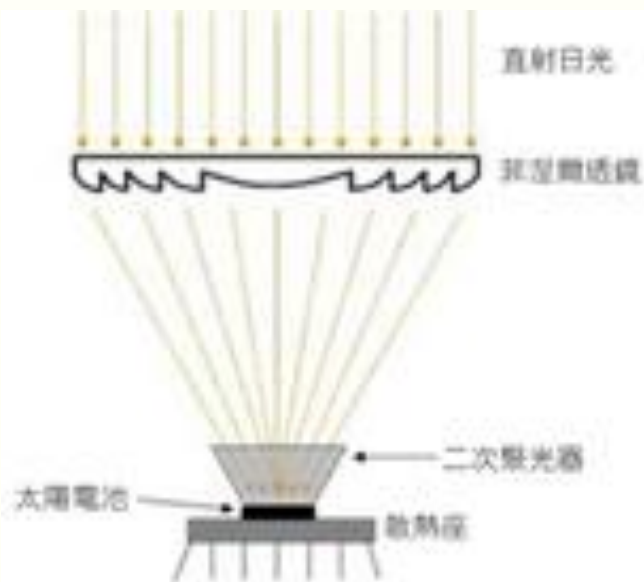
- 太阳能电池片
- 聚光器
- 追踪器
- 控制器、逆变器



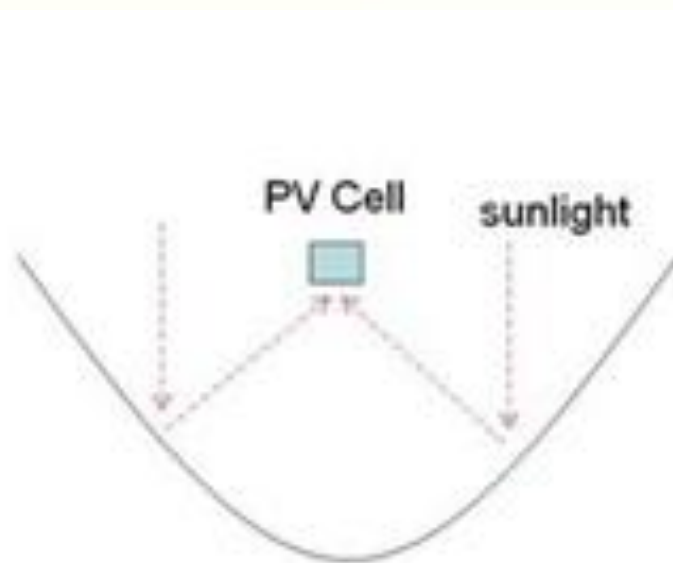
一、聚光光伏

聚光器分类-光学类型

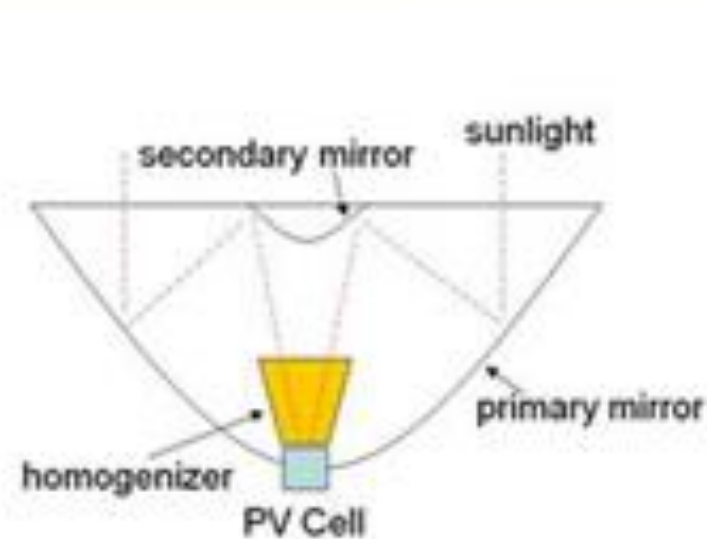
- 折射式
- 反射式



折射式聚光



反射式聚光(一次反射)



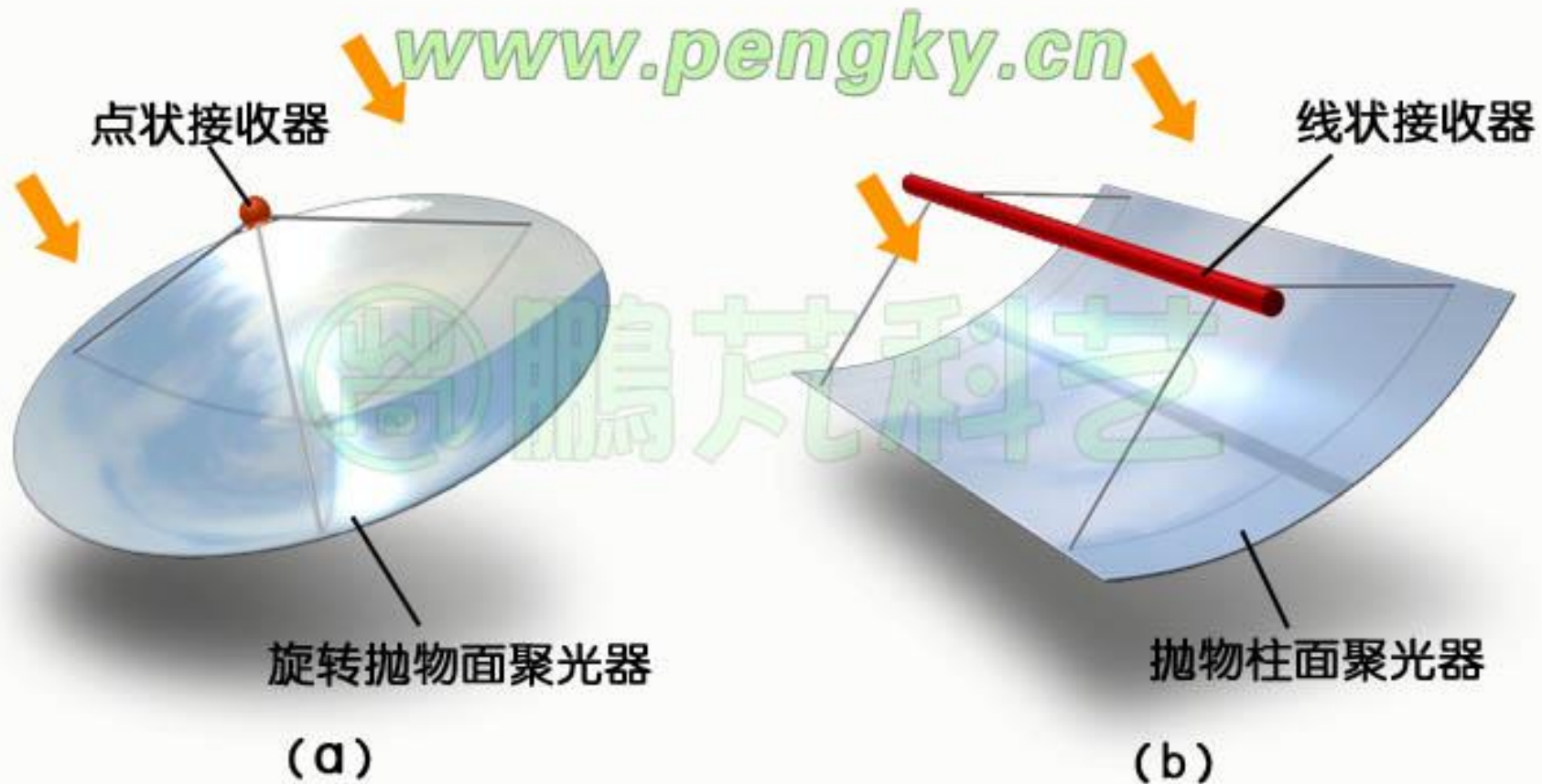
反射式聚光(二次反射)

一、聚光光伏



聚光器分类-聚光形状

- 点聚焦式
- 线聚焦式



一、聚光光伏



聚光器分类-聚光倍数

➤ 低倍聚光 (聚光比小于10)

多为槽形或是平面侧面镜反射式聚光器，多为简单的单轴追踪

➤ 中倍聚光 (聚光比10~100)

可使用点聚焦或线聚焦

➤ 高倍聚光 (聚光比大于100)

主要使用点聚焦，必须配置追踪器。太阳入射角变化 0.5° ，电池上辐照量会降低一半

一、聚光光伏



追踪装置

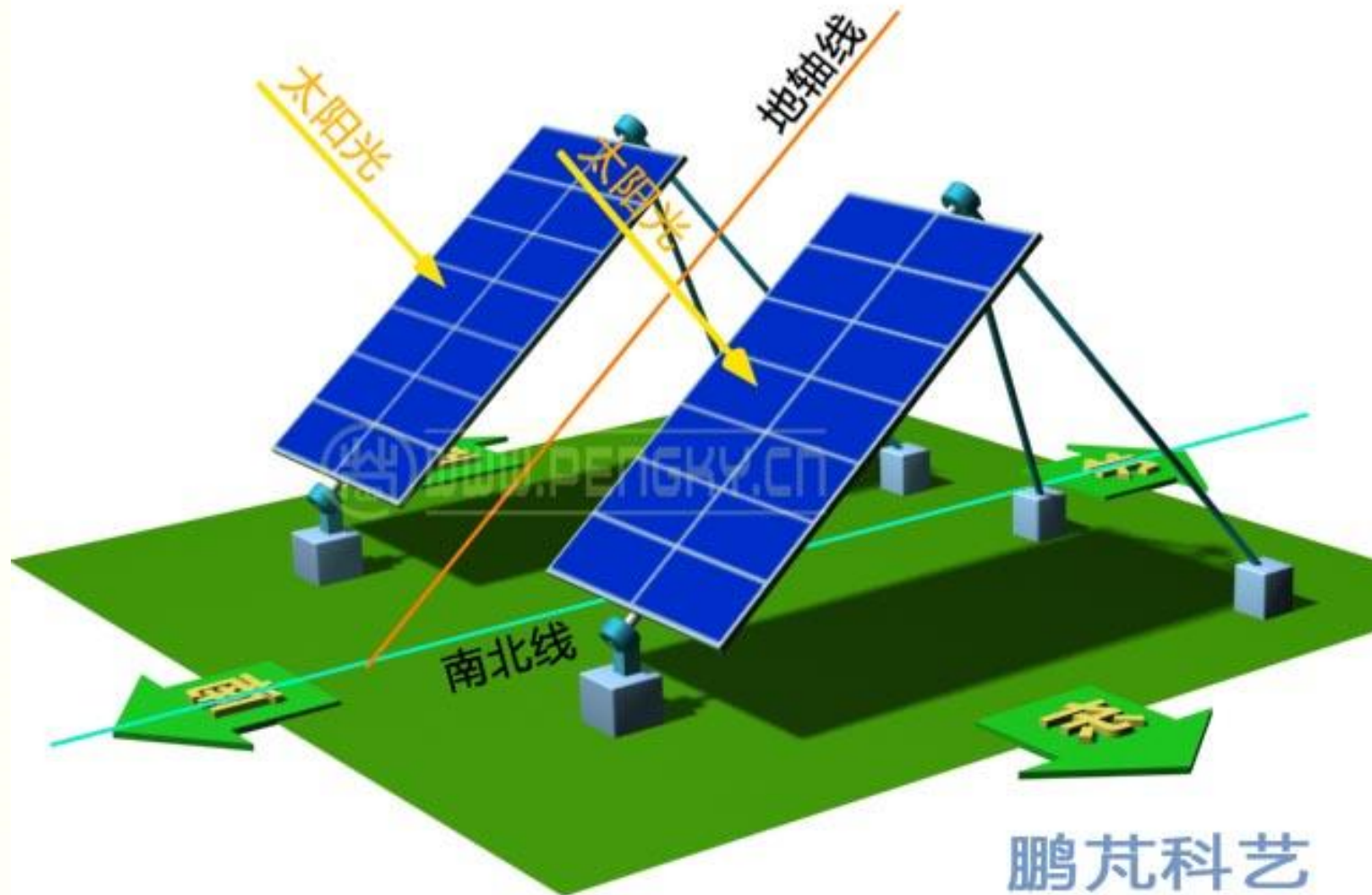
➤ 单轴追踪

只东西或是南北方向追踪

➤ 双轴追踪

东西、南北方向同时追踪

一般情况下，**点聚焦需要双轴跟踪，线聚焦仅需单轴追踪。**



一、聚光光伏



追踪装置-追踪方式

➤ 间歇式追踪

间歇跟踪方法，即**每隔一段时间**间隔后，运动轴快速**调整一次跟踪角**，使聚光器的转角与其由于停顿导致落后于太阳运行的角度相等。在运行间隔时间以外，聚光器的驱动机构固定不工作。

➤ 连续式追踪

聚光器的跟踪角按照**太阳位置变化规律随时间连续调节**以跟随太阳运行轨迹的变化的控制方法。

一般采用**光敏差动**控制方式。高灵敏探头监测“光差变化”。低于工作照度时，系统停止工作。

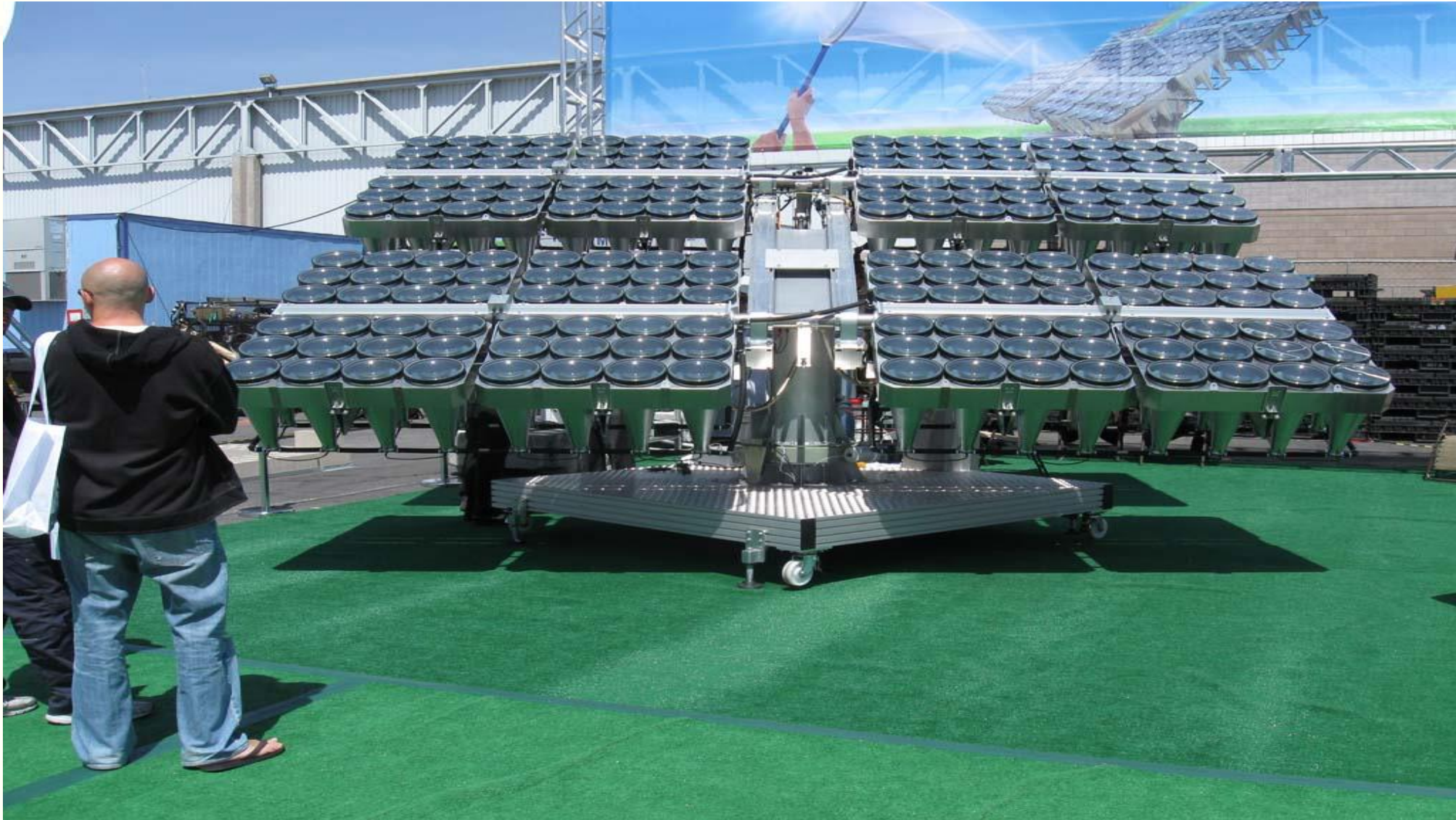
一、聚光光伏



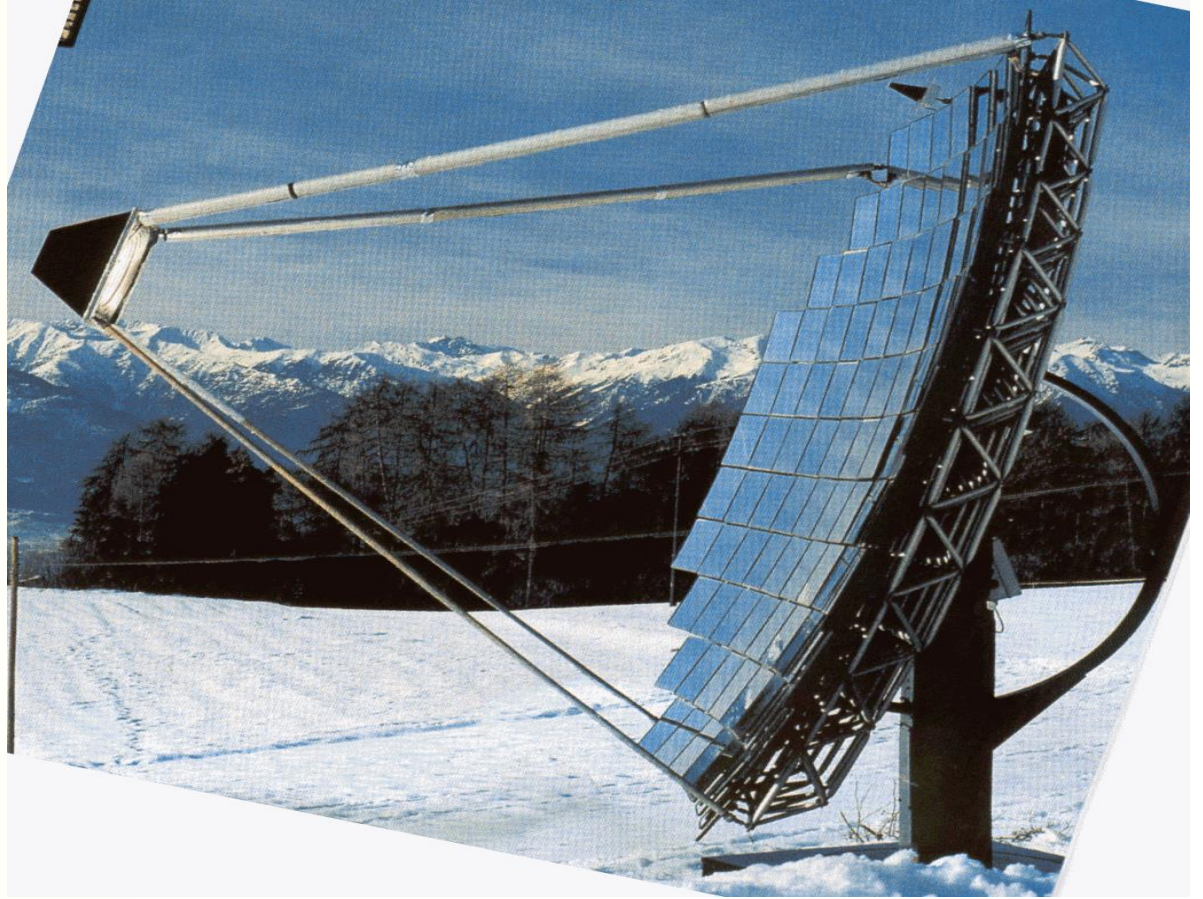
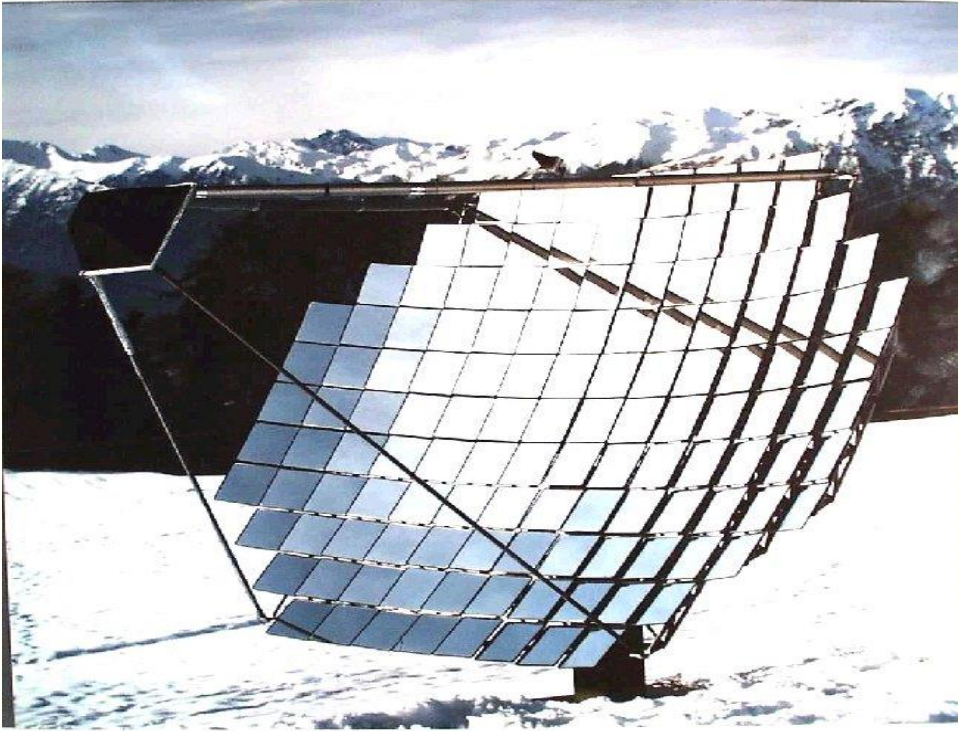
缺点

- 需额外消耗电力
- 配置聚光器、追踪装置、冷却器等光学元件、控制电路等，**初始投资高**；
- 运动部件多，**易发生故障**；
- 系统**运维成本高**；

一、聚光光伏



一、聚光光伏



二、GaAs电池



聚光太阳电池片是聚光太阳电池的核心部件。在低倍聚光的条件下，一般只采用常规效率较高的硅电池；在高倍聚光的条件下，需要太阳电池具有较高的效率，较宽的吸收频带，以免造成太阳资源的浪费。

高倍聚光时，一般采用多结太阳电池。多结光伏电池是一种高效率的太阳能电池。每个电池有多个采用分子束外延或有机金属化学气相沉积法生成的薄膜。这些薄膜所构成的**不同的半导体有不同的特征能隙**，而这些能隙可以吸收光谱中特定频率的电磁波能量

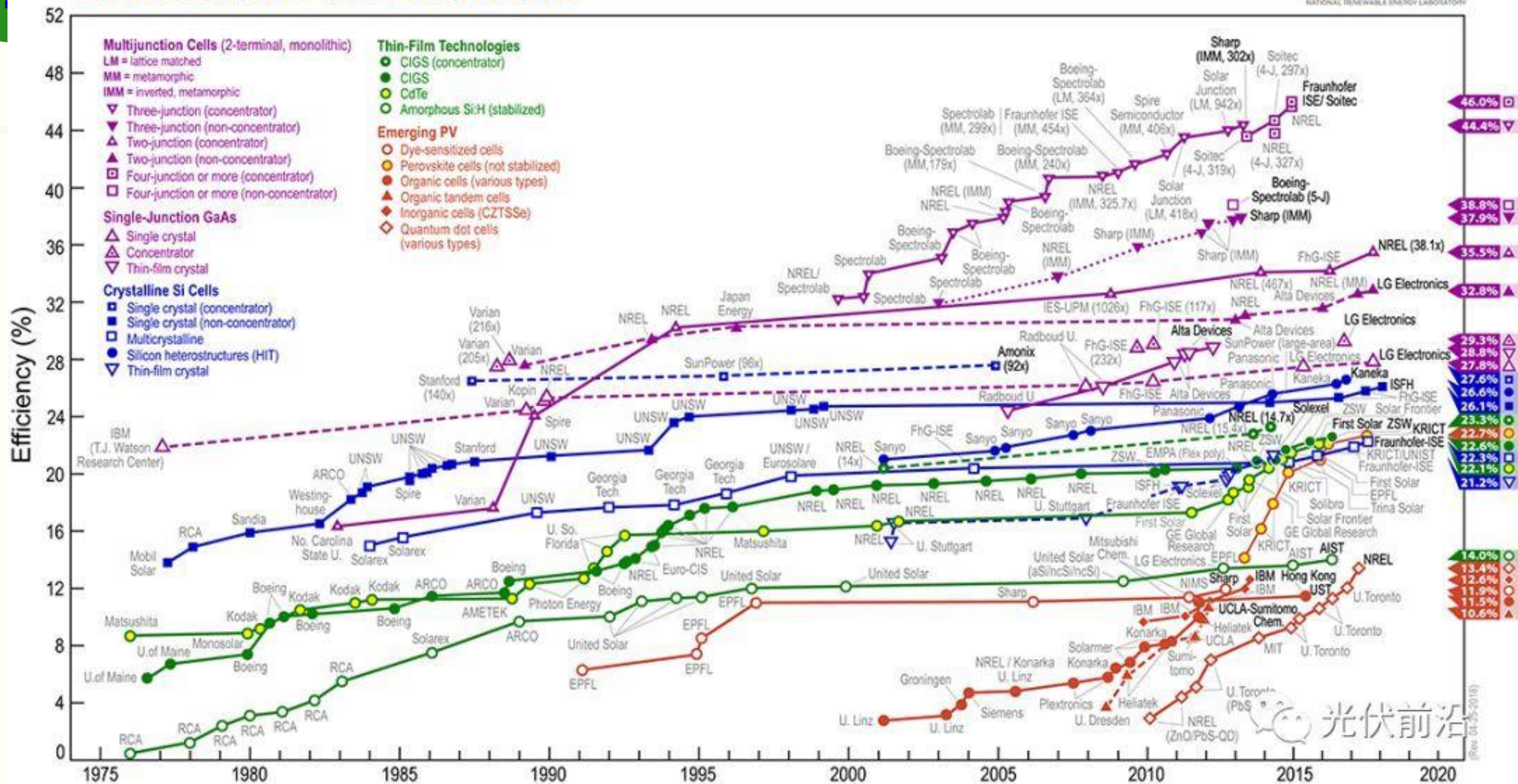
二、GaAs电池



以GaAs为代表的III-V族化合物材料是制造多结叠层电池的主要材料。它们大多具有**直接带隙的能带结构**，**光吸收系数大**，还具有**良好的抗辐射性能**和**较小的温度系数**，因而GaAs材料特别适合于制备高效率、空间用太阳电池。

GaAs太阳电池，无论是单结电池还是多结叠层电池所获得的转换效率都是至今所有种类太阳电池中最高的

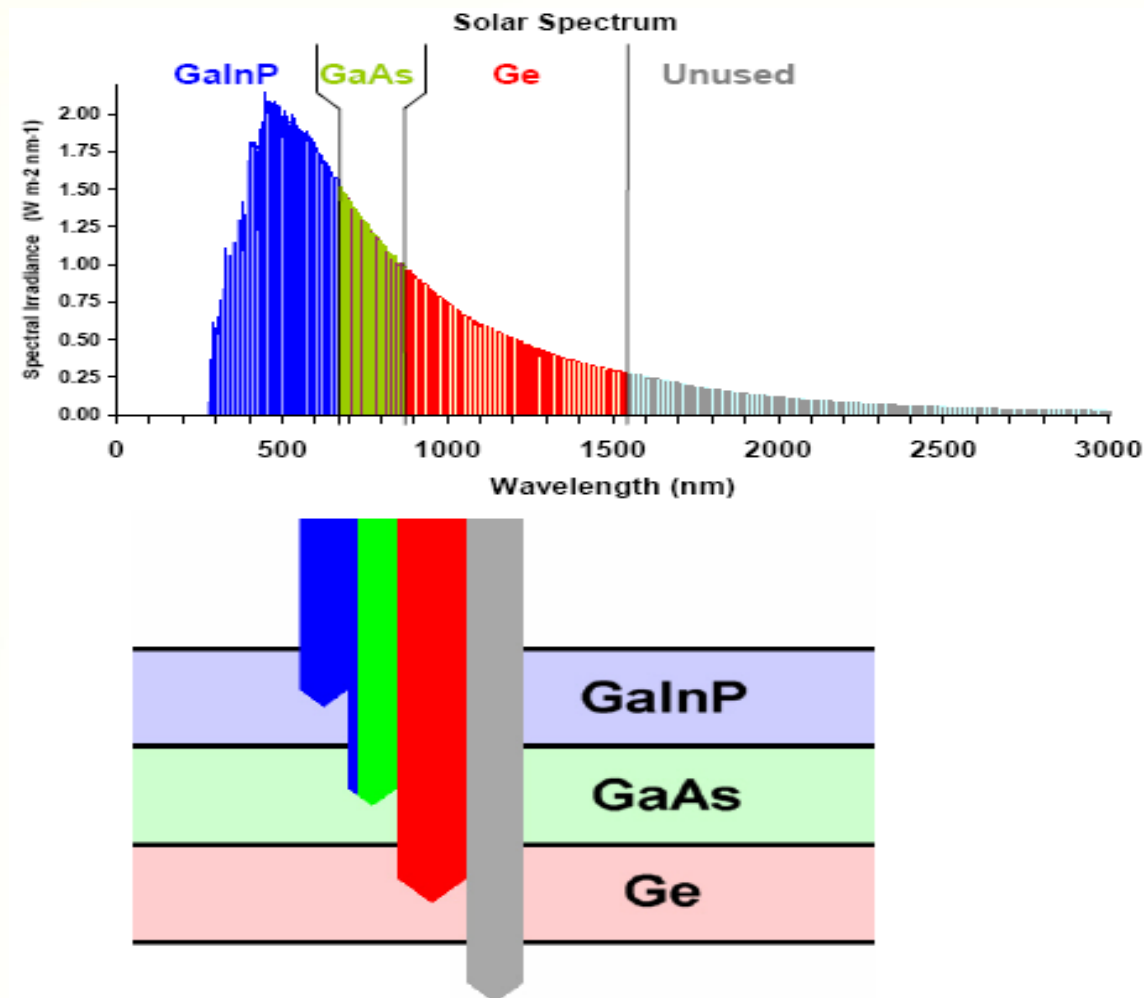
Best Research-Cell Efficiencies



二、GaAs电池



(1) GaAs具有直接带隙能带结构，其带隙宽度 $E_g=1.42\text{eV}(300\text{K})$ ，处于太阳能电池材料所要求的最佳带隙宽度范围。



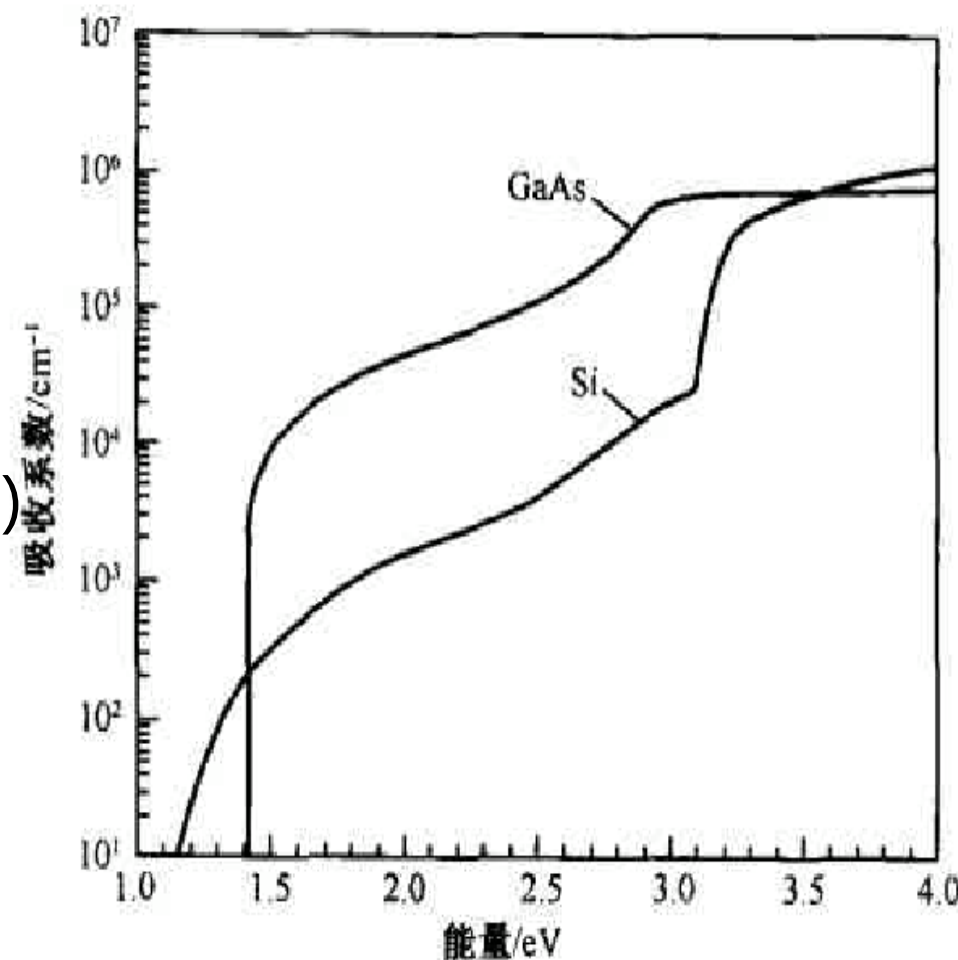
二、GaAs电池



(2) 由于GaAs材料具有直接带隙结构，因而它的光吸收系数大。

经计算，当光子能量大于其 E_g 的太阳光进入GaAs后，仅经过 $1\mu\text{m}$ 左右的厚度，其光强因本征吸收激发光生电子一空穴对便衰减到原值的 $1/e$ 左右，这里 e 为自然对数的底，经过 **$3\mu\text{m}$ 以后，95%以上**的这一光谱段的阳光已被**GaAs吸收**。

Si的光吸收系数在光子能量大于其带隙宽度($E_g=1.12$)后是缓慢上升的，在太阳光谱很强的可见光区域，它的吸收系数都**比GaAs的小一个数量级以上**。因此，Si材料需要厚达**数十甚至上百微米**才能充分吸收太阳光。

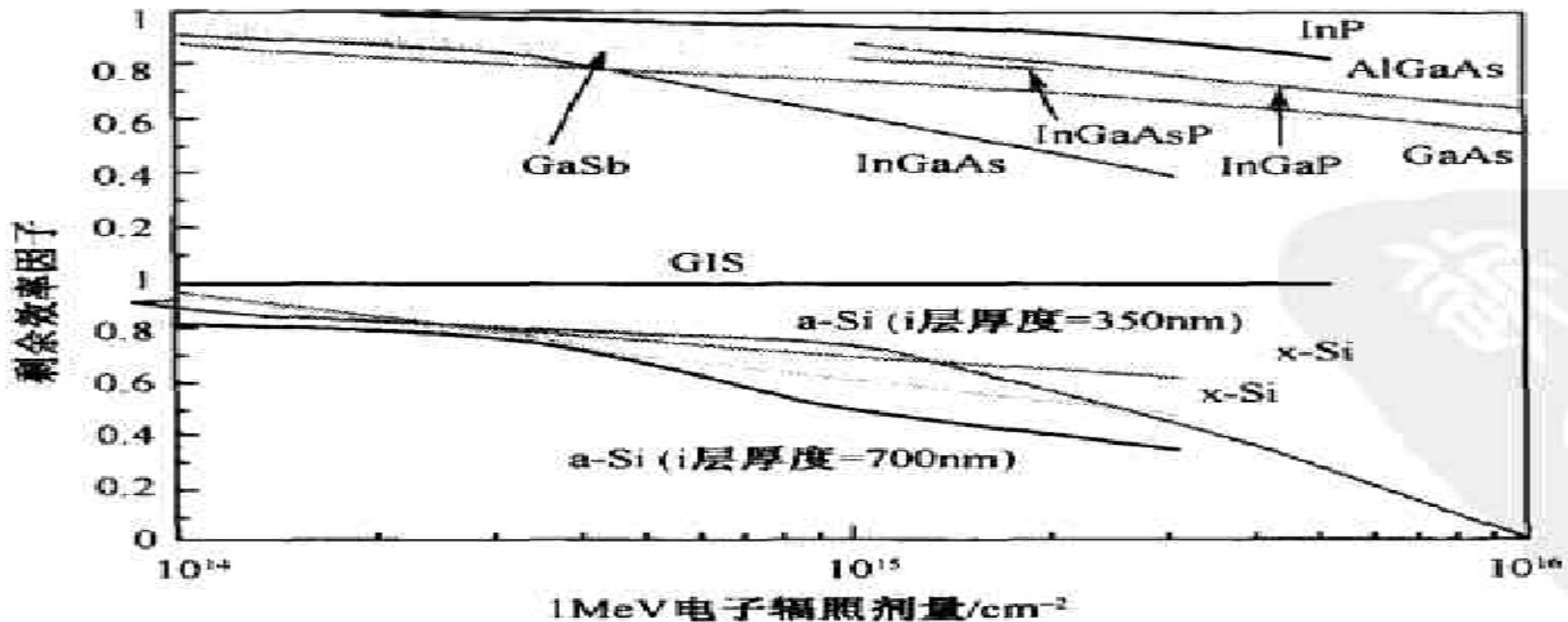


二、GaAs电池



(3) GaAs基系太阳电池具有较强的抗辐照性能

辐照实验结果表明，经过1MeV高能电子辐照，GaAs基系太阳电池的能量转换效率仍能保持原值的75%以上，先进的高效空间Si太阳电池只能保持其原值的66%。



二、GaAs电池

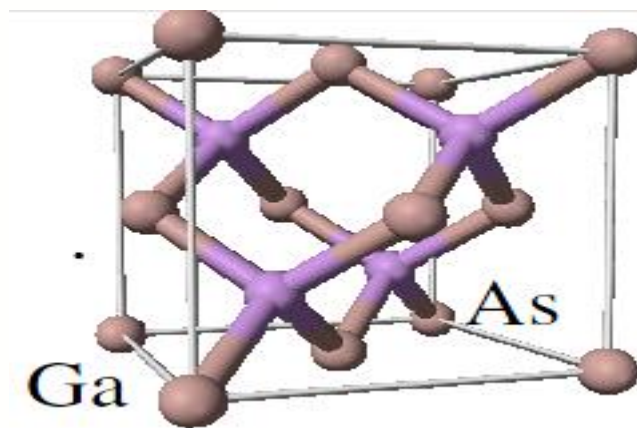


(4)GaAS太阳电池的温度系数较小，能在较高的温度下正常工作。

GaAs电池效率的温度系数约为 $-0.23\%/^{\circ}\text{C}$ ，而Si电池效率的温度系数约为 $-0.48\%/^{\circ}\text{C}$

GaAS基系太阳电池的上述优点正好符合空间环境对太阳电池的要求：

效率高、抗辐照性能好、耐高温、可靠性好。

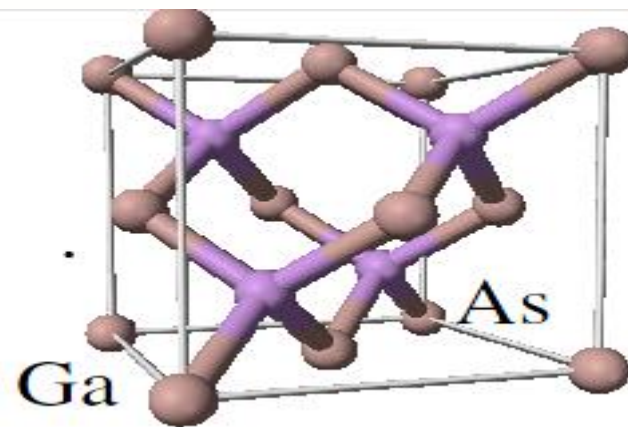


二、GaAs电池



缺点：

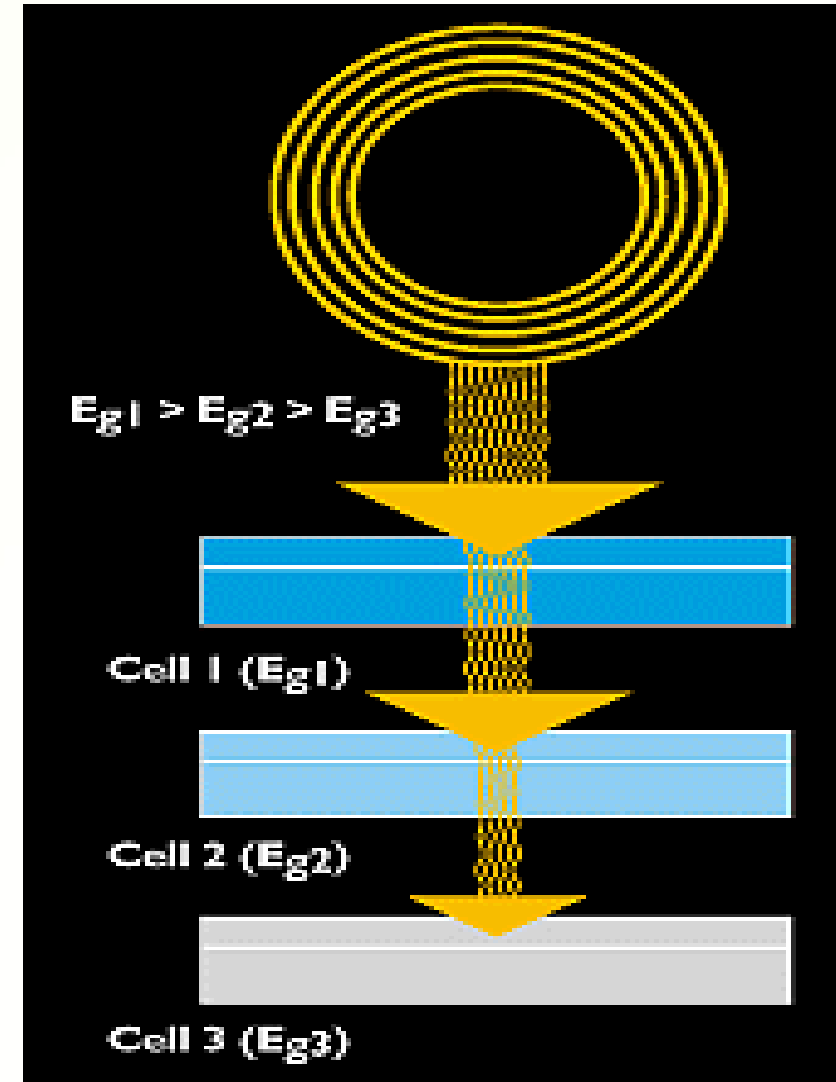
- ①GaAs材料的**密度较大**(5.32g/cm^3), 为Si材料密度(2.33g/cm^3)的两倍多;
- ②GaAs材料的**机械强度较弱**, 易碎;
- ③GaAs材料**价格昂贵**, 约为Si材料价格的10倍。



三、多结叠层电池

太阳光谱的能量范围很宽，分布在0.4—4eV，而材料的禁带宽度是一个固定值 E_g 。

叠层电池的原理是**用具有不同带隙 E_g 的材料作成多个子太阳电池**，然后把它们按 **E_g 的大小从宽至窄顺序叠起来**，组成一个串接式多结太阳电池；其中第 i 个子电池只吸收和转换太阳光谱中与其带隙宽度 E_{gi} 相匹配的波段的光子，也就是说，每个子电池吸收和转换太阳光谱中不同波段的光，而**叠层电池对太阳光谱的吸收和转换等于各个子电池的吸收和转换的总和**。

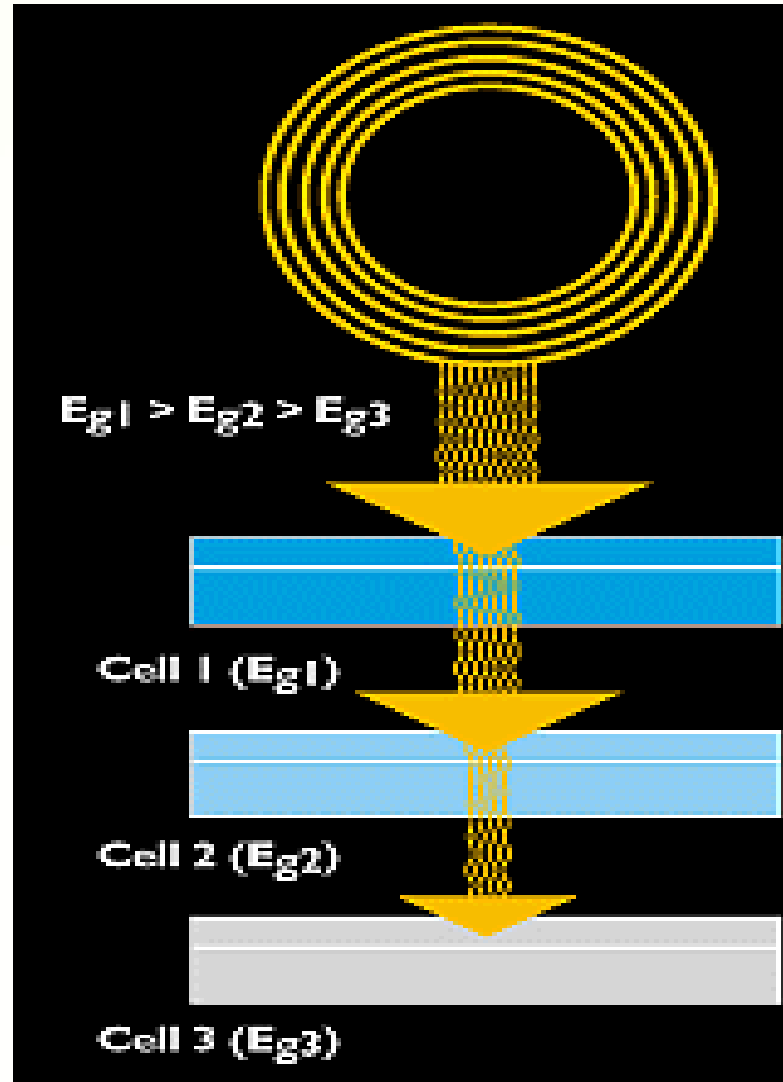


三、多结叠层电池

根据叠层电池的原理，构成叠层电池的子电池的数目愈多，叠层电池可望达到的效率愈高。

另外，从实验的角度考虑，制备太多结的叠层电池是十分困难的。材料的选择和生长工艺都将变得非常复杂，这势必影响到材料和器件的质量，因而给太阳电池的性能造成不利影响。这样反而降低了太阳电池的转换效率。

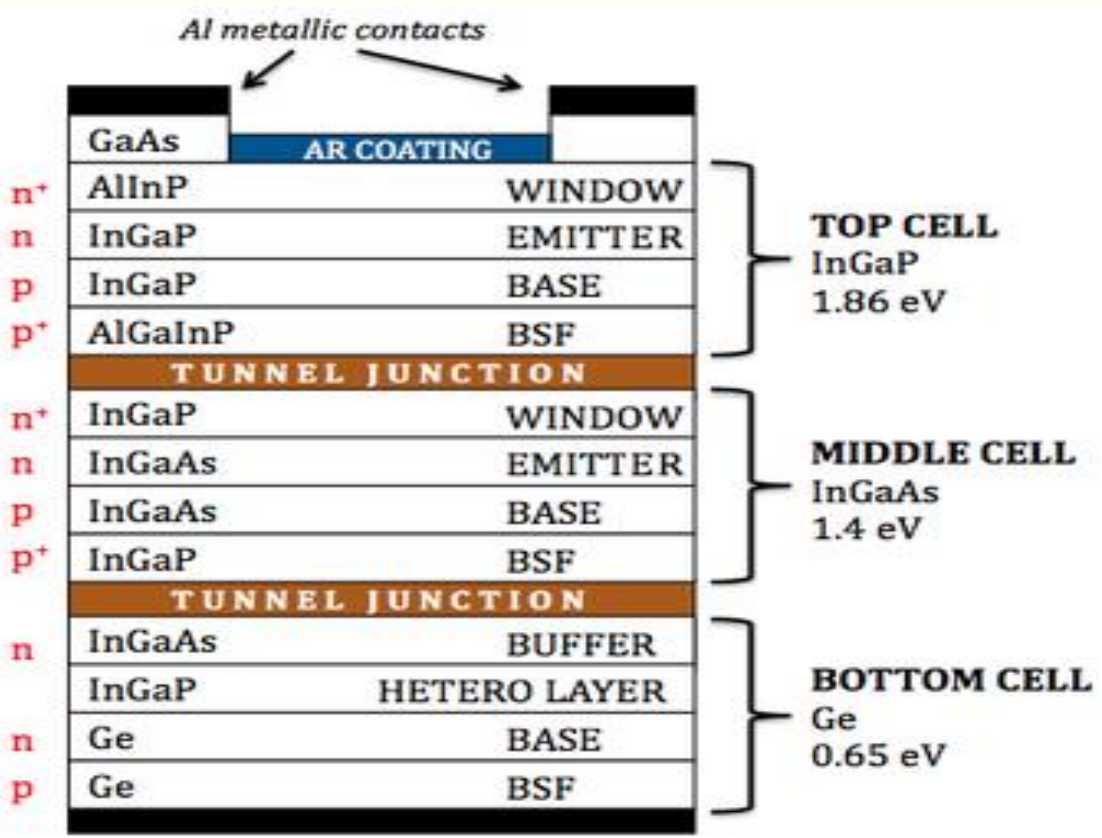
目前三结、四结叠层电池获得的效率最高。



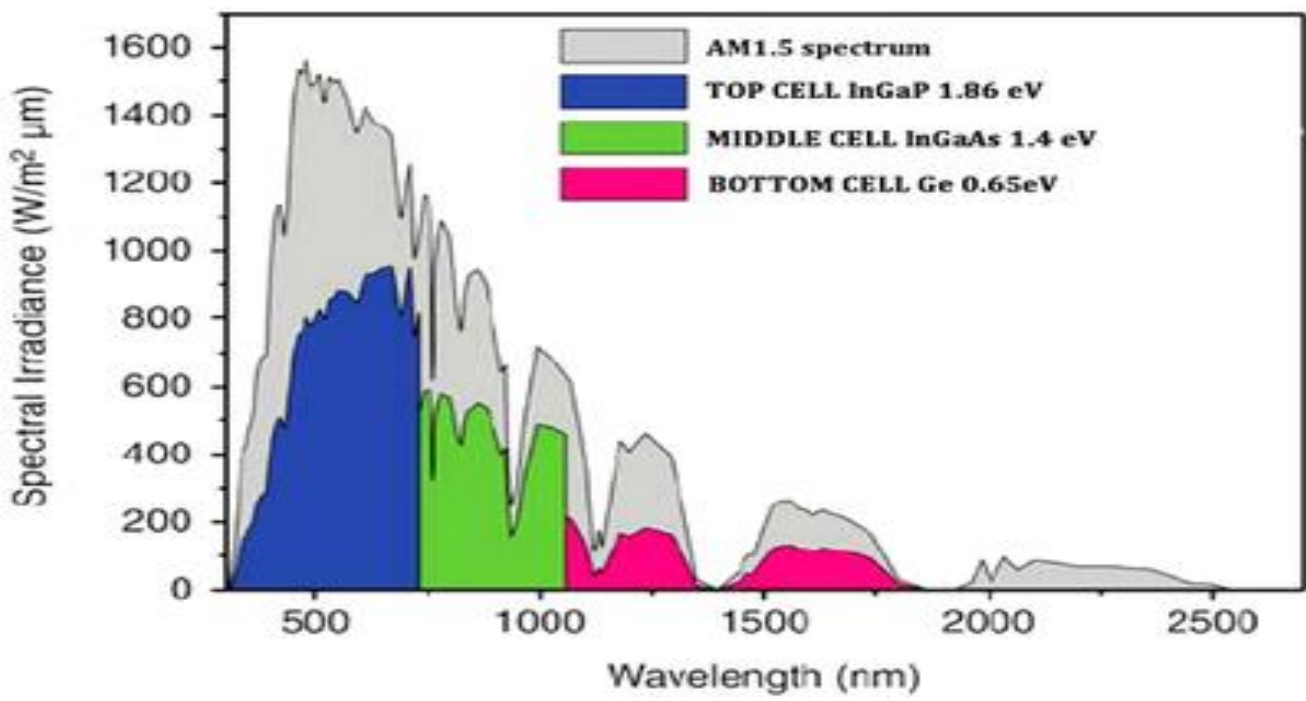
三、多结叠层电池

GaAs三结电池的典型结构图

- 1、电池串联；
- 2、禁带宽度最大的在最上面；



(a)



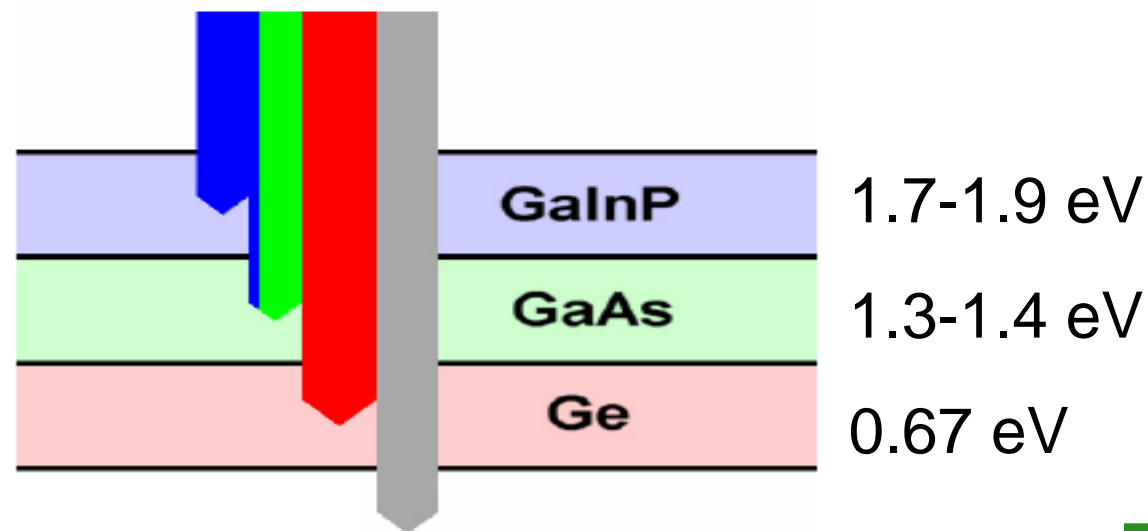
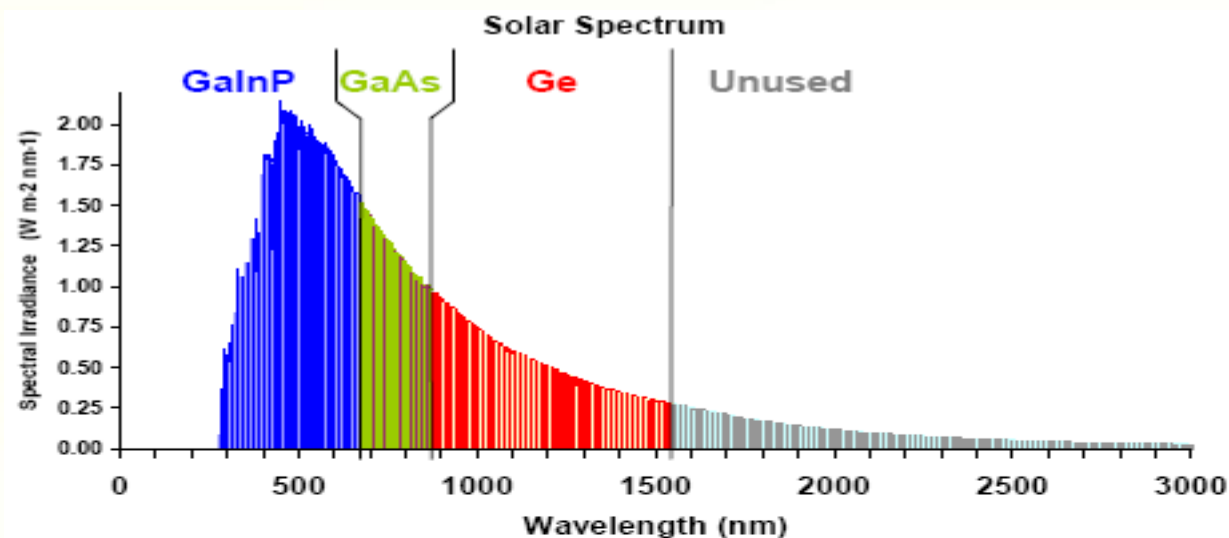
(b)

三、多结叠层电池



GaAs三结电池的典型结构图

- 最上层为GaInP层；禁带宽度在1.7-1.9eV
- 中间为GaAs层，禁带宽度为1.3-1.4eV
- 最下面为Ge层，禁带宽度仅为0.67eV



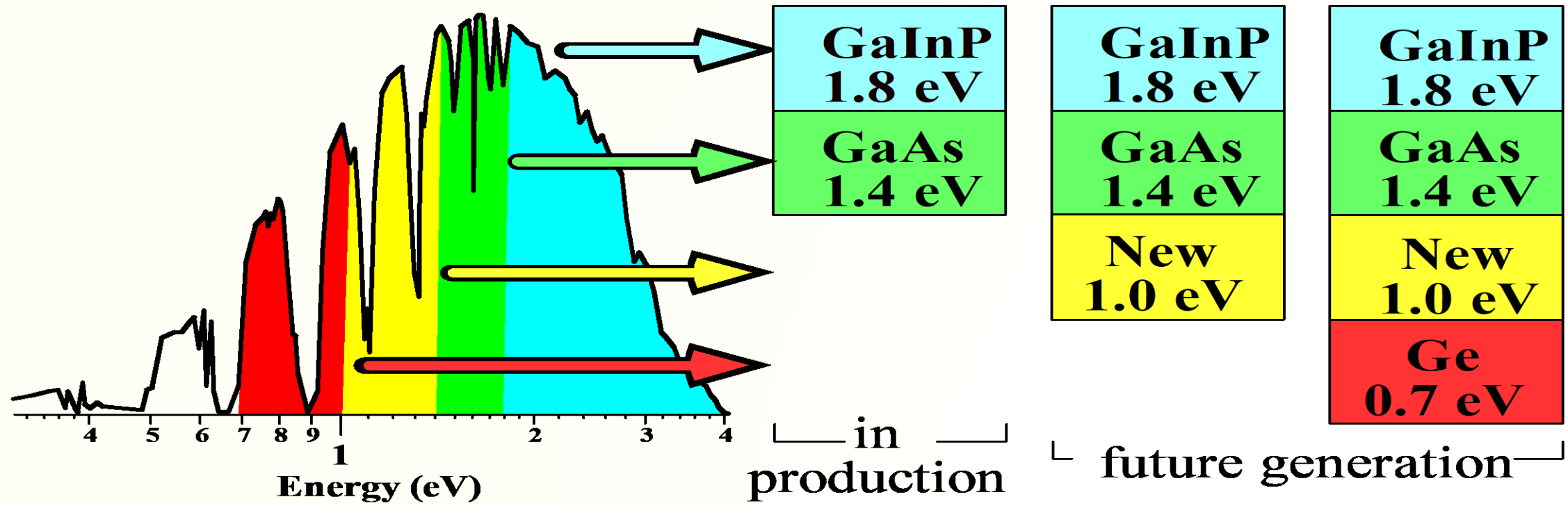
三、多结叠层电池

四结电池关键在于寻找禁带宽度为**1eV**的材料。

目前常用的材料为**GaInNAs**

Calculated efficiencies (ideal)

500X			
AM1.5D:	36%	47%	52%
one sun			
AM0:	31%	38%	41%



四、量子阱、量子点电池



III—V族多结叠层电池的发展取得了巨大成功，大大提高了太阳电池的效率。但由于多结叠层电池的结构复杂，各子结材料之间要求**晶格常数匹配**和**热膨胀系数匹配**，因而对各个子电池材料的选择和连接各个子电池的隧道结材料的选择都十分严格。

提高太阳能电池转换效率的方法有两种，一种是**改善材料品质及太阳能电池构造**、从而提高将太阳能转换为电能的效率；另一种是**扩大可利用的太阳光波长范围**，不仅局限于特定范围的太阳光。

四、量子阱、量子点电池

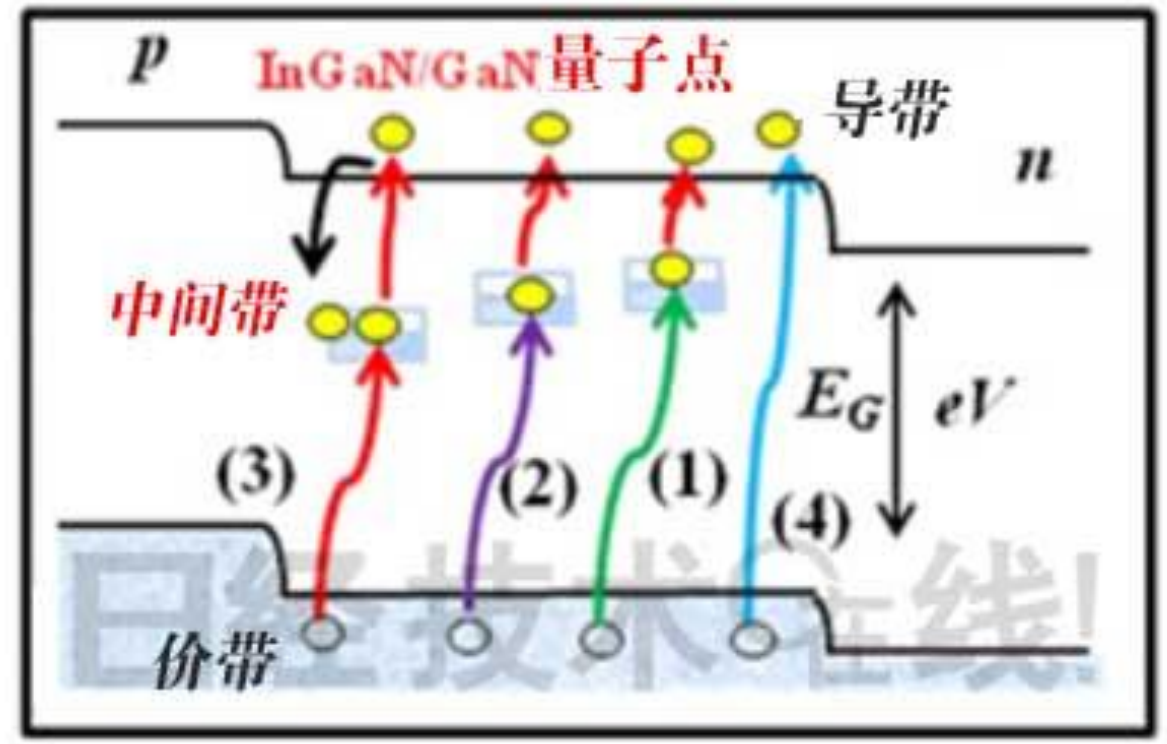
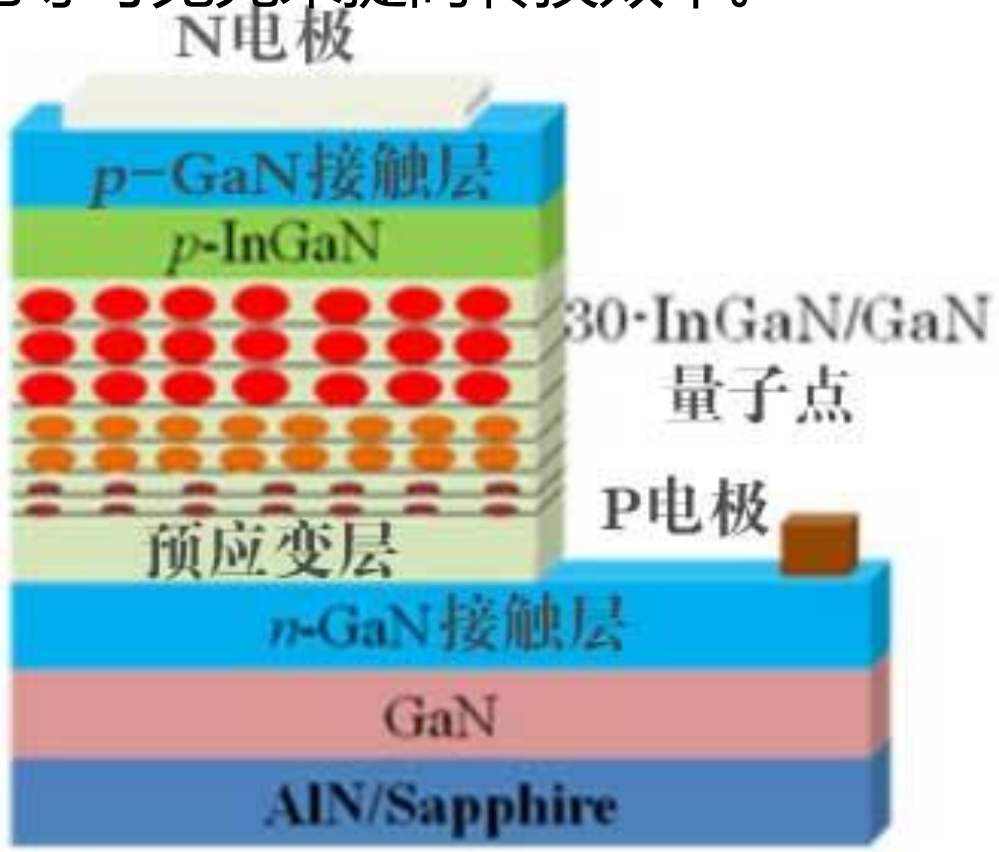


就**化合物半导体型太阳能电池**而言，可利用的太阳光波长范围取决于使用的半导体材料的元素种类及晶体结构中特有的带隙，因此存在**只能利用特定波长范围**的光这个缺点。

量子点太阳能电池通过嵌入由**带隙尺寸不同的多种半导体材料**层叠而成的串联结构及量子点结构，可利用波长更长的太阳光成分

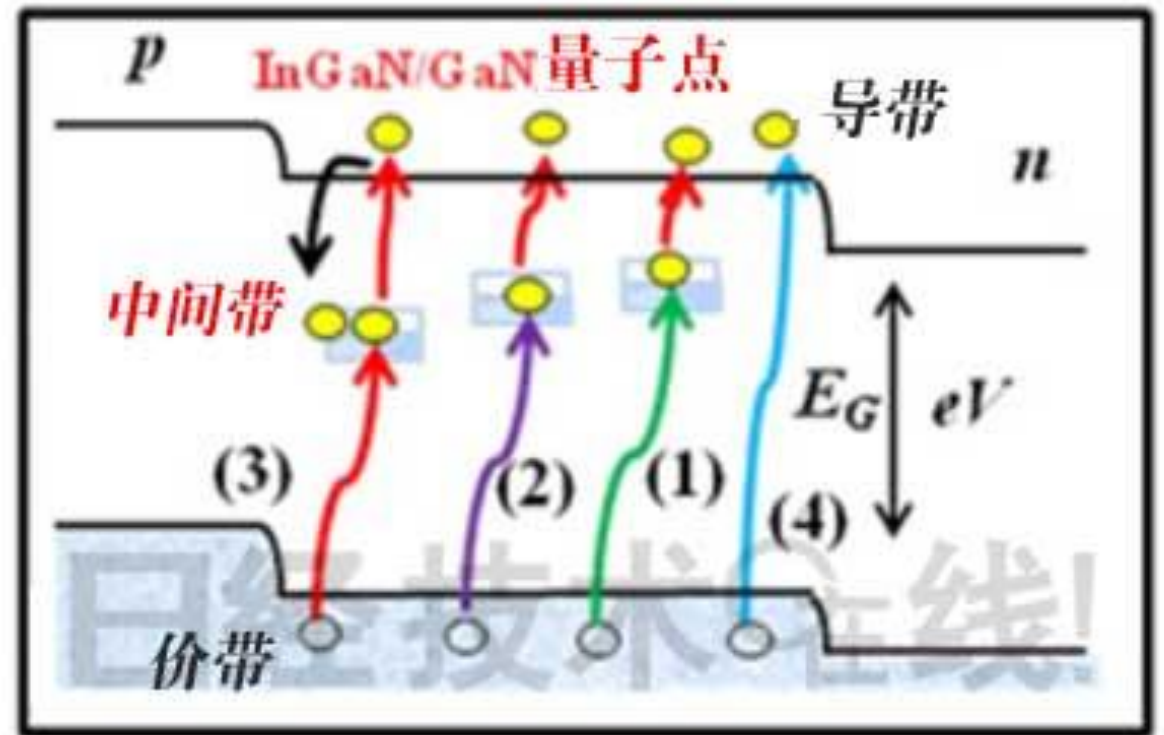
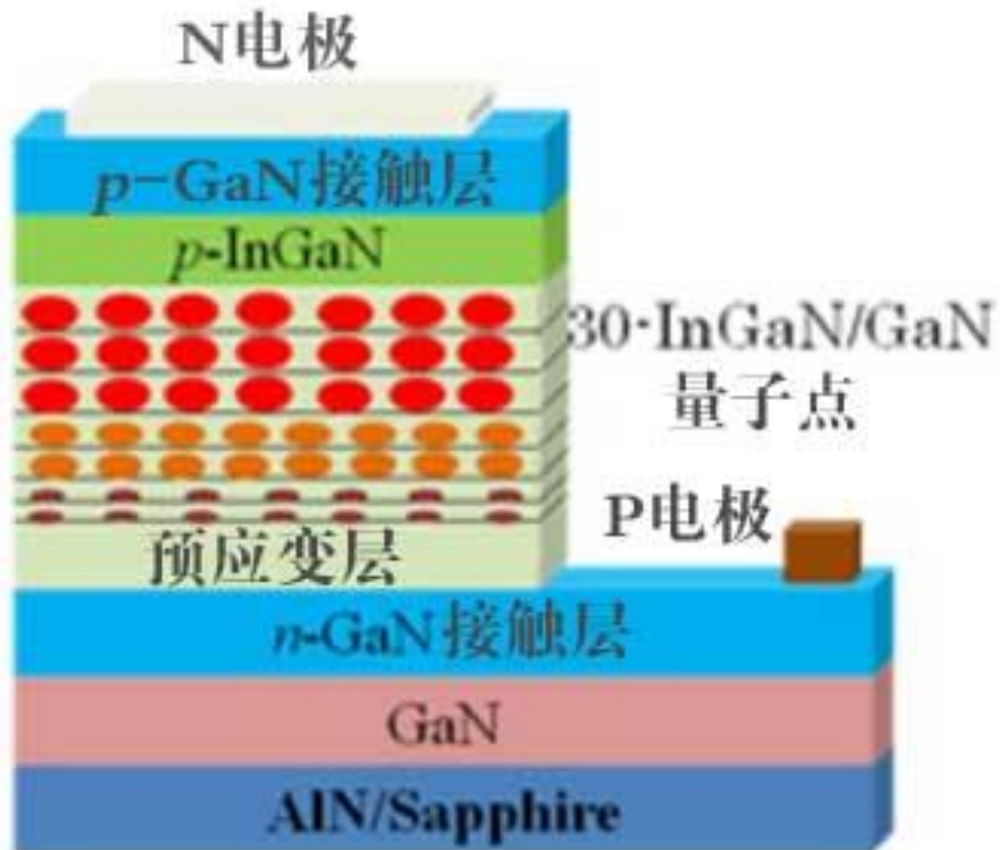
四、量子阱、量子点电池

GaN的结构与InN相同，而且工作波长范围包含了太阳光的所有波长。如果调整In成分的 ($\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$) 混晶为中心形成中间带，不仅可利用能量等于带隙能量的光，还可利用波长更长的光，也就是太阳光光谱的主要构成波长——绿色及黄色等可见光来提高转换效率。



四、量子阱、量子点电池

在P-I-N太阳电池的i层（本征层）如果植入的多量子阱（MQW）结构，则为量子阱电池。若植入的是多个量子点层，则为量子点电池。染料敏化电池即为量子点电池。



四、量子阱、量子点电池



研究关键点:

- 材料的制备;
- 材料性能的研究;
- 量子阱、量子点的周期;
- 量子阱垒层的厚度 u ;
- 减少表面光损失-制备减反层
- 提高光的二次利用

五、热光伏电池

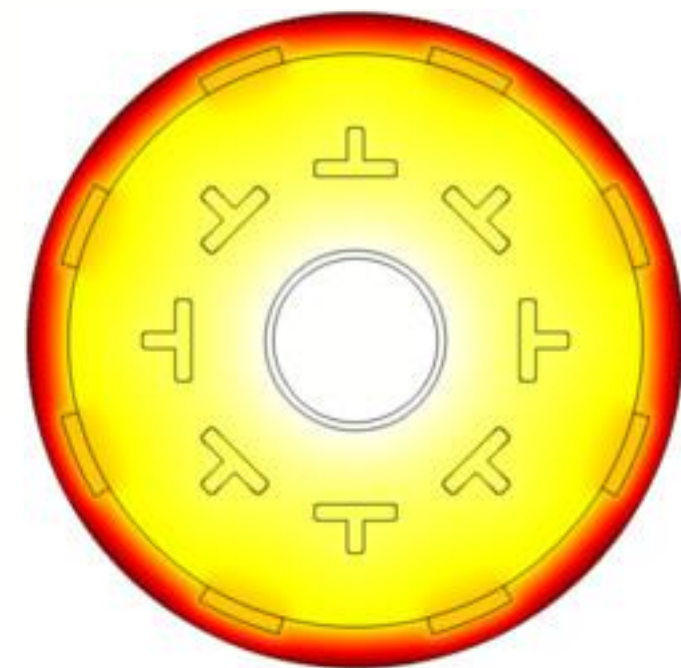


热光伏电池实际上就是**热红外光电池**。即将高温热辐射体的能量通过半导体P-N结转换成电能的技术。

热红外光电池是利用**红外线辐射或火焰发出的红外线** (800~2000nm)

热光伏电池使用的半导体材料为**窄禁带材料**，一般都小于0.7eV；

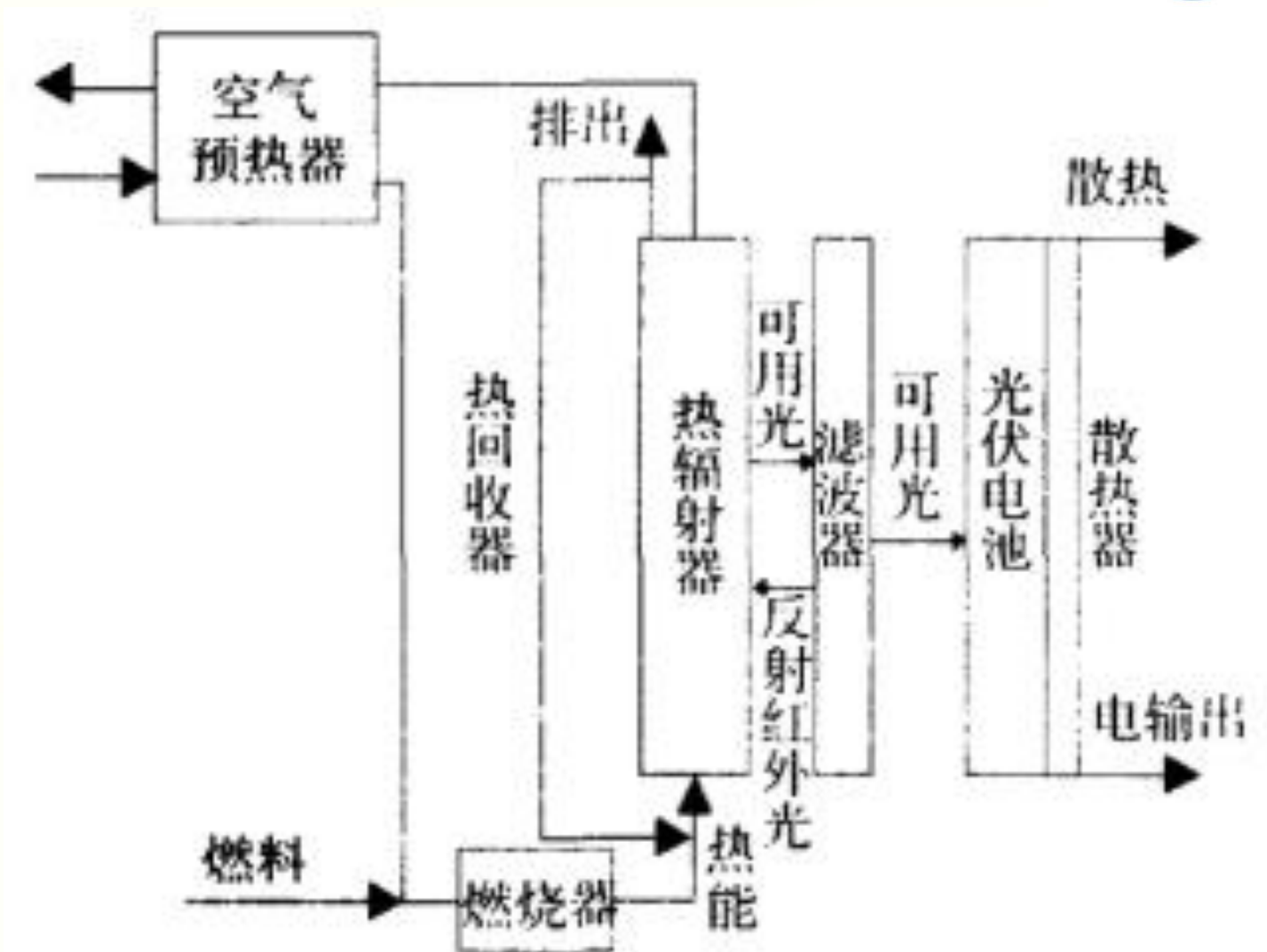
对光源无限制，因此可以用于锅炉、发动机的散热及废热。



五、热光伏电池

结构：

- 热源；
- 热辐射器
- 光学滤波器
- 热光伏电池

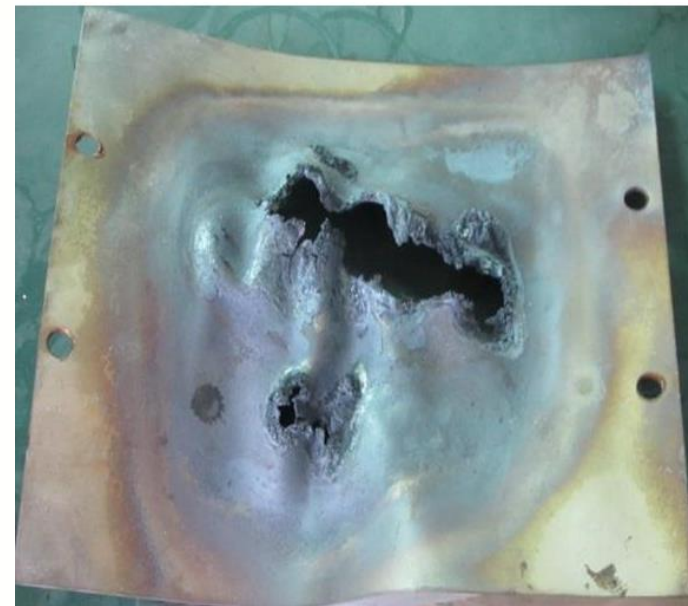
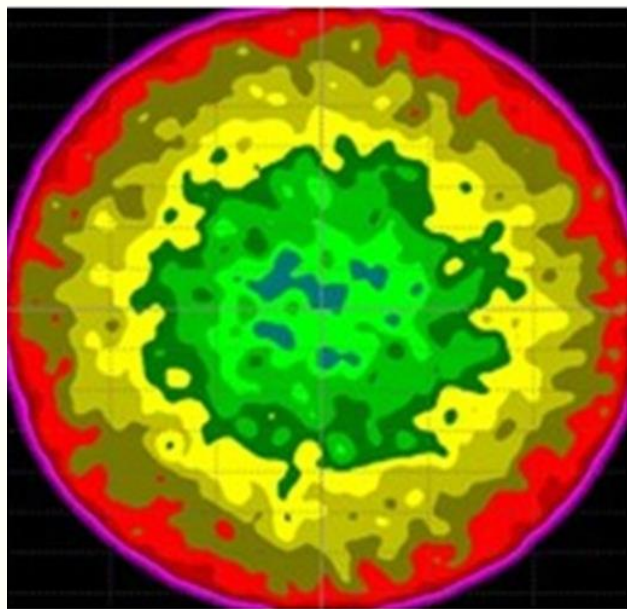


六、聚光光伏光热



聚光光伏在实际应用时存在以下问题：

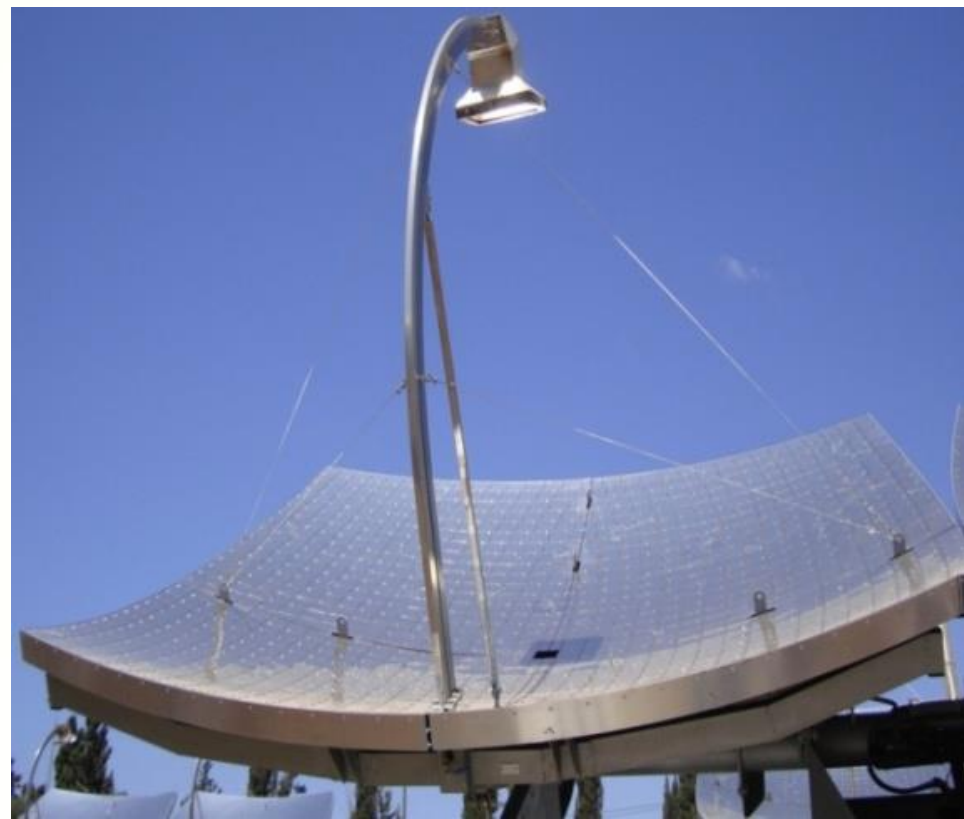
- 1、光伏电池与层压基板热膨胀系数不同，造成**应力失衡**，导致电池损坏
- 2、流体不流动时热量积累造成光伏电池**温度过高**，缩短电池寿命
- 3、对于聚光光伏，由于**光场分布不均**，易造成电池烧穿或局部温度过高



六、聚光光伏光热

在光伏模块背面铺设流道，光伏光热综合利用

- 降低电池温度，提高发电效率
- 余热回收，满足热需求
- 光电光热综合利用，可大幅度提高太阳能利用率



太阳能利用技术



工程热物理

