



太阳能利用技术



薄膜太阳能电池

张 涛

工程热物理



教学要求:

了解：薄膜电池的发展历史及发展趋势；钙钛矿、染料敏化电池等薄膜电池的特点；

掌握：碲化镉（CdTe）电池、铜铟镓硒薄膜电池的原理、结构；



教学要点:

- (1) 薄膜电池的发展趋势及现状;
- (2) 碲化镉 (CdTe) 电池薄膜电池;
- (3) 铜铟镓硒薄膜电池;
- (4) 钙钛矿薄膜电池;
- (5) 染料敏化电池;
- (6) 有机导体太阳电池



一、非晶硅薄膜电池的优点

➤ 低成本

单结非晶硅薄膜电池太阳电池的厚度 $<1\mu\text{m}$ 。

主要原材料是生产高纯多晶硅过程中使用的硅烷，这种气体，化学工业可大量供应，且十分便宜，制造一瓦非晶硅太阳能电池的原材料本约RMB3.5-4（效率高于6%）

且晶体硅太阳电池的基本厚度为240-270 μm ，相差200多倍，大规模生产需极大量的半导体级，仅硅片的成本就占整个太阳电池成本的**65-70%**，在中国1瓦晶体硅太阳电池的硅材料成本已上升到RMB22以上。

从原材料供应角度分析，人类大规模使用阳光发电，最终的选择只能是非晶硅太阳电池及其它薄膜太阳电池，别无它法！



一、非晶硅薄膜电池的优点

➤ 能量返回期短

转换效率为6%的非晶硅太阳电池，其生产用电约1.9度电/瓦，由它发电后返回的时间约为**1.5-2年**，这是晶硅太阳电池无法比拟的。

➤ 大面积自动化生产

目前，世界上最大的非晶硅太阳电池是Switzerland Unaxis的KAI-1200 PECVD 设备生产的1100mm*1250mm单结晶非晶硅太阳电池，起初是效率高于9%。其稳定输出功率接近80W/片。

商品晶体硅太阳电池还是以**156mm*156mm和125mm*125mm**为主。



一、非晶硅薄膜电池的优点

➤ 短波响应优于晶体硅太阳电池

上海尤力卡公司曾在中国甘肃省酒泉市安装一套6500瓦非晶硅太阳能电站，其每千瓦发电量为1300KWh，而晶体硅太阳电池每千瓦的年发电量约为1100-1200KWh。非晶硅太阳电池显示出其极大的使用优势。下图为该电站的现场照片，第一代非晶硅太阳电池的以上优点已被人们所接受。2003年以来全世界太阳能市场需求量急剧上升，非晶硅太阳电池也出现供不应求的局面。





一、非晶硅薄膜电池的缺点

➤ 效率较低

单晶硅太阳能电池，单体效率为14%-17%(AMO)，而柔性基体非晶硅太阳电池组件（约1000平方厘米）的效率为10-12%，还存在一定差距。

相同的输出电量所需太阳能电池面积增加，对于对太阳能电池占地面积要求不高的场合尤其适用，如农村和西部地区。

我国目前尚有约28000个村庄、700万户、大约3000万农村人口还没有用上电，60%的有电县严重缺电；光致衰减效应也可在电量输出中加以考虑，我们认为以上缺点已不成为其发展的障碍，**非晶硅太阳能电池已迎来新的发展机遇。**



一、非晶硅薄膜电池的缺点

➤ 稳定性问题

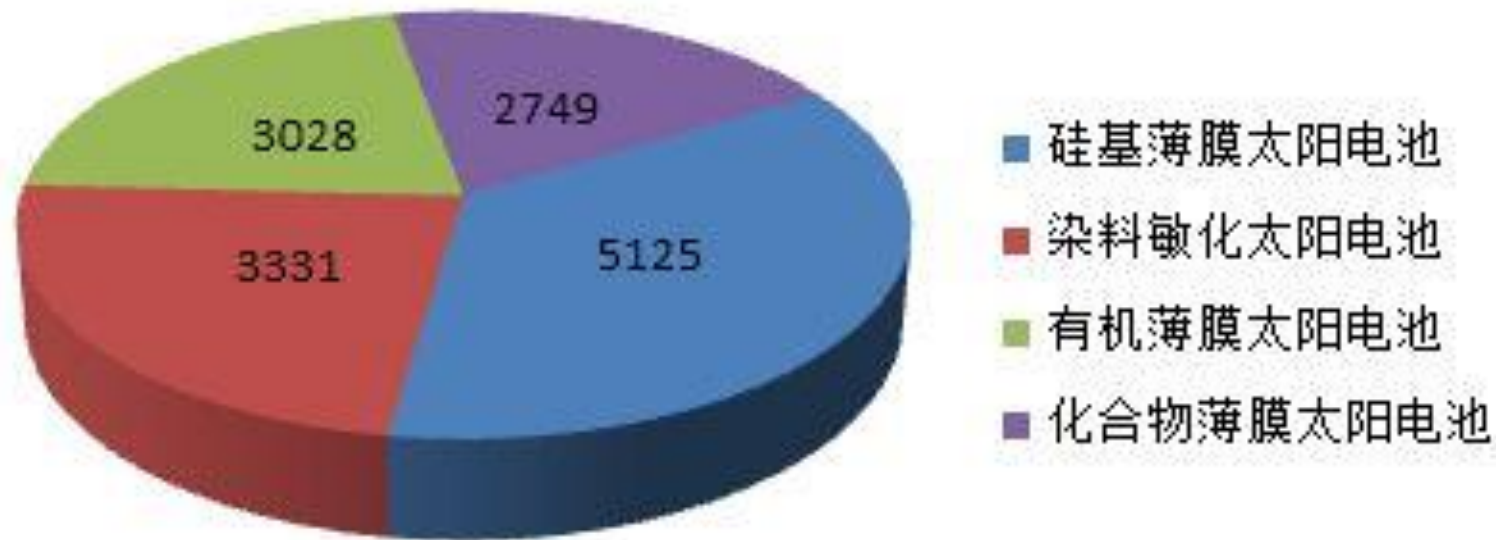
非晶硅太阳能电池的**光致衰减，所谓的W-S效应**，是影响其大规模生产的重要因素。目前，柔性基体非晶硅太阳能电池稳定效率已超过10%，已具备作为空间能源的基本条件。

➤ 成本问题

非晶硅太阳能电池投资额是晶体硅太阳能电池的**5倍**左右，因此项目投资有一定的资金壁垒。且成本回收周期较长，昂贵的设备折旧率是大额回报率的一大瓶颈。

一、非晶硅薄膜电池

下图可以看出，全球专利中，**硅基薄膜太阳能电池专利数量最多**，说明最受关注，数量第二多的是染料敏化太阳电池，但与有机薄膜太阳电池和化合物薄膜太阳电池差距不是很大。

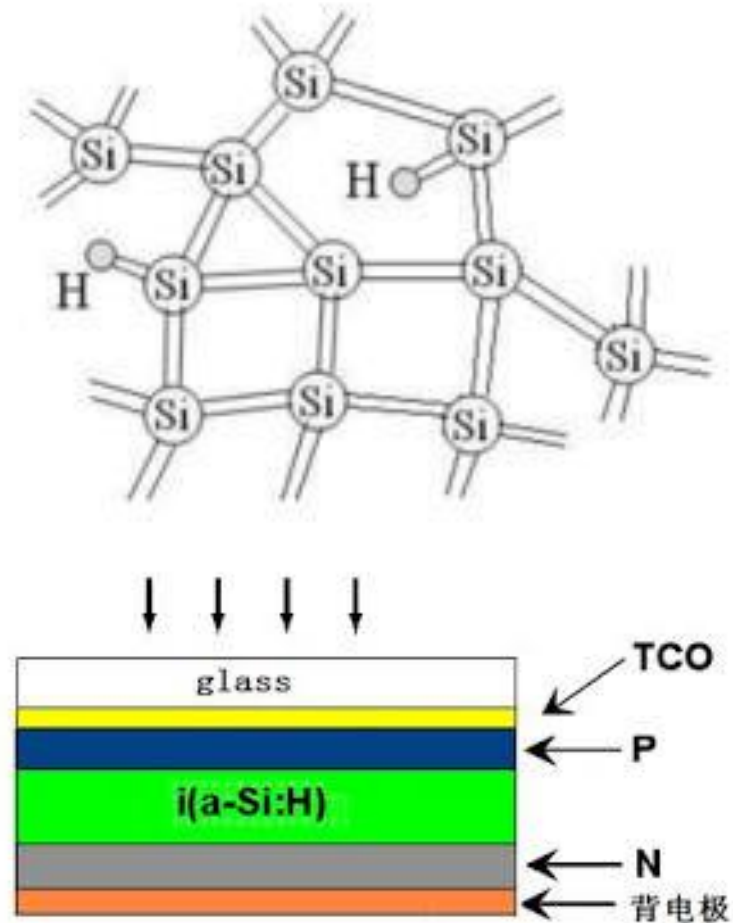


一、非晶硅薄膜电池的结构

与单晶硅及多晶硅相比，非晶硅的原子排列是长程无序的。短程有序而长程无序是非晶硅结构组成的基本特征。

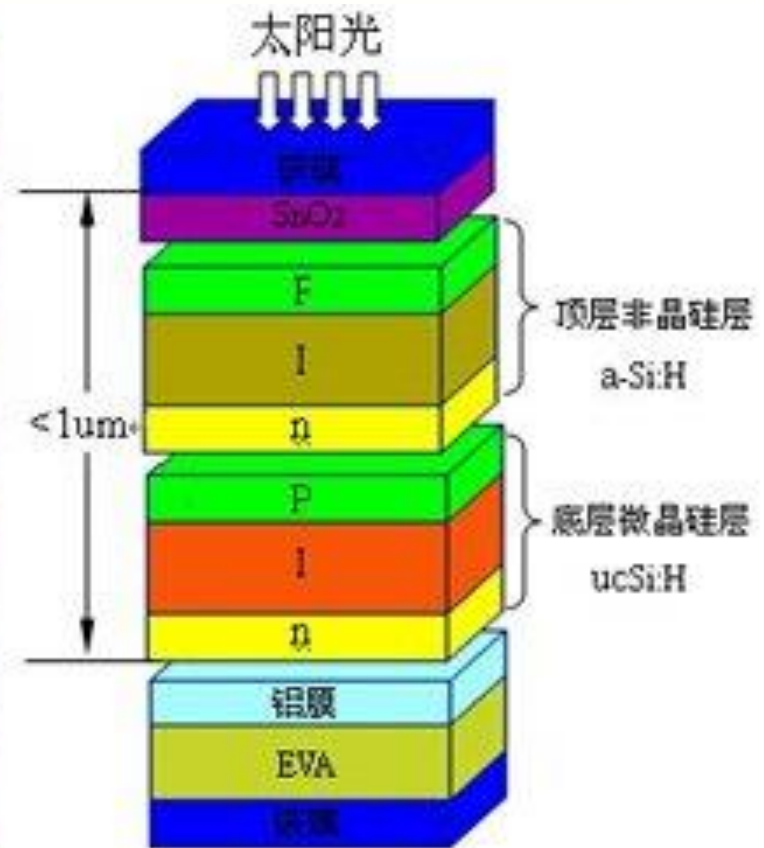
单晶硅是间接跃迁型材料，吸收系数小；与此相反，非晶硅显示出直接跃迁型材料的特性，具有很高的吸收系数。在可见光范围内，非晶硅

非晶硅薄膜电池的结构一般是P-I-N结构，根据光入射侧的不同，分为P-I-N和N-I-P两种。**非晶硅太阳电池的激活层是不掺杂的I层。**



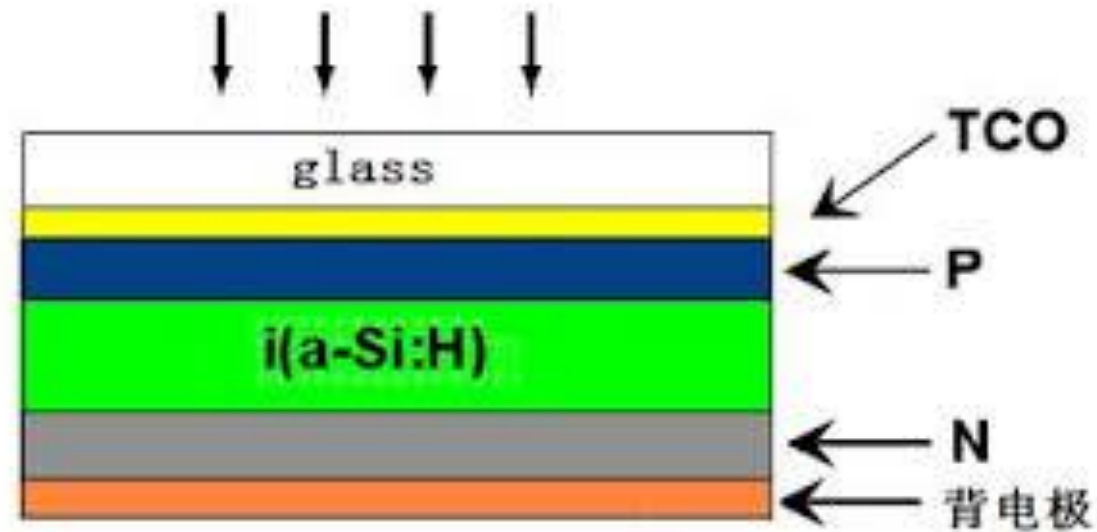
一、非晶硅薄膜电池的结构

- 单晶硅太阳电池的耗尽层宽度依赖于掺杂量。
- 非晶硅太阳电池，I层的局部能级密度决定耗尽层宽度和电位分布
- **非晶硅P-N结**通常不显示整流性，却**表现出接触电阻**的特性
- 在非晶硅电池中，P层和N层被认为是“死层”



一、非晶硅薄膜电池的结构

- **衬底**：一般为不锈钢、铝或是带有导电层的玻璃；
- **N型非晶硅**：沉积在衬底上，厚度为 $0.02\mu\text{m}$ ；
- **I型本征层**：在N层上沉积，厚度约为 $0.5\mu\text{m}$ ；
- **P型非晶硅**：在I型上沉积，厚度约为 $0.008\mu\text{m}$ ；
- **TCO**：在P型非晶硅上面喷涂；



一、非晶硅薄膜电池的结构

➤ ITO和TCO

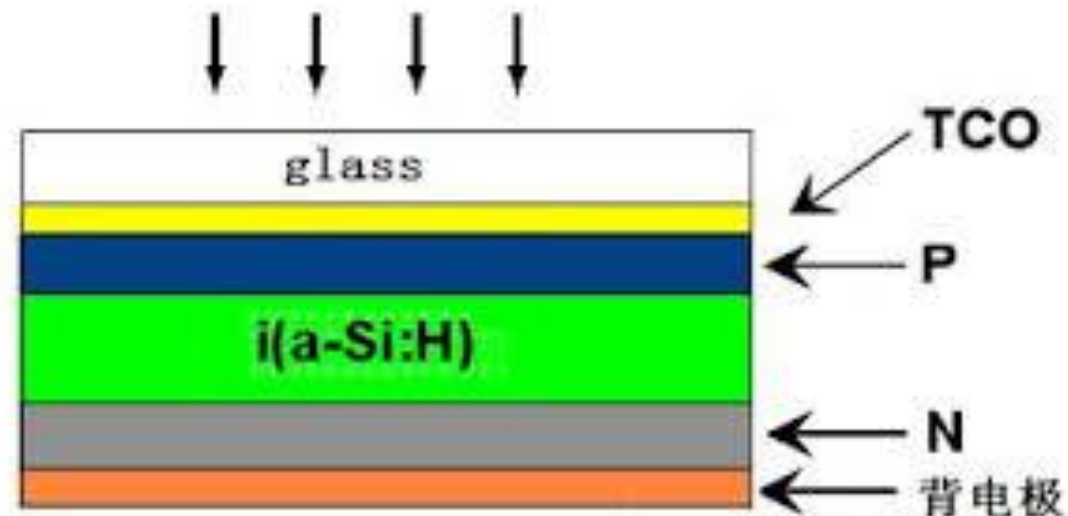
用**金属基板**的太阳电池必须在表面蒸镀**ITO**(indium tin oxide);

用**玻璃基板**时, 利用ITO或镀上 SnO_2 的**TCO**膜做衬底。

ITO作为纳米铟锡金属氧化物, 具有很好的导电性和透明性, 可以切断对人体有害的电子辐射, 紫外线及远红外线。

TCO 氧化物薄膜(ITO, ZnO 和 SnO_2) 玻璃是目前应用最广泛的导电膜玻璃.TCO薄膜因具有优异的光电性能而被应用在各种光电器件中

ITO及TCO要求有高的透射率和导电率, 厚度应考虑表面反射率及电阻率。



一、非晶硅薄膜电池的结构

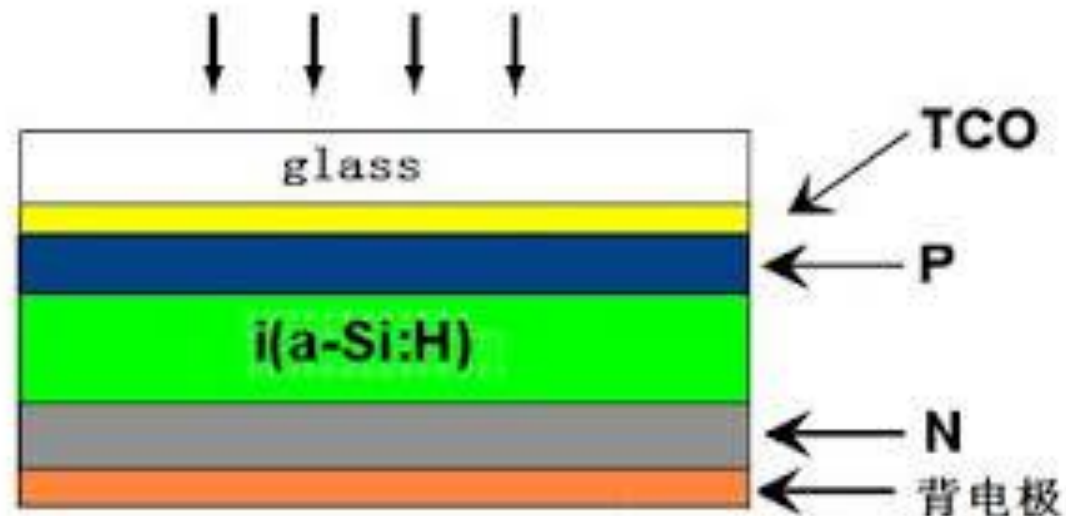
➤ P层、N层

P层材料的主要参数是电导率、禁带宽度、厚度；

P层太薄，则**得不到均匀的膜**或充分的扩散电位；

P层太厚，则**串联电阻变大**，P层的吸收增加；

N层的要求与P层大致相同；



一、非晶硅薄膜电池的结构

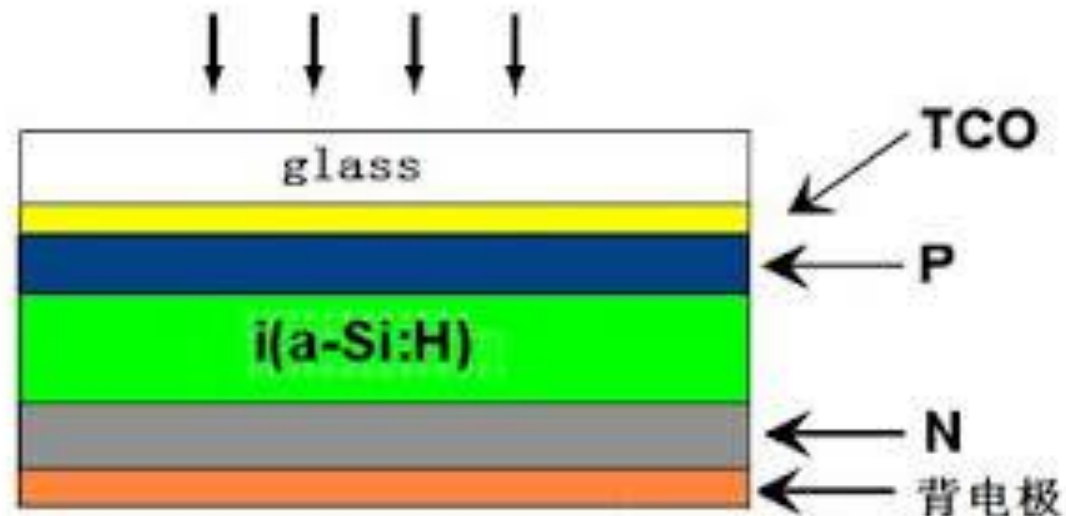
➤ I层

I层的最佳厚度与局部能级密度有关；

I层越厚，光的吸收效率越高，但内电场局部弱，引起**串联电阻的增大**，填充因子降低，还使I/N界面附近激发的**载流子收集效率降低**；

I层变薄，则I层整个区域存在强电场，使**填充因子增大**，却因为**光的吸收量减少**，效率降低；

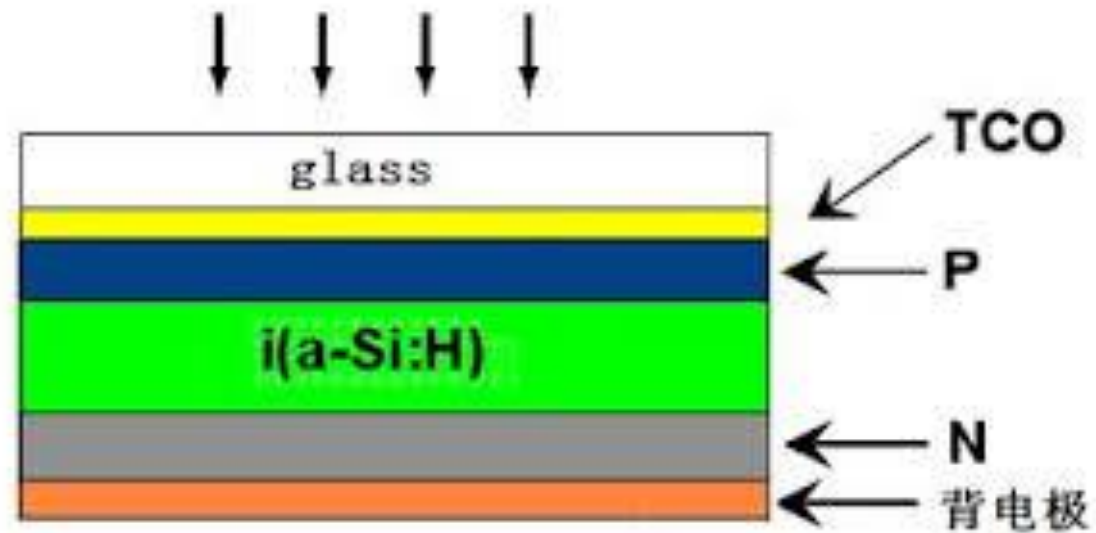
I层的厚度存在最佳值



一、非晶硅薄膜电池的I-V特性

目前关于非晶硅P-I-N太阳电池的计算分析模型，没有晶硅电池成熟。目前基于以下假设：

- P型和N型层都为死层；
- **I层完全耗尽**，则解出电子和空穴在I层内的连续方程即可得到光电流；
- 假设I层的**载流子迁移率和少子寿命均为常量**。

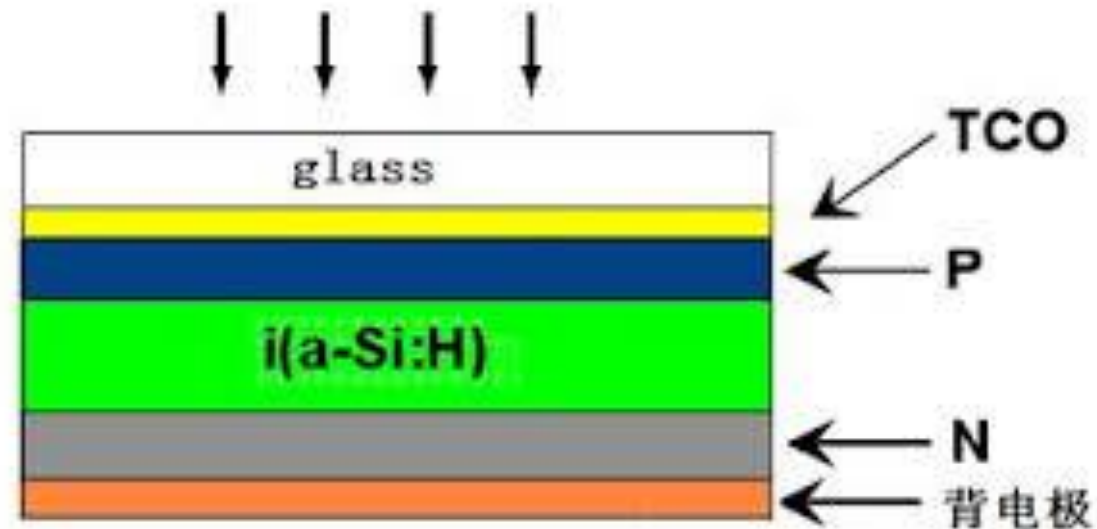


一、非晶硅薄膜电池的I-V特性

通常非晶硅太阳电池暗状态下的电流-电压和 $I_{sc}-U_{oc}$ 特性不一致，对于前者的评价比较困难，而对于后者的效果可以从分析中得出：

$$U_{oc} = \frac{AkT}{q} \ln \left(\frac{I_{ph}}{I_0} + 1 \right)$$

非晶硅太阳电池的 I_{ph} 具有对正向偏压的依赖性。此外， $I_{sc}-U_{oc}$ 因光照方向而有所差异。

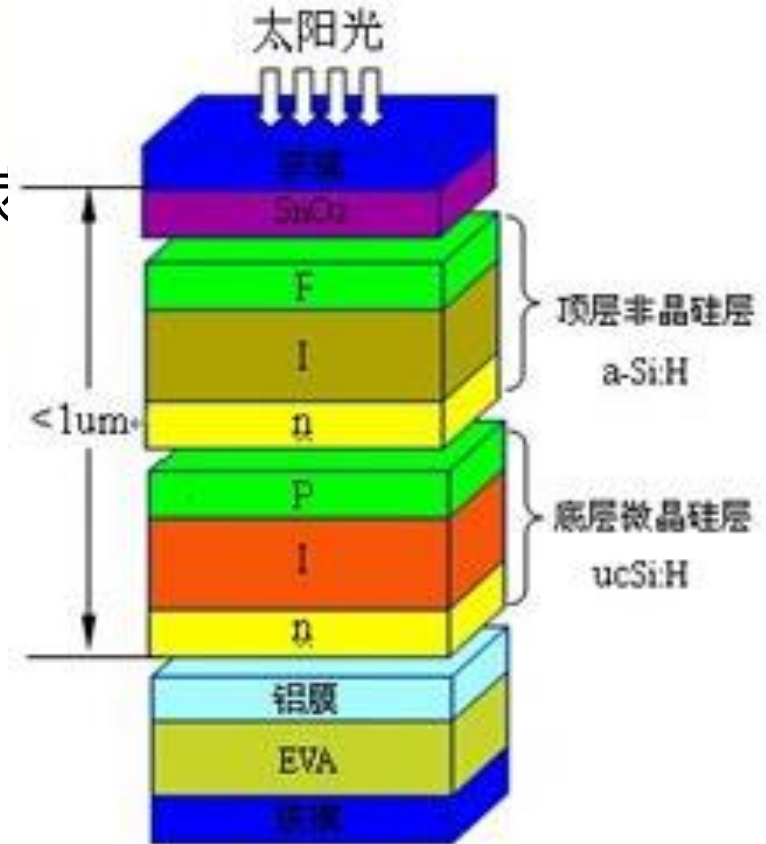


一、非晶硅薄膜电池的I-V特性

提高非晶硅电池效率的方法

在常规非晶硅P-I-N同质结构太阳电池中，大约有10%的光在通常重掺杂的P型层内损失。为减少这一影响，**通常用P型窗口代替原有的P型层**。即在原来P型非晶硅里面掺杂C颗粒， $a\text{-Si:C:H}$ （含碳20%-30%）

使用 $a\text{-Si:C:H}$ 的有点是可以通过控制碳的含量使带隙在很大范围内变化，从而大大改善太阳电池的性能。



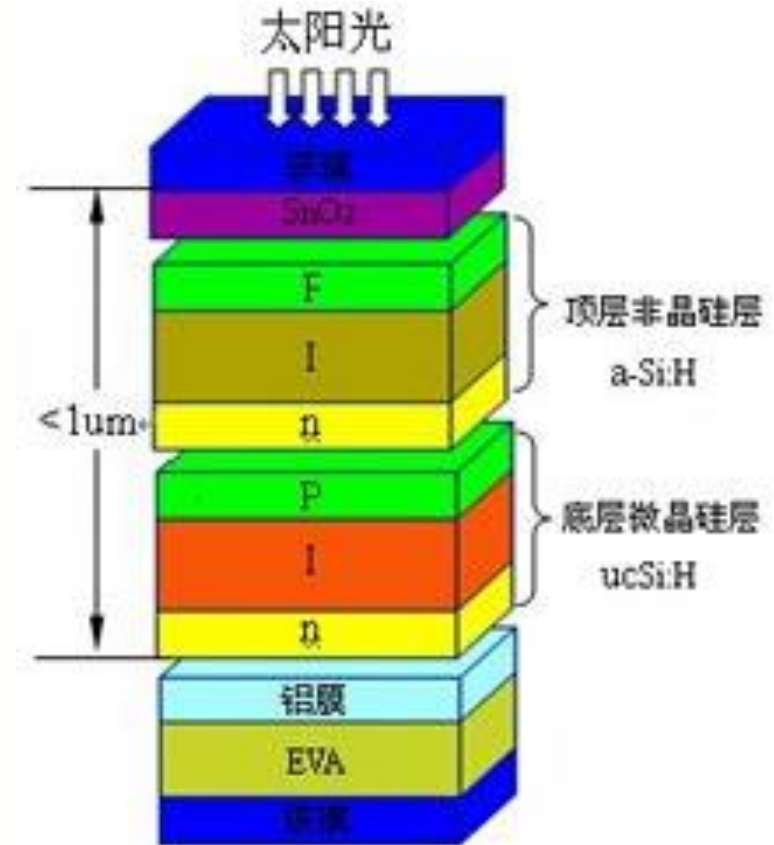
一、非晶硅薄膜电池的I-V特性

提高非晶硅电池效率的方法

为了降低串联电阻，也可以将微晶硅用于P层或N层。

uc-Si更透明，但不具备较宽的带隙；

可以在里面再掺入C，即：uc-Si:C合金，可以展宽带隙。



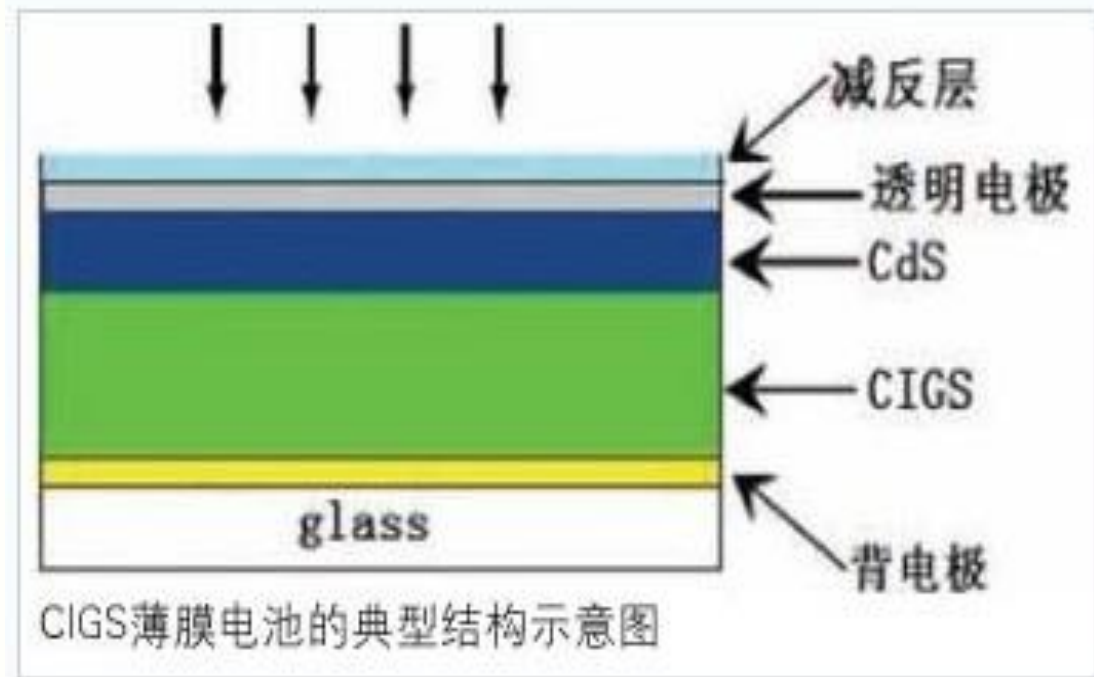
一、非晶硅薄膜电池的I-V特性

提高非晶硅电池效率的方法

非晶硅电池的 I_{sc} 通常较小。其主要原因是因为a-Si:H的带隙较宽，低能光子对光生电流无贡献。其次，由于I层的厚度不能太大，导致能量接近于带隙宽度的长波光子不能被充分吸收。

解决方法：

- 1、利用叠层结构；
- 2、在通常的P-I-N的**衬底内表面制作光反射层**



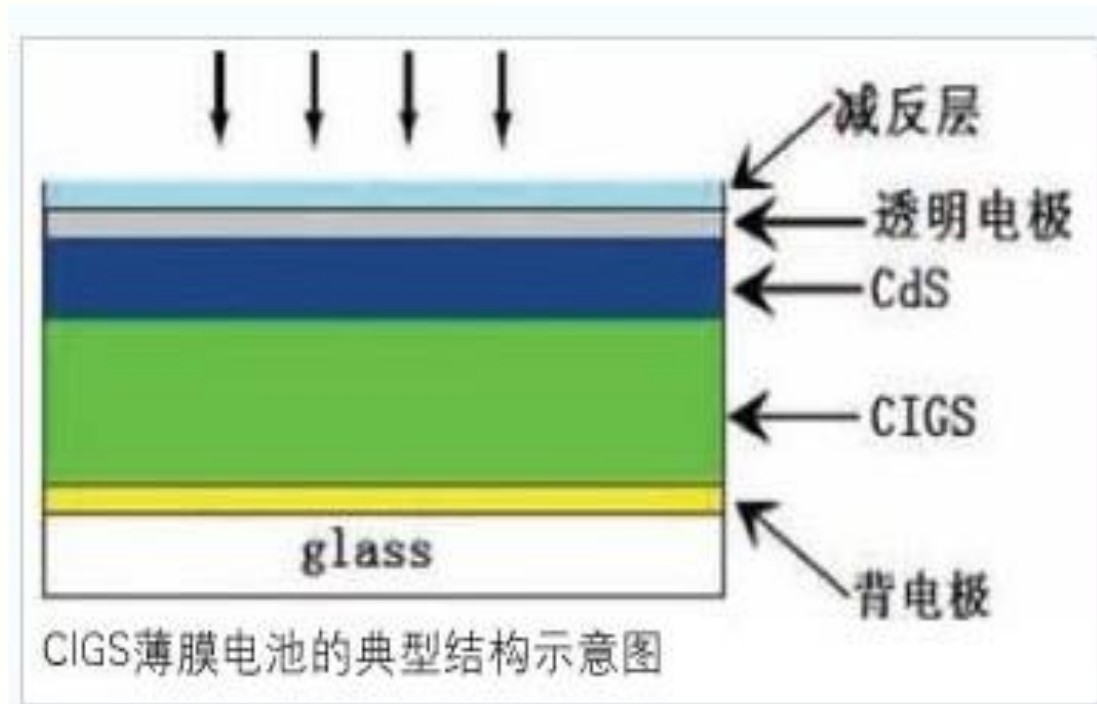
一、非晶硅薄膜电池的I-V特性

提高非晶硅电池效率的方法

在通常的P-I-N的衬底内表面**制作光反射层**，是将能量接近于光学带隙宽度的未被吸收的光子，通过I层后又被反射层反射，回到I层，进而产生光生载流子。

可提高 I_{sc} 近20%。

常用Ag,Al或Ti/Al做背电极



一、非晶硅薄膜电池的I-V特性

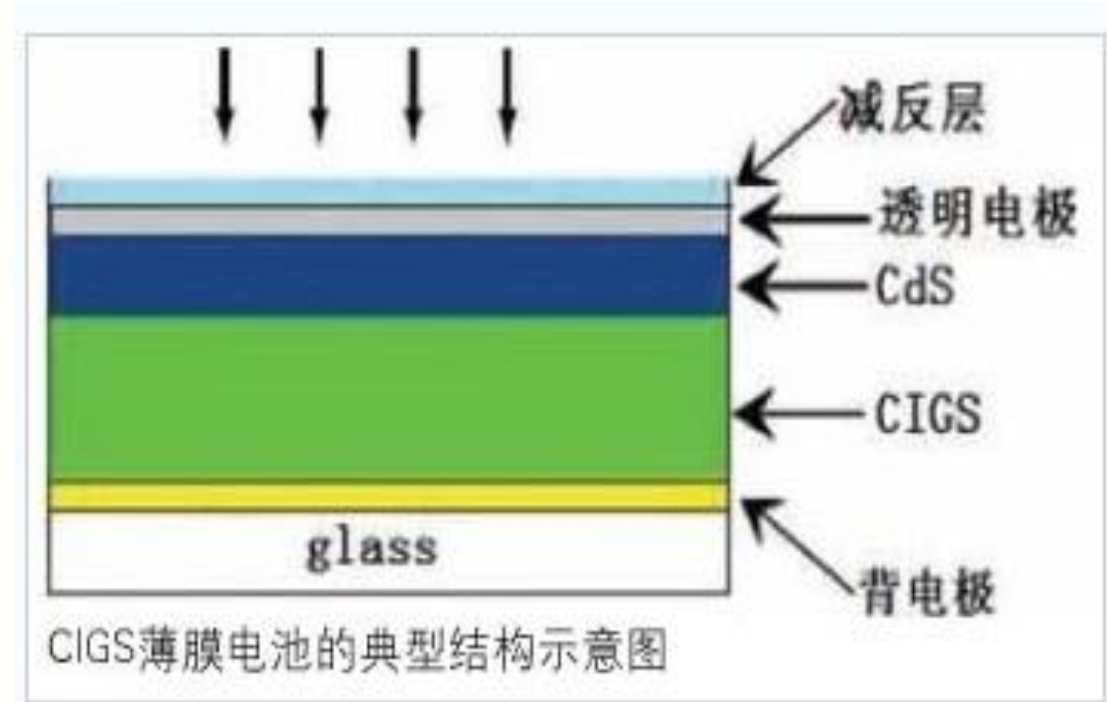
提高非晶硅电池效率的方法

改善**入射表面**的反射损失，绒面一般为 SiO_2/ITO 、 Al/ZnS

减反膜结构。

钝化非晶硅膜。非晶硅中存在氧、氮以及碳等杂质，这些杂质会对性能产生不利影响。
有目的的在**I层中掺杂硼**可在相当范围内提改善电池性能。

将**N层和P层**互换位置，形成所谓的N-I-P型太阳能电池；





二、非晶硅薄膜电池的衰减及可靠性

1、S-W (Staebler-Wronski) 效应

a-Si:H电导率和光电特性因连续光照会发生衰减现象，由Stabler和Wronski发现，故称为S-W效应

S-W效应是非晶硅材料结构的一种光致亚稳变化效应，这种特性变化是由于短路电流密度和填充因子降低造成的。

目前对于S-W效应的起因，国际学术界的解释还不一致。但大多数模型认为H在光致变化中起重要作用，应减小**材料中H的含量**。



二、非晶硅薄膜电池的衰减及可靠性

2、正向或反向偏压后性能的变化

非晶硅薄膜电池的端电压与其衰减程度有直接关系；

正偏衰减增强是由于晶硅电池施加正压导致载流子的复合引起的，即载流子的注入与复合产生了新的载流子陷阱；

对太阳能电池进行有目的的反偏处理，如反偏压-温度处理，性能会有明显改善。



二、非晶硅薄膜电池的衰减及可靠性

3、温度对非晶硅太阳电池性能的影响

非晶硅薄膜电池工作时的**温度对其性能的影响十分明显**，特别是对**光致衰减程度**的影响**更为明显**；

非晶硅中含有10%-20%的氢，硅-氢键存在温度稳定性的问题。高温条件下，长时间照射，组件的可靠性会出现问题。



二、非晶硅薄膜电池的衰减及可靠性

4、可靠性及模型

非晶硅薄膜电池室外气象使用时，需进行耐热、耐湿、耐冲击等可靠性实验。经过以上实验，输出特性应变化不大。

可靠性模型基于以下假设：

- 太阳电池特性的变化与串联电阻的增加、太阳电池内部吸收光子的减少无关；
- 太阳电池特性的变化是由于入射光侧的窗口层；
- I层本身不因连续光照射而发生变化，而是光生自由载流子在I层中被俘获或复合发生变化
- 除辐照外，其他方法使得太阳电池内部产生自由载流子，也出现同样的效果



三、非晶硅薄膜电池的介绍

4、可靠性及模型

非晶硅薄膜电池室外气象使用时，需进行耐热、耐湿、耐冲击等可靠性实验。经过以上实验，输出特性应变化不大。

可靠性模型基于以下假设：

- 太阳电池特性的变化与串联电阻的增加、太阳电池内部吸收光子的减少无关；
- 太阳电池特性的变化是由于入射光侧的窗口层；
- I层本身不因连续光照射而发生变化，而是光生自由载流子在I层中被俘获或复合发生变化
- 除辐照外，其他方法使得太阳电池内部产生自由载流子，也出现同样的效果



三、非晶硅薄膜电池的介绍

多晶硅薄膜用于太阳能电池是实现高效率、低成本最有前途的方法

多晶硅薄膜电池既具有晶体硅的高效率和稳定性，又保持了薄膜电池低成本的优点，是目前国际上研究的热点。

低成本、高性能的多晶硅薄膜电池，需满足以下条件：

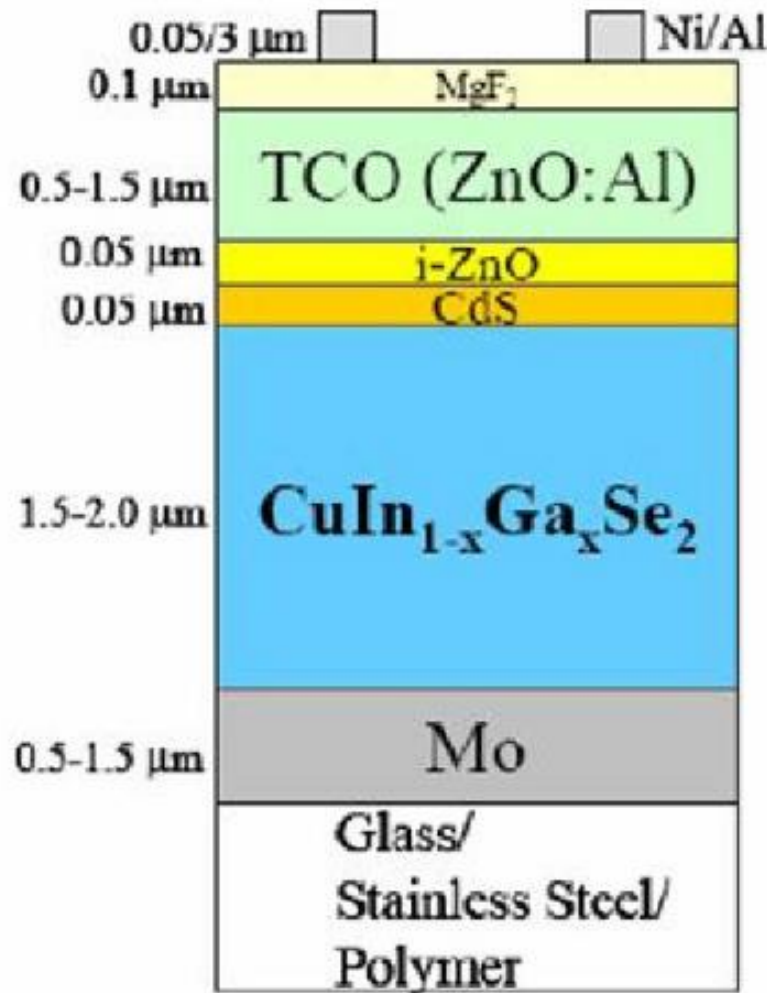
- 采用低温制造工艺，以便采用廉价衬底；
- 发展类似非晶硅电池的大面积制造技术；
- 膜尽可能薄

三、非晶硅薄膜电池的介绍

铜铟镓硒(CIGS)

铜铟镓硒 CIGS(Copper Indium Gallium Selenium)属于四元化合物半导体，归类为单接面太阳能电池

其光吸收范围可从**1.02 ev**至**1.68 ev**



三、非晶硅薄膜电池的介绍

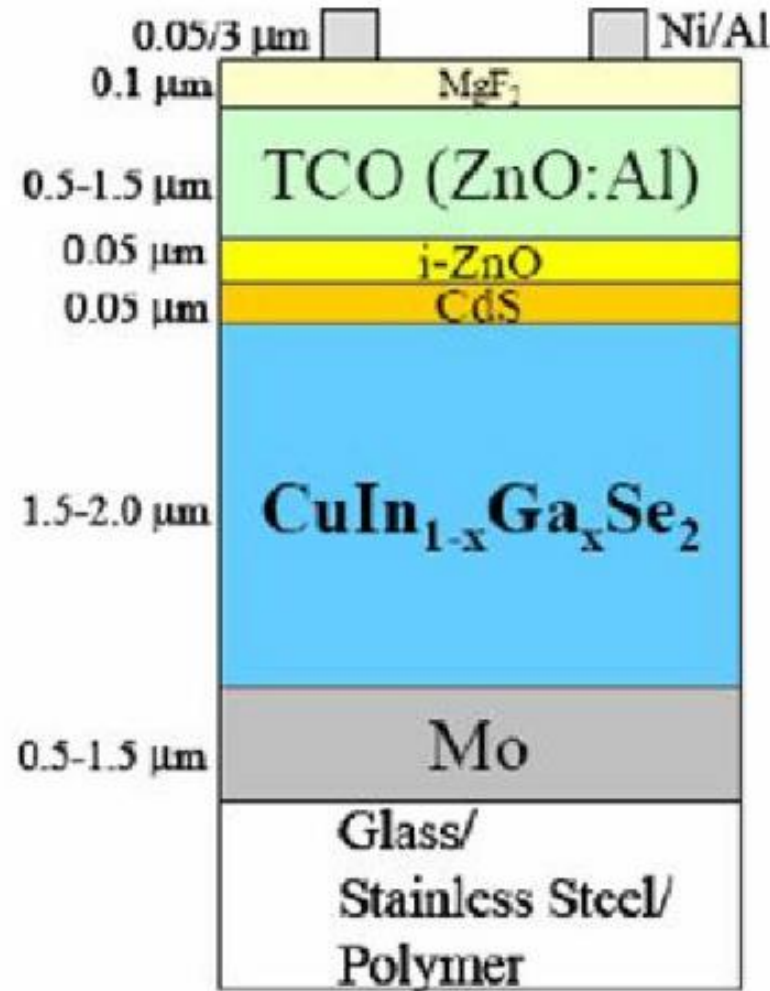
铜铟镓硒(CIGS)

典型结构如右所示：

MgF₂/ZnO/CdS/CIGS/Mo/Glass

2014年实验室最高效率可达
21.6%

常用方法：反应共蒸法和硒化
法（溅射、蒸发、沉积）



三、非晶硅薄膜电池的介绍

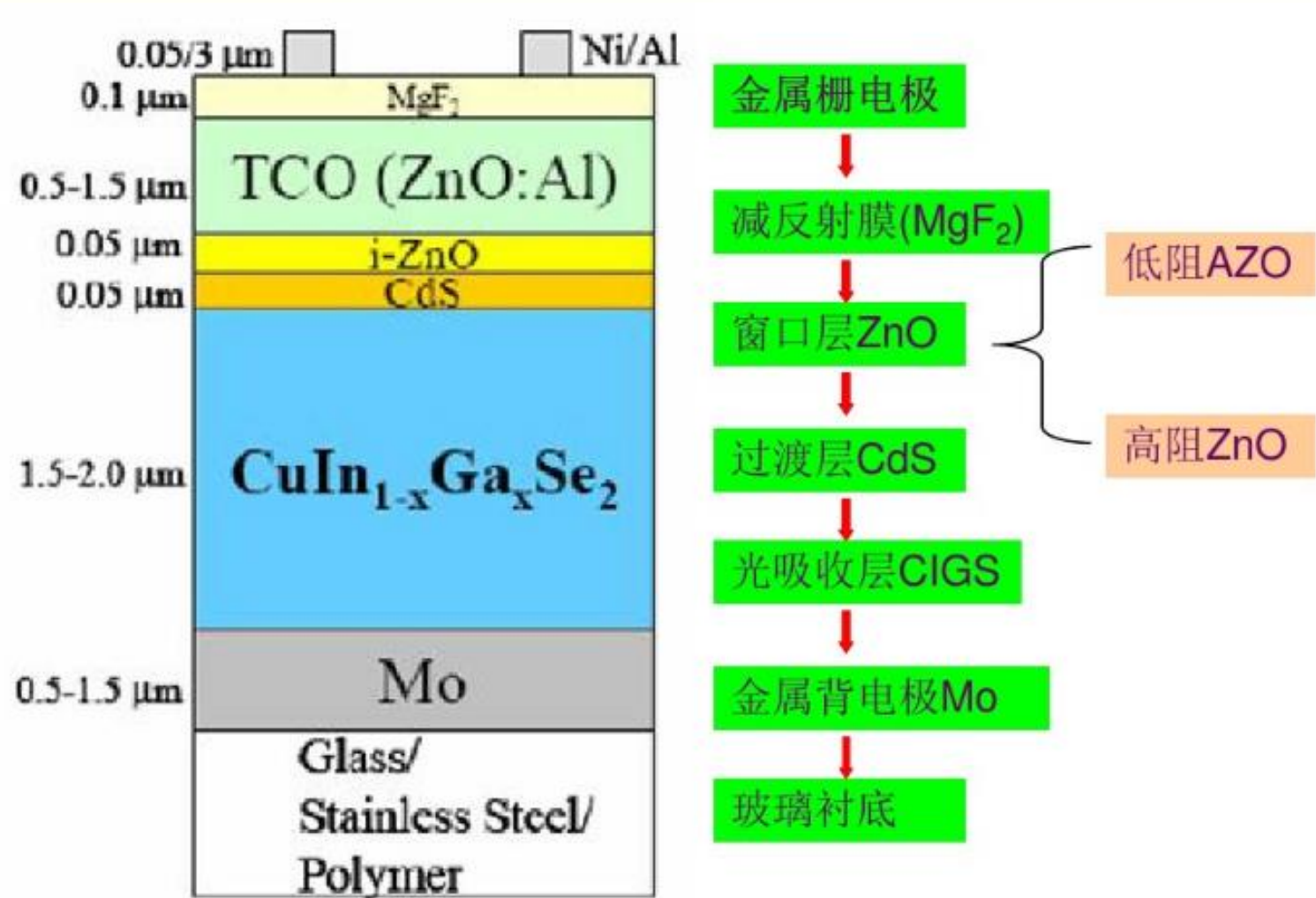
铜铟镓硒(CIGS)

优点:

- 效率高;
- 技术门槛低
- 面向应用途径广

缺点:

- In, Ga等稀缺金属的竞争, 如存量、价格等;
- 由于有大量真空设备, 初始投入非常高

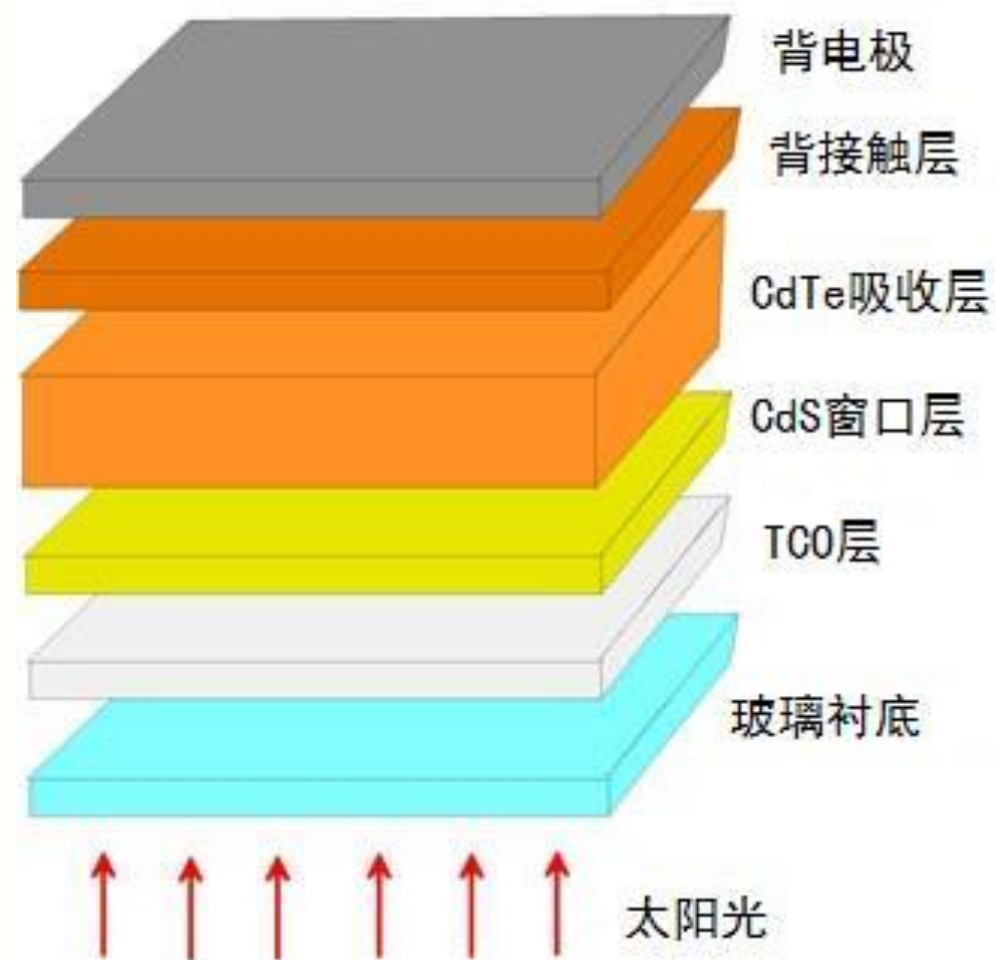


三、非晶硅薄膜电池的介绍

碲化镉(CdTe)

碲化镉薄膜电池是一种以P型碲化镉 (CdTe) 和N型硫化镉 (CdS) 的**异质结**为基础的太阳能电池

具有**直接跃迁型能带结构**,禁带宽
1.5eV(25°C)

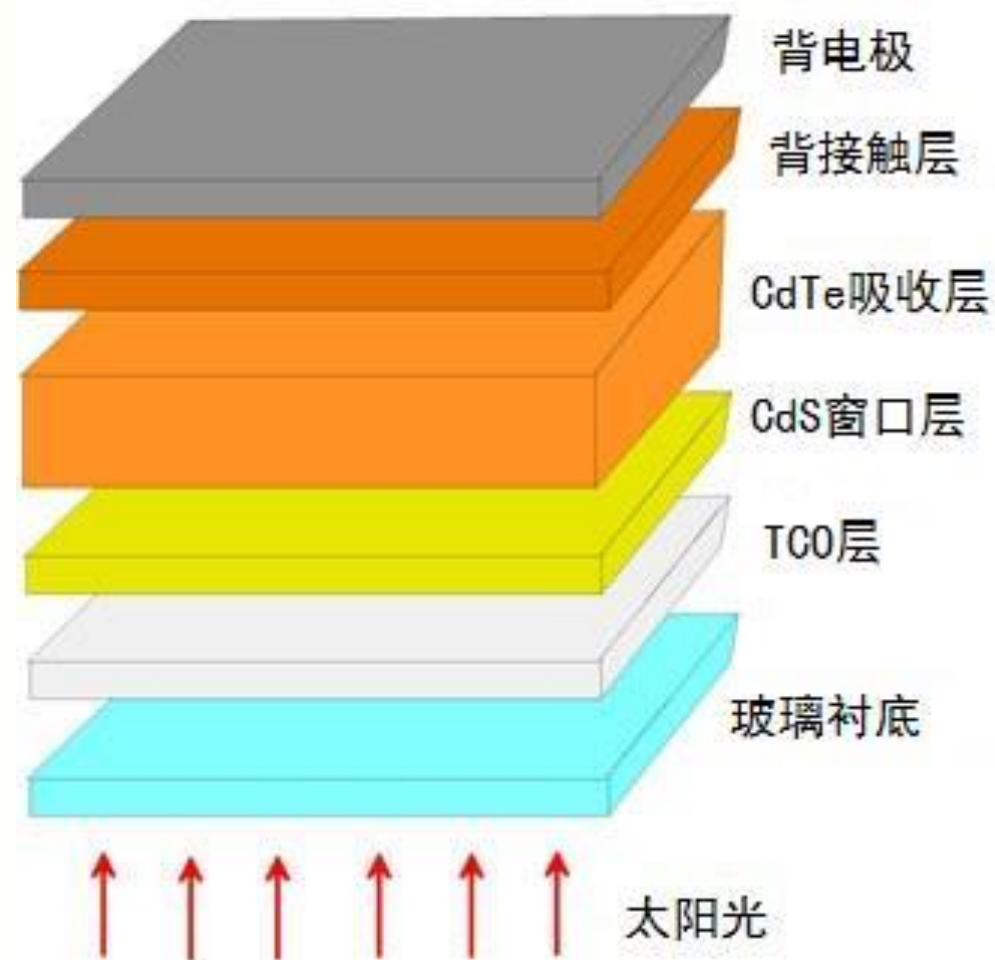


三、非晶硅薄膜电池的介绍

碲化镉(CdTe)

碲化镉薄膜电池是一种以P型碲化镉 (CdTe) 和N型硫化镉 (CdS) 的**异质结**为基础的太阳能电池

具有**直接跃迁型能带结构**,禁带宽 $1.5\text{eV}(25^\circ\text{C})$, 禁带宽度与地面太阳光谱有很好的匹配, 最适合于光电能量转换, 可吸收95%以上的太阳光



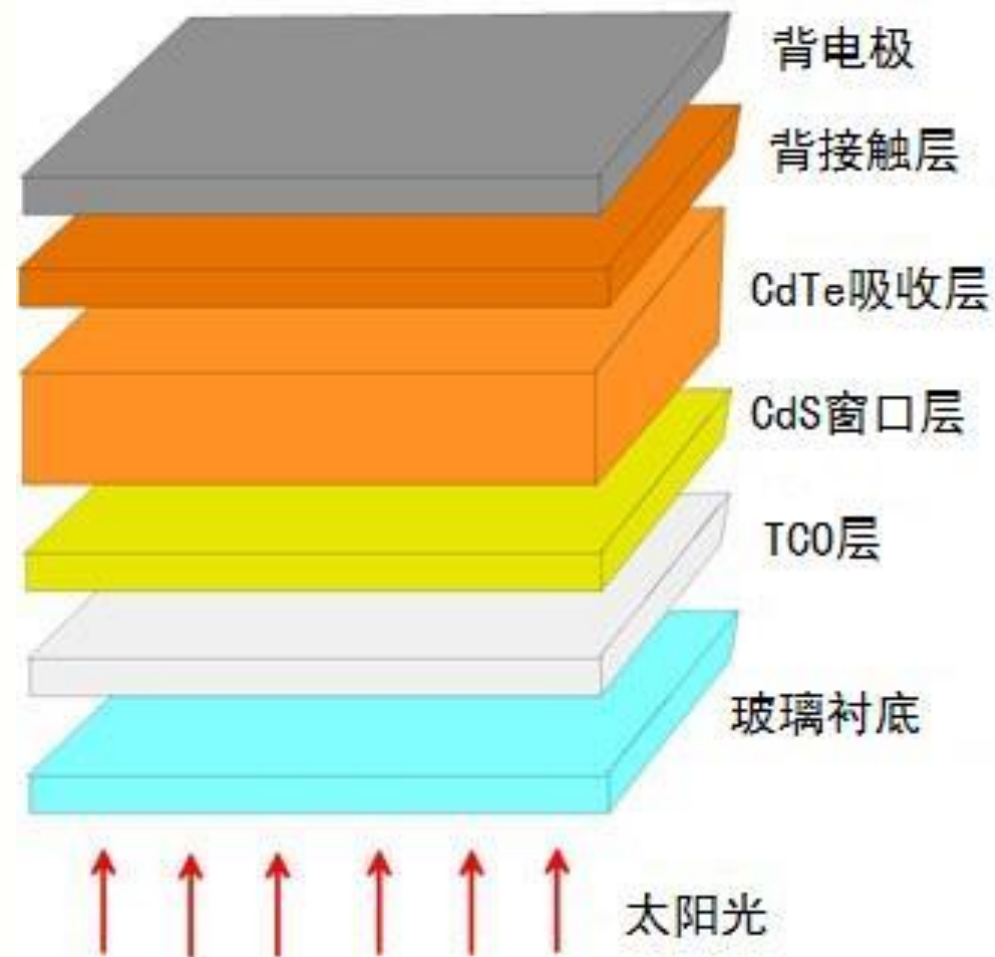


三、非晶硅薄膜电池的介绍

碲化镉(CdTe)

其典型结构为Glass/SnO₂/CdS/CdTe/电极

理论转换效率达30%；2016年First Solar对外宣称，其核心产品碲化镉薄膜电池的能量转换效率再次刷新记录，达到**22.1%**

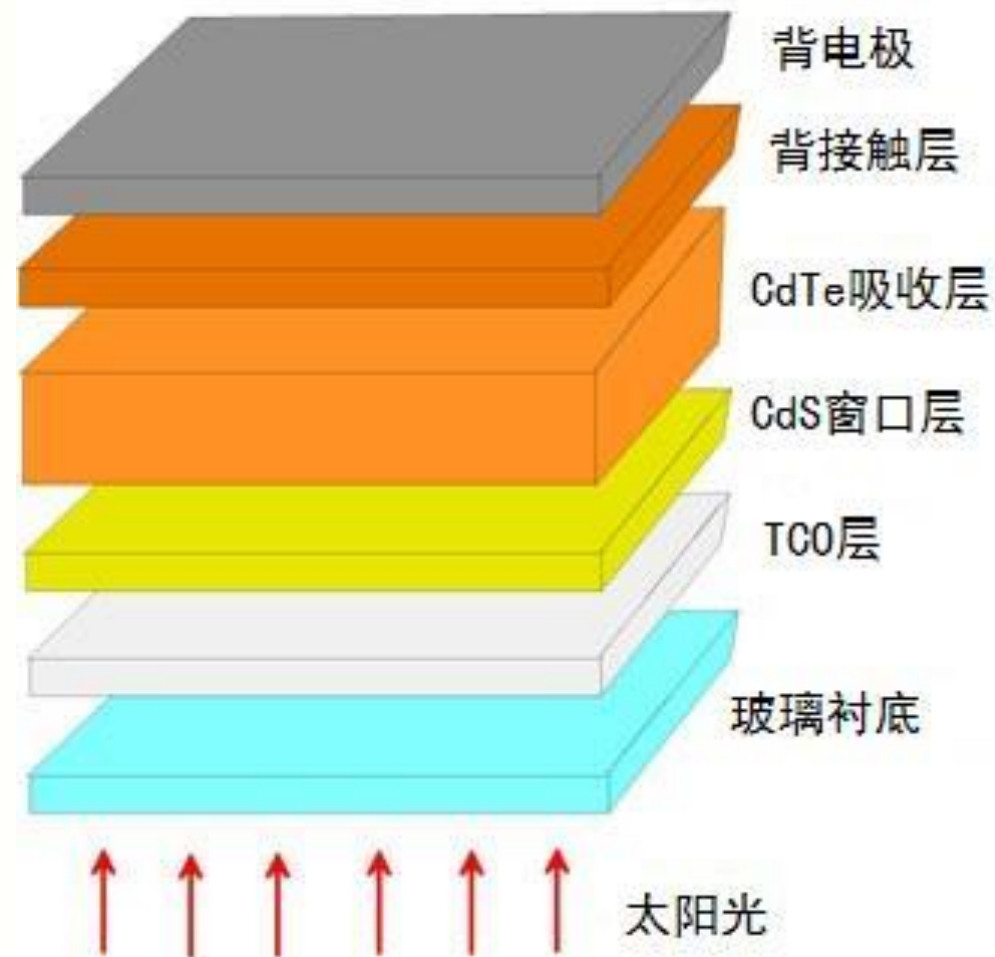


三、非晶硅薄膜电池的介绍

碲化镉(CdTe)

优点:

- 制造成本低;
- 转换效率高, 全球量产薄膜太阳能电池的平均转换效率约为10%;
- 温度系数低, 约为 $-0.25\%/^{\circ}\text{C}$, 比晶体硅太阳能电池低一半左右;
- 弱光效应好;
- 环境友好;

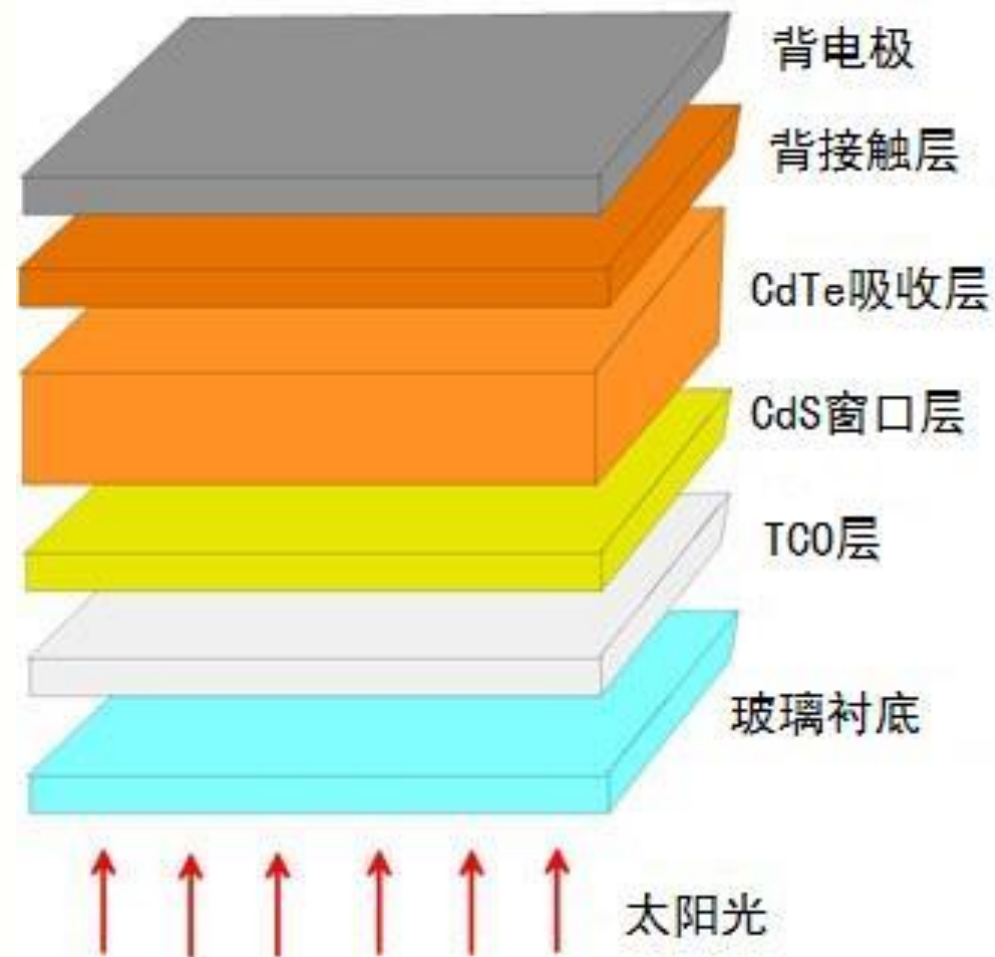


三、非晶硅薄膜电池的介绍

碲化镉 (CdTe)

缺点:

- 碲化镉 (CdTe) 本身的局限性; CdTe本身具有很强的自补偿效应, 很难像硅等半导体一样通过掺入杂质元素, 电控电学性能。其次, CdTe载流子浓度低, 薄膜电阻率大, 因而影响电池的电流输出
- 关键原料碲 (Te) 的供应不足



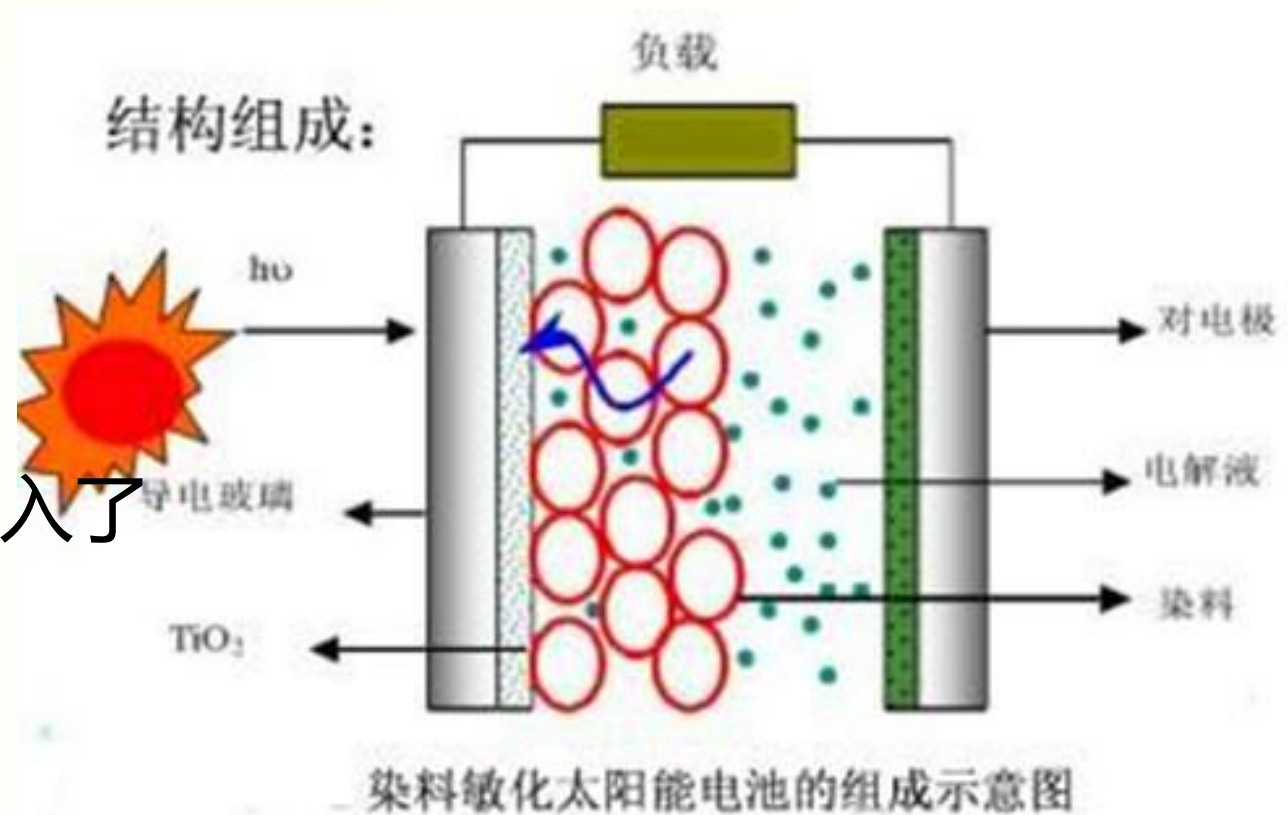
三、非晶硅薄膜电池的介绍

染料敏化电池

模仿光合作用原理

主要由纳米多孔 TiO_2 薄膜、染料光敏催化剂、电解质、反电极（光阴极）等几个主要部分决定

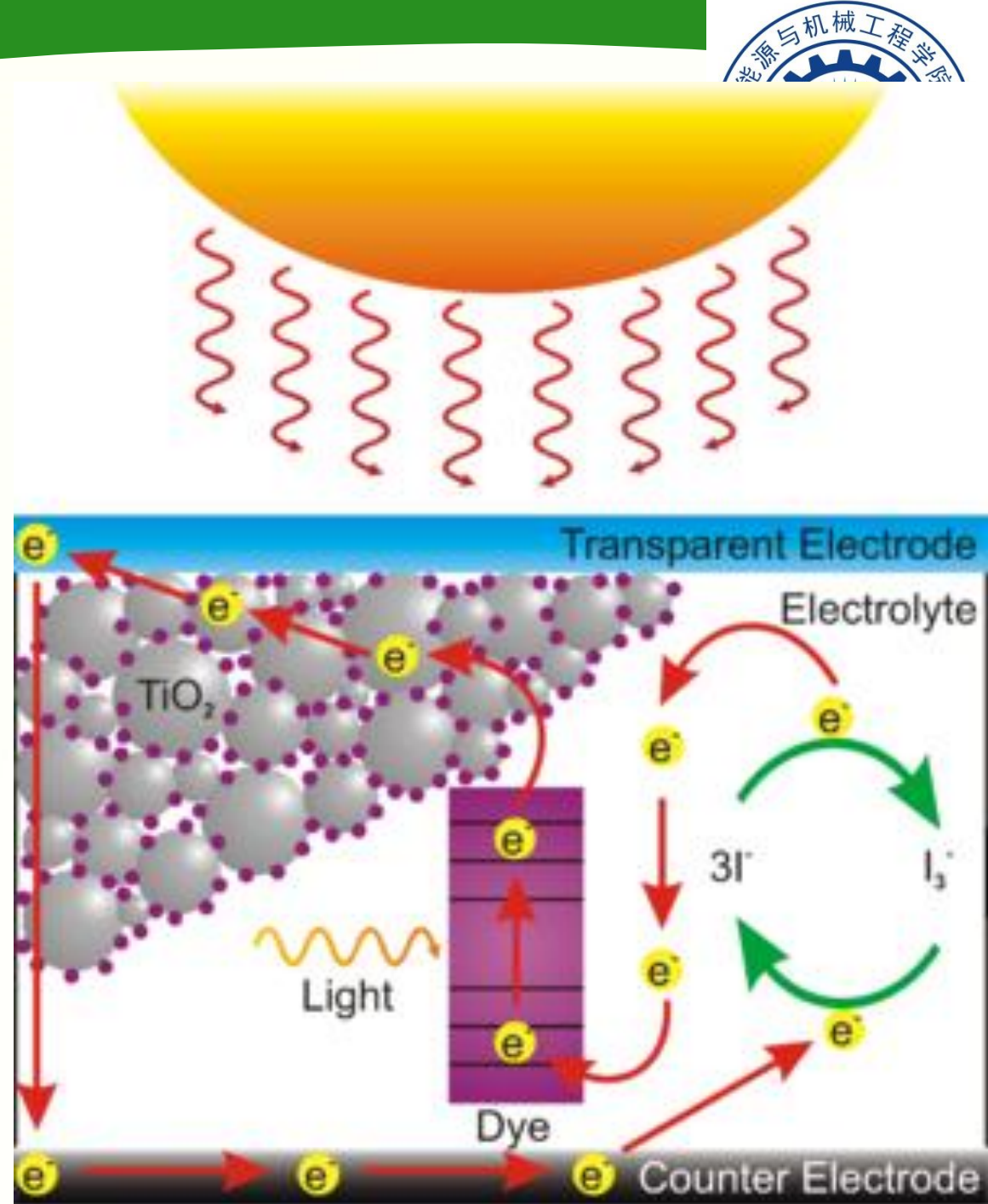
多孔 TiO_2 薄膜，吸附光敏材料并被注入了氧化还原电解质溶液



三、非晶硅薄膜电池的介绍

染料敏化电池

- 染料分子受太阳光照射后由基态跃迁至激发态
- 处于激发态的染料分子将电子注入到半导体的导带中
- 与 TiO_2 发生氧化反应，电子被电极收集，通向外电路
- 处于氧化态的染料被还原态的电解质还原再生
- 氧化态的电解质在对电极接受电子后被还原，从而完成一个循环

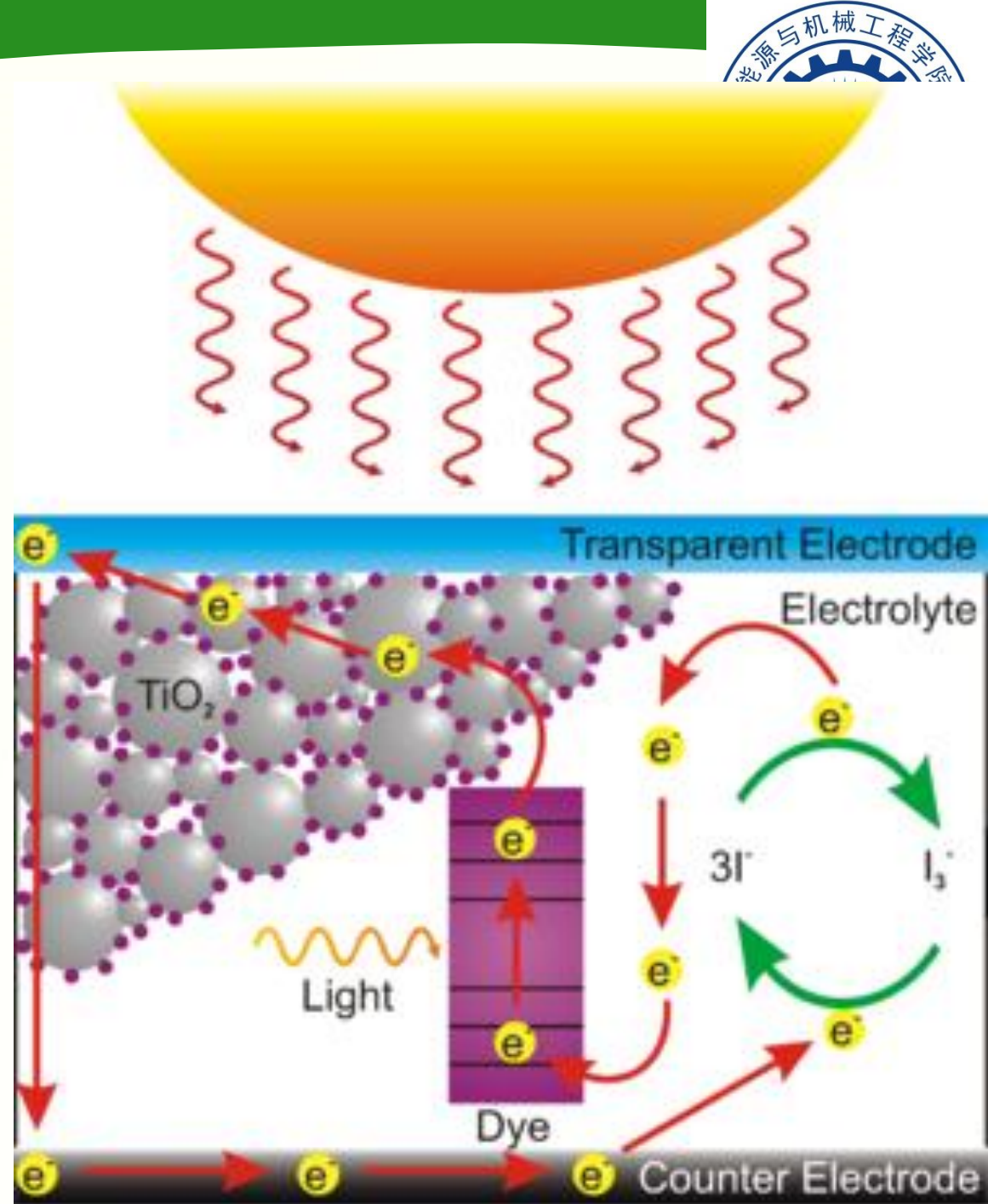


三、非晶硅薄膜电池的介绍

染料敏化电池

优点:

- 寿命长：使用寿命可达15-20年;
- 结构简单、易于制造，生产工艺简单，易于大规模工业化生产;
- 生产成本较低，仅为硅太阳能电池的 $1/5 \sim 1/10$
- 生产过程中无毒无污染

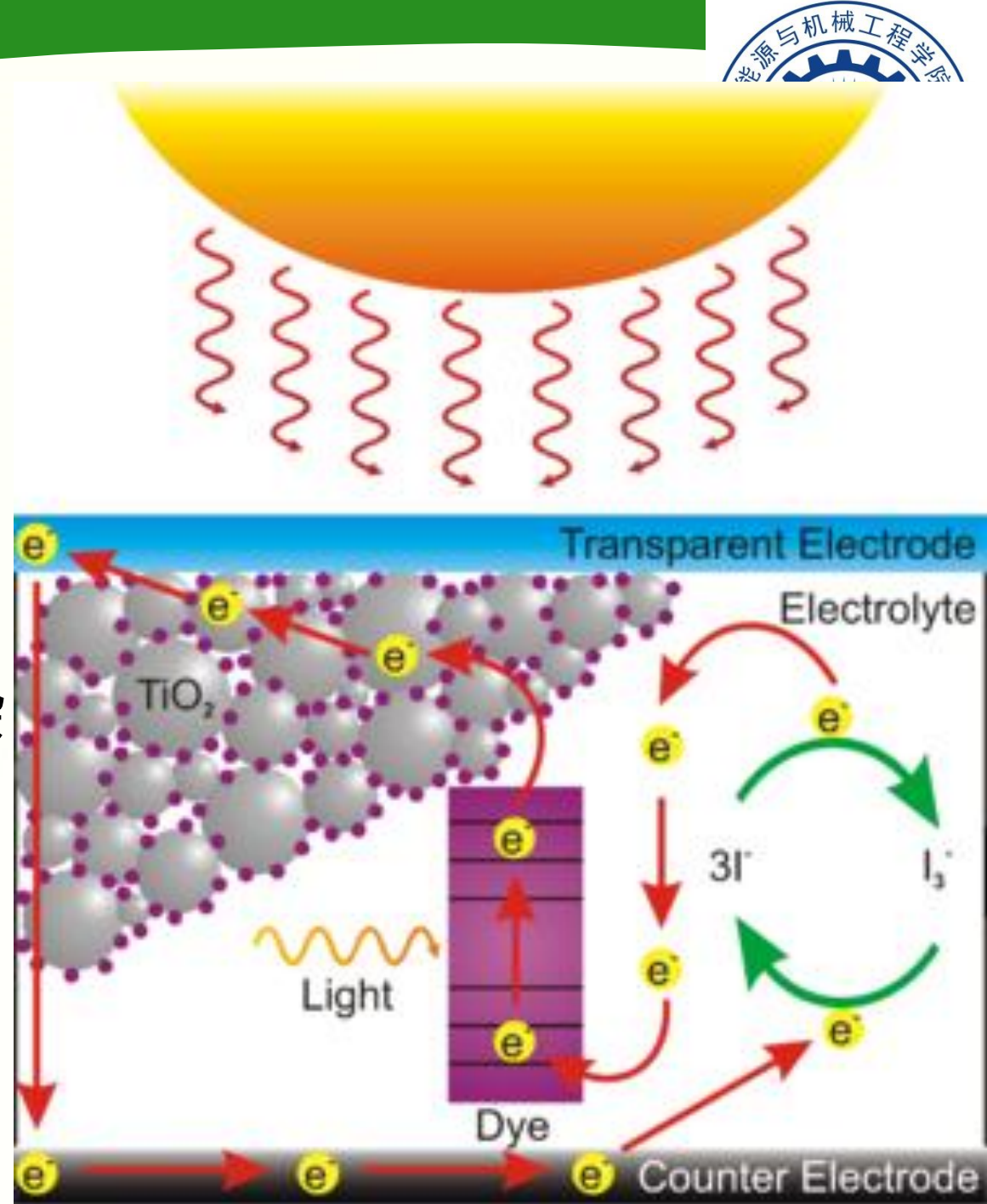


三、非晶硅薄膜电池的介绍

染料敏化电池

缺点：

- 缺乏长效稳定性，有机染料容易变质
- 转换效率低
- 大面积技术不成熟，封装过程比较复杂
- 高辐照情况下，衰减严重

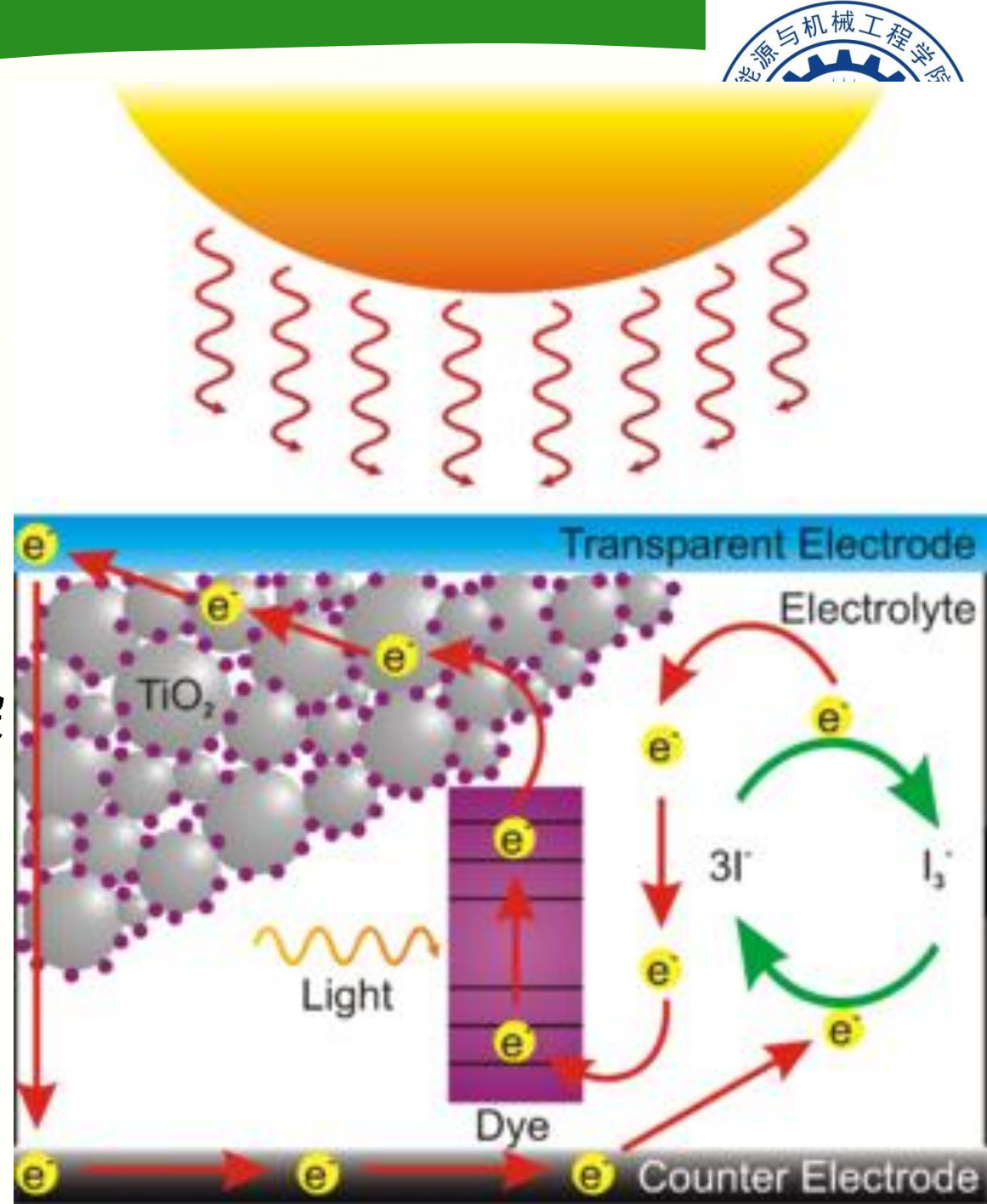


三、非晶硅薄膜电池的介绍

染料敏化电池

缺点：

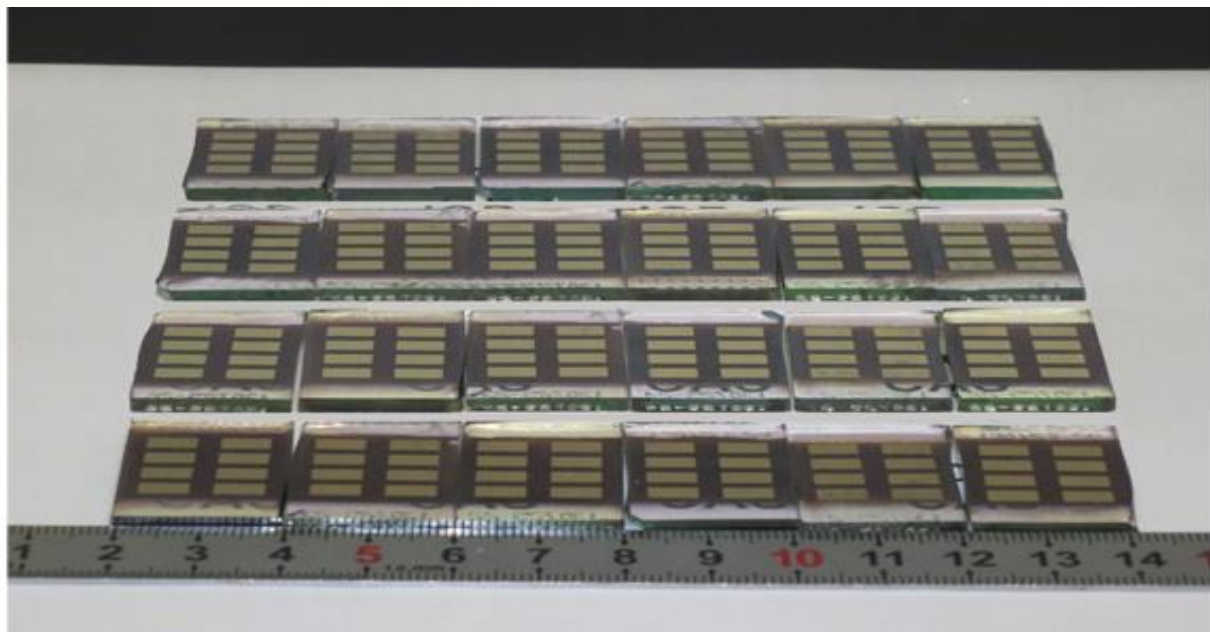
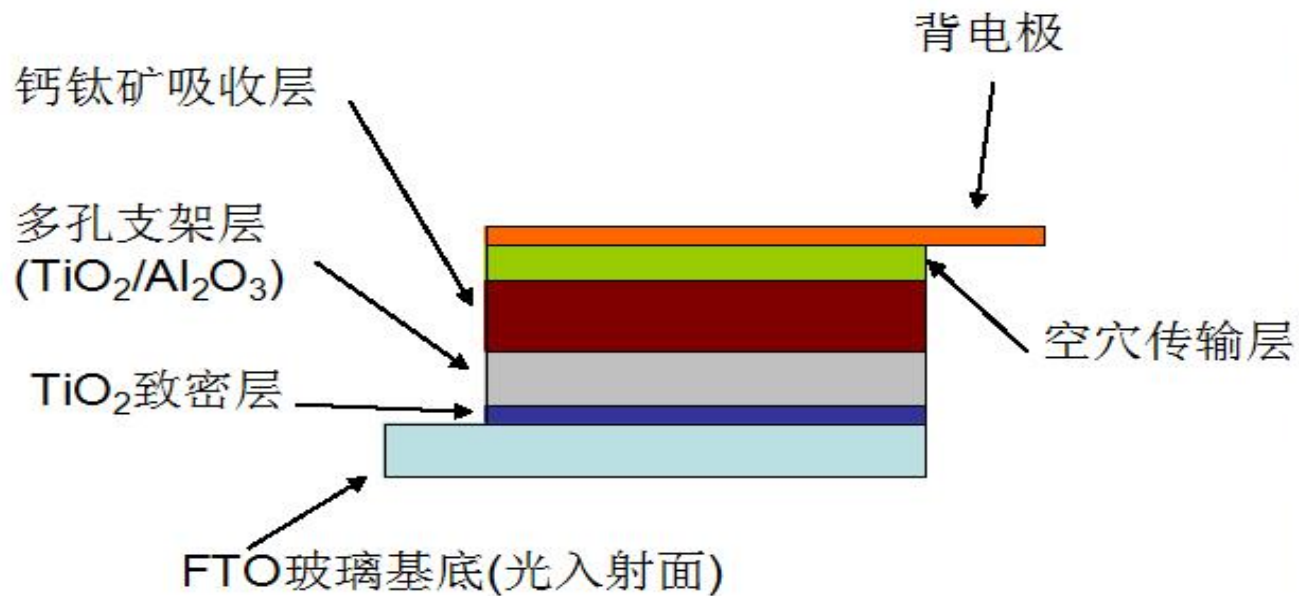
- 缺乏长效稳定性，有机染料容易变质
- 转换效率低
- 大面积技术不成熟，封装过程比较复杂
- 高辐照情况下，衰减严重



三、非晶硅薄膜电池的介绍

钙钛矿薄膜电池

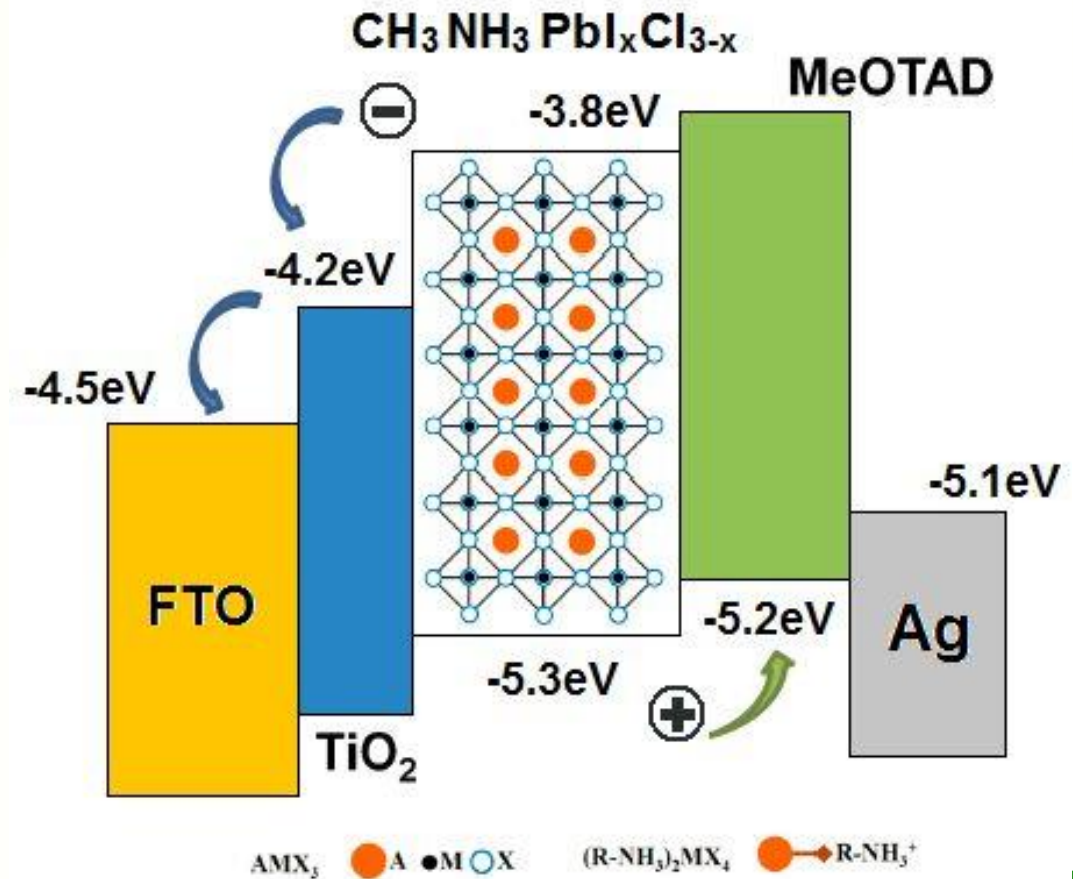
利用钙钛矿型的有机金属卤化物半导体作为吸光材料的太阳能电池，即是将染料敏化太阳能电池中的染料作了相应的替换。**钙钛矿太阳能电池不含钙，也不含钛**



三、非晶硅薄膜电池的介绍

钙钛矿薄膜电池

- 在接受太阳光照射时，钙钛矿层首先吸收光子产生电子-空穴对。由于钙钛矿材料激子束缚能的差异，这些载流子或者成为自由载流子，或者形成激子。
- 激子被分离成电子与空穴后，分别流向电池的阴极和阳极。未复合的电子和空穴分别被电子传输层和空穴传输层收集，即电子从钙钛矿层传输到电子传输层，最后被FTO收集，空穴从钙钛矿层传输到空穴传输层，最后被金属电极收集
- 通过连接FTO和金属电极的电路而产生光电流





三、非晶硅薄膜电池的介绍

钙钛矿薄膜电池-面临的挑战

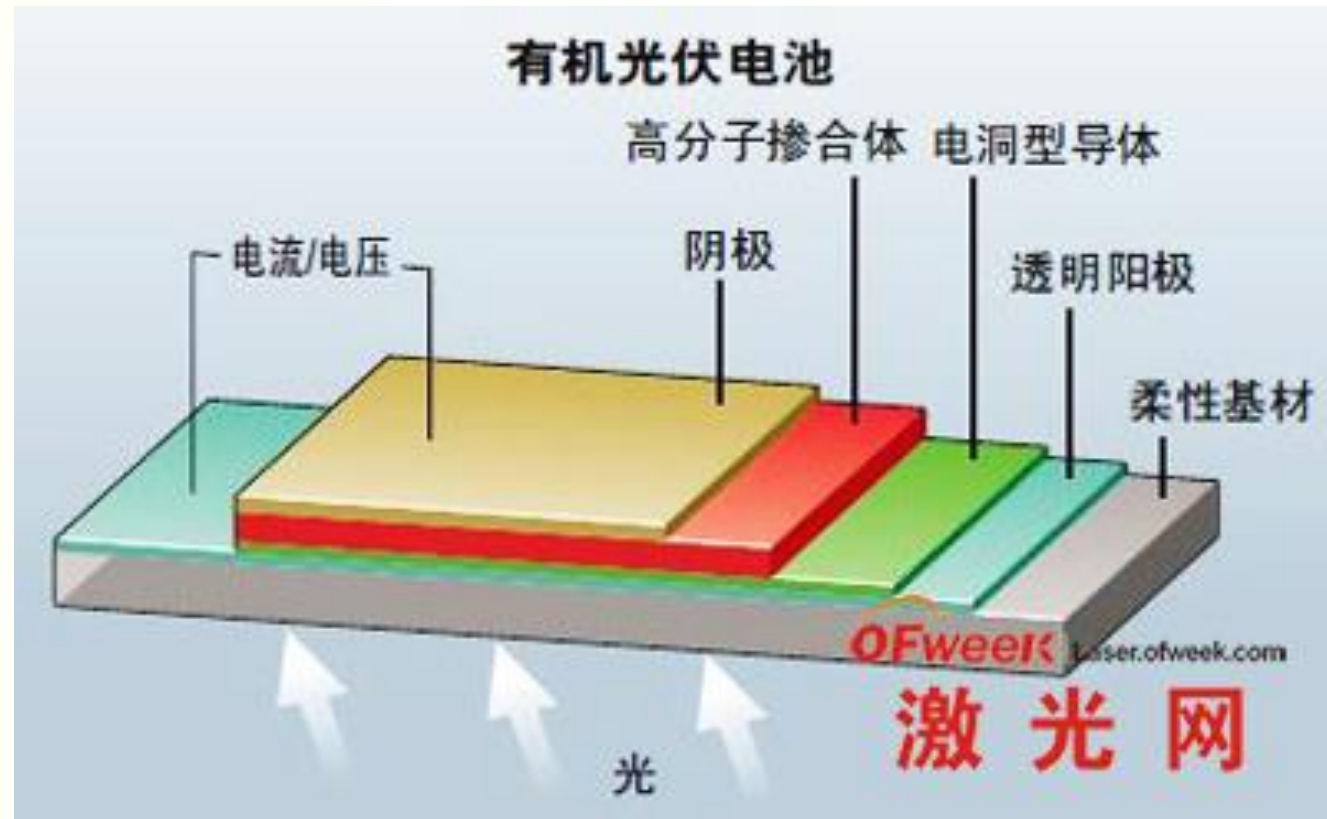
- 提高电池效率;
- 提高电池稳定性; 潮湿环境及光衰减;
- 吸收层中含有可溶性重金属Pb;环境污染、有毒
- 缺少大面积、连续性电池的制造方法及技术
- 理论研究还需进一步加强

三、非晶硅薄膜电池的介绍

有机太阳电池

成分全部或部分为有机物的太阳能电池，他们使用了导电聚合物或小分子用于光的吸收和电荷转移

作为给体的有机半导体材料吸收光子之后产生空穴 - 电子对，电子注入到作为受体的有机半导体材料后，空穴和电子得到分离。





三、非晶硅薄膜电池的介绍

有机太阳电池

优点:

- 有机半导体材料的原料来源广泛易得、廉价，环境稳定性高，有良好的光伏效应、材料质量轻、较高的吸收系数。有机化合物结构可设计且制备提纯加工简便、加工性能好，易进行物理改性等。
- 有机太阳能电池制备工艺更加灵活简单
- 有机太阳能电池产品是半透明的，便于装饰和应用，色彩可选



三、非晶硅薄膜电池的介绍

有机太阳电池

缺点：

- 由于有机材料分子间相互作用力很弱，大都为无定型。导致了有机材料的载流子迁移率一般都很低，与无机材料相比要低若干个量级
- 有机半导体材料吸收太阳光波段不宽，绝大部分材料最大吸收波段在350nm ~ 650nm，因此吸收光谱与太阳光光谱不匹配，导致光电转换效率低；
- 有机半导体在吸收太阳光后会产生束缚的空穴-电子对——“激子”，激子的分离与迁移并非全部有效
- 有机半导体材料在有氧和水存在的条件下往往是不稳定的

全球主要薄膜电池企业及排名



全球已有百家以上厂商投入薄膜太阳能电池的研发制造，且数量还有增加的趋势。其中规模较大的企业有美国FirstSolar、中国汉能、中国中建材凯盛科技、美国汉能Miasole等。目前日本太阳能电池组件企业Solar Frontier宣布停产。

2019年全球主要薄膜太阳能电池企业

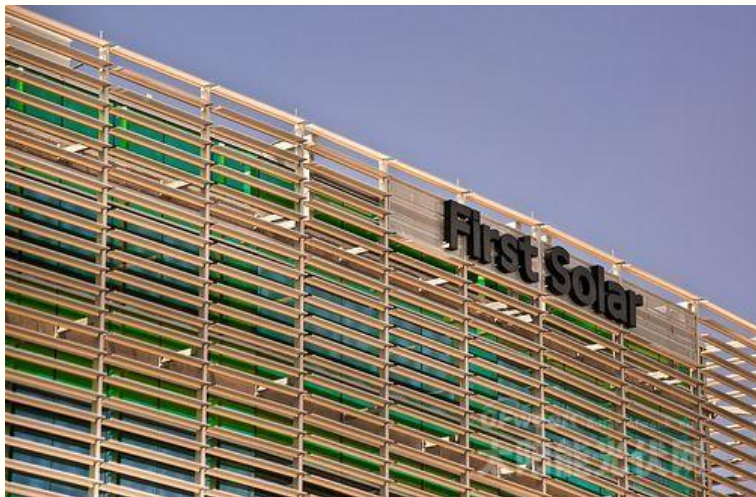
企业	国别	类别
FirstSolar	美国	CdTe
SolarFrontier	日本	CIS
汉能	中国	CIGS
中建材凯盛科技	中国	CIGS
中建材Avancis	德国、韩国	CIGS
汉能Miasole	美国	CIGS
中山瑞科	中国	CdTe
汉能Solibro	德国	CIGS
中建材CTFSolar	德国	CdTe
汉能GSE	美国	CIGS
杭州尚越光电	中国	CIGS
神华Manz	德国	CIGS
杭州龙焱	中国	CdTe
Ascentsolar	美国	CIGS
Midsummer	瑞典	CIGS

资料来源：CPIA、智研咨询整理



美国First Solar公司

----致力于碲化镉(CdTe)薄膜光伏电池组件



2006年年产能**60MW**，光伏电池平均转换效率为9.5%。

2012年年产能**1893MW**，转换效率提高至12.6%。

2019年年产能**5500MW**，当前转换效率超过18%。

2020年年产能达到**6120MW**，占全球CdTe薄膜电池组件产量的98.7%，占全球薄膜电池组件产量的94.4%

美国Ascent Solar公司



----致力于柔性CIGS太阳能电池

它是一家位于科罗拉多州桑顿市的上市光伏公司。它的主要产品是塑料基板上的柔性**CIGS**太阳能电池。



致力于薄膜光伏电池，燃料电池和纳米技术的发展。该公司通过为私企和政府机构研究和开发，已掌握了专有的加工制造知识，知道如何运用一般光伏产品和特殊铜铟镓硒光伏产品。

瑞典Midsummer公司



太阳能技术公司Midsummer AB (publ) 在2018年被评为瑞典发展最快的50家科技公司之一，并且还被瑞典最具影响力的金融日报Dagens称为2018年的“瞪羚公司”

Midsummer是用于生产和安装薄膜太阳能电池的先进太阳能解决方案的领先开发商和供应商，也是瑞典领先的增长和出口公司。独特的DUO系统已成为全球灵活的CIGS太阳能电池最广泛分布的制造工具。





汉能移动能源控股集团



汉能的薄膜电池

截至2012年, 汉能薄膜太阳能电池年产能已经达到3GW

1. 汉能砷化镓 (GaAs) 双结薄膜电池最高转换率达到31.6%;
2. Solibro玻璃基铜铟镓硒(CIGS)薄膜电池冠军组件转换效率达到22.92%;
3. MiaSolé柔性铜铟镓硒薄膜电池组件研发转换效率达到20.56%;
4. GSE柔性铜铟镓硒电池研发效率达到19.3%;
5. 钙钛矿电池单结研发效率达到23.7%;
6. 汉能高效硅异质结 (SHJ) 电池6吋硅片全面转换效率效率达到25.11%，创下新的世界纪录。

凯盛光伏材料有限公司

----致力于CIGS光伏太阳能电池生产及销售



凯胜集团的薄膜电池

产品尺寸：1587mm×664mm，厚度38mm，其标准功率为130~160W，转换效率达到15.2%。

应用领域：建筑方面成为实现未来建筑绿色、节能、环保的重要支撑，可广泛应用于光伏建筑一体化(BIPV)、智慧农业、新能源汽车、电子产品等领域。

技术应用：中国建材光伏国际化掌握了铜铟镓硒薄膜太阳能核心技术，在蚌埠规划建设1.5GW铜铟镓硒薄膜太阳能电池产业化生产线。

中山瑞科新能源有限公司

----致力于碲化镉薄膜太阳能电池制造，及
太阳能电池组件的研发、生产、销售。

产品尺寸：1200×600×6.8mm

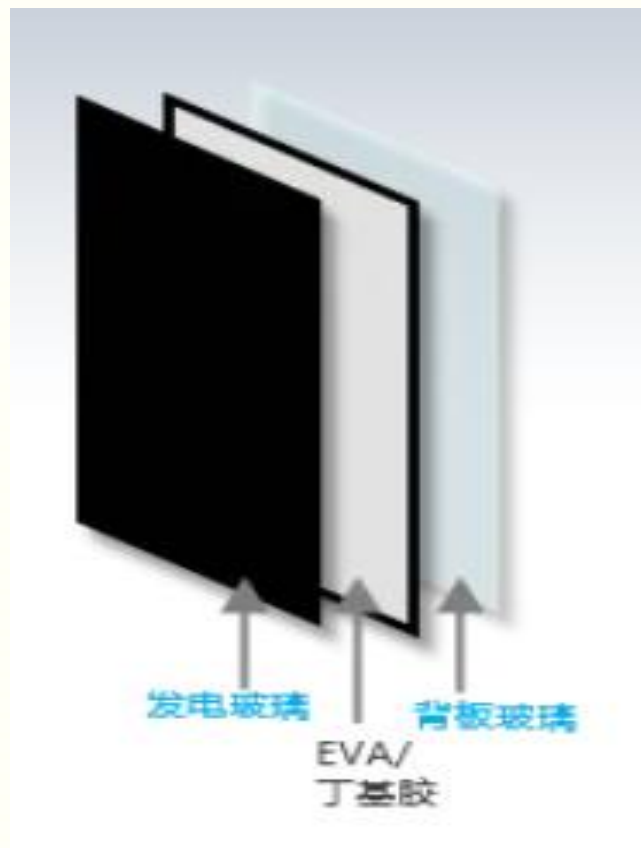
电池类型：碲化镉薄膜（CdTe）

薄膜电池结构

结构组成：3.2mmCdTe发电玻璃 + 0.5mmEVA+3.2mm
钢化玻璃

最大转换效率超过16%，最大额定功率为105~115W。

2018 年年初建成年产100MW CdTe薄膜组件生产线



薄膜电池结构



龙焱能源科技（杭州）有限公司

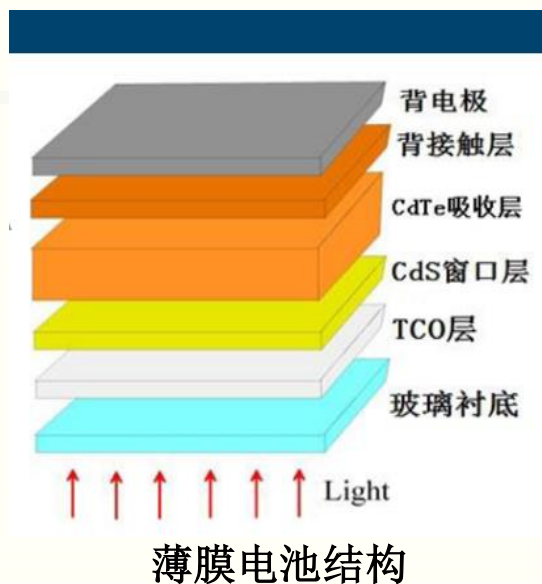
----致力于碲化镉(CdTe)薄膜光伏电池组件

产品尺寸：1.2m×0.6m

最大转换效率为14.5%，最大额定功率为85~110W，

采用新型电池结构、新材料(如新型缓冲层、窗口层和背电极)以及改良型近距离升华法（CSS）沉积大面积CdTe薄膜技术

CdTe薄膜太阳电池组件生产线年产能可超过40MW。



薄膜电池结构



薄膜电池阵列安装

太阳能利用技术



工程热物理

