



# 低温气相外延制p-n结 技术研究

黄海宾，崔冶青，高江，宁武涛，周浪

---南昌大学 太阳能光伏学院/材料学院

haibinhuang@ncu.edu.cn 13576906107





# 内容简介

- 晶硅太阳能电池p-n结制备技术现状
- 低温气相外延制p-n结技术简介
- 低温气相外延制p-n结技术的合理性分析
- 低温气相外延制晶硅太阳能电池的初步实验研究
- 结论





# 晶硅太阳能电池p-n结制备技术现状

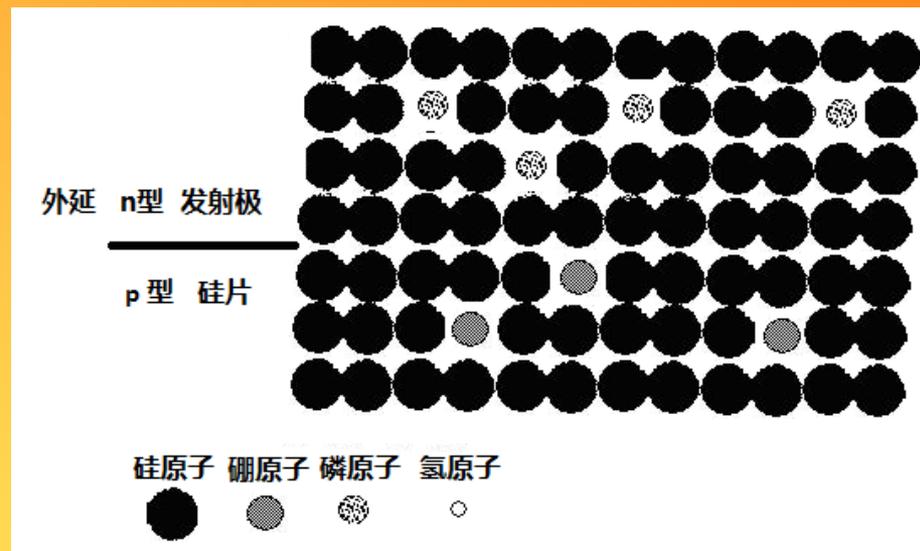
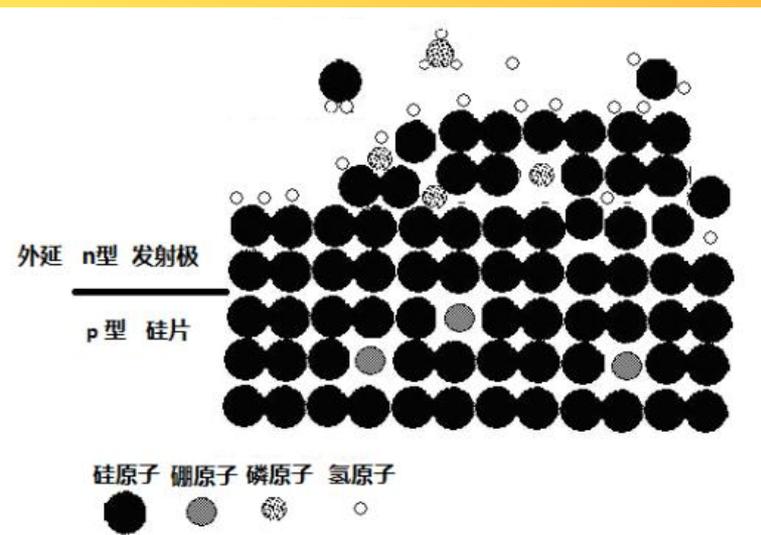
	现状	优点	缺点
POCl <sub>3</sub> 扩散制结	成熟，业内主流	工艺成熟，成本低	制备浅结时均匀性差，重复性差 POCl <sub>3</sub> 危险性大
离子注入	已有产线(Intevac公司、应用材料公司) 技术发展中	掺杂元素的分布精确可控 转换效率高	价格高(目前??) 设备稳定性有待提高(目前??)
磷酸喷涂+在线连续扩散炉系统	已有产线(BTU公司) 技术发展中??	无毒，无污染，均匀性好，自动化程度高	转换效率略低 链条金属污染硅片?
低温气相外延制结	发展中，实验室阶段	均匀性好，掺杂元素的分布精确可控 可集成选择发射极、局域背电场等技术	尚未发现???





# 低温气相外延制p-n结技术简介

- 低温气相外延+高温快速热处理 两步法



获得所需掺杂元素浓度分布的晶化硅薄膜

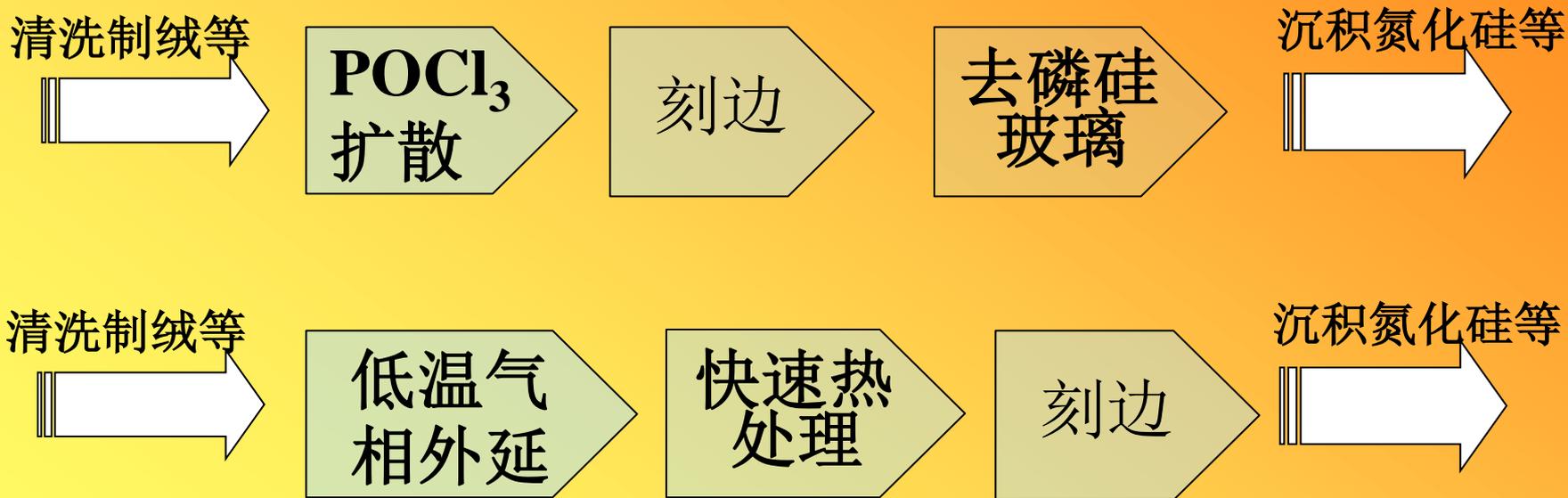
改善晶格质量，减少界面缺陷  
提高掺杂活性





# 低温气相外延制p-n结技术简介

## ● 与 $\text{POCl}_3$ 扩散的工艺流程对比

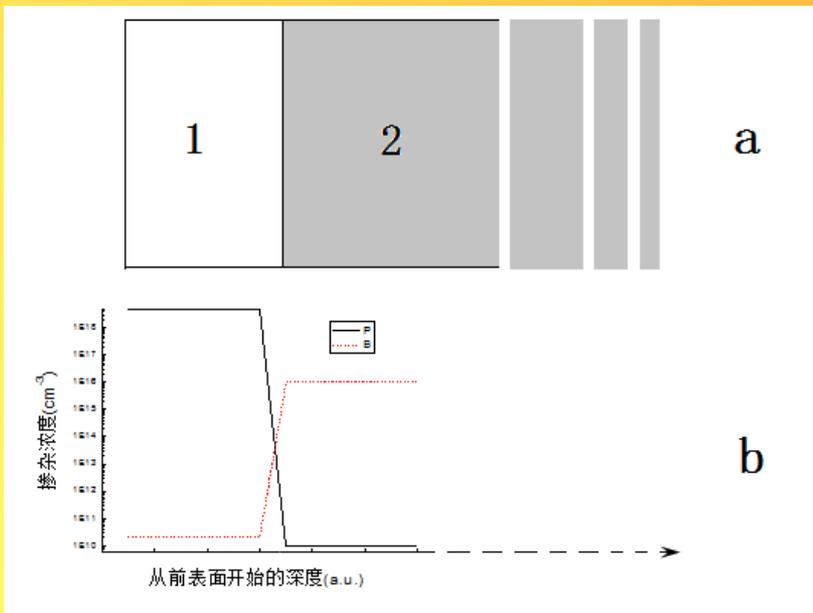




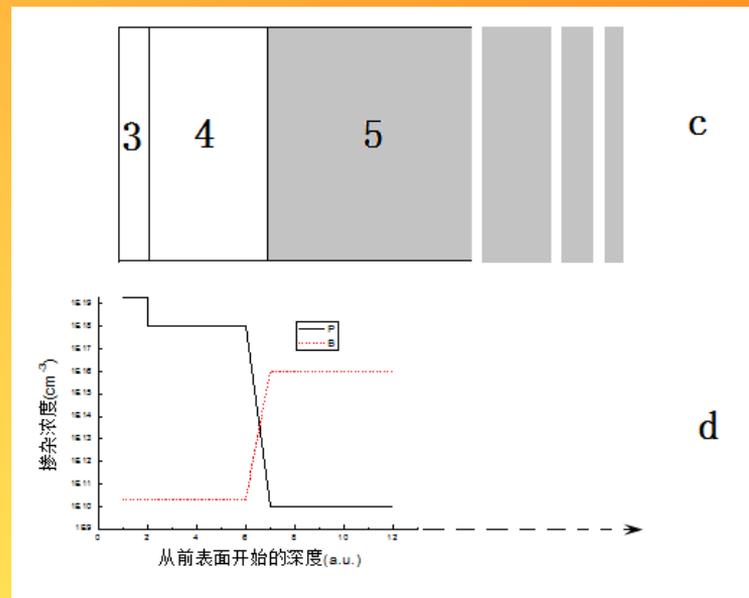
# 低温气相外延制p-n结技术简介

## ● 低温气相外延制p-n结技术的优点

✓ 发射极薄膜厚度、掺杂元素浓度分布精确可控



浅结、突变结结构



梯度掺杂

1. 黄海滨;周浪;等.一种突变结晶硅太阳能电池的制备方法. 201210183417(专利号), 公开。

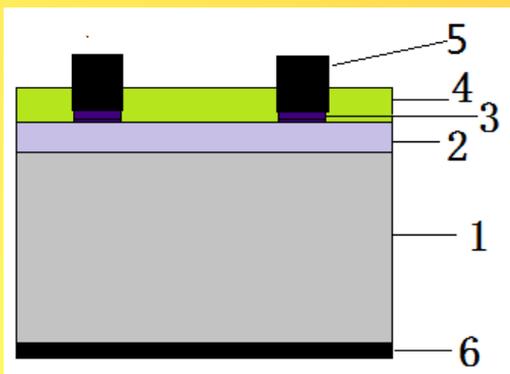
2. 黄海滨,周浪,等.用于太阳能电池的多晶硅/单晶硅异质结结构及其制备方法. 申请号: 201310474761.6



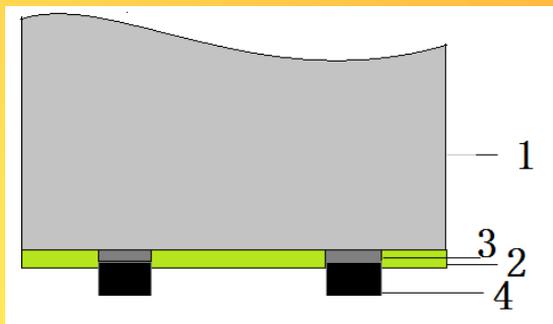


# 低温气相外延制p-n结技术简介

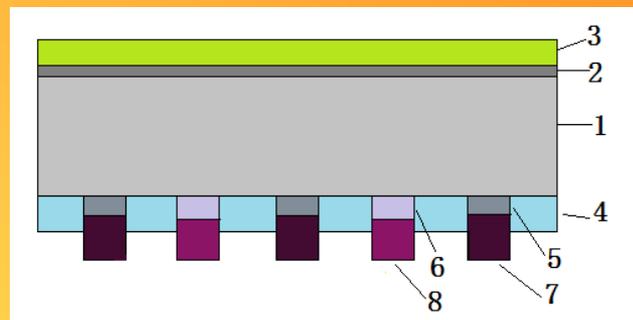
- 低温气相外延制p-n结技术的优点
  - ✓ 可制备浅结高方阻结构、突变结结构、梯度掺杂、选择发射极、区域背电场、背结结构等



选择发射极



区域背电场



背结结构

黄海宾;周浪;等一种太阳能电池用的图形化掺杂晶硅薄膜制备方法  
申请号: 201310474882.0





# 低温气相外延制p-n结技术简介

- 低温气相外延制p-n结技术的优点

✓ 均匀性好，工艺可控性高，重复性好

由其制备方法及工艺过程所决定：PECVD、快速热处理炉为现在太阳能电池领域常规设备，工艺稳定性高、重复性好，对于尺寸仅为 $156\text{mm} \times 156\text{mm}$ 的硅片上镀膜及温度均匀性毫无疑问是可以保证的。





# 低温气相外延制p-n结技术合理性分析

- 低温气相外延制结所得p-n结**结构**可能存在的问题可能有以下几点：
  - ✓ 发射极层薄膜的**结晶质量较差**，载流子的迁移率和少子寿命低；
  - ✓ 发射极表面及发射极与基极之间的**界面**，可能会存在较大的复合电流。





# 低温气相外延制p-n结技术合理性分析

- 采用PC1D对上述问题进行模拟分析：

器件基本结构为：

发射极：

厚度 $0.2\ \mu\text{m}$

掺杂浓度 $1.0 \times 10^{19}\ \text{cm}^{-3}$

其它参数采用默认值

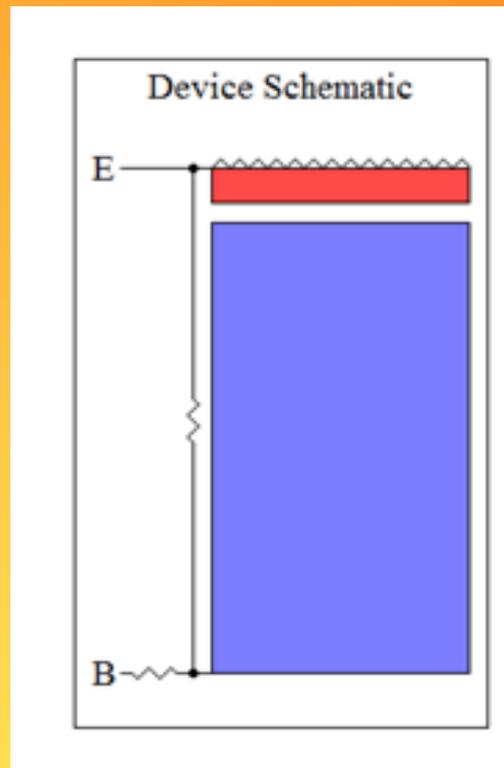
基区：

厚度 $150\ \mu\text{m}$

掺杂浓度 $1.5 \times 10^{16}\ \text{cm}^{-3}$

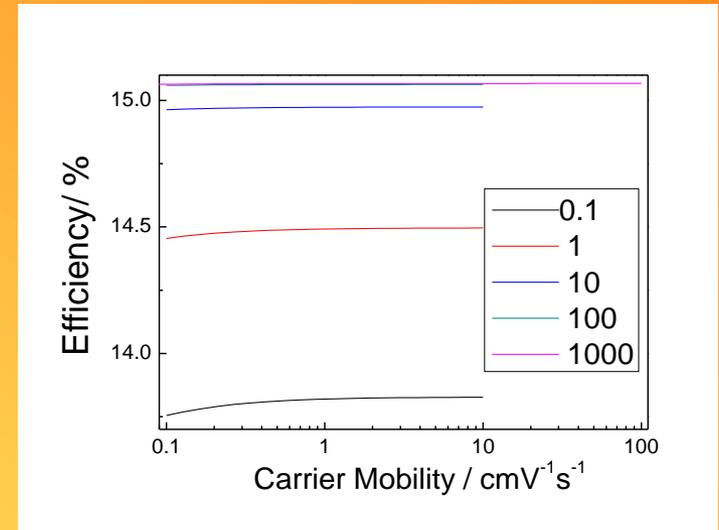
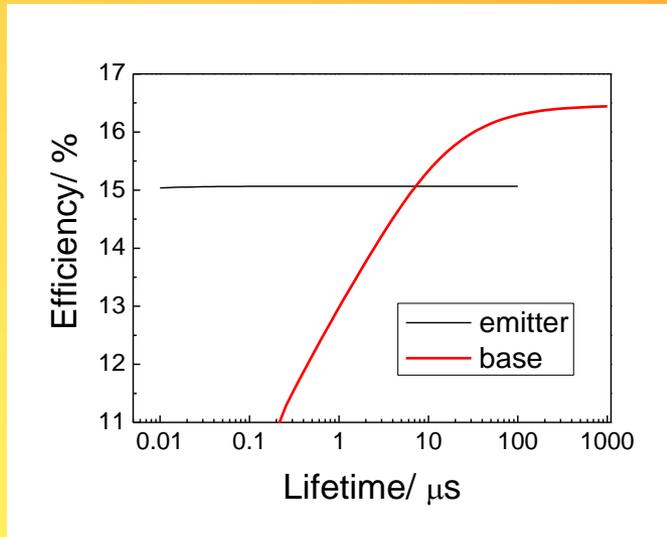
其它参数采用默认值

其它参数：采用默认值



# 发射极薄膜的质量的PC1D模拟分析

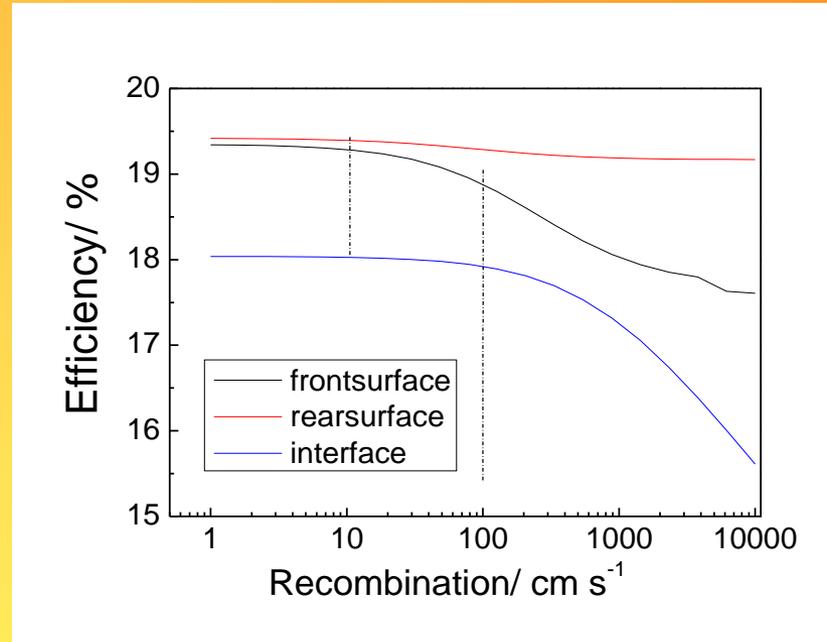
- 考虑两个参数：少子寿命、迁移率



- 发射极少子寿命对太阳能电池转换效率的影响极其微小；
- 发射极中载流子迁移率大于 $1 \text{ cm}^2 \cdot \text{V}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ 的情况下，其对转换效率的影响已非常微弱。根据Bonnel等 [*Japanese Journal of Applied Physics*, 1991, 30: L1924-L1926.]的报道，多晶硅薄膜的迁移率达到 $20 \text{ cm}^2 \cdot \text{V}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ 应该是可以的。
- 综合少子寿命和载流子迁移率的分析，作者认为外延发射极薄膜的结晶质量即使较差，也不会对太阳能电池的转换效率造成坏的影响

# 发射极与基极的界面的PC1D模拟分析

- 考虑参数：前表面、后表面、发射极与基极的界面



- 界面处对太阳能电池性能的影响弱于前表面??，前表面的复合要低于10  $\text{cm/s}$ ，界面的复合速率低于100  $\text{cm/s}$ 时它们对太阳能电池性能劣化的影响即可忽略。
- IBM公司的Hekmatshoar等[*Applied Physics Letters*, 2012, 101: 103906.]已将低温外延硅薄膜用于HIT太阳能电池结构，并取得了很好的效果。以此类比，作者认为界面复合速率达到100  $\text{cm/s}$ 在工艺上应该是可做到的。

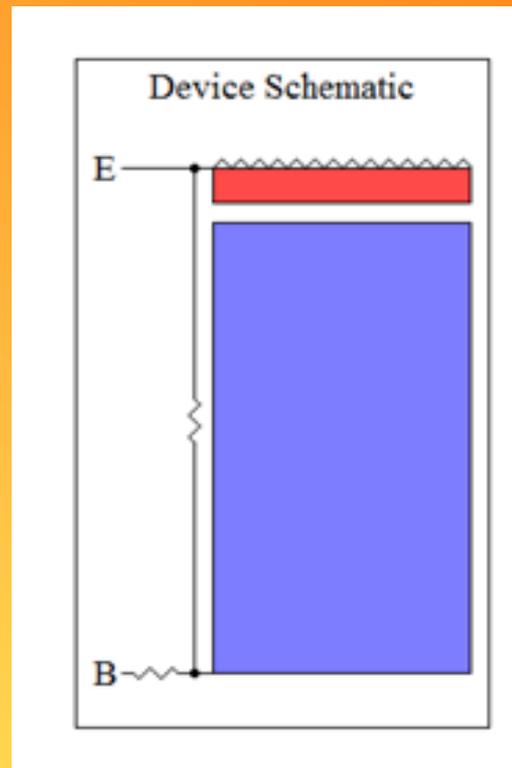


# 低温气相外延制p-n结技术合理性分析

- 采用PC1D对上述问题进行模拟分析：

综合以上分析：

- ✓ 制作晶硅太阳能电池的发射极，对外延发射极层性能及界面的要求还是较低的
- ✓ 从工艺上应该是较易实现的
- ✓ 另外，本文所提方法生产的p-n结多为突变结，所得太阳能电池的转换效率相比于缓变结应略有提高

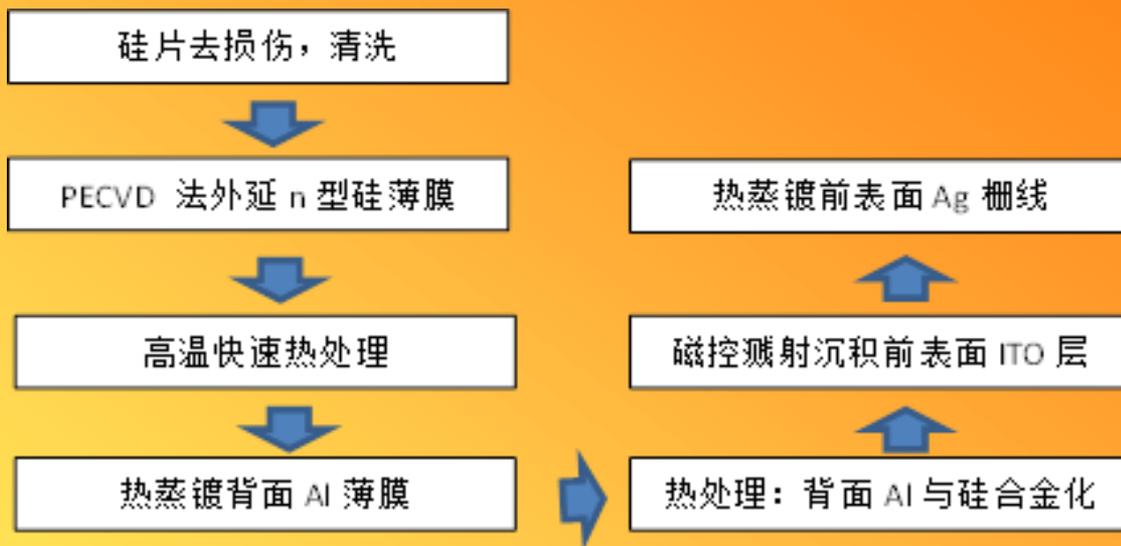
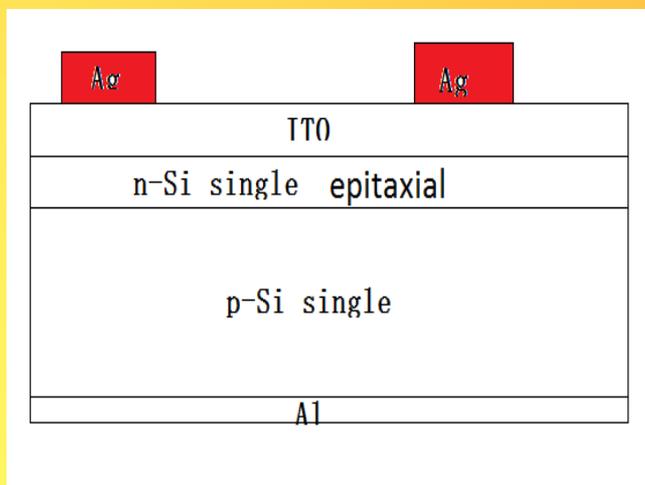


(黄海宾, 等. 高方块电阻发射极晶硅太阳能电池计算模拟研究, 中国科技论文在线, 2010)





# 低温气相外延制结晶硅太阳能电池的初步实验研究

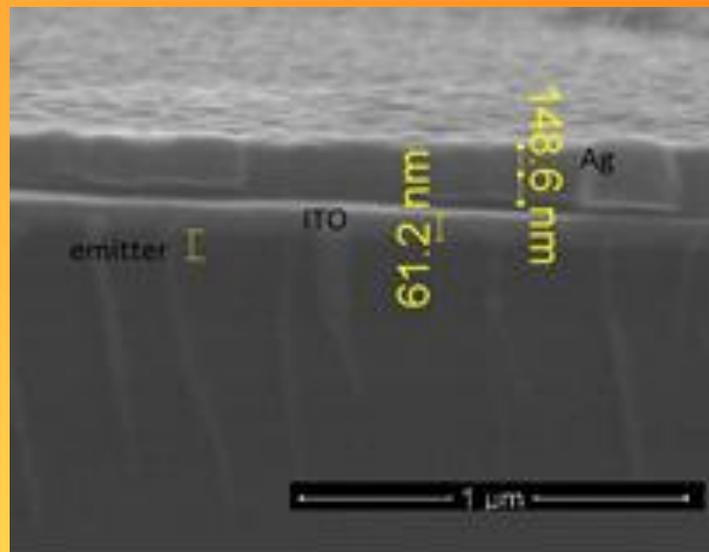
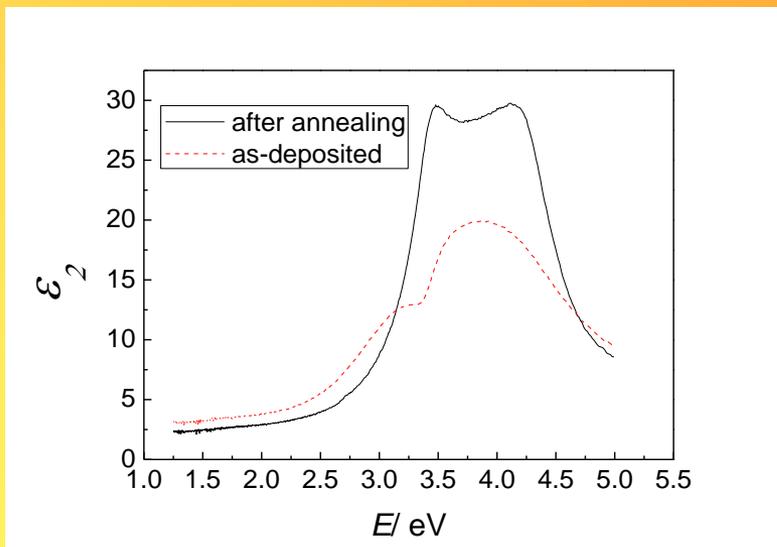


低温外延制结晶硅太阳能电池结构图(a)和本课题组所采用技术路线示意图(b)





# 低温气相外延制结晶硅太阳电池的初步实验研究



(a)PECVD沉积的发射极薄膜进行快速热处理前后的介电常数虚部 $\epsilon_2$ 谱；(b)所制备太阳能电池前表面处剖面的SEM图

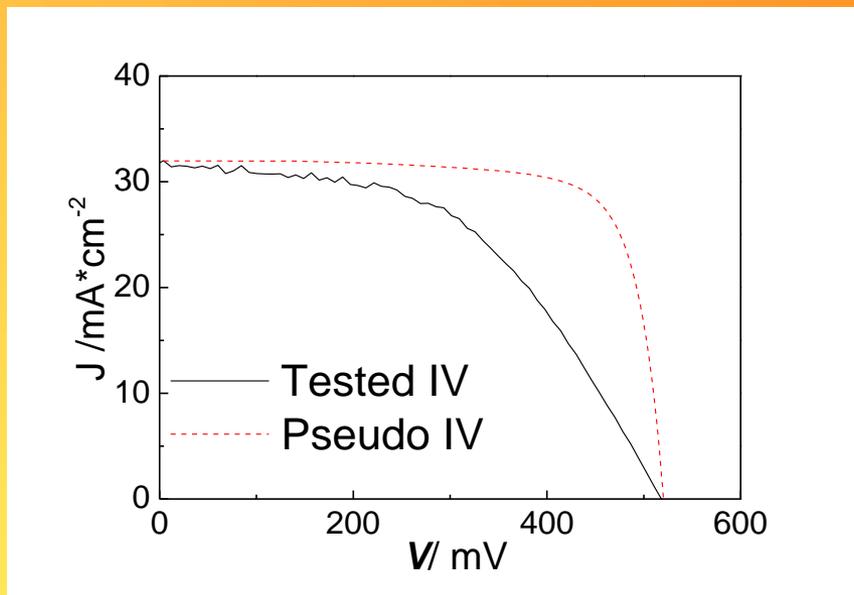
**介电常数虚部 $\epsilon_2$ 谱：**退火前晶化效果差；退火后晶化效果得以提高

**SEM：**无明显界面，并且外延层无裂纹，质量较好

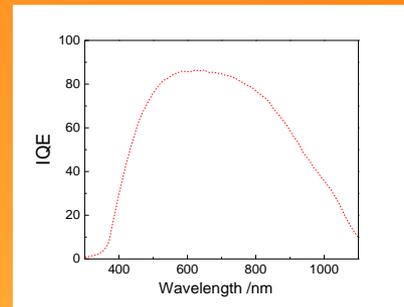




# 低温气相外延制晶硅太阳电池的初步实验研究



(a) IV曲线和Suns-Voc方法分析得到的伪IV曲线;



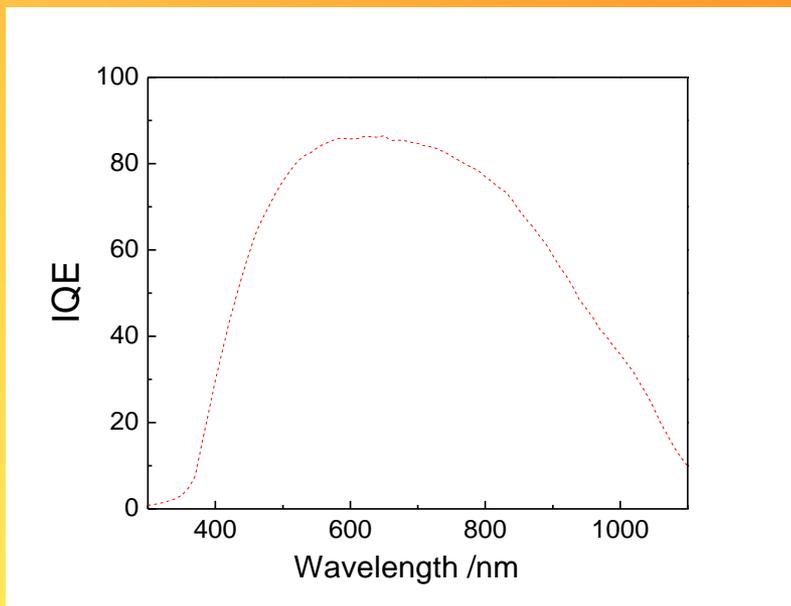
(b)内量子效率(IQE)曲线

太阳电池的转换效率为约**8.2%**；Suns-Voc方法计算得到的并联电阻为500  $\Omega/\text{cm}^2$ ，剔除串联电阻的影响后的伪转换效率（pseudo efficiency）为**12.8%**

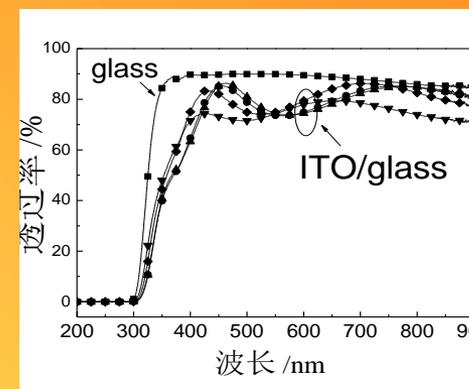
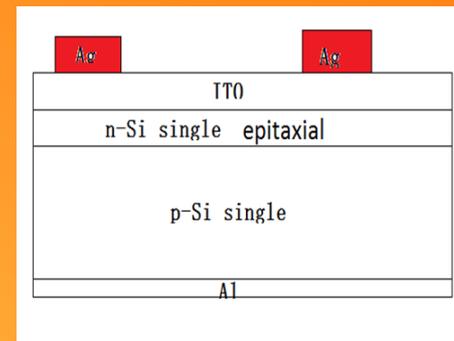




# 低温气相外延制结晶硅太阳电池的初步实验研究



内量子效率(IQE)曲线



晶硅p-n结处对应波长（500-700 nm）的量子效率约为90%，如果考虑到ITO薄膜的吸收率约为10%左右，则该值要更高一些，接近100%，说明p-n结的质量尚可。





# 结 论

针对**低温气相外延法制结**的晶硅太阳能电池，本课题进行了理论模拟分析和初步的实验制备研究，**认为该技术路线具有一定的可行性。**

- 1) 当发射极厚度为200 nm时，发射极的少子寿命高于 $0.01 \mu\text{s}$ ，载流子迁移率高于 $1 \text{ cm} \cdot \text{V}^{-1} \text{ s}^{-1}$ ，发射极与基极硅片之间的界面复合速率低于 $100 \text{ cm/s}$ 时，发射极性能的变化就不会明显劣化太阳能电池的性能，可得到较高的转换效率。
- 2) 实验制备了Ag/ITO/n-c-Si(epitaxial)/p-Si/Al结构的太阳能电池，得到了与基片间无明显界面的外延层发射极薄膜，太阳能电池的转换效率达到了8.2% (AM1.5G)，p-n结区的内量子效率达到了90%左右，并联电阻为 $500 \Omega/\text{cm}^2$ 。





- 将进一步结合晶硅太阳能电池产线工艺：制绒、氮化硅减反膜、丝网印刷栅线等进行研究
- 希望能将该技术集成到现有的晶体硅产线上，简化选择发射极、区域背电场等的制备工艺和成本





Thank you for your attention!



黄海宾 [haibinhuang@ncu.edu.cn](mailto:haibinhuang@ncu.edu.cn) 13576906107

周浪 [lzhou@ncu.edu.cn](mailto:lzhou@ncu.edu.cn)

南昌大学 太阳能光伏学院

江西南昌学府大道999号 南昌大学材料楼

