



2018年中国太阳级硅及光伏发电研讨会
14th China SoG Silicon and PV Power Conference

磁控溅射制备ITO、IWO、SCOT、SRE薄膜 及其在SHJ太阳电池的应用

石建华¹, 黄围^{1,2}, 刘奕阳^{1,2}, 孟凡英^{1,2}, 刘正新^{1,2}

1 中国科学院上海微系统与信息技术研究所

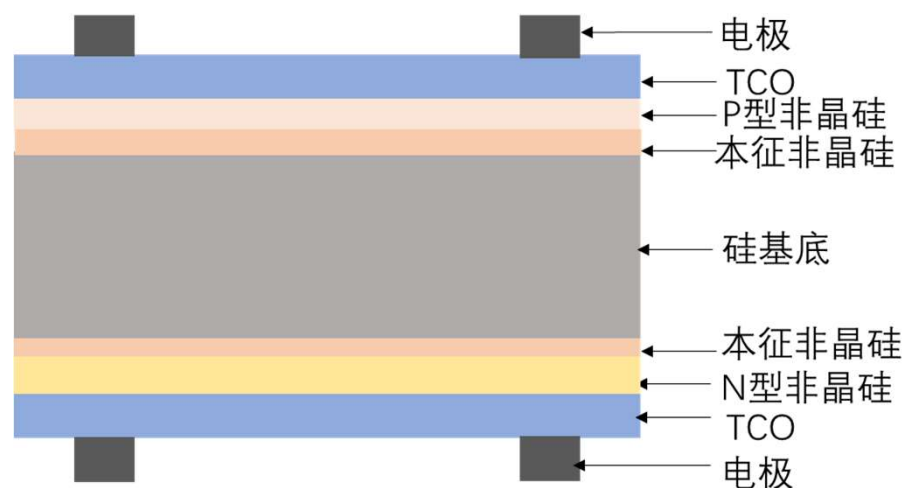
2 中国科学院大学

内 容

- I. **SHJ**太阳能电池研究背景
 - II. 高效**SHJ**太阳能电池用**TCO**薄膜研究进展
 - III. **ITO\IWO\SCOT\SRE**光电性能研究及应用
 - IV. 小结
-

SHJ太阳能电池研究背景

Silicon heterojunction solar cell(SHJ)



SHJ基本结构

特点:

完美全面积非晶薄膜钝化

----**高开压 (Voc)**

完美双面对称结构及低温工艺

----**超薄柔性化**

双面受光

----**发电效率增益超过15%**

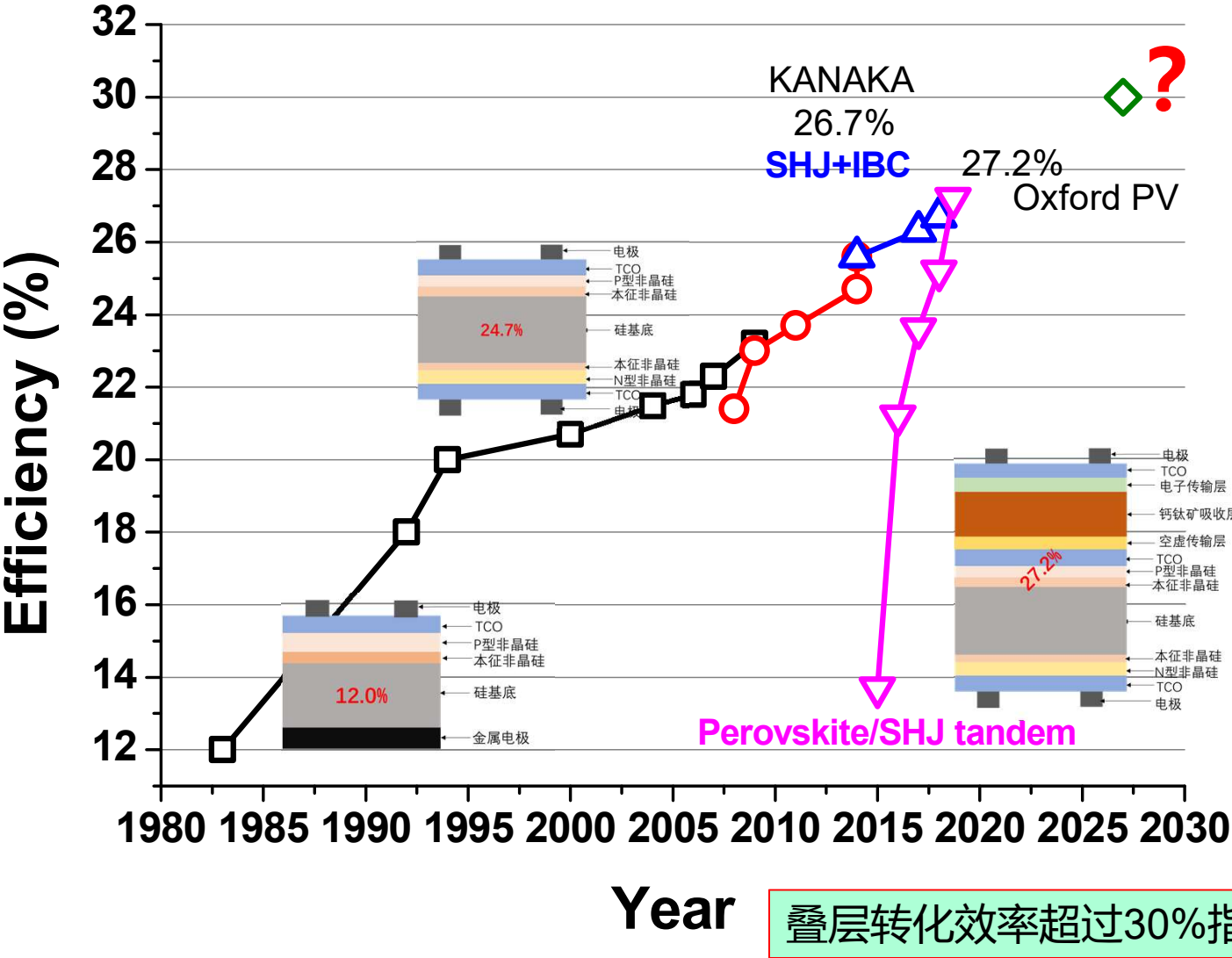
N型晶体硅衬底

----**无PID\LID**

量产推广初期

----**设备/辅材价格昂贵、经验缺乏**

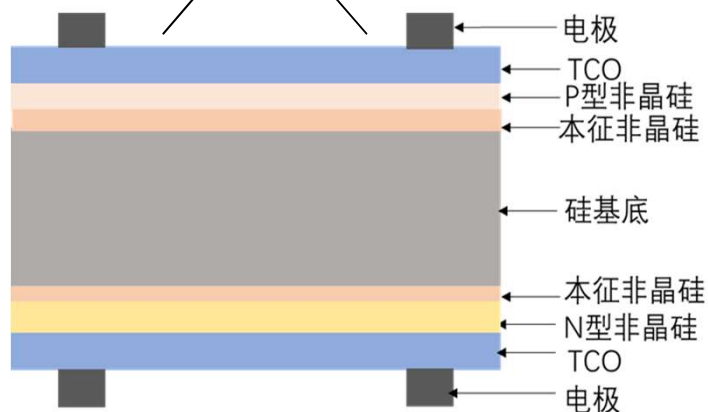
SHJ太阳电池研究背景



高效SHJ太阳电池用TCO薄膜研究进展

透明导电氧化物薄膜(TCO)作用:

- 1、载流子收集传输---导电性好
- 2、光管理---反射、寄生吸收小



SHJ基本结构

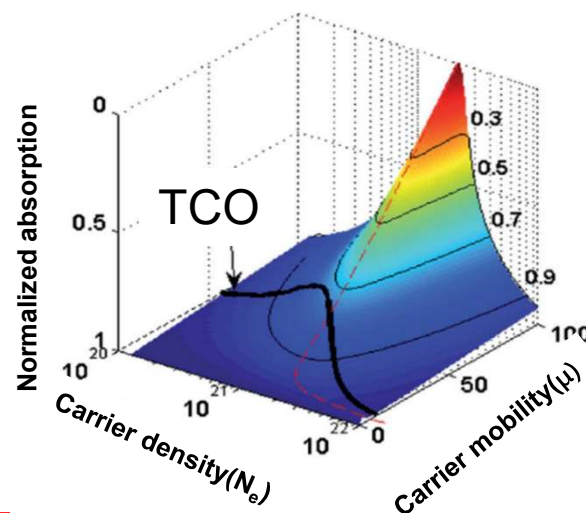
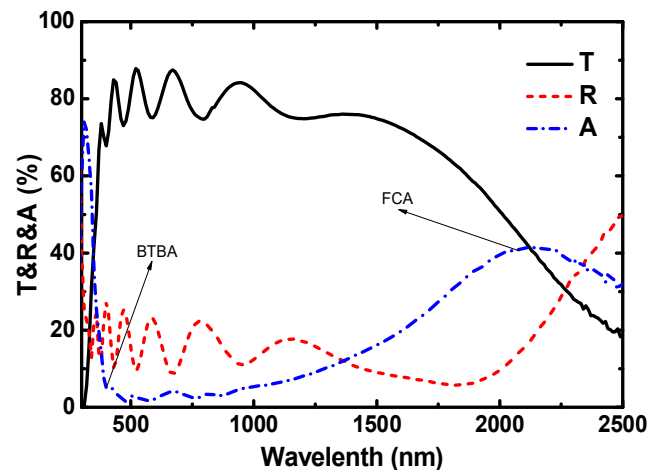
$$\rho = 1/qN_e\mu \quad \lambda_p = 2\pi c \left(\frac{\epsilon_\infty \epsilon_0 m_e^*}{N_e q^2} \right)^{1/2}$$

Conductivity(ρ) $\propto 1/N_e$

Free carrier absorption(FCA) $\propto N_e$

矛盾!

高迁移率TCO材料成为首选



高效SHJ太阳电池用TCO薄膜研究进展

TCO	Carrier density (/cm ⁻³)	Resistivity (Ωcm)	Mobility (cm ² /Vs)	Deposition method	Note
AZO/GAO	10 ²⁰ ~10 ²¹	4x10 ⁻⁴ ~1x10 ⁻³	5~30	SP	低成本
ITO	10 ²⁰ ~10 ²¹	1x10 ⁻⁴ ~1x10 ⁻³	10~40	SP	常规
IO	1x10 ¹⁹ ~3x10 ²⁰	4x10 ⁻⁴ ~1x10 ⁻³	80~150	SP	高迁移率
IHO	1x10 ²⁰ ~7x10 ²⁰	2x10 ⁻⁴ ~8x10 ⁻⁴	40~110	SP	高迁移率
IWO	1x10 ²⁰ ~6x10 ²⁰	3x10 ⁻⁴ ~7x10 ⁻⁴	40~80	SP	高迁移率
IMO	1x10 ²⁰ ~3x10 ²⁰	2x10 ⁻⁴ ~6x10 ⁻⁴	50-110	SP	高迁移率
ITiO	2x10 ²⁰ ~8x10 ²⁰	2x10 ⁻⁴ ~6x10 ⁻⁴	20~70	SP	高迁移率
SCOT	1x10 ²⁰ ~3x10 ²⁰	2x10 ⁻⁴ ~4x10 ⁻⁴	80-100	SP	高迁移率
SRE	2x10 ²⁰ ~3x10 ²⁰	2x10 ⁻⁴ ~5x10 ⁻⁴	70-100	SP	高迁移率

国产化低成本低载流子浓度、高迁移率TCO材料成为高效SHJ太阳电池研究重点

Ref: Adv. Electron. Mater. **2017**, 1600529
 Applied Physics Express 8, 015505 (2015)
 Phys. Status Solidi A, 215, 1700506 (2018)

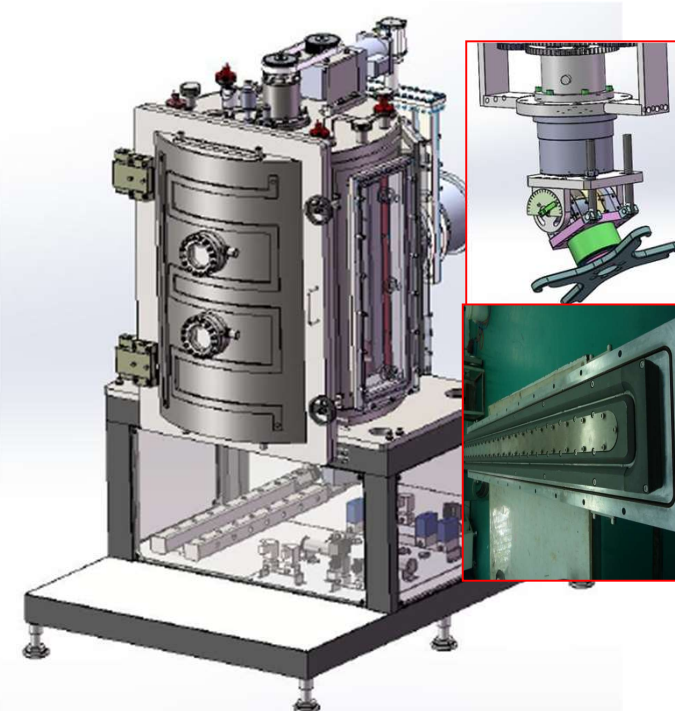
ITO\IWO\SCOT\SRE光电性能



实验设计参数:

靶材	成分比例	沉积气压	功率	衬底温度	O ₂ /Ar
ITO	90: 10	0.4Pa	~120W	RT	~0.8%
ITO	95: 5	0.4Pa	~120W	RT	~0.8%
ITO	98: 2	0.4Pa	~120W	RT	~0.8%
IO	100: 0	0.4Pa	~120W	RT	~0.8%
IWO	99: 1	0.4Pa	~120W	RT	~0.8%
SCOT	/	0.4Pa	~120W	RT	~0.8%
SRE	/	0.4Pa	~120W	RT	~0.8%

磁控溅射系统

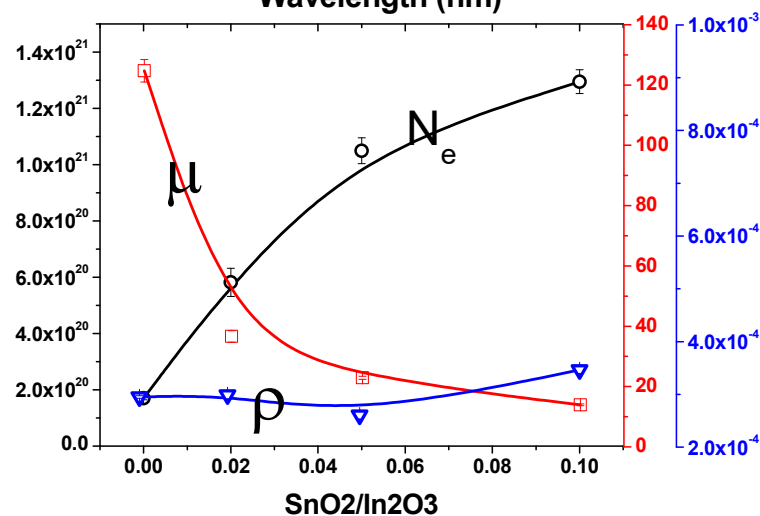
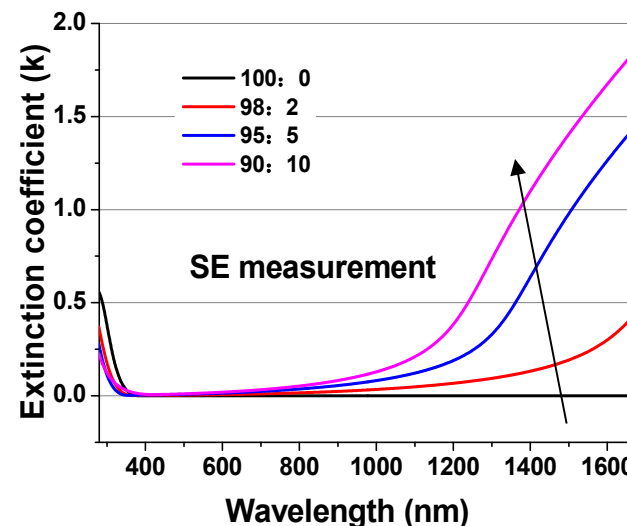
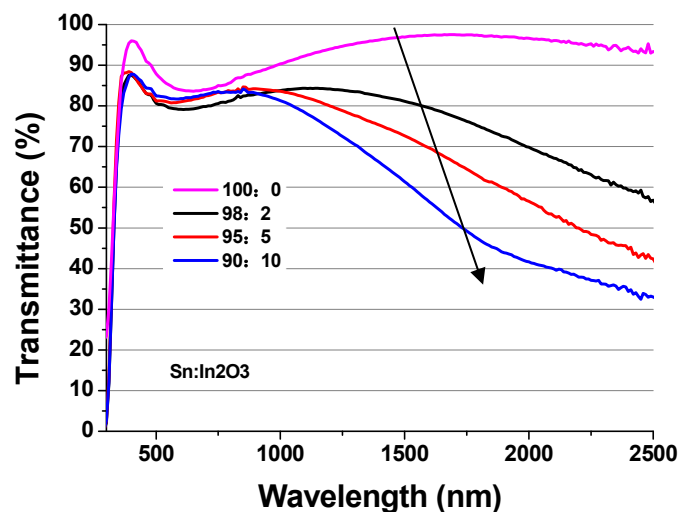


磁控溅射系统自行设计，具有以下几个特点：

- 1、磁场强度可调，
 - 2、磁力线分部可调，
 - 3、样品与磁力线夹角可调
- (与上海福宜真空设备有限公司产学研结合)

ITO\IWO\SCOT\SRE光电性能

SnO₂含量对Sn:In₂O₃(ITO)光电性能的影响

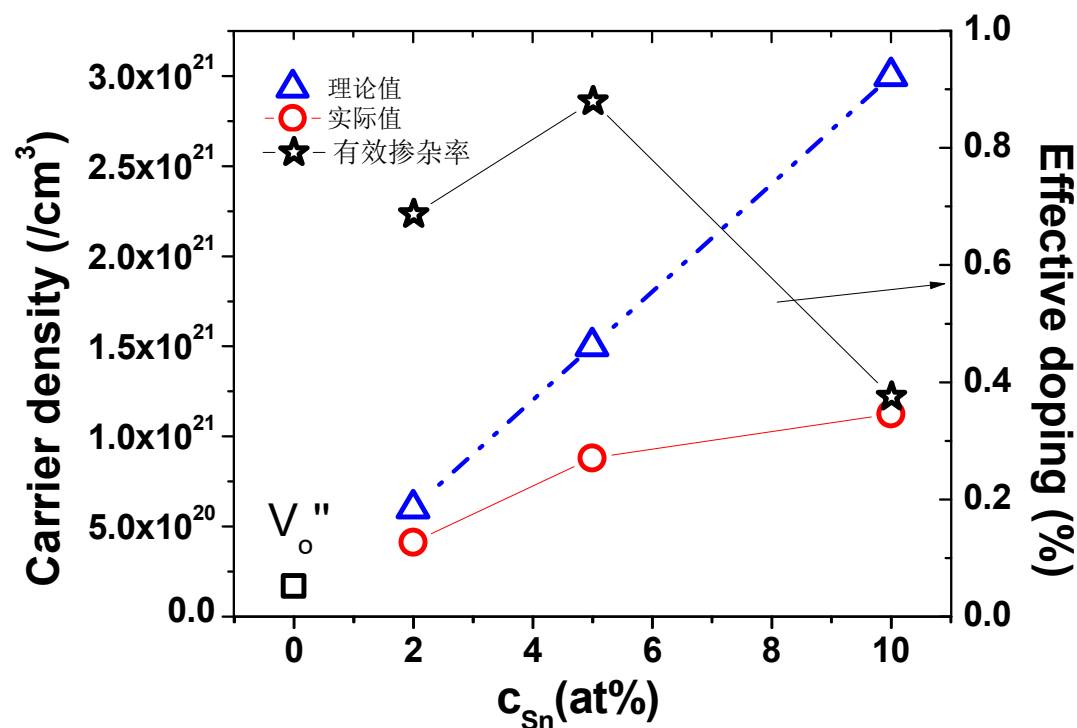


样品空气环境下200℃退火30min

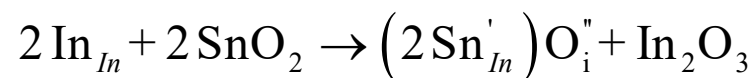
- 1、Sn掺杂增大，载流子浓度增大，透过率下降，近红外自由载流子吸收升高
- 2、零掺杂时，迁移率超过120，且随Sn掺杂增大迅速减小
- 3、电阻率

ITO\IWO\SCOT\SRE光电性能

有效掺杂特性



$$N_e = [Sn'_{In}] + 2[V_O''] \quad N_e = [Sn'_{In}] = 3.0 \times 10^{22} \times C_{sn}$$



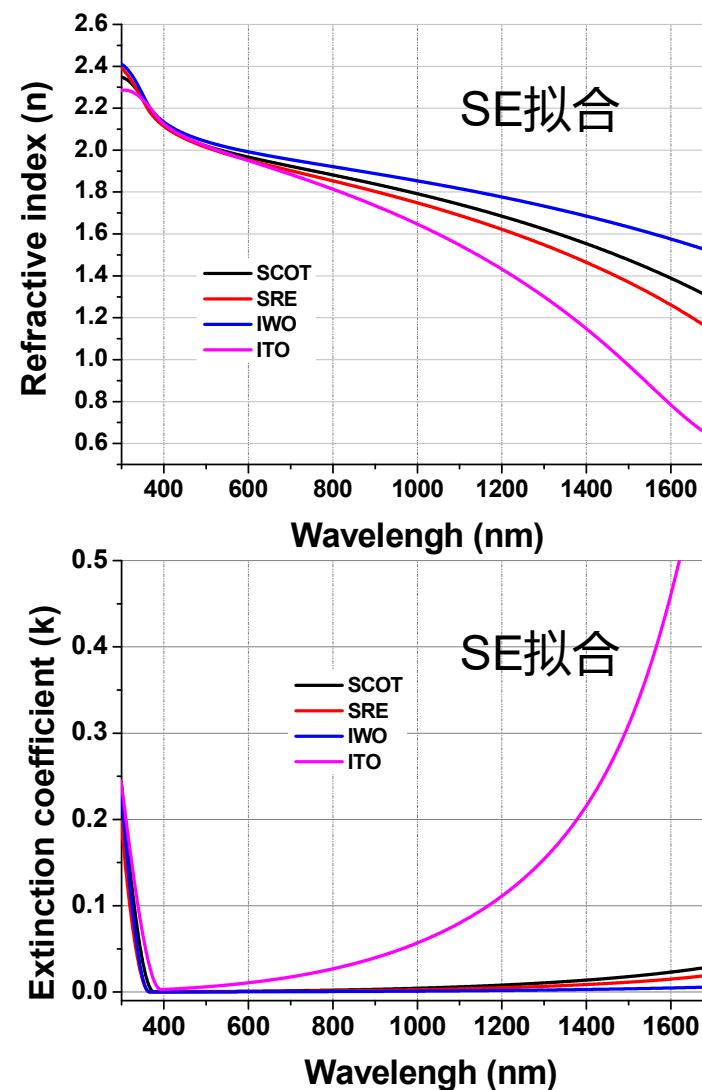
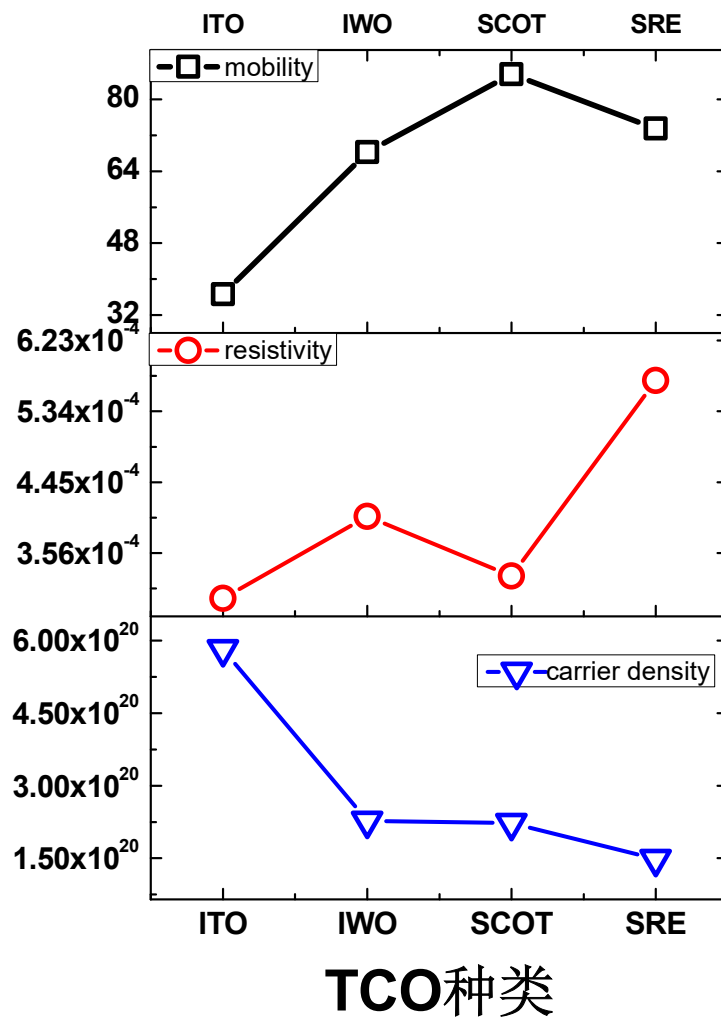
掺杂比为5%时，有效掺杂率最高，接近90%，

Appl. Phys. A 27, 197-206 (1982)

PHYSICAL REVIEW B 81, 165207 2010

ITO\IWO\SCOT\SRE光电性能

ITO\IWO\SCOT\SRE电性能比较

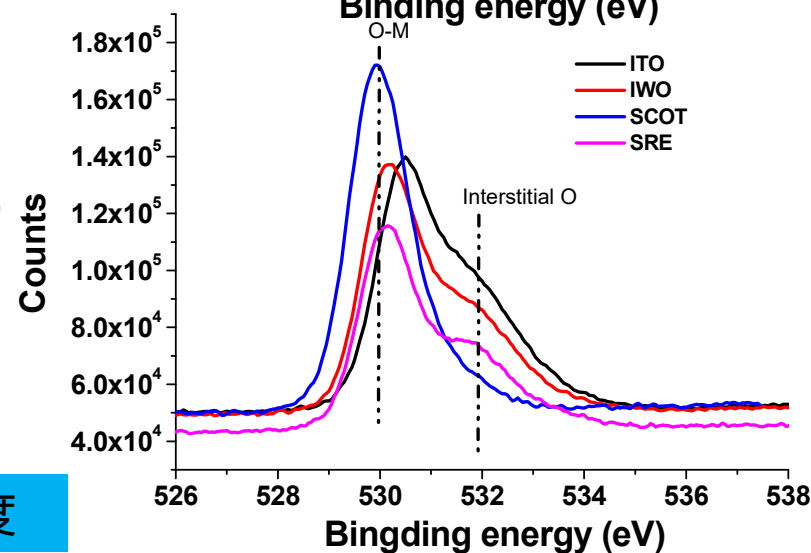
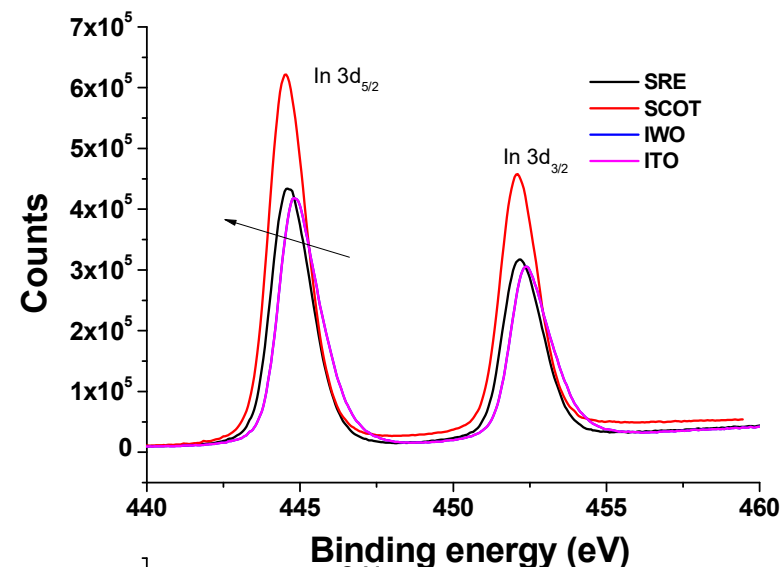
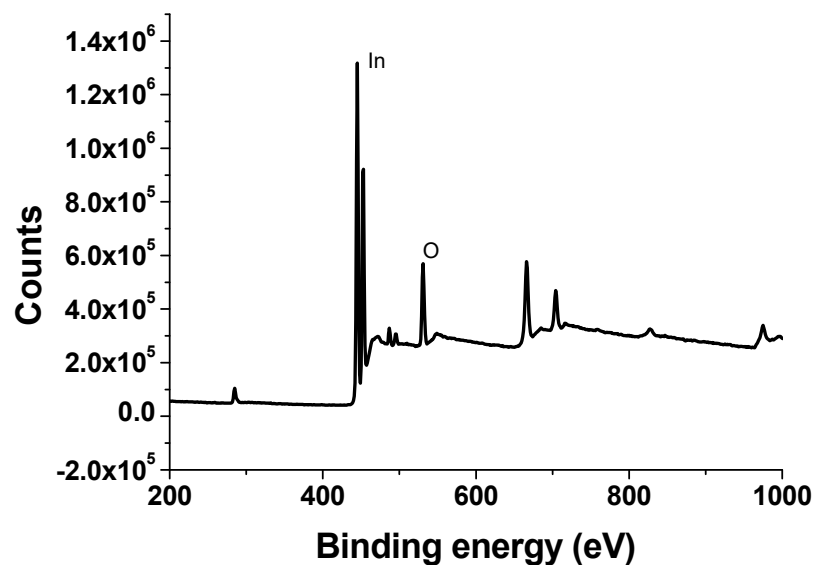


SCOT迁移率>80cm²/V.s, IWO折射率 (n) 最大、薄膜致密性最优

ITO\IWO\SCOT\SRE光电性能



XPS测试



掺杂源影响In成键方式和间隙O的浓度

PHYSICAL REVIEW B **81**, 165207 2010

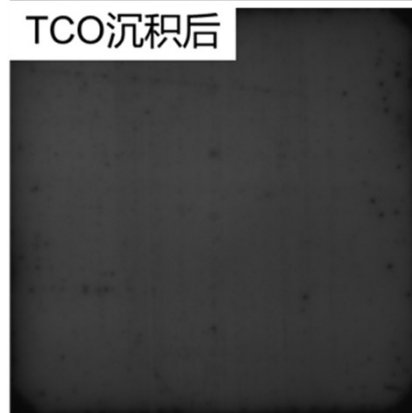
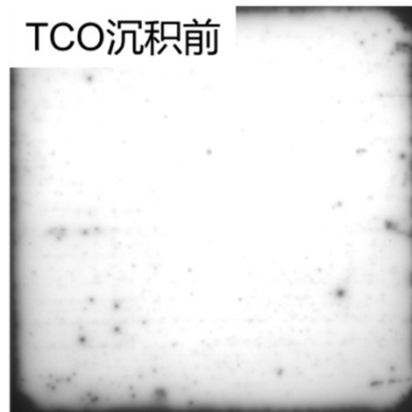
ITO\IWO\SCOT\SRE光电性能

电池输出特性

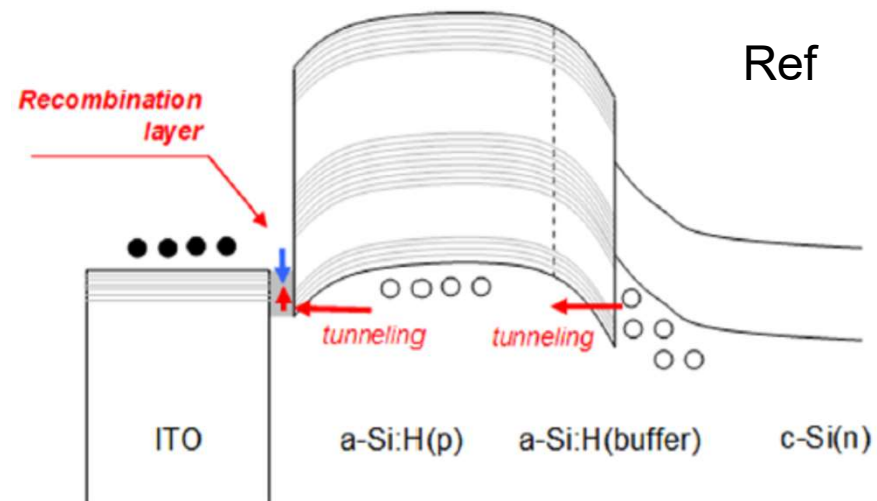
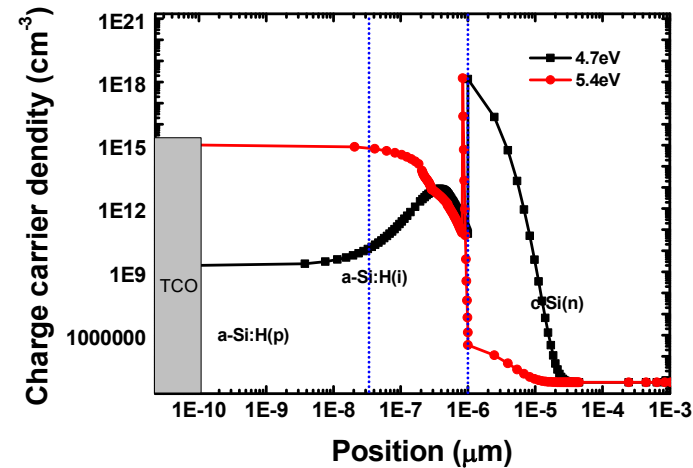
TCO	Jsc	Voc	FF	Eff	Rs	Ne	ρ
ITO	34.8	0.7122	64.86	16.06	0.0165	5.82E+20	2.99E-04
IWO	37.15	0.7182	71.42	19.05	0.0147	2.27E+20	4.02E-04
SCOT	38.14	0.739	75.74	21.35	0.011	2.23E+20	3.27E-04
SRE	38.46	0.7412	67.33	19.19	0.0197	1.48E+20	5.73E-04

1. ITO 载流子浓度大, FCA寄生吸收严重, Jsc小
2. 串联电阻与TCO薄膜电阻呈非线性相关, 可以与界面状态有关
3. ITO和IWO电池的Voc小, 与其功函数/界面功函数有关

功函数匹配及界面缺陷层



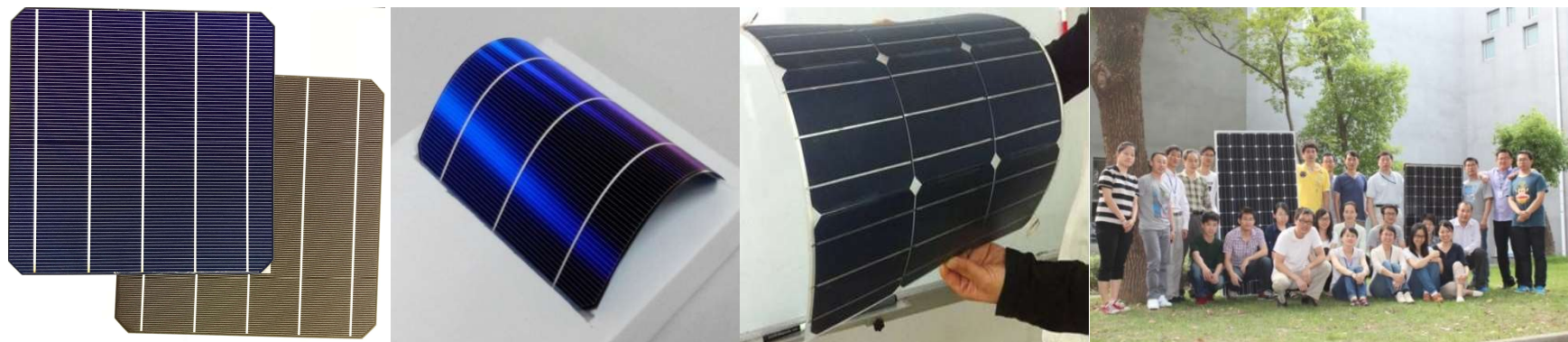
非晶硅薄膜钝化特性PL评价



功函数失配形成的肖特基势垒会严重阻碍载流子的传输，而界面缺陷层导致严重的复合

1. SP技术可制备高迁移率、低电阻率TCO薄膜材料
2. ITO薄膜中，Sn有效掺杂率与掺杂源浓度有关
3. In_2O_3 基的TCO薄膜掺杂种类影响生长方式、结晶度、成键类型
4. TCO/非晶硅界面状态决定SHJ太阳能电池转化效率
5. 应用于高效SHJ太阳能电池的TCO薄膜需要进一步关注薄膜制备方法
特别是初期成膜方式对界面的影响

感谢聆听!



中国科学院上海微系统与信息技术研究所
新能源技术中心
