



PECVD法非晶硅与非晶氧化硅薄膜钝化硅片研究

南昌大学 太阳能光伏学院 / 材料学院

龚洪勇，黄海宾，高江，崔冶青，宁武涛，周浪

2013. 11.09 CSPV9

江苏.常熟



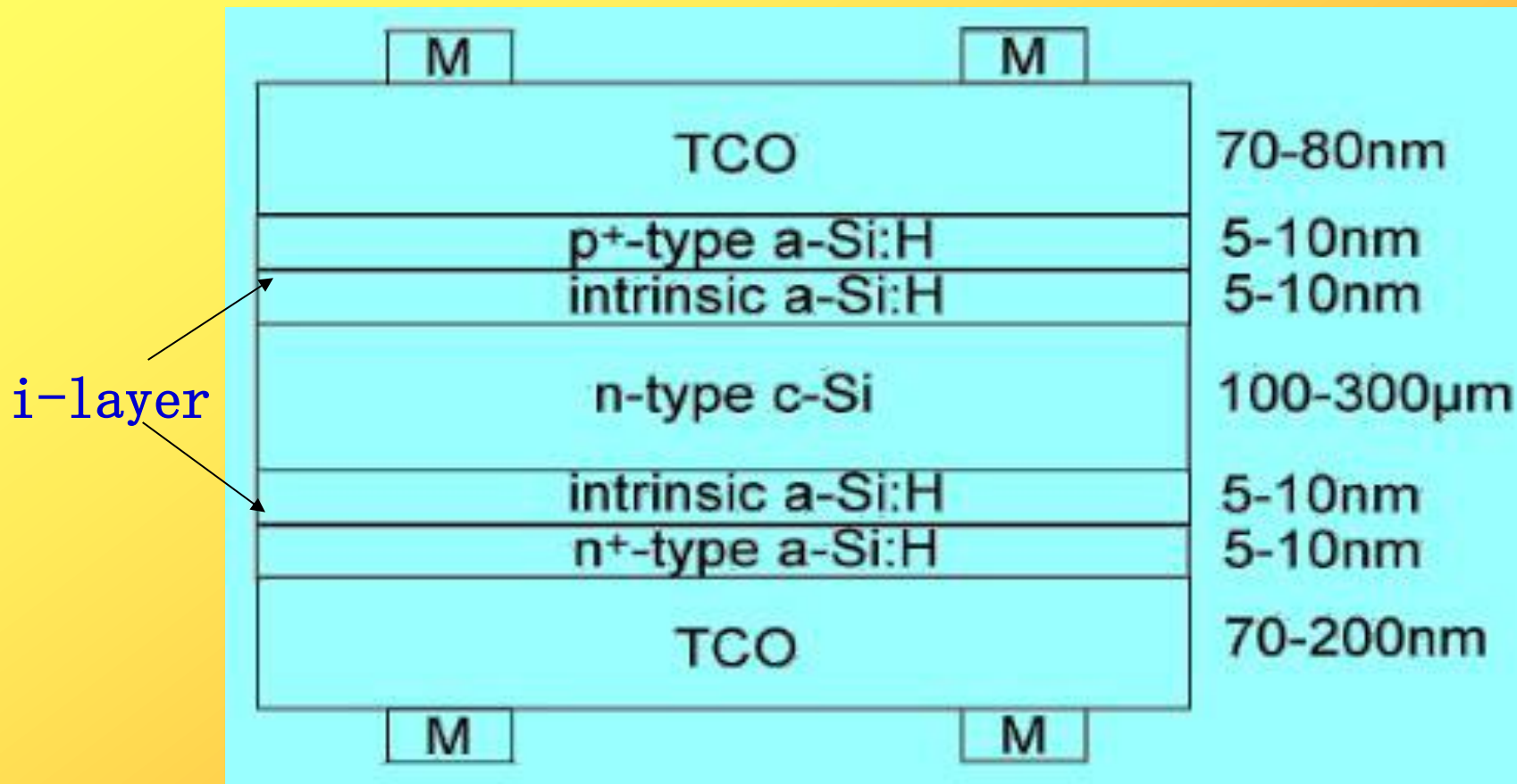


报告提纲

- 硅基异质结电池中的钝化层
- 低速率沉积的本征非晶硅优良钝化效果
- 氢化非晶氧化硅的优良钝化效果和更宽的工艺范围
- 研究结论

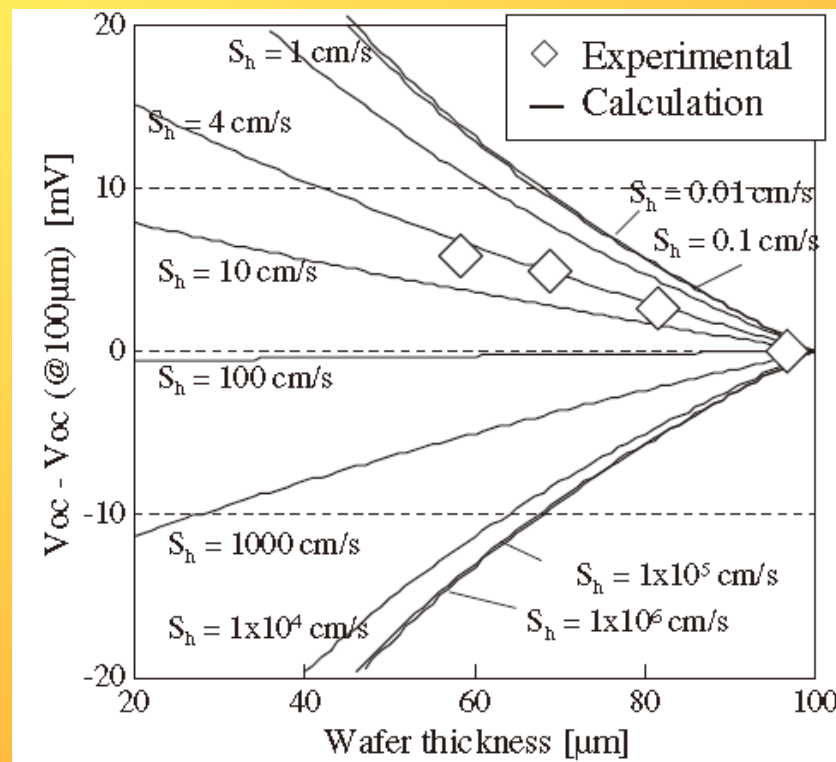
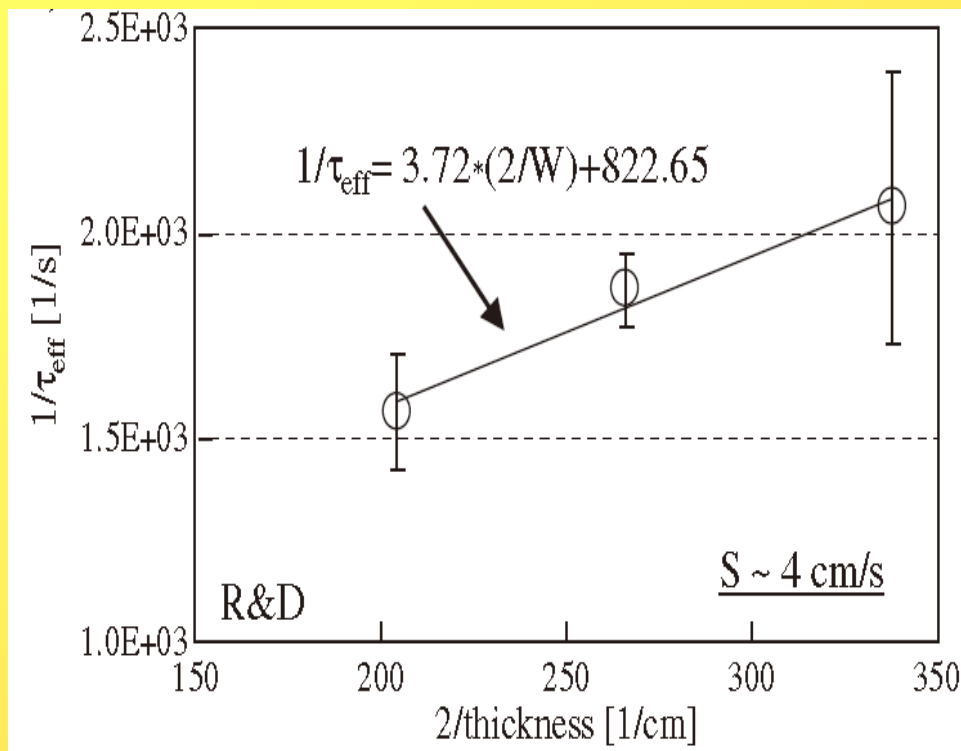


硅基异质结电池的结构



在晶体硅与掺杂非晶硅间插入本征非晶硅薄层
(HIT, Sanyo)

Sanyo研究组的本征氢化非晶硅钝化研究数据



Tohoda, S., et al. ,*Journal of Non-Crystalline Solids*, 2012. 358(17): p. 2219-2222

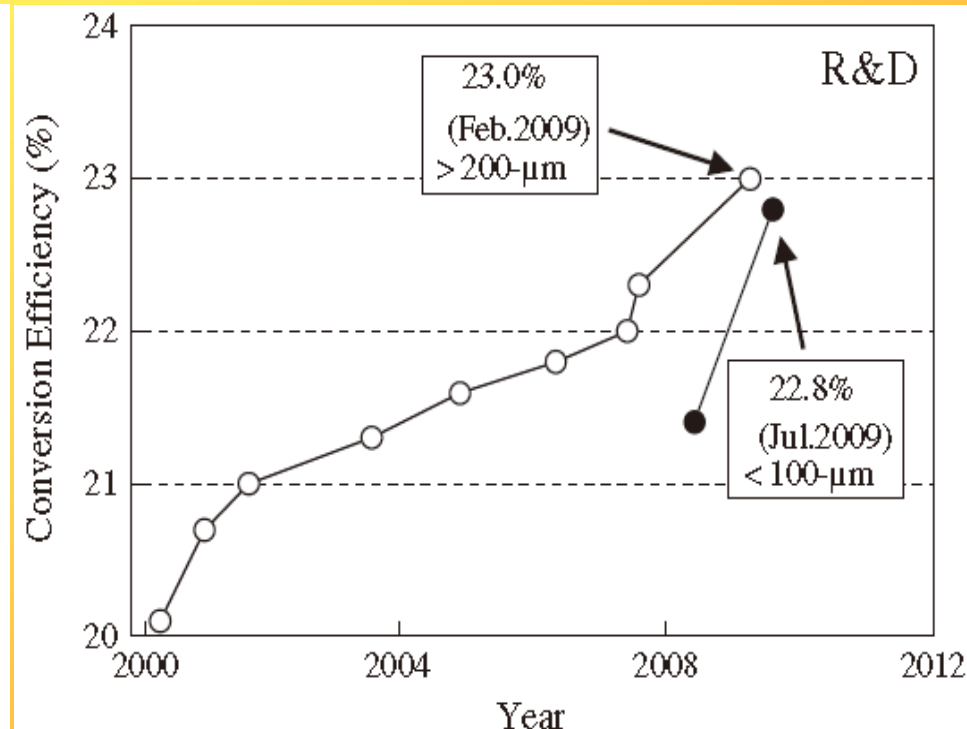
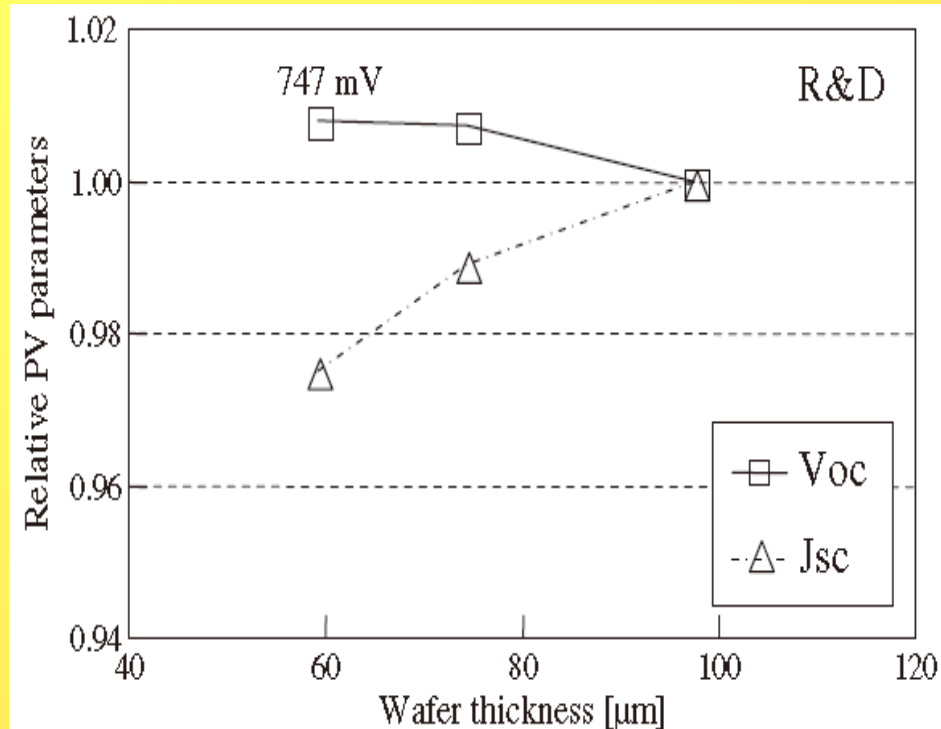
左图, $\tau_{\text{bulk}} = 1216 \text{ us}$, $S = 4 \text{ cm/s}$

(根据 $1/\tau_{\text{eff}} = 1/\tau_{\text{bulk}} + 2S/W$, $\tau_{\text{eff}} < \tau_{\text{bulk}} = 1216 \text{ us}$)

右图, $S = 100 \text{ cm/s}$ 时 $V_{\text{oc}} = 741 \text{ mV}$ 几乎不变, $S = 10 \text{ cm/s}$ good

(100.4 cm^2 , $\eta = 23\%$, $V_{\text{oc}} = 0.729 \text{ V}$, $I_{\text{sc}} = 39.5 \text{ mA/cm}^2$, 80.0% (2009))

Sanyo研究组的本征氢化非晶硅钝化研究数据



Tohoda, S., et al. ,*Journal of Non-Crystalline Solids*, 2012. 358(17): p. 2219-2222

2011-Sanyo 98um, η 23.7%

2013-Panasonic 98um, η 24.7%

(100.4cm², η 23%, Voc 0.729V, Isc 39.5mA/cm², 80.0% (2009))

👉 *Sanyo data* - $\tau_{bulk} = 1216 \text{ us}$, $S < 10 \text{ cm/s}$

低速率沉积的非晶硅薄膜对硅片的优良钝化效果

试验方法

- **PECVD设备：创世威纳HW-PECVD-1E**

- **样品材料：N型Cz-Si (40*40mm,厚度约190um,电阻率约1-5ohm.cm,(100)面,体少子寿命>1ms)**

- **减薄后约140-150um**

- **样品处理：预清洗后,通SiH₄+H₂, PECVD双面沉积本征非晶硅**

- **样品测试:**

- 样品少子寿命测试

- 样品薄膜结构分析

低速率沉积的本征非晶硅薄膜

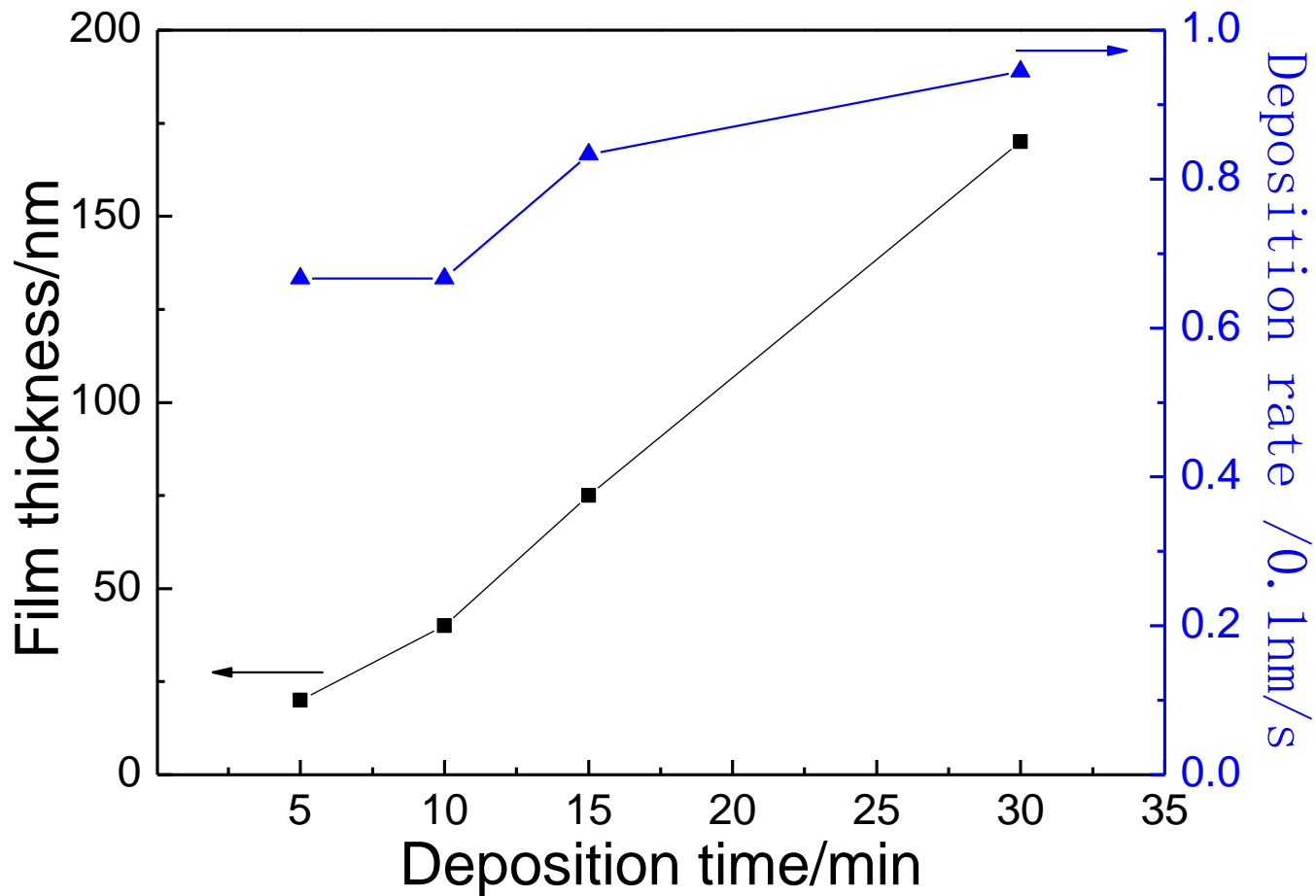
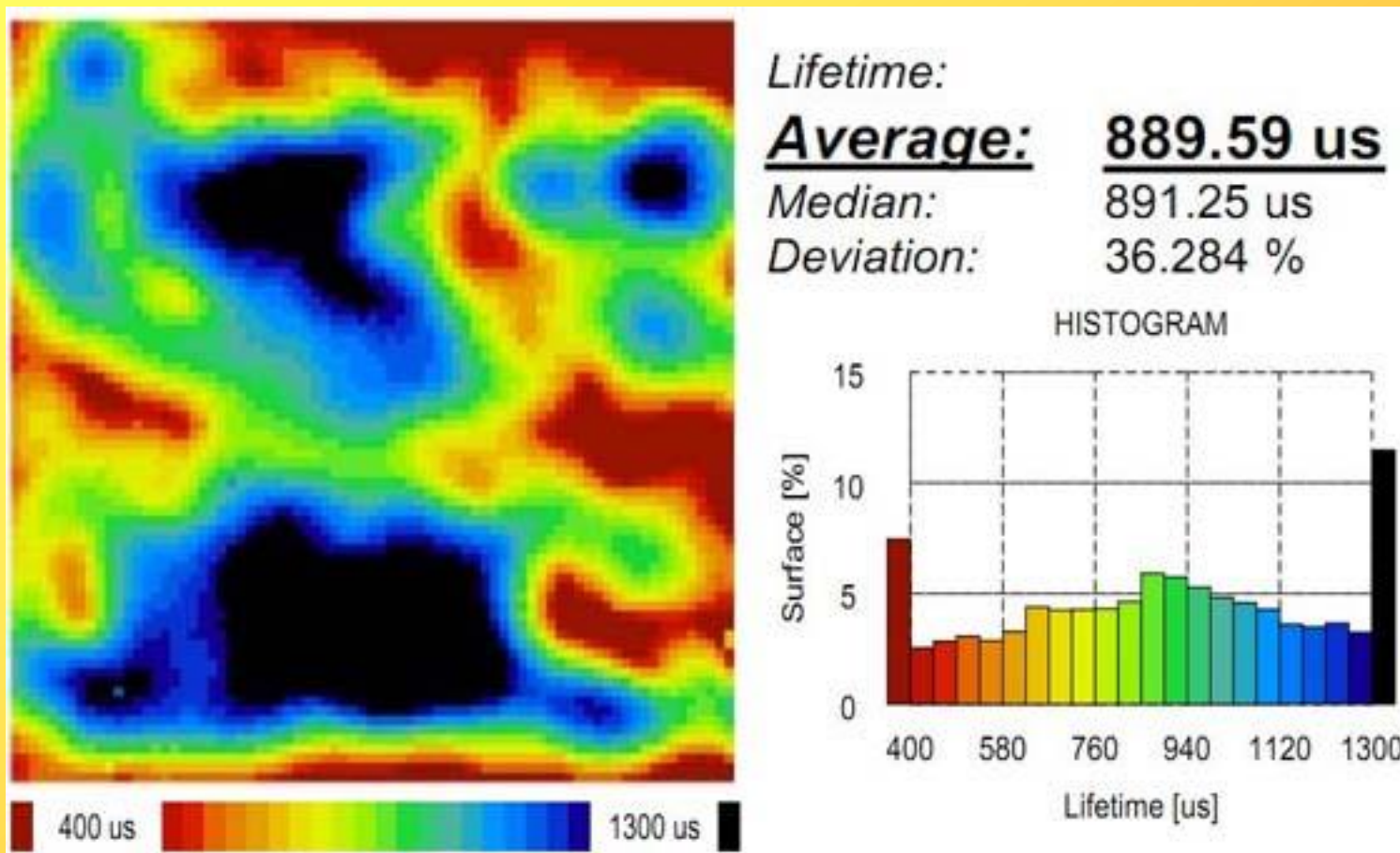


图1 非晶硅薄膜厚度与沉积时间关系

Fig.1 the thicknesses of i a-Si:H films with different deposition time

硅片少子寿命扫描分布图(uPCD: WT-2000PV)



结果: 硅片钝化后平均少子寿命值 > 880us; 局部达 1600us
图2 N型Cz硅 40x40mm², 优化PECVD工艺双面沉积 a-Si:H膜
钝化后硅片少子寿命扫描分布图

Fig.2 The lifetime mapping image of the passivated wafer by a-Si:H films

硅片少子寿命mapping图（QSSPC:PV-2000）

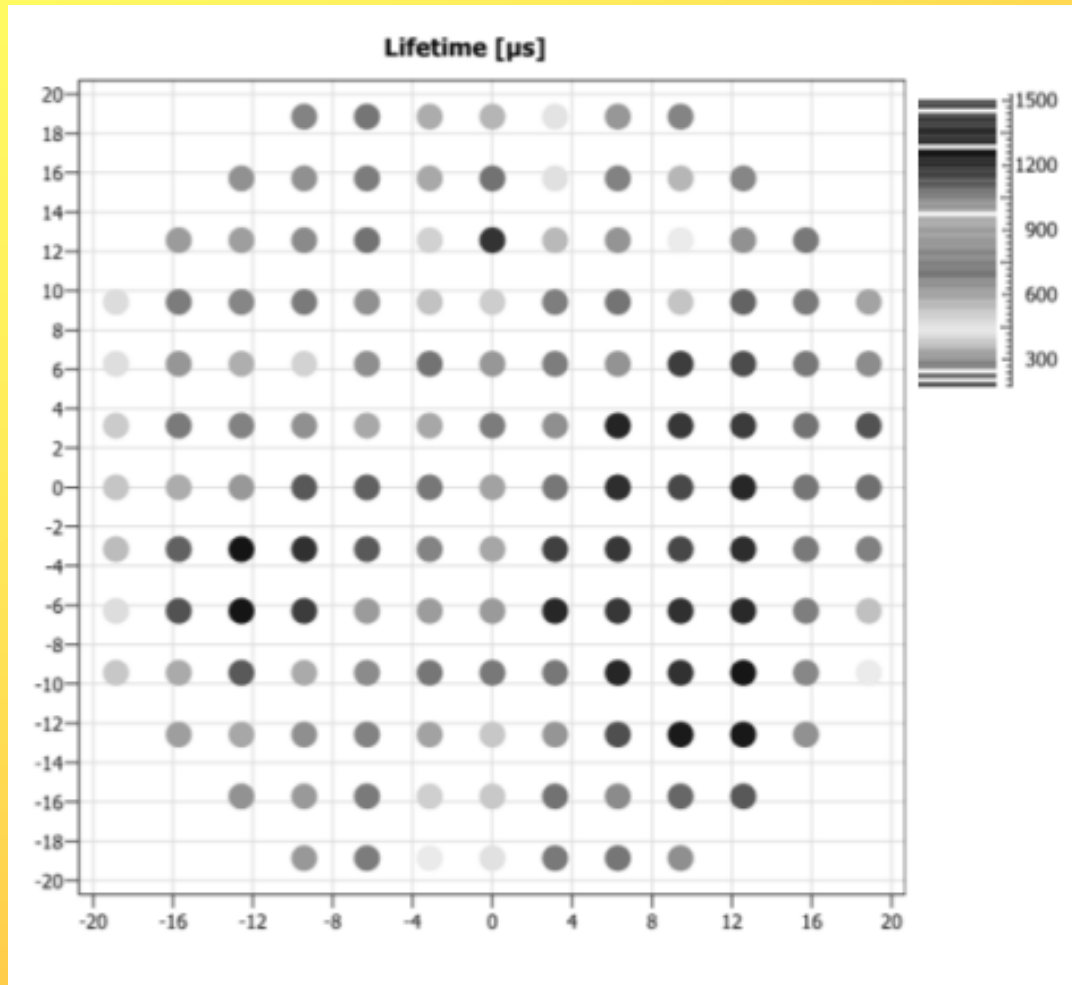


图3 硅片少子寿命mapping图（QSSPC:PV-2000）

Fig.3 The lifetime mapping image measured by QSSPC method of the bifacial passivated wafer with an averaged lifetime 889 μs (shown at right scale in microseconds)

硅片表面复合速率S的推算

根据公式

$$1/\tau_{\text{test}} = 1/\tau_{\text{bulk}} + 2S/W$$

τ_{test} - 硅片表观少子寿命, τ_{bulk} - 硅片体少子寿命,

S - 硅片表面复合速率, W - 硅片厚度

- 若硅片的体少子寿命为1 ms, 则 $S < 0.94 \text{ cm/s}$;
- 若硅片的体少子寿命为2 ms, 则 $S < 4.7 \text{ cm/s}$;
- 若硅片的体少子寿命趋于无穷大, 则 $S < 8.5 \text{ cm/s}$

钝化结构 $i\text{-a-Si:H/c-Si/i a-Si:H}$

👉 通过实验优化, 我们在国产PECVD上将硅片表面复合速率钝化到了9 cm/s 以下!

氢化非晶氧化硅的相对优势

- 氢化非晶硅 (α -Si:H) 的不利项:
 - 本征氢化非晶硅中光生载流子效率低
 - 在硅片上沉积非晶硅易外延钝化效果变差导致明显降低电池性能，我们低速率沉积试验中也发现其工艺窗口较小；
- 氢化非晶氧化硅的相对优势（也有优良钝化效果）
 - 非晶氧化硅的蓝光吸收更少，响应更好
 - 非晶氧化硅的钝化热稳定性更好

因此，我们又在国产PECVD进行了非晶氧化硅对硅片的钝化研究

氢化非晶氧化硅钝化有更宽的工艺范围

非晶氧化硅钝化在沉积气压上有更宽的工艺窗口

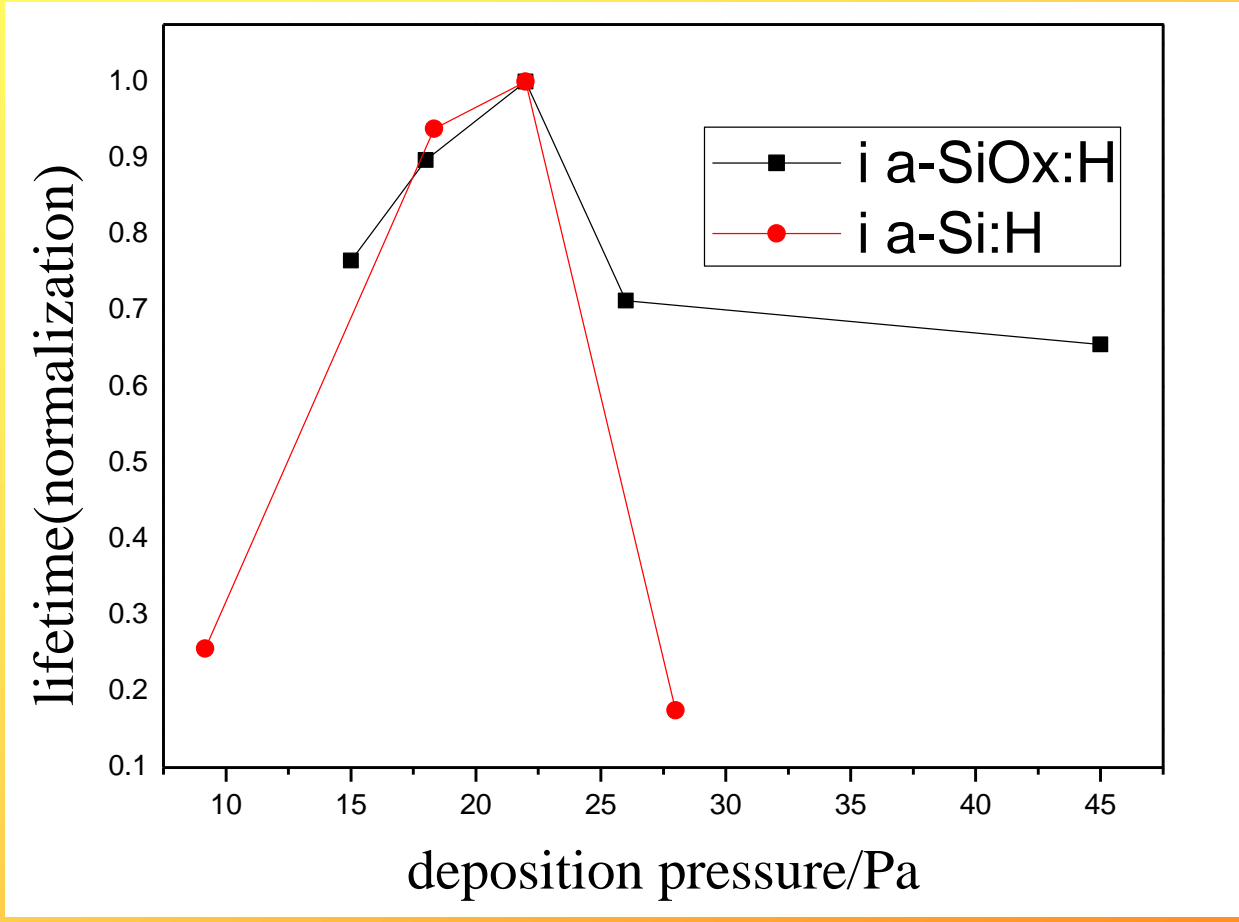


图3 沉积气压对钝化后硅片有效少子寿命(归一化)的影响 氢化非晶硅Vs. 氢化非晶氧化硅
Figure 3 effect of the depositing pressure on the effective lifetime (normalization)
a-Si:H Vs. a-SiOx:H

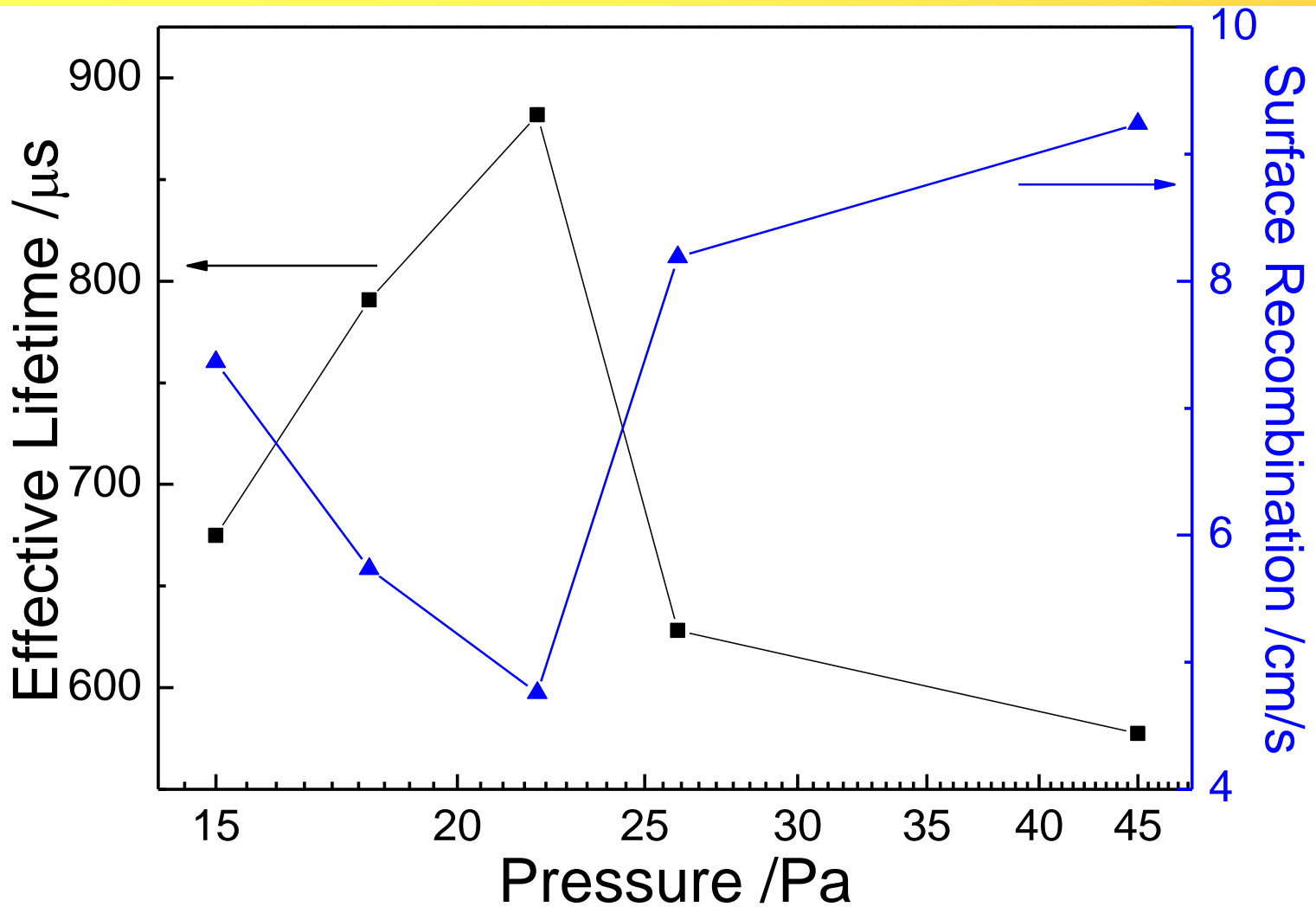
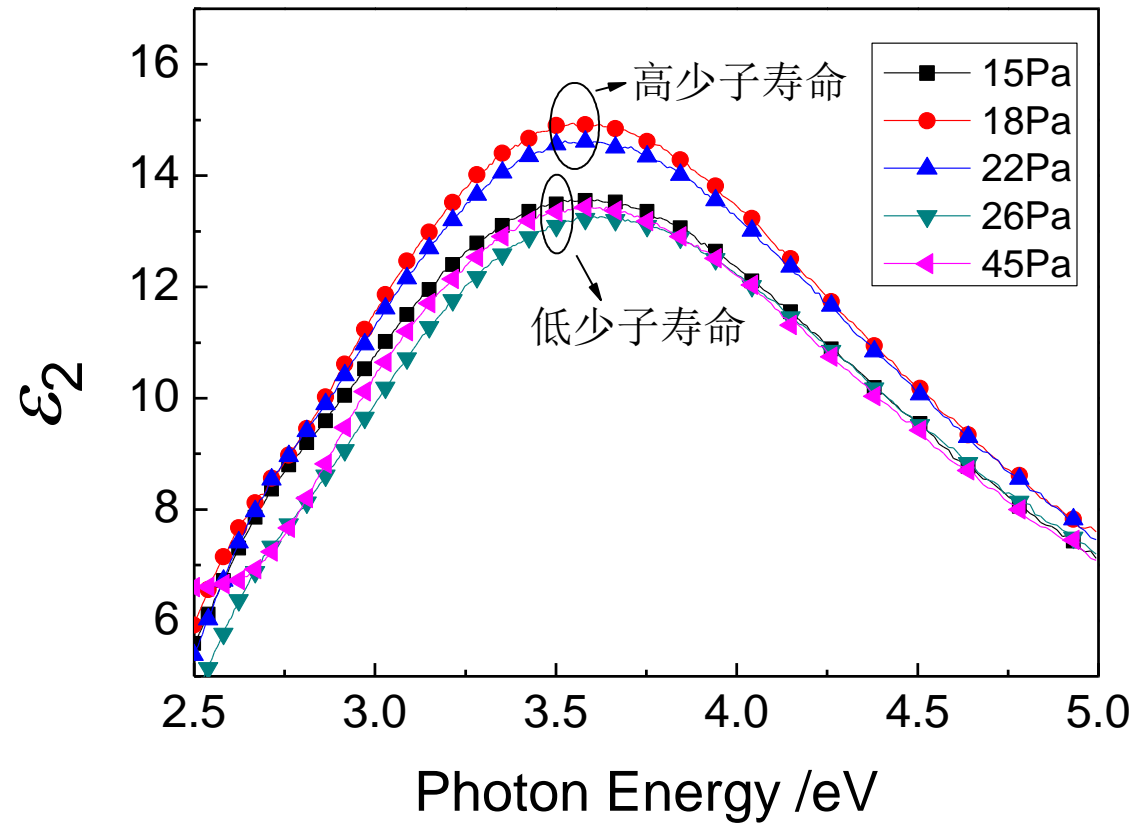


图4 沉积气压对非晶氧化硅钝化后硅片有效少子寿命及表面复合速率的影响
 Figure 4 effect of a-SiO_x:H films at the different depositing pressure on the effective lifetime and surface recombination of the passivated wafers

非晶氧化硅的结构分析（椭偏光谱）



高少子寿命样品
空位浓度低。
(Physical Review B,
2004, 69: 125307)

图5 氢化非晶氧化硅不同沉积气压钝化后样品的 ϵ_2 谱

Figure 5 ϵ_2 spectra of a-SiO_x:H on the passivated wafers with different depositing pressure

优化后氢化非晶氧化硅的优良钝化效果

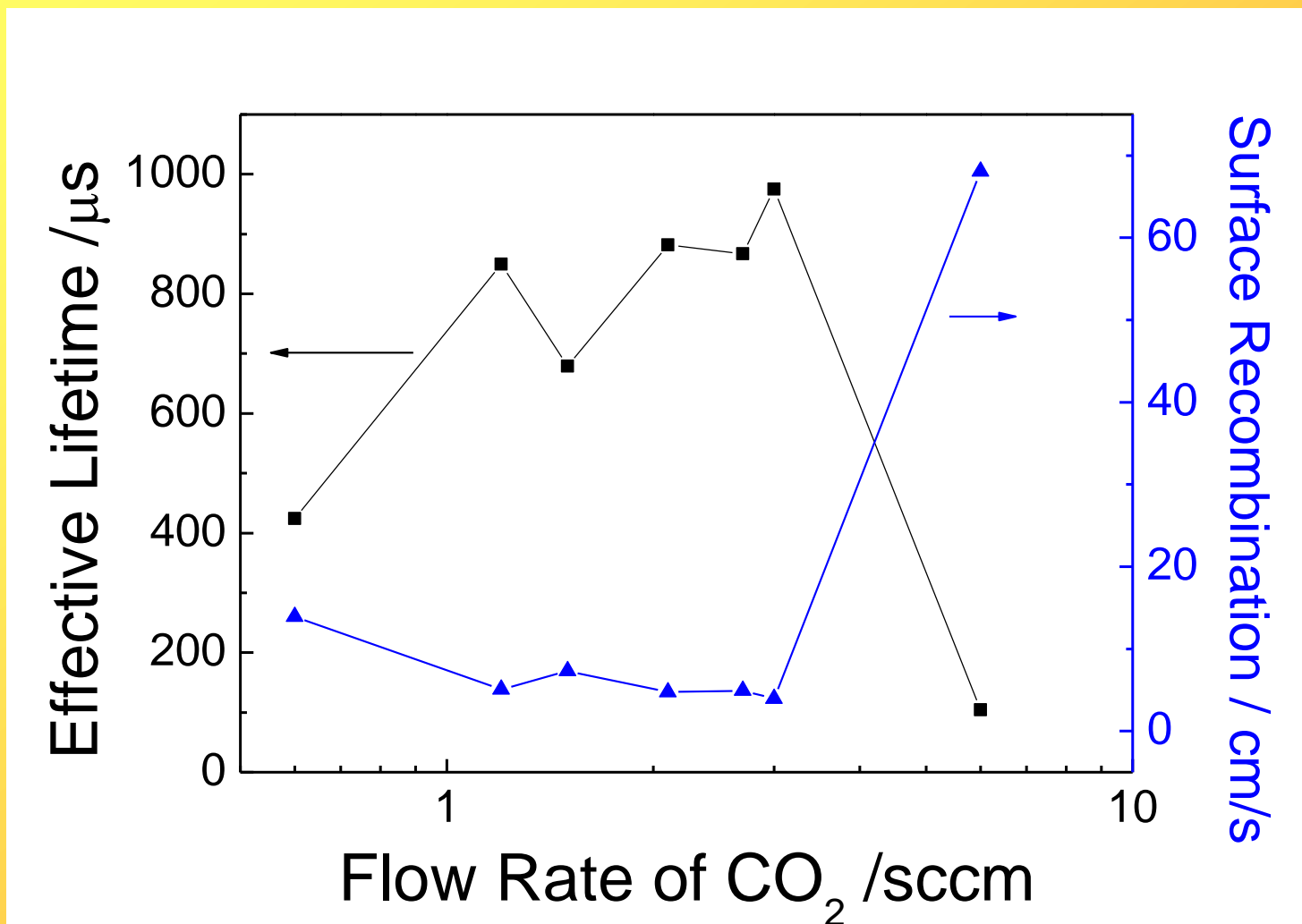
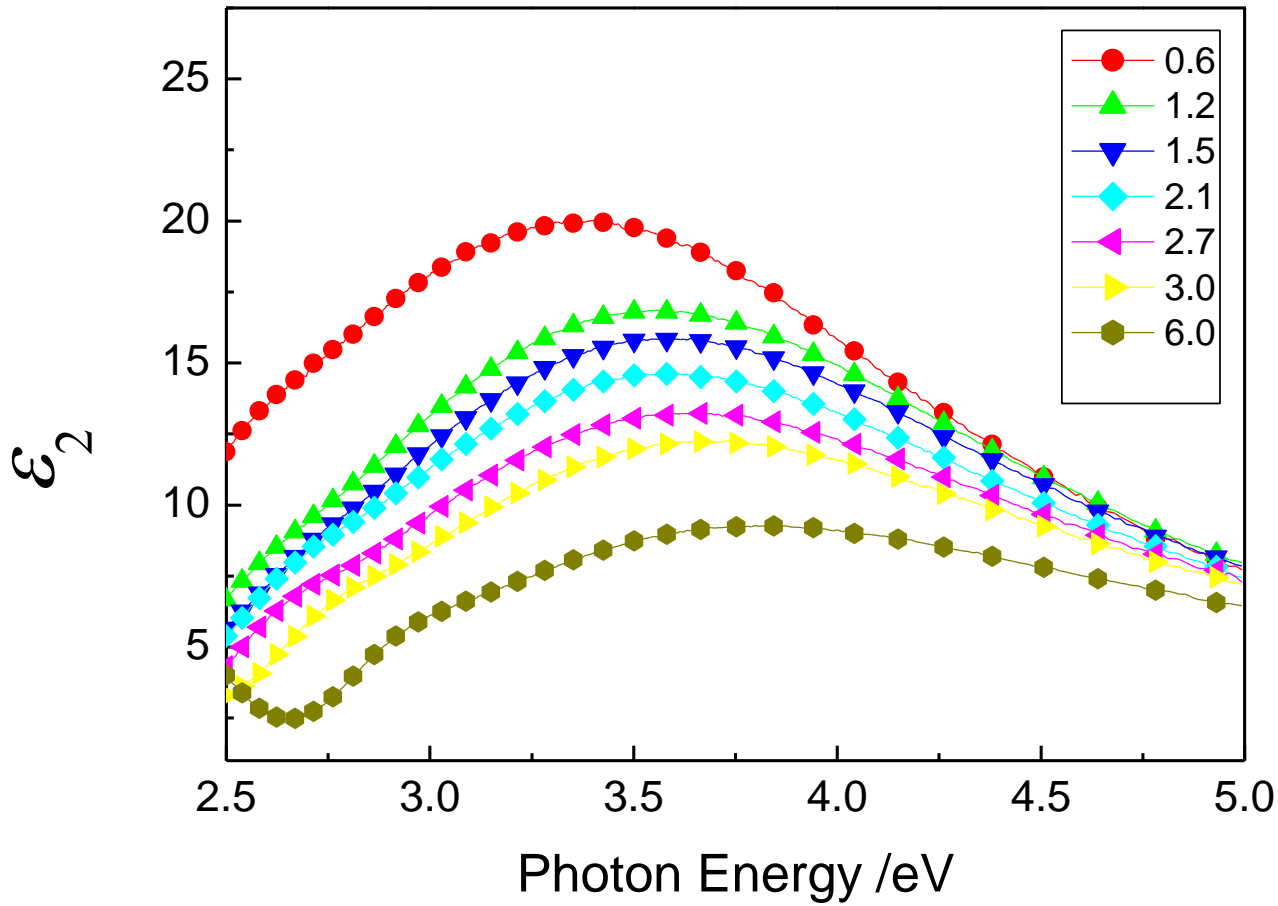


图6 CO₂:SiH₄流量比对有效少子寿命及表面复合速率的影响

Figure 6 effect of the ratio of the CO₂:SiH₄ flow rate on the effective lifetime and surface recombination of the passivated wafers



氢含量随 CO_2
流量增加而增加
(Physical
Review B, 2004,
69: 125307)

图7 不同 CO_2 流量钝化后的硅片的 ϵ_2 谱

Fig. 7 ϵ_2 spectra of the passivated wafers with different CO_2 flow rate

研究结论

- 氢本征氢化非晶硅在低沉积速率 ($<1 \text{ \AA}/\text{s}$) 获得了优良的钝化效果(本案例)；
- 氢化非晶氧化硅有更宽的工艺窗口和工艺稳定性，椭圆测试表明：钝化效果与空位浓度和氢含量有关。

 通过实验优化，我们用国产PECVD上沉积氢化非晶硅和氢化非晶氧化硅薄膜，两者都可以将硅片表面复合速率钝化到了 9 cm/s 以下！



谢谢关注 lzhou@ncu.edu.cn