

[补充信息]

户外运行 17 年单晶硅光伏组件性能失效研究

赖海文¹, 韩会丽¹, 黄伟宏¹, 董 娴², 李冰之¹, 沈 辉^{1,2}, 梁宗存^{1,2,✉}

1 中山大学物理学院, 太阳能系统研究所, 广州 510275;

2 顺德中山大学太阳能研究院, 佛山 528300

[Supplementary Information]

Study on Electrical Performance Failure of Mono-crystalline Silicon Photovoltaic Module After Outdoor Operation for 17 Years

LAI Haiwen¹, HAN Huili¹, HUANG Weihong¹, XIAN Dong², LI Bingzhi¹, SHEN Hui^{1,2}, LIANG Zongcun^{1,2,✉}

1 Institute for Solar Energy Systems, School of Physics, Sun Yat-Sen University, Guangzhou 510275;

2 Shunde SYSU Institute for Solar Energy, Foshan 528300

分析方法与使用仪器

首先通过对比室外运行组件与室内存放组件的 $I-V$ 数据、EL 和红外图像, 分析室外与室内存放组件电性能差异和缺陷, 采用机械拆解法对组件取样, 利用热场发射环境扫描电镜-能谱 (SEM 与 EDS) 和 X 射线光电子能谱仪 (XPS) 表征 EL 图像黑区中栅线成分和形貌, 解释组件 FF 下降的主要原因; 利用紫外-可见-红外分光光度计测试玻璃和 EVA 的透光率, 分析组件光学损失, 并用测试旧组件背板透水率和 EVA 的交联度分析其性能变化; 最后利用不同种类高串阻电池制备光伏组件进行湿热实验, 模拟云片高串阻电池与 EL 正常高串阻电池在室外湿热环境下的衰减情况。

其中采用 Halm IV 测试仪测试太阳能电池与光伏组件的 $I-V$ 数据, 采用便携式太阳能组件电致发光测试仪 (EL) 测试 EL 图; 采用 Fluke 公司的红外热像仪测试红外热成像; 紫外-可见-红外分光光度计型号为日立 UL4100, 湿热试验环境试验箱为广州爱斯佩特环境仪器有限公司生产。

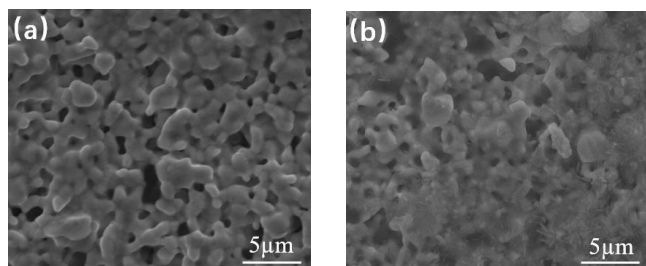


图 S1 正面细栅线的 SEM 图: (a) 正常区域; (b) 针状物质区域

Fig.S1 The front finger SEM images of (a) normal area and (b) the area of needle materials

EL 正常区域与黑区区域细栅线电阻测试

利用欧姆定律测试银栅线两端电流的方法来测试 SM55 组件 EL 黑区部位与正常部位的细栅电阻,

随机各自取 6 个区域测量，每个区域细栅线长度为 5 mm，结果如图 S2 所示。黑区部位细栅电阻均值为 208.39 mΩ，正常部位为 173.79 mΩ，SM55 组件黑区部位细栅电阻均值比正常部位高 34.6 mΩ。

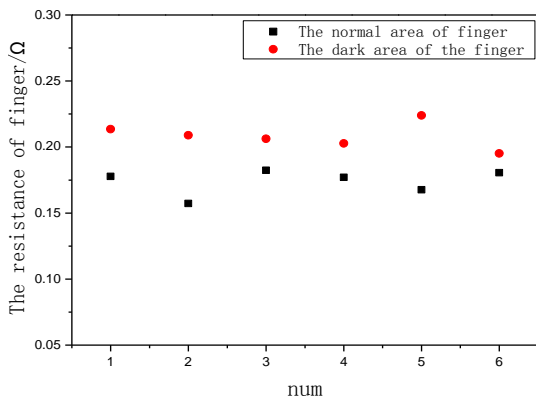


图 S2 电池 EL 正常区域与黑区细栅线电阻
 Fig.S2 The resistance of finger in the normal EL area and dark EL area

电池背面细栅分析

电池背面细栅线宽平均为 230 μm，线距 1.36 mm 左右，线高 14 μm 左右，高宽比为 6%。利用 EDS 对背面栅线成分进行分析，如图 S3 所示，背面银浆混杂了铝浆，图 S3a 团状突出部分主要是铝金属成分，而其他区域主要是银铝金属和部分玻璃粉。由此可见，背面栅线主要成分包含 Al 金属和 Ag 金属。而铝单质比栅线中的玻璃态成分的化学活化能更低，组件中产生的醋酸或从背板进入的化学离子首先与铝单质进行反应，生成醋酸铝等盐类物质，且背面栅线有氧化铝成分，氧化铝是一层致密的保护膜，对银铝单质有一定保护作用，相对正面细栅，背面细栅腐蚀对背面电性能的影响较小。

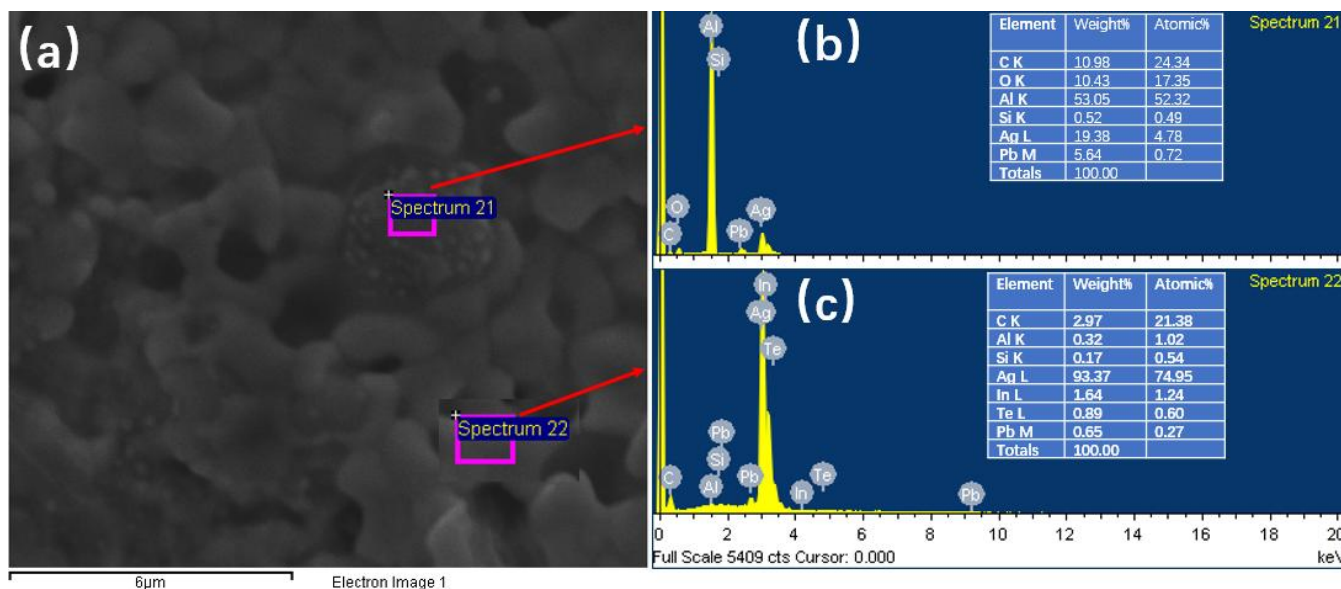


图 3 背面细栅线的 (a) SEM 图; (b) Spectrum21 区和 (c) Spectrum22 区的 EDS 图
 Fig.S3 (a) SEM image of the back finger and the EDS of (b) Spectrum 21 and (c) Spectrum 22

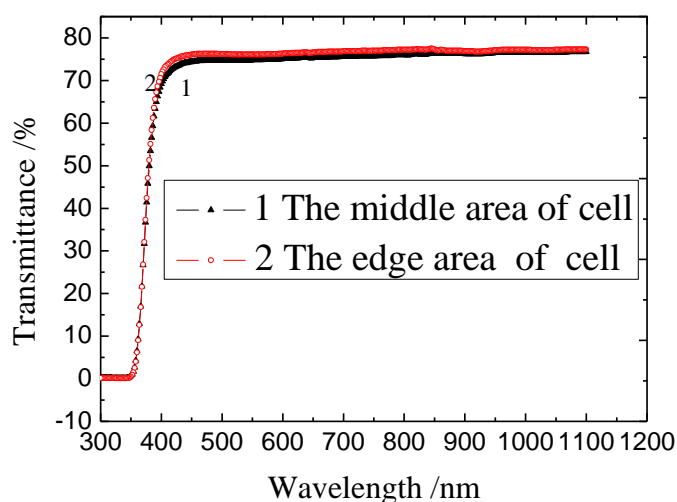


图 S4 SM55 组件电池中间与边缘 EVA 的透光率
Fig.S4 The transmittance of the middle and edge EVA of SM55 module

SM55 背板材料水蒸气透过率测试

SM55 组件背板为 1997 年之前的 TPT 结构 复合材料，背板外观良好，无粉化、开裂、变黄等现象，水蒸气透过率测试结果如表 S1 所示。

表 S1 背板水蒸气透过率测试信息

Table S1 The water vapor transmission rate test information of backsheet

| 测试项目 | 测试值 | 测试方法 |
|-------------------------------|------|-----------------|
| 水蒸气透过率/(g/(m ² d)) | 3.64 | GB/T 21529-2008 |