

# 温、湿度环境因素对光伏组件功率衰减的影响研究

朱强忠<sup>1</sup>, 沈慧<sup>1</sup>, 季志超<sup>1</sup>, 茅静<sup>1</sup>, 张臻<sup>1</sup>, 徐建美<sup>1,2</sup>

(1.天合光能光伏科学与技术国家重点实验室, 常州 213031;

2.江苏省光伏科学与工程协同创新中心, 常州大学, 常州 213164)

## 1 研究背景与内容

光伏组件作为光伏发电系统的核心部分, 其可靠性是系统度电成本计算的基础, 组件长期可靠性的研究也越来越受到人们的关注。很多测试机构为保证组件质量推出更为严苛的质量测试标准, 例如 IEC 单向加严测试及 IEC 叠加试验<sup>[1]</sup>。这些序列的推出需要深入了解户外影响组件性能的因素, 分析户外热应力、湿热、紫外及系统电压等因素对组件性能的影响。

组件户外工作条件复杂多样, 目前大致可以分为湿热、干热、温和及高原气候。N. C. Park 等人通过 Eyring 和 Peck 模型很好的从湿热角度描述了组件户外工作环境差异: DH (Damp heat) 1000 相当于热带地区温度湿度下组件 23 年功率衰减, 相当于干热地区 40 年, 高原地区 106 年<sup>[2]</sup>。Herrmann W. 等人研究并分析了湿热, 温和, 高山, 干热地区的温差等数据<sup>[3]</sup>。湿热与温差最终都会导致组件串联电阻增大, 从而引起功率大幅衰减, 那么两者之间是否存在关联, 户外是否是两者的结合作用? 目前很少有人从微观机理上研究两者之间的联系。本文从焊接处的离子扩

散机理及化合物合金层的生长角度分析热应力, 湿热及醋酸对组件功率的影响, 并从机理上分析得出双玻组件是环境严苛地区较好的选择。

## 2 研究结果与讨论

我们通过测试敦煌与深圳搜集回来的 23 年户外组件, 发现超过 25 年 20% 质保的组件, 其功率衰减主要来自于串阻增加导致的填充因子衰减, 如图 1a 所示。从气候来看敦煌的日夜温差要大于深圳, 但深圳较为湿热。Köntges M. 等人研究表明组件后期功率衰减大幅超过质保, 可能主要来源于串联电阻的增加, 而串阻的增加可能来源于互联条腐蚀<sup>[4]</sup>。

互连条的衰减来自于焊点开裂<sup>[5]</sup>, 开裂原因为焊接处金属化合物层的性能变化, 其变化趋势如图 1b-c 所示。户外长时间温湿老化后, Ag<sub>3</sub>Sn 层组织不断生长, 导致焊接强度降低, 脆性升高, 使得焊点容易在热疲劳中失效<sup>[6]</sup>, 提高焊接电阻。Ag<sub>3</sub>Sn 层厚度生长可以用生长动力学描述, 主要为扩散过程, 满足公式 (1)<sup>[7]</sup>

$$d = d_0 + \sqrt{D_0 \exp\left(-\frac{Q}{RT}\right)t} \quad (1)$$

式中  $d_0$  为初始厚度,  $D_0$  为扩散常数,

R 为气体常数, Q 为 Ag 和 Sn 的化学反应活化能, T 为绝对温度, t 是此温度下持续时间。从  $Ag_3Sn$  厚度的生长公式可以看出, 生长速度与温度、时间及活化能相关。从温度项可以看出: Eyring 模型中高原与干热地区差异来源于温度导致的化合物层

生长。而湿热地区与干热地区差异可能来自于化学反应活化能, Ag 和 Sn 存在金属电位差, 在湿度条件下可能会有较大程度地降低化学反应活化能, 同时推断醋酸分子的存在可能会进一步降低化学反应活化能。

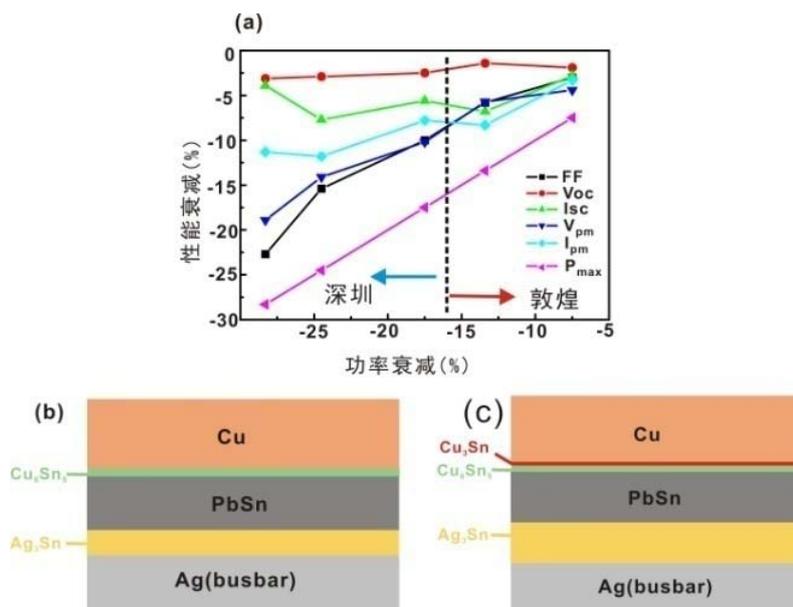


图 1 a 深圳敦煌组件电性能衰减信息, b-c 户外老化过程中焊接点合金层变化示意图

图 2 为不同 Va 含量 EVA 及 POE 的单片电池片组件, 进行 Hast 576h (121°C, R.H.100%) 的试验数据。其中图 2 c-e 中 EL 图对比可以看出, EVA 的 Va 含量高容易导致醋酸释量高, 从而对焊接性能的老化起到加速作用, POE 不释放醋酸分子且水透约比 EVA 低 6-7 倍, 所以其 EL 图中几乎无变化。图 d 与 f 对比可以看出双玻组件在改善焊接层性能同时, 改善了边缘脱层等问题。图 2a, b 中可以看出, 双玻组件隔绝水汽后, 虽然醋酸在高温下有部分释放, 但是对组件的性能几乎无影响, 从 EVA 双玻组件与 POE 双玻组件的性能

对比进一步可以看出在隔绝水汽的条件, 醋酸分子对焊接处化学反应活化能的影响非常微弱, 性能的衰减几乎全部来自于温度导致的  $Ag_3Sn$  合金层生长。所以水汽及醋酸对  $Ag_3Sn$  层老化起到加速作用, 而隔绝水汽可以大幅减少老化速率。

只从温度及活化能的角度去描述  $Ag_3Sn$  中晶粒的粗化及生长, 从而解释焊接强度的变化显然是不全面的, 我们发现对于双玻组件和背板组件在相同的温度循环下, 组件表现出的性能是迥异的, 如图 3 所示。我们推测这里存在两个因素导致这种差异的产生: 一是双玻组件在制备

的过程中温度较低, 导致  $Ag_3Sn$  层初始厚度较薄, 二是在温冲循环下, 由于背板的高弹性模量及热膨胀系数引入额外应力, 促使合金层的晶粒粗化及生长。  $Ag_3Sn$  层

的粗化受应变范围和应变速率导致的应力影响这个观点也被 BasaranCemal 等人广泛研究<sup>[8]</sup>。

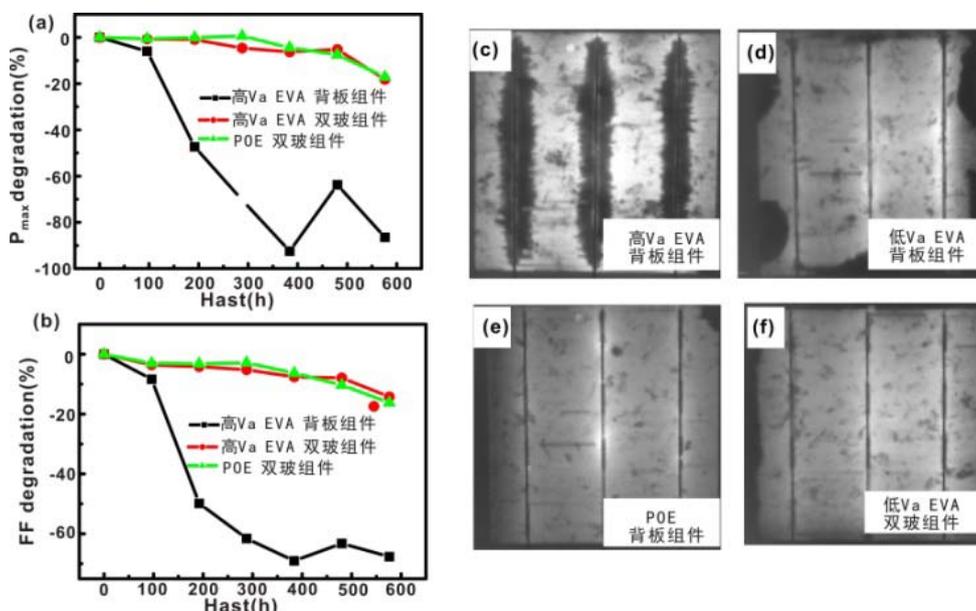


图 2 a-b 高 Va 含量 EVA 背板组件, 双玻组件, 以及 POE 双玻组件的功率及填充因子在 hast 条件下的衰减图, c-f 分别为高低 Va 含量 EVA 背板组件, POE 背板组件, 低 Va EVA 双玻组件 hast 576h 后的 EL 图

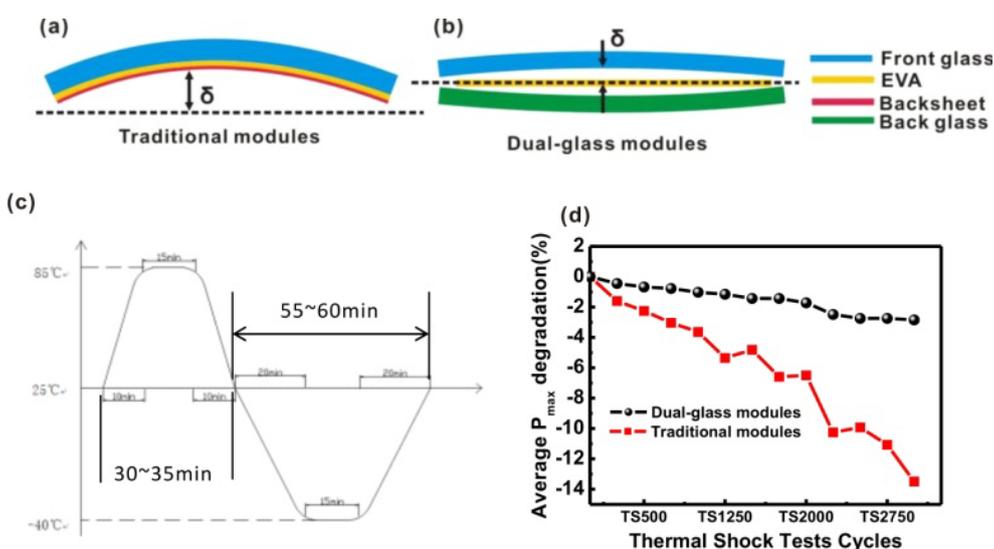


图 3(a)背板组件在温度循环下的弯曲示意图, (b) 双玻组件在温度循环下的弯曲示意图, (c) 温冲试验的试验循环图, (d) 双玻组件与普通组件在温冲循环下的功率衰减对比图

双玻组件由于前后玻璃热膨胀系数 相同, 所以仅受 EVA 引起的热应力, 背

板组件由于背板热膨胀系数的差异及背板的高模量,使得背板组件额外收到较高热应力,导致其在温冲循环下的性能较双玻组件来说大幅衰减。

### 3 总结分析

组件在户外地区同时受到湿热及温度循环的影响,两者从本质上都会导致焊接层金属化合物层的生长,TC 同时会存在应力导致开裂的加速。减缓焊接层性能衰减可以从水汽,醋酸及热应力角度去考虑,双玻组件隔绝水汽且前后结构对称,热应力较低,从长期老化衰减角度可以很好的减缓焊接层的老化速率,适合热带及沙漠等严苛气候。

#### 参考文献

- [1]Hacke P, Terwilliger K, et al. NREL/CP-5200-47755, 2010.
- [2]Park N. C., Oh W. W., Kim D. H., International Journal of Photoenergy, 2013, 925280.
- [3] Herrmann W., Bogdanski N., Reil F.,

Köhl M., Weiss K.-A., Assmus M., Heck M., Reliability of Photovoltaic Cells, Modules, Components, and Systems III, 2010, 7773,77730I.

[4]Köntges M., Kurtz S., Jahn U., et al., IEA PVPS Task 13, External final report IEA-PVPS , 2014,

[5]Park N., Han C., Jeong J., and Kim D., IEEE, 2013, 13, 978-1-4799-3299-3

[6]Li Y. J.,Yang G.D., Qin L. C., Luo H. P., Electronic Components& Materials, 2006, 25, 5.

[7]Chen W. H.,Yu, C. F.,Cheng,H.C.,et al. Microelectronics Reliability, 2013, 53, 30-40.

[8]Basaran C. and Lin M. H., Int. J. Materials and Structural Integrity, 2007,Vol. 1, Nos. 1/2/3.

**感谢:** 作者感谢中山大学太阳能研究院董娴提供组件样品,感谢国家高技术研究发展计划(2015AA050303)的支持

**邮箱:** Qiangzhong.zhu@trinasolar.com