



AR镀膜技术的若干问题分析

ET Solar R&D Center

窦如凤、王涛



1. 前言
2. AR镀膜玻璃增透原理
3. AR镀膜玻璃的加工方法
4. AR镀膜玻璃的质量要素
5. AR镀膜组件可能会出现的问题

- AR光伏组件通过在玻璃上增加减反射涂层来提高光线的透过率，从而达到提高组件的发电功率的目的。
- 国内外很多光伏企业开始研究并已经使用镀膜玻璃产品。
- 作为一种新材料，我公司在研究的过程中测试了其各方面的性能，包括AR玻璃膜层性能测试以及AR组件耐老化性能测试。
- 在研究过程中，我们总结了几点心得，希望能与大家共享。

- 一般玻璃的透光率

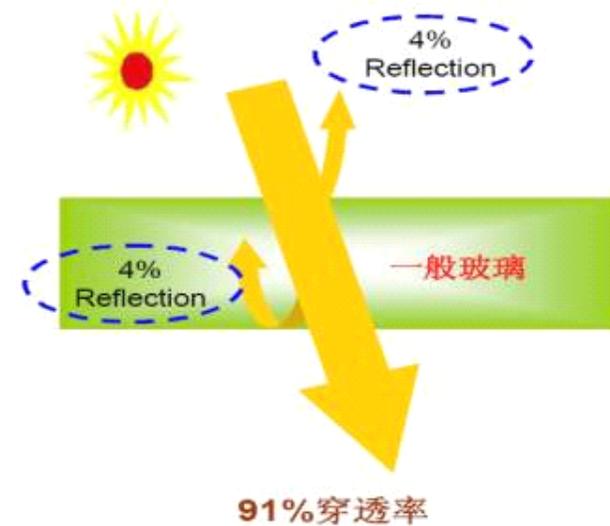
➤影响太阳能玻璃透光率的主要因素

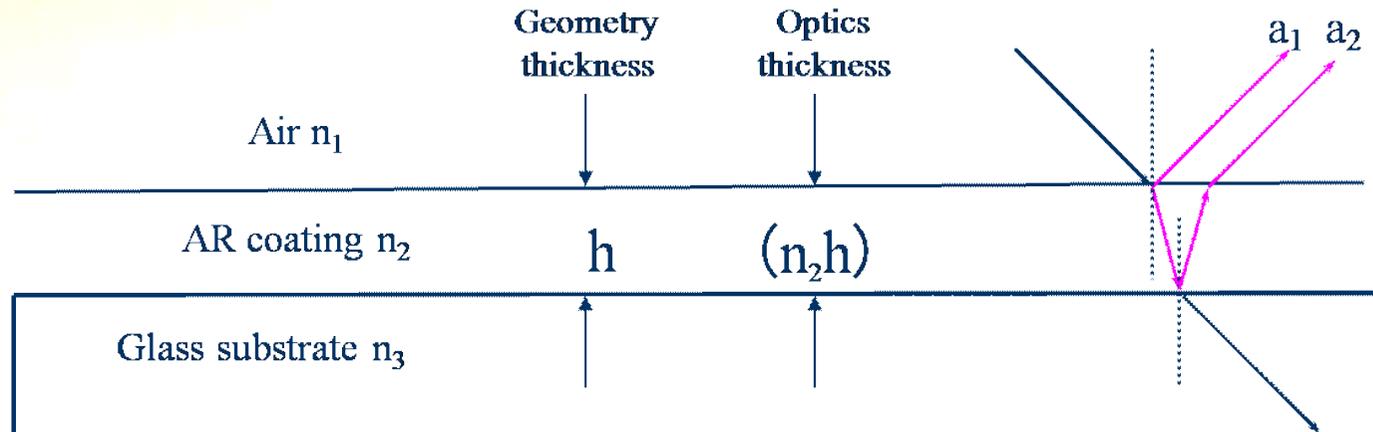
吸收损耗：透明系数

反射损耗：反射率

$$R = \left[\frac{(n_2 - n_1)^2}{(n_2 + n_1)^2} \right] \times 100\%$$

光线垂直入射时玻璃的反射率为4%。





- AR coating 的折射率

$$n_1 < n_2 < n_3, \text{ 且满足 } n_2 = \sqrt{n_1 n_3}$$

- AR coating 的厚度

$$h = \frac{\lambda}{4n_2}, \text{ } \lambda \text{ 为透射光谱波峰处的波长。}$$

AR coating 玻璃利用等厚干涉的原理：从同一点发出的光，反射光线 a_1 和 a_2 之间是相干的，发生相干叠加，干涉相消，减少反射光线，增加透射光的能量。

AR镀膜加工方法有以下几种：

- 喷涂
- 滚涂
- 提拉
- 磁控溅射
- 真空蒸发
- 化学腐蚀

用太阳能玻璃的大面积的镀膜方法一般是采取喷涂、滚涂和提拉法。

- 光学性能

AR镀膜玻璃要满足一定光谱范围内的透光率，通过调节折射率（ n 受材料晶体结构及聚集密度影响）和膜层的厚度来调节透射光谱。

- 机械性能

薄膜不仅要有良好的光学性能，为其有使用价值，还要考虑牢固度和硬度。

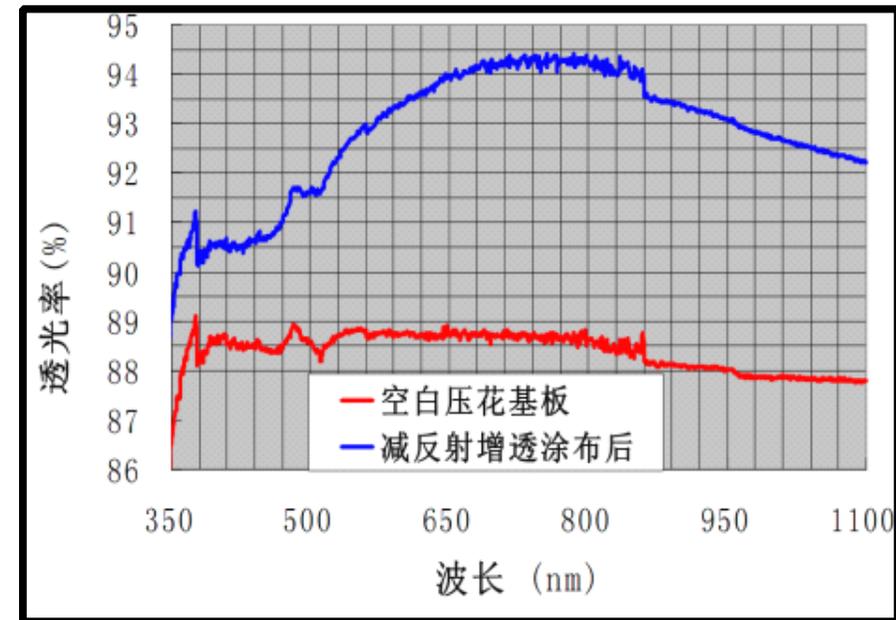
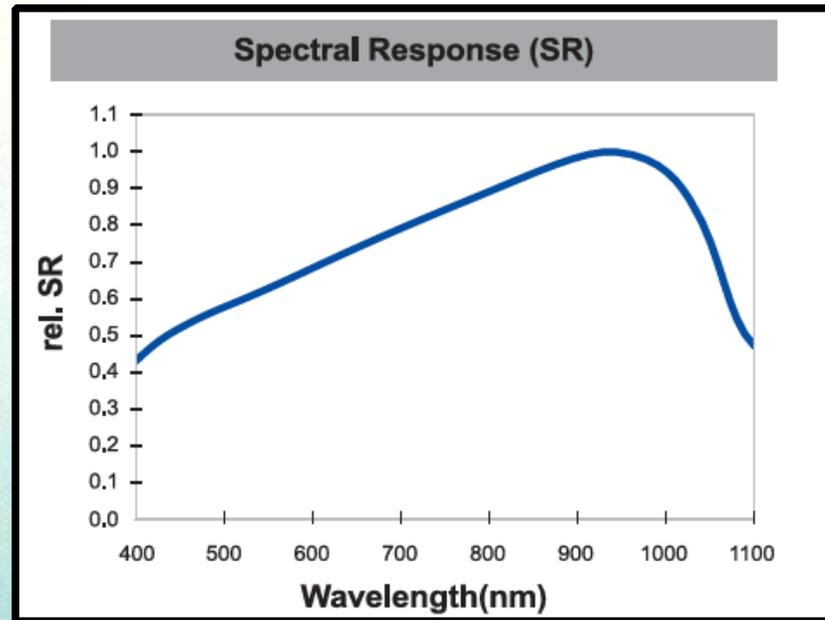
- 附着力:决定了薄膜应用的可能性和可靠性。
- 热应力: 膜层与基片的热膨胀系数不同而引起的应力。
- 硬度: 包括耐压强度，抗张强度和耐磨性。

- 环境稳定性

决定了薄膜的实用性及价值性，主要表现在湿热稳定性及抗辐射能力上。

AR组件-问题1

- AR玻璃的透射光谱与电池片的响应光谱的匹配



- 玻璃发霉主要是由于玻璃的材质、生产工艺、玻璃存放的环境决定的。
 - 最初，水或潮气吸附在玻璃表面。
 - 随后，水或潮气向玻璃内扩散。
 - 表面层中的可溶性硅酸盐被水解和破坏。首先是硅酸钠和硅酸钾等被水解和破坏。形成的苛性钠（NaOH）并分离出SiO₂。
 - 分离出来的SiO₂生成硅氧凝胶，在玻璃表面形成保护性薄膜，它阻止了进一步的侵蚀作用。
 - 水解形成的苛性钠，与空气中的二氧化碳作用生成碳酸钠，聚集在玻璃表面，构成表面膜中的可溶性盐。由于它的强吸湿性，吸收水分而潮解，最后形成碱液小滴。当周围的温度、湿度改变时，这些小滴的浓度也随之变化。如果浓缩的碱液小滴和玻璃长期接触时，凝胶状硅氧薄膜可在其中部分地被溶解，而使玻璃表面发生严重的局部侵蚀，形成斑点。这是钠离子从玻璃本体中迁移出去，与空气反应生成的白色富碱离子群。扫描电镜可观察到白色粒子群。

- 除了在运输过程中会发生发霉现象，玻璃应用在组件上，在使用过程中，也会发生发霉现象。
- 玻璃发霉对组件最直接的影响是透光率，继而影响组件的输出功率。
- 某供应商的钢化玻璃制作而成的组件，在DH1000 test后发现了玻璃表面发霉现象。
- 经过测试发现，功率衰减远远大于标准规定的数值5%（IEC61215）

AR组件-问题2

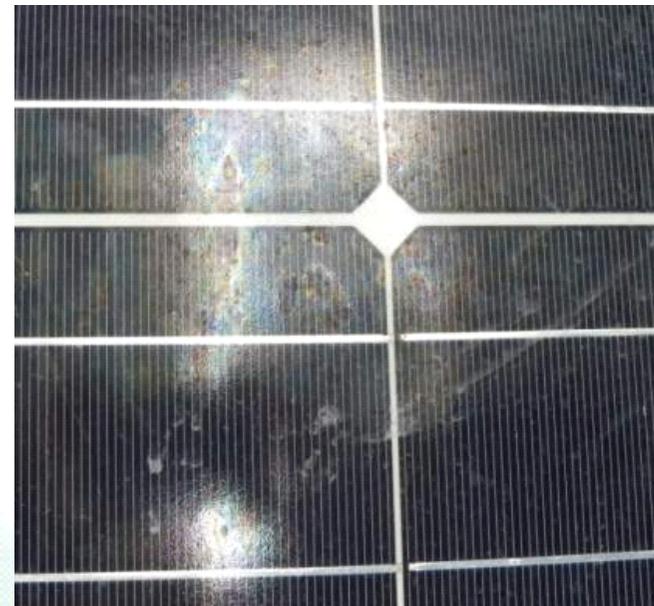
- AR玻璃也会发生发霉现象，析出的物质会破坏AR玻璃的膜层。
- 取DH 1000 test AR玻璃表面的白色粉末，进行EDX测试。

分析成分	wt%	玻璃成分	大约比例%
Na ₂ O	12.5	Na ₂ O	13.9
Fe ₂ O ₃	0.03	Fe ₂ O ₃	0.011
SO ₃	0.24	SO ₃	0.41
CaO	12.6	CaO	11.14
SiO ₂	72.7	SiO ₂	72.9
Al ₂ O ₃	1.3	Al ₂ O ₃	1.54
Sb ₂ O ₃	0.28	Sb ₂ O ₃	0.14
MgO	0.24	TiO ₂	0.014



- 测试结果发现AR玻璃表面析出的物质与玻璃成分的含量接近一致。
- AR玻璃的原片选择需要慎重，原片工艺的控制虽然不可避免玻璃发霉的现象，但是可以减轻此现象。

- 经过老化试验后的镀膜玻璃的膜层可能会发生膜层脱落、膜厚不均匀、划伤等现象。
- 不同的膜层厚度对应着不同波段的光线的反射，表现为不同的颜色。所以发生老化后的AR镀膜玻璃的表面会发生彩色斑纹的现象，会存在外观不良的情况。



1. AR镀膜玻璃对提高光伏组件的输出功率有很明显的作用，导入AR镀膜玻璃能够有效的降低光伏组件成本。
2. AR镀膜液技术和AR镀膜工艺需要进一步发展。
3. AR镀膜玻璃的透光光谱要与电池片的响应光谱相匹配。
4. 镀膜玻璃的原片需要严格控制。

Thanks!