

Study on the Preparation and Its Performance of ITO/PVB Film

Xie-bin Zhu¹, Da-peng Yin¹, Hai-tao Wang¹, Tao Jiang², Xiang-chao Zeng¹, Qi Chen¹

¹Anhui Key Laboratory of High-performance Non-ferrous Metal Materials,
Anhui University of Technology and Science, Wuhu, Anhui, 241000, P.R.China

²School of Minerals Processing & Bioengineering,
Central South University, Changsha, Hunan, 410083, P.R.China
Email: zxbcsu@126.com

Abstract: Using the method of ball milling dispersion, and the ITO slurry was prepared by the dispersion of ITO stive in anhydrous ethanol system. After that, the ITO slurry was combined with the PVB resin, dispersant of PVPK30 and isopropyl alcohol to preate the ITO/PVB paint. At last, ITO/PVB glass was prepared by filming on the matrix glass. By using the UV-visible spectrophotometer in the visible light transmittance of the coating, UV and infrared light absorption rate was characterized, analysed and tested, scanning electron microscope test overall morphology of the ITO/PVB glass coating, and the influence on properties of the addition of ITO slurry material, PVB resin, PVPK30 dispersing agent and isopropanol were also observed. The results show that nano-ITO/PVB film is provided with high UV absorption rate, infrared reflectivity and visible light transmittance owing to its uniformly particle distribution. Therefore, it is provided with effects of transparent, low-E and energy-saving. And it attains the best insulation effect when the volume of isopropanol is 70ml, the ratio of PVPK30 / isopropanol is 11g/L, PVB / isopropanol equals 71g/L and the ratio of ITO slurry / isopropanol is about 9%. The film transmittance of ITO/PVB film is from 90% to 98% when the wave band is 380nm to 780nm, PVPK30 / isopropyl is within 7g / L to 11g / L and the ratio of ITO slurry / isopropanol is from 6% to 12%. The UV absorption rate is above 80% when the wave band is within 260nm to 380nm, PVPK30 / isopropyl is about 9g / L and the ratio of ITO slurry / isopropanol is about 9% to 11%. The infrared reflectance rate of ITO/PVB film is about 76% to 77% when the wave band is within 780nm to 900nm, PVPK30 / isopropyl is about 9g / L and the ratio of ITO slurry / isopropanol is about 9% to 11%.

Keywords: ITO; PVB; Film; Preparation; Performance

ITO/PVB 膜制备及其性能研究

朱协彬¹, 尹大鹏¹, 汪海涛¹, 姜涛², 曾祥超¹, 陈琪¹

¹安徽工程大学安徽高性能有色金属材料重点实验室, 芜湖, 中国, 241000

²中南大学资源加工与生物工程学院, 长沙, 中国, 410083

Email: zxbcsu@126.com

摘 要: 利用球磨分散法通过 ITO 粉体在无水乙醇体系分散制备的 ITO 浆料, 与 PVB 树脂、PVPK30 分散剂和异丙醇等组合制备 ITO/PVB 涂料, 并在玻璃基材上涂膜制得 ITO/PVB 玻璃。利用紫外-可见分光光度计对涂膜的可见光透过率、紫外光吸收率及红外光反射率进行了表征与测试分析, 用扫描电子显微镜 (SEM) 进行 ITO/PVB 涂膜玻璃的形貌表征分析, 并考察了 ITO 浆料、PVB 树脂、PVPK30 分散剂和异丙醇的用量对涂膜性能影响。结果表明: 纳米 ITO/PVB 涂膜因 ITO 颗粒分布均匀具有较高的紫外光吸收率、红外光反射率和可见光透过率, 因而 ITO/PVB 涂膜具有透明低辐射节能作用, 并在异丙醇 70mL、PVPK30/异丙醇为 11g/L、PVB/异丙醇约 71g/L、ITO 浆料/异丙醇约 9% 时达到最佳隔热效果; 在波段 380nm~780nm, PVPK30/异丙醇在 7g/L~11g/L, ITO 浆料/异丙醇在 6%~12% 时 ITO/PVB 膜透过率在 90%~98%; 在波段 260nm~380nm, PVPK30/异丙醇约为 9g/L 时, ITO 浆料/异丙醇约 9%~11% 紫外光吸收率在 80% 以上; 在波段 780nm~900nm, PVPK30/异丙醇为 9g/L, ITO 浆料/异丙醇约 9%~11% 时 ITO/PVB 膜红外光反射率约在 76%~77%。

关键词: ITO; PVB; 膜; 制备; 性能

1 引言

低辐射玻璃又称 LOW-E (楼依) 玻璃, 是镀膜玻

璃家庭中的一员, 它的广泛应用是从 20 世纪 90 年代欧美发达国家开始的。近两年低辐射玻璃由于其较低的红外辐射率而具有优异的节能效果, 在国外到了很快的发展。因此被誉为 21 世纪的节能环保玻璃^[1]。ITO (Indium Tin Oxide) 作为节能材料, 其最重要的性能是优良的光学性能^[2-4]。纳米 ITO 粉体主要的应用都需要通过将纳米 ITO 粉体分散成 ITO 浆料, 然后制备成薄膜。制备 ITO 薄膜的方法^[5]有很多种, 主要分为两大类: 物理法和化学法。物理法包括磁控溅射法^[6-7]、电子束蒸发沉积^[8-11]、激光脉冲沉积^[12-13]等。化学法包括喷雾热解法^[14]、化学气相沉积^[15]、溶胶-凝胶法^[16-18]。PVB(Polyvinyl Butyral)树脂无毒、无臭、无腐蚀性、不易燃, 具有良好的透光性、绝缘性、耐候性、耐磨、耐水、耐油、耐老化的作用, 对无机和有机玻璃有特殊的粘结性和透光性能^[19], 可用作安全玻璃的夹膜材料, 以及其他的透明薄膜材料^[20]。制备一种纳米透明隔热涂料, 将其涂覆于玻璃表面, 在不影响透光率的前提下, 达到阻隔红外线的隔热作用和吸收紫外线的防辐射作用, 研究在 PVB 树脂中加入 ITO, 则有可能在不影响其原来性能基础上增加这些新性能, 用于建筑或汽车行业具有重要的现实意义。目前关于 ITO/PVB 涂料的研究很少^[21]。本课题在 PVB 树脂的基础上加入纳米 ITO 浆料, 制得透明纳米涂料, 最后涂膜制得具有透明低辐射节能性能的 ITO/PVB 涂膜玻璃, 将具有良好市场前景和推广价值。

2 试验方法

2.1 ITO 浆料的制备

称取纳米 ITO 粉体 5.0g, 溶剂为无水乙醇 250ml, 向其中入 PVPK30 分散剂 1g 和磨介 250g, 用球磨机球磨分散 48h。

2.2 ITO/PVB 涂料及涂膜的制备

在室温下, 按如下四组涂料配方利用数显搅拌机分散 30min, 转速为 1200r/min, 制得 ITO/PVB 涂料, 然后匀胶涂膜制得涂膜玻璃。(1) PVB 为 4g; ITO 浆料 5mL; PVPK30 为 0.6g; 异丙醇分别为: 60 mL、70 mL、80 mL、90mL, 制得涂膜样品 IP-1、IP-2、IP-3、

IP-4。(2) PVB 为 4g; ITO 浆料 5mL; PVPK30 分别为 0.3g、0.5g、0.7g、0.9g; 异丙醇 70mL, 制得涂膜样品 IP-5、IP-6、IP-7、IP-8。(3) PVB 分别为 2g、3g、5g、6g; ITO 浆料为 5mL; PVPK30 为 0.6g; 异丙醇 70mL, 制得涂膜样品 IP-9、IP-10、IP-11、IP-12。

(4) PVB 为 4g; ITO 浆料分别为 2mL、4mL、6mL、8mL; PVPK3 为 0.6g; 异丙醇 70mL, 制得涂膜样品 IP-13、IP-14、IP-15、IP-16。

2.3 检测与表征方法

用自制的隔热效果测试装置, 测定所制得的 ITO/PVB 涂膜玻璃的隔热效果; 用 723N 可见分光光度计测试 ITO/PVB 涂膜玻璃的可见光透过率; 用 UV-2550 紫外-可见分光光度计测试 ITO/PVB 涂膜玻璃的紫外光吸收率和红外光反射率; 用 S-4800 扫描电子显微镜对 ITO/PVB 涂膜玻璃表面形貌进行表征分析。

3 结果与讨论

3.1 ITO/PVB 涂膜的隔热性能分析

对制得的 16 块样品进行隔热效果的测试分析。利用自制的隔热测试装置, 保持室温为 21℃, 光照时间为 10min, 分别测得各样品的温度差(相对于室温热电偶测温仪的温度变化), 未涂膜透明玻璃的温度差为 3.6℃, 相对于该未涂膜透明玻璃各样品的温度差均低于 3.6℃, 说明各样品具有不同程度的隔热效果。通过分析从而可知不同条件变化对 ITO/PVB 涂膜的隔热性能影响。

3.1.1 异丙醇量对涂膜隔热性能的影响

利用自制隔热装置, 分别测试 IP-1、IP-2、IP-3 和 IP-4 样品隔热性能, 如图 1 所示。

从图 1 可知, 随着异丙醇量的增加, 温度差呈下降的趋势, 但温度差的变化很小, 在以后的涂料制备试验中, 涂料配比中溶剂选择异丙醇 70mL。

3.1.2 PVPK30/异丙醇的比例对涂膜隔热性能的影响

利用自制隔热装置, 分别测试 IP-5、IP-6、IP-7、IP-8 样品的隔热性能, 如图 2 所示。

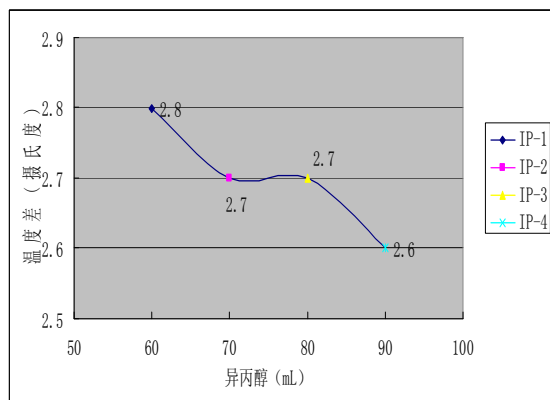


Figure 1. The effects of the dosage of isopropano on the heat-shielding performance of ITO/PVB film
图 1. 异丙醇量对涂膜隔热性能的影响

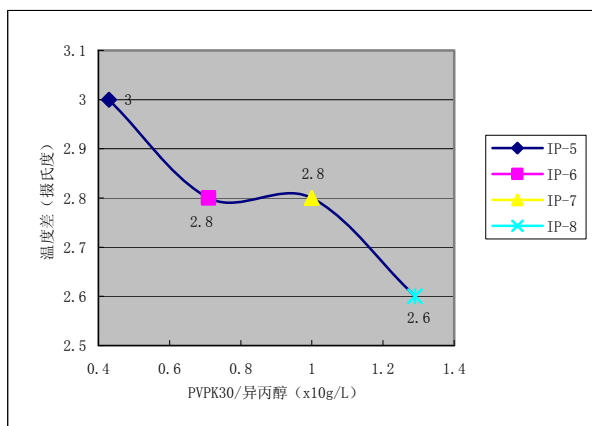


Figure 2. The effects of the ratio of PVPK30 to isopropano on the heat-shielding performance of ITO/PVB film

图 2. PVPK30/异丙醇的比例对涂膜隔热性能的影响

从图 2 可知,随着 PVPK30/异丙醇的比例的增大,温度差逐渐减小,隔热效果随着提高。因为在此试验中,主要是以 PVB 为成膜剂,分散剂 PVPK30 的加入使 ITO 颗粒在 ITO/PVB 涂料中得以进一步分散,有利于 ITO/PVB 涂膜的隔热性能的提高。

3.1.3 PVB/异丙醇的比例对涂膜隔热性能的影响

利用自制隔热装置,分别测试 IP-9、IP-10、IP-11、IP-12 样品隔热性能,如图 3 所示。

从图 3 可知,随着 PVB/异丙醇的比例的增大,温度差先下降而后升高,PVB/异丙醇的比例约为 71g/L 时达到最低,隔热效果最好。因为 PVB 树脂为成膜剂,其加入主要是为了使 ITO 浆料与 PVB 树

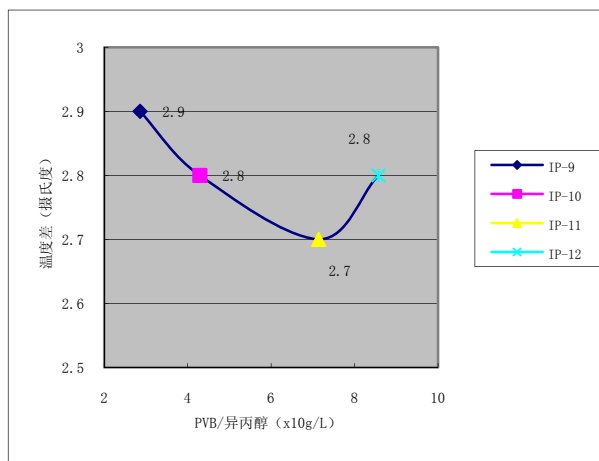


Figure 3. The effects of the ratio of PVB to isopropano on the heat-shielding performance of ITO/PVB film

图 3. PVB/异丙醇的比例对涂膜隔热性能的影响

脂充分混合后易于成膜,ITO 颗粒易于固定,异丙醇的存在使 ITO 颗粒易于分散,从而使制备的 ITO/PVB 涂料中 ITO 颗粒能发挥作用使 ITO/PVB 膜具有一定的隔热性。PVB/异丙醇的比例的增加有利于 ITO 颗粒固定,但增加过大,不利于 ITO 分散。

3.1.4 ITO/异丙醇的比例对涂膜隔热性能的影响

利用自制隔热装置,分别测试 IP-13、IP-14、IP-15、IP-16 样品隔热性能,如图 4 所示。

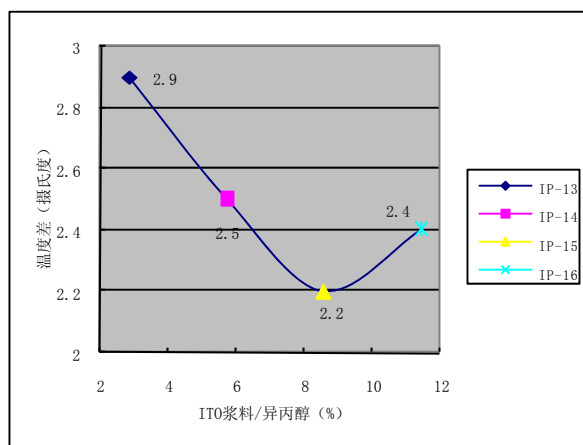


Figure 4. The effects of the ratio of ITO to isopropano on the heat-shielding performance of ITO/PVB film

图 4. ITO/异丙醇的比例对涂膜隔热性能的影响

从图 4 可知, 随着 ITO 浆料/异丙醇的比例增大, 温度差先下降而后上升, ITO 浆料/异丙醇约 9% 时达到最低, 即样品 IP-15, 隔热效果最好。因为 ITO 浆料/异丙醇比例的越大使分散于异丙醇中的 ITO 颗粒越多, 隔热效果越好。但 ITO 浆料/异丙醇比例过大时, ITO 颗粒不易于分散, 隔热效果变低。

3.2 ITO/PVB 涂膜的可见光透过率的分析

3.2.1 PVPK30 对 ITO/PVB 涂膜可见光透过率的影响

样品 IP-5、IP-6、IP-2、IP-7、IP-8 分别对应分散剂 PVPK30 为 0.3g、0.5g、0.6g、0.7g、0.8g, 考察不同分散剂 PVPK30 的加入量对 ITO/PVB 涂膜可见光透过率的影响, 如图 5 所示。

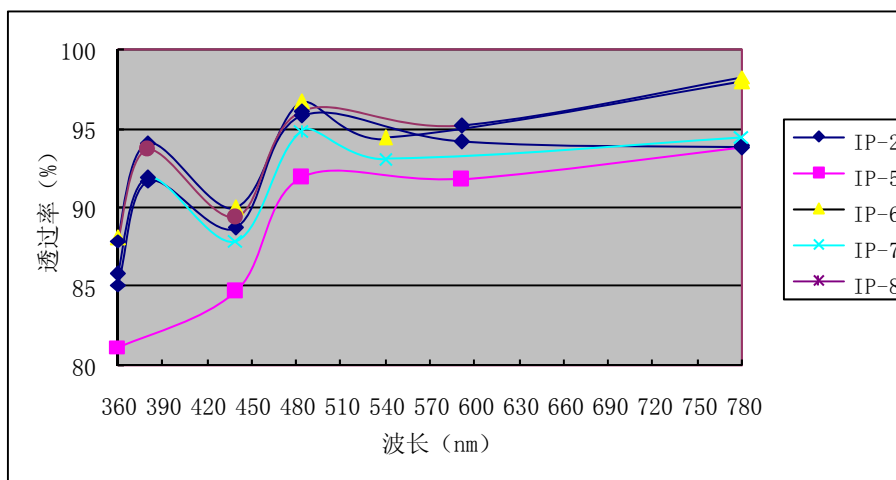


Figure 5. The effects of the dosage of PVPK30 on the visible light transmissivity of ITO/PVB film

图 5. 不同 PVPK30 加入量对 ITO/PVB 涂膜可见光透过率的影响

由图 5 可知, 在可见光 380nm~780nm 范围内, 除样品 IP-5 在较低波长透过率略低外, 其余可见光透过率均在 90%~98% 之间波动, 说明分散剂 PVPK30 用量在 0.5g~0.8g, 即 PVPK30/异丙醇为 7g/L~11g/L 时能保证 ITO 颗粒的分散, 从而保证 ITO/PVB 膜的透明性, 较低的分散剂 PVPK30 用量将影响到 ITO 颗粒

的分散, 从而影响 ITO/PVB 膜的透明性。

3.2.2 ITO 浆料对 ITO/PVB 涂膜可见光透过率的影响

样品 IP-13、IP-14、IP-2、IP-15、IP-16 分别对应 ITO 浆料为 2ml、4ml、5ml、6ml、8ml, 考察不同 ITO 浆料的加入量对 ITO/PVB 涂膜可见光透过率的影响, 如图 6 所示。

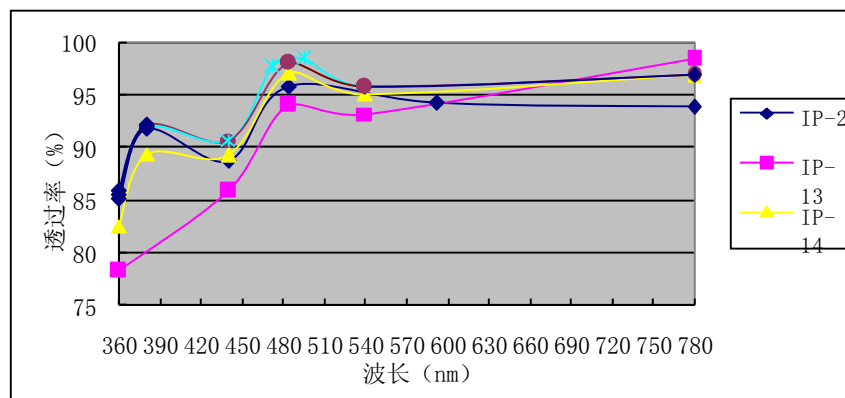


Figure 6. The effects of the dosage of ITO slurry on the visible light transmissivity of ITO/PVB film

图 6. 不同 ITO 浆料加入量对 ITO/PVB 涂膜可见光透过率的影响

从图 6 分析可知,在可见光 380nm~780nm 范围内,除样品 IP-13 在较低波长透过率略低外,其余可见光透过率均在 90%~98%之间波动,说明 ITO 浆料用量在 4ml~8ml,即 ITO 浆料/异丙醇约为 6%~12% 时能保证 ITO 颗粒的透射作用,从而保证 ITO/PVB 膜的透明性,较低的 ITO 浆料用量将影响到 ITO 颗粒的透射作用,从而影响 ITO/PVB 膜的透明性。

3.3 ITO 浆料对 ITO/PVB 涂膜紫外光吸收率的影响

样品 IP-13、IP-14、IP-2、IP-15、IP-16 分别对应 ITO 浆料为 2ml、4ml、5ml、6ml、8ml,考察不同 ITO 浆料的加入量对 ITO/PVB 涂膜紫外光吸收率的影响,如图 7 所示。

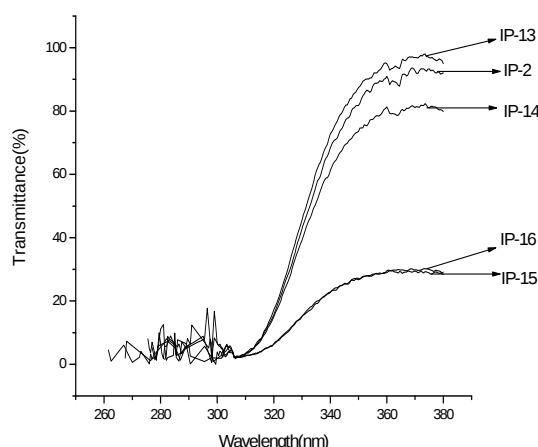


Figure 7.The effects of the dosage of ITO coating on the UV-light absorptivity of ITO/PVB film

图 7 不同 ITO 涂料加入量对 ITO/PVB 涂膜紫外光吸收率的影响

从图 7 可知,样品在紫外光波段 260nm~320nm 透过率基本在 10%以下,紫外光的吸收率在 90%以上。但是在 320~380nm 范围内紫外光的透过率逐渐增大,说明此波段内紫外光的吸收率逐渐减弱,但样品 IP-15 和 IP-16 透过率在波段 260nm~380nm 时均在 20%以下,说明其紫外光吸收率均可达 80%以上,但相对而言样品 IP-15 比 IP-16 更好。同时说明 ITO 浆料在 6ml~8ml,即 ITO 浆料/异丙醇约 9%~11% 时可以保证在波段 260nm~380nm 紫外光吸收率在 80%以上,但考虑更佳效果和成本问题可以选择 ITO 浆料为 6ml,即 ITO 浆料/异丙醇约 9%,对应样品 IP-15。这是因为 ITO 是紫外光吸收的主要因素,随着 ITO 颗粒的增多有利于

紫外光的吸收,但 ITO 颗粒过多时可能影响到颗粒的分散,以至于影响到紫外光的吸收。

3.4 ITO/PVB 涂膜的红外光反射率的分析

3.4.1 分散剂 PVPK30 对 ITO/PVB 涂膜红外光反射率的影响

样品 IP-5、IP-6、IP-2、IP-7、IP-8 分别对应分散剂 PVPK30 为 0.3g、0.5g、0.6g、0.7g、0.8g,考察不同分散剂 PVPK30 的加入量对 ITO/PVB 涂料红外光反射率的影响,如图 8 所示。

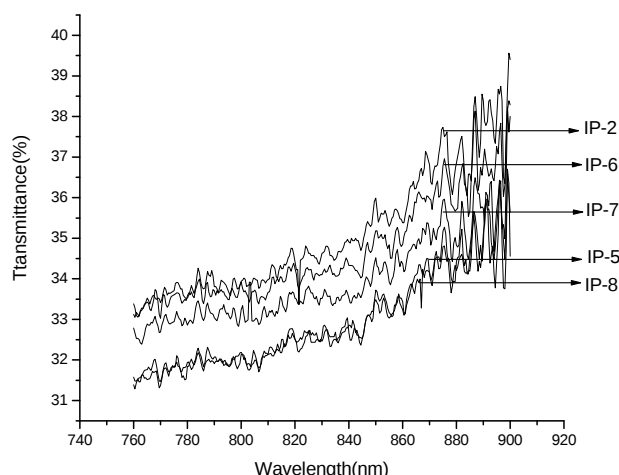


Figure8.The effects of the dosage of PVPK30 on the infrared light reflectivity of ITO/PVB film

图 8 不同 PVPK30 加入量对 ITO/PVB 涂膜红外光反射率的影响

从图 8 可知,样品在红外光波段 780nm~900nm 透过率基本在 31%~38%波动增大,在红外光波段,主要考虑的是红外光的反射率,吸收率忽略不计,所以该波段红外光反射率在 62%~69%变动。但相对而言样品 IP-5 和 IP-8 红外光反射率均较好,说明分散剂用量在 0.3g~0.8g 范围内较少或较多有利于 ITO/PVB 膜反射率的提高,但分散剂较少时可能影响到 ITO 颗粒的分散,考虑透明性和分散性问题选择分散剂时应适当多,取 0.8g,即 PVPK30/异丙醇为 11g/L 时 ITO/PVB 膜红外反射率最好。

3.4.2 ITI 浆料对 ITO/PVB 涂膜红外光反射率的影响

样品 IP-13、IP-14、IP-2、IP-15、IP-16 分别对应 ITO 浆料为 2ml、4ml、5ml、6ml、8ml,考察不同 ITO 浆料的加入量对 ITO/PVB 涂料红外光反射率的影响,如图 9 所示:

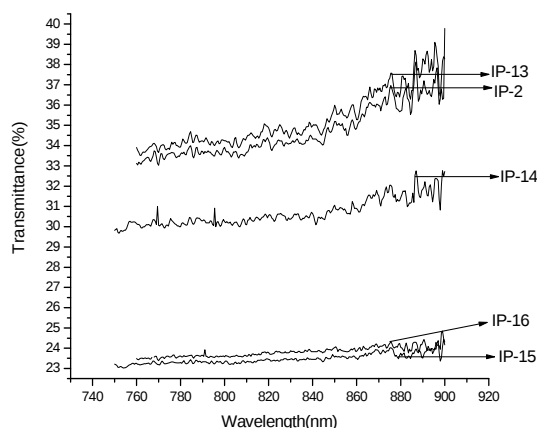


Figure9.The effects of the dosage of ITO slurry on the infrared light reflectivity of ITO/PVB film

图 9 不同 ITO 浆料加入量对 ITO/PVB 涂膜红外光反射率的影响

从图 9 可知,样品在红外光波段 780nm~900nm 透过率基本在 23%~38%波动,所以该波段红外光反射率在 62%~77%变动。但样品 IP-15 和 IP-16 透过率在 23%~24%之间,其红外光反射率约在 76%~77%,表现均较好,相对而言样品 IP-15 更好一些。说明 ITO 浆料用量在 6ml~8ml 范围内,即 ITO 浆料/异丙醇约 9%~11%时可以保证 ITO/PVB 膜反射率约在 76%~77%,但综合考虑紫外吸收和反射效果,以及成本问题可以选择 ITO 浆料为 6ml,即 ITO 浆料/异丙醇约 9%,对应样品 IP-15。这是因为 ITO 也是红外光反射的主要因素,随着 ITO 颗粒的增多保证分散的情况下有利于红外光的反射。

3.5 ITO/PVB 涂膜的表面形貌分析

通过上述各节分析可知,样品 IP-15 的综合性能(包括隔热性能、紫外光吸收率、红外光反射率)最好,其次为样品 IP-16。通过扫描电镜(SEM)对样品 IP-15 和 IP-16 进行表面形貌分析,如图 10 所示。

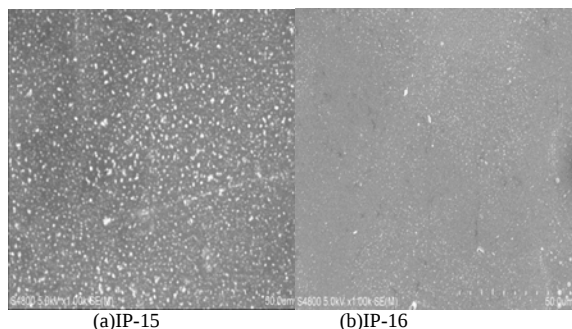


Figure10.The image of SEM of ITO/PVB film

图 10. ITO/PVB 涂膜玻璃 SEM 图像

从图 10 可知,样品 IP-15 的 SEM 图像中的小亮点为 ITO 颗粒,分布均匀,有利于 ITO 颗粒发挥紫外光吸收、红外光反射和可见光透过等作用,从而能保证 ITO/PVB 涂膜达到透明低辐射节能效果。而样品 IP-16 的 SEM 图像中的 ITO 颗粒分布则不是很均匀,从而进一步说明了样品 IP-15 的综合性能最好。

4 结论

采用球磨机研磨分散的方法,时间为 48h 来制备 ITO 浆料。在此浆料的基础上还研究了无水乙醇基纳米 ITO 浆料制备具有隔热节能效果的 ITO/PVB 涂料的制备配方,通过匀胶旋转涂膜方法将异丙醇相 ITO/PVB 涂料在玻璃上涂膜制备了低辐射节能玻璃,并利用自制的隔热装置测试了 ITO/PVB 薄膜的隔热性能,利用紫外-可见分光光度计对紫外光吸收率、可见光透过率和红外光反射率等进行了测试与分析。同时考察了异丙醇溶剂、PVPK30 分散剂、PVB 粉体、ITO 浆料的加入量对涂膜各种性能的影响。从而得出以下结论:纳米 ITO/PVB 涂膜因 ITO 颗粒分布均匀具有较高的紫外光吸收率、红外光反射率和可见光透过率,因而 ITO/PVB 涂膜具有透明低辐射节能作用,并在异丙醇 70mL、PVPK30/异丙醇为 11g/L、PVB/异丙醇约 71g/L、ITO 浆料/异丙醇约 9%时达到最佳隔热效果;随着 PVPK30/异丙醇的比例的增大,隔热效果随着提高;随着 PVB/异丙醇的比例的增大,温度差先下降而后升高,PVB/异丙醇的比例约为 71 g/L 时达到最低,隔热效果最好;随着 ITO 浆料/异丙醇的比例增大,温度差先下降而后上升,ITO 浆料/异丙醇约 9%时达到最低,隔热效果最好;在波段 380nm~780nm, PVPK30/异丙醇在 7g/L~11g/L, ITO 浆料/异丙醇在 6%~12%时 ITO/PVB 膜透过率在 90%~98%;在波段 260nm~380nm, PVPK30/异丙醇约为 9g/L 时, ITO 浆料/异丙醇约 9%~11%紫外光吸收率在 80%以上;在波段 780nm~900nm, PVPK30/异丙醇为 9g/L, ITO 浆料/异丙醇约 9%~11%时 ITO/PVB 膜红外光反射率约在 76%~77%。

References (参考文献)

- [1] Ting-ting Zhou, Hong-jun Chen. Research progress on high-performance low emission glass and its application[J]. *Science and Technology of Overseas Building Materials*,2004,25(3):40-41
周婷婷,陈宏俊.高性能低辐射玻璃的研究进展及应用[J].*国外建材科技*,2004,25(3):40-41
- [2] Li Zhi. Study on preparation and properties of ITO films by the hydrothermal method[D]. *Guilin University of Electronic Technology*,2006

- 职利. ITO 薄膜的水热法制备与性能研究[D]. 桂林电子科技大学, 2006
- [3] Bo Zhang, Xianping Dong, Xiaofeng Xu, Xinjian Wang, Jiansheng Wu. Electrical and optical properties of ITO and ITO:Zr transparent conducting films[J]. *Materials Science in Semiconductor Processing*, 2007, 10(6):264-269
- [4] Gi-Seok Heo, Jong-Woon Park, Seok-Eui Choi, Michael H.-C. Jin, Dong-xin Shin. Modification of optical and electrical properties of ITO using a thin Al capping layer[J]. *Thin Solid Films*, 2009, 518(4):1160-1163
- [5] Li-shun Cheng, Ben-shuang Sun, Jing-ming Zhong, Li-jun He, Dong-xin Wang, Huan-ming Chen. Development of ITO transparent and conductive thin films[J]. *Rare Metals Letters*, 2008, 27(3):10-15
- 成立顺, 孙本双, 钟景明, 何力军, 王东新, 陈焕铭. ITO 透明导电薄膜的研究进展[J]. *稀有金属快报*, 2008, 27(3):10-15
- [6] DAEIL Kim. Influence of the Cs partial pressure on the optical and electrical properties of ITO films prepared by de sputter type negative metal ion beam deposition [J]. *Optical Materials*, 2003(24):471-476
- [7] H.S. Jang, D.H. Choi, Y.S. Kim, J.H. Lee, Daeil Kim. The luminescence and optoelectrical properties of ITO films prepared by a sputter type negative metal ion deposition[J]. *Optics Communications*, 2007, 278(1):99-103
- [8] Hamid Reza Fallah, Mohsen Ghasemi, Ali Hassanzadeh, Hadi Steki. The effect of annealing on structural, electrical and optical properties of nanostructured ITO films prepared by e-beam evaporation[J]. *Materials Research Bulletin*, 2007, 42(3):487-496
- [9] Davood Raoufi, Hamid Reza Fallah, Ahmad Kiasatpour, Amir Sayid Hassan Rozatian. Multifractal analysis of ITO thin films prepared by electron beam deposition method[J]. *Applied Surface Science*, 2008, 254(7):2168-2173
- [10] Hamid Reza Fallah, Mohsen Ghasemi, Ali Hassanzadeh. Influence of heat treatment on structural, electrical, impedance and optical properties of nanocrystalline ITO films grown on glass at room temperature prepared by electron beam evaporation[J]. *Physica E: Low-dimensional Systems and Nanostructures*, 2007, 39(1):69-74
- [11] Hamid Reza Fallah, Mohsen Ghasemi varnamkhasti, Mohammad Javad Vahid. Substrate temperature effect on transparent heat reflecting nanocrystalline ITO films prepared by electron beam evaporation[J]. *Renewable Energy*, 2010, 35(7):1527-1530
- [12] AKIO Suzuki, TATSUHIKO Matsushita. Highly conducting transparent indium oxide films prepared by pulsed laser deposition [J]. *Thin solid films*, 2002, 411:23-27
- [13] Jong Hoon Kim, Kyung Ah Jeon, Gun Hee Kim, Sang Yeol Lee. Electrical, structural, and optical properties of ITO thin films prepared at room temperature by pulsed laser deposition[J]. *Applied Surface Science*, 2006, 252(13):4834-4837
- [14] M. Ait Aouaj, R. Diaz, A. Belayachi, F. Rueda, M. Abd-Lefdil. Comparative study of ITO and FTO thin films grown by spray pyrolysis[J]. *Materials Research Bulletin*, 2009, 44(7):1458-1461
- [15] MAKI Kunisuke, KOMIYA Nobuo, SUZUKI Asako. Fabrication of thin of ITO by aerosol CVD [J]. *Thin Solid Films*, 2003 (445):224-228
- [16] Zhi-hua LI, Dong-yan REN. Preparation of ITO transparent conductive film by sol-gel method[J]. *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*, 2006, 16(6):1358-1361
- [17] H.Y. Valencia, L.C. Moreno, A.M. Ardila. Structural, electrical and optical analysis of ITO thin films prepared by sol-gel[J]. *Microelectronics Journal*, 2008, 39(11):1356-1357
- [18] P.K. Biswas, A. De, L.K. Dua, L. Chkoda. Work function of sol-gel indium tin oxide (ITO) films on glass[J]. *Applied Surface Science*, 2006, 253(4):1953-1959
- [19] Hai-gang Feng, Lin LI. History and development prospect of polyvinyl butyral films[J]. *World Plastics*, 2005, 23(10):42-48
- 冯海刚, 李琳. 聚乙烯醇缩丁醛(PVB)膜片的历史与发展前景[J]. *国外塑料*, 2005, 23(10):42-48
- [20] Hui-lin Cao. Preparation of high viscosity polyvinyl butyral resin and film [D]. *Beijing University of Chemical Technology*, 2006
- 曹慧琳. 高黏度 PVB 树脂及薄膜的制备[D]. 北京化工大学, 2006
- [21] Xiao-song Lu, Shi-lin Zhao. Development of PVB nano transparent heat-insulation coating[J]. *New Building Materials*, 2007, (12):72-74
- 芦小松, 赵石林. 聚乙烯醇缩丁醛纳米透明隔热涂料的研制[J]. *新型建筑材料*, 2007, (12):72-74