

单银基低辐射玻璃的光热性能

代如成, 王中平, 张增明, 孙腊珍

(中国科学技术大学 物理学院, 安徽 合肥 230026)

摘 要: 介绍了单银基低辐射玻璃的镀膜方式与结构, 并研究了样品的的光热性能. 结果表明: 低辐射玻璃在可见光波段透射率较高; 在中远红外波段反射率较高, 有效阻止了热量的透过. 因此低辐射玻璃既可以保证采光, 又可以阻止热量透过, 起到了节约能源的效果.

关键词: 低辐射玻璃; 光热性能; 透过率; 反射率

中图分类号: TQ171 文献标识码: A 文章编号: 1005-4642(2014)09-0013-04

1 引 言

低辐射镀膜玻璃是指在玻璃表面镀上多层金属或其他化合物的膜系玻璃, 又称低辐射镀膜玻璃^[1-2]. 由于这层膜的存在, 使镀膜玻璃与普通玻璃相比表面辐射率更低且具有光谱选择性. 低辐射层膜对波长 2.5~40 μm 范围的远红外线有较高的反射能力, 这种良好的阻隔热辐射透过特性, 使其在冬季将室内的热辐射绝大部分反射回室内, 保证室内热量不向外散失; 在夏季可以阻止室外的热辐射进入室内, 从而达到节能效果^[3-5]. 同时低辐射玻璃又具有良好的可见光透过性能, 可满足室内良好的采光要求, 是一种新型的绿色、节能玻璃产品.

通常情况下, 衡量低辐射玻璃性能的光学、热学参量主要有: 可见光透射比(τ)、遮阳系数(S_c)、传热系数(K)等. 可见光透过比反映玻璃的采光能力; 遮阳系数说明玻璃阻挡阳光向室内直接辐射的性能; 传热系数是指在稳定传热条件下, 室内外空气温差为 1 $^{\circ}\text{C}$, 单位时间内通过 1 m^2 窗玻璃的传热量, 单位为 $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$. K 值越小, 表明玻璃的保温隔热性能越好.

单银基低辐射膜层是由 3 层膜构成: 第 1 层为氧化层, 可以增加可见光的透过率, 在玻璃衬底与功能层之间起到了粘合的作用, 它的厚度决定了玻璃的颜色, 氧化物一般为 ZnO , TiO_2 , SnO_2

等^[6-12]. 第 2 层为功能层, 通常采用金属银, 用来反射阳光中的红外线和吸收紫外线, 决定了镀膜玻璃对阳光的反射率和透过率. 第 3 层为保护层, 保护层的硬度比金属膜层高, 耐磨与耐酸性也比金属膜层强, 避免银膜与空气发生氧化, 还可减少磨损和消除镜面反射等, 保护膜一般为 TiO_2 , SnO_2 , Si_3N_4 等^[6-12].

2 实 验

实验采用蒸发磁控溅射镀膜机(JCP-350M, 北京泰科诺科技有限公司)制备薄膜样品. 膜层材料分别为 $\text{SiO}_2/\text{ZnO}/\text{Ag}/\text{Ti}/\text{ZnO}/\text{TiO}_2$, 各膜层的制备方法及工艺参量见表 1.

表 1 各膜层材料及其制备工艺参量

材料	镀膜方法	镀膜压强	镀膜速率	膜厚
		/Pa	/ $(\text{nm} \cdot \text{s}^{-1})$	/nm
TiO_2	射频溅射	0.8	0.03	25
ZnO	射频溅射	0.8	0.05	35
Ti	直流溅射	0.8	0.06	2
Ag	真空蒸发	8×10^{-4}	0.12	10
ZnO	射频溅射	0.8	0.05	40

采用原子力显微镜(S II NANOTECHNOLOGY INC., NANOCUTE)表征分析样品形貌与尺寸. 采用紫外-可见吸收光谱仪(SHIMADZU,

“第 8 届全国高等学校物理实验教学研讨会”论文

收稿日期: 2014-06-24; 修改日期: 2014-08-07

基金项目: 国家自然科学基金青年项目资助(No. 11304300); 中央高校基本科研业务费专项资金资助(No. WK2030420002)

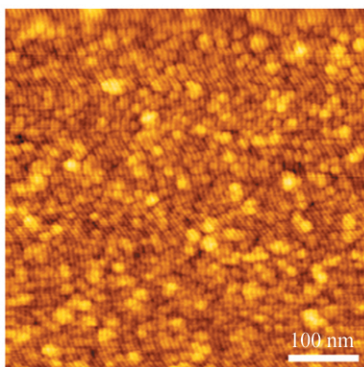
作者简介: 代如成(1983-), 男, 安徽六安人, 中国科学技术大学物理学院物理实验教学中心讲师, 博士, 从事凝聚态物理、高压物理方面科研和物理实验教学工作.

SOLIDSPEC-3700)研究样品的可见光透过率,显微红外光谱仪(BRUKER, TENSOR)研究其红外光反射率. 在红外灯照射下,研究了薄膜样品的热学性能,实验参量为:光照距离37 cm,光照功率3 000 W,光照时间230 s,灯光波长700~5 000 nm,环境温度16 °C.

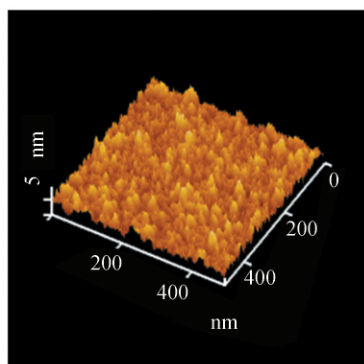
3 结果与讨论

3.1 镀膜玻璃形貌表征

采用 AFM 对薄膜表面形貌和尺寸进行研究. 射频溅射 TiO₂ 在玻璃表面生长形貌如图 1 所示. 由二维图像可见, TiO₂ 薄膜表面呈现致密且组织均匀的纳米颗粒形态,尺寸在 10~20 nm. 从三维形貌看,颗粒清晰可见,结晶完整,薄膜样品表面均匀平整.



(a) 二维形貌



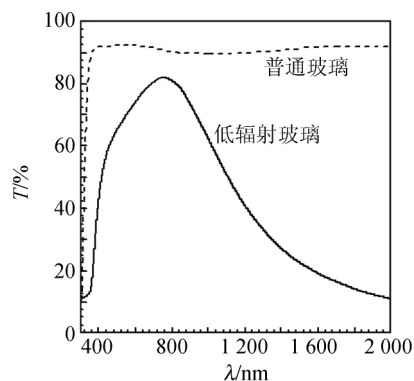
(b) 三维形貌

图 1 镀膜玻璃的 AFM 图像

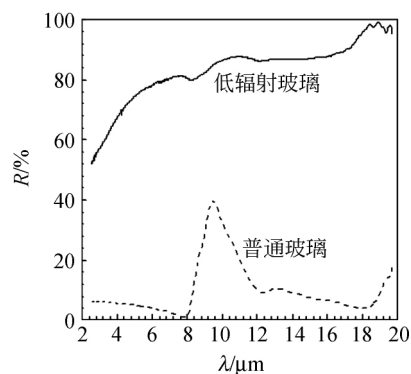
3.2 镀膜玻璃的透过率与反射率研究

图 2(a) 是普通玻璃与镀膜玻璃在可见光波段的透射光谱. 普通玻璃在可见与近红外波段都有很高的透过率. 与普通玻璃相比,镀膜玻璃在

可见光波段有很高透过率,峰值在 700~800 nm 之间,在近红外波段透过率则很低. 图 2(b) 是普通玻璃与镀膜玻璃在红外光的反射光谱. 普通玻璃在中远红外波段的反射率在 40% 以下,而镀膜玻璃在中远红外波段的反射率在 50% 以上. 镀膜玻璃具有高的可见光透过率,保证了高的采光性,在红外波段具有很高的反射率,从而有效地阻挡了热辐射.



(a) 透射光谱



(b) 反射光谱

图 2 普通玻璃与镀膜玻璃的透射光谱和反射光谱

可见光透射比(τ)是指在可见光范围内(波长 380~780 nm),透过玻璃的可见光光通量与入射在玻璃表面的可见光光通量之比:

$$\tau = \frac{\text{透过玻璃的光通量}}{\text{入射光的光通量}} \times 100\%$$

实验镀膜玻璃的 τ 为 65.3%, 工业标准 τ 为 76%^[3,13]. 可见光透射比大,则玻璃通透效果好,室内照明能耗小;可见光透射比小,则玻璃遮蔽视线的效果好,室内照明能耗会有所增加.

遮阳系数(S_c)是指太阳辐射能量透过玻璃系统的量与透过相同面积 3 mm 厚透明玻璃的量之

比:

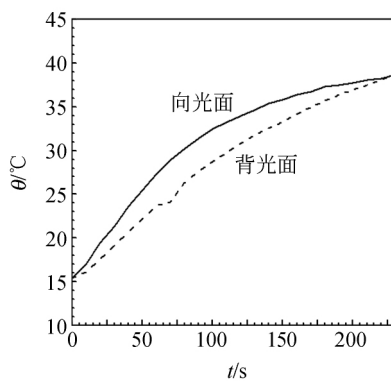
$$S_e = \frac{\text{样品的太阳能总透射比}}{\text{3 mm厚普通玻璃的太阳能总透射比}} \times 100\%$$

实验镀膜玻璃的 S_e 为 55.4%, 工业标准白玻璃的 S_e 为 62%^[3,13]. S_e 值越小, 玻璃阻挡太阳辐射直接进入室内的性能越好, 越能降低夏季室内空调负荷.

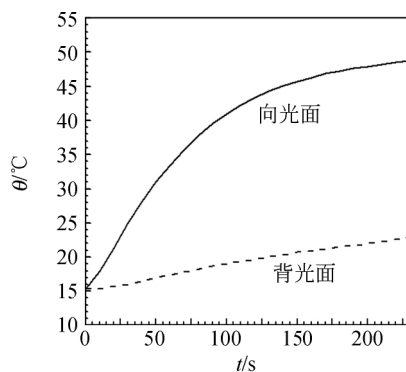
3.3 镀膜玻璃的热学性能研究

镀膜玻璃与普通玻璃经红外烤灯照射后, 比较普通玻璃与镀膜玻璃的向光面与背光面温度随时间变化.

图 3(a) 是普通玻璃的向光面与背光面温度随时间变化. 由图可见, 红外光照射时间在 100 s 内, 普通玻璃的向光面与背光两面温度随时间增加, 温度均升高, 温差增大; 此后随着照射时间增加, 向光面与背光面温度均缓慢升高, 当时间达到 220 s 时, 普通玻璃的向光面与背光面温度趋向一致. 图 3(b) 是镀膜玻璃的向光面与背光面温度随时间变化. 由图可见, 随红外灯照射时间增加,



(a) 普通玻璃



(b) 镀膜玻璃

图3 普通玻璃和镀膜玻璃向光面与背光面温度

镀膜玻璃的向光面与背光面温度均升高, 但背光面的温升速率明显小于向光面的温升速率, 两面温差逐渐增大. 当照射时间达到 200 s 以上时, 镀膜玻璃两面的温差基本恒定在 26 °C. 与普通玻璃相比, 镀膜玻璃向光面的温升速率高于普通玻璃向光面的温升速率, 最高温度分别达到 50 °C 和 38 °C. 这是由于镀膜玻璃能有效地反射照在玻璃表面的大量热能, 从而加快了向光面的温升速率. 而镀膜玻璃背光面的温升速率却明显低于普通玻璃的背光面的温升速率, 且镀膜玻璃背光面最高温度只达到 23 °C, 明显低于普通玻璃的 38 °C. 这是因为镀膜玻璃对红外光有很高的反射率, 阻止了外侧热量的进入, 能有效降低光照和热传导引起的背光面温度. 由此可见, 实验制备的单银基低辐射镀膜玻璃具有良好的光热性能, 明显优于普通玻璃的光热性能.

4 结束语

研究了单银基低辐射镀膜玻璃的光热性能. 在可见光波段, 低辐射镀膜玻璃具有较高的透射率, 其可见光透过比达到 65.3%. 在近红外波段, 具有较高的反射率, 遮阳系数达到 55.4%, 同时镀膜玻璃也具有较好的热学性能. 该镀膜玻璃制备简单、性能优良, 具有潜在的应用前景.

参考文献:

- [1] 任亚琼, 郭万江, 孙全涛, 等. 两种 Low-e 玻璃节能特性对比分析[J]. 玻璃, 2013(6):40-42.
- [2] 吴斌. 离线 Ag 基低辐射玻璃的光热学性能及其应用研究[D]. 上海: 上海交通大学, 2007.
- [3] 中国建筑科学研究院. 公共建筑节能设计标准: 中华人民共和国国家标准 GB50189-2005[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2005.
- [4] 季亮, 谭洪卫, 郑淑晶, 等. 透明隔热玻璃涂层的建筑节能潜力分析[J]. 建筑科学, 2013, 29(4):6-9.
- [5] Danny H L, Joseph C L, Chris C L, et al. Lighting and energy performance of solar film coating in air-conditioned cellular offices [J]. Renewable Energy, 2004, 29(6):921-937.
- [6] 孙腾达, 谢家纯, 梁锦, 等. ZnO 欧姆电极制备与 n-ZnO/p-Si 异质结紫外光电特性[J]. 中国科学技术大学学报, 2006, 36(3):328-332.
- [7] 戴振清, 孙以材, 潘国峰, 等. TiO₂ 薄膜制备及其氧敏特性[J]. 半导体学报, 2005, 26(2):324-328.
- [8] 刘峥嵘, 谢家纯, 郭俊福, 等. 不同衬底材料的 ZnO/

- Si 异质结 I-V 及光电特性[J], 中国科学技术大学学报, 2008, 38(11):1262-1267.
- [9] Martin-Palma R J, Vazquez L, Martinez-Duart J M, et al. Silver-based low-emissivity coating for architectural windows: optical and structural properties [J]. Solar Energy Material & Solar Cells, 1998, 53(1/2):55-66.
- [10] Hong R J, Jiang X, Heide G, et al. Growth behaviors and properties of the ZnO: Al films prepared by reactive mid-frequency magnetron sputtering [J]. Crystal Growth, 2003, 249(3/4):461-469.
- [11] Ruske M, Brauer G, Pistner J, et al. Properties of SnO₂ films prepared by DC and MF reactive sputtering [J]. Thin Solid Films, 1999, 351(1/2):146-150.
- [12] 佟洪波, 柳青. 薄膜电致发光材料的研究进展[J]. 表面技术, 2008, 37(3):65-67.
- [13] 刘志海, 李超. 低辐射玻璃及其应用[M]. 北京: 化学工业出版社, 2006.

Optical-thermal performance of single-silver low-e coated glass

DAI Ru-cheng, WANG Zhong-ping, ZHANG Zeng-ming, SUN La-zhen
(University of Science and Technology of China, School of Physical Science, Hefei 230026, China)

Abstract: The coating method and coating structure of single-silver low-e glass was introduced. The optical-thermal performance of single-silver low-e glass were investigated. The results showed that low-e glass had high transmittance in the visible region, and high reflectance in the mid-far infrared region, which could preventing heat from passing through the low-e glass. Therefore, the low-e glass could effectively reflect the sun's heat while letting in light, which could help reduce energy costs.

Key words: low-e glass; optical-thermal performance; transmittance; reflectance

[责任编辑:任德香]

(上接第 8 页)

Spatial filtering and volume holographic storage experiment

ZHU Hao, CAO Liang-cai, HE Qing-sheng
(State Key Laboratory of Precision Measurement Technology and Instruments,
Tsinghua University, Beijing 100084, China)

Abstract: Based on $4f$ system, a teaching experiment system for spatial filtering and volume holographic storage was set up. It could be used to fulfill frequency spectrum analysis, spatial filtering and volume holographic storage experiments for 3 types of graphics with deferent character.

Key words: spatial filtering; volume holographic; storage

[责任编辑:任德香]