ITO 透明导电玻璃的除霜试验研究

常天海,江豪成,李育红,唐华
(兰州物理研究所,兰州 730000)
(收稿日期 1999-03-07)

THE DEFROSTING EXPERIMENTAL STUDY ON THE TRANSPARENT AND CONDUCTIVE GLASS WITH ITO FILM

Chang Tianhai, Jiang Haocheng, Li Yuhong, Tang Hua
(Lanzhou Institute of Physics, Lanzhou 730000)

Abstract: In this paper the defrosting experimental result for the transparent and conductive glass with ITO film has been presented. The possibility of the transparent and conductive glass with ITO film used as windshields of vehicles has been analyzed.

Key words: transparent and conductive film, ITO, defrost

摘 要: 介绍了氧化铟锡(ITO)透明导电玻璃的除霜试验结果，并对 ITO 透明导电玻璃应用于汽车挡风玻璃的可能性进行了分析。

关键词: 透明导电膜 ITO 除霜试验
中图分类号: TQ171.73 O484 **文献标识码:** A **文章编号:** 1006-7086(1999)02-0100-03

ITO 膜透明导电玻璃作为汽车、机车、飞机的挡风玻璃，不仅起到隔热作用，而且当薄膜通电加热后，还可去霜。对于汽车挡风玻璃来说，其应用前景尤其广阔。因为 ITO 膜同时具有电阻率低、可见光透过率高、红外反射率高、紫外隔断率高的特点。不仅可以应用于汽车后挡风玻璃，也可应用于汽车前挡风玻璃，将改变目前汽车后挡热线印刷玻璃通电除霜的现状[1]。

从理论上讲，在相同的加热电压下，电阻越低，加热功率越大，除霜效果就越好，只需尽可能镀制电阻值低的 ITO 薄膜即可。但从实际应用来看，须同时兼顾 ITO 透明导电镀膜玻璃的可见光透过率(国际交通规则要求汽车前挡风琉璃的可见光透过率不小于 73 %)和成本等因素。故实际的应用原则应是：在满足交通要求和成本适宜前提下，尽可能降低 ITO 的面电阻，提高透明导电玻璃的除霜效果。

1 试验描述

试验是在海尔 BD-314A 电冰柜上进行的。主要试验仪器及用品见表 1。试验时环境温度为 14 ℃，环境湿度为 50 % RH。其具体的试验过程如下：

1)将冰柜上盖板打开，把电风扇置入其内腔中，电风扇吹风方向向上；

2)用聚氨酯泡沫板做一冰柜的上盖板，在其正中部挖一个方孔，尺寸为 300 mm × 162

mm；

3)用 ITO 透明导电玻璃样品盖住聚氨酯泡沫板上的方孔，膜面向外。在镀膜玻璃样品的两长边装上电极，接于直流稳压电源上，在距镀膜玻璃样品下表面 1 cm 的中心处放置数显温度仪的测温探头；

4)将冰柜置于强冷档，预先运行 8 h；

表 1 除霜试验所用仪器及用品

名　称	数　量
海尔 BD－314A 电冰柜	1 台
WY－17B 直流稳压电源	1 台
8805C 数显温度仪	1 台
长城 FT17－40 电风扇	1 台
1 kVA 交流调压器	1 台
6 cm 厚、尺寸与冰柜上盖板相同的聚氨酯泡沫板	1 块
5 mm 厚、方阻为 18 Ω/□、尺寸为 300 mm × 162 mm × 5 mm 的 ITO 透明导电玻璃样品	1 块

5)将电扇置于强风档，接在交流调压器上，通过调整交流调压器来控制吹向 ITO 透明导电玻璃样品下表面的风速，以得到不同的制冷温度，同时也是为了模拟汽车奔驰时前挡风玻璃结霜的工况；

6)在每个具体的制冷温度下，将 ITO 透明导电玻璃样品通电加热，用肉眼观察除霜情况。将导电玻璃样品表面不结霜面积占总面积至少 80 %时的通电加热功率密度定义为不结霜功率密度，对应的电压定义为不结霜电压。

2　试验结果与讨论

试验结果列于表 2。需要说明的是，对于每一个制冷温度，加热电压设定为不结霜电压时的化霜时间差不多都是 15 min 左右。如果加热电压稍高于不结霜电压，则化霜时间可缩短到几分钟。

ITO 透明导电玻璃的通电除霜试验原理如图 1 所示。将方阻为 $R_{\square}$的 ITO 透明导电玻璃样品的两长边作为电极，接上加热直流电源，通过改变加热电压 U 的大小，观察除霜情况。显然，薄膜加热功率 $P = U^2/R$，其中 R 是导电薄膜的总电阻。如果导电玻璃表面电阻分布均匀，则 R 相当于 L/D 个 $R_{\square}$并联，所以 $R = R_{\square}/(L/D) = R_{\square}D/L$，$P = U^2L/R_{\square}D$。加热功率密度 $J = P/S$，其中 S 是 ITO 透明导电玻璃的加热面积，$S = DL$。则 $J = P/DL = U^2/R_{\square}D^2$。

综合考虑 ITO 透明导电玻璃的可见光透过率、红外反射率和单位耗靶成本等因素，我们选定 ITO 透明导电玻璃应用于汽车挡风玻璃时的方阻为 18Ω/□，此时，其可见光透过率达到 82.39%，红外反射率达到 83.61%，进口氧化靶的单位成本约为 40¥/㎡，可使市场接受。显然，其加热功率密度 $J = U^2/18D^2$。以宽度 D 为 45cm 的夏利汽车后挡风玻璃为例，可推算其不结霜功率密度如下：

1) 若加热电压 $U = 12$V，$J = 12^2/18 \times 45^2 = 3.95 \times 10^{-3}$W/cm²，据表 2 得知，可保证在环境温度约

表 2 除霜试验结果

制冷温度(℃)	不结霜功率密度(W/cm²)	不结霜电压(V)
－1	1.64×10^{-3}	3
－5	4.67×10^{-3}	5
－13	9.33×10^{-3}	7
－16	1.56×10^{-2}	9
－19	2.35×10^{-2}	11
－21	3.27×10^{-2}	13

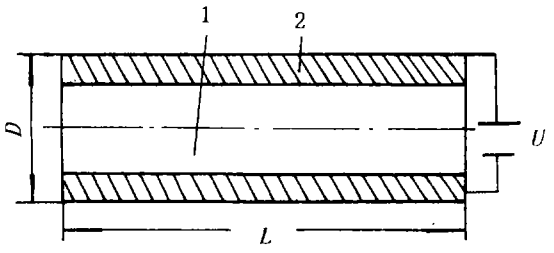

图 1 ITO 透明导电玻璃的通电除霜原理图
1 - 镀膜玻璃样品；2 - 电极

为 - 4 ℃下不结霜；

2) 若加热电压 $U = 18V$，$J = 18^2/18 \times 45^2 = 8.8 \times 10^{-3} W/cm^2$，据表 2 得知，可保证在环境温度约为 - 13℃下不结霜。

3 结 论

试验结果表明，ITO 透明导电玻璃可以用作汽车的前挡风玻璃和后挡风玻璃，在 - 13℃的寒冷环境下行驶时，若夏利车内温度保持为 14℃左右，车内蓄电池电压升至直流 18V，则可保证前后挡风玻璃不结霜。

参 考 文 献

1 常天海，江豪成．汽车挡风玻璃用除霜、隔热薄膜的试验研究．真空与低温，1997(3)：132

作者简介：常天海，男，1964 年出生。理学硕士，高级工程师，1985 年毕业于合肥工业大学真空专业。现在兰州物理研究所从事真空镀膜工艺研究。已参加了 4 个课题的工作，是其中 2 个课题的负责人。获航天部科技进步二等奖一次。已发表多篇学术论文。

(上接第 107 页)

参 考 文 献

1 徐烈等．低温容器——设计、制造、使用．北京：机械工业出版社，1987
2 达道安．真空设计手册．北京：国防工业出版社，1991
3 Milora S L, Foster C A *et al.* Pnuematic hydrogen pellet injection system for the ISX tokamak. Rev. Sci. Instrum. 1979, 50(4): 482 ~ 487

第一作者简介：刘德权，男，1965 年出生。1987 年 7 月毕业于成都科技大学精密机械设计与制造专业。1997 年 6 月破格晋升为高级工程师。现在核工业西南物理研究院真空技术研究室从事 HL - 1M 装置弹丸加料实验研究工作。

低温消息：中国科学院低温中心最近注意到美国 Cryodata 公司有关低温工程设计软件包和数据库的软件产品。对国内从事低温工作的科技人员会有很大帮助。有需求者请与李来凤(电话：010 - 62640028)、张亮(电话：010 - 2554669)联系。通信地址：北京 2711 信箱(邮编：100080)。