

# ITO 材料在建筑节能玻璃上的应用前景

张光胜 朱协彬

(安徽工程科技学院机械工程系 安徽芜湖 241000)

**摘要:**本文从“节能减排”出发,综述了 ITO 材料在建筑节能方面的研究现状、发展趋势、市场潜力、应用和产业化前景,特别提出了纳米 ITO 隔热—低辐射建筑玻璃工艺研究及其产业化的可行性,以及 ITO 材料在节能建筑玻璃上的系列研发项目,将具有广阔的研发和市场前景。

**关键词:**节能减排;ITO 材料;建筑节能;应用前景

能源是人类社会得以生存和发展的基础,但在经济高度发达的今天,能源危机是人类面临的最大威胁之一,除了开发核能等新能源外,各种节能技术也是当今世界关注的科研热点。同时,自从上世纪五、六十年代以来,臭氧层破坏、温室效应、酸雨等系列全球性环境问题日益突出。人们已逐步认识到保护赖以生存的地球环境是关系到人类生死存亡的迫切任务。节能和环保是我国实现可持续发展战略的保证。因此,节约能源和保护环境已成为当前人类社会寻求可持续良性发展的主题之一。环保要求节能,节能促进环保。近三四十年来,“开放与交流,舒适与自然,环保与节能”逐渐成为新世纪国际建筑的三大原则,建筑节能成为世界性潮流,绿色建筑概念大行其道。由于我国经济的持续向好,能源消费呈快速上升趋势,我国已成为世界第一大煤炭和第二大石油消费国。能源消耗量大,能源利用率低,能源供需矛盾加剧,尤其我国建筑能耗总量大,比例高,能效低,污染严重,已成为影响我国可持续发展的重大问题,建筑节能已是当务之急。同时,我国单位建筑面积能耗量相当于气候条件相近的发达国家的 2~3 倍,建筑节能也具有非常大的潜力。

## 一、研究状况和发展趋势

据统计,目前全世界约有 40% 的能源消耗于各种温度控制,我国建筑能耗约占全国总能耗的 20% 左右,而通过玻璃的能量损失约占建筑能耗的 40%,这个比例还会逐步提高,造成这种高能耗的主要原因之一是越来越多的场合采用了对整个太阳光谱都具有高透过率的玻璃材料。另外一些公共建筑门窗面积占建筑面积比例超过 20%,而透过门窗的能耗约占整个建筑的 50%。通过玻璃的能量损失约占门窗能耗的 75%,占窗户面积 80% 左右的玻璃能耗占第一位。因此,发展节能、环保玻璃显得尤其重要。随着人们生活水平的提高,高层建筑、交通工具内都需要保持温度恒定,避免受外界的影响,大量需要透明、隔热材料,并且需求量与日俱增。许多基于玻璃表面改性的节能产品如幕墙玻璃、太阳膜等应运而生,这些产品的主要功能就是调控太阳能,既要透明,又要隔热。相比较而言,在众多的隔热薄膜中,氧化铟锡(Indium Tin Oxide, ITO)薄膜充分体现了透明性和隔热性的统一,同时具有减低紫外线辐射功能。

纳米科学技术的发展,为制膜技术的发展创造了良好条件,使按人的意志安排一个个原子和分子成为现实。利用纳米技术,研究 ITO 薄膜的制备新工艺,探讨成膜机制和结构特性,对新材料的发展具有重要科学意义。我国铟资源居世界之首,对铟深加工材料的研究刚刚起步。因此,发展崭新的制备 ITO 薄膜工艺,对于发挥我国资源优势,开拓 ITO 薄膜广阔的应用前景,具有十分重要的实际意义。

目前,世界上的发达国家,如日本、美国等将一半左右的钢用于制备 ITO 材料,我国“九五”规划把制备 ITO 材料作为重点科研项目。铟锡氧化物(ITO)透明导电薄膜是高科技领域中广泛应用的新材料,其在液晶显示(LCD)、建筑隔热玻璃、太阳能电池和收集器、电致变色器件、敏感器件、热镜等方面起着重要作用。制备 ITO 薄膜的方法主要有溅射法、气相沉积法、喷雾热分解法、溶胶-凝胶法等。国外主要采用直流磁控溅射法制备 ITO 薄膜,它是目前综合效果最好的方法,但该法的设备昂贵,所使用的中间体 ITO 靶材的制备技术含量高,仅为少数发达国家所掌握。

在众多的隔热薄膜中,铟锡氧化物(ITO)薄膜具有优良的光学性能。ITO 薄膜对红外光反射率达 80%,25%以上光能被阻隔,从而为隔热材料的制备提供了理论基础;ITO 薄膜对可见光透过率可达 85%以上,保证了产品的透明性和实用性;而 ITO 薄膜对紫外光吸收率可达 80%以上,保证了产品对紫外光的低辐射性。因而 ITO 用作透明隔热材料时,也具有减低紫外线辐射功能。ITO 薄膜作为隔热材料的原理是利用纳米复合氧化物自身的特性来实现透明隔热的效果,它的隔热效果是太阳光透过薄膜玻璃与玻璃基底本身,在太阳光谱波长范围内主要是对红外光辐射能减少量二者之差。

采用 ITO 粉体制成透明隔热涂料,并用于玻璃等基材涂覆成膜,因其具有优良的光学性能,使 ITO 膜不仅具有良好的隔热性能,而且具有良好的减低紫外光辐射性能,开发的 ITO 隔热低辐射玻璃具有较好的市场前景和推广价值。

美国和日本在纳米 ITO 涂料的研究开发起步较早,处于世界的前列。美国的 Nanophase 公司首先开发了具有红外反射性能的半导体纳米材料 ITO,并将其分散在水中制成纳米浆料。美国专利介绍了稳定的纳米 ITO 水分散体的制备方法,并用来制造透明导电涂料。日本也发表了很多类似专利,将纳米 ITO 粉体用于制备水性或溶剂型红外阻隔涂料,而我国也有一些相关研究报道。

由于能源危机,世界各国不仅重视新能源的开发,也特别重视各种节能技术的开发与应用。建筑节能是我国重点扶持发展的能源项目之一,而 ITO 薄膜用于建筑节能已经引起越来越多政府部门和研究部门的认同:谁首先占有了技术,谁就占有了市场,谁就有了未来发展的空间。研发功能更多,成本更低,重量更轻,使用更方便,更有利于普及的纳米 ITO 隔热-低辐射玻璃,这是未来建筑节能玻璃的一个发展趋势。

## 二、市场现状和潜力

针对中国政府近期出台的系列宏观调控措施,国务院副总理吴仪 9 月 8 日在厦门表示,所有的调整,目的都是为了给各类企业提供一个更加平等、开放、规范的市场环境。同时提出加强节能环保和城镇建设方面的合作,今后几年中国用于节能减排的总投资将超过 1 万亿美元。此外,中国还将有至少 2 亿农村人口进入城镇。节能环保、城镇基础设施、住房和公共服务的市场巨大。

据调查资料表明,我国住宅能耗约占全国总能耗的 20%左右。早在 2001 年 10 月,建设部就颁布了《夏热冬冷地区居住建筑节能设计标准》,其中有 7 条是强制性标准,但标准颁布后却很少得到执行。设计单位往往不做建筑节能的构造设计,使建设单位、施工单位难以实施;即使按标准设计了环保节能措施,而建设单位往往又不按设计要求施工。从 2000 年到 2004 年,全国按节能标准设计的项目只有 58.53%,按节能标准建造的项目更低,只有 23.25%。为此,2005 年 11 月 10 日,建设部制定并公布了《民用建筑节能管理规定》。文件明确提出,从 2006 年 1 月 1 日起,所有房地产开发企业应当将所售商品住房的节能措施、保温隔热性能指标等基本信息在销售现场显著位置予以公示,并在《住宅使用说明书》中详细说明。对于未按照建筑节能强制性标准进行设计或者未按照节能设计进行施工的施工单位,也作了明确的处罚规定。

近几年来,全国许多城市已相继制定出台了一系列关于推广住宅节能标准的新政,如北京、上海、大连等地区,住宅产业化和住宅节能发展如火如荼,住宅产业现代化趋势已经被众多开发企业所认可。如山东省建设厅颁布了《居住建筑节能 65%设计标准》及《公共建筑节能 50%设计标准》,自 2006 年 6 月 1 日起,山东省新建、扩建的公共建筑和居住建筑项目的工程设计都必须达到《标准》要求;6 月 1 日前已进

行工程设计但尚未办理施工许可手续的工程建设项目,或者已开工但具备建筑节能施工条件的工程项目,都要及时进行节能设计变更,达到《标准》要求。

目前市场上所使用的节能建筑玻璃主要是中空玻璃。我国从1997年以来,采用机械生产中空玻璃的企业达到了两千多家,生产量也从1997年的350万平方米,急速上升至2003年的3000万平方米以上,由于政策的促进,以及人们节能观点的意识的增强,预计2007年将达到1亿平方米。根据预测,今后十年,我国城镇建成并投入使用的民用建筑每年至少为8亿平方米。另外目前我国约有400亿平方米的既有建筑,对既有建筑的更新改造也会增加对节能玻璃的需求。但我国中空玻璃的工艺技术水平整体上落后于发达国家,中空玻璃本身质量也需要提高,主要存在如下问题:

企业多,规模小,产品质量不稳定。由于企业工艺技术水平低,产品质量不能保证,或只能保持在低档的发展水平,不利于产品的更新换代,也不利于企业提高竞争力,获得长足发展。

在中空玻璃配置上还远低于发达国家水平。20世纪90年代,欧洲已有20%的中空玻璃采用低辐射(Low-E)玻璃,波兰使用Low-E中空玻璃的比例2000年达到75%,而北美2000年达到了88%。我国生产的中空玻璃以“浮法玻璃+间隔条+浮法玻璃”为主,近几年使用Low-E玻璃的比例有所增加。

中空玻璃为了隔热而使用双层玻璃,重量变得很大;而中空玻璃为了降低辐射而使用Low-E玻璃。Low-E玻璃因生产过程中投资很大,从而使其成本很高。

鉴于此,铟锡氧化物(ITO)用于节能建筑玻璃上,既可以隔热,又可以降低辐射,且投资少,生产成本和运输成本低,重量轻,易于安装等,成了目前中空玻璃最好的发展替代品。

我国的玻璃年产量约1344万平方米,加上现有建筑存量玻璃(14.9亿平方米)的节能改造工程,环保节能玻璃的市场前景极为广阔。从目前的市场供需情况分析,在近一段时期内,中空玻璃市场仍将呈现快速上升的态势。然而随着纳米ITO隔热—低辐射建筑玻璃产品的开发成功,纳米ITO隔热—低辐射建筑玻璃将替代中空玻璃而拥有广泛的市场,并将继续扩大。除此之外,这种新产品还可以广泛用于交通、信息、航天等节能领域。因而ITO材料用于节能领域,特别是建筑节能领域具有非常大的市场潜力。

### 三、应用或产业化前景

从目前来看,国内外玻璃行业在节能方面的工作大都还停留在消极设防的设计思想阶段,致力于提高玻璃的隔热保温性能。现阶段提高建筑节能保温性能的主要措施有:1. 镀膜玻璃、Low-E玻璃、热反射玻璃、中空玻璃等玻璃处理技术;2. 铝塑复合材料、“断热桥”型材等高热阻材料应用技术;3. 减少开启窗扇面积、提高密封胶性能、改进节点密封性能等降低空气渗透热损失技术;4. 采用百页、格栅等遮阳设施,以减少太阳辐射热等。以上各种保温措施原理比较简单,实施也比较方便。采用这些技术的幕墙结构传热系数由普通单层白玻璃幕墙的大于 $5\text{W}/\text{m}^2\text{K}$ 降到了 $3\text{W}/\text{m}^2\text{K}$ 以下。国内外大量工程的多年应用实践表明,节能效果明显,尤其是在高寒地区,如北欧、加拿大等地,该类技术趋于成熟,已经成为幕墙工程的主流技术。近几年该类技术在我国北方地区也开始得到应用。

ITO材料用于节能建筑玻璃上的系列研发是基于国家“863”计划——“多功能纳米金属复合氧化物浆料的研制与开发”的应用研究项目,采用全湿法新工艺进行纳米 $\text{In}_2\text{O}_3:\text{Sn}$ (ITO)的粉体,涂料及涂膜玻璃的研制与开发,这种工艺技术正趋于成熟化。它是利用化学共沉淀法,通过控制反应条件,制备粒度均匀、分散性好的ITO粉体,然后采用粉体制成分散良好的浆料,选用适宜助剂和工艺条件,制备纳米透明隔热涂料,最后用于建筑玻璃基材上涂覆成ITO薄膜,形成纳米ITO隔热—低辐射建筑玻璃。其工艺流程简图如图1:

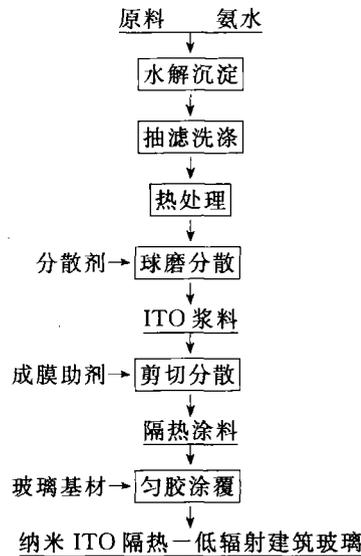


图 1 纳米 ITO 隔热—低辐射建筑玻璃工艺流程简图

主要技术指标：

纳米 ITO 涂料涂覆玻璃上，涂膜附着力按画格方式测定达 1 级以上；

纳米 ITO 隔热—低辐射建筑玻璃可见光透过率 85% 以上，红外光反射率达 75% 以上，紫外光吸收率达 75%—80%，隔热效率 20%~25%。

近年来我院为适应安徽经济和社会发展需要并能体现学院学科实力与特色的检测技术与自动化装置和材料等学科加以重点建设，建立了动态测试中心等研究基地，拥有两个省级重点实验室，先后配备了 X 射线衍射仪(XRD)、S-4800 分析型扫描电镜(SEM)、CSPM4000 扫描探针显微镜(AFM)和精密直读火花光谱仪(Metal-Lab75)，薄膜台阶仪等，以及加强了电子图书资源，引进了中国期刊全文数据库，万方数字化期刊，Elsevier, Springer Link 和 World Science 等中外文数据库，为 ITO 材料用于节能建筑玻璃上的系列项目研发提供了硬件和软件基础。目前合作的一家公司拥有国际先进水平的 NG-15B5036 型平弯两用钢化玻璃自动化生产线，HYLB2500PA 中空玻璃生产线，夹胶玻璃生产线和与玻璃深加工相匹配的直线、异形、双边磨边机，钻孔机，玻璃清洗机先进设备，为不同规格、高中档特种玻璃生产、深加工和本项目的研发提供试验或生产条件。公司经营产品有平钢化、弯钢化、中空、夹胶、防弹、镀膜和烤漆等，也具备该系列项目产品的研发基础。

8 月 26 日，国家发展和改革委员会主任马凯在向全国人大常委会报告国务院节约能源保护环境工作情况时表示，抓好重点领域节能，将启动 30 个更低能耗建筑示范项目和 200 个可再生能源建筑示范项目。因此，ITO 材料用于节能建筑玻璃上的系列研发项目，随着国家节能减排工作的开展将会引起人们的日益重视而会尽快走向产业化的道路，因而具有广阔的研发和市场前景。

### 参考文献

[1] F. G. Li, D. P. Liu, P. Deng, Rare Metals and Cemented Carbides, 138 (1999) 15~17  
 [2] X. C. Duan, X. P. Yang, Rare Metals and Cemented Carbides, 138 (1999) 58~60  
 [3] Y. F. Zhang, J. X. Zhang, Journal of Functional Materials, 5 (2003) 573~574  
 [4] H. R. Xu, G. S. Zhu, H. Y. Zhou, J. Am. Ceram. Soc. , 4 (2005) 986~988  
 [5] P. D. Sujatha, M. Chatterjee, D. Ganguli, Mater. Lett. 4 (2002) 205~210  
 [6] S. Z. Chen, Z. M. Yin, B. Y. Huang, Nonferrous Metals, 2 (2000) 88~90  
 [7] S. T. Li, X. L. Qiao, J. G. Chen, and J. Cryst. Growth, 1 (2006) 151~156  
 [8] J. C. Li, Advanced Materials Industry, 12 (2000) 35~36  
 [9] Q. Y. Liu, Y. Y. Go, Guangzhou Chemical Production, 1 (2005) 31~33  
 [10] Z. W. Lu, Z. F. Chen, J. S. Yao, Mining and Metallurgical Engineering, 3 (2004) 70~72

- [11] Tahar F B H ,Ban T ,Ohya Y ,et al. Journal of Applied Physics ,1998 ,83 (5) :2631~2645
- [12] Alam M J ,Cameron D C. Surface and Coatings Technology ,2001 ,142 :776~780
- [13] Aikens John H. ,Sarkas Harry W. ,Brotzman Jr. Richard W. ,et al. US,6416818[P] . 2002 -7-9
- [14] Nishihara Akira, Hayashi Toshiharu, Sekiguchi Masahiro. US,5518810[P] . 1996-5-21
- [15] Masato Murouchi, Toshiharu Hayashi, Akira Nishihara, et al. US,5504133[P] . 1996 -4-2
- [16] 常天海 . 真空与低温,2004,10 (1):43~46
- [17] 陈飞霞,付金栋,韦亚兵,等 . 涂料工业,2004,34(2):48~51
- [18] Tseng Wenjea J. ,Tzeng Frank. Colloids and Surfaces A:Physicochemical and Engineering Aspects,2006,276( 1-3):34~39
- [19] Jiakuan Sun, Bhaskar V. Velamakanni, William W. Gerberich, et al. Journal of Colloid and Interface Science,2004, 280(2):387~399
- [20] 朱协彬,段学臣,陈海清 . 中国有色金属学报,2007,17(1):161~165
- [21] 朱协彬,段学臣 . 稀有金属与硬质合金,2006,34(2):8~11
- [22] <http://www.sina.com.cn> 第一财经日报,2007年09月10日
- [23] <http://www.people.com.cn> 2007年08月27日

www.spm.com.cn