

# TFT-LCD 背光源用玻管现状与发展趋势

田英良, 孙诗兵, 庞建, 张磊

(北京工业大学材料学院, 北京 100124)

**摘要** 随着薄膜晶体管液晶显示(TFT-LCD)产业的迅猛发展,冷阴极荧光灯(CCFL)凭借其优良性能成为背光源的重要光源。描述了国内外 CCFL 玻管的化学组成、性能要求及外观规格与尺寸要求,并针对 CCFL 玻管的现状及市场需求进行了系统分析,指出了 CCFL 玻管的发展趋势。

**关键词** TFT-LCD CCFL 玻管 现状 趋势

## Present and Development Trend of Glass Tube Used for TFT-LCD

TIAN Yingliang, SUN Shibing, PANG Jian, ZHANG Lei

(College of Materials Science and Engineering, Beijing University of Technology, 100124)

**Abstract** With the rapid development of thin-film transistor liquid crystal display (TFT-LCD), the cold cathode fluorescent lamp (CCFL) which has many excellent performances becomes the leading backlight source in backlight sources. In this paper, chemical composition, performances, appearance specifications and size requirements of CCFL glass tube are introduced. Later, the present states and the market demands for CCFL are systematically analyzed, and the development trends of CCFL glass tube are stated.

**Key words** TFT-LCD, CCFL, glass tube, present, trends

### 0 前言

LCD (Liquid crystal display) 技术虽起源于欧美,但将之发展并形成产业的却是日本。1973 年日本 Sharp 公司成功开发出世界上最早的商用液晶显示器。1990 年日本东芝公司首先将 TFT-LCD (Thin film transistor-Liquid crystal display) 应用在 10.4 吋的笔记本电脑显示面板上,掀起全球显示器产业的革命。1996 年 TFT-LCD 进入第三代生产线后,开启了液晶显示器新的应用时代。2000 年 TFT-LCD 进入第四代生产线后,韩国逐步取代日本成为大尺寸 TFT-LCD 面板的霸主,台湾厂商也成功地跟进。2003 年中国的京东方及上广电通过收购和合作的方式进入第五代 TFT-LCD 生产线。2004 年由于液晶电视的消费市场成功开发, TFT-LCD 产业得到迅猛发展,目前 Sharp 公司率先进军第十代生产线。

TFT-LCD 产业的迅猛崛起,带动了与之配套材料的发展。背光源是 TFT-LCD 产品中的重要组成部分。目前, TFT-LCD 背光源主要有冷阴极灯(CCFL, cold cathode fluorescent lamp)、发光二极管(LED, light emitting diode)、外电极冷阴极灯(EEFL, external electrode fluorescent lamp)、平面光源(FFL, flat fluorescent lamp)等。现在主流背光源产品为 CCFL, 另外 3 种也是比较有竞争力的背光源产品。TFT-LCD 配套用 CCFL 灯管直径在 1.8~4.0mm 范围内, CCFL 主要由玻璃管(简称玻管)、荧光粉、电极等材料构成,其中玻管是重要的组成材料之一。目前,全球 CCFL 玻管生产厂家仅有 5 家,分别为 NEG、Schott、Asahi、台湾

### 1 CCFL 玻管性能要求

#### 1.1 介电损耗低

CCFL 灯管之所以被应用于 TFT-LCD 显示产品,主要在于其光源方式为冷光源,灯管外表温度低于 50℃,可以克服热量对 TFT-LCD 的损伤,可实现轻薄化。电极材料封接在玻管两端形成点灯电极,因为玻管与电极接触,玻璃成为电介质材料,在交流电场的作用下,会因极化或吸收效应导致部分电能转化为热能而损耗,这种电能损失称为介电损耗,它会转化成热能,导致电极材料附近的玻管表面发热。玻管的介电损耗主要是迁移损耗,迁移损耗是由电导损耗和松弛损耗构成,其大小主要决定于网络外体离子的浓度、离子活动的程度和结构强度等因素。因此,在玻管化学成分中凡是增大电导率的氧化物都会增大介电损耗。含碱金属氧化物玻璃具有较大的介电损耗,使用碱金属氧化物的优选次序为 K<sub>2</sub>O、Na<sub>2</sub>O、Li<sub>2</sub>O。

#### 1.2 成形范围宽

CCFL 玻管为圆管形玻璃材料,玻管的成形方法分为丹纳法、维络法、垂直引上拉管法、垂直引下拉管法。对于直径 1.8~4.0mm 的玻管,适宜的生产方法包括丹纳法、维络法、垂直引下拉管法,不论采用那种方法,均需要有较宽的成形范围才能成形为高精度玻管,根据玻璃拉管成形工艺,一般以  $\Delta T(\Delta T = T_w - T_d, T_w = 10^{4-5} \text{dPa} \cdot \text{S}; T_d = 10^{11.5} \text{dPa} \cdot \text{S})$  表示玻璃成形范围,  $\Delta T$  越大其成形范围越宽。根据经验,

田英良:男,1969年生,硕士,副教授,中硅会电子玻璃分会秘书长,主要从事新型玻璃材料研究与开发工作 E-mail: boli106@126.com

到尺寸精度高的玻管； $\Delta T \geq 570^\circ\text{C}$ 能维持高的尺寸精度和成形速度。因此，研制开发玻管的成形温度范围以  $\Delta T \geq 500^\circ\text{C}$  为宜。

### 1.3 液相温度低

如果在玻璃细管成形时结晶，则很难得到尺寸精度高的玻管。玻璃液相温度的高低表示玻璃结晶发生的容易程度。建议液相线粘度为  $105\text{dPa}\cdot\text{s}$  以上，这样可以在正常机械成形条件下获得高精度玻管和批量规模生产。对于 CCFL 玻管的液相线以温度小于  $1000^\circ\text{C}$  为宜。

### 1.4 气线结石少

气线和结石是玻管制造过程中的 2 类典型缺陷。气线是玻璃成形过程中的气泡因拉管成形导致变形的特征表现，大量气泡的存在破坏了玻璃制品的均匀性、透光性、机械强度、电学性能和抗热震性能，严重影响了玻管质量。气泡是玻璃在熔融温度下所保留下来的气态夹杂物，产生的气泡分为 3 类，第一类是所谓的澄清气泡(一次气泡)，是在初熔及澄清之后残余在玻璃中的气泡；第二类是玻璃熔体中大体已不存在气泡以后，在某一时间又从玻璃中析出所溶解的气体而形成的气泡，称为再生气泡，也叫二次气泡(重沸气泡)；第三类是一些夹杂的气态、液态或固体异物的气泡，它们是空气泡、耐火材料气泡、铁质气泡、污染气泡等，这类泡通称杂质泡，分清气泡是属于 3 类中的哪一类就可推测气泡缺陷是在熔化池的哪个区域产生的，这对采取什么样的缺陷消除措施至关重要。

结石是玻璃体内最危险的缺陷，它不仅破坏了玻璃制品的外观和光学均一性，而且降低了制品的使用价值。结石与其周围玻璃的膨胀系数相差愈大，产生的局部应力也就愈大，这就大大降低了制品的机械强度和热稳定性，甚至会使得制品自行破裂。结石分为：(1)未熔化的颗粒；(2)耐火材料结石；(3)玻璃液的析晶结石；(4)外来夹杂物结石。

### 1.5 紫外截止好

CCFL 的背光模块中使用的反光板及扩散片均为有机材料，CCFL 所发出的紫外光线将会导致有机材料的恶化，甚至影响到光通量，降低背光亮度，影响画面的色彩饱和度。为了使 CCFL 所发出的紫外光线不向外泄露，必须采用具有紫外截止特性的玻管。目前，使用较多的紫外截止剂包括  $\text{CeO}_2$ 、 $\text{TiO}_2$ 、 $\text{WO}_3$  等。

### 1.6 耐曝晒性好

玻璃材料在高能粒子或光线照射时，将发生离子能级的改变，改变离子价态。从外观表现来看，能使玻璃着色而导致玻管的光通量下降。所以必须设计具有耐曝晒的玻璃成分体系。高价态氧化物具有耐曝晒功能，比如  $\text{CeO}_2$ 、 $\text{TiO}_2$ 、 $\text{Nb}_2\text{O}_5$ 、 $\text{Ta}_2\text{O}_5$  等。常用的澄清剂  $\text{Sb}_2\text{O}_3$ 、 $\text{As}_2\text{O}_3$  会产生曝晒现象，应该禁止使用。

### 1.7 表面密度小

TFT-LCD 相比传统 CRT(Cathode ray tube)的优势在于其轻薄化，尤其对于笔记本电脑的显示面板，更要求其轻薄化，因此，必须要求配套的玻管轻量化、微小化、强度高。在玻璃成分设计上，宜选用玻璃密度较小的玻璃体系，较佳

的玻璃体系为硼硅玻璃体系。

## 1.8 玻璃强度高

CCFL 背光模块使用的玻管基本为细径薄壁产品，一般是将其两端固定于模块上，对于边侧式背光源，由于灯管的自重会导致灯的中央下垂，如果 CCFL 产生翘曲，将产生背光的干涉现象。因此，设计开发玻管成份体系时宜考虑高弹性模量的硼硅玻璃，并且制灯时宜选用长度与壁厚比合理的玻管。

## 1.9 尺寸精度高

CCFL 生产大多以机械自动生产为主，为了有效提高玻管上机制灯要求，必须保证其直径和壁厚偏差小于  $\pm(0.03\sim 0.05)\text{mm}$ ，其平直度也至关重要。

## 1.10 水银消耗小

目前，CCFL 仍以水银作为点灯介质，通过电极放射电子，激发水银后，使用水银发射  $253.7\text{nm}$  紫外线，紫外线使荧光粉发光。因此，制灯工艺过程中需要封入一定量的水银。目前，CCFL 寿命被要求不断提高，已从  $1\text{万 h}$  提高到  $5\text{万 h}$ 。如果想提高 CCFL 的寿命，就必须减少水银的消耗。从玻璃成分设计角度来看， $\text{Na}_2\text{O}$  与水银会生成汞钠齐，因此玻管必须降低  $\text{Na}_2\text{O}$  用量。

## 2 CCFL 玻管规格与外观要求

CCFL 玻管是一种高精度硼硅玻璃细管产品，其通用产品规格及偏差控制指标如表 1 所示。另外对产品的平直度有较高要求，其评价方法为取长度大于  $1250\text{mm}$  的整根玻璃管，放于  $4^\circ$  倾角的玻璃板或光滑塑料板上端，其在自身重力作用下，能够沿斜坡滚落到斜坡下端即为合格；壁厚的薄厚偏差小于  $\pm 10\%$ ；椭圆度小于外径的  $\pm 1\%$ ；结石与节瘤尺寸小于  $0.3\text{mm}$ ；气线长度小于  $20\text{mm}$ ，宽度小于  $0.1\text{mm}$ ；表面划痕宽度小于  $0.1\text{mm}$ ，长度小于  $10\text{mm}$ 。

表 1 CCFL 玻管产品规格

Table 1 The specifications of CCFL glass tube products

外径及偏差/mm	壁厚及偏差/mm	长度及偏差/mm
$1.80\pm 0.05$	$0.20\pm 0.02$	$1550\pm 30$
$2.00\pm 0.05$	$0.20\pm 0.02$	$1550\pm 30$
$2.20\pm 0.05$	$0.20\pm 0.02$	$1550\pm 30$
$2.40\pm 0.05$	$0.30\pm 0.03$	$1550\pm 30$
$2.60\pm 0.05$	$0.30\pm 0.03$	$1550\pm 30$
$3.00\pm 0.05$	$0.50\pm 0.05$	$1550\pm 30$
$3.20\pm 0.05$	$0.50\pm 0.05$	$1550\pm 30$
$3.40\pm 0.05$	$0.50\pm 0.05$	$1550\pm 30$
$4.00\pm 0.05$	$0.50\pm 0.05$	$1550\pm 30$

## 3 CCFL 玻管市场需求与预测

玻管依附于 CCFL 的发展，玻管是 TFT-LCD 产业的最上游原材料，根据 TFT-LCD 对背光源的需要状况，据权威机构 Display Search 统计，随着近年来消费类电子产品的日益普及和发展，LCD 行业发展迅速，行业平均增长率超过

30%，同时随着 LCD 生产技术的突破，LCD 面板尺寸增加显著，大尺寸面板所需的 CCFL 数量激增。随着液晶显示器和液晶电视的发展和普及，CCFL 市场前景十分广阔，但是同时也会面临 LED、EEFL、FFL 等的挑战，在 2010 年之前 CCFL 依然会占据霸主地位，并且仍然会以较高的速度增长。鉴于 LED 短期内仍无法克服成本偏高、发光效率低、晶体间的辉度及色度存在差异等原因，Display Search 对 LED 背光模组的出货量预测为：到 2010 年 LED 占背光源市场份额约为 10% 左右，在未来的 3~5 年内，LED 对 CCFL 市场份额的冲击也很小，2015 年以后才可能形成和 CCFL 并存的竞争格局。

2004 年以后随着 LCD-TV 的出现，CCFL 的需求呈现飞跃发展。随着 TFT-LCD 尺寸增大，CCFL 灯管数的需求量也在增加，如图 1 所示。

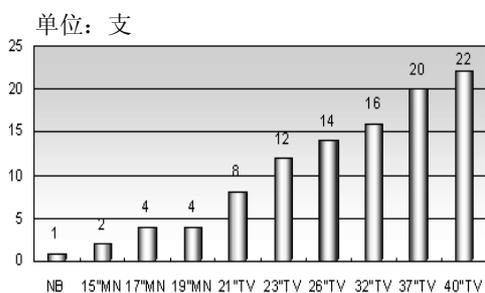


图 1 不同规格的 TFT-LCD 需求 CCFL 状况

Fig.1 The demand situation of CCFL with different specifications of TFT-LCD

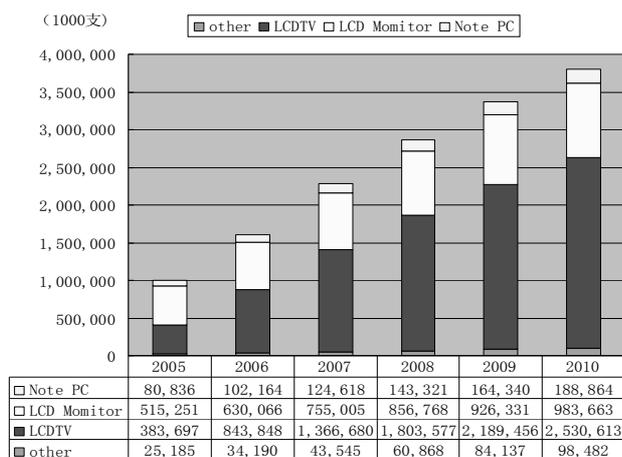


图 2 CCFL 市场细分与需求预测

Fig.2 The market segmentation and the demand forecasts of CCFL

Display Search 对 CCFL 历年的统计数据及对 2009 年和 2010 年的预测数据如图 2 所示，在 2005 年 CCFL 玻管实际需求超过 10 亿支；2006 年 CCFL 玻管实际需求达到 16.1 亿支，另外还有 1.5 亿支长度小于 10.4 吋规格的 CCFL；2007 年 CCFL 玻管实际需求达 22.9 亿支；2008 年 CCFL 玻管实际需求达到 28.6 亿支；预测在 2009 年 CCFL 玻管实际需求将达 33.6 亿支；2010 年 CCFL 玻管实际需求将达 38 亿支；按每支玻管平均质量为 5g 计算，考虑运输、制灯

过程中玻管裁切损耗、制灯损耗等因素，按 20% 计算损耗，预计在 2010 年玻管总计需求为 23750t。

## 4 CCFL 玻管化学组成及性能

玻管的生产主要由德国肖特公司(Schott)、日本电气硝子(NEG)、日本旭硝子(Asahi)3 家公司所垄断，而台湾铂京和苏州建大的玻管产量不足总量德 5%。各公司玻管成分样本值见表 2 (见文后附表)，以成分体系主要分为钨封接玻管( $\alpha=(38\pm 2)\times 10^{-7}K^{-1}$ )和钼封接玻管( $\alpha=(49\pm 2)\times 10^{-7}K^{-1}$ )，以钼封接玻管为主；从性能来看主要分为紫外截止型和非紫外截止型，目前以紫外截止型为主。采用的紫外截止剂多以  $CeO_2$ 、 $TiO_2$ 、 $WO_3$  为主，澄清剂以  $As_2O_3$ 、 $Sb_2O_3$ 、 $SnO_2$  为主。

## 5 CCFL 玻管发展趋势

### 5.1 玻管的规模化生产

2004 年以后 LCD-TV 市场的迅速开启导致了 CCFL 的大量需求，年增长率接近 50%，这个阶段是 CCFL 整个行业的快速发展阶段，同时牵引玻管行业进入快速发展阶段，在 2006 年出现货源极度紧缺状况。据预测 2007—2010 年 CCFL 玻管仍将以 20% 以上的速度增长。尽管增长速度下降了，但是每年玻管产品的需求量增长量仍是一个很大的数字，预期到 2010 年 CCFL 玻管需求量大约在 2.4 万 t 左右。CCFL 玻管生产技术的门槛相对较高，对其技术来源、装备要求、人员素养、生产经验都会有较高要求，同时对资金实力要求也较高，CCFL 玻管行业也会受 TFT-LCD 面板出货周期影响，每年下半年是面板出货旺季，因此，一般需要玻管企业有大约 3 个月的存货压款周期。玻管一旦被 CCFL 企业认证通过，必须保证具有持续的改进与提高能力，就产量规模来说，必须达到 4 炉 8 线以上的规模才是较佳的企业规模，否则很难成为一线 CCFL 生产企业的主要供应商。

### 5.2 具有高紫外截止性

对于 CCFL 玻管提出紫外截止的要求，主要是考虑到 CCFL 背光源以及 TFT-LCD 整个模组的有机元器件的保护，防止荧光中的紫外线透过玻管而损伤有机器件。自从 2005 年开始意识到紫外线对 CCFL 背光模块有机器件的损害后，玻管制造企业纷纷被要求改进原有的玻璃配方，例如 NEG 将 BFK 系列调整为 BKU，Schott 分别将 8270、8687 调整为 8271、8688，玻管的紫外截止限由原来的 253.7nm(汞的发射线)扩展到 313nm，同时要求玻管在 253.7nm 的紫外线透过率小于 1.0%，在 313nm 的紫外线透过率由原来的 20% 逐步缩小到 10% 以下。

### 5.3 性能的改进与提高

CCFL 玻管是保持真空度的理想材料，同时又是光线传输的介质材料，要求提高可见光透过率，保持 CCFL 高亮度。但是荧光中的紫外线具有较高能量，会使玻璃产生“曝晒”效应，导致玻璃着色，影响玻管的光通量，最终会使 CCFL 亮度降低。因此在玻璃成分设计和开发时应兼顾紫外截止与耐曝晒性。另外在 CCFL 制程的封接工艺中，必将涉及火焰

烧封过程,对于玻璃成分设计不合理时,将导致端部发黑,甚至玻管端部产生微小再生气泡,不仅妨碍了CCFL的外观效果,同时也影响了CCFL的机械性能和电学性能,应在玻管制备中减少硫酸盐、氧化铈、氧化砷等气源性原料的使用。

#### 5.4 改善玻管制灯收缩

目前,消费者不断提高对TFT-LCD的色彩要求,迫使CCFL不断提高色域范围,这样就必须在制灯过程中强化涂粉后的玻管热处理温度与时间,使荧光粉浆体中的有机介质挥发殆尽,以期改善CCFL使用中的真空度以及降低汞的消耗,现行的CCFL玻管成份是经过系统开发和优化的,充分考虑低密度、高强度、低介电损耗、紫外截止、封接电极等

因素后,最终选定硼硅玻璃体系。但是,该玻璃体系中含有超过16%的 $B_2O_3$ ,如果长时间施加超过其转变点以上的热处理温度,会使玻璃产生分相,导致玻管发脆,从而在组装或使用中出现灯管破损现象。另外,也会导致玻璃颜色变深,颜色变深原因有2种可能,一是分相导致,二是玻璃内某些离子在分相区结晶并呈现颜色所导致,颜色变深也是降低CCFL亮度的原因,但是这种现象被很多制灯企业所忽视。在外观尺寸上,严重的情况会发现其玻管长度方向上发生收缩,常被CCFL制灯企业称为“缩水”。有效解决方法有2种,一是调整荧光粉浆料粘附介质;而是改进玻璃组成,结合相图添加抑制玻璃分相和析晶的玻璃成分。

表2 CCFL玻管化学组成与性能参数

Table 2 The chemical composition and performances of CCFL glass tube

项目	牌号	Schott					NEG			Asahi
		8270	8271	8687	8688	8487	BFK	BKU	BFW	—
SiO <sub>2</sub>		69.3	65.7	75.2	73.3	75.9	67.5	69.23	76.0	68.8
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		2.72	3.23	1.48	1.23	1.4	4.0	4.19	1.0	3.4
B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		17.7	18.0	16.3	15.4	16.9	18.0	15.39	16.0	16.8
Na <sub>2</sub> O		0.85	0.69	3.78	3.51	3.8	1.0	1.27		0.64
K <sub>2</sub> O		7.26	6.72	1.44	1.27	1.5	8.0	3.44	6.0	7.20
Li <sub>2</sub> O		0.65	0.45			—	1.0	0.49		1.32
CaO		0.01	0.01	0.6	0.67	0.1		0.96		
MgO		0.01	0.01	0.4	0.41	0.4	0	0.49	1.0	
ZnO		0.59	0.63	0.001	0.001	—	—	0.001	—	
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		0.014	0.025	0.015	0.001	0.03	<0.02	0.007		0.011
As <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		0.083	0.097	0.002	0.084	—	0.6	—		
WO <sub>3</sub>										
TiO <sub>2</sub>		0.72	4.35	0.78	4.03	—	0.5	2.74		0.5
Sb <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		—	—	Cl0.15	—	—	—	0.64	0.25	
密度/(g/cm <sup>3</sup> )		2.28	2.29	2.25	2.27	2.25	2.27	2.30	2.25	2.28
$\alpha / 10^{-7}K^{-1}$		50.15	50.6	41.34	42.12	39.0	51.0	47.1	38.0	51.0
适宜电极材料		钼电极	钼电极	钨电极	钨电极	钨电极	钼电极	钼电极	钨电极	钼电极
$T_{k-100}$		377	390	300	309	300				
应变点 $T_{st}$ $\eta=10^{14.5}dPa \cdot s$		490	480	525	500	525	460	455	500	470
退火点 $T_a$ $\eta=10^{13.0}dPa \cdot s$		500	500	560	575	560	500	495	545	510
膨胀软化点 $T_d$ $\eta=10^{11.5}dPa \cdot s$		555	560	620	625	620	550	552	610	570
软化点 $T_s$ $\eta=10^{7.6}dPa \cdot s$		720	725	775	770	775	705	710	775	715
工作点 $T_w$ $\eta=10^{4.0}dPa \cdot s$		1055	1050	1135	1130	1135	1030	1055	1135	1020
$\Delta T = T_w - T_d$		500	490	515	505	515	480	503	525	450