

文章编号:1007-2780(2011)06-0741-05

胆甾型液晶显示技术和产业发展

张天翼¹, 许 军^{2*}, 董佳垚²

(1. 中国电子信息产业发展研究院 赛迪顾问股份有限公司, 北京 100048, E-mail: zhangty@ccidconsulting.com;
2. 复旦大学 材料科学系, 上海 200433)

摘 要: 以未来三年电子纸市场巨大的发展空间为切入点, 分析了现阶段几种柔性显示技术的优势和劣势, 认为胆甾型液晶显示在功耗、彩色化、对比度和抗震性等方面具有优势, 但成本恐将成为其发展瓶颈。从全球来看, 胆甾型液晶的研究和产业化主要集中在国外, 国内高校和研究机构还停留在基础研究阶段。介绍了复旦大学在胆甾型液晶领域的研究成果, 并结合我国产业环境及柔性显示产业发展特性给出三点发展建议。

关 键 词: 胆甾型液晶; 柔性显示; 技术; 产业; 发展建议

中图分类号: TN141.9 **文献标识码:** A **DOI:** 10.3788/YJYXS20112606.0741

Overview of Technology and Industry for Cholesteric Liquid Crystal Display

ZHANG Tian-yi¹, XU Jun^{2*}, DONG Jia-yao²

(1. CCID Consulting Co., Ltd, China Center for Information Industry Development, Beijing 100048, China, E-mail: zhangty@ccidconsulting.com;
2. Department of Materials Science, Fudan University, Shanghai 200433, China)

Abstract: E-paper market has great potential and huge development in the next three years. The advantages and drawbacks of the current flexible display technology nowadays were described. Cholesteric liquid crystal display technology has great advantage on consumption, colorization, contrast, aseismicity, etc. but the high cost will be a bottleneck for the further development and popularization. The advanced technologies and industrialization of cholesteric liquid crystal display technology were mainly controlled by the developed countries. The Chinese universities and research institutions still work on the primary studies. Fudan University's research findings on the cholesteric liquid crystal display was described in this paper. Combining the characteristics of flexible display industry and the industrial environment in China, three suggestions were proposed.

Key words: cholesteric liquid crystal; flexible display; technology; industry; development proposal

1 引 言

胆甾型液晶材料具有螺旋状结构和双稳态特性^[1-3], 其近期的研究热点聚焦于反射式显示, 逐

渐成为电子纸等柔性显示技术的关键技术和材料之一。肯特大学研究人员提出的聚合物稳定胆甾型液晶显示模式, 改善了胆甾型液晶的化学稳定性, 推动了其在显示领域的应用^[4-8]。

收稿日期: 2011-09-06; 修订日期: 2011-09-23

作者简介: 张天翼(1982—), 男, 北京人, 博士, 主要从事平板显示领域产业研究工作。

* 通讯联系人, E-mail: junxu@fudan.edu.cn

尽管胆甾型液晶材料被业界看好,具备应用的潜质,但经过近几年的发展却没有形成规模,市场占有率不敌电泳式电子纸技术^[9-10]。本文以电子纸显示市场的需求为导向,分析了胆甾型液晶显示的技术发展和应用趋势,提出了胆甾型液晶显示技术的发展出路和建议。

2 电子纸显示市场规模和预测

2000 年以来,以电泳式和胆甾型液晶技术为代表的电子纸显示进入了人们的视线。改变了传统书籍独占市场的局面,经过 10 余年的发展,全球电子纸显示已经形成 150 亿元的庞大市场,并有望在 2013 年达到 200 亿元的市场规模。表 1 所示为全球电子纸市场规模与趋势。

表 1 全球电子纸市场规模与趋势

Table 1 Market scale and trend of global E-paper industry

年度	销量/ 万台	增长率/%	销售额/ 亿元	增长率/%
2007	18	-	5.9	-
2008	108	500.0	28.5	379.5
2009	395	265.7	94.4	231.4
2010	664	68.1	124.9	32.3
2011	900	35.5	150	20.1
2012	1200	33.3	170	13.3
2013	1500	25.0	200	17.7

数据来源:赛迪顾问,2011.05

面对如此巨大规模的市场,胆甾型液晶要解决两大问题:

- (1)如何在电泳式技术的竞争中胜出,以获得更多的电子纸显示市场份额;
- (2)如何推动胆甾型液晶技术的成熟发展,提升产品性能,开发更多类型的新产品,以差异化竞争路线获得终端市场的认同。

3 胆甾型液晶显示产品的发展趋势

3.1 胆甾型液晶显示的特点

胆甾型液晶是按液晶分子排列方式划分,区别于近晶型和向列型之外的一类独特的液晶材料。其分子依靠分子端基相互作用保持平行层状排列,层内的分子排列类似于向列型液晶有序平行排列,分子层间倾向于按照螺旋结构进行排列。

胆甾型液晶具有双稳态特性,这是其应用于电子纸显示的基础。在施加不同强度外电场作用的情况下,胆甾型分子的螺旋结构发生改变而分别呈现亮和暗的状态。在亮的状态下,液晶分子处于平面态,液晶分子螺旋轴与基板表面基本都垂直,这时若螺距与入射光波长相近或相等,满足布拉格反射条件,则该波长的入射光就会被反射。相反,如果螺旋轴与基板表面在暗态时基本都平行,液晶分子呈现不规则排列时,入射光被散射,或被下基板表面的吸收层所吸收,没有光线射出。

作为一种反射式显示技术,胆甾型液晶显示可采用无源矩阵方式进行驱动,不需要背光源和偏振片。若需要获得彩色显示,可以通过添加不同螺距的旋光剂获得不同波长光的反射,而不需要彩色滤光片。

尽管胆甾型液晶显示还不足以取代现有的液晶显示,但不妨碍其发挥低功耗的彩色显示特性在电子书阅读器、手机、闪存盘、公告栏、包装与标签等领域的优势。如果经过更进一步发展实现柔性显示,胆甾型液晶显示的发展空间将进一步扩大。

3.2 胆甾型液晶显示的技术比较与发展趋势

胆甾型液晶的产品应用以富士通为代表,于 2009 年 3 月实现产品量产。该类产品同其他显示技术相比,主要在成本、彩色化以及显示模式等方面存在差异。

首先,成本是胆甾型液晶等柔性显示技术推广应用的障碍之一。成本问题,归根结底还是技术问题。目前高端电子书的价格约在 400 美元左右,如果是柔性显示产品价格会更高;但在苹果 iPad 的带动下,平板电脑密集上市,国产 Pad 产品价格已低于 2 000 人民币。消费者在面临柔性和低价的选择时,平板电脑的优势更明显。因此,如果成本问题不能得到解决,柔性的电子纸产品将无法在激烈的中小尺寸显示市场中获得足够大的市场份额。

其次,彩色化是传统电子纸技术难以解决的核心问题。胆甾型液晶可以直接实现彩色化,而不需要彩色滤光片的配合,这是优于 E-Ink、SiPix 等电子纸技术最为显著的特点。因为彩色滤光片的使用会使亮度显著降低约 2/3,只有增大功耗,才能获得足够的亮度。

反射显示模式是胆甾型液晶在未来有望胜出

的主要特征。不管是传统的电子纸技术还是新型的 OLED 显示，都只能基于主动显示的特性进行产品应用环境的设计；但液晶由于自身不发光，因此可以设计为反射显示模式，这已经在普通液晶显示的产品中得以实现。反射模式使胆甾型液晶产品能够在室外及光线较强的环境下使用，而无需调高亮度，可以实现产品低功耗、长续航时间的使用。

最后，采用塑料基板制作的胆甾型液晶显示器件不仅具有良好的抗震性能，更能极大地降低制造成本。按照玻璃基板占液晶器件的 20% 计算，塑料基板有望大幅降低器件成本。这对于克服现阶段胆甾型液晶显示器件高成本的劣势，具有积极意义。

能够实现全彩色反射式柔性显示的胆甾型液晶，为未来柔性显示技术的发展打开了空前的想象空间，这一预期甚至超过被誉为“梦幻显示”的 OLED 技术。有研究人员进行过手机显示屏的对比，分别将 Super-LCD 和 Super-OLED 屏幕的手机同时放在太阳光下进行直视观察的比较，OLED 屏幕的效果不尽如人意，几乎无法辨别屏幕的内容，效果远不如液晶屏幕。由此可见，反射显示在未来大有发展空间，也预示着胆甾型液晶在柔性显示产品中具有优势。

4 胆甾型液晶显示研究现状

胆甾型液晶显示应用的研究在国外及台湾地区开展得比较成熟，美国肯特大学液晶研究所和 ADS 公司率先报道了胆甾型液晶的显示原理和材料选择。台湾工研院^[11]、富士通^[12-13]、LG 和三星的研究集中在器件方面，德国 Merck^[14-15]、日本 Fuji Photo、Minolta Camera^[16-17] 和东芝^[18] 主要致力于胆甾型液晶材料方面的研究，先后实现了黄、绿、黑白和全彩显示。Philips 公司于 2002 年 SID 上展示了柔性胆甾型液晶显示器，总厚度仅为 250 μm 。2004 年，松下电器产业推出了基于胆甾型液晶的蓝色双屏电子书。富士通在 2005 年发布了世界上第一款具有记忆功能的可显示彩色的薄膜基板电子纸，采用重叠 RGB 三层单色胆甾液晶面板，通过不同层的切换和组合的方式实现全彩显示。这款产品的缺点是难于进行驱动控制以及视角较窄。但在 2 年之后，富士通又公布了以胆甾型液晶显示技术开发的一款配备彩色电

子纸显示屏幕的平板装置，尽管只出产了少量产品，但其公布的数据显示，这一款电子纸显示屏幕对比度为 4:1，反射率是 30%，视角为 110°，屏幕色彩可在 8~4 096 色之间转换，而影像刷新速度分别为 2.3 s 和 10 s，可见胆甾型液晶显示器件的响应速度还有提升空间。同年，美国肯特显示公司采用分相的全色叠层模式，制造出了柔性彩色胆甾型液晶显示相框^[19]。

在刚刚结束的 SID2011 会议上，台湾的 C. Liang 等发表了关于低成本、全彩色、低电压以及无串扰驱动的胆甾型 QVGA 液晶显示器件，这是目前最新的研究成果之一^[20]。为了实现低成本的目标，C. Liang 采用在柔性基板上以卷对卷 (roll to roll) 工艺进行器件制备，器件采用单层结构，如图 1 所示。最终获得器件外观如图 2 所示，为 12.7 cm(5 in) 的 QVGA 全彩色胆甾型液晶显示器。

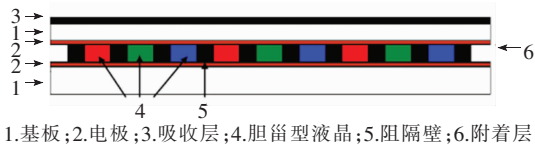


图 1 单层彩色胆甾型液晶显示器件结构

Fig. 1 Structure design of the single-layer color Ch-LCD



图 2 12.7 cm(5 in)QVGA 全彩胆甾型液晶显示器

Fig. 2 Full color Ch-LCD of 12.7 cm(5 in) QVGA

我国的胆甾型液晶显示的研究主要集中在高校和研究机构，包括复旦大学、电子科技大学、大连海事大学、合肥工业大学、云南大学、香港科技大学和台湾工研院等。

复旦大学开展了柔性单、多色胆甾型液晶显示器件样机的研制工作，目前已取得了初步成果。基本原理是利用胆甾型液晶分子螺距对光反射的选择性和色彩在纵向空间的混加效应实现彩色显示，分别采用分相法和乳液法制备单层柔性胆甾液晶材料。器件有望实现柔性多彩化显示，又能

够具有高抗震性,器件结构中共享电极的设计可以有效提高反射效率,增加亮度和对比度。

胆甾相液晶在无外加电场时呈现出平面态(图 3),外加一个脉冲电压后发生相变,转变到焦锥态图(图 4),再外加一个高脉冲电压,又从焦锥态退回到平面态。

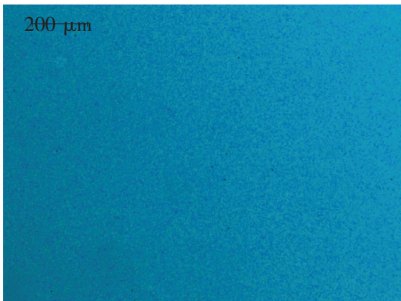


图 3 胆甾相液晶平面态偏光显微镜照片
Fig. 3 POM photo of planar state of cholesteric liquid crystal



图 4 胆甾相液晶焦锥态偏光显微镜照片
Fig. 4 POM photo of focal conic state of cholesteric liquid crystal

胆甾型液晶在初始平面态视场出现畴,如图 5 所示。在加电压转变为焦锥态后再回复为平面态时,畴会消减从而得到较完美的平面态,如图 6 所示。



图 5 胆甾相液晶含有畴的平面态偏光显微镜照片
Fig. 5 POM photo of planar state of cholesteric liquid crystal with domain

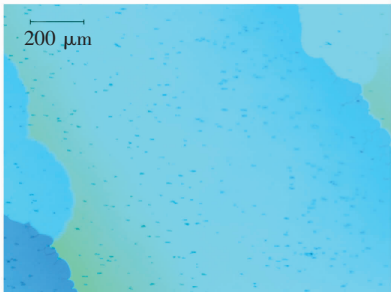


图 6 胆甾相液晶恢复为平面态的偏光显微镜照片
Fig. 6 POM photo of planar state of cholesteric liquid crystal without domain

5 我国柔性显示产业发展建议

过去几十年间,我国的显示产业发展始终落后于欧美和日韩,这主要是我国企业和研究机构在设备、工艺及产业化等方面存在弊端。

现阶段,柔性显示已成为业界关注的发展趋势,国家也将新型显示列为重点扶持发展的战略性新兴产业和支柱性产业。结合产业发展特点和我国的产业环境,给出如下发展建议:

(1)柔性显示是未来发展的趋势,国家应提早进行产业重点布局。

在 2009 年出台的《电子信息产业调整和振兴规划》中,没有明确提到柔性显示,只将其归类于“新型显示”的范畴,2011 年工信部电子信息产业发展基金项目申报指南中也没有明确提到柔性显示。这一方面反映出柔性显示技术和产业尚未成熟,另一方面也暴露出国家层面对产业扶持力度不够,没有积极推出有效措施推动柔性显示产业发展。

(2)鼓励学术界百家争鸣,支持产业界择优发展。柔性显示产业尚在起步阶段,国内相关研究机构各自选择不同的技术路线,政府应采取鼓励的态度。但对于不同企业,政府应支持其选择最具有产业化前景、风险最低的技术路线,充分发挥政、产、学、研互动优势,有助于尽快实现国内柔性显示产品走入市场。

(3)把握重点技术领域和关键工艺环节,加强人才队伍建设。柔性显示技术的核心技术大多在国外高校和企业手中,国内企业和研究机构可以通过人才引进和培育的方式,实现产业自我提升。广东省提出产业发展“靶向引才育才”的思路值得借鉴,重点引进产业发展关键环节的技术人才和

经营管理人才,将有效推进产业的发展和企业规模做大。

6 结 论

从电子纸产品市场的角度入手,分析了各种柔性显示技术的异同,剖析产业技术发展现状,并给出了三点发展建议。未来三年电子纸

产品市场将保持 25% 以上的年增长率,市场发展空间巨大。胆甾型液晶显示方式在彩色化和亮度、对比度等方面均优于 E-ink 技术,在功耗和室外使用的对比度方面优于 OLED,但成本是制约胆甾型液晶显示产品产业化的主要因素。随着技术的改进,引入 roll-to-roll 制程工艺,将有望降低成本。

参 考 文 献:

- [1] 黄维,边震宇,肖久梅,等. 具有宽波反射特性的手征向列相液晶的研究进展[J]. 液晶与显示, 2009, 24(3): 322-332.
- [2] 苑梦尧,邓罗根. 液晶盒边界效应对胆甾相液晶电控螺距的影响[J]. 液晶与显示, 2010, 25(1): 21-28.
- [3] 何正红,叶志成,苏翼凯. 胆甾型液晶彩色滤光片分析[J]. 液晶与显示, 2010, 25(4): 538-541.
- [4] Kim J Y, Cho C H, Palfy-Muhoray P, *et al.* Polymerization-induced phase separation in a liquid-crystal-polymer mixture[J]. *Phys. Rev. Lett.*, 1993, 71(14): 2232-2235.
- [5] Yang D K, Doane J W, Yaniv Z, *et al.* Cholesteric reflective display: Drive scheme and contrast[J]. *Appl. Phys. Lett.*, 1994, 64(15): 1905-1907.
- [6] Yang D K, West J L, Chien L C, *et al.* Control of reflectivity and bistability in displays using cholesteric liquid crystals[J]. *J. Appl. Phys.*, 1994, 76(2): 1331-1333.
- [7] Khan A, Shiyanovskaya I, Schneider T, *et al.* Reflective cholesteric displays: From rigid to flexible[J]. *J. Society for Information Display*, 2005, 13(6): 469-474.
- [8] Yang D K. Flexible bistable cholesteric reflective display[J]. *J. Display Technology*, 2006, 3(1): 32-37.
- [9] 冯宇光,滕枫,黄世华. 4-乙烯基吡啶对电子纸用电泳粒子形貌的影响 [J]. 液晶与显示, 2010, 25(5): 649-655.
- [10] 李文波,徐征,张卓,等. 微胶囊电泳显示与 TFT-LCD 之比较分析[J]. 液晶与显示, 2010, 25(4): 576-581.
- [11] Sha Y A, Liao C C, Fuh A Y, *et al.* Paper-like cholesteric liquid crystal display[J]. *Proc. SPIE*, 2005, 39: 5741-5745.
- [12] 能势将树,富田顺二,黑崎义久. 液晶组成物、利用该液晶组成物的液晶显示元件以及具有该液晶显示元件的电子纸张: 中国, 200580050927. 5[P]. 2007-12-28.
- [13] 菊池裕嗣. 液晶显示元件: 中国, 20058008822. 3[P]. 2006-09-19.
- [14] Parri O, Nolan P, May A, *et al.* 手性掺杂剂: 中国, CN1223657[P]. 1999-07-21.
- [15] Peer K, Andreas T, Detlef P, *et al.* Chiral compounds; USA, US20030175445[P]. 2003-09-18.
- [16] Hatano T, Hashimoto K, Kobayashi N. Composite material, display device using the same and process of manufacturing the same; USA, US5731861[P]. 1998-03-24.
- [17] Kobayashi N, Hashimoto K, Hatano T. Liquid crystal element having composite layer; USA, US6015507[P]. 2000-01-18.
- [18] Crawford P. Bistable reflective display and methods of forming the same; USA, US5956113[P]. 1999-09-21.
- [19] Lu S Y, Golovin A, Chien L C. Electrically switchable mirrors based on polymer-stabilized cholesteric liquid crystals[J]. *Proc. SPIE*, 2007, 6487: 64870P.
- [20] Liang C C, Liao Y C, Chen C J, *et al.* A low cost, full color cholesteric LCD with low voltage and crosstalk-free drive scheme[J]. *SID Symposium Digest of Technical Papers*, 2011, 42(1): 404-407.