



- 科学传播
- ☑ 科普动态
- ☑ 科普文章
- ☑ 科学图片

现在位置: [首页](#) > [科学传播](#) > [科普动态](#)

柔性显示材料技术进展

不论是濒临消失的CRT, 还是现今主流的LCD, 本质上都属于传统的刚性显示器。与普通的刚性显示器相比, 柔性显示器具有诸多优点: 耐冲击, 抗震能力更强; 重量轻、体积小, 携带更加方便; 采用类似于报纸印刷工艺的卷带式工艺, 成本更加低廉等。目前主要的柔性显示材料大致可分为三种: 电子纸(或柔性电泳显示)、柔性OLED和柔性液晶等, 其中又以电子纸最为广泛。本期专题简要介绍了这三种柔性显示材料的研究进展情况。

一 电子纸

在很多人看来, 电子纸(e-paper)与电子墨水(E ink)、电泳显示(Electrophoretic Display, EPD)是等同的。其实不然, 电子纸并不是只有电子墨水一种, 还有高通公司的mirasol电子纸、普利司通的电子粉流体技术电子纸、富士通的胆甾醇液晶电子纸、友达的SiPix电子纸等。但是由于E ink电子纸市场占有率极高, 人们在提到电子书的时候往往只提E ink电子纸。市场上的E ink电子纸多是采用EPD原理, 其他原理的电子纸投产日期还无法预计, 这使得EPD几乎成了电子纸的代表, 而E ink则是EPD中出货量最大的产品, 理所当然成为了EPD的代表。因而, 在人们的印象中e-paper≈EPD≈E ink。

1 E ink技术电子纸

作为业内先驱的美国E Ink公司1已经持有许多电子墨水技术的专利。电子纸显示器基板是由多个微小的腔袋(pocket)组成, 腔袋中包含悬浮在不透明液体中的带电粒子。迄今市场上出现的部分电子纸产品如表1所列。

2 E ink技术之外的电子纸

(1) 电子粉流体技术电子纸

电子粉流体(Liquid Powder Display, LPD)电子纸技术是普利司通公司在2004年推出的。与电泳显示技术类似, 它也利用微粒在电场中的运动来显示图像和文字, 所不同的是它采用的是纳米级别的树脂颗粒。这些纳米颗粒具有神奇的特点, 它们的运动特征像真正的流体那样, 因此被称为电子粉流体。

在FPD 2007上, 普利司通展示了改进的QR-LPD(Quick Response-Liquid Powder Display)双色电子纸, 仅厚0.29 mm, 画面尺寸9英寸。该公司表示, 通过改进电子粉流体技术, 实现了较以前更清晰的显示, 显示基板也从过去的玻璃材料改为全

表1 部分电子纸产品一览表

生产公司	产品名称	备注
SONY	Sony Librie、Sony Reader以及iRex iLiad	均由E Ink生产的电泳影像薄膜制造。Sony Librie是

	子阅读器	首款采用EPD的商用产品，该电子阅读器于2004年4月在日本发布。
MOTOROLA		Motofone手机
VIT		欧洲的交通标志
Neolux和Midori Mark		零售标签
精工钟表	精工Spectrum	一款表盘使用电子纸的手表，该产品沿着手镯状的曲线，弯曲配置尺寸为25.6×78.5 mm的电子纸。全球仅限量发售500块。
LG. Philips LCD公司	电子纸	尺寸为14.1英寸。该产品融合了电泳型电子纸和该公司开发、采用不锈钢底板的柔性TFT底板。
精工爱普生		精细度达397 ppi，像素数2048×1536，产品画面尺寸为7.1英寸
三星	电子纸	2007年9月开发的A4尺寸、QXGA左右分辨率，精度为180 dpi
Polymer Vision	卷屏手机Readius	2008年推出，原计划2009年上市，后因各种问题有所推迟
Prime View International	有源矩阵电泳显示器 Flexi-e	采用聚酰亚胺基板
美国亚利桑那州州立大学柔性显示器中心	触摸屏主动矩阵显示器	2009年推出，世界首款
韩国三星电子	结合电子纸技术和视频显示技术，可切换的面板	像素320×RGB×240，可进行64色显示。反射率为10%以上，像素响应时间为25 ms以下。
Plastic Logic	电子纸	尺寸为10.7英寸，像素为1280×960。
.....		

塑料材料。此次组合使用的是红黄两色，只需更换颜料即可改变颜色，因此除原来的黑色及白色外，还可实现其它颜色。

普利司通4096色的彩色电子纸同样基于电子粉流体技术，结合采用滤色器实现彩色化。画面尺寸为8.1英寸，分辨率480×384像素。滤色器采用了在RGB三原色基础上加上白色的RGBW型，目的是确保亮度。但即便如此，还是无法避免滤色器导致亮度大幅降低的现象出现。

(2) 富士通的胆甾醇液晶电子纸

富士通公司在2005年开发了基于胆甾醇型液晶的彩色电子纸技术。胆甾醇型液晶的分子呈螺旋状，如果加以电场，随着电压脉冲的大小和时间的变化，胆甾醇型液晶的螺旋结构的轴向会相应变化，从而反射或者透过入射光。当螺旋的轴向与电子纸的平面方向一致时，就会反射入射光；当轴向与电子纸的平面方向垂直时，可以透过入射光。通过添加不同光学特性的旋光剂，液晶分子可以反射出不同颜色的光，因此采用胆甾醇液晶的彩色电子纸不需要滤光片和偏光板，可以实现超薄设计。此外，胆甾醇液晶型彩色电子纸擦写时需要的能量很小，A4尺寸仅为10-100 mW左右，这一能量与非接触IC卡差不多，可以轻松实现无限擦写。它的缺陷是色彩稍淡，擦写时间长达几秒钟，而且对压力较为敏感。富士施乐在IDW 2007上发布的胆甾醇液晶型彩色电子纸则比前者有了不小的进步，它的显示层为将胆甾醇液晶分散和保持在明胶阵列中的PDLC（高分子分散液晶）结构，同样为RGB3层显示层重叠，利用有机感光体和光写入来控制RGB各色的显

示层。它的亮度高、对比度大、色彩浓艳，擦写速度也较快，但依然对压力敏感。2009年3月，富士通推出了8英寸的彩色电子纸终端FLEPia，它可以显示26万色，但刷新时间长达8秒。不过，该设备配备了电磁感应笔，能够支持触摸输入。

（3）SiPix电子纸

图1 SiPix和E ink的细节对比

友达光电旗下SiPix使用的也是电泳显示原理，但采用的是微杯（microcup）封装，只有一种带颜色的粒子（白色或其它颜色）。游离时间较短，可以更快的显示文字。而且只控制一种带电粒子，刷新速度自然不会比E ink慢。但由于E ink屏幕技术更加成熟，多家厂商在使用E ink屏幕，专门为E-ink屏幕优化过的IC系统使得E ink屏幕翻页速度有了大幅度的提升。IC才是影响翻页速度的关键，在实际产品中，还说不定哪个会更快一些。在阅读效果上，E ink屏幕的反射率是40%左右，SiPix则在30%左右。对比度方面，E ink和SiPix的参数均为10:1左右。普通的报纸反射率在46%左右、对比度5:1。图1展示了SiPix和E ink的细节对比。

（4）电流体电子纸

美国辛辛那提大学以及Sun Chemical、Polymer Vision 和Gamma-Dynamics 三家公司合作开发，并于2009年5月在《自然·光电子学》杂志上报道了该电子纸技术。这种电子纸的主体是由疏水性材料制成的六角形像素，每个像素的中心是一个被称为“reservoir”（蓄液池）的用于储存色素的微小容器。

当电极施加电压时，色素扩散到reservoir外部，让像素显示颜色，停止施加电压时，扩散的色素会在杨-拉普拉斯疏水力的作用下返回reservoir中。该电子纸使用的色素由Sun Chemical公司负责提供，共有黑、蓝、黄、红4种颜色。Gamma-Dynamics和Polymer Vision表示，今后将致力于开发采用该技术的卷状电子纸。

（5）干涉调制显示电子纸

代表性的是Mirasol显示技术，是由高通全资子公司高通光电开发的一种新型显示技术，主要应用于手机的屏幕显示。工作原理与蝴蝶翅膀生成颜色的原理类似，Mirasol显示屏利用MEMS，以一种称为干涉测量调制的反射型技术为基础，利用环境光，不需要背景光，因此功耗大大降低。如果只是维持画面而不进行任何操作，Mirasol的功耗几乎为零。用于阅读电子书刊杂志和上网，E-ink显示器可持续7.3天，而Mirasol达到8.6天，如果用于观看视频，两者的差距将更为巨大。反射型Mirasol显示器还可根据周围的光照条件自动调节，使用户可在几乎所有环境下查看内容，包括在明亮的阳光下。但成本是一大问题。据称高通将在2011年初实现量产。

目前处在研制和开发阶段的彩色电子纸技术还有很多，包括双稳态液晶电子纸、反转乳液电泳显示电子纸、光电晶体电子纸、电致变色电子纸、电润湿电子纸等，其中一些已经进入实用化阶段。

3 未来发展方向

传统的电子纸可以用来显示静态文字和图片，但这还远远不能满足未来的需要。除了彩色以外，用户还希望电子纸的精细程度更高、色彩更绚丽、响应时间更快，能够实现手写和触摸输入，尺寸更大，还要更轻便。

在画质方面，电子纸的一个重要特征就是拥有类似纸质读物的高精细度，近年来上市的电子纸分辨率一般可以达到120-180 dpi，是普通液晶显示器的两倍以上。虽然显示精度很高，但色彩是电子纸的一个软肋，无论是显色数、饱和度还是色域，目前的彩色电子纸都不能与液晶和OLED显示相提并论，现在还没有厂商能够开发接近液晶色彩效果的电子纸。未来彩色电子纸在显示效果上达到液晶显示技术的水平是发展方向之一。

在视频播放方面，目前主流电子纸的刷新速度很难达到视频播放的标准。

在手写和触摸方面，可能将和彩色显示功能一起成为下一代电子书阅读器的标准配置。这就需要提高响应速度，实现较为快速的帧切换。

二 柔性OLED

1 柔性OLED

OLED是利用正负载流子注入有机半导体薄膜后复合发光的显示器件。而柔性OLED是以柔韧性好，具有良好透光性材料代替普通的OLED的玻璃衬底，其结构和发光机理与普通玻璃衬底的OLED器件相似。

OLED显示屏按照驱动方式，可分为被动式（PMOLED）和主动式（AMOLED）；按照发光材料，可分为小分子聚合物OLED和高分子OLED（PLED）。OLED技术被公认为最有可能实现柔性显示的下一代显示技术之一。迄今市场上出现的部分柔性OLED产品如表2中所列。

表2 部分柔性OLED产品一览表

生产公司	产品名称	备注
美国通用显示器公司（2003）	无源矩阵柔性显示器	塑料衬底厚度为0.175 mm，像素数量为500×400。
先锋（2003）	全彩PM-OLED柔性显示器	15英寸，160×120像素，重量3 g，亮度70 cd/m ² ，驱动电压为9V。
清华大学、北京维信诺公司（2003）	全彩色OLED显示屏	厚度为1.8 mm，最薄的只有0.5 mm。
台湾交通大学有机发光二极管研究实验室（2004）	可挠曲式有机发光二极管	将具有弹性的塑料基板取代传统的玻璃基板，卷曲度达到1.5 cm。
C.Charton、N.Schiller等（2005）		在柔性衬底上分别溅射了Al ₂ O ₃ 层和有机与无机交替多层膜，以阻隔氧气和水汽对器件的影响，器件亮度与玻璃衬底器件十分接近。
Plastic Logic（2005）	柔性OLED显示屏	10英寸，SVGA（600×800）有源矩阵性（AM），支持100 ppi分辨率，四级灰度，厚度不超过0.4 mm，低温PET基板。
索尼（2007）	全彩柔性OLED显示器	TFT驱动，2.5英寸、分辨率为160×120像素。1670万色的全彩显示，80 ppi。
索尼（2008）	全彩柔性OLED显示器	11英寸，厚度0.3 mm。
LG飞利浦	全彩柔性OLED显示器	对角线长度为4英寸，分辨率为320×240像素。
东京大学	片状“触摸输入元件”	利用PEDOT:PSS形成布线图案。像素尺寸约为7 mm×5 mm。
台湾工业技术研究院（2008）	柔性主动式OLED面板	4.1英寸，AM-OLED，厚度为0.2 cm，弯曲半径<1.5 cm，亮度达100

		cd/m ² , 分辨率为320×240
韩国LG显示器、美国通用显示器公司	柔性有源矩阵有机发光二极管	4英寸, 分辨率为320×240 (QVGA), 具有金属薄片底板。
三星电子	柔性有机EL面板	尺寸为81.6 mm×144 mm×0.26 mm, 像素为WQVGA (272×RGB×480), 分辨率为84.1 ppi, 灰阶为256。
美国通用显示器公司、韩国LG显示器	手镯造型的有机EL显示器	画面尺寸为4英寸 (81.6 mm×61.0 mm), 像素为QVGA (320×RGB×240像素), 分辨率100 ppi。
美国亚利桑那州州立大学柔性显示器中心、美国通用显示器公司	有机EL面板	4.1英寸, 采用单色绿色发光, 像素为320×240 (QVGA)。
美国通用显示器公司	柔性有源矩阵OLED显示器样机	与韩国LG显示器公司、美国L-3显示系统公司展开合作, 并得到美国陆军资助。
索尼	可缠绕型有机EL面板	厚度仅为80 μm、曲率半径为4 mm的4.1英寸。最出色的技术特点是PXX衍生物。
TDK	“柔性”以及可看到背面的“透明”有机EL面板	均为无源矩阵方式。柔性有机EL面板的厚度只有0.3 mm以下, 采用树脂基板。彩色显示产品重1.11 g, 单色显示产品重0.96 g。
.....		

比玻璃衬底差, 这不符合表面要求。大部分淀积技术是共形的, 制备的薄膜会复制衬底的面形态, 使得衬底以上的各层都凹凸不平。这会造成器件的短路, 引起器件损坏;

(2) 熔点低

柔性衬底的熔点很低, 而OLED基板的工艺温度却很高, 所以, 在制作过程中柔性衬底会变形甚至熔化。即使温度较低的环境中, 柔性衬底尺寸也不稳定, 这给多层结构的OLED制作在精确地整齐排列上带来了很大的困难;

(3) 寿命短

OLED对水蒸汽和氧气都比较敏感, 而大部分柔性衬底的水、氧透过率均比较高。当水汽和氧气进入到器件内部时, 会影响阴极与发光层之间的粘附性、使有机膜层内发生化学反应。这些都会导致器件的光电特性急剧衰退, 造成器件迅速老化、失效。与玻璃衬底相比, 塑料衬底对水汽和氧气的隔离及对器件防老化的保护作用都不够理想, 无法满足显示器连续工作超过10000小时的寿命要求;

(4) ITO薄膜易脱落

为了配合熔点低的柔性衬底, 只能在低温下淀积ITO导电薄膜, 制成的ITO导电薄膜电阻率高、透明度差, 与柔性衬底之间的粘附性不好, 在弯曲时易折裂, 造成器件失效。由于常用的柔性衬底PET与ITO的热膨胀系数相反, 在温度变化时, 一个收缩, 另一个则膨胀, 因此ITO薄膜比

较容易脱落重。另外，在工作过程中，也会因为器件发热而导致ITO导电薄膜脱落。

三 柔性液晶

1 柔性液晶

柔性液晶显示主要有柔性双稳态液晶显示、柔性铁电液晶显示、柔性聚合物分散液晶显示，以及柔性聚合物网络显示。相比柔性OLED和EPD显示技术，柔性液晶显示器制作工艺简单、成本低廉，可实现彩色显示，可用无源或有源矩阵驱动。迄今市场上出现的部分柔性液晶产品如表3所列。

表3 部分柔性液晶产品一览表

生产公司	产品名称	备注
精工爱普生（2001）	TFT LCD	0.7英寸QVGA，428×328像素，SUFTLA工艺，多晶硅TFT。
夏普（2002）	TFT LCD	4英寸反射彩色TFT LCD，85 ppi，240×RGB×240像素，孔径比92%，非晶硅TFT。
东芝（2002）	TFT LCD	8.5英寸SVGA彩色TFT-LCD，厚0.4mm，重20g，LTPS TFT。
索尼（2003）	TFT LCD	3.8英寸反射彩色LCD，320×RGB×240像素，PET衬底，多晶硅TFT。
东芝（2004）	LCD面板	多晶硅TFT。
三星（2005）	LCD面板原型	5英寸，100 ppi，400×RGB×300像素，PES衬底，厚1.2 mm，重22 g。
韩国汉阳大学	柔性LCD	通过PILCD（Pixel-Isolated LCD）提高机械稳定性。
惠普实验室	柔性LCD原型	采用塑料基板上的双稳态无源矩阵彩色LCD。
友达光电	曲面LCD显示屏幕	第一片以玻璃为基板制成，采用了精密的Cell薄化技术。
东芝（2010）	液晶面板	8.4英寸、0.1 mm厚、800×600像素（SVGA）。
.....		

2 柔性液晶显示未来发展方向

LCD的柔性化仍然存在三大难点。其一，玻璃柔韧性并不理想。玻璃板必须尽可能的薄以提高其柔韧性，而如果玻璃基板达不到厚度的要求，改用其它材料代替则需大幅改进工艺，成本压力极大。其二，LCD的图像取决于聚合物之间的单元间隙，面板的弯曲会造成间隙改变，进而影响图像质量。其三，背光模块的设计难度会大幅增加，保证屏幕亮度均匀性就显得尤为困难。

在LCD面板的制作过程中需要真空蒸镀与刻蚀工艺，因此基板除了要耐高温外，还得耐强酸强碱的腐蚀。而塑料只能承受相对较低的生产温度，该温度通常比显示材料工艺中所用的温度低得多，而且塑料在强酸、强碱下老化迅速，因此并不适合作为LCD基板。在没有其他合适材料的替代下，继续采用玻璃作基板成了不二选择。

四 其他柔性显示技术——等离子管阵列

简单来说，等离子管阵列（Plasma Tube Array, PTA）主要组件是多条极细的等离子管，而

这些等离子管的直径非常接近显示器的厚度。这些等离子管分为红、绿、蓝3色，排成阵列，夹在两片电极板中。由于厚度很薄且由多条长管阵列而成，犹如竹席一样，故而能够弯曲。其基本构造如图2所示。

篠田等离子公司在2008年5月即发表125寸的弧形PTA面板原型，长3 m、宽1 m，解析度为960×360像素，重量仅3.58 kg，显示器最薄处仅1 mm厚。2009年5月，篠田电浆再发表另一弧型PTA显示器原型，这次达145寸，解析度为960×720像素，重7.257 kg。

图2 PTA构造示意图

富士通旗下富士通先端科技与篠田等离子合作研发等离子管阵列技术，目标仍是大型户外数字告示显示设备，并可装置于弧形平面上。双方于先前曾发表145寸大型弧型PTA显示器原型，并曾于2010年5月举行的Fujitsu Forum 2010上，展示圆柱型显示器。2010年9月，双方将圆柱型大型显示器正式实用化，设置于东京地铁银座车站，作为大型户外数字告示使用。

相关新闻