

文章编号: 1007-2780(2007)02-0167-09

驱动电子墨水电子纸的柔性 TFT 背板制造技术

杨 澍^{1,2}, 荆 海¹, 廖燕平^{1,2}, 马仙梅^{1,2},
孔祥建^{1,2}, 黄 霞^{1,2}, 付国柱¹, 马 凯¹(1. 中国科学院 长春光学精密机械与物理研究所 北方液晶工程研究开发中心,
吉林 长春 130031, E-mail: shu_young@hotmail.com;
2. 中国科学院 研究生院, 北京 100049)

摘 要: 基于电子墨水技术的电子纸是目前最有竞争力的类纸媒显示器。实现电子墨水电子纸的柔性是这项显示技术的关键之一。文章分析了当前电子墨水电子纸的主要研究方向, 详细介绍了基于金属柔性基板的 TFT 制造技术、基于固定塑料基板的以激光释放塑基电子工艺(EPLaR)为代表的 TFT 制造技术、以激光退火表面释放技术(SUFTLA)为代表的 TFT 转移技术以及有机薄膜晶体管(OTFT)技术等 4 项柔性 TFT 背板的主要实现方法。对比了它们的材料选取, 工艺特点和器件性能, 分析了各项柔性 TFT 背板工艺的优缺点, 提出了改进方向。

关 键 词: 电子纸; 电子墨水; 薄膜晶体管; 柔性金属基板; 激光释放塑基电子技术; 激光退火表面释放技术; 有机薄膜晶体管

中图分类号: TN141 **文献标识码:** A

1 引 言

在一千多年的历史中, 纸媒都是最重要的信息传播和交换工具。近年来, 随着信息技术的发展和电子显示技术的提高, 我们可以预见传统纸媒消费量将会下降。然而, 当前的显示器在需要大量阅读时仍不是人们的理想选择。无论是 CRT、LCD 或者 OLED, 都不能完全符合传统的纸媒阅读习惯——超轻、超薄、超宽视角、反射式显示、柔软便携、无功耗^[1]。因此, 现实生活中当进行大量阅读时, 人们都还倾向于打印出纸质文本, 而不是依赖于现有的电子显示器阅读。

在这个背景下, 开发一种高对比度、超低功耗、轻、薄、无需背光源、柔软可折叠的类纸媒显示器的要求越来越迫切^[2]。基于此, 人们提出了电子纸(Electronic Paper)的概念。实现电子纸的技术多种多样, 包括电泳显示(Electrophoretic Display)、染色剂迁移(Toner Migration)色球旋转(Twisting Ball)、液晶技术(Liquid Crystal)、磁迁移(Magnetic Migration)、热磁效应(Thermo

Magnetic)等物理方法, 以及电子沉积(Electro Deposition)、电致色变(Electrochromism)、OLED、EL、PDP、FPD 等化学方法。其中, 基于电泳显示原理的电子墨水, 因其简单的实现方法, 低廉的价格, 良好的显示性能等备受关注, 是目前实现电子纸显示的最有效途径^[3,4]。

然而当前国内从事电子墨水显示器研究的院校和机构非常少, 为数不多的报道主要集中在电泳材料制备方面, 在显示器结构、驱动电路和整体器件方面工作还很匮乏。因此, 介绍电子墨水显示器件制造技术, 特别是柔性驱动背板的制造工艺是目前一项非常有意义的工作。本文就国外的各种电子墨水柔性 TFT 制造工艺做出对比, 提出改进方法, 在总结分析的基础上为我们后续工作中将开展的柔性 TFT 背板制造实验打下基础。

2 电子墨水电子纸柔性 TFT 的制造技术

电子墨水电子纸是指美国 E ink 公司开发的

微胶囊电泳显示器 (Microencapsulated Electrophoretic Display)^[5] (如图 1)。电泳显示早在 20 世纪 70 年代就开始研究, 至今已经 30 多年。这种显示方法基于电泳原理 (如图 2), 将悬浮有白色的正电性粒子和黑色的负电性粒子的电泳液封装在直径几十微米量级的微胶囊中, 并固定于上下两个平行平板电极之间, 其中一个为透明电极。向一个方向施加电场, 正电性的白色微粒将泳至透明电极, 负电性的黑色粒子涌向另一极, 从而使观察者可以看到散射的光线, 获得亮视场; 向相反方向施加电场, 白色微粒将泳至对面电极, 黑色微粒涌向透明电极, 吸收入射光线, 从而使观察者获得暗视场。通过交替施加电场, 就可以实现黑白态显示。目前的电子墨水产品已经实现轻、薄、无需背光源、柔软、较高的对比度^[6,7]。另外由于电泳现象的物理机制, 当带电微粒泳动到某个电极附近之后, 可以自行维持住一段时间, 因此基本实现了超低功耗, 是非常理想的类纸媒显示器^[8]。

当前电子墨水电子纸的主要技术突破方向有: 实现柔性显示, 实现丰富灰度, 达到可实用于动态图像显示的响应速度, 实现更好的彩色显示,

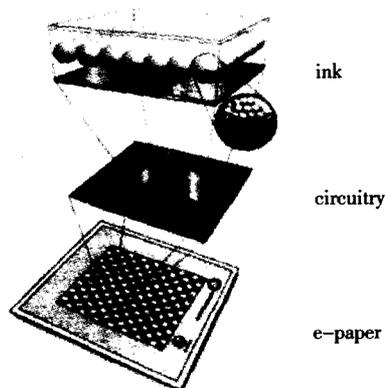


图 1 电子墨水显示器结构
Fig. 1 Structure of e-ink display

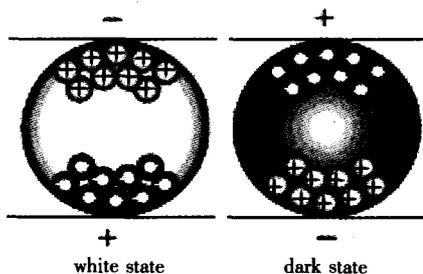


图 2 电泳显示原理
Fig. 2 Principle of electrophoretic display

以及实现更加方便、价廉的产业化生产^[9~15]。其中, 作为类纸媒显示器的关键就是实现柔性显示。如前所述, 电子墨水的显示面板, 即微胶囊电泳面板已经具备柔性的物理特点。因此, 实现柔性显示的主要问题集中在如何制造柔性的驱动背板。

由于 PM 驱动方式的外围 IC 较大而且是刚性的, 又必须镶嵌在面板周围, 因此柔性显示必须采用 AM 驱动方式。从 20 世纪 90 年代中期出现第一张有源驱动电子纸以来, 现在已经在实验室实现了高分辨率大尺寸彩色电子墨水电子纸, 并且具有一定的可卷曲度^[16~19]。

目前制作柔性 TFT 背板的主要思路, 是希望尽量沿用已经成熟的在刚性基板上制作传统硅薄膜晶体管的工艺, 这样开发出来的新工艺才有利于通过微改已有的生产线生产柔性 TFT 背板, 从而实现快速量产, 节约成本, 制作出来的 TFT 器件在性能上也更接近于我们习惯的刚性基板 TFT^[20]。然而目前最大的困难在于, 普通的柔性 TFT 衬底无法耐受传统 TFT 制作工艺的高温 (例如 polyimide (PI) 极限耐受温度 250 °C, polyether-sulphone (PES) 极限耐受温度 200 °C, PET 极限耐受温度 120 °C, 而一般的 a-Si:H 工艺温度 350 °C 左右, p-Si 工艺温度 425~1 000 °C), 在稍高温下自由形态的塑料基板就会收缩变形, 这就把塑料基板的工艺最高温度限制在了 150 °C 左右, 很难满足传统的 TFT 制作工艺。因此, 解决的途径有 3 条 (如图 3): (1) 另选可以耐受高温的柔性基板材料; (2) 固定塑料基板, 防止其在高温时型变; (3) 改进工艺, 使塑料基板避开 TFT 制作过程中的最高温度。基于这样的思路, 目前采用的柔性 TFT 制造方法主要有: 金属基板技术、塑料基板固定技术和基于塑基的 TFT 转移技术。

金属基板技术采用柔性金属薄片作为 TFT

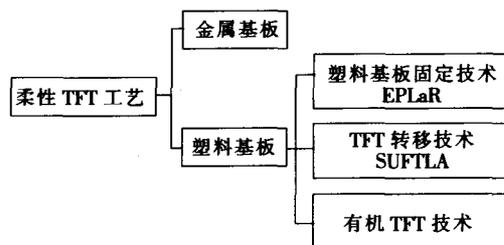


图 3 柔性 TFT 背板制作工艺
Fig. 3 Processes of rollable TFT backplane

衬底,利用了金属薄片耐高温的特性解决了最高工艺温度的问题。

塑料基板固定技术采取先将塑料基板固定在刚性基板上,待 TFT 制作完成后将其取下的方法。这种方法有效防止了温度过高时塑料基板的收缩。Philips 开发的激光释放塑基电子技术 (Electronics on Plastic by Laser Release) 是这项工艺的代表。

TFT 转移技术则是将 TFT 通过传统工艺制作在刚性基板上,然后利用激光技术将其取下,再粘帖到柔性的塑料基板上。这种方法制作的 TFT 巧妙避开了最高工艺温度,既沿用了传统的刚性基板工艺,又兼有了塑料基板良好的柔性,是目前研究的一个重点。精工 EPSON 开发的激光退火表面释放技术 (Surface Free Technology by Laser Annealing) 是 TFT 转移工艺的代表。

另外一个更值得期待的解决方法是直接摒弃无机材料,而采用有机半导体材料制作 TFT。一方面有机半导体制作的 TFT 不存在高工艺温度的问题,可以直接制作在塑料基板上,另一方面有机半导体的物理性质与塑料基板的物理性质更加接近,具有更好的柔性,更适合作为类纸媒显示器的驱动背板。

我国对柔性 TFT 的工艺和性能探讨非常少。就目前看来,除了在有机 TFT 方面作了一些探索之外,大多数实验仅限于在工艺温度相对较高的柔性基板(如聚酰亚胺)上进行成膜,成膜的目的也只是讨论柔性电路的物理性质,并没有尝试柔性 TFT 器件的制作。因此,开展柔性基板 TFT 阵列制作工艺的研究是非常有意义的,将为今后生产新一代的柔性显示器打下良好的基础。

2.1 金属基板柔性 TFT 技术

以金属基板取代塑料基板制作柔性 TFT 阵列的技术研究开展较早。到 2006 年,由 LG、Philips LCD R&D Center 发表了制作在金属薄片上的 26 cm (10.1 in) SVGA 画质超薄电子墨水显示器^[21](如图 4)。该显示器采用了传统的 5 次掩膜工艺,直接将 a-Si TFT 阵列制作到了金属基板上。生产出来的工业原型显示器厚度仅 0.3 mm,重 32.8 g,可以在一定的弯折下正常工作,拥有普通纸的外观和手感。

金属基板制作 TFT 的第一个工艺是减小金



图 4 26 cm SVGA 金属基板电子墨水显示器

Fig. 4 26 cm SVGA metal foil substrate e-ink display

属表面的粗糙度。为此需要先期对金属进行抛光。金属表面通过抛光形成多势垒结构,表面均方根(RMS)粗糙度可从几百 nm 降低到几 nm。例如 LG 与 Philips 开发的这个金属基板电子墨水显示器的基板就通过抛光将 RMS 粗糙度从 100 nm 降低到 5 nm。通过降低表面粗糙度清洁金属表面,除了可以使光刻相对容易,增加金属的弯曲性,同时,多势垒结构还可以有效防止金属基板和栅极金属之间产生寄生电容。

抛光完成之后,就可以利用传统工艺在其上制作 TFT 阵列。以 LG 和 Philips 联合发表的 26 cm 电子墨水显示器为例,在金属基板上制作了底栅背沟道刻蚀型 a-Si TFTs。该器件的栅金属和源、漏金属通过溅射沉积,a-Si、n+a-Si 和 SiN_x 层通过 PECVD 沉积,晶体管由 5 道光刻工艺完成。半导体层和绝缘层由离子反应刻蚀,金属层由湿法刻蚀。

TFT 阵列完成后即可压覆上电泳显示前板,完成金属基板的电子墨水显示器件制作。

用金属基板制作柔性 TFT 的主要优点是:(1)工艺步骤简单,除了需要前期对金属进行抛光处理外,不需要在传统工艺上做过多的修改,从而节约大量成本。(2)不需要考虑温度过高的问题,适合标准的 TFT 工艺。例如在不锈钢材料上进行热掺杂、热氧化物生长、硅化生长等 1 000 °C 左右工艺是完全没有问题的。(3)与塑料基板的柔性显示器相比,金属基板更加耐用,化学性质也更加稳定,不会出现塑料基板的变性和老化问题,大大延长成品器件的使用寿命。

但金属基板 TFT 的柔软性与塑料基板相比还有差距。另外,作为电子墨水电子纸这样的反

射式显示器件,或 OLED 这样的发光显示器件的驱动 TFT,透明度低的金属基板是可以胜任的。但要用于 LCD 等透射式显示器的驱动 TFT 却是有先天缺陷。

2.2 激光释放塑基电子技术(EPLaR)

激光释放塑基电子技术(EPLaR)由 Philips 开发。基本思路是为了防止塑料基板在遇到高温时收缩,将其固定在刚性基板上保持形状,待 TFT 阵列制作完成后再将刚性基板脱开。目前,EPLaR 技术可以在聚酰亚胺(polyimide,极限温度 250 °C)上利用传统工艺制作 a-Si:H 晶体管(标准沉积温度 240 °C),而多晶硅的制作方法还在讨论中。

一种可行的直接在塑料基板上制作 p-Si TFTs 的方案是利用脉冲激光退火的办法,先期在塑料基底和 a-Si:H 之间沉积一层很薄的 SiO₂

绝热层,然后通过有效控制脉冲激光的功率和宽度,使得 a-Si:H 在极短时间内获得足够时间结晶,而热量不足以传递到下层的塑料基板^[22]。

由于聚酰亚胺略显黄色,用它制造的 TFT 基板并不适用于透射式的大部分 LCD 显示器。但作为反射式的电子墨水电子纸或者发光式的 OLED,采用 EPLaR 工艺制作的聚酰亚胺柔性基板还是适用的。若选取其他合适的无色塑料作基板,EPLaR 工艺柔性基板仍可用于柔性液晶显示器。另外,利用 EPLaR 技术制作其他非显示用柔性电子器件的途径也在研究中,并希望通过 EPLaR 最终实现全柔性(包括显示面板和外围控制电路)显示器。

以聚酰亚胺上制作 a-Si:H TFT 阵列的方法为例(如图 5),EPLaR 工艺如下:

(1)在玻璃基板上用匀胶法涂覆一层聚酰亚

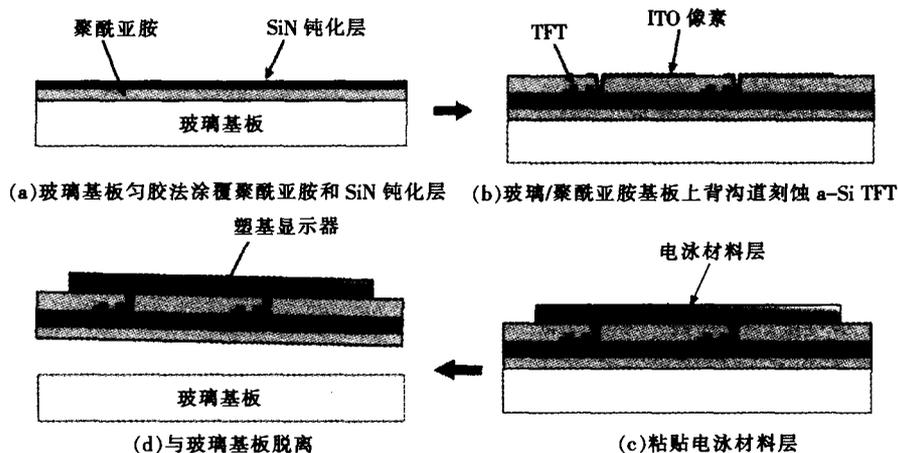


图 5 EPLaR 工艺流程示意图

Fig. 5 Schematic of EPLaR process

胺,厚度在 3~20 μm,也可更厚。一般的聚酰亚胺层厚度选为 5 μm,相对于 0.7 mm 的玻璃基板厚度和重量几乎不计。这就意味着可以将涂覆有聚酰亚胺层的玻璃基板当作标准的 TFT 制作基板。(2)在聚酰亚胺层上采用等粒子沉积方法沉积一层 SiN_x 绝缘层,在 SiN_x 层上采用 6 道光刻工艺制作背沟道刻蚀型 a-Si TFTs。(3)TFT 工艺完成后,压覆上电泳显示材料前板。(4)最后通过激光工艺将聚酰亚胺层和玻璃基板分开,就完成了整个柔性电子墨水显示器件的制作。

TFT 背板完成后,利用真空压膜机将电泳材料前板压覆在上面,就完成了电子墨水电泳器

件的制作过程。2005 年,Philips 利用 EPLaR 技术制造了 200×200 电子墨水电子纸^[23](如图 6)。像素沟道 240 μm,分辨率达到 100 dpi,有较好的灰度表现。

作为塑基的柔性 TFT 背板,EPLaR 工艺制作的电子墨水显示器件比起金属基板的电子墨水显示器件有更好的柔性。但是,EPLaR 工艺面临的问题还很多。例如:

(1)固定在玻璃基板上的塑料层虽然在受温时缩胀程度与玻璃一致,基本解决了型变的问题,但是工艺温度仍然有限制,仍然不能过高。这一方面使得可以选取的塑料材料非常有限,一方面



图 6 EPLaR 技术制作的电子墨水显示器
Fig. 6 E-ink display by EPLaR process

使得多晶硅 TFT 工艺不能使用在 EPLaR 基板上,器件的电特性不是很好。

(2)由于在光刻工艺中,塑料基板还是不可避免地要受热发生一定程度的型变,因此传统的 TFT 单元尺寸设计并不适用于 EPLaR 工艺,必须相应地做一些修改以弥补由于基板型变而引起的器件性能下降。

(3)如何将塑料层更好地固定在玻璃基板上是需要继续讨论的问题。Philips 采用了用匀胶法涂覆有机层的办法,新的工艺仍在研究中。

2.3 激光退火表面释放技术(SUFTLA)

激光退火表面释放技术(SUFTLA)是由 EPSON 开发的^[24~26]。其思路就是先期将 TFT 阵列采用传统工艺制作在刚性基板上,然后将其取下粘贴到柔性基板上实现柔性 TFT 背板。整个过程中塑料基板都不会接触到高温工艺,有效解决了受热型变的问题。

最早的 SUFTLA 由 T. Shimoda, S. Inoue 等

人在 1999 年提出,他们制作了一个基于 SUFTLA 的 15 级环形振荡器和包含 36 个晶体管的缓存电路。SUFTLA 第一次使用在显示器驱动上是在 2001 年。EPSON 的这个小组制作了一块基于 SUFTLA 技术的 LCD 屏,屏的分辨率达到 428×238 像素。但是,由于当时 SUFTLA 工艺的不成熟,在 TFT 转移和组装的过程中出现比较严重的晶体管损坏,显示效果并不理想。2002 年,通过对 SUFTLA 工艺的改进,同一小组制作了一块单色有源 OLED 显示屏。该屏的 TFT 阵列包含 375 000 个晶体管,并且大大降低了 TFT 在转移和组装过程中的损坏率,显示效果明显提高。从 2004 年起 SUFTLA 工艺开始应用于电子墨水电子纸的柔性 TFT 背板制造。除了用于平板显示器 TFT 背板制造之外,SUFTLA 工艺还用来尝试制造柔性的指纹识别器,CPU 和 SRAM。以期在不久的将来实现包括控制电路在内的全柔性显示器。

以 LPTFT 为例的 SUFTLA 工艺过程(如图 7)如下:

(1)在将 TFT 制作到原始玻璃基板上之前,需要用 a-Si:H 先做一层牺牲层(sacrificial layer)。(2)通过标准的低温工艺将 LPTFT 做到牺牲层上。(3)用暂时性的水溶胶将一块临时玻璃基板粘到 TFT 层上表面,水溶胶用 UV 光固化。临时玻璃基板的作用是在随后的转移过程中对 TFT 阵列做固定和支撑。(4)由 XeCl 准分子激光器($\lambda=308\text{ nm}$)从原始玻璃基板一侧照射 a-Si:H 牺牲层。在激光的照射下,a-Si:H 中的氢脱出,从而减弱 a-Si 牺牲层表面与 TFT 层底面的 SiO₂ 层之间的粘力,使得 TFT 器件层容易从牺牲

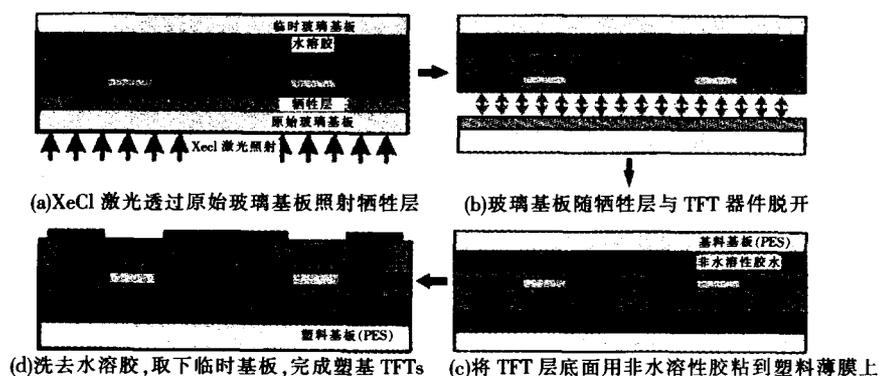


图 7 SUFTLA 工艺流程示意图
Fig. 7 Schematic of SUFTLA process

层上脱开,与原始玻璃板分离。(5)原始玻璃基板分离后,用非水溶的永久性黏合剂将 TFT 的背面粘贴到柔性塑料基板上,胶水同样可以采用 UV 照射固化。(6)将器件没在水里,洗去黏合临时玻璃基板的水溶胶,这样 TFT 就可以与临时玻璃基板脱开而转移到塑料基板上了。

柔性 TFT 背板制作完成后,只需利用一台真空压膜机将“E ink imaging film”电泳材料前板压覆在背板上就完成了电子墨水显示器的制造。2006 年,EPSON 小组利用 SUFTLA 技术制造出了 18 cm(7.1 in)4 阶灰度显示的电子墨水显示器件^[26](如图 8)。该器件的 TFT 阵列由 7340 000 个晶体管结构组成,坏率很低,显示效果比较理想,有很好的柔性。



图 8 基于 SUFTLA 技术的 5 阶灰度电泳显示器

Fig. 8 5-grayscale electrophoretic display by SUFTLA

SUFTLA 工艺利用两次 TFT 转移(第一次从原始玻璃基板取下粘贴到塑料基板上,第二次从临时玻璃基板取下),巧妙地使塑料基板完全避开了受热型变。与 EPLaR 工艺相比,既大大增加了可以选择的塑料材料范围,又不需要为了弥补基板型变而特别设计 TFT 单元结构尺寸。但是,SUFTLA 技术仍然有其不足之处。首先,由于加入了两道 TFT 转移工序,SUFTLA 对传统的刚性基板工艺有较大的改变,增加了成本。其次,在从玻璃基板到塑料基板的转移过程中,TFT 阵列非常容易受到破坏,大大降低了成品率,这也是 SUFTLA 技术目前面临的最大障碍。

2.4 有机 TFT 技术(OTFT)

有机材料制作电子纸柔性 TFT 备受关注的的原因有两点。首先,有机材料 TFT 的制作过程

中不存在高的工艺温度,这就允许采用多种的塑料基板代替玻璃基板。其次,有机半导体 TFT 的力学性质与塑料基板非常匹配,大大增加了电子纸显示器的柔性,同时减轻了器件重量,也使器件更加牢固^[27]。

有机 TFT 基板一般要选择化学性能和物理性能都比较良好的塑料,例如最常用的杜邦帝人薄膜(Dupont-Teijin Film)生产的 Polyethylene naphthalate(PEN)和 PET^[28]。这样的材料透光性好,无色,坚固,廉价,表面粗糙度小,有一定的温度耐受性,并且在 TFT 制作过程中不容易与其他试剂起反应,作为成品在普通环境下使用时也有很好的稳定性。

有机 TFT 的有源层材料有多种选择^[29,30],最常用的是 Pentacene,这是目前发现的最优秀的有机半导体材料,它的性能至少与被广泛使用于 LCD 的 a-Si:H TFTs 相同。Pentacene 一般通过气相沉积,而其他材料,如 P3HT, polyfluorene-based polymer, regionregular poly(thiophene)等都可以用溶液工艺制作。

有机 TFT 的栅绝缘层可以选用传统的无机材料或者有机材料。无机材料如 SiO_2 、 SiN_x 、 Al_2O_3 都可用于 OTFTs。但是对于制作在柔性塑料基板上的 OTFTs,最佳的选择是有机材料栅绝缘层,因为有机材料的性能与塑料基板和其上的 TFT 层之间的热胀系数更匹配。一般采用的有机栅绝缘层材料有 PVP (poly(4-vinylphenol)), PI(polyimide), 以及 acryl。

由于塑料基板的厚度在几十微米量级,非常柔软不易操作,因此在制作有机 TFT 的时候仍然需要事先将塑基压覆在一块刚性基板上(一般是玻璃)。这样,一些成熟的工艺,例如匀胶、光刻等都可以用于有机 TFT 阵列的制造。

以 Plastic Logic Ltd. 和 E Ink Corporation 报道的基于 PET 基板材料的 SVGA 有机 TFT 电子墨水电子纸为例,有机 TFT 阵列的制作过程如下^[29,31]:

- (1)在一定温度下对塑料基板进行预收缩。
- (2)在 Class 1000 超净室中清洗粒子污染。
- (3)在塑料基板上用 polyfluorene-based polymer 半导体制作有源层,并做出数据线及源漏。
- (4)有机材料作栅绝缘层,同时也是存储电容电介质。
- (5)在栅绝缘层上用喷墨法制作栅电极和存储电容电

极,并覆盖第二层绝缘层。(6)用激光打通过孔,导电聚合物制作像素电极。

TFTs 制作完成后,利用压膜法将“E-ink Imaging Film”电泳显示材料压覆在 TFT 基板上,就完成了电子墨水显示器件的制作。Plastic Logic Ltd. 和 E-Ink Corporation 联合发表的这个 SV-GA 电子墨水电子纸是目前为止报道的最大的塑基 OTFT 柔性显示器(如图 9)。

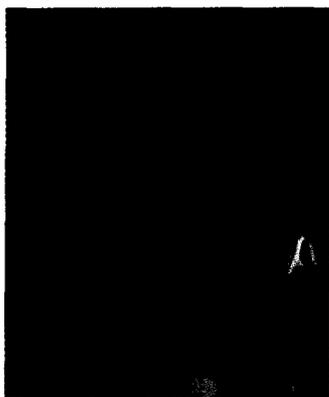


图 9 OTFT 电子墨水显示器

Fig. 9 OTFT e-ink display

作为柔性显示器驱动背板,OTFT 技术有非常好的应用前景。但目前为止,在材料和工艺两方面都有许多需要改进的地方。材料方面,阻碍 OTFT 成为实用 TFT 驱动背板的最大问题,就是目前的有机材料性质不稳定,温度过高或长期使用后器件性能严重下降。一般地,在热退火温度达到 130 °C 时,OTFT 性能就出现少许下降,150 °C 时性能严重下降。另外,OTFT 在空气中暴露极易出现钝化,开态电流随时间很快衰减,器件性能受到很大影响。

除了性能不稳定,有机半导体的电学特性本身也有待改进。Pentacene 作为现在采用最广的有机半导体材料,电学性能只与 a-Si:H 相仿。因此需要开发迁移率和电流开关比更高的有源层材

料来制作高品质柔性显示器驱动。

工艺方面,制作 OTFT 有源层的一般方法是掩膜,但是掩膜工艺不适合制作高分辨率显示器。为了减少制造 OTFT 所使用的材料数量以及节约投资,又采用了喷墨工艺,但喷墨工艺制作出来的 OTFT 迁移率太低,不足以驱动高分辨率显示器。另外还有选择生长工艺(selective growth),但在表面控制方面有困难。目前采用最广泛的仍然是掩膜工艺,需要开发新工艺满足高分辨率显示器的要求。另外,前期的塑基固定、预收缩、表面粒子污染清洗,以及工艺中的温度控制等也是需要改进的方面。

3 结 语

基于电泳原理的电子墨水电子纸由于其简洁的显示方式,良好的柔性,超低的功耗,轻薄的尺寸,成为类纸媒显示器最有力的竞争者。在电子墨水电子纸的制作工艺中,实现柔性显示是关键的一个环节。而由于电泳显示材料前板本身是可卷曲的,因此实现柔性显示的关键是制造出柔性 TFT 驱动背板。为了利用业已成型的无机材料 TFT 阵列制造技术在柔性基板上制造 TFTs,且避开塑料基板不能耐受传统 TFT 工艺高温的问题,人们采用了 3 种方法:(1)用金属基板代替塑料基板;(2)以 EPLaR 工艺为代表的塑料基板固定技术;(3)以 SUFTLA 工艺为代表的 TFT 转移技术。这 3 种工艺在沿用传统无机材料 TFT 工艺的基础上,都成功地制作出性能良好的电子墨水电子纸显示器。这 3 种技术除了可以应用于电子墨水电子纸的柔性 TFT 背板制造,也可以应用于柔性 OLED 和柔性 LCD 显示器的 TFTs 制造。除此之外,利用有机半导体制作柔性 TFT 阵列的技术也被应用于电子墨水电子纸。虽然这项技术还不成熟,但由于有机材料先天的柔性优势,必将成为电子墨水电子纸及其他柔性显示器驱动 TFTs 的最好选择。

参 考 文 献:

- [1] Herz Erik. Electrophoretic display technology: The beginnings, the improvements, and a future in flexible electronics [D]. Ithaca, NY: Materials Science and Engineering, Cornell University, 2006.
- [2] 段晓霞,徐征,滕枫,等. 基于电泳技术的电子纸研究进展 [J]. 液晶与显示, 2004, 19(5): 380-385.
- [3] 赵晓鹏,郭慧林,王建平. 电子墨水与电子纸 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2005: 11.

- [4] 伍媛婷,王秀峰,王列松,等. Pechini 溶胶-凝胶法制备电子墨水用 TiO_2 白色显色颗粒 [J]. *液晶与显示*, 2006, 21(4): 363-367.
- [5] Chen Y, Au J, Kazlas P, *et al.* Flexible active-matrix electronic ink display [J]. *Nature*, 2003, 423(6936): 136.
- [6] Whitesides Thomas, Walls Michael, Paolini Richard, *et al.* Towards video-rate microencapsulated dual-particle electrophoretic displays [C]//*SID'04 Digest*, Seattle, USA; SID, 2004: 133.
- [7] 王建平,赵晓鹏. 蓝色电子墨水微胶囊的制备及其电场响应行为 [J]. *液晶与显示*, 2004, 19(6): 434-439.
- [8] Sturm J C, Gleskova H, Jackson T N, *et al.* Enabling technologies for plastic displays [J]. *Proceedings of SPIE*, 2002, 4712: 222-236.
- [9] Bouchard A, Doshi H, Kalhori B, *et al.* Advances in active-matrix color displays using electrophoretic ink and color filters [C]//*SID'06 Digest*, San Francisco, CA; SID, 2006: 1934-1937.
- [10] Ukigaya N, Endo T, Matsuda Y, *et al.* Late-news poster: In-plane EPD with an embedded collecting electrode in a spacer [C]//*SID'03 Digest*, Baltimore, Maryland; SID, 2003: 576-579.
- [11] Wang Xiaojia, Zang HongMei, Peter Li. Roll-to-roll manufacturing process for full color electrophoretic film [C]//*SID'06 Digest*, San Francisco, CA; SID, 2006: 1587-1889.
- [12] 伍媛婷,王秀峰,王列松,等. 丁二酸改性电子墨水用球形 SiO_2 颗粒的 FTIR 及 XPS 分析 [J]. *液晶与显示*, 2006, 21(6): 649-654.
- [13] Zehner Robert W, Amundson Karl R, Gates Holly G. System integration of electronic paper displays [C]//*SID'06 Digest*, San Francisco, CA; SID, 2006: 1827-1829.
- [14] Bouchard Alain, Suzuki Katsuhiko, Yamada Hideyuki. High-resolution microencapsulated electrophoretic display on silicon [C]// *SID'04 Digest*, Seattle, USA; SID, 2004: 651-654.
- [15] Moriya S, Miyamoto T, Saeki T, *et al.* Flexible electrophoretic display with Inkjet printed active matrix backplane [C]// *SID'06 Digest*, San Francisco, CA; SID, 2006: 277-279.
- [16] Johnson Mark T, Zehner Robert, Henzen Alex, *et al.* High quality images on electronic paper displays [C]// *SID'05 Digest*, Boston, Massachusetts; SID, 2005: 1666-1669.
- [17] Jack Hou, Yajuan Chen, Ying-Syi Li, *et al.* Reliability and performance of flexible electrophoretic displays by roll-to-roll manufacturing processes [C]//*SID'04 Digest*, Seattle, USA; SID, 2004: 1066-1069.
- [18] Inoue Satoshi, Kawai Hideyuki, Kanbe Sadao, *et al.* High-resolution microencapsulated electrophoretic display driven by poly-si TFTs with four-level grayscale [J]. *IEEE Transactions on Electron Devices*, 2002, 49(9): 1532-1539.
- [19] Meyer Frederick M, Trissell Terry L, Aleva Denise L, *et al.* Readability evaluation of an active matrix electrophoretic ink display [J]. *Proc. of SPIE*, 2006: 6225: 622507.
- [20] Gray Caprice, Wang Jianna, Duthaler Gregg, *et al.* Screen printed organic thin film transistors (OTFTs) on a flexible substrate [J]. *Proceedings of SPIE*, 2001, 4466: 89-94.
- [21] Paek Seung-Han, Kim Kyung Lock, Seo Hyun-Sik, *et al.* 10.1 inch SVGA ultra thin and flexible active matrix electrophoretic display [C]// *SID'06 Digest*, San Francisco, CA; SID, 2006: 1834-1837.
- [22] Carey Paul G, Smith Patrick M, Theiss Steven D, *et al.* Polycrystalline thin-film transistors on plastic substrates [J]. *Proceeding of SPIE*, 1999, 3636: 4-10.
- [23] Ian French, David McCulloch, Ivar Boerfijn, *et al.* Thin plastic electrophoretic Displays Fabricated by a Novel Process [C]// *SID'05 Digest*, Massachusetts, Maryland; SID, 2005: 1634-1637.
- [24] Shimoda Tatsuya, Inoue Satoshi. Surface free technology by laser annealing (SUFTLA) [C]// *IEDM 99 Technical Digest*, Washington DC, USA; IEEE, 1999: 289-292.
- [25] Kawai I H, Miyasaka M, Miyazaki A, *et al.* A Flexible 2-in. QVGA LTPS-TFT electrophoretic display [C]// *SID'05 Digest*, Massachusetts, Maryland; SID, 2005: 1638-1641.
- [26] Komatsu Yuko, Kawai Hideyuki, Kodaira Taimei, *et al.* A flexible 7.1-in. active-matrix electrophoretic display [C]// *SID'06 Digest*, San Francisco, CA; SID, 2006: 1830-1833.
- [27] Gelinck G H, Huitema H E A, van Mil M, *et al.* Rollable QVGA active-matrix displays based on organic electronics [C]//*SID'05 Digest*, Massachusetts, Maryland; SID, 2005: 6-9.
- [28] MacDonald W A, Rollins K, MacKerron D, *et al.* Latest developments In polyester film for flexible electronics

- [C]//*SID'05 Digest*, Massachusetts, Maryland, SID, 2005; 514-517.
- [29] Jang Jin, Han Seung Hoon. High-performance OTFTs on flexible substrate [C]//*SID'05 Digest*, Massachusetts, Maryland, SID, 2005; 10-13.
- [30] Kawasaki M, Imazeki S, Inoue T, *et al.* Organic thin-film transistors with solution-processed pentacene and polysilazane using self-aligned device structure [C]// *SID'06 Digest*, San Francisco, CA, SID, 2006; 200-203.
- [31] Burns S E, Reeves W, Pui B H, *et al.* A flexible plastic SVGA e-paper display [C]// *SID'06 Digest*, San Francisco, CA, SID, 2006; 74-76.

Flexible TFT Backplane Fabricating Technologies for E-ink Based Electronic Paper Driving

YANG Shu^{1,2}, JING Hai¹, LIAO Yan-ping^{1,2}, MA Xian-mei^{1,2},
KONG Xian-jian^{1,2}, HUANG Xia^{1,2}, FU Guo-zhu¹, Ma Kai¹

(1. North Liquid Crystal Engineering Research and Development Center, Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics,
Chinese Academy of Sciences, Changchun 130031, China, E-mail: shu_young@hotmail.com;

2. Graduate School of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China)

Abstract

E-ink technology based electronic paper is the most competent paper-like display at present. To realize the flexibility of e-ink electronic paper is one of the most important aspects of this technology. This paper analyzed the key research directions of e-ink electronic paper at present; introduced four main methods to realize flexible TFT backplane in details, including: flexible metal foil substrate TFT manufacturing technology, fixed plastic substrate TFT manufacturing technology presented by Electronics on Plastic by Laser Release (EPLaR) process, TFT transferring technology presented by Surface Free Technology by Laser Annealing (SUFTLA) process, and Organic Thin Film Transistor (OTFT) technology. This paper also compared the materials, process specials, and device performances of these technologies; analyzed the advantages and disadvantages of each TFT backplane processes; suggested the improving trends.

Key words: electronic paper; e-ink; thin film transistor; flexible metal substrate; electronics on plastic by laser release; surface free technology by laser annealing; organic thin film transistor

作者简介:杨澍(1983—),男,云南昆明人,硕士研究生,主要研究方向为平板显示器物理与器件。