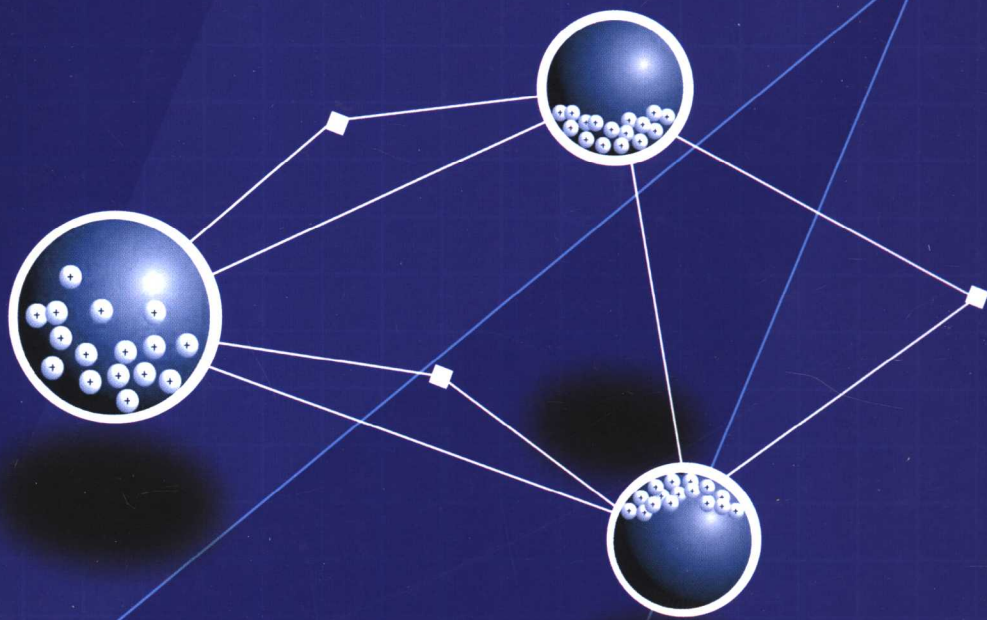


电子墨水与电子纸

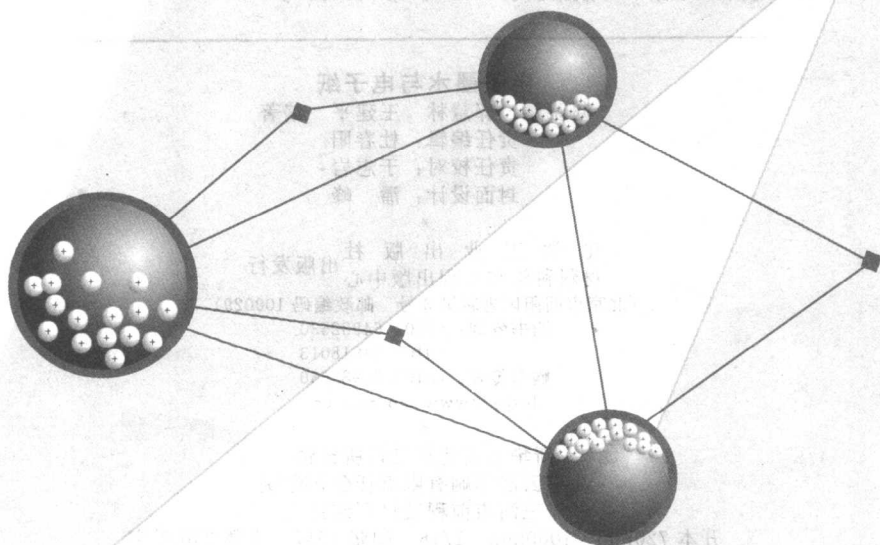
赵晓鹏 郭慧林 王建平 编著



化学工业出版社
材料科学与工程出版中心

电子墨水与电子纸

赵晓鹏 郭慧林 王建平 编著



化学工业出版社

材料科学与工程出版中心

·北京·

本书作者用通俗易懂的语言向读者介绍了电子墨水及电子纸的原理、产生与发展、制备方法及表征技术和应用前景等前沿内容,可以使人们了解到未来的显示技术的发展方向,是一本高新技术的科普读物。

本书语言深入浅出,简明扼要,易于理解。内容可供光电领域及相关学科的科研人员及广大大中专院校的师生作为了解目前最新的前沿技术的科普读物来阅读和参考。

图书在版编目(CIP)数据

电子墨水与电子纸/赵晓鹏,郭慧林,王建平编著.
北京:化学工业出版社,2005.11
ISBN 7-5025-7856-0

I. 电… II. ①赵…②郭…③王… III. 显示器-基本知识 IV. TN873

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 131518 号

电子墨水与电子纸

赵晓鹏 郭慧林 王建平 编著

责任编辑:杜春阳

责任校对:于志岩

封面设计:潘峰

*

化学工业出版社 出版发行

材料科学与工程出版中心

(北京市朝阳区惠新里3号 邮政编码 100029)

购书咨询:(010) 64982530

(010) 64918013

购书传真:(010) 64982630

<http://www.cip.com.cn>

*

新华书店北京发行所经销

北京云浩印刷有限责任公司印刷

三河市前程装订厂装订

开本 720mm×1000mm 1/16 印张 15½ 字数 216 千字

2006年1月第1版 2006年1月北京第1次印刷

ISBN 7-5025-7856-0

定 价:39.00 元

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者,本社发行部负责退换

前言

造纸术和印刷术是中华民族古代四大发明中的两项，在人类文明的传承中熠熠生辉。随着现代科学技术的进步，特别是信息科学与材料科学技术的飞速发展，你可以想像今后阅读的图书，它的文字还能变化吗？你可以接受你所接触的任何事物都能变成显示器吗？也许你觉得这是梦想，也许你觉得这个想法十分可笑，因而对此嗤之以鼻。但是，人们正在将它变成活生生的现实。如果你觉得惊诧的话，那么不妨来看看这一切是怎样变成现实的。

纸张和图书的出现已经有 2000 多年的历史。在几千年的历史长河中，人们已经非常习惯于文字在纸张上的光学表现。而且，纸张的柔韧性和能够弯曲、折叠的特性给人们的阅读带来了很大的方便。这一特性是电子显示器所不能比拟的。电子图书（E-Book）的概念虽然诞生已经很久，而且市场上也出现了很多能够阅读的电子书籍和类似于掌上电脑的阅读器，但是，电子图书始终发展缓慢，其中一个重要原因就是它要改变人们 2000 多年来养成的阅读习惯，这是非常困难的事情，甚至有点儿痴人说梦。

随着信息交换技术的快速发展，人们需要掌握更多的知识，处理更多的信息。图书报纸出版的弊端日益明显。首先，图书报纸所承载的信息量有限，信息的流通效率很低；其次，纸张供应紧张的严峻现实不容忽视，据统计，2000 年全球纸张产、用量已达 3.2 亿吨，如此继续下去，地球上的森林保有量一定满足不了人们对纸张的需求，大量树木的砍伐，会进一步加速脆弱的生态环境的恶化；再次，造纸、印刷业消耗大量的水资源，加剧了工农业生产和人们生活的水荒。此外，纸张印刷品的信息更新速度已经远远赶不上人类知识和信息爆炸的速度。

这样看来，人们就需要研究怎样将电子信息通过类似于纸张的介质来传递，从而既能满足人们的阅读习惯，又能够实现快速地更新信息。电子墨水与电子纸技术的出现给人们带来了极大的希望。与传统的显示器技术相比，电子墨水显示器具有很多优势，它的可读性、便携性、低耗能、薄而轻、易卷曲以及应用广泛等特点是其

前言

他任何显示技术都无法比拟的。无疑，它将开创阅读与书写的新时代。

本书是一本介绍电子墨水与电子纸这一高新技术的科普读物。作者力求简明扼要地向读者介绍电子墨水及其显示技术的最新研究成果，书中有关电子墨水部分的主要内容都是作者在国家自然科学基金重大研究计划光电信息功能材料资助项目下完成的研究结果。很多内容已经申请中国发明专利，具有自主知识产权。部分内容也在国内外著名学术期刊发表。就我们所知，本书是国内外第一本系统介绍电子墨水与电子纸的科学读物。全书共分为10章，主要介绍了电子墨水技术的产生与发展、电子墨水显示器、黑白与彩色电子墨水的制备方法以及电子墨水显示的实现技术。其中，第1、3、4、6、7、10章由赵晓鹏教授与郭慧林博士编写；第2、5、8、9章由赵晓鹏教授与王建平博士编写；书中的部分插图由左朝阳硕士绘制。全书由赵晓鹏教授统稿。虽然笔者在本领域有较丰富的经验，但书中还是存在许多不足：首先因缺乏科普书籍的写作经验，致使本书在语言表达方式上可能过于专业化；其次，电子墨水及其显示技术所涉及的领域比较广泛，本书只着重介绍了电子墨水的制备及其相关知识。由于我们的水平有限，加之成稿时间仓促，书中遗漏在所难免，敬请广大读者批评指正。

再次感谢国家自然科学基金资助我们首先在国内开展有关电子墨水的研究，同时也希望通过本书使更多的人了解电子墨水与电子纸，促进电子墨水与电子纸在我国快速发展，为保护生态环境和可持续发展尽一份力。

赵晓鹏

2005年5月于西北工业大学

目 录

第1章 导论	1
1.1 电子纸	3
1.2 电子纸显示原理	11
1.3 电子纸显示电路	15
1.4 电子纸产品示例	17
1.5 电子纸显示的目标	21
第2章 电子纸显示技术	23
2.1 电子墨水显示 (electronic ink displays)	25
2.2 微型杯 (Microcup) 电泳显示	30
2.3 分色颗粒旋转型显示——双色球 显示 (Gyricon)	36
2.4 电化学反应显示	44
2.5 移动颗粒显示	46
2.6 电润湿与视频显示的电子纸	48
2.7 有机电致发光显示	51
2.8 其他电子纸显示技术	58
主要参考文献	60
第3章 电子墨水显示	63
3.1 电泳显示原理及其存在问题	65
3.2 电子墨水显示原理	70
3.3 影响电子墨水显示性能的因素	72
3.4 微胶囊化电子墨水显示的特点	73
主要参考文献	76
第4章 电子墨水微胶囊的组成及制备方法	79
4.1 电子墨水微胶囊的组成及材料的选择	81
4.2 电子墨水微胶囊的制备	87
4.3 微胶囊化电子墨水的实现方式	96
4.4 电泳显示液的其他包封方法	98

目 录

主要参考文献	99
第5章 黑白显示电子墨水的制备及性能	101
5.1 电泳显示液的组成与制备	103
5.2 显示液的微胶囊化	109
5.3 脲甲醛基电子墨水材料	124
主要参考文献	136
第6章 红色电子墨水的制备及性能	139
6.1 颜色的基本概念	141
6.2 三基色原理和彩色重现	145
6.3 红色颜料	148
6.4 电泳显示液的制备	153
6.5 红色电子墨水微胶囊的制备及表征	155
6.6 电场响应行为	158
主要参考文献	159
第7章 绿色电子墨水的制备及性能	161
7.1 绿色颗粒	163
7.2 绿色颗粒的表面改性	164
7.3 电泳显示液的配制	168
7.4 脲甲醛树脂壁材的绿色微胶囊	168
7.5 明胶阿拉伯树胶壁材的绿色微胶囊	176
主要参考文献	177
第8章 蓝色电子墨水的制备及性能	179
8.1 蓝色颜料	181
8.2 蓝色颜料的选择	182
8.3 蓝色颜料颗粒的表面改性	184
8.4 电泳显示液的制备	190
8.5 微胶囊化方法及条件优化	190

目 录

8.6	直流电场下蓝色电子墨水微胶囊 的行为特征	205
	主要参考文献	206
第9章	电子墨水显示的涂装和驱动方式	209
9.1	薄膜晶体管液晶显示器 (TFT—LCD) 的 基本结构和生产工艺流程	211
9.2	电子墨水显示的涂装方式	217
9.3	电子显示器的驱动方式	219
	主要参考文献	228
第10章	电子墨水显示应用展望	231

第 1 章

导 论

1.1 电子纸

在信息高度发达的今天,更快更优的信息显示技术的研究和开发已引起人们极大的关注。传统的显像管(CRT)显示,因其物理构造限制了向更大屏幕超薄方向的发展,从而逐渐被平板显示器(FPD)所取代。平板显示器分受光型(如液晶显示LCD)和发光型(如等离子体PDP)。LCD显示是利用液晶在外场的激励下分子发生再排列,而引起液晶的双折射、旋光性、二色性、光散射性等光学性质的变化,并转变为视觉变化进行显示。它兼备薄型、质量轻、功耗低、工作电压低等优点,但还有待于进一步扩大视角,提高对比度,增加色纯度,提高响应速度。同时LCD在制造大屏幕显示上存在技术和设计上的困难,目前有源矩阵薄膜晶体管(TFT)生产线可生产的全球最大的LCD显示屏只有100cm。彩色PDP是利用气体放电产生的真空紫外线激发三基色荧光粉发光而实现显示的新型平板显示技术。它的特点是视角大、响应快、有存储特性、色彩丰富(与CRT不相上下)、数字化工作模式、易于制作大尺寸,但在图像的亮度、对比度、色彩保真度等方面与显像管显示存在明显的差距,且成品率低,功耗大(300~400W),价格昂贵。为克服现有显示技术不足,人们正试图提出新的显示概念,开发新颖的显示技术。如N. K. Sheridan和M. Saitch制备了双色球并研究了双色球翻转的显示特征,发现其反射率大于18%,对比度6:1,且视角宽。双色球显示是利用电场控制双色球的翻转达到显示不同颜色的目的,但其制备工艺复杂且难于实现完全翻转,对比度相对较低。

电泳图像显示(EPID,即Electro Phoretic Image Display)是一种非发光平面显示,是利用胶体分散粒子在电场作用下会发生泳动的原理,其显示优点是对比度高、视角宽、显示亮度高、价格低廉、容易实现大平面显示等;其缺点是可靠性差,阈值特性不容易控制,尤其是分散系中微粒易发生团聚、沉淀等现象,所以EPID显示的寿命较短。

近年来，麻省理工学院（MIT）媒体实验室提出了电子墨水的概念。电子墨水是一种墨水状的悬浮物，在外电场作用下可以实现可逆、双稳态、柔性显示，具有良好的可视性、制造成本低廉等优点。利用电子墨水制成的电子纸张，报社、杂志社可通过电脑或其他设备来传递信息，从而实现电子报纸、杂志的更新。所谓“电子纸张”是一种薄而柔软的纸状物。电子墨水薄层与塑料晶体管薄层压在一起便可制得电子纸张。由此电子墨水显示技术的研究与开发显得更为迫切和重要。

所谓“电子纸”（Electronic Paper），是一种薄而柔软的纸状物，表面看起来与普通纸张十分相似，实际上却有天壤之别。它是一种新型的可重复利用的电子显示设备，和电脑显示屏很相似，但更易于携带，厚度和质量都像纸一样，拥有几乎完全一样的柔韧性。电子纸也称双稳显示器（Bistable Display），由于它具有纸的柔软性，且对比度好、可视角度大、不需背景光源，所以被形象地称为“电子纸”。它能循环使用，显示内容可以根据需要不断地更新。此前已经由美国 E-ink 和美国朗讯科技公司（Lucent Technologies）于 2000 年 11 月初正式发布。当前，开发电子纸和电子墨水的主要是 E-Ink 和 Gyricon Media 两家公司，他们正在努力把这两项发明商品化。

1.1.1 电子纸的研制背景

长时间以来，我国古代的“四大发明”，曾让无数华夏子孙为之自豪、为之骄傲。英国科学家弗兰西斯·培根为此评价说：“它们改变了世界上事物的全部面貌和状态，又从而产生了无数的变化；看来没有一个帝国，没有一个宗教，没有一个显赫人物，对人类事业曾经比这些机械的发现施展过更大的威力和影响。”

特别是“四大发明”之中的造纸术和印刷术，在近 2000 年以来，为世界文化的传播、人类文明的进步做出了巨大的贡献，如今，人类社会对于图书、报刊这些纸张印刷品的需要，就如同对待空气和水一样，已经成为了生存和发展所必需的。据资料显示，

1999年,我国仅图书的出版总量就达到了3914万千印张,可见其功绩卓著。

但是,造纸术和印刷术为人类文明传播带来恩泽的同时,也不可避免地对人类的生存环境产生了一些副作用,对人类社会的可持续发展带来了相当大的影响。

(1) 造纸工艺及其污染 造纸工业是世界上六大污染工业之一。据2002年中国环境年报公布的数据表明,我国纸业的排水量为35.3亿立方米,占全国工业总排水量的18.2%;COD(主要污染物化学需氧量)排放量287.7万吨,占全国总排放量的40.8%。达标排放污水仅占造纸排水总量的53.8%,即还有相当一部分企业甚至没有排污处理。

为了进一步了解造纸业对环境污染的危害,让我们先来看一下纸是如何制成的。造纸的原料主要是植物纤维,如木材、稻草、麦草、玉米秆、甘蔗渣、芦苇、麻、竹等。纸的生产大体上可分为两个过程,即制浆和造纸。

制浆是在原料中加入一些化学药品(如石灰或烧碱等)进行蒸煮,或者将原料直接用机械打碎、研磨;然后洗涤,去除不必要成分,保留纤维,制成浆料的过程需要漂白的,需再加入药剂进行漂白。

造纸是把浆料用网格捞起,脱水压榨干燥,最后整理成纸的过程。

看了造纸的过程,大家可能觉得好像也没有什么可以直接造成环境污染的东西吗!其实不然,让我们再往下看。

造纸工业属于产量大、用水多、污染严重的轻工业,其生产的水污染在各种工业中名列前茅;废气、固体废弃物及噪声等污染也很严重。

造纸工业的废水若未经处理而排入江河中,废水中的有机物质会发酵、氧化、分解,消耗水中的氧气,使鱼类、贝类等水生生物缺氧致死;一些细小的纤维悬浮在水中,容易堵塞鱼鳃,也会造成鱼类死亡;废水中的树皮屑、木屑、草屑、腐草、腐浆等沉入水底,

淤塞河床，在缓慢发酵中，不断产生毒臭气；废水中还有一些不容易发酵、分解的物质，悬浮在水中，吸收光线，减少阳光透入河水，妨碍水生植物的光合作用；另外，还会产生一些致癌、致畸、致突变的有毒有害物质。

总之，造纸废水使河水浊黑、恶臭，水草不生，鱼虾灭迹，蚊蝇丛生，蛆虫遍地，严重威胁沿岸居民的身体健康，造成痢疾、肠炎、疥疮等疾病盛行，同时，还不利于农田灌溉和人畜饮水。

造纸工业排放的一些固体废物如腐烂浆料、浆渣、树皮、碎木片、草根、煤灰渣等，不仅占用场地，甚至发酵变质，放出臭气，下雨时还会流出有毒臭水，污染地面水和地下水源。生产过程中锅炉燃煤产生的废气和烟尘及机械的噪声也影响工作人员和居民的健康。表 1-1 给出了废纸制浆造纸企业的水污染物排放限值。

表 1-1 废纸制浆造纸企业水污染物排放限值

控制项目	排水量 /(m ³ /t)	生化需氧量 (BOD)		化学需氧量 (COD)		悬浮物 (SS)		pH 值
		排放负荷 /(kg/t)	排放浓度 /(mg/L)	排放负荷 /(kg/t)	排放浓度 /(mg/L)	排放负荷 /(kg/t)	排放浓度 /(mg/L)	
本色	60	3.6	60	6	100	6	100	6~9
脱墨	60	3.6	60	9	150	6	100	6~9

(2) 世界纸品生产与消费量呈增长趋势 最近 50 年来，全世界的纸品消耗量激增了 5 倍，年耗量已达到 3 亿吨左右，仅 2001 年就增加 0.9 亿吨。目前全世界五分之一的木材被用于造纸。世界各国的纸品消耗量差别巨大，工业化国家人口占 22%，但消耗了 72% 的纸品，如果按人均消费量计算，差距更是大得惊人，目前，工业化国家人均年耗纸量 164 千克，而发展中国家仅为 18 千克。在工业化国家中，美国的人均年耗纸量为 335 千克，日本为 249 千克，德国为 192 千克。而在发展中国家，巴西为 39 千克，中国为 27 千克，印度仅为 4 千克。不过，发展中国家纸品消耗量增加也很快，例如，印尼纸品消费总量自 1980 年以来增加了 7 倍，韩国和泰国也增加了 4 倍。据预测，2005 年我国纸及纸板消费量约 5000 万吨，2010 年将

达 7000 万吨。国际市场需求增长较快的主要品种有印刷书写纸、新闻纸及箱纸板等（表 1-2）。巨大的市场空间使环保专家忧心忡忡，“造纸企业如果不走出一条新的可持续发展之路，而是遍地开花粗放发展，将进一步突破环境容量，造成巨大的生态灾难”。

表 1-2 主要品种纸的需求量

纸张类型	2000 年/万吨	2005 年(预计)/万吨	年均递增率/%
印刷书写纸	9 552	11 074	3.0
新闻纸	3 820	4 322	2.5
箱纸板	6 004	6 961	3.0

（3）世界森林面积锐减 据世界观察研究所最近发布的报告称，除每年的森林火灾毁灭的林木外，人类的过度索取是毁灭森林的最大杀手。根据联合国粮农组织 2001 年的报告，全球森林从 1990 年的 39.6 亿公顷下降到 2000 年的 38.7 亿公顷，全球每年消失的森林近千万公顷。

1998 年 3 月，据联合国粮农组织最新公布的世界森林资源评估报告结果，中国森林面积 1.34 亿公顷，占世界森林总面积的 3.9%，居世界第五位，中国人均森林面积仅列第 119 位。中国森林总蓄积 97.8 亿立方米，占世界森林总蓄积量的 2.5%，列世界第 8 位。世界人均拥有森林蓄积量为 71.8 立方米，而中国人均森林蓄积量仅为 8.6 立方米。当前中国面临的水土流失、土地荒漠化等突出的生态环境问题，以及日趋频繁的水灾、旱灾、风沙等自然灾害，都与森林总量不足、分布不均、功能较低密切相关。

（4）信息时代带来信息爆炸 电子技术的迅速发展使电子媒体登上世界舞台，特别是互联网的兴起，可以使许多信息通过电子邮件或网页获得，换言之即从显示屏幕上可以直接读到。电脑所具有的速度快、信息量大、可反复修改及长距离的任意通信等特性十分突出，这无疑是纸张所不及的。但是在大多数情况下，人们还是让信息通过打印机打印在纸上，方才读取。为什么要这样做呢？因为纸质印刷品有着一些比显示屏更为方便的优点，比如可以根据需

要拿到任何地方去看，只要不当废纸扔掉就能长期保存下来，不需要相应的硬件和电源等。所以纸张在短时间之内仍具有旺盛的生命力。

办公自动化机器的最初开发背景是为了创建一个无纸的办公环境，但实际上纸张的消耗量反而成倍地增加。有人调查了使用文字处理机写材料的例子，结果表明（表 1-3），打字机的用纸量是手写的 3~5 倍。这就是商品开发思想和结果不一致的例子。原因是文字处理机不似电视机那样只是个接收器，产品开发的思想没有被使用者继承，并且对怎样使用分析不足。毕竟显示器比起印刷和手写尚有不足的地方。

表 1-3 用文字处理机完成资料的纸张消耗

事 例	完成张数/消耗张数	事 例	完成张数/消耗张数
画图	1/3.3	最差的情况	1/15
报告书	1/5.6	用铅笔书写	1/1
论文原稿	1/3.6		

综上所述，从节约森林资源、保护生态环境的角度出发，一方面必须减少纸的消耗和浪费，提倡使用再生纸和非木材纸；另一方面，努力发展循环经济，即在经济发展过程中，遵循生态学规律，将清洁生产、资源综合利用、生态设计和可持续消费等融为一体，实现废物减量化、资源化和无害化，使经济系统和自然生态系统和物质和谐循环，维护自然生态平衡。因此，倘若能综合电脑与纸张各自的优点，形成一种新的媒体——电子纸，作为现代信息、文化交流的手段，相信那将是人们梦寐以求的。当前，美国的朗讯、施乐、3M、IBM 等大公司以及麻省理工学院等，正在积极地研制这方面的诸多问题，相信不久就会有新的成果披露。

1.1.2 电子纸的研究历史

电子纸和电子墨水的研究开发，至今已走过了 20 多个年头。在 20 世纪 70 年代，日本松下公司首先发表了电泳显示技术，施乐公司当时也已开始研究，然而最初研究出的普通电泳由于存在显示寿命

短、不稳定、彩色化困难等诸多缺点，实验曾一度中断。

20 世纪末，美国 E-Ink 公司（由朗讯公司、摩托罗拉公司以及数家风险投资公司为了开发电子纸于 1997 年成立的企业）利用电泳技术发明了电子墨水，极大地促进了该技术的发展。目前，施乐、柯达、3M、东芝、摩托罗拉、佳能、爱普生、理光、IBM 等国际著名公司都在涉足电子纸的研究。

有关电子纸和电子墨水的研究与发展，基本上可分为以下几个阶段。

(1) 1975 年 施乐的 PARC 研究员 N. K. Sheridan 率先提出电子纸和电子墨水的概念。

(2) 1976~1977 年 2000 年度诺贝尔化学奖的三位得主共同署名发表有关导电聚合物的重要论文，为实现电子纸显示提供了柔性基材。

(3) 1996 年 4 月 MIT 的贝尔实验室成功制造出电子纸的原型。

(4) 1997 年 4 月 E-Ink 公司成立，并全力研究把电子纸商品化。1999 年 5 月，E-Ink 推出名为 Immedia 的用于户外广告的电子纸。

(5) 2000 年 11 月 美国 E-Ink 和朗讯科技公司正式宣布已开发成功第一张利用电子墨水和塑料晶体管制成的可卷曲的电子纸及其所用的电子墨水。

(6) 2001 年 5 月 E-Ink 与 Toppan Printing 合作，宣布利用 Toppan 的滤镜技术，生产彩色电子纸。

(7) 2001 年 6 月 E-Ink 再宣布推出 “Ink-In-Motion” 技术，电子纸上可显示活动影像。同时，美国的大型百货公司 Macy 宣布，店内的广告牌采用 Smart Paper。

2002 年 3 月召开的东京的国际书展上，出现了第一张彩色电子纸。

(8) 2004 年 10 月 Solomon 科技创新 IC 技术驱动全球首只 Electronic Paper 手表荣获 2004 年度香港电子业商会创新科技奖。