

文章编号:1673-9981(2010)04-0433-04

# 导电墨水的应用

秦建, 胡军辉, 郑碧娟

(深圳华中科技大学研究院, 广东 深圳 518116)

**摘要:**重点介绍了导电墨水在PCB/FPCB, RFID和OLED等领域中的应用,指出导电墨水可以根据应用领域及印刷工艺的要求,灵活调整导电成分和配方,同时阐明了导电墨水对于广东省低碳经济节能减排及产业技术升级具有重要意义。

**关键词:**导电墨水; 印制电子; PCB/FPCB; RFID; 显示器

**中图分类号:** TS802, TN4 **文献标识码:** A

## 1 导电墨水与印制电子技术

在电子工业中导电线路(电路)的制造至关重要,在传统的印制电路板工业中,制作电路广泛采用光刻技术,然而这一方法涉及蚀刻、电镀等,存在耗时、昂贵、污染环境、可选基材有限等问题。最近几年,关于导电线路的制造方面,新兴的印制电子作为一种灵活多样、快速便捷、环保节能的制造技术,已引起欧盟、美国、日本等发达国家的极大关注。它不仅对PCB制造业产生了重大影响,而且对硅基微电子制造业也产生了很大影响,成为当今材料界、电子界、制造界共同关注的技术热点。

印制电子技术是指以最低的生产成本和最快的印制速度相结合的加工方法,在各种基质上,高容量地印制出各种轻、薄、柔、小的电子产品。其主要特征是把印制工艺和电子技术有机地融合在一起,大面积、高效率地快速印制出各类电子产品。印制工艺包括网印、胶印、凹印和喷墨打印工艺。由于喷墨打印是不需要接触、没有压力、不需印版的印刷技术,只需将电子计算机中存储的信息输入喷墨印刷机即可印刷,优点突出而获得了最多关注。

随着喷墨打印技术的持续研究和开发,喷墨打印技术有了很大的突破与进展。特别是自2005年以

来,喷墨打印机、喷墨打印头和喷射打印用的油墨都有了重大突破与进展。如日本产业技术综合研究所开发的能够喷射小到1~2 pL墨滴的超级喷墨打印技术(Super Inkjet Technology)的设备,还有适宜于规模化生产的紫外线固化的喷印油墨,特别是研制出了含纳米级银油墨,因而可以用于生产精细到10~20  $\mu\text{m}$ 的线宽/间距的PCB产品。2007年又开发出更高级的超级喷墨打印技术,其喷射出的墨滴可以小到飞升(Femtoliter, 1fL =  $1 \times 10^{-15}$  L),即喷射出的墨滴尺寸可小到1  $\mu\text{m}$ 以下,从而可形成线宽小于3  $\mu\text{m}$ 的线路。喷墨印刷技术的快速发展给电子工业带来了重大变革的机遇<sup>[1]</sup>。

喷墨印制电子技术的关键技术在于导电墨水、喷印装备和配套工艺,导电墨水作为核心关键材料,其技术进展是印制电子技术在高端电子产品中获得更快、更广泛应用的基石。

导电墨水的导电成份主要为:纳米导电金属颗粒(纳米银、纳米铜、纳米金等)或者纳米线、导电金属前驱物(有机金属化合物)、导电高分子PEDOT/PSS、碳纳米管、石墨烯等。目前,国际上导电墨水的主要供应商有Advanced Nano Products (ANP), Cabot, Cima NanoTech, Creative Materials, Dupont, Ferro, Five Star Technologies, Harima Chemical, InkTec, NanoDynamics, NanoGram, NanoMas,

收稿日期:2010-10-09

作者简介:秦建(1968—),男,安徽阜阳人,研究员。

NovaCentrix, Parelec, PChem Associates, Sigma Technologies 及 Sun Chemical 等。

## 2 导电墨水的应用

喷墨印制电子技术为电子电路产业引发革命性发展,可广泛用于各种电子产品,如印制电路(PCB和FPC)、电子标签(RFID)、有机发光二极管(OLED)、智能显示屏、电池和太阳能电池、传感器和电子封装等。

### 2.1 在 PCB 行业中应用

PCB 制造的关键部分主要涉及导电线路与线宽的加工、孔金属化的成型,以及互连线图形之间的制作和转移等。

传统的 PCB 制造法是通过蚀刻减成法制备的,其缺点是生产工序多、材料消耗大、废液排放高、环保压力大。就多层和积层 PCB 而言,重复加工工作量很大,而且每层均涉及十几道工序,故效率低、浪费大、污染重、成本高。

采用导电墨水技术的加成法制造 PCB 时,其生产工序大为减少,图型转移一般只需 4 道工序就行了,即基板布图、表面处理、喷墨印制、热固化成型。因此,印制 PCB 的优点相当明显,主要优点是:工序少,生产成本低、产品耗能小;无蚀刻,对环境友好,不产生污染;无掩模,可灵活应用于各种结构的 PCB;多功能,能实现电子元器件在基质上的一次性集成和封装,效能更齐全。

从目前的印刷技术的设备和工艺水平以及发展过程来看,导电墨水印刷技术在 PCB 产品生产中最先使用应该是在“图形转移”方面。相比传统生产工艺有较大的优越性,成本低且能够满足生产率的要求。目前的喷墨打印技术(设备和工艺)已经能够满足这些条件的要求,因此在制造多层板的内层片上是具有明显优势的。

采用包括导电墨水在内的各种功能材料,可以用于喷墨打印制无源元件。PCB 从安装基板向封装载板发展,要求 PCB 封装端子微细化、封装高集成化,同时也要求基板承担新的功能,出现了埋置元件印制板。喷墨打印技术被认为是领先的预埋无源元件形成方法。通过对系列功能印刷墨水的开发,可以直接通过喷墨打印机采用固体沉积的方法将电阻、电容、电感等无源元件材料打印在 PCB 板上,制成

集成元件印刷板。

### 2.2 在 RFID 行业中应用

RFID 作为一项先进的自动识别和数据采集技术,被公认为 21 世纪十大重要技术之一,已经成功应用到生产制造、物流管理、公共安全等各个领域。据预测,到 2013 年,全球 RFID 市场将从 2008 年的不到 60 亿美元增长到 110.4 亿美元,这个市场从 2008 年至 2013 年的复合年增长率将达到大约 15%<sup>[2]</sup>。

用导电墨水印制 RFID 天线,代替传统的铝箔或铜箔蚀刻工艺,不仅可以解决环保问题,同时也提高了对基材的适应性,可在高分子、纸、陶瓷等各种基材上使用,是一种低成本的规模生产技术。相对于压箔法或腐蚀法提高了印刷速度,增大了产量,既快又便宜;而且在超高频段(860~950 MHz)和微波频段(2450 MHz),用导电油墨印刷的天线可以与传统蚀刻的铜天线相媲美。

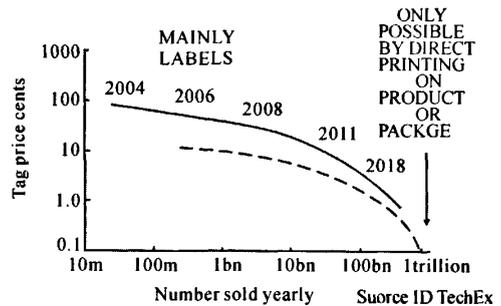


图 1 RFID 标签成本变化趋势图<sup>[3]</sup>

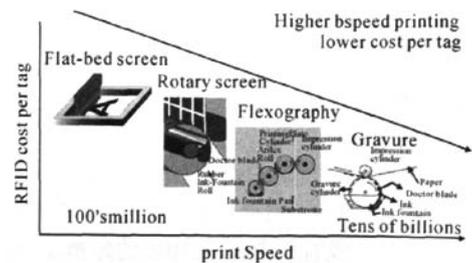


图 2 RFID 标签的印刷成本和印刷速度<sup>[3]</sup>

导电墨水也可用于直接印制 RFID 的芯片工艺中(不采用 Si 工艺,直接由墨水印制成具有 P-N 结的功能电路)。德国 PolyIC 公司于 2007 年已开发出世界上第一个印制聚合物晶体管的电子标签

(RFID)产品,该公司在2007年又进一步开发出具有32位和64位内存字节的有机电子标签<sup>[3]</sup>。这些新型印制电子产品的出现与具有各种功能的导电墨水的开发直接相关。

### 2.3 其它电子电路中应用

导电墨水除了用于制作导电路径、电极以外,还可用于制作晶体管、电感、电容、电阻、电池等功能组件,从而使印制电子电路具有在系统封装、LED/OLED、触摸屏和其他如显示电极组件、薄膜存储器、柔性光伏太阳能电池等方面的巨大应用潜力,代表了薄膜印刷电子材料、甚至整个印刷电子产业的发展方向。英国 Plastic Logic 公司集资1亿美元,在筹建世界上第一个用印制有机晶体管基板来制作显示器的工厂。

OLED是与液晶显示、等离子并列的当前三大最新型显示技术之一。同液晶、等离子相比,它在亮度、对比度、清晰度、柔韧性方面都将达到一个新的高度。OLED显示屏能够快速成像,视角接近180°,它耗电极低且显示器的重量小、抗震性好。

导电墨水在 OLED 上面的应用,除了可以直接印制导电路径,还可以用于 OLED 的透明电极。一般 OLED 照明面板的透明电极,多为层迭 ITO 薄膜和 PEDOT/PSS 薄膜的结构,ITO 薄膜由于比较硬脆以及和有机基材的热膨胀性质相反,容易发生剥落。采用比利时 AGFA 公司导电墨水 Orgacon 代替 ITO,更适合用于柔性透明基材<sup>[4]</sup>。

随着印刷技术、导电墨水和其他配套材料的发展,也可以通过喷墨打印方式直接制备 OLED 二极管,从而形成 OLED 显示器。

使用导电墨水印刷制备的透明导电膜,可以代替 ITO,具有成本低、环保、柔韧性好、效率高等优点。该透明导电膜可以用于触摸屏、OLED、太阳能电池等领域。目前该领域美国 Cambrios 和 Cima 公司处于领先地位,产品已经商业化。

比利时爱克发材料公司 Orgacon 系列产品,是基于导电高分子 PEDOT/PSS 的透明导电油墨,专为在各种电介质上印刷透明电极而设计。在柔韧性、伸展性等方面性能优异,用于柔性电致发光器件、柔性 LCD 和 e-Paper、静电屏蔽等领域中。

导电墨水作为印刷电子的核心材料,除了上述领域之外,还可以用于电磁屏蔽、薄膜印刷电池、电镀 pre-coat、板式加热器、防护墨水、电极形成及一

次性电子等领域中。

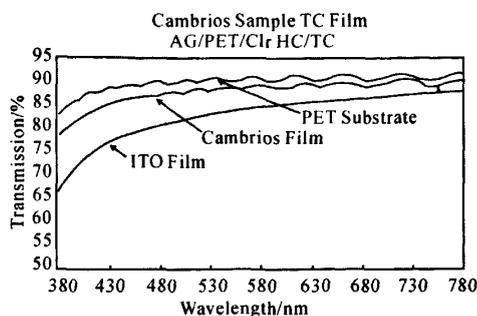


图3 Cambrios透明导电膜和ITO对比<sup>[5]</sup>

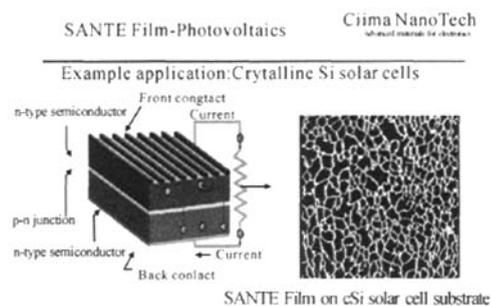


图4 SANTE透明导电膜用于光伏电池

## 3 导电墨水产业对于广东省低碳经济和新兴产业的意义

根据 IDTechEx 和 Nanomarkets 等著名的咨询公司预测,到2016年,仅用印制方法生产的有机 RFID 产品,其市场额将超过100亿美元。到2025年,各种印制电子产品的年销售额将达到3000亿美元。这是当今以硅芯片为基的微电子市场额的2倍,其中2500亿美元销售额来自有机材料,500亿美元销售额来自无机材料。根据 Nanomarket 预计,2014年印刷电子行业将使用银浆14亿美元,其中采用纳米技术的银浆超过4亿美元<sup>[6]</sup>。

通信电子制造是广东省的核心产业,该产业对电子电路的大量需求导致了 PCB, RFID, LCD 和 TFT 等配套产业在我市及周边地区的高度聚集。这些配套产业高能耗高污染的现状,对深圳的可持续发展和生活环境的提高带来了巨大的压力,寻求新的技术方法来实现绿色制造工艺是产业升级的必然

选择。

PCB行业从2010年开始已经进入稳定增长阶段,中国PCB产业2009年产值为163.5亿美元,占世界市场份额比例继续上升,达到36%,总产值、总产量均居世界首位。导电墨水的应用,简化PCB的生产过程和缩短生产周期,可以减少昂贵的生产设备和节省了成本,减少废水,改善了环境污染,使PCB生产走向“绿色生产”<sup>[7]</sup>。

目前中国RFID企业总数超过500家,这些公司多数集中在珠三角和长三角地区,产业链基本形成。芯片和天线设计与制造企业总共不到10%,是中国RFID产业最薄弱环节。导电墨水可以将RFID的天线以接近于零的成本印制到产品包装上,和传统的金属天线相比,具有成本低、印制速度快、节省空间、环保的优点,将极大的促进RFID的快速发展和应用。

广东省和深圳市正在打造全球的科技创新中心,优先发展环保节能电子产品、平板显示技术、半导体(LED)照明技术、太阳能电池等领域,这些新技术的发展离不开电子电路新材料的运用。

## 4 结 语

导电墨水是印刷电子的关键材料,在PCB,

RFID,LED/OLED以及其他电子电路领域中有极大的发展潜力。导电墨水的应用将极大地促进我国在节能环保、显示技术及太阳能电池行业方面的快速发展,在传统产业升级和新兴产业布局两个方面做出贡献,在未来有广阔的发展空间。

### 参考文献:

- [1] MURATA K. Direct fabrication of super-fine wiring and bumping by using inkjet process [C]//Polymers and Adhesives in Microelectronics and Photonics, 6th International Conference on Odaiba. Tokyo: Nat Inst of Adv Sci & Technol, 2007; 293-296.
- [2] 陈剑,冀京秋,陈宝国.我国射频识别(RFID)技术发展战略研究[J].科学决策,2010(1):9-11.
- [3] HARROP P, DAS R. Printed and chipless RFID forecasts, technologies & players 2009-2029[M]. Cambridge MA: IDTechEx Ltd, 2008; 48-57.
- [4] 邱勇,段炼,王立铎. PEDOT作为阳极的柔性有机电致发光器件[J].科学通报,2002,47(15):1151-1154.
- [5] WALKER G. Touch technologies tutorial[M]. Auckland New Zealand: Next Window, 2010; 176-178.
- [6] ROBERT Nolan. Silver powders and inks for printable electronics[M]. Dublin: Nanomarkets, 2007; 2-10.
- [7] 梁志立,颜永洪.经历金融风暴的中国PCB行业百强[J].印制电路信息,2010(7):3-9.

## Application of conductive ink

QIN Jian, HU Jun-hui, ZHENG Bi-juan

(Huazhong University of Science and Technology Research Institute in Shenzhen, Shenzhen 518116, China)

**Abstract:** The application of conductive ink in many fields, such as CB/FPCB, RFID, OLED was mainly introduced. According to the application fields and the requirements of printing process, the conductive components and the ingredients can be adjusted. The significance of conductive ink to the low carbon economy, energy saving and emission reduction, as well as the industry technology upgrade in Guangdong was presented.

**Key words:** conductive ink; printed electronics; PCB/FPCB; RFID; display