

发展我国有源选址显示产业的点滴思考

孟志国, 吴春亚, 熊绍珍

南开大学 光电子所暨天津市光电子薄膜器件与技术重点实验室

(天津市南开区卫津路 94 号, 300071)

摘要: 有源选址平板显示已成为信息产业的重要支柱。目前, 我国的技术根源多取自于外, 何时、如何能达到自主创新?

1、引言

平板显示已经成为人们日常生活与生产中不可或缺的必需品之一。其产业地位、技术含量以及对国民经济发展的带动作用, 已经可与集成微电子学的地位相比拟, 成为新兴的产业和学科。它的技术或学科基础, 是以薄膜晶体管 (TFT) 为单元的大面积薄膜微电子学。图 1 示出^[1]以晶体管为基本器件单元的微电子技术的发展历程与以薄膜晶体管为基本概念的技术发展历程的比较。该图清晰看出两者起步的时间相隔并不遥远。然而薄膜材料与器件技术的难度, 使得它进入产业化的时间, 却比晶体硅集成电路的产业化发展历程要艰难得多。

是非晶硅材料的研究及其特性的日益改善, 催生了非晶硅薄膜晶体管 (a-Si TFT) 的发展^[2]。自 1979 年非晶硅薄膜晶体管 (a-Si TFT) 诞生待走向产业化, 在非晶硅太阳能电池技术发展的带

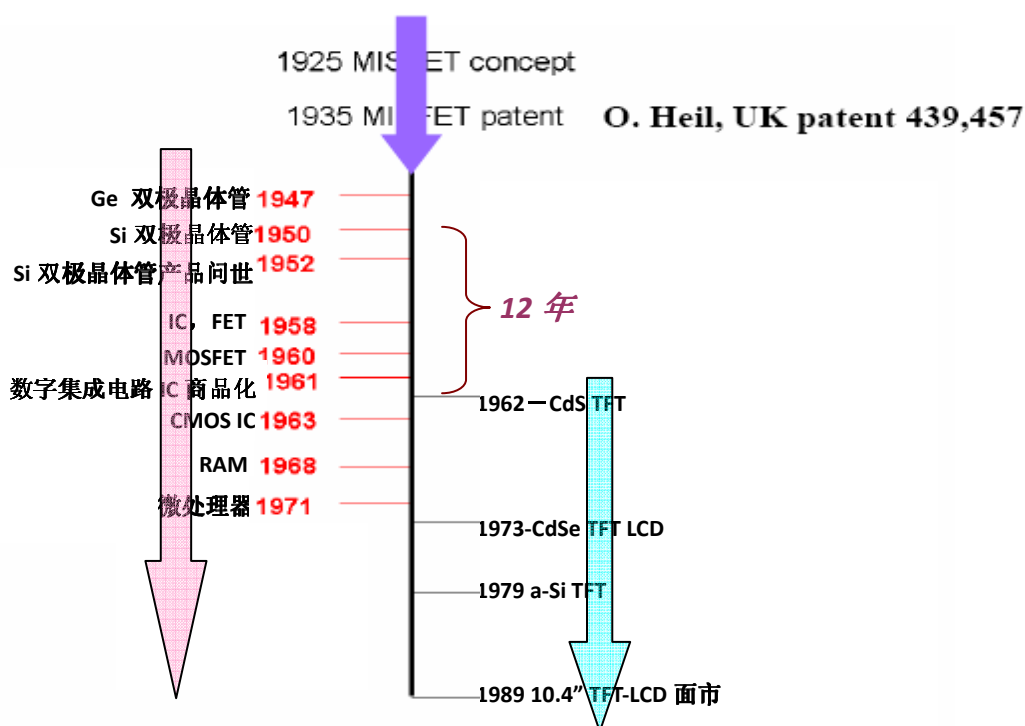


图 1 微电子技术及薄膜器件发展历程的比较^[1]

动下, TFT-LCD 产业得到迅速发展, 从 1992 年第一代线的建立到 2007 年夏普宣称拟建十代线, 用了不到 15 年的时间。图 2 示出超大规模集成电路技术^[3] (以摩尔定律为代表) 和以有源选址液晶显示 (AMLCD) 的母板尺寸为代表的大面积薄膜微电子学技术^[4] 发展历程 (Roadmap) 的比较。两者的发展趋势非常相近。只不过薄膜微电子学发展之路, 起步晚于大规模集成电路几乎 20 多年而已。因此可以说, 在薄膜微电子领域似乎也存在着一个“摩尔”定律, 它们的发展方向虽然完全相反, 但是却都是向极限挑战: 一个是向着“超微型——纳米级”极限挑战, 一个是向“大规模——超平方米级”的挑战。面对两者如此的相似性, 如何思考与借鉴, 是本文拟讨论问题的出发点。

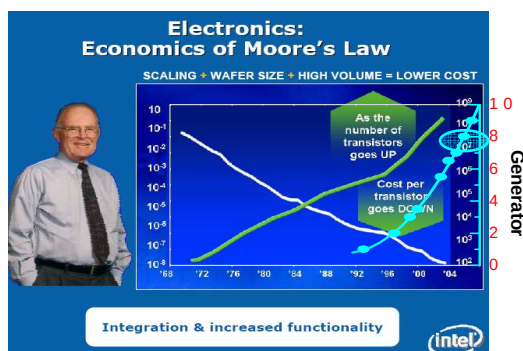


图 2 超大规模集成电路^[3]与薄膜微电子技术发展历程的比较^[4]

2、有源选址平板显示的技术特色

有源选址平板显示 (AMFPD) 技术的基础, 是以 TFT 为器件单位构建的大面积薄膜集成电路, 它包括选址电路和周边驱动集成电路^[5], 正如图 3 所显示的那样。该结果采用的是多晶硅薄膜晶体管 (poly-Si TFT) 的技术。多晶硅材料是由日本夏普和半导体能源实验室联合开发成功的连续晶粒技术。鉴于 poly-Si 的高迁移率能力, 故可将周边驱动电路与图象选址电路集成于一体、构建全集成型 SOP-LCD, 甚至将 CPU 亦集成于其中。因此我们有源

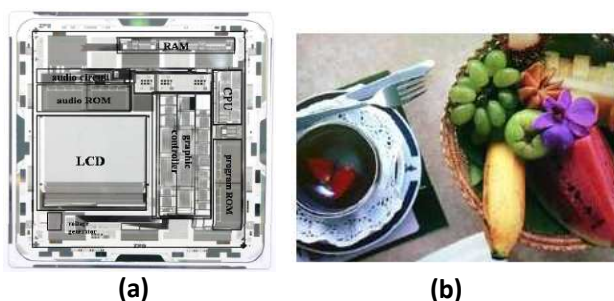


图 3 全功能 SOP 芯片照片(a)及屏上拍下的照片(b)^[5]

选址平板显示的技术特色, 是属于薄膜微电子学的范畴。综合分析先进的有源选址的显示屏 (无论是 LCD 还是 OLED) 都离不开起开关 (或驱动) 作用的 TFT。而 TFT 的结构和工作原理与单晶硅 MOS 管基本相似。这就使得可以借鉴 MOS 器件的某些技术, 然而它们有源材料的不同, 又带给 TFT 自身独有的特点:

它的优点是: 非晶硅材料, 易于大面积、均匀、低温制备; 可选用连续沉积, 自动化程度高; 进而成本低。这正是 AM-LCD 的发展, 能够遵从第二个“摩尔”定律那样, 使产业化的母板尺寸, 几乎也是每两年就能翻一番。

然而它的缺点也是很明显的:

(1) TFT-LCD 制备在一种外来的非硅衬底之上, 如玻璃, 塑料等, 这些衬底与硅结构的差异, 导致生长的材料是一种原子排列为无序网络式的非晶态或者微晶态的结构, 因此它的性能显然会比单晶硅差的很多, 就迁移率来说, 可差到两至三个量级。如此低劣的性能, 在工艺技术以及器件设计上, 需要赋予足够的智力。

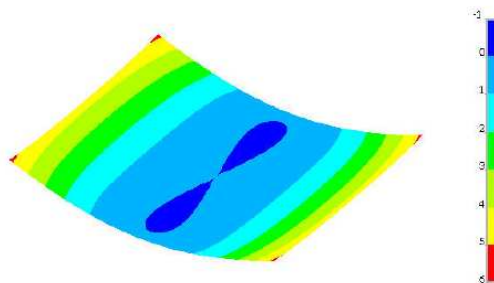
(2) 硅基薄膜材料的结构无序化, 使得描述器件的物理模型, 与单晶硅器件的模型相差甚远,

可以借鉴一些概念，但是不能照搬，必须建立薄膜器件自己的模型以及制备规则。

(3) 随母板尺寸的不断升级，出现了大尺寸带来的新的问题，如相应大小加工设备的制造问题；衬底加工过程中受温的形变、大面积自身重力导致的形变等不均匀问题，大面积系统沉积的均匀问题（如薄膜沉积过程中引入的应力导致衬底最大 6mm 的形变^[6]，参见图 4）；搬运过程中的其他问题，都将随尺寸的增大问题越多，越来越显现，图 4 仅是一个非常简单的示例（未计入重力问题）。

母板尺寸的增大，会不会像超大规模集成电路中因尺寸效应而引入一个极限问题那样，十代线之后，还是什么？大面积也会有极限吗？它的极限在哪里？我们认为，物理极限总是会存在的，也相信随科技的进步，能不断地克服或抑制限制因素、并开创新的途径解决极限问题。但是对于极限，还面临另一个因素，那就是资金的投入，会不断减少竞争者的参与。就像现在微电子产业上仍大规模投资的代表人物越来越少，只有在技术

上掌握绝对实力公司，如 Intel，意法半导体，才不断为新技术的需要大量投资。继日本夏普、韩国三星与 LG，以及台湾的友达光电，相继宣布建十代线的计划；也见到韩国三星正与日本索尼讨论筹建十一代线的报道。相信随十代线之后，参与母板继续扩大的公司会屈指可数。大量扩产带来的结果会是什么？由清华大学主办的平板显示文摘上近期给出的消息，随面板价格的下降、或供过于求的可能，一些公司正在缩小每月的产能（~10%）。让我们看一下现在微电子线的“代工”的工作模式，可能得到些许启发。随世界产能大到某个程度，“代工”可能是一个较好的出路。这或许是一个信号：AMFPD 也有一天会走上“代工”之路！



Gen 5 Film Thickness = 3000 Angstroms Film Stress = 550 dyne/cm²

图4 第5代线(1300 mm x 1100 mm x 0.7 mm)

上沉积薄膜引入的应力导致衬底形变^[6]

3、 对发展我国 AMFPD 产业的点滴思考

IT 产业的特点是全球化。我国已经引进了 3 条 5 代或 5.5 代的 TFT 线。各有各的引进技术或归属的合资公司。在信息产业部大力推动下的沸沸扬扬的全国大整合，历经约两年时间最终告吹。其原因是什么？那些源自各自的技术属性、属于不同国家的技术（或合资）公司利益，在其中起着多大的、某些微妙的作用？这正鲜明地显示出某些应该可供思考的问题。在全球 TFT 事业发展日益趋于成熟的今天，即使国外的公司，站在各自国家利益上，也在兴起技术互补合作的浪潮。例如，一向是你追我赶的韩国三星和 LG，2006 年 LG 刚报道 82 英寸 TFT-LCD，同年底，三星就报出 100 英寸的。这种技术的精彩常在每年 5—6 月间于美国召开的 SID 国际会议上饱人眼福。而去年却有消息显示，为了应付与日本的竞争，两家正探讨技术合作。另外，有迹象表明，低端的 TFT 平板显示产业正逐渐扩散至发展中国家。如何改变我国上世纪末在无源 LCD 显示时期所遇到的景象——产品个数占全球的 80% 以上，而产值仅占不到 1%。还有 CRT 方面曾经的经验教训……。面对当前平板显示兴旺发达的斑斓景象，聪慧的产业领导，我们应该思考些什么？



面对国外在中小尺寸上已经解禁,陆续往外推销、以收回前期研究成本的新形势,从国家和企业两个层面上,我们瞅准的方向应该在哪里?如何针对源于国外的技术,何时、如何能达到自主创新?如何有目的、分层次、抓重点地研发突破?十一五期间,国家投入了很多资金,下大力气安排了“863”重大计划,真心想壮大有源选址平板显示产业,改变现在的技术仍依赖国外的状况,用心非常良苦。此时如何避免各有关公司切块瓜分之嫌,真正能够在推进 TFT-FPD 产业化关键技术上下功夫,用国家的钱,达到 863 项目任务的初衷,在我国自主开发的带前瞻性的项目研究突破限制方面则显得更为重要,以使我国 TFT 产业的整体实力攀登上新台阶。

深入分析 TFT-FPD 的特点以及各国各地区产业发展的历程,对于后起的产业,最关键的在于设备的科学配置以及再开发的能力。也就是说前者是前提,后者是后劲,两者缺一不可。台湾平板显示产业的高速发展,从“学生”到“领军”不到 10 年,关键在于最先由台湾省政府所属工研院组织的计划与采购团队,对政府级研究线的正确配置;再加上大批从美国归国的优秀科技人才发挥的再创新能力。技术、资金、人才,三者相得益彰!其中台湾省政府对此项产业从一而终的强有力的掌控作用更显首位,这种实质性的政府的领导作用,对重大计划,请多方科技专家讨论,充分讨论再做决定,拿人民的钱办实事,产业界也就容易依从安排,这一点非常值得我们的领导借鉴和学习。

引进是一门艺术。如何在引进中获得最大效益,确实需要巧妙的策略以及专业人才远见卓识的分辨真伪的能力。在我国下一轮 6 代线的引进浪潮中,但愿能上一高台阶,不仅引进了技术而且在知识产权上,也要想办法维护自身更多的利益,就像 909 工程建设时,与比利时 IMEC 谈判中所获得的效益那样,不仅引进了设备,更获得再创能力。

考虑到在薄膜微电子发展历程中“代工”的必然趋势,我们认为,尽快为“代工”做好准备,已经是时候了。所谓“代工”,是按照用户的设计,请代工的工厂代为实施之意。它的前提是,要有一个标准的、代工厂能够共识的规则。然而这个规则又是建立在对薄膜 TFT 器件及其电路具有公认模型基础上的。单晶硅集成电路的设计业,当前已经是一非常兴旺的产业,正是由代工的需求所带动的。单晶硅从上世纪 60 年代产业化逐渐成熟以来,已有近半个世纪的历史,加上单晶硅自身的规则化、标准化,集成电路设计学以及相应的代工规则,早已经成熟,近 20 来年的代工实践,使其更趋完整、极尽达到了完美。如何将一个自身结构不规则性、器件模型尚未严格建立的薄膜微电子集成电子学的设计学建立起来,是一个任重而道远的任务。现在还不做,到时候就会措手不及了。因此我们说,现在是要创建我国 AM-FPD 设计平台的时候了。AM-FPD 设计平台的建立,并与 863 计划建立的 TFT 技术研制平台的紧密结合,就可把从器件设计、工艺设计到驱动电路设计(甚至可包含显示屏所需的驱动电路 IC 和周边集成电路的设计、模块的设计一体化)全面建立起来,与工艺平台的实施相结合,进行验证、补充与完善。逐步建立我国自己的 IP 核设计以及相关数据库,尽早为代工的到来做好准备。其作用,同时还可作为现有 TFT-FPD 公司,在引进的基础上,提供多方位的技术服务,促进产品更新与升级换代。

我们说“是时候了”,还有另一层含义,那就是在我国已经有了一定的技术基础。早在 90 年代初期、TFT-LCD 产业刚刚兴起的时候,发改委的前身——国家计委,就远见卓识地经过近两年的酝酿,于 1992 年正式组建了以南开大学为牵头单位的攻关队伍,实施“八五”科技攻关。国家科委也安排了以 55 所为牵头单位的科技攻关。在计委的支持下,南开大学联合清华大学、北京大学组成新时期的“西南联大”似的攻关队伍,不到两年, TFT 的特性参数可与当时的国

际水平相当，并于1995年研制出2英尺无线缺陷的单色a-Si TFT-LCD模块以及投影样机。图5(a, b)示出南开大学1995年前后取得成绩一览。55所亦获得良好成绩，圆满完成科委攻关任务。可惜当时国力不足，企业也没有能力涉足如此高投入的产业。已有的研究没有后援支持，处于自生自灭状态，错失了继续发展的良机，把好不容易缩小的与国外的差距丧失殆尽。南开大学并没有懈怠，加强了与香港科技大学的合作、继续着相关研究。由非晶硅TFT研究发展至微晶硅、多晶硅TFT及其显示驱动电路的全面研究。图5(c, d, e)分别示出，于2003年和2005年与香港科技大学、清华大学、华中科技大学以及信利半导体公司合作、为完成国家863任务所取得的成果，以及现在周边驱动电路进行的模拟设计。这只是显示了南开与国内单位合作研究的实例。其他单位，如吉林大学，长春物理所与吉林省建立的彩晶公司等，都在TFT研究方面作出了很好的成绩，为我国自主开发奠定了前期基础。我们相信，产学研的有效合作，定能使我国这一兴旺的产业 develop 得更加鼎盛与辉煌。

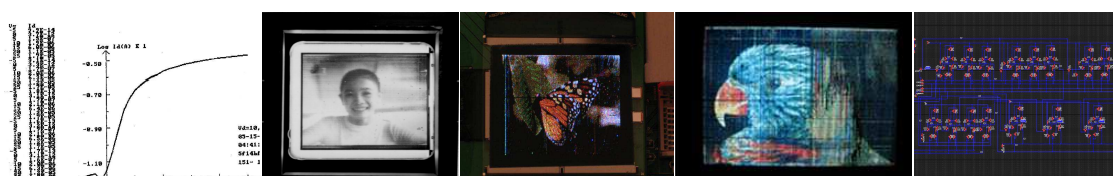


图5 (a)60行每10行测1个 a-Si TFT特性曲线的叠加 (b)体操运动员 莫慧兰(1995年) (c) 2"彩色多晶硅 TFT-OLED (d) 5"彩色多晶硅 TFT-OLED (e) 周边扫描电路模拟设计

4、 结语

显示产业已成为可与大规模集成电路齐平的支柱产业，国家应该对其进行全方位的整体规划，不能仅仅看作是公司自己的事。面对国际化竞争态势以及 TFT 平板显示产业逐渐扩散至发展中国家，借鉴上世纪末我国在无源显示产业的窘境，新一轮的引进要注重引进“艺术”以及知识产权的效益。随母板尺寸不断增大，最终的转型趋势会走上“代工”之路，为及早做好我国自己的“代工”，现在是到了创建我国自主 AMFPD 设计平台的时候了。南开大学为此做好了准备，愿与国内产业界广泛合作。

感谢：感谢美国德州农工大学薄膜微电子研究实验室主任郭育（Yue KUO）教授的有益讨论。感谢科技部十五期间 863 项目的大力支持。

参考文献：

- [1] Yue KUO, " Thin-Film Transistor and Ultra-Large Scale Integrated Circuit: Competition or Collaboration", Japanese Journal of Applied Physics , Vol. 47, No. 3, 2008, pp. 1845 - 1852
- [2] 熊绍珍, “薄膜微电子学”, pp. 480-523, “半导体科学与技术”一书中的第十四章, 何杰和夏建白主编, 科技出版社, 北京, 2007年9月第一版
- [3] H. Rong, Silicon Photonics: Recent Advancement in Silicon Based Laser, Amplifier



- and Wavelength converter, J. of Optoelectronics • Laser, 2006 (17- suppl): p.11
- [4]Chunya Wu, Xuedong Li, Shuyun Zhao, Juan Li, Zhiguo Meng, Man Wong, Hoi Sing Kwok and Shaozhen Xiong, "Solution-based Metal Induced Crystallization of a-Si", Proceedongs of ASID' 07, p. , Shanghai, Match, 2007
- [5]T. Ikeda, Y. Shionoiri, T. Atsumi, A. Ishikawa, H. Miyake, Y. Kurokawa, K. Kato, J. Koyama and S. Yamazaki, "Full-Functional System Liquid Crystal Display Using CG-Silicon Technology", SID' 04 Digest, p.860, 2004
- [6]S. F. Hoysa nand P. O. Johnson, "Impact of CVD Film Deposition on Pitch Change", *SID 05 DIGEST*, p. 72