

文章编号:1007-2780(2016)11-1055-09

工艺路线对 TFT 工厂能源消耗的影响

蒋婧思*, 李 强

(中国电子工程设计院工艺所, 北京 100142)

摘要:为了在 TFT 工厂的设计、建设及运营阶段采取有针对性的节能降耗措施,有效降低器件制备过程中的能耗,本文根据我院多年从事 TFT 生产线节能评估工作的经验数据,针对不同技术路线,选取具有代表性的 TFT-LCD 及 AMOLED 生产线,并对其能耗进行对比分析,以讨论不同技术路线对 TFT-LCD 及 AMOLED 显示器件生产能耗的影响。分析结果表明:阵列制备是最主要用能工序,其制备复杂程度可采用光罩次数(Mask)表征。随着光罩次数的增加,器件制造对电力、氮气、新鲜水等能源及耗能工质的需求呈急剧增长;采用 10-13Mask 技术的 LTPS 及 AMOLED 显示器件,其综合能耗达到 a-Si 及 Oxide 技术路线的约 350%之多;在不同技术路线下,电力均为最主要的用能需求,其消耗量占总能耗的 80%~87%。能耗的增加导致用能成本的大幅上升。在国家大力提倡绿色经济的环境下,建议各大厂商采取科学有效的能耗管控措施,以降低能源消耗及用能成本,实现产业的健康可持续发展。

关键词:TFT;LTPS;IGZO;AMOLED;综合能耗;单位产品能耗

中图分类号:TN27 **文献标识码:**A **doi:**10.3788/YJYXS20163111.1055

Influence of device structure and production technics on energy consumption in TFT factory

JIANG Jing-si*, LI Qiang

(China Electronics Engineering Design Institute, Beijing 100142, China)

Abstract: In order to take proper energy saving measures in design, building and running of TFT factory and reduce energy consumption of the TFT device production effectively, this article takes the method of comparative analysis, by summarizing the energy consumption data of typical TFT-LCD and AMOLED production lines designed by CEEDI, analyzes how device structure and production technics impact the energy consumption in device production. The result shows that TFT array is the most important energy consuming process, and complexity of array process can be characterized by repeat number of the mask. As repeat number of mask process increases, consumption of electric, nitrogen and fresh water increase remarkably. Total energy consumption of LTPS and AMOLED device that adopt 10-13 mask technics can be up to 350% of those that adopt a-Si and Oxide technics. In all technic routes, electric is the most important energy that needed, which takes 80%-87% of total ener-

收稿日期:2016-07-20;修订日期:2016-09-08.

* 通信联系人, E-mail:jiangjingsi@ceedi.cn

gy consumption. Increased energy consumption leads to increase in energy costs. Now the country vigorously promotes green economy, suggest TFT and AMOLED manufacturers take scientific energy control measures, not only to reduce energy consumption and cost, but also to achieve the healthy and sustainable development of TFT -LCD and AMOLED industry.

Key words: TFT-LCD; LTPS; IGZO; AMOLED; comprehensive energy consumption; energy consumption per unit product

1 引言

平板显示被誉为信息社会的“窗口”,是信息社会发展的重要支撑。在诸多平板显示技术中,TFT 显示器件由于其轻薄、亮丽、响应速度快等优越特性,成为当今社会应用最为广泛的平板显示技术。在国家政策的大力支持下,我国 TFT 产业取得了长足进展。在产能扩充的同时,我国 TFT 产业坚持走差异化技术发展道路,除传统 a-Si 技术外,Oxide、LTPS、AMOLED 等新型显示技术在规模化生产中成功应用。各类技术代表产线包括:

a-Si 技术:京东方北京 8 代线、华星光电深圳 8.5 代线(2 条)等;

LTPSTFT-LCD 技术:京东方鄂尔多斯 5.5 代线、华星光电武汉 6 代线等;

Oxide(IGZO) TFT-LCD 技术:京东方合肥 8.5 代线(部分)、重庆 8.5 代线(部分)等,上述产线中,IGZO TFT 阵列均采用了 5-6Mask 底栅型结构;

AMOLED 技术:和辉光电 4.5 代线、武汉天马 6 代线(建设中)等^[1]。

TFT-LCD 及 AMOLED 显示面板生产线工艺流程复杂、自动化程度高、厂房体量大、厂务系统复杂、投资规模大,是电子制造业中大批量、高精度加工生产的典型代表。在产业迅速发展的同时,也应当意识到其具有能耗高、能源及耗能工质需求种类复杂等特征。目前国家大力提倡节能减排,国家及一些地方工业主管部门相继发布了工业(产业)能效指南,其中列入了重点用能行业的多项能耗指标,作为政府部门设定产业准入门槛、以及生产单位作为能效水平参考的依据^[2]。然而其中,对 TFT 产业能耗却没有明确规定。

在不同技术路线下,TFT-LCD 及 AMOLED

显示器件的能耗差异明显,甚至相差数倍之多。为了在工厂的设计、建设及运营阶段采取有针对性的节能降耗措施,有效降低器件制备过程中的能耗并实现产业的可持续发展,本文针对典型技术路线,选取有代表性的 TFT-LCD 及 AMOLED 生产线,并对其能耗构成、耗能特征进行对比分析,以讨论 TFT 生产线的能效指标,以及不同技术路线对生产线能耗的影响。

2 规模化生产典型技术及用能种类分析

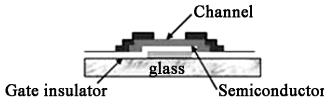
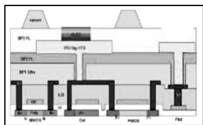
2.1 实现规模化生产的主流 TFT-LCD 及 AMOLED 生产技术

a-Si TFT 是发展最早,也是最为成熟的 TFT-LCD 生产技术。随着下游产品不断对显示技术提出新的要求,LTPS、Oxide、AMOLED 等技术兴起,与 a-Si 技术并行发展,我国 TFT-LCD 产业呈现多种技术路线并行的局面。a-Si TFT 由于其成熟的技术以及低廉的成本,广泛应用于各种类型显示器件;与 a-Si TFT 技术相比,LTPS TFT 具有极高的载流子迁移率及像素密度,适合窄边框小尺寸产品,在智能手机、平板电脑等移动设备中占据一席之地;以 IGZO 为代表的 Oxide 技术(底栅型)与 a-Si 技术具有较大的设备及技术共通性,预计未来在大尺寸领域将成为 a-Si 的替代技术;而新兴的 AMOLED 技术则是柔性显示的重要实现手段。

采用不同技术路线的 TFT-LCD 及 AMOLED 生产线在产品结构、主要工序构成等方面呈现出一定差异,尤其是 AMOLED,突破性地采取了主动电激发显示技术,摆脱了对液晶材料、CF(Color Filter)及背光源的依赖,严格来讲已经不再属于“液晶显示器件”的范畴。然而,虽然显示原理不同,但其核心技术依然在于以 TFT

表 1 主要 TFT-LCD 及 AMOLED 显示器件结构及阵列制备技术

Tab.1 Different device structures and Array process technology of TFT-LCD and AMOLED

技术路线	典型器件结构	TFT 阵列典型结构图	阵列制备技术
a-Si	a-Si 衬底 TFT 阵列/液晶/彩膜		4-5Mask 工艺
Oxide	Oxide 衬底 TFT 阵列/液晶/彩膜		5-10Mask 工艺
LTPS	LTPS 衬底 TFT 阵列/液晶/彩膜		8-13Mask 工艺
AMOLED	LTPS TFT 阵列/OLED 发光层	通常采用 LTPS TFT 阵列	8-13Mask 工艺

阵列为驱动,实现局部颜色显示的控制,如表 1 所示。

在上述各类平板显示器件的制备过程中,TFT 阵列的制备是最为复杂的工序,其复杂程度可通过光罩次数(Mask)体现,光罩制程包括薄膜制备、涂胶、显影、刻蚀等一系列 TFT 核心工序。目前成熟的 a-Si TFT 通常采用 4-5Mask 技术;Oxide TFT 器件结构分为顶栅型及底栅型,其中采用 5-6Mask 技术的底栅型 IGZO TFT 与 a-Si TFT 在器件结构与制备流程方面具有较高的共通性,在当前的规模化生产中具有最为广泛的应

用^[3];LTPS TFT 器件结构相对复杂,需要 8~13 次光罩制程,实际生产过程中 10Mask、11Mask 及 13Mask 技术相对常见^[4]。同时,由于 LTPS 阵列技术具有载流子迁移率高、响应速度快等优势,成为当前规模化 AMOLED 显示器件生产的首选驱动技术^[5]。

2.2 TFT-LCD 工厂的用能种类及能耗比例分析

在统计分析过程中,本文将 TFT-LCD 及 AMOLED 生产线的用能体系分为主要生产设施、辅助生产设施及附属生产设施,上述体系的构成及能源/耗能工质的消耗如表 2 所示^[6]。

表 2 TFT-LCD 及 AMOLED 显示器件生产中的用能系统及用能种类

Tab.2 Energy consumption system and energy consumption in TFT-LCD and AMOLED production

用能体系	耗能系统/工序	能源/耗能工质种类	备注
主要生产设施	阵列/彩膜/成盒/模组/OLED 蒸镀及封装	电力、纯水*、冷却水*、大宗气体、工艺真空*、压缩空气*	AMOLED 显示技术中发光层制备通过 OLED 蒸镀实现,不需要彩膜及成盒工序,亦不需要背光源。
辅助生产设施	供配电系统	电力	电力损耗
	给排水系统	电力、新鲜水	
	冷热源及气体供应系统	电力、天然气/市政热源	
	采暖通风净化空调系统	电力、新鲜水	

续表

用能体系	耗能系统/工序	能源/耗能工质种类	备注
	照明及插座、舒适性空调	电力	
附属生产 设施	舒适性空调		包括服务于生产的办公楼、门卫、室外道路 照明及绿化设施等。
	生活、浇洒用水	新鲜水	
	食堂燃气	天然气或电力	

*：真空、压缩空气、纯水、冷却水通常为企业内部自制，属于内部能源转化，不计入能耗。

在此，针对 a-Si、LTPS、AMOLED、Oxide 技术，本文选取具有代表性的产线作为分析对象，对其能耗数据进行分析。其中：a-Si 技术路线以国内某第 8.5 代 a-Si TFT 生产线为代表；LTPS 技术路线以国内某第 6 代 LTPS TFT 生产线为代表；AMOLED 技术以国内某第 6 代 LTPS/AMOLED 生产线为代表，Oxide 技术以国内某第 8.5 代 Oxide TFT 生产线为代表。

在能耗数据计算过程中，工艺设备能耗数据来源于各面板及设备厂商所提出的设备装设容量、负荷系数等数据，以及我院在节能评估工作中的能耗计算；辅助、附属生产设施能耗来源于我院在实际设计工作中根据工艺设备需求所采取的系统设计、设备选型，以及节能评估工作中的能耗计算。本文中数据不涉及知识产权问题。

在此，首先对不同技术路线下的 TFT-LCD 及 AMOLED 生产线中各类能源消耗的占比进行分析，如图 1 所示。为方便对比，各类能源及耗能工质的消耗量已折算为标准煤(tce)，此处各类能源折标煤系数参考国家标准规范《综合能耗计算通则》^[7]。

从对比结果可以看出，TFT-LCD 及 AMOLED 生产线最主要能源消耗为电力，其消耗量(折标煤)占总能耗的 80% 以上，其中 a-Si、LTPS、Oxide 技术的电力消耗占比达到 85% 以上。除用电之外，TFT-LCD 及 AMOLED 能耗主要包括新鲜水、天然气(或市政热力)、大宗气体。

在所有大宗气体中，作为保护性气体的氮气是最主要的能耗构成。这是由于在 TFT-LCD 及 AMOLED 显示器件制备过程中，多个制程需要在氮气保护环境中进行。a-Si/LTPS/Oxide TFT 生产线的氮气消耗约占能耗总量的 8% 到 13%，而采用 AMOLED 技术的情况下氮气消耗

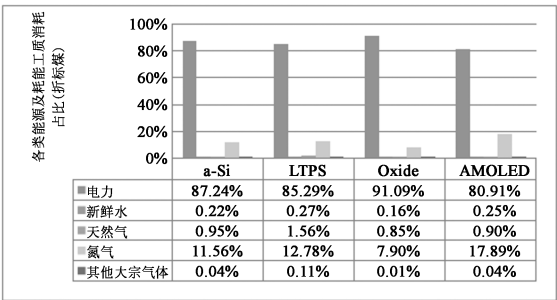


图 1 TFT-LCD 及 AMOLED 生产线对能源及耗能工质的消耗占比

Fig.1 Proportion of energy and energy consumed medium in TFT-LCD and AMOLED production

占比则明显提高，达到约 18%。其他大宗气体，包括 O₂、H₂、Ar、He、CO₂ 等消耗量极低，可忽略不计。

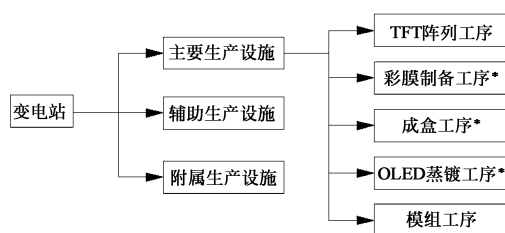
3 TFT 工艺技术路线对生产能耗的影响分析

以下对不同技术路线下 TFT-LCD 及 AMOLED 生产线的主要能源及耗能工质消耗逐一分析。为了在分析过程中消除产能对能耗的影响，下文中的能源、耗能工质的消耗量，以及综合能耗的分析均以“单位产品能耗”为标准进行分析比对。此处“单位产品”指单位面积(1 m²)阵列玻璃基板^[8]。

3.1 电力消耗分析

在 TFT-LCD 生产线中，电力消耗流向如图 2 所示。

由于 TFT 显示器件的生产对洁净度有着较高的要求，大部分生产区域洁净度在 ISO Class5 到 ISO Class7 之间^[9]，故用为维持稳定的洁净生产环境，辅助生产设施中的空调及冷热供应等系



* : AMOLED 显示器件的生产不包含彩膜及成盒工序,其色彩及发光层制备通过 OLED 蒸镀来实现。

图 2 TFT-LCD 及 AMOLED 生产中电力消耗流向分析

Fig.2 Electricity consumption flow in TFT-LCD and AMOLED production

统产生较大的电力及冷、热量需求。辅助生产设施耗电量占到全厂的 50%~55%之间,主要生产设施的用电量约占 45%~50%。辅助生产设施的核心目标在于为主要生产设施提供其正常运行所必要的稳定、适宜生产的洁净环境,并为工艺设备提供可靠的水、电、气体等能源及耗能工质供应。换言之,辅助生产设施的配置及能耗取决于生产线工艺设备的构成及选型。

以下我们针对主要生产设施用电进行重点分析。如图 3 所示。

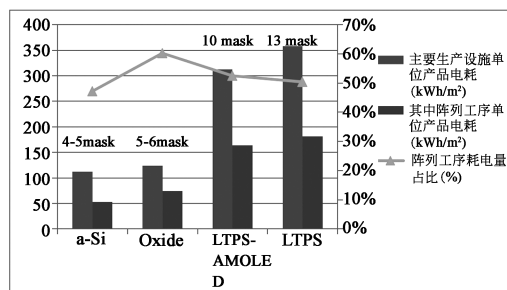


图 3 不同技术路线下主要生产系统中电力消耗分析

Fig.3 Analysis of production system electricity consumption under different techniques

在主要生产设施的各生产工序中,阵列工序是最主要耗电工序,其耗电量占主要生产设施的 45~55%之间。目前成熟的 a-Si TFT 阵列普遍采用 4-5mask 技术,同时考虑到 a-Si TFT 技术普遍应用于 8 代以上的高世代玻璃基板的加工,规模化效应一定程度上进一步降低单位产品能耗;Oxide 阵列制备普遍采用 5-6mask 技术,其电耗相比 a-Si 略有增加;而采用 LTPS 技术的生产线,其生产设施电耗、阵列制备电耗则明显高于 a-

Si 及 Oxide 技术。从分析数据可以看出,采用 LTPS 阵列技术后,仅阵列工序增加至 a-Si 技术的 4 倍之多。主要生产设施单位产品电耗更是达到 320~360 kWh/m² 之间。导致 LTPS TFT 阵列耗电量显著增加的原因主要在于以下两点:

(1)光罩制程(Mask)的多次重复以及生产周期的延长。在 TFT 显示器件的阵列制备过程中,几乎每一次光罩制程都涉及薄膜沉积(Sputter、PECVD)、光刻(Coater、Photo)、刻蚀(Dry Etch、Wet Etch)等多个工艺步骤及设备,LTPS 器件结构决定了其阵列制备过程中,光罩制程往复次数远高于 a-Si 及 Oxide 技术,从而导致电耗的显著增加。同时,在 LTPS 阵列制备的过程中,化学气相沉积(CVD)成膜制程重复次数一般为 4 次,而 a-Si 与 Oxide 技术则为 2 次。CVD 制程的增加亦是与光罩制程的多次重复紧密相关。

(2)新工艺的增加。LTPS 技术涉及到低温多晶硅制备(ELA)、快速退火(RTA)、离子注入(IMP)等制程^[10],以某 LTPS 生产线为例,ELA、RTA、IMP 设备的耗电量占到 TFT 阵列制备总用电的 10%以上,其中快速退火设备 RTA 由于装设功率、运行负荷系数高,电力消耗尤为显著。

3.2 氮气消耗分析

TFT-LCD 及 AMOLED 显示器件生产过程中,绝大部分生产工序都在氮气保护环境中进行,因而氮气成为电力之外的最主要能耗需求。与其他能源及耗能工质不同,氮气仅用于主要生产设施(即生产线)。以下是不同技术路线下的氮气消耗量分析。

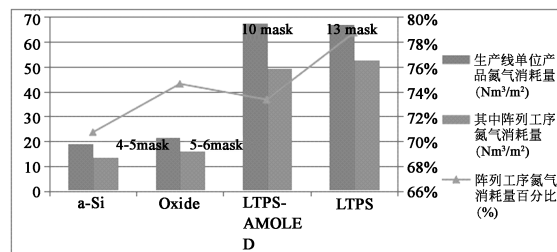


图 4 不同技术路线下主要生产系统中氮气消耗分析

Fig.4 Analysis of production system N₂ consumption under different techniques

阵列工序中的刻蚀(Etch)、黄光(Photo)及薄膜制备所采用的化学气相沉积设备(PECVD)

是最主要的氮气消耗设备,随着光罩制程往复次数的增加,氮气消耗亦呈上升趋势。Oxide 技术与 a-Si 具有较强的共同性,氮气消耗量略高于 a-Si,然而在 LTPS 技术路线下,单位产品的氮气消耗量明显提升,阵列工序尤为显著:采用 10Mask 技术的 LTPSAMOLED 生产线阵列工序单位产品的氮气消耗达到 Oxide 技术的 307%。对氮气消耗特征分析如下:

(1)光罩制程的增加及生产周期的延长导致氮气消耗的显著增加。

(2)AMOLED 生产线中,OLED 蒸镀工艺需要消耗大量氮气。将 LTPS 与 LTPS-AMOLED 生产线的氮气消耗进行对比,仅就阵列工序氮气消耗量而言,采用 13Mask 技术的 LTPS 产线阵列工序单位面积氮气消耗量为 52.81 Nm 略高于采用 10Mask 技术的 LTPS-AMOLED 产线 (49.31 Nm³),然而 AMOLED 生产过程中的 OLED 蒸镀及封装工序中,单位产品的氮气消耗量却达到 17.92 Nm³,超过了 LTPS TFT-LCD 生产线中 CF、CELL 及 MDL 工序的总和 (14.28 Nm)。这是由于在 OLED 蒸镀(Vapor)设备腔体数量多、蒸镀工序复杂,导致对作为保护气体的氮

气需求量急剧增加。

3.3 新鲜水及其他消耗分析

我国水资源缺乏,TFT-LCD 及 AMOLED 显示器件生产对水的消耗仍然不可忽视。其生产线对新鲜水的消耗相对复杂,包括超纯水制备、化学品调配、PCW 补水等。典型的用水流程如图 5 所示。在整个生产过程中,工艺纯水制备及冷却水补水是最主要的耗水环节。

非 AMOLED 技术路线中,主要耗水设备包括黄光(Photo)、湿法刻蚀(Wet Etch)、剥离(Strip)以及各道工序之间的玻璃基板清洗。在 a-Si 与 Oxide 技术下,单位面积产品对水的消耗基本相当,而当采用 LTPS 阵列技术后,单位面积的耗水量呈现明显增长。

(1)光罩制程的多次重复带来用水量的增加。显示器生产过程中,涂胶前、显影后、湿法刻蚀后、去胶后均需超纯水清洗。采用 10Mask 技术的 LTPSAMOLED 生产线单位面积耗水量约达到 a-Si 及 Oxide 生产线的 4 倍,而采用 13Mask 技术的 LTPS 生产线,单位面积产品的耗水量更是达到 LTPSAMOLED 生产线的 126%。如图 6 所示。

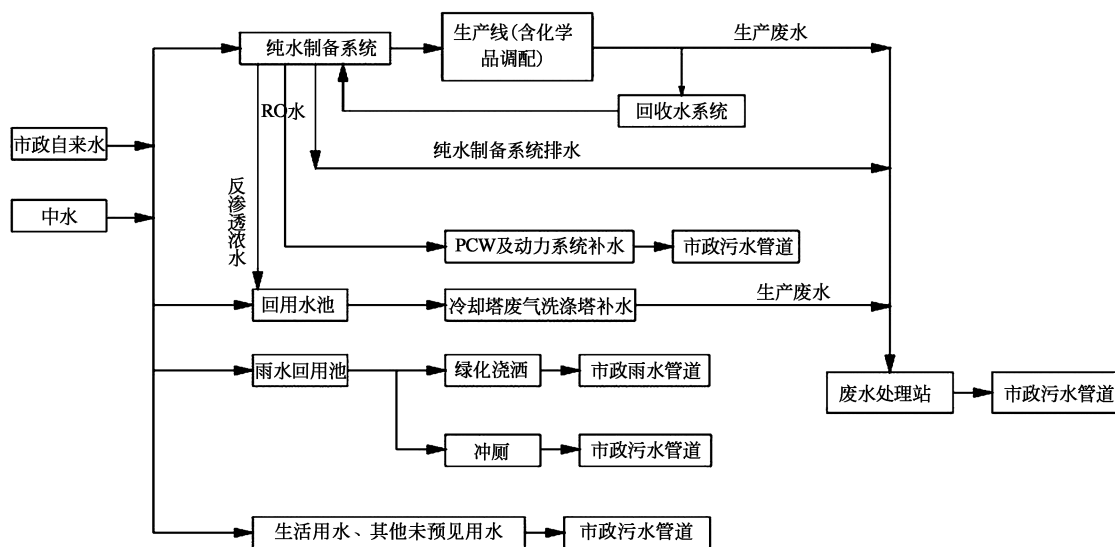


图 5 TFT-LCD 及 AMOLED 生产中水消耗流向分析

Fig.5 Water consumption flow in TFT-LCD and AMOLED production

(2)OLED 蒸镀工艺需要大量冷却循环水供应。由于 OLED 蒸镀设备(OLED Vapor)采用电加热蒸发,具有较高发热量,从而需要大量冷却循环水带走热量,体现在辅助生产设施的冷却循环

水补水中。一条产能为 4.8 万片/月的第 6 代 LTPS AMOLED 生产线对冷却水的需求达到 7 500 t/h,而相同产能的 LTPS TFT-LCD 生产线对冷却水需求量仅为 5 920 t/h。

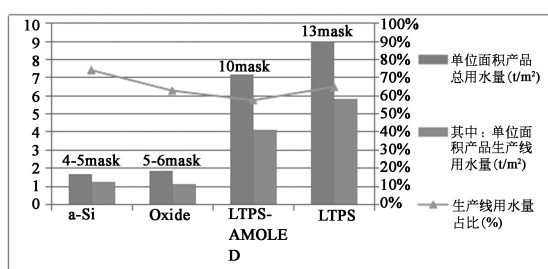


图 6 不同技术路线下水消耗分析

Fig.6 Analysis of water consumption under different technics

除新鲜水外,天然气也是主要能耗之一,主要用于尾气燃烧、供热及食堂使用。

根据工厂选址具体情况,若周边有市政蒸汽、热水及余热供应条件,在供热过程中通常会首先选用蒸汽或热水。在上述情况下,天然气主要用于工艺尾气的燃烧处理。

同时,在供热方面,在 TFT-LCD 及 AMOLED 显示器件生产线建设过程中通常会采用空压机热回收、冷水机组热回收等措施,并将余热回收作为优先使用热源,采用天然气锅炉/市政蒸汽等作为备用热源,能够大大减少热力需求。

3.4 综合能耗及能源消费成本分析

3.4.1 综合能耗分析

综合能耗包括对上述所有能源及耗能工质的消耗总计。在统计过程中,将所有能源及耗能工质折算为标准煤(单位:tce),并进行加和,得到不同技术路线下,典型 TFT-LCD 及 AMOLED 生产线单位产品综合能耗如图 7 所示。

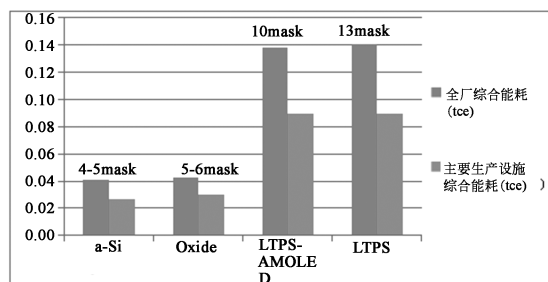


图 7 TFT-LCD 及 AMOLED 综合能耗分析

Fig.7 Analysis of comprehensive energy consumption in TFT-LCD and AMOLED production

经上述分析可见,TFT-LCD 及 AMOLED 显示器件的结构及工艺路线对生产线能耗具有决定性的影响:器件结构及工艺路线决定了光罩制

程往复次数及生产周期,光罩次数的增加、生产周期的延长以及设备台套数的增加使得各项能耗均呈现明显的提高。

3.4.2 能源消费成本分析

我国各地对工业用电、用水的价格有不同的限定。参考北京市工业能源消费价格,典型 TFT-LCD 及 AMOLED 显示产品价格、成本对比如下:

表 3 TFT-LCD 及 AMOLED 显示面板生产水电费用表 (单位:元/m²)

Tab.3 Utility expense of TFT-LCD and AMOLED display panel production(Unit: Yuan/m²)

产品	用电成本	用水成本	水电成本小计
a-Si TFT-LCD	132.70	13.63	146.33
Oxide TFT-LCD	145.46	15.07	160.53
LTPS TFT-LCD	368.79	58.48	427.27
LTPS AMOLED	423.32	73.45	496.77

TFT-LCD 及 AMOLED 生产线的运营成本主要由原辅材料成本、能耗成本、人力成本、折旧成本、其他成本(利息支出)等构成。根据不同产线贷款额度、流动资金周转次数等财务因素差异,能耗成本在总成本中的占比略有差异。根据上述各产线的效益测算数据,能耗成本约占总成本的 4.2%~5.6%;若不计玻璃基板、液晶、有机蒸镀材料等关键原辅材料费用,用能成本将占其他运营成本的 10.1%~13.6%。可见,用能成本是运营成本的重要构成。受目前技术水平及良率限制,LTPS 及 AMOLED 显示器件的单位面积售价远高于 a-Si 及 Oxide 显示器件,但随着我国多条在建 LTPS TFT-LCD 生产线的投产以及产能陆续释放,以及 AMOLED 技术的突破,未来在激烈市场竞争的压力下,LTPS 及 AMOLED 显示面板价格会逐渐向 Oxide 技术靠拢。由于关键原辅材料成本支出基本固定,在大规模机械化替代人工操作之前,人力成本有增无减,届时,如何控制能耗成本将成为提高产品竞争力的重要因素。

3.4.3 为科学合理控制能耗,可从以下 3 个层面采取控制措施:

(1)核心层面:简化器件结构,缩短生产周期。

从上述分析可以看出,显示器件结构复杂程度对生产线的能耗具有决定性的影响。当前各大厂商均致力于简化器件结构、降低制造技术的复杂程度,以缩减生产工期。这点在以 IGZO 为代表的 Oxide 技术中表现尤为突出:规模化生产中普遍采用 5-6Mask 底栅型结构,而非 10Mask 顶栅结构,极大降低了组线技术难度及能耗;相信随着 5Mask 的共面型器件技术进一步成熟,IGZO TFT-LCD 生产线的能耗将进一步降低。

(2) 技术层面:优化设备选型,提高设备利用率。

组线设备构成对各项能耗具有重要影响,如:PECVD、Photo、Etch、RTP、OLED Vapor 等精密设备仪器,即便在非工作状态下,为维持稳定的工作环境,也会产生一定能耗。组线过程中,将上述价格昂贵、工作环境要求高、能耗高的设备称为“瓶颈设备”,其运行效率对产线的整体效率具有至关重要的影响。

为评价设备效率,引入“总体效率(OEE)”的概念, $OEE = \text{开机时间} \times \text{利用率} \times \text{良品率}$ 。一般规模化生产中“瓶颈设备”的总体效率(OEE)至少在 70% 左右,使用最为频繁的 Photo 设备甚至维持在 85% 以上。在组线过程中,通过综合考虑设备的能效、节拍等因素,可提高 OEE 值,减少闲置(Idle)时间^[11]。

(3) 操作层面:工程设计及建造中的广泛采用节能技术。

在生产线的设计、建造过程中,可采用空压机组热回收、高低温二路冷冻水供应、空调冷凝水回收、LED 照明等多项节水、节电、节热措施;在设备选型方面,选择满足国家节能标准的节能型设备,虽然一次性投资较高,但通过降低用能成本,将在长期运行中将获得良好的收益。同时,在产线运行过程中采取科学的计量管理措施也是节能的重要环节^[12]。

4 结 论

通过上述分析可以看出,TFT-LCD 及 AMOLED 显示器件的结构及工艺制程复杂程度对产线能耗有着决定性影响,采用 10-13Mask 技术的 LTPS 及 AMOLED 显示器件的综合能耗达到 a-Si 及 Oxide 技术路线的约 350% 之多。

目前我国平板显示产业蓬勃发展,随着技术的发展成熟,LTPS 投资热潮已经兴起;规划及建设中的 LTPS TFT-LCD 生产线包括武汉华星光电 6 代线、厦门天马 6 代线、昆山友达 6 代线、鸿海集团位于郑州、贵州的两条 6 代线、鸿海与群创共同投资,位于我国台湾高雄的 6 代线等。预计上述产线将在 2016-2018 年间投产,使得我国整体 LTPS 产能将在 3 年之内将增加 2 倍以上。

国内各大厂商觉察到传统 TFT 技术未来激烈的竞争格局,而纷纷转投柔性 AMOLED 显示面板,包括建设中的成都京东方第 6 代生产线,规划中的武汉华星 6 代柔性 AMOLED 生产线等。预计未来将由更多面板厂投入到 AMOLED 显示面板生产中来。

TFT-LCD 及 AMOLED 显示器件厂商的投资热情极大的推动了我国先进平板显示技术的发展,但在投资建设的同时,也应格外注意 LTPS 及 AMOLED 生产线对水、电力、气体等能源及耗能工质的庞大需求量,以及对建设地能源消耗带来的巨大影响。

在产业竞争环境激烈、国家大力提倡节能减排,发展绿色循环经济的今天,各大面板厂商在积极组线的同时,更应通过合理的设备配置、科学的生产管理、先进的节能技术措施,降低生产线的能耗,响应国家产业发展政策,有效控制能源成本,提高产品及企业自身的竞争力,实现产业的健康可持续发展。

参 考 文 献:

- [1] 液晶面板厂家汇总及生产线分布情况[EB/OL].(2016-05-06).http://www.moqie.com/ArticleView_11325.aspx. LCD panel manufacturers summary and production line distribution [EB/OL]. (2016-05-06). http://www.moqie.com/ArticleView_11325.aspx. (in Chinese)
- [2] 市经信委.上海产业结构调整负面清单及能效指南(2014)[EB/OL].(2014-06-17).<http://www.sheitc.gov.cn/jnzhly/663552.htm>.

- The negative list of industrial structure adjustment and energy efficiency guide in Shanghai (2014) [EB/OL]. (2014-06-17). <http://www.sheitc.gov.cn/jnzhly/663552.htm>. (in Chinese)
- [3] 王雪霞.a-IGZO TFT 制备工艺和性能的研究[D].济南:山东大学,2014.
WANG X X. Studies on fabrication processes and properties of a-IGZO TFTs [D]. Ji'nan: Shandong University, 2014. (in Chinese)
- [4] LTPS 制程与技术发展概要 [EB/OL]. (2013-04-08). http://wenku.baidu.com/link?url=UyHkT80hx5Dn5EYF7M-NiHk6tLT-tuCnCzhXWd2ETL2IvPdMITtq-csm1wRomY4v6SIMP8UR6V6OoiOzAG_DO7WsWCmBNHM71OW25Rv5tG.
LTPS process and technology development overview [EB/OL]. (2013-04-08). http://wenku.baidu.com/link?url=UyHkT80hx5Dn5EYF7M-NiHk6tLT-tuCnCzhXWd2ETL2IvPdMITtq-csm1wRomY4v6SIMP8UR6V6OoiOzAG_DO7WsWCmBNHM71OW25Rv5tG. (in Chinese)
- [5] 魏亚东,王娟,张耿,等.AMOLED 技术发展现状及良率问题分析[J].中国科技信息,2013(8):128-129.
WEI Y D, WANG J, ZHANG G, *et al.* Developments and yield problem analysis on AMOLED technics [J]. *China Science and Technology Information*, 2013(8): 128-129. (in Chinese)
- [6] 程星华,李强.TFT-LCD 工厂能源消费结构及用能特点分析[J].液晶与显示,2014,29(5):856-863.
CHENG X H, LI Q. Analysis of energy consumption structure and characteristics of TFT-LCD factory [J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays*, 2014, 29(5): 856-863. (in Chinese)
- [7] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局,中国国家标准化管理委员会.GB/T 2589-2008,综合能耗计算通则[S].北京:中国标准出版社,2008.
People's Republic of China State Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine, China National Standardization Management Committee. GB/T 2589-2008, General principles for calculation of the comprehensive energy consumption [S]. Beijing: China Standard Press, 2008. (in Chinese)
- [8] 程星华,李强.TFT-LCD 等平板显示项目节能评估要点分析及探讨[J].节能与环保,2014(3):64-67.
CHENG X H, LI Q. Analysis and discussion on energy-saving evaluation key points of TFT-LCD projects [J]. *Energy Conservation and Environmental Protection*, 2014(3): 64-67. (in Chinese)
- [9] 陈霖新.洁净厂房的设计与施工[M].北京:化学工业出版社,2003.
CHEN L X. Design and Construction of Clean Room [M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2003. (in Chinese)
- [10] 毛学军.液晶显示技术[M].北京:电子工业出版社,2008.
MAO X J. *LCD Display Technics* [M]. Beijing: Publishing House of Electronic Industry, 2008. (in Chinese)
- [11] 李燕凤.TFT-LCD 工厂产能提升项目中的设备行为模式分析[J].江苏科技信息,2015(2):51-54.
LI Y F. Equipment behavior pattern analysis in TFT-LCD factory capacity improvement project [J]. *Jiangsu Science & Technology Information*, 2015(2): 51-54. (in Chinese)
- [12] 杜浩,陈琛.TFT-LCD 制造企业节能减排管理模式研究[J].环境科学与管理,2014,39(12):20-24.
DU H, CHEN C. Analysis on energy-saving and emission-reduction management mode of TFT-LCD manufacturing enterprise [J]. *Environmental Science and Management*, 2014, 39(12): 20-24. (in Chinese)

作者简介:蒋婧思(1983—),女,山东聊城人,硕士,工程师,2008 年于北京交通大学获得硕士学位,主要从事 TFT-LCD 及 IC 生产线节能评估、可行性研究等工作。E-mail: jiangjingsi@ceedi.cn