

# 薄膜晶体管液晶显示器生产过程中的职业病危害因素识别与分析

郭国强<sup>1</sup>, 贺中汉<sup>1</sup>, 黄伟乐<sup>1</sup>, 杨秀玲<sup>1</sup>, 何剑锋<sup>1</sup>, 杨国平<sup>2</sup>

1. 深圳市宝安区石岩预防保健所, 广东 深圳 518108; 2. 江苏江阴职业病防治院, 江苏 江阴 214400

**摘要:** **目的** 为保障劳动者身体健康, 本文对薄膜晶体管液晶显示器(thin film transistor-liquid crystal display, TFT-LCD)生产过程的职业病危害因素进行详细的识别与分析。**方法** 资料来源于两家国内 TFT-LCD 生产厂家。调查内容主要包括工作场所职业卫生学调查、职业卫生管理、职业健康监护、职业病危害防护设施、个人防护用品使用情况等。①依照《职业病危害因素分类目录》识别工作场所存在的职业病危害因素;②按照国家现行有效的工作场所职业病危害因素标准检测方法进行采样、现场物理因素测量和化学性(含粉尘)有害因素的实验室检测。**结果** 两厂共计劳动定员 3 690 人, 其中接触职业性有害因素 1 216 人, 占 32.95%。存在 100 多种职业性有害因素, 对其中有限值和检测方法标准的因素进行检测, 除 3 个噪声岗位超标外, 其余均小于 0.5 个职业接触限值。职业健康监护未发现疑似职业病。**结论** TFT-LCD 属于计算机、通讯和其他电子设备制造业(电子器件及其他电子器件制造)。工艺复杂, 存在的职业病危害因素品种多, 既有致癌与生殖毒性物质, 也有窒息性、剧毒气体, 加上很多化学物质成分保密, 尽管所测有害因素都符合国家职业接触限值, 但也应该加强工程控制、过程管理与个人防护和职业健康监护。对 TFT-LCD 此类微电子生产厂家, 不能单纯凭传统的职业卫生技术评定其职业病危害风险, 而要从全面识别、全面分析的角度详细分析和识别职业病危害, 才能确保劳动者身体健康。

**关键词:** 薄膜晶体管液晶显示器; 职业病危害; 微电子

**中图分类号:** R135 **文献标识码:** B **文章编号:** 1006-3110(2019)08-0978-03 **DOI:** 10.3969/j.issn.1006-3110.2019.08.022

薄膜晶体管液晶显示器(thin film transistor-liquid crystal display, TFT-LCD)属于微电子行业的一种新型产品, 由于其具备使用安全和高可靠性、平板化、轻薄化、低功耗、使用寿命长等优点, 广泛应用于手机、各式显示器与电视机等显示终端。此类工作场所因为防尘清洁需要, 生产过程几乎全密闭, 容易造成清洁干净职业病危害小等错误认知。本文试图对某家典型 TFT-LCD 生产线, 识别分析其职业病危害, 确保劳动者身体健康。

## 1 资料与方法

**1.1 资料来源** 本研究资料来源于 2016 年和 2018 年对两家国内 TFT-LCD 生产厂家。调查内容主要包括: 工作场所职业卫生学调查、职业卫生管理、职业健康监护、职业病危害防护设施、个人防护用品使用情况等。包含这些要素的职业病危害因素定期检测报告与控制效果评价报告。

**1.2 方法** ①依照《职业病危害因素分类目录》<sup>[1]</sup>识别工作场所存在的职业病危害因素;②按照国家现行

有效的工作场所职业病危害因素标准检测方法进行采样、现场物理因素测量和化学性(含粉尘)有害因素的实验室检测。执行 GBZ 159《工作场所空气中有害物质监测的采样规范》与 GBZ/T 160 或 300《工作场所空气中有毒物质测定》(化学毒物)、GBZ 192《工作场所空气中粉尘测定》(粉尘)、GBZ 189《工作场所空气中粉尘测定》(物理因素)。

**1.3 质量控制** 为了确保资料的准确性, 必须保证资料来源的权威性和检测方法的准确性。调查人员上岗前均接收了相关专业知识的培训与考核。采样测量与检测仪器设备都在有效的计量检定。职业卫生服务机构获得有关资质认可。

## 2 结果

**2.1 生产企业类型** 属于计算机、通讯和其他电子设备制造业(电子器件及其他电子器件制造)。主体工程有面板厂房、模组厂房、切割清洗厂房等生产车间, 以及冷冻站、空压站、纯水站、锅炉房、给排水系统、废液回收系统、废水处理站、供气系统、真空系统、废气处理系统、固废库等。

**2.2 主要原辅料** TFT-LCD 工艺复杂, 所使用的原辅料较多。其中有部分原辅料因专利问题名称与配方

**基金项目:** 深圳市宝安区职业病防治重点专科项目(2018246)

**作者简介:** 郭国强(1966-), 男, 湖南湘潭人, 本科学历, 副主任医师, 主要从事职业病防治工作。

都未公开,本文也未涉及。表 1 列出了其主要原辅料。为特种气体,主要种类见表 2。使用气体较多,窒息性气体、剧毒气体较多,一般称之为

表 1 薄膜晶体管液晶显示器工艺所使用的主要原辅料表

|        |  |
|--------|--|
| 生产工艺   | 主要原辅料  |
| 玻璃清洗   | KOH、刻蚀液(HF、NH <sub>4</sub> F)、HF、O <sub>2</sub> 、CO <sub>2</sub> 、CO <sub>2</sub> 、N <sub>2</sub>  |
| 胶剥离    | 甲基甲酰胺 MMF、乙二醇丁醚 BDG、HEP、添加剂 1(0.2%)、添加剂 2(0.3%)  |
| 湿法刻蚀   | HNO <sub>3</sub> 、H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> 、CH <sub>3</sub> COOH; NaOH、乙二醇等  |
| 化学气相沉积 | SiH <sub>4</sub> 、NH <sub>3</sub> 、N <sub>2</sub> O、NF <sub>3</sub> 、Ar、N <sub>2</sub> 、H <sub>2</sub>   |
| 溅射     | Mo 靶材、Al 靶材、Ti 靶材、ITO 靶材、Ag 靶材、Ar  |
| 激光退火   | HCl/H <sub>2</sub> /Ne、Xe、He、N <sub>2</sub> 等  |
| 离子注入:  | PH <sub>3</sub> /H <sub>2</sub> 、BF <sub>3</sub> 、Xe、Ar、H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>  |
| 干法刻蚀   | Cl <sub>2</sub> 、CF <sub>4</sub> 、BCl <sub>3</sub> 、SF <sub>6</sub> 、CHF <sub>3</sub> 、C <sub>2</sub> HF <sub>5</sub> 、O <sub>2</sub> 、H <sub>2</sub> 、Ar、N <sub>2</sub> 、He   |
| 曝光     | 光刻胶(酚醛树脂、溶剂、添加剂 3<1%)、稀释剂(丙二醇甲醚 PGME)、显影液(四甲基氢氧化铵 TMAH)、六甲基二硅胺、聚酰亚胺等   |
| 柔软     | 聚酰亚胺、N-甲基吡咯烷酮  |
| 阵列基板   | 异丙醇  |
| 有机材料蒸镀 | 六溴萘苯/其他芳香烃、其他芳香多胺、及衍生物及它们的盐、4-(2-二苯并硫基)-N,N-双苯基苯甲胺/其他芳香多胺及衍生物及它们的盐、9-(4,6-双苯基-1,3,5-三嗪基)-9H-吡唑/其他结构上含非稠合三嗪环化合物、多[(杂多环基)烷基苯基]烷二酸金属盐/其他杂环化合物、二苯甲酮/其他不含其他含氧基的芳香酮、2,4,6-三苯基三嗪/其他结构上含非稠合三嗪环化合物、多[(杂多环基)烷基苯基]烷二酸金属盐/其他杂环化合物、芳香族化合物、其他仅含氧原子的杂环化合物、1-杂多环-4-羰基环氮循环羟基喹啉锂/其他含喹啉或异喹啉环系的化合物、N,N'-二苯基-N,N'-(1-萘基)-1,1'联苯-4,4'-二胺/芳香族化合物、氟化锂等 |
| 清洗     | N-甲基吡咯烷酮、异丙醇、氢氧化钾、酒精   |
| UV 胶涂布 | 环氧树脂、UV 胶(丙烯酸树脂)   |
| 回收水系统  | 氢氧化钠、盐酸、次氯酸钠、亚硫酸氢钠等  |

表 2 薄膜晶体管液晶显示器工艺所使用的主要特种气体

|      |   |          |   |
|------|---|----------|---|
| 种类   | 特种气体  | 种类       | 特种气体  |
| 大宗气体 | H <sub>2</sub> 、O <sub>2</sub> 、N <sub>2</sub> 、He、Ar 等         | 硅族气体     | SiH <sub>4</sub> 、SiH <sub>6</sub> 、SiHCl <sub>3</sub> 等                                |
| 掺杂气体 | PH <sub>3</sub> 、AsH <sub>3</sub> 、BCl <sub>3</sub> 等           | 蚀刻气体     | Cl <sub>2</sub> 、CF <sub>4</sub> 、C <sub>2</sub> F <sub>6</sub> 、NF <sub>3</sub> 、HBr 等 |
| 反应气体 | NH <sub>3</sub> 、CO <sub>2</sub> 、N <sub>2</sub> O 等            | 金属气相沉积气体 | WF <sub>6</sub> 、(CH <sub>3</sub> ) <sub>3</sub> Al 等                                   |
| 清洗气体 | NF <sub>3</sub> 、CF <sub>4</sub> 、C <sub>2</sub> F <sub>6</sub> |          |   |

表 3 薄膜晶体管液晶显示器工艺可能存在的职业病危害因素

|      |  |
|------|--|
| 有害因素 | 主要职业性有害因素  |
| 化学毒物 | 酸:氢氟酸、氯化氢及盐酸、硫酸、硝酸、甲酸、乙酸、三氟乙酸。<br>碱:氢氧化钾、氢氧化钠、四甲基氢氧化胺。<br>金属氧化物:氧化钼、氧化钛、氧化铝、氧化铜、氧化锡、氧化钙。<br>盐:碳酸钠、亚硫酸氢钠、次氯酸钠、亚硝酸钠、亚氯酸钠、硫氢化钠、重铬酸钾、碳酸钙。<br>氟化物:三氟化氮、三氟甲烷、四氟化碳、四氟化硅、六氟化硫、氟化铵、三氟化硼、氟化锂。<br>有机物:乙醇、乙二醇、异丙醇、甲醇、甲乙酮、丙酮、丙醇、乙腈、四氢呋喃、乙酸乙酯、N-甲基吡咯烷酮、六甲级二硅胺、N-甲基甲酰胺、二乙二醇丁醚、丙二醇单甲醚、硅烷、甲烷。<br>其他:氟化氢、磷化氢、氨、氯气、一氧化碳、二氧化氮、一氧化二氮、硫化氢、三氯化硼、臭氧、过氧化氢、氯化硅、柴油等。<br>氟化氢:三氟化氮与硅烷的反应产物。<br>金属氧化物为溅射产物。<br>四氟化硅、氯化硅、一氧化碳为干法蚀刻时产生。<br>臭氧为 UV 清洗时产生。<br>氨为湿法刻蚀、氟化铵遇水产生的分解产物。<br>二氧化氮为湿法刻蚀反应产物。 |
| 粉尘   | 靶材打磨粉尘、粒子注入粉尘、激光修复粉尘、粒子交换树脂粉尘、蒸镀材料粉尘。  |
| 物理因素 | 紫外辐射、红外线、激光辐射、高频电磁场、微波辐射、工频电场、高温、低温、噪声。<br>紫外辐射为气体沉积、UV 清洗时放电产生。   |

续表 3

| 有害因素 | 主要职业性有害因素                           |
|------|-------------------------------------|
|      | 高频电场为运行频率 13.4MH-13.6MH 设备产生。       |
|      | 激光为辐射光扫描玻璃表面、电子攻击靶材、打标、测试产品、紫外固化产生。 |
| 其他   | 电离辐射(X 射线)、视频作业等。                   |
|      | X 射线为中性粒子在 X 光辐射下产生的电离。             |

2.4 接触有毒有害人员情况 两厂共计劳动定员 3 690人,其中接触表 2 职业性有害因素 1 216 人,占比 32.95%。班制为三班二运转,12 h 工作制。合计 23 个工种。职业健康监护未发现疑似职业病。

2.5 危害因素测量与检测 ①对有检测方法标准的氟化氢、氯化氢及盐酸、硝酸及二氧化氮、硫酸、磷酸、氢氧化钾、氢氧化钠、氟化物、磷化氢、氨、氯气、硫化氢、三氯化硼、乙二醇、异丙醇、臭氧、甲醇、乙腈、四氢呋喃等 19 种化学毒物进行采样检测,②对产生粉尘的岗位进行粉尘采样检测,③对紫外线、高频电磁场、激光、工频电场、微波、X 射线、噪声等 7 种有害因素进行测量。上述危害因素除有 3 个噪声岗位超过国家接触限值外,其余检测结果都低于 0.5 个接触限值。

2.6 防护设施 TFT-LCD 生产主线自动化、机械化、密闭化。控制室设置自动控制系统,监控生产运行。物料管道密闭运输,酸碱、有机化学品、各类气体分管自动运输。未完全反应的可燃气体、有毒气体焚烧后废气处理排出。当温度超过一定温度后自动闭锁阀门。在设备管线、阀门箱、用气点设置特种气体报警装置。

3 讨 论

本文试图通过两个 TFT-LCD 生产厂家的职业病危害调查,说明微电子行业的职业病危害情况。通过调查发现,TFT-LCD 生产工艺使用的原辅料较多,远远超过传统电子厂<sup>[2-4]</sup>。所使用的化学品被称之为微电子化学品,据查有数千种之多。尽管根据现行有效的国家职业卫生标准,对数十个职业病危害因素进行了检测,除噪声少数几个工作岗位超标外,其余有害因素都远远低于职业接触限值。正常生产情况下,发生传统职业病的风险确实不大。但作者认为,除添加装卸化学品可能的泄漏造成的职业病危害突发事故外,该类先进工艺依然存在其他高风险的职业病危害。因为 TFT-LCD 技术尖端,各国生产工厂对其工艺与组分实施严格的保密。据公开的化学品可知,其中部分如砷化氢属于致癌物质,丙二醇单甲醚为影响生殖系统毒物,磷化氢属于高毒物质。TFT-LCD 与半导体一样,属于微电子行业,工艺与所使用化学品大同小异。

美国 IBM 公司与英国的一家半导体公司曾经存在工人癌症聚集发病现象,工人维权与媒体报道较多,但相关研究都不足以证明暴露和癌症之间的因果关系<sup>[5]</sup>。Lee HE 韩国三星电子半导体厂与 TFT-LCD 厂的 6 名淋巴瘤的研究报告,也表明与职业无关<sup>[5]</sup>。但去年年底三星电子公司承认“在我们的半导体和 LCD 工厂,我们没有管理好健康风险”,对因为暴露在有害化学物质中而患有职业病的受害者制定赔偿计划<sup>[6]</sup>。

本文所调查的工艺使用至少 3 种没名字未知成分的添加剂,对这类物质的职业病危害识别是一个难点。对尚无国家职业接触限值及尚未纳入《职业病危害因素分类目录》的有害因素,朱志良报等<sup>[7]</sup>道了 ILO 化学品控制工具箱职业病危害风险评估方法,依据有害性与进入人体可能性评定职业危害风险,据此采取不同等级的职业病防护设施,并被应用于职业病危害评价<sup>[8]</sup>。由于不能获取所有职业病危害因素,也不能开展有害性识别,此部分风险评估无法开展。GB/T 18664-200《呼吸防护用品的选择、使用与维护》提出对未知有害物质的工作场所,应配备 SCBA 最高等级的呼吸防护。因此,作者建议对此类工艺,不能单纯依据现有能识别与检测的有害因素评定其职业病危害风险,应该加强工程控制、过程管理与个人防护和职业健康监护,才能确保万无一失保障劳动者身体健康。

参考文献

[1] 国卫疾控发[2015]92 号,职业病危害因素分类目录[Z]. 2015-11-17.

[2] 廖日炎,徐双喜,朱志良 深圳公明街道有机溶剂职业卫生调查分析[J]. 实用预防医学,2007,14(3):783-785.

[3] 杨玉,张美辨,赵海英,等. 职业病危害预评价技术在某微电子企业建设项目评价中的应用[J]. 职业与健康,2003,19(12):100-102.

[4] 雷玲,梁友信,张胜年. 微电子工业的职业卫生[J]. 劳动医学,2001,18(2):113-116.

[5] Lee HE, Kim EA, Park J, et al. Cancer mortality and incidence in Korean semiconductor workers[J]. Saf Health Work, 2011,2:135-147.

[6] 张超. 半导体工厂致癌死 118 人三星承诺:2028 年前为所有患者补偿. (2018-11-26) [2019-3-14]. <https://awtmt.com/articles/3443550?from=wsen>.

[7] 朱志良,俞晓明,丁燕,等. 基于国际化学品控制工具箱的职业病危害风险评估方法[J]. 中华劳动卫生职业病杂志,2012,30(12):958-961.

[8] 钟学飘,朱志良. ICCT 风险评估法应用于氧化铜工艺的职业病危害预评价[J]. 实用预防医学 2016,23(8):980-981.