

文章编号:1007-2780(2019)12-1161-05

TFT-LCD 行业显影液参数对半色调 光刻胶膜厚的影响

陈 国*, 韩亚军, 于洪禄, 丁振勇, 王 鹏, 郑铁元, 李 伟
(北京京东方显示技术有限公司, 北京 100176)

摘要:通过对 TFT-LCD 行业用显影液浓度(质量分数) C_1 和其中酸根离子浓度(质量分数) C_2 与半色调光刻胶膜厚(Half Tone Thickness, THK)的影响研究,提出了改善 THK 波动的方法。首先,固定光刻工艺生产条件,采用单因素实验法分别对 C_1 和 C_2 对 THK 的影响进行试验,研究表明, C_1 、 C_2 的变化都会影响显影液的显影能力,导致 THK 的变化,且都呈线性负相关。其次,根据 C_1 和 C_2 变化对 THK 的影响程度,将二者之间建立公式对应关系,通过系统对 C_1 进行调整,改善 C_2 波动的影响。最终将关系公式导入系统,稳定了显影能力,有效改善了 THK 的波动,沟道相关不良发生率从 0.20% 以上降低到 0.03% 以下。

关 键 词: 显影液; 浓度; 酸根离子; 半色调膜厚; 波动

中图分类号: TN305.7 **文献标识码:** A **doi:** 10.3788/YJYXS20193412.1161

Effect of TFT-LCD developer parameters on halftone thickness

CHEN Guo*, HAN Ya-jun, YU Hong-lu, DING Zhen-yong,
WANG Peng, CHUL Won, LI Wei

(Beijing BOE Display Technology Co., Ltd, Beijing 100176, China)

Abstract: The influence of concentration (mass fraction, C_1) and concentration of acid radical ion (mass fraction, C_2) of TFT - LCD developer on Halftone THK is researched, and the way to improve THK fluctuations is put forward. Firstly, the production conditions of lithography process are fixed, then the influence of THK with C_1 and C_2 is respectively tested using the single factor experimental method. Studies show that the changes of C_1 and C_2 will affect the developer's development ability and lead to the changes of THK. THK with C_1 and C_2 are both linear negative correlation. Secondly, according to the influence degree of C_1 and C_2 changes on THK, the formula corresponding relations between the two is established. The C_1 is adjusted through the system and then the C_2 fluctuations are improved. Lastly, the development ability and the THK fluctuations are stable through putting the formula into the system which make channel related incidence reduced to below 0.03% from more than 0.20%.

Key words: developer; doncentration; acid radical ion; halftone thickness; fluctuation

收稿日期:2019-05-09; 修订日期:2019-09-29.

* 通信联系人, E-mail: chenguo@boe.com.cn

1 引言

近年来,薄膜晶体管液晶显示器(TFT-LCD)技术日益成熟,以其功耗低、寿命周期长、显示亮度高,以及轻、薄、美观等优势,已成为电视机、电脑、移动设备及车载等电子产品的主流显示器^[1-4]。随着对 TFT-LCD 分辨率要求的不断提高,薄膜晶体管器件制程趋于更精细^[5],特别是阵列工艺中源漏极的制备,目前主流工艺都采用半色调掩膜(Half Tone Mask, HTM)光刻技术,制程中光刻胶半色调膜厚(Half Tone Thickness, THK)的控制尤为重要^[6-7],若出现异常,将直接影响刻蚀后最终形成的 TFT 器件形貌,从而影响 TFT 产品的光学电学性,因此 THK 是源漏极光刻工艺的重要管控参数之一。

光刻工艺中,影响 THK 的主要因素有涂胶、光刻、显影以及烘烤,其中涂胶膜厚、光刻曝光剂量以及烘烤温度生产过程中都可固定参数设置^[8],而显影用的显影液(四甲基氢氧化铵, TMAH),是一种大宗有机碱性药液,业界生产基本都是回收过滤重复利用,主要参数有浓度(质量分数, C_1)、酸根离子浓度(质量分数 C_2),业界主要控制其 C_1 参数,不管控 C_2 参数。随着高分辨率产品逐渐导入, TFT-LCD 各项参数管控临界值(Margin)越来越小^[9], THK 波动很容易导致刻蚀工艺后沟道桥接(Channel Bridge)与沟道开裂(Channel Open)等不良,严重影响产品的良率,研究发现 THK 的波动与显影液 C_2 参数有一定相关性,本文通过对显影液 C_1 、 C_2 参数分别对 THK 值的影响进行研究,得到 C_1 、 C_2 的显影能力的比例关系,将二者对 THK 影响的比例关系按公式导入显影液控制系统, C_2 的波动通过 C_1 实时补偿调整,保障生产过程中 THK 的稳定,降低沟道不良的发生。

2 光刻工艺反应机理

光刻胶感光组分被紫外线照射生成五元环烯酮化合物,之后与显影液中水结合生成羧酸,可与显影液中 TMAH 进行酸碱反应,合成可溶盐类,如图 1 所示流程,可以从玻璃基板表面清洗下来溶入显影液中^[10]。由于显影液是循环重复利用

的,显影液中持续溶有不定量的酸根离子,同时显影液与光刻胶的反应是在常压大气气氛中进行,空气中会溶入部分二氧化碳,碳酸根离子含量会随之增加,依据相似相溶原理,光刻胶生成的酸类与碳酸都具有有机酸的特性,酸根离子浓度的不同会影响显影液的显影能力,从而导致 THK 的不同,图 2 为 THK 测试点位半色调的俯视形貌和截面形貌。

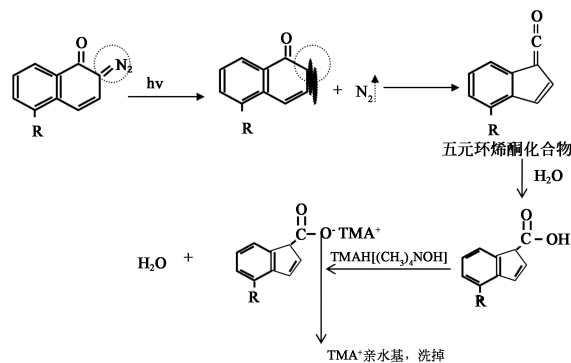


图 1 光刻工艺反应机理

Fig.1 Photolithographic process reaction mechanism

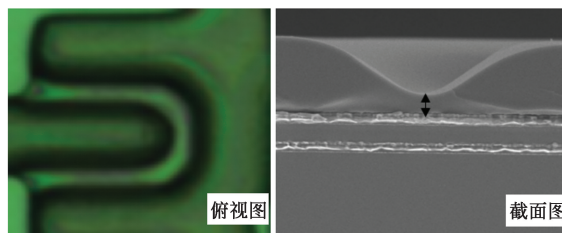


图 2 半色调俯视和截面形貌

Fig.2 Top view and sectional view of Halftone

3 测试与验证

3.1 实验流程

采用 81 cm(32 in) ADS 产品源漏极镀膜完成的玻璃基板,进行 HTM 光刻制程测试。利用控制变量法,在光刻制程中采用单因素实验,仅分别验证显影液 C_1 、 C_2 参数对 THK 的影响关系,其余条件均同量产条件一致。实验完成后玻璃基板在产线 ST8K 膜厚测试设备进行半色调 THK 测试,膜厚测试设备以非接触光折射原理进行测量,每张玻璃基板测试 72 个点位,点位分布如图 3,获得 72 个 THK 数据,通过这 72 个数据的均值反应整张玻璃基板的 THK 值。

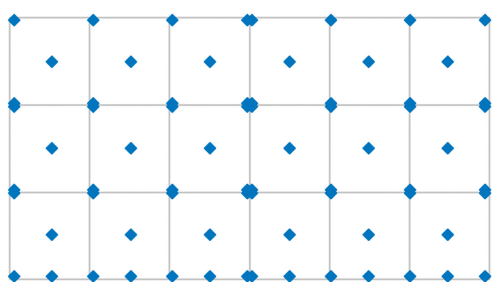


图 3 THK 测试点规划图

Fig.3 THK test point map

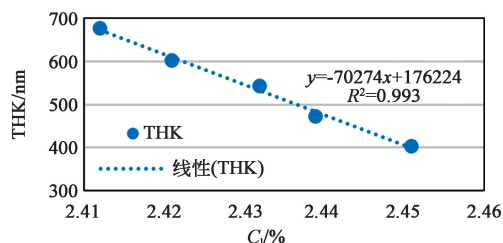
3.2 显影液 C_1 对 THK 的影响

控制显影液 C_2 参数为 0.50%, 其余光刻条件同量产, C_1 量产管控为 2.43%, 通过添加纯水和高浓度显影液调整 C_1 数值, 测试 C_1 变化对 THK 的影响, 详细条件如表 1 所示。

表 1 C_1 变化对 THK 的影响
Tab.1 Influence of C_1 change on THK

样品	$C_1/\%$	THK/nm
A1	2.412	676.3
A2	2.421	601.5
A3	2.432	542.1
A4	2.439	471.4
A5	2.451	402.2

从表中数据看, 在其他条件不变的情况下, 随着显影液 C_1 的逐渐变大, THK 逐渐降低, 表明显影能力逐渐增强。从图 4 看, 显影液 C_1 的增加, THK 呈线性减小趋势, 且线性拟合 R^2 值为 0.993, 非常接近线性关系, C_1 值每增加 0.01%, THK 值减小 70.2 nm。

图 4 C_1 变化对 THK 的影响Fig.4 Influence of C_1 change on THK

3.3 显影液 C_2 对 THK 的影响

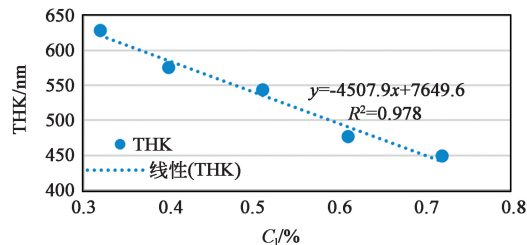
控制显影液 C_1 值为 2.43%, 其余光刻条件

同量产, 最初显影液储槽打满新药液 (C_2 值为 0), 通过添加循环利用的显影液以及空气中长时间放置, 调整 C_2 值, 测试 C_2 值变化与 THK 的影响, 详细条件如表 2。

表 2 C_2 变化对 THK 的影响
Tab.2 Influence of C_2 change on THK

样品	$C_2/\%$	THK/nm
A1	0.32	628.0
A2	0.40	575.0
A3	0.51	543.1
A4	0.61	476.2
A5	0.72	448.5

从表中数据看, 在其他条件不变的情况下, 随着显影液 C_2 的逐渐变大, THK 逐渐降低, 表明显影能力逐渐增强。从图 5 看, 显影液 C_2 的增加, THK 呈线性减小趋势, 且线性拟合 R^2 值为 0.978, 也接近线性关系, C_2 值每增加 0.1%, THK 值减小 45 nm。

图 5 C_2 变化对 THK 的影响Fig.5 Influence of C_2 change on THK

3.3 数据分析

以上两组单因素实验表明, C_1 、 C_2 的变化都会引起 THK 的变化, 且都呈线性负相关, 根据两组实验数据截距, C_1 为 -702, C_2 为 -450, C_2 值变化 0.1%, 相当于 C_1 值变化 0.0064%。实际生产过程中, THK 标准控制在 (550 ± 50) nm, 显影液控制系统主要针对 C_1 进行实时调节, 保证 C_1 值稳定在设定值, 而随着生产连续进行以及与大气的持续接触, 显影液 C_2 值会出现不规则的波动, 从而导致相同生产条件下出现 THK 波动情况, 波动过大即会造成沟道桥接和沟道开裂不良, 由于 THK 波动导致的不良发生率 0.20% 以上, 严重影响产品品质。

3.4 改善措施及效果

通过对 C_1 、 C_2 与 THK 变化的研究规律,可将两个参数之间建立公式关系:

$[H/T C_1 = PV C_1 + X * (SV C_2 - PV C_2)]$

其中: $H/T C_1$ 为补偿后的浓度; $PV C_1$ 为当前系统浓度; $SV C_2$ 为初始设定的标准值; $PV C_2$ 为当前系统实际值; X 为 C_1 与 C_2 对 THK 影响的比例关系系数。

编辑导入显影液控制系统,最初系统设置一个初始 C_1 和 C_2 值作为标准生产参数,连续生产过程中,随着 C_2 的变化,通过公式关系实时反馈给系统 C_1 需要补偿值,系统根据实际需求通过加入纯水或高浓度显影液来调节 C_1 ,达到标准生产参数的显影能力,图 6 为一台生产设

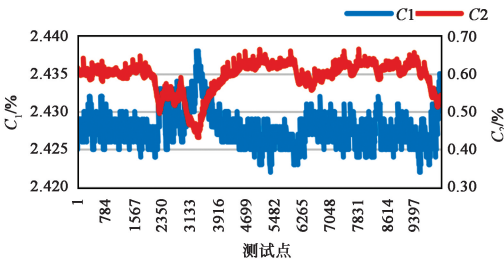


图 6 C_1 与 C_2 的补偿关系趋势

Fig.6 Compensation relations trend of C_1 and C_2

表 3 抽样测试 THK 数据

Tab.3 Sampling test data of THK

样品	C_2 /%	C_1 /%	THK/nm
M1	0.38	2.438	552.2
M2	0.42	2.435	537.8
M3	0.51	2.429	542.5
M4	0.55	2.427	534.1
M5	0.64	2.421	561.6
M6	0.71	2.416	568.9

参 考 文 献:

[1] 彭志红,袁野,林韵英,等.国内液晶显示技术的发展概况[J].电视技术,2013,37(S2):425-426.
PENG Z H, YUAN Y, LIN Y Y, et al. Development review of crystal liquid display in China [J]. *Video Engineering*, 2013, 37(S2): 425-426. (in Chinese)
[2] 马群刚.TFT-LCD 原理与设计[M].北京:电子工业出版社,2011.
MA Q G. *Theory and Design of TFT-LCD* [M]. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2011. (in Chinese)

备一段时间内导入系统公式后 C_1 、 C_2 的实际关系趋势,保持生产过程中的显影液的显影能力处于相同水平。抽样测试导入公式后不同 C_2 值时 32 in ADS 产品的 THK,如表 3,都处于标准 THK 管控范围(550 ± 50) nm)。

导入前后分别选取一片基板,对比 72 个点测试数据的等值线图,如图 7(导入前选取玻璃基板 THK 均值为 543.1 nm,导入后选取的为 542.5 nm),可看出导入后 THK 分布更均匀,偏大点和偏小点明显减少,改善有效,体现在沟道不良的发生率也从 0.20% 以上降至 0.03% 以下。

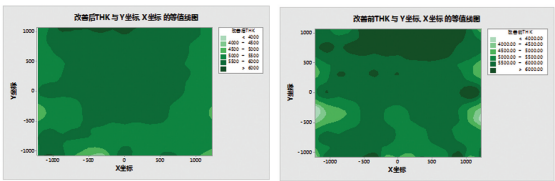


图 7 改善前后 THK 等值线图对比

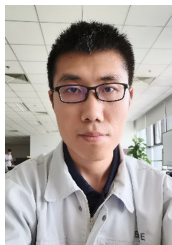
Fig.7 Comparison of THK contour map before and after improvement

4 结 论

通过对 TFT-LCD 制程中显影液参数对半色调掩膜工艺光刻胶 THK 的分析、实验验证以及改善,主要结论如下:显影液的浓度 C_1 和酸根离子浓度 C_2 对显影能力都有影响, C_1 、 C_2 的变化都与 THK 呈线性负相关,两者之间与 THK 的关系成对应比例关系, C_2 值变化 0.1%,相当于 C_1 值变化 0.0064%, C_2 的变化波动可通过调整 C_1 来补偿,实时保持显影能力稳定。最终通过对显影液控制系统软体改造,将 C_1 、 C_2 之间比例关系公式导入系统,使生产过程中 THK 稳定在管控范围内,沟道相关不良改善明显,从 0.20% 以上降至 0.03% 以下,有效提升了产品良率。

- [3] 王新久.液晶光学和液晶显示[M].北京:科学出版社,2006:45-49.
WANG X J. *Liquid Crystal Optics & Liquid Crystal Display* [M]. Beijing: Science Press, 2006: 45-49. (in Chinese)
- [4] 刘亮,王向楠,赵德友,等.TFT-LCD 移动显示窄边框技术进展[J].液晶与显示,2013,28(2):228-232.
LIU L, WANG X N, ZHAO D Y, *et al.* Slim border trend of TFT-LCD mobile display panel [J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays*, 2013, 28(2): 228-232. (in Chinese)
- [5] 张玉虎,岳浩,王军帽,等.TFT 光刻 DCD 均一性改善优化[J].液晶与显示,2016,31(10):929-935.
ZHANG Y H, YUE H, WANG J M, *et al.* Improvement of uniformity of TFT lithography DCD [J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays*, 2016, 31(10): 929-935. (in Chinese)
- [6] 甄娟.半色调掩膜在 TFT-LCD 中的应用[J].科技创新与应用,2015,31:76.
ZHEN J. Application of halftone mask in TFT-LCD[J]. *Technology Innovation and Application*, 2015,31:76.
- [7] GUO J, KIM K Y, RIM S M, *et al.* Analysis and experiment result of diffraction and interference phenomenon in halftone mask fine pattern forming process [J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays*, 2008, 23(3): 327-333.
- [8] 谷至华.薄膜晶体管(TFT)阵列制造技术[M].上海:复旦大学出版社,2007.
GU Z H. *Thin Film Transistor(TFT) Array Manufacturing Technology* [M]. Shanghai: Fudan University Press, 2007. (in Chinese)
- [9] 范学丽,靖瑞宽,翁超,等.湿法刻蚀 FICD 均一性的影响因素及提高刻蚀均一性的研究[J].液晶与显示,2016,31(1):67-73.
FAN X L, JING R K, WENG C, *et al.* Improvement of etching uniformity and influence factors of wet etching of FICD uniformity [J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays*, 2016, 31(1): 67-73. (in Chinese)
- [10] 陈崔军.TFT-LCD Array 光刻制程 CD 均一性分析和实现[D].成都:电子科技大学,2018.
CHEN C J. Analysis and implementation of CD uniformity in TFTLCD Array lithography process [D]. Chengdu: University of Electronic Science and Technology of China, 2018. (in Chinese)

作者简介:



陈 国(1985—),男,山东济南人,硕士,高级工程师,2010 年于中国矿业大学(北京)获得硕士学位,主要从事液晶显示面板阵列工艺及不良分析改善。E-mail: chenguo@boe.com.cn