

文章编号:1007-2780(2016)03-0283-07

TFT-LCD 高温光照漏电流改善研究

蒋会刚*, 肖红玺, 王晏铭

(北京京东方光电科技有限公司, 北京 100176)

摘要:造成 TFT 不稳定的问题点一般认为有两种:一是沟道内半导体材料内部的缺陷,另一个是栅极绝缘层内的或是绝缘层与沟道层界面的电荷陷阱。TFT-LCD 在长期运行时由于高温及光照的影响会导致漏电流增加,进而对 TFT 造成破坏。分析研究表明,TFT 沟道在刻蚀完成后,沟道内部存在一定的缺陷以及绝缘层与沟道层界面存在电荷陷阱,平面电场宽视角核心技术-高级超维场转换技术型产品由于设计的原因面临着如果进行氢处理会导致与其与氧化铟锡中的锡发生置换反应,导致锡的析出,所以无法采用氢处理。理论分析表明 Si-O 键稳定,本文主要介绍通过氯气/氧气和六氟化硫/氧气对 TFT 沟道进行处理改善高温光照漏电流。结果表明,通过氯气/氧气和六氟化硫/氧气处理 TFT 沟道后,高温光照漏电流从 18.19 pA 下降到 5.1 pA,可见氯气/氧气和六氟化硫/氧气对沟道处理可有效改善高温光照漏电流。

关键词:高温光照漏电流;TFT 沟道;TFT 特性;沟道厚度

中图分类号: TN141.9 **文献标识码:** A **doi:** 10.3788/YJYXS20163103.0283

Improvement in TFT-LCD high temperature and light leakage current

JIANG Hui-gang*, XIAO Hong-xi, WANG Yan-ming

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

Abstract: Generally speaking, the instability of TFT is caused by two key points: the defect of the semiconductor in channel, and the charge trap inside the gate insulating layer or between the channel layer and the gate insulating layer. During a long-time working of TFT-LCD, the leakage current will rise because of high temperature and light, which will result in a damage to the TFT-LCD. The recent research showed, that after the etching of channel, there are defect in channel and charge between the gate insulating layer and the channel layer. Because of its design, the ADS product faces a problem (the H takes place of the In of ITO during the H treatment), which will result in the precipitation of In. So the H treatment can't be used in the ADS production. Theoretical analysis shows that the Si-O bond is much more stable. This article showed a way to decrease the leakage current (in light and high temperature) by using a treatment which contains two steps (the Cl_2/O_2 treatment and the SF_6/O_2 treatment). The result shows a very effective improvement of the leakage current, after the treatment to the channel part, the leakage current decreases from 18.19 pA to 5.1 pA.

Key words: high temperature and light leakage current; TFT channel; TFT characteristics; channel thickness.

收稿日期: 2015-07-30; **修订日期:** 2015-11-25.

基金项目: 京东方研发基金

Supported by BOE Development Fund

* 通信联系人, E-mail: jianghuigang@boe.com.cn

1 引言

随着当今薄膜晶体管液晶显示器(TFT-LCD)及其加工工艺的不断发展,TFT 器件在各个领域得到了更加广泛的应用,部分领域 TFT 器件的工作环境条件比较恶劣,比如在高温的环境下,进而对 TFT-LCD 的性能要求更加严格,以 A-Si 为基础,采用不同的几何结构和不同的工艺^[1],已经研制出了种类繁多、功能用途各异的 TFT。而如何提高 TFT 器件的工作效率,制备出高效能的 TFT 器件,并且可以在高温环境下性能稳定,始终是研究者和工程师们的努力方向。研究者对 TFT 的结构、特性、驱动以及模组背光等各个方向都进行了研究,但是究其原因,A-si 开关良好的性能对 LCD 的显示质量才是最根本的^[2-3]。为了得到最佳的特性,除了改进用于制造 a-Si TFT 的材料、TFT 的几何结构最优化外,深入探索和研究 TFT a-si 沟道的界面优化处理具有重大的意义,扭曲向列型产品通过氢处理可有效改善沟道内部的悬挂键的影响,平面电场宽视角核心技术-高级超维场转换技术型产品由于设计的原因面临着如果进行氢处理会导致与其与氧化铟锡中的铟发生置换反应,导致铟的析出,所以无法采用氢处理^[4-5]。这就需要钻研采用何种气体对沟道界面进行处理可以有效改善界面态并降低高温光照漏电流。

2 实验原理

本文采用 RIE 模式干法刻蚀机台对 TFT 沟道进行刻蚀^[6],沟道刻蚀完成之后,添加改善表面态的处理步骤,分别使用氯气和氧气和六氟化硫和氧气对沟道进行处理,在气体比例一定的情况,变更压力、功率和时间,对沟道进行处理,研究不同条件的处理对高温光照漏电流的影响,通过电学特性测试设备 YAF5000 对样品的 TFT 特性进行测试与评估,文中讨论了在不同压力及功率以及不同时间的的条件下,氯气和氧气以及六氟化硫和氧气的处理对 TFT 沟道特性包括暗态开启电流,高温光照漏电流的影响,并通过统计实验设计方法研究了讨论了氧气等离子体对沟道 Si 的悬挂键以及表面态的影响趋势^[7]。

电学特性测试设备 YAF5000:TFT-LCD 前工序 TFT 基板完成后的检测设备,通过对有代表性的 TFT 器件电学参数的测量对阵列工艺形成的 TFT 阵列的电学特性进行整体评估。做法是把信号探针连接到信号线上,驱动探针连接到栅极线上,像素探针连接到像素中间的氧化铟锡上,温度及光照强度都可以进行调整,本实验通过 YAF5000 测试设备测出对应 TFT 的阈值电压(V_{th})、暗态开启电流、高温光照漏电流(I_{off})、迁移率(μ)以及相应的 I/V 曲线,从而找出各测试条件对电学特性的影响,这样就可以有效评估处理步骤对高温光照漏电流的影响,通过测试数据可有效反应出添加处理步骤对界面态缺陷的改善效果。

TFT 电学特性的主要参数:

工作电流(I_{on}):TFT 工作电流,选定为栅极电压 $V_g = 15$ V 时的漏极电流,如果工作电流过低,会导致 TFT 充电时间过长、充电不完全、灰度级下降等。

漏电流(I_{off}):选定为栅极电压 $V_g = -8$ V 时的漏极电流,如果漏电流过大会使 TFT 的电压保持特性降低。

开启电压(V_{th}):漏极电流随栅极电压 V_g 增加最快点的栅极电压,如果 V_{th} 过高不利于信号的加载。

迁移率(Mob):载流子在单位电压条件下的迁移速率,迁移率直接影响 TFT 的开关速度。

沟道厚度测试设备:K-MAC; Korea Materials and Analysis Corporation,K-MAC 设备理论基础主要是基于测量材质相对稳定(NK)的材料,不同波长光的反射率大小对应于材料的不同厚度。

基本公式: $R \approx A \cos(2 \pi n k T / \lambda)$ 。其中: R 为反射率, A 为常数, n 为折射率, k 为吸收率, λ 为波长, T 为目标膜厚。

设备测量膜厚的实现过程就是通过测量出薄膜对不同波长光的反射光谱,再利用一定的运算方程组拟合计算出薄膜的厚度。而测量的准确度就是看测量光谱和计算光谱的重合度或者叫标准方差(RMSE)

测试原理:K-mac 的光源是钨-卤光源(Tungsten-Halogen Light Source),光源发出的光通过光学仪器入射到放在 Sample Stage 上的薄膜上。入射到薄膜的光,一部分在薄膜表面反射,另一部分在薄膜和基板之间的临界面反射,并

且在多层薄膜的情况下也在薄膜间的临界面发生反射。这些反射波是由同一光源发射出来的可干涉性(coherent)光,所以根据波长出现互补干涉或相消干涉,从而测量的反射光根据薄膜厚度的不同,出现 Sin wave 形状的光谱,并根据不同的膜厚和材质的不同,出现不同形状的波形。利用这种光学现象在知道薄膜结构的情况下可以逆推出厚度值,本实验通过 K-mac 测试设备测出对应 TFT 沟道的厚度,以研究各测试条件对 沟道厚度的影响,进而分析出不同测试条件的 TFT 沟道厚度与电学特性的关系。

3 实验方法

实验采用的是东电公司(TEL)的 RIE 模式反应离子刻蚀机。

基板是按照 7 Mask ADS 工艺沉积各层结构,依次栅极(Gate)→半导体层(Active)→像素电极(1st ITO)→栅极绝缘层(GI)→信号线(SD)→绝缘层(PVX)→公共电极(2nd ITO)顺序进行,在进行 TFT 沟道刻蚀的时,刻蚀完成后,添加处理步骤,之后通过 K-Mac 设备对沟道厚度进行测试^[8],TFT 完成后通过电学测试设备对其电学特性包括暗态开启电流,高温光照漏电流进行测试,之后对数据进行统计分析,得出结论;

测试基板尺寸:1 100 mm×1 300 mm (5.5 in 7 Mask)

基板 ID: Test 1~30,共计 30 个测试样品进行测试

3.1 电学特性测试

测试设备:高低温电学特性(PE)测试设备,YAF5000。

测试目的:验证不同工艺条件对暗态开启电流以及高温光照漏电流的影响。

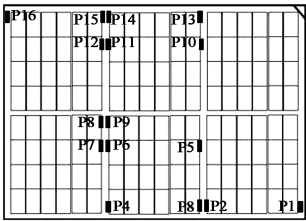


图 1 电学与沟道厚度测试位置分布图

Fig.1 Electric characteristic and channel thickness test data distribution

测试条件:温度(60 ℃)光照(5 000 cd/m²)。

测试位置:按基板对角线方向均匀选取 16 个点。

3.2 沟道厚度测试

测试设备:沟道厚度测量设备:K-mac。

测试目的:测试沟道厚度,厚度 Spec: 60 ~ 120 nm。

测试位置:按基板对角线方向均匀选取 16 个点。

3.3 测试基板样品条件

Test1~Test30 采用 TFT 沟道刻蚀条件主步骤如表 1 所示。

表 1 沟道刻蚀主步骤

Tab.1 Main steps of channel etching

基板	沟道刻蚀工序——工艺参数			
	氧气/六氟化硫 /氯气 (mL/min)	功率 /W	压力 /mT	时间 /s
TEST(01 ~ 30)	比例 1	很高	很低	42

测试基板 Test1~Test18 在表 1 主刻蚀步骤后添加处理工序一,具体参数及条件详见表 2。

表 2 添加处理工序 1 (氧气和氯气 处理)

Tab.2 Add processing 1 (O₂ and Cl₂)

基板	处理工序 1——工艺参数			
	氧气/氯气 (mL/min)	功率 /W	压力 /mT	时间 /s
TEST1	比例 2	最低	很低	30
TEST2	比例 2	最低	最低	30
TEST3	比例 2	很低	很低	30
TEST4	比例 2	很低	很低	15
TEST5	比例 2	中	很低	20
TEST6	比例 2	中	最低	30
TEST7	比例 2	中	很低	15
TEST8	比例 2	中	很低	20
TEST9	比例 2	中	很低	30
TEST10	比例 2	中	很低	10
TEST11	比例 2	中	最高	10
TEST12	比例 2	中	最高	30
TEST13	比例 2	很高	很高	20
TEST14	比例 2	最高	很低	30
TEST15	比例 2	最高	很低	10
TEST16	比例 2	最高	很高	10
TEST17	比例 2	最高	很高	30
TEST18	未处理			

测试基板 Test19~Test30 在表 1 主刻蚀步骤后添加处理工序一和处理工序二,具体参数及条件详见表 3,4。

表 3 添加处理工序 1 (氧气和氯气处理)
Tab. 3 Add processing 1 (O₂ and Cl₂)

基板	处理工序 1——工艺参数			
	氧气/氯气 (mL/min)	功率 /W	压力 /mT	时间 /s
TEST 19	比例 2	最低	很低	30
TEST 20	比例 2	最低	很低	30
TEST 21	比例 2	最低	最低	30
TEST 22	比例 2	最低	最低	30
TEST 23	比例 2	很低	很低	30
TEST 24	比例 2	很低	很低	30
TEST 25	比例 2	中	很低	20
TEST 26	比例 2	中	很低	20
TEST 27	比例 2	中	很低	15
TEST 28	比例 2	中	很低	15
TEST 29	未处理			
TEST 30	未处理			

表 4 添加处理工序 2 (氧气和六氟化硫处理)
Tab. 4 Add processing 2 (O₂ and Cl₂)

基板	处理工序 2——工艺参数			
	氧气/ 六氟化硫	功率 /W	压力 /mT	时间 /s
TEST 19	比例 3	很低	中	15
TEST 20	未处理			
TEST 21	比例 3	很低	中	15
TEST 22	未处理			
TEST 23	比例 3	很低	中	15
TEST 24	未处理			
TEST 25	比例 3	很低	中	15
TEST 26	未处理			
TEST 27	比例 3	很低	中	15
TEST 28	未处理			
TEST 29	比例 3	很低	中	15
TEST 30	未处理			

4 实验结果与分析

4.1 电学特性与沟道厚度测试结果

通过以上实验方式,利用 YAF5000 以及 K-mac 测试设备,对各个测试条件的电学特性沟道厚度进行测量,得到以下数据。

表 5 电学特性与沟道厚度测试结果
Tab. 5 Electrical properties and channel thickness test results

测试数据			
基板	暗态开启 电流/ μ A	高温光照漏 电流/pA	厚度/nm
TEST1	1.74	8.4	93.0
TEST2	1.78	9.26	92.5
TEST3	1.81	9.13	80.1
TEST4	4.91	13.25	89.4
TEST5	1.84	12.43	78.3
TEST6	1.49	3.83	54.0
TEST7	1.86	8.76	86.2
TEST8	1.84	9.43	78.3
TEST9	1.81	3.92	62.5
TEST10	1.98	8.2	94.2
TEST11	2.06	11.8	95.6
TEST12	2.09	21.22	92.6
TEST13	2	12.51	94.5
TEST14	1.15	1.35	40.3
TEST15	1.72	5.37	84.6
TEST16	1.88	14.7	93.0
TEST17	1.82	19.8	89.0
TEST18	1.74	18.19	95.0

从表 5 的测试结果以及图 2 的对比趋势图来看,Test18 为未进行处理的样品,高温光照漏电流较大,通过添加氯气与氧气对沟道进行处理在一定的功率、压力、时间的条件下,可有效改善高温光照漏电流;另外随着沟道厚度的下降,暗态开启电流,高温光照漏电流都明显下降,沟道厚度较低导致暗态开启电流过小,存在低温启动的风险,

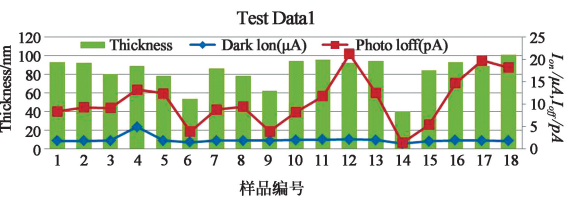


图 2 电学特性与沟道厚度测试结果分析图

Fig. 2 Electrical properties and channel thickness test results analysis

结果不予考虑,通过传统实验设计分析,对一些优选结果进行二次试验,并在处理步骤 1 的基础上添加处理步骤二,测试结果如表 6,图 3。

表 6 电学特性与沟道厚度测试结果

Tab. 6 Electrical properties and channel thickness test results

测试数据			
基板	暗态开启 电流/μA	高温光照漏 电流/pA	厚度/nm
TEST 19	1.72	5.1	92.5
TEST 20	1.74	8.4	93.0
TEST 21	1.83	8.72	89.2
TEST 22	1.78	9.26	92.5
TEST 23	1.74	7.17	79.7
TEST 24	1.81	9.13	80.1
TEST 25	1.69	7.79	78.3
TEST 26	1.84	9.43	79.4
TEST 27	1.77	8.33	85.4
TEST 28	1.86	8.76	86.2
TEST 29	1.96	10.12	99.5
TEST 30	1.74	18.19	95.0

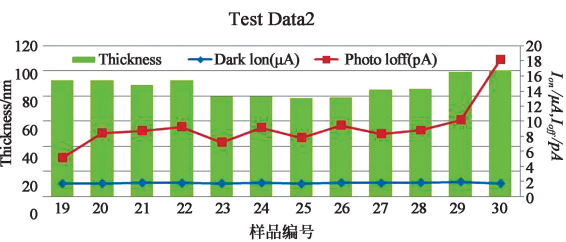


图 3 电学特性与沟道厚度测试结果分析图

Fig. 2 Electrical properties and channel thickness test results analysis

从表 6 的测试结果以及图 3 的对比趋势图来看,在添加氧气/氯气处理的步骤 1 的基础上,添加了六氟化硫/氧气的处理,电学特性进一步提升,在处理过程完成后沟道厚度基本保持不变的情况,通过实施处理步骤可使高温光照漏电流下降明显,很有效改善电学特性^[9-10]。

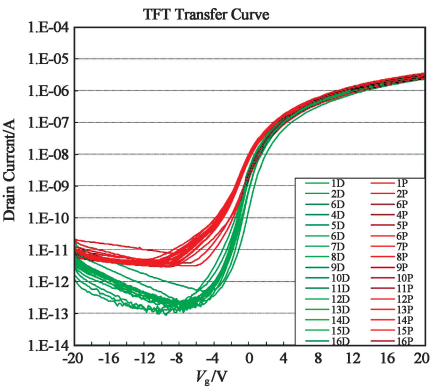


图 4 TEST 19 I/V 曲线

Fig. 4 TEST 19 I/V curve

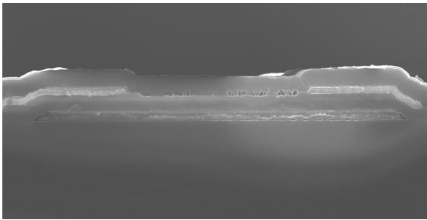


图 5 TEST 19 SEM 图像

Fig. 5 TEST 19 SEM image

4.2 TFT I-V 曲线图

从图 4 TEST 19 的测试结果来看,测试样品 TFT I/V 曲线的性能更好。

4.3 SEM 显微镜测试结果

从图 5 TEST 19 测试样品的 SEM 显微镜结果,采用 HV(电子束加速电压):18.00 kV,det(探测器种类):TLD,mag(放大倍数):15 000x,WD(物镜焦距):6.6 mm,刻度:5 μm,测量结果显示沟道厚度:92.5 nm,在 Spec:60~120 nm 之内,坡度角 62°,满足 Spec:小于 70°。

5 结 论

TFT 沟道刻蚀完成后通过添加氯气和氧气对沟道进行处理可有效改善沟道层界面态,沟道

内的缺陷减少,TFT 的稳定性能得到了很大的提升。在氯气和氧气处理的基础上,采用六氟化硫和氧气进一步对 TFT 沟道进行处理,高温光照漏电流进一步下降,开启电流未下降。通过氯气和氧气以及六氟化硫和氧气的等离子体处理,高温光照漏电流从 18.19 pA 下降到 5.1 pA,该处

理可以减小界面态密度,减少沟道内部的缺陷以及绝缘层与沟道层界面的电荷陷阱,从而减少了由于温度以及光照和偏压下的 TFT 的阈值电压的偏移,进而提高了 TFT 的稳定性。此方法完全可以应用到实际 TFT 制作中用以改善 TFT 特性及高温光照漏电流。

参 考 文 献:

- [1] 田宗民,陈旭,张金中,等. 栅极绝缘层和有源层沉积工艺的优化对 TFT 特性的影响研究[J]. 真空科学与技术学报,2014,34(1):32-37.
TIAN Z M, CHEN X, ZHANG J Z, *et al.* Optimization of gate insulating and active layers deposition and characteristics of thin film transistors [J]. *Chinese Journal of Vacuum Science and Technology*, 2014, 34(1): 32-37. (in Chinese)
- [2] 侯清娜,张新宇,王峥,等. 分析 TFT 亮态漏电流影响因素的测试方法[J]. 液晶与显示,2015,30(4):628-633.
HOU Q N, ZHANG X Y, WANG Z, *et al.* Method for analyzing influence factors in photo off-leakage current for TFT [J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays*, 2015, 30(4): 628-633. (in Chinese)
- [3] 钱祥忠,成建波. a-SITFT 对 TFT-AMLCD 光学特性的影响[J]. 应用光学,2001,22(6):1-3,14.
QIAN X Z, CHENG J B. Effect of a-SITFT on the optical properties of TFT-AMLCD [J]. *Journal of Applied Optics*, 2001, 22(6): 1-3, 14. (in Chinese)
- [4] 曾祥斌,SIN J K O,徐重阳,等. 多晶硅薄膜的表面处理工艺[J]. 无机材料学报,2001,16(4):693-696.
ZENG X B, SIN J K O, XU Z Y, *et al.* Surface plasma passivation of the polycrystalline silicon thin films by using NH₃ or N₂O gas [J]. *Journal of Inorganic Materials*, 2001, 16(4): 693-696. (in Chinese)
- [5] 刘政鹏,李娟,刘宁,等. 氢等离子体辅助固相晶化多晶硅薄膜的初步研究[J]. 功能材料,2014,45(19):19050-19053.
LIU Z P, LI J, LIU N, *et al.* The preliminary investigation of hydrogen plasma assisted solid phase crystallization polycrystalline silicon film [J]. *Journal of Functional Materials*, 2014, 45(19): 19050-19053. (in Chinese)
- [6] 饶瑞,徐重阳,孙国才,等. 晶化前后有源层的刻蚀对 poly-Si TFT 性能的影响[J]. 微细加工技术,2001(2):49-52.
RAO R, XU C Y, SUN G C, *et al.* Influence of lithography before or after crystallization of active layer on the properties of poly-Si TFT [J]. *Microfabrication Technology*, 2001(2): 49-52. (in Chinese)
- [7] 黄香平,肖金泉,邓宏贵,等. 气相沉积硅薄膜微结构及悬挂键缺陷研究[J]. 真空科学与技术学报,2011,31(2):178-182.
HUANG X P, XIAO J Q, DENG H G, *et al.* Research on the microstructures and dangling bond density of vapor-deposited Si films [J]. *Journal of Vacuum Science and Technology*, 2011, 31(2): 178-182. (in Chinese)
- [8] 郑载润,崔捷,董宜萍,等. a-Silicon 剩余厚度和 TFT 特性的关系研究[J]. 现代显示,2008(8):39-43.
ZHENG Z R, CUI J, DONG Y P, *et al.* Relationship of a-Silicon remained thickness and TFT characteristic [J]. *Advanced Display*, 2008(8): 39-43. (in Chinese)
- [9] 汤晓燕,张义门,张玉明,等. 界面态电荷对 n 沟 6H-SiC MOSFET 场效应迁移率的影响[J]. 物理学报,2003,52(4):2184-2187.
TANG X Y, ZHANG Y M, ZHANG Y M, *et al.* Study of the effect of interface state charges on field-effect mobility of n-channel 6H-SiC MOSFET [J]. *Acta Physica Sinica*, 2003, 52(4): 2184-2187. (in Chinese)
- [10] 张少强. 高性能非晶硅薄膜晶体管及其有源矩阵的研究[D]. 武汉:华中理工大学,1998.
ZHANG S Q. Study on high performance amorphous silicon thin film transistor and its active matrix[D]. Wuhan:

Huazhong University of Science and Technology, 1998. (in Chinese)

作者简介:蒋会刚(1987—),男,黑龙江牡丹江人,毕业于北京工商大学,本科生,高级工程师,主要从事 TFT-LCD 干法刻蚀相关工作,E-mail:jianghuigang@boe.com.cn

肖红玺(1978—),男,山东菏泽人,毕业于同济大学,硕士研究生,资深高级工程师,主要从事 TFT-LCD 干法刻蚀相关工作,E-mail:xiaohongxi@boe.com.cn

王晏酩(1981—),男,北京人,毕业于北京大学,本科生,资深高级工程师,主要从事 TFT-LCD 干湿法刻蚀相关工作,E-mail:wangyanming@boe.com.cn