

文章编号:1007-2780(2017)02-0104-06

载盘预处理对纯铝薄膜小丘生成的影响

肖 亮*, 张勋泽, 朴祥秀

(合肥京东方光电科技有限公司, 安徽 合肥 230012)

摘要:在 TFT Array 制程中,使用刚刚更换过清洗品的载盘生产纯铝薄膜时,基板周边常常会出现小丘,小丘的生成将严重影响产品的电学性能和良率。本文通过生产线上常用的阵列宏微观缺陷检查机对纯铝薄膜表面进行观察并存图,利用 MATLAB 软件对图片进行分析和计算,实现了工厂端对小丘发生情况的快速识别和比对。本文就可能影响小丘生成的纯铝薄膜膜厚、载盘预处理时间以及成膜后玻璃基板在加热腔室内的停留时间等几个因素设计了正交和单因素实验。实验结果表明,载盘的预处理时间是影响小丘生成的首要因素,当载盘预处理时间大于 90 min,膜厚为铝/钼 300/80 nm,成膜后基板在加热腔室不停留的情况下,可以获得表面几乎无小丘的纯铝薄膜,这一结果对有效避免生产过程中因更换清洗品等原因导致的小丘生成具有重要的意义。

关 键 词:纯铝薄膜;小丘;MATLAB;磁控溅射;残余气体

中图分类号:TB31 **文献标识码:**A **doi:**10.3788/YJYXS20173202.0104

Effect of pretreatment of tray on hillock formation in pure Al films

XIAO Liang*, ZHANG Xun-ze, PIAO Xiang-xiu

(Hefei BOE Optoelectronics Technology Co., LTD, Hefei 230012, China)

Abstract: In production of pure Al film in TFT array, hillock which will seriously affect the electrical properties and yield of the products often forms around the glass substrate after replacing the cleaning spare parts of the trays. In factory, a method is shown to quickly identify and compare the formation of hillock, which include using a commonly used machine on the production line called array macro-micro defect inspection machine to observe the surface of pure Al film and then save the pictures which will be analyzed and calculated by MATLAB. In this paper, orthogonal and single experiments are designed with the possible influential factors of hillock formation, which are the thickness of pure Al film, the time of pretreatment of tray and the pause time of the glass substrate after deposition of pure Al film in heater chamber. It is found that the main factor of hillock formation is the time of pretreatment of tray. The pure Al film with none hillock can be obtained when the thicknesses of pure Al film and Mo protective layer are 300 nm and 80 nm, the time of pretreatment of tray is over 90 min and the substrate have no pause in the heater chamber after deposition of pure Al film, which is meaningful to prevent the hillock formation caused by the replacement of cleaning spare parts *et al.* in pure Al film

收稿日期:2016-08-22;修订日期:2016-11-01.

* 通信联系人, E-mail: xiaoliang@boe.com.cn

production.

Key words: pure Al films; hillock; MATLAB; magnetron sputtering; residual gas

1 引言

目前,纯铝薄膜因其具有低电阻率($3.3 \mu\Omega \cdot \text{cm}$)、低成本、易刻蚀等优点在 TFT-LCD 生产中得到了广泛的应用^[1]。然而,TFT 制造工艺涉及多个高温过程,且纯铝的热膨胀系数较高、与基板及 TFT 不同材料间的热膨胀系数存在差异,这就导致了纯铝薄膜热应力的增大,为小丘的形成埋下了隐患;小丘的形成将造成绝缘层的断裂和互连线间的短路,对产品的可靠性造成严重的影响^[2-3]。对于小丘的生长机理,前人做了大量的工作,Chaudhari^[4], Iwamura^[5],以及 Chang 和 Vook^[6]分别认为小丘的生长与界面扩散、晶界扩散和表面扩散有关;在如何抑制小丘方面,采用铝合金栅电极^[7-8],以及铝与难熔金属(如 Ta、Cr、Mo 等)形成的双层结构^[9-10],一直以来都是研究的热点。

应当指出的是,上述研究工作所涉及的小丘是指纯铝薄膜形成后,经过高温退火或高温工序(如利用高温 CVD 工艺在纯铝薄膜上沉积绝缘层和半导体层)使得纯铝薄膜应力释放而生成的小丘;但是,在实际生产过程中,不经过上述高温过程,仅成膜工艺及成膜环境的改变也可能会导致小丘的发生,然而,与此相关的报道却寥寥无几。

目前,大世代线 PVD 镀膜设备普遍采用立式结构,由载盘对玻璃基板进行装载,载盘夹持基板的方式有两种,一种是通过载盘以及安装在载盘上的基板押元一起夹持基板,另一种是通过载盘和安装在载盘上的夹子夹持基板,其中基板押元和夹子均属于常规清洗品,需定期进行更换清洗。在实际生产中,完成上述清洗品更换后,直接生产纯铝薄膜,基板周边(清洗品安装位置附近)常常会出现小丘。

本文旨在对纯铝薄膜生产过程中,就可能影响小丘生成的纯铝薄膜膜厚、载盘预处理时间以及成膜后玻璃基板在加热腔室内的停留时间等几个因素设计正交和单因素实验,从中找出影响小丘生成的关键因素,并通过实验得出生产表面无

小丘纯铝薄膜的优化工艺条件,以期指导实际生产,减少工艺事故,提升良率,降低损失。

2 小丘的识别

如前文所述,小丘的出现将严重影响产品的品质和良率,因此对小丘的准确识别尤为重要。目前,可以利用光学显微镜、SEM、TEM 和台阶仪等对小丘进行观察和研究。实验室中一般通过统计显微镜暗域下亮点的数量来评估小丘的密度。Zaborowski 等人^[11]在 1995 年提出了一种通过对小丘数码照片进行处理来识别小丘的方法,通过此法可以对由不同方法得到的纯铝薄膜的表面质量进行快速的比对。Soo-Jung H^[2-3,12]等人在 FE-SEM 下用透明纸标注小丘,然后将其扫描形成数字化的文件,进而转化为二进制格式,最后利用 Scion 公司开发的图形分析软件对小丘的面积进行分析和计算。

出于时间和成本的考虑,上述分析方法在实际生产过程中应用较少(因为在实际生产中应用上述方法多涉及到在玻璃基板上张贴硅片或对玻璃基板进行切片等作业,实际操作起来耗时耗力)。目前,在生产过程中,多采用 PI、AOI 和 Mic/Mac(即阵列宏微观缺陷检查机,简称 MM)的 Micro 等光学设备对小丘进行离线和在线检测,常以“严重、较严重、轻微、较轻微”等概括性的词语对小丘发生情况进行描述,类似的定性的词语对研究和预防小丘的发生极为不利,很难通过相关的描述找到影响小丘发生的根本原因。

参照前人对小丘识别的研究,本文以六代线,基板夹持方式为载盘和基板押元夹持为例,利用生产线上常用的 MM 的 Micro 对小丘图像进行采集,运用 MATLAB 软件对图像进行分析处理,最终实现了工厂端对小丘发生情况的快速识别和比对,具体过程参考图 1。由于实际生产中小丘多发生在基板周边,且相比较而言,基板四个角的位置更为严重,因此本文所涉及的实验中,采集小丘图像的方式为每枚基板采集八个点,位置分别为距离基板 4 个顶点 $100 \text{ mm} \times 100$

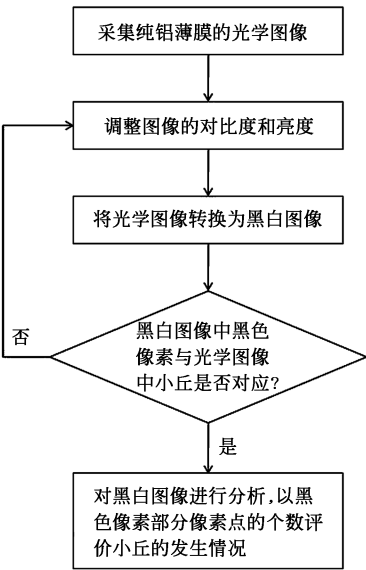


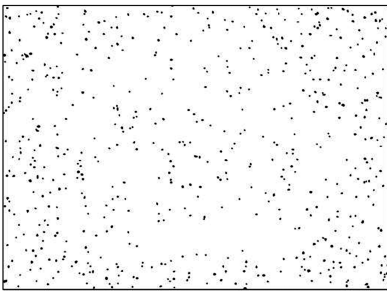
图 1 小丘识别的过程

Fig.1 Process of hillock identification



(a) MM 100×下载屏得到的小丘图片

(a) Hillock picture gotten from MM under 100×



(b) 利用 MATLAB 处理后得到的图片

(b) Picture gotten from the above picture by using MATLAB

图 2 小丘图片处理前后的对比

Fig.2 Comparison of pictures of the hillock before and after using MATLAB

mm 和 200 mm × 200 mm。下面结合图 1 对本文所述的小丘识别过程做简要的描述。首先,利

用 MM 的 Micro 对玻璃基板的固定点位在 100 倍下进行观察,聚焦后对视域进行截屏(实际范围为 126.47 μm × 94.8 μm)并存图,然后利用 MATLAB 对图片进行分析,通过增强对比度,调整灰阶等得到黑白双色的图片,最后计算黑色部分像素点的个数,完成对图片的分析,参见图 2;特别地,图片在处理过程中需多次同原图进行比对,以便找到合适的灰阶,力求准确反应小丘的发生情况。

在实际生产过程中应用此法对小丘进行识别,不涉及对基板的接触或破坏,对产品影响小,花费少,且分析周期短,可以实现工厂端对小丘的快速分析和比对,为实际生产过程中及时有效的发现和预防小丘的发生起到积极的作用。

3 实验与分析

3.1 实验设备、材料及实验条件

本文所涉及实验均采用东旭光电科技股份有限公司生产的玻璃基板,其尺寸为 1 850 mm × 1 500 mm,厚度为 0.5 mm。其他实验设备和材料分别参见表 1 和表 2。本文实验条件如下:本底真空为 5.0 × 10⁻⁴ Pa,纯铝靶材溅射压力 0.5 Pa,溅射功率 60 kW,玻璃基板温度 80 °C,钼保护层膜厚 80 nm。

表 1 本实验所涉及设备情况一览表

Tab.1 A list of the equipment in the experiments

设备名称	型号	生产厂家
立式磁控溅射镀膜机	SMD-1800V	ULVAC
阵列宏观缺陷检查机	1850A	DE&T
残余气体分析仪	Qulee CGM-051	ULVAC

表 2 本实验所涉及材料情况一览表

Tab.2 A list of materials in the experiments

材料	纯度	生产厂家
铝靶材	5 N	ULVAC
钼靶材	3.5 N	Plansee
氩气	9 N	Air Liquide

3.2 正交实验

影响小丘生成的因素有很多,如成膜温度^[1],膜厚及退火温度^[3]等。相对于实验室,纯铝薄膜实际生产过程更为复杂,为此本文选取了几种常见的容易导致小丘发生的因素进行 L4 (2³) 正交实验,具体因素如下:a、玻璃基板成膜后在加热腔室内的停留时间,这相当于对纯铝薄膜进行退火,下简写做 Stay Time;b、更换过基板押元的载盘在加热腔室内的烘烤时间,即有效排除清洗品残余气体的时间,下简写做 Outgas Time;c、纯铝薄膜膜厚,下简写做膜厚。实验计划表参见表 3。

表 3 小丘实验计划表

Tab.3 A schedule of hillock experiments

因素	Stay Time/min	Outgas Time/min	膜厚/nm	像素数
实验 1	0	0	200/80	
实验 2	0	60	300/80	
实验 3	30	0	300/80	
实验 4	30	60	200/80	

表 4 1#镀膜机小丘实验直观分析表

Tab.4 Intuitive analysis table of hillock experiments on No.1 equipment

因素	Stay Time/min	Outgas Time/min	膜厚/nm	像素数
实验 1	1	1	1	6 898
实验 2	1	2	2	0
实验 3	2	1	2	13 152
实验 4	2	2	1	58
均值 1	3 449	10 025	3 478	
均值 2	6 605	29	6 576	
极差	3 156	9 996	3 098	

为了有效排除设备自身的差异,本文对表 3 所列各实验分别在两个不同的机台进行了实验,实验结果参见表 4、5。

从表 4 和表 5 的数据可以看出,不同机台进行的实验,所得的实验结果不尽相同,但基本趋势

是一致的,即更换过清洗品的载盘在腔室内的烘烤时间是实际生产过程中影响小丘生成的主要因素,而玻璃基板在腔室内的停留时间以及膜厚对小丘的影响程度基本一致,且选用实验 2 的条件沉积纯铝薄膜,可以获得表面几乎无小丘的纯铝薄膜。

表 5 2#镀膜机小丘实验直观分析表

Tab.5 Intuitive analysis table of hillock experiments on No.2 equipment

因素	Stay Time/min	Outgas Time/min	膜厚/nm	像素数
实验 1	1	1	1	3 235
实验 2	1	2	2	18
实验 3	2	1	2	21 169
实验 4	2	2	1	80
均值 1	1 626.5	12 202	1 657.5	
均值 2	10 624.5	49	10 593.5	
极差	8 998	12 153	8 936	

3.3 载盘烘烤时间单因素实验

针对 3.2 中得到的优化条件,固定 Stay Time 为 0 min,膜厚为 300/80 nm,在不同的 Outgas Time 下进行单因素实验,考虑到 Outgas Time 与排除清洗品上附着的残余气体有关,本次实验专门选取了安装有残余气体分析仪的设备进行上述实验,实验结果参见表 6;通过实验,可以看出

表 6 载盘烘烤时间单因素实验表

Tab.6 Single-factor table of tray baking time

Outgas Time/ min	残余气体压力				像素数
	H ₂ /Pa	H ₂ O/Pa	N ₂ /Pa	O ₂ /Pa	
0	2.30E-02	8.49E-03	1.38E-04	7.99E-05	10 543
15	1.56E-02	5.72E-03	6.71E-05	4.11E-05	1 714
30	1.53E-02	5.05E-03	7.32E-05	5.64E-05	255
45	1.39E-02	4.60E-03	5.81E-05	3.77E-05	106
60	1.34E-02	3.97E-03	7.21E-05	4.63E-05	3
90	1.11E-02	3.13E-03	5.17E-05	3.50E-05	0
120	1.04E-02	2.40E-03	3.86E-05	3.99E-05	0

随着 Outgas Time 的延长,小丘的发生情况呈不断减小的趋势(参见图 3),在 Outgas Time 大于 90 min 的条件下,可以获得表面几乎无小丘的纯铝薄膜;实验过程中,随 Outgas Time 的延长,残余气体的压力,特别是 H_2 和 H_2O 的分压呈逐渐下降的趋势, N_2 和 O_2 分压相对较低且变化不大(参见图 4),可见载盘中附着的 H_2 和 H_2O 是影响小丘生成的主要杂质气体。

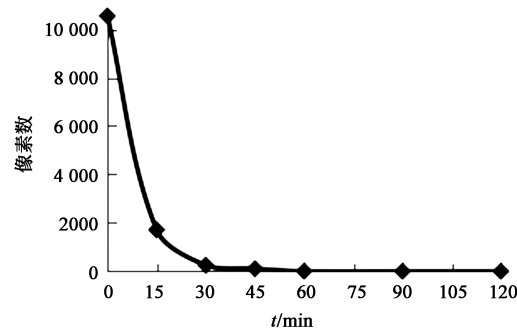


图 3 小丘生成情况随载盘烘烤时间变化趋势图
Fig.3 Trend diagram of hillock formation versus tray baking time

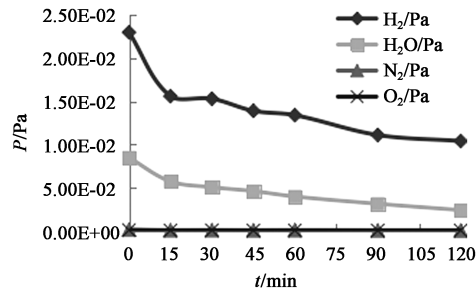


图 4 残余气体分压随 Outgas Time 变化趋势图
Fig.4 Trend diagram of residual gas pressure versus outgas time

3.4 纯铝薄膜膜厚单因素实验

本文 3.2 中实验结果表明,Stay Time 和膜厚的对小丘的影响程度基本一致;其中 Stay Time 的长短主要取决于处理设备报警和异常停机所需要的时间,自然是时间越短越好,对此本文不做赘述。综合 3.2 和 3.3,本节固定 Stay Time 为 0 min,Outgas Time 分别为 0 min,30 min,60 min,变化膜厚进行如表 7 所示的纯铝薄膜膜厚单因素实验,通过实验可以看出小丘生成情况随膜厚的降低有所减轻(参见图 5)

表 7 膜厚单因素实验表
Tab.7 Single-factor table of Al thickness

Outgas Time/min	膜厚/nm			
	160/80	200/80	260/80	300/80
0	16	454	1866	3797
30	0	10	232	637
60	0	0	47	139

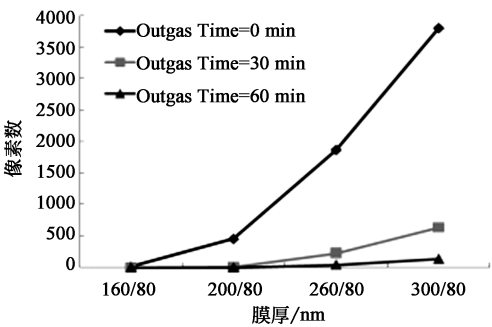


图 5 小丘发生情况随膜厚变化关系图
Fig.5 Diagram of hillock formation versus Al thickness

4 结 论

本文通过生产线上常用的 MM 对纯铝薄膜进行观察并存图,利用 MATLAB 软件对图片进行分析和计算,实现了工厂端对纯铝薄膜小丘的快速识别和比对,这对实际生产过程中及时有效地发现并预防小丘的生成有着重要的意义。

在实际生产过程中,纯铝薄膜膜厚、载盘预处理时间以及成膜后载盘在加热腔室内的停留时间等 3 种情况均会诱发小丘的生成,其中载盘预处理时间对纯铝薄膜小丘的影响最为严重,另外两种情况的影响程度大致相当;小丘的发生情况随载盘预处理时间延长有所减轻,随膜厚的增加有所加重。载盘预处理的过程,即残余气体排除的过程,因此有效排除残余气体,保证本底真空,对预防小丘的发生有着重要的意义和作用。实验中残余气体分析仪记录的结果表明,随着残余气体中 H_2O 和 H_2 分压的降低,小丘发生情况不断减轻,直至消失,由此可见 H_2O 和 H_2 可能是影响小丘生成的主要杂质气体。因此在实际生产过程中,完成载盘清洗品更换后,保证载盘的预处理时间,有效排除

H₂O 和 H₂等杂质气体;在满足其他生产工艺条件的前提下,适当的降低纯铝薄膜的膜厚;以及对镀膜机发生报警和其他异常停机情况的快速反应和处理,对于预防纯铝薄膜小丘的发生都

有着积极的作用。实验结果表明,当载盘预处理时间在 90 min 以上,膜厚 300/80 nm,纯铝薄膜成膜后在加热腔室不做停留的情况下,可以获得表面几乎无小丘的纯铝薄膜。

参 考 文 献:

- [1] 刘晓伟,郭会斌,李梁梁,等.磁控溅射成膜温度对纯铝薄膜小丘生长以及薄膜晶体管阵列工艺良率的影响[J].液晶与显示,2014,29(4):548-552.
LIU X W, GUO H B, LI L L, *et al.* Effect of sputter temperature on hillock formation in pure Al film and thin film transistor array process yield [J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays*, 2014, 29(4): 548-552. (in Chinese)
- [2] JANG K H, HWANG S J, JOO Y C. Effect of capping layer on hillock formation in thin Al films [J]. *Metals and Materials International*, 2008, 14(2): 147-150.
- [3] HWANG S J, LEE J H, JEONG C O, *et al.* Effect of film thickness and annealing temperature on hillock distributions in pure Al films [J]. *Scripta Materialia*, 2007, 56(1): 17-20.
- [4] HENDERSON D, BRODSKY M H, CHAUDHARI P. Simulation of structural anisotropy and void formation in amorphous thin films [J]. *Appl. Phys.*, 1974, 25(11): 641-643.
- [5] IWAMURA E, OHNISHI T, YOSHIKAWA K. A study of hillock formation on Al-Ta alloy films for interconnections of TFT-LCDs [J]. *Thin Solid Films*, 1995, 270(1/2): 450-455.
- [6] CHANG C Y, VOOK R W. Thermally induced hillock formation in Al-Cu films [J]. *Journal of Materials Research*, 1989, 4(5): 1172-1181.
- [7] ARAI T, MAKITA A, HIROMASU Y, *et al.* Mo-capped Al-Nd alloy for both gate and data bus lines of liquid crystal displays [J]. *Thin Solid Films*, 2001, 383(1/2): 287-291.
- [8] ONISHI T, IWAMURA E, TAKAGI K, *et al.* Influence of adding transition metal elements to an aluminum target on electrical resistivity and hillock resistance in sputter-deposited aluminum alloy thin films [J]. *J. Vac. Sci. Technol. A*, 1996, 14(5): 2728-2735.
- [9] SEO H S, KIM I W, LEE G H, *et al.* Hillock free Al-gate materials using stress-absorbing buffer layer for large-area AMLCDs [C]//SID'96 Digest. San Diego, California, USA: SID, 1996: 341-344.
- [10] SEO H S, CHOI J B, YUN D C, *et al.* Simple process of hillock-free Al-gate metallization without ITO/Al contact problems for large-area TFT-LCDs [C]//SID'98 Digest. Anaheim, California, USA: SID, 1988: 375-378.
- [11] ZABOROWSKI M, ADAMIEC M, BARCZ A. Hillock recognition by digital image processing [J]. *Applied Surface Science*, 1995, 91(1/4): 246-250.
- [12] HWANG S J, NIX W D, JOO Y C. A model for hillock growth in Al thin films controlled by plastic deformation [J]. *Acta Materialia*, 2007, 55(15): 5297-5301.

作者简介:肖亮(1984—),男,河北昌黎人,工学硕士,工程师,2007 年于西南科技大学获得学士学位,2010 年于中国地质大学(北京)获得硕士学位,主要从事 TFT-LCD 工艺、PVD 工艺与设备的研究。E-mail: xiaoliang@boe.com.cn