

铝衬底微等离子体阵列的制作与光电特性测量

孟令国, 梁志虎, 刘纯亮, 梁海锋, 张小芸

(西安交通大学电子物理与器件教育部重点实验室, 710049, 西安)

摘要: 在铝衬底上采用光刻工艺制作了带有氧化铟锡(ITO)透明电极的微等离子体阵列, 实验研究了该微等离子体阵列在 30~100 kPa 氖气中的放电特性和发光特性. 不同微腔尺寸的微等离子体阵列实验结果表明, 对于微腔直径为 150 μm 的器件, 击穿电压随着工作气压的升高先下降后上升, 并且在 53.2 kPa 时达到最小值 212 V. 通过对微腔直径为 50 μm 和 30 μm 器件的击穿电压比较发现, 在气压较低时, 微腔尺寸大的器件更容易击穿, 当气压较高时, 微腔尺寸小的器件更容易击穿, 并且微腔尺寸小的器件随着气压的升高击穿电压下降得更快. 与目前商业等离子体显示器件(PDP)的击穿电压相比, 微腔器件的击穿电压更低, 而且在高气压下, 采用更小的微腔作为 PDP 的显示单元, 可以提高 PDP 的分辨率.

关键词: 微等离子体阵列; 微腔放电; 铝衬底; 击穿电压

中图分类号: TN141.5 **文献标志码:** A **文章编号:** 0253-987X(2008)08-0982-04

Microplasma Arrays Fabricated in Aluminum Substrate and Its Photoelectric Characteristics

MENG Lingguo, LIANG Zhihu, LIU Chunliang, LIANG Haifeng, ZHANG Xiaoyun

(Key Laboratory of Physical Electronics and Devices of the Ministry of Education, Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710049, China)

Abstract: Microplasma arrays are fabricated in aluminum substrate with indium tin oxides (ITO) electrode. The discharge characteristics and light emission of the devices at atmospheric pressure in neon are investigated experimentally. The experiment results for microplasma devices with different microcavity diameters show that the breakdown voltage of the microplasma device with 150 μm microcavity diameter reduces firstly and then increases as the operation pressure increases, and reaches the minimum value 212 V at 53.2 kPa. Devices with large microcavity diameters are easy to breakdown at low pressures. The breakdown voltage of the device with small microcavity diameter goes down quickly as the operation pressure increases. The breakdown voltage of microcavity is lower than the breakdown voltage of commercial plasma display panel (PDP). Using small microcavity as pixel of PDP can improve the resolution of PDP at high atmospheric pressure.

Keywords: microplasma array; microcavity discharge; aluminum substrate; breakdown voltage

等离子体显示器件(PDP)由于具有高画质、大尺寸等特点已经成为目前流行的平板显示器件之一, 但目前 PDP 的发光效率仍然较低, 像素单元尺寸较大, 这已成为 PDP 发展过程中必须解决的关键问题^[1-3]. 目前全高清数字电视已逐渐成为电视器件

的主流, 这就要求 PDP 的像素单元尺寸进一步减小. 然而, 随着 PDP 的像素单元尺寸的减小, 发光效率将大幅度降低, 从而导致功耗增加. 微腔等离子体放电通过提高放电气压以提高发光效率, 同时减小了像素尺寸^[4], 可以有效地解决上述问题, 因此成为

目前研究的热点^[5-6].

从1997年开始,Eden等人在硅上制作了倒金字塔形结构的微腔等离子体器件,制作了最大至500×500像素的发光阵列^[7-8],并于2007年研制了可寻址的硅上微腔阵列^[9].然而,在硅上制作微腔阵列难以实现大尺寸显示,而且制作工艺复杂,制作成本高,因此本文提出了一种在铝衬底上制作的微腔等离子体阵列,器件制作工艺简单,并且可以有效防止像素之间的串扰.实验结果表明,本文制作的器件可以降低PDP的驱动电压,并提高其分辨率.

1 样品制作

首先将铝片切割成25 mm×35 mm的样品,然后进行边缘打磨、样品抛光和清洗.清洗之后,使用光刻工艺制作30~150 μm的微腔阵列(3×3像素阵列),光刻的工艺参数分别为:前烘70℃,30 min;涂胶转速5 000 r/min,涂胶一次;后烘70℃,15 min;曝光60 s;显影60 s,显影液为质量分数为0.4%的NaOH溶液;坚膜100℃,60 min.刻蚀溶液为体积比1:1的HCl和H₂O溶液,刻蚀时间为4 min.

刻蚀之后微腔的形状近似为半球形(微腔深度约为微腔半径的75%).将刻蚀之后的样品放入浓度为0.4 mol/L的草酸溶液中进行阳极氧化,氧化电压维持在20 V,同时保持溶液温度在20℃,氧化时间为40 min.氧化生成的氧化铝膜的厚度约为10 μm.

将带有ITO膜的玻璃切割成25 mm×35 mm的小块,和铝衬底样品尺寸一致,然后将ITO玻璃覆盖在铝衬底样品上,如图1结构所示.ITO作为一种透明电极材料,被广泛地应用于平板显示领域,对ITO膜的研究也非常成熟^[10],因此在本实验中选择了ITO作为电极.

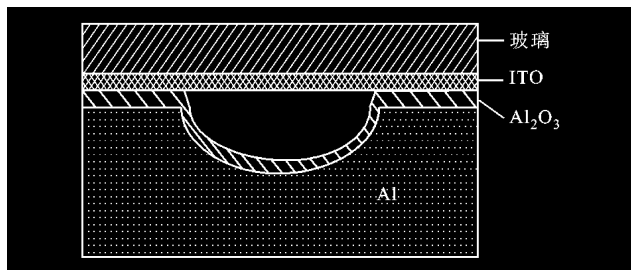
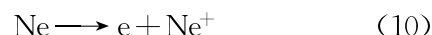
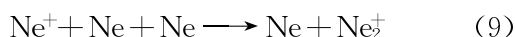
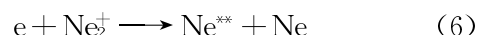
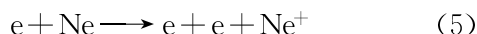
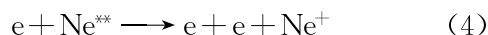


图1 微等离子体器件单元的剖面示意图

2 实验原理与方法

2.1 实验原理

纯氖气等离子体放电的主要碰撞过程如下



式中:Ne*为低激发态;Ne**为高激发态;Ne⁺为一次电离离子;Ne₂⁺为分子型离子;e为电子;h为普朗克常量;ν为光电子频率.

从反应式(8)可以看出,当氖气从高激发态退激发到低激发态的过程中,放出光子.氖气产生的可见光波长范围在400~700 nm,其中峰值波长为582 nm的光辐射占整个光强的35~40%,因此发橙黄色光.

通常进行表面处理的等离子体放电压在0.1 Pa至100 Pa之间.该类放电属于低气压、低密度放电,放电电极间距为厘米量级,容易实现稳定辉光放电.平行板电极之间直流放电的电压-电流特性曲线如图2所示.

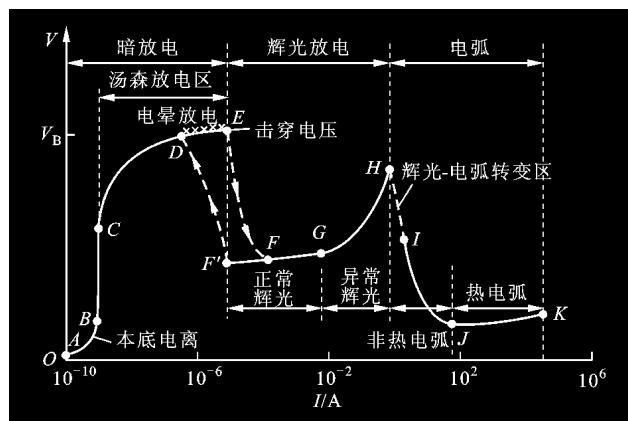


图2 直流放电管通用伏安特性曲线

在低气压下,比较容易实现稳定的辉光自持放电,放电时电子温度很高(约为20 000 K),但离子温度很低,整个放电气体接近室温,因此放电稳定在辉光区,而不会过渡到弧光区.

在高气压下,例如在大气压下,由于气体的密度高,因此放电电流大,电子的平均自由程很短,电子和离子以及中性气体分子碰撞频繁,电子的能量传递给离子和中性气体分子,导致离子和中性气体分子的温度升高.当离子和中性气体分子能量较高时,它们的碰撞就会产生新的离子和电子,形成新的电

子繁流,从而使放电电流急剧升高,放电也从辉光放电过渡到弧光放电。

本实验中制作的微腔放电结构就属于高压下的等离子体放电,通过缩小气体的放电空间,可以将等离子体放电限制在一个非常小的空间内进行,降低等离子体的电离度,从而抑制离子能量的增加,达到防止弧光放电的目的。

2.2 实验方法

使用夹具固定好器件后,将整个器件置于真空腔体中,先抽真空至 10^{-4} Pa 以下,然后回充入氖气。测量电路如图 3 所示,测试驱动波形采用正弦波形,维持频率固定为 15 kHz,文中提到的电压值全部为均方根值。实验中测量了放电的击穿电压、熄灭电压以及放电电压余裕度随气压的变化情况。

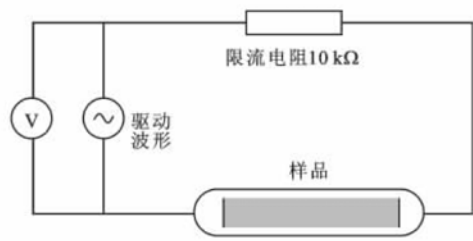


图3 测量电路示意图

3 实验结果与讨论

3.1 不同工作气压下微腔阵列的发光模式

图4是微腔直径为 $90\ \mu\text{m}$ 的器件在氖气中不同气压下的发光照片。可以看出,图4a发光微弱并且分散,而图4b发光明亮并且集中在中间。其他不同尺寸的微腔器件也观察到了同样的现象,可见随着气压的升高,发光区域向中心收缩,并且发光亮度增强。

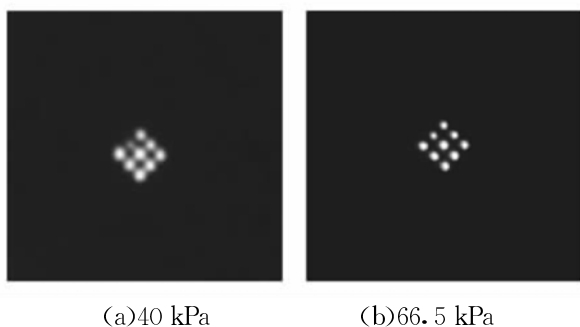


图4 微腔直径为 $90\ \mu\text{m}$ 的微腔器件在不同气压下的发光图

3.2 微腔直径为 $150\ \mu\text{m}$ 器件的放电特点

为了研究微腔器件的放电特点,实验中测量了不同气压下直径为 $150\ \mu\text{m}$ 的微腔器件的击穿电压

(V_{on})和熄灭电压(V_{off})的变化规律,如图5所示。由图5可以看出,击穿电压随着气压的升高先下降再升高,并且在 $53.2\ \text{kPa}$ 时,击穿电压达到最小值 $212\ \text{V}$,熄灭电压的变化趋势和击穿电压相同。

在PDP放电中,单个像素的放电电压余裕度(V_{margin})为单个像素的击穿电压与熄灭电压的差,同样对于像素矩阵来说,放电电压余裕度为第1个单元点亮与第1个单元熄灭之间的差。

图6描述了放电电压余裕度随气压的变化趋势。对照图5和图6可以看出,放电电压余裕度随着气压的升高先减小后升高,而且在击穿电压达到最小值时,放电电压余裕度也同时达到最小值。

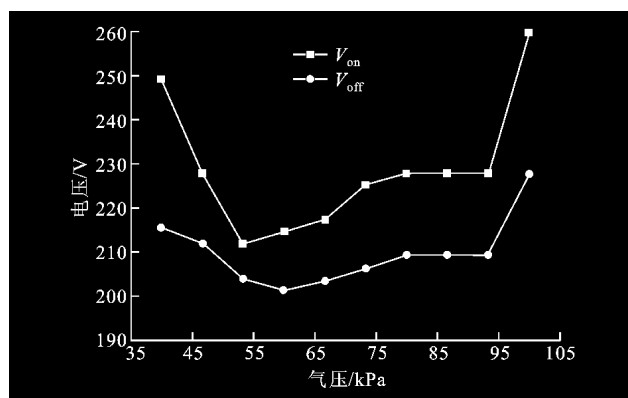


图5 不同气压下击穿电压和熄灭电压的变化曲线

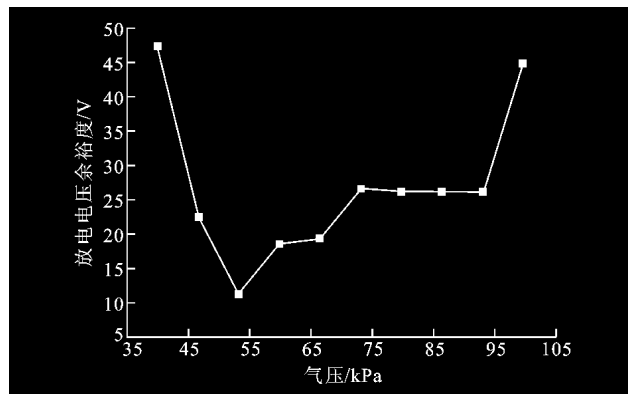


图6 不同气压下放电电压余裕度的变化趋势

在等离子体平板显示器件中,既要求较低的击穿电压,同时又要求具有较大的放电电压余裕度,因此要选择合适的参数来权衡这两方面的要求。

3.3 不同直径的微腔器件在不同气压下击穿电压的变化

为了研究微腔尺寸和击穿电压的关系,实验测量了一系列不同微腔尺寸、不同气压下的器件击穿电压,如图7所示。由图7可以看出,微腔直径为 $30\ \mu\text{m}$ 的器件一直到 $46.5\ \text{kPa}$ 时才开始击穿放电,而微腔直径为 $50\ \mu\text{m}$ 的器件到 $26.6\ \text{kPa}$ 时就可以击穿放电,并且随着工作气压的升高,微腔直径为 50

μm 和 $30\ \mu\text{m}$ 的器件的击穿电压均在不断降低. 本文实验结果表明:对于结构相同的微腔等离子体器件,微腔尺寸越小,器件能够击穿放电的最低工作气压越高;反之,微腔尺寸越大,器件能够击穿放电的最低工作气压越低.

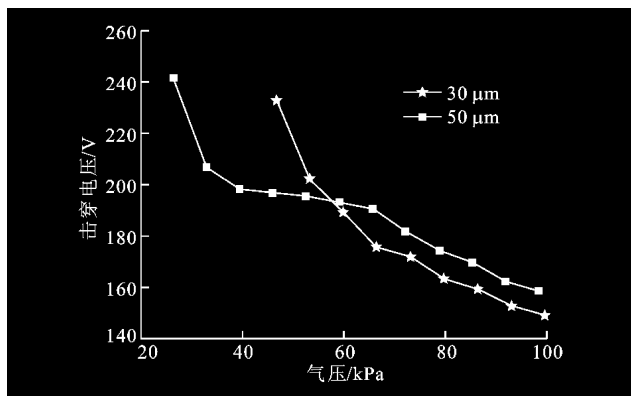


图7 不同微腔尺寸的器件的击穿电压变化曲线

从图7中还可以看出,微腔直径为 $30\ \mu\text{m}$ 的器件能够击穿的起始气压较高,但是随着气压的升高,击穿电压下降的速度要大于微腔直径为 $50\ \mu\text{m}$ 的器件,在 $57\ \text{kPa}$ 以后,微腔直径为 $30\ \mu\text{m}$ 的器件的工作电压要低于微腔直径为 $50\ \mu\text{m}$ 的器件.

4 结 论

本实验在铝衬底上制作了微腔阵列,并且使用ITO作为电极.不同微腔尺寸的微等离子体阵列实验结果表明,对于微腔直径为 $150\ \mu\text{m}$ 的器件,击穿电压随着工作气压的升高先下降后上升,在 $53.2\ \text{kPa}$ 时达到最小值 $212\ \text{V}$,并且在击穿电压达到最小值时,电压余裕度也同时达到最小值.通过对微腔直径为 $50\ \mu\text{m}$ 和 $30\ \mu\text{m}$ 器件的放电特性比较发现:在气压较低时,微腔尺寸较大的器件更容易击穿;微腔尺寸较小的器件的起始气压较高,但是其击穿电压随着气压的升高下降得更快.与目前商业PDP的击穿电压相比,微腔器件的击穿电压更低,而且在高压下,采用更小的微腔作为PDP的显示单元,可以提高PDP的分辨率.

参考文献:

[1] 胡文波,周俊峰,武文璞. 彩色等离子体显示屏新型Ne-Xe-Kr混合气体的研究[J]. 西安交通大学学报, 2004, 38(8): 843-846.
HU Wenbo, ZHOU Junfeng, WU Wenpu. New type of mixture gas Ne-Xe-Kr applied to color plasma display panels [J]. Journal of Xi'an Jiaotong University, 2004, 38(8): 843-846.

[2] 何锋,李永东,郭俊利,等. 交流等离子体显示板寻址和维持放电的二维流体模拟[J]. 西安交通大学学报, 2002, 36(8): 855-858.
HE Feng, LI Yongdong, GUO Junli, et al. Two-dimensional fluid simulation of addressing and sustaining discharge in alternating current plasma display panel [J]. Journal of Xi'an Jiaotong University, 2002, 36(8): 855-858.
[3] 梁志虎,刘纯亮,杜春艳,等. 一种新的交流等离子体显示器等效电路模型[J]. 西安交通大学学报, 2003, 37(10): 1067-1070.
LIANG Zhihu, LIU Chunliang, DU Chunyan, et al. New equivalent circuit model for alternating current plasma display panel [J]. Journal of Xi'an Jiaotong University, 2003, 37(10): 1067-1070.
[4] BECKER K H, SCHOENBACH K H, EDEN J G. Microplasmas and applications [J]. J Phys D: Appl Phys, 2006, 39(3): R55-R70.
[5] EDEN J G, PARK S J, OSTROM N P, et al. Large arrays of microcavity plasma devices for active displays and backlighting [J]. Journal of Display Technology, 2005, 1(1): 112-117.
[6] PARK S J, CHEN K F, SUNG S H, et al. Implications of microcavity plasma devices for new plasma-display-panel cell structures with improved luminosity [J]. Journal of the SID, 2005, 13(11): 949-954.
[7] FRAME J W, WHEELER D J, de TEMPLE T A, et al. Microdischarge devices fabricated in silicon [J]. Appl Phys Lett, 1997, 71(9): 1165-1167.
[8] CHEN K F, OSTROM N P, PARK S J, et al. One quarter million (500×500) pixel arrays of silicon microcavity plasma devices: luminous efficacy above 6 lumens/watt with Ne/50% Xe mixtures and a green phosphor [J]. Appl Phys Lett, 2006, 88(06): 1121-1123.
[9] PARK S J, TCHERTCHIAN P A, SUNG S H, et al. Arrays of addressable microcavity plasma devices [J]. IEEE Transactions on Plasma Science, 2007, 35(2): 215-222.
[10] 商世广,朱长纯. 直流磁控溅射氧化铟锡薄膜的低温等离子退火研究[J]. 西安交通大学学报, 2007, 41(2): 236-240.
SHANG Shiguang, ZHU Changchun. Research on low temperature plasma annealing of indium tin oxide films prepared by direct current magnetron sputtering [J]. Journal of Xi'an Jiaotong University, 2007, 41(2): 236-240.

(编辑 刘杨)