

文章编号: 0253-2239(2007)07-1285-5

# 交流等离子体显示器的红外辐射光谱\*

胡文波 王建琪 曹 艳 巫时锋

(西安交通大学电子物理与器件教育部重点实验室, 西安 710049)

**摘要:** 为优化交流等离子体显示器(AC PDP)的单元结构和驱动电压,采用光谱测量系统和交流等离子体显示器宏单元对电极结构参量、带有浮动电极的新型单元结构及维持电压脉冲参量对 Ne-Xe 混合气体放电辐射的红外光谱的影响进行了实验研究。结果表明,随着维持电极宽度增加,单元放电辐射的 828 nm 红外光谱的强度提高,而其辐射效率基本保持不变;随着维持电极间隙增大或在维持电极间加有适当宽度的浮动电极,红外辐射光谱的强度及其辐射效率均提高;提高维持电压脉冲频率或幅度,可增加红外辐射强度,但辐射效率降低。

**关键词:** 光学器件; 等离子体显示器; 气体放电; 红外辐射; 辐射效率; 浮动电极

中图分类号: TN141.5 文献标识码: A

## Infrared Radiation Spectrum of Alternating Current Plasma Display Panels

Hu Wenbo Wang Jianqi Cao Yan Wu Shifeng

(Key Laboratory for Physical Electronics and Devices of the Ministry of Education, Xian Jiaotong University, Xian 710049)

**Abstract:** To optimize cell structure and driving voltage of alternating current plasma display panel (AC PDP), the effects of electrode structure parameters, new-type cell configuration with floating electrodes, and sustained voltage pulse parameters on infrared-radiation spectrum from Ne-Xe mixture gas discharge were experimentally studied by using a spectrum measuring system and a macroscopic AC plasma display panel cell. The results show that as the sustaining electrode width increases, the 828 nm infrared radiation from a macroscopic cell is enhanced, while its radiation efficiency almost keeps constant. As the sustaining electrode gap increases or a floating electrode with appropriate width is inserted between two sustaining electrodes, both the intensity and efficiency of 828 nm radiation are improved. Increasing the frequency or amplitude of sustained voltage can enhance 828 nm radiation, but its radiation efficiency will drop.

**Key words:** optical devices; plasma display panel; gas discharge; infrared radiation; radiation efficiency; floating electrode

## 1 引 言

彩色等离子体显示器(Plasma display panel, PDP)具有屏幕大、厚度薄、重量轻、视角宽、响应快、全数字化等诸多优点,已成为数字电视、高清晰度电视和多媒体显示的理想器件。然而,为满足人们对显示器件日益提高的要求,应对其他平板显示技术,特别是液晶显示器件(LCD)和表面传导电子发射型显示器件(SED)在大屏幕显示领域的挑战,彩色等离子体显示器仍需在提高发光效率、降低功耗、提高图像显示质量、降低制造成本等方面做出较大改进,

以提升其竞争力<sup>[1~5]</sup>。

等离子体显示器是利用气体放电发出的真空紫外辐射来激励三基色荧光粉发出可见光。因此,对等离子体显示器发射光谱进行研究分析是理解等离子体显示器放电的物理过程,优化器件设计以提高器件性能的一个非常有效的方法。

## 2 147 nm 和 828 nm 光谱

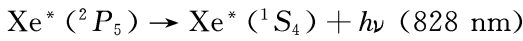
图 1 给出含有 Xe 气的惰性混合气体放电时 Xe 原子的激发、电离及真空紫外线(VUV)和红外线

\* 陕西省自然科学基金(2004F16)资助课题。

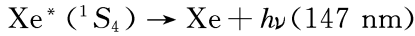
作者简介: 胡文波(1968—),男,湖南长沙人,副教授,博士,主要从事气体放电等离子体物理与应用、平板显示器件与技术方面的研究。E-mail: huwb@mail.xjtu.edu.cn

收稿日期: 2006-09-13; 收到修改稿日期: 2007-02-01

(IR)辐射的产生过程。Xe 原子受到电子碰撞会产生高激发态 Xe 原子( $Xe^{**}$ )，它很不稳定，当其中的  $Xe^*(^2P_5)$  跃迁到  $Xe^*(^1S_4)$  谐振态时会发出波长为 828 nm 的红外线，过程可表示为



当谐振态 Xe 原子跃迁至基态时会辐射 147 nm 的 VUV，即



这是混合气体放电中 147 nm VUV 的主要产生过程。该谱线是彩色等离子体显示器中用于激发荧光粉产生可见光的主要谱线。

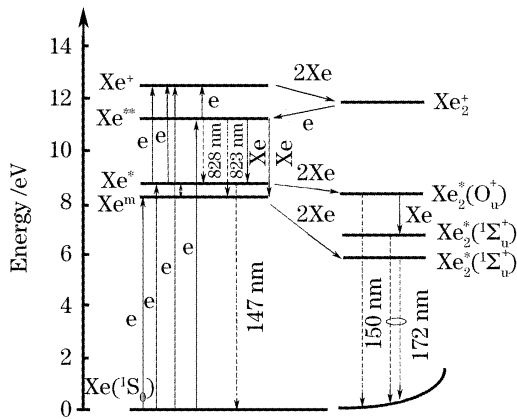


图 1 Xe 能级跃迁示意图

Fig. 1 Schematic diagram of energy-levels transitions of Xe atom

为优化彩色等离子体显示器的设计，最直接的方法是测量有关参量对 147 nm 谱线强度的影响。由于真空紫外辐射的测量需要高真空环境，实现起来较为复杂，特别是对于要频繁改变结构及其参量的情况。在大气环境下采用等离子体显示器宏单元和光谱测量系统研究电极结构参量、带有浮动电极的新型单元结构及维持电压频率和幅度对气体放电辐射的红外光谱的影响。根据上述等离子体显示器的光谱辐射过程，147 nm 真空紫外辐射的前级反应是 Xe 原子由高激发态能级向谐振态能级跃迁时辐射出 828 nm 红外线<sup>[6,7]</sup>。通过测量 828 nm 红外光谱的辐射强度可以间接地表征 147 nm 真空紫外的辐射强度，即认为在相同工作条件下，如果 828 nm 的辐射强度高，则 147 nm 的辐射强度也高<sup>[8]</sup>。可以通过研究等离子体显示器工作参量对 828 nm 红外谱线强度的影响，为设计新型电极结构，优化电极结构参量和驱动电压参量来增强 147 nm 辐射强度提供依据。

### 3 实验装置

实验系统如图 2 所示，主要由单色仪 (Acton

Research, VM-504)及其控制器 (SD3)、光电倍增管 (PMT) (Hamamatsu Photonics, R5108) 及其高压电源、等离子体显示器宏单元、驱动电路、计算机等部件组成。

驱动电源提供方波脉冲电压，占空比为 0.5，频率有三种可选：6.25 kHz、12.5 kHz、25 kHz，电压幅度连续可调。

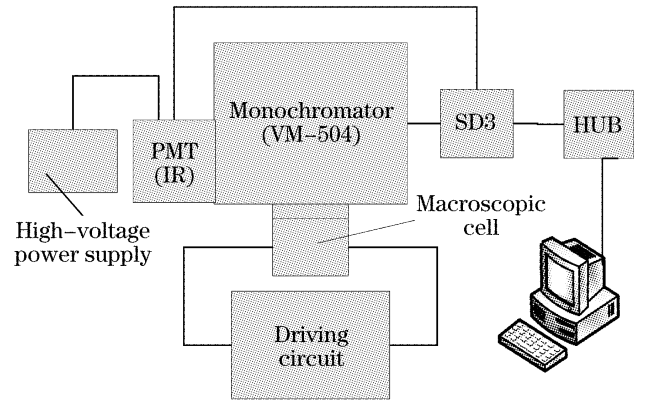


图 2 红外光谱测量系统示意图

Fig. 2 Schematic diagram of measuring system for infrared-radiation spectrum

等离子体显示器宏单元的结构如图 3 所示，其特征尺寸为真实等离子体显示器放电单元的 100 倍，而充气压强降为原来的 1%。根据气体放电的相似性原理，宏单元与真实单元具有相似的放电物理过程，所以可以通过对宏单元放电的测量和分析来研究真实等离子体显示器中微单元的放电特性<sup>[9,10]</sup>。宏单元长为 100 mm，宽为 30 mm，高为 10 mm，前、后玻璃基板的厚度均为 3 mm，内表面蒸镀有厚度为 500 nm 的 MgO 薄膜，用低熔点玻璃粉在周边将它们封接在一起，单元内部充入 Ne-Xe 混合气体。用铝箔裁剪成所需要的形状粘贴在玻璃基板的外表面作为一对维持电极。这里玻璃板起到交流等离子体显示器中介质层的作用。光谱测量时，宏单元的无电极玻璃基板朝向单色仪入口狭缝，并

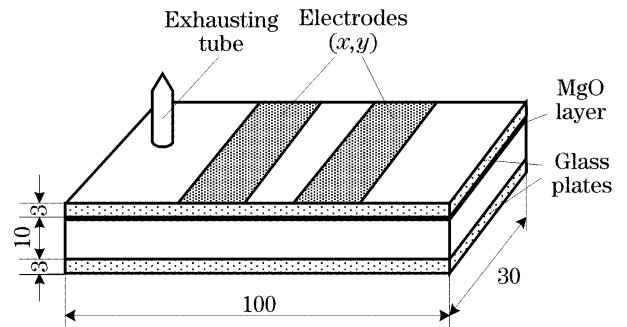


图 3 等离子体显示器宏单元结构图 /mm

Fig. 3 structure of a macroscopic plasma display panel cell /mm

且单元长度方向与入口狭缝长度方向平行。

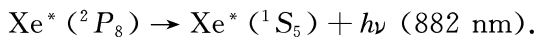
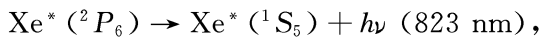
宏单元中的混合气体在驱动电压作用下放电,并发出从真空紫外到红外的波长范围很宽的光辐射。光束经过单色仪后被分光,然后被光电倍增管接收。实验中主要测量红外波段的辐射强度。谱线的辐射效率由相应的谱线辐射强度除以放电功耗得到。这些辐射强度和辐射效率均是相对值。

## 4 实验结果

### 4.1 电极宽度和间隙对 828 nm 红外辐射特性的影响

电极结构参量对放电光辐射的特性有很大影响。本部分测量了等离子体显示器宏单元的 828 nm 辐射光谱随维持电极间隙和电极宽度的变化。

图 4 所示为测量得到的充有 Ne-Xe(4%) 混合气,气压为 665 Pa 的宏单元的红外(IR)辐射光谱。图中,除 828 nm 外,还有 823 nm 和 882 nm 两条谱线,它们的产生过程为<sup>[11]</sup>



在维持电极间隙 8 mm 和驱动电压 260 V 的条件下,测量不同电极宽度时宏单元辐射的 828 nm 红外光谱强度和辐射效率,结果如图 5(a)所示。可以看

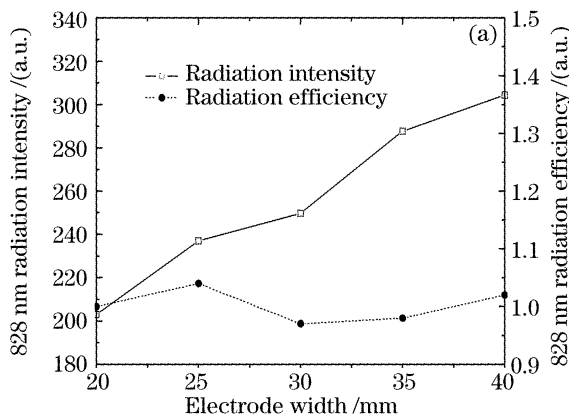


图 5 828 nm 辐射强度、效率与电极宽度、电极间隙的关系

Fig. 5 828 nm radiation intensity and efficiency versus electrode width and electrode gap

这是由于电极间隙增大,一方面使放电路径变长,电子在从阴极到达阳极过程中会与气体原子产生更多的碰撞,另一方面,在维持电压不变的情况下,放电路径加长使得电场强度减弱,降低了平均电子能量,电子电离碰撞概率下降,总的效果是电子电离碰撞次数基本保持不变,因而放电电流和放电功耗不发生变化。由于原子激发所需能量要低于电离所需能量,尽管上述第二方面因素也会造成电子激发碰撞概率下降,但下降幅度不大,总的效果是随电

出,随着维持电极宽度增大,其辐射的 828 nm 红外光谱强度不断增大,而辐射效率基本不发生变化。

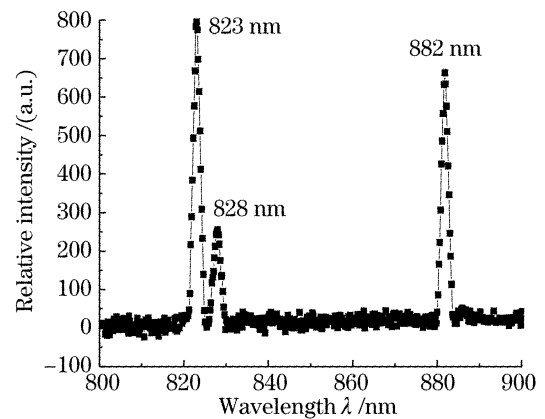
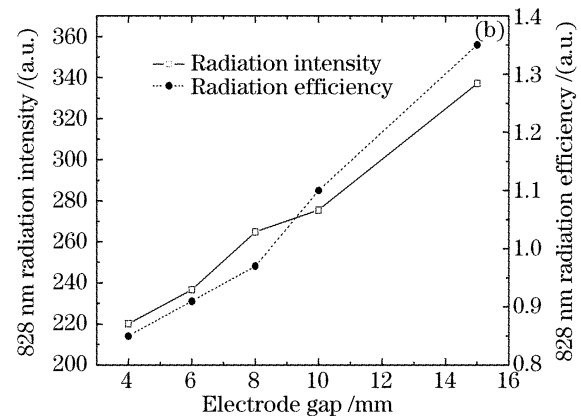


图 4 Ne-Xe(4%)气体放电的红外辐射光谱

Fig. 4 Infrared spectrum of Ne-Xe(4%) gas discharge

这是由于电极宽度增加,则阴极面积和放电发光区域增大,828 nm 的辐射强度增大。流过空间的放电电流也同比增大,造成放电功耗相应提高,使得发光效率基本保持不变。

图 5(b)给出了在驱动电压 260 V 和维持电极宽度 30 mm 条件下,不同维持电极间隙时的宏单元的 828 nm 辐射强度和辐射效率随电极间隙的变化。可以看出,随着电极间隙增大,单元红外 828 nm 辐射光谱强度和辐射效率均增加。



极间隙增大,电子激发碰撞次数增加,谱线的辐射强度增加,并且辐射效率也相应提高。

由以上实验结果可知,通过增加电极间隙来提高等离子体显示器的亮度和发光效率是一项非常有效的措施。但由于电极间隙增大,其工作电压会随之提高,造成驱动电路的复杂程度和成本增加。为此,提出了一种具有长放电间隙的带浮动电极的新型电极结构,以降低长间隙放电的工作电压,并获得高光效。

### 4.2 浮动电极对 828 nm 红外辐射特性的影响

浮动电极是指在单元工作期间其上不加电压信号,其电位处于悬浮状态的电极。设计的带有浮动电极的电极结构如图 6 所示,浮动电极位于一对维持电极(X 电极和 Y 电极)中间。数值模拟计算表明,在一个维持电压脉冲期间,在浮动电极上会产生一定的感应电势。由于浮动电极与其两侧的维持电极的间距非常小,因而在这两个小间隙处容易首先产生放电。在它们的引火作用下,引起两条维持电极之间的长间隙放电,可以降低等离子体显示器的维持电压。采用流体模型对该新型结构等离子体显示器的放电过程进行了计算机数值模拟,得到其在一个维持脉冲期间单元内电子密度空间分布的时间演变如图 7 所示。

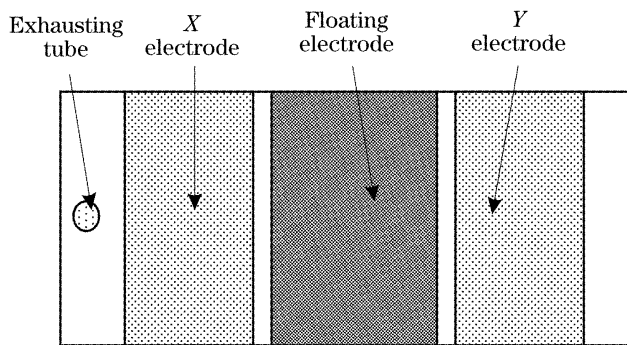


图 6 带有浮动电极的宏单元的电极结构示意图

Fig. 6 Schematic diagram of a macroscopic cell electrode structure with a floating electrode

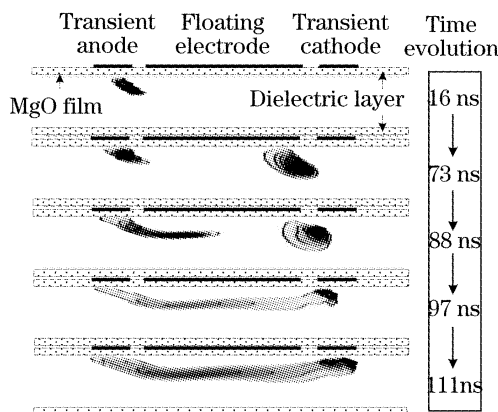


图 7 一个维持电压脉冲期间单元内电子密度空间分布的时间演变

Fig. 7 Spatio-temporal distribution of electron density during a sustain-voltage pulse in a PDP cell

图 8 给出了维持电极间隙 42 mm 和电极宽度 25 mm 时,不同浮动电极宽度下宏单元辐射的 828 nm 红外光谱强度变化情况。可以看出,当浮动电极的宽度为 34 mm 时,具有最大的 828 nm 辐射强度和辐射效率。因此,在长间隙维持电极间设置

一定宽度的浮动电极可以增大红外辐射强度,提高辐射效率。原因是由于浮动电极的存在改变了原有的放电路径,导致红外辐射强度和效率提高。通过数值模拟得到的普通长间隙与带有浮动电极的长间隙放电过程中放电最强时刻的电子密度空间分布见图 9 所示。

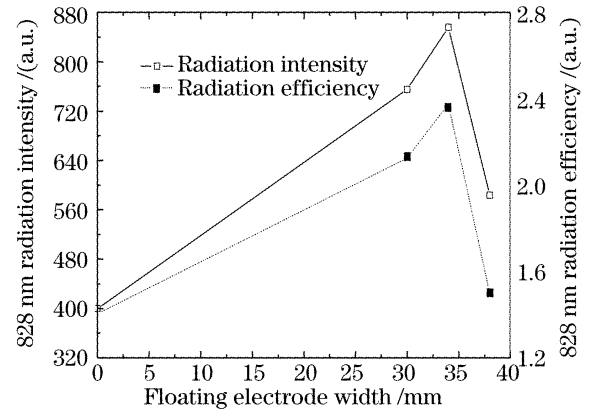


图 8 不同浮动电极宽度的 828 nm 辐射强度和效率的变化

Fig. 8 828 nm radiation intensity and efficiency versus floating electrode width

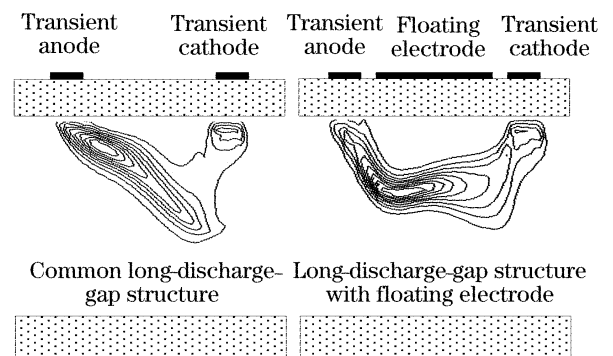


图 9 长间隙放电的电子密度空间分布

Fig. 9 Spatial distribution of electron density in long-gap discharge

### 4.3 维持电压脉冲频率和幅度对 828 nm 红外辐射的影响

图 10(a)和图 10(b)分别给出了宏单元放电产生的 828 nm 辐射强度和效率与维持电压频率和幅度的关系。可以看出,随着频率或幅度提高,828 nm 的辐射强度增加,但辐射效率逐渐降低。

由于维持电压脉冲频率与等离子体显示器单元单位时间放电次数成正比,因而随频率提高,宏单元的红外辐射强度线性增加。平均放电电流本应与电压脉冲频率成正比,但因每个放电脉冲结束后,在放电空间会留下一定密度的寿命较长的亚稳态原子,而且随电压频率提高,两个相邻脉冲的间隔缩短。则两个维持脉冲之间剩余的亚稳态 Xe 原子的密度就越高,这样在下一个电压脉冲到来时,这些亚稳态

原子被电子碰撞电离的概率远高于基态原子,使放电电流随频率提高以快于线性的比例增加,功耗的增加速度超过光谱辐射强度的增加速度,导致 828 nm 辐射效率降低。

随着维持电压脉冲幅度增加,放电空间的电场强度增强,则电子具有更高能量,使得电子碰撞电离

和激发能力增强,导致空间中激发态 Xe 原子密度和带电粒子密度增加,引起 828 nm 辐射强度和放电电流增加。另外,随着维持电压脉冲幅度增加,电子电离能力增强的速度快于激发能力增强的速度,因而用于电离的电子能量的增加大于用于激发的能量增加,这是导致 828 nm 辐射效率下降的主要原因。

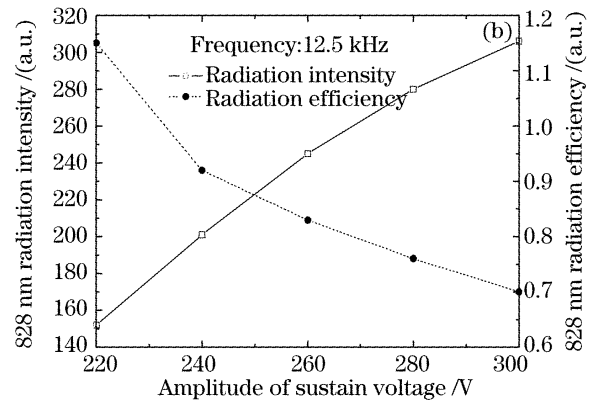
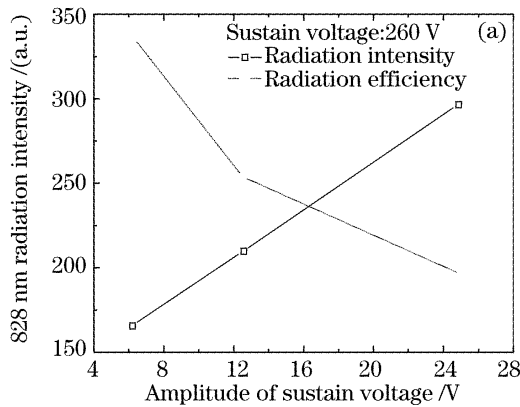


图 10 828 nm 辐射强度、效率与维持电压脉冲频率、幅度的关系

Fig. 10 828 nm radiation intensity and efficiency versus sustained-voltage pulse frequency and amplitude

## 5 结 论

随着维持电极宽度的增大,828 nm 辐射强度增大,辐射效率没有明显变化。随着维持电极间隙增大,红外辐射光谱强度及辐射效率均增大。

带有适当宽度浮动电极的长间隙电极结构可以增大 828 nm 谱线的强度,提高其辐射效率,降低放电工作电压。因此采用该电极结构有利于在较低工作电压下提高 828 nm 的辐射强度和效率,进而提高等离子体显示器的亮度和发光效率。

随着维持电压脉冲频率或幅度提高,828 nm 的辐射强度增加,但辐射效率逐渐降低。

## 参 考 文 献

- 1 G. Veronis, U. S. Inan. Improvement of the efficiency of plasma display panels by combining waveform and cell geometry design[J]. *IEEE Trans. on Plasma Science*, 2005, **33**(1): 147~156
- 2 J. P. Boeuf. Plasma display panels: Physics, recent developments and key issues[J]. *J. Phys. D: Appl. Phys.*, 2003, **36**(6): 53~79
- 3 Tsutae Shinoda, Kenji Awamoto. Plasma display technologies for large area screen and cost reduction[J]. *IEEE Trans. on Plasma Science*, 2006, **34**(2): 279~286
- 4 Yang Xiaohui. The latest improvements on FPD [J]. *Opto*

*Electronic Technology*, 2004, **24**(1): 73~77 (in Chinese)

杨小慧. 平板显示的最新进展[J]. *光电子技术*, 2004, **24**(1): 73~77

- 5 Cao Yun, Tie Bin. Low power consumption driving techniques of color PDP[J]. *Opto Electronic Technology*, 2005, **25**(2): 108~112 (in Chinese)

曹允,铁斌. 彩色 PDP 低功耗驱动技术探讨[J]. *光电子技术*, 2005, **25**(2): 108~112

- 6 Ki-Woong Whang, Joong Kyun Kim. Diagnostics of the microdischarge in an alternating current plasma display panel (AC PDP)[J]. *IEEE Trans. on Plasma Science*, 2006, **34**(2): 311~316
- 7 Gerrit Oversluizen, Tim Dekker. Diagnostics of PDP microdischarges[J]. *IEEE Trans. on Plasma Science*, 2006, **34**(2): 305~310
- 8 R. Ganter, J. Ouyang, Th. Callegari *et al.*. Physical phenomena in a coplanar macroscopic plasma display cell I. Infrared and visible emission[J]. *J. Appl. Phys.*, 2002, **91**(3): 992~999
- 9 R. Ganter, J. Ouyang, Th. Callegari *et al.*. Physical phenomena in a coplanar macroscopic plasma display cell II. Comparisons between experiments and models[J]. *J. Appl. Phys.*, 2002, **91**(3): 1000~1007
- 10 J. Ouyang, R. Ganter, Th. Callegari *et al.*. Imaging of a macroscopic plasma display panel cell [J]. *IEEE Trans. on Plasma Science*, 2002, **30**(11): 186~187
- 11 Jeong Hyun Seo, Heui Seob Jeong, Joo Yul Lee *et al.*. Vacuum ultraviolet emission characteristics from He-Ne-Xe gas discharge in an alternating current plasma display panel cell[J]. *J. Appl. Phys.*, 2000, **88**(3): 1257~1262