

# 平板显示及其应用专题系列介绍

## 等 离 子 体 显 示<sup>1)</sup>

彭 国 贤

(机械电子工业部南京电子器件研究所,南京 210016)

本文对等离子体显示板的工作原理及发展方向,特别是对直流和交流彩色等离子体显示板的研究现状作了介绍。

自 19 世纪法拉第等人研究气体放电现象以来,水银整流管、稳压管和计数管等电子器件相继研制成功。它们对无线电电子学的发展起了重要作用。60 年代,与气体激光器研制成功的同时,人们把气体放电引入信息显示领域,研制成功等离子体显示板,受到电子学界的极大重视。

人们最先研制成功的平板显示器件是粉末型电致发光显示器。由于这种器件具有交叉效应,故对比度很低。分析表明,对比度低的主要原因是发光粉的发光阈值电压有一定的范围,不是突变的。因此,人们必须利用发光阈值电压锐变的发光现象来提高对比度。大家知道,气体放电现象具有锐变的阈值电压。以氖泡为例,只有当外加电压达到着火电压时才会发光,并具有负阻效应。1966 年,美国 Illinois 大学的教授 D. L. Bitzer 和 G. H. Slottow<sup>[1]</sup> 利用这种现象发明了气体放电平板显示器件,命名为交流等离子体显示板(简称 ACPDP),并荣获该年度美国百项工业发明奖。此后,人们研制成功多种气体放电显示板,习惯上均称为等离子体显示板(PDP)。1970 年,美国布劳公司发明了自扫描型等离子体显示板(简称 SSPDP)。同年,荷兰飞利浦公司研制成功直流等离子体显示板(简称 DCPDP)。以上是等离子体显示板的三种基本类型。

### 一、交流等离子体显示板<sup>[2,3]</sup>

ACPDP 的结构如图 1 所示。在两块玻璃板的内壁制作条状电极,在其表面涂覆一层介质,使两块板间保持一定的距离,并使两块板上的条状电极互相垂直。然后,四周用低熔点玻璃粉密封,形成放电空间。经过真空烘烤后,向腔内充入氖、氩混合气体。

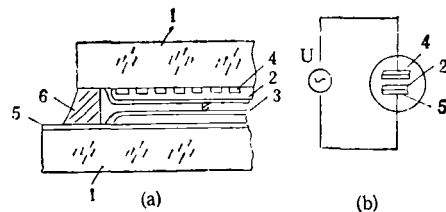


图 1 ACPDP 的结构 (a) 和物理模型 (b)

1. 玻璃板; 2. 介质层; 3. MgO 保护层;  
4. y 电极; 5. x 电极; 6. 封接框

图 2 示出 ACPDP 的工作原理。在垂直和水平方向的任意两条电极(例如  $x_i$  和  $y_j$ ) 上施加着火电压  $U_i$  时,交叉点  $(x_i, y_j)$  就发光。器件在存储模式工作,ACPDP 的所有象素都施加维持电压  $U_s$ , 由于  $U_s < U_i$ , 故各象素不会发光。如果在维持电压  $U_s$  的后沿施加书写脉冲  $U_w$ ,

1) 仅以此文纪念我国等离子体显示研究起步 20 周年。

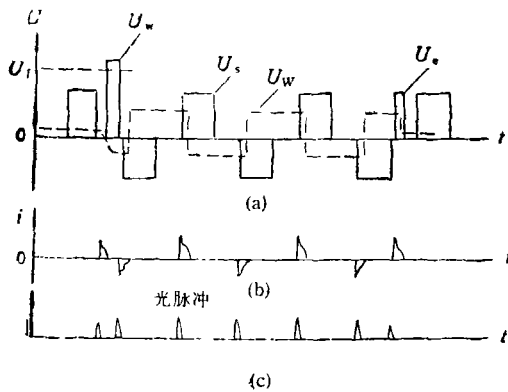


图2 ACPDP 的工作原理

其幅值大于  $U_i$ , 则此像素就发光 [见图 2(c)]. 放电时形成的正离子和电子, 分别向瞬时阴极和瞬时阳极移动, 使介质壁充电, 形成壁电压  $U_w$ , 其方向正好同外加电压相反, 使像素上的总电压低于  $U_i$ , 故放电暂时停止. 当维持电压进入负半周时,  $(U_w + U_s) > U_i$ , 产生一次放电发光和反向电流 [图 2(b)]. 当外加电压反向时, 这时又有  $(U_w + U_s) > U_i$ , 产生一次放电发光. 然后又重复上述过程. 这样, 像素一旦着火, 就由  $U_s$  来维持断续的脉冲放电. 仅当在  $U_s$  的前沿施加擦除脉冲  $U_e$  时, 将壁电压中和, 放电才停止 [见图 2(a)]. 由此可知, ACPDP 在  $U_s$  的一个周期内发光二次. 一般  $U_s$  的频率在 10kHz 以上, 发光次数可达  $2 \times 10^4$  次/s, 故人眼不会感到闪烁.

由图 1(b) 的物理模型可知, 交流电压  $U = U_m \sin \omega t$  是通过两侧壁的介质电容  $C_g$  耦合到气体薄层上. 在气体薄层没有放电击穿时, 放电空腔上的电压为

$$U_c = \frac{C_g U}{C_g + 2C_c} = KU, \quad (1)$$

式中  $C_c$  为放电间隙的电容,  $K = C_g / (C_g + 2C_c)$ , 称为分配系数.  $C_g$  和  $C_c$  均为平板电容, 故有

$$U_c = \frac{U}{1 + 2 \frac{1}{\epsilon} \cdot \frac{D}{d}}, \quad (2)$$

式中  $\epsilon$  为介质层的介电常数,  $D$  为介质层厚度,  $d$  为气隙间距. 器体的典型数据为:  $\epsilon = 13$ ,

物理

$D = 40 \mu\text{m}$ ,  $d = 200 \mu\text{m}$ , 可得  $K = 0.97$ . 这说明器件没有放电时 (此状态称为静态模型), 外加电压  $U$  有 97% 加到气体薄层上, 在介质层中损耗 3%.

当外加电压升高到超过着火电压时, 显示单元发光, 此状态称为动态模型. 此时由于显示单元内形成导电性能良好的等离子体区, 此显示单元阻抗很小, 可近似地视为短路, 显示单元电压  $U_c \approx 0$ . 放电电流  $i$  向介质电容  $C_g$  充电, 电容上的电压为

$$U_g = \frac{2}{KC_g} \int_0^{\tau} i dt, \quad (3)$$

式中  $\tau$  为放电时间. 事实上  $U_g$  就是壁电压.

可以证明, 交流等离子体显示单元的放电形式属于低频放电, 在维持电压的每一半周期内形成一次直流放电, 电子和离子在半周期内可实现单向转移. ACPDP 显示单元的放电遵守帕邢定律, 着火电压同介质层表面的二次发射系数密切相关. 详情请参阅文献 [4, 5].

1966 年, 在 D. L. Bitzer 等人发明的等离子体显示板中, 有一块中心隔离板, 其上有许多放电小孔, 将放电限制在小孔内, 以防止像素之间串扰. 70 年代初, 美国学者去掉了中心隔离板, 并采用低熔点玻璃粉作为介质层, 它在电子和重离子的轰击下容易分解, 或表面态发生变化, 从而使着火电压在工作过程中逐步上升, 故器件寿命较短. 1975 年, 国外学者在低熔点玻璃介质层上蒸发一层  $MgO$  保护层, 使器件寿命大大延长. 1980 年, 笔者采用薄膜蒸发技术制造了  $SiO_2$  介质层, 并在其上蒸涂  $MgO$  层, 以改善介质表面的二次发射特性, 从而研制成功第一代全薄膜式 ACPDP, 器件的着火电压下降了 1/3, 工作  $3 \times 10^4$  h 后, 着火电压变化 2V, 而亮度并未下降 [6].

ACPDP 的研究方向之一是彩色化, 实现彩色化的途径如下:

1. 改变充气成分来改变发光颜色: 实验表明, 稀有气体的混合物可以辐射出不同颜色的光, 以  $Ne + Ar$  辐射的橙红色光最强, 其次是  $Ar + Hg$  辐射的蓝绿光. 据文献 [7] 报道, 在

普通 ACPDP 中充入 Ar + Hg, 研制成功蓝绿色 ACPDP, 主辐射波长为 435.8nm 和 546.1 nm. 当  $f = 20\text{kHz}$ , 电压为 150V 时, 亮度为  $200\text{cd}/\text{m}^2$ . 器件连续工作  $1.3 \times 10^4\text{h}$ , 未出现任何故障. 在器件中充入  $\text{Cl}_2$  和  $\text{F}_2$  等也可改变发光颜色. 例如, 充入 Xe 和  $\text{F}_2$  可辐射紫蓝光,  $\text{Cl}_2 + \text{Xe}$  可辐射蓝绿光<sup>[8]</sup>.

2. 利用荧光粉实现彩色显示<sup>[9]</sup>: (1) 利用器件中的正柱区和负辉区中的电子激励 ZnO: Zn 等低压荧光粉, 得以改变器件的发光颜色. (2) 利用 Ar-Hg 的 253.7nm 紫外辐射激励日光灯用荧光粉, 实现彩色显示. 由于 Hg 蒸气的浓度与温度有关, 故这类器件存在着温度效应. (3) 利用 Xe-He 的 147nm 真空紫外辐射激励真空紫外荧光粉, 实现彩色显示. 由于这类器件没有温度效应, 因此这是实现彩色显示的较好途径.

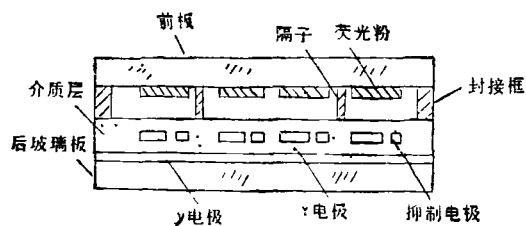


图3 单基板型 ACPDP

彩色 ACPDP 有单基板和双基板两种结构<sup>[10]</sup>. 图3示出单基板 ACPDP, 其特点是 x 电极和 y 电极均在同一基板上, 在另一块基板上涂覆三基色荧光粉. 当在 x 电极和 y 电极上施加交变电压时, 通过介质层耦合到放电空间, 当电场强度大于气体的击穿电场时, 气体放电发光. 图3中的抑制电极具有抑制辉光扩散的作用, 也具有将 y 电极的信号耦合到放电空间的作用, 这种工作方式称为电容耦合方式. 如果将抑制电极用导电浆料同 y 电极连通, 这种工作方式称为通道耦合. 实验表明, 这种器件具有普通 ACPDP 的放电特性. 但是, 由于放电空间的电场分布为椭圆函数, 是非均匀场, 故不遵守巴邢定律. 近年来, 笔者采用这种结构研制成功三色 ACPDP 拼接式实验板, 显示面积为

$200 \times 200\text{mm}^2$ , 线数为  $50 \times 50$  线, 荧光粉排列方式为“田”字形, 当工作频率为  $10\text{kHz}$ , 外加电压为 200V 以上时, 彩色平均亮度为  $105\text{cd}/\text{m}^2$ . 单基板 ACPDP 的优点是: (1) 由于荧光粉不受重离子和电子的轰击, 故器件的寿命长; (2) 发光效率高. 因此, 这类器件倍受人们重视. 目前, 日本 Hiroshima 大学、Fujitsu 公司和美国 Bell 实验室以及法国 Thomson-CSF 公司提出了自己的单基板型 ACPDP 方案, 其中法国 Thomson-CSF 公司已作出  $640 \times 400$  线彩色 ACPDP.<sup>[11]</sup>

双基板型 ACPDP 的结构同普通 ACPDP 的类似, 只是在电极旁边或单元中心涂覆三基色荧光粉, 器件中充入 He-Xe 混合气体, 施加幅度足够高的交变电压后辐射出真空紫外线 (VUV), 激励荧光粉发光. 由于重离子和电子可以轰击荧光粉, 会使其发光效率下降. 为此, 应对荧光粉进行包封, 或在荧光粉层上涂覆保护层, 使真空紫外光完全通过, 而重离子和电子打不到荧光粉层上. 1971 年, 美国 Illinois 公司采用双基结构研制成功  $512 \times 512$  线三基色 ACPDP<sup>[12]</sup>, 它具有存储性能, 可用于计算机作多色显示. 近年来, 他们在色纯度和寿命方面做了大量的工作, 使器件的性能大大提高, 已在军事战术显示系统中使用.

目前, ACPDP 的技术水平如下: 单色 ACPDP 产品已有  $512 \times 512$  线、 $960 \times 760$  线、 $1024 \times 1024$  线、 $1212 \times 1596$  线以及  $2048 \times 2048$  线, 其中,  $2048 \times 2048$  线 ACPDP 的显示面积为  $107 \times 107\text{cm}^2$  (对角线为 1.5m), 是世界上最大的平板显示器件. 美国军方对现存的显示器件 (如 CRT, LCD, VFD 等) 进行严格的环境试验考核, 最后只有 ACPDP 通过军用标准. 因此, ACPDP 是美国军方的指定显示器件, 在军事各部门有着广泛而重要的用途.

## 二、直流等离子体显示板 (DCPDP)

这类器件的特点是电极暴露在已电离的气体中, 可采用直流或单向脉冲点燃. 这类器

件品种也较多,具有代表性的有以下两种:

### 1. 20英寸彩色 DCPDP<sup>[13]</sup>

这种器件的结构如图4所示。采用厚膜印

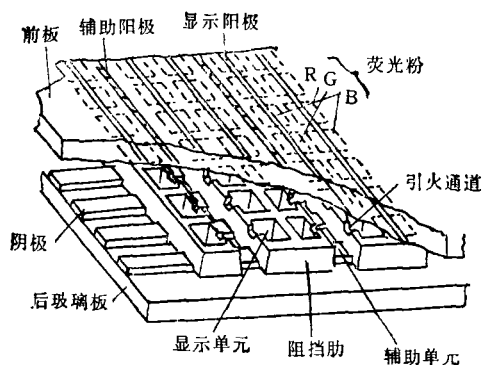


图4 20英寸彩色 DCPDP 的结构

刷技术在后玻璃板上形成阴极和放电腔体,在阳极两侧涂覆荧光粉。器件内充入 He-Xe (3%),压强为  $2.7 \times 10^4$  Pa。器件工作时,阴极施加负的单向移位脉冲 (-80V),辅助阳极施加正电压,故使辅助单元放电,向显示单元提供初始粒子。这样不仅减少着火电压,还可缩短初始延时。阳极施加正的单向脉冲 (+145V),其幅值低于着火电压。但是,当在维持电压适当相位施加书写脉冲,并有辅助单元提供初始粒子时,该显示单元方可发光。一旦发光,可由维持脉冲予以维持发光。当欲使已发光的单元熄灭时,可以施加擦除脉冲,实际上是提高阴极电位到 0V。以上工作方式称为脉冲存储模式。在接收电视信号时,可将一标准电视场分成八个子场,其每个子场的时间分别为 1, 2, 4, 8, 16, 32, 64 和 128 个单位时间。在每个子场内完成一次书写—维持—擦除过程。由此可以实现灰度显示,灰度为 256 级。脉冲存储模式可以提高脉冲扫描占空比,故可提高整个屏幕的亮度。这种对角线为 20 英寸的 DCPDP,其有效显示面积为  $291 \times 416 \text{mm}^2$ ,线数为  $448 \times 640$  线,采用的荧光粉为 R:  $(\text{Y}, \text{Gd})\text{BO}_3; \text{Eu}^{3+}$ , G:  $\text{Zn}_2\text{SiO}_4; \text{Mn}$ , B:  $\text{BaMgAl}_{14}\text{O}_{23}; \text{Eu}^{2+}$ , 三基色荧光粉点的排列方式为“田”字形。据报道,这种壁挂电视的图象质量与普通彩色电视机的类似,平均白场亮度为  $58 \text{Cd}/\text{m}^2$ ,对比度为 90:1,已

物理

被认定为高清晰度电视 (HDTV) 的优良方案之一。

### 2. 计算机用多色 DCPDP<sup>[14]</sup>

这种器件的结构如图5所示。为了得到较高的扫描速率和减少初始着火延时,应给每一

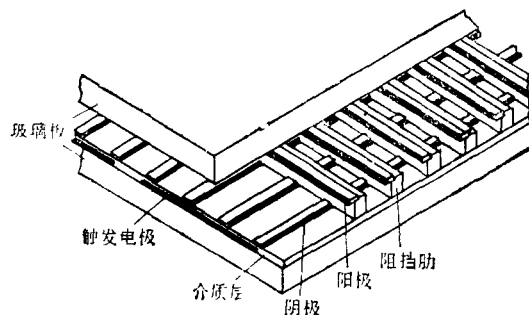


图5 计算机 DCPDP 的结构

个显示单元提供初始粒子。这种器件提供初始粒子的方法与 20 英寸 DCPDP 的方法不同,它是在阴极下面设置多组触发电极。在阴极和触发电极之间施加低频电压,通过电容耦合到放电空间,形成较暗的放电,给放电空腔提供初始粒子。阴极可按四条或更多条数分组,每一组中同号序的阴极相连,这样可使阴极引出线数目大大减少。每一组阴极共用一个触发电极。采用循环脉冲在放电空间放电,提供初始粒子。实验表明,采用触发电极后可将初始延时缩短到  $5 \mu\text{s}$  (原为 20—30  $\mu\text{s}$ )。显示阳极为透明电极,阻挡肋是为了防止辉光扩散而设置的。真空紫外荧光粉涂覆在阳极上或阻挡肋上。器件内充入 He-Xe 混合气体,可使荧光粉辐射出三基色光。这种器件的显示面积为  $144 \times 192 \text{mm}^2$ ,象素数目为 400 ( $640 \times 3$ ) 点 (红、绿和蓝荧光粉点交替排列),绿色亮度为  $77 \text{cd}/\text{m}^2$ ,红色亮度为  $57 \text{cd}/\text{m}^2$ 。现在,这种器件用于便携式计算机上。

目前已研制出多种平板显示器件。在大容量和高密度信息显示方面,等离子体显示、电致发光 (EL) 和液晶显示 (LCD) 均占有重要的地位。从应用角度来看,等离子体显示暂时处于领先地位,特别是在军事应用方面更是如此。

# 减压充氮直拉硅单晶技术

李立本 阙端麟

(浙江大学半导体厂, 杭州 310027)

硅单晶的生产方法有两种: 一是悬浮区熔法 (FZ), 二是直拉切氏法 (CZ)。前者硅单晶纯度较高但单晶直径受到一定限制, 后者已成为生长大直径硅单晶的主要方法。为保证产品质量, 在采用直拉法时, 必须使用保护气体在一定压力下生长晶体。氩为惰性气体中较为廉价的一种, 因此采用氩保护气拉制硅单晶已成为国际上通行的技术和生产方法。更为廉价的氧、氮一直被视为会起化学反应而未被采用。浙江大学高纯硅及硅烷国家重点实验室研究了氮硅的化学反应, 打破了国际公认的氮不能作直拉硅单晶保护气的观点, 在国内外首创以纯氮作保护气, 制备直拉硅单晶的整套技术。该实验室申请并获批准中国发明专利三项, 其专利号分别为 CN 85100295, CN 87105811, CN 88100307。

本发明在深入研究氮与硅化学反应的条件, 以及氮在硅中的分凝状态的基础上, 克服了长期存在的纯氮不能作为直拉硅单晶保护气的

技术偏见, 提出了以氮作为保护气氛的制造直拉硅单晶的方法。

采用纯氮保护气氛需要控制进入炉内气体的压力和流量。本发明采用了由液氮贮槽、蒸发器、平衡器及压力调节器组成的供气系统, 由质量流量计、精密电阻真空计及不锈钢波纹管组成的压力流量的调节测量系统, 以及由截

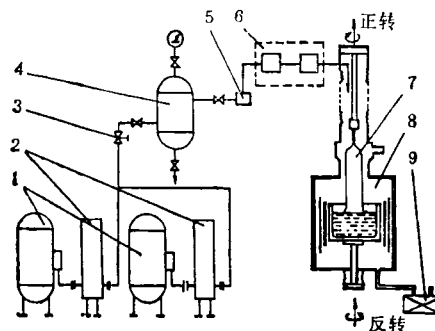


图1 充氮控制系统图

1.液氮贮槽; 2.汽化器; 3.真空隔离阀; 4.平衡器; 5.过滤器; 6.压力、流量调节系统; 7.硅单晶; 8.炉膛; 9.真空泵

近年来, 等离子体显示板的彩色化引起人们的极大关注。在便携式计算机中取代阴极射线管 (CRT) 已成定局。预期这类器件还将在下一代高清晰度电视图象显示方面大显身手, 特别是 20 英寸彩色 DCPDP 的诞生, 更使人们增加信心。

[1] D. L. Bitzer et al., 1966 Fall Joint Computer Conf. AFIPS, (1966), 541.  
[2] 彭国贤等, 电子显示技术, 江苏科技出版社, (1987), 131—158.  
[3] J. I. Pankove, Display Devices, Spring-Verlag, (1980), 91.  
[4] 彭国贤, 电子学报, 10-6(1982), 58—64.  
[5] Peng GuoXian, J. Electronics 5-1(1988), 30—39.  
[6] 彭国贤, 电子科学, 5-4(1984), 6—10.

[7] 彭国贤, 电子科学, 7-3(1986), 53—56.  
[8] A. O. Fred et al., IEEE Trans. Electron Devices, ED-33-8(1986), 1174—1179.  
[9] B. Kazan, Advances in Image Pickup and Display. Academic Press Inc, Vol. 3(1977), 84—168  
[10] W. G. Dick et al., IEEE Trans. Electron Devices, ED-26-8(1979), 1156—1163.  
[11] H. Uchlike et al., 1990 SID International Symposium Digest of Technical Papers, Playa del Rey, (1990), 481—484.  
[12] F. H. Brown et al., 1971 SID International Symposium Digest of Technical Papers, Playa del Rey, (1971), 98—99.  
[13] M. Miroski et al., IEEE Trans. Electron Devices ED29-6(1989), 1063—1071.  
[14] A. Yoshifumi et al., 1982 SID International Symposium Digest of Technical Papers, Playa del Rey, (1982), 160—161.