

新型等离子体平板显示器放电特性研究

屠彦, 张雄, 王保平
(东南大学电子工程系, 江苏南京 210018)

摘要: 本文研究了具有响应频率快、亮度高、着火电压低以及成本低等特点的新型槽型结构等离子体平板显示放电单元的放电特性, 并与传统的表面放电结构进行了比较. 给出了不同时刻两种结构放电单元中电场、各种粒子浓度的空间分布以及各种粒子的平均浓度随时间的变化关系. 在没有能量恢复电路的情况下, 该结构 14" 实验屏的发光效率达到 0.9lm/W, 功耗为 50W.

关键词: 等离子体平板显示; 放电特性; 着火电压

中图分类号: TN141.5 文献标识码: A 文章编号: 0372-2112(2002)02-0258-04

Breakdown Characteristic Investigation of a Novel PDP Structure

TU Yan, ZHANG Xiong, WANG Bao-ping
(Electronic engineering department, Southeast University, Nanjing, Jiangsu 210018, China)

Abstract: The breakdown characteristic of a new PDP discharge cell is investigated. This novel structure of PDP has many advantages, such as low discharging voltage, high response frequency, high brightness and low cost etc.. The comparison with conventional coplanar PDP has been made. The electric field distribution and the density distribution of particles at different time have been given. The variation of average density of particles has also been calculated. The luminance efficiency of 14" experimental panel with the novel structure is 0.9lm/W and the power consumption is 50W without energy recovery circuit.

Key words: plasma display panel (PDP); breakdown characteristic; discharge voltage

1 引言

等离子体平板显示, 具有高亮度、高对比度、宽视角和长寿命等优点. 将成为大屏幕壁挂电视、高清晰度电视的最佳候选者. 但是它还存在许多问题, 如效率低、功耗大、价格昂贵等等. 放电单元结构的设计及优化, 是一个解决这一系列问题的有效途径. 为此, 我们提出了一种新型等离子体平板显示器结构——槽型等离子体平板显示器. 该结构可降低着火电压、提高响应频率、简化制作工艺、降低成本.

对于该新型结构, 首先从理论上了解它的放电特性与常规结构放电特性的区别是非常重要的. 随着计算机的迅速发展, 人们对放电特性的模拟已作了一些工作^[1-5]. 本文采用二维数值模拟的方法, 研究比较了该新型结构与传统的表面放电型结构放电单元的放电特性以及相关性质. 结果表明新型结构有许多优越性. 本文分别给出了该新型结构与传统的表面放电型结构放电单元中不同时刻电场及一些粒子浓度分布情况. 从粒子的平均浓度随时间的变化曲线可清楚地看到放电单元的放电过程. 在没有能量恢复电路的情况下, 新型结构 14" 实验屏的发光效率达到 0.9lm/W, 功耗仅为 50W.

2 结构模型

图 1(a) 为新型槽型交流等离子体显示单元结构的截面图. 由于该结构本身具有左右对称性, 模拟时只需计算一半, 而另一半可根据对称性条件得出. 其中扫描电极和寻址电极分别加不同电压, 中间采用金属材料做隔断且加一电压, 在它的表面没有壁电荷的积累, 但有二次电子发射, 这是与通常的介质障壁所不同的. 当扫描电极为高电位, 寻址电极和金属障壁为低电位时, 在金属障壁左上角和上电极间存在很强的电场, 放电首先在该处产生. 然后, 扩展到整个放电空间. 介质层表面涂敷氧化镁膜, 以增强二次电子发射. 随着电极电压的改

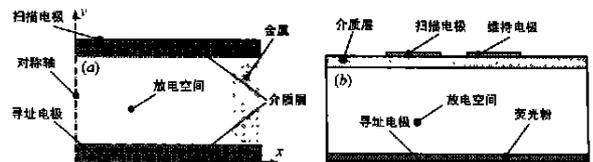


图 1 新型槽型结构与传统表面放电型结构等离子体显示单元结构示意图. (a) 新型等离子体显示单元结构示意图; (b) 传统表面放电型等离子体显示单元结构示意图

变, 空间放电过程随之改变. 该结构的一个主要特点是着火电压低, 响应频率快、亮度高并省去复杂的障壁制作工艺, 大大降低了成本.

图 1(b) 为传统表面交流放电型等离子体显示单元结构截面示意图. 该结构是目前世界上大多数公司所采用的结构, 具有较低的着火电压. 为了证明新型结构具有更好的放电特性, 本文分别对这两种结构放电单元的放电特性进行了比较. 结果表明, 新型槽型结构的着火电压只有传统表面放电型结构的 80%, 且响应频率快、亮度高.

3 等离子体放电过程的理论

我们计算的基本模型是基于流体的连续性方程、粒子的动量守恒方程、电子能量守恒方程、泊松方程以及不同介质分界面上材料性质方程的基础上的.

由于放电空间存在大量的粒子, 要具体计算每一个粒子的运动情况是不可能的. 因此, 在计算时只能忽略粒子的个性, 将粒子的运动看成不同的流体元之间的运动, 即采用流体力学中所用的模型来描述粒子在放电空间的运动情况. 从计算结果可看到, 该模型可很好地描述气体放电过程.

$$\frac{\partial n_i}{\partial t} + \frac{q_i}{|q_i|} \nabla \cdot (\mu_i \cdot n_i E) - \nabla \cdot (D_i \nabla n_i) = S_i, \quad i = 1, 2, \dots, N_{ch} \quad (1)$$

方程 (1) 给出了粒子平衡方程. 其中下标 i 对应各种粒子, n_i 为该粒子的浓度, q_i 为该粒子所带电荷量, μ_i 和 D_i 为该粒子在场中的迁移系数和扩散系数, E 为电场强度, S_i 为该粒子的净产生量. 方程左端第一项为单位时间粒子浓度的变化量. 第二项为迁移通量的散度. 它是由于带电粒子在电场中受电场力的作用而产生的运动引起的浓度变化. 第三项为扩散通量的散度. 它是由于在放电空间粒子浓度不同, 粒子从高浓度处向低浓度处扩散, 从而引起浓度的变化. 方程右端为由于粒子间相互碰撞而引起的各种反应导致的粒子的净产生量. 当粒子为中性粒子时, 迁移项为零. 对于带电粒子, 迁移系数与电场有关. 而粒子的净产生量由反应方程和反应系数决定.

$$\nabla^2 \phi = - \frac{\rho}{\epsilon} \quad (2)$$

当放电产生以后, 放电空间内有大量的带电粒子存在. 每一时刻的电位分布可由泊松方程 (2) 求出. 其中 ϕ 为放电空间的电位, ρ 为放电空间的电荷密度, 它们是随时间变化的. ϵ 为介电常数. 不同时刻, 放电空间的电荷密度不同, 故电位也不同. 模拟放电特性, 要耦合求解方程 (1) 和 (2). 即根据每一时刻各种带电粒子的产生和分布情况求解相应的泊松方程, 得到新的电场分布. 再计算下一时刻各种带电粒子的产生和分布情况, 如此直到放电结束. 这样可得到各种粒子的浓度随时间的变化情况, 了解整个放电过程.

介质表面电荷积累可由方程 (3) 得.

$$\frac{\partial \sigma}{\partial t} = |e| \left\{ \sum_i \mu_i n_i \nabla \phi - \sum_i \frac{1}{4} n_i v_{th,i} \right\} (1 + \gamma_i) \quad (3)$$

σ 为介质表面电荷分布, $|e|$ 为基本电荷量, γ_i 为相应的粒

子在介质表面的二次电子发射系数. 对于基态原子和电子, 相应的二次电子发射系数为零. 这里假设当带电粒子打到壁上后, 留下所带电荷, 然后以基态形式返回放电空间. 非带电粒子打到壁上后, 均以基态形式返回放电空间. 电子打到壁上后, 就留在壁上形成负电荷的积累. 故在介质表面形成电荷的积累. 分界面上的电位分布可由不同介质交界面上的电场的连续性方程求得.

4 数值计算模型

本文分别对我们所提出的新型槽型结构和传统的表面放电型结构的等离子体平板显示器放电单元进行了二维数值模拟. 为此首先将方程 (1)、(3) 离散化. 图 2 为离散网格点示意图.

粒子连续方程 (1) 在直角坐标系中的展开式为

$$\frac{\partial n}{\partial t} \pm \left(\mu_n \frac{\partial E_x}{\partial x} + \mu E_x \frac{\partial n}{\partial x} + n E_x \frac{\partial \mu}{\partial x} \right) + \left(\mu_n \frac{\partial E_y}{\partial y} + \mu E_y \frac{\partial n}{\partial y} + n E_y \frac{\partial \mu}{\partial y} \right) - D \left(\frac{\partial^2 n}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 n}{\partial y^2} \right) = S \quad (4)$$

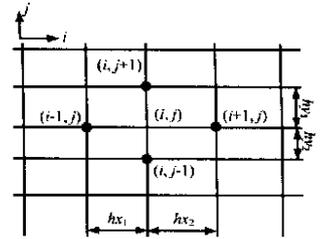


图 2 网格示意图

采五点差分格式, 得到方程 (4) 的差分公式为

$$\begin{aligned} & \frac{\Delta n_{i,j}}{\Delta t} \pm \left\{ \mu_{i,j} n_{i,j} \frac{E_{xi+1,j} - E_{xi-1,j}}{(hx_1 + hx_2)} \mu_{i,j} E_{xi,j} \frac{n_{i+1,j} - n_{i-1,j}}{(hx_1 + hx_2)} \right. \\ & \cdot n_{i,j} E_{xi,j} \frac{\mu_{i+1,j} - \mu_{i-1,j}}{(hx_1 + hx_2)} \pm \frac{1}{2} \left\{ \mu_{i,j} n_{i,j} \frac{E_{yi,j+1} - E_{yi,j-1}}{(hy_1 + hy_2)} \right. \\ & \cdot \mu_{i,j} E_{yi,j} \frac{n_{i,j+1} - n_{i,j-1}}{(hy_1 + hy_2)} \mu_{i,j} E_{yi,j} \frac{\mu_{i,j-1} - \mu_{i,j+1}}{(hy_1 + hy_2)} \left. \right\} \\ & - \left\{ D_{i,j} \frac{2hx_1(n_{i+1,j} - n_{i,j}) + 2hx_2(n_{i-1,j} - n_{i,j})}{hx_1 hx_2 (hx_1 + hx_2)} \right\} \\ & - \left\{ D_{i,j} \frac{2hy_2(n_{i,j+1} - n_{i,j}) + 2hy_2(n_{i,j-1} - n_{i,j})}{hx_1 hx_2 (hx_1 + hx_2)} \right\} = S_{i,j} \quad (5) \end{aligned}$$

由于方程 (5) 为变系数非线性微分方程, 采用何种差分格式直接影响方程求解的稳定性. 常用的差分格式有显示格式、隐式格式和平均隐式格式. 显示格式是一种较为直观的差分格式, 不过它是一个有条件稳定的格式. 对时间步长的选取有一定的要求. 而隐式格式是一种恒稳定的格式, 但是它对时间只有一阶精度. 本文采用平均隐式 (Crank Nicholson) 格式^[6], 由于它是一个恒稳定的格式, 且它对时间有二阶精度, 是一种较好的格式. 对于泊松方程, 我们采用五点差分得到相应的差分公式为

$$\begin{aligned} \phi_{i,j} &= \frac{1}{c_0} (c_1 \phi_{i-1,j} + c_2 \phi_{i+1,j} + c_3 \phi_{i,j+1} + c_4 \phi_{i,j-1} + 2\pi \rho_{i,j}) \\ c_1 &= \frac{1}{hx_1(hx_1 + hx_2)}, \quad c_2 = \frac{1}{hx_2(hx_1 + hx_2)}, \quad c_4 = \frac{1}{hy_4(hy_3 + hy_4)} \\ c_4 &= \frac{1}{hy_4(hy_3 + hy_4)}, \quad c_0 = c_1 + c_2 + c_3 + c_4 \quad (6) \end{aligned}$$

计算时采用变时间步长, 保证在每一时间步长内各种粒子最多只走一个或二个网格步长距离. 从计算结果可看到, 网

格大小和时间步长的合理选取对计算精度的提高和计算时间的缩短是非常重要的,合理的划分网格和选取时间步长,可节省计算时间.这要视具体情况而定.本文采用迭代法求解泊松方程和粒子连续性方程,松弛因子取为 0.8.边界条件由方程(3)决定.这里氙的二次发射系数取为 0.5,氙的二次发射系数取为 0.05.

5 计算结果

本文对新型槽型结构和传统的表面放电型结构的等离子体平板显示器放电单元进行了二维数值模拟.放电过程与整个放电空间的电场分布是密切相关的.图 3 给出了不同时刻两种结构的电场分布情况.可以清楚地看到在两种结构中电场随放电时间变化的情况.由于结构的不同,放电单元电场分布情况各不相同.随着放电的进行,介质表面壁电荷不断积累,空间电场强度下降,等位线趋于平坦,空间粒子浓度便停止增长.

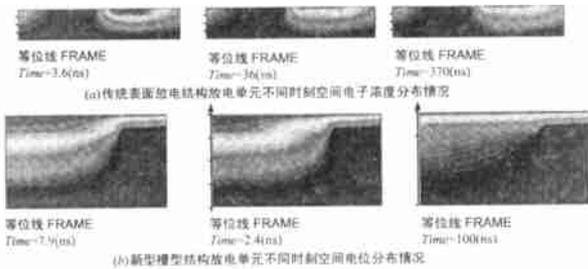


图 3 两种结构放电单元不同时刻空间电位分布情况

图 4、图 5 分别给出了不同时刻两种结构中电子浓度和氙离子浓度的分布情况.由于粒子种类较多,这里仅给出两种带电粒子浓度分布情况.在初始情况下,各种粒子包括微量电子、离子在放电空间均匀分布.当各电极加上工作电压后,电子在电场作用下向阳极运动,并获得能量.同时电子与基态粒子发生碰撞产生更多的电子、离子和激发态粒子,放电从电场较强的地方开始,从图中可以看到,两种结构均如此.随着时间的推移,电子、离子分别在放电空间作迁移和扩散运动,并产生繁流、雪崩放电.在整个放电过程中,介质表面不断积累壁电荷,产生反向电场,总电场减弱,放电进入缓慢熄灭状态.对新型槽型结构,这里给出的是二分之一放电单元情况,另外二分之一与之对称.



图 4 两种结构放电单元不同时刻空间电子浓度分布情况

图 6 给出了两种结构放电单元中电子、氙离子平均浓度随时间的变化情况.其中,曲线 1 为新型槽型结构放电单元中各种粒子平均浓度随时间变化的关系.曲线 2 为传统表面放

电型结构放电单元中各种粒子平均浓度随时间变化的关系.

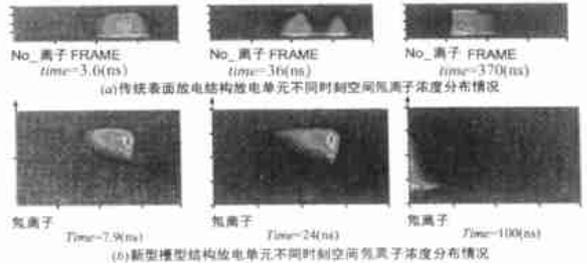


图 5 两种结构放电单元不同时刻空间氙离子浓度分布情况

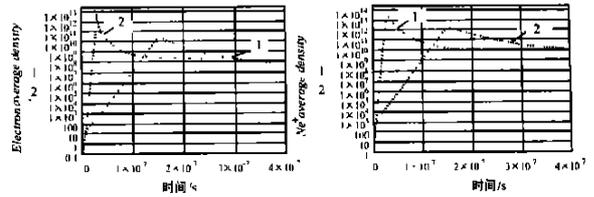


图 6 粒子平均浓度随时间变化情况

在新型结构中各种粒子均较传统表面放电型结构早到达它们平均浓度的峰值,即达到最大值所需的时间较短,放电响应频率快.另外,新型结构中各粒子的平均浓度的最大值也比传统的表面放电结构高,也就是亮度较高.并且,新型结构着火电压只有传统表面放电结构的 80%.这点在我们的实际测试中也得到了证明.由图 6 可得到表 1 中相应的数值结果.

表 1 两种结构的比较

结构类型	平均浓度达到最大值的时间(10^{-9} 秒)				平均浓度最大值($1/\text{厘米}^2$)			
	电	氙离子	氙分子离子	氙激发态	电子	氙离子	氙分子离子	氙激发态
新型结构	30	30	37	42	2.17×10^{12}	2.17×10^{13}	1.68×10^{11}	4.683×10^{12}
传统结构	152	155	165	172	1.03×10^{10}	6.42×10^{11}	6.42×10^{10}	7.18×10^{11}

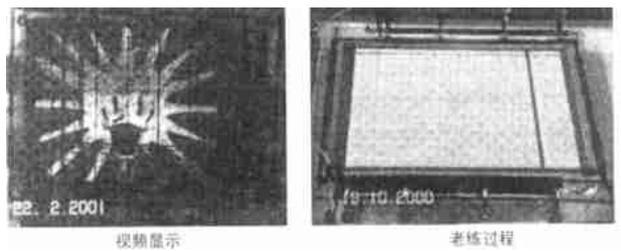


图 7 $14'$ 新型槽型 PDP

新型结构在工艺上已得到实现.图 7 为我们所研制的 $14'$ 屏.由于工艺条件的限制,屏上还有许多缺陷存在.在没有能量恢复电路的情况下,该屏的发光效率为 0.9lm/W ,功耗 50W .可以看到它的效率是很高的,这与我们的计算结论是一致的.随着工艺条件和驱动线路的改善,发光效率可进一步提高.

6 结论

本文研究了新型槽型结构 PDP 放电单元的放电特性,并与传统的表面放电结构进行了比较.计算结果表明,新型槽型结构比传统的表面放电型结构具有更多的优越性,如响应频

率快、亮度高、着火电压低以及功耗小等等. 由于新型结构用金属材料作隔断, 避免了复杂昂贵的障壁制作工艺, 成本只有现有的 PDP 的三分之一. 因此该新型结构等离子体平板显示器将成为表面放电结构等离子体平板显示器的一个强有力的竞争对手.

参考文献:

- [1] Ramana Veerasingam, Robert B. Campbell, Robert T. McGrath. One dimensional fluid and circuit simulation of an AC plasma display cell [J]. IEEE Trans. On Plasma Science, August 1995, 23(4): 688.
- [2] J P Boeuf, L C Pitchford. Calculated characteristics of an ac plasma display panel cell [J]. IEEE Trans. On Plasma Science, 1996, 24(4): 95.
- [3] C Punset, J P Boeuf, L C Pitchford. Two dimensional simulation of an ac alternating current matrix plasma display cell: Cross talk and other geometric effects [J]. J. Appl. Phys. 83, 1998: 1884.
- [4] Robert B Campbell, Ramana Veerasingam, Robert T McGrath. A Two dimensional multispecies fluid model of the plasma in an AC plasma display panel [J]. IEEE Trans. On Plasma Science, August 1995, 23(4): 698.
- [5] J Meunier, P Belenguer, J P Boeuf. Numerical model of an ac plasma display panel cell in neon xenon mixtures [J]. J. Appl. Phys. 78, 1995: 731.
- [6] 陈材侃. 计算流体力学 [M]. 重庆: 重庆出版社, 1991: 55.

作者简介:



屠彦 女. 1965 年 5 月出生于甘肃省兰州市. 分别于 1985、1988 和 1993 年获得西安交通大学电子学学士、硕士及东南大学电子学博士学位. 主要研究领域包括电磁场数值模拟、等离子体显示、神经网络应用以及偏转线圈设计等.



张雄 男. 1973 年 9 月出生. 分别于 1994、1996 年取得东南大学电子学学士、硕士学位. 主要研究领域包括电磁场数值模拟、等离子体显示、偏转线圈设计以及图像处理等.



王保平 男. 1961 年 6 月出生. 分别于 1983、1988 和 1995 年取得东南大学电子学学士、硕士和博士学位. 主要研究领域包括真空微电子、场发射显示、等离子体显示、薄膜加工以及微加工技术等.