

新型荫罩式 PDP 放电单元谐振光子辐射和捕获过程研究

屠彦, 张雄, 王保平, 尹涵春, 童林凤

(东南大学电子工程系, 江苏南京 210018)

摘要: 本文在流体模型计算的基础上采用蒙特卡罗模型, 研究了彩色等离子体平板放电单元中的辐射和捕获过程. 研究了新型荫罩式等离子体显示器(SMPDP)和传统的交流表面放电等离子体显示器(ACC PDP)的放电过程以及谐振光子的辐射和捕获特性. 给出了电子及氙谐振态平均浓度以及相应空间浓度分布随时间变化情况. 模拟了谐振光子和 147 谱线的分布情况. 可以看到 SMPDP 的发光效率高于表面放电结构.

关键词: 荫罩型 PDP(SMPDP); 交流表面放电 PDP(ACC PDP); 辐射捕获; 蒙特卡罗方法

中图分类号: TN1411.5 **文献标识码:** A **文章编号:** 0372-2112 (2004) 03-0512-04

Investigation of Radiation and Capture Process of Resonance Xenon in Novel SMPDP Discharge Cell

TU Yan, ZHANG Xiong, WANG Bao2ping, YIN Han2chun, TONG Lin2su

(Dept. of Electronic Engineering, Southeast University, Nanjing, Jiangsu 210018, China)

Abstract: On the basis of our fluid model calculation, the Monte Carlo method is used to investigate the resonance radiation and imprison process of resonance photons. The characteristics of discharge, radiation and imprison of resonance photons are calculated for both shadow mask PDP (SMPDP) and AC coplanar PDP (ACC PDP) respectively. The temporal variance of average density and density distribution of electron and resonance Xenon are shown. The distribution and number of photons arriving at each wall of the cell is simulated. The spectrum distribution of 147nm vacuum ultraviolet for different structure is also calculated. It can be seen that the efficiency of SMPDP is larger than that of ACC PDP.

Key words: shadow mask PDP(SMPDP); AC Coplanar PDP(ACC PDP); radiation and capture; Monte Carlo method

1 引言

彩色等离子体平板显示是利用放电单元中氙激发态产生真空紫外从而激发荧光粉发光的. 在放电空间, 激发态氙会辐射光子回到基态, 而基态氙原子会捕获光子成为激发态原子. 在光子打到壁上以前, 这个过程要重复许多次. 即由一个激发原子自发辐射的光子可以激发另一个原子, 循环下去, 好像受激原子的存在时间加长了. 在彩色等离子体显示中对发光起主要作用的是由谐振态原子 $\text{Xe}^* ({}^3\text{P}_1)$ 辐射的波长 147nm 的真空紫外辐射. 发光效率的提高是目前等离子体显示技术所要解决的关键问题之一. 对于彩色等离子体显示来讲, 研究由氙谐振态原子辐射真空紫外光子的辐射特性, 对改进发光效率是非常重要的. 而数值模拟的方法, 由于可节省大量的研发时间和经费, 为实验提供理论依据, 已受到越来越多的关注^[1]. 它已成为等离子体研发的不可缺少的手段. 我们对新型荫罩式等离子体显示器(SMPDP)的放电特性已做了较全面的二维、三维模拟研究, 证明了 SMPDP 所具有的许多优点^[2,3]. 在此基础上, 本文采用蒙特卡罗模型, 研究了 SMPDP 和传统

的交流表面放电等离子体显示器(ACC PDP)结构放电过程中由氙谐振态原子辐射真空紫外光子的辐射特性. 比较了两种结构放电单元中光子分布情况和 147nm 谱线的分布情况. 该结果为实验验证计算结果的正确性提供了可能. 这对提高彩色 PDP 发光效率是很有帮助的.

2 辐射、捕获过程物理模型

为了考虑放电过程真空紫外光子在放电单元中的辐射情况, 通常采用流体模型来计算放电单元中的紫外辐射的产额^[4,5], 此时需考虑辐射捕获的作用. 在辐射捕获情况下, 准确计算谐振态原子浓度分布需求解 Holstein 方程. 但是在与时间相关的流体模型中求该方程是不现实的. 因此大多数流体模型均采用速率方程或连续方程来描述谐振态的, 其中谐振衰减过程由有效时间寿命来描述, 而不是自然寿命.

$$S_{\text{eff}} = g\#S_0 \quad (1)$$

S_0 为氙谐振态自然寿命. g 是捕获因子, 它表示平均谐振光子在离开放电空间前所经历的吸收辐射的平均数. 它的值通常是从某些对称结构的 Holstein 方程的已知解中导出. 这种方

法简单方便, 但不够准确.

另一种能更加精确描述辐射捕获的方法是在流体模型计算基础上, 采用蒙特卡罗模型对大量谐振光子的辐射、捕获过程进行模拟跟踪, 从而研究整个谐振光子辐射捕获过程. 该模型不仅可描述谐振态原子的浓度分布, 还可预测谐振辐射的谱线形状, 为直接用实验验证计算的可靠性提供了可能性. 本文采用了这种模型.

2.1 彩色等离子体显示器放电单元中的谐振光子的捕获

对纯氙气体, 吸收谱线与辐射频率间的关系由洛伦兹分布描述^[6],

$$k(\nu) = \frac{k_0}{1 + (\nu - \nu_0)^2 / C^2} \quad (2)$$

其中

$$k_0 = \frac{K_0^2 (g_2 / g_1) n_0}{8\pi^2 C S}, C = \frac{(g_2 / g_1)^{1/2} e^2 f \hbar n_0}{111 \pi^2 E_0 m_e \omega_0} \quad (3)$$

k_0 是在中心频率 ν_0 处的吸收系数, C 是谱线的半宽度, K_0 是中心波长, 对谐振态 $\text{Xe}(^3\text{P}_1)$ 为 147nm. g_1 和 g_2 是基态和激发态的统计权因子. n_0 是基态原子浓度, S 为谐振辐射时间常数, e 是电子电荷, f 是震荡强度, E_0 是介电常数, m_e 是电子质量.

对氙氙混合气体, 吸收谱线 $k_{\text{Ne-Xe}}(\nu)$ 与辐射频率 ν 间的关系为

$$k_{\text{Ne-Xe}}(\nu) = \frac{k_{\text{Ne-Xe}0}}{1 + (\nu - \nu_0)^2 / C_{\text{Ne-Xe}}^2}, k_{\text{Ne-Xe}}(\nu) = \frac{K_0^2 (g_2 / g_1) n_{0\text{X}}}{8\pi^2 C_{\text{Ne-Xe}} S} \quad (4)$$

式中 $n_{0\text{X}}$ 是基态氙原子浓度, $n_{0\text{Ne}}$ 是基态氖原子浓度.

2.1.2 谐振光子的辐射传输蒙特卡罗模型

2.1.2.1 谐振光子寿命

谐振光子平均寿命的密度分布函数为

$$f(S) = \begin{cases} \nu \cdot e^{-\nu S}, & S \geq 0 \\ 0, & S < 0 \end{cases} \quad (5)$$

则累积密度分布函数为

$$F(S) = \int_0^S f(t) dt = 1 - e^{-\nu S} \quad (6)$$

由此可得光子的随机谐振寿命为

$$S = -\frac{1}{\nu} \ln(1 - F_1) \quad (7)$$

F_1 为 0~1 间的随机数, $\nu = \frac{1}{S_0} + \nu_c$. $S_0 = 3.46 \times 10^{-9}$ 秒,

是谐振态的自然寿命. ν_c 是谐振态损失反应的总碰撞频率.

0~1 间的随机数 F_2 用来决定在一个碰撞过程中, 是辐射光子还是损失谐振态原子. 如果随机数 $F_2 > S/\nu_c$, 则辐射光子, 否则损失谐振态原子.

2.1.2.2 辐射光子频率

在计算辐射光子的过程时, 需确定随机频率. 在我们的模型中, 频率分布主要由谐振态氙与气体原子间的碰撞引起的扩展决定的, 其分布由洛伦兹线型给出.

$$L(X) = \frac{S X_p / (2P)}{(X - X_0)^2 + S X_p^2 / 4} \quad (8)$$

式中频率半宽度 $S X_p = 4P C_{\text{Ne-Xe}} = 4P C_{\text{Ne-Xe}} = 2.55 \text{ @}$

$10^{-14} n_{0\text{Xe}} + 1.00 \text{ @ } 10^{-15} n_{0\text{Ne}}, X = 2P/\nu, X_0 = 2P/\nu_0$.

对洛伦兹线型分布方程 (8) 取样, 得光子频率的累积密度分布函数为

$$F(X) = \int_{-\infty}^X L(X) dX = \frac{1}{P} \tan^{-1} \left[\frac{2(X - X_0)}{S X_p} \right] - \frac{1}{2} \quad (9)$$

由此可得相应光子的频率,

$$X = X_0 + \frac{S X_p}{2} \tan \left[\frac{P}{2} (2F_3 - 1) \right] \quad (10)$$

其中 $X_0 = 2P/c/K_0$, $K_0 = 147\text{nm}$, F_3 为 0~1 间的随机数.

2.1.2.3 光子传播距离

由吸收系数公式 (4) 可求得吸收系数 $k_{\text{Ne-Xe}}(X)$.

$$k_{\text{Ne-Xe}}(X) = \frac{K_0^2 g_2 n_{0\text{Xe}}}{4S_0 g_1} \frac{S X_p / (2P)}{(X - X_0)^2 + S X_p^2 / 4} \quad (11)$$

光子被吸收前的传播距离可用 0~1 间随机数 F_4 计算.

$$l = -\frac{1}{k(X)} \ln(1 - F_4) \quad (12)$$

求出了传播距离后, 即可利用另外两个 0~1 间随机数 F_5, F_6 确定光子的传播方向, 最终得该光子被吸收的位置. 如果该光子打到壁上, 则停止计算, 否则在新的位置上重复上述过程直至打到壁上或谐振态原子损失为止. 在每次计算光子辐射时, 假定它的频率完全独立于吸收前的频率, 即完全频率再分配. 这样通过跟踪大量谐振光子, 可模拟谐振光子的辐射捕获过程, 研究最终达到放电单元各个壁上的光子分布情况.

3 计算结果

图 1 为 SMPDP 和 ACC PDP 放电单元的结构示意图. 新型 SMPDP 与表面放电结构相似, 它由上下玻璃基板、紧贴基板的介质层、MgO 薄膜、障壁及电极组成. 所不同的是放电单元由金属荫罩作为障壁而不是介质障壁.

从图 1(a) 可以看到 SMPDP 放电单元的结构具有对称性,

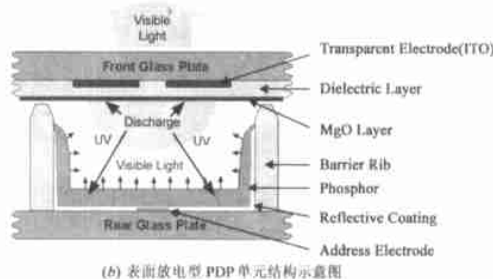
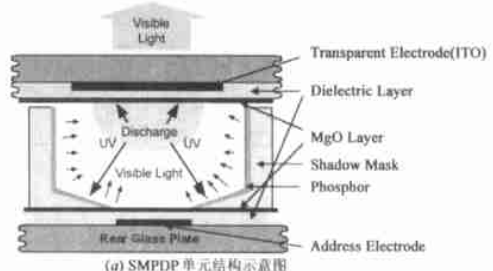


图 1 SMPDP 和 ACC PDP 单元结构示意图

故计算时只需计算二分之一区域. 图 1(b) 中的障壁在实际结构中应旋转 90 度, 模拟计算时放电单元两侧壁根据放电单元的对称性进行封边.

本文首先采用流体模型^[7,8]分别计算 SMPDP 和 ACC PDP 放电单元中的放电过程, 然后与上述蒙特卡罗模型结合, 计算 SMPDP 与 ACC PDP 的放电过程中谐振光子辐射捕获的情况, 并进行了比较.

图 2 分别为 SMPDP 和 ACC PDP 放电单元中平均电子浓度和平均氙谐振态浓度随时间的变化情况. 图中浓度单位为 $1/\text{厘米}^3$ 、时间单位为秒. 可以看到 SMPDP 结构无论是平均电子浓度还是平均氙谐振态浓度都高于 ACC PDP 结构, 且达到峰值的时间也短. 也就是说, SMPDP 的亮度及响应频率高于 ACC PDP.

图 4 为 SMPDP 和 ACC PDP 放电单元中荧光粉层上光子的分布情况以及 147nm 谱线分布情况. 可以看出 SMPDP 放电单元中荧光粉层上的光子数目以及 147nm 谱线要高于 ACC PDP.

表 1 给出了 SMPDP 放电单元中各个壁上的光子数目及所占比例情况. 表中侧表面上的光子数为左右两侧之和. 可以看到该结构打到涂有荧光粉的金属荫罩内壁的光子占大部分. 当然损失的光子数也是相当可观的.

表 1 SMPDP 放电单元中各个壁上的光子数目

表面	上介质表面	下介质表面	侧表面(荧光粉面)
光子数	128419	98394	211699
百分比	29128	22144	48128

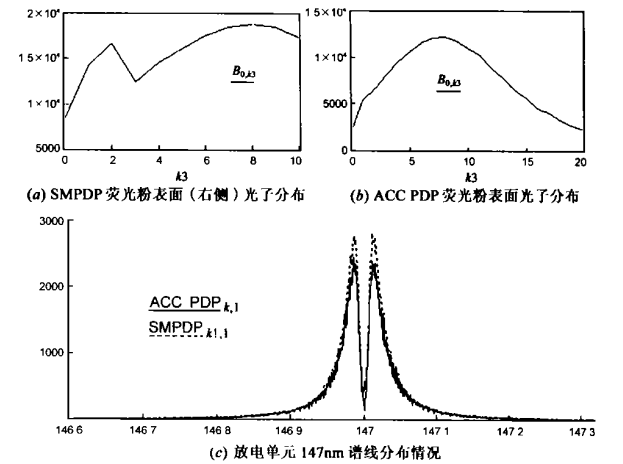


图 4 光子及 147nm 谱线在荧光粉上的分布情况

表 2 给出了表面放电结构放电单元中各个壁上的光子数目及所占比例情况. 可以看到左、右侧仍有部分光子, 即存在串扰. 该结构中, 打到涂有荧光粉的介质表面的光子所占比例小于 SMPDP 结构. 故 SMPDP 的发光效率优于表面放电结构.

表 2 ACC PDP 放电单元中各个壁上的光子数目

表面	上介质表面	下介质表面(荧光粉面)	右侧表面	左侧表面
光子数	148345	162929	31124	84565
百分比	34174	39165	7128	19180

4 结论

本文在流体模型计算基础上采用蒙特卡罗模型, 研究了新型荫罩式等离子体显示器 (SMPDP) 和传统的交流表面放电等离子体显示器 (ACC PDP) 结构放电过程以及由氙谐振态原子辐射真空紫外光子的辐射特性. 给出了电子及氙谐振态平均浓度以及相应空间浓度分布随时间变化情况. 模拟了谐振光子分布情况和 147nm 谱线的分布情况. 可以看到 SMPDP 的发光效率大于表面放电结构.

参考文献:

[1] Jiting Ouyang, Thierry Callegari, Nicolas Lebarq, et al. Plasma display panel cell optimization: Modeling and macro cell experiments [A]. EUD

图 2 平均电子浓度和平均氙谐振态浓度随时间变化情况

图 3 给出了两种结构在放电开始、达到峰值以及放电熄灭等不同时刻氙谐振态浓度分布情况. 由于光子是由氙谐振态产生的, 故氙谐振态的分布直接影响到光子的辐射和捕获过程.

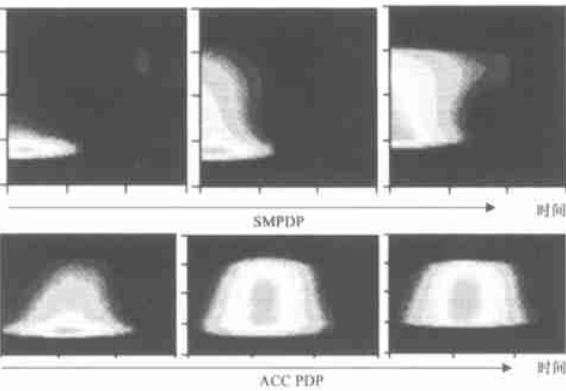


图 3 不同时刻氙谐振态浓度分布

基于上述流体模型计算基础上, 我们跟踪计算了 10^6 个谐振光子, 光子的初始分布根据流体模型计算得到的氙谐振态的分布情况决定. 计算的气体为氙氩混合气体, 氙的百分比为 10%.

RODISPLAY [C]. France: Society for Information Display, 2002. 53-63.

- [2] Xiong Zhang, Qing Li, Yan Tu, et al. A novel AC PDP with shadow mask [A]. Digest of SID02 Information Display [C]. USA: Society for Information Display. 2002. 748- 752.
- [3] Yan Tu, Xiong Zhang, Baoping Wang and Lanlan Yang. Three-dimensional investigation of a novel PDP with metal barrier plate [A]. Digest of SID02 [C]. USA: Society for Information Display, 2002. 404- 408.
- [4] J Meunier, Ph Belenguer, J P Boeuf. Numerical model of an ac plasma display panel cell in neon-xenon mixtures [J]. J Appl Phys, 1995, 78 (2): 731- 745.
- [5] R T McGrath, R Veerasingham, J A Hunter, P D Rockett, R B Campbell. Measurements and simulations of VUV emissions from plasma flat panel display pixel microdischarges [J]. IEEE Trans Plasma Sci, 1998, 26(5): 1532- 1542.
- [6] K Igarashi, S Mikoshiba, Y Watanabe, M Suzuki, S Murayama. Characterization of imprisoned Xe resonant photos in He-Xe and Ne-Xe mixtures [J]. J Phys D, 1985, 28: 1377- 1383.
- [7] Yan Tu, Xiong Zhang, Baoping Wang, Handun Yin, Linsu Tong. Investigation of breakdown characteristic of a novel plasma display panel discharge cell with rotationally symmetric structure [J]. Journal of Vacuum Science, 2002, 20(1): 321- 325.
- [8] 屠彦, 张雄, 王保平. 新型等离子体平板显示器件放电特性的研究 [J]. 电子学报, 2002, 30(2): 258- 262.

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, 现为东南大学电子工程系教授, 主要研究领域包括电磁场数值模拟、等离子体显示、人工神经网络应用以及偏转线圈设计等。



张雄 男, 1973年9月出生于江苏省南京市, 分别于1994、1996、2002年取得东南大学电子学学士、硕士和博士学位, 现任东南大学电子工程系副教授, 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象处理等。



王保平 男, 1961年6月出生于安徽省芜湖市, 分别于1983、1988、1995年取得东南大学电子学学士、硕士和博士学位, 现任东南大学电子工程系教授、博士生导师, 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。



尹涵春 女, 1946年2月出生于上海市, 1969年毕业于复旦大学物理系电子物理专业, 1981年于南京工学院获硕士学位, 1985年在英国阿斯顿大学作访问学者, 在皇家理事 T. Mulvey 教授指导下从事电磁场计算和磁透镜设计的工作, 现任东南大学电子工程系教授、博士生导师, 主要研究领域包括电磁场计算、电子显示器件 CAD 及电子图象处理等研究方向。



童林凤 男, 1933年12月出生于上海市, 1955年毕业于北京大学物理系, 现任东南大学电子工程系教授、博士生导师、中国电子学会士、IEEE 资深会员、复旦大学物理系兼职教授、上海交通大学兼职教授, 获部科技进步一等奖、二等奖4项、国家教委科技进步二等奖一项, 在国内外学术刊物发表100余篇学术论文。