

# 微等离子体三极管及其应用<sup>\*</sup>

韩传余<sup>†</sup> 杨景华 王守国

(中国科学院微电子研究所 中国科学院微电子器件与集成技术重点实验室 北京 100029)

**摘要** 一种新型的微电子器件——微等离子体三极管近期被成功研制出来. 它的问世奠定了未来更加节能、更加轻便的, 具有更高分辨率和更高对比度的等离子体显示的新技术革命基础. 文章介绍了微等离子体三极管的工作原理和基本特性, 展望了它在发光显示领域的应用前景.

**关键词** 微等离子体三极管, 类 MOS 结构, 综述, 等离子体显示平板

## Microplasma transistors and their applications

HAN Chuan-Yu<sup>†</sup> YANG Jing-Hua WANG Shou-Guo

(Key Laboratory of Microelectronic Devices and Integration Technology,

Institute of Microelectronics of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029, China)

**Abstract** A new type of microelectronic device, the microplasma transistor, has recently been successfully fabricated. Its birth heralds a new technological revolution for more energy-efficient, more portable, higher resolution, and higher contrast plasma displays. This article describes the principle of the microplasma transistor and its basic characteristics. In particular, its prospects in the field of light-emitting display applications are presented.

**Keywords** microplasma transistor, quasi-MOS, review, plasma display panel

### 1 引言

微等离子体是近年来国际上低温等离子体研究的热点课题. 微等离子体<sup>[1]</sup>是被限制在毫米到微米之间尺度范围内的等离子体, 它不但具有常规等离子体的一些特性, 还具有自身的一些独特特性, 例如, 可在大气压条件下运行, 具有低功耗、高密度、高稳定性等特性. 微等离子体的这些特点和优势为其在紫外光源的获取、微化学分析系统、生物医学、材料表面改性和加工、环境污染物的处理等领域提供了广泛的应用空间.

1959年, White<sup>[2]</sup>首先在微等离子体进行了研究. 几年后, Bitzer 和 Slottow<sup>[3]</sup>研制成功了第一块等离子体显示平板(plasma display panel, 缩写为 PDP). 现在使用的 PDP 显示器绝大部分使用的是平行平板结构, 其发光效率较低, 只有 2 lm/W, 即使是使用阻隔壁结构的 PDP, 其发光效率也只有

3—5 lm/W<sup>[4,5]</sup>, 而微等离子体阵列器件的发光效率可达  $7.2 \pm 0.6$  lm/W, 并且发光强度最高可达到  $800 \text{cd/m}^2$ <sup>[6]</sup>.

近年来, Schonebach<sup>[7]</sup> 和 Frame<sup>[8]</sup> 再次掀起了微等离子体研究的热潮. 近来, 由 K. F. Chen<sup>[9]</sup> 等人研制出了第一个微等离子体三极管. 微等离子体三极管是在微等离子体基础上加一个控制电极制作而成, 它不但具有微等离子体的特性, 而且还具有三极管的特性. 由于微等离子体三极管的这些独特性能, 可以预见在不久的将来, 它将被广泛应用于显示、光电探测、生物光电等领域.

### 2 微等离子体三极管的结构

K. F. Chen<sup>[9]</sup> 等人制作的第一个微等离子体三极

<sup>\*</sup> 国家科技 02 重大专项基金(批准号:2009ZX0203008)资助项目  
2010-09-25 收到

<sup>†</sup> 通讯联系人. Email. hanchuan-yu@ime.ac.cn

管,它的结构如图 1 所示.它是由一个直径为 $500\mu\text{m}$ 的圆柱型微空腔和一个类金属-氧化物-半导体(metal-oxide-semiconductor,缩写为 MOS)结构的发射极构成.类 MOS 发射极是由互补金属-氧化物-半导体(complementary metal-oxide-semiconductor,缩写为 CMOS)工艺制造而成.制作方法是在电导率为 $1\times 10^{-7}\sim 5\times 10^{-7}\Omega\cdot\text{cm}$ 的 n 型硅衬底上使用热氧化方法制得 $5\sim 15\text{nm}$ 厚的  $\text{SiO}_2$  薄膜作为介质阻挡层.圆柱型微腔是通过在铜箔上面涂覆聚亚酰胺后,使用光刻、化学刻蚀和电镀等方法,制得两面镀有 $0.1\mu\text{m}$ 厚 Ni 的聚亚酰胺微腔.一个 $70\mu\text{m}$ 的聚亚酰胺薄膜将微等离子体和类 MOS 发射极隔离开来,这样避免电子直接轰击发射极,延长器件的寿命.

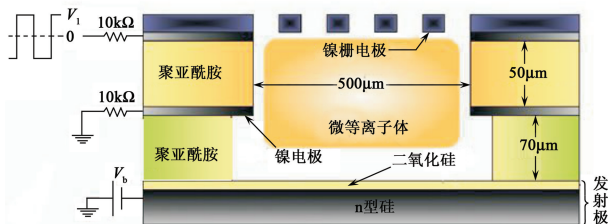


图 1 微等离子体三极管结构示意图

### 3 微等离子体三极管的工作原理

由金属-绝缘体-半导体形成的如图 2 所示的发射电极结构称为 MOS 型发射结构<sup>[10]</sup>.同 MOS 发射结构相比较,微等离子体三极管的发射极不含有金属层(如图 1 所示),称之为类 MOS 发射结构.由于微等离子体具有很好的导电特性,因此可将其视为导体,它同下面的类 MOS 发射结构形成了一个 MOS 发射结构,并且能控制微等离子体的特性.这样类 MOS 发射极、镍栅高压电极和镍接地电极便构成了一个三端器件,因此我们将这种器件称之为微等离子体三极管.同场效应三极管相类比,类 MOS 发射极起到了控制微等离子体特性的作用,相当于场效应三极管的栅极.镍栅高压电极和镍接地电极分别相当于场效应三极管的源极和漏极.

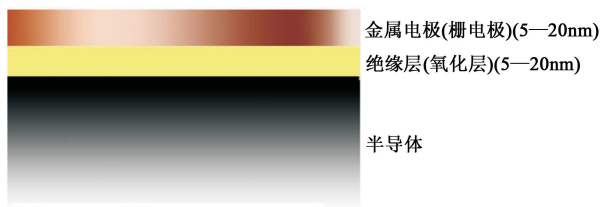


图 2 MOS 型发射极结构

微等离子体三极管的能带关系如图 3 所示.由

图 3 可以看出,在半导体一侧加一个较小的负偏压时,半导体内的能带向下弯曲,电子由隧穿效应被发射到微等离子体的鞘层中去.发射到鞘层中的电子改变了微等离子体鞘层中电荷的分布,从而明显地改变了微等离子体的电流-电压特性和发光特性,这样微等离子体的特性就可以通过一个较小的电压来控制.这便是微等离子体三极管的工作原理.

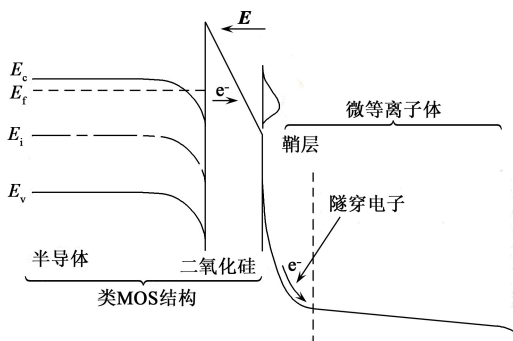


图 3 微等离子体三极管的能带关系图

### 4 微等离子体三极管的特性

发射极对微等离子体的电流-电压和发光特性产生了很大的影响.对一个等离子体三极管进行测试的电路如图 1 所示,微等离子体三极管是一个三端器件,其等效测试电路如图 4 所示.电压为  $V_1$  的电源是输出频率为  $20\text{kHz}$  的方波电源,高频电压易于产生辉光放电,并且还可以增加电极寿命.偏压  $V_b$  加在发射极的半导体一侧,控制发射极发射出来的电子数量的多少.

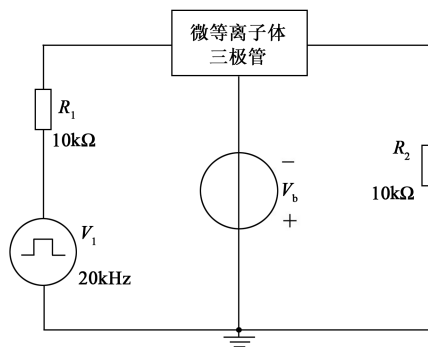


图 4 微等离子体三极管等效测试电路

图 5 显示了在充有 Ne 气、气压为  $300\text{Torr}$  条件下, $V_1$  固定在  $280\text{V}$ , $V_b$  从  $0\text{V}$  开始每增加  $-5\text{V}$  时,测量一次获得的电流-电压特性曲线.从图 5 可以看出,传导电流随发射极偏压的变化非常明显.在没有电子注入到微等离子体时,传导电流只有  $500\mu\text{A}$  左右.当加上偏压后,电流可高达  $1.7\text{mA}$ .实验测得一个微等离子

体三极管的发光特性<sup>[9]</sup>如图 6 所示. 由图 6 可以看出, 当偏压从 0V 增加 -5V 时, 可使微等离子体的发光强度增加 88%. 该实验结果表现出了微等离子体三极管的放大作用. 这意味着, 若将微等离子体三极管做成大面积阵列, 便可用于对比度和亮度可调的平板显示, 即通过改变发射极的偏压, 便可以改变微等离子体的发光强度, 从而提高平板显示的对比度和亮度.

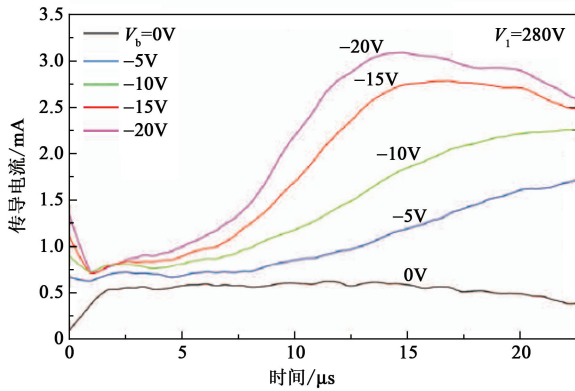


图 5 一个微等离子体三极管电流-电压特性曲线

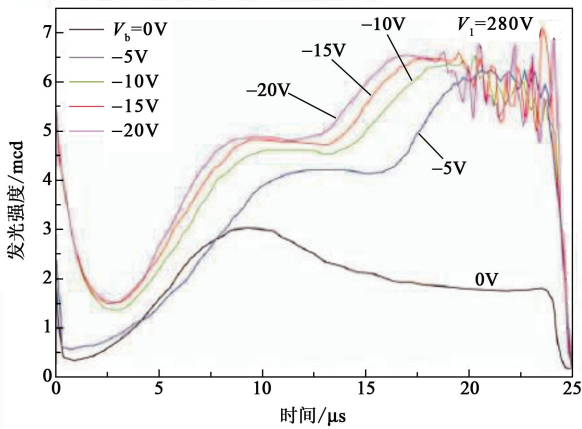


图 6 一个微等离子体三极管发光特性曲线

## 5 结束语

将一个发射电极和一个介质阻挡放电的微等离子体组合在一起, 便可形成一个三端电压控制的微等离子体三极管. 通过控制发射极的调制电压, 可以使得微等离子体的电学和光学特性得到很好的改善. 该结果为微等离子体三极管在显示高清、高亮度、高分辨率的 PDP 显示领域中又开辟了一种全新的技术领域.

微等离子体三极管的问世, 无疑为未来高清等离子体电视奠定了基础. 此外, 利用它的电流-电压特性, 可以使用一个较小的电压来控制一个较高的电压, 并得到一个较好的发光控制单元. 同时, 微等离子体三极管也提供了一种不使用外加探针来测量鞘层电子密度的方法.

## 参考文献

- [ 1 ] Becker K H, Schoenbach K H, Eden J G. Journal of Physics D: Applied Physics, 2006, 39:55
- [ 2 ] White A D. Journal of Applied Physics, 1959, 30:711
- [ 3 ] Bitzer D L, Slottow H G. The plasma display panel——A digitally addressable display with inherent memory. In: Proceedings of AFIPS Conference. 1966, 29:541
- [ 4 ] Oversluizen G, Dekker T, Gillies M F *et al.* J. Soc. Inf. Disp., 2004, 12:51
- [ 5 ] Yoo M S, Kim J N, Woo D *et al.* J. Soc. Inf. Disp., 2004, 12:251
- [ 6 ] Chen K F, Ostrom N P, Park S J *et al.* Applied Physics Letters, 2006, 88:061121
- [ 7 ] Schoenbach K H, Verhappen R, Tessonow T *et al.* Applied Physics Letters, 1996, 68:13
- [ 8 ] Frame J W, Wheeler D J, Detemple T A *et al.* Applied Physics Letters, 1997, 71:1165
- [ 9 ] Chen K F, Eden J G. Applied Physics Letters, 2008, 93:161501
- [ 10 ] Mesd C A. Journal of Applied Physics, 1976, 47:5248