

# 微通道板输出电极的最佳深度\*

汪金祥

(中国科学院西安光机所, 西安)

**摘要** 本文给出了微通道板(MCP)输出电极的最佳深度表达式。在此最佳条件下, MCP输出电子能量分布(EDOE)曲线只有锐的低能主峰, 它的半宽度达到极限值, 能在极限空间分辨率下工作。解释了以前所报道的MCP的EDOE特性, 那实际上是偏离最佳条件下的MCP的特性。

**关键词** 微通道板; 输出电子能量分布; 空间分辨率

## 1. 引言

对MCP输出电子能量分布(EDOE)的研究, 论证了输出电极深度对EDOE和增益的影响<sup>[1-3]</sup>, 并提出了可能的改进设想<sup>[3]</sup>。指出输出电极深度为 $\omega$ 的MCP的EDOE特性曲线由锐的低能主峰和拖尾很长的次峰组成, 如图1所示。

对于EDOE的这种特性, 认为几乎完全取决于接近MCP通道输出端的电位分布。在图1中指出两个区域, 恒电位区A和加速场区B。EDOE曲线的主峰, 主要来自A区电子发射的贡献, 次峰主要来自B区电子发射的贡献。

合理选择输出电极深度能同时改善MCP的EDOE和增益。本文给出了输出电极的最佳深度。

## 2. 输出电极的最佳深度

设MCP的通道直径为 $d$ , 其他几何参数用 $d$ 归一化表示。这样, 通道长度为 $\alpha$  (其数值实际上等于通道的长径比), 二次电子在通道中与通道壁两次相邻碰撞之间的距离(渡越距离)为 $\beta$ , 相应的渡越时间(渡越周期)为 $t$ , 电极贯穿到通道中的深度为 $\omega$ ; 在最后一个渡越周期, 二次电子运动直至进入恒电位区(A区)之前的纵向加速运行的距离为 $\beta_0$ , 相应的渡越时间为 $t_0$ , 通过A区的自由飞行时间为 $t_1$ 。假设二次电子的初始能量为 $eV_0$ , 并且它的初速度的方向垂直于通道壁<sup>[4]</sup>。通道中的平均场强 $E = V_A/\alpha$ , 其中 $V_A$ 为MCP的工作电压。 $e$ 和 $m$ 分别为电子的电荷和质量。于是当MCP工作时, 电子在通道中和在通道末端的运动特性可用下述方程描述:

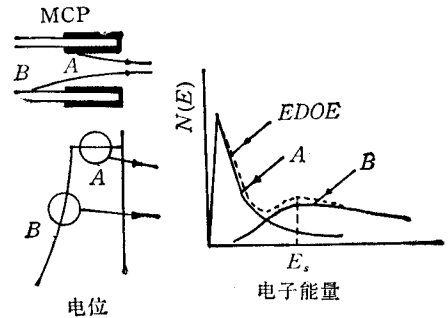


图1 MCP输出电极接近输出端通道壁的电位分布和EDOE曲线

\* 1988年4月8日收到, 同年9月修改定稿。

$$t^2 = [2(e/m)V_0]^{-1} \quad (1)$$

$$\beta = [(eE)/(2m)]t^2 \quad (2)$$

$$\beta_a = [(eE)/(2m)]t_a^2 \quad (3)$$

$$\omega = [(eE)/m]t_a t_f \quad (4)$$

由方程(1)和(2)得到  $\beta$ ,

$$\beta = E/(4V_0) = V_A/(4\alpha V_0) \quad (5)$$

由方程(2)、(3)和(4)得到

$$t_a = (\beta_a/\beta)^{1/2} t \quad (6)$$

$$t_f = (\omega t)/[2(\beta\beta_a)^{1/2}] \quad (7)$$

$$t_a + t_f = [(2\beta_a + \omega)t]/[2(\beta\beta_a)^{1/2}] \quad (8)$$

令  $t_a + t_f = t$ , 则得

$$(2\beta_a + \omega)/[2(\beta\beta_a)^{1/2}] = 1 \quad (9)$$

或

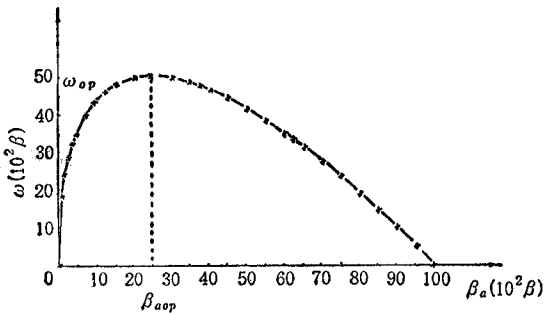


图2  $\omega$  与  $\beta_a$  的普通函数曲线(以  $\beta$  为单位)

$$\omega = 2[(\beta\beta_a)^{1/2} - \beta_a] \quad (10)$$

根据物理条件,要求

$$\omega \geq 0 \quad (10a)$$

因此,由式(10)得到

$$\beta_a \leq \beta \quad (10b)$$

这是合理的. 将式(10)对  $\beta_a$  求导数, 则可得到

$$\omega_{\max} = \beta/2 \quad (11)$$

和与之相应的  $\beta_{a\max}$ ,

$$\beta_{a\max} = \beta/4 \quad (12)$$

$\omega_{\max}$  正是我们所要得到的最佳值.  $\beta_{a\max}$  决定图 1 中次峰的能量位置. 令  $\omega_{\max} = \omega_{op}$ ,  $\beta_{a\max} = \beta_{aop}$ . 由(5)和(11)式得到最佳输出电极深度的表达式

$$\omega_{op} = V_A/(8\alpha V_0) \quad (13)$$

为了讨论的方便,根据(10)式绘制的图 2, 说明  $\omega$  与  $\beta_a$  的关系是很直观的.

### 3. 讨论

满足(13)式的 MCP, 处于最佳工作状态, 其空间分辨率可以达到它的极限 (MCP 的几何空间分辨率). 例如, 一种通道直径为  $19\mu\text{m}$  的 MCP, 它的几何空间分辨率为 30.4 对线/mm. 使它的工作参数满足判式(13), 进行测量, 实际测得的 MCP 成象的空间分辨率为 30 对线/mm. 两者符合得相当好. 而对  $\omega = \omega_{op}/3$  的 MCP, 在同样条件下进行测量, 空间分辨率仅为 24 对线/mm. 这说明(13)式是正确的.

当  $\omega = \omega_{op}$  时, 从图 2 清楚可见, 所有从电极上游区域通道壁发射的二次电子都与输出电极相碰撞, 产生低能二次电子<sup>[5]</sup>, 最后从电极区输出. 没有电子从 B 区直接输出. 因此, EDOE 曲线只有锐的达到极限半宽度的低能主峰. MCP 可在极限空间分辨率下工作.

根据(13)式, 能设计最佳工作状态的 MCP, 确定最佳工作参数, 也可用于检验一个

MCP 是否处于最佳工作状态, 判明应如何修正工作参数。

若  $\omega > \omega_{op}$ , 根据图 2 可知, 电极的末端 (靠近输出端面的一端) 大于  $\omega_{op}$  的部分 ( $\omega - \omega_{op}$ ) 将成为无效区, 没有从电极上游区域发射的电子能与之相碰撞, 所以它对 EDOE 和增益无有益的贡献, 只能造成末端损失和渡越时间的增加。

当  $\omega < \omega_{op}$  时, 从 B 区发射的一部分电子 (高能部分) 不与电极相碰撞而直接输出, 主要贡献于 EDOE 曲线的次峰。  $\omega$  偏离  $\omega_{op}$  越大, 次峰越显著。 以前所观测到的正是这种偏离最佳状态的情况<sup>[2]</sup>。 次峰的位置  $E_s$  (见图 1) 为:

$$E_s = E_{aop} = (V_A \beta_{aop}) / \alpha \quad (14)$$

由(5)、(12)式得到(14)式的显式:

$$E_s = (1/V_0)[V_A/(4\alpha)]^2 \quad (15)$$

显然,  $E_s$  与  $V_A$  的平方成正比。 所以, 当  $V_A$  增加时, 次峰的位置向高能方向移动。 与以前观测的结果相一致<sup>[2]</sup>。

当  $\omega = 0$  时, 自然, 所有的输出电子都源于 B 区。 所谓的主峰完全消失。 EDOE 只出现唯一的所谓次峰, 而且是个展得很宽的峰。 峰的最可几位置由(15)式决定。 在这种情况下, 峰的位置大于所有  $\omega \approx 0$  时的主峰的位置。 这也和以前的观测相符合<sup>[6]</sup>。

綜上述,  $\omega \geq \omega_{op}$  时, EDOE 曲线只有锐的低能主峰;  $\omega < \omega_{op}$  时, 有主峰又有次峰, 并且随着  $\omega \rightarrow 0$ , 主峰逐渐变小, 次峰逐渐变大; 直至  $\omega = 0$  时, 只有次峰。 这样, 我们可根据测量的 EDOE 曲线的形状, 包括峰数和峰的位置, 定性地判别 MCP 的输出电极深度  $\omega$  在那种范围。

将深度为  $\omega_{op}$  的电极涂上一层第一跨越电位低的二次电子发射系数高的材料, 可以提高 MCP 的增益。

$V_0$  取决于通道壁材料的特性, 它决定二次电子在通道中运动的时间周期  $\tau$ , 对确定  $\beta$  值有显著影响。 因此, 在设计 MCP 时, 必须知道  $V_0$  的精确值。

#### 4. 结论

给出了 MCP 输出电极最佳深度的表达式, 对指导正确设计和应用 MCP 是一个有效的判据。 讨论了输出电极深度对 EDOE 特性的影响。 指出了根据测量的 EDOE 曲线定性地判别输出电极深度的方法。

#### 参 考 文 献

- [ 1 ] N. Koshida, M. Hosobuchi, *Rev. Sci. Instrum.*, 56(1985)7, 1329—1331.
- [ 2 ] N. Koshida, M. Midorikawa, Y. Kiuchi, *Adv. Electr. Electron Phys.*, 64B, 1985, 337—342.
- [ 3 ] N. Koshida, *Rev. Sci. Instrum.*, 57(1986)3, 354—358.
- [ 4 ] C. Loty, *Acta Electronica*, 14(1971)1, 107—119.
- [ 5 ] H. Seiler, *J. Appl. Phys.*, 54(1983)11, R1—R18.
- [ 6 ] N. Koshida, M. Kunii, S. Yoshida, *Rev. Sci. Instrum.*, 51(1980)2, 365—368.

## THE OPTIMUM OUTPUT ELECTRODE DEPTH OF MCP

Wang Jinxiang

*(Xi'an Institute of Optics and Precision Mechanics, Academia Sinica, Xi'an)*

**Abstract** The expression for the optimum output electrode depth of MCP is given. At optimum operation of MCP, the energy distribution curve of the output electron (EDOE) only shows a low energy sharp main peak, its FWHM is reduced to lower limit, and MCP can operate up to its upper spatial resolution limit. The properties of the EDOE from MCP are explained successfully

**Key words** MCP; EDOE; Spatial resolution