

# 天然放射性同位素产生的 MCP 噪声

邓金祥\* 韦亚一

(中国科学院电子学研究所,北京 100080)

**摘要** 本文计算了天然放射性同位素产生的 MCP 噪声(以 A/cm<sup>2</sup> 表示)。计算结果给出: Rb<sup>87</sup> 产生的噪声最大, K<sup>40</sup> 次之; 最小为 La<sup>138</sup> 和 V<sup>50</sup>。这表明: 某些应用领域要求低噪声或超低噪声的 MCP 时, 则该 MCP 的皮料中不能含有天然放射性同位素 Rb<sup>87</sup> 或 K<sup>40</sup>。

**关键词** 微通道板; 微通道板噪声; 天然放射性同位素

## 1. 引言

MCP 可作为探测器, 又可作为电子倍增器。噪声是表征 MCP 性能的一个重要参量。影响 MCP 噪声的因素较多。在 MCP 的材料中往往含有 K 盐和 Rb 盐以及 La 和 V 的氧化物。而这些盐类和氧化物中存在着放射  $\beta$  射线的天然放射性同位素 K<sup>40</sup>, Rb<sup>87</sup>, La<sup>138</sup>, V<sup>50</sup>。正是这些  $\beta$  射线使 MCP 产生本底噪声。本文目的在于计算所产生噪声的大小。

## 2. 计算公式的推导

假定 MCP 中含有 K 盐。现以天然放射性同位素 K<sup>40</sup> 为例进行推导。为计算 K<sup>40</sup> 的  $\beta$  射线所产生的 MCP 噪声, 特作如下假设:

- (1) K<sup>40</sup> 在通道内壁均匀分布;
- (2) K<sup>40</sup> 放出的  $\beta$  射线及其产生的次级电子出射方向(即初速), 垂直于通道内壁<sup>[1]</sup>;
- (3) 通道内的电场系均匀电场, 其方向沿通道轴线;
- (4) 通道轴线垂直于 MCP 的电极表面, 通道板厚为  $L$ , 通道截面直径为  $D$ ,  $U$  为 MCP 二端的电压(图 1);
- (5) 通道的电流增益  $G$  满足  $G = \delta^n$ , 其中  $\delta$  为平均次级发射系数( $\delta$  与材料的次级发射特性和 MCP 两端的电压有关),  $n$  为次级电子的累计碰撞次数<sup>[2]</sup>。

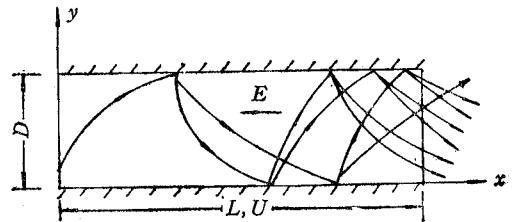


图 1 通道中电子运动示意图

设通道内电子每次碰撞前的轴向位移为  $S$ , 相应的渡越时间为  $t$ , 则电子运动方式由 (1)~(4) 式决定:

$$S = at^2/2 \tag{1}$$

$$D = vt \tag{2}$$

$$eE = ma \tag{3}$$

1991.02.26 收到, 1991.09.10 定稿。

\* 现在北京农业大学生物学院物理教研组工作。

$$eU_0 = mv^2/2 \quad (4)$$

其中  $eU_0$  为次级电子发射时的初始能量,  $U_0$  为初始电位.

由(1)~(4)式可得

$$S = ED^2/(4U_0) \quad (5)$$

所以

$$n = L/S = 4U_0L/(ED^2) \quad (6)$$

$$G = \delta^n = \delta^{[4U_0L/(ED^2)]} \quad (7)$$

在通道壁上  $x$  处,取长度为  $dx$  的微环状单元. 在此单元上  $K^{40}$  所产生的噪声电流为

$$di = e \frac{d(\lambda dx)}{dt} G(x) = e \frac{d\lambda}{dt} \delta^{[4U_0(L-x)/(ED^2)]} dx \quad (8)$$

积分上式,就可得出整个通道上的  $K^{40}$  所产生的噪声电流,即

$$\begin{aligned} i &= e \frac{d\lambda}{dt} \int_0^L \delta^{[4U_0(L-x)/(ED^2)]} dx \\ &= e \frac{d\lambda}{dt} \left( \frac{-ED^2}{4U_0} \right) \int_0^L \delta^{[4U_0(L-x)/(ED^2)]} d \left[ \frac{4U_0}{ED^2} (L-x) \right] \\ &= e \frac{d\lambda}{dt} \frac{ED^2}{4U_0} \frac{1}{\ln \delta} [\delta^{[4U_0L/(ED^2)]} - 1] \end{aligned} \quad (10)$$

根据放射性元素原子数衰变规律,可得

$$\lambda = (1/L)A(M/W)N_A \exp(-t \ln 2/\tau) \quad (11)$$

其中  $L$  为 MCP 通道长度;  $M$  为每个通道所含的 K 的质量;  $W$  为 K 的平均原子量;  $N_A$  为阿伏加德罗常数;  $\tau$  为  $K^{40}$  的半衰期;  $A$  为  $K^{40}$  的天然丰度. 由(11)式可得

$$d\lambda/dt = -AMN_A \ln 2 / (LW\tau) \exp(-t \ln 2/\tau) \quad (12)$$

对(12)式取绝对值,并令  $t = 0$ ,可得

$$d\lambda/dt = AMN_A \ln 2 / (LW\tau) \quad (13)$$

把(13)式代入(10)式,有

$$i = \frac{AMN_A \ln 2}{LW\tau} e \frac{ED^2}{4U_0} \frac{1}{\ln \delta} [\delta^{[4U_0L/(ED^2)]} - 1] \quad (14)$$

(14)式为每个通道内  $K^{40}$  产生的噪声电流的表达式. 设每平方厘米 MCP 含有  $N$  个通道,则 MCP 的噪声可表示为

$$I = \sum_{i=1}^N i_i = \frac{eAN_A \ln 2}{LW\tau} \frac{ED^2}{4U_0} \frac{1}{\ln \delta} [\delta^{[4U_0L/(ED^2)]} - 1] \sum_{i=1}^N M_i \quad (15)$$

(15)式的结果同样适用于含  $Rb^{87}$ ,  $La^{138}$ ,  $V^{50}$  天然放射性同位素,式中  $E = U/L = 800/(5.0 \times 10^{-4}) = 1.6 \times 10^6$  (V/m),  $U$  为工作电压,  $L$  为通道长.  $eU_0$  表示次级电子发射时的初始能量,在这里为了计算方便认为是一个常量,实际上  $eU_0$  有一分布. 根据文献[3]可认为是泊松分布,取  $eU_0 = 5eV$ ; MCP 通道壁内的发射层主要为  $SiO_2$ , 根据文献[4,5]取  $\delta = 2.5$ , MCP 的典型结构参数:  $L = 0.5mm$  和  $D = 10\mu m$ .

### 3. 计算结果和讨论

(1) 将有关的数值代入(15)式,则可计算出天然放射性同位素在 MCP 中产生的噪

声(以  $A/cm^2$  表示)。计算的结果如表 1 所列。

表 1 MCP 中天然放射性同位素产生的噪声

天然放射性同位素	$K^{40}$	$Rb^{87}$	$La^{138}$	$V^{50}$
天然丰度 $A(\%)$	0.0118	27.85	0.083	0.25
半衰期 $\tau(s)$	$3.9 \times 710^{16}$	$1.58 \times 10^{18}$	$3.53 \times 10^{18}$	$1.89 \times 10^{21}$
元素的平均原子量 $W(g/mol)$	39.1	85.5	138.9	50.9
$M_j(10^{-3}g/cm^3)^*$	3.00	4.00	1.00	1.00
暗噪声电流 $I_n(A/cm^2)^{**}$	$1.00 \times 10^{-14}$	$4.00 \times 10^{-13}$	$7.00 \times 10^{-17}$	$4.50 \times 10^{-18}$

\* 此数值为作者暂定; \*\* 近似结果只取数量级。

(2) (15)式表明,天然放射线同位素产生的噪声与其天然丰度  $A$  成正比;与其半衰期  $\tau$  成反比。

(3) 表 1 的结果表明, $Rb^{87}$  产生的噪声最大, $K^{40}$  次之, $La^{138}$  和  $V^{50}$  最小。通常在皮料中含有  $K$  盐和  $Rb$  盐,芯料中含有  $La$  和  $V$  的氧化物。在 MCP 的芯料腐蚀工艺中,皮料内壁可能会残存极微量的  $La$  和  $V$  的氧化物。因此, $La^{138}$  和  $V^{50}$  天然放射性同位素产生的噪声可以忽略不计。而 MCP 的皮料中如含有  $Rb^{87}$  和  $K^{40}$  天然放射性同位素。则它们产生的噪声就有影响了。

#### 4. 结论

本文计算结果表明,对某些应用领域,如要求低噪声和超低噪声 MCP 时,则该 MCP 的皮料中不能含有  $Rb^{87}$  和  $K^{40}$  天然放射线同位素。

感谢导师陶兆民研究员对本工作的指导和帮助。

#### 参 考 文 献

- [1] C. Loty, *Acta Electronica*, **14**(1971), 107—119.
- [2] 邹异松,真空成像器件,国防工业出版社,北京,1990年,第六章,第71—85页。
- [3] H. Seiler, *J. Appl. Phys.*, **54**(1983)11, 1—18.
- [4] 刘广勇等,倾斜通道 MCP 的时间响应特性分析,第三届全国光电器件学术讨论会论文集,辽宁兴城,1989年,第60—61页。
- [5] S. H. Siddiqui, *J. Appl. Phys.*, **48**(1977)7, 3053—3055.

## NOISE CAUSED BY NATURE RADIOACTIVE ISOTOPIC ELEMENTS CONTAINED IN MCP

Deng Jinxiang Wei Yayi

(Institute of Electronics, Academia Sinica, Beijing 100080)

**Abstract** MCP noise caused by nature radioactive isotopes is calculated. The calculated results of MCP noise caused by  $Rb^{87}$  and  $K^{40}$  are in the order of  $10^{-13}A/cm^2$  and  $10^{-14}A/cm^2$  respectively. They show that in some special applications, MCP free of  $Rb^{87}$  and  $K^{40}$  are needed.

**Key words** MCP; MCP noise; Nature radioactive isotope