

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/cm² 表示)。计算结果给出: Rb⁸⁷ 产生的噪声最大, K⁴⁰ 次之; 最小为 La¹³⁸ 和 V⁵⁰。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 Rb⁸⁷ 或 K⁴⁰。

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 β 射线的天然放射性同位素 K⁴⁰, Rb⁸⁷, La¹³⁸, V⁵⁰。正是这些 β 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 K⁴⁰ 为例进行推导。为计算 K⁴⁰ 的 β 射线所产生的 MCP 噪声, 特作如下假设:

- (1) K⁴⁰ 在通道内壁均匀分布;
- (2) K⁴⁰ 放出的 β 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^[1];
- (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 δ 为平均次级发射系数(δ 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^[2]。

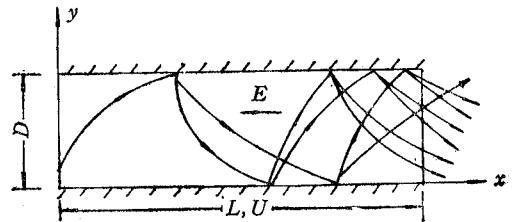


图 1 通道中电子运动示意图

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; τ 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 $\tau(s)$	3.9×710^{16}	1.58×10^{18}	3.53×10^{18}	1.89×10^{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 $I_n(A/cm^2)^{**}$	1.00×10^{-14}	4.00×10^{-13}	7.00×10^{-17}	4.50×10^{-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 τ 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