

文章编号: 1002-2082(2004)05-0022-03

扩口微通道板对电流增益和噪声因子关系的影响

傅文红, 常本康

(南京理工大学 电子工程与光电技术学院, 江苏 南京 210094)

摘要: 介绍了MCP产生光子散射和电子散射的机理, 提出对微通道板输入表面采用扩口技术提高微通道板的开口面积比, 从而降低微通道板噪声的方法, 建立了漏斗型MCP的数学模型, 给出了降低MCP的噪声因子及提高电流增益的理论依据, 为低噪声MCP进一步的工艺研究打下了基础。

关键词: 微通道板; 扩口MCP; 电流增益; 噪声因子; 开口面积比

中图分类号: TN152-34; TH223

文献标识码: A

A Research into the Effect of Funnel MCP on the Relationship Between Current Gain and Noise Figure

FU Wen-hong, CHANG Ben-kang

(School of Electronic Engineering and Optoelectronic Technology, NUST, Nanjing 210094, China)

Abstract: The principle of photon scatter and electron scatter of MCP is described. The method of improving the open area ratio and reducing the noise of MCP from enlarging the input end of the channel is presented. A mathematic model of funnel MCP is built. The theoretical evidence of reducing noise figure and improving the current gain is given. It will provide a theory foundation for further craft research.

Keywords: microchannel plate; funnel MCP; current gain; noise figure; open area ratio

引言

微通道板(MCP)是由数万根通道电子倍增器(即中空玻璃纤维)集合而成的二维列阵, 具有薄片式蜂窝状结构。中空玻璃纤维的内表面涂有电阻性的二次电子发射膜层, 该膜层与通道板的输入输出电极相连。这种中空玻璃称为微通道, 其通道直径为 $4\ \mu\text{m}\sim 45\ \mu\text{m}$ 。用于像管中的微通道板的长径比通常为 $40\sim 48$ 。另外, 为了使光电子能在输入端撞击通道, 减少屏光反馈及离子反馈, 并在静电图像转换中改善图像传输的一致性, 微通道与输入输出表面不垂直, 有 $5^\circ\sim 10^\circ$ 的倾斜角。目前, 二代像增强器的生产合格率低是制约其发展的重要因素; 背景噪声、场致发射、面板均匀性和纤泄等是造成成品率低的主要原因, 其中背景噪声的影响占废品总数的25%。因此, 深入研究MCP的噪声来源, 并采取行之有效的措施, 减小MCP的噪声是提高微

通道板的合格率及改善像管质量的重要途径。

1 通用MCP

无MCP的一代像管是通过高加速电场把光电阴极传来的电子图像信号加速打到荧光屏上, 转换成一幅可视的光图像。这种管子增益低, 需将多级级联起来方可使用, 但一代管信噪比很高。为了提高增益, 在二代管的光电阴极和荧光屏之间插入MCP。这种MCP像增强器的增益大大提高了, 但其空间分辨率和信噪比却下降了, 从而使像管的性能下降。采用小孔MCP技术可提高像管的分辨率, 但不能提高信噪比。

像管的噪声主要是MCP的引入而产生的噪声, 二代管内的光子散射和电子散射是引起背景噪声的重要原因。光子散射是指由于入射光一部分透过光电阴极, 照到MCP输入表面后被反射回光电

收稿日期: 2003-09-22 修回日期: 2003-11-18

作者简介: 傅文红(1966-), 女, 安徽人, 南京理工大学副教授, 主要从事微通道板理论及工艺研究工作。

阴极, 使阴极释放光电子(这些光电子经阴极和MCP间的电场加速后进入相邻通道), 经通道增强后在荧光屏上输出形成噪声, 这种散射引起的噪声占总散射噪声的20%。电子散射是指由于光阴极发射的光电子打到MCP输入表面的非开口部分上, 产生二次电子发射, 二次电子在阴极和MCP之间的平行电场作用下, 作抛物线运动进入相邻通道或更远的通道而形成的噪声, 这种散射造成的噪声占总散射噪声的80%。

1.1 MCP 的电流增益

设 MCP 的偏置角为 7°, 二次电子发射系数为 δ , 则电流增益为^[3]

$$G = F \frac{\delta}{2} \left(\frac{V_p}{C\eta} \right)^{7.4} \left(\frac{V_p + C\mu}{V_p} \right) e^{-0.65H} \quad (1)$$

式中, F 为 MCP 输入端的开口面积比; V_p 为 MCP 上所加的电压; η 为 MCP 的长径比; C 为常数, 对未经电子清刷的 MCP, $C=8.5$; 经电子清刷的 MCP, $C=9.5 \sim 10$; H 为电极末端损失深度(按通道直径计)。

1.2 MCP 的噪声因子

对于微光管中的 MCP, 假如输入为单光电子倍增, MCP 的噪声因子 N_{Fm} 为^[3]

$$N_{Fm} = \frac{1}{F} \left\{ 1 + \frac{1}{\delta} + \left[\frac{1 + (G/\delta)}{G} \right] \right\} \quad (2)$$

由散射噪声形成的过程可知, MCP 开口面积比对散射噪声的影响很大。增大开口面积比, 一方面可以减少散射噪声; 另一方面可增大光电子信号进入通道的数量, 使信号输出电流增大, 从而大大提高信噪比和对比度。

2 漏斗型 MCP 的理论模型

对 MCP 表面进行特殊腐蚀工艺, 使之表面形成如图 1 所示结构。对微通道板的输入面进行扩口, 使微通道输入端呈漏斗型, 开口面积比发生了

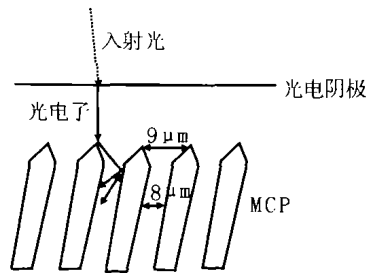


图 1 漏斗型 MCP 示意图

Fig. 1 Schematic diagram of funnel-shaped microchannel plate

变化(与扩口直径和扩口深度有关)。

设光电阴极发射的光电子在光电阴极和MCP间的电场作用下到达MCP输入面时与MCP表面垂直, 扩口前MCP的通道直径为 d , 扩口深度为 h , 如图2所示。当 h 一定时, 要使打在漏斗壁上的光电子都弹入通道中, 扩口后的直径必须小于某个特定

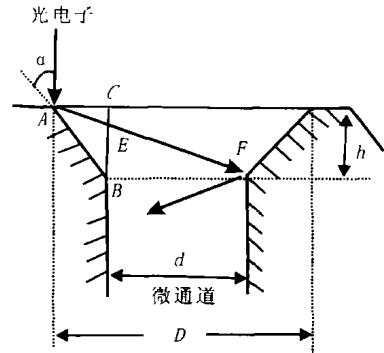


图 2 微通道有效扩口示意图

Fig. 2 Schematic diagram of an effective funnel of microchannel

值。设保证电子进入通道的最小扩口直径为 D , 这个特定值与扩口深度有关。如果实际扩口直径大于最小扩口直径, 打到漏斗壁的光电子将全部弹出通道, 如图3所示。

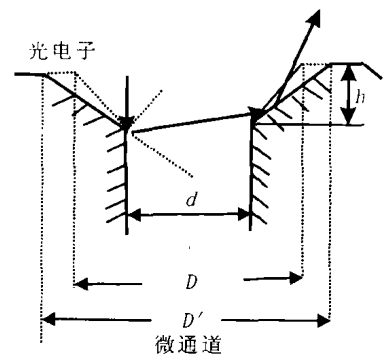


图 3 微通道无效扩口示意图

Fig. 3 Schematic diagram of an ineffective funnel of microchannel

对于图2, 设入射电子与漏斗壁夹角 $\angle ABC = \alpha$, 扩口后MCP输入端通道直径为 D' , 则可推导出打到漏斗壁的光电子全部进入微通道的有效漏斗深度 h :

$$h = d \cdot \text{tg}(90^\circ - 2\alpha) \cdot (1 + \cos 2\alpha) \quad (3)$$

在 $\triangle ABC$ 中, $AC = h \cdot \text{tg}\alpha$, 则有效扩口直径 D 为

$$\begin{aligned} D &= 2AC + d \\ &= 2d \cdot \text{tg}(90^\circ - 2\alpha) \cdot [1 + \cos(2\alpha)] \\ &\quad \cdot \text{tg}\alpha + d \end{aligned} \quad (4)$$

扩口深度 h 一定时, 若扩口直径 D' 取为 d 到有

效扩口直径 D 之间的值时, MCP 的开口面积比 $F = \frac{\sqrt{3}\pi}{6} (\frac{D'}{l})^2$, 其中 l 为两相邻通道的孔心距; 若扩口直径 D' 大于有效扩口直径 D , MCP 的开口面积比 $F = \frac{\sqrt{3}\pi}{6} (\frac{d}{l})^2$ 。

扩口深度 h 一定时, 由于漏斗壁上不能产生二次电子, 故扩口后长径比会减小为 $\eta' = \frac{L-h}{d} = \eta - \frac{h}{d}$ (η 为扩口前长径比)。

由以上分析可知, 只有当扩口深度和扩口直径满足一定条件时, 通过扩口方法可提高开口面积比, 从而提高 MCP 的电流增益, 降低噪声因子。否则, 扩口不仅不能增大开口面积比, 还会减小 MCP 的长径比, 降低电流增益。

2.1 扩口后 MCP 的电流增益和噪声因子

若扩口直径 D' 小于由(4)式求出的有效扩口直径 D , 则电流增益为

$$G = \frac{\sqrt{3}\pi}{6} (\frac{D'}{l})^2 \frac{\delta}{2} \left(\frac{V_p}{C(\eta-h/d)} \right)^{(\eta-h/d)^4} \times \left(\frac{V_p + C(\eta-h/d)}{V_p} \right) e^{-0.65H} \quad (5)$$

噪声因子为

$$N_{Fm} = \frac{1}{\frac{\sqrt{3}\pi}{6} (\frac{D'}{l})^2} \left\{ 1 + \frac{1}{\delta} + \left[\frac{1+(G/\delta)}{G} \right] \right\} \quad (6)$$

若扩口直径 D' 大于有效扩口直径 D 时, 则 MCP 的电流增益 G 为

$$G = \frac{\sqrt{3}\pi}{6} \cdot (\frac{d}{l})^2 \cdot \frac{\delta}{2} \left(\frac{V_p}{C(\alpha-h/d)} \right)^{(\alpha-h/d)^4} \times \left(\frac{V_p + C(\alpha-h/d)}{V_p} \right) e^{-0.65H} \quad (7)$$

噪声因子为

$$N_{Fm} = \frac{1}{\frac{\sqrt{3}\pi}{6} (\frac{d}{l})^2} \left\{ 1 + \frac{1}{\delta} + \left[\frac{1+(G/\delta)}{G} \right] \right\} \quad (8)$$

3.2 实例

设对一通道孔径为 $8 \mu\text{m}$ 的微通道板进行扩口, 扩口深度 $h = 1 \mu\text{m}$, $C = 9.5$, $V_p = 800 \text{ V}$, $\delta = 4$, $\exp(-0.65H) = 0.5$, $\eta = 44$, 通道的孔心距 $l = 10 \mu\text{m}$ 。开口面积比、电流增益和噪声因子与扩口直径的关系如表 1 所示。

表 1 扩口深度为 $1 \mu\text{m}$ 时 MCP 开口面积比、电流增益和噪声因子与扩口直径的关系

Table 1 The relationship of open area ratio, current gain and noise figure with funnel diameter of MCP as funnel depth is at $1 \mu\text{m}$

扩口直径	开口面积比	电流增益	噪声因子
8	0.576	3 652.608	3.472 697 529
8.1	0.590 49	3 744.493 92	3.387 469 828
8.2	0.605 16	3 837.521 28	3.305 341 703
8.3	0.620 01	3 931.690 08	3.226 164 648
8.4	0.635 04	4 027.000 32	3.149 798 948
8.5	0.650 25	4 123.452	3.076 113 057
8.6	0.665 64	4 221.045 12	3.004 983 036
8.7	0.681 21	4 319.779 68	2.936 292 029
8.8	0.696 96	4 419.655 68	2.869 929 784
8.9	0.712 89	4 520.673 12	2.805 792 206
9	0.729	4 622.832	2.743 780 957
9.1	0.745 29	4 726.132 32	2.683 803 069*
9.2	0.761 76	4 830.574 08	2.625 770 603
9.3	0.778 41	4 936.157 28	2.569 600 322
9.4	0.795 24	5 042.881 92	2.515 213 394
9.5	0.812 25	5 150.748	2.462 535 114
9.6	0.829 44	5 259.755 52	2.411 494 65
9.7	0.846 81	5 369.904 48	2.362 024 803
9.8	0.864 81	5 481.617 28	2.315 213 394
9.9	0.883 41	5 595.452	2.272 535 114
10	0.902 64	5 711.045 12	2.233 494 65

3 结论

由上文可见, 对孔径为 $8 \mu\text{m}$ 的 MCP 进行扩口, 当扩口深度为 $1 \mu\text{m}$, 扩口直径从 $8 \mu\text{m}$ 变化到 $9 \mu\text{m}$ 时, MCP 的开口面积从 58% 提高到 73% , 电流增益由 $3 652.6$ 提高到 $4 622.8$, 噪声因子由 3.5 下降到 2.7 。

扩口直径的最佳值约为 $9.78 \mu\text{m}$, 当扩口直径小于该值时, 电流增益会随扩口直径的减小而降低, 噪声因子会随扩口直径的减小而增大; 当扩口直径大于该值时, 电流增益和噪声因子与扩口直径无关, 等于扩口前的值。此时, 扩口是无效的, 阴极光电子打到漏斗壁后会反弹出通道进入相邻通道产生噪声。

参考文献:

[1] 傅文红, 常本康. 一种新型低噪声 MCP 的研究[J]. 南京理工大学学报, 2002, 26(1): 24-26.
 [2] 车晶, 李晓峰, 杨伟毅, 常本康. 微通道板电极表面的 XPS 分析[J]. 真空科学与技术, 1998, 18(4): 298-301.
 [3] 向世民, 倪国强. 光电子成像器件原理[M]. 北京: 国防工业出版社, 1999, 177-225.