

文章编号:1002-2082(2011)02-0296-04

降低微通道板输入面电极反射率的技术途径

刘术林^{1,2}, 匡 蕾³, 孙建宁⁴, 贾永前⁵, 智 强^{1,2}, 谭 宇⁶

(1. 北方夜视技术集团公司微光器件中心 西安分部, 陕西 西安 710065; 2. 微光夜视技术国防科技重点实验室, 陕西 西安 710065; 3. 江苏省安全生产科学研究院, 江苏 南京 210042; 4. 北方夜视技术集团公司微光器件中心南京分部, 江苏 南京 211100; 5. 中国人民解放军驻五二八厂军事代表室, 江苏 南京 211106; 6. 西安应用光学研究所, 陕西 西安 710065)

摘 要: 为了降低透明或半透明光电阴极的光子在微通道板输入面上引起的散射噪声, 通过对微通道板输入面蒸镀 Ni-Cr 电极后对反射率影响的定性分析以及镀膜方式、镀层厚度、电极深入通道内的深度和微通道板的开口面积比等测试分析, 在兼顾微通道板对输入电极其他要求的前提下, 获得了降低反射率的有效技术途径, 即: 采用电子束加热的蒸镀方式, 用表面电阻大小来间接表征膜层厚度, 使其控制在 $100\ \Omega$ 左右; 电极深入通道内的深度为通道直径的 35%; 微通道板的开口面积比尽可能大些, 可把反射率降低到 4% 以下, 以此降低微光像增强器的光子散射噪声。

关键词: 微通道板; Ni-Cr 电极薄膜; 反射率

中图分类号: TN223

文献标志码: A

Technical solution on reducing reflectance of MCP input surface electrode

LIU Shu-lin^{1,2}, KUANG Lei³, SUN Jian-ning⁴, JIA Yong-qian⁵, ZHI Qiang^{1,2}, TAN Yu⁶

(1. Xi'an Division, Center of Low-Light-Level Device, North Night Vision Technology Group Corporation, Xi'an 710065, China; 2. Key Laboratory of Low-Light-Level Technology of COSTIND, Xi'an 710065, China; 3. Jiangsu Academy of Safety Science and Technology, Nanjing 210042, China; 4. Nanjing Division, Center of Low-Light-Level device, North Night Vision Technology Group Corporation, Nanjing 210110, China; 5. Military Representative Office, No. 528 Factory, Nanjing 211106, China; 6. Xi'an Institute of Applied Optics, Xi'an 710065, China)

Abstract: To reduce scattered noise which results from photons reflected by transparent or semitransparent photocathode at input surface of microchannel plate (MCP), the qualitative analysis of its influence on reflectance of the MCP input surface electrode and the test investigation of electrode film coating, film thickness, electrode depth, and open area ratio of MCP were given. Based on the influence of MCP input electrode on other MCP parameters, a technical solution was obtained which adopted electron gun to heat Ni-Cr alloy for electrode film coating and implemented the control of film thickness by keeping a constant resistance of $100\ \Omega$, the electrode depth in channel accounted for 35% of channel diameter and the open area ratio of MCP was as larger as possible. Finally, the reflectivity of MCP input surface electrode is reduced to less than 4% and the photon scattered noise of image intensifier is decreased.

Key words: microchannel plate; Ni-Cr electrode film; reflectance

收稿日期: 2010-07-09; 修回日期: 2010-11-29

作者简介: 刘术林(1963—), 男, 河南光山县人, 硕士, 研究员, 主要从事微通道板及其应用和 ICCD 等方面的开发和工程化工作。E-mail: liushl08@yahoo.com.cn

引言

微通道板^[1-4](MCP)是一种真空电子倍增器件,它是由数以百万计的微小玻璃通道融合而成,其通道内表面充当了连续的电阻层和二次电子发射层,在其两个端面蒸镀电极后,在一定的真空条件(压强 $\leq 10^{-4}$ Pa)下,当在其两电极之间施加一电压(800V 或更高)时,就能对荷电离子(包括电子)进行倍增。由于其通道按逐行紧密排列,故能够实现二维荷电离子(包括电子)的倍增与成像,特别适用于微光像增强器等真空器件。在带有MCP的真空成像器件中,当阴极为透明或半透明光电阴极时,MCP把阴极转换过来的光电子图像进行倍增的同时,其输入面对从阴极透射的光子存在一定的反射,反射后的光子打到阴极的内表面,产生新的光电子,这些光电子在阴极和MCP输入面的电场作用下,进入MCP的通道内,产生附加噪声,被称之为光子散射噪声,即光子散射噪声是由于入射光的一部分透过光电阴极,通过MCP输入面反射回光电阴极,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通道并得到增强,最后在荧光屏上输出,形成噪声。为了最大限度地降低MCP输入面因光反射而导致的光子散射噪声,要求MCP输入面对光子的反射率尽可能小。由于组成MCP的玻璃材料是经高温氢还原后的铅铋硅酸盐玻璃,材料的组成及其生产工艺决定了蒸镀电极前的表面反射率,故研究电极薄膜蒸镀在MCP端面后的反射率性质,在不影响MCP对电极其他性能要求的前提下,尽可能降低其反射率。

MCP输入面对可见光波段的反射将引起光子散射,这种散射将对微光像增强器的附加噪声作贡献。通过改变电极的蒸镀方式、膜层厚度、电极穿透通道内的深度以及MCP的开口面积比等条件,分别测试其反射率的变化,从而获取降低反射率的最佳工艺技术途径^[5]。

1 影响反射率的可能因素及其测试分析

定性地讲,MCP经过氢还原后,整个板面发黑,而蒸镀电极后,黑而发亮,用高精度的反射率测量装置可以定量地测试出MCP蒸镀电极后,其对可见光波段的反射情况。影响反射率的主要因素有:1) MCP玻璃经高温氢还原后本身对光的反射特性;2) 镀膜材料及其镀膜工艺;3) 膜层厚度和致密度;4) 输入端电极穿透通道内的深度;5)

通道壁厚度及开口面积比。上述因素之一或多种发生变化都将导致输入面的反射率变化。

1.1 不同蒸镀方式导致反射率的变化

采用两种途径蒸镀电极:途径1用电子束加热靶材的方式在真空系统中蒸镀Ni-Cr电极;途径2用钨丝或钨舟通过电阻加热的方式蒸镀同一材料的电极。为便于比较,对国外某公司同种型号和规格的MCP进行测试分析,图1为不同蒸镀方式所获得的M25/6型MCP输入面反射率曲线图。由此图可知:在其他条件基本相同时,不同的蒸镀工艺导致反射率不同;电阻加热蒸镀金属或合金的电极薄膜,其致密性不同于电子枪加热靶材所蒸镀的电极薄膜,前者反射率比后者要高;而同种蒸镀方式如国外与途径1的差异,主要表现在两家MCP输入面反射率在短波(400 nm~500 nm)差别较大,这也许是双方工艺的细节不同造成的,或者是镀膜前MCP皮料玻璃的细微差异导致的。

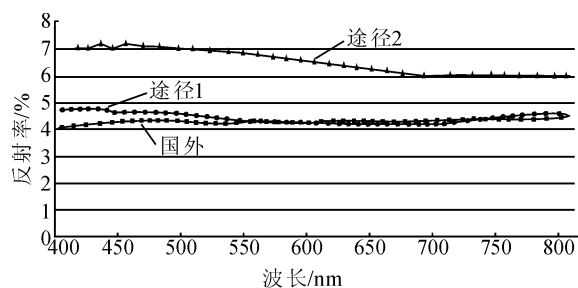


图1 对于同一型号和规格的MCP,不同制造商不同蒸镀方式的输入面反射率曲线

Fig. 1 Reflectivity curves of the same type MCP by different manufacturers with different coating methods

分析两种不同靶材加热方式导致膜层结构的变化,将会带来不同的结果。电阻加热靶材是利用大电流通过加热器时产生的焦耳热来直接加热汽化靶材,加热器的热容量和结构上的稳定性将影响温度的稳定性,进而影响蒸发速率的稳定性,而蒸发速率又直接影响靶材分子在MCP端面上的沉积速率,进而直接关系着晶核的多少和吸附分子表面迁徙充分与否,从而影响到晶粒的粗细和结构的致密性。电子束加热靶材则是通过能量高度集中的电子使靶材局部表面获得极高的温度,通过电参量的调节,便能准确方便地控制汽化温度,从而控制蒸发速率。后者获得的合金薄膜的膜层致密性优于前者,而金属薄膜越致密,则其对可见光谱的吸收就越强,反射率自然就降低。

1.2 膜层厚度对反射率的影响

考虑到膜层厚度很难准确测量,我们通过测量表面电阻表征。对于相同材料、工艺和规格

的 MCP,采用相同的靶材和镀膜方式,膜层越薄,表面面电阻越大。表 1 为采用电子枪加热靶材蒸镀于 M25/6 型 MCP 输入面的电极所获得的面电阻值,第二列则是从反射率曲线(图 2)中求得的平均值。从测量数据中可以看出,表面面电阻越小,膜层厚度越厚,反射率越小。

表 1 不同厚度的电极面电阻和反射率数据
Table 1 Data of surface resistances and reflectivity for different electrode thickness

板号	面电阻/ Ω	反射率平均值/%
MJ1112007-21	120	4.43
MJ1112007-28	500	5.37

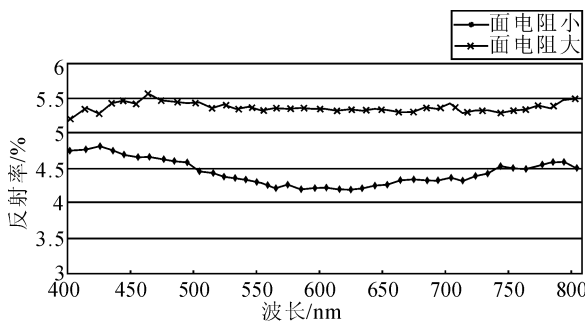


图 2 不同面电阻 MCP 反射率曲线图
Fig. 2 Reflectivity curve of different surface resistance of MCPs

1.3 输入电极穿透 MCP 通道内深度对反射率的影响

表 2 为不同波长测得的反射率随电极深度的变化关系,测试条件是 MCP 垂直入射光方向放置,而电极获得的条件是:调整 MCP 端面与靶材的相对位置和方向,用电子束加热的蒸镀方法,在同一批 M25/6 型 MCP 的输入端面上蒸镀 Ni-Cr 电极薄膜,使得电极材料穿透通道内的深度分别为 $0.5D$ 和 $0.35D$ (D 为通道直径)。从测量数据中可以看出,电极深度越浅,反射率越小。考虑到 MCP 玻璃经氢还原后,其表面的反射率很低,通过蒸镀 Ni-Cr 电极后将增加反射率,又由于 MCP 通道轴向与端面法向有一斜切角,即便是垂直入射到 MCP 端面的可见光,其光谱照在相对侧面的深度达 $D/\sin\theta$, θ 角一般在 5° ,光线进入通道内比较深,当电极材料穿透通道内的深度较浅时,则进入通道内的大部分入射光线将在未镀电极的 MCP 氢还原后的玻璃上反射,而只有少量光在电极薄膜层上反射,再考虑 MCP 的通道面积占总面积的 55% 以上,故电极材料穿透通道内的深度较浅,整体反射率就会降低。

表 2 不同电极穿透深度下反射率的数据
Table 2 Data of reflectivity different electrode depths

波长/nm	反射率/%		波长/nm	反射率/%		波长/nm	反射率/%	
	0.35D	0.5D		0.35D	0.5D		0.35D	0.5D
400	4.75	6.94	540	4.32	6.60	680	4.32	6.33
410	4.76	7.23	550	4.29	6.61	690	4.32	6.35
420	4.80	7.13	560	4.22	6.53	700	4.36	6.36
430	4.76	7.06	570	4.25	6.48	710	4.32	6.36
440	4.70	7.06	580	4.20	6.42	720	4.38	6.38
450	4.65	7.08	590	4.21	6.39	730	4.42	6.40
460	4.65	7.00	600	4.22	6.35	740	4.52	6.37
470	4.63	7.01	610	4.20	6.31	750	4.49	6.47
480	4.60	6.99	620	4.20	6.30	760	4.48	6.59
490	4.57	6.93	630	4.21	6.22	770	4.52	6.67
500	4.46	6.83	640	4.24	6.31	780	4.58	6.61
510	4.43	6.78	650	4.25	6.27	790	4.60	6.66
520	4.38	6.72	660	4.31	6.31	800	4.50	6.70
530	4.35	6.74	670	4.33	6.35	平均值	4.49	6.80

1.4 MCP 开口面积比对反射率的贡献

MCP 开口面积比是指 MCP 所有通道敞开面积的总和与其有效区面积的比值,它与通道的排列方式和通道壁厚等有关,可以想象:MCP 开口面积比越小,在其他条件不变的条件下,其反射率越大,测试结果完全证实了这一结论。表 3 和图 3 的数据充分说明了开口面积比对反射率的影响。

表 3 开口面积比的变化导致反射率的数据变化

Table 3 Data of reflectivity with different MCP open area ratios

板号	开口面积比/%	反射率平均值
MJ1112007-21	62	4.43
MJ2063013-11	65	3.59

从测量数中可以看出:开口面积比越大,通道壁厚度越小,反射率越小。

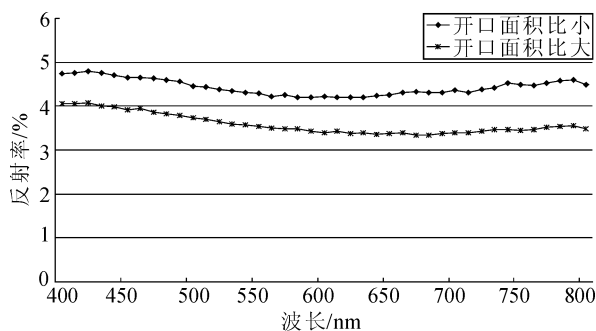


图 3 不同开口面积比 MCP 反射率曲线图

Fig. 3 Reflectivity curves of different open area ratios

2 结果与讨论

由上述定性分析和定量测试可以看出,对于 Ni-Cr 电极薄膜,采用电子束加热蒸镀方法是比较合适的,其反射率为 4%~5%,比电阻加热的方式小 1%~2%;在其他条件相同的情况下,电极薄膜尽量蒸镀厚一些,这样不仅可以降低表面电阻,而且可以降低端面的反射率;电极穿透通道内的深度越浅,其反射率也就越小;微通道板开口面积比越大,则相同条件下,蒸镀电极后的反射率减小。

综合考虑 MCP 的性能与蒸镀电极的其他要求,诸如电极的牢固性、导电性、在整个端面上的均匀性、一致性以及在通道内的径向和轴向上的一致性,再加上工艺的可实施性和可重复性,我们务必

把降低反射率与上述性能综合考虑,或根据实际使用情况适当突出某些指标。据此,我们认为:采用电子束加热的蒸镀方法可取;鉴于微通道板输入面的面电阻由于电性能的要求,一般控制在 100 Ω 左右,膜层厚度可适当增厚,但调整范围不大;输入端电极深度减小,有利于增益的改善和反射率的降低,可以通过对镀膜工装的调整来实现,但需要注意在镀膜过程中的膜层均匀性问题,由于需要调节输入端角度,如果角度过大,膜层将很不均匀,所以不可能把输入深度降得很低,目前只能降到 0.35 D 左右;MCP 的开口面积比的提高,不仅可以改善微通道板的探测效率,进而提高器件的信噪比,而且可以减小反射率,进一步降低光子散射噪声,但通道壁减薄后,则要考虑其强度和成品率。实践证明:通过减薄皮料玻璃管的办法,开口面积比最大能够做到 70%,而扩口工艺可以做到 80%甚至 90%,但工艺技术难度较大,一致性差。

参考文献:

- [1] GOODRICH G W, WILEY W C. Continuous channel electron multiplier [J]. Rev. sci. Instrument, 1962, 33 (2):761-765
- [2] MORROW W B, RENNIE J Jr, Merkey W. Development and manufacture of the microchannel plate (MCP) [R]. AD-A195556, 1988-07-25,
- [3] 刘术林,邓广绪,苏德坦,等,低噪声、高增益微通道板的研制[J],应用光学,2006,27(6):553-557.
LIU Shu-lin, DENG Guang-xu, SU De-tan, et al. Development of low noise, high gain microchannel plate [J]. Journal of Applied Optics, 2006, 27(6): 553-557. (in Chinese with an English abstract)
- [4] 向世明,倪国强. 光电子成像器件原理[M]. 北京:国防工业出版社,1999.
XIANG Shi-ming, NI Guo-qiang. The principle of photoelectronic imaging devices [M]. Beijing: National Defense Industry Press, 1999. (in Chinese)
- [5] 孙建宁. 小孔径微通道板电极性能研究[D]. 南京:南京理工大学,2008.
SUN Jian-ning. Research on the electrode performance of small pore microchannel plate [D]. Nanjing: Nanjing University of Science and Technology Press, 2008. (in Chinese)