

文章编号: 1002-2082(2007)02-0121-04

# 半导体玻璃微通道板的研制

易家良<sup>1</sup>, 牛丽红<sup>2</sup>, 阔晓梅<sup>2</sup>, 周军兰<sup>2</sup>

(1. 上海光光纤工程咨询公司, 上海 210018; 2. 深圳大学 光电子学研究所, 深圳 518060)

**摘要:** 介绍了半导体玻璃微通道板的主要性能, 并与传统铅硅酸盐玻璃的相关性能进行了比较。阐述了半导体玻璃的研制工艺, 研究了利用半导体玻璃材料制备微通道板的工艺途径, 开发了靠玻璃本身电导性质而无需氢还原工艺的微通道板, 即半导体玻璃微通道板。研制出孔径为 20  $\mu\text{m}$ 、外径为 12 mm 的半导体玻璃微通道板, 实验利用紫外光电法测试了微通道板的增益、闪烁噪声和成像性能。结果表明新型微通道板具有明显的电子增益和低的闪烁噪声, 并且通道表面稳定; 利用磷硅酸盐玻璃材料可以实现体导电微通道板的制备。

**关键词:** 微通道板; 半导体玻璃; 电子倍增管

中图分类号: TN223

文献标志码: A

## Development of semiconductor glass microchannel plates

Jay J. L. Yi, NIU Li-hong, KUO Xiao-mei, ZHOU Jun-lan

(1. Shanghai Photonic Fiber Engineering Ltd, Shanghai 210018, China;

2. Institute of Optoelectronics, Shenzhen University, Shenzhen 518060, China)

**Abstract:** The properties of the semiconductor glass microchannel plates (MCPs) are described and compared with traditional glass MCPs. The preparation technique is presented in detail. Moreover, the approach for developing microchannel plates made of semiconductor glass is investigated. The semiconductor glass microchannel plates, whose aperture is 20  $\mu\text{m}$  and the external diameter is 12 mm, were fabricated. The gain, scintillation noise and imaging properties of MCP samples were tested with UV optoelectronic system. The experimental results show that the semiconductor microchannel plates can be fabricated with semiconductor glass materials.

**Key words:** microchannel plate; semiconductor glass; electron multiplier

## 引言

微通道板(MCP)是一种二维连续电子倍增电真空器件, 由许多具有连续电子倍增能力的微通道按一定的几何图案排列而成。当在其输入、输出两端加上一定的电场时, 就能对极其微弱的二维电子图像进行倍增或放大。由于微通道板本身对大多数荷电粒子、部分高能粒子和短波光(紫外线、X射线等)具有一定的量子探测效率, 故可以直接用来

探测。因而微通道板在微光夜视、航空航天探测、核探测及大型科学仪器领域有着广泛的应用<sup>[1]</sup>。

自 1958 年 Dalton 申请制造 CGW8161 玻璃专利以来的 20 年间, 标准玻璃微通道板制造工艺获得了飞速发展, 并在美、英、法、荷、前苏联等国的许多公司形成批量生产。然而, 传统的铅硅酸盐玻璃 MCP 由于材料组成与工艺的限制, 其电子增益、噪声、动态范围、信噪比、寿命等性能很难同时得到很

收稿日期: 2007-02-01; 修回日期: 2007-02-05

项目资助: 深圳市科技计划资助项目(项目编号: 200449)

作者简介: 易家良(1933—), 男, 湖南长沙人, 材料科学博士, 华东理工大学客座教授, 退休以前在美国 ACMI 公司任职, 高级材料科学家, 主要从事特种玻璃材料和光纤产品的研究开发工作。E-mail: jly85128@msn.com

好改善,特别困扰人的是离子反馈很难克服。从各大科研机构、高校,特别是部队装备方面反馈的信息看,现有MCP的性能很大程度上限制了其应用,特别是在空间探测、微光夜视、弱信号增强等领域,对高性能MCP的需求更加急迫<sup>[2-3]</sup>。

为了提高MCP的性能,实现低噪声、长寿命、高输出、无离子反馈等高性能MCP,很多研究机构从不同方面对MCP的性能改进提出了要求。20世纪90年代初,美国Galileo电子-光学公司J. R. Horton等人提出采用单晶硅材料,利用先进的半导体器件制造工艺和微米/纳米加工技术研制硅微通道板的设想。与传统工艺相比,新工艺可将基底材料与打拿极材料、微孔阵列与连续打拿极工艺分开,解决传统玻璃MCP多纤维拉制和氢还原处理相互牵制的矛盾<sup>[4]</sup>。但由于硅微通道板的制作难度大,无论是采用定向离子刻蚀技术还是采用电化学方法刻蚀,目前都仅限于实验室研制阶段,其性能和制作工艺还有待进一步改进。

考虑到现行铅硅酸盐玻璃制造出的微通道板需要进行氢还原处理,以形成利于持续二次电子发射的半导体层和发射层。而氢还原工艺本身使得微通道板含有氢气、烷、水(气)等气体,即使经高温烘烤和比较严格的电子清刷后,这些气体在微通道板工作一定时间后,还将会慢慢地释放气体,导致离子反馈,使器件的信噪比和寿命降低。为此,美国有关研究部门将制造微通道板的玻璃改为像磷酸盐玻璃那样本身就有一定的导电性,无需增加氢还原工艺,解决了上述铅硅酸盐玻璃所带来的缺陷<sup>[5]</sup>。开发了靠玻璃本身电导性质而无需氢还原工艺的微通道板及其制造工艺,即半导体玻璃微通道板。这种微通道板因采用了体电阻导电材料,故增大了通道板工作的动态范围。由于无需进行氢还原处理,因此通道板的寿命、信噪比和性能稳定性都将得到改善。这种微通道板已成为今后微通道板发展的一个方向,将有可能代替现行铅硅酸盐玻璃制作的微通道板。

### 1 半导体玻璃材料制备微通道板

不同于传统的硅酸盐玻璃材料,磷酸盐玻璃材料电阻率为 $(10\sim 10^6)\text{M}\Omega\cdot\text{cm}$ ,因此具备体导电功能。同半导体材料一样,体导电的磷酸盐玻璃随着温度的升高导电率亦增加。

为了制造半导体玻璃MCP,先尝试选择诸如硅等多种半导体材料,但这些半导体材料均被淘汰。而磷酸盐玻璃最终成为试制MCP的最有希望的材料,因为磷酸盐玻璃具有更均匀的成分,经氢焙烧后,磷酸盐玻璃表面所含的氢要比经类似处理的传统MCP玻璃表面所含的氢少得多。采用卢瑟福反向散射光谱学(RBS)、粒子诱导x射线发射分析(PIXE)和弹性反冲探测(ERD)等方法测得其氢含量仅占原子比的千分之几,而传统MCP玻璃材料所含的氢在 $1\mu\text{m}$ 的深度处仍比磷酸盐玻璃高一个数量级。

鉴于磷酸盐玻璃的化学和物理性质与传统的MCP玻璃有很大差别,为此开发出了新的拉制磷酸盐玻璃工艺。但由于磷酸盐玻璃不要求氢焙烧,因而去除了由于氢还原工艺导致的微通道板性能问题。该实验采用双坩埚工艺制造微通道板同轴单丝,然后依次进行复丝、压屏和酸溶工序,见图1所示。磷酸盐玻璃熔制曲线如图2所示。

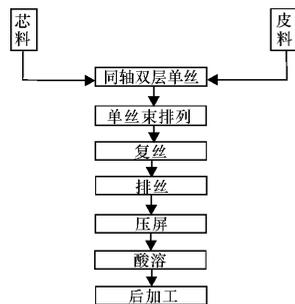


图1 磷酸盐玻璃MCP制作工艺流程图

Fig. 1 Process flow diagram of phosphate glass MCP

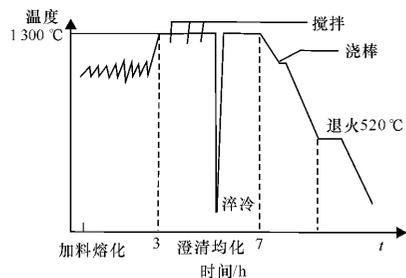


图2 磷酸盐玻璃熔炼、浇棒、退火工艺曲线

Fig. 2 Technical curve of melting, moulding and annealing for phosphate glass rod

采用上述工艺研制出了通道直径 $20\mu\text{m}$ 的磷酸盐玻璃MCP。图3是显微镜下MCP的照片。图

4 是传统工艺制作的MCP。显然,磷酸盐玻璃微通道的不均匀性及瑕疵不如较成熟传统工艺制作的MCP,仍需要进一步完善制作工艺。

## 2 半导体玻璃微通道板的性能测试

分别在MCP的输入面和输出面蒸镀NiCr合金电极,使MCP有外加电压时微通道内形成电场,从而使入射的粒子能够在通道的出口以二次电子的形式出射。实验测试的微通道板样片直径12 mm,通道直径20 μm。

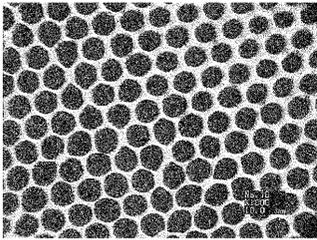


图3 显微镜下磷酸盐玻璃MCP

Fig. 3 The micrograph of phosphate glass MCP

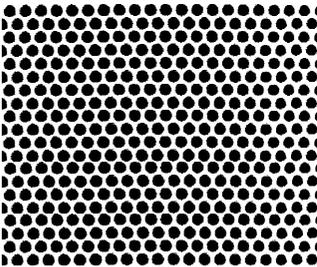


图4 传统工艺制作的MCP

Fig. 4 The MCP made with traditional way

电子增益是反映MCP电子倍增性能的重要参量。微通道板电子增益定义为

$$G = \frac{I_{out}}{I_{in}} \quad (1)$$

式中:  $I_{out}$  为微通道板的输出电流;  $I_{in}$  为微通道板的输入电流。

图5为真空测试系统,它采用紫外光电法测试微通道板的增益。图6是紫外光电法测试原理示意图,实验将硅微通道板置于真空度约  $5 \times 10^{-4}$  Pa 的真空室内,前部装有Au薄膜光电阴极,后部装有金属阳极作为电子收集极,MCP的输入和输出回路均用微电流检流计测量电流值。工作时,265 nm的紫外光经透镜聚焦后入射到光电阴极,

光电阴极发射的光电子经MCP电子倍增后,由阳极收集,因此,由检流计A1和A2所指示的电流变化量即可计算出MCP的电子增益。步进电机驱动系统中的微调装置通过移动光源测量MCP上的各点,检测增益均匀性。

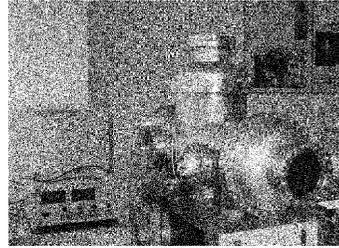
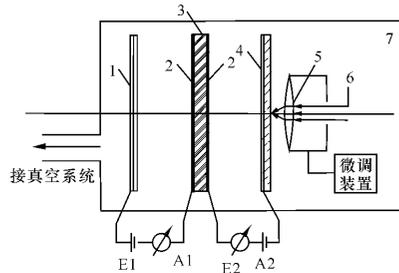


图5 真空测试系统

Fig. 5 Vacuum testing system



1—收集极; 2—金属电极; 3—MCP; 4—Au 阴极; 5—UV 透镜; 6—UV 光源; 7—真空室

图6 测试微通道板增益和增益均匀性原理图

Fig. 6 Principle diagram of testing MCP gain and gain uniformity

实验分别测试了不同工作电压下微通道板的增益,测得的6组MCP的电子增益值见表1所示。

表1 实验测得的微通道板增益值

Table 1 The phosphate glass MCP gain obtained in experiment

电压/V	500	600	800	1 000	1 200	1 400
增益	17	86	700	3 750	8 200	12 400

MCP的一个重要参数是传导电流,即在MCP的输入和输出表面之间沿微通道壁流动的电流。由于在相同电压下,微通道板未饱和时,其输出的电流是传导电流的5%左右,传导电流大,其输出的电流大,意味着相同增益下的输入电流大,因而动态范围的上限高,即较高的传导电流将线性增益区域延伸至更高输出电流处。实验发现,当MCP的工作电压加至1 400 V时,电子增益没有出现明显的饱

和现象。可见体电阻导电材料的MCP的传导电子不仅限于通道表面,因此可实现较高的传导电流。此外,实验通过微调装置移动光源,分别测量不同入射位置时MCP的增益值,发现增益均匀性与传统MCP没有明显差异。实验还对闪烁噪声做了定性观测。在测试台上,不断降低微通道板的输入电流,直到输入电流为零,逐渐增加微通道板的电压,在暗室用30倍显微镜观察闪烁。实验发现:标准微通道板在电压高于700V时,闪烁噪声清晰可见,但磷酸盐玻璃MCP的闪烁噪声在电压低于1000V时,人眼观测不到闪烁噪声。

图7是磷酸盐玻璃MCP用于近贴成像的情形,荧光屏中间的圆形亮区域是经磷酸盐玻璃MCP电子倍增后输出的图像,成像系统空间分辨率为13 lp/mm。

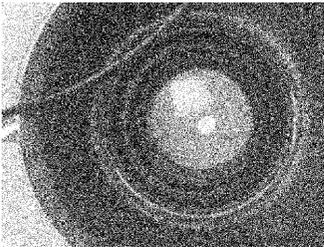


图7 磷酸盐玻璃MCP用于近贴成像

Fig. 7 The phosphate glass MCP used in proximate imaging

### 3 结论

1) 利用磷酸盐玻璃的体导电特性,在制造微通道板时,无需氢还原处理即可实现通道内连续稳定的二次电子倍增,实验结果证明磷酸盐玻璃MCP是体导电型,并且表面稳定,与内部性能一致。

2) 尽管初步试验所得结果尚不够理想(孔径大,结构缺陷多),但这种微通道板的闪烁噪声小,电子增益稳定。这表明:半导体玻璃微通道板放气量少、离子反馈小、寿命长。这些结论与理论预测一致。可见,采用磷酸盐玻璃工艺制作实用微通道板

是可行的。

总之,通过对半导体玻璃微通道板的设计、制作和测试,探索了研制半导体玻璃微通道板新的技术途径,开发了实用半导体玻璃MCP。由实验测试结果与传统微通道板的测试结果相比可见,采用磷酸盐玻璃MCP具有低离子反馈和高信噪比。尽管现有的制作工艺还有待进一步完善,仍需改进的工作包括:优化MCP长-径比;优化制作工艺参数并制作更小通道孔径更高增益的半导体玻璃微通道板等。但是,半导体玻璃MCP的研发有着重要的实用意义,代表着21世纪微通道板(MCP)制造技术新的发展趋势<sup>[6]</sup>。

致谢 感谢上海欧泰科技公司陆忠良教授对本工作所提供的支持和帮助。

#### 参考文献:

- [1] LAPRADE B N. Advancement in microchannel plate technology[J]. SPIE, 1992,1655:150-178.
- [2] 刘术林,邓广绪,张继胜,等.微通道板及其发展趋势[J].应用光学,2003,24(增刊):61-64.  
LIU Shu-ling, DENG Guang-xu, ZHANG Ji-sheng, et al. Microchannel plate and its development trend [J]. Journal of Applied Optics, 2003, 24(Sup): 61-64. (in Chinese)
- [3] 潘京生.微通道板及其主要特征性能[J].应用光学,2004,25(5):25-29.  
PAN Jing-sheng. Microchannel plates and its main characteristics [J]. Journal of Applied Optics 2004 25(5):25-29. (in Chinese)
- [4] Qingduo Duanmu, Jingquan T. Preparation and Performance of Si microchannel plate[J]. SPIE, 2001, 4601:284-287.
- [5] JOSEPH P E, BENDER E J. Long lifetime generation IV image intensifiers with unfilmed microchannel plate[J]. SPIE, 2000,4128:46-53.
- [6] TIMOTHY W, SINOR E J, Bender. New Frontier in 21 century microchannel plate technology: bulk conductive MCP based image intensifier [J]. SPIE, 2000, 4128:5-13.