

# 用气熔压工艺改善 $6\ \mu\text{m}$ MCP 的空间结构和视场清晰度

刘术林, 邓广绪, 毛加明

(北方夜视技术股份有限公司 西安分公司 陕西 西安 710100)

**摘要:** 高分辨率微光像增强器对微通道板(MCP)的孔径、空间结构和视场清晰度有着极为严格的技术要求。我们在引进的气熔压设备上,通过对压力、温度、保温保压时间等相互制约的工艺参数进行大量实验,已探索出孔径为  $6\ \mu\text{m}$ 、孔间距为  $8\ \mu\text{m}$  的MCP的最佳工艺,即第一平台温度为  $500\ \text{C}$  左右、熔压温度为  $560\sim 590\ \text{C}$ 、压力为  $0.5\sim 0.9\ \text{Mpa}$ 、保温保压时间为  $60\ \text{min}$  左右。在光学显微镜和扫描电子显微镜下观察我们制作的MCP,发现复丝排列规整、边界相邻的两排单丝变形较小且排列有序、复丝顶角无畸变(即无扭曲、梅花丝、孔洞、错位)。与 Photonis 公司同种型号的MCP相比,我们制作的MCP的梅花丝少  $1/3$  左右。在标准输入下,我们的MCP增益比较高,增益均匀性有所改善,固定图像噪声在  $0\sim 1$  级,视场清晰度得到了较大程度的提高。

**关键词:** 微通道板;气熔压;畸变;视场清晰度

中图分类号: TN223

文献标识码: A

## Improvement of Space Construction and FOV Definition of MCP with Small Aperture by Gas Sinter Technology

LIU Shu-lin, DENG Guang-xu, MAO Jia-ming

(Xi'an Branch, North Night Vision Technology Co. Ltd, Xi'an 710100, China)

**Abstract:** Image intensifiers with high resolution are strict with the pore, space construction and FOV definition of microchannel plate (MCP) with a large number of experiments, we extended progress in the MCP making technique and then fabricated some MCPs whose pores are  $6\ \mu\text{m}$  and pitches are  $8\ \mu\text{m}$ . Comparing our MCPs with the MCPs delivered by Photonis Company, we found the rosettes in our MCPs are less than the ones in theirs. In the case of standard input ( $10^{-11}\ \text{A}/\text{cm}^2$ ), the gain of MCP is high, the uniformity of gain is improved, the fixed-pattern noise is in the level of  $0\sim 1$ , the definition of FOV is high.

**Keywords:** MCP; gas sinter; distortion; definition of FOV

### 引言

降低微光像增强器的噪声,提高它在更为黑暗的条件下的识别、观察距离(也叫视距)和分辨率一直是微光夜视技术的奋斗目标。微通道板(MCP)是微光像增强器的二维光电子放大成像元件,其空间结构、增益、噪声性能等参数将直接影响整个系统的视距、分辨率和视场清晰度。超二代、高性能三代微光像增强器的迅速发展对MCP的孔径、孔间

距以及总体性能指标提出了更为严格的技术要求。北方夜视技术股份有限公司西安分公司经过一年来的努力,已探索出  $6\ \mu\text{m}$  MCP 气熔压的关键工艺技术。

熔压(有时也称烧结或热压)是MCP制造过程中的一道关键工序。通过熔压,使数千根截面为正六角形的复丝有序地粘接在一起,形成二维复丝阵列。试验表明,熔压工艺对MCP的空间结构和视场

清晰度有着极其显著的影响。就实施熔压工艺而言,传统上多采用机械熔压,目前国内同行基本上还沿用它,而比较先进的气熔压工艺我们才刚刚起步。

事实上,在用气熔压工艺熔压MCP方面,我们只是了解到近年来国外在普遍采用,但很难找到该工艺技术的详细资料,甚至连一些简单描述性的报道也难以找到。尽管我们从俄罗斯引进了一套气熔压设备,但对方仅仅是制造设备公司,对气熔压MCP具体采取何种工艺技术则概不涉及,加之该设备的可靠性差、故障率高等因素,要在短时间内解决从设备到工艺等一系列技术问题还有一定的难度。但是,我们首先消化吸收俄方设备的原理、功能、组成及软件设计等技术资料,重新整理出一套便于理解和操作的技术资料;其次,在设备软件上找出需要更改的程序,使之能正确实施我方设计的工艺;再次,参考目前比较成熟的机械熔压工艺进行大胆的试验探索。到2002年5月,我们熔压的2002-71、2002-73、2002-75段MCP,综合成品率达40%左右,电性能指标(主要是电阻、增益等参数)、视场清晰度(主要是增益的均匀性、斑点、网络、闪烁等技术参数)均达到 $6\ \mu\text{m}$  MCP设计技术要求。后来,我们加强了排屏和气熔压工艺的联合攻关力度,基本上解决了 $6\ \mu\text{m}$  MCP的空间结构缺陷,使微通道板的复丝顶角畸变、变形等问题得到了彻底解决。特别是复丝顶角梅花丝数量比Photonis公司的同种型号的MCP少1/3左右。

## 1 设备的工作原理、组成及工艺技术条件

将装有MCP复丝阵列的玻璃管(也叫玻壳)用特种玻璃纤维布与芯轴密封后,安装到如图1所示的加热炉中;以 $3\sim 5\ \text{C}/\text{min}$ 的加热速率加热第一个平台温度 $T_1$ ,随后将玻壳与芯轴连接区域升温至玻壳的软化状态( $T_2$ ),保温一定时间( $\tau$ );抽玻壳内的气体直至达到 $19\sim 30\ \text{Pa}$ ,此时其它温区仍处于保温状态,然后降低封接处的温度至 $T_3$ ,维持该温度不变;以 $0.010\sim 0.015\ \text{MPa}/\text{min}$ 的充气速率将腔体压力充至设定压力 $P_{\text{max}}$ 后,将待熔压区的温度升到设定熔压温度 $T_4$ ,保温保压时间设定为 $t$ ,再将整个温区以某一温度梯度降至 $T_5$ 后保温、卸压;卸压后根据实际退火情况,以另一个温度梯度降温至

$T_6$ ,保温一段时间后关机,即完成一个熔压周期。

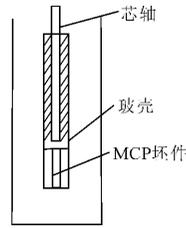


图1 气熔压原理图

Fig. 1 Scheme of gas sinter

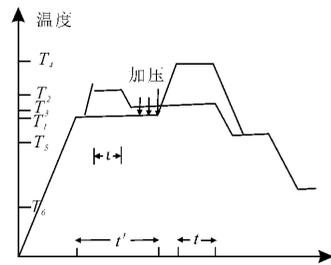


图2 气熔压工艺设计程序图

Fig. 2 Design program of gas sinter technique

为了实施上述工艺技术,该设备的主要组成为:熔压腔体,充、卸压系统,真空系统,加热及水冷系统,机械提升系统,控制系统和必须的装夹。该设备的软硬件提供了如下工艺技术保证:

- (1) 第一平台温度 $T_1$ 及所有温区升温速率;
- (2) 封接温度 $T_2$ 、保温时间及降温温度 $T_3$ ;
- (3) 充、卸压速率,时间间隔及最大压力 $P_{\text{max}}$ (不超过 $1.0\ \text{MPa}$ );
- (4) 熔压温度 $T_4$ 及保温保压时间 $\tau$ ;
- (5) 退火温度梯度及退火温度平台 $T_5$ 、 $T_6$ 。

所有试验必须建立在上述工艺技术手段的基础上,才能确定最佳工艺技术条件。

## 2 工艺技术试验及相关结果

### 2.1 真空密封及退火的工艺技术途径

为了确保试验顺利进行,首先必须保证玻璃管能与心轴实现真空密封;其次,确保退火工艺合理有效,以保证压板后MCP坏件不炸裂(与MCP材料的匹配性及退火工艺有关)。为此, $T_2$ 及保温时间 $\tau$ 是试验能否继续进行下去的先决条件,所以退火温度平台 $T_5$ 和 $T_6$ 、退火速率以及在平台温度下

的保温时间是压板后 MCP 坯件不炸裂的重要条件保证。我们结合 MCP 的皮芯料、实体边的皮芯料以及玻壳材料的热物理性能参数,确定封管的工艺技术参数下限和退火工艺上限。若  $T_2$  过高或  $\tau$  较长或  $T_3$  与  $T_1$ 、 $T_2$  的差距不合适,虽然能够实现真空密封,但热传导及辐射特性在熔压过程中对 MCP 的复丝阵列有一定的影响,特别是 MCP 经制板后网格或网络较重。我们经过试验,找到了封管的工艺

技术参数的上限。退火工艺既要兼顾 MCP 不炸裂、暗电流小,又要保证工艺时间不能过长,即尽可能缩短工艺周期,由此确定退火工艺参数的下限。主要参数如表 1 所示。表 1 中(P#为皮料管、实体边皮料管及玻壳的总称)的工艺参数主要针对壁厚为 3.3~4.2 mm 范围的玻壳。若玻壳较薄,如壁厚在 1.8~2.3 mm 范围,则封管温度  $T_2$  可适当降低 2~4 C,其它条件基本不变。

表 1 MCP 封接及退火工艺技术参数

Table 1 Technological parameters of MCP sealing and annealing

MCP 材料结构			封接工艺技术参数			退火工艺技术参数				
P#	芯	边芯	$T_2$ (C)	$\tau$ (min)	$T_3$ (C)	$T_5$ (C)	时间 (min)	$T_6$ (C)	时间 (min)	降温速率 (min)
二代皮管	X-4	5#	570~585	45~60	560	430~440	40~50	300~320	10~20	2~3.3
	X-5	5#	575~590	50~70	570	440~470	60~70	310~340	20~40	2~3.0

2.2 第一平台温度及保温时间的合理设计

应在压力达到  $P_{max}$  时,装有 MCP 的玻壳基本上处于刚性状态,玻壳内的单复丝皮芯料的扩散尽可能小的情况下设计第一平台温度及保温时间最合理。同时,还要使 MCP 所在区域的温度与封口处有一个合理的温度梯度,否则,相邻区域的实际温度与设计温度相差太大会造成两者交界处(基本上是 MCP 的上端)温度分布不均匀。而保温时间  $t'$  必须满足  $T_1$  到  $T_2$  的时间、 $T_2$  的保温时间  $\tau$ (含抽真空时间)、降温到  $T_3$  和在该温度下的保温时间以及加压到设定压力  $P_{max}$  的时间。整个过程应保证真空密封和加压的实施。实施上述工艺过程一般最少需 75 min,最长可达 150 min。试验结果表明,若  $T_2$  过高或  $t'$  过长,都可能导致 MCP 的网络变得严重,电性能不合适。根据我们的试验结果,对于 6 μm 二代 MCP,若芯料为 X-4,一般  $T_1$  选取 480~500 C,对于 X-5 芯料,则为 490~510 C,时间  $t'$  一般取 75~100 min。

2.3 熔压温度、保压时间、最大压力及加压工艺技术的最佳途径

上述参数是熔压出合格 MCP 的重要技术参数,必须合理选取才能达到最佳效果。首先综合考虑上述参数对 MCP 的空间结构、电性能及视场清晰度的影响,也就是说,MCP 的空间结构、电性能及视场清晰度是熔压温度  $T_4$ 、保温保压时间  $t$ 、最大压力  $P_{max}$  以及加压工艺的复杂函数。因此,必须确

定合适的熔压温度。若温度过低,不管加多大的压力,也不管保温保压时间多长,MCP 复丝顶角都有较大的三角孔,顶角扭曲严重,制板后电阻偏高,视场则表现为满板黑点;若温度过高,则网格严重,容易出现大量的梅花丝,复丝边界相邻两排单丝往往变成半圆形。实验表明,对于 6 μm MCP,若芯料为 X-4,熔压温度设定在 560~580 C,而对于 X-5 芯料,则为 570~590 C。保温保压时间能保证熔压温度下外界所加压力可逐步达到 MCP 中心。在此过程中,要有一定时间确保复丝边界间及顶角间相互蠕动,以达到复丝边界凸凹正好吻合,使整个屏在各个点温度最终达到热平衡,进而使 MCP 的物理、化学性能均匀,成像区各通道增益一致。若时间太短,即使压力大、温度高,MCP 仍有许多三角孔,且复丝边界呈现许多凸-凸相对,造成空间结构不好,难以保证成像质量;若时间过长,则网格严重。保温保压时间一般选取 50~70 min。最后再来讨论压力对熔压结果的影响。压力因素有最大压力  $P_{max}$ 、每次加压的大小及时间间隔、加压时机。我们曾在第一平台末期,第一平台到第二平台的升温过程中(当然兼顾第一平台或兼顾第二平台)熔压温度保温时间内的某一特定时间段内进行了加压时机选择试验。试验结果表明:若加压选择在熔压温度区域,则 MCP 的梅花丝较多,若加压选择在升温过程中,则工艺过程的一致性难以保证;因此,加压时机选择在第一平台的末期比较合适。至于最大压力

值,一般选取 0.5~0.9 Mpa。若过小,则往往难以压紧,使MCP在还原过程中容易变形。在压力较小情况下,将熔压温度提高或延长保温保压时间也能达到压紧的目的,但经制板后的MCP网格严重,电阻和增益往往很难同时达到要求。压力过大也未见有什么好处,故选定最大压力为0.9 Mpa。对于每

次充压大小和时间间隔,我们做过许多试验,认为每次充压在 0.010~0.015 Mpa,每分钟 2~3 次,每分钟充到 0.03 MPa,在 30 min 之内充至 0.9 Mpa 即可。

综上所述,我们将 6 μm MCP 的熔压参数列于表 2。

表 2 6 μm MCP 熔压参数

Table 2 6 μm MCP of sinter parameter

MCP 材料结构			熔压工艺参数			
P#	芯	边芯	加压时机	熔压温度(℃)	最大压力(MPa)	保温保压时间(min)
二代	X-4	5#	第一平台末期	460~580	0.5~0.9	50~65
二代	X-5	5#	同上	570~590	0.7~0.9	55~70

### 3 结论

我们通过一年来的反复试验,熔压出一批性能指标完全合格的 6 μm MCP。无论显微结构还是视场清晰度,其质量完全能够达到设计要求。当然,我们研制的 6 μm MCP 的均匀性和黑点一直是制约成品率的瓶颈,通过分析发现导致成品率低的主要原因是拉丝机精度不够,玻璃棒有缺陷以及后序制板工艺某些环节存在问题。将我们研制的MCP与 Photonis 公司的同种型号 MCP 进行比较,就显微结构而言,我们的MCP的梅花丝数量要比他们少 1/3 左右;从成像质量来看,我们的MCP网格为 0~1 级,而 Photonis 公司的MCP网格在 1~2 级(综合比较)。现将测试结果列于表 3。

致谢:首先感谢公司总部给予西安分公司参与研制 6 μm MCP 的机会,感谢南京分公司在材料、工艺特别是测试比较等方面给予的大力支持和帮助,感谢西安分公司全体员工在工艺流通过程中的积极参与,特别感谢曾国富、张

表 3 6 μm MCP 测试结果

Table 3 Test result of 6 μm MCP

板号	电阻(MΩ) (500V)	增益 (800V)	均匀性	结构	固定图案噪声	综合评价
200212-13	87	13537	900√	OK	1 级	合格
200313-06	117	18346	900√	OK	1 级	合格
200260-07	216	16667	900√	OK	1 级	合格
200273-11	80	14333	950√	OK	0 级	合格
200275-38	82	15800	1000√	OK	0 级	合格
200277-28	117	14667	950√	OK	0 级	合格

志成、李军国、严诚等同志在排板工艺、过程记录、设备维护和后行工艺研究等方面给予的大力支持。

### 参考文献:

- [1] J F Pearson, A N Brunton, *et al.* Characteristics of Photonis 6 μm pore microchannel plates[J]. SPIE, 2000, 4140: 217-228.

(上接第 21 页)

- [2] R M A 阿查姆, N M 巴夏拉. 椭圆偏振测量术和偏振光[M]. 北京: 科学出版社, 1986.
- [3] A 亚里夫, P 叶. 晶体中的光波[M]. 北京: 科学出版

社, 1991.

- [4] 杨在富, 袁晓东, 张斌, 金世龙. 四频差动激光陀螺中的 S-P 各项异性效应[J]. 光学学报, 1998, 18(9): 1255-1260.