

光纤面板与 微通道板的应用

光纤板、微通道板中试车间外景



贵州省图书馆

建材研究院 技术情报中心
玻璃纤维研究所

前 言

光学纤维面板（简称光纤面板）及微通道板（简称MCP）是制做各种像增强器的关键元件之一。这类增强器能在微弱的夜光下将图像亮度增强几万到十几万倍以实现夜间远距离观察目标，为部队夜战、海防、边疆和公安部门提供现代化的重要侦察和监视手段，也是医疗、高速印刷记录、天文观测、科学研究、光电子工业等多种领域中获得广泛应用的重要元器件。

光纤面板是由成百万乃至上千万根直径约几微米的光学纤维彼此紧密排列熔合而成。具有极高的分辨能力和集光能力，可以近乎无畸变地传递高清晰度的光学图像，最适合于作阴极射线管的端窗和级间耦合元件。因此，早在五十年代初期，光纤面板就引起世界各国的高度重视。六十年代初在实验室试制成功。六十年代中期，用光纤面板制作的第一代夜视仪被用于越南战争中。由于制作军用夜视仪的急需，光纤面板获得了迅速发展。七十年代已逐渐商品化、规格化、系列化。对其性能的了解、应用和制造工艺日趋成熟。七十年代后期，美、英、荷、日、德等国已工厂化生产。成本急剧降低，并从军用为主逐渐向民用推广。

由于用光纤面板制作的第一代夜视仪还存在着体积重量较大，不易携带，怕强光等缺点，国外于六十年代在光纤面板制造工艺的基础上又研究和开发了一种新型的电子光学元件—微通道板。它可以用于探测各种带能粒子，还可以作为电子倍增器件，具有波粒子响应范围宽、增益高、噪音低、结构轻小等优点，用它和光纤面板一起作关键元件或单独用微通道板作关键元件制作的第二、三代夜视仪比第一代夜视仪体积小，重量轻，使用电压低，而且不怕强光和振动，因此，微通道板的发展更加迅速。到七十年代中后期已广泛应用。八十年代初已规格化、系列化，并实现了大批量生产。戴上用它制成的头盔或夜视仪，和夜视眼镜，可以在漆黑的夜间修设备，驾驶车辆和观察目标。二、三代夜视仪在第三次中东战争，英阿马岛战争中发挥了重要作用。目前，美、英、苏等国，二、三代夜视仪已大批量生产，并已被广泛用于装备部队。作为各类夜视仪的关键元件，光纤面板和微通道板已实现专业化大批量生产或批量生产。尽管如此，各国已投入大量人力物力致力于进一步改善微通道板的性能，开发新的品种，降低成本，并在民用领域广泛应用。其中美国伽利略电子光学公司是世界上最大的光纤面板和民用微通道板的制造商，其产品面向世界。

我国从六十年代中期开展了对光纤面板的研究，七十年代开始对微通道板进行研究。目前已有自己的光纤面板和微通道板产品，并已进行批量生产。用它制成的第一代和第二代夜视仪在一些重要的技术指标上达到或接近国际先进水平。但与国际水平相比差距仍然不小，还远远满足不了四化建设对这两种重要元器件的急需，特别在民用上还有待我们去大力开发和推广应用。

为了便于广大科技人员和用户对光纤面板和微通道板的了解，我们利用国际联机检索系统，即美国洛克西德公司的DIALOG和欧洲空间组织情报中心的ESA-IRS两大系统，针对光纤面板和微通道板的制造工艺、性能、测试、材料及其应用等的专利与其它文献资料进行了广泛的检索。鉴于光纤面板的制造工艺等在七十年代业已基本定型和趋向成熟，致使八十年代后新报导的资料已不多见，主要是MCP。因此，在资料筛选中，我们竭力求其精，求其新，最后从近十年的文献中选定了二十余篇，或翻译或编译后汇编成本专集以飨读者。

本专集是建筑材料科学研究院技术情报中心和玻璃纤维研究所合作编辑出版的。在此出版之际，谨向惠予支持的各位同志致以深切的谢忱。

戴剑初、杨桂英

目 录

前言

采用磨料切割熔合纤维.....	王守仁译	赫业军校 (1)
微通道板及其应用.....	张多明编	(1)
微通道板倍增器.....	石玉芬编译	缪坤治校 (8)
采用微通道板CRT的示波器很快找到仪器毛病.....	叶金姣译	赫业军校 (17)
使用微通道板的紫外光谱仪.....	杨桂英译	郝德性校 (21)
用于火箭运载天文学的带多光谱元素微通道板探测器的灵敏远紫外光谱仪.....	缪坤治摘译	郝德性校 (26)
用于超紫外线探测器的微通道板超紫外线(EUV)探测器.....	郑青译	郝德性校 (30)
最大限度地提高微通道板探测器的量子效率—利用电场收集来自通道端壁金属膜上光电子.....	杨建中摘译	(37)
离子谱仪.....	郑青译	郝德性校 (43)
微通道板电子倍增器在质谱仪上的应用.....	缪坤治译	郝德性校 (44)
高增益微通道板光电倍增器的研究.....	郝德性译	缪坤治校 (50)
微通道板光电倍增器的计数速率特性.....	杨桂英译	郝德性校 (60)
应用微通道板光电倍增管的快速灵敏伽玛探测器的特性.....	刘峻译	赫业军校 (65)
微通道板对硬 x -射线的响应.....	郝德性译	缪坤治校 (69)
通道电子倍增器和用作入射通量监视器的光耦合放大器.....	郑青译	郝德性校 (80)
用于探测最小电离粒子的微通道板倍增器优选法.....	郑青译	郝德性校 (84)
利用微通道板进行的物质传递和材料分离.....	姜金林译	缪坤治校 (87)
微通道板寿命试验.....	缪坤治译	赫业军 郝德性校 (91)
微通道板倍增器内部电场的研究.....	陈显泽译	缪坤政审 (95)
在磁绝缘线上测量电压.....	缪坤治译	郝德性 赫业军校 (101)
微通道板透射膜.....	常启宗译	郝德性审 (102)
加速粒子束时间参数不接触变换器.....	常启宗译	郝德性审 (104)
低能电子电流测定仪.....	常启宗译	郝德性审 (107)
文摘: 一、光学纤维面板.....		(108)
二、微通道板.....		(113)

采用磨料切割熔合纤维

——并非都是用金刚石来切割纤维面板材料——

在生产流程中的某一个工序光学纤维面板材料必须切割成块，但它们对切割刀具产生了极大的张力。在伽利略电子光学公司金刚石锯片已被在切割带上涂敷着碳化钨颗粒的特种刀片所取代，这种刀片是雷明顿装备公司的磨料生产部门生产的。

伽利略公司自己生产用于面板的特种玻璃，根据伽利略公司生产副总裁 PoPingLin 先生介绍，把玻璃料转变成纤维面板要经过三次拉丝过程，第二次拉丝形成六角形丝，第三次拉丝是将这些丝组成较大的六角形丝束。这些大的六角形丝束组合装入直径达13英寸的模具内并加热到高达1000°F将它们熔合在一起形成坯料，这才到了所描述的困难的切割操作阶段。切割机床使用钢片和混合磨料将坯料切成板。为适应切割机床，大块的熔合纤维材料首先要切成适宜的尺寸。此时引起了几个问题：

第一，坯料内的每根纤维均由2部分组成——芯料及皮料。它们具有不同的硬度，这导致了坯料极快地磨损大多数的切割刀具。

第二，坯料必须高精度地进行切割，完全平行于板内纤维通道的轴线，否则坯料将被损坏，只有这时才到了切片阶段。坯料凝结了大量的劳动和材料必须仔细地加工。

伽利略公司的一个管理人员 Richard·Gajewski 说到：“每个金刚石切割带锯片价值超过400美金，有时仅用8小时就损坏了，这迫使公司去寻找一个替代方法”。Gajewski 说：他们在雷明顿的《磨料——边》开槽切割带的锯片中发现了这种替代方法。这种无齿锯片具有120小时的使用寿命，切割平稳程度同金刚石锯片相同但成本低得多。

硬度仅次于金刚石的碳化钨被牢固地固定在雷明顿合金刀片上，该刀片还能够切割其它玻璃、陶瓷、玻璃纤维、环氧类材质、复合材料、泡沫玻璃、超级合金、碳、淬火钢及增强塑料等。

《PHOTO Nics Spectra》1982·P36 王守仁 译 赫业军 校

微通道板及其应用

张多明

一、概述

早在1930年就有 P. T. Farnsworth 提出把电子倍增器中的分割打拿极合并为连续打拿极的概念。自那以后，苏联和美国同时进行实验，着手寻找适当的打拿极材料，但直到1960年起美国的 Bendix 公司和英国的 Mullard 公司同时研究出了单通道电子倍增器。之后法国、荷兰和日本也都研制了通道倍增器。我们国家于1976年5月首次研制成功了这种器件。

对通道式电子倍增器的研究，了解到通道倍增器性能只与通道的长度和直径的比有关，而与通道的直径和长度的绝对值无关。因而可以把这种倍增器的大小缩小到玻璃工艺所能达到的界限，只要保证它的长径比就能保证一定的性能。人们很快就想到将很细小的单通道电子倍增器(CEM)

聚集成一种倍增器的矩阵(CEMA)成为两维的倍增面。再借用当时的光学纤维面板的工艺技术,所以60年代初差不多同时对光纤面板和微通道板(MCP)进行了研究。但MCP进展较慢,以后虽有将MCP用于微光管的报导,但单丝直径太大、分辨率太低,不能提供使用。直到七十年代初MCP才迅速发展起来,世界各发达国家都相继开展了研究并先后取得进展。我们国家也于七十年代初开始这项研究工作,但进展很慢,直到1981年5月才宣布了应用于探测器的MCP取得成果。1984年12月宣布了空心丝方法制备的MCP已用于微光管。后在1986年1月又宣布实心法制备的MCP也成功的用于微光管中。目前MCP的应用领域正在逐步扩大,将会对我国的国防和科研事业起着巨大的推动作用。这是因为MCP具有突出的特点,它具有高增益,低噪声,大的动态应用范围,高的空间分辨能力,好的时间分辨率、自饱和、能暴露大气等,因而它具有广泛的应用领域。除做为探测器用外,大量的用于成像器件中。

MCP的研究课题很多,包括材料、制备工艺、性能与结构设计及应用等方面的研究。本文仅介绍一些有关的性能和应用实例。

二、MCP的主要性能

1. 增益:

实际上MCP的每个通道都是一个电子倍增器,因此可以用通道电子倍增器的原理来说明。根据电子在直通通道中的轨迹推导可得出增益的计算公式:

$$G = \left(\frac{BV_0^2}{4V\alpha^2} \right) \frac{4V\alpha^2}{V_0}$$

式中: V_0 —施加电压

B —从 $\sigma = BV_c$ 关系中得来的常数, V_c 是碰撞能量, σ 是二次发射系数。

V —二次电子的初始能量

α —通道的长度和直径比

由式可知,对于材料和长径比一定的通道增益 G 随 V_0 增加而增加,但存在一个最佳工作电压以给出最大增益。当然在一定的工作电压下也可选择一个最佳的长径比 α 。对于微通道板一般工作电压在1000伏时, α 取45~50为好。这个选择不但使MCP具有大于 10^4 的增益而且在成像器件中有特别重要的意义。这是因为当MCP工作于最佳条件时,这时的增益最大和增益随 α 变化最小,这就使由MCP结构上带来的空间增益不均匀性最小。

2. MCP的饱和特性:

当MCP输出电流达到一定值后,出现了增益降低的现象称为饱和现象。产生饱和效应的主要原因一般认为与工作状态有关。(1) 直流工作状态:产生饱和的原因是通道壁电位分布变化引起的。由于通道出端附近大量二次电子发射,引起通道壁电位上升,直到造成一个低场区使得增益过程不再增加而出现饱和。这种情况也称传导电流限制。实验证明,当输出电流超过传导电流的5%~10%时就产生饱和和效应。对于成像器件用的MCP电阻选在100~300 M Ω 为好。(2) 脉冲工作状态:这时的饱和效应产生的原因被认为是空间电荷效应造成的。由于通道输出端产生大量空间电荷,形成了电子云,当电子云密度增加到足以将二次电子驱回壁上为止,使二次电子射程缩短,结果使碰撞能量减少, σ 变小,便产生了电流饱和。

3. 噪声:

噪声电流主要是由一些非信号带电粒子或由于通道内工艺结构缺陷或表面沾污等原因产生的

场发射电子经倍增后造成的。利用低表面势垒的材料也特别容易在较低工作电压下过早地出现暗电流。MCP的噪声特性通常表示为暗电流和等效输入噪声电流。暗电流是指无输入电信号时在一定工作电压下测出的输出电流。而等效输入噪声电流是指将暗电流密度比上它的增益。实用要求MCP暗电流必须小于 10^{-12} A cm^2 。

4. 分辨率:

MCP分辨率的基本限制是通道中心到中心的距离。可把通道板的最大几何分辨率表示为:

$$R = \frac{1000}{1.73 \cdot D} \quad (D \text{ 为通道中心距离单位 } \mu\text{m})$$

这只是个理论值,实际上影响分辨率的因素还有很多,如各个通道直径的差别,这一差别将导致增益的不同,从而产生干扰有用讯号的噪声。研究证明,当把通道的直径差减小到5%以内就能保证增益的均匀,而不致于使分辨率变差。另外端面加工质量差、通道有堵塞和通道壁上有孔等都会使分辨率下降。

为了增加近贴输出的分辨能力通常可采用一种叫做输出电极的“端面损失”的技术。端面损失是输出电极渗透到各通道内一定的深度,以校正输出电子束。端面损失深度、通道中心距离和增益的最佳值必须考虑到分辨率的要求,最佳的兼顾值是取端面损失深度 $d_{es} = 1 \sim 2 \alpha$ 的范围。
(α —通道直径)。

5. 离子反馈:

在电真空器件中总是存在着残余气体,使得在MCP的电流倍增过程中,电子与残余气体分子碰撞而产生大量离子,其离化几率可由下式表示。

$$N = \frac{nPL}{V} \int_0^V f(v) dv$$

这是当一个电子在距离L中从O加速到V伏特时所形成的离子总数。

式中: N—离子总数

n—电子数

P—压力(托)

$f(v)$ —离化效率是电子能量的函数

这些离子被电场作用下,反向加速并可能与通道入口附近与管壁碰撞产生二次电子,也同样在通道板内受到倍增作用,并多次反复形成“雪崩过程”在输出端出现一种假的输出脉冲。

离子反馈效应在象增强器应用中会使象管的噪声因数提高和使其阴极灵敏度降低,因此要尽量加以控制减小器件中的残余气体可以提高有效增益,另外使用弯曲通道MCP或用两块MCP串联成“^”形结构可以抑制离子反馈的影响,近来人们大都采用后者,因为弯曲通道工艺太复杂、目前研究得不多。还有在双近贴管子中为防止离子反馈对光阴极的影响,都要采取在MCP输入端蒸镀一层氧化铝膜的措施。

6. 频率响应:

MCP用于探测高重复频率脉冲信号时,频率响应是十分重要的参数。分析表明,频率响应依赖于通道直径、长度以及通道内的加速场。在MCP放大过程中,一个电子输入所造成的电子群中,从最初的电子和最后的电子到达收集极的时间差即电子渡越时间的分散度就是形成脉冲的前沿,由理论推导可算出电子渡越时间 $T_t = 1.9 \text{ ns}$ 。作为这个值的分散值约小一个数量级左右。

7. 探测效率:

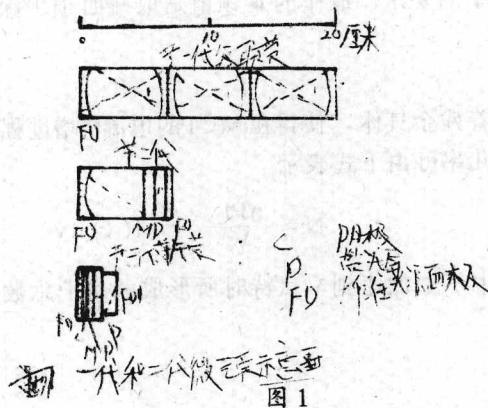
探测效率定义为：输入的粒子或光量子数与产生可探测的输出脉冲的百分比。对于不同的能量的粒子有不同的探测效率。为：

X射线 ($60-100\text{ Kev}$ $0.012\sim0.02\text{ nm}$)	1 %
软 x 射线 ($0.2\sim100\text{ nm}$)	7 %
UV辐射 ($230\sim330\text{ nm}$)	10 %
正离子 ($\text{H}^+、\text{He}^+、\text{A}^+$)	85 %
电子 (450 ev)	90 %

三、MCP的应用

1. 微光象增强器：

这个增强器系统不仅在军事方面，而且也在警察业务、医学和光谱学方面，都有广泛的应用。装了微通道板的象增强器称为第二代象增强器，这个器件已于1971年美国解密。相对于第一代象增强器它有尺寸小、重量轻的特点。图1 给出第一代、第二代静电聚焦式和第二代近贴聚焦式的象增强器。



它们的工作原理是，从景物来的光子被成像到光电阴极上，产生的光电子在第一代管中是被静电聚焦、并被加（10~15千伏）到荧光屏上。利用纤维光学把荧光屏光耦合到第二级的光阴极上，第二、第三级重复上述的过程。在第二代象增强器中，光电子被聚焦（在薄片管里是近贴式在倒象管中是静电式）到微通道板上，利用MCP能获得很高的电子增益，离开MCP的电子被近贴式聚焦且被加速（通常是6千伏）到荧光屏上。微通道板象增强器最重要的性能就是能够改变增益，它可从 10^1 变化到 10^5 而不明显的改变象质。另外二代管畸变小于8%，一代管则为21%。还有二代管有抑制强光的作用。至于调制传递函数，两者相差并不很大。虽然二代管噪声系数比一代管大一倍多，但由于二代管的对比度较好，抵消了噪声系数的差异。

国内已用国产微通道板做出性能很好的二代微光管。管增益： 10^5 ，暗背景 $1\sim2\times10^{-7}\text{ lx}$ ，分辨率 $42\sim45\text{ lp/mm}$ 。已经达到实用的水平。

2. X射线象增强器：

用于工业探伤和医疗方面的现代X射线象增强管都要经过一个x射线转换屏将X射线量子转换成光电子，又经过MCP放大产生低能电子图像，再加速到荧光屏上显示其图像。一个实验型的图像

增强器已经做成如图2。

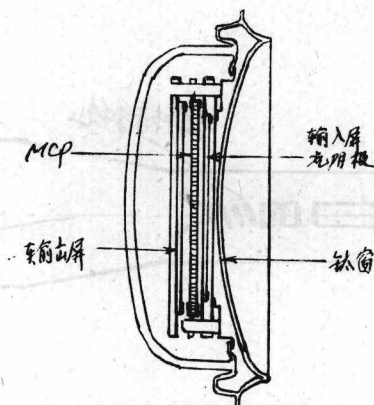


图2. X射线象增强器

图 2

通道板的有效直径120mm, 单孔直径: $40\mu\text{m}$ 。长径比取 $\frac{L}{D} = 60$ 。1300伏工作电压, 量子效率2.5%。系统的分辨率(主要由电视系统限制) 2.9lp/mm 。寿命试验连续工作600小时后特性不变。

3. 软x射线和真空紫外光变换器

利用MCP对软x射线和真空紫外光子有一定的探测效率这一特点, 可以用MCP和荧光屏等组成一种无窗象增强器。结构如图3所示。

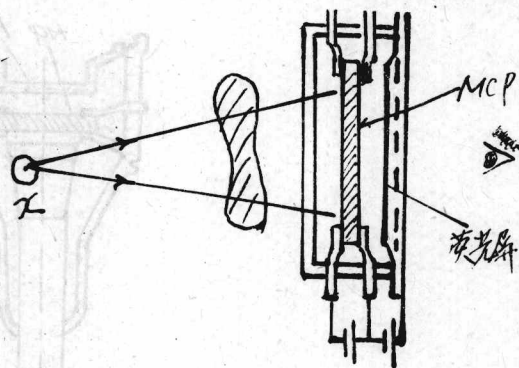


图 3

图3. X射线变换器

它是将软x射线和真空紫外光经MCP直接转换并放大成电子图象再加速到荧光屏上显示出来。这种器件国内也已研制成功并已有效地用于中国环流—1号顺利地拍下了真空紫外光谱。

根据不同需要可以将荧光屏换成各种电读出设计为有分立阳极陈列。电阻式阳极、重合交叉阳极、楔形窄条阳极和CCD输出等。

4. 微通道板在阴极射线管中的应用

MCP装入示玻管做成了高速示波管使示波器性能有了重大突破。这是现代示波器工艺技术的新发展。其原理图如图4所示。

国外已经用这种管子做出了水平很高的示波器。如法国LEP用MBLE公司的TMC4示波管制成的示波器带宽: 5GHz , 写速: 50cm/ns 。用MCP增益: 10^5 , 与屏间加5KV电压。美国Tektronix公司生产的7104型MCP示波器(1979年初公布)。带宽: 1GHz , 写速: 20cm/ns 。用的MCP, 单孔直径 $25\mu\text{m}$, 工作电压: $700\sim 1050\text{V}$, MCP与屏间距: 3mm , 加10KV电压。

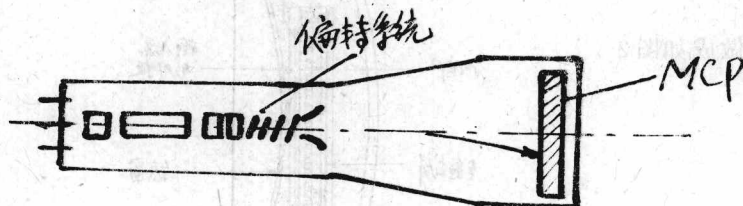


图4 高速微波管及原理

图 1

5. 快速光电倍增管

用MCP代替一般倍增管中的分立的打拿极系统, 虽然增益和能量分辨率并没有改善, 但响应速度有明显的改进。这是因为在MCP中电子路径长度比分立打拿极所经路径要短得多 (1 mm: 100 mm), 电场很强 (1 KV/mm: 10 V/mm) 因而电子在MCP中的渡越时间很短小于1 ns (一般倍增管为30 ns)。而输出脉冲的上升时间可达0.1 ns。其结构示于图5。

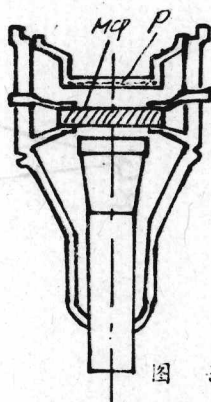


图 5

图5 高速光电倍增管及原理

MCP距离光阴极约2 mm, 用平行于MCP输出面的平面圆阳极收集电子输出并和50 Ω 同轴线相接。用一块MCP, 管子增益可达 10^4 。

现有利用两级或三级MCP串联使用以提高管子的增益, 使其达到 $10^6 \sim 10^7$ 。

6. 条纹管

用MCP做成的条纹管可以使条纹相机简化和紧凑。管子的光放大系数 $>10^4$ 。极限时间分辨率 <2 ps。其结构如图6所示。

图中: ① 光阴极 (-10 KV);

② 栅网电极 (-8.5 KV)。

③ 聚焦电极 (-8.7 KV);

④ 阳极 (OV);

⑤ 偏转板;

⑥ 壁阳极 (OV);

⑦ 锥体电极 (OV);

⑧ MCP输入电极 (OV);

⑨ MCP输出电极 (+0.5 ~ +1 KV);

⑩ 荧光屏 (+3.5 ~ +4 KV)。

以上是列举了几种的管壁应用MCP的情况。实际上MCP已经用在许多管子中如: 中子辐射成像

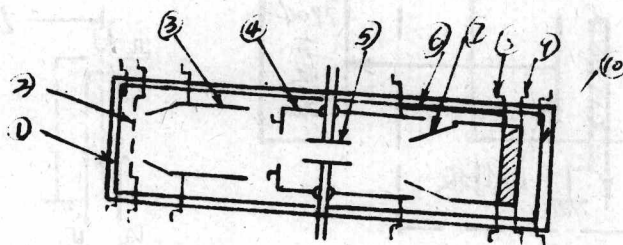


图6. 条纹管原理图

图 6

管：高速摄影快门管；量子位置探测器；摄像管…等。不能一一介绍。MCP还在电子显微镜、场离子显微镜、低能电子衍射仪等方面有着大量的应用。现就国内已经使用过的几种仪器作简单介绍。

7. 软X射线出现电势谱仪

谱仪的分析管示意图如图7所示。

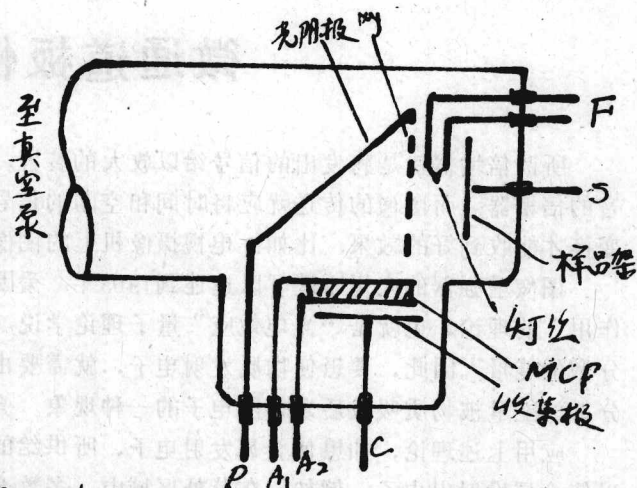


图 7

图7. 出现电势谱仪分析管示意图

外壳为玻璃样品，用0.25mm钨丝做成的电子源轰击。光阴极用0.1mm的钼皮制成直角弯头的园筒，园筒内壁蒸金。它产生的光电子经MCP倍增后由收集极收集。用这个装置分析比原来不用MCP时，轰击电源减少一个数量级。

8. MCP在激光核聚变上的应用

实验装置示意图示于图8。用激光打在金属铝靶，靶室真空度为 $3 \times 10^{-5} \sim 8 \times 10^{-6}$ 托。探测器是由厚50μm的Be窗，MCP和收集极组成。

实验证明MCP很实用于激光打靶X射线的探测装置。

9. 飞行时间质谱计

原理图如图9所示。

被离子化的离子束被引入无场漂移区，飞行一定距离后落在探测器上，不同荷质比的离子，则其速度不同，因而飞行相同距离后，将在不同时间落到探测器上。因此测量离子的飞行时间就可知道离子的质量。

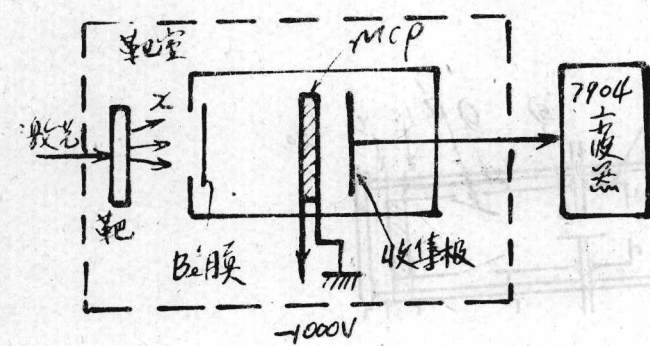


图8. 实验装置示意图

图 8

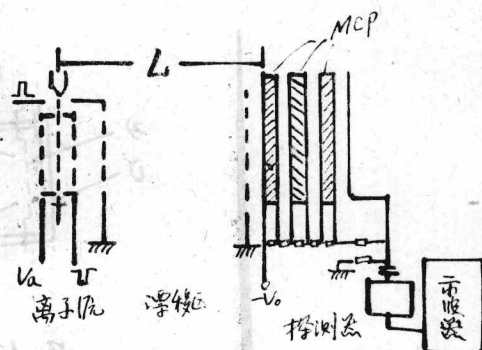


图9. 飞行时间质谱计工作原理图

图 9

MCP的应用例子太多，不能一一列举，随着科学事业的发展，它将会应用于更多的领域。

微通道板倍增器

所谓倍增器就是将发出的信号给以放大的装置，如利用电的方法把声音增大的话筒，就是声音的倍增器。而图像的传送就应将时间和空间的信号图形增强，首先是时间的信号图形必须进行变换才能收到好的效果，比如：电视摄像机上的图像好坏就决定于扫描如何。

图像增强器的应用原理可以追溯到1905年，爱因斯坦最先提出的“电磁波的能量和物质相互作用”的理论，也就是“光电效应”量子理论学说。所谓“光电效应”就是“光作为粒子，具有分散的能量”。因此，要想使物质发射电子，就需要由电磁波供给最低限度的能量，也就是光子的分散的能量被物质吸收后发射出电子的一种现象。光子的能量与电磁波的波长成反比。

应用上述理论，如想使金属发射电子，所供给的电磁波波长不能超过临界波长，否则就不是以使金属发射出电子。例如：在紫外区域中，多数金属都能发射出电子；而在可见光及近红外区域内，就必须使用特殊的方法使物质吸收了光子、电子或者是带电荷粒子后，才能发射出电子，该电子称二次电子或叫光电子。

象管：

根据上述“光电效应”原理，人们设计制造出各种各样的应用在各领域里的图象转换器与增强器及其它光电器件。所谓图象转换器就是将不可见的辐射图象转换为相应的可见光图象的变象管，它包括红外变象管、紫外变象管、X射线变象管等。图象增强器是将微弱的可见光图象亮度增强，所以也称为象增强器或微光管。实际上，不论是转换器还是增强器都同时在进行着转换和增强这两个过程，二者的区别只是这两个过程中哪一个过程占主导地位而已。它们是一种直接成象的真空光电器件，通称为象管，主要用于直接观察的各类仪器中。

微光管是应用“光电效应”原理，将电磁波供给的光子流转换成电子流，而且得到了一定的增益。就是把光学图象变成电子图象，图象的分辨率较高又得以增强用可见光的形式再现于荧光屏上，荧光屏上的图象既不失真又能直接观察到，图1为象管之一。

图1的工作情况是应用光电效应原理，将管子置于真空中，在光阴极与阳极之间加上数千

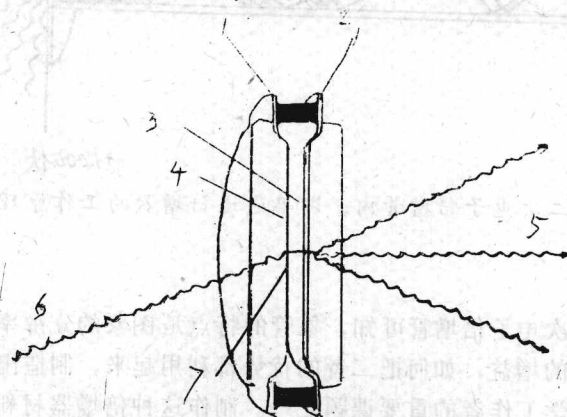


图1 没装微通道板的微光管

1. 阴极；2. 阳极；3. 荧光屏；4. 光电阴极；5. 发射光；6. 入射光；7. 电子的轨迹。

伏的电压，使入射的光子（电子或者是带电荷粒子）在光电阴极产生光电子，由两极间的电压使光电子获得了足够的能量，从而被加速打到荧光屏上，形成可见光图象。

二次电子倍增管：

利用特殊的方法可以使物质吸收了光子、电子或者是带电荷粒子后发射出二次电子，这种现象称为“表面二次电子发射效应”。具有这种效应的材料有玻璃、陶瓷等。现已用玻璃做出二次电子倍增管，其作法是在真空中将管子的两端加上电压，管子内壁就成为一个连续的倍增器电极（简称倍增极），初始电子从低压端进入管内撞击管壁发射出二次电子，这些二次电子在电场作用下被加速并碰到后面的管壁，撞出更多的二次电子，由低压到高压，在通道的输出端（高压端）即可发出大量电子，从而获得了高倍增益，见图2与图3所示。

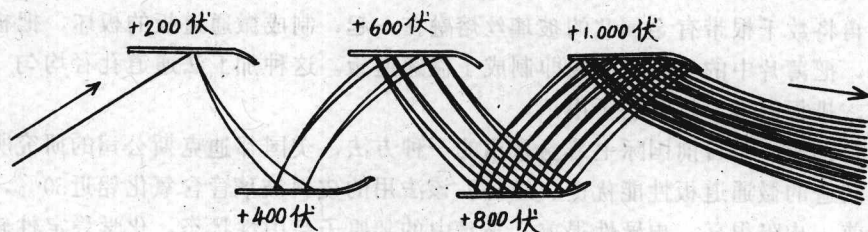


图2 倍增器电极（倍增极）由低压到高压顺次级联现象

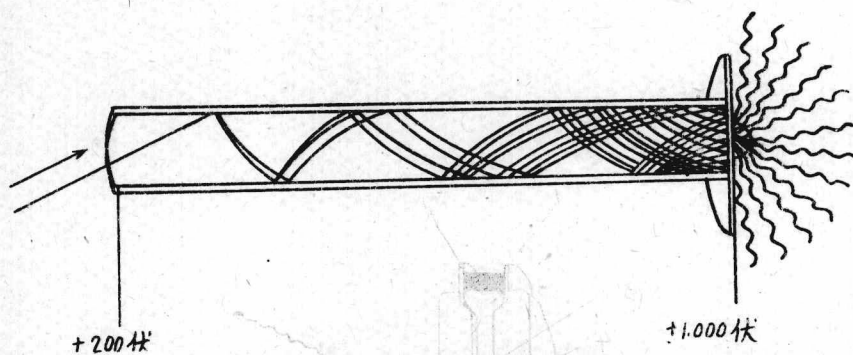


图3 二次电子倍增管内，即单通道倍增器的工作原理

微通道板的由来：

从上面所述的象管及二次电子倍增管可知，象管的特点是图象的分辨率高、增益不够。而二次电子倍增管则具有高倍数的增益，如何把二者的优势都利用起来，制造出理想的图象倍增器及图象转换器，就成为各国科学工作者的重要课题之一。制作这种倍增器材料有许多，玻璃就是其中之一。当一个电子入射时就能够发射出两个二次电子。第二是倍增管内壁激发出的二次电子能够连续不断的发射出去，也就是要求管子内壁必须具备一定的导电能力，美国邦迪克斯公司研究所在1959~1961年最先研制出微通道板。

在玻璃内部由于离子的扩散运动而具备了一定的导电性，但这个导电率是很小的。在玻璃内部还存在着各种各样的化学作用，因此可以断定玻璃的电导性完全是由于电子造成的，这就是选择玻璃（制微通道板）的原因之一。并且玻璃的工艺性能好，易成型，真空性能也好等。

在过去的20~30年间，玻璃的细加工技术获得了很大的进步，把成百万根孔径为 15μ 左右的细玻璃管，平行排列在一起组成了一块微通道板。其中每根细玻璃管就是一个单通道倍增器，因此微通道板的工作原理与单通道倍增器是一样的，见图2与图3。

微通道板的制造：

第一是“空芯法”：它是把许多低熔点的细玻璃管熔合在一起，用这种方法制成的微通道板做象管的倍增器，取得了较好的效果。但此法的最大问题是各通道直径不一样，影响了使用。

第二是“金属芯实芯法”：英国马拉德公司及法国电子技术应用物理研究所，首先提出用“金属芯的实芯法”。其做法是把极细的金属丝放入细玻璃管内，在高温中通过，金属丝的表面就包覆了一层管玻璃，再将数千根带有金属芯的玻璃丝熔融在一起，制成微通道板的板坯，把板坯切成一定规格的薄片，把薄片中的金属芯溶掉即制成了微通道板。这种加工法通道孔径均匀一致，但是不易制成复丝，排版困难，目前已不用。

第三是二次拉伸法：是目前国际上普遍采用的一种方法，美国邦迪克斯公司的研究所最先提出并研究成功，制造的微通道板性能优良、经济。该法用的皮料玻璃管含氧化铅近50%，这种高铅玻璃在处理之前，电阻很高，电导性很差，玻璃中的铅原子呈中性状态，化学稳定性较好（当通入氢气对玻璃进行还原反应时，氧被除掉，铅迁移出来）。

芯玻璃是可溶性玻璃。

微通道板对通道孔径均匀性要求严格，通道的直径公差不能超过2%，即便机器拉管也难以

达到要求，为此采用玻璃管整形装置（见图4）对玻璃管的内径进行校正。它是将非金属制成的园形芯模套在加热到软化点的皮料管上方，并沿管的轴向配重向下运动。校正后的皮料管内壁还需研磨抛光，管外径用外园磨床进行磨抛。

芯玻璃棒也要进行磨抛。

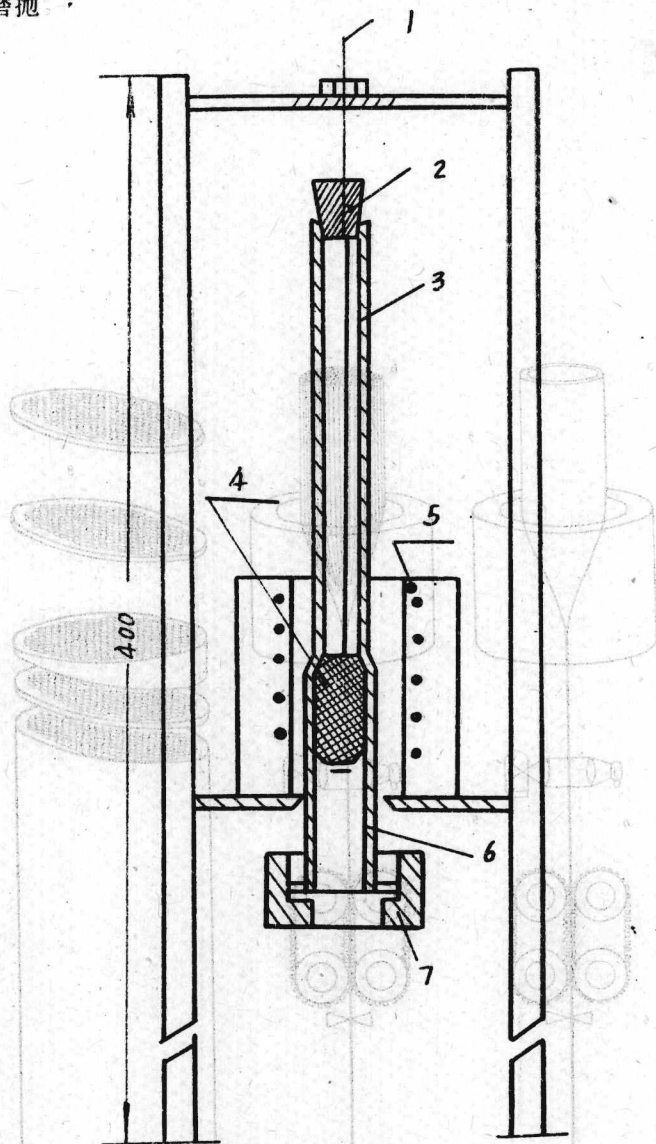


图1 皮料管整形校正装置示意图

1. 吊杆；2. 定位塞；3. 皮料管；4. 园芯模；5. 加热炉；6. 扩伸管；7. 配重。

磨抛好的管与芯棒套在一起组成棒管组合体，悬挂在加热炉上方加热（见图5 a），一般棒管组合体的底部加热到500℃即软化，就可从炉子下拉出直径约1mm的单丝，即第一次拉伸（见图5 a）。

单丝的丝径要精确控制，拉出的单丝按50cm长度切断，排成对边为50mm的六角形丝束。再

把这六角形丝束悬挂在炉子上部加热后拉出对边为1mm的六角形复合丝（见图5 b）。

将复合丝切成一定的长度，排入对边为28mm左右的多边形玻壳内（玻壳内边为12边形，长边间隔着，玻壳的外边为圆形）抽真空，在真空下加热熔压即可制成微通道板坯。

将板坯切成厚1mm的薄片（见图5 c），切片时薄片的两个平面与通道的轴向应倾斜一定的角度，使入射电子在入口附近就与通道内壁产生碰撞，不致于使电子在通道中“过而不入”激发不出二次电子。

板片两面经磨抛后放入适当浓度的盐酸溶液内“酸蚀去芯”，酸液的温度为60~70℃，2小时即可把芯玻璃溶干净，形成了微通道。

把微通道的原色板，通入氢气加热至100℃达数小时进行还原反应（见图5 d）。反应过程中，氧从氧化铅中被除掉，还原层的厚度可达数微米之多，被还原到表面的铅蒸发，残留的铅形成金属聚集群，玻璃表面变成黑色，从而半导体化，具备了导电性能。最后在还原的微通道板两面蒸镀金属电极，变成成品微通道板（见图5 e）。有实芯边的微通道板强度大又美观。微通道板的结构照片见图6及图7。一块 $\phi 25$ mm的微通道板内约有300万根微通道，增益可达 10^4 。

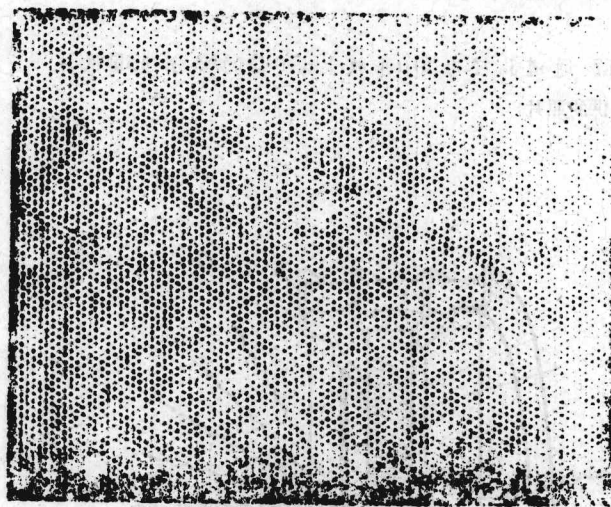


图6 带有复丝边界的微通道板的结构图，该照片是放大110倍

微通道板的应用：

象管：用微通道板可以做各种象管的倍增器，一般采用（a）近贴聚焦，（b）静电聚焦以及（c）电磁复合聚焦三种类型。本文着重于前两种类型象管。

（a）近贴聚焦形象管又称近贴管：近贴管是早期出现的管型，称近贴是因为管子的输入部分与输出部分的距离十分接近，一般约0.5mm，构成一个平行平板电容器，见图8所示。

这种管型的电子光学系统不产生图象的几何畸变，在整个象面上有均匀的分辨率和光输出，

(a) (b) (c) 图 7 展示了在不同条件下，通过微通道板（MCP）的光学特性。图中显示了光斑的分布和亮度变化，反映了微通道板在不同电压和光强下的响应特性。

图 7 展示了在不同条件下，通过微通道板（MCP）的光学特性。图中显示了光斑的分布和亮度变化，反映了微通道板在不同电压和光强下的响应特性。

图 7 展示了在不同条件下，通过微通道板（MCP）的光学特性。图中显示了光斑的分布和亮度变化，反映了微通道板在不同电压和光强下的响应特性。

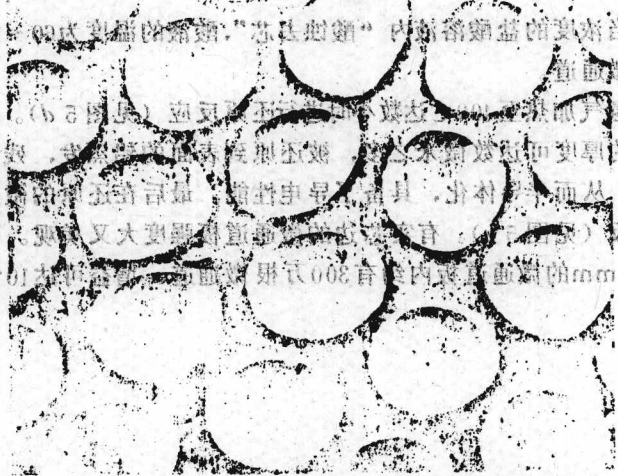


图7 通道孔径为10μ并放大650倍的部分通道照片

注：图6与图7系ITT公司提供的照片

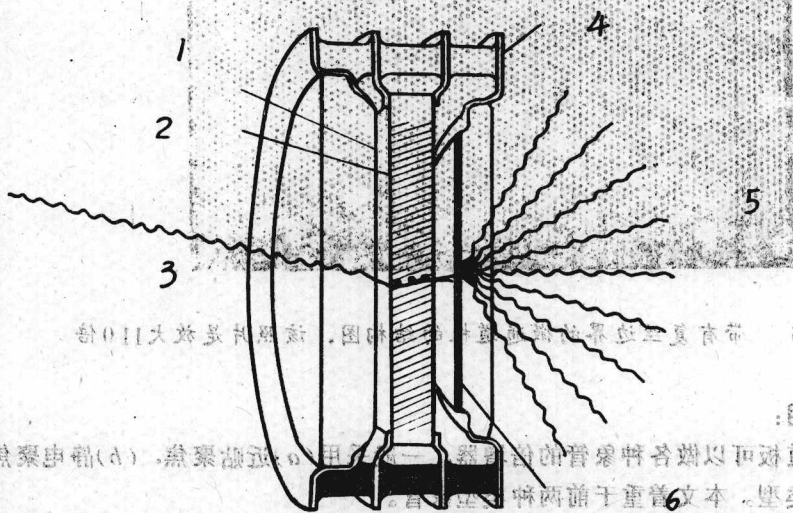


图8 微通道板结构示意图，图中显示了微通道板的内部结构和光路。

图 8 展示了微通道板（MCP）的示意图。图中显示了微通道板的内部结构和光路，包括入射光、微通道板、光电阴极、微通道板、入射光、光电阴极、微通道板、入射光、光电阴极等。

图 8 展示了微通道板（MCP）的示意图。图中显示了微通道板的内部结构和光路，包括入射光、微通道板、光电阴极、微通道板、入射光、光电阴极、微通道板、入射光、光电阴极等。