

微通道板与高能物理实验

李 金

最近十几年不少的文章描述了单通道电子倍增器。1960年最初报道了用特殊陶瓷制造的这种倍增器。在单通道电子倍增器基础上，微通道板于1965年以后迅速地发展起来。微通道板具有结构简单灵活、增益高和空间成像等特点，因而得到广泛的应用。主要应用于包括各种类型的像增强器、量子位置探测器、X-射线放大器、场离子显微镜、电子显微镜、超快速宽频带示波管、光电倍增器等。

下面可以看到，当用这种器件代替通常的光电倍增管时，可使探测器以及高能物理实验得到不少改进。

一、微通道板

1. 结构 微通道板是用许许多多的空心纤维压制成的

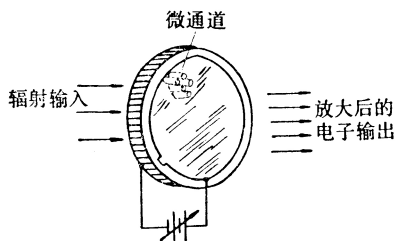


图1 微通道板

成的一块很薄的板(如图1)。空心纤维的内径是20—40微米。板的厚度约2毫米左右。板的外径目前可做到5厘米左右。每根空心纤维(即每个微通道)的内表面都由一层二次电子发射系数较大的材料所覆盖(通常发射系数可达3.4)。在真空的条件下，微通道板两

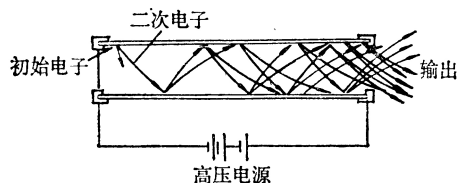


图2 微通道内电子倍增

个端面用真空溅射的办法镀上一层导电物质做电极。

2. 原理 当微通道板两端加上一千伏左右的电压，就在每一个微通道内形成与通道中心轴平行的电场。图2表示这样一个微通道内的电场和电子倍增原理。当具有初速度的电子从通道一端入射，这个电子在电场和垂直电场方向的速度分量作用下，以抛物线轨道飞行并得到加速，最后碰在通道内壁上打出几个次级电子。这些次级电子在

电场作用下又得到加速，再次撞击内壁打出次级电子。如此多次重复进行，便实现了电子的倍增。

电子倍增的大小和微通道的长度、内径、二次电子发射系数以及使用的电压有关。电子倍增系数目前很容易达到 10^4 — 10^5 ，即每入射一个电子就能输出 10^4 — 10^5 个电子。如果用较高的电压，并把二块板串联起来(图3)，电子倍增系数达到 10^7 也是不难实现的。

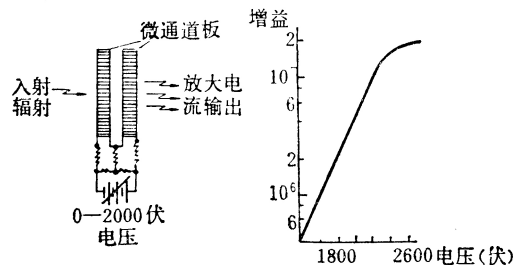


图3 微通道板的串联

微通道板的电流和电荷饱和特性是指在一定电压下可输出的最大电流或电荷。饱和特性在一些应用中是缺点，影响线性；但在另一些应用中又做为优点被利用。图4给出了一个典型的电流特性曲线。图中曲线

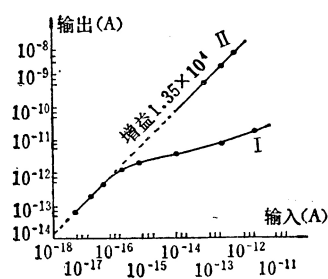
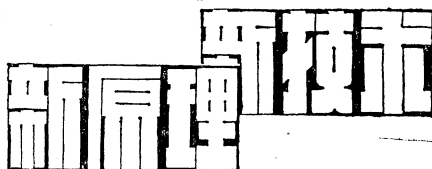


图4 微通道板电流物理曲线

I是直流工作条件下的饱和特性，输出电流明显地偏离线性。曲线II是脉冲工作条件下的饱和特性，输出电流线性很好。较窄的电流输入时，如0.2微秒宽脉冲，输出电流密度可达10毫安/厘米²。这对于粒子的探测是极为有利的。

二、微通道板光电倍增器

1. 结构和原理 微通道板光电倍增器由光电阴极、微通道板和阳极(或称收集极)三部分构成。光电阴极的作用是将入射光转换为光电子；微通道板起电子倍增作用；阳极收集电子。为便于电子线路的匹



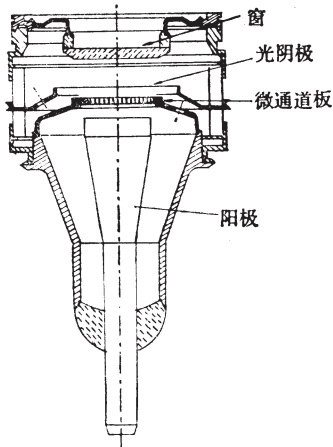


图5 微通道板光电倍增器

配, 阳极结构设计要有一定的阻抗。图5就是这种光电倍增器件的示意图。因三部分靠的很近, 电子在倍增过程中走的路程很短, 仅几毫米, 所以其飞行时间只有1毫微秒左右。阳极输出电脉冲的上升时间和上升时间涨落都是普通分离打拿级光电倍增管的三分之一。另外, 由于电子的倍增是在高电场、短距离下得到的, 所以抗磁场干扰的能力很强, 以致可以放在磁场中工作。

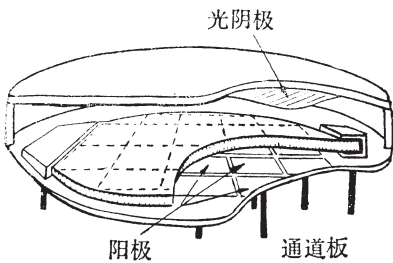


图6 多阳极微通道光电倍增器

所谓多阳极的微通道倍增器(如图6)。若收集极是 10×10 个小方块, 即 10×10 个阳极, 则一个多阳极微通道倍增器就相当于100个光电倍增管, 同时还有高增益和良好的时间性能。当然也可根据不同用途制成 1×10 ; 2×10 等各种形式的多阳极倍增器。

由于结构简单灵活、时间分辨好、抗磁场干扰能力强等特点, 微通道板光电倍增器用在高能物理探测器中是十分有前途的, 不少优点是分离打拿级光电倍增管所不具备的。

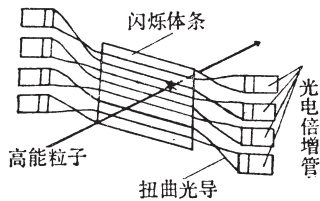


图7 闪烁描述仪

三、高能实验探测器中可能的应用

1. 闪烁描述仪中的可能性 图7是高能物理实验中目前常用的一种闪烁体描述仪的示意图。它是由很多条塑料闪烁体、光导和光电倍增管组成。它不仅可以记录高能粒子, 而且还能给出粒子的空间坐标。

配, 阳极结构设计要有一定的阻抗。图5就是这种光电倍增器件的示意图。因三部分靠的很近, 电子在倍增过程中走的路程很短, 仅几毫米, 所以其飞行时间只有1毫微秒左右。阳极输出电脉冲的上升时间和上升时间涨落都是普通分离打

2. 多阳极的微通道倍增器

如在一较大的光阴极和微通道板下面的收集极是一些相互绝缘的小方块, 便制成

当一个高能粒子穿过某一条闪烁体时, 就在粒子穿过的地方发出微弱的荧光。因为每条闪烁体外面都有铝箔包着, 荧光只能顺着闪烁体进入光导, 再由光导到达光电倍增管, 最后输出电脉冲。这里使用光导有两个原因: 一是普通光电倍增管太大无法直接接到很细的闪烁体上。二是闪烁体有可能放到磁场中, 而普通光电倍增管是无法在磁场中工作的。

很显然, 粒子穿过某一条闪烁体时, 只有相应这一条的光电倍增管才有电脉冲输出。这样, 根据不同光电倍增管的输出就可以知道粒子通过的是那一条, 也就知道了粒子的一个坐标。若用两个这样的描述仪相互垂直的放在一起, 便同时得到粒子的 xy 二维坐标了。不难看出, 闪烁体越细, 条数越多, 位置分辨就越好, 然而需要的光导和光电倍增管也越多。如果使用多阳极的微通道倍增器, 一个倍增器就代替了许多光电倍增管, 同时省去了光导, 节省了占用空间, 避免了因光导造成的光损失, 也为进一步减小闪烁体大小, 提高位置分辨提供了有利条件。

2. 飞行时间谱仪中的可能性 图8是测量高能粒子速度的所谓飞行时间谱仪的示意图。它是由两个很薄的塑料闪烁计数器组成。当粒子穿过两个计数器时, 前一个计数器(s_1)在 t_1 时输出一脉冲, 后一个计数器(s_2)在 t_2 时输出一脉冲。 $(t_2 - t_1)$ 就是粒子飞过两个计数器的时间间隔。设两计数器的间隔为 l , 粒子的速度 v 就是: $v = \frac{l}{(t_2 - t_1)}$

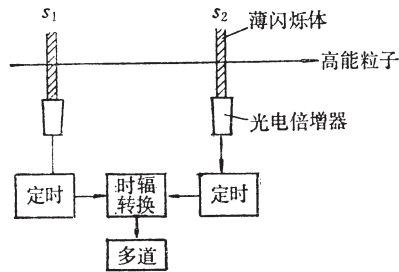


图8 飞行时间谱仪示意图

如果 l 一定, 那末速度测量的精度就依赖 t_2 和 t_1 的测量精度。当然, 时间间隔的测量是由电子线路来实现的。所以速度测量的精度受到闪烁荧光、电子线路和光电倍增器时间晃动的限制。目前闪烁体和电子线路的时间晃动仅几十微微秒, 而普通分离打拿级光电倍增管时间晃动有几百微微秒, 远远跟不上目前电子线路达到的水平。当使用微通道光电倍增器时, 输出脉冲上升时间小于八十微微秒, 半宽度不大于一百微微秒, 时间晃动为普通光电倍增管的三分之一, 这样, 就大大提高了测量粒子速度的精度。

3. 微分式契伦柯夫计数器中的可能性 在高能物理实验中, 契伦柯夫计数器是用来鉴别粒子的常用设备, 图9是微分式契伦柯夫计数器原理图。不锈钢筒

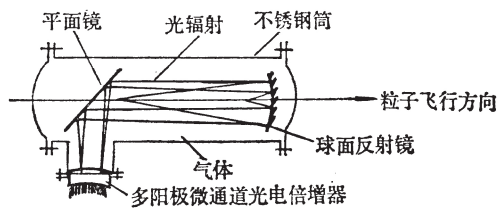


图9 微分式契伦柯夫计数器原理图

中充有光学折射率为 n 的气体做为辐射体。当一个速度 β (以真空中的光速 c 为单位) 大于 $1/n$ 的带电粒子穿过辐射体时, 在 θ 方向产生光辐射, θ 、 n 、 β 的关系为: $\cos \theta = 1/n\beta$, 其中 θ 是光辐射方向和粒子飞行方向的夹角。辐射光由球面反射镜聚焦成一光环, 该光

环再由平面反射镜投向多阳极微通道板光电倍增器。这样, 只有光环落上的那些阳极才有电脉冲输出。如果把所有的阳极输出脉冲都通过电子线路送到计算机里, 就可以把光环的大小和光环中心的位置显示出来了。光环的大小表示光辐射角 θ 的大小, 也就是入射粒子速度的大小, 光环的中心位置表明了粒子飞行的位置。这就可以把粒子的各种坐标与速度同时记录下来。这是用普通光电倍增管无法做到的。

以上我们介绍了微通道板光电倍增器的一些优点, 但它也有一些缺点。例如它的均匀性, 尺寸太小, 高计数率下增益的降低等, 都限制了它的使用。不过, 通过进一步的研制, 这些缺点应该是能够改进的。

(栏头设计: 王康康)