

通道电子倍增器

张多明

(中国科学院电子学研究所)

通道电子倍增器简称 CEM, 是一种基于二次电子发射原理的新的连续打拿极电子倍增器件. 它不但具有增益高、功耗低、结构简单、操作方便、重量轻、体积小、响应快和供电简单等特点, 而且更重要的是它是一个多功能、高灵敏的探测器件, 它可以直接探测电子、离子、中性粒子、真空紫外光子、软 X 射线及 α, β, γ 等带能粒子, 不需作任何转换, 具有较高的效率. 如果在其输入端装上不同的光阴极和转换屏, 就可探测可见光域的光子, 因而它能在多方面得到应用. 目前在国外已将它用于导弹或人造卫星对超高空或宇宙空间的带能粒子的探测和分析, 以及用来对微小电子流、离子流及各种射线进行测量^[1]; 在国内, 它的应用范围也在逐步扩大, 除了在真空紫外, 等离子探测, 电子、离子的测量等方面获得很好的应用外, 还用它制成了紫外光电倍增管, 为紫外光的探测提供了好的器件.

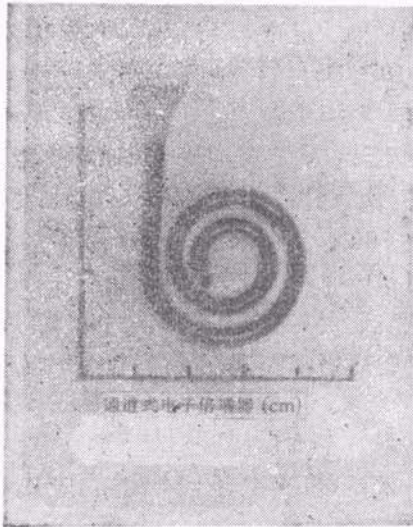


图 1

CEM 是用一种具有适当的电阻率和二次发射系数的材料制成的, 可以用来制成这种器件的材料有玻璃、陶瓷和塑料. 为适应各种应用要求, 它可做成平面螺旋、直螺旋、波浪形和“C”字形等形状(见图 1).

使用时将管子置于真空中, 在它的两端加上高压 ($2 \sim 3 \text{ kV}$), 管子内壁就成为一个连续倍增极. 初始电子从低压端进入, 撞击管壁释放出二次电子, 这些二次电子在电场作用下受到加速, 再碰到后面的管壁, 打出更多的二次电子, 经过这样的多次碰撞产生了越来越多的二次电子, 在通道的输出端就可发射出极大数量的电子, 从而获得很大的增益^[2].

一、通道电子倍增器的重要性能

1. 增益特性

增益测试的原理如图 2 所示. 采用 β 源作为一次带能粒子源, 其优点是比较稳定. β 源和 CEM 均放在动态真空系统中, 真空度保持在 $10^{-5} \sim 10^{-7} \text{ Torr}$. 输出端通过射极输出器和倒相器进入单道脉冲高度分析仪, 用十进位定标器读数, 即可画出脉冲高度分布曲线, 从而计算出增益.

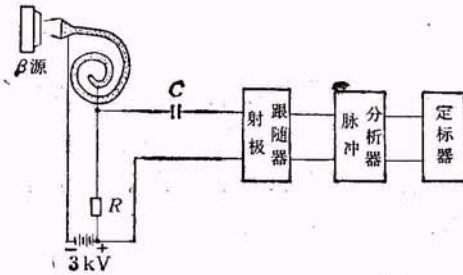


图 2

增益与施加电压的关系曲线见图3。由图3可知,在弯曲通道中,在开始饱和前的几个数量级内,理论曲线和实验曲线相当一致。实验曲线分成三个区域,区域I是线性区,约处于2.5 kV以下,这时增益低于 10^7 。区域II是饱和区,在这个区域中,电压增加增益不变,保持在 10^8 。这个特性用于脉冲计数最合适。区域III是处于更高的使用电压 V_0 下,此时仍然存在离子反馈效应而产生了寄生倍增。

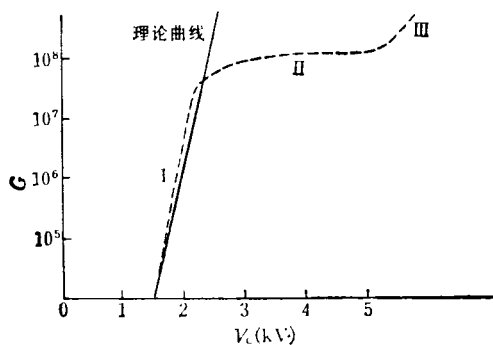


图 3

此外,增益与计数率有关。对于 $10^9 Q$ 的通道倍增器,增益为 10^8 时其最大计数率小于 10^5 个/s,

增益与累积计数也有关,它有一个平坦的工作区,增益不随累积计数增加而变化,直到累积计数超过 10^{11} 时增益才开始衰减。这个区域体现了倍增器固有的特性,它长时间稳定是倍增器长寿命的标志。

2. 脉冲高度分布分辨率

由于倍增器倍增过程的随机性,并不是每个人射粒子产生的脉冲幅度都一样,脉冲高度成高斯分布。分布的分辨率定义为:分布的半宽度与最可几的脉冲高度之比。这个值一般小于50%。

3. 响应速度

通道倍增器结构小巧,其中电子被电位梯度很陡的电场所加速,从输入到输出之间的过渡时间极短,输出脉冲宽度很窄。上升时间为5ns,脉冲宽度约为12ns。

4. 探测效率^[3]

探测效率的定义为:输入质点或光量子与

输出端产生的可检出的脉冲的百分比。要精确测定它十分困难,不过文献已有探测效率测量数据的报道,但是数据不大一致,下面仅列出一组数据供参考:

X射线(60—100 keV, 0.012~0.02 nm):效率1%;

软X射线(0.2—100 nm):效率7%;

U, V辐射(230—330 nm):效率10%;

正离子(H^+, He^+, A^+):效率85%;

电子(450 eV):效率90%。

5. 本底噪声

它是指与输入无关的虚假脉冲计数。它基本上没有热发射,所以本底噪声很小,约为0.01—0.1个/s。

二、影响倍增器性能的因素

1. 表面污染

大气分子的污染仅使通道产生一个吸附层,导致起始增益上升,对长时增益稳定性没有影响,所以可以在大气中保存,但应尽可能地避免在油系统中工作。

2. 烘烤

通道电子倍增器有时必须承受380—400℃的烘烤,烘烤后性能有些变化,变化程度与材料性质和工艺规范有关。

3. 真空度

通道电子倍增器要求在真空度为 $p = 10^{-4} - 10^{-8}$ Torr的条件下工作。

4. 温度

温度升高,在通道缺陷处可能产生自发电子脉冲,从而引起增益不稳定,因此温度一般不要超过70℃。

5. 电阻值

电阻值太高会使计数率减小,电阻值过低则容易发热烧坏管子,因而电阻值一般为 $10^8 - 10^9 Q$ 。

三、通道电子倍增器的应用

通道电子倍增器除了用来作为独立的探测

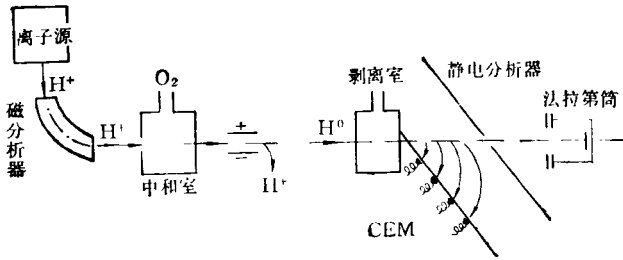


图 4

器件外, 已经在一些实用的仪器中得到了很好的应用, 下面列举几个实用图例。

1. 中性粒子能谱仪

中性粒子能谱仪原理如图 4 所示。

这是一个具有附加校正装置的中性粒子能谱仪。它的分析室采用了平板式多路输出的结构形式, 每一路输出的能量分辨率和计数率都需要一一进行校准。

2. 真空紫外谱仪

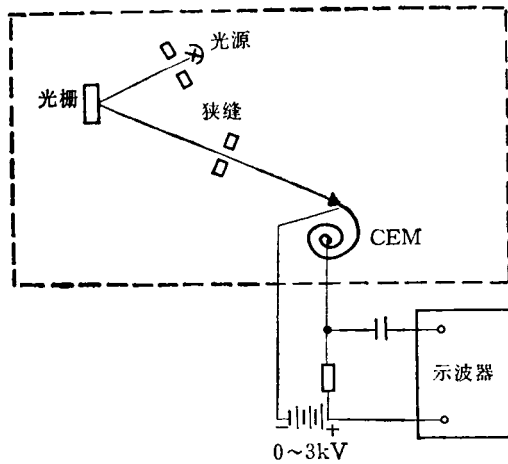


图 5

真空紫外谱仪实验装置如图 5 所示。利用该装置在真空紫外光栅光谱仪上对 $01\text{ V } 1031.924\text{ \AA}$, $0\text{ V } 629.732(3)\text{ \AA}$, $0\text{ V } 629.732(4)\text{ \AA}$ 和 $0\text{ V } 774.522\text{ \AA}$ 等多根光谱线进行了多次重复测量, 其结果表明性能良好。

3. 光子计数管

光子计数管原理如图 6 所示。

可以在入口端面上制作对不同波长敏感的

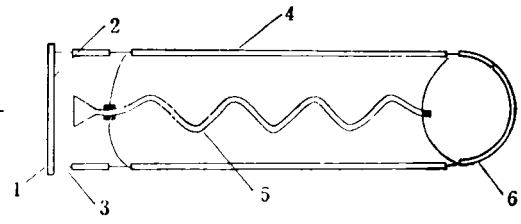


图 6

1—面板; 2—半透明光阴极; 3—金属涂层;
4—玻璃外壳; 5—ECM; 6—阳极环

光阴极, 以便对不同波长的光子进行测量。

4. 空间探测器

CEM 在空间探测器上的应用如图 7 所示。

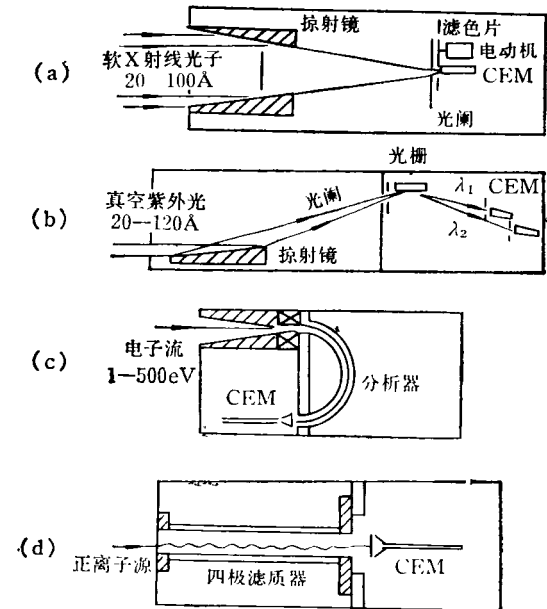


图 7

(a) 为观测宇宙软 X 射线, 用它测定射线源的位置, 获得宽带频谱的信息; (b) 为高分辨率 xuv 太阳单色光摄影仪; (c) 为低能带电粒子探测器之一; (d) 为一个四极离子质谱仪。

参 考 文 献

- [1] J. Adams and B. W. Manley, *IEEE Trans.*, **NS-13** (1966), 88.
- [2] B. D. Klettke, *IEEE Trans.*, **NS-17** (1970), 72.
- [3] H. I. L. Trap, *Acta Electronica*, **14-2** (1971), 145.