

# 简易条纹管及其在同步扫描条纹像机上的应用

李集田 贾欣志 牛惠辉

**摘要:** 本文详细地叙述了静电聚焦式简易条纹管的结构特点, 省去加速栅网, 以钡作阴极基底, 采用喇叭形静电偏转系统。扼要介绍了该管在 ns 量级同步扫描条纹像机上的应用, 及其测试结果。

## 一、引言

为对快速变化光学现象进行探测与测量, 采用同步扫描条纹像机有它的独到之处, 它适用于重复频率高、光强微弱的瞬变光现象的测量与记录。

决定同步扫描条纹像机时间分辨特性的是该系统中的关键部件一条纹管。目前条纹管的时间分辨率已达到 ps 和亚 ps 量级。<sup>[1][2]</sup>然而, 这种条纹管的制作工艺复杂、成本昂贵。我们从研究工作要求的实际出发, 研制简易条纹管, 并成功地把它用在我们自行研制的同步扫描条纹像机上, 并测得实验结果。

## 二、条纹管结构

用于 ns 量级时间分辨研究的简易条纹管是根据原有静电聚焦像管的结构, 进行适当改造、实验而最后定型的。其结构图如图 1 所示, 图 2 给出该管外观照片。

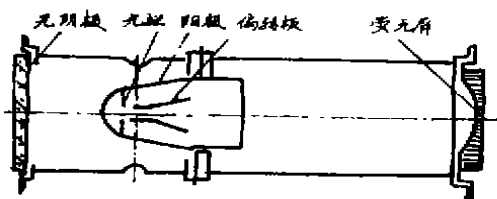


图 1

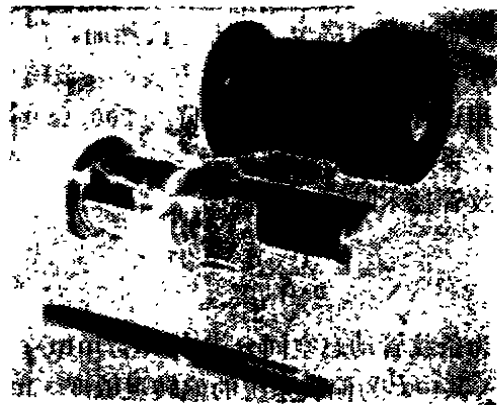


图 2

该管采用平面光阴极玻璃输入窗口, 带球形端头的锥形阳极、喇叭形静电偏转板和凹面光纤面板输出屏结构。平面阴极窗口工艺简单, 又因有效阴极直径很小 (仅  $\phi = 10\text{mm}$ ), 不会带来明显轴外像差; 采用凹面光纤面板输出屏是因它能有效地减小像散和畸变, 又便于使用带面板结构的像增强器进行光学耦合; 采用带球形端头阳极, 是因为它能使管子结构紧

凑,又能在阴—阳区间形成好的电场分布,采用喇叭形偏转板系统,是因为它有较高的偏转灵敏度;在阳极内部,偏转板入口前端引入一个限制光栏膜片,其作用有二,一是可切掉部分边缘散乱电子,以免影响正常聚焦成像;二是起场屏蔽作用,防止偏转场渗透到阴极聚焦场区,破坏聚焦。

总管各部(阴极、玻壳、荧光屏等)采用氩弧焊接,玻璃—金属则采用高频熔封工艺焊接;金属零件、电极为冲压成型、玻壳校型以确保加工零件形状的重复性和精度。

### 1. 省去加速栅网

在不考虑空间电荷效应的情况下,通常用下式来估计条纹管物理时间分辨率<sup>[3]</sup>

$$\tau = 2.34 \times 10^{-8} \sqrt{\Delta e/E} \quad (1)$$

式中 $\Delta e$ 为光电子初能分布半宽度(eV); $E$ 为阴极附近电场强度(V/m)。该式描述了光电子具有初速度分布和初角度分布造成的渡越时间差所确定的时间分辨率。为减少这种时间弥散,行之有效的办法就是在阴极附近引入一个加速栅网电极,并施加较高电位,从而提高阴极区电场强度 $E$ 。这是目前高时间分辨条纹管无一例外的技术措施。然而,在要求时间分辨不太高(如ns量级)时,引入加速栅网并不完全必要,因为由于加速栅网的引入无疑会使结构复杂,增加制造困难,成本也大大上升。况且在静电二极式像管中,施加正常工作电压以后,阴极附近电场强度可达 $4 \times 10^4$ V/m,理论计算表明,在这种条件下其物理时间分辨率高于0.1ns。正是在这种充分论证之后,我们省去加速栅网,适当移近阴—阳极距离,提高阴极场区电场强。这样做不仅大大简化整管结构,又能满足应用要求。

### 2. 以钽作阴极基底

条纹管接收的光信号是强而短的光脉冲,从光阴极上支取的电流密度为几mA/cm<sup>2</sup>乃至几百mA/cm<sup>2</sup>。要支取这样大的电流密度,当阴极本身面电阻大时,将引起阴极表面从边缘到中心电位升高,因而破坏阴极表面等位面形状,也就破坏电子光学聚焦并引起桶形畸变。由于光信号本身高频变化,支取的电流密度也作高频变化,从而引起阴极表面电位变化,最终导致电子图像模糊,空间分辨率和时间分辨率下降。

降低阴极表面电阻方法多种多样,最有效的方法之一是在阴极玻璃表面镶嵌上一层金属网,这时面电阻可降至几 $\Omega/\square$ ;然而,这种方法工艺复杂,成品率也低,造价昂贵;我们利用现有条件,采用阴极溅射方法,在玻璃片上涂一层钽层,作为基底,再在其上制备阴极。采用这种方法阴极面电阻降为200 $\Omega/\square$ 左右,可满足我们应用要求。

### 3. 采用喇叭形偏转板<sup>[4]</sup>

条纹管技术时间分辨率为

$$\tau = \frac{1}{v \cdot \delta} \quad (2)$$

式中 $\delta$ 为条纹管动态空间分辨率( $l_p/\text{mm}$ ); $v$ 为电子束在荧光屏上的扫描速度(mm/s), $v = P \cdot K$ 其中 $P$ 为偏转系统的偏转灵敏度(mm/V), $K = dV/dt$ 是偏转电压对时间的变化率。显然当 $K$ 一定时, $P$ 值越高,时间分辨率也越高。喇叭形偏转系统具有较高的灵敏度,在不考虑轴向电场时( $E_z = 0$ ),其偏转灵敏度率为<sup>[5]</sup>

$$P = \frac{l_1}{2V_0 d_1} \left[ \frac{l_1}{2} + l_2 + l \right] + \frac{l_2}{2V_0 (d_2 - d_1)} \cdot \left[ \left( \frac{d_2 l_2}{d_2 - d_1} + l \right) + \ln \left( \frac{d_2}{d_1} \right) - l_2 \right] \quad (3)$$

具体结构示意于图3, 要提高偏转灵敏度就要减小偏转板之间距离(主要是 $d_1$ )、加长偏转板有效长度( $l_1$ 和 $l_2$ )、加长偏转板出口端至屏距离( $l$ )。然而这些尺寸的改变都受到限制, 首先 $d_1$ 不能小于光栏孔径, 否则会切割电子;  $d_1$ 过小、 $l_1$ 、 $l_2$ 过长, 将导致极间电容增加, 高频特性变坏, 使扫描出现非线性误差;  $l$ 也不能随意增加, 当整管电子光学系统确定之后, 像面位置就是确定的, 故 $l$ 也就确定了。适当加大电子光学放大率, 可以加长像面位置, 使 $l$ 增加, 我们选定电子光学放大率 $M_0 = 2.3$ , 就是出于这一考虑。

#### 4. 主要参数

总长 (mm)	157.7 ± 0.3
最大直径 (mm)	φ56 + 1
光阴极有效直径 (mm)	φ10
荧光屏有效直径 (mm)	φ25
电子光学放大率 $M_0$	2.3
偏转灵敏度 (mm/kV)	25 ( $V_s = 10\text{kV}$ )
光电阴极	S-20
电位:	
阴极 $V_c$	0V
阳极 $V_a$	10kV
偏转电压 $V_s$ (峰-峰值)	2.5kV
频率 (正弦)	4MHz
静态空间分辨率 (中心) ( $l_s/\text{mm}$ )	40
时间分辨率 (ns)	< 1

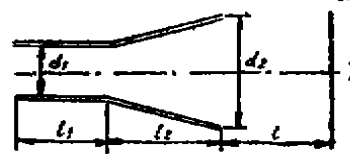


图3

### 三、应 用

用研制的简易条纹管, 可组成一套完整的同步扫描像机, 用于 ns 量级的时间分辨测量研究, 图4 绘出该同步扫描像机组框图。主要包括硅光电二极管、狭缝、条纹管、像增强器、SIT摄像机、同步扫描电压发生器、监视器、微机以及高压电源、透镜、反射镜等。

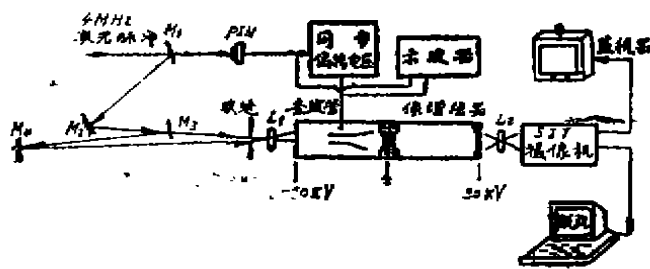


图4

由氩离子激光器泵浦的锁模腔倒空染料激光器产生一宽度为几十 ps, 重复频率为 4MHz 的激光脉冲作为测试光源。激光照射在半反射镜 $M_1$ 上后分两路: 一路透射光照在 PIN 硅光电二极管上, 形成与光脉冲同频率的电脉冲信号, 用以触发同步扫描电压发生器, 形成同步

扫描偏转电压；另一路由 $M_1$ 反射到全反射镜 $M_2$ 上，再反射到半反射镜 $M_3$ 上，激光束再分成两路，一路透过 $M_3$ 直接照射在狭缝上；另一路由 $M_3$ 反射到 $M_4$ 上，再反射到狭缝上。由于第二束光多两次反射，与第一束光相比，有一个光程差，就造成了时间上的延迟（每米延迟3.3ns）。该系统是以狭缝为“物”，经物镜 $L_1$ 聚焦成像在条纹管光电阴极面上，形成的电子图像经偏转之后，由于两条狭缝像时间上的差异导致荧光屏上的分离。为增强条纹管输出图像亮度，其后耦合三级像增强器（可增强 $10^6$ ），并通过物镜 $L_2$ 与当代灵敏度最高的SIT摄像机进1:1传像耦合，摄像机把光信号变成视频信号分两路输出，分别送给监视器用于目视观察和Apple-II微机进行图像存贮与处理。

所谓同步像机，系指加在条纹管偏转板上的正弦偏转电压与入射在条纹管光阴极上的光脉冲是同步的。当激光脉冲打到硅光电二极管上后，形成扫描电压触发信号，触发雪崩晶体管，形成同周期的梯形波，再经过选频、放大形成正弦扫描电压，加在偏转板上。触发脉冲与正弦电压相位关系可通过电子学方法或改变入射光程进行调节，并用示波器进行监视。

SIT摄像机输出的视频信号为1V ( $V_{p-p}$ )，放大到5V之后，再输入给微机。数据的快速屏幕显示在Apple-II微机上进行，并采用高分辨率、图形文本方式进行工作，于是在整个屏幕上可同时显示数据曲线和通道数据，并可通过键盘操作随意移动垂直光标位置，用以显示曲线幅值所对应的通道值（时间），于是可从屏幕上直接读出条纹像的亮度分布及半宽度。整个画面分成256通道，经计算可知每个通道对应0.12ns，该系统具有数据采集、存贮、减背景、平滑和绘图功能。

#### 四、测试结果

为定量标出该系统时间分辨特性，进行两种测试：条纹半宽度测量和两条纹分开距离测量。

1. 条纹像半宽度，所谓条纹半宽度是指亮度为峰值（中心处）一半处左右两边间隔（空间上为距离，对应时间上的分辨率）。测试条件为，在上述系统中，挡上一束入射光，使在狭缝处仅有一束光成像；条纹管阳极电压 $V_a = 10\text{kV}$ ，偏转电压 $V_d = 2\text{kV}$ （峰—峰值）。测得如下四组数据（表1）

表1

	$L_1$	$L_2$	$L_3$	$L_4$
CHM	165	158	134	167
CHL	155	147	126	159
CHR	174	167	143	179
CHW	19	20	17	20

表中CHM、CHL、CHR和CHW分别表示条纹亮度分布的峰值（在中心）、半宽度左、右和半宽度所对应的通道值。由上表可算出条纹半宽度为19个通道，每个通道对应0.12ns，即时间分辨为 $\Delta t = 2.26\text{ns}$ 。图5给出 $L_4$ 的亮度分布图，它是经微机处理后输出给绘图仪绘制的。

2. 两条条纹分开距离测量，利用上述系统，当两束光不同时间入射在条纹管阴极面上时，经过偏转扫描后，就可在荧光屏上得到两条分开的条纹像。第二束光比第一束光多走光程

1.8米,  $V_0 = 10\text{kV}$ ,  $V_1 = 20\text{kV}$ 。图6为从监视器上拍摄的两条分离的条纹照片。可看出分离清晰, 间隙较大。根据光程差可推算出对应的时间分辨率为6ns。

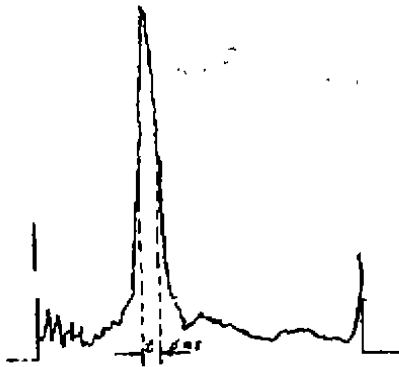


图5



图6

### 参 考 文 献

- [1] Y. Tsuchiya, et. al., SPIE, 348, 245, 1982.
- [2] W. Sibbett et. al., Rev. Sci. Instrum., 53(6), 1982. 758.
- [3] V. V. Korobkin, J. Photo. Scie., 17(5), 1969. 178~182.
- [4] 李集田, 光学机械, 1989年, 1期, 31.
- [5] М. Я. Муляров, Электронно-Луэевые Приборы, Госэнергиздвт, 1954.

## The Simplified Streak Tube and Application to the Synchroscanning Streak Camera

Li Jitian Jia Xinzhi Niu Huihui

### Abstract

In this paper the structure of a simplified electrostatic focusing streak tube is described, in which a mesh electrode is omitted, a Palladium material is used as substrate of the photocathode, a deflection electrode with trumpet shape is adopted. Its application to the synchroscanning streak camera is presented and the measurement results is introduced.