

实验低照度积累电视系统

贾欣志 李平辉 张国兴

一、前言

当探测极其微弱的光信号时,存在一个基本困难,就是由于光的量子特性在探测器中引进了严重的统计涨落或“噪声”。要使这种涨落变得不明显,要求光学图象探测器具有较好的积累和贮存信息能力。人眼的积累时间为0.2秒、在标准电视系统中摄像管的积累时间是1/25秒。由于积累时间有限,因此所能探测的最低照度便受到限制。近年来,随着光电成像技术的发展,出现了一些新的办法来解决发光极其微弱的物体的探测问题,这些方法可大致归纳为如下三种:

1. 利用图象增强器与照相底片相结合。这包括利用胶片直接对高能光电子曝光的电子照相机,以及把级联象增强器的输出屏与照相底片直接耦合两种方法。

2. 图象光子计数器系统^[1]。光子计数器的典型系统是采用高增益的象增强器来探测单个光电子,然后利用适当帧速率的摄像管将在特定时间和空间出现的单个光电子事件及时地、无误地送入电子计算机贮存。这种系统有较好的分辨率和无限的贮存容量,在天文学研究中很有用,但数据处理系统较为复杂。

3. 积累电视摄像系统。这种方法,光子的探测和贮存都是在具有一定信息积累和贮存能力的电视摄像管中完成的。早期的积累电视系统利用C.P.S Emitron摄像管^[2]。这种管子室温下线性积累时间约30秒,当冷却到-55℃时,线性积累时间可达2小

时,当时的系统不能实时显示。积累的图象读出时,用照相机拍照。另外这种管子的灵敏度大约与照相乳胶相当。所以当60年代新的、灵敏度更高、积累和贮存性能更好的SEC摄像管出现后,很快就发展了新型的积累电视系统,并在天文观测方面获得应用。一般在用于光谱光度测量时,多采用数字电视系统,并与计算机联合使用。对所积累的图象进行分析、处理。在直接观察图象时,可以在图象读出瞬间用照相机对监视器拍片,也可以将读出的图象送入贮存管(或扫描变换管)贮存,然后非破坏读出,连续显示。后一种方法的主要优点是可以较快地对所积累的图象进行目视显示,我们目前所研制的就是这种目视积累电视系统。

近年来发展了变象管摄谱仪和光电光谱光度计这样新型的天文仪器。它们可以用来对光极其微弱的目标进行测量但在每次测量前,天文工作者都必须花费很长时间来抓捕目标和导引望远镜。利用带象增强器的SEC摄像管和贮存管的目视积累电视系统便能较好地解决这方面的问题^[3]。此外,这种系统还可用于大型电子显微镜的调试和使用、X光探伤等。我们目前研制的系统是利用现有的SEC摄像管和正在试制中的SiO₂靶贮存管的积累电视系统。本文是阶段性的研制进展报告。

二、SiO₂靶贮存管

贮存管的发展已有几十年的历史,按其功能的不同,可分为扫描变换型、直视型、

摄像型及光变换型四类。SiO₂靶贮存管是七十年代伴随集成电路技术的发展而出现的一种新型单枪扫描变换贮存管。目前已在信息处理,医学、通讯及电子计算机等方面获得应用^[4]。我们现已作出实验用的 SiO₂ 靶贮存管。管子的结构原理图如下:

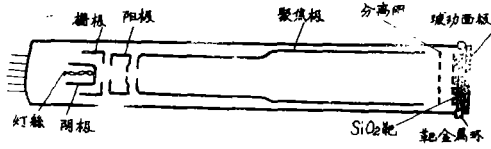


图1 SiO₂靶贮存管示意图

电子枪利用现有一吋 Si 靶摄像管电子枪。SiO₂ 贮存靶是利用一般的 Si 片氧化光刻方法制成的、靶的结构如图2所示

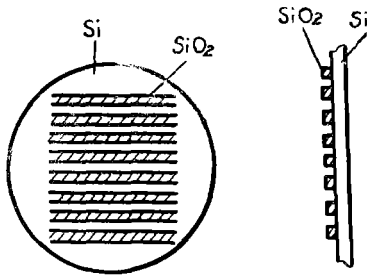


图2 SiO₂靶结构示意图

SiO₂ 靶贮存管是通过控制靶的 SiO₂ 表面的二次电子发射工作的, SiO₂ 的二次发射特性如图3所示

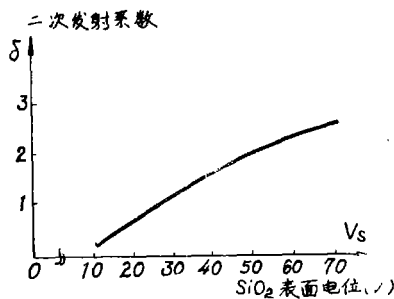


图3 SiO₂膜的二次电子发射特性.

管子的工作可分为擦除、记录、读出、准图四个步骤, 各步 SiO₂ 表面电位 V_s 和靶压 V_T 之间的关系如图4所示。

擦除: 一般使靶压为15~20伏, 以直流电子束扫描靶面, 由于此时 $\delta < 1$, 所以 SiO₂

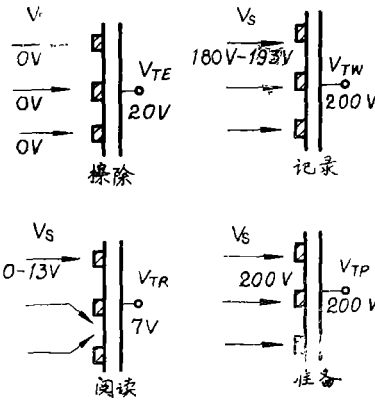


图4 各工作步骤 SiO₂ 表面电位 V_s 与靶压 V_T 的关系。

表面渐渐接近阴极电位 (零伏)。

记录: 靶压切换到200伏, 此时视频信号加到阴极上, 当为输入信号调制的电子束扫描靶面时, 在擦除期间 SiO₂ 表面贮存的电荷便与调制量成比例地放电, 因为此时 $\delta > 1$ 。结果在整个靶的 SiO₂ 表面形成了图象电荷分布。

读出: 此时靶压切换到4—8伏, 由于静电耦合所以记录时形成的表面电位 V_s 分布保持原封不动。但由于此时 V_s 低于阴极电位, 所以再以非调制电子束扫描时, 就不会破坏这个电位分布。这样, 为 V_s 调制的电子束便流入靶中, 形成视频信号。实验测得的典型靶的电子束调制特性 (或透过特

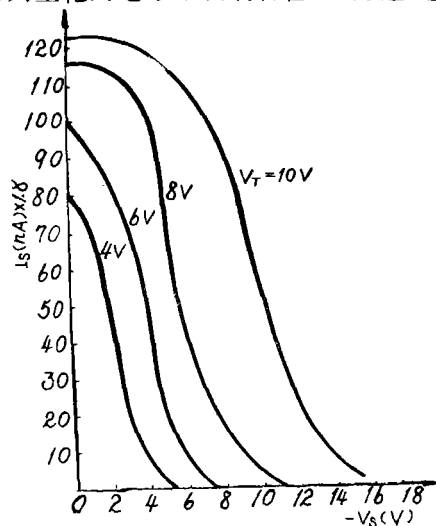


图5 SiO₂靶的电子束调制特性、

性) 如图 5 所示。

准备: 这一步也有称为预写的, 有了这一步可以大大加快擦除速度。这一步也是将靶压切换到 200V, 以大的直流电子束扫描一帧, 从而使表面电位均匀化。

三、SEC 摄象管:

本系统的图象传感器是玻璃面板、静电聚焦, 一时 SEC 摄象管。SEC 靶早期为 KCl 靶, 近期改为 MgO 靶, 目前尚未发现这两种靶在图象积累和贮存性能方面有明显差别。管子不加抑制栅网。电子枪为标准一时视象管电子枪, 带分离网、灯丝功率 4 瓦、移象部分为二极变象管、放大倍率 0.8, 极间电压 8 千伏。管子结构示意图如图 6 所示:

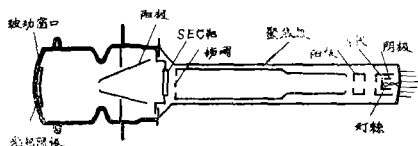


图 6 SEC 摄象管示意图

目前管子主要指标为: 灵敏度 $S \approx 7500$ 微安/流明, 中心极限分辨率: $R \approx 400$ 电视行、惰性 $L \approx 5\%$, 最大输出信号电流 $I_{Smax} = 0.15$ 微安

四、实验积累电视摄象系统

工作原理

本系统方块图及原理示意图如图 7 a、b

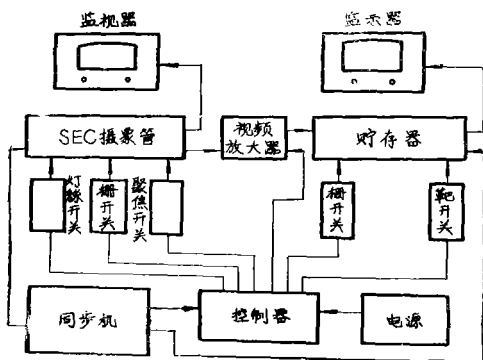


图 7 a 实验积累电视系统方块图

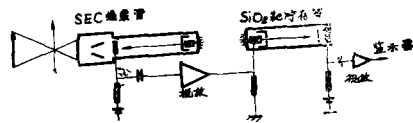


图 7 b 系统工作原理图

所示。工作期间, SEC 摄象管和 SiO_2 靶贮存管均工作于擦除、记录与读出顺序进行的方式。由于两种管子在系统中的功能不同, 所以两者并不以上述次顺一一对应。实际的工作情况是:

1) SEC 管处于记录状态时, 栅极加大的负偏压, 使扫描电子束截止, 移象二极管加高压, 管子曝光、此时 SiO_2 靶贮存管处于擦除状态。2) 曝光未了, 去掉移象高压, 栅偏压恢复正常, SEC 管处于读出状态, 而此时、 SiO_2 靶贮存管则处于记录状态。通过控制电路使两者保持同步, 时间为一帧 (40 毫秒)。3) SEC 靶积累的信息一帧读出后, 就自动处于擦除状态, SiO_2 贮存管则通过控制电路或手动切换到读出状态。为明显可列表如下:

工作步骤 管型	I	II	III	IV
SEC	记录	读出	擦除	擦除
SiO_2	擦除	记录	读出	擦除

工作其间, 贮存管的靶极和栅极电压, 以及 SEC 摄象管栅压随时间的变化顺序可用图 8 表示:

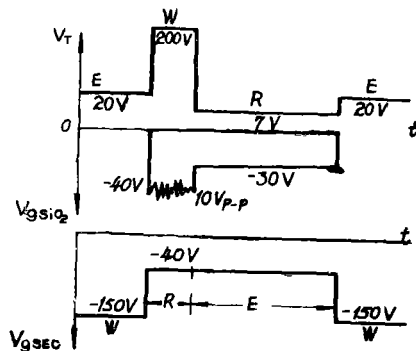


图 8 贮存管靶压栅压及 SEC 管栅压的变化。

其中 E、W、R 分别表示擦除、记录和读出。两管的擦除与读出电压可根据实际情况调节。系统工作时，有以下几点值得一提：

1. 贮存管的视频输入与输出之间经过如下三重变换，即栅极调制特性、SiO₂ 表面的二次发射特性，以及 SiO₂ 贮存靶的电子透过特性。一般后两者可以选择工作于线性范围，但栅极调制特性总是非线性的，所以在转换过程中很容易使图象灰度损失。为了弥补这个问题，可以通过线路进行补偿，同时要仔细选择合适的工作点和视频幅度。各个管子性能并不完全一致，所以更换管子时，应该重新调整最佳工作点。视频幅度一般以 10V_{p-p} 为佳。

2. 贮存管在记录和读出时，电子束聚焦平面稍有不同。在手动系统中，记录之前和读出之后都应调整聚焦情况，使之达到最佳状态。

3. 为了使 SEC 摄像管安全地工作，应在管子曝光期间将分离网降到 0 伏，以免 SEC 靶因过载而破坏。

4. 当曝光时间较长时 (> 1 分)。应在曝光开始，同时将电子枪灯丝关掉，以去掉反馈杂光的影响。

五、实验结果与讨论

1. 贮存显示系统：

图象分率	灰度	记录时间	连续读出时间	擦除时间	贮存时间
400 电视行	7 级	40 毫秒	73 分钟	< 400 毫秒	> 24 小时

2. 图象积累典型实验结果：

光电阴极照度	积累时间	显示图象分辨率
1 × 10 ⁻⁶ 勒克斯	25 秒	350 电视行

注：所用管子的原始分辨率为 ~350 行，靶压 V_T = 20 伏时总灵敏度为 7500 微安/流明，积累实验时靶压 < 20 伏

3. SEC 管线性积累时间实验结果：

本实验所用的管子灵敏度较低，在最大使用靶压 70 伏时，总灵敏度为 2000 微安/流明。实验开始时，使光学透镜的 F 数最小 F/0.8，此时光电阴极照度约 3.9 × 10⁻⁴ 勒克斯，选择积累时间，使显示图象最佳、然后通过改变光圈逐步降低阴极照度、增加积累时间、使之获得同样的显示图象。结果表

光学系统 F 数	F/0.8	F/1.0	F/1.4	F/2.0	F/2.8	F/4	F/5.6	F/8	F/11	F/16	F/19
积累时间	10 秒	15 秒	30 秒	1 分	1 分 50 秒	4 分	7 分 45 秒	16 分	30 分 15 秒	64 分	1 小时 30 分

明、在 90 分钟的积累期间线性良好。具体数据和曲线如表所示。

在理想情况下，SEC 摄像管的积累能力是由 SEC 靶的容量决定的。如果 SEC 靶电容值取为 C = 100 微微法/厘米² 靶表面电位偏移 ΔV = 5 伏，靶增益取 G = 50。SEC 靶单位面积所能积累的光电子倍数为：

$$n_{p.e.} = \frac{C \Delta V}{G e} \quad e \text{ 为电子电荷。}$$

如此可进一步写出

$$I_p \cdot t = \frac{c \Delta V}{G} \quad \text{这里 } I_p \text{ 为光电流强度, } t \text{ 为时间}$$

$$E \cdot t = \frac{c \Delta V}{G \cdot S \cdot \delta} \quad \text{度, 阴极灵敏度和光电阴极面积。}$$

从这里可以看到、不论输入光信号如何微弱，我们总可以通过延长积累时间来使输出达到一定数值。但实际情况并不是理想的，因此也就不允许无限延长积累时间。

首先，不论什么光电阴极，总是存在一个与温度有关的暗电子发射。对 S₂₀ 阴极，

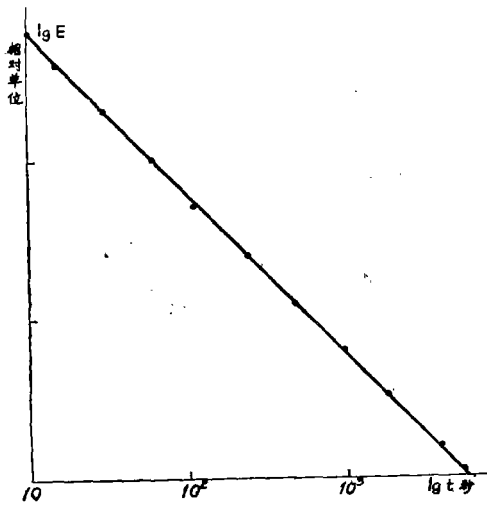


图9 SEC摄像管的线性积累时间测量结果
暗电流为 $10^{-16} - 10^{-18}$ 安/厘米²，对 K-C-S₀ 双碱阴极，暗电流为 2×10^{-17} 安/厘米² [5]。我们取 S₂₀ 阴极暗电流为 10^{-16} 安/厘米²，不难推算出大约需要 2.8 小时的积累，该暗电流就能使靶饱和。当然使图象细节受到影响的时间还远远用不了这么长，在实际应用中往往还有一些比暗电流更重要的因素限制积累时间的延长。热阴极灯丝发光反馈到光电阴极上引起的杂光光电发射，实际上要超过暗电流的作用。我们在实验中发现，在灯丝电源不关掉的情况下，30秒钟的积累，已经可以看到明显的杂光背景信号，如果假定该信号占整个动态范围的10%，则可推算出这种杂光造成的背景信号电流近于 4×10^{-14} 安/厘米²，即比暗电流大约高两个数量级。此外还有些其它因素。也对背景有贡献。

移象部分的场发射，管内残余气体电离形成的正离子在光电阴极上造成的电子发射，这些目前尚无定量概念。

从光电阴极透过的光信号在管内散射，也是形成杂散信号的因素，有人曾定量测量估计这种杂光约占总入射光的 2.5% 到 1% [6]。

靶的漏电也是影响线性积累的可能因素之一，一般认为 SEC 靶的贮存性能是很好的，但实际可能并不完全如此。据有人作过的统计 [7]，靶的贮存性能从几分钟到几天，变化很大，我们目前尚未对此作过研究。

上述诸因素作用的结果是造成一个与有效光学图象无关的均匀背景，从而使图象对比度降低，特别是使图象的高频（空间频率）信息严重损失。

为了延长积累时，必须采取适当措施，当然这应该根据需要而定，

参加这项工作的还有金春植、黄卫东等同志。

参考文献

- [1] A. Boksenberg and Burgess, Adv. E. E. P 33B 835.
- [2] P. R. Randall, Adv. E. E. P 12 219
- [3] E. W. Dennison, Adv. E. E. P 33B. 795.
- [4] 尾崎正义、映像情报 1977.2.
- [5] RCA. Electro-Optics Handbook.
- [6] P. M. Zuchino and J. L. Lowrance. Adv. E. E. P 33B 801.
- [7] Lyman Spitzer Jr J. L. Lowrance. Large, High Resolution Integrating Tv sensor for Astronomical Applications NAS 5-20833.