

# 一种多功能的超低照度电视系统

贾欣志 李集田

**摘要:** 本文简要叙述一种新近研制成功并通过鉴定的超低照度电视系统的工作原理、结构组成、基本功能、主要性能指标, 及其在若干领域中的应用前景。

## 一、前 言

在科学研究、工业及军事等领域中, 常常需要对光线很弱的景物或目标进行摄象的电视系统。一般, 把能在照度低于 0.1 勒克司的环境下工作的电视系统称为低照度电视, 或微光电视。微光电视的发展至今已有近 40 年的历史。这个历史实质上是以电视系统的核心——电视摄象器件的发展为标志的。最早的微光摄象管是在第二次世界大战期间发展的超正析象管<sup>[1]</sup>。用这种管子装成的电视系统, 可在  $10^{-1}$ — $10^{-3}$  勒克司的光电阴极面板照度下工作。后来, 通过对这种管子读出系统的改进, 产生了一种新型的微光摄象管——分流管<sup>[2]</sup>, 其灵敏度比超正析象管提高一个数量级。这两种管型均采用返回电子束读出方式, 结构复杂, 调整较难。至今已很少使用。六十年代初, 出现了二次电子电导 (SEC) 摄象管<sup>[3]</sup>, 其灵敏度比玻璃靶超正析象管高, 比 MgD 靶超正析象管偏低。但这种管子信号从靶极直接读出, 结构简单, 使用方便, 因而很快变为盛行一时的微光摄象管。六十年代末, 硅靶增强 (SIT) 摄象管问世<sup>[4]</sup>, 其灵敏度比 SEC 管高一个数量级以上, 是当今最为广泛应用的微光电视摄象管。

为了进一步提高微光摄象管的灵敏度, 使微光电视系统的工作范围向低照度方向扩展。一般采用的途径有: (1) 提高光电阴极的灵敏度。(2) 通过材料或结构的改进, 提高电荷贮存靶的增益。(3) 将各种不同类型的象增强器通过光纤板或透镜与摄象管耦合起来, 进行信号的前置放大。(4) 将微通道板 (MCP) 放在管子的移象段, 形成光电子的前置增益。

对于象 SEC 及 SIT 这种信号从靶极直接读出的摄象管, 其在高照度时的性能一般受限于光信号的散粒噪声和管子的调制传递函数。在较低照度下的性能主要取决于前置放大器的噪声电平。在这情况下, 耦合象增强器, 提高管子的前置增益, 可以有效地使系统工作范围向低照度扩展。但如果前置增益过大, 照度过低, 则信号光电子的统计涨落会重新上升为主导的噪声源, 限制系统的性能。目前用 SIT 加一级象增强器所构成的较好的 ISIT 系统, 可在  $10^{-5}lx$  的光电阴极面板照度下, 获得 300 电视行的分辨率。再增加一级象增强器并不能使有效的工作范围向更低照度扩展, 反而还会使系统的高照度性能退化。

为了解决上述矛盾, 使得电视系统有可能工作于  $10^{-6}lx$  以下的超低照度条件下, 我们发展了一种多功能的超低照度电视系统。该系统以象增强器加 SEC 摄象管组成的 ISEC 作

为图象传感器，再通过积累的工作方式来提高灵敏度，改善信噪比、扩展动态范围。实验表明，该系统在 $10^{-8}$ — $10^{-7}$  lx的超低照度下，可对相对静止目标或重复出现的光信号进行有效的电视摄像，从而具有广泛的应用前景。

## 二、系统工作原理

该超低照度电视系统工作原理如图 1 所示。

工作期间，SEC 摄像管工作于积累方式。硅靶贮存管按擦除，记录与读出顺序进行工作<sup>[5]</sup>。具体工作过程如下：

(1) 曝光：这一步 SEC 管处于记录信号状态。此时电子枪栅极加以较大的负压，使扫描电子束截止，移象二极管加 8kV 高压象增强器加 10kV 高压。曝光时，目标通过透镜成象在象增强器光电阴极上，从光电阴极发射出的光电子通过电子光学透镜加速和聚焦后，打在荧光屏上，形成亮度增强了的图象，然后，该图象通过纤维光学面板耦合到 SEC 管的光电阴极上，再次转换为光电子象，此电子象再次经聚焦和加速后，打在 SEC 靶上，形成二次电子倍增的电荷图象。

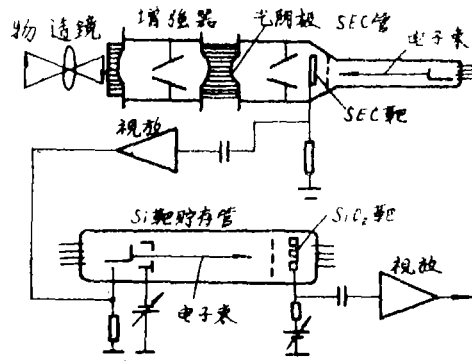


图 1 系统工作原理示意图

SEC 靶是由疏松的绝缘材料，如 KCl，构成的，电阻率非常高，因此，曝光期间，信号电荷能够不断在靶上积累而加强。与此同时，贮存管处于擦除状态，为随后的信号记录和贮存作准备。

(2) 写入：曝光末了，SEC 管栅偏压恢复正常，扫描电子束接通，SEC 靶上积累的图象电荷在一帧时间内被取出，转换为视频信号，之后 SEC 管就处于正常的擦除状态，为下一次积累作准备。与 SEC 管扫描电子束接通的同时，通过控制电路的作用，硅靶贮存管同步地转入记录状态。从 SEC 管中读出的视频信号，经放大后加到贮存管的阴极上。在贮存管中受视频信号调制的电子束打到贮存靶的 SiO<sub>2</sub> 表面上时产生二次电子发射，由于此时 SiO<sub>2</sub> 表面电位较高，二次电子发射系数大于 1，所以，擦除期间 SiO<sub>2</sub> 表面堆积的负电荷便相应地放电，形成与光学信号对应的电荷图象，这就是写入过程。

(3) 读出：输入信号写入 SiO<sub>2</sub> 贮存靶上之后，系统便通过控制电路自动（或通过手动开关）转入读出状态。在此期间，SiO<sub>2</sub> 表面处于负电位，扫描电子束只受表面电位调制而不能落到 SiO<sub>2</sub> 表面，因此读出过程不会使写入的图象受到破坏。这样也就达到了连续显示的目的。

## 三、整机结构

该超低照度电视系统的整机外形如图 2 中的照片所示。它由摄像机头，主机（包括贮存器与控制器），电源及两个监视器组成。

该仪器系统方框图如图 3 所示。两个监视器，一个用于高照度时直接观察电视图象及摄

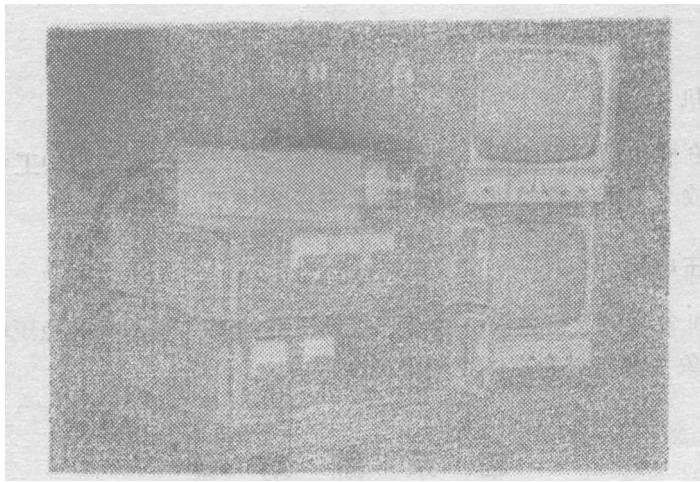


图2 整机外形照片

象机调整。另一个用于观察积累贮存后的图象。除监视器外，还有摄象机、控制器（包括各种开关电路）、贮存器、同步机及高低压电源五部分组成，现简单说明如下：

### (1) 摄象机

摄象机本质上就是普通的工业电视摄象机，所不同的在于图象传感器。该系统可以使用两种类型的传感器。一种是玻璃面板，1 in SEC 摄象管，工作时，移象头阴极与阳极间加8kV高压。另一种为象增强器与带纤维光学面板SEC管耦合构成的 ISEC 作为图象传感器，工作时，象增强器阴阳极间加10kV高压。两种图象传感器配有不同的光学透镜。机械设计保证互换极容易。两种图象传感器的选择视需要而定。SEC 摄象管靶电容比其它类型摄象管要小，因此输出信号电流也小。同时靶表面附近有一个抑制栅网，使管子的输出电容比较大，所以在获得较高的信噪比方面比较困难。

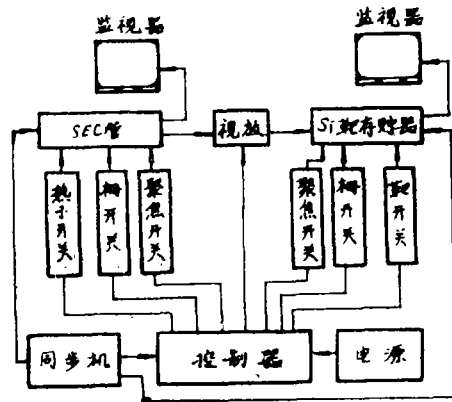


图3 超低照度电视系统方框图

### (2) 控制器

这部分利用同步机产生的推动信号来形成预写，擦除，写入与读出四种工作状态指令信号，这些指令信号经面板上的琴键开关进行选择组合后送往贮存器，并控制贮存器，使之进行各种预定的工作过程。靶开关，栅开关及聚焦开关电路均受控制器指令信号的控制，在四个工作状态中自动切换靶极、控制栅极的电位及聚焦线圈的电流。接到贮存管上的聚焦开关是为擦除时使扫描电子束散焦而设置的。有一种型号的 SEC 摄象管内部没有抑制栅网，这时需要有聚焦开关电路接到SEC管的分离栅网上，以便在工作过程中保护SEC靶免受破坏。

### (3) 贮存器

贮存器的核心是硅靶贮存管。此外包括写入放大器及读出放大器。其中控制电路在状态指

令信号的控制下，实现视频信号的贮存与显示功能。

#### (4) 同步机

该部分产生电视扫描所需的行、场推动、复合同步、复合消隐四种工业电视标准同步信号，由脉冲分配放大电路送给整机各部分或其它设备使用。

#### (5) 高低压电源

这部分为整机各电路及摄像管、贮存管提供所需的高、低压直流稳压电源。其中，象增强器及SEC管移象头部所需的高压在摄像机内形成。

### 四、系统功能

该仪器是一种多功能的超低照度电视系统，其主要功能为：

(1) 系统在较高的照度下，可以作为以SEC或ISEC为图象传感器的微光电视系统，对低照度目标进行直接的正常电视摄像。

(2) 系统具有单帧贮存功能，该项功能不仅可以实现对所感兴趣的目标进行记录、贮存及连续显示，而且对整个积累、贮存显示系统的调整是很必要的步骤。

(3) 多帧图象迭加显示。当直接拍摄的信号不够强，屏幕上看不清时，可采用多帧迭加功能来改善，即将多帧较弱信号相继记录到贮存管的SiO<sub>2</sub>贮存靶上，然后将多帧迭加增强了的信号连续显示出来。

(4) 图象积累，贮存与显示。该项功能是本系统的最主要功能，也是本系统实现超低照度成象的基本依据。当景物照度低到无法直接摄像时，最有效的方法便是积累。该系统设有自动记时器，根据目标亮暗程度，大体设定积累曝光时间，然后按下起动按钮，时间一到，系统便自动转入读出显示状态。如果所设定的时间不合适，可酌情延长或缩短。

(5) 图象长期贮存功能。记录到贮存管中的图象，如果不读出，可以保持若干小时不变，即使整个系统断电停机也是如此，这是由于作为电荷贮存介质的SiO<sub>2</sub>具有非常高的介电常数所致。

(6) 多幅图象贮存显示功能。该系统可以相继将四幅图象记录到贮存靶的四个象限位置，并能将这四幅图象同时在一幅画面上显示出来。这种功能在某些场合是有用的。

(7) 手动贮存显示功能。该系统的预写、擦除、积累、写入、读出等操作步骤，每按一次触发按钮，便可自动顺次运行一个循环，这在实际使用中是很方便的。此外该机还设有手动操作功能，可使上述各环节分步手动操作，该项功能对系统的校准和调整是有用的，此外还可通过手动操作扩展系统功能，如图象相减等。

### 五、系统性能

超低照度电视系统的主要指标为：

(1) 工作波段：可见光

(2) 系统灵敏度：

对无象增强器的SEC摄像管，当光电阴极面板照度为 $6 \times 10^{-9}$  lx时，经3分钟曝光可获得

得满意的图象。对于带象增强器的 *ISEC* 管，当光电阴极面板处照度为  $4 \times 10^{-7} \text{lx}$  时，曝光时间为 15 秒钟。

(3) 中心极限分辨率：350 电视行。

(4) 图象灰度：6 级

(5) 图象连续读出时间大于 5 分钟

(6) 图象贮存时间大于 12 小时

在进行上述指标测试时，所用光源为专门标定的  $2854^\circ\text{K}$  色温标准光源。所用的低照度计也是专门标定的。分辨率及灰度的检测采用电子工业部标准测试卡。

## 六、应 用

由于该系统是采用积累方式实现对超低照度目标进行探测的特殊电视系统，所以可应用于许多涉及对超低照度目标进行探测的情况。

在天文学中，该系统主要有两方面应用，一是用它直接观测极微弱的星象；二是用它导引望远镜，瞄准微弱星体<sup>[6]</sup>，然后再用其它天文仪器进行定量观测。尽管近年来发展了象 CCD 这类更为先进的固体传感器，但到目前为止，在国外某些天文台仍利用以 *SEC* 管为图象传感器的电视系统进行导星工作。1985 年 9 月 24~25 日，我们在北京天文台兴隆观测站，用以单级 *SEC* 管作为传感器的超低照度电视系统和 60cm 望远镜进行对接实验，经过 9 秒钟积累，可观测到 13.81 等星（当时天空背景很亮，影响观测效果，如果观测条件好，肯定会得到更满意的结果）。

该系统在微弱荧光探测中也是很有用的。某些物质在紫外线或短波长可见光的激发下，能发出较长波长的荧光。然而这种荧光都是非常微弱的，甚至通常的以 *SIT* 管为图象传感器的微光电视也很难探测得到。在这种情况下，用该系统对荧光强度分布进行积累探测，就能观察到在正常情况不能发现的“事件”，这可用于安全部门的某些侦破工作中，1985 年，我们和有关部门合作用该系统进行过磷光和荧光实验，并取得初步结果。近年来，医学上用血卟啉衍生物在短波长激光照射发出荧光来诊治恶性肿瘤。为探测荧光，超低照度电视系统该是较为理想的探测设备。最近出现的一种激光荧光显微镜<sup>[7]</sup>，可观察到普通显微镜看不到的东西，然而要探测到很微弱的荧光同样也必须要有这种超低照度电视系统。

该系统在医用 X 线诊断中，也能获得应用。用它探测 X 线影象时，其 X 线剂量将比普通 X 线电视大大降低。这无疑要减小 X 线对医生和患者的伤害。还由于采用简单的小功率 X 线光源，使医疗设备小型化，增强设备灵活性，扩展使用范围。如把 X 线机配上超低照度电视系统，用于四肢骨科检查诊断将是适宜的。我们在实验室里曾作过类似实验，采用固定阳极式、小功率 X 线管作 X 线源，在摄像机头和 X 线之间放一块转换荧光屏，把手放在屏上，使用 X 线剂量为  $60\mu\text{A} \times 32\text{kV}$ （即 1.8W），积累 7 秒钟再现人手图象如图 4 所示。实验时，镜头光圈为  $F/4$ 。如采用  $F/1$  光圈其 X 线剂量还会降到原剂量的  $1/16$ ；或同样剂量，积累时间会缩短到原来时间的  $1/16$ 。

用内窥镜进行人工直接观察，是医疗诊断和工业检查的重要手段，但用内窥镜观察目标存在两个明显缺点：一是只能一人观察；二是需要有较强的外加光源。如果把内窥镜配上超低照度电视系统，上述缺点基本可以克服。配有超低照度电视系统的内窥镜，对教学、会诊和开展学术交流将十分方便。我们作过胃窥镜与超低照度电视系统对接实验，把胃窥镜目镜



图4 人手X光电视照片

图5 用内窥镜观察的电视照片

端，去掉目镜后通过光学系统与摄像机构合，窥视端对准待观察目标，并给与适当照明后，就可以在电视屏上显示观察目标图象。图5为从监视器上拍下的观察目标—“文字”照片，其间照明为2lx，积累2秒钟。

此外，该系统在许多科学研究中，如极低强度光谱的多通道测量、低电流密度（即低剂量）电子显微镜测量等方面也是很有用的。

#### 参 考 文 献

- [1] A. Rose, et al, Proc. IRE, 1946, 34, P424
- [2] P. K. Weimer, RCA Review, 1949, 10, No3, P366
- [3] G. W. Goetze, et al, "Photoelectronic Imaging Devices" 1971 2, P217
- [4] R. L. Rodgers, et al, IEEE International Solid-State Circuits Conference, 1970 176
- [5] 贾欣志, 等; 光学机械, 1981年, 第2期
- [6] E. W. Dennison, Adv. E. E. P. 197 33B, P795
- [7] 佐藤俊一等; 应用物理, 第53卷, 第2号 1984 P113

## A Versatile Superlow Light Level TV System

Jia Xinzhi Li Jitian

### Abstract

A superlow light level television system has been successfully developed. In this paper, the operating principle design basic functions major performances of this instrument and its possible applications in some fields are briefly described.