

二次电子电导摄像管

余永正

(中国科学院长春光学精密机械研究所)

二次电子电导摄像管是在研究二次电子电导现象的基础上发展起来的。最初它是为了研究透射二次电子发射机制并设法将其用于光电成象器件。为了提高二次电子发射体的效率，人们采用了疏松结构，获得了较高的二次电子发射系数，但由于使用时层表面充电，因而其应用受到限制。但这种表面充电的机制在摄像管靶中恰恰可以被充分利用，从而引起人们对二次电子电导过程的进一步研究，并研制成各种形式的二次电子电导摄像管。1969年，美国用它拍摄人类第一次登月的实况电视，并向全世界公开转播，引起人们对二次电子电导摄像管的重视。

一、靶结构和工作原理

二次电子电导靶由支撑层（~70nm的 Al_2O_3 膜）、信号极（20—50nm的Al膜）和低密度KCl二次电子电导靶（密度为正常密度的1—2%，厚为10—20 μm ）组成。来自光阴极的高能初级光电子穿透支撑层和信号极，损耗若干能量后入射到KCl低密度层。在低密度层中，初级光电子能量被吸收，产生若干二次电子。这些二次电子在层内强电场作用下（信号极加10—20V的正电位，靶表面用电子枪扫描，使其稳定于地电位），向信号极输运。在相应位置留下正电荷信号。电子束扫描靶表面将产生相应的视频图象。由于电导是由在层内发射的低能二次电子引起，因而这种效应称为二次电子电导（secondary electron conduction简称SEC）。除SEC过程外，在层表面附近产生的二次电子在外电场作用下也可发射至真空，并

为场网所接收，构成透射二次电子发射（TSE）及电子束感生信号电流[由于KCl层内产生正电荷，信号极将不再对扫描电子束起有效的屏蔽作用，部分扫描电子束直接到达信号极，这个过程称为束电子电导（BEC）]。这三种电流都构成信号电流。

二、SEC靶工作稳定性

与其它电视摄像靶不同，SEC靶在工作时可能出现靶表面电位超过信号极电位的情况。这时高电压加于靶两端可能会使靶发生电击穿。SEC靶一般都采用二次电子发射系数高的材料（如KCl等）。KCl的二次发射第一交叉电位仅为15V，如由于信号过强，或电子束欠扫描，靶表面某处电位上升至大于15V，则扫描电子束着靶时，二次电子发射系数大于1，将不是使靶表面电位下降，而是使靶电位继续上升，直至最靠近的场网电位（一般是300—500V）平衡。这样靶二端加上300—500V电压，将会使靶电击穿。为防止出现靶表面充电超过第一交叉电位的情况，在靠靶表面很近处加一抑制栅网，其上电压为15V，则靶表面电价最高只能升至接近抑制栅网电位，这样可以有效地防止靶电击穿。在靶表面蒸上一层第一交叉电位较高的材料，如ZnS, Ag等可使表面第一交叉电位略微上升，但这些材料的二次电子发射性能都较差，将使靶增益同时有所下降。

除疏松KCl层作为SEC靶外，近年来还发展了疏松 MgO 及疏松 MgF_2 层作为SEC靶。疏松 MgF_2 :Ag靶虽增益较低，但表面第一交叉电位甚高，可以不加抑制栅网，摄像管能

稳定地工作。

三、SEC 摄象管及主要性能

SEC 摄象管由移象段、SEC 靶及电子枪三部分组成。SEC 摄象管的结构简图如图 1 所示。入射的光图象经镜头聚焦后成像于光阴极。光阴极发射的光电子受 8 kV 左右高压加速，投射到 SEC 靶上。移象段采用静电聚焦，电

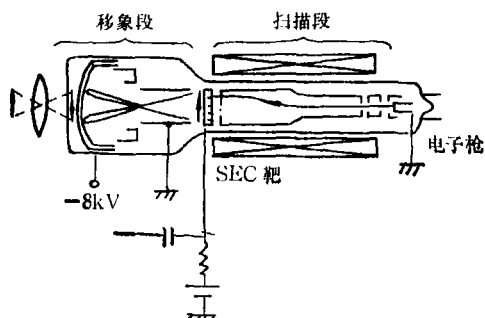


图 1 SEC 摄象管结构简图

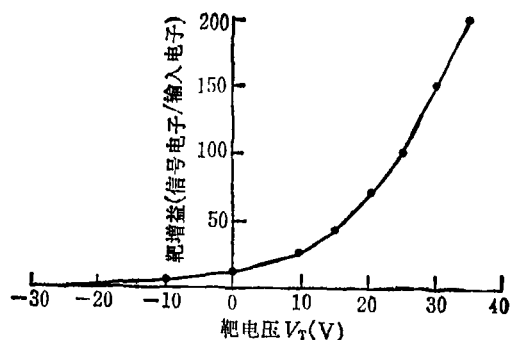


图 2 SEC 靶增益与靶电压的关系

子光学系统可以是二极式、三极式或四极式(电子变焦距)。光阴极一般为多碱阴极。高能光电子在 SEC 靶上产生电子增益并形成相应的电位“图象”，用电子束扫描拾取，即形成视频信号输出。

SEC 摄象管性能参数如下：

1. 靶增益和 SEC 摄象管光传递特性：靶增益定义为信号电荷与输入电荷之比。它是输

表 1

性能参数	型 号	WL-30691 (美国)	F 1004 (西德)	TH 9650 (法国)	MHKTRL (日本)	SFK-25 (中国科学院长春光学 精密机械研究所)
光阴极灵敏度 ($\mu\text{A}/\text{lm}$)			>150		150--200	120--200
光谱响应		S-20	S-25	S-20	S-20	S-20
总灵敏度 ($\mu\text{A}/\text{lm}$)		>10,000	$\geq 20,000$	12,000	3750--6250	>10,000
电子枪 (吋)		1	1	1	1 $\frac{1}{2}$	1
极限分辨率 (电视行/图象高度)		550~600	550	600	800	~500
最大输出信号电流 (nA)		300	300	300	300	300
小信号时 γ 值		1	1	1	1	1
惰 性 (三场后残余信号)		<5%	<5%	<5%	<5%	<5%
室温下积累时间		>1h				>1h
运用温度范围		$-70^\circ\text{C} < T < 50^\circ\text{C}$				$-50^\circ\text{C} < T < 50^\circ\text{C}$
参考价格			美金 10,000			人民币 5,000 元

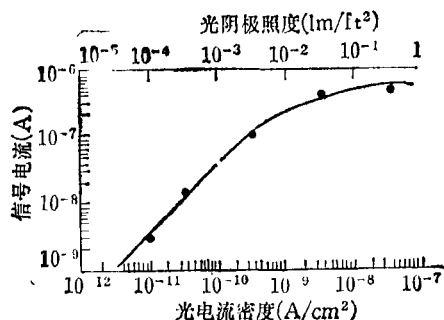


图3 SEC 摄像管的光传递特性曲线

入光电子能量及靶信号极电压的函数。在小信号时靶增益与靶电压的关系如图2所示。如光阴极灵敏度为 $100\mu\text{A}/\text{lm}$, 则 SEC 摄像管的光传递特性曲线如图3所示。在光阴极照度为 $10^{-3}\text{lm}/\text{ft}^2$ 时, 信号电流为 $\sim 3 \times 10^{-8}\text{A}$, 摄像管可以应用, 并且在光强变化达二个数量级范围内, 输出信号随光强度呈线性关系变化。

2. 响应时间: 由于信号系利用二次电子, 并且靶电容较小, 因而响应很快, 在第三场时残余信号一般小于 5%。

3. 积累存贮特性: 疏松 KCl 层密度仅为正常 KCl 密度的 1—2%, 故 98—99% 的空间是真空, 靶电阻率极高, 预计达 $10^{17}\Omega\cdot\text{cm}$ 以上, 因而在室温下可长时间存贮和积累信号。在实验室条件下积累 1.5h, 可观测到阴极照度低至 10^{-9}lX 的图象。信号存贮时间则可长达

10h 以上。这是其它各种电视摄像管所不具备的特性。

4. 分辨率: 靶本身的本征分辨率极高。用光扫描 SEC 靶, 估算在 $40\text{lp}/\text{mm}$ (每毫米线对数) 时, 靶的调制传递函数为 18%。整管分辨率主要受扫描电子束限制。一般极限分辨率在 25—30lp/mm 左右。对 1 吋摄像管, 分辨率为 500—600 电视行/图象高度。

一些国家研制、生产的 SEC 摄像管性能如表 1 所示。

四、应用

SEC 摄像管的特点是对静止图象具有极良好的积累特性, 并且惰性很小, 有较高的灵敏度。日本用 SEC 摄像管作高灵敏度彩色电视摄像管, 比氧化铝摄像管灵敏度高六倍以上, 已可实用。利用积累效应可在天文学上探测极微弱的星体, 为大型天文望远镜导星。SEC 摄像管在实验室中可用以观测极微弱的荧光及放射性同位素辐射的图象。SEC 摄像管在军事上可用于极低照度下静止目标的侦察。它还可与电子显微镜配合, 降低观察易损伤材料时的电流密度, 从而扩大电子显微镜的应用范围。SEC 摄像管还可用于光电接触式软 X 射线显微镜中作观测显示装置。

北京大学聘请沈元壤先生担任客座教授

1986 年 12 月 22 日, 北京大学校长丁石孙教授把聘请担任客座教授的聘书送给了著名物理学家、美国加利福尼亚州立大学伯克利分校教授沈元壤。沈元壤先生生于上海, 在台湾大学毕业后赴美攻读博士学位, 是诺贝尔奖金物理学奖获得者、哈佛大学教授 Bloembergen 的学生。沈元壤教授是非线性光学这一新的物理学领域的开拓者之一。他在非线性光学的一系列的基本问题上的贡献是众所周知的。七十年代以来, 他致力于利用各种非线性光学效应来研究原子、分子物理和凝聚态物理, 取得一系列重要成果, 也开辟了一些新的研究领域, 特别是近年来他率先开辟了利用非线性光学效应研究表面物理的新途径, 获得世界科学家的重视。沈元壤教授还是一位杰出的教师, 他的讲课

和对学生的指导都以很高的科学水准与明晰的物理图象而著称。他的专著 “The Principles of Nonlinear Optics” 是这个领域中最好的著作之一。作为一位华裔科学家, 沈元壤教授一贯关心和支持祖国的教育和科学事业。他是中、美建交后第一批回国访问和讲学的华裔学者。这些年来, 他每隔一至两年都要回国访问, 足迹遍布各高等学校和各科研机构, 为我国激光物理研究工作和物理人才的培养工作作出了辛勤的劳动, 提出了许多宝贵的建议。沈元壤教授在接受北京大学的聘书后, 表示他一定要尽力帮助北京大学提高教育和科研的水平, 帮助北京大学吸收和培养优秀人才。

(北物)