

低密度电荷贮存靶及其在电视 摄像管中的应用

余永正 张秀萍

摘 要

叙述了三种低密度电荷贮存靶的性能。KCl靶是通用的贮存靶，已成功地用于二次电子电导摄像管中。MgO靶具有图象质量较好及热性能稳定等优点，是一种有希望可以取代KCl的材料。CsI靶具有较高的增益，但热稳定性甚差。应用低密度KCl靶的二次电子电导摄像管具有灵敏度较高，贮存和积累性能良好及惰性很小，暗流很小等优点。

前 言

为了提高灵敏度绝大多数电视摄像管都采用电荷贮存靶。按作用区分，电荷贮存靶有二类。一种是靶本身既是光传感器又是电荷贮存靶，如各种光导管的光电导层如PbO, Sb₂S₃, Si光导靶就属于这一类。另一种是光传感器与电荷贮存靶分开，靶对光传感器发射的光电子“响应”。这一类中包括如超正析摄像管中的玻璃膜靶和MgO靶，二次电子电导摄像管中的低密度电荷贮存靶，硅增强管中的硅靶等。第二种摄像管可有较高的灵敏度和可以更换不同的光传感器，因而能适用于从紫外到近红外波段应用的要求。

G. W. Goetz^[1]在1962年报导了低密度二次发射体的工作，并首先在电视摄像管中获得了成功的应用，制成具有响应快，贮存和积累性能良好及增益较高等特点的二次电子电导摄像管^[2]。由于它成功地用于拍摄月球登陆的彩色电视而引起人们广泛的重视。

一、低密度靶及运用原理

低密度靶的基本结构如图1所示。

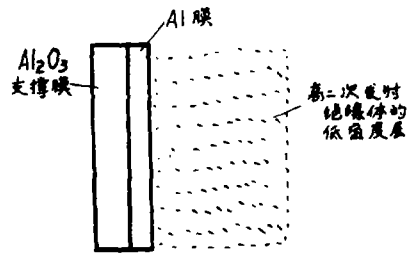


图1 低密度靶的基本结构

靶由约700—1000埃厚的Al₂O₃支撑膜，200埃厚的铝信号板和二次发射系数较高的绝缘体的低密度层组成。绝缘层的厚度为10—20μ，密度约为正常密度的1—2%。靶材料一般采用KCl，此外我们对CsI和MgO也进行了初步试验。

运用能量约8—10Kev的初电子撞击靶，从Al₂O₃支撑膜端入射，约2Kev能量损耗于穿透Al₂O₃膜和Al膜，其余能量损耗于KCl层中，产生多个二次电子。二次电子电导过程如图2所示。低密度层的真空端用低能量电子束扫描使其充电至电子枪阴极电位（地电位）。信号板上加一正电位，在层内产生一强电场。

电荷为q₀的初电子束穿过低密度层产生总电荷数为q₀的自由二次电子，在层内电场作用下这些二次电子趋向于信号板，有一部

分电荷为 q ，的电子在趋向信号板的过程中与初电子在行程中产生的正电荷复合，故达到信号板的电荷为 $q_s = q_n - q$ ，相应地使靶，局部放电，周期性地以低能电子束扫描真空端界已将使靶再充电。由层内绝缘体粒子发射的低能二次电子形成靶内的电导，故此过程称为“二次电子电导”。

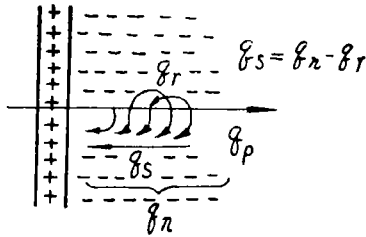


图2 二次电子电导过程的图示

二次电子发射可定性处理为三阶过程，固体吸收一次电子损耗的能量产生二次电子，二次电子从体内输运至表面；到达表面的二次电子逸出至真空。低密度层吸收的初电子能量与有同样质量密度的密实层相同，并不降低二次电子产生的效率。KCl低密度层呈纤维状多孔结构，纤维平均厚度估计为 100 \AA ，此低能电子在固体中的平均自由程小，所以二次电子进入层中的真空间隙的几率甚高，而低密度层中98—99%的空间是真空，内部电场又能增加自由电子的平均自由程，而且没有从表面逸出至真空的损耗，所以低密度层的二次电子电导增益将显著地大于密实层的二次电子发射系数。事实也确系如此。密实层KCl的透射二次发射系数一般为5—7，而低密度KCl层的二次电子电导增益则可达100—200。靶利用自由电子而不是导带电子作放大及电荷贮存，二次电子的发射时间至少小于 6×10^{-12} 秒，靶的响应时间只受自由电子在内电场下穿越靶厚度的渡越时间限制。渡越时间极短，与电子束放电时滞相比可忽略不计。靶本身并没有引进引起时滞的因素，并且靶

电容也较一般电荷贮存靶为小，所以放电时滞以及总的时滞都小于其它摄像管。由于绝缘体呈低密度状态，电阻率大于密实层，估测大于 10^{11} 欧姆·厘米，故信号可长期贮存或积累而不会因泄漏而降低分辨率。据报导，这类管子的贮存时间已长达65小时。^[3]

二、低密度电荷贮存靶的性能

低密度电荷贮存靶的物理性质用密度和厚度标志。密度决定靶的增益，余象。密度过大的靶增益较低，余象明显。厚度决定靶的电容，也间接影响靶的增益。厚度较小的靶电容较大，输出的信号电流也较大。

(一) KCl低密度电荷贮存靶

以一定数量的光谱纯KCl放在 0.1 mm 厚的钽片制成的窝形舟中。真空室内通以2千左右的氩气(99.99%)，通电流使KCl全部熔化维持在比熔点略高的温度(熔点为 $772 \text{ }^\circ\text{C}$)，^[1]打开挡板，蒸发约30秒。衬底离蒸发源间距为 73 mm 左右。

低密度KCl靶的物理性质与蒸发温度，氩气压强，蒸发间距，蒸发的KCl量，蒸发室的几何形状等因素有关。选择其中一些有关参数的综合可以得到所要求的物理性能。曾对蒸发温度及蒸发间距进行了优选，结果发现蒸发温度略高于KCl熔点，蒸发间距以 75 mm 左右为宜，如此蒸镀的KCl层，一般质量密度约50—100微克/厘米²，相应的厚度为 $10\text{—}20 \mu$ ，密度约为大块密度的1.5%—3%。

动态测试系统中测定低密度KCl靶的增益与靶压和电子能量的关系如图3、4所示。在增益超过200后，靶的余象明显和图象相应变坏已不能正常运用。

电视摄像管中标靶性能的重要因素之一，是靶的成象缺陷。低密度靶的缺陷主要有二种，一是靶的个别部位出现白斑，它是无规排列的亮斑，在一定靶压下才出现，靶压升高，白斑变亮。二是靶压上升到一定数值时靶的某一区域变得导电，出现局部电

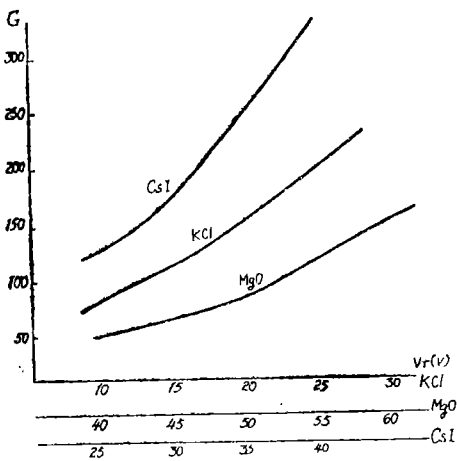


图3 靶增益(G)与靶压(V_T)的关系

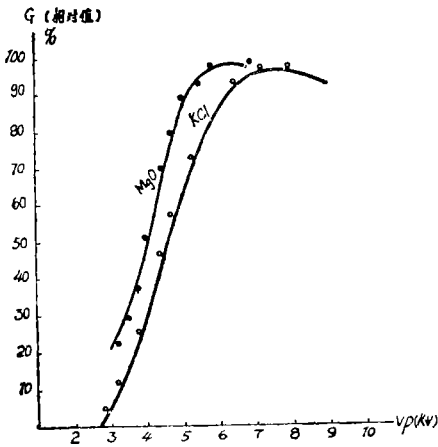


图4

导区域。在此靶压下信号板与KCl外表面发生漏电，扫描电子束的一部分可以直接到达信号板而形成局部的亮区域，个别白斑和局部电导的出现是由于靶厚度及密度的无规变化所致。

KCl靶的暗流和惰性都很小。

(二) MgO低密度电荷贮存靶

单晶 MgO的二次发射系数高达 20—25 (51)，薄膜MgO的二次发射系数也高达15—20(6)。其电子亲和势仅为0.85eV(17)，所以 MgO应是一良好的二次发射材料。而且 MgO是高温材料，其热稳定性应优于碱金属卤化物。Goetze(8)最初也研究了在空气中燃烧Mg条而形成的烟雾状低密度 MgO的二

次电子发射，发现有不均匀和不稳定的缺点。高桥正彦等(9)在比大气压低氧和氮压下燃烧Mg条形成的低密度MgO层克服了最初的这些缺点，获得了较好的结果。我们对低密度MgO层的制备与性能也作了初步试验。

将 Mg 条置于钨螺旋圈中。蒸发源与衬底间距为 75mm 左右。通过一定压强的高纯氧与氮气，加热镁条，使其蒸发，以挡板控制蒸发时间。取决于蒸发条件，MgO可以形成二种密度状态。在低氧压（~2.3 托氧压，~7 托氮压）下，缓慢蒸发，形成密度约 0.12—0.15 克/厘米³的疏松氧化镁层。这种层增益较小，一般当靶压加至 80 伏时，二次电子电导增益仅为 40—60。在较高氧压下（~3—4 托氧压，12—16 托氮压），可使镁条自燃而形成烟雾状喷涂，一般形成密度为 0.06 克/厘米³左右的低密度 MgO 层。二次电子电导增益在靶压为 50—60 伏时，一般可超过 100 或更高，与 KCl 低密度靶的增益相近。在低氧压下有时也可形成镁条自燃，剧烈燃烧的蒸发状态，此时也可得到密度为 0.06 克/厘米³左右的疏松淀积层，增益也能较大，但蒸镀的重复性较差。在较高氧压下较易获得重复性的 Mg 条自燃的烟雾喷镀状况。氧压较高时（~4 托）靶容易出现余象较大的缺点。

MgO层的厚度对靶增益有一定影响。初进试验结果表明靶层厚度在 5—12 μ 范围内，靶的各项性能均良好。图3和图4也画出厚度为 10 μ 的 MgO 靶二次电子电导增益与靶压及初电子能量的关系，能达到的增益值与 KCl 靶相近，但所需靶压高于 KCl 靶。由于靶厚度较 KCl 靶为薄，初电子能量达 6—7 KeV 时，增益即趋近于饱和。

在显微镜下观测，低密度 MgO 靶的颗粒远小于 KCl 靶，因此其成象质量，图象均匀性较好，图象缺陷也较少。蒸发过程是连续淀积个别的粒子团，在某一点上粒子数的统计涨落将使最终的层厚度呈现涨落。如层厚为 d ，象素的面积为 A ，粒子半径为 r ，则此

象素内的平均粒子数为 $d\Lambda/r^3$, 粒子数或厚度涨落的百分数为 $100\left(\sqrt{\frac{d\Lambda}{r}}\right)^{-1}$ 。KCl 晶粒 $r \sim 1\mu(10)$ 。如面积为 $100\mu^2$, 厚度为 20μ , 则予计厚度的均方根涨落百分数为 2.4%, 如靶增益与厚度成比例, 则根据电视标准, 由此产生的峰—峰信号的涨落为 $6 \times 2.4\%$, 即接近 15%。对 MgO, 高桥正彦等(9)测定在空气中自燃的 MgO 晶粒直径为 1μ 左右, 而当总压强为 200 千时, 降为 0.2μ , 总压强为 50 千时, 更降至 0.05μ 。我们的实际蒸发条件是总压强不超过 200 千。按变化趋势看, 至少晶粒大小应不超过 0.05μ 。按此计算, 如面积仍为 $100\mu^2$, 厚为 10μ , 则予计厚度的均匀方根涨落仅约 0.04%。所以均匀性, 图象质量较好。而且由于图象缺陷的起因在于靶厚度及密度的无规变化, 故图象缺陷相应也较少。这是 MgO 靶的优点所在。

低密度氧化镁靶的贮存性能良好, 暗流基小, 经 400°C 真空烘烤后增益无明显变化, 适合于摄象管制备工艺要求。

(三) 低密度 CsI 靶

在碱金属卤化物中, CsI 是比 KCl 更良好的二次发射材料。Hagino 等(11)曾测定 KCl 透射二次发射系数达 13, 我们曾制备 CsI 透射二次发射体, 二次发射系数达 15。CsI 的电子亲和势仅为 0.1eV (12)。显然, 从二次发射性能来看 CsI 是一种有希望的材料。

在约 4 千的高纯氙气下, 通过电流于 0.1mm 的平底钽片舟使 CsI 熔化并蒸发。蒸

发源与衬底间距 $\sim 75\text{mm}$, 蒸发舟维持在略高于 CsI 熔点 ($\sim 621^\circ\text{C}$) 的温度。淀积的 CsI 层密度约为大块密度的 1%—3%。二次电子电导增益与靶压的关系见图 3。显然, CsI 的增益明显地可以高于 KCl 及 MgO 靶。在动态测试系统中增益可以超过 300。与予期其增益应高于 KCl 相一致。

CsI 靶的晶粒在显微镜下观测也较 KCl 为细, 图象质量一般也较 KCl 靶好。在低真空下 ($\sim 10^{-2}$ 千), 保持一段时间, 靶的增益往往还有所增大。贮存性能良好, 暗流基小, 惰性也很小。

CsI 靶的主要问题在于热稳定性很差。在高真空烘烤至 280°C , 靶即明显变质, 因此难以适应摄象管制备工艺的要求。但如果摄象管经烘烤去气和制备光电阴极后再将 CsI 靶在高真空中传递入指定位置, 则这类靶可具有增益高和图象质量好的优点, 同时又保持低密度靶的特点。此外, 在无光电阴极的摄象管中, 如将 CsI 靶用作 X 射线的传感器, 同时又作为电荷贮存靶 (第一类电荷贮存靶) 这种运用方式已在直接 X 射线摄象管中获得应用(13)。可以制成灵敏度较高和有积累能力的 X 射线摄象管。

(四) 三种低密度电荷贮存靶性能的比较

三种低密度电荷贮存靶性能的比较综述于表 I 中。

表 I 低密度电荷贮存靶性能的比较

性能	增 益	贮 积 性 能	均 匀 性	图 象 缺 陷
靶材料				
KCl	50—150	良好 > 5 分	略 差	易 出 现
MgO	50—150	良好 > 5 分	好	甚 多
CsI	> 200	良好 5 分	较 好	较 少
	惰性	暗流	热稳定性	蒸镀工艺重复性
KCl	小	小	较好	较 差
MgO	小	小	较好	较 好
CsI	小	小	很差	较 差
	密度(大块密度的%)	制备光电阴极的适应性		晶 粒 粗 细
KCl	1—3 %	无明显作用		较 粗
MgO	~ 2 %	无明显作用		甚 细
CsI	1—3 %	较 差		较 细

三种靶均具有低密度度的典型特性，即贮存积累性能良好，惰性小，暗流小及增益较高等特点。但晶粒大小有显明差异，因而影响到图象缺陷、均匀性等方面的性能有较大差别。这方面MgO靶显然有明显优点。

三、KCl及MgO低密度电荷贮存靶在电视摄象管中的应用

(一) 靶工作的稳定性。低密度电荷贮存靶在电视摄象管中应用的一个特殊问题是靶工作的稳定性问题。正常运用时，如因偶然故障电子束截止，KCl层表面电位可以由下积累信号而高于第一交叉电位；或光信号过强，或由于管内聚焦极与靶之间气体电离产生的正离子轰击使靶表面电位超过第一交叉电位。对KCl，第一交叉电位为15v，对低密度MgO靶，据初步测定第一交叉电位为70—80v。当表面电位超过第一交叉电位时，阅读电子束将使KCl表面充电至聚焦栅极网电位，KCl层内将加上高达300伏左右的反向电压，会使靶发生电击穿。

解决此稳定性问题的直接方法是在靠近靶表面处加一辅助栅网——抑制栅网，网上电压在第一交叉电位左右，使靶表面电位不超过第一交叉电位。但加进抑制网后产生很多缺点：摄象管分辨率下降；导至颤噪音；提高靶输出电容；栅网的缺陷，特别是小的绝缘粒子会充电至阴极电位，呈现为白斑，干扰图象。在我们现有的工艺条件下，特别是网的缺陷及灰尘等绝缘粒子的干扰很难消除。因此未用抑制栅网。

为使摄象管工作可靠，在KCl层上再蒸以密度约为大块密度2%的低密度ZnS层。ZnS层厚 $\sim 0.2\mu$ ，这样，靶增益略降而第一交叉电位则上升。对MgO靶，由于第一交叉电位较高，不必蒸镀ZnS层即能稳定工作。同时除使用面积($9.6 \times 12.8\text{mm}$)外，靶表面再蒸以较厚的密实ZnS层以达到“自身稳定”。使电子束扫描可压缩在正常扫描频带范围内。

采取这二种措施后，摄象管可在实验室条件，即光源受控制情形下稳定地长时间工作，如再加以高压自动保护线路，在无强光光源的情况下，光电阴极照度高达10勒克斯，摄象管还能正常、安全地工作。

(二) 采用KCl和MgO靶的二次电子电导摄象管的性能

摄象管的移象用静电二电极式聚焦。放大率为0.8:1。电子枪采用通用的1吋电子枪，不加抑制栅网。摄象管光电阴极是S—20响应，光电阴极积分灵敏度一般在100微安/流明左右。靶增益在制备光电阴极后往往有所提高，但图象缺陷则往往增加。管内靶增益一般在60以上，所以总管灵敏度通常在10,000微安/流明以上。对透射测试卡，当光电阴极上照度为 10^{-3} — 10^{-1} 勒克斯时，可获得较好的电视图象。

1吋管子中心极限分辨率在400行左右。二次电子电导摄象管的分辨率主要是受扫描电子束的限制。低密度电荷贮存靶的本征分 γ 率是比较高的(2)。

三场后残余信号一般小于5%。表明摄象管惰性甚小。

积累和贮存：信号可以在室温下积累达几分钟而不至由于靶漏电而损失。曾对光电阴极照度 $\sim 8 \times 10^{-7}$ 勒克斯的测试卡图象进行75秒的积累，然后扫描读出，同时拍照，可以拍得分 γ 率达400行的测试卡图象。贮存时间达半小时，图象无明显的畸变。

r值在低照度区域(信号电流小于60nA)接近为1。

当信号较强时，管子图象均匀性较差，但未做定量测定。

图象缺陷主要有个别白斑。个别白斑的出现与靶在装配、总装、排气和制备光电阴极的环境气氛有密切关系。KCl靶的工艺重复性较差MgO靶则较好。斑点一般占3—9电视行。斑点数量及分布，较好的符合美国(或西德)同类管子一级品的标准，略差的符合二级品标准，其标准如下：

允许斑点 数	一级品			二级品		
	一区	二区	三区	一区	二区	三区
	1	13	15	3	7	20

一区、二区分别为整个光栅面积的10%和20%区域。三区是整个光栅区域。

除斑点外，有时由于制备光电阴极的碱金属处理不当，会产生较明亮的中心离子斑。一般经一段时间使用后中心离子斑的亮度会逐渐有所下降。

四、结 论

上述三种低密度电荷贮存靶都具有增益较高，快速响应和贮存、积累性能良好的特点。在改善图象质量，改进工艺重复性、提高工作稳定性及热稳定性等方面低密度MgO靶有其特殊优点。有可能可以代替现在通用的低密度KCl靶。

低密度CsI靶有增益较高的优点，但热稳定性甚差。如能采用制备光电阴极后将事先制备的低密度CsI靶真空传递入管内的办法或用于X射线摄象管中有特殊优点。

低密度KCl和MgO靶制备的二次电子导摄象管具有上述的几个主要特点。在实际应用中，特别是在摄取低照度静止图象上（如天文学中）有特殊的意义。

参加此项工作的有班显辅、贾欣志等同志。

参 考 文 献

(1) G.M.Goetze, Adv. E. E. P. 16

(1962), 145, Academic PressTuc. NewYork.

(2) G.W.Goetze and A.B.Laponsky. "Photoelectronic Imaging Devices" Vol2 P.217 Plenum Press, NewYork(1971).

(3) P.R.Collings et al Adv.E.E.P. 33A(1972), 253, Acadmic Press. Inc.New York.

(4) O.Kubaschewski etal; Metallurgical Thermochemistry P.22 Pergamon Pess(1955).

(5) R.G.Lye,PhysRev.99(1955),1647.

(6) N.R.Whetten and A.B.Laponsky, J.A.P.,30(1959),432

(7) K.Y.Tsou and E. B. Hensley J, A.P.45(1974), 47.

(8) G.W.Goetze,J.A.P.35(1964),482

(9) 高桥正彦等 特许公报昭52—41093.

(10) H.Green and R.R Beyer A.D.612, 069.

(11) Hagino et al Adv.E. E. P. 33A (1972),469.

(12) A. H. Sommer "Photoemissive Materials"JohnWiley & Sons,1968, P,190.

(13) P,Haque and J.E.Jacobs,J.A.P. 48(1977),2655,