

高灵敏度非晶硅靶摄像管的研制* **

海宇涵 周忠毅 臧宝翠

(中国科学院电子所, 北京)

摘要 用大型低频辉光放电系统制造和研究了具有阻挡结构的非晶硅视象管靶, 测量了靶面伏安特性和靶压对光谱响应的影响, 制成了2/3英寸和1英寸两种实验样管, 白光灵敏度高达 $2400\mu\text{A}/\text{lm}$ 。光谱灵敏度在整个可见光范围都较高, 峰值光电导增益在 $0.58\mu\text{m}$ 附近接近0.8。信号电流随照度线性增加, γ 值约为0.95。在工作电压下暗电流约为 $1-3\text{nA}$ 。1英寸管的极限分辨率为800TVL, 2/3英寸管的为700TVL。衰减惰性稍大, 尚须改进。本文还讨论了此管的应用和某些尚待解决的问题。

关键词 摄像管; 非晶硅; 视象管靶

一、引言

将非晶硅膜用作摄像管靶的研究, 起始于1979年。我们当时看中它的高光敏性和高的且能控制变化的电阻率。鉴于单晶硅靶的分立结构带来的分辨率差和工艺复杂的缺点, 就产生了改用非晶硅膜制靶的想法。我们在1979年就制成了靶^[1], 并在动态系统上看到了清晰的图象。以后又制成了性能良好的非晶硅靶摄像管^[2]。同年日立制作所用反应溅射法制造了非晶硅靶^[3,4]。1980—1981年又出现了用辉光放电法制成的具有阻挡结构的靶^[5,6]。此后非晶硅摄像管向着彩色应用^[7]和进一步降低惰性争取广播应用^[8]的方向发展, 并已取得一定成效。

利用动态系统测靶参量, 以提供改进研制的信息, 是有效的方法。我们用它研究了靶的伏安特性、光谱响应、图象及其稳定性, 得到一些有意义的结果。制成的样管性能良好, 灵敏度可高达 $2400\mu\text{A}/\text{lm}$,

二、非晶硅膜和靶面制作

非晶硅膜是靶的主体, 它的性能决定了靶面结构的设计和制作过程。反应溅射法制造的膜, 电阻率较高而光敏性较差; 辉光放电法制造的膜, 光敏性较好而电阻率较低^[9]。为了获得高灵敏度的靶, 我们选择了后一种制造法, 并利用掺杂和适当的靶结构设计以达到摄像管的要求。

* 1987年1月13日收到, 1987年9月2日修改定稿。

** 国家自然科学基金资助项目

非晶硅膜是用大型电容式辉光放电系统(图 1)制造的。它的电容板直径为 400mm, 并因基板旋转而有较好的成膜均匀性。

真空系统由罗茨泵/机械泵组成。有六路独立的不锈钢管道供气。射频电源频率为 1MHz。制膜参量如下: 浓度为 20% 的氢载硅烷, 总压强为 0.2 mmHg, 流量为 200—250 sccm; 基底温度为 200—250°C, 等离子体功率约 500W, 淀积速度约 1 μ m/h。

我们用平面缝电极样品测量, 此膜的暗电阻率约为 $1-5 \times 10^{10} \Omega \cdot \text{cm}$, 暗电导激活能约为 0.8eV。在 3lx 的白光照射下, 光暗比可达两个数量级。光电导与照度关系的测量表明, γ 值接近 1, 即符合“低温样品”的条件^[10]。用瞬态光电流法测量此膜的光学带隙^[11], 为 1.7—1.8 eV。红外透射谱的测量显示了在 2000—2100 cm^{-1} 之间有较低的透射率。表明膜是 Si-H 和 Si-H₂ 的组合结构, 而 Si-H 稍多。

但是, 此膜的暗电阻率并不能满足摄像管靶的要求 ($10^{12} \Omega \cdot \text{cm}$), 必须建立结型靶结构, 作用是: (1) 将信号储存和光敏作用由不同的膜层分担, 以降低对非晶硅膜(光敏层)的电阻率要求; (2) 可以大大减小暗电流。靶面结构示于图 2。氮化硅膜与非晶硅膜间形成异质结, 可以阻止空穴的流入。选择氮化硅膜作空穴阻挡层, 是因为它有很高的电阻率 ($10^{13}-10^{14} \Omega \cdot \text{cm}$), 且能在制备非晶硅膜的系统中制作, 形成连续的工艺过程, 减少这两种膜间的界面态。靶表面的多孔硫化铟膜亦有很高的电阻率 ($10^{12}-10^{13} \Omega \cdot \text{cm}$), 且有很低的电子迁移率和很小的次级电子发射系数, 在靶表面起电荷储存作用, 并能阻止扫描电子的流入。靶中间的非晶硅膜起光敏作用。

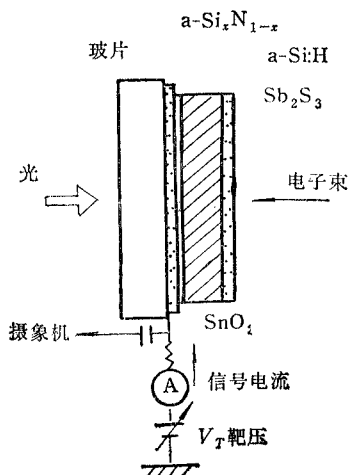


图 2 非晶硅靶结构示意图

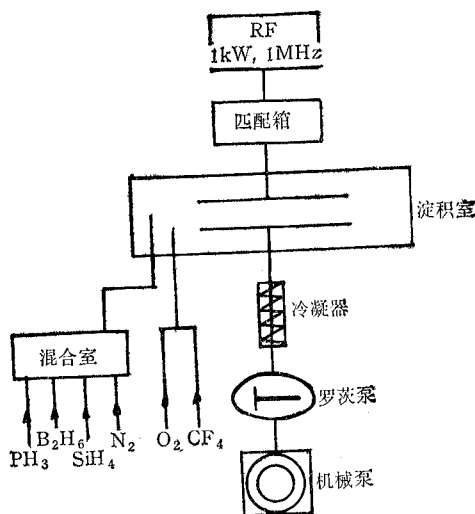


图 1 等离子体淀积系统示意图

靶面制作过程如下: 首先在具有透明导电层 (SnO_2) 的玻璃板上淀积氮化硅膜。设备采用前述的大型辉光放电系统(图 1), 气源是硅烷和氮气的混合物, $\text{SiH}_4/(\text{SiH}_4 + \text{N}_2)$ 约为 5—10%, 辉光放电的气压为 0.06mmHg, 流量为 150sccm, 基底温度为 250—300°C, 射频功率为 200W, 频率 1 MHz, 淀积速度约为 0.5 μ m/h。氮化硅层的厚度约为 200—300 Å, 是利用累加测量和计时控制的。然后在同一设备中制备非晶硅膜。制备参量如前所述, 厚度为 2—3 μ m, 是用称量法和计时控制的。为了提高电阻率, 在硅烷中掺入极少

量的硼烷(约 10ppm)和氧(约 0.01wt.%), 最后将样品放入真空蒸发台淀积 500—1000 Å 厚的多孔硫化铋层, 蒸发时的氩气压约为 $3-5 \times 10^{-2}$ mmHg. 膜厚用石英振荡器监控, 用椭圆仪校准.

三、靶面性能研究

1. 测试系统

靶面性能测量是在八位摄像管动态测试台(清华大学制)上进行的, 此设备能一次装载八片 1 英寸靶面, 顺序测量其伏安特性、惰性和观察靶面图象. 为了测量靶面光谱响应, 附加一台可自动记录的 44W 型平面光栅单色仪, 用石英光缆将单色光引入靶面. 采用石英窗真空热电偶加以校准.

2. 伏安特性

图 3 是典型靶面的暗伏安特性 (i_d-V_T) 和光伏安特性 (i_p-V_T). 在靶压为 2V 以下, 看不到任何暗电流和光电流, 甚至出现反向的暗电流, 表明扫描电子不能很好地着靶. 靶压超过 3V, 才能看到暗电流, 光电流亦开始陡峭地上升. 光电流是在 11x 的白光照射下测量的, 光照伏安特性曲线有很好的饱和特性, 这是结型靶的显著特点. 在饱和区 1 lx 的照度下的信号电流约为 130—160nA. 由于动态系统与实际管子的差别, 管子的信号电流将比这个数据增加 1.0—1.5 倍, 灵敏度将超过 2000 $\mu\text{A}/\text{lm}$. 样品 1 的暗伏安特性似乎没有典型的饱和特性, 不象典型的反偏结特性, 表明这种结的阻挡作用较弱. 样品 2 增加了氮化硅层的厚度, 暗伏安特性有一定的饱和特点, 阻挡层的击穿电压也大有提高. 暗电流受到了很大的抑制, 比没有氮化硅层的靶面, 要降低两个多数量级左右. 但过厚的氮化硅膜使灵敏度降低和惰性增加. 基于同样的原因, 在封离的样管中, 暗电流要比图 3 中动态系统的低 2/3—3/4, 即典型值是 1—2nA, 这对摄像管是很满意的.

硫化铋层的作用也是十分明显的. 没有硫化铋层的靶面, 无照测试时, 图象一片光亮, 暗电流很大; 光照时, 光敏性很差, 看不到测试卡的图象. 表明不能阻挡扫描电子的进入和储存性能很差. 如果硫化铋层太厚(比如 $> 2000 \text{ \AA}$), 如图 3 中样品 3, 暗电流虽然可以进一步受到抑制, 但光电流亦同样减少. 因而这种抑制是不可取的.

图 4 是样品 1 的等能单色光的伏安特性, 此曲线与图 3 中白光的伏安特性十分类似, 亦有明显的饱和特性. 对于不同的单色光, 还可以看到两个特点: 一是靶光电流的饱和幅值不同, 另一是饱和电压 V_s 有差别. 关于第一个特点, 将结合光谱特性来解释. 关于第二个特点, 即 V_s 的大小按蓝、绿、红的顺序排列, 短波光的 V_s 增加. Ishioka^[12] 指出 $V_s \propto (\mu\tau)^{-1}$, 但在同一靶面中, 对于不同的单色光激发产生的载流子, 迁移率 μ 和寿命 τ (在相同的电场下) 显然是一样的. 因此这种解释的可靠性值得推敲. 我们认为, 光电流曲线在低于饱和电压段下降的原因是由于受到漂移长度的限制. 由于短波光吸收系数大、透射深度浅, 例如 4500 Å 的蓝光, 在 0.15 μm 内绝大部分被膜吸收; 又由于光生电子和空穴的迁移率不同, 后者几乎比前者小两个数量级^[13], 在较低的电压下, 漂移长度较短; 因而蓝光激发的空穴几乎要渡越整个靶层, 能量损失较大; 这就是短波光的饱和电压较高的原因.

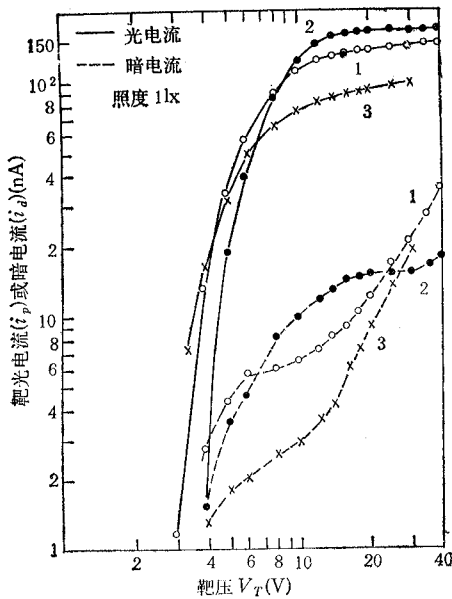


图3 靶面伏安特性

- (1) $a\text{-Si}_x\text{N}_{1-x}$ 厚 200 \AA , (2) $a\text{-Si}_x\text{N}_{1-x}$ 厚 300 \AA ,
(3) 参量与(1)同,但有 Sb_2S_3 , 厚 2000 \AA

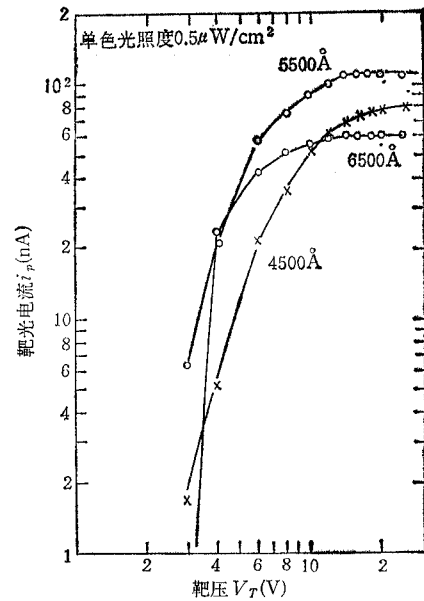


图4 等能单色光的伏安特性(样品1)

3. 光谱响应

图5曲线1是非晶硅靶在15V下的等能光谱响应,峰值在 5800 \AA ,长波限在 8000 \AA 。长波响应的下降是由于光吸收的减小,部分光透过膜层。当然也有少部分的光被反射,但不是主要的。对于短波光,几乎全部不能透过膜层,响应的下落是由于光的反射。这在曲线2所示的光电导增益曲线看得更加明显。由于图5所示的数据,在封离的管子中要增加1倍,图5曲线2的短波增益几乎就等于所测的 $(1 - R)$, R 是反射率。

图6是样品1在不同靶压下的等能光谱响应。显著的特点是,随着靶压的增加,短波光的光电流有大幅度的增加。但在5V与10V之间增长最快,10V以上减慢,20V以上几乎不再变化。这个特点在图4中的短波光(4500 \AA)伏安特性表现得特别明显。对于长波光,靶压5V以上有较慢增长,15V以上不再增加,也可以用图4中 6500 \AA 的光伏安特性来对照。这种不同单色光饱和电压不同,光电流随靶压增加速度的不同,我们粗略地可以从透射深度的不同而带来的漂移长度限制光电流的差别来解释。

4. 图象

在1lx的照度下图象清晰,面均匀性好,有很好的灰度。由于动态测试仪的极限分辨率只有500TVL,靶面亦只能达此极限。画面几乎看不到白斑,表明靶层孔洞很小和氮化硅-非晶硅膜界面有很好的均匀性。有少量黑斑,是由于制备系统和环境的灰尘造成的,正加以克服。在0.1lx下也能看到清晰的图象。较快地移动测试卡,几乎看不到拖影,表明惰性不大。

5. 稳定性

非晶硅膜的性能与氢含量密切相关。Staebler指出^[4],在低于 100°C 的环境中,1万

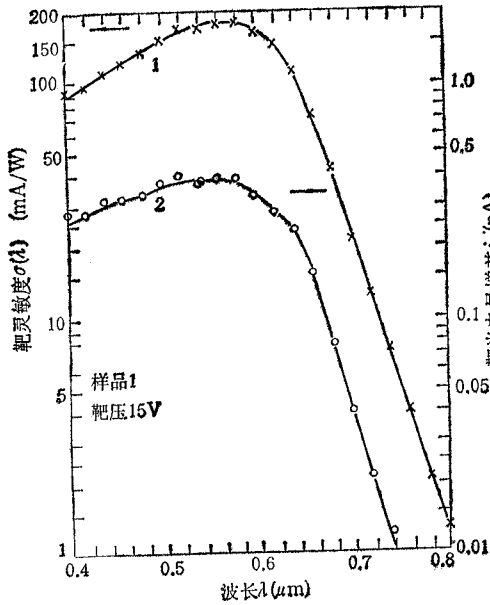


图5 靶面光谱响应
(1) σ - λ 曲线, (2) G - λ 曲线

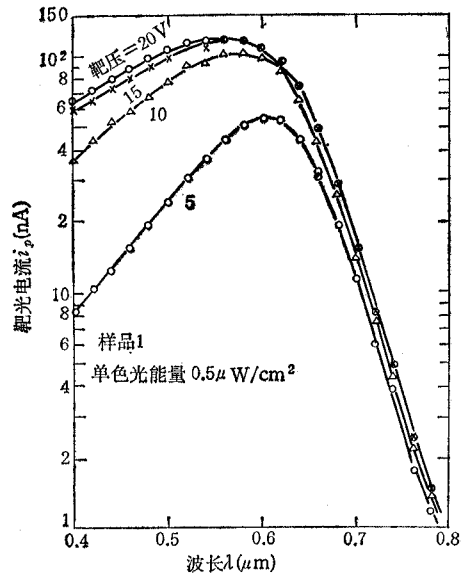


图6 不同靶压下的靶面等能光谱响应

年氢含量都不会减少。所以非晶硅靶是一种高稳定性的长寿命靶。我们在同一工艺条件下,同批或不同批的样靶间,所测参量相差甚微。靶面甚至在大气中存放两年,参量亦无大的改变。表明了制备工艺的高稳定性。

四、封离实验样管的性能

将非晶硅靶与带电子枪的玻璃钢封后制成摄像管。我们已研制成 2/3 英寸和 1 英寸两种摄像管。性能测试是在日立公司制造的摄像管试验装置上进行的,光源由国家计量院校准。

管的积分灵敏度是在照度 $1.41x$ (灯泡色温为 $2854K$) 靶压为 $15V$ 下测量的。1 英寸管的信号电流为 $420nA$, 2/3 英寸管为 $200nA$ 。两种管的积分灵敏度皆可达 $2400\mu A/lm$ 。在同样的靶压下,1 英寸管的暗电流约为 $2nA$, 2/3 英寸管为 $1nA$ 。与靶面动态测量(图 3)相比,样管的信号电流提高了 1.1 倍,而暗电流减少 2/3—3/4。虽然如此,由于按比例的改变,用动态测试仪研究靶面不但方便,而且有定量研究的意义。

图 7 是样管的信号电流与照度的关系曲线,靶压为 $15V$, 灯泡色温为 $2854K$ 。2/3 英寸管和 1 英寸管在约 $2lx$ 以下都有很好的线性, r 值约为 0.95。从 2 — $10lx$, r 值略有减少。 $10lx$ 以上 r 值迅速减少,即增加照度,信号电流不增加,甚至减少。从图象上看,过强的光使图象变得模糊,甚至变得一片光亮。这种现象可以归结为束电流供应不足和靶电荷积累过多,产生横向扩散所致。

图 8 是 1 英寸管的分辨率测试图象。细致的测量表明,在 $1lx$ 的照度下,1 英寸管在

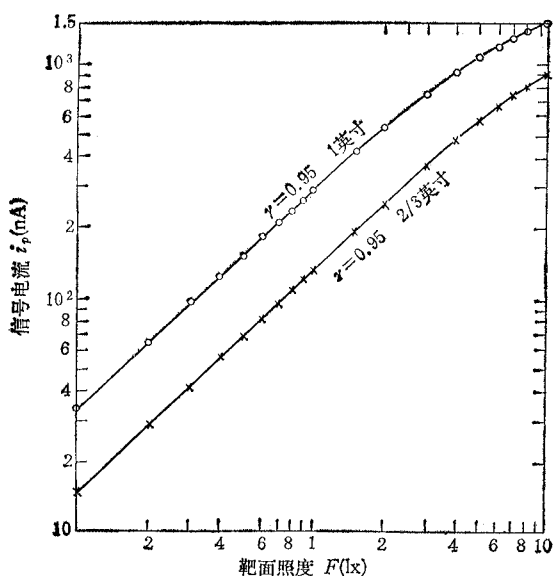


图7 样管信号电流与照度的关系
由 $i_s \propto F^\gamma$ 可求得 γ 值,靶压为 15V

400TVL 的调制度达 35—45%, (有的达到 50%), 极限分辨率可达 800TVL. 降低照度至 0.5lx, 分辨率没有明显的变化. 在 0.3lx, 400TVL 的调制度超过 22%, 极限分辨率可达 600TVL 以上. 照度降至 0.1lx, 极限分辨率尚可达 400TVL. 因此 0.1 lx 也还不能说就是此管极限分辨率的下限. 2/3 英寸管的极限分辨率为 700TVL.

图 9 是样管的光谱响应. 与图 5 曲线 2 相比, 增高了 1.1 倍. 在 $0.56\mu\text{m}$ 的峰值灵敏度为 347 mA/W, 光电导增益为 0.78. 分析表明, 在短波区, 除去光的反射部分, 量子效率接近 1; 在长波区,

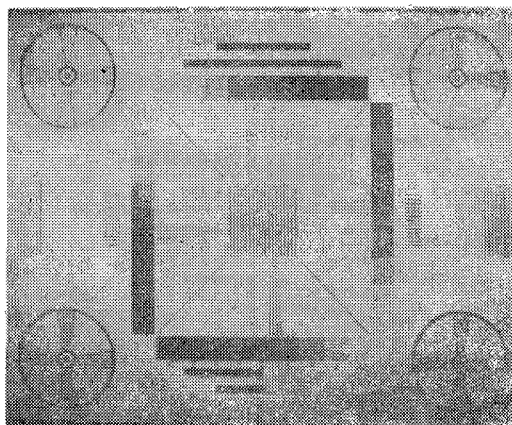


图8 1英寸管的分辨率测试图象

除去反射部分, 量子效率的下降是由于光的透过. 光谱灵敏范围复盖整个可见光区, 并很少伸入红外区, 对彩色电视的需要特别适宜. 这就使降低惰性以适应广播电视的需要更为迫切. 遗憾的是非晶硅靶是薄型靶, 又有较大的介电常数 (>10), 电容性惰性是很大的, 致使改善惰性的工作相当困难, 严重影响了这种靶的实用. 图 10 是 2/3 英寸管的上升和衰减特性曲线. 惰性测量是在靶压为 15V, 信号电流为 200nA 和无偏置光的条件下进行的. 样管 1 的靶厚约 $2.0\mu\text{m}$, 第三场衰减惰性为 18%. 样管 2 的靶稍厚约 $2.4\mu\text{m}$, 第三场衰减惰性稍有改善, 为 17%. 但以后的场次有明显的改善. 更厚的靶, 我们没有试验. Oda 等人^[6]曾试验过 $4\mu\text{m}$ 厚的靶, 在有偏置光 (约 5nA) 的条件下, 第三场衰减惰性可降至 5% 以下. Kusano 等人^[8]用快电子扫描获得小于 0.5% 的惰性. 我们亦曾测试过

非晶硅膜的响应时间,大约在几十微秒的数量级。这些实验结果都表明靶的光电导惰性很小,电容性惰性是主要的。改进惰性的工作,应集中在减少靶电容或束电阻上。这就要求对靶结构或工作模式有大的改变。详细的实验结果我们将在另一论文中叙述。

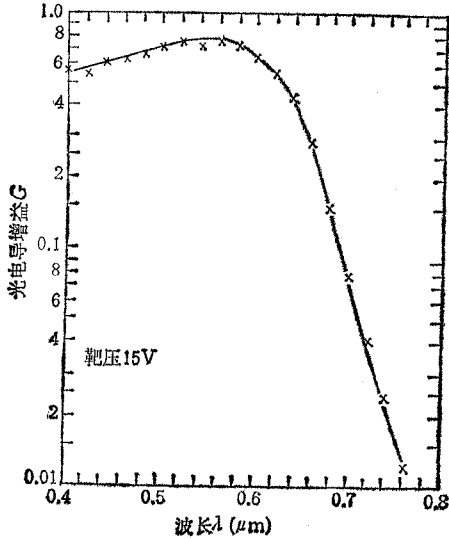


图9 样管的光谱响应

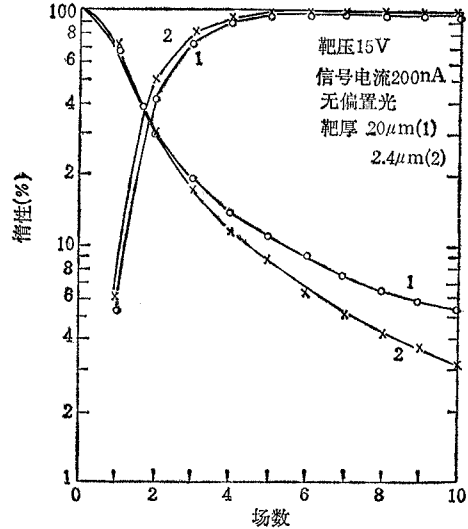


图10 2/3英寸管的上升和衰减惰性

我们的1英寸管惰性更大,第三场衰减惰性高达35%,几乎是2/3英寸管的两倍。这是由于两管的靶面积相差正是两倍,即靶电容相差是两倍的缘故。这表明光电导惰性所占比例的确是不大的。其他的测量包括:九级灰度卡能全部清楚地分辨,几乎没有余象,也看不到光晕。

五、结论和讨论

我们用较低频率(1MHz)的大型辉光放电系统制成了具有阻挡结构的非晶硅靶,工艺稳定。

在摄象管靶动态测试台上测量的伏安特性表明,光伏安特性有很好的饱和特性,而暗伏安特性饱和特性不明显,暗电流受到强烈的抑制。并以此对各靶层的作用进行了分析。

单色光的伏安特性有两个明显的特点;一是饱和光电流幅值不同,另一是饱和电压有差别。

单色仪与动态系统组合成的摄象管靶光谱响应测试系统,能够快速记录靶面光谱响应曲线,是很有意义的测量系统。非晶硅靶的峰值响应在 5800 \AA ,长波限约在 8000 \AA 。靶电场对短波响应的影响,往往被研究者所忽视。为此我们测量了不同靶压下的光谱响应。表明随着靶压的升高,短波响应开始有大幅度提高,在10—15V之间增长减慢,20V以上不再增加。而长波响应随靶压增加变化较少。这种变化与单色光伏安特性的测量结果一致。

象面质量和工艺稳定性也获得了满意的结果。特别是大气中存放两年,性能不变,对生产提供了方便。

最后制成的 2/3 英寸和 1 英寸两种实验样管, 在靶压 15V 下, 积分灵敏度为 2400 $\mu\text{A}/\text{lm}$, 暗电流为 1—3nA, 极限分辨率为 800TVL (1 英寸) 和 700TVL (2/3 英寸), γ 值为 0.95, 第三场衰减惰性为 18% (2/3 英寸) 和 35% (1 英寸), 灰度九级, 没有余象和光晕。光谱响应几乎全在可见光区, 峰值光电导增益为 0.78。

非晶硅靶摄像管是一种性能优良的新型摄像管, 它具有高灵敏度、高分辨率、低暗电流、无烧伤和无光晕等优点, 特别是工艺简单成本低使它在工业电视中有一定竞争力。但是它的惰性偏大, 远远达不到广播电视的要求。与其他类型的摄像管相比, 也还没有显示独特的优点, 所以至今尚无商品管问世。今后的工作应着眼于: (1) 改进靶结构以减少惰性, (2) 改进镀膜方法以提高灵敏度, (3) 提高综合质量以适应新的竞争。

整管测试是由尹显芬和蔡金萍两同志进行的; 张文煜同志曾大力协助; 黄效源、韩其芳和刘志鑫等同志提供了电子枪和工艺方便; 七室有关同志给了帮助, 在此一并表示衷心致谢。

参 考 文 献

- [1] 海宇涵, 周忠毅等, 关于开展非晶硅靶摄像管的探索性研究的报告, 中国科学院电子学研究所内部资料, 1979 年。
- [2] 科学报, 1985 年 3 月 17 日, 第 1 版。
- [3] 阿高三郎(ほか), 日经エレクトロニクス, 1979, No. 223, p. 52.
- [4] Y. Imamura et al., *Appl. Phys. Lett.*, 35(1979), 349.
- [5] I. Shimizu et al., *J. Appl. Phys.*, 51(1980), 6422.
- [6] S. Oda, et al., *J. Appl. Phys.*, 52(1981), 7275.
- [7] S. Ishioka, et al., *Jpn J. Appl. Phys., Suppl.*, 22—1(1983), 461.
- [8] C. Kusano, et al., *New Imaging Device Using α -Si*, Int. ED Meeting, 1983, p509.
- [9] E. J. Kampas, *J. Appl. Phys.*, 53(1982), 6408.
- [10] 海宇涵, 周忠毅, 真空科学与技术, 5(1985), 51.
- [11] 海宇涵, 周忠毅, 电子科学学刊, 7(1985), 108.
- [12] S. Ishioka, *Semiconductors and Semimetals*, vol. 21 Part D, p75.
- [13] A. Moore, *Appl. Phys. Lett.*, 31(1977), 762.
- [14] D. Staebler, *IEEE Trans. on R.*, R-31(1982), 281.

THE DEVELOPMENT OF α -Si:H IMAGE PICKUP TUBES WITH HIGH PHOTONSENSITIVITY

Hai Yuhan Zhou Zhongyi Zhang Baochui

(Institute of Electronics, Academia Sinica, Beijing)

ABSTRACT α -Si:H vidicon targets based on the blocking structure have been deposited and investigated. The target current-voltage characteristics in dark and under illumination are measured. The photosensitivity is 2400 $\mu\text{A}/\text{lm}$. The spectral sensitivity is high over the whole visible range. The peak photoconductive gain is close to 0.8 at around 5800 \AA wavelength. The signal current increases linearly with light intensity. γ is about 0.95. The dark current is about 1—3 nA at operating target voltage. The limiting resolution of 800 TVL for 1 inch tubes and about 700 TVL 2/3 inch tubes are observed.

KEY WORDS Image pickup tubes; Amorphous silicon; Vidicon target