

象增强硅靶摄象管移象区设计*

郎 良

(中国科学院电子学研究所)

甘治华 殷维钧

(南京一四三一所)

(一) 引言

随着微光和夜视技术的飞速发展,本世纪七十年代出现了高灵敏度的象增强硅靶摄象管(SIT),并立刻引起科研、军事和商业方面的注意.首先研制出的是1英寸(即光电阴极有效直径为25mm)管.在日本命名硅靶电子倍增摄象管(SEM)^[1].在美国,则称为电子轰击硅管(EBS)或象增强硅视象管(ISV)^[2].该管的高灵敏度与其移象区设计的优劣有密切的关系.图1给出了1 $\frac{1}{2}$ 英寸(即光电阴极有效直径为40mm)的整管示意图.移象区位于硅靶摄象管的前面,入射的微光不是直接照射在硅靶上,产生空穴-电子对,而是先照射在S20光电阴极上,光电阴极发射出光电子,光电子在象增强移象区受到12kV的高电压加速,获得比原来高得多的能量,然后轰击到硅靶上,由于电子能量得到倍增,硅靶中产生的空穴-电子对也倍增,使该管的电子增益很高.

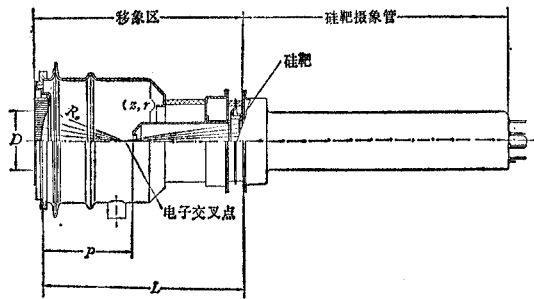


图1 1 $\frac{1}{2}$ 英寸象增强硅靶摄象管的示意图

Fig. 1 Schematic diagram of the 1 $\frac{1}{2}$ '' intensifier silicon target pick-up tube

为了发展高质量微光电视,提高微光系统的辨别细节的能力,我们进行了40mm SIT移象区的设计.从表1可以看到设计管的灵敏度和极限分辨率比1英寸管高得多.在X射线探测试验中表明,设计的SIT的探测力比1英寸的SIT(或SEC)再加上一级象增强器还强^[3],设计高质量的移象区对提高和扩大夜视整机的性能很有意义.

(二) 计算和结果

移象区电子光学系统选定为由球面阴极、与阴极同电位的弯钩电极和锥形阳极组成的两电极定焦系统,如图2所示.用DJS-6型电子计算机计算了移象区的电场和电子轨迹,通过对中心电子轨迹和轴外电子轨迹的计算,确定了系统的象面位置 L_0 ,中心放大率

* 1982年9月17日收到.

表 1 WL31792 和设计的 SIT 的主要性能的比较

Tab. 1 A comparison of the major specification of WL31792 and the designed SIT

管号	参数	光电阴极有效直径	硅靶直径	加速电压	整管极限分辨率	灵敏度
	单位	mm	mm	kV	TVL	$\mu\text{A}/\text{lm}$
WL31792*		25	18	10	700	250000
设计管		40	25	12	800	720000

* 美国 Westinghouse 电气公司生产的 1 英寸管

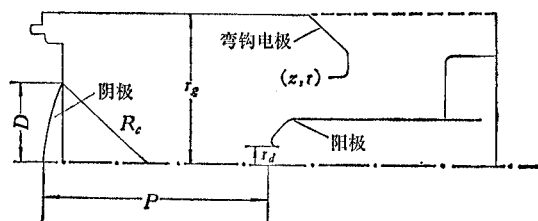


图 2 移象区电子光学系统

Fig. 2 The electron optical system of the shifting image section

M_0 以及畸变 β , 场曲 F (子午场曲 F_p , 弧矢场曲 F_q), 象散 η 等轴外象质^[4].

按照图 2 计算出不同的极间距离 P 和阳极孔直径 r_d 的 L_0 和 M_0 的变化, 如图 3 所示, 可以看到 P 减小, r_d 增大时 L_0 和 M_0 增大. 进一步对不同的阴极曲率半径 R_c , 计算了不同的离轴高度 r (以下长度单位均为 mm) 时的电子光学性能. 表 2 列出了 $r = 16$ 的结果, 可以看到 R_c 增大时, L_0 和 M_0 增大. 计算表明, R_c 在 52—57 的范围内, 中心和轴外象质较好. 选用的 R_c 使得边缘场强 E_t 高于中心场强 E_0 时, 能使象平面上分辨率均匀, β 和 η 变小.

表 2 不同的阴极曲率半径对成像的影响

Tab. 2 The effect of different photocathode curvature radii on imaging

R_c	r_0			$r = 16$				
	L_0	M_0	E_0	E_t	β	F_p	F_q	η
48	127.14	0.6344	20.07	21.23	2.0372	2.2073	0.8775	2.9439
52	127.86	0.6357	20.34	20.88	2.2073	3.525	2.539	0.9972
57	128.80	0.6381	20.69	20.71	2.8560	5.360	4.4872	2.347
60	129.63	0.6391	20.85	20.58	2.7161	6.033	5.111	2.854

计算了三种阳极头模型, 图 4 是放大 10 倍的阳极头部. I 表示方头阳极, II 是由两个圆弧 R_1 和 R_2 组成的曲面阳极, III 是曲率半径为 R_3 ($R_1 < R_3 < R_2$) 的圆头阳极. 表 3(a) 列出了近轴的理想象面位置、放大率以及低频(空间频率为 $51\text{p}/\text{mm}$) 下的调制传递

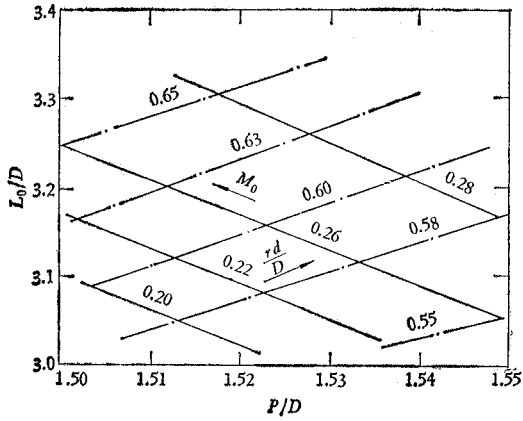


图3 L_0 和 P 的关系(图中长度数值用 D 归一化)
Fig. 3 A plot of L_0/D VS. P/D , with rd/D and M_0 as parameters

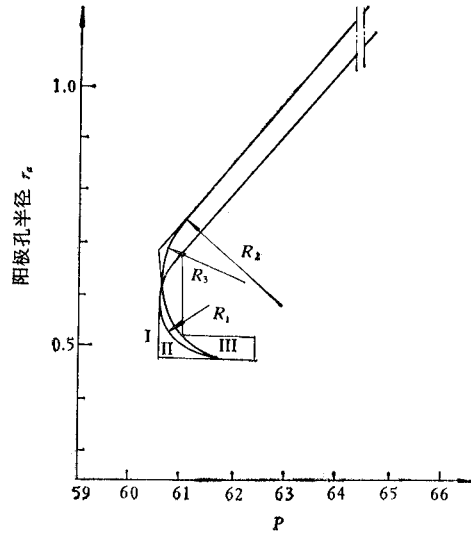


图4 移象区的阳极头计算模型
Fig. 4 The calculation model of the anode end of the shifting image section

函数。可以看到 II、III 比 I 象质好。然后又计算了 II、III 在轴外 $r = 8, 16$ 的象差。见表 3(b)。从计算得知,与阳极锥体相切的圆滑曲面阳极头 II 近轴和轴外的象质更好。

表 3 阳极头形状的影响

Tab. 3 The effects of the geometry of the anode end

(a) 近轴成象性质: $\alpha = 75.85, R_c = 57$

(a) Imaging characteristics of near-axis beam

阳极头 \ 参量	L_0	M_0	MTF
I	128.91	0.6299	0.9816
II	129.3041	0.6276	0.9848
III	129.4668	0.6307	0.9831

(b) 轴外 $r = 8, 16$ 处, II、III 阳极头的象差比较

(b) Comparison of the aberration of the anode end number II and III at distance of 8 and 16 mm from the axis

阳极头 \ 参量	r	M	β	F_p	F_a	η
II	8	0.6233	0.5769	1.5838	1.3605	0.2240
	16	0.6366	2.7152	6.0331	4.1195	1.9368
III	8	0.6257	0.5846	1.6508	1.4020	0.2495
	16	0.6392	2.7400	6.2913	4.2811	2.0346

由理论分析和计算结果得到的要点是:

1. 两电极的阴极透镜成象系统只要设计合理, 就有很好的电子光学性能. 按图 3 选择 P 、 r_d 能获得预定的 L_0 和 M_0 .

2. 理论上, 从象差方程^[5]可知, 减小阴极曲率半径可使畸变和场曲减小. 如取阴极的曲率半径 $R_c = 52$, 从表 2 可见, 阴极表面的电场分布从轴向外略有增强, 这将使轴外的电子受到较强的电场会聚力. 如再采用阳极头 II, 则将使阳极孔附近的发散场从轴向外逐渐减弱. 这样配合起来, 对提高整个视场区的分辨率、减小畸变、场曲、象散是有益的. 根据经验, 选择 $R_c \approx 0.86P$, 使电子会聚的交叉点位于阳极头前方; 选择阳极头部圆滑过渡形状, 阳极孔径适当大一些, 使移象区有适当的发散场, 同时也使全部电子参与小孔成象. 这样可使全视场有良好的图象均匀性和足够的增益.

3. 仔细调整与阴极同电位的弯钩电极, 以补偿象平面的弯曲, 亦能减小畸变、场曲. 本设计中取 $r_g \approx 1.5R_c$, 弯钩处的 $z = 1.9D$, $r = 0.84R_c$, $r_d = 0.18R_c$. 以上数据可供一般微光摄像管移象区设计的参考.

本文设计的移象区 $L_0 = 129.12\text{mm}$, $M_0 = -0.65$, 轴外电子光学性质见表 4. 从 $r = 16$ 一列表表明象面上 80% 视场区以内, 畸变为 2.52%、场曲小于 3mm, 象散只有 0.32 mm. 设计结果颇令人满意.

表 5 列出了加工公差对 L_0 , M_0 的影响, 供设计和加工时参考.

表 4 移象区离中心轴 r 处电子光学性质

Tab. 4 The electron-optical characteristics of the shifting image section at distance r from the axis

参 数 \ r	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20
$-M$	0.6392	0.6402	0.6414	0.6433	0.6457	0.6486	0.6517	0.6553	0.6593	0.6635
$\beta\%$	0.0164	0.1549	0.3673	0.6440	1.014	1.474	1.962	2.523	3.144	3.810
F_p	0.6963	0.9004	1.219	1.612	2.123	2.483	2.824	2.991	3.0494	3.346
F_d	0.7515	0.9321	1.080	1.321	1.647	2.014	2.386	2.671	2.787	2.387
η	0.0552	0.0317	0.1386	0.2923	0.4783	0.4721	0.4434	0.3244	0.2666	0.9791

表 5 公差参考表 $R_c = 52$

Tab. 5 The referance table for allowance

参 数 \ 公差	ΔP	Δr_d	Δr_g	Δr	Δz	ΔR_c	ΔR_t	ΔR_s
$\Delta L, \Delta M$	± 0.05	± 0.02	± 0.05	± 0.05	± 0.05	± 0.5	± 0.05	± 0.05
ΔL	-0.205	+0.2027	+0.095	+0.0275	-0.045	-0.06	+0.0925	+0.095
	+0.183	-0.1248	-0.3375	-0.0475	+0.045	+0.10	-0.0925	-0.095
ΔM	-0.002685	+0.00467	+0.0006	+0.000275	-0.0001	+0.00024	+0.000275	+0.000275
	+0.002131	-0.003625	-0.002775	-0.00035	+0.0001	-0.00011	-0.000275	-0.000275

(三) 试验和应用

按照本设计装配了两只管子进行移象区的试验。试验结果与计算结果基本一致。见表6。图5是我们研制成的SIT的外形照片。该管的中心分辨率和四角分辨率分别超过800TVL和600TVL;总灵敏度达到 $7.6 \times 10^5 \mu\text{A}/\text{lm}$,研制管现已用于X射线探测、天文恒星观测、卫星跟踪、夜间观察和监示等设备。

表6 设计值、计算值和实测值的比较

Tab. 6 Comparison of the desiged values, the calculated values and the measured values

参数名称	设计值	计算值		实测值
		$R_c = 52$	$R_c = 57$	
阴极面有效直径 mm	40	40	40	40
靶有效直径 mm	25	25	25	25
中心放大率 M_0	-0.64	-0.6495	-0.6531	-0.645
最佳象面位置 mm	≤ 131	129.12	130.12	130.60
畸变 $\beta\%$ (80%视场)	≤ 4	2.523	2.856	2.0
场曲 F (mm) (80%视场)	≤ 3	2.991	6.033	2.0
阳极电压 (kV)	12	12	12	12

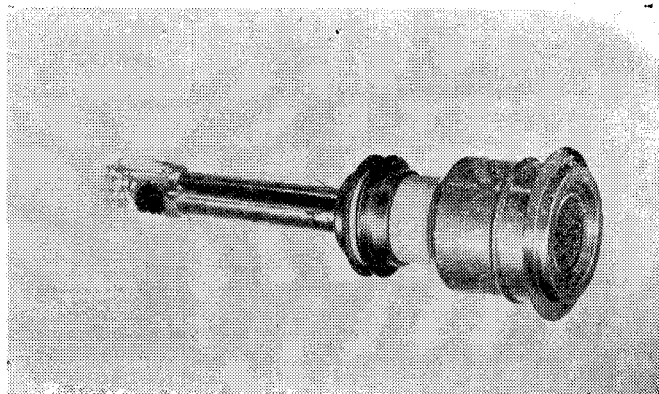


图5 40/25 SIT 照片

Fig. 5 The potograph of the 40/25 SIT

本工作得到江钧基、周立伟、陶兆民、朱协卿等同志和电子所八室计算机房同志们们的热诚帮助,在此表示感谢。

参 考 文 献

- [1] S. Miyashiro and S. Shirouzu, *IEEE Trans. on ED*, ED-18(1971), 1023.
- [2] B. Singer, *IEEE Trans. on ED*, ED-18(1971), 1016.
- [3] 甘治华、朱昌昌, 40/25mmSIT 管研制进展, 四机部 1431 所内部资料, 1981年.
- [4] 204 研究所、北京工业学院、211 研究所, 变象管及象增强器电子光学系统的数值计算与设计 (内部报告), 1975 年.
- [5] 周立伟, 夜视器件的电子光学(第一册), 北京工业学院, 1977年.

DESIGN OF THE SHIFTING SECTION OF AN INTENSIFIER SILICON TARGET PICK-UP TUBE

Lang Liang

(*Institute of Electronics, Academia Sinica*)

Gan Zhihua, Yin Weijun

(*Institute No. 1431, Nanjing*)

In this paper, the principle of design of the shifting image section of an intensifier silicon target pick-up tube is given. An electrostatic electron-optical system with a photocathode having an effective diameter of 40 mm and a system magnification of 0.65 has been designed. The experiments show that when the electron image of the photocathode is transferred to the silicon target, the geometric distortion is only 2%, the field curvature is 2 mm. The astigmatism is less than 0.32 mm at 80 percent of the viewing field and the resolution is over 50 lp/mm. It shows that the design of the electron-optical system is good and reasonable.