

空间用的二次电子电导摄像管

已研究出空间应用的二次电子电导摄像管。简要叙述这种研制的初步概况和评论其预期应用如在天文仪器（相机和摄谱仪），星场相机和地面研究的特殊仪器中用作探测器。叙述管子的结构，其中，谈了有关 Heimann Gmb H 公司产的原始标准管的改进。最后综述对管子性能的初步评价，管子性能是用标准检验设备按标准的欧洲扫描格式测量的。

I 引 言

在 ESTES 合同下已研制在空间应用的二次电子电导摄像管。在未来 ESRO（现欧洲空间代办处）计划的一系列研究中都需要灵敏的摄像管。要求高分辨率的灵敏摄像管。为了提高灵敏度十分需要有对长时间曝光的积累能力。一些初步研究后认为二次电子电导靶能最好地满足这个要求并可不在不加冷却情况下长时间积累应用。二次电子电导靶也达到了比其主要对手 EBIC 靶更先进的程度。

在欧洲的竞争中，挑选了 Heimann Gmb H 进行研制。他们的工作已完成，送给 ESTEC 三种样品管子。叙述这些管子的研制和性能是本文的目的。

II 管子的应用和性能要求

在未来科学研究中，首先要鉴别对这种摄像管的要求，主要应用是为科学目的，特别是天文学。不仅管子在各个波长区域都要成象，而且能进行光谱测量；例如：采用双色散的高光谱分辨率的仪器，光谱在二维格式中显示。很清楚管子必须有这样的特征：能进行精确的光度测量。尽管管子本身基本上仅适用于可见区域，但用纤维光学输入窗就可简单地扩展光谱区域。带纤维光学输出窗的任何图象转换器（紫外—可见，X 射线

—可见等）能很容易以很小的分辨和信号能量损失同摄像管耦合。管子组合的性能显然取决于耦合管的特性，特别是耦合管任何的内部暗发射都将限制整管的积累能力。

灵敏摄像管另一重要应用是在星场相机中。这是一有用装置，有助于高精度定点系统姿态探测。当定点科学仪器对着模糊不清的目标时，一般来说，它能有助于显示（对地面或人造宇宙飞船的人员）理想定点区域的星场。这就允许试验者证实定点是正确的。他也能选择一导星并指出仪器定点系统的目标。

最后，相信管子作地面和行星观察仪器的探测器也是很有用的。最初不是选择用在 ERTS 型高分辨率的相机上，而是用于特殊仪器上比如研究表面特性或大气的实时分光光度计，或气象应用的相机上。这种管子的特性，高灵敏度，长时间存储和积累，扫描程序和速率广泛选择的兼容性，将证明在这样的应用中很有吸引力。

给出二种性能标准，开始主要强调，分辨率和积累本领。为了达到高分辨率，要求把增加靶面尺寸和改进标准生产管子的分辨率相结合。要求分辨率在每画面 700×700 像素时调制度为 50%。

在 10 小时周期的图象积累和存储中不能降低分辨率，并且管子内的暗发射必须与这种要求相一致。

靶存储容量是进行光电测量的管子的另一重要性能。为管子在标准 CCIR 扫描条件

下工作时（欧洲标准），高存储容量可得到宽的动态范围和大至300 nA的强光信号电流。

对于空间应用来说，一般不采用标准扫描条件。由于一般对地面传输只用有限的数据频率，通常使用慢扫描。进一步说，为了利用管子的积累能力，采用按顺序的操作方式。这也就是说不需要同时曝光和读出。反之，标准操作的顺序是准备，曝光（存储），读数和擦除。这意味着管子不用抑制栅网就能稳定工作。

除上述光学和电学性能要求而外，管子必须能承受发射和轨道运行期间所遇到的环境条件。

Ⅲ 管子结构

研制的管子是基于 Heimann GmbH 的 1004 型标准二次电子电导管。这是具有静电移象部分及磁聚焦和偏转读数部分的 25 毫米管子。在纤维光学面板（和靶面）上有效图象直径是 16 毫米，管子用有扩大红光灵敏度的多碱光电阴极。

为达到 ESRO 所需特性，基础的管子不得不在各方面进行改进。包括采用 S-11 光电阴极，移象部分的内部处理，增加有效图象直径，改进读数部分分辨率，改进靶支面架和去掉抑制网格。

下面较详细叙述这些改进。

A 光电阴极

决定使用铯-锶（S-11）光电阴极同 S-50 阴极相比较，S-11 具有颇低热电子暗电流，并由于铯量较少，改进场发射性能。尽管它的积分灵敏度低很多，但在通常采用的 P-11 磷光体发射光谱范围内它的光谱灵敏度是可以同 S-20 相比较的。这种管子同用这种磷光体的转换器或增强管相耦合时，整个性能只有很小的损失。得到的标准光谱灵敏度曲线如图 1 所示。最大量子效率在大约 450nm 处是 10%

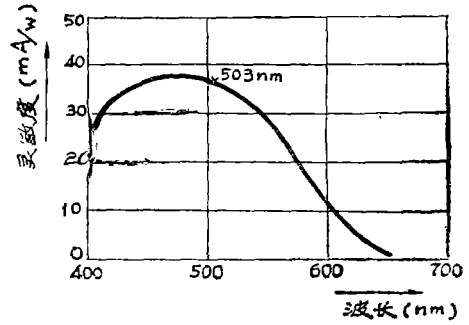


图 1 S-11 光电阴极光谱灵敏度

B 积累能力的改进

进行长积累的最初尝试不一定成功。在黑暗中积累仅 30—60 分钟后，读出产生假信号。原因是在管子移象部分有小的闪光。借助于三级图象增强器可以观察和探测这些闪光。光电子轰击玻璃壁时发射出二次电子，二次电子对玻璃壁充电引起闪光。

采取三种措施避免暗发射：

接近阳极而处于阴积电位的所有金属部件都涂薄玻璃层。

阴极和阳极之间的玻璃壁要涂氧化铬，它稍能导电，可以防止电荷增长。

阴极部件用抛光的钢制成，而面对阴极的阳极边缘应是圆的和抛光的。这可防止场离子发射，它可导致光电阴极上的二次电子发射和观察到假信号。

成功地研究了应用薄玻璃层和氧化铬的技术。然后可以重复地得到所需的 10 小时积累。移象部分的结构如图 2 所示：

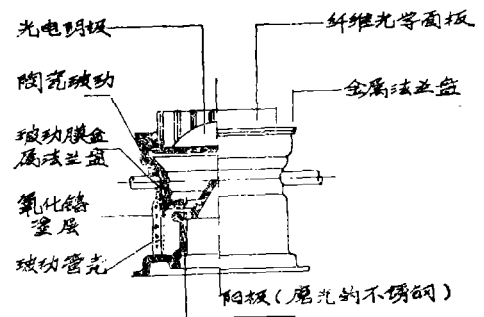


图 2 改进的电子学移象部分

C 改进读数部分提高分辨率

早期工作证明管子分辨率主要受读数部分限制。由于现有的枪结构和附带的静电聚焦和偏转装置不能完全体现移象部分和靶面的分辨本领。通过改进，分辨率和增加有效面积取得分辨率的改进。这二种方法都可采用。

1004管子的扫描形状受到阳极圆筒直径和场网（G4）安装环的限制。进行重新设

计使有效图象直径从16毫米增加到21毫米。用玻璃壁内蒸发的铝膜层代替阳极圆筒。用一短圆筒将玻璃壁铝膜阳极联接到场网近贴处，此圆筒熔化在玻璃壁上以防止场畸变。场网安装环在面向阳极处也有一短圆筒，它对扫描电子束稍有聚焦作用。这样就改进了边缘分辨率和畸变。图3表示二次电子电导管和所述的改进，能获得21毫米有效图象直径。

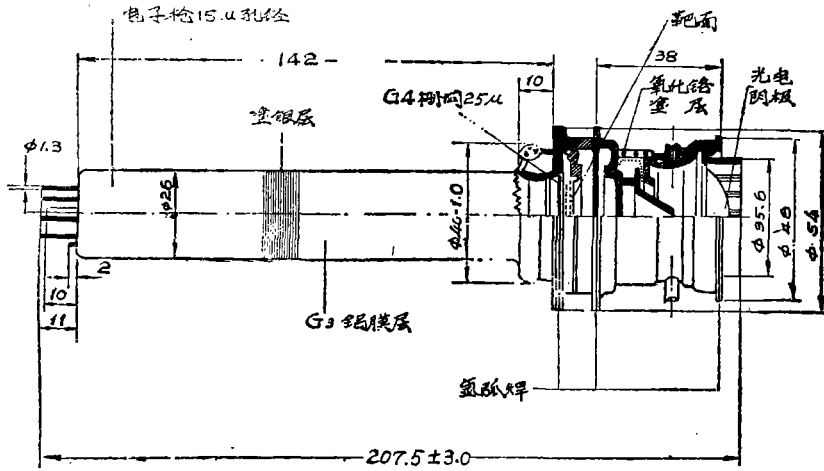


图3 改进的二次电子电导探象管

介绍的另一个改进是电子枪三极管部分和面之间距离增大14毫米。仔细选择不均匀磁场聚焦线圈，枪孔径在靶面上成一缩小的“象”，以便改进分辨率。G2是限止小孔也降到15微米直径。为在这个小孔上获得充分的电子束效率，将小孔移动更接近于交叉点。

而且，用17微米间距的精细栅网G4。不采用抑制栅网G5也有助于获得高分辨率。而且由于G4和G5栅网组合效应而产生的moiré条纹也消除了。

D 抗振性的改进

1004管子用的原始靶安装环如图4所示，是陶瓷材料的安装环。这个装置是坚硬

的而且具有防止有害振动频率使靶面破碎的良好特性。但是，寄生电容（靶—地）相当高，（总计20—25 pF），搞了不同的结构，用

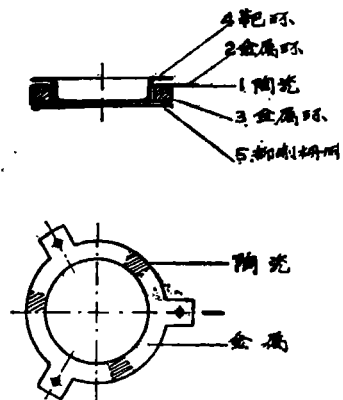


图4 靶支架。原设计。

表 1 研制的二次电子电导管总的说明

一般

管壳	玻璃, 靶面部分是陶瓷
尺寸	见图 3
质量	大约200克(不包括线圈装置)
电源消耗	1.8 瓦 (不包括线圈装置)

移象部分

输出窗	纤维束直径大约 7 微米的纤维 光学面板
有效直径	21毫米
前表面平面度	大约10微米
光电阴极曲率	18毫米半径
光电阴极	S-11
聚焦	静电
放大率	1:0.95

靶

基底	氧化铝箔
作用物质	多孔氯化钾
电极	铝
靶装置	见图 5

读出部分

聚焦	磁
偏转	磁
推荐的线圈装置, BV612	
阴极	氧化钡
限止小孔	15微米, 在靶面上缩小约2:1
G3 电极	玻璃壳内蒸发铝。接点镀银。
G4 电极	与靶相距 2—3 毫米的17微米 铜网
G5	没有

IV 性能

到目前为止用标准的欧洲扫描格式已进行了性能测量(每帧 625 条线, 二场交织一帧每场读出时间20毫秒)。尽管管子主要是用于特殊扫描格式, 但是同标准扫描条件下总是有效的其它管子相比较得到的最终的资料是很有用的。没有设计指定管子的顺序操作方式的有效检验装置。因此, 测量是在标准二次电子电导管检验装置上进行的, 仔细观

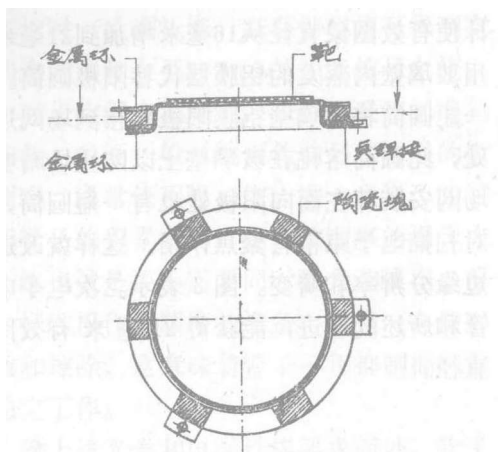


图 5 靶支架。改进的设计

三个小陶瓷块支互相绝缘的装置的三个面。从寄生电容的观点看这种结构是很好的, 即降低到大约 10pF, 并获得信—噪比的重要改进。但是, 这种装置谐振频率在700—2000 赫, 有损于靶面。最后出现如图 5 所示的设计, 六个小陶瓷块支撑 2 个面并且环 2 和 4 不是焊接在如以前的 3 个点而是在大约20个点上。这就改进了整个稳定性, 并且谐振频率增到 1500 赫以上。

再就是不采用抑制栅网改进管子振动阻抗。有抑制栅网, 振动试验失败的主要原因是靶面和抑制栅网接触, 靶面遭到破坏。

E 整管叙述总结

表 1 给出1004型原始管子改进后的总的说明。

察监视器上显示的图象。当检验人员观察到开始出现第一交叉点的信号时，为了限制靶表面电位漂移到安全数值，就必须把G4的电位从读出时所需的350伏转换到18伏。靶表面电位超过第一交叉电位时，连续读出将引起靶面永久性破坏。表2是测量的性能总结。详细的将在后面讨论。

表2 性能综合

	检验条件	测量数值
光电阴极灵敏度	$\lambda=470\text{nm}$	$>35\text{mA/w}$
分辨率(调制深度)、中心, 24线对/毫米		$\approx 50\%$
	$I_s=200\text{nA}$	
	中心, 37线对/毫米	
	$I_s=200\text{nA}$	
	边缘25线对/毫米	$\approx 5\%$
	$I_s=200\text{nA}$	
积累时间	7千伏	15小时
靶增益	$I_s=50\text{nA}$	150
最大输出信号	$r=0.7$	300nA
残余信号	第三场	$<5\%$
几荷畸变		2—3%
响应的均匀性	正场半径的	$\pm 5\%$
	40%以内	-20%

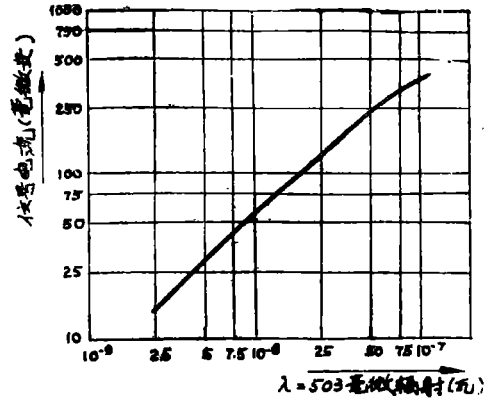


图6 研制的二次电子电导管标准转换曲线

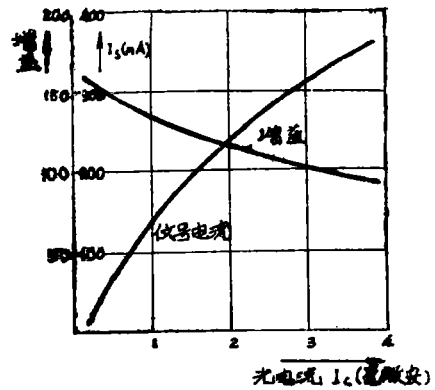


图7 光电流与信号电流和靶增益的关系曲线

A 转换特性

在交给 ESTEC 三种样管上测量在 503 nm 处视频信号电流与光强的函数关系。选择503nm波长是由于校准光源在这个波长是有效的。三个管子的转换曲线是一致的，他们可以用一个图表来概括(图6)。同一特性曲线在图7中用线性坐标和光电流标在水平轴上画出。图1给出光电流和辐射之间的关系。从转换曲线中可推论出靶增益也示于图7中。

$r > 0.7$ 范围所限定的操作范围扩展到 275nA 信号电流。大约400nA时达到饱和。靶电容和最大靶电压确定饱和电流。测量电容放电惰性计算出在靶压15V时靶电容约为 200pF/cm^2 。

B 分辨率

用相当于空间频率序列的一组线条的测试卡测量调制传递函数。用高质量透镜系统使测试卡成象在管子输入窗上。仔细调整扫描大小，空间频率范围从1.6线对/毫米到32线对/毫米相当于0.5兆赫到10兆赫电视信号频率。

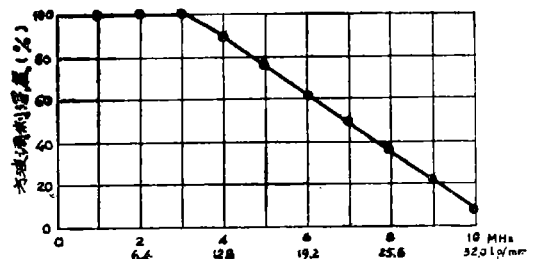


图8 标准的调制传递函数

典型的结果如图 8 所示,是在 200nA 强信号下测量的。没有进行透镜响应校正,透镜在 24 线对/毫米是 0.85。由于放大器带宽限制,不能检验 37 线对/毫米的特定极限分辨率。(3-dB 点是大约 9.5 兆赫)。

在分开的测量中确定(离中心 8 毫米处为 25 线对/毫米)极限边缘分辨率。

总的结论是:这些管子特定分辨率优于目前有效的其它制造者的二次电子电导管。

C 积累和存储容量

在 III、C 中叙述的改进实现以后,为了研究暗发射的数量进行了检验。移象部分加 7 千伏并关掉电子枪阴极热子,直到 15 小时的积累周期,没有观察到信号。

在研制工作期间,高压提高到 15 千伏,使检验程序加快。发现,如果在管子的特殊位置那个电压正产生放电,在同一点上保持放电的趋势并在 7 千伏正常电压下也能产生,这个方法是不适用的。所以提高电压的操作导致管子积累能力的永久性损伤。

为了检验管子存储能力也进行了测量。存储整个晚上后(断开管子偏压)图象读出没有显示出分辨率的显著下降。

D 响应的均匀性

因交付的三个样品管,特性曲线非均匀性在中心圆 8 毫米直径是 $\pm 3-5\%$ 之内。在靶的边缘,响应低于中心 15—20%。

E 图象质量

图象畸变取决于对光电子的电子光学移象段的设计。管子测量数值是在 2—3% 范围内。

许多摄像管特别是二次电子电导管的问题是 实现没有污点的靶面。然而,交给 ESTEC 的三个管子在这方面特别好。其中有二个仅有一个白点,而第三个有三个点,其直径都在 2—3 电视行以内。

F 滞 后

二次电子电导管靶面的固有特点是它在读出时能完全消除所积累的电荷。这些管子也无有例外。单帧画幅读出后剩余的电荷在 200nA 信号电流时小于 5%。

V 管子操作

A 电 学

因为管子没有抑制栅网,按顺序方式操作是合理的,场网电位在积累方式时调得很低(≈ 18 伏)而读出时转换到高电压(≈ 350 伏)。顺序操作的方式一般情况准备,曝光(积累)读出、擦除至继续上述顺序。分别擦除方式是不必要的。介绍下面的顺序:

(a) 准备

光电阴极无照明

$U_{pc} = 0$ 伏

$U_t = 15$ 伏

$U_{g_4} = 250$ 伏

$I_{\text{电子束}} = \text{大约 } 0.5 \text{ mA}$

扫描几次以全部擦除

(b) 积累

$I_{\text{电子束}} = 0 \mu\text{A}$
 $U_{g_4} = 18$ 伏 } 这个程序是重要的

关掉所有其它偏压

接通 $U_{pc} \sim 7$ 千伏

照明

(c) 读数

关掉 U_{pc}

接通全部偏压和等 1 分钟

$U_{g_4} = 350$ 伏

$I_{\text{电子束}} \sim 0.5 \text{ mA}$

为了从靶面擦除全部电荷,准备阶段也包括用汛光照射光电阴极和读出几帧,这样使光电阴极均匀分布于零电位。

读出可用各种方式完成。尽管必须选择保证最大信噪比的技术,例如计数式扫描,但慢扫描还是特别有吸引力的。

B 环境的约束

在Ⅲ D节中叙述了有关管子抗振性能的提高。二次电子电导管靶一直是易脆的并且必须小心使用避免管子受过度振动，特别是1200—1400赫以上的频率。能够发生的破坏是靶面上KCI粒子振掉。这就会在图象上显示出白点。在较强振动时，靶面会遭到全部破坏。实验证明：振动前靶面有缺陷的管子比好靶面的管子更容易损坏。作为一般原则在500赫以下振动不能超过5g，在1000—2000赫范围振动应降低到1g以下。大约0.005g²/赫直到2000赫的随机振动是容许的。

对在音频范围内有一定频谱分布的总声能达到140 dB的声音进行了声学测试。没有探测出损坏的征候。

由于管子需要高压，要避免在有放电危险的气压范围内操作。

也应防止管子受过强光照射，它能破坏靶面和光电阴极。

管子经得起室温到-55℃和到+70℃的温度冲击而不损坏性能。推荐的操作温度范围在15℃和0℃之间。温度增高，光电阴极暗电流也会增加，而温度降低，光电阴极层电阻就会大大增加以至产生电位畸变。

VI 结 论

已研制出高性能摄像管。其主要特点是高分辨率和长期积累本领而管子还是小的通用的25毫米尺寸。同在别处研制的二次电子电导管相比较这种管子在这些方面提供了更好的性能，而在其它方面也没有损失。管子在天文学上有科学应用价值，特别是在宇宙飞行器上，并且由它所组成的科学仪器的性能要比采用类似的管子的高得多，类似的管子已在文献中早有报导（如参考9和10）

整管示于图9中。

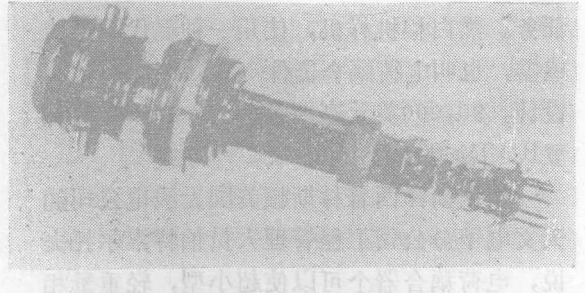


图9、10 11型二次电子电导管

译自: Applied optics. Vol. 15.

№3. 1976. P661—667

(苏录译)