

回束光导摄像管的特性与应用

摘 要

回束光导摄像管(*RBV*)是近期发展起来的一种具有特殊性能的摄像管。 $4\frac{1}{2}$ 吋*RBV*管的突出特性包括高的孔径响应,高的信号增益,宽的动态范围和大容量的靶面。管子的电学设计参数与其他直读型和回束读出型的成象器件比较,指出了*RBV*管是一个本质上性能要高得多的器件。为了提供更高的灵敏度,正在发展一种带纤维光学耦合象增强器的回束管。*RBV*管的运用包括图象传感和静电贮存。已证明总的分辨率可达100对线/mm(每图象高10000电视行)。当100对线/mm时,*RBV*管的性能可赶上或超过高分辨率胶片的性能,特别是在低对比度的情况下。对稳态光学曝光,读出可以连续进行,或者对于快门曝光或电学记录组成的断续输入,读出可以接近实时完成。对不连续输入,信息可以用慢速扫描单帧读出,或者为了在电视显示器上显示,信息可以用快速多帧读出。在多帧读出方式中,可以得到长达约一分钟的连续的高质量显示。读出传递函数(γ)可以通过电子学来控制。全部读出方式皆允许通过光栅控制和可变焦距进行电子放大。*RBV*管好的性能和高的灵活性能广泛地用在侦察系统,光学和电学贮存及扫描变换,数据取回和发送以及信号处理上。

1. 一般特性

1.1 结构与作用特性

以美国无线电公司(*RCA*)电子元件部的*Scade*为主。一直在为美国莱特帕特森空军基地航空电子学实验室发展 $4\frac{1}{2}$ 吋的回束管^[1,2,3,4,5,6]。图1指出了管子及磁聚电子光学系统的剖面示意图。这种管子具有一个大的($50 \times 50\text{mm}^2$),高容量的光电敏感层,一个高增益正析象型的回束读出系统以及管外磁聚焦和偏转元件。电子光学提供了极好的分辨率,均匀性和几何图形。已证明用这种管子/线圈结构在整个敏感层尺寸内分辨率可达接近100对线/mm(10000电视行/图象高)。

管子既可以工作于慢扫描单帧读出方式,也可以工作于快扫描多帧读出方式。快速扫描读出方式能提供出一个高质量,低闪烁读出,显示给观察者的方式与商业电视类似。这种方式可以通过靶的不足扫描对信息进行选择性电子放大来改善。典型的显示监

示器参数将包括 2000×2000 电视行的分辨率,对于3:1的电子放大率,相当于 6000×6000 电视行将是显示出来的。

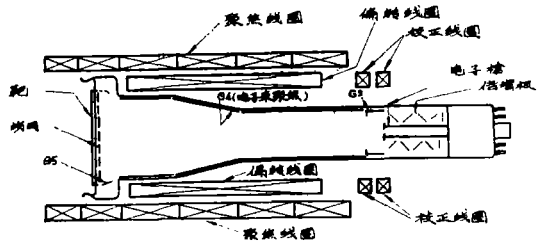


图1. $4\frac{1}{2}$ 吋回束光导管

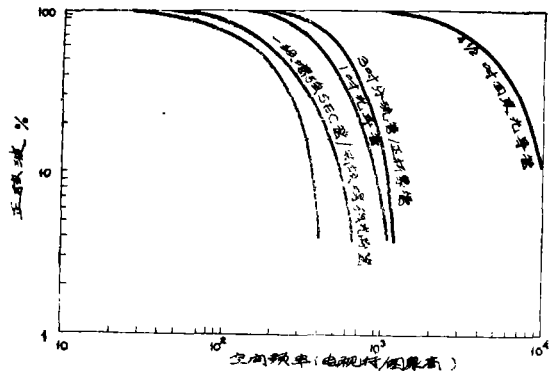


图2. 图象管分辨率特性曲线

RBV管高的图象传感性能及显示的灵活性,使其作为电学书写/阅读贮存管是引人注目的。最近在RCA“航空空间系统部”已确定了这种管子在各种静电贮存方式上应用的可行性。所达到的性能基本上和正常的光输入得到的一样好。

这种管子极好的贮存特性,使得它特别适合于要求对以各种光学和电学方式得到的数据进行交替或同时显示的许多显示问题。

1.2 与其他摄像管电学参数的比较

高分辨率回束管有许多独特的特性,它可以有效的应用在高性能传感,贮存和显示

$$S/N = \frac{\mu i_T}{\left\{ \left[\frac{2e\mu^2}{m} i_T + 4KT \left(\frac{R_n + R_L}{R_L^2} \right) \right] B + \frac{16\pi^2 KTC^2 R_n B^3}{3} \right\}^{1/2}} \quad (1)$$

式中:

i_T = 靶电流;

μ = 电子倍增器增益;

m = 电子束调制系数;

B = 放大器带宽;

R_C = 管子负载电阻;

R_n = 放大器等效输入噪声电阻;

C = 总输入并联电容;

K = 玻尔兹曼常数;

T = 绝对温度;

e = 电子电荷。

$$i_T = \frac{\left\{ \left[\frac{2e\mu^2}{m} i_T + 4KT \left(\frac{R_n + R_L}{R_L^2} \right) \right] B + \frac{16\pi^2 KTC^2 R_n B^3}{3} \right\}^{1/2} \frac{S}{N}}{\mu} \quad (1a)$$

这个方程的每一项代表着性能的一条渐近线,并提供出一个详细地分析性能机理的简便方法。第一条渐近线是由电子束或靶电流中有限的电子数量所引起的散粒噪声极限;第二条渐近线是放大器的负载电阻和放大器的等效噪声电阻平直的姜生(Johnson)噪声极限;第三条渐近线是放大器高频补偿后的噪声极限。对于典型的放大器参数和 $S/N = 10$ 的典型的阈性能标准而言,这些性能的渐近线作为带宽的函数已示于图3中。

信号(S)是“大面积”(直流)型的,它是

系统中,这些基本特性既可以绝对地考查,也可以同其他电子束摄像管联系起来考查。

RBV管最突出的特性之一是它的调制传递函数(M.T.F)。图2描画出了几种成象器件的典型调制传递函数。RBV管从中心到边缘分辨率的降低是不明显的,而相应的阴影性能是很好的。回束管的高分辨率主要是由电子光学决定的。已指出^[6],这些电子光学系统的性能与管衍射限制的5/1透镜相同。

对于具有一个高频补偿了的视频放大器,回束成象系统信噪比(S/N)可以表达为:

方程式(1)所确定的近似值忽略了暗电流,电子倍增器噪声和栅网透射损失。对于直读型电子束读出器件 $m = 1$ 和 $\mu = 1$ 。

各种器件可根据所给定的输出视频带宽,在贮存靶中产生一定大小的信噪比所需的信号电流的基础上进行比较,这个剖析对电子束/予放大器机构的总灵敏度的性能,所需的总电子束电流大小,以及多帧读出的固有能力(换句话说,电容惰性)给出了进一步的了解。靶电流方程式(1)的解为:

通过对从暗区到强光区域的变换而产生的视频输出测量得到的。区域的面积与空间分辨元相比是很大的。这个定义在电视工业上是标准的,同时是将孔径响应归一化除去,以便它可以做为单独处理的一个方便途径。

系统的带宽取决于分辨率和帧速度。几兆周的带宽是设计500~1000电视行截止的标准电视系统的典型带宽。假如应用慢扫描速率,同时假定不需要在阴极射线管上直接显示,那么高分辨率系统(几千行)可以在类似的或者更小的带宽下工作。一个几千行

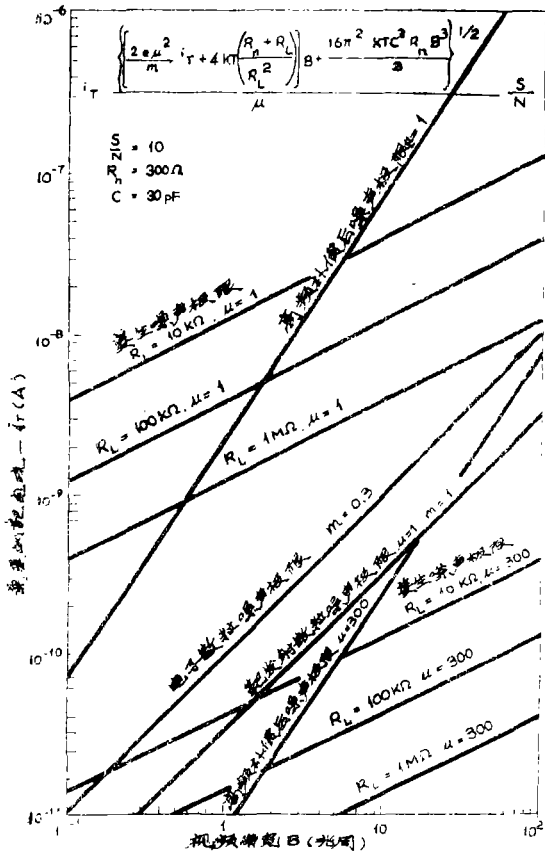


图3 直读型和回束读出型器件的信噪比特性曲线。

的无闪烁的显示需要差不多100兆周的带宽。从大约100千周到100兆周的工作带宽，包括了大部分信号和多帧读出条件以及全部感兴趣的性能渐近极限。在图3中指出：为了得到满意的S/N性能，在相同的带宽下工作的所有直读型器件所需的靶电流比回束读出器件所需的靶电流大10~1000倍。在高的带宽下工作，直读型器件电子束电流至少要1微安。在这样的电子束电流下，需要电子枪性能大大的改进后才有可能提供出高的分辨率性能。所以回束读出器件对于高分辨率，宽的带宽的读出，在目前的技术水平下是需要的。

当用单次光学曝光或单次电书写时，RBV管的多帧读出能力是很重要的。因为读出基本上是破坏性的，所以所感兴趣的是

控制图象性能的因素。(应当指出：在现在的技术水平下，由于低的调制传递函数，贮存网噪声，放大器噪声，阴影以及差的动态范围，非破坏性读出器件提供出的图象质量较差)。第一个重要因素是靶电容。与靶上贮存电荷相联系的有量子分辨率极限。这个极限可以从量子S/N考虑而推导出来。由普阿松(Poisson)统计学：

$$S/N = \sqrt{n} \quad (2a)$$

式中：

n = 每个分辨元的量子数。

如果假定测试卡线条对比度为100%，并假定分辨率是建立在亮暗区域之间平均量子相联系的噪声基础上，那么：

$$S/N = \sqrt{n} = \frac{2Q}{\eta e R} = \frac{2CV}{\eta e R} \quad (2b)$$

式中：

R = 水平的和垂直的分辨率(纵横比 1 × 1)；

Q = 靶上贮存的总电荷(库伦)；

C = 总电容(法拉)；

V = 靶上强光贮存电位(伏特)；

e = 电子电荷(库伦)；

η = 重复读出次数。

解方程式(2b)求分辨率(R)得到：

$$R = \frac{1}{\sqrt{\eta}} \frac{2CV}{e} \frac{1}{S/N} \quad (2c)$$

在S/N = 10(大面积)和V = 1伏的典型阈值情况下，从方程式(2)得出的结果绘于图4中。同时也指出了4^{1/2}吋回束管和作为标准电视使用的几个其他器件的靶电容值。各种器件在分辨率上另外的限制是由它的调制传递函数决定的。例如：如果把元信噪比S/N = 1作为分辨率适用的标准的话，那么MTF = 0.1和与之相联系的电视行数应与该图所选择的S/N = 10的准则相对应。如图2所示，一般的器件，MTF几百行截止，而RBV管直到几千行才截止。通过对图4的研究，可以得到在由贮存电荷

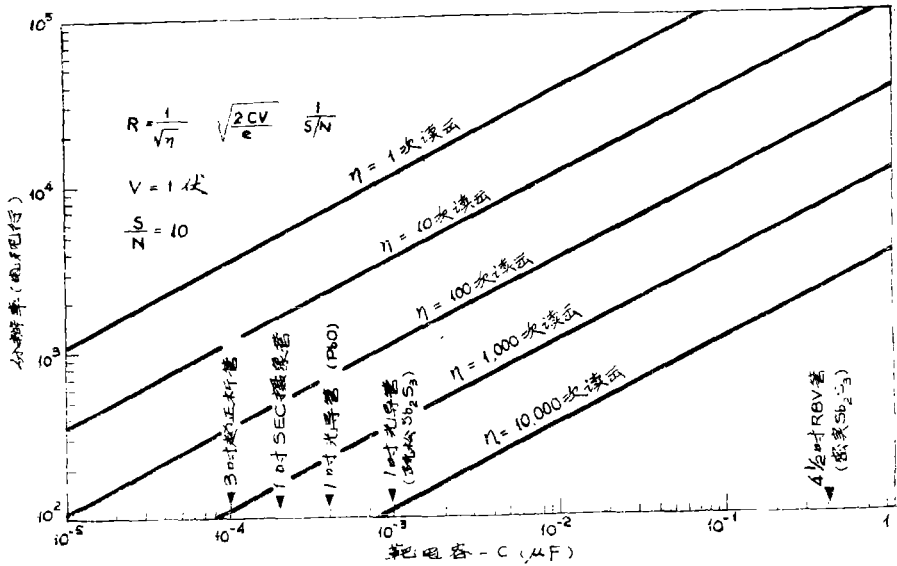


图4. 贮存靶的量子分辨率极限

和 MTF 决定的量子分辨率极限的基础上，对于高分辨率多帧重复读出而言，可得出RBV管的潜力相当大的结论。

除了满足上述的贮存电荷标准外，为了提供很长的多帧读出时间，在小的靶电流条件下，所要求的 S/N 准则也必须达到。依据于简化的线性放电模型，读出时间可以表达为：

$$\tau = \frac{CV}{i_T} \quad (3)$$

式中：

τ = 读出时间（秒）；

C = 靶的总电容；

V = 靶上强光贮存电位（伏）；

i_T = 靶电流（安培）。

这个关系在图5中用图解形式表示。同时也给出了 $4\frac{1}{2}$ 吋RBV管和另外几种标准电视成像器件的靶电容。参照图3，可以指出：对几兆周的视频带宽直读型器件要求靶电流大于 $50nA$ 。提供出小于0.1秒电容放电

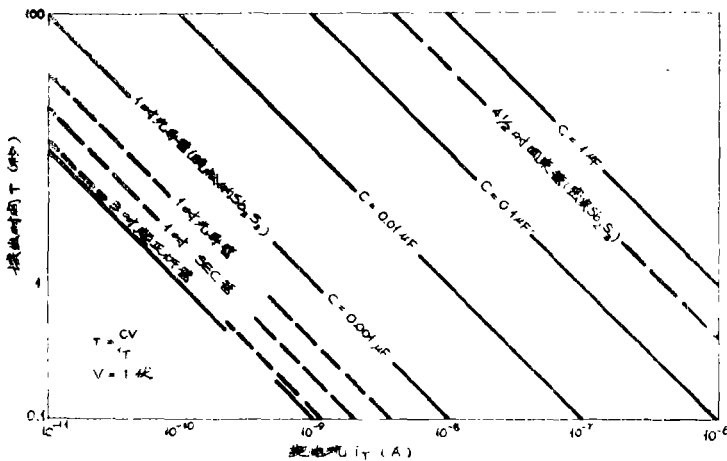


图5. 靶电容放电特性曲线

间隔，这是器件设计的范围。另一方面，甚至在几十兆周的频带宽度，靶电流大于 $5 nA$ 条件下，回束管也可以得到满意的 N/S 性能。在适当的动态范围内， $4\frac{1}{2}$ 吋 RBV 管的典型实际工作条件是 $10\sim 30 nA$ 。这样低的靶电流值与高的靶电容相配合，可以达到长达一分钟的高质量多帧读出。目前的实际工作已证实了这些估计。

2. 作图象传感器使用

2.1 工作方式和装置外形

RBV 管可以作为图象传感器工作在各种方式下。对本来静止图象的观察，可以使

用连续曝光和读出。对运动（或静止的）图象，可以有效的应用快门曝光。对数据传递或显示读出可以用单帧慢扫描或多帧快扫描来完成。电子光栅控制和可变焦距可对图象所选出的部分进行扫描放大。在读出期间改变靶及束电平以维持最佳信噪比和控制 γ 。在阅读和曝光的时间间隔中，用了一个准备步骤，它是由一个短的时间闪光，随后通过电子束扫描使之光电导靶又有了偏压而构成的。

近来为军事飞行环境制造的装置示于图 6 和图 7 中。图 6 的 RBV 管摄像机头，有一个光导管瞄准摄像机头和一个固定到飞行仪器上的光度计。

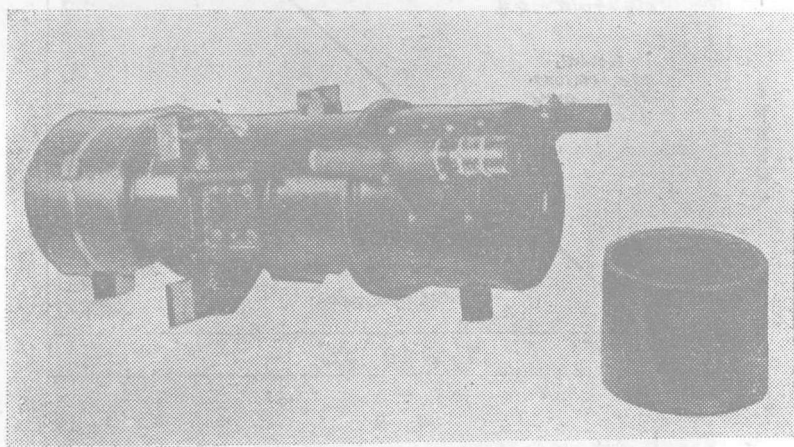


图 6 RBV 管摄像机头

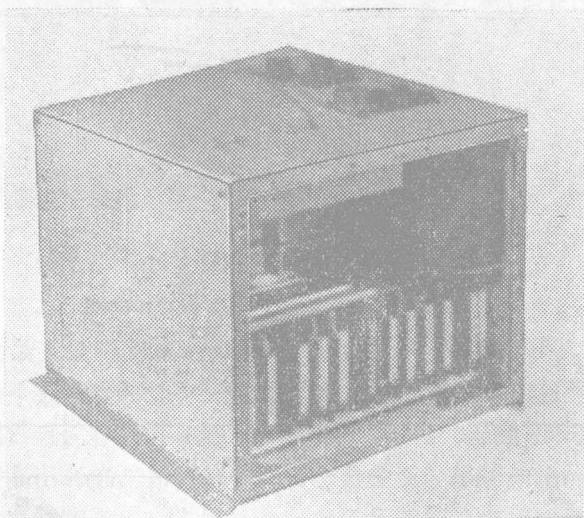


图 7 RBV 管摄像机电子设备

2.2总的性能特征

RBV管的性能已由O.H.Schade在文献^[1,2,3,4,5,6]中详细地叙述过了。通过管子和工作参量的适当选择,性能可以在很大范围内变化,以适应特殊的应用。典型的信噪比性能特性曲线在图8和图9中给出。图11给出了调制传递函数。为了提供更高的灵敏度,正在发展一种带象增强器的RBV管。这个象增强器是磁聚焦的,而且是通过纤维光学与摄像管读出部分相耦合的。设计研究已完成,图10给出了象增强器分辨率的实验数据。基于这个成就的结果,改进后的象增

强器的性能和完整的象增强器RBV管的性能也在图10中给出了。

用4¹/₂吋RBV管得到的图象的例子在图11和图12中给出(O.H.Schade从电视监视器上获得的照片)。图11是用1760行60场/秒具有电子颤动的3:1隔行光栅和带宽60兆周获得的。图12用同样的扫描参数和4:1可变焦距光栅得到的。由这些照片显然可看出电子可变焦距技术的价值。

将RBV管目前的性能与照相底片和灵敏度的最大理论极限进行比较是有意义的。

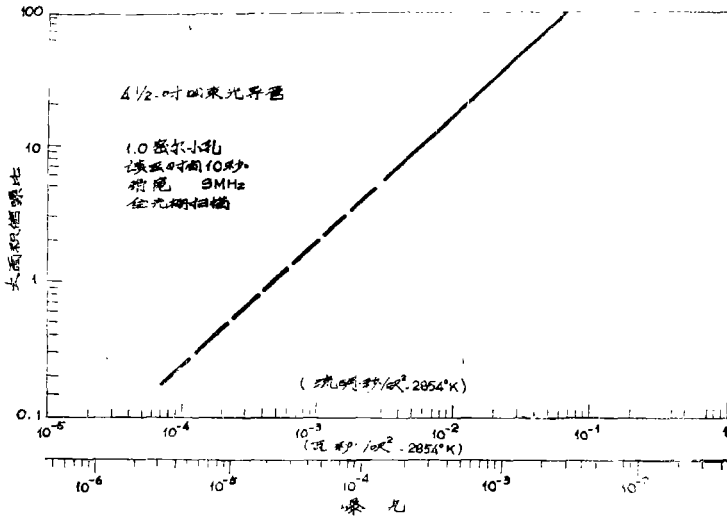


图8.4¹/₂吋RBV管的信号转换曲线

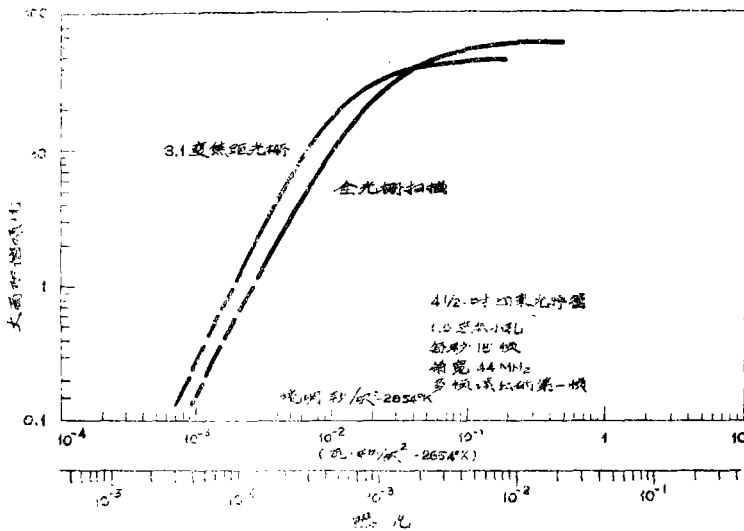


图9.4.5吋RBV管第一帧信号转换曲线

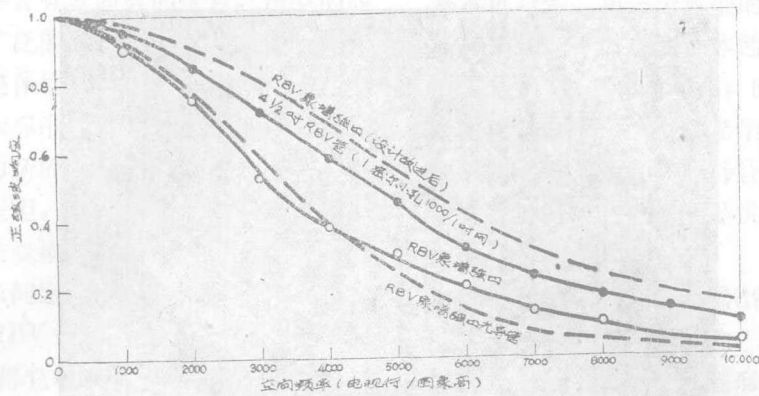


图10.4 $1\frac{1}{2}$ 吋RBV器件正弦波频率响应

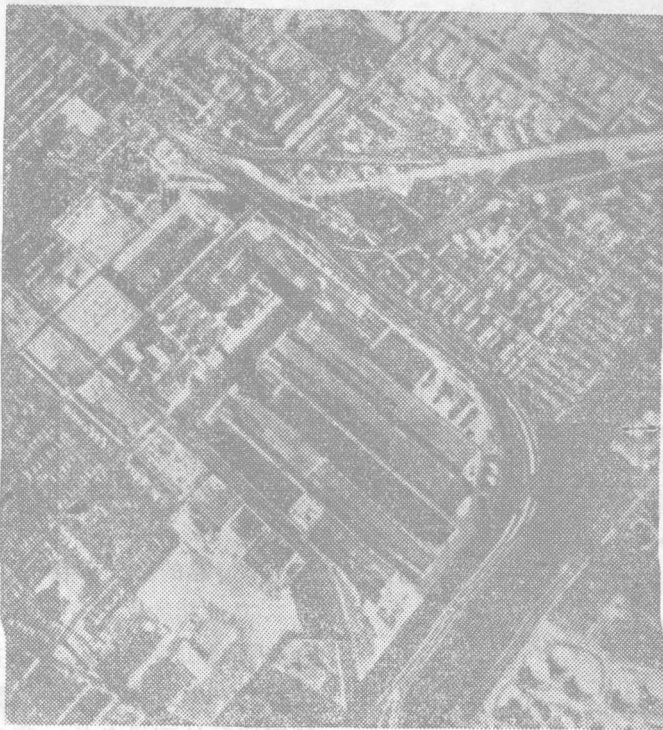


图11. RBV管全扫描的输出显示

ASOS光电导体的最大量子效率接近1，而比照相乳胶高两个数量级。这种光电导体本质上是无颗粒的，可贮存的电子密度比胶片颗粒密度至少要高出20倍，且调制传递函数至少和最高分辨率的底片一样好。由这个面所确立的RBV管性能的上限的确

是惊人的。然而RBV管的电学读出机构使其大大偏离这种理想性能。O.H.Schade已指出^[6]当100对线/mm时衰减系数几乎是两个数量级。尽管如此，RBV管的量子探测率还是能赶上或超过最好的照相底片，特别是在低对比度条件下。RBV管与SO—203

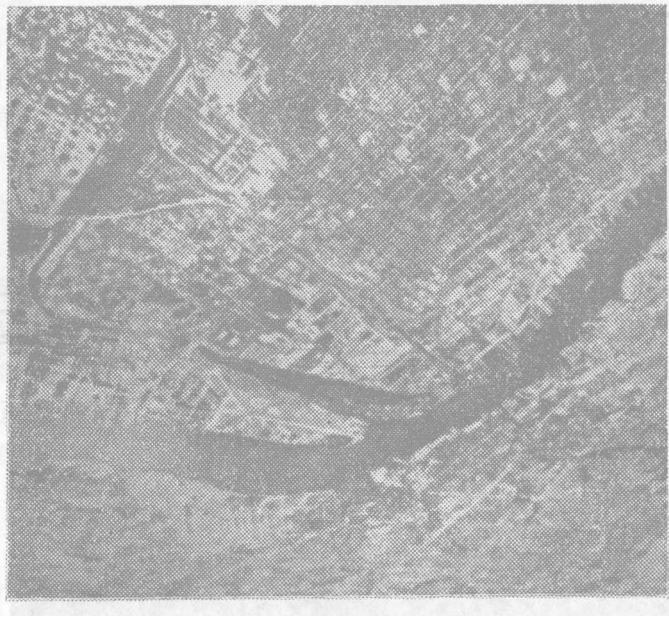


图12. RBV管不足扫描的输出显示

及SO—206型号的高分辨率胶片间的100对线/mm时的细节N/S性能的比较示于图13。这些RBV管特性对4¹/₂吋和2吋的RBV管都是具有代表性的（在相同的对线/mm下）。其他特性也可能，并且是管子设计参数和工作方式的函数。除已指出的RBV管有利的绝对性能外，要注意，性能随着曝

光单调的增加，曝光就不象胶片要求的那么严格。

通过增加电子束读出效率，减小光电导体介电惰性和暗电流以及改善栅网透射和调制传递函数对RBV管性能的改进有着很大的潜力。

3. 作扫描变换器使用

3.1 总的要求和特征

高性能的贮存管有着许多重要的用途。一些侦察和信息处理系统主要要求是由各种传感器和信息处理中获得数据的显示。由于传感器和处理设备的一些必要的特殊特性，数据通常是以各种不同的格式和信息速率得到的。为了使操作者及时并有效的作出判断，往往是同时地需要各种类型的数据。用于显示的阴极射线管类型，由于它的灵活性特点已被广泛地采用。在通过输入数据的格式和速率到用于显示目的通常的格式和速率的有效转换来扩展显示能力方面，贮存管本来就是一种很合适的器件。

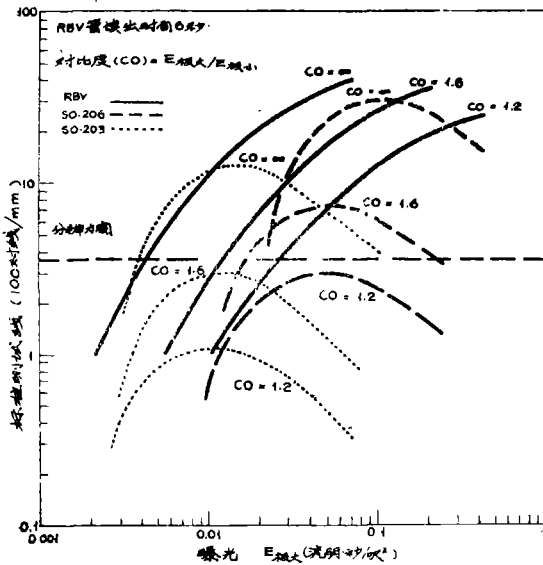


图13. RBV管和胶片信噪比的详细比较

尽管贮存管有着固有的优点，但它的应用并没有被广泛的接受。主要是由于性能水平的限制。整体性能一般大大地落后于商业和军事的显示标准。近来，由于高分辨率和宽动态范围的新的传感器的出现，又产生了额外的性能差距。应当指出，除贮存管而外的高质量扫描变换器也一直是缺少的，因此，许多显示问题实质上仍未解决。

$4\frac{1}{2}$ 吋 RBV 管的高的性能参数作为图象传感器，使得它不仅对于光学显示，而且对于电学输入数据的显示很有用。高的孔径响应，高的信噪比，多帧读出和电学控制及可变焦距特性前面已讨论过了。除此而外，下面的靶的特性是很重要的。

(a) 无结构靶

靶是平滑的，颗粒度很小的连续层，即使在电子放大（不足扫描）条件下，也能提供高的画面质量。

(b) 光电导靶

贮存面是光电导体的，事实上提供了光学及电学输入能力。光学书写对同时书写和读出提供的能力等效于“双端”贮存管所达到的能力，然而对各种并联和串联的组合光学输入还有着额外的能力。另外，对已贮存的信息，光学输入容许迅速和完全擦除。

RCA 航空空间系统部承担了为美国电子学实验室研究应用 RBV 管作为电学输入/电学输出贮存管可行性的计划。这项工作包括交替工作方式的实验室探索和典型性能轮廓的确定。因为光学输入型的性能已通过作为电视摄像管的 RBV 管的应用确定了，所以强调各种以电学书写方式工作的器件的可能性的确定上。

下一节概括了这项计划的一些主要成就。

3.2 性能测量结果

许多交替贮存方式一般都是可能的，而且书写和读出方式可以互换。更详细的静电贮存技术已在文献^[8-9]中指出过。

为了确定回束管作为扫描变换器工作的

基本可行性，用一个典型的计时程序确定了各种交替工作方式的大体性能。所有的方式书写是用 1.2 秒时间间隔，6000 行非隔行扫描光栅完成的。当运用光学擦除时，就用 1 毫秒间隔的闪光来完成。读出是用多次 $1/60$ 秒隔行场完成的，以便提供高达 6000 行/帧的分辨率。

对所有工作方式，读出都是以正常的低速电子束扫描方式完成的，适当的操作可以首先应用标准光学试验图形来检验。

在各种书写方式作比较时，分辨率和信号传递特性的数据是从书写后的第一帧得到的。

以交替方式得到的信噪比转换特性的摘要介绍在图 14 中。这种管子在宽的频带宽度下得到的高的信噪比是回束增益突出特性的结果。

使用 1.2 秒的书写时间，调制度可以赶上光电导靶普通光学曝光所得到的调制度。对未来的二次发射高的更加普通的贮存面所构成的管子书写速度快得多的可能性（也许是二十倍）是存在着的。在这种方式中贮存的线性将是非常好的。

高分辨率扫描变换器信号传递的全部线性关系介绍在图 15 中。注意：图中大约 14 级灰度 ($\sqrt{2}$ 级) 可以在很小或者没有 γ 修正情况下得到。

对各种工作方式，测量了条状图形发生器的调制传递函数，同时还将其还原为正弧波响应函数。典型的特性曲线示于图 16 中。一般地说，这些结果与用同样实验室仪器通过光学成象得到的差不多。

图 17 是借助于信噪比随时间的衰减说明多帧读出能力。这种管子的高的信噪比和相当长的读出时间之所以成为可能是由于高的靶电容和独特的回束增益特点所决定的。这些结果是用不很复杂的读出补偿得到的，这种补偿包括对靶，电子束和倍增器打拿极应用了简单的斜坡。如果发展更佳的读出方式，通过对贮存电荷比较好的计算，谈出时

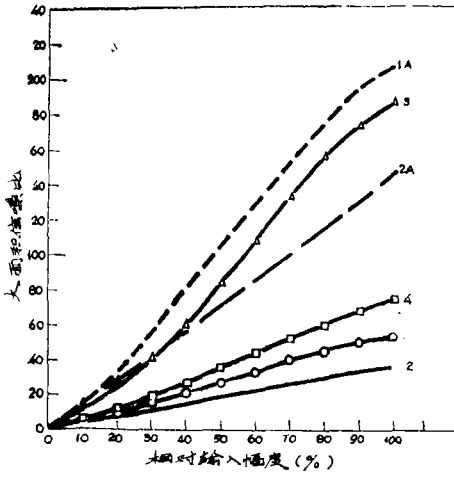


图14. 信噪比转换特性曲线

管子 $4\frac{1}{2}$ 吋回束管(NO.V30)ASOS光电导体

阅读参量

第一帧: 1/30秒/帧, 2:1隔行扫描, 1000行
 视频带宽: 30MHz靶扫描面积50mm×50mm
电书写技术 (1.2秒6000扫描行)

1. 低速电子束调制
 - 1A. 对于具有高压触发器的低速电子调制所预计的特性
 2. 高速电子束调制
 - 2A. 对于具有高压触发器的高速电子束调制所预计的特性
3. 低速靶调制
4. 低速靶/电子束调制

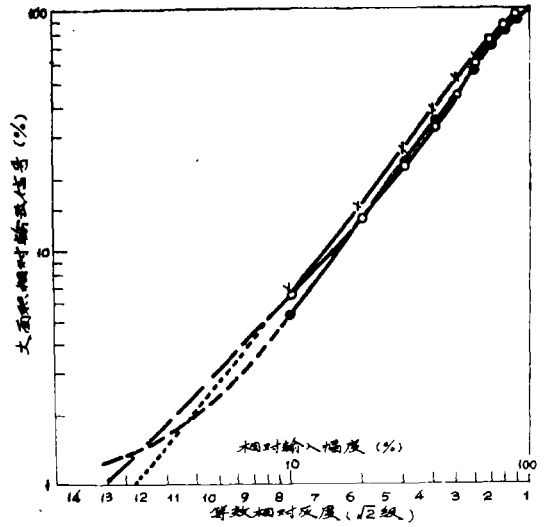


图15. 信号转换线性曲线

管子: $4\frac{1}{2}$ 吋回束摄像管第V30号ASOS的光电导体

阅读参量

第一帧: 1/30秒/帧2:1隔行扫描1000行
 视频带宽: 30MHz扫描面积50mm×50mm
电书写技术

- × 低速电子束调制
- 低速靶调制
- △ 低速靶/电子束调制

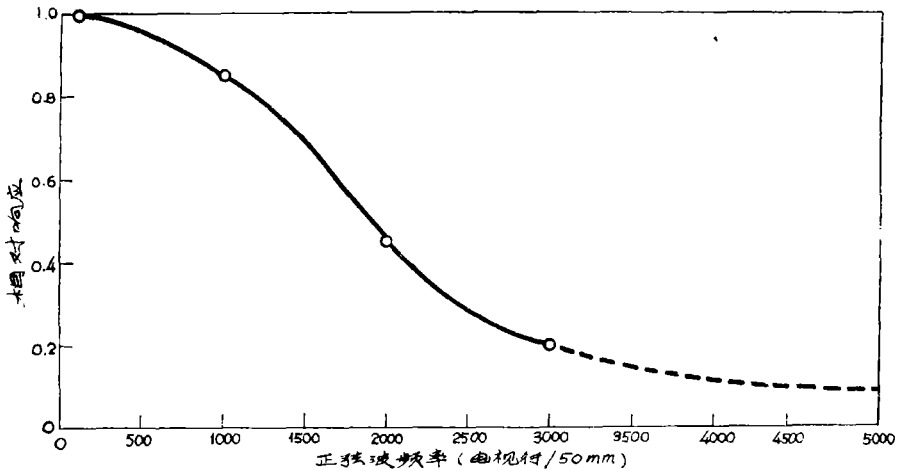


图16. 正弦波频率响应

管子 $4\frac{1}{2}$ 吋回束管(第30号)ASOS光电导体

阅读参量 (电书写方式)

第一帧
 帧次: 1/5秒
 光栅: 3000电视行, 3:1隔行扫描
 视频带宽: 30MHz
 扫描的靶面积50mm×50mm

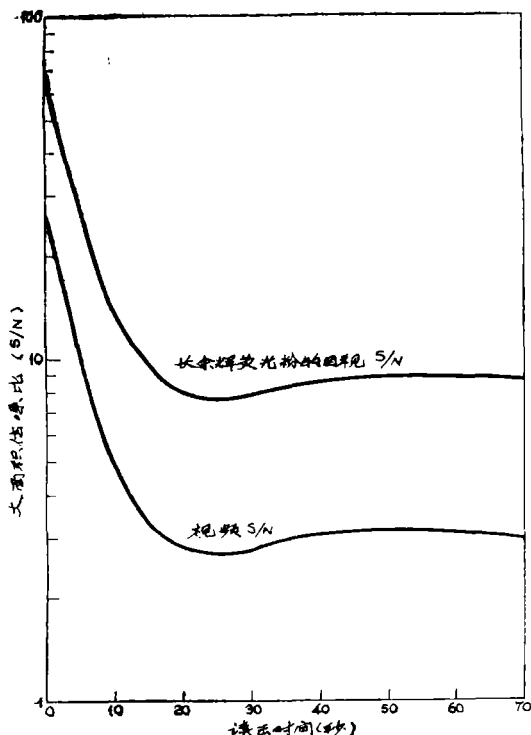


图17.多帧读出特性曲线

管子 $4\frac{1}{2}$ 吋回束管(第30号)ASOS光电导体
阅读参量(电书写方式)

帧时1/5秒

光栅: 3000行, 3:1隔行扫描

视频带宽: 30MHz靶扫描面积50mm×50mm

利用靶电子束和信增极斜面的额定补偿

间可以延长得更长。尽管如此,就目前发展的水平,在电视监视器上可以提供1~2分钟的高质量读出。

目前 $4\frac{1}{2}$ 吋回束管的独道之处是具有用光学曝光擦除的能力。这种方法允许使用一只曝光氙灯在1毫秒时间内完全的并高效率的擦除。好调节,同时不产生残余阴影。

“擦除”步骤之后的“准备”步骤发现是不必要的。在目前的几种现有的贮存管中,为了补偿剩余的电子束着靶,准备步骤是需要的。用回束管所以能取消这个步骤是由于有电子光学的非常均匀的着靶特征。在使用回束管情况下准备步骤的取消可以节省总的循环时间,并使多种形式的扫描变换系

统的复杂性减至最低程度。

3.3 贮存系统的应用

基于回束管所表明的灵活性和良好的性能,许多种重要的显示应用似乎都是可能的。输入信号可以用各种方式,书写在电子学上可以顺序方式进行,在光学上既可以顺序进行也可以平行进行。光学的和电学信息可以同时迭加在一起。如果要求连续读出和同时输入,则用一只带光学书写的管子就行了。同时进行电学书写和读出则需要有多个管子。除此而外,这类管子的双端型的显然是有发展前途的。

器件的读出可以以慢扫描速度和快扫描速度进行,既可以提供永久记录性的单帧读出,也可以提供在显示性监视器上直接观察的多帧读出。电子学变焦距和电偏转可提供放大方式,使视频带宽的要求减至最小并容许对信息详细观察,不然的话,信息就将典型地受到监视器的大小,眼睛的调焦适应性和观察距离的限制。

用光学输入得到的电视监视器性能的实例在图11和13中已经给出。在用实验室试验信号已经获得类似性能的基础上,电学输入的图象质量应当大致与光学输入的相同。

4. 结 论

$4\frac{1}{2}$ 吋回束管有着许多突出的特性,包括高的调制传递函数,高的信号增益,宽的动态范围以及在光学和电学输入情况下与高质量静电贮存相适应的高容量的靶面。

基于RBV管的特殊性能,它可以找到许多重要的应用。作为图象传感器,总的性能可以与高分辨率的胶片相比较。额外的能力包括带稳态曝光的连续读出和快门曝光接近实时的读出。在快门方式中,对远距离数据传递,信息可以用单帧慢扫描读出,而对电视监视器上的显示则用多帧快扫描读出。读出 γ 可以用电子学控制。所有工作方式均

(下转第48页)

表 5 在腐蚀房间里试验之后具有10个双层镀膜表面的成叠玻璃的光漫射系数的变化

叠 号 码	镀 膜 方 法	防 护	光 · 漫 射 系 数%	
			镀上薄膜之后	在腐蚀房间里试验27个周期之后
1	没有镀膜	无防护	0.6	6.9×
2	没有镀膜	无防护	2.6	3.9
3	双 层	无防护	0.4	4.8×
4	双 层	防 护	1.3	1.9×
5	双 层	无防护	0.4	2.1
6	双 层	防护	0.4	0.9

* 以拆开形式成叠放在房间里

但是二组玻璃在潮湿房间里试验以后显示出比第一组防护玻璃的稳定性更差。

结 论

1. 在每小时温度从30下降到50℃与相对湿度为100%时镀膜的光学玻璃的试验表明，它们的无防护表面经过5—8个试验周期后就破坏。

2. 可以推荐从氯硅烷蒸汽中制备的硅有机化合物的疏水膜作为镀膜光学另件表面的防护涂层。

3. 分类目录№78的大部分用疏水膜保护的玻璃经得住大约100个试验周期。含有约35%氧化硅的玻璃防护不那么有效。

4. 可以不改变镀膜工艺过程进行双层镀膜表面的防护

5. 单层镀膜表面的防护只在镀膜过程中对薄膜在温度为300℃下加热之后有效。

6. 用氯硅烷蒸汽处理镀膜玻璃不改变其光学与机械特性

译自“OMII”№ 2

cmp. 58. 1957

[琦玮译、叶铁树校]

(上接第59页)

可通过光栅控制和可变焦距提供电子放大。

RBV管也可以作电学贮存器件用，其总的高性能特性差不多。光电导靶既允许顺次地也允许并行的接受光学的以及电学的输入数据。光学的擦除方式使得工作周期的效率很高。

回束管全部高的性能和高度的灵活性允许在如下的领域中广泛应用：(1)带有远距离数据传递的实时侦察；(2)光学/电子学

显微镜；(3)数据的取回、编辑和传递；(4)电子照相释码；(5)对特殊传感器数据、贮存信息、计算机输出等等进行显示的扫描变换以及(6)信息的贮存和处理。

译自“Electronic Imaging Systems”

P88—119(1970)

[班显辅译，贾欣志校]