

高等学校教材

摄像与显示器件原理

清华大学

孙伯尧 应根裕 编著



国防工业出版社

内 容 简 介

本书比较深入地介绍了摄像器件和显示器件的基本原理,并对器件的一些主要参量间的矛盾以及影响参量的诸因素做了详细的分析。

全书分为四个部分十一章,包括真空型和非真空型摄像与显示器件。其中对真空型摄像器件的主要参量如分辨率、灵敏度等用专门的章节来讨论,对显示器件牵涉到的色度学也专立了章节来加以介绍。并用了两章的篇幅介绍了发展中的非真空型显示器件。

本书为全国高等工科院校物理电子技术专业统编教材,也可供研制、使用摄像器件和显示器件的科技人员参考。

摄像与显示器件原理

清华大学 孙伯尧 应根裕 编著

责任编辑 马征宇

*

国防工业出版社出版

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

国防工业出版社印刷厂印装

*

787×1092 $1/16$ 印张 21 $3/4$ 499千字

1986年12月第一版 1986年12月第一次印刷 印数: 0,001—1,600册

统一书号: 15034·3172 定价: 3.15元

出版说明

根据国务院关于高等学校教材工作分工的规定,我部承担了全国高等学校工科电子类专业课教材的编审、出版的组织工作。从一九七七年底到一九八二年初,由于各有关院校,特别是参与编审工作的广大教师的努力和有关出版社的紧密配合,共编审出版了教材159种。

为了使工科电子类专业教材能更好地适应社会主义现代化建设培养人才的需要,反映国内外电子科学技术水平,达到“打好基础,精选内容,逐步更新,利于教学”的要求,在总结第一轮教材编审出版工作经验的基础上,电子工业部于一九八二年先后成立了高等学校《无线电技术与信息系统》、《电磁场与微波技术》、《电子材料与固体器件》、《电子物理与器件》、《电子机械》、《计算机与自动控制》,中等专业学校《电子类专业》、《电子机械类专业》共八个教材编审委员会,作为教材工作方面的一个经常性的业务指导机构,并制定了一九八二~一九八五年教材编审出版规划,列入规划的教材、教学参考书、实验指导书等共217种选题。在努力提高教材质量,适当增加教材品种的思想指导下,这一批教材的编审工作由编审委员会直接组织进行。

这一批教材的书稿,主要是从通过教学实践、师生反映较好的讲义中评选择优和从第一轮较好的教材中修编产生出来的。广大编审者、各编审委员会和有关出版社都为保证和提高教材质量作出了努力。

这一批教材,分别由电子工业出版社、国防工业出版社、上海科学技术出版社、西北电讯工程学院出版社、湖南科学技术出版社、江苏科学技术出版社、黑龙江科学技术出版社和天津科学技术出版社承担出版工作。

限于水平和经验,这一批教材的编审出版工作肯定还会有许多缺点和不足之处,希望使用教材的单位、广大教师和同学积极提出批评建议,共同为提高工科电子类专业教材的质量而努力。

电子工业部教材办公室

序

摄象器件与显示器件这一课程的开设,国内高等院校中已经有了三十年的历史。通过多年的教学实践,深切体会到,要教好学好这门课程,相当困难。原因在于,这类器件牵涉到的知识面很广,包括:固体物理,半导体物理,电子光学,阴极电子学,数值计算,概率统计等等。除了这些理论知识外,还需要材料和工艺方面的知识。特别是近年来各种新型器件迅速发展,除了传统的真空器件外,还有液体(液晶),气体(等离子体),固体等各种各样的器件,使得教学的难度进一步增大。传统的教学方法是,按照管型逐一罗列。这样教法使学生感到眼花缭乱,不易捉摸事物的本质和内在联系,必须加以改革。

在《电子物理与器件》教材编审组的组织下,有关高等院校的任课教师于1983年1月在杭州开会,研究如何改革教材,制订教材编写大纲。会上通过了以下的意见:以机理上的基本论题为主体,基本矛盾为线索。这样来编写教材,不但容易揭露事物的本质,以及各种器件的内在联系,而且顺着线索可以追踪历史发展的过程,指出今后发展的趋向。这一主导思想的提出,突破了过去三十年来的老框框。会上根据这一思想制订了教材编写大纲。会后就开始了教材编写工作。通过编者的辛勤劳动,初步达到了预期的目的。所以这本教材在编写方式上具有它的特色。主审人在审稿过程中不仅提出了宝贵的意见,而且提供了关于国外最新成就的许多资料。本书的完成,是集体智慧的结晶。

这本教材的编写是一种新的尝试。从教材改革的意义来讲,还仅仅是一个开端。这样写法是否最好?内容取舍是否恰当?原理阐述是否清楚?诸如此类,肯定还有不少需要改进的地方。希望老师、同学和其他读者提出宝贵的意见。

沈庆孩

1985年10月于杭州

前 言

本教材是按照《电子物理与器件》教材编审委员会审定的编写大纲编写的，内容包括真空型和非真空型摄像与显示器件。本课程的参考学时为72学时，但由于摄像器件和显示器件所牵涉的学科领域十分广泛，所以本教材的份量超过了参考学时，讲课教师完全可以根据具体情况加以删节（加*号者为选修内容）。

正是由于摄像和显示器件原理涉及的学科范围很宽，虽然我们多年从事摄像与显示器件的教学和科研工作，在编写时对内容的取舍仍颇费斟酌，感到要编写出高质量的教材有些力不从心。沈庆垓教授、殷维钧、田志仁高级工程师在内容的安排和取舍方面提出很多宝贵意见，这些意见对本教材的编写工作起了很大的促进作用。

真空型摄像与显示器件已有半个世纪的历史，非真空型的器件也有近二十年的历史，已生产的器件种类很多，以致过去编写这门课程的教材很容易形成罗列各种器件的局面。我们在编写时力图避免再出现这种毛病，在内容的组织和安排上作了新的尝试，希望达到举一反三的目的，使读者能开阔思路不囿于已有器件形式的束缚，将来可以进行开创性的工作。能否达到此目的，尚待读者来评价和指正。

目前国内外对摄像器件和显示器件的开发和改进仍在高速度地进行，研制工作十分活跃。要把这一状况完整地反映在教材中是十分困难的。真空型的摄像与显示器件已十分成熟，它们的改进工作成果仍层出不穷，以致它们的性能价格比遥遥领先，我们认为在相当长的一个时期内，不太可能被其他形式的器件所代替。在家用电视和小型计算机终端显示方面它们的优势地位仍十分巩固。基于这一看法，在本教材中安排了三分之二的篇幅来讲述这些器件的基本原理。非真空型的摄像器件在一些特殊的领域内，例如在军事、新闻、科研工作中有很大的优势。这主要是由于它们体积小、重量轻、耗电低……等特点，有取代真空型器件可能，因而我们安排了适当的篇幅来讨论它们。非真空型的显示器件在便携式的电子设备中以及在大面积的显示中展现了它们的巨大潜力，虽然目前由于材料、工艺等方面的原因使它们的性能价格比还不能与真空型器件相抗衡，但这仅是时间问题。可望不久的将来在这些领域内它们可以大部分代替真空型显示器件，因而我们给它们安排了约四分之一的篇幅。

本教材由孙伯尧、应根裕合作编著：孙伯尧执笔编写第一、三、八、九各章，应根裕执笔编写第二、四、五、六、七、十一各章，而第十章是共同完成的。殷维钧、田志仁高级工程师担任本教材的主审工作，沈庆垓教授参加和指导了审定工作。顾妙生、缪兆心、汪健如、谭玉兰、刘跃忠等同志协助我们抄写整理了初稿和插图。这里我们对他们的指导和帮助表示深切的谢意。

由于编者的水平有限、时间仓促，肯定有一些不妥和错误，殷切希望广大读者不吝指正。

编 者

目 录

第一章 概论	1
§ 1.1 图象信息的传递和应用	1
§ 1.2 摄像器件与显示器件的工作原理	4
1.2.1 摄像器件的工作原理	4
1.2.2 显示器件的工作原理	8
§ 1.3 摄像与显示器件的分类	8
1.3.1 摄像与显示器件发展历史的回顾	8
1.3.2 摄像与显示器件的分类	14
§ 1.4 对摄像与显示器件的要求	15
§ 1.5 摄像与显示器件特性参量间的制约	17
第二章 光电导靶面物理及类型	19
§ 2.1 光电导物理	19
2.1.1 有关光电导的基本概念	19
2.1.2 空间电荷限制流	25
2.1.3 光电导中的陷阱作用	25
2.1.4 光电导靶面的特殊性	28
§ 2.2 光电导靶面的工作机理	29
2.2.1 工作原理及输出信号的形成	29
2.2.2 电子束的着陆曲线	31
2.2.3 运动电子束对靶面的充电效应	33
2.2.4 靶面工作的等效电路分析	33
§ 2.3 摄像管用的光电导靶面	37
2.3.1 注入型靶面——三硫化二锑靶面	37
2.3.2 阻挡型靶面	42
第三章 摄像管的分辨率	56
§ 3.1 调制传递函数	56
§ 3.2 调制传递函数的应用	62
§ 3.3 电子束对分辨率的影响	68
§ 3.4 光电导靶对分辨率的影响	73
§ 3.5 提高分辨率的途径	75
第四章 摄像管的灵敏度与信噪比(SNR)	78
§ 4.1 摄像管的噪声	78
§ 4.2 灵敏度与信噪比	81
§ 4.3 提高灵敏度的途径	85
第五章 摄像管的惰性和其他参量	89
§ 5.1 摄像管的惰性	89
5.1.1 惰性的定义与测量	89
5.1.2 容性惰性	90
5.1.3 交叉点的影响 (Boersch 效应)	95
5.1.4 光电导惰性	100

5.1.5 降低惰性的途径	102
§ 5.2 摄像管的其它参量	102
5.2.1 光电转换特性和灰度的传递	102
5.2.2 动态范围	104
5.2.3 光谱响应	104
第六章 摄像管的电子光学系统	107
§ 6.1 摄像管的电子枪	107
6.1.1 磁聚焦型 (磁偏转)	108
6.1.2 静电聚焦型 (磁偏转)	111
6.1.3 低慧尾枪 (ACT枪)	113
6.1.4 低电容惰性的发射系统	114
6.1.5 负电子亲和势 (NEA) 冷阴极	117
§ 6.2 摄像管中的偏转系统	119
6.2.1 磁聚焦磁偏转 (MM)	119
6.2.2 FPS系统	121
6.2.3 电聚焦磁偏转 (SM)	129
§ 6.3 摄像管中的特殊工艺	130
第七章 固体型光电摄像器件	131
§ 7.1 电荷耦合器件物理	131
7.1.1 MOS结构的物理性质	132
7.1.2 CCD的基本工作原理	137
7.1.3* 体内信道电荷耦合器件 (BCCD)	140
7.1.4* 信号电荷的注入与检出	141
§ 7.2* 电荷耦合器件的结构	142
7.2.1 实现电荷耦合的条件	142
7.2.2 降低电极间隙势垒	143
7.2.3 减少时钟脉冲相数	144
7.2.4 减少表面态的影响	145
§ 7.3 电荷耦合器件的转移效率	145
7.3.1 自由电荷转移过程	146
7.3.2 表面态对转移效率的影响	148
7.3.3 转移效率与传输速度的关系	150
§ 7.4 电荷耦合摄像器件	150
7.4.1 CCD摄像原理	150
7.4.2 线型摄像器	151
7.4.3 面型摄像器	152
7.4.4 电荷耦合摄像器件的具体参数	153
§ 7.5 其他类型的固体摄像器件	155
7.5.1 x-y 选址方式固体摄像器件	155
7.5.2* 电荷引发器件 (CPD)	157
7.5.3 叠层型固体摄像器件	159
§ 7.6 固体摄像器件中的几个问题	160
7.6.1 过荷开花及其抑制措施	160
7.6.2 背面光照	161
7.6.3 莫尔效应干涉条纹	162
§ 7.7 各种固体摄像器件的比较	163
第八章 彩色重现原理	166
§ 8.1 色度学基础	166

8.1.1 人眼和颜色视觉	166
8.1.2 混色和混色定律	167
8.1.3 彩色坐标和色度图	168
8.1.4 CIE1931标准色度学系统	173
8.1.5 均匀色标制	178
§ 8.2 彩色电视传输的特点	180
§ 8.3 彩色图象的摄象	184
8.3.1 单管彩色摄象管	185
8.3.2 彩色条纹滤色器	186
8.3.3 其它光学膜	190
8.3.4 各种色分离方式的工作原理	191
8.3.5 各种色分离方式的比较	196
§ 8.4 彩色图象的重现	196
8.4.1 三枪三束彩色显象管的结构特点	197
8.4.2 三枪三束彩色显象管的会聚问题	199
8.4.3 波纹效应	200
§ 8.5 彩色重现的其它方式	202
8.5.1 穿透式彩色显示器件	202
8.5.2 指引式彩色显示器件	203
第九章 真空型显示器件的电子光学系统及特性参量	205
§ 9.1 显示器件的特性参量	205
§ 9.2 显示器件的荧光屏	207
9.2.1 荧光粉的发光机理	207
9.2.2 荧光粉的发光特性	209
9.2.3 常用的荧光粉	212
§ 9.3 显示器件的电子光学系统	212
9.3.1 发射系统	213
9.3.2 聚焦系统	214
9.3.3 偏转器	217
§ 9.4 显示器件的分辨率	219
9.4.1 影响分辨率的因素	220
9.4.2 提高分辨率的途径	222
9.4.3 分辨率的评价与测量	224
§ 9.5 记录速度与偏转灵敏度	225
§ 9.6 偏转器的频带宽度	229
9.6.1 电子渡越时间的影响	229
9.6.2 高频宽带偏转系统	230
9.6.3 宽带示波管的实例	233
§ 9.7 自会聚显象管与自会聚原理	234
9.7.1 自会聚原理和对偏转磁场的要求	237
9.7.2 自会聚彩色显象管的其它问题	244
第十章 非真空型被动显示器件	245
§ 10.1 非真空型显示器件的特点	245
§ 10.2 液晶显示器件 (LCD)	248
10.2.1 液晶的性质与种类	248
10.2.2 液晶的电光效应	250
10.2.3 液晶物理简介	252
10.2.4 与电光效应有关的物理量	255

10.2.5 液晶显示器件的主要性能参量	257
10.2.6 液晶显示器件的应用与发展动向	259
§ 10.3 其他被动显示器件	261
10.3.1 电致变色显示 (ECD)	261
10.3.2 电泳显示 (EPID)	265
10.3.3 几种被动显示器件的性能比较	269
第十一章 非真空型主动显示器件	271
§ 11.1 等离子体显示 (PDP)	271
11.1.1 气体放电的基本性质	271
11.1.2 交流等离子体显示板 (AC-PDP)	276
11.1.3 直流等离子体显示板 (DC-PDP)	285
11.1.4 等离子体显示的主要发展水平与研究动向	286
§ 11.2 发光二极管 (LED)	288
11.2.1 引言	288
11.2.2 发光二极管的物理基础	288
11.2.3 发光二极管的各种效率的定义	294
11.2.4 发光二极管材料	296
11.2.5 发光二极管发光效率的提高	298
11.2.6 发光二极管的特性	300
11.2.7 发光二极管的应用	303
§ 11.3 电致发光板 (ELP)	304
11.3.1 分散型交流电致发光 (AC-EL)	304
11.3.2 分散型直流电致发光 (DC-EL)	307
11.3.3 薄膜型直流电致发光	309
11.3.4 薄膜型交流电致发光	310
§ 11.4 大屏幕 (光阀型) 显示器件	312
11.4.1 大屏幕显示的特点	313
11.4.2 光阀型大屏幕显示	313
11.4.3 投射型大屏幕显示	317
11.4.4 其它类型的大屏幕显示器件	319
附录	323
附录 1 常用的荧光粉参数	323
附录 2 液晶分子排列转变的推导	325
参考资料	335

第一章 概 论

§ 1.1 图象信息的传递和应用

图象信息传递的典型系统就是大家所熟悉的电视系统，摄像器件与显示器件是电视系统中发送和接收两个终端不可缺少的部件。电视系统主要是传递活动图象，当然也传送图表、图形、文字等信息。在电视系统的发送端，把欲传送的图象经过摄像器件转换为电信号，电信号经过电子线路的加工处理以后，用电缆或以电磁波的形式发送出去。在电视系统的接收端，把接收到的载有图象信息的电信号再经过电子线路的加工处理后送到显示器件。显示器件根据电信号重新形成被传送的图象。发展到今天，电视系统广泛地应用在各种领域以至到每个家庭。除了大家熟悉的电视广播外，在军事、工业、交通、文化教育、医学等各方面都使用着各式各样的电视系统。种类繁多的摄像器件正是由于在不同的应用中对电视系统提出各种不同要求而产生的。

显示器件除在电视系统中使用外，也广泛地应用在诸如仪表、雷达、计算机等技术领域。如果信息以图象方式来表现的话，就要比其他方式（如文字、语言等）有效和迅速。所以人们总是力图把物理的和化学的变化过程通过某种效应转换成电信号，然后用显示器件以图形的方式来显示。这样就有利于对那些过程进行分析和研究，从而使得显示器件在测试仪表技术中占有优越的地位。在雷达定位技术中，雷达探测结果的信息，以及这些信息的交换，都离不开显示器件。电子计算机的出现和发展，使大量的信息得以收集和处理。显示器件已成为人和计算机联系的最重要的器件。

摄像器件和显示器件应属于光电子学器件，它是光学与电子学结合起来的边缘学科——光电子学的产物。它们的发展应用了电子光学、半导体物理、阴极电子学、真空工艺学、电子材料等学科的成果。图象信息传递的要求促进了摄像器件与显示器件的发展，反过来，摄像器件与显示器件本身的发展也会引起图象传递过程的革新。近年来，随着人类社会活动的不断进展，大量的图象、文字等信息需要及时、准确的传输，这也就是现在社会向信息方向发展，摄像器件与显示器件在这个发展中承担着极为重要的任务。据统计，人从外界获得的信息中，有 60% 以上是从视觉（眼睛）输入的，这正是摄像器件与显示器件的研究越来越活跃的原因。

对于大多数的真空型摄像器件和显示器件来说，它们都是由电子枪、偏转系统、光电转换靶（摄像器件）或荧光屏（显示器件）三个部分所组成。摄像器件和显示器件主要的区别之一是前者使用光电转换靶而后者使用荧光屏。电子枪的作用是提供一个有一定直径和一定电流的电子束，通常电子枪又可以分成两个部件，即电子发射系统和聚焦系统。在不同的使用要求或不同类型的器件中，聚焦系统可以采用静电式的、静磁式的或电磁混合式的。偏转系统的作用是把电子束偏转到光电转换靶或荧光屏上指定的位置。它和聚焦系统类似，也有电偏转、磁偏转和电磁混合偏转三种形式。图 1-1 画出了一个使用电聚焦、电偏转的显示器件和一个使用磁聚焦、磁偏转的摄像器件。对于非

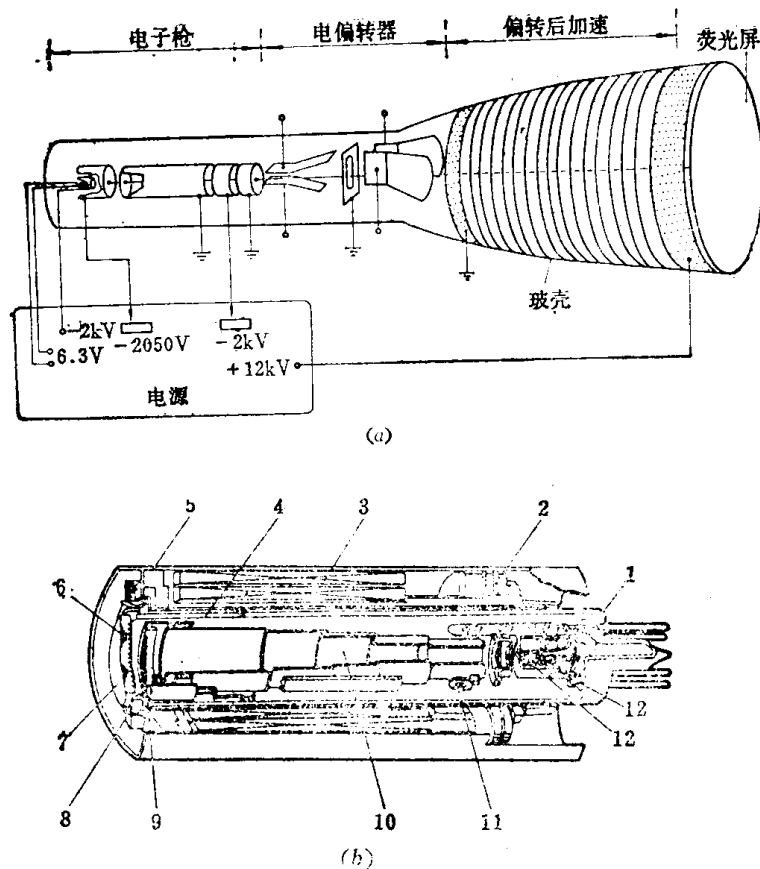


图1-1 真空型显示器件与摄像器件

(a) 显示器件(示波管) (b) 摄像器件(硒碲碲摄像管)

1—芯柱；2—校正磁铁；3—偏转线圈；4—玻壳；5—磁屏；6—光电导膜；7—面板玻璃；8—靶环(信号电极)；9—网；10—聚焦电极；11—消气剂网；12—阴组件。

真空型的摄像和显示器件来说，它们的结构各自不同，在有关章节里分别加以叙述。摄像器件的职能是把一个图象转换成为电信号，而显示器件则是把电信号转换成为图象。这里所说的图象包含了文字、符号、图形、图象等各种意义。在这些器件中，电信号转换成图象信息或图象信息转换成电信号的过程大致有两种类型，我们称为投射转换和扫描转换，在扫描转换中包括了电视用光栅转换，现分别叙述如下。

投射转换：所谓“投射”转换是指把整幅图象一次转换成电信号或把电信号整体地转换成图象。在摄像器件中，把光学图象利用光学镜头投射到光电面上，光电面将按照图象的亮度分布发射出数量不同的电子而形成“电子图象”。在摄像器件中这类转换通常是用来增强图象的亮度分布。在显示器件中，也有这类转换。例如，把电子束投射到一个特制的金属膜片上，金属膜片上有按照要求镂空的符号或图形，电子束将通过镂空的地方打到荧光屏上，荧光屏上就显现出与金属膜片镂空相应的符号或图形。又如让电子束通过一个带有电荷分布的栅网，网上某处的电荷密度大时，就会阻止电子通过；某处电荷密度小时，就会允许部分电子通过；没有电荷的地方，电子就全部通过。这些电子打到荧光屏上，就复现出网上电荷分布的图形。我们把上述这一类转换称为投射转换。

扫描转换：扫描转换的过程是把随时间呈线性变化的锯齿形电压（或电流）加在显

示器件的水平偏转系统上；如果另一个偏转系统（垂直偏转系统）不加任何信号，这时会在显示器件的荧光屏上形成一条水平亮线，可以称为“扫描线”。由于所施加电压随时间呈线性变化，因而电子束在荧光屏水平方向的移动速度是均匀的，这时扫描线的每一点都与时间有关，扫描线也可以称为时间基线。它和物理量（时间）相联系。如果同时在垂直偏转系统上施加与电信号成比例的电压（或电流），那么在荧光屏上就会显示出电信号随时间变化的图形来。这种转换是把一个物理量用“扫描线”来表示，而把电信号随该物理量的变化图形显示出来，所以称为扫描转换。显然，一个器件最少可以有三个被控制的部位，即水平偏转系统、垂直偏转系统和电子束的强度。它们可以分别代表几个物理量，显示器件可以同时显示这几个物理量或它们之间的关系。

扫描转换中的一种特定形式是“光栅转换”，电视的工作过程就是典型的光栅转换。在电视传送图象的过程中。把图象分解成 N 个像素，摄像器件顺序把每个像素的平均亮度转换成电信号，顺序是自左至右、自上而下，显示器件也要按这个顺序把电信号再恢复成图象。按这样的顺序，器件中的电子束在光电转换靶上或荧光屏上运动的踪迹就象一个栅网，因而就称这种转换为光栅转换。电子束自左至右的扫描称为“行扫描”，自上至下的扫描称为“场扫描”。为了传送活动图象，行扫描和场扫描的频率就不能完全任意确定，而是取决于人眼的视觉功能。在电视工作状态下，利用了人眼的视觉暂留现象（或称为视觉的惰性）和人眼的极限分辨率。人眼对一个亮点所产生的视觉印象，当亮点消失后，不会立即消失，而能暂时保留约0.1秒，这就是人眼的视觉暂留现象。正是这个现象才能使电影、电视成为可能。电影胶片上的每一幅图画，本来是静止的，但在一秒钟内连续放映24幅画面时，由于视觉的暂留现象，静止的画面才变成了活动的电影。因而在电视中每秒也至少要传送24幅图象，这就是说场扫描的频率不应低于24Hz。

人眼能区分两个发光亮点的最小视角称为极限分辨角。极限分辨角要受到视场的亮度、图象的对比度和图象复杂程度的影响。在比较好的照明条件和对比度下，人眼极限分辨角的平均值约为 $1'$ 左右，通常为 $1' \sim 2'$ 。当人眼的眼球不转动时，它的视场在水平方向上大约为 120° ，在垂直方向上大约 40° ，但在这种视场范围内，特别是在边缘范围，人眼只有亮度变化的感觉，甚至不能分辨出物体的轮廓，在水平方向 17° 和垂直方向 15° 范围内才能分辨出物体的轮廓。只有在水平和垂直方向 5° 以内才具有分辨细节的能力。所以人眼在观察物体或图象时，眼球总是在不断地运动着，以便使被观察的物体或图象落在人眼能清晰分辨的范围以内。当人眼距被观察的图象的距离为图象高度的四倍时，人眼对图象的视角约为 $15'$ ，如果人眼的极限分辨角按 $1' \sim 2'$ 来计算，能分辨出图象结构的扫描行数为450~900行。

电视中的行扫描和场扫描的频率就是根据上述原则确定的。各个国家由于历史情况选择了不同的电视光栅扫描标准，到目前为止，还存在四种制式，如表1.1。当每秒传送24幅图象时，重现图象有明暗闪烁和断续跳动的感觉，提高场频会减少这种闪烁的现象。但提高场频会使传送图象通道的带宽增加。为了不增加带宽，又提高场频，就采用隔行扫描的方法。隔行扫描就是每幅图象分两次扫描，第一次扫描1, 3, 5……等单数行（图1-2），接着进行第二次扫描2, 4, 6……等双数行。按这样的规律，每秒钟连续扫描25幅，即50场。场频提高了，频带宽度没有增加。我国的电视就是采用625行，50场隔行扫描的制式。光栅转换不仅用于电视，在其他领域中也常常使用，例如在扫描

电子显微镜中，就是采用光栅成象的方法。

表1.1 电视光栅扫描制式

制 式	I	II	III	IV
每幅行数	405	525	625	819
行扫描频率	10125	15750	15625	20475
场扫描频率	50	60	50	50
	英国采用，已逐渐被 III 所代替	美国等采用	国际标准的制式	法国等采用

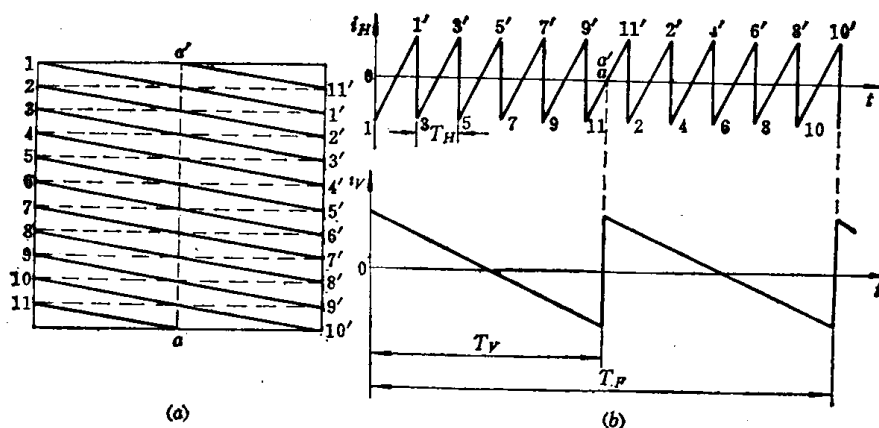


图1-2 隔行扫描示意图

(a) 扫描线示意；(b) 行扫描电流与帧扫描电流。

§ 1.2 摄像器件与显示器件的工作原理

1.2.1 摄像器件的工作原理

目前典型的摄像器件是视象管 (Vidicon)，图 1-3画出了视象管的典型结构。由图 (a) 可以看到：由四个电极组成的电子枪和一个光电导靶封在真空的玻璃壳里，电子束的聚焦和偏转是由在玻壳外面的线圈完成的。靠近管针的部分还安置了一个线圈，称为对中（或校正）线圈，它是用来校正电子束的入射方向的，以便使电子束能准确地沿着聚焦和偏转线圈的对称轴线前进。电子枪由阴极、调制极、第一阳极（加速极）、第二阳极等四个电极组成。当然为了加热阴极还必需有热子。自阴极发射出来的电子在阴极、调制极和第一阳极所形成的场内会聚成一个交叉截面。在第一阳极的左端有一个直径约为 $30\mu\text{m}$ 的小孔。电子束在形成交叉截面后继续前进穿过小孔，可能有一小部分电子被小孔切割，聚焦线圈所产生的磁场就把电子束再次会聚到光电导靶面上。因而可以近似地把阳极小孔看作是电子光学系统的“物”。在第二阳极的左端放置了一个网孔极细的金属网，称为靶网。它在电气上可以和第二阳极联接在一起，也可以和第二阳极互相绝缘。靶网的作用是它和光电导靶形成一个对电子束减速的电场，以期使电子束以较低的能量打击到靶面上。光电导靶的部分结构见图 1-3(b)，它是由一个与玻壳直径相等的光学玻璃片作为基底，在玻片上首先蒸涂一层透明导电层（一般是 SnO_2 ），然后再在透明导

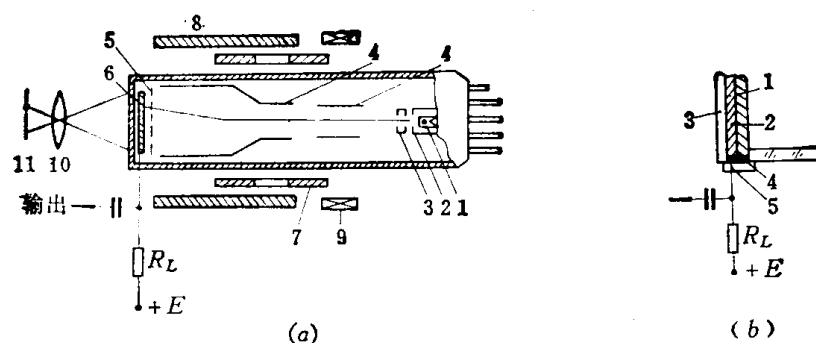


图1-3 硫化镉摄像管的典型结构

(a) 1—阴极(K); 2—调制电极(M); 3—第一阳极(A_1); 4—第二阳极(A_2); 5—靶网; 6—光电导靶面; 7—偏转线圈; 8—聚焦线圈; 9—校正线圈; 10—光学镜头; 11—图象或景物。(b) 1—光电导靶(Sb_2S_3 薄膜); 2—透明导电层; 3—光学玻璃面板; 4—钢; 5—不锈钢环。

电层上涂覆一层光电导材料(例如 Sb_2S_3 、 PbO 等)。透明导电层就是信号电极。在玻壳和玻片之间有一层金属钢,钢既起到密封真空的作用,又把信号电极与玻壳外部的不锈钢金属环联接起来。因而不锈钢环就成为视象管的外部信号电极。

当图象通过光学镜头投射到光电导靶面时,由于光电导靶的导电率随入射光的照度而变化,所以光电导靶面上的各处电导率将随图象细节明暗不同而不同。如果光电导靶面的右侧(面对电子束打击的那一侧)和信号电极的电位不一样,例如信号电极对阴极来说是十几伏,靶面电位和阴极等电位(零伏),那么导电率大的部位将在靶内产生较大的电流,从而在同一时间隔内相应的靶右侧电位值就向信号电极电位趋近的多。这样就在靶的右侧产生一幅与图象明暗细节相对应的“电位图象”。当电子束按电视标准在靶面上进行光栅扫描时,电子束在每一“像素”上停留一个瞬间,当像素的电位高时电子束将会在那里“沉积”较多的电子,像素电位低时电子束“沉积”较少的电子,当“沉积”电子时就会有相应的电流流过与信号电极相联接的负载电阻而产生信号电压。电子束顺序与各个像素相接触,并在靶面上“沉积”电子的过程称为“读取过程”或“换接过程”。形成“电位图象”的过程是基于“电荷贮存原理”,“读取过程”也和二次电子发射现象有关,因而下面先叙述以二次电子发射现象为基础的电荷贮存原理。

在真空型摄像器件中,为了提高光学信息到电信号转换的效率,差不多都使用了电荷贮存的方法。有些显示器件也使用电荷贮存方法。所谓“电荷贮存”,是指在介质(半导体或绝缘体)表面上,使电子不断地落上或离开,由于介质的导电不好而使落上或离开的电子得不到泄漏或补充,而使该处的电位下降或上升。形象地说,该处的电荷被贮存了。为实现介质表面上的电荷贮存,通常利用光电发射、光电导和二次电子发射等物理现象,或者同时利用两种现象。二次电子发射现象应用的最为广泛。当用具有一定能量或速度的电子轰击金属、半导体、绝缘体等物质时,就会引起这些物体发射电子,这就是二次电子发射现象。轰击物体的电子称为一次电子(或称为原电子),从物体发射出来的电子称为二次电子(或次级电子)。对于不同的物体或同一物体而条件不同时,它们的二次电子发射强弱是不相同的。为了描述二次电子发射的强弱,我们用二次发射系数 σ 来表示。二次电子发射系数 σ 是二次电子数目与一次电子数目的比值。这里所说的二

次电子也包括了从物体表面直接被弹射回来的一次电子。二次电子发射系数 σ 随一次电子轰击表面的能量 E_p 变化而变化,这关系称为二次电子发射特性。很多物体(包括一些半导体、绝缘体)的二次发射特性都很相似,它们大都能用图1-4中的曲线来表现。在真空型摄像器件中,光电转换部件称为“靶”,它们用半导体材料或绝缘材料来制作。因而二次电子发射会使靶表面的电位发生“漂移”,并且漂移到一定程度就达到平衡。下面来讨论靶面的电位是如何漂移和平衡的。

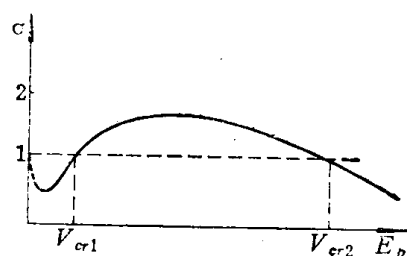


图1-4 二次电子发射特性曲线

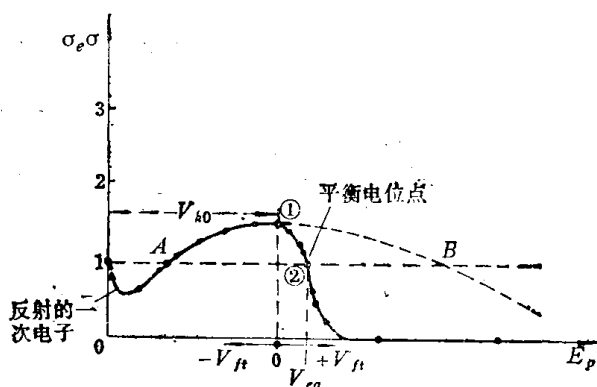


图1-5 介质表面的电位漂移

(V_{ft} —靶表面的电位; V_{eq} —平衡电位。)

现在以视象管的光电导靶面为例来叙述。由于靶的表面与信号电极间的导电不良,靶的表面电压就不能随意控制。轰击靶表面电子的能量由电子枪的阴极和靶表面的电位差来决定。当一次电子轰击靶时,靶就要发射二次电子,这些二次电子能不能被收集极(即靶网)接收,取决于靶表面和收集极之间的电位;收集极的电位是固定的,因而也就取决于靶表面的电位。现在假定靶表面的电位和收集极的电位相等。一次电子的能量使靶的 $\sigma > 1$,如图1-5中的①点。这时一次电子轰击靶,靶就发射二次电子。这些二次电子将被收集极接收,由于 $\sigma > 1$,靶表面收到一次电子的数目少于发射出去的二次电子数目,因此靶面就“丢失”了电子,这会引引起靶面电位升高。靶面电位升高将引起两个后果:一是引起一次电子的能量增大, E_p 将由①点向②趋进,二是使靶面和收集极之间的电位差增加,在这里是靶面电位高于收集极电位。也就是在靶面和收集极之间形成对二次电子减速的电场。一方面由于 E_p 增加而引起 σ 增加,发射的二次电子增多;另一方面由于靶和收集极之间的电场增加,而使被收集到的二次电子减少。没有被收集极接收的电子将返回发射它们的表面。在这种情况下,靶面电位是和靶面真正“失去”的电子有关,即和被收集极接收的二次电子数目有关。为了叙述方便,这里引入一个新的定义,即“有效的二次电子发射系数” σ_e 。 σ_e 是收集极接收的二次电子数目与一次电子数目的比值。 σ_e 在这里描述了由于 E_p 增加使 σ 增加和由于靶表面和收集极之间的减速场增大而不能全部收集二次电子的总的效果。当靶面电位继续升高到收集极接收到的二次电子数目和打到靶上的一次电子数目相等时,靶面的电位就动态地平衡了,也就是 $\sigma_e = 1$ 。这时不论 σ 是多少(但 $\sigma > 1$),靶面电位不再发生变化,如图中的②点。应当提请注意,上述过程是随时间变化的过程,只有在一次电子不断轰击时才会出现稳定的平衡。在图1-5中的A到B两点之间的各点都可能会出现上述的结果。

在应用贮存原理时,我们关心靶面的二次电子发射特性,但更关心的是靶面电位的

漂移和平衡。即如果知道靶面的初始状态，那么在二次电子发射（或光电发射、光电导过程）过程中靶面电位向那里漂移？最后能平衡到什么电位？为了解决这个问题，我们可以根据二次发射特性，制作一个靶面电位漂移图（图 1-6）。图中的坐标是这样选取的：在图中我们以收集极电位为标准

参考点，即认为收集极电位为零，且不变，因而它是坐标原点。电子枪阴极对收集极来说是负电位，我们用横坐标表示阴极电位 V_k ，并且和常规不同，坐标原点的右面是负值。靶面电位 V_T 对收集极来说可正可负，用纵坐标来表示，和常规相同上正下负。这样选取坐标的好处是坐标平面上的任一点，就能代表一次电子的能量。同时它的相应纵坐标点就代表靶面的电位。用它能很容易定性地说各种利用电荷贮存的摄像显示器件工作原理。图中的 $\overline{OO'}$ ， $\overline{AB}$ 和 $\overline{BB'}$ 三条线段表示靶的平衡电位。在图中还画有

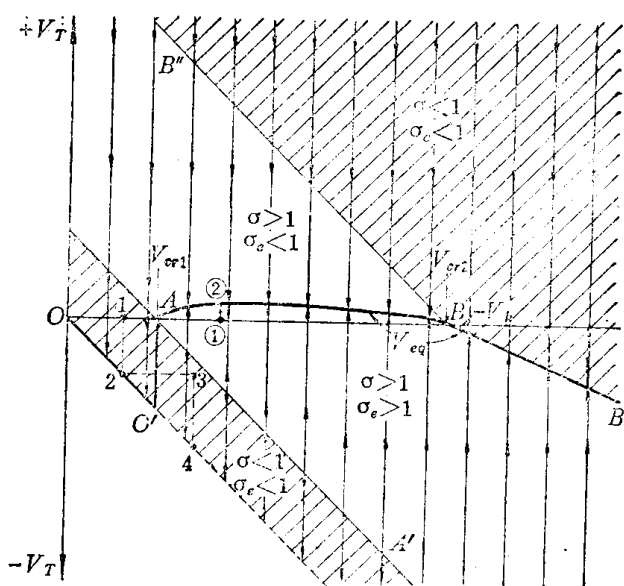


图1-6 靶面电位漂移图

过 O 点、 A 点、 B 点的三条 45° 斜线（即 $\overline{OO'}$ 、 $\overline{AA'}$ 和 $\overline{BB'}$ ），在这些线上的点则表示一次电子能量分别对应于 O （零电位）、 A 、 B 三个值。我们在图 1-5 中画出的例子画在电位漂移图中则如图 1-6 中的 $① \rightarrow ②$ 点，靶电位由 $①$ 点（和收集极有相同的电位）在一次电子连续轰击下开始向 $②$ 点漂移，到达 $②$ 点后就平衡了。图中的箭头就表示靶面电位漂移的方向和达到的平衡电位。现在再讨论一下一次电子能量处在图 1-5 中 A 点左边的情况。这相当于漂移图中（图 1-6）， $\overline{OO'}$ 和 $\overline{AA'}$ 两条斜线所包围的范围内。当一次电子轰击靶时，由于 $\sigma < 1$ ，靶面将得到电子，因而使得靶面电位下降。靶面电位下降也将引起两个后果：一是使得一次电子能量减小因而进一步使 σ 下降。其次是在靶面和收集极之间形成对二次电子加速的电场。虽此时收集极能够全部接收二次电子，这里包括由靶表面反射回来的一次电子，但由于 $\sigma < 1$ ，其综合效果仍是使 σ_e 下降。随着靶表面的电位不断下降，一次电子能量也不断减小，当一次电子能量减小到某一程度时，二次电子发射现象消失了。这时被收集极接收到的是一部分被靶面反射出来的一次电子。随着靶面电位进一步下降，反射出来的一次电子增加，并被收集极收集，这时 σ_e 反而上升，直到靶表面把所有的一次电子均反射回来为止。这时 $\sigma_e = 1$ ，靶面已经没有电子“出入”了，因而平衡，也就是平衡到阴极电位。从以上的讨论可以看出：使得 $\sigma_e = 1$ 的靶面电位就是平衡电位。

利用光电发射和光电导物理现象使介质表面贮存电荷的过程比起二次电子发射来说就简单的多了，这里就不叙述了，在有关章节里再加以叙述。

从以上的“电荷贮存原理”知道，视象管以低能电子束（或称慢电子束）轰击靶面时，必然使靶面电位降低到阴极电位。而在电子束未扫描到的象素上，电荷积累是通过光电导的电导率来实现的，它比电子束的读取时间大 N 倍（ N 是靶面上的象素数）。

1.2.2 显示器件的工作原理

典型的显示器件之一是示波管，其结构示意图如图 1-7(a)，它由电子光学系统、偏转系统、荧光屏等三部分封装在一个维持真空的玻璃壳内而构成。示波管的主要用途是显示电信号波形。电子光学系统是指提供电子源的发射系统和使电子聚焦的静电电子透镜，偏转系统也是电子光学系统中的一个部件。阴极、调制极、第一阳极构成发射系统，它的作用和摄像器件中的一样，提供给电子透镜一个“物”，常常以发射系统中的交叉点为“物”。第一阳极、聚焦电极组成一个“单透镜”，它把物成象在荧光屏上。为了调整，聚焦电极的电压是可变的，以便使荧光屏上的电子束圆斑直径调节到最小。当电子束以较高的能量打到荧光屏上时将激发荧光粉发光，荧光粉的发光亮度一般说和电子束的最后加速电压以及电子束的电流密度有关。示波管的工作原理是基于电子束在垂直于它前进方向的电场内会发生偏转这一现象。通常在示波管的水平偏转系统上加有随时间做直线增长的锯齿形电压，见图 1-7(b)。锯齿形电压也称为扫描电压。当锯齿电压加到偏转板上时，偏转板内产生相应的随时间增强的电场，电子束随电场增强也增大偏转距离，因而呈现在荧光屏上是自左到右的一条“亮线”，称之为扫描线或时间基线。如果同时在垂直偏转板上加有电信号的变化电压，如图中的矩形的信号电压，那么电子束在垂直偏转电场和水平偏转电场的共同作用下，将使荧光屏显示出相应的电信号的波形。

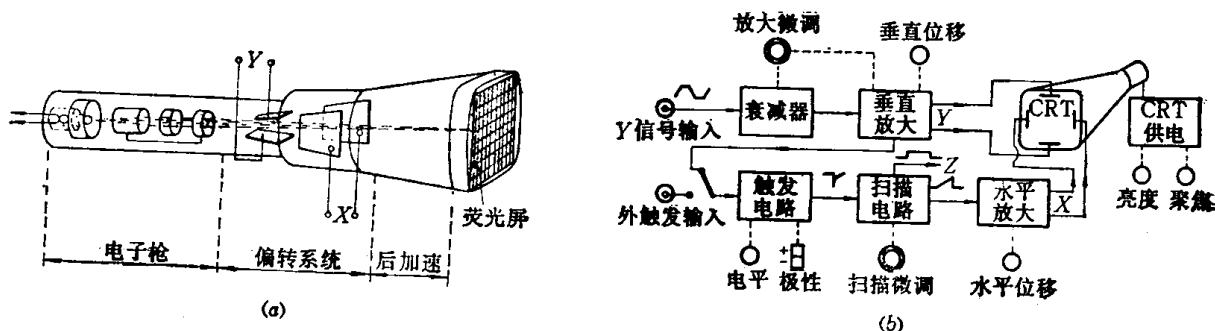


图1-7 示波管的结构示意图 (a) 和工作原理 (b)

§ 1.3 摄像与显示器件的分类

1.3.1 摄像与显示器件发展历史的回顾

从十九世纪中期到二十世纪初，由于电和电子的发现，科学家和发明家们提出了各种各样利用电磁波来传送信息（电报）、声音（电话、无线电广播）、图象（传真、电视）的方案和装置。这些方案和发明经过不断的改进，到现在已取得了巨大的成果。摄像器件和显示器件就是在这个过程中产生和丰富起来的。第一只示波管是在1897年由德国的布劳恩 (K. F. Braun) 制成的。当时称布劳恩制成的器件为阴极射线管 (CRT)，不久就证实了“阴极射线”实际上是电子流，所以应当把真空型摄像和显示器件统称为电子束器件。但是现在有时还常使用阴极射线管 (CRT) 这个名称，甚至有的人还使用“布劳恩管”的名称。经过了三十年的改进，在1931年作为商品首次生产了显示电信号波形的示波器。在同一年代里，尤其是在本世纪二十年代，全电子式的电视方案也逐渐成熟。做为电视发送用的电视摄像管有由法恩斯沃思 (P. Farnsworth) 提出的析象