



显象管与其它光电器件

严增濯 主编
盛定 杜群喜 主审

XIAN XIANG GUAN
YU QI TA
GUANG DIAN QI JIAN

电子工业出版社

72.5.15
965

显象管与其它光电器件

严增濯 主编

盛定 杜群喜 主审

电子工业出版社

内 容 简 介

今天, 我们已进入信息时代, 真空光电器件具有变换、存储和显示信息的功能, 因而越来越被人们所重视。本书以用量很大的显象管为主, 着重介绍将电信号转变成光信号的真空显示器件的基础知识、结构、工作原理和特性参数等。同时也介绍了将光信号分别转换成电信号和光信号的摄像管、光电管和象增强管等, 这些器件在工作原理和制造技术上与显象管相近似, 是电视发送、图象和电信号传递的必不可少的器件。

本书共分九章, 简明通俗, 在每章末附有习题, 可供从事显象管等光电器件生产的中级技术工人培训的理论教材, 也可供从事和使用这方面产品的技术、管理人员阅读。

显象管与其它光电器件

严增濯 主编

盛定 杜群喜 主审

责任编辑 姬楚

电子工业出版社出版 (北京海淀区万寿路)

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

妙峰山印刷厂印刷

开本: 787×1092毫米 1/32印张: 9.625 字数: 216千字

1986年12月第一版 1986年12月第一次印刷

印数: 1—5500册 定价: 1.80元

统一书号: 15290·389

出版前言

为了加速企业智力开发,提高职工素质,受电子工业部的委托,由中国电子器件工业总公司组织、编写了这套中级技术理论教材,包括:《显象管与其它光电器件》、《电光源与离子器件》、《微波管与发射管》、电子管与电光源制造工艺》、《真空电子器件测试》、《真空电子器件新材料》、《真空技术》、《公用动力工程》、《电真空玻璃》和《现代班组管理》共十本书。这套书是电真空企业中级技术培训的必修教材,并可供有关中专学校、技工学校 and 职业学校作为教学用书,也可作为企业管理干部以及工程技术人员学习和工作的参考。

全套书的编审工作,由中国电子器件工业总公司教育处组织成立的“真空电子器件专业中级技术教材编委会”负责。聘请了772厂、774厂、776厂、741厂和4400厂担任主编审工作,并请773厂、777厂、4401厂、杭州电子管厂参加了部分章节的编写。从1984年10月开始,经过一年多时间的共同努力和紧张工作,完成了这套教材的编审任务。

编委会成员如下:刘大全为主任委员,赵钟祺、陈遥白、王仁道、徐承浩、王明恕、张省德、盛定、李廷高为委员,李廷高为秘书长,侯文秀、钱云庆为常务秘书。

《显象管与其它光电器件》由严增濯主编,盛定和杜群喜主审,其中第1章由史久德、沈培宏编写,第2、7、9章由严增濯编写,第3章由沈培宏、严增濯编写,第4、5

章由胡开萍编写，第6章由蒋鉴、徐茂根、严增濯编写，第8章由史久德编写。

另外，郑荣芳、赵世昌、孙剑敏等同志对编写工作提出过宝贵意见，在此一并感谢。

为了能及时提供企业开展中级技术培训工作，整个编审过程比较仓促，加之水平有限，错漏之处在所难免，请读者给予批评指正。

真空电子器件专业中级技术教材编委会

目 录

序言	1
第一章 电子发射和阴极	4
§1.1 阴极电子学基本知识	4
§1.2 热发射和热阴极	10
§1.3 光电发射和光电阴极	18
§1.4 次级电子发射和次级发射极	25
第二章 电子光学基础	32
§2.1 电子在均匀场中的运动	32
§2.2 电子光学与几何光学的比较	36
§2.3 电子透镜	40
§2.4 电子光学象差	48
§2.5 偏转系统	52
第三章 黑白显象管	59
§3.1 电视传象知识	59
§3.2 基本结构和工作原理	62
§3.3 玻璃外壳	66
§3.4 电子枪	74
§3.5 荧光屏	81
§3.6 偏转系统	85
§3.7 特性参数	89
§3.8 特种显象管	93
第四章 荫罩式彩色显象管	99
§4.1 彩色显示的基本原理	99
§4.2 荫罩式彩色显象管的结构和工作原理	107
§4.3 精密一字形排列电子枪槽孔形荫罩自会聚彩色显象管	132

§4.4 彩色显象管特性参数	151
§4.5 彩色显象管的发展	158
§4.6 彩色显示管	163
第五章 聚焦荫罩、束指引和透射屏彩色显象管	166
§5.1 聚焦荫罩管	166
§5.2 束指引管	172
§5.3 透射屏管	175
第六章 其它显示器件	178
§6.1 投影管和彩色发光管	178
§6.2 示波管	179
§6.3 指示管	203
§6.4 存储管	214
第七章 摄像管	230
§7.1 光电导式摄像管	231
§7.2 电子枪	234
§7.3 视象管靶	241
§7.4 光电发射式摄像管	245
§7.5 特性参数	250
第八章 光电管和光电倍增管	254
§8.1 光电管	254
§8.2 光电倍增管	266
第九章 变象管和象增强管	279
§9.1 基本知识	279
§9.2 象管的结构和工作原理	284
§9.3 级联象增强管和微通道板象增强管	288
§9.4 象管的特性参数和应用	290
§9.5 X射线象增强管	292

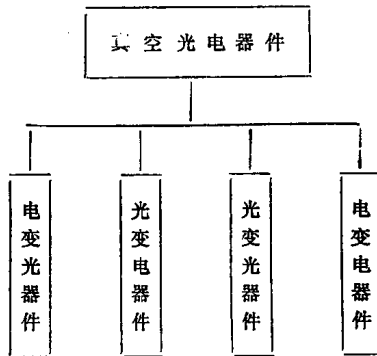
附：表1 光量的名称、定义和单位

表2 常用的物理常数

序 言

随着科学技术的飞跃发展,信息量与日俱增。文字、数据和图象信息的显示越来越受到人们的普遍重视。真空光电器件就担负着变换、存储和显示信息的繁重任务。真空光电器件包括电(信号)变光(信号)、光变电、光变光、电变电四种(见表1)。

表 1 真空光电器件的分类



1.电变光器件 用电信号来控制阴极发射出的电子,将这些电子聚焦成束(或散焦)和偏转后打到荧光屏上而实现电向光的转换。属于这一类的器件有示波管、显象管和显示器管(包括黑白和彩色)、雷达指示管、投影管、象素管、直观存储管、记录管和字码管等。

2.光变电器件 分光电发射型器件和光电导型器件两种。光电发射型器件中,投射于光电阴极上的光产生光电发射,发射的电子被电极接收形成电流(电信号)。光电导型器

件中，光投射到光电导靶上产生电子-空穴对。在靶电场的作用下，空穴向靶的背面迁移，当电子束扫描靶的背面时即得到电信号。光电管、光电倍增管和摄像管都属于光变电器件。

3.光变光器件 投射于光电阴极上的可见光（或不可见射线）产生光电发射，发射的光电子通过电子光学系统聚焦成束后打到荧光屏上重新转换成光信号，实现光向光的转换。属于这一类的器件有变象管和象增强管、 γ 或X射线象增强管等。

4.电变电器件 用电信号来控制阴极发射的电子，这些电子经聚焦成束和偏转后轰击靶面产生电子-空穴对，在靶电场作用下使空穴向背面迁移，然后用电子束扫描靶的空穴面取出电信号实现电向电的转换。属于这一类的器件有转换式存储管等。

真空光电器件是真空电子器件中极为重要的一个大类。尽管固体光电器件发展迅猛，然而真空光电器件有它自身独特的许多优点，如显示图象的亮度和分辨率都比较高，它不仅目前得到广泛地应用，今后仍将具有强大的生命力。

今天，我们已进入了信息时代，家用电视、工业电视、气象观察、医学、科研、雷达、计算机终端输出和航空仪表都需要用显象管或显示管来指示。它们的应用范围将不断扩大。近年来各类电视用高分辨率显示管的发展极为迅速。

示波管和雷达指示管在国防、工业、科研、医疗和教学等领域也得到了广泛地应用。

随着电视技术的发展，摄像管的应用领域正在不断扩大，在国外已进入家庭。在自动控制、光学仪器 and 核辐射探测仪等领域，光电管和光电倍增管是必不可少的器件。

在光变光的器件中，红外变象管、象增强管可用于国防和科研领域。X射线象增强管是医学、工业探伤及公安检查等领域不可少的器件。

在真空光电器件中显象管的用途最为广泛，在产量上已成为电子管的主流产品。显象管不但在国民经济各个领域少不了它，而且也是家喻户晓的器件。因此，本书重点介绍显象管方面的有关知识，为了能更确切地反映出书的内容，故本书定名为《显象管与其它光电器件》。

第一章 电子发射和阴极

研究电子发射和阴极的学科简称阴极电子学，它是一门很重要的基础学科。研究阴极电子学的目的是使大量电子从固体中满意地释放出来，并存在于真空中，以供人们控制和利用。在真空中出现大量自由电子可看作是人为产生的一种物质状态。现代电子发射的形式主要有四种，即热发射、光电发射、次级电子发射和场致发射。由于场致发射与本书所述器件关系不大因而从略。

§1.1 阴极电子学基本知识

大家都知道，任何物质的原子都是由一个带正电的原子核和围绕原子核转旋的电子所组成的，每个电子的电荷量为 1.6×10^{-19} 库。在任一中性原子中，全部电子负电荷的总和与该原子核的正电荷相等。在各种物质的原子中，电子似乎是一层一层地分布着的，形成了电子的壳层。电子壳层的特征是：每一壳层只能容许不多于某一确定数目的电子存在。第1层被认为是最靠近原子核的K层，只能容纳2个电子；第2层即L层能容纳8个电子；第3层即M层能容纳18个电子。如设 n 代表壳层序数，则在 n 层内所能容纳的电子数可表作 $2n^2$ 。其实，并非所有原子中各个壳层都被所能容纳数量的电子占有了的，外部一些壳层经常是未被占满的。例如，锂原子内具有3个电子，其中2个位于K层，1个位于

L 层，故在 L 层上还缺少7个电子。

每个电子都具有一定的能量。组成原子的电子所能具有的能量并不是任意的，这些电子只能处于某些“容许”的能态上。如果研究一下某个原子，就可发现该原子中的各个电子全都按一些完全确定的能态分布着的，或者说，是按能级而分布着的。在一定条件下，电子可以从某一能级跃迁到另一个容许的能级，但不能处于某个中间的“禁止”状态。

根据泡利原理，原子中不能有两个以上的电子呈同一能态。因此，即使在复杂的原子中，所有的电子也都是按自身的能级分布着的。因为电子和原子核之间借吸引力而彼此结合着，所以当电子从较低的能级跃迁到较高的能级时，就得供给电子以一定的能量。相反，当电子从较高的能级跃迁到较低的能级时，就会失去能量。因为原子中的电子只能占据某一确定能级，而不能处于中间的禁止能级。所以，不论电子是失去能量还是获得能量，都不是连续进行的，而是跳跃式地进行。

当电子从较高的能级跃迁至较低的能级时，将会辐射出一个光子。反之，当电子从某一能级跃迁到较高的能级时，该物质原子就先需要吸收光子。

如果电子处于较高的能级上时，具有能量 E_1 ，而处于较低能级上时，则具有能量 E_2 ，当电子从较高能级跃迁至较低能级时，原子将会辐射出一个能量为 W 的光子，此能量为 $W = E_1 - E_2$ 。

在稀薄气体中，由于原子间距离较远，每个原子的电场不致影响到它邻近的原子。固体中情况就不一样，在晶体内，原子的排列是有序的，彼此靠得很近。因此，相邻原子的电场互相影响，结果便在晶体点阵内形成了周期性的电场。实

实际上理想的晶体在自然界中是没有的，因此，电场的周期性是不完整的。

自由原子中有许多能级，每一能级上所能配置的电子不多于两个。当 N 个这样的原子靠得很紧密时，便形成固态晶体，此时各个原子的电场互相叠加，因而出现周期性电场。由于相邻原子的电场互相影响，原子的每一能级使分裂成为 N 个数值上相近但毕竟是彼此不同的晶体能级。在每个这样的晶体能级上都可以配置两个电子。这 N 个能级形成一个能带。能带之间相隔有一个能量区，在此区域内电子不能存在，我们称这一类区域为禁带（或称带隙）。

因为离原子核很近的电子和自己的原子核结合得十分牢固，所以这些电子都不能参与导电。引起导电的只能是价电子，即最外层的，且是能量最高的电子。

当温度接近绝对零度时，价电子以及较里层的电子都占着自身的基态能级，除掉基态能级之外，在半导体晶体中还有激发能级，即能量较高的能级，要使电子从基态跃迁到激发能级，必定要供给电子以附加能量。

金属中自由电子的能量是按费米函数分布的。费米能级是指绝对零度时电子能占据的最高能级，也即电子可能具有的最大动能（或能量）。为使处于最高能级上的电子逸出表面所需给予的最小能量就称为功函数。电子的最大动量与最大动能可用以下简单方法计算。采用空间直角坐标系统。设 P_x 、 P_y 和 P_z 各代表 x 、 y 和 z 方向的动量，系统内可分为许多个体积为 h^3 的小单元，球半径为 P_m 的动量空间包含 $4\pi P_m^3/3h^3$ 个单元。假定温度是绝对零度，球内的单元全部充满，金属单位体积中具有 N 个自由电子，而每2个自由电子占有1个单元，在动量空间内充满这些单元数有 $N/2$ ，故得

$$\frac{4\pi P_m^3}{3h^3} = \frac{N}{2} \quad (1.1)$$

因此球半径，即最大动量有 $P_m = (3N/8\pi)^{1/3}h$ 。电子的最大动能可表为

$$W_m = \frac{h^2}{8m} \left(\frac{3N}{\pi} \right)^{2/3} \quad (1.2)$$

式中 m 为电子质量，在不同金属中电子的最大动能数值是不相同的，表1.1给出了碱金属中电子的最大动能数值。

表 1.1 碱金属中电子最大动能数值

金 属	Li	Na	K	Rb	Cs
电子最大动能 W_m (电子伏)	4.74	3.16	2.06	1.79	1.53

在其它温度时，电子的动能分布略有不同，最大动能的数值稍有增大，而这部分电子数是极少的。用能级概念来说，金属的激发能带直接与基态能带相毗连，两种能态可能是一个叠在另一个之上的，当温度接近绝对零度时，基态能带全被电子占满，而与基带直接毗连的或叠在基带上的激发能带却是空着的，因此要使位于基带上的电子从某一能级跃进至较高的能级，甚至从某一能级跃迁至真空能级（越过位垒），即发射至真空中，就需接受到外界赋予的热能、光能或电子轰击能的激发，否则，产生电子跃迁和电子发射是不可能的，

半导体的能带结构如图1.1所示，它与金属能带不同之处是其基态能带与激发能态之间是不相毗连的，中间隔着禁带。当接近绝对零度时，满带全被价电子占据，禁带之上的导带是空着的，若使其具有导电性，就必须使某些数量的电

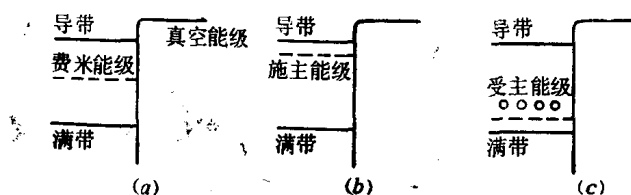


图 1.1 半导体的能带结构

(a) 本征半导体, (b) n 型半导体, (c) P 型半导体

子从满带跃迁至导带, 这样, 导带内电子才能在外场作用下移动。否则, 即使有外场存在也不会产生导电性。原因是在全部占满的能带中电子是不能改变自身状态的, 电子至多相互交换自己的“位置”, 这并不会影响全部电子的总状态。要使半导体中产生电流, 就必须使基态能带上的部分电子跃迁至上部的激发能带, 而要使电子跃迁到导带, 就不能没有外界能量的激发。

半导体价电子的基态能带, 通常称为满带 (或价带), 激发能态通常被称为导带 (或空带)。假设半导体的表面为原子纯 (即没有吸附异原子), 表面能级没有电子占据, 则其能带结构如图1.1(a), 费米能级位于禁带中间, 真空能级位于电子亲和势电子从半导体表面逸出所需的最小能量的顶部, E_g 为禁带宽, E_e 为电子亲和势。对于热发射而言, 通常 $(E_g/2 + E_e)$ 为热功函数, 而对于光电发射或次级发射而言, $E_g + E_e$ 为其功函数。

以上所说的半导体是指纯粹的半导体, 或称本征半导体。如果在半导体内掺入杂质, 则将形成杂质半导体, 它有良好的导电性。由于满带与导带之间出现杂质能级, 杂质原子中电子的能级高于满带中电子能级, 所以杂质原子易于给出

电子而成为跃迁至导带中的电子源。

杂质半导体可分为电子型（ n 型）与空穴型（ p 型）两种。在绝对零度时杂质能级全被占满，而不在绝对零度时就可使电子输送至导带，这种杂质能级称为施主能级，这种半导体称为电子型半导体，示于图1.1(b)，费米能级位于导带底与施主能级之间，施主能级位于禁带内与导带底相靠近处。空穴型半导体与电子型半导体完全不同，它没有施主能级，而具有受主能级，在绝对零度时受主能级全是空着的，不在绝对零度时，电子便可以从满带跃向受主能级。能级的表示如图1.1(c)，费米能级位于受主能级与满带之间，受主能级位于禁带内略高于满带的顶部。

值得注意的是，无论哪种类型的半导体，在考虑其热功函数时，都应从真空能级与费米能级之差来计算，而对于光电功函数与次级发射功函数的考虑，则应从真空能级与杂质能级之差来计算。

最后，联系到实用的电子器件，阴极对于它们来说，其重要性可称得上是“心脏”。大约80%以上的器件的失效是由于阴极损坏所引起的，它的质量对器件的性能、寿命和可靠性具有决定性意义。在热阴极类型中，纯金属阴极常用钨与钼，原子膜阴极则有钽钨与钽钨；半导体阴极可以氧化物阴极及其改进型为代表。对它们总的要求是：有低的功函数、耐高温、耐正离子轰击、低的蒸发率、发射电流密度大、稳定性好及寿命很长。对于光电阴极，大都采用半导体与复杂化合物阴极，对它们共同的要求是，具有低的光电功函数，大的电子逸出深度；对入射光有大的吸收系数，有大的光照灵敏度，较宽的光谱响应范围；在室温下有极低的热发射以及很小的光电疲乏等。至于次级发射极，人们希望在

低的初级电子能量轰击下能获得大的次级发射系数，并在大电流密度的工作条件下能维持恒定的次级发射，能耐高温，不会产生光电发射也不易形成场致发射。此外，即使暴露大气，不致丧失次级发射的能力。

§1.2 热发射和热阴极

1.2.1 纯金属的热发射

利用加热的方法使固体内部电子的动能增加，有一部分电子的动能大到足以克服表面势垒的阻碍就会逸出体外，这就是热电子发射。热发射体中，应用得最早而又最简单的是纯金属，对它的发射理论了解得最彻底，它是一切热发射的共同理论基础。

一、纯金属的热电子发射现象

用纯金属，例如钨丝作阴极和另一金属板作收集极，做成一个简单二极管接入电路中如图1.2。电源 E ，加热阴

极到一定温度，当阳极上加正电压时，就发现有电流 I_a 流通，方向如箭头所示，这表示有电子从阴极发射出来流向阳极。当增加阳极电压时，发射电流最初随阳极电压很快上升，继而较慢，最后几乎不变，我们称这时的电流为饱和电流 I_s 。实际上它仍随着 U_a 有缓慢的上升。

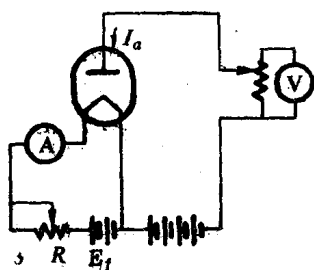


图 1.2 阴极发射电子的示意图

升)。 I_s 与阴极温度 T 的关系曲线如图1.3所示。从此图可