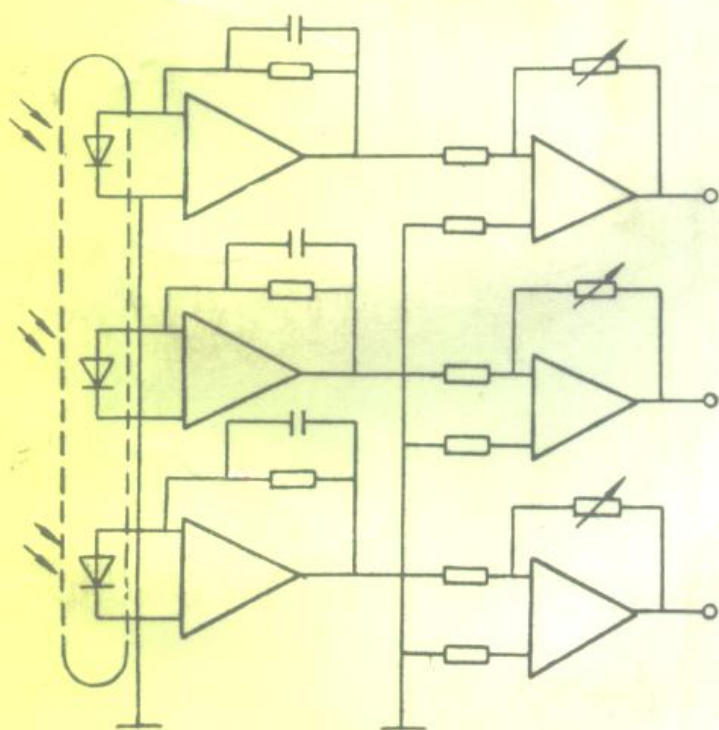


光电子器件 应用基础

张烽生 龚全宝 编著



机械工业出版社

TN15
Z13

370427

光电子器件应用基础

· 张烽生 龚全宝 编著



机械工业出版社

2010064
(京)新登字 054 号

本书系统地介绍光电子器件应用中所涉及的基础知识,内容包括光度量、色度量、辐射度量等的物理学知识及其计算,还介绍设计光电系统的光学材料与元件。书中详细阐述了常用光电子元器件的原理与特性,既介绍半导体光敏器件、发光器件和红外器件,又介绍电真空光电器件与热探测器,并对它们作了综述比较。书中专门讨论了发光器件与探测器应用的基础知识和基本应用电路,还介绍光电子器件在光辐射测量仪器、光谱仪器及自动控制中的应用。在最后的應用集锦中,介绍了读者感兴趣的许多具体应用实例和线路。

本书可供从事光电子器件应用、研制及生产的工程技术人员参考,也可作为大专院校有关专业师生的参考书。

光电子器件应用基础

张烽生 龚全宝 编著

*

责任编辑:卢若薇 边一萌 版式设计:胡金瑛

封面设计:方 芳 责任校对:肖新民

责任印制:路 琳

*

机械工业出版社出版(北京阜成门外百万庄南街一号)

邮政编码:100037

(北京市书刊出版业营业许可出字第117号)

机械工业出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

*

开本 787×1092¹/₃₂·印张 16·插页 1·字数 355 千字

1993年12月北京第1版·1993年12月北京第1次印刷

印数 0 001-1 450·定价:19.70 元

*

ISBN 7-111-03595-X/TN·66

前 言

光电子技术是一门新兴的并正在迅猛发展的高科技技术，它在国防、光通信、国民经济各部门乃至人们的家庭生活中，正得到越来越广泛的应用。

光电子技术的核心是光电子器件，它包含两大类：光-电及电-光器件。前者将光辐射转变为电信号，主要分光电探测器和作能源转换用的太阳能电池。常用的电-光器件则有发光二极管与激光二极管。

笔者在与许多应用光电子器件的工程技术人员接触中，感到他们当中有些人对于各种光电子器件的工作原理、性能与特点了解不深；对于如何设计整个应用系统（如光源与探测器的光谱匹配、光学系统构成、响应速度、配合电路）缺乏整体的考虑；有的甚至对基本应用线路也不甚了解；对于光度量、色度量及辐射度量的计算以及相互关系还需作进一步了解。而给广大工程技术人员提供一本较全面、较系统地论述与介绍光电子器件应用基础的参考书，正是编写本书的目的。

为此，本书内容包括下面四部分：第一章介绍与光度量、色度量及辐射度量相关的物理学知识和计算方法，设计光学系统所涉及的光学材料及元件的性质与特点；第二章详细讨论最常用的9种光电子元器件的工作原理及其特性，最后将它们作综合比较给出选择原则；第三、四章为发光器件与探测器的应用基础，介绍基本应用电路及光学设计基础知

N

识。前四章为光电子器件的应用基础知识，读者可以针对自己的实际要求设计出需要的系统与电路。为了给读者提供一些实例作借鉴，第四部分包括第五、六、七、八章，分别介绍光电子器件在光辐射测量仪器、光谱仪器、自动控制中的应用实例，最后还介绍一些读者感兴趣的应用集锦。由于篇幅有限，我们的讨论不可能涉及到所有光电子器件及其应用，加之在某些领域已有不少专著，所以本书仅对大多数人最常用的一些光电器件作介绍。

本书编者为张烽生（深圳赛格科导电子公司）和龚全宝（上海市能源研究所），其中：张烽生编写第一章、第二章的第一～第四节及第十一节、第四章与第五章；龚全宝编写第二章第五～第十节、第三章、第六章、第七章与第八章，全书由张烽生汇总统稿。

武汉大学尹长松副教授审阅了本书稿，编者在此表示谢意。

由于作者的学识水平有限，定有不当和错漏之处，望读者不吝赐教为感。

编 者

1988年3月

版 前 附 言

从交稿至今，随时间的推移，在本书即将出版前夕，编者认为有必要补充一些近年来的新发展以适应当代读者的需求。在第八章末加一节专门介绍热门应用课题：红外遥控电路(由龚全宝执笔)。新加的第九章中介绍 LED 器件及显示屏的新进展(由张烽生执笔)。在书末附录中则选列一些近年来新开发和应用较多的器件供参考。

张烽生 龚全宝

1991年11月

目 录

前言

版前附言

第一章 光辐射的物理学	
第一节 光的本质	1
第二节 辐射度量与光度量	4
第三节 辐射的基本定律	16
第四节 辐射度量与光度量之间的关系	28
第五节 反射与折射, 吸收与散射	38
第六节 光学材料的性质	47
第七节 光辐射源	75
第八节 色度学基础	83
参考文献	94
第二章 光电子器件的原理与特性	95
第一节 特性概述	95
第二节 光电二极管与光伏探测器	111
第三节 太阳电池	138
第四节 光敏三极管	146
第五节 光控晶闸管	159
第六节 光敏电阻器	164
第七节 红外探测器	174
第八节 电致发光器件	189
第九节 光电耦合器	202
第十节 真空光电器件	206

第十一节 光电子器件的选择原则	221
参考文献	230
第三章 发光器件的应用	232
第一节 发光二极管的基本工作模式	232
第二节 发光二极管的应用	238
第三节 光电耦合器的应用	253
第四节 数码管及其应用	267
第四章 探测器应用的设计基础	280
第一节 光学设计基础	280
第二节 基本电路	318
参考文献	337
第五章 光辐射测量仪器	338
第一节 照度计	339
第二节 辐射计	340
第三节 测色仪器	347
第四节 光谱辐射计	352
参考文献	356
第六章 光电子器件在光谱仪器中的应用	357
第一节 GD211光电比色计	357
第二节 82型全差示光度计	364
第三节 7520分光光度计	367
第四节 3200原子吸收分光光度计	371
第五节 7400型光栅红外分光光度计	376
第六节 S-M红外滤光片分光光度计	380
第七章 光电子器件在自动控制中的应用	386
第一节 轴类动态扭转角自动测量仪	386
第二节 自动计数器	390
第三节 自动灯光控制器	396
第四节 自动保安装置	405

Ⅷ

第八章 光电子器件应用集锦	411
第一节 照相工业电路集锦	411
第二节 玩具电路集锦	420
第三节 光控电路集锦	430
第四节 报警电路	437
第五节 音响电路集锦	441
第六节 电平电路集锦	445
第七节 其他电路集锦	448
第八节 红外线遥控电路集锦	456
第九章 LED器件的新进展	468
第一节 可见光LED的进展	468
第二节 LED显示器件	475
第三节 红外发光二极管	483
附录 光电子器件选介	486
一、特殊发光二极管灯	486
二、近红外光电器件	488
三、大容量LED点阵	489
四、LED数码管与点阵	490
五、LED数码管外形图	502
六、LED彩色点阵 (8 × 8)	503

第一章 光辐射的物理学

光电子器件主要分为两大类：光探测和光发射器件。光探测器件将入射辐射的光能转换为电信号，而光发射器件则将输入的电能转换成光能而发射出去。因此，在讨论光电子器件之前，必须对光的本质作基本的了解，对于与光电子器件的特性及应用相关的光学定律、辐射度量与光度量等基本知识也需要掌握。为帮助使用者更好地应用光电子器件，本章还将讨论常用的光学材料与元件，以便于设计好光学系统。最后介绍与颜色测量相关的色度学基础知识。

第一节 光的本质

光具有波粒二象性，即同时具有波动性与微粒性。光的波动理论能够圆满解释光的干涉和衍射等现象，但不能解释外光电效应等现象。因此又逐渐发展了新的微粒理论——量子论。

光属于电磁波，可借助于麦克斯韦方程组进行描述。电磁波在媒质中的传播速度 v_m 与波长 λ_m 的关系由下式决定，即

$$v_m = \nu \lambda_m \quad (1-1)$$

频率 ν 是由产生电磁波的辐射源决定的，它不随所通过的媒质的不同而变化。但当光从某媒质进入另一种媒质时，波长与速度均变化。当光从真空进入媒质 m 时，其比例关系为

$$\frac{\lambda_0}{\lambda_m} = \frac{c}{v_m} = n \quad (1-2)$$

式中 λ_0 ——光在真空中的波长(nm);

c ——光在真空中的传播速度, 即光速(m/s);

n ——媒质 m 的折射率。

由上两式得到

$$v_m = \frac{\lambda_0 \nu}{n} \quad (1-3)$$

作为例子, 表1-1 给出相应于真空中波长为589nm(纳米)的钠黄光在不同媒质中的传播速度和波长。在本书后面所谈及的光波波长, 如无特别注明, 均指真空中的波长。

表1-1 真空中波长为589nm的钠黄光在几种最常见媒质中的传播速度和波长

媒 质	真 空	空 气	玻 璃	水
折射率 n	1	1.0002	1.5	1.33
速度 v ($\times 10^8$ m/s)	2.997925	2.9972	1.998	2.25
波长 λ (nm)	589	588.9	393	442

微粒论的观点认为, 光辐射具有粒子流的特性。光是由具有零静止质量并以光速运动的粒子所组成的, 这些粒子称为光量子, 或称为光子。光辐射的波长越短, 微粒性就越明显。在 γ 射线范围内, 微粒性就成为主要特征。光子的能量 E 与频率 ν 之间的关系为

$$E = h\nu \quad (1-4)$$

式中 h ——普朗克常数, $h = 6.62 \times 10^{-34} \text{J} \cdot \text{s}$;

ν ——频率(Hz)。

在实际计算中, E 常以电子伏(eV)为单位, 并把真空

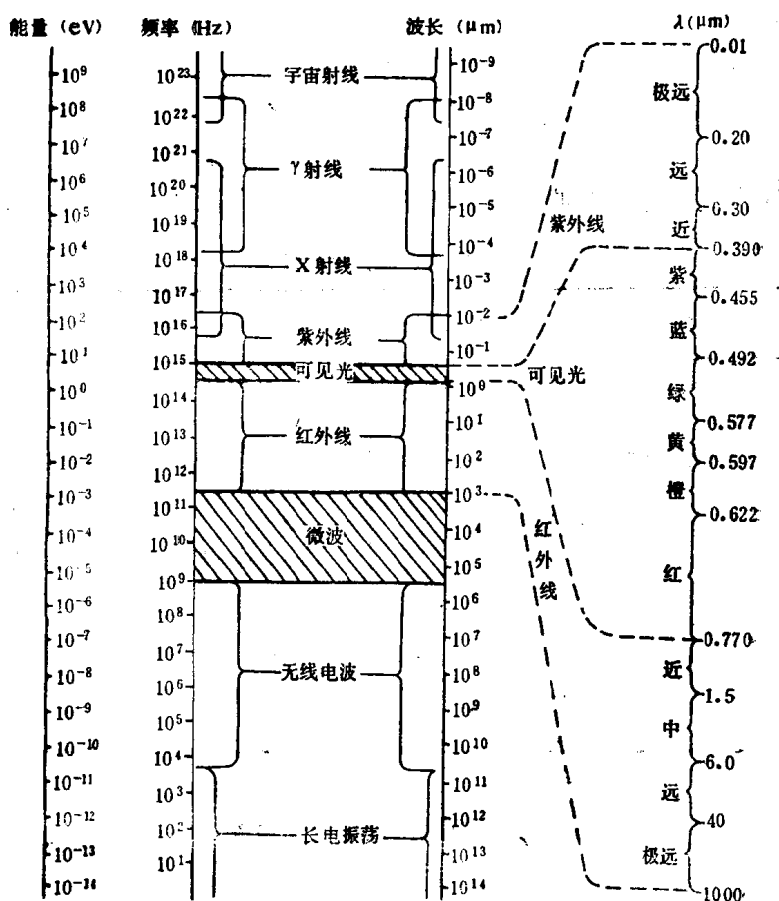


图1-1 电磁波谱

中的光速近似地取为 $c = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$, 利用式 (1-4) 及 $c = \nu \lambda_0$, 可以得到波长 λ_0 与光子能量 E 之间的关系式

$$\lambda_0 = \frac{1.24}{E} \quad (\mu\text{m}) \quad (1-5)$$

在电磁波谱中,光辐射的波长范围为 $10\text{nm}\sim 1\text{mm}$ 。在图1-1中,将紫外线光(UV)、可见光(VIS)、红外线光(IR)部分予以放大示出。各范围的划分没有固定和明确的界限。常用的另一种划分法见表1-2,将紫外线光与红外线光波段各分成A、B、C三段,将可见光范围按颜色划分(人眼能感觉到的光辐射波段称为可见光,俗称为光)。

表1-2 光辐射谱的划分

波 长 范 围	名 称 代 号
100~280nm (不含 280, 余同)	UV-C
280~315nm	UV-B
315~380nm	UV-A
380~440nm	紫光
440~495nm	蓝光
495~580nm	绿光
580~640nm	黄光
640~750nm	红光
750~1400nm	IR-A
1.4~3 μm	IR-B
3~1000 μm	IR-C

第二节 辐射度量与光度量

在测量和应用光电子器件时,均需评价光辐射量的大小。光辐射量的评价有两套不同的体系:辐射度量与光度量。在辐射度量中,以辐射能量或辐射功率为基本量,焦耳(J)或瓦特(W)为基本单位。当辐射量与人眼的视觉特性(CIE标准光度观察者)相联系而被评价时,则定义为光度量。光度量的基本量是发光强度,其单位为坎德拉(cd)。光度量和辐射度量的相对应的量通常采用相同的符号。为了区别,辐射

度量在符号下加下角标 e ，如 Φ_e ；光度量则在符号下加下角标 v ，如 Φ_v 。在不会发生混淆的情况下可以不加下角标。

辐射量的数值大多是随波长变化的。若某量是波长（或频率或波数）的函数，按国家标准的规定，则应在该量的名称前面冠以形容词“光谱〔的〕”，而在该量的符号后面加上带圆括号的 λ 。例如，作为波长函数的发射率，称作光谱发射率，其符号写作 $\varepsilon(\lambda)$ ；若强调它是频率或波数的函数，则将符号写作 $\varepsilon(\nu)$ 或 $\varepsilon(\sigma)$ 。

某一量的光谱密集度通常表示为波长的函数，它具有该量除以波长的量纲，并用下角标 λ 标记。光谱密集度也可表示为频率或波数的函数，此时下角标改为 ν 或 σ 。光谱密集度有时也叫做分布函数，例如波长分布函数和频率分布函数等。为简便起见，“光谱密集度”可用形容词“光谱〔的〕”代替。例如，“辐射能密度的光谱密集度”可以叫做“光谱辐射能密度”。比如，辐射能密度的符号为 w ，那么， w_λ 就代表辐射能密度的光谱密集度。需注意， λ 在标记波长的函数及光谱密集度时的差别，不要混淆。

一、辐射度量

1. 辐射能 (Radiant energy) 以辐射的形式发射、传播或接收的能量，符号为 Q , W (或 Q_e , U)。辐射能的单位为焦〔耳〕，符号为 J 。国家标准 GB3102.6—82〔1〕规定，辐射能又可称为辐能，写成辐〔射〕能。〔 〕内的字指在不致产生混淆的场合下可省略的字，而圆括号“()”内的符号是备用符号。

2. 辐〔射〕功率 (Radiant power)，辐〔射能〕通量 (Radiant flux) 辐射功率或辐射能密度被定义为：以辐射的形式发射、传播或接收的功率，符号为 P , Φ (Φ_e)；单位为瓦

[特], 符号为 W , $1 W = 1 J/s$ 。辐射能通量为在单位时间内通过某一面积的辐射能量, 其数学表达式为

$$\Phi = \frac{dQ}{dt} \quad (1-6)$$

式中 dQ ——在时间 dt 内通过 dA 面积元的辐射能量。

亦可用辐射能通量的光谱密集度 ϕ_λ 求积分来表示辐射能通量, 即

$$\Phi = \int \phi_\lambda d\lambda \quad (1-7)$$

3. 辐[射]强度(Radiant intensity) 辐射强度的定义为: 在给定方向上的立体角元内, 离开点辐射源(或辐射源面元)的辐射功率除以该立体角元, 其符号为 $I(I_0)$; 单位为瓦[特]每球面度, 符号为 W/sr , 表示式为

$$I = \frac{d\Phi}{d\Omega} \quad (1-8)$$

式中 $d\Phi$ ——在包含该给定方向的微小立体角 $d\Omega$ 内发射的辐射能通量。

如果某辐射源在整个空间各方向的辐射能通量分布是均匀的, 则该辐射源的辐射强度应是该辐射源的总辐射能通量除以 4π (因整个空间为 4π 个球面度)。这时亦可将辐射能通量表示为

$$\Phi = I\Omega \quad (1-9)$$

辐射强度是仅与点辐射源相关的辐射量。与面辐射源相关的量为下述的辐射出射度与辐射亮度。

4. 辐[射]出[射]度(Radiant exitance) 其定义为: 离开表面一点处的面元的辐射能通量, 除以该面元面积。其符号为 $M(M_0)$; 单位为瓦[特]每平方米, 符号为 W/m^2 , 其数学表示式为

$$M = d\Phi/dA \quad (1-10)$$

式中 dA ——辐射面元的面积;

$d\Phi$ ——该面元向所有方向(半个空间内)发出的辐射能通量。

5. 辐[射]亮度(辐射度)(Radiance) 辐射亮度或辐射度的定义是: 表面一点处的面元在给定方向上的辐射强度, 除以该面元在垂直于给定方向的平面上的正投影面积。其符号为 $L(L_0)$, 单位为瓦[特]每球面度平方米, 以 $W/(sr \cdot m^2)$ 表示, 其数学表达式为

$$L = \frac{dI}{dA \cos \theta} \quad (1-11 a)$$

$$= \frac{d^2\Phi}{d\Omega dA \cos \theta} \quad (1-11 b)$$

式中 dA ——辐射面元面积;

θ ——给定方向与辐射面元法线之间的夹角;

$d\Omega$ ——给定方向的立体角;

dI —— dA 面元所发出的辐射强度。

其示意图如图1-2所示。

以上讨论的辐射强度、辐射出射度及辐射亮度均是与光辐射源相关的量。光电探测器工作时接受光辐射, 是接收器, 与之密切相关的辐射量为辐射照度。

6. 辐[射]照度(Irradiance) 辐射照度的定义是: 照

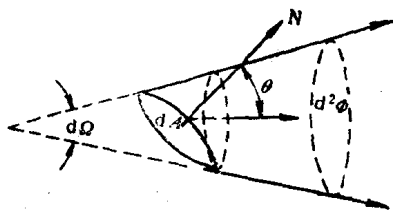


图1-2 辐射亮度示意图

射到表面一点处的面元上的辐射通量除以该面元的面积。其符号为 E (E_e)，单位名称为瓦〔特〕每平方米，以 W/m^2 表示。在实际应用中还常用 W/cm^2 、 mW/cm^2 等表示。其表达式为

$$E = \frac{d\Phi}{dA} \quad (1-12)$$

该式反映了单位面积上所接受或通过的（包括从各个方向来的）辐射通量的大小。虽然它与辐射出射度有相同的单位，但它们是两个概念完全不同的量，一个与接收器有关，而另一个则与光辐射源相关。

与式(1-7)相类似，可用各辐射量的相应光谱密集度来表示各辐射量，即

$$\begin{aligned} \text{辐射强度} \quad I &= \int I_{\lambda} d\lambda \\ \text{辐射亮度} \quad L &= \int L_{\lambda} d\lambda \\ \text{辐射出射度} \quad M &= \int M_{\lambda} d\lambda \\ \text{辐射照度} \quad E &= \int E_{\lambda} d\lambda \end{aligned} \quad (1-13)$$

表1-3概括了辐射度量的光谱密集度(旧称单色辐射度)的定义、单位和符号。

二、光度量

上述辐射度量是用仅与客观有关的纯物理量来评定的。而光度学中相应的度量则是用人眼视觉(生物物理量)来评定的。在光辐射中只有一部分是人眼能够看见的，即可见光；另有两部分，即紫外线光与红外线光，是人眼不能看见的。人眼对波长不同的各种光有不同的灵敏度，即使它们的辐射功率相同，但人眼对于它们的明暗感觉程度也是不一样