

高职高专“十二五”规划教材

BANDAOTI ZHAOMING YU YINGYONG SHEJI

# 半导体照明与 应用设计

丁向荣 刘祖明 编著



化学工业出版社

高职高专“十二五”规划教材

# 半导体照明与应用设计

丁向荣 刘祖明 编著



化学工业出版社

·北京·

本书结合国内外半导体照明(LED)技术的应用和发展,全面系统地阐述了LED照明的基础知识和最新应用。全书共分为12章,系统地介绍了LED照明基础知识,LED驱动电路,LED应用基本知识与LED应用常见问题,LED照明灯具的设计、检验与组装等内容。本书题材新颖实用,内容由浅入深,循序渐进,通俗易懂,图文并茂,是一本具有很高实用价值的LED应用指南。

本书可作为半导体照明技术相关专业的教学用书,也可作为即将从事LED行业的工程技术人员、产品推广人员、广告制作及安装人员的自学读物,还可作为半导体照明行业在职人员的培训教材。

### 图书在版编目(CIP)数据

半导体照明与应用设计/丁向荣,刘祖明编著. —北京:  
化学工业出版社, 2014. 1

高职高专“十二五”规划教材

ISBN 978-7-122-19075-8

I. ①半… II. ①丁…②刘… III. ①半导体发光灯-  
照明技术-高等职业教育-教材 IV. ①TM923.34

中国版本图书馆CIP数据核字(2013)第278241号

---

责任编辑:王听讲  
责任校对:顾淑云

文字编辑:咎景岩  
装帧设计:韩飞

---

出版发行:化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街13号 邮政编码100011)

印装:三河市延风印装厂

787mm×1092mm 1/16 印张16½ 字数439千字 2014年2月北京第1版第1次印刷

---

购书咨询:010-64518888(传真:010-64519686) 售后服务:010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

---

定 价: 36.00 元

版权所有 违者必究

# 前 言

半导体照明是指用固态发光器件（LED，即发光二极管）作为光源的照明，具有高效、节能、环保、寿命长、易维护等显著特点，是近年来全球最具发展前景的高新技术领域之一，是人类照明史上继白炽灯、荧光灯之后的又一场照明光源的革命。LED 照明灯具必将对传统的照明光源市场带来冲击，成为一种极具竞争力的新型照明光源。

LED 照明技术的发展与应用已引起了国内外光源界的普遍关注，现已成为具有发展前景和影响力的一项高新技术产业。LED 照明灯具产品的开发、研制、生产已成为发展前景十分诱人的朝阳产业。目前，由于 LED 照明技术的广泛应用及其潜在的市场，LED 照明灯具显示出了强大的发展潜力，并形成一条完整的 LED 照明灯具产业链。

本书结合国内外 LED 技术的应用和发展，全面系统地阐述了 LED 照明基础知识和最新应用。全书共分为 12 章，系统地介绍了 LED 照明基础知识，LED 驱动电路，LED 应用基本知识与 LED 应用常见问题，LED 照明灯具的设计、检验与组装等内容。本书题材新颖实用，内容由浅入深，循序渐进，通俗易懂，图文并茂，是一本具有很高实用价值的 LED 应用指南。

本书具有很强的实用性与应用性，理论联系实际，每章都有生产实例；本书易于教学，每章都配有操作性很强的实训与习题，同时，在出版单位的网站上免费提供多媒体教学课件，需要者可以到化学工业出版社教学资源网站 <http://www.cipedu.com.cn> 免费下载使用。

本书可作为半导体照明技术相关专业的教学用书，也可作为在职人员的培训教材与自学读物。

全书由丁向荣、刘祖明编著，丁向荣编写了第 1~7 章，刘祖明编写了第 8~12 章以及附录，参与资料收集及部分编写的还有张安若、祝建孙、胡美兰、郑培彬、陈龙远、吕泽权。在此，对以上人员致以诚挚的谢意。

本书的所有实例都经过编著者的实际应用，但由于 LED 照明设计涉及面广，实用性强，技术更新快，加之编著时间仓促，以及作者水平所限，书中难免存在不足之处，敬请广大读者批评指正！

感谢读者选择了本书，希望我们的努力能对您的工作和学习有所帮助，也希望广大读者不吝赐教！

编著者

2013 年 12 月于广州

# 目 录

<b>第 1 章 光学与视觉</b> .....	1
1.1 光 .....	1
1.2 视觉 .....	5
1.3 颜色 .....	6
实训一 光照度的测量 .....	8
习题 1 .....	9
<b>第 2 章 LED 照明基础</b> .....	11
2.1 LED 技术发展历史 .....	11
2.2 LED 的基本概念 .....	12
2.3 LED 封装 .....	14
2.3.1 LED 封装形式 .....	14
2.3.2 LED 封装工艺 .....	18
2.4 LED 芯片介绍 .....	19
2.5 白光 LED 实现方法 .....	25
2.6 LED 参数介绍 .....	27
2.7 LED 检测技术与标准 .....	29
2.7.1 LED 的主要参数与检测方法 .....	29
2.7.2 LED 检测标准 .....	33
2.8 LED 防静电知识 .....	33
2.8.1 静电基础知识 .....	33
2.8.2 LED 防静电知识 .....	34
2.8.3 静电对 LED 的危害 .....	35
2.8.4 静电击穿 LED 的常见识别与筛选方法 .....	35
2.8.5 产生过电冲击的主要原因 .....	35
实训二 LED 光源的检测 .....	36
习题 2 .....	38
<b>第 3 章 LED 射灯设计</b> .....	39
3.1 电光源、电器附件、灯具 .....	39
3.2 LED 射灯的介绍 .....	43
3.3 MR16 射灯的设计 .....	44
3.3.1 MR16 射灯的简介 .....	44
3.3.2 MR16 驱动器的设计 .....	46
3.3.3 MR16 射灯的组装流程 .....	49
3.4 PAR 灯的设计 .....	53
3.4.1 PAR 射灯简介 .....	53
3.4.2 PAR 灯驱动器的设计 .....	55

3.4.3	PAR38 射灯的组装流程 .....	58
3.5	LED 射灯的检验标准 .....	62
	实训三 LED 射灯的组装 .....	63
	习题 3 .....	63
<b>第 4 章</b>	<b>LED 球泡灯设计</b> .....	<b>64</b>
4.1	LED 球泡灯的介绍 .....	64
4.2	LED 球泡灯的设计 .....	68
4.2.1	LED 球泡灯的材料简介 .....	68
4.2.2	LED 球泡灯的光源选择及布板 .....	70
4.2.3	LED 球泡灯的电源选择 .....	72
4.2.4	LED 球泡灯驱动器的设计 .....	74
4.2.5	LED 球泡灯的组装流程 .....	77
4.3	LED 球泡灯的检验标准 .....	77
	实训四 LED 球泡灯的组装 .....	81
	习题 4 .....	82
<b>第 5 章</b>	<b>LED 日光灯设计</b> .....	<b>83</b>
5.1	传统日光灯简介 .....	83
5.2	LED 日光灯概述 .....	84
5.3	LED 日光灯结构设计分析 .....	87
5.4	LED 日光灯光源的布板及铝基板固定方式 .....	93
5.5	LED 日光灯设计技巧与注意事项 .....	94
5.6	LED 日光灯驱动电源的设计 .....	95
5.7	LED 日光灯的组装流程 .....	98
5.8	LED 日光灯的检验标准 .....	102
5.9	LED 日光灯的安装 .....	104
	实训五 LED 日光灯的组装 .....	106
	习题 5 .....	107
<b>第 6 章</b>	<b>LED 筒灯设计</b> .....	<b>108</b>
6.1	传统筒灯的介绍 .....	108
6.2	LED 筒灯的介绍 .....	109
6.2.1	LED 筒灯光源的选择 .....	111
6.2.2	LED 筒灯的光学设计 .....	111
6.2.3	LED 筒灯的散热设计 .....	112
6.2.4	LED 筒灯的结构设计 .....	114
6.3	LED 筒灯驱动电源设计 .....	115
6.4	LED 筒灯的生产流程 .....	118
6.5	LED 筒灯 CCC 或 CQC 认证要求 .....	120
6.6	LED 筒灯的检验标准 .....	122
6.7	LED 筒灯的安装 .....	124
	实训六 LED 筒灯的组装 .....	126
	习题 6 .....	126

<b>第7章 LED吸顶灯设计</b> .....	127
7.1 传统吸顶灯介绍 .....	127
7.2 LED吸顶灯简介 .....	129
7.3 LED吸顶灯的部件介绍 .....	130
7.3.1 驱动电源 .....	130
7.3.2 铝基板 .....	131
7.3.3 灯罩 .....	131
7.3.4 底盘 .....	132
7.3.5 配件 .....	132
7.4 LED吸顶灯驱动电源的设计 .....	134
7.5 LED吸顶灯的生产流程 .....	137
7.6 LED吸顶灯的检验标准 .....	138
7.7 LED吸顶灯的安装 .....	140
实训七 LED吸顶灯的工艺设计与组装 .....	140
习题7 .....	141
<b>第8章 LED面板灯设计</b> .....	142
8.1 LED面板灯简介 .....	142
8.2 LED面板灯配件简介 .....	143
8.3 LED面板灯结构设计 .....	145
8.3.1 LED背发光结构设计 .....	145
8.3.2 LED侧发光结构设计 .....	145
8.4 LED面板灯的生产流程 .....	148
8.5 LED面板灯的检验标准 .....	150
8.6 LED面板灯安装 .....	152
实训八 LED面板灯的工艺设计与组装 .....	156
习题8 .....	156
<b>第9章 LED路灯设计</b> .....	157
9.1 道路照明简介 .....	157
9.2 LED路灯的主要组成部分 .....	159
9.3 散热器材料的选择 .....	160
9.4 路灯透镜的选择 .....	161
9.4.1 透镜的分类 .....	161
9.4.2 透镜的材质 .....	162
9.4.3 光斑规格 .....	163
9.5 LED路灯结构设计分析 .....	164
9.6 LED路灯生产工艺及检验标准 .....	164
9.7 LED路灯的安装 .....	167
实训九 LED路灯的组装 .....	170
习题9 .....	170
<b>第10章 LED隧道灯设计</b> .....	172
10.1 隧道照明的特点 .....	172

10.2 LED 隧道灯的设计 .....	174
10.2.1 LED 隧道灯光源的选择 .....	175
10.2.2 LED 隧道灯的结构分析 .....	177
10.2.3 LED 隧道灯的散热 .....	177
10.2.4 LED 隧道灯的光学设计 .....	179
10.3 LED 隧道灯生产流程 .....	180
10.4 LED 隧道灯安装 .....	184
实训十 LED 隧道灯的组装 .....	185
习题 10 .....	186
<b>第 11 章 LED 景观照明灯具设计 .....</b>	<b>187</b>
11.1 LED 模组的设计 .....	187
11.2 LED 软灯条的设计 .....	197
11.3 LED 硬灯条的设计 .....	205
11.4 LED 数码管的设计 .....	208
11.5 LED 点光源的设计 .....	212
11.6 LED 流星灯的设计 .....	218
实训十一 LED 景观照明灯的组装 .....	222
习题 11 .....	223
<b>第 12 章 太阳能 LED 路灯设计 .....</b>	<b>224</b>
12.1 太阳能 LED 路灯 .....	224
12.2 太阳能 LED 路灯部件的简介 .....	225
12.3 太阳能 LED 路灯设计方案 .....	232
12.4 太阳能 LED 路灯应用实例 .....	235
12.5 太阳能 LED 路灯的安装 .....	241
实训十二 太阳能 LED 路灯配置方案的设计 .....	244
习题 12 .....	245
<b>附录 .....</b>	<b>246</b>
附录 A LED 标准或技术文件 .....	246
附录 B IP 防护等级 .....	248
附录 C LED 照明灯具认证简介 .....	249
附录 D LED 照明灯具生产常用设备的简介 .....	251
附录 E 常用 LED 灯珠外形图 .....	252
<b>参考文献 .....</b>	<b>255</b>



# 第 1 章 光学与视觉

## 1.1 光

### 1) 光的基本特性

光是一定波长范围内的一种电磁辐射。电磁辐射的波长范围很广，最短的如宇宙射线，其波长只有  $10^{-14} \sim 10^{-15} \text{m}$ ，最长的如无线电波，其波长可达数千千米。在电磁辐射范围内，只有波长在  $380 \sim 780 \text{nm}$  范围内的电磁辐射能够引起人的视觉，人眼可以看见的光谱称为可见光谱，如图 1-1 所示。电磁波谱波长区域如表 1-1 所示。

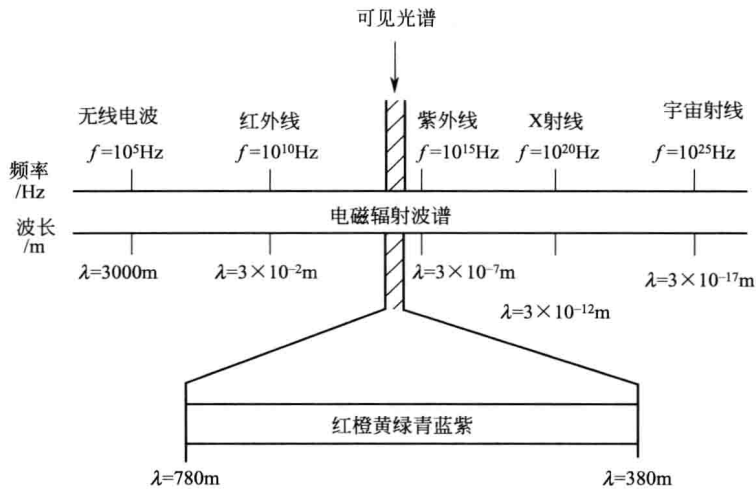


图 1-1 电磁辐射波谱

表 1-1 电磁波谱波长区域

电磁波谱种类	波长范围			
	nm	$\mu\text{m}$	cm	m
长波振荡				$>10^5$
无线电波				$1 \sim 10^5$
微波			$10^{-1} \sim 10^2$	
红外线		$0.77 \sim 10^3$		
可见光	$380 \sim 770$			
紫外线	$10 \sim 390$			
X 射线	$10^{-3} \sim 50$			
$\gamma$ 射线	$10^{-5} \sim 10^{-1}$			
宇宙射线	$<10^{-5}$			

$1\text{m} = 10^2\text{cm} = 10^6\mu\text{m} = 10^9\text{nm}$

人眼能起视觉反应的最长和最短波长分别为  $780 \text{nm}$  和  $380 \text{nm}$ ，它们分别处在光谱的红色端与紫色端。不同波长的辐射进入人眼的颜色感受不同，所以 LED 光的颜色与进入人眼的光

辐射的相对光谱能量分布有关，当进入眼睛的光谱辐射波长发生改变或者它们的相对光谱能量分布发生改变时，人眼对光的颜色感受也随着发生变化。不同色觉的波长范围如表 1-2 所示。

表 1-2 各种颜色光线的波长

光 色	波长/nm	典型波长/nm	光 色	波长/nm	典型波长/nm
红(red)	780~630	700	青(cyan)	500~470	500
橙(orange)	630~600	620	蓝(blue)	470~420	470
黄(yellow)	600~570	580	紫(violet)	420~380	420
绿(green)	570~500	550			

## 2) 光的常用术语

(1) 发光强度 (luminous intensity) 又称为光度或光强。发光强度是指发光体在特定方向单位立体角内所发射的光通量，符号为  $I$ ，单位是坎德拉 (cd)。其定义为光源在这一方向上立体角内发射的光通量与该立体角之商，光强常用于说明光源和照明灯具发出的光通量在空间各方向或在选定方向上的分布密度。

注：1 坎德拉等于 1 流明每球面度。

(2) 光通量 (luminous flux) 又称为光束，是指发光体每秒钟所发出的光量的总和，是国际上通常的人眼视觉特性评价的辐射通量。

① 流明 (lumen, lm) 是光通量的单位，均匀发光强度的 1 烛光 (坎德拉) 的点光源，在单位立体角内所发射的光通量为 1 流明；或者所有距此光源均为单位距离处的单位面积上所接受的光通量为 1 流明。

② 光通量表示发光体发光的多少，发光愈多流明数愈大。在照明工程中，光通量是考察光源发光能力的基本量。

(3) 亮度 (luminance) 是指发光体在特定方向单位立体角单位面积内的光通量。亮度是一单位表面在某一方向上的光强密度，它等于该方向上的光强与此面在这个方向上的投影面积之商，用符号  $L$  表示。亮度单位是坎德拉每平方米 ( $\text{cd}/\text{m}^2$ )。

(4) 照度 (illuminance) 是指受照射平面上接受的光通量的面密度，即被照面上单位面积  $S$  上接受的光通量，符号为  $E(E=\Phi/S)$ 。单位是勒克斯，符号为  $\text{lx}$ 。

注：1 勒克斯等于 1 流明的光通量均匀分布在 1 平方米表面上所产生的照度，即  $1\text{lx}=1\text{lm}/\text{m}^2$ 。照度表示被照物体照得有多亮，是照明设计中一个重要的指标。

光通量、光强、照度、亮度之间的关系如图 1-2 所示。

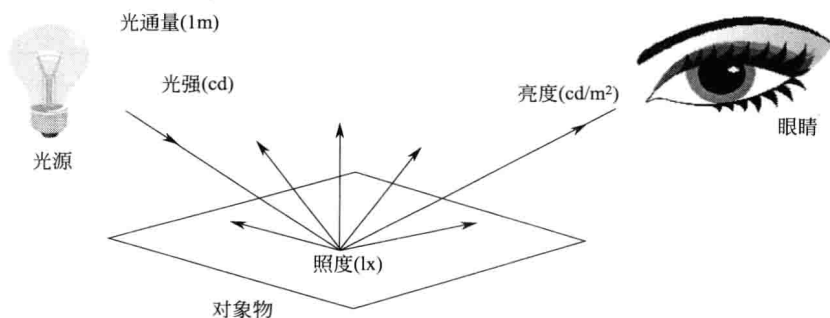


图 1-2 光通量、光强、照度、亮度之间的关系示意图

(5) 色温 (K) 光源的颜色常用色温这一概念来表示。光源发射光的颜色与黑体在某一温度下辐射光色相同时，黑体的温度称为该光源的色温，以热力学温度  $K$  来表示。在黑体辐

射中,随着温度不同,光的颜色各不相同,黑体呈现由红—橙红—黄—黄白—白—蓝白的渐变过程。某个光源所发射的光的颜色,看起来与黑体在某一个温度下所发射的光颜色相同时,黑体的这个温度称为该光源的色温。“黑体”的温度越高,光谱中蓝色的成分则越多,而红色的成分则越少。例如,白炽灯的光色是暖白色,其色温表示为2700K,而日光色荧光灯的色温表示方法则是6000K。不同的色温会引起人们在情绪上不同的反应。一般情况下,在高照度环境中建议使用高色温的光源,在低照度环境中建议使用低色温的光源。不同的光源环境呈现不同的色温,如表1-3所示。不同的环境需要合适色温的光源,如表1-4所示。光源色温不同,光色也不同,色温在3000K以下有温暖的感觉,达到稳重的气氛;色温在3000~5000K为中间色温,有爽快的感觉;色温在5000K以上有冷的感觉。

表 1-3 光源环境与色温

光源	色温/K	光源	色温/K
北方晴空	8000~8500	高压汞灯	3450~3750
阴天	6500~7500	暖色荧光灯	2500~3000
夏日正午阳光	5500	卤素灯	3000
金属卤化物灯	4000~4600	钨丝灯	2700
下午日光	4000	高压钠灯	1950~2250
冷色荧光灯	4000~5000	蜡烛光	2000

表 1-4 环境与色温

名称	色温范围/K	典型色温/K	显色指数	说明
暖白	2670~3500	3000	80	暖色光与白炽灯相近,红光成分较多,能给人温暖、健康、舒适的感觉。适用于家庭、住宅、宿舍、宾馆等场所或温度较低的地方
中性白	3500~4500	4100	75	中性色由于光线柔和,使人有愉快、舒适、安详的感觉。适用于商店、医院、办公室、饭店、餐厅、候车室等场所
冷白	4500~10000	6500	70	光源接近自然光,有明亮的感觉,使人精力集中。适用于办公室、会议室、教室、绘图室、设计室、图书馆的阅览室、展览橱窗等场所

(6) 显色指数 (Ra) 光源的显色性由显色指数来表示,表示物体在光下颜色比基准光照明时颜色的偏离,能较全面反映光源的颜色特性,单位 Ra。显色指数的分类与应用如表 1-5 所示。

表 1-5 显色指数的分类与应用

显色指数分组	平均显色评价数值	应用范围
I	$R_a > 90$	色检查、临床检查、美术馆、印刷、广告
II	$90 > R_a \geq 80$	住宅、饭店、商店、医院、学校、精密加工写字楼、印刷厂等
III	$80 > R_a \geq 60$	一般作业场所
IV	$60 > R_a \geq 40$	粗加工工厂
V	$40 > R_a \geq 20$	贮藏室等变色要求不高的场所

① 显色指数越高,色彩失真越小。通常用正常日光作标准光源。国际照明委员会(CIE)把太阳的显色指数定为100。

② 显色指数高的光源,对颜色的表现较好,人眼所看到的颜色也就更接近自然原色。显色指数低的光源,对颜色的表现较差,人眼所看到的颜色偏差也较大。

③ 要正确表现物体本来的颜色,需使用显色指数高的光源。显色指数越大,则失真越少;反之,失真越大,显色指数就越小。

注:显色指数越高,显色性越好;色温越高,偏蓝色给人的感觉越清爽;色温低,偏红色给人一种鲜艳温暖感。

(7) 光效 (lm/W) 光源效率是以前所发出的光的流明除以其耗电量所得之值。即：

$$\text{光源效率}(\text{lm/W}) = \text{流明}(\text{lm}) / \text{耗电量}(\text{W})$$

① 电光源将电能转化为光的能力，以发出的光通量除以耗电量来表示。

② 光源效率是指每瓦电力所转换成光的量，其数值越高表示光源效率越高。光源效率通常是一个重要的考虑因素。

常用光源的光效如表 1-6 所示。

表 1-6 常用光源的光效

光源种类	光效/(lm/W)	光源种类	光效/(lm/W)
白炽灯泡	16	石英卤素灯	25
水银灯	65	普通日光灯	75
三基色荧光灯	88	T5 荧光灯	92
eHF 荧光灯	104	高压钠气灯	130
低压钠气灯	200		

(8) 寿命 (h)

① 平均寿命指一批灯泡点灯至其 50% 的数量损坏不亮时的小时数。

② 额定寿命指在长期制造的同一形式的灯具点灯 2.5h，灭灯 0.5h 的连续反复试验条件下，到“大多数灯不能再点亮为止的点灯时间”或“全光束下降到初光束的 70% 时的点灯时间”中短的平均值。

③ 经济寿命指在同时考虑灯泡之损坏以及光衰的状况下，其总和光束输出减至一特定比例的小时数。室外的光源为 70%，室内的光源为 80%。

(9) 光通维持率 (luminous flux maintenance) 灯在规定的条件下点燃，在寿命期间内一特定时间的光通量与该灯的初始光通量之比，以百分数来表示。

注：国标要求是 2000h 不小于 78%，国外先进水平是 2000h 不小于 90%，美国能源之星标准是 40% 额定寿命时不小于 80%。

(10) 照明功率密度 (lighting power density, LPD) 单位面积上的照明安装功率 (总功率)，单位为瓦特每平方米 ( $\text{W}/\text{m}^2$ )。

(11) 眩光 视野内有亮度极高的物体或强烈的亮度对比，可以造成视觉不舒适称为眩光。眩光是影响照明质量的重要因素。

### 3) LED 的光学参数

(1) 光通量 光通量是表征 LED 总光输出的辐射能量，也是器件性能优劣的标志。光通量为 LED 向各个方向发光的能量之和，与工作电流直接有关。

① 光通量与芯片材料、封装工艺水平及外加恒流源大小有关。

② 随着电流增加，LED 光通量随之增大。

(2) 发光强度 发光强度是表征发光器件发光强弱的重要性能。

① LED 具有很强的指向性，位于法向方向发光光强最大，其与水平面交角为  $90^\circ$ 。当偏离法向不同  $\theta$  角度时，发光光强也随之变化。

② 发光强度随着不同封装形状而不同，发光强度依赖发光角的方向。

③ 发光强度的角分布  $\theta$  是描述 LED 发光在空间各个方向上的光强分布。

④ 发光强度主要取决于 LED 封装工艺、LED 透镜材料与曲率、LED 芯片的反光杯。

(3) 峰值波长 无论是什么材料制成的 LED 都有一个相对光强度最强处 (发光强度最大)，与之相对应的波长称为峰值波长，用  $\lambda_p$  表示。

注：单色光才有 $\lambda_p$ 波长。

(4) 光谱半波宽度 在LED谱线的峰值两侧 $\pm 1/2\Delta\lambda$ 处，存在两个光强等于峰值（最大光强度）一半的点，分别对应 $\lambda_p - 1/2\Delta\lambda$ ， $\lambda_p + 1/2\Delta\lambda$ ，两者之间的宽度叫光谱半波宽度。光谱半波宽度如图1-3所示。

(5) 主波长 主波长是为了描述LED色度特性而引入的。主波长就是人眼所能观察到的，由LED发出主要单色光的波长。单色性好，则 $\lambda_p$ 也就是主波长。

(6) 发光效率 辐射出光能量（发光量）与输入电能之比。

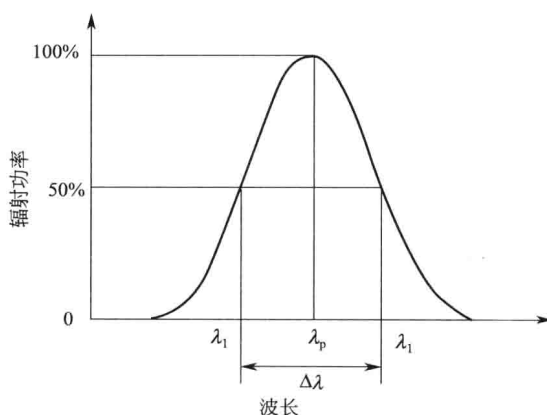


图 1-3 光谱半波宽度

注：量子效率 $\eta$ =发射的光子数/PN结载流子数。

(7) 流明效率 LED的光通量与外加耗电功率（总功率）之比。

注：LED的流明效率高，是指在同样外加电流下辐射可见光的能量较大。

(8) 亮度 具有很强方向性，法线方向的亮度，指定某方向上发光体表面亮度等于发光体表面上单位投射面积在单位立体角内所辐射的光通量，单位为 $\text{cd}/\text{m}^2$ 或nit。

注：LED亮度与外加电流密度、环境温度有关，环境温度升高，复合效率下降，发光亮度减小。

## 1.2 视 觉

### 1) 视觉

光作用于视觉器官，使感受细胞兴奋，其信息经视觉神经系统加工后便产生视觉（vision）。通过视觉，人和动物感知外界物体的大小、明暗、颜色、动静，获得对机体生存具有重要意义各种信息。至少有80%以上的外界信息经视觉获得，视觉是人和动物最重要的感觉。人眼的结构如图1-4所示。

视觉的形成是：光线→角膜→瞳孔→晶状体（折射光线）→玻璃体（固定眼球）→视网膜（形成物像）→视神经（传导视觉信息）→大脑视觉中枢（形成视觉）。

### 2) 光谱光视效能

光视效能描述某一波长的单色光辐射通量可以产生多少相应的单色光通量，即光视效能定义为同一波长下测得的光通量与辐射通量的比值，单位为流明/瓦特（ $\text{lm}/\text{W}$ ）。

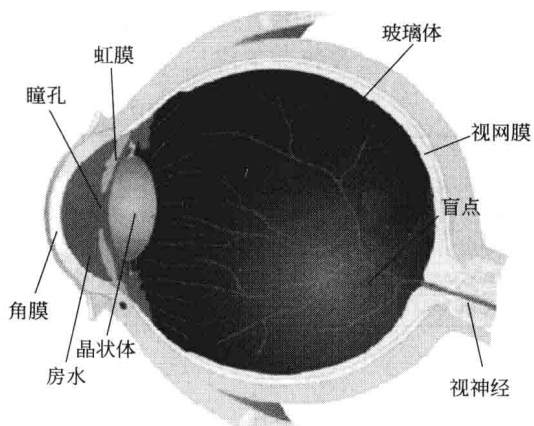


图 1-4 人眼的结构

$$\Phi_v(\lambda) = K_m V(\lambda) \Phi_e(\lambda) \quad (1-1)$$

光和辐射之间的关系，等于光通量与相应的辐射通量之商。对于复合辐射，其符号为  $K$ 。式(1-1)中， $\Phi_e$  为光通量； $\Phi_v$  为辐射通量； $V(\lambda)$  是光谱光视效率； $K_m$  是  $K(\lambda)$  的最大值，称为最大光谱光视效能。

注：1977年国际计量委员会统一采用频率为  $540 \times 10^{12}$  Hz 的单色辐射（相当于  $\lambda = 555\text{nm}$ ）的最大光谱光视效能  $K = 683\text{lm/W}$ 。

### 3) 视觉适应

视觉适应是视觉器官的感觉随外界亮度的刺激而变化的过程。视觉适应的机制包括视细胞或神经活动的重新调整、瞳孔的变化及明视觉与暗视觉功能的转换。由黑暗环境进入明亮环境，眼睛过渡到明视觉状态称为明适应，所需时间为几秒或几分钟。由明亮环境进入黑暗环境，转换成暗视觉状态称为暗适应，这个过程约需要十几分钟到半小时。频繁的视觉适应会导致视觉迅速疲劳。

(1) 光适应 人刚从暗处走到亮处的时候，最初的一瞬间会感到强光耀眼发眩，眼睛睁不开，什么都看不清楚，要过几秒钟才能恢复正常，这就是光适应现象。光适应是视觉器官对强光的感受性下降的过程。一般说来，在最初半分钟内感受性下降很快，以后适应的速度有所减慢，2~3min 内即可达到稳定水平。

(2) 暗适应 人刚从亮处走进暗室的时候，开始什么也看不见，经过相当长的时间，视觉才恢复，这就是暗适应的过程。暗适应是由于光刺激由强到弱的变化，使眼睛的感受性相应地发生由低到高的变化。

### 4) 可见度与眩光

(1) 可见度 可见度又称能见度，指观察者离物体多远时仍然可以清楚看见该物体。天气好的时候能见度高，数值大；天气不好时能见度低，数值小。低能见度多出现于雨天、大雾及有烟霞的日子。能见度对于航空、航海和驾驶汽车都非常重要。

(2) 眩光 视野中由于不适宜亮度分布，或在空间或时间上存在极端的亮度对比，以致引起视觉不舒适和降低物体可见度的视觉条件称为眩光。眩光是影响照明质量的最重要因素。

眩光按其效应又可分为失能眩光和不舒适眩光。失能眩光又称为生理眩光，生理眩光会妨碍对物体的视看效果，使视功能下降，不一定引起不舒适。不舒适眩光又称为心理眩光，会使人不舒适，不一定妨碍对物体的视觉功能效果。CIE 对于眩光限制的质量等级如表 1-7 所示，表 1-7 也可以看作是照明质量的分级。从 A 向 E 变化，亮度限制的要求逐渐降低，眩光逐渐增加，照明的质量逐渐下降。

表 1-7 CIE 对于眩光限制的质量等级

质量等级	作业或活动的类型
A(很高质量)	非常精确的视觉作业
B(高质量)	视觉要求高的作业，中等视觉要求的作业，但需要注意力高度集中
C(中等质量)	视觉要求中等的作业，注意力集中程度中等，工作者有时要走动
D(质量差)	视觉要求和注意力集中程度的要求比较低，而且工作者常在规定的区域内走动
E(质量很差)	工作者要求限于室内某一工位，而是走来走去，作业的视觉要求低，或不为一群人持续使用的室内区域

## 1.3 颜色

LED 的发光颜色、发光效率与制作 LED 的材料和制作工艺有关。常用的 LED 光源的颜色有红、绿、蓝、黄、白等多种颜色。波长不同，颜色也就不同。GaAs（砷化镓）发红光、

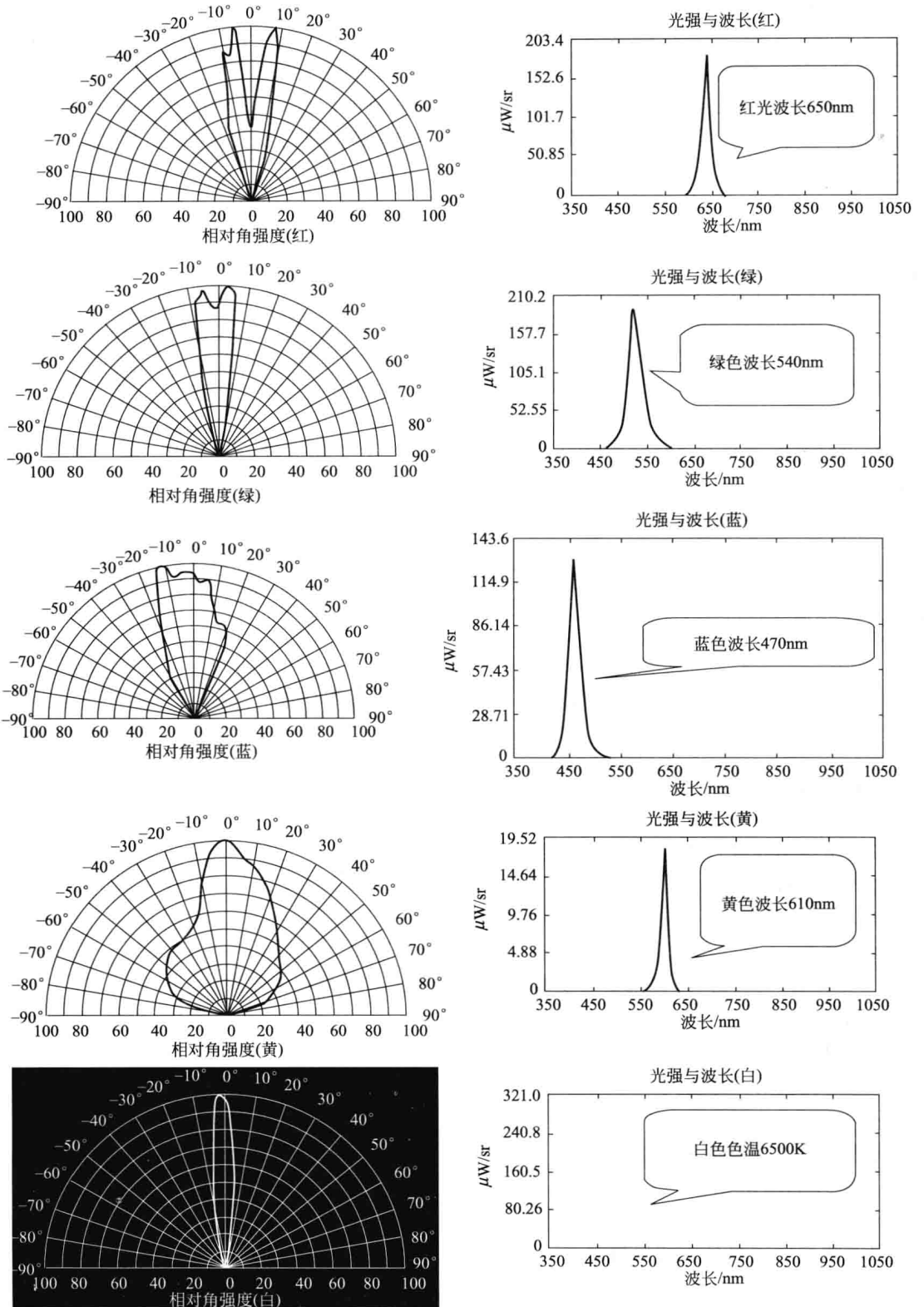


图 1-5 红、绿、蓝、黄、白光谱图

GaP（磷化镓）发绿光、GaN（氮化镓）发蓝光。

注：两种元素生产的LED称为二元素LED；三种元素Ga、As、P生产的LED称为三元素LED；四种元素混合铝（Al）、镓（Ga）、铟（In）、氮（N）生产的LED，称为四元素LED。

光的颜色是波长决定的，光的波长是以纳米为单位的，也就是十亿分之一米。LED发出的光的波长几乎都是一致的，发出非常纯的颜色。光的颜色及其波长如表1-8所示。

表 1-8 光的颜色及其波长

颜 色	波长/nm	说 明	颜 色	波长/nm	说 明
中红外线	4600~1600	不可见光	黄光	585	
低红外线	1300~870	不可见光	绿光	525	
红光	660		蓝绿光	495	天蓝色
橙光	610		蓝光	450	
紫光	405		蓝紫光	430	

① 波长的数值越大，在相等条件下可视效果越好。

② 可见光的波长在 380~780nm 范围内，在光谱中见到的红、橙、黄、绿、青、蓝、紫光的范围。

③ 颜色有明暗的差别、深浅的区别。颜色有强弱深浅、鲜浊、饱和度的差别。

白光 LED 有微黄色的到略带紫色的白光。白光 LED 的色温范围 2700~12000K。常见的白光 LED 的色温通常都是 2700~6500K 范围内。红、绿、蓝、黄、白光谱图如图 1-5 所示。

## 实训一 光照度的测量

### 一、实训目的

- (1) 进一步理解光照度的含义。
- (2) 学会用照度计测量照明空间的光照度。

### 二、实训内容与要求

- (1) 内容：测试一个实验室的平均光照度。
- (2) 要求：
  - ① 实验前，通过网络或书籍查询教室、实验室光照度的有关要求。
  - ② 用照度计检验当前实验室的平均照度。

### 三、实训设备与工具

- ① 实训设备：照度计。
- ② 实训工具：量尺。

### 四、照度计的测试原理和方法

#### 1. 照度的测试原理

照度是受照平面上接受的光通量的面密度。照度计是用于测量被照面上的光照度的仪器，是光照度测量中用得最多的仪器之一。

#### 2. 照度计的结构

照度计由光度头〔又称受光探头，包括接收器、 $V(\lambda)$  对滤光器、余弦修正器〕和读数显示器两部分组成，其结构如图 1-6 所示。



3. 测量步骤和方法

(1) 平均照度 在工作房间内，应该在每个工作地点（如书桌、工作台）测量照度，然后加以平均。对于没有确定工作地点的空房间或非工作房间，如果单用一般照明，通常选 0.8m 高的水平面测量照度。将测量区域划分成大小相等的方格（或接近方形），测量每个方格中心的照度  $E_i$ ，其平均照度等于各点照度的平均值，即

$$E_{av} = \sum E_i / N$$

式中， $E_{av}$  为测量区域的平均照度； $E_i$  为每个测量网格中心的照度； $N$  为测点数。

(2) 照度均匀度 照度均匀度是指规定表面上的最小照度与平均照度之比。

测量房间每个方格的边长为 1m，大房间可取 2~4m。走道、楼梯等狭长的交通地段沿长度方向中心线布置测点，间距 1~2m，测量平面为地平面或地面上 150mm 水平面。

测点数目越多，得到的平均照度值越精确，不过也要花费越多的时间和精力。如果  $E_{av}$  的允许测量误差为  $\pm 10\%$ ，可以用根据室形指数选择最少测点的办法减少工作量，两者的关系如表 1-9 所示。若灯具数与表给出的测点数恰好相等，则必须增加测点。

表 1-9 室形指数与测点数的关系

室形指数 $K_r$	最少测点数	室形指数 $K_r$	最少测点数
<1	4	2~3	16
1~2	9	$\geq 3$	25

注：室形指数的计算公式如下：

$$K_r = LW / h_r(L+W)$$

式中， $L$ 、 $W$  为房间的长和宽； $h_r$  为由灯具至测量平面的高度。

五、实训步骤

- (1) 根据测量空间设计测量网格，测量高度。
- (2) 用照度计测量各网格中心的照度值。
- (3) 计算测量空间的平均照度。
- (4) 计算测量空间的照度均匀度。

六、实训总结

撰写实训报告，根据实训过程中实践的情况，归纳、总结实训中存在的问题以及改进方法。

习 题 1

1. 可见光电磁波谱波长的区域是多少？
2. 简述“红、橙、黄、绿、青、蓝、紫”等颜色的典型波长。
3. 简述光通量、流明、色温、显色指数等光学指标的概念。
4. 简述大自然各种气候环境对应的色温情况。

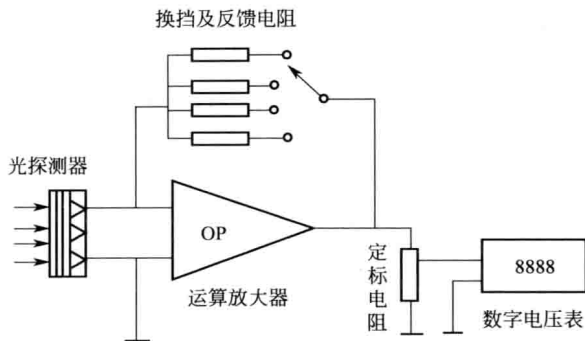


图 1-6 照度计的结构