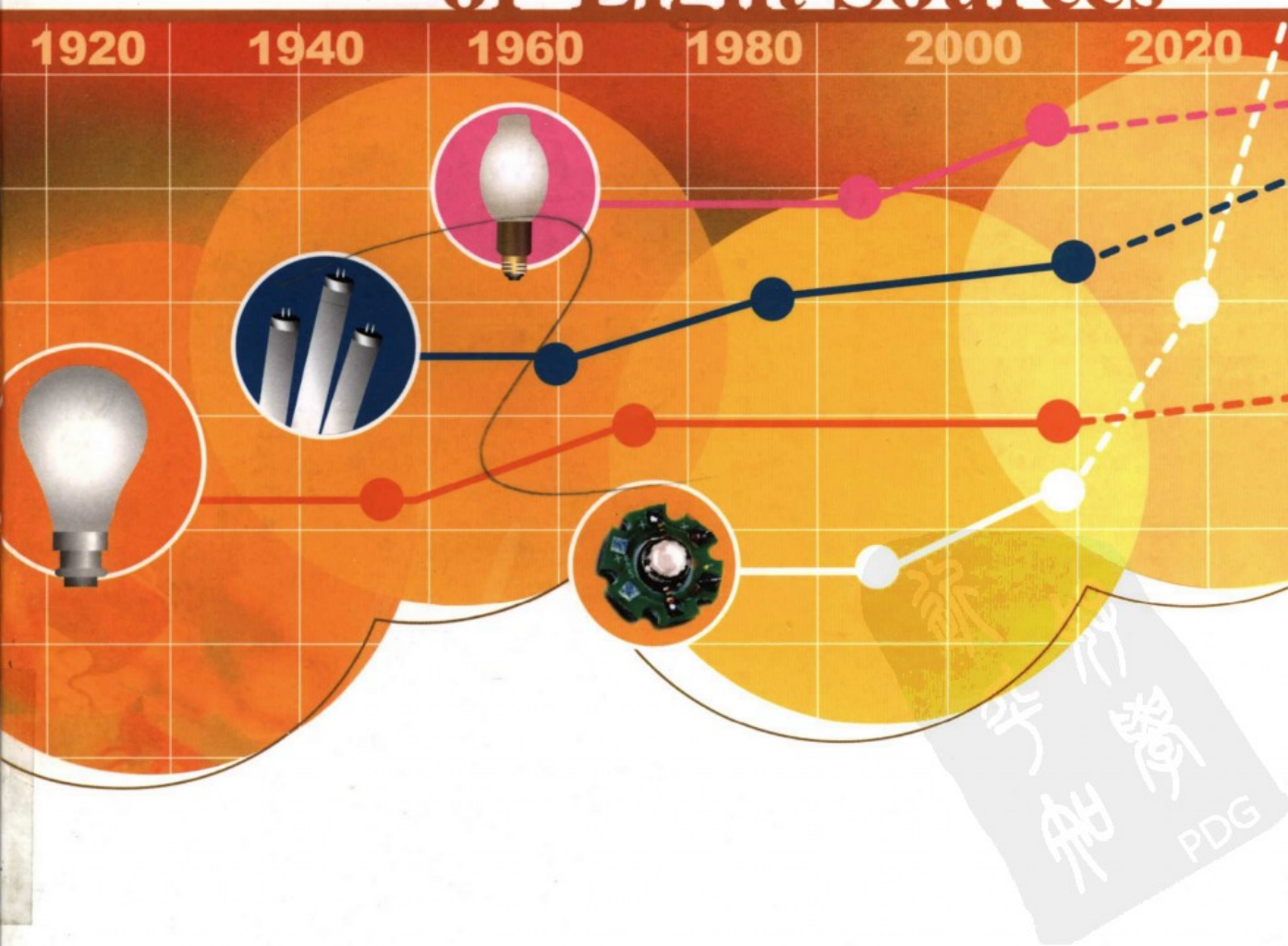


周太明 周 详·蔡伟新 编著

光源原理与设计

(第二版)

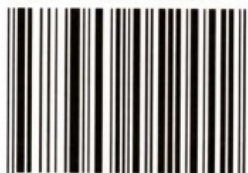
Principle & Design
of Light Sources



復旦大學 出版社

- 日本松下电子公司原常务董事、照明事业部部长神谷茂博士在对这本书的评论中写道：“这是一本写得很好的有关光源理论和各种光源实际设计的书.我相信这本书是世界上出版的同类书中最好的书之一。”
- 松下电工原中央工程部副部长、日本照明学会原副会长田渊义彦博士来信说：“从基础到应用，一个完整的体系被建立了，在仔细研读之后，从内心感到佩服。”
- 我国台湾科技大学的著名教授肖弘清博士在其电子邮件中说：“《光源原理与设计》一书多年来一直是照明界及电机技师所推崇的Bible……台湾的照明与学术界真是受益良多。”
- 该书曾荣获中国轻工业科技进步一等奖。

ISBN 7-309-05244-7



9 787309 052442 >

0·383 定价：72.00元

策划编辑：范仁梅
责任编辑：范仁梅
封面设计：冯晓丽

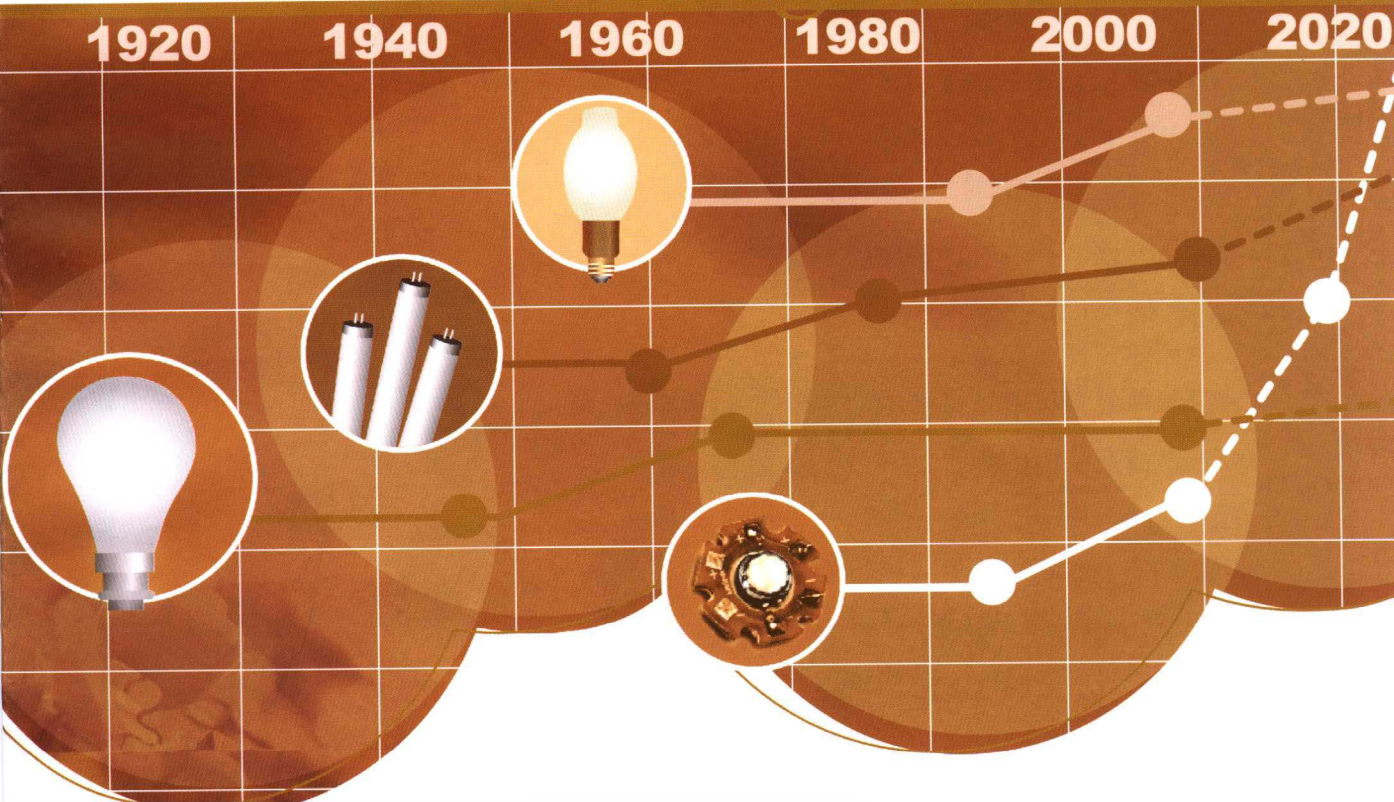


周太明 周 详 蔡伟新 编著

光源原理与设计

(第二版)

Principle & Design
of Light Sources



復旦大學出版社

图书在版编目(CIP)数据

光源原理与设计(第二版)/周太明,周详,蔡伟新编著. —2版.
—上海:复旦大学出版社,2006.12
ISBN 7-309-05244-7

I. 光… II. ①周…②周…③蔡… III. 电气照明-光源-
基本知识 IV. TM923.01

中国版本图书馆CIP数据核字(2006)第133981号

光源原理与设计(第二版)

周太明 周 详 蔡伟新 编著

出版发行 复旦大学出版社 上海市国权路579号 邮编200433
86-21-65642857(门市零售)
86-21-65118853(团体订购) 86-21-65109143(外埠邮购)
fupnet@fudanpress.com http://www.fudanpress.com

责任编辑 范仁梅
装帧设计 冯晓丽
总 编 辑 高若海
出 品 人 贺圣遂

印 刷 上海浦东北联印刷厂
开 本 787×1092 1/16
印 张 32.75 插页 2
字 数 798千
版 次 2006年12月第二版第一次印刷
印 数 1—5100

书 号 ISBN 7-309-05244-7/O·383
定 价 72.00元

如有印装质量问题,请向复旦大学出版社发行部调换。
版权所有 侵权必究

主要作者简介



周太明教授自1964年从复旦大学物理系电子物理专业毕业后，一直从事光源与照明的研究和教学工作。20世纪80年代，曾在日本松下公司照明研究所和美国加州(伯克利)大学劳伦兹实验室进修。1990年，被中国轻工业部科学技术委员会聘为“中国照明电器专家组”成员，1999年被选为上海市汽车工程学会理事和中国照明学会理事，2003年被聘为“上海市光电子行业协会专家委员会”专家，自2001年起担任上海市政府采购咨询专家至今。

周太明教授先后在国内外杂志上发表多篇论文，并有几本专著。他是1977年由上海人民出版社出版的《电光源原理》一书的主要编著者，负责该书的统稿和出版事宜。1993年，出版了《光源原理与设计》。2001年，他与皇甫炳炎老师、飞利浦照明全国设计经理姚梦明等编著了《电气照明设计》一书。上述两本书都是复旦大学光源与照明工程系本科生的教材。2003年，他与宋贤杰教授和姚梦明等受中国绿色照明促进项目办公室的委托，编著了《高效照明系统设计指南》。这本书曾经被中国照明学会定为进行照明设计师资格认证的基本培训教材。

周太明教授曾经给本科生和研究生讲授过“气体放电”、“光源原理”、“专业英语”、“色度学”和“照明设计”等课程。为表彰他在教书育人中的杰出表现，1997年授予他“上海市育才奖”。他参与和领导过不少科研项目，获得多项奖励。“金属卤化物灯和高显色高压钠灯的研究”获国家教委科技进步二等奖；“自动光谱辐射光度计”获上海市科技进步二等奖；“超微粒不球磨荧光粉的应用研究”获上海市科技进步三等奖；“崖门大桥建设成套技术”获广东省科学技术奖一等奖，他参与了其中的照明工作。他编著的《光源原理与设计》一书还荣获中国轻工业科技进步一等奖。

周太明教授曾经给本科生和研究生讲授过“气体放电”、“光源原理”、“专业英语”、“色度学”和“照明设计”等课程。为表彰他在教书育人中的杰出表现，1997年授予他“上海市育才奖”。他参与和领导过不少科研项目，获得多项奖励。“金属卤化物灯和高显色高压钠灯的研究”获国家教委科技进步二等奖；“自动光谱辐射光度计”获上海市科技进步二等奖；“超微粒不球磨荧光粉的应用研究”获上海市科技进步三等奖；“崖门大桥建设成套技术”获广东省科学技术奖一等奖，他参与了其中的照明工作。他编著的《光源原理与设计》一书还荣获中国轻工业科技进步一等奖。

内 容 提 要

本书第一版作为复旦大学光源与照明工程系本科生的教材和行业内工程技术人员的参考书，受到广大学生和科技人员的欢迎，并得到国内外专家的高度评价，曾获得中国轻工业科技进步一等奖。第二版在保持并发扬前一版特色的基础上，增加了不少新内容，如T5细管径荧光灯、CCFL、平板荧光灯、汽车用无汞金属卤化物灯、陶瓷金属卤化物灯、UHP光源等；尤其是新增加的一章“电致发光光源”，重点介绍LED，反映了10多年来国内外电光源科技发展的新成果。

本书共12章，论述了各种热辐射光源和气体放电光源的原理、特性与设计方法；为便于读者掌握以上内容，还对光辐射、气体放电，以及光度、色度测量等加以简要介绍。本书既重视对理论的系统分析，又十分注意理论和实际的结合。

本书可作为大专院校相关专业本科生、研究生的教材，也可供从事灯和照明电器生产、开发和研究的工程技术人员、高等院校师生和科学研究人员参考。



前 言

本书第一版面世于1993年。10多年来,该书作为复旦大学光源与照明工程系本科生的教材和行业内工程技术人员的参考书,受到广大学生和科技人员的欢迎,并得到国内外专家的高度评价。日本松下电子公司原常务董事、照明事业部部长神谷茂博士在对这本书的评论中写道:“这是一本写得很好的有关光源理论和各种光源实际设计的书。我相信这本书是世界上出版的同类书中最好的书之一。”松下电工原中央工程部副部长、日本照明学会原副会长田渊义彦博士来信说:“从基础到应用,一个完整的体系被建立了,在仔细研读之后,从内心感到佩服。”我国台湾科技大学的著名教授肖弘清博士在其电子邮件中说:“《光源原理与设计》一书多年来一直是照明界及电机技师所推崇的Bible……台湾的照明与学术界真是受益良多。”鉴于这本书的学术水平以及它在培养我国光源科技人才方面所起的积极作用,1997年该书荣获中国轻工业科技进步一等奖。

在本书第一版问世后的10多年里,国内外电光源科学技术又有了长足的发展。在原书脱销多年的情况下,笔者决定将其修订再版,以满足新、老读者的需求。

这个修订版是集体劳动的成果。周详除负责荧光灯一章的修订外,还参与了其他一些内容的修订;卞娟和周志贤提供了有关荧光灯方面的部分素材;蔡伟新编写了新增加的一章“电致发光光源”;薛源参与了修订方案的讨论。在书稿的修订过程中,还与蔡祖泉、甘子光、陈燕生、杨正名、沈季平、王建荣、高光义、王大有、倪新达、潘建根等进行了非常有益的研讨。本书出版发行过程中,得到屈素辉和王东明的帮助。上海复社图文制作中心做了大量卓有成效的工作。李振华、周莉老师以及王辉、张显海同学协助审读、校对了全书的文稿。为本书再版,范仁梅老师给予了很多帮助,付出了辛勤劳动。

本书的再版还得到飞利浦公司、欧司朗公司、上海亚明灯泡厂有限公司和深圳海洋王照明公司等的支持,以及刘经伟、李志君、周明杰、张欣、金鑫、石丽、邵介圣、刘剑平和黄翀雯等的帮助。

笔者衷心感谢对修订版给予帮助的同仁,也感谢读者对这本书的关注。由于我们水平和时间所限,只是对部分内容进行了修订和补充。书中如有不当之处,欢迎指正。

周大明

2006年8月

目 录

第一章 光源的特性参量	1
1.1 光源的辐射特性	1
1.2 人眼的视觉	4
1.3 照明光源的光学特性	8
1.3.1 光通量、光强度、光照度、光亮度和光量	8
1.3.2 光效	12
1.3.3 光源的色温和显色性	13
1.4 光源的电气特性和寿命.....	14
1.4.1 光源的电气特性	14
1.4.2 灯的寿命	16
第二章 普通白炽灯	17
2.1 热辐射.....	17
2.1.1 基尔霍夫定律	17
2.1.2 黑体辐射的基本规律	18
2.1.3 实际辐射体	22
2.2 普通白炽灯的材料和结构.....	24
2.3 白炽灯的充气问题.....	28
2.3.1 气体稳定层及其计算	29
2.3.2 充气对抑制钨蒸发的作用	30
2.3.3 气体的热损失	32
2.4 白炽灯灯丝的设计.....	34
2.4.1 白炽灯灯丝设计的统一公式	34
2.4.2 灯丝设计的经验公式	39
2.4.3 灯丝设计的外推法	40
2.5 白炽灯的运用特性.....	41
2.6 白炽灯的发展动向.....	44
2.6.1 白炽灯的小型化	44
2.6.2 反射型白炽灯	45
2.6.3 带红外反射层的白炽灯	47
第三章 卤钨灯	50
3.1 卤钨循环的原理.....	50
3.2 卤钨循环剂.....	52
3.3 卤钨灯的结构和制造.....	56
3.3.1 泡壳和封接	56

3.3.2	灯丝和支架	58
3.3.3	卤钨灯的充气考虑	59
3.3.4	卤钨灯的红外反射膜	60
3.4	卤钨灯的应用	63
第四章	气体放电灯的基本原理	70
4.1	气体放电的基础知识	71
4.1.1	电子发射和电极	71
4.1.2	碰撞、激发和电离	73
4.1.3	带电粒子在气体中的运动	78
4.1.4	气体放电的形成和分类	82
4.2	气体放电的辐射	92
4.2.1	原子和分子的量子态	92
4.2.2	原子发光和分子发光	95
4.3	光谱线的放宽	99
4.3.1	光谱线的轮廓	99
4.3.2	谱线的自然宽度	101
4.3.3	谱线的多普勒放宽	102
4.3.4	谱线的压力放宽	103
4.4	辐射转移	113
4.4.1	光谱发射系数和吸收系数	113
4.4.2	辐射转移方程	115
4.4.3	光性薄圆柱光源的发射	118
4.4.4	光性厚圆柱光源的发射	119
4.5	气体放电灯的稳定工作	124
4.5.1	气体放电灯的负阻特性	124
4.5.2	电阻镇流	125
4.5.3	电感镇流	129
4.5.4	电容镇流	132
4.5.5	电感-电容镇流	134
第五章	低压水银荧光灯	135
5.1	低压汞蒸气放电的实验研究	137
5.1.1	低压汞蒸气放电的最佳汞蒸气压	137
5.1.2	惰性气体的作用	138
5.1.3	低压汞灯的直径和长度	139
5.1.4	电流密度的选定	140
5.2	荧光灯放电正柱的理论分析	141
5.2.1	激发态原子的连续性方程	141
5.2.2	带电粒子的平衡方程	144
5.2.3	能量平衡方程	145

5.2.4	电流方程	147
5.2.5	计算步骤	148
5.3	荧光粉层的光学特性	150
5.3.1	灯用荧光粉	150
5.3.2	荧光粉的效率	155
5.3.3	荧光粉层光学特性的分析	155
5.3.4	荧光灯最佳光谱的模拟计算	158
5.4	荧光灯的设计要点	163
5.4.1	灯的尺寸和电参数	163
5.4.2	荧光粉层	166
5.4.3	电极的设计	167
5.4.4	惰性气体的种类和压强	170
5.4.5	灯中汞蒸气压的控制	170
5.5	荧光灯的工作电路	174
5.5.1	镇流器的功能和指标	174
5.5.2	电磁式镇流电路	175
5.5.3	荧光灯的高频工作特性和电子镇流器	177
5.6	荧光灯的工作特性	183
5.6.1	荧光灯的能量平衡	183
5.6.2	光输出维持特性	183
5.6.3	工作条件对灯特性的影响	185
5.6.4	紫外辐射的防护	186
5.7	其他品种的荧光灯	188
5.7.1	T5 荧光灯	188
5.7.2	无极荧光灯	190
5.7.3	冷阴极荧光灯	193
5.7.4	平板荧光灯	198
第六章	高压汞灯和超高压汞灯	202
6.1	高压汞蒸气放电	202
6.1.1	高压汞蒸气放电的电弧温度	202
6.1.2	爱伦巴斯的通道模型	204
6.1.3	高压汞电弧的汞蒸气压	207
6.1.4	高压汞蒸气放电的辐射光谱	208
6.2	高压汞灯	211
6.2.1	高压汞灯的设计要点	211
6.2.2	高压汞灯的制造	217
6.2.3	高压汞灯的工作特性	219
6.3	超高压汞灯	222
6.3.1	超高压汞蒸气放电	222

6.3.2	球形超高压汞灯	223
6.3.3	毛细管超高压汞灯	228
6.4	UHP 光源	232
6.4.1	投影系统的小型、轻量化要求高亮度的点光源	232
6.4.2	UHP 光源是多媒体投影系统需要的理想点光源	233
6.4.3	UHP 光源的设计考虑	235
6.4.4	UHP 光源的工作特性	236
6.4.5	UHP 光源的改进	240
第七章	钠灯	245
7.1	低压钠灯	245
7.1.1	低压钠蒸气放电	245
7.1.2	低压钠灯的结构和设计	248
7.1.3	低压钠灯的工作特性	257
7.2	高压钠蒸气放电	261
7.2.1	高压钠蒸气放电的辐射	261
7.2.2	高压钠电弧的热导损失和电场强度	265
7.2.3	高压钠电弧的温度分布	267
7.3	高压钠灯	270
7.3.1	高压钠灯的结构	270
7.3.2	影响高压钠灯光效因素的分析	272
7.3.3	高压钠灯的设计	274
7.3.4	高压钠灯的类型	276
7.3.5	高压钠灯的工作特性	279
第八章	金属卤化物灯	282
8.1	金属卤化物灯的基本原理	282
8.1.1	金属卤化物循环	282
8.1.2	汞在金属卤化物灯中的作用	284
8.1.3	金属卤化物灯的分类	285
8.2	钠-铊-铟金属卤化物灯	287
8.2.1	铊原子绿线辐射强度的计算	287
8.2.2	钠-铊-铟灯的实验设计	290
8.2.3	金属卤化物灯对工作电路的要求	295
8.2.4	钠-铊-铟灯的工作特性	300
8.3	稀土金属卤化物灯和分子发光灯	302
8.3.1	灯的结构和特性	302
8.3.2	电弧收缩问题	306
8.3.3	金属卤化物灯模型	308
8.4	小功率金属卤化物灯	312
8.4.1	电弧管形状和尺寸的设计	313

8.4.2	小功率金属卤化物灯的开发技术	316
8.4.3	金属卤化物灯的高频工作	320
8.5	金属卤化物灯的新发展	322
8.5.1	UPS型金属卤化物灯	322
8.5.2	陶瓷金属卤化物灯	325
8.5.3	汽车前照灯用金属卤化物灯	340
8.5.4	微波(硫)灯	346
第九章	氙灯	349
9.1	长弧氙灯	351
9.1.1	长弧氙灯的结构与设计	351
9.1.2	长弧氙灯的性能和应用	355
9.2	短弧氙灯	357
9.2.1	短弧氙灯的结构和电弧稳定问题	357
9.2.2	短弧氙灯的亮度	358
9.2.3	短弧氙灯的设计	360
9.2.4	采用水冷电极的大功率短弧氙灯	363
9.2.5	短弧氙灯的应用	365
9.3	脉冲(氙)灯	366
9.3.1	脉冲灯放电的基本过程	366
9.3.2	脉冲灯的电特性	369
9.3.3	脉冲灯的光输出特性	372
9.3.4	脉冲灯的寿命和极限负载	379
9.3.5	脉冲灯的频闪工作	384
9.3.6	脉冲灯的放电模型和灯的设计	387
第十章	电致发光光源	392
10.1	高场型 EL 电致发光光源	392
10.1.1	粉末电致发光光源(PEL)	392
10.1.2	薄膜电致发光光源(TFEL)	394
10.2	发光二极管(LED)	395
10.2.1	LED 器件综述	395
10.2.2	LED 衬底材料	397
10.2.3	LED 发光材料的选择及高亮度发光材料体系	398
10.2.4	高亮度 LED 芯片技术	401
10.2.5	LED 封装技术	405
10.2.6	LED 电学、光学及热特性	406
10.2.7	LED 的效率	409
10.2.8	白光发光二极管	411
10.2.9	发光二极管的应用和展望	414
10.3	有机薄膜电致发光器件(OLED)	419

10.3.1	OLED的发展简况及优势	419
10.3.2	OLED的结构及工作原理	420
10.3.3	OLED应用展望	421
第十一章	辐射量和光度量的测量	423
11.1	标准光源和光探测器	423
11.1.1	标准光源	423
11.1.2	光探测器	425
11.2	单色仪	431
11.2.1	棱镜和光栅的色散	431
11.2.2	单色仪的结构	433
11.2.3	单色仪的波长定标	434
11.2.4	单色仪的分辨率	435
11.2.5	线色散和线色散的倒数	436
11.2.6	单色仪出射光的波长范围	436
11.3	光强度的测量	437
11.3.1	目视法	437
11.3.2	物理法	438
11.3.3	光强分布和分布光度计	438
11.4	光照度的测定	439
11.5	光亮度的测定	441
11.6	光通量的测量	442
11.6.1	由配光曲面求光通量	442
11.6.2	积分球法	445
11.7	光源光谱功率分布的测定	449
11.8	光谱辐射光度计	451
11.9	LED光度特性的测量	452
第十二章	光色的测量	455
12.1	CIE色度学系统	455
12.1.1	RGB系统	455
12.1.2	XYZ系统	459
12.1.3	CIE均匀颜色空间	472
12.2	色度学的几个相关标准	479
12.2.1	CIE标准照明体和标准光源	479
12.2.2	反射率因数的标准	485
12.2.3	CIE标准照明和观测条件	486
12.3	色度坐标的计算和测量	487
12.3.1	色度坐标的计算	487
12.3.2	色度坐标的测量	491
12.4	色温的计算和测量	492

12.4.1	从色坐标图求色温·····	492
12.4.2	计算色温的罗伯逊法·····	494
12.4.3	双色法测色温·····	495
12.5	光源显色性的测定·····	497
12.5.1	孟塞尔颜色样品·····	498
12.5.2	参照(基准)光源(照明体)·····	503
12.5.3	显色指数的计算·····	504
参考文献	·····	509

第一章

光源的特性参量

1.1 光源的辐射特性

光是一种电磁波,它的波长区间从几个 nm($1\text{ nm}=10^{-9}\text{ m}$)到 1 mm 左右. 这些光并不是都能看得见的,人眼所能看见的只是其中的一部分,我们把这一部分光称为可见光. 在可见光中,波长最短的是紫光,稍长的是蓝光,以后的顺序是青光、绿光、黄光、橙光和红光,其中红光的波长最长. 在不可见光中,波长比紫光短的光称为紫外线,比红光长的叫做红外线. 表 1.1.1 列出紫外、可见和红外区域的大致的波长范围. 波长小于 200 nm 的光称为真空紫外,这部分光在空气中很快被吸收,只能在真空中传播.

表 1.1.1 光的各个波长区域

波长区域(nm)	区域名称
1~280	UV-C(远紫外)
280~315	UV-B(中紫外)
315~380	UV-A(近紫外)
380~435	紫光
435~500	蓝、青光
500~566	绿光
566~600	黄光
600~630	橙光
630~780	红光
780~1 400	IR-A(近红外)
1 400~3 000	IR-B(中红外)
3 000~1 000 000	IR-C(远红外)

现在常用的光波波长单位是 μm , nm 和 \AA (埃),它们之间的关系是:

$$1\ \mu\text{m}=10^3\text{ nm}=10^4\ \text{\AA}.$$

光除具有波动性之外,还具有粒子性. 量子论认为,光是由许多光子组成的,这些光子具有的能量为 $h\nu$,其中 $h=6.626\times 10^{-34}\text{ J}\cdot\text{s}$ 是普朗克常数, $\nu=c/\lambda$ 是光的频率, $c=2.997\ 924\ 58\times 10^8\text{ m/s}$ 是真空中光速. ν 的单位是 s^{-1} . 量子电动力学较好地反映了光的波粒二象性.

为了研究光源辐射现象的规律,测定供给光源的能量(比如说电能)转换成辐射能效率的高低,通常用下面的一些基本参量来描写光源的辐射特性.

1. 辐射能量 Q .

光源辐射出来的光(包括红外线、可见光和紫外线)的能量称为光源的辐射能量. 当这