



电气工程应用技术丛书

新一代绿色光源LED 及其应用技术

毛兴武 张艳雯 周建军 祝大卫 编著



 人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS

电气工程应用技术丛书

新一代绿色光源 LED 及其应用技术

毛兴武 张艳雯 周建军 祝大卫 编著

人民邮电出版社
北京

图书在版编目 (CIP) 数据

新一代绿色光源 LED 及其应用技术 / 毛兴武等编著.
北京: 人民邮电出版社, 2008.8
(电气工程应用技术丛书)
ISBN 978-7-115-17978-4

I. 新… II. 毛… III. 发光二极管 IV. TN383

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 053312 号

内 容 提 要

本书结合目前国内外半导体照明技术的发展和应用情况, 重点介绍了新一代绿色光源 LED 及其应用技术。全书共分为 12 章, 全面系统地阐述了 LED 的发光原理与特性、国内外 LED 技术与产业现状及发展趋势、LED 在各个领域中的应用、LED 衬底材料与制造技术、LED 的性能参数及其测量、LED 灯具及光学系统设计、LED 电源变换及其驱动技术和应用电路、太阳能 LED 照明系统、OLED 技术及其应用等内容。

本书涵盖的内容广泛、资料翔实、图文并茂, 具有较强的系统性、实用性、指导性和前瞻性, 适合从事 LED 研发、生产和应用的工程技术人员阅读, 也可作为高等院校电光源、光电子、半导体等相关专业的教材或参考书。

电气工程应用技术丛书

新一代绿色光源 LED 及其应用技术

-
- ◆ 编 著 毛兴武 张艳雯 周建军 祝大卫
责任编辑 刘 朋
 - ◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市崇文区夕照寺街 14 号
邮编 100061 电子函件 315@ptpress.com.cn
网址 <http://www.ptpress.com.cn>
北京鑫正大印刷有限公司印刷
 - ◆ 开本: 787×1092 1/16
印张: 31.75
字数: 769 千字 2008 年 8 月第 1 版
印数: 1-4 000 册 2008 年 8 月北京第 1 次印刷

ISBN 978-7-115-17978-4/TN

定价: 59.00 元

读者服务热线: (010)67129258 印装质量热线: (010)67129223
反盗版热线: (010)67171154

前 言

发光二极管(LED)于20世纪60年代问世。在20世纪80年代之前,LED主要作为指示灯使用,从其光色来看,只有红光、橙光、黄光和绿光等几种。这一时期属于LED的“指示应用阶段”。在20世纪90年代初,LED的亮度有较大提高,LED的发展和进入“信号和显示阶段”。1994年,日本科学家中村秀二在GaN基片上研制出了第一只蓝光LED,在1997年诞生了InGaN蓝光芯片+YAG荧光粉的白光LED,使LED的发展和进入“全彩应用及普通照明阶段”。

LED是一种固态冷光源,是继白炽灯、荧光灯和高强度放电(HID)灯(如高压钠灯和金卤灯)之后的第四代新光源。半导体照明(也称固态照明)即是一种基于LED新型光源的固态照明,具体地讲,是一种基于白光LED的固态照明,是一种典型的节能、环保绿色照明。LED被公认为是21世纪最具发展前景的高新技术领域之一,由于其蕴藏着巨大的商机,正成为群雄逐鹿的新战场。

本书作者长期从事半导体器件及应用的研究(主笔曾在20世纪80年代担任核心期刊《半导体技术》的编委),是国内较早也是撰文较多介绍LED的人士之一,迄今已在10余种刊物上发表关于LED的文章50余篇,收集的资料达6000万字之多。因此,本书是在掌握大量信息的基础上完成的。

本书内容丰富,涉及LED产业链上游、中游和下游的关键材料、生产设备、芯片制备、封装及产品应用等各个方面,图文并茂,深入浅出,通俗易懂,可适应不同知识层面读者的需要。

参加本书编写工作的除毛兴武、张艳雯、周建军、祝大卫外,还有张明伟、王新华、王兴娟、杨立新、李伟、李磊、杜琦、孙怡青、周立凯、高桂英、周峰、毛媛、张霞、杨立红、马建富、葛彩霞、马啸天、刘鲁香、李静等。

由于编者水平有限,书中难免有不当或错误之处,敬请广大读者批评指正。

目 录

第 1 章 光与照明基础知识	1
1.1 光的特性及光度量	2
1.1.1 光的基本概念和理论	2
1.1.2 光的传播特性	2
1.1.3 光的基本度量	6
1.2 光源颜色、色温与显色性	8
1.2.1 颜色	9
1.2.2 与颜色有关的照明参量	14
1.3 光与视觉	17
1.3.1 视觉	17
1.3.2 光谱光视效率	17
1.3.3 视觉适应	18
1.3.4 可见度与眩光	19
1.3.5 照度及其均匀度	21
1.3.6 亮度及其分布与光色舒适度	22
1.4 电光源及电器附件与灯具	23
1.4.1 光源及其分类	23
1.4.2 照明电器附件	23
1.4.3 灯具	23
第 2 章 国内外 LED 技术与产业现状及发展趋势	25
2.1 全球 LED 产业分布及发展概况	26
2.1.1 全球 LED 产业分布与竞争态势	26
2.1.2 全球 LED 外延片与芯片产业概况	27
2.1.3 全球 LED 封装产业概况	28
2.2 世界主要国家和地区的 LED 技术与产业发展概况	29
2.2.1 日本 LED 技术与产业发展概况	29

2.2.2	美国 LED 技术与产业发展概况	30
2.2.3	欧盟 LED 技术与产业发展概况	32
2.2.4	韩国 LED 技术与产业发展概况	33
2.3	我国 LED 技术与产业发展概况	33
2.3.1	我国大陆 LED 技术与产业发展概况	33
2.3.2	我国台湾地区 LED 技术与产业发展概况	38
2.4	世界主要国家和地区的 LED 技术与产业研究和发展计划	40
2.4.1	LED 技术与产业竞争焦点	40
2.4.2	主要国家和地区的 LED 技术与产业发展动向	40
2.5	我国 LED 技术与产业发展战略及国家半导体照明工程	45
2.5.1	我国 LED 技术与产业发展战略	45
2.5.2	我国国家半导体照明工程	47
第 3 章	LED 在各个领域中的应用	53
3.1	LED 指示应用	54
3.1.1	指示灯	54
3.1.2	状态指示	55
3.2	LED 在 LCD 背光照明中的应用	61
3.2.1	液晶及其显示原理	61
3.2.2	LED 在便携式消费类电子产品中的应用	63
3.2.3	LED 在中大尺寸 LCD 背光照明中的应用	63
3.3	LED 显示屏应用	67
3.3.1	大屏幕显示技术的种类及对发光器件的要求	68
3.3.2	LED 显示屏的应用领域	70
3.3.3	LED 显示屏控制技术	71
3.3.4	LED 显示屏的现状与发展趋势	77
3.4	LED 交通信号灯应用	77
3.4.1	传统交通信号灯的结构及其缺点	77
3.4.2	LED 交通信号灯的基本光学结构	78
3.4.3	LED 交通信号灯的优势及其应用市场	81
3.5	LED 在景观装饰照明中的应用	83
3.5.1	半导体景观装饰照明的优势	83
3.5.2	我国 LED 景观装饰照明的现状	84
3.5.3	LED 景观装饰照明设计	87
3.6	LED 在汽车上的应用	89
3.6.1	汽车光源的发展历程	89
3.6.2	汽车车灯的分类	90
3.6.3	LED 在汽车上应用的优势	91
3.6.4	LED 在汽车上的应用举例	93
3.6.5	LED 在汽车上的应用前景	96

3.7	LED 在普通照明及其他方面的应用	97
3.7.1	普通照明应用	97
3.7.2	其他方面的应用	99
第 4 章	LED 的发光原理、基本结构及特性	101
4.1	LED 的诞生及其发展	102
4.1.1	红光 LED 的诞生	102
4.1.2	彩色 LED 的发展	102
4.1.3	LED 普通照明	103
4.2	LED 的发光原理、基本结构及其分类	106
4.2.1	LED 的发光原理	106
4.2.2	LED 的基本结构及图形符号	107
4.2.3	LED 的分类	107
4.3	LED 的电学、光学和热特性	109
4.3.1	LED 的电气特性	109
4.3.2	LED 的光学特性	112
4.3.3	LED 的热特性	113
4.4	LED 光源与半导体照明	114
4.4.1	LED 的特点与优点	114
4.4.2	半导体照明初露锋芒	116
第 5 章	LED 衬底材料与制造技术	119
5.1	LED 的衬底材料	120
5.1.1	LED 衬底材料的选择	120
5.1.2	LED 衬底材料的种类	121
5.1.3	LED 衬底材料的知识产权状况	122
5.2	LED 的外延工艺技术	124
5.2.1	LED 对外延材料的基本要求	124
5.2.2	LED 芯片的外延技术及外延设备	125
5.2.3	几种主要的外延材料	127
5.2.4	外延专利技术现状	129
5.2.5	外延技术和设备的发展趋势	130
5.3	LED 的芯片技术	131
5.3.1	优化芯片发光层能带结构	132
5.3.2	提高光引出效率的芯片技术	133
5.3.3	电极及电流扩展技术	138
5.3.4	芯片技术专利状况及其发展趋势	139
5.4	LED 的封装技术	140
5.4.1	LED 的封装形式和结构	140
5.4.2	LED 封装技术综述	141
5.4.3	LED 封装及其材料专利技术概况	147

5.4.4	LED 封装技术的发展趋势	148
5.5	白光 LED 技术	149
5.5.1	可见光光谱与白光 LED 的关系	149
5.5.2	人造白光的合成	149
5.5.3	白光 LED 的实现方法	150
5.5.4	目前照明用白光 LED 存在的问题及其对策	157
5.5.5	荧光材料及其专利技术概况	162
5.5.6	白光 LED 的特性	163
5.6	LED 的散热技术	166
5.6.1	LED 的结温、热阻与热分析	166
5.6.2	采用微通道致冷器 (MCC) 的新式 LED 散热方案	167
5.7	LED 的分选技术	170
5.7.1	LED 分选的必要性	170
5.7.2	LED 的分选方法	170
5.7.3	LED 分选技术的发展现状与趋势	171
第 6 章	LED 的性能参数及其测量	173
6.1	LED 的技术参数	174
6.1.1	LED 的主要性能参数	174
6.1.2	不同应用场合对 LED 的参数要求	174
6.2	LED 相关技术标准现状与发展动向	175
6.2.1	LED 国际标准	175
6.2.2	国内 LED 相关标准	176
6.2.3	LED 标准体系	177
6.2.4	LED 标准发展动向	177
6.3	LED 技术参数的测量	178
6.3.1	LED 发光强度的测量	179
6.3.2	LED 总光通量的测量	181
6.3.3	LED 光谱半宽度的测量	185
6.3.4	LED 温度特性的测量	186
6.3.5	LED 电容的测量	188
6.3.6	LED 的极性判别及其简易测试	191
6.4	LED 的安全认证	192
6.4.1	大功率 LED 具有激光的某些特性	192
6.4.2	安全认证中处理 LED 辐射问题的方法	192
第 7 章	LED 灯具及光学系统设计	195
7.1	现行的灯具标准及灯具配光曲线标准	196
7.1.1	现行灯具及其相关标准	196
7.1.2	灯具配光曲线标准	196
7.2	LED 光源及其模型	199

7.2.1 LED 光源的特殊性	199
7.2.2 LED 光源模型	200
7.3 LED 灯具仿真设计	204
7.3.1 ASAP 的计算机仿真	205
7.3.2 LED 灯具设计	206
7.4 复合式抛物面聚焦器 (CPC) 在 LED 灯具设计中的应用	209
7.4.1 CPC 及其主要特性	209
7.4.2 CPC 在 LED 汽车灯具设计中的作用	210
7.5 LED 灯具系统的二次光学设计	212
7.5.1 LED 灯具系统二次光学设计的内容	212
7.5.2 LED 交通信号灯的二次光学设计	213
7.6 LED 灯具及其发展趋势	215
7.6.1 照明与装饰 LED 灯具	215
7.6.2 汽车用 LED 灯具	223
7.6.3 LED 灯具系统的现状与发展趋势	225
第 8 章 LED 电源变换及其驱动电路	227
8.1 LED 的基本特性及其工作条件	228
8.1.1 LED 的基本特性	228
8.1.2 LED 的基本工作条件	228
8.2 LED 供电系统原始电源	230
8.2.1 常用的 LED 供电电池	230
8.2.2 交流市电电源	232
8.2.3 太阳能光伏电源	233
8.3 LED 在应用中的配置形式及特点	233
8.3.1 常见的连接形式	233
8.3.2 不同连接形式的比较	235
8.4 LED 电源变换器的基本类型	236
8.4.1 电源变换的必要性	236
8.4.2 对 LED 驱动器的基本要求	237
8.4.3 LED 电源变换器的基本类型	238
8.5 基于新型线性电流源的 LED 驱动电路	240
8.5.1 基于 LDO 稳压器 TPS7510x 的 LED 驱动电路	240
8.5.2 基于 MAX16800 系列 IC 的线性 HBLEDD 驱动电路	241
8.6 基于电感升压变换器的 LED 驱动电路	249
8.6.1 电感升压开关变换器基本电路拓扑及其特点	249
8.6.2 基于电感升压变换器的 LED 驱动电路	250
8.7 基于电荷泵的 LED 驱动电路	262
8.7.1 电荷泵的基本原理及其特点	262
8.7.2 新型四模式电荷泵 CAT3636	266

8.7.3	基于电荷泵的 LED 驱动电路	268
8.7.4	用于驱动 LED 的电荷泵 DC/DC 变换器 IC	273
8.8	基于降压变换器的 LED 驱动电路	275
8.8.1	降压变换器基本电路拓扑及其操作	276
8.8.2	基于降压变换器的 LED 驱动电路	277
8.8.3	降压型 LED 驱动器 IC	279
8.9	基于降压—升压变换器的 LED 驱动器电路	280
8.9.1	降压—升压型 LED 驱动器的基本电路及其优缺点	280
8.9.2	基于降压—升压变换器的 LED 驱动电路	282
8.10	基于多拓扑结构专用 IC 的 LED 驱动电路	289
8.10.1	基于多拓扑结构专用 IC 的 LED 驱动电路	289
8.10.2	多拓扑结构 LED 驱动器 IC	297
8.11	2009/2008B/3021 系列 LED 电源模块及其驱动的 350~1 000mA 大功率 LED 电路	298
8.11.1	2009 系列 LED 电源模块及其应用电路	298
8.11.2	2008B 系列 LED 电源模块及其驱动的大电流 LED 电路	299
8.11.3	3021 系列 LED 电源模块及其驱动的 LED 电路	301
第 9 章	采用微控制器/单片机的 LED 应用电路	305
9.1	基于微控制器的 LED 智能照明解决方案	306
9.1.1	基于微控制器 (MCU 或 μC) 的 LED 照明解决方案的优点	306
9.1.2	基于 MC9RS08KA2 微控制器的降压型 LED 驱动电路	306
9.1.3	Microchip 公司 PIC 系列 MCU 及其在 LED 照明系统中的应用	307
9.1.4	照明通信解决方案简单介绍	312
9.2	功率 LED 温度感测与控制方案	315
9.2.1	TC6501/TC6502 逻辑输出温度传感器及其在功率 LED 驱动电路中的应用	315
9.2.2	MCP9700 电压输出温度传感器及其在 LED 驱动电路中的应用	316
9.2.3	采用 PIC 热敏电阻作为 LED 限流器	317
9.3	基于照明管理芯片的 LED 驱动电路	319
9.3.1	LED 照明管理芯片	319
9.3.2	基于照明管理芯片的 LED 驱动电路	320
9.4	AT89C51 单片机及其在 LED 控制系统中的应用	324
9.4.1	AT89C51 单片机	324
9.4.2	采用 AT89C51 单片机的 LED 控制与驱动电路	327
9.5	AT89C2051 单片机及其在 LED 控制系统中的应用	338
9.5.1	AT89C2051 单片机	338
9.5.2	采用 AT89C2051 的 LED 控制与驱动电路	341
9.6	采用 P87LPC762/P89LPC932 单片机的 LED 显示驱动器	349
9.6.1	采用 P87LPC762 单片机作为 4 位 7 段 LED 显示驱动器	349
9.6.2	采用 P89LPC932 作为 6 位“米”字段 LED 显示驱动器	350

9.6.3	采用 89C52 和 P87LPC762 的 LED 显示驱动器	351
9.6.4	定制的 LED 显示驱动器芯片的软件编程	352
9.7	智能 LED 点阵显示屏 HCMS-29××/HCMS-39××与微处理器的接口电路	353
9.7.1	智能 LED 点阵显示屏 HCMS-29××/39××	353
9.7.2	HCMS-2912 与 8751H 的接口电路	356
9.8	采用 MC33993 和单片机的键盘控制与多位 LED 显示电路	357
9.8.1	MC33993 的结构特点	357
9.8.2	键盘控制与 LED 接口电路设计	359
第 10 章	交流市电供电的离线 LED 驱动电路	363
10.1	电容降压 LED 驱动电路	364
10.1.1	电容降压 LED 驱动电路的基本结构	364
10.1.2	电容降压 LED 驱动电路实例	365
10.2	变压器降压 LED 驱动电路	371
10.2.1	变压器降压整流滤波 LED 驱动电路	371
10.2.2	采用线性稳压器的变压器降压 LED 驱动电路	372
10.2.3	采用集成电流源的 LED 驱动电路	373
10.3	采用高压集成电流源的离线 LED 驱动电路	375
10.3.1	采用恒流源 CL1 的离线 LED 驱动电路	375
10.3.2	采用集成高压电流源 NUD4011 的 LED 驱动电路	378
10.4	基于高压控制器 SR036/SR037 的离线 LED 驱动电路	380
10.4.1	SR036/SR037 的结构与特点	380
10.4.2	SR036/SR037 的工作原理	381
10.4.3	采用 SR036/SR037 的离线 LED 驱动电路	382
10.5	采用半桥逆变器的离线 LED 驱动电路	384
10.5.1	采用 CFL 电子镇流器半桥厚膜驱动器 IR53HD420 的 LED 驱动电路	384
10.5.2	基于电子变压器的 LED 驱动电路	386
10.6	基于 ST 公司 VIPer22A 的高亮度 LED 驱动电路	387
10.6.1	VIPer22A 简介	387
10.6.2	基于 VIPer22A 的隔离式恒流输出 LED 驱动电路	388
10.6.3	LED 调光技术和采用 VIPer22A 的可调光 LED 驱动电路	389
10.7	基于 NCP 系列控制 IC 的离线开关电源 LED 驱动电路	395
10.7.1	采用 NCP1010~NCP1014 单片转换开关的恒流 LED 驱动电路	395
10.7.2	采用 NCP1027 的 1A、12W 离线恒流 LED 驱动电路	399
10.7.3	采用 NCP1200A PWM 控制器驱动 20 只 1W 白光 LED 的电路	400
10.8	基于英飞凌公司 CoolSET™ 的离线恒流 LED 驱动电路	401
10.8.1	低成本离线 SMPS 用 CoolSET™ 的特点	401
10.8.2	基于 ICE2A365 的 LED 驱动电路	402
10.9	基于离线转换开关 LNK302/LNK304~LNK306 的 LED 阵列驱动电路	404
10.9.1	LNK302/LNK304~LNK306 的结构与特点	404

10.9.2	采用 LNK302/LNK304~LNK306 的非隔离恒流 LED 阵列驱动器	406
10.10	基于 MAX16801 离线 PWM 控制器的 LED 驱动电路	409
10.10.1	离线 PWM 控制器 MAX16801 的结构与特点	409
10.10.2	基于 MAX16801 的 HBLED 驱动电路	410
10.11	基于高压高频降压控制器 IRS2540/IRS2541 的恒流 LED 驱动电路	414
10.11.1	基于 IRS2540/IRS2541 的双开关恒流 LED 驱动电路	414
10.11.2	基于 IRS2540/IRS2541 的低端开关用二极管替代的 LED 驱动电路	418
10.12	基于 MIP551/MIP552 的离线降压恒流 LED 驱动电路	419
10.12.1	MIP551/MIP552 的结构及其主要特性	419
10.12.2	基于 MIP551 或 MIP552 的恒流 LED 驱动电路	420
10.13	基于 QX9910/HV9910/MXHV9910 的离线 HBLED 驱动电路	422
10.13.1	基于 QX9910 的离线 HBLED 驱动电路	422
10.13.2	基于 HV9910 的离线 LED 驱动电路	423
10.13.3	基于 MXHV9910 的降压式 LED 驱动电路	426
10.14	基于 HV9921/HV9922 和 HV9925 的离线降压 LED 驱动电路	427
10.14.1	基于三引脚 HV9921/HV9922 的离线降压 LED 驱动电路	427
10.14.2	基于 HV9925 的离线 LED 驱动电路	430
10.15	基于 HV9906 的简单离线高功率因数 LED 驱动电路	432
10.15.1	HV9906 的封装形式、引脚功能及主要特点	432
10.15.2	HV9906 的功能与工作原理	433
10.15.3	基于 HV9906 的离线 LED 驱动电路	434
10.16	基于 HV9931 单级 PFC 控制器的离线恒流 LED 驱动电路	439
10.16.1	HV9931 的主要特点	439
10.16.2	HV9931 的封装形式、内部结构及引脚功能	439
10.16.3	基于 HV9931 的离线 LED 驱动电路及设计	440
第 11 章	太阳能 LED 照明系统及其相关电路	445
11.1	太阳能光伏发电原理及其发电系统	446
11.1.1	太阳能光伏发电原理	446
11.1.2	太阳能光伏发电系统	446
11.1.3	太阳能 LED 照明系统	447
11.2	太阳能电池的分类和特性参数	448
11.2.1	太阳能电池的分类	448
11.2.2	太阳能电池板的结构	449
11.2.3	太阳能电池的伏—安特性及主要参数	451
11.3	太阳能 LED 用蓄电池及超级电容器	452
11.3.1	蓄电池	452
11.3.2	超级电容器	453
11.4	LED 太阳能供电系统相关电路及系统参数	455
11.4.1	LED 太阳能供电控制系统	455

11.4.2	LED 太阳能照明系统相关电路	455
11.4.3	LED 太阳能供电系统的主要参数	459
11.5	太阳能 LED 草坪灯、照明灯及警示灯电路	459
11.5.1	太阳能 LED 草坪灯电路	459
11.5.2	太阳能 LED 照明灯电路	461
11.5.3	太阳能 LED 夜间警示灯电路	462
11.6	太阳能供电室外 HBLED 大屏幕显示系统	463
11.6.1	太阳能 HBLED 显示屏供电方案	463
11.6.2	太阳能光伏电源系统设计	463
11.6.3	LED 大屏幕显示系统	465
11.7	太阳能 LED 照明的优势及其发展前景	467
11.7.1	太阳能 LED 灯具的主要特点	467
11.7.2	太阳能 LED 灯具的现状	467
11.7.3	太阳能半导体照明的发展动向	468
第 12 章	OLED 技术及其应用	469
12.1	OLED 的发光机理、发光材料及彩色化技术	470
12.1.1	OLED 技术研发简史	470
12.1.2	OLED 的基本结构与发光原理	471
12.1.3	有机电致发光 (OEL) 材料	472
12.1.4	OLED 彩色化的实现	474
12.2	OLED 的驱动技术及其供电电源解决方案	475
12.2.1	OLED 的驱动方式	475
12.2.2	OLED 供电电源解决方案	478
12.3	OLED 电源偏置及驱动电路设计	481
12.3.1	基于 MAX8570 的 OLED 电源偏置电路设计	481
12.3.2	基于 SSD1303 的 OLED 驱动电路设计	484
12.4	OLED 的特点及其现状与发展趋势	486
12.4.1	OLED 的特点和优点	486
12.4.2	OLED 目前存在的问题	488
12.4.3	OLED 技术与产业的现状及发展趋势	489
	参考文献	493

第 1 章

光与照明基础知识

- 光的特性及光度量
- 光源颜色、色温与显色性
- 光与视觉
- 电光源及电器附件与灯具

发光二极管 (Light Emitting Diode, LED) 是 21 世纪最具发展前景的一种新型固态光源。LED 的迅速发展及广泛应用, 将引发照明领域的一场革命。本章将对本书所涉及的光与照明的基本概念及光源进行简单介绍, 以为读者阅读和理解本书内容提供方便。

1.1 光的特性及光度量

1.1.1 光的基本概念和理论

从物理学上说, 光是一种电磁辐射。在整个电磁辐射波谱中, 光波只占据很小的一部分 (见图 1-1)。光波的波长区间在 380 纳米与 780 纳米 (nm, $1\text{nm}=10^{-9}\text{m}$) 之间。人眼所能看见的光称为可见光。

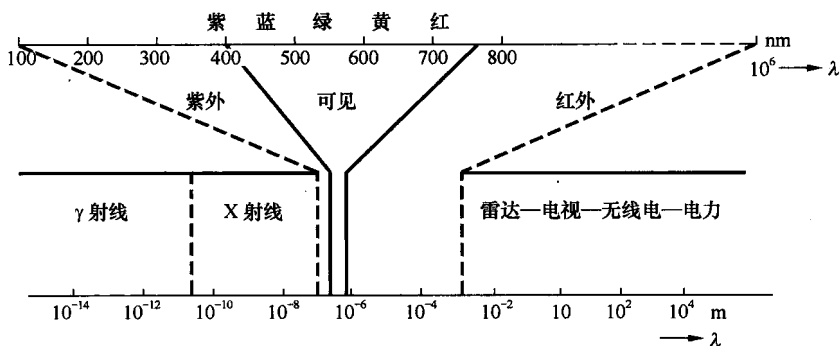


图 1-1 电磁波谱

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, 波长比紫光短的部分称为紫外线, 比红光波长长的叫做红外线。紫外线又分为 3 个区, 即远紫外 (UV-C, 波长 $\lambda=100\sim 280\text{nm}$)、中紫外 (UV-B, $\lambda=280\sim 315\text{nm}$) 和近紫外 (UV-A, $\lambda=315\sim 400\text{nm}$); 红外线也分为 3 个区, 即近红外 (IR-A, $\lambda=780\sim 1\,400\text{nm}$)、中红外 (IR-B, $\lambda=1.4\sim 3\mu\text{m}$) 和远红外 (TR-C, $\lambda=3\mu\text{m}\sim 1\text{mm}$)。需要说明的是, 各个区域的界限不是很严格, 只是给出了大致的范围。

LED 也分为可见光 LED ($\lambda=450\sim 780\text{nm}$) 和不可见光 LED ($\lambda=850\sim 1\,550\text{nm}$) 两种。其中, 不可见光 LED 又分红外线 LED ($\lambda=850\sim 950\text{nm}$) 和光通信 LED/LD ($\lambda=1\,300\sim 1\,550\text{nm}$)。半导体 LED 之所以能发出不同的光色, 是因为它们的波长各异。例如使用 AlInGaP 材料制得的 LED 波长可为 590nm、611nm 和 625nm, 所以可以发射黄光、橙光和红光。

1.1.2 光的传播特性

当光线在同一种媒质中传播时, 总是沿直线方向行进。当媒质发生改变时, 光线或被反射, 或被透射, 或被吸收。对于光的色散、干涉、衍射和偏振现象, 我们在此不再赘述。

1. 光的反射

当光线遇到不透明的物体表面时，大部分光被反射，小部分被吸收。光线在镜面和扩散面上的反射有以下几种类型。

(1) 规则反射

在光滑界面上所产生的光的反射称为规则反射，又称镜面反射，如图 1-2 所示。光的入射光线、反射光线和过入射点的界面法线都位于同一个平面上，并且入射角等于反射角，反射光线和入射光线分别位于法线的两侧，这就是光的反射定律。在反射角以外，人眼是看不到反射光的。灯具的反射罩就是利用这一原理制成的，但一般由比较复杂的曲面构成。

(2) 散反射

当光线从某方向入射到经散射处理的铝板、经涂刷处理的金属板或毛面白漆涂层时，反射光向各个不同的方向散开，但其总的方向是一致的，如图 1-3 所示，其光束的轴线方向仍遵守反射定律，这种光的反射称为散反射。

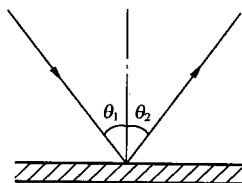


图 1-2 规则反射

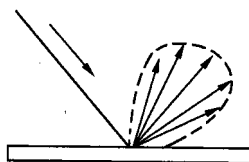


图 1-3 散反射

(3) 漫反射

光线从某方向入射到粗糙表面或涂有无光泽镀层的表层时，光线被分散在许多方向，在宏观上不存在规则反射，这种光的反射称为漫反射。当反射遵守朗伯（Lambert）余弦定律时，即任意方向的光强 I_θ 与该反射面的法线方向的光强 I_0 所成的角度 θ 的余弦成比例 ($I_\theta = I_0 \cos \theta$)，而与光的入射方向无关，从反射面的各个方向看去，光的亮度均相同，这种光的反射称为各向同性漫反射，如图 1-4 所示。

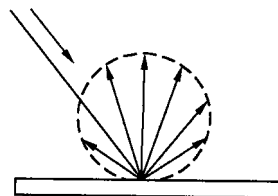
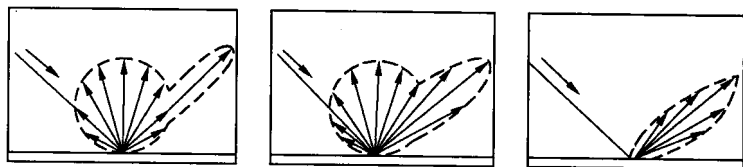


图 1-4 各向同性漫反射

(4) 混合反射

光线从某方向入射到瓷釉或带高度光泽的漆层上时，规则反射和漫反射皆存在，这种现象称为混合反射，如图 1-5 所示。在定向反射方向上的发光强度比其他方向上的要大得多，而且有最大亮度。在其他方向上也有一定数量的反射光，而其亮度分布是不均匀的。



(a) 漫反射与镜面反射混合 (b) 漫反射与散反射混合 (c) 镜面反射与散反射混合

图 1-5 混合反射

2. 光的折射、全反射与透射

(1) 折射

光从第一种介质进入第二种介质时,若倾斜入射,则在入射面上有反射光,而进入第二种介质时有折射光,如图 1-6 所示。其中,斜入射角和反射角为 i ,折射角为 γ 。由于两种介质中的光速不同, i 与 γ 也就不等,因而呈现光的折射。不论入射角如何变化,入射角与折射角的正弦之比是一个常数,这个比值称为折射率,即 $n_{21} = \sin i / \sin \gamma$ 。若两种不同介质的折射率分别为 n_1 及 n_2 ,当光从第一种介质进入第二种介质时, n_{21} 还可以表示为 $n_{21} = \sin i / \sin \gamma = n_2 / n_1$, 或 $n_1 \sin i = n_2 \sin \gamma$ 。

图 1-7 所示为光透射和折射的情况,图中 θ_1 为入射角, θ_2 为折射角, θ_1 与 θ_2 在法线的两边[即斯涅尔(Snell)定律],并且 $n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2$ 。

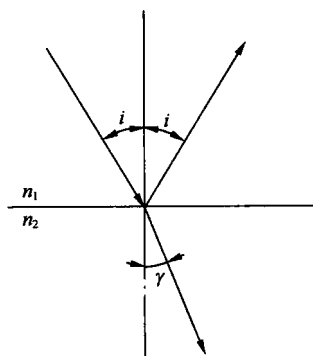


图 1-6 光的折射与反射

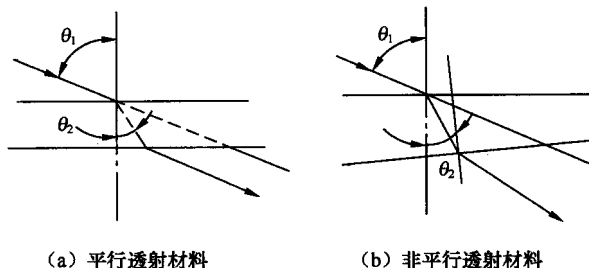


图 1-7 光的透射与折射

折射定律适用于大多数常用材料(如玻璃、透明塑料和液体等),但不适用某些晶体和有应力的透明固体。人们常根据折射原理来制造棱镜或透镜。

(2) 全反射

当光线从高折射率(n_1)的媒质(光密物质)射向低折射率(n_2)的媒质(光疏物质)时,如图 1-8 所示,入射角(i)小于折射角(γ)。当入射角未达到 90° 时,折射角已达 90° 。继续增大入射角,则光线全部返回到光疏物质内,不再有折射光,这种现象称为全反射。利用这一特性,可以获得不损失光的反射表面。

光不再从光密物质(如玻璃)进入光疏物质(如空气)时的入射角称为临界入射角(A),计算公式为 $A = \arcsin(n_2/n_1)$ 。水的临界入射角为 48.5° ,玻璃的临界入射角范围为 $30^\circ \sim 42^\circ$ 。光线由光疏物质射向光密物质时,不会发生全反射现象。

全反射原理在光导纤维和装饰、广告照明中有广泛的应用,同时还被应用于棱镜式双筒望远镜、反射式信号和灯具制造中。

(3) 透射

光入射到透明或半透明材料表面时,一部分被反射,一部分被吸收,大部分可以透射过去。透射光由于材料的品种不同,空间分布状态有以下几种。

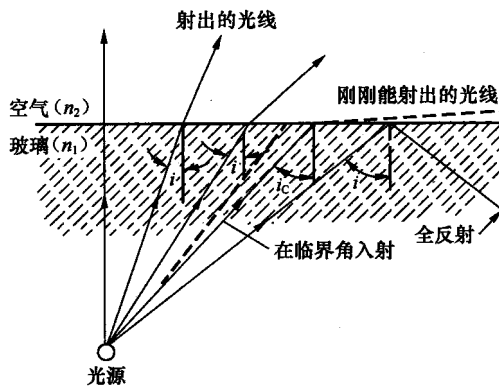


图 1-8 光的全反射