



教育部 财政部职业院校教师素质提高计划职教师资培养资源开发项目
“电子科学与技术”专业职教师资培养资源开发 (VTNE023)



高等院校电气信息类专业“互联网+”创新规划教材

光电技术应用



主 编 沈亚强
执行主编 沈建国

教材预览、申请样书



公众号: pup6book



北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS

教育部 财政部职业院校教师素质提高计划职教师资培养资源开发项目
“电子科学与技术”专业职教师资培养资源开发(VTNE023)
高等院校电气信息类专业“互联网+”创新规划教材

光电技术应用

主 编 沈亚强
执行主编 沈建国
参 编 钱惠国 张海花 彭保进



北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS

内 容 简 介

本书的编写采用“理论与实践一体化”编写思路。本书以光电器件的基本原理为基础，以面向市场应用的项目为载体，并将项目划分为若干个学习性工作任务来完成。全书分5章，内容包括电光器件及其应用，光电器件及其应用，光电成像器件及其应用，光纤通信与传感，光电系统的综合设计。第1~4章主要介绍典型的光电器件，在内容安排上，每章分为两个部分，先简单介绍各器件的原理与特性，然后通过具体实训项目来加深对器件的认识，掌握其典型的应用方法。第5章为综合实训，采用项目化的编写方法，介绍光电系统的设计方法。

本书可以作为高等院校的光电、电子、自动化等专业本科生教材，也可以作为从事光电系统设计的有关科技人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

光电技术应用/沈亚强主编. —北京: 北京大学出版社, 2017. 6

(高等院校电气信息类专业“互联网+”创新规划教材)

ISBN 978-7-301-28597-8

I. ①光… II. ①沈… III. ①光电技术—高等学校—教材 IV. ①TN2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 197643 号

书 名 光电技术应用

GUANGDIAN JISHU YINGYONG

著作责任者 沈亚强 主编

策划编辑 程志强

责任编辑 李娉婷

数字编辑 刘 蓉

标准书号 ISBN 978 - 7 - 301 - 28597 - 8

出版发行 北京大学出版社

地 址 北京市海淀区成府路 205 号 100871

网 址 <http://www.pup.cn> 新浪微博: @北京大学出版社

电子信箱 pup_6@163.com

电 话 邮购部 62752015 发行部 62750672 编辑部 62750667

印刷者 北京富生印刷厂

经 销 者 新华书店

787 毫米 × 1092 毫米 16 开本 13 印张 291 千字

2017 年 6 月第 1 版 2017 年 6 月第 1 次印刷

定 价 30.00 元

未经许可，不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有，侵权必究

举报电话：010-62752024 电子信箱：fd@pup.pku.edu.cn

图书如有印装质量问题，请与出版部联系，电话：010-62756370

序

《国家中长期教育改革和发展规划纲要（2010—2020年）》颁布实施以来，我国职业教育进入加快构建现代职业教育体系、全面提高技能型人才培养质量的新阶段。加快发展现代职业教育，实现职业教育改革发展新跨越，对职业学校“双师型”教师队伍建设提出了更高的要求。为此，教育部明确提出，要以推动教师专业化为引领，以加强“双师型”教师队伍建设为重点，以创新制度和机制为动力，以完善培养培训体系为保障，以实施素质提高计划为抓手，统筹规划，突出重点，改革创新，狠抓落实，切实提升职业院校教师队伍整体素质和建设水平，加快建成一支师德高尚、素质优良、技艺精湛、结构合理、专兼结合的高素质专业化的“双师型”教师队伍，为建设具有中国特色、世界水平的现代职业教育体系提供强有力的师资保障。

目前，我国共有60余所高校正在开展职教师资培养，但是教师培养标准的缺失和培养课程资源的匮乏，制约了“双师型”教师培养质量的提高。为完善教师培养标准和课程体系，教育部、财政部在“职业院校教师素质提高计划”框架内专门设置了职教师资培养资源开发项目，中央财政划拨1.5亿元，系统开发用于本科专业职教师资培养标准、培养方案、核心课程和特色教材等系列资源。其中，包括88个专业项目，12个资格考试制度开发等公共项目。这些项目由42家开设职业技术师范专业的高等学校牵头，组织近千科研院所、职业学校、行业企业共同研发，一大批专家学者、优秀校长、一线教师、企业工程技术人员参与其中。

经过三年的努力，培养资源开发项目于2013年立项开题，取得了丰硕成果。一是开发了中等职业学校88个专业（类）职教师资本科培养资源项目，内容包括专业教师标准、专业教师培养标准、评价方案，以及一系列专业课程大纲、主干课程教材及数字化资源；二是取得了6项公共基础研究成果，内容包括职教师资培养模式、国际职教师资培养、教育理论课程、质量保障体系、教学资源中心建设和学习平台开发等；三是完成了18个专业大类职教师资资格标准及认证考试标准开发。上述成果，共计800多本正式出版物。总体来说，培养资源开发项目实现了高效益：形成了一大批资源，填补了相关标准和资源的空白；凝聚了一支研发队伍，强化了教师培养的“校—企—校”协同；引领了一批高校的教学改革，带动了“双师型”教师的专业化培养。职教师资培养资源开发项目是支撑专业化培养的一项系统化、基础性工程，是加强职教师资培养培训一体化建设的关键环节，也是对职教师资培养培训基地教师专业化培养实践、教师教育研究能力的系统检阅。

自项目立项开题以来，各项目承担单位、项目负责人及全体开发人员做了大量深入细致的工作，结合职教师资培养实践，研发出很多填补空白、体现科学性和前瞻性的成果，



有力推进了“双师型”教师专门化培养向更深层次发展。同时，专家指导委员会的各位专家及项目管理办公室的各位同志，克服了许多困难，按照教育部和财政部对项目开发工作的总体要求，为实施项目管理、研发、检查等投入了大量时间和心血，也为各个项目提供了专业的咨询和指导，有力地保障了项目实施和成果质量。在此，我们一并表示衷心的感谢。

编写委员会

2016年5月

前 言

光电技术应用是一门以光电子学为基础,综合利用光学、精密机械、电子学和计算机技术解决各种工程应用课题的交叉技术科学,它是光学技术实现机电一体化的发展方向。光电技术应用课程是光电子类专业的核心基础课,其教学目标是使学生具备从事光电系统设计、光机电一体化等行业必需的基础知识和基本技能,并为学生学习后续课程、提高综合素质及形成综合职业能力打下基础。

本书在内容选取上精简理论知识,注重和强化实际动手操作环节;以“理论够用,技能强化”为原则,结合学生的认知规律,合理安排理论知识、实训及拓展环节,关注与培养学生的学习兴趣和经验的联系,注重选择专业与职业必备的基础知识和技能。

本书采用“理论与实践一体”的编写思路,以光电器件的基本原理为基础,以面向市场应用的项目为载体,并将项目划分为若干个学习性工作任务来完成。全书共分5章,第1~4章主要介绍典型的光电器件,在内容安排上,每章分为两个部分,先简单介绍各器件的原理与特性,然后通过具体实训来加深对器件的认识,使学生掌握其典型的应用方法。第5章为综合实训。

第1章电光器件及其应用,介绍了常用电致发光器件(LED, LD, LCD)的工作原理、特性及典型应用,以及LED的特性测试、基于数码管显示的光电计数器制作及亮度可调的LED台灯设计3个实训。

第2章光电器件及其应用,介绍了主要电光器件(光电倍增管、光敏电阻、光电池、光敏二极管、热释电器件、光电位置传感器、光电组合器件、光电耦合器和光电编码器)的工作原理、特性及应用,以及人体感应光控开关的制作、太阳能充电器制作和光电编码测速3个实训。

第3章光电成像器件及其应用,介绍了线阵CCD和面阵CCD的原理及应用,以及基于线阵CCD的电线直径测量系统和PCB缺陷检测系统2个实训。

第4章光纤通信与传感,介绍了光纤的构成、分类及特性,光纤通信系统的组成与分类,光纤传感的原理及应用,以及光纤温度及应变传感、光纤光栅传感器2个实训。

第5章光电系统综合设计,先介绍了光电系统的组成及设计方法,再通过便携式光照度计的设计、粉尘浓度检测仪和红外遥控灯的设计3个典型光电系统设计实训来使学生掌握光电系统的设计方法。

本书在内容编排上采用点到面、局部到系统的方式,实训选择也按照由简到繁、由易到难的顺序。在每个实训的编写思路,首先介绍实训的背景与意义,使学生充分了解该实训的应用范围及实用价值;其次介绍实训中涉及的核心技术的理论知识,精简整合理论基础,学以够用;然后针对具体实训给出实施方案,最后利用本实训涉及的核心理论与技术,结合市场应用需要,进一步拓展其应用的范围。这种融“教、学、做”为一体,“理



论与实践一体化”的教材内容设计，能使学生在完成任务的过程中，掌握光电子系统的设计、安装、调试等技能，为学生后续专业课的学习和可持续发展奠定良好的基础。

在具体教学实施上，本书理论讲解主要是教师的“引”和“导”，理论课时为 32 学时，实验实践教学课时为 32 学时，分为“课内实验”和“课外开放创新性实践”两部分，实验主要以“光电器件特性检测与典型应用”开展教学；创新性实践部分可以选用本书中其中一个实训独立完成电路设计制作与调试，并完成报告的撰写和答辩。

本书由浙江师范大学沈亚强教授担任主编，沈建国担任执行主编。本书具体编写分工为：钱惠国编写第 1 章；沈建国编写第 2 章和第 5 章；张海花编写第 3 章；彭保进编写第 4 章。在编写本书的过程中，编者得到了浙江师范大学蒋敏兰和林祝亮老师的指导，同时还参阅了同行专家们的论文著作、文献及相关网络资源，在此一并表示真诚的感谢。

由于编者水平有限，加之时间仓促，书中难免存在不妥之处，敬请专家和读者批评指正。

为了方便教师教学，本书还配有免费的电子教学课件等数字资源，请有需要的教师扫描相应二维码进行下载。

编 者

2017 年 3 月

教育部 财政部

职业院校教师素质提高计划成果系列丛书

项目牵头单位：浙江师范大学

项目负责人：沈亚强

项目专家指导委员会

主任：刘来泉

副主任：王宪成 郭春鸣

成员：（按姓氏拼音排列）

曹 晔

刁哲军

姜大源

李仲阳

卢双盈

沈 希

王继平

崔世纲

郭杰忠

李栋学

刘君义

孟庆国

石伟平

王乐夫

邓泽民

韩亚兰

李梦卿

刘正安

米 靖

汤生玲

吴全全

目 录

第 1 章 电光器件及其应用	1
1.1 发光二极管	2
1.2 半导体激光器	10
1.3 液晶显示器件	21
1.4 综合实训	28
思考题	43
第 2 章 光电器件及其应用	44
2.1 光电发射器件	45
2.2 光电导器件	52
2.3 光生伏特器件	57
2.4 热释电器件	60
2.5 光电位置传感器	62
2.6 光电组合器件	65
2.7 综合实训	68
思考题	84
第 3 章 光电成像器件及其应用	85
3.1 CCD 的发展历程	87
3.2 CCD 的基本工作原理	88
3.3 CCD 特性参数	94
3.4 CCD 分类	96
3.5 工程技术应用	100
3.6 综合实训	100
思考题	121
第 4 章 光纤通信与传感	122
4.1 光纤及其分类	123
4.2 光纤的传输特性	127
4.3 光纤通信系统	130
4.4 光纤传感器	134
4.5 光纤传感器的应用	144
4.6 综合实训	149



思考题	162
第 5 章 光电系统综合设计	163
5.1 光电系统设计	164
5.2 综合实训	165
思考题	191
参考文献	192

第1章

电光器件及其应用

【教学目标】

电光器件是指把电转换成光的器件，常见的电光器件主要有各类电光源和各种电光显示器件。本章主要介绍发光二极管、半导体激光器和液晶显示器的原理和简单应用。通过本章学习，使学生掌握常用电光器件的工作原理、使用方法及典型应用电路的设计方法。

【教学要求】

相关知识	能力要求
发光二极管 (LED)	<ol style="list-style-type: none">(1) 理解并掌握 LED 的发光原理；(2) 了解 LED 的分类和基本特性；(3) 掌握 LED 的基本结构和驱动方法；(4) 了解 LED 在生活中的应用。
半导体激光器 (LD)	<ol style="list-style-type: none">(1) 了解并掌握 LD 的工作原理；(2) 了解 LD 的基本结构和特性参数；(3) 掌握 LD 的驱动方法。
液晶显示器 (LCD)	<ol style="list-style-type: none">(1) 了解液晶的 3 种基本结构和扭曲向列型液晶的显示原理；(2) 熟悉液晶显示器的基本结构和驱动方法；(3) 熟悉和掌握液晶显示模块 LCD1602 的结构和使用方法。
常用光电器件 的应用	<ol style="list-style-type: none">(1) 掌握 LED 特性的测试原理和方法，加深对 LED 基本特性的理解；(2) 掌握数码管和液晶模块的使用方法，学会电路设计、制作和调试的基本方法；(3) 了解 LED 驱动芯片 PT4115 的使用方法，掌握简易亮度可调 LED 台灯的设计与制作方法。

1.1 发光二极管



【发光二极管】

发光二极管 (Light - Emitting Diode, LED) 是一种利用半导体 PN 结把电能转化为光能的半导体发光器件。因其具有节能、环保、安全、寿命长、低功耗、低热、高亮度、防水、微型、防振、易调光、光束集中、维护简便等特点, 已被广泛应用于照明、指示、显示、装饰、各种功能光源等领域。

1.1.1 LED 发光原理

虽然高纯的半导体材料电阻率很高, 但如果掺杂微量的其他元素, 则可以使其导电性能发生显著的变化。例如, 在硅 (Si) 中掺杂微量砷 (As), 可以形成导带中具有电子的 N 型材料; 在硅中掺杂微量镓 (Ga), 可以形成价带中有空穴的 P 型材料。如果在硅晶体中一半掺杂砷, 一半掺杂镓, 则可以在两半之间的边界上形成一个 PN 结。通过该 PN 结, 电子可以从 N 型材料扩散到 P 区, 而空穴则从 P 型材料扩散到 N 区, 如图 1.1(a) 所示。由于扩散, 在 PN 结处形成一个大小为 $e\Delta V$ 的势垒, 阻止电子和空穴进一步扩散, 达到平衡状态, 如图 1.1(b) 所示。此时, 若在 PN 结上加一个正向偏置电压, 即 P 型材料接电源正极, N 型材料接电源负极, 则 PN 结势垒将降低, N 区的电子会注入 P 区, P 区的空穴会注入 N 区, 从而出现非平衡状态。这些注入的电子和空穴在 PN 结处相遇并发生复合, 把多余的能量以光的形式释放出来, 从而产生 PN 结发光, 如图 1.1(c) 所示。这种发光也称为注入式发光, 光子的能量由带间隙决定。LED 使用的材料不同, 其带间隙也不同, 从而会发出不同能量的光, 也就是不同波长、不同颜色的光。例如, 砷化镓 LED 发红光, 磷化镓 LED 发绿光, 碳化硅 LED 发黄光, 氮化镓 LED 发蓝光, 等等。

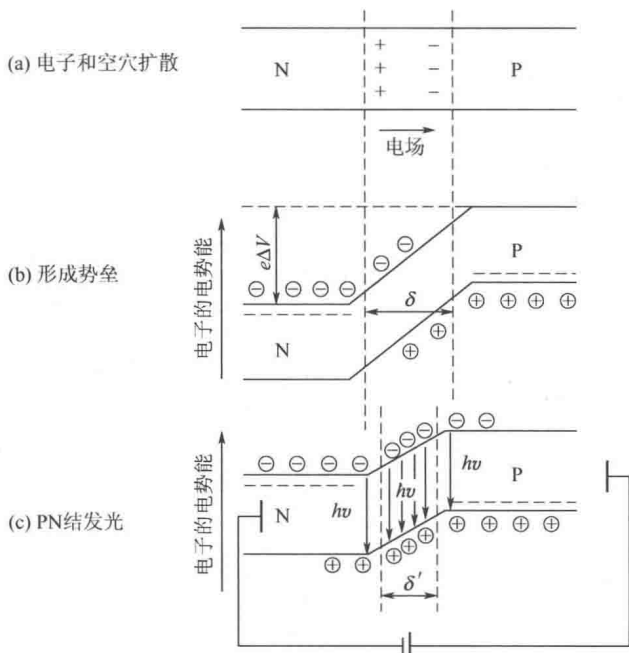


图 1.1 LED 的发光机理



1.1.2 LED 的分类

根据不同的特性参数, LED 可以有多种不同的分类方法。

1. 按发光的颜色分类

LED 按其发光颜色可分为白色、红色、橙色、绿色(又细分黄绿、标准绿和纯绿)、蓝色等。另外,有些 LED 包含两种或多种颜色芯片,可以发出多种颜色的光。红外 LED 发出不可见的红外光,可应用于各种光控或遥控发射。红外 LED 主要采用全透明或浅蓝色、黑色的树脂进行封装。

2. 按 LED 出光面特征分类

LED 按其出光面特征可分为圆灯、方灯、矩形灯、面 LED、侧向管、表面安装用微型管等。圆灯按直径分为 $\phi 2\text{mm}$ 、 $\phi 4.4\text{mm}$ 、 $\phi 5\text{mm}$ 、 $\phi 8\text{mm}$ 、 $\phi 10\text{mm}$ 及 $\phi 20\text{mm}$ 等多种。

3. 按发光强度的半值角进行分类

LED 按其发光强度的半值角大小可分为标准型、散射型和高指向型 3 种。标准型通常用作指示灯,其半值角一般为 $20^\circ \sim 45^\circ$; 散射型通常用作视角较大的指示灯,半值角一般为 $45^\circ \sim 90^\circ$ 或更大; 高指向型一般为尖头环氧封装或是带金属反射腔封装,且不加散射剂,半值角为 $5^\circ \sim 20^\circ$ 或更小,具有很高的指向性,通常用作局部照明光源,或与光检测器联用以组成自动检测系统。

4. 按 LED 的结构进行分类

LED 按其结构可分为全环氧包封、金属底座环氧封装、陶瓷底座环氧封装及玻璃封装等。

5. 按发光强度进行分类

LED 按其发光强度或工作电流可分为普通亮度 LED (发光强度小于 10mcd)、高亮度 LED (发光强度为 $10 \sim 100\text{mcd}$)、超高亮度 LED (发光强度大于 100mcd)。普通 LED 的工作电流在十几毫安至几十毫安,有些大功率 LED 的工作电流可以达到几百毫安。

1.1.3 LED 的结构和驱动

普通 LED 的基本结构如图 1.2(a) 所示。用于发光的 LED 芯片被固定在带两根引线的导电、导热的金属支架上,其中与反射杯相连的引线为阴极,另一根引线为阳极。一般阳极对应的引脚较长,阴极对应的引脚较短。LED 芯片外围封以环氧树脂(帽),一方面可以保护芯片,另一方面起(透镜)聚光的作用。

LED 芯片是 LED 器件的核心,其结构如图 1.2(b) 所示。LED 芯片为分层结构: 芯片两端是金属电极; 底部为衬底材料; 中间是由 P 型层和 N 型层构成的 PN 结; 发光层被夹在 P 型层和 N 型层之间,是发光的核心区域。在 LED 芯片工作时, P 型层和 N 型层分别提供发光所需的空穴和电子,它们被注入发光层时发生复合而产生光。

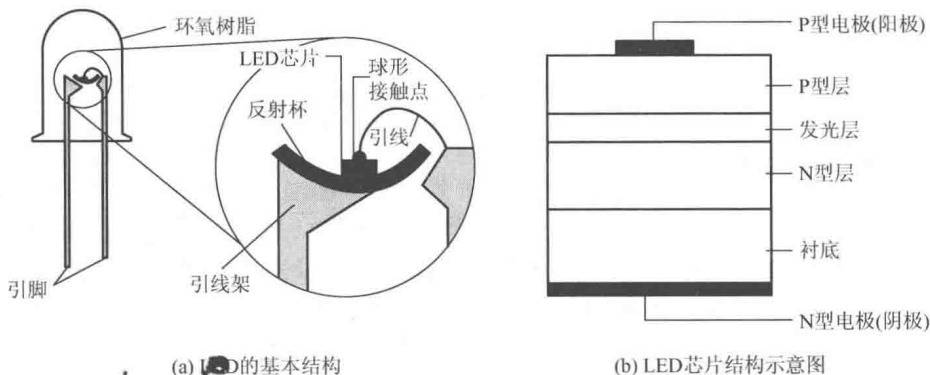


图 1.2 LED 的基本结构示意图

LED 与普通的二极管类似，具有单向导通性。当给 LED 加上合适的正向偏置电压后，可以使其发光。图 1.3(a) 所示为简单的恒压直流供电的 LED 驱动电路。电路中串联的电阻起到限流的作用，称为限流电阻，以保证 LED 实际通过的电流小于其能承受的最大电流。限流电阻的最小取值为

$$R = \frac{V_{cc} - V_F}{I_F} \quad (1-1)$$

式中， V_{cc} 为电源电压； V_F 为 LED 正常工作时两端的电压； I_F 为 LED 最大工作电流。

LED 在恒压驱动时的发光强度基本是稳定的，但也会由于驱动电压、LED 温度等因素的影响而产生微小波动，因此在光强稳定度要求较高的场合，LED 需要使用恒流源进行驱动并加入恒温控制装置。

在某些应用场合（如光通信等）需要对 LED 进行调制驱动，典型的调制驱动电路如图 1.3(b) 所示。图中，LED 连接到晶体管的集电极，晶体管基极的偏置电压就可以控制 LED 的发光强度。将信号通过电容耦合到基极，可以使 LED 的发光强度随信号大小的变化而变化，从而实现信号的调制。

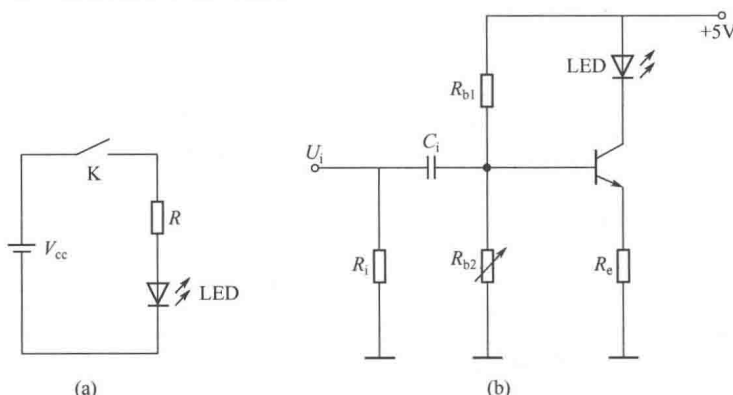


图 1.3 LED 的驱动电路

1.1.4 LED 的基本特性

了解 LED 的基本特性有助于 LED 的合理选择和正确使用。LED 的基本特性主要有伏安特性、光电特性、光谱特性、光强空间分布特性、响应特性和温度特性等。

1. LED 的伏安特性

LED 的伏安特性是指通过 LED 的电流与其两端电压之间的关系，常见 LED 的伏安特性曲线如图 1.4 所示。与普通二极管的伏安特性类似，LED 也有正向开启电压和反向击穿电压，但 LED 的开启电压相对较高，一般为 $1.7\sim 2.3\text{V}$ 。当 LED 两端电压小于开启电压时，不导通，LED 不发光；当 LED 两端电压大于开启电压后，LED 发光，且通过电流随电压的增加急剧增大，当电流超过 LED 所能承受的最大电流时会使 LED 损坏。

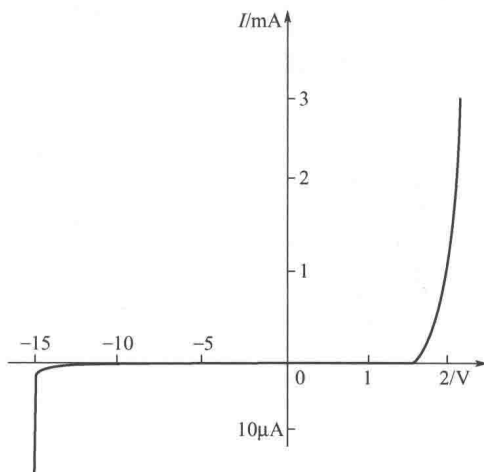


图 1.4 LED 的伏安特性曲线图

2. LED 的光电特性

LED 的光电特性是指 LED 工作时的发光强度与其通过电流之间的关系，常见 LED 的光电特性曲线如图 1.5 所示。由图 1.5 可知，当 LED 发光不太强时，发光强度随电流的增加近似线性增大；当发光强度超过一定值时，发光强度随电流增加缓慢，并趋于饱和。因此，在使用 LED 进行光调制（特别是模拟信号调制）时，应该设置合适的 LED 工作电流，使其发光在线性区域。

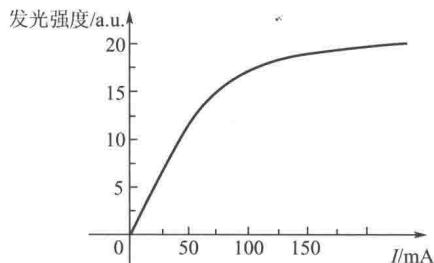


图 1.5 LED 的光电特性曲线

3. LED 的光谱特性

LED 的光谱特性是指 LED 发光中光谱强度与波长之间的对应关系，它描述了 LED

发光中包含的光谱成分及含量。不同的光谱分布对应不同的光颜色。LED 发光的峰值波长 λ 与发光区域半导体材料的禁带宽度 E_g 有关, 即

$$\lambda \approx \frac{1240}{E_g} (\text{nm}) \quad (1-2)$$

式中, E_g 的单位为电子伏特 (eV)。若产生可见光 (波长为 380~780nm), 半导体材料的 E_g 应为 3.26~1.63eV。

典型白色 LED 的光谱功率分布如图 1.6 所示。图 1.7 所示为普通蓝色、绿色、红色 LED 的光谱功率分布。需要注意的是, LED 的光谱功率分布会随温度的变化而发生微小移动。当 LED 的 PN 结温度升高时, 光谱分布会以 0.1~0.3nm/°C 的比例向长波方向移动。

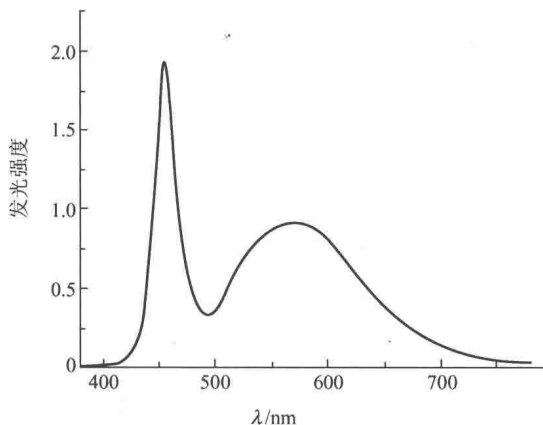


图 1.6 白色 LED 的光谱功率分布曲线



【蓝色 LED、绿色 LED、红色 LED 的光谱功率分布曲线】

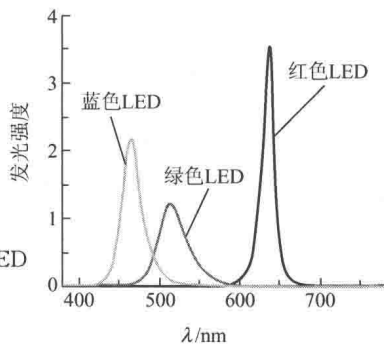


图 1.7 蓝色 LED、绿色 LED、红色 LED 的光谱功率分布曲线

4. LED 的光强空间分布特性

LED 的光强空间分布特性描述了 LED 发光的空间发散程度, 通常用发散角或光强半值角来表示。半值角是指发光强度值为发光轴强度值一半的方向与发光轴方向 (法向) 的夹角。半值角的 2 倍为发散角 (或称半功率角)。图 1.8 给出了两只不同型号 LED 的发光强度角分布的情况。中垂线 (法线) 的坐标为相对发光强度 (即发光强度与最大发光强度之比)。显然, 法线方向上的相对发光强度为 1, 离开法线方向的角度越大, 相对发光强度越小。由图 1.8 可以得到半值角或发散角。

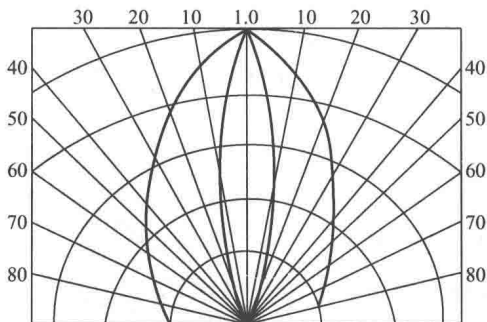


图 1.8 LED 的发光强度角分布

5. LED 的响应特性和温度特性

从使用角度来看, LED 的响应时间就是点亮与熄灭所延迟的时间, 响应时间主要取决于载流子寿命、器件的结电容及电路阻抗。如图 1.9 所示, LED 的点亮时间(即上升时间 t_r)是指 LED 接通电源后发光强度达到正常值的 10% 开始到发光强度达到正常值的 90% 所经历的时间。LED 的熄灭时间(下降时间 t_f)是指发光强度从正常值减弱至正常值的 10% 所经历的时间。不同材料制备的 LED 响应时间各不相同。例如, GaAs、GaAsP、GaAlAs 制备的 LED 响应时间小于 10^{-9} s, GaP 制备的 LED 响应时间为 10^{-7} s。

温度对 LED 的发光特性影响较大。通常, LED 的发光效率随温度的升高而下降。图 1.10 表示了 GaP(绿色)、GaP(红色)和 GaAsP 这 3 种 LED 的发光强度与温度的变化关系。温度升高也会使 LED 的发光向长波长漂移, 影响发光的颜色。为此, 在使用大功率 LED 或 LED 排列密集的场所要求设计良好的散热装置, 以保证 LED 长期稳定工作。

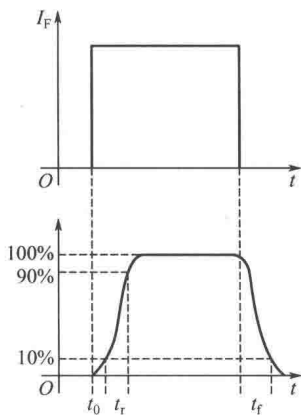


图 1.9 LED 的响应时间

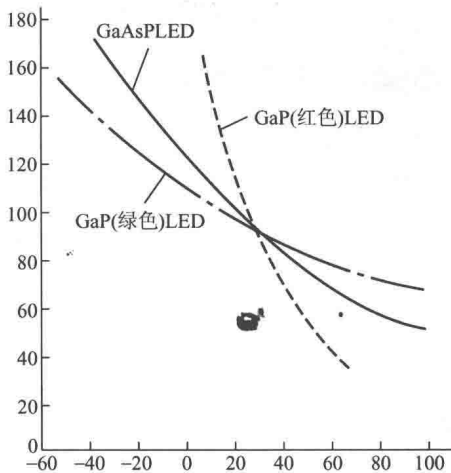


图 1.10 LED 发光强度与温度的变化关系

1.1.5 LED 的应用

由于 LED 具有小型化、低功耗、长寿命、价格低等特点, 因此它的应用越来越受到人们的关注和开拓。目前, LED 主

【LED 行内人得知道的 12 种 LED 新技术及应用】

