



全国高等职业教育“十二五”规划教材  
中国电子教育学会推荐教材  
全国高职高专院校规划教材·精品与示范系列

# LED封装与检测技术

◎ 谭 巧 等编著

- LED的发光原理
- LED的基本参数
- LED分类与封装形式
- LED应用与产业链
- LED封装材料与封装环境
- LED封装整体流程
- LED封装的固晶环节
- LED封装的焊线环节
- LED封装的配胶、灌胶环节
- LED封装的切脚、初测环节
- LED分选、包装环节
- LED参数测试

- ◆ 依托中央财政支持建设的光电器件集成加工中心及合作企业完善的LED设备开展课程改革
- ◆ 按照行业LED封装流程设置内容，以一个生产实例为主线，注重培养实际操作工艺及动手能力
- ◆ 结合与LED生产实践紧密相连的课程教学，在国内首次开展“LED封装工”的职业技能鉴定
- ◆ 提供免费的电子教学课件、习题参考答案及部分工艺操作的教学视频，以方便教学



电子工业出版社

PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

<http://www.phei.com.cn>



LED封装与检测技术

LED Packaging and Detection Technology

# LED封装与检测技术

王 强 主编



- 1. 本书可作为高等院校电子信息类、材料类、机械类、电气类、自动化类、计算机类、通信类、能源类、环境类、生物类、医学类、农学类、林学类、工学类、理学类、文学类、法学类、管理学类、教育学类、历史学类、哲学类、艺术学类、体育学类、医学类、农学类、林学类、工学类、理学类、文学类、法学类、管理学类、教育学类、历史学类、哲学类、艺术学类、体育学类等专业的教材。
- 2. 本书可作为从事LED封装与检测技术工作的工程技术人员、管理人员、销售人员、售后服务人员等的参考书。
- 3. 本书可作为从事LED封装与检测技术工作的工程技术人员、管理人员、销售人员、售后服务人员等的培训教材。
- 4. 本书可作为从事LED封装与检测技术工作的工程技术人员、管理人员、销售人员、售后服务人员等的自学教材。

LED封装与检测技术

王 强 主编

全国高等职业教育“十二五”规划教材

中国电子教育学会推荐教材

全国高职高专院校规划教材·精品与示范系列

# LED 封装与检测技术

谭 巧 等编著

電子工業出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

## 内 容 简 介

本书根据教育部最新的职业教育教学改革要求,依托中央财政支持建设的光电器件集成加工中心及合作企业完善的LED封装和测试设备,在进行大量的课程改革与教学实践基础上进行编写。本书从LED的基础知识出发,系统全面地讲解了LED封装的基本参数、工艺流程、物料、工艺要求和LED测试技术,具体包括:LED基础知识、LED的封装、LED封装的固晶环节、LED封装的焊线环节、LED封装的配胶灌胶环节、LED封装的切脚、初测环节、LED封装的分选包装环节、LED参数测试等。全书通过LED生产实例来组织内容,结构清晰,内容实用,并配有大量的生产操作图片,通俗易懂,注重培养学生实际操作工艺及理论联系实际的能力。

本书为高职高专院校LED课程的教材,也可作为应用型本科、成人教育、自学考试、电视大学、中职学校及LED封装工的考证培训教材,以及LED生产企业技术人员、检测技术人员、生产管理人员的参考书。

本书配有免费的电子教学课件、习题参考答案及部分工艺操作的教学视频,详见前言。

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。

### 图书在版编目(CIP)数据

LED封装与检测技术 / 谭巧等编著. —北京: 电子工业出版社, 2012.9

全国高职高专院校规划教材. 精品与示范系列

ISBN 978-7-121-17792-7

I. ①L… II. ①谭… III. ①发光二极管—封装工艺—高等职业教育—教材②发光二极管—检测—高等职业教育—教材 IV. ①TN383

中国版本图书馆CIP数据核字(2012)第178086号

策划编辑: 陈健德 (E-mail: chenjd@phei.com.cn)

责任编辑: 郝黎明 文字编辑: 裴杰

印刷: 三河市鑫金马印装有限公司

装订:

出版发行: 电子工业出版社

北京市海淀区万寿路173信箱 邮编100036

开本: 787×1092 1/16 印张: 16 字数: 409.6千字

印次: 2012年9月第1次印刷

定价: 31.00元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题, 请向购买书店调换。若书店售缺, 请与本社发行部联系, 联系及邮购电话: (010) 88254888。

质量投诉请发邮件至 zltz@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线: (010) 88258888。

## 职业教育 继往开来（序）

自我国经济在 21 世纪快速发展以来，各行各业都取得了前所未有的进步。随着我国工业生产规模的扩大和经济发展水平的提高，教育行业受到了各方面的重视。尤其对高等职业教育来说，近几年在教育部和财政部实施的国家示范性院校建设政策鼓舞下，高职院校以服务为宗旨、以就业为导向，开展工学结合与校企合作，进行了较大范围的专业建设和课程改革，涌现出一批示范专业和精品课程。高职教育在为区域经济建设服务的前提下，逐步加大校内生产性实训比例，引入企业参与教学过程和质量评价。在这种开放式人才培养模式下，教学以育人为目标，以掌握知识和技能为根本，克服了以学科体系进行教学的缺点和不足，为学生的顶岗实习和顺利就业创造了条件。

中国电子教育学会立足于电子行业企事业单位，为行业教育事业的改革和发展，为实施“科教兴国”战略做了许多工作。电子工业出版社作为职业教育教材出版大社，具有优秀的编辑人才队伍和丰富的职业教育教材出版经验，有义务和能力与广大的高职院校密切合作，参与创新职业教育的新方法，出版反映最新教学改革成果的新教材。中国电子教育学会经常与电子工业出版社开展交流与合作，在职业教育新的教学模式下，将共同为培养符合当今社会需要的、合格的职业技能人才而提供优质服务。

近期由电子工业出版社组织策划和编辑出版的“全国高职高专院校规划教材·精品与示范系列”，具有以下几个突出特点，特向全国的职业教育院校进行推荐。

（1）本系列教材的课程研究专家和作者主要来自于教育部和各省市评审通过的多所示范院校。他们对教育部倡导的职业教育教学改革精神理解得透彻准确，并且具有多年的职业教育教学经验及工学结合、校企合作经验，能够准确地对职业教育相关专业的知识点和技能点进行横向与纵向设计，能够把握创新型教材的出版方向。

（2）本系列教材的编写以多所示范院校的课程改革成果为基础，体现重点突出、实用为主、够用为度的原则，采用项目驱动的教学方式。学习任务主要以本行业工作岗位群中的典型实例提炼后进行设置，项目实例较多，应用范围较广，图片数量较大，还引入了一些经验性的公式、表格等，文字叙述浅显易懂。增强了教学过程的互动性与趣味性，对全国许多职业教育院校具有较大的适用性，同时对企业技术人员具有可参考性。

（3）根据职业教育的特点，本系列教材在全国独创性地提出“职业导航、教学导航、知识分布网络、知识梳理与总结”及“封面重点知识”等内容，有利于老师选择合适的教材并有重点地开展教学过程，也有利于学生了解该教材相关的职业特点和对教材内容进行高效率的学习与总结。

（4）根据每门课程的内容特点，为方便教学过程对教材配备相应的电子教学课件、习题答案与指导、教学素材资源、程序源代码、教学网站支持等立体化教学资源。

职业教育要不断进行改革，创新型教材建设是一项长期而艰巨的任务。为了使职业教育能够更好地为区域经济和企业服务，殷切希望高职高专院校的各位职教专家和老师提出建议和撰写精品教材（联系邮箱：[chenjd@phei.com.cn](mailto:chenjd@phei.com.cn)，电话：010-88254585），共同为我国的职业教育发展尽自己的责任与义务！

中国电子教育学会

# 前言



随着我国工业与经济的快速发展,照明技术与应用取得长足的进步,我国已成为世界第一大照明电器生产国和第二大照明电器出口国。作为目前全球最受瞩目的新一代光源,LED 因其高亮度、低热量、长寿命、无毒、可回收再利用等优点,被称为是 21 世纪最有发展前景的绿色照明光源。我国的 LED 产业起步于 20 世纪 70 年代,经过近 40 年的发展,现已形成上海、大连、南昌、厦门、深圳、扬州和石家庄 7 个国家半导体照明工程产业化基地,产品广泛应用于景观照明和普通照明等领域。截至 2011 年底,我国共有 LED 企业 5000 余家。然而,在 LED 产业如此迅猛发展的情况下,却出现“LED 产业所需的高端研发人才、中端工程人才、初级技能人才都十分短缺”的问题。国家半导体照明工程研发及产业联盟秘书长吴玲说,目前大部分新光源关联企业的管理人才、工程师以及生产线人才都非常紧缺,这在很大程度上阻碍了 LED 产业的发展。

目前,有多所高职高专院校开设光电技术等相关专业,但介绍 LED 生产和检测的教材少之又少。福建信息职业技术学院借助于地理环境优势,于 2008 年申报开设了光电技术专业,在中央财政支持下成立了光电器件集成加工中心,并引入生产企业设立“校中厂”进行 LED 的生产和开展 LED 的封装测试教学,并在国内首次开展“LED 封装工”的职业技能鉴定。我们在开设本专业课程后进行了大量的内容改革与教学实践,并探索编写校本教材,通过几年的内容调整和完善,完成这本与 LED 生产实践紧密相连的 LED 生产和检测教材。全书内容按照 LED 封装流程进行编排,并通过一个生产实例贯穿全书,充分将理论知识和实践操作相结合,让学生在具备一定理论的基础上能较好较快地掌握 LED 封装的生产工艺和检测技术。

本书从 LED 的基础知识出发,系统全面地讲解了 LED 封装的基本参数、工艺流程、物料、工艺要求和 LED 测试技术,具体包括:LED 基础知识、LED 的封装、固晶环节、焊线环节、配胶灌胶环节、切脚初测环节、分选包装环节、LED 参数检测等。全书通过 LED 生产实例来组织内容,结构清晰,内容实用,并配有大量的生产操作图片,通俗易懂,注重培养学生实际操作工艺及理论联系实际的能力。本课程建议理论课时和实践课时的比例大约为 1:2.5,有条件的院校建议在 LED 生产实训场所采用一体化模式开展教学。

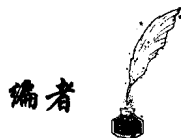
本书为高职高专院校 LED 课程的教材,也可作为应用型本科、成人教育、自学考试、电视大学、中职学校及 LED 封装工的考证培训教材,以及 LED 企业技术人员、检测人员、生产管理人员的参考书。

本书由福建信息职业技术学院谭巧老师担任主编并统稿,福建信息职业技术学院林火养老师、何志敏老师、陈世伟老师,大连职业技术学院许毅,福建水利电力职业技术学院

陈海燕参加编写。其中，第1章由林火养编写，第2章由陈世伟编写，第3—5章、第7章由谭巧编写，第6章由许毅、陈海燕编写，第8章由何志敏编写。福建三创电子有限公司生产经理陈志敏校对了全书，并提出了许多宝贵修改意见；杨敏玲、罗为民、陈明星、王洪东同学参与了部分资料的整理工作，在此一并表示衷心的感谢。

限于编者水平，书中难免会有疏漏和错误之处，敬请广大读者和同行专家提出宝贵意见，以便使这本教材能日趋完善，编者不胜感谢。

为了方便教师教学，本书配有免费的电子教学课件、习题参考答案及部分工艺操作的教学视频，请有需要的教师登录华信教育资源网 (<http://www.hxedu.com.cn>) 免费注册后再进行下载，有问题时请在网站留言或与电子工业出版社联系 (E-mail: [hxedu@phei.com.cn](mailto:hxedu@phei.com.cn))。





|                       |           |
|-----------------------|-----------|
| <b>第 1 章 LED 基础知识</b> | <b>1</b>  |
| 1.1 LED 发展简史          | 2         |
| 1.2 LED 的发光原理         | 4         |
| 1.2.1 LED 的发光材料       | 4         |
| 1.2.2 LED 的发光过程       | 5         |
| 1.2.3 LED 的发光颜色       | 6         |
| 1.3 LED 的基本参数         | 6         |
| 1.3.1 LED 的电学参数       | 6         |
| 1.3.2 LED 的光学参数       | 7         |
| 1.3.3 LED 的色度学参数      | 11        |
| 1.3.4 LED 的其他参数       | 12        |
| 1.4 LED 光源的优点         | 13        |
| 1.5 LED 的分类与封装        | 15        |
| 1.5.1 LED 的常见分类       | 15        |
| 1.5.2 LED 的封装形式       | 17        |
| 1.6 LED 的应用           | 23        |
| 1.6.1 信息显示            | 24        |
| 1.6.2 交通领域            | 24        |
| 1.6.3 汽车用灯            | 25        |
| 1.6.4 背光源             | 25        |
| 1.6.5 半导体照明           | 26        |
| 1.6.6 其他方面            | 27        |
| 1.7 LED 的产业链          | 27        |
| 知识小结                  | 28        |
| 思考题 1                 | 28        |
| <b>第 2 章 LED 的封装</b>  | <b>30</b> |
| 2.1 LED 封装的作用与功能      | 31        |
| 2.2 对 LED 封装材料的要求     | 32        |
| 2.3 对 LED 封装环境的要求     | 32        |
| 2.3.1 LED 封装工艺环境      | 32        |
| 2.3.2 LED 封装过程中的安全防护  | 34        |
| 2.4 Lamp-LED 封装       | 39        |

|                                |           |
|--------------------------------|-----------|
| 2.5 Lamp-LED 封装整体流程 .....      | 41        |
| 2.5.1 直插式 LED 封装流程图 .....      | 41        |
| 2.5.2 手动封装流程演示图 .....          | 42        |
| 2.5.3 生产中的质量监控 .....           | 44        |
| 知识小结 .....                     | 48        |
| 思考题 2 .....                    | 48        |
| <b>第 3 章 LED 封装的固晶环节 .....</b> | <b>49</b> |
| 3.1 扩晶 .....                   | 50        |
| 3.1.1 芯片的种类结构与简图 .....         | 51        |
| 3.1.2 芯片的衬底材料 .....            | 53        |
| 3.1.3 芯片的标签与检验 .....           | 54        |
| 3.1.4 芯片的存储与包装 .....           | 57        |
| 3.1.5 翻晶膜和扩晶环 .....            | 58        |
| 3.1.6 扩晶机的组成与使用 .....          | 59        |
| 3.1.7 扩晶流程与工艺要求 .....          | 61        |
| 3.2 排支架 .....                  | 68        |
| 3.2.1 支架的结构与分类 .....           | 69        |
| 3.2.2 支架的检验与保存 .....           | 72        |
| 3.2.3 排支架流程与工艺要求 .....         | 74        |
| 3.3 点胶 .....                   | 75        |
| 3.3.1 银胶、绝缘胶 .....             | 76        |
| 3.3.2 点胶机的组成与操作 .....          | 79        |
| 3.3.3 点胶流程与工艺要求 .....          | 80        |
| 3.3.4 点胶不良现象产生的原因及解决方法 .....   | 83        |
| 3.4 固晶 .....                   | 84        |
| 3.4.1 固晶流程与工艺要求 .....          | 84        |
| 3.5 固化 .....                   | 87        |
| 3.5.1 烘烤箱的组成与操作维护 .....        | 87        |
| 3.5.2 固化流程与工艺要求 .....          | 91        |
| 知识小结 .....                     | 92        |
| 思考题 3 .....                    | 93        |
| <b>第 4 章 LED 封装的焊线环节 .....</b> | <b>94</b> |
| 4.1 焊线 .....                   | 95        |
| 4.1.1 金线 .....                 | 95        |
| 4.1.2 瓷嘴 .....                 | 97        |
| 4.1.3 超声波金丝球焊线机的组成与使用 .....    | 103       |
| 4.1.4 拉力计的参数与操作保养 .....        | 114       |

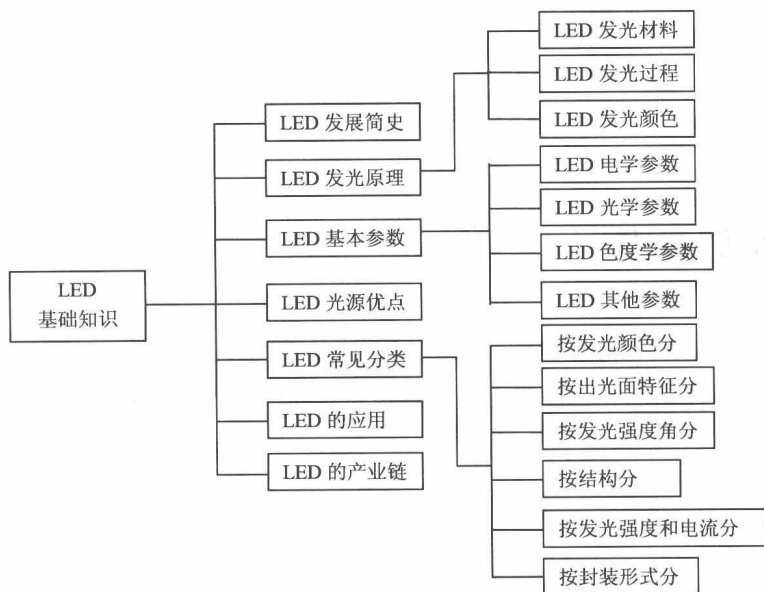
|                             |            |
|-----------------------------|------------|
| 4.1.5 焊线流程与工艺要求             | 116        |
| 4.2 焊接四要素                   | 119        |
| 4.3 焊线中的常见问题与解决方法           | 119        |
| 知识小结                        | 122        |
| 思考题 4                       | 122        |
| <b>第 5 章 LED 封装的配胶、灌胶环节</b> | <b>123</b> |
| 5.1 配胶                      | 125        |
| 5.1.1 LED 灌胶用胶水             | 125        |
| 5.1.2 扩散剂与色膏                | 128        |
| 5.1.3 丙酮                    | 129        |
| 5.1.4 搅拌机的组成与操作             | 129        |
| 5.1.5 真空箱的组成与操作维护           | 131        |
| 5.1.6 电子秤的组成与操作维护           | 134        |
| 5.1.7 配胶流程与工艺要求             | 135        |
| 5.2 灌胶                      | 139        |
| 5.2.1 模条的组成、使用与检验           | 140        |
| 5.2.2 手动灌胶流程                | 143        |
| 5.2.3 半自动灌胶流程与工艺要求          | 145        |
| 5.3 短烤流程与工艺要求               | 149        |
| 5.4 离模机与离模操作                | 150        |
| 5.4.1 离膜机的操作                | 151        |
| 5.4.2 离膜流程与工艺要求             | 152        |
| 5.5 长烤流程与工艺要求               | 153        |
| 5.6 配胶、灌胶常见问题与解决方法          | 154        |
| 知识小结                        | 157        |
| 思考题 5                       | 158        |
| <b>第 6 章 LED 封装的切脚、初测环节</b> | <b>159</b> |
| 6.1 一切（半切、前切）               | 160        |
| 6.1.1 一切机的组成与操作维护           | 160        |
| 6.1.2 一切流程与工艺要求             | 166        |
| 6.2 初检                      | 168        |
| 6.2.1 发光二极管排测机的组成与操作        | 168        |
| 6.2.2 初检流程与工艺要求             | 173        |
| 6.3 二切（全切、后切）               | 176        |
| 6.3.1 二切机的组成与操作             | 176        |
| 6.3.2 二切流程与工艺要求             | 177        |
| 知识小结                        | 179        |

|                                 |     |
|---------------------------------|-----|
| 思考题 6 .....                     | 180 |
| <b>第 7 章 LED 的分选、包装环节</b> ..... | 181 |
| 7.1 分选 .....                    | 182 |
| 7.1.1 分光分色机的结构与工作过程 .....       | 183 |
| 7.1.2 分选流程与工艺要求 .....           | 184 |
| 7.2 包装 .....                    | 188 |
| 7.2.1 封口机 .....                 | 189 |
| 7.2.2 防静电袋 .....                | 189 |
| 7.2.3 包装流程与工艺要求 .....           | 190 |
| 7.3 封装失效模式与异常处理 .....           | 191 |
| 知识小结 .....                      | 192 |
| 思考题 7 .....                     | 193 |
| <b>第 8 章 LED 参数测试</b> .....     | 194 |
| 8.1 LED 的测试参数 .....             | 195 |
| 8.2 光色电综合测试系统 .....             | 196 |
| 8.2.1 光色电综合测试系统的功能 .....        | 196 |
| 8.2.2 光色电综合测试系统的组成与数据读取 .....   | 197 |
| 8.2.3 光色电参数综合测试系统校准 .....       | 207 |
| 8.3 三维配光曲线测试设备的结构与使用 .....      | 216 |
| 8.4 结温测试设备 .....                | 218 |
| 8.4.1 结温测试仪的操作界面 .....          | 219 |
| 8.4.2 夹具箱体的使用 .....             | 219 |
| 8.5 电学参数测试 .....                | 220 |
| 8.5.1 LED 伏安特性测试 .....          | 220 |
| 8.5.2 反向电压—漏电流曲线测试 .....        | 222 |
| 8.6 光学参数测试 .....                | 224 |
| 8.6.1 光强分布角测量 .....             | 225 |
| 8.6.2 光通量—电流测试 .....            | 226 |
| 8.7 色度学参数测试 .....               | 228 |
| 8.8 三维配光曲线测试 .....              | 231 |
| 8.9 结温、热阻测试 .....               | 235 |
| 知识小结 .....                      | 242 |
| 思考题 8 .....                     | 242 |
| <b>参考文献</b> .....               | 243 |

# 第1章

## LED 基础知识

知识分布网络





LED (Light Emitting Diode) 即发光二极管, 是一种将电能转化为光能的固体器件。其核心为 PN 结, 具有单向导电性。常见的 Lamp LED (引脚式 LED) 的基本结构为: 一块电致发光的半导体模块 (即 LED 芯片), 被银胶 (绝缘胶) 固定在反射杯中, 然后通过金线与支架相连, 最终由环氧树脂密封。其外形结构如图 1-1 所示。

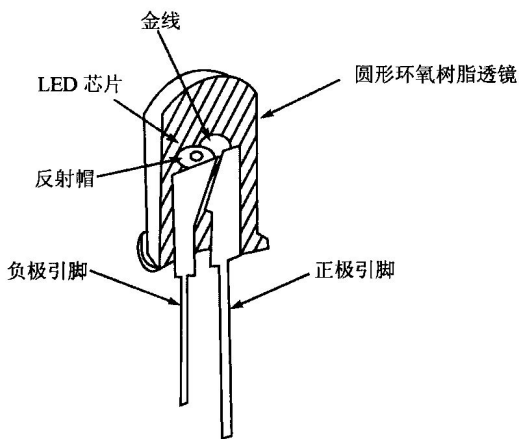


图 1-1 Lamp LED 结构示意图

LED 在电路中的符号如图 1-2 所示。

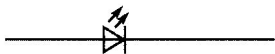


图 1-2 LED 电路符号

## 1.1 LED 发展简史

LED 是继白炽灯、荧光灯和高强度放电灯之后的第四代新光源——固态冷光源, 它具有结构紧凑、重量轻、体积小、耗能少、响应速度快、抗震性能好、使用方便等优点, 是很有前景的一种电光源。

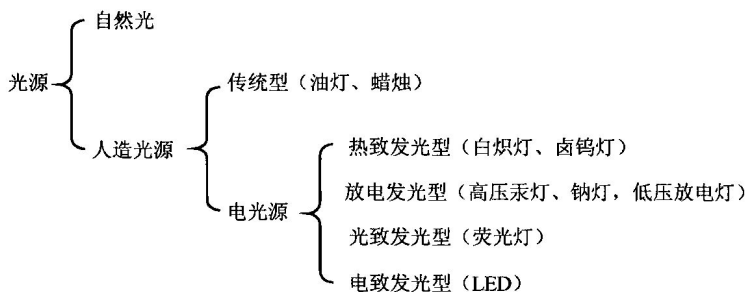


图 1-3 光源的分类图



LED 的发展主要经历了以下三个阶段:

### 1. 指示应用阶段 (20 世纪 80 年代前)

1907 年, Henry Joseph Round 第一次在一块碳化硅里观察到电致发光现象。由于其发出的黄光太暗, 不适合实际应用, 所以研究被摒弃了。随后, Bernhard Gudden 和 Robert Wichard 使用从锌硫化物与铜中提炼的黄磷发光, 再一次因发光暗淡而停止。

1936 年, George Destiau 出版了一个关于硫化锌粉末发射光的报告。随着电流的应用和广泛的认识, 最终出现了“电致发光”这个术语。20 世纪 50 年代, 英国科学家在电致发光的实验中使用半导体砷化镓发明了第一个具有现代意义的 LED, 并于 20 世纪 60 年代面世。第一个商用 LED 仅能发出不可视的红外光, 但迅速应用于感应与光电探测领域。

1968 年, 在砷化镓基体上使用磷化物掺杂, 具有商业价值的发红光 LED 面世。磷掺杂工艺使得 LED 发光效率更高、发出的红光更亮, 甚至产生出橙色和黄色的光。当时所用的材料是 GaAsP, 发红光 ( $\lambda_p=650\text{nm}$ ), 在驱动电流为 20mA 时, 光通量只有千分之几个流明, 相应的发光效率约 0.1lm/W, 比白炽灯低 100 倍。

20 世纪 70 年代中期, 磷化镓被使用作为发光光源, 并引入元素 In 和 N, 使 LED 产生绿光 ( $\lambda_p=555\text{nm}$ ), 黄光 ( $\lambda_p=590\text{nm}$ ) 和橙光 ( $\lambda_p=610\text{nm}$ ), 光效也提高到 1lm/W。这一时期的 LED 开始应用于文字点阵显示器、背景图案用的灯栅和条纹图阵列, 但主要应用还是电子产品的指示灯。

### 2. 信号与显示阶段 (80 年代)

20 世纪 80 年代早期到中期, 人们开始用 AlGaAs (铝镓砷) 材料制造 LED, 使红光 LED 光效提高了近十倍, 光效达到 10lm/W 的量级, 人们将其应用于室外运动信息发布系统、条形码系统、光电传导系统和医疗器件等领域。

从 20 世纪 80 年代后期到 90 年代初, 随着金属有机化学气相沉积 (MOVCD) 外延技术的成熟, 用 AlInGaP (铝铟镓磷) 材料制造出橙黄、黄色、绿色和红色等 LED。产品除用于室外显示, 还在交通信号灯和汽车信号灯等领域得到应用。

### 3. 全彩应用及普遍照明阶段

1994 年, 日本科学家中村秀二利用 GaN 基底研制出蓝光 LED。从此, 红、绿、蓝全彩动态大屏幕显示技术的应用迅速发展, 也为白光 LED 的研制奠定基础。

白光是一种复合光, 并不是单一波长的光。白光 LED 的好处之一是可以应用于多波长领域。1997 年, 日本日亚公司研制出第一只白光 LED, 使用 GaN 蓝色发光二极管激发黄光荧光粉得到白光 LED, 虽然效率不足 10lm/W, 但也意味着 LED 由此进入普通照明时代。随后几年内, 白光 LED 得到了迅速的发展。2000 年, 日亚报道了 15lm/W 白光 LED; 2003 年, 日亚报道的光效达到 60lm/W; 2006 年 3 月, 其光效达到 100lm/W; 2006 年 7 月, Cree 公司报道了 130lm/W 白光 LED; 2006 年 11 月, 日亚报道的光效达到 150lm/W, 其效率已经超过



节能灯，实现了真正意义上的照明；2007 年 3 月，美国 CREE 公司光效达到 157lm/W；在 2012 年，市场上已经出现 175lm/W 的 LED 光源产品。今后，LED 的光效将进一步提高。

白光 LED 的最大应用亮点是作为手机、个人数字助理（PDA）和数码相机等便携式电子产品的小尺寸彩色 LCD 显示屏的背光源，并在汽车、景观装饰，以及普通照明等领域获得了日益广泛的应用。

最近开发的 LED 不仅能发射出纯紫外光而且能发射出真实的“黑色”紫外光。LED 的发展不单纯是它的颜色，还有它的亮度，像计算机一样，遵守摩尔定律的发展。每隔 18 个月它的亮度就会增加一倍，而价格会相应下降。早期的 LED 只能应用于指示灯、早期的计算器显示屏和数码手表，而现在开始出现在超亮度的领域，将会在接下来的一段时间继续下去。不久，LED 将会照亮我们的家、办公室甚至街道。2012 年 4 月，中国计量科学研究院专家预言，随着 LED 的发展，“流明”可能会成为衡量下一代照明度量的标准。

## 1.2 LED 的发光原理

LED 为什么可以发光呢？本节将从 LED 芯片的制成材料、LED 的发光过程，以及 LED 的发光颜色等几个方面进行讲解。

### 1.2.1 LED 的发光材料

LED 发光二极管的核心发光芯片是由元素周期表中的 III-IV 族化合物，如 GaAs（砷化镓）、GaP（磷化镓）、GaAsP（磷砷化镓）等半导体制成的，表 1-1 列举了 LED 的发光材料及其相应的应用领域。

表 1-1 LED 发光材料及相应的应用领域

| 分 类                    |                         | 材 料              | 应 用 领 域                  |
|------------------------|-------------------------|------------------|--------------------------|
| 可见光 LED<br>(450~780nm) | 传统亮度红黄光                 | GaP、GaAsP、AlGaAs | 家电、信息产品、通信产品、<br>消费性电子产品 |
|                        | 高亮度                     | AlGaInP（红、橙、黄光）  | 大型广告牌、交通标志、背光源、          |
|                        |                         | GaInN（蓝、绿光）      | 汽车灯                      |
|                        |                         | GaInN+荧光粉（白光）    | 照明用                      |
| 不可见光<br>LED            | 红外线 LED（850~950nm）      | GaAs、GaAlAs      | 红外无线通信 IrDA 模块、遥控器       |
|                        | 光通信 LED/LD（1300~1550nm） | GaAlAs           | 光通信用光源                   |

III-V 族化合物相关元素介绍：

- 镓 Ga（III 族）：银白色金属，最外层有 3 个电子。其化合物是制作半导体的重要材料。在硅（最外层 4 个电子）基板中掺杂一点镓，就会使其微结构少了一个电子，相当于多了一个正电荷（空穴），这样就成了 P 型半导体。



- 砷 As (V 族): 最外层有 5 个电子。其化合物是制作半导体的重要材料。在硅 (最外层 4 个电子) 基板中掺杂一点砷, 就会使其微结构多了一个电子, 这样就成了 N 型半导体。
- 铟 In (III 族): 最外层有 3 个电子。其化合物是制作 P 型半导体的重要材料。铟可用作低熔点合金、半导体、整流器、热敏电阻等。含 24% 铟及 76% 镓的合金, 在室温下是液体。

## 1.2.2 LED 的发光过程

LED 的发光过程如图 1-4 所示。

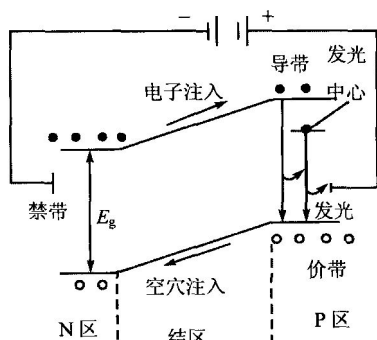


图 1-4 LED 的发光过程

LED 的实质性结构是半导体 P-N 结, 核心部分由 P 型半导体和 N 型半导体组成的晶片。在 P 型半导体和 N 型半导体之间有一个过渡层, 称为 P-N 结。其发光过程可以用 P-N 结的能带结构来做解释。制作半导体发光二极管的半导体材料是重掺杂的, 热平衡状态下的 N 区有很多迁移率很高的电子, P 区有较多的迁移率较低的空穴。在常态下, 因为 PN 结阻挡层的限制, 二者不能发生自然复合。而当给 P-N 结加以正向电压时, 由于外加电场方向与势垒区的自建电场方向相反, 因此势垒高度降低, 势垒区宽度变窄, 破坏了 P-N 结动态平衡, 产生少数载流子的电注入。空穴从 P 区注入 N 区, 同样电子从 N 区注入到 P 区, 注入的少数载流子将同该区的大多数载流子复合, 不断地将多余的能量以光的形式辐射出去, 如图 1-4 所示。

注: 图 1-4 中几个名词解释。

**价带:** 在孤立原子中, 电子是从低能级向高能级依次向上填满。在单晶中, 电子是从低能级向高能级依次向上填充, 被填满的能带称为满带。满带受原子核的束缚较强, 满带的最上层能带称为价带, 价带顶部能级用  $E_v$  表示。

**导带:** 在满带上方, 具有一系列空的能带, 最下层的空带称为导带, 导带底部能级用  $E_c$  表示。原子核对位于跃迁到空带上的电子作用微弱, 故空带中的电子也称自由电子。

**禁带:** 在价带和导带之间没有能带存在, 这部分区域称为禁带。禁带宽度用  $E_g$  表示。 $E_g$  可以用来区分导体、半导体和绝缘体。



价带、导带、禁带之间的关系如图 1-5 所示。

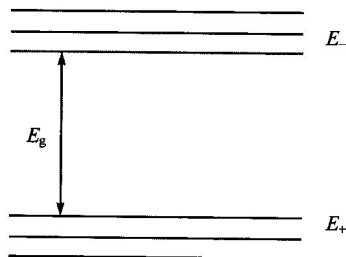


图 1-5 半导体能级图

### 1.2.3 LED 的发光颜色

LED 发光的颜色由半导体的种类决定,不同种类的半导体具有不同的禁带宽度  $E_g$ 。电子、空穴复合释放的能量由禁带宽度  $E_g$  决定,即

$$\lambda = \frac{1240}{E_g} \text{ nm}$$

要产生可见光(波长在 380~780nm 红光),半导体材料的  $E_g$  应在 3.26~1.63eV。现在已有红外、红、黄、绿及蓝光等各种颜色的 LED。

从上式也可知,要改变 LED 的发光颜色,可以通过掺入其他元素来改变  $E_g$  值。如纯 GaN 材料发出的是近紫外光,掺入 InN 可以减小  $E_g$  值,从而使芯片发蓝光。

## 1.3 LED 的基本参数

### 1.3.1 LED 的电学参数

LED 具有和普通二极管类似的伏安特性,如图 1-6 所示。

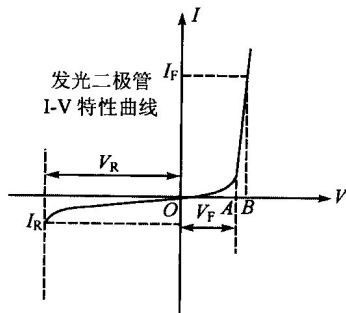


图 1-6 LED 的伏安特性曲线