



LED

刘祖明 编著

照明驱动器设计 全实例详解

LED
ZHAOMING
QUDONGQI
SHEJI
QUAN SHILI
XIANGJIE



化学工业出版社

LED

刘祖明 编著

照明驱动器设计
全实例详解



化学工业出版社

·北京·

LED作为第三代照明技术,具有节能、环保、安全可靠等特点。本书结合LED的实际应用,详细介绍了LED驱动器的设计方法与技巧。具体包括LED射灯、LED日光灯、LED台灯、LED路灯、LED景观照明等灯具的驱动器设计,书中所有的实例都可以应用在生产中。书中还给出了大量LED照明驱动器设计电路,读者完全可根据这些电路原理图结合实际的要求设计出性价比高的产品。

本书可供从事LED研究与应用的工程技术人员参考使用,也可作为职业院校电子、电工专业师生的辅助教材和课外读物。

图书在版编目(CIP)数据

LED照明驱动器设计全实例详解/刘祖明编著. —北京:化学工业出版社,2013.9

ISBN 978-7-122-17858-9

I. ①L… II. ①刘… III. ①发光二极管-电路设计
IV. ①TN383.02

中国版本图书馆CIP数据核字(2013)第150075号

责任编辑:李军亮

装帧设计:尹琳琳

责任校对:吴静

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)

印刷:北京永鑫印刷有限责任公司

装订:三河市宇新装订厂

787mm×1092mm 1/16 印张14 $\frac{3}{4}$ 字数366千字 2014年1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:49.00元

版权所有 违者必究

LED

照明驱动器设计全实例详解



前言 FOREWORD

LED 照明又称固态照明 (SSL), 作为继白炽灯、荧光灯后的第三代照明技术, 具有节能、环保、安全可靠等特点, 固态光源是被业界看好的未来十年替换传统照明器具极具潜力的新型光源, 代表着照明技术的未来。发展新固态照明, 不仅是照明领域的革命, 而且符合当前政府提出的“建设资源节约型和环境友好型社会”的要求。

2000 年以来, 手机背光源的应用引发了 LED 的爆发性成长, LED 逐渐进入汽车、液晶面板背光源、特殊照明等领域, 并获得了快速成长, 应用领域进一步扩大。广阔的照明市场将成为 LED 产业前进的强力引擎, 各个国家纷纷制订半导体照明的促进计划, 并确定了白炽灯泡退市具体日期, LED 照明大规模应用指日可待。由于 LED 技术的快速发展, 最高水平已达普通照明要求, 万事俱备只欠成本进一步降低。

目前, 可以说 LED 光源已无处不在, 不论是手机、电视、电脑, 还是夜景照明、路灯、隧道灯都能看到 LED 光源的身影。上海世博会场馆的建筑照明、夜景照明设计更是以 LED 作为光源的主力军, 或者说是以 LED 光源作为素材的。LED 光源在室内照明方面的进展更是异常迅速。

随着高亮度大功率 LED 的商品化, 以及世界各国政府的大力推进与财政支持, 使得 LED 的芯片设计和封装技术发展突飞猛进, 这也使高亮度大功率 LED 的生产成本迅速下降, 使该类 LED 的销售价格越来越接近普通大众能接受的目标价格。这无疑是推动绿色、节能、环保的 LED 灯具市场迅猛发展的根本动力所在。

笔者长期从事 LED 照明技术的研究和开发工作, 积累了丰富的实践经验, 并且编写了数本关于 LED 照明方面的图书, 在业界产生了一定的影响。特别是笔者在前几年出版了一本《LED 照明驱动器设计案例精解》一书, 深受读者的关注, 很多读者发来邮件或打来电话与笔者交流 LED 技术, 并提出了宝贵的意见。笔者经过这两年的考虑, 在吸取读者意见的基础上, 并结合这几年 LED 发展的新技术, 决定对《LED 照明驱动器设计案例精解》一书进行内容修订, 增加了很多实际的 LED 设计实例, 使本书内容更加全面和实用。

本书共分 6 章, 分别介绍了 LED 照明基础知识, LED 射灯、LED 日光灯、LED 台灯、LED 路灯、LED 景观照明等灯具的驱动器设计。

书中给出了大量 LED 照明驱动器设计电路, 读者可根据给出的电路原理图直接应用或结合具体的使用条件设计出性价比最优的产品。在材料收集和技术交流方面得到同行或国内专家的支持, 在此表示衷心地感谢。

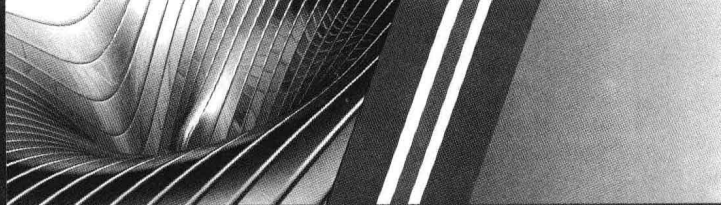
全书主要由刘祖明编写, 参加本书资料收集或整理工作的还有刘文沁、钟柳青、钟勇、张安若、祝建孙、刘国柱、刘艳生、刘艳明、邱寿华等。

由于时间仓促, 以及编者水平有限, 书中存在不足之处在所难免, 敬请广大读者批评指正。

编著者

LED

照明驱动器设计全实例详解



目录 CONTENTS

第 ① 章	LED 照明知识	1
1.1	LED 的工作原理	1
1.1.1	LED 与传统光源的不同发光机理	2
1.1.2	LED 发光器件的结构特点	2
1.1.3	白光 LED 的实现方法	3
1.1.4	LED 封装	4
1.2	LED 驱动电源的选择和设计应考虑的问题	6
1.3	LED 防静电基础知识	7
1.4	LED 电源	13
1.5	LED 照明灯具设计的注意事项	20
1.6	LED 透镜	21
1.7	LED 照明灯具认证简介	23
第 ② 章	射灯类 LED 驱动器的设计	27
2.1	MR16 灯杯 1W/3W/5W 驱动器的设计	28
2.1.1	MR16 灯杯	28
2.1.2	1W MR16 灯杯驱动器的设计	30
2.1.3	MR16 灯杯驱动器的设计	32
2.1.4	5W MR16 灯杯驱动器的设计	39
2.2	E27/GU10 3W 射灯驱动器的设计	40
2.2.1	E27/GU10 射灯性能简介	41
2.2.2	3W E27/GU10 3W 射灯驱动器的设计实例之一	42
2.2.3	3W E27/GU10 3W 射灯驱动器的设计实例之二	49
2.3	5W/7W PAR30 LED 驱动器的设计	52
2.3.1	5W PAR20 LED 驱动器的设计	52
2.3.2	7W PAR30 LED 驱动器的设计	58
2.4	12W PAR38 LED 驱动器的设计	62
2.4.1	12W PAR38 LED 驱动器的设计实例之一	62
2.4.2	12W PAR38 LED 驱动器的设计实例之二	70
2.5	LED 球泡灯驱动器的设计	73

2.5.1	LED 球泡灯驱动器的设计实例之一	73
2.5.2	LED 球泡灯驱动器的设计实例之二	80
2.6	LED 吸顶灯驱动器的设计	83
2.6.1	LED 吸顶灯驱动器的设计实例之一	84
2.6.2	LED 吸顶灯驱动器的设计实例之二	88
2.7	LED 电源的 PCB 设计	90

第 ③ 章 LED 荧光灯、橱柜灯驱动器的设计 94

3.1	18W LED T8 管驱动器的设计	94
3.1.1	LED 荧光灯的基础知识	94
3.1.2	LED 日光灯驱动器的设计实例之一	99
3.1.3	LED 日光灯驱动器的设计实例之二	113
3.2	12W 橱柜灯驱动器的设计	117
3.3	25W 冷柜灯驱动器的设计	125

第 ④ 章 LED 台灯驱动器的设计 132

4.1	3W 触摸 LED 台灯驱动的设计	137
4.1.1	触摸开关芯片	137
4.1.2	3W 触摸开关 LED 台灯设计实例之一	141
4.1.3	3W 触摸开关 LED 台灯设计实例之二	146
4.2	5W 触摸无级调光 LED 台灯驱动器	150
4.2.1	双通道直流无级调光 ADA01A 芯片介绍	151
4.2.2	无级调光 LED 台灯的电路原理图设计	153
4.3	12W 带小夜灯 LED 驱动器的设计	156
4.3.1	SD484XP67K65 的简介	157
4.3.2	12W 带小夜灯 LED 驱动器的设计	160
4.4	光源频闪的危害与对策	166
4.5	LED 在室内照明的应用和前景	168

第 ⑤ 章 LED 路灯驱动器的设计 171

5.1	30W LED 路灯驱动器设计	176
5.2	90W LED 路灯驱动器设计	180
5.2.1	90W LED 路灯驱动器设计实例之一	180
5.2.2	90W LED 路灯驱动器设计实例之二	181
5.3	200W 6 组输出 LED 路灯驱动器的设计	184

第 ⑥ 章 LED 景观照明驱动器的设计 186

6.1 LED 护栏灯驱动器的设计	186
6.1.1 36 W LED 数码管驱动器设计实例	186
6.1.2 75W LED 护栏灯驱动器的设计	189
6.2 10W LED 埋地灯驱动器的设计	202
6.3 36W LED 洗墙灯驱动器的设计	207

附录

217

附录 A LED 照明常用术语	217
附录 B 色温与推荐照度范围	218
附录 C 全球一线 LED 芯片生产厂商	219
附录 D LED 产品简介	220
附录 E LED 灯带常用术语	226

参考文献

228

第 1 章

LED 照明知识

1.1 LED 的工作原理

发光二极管简称为 LED，是由镓 (Ga) 与砷 (As)、磷 (P) 的化合物制成的二极管，当电子与空穴复合时能辐射出可见光，因而可以用作电路及仪器中的指示灯，或者用 LED 组成矩阵显示文字或数字。磷砷化镓 (GaAsP) 二极管发红光，磷化镓 (GaP) 二极管发绿光，碳化硅二极管发黄光。

LED 是半导体二极管的一种，可以把电能转化成光能。发光二极管与普通二极管一样，是由一个 PN 结组成，也具有单向导电性。当加上正向电压后，从 P 区注入 N 区的空穴和由 N 区注入 P 区的电子，在 PN 结附近数微米内分别与 N 区的电子和 P 区的空穴复合，产生自发辐射的荧光。不同的半导体材料中电子和空穴所处的能量状态不同。当电子和空穴复合时释放出的能量多少不同，释放出的能量越多，则发出的光的波长越短。常用的是发红光、绿光或黄光的二极管。

LED 发射的是自发辐射光 (非相干光)。大多采用双异质结结构，把有源层夹在 P 型和 N 型限制层间，但没有光学谐振腔，故无阈值。LED 分为正面发光型和侧面发光型，侧面发光型 LED 的驱动电流较大，输出光功率小，但光束发射角小，与光纤的耦合效率高，故入纤光功率比正面发光型 LED 高。

二极管是最简单的一种半导体设备。广义的半导体是指那些具有可变导电能力的材料。大多数半导体是由不良导体掺入杂质 (另一种材料的原子) 而形成的，而掺入杂质的过程称为掺杂。

就 LED 而言，典型的导体材料为砷化铝镓 (AlGaAs)。在纯净的砷化铝镓中，每个原子与相邻的原子连接完好，没有多余的自由电子 (带负电荷的粒子) 来传导电流。而材料经掺杂后，掺入的原子打破了原有平衡，材料内或是产生了自由电子，或是产生了可供电子移动的空穴。无论是自由电子数目的增多还是空穴数目的增多，都会增强材料的导电性。

具有多余电子的半导体称为 N 型材料，因其含有多余的带负电荷的粒子。在 N 型材料中，自由电子能够从带负电荷的区域移往带正电荷的区域。

拥有多余空穴的半导体称为 P 型材料，因为它在导电效果上相当于含有带正电荷的粒子。电子可以在空穴间转移，从带负电荷的区域移往带正电荷的区域。因此，空穴本身就像是带正电荷的区域移往带负电荷的区域。

一个二极管由一段 P 型材料同一段 N 型材料相连而成，且两端连有电极。这种结构只能沿一个方向传导电流。当二极管两端不加电压时，N 型材料中的电子会沿着层间的 PN 结 (junction) 运动，去填充 P 型材料中的空穴，并形成耗尽区。在耗尽区内，半导体材料

回到它原来的绝缘态——即所有的空穴都被填充，因而耗尽区内既没有自由电子，也没有供电子移动的空间，电荷则不能流动。

说明：在PN结内，N型材料中的自由电子填充了P型材料中的空穴。这样，在二极管的中间就产生了一个绝缘层，称为耗尽区。

为了使耗尽区消失，必须使电子从N型区域移往P型区域，同时空穴沿相反的方向移动。因此，可以将二极管N型的一端与电路的负极相连，同时P型的那一端与正极相连。N型材料中的自由电子被负极排斥，又被正极吸引；而P型材料中的空穴会沿反方向移动。如果两电极之间的电压足够高，耗尽区内的电子会被推出空穴，从而再次获得自由移动的能力。此时耗尽区消失，电荷可以通过二极管。

1.1.1 LED与传统光源的不同发光机理

发光二极管(LED)是由Ⅲ-Ⅳ族化合物，如GaAs(砷化镓)、GaP(磷化镓)、GaAsP

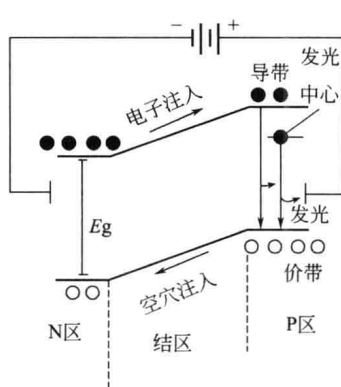


图 1-1 LED 发光原理

(磷砷化镓)等半导体制成的，其核心是PN结。因此它具有和普通二极管中PN结的伏安特性，即正向导通，反向截止、击穿特性。此外，在一定条件下，它还具有发光特性。在正向电压下，电子由N区注入P区，空穴由P区注入N区。进入对方区域的少数载流子(少子)一部分与多数载流子(多子)复合而发光，如图1-1所示。

假设发光是在P区中发生的，那么注入的电子与价带空穴直接复合而发光，或者先被发光中心捕获后，再与空穴复合发光。除了这种发光复合外，还有些电子被非发光中心(这个中心介于导带、价带中间附近)捕获，而后再与空穴复合，每次释放的能量不大，不能形成可见光。发光的复合量

相对于非发光复合量的比例越大，光量子效率越高。由于复合是在少子扩散区内发光的，所以光仅在靠近PN结面数微米以内产生。

理论和实践证明，光的峰值波长 λ 与发光区域的半导体材料禁带宽度 E_g 有关，即 $\lambda \approx 1240/E_g$ (nm)，式中， E_g 的单位为电子伏特(eV)。若能产生可见光(波长在380nm紫光~780nm红光)，半导体材料的 E_g 应在3.26~1.63eV之间。比红光波长长的光为红外光。现在已有红外、红、绿、蓝、黄、白发光二极管，但其中蓝光发射二极管成本、价格很高，使用不普遍。

1.1.2 LED发光器件的结构特点

50年前人们已经了解半导体材料可产生光的基本知识，第一个商用二极管生产于1960年。LED是英文Light Emitting Diode(发光二极管)的缩写，它的基本结构是一块电致发光的半导体材料，置于一个有引线的架子上，然后四周用环氧树脂密封，起到保护内部芯线的作用，所以LED的抗振性能好。小功率LED结构如图1-2所示。大功率LED结构如图1-3所示。

说明：大功率LED是指功率在1W以上的LED，常用的大功率LED一般为1W、3W、5W。

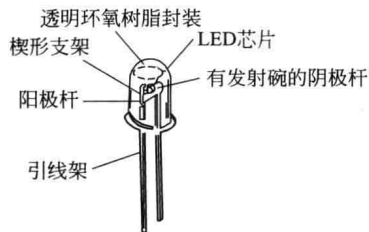


图 1-2 小功率 LED 结构

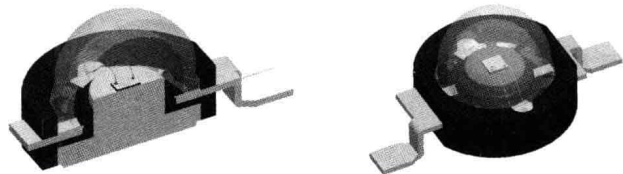


图 1-3 大功率 LED 结构

发光二极管 (LED) 的核心部分是由 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 PN 结。在某些半导体材料的 PN 结中, 注入的少数载流子与多数载流子复合时会把多余的能量以光的形式释放出来, 从而把电能直接转换为光能。PN 结加反向电压, 少数载流子难以注入, 故不发光。这种利用注入式电致发光原理制作的二极管叫发光二极管, 统称为 LED。当它处于正向工作状态时 (即两端加上正向电压), 电流从 LED 阳极流向阴极时, 半导体晶体就发出从紫外到红外不同颜色的光线, 光的强弱与通过 LED 的电流有关。

LED 光源作为新兴的第四代照明光源, 具有以下特点。

① 电压 LED 使用直流电源, 供电电压为 DC6~24V, 根据产品不同而异, 所以它是一个比使用高压电源更安全的电源, 特别适用于公共场所。

② 效能 消耗能量较同光效的白炽灯减少 80%。

③ 适用性 很小, 每个单元 LED 小片是 3~5mm 的正方形, 所以可以制备成各种形状的器件, 并且适合于易变的环境。

④ 稳定性 10 万小时, 光衰为初始的 50%。

⑤ 响应时间 其白炽灯的响应时间为毫秒 (ms) 级, LED 灯的响应时间为纳秒 (ns) 级。

⑥ 对环境污染 无有害金属汞。

⑦ 颜色 改变电流可以变色, LED 方便地通过化学修饰方法, 调整材料的能带结构和带隙, 实现红、黄、绿、蓝、橙多色发光。如小电流时为红色的 LED, 随着电流的增加, 可以依次变为橙色、黄色, 最后为绿色。

⑧ 价格 LED 的价格比较昂贵, 几只 LED 的价格就可以与一只白炽灯的价格相当, 而通常每组信号灯需由 300~500 只 LED 构成。

1.1.3 白光 LED 的实现方法

白光 LED 的实现方法主要分 PC 和 MC 两大类。PC 是指荧光粉转换, 而 MC 是指多芯片即三基色 RGB 合成。

多芯片 LED, 或者说三基色 RGB 合成 LED, 是将 RGB 三基色 LED 芯片封装在一起来产生白光, 还可以利用红、绿、蓝、黄橙四色 LED 来产生白光, 构成多芯片白光 LED。利用 RGB 三色 LED 组合构成白光 LED 的技术是最单纯的, 避免了荧光粉转换和 Sticks 频移造成的能量损失而获得相比之下最高的发光效率, 而且可以分开控制 3 种不同的光色 LED 的光强, 实现全彩变色的效果。但是, 该方法制成的白光 LED 的各个光色随驱动电流和温度变化不一致, 随时间的衰减速度也不相同。而且其散热问题也比较突出, 生产成本居高

不下。

而荧光粉转换 LED 主要有两种，即二基色荧光粉转换 LED 和三基色荧光粉转换 LED。

“蓝光 LED 芯片+YAG 荧光粉”是一种常见的二基色荧光粉转换 LED，最直接的方法是用发蓝光的 LED 芯片和可被蓝光有效激活的发黄光的钇铝石榴石（YAG）荧光粉有机结合组成白光 LED。这种白光 LED 的结构简单，成本较低，制作工艺相对简单且比较成熟。但是它的光效较低，显色指数不高；光色随电流变化易出现月晕；激发荧光粉发光的过程中存在着能量损耗；荧光粉及封装材料老化后会导致色温漂移和寿命缩短；功率型白光 LED 还存在空间色度均匀性等问题。

三基色荧光粉转换 LED 可以在较高发光效率的前提下，有效地提升 LED 的显色性，它具有较高的光视效能和显色指数。制备三基色白光 LED 较常用的方法是，利用紫外光（UV）LED 激发一组可被紫外光有效激发的红、绿、蓝（RGB）三基色荧光粉。其特点为光谱的可见光部分完全由荧光粉产生。不过，它的电光转化效率较低；粉体混合较困难，有待研发高效率的荧光粉；封装材料在紫外光照射下容易老化，寿命较短，存在紫外线泄漏的隐患；高效功率型 UV LED 不易制备。

1.1.4 LED 封装

LED 芯片只是一块很小的固体（芯片），LED 芯片的两个电极要在显微镜下才能看见，加入电流之后，LED 芯片才会发光。在制作工艺上，除了要对 LED 芯片的两个电极进行焊接，引出正、负极引脚之外，同时必须对 LED 芯片和两个电极焊接地方进行保护。

LED PN 结能发射多少光，主要取决于 LED 芯片的质量、芯片结构、几何形状、封装内部材料及包装材料。所以对 LED 要结合 LED 芯片的大小、功率大小来选择适当的封装方式，使 LED 的发光强度最大。

(1) 插件型封装（引脚式封装）

常规 $\phi 5\text{mm}$ 型 LED 引脚式封装是将边长 0.25mm 的正方形管芯粘结或烧结在支架上，管芯的正极通过球形接触点与金线键合为内引线与一条管脚相连，负极通过反射杯和支架的另一管脚相连，之后在其顶部用环氧树脂包封。插件型封装外形，如图 1-4 所示。

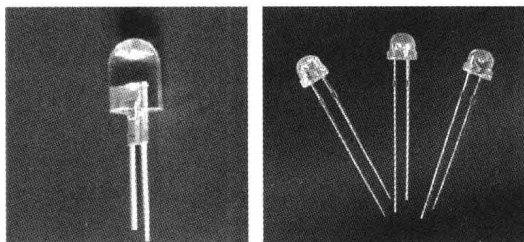


图 1-4 插件型封装外形

(2) COB 封装

COB 是板上芯片直装的英文缩写（Chip On Board），其工艺是先在基底表面用导热环氧树脂（掺银颗粒的环氧树脂）覆盖硅片安放点，再通过胶黏剂或焊料将 LED 芯片直接粘贴到 PCB 板上，最后通过引线（金线）键合实现芯片与 PCB 板间电互连的封装技术。COB 封装外形如图 1-5 所示。

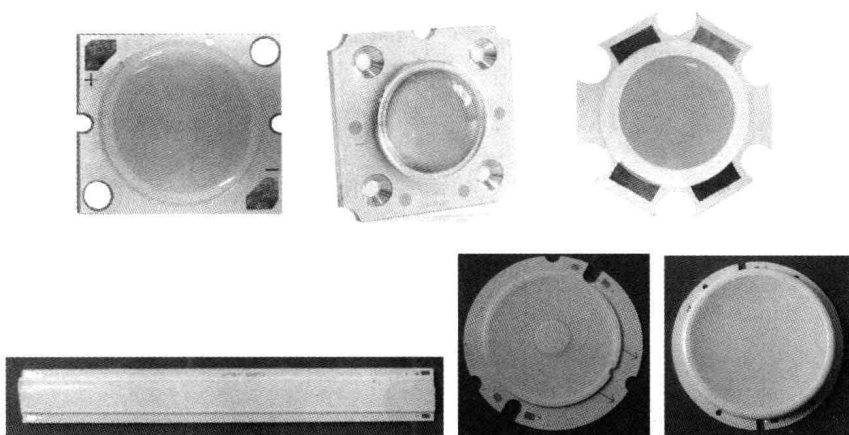


图 1-5 COB 封装外形

(3) SMD 封装

SMD 封装是一种新型的表面贴装式半导体发光器件，具有体积小、散射角大、发光均匀性好、可靠性高等优点。电气连接采取 2 引脚、4 引脚或 6 引脚贴片的方式，是当前常用的光源。SMD 封装外形如图 1-6 所示。



图 1-6 SMD 封装外形

(4) 大功率 LED 封装

大功率 LED 是指拥有大额定工作电流的 LED，功率可以达到 1W、2W 甚至数十瓦，工作电流可以是几百毫安到几安不等。大功率 LED 外形，如图 1-7 所示。

说明：静电或浪涌电压会使 LED 失效，建议在使用 LED 时手带防静电手腕或防静电手套，所有的器件、设备和机器必须接地。建议采取防范措施来防止设备产生的浪涌电压作用到 LED 上，当检验由单个 LED 组装成成品时，建议检验每个 LED 是否已被静电破坏。检验可通过一指示灯测试或在一低电流下正向导通电压测试。已遭到破坏的 LED 表现为与正常 LED 不同的特性，如说正向电压变的更低或在小电流下不发光。

(5) LED 的存储条件

打开包装之前，LED 存放温度为 25℃、湿度 50% 或更低条件下。LED 打开包装后要在 12 小时内焊接完成，剩余未焊接 LED 应存放在防潮包装袋内，建议把剩余 LED 放回到原来的包装内，如密封的带吸湿的容器内。LED 电极、支架、热沉全部是铜材质并且表面电镀银的。银在有腐蚀性的物质环境下可能会受到污染而受到影响，避免存放在会引起 LED 腐蚀、失去光泽、支架变色的环境下。LED 腐蚀或变色可能降低可焊接性或影响光学特性，LED 暴露在高温的有腐蚀性的环境中更可能会加快 LED 的腐蚀，避免 LED 从不同的环境

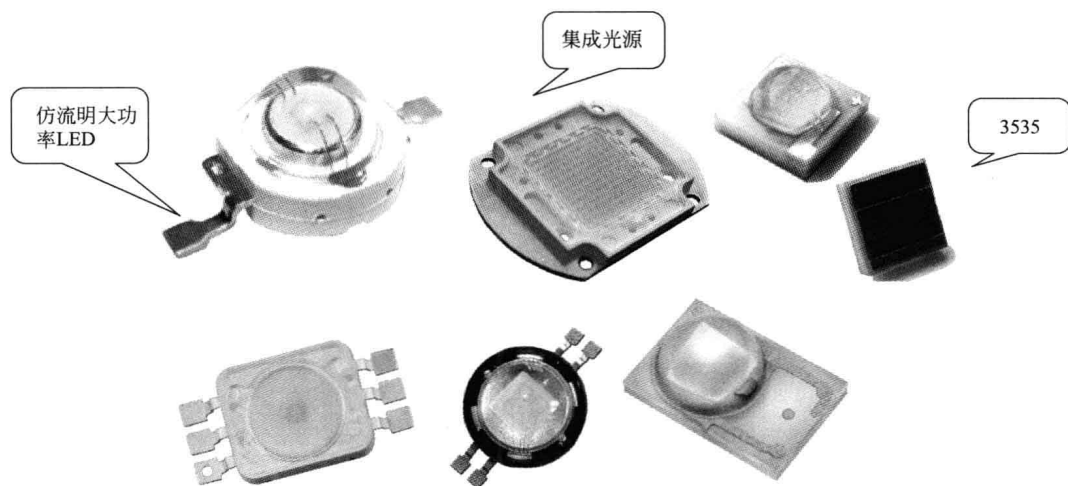


图 1-7 大功率 LED 封装外形

温度中快速的转移，尤其要注意在高湿环境下，可能引起收缩。

说明：如果 LED 打开包装超过 24 小时，要进行除湿或烘烤处理。

(6) LED 的清洗

LED 的清洗推荐使用酒精作为 LED 的清洗溶剂，当用其他溶剂清洗前需要确定是否会损坏 LED 或 LED 内部结构。根据国际惯例不能用氟利昂作为清洗 LED 的溶剂，不能用超声波清洗 LED。当确实需要用超声波清洗 LED 时，超声波清洗 LED 的作用取决于超声波强度及其他相关条件。清洗之前，需要提前测试或 LED 生产商联系，以确定是否会给 LED 带来任何损害。

1.2 LED 驱动电源的选择和设计应考虑的问题

LED 是具有普通二极管特性的发光二极管，它只能单方向通电。通常 LED 亮度输出与通过 LED 电流成正比，但白光 LED 在大电流下会出现饱和现象，发光效率大幅度降低，甚至失效，因此 LED 使用电流不能超过其规格额定值。另外，LED 亮度输出与温度成反比，所以使用中应尽量减少电源发热和设计良好的散热系统。

目前 LED 均采用直流驱动，因此在市电与 LED 之间需要加一个电源适配器（即 LED 驱动电源）。它的功能是把交流市电转换成合适 LED 的直流电。根据电网的用电规则和 LED 的驱动特性要求，在选择和设计 LED 驱动电源时要考虑到以下几点。

- ① 高可靠性。
- ② 高效率。
- ③ 高功率因数。

④ 驱动方式。现在通行的有两种：其一是一个恒压源供多个恒流源，每个恒流源单独给每路 LED 供电。这种方式，组合灵活，一路 LED 故障，不影响其他 LED 的工作，但成本会略高一点。另一种是直接恒流供电，LED 串联或并联运行。它的优点是成本低一点，但灵活性差，还要解决某个 LED 故障，不影响其他 LED 运行的问题。这两种形式，在一段

时间内并存。多路恒流输出供电方式，在成本和性能方面会较好。也许是以后的主流方向。

⑤ 浪涌保护。LED 抗浪涌的能力是比较差的，特别是抗反向电压能力。加强这方面的保护也很重要。有些 LED 灯装在户外，如 LED 路灯。由于电网负载的启用和雷击的感应，从电网系统会侵入各种浪涌，有些浪涌会导致 LED 的损坏。因此 LED 驱动电源要有抑制浪涌的侵入，保护 LED 不被损坏的能力。

⑥ 保护功能。电源除了常规的保护功能外，最好在恒流输出中增加 LED 温度负反馈（增加热敏电阻），防止 LED 温度过高。

⑦ 防护方面。户外安装型灯具，电源结构要防水、防潮，外壳要耐晒。

⑧ 驱动电源的寿命要与 LED 的寿命相适配。

⑨ 要符合安规和电磁兼容的要求。

1.3 LED 防静电基础知识

(1) 静电

物质都是由分子组成，分子是由原子组成，原子由带负电的电子和带正电荷的质子组成。在正常状况下，一个原子的质子数与电子数量相同，正负平衡，所以对外表现出不带电的现象。但是电子环绕于原子核周围，一经外力即脱离轨道，离开原来的原子 A 而侵入其他的原子 B，A 原子因缺少电子数而带有正电现象，称为阳离子，B 原子因增加电子数而呈带负电现象，称为阴离子。造成不平衡电子分布的原因即是电子受外力而脱离轨道，这个外力包含各种能量（如动能、位能、热能、化学能……），静电是一种客观的自然现象，产生的方式很多，基本过程可归纳为：接触→电荷→转移→偶电层形成→电荷分离。设备或人体上的静电最高可达数万伏甚至数十万伏，在正常操作条件下也常达数百至数千伏。人体由于自身的动作及与其他物体的接触-分离、摩擦或感应等因素，可以带上几千伏甚至上万伏的静电。静电是正、负电荷在局部范围内失去平衡的结果。它是一种电能，留存在物体表面，具有高电位、低电量、小电流和作用时间短的特点。

当两个不同的物体相互接触时就会使得一个物体失去一些电荷如电子转移到另一个物体使其带正电，而另一个物体得到一些剩余电子的物体而带负电。若在分离的过程中电荷难以中和，电荷就会积累使物体带上静电。所以物体与其他物体接触后分离就会带上静电。通常在从一个物体上剥离一张塑料薄膜时就是一种典型的“接触分离”起电，在日常生活中脱衣服产生的静电也是“接触分离”起电。在我们的周围环境甚至我们的身上都会带有不同程度的静电，当静电积累到一定程度时就会发生放电。

(2) 静电损害的特点

静电放电（ESD）会引起发光二极管 PN 结的击穿，是 LED 器件封装和 LED 应用行业中静电危害的主要方式。静电损伤具有如下特点。

① 隐蔽性 人体不能直接感知静电，即使发生静电放电，人体也不一定有电击的感觉，这是因为人体感知的静电放电电压为 2~3kV。大多数情况都是通过测试或者实际应用，才能发现 LED 器件已受静电损伤。

② 潜伏性 静电放电可能造成 LED 突发性失效或潜在性失效。突发性失效造成 LED 的永久性失效即短路。潜在性失效则可使 LED 的性能参数劣化，例如漏电流加大，一般 In-

GaN 基 LED 受到静电损伤后所形成的隐患并无任何方法可以解决。

③ 随机性 LED 什么情况下会遭受到静电破坏呢？可以这么说，从 LED 芯片生产后一直到它损坏以前所有的过程都受到静电的威胁，而这些静电的产生也具有随机性。但是由于芯片的尺寸极小，约 $0.2\text{mm} \times 0.2\text{mm}$ ，电极之间的距离就更小，如果处在静电场中，两极之间的电势差别接近于零；电极的微小面积，局限了接触静电放电的状态。因此，芯片受到静电的损伤要比器件小得多。

④ 复杂性 在静电放电的情况下，开始放电电源是空间电荷，因而它所储存的能量是有限的，不像外加电源那样具有持续放电的能力，故它仅能提供短暂发生的局部击穿能量。虽然静电放电的能量较小，但其放电波形很复杂，控制起来也比较麻烦。另外，LED 极为精细，失效分析难度大，使人容易误把静电损伤失效当作其他失效，在对静电放电损害未充分认识之前，常常是由于早期失效或情况不明的失效，从而不自觉地掩盖了失效的真正原因。

⑤ 严重性 ESD 潜在性失效只引起部分参数劣变，如果不超过合格范围，就意味着被损伤的 LED 可能毫无察觉地通过最后测试，导致出现过早期失效，这对各层次的制造商来说，其结果是最损声誉的。ESD 以极高的强度很迅速地发生，放电电流流经 LED 的 PN 结时，产生的焦耳热使芯片 PN 两极之间局部介质熔融，造成 PN 结短路或漏电，对失效器件解剖分析，一般在高倍金相显微镜下，可以观察到引起即时的和不可逆转的损坏击穿点，但是受到解剖手段和器件封装材料的限制，经常因为芯片污染或机械损伤等原因，而不能确定击穿点，反向放电时，电流较正向放电集中，功率密度大，因此 LED 反向放电 ESD 失效阈值较正向低得多。

(3) 静电对 LED 的危害

LED 芯片为 GaN 宽禁带材料，电阻率较高，该类芯片在生产过程中因静电产生的感生电荷不易消失，累积到相当的程度，可以产生很高的静电电压。当超过材料的承受能力时，会发生击穿现象并放电。蓝宝石衬底的蓝色芯片其正负电极均位于芯片上面，间距很小；对于 InGaN/AlGaN/GaN 双异质结，InGaN 有源层仅几十纳米，对静电的承受能力很小，极易被静电击穿，使器件失效。GaN 基 LED 和传统的 LED 相比，抗静电能力差是其鲜明的缺点，静电导致的失效问题已成为影响产品合格率和使用推广的一个非常棘手的问题。

(4) LED 对静电的防范措施

静电控制的主要措施有：静电的泄漏和耗散、静电中和、静电屏蔽与接地、增湿等。静电放电引起的元器件击穿损害是电子工业最普遍、最严重的静电危害，它分硬击穿和软击穿。硬击穿是一次性造成元器件介质击穿、烧毁或永久性失效；软击穿则是造成器件的性能劣化或参数指标下降。

在 LED 产业化生产中，静电的防范是否得当，直接影响到产品的成品率、可靠性和经济效益。静电的防范措施有如下几种。

① 对生产、使用场所从人体、台垫、地板、空间及产品传输、堆放等方面实施防范，手段有防静电服装、手套、手环、鞋、垫、盒、离子风扇、检测仪器等。

② 芯片上设计静电保护线路。也可从衬底材料、外延结构和芯片结构上改进，在很大程度上解决防静电击穿的问题，例如用 SiC 做衬底，使 P 和 N 的两个电极从两个面引出，可以较大程度上解决这一问题，再如用 Flip-Chip，在 LED 的 PN 结两端的硅片上制作两个背对背稳压管钳位达到保护 LED 的 PN 结不受静电威胁。

③ LED 应用上装配静电保护器件。

④ LED 储存运输过程中静电防护。

⑤ 防静电性能的检测周期及注意事项。防静电台垫、地板、工鞋、工衣、周转容器等应至少每月检测一次。防静电手腕带、风枪、风机、仪器等应每天检测一次。检测时，须考虑受检场所的温度、湿度等因素。

(5) 静电测量的主要参数

① 电荷量 静电的实质是存在剩余电荷。电荷是所有的有关静电现象本质方面的物理量。电位、电场、电流等有关的量都是由于电荷的存在或电荷的移动而产生的物理量。在科研院所、高等院校、检测站和工矿企业等部门经常需要测量物体的电荷量或电荷密度。表示静电电荷量的多少用电量 Q 表示，其单位是库仑 (C)，由于库仑的单位太大通常用微库或纳库。

$$1\text{C}=10^6\mu\text{C}=10^{12}\text{nC}$$

② 静电电压 由于在很多场合测量静电电位较容易，另一个常用的静电参数是静电电位，其单位为伏，但由于静电电压通常很高，因此常用一个较大的单位，即千伏 (kV)。

(6) LED 产品防静电总体要求

① LED 接触者的防静电措施 凡接触静电敏感器件的人员 (生产、装配、测量、调试、保管、发放等)，均应注意以下事项：

a. 使用防静电腕带 (或肘带、踝带)；

b. 穿着防静电工作服、鞋、帽；

c. 应避免可能造成静电损伤的操作；

d. 从包装内倾斜器件出来时，应尽可能轻缓，避免快速倾斜时产生静电荷 (严重电位可达 1000~1500V)；

e. 拿器件时，应接触管壳，尽量不要碰器件的外引线或引脚；

f. 操作者在操作前，要先用手接触防静电工作台或金属接地线，然后再进行工作；

g. 在静电防护区内，不要做易于产生静电的动作，如擦脚、搓手、穿和脱工作服等。

② LED 使用时环境防静电措施

a. 铺设防静电地板且有接地消散系统，表面电阻率： $10^6\sim 10^9\Omega/\text{cm}^2$ 。

b. 静电敏感器件应在防静电工作台上操作，防静电工作台面应铺设用静电耗散材料制作的防护工作面，并且进行接地处理。

i. 表面电阻率： $10^6\sim 10^9\Omega/\text{cm}^2$ 。

ii. 体电阻率： $10^3\sim 10^8\Omega/\text{cm}^2$ 。

iii. 摩擦起电电位： $\leq 100\text{V}$ 。

iv. 静电电压衰减时间： $\leq 0.5\text{s}$ 。

c. 静电敏感器件的整个使用操作过程，应开动直流式离子风机，且在离子风机的有效作用范围内 (一般不超出 60cm) 操作。

d. 静电防护区的相对湿度控制在 50% 以上，最好在 70%~80% 之间。

e. 要有良好的防静电接地系统，将地面、墙面、工作台、设备、仪器和腕带等，按工作区域和单元，相互隔离，顺次入地，再汇入总线入地。

f. 静电保护区内应使用防静电器具：静电防护区的各种容器，工作夹具、工作台面和设备垫等应避免使用易产生静电的材料，主要指普通塑料制品和橡胶制品。

g. 焊接用的烙铁（最好用直式恒温烙铁）和使用的测试仪器要接地良好。

③ LED 包装、运输和储存过程中的防静电措施

a. 包装 静电敏感器件必须装入防静电包装盒或包装箱内才能装运。这种包装使用运送器件时，不会因振动和摩擦而产生静电。不要用尼龙袋、普通塑胶袋或乙烯材料进行包装。静电敏感器件在使用前不允许随意拆除器件的防静电包装。装配前不要过早地将器件从防静电包装盒中取出。拆除包装盒应在静电保护区内进行，拆除器件应立即放入事先准备好的导电盒中存放。

b. 运输 运输时，要尽量减少机械振动和冲击。

c. 储存 静电敏感器件以及安装有静电敏感器件的印制电路板或整机储存时，也要采取防静电措施。

(7) LED 抗静电特点

① 红色 LED 抗静电能力较强 PN 结是 LED 的基本结构，但由于材料不同，其抗静电的能力也不同。红色、橙色、黄色 LED 所用的材料主要是 GaP 与 GaAs 及其混晶 GaAsP，这些化合物半导体禁带宽度在 1.8~2.2V 之间，PN 结易掺杂低阻性材料，其导电性能较好，但遇到静电电荷时较容易释放掉，故抗静电能力会好一些。

② 蓝绿色 LED 抗静电能力较弱 蓝色、绿色 LED 的 PN 结附近材料是 InGaN，其禁带宽度为 3.3V，比一般的红色、橙色、黄色 LED 材料大 50% 左右，电阻率相对较高。再加上这一类 LED 的衬底是高阻值的蓝宝石（ Al_2O_3 ）制成的，其导电性和导热性都很差。

蓝、绿光 LED 的 PN 结电极是 V 型电极（双电极型），电极之间的距离 $< 300\mu\text{m}$ ，一旦积累了感应的静电电荷，很容易在该处发生自激放电，由于 InGaN 的发光启动层较薄，因此静电放电中该层更容易被击穿。

③ 被静电击伤的芯片，如图 1-8 所示。

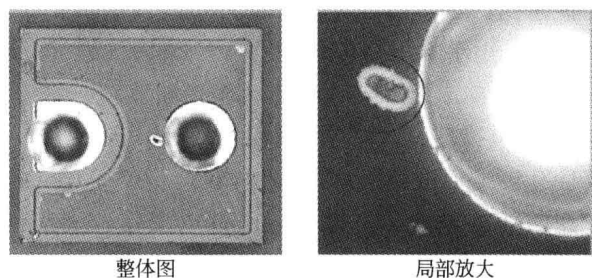


图 1-8 被静电击伤的芯片

(8) LED 静电放电敏感度检测

静电放电敏感度 ESDS，是电子元器件的重要可靠性指标之一，它反映了电子元器件抵抗静电放电损失的能力。进行静电放电敏感度检测的目的：了解和分析元器件抗 ESDS 检测结果，有助于元器件的设计者和生产者，通过改进设计方案和改进生产工艺，提高元器件抗 ESDS 水平；了解和掌握元器件抗 ESDS 检测结果，以便元器件的使用者，在生产组装过程中，采取必要的静电防护措施。ESDS 检测试验是破坏性试验，所有经过试验的样品应报废，不得进入生产流通出厂。

LED 的 ESDS 检测目前没有国家标准，一般参照我国军标 GJB-548A-96 和 Bellcore 的 TR-NWT-00870 标准。最常用的 ESDS 检测，有三种标准波形：标准人体模型（Hu-