
第一章 前言

LED (Light Emitting Diode) 作为新一代半导体照明光源，其以高效低耗、节能环保、响应快、寿命长等优点，广泛应用于信号指示、智能显示、局部照明以及特殊照明等领域。在未来，LED 必将颠覆当前普通灯泡的照明应用，而成为特殊照明、通用照明的主流，因此我们公司所从事的产业是一个非常具有潜力的朝阳产业。

由于 LED 集热学、光学和电学等多门类学科为一体，因此其所覆盖的技术领域和知识机构较为广泛和复杂。

我司所从事的“LED 封装行业”处于整个 LED 产业链的中游，更多的了解 LED 的相关知识，对提升公司品牌管理、战略管理、市场管理、品质管理、生产管理以及物料管理，都具有非常重大的意义。对提升公司雇员的职业技能、个人素质也具有极其重要的影响。

第二章 LED 基础知识

一、光

1.光的定义

光是一种能量的形态，它可以无需任何媒介在空间传播。通常将这种能量的传递方式谓之辐射，其含义是能量从能源出发沿直线（在同一介质内）向四面八方传播。关于光的本质，早在十七世纪中叶就被牛顿与麦克斯韦分别以“微粒说”、“波动说”进行了详细探讨，并成为当前所公论的光具有“波粒二重性”的理论基础。约 100 多年前，人们又进一步证实了光是一种电磁波，更严格地说，在极为宽、阔的电磁波谱大家族中。可见光的光波只占有很小的空间，如表 1-1 所示。其波长范围处在 380nm-770nm 之间，包含了人眼可辩别的紫、靛、蓝、绿、橙、红七种颜色，它的长波方向是波长范围在微米量级至几十千米的红外线、微波及无线电波区域；它的短波端是紫外线、x 射线、r 射线，其中 r 射线的波长已小到可与原子直径相比拟。

表 1-1：电磁波谱波长区域

电磁波谱种类	波长范围			
	nm	μm	cm	M
长波振荡				$>10^5$
无线电波				1— 10^5
微波			10^{-1} — 10^2	
红外线	770—1000	0.77 — 10^3		
可见光	380—770			
紫外线	10—390			
X 射线	10^{-3} —50			
r 射线	10^{-5} — 10^{-1}			
宇宙射线	$<10^{-5}$			

注： $1\text{m}=10^2\text{cm}=10^6\mu\text{m}=10^9\text{nm}$

2. 物体发光的方式

热光又称之谓热辐射，是指物质在高温下发出的热。在热辐射的过程中，其内部的能量并不改变，通过加热使辐射得以进行下去，低温时辐射红外光、高温时变成白光。众所周知，当钨丝在真空式惰性气氛中加热至很高的温度，即会发出灼眼的白光。其实，太阳光就是一种最为常见的白光，三棱镜可将太阳光分解成上述的七种颜色，实验已证明，只要采用其中的蓝、绿、红三种颜色，即可合成自然界中所有色彩，包括白色的光，我们通常将蓝、绿、

红三种颜色称之为三原色。

冷光是从某种能源在较低温度时所发出的光。发冷光时，某个原子的一个电子受外力作用从基态激发到较高的能态。由于这种状态是不稳定的，该电子通常以光的形式将能量释放出来，回到基态。由于这种发光过程不伴随物体的加热，因此将这种形式的光称之为冷光。按物质的种类与激发的方式不同，冷光可分为各种生物发光、化学发光、光致发光、阴极射线发光、场致发光、电致发光等多种类别。萤火虫、荧光粉、日光灯、EL 发光、LED 发光等均是一些典型的冷光光源。

3.电致发光和冷光源

电致发光 (EL): 电能 \longrightarrow 光能 ----- 冷光

白炽灯: 电能 \longrightarrow 热能 \longrightarrow 光能 ----- 热光

通常有两种电致发光现象:

① EL 屏是利用固体在电场作用下的发光现象所制成的光源，荧光材料在电场作用下，导带中的电子被加速到足够高的能量并撞击发光中心，使发光中心激发或电离，激活的发光中心回到基态或与电子复合而发光，荧光材料 (ZnS) 中不同的激活剂决定了发光的颜色。

② 第二类电致发光又称之为注入式场致发光，LED 与 LD 就属于这类发光过程。电致发光实际上也是一种能量的变换与转移的过程。电场的作用使系统受到激发，将电子由低能态跃迁到高能态，当他们从高能态回到低能态时，根据能量守恒原理，多余的能量将以光的形式释放出来，这就是电致激发发光。发光波长取决于电子的能量差:

$$\Delta E = h \times \nu = \frac{h \times c}{\lambda} = \frac{1.24}{\lambda} \times 10^{-7} \quad \text{又或者} \quad \lambda = \frac{h \times c}{\Delta E}$$

式中:

$\Delta E = E_1 - E_2$ (E 是发射光子所具有的能量，以电子伏为单位)

λ : 光子波长，以 nm 为单位;

h: 普朗克常数， $h = 4.135 \times 10^{-15} \text{eV} \times \text{s}$

c: 光速， $c = 3 \times 10^8 \text{m/s}$

以上公式可知，激发电子的能量差 ΔE 越高，所发出的电子波长就越短，颜色发生蓝移，反之，激发电子能量差变小，所发光子的波长就会红移。

二、LED 的发光原理和基本结构

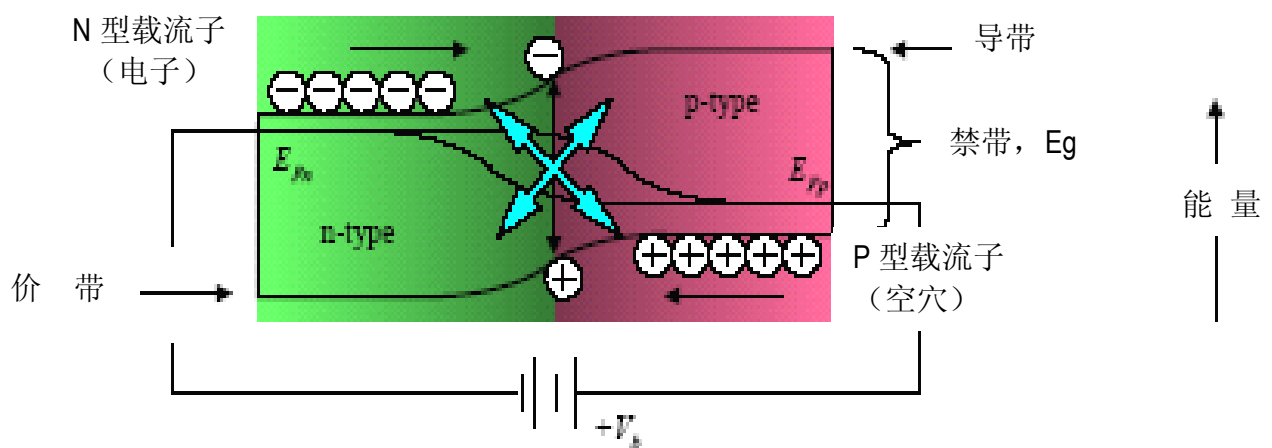
1. LED 发光原理

发光二极管的核心部分是由 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 p-n 结。

当一个正向偏压施加于 PN 结两端时，在某些半导体材料的 PN 结中，其 P 区的载流子浓度远大于 N 区，非平衡空穴的积累远大于 P 区的电子积累（对应 NP 结，情况正好相反），由于电流注入产生的少数载流子是不稳定的，对于 PN 结系统，注入到价带中的非平衡空穴要与导带中的电子复合，饱和后，多余的能量则以光的形式向外辐射，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。

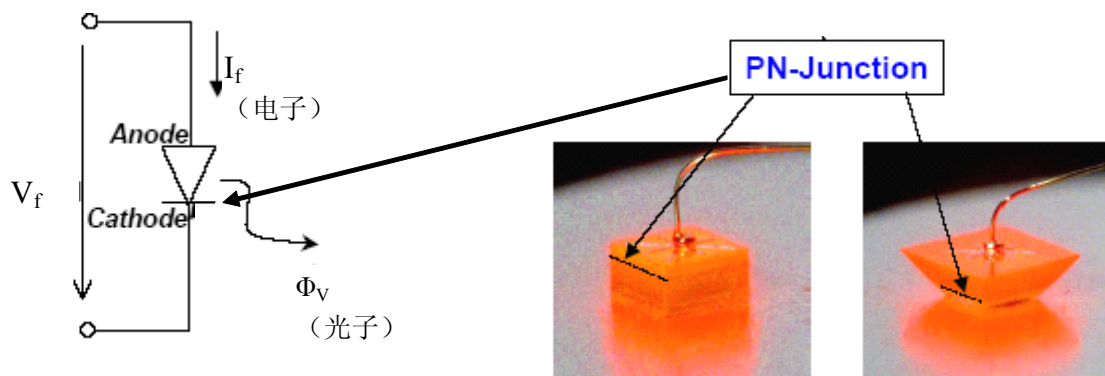
这种利用注入式电致发光原理制作的二极管叫发光二极管，通称 LED。因此，LED 基本的工作机理是一个电光转换的过程，当它处于正向工作状态时（即两端加上正向电压），电流从 LED 阳极流向阴极时，通常，禁带宽度越大，辐射出的能量越大，对应的光子具有较短的波长，反之具有较长的波长，因此，由于半导体晶体禁带宽度的不同，就发出从紫外到红外不同颜色、不同强度的光线。

图 1: LED 发光原理模型



- 半导体晶体的原子排列决定禁带，确定发光特性： $\lambda=hc/E_g$;
- 杂质掺入形成 p 型区和 n 型区；
- 在正向偏压下，注入电子与空穴复合；
- 复合能量以光（有效复合）或热（无效复合）的形式释放；
- 整个过程基本上是无害的。

图 2: 电学模型



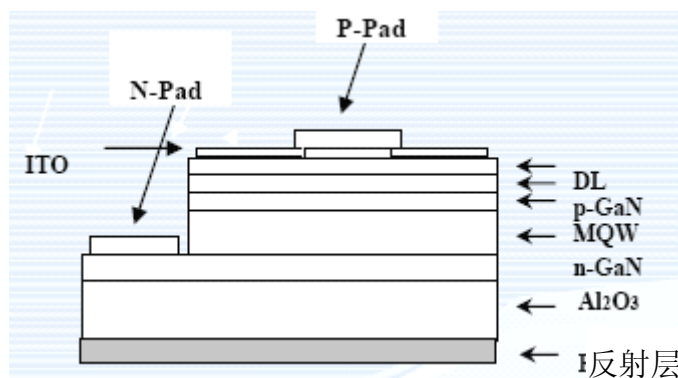
2. LED 晶片的基本结构

LED 晶片的基本结构一般可归为两大类，一类是针对 GaP、GaAsP、AlGaAs 等传统型 LED 晶片，一类是针对超高亮度 InGaAlP 红、黄与 InGaN 蓝、绿光器件而言。而目前应用到最多的是第二类 LED 晶片，这类器件主要包括衬底、发射层、MQW 发光层、透光层四个部分。其一般均通过 MOCVD 外延工艺制备。

对于四元的红、黄晶片，通常采用 GaAs 作为衬底，但由于 GaAs 吸收光较强，因此，会在衬底和发光层生长一层反射层。

对于 GaN 基器件，一般采用 Al₂O₃ 或 SiC 作为外延衬底，其优点在于不存在吸收光，因此一般不加发射层。

图 3: GaN 晶片剖面图



当前还有 GaP 透明衬底、表面粗化处理、垂直结构等特殊工艺的晶片，采用这些特殊工艺是为了进一步提高发光效率和耗散功率。

三、LED 光源的特点

1. 电压：LED 使用低压电源，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级，LED 灯的响应时间为纳秒级
6. 对环境污染：无有害金属汞
7. 颜色：改变电流可以变色，发光二极管方便地通过化学修饰方法，调整材料的能带结构和带宽，实现红、黄、绿、兰、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，较之于白炽灯，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上 300~500 只二极管构成。

四、单色光 LED 的种类及其发展历史

最早应用半导体 P-N 结发光原理制成的 LED 光源问世于 20 世纪 60 年代初。当时所用的材料是 GaAsP，发红光 ($\lambda_p=650\text{nm}$)，在驱动电流为 20 毫安时，光通量只有千分之几个流明，相应的发光效率约 0.1 流明/瓦。

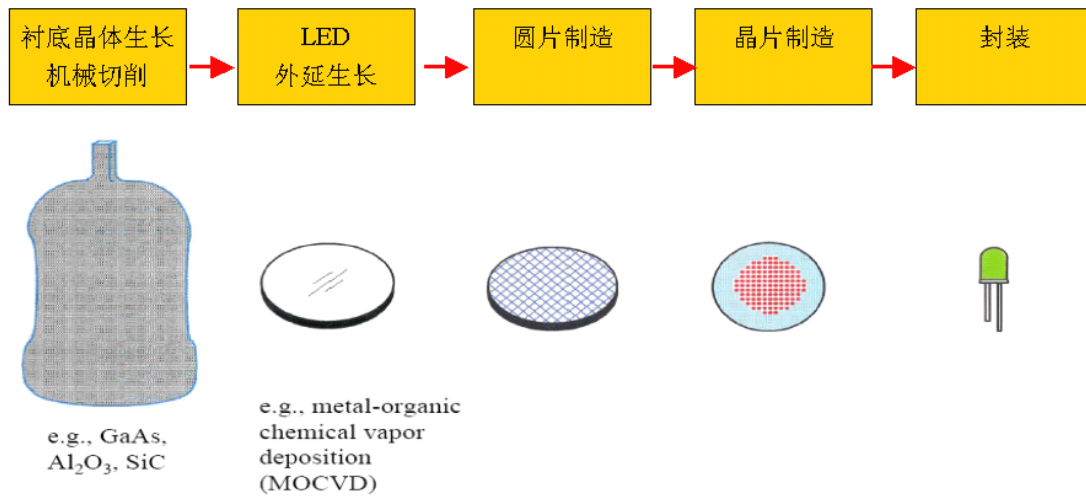
70 年代中期，引入元素 In 和 N，使 LED 产生绿光 ($\lambda_p=555\text{nm}$)，黄光 ($\lambda_p=590\text{nm}$) 和橙光 ($\lambda_p=610\text{nm}$)，光效也提高到 1 流明/瓦。

到了 80 年代初，出现了 GaAlAs 的 LED 光源，使得红色 LED 的光效达到 10 流明/瓦。

90年代初，发红光、黄光的 GaAlInP 和发绿、蓝光的 GaInN 两种新材料的开发成功，使 LED 的光效得到大幅度的提高。在 2000 年，前者做成的 LED 在红、橙区 ($\lambda_p=615\text{nm}$) 的光效达到 100 流明/瓦，而后者制成的 LED 在绿色区域 ($\lambda_p=530\text{nm}$) 的光效可以达到 50 流明/瓦。

五、LED 的制造过程

图 4: LED 制造过程

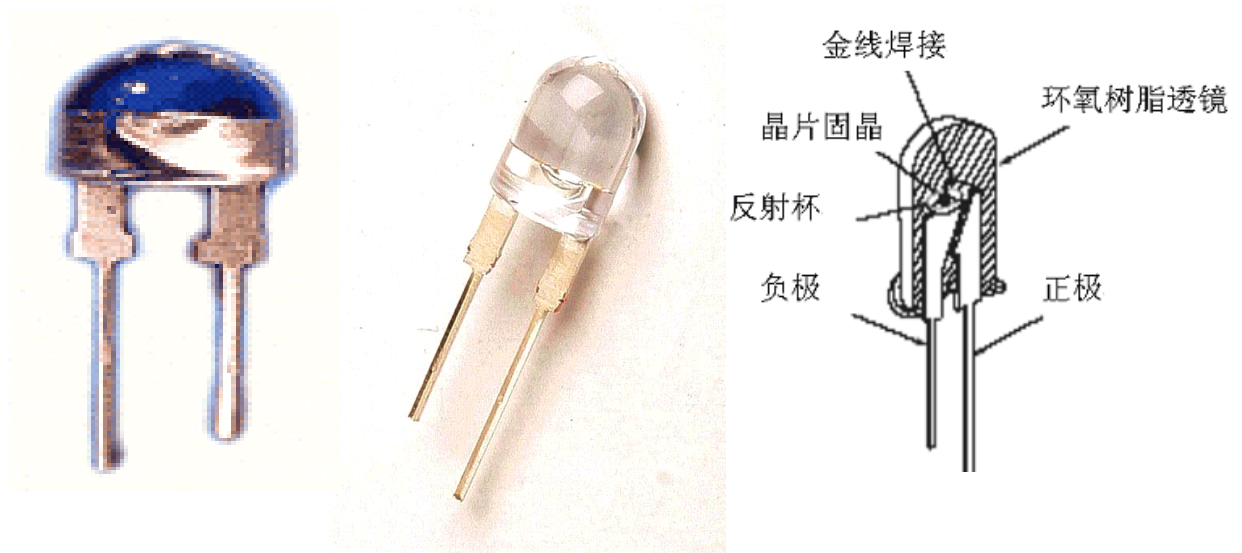


六、LED 封装工艺流程和发展

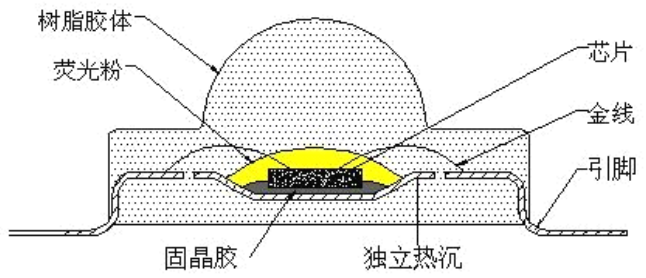
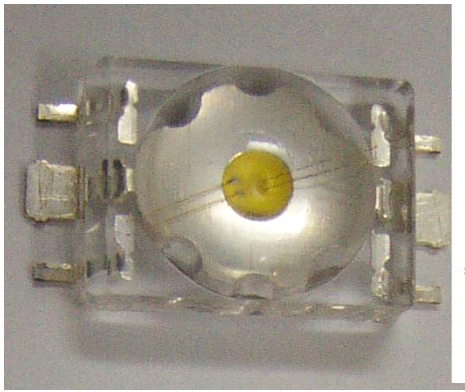
1.LED 的结构:

常规 LED 的封装形式主要有：直插式 DIP LED、表面贴装式 SMD LED、食人鱼 Piranha LED 和 PCB 集成化封装。功率型 LED 是未来半导体照明的核心。

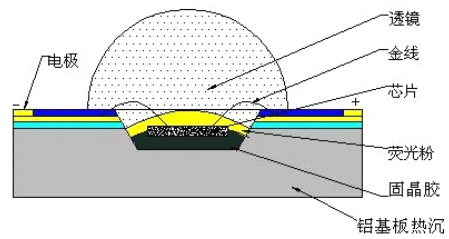
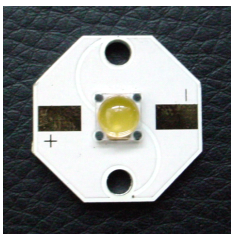
① 沿袭小功率 DIP LED 封装思路的大尺寸环氧树脂封装:



②仿食人鱼式环氧树脂封装：



③铝基板（MCPCB）式封装：



④借鉴大功率三极管思路的 T0 封装：

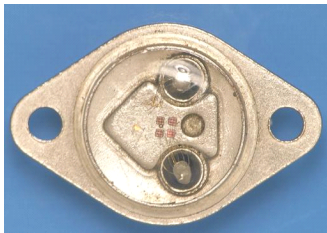
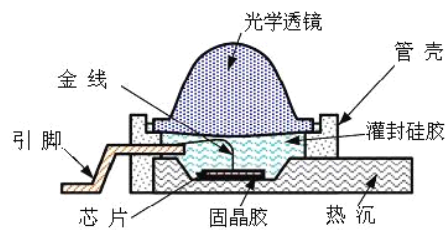
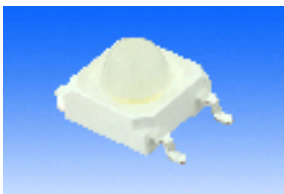


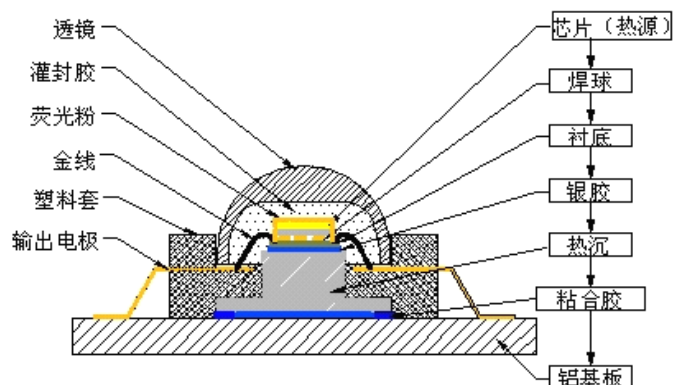
图 11.

图 12.

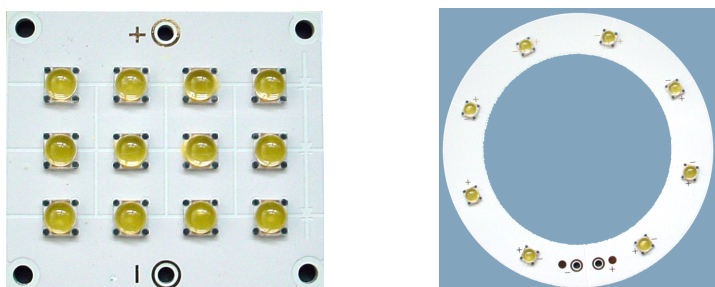
⑤功率型 SMD 封装：



⑥流明公司的大功率 LED 封装



⑦MCPCB 集成化封装，如图 19、20。



以上这些封装形式各有优缺点，对照明领域而言，大都只适用于特殊照明，是走向通用照明的过渡性产品。用于通用照明的 LED 应该有更好的解决方案。

2. LED 封装工艺流程

LED 的核心是芯片，LED 的基本光电特性主要取决于芯片；同时，封装对 LED 的最终性能也起着至关重要的作用。LED 封装就是将芯片与电极引线、管座和透镜等组件通过一定的工艺技术结合在一起，使之成为可直接使用的发光器件的过程。LED 封装的一般工艺流程如下：

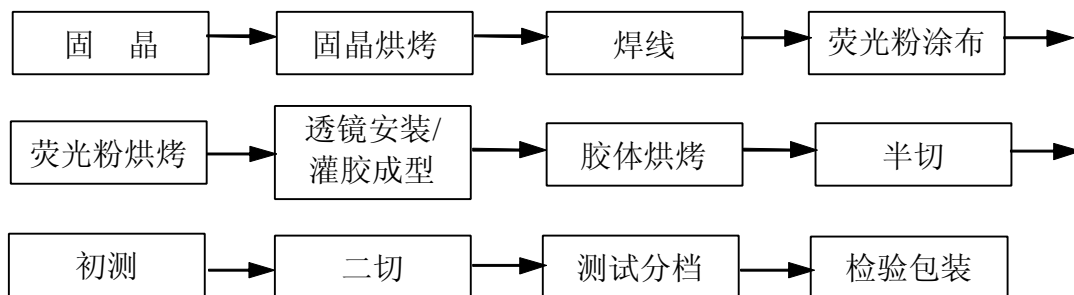
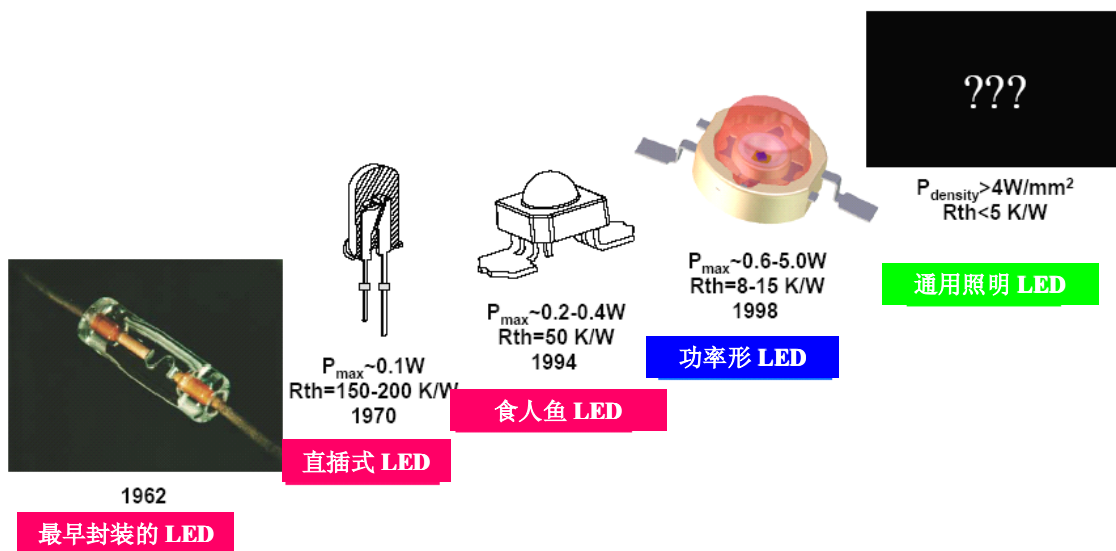


图 7. LED 封装一般工艺流程（以白光 LED 为例）

3. LED 封装的发展过程

随着芯片性能、发光颜色、外形尺寸和安装方式的不断更新进步，以及应用需求的不断增加，LED 的封装技术也在不断推陈出新。

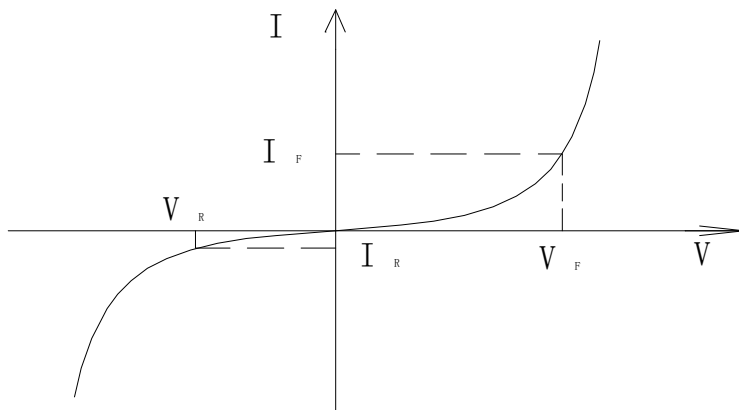


七、LED 相关参数

1. 电学指标

① 正向工作电流 I_F (mA)

- 额定工作电流 I_F (mA): LED 在理想的线性工作区域, 在此电流下可安全地维持正常的工作状态;
- 最小工作电流 I_{FL} (mA): LED 在小于此电流工作时, 由于超出理想的线性工作区域, 将无法保证 LED 的正常工作状态 (尤其是在一致性方面);
- 最大容许正向电流 I_{FH} (mA): LED 最大可承受的正向工作电流, 在此电流下, LED 仍可正常工作, 但发热量剧增, LED 的使用寿命将大大缩短;
- 最大容许正向脉冲电流 I_{FP} (mA): LED 最大可承受的一定占空比的正向脉冲电流的高度。



LED 的 $I \sim V$ 曲线 (伏安曲线)

② 正向压降 V_F (V)

由 LED 本身固有的 $I \sim V$ 特性曲线决定, 在 I_F 条件下所对应的 V_F 数值。

- 二元、三元、四元晶片的 LED 的 V_F : 1.7~2.5 V
- GaN 类晶片的 LED 的 V_F : 2.7~4.0 V

③ 耗散功率 P_D (W): $P_D = I_F \cdot V_F$

最大容许耗散功率 $P_{DH} = I_{FH} \cdot V_{FH}$

④ 反向电流 I_R (μA): LED 在一定的反向偏压 (通常取 $V_R = 5V$) 下的反向漏电流。

⑤ 反向电压 V_R (V): LED 在指定反向电流下所对应的反向电压。

⑥最大容许反向电压 V_z (V): LED 所能承受的最大反向电压, 超出此电压使用, 将导致 LED 反向击穿。

780

2. 光学指标

①光通量 Φ_v (lm):

光源在单位时间内发出的光量。

$$\phi_v = \frac{dQ_v}{dt} = Km \int_{380}^{780} \phi(\lambda) \times V(\lambda) d\lambda$$

②发光强度 I_v (cd): 光源在单位立体角上的光通量。

$$I_v = \frac{d\phi_v}{d\Omega}$$

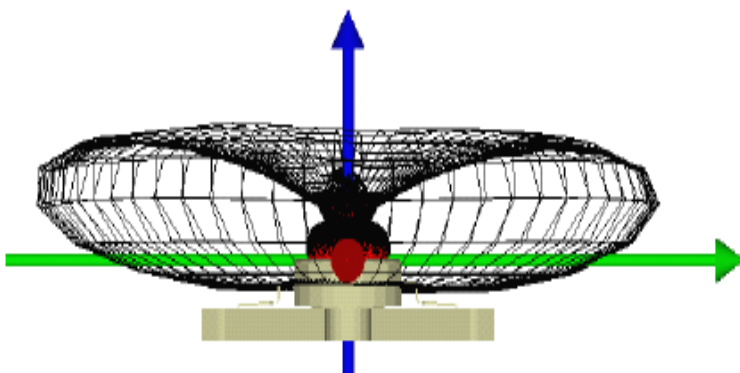
③光照度 E_v (lux): 光源照射在光接收面上一点处的面元上的光通量 $d\Phi_v$ 与该面元面积 dS 的比值。

$$E_v = \frac{d\phi_v}{dS}$$

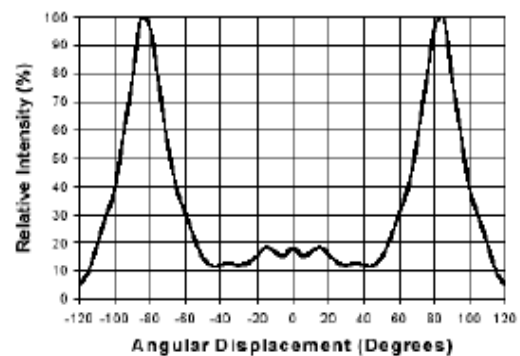
④发光效率 η_v (lm/W): LED 发射的光通量与输入功率的比值。

$$\eta_v = \frac{\phi_v}{Pd} = \frac{\phi_v}{I_f \times V_f}$$

⑤发光强度空间分布图



三维空间分布



二维分布

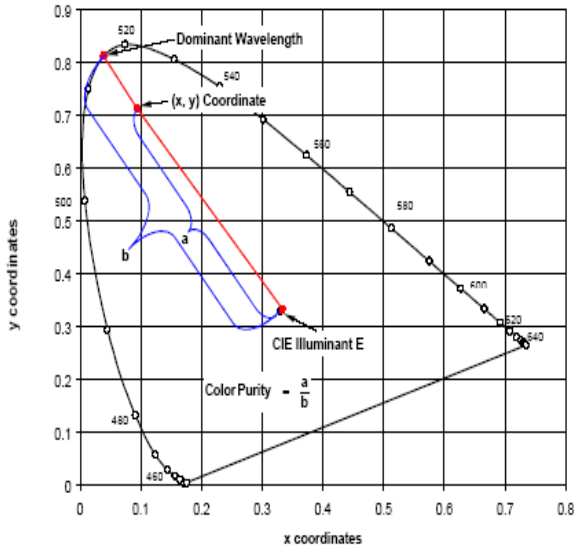
⑥半强度角 $\theta_{1/2}$: 在发光强度分布图形中, 发光强度大于最大强度一半之处所构成的角度。

⑦峰值波长 λ_p (nm): 光谱辐射功率最大点所对应的波长。

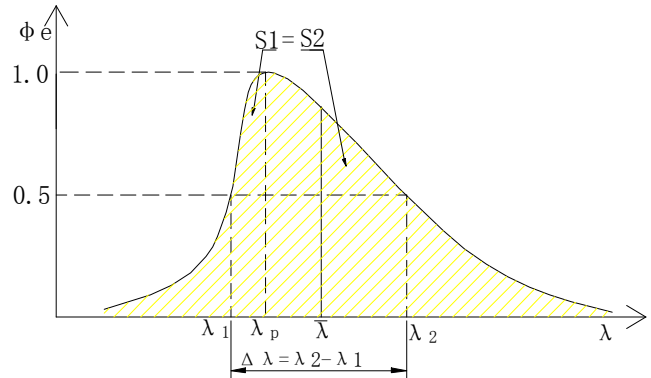
⑧主波长 λ_d (nm): 以规定白光[通常为等能白 $E(x=0.3333, y=0.3333)$]为参照点, 某点颜色的色

调与波长为 λ_d 的纯光谱相同，则 λ_d 称为该点颜色的主波长。这是一个人眼对该点颜色感觉的心理学物理参数。

⑨平均波长 $\bar{\lambda}$ (nm)：某一准单色光源光谱辐射分布图中的“重心”所对应的波长。



(x, y) 与 λ_d 关系图



LED 发光谱线图

- (a). 光谱分布带宽 $\Delta\lambda$ (nm): $\Delta\lambda = \lambda_2 - \lambda_1$
- (b). 色坐标 (x, y): 表征 LED (尤其是白光) 的色度。
- (c). 色纯 P_c : 样品颜色接近主波长光谱色的程度, $P_c = a/b$ 。
- (d). 相关色温 T_c (K): 光源的光辐射所呈现的颜色与在某一温度下黑体辐射的颜色相同时, 称黑体的温度 (T_c) 为光源的色温度。为了求得光源的色温, 需要先求得它的色度坐标, 然后在色度图上由 CIE1960UCS 推导的 ISO 色温线求取色温。对于相对光谱功率分布偏离黑体相对光谱功率分布较远的光源, 用色度坐标与其最靠近的黑体温度来表示该光源的相关色温, 在色温线上求取相关色温。

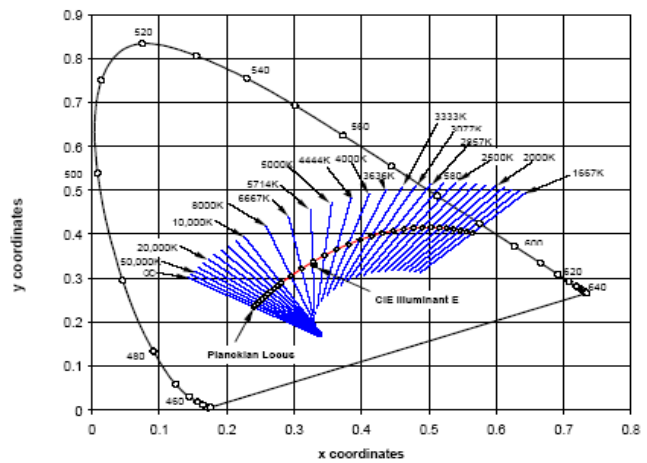


图 27: 相关色温线图

不同光源环境的相关色温

光源	北方晴空	阴天	夏日正午阳光	金属卤化物灯	下午日光	冷色荧光灯	高压汞灯	暖色荧光灯	卤素灯	钨丝灯	高压钠灯	蜡烛光
色温 [K]	8000 -8500	6500 -7500	5500	4000 -4600	4000	4000 -5000	3450 -3750	2500 -3000	3000	2700	1950 -2250	2000

不同光源的不同光色组成最佳环境

色温	光色	气氛效果
>5,000K	清凉 (偏蓝的白色)	冷的气氛
3,300-5,000K	中间 (白色)	爽快的气氛
<3,300K	温暖 (偏红的白色)	稳重的气氛

(e).显色指数 Ra: 用某一白光光源照明 CIE 某标准色板 (a=1-14),再用与该白光光源色温相同的黑体或日光照明该色板,色板所呈现的颜色的差异(ΔE_i)表征该白光光源的显色性,并用显色性指数 Ra 表示, $R_i=100-4.6*\Delta E_i$ 。

$$Ra = \frac{1}{8} \sum_{i=1}^8 R_i$$

考核光源显色性的 14 个标准试验色

号数	近似孟塞尔标号	在昼光下的色貌
R1	7.5R6/4	带浅灰的红色
R2	5Y6/4	带暗灰的黄色
R3	5GY6/8	深黄绿色
R4	2.5G6/6	适中黄的绿色
R5	10BG6/4	带浅兰的绿色
R6	5PB6/8	浅兰色
R7	2.5P6/8	浅紫罗兰色
R8	10P6/8	带浅红的紫色
R9	4.5R4/13	深红色
R10	5Y8/10	深黄色
R11	4.5G5/8	深绿色
R12	3PB3/11	深兰色
R13	5YR8/4	带浅黄的粹色 (白人的肤色)
R14	5GY4/4	适中的青果绿色 (树叶绿)

常用灯种的显色指数

灯的种类	演色性 Ra	灯的种类	显色性 Ra
白炽灯	100	金卤灯	65-93
卤钨灯	100	荧光灯	51-95
高压钠灯	42-52	高压汞灯	25-60
节能灯	85	低压钠灯	25

表 5

指数(Ra)	等级	显色性	一般应用
90-100	1A	优良	需要色彩精确对比的场所
80-89	1B		需要色彩正确判断的场所
60-79	2	普通	需要中等显色性的场所
40-59	3		对显色性的要求较低，色差较小的场所
20-39	4	较差	对显色性无具体要求的场所

3. 热学指标

①热阻 R_{th} ($^{\circ}C/W$): 表示于稳态时在晶片表面每耗散一瓦的功率，晶片结点与参考点之间的温差，由晶片和封装结构的特性决定。

- LED 结温与热阻之间的关系: $T_J = T_A + P_D * (R_{th_{JA}})$
 - T_J : LED 结温
 - T_A : 环境温度
 - $R_{th_{JA}}$: LED 的总热阻

- LED 典型热阻数值

Type	CHIP LED	TOP LED	$\phi 3mm$ LED	$\phi 5mm$ LED	Snap LED	Power LED
$R_{th_{JA}}(^{\circ}C/W)$	550-700	450-600	350-550	300-500	50-100	10-20

②储存温度范围 T_{stg} ($^{\circ}C$): 通常为 $-40^{\circ}C \sim +100^{\circ}C$ 。

③工作温度范围 T_{opr} ($^{\circ}C$): 通常为 $-30^{\circ}C \sim +80^{\circ}C$ 。

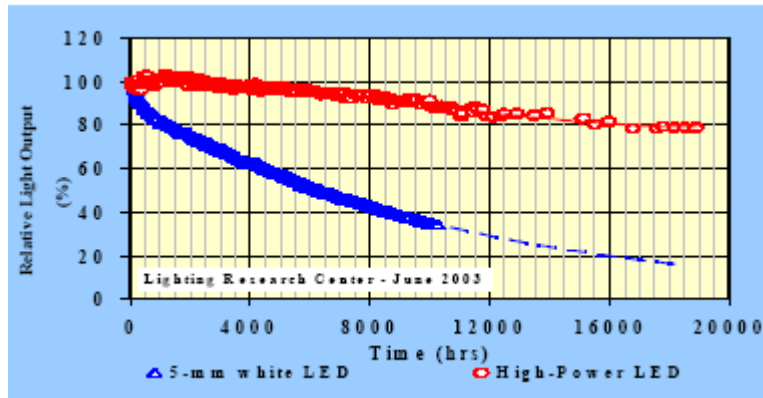
4. 可靠性指标

① ESD 水平

	一般	较好	最好
人体模型 (HBM)	500V 左右	>1,000V	>6,000V
机器模型 (MM)	100V	>200V	>1,000V

② 失效率 λ : $\lambda = 1/MTTF$ (MTTF: 平均无故障时间)

③ 寿命：LED 正常工作情况下， I_V 或者 Φ_V 衰减至初始值 50% 所经历的时间。



LUMILEDS 公司 LED 寿命实验结果

从上图可见， Φ_5 白光 LED 寿命约 6,000 小时。Power LED 在 20,000 小时内很稳定，而在同等时间内， Φ_5 LED 衰减度 >70%，而白炽灯已经完全不亮了。Power LED 可预期经过 50,000 小时后仍能保持 70% 的流明数（即仅 30% 衰减）。

八、LED 主要性能和传统光源区别：

名称	白炽灯	荧光灯	白光 LED
光效 (lm/W)	10~15	50~90	45
显色性指数 (Ra)	>95	50~80	70~85
色温 (K)	2800	系列化	系列化
平均寿命 (h)	1000	5000	50000
价格 (元/1000lm)	1.7	4.1	461
成本 (元/1000000lm×h)	40	7.4	29.4
照明面发热量	高	中	低
量产技术	成熟	成熟	待改进
存在问题	1. 效率低, 耗电; 2. 维护成本高; 3. 易损坏	1. 含汞, 不环保; 2. 易损坏	1. 光效待提高; 2. 散热待解决

第三章 LED 应用指南

一、ESD 防护于我们的工作的意义

近半世纪以来 ESD 在工业部门所造成了着火、爆炸等事故。仅美国电子工业每年因静电造成的损失达几百亿美元。

在本世纪 70 年代以前，很多静电问题都是由于人们没有 ESD 意识而造成的，即使现在也有很多人怀疑 ESD 会对电子产品造成损坏。这是因为大多数 ESD 损害发生在人的感觉以下，因为人体对静电放电的感知电压约为 3K V，而许多电子元件在几百伏甚至几十伏时就会损坏，通常电子器件被 ESD 损坏后没有明显的界限，把元件安装在 PCB 上以后再检测，结果出现很多问题，分析也相当困难。特别是潜在损坏，即使用精密仪器也很难测量出其性能有明显的变化，所以很多电子工程师和设计人员都怀疑 ESD，近年但实验证实，这种潜在损坏在一定时间以后，电子产品的可靠性明显下降。

二、静电的危害

1. 静电电荷产生电流热（电火花）效应，从而引起着火和爆炸；
2. 在电子工业中损坏电子元器件；
3. 静电力的危害 如：
 - ① 由于静电力的作用吸尘—影响产品质量。
 - ② 在大规模集成电路中由于静电使尘埃吸附在芯片，使成品率大大降低。
 - ③ 印刷过程中由于静电吸引力使纸张难以对齐，降低生产效率。

三、ESD 是什么意思？

ESD 是“静电放电”的意思，实际上是电荷累积构成，人们在日常生活中，特别是在干燥天气环境中，当用手去触摸门窗类物品时会感觉“触电”，这就是门窗物品静电积累到一定程度时对人的“放电”。对羊毛织品、尼龙化纤物品，静电积累的电压可高达一万多伏特，电压十分高，但静电功率不大，不会威胁生命，然而对于某些电子器件却可以致命，造成器件失效。。

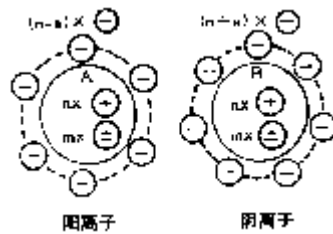
ESD 是本世纪中期以来形成的以研究静电的产生与衰减、静电放电模型、静电放电效应如电流热（火花）效应（如静电引起的着火与爆炸）及和电磁效应（如电磁干扰）等的学科。近年来随着科学技术的飞速发展、微电子技术的广泛应用及电磁环境越来越复杂，对静电放电的电磁场效应如电磁干扰（EMI）及电磁兼容性（EMC）问题越来越重视

四、静电是怎样产生的？

物质都是由分子组成，分子是由原子组成，原子中有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，离开原来的原子核而侵入其他的原子。

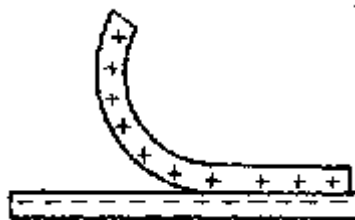
原子因缺少电子数而带有正电现象，称为阳离子、B 原子因增加电子数而呈带负电现象，称为阴离子。(如图所示)

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……等)在日常生活中，任何两个不同材质的物体接触后再分离，即可产生静电。



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。所以物体与其它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。

固体、液体甚至气体都会因接触分离而带上静电。为什么气体也会产生静电呢？因为气体也是由分子、原子组成，当空气流动时分子、原子也会发生“接触分离”而起电。所以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。



静电并不是静止不动的电，而是在空间缓慢移动的电荷，或说是一种相对稳定状态的电荷。其磁场效应比起电场的作用可以忽略不计。由于这种电荷和电场存在而产生的一切现象称为静电现象。

① 起电方式的不同

一般工业用电是由电磁感应原理产生的，而静电大部分是因接触、磨擦、分离而起电的。

② 能量相差很大

静电在空间积蓄的能量密度一般最大不超过 45 焦耳/米³，而电磁机器空间积蓄的能量密度却很容易达到 10⁶焦耳/米³二者能量相差可达 10⁵倍。

③ 表现形式不同

静电电位往往高达几千伏，甚至几万伏，而工业用电的相电压为 220 伏，线电压为 380 伏，静电电流很小，常为毫微安（10⁻⁹A）数量级，而工业用电则常为安培，几十安培数量级。

④ 欧姆定律的适用性不同

工业用电的电路符合欧姆定律，即 $R=U/I$ ，然而，静电释放电路则很难适用欧姆定律，因为静电的泄漏和释放的途径，除物体内部和表面外，还有空间，且随物体和周围状态而变化，故无法准确计测静电泄漏电流和泄漏电阻

五、人体身上的静电有多高？

在干燥的季节若穿上化纤衣服和绝缘鞋在绝缘的地面行走等活动，人体身上的静电可达几千伏甚至几万伏。

下表是在两种不同湿度条件下人体活动产生的静电电位。在干燥的季节，人体静电可达几千伏甚至几万伏。

人体活动	静电电位(KV)	
	RH(10—20)%	RH (65—90)%
人在地毯上走动	35	1.5
人在乙烯树脂地板上行走	12	0.25
人在工作台上操作	6	0.1
包工作说明书的乙烯树脂封皮	7	0.6
从工作台上拿起普通聚乙烯袋	20	1.2
从垫有聚氨基甲酸泡沫的工作椅上站起	18	1.5

六、测量静电的主要仪器设备有哪些？

测量静电电荷量的仪器有[电荷量表](#)，测量静电电位可用[静电电压表](#)。测量材料特性的有许多测量静电的仪表如[高阻计](#)、电荷量表等

七、静电测量的主要参数有哪些？其单位是什么？

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 库仑 = 1000000 微库

1 微库 = 1000 纳库(nC)

在测量粉体带电及其荷质比，[测量防静电服的性能](#)时都要测量其带电电荷量。

测量物体的带电电量从原理上说可用法拉第筒和[静电计](#)及静电电容测量，但这种方法测量繁琐，误差较大，而且对于非静电技术人员使用时更时困难。

现有一种准确迅速测量物体电荷量的专用仪器—[EST111 数字电荷仪/EST112 数字电量表](#)，使用极为方便。

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-千伏(kV)

1kV=1000V

测量静电电压的仪表通常分为接触式和非接触式，对于测量有源带电体如静电发生器（高压电源）等的静电电压常用接触式，测量这类静电可用 $Q-V$ 系列静电表。但由于接触式仪器在与被测物体接触时会使带电物体的静电放电，而使而电荷量减少或使带电物体的电容增加，这两个因素都将使物体的静电电位降低，因而测出的结果与物体真实带电情况相差较大，所以这在测量许多物体的静电电压时更常用的方法是用非接触式静电电压表，这种仪表在测

量时不与初测物体任何接触，因而对被测量物体的静电影响很小，常用的仪表有 [EST101 型防爆静电电压表](#)，这种仪表不但在一般场所能准确迅速测量出物体的静电电压，而且可在对防爆要求很高的场所使用，其重量轻、体积小，价格也很低，因而在国内得到广泛使用，如全军各油库、弹药、火工品、石油、化工、纺织、造纸、橡胶、印刷、计算机等行业等。

其它的一些物理量还有电场强度等

③ 电阻和电阻率

检测材料的电阻和电阻率是判定其防静电性能的重要方法，在很多国际国内标准中都有测量电阻或电阻率的要求。

测量电阻和电阻率可以使用表面电阻仪。

八、工厂安装了静电放电金属棒（球），进入车间的人员用手触摸消除静电，请问这种方法有效吗？

这种方法可以暂时泄放人体静电，但如果人员手离开接地接好棒（球）后，人员只要活动如行走、站起等又会因接触分离等而产生静电，所以这种方法根本不能长久有效消除静电，不是治本的方法。

如果在进入车间前通过触摸接地金属体能消除人体静电，那请您在上班前在家里用手接触水龙头放电，“放完静电”以后去上班就不会有静电了？

不！**这种方法显然是无效的**。因为当您手离开接地金属体后活动或行走等又会产生静电。只有穿用防静电服和防静电鞋并在有防静电地面的车间内操作，对一些静电防护要求高的场所还要戴防静电腕带才能使不断产生的静电得到泄放。

九、静电放电试验对电气产品究竟会产生什么影响？

对产品进行静电放电主要产生的影响是静电放电产生的瞬时大电流(可达几十 A)对电子产品产生的焦耳热效应如烧坏器件等,另一方面是静电放电辐射的电磁场对电子产品的干扰,最近的研究表明这种电场可达几百 V/m.

十、空气放电和接触放电又有什么差别？

空气放电(Air discharge)是放电电极与被测试体之间是通过空气放电的,而接触放电是放电电极与被测物体接触后通过高压开关放电.在同样的电压下接触放电的电流比空气放电大得

空气放电(Air discharge)是放电电极与被测试体之间是通过空气放电的,而接触放电是放电电极与被测物体接触后通过高压开关放电.在同样的电压下接触放电的电流比空气放电大得多,对电子器件更易损坏.

十一、如何才能使产品顺利通过静电放电试验?

要使产品能通过静电放电(ESD)试验,主要是提高产品的抗静电放电能力,要有全面的静电基础知识, ESD 防护设计、[ESD 试验和调试分析](#),

十二、 静电对电子产品损害有哪些形式?

静电的基本物理特性为:吸引或排斥,与大地有电位差,会产生放电电流。这三种特性能对电子元件的三种影响:

- ① 静电吸附灰尘,降低元件绝缘电阻(缩短寿命)。
- ② 静电放电破坏,使元件受损不能工作(完全破坏)。
- ③ 静电放电电场或电流产生的热,使元件受伤(潜在损伤)
- ④ 静电放电产生的电磁场幅度很大(达几百伏/米)频谱极宽(从几十兆到几千兆),对电子产品造成干扰甚至损坏(电磁干扰)

如果元件全部破坏,必能在生产及品管中被察觉而排除,影响较小,如果元件轻微受损,在正常测试下不易发现,在这种情形下,常会因经过多层之加工,甚至已在使用时,才发现破坏,不但检查不易,而且其损失亦难以预测。要耗费多少人力及财力才能清查出所有问题,而且如果在使用时才察觉故障,其损失将可能巨大。

十三、静电对电子产品损害有哪些特点?

①隐蔽性

人体不能直接感知静电除非发生静电放电,但是发生静电放电人体也不一定能感受到电击的感觉,这是因为人体感知的静电放电电压为 2—3 KV,所以静电具有隐蔽性。

②潜在性

有些电子元器件受到静电损伤后的性能没有明显的下降,但多次累加放电会给器件造成内伤而形成隐患。因此静电对器件的损伤具有潜在性。

③随机性

电子元件甚么情况下会遭受静电破坏呢?可以这么说,从一个元件产生以后,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。其损坏也具有随机性。

④复杂性

静电放电损伤的失效分析工作,因电子产品的精、细、微小的结构特点而费时、费事、费钱,要求较高的技术并往往需要使用扫描电镜等高精密仪器。即使如此,有些静电损伤现象也难以与其他原因造成的损伤加以区别,使人误把静电损伤失效当作其他失效。这在对静电放电损害未充分认识之前,常常归因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。所以静电对电子器件损伤的分析具有复杂性

十四、哪些电子工业过程会产生静电危害?

元件从生产到使用的整体过程中都会产生静电,依各阶段的可分为:

①元件制造过程

在这个过程,包含制造,切割、接线、检验到交货。

②印刷电路板生产过程

收货、验收、储存、插入、焊接、品管、包装到出货。

③设备制造过程

电路板验收、储存、装配、品管、出货。

④设备使用过程

收货、安装、试验、使用及保养。

⑤设备维修过程

在这整个过程中,每一个阶段中的每一个小步骤,元件都可能遭受静电的影响,而实际上,最主要而又容易疏忽的一点却是在元件的传送与运输的过程。在这整个过程中,不但包装因移动容易产生静电外,而且整个包装容易暴露在外界电场(如经过高压设备附近,工人移动频繁、车辆迅速移动等)而受到破坏,所以传送与运输过程需要特别注意以减少损失,避免无谓之纠纷。

所以，从元件的制造，使用到维修的任一环节都有可能发生静电损害。

十五、静电放电有哪些主要模型？

静电放电(ESD)问题有时使得研究者难以捉摸。最初仅认为人体是造成敏感元件静电损坏的静电源，所以人体模型（HBM）比其它模型建立得更早。本文讨论在模拟因静电造成器件的失效条件时值得认真考虑的六种重要模型。这六种模型为：人体模型，带电器件模型，场感应模型，场增强模型，机器（日本）模型和电容耦合模型。

除这几种主要模型外，还有其它一些模型

①悬浮器件模型

有时人们会在参考文献中遇到悬浮器件模型。这种模型已用在含器件处在不接地（即悬浮）中研究ESD试验方法。通常这模型简单地描述为悬浮器件受到人体模型冲击。

②瞬后感应模型

瞬态如火花放电或其它带电体放电能引起如计算机的数字系统短暂干扰。特别是微处理器易受干扰。这种模型是从ESD的物理损坏话题谈起，但代表了一种严重的问题。

美国国家最新的标准把人体模型(HBM)、机器模型（MM）和带电器件模型（CDM）作为最重要的模型，并分别列出了这三种模型的敏感度试验。然而这些模型要依据实际上遇到的情况来分析。上述讨论的ESD模型有重要的差异。尽管有重要差异这些模型间存在重叠和相似之处。理解这些差别和相同之处为分析，模拟试验，设计保护方法和ESD防护制定规则是重要的。

十六、如何控制ESD？

从前面的分析可知静电是由于物体接触分离，甚至没有接触的感应等方式产生的，就连我们周围的空气也是由原子组成的，当这些空气流动时也会产生静电，可以说：在任何时间、任何地点都可能产生静电。要完全消除静电几乎不可能的，但可以采取一些措施控制静电在不危害的程度之内。

十七、如何控制人体静电（人体静电防护）？

人体是最普遍存在的静电危害源。对于静电来说，人体是导体，所以可以对人体采取接地的措施

①使用防静电地面/ 防静电鞋/ 袜（静电从脚导到大地）

通过脚穿防静电性地面、地垫、地毯，人员穿上防静电鞋袜，形成组合接地。

②佩戴防静电腕带并接地（静电从手导到大地）

通过手用以泄放人体的静电。它由防静电松紧带、活动按扣、弹簧软线、保护电阻及插头或夹头组成。松紧带的内层用防静电纱线编织，外层用普通纱线编织。

上述两项措施都是实用而有效的，应视不同的场合选择使用

十八、防静电鞋与腕带使用中人体安全问题

仅从防静电的角度考虑时，人体总的对地电阻越小越好，但最小值受到安全方面的限制，人体必须具有一定值的对地电阻，以便万一发生金属设备或装置与工频电源短接的情况下该电阻能够限制流过操作的人体上的电流。最小值不应小于 $10^5\Omega$ ，通常腕带的限流电阻在 $1M\Omega$ ，防静电鞋的最小电阻不应小于 $10^5\Omega$ ，最大不超过 $10^9\Omega$ 。

十九、防静电鞋与腕带的使用中要注意哪些问题？

使用腕带操作时不允许断开，否则会失去接地作用。各种腕带使用的主要问题是开路，有时是临时性的，有时是长时间断开，使失去接地作用。有的人因此使用腕带检测器测量其通断状态，有的用监测仪器测量腕带的开路及电阻变大。

腕带扣得不紧造成人体皮肤与腕带的接触电阻变大

有些腕带的电阻就是带子本身的，当带触及地时使其电阻大大减小，有可能因此造成对人体电击的危险。

有些自称是无线的腕带，其效果远不如有线的好。

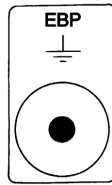
防静电鞋在穿用时应有防静电袜/鞋垫，并在防静电地面上工作才能使人体所带的静电导到大地，任何一部分电阻过大或断开都会使人体带上危害的静电。所以在重要的部门应有电阻测试仪随时检测人体所穿的鞋/袜/鞋垫及与人体的总电阻是否能起到泄漏静电的要求。

腕带应用专门的带插座的接地线与地连结，不能夹在桌面或桌边的金属体上，因为这些金属体对地的电阻可能很大。

要经常检查腕带的电阻。

二十、.静电接地标志是什么？

接地标志



接地点标记

二十一、常用的防静电包装袋有哪些？

由具有导静电的塑料材料制成。防静电屏蔽材料(袋)：该种材料由基材、全金属镀膜层和热封层多层复合而成，通常是半透明的。这种袋体格低廉，使用很广。

还有一种又能防静电又能屏蔽电磁双重功能的包装袋。通常是不透明的。价格较前种高，可应用在有静电和电磁防护的场所。

第四章 ESD 和 LED

LED 是用 GaN 基构成的器件，由于是宽禁带半导体材料，它的电阻率较高，对于 InGaN/AlGaIn/GaN 的双异质结构蓝光 LED，其 InGaIn 的有源层的厚度一般只有几十纳米，再由于这种 LED 的两个正、负电极在芯片同一面上，之间距离很小，若两端的静电电荷累积到一定值时，这一静电电压会将 PN 结击穿，使其漏电增大，严重时 PN 结击穿短路，LED 失效。

正因为存在静电威胁，对于上述结构的 LED 芯片和器件在加工过程中对加工场地、机器、工具、仪器，包括员工服装均要采取静电措施，确保不损伤 LED。另外在芯片和器件的包装上也要用防静电的材料。

也有人从衬底材料、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 PN 结两端在硅片上制作两个背对背稳压管箝位达到保护 LED PN 结不受静电威胁，当然，从应用角度讲，在使用 LED 时也可以加装保护电路。

一、 LED 生产、应用过程中的防静电原则

1. 避免静电产生：设法消除一切可能出现的静电源；
2. 消除静电：设法加速静电荷的逸散泄漏，防止静电荷的累积和耗量。

二、 LED 器件使用环境的防静电措施

1. 器件对 ESD 的灵敏度等级分类（依照抗静电放电电位最大值划分）：
 - ★ I 类：≤100V
 - ★ II 类：≤500V

★ III类: $\leq 1000V$

注:

- ① GaInN 类 LED (蓝色、绿色、白色) 为 I 类器件, 应在 I 类防静电工作区内使用。
 - ② 而一般的上下电极的红色和黄色 LED 的抗 ESD 能力相对较高, 其能够耐不超过 500V 的静电放电, 因此其属于 II 类器件。
2. 铺设防静电地板, 并且要保证良好的接地消散系统, 且要保证这些防静电设施的表面电阻率在 $10^6 \sim 10^9 \Omega / \text{cm}^2$ 之间。
 3. LED 在周转以及使用过程中, 必须在防静电作业台和防静电周转盒/箱流转、使用, 防静电工作台面应铺设用静电耗散材料制作的防护台布, 这些设施都必须予以良好的接地, 且这些设施的相关参数必须能够符合以下要求:
 - 表面电阻率: $10^6 \sim 10^9 \Omega / \text{cm}^2$
 - 体电阻率: $10^3 \sim 10^8 \Omega / \text{cm}^2$
 - 摩擦起电电位: $\leq 100V$
 - 静电电压衰减时间: $\leq 0.5S$
 4. 静电敏感器件的整个使用操作过程, 应开启直流式离子风机, 且在离子风机的有效作用范围内 (一般不超过 60cm) 操作;
 5. 静电防护区的相对湿度控制在 50% 以上, 最好在 70%~80% 之间。
 6. 要有良好的防静电接地系统, 将地面、作业台、生产设备、检测设备/仪器、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。
 7. 静电保护区内应使用防静电器具:
 - ① 静电防护区的各种容器, 工装夹具、作用台面和设备垫等应避免使用易产生静电材料, 主要指普型料制品和橡胶制品;
 - ② 焊接用的烙铁 (最好用直流式恒温烙铁) 和使用的测试仪器要接地良好。
 8. 有条件时应安装静电监测报警装置。

三、 器具使用过程中的防静电措施

凡接触静电敏感器件的人员 (生产、装配、测量、调试、包装、运输、储存、发放等), 应注意以下事项:

1. 使用防静电腕带 (或肘带、踝带);
2. 穿着防静电工作服、鞋、帽;
3. 应避免可能造成静电损伤的操作:
 - ① 从包装袋内倾斜器件出来时, 应尽可能轻缓, 避免快速倾斜时产生静电荷 (此动作产生的静电位最高可达 $1000V \sim 1500V$)
 - ② 拿器件时, 应仅接触管体, 尽量不要碰器具的外引线;
 - ③ 作业者在操作前或站立起来以后, 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;

-
- ④ 不要做易于产生静电的动作：擦脚、搓手、穿或脱衣服等
 - ⑤ 使用仪表检测器件时，应在检测前将表笔接触接地的地线，以释放仪器内部的静电荷。

第五章 电应力和热应力控制

要提高 LED 在应用于中的可靠性降低失效率，首先要从前面提到的失效率模型上着手加以防范与改进：

一、要预防电应力失效。

就是 LED 在使用过程中防止过电压和过电流情况出现，那怕是瞬间也不允许发生，这里举个经常见到的所谓电容降压恒流驱动 LED 的电路，来说明它的问题所在。这是一个用电容器的容抗作一个大电阻，来限制流过 LED 的正向电流，从而直接可用市电供电，构成 LED 灯具的低成本，不同变压器的驱动电路。在这个电路中电容量可从下式算出：

式中： I_F 是 LED 的正向电流，例如： $I_F=20\text{mA}$ 。

V_F 是 LED 的正向电压。

F 是市电的频率，这里 $f=50\text{Hz}$

显然，在 $I_F=20\text{mA}$ 时， $C=0.02\text{A}/2 \times 3.14 \times 50 \times (220-3) \approx 0.289 \mu\text{F}$

通常取 $0.3 \mu\text{F}/400\text{V}$ 即可。

在市电供电稳定的情况，电容 C 的容抗相当于一个 $106\text{K}\Omega$ 电阻，流过 LED 的电流约 22mA ，且 C 上不消耗实功，不存在功率的损耗。

进行瞬态分析就可知道，当电源接通瞬间， C 相当于短路，形成市电电源几乎直接加到 LED 上，形成一种浪涌电流，尽管时间极短，但如果多次开、关电源，LED 就会逐步退化直至失败。另外图 101-1 的电路的功率因数很低仅 $0.16\sim 0.18$ ，严格讲对电网影响很大，是不能大量使用的。

因此：

- ① 设计一个良好的 LED 驱动电路可以保证 LED 不会受到过电压、过电流的电应力冲击，防止造成失败；
- ② 不要反接器件管脚；
- ③ 应设计一个恒流的驱动电路来驱动 LED，且驱动电流不能超过 LED 的标称 I_F 。

二、要防止热应力失效

即 LED 使用的环境温度，LED 使用时的热路设计十分重要。要防止 LED 上的温度不会过高，其他电子元件的热量不影响 LED 的温升，电路部件或系统中的热源要远离 LED 等，对于功率 LED 的应用，必须要有散热考虑，必要时用铝基印制版散热，而不能用常规 PCB 印版。

三、要防止组装失效

在焊接 LED 时，温度和时间要严格控制，对于 GaN 基 LED 还要考虑焊接组装时防静电，以及组装结构的防潮、防水等处理。防止因装配焊接等过程造成对 LED 的损害。只有对引起失效的因素都加以考虑并采取改进对策，就可以提高 LED 系统的可靠度，降低失效率。

域厂 坏

Head office: 宏燁科技股份有限公司

Add: 23145 台北縣新店市寶橋路235巷120號2樓

TEL: +886-2-8912-1249 FAX: +886-2-8912-1250

東莞市宏燁電子測試技術服務有限公司

Add: 廣東省東莞市長安鎮沙頭振安中路497號大利豐大廈3樓 郵編：523861

Tel: +86-769-8188-8559 Fax: +86-769-8549-7540

website: www.victronic.com.tw