

LED 的多种形式封装结构及技术

LED 是一类可直接将电能转化为可见光和辐射能的发光器件,具有工作电压低,耗电量小,发光效率高,发光响应时间极短,光色纯,结构牢固,抗冲击,耐振动,性能稳定可靠,重量轻,体积小,成本低等一系列特性,发展突飞猛进,现已能批量生产整个可见光谱段各种颜色的高亮度、高性能产品.国产红、绿、橙、黄的 LED 产量约占世界总量的 12%,“十五”期间的产业目标是达到年产 300 亿只的能力,实现超高亮度 AlGaInP 的 LED 外延片和芯片的大生产,年产 10 亿只以上红、橙、黄超高亮度 LED 管芯,突破 GaN 材料的关键技术,实现蓝、绿、白的 LED 的中批量生产.据预测,到 2005 年国际上 LED 的市场需求量约为 2000 亿只,销售额达 800 亿美元.

在 LED 产业链中,上游是 LED 衬底晶片及衬底生产,中游的产业化为 LED 芯片设计及制造生产,下游归 LED 封装与测试,研发低热阻、优异光学特性、高可靠的封装技术是新型 LED 走向实用、走向市场的产业化必经之路,从某种意义上讲是链接产业与市场的纽带,只有封装好的才能成为终端产品,才能投入实际应用,才能为顾客提供服务,使产业链环环相扣,无缝畅通.

LED 封装的特殊性

LED 封装技术大都是在分立器件封装技术基础上发展与演变而来的,但却有很大的特殊性.一般情况下,分立器件的管芯被密封在封装体内,封装的作用主要是保护管芯和完成电气互连.而 LED 封装则是完成输出电信号,保护管芯正常工作,输出:可见光的功能,既有电参数,又有光参数的设计及技术要求,无法简单地将分立器件的封装用于 LED.

LED 的核心发光部分是由 p 型和 n 型半导体构成的 pn 结管芯,当注入 pn 结的少数载流子与多数载流子复合时,就会发出可见光,紫外光或近红外光.但 pn 结区发出的光子是非定向的,即向各个方向发射有相同的几率,因此,并不是管芯产生的所有光都可以释放出来,这主要取决于半导体材料质量、管芯结构及几何形状、封装内部结构与封装材料,应用要求提高 LED 的内、外部量子效率.常规 $\Phi 5\text{mm}$ 型 LED 封装是将边长 0.25mm 的正方形管芯粘结或烧结在引线架上,管芯的正极通过球形接触点与金丝,键合为内引线与一条管脚相连,负极通过反射杯和引线架的另一管脚相连,然后其顶部用环氧树脂包封.反射杯的作用是收集管芯侧面、界面发出的光,向期望的方向角内发射.顶部包封的环氧树脂做成一定形状,有这样几种作用:保护管芯等不受外界侵蚀;采用不同的形状和材料性质(掺或不掺散色剂),起透镜或漫射透镜功能,控制光的发散角;管芯折射率与空气折射率相关太大,致使管芯内部的全反射临界角很小,其有源层产生的光只有小部分被取出,大部分易在管芯内部经多次反射而被吸收,易发生全反射导致过多光损失,选用相应折射率的环氧树脂作过渡,提高管芯的光出射效率.用作构成管壳的环氧树脂须具有耐湿性,绝缘性,机械强度,对管芯发出光的折射率和透射率高.选择不同折射率的封装材料,封装几何形状对光子逸出效率的影响是不同的,发光强度的角分布也与管芯结构、光输出方式、封装透镜所用材质和形状有关.若采用尖形树脂透镜,可使光集中到 LED 的轴线方向,相应的视角较小;如果顶部的树脂透镜为圆形或平面型,其相应视角将增大.

一般情况下,LED 的发光波长随温度变化为 $0.2\sim 0.3\text{nm}/^\circ\text{C}$,光谱宽度随之增加,影响颜色鲜艳度.

另外,当正向电流流经 pn 结,发热性损耗使结区产生温升,在室温附近,温度每升高 1°C ,LED 的发光强度会相应地减少 1%左右,封装散热;时保持色纯度与发光强度非常重要,以往多采用减少其驱动电流的办法,降低结温,多数 LED 的驱动电流限制在 20mA 左右.但是,LED 的光输出会随电流的增大而增加,目前,很多功率型 LED 的驱动电流可以达到 70mA、100mA 甚至 1A

级,需要改进封装结构,全新的LED封装设计理念和低热阻封装结构及技术,改善热特性.例如,采用大面积芯片倒装结构,选用导热性能好的银胶,增大金属支架的表面积,焊料凸点的硅载体直接装的热沉上等方法.此外,在设计中,PCB线路板等的热设计、导热性能也十分重要.

进入21世纪后,LED的高效化、超高亮度化、全色化不断发展创新,红、橙LED光效已达到100lm/W,绿LED为50lm/W,单只LED的光通量也达到数十lm. LED芯片和封装不再沿袭传统的设计理念与制造生产模式,在增加芯片的光输出方面,研发不仅仅限于改变材料内杂质数量,晶格缺陷和位错来提高内部效率,同时,如何改善管芯及封装内部结构,增强LED内部产生光子出射的几率,提高光效,解决散热,取光和热沉优化设计,改进光学性能,加速表面贴装化SMD进程更是产业界研发的主流方向.

产品封装结构类型

自上世纪九十年代以来,LED芯片及材料制作技术的研发取得多项突破,透明衬底梯形结构、纹理表面结构、芯片倒装结构,商品化的超高亮度(1cd以上)红、橙、黄、绿、蓝的LED产品相继问世,如表1所示,2000年开始在低、中光通量的特殊照明中获得应用.LED的上、中游产业受到前所未有的重视,进一步推动下游的封装技术及产业发展,采用不同封装结构形式与尺寸,不同发光颜色的管芯及其双色、或三色组合方式,可生产出多种系列,品种、规格的产品.

LED产品封装结构的类型如表2所示,也有根据发光颜色、芯片材料、发光亮度、尺寸大小等情况特征来分类的.单个管芯一般构成点光源,多个管芯组装一般可构成面光源和线光源,作信息、状态指示及显示用,发光显示器也是用多个管芯,通过管芯的适当连接(包括串联和并联)与合适的光学结构组合而成的,构成发光显示器的发光段和发光点.表面贴装LED可逐渐替代引脚式LED,应用设计更灵活,已在LED显示市场中占有一定的份额,有加速发展趋势.固体照明光源有部分产品上市,成为今后LED的中、长期发展方向.

引脚式封装

LED脚式封装采用引线架作各种封装外型的引脚,是最先研发成功投放市场的封装结构,品种数量繁多,技术成熟度较高,封装内结构与反射层仍在不断改进.标准LED被大多数客户认为是目前显示行业中最方便、最经济的解决方案,典型的传统LED安置在能承受0.1W输入功率的封装内,其90%的热量是由负极的引脚架散发至PCB板,再散发到空气中,如何降低工作时pn结的温升是封装与应用必须考虑的.封装材料多采用高温固化环氧树脂,其性能优良,工艺适应性好,产品可靠性高,可做成有色透明或无色透明和有色散射或无色散射的透镜封装,不同的透镜形状构成多种外形及尺寸,例如,圆形按直径分为 $\Phi 2\text{mm}$ 、 $\Phi 3\text{mm}$ 、 $\Phi 4.4\text{mm}$ 、 $\Phi 5\text{mm}$ 、 $\Phi 7\text{mm}$ 等数种,环氧树脂的不同组份可产生不同的发光效果.花色点光源有多种不同的封装结构:陶瓷底座环氧树脂封装具有较好的工作温度性能,引脚可弯曲成所需形状,体积小;

金属底座塑料反射罩式封装是一种节能指示灯,适作电源指示用;闪烁式将CMOS振荡电路芯片与LED管芯组合封装,可自行产生较强视觉冲击的闪烁光;双色型由两种不同发光颜色的管芯组成,封装在同一环氧树脂透镜中,除双色外还可获得第三种的混合色,在大屏幕显示系统中的应用极为广泛,并可封装组成双色显示器件;电压型将恒流源芯片与LED管芯组合封装,可直接替代5—24V的各种电压指示灯.面光源是多个LED管芯粘结在微型PCB板的规定位置上,采用塑料反射框罩并灌封环氧树脂而形成,PCB板的不同设计确定外引线排列和连接方式,有双列直插与单列直插等结构形式.点、面光源现已开发出数百种封装外形及尺寸,供市场及客户适用.

LED 发光显示器可由数码管或米字管、符号管、矩陈管组成各种多位产品,由实际需求设计成各种形状与结构.以数码管为例,有反射罩式、单片集成式、单条七段式等三种封装结构,连接方式有共阳极和共阴极两种,一位就是通常说的数码管,两位以上的一般称作显示器.反射罩式具有字型大,用料省,组装灵活的混合封装特点,一般用白色塑料制作成带反射腔的七段形外壳,将单个 LED 管芯粘结在与反射罩的七个反射腔互相对位的 PCB 板上,每个反射腔底部的中心位置是管芯形成的发光区,用压焊方法键合引线,在反射罩内滴入环氧树脂,与粘好管芯的 PCB 板对位粘合,然后固化即成.反射罩式又分为空封和实封两种,前者采用散射剂与染料的环氧树脂,多用于单位、双位器件;后者上盖滤色片与匀光膜,并在管芯与底板上涂透明绝缘胶,提高出光效率,一般用于四位以上的数字显示.单片集成式是在发光材料晶片上制作大量七段数码显示器图形管芯,然后划片分割成单片图形管芯,粘结、压焊、封装带透镜(俗称鱼眼透镜)的外壳.单条七段式将已制作好的大面积 LED 芯片,划割成内含一只或多只管芯的发光条,如此同样的七条粘结在数码字形的可伐架上,经压焊、环氧树脂封装构成.单片式、单条式的特点是微小型化,可采用双列直插式封装,大多是专用产品.LED 光柱显示器在 106mm 长度的线路板上,安置 101 只管芯(最多可达 201 只管芯),属于高密度封装,利用光学的折射原理,使点光源通过透明罩壳的 13-15 条光栅成像,完成每只管芯由点到线的显示,封装技术较为复杂.

半导体 pn 结的电致发光机理决定 LED 不可能产生具有连续光谱的白光,同时单只 LED 也不可能产生两种以上的高亮度单色光,只能在封装时借助荧光物质,蓝或紫外 LED 管芯上涂敷荧光粉,间接产生宽带光谱,合成白光;或采用几种(两种或三种、多种)发不同色光的管芯封装在一个组件外壳内,通过色光的混合构成白光 LED.这两种方法都取得实用化,日本 2000 年生产白光 LED 达 1 亿只,发展成一类稳定地发白光的产品,并将多只白光 LED 设计组装成对光通量要求不高,以局部装饰作用为主,追求新潮的电光源.

表面贴装封装

在 2002 年,表面贴装封装的 LED(SMDLED)逐渐被市场所接受,并获得一定的市场份额,从引脚式封装转向 SMD 符合整个电子行业发展大趋势,很多生产厂商推出此类产品.

早期的 SMDLED 大多采用带透明塑料体的 SOT-23 改进型,外形尺寸 $3.04 \times 1.11\text{mm}$,卷盘式容器编带包装.在 SOT-23 基础上,研发出带透镜的高亮度 SMD 的 SLM-125 系列,SLM-245 系列 LED,前者为单色发光,后者为双色或三色发光.

近些年,SMDLED 成为一个发展热点,很好地解决了亮度、视角、平整度、可靠性、一致性问题,采用更轻的 PCB 板和反射层材料,在显示反射层需要填充的环氧树脂更少,并去除较重的碳钢材料引脚,通过缩小尺寸,降低重量,可轻易地将产品重量减轻一半,最终使应用更趋完美,尤其适合户内,半户外全彩显示屏应用.

表 3 示出常见的 SMDLED 的几种尺寸,以及根据尺寸(加上必要的间隙)计算出来的最佳观视距离.焊盘是其散热的重要渠道,厂商提供的 SMDLED 的数据都是以 $4.0 \times 4.0\text{mm}$ 的焊盘为基础的,采用回流焊可设计成焊盘与引脚相等.超高亮度 LED 产品可采用 PLCC(塑封带引线片式载体)-2 封装,外形尺寸为 $3.0 \times 2.8\text{mm}$,通过独特方法装配高亮度管芯,产品热阻为 400K/W ,可按 CECC 方式焊接,其发光强度在 50mA 驱动电流下达 1250mcd .七段式的一位、两位、三位和四位数码 SMDLED 显示器件的字符高度为 $5.08\text{--}12.7\text{mm}$,显示尺寸选择范围宽.PLCC 封装避免了引脚七段数码显示器所需的手工插入与引脚对齐工序,符合自动拾取一贴装设备的生产要求,应用设计空间灵活,显示鲜艳清晰.多色 PLCC 封装带有一个外部反射器,可简便地与发光管或光导相结合,用反射型替代目前的透射型光学设计,为大范围区域提供统

一的照明,研发在 3.5V、1A 驱动条件下工作的功率型 SMDLED 封装.

功率型封装

LED 芯片及封装向大功率方向发展,在大电流下产生比 $\Phi 5\text{mm}$ LED 大 10-20 倍的光通量,必须采用有效的散热与不劣化的封装材料解决光衰问题,因此,管壳及封装也是其关键技术,能承受数 W 功率的 LED 封装已出现.5W 系列白、绿、蓝绿、蓝的功率型 LED 从 2003 年初开始供货,白光 LED 光输出达 1871m,光效 44.31m/W 绿光衰问题,开发出可承受 10W 功率的 LED,大面积管;尺寸为 $2.5 \times 2.5\text{mm}$,可在 5A 电流下工作,光输出达 2001m,作为固体照明光源有很大发展空间.

Luxeon 系列功率 LED 是将 AlGaInN 功率型倒装管芯倒装焊接在具有焊料凸点的硅载体上,然后把完成倒装焊接的硅载体装入热沉与管壳中,键合引线进行封装.这种封装对于取光效率,散热性能,加大工作电流密度的设计都是最佳的.其主要特点:热阻低,一般仅为 14°C/W ,只有常规 LED 的 1/10;可靠性高,封装内部填充稳定的柔性胶凝体,在 $-40\sim 120^\circ\text{C}$ 范围,不会因温度骤变产生的内应力,使金丝与引线框架断开,并防止环氧树脂透镜变黄,引线框架也不会因氧化而玷污;反射杯和透镜的最佳设计使辐射图样可控和光学效率最高.另外,其输出光功率,外量子效率等性能优异,将 LED 固体光源发展到一个新水平.

Norlux 系列功率 LED 的封装结构为六角形铝板作底座(使其不导电)的多芯片组合,底座直径 31.75mm,发光区位于其中心部位,直径约 $(0.375 \times 25.4)\text{mm}$,可容纳 40 只 LED 管芯,铝板同时作为热沉.管芯的键合引线通过底座上制作的两个接触点与正、负极连接,根据所需输出光功率的大小来确定底座上排列管芯的数目,可组合封装的超高亮度的 AlGaInN 和 AlGaInP 管芯,其发射光分别为单色,彩色或合成的白色,最后用高折射率的材料按光学设计形状进行包封.这种封装采用常规管芯高密度组合封装,取光效率高,热阻低,较好地保护管芯与键合引线,在大电流下有较高的光输出功率,也是一种有发展前景的 LED 固体光源.

在应用中,可将已封装产品组装在一个带有铝夹层的金属芯 PCB 板上,形成功率密度 LED,PCB 板作为器件电极连接的布线之用,铝芯夹层则可作热沉使用,获得较高的发光通量和光电转换效率.此外,封装好的 SMDLED 体积很小,可灵活地组合起来,构成模块型、导光板型、聚光型、反射型等多姿多彩的照明光源.

功率型 LED 的热特性直接影响到 LED 的工作温度、发光效率、发光波长、使用寿命等,因此,对功率型 LED 芯片的封装设计、制造技术更显得尤为重要.