

OFweek2011 年底总结：LED 产业现状及发展趋势

LED 产业现状

一、技术现状

当前 LED 在照明领域还面临一些问题。它之所以能够引起人们的高度关注，主要是因为它在节能、环保、长寿、可使用安全低电压点燃及造型多样性等方面的特点是传统灯具无法比拟的，可是目前市面上的 LED 照明产品由于受其使用的材料、制造工业及成本等因素限制，不能充分展现这些特点。这些产品即旁且杂。按使用环境来区分主要有户外和户内灯具，例如在户外灯具上主要有：路灯、景观灯、建筑用射灯、汽车灯、洗墙灯、泛光灯等；户内灯具主要有 PAR 灯系列、GU (5.3、10) (MR16) 系列、日光灯系列（以 T8 为主）、烛形灯系列、筒灯系列、嵌灯系列、壁灯、天花灯、幕墙等、轨道灯等等。按出光方向又可分为定向灯和非定向灯。然而遗憾的是，不管这些灯具从外形还是用途上看，我们都能找到传统灯具的影子。换言之，在目前的照明领域，LED 还没有给自己定位，没有完全属于自己东西。这严重影响了 LED 在照明领域的发展。

在技术方面 LED 也面临一些难题。例如散热，据相关研究和多年工作总结，目前，一款好的光源设计可使电-光转换效率达到 30% 左右。但仍有 70% 的电能转换成热能。拿一个 5W 的 LED 球泡灯为例，假设驱动的效率是 80%，那么光源就得到 4W 的功率，按 30% 的电-光转换效率，仍然有 2.8W 的电能转换成热能，加上前面驱动板的约 1W 的损耗，一个 5W 的球泡灯就要产生 3.8W 的热能。这就是我们设计的 LED 灯具温升居高不下的主要原因。

下图是某光源的温升对正向电流的曲线图：

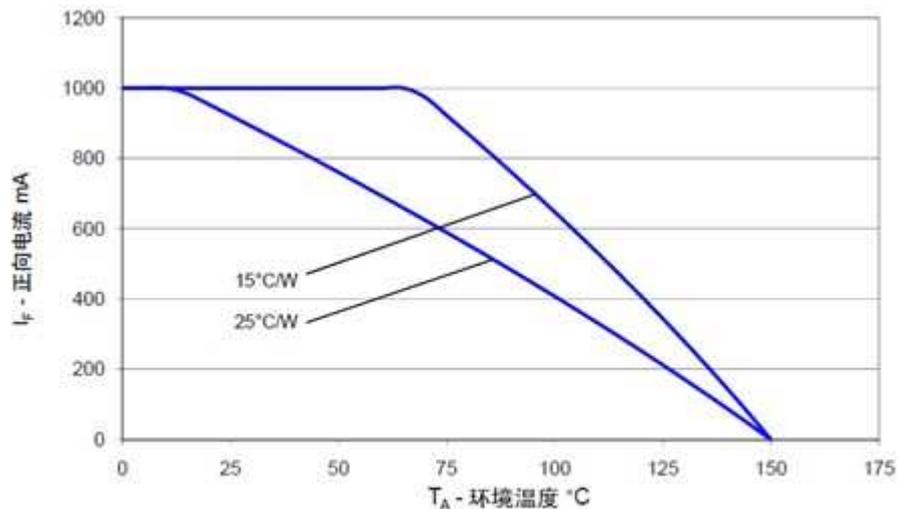


图 11. 最大正向电流与环境温度的关系曲线，基于 $T_{pmax} = 150^{\circ}C$ 。

从图中我们可以看出，当 LED 工作的环境温度达到 70° 时，正向电流就开始下降，达到 125°，电流基本上下降到不及正常值的 30%。这些变化会使光输出迅速下降，且严重影响 LED 寿命。为了能把 LED 结温降下来，在设计 LED 灯具时，我们通常会配上专用的散热器。目前用来散热的材料主要有铝、工程导热塑胶、陶瓷等。铝材由于其较高的导热系数和加工便利，目前应用最广泛，其中又因加工不同而分为拉伸、压铸、插片等。利用工程塑胶实现散热是最近才兴起的一种方式，它不仅热阻较低，还同时具有绝缘特性，这对 LED 灯具分毫必争的空间显得尤为珍贵。另外它还可以根据需求轻松的加工成不同的形状，未来潜力无限。但成本目前还相对较高。至于陶瓷，虽然热阻很低，但由于加工不易，目前只有部分光源晶片的载体采用到。

在光效方面，虽然有些灯具已达到 90lm/W，甚至在实验室里单颗光源的效率已达到 250lm/W，但仍有非常大的挖掘潜力。提高光效是提高电-光转换效率的最直接的办法，对散热也有很大的帮助。

其次，光源的显色性也同样是个需要改善的地方。目前的白光 LED 主要通过两种途径获得，一种是由红、绿、蓝三种颜色的 LED 配光得到，这不仅增加了成本和设计难度，色温的漂移也是个不容易克服的问题。另外一种是通过蓝光与黄色荧光粉进行混光来实现，通过这种方式获得的白光不仅色温漂移小，光效也得到很大的提高。目前市场上的白光 LED 大多是通过这种途径得到的。由于这种白光在混色时缺少红光和绿光，在显色性方面就大打折扣。现在市面上的产品能达到 80%的显色性已经算是不错了。

在成本方面，目前虽然前期设计时尽可能的降低，但普通的消费者仍然很难接受。在 LED 灯具整个成本中，仅光源就占据了 70%。可想而知，要想降低成本，必须从光源入手。可是目前光源的定价权掌握在如 CREE、LUMILED、NICHIA、LUXEN、ORSMO 等国际巨头手中，降价注定是个缓慢的过程。

技术落后成“短板”企业多居产业链下游

表面上，LED 照明产业发展得热火朝天，然而，繁荣背后的隐忧，也随之浮出水面。

LED 照明市场如同一个做大的“蛋糕”，引来八方的人们前来分羹。然而，不少人只是想浑水摸鱼，也有的只求短线牟利。作为世界最大的照明市场，我国 LED 上中游技术环节薄弱成为了一块硬伤。《2010 年高亮度 LED 市场回顾与展望》报告中指出，2010 年中国 LED 制造商占全球高亮度 LED 市场总产值仅 2%的比例，且相关技术仍落后国际大厂约三到五年。我国 LED 芯片及器件产品大多集中在小功率、中低档领域。国产芯片尽管售价仅为进口芯片的 1/10，但占国内市场不足 10%。除此之外，高亮度功率型 LED 芯片、器件 80%以上均依赖进口。外延生产用关键设备 MOCVD 和外延片衬底、封装用的高性能硅胶、环氧树脂、荧光粉等原材料基本也要依靠进口。

而业内人士表示，在整个产业链中，上游的利润回报最高。而上游的核心专利技术集中在日本 Nichia(日亚)、Cree(美国科锐)、Osram(德国欧司朗)等为

数不多的海外巨头手中。在外延片和芯片领域,美国和日本企业也处于垄断优势,拿走了 60%以上的利润。大部分中国 LED 企业,只能在产业链末端的封装领域,争夺余下不到 40%的利润,大量 LED 企业依靠政府市政工程生存,凭借补贴盈利。

目前,LED 照明在城市照明建设、照明装饰酒店等领域越来越普及。LED 的发展步伐虽然明显加快,但由于缺乏相关的标准规范,有专家担心其市场会因为产品的质量问題而变得混乱。另据相关媒体报道,有个别地方的 LED 装饰灯因为光衰严重,已被拆卸。

此外,价格也一度是企业“卖”LED 照明时最头疼的问题。在某灯具批发城,一位经销商向记者介绍,“我们一般都不爱卖 LED 灯。因为 LED 的价格实在和节能灯、白炽灯差距太大了。比如,3W 的 LED 灯售价 20 元,7W 的就要 90 元,而节能灯只要 10 元左右,白炽灯更只需要 1 元钱;且在寻常百姓看来,一盏两盏 LED 灯的节能效果实在无关紧要。”

二, 市场现状

纵观国内 LED 照明市场,可以发现真正火热的,只是以装饰照明、手电筒、小型灯具等为主的中小功率 LED 照明市场而已。由于市场对其光效、显色指数要求不高,因此功能实现比较容易。现阶段,国内涉足 LED 照明的电源厂商,出货多以这类中小功率产品为主,月出货量基本都在 KK 级/月左右。

大功率 LED 照明应用可分为两类:一类是替换方案,即将 LED 照明灯具的灯座设计成与目前被广泛使用的节能灯、白炽灯灯座兼容,用户在选用 LED 照明灯具时,不用对现阶段的照明电路进行改造,直接替换成 LED 灯具即可使用,这类方案的代表产品有 LED 灯泡、LED 日光灯等;另一类是非替换方案,即使用 LED 照明灯具时,需要按照其直流供电的特殊原理进行全新的电路布局,这类方案的代表产品有新能源 LED 路灯等。

然而这两类灯具在现阶段的发展中,都遇到了各自的瓶颈。例如 LED 灯泡类,其作为替换方案中的一种,在民用市场中占有很大的市场份额。灯泡的灯座形状限制了 LED 照明电源模块的尺寸。“在如此狭小的空间中塞进 AC/DC、DC/DC、保护电路、驱动芯片绝非易事。因为尺寸极大受限,所以厂商只能先满足功能,放弃部分性能。而被放弃的部分,往往是最关键的电路保护模块,这导致很多替换型 LED 灯泡 EMI/EMC 不达标,电源模块转换效率很难提升,有的甚至存在安全隐患。”

而真正与民生相关的、最大化体现 LED 节能价值的大功率 LED 照明,在国内还处于技术发展初期。目前,在大功率 LED 照明市场中,无论是民用照明的普通灯泡、公共照明的日光灯,还是基础建设用到的路灯,LED 照明的渗透情况都不乐观。而且经过调查,目前正在使用中的以上几类大功率 LED 照明灯具的性能参数也都不理想。许多 LED 照明电源厂商在大功率照明模块的出货量仅为几 K 而已。

除了牺牲保护电路以及安全性能，空间受限还一定程度上殃及了 LED 灯具的寿命。LED 照明电源模块寿命较短，拖了 LED 灯具长寿命性能的后腿，这是业界普遍的共识，这也和电路板尺寸受限，性能方面设计不到位有关。例如，人们普遍质疑 LED 照明电源模块中电解电容的工作温度、工作寿命，但是电解电容的高密度可以缓解电路板尺寸受限的窘境。因此，该不该用电解电容，也是电源模块厂商们需要平衡的问题。

目前，商场、医院等公共场所多使用日光灯管，LED 日光灯作为替换方案在这些区域有很大的应用空间，因此也成为灯具厂商们重点跟进的目标之一。相比 LED 灯泡，日光灯管在尺寸上有很大的回旋余地供电源厂商进行性能优化。尽管现阶段市面上的 LED 日光灯多将 LED 芯片直接封装在铝基板中，一定程度上缓解了 LED 芯片的散热问题，但是 LED 日光灯的产品品质仍然存在很大的不足。根据美国能源部 2009 年 9 月完成的第 9 轮商用 LED 产品评估报告 (CALiPER) 显示，参与测试的 LED 日光灯管 (T8 荧光灯管替代方案) 显色指数非常低，在 62-76 之间，远低于荧光灯管的 83；LED 日光灯管的色度偏移也超出了 ANSI 定义的白光产品公差范围；制造商承诺的光输出效率超出实际的 30%~50%。根据该测试结果，美国能源部认为，所测试的 LED 日光灯均未达到 T8 荧光灯管参照灯的灯具效率，因此不可以一对一的进行替换。

三、驱动 IC 现状

1、主要供货商以国际 IC 大厂为主

LED 驱动 IC 由于控制电子产品的 LED 发光质量，因此芯片的质量及稳定度相当重要，相较之下，国际大厂设计能力较佳，品牌知名度与质量保证也有较高水平，在此一市场占有较大的占有率，而在价格方面，由于 LED 驱动 IC 占终端电子产品的成本比重相当低，厂商通常不会以价格做为首要考虑，主要是产品特性与产品信赖度能达到要求，而且在 LED 驱动 IC 通过电子产品认证进入供应炼后，一般也不会轻易更换供应厂商。

2、全球前 10 大 LED 驱动 IC 供应商占产值的 55%

数据统计显示，全球前 10 名的 LED 驱动 IC 供应商，占据了整个产值的 55%，约 30 集成电路供应商和下属制造商分享了余下的 44%。

随着美国国家半导体公司被德州仪器收购，德州仪器是目前排名第一的 LED 驱动 IC 供应商。德州仪器 (TI) 在 2010 年拥有 17% 的市场份额。美国国家半导体公司 (NSC) 排名第二。尽管国家半导体公司已经被德州仪器收购，但直到 2011 年底才会彻底并入德州仪器。因此两家公司在 2011 年仍然彼此独立。Mitess 表示，TI 和 NSC 两家公司合并后，将会牢牢占据 LED 驱动 IC 四分之一的市场。

在技术方面，凭借着先进的高压BCD工艺，能够在200毫米或更大直径的晶圆上进行生产制造，在未来的LED驱动器市场，德州仪器将发挥至关重要的作用。

3、台企来势汹汹，加快布局LED驱动IC

据了解，LED急剧扩张下，企业纷纷争夺驱动IC市场。台湾地区，台积电、联电、鸿海、台达电等龙头厂商为掌握LED灯源和背光源模块关键组件，竞相部署旗下的LED驱动IC厂。

除此之外，为拓展营运版图，国内奇美、友达两大面板龙头的垂直整合布局已从LED扩展至LED驱动IC，聚积科技不断推出新技术产品，为品牌摇旗呐喊。

相关数据显示，2011年，台湾整体LED驱动IC需求量达2.7亿颗，出货将增128.4%。随着台湾IC设计业者在产品技术陆续到位后，将以较优异的供应链弹性和较低价格，相比国际IC厂商，获得更强劲的出货量。因此，预估2011年，台湾驱动IC将达1.3亿颗，较2010年5740万颗大幅成长128.4%，优于同期国际晶片供应厂商52.2%成长幅度。

四、我国各区域间LED产业发展现状

珠三角作为LED生产的主要基地，鱼龙混杂的缺点一直为行业人士所批判，低生产实力、低技术含量是大多数中小型企业的致命弱点。尽管如此，珠三角仍是我国LED产业的发源地，它的动作代表着我国LED产业发展的趋势和走向。近两年，我们也欣喜地看到一些变化：越来越多的LED企业着眼市场，寻找适合自己产品的渠道，注重市场竞争的差异性优势；渐渐加强对自身品牌的宣传和培养；重视区域整体环境，开始规范市场竞争秩序。

中山LED——低端、量化的应用作坊模式

中山的LED成品企业大概有500家左右，主要以应用为主。其产品主要集中在民用与景观照明方面。灯珠等原材料生产企业，大概也有30家左右，中山地区企业由于介入LED较晚，技术含量不高，准入门槛较低，同质化严重，也使得整个市场较为混乱，低端竞争激烈。

以中山古镇为代表的LED市场简直可以用“乱、差”来形容，主要存在的问题概括如下：

1、市场凌乱，产品单一，从外形结构设计来看，都存在单调的问题。

2、光源乱用，国产，台系，欧美，日系，韩系...都有，拿最普通的1W白光而言，价格从十几元到二三元不等，而这些因素也决定了光源的光通量，光衰，寿命等千差万别。

3、散热问题突出：中山古镇大部分厂家简单借鉴传统照明的特点，没能很好的理解 LED 作为半导体的电性特点，生搬硬套，一味的降低材料成本，这也是导致 LED 寿命短的原因之一。

4、电源滥用：从专业的角度来看，电源没有几家做得好，当然可能是这个地区的研发实力不是太强，造成了现在 LED 驱动电源的乱行，安规不过，EMC 不过，什么不过都行，只要灯亮就可以！

5、无标准，基本上全是山寨货，是个厂都在弄 LED 灯具，而且还有相当一部分在做出口！

6、所谓的 CCC, FCC, CE 认证基本上是拉虎皮当大旗，十有八九是假的。中山古镇的市场整改是势在必行的事。

深圳 LED——所谓高品质高价格产品

深圳是我国最早的 LED 产业区之一。早在 1997 年左右，深圳的一些厂家就看到 LED 产品的好处，不少外贸公司也将 LED 产品的配件，特别是发光二极管交给深圳厂家制造。如今，虽然深圳制造 LED 产品的厂家每年都有所增加，但真正在经销商和消费者心目中还是外国品牌占主导地位。深圳市从事 LED 技术及产品研发、开发、生产及应用的企业约达 2000 多家，大部分属于 LED 封装和应用的技术领域。从事 LED 的高新技术企业有 97 家，约占深圳市高新技术企业 2835 家中的 3.5%。深圳市相关企业中，属于芯片生产仅有一家，对产品生产至关重要的半导体材料、荧光粉的生产企业更是一家都没有。无论是技术、工艺、设备、关键原材料都需要引进。

一直以来，深圳 LED 企业存在着一些问题：

1、一直注重外贸，不注重国内市场，造成企业知名度很低；

2、缺乏核心技术。真正的核心技术仍然掌握在国际化巨头手里；

3、不注重零售市场。几乎所有的 LED 厂家都知道，零售市场是个极大的矿山，但是却没有办法去开发；

4、深圳 LED 厂家不注重自我宣传，这造成其在国内市场信息不流通，品牌形象较弱。

5、深圳部分 LED 新厂为了生存导入山寨手机模式，甚至低于成本价冲杀市场，极大的损害了“深圳”牌形象。因此，作为未来的主导产品，深圳急切呼唤 LED 领头羊的出现。

LED 新星——江门、佛山、珠海周边城市正在崛起

江门、佛山、珠海等地的 LED 生产企业相对深圳与中山来说，数量要少一点，随着国家“十城万盏”、上海世博会采用 LED 灯具，LED 在各个领域上逐渐广泛

应用。江门、佛山、珠海等地的 LED 企业也如雨后春笋般的涌现，正在步履蹒跚的崛起。中国龙头企业鹤山银雨处于主导地位、佛山的国星光电也是老牌企业，但是 LED 迫切需要注意新的血液，需要一批后起之秀来引领，如果还是以以前的模式来运作，深圳永远是出口基地，没品牌信誉度可言、中山永远是技术含量低的山寨型作坊，这只会导致国外巨头，如：飞利浦、欧司朗进入中国市场来分一杯羹。

江门市一直致力于打造 LED 产业基地，近年来政府在财政上拿出不菲的资金、政策来鼓励 LED 产业发展。广东聚科照明股份有限公司就是其中的一家，该公司致力于打造 LED 白光高端封装，初入这个市场就得到了很高的呼声，一个具有规模化的企业一定能正确引导 LED 的发展方向，相信江门市往后会再多一代表本土高新科技的企业进来。

LED 处在白热化阶段，更需要提高警惕，LED 最终会经历如电视机的时代，大浪淘沙、适者生存，谁能留守到最后，谁就能笑得最后。LED 企业必须时刻鞭策自己“低调做人、高调做事”，埋头练好内功，“冰封三尺、非一日之寒”，只有踏踏实实的做好自己的本职工作，LED 才能稳步发展、迅猛腾飞，我们才能真正享受低碳时代。

LED 产业发展趋势

一，高功率 LED 的封装基板发展趋势

长久以来显示应用一直是 led 发光元件主要诉求，并不要求 LED 高散热性，因此 LED 大多直接封装于一般树脂系基板，然而 2000 年以后随著 LED 高辉度化与高效率化发展，尤其是蓝光 LED 元件的发光效率获得大幅改善，液晶、家电、汽车等业者也开始积极检讨 LED 的适用性。

技术上高功率 LED 封装后的商品，使用时散热对策实为非常棘手，而此背景下具备高成本效率，且类似金属系基板等高散热封装基板的产品发展动向，成为 LED 高效率化之后另 1 个备受瞩目的焦点。

1，高效率化 金属基板备受关注

硬质金属系封装基板是利用传统树脂基板或是陶瓷基板，赋予高热传导性、加工性、电磁波遮蔽性、耐热冲击性等金属特性，构成新世代高功率 LED 封装基板。

高功率 LED 封装基板是利用环氧树脂系接著剂将铜箔黏贴在金属基材的表面，透过金属基材与绝缘层材质的组合变化，制成各种用途的 LED 封装基板。

高散热性是高功率 LED 封装用基板不可或缺的基本特性，因此上述金属系 LED 封装基板使用铝与铜等材料，绝缘层大多使用高热传导性无机填充物 (Filler) 的环氧树脂。铝质基板是应用铝的高热传导性与轻量化特性制成高密度封装基板，目前已经应用在冷气空调的转换器 (Inverter)、通讯设备的电源基板等领域，也同样适用于高功率 LED 封装。

一般而言，金属封装基板的等价热传导率标准大约是 2W/mK，为满足客户 4~6W/mK 高功率化的需要，业者已经推出等价且热传导率超过 8W/mK 的金属系封装基板。由于硬质金属系封装基板主要目的是支持高功率 LED 封装，因此各封装基板厂商正积极开发可以提高热传导率的技术。

硬质金属系封装基板的主要特征是高散热性。高热传导性绝缘层封装基板，可以大幅降低 LED 芯片的温度。此外基板的散热设计，透过散热膜片与封装基板组合，还望延长 LED 芯片的使用寿命。

金属系封装基板的缺点是基材的金属热膨胀系数非常大，与低热膨胀系数陶瓷系芯片元件焊接时情形相似，容易受到热循环冲击，如果高功率 LED 封装使用氮化铝时，金属系封装基板可能会发生不协调的问题，因此必须设法吸收 LED 模块各材料热膨胀系数差异造成的热应力，藉此缓和热应力进而提高封装基板的可靠性。

2，封装基板业者积极开发可挠曲基板

可挠曲基板的主要用途大多集中在布线用基板，以往高功率晶体管与 IC 等高发热元件几乎不使用可挠曲基板，最近几年液晶显示器为满足高辉度化需求，强烈要求可挠曲基板可以高密度设置高功率 LED，然而 LED 的发热造成 LED 使用寿命降低，却成为非常棘手的技术课题，虽然利用铝板质补强板可以提高散热性，不过却有成本与组装性的限制，无法根本解决问题。

高热传导挠曲基板在绝缘层黏贴金属箔，虽然基本结构则与传统挠曲基板完全相同，不过绝缘层采用软质环氧树脂充填高热传导性无机填充物的材料，具有与硬质金属系封装基板同等级 8W/mK 的热传导性，同时兼具柔软可挠曲、高热传导特性与高可靠性。此外可挠曲基板还可以依照客户需求，将单面单层面板设计成单面双层、双面双层结构。

高热传导挠曲基板的主要特征是可以设置高发热元件，并作三次元组装，亦即可以发挥自由弯曲特性，进而获得高组装空间利用率。

根据实验结果显示使用高热传导挠曲基板时，LED 的温度约降低 100C，此意味温度造成 LED 使用寿命的降低可望获得改善。事实上除了高功率 LED 之外，高热传导挠曲基板还可以设置其它高功率半导体元件，适用于局促空间或是高密度封装等要求高散热等领域。

有关类似照明用 LED 模块的散热特性,单靠封装基板往往无法满足实际需求,因此基板周边材料的配合变得非常重要,例如配合 3W/mK 的热传导性膜片,可以有效提高 LED 模块的散热性与组装作业性。

3, 陶瓷封装基板对热歪斜非常有利

如上所述白光 LED 的发热随著投入电力强度的增加持续上升,LED 芯片的温升会造成光输出降低,因此 LED 封装结构与使用材料的检讨非常重要。以往 LED 使用低热传导率树脂封装,被视为影响散热特性的原因之一,因此最近几年逐渐改用高热传导陶瓷,或是设有金属板的树脂封装结构。LED 芯片高功率化常用方式分别包括了:LED 芯片大型化、改善 LED 芯片发光效率、采用高取光效率封装,以及大电流化等等。

虽然提高电流发光量会呈比例增加,不过 LED 芯片的发热量也会随著上升。因为在高输入领域放射照度呈现饱和与衰减现象,这种现象主要是 LED 芯片发热所造成,因此 LED 芯片高功率化时,首先必须解决散热问题。

LED 的封装除了保护内部 LED 芯片之外,还兼具 LED 芯片与外部作电气连接、散热等功能。LED 封装要求 LED 芯片产生的光线可以高效率取至外部,因此封装必须具备高强度、高绝缘性、高热传导性与高反射性,令人感到意外的是陶瓷几乎网罗上述所有特性,此外陶瓷耐热性与耐光线劣化性也比树脂优秀。

4, 传统高散热封装是将 LED 芯片设置在基板上

属基板上周围再包覆树脂,然而这种封装方式的金属热膨胀系数与 LED 芯片差异相当大,当温度变化非常大或是封装作业不当时极易产生热歪斜,进而引发芯片瑕疵或是发光效率降低。

未来 LED 芯片面临大型化发展时,热歪斜问题势必变成无法忽视的困扰,针对上述问题,具备接近 LED 芯片的热膨胀系数的陶瓷,可说是对热歪斜对策非常有利的材料。

提高 LED 高热排放至外部的热传达特性,以往大多使用冷却风扇与热交换器,由于噪音与设置空间等诸多限制,实际上包含消费者、照明灯具厂商在内,都不希望使用上述强制性散热元件,这意味著非强制散热设计必须大幅增加框体与外部接触的面积,同时提高封装基板与框体的散热性。

具体对策如:高热传导铜层表面涂布利用远红外线促进热放射的挠曲散热薄膜等,根据实验结果证实使用该挠曲散热薄膜的发热体散热效果,几乎与面积接近散热薄膜的冷却风扇相同,如果将挠曲散热薄膜黏贴在封装基板、框体,或是将涂抹层直接涂布在封装基板、框体,理论上还可以提高散热性。

有关高功率 LED 的封装结构,要求能够支持 LED 芯片磊晶接合的微细布线技术;有关材质的发展,虽然氮化铝已经高热传导化,但高热传导与反射率的互动

关系却成为另 1 个棘手问题，一般认为未来若能提高氮化铝的热传导率，对高功率 LED 的封装材料具有正面助益。

二、LED 驱动电源主要技术发展趋势

作为一种新的光源，近 LED 电源和驱动电路与荧光灯的电子镇流器不同，LED 驱动电路的主要功能是将交流电压转换为直流电压，并同时完成与 LED 的电压和电流的匹配。随着硅集成电路电源电压的直线下降，LED 工作电压越来越多地处于电源输出电压的最佳区间，大多数为低电压 IC 供电的技术也都适用于为 LED，特别是大功率 LED 供电。再则，LED 电源还应能利用低电压 IC 电源产量逐渐上升带来的规模经济。

LED 电源和驱动电路主要技术概况

1) 电压变换技术

电源是影响 LED 光源可靠性和适应性的一个重要组成部分必须作重点考虑。目前我国的市电是 220V 的交流电，而 LED 光源属半导体光源，通常是用直流低电压供电，这就要求在这些灯具中或外部设置 AC-DC 转换电路，以适应 LED 电流驱动的特征。目前电源选择的途径有开关电源、高频电源、电容降压后整流电源等多种，根据电流稳定性，瞬态过冲以及安全性、可靠性的不同要求作不同选择。

2) 电源与驱动电路的寿命与成本

LED 寿命方面，虽然单颗 LED 本身的寿命长达 10 万小时，但其应用时必须搭配电源转换电路，故 LED 照明器具整体寿命必须从光电整合应用加以考虑。但对照明用 LED，为达到匹配要求，电源与驱动电路的寿命必须超过 10 万小时，使其不再成为 led 照明系统的瓶颈因素。在考虑长寿命的同时又不能增加太多的成本，电源与驱动电路的寿命与成本的通常不宜超过照明系统总成本的三分之一，在 led 照明灯具产品发展的初期，必须平衡好电源与驱动电路的寿命与成本的关系。

3) 驱动程序的可编程技术

LED 用作光源一个显著的特点就是在低驱动电流条件下仍能维持其流明效率，同时对于 R. G. B. 多晶型

混光而形成白光来说，通过开发一种针对 LED 的数字 RGB 混合控制系统，使用户能够在很大范围内对 LED 的亮度，颜色和色调进行任意调节，给人以一种全新的视觉享受。在城市景观亮化应用方面，LED 光源可在微处理器控制下可以按不同模式加以变化，形成夜晚的多姿百态的动态效果，在这方面将体现 LED 相对于其它光源所具有的独特的竞争优势。

4) 电源与驱动电路的效率

LED 电源与驱动电路,既要有一定的供 LED 所需的接近恒流的正向电流输出,又要有较高的转换效率,电光转化效率是 led 照明的一个重要因素,否则就会失去 LED 节能的优点,目前商业化的开关电源其效率约为 80%左右,作为 led 照明用电源,其转换效率仍须进一步提升。

技术发展趋势

1) 针对 LED 的特点开发一系列恒压恒流控制电子电路,利用集成电路技术将每颗 LED 的输入电流控制在最佳电流值,使得 LED 能获得稳定的电流,并产生最高的输出光通量。LED 驱动电路在输入电压和环境温度等因素发生变动的情况下最好能控制 LED 电流的大小。

2) LED 驱动电路具有智能控制功能,使 LED 的负载电流能够在各种因素的影响下都能控制在预先设计的水平上。当负载电流因各种因素而产生变化时,初级控制 IC 可以通过控制开关使负载电流回到初始设计值上。

3) 在控制电路电路设计方面,要向集中控制,标准模块化,系统可扩展性三方面发展。

4) 在目前 LED 光效和光通量有限的情况下,充分发挥 LED 色彩多样性的特点,开发变色 LED 灯饰的控制电路。

三, LED 照明应用领域发展趋势

1, 医疗照明

作为特殊照明,LED 医疗照明具有高技术、高风险、高进入门槛等特点。国内 LED 医疗照明市场目前也尚处于初级阶段,无论是市场规模还是生产企业都还较少。随着国家对医疗卫生及国民健康的关注与投入的加大,医疗器械行业飞速发展,医疗照明需求日益扩大,也给 LED 医疗照明发展带来了新的机遇和挑战。

国内 LED 医疗照明市场需求与发展潜力

根据卫生部《2010 年 7 月份全国医疗服务情况》[1]数据显示,截至 2010 年 7 月底,全国医疗机构数达 92.24 万个,其中:医院 2.04 万个,社区卫生服务中心(站)2.85 万个,乡镇卫生院 3.83 万个,村卫生室 64.72 万个,诊所(医务室)17.42 万个(详见表 1)。

表 1 全国医疗机构数量

	2010 年 7 月底	2009 年底	增减数
一、医院	20432	20291	141
三级医院	1273	1233	40
二级医院	6460	6523	-63
一级医院	5147	5110	37
二、社区卫生服务中心(站)	28456	27308	1148
社区卫生服务中心	5525	5216	309
社区卫生服务站	22931	22092	839
三、卫生院	39450	39827	-177
乡镇卫生院	38334	38475	-141
四、门诊部	7899	7639	260
五、诊所(医务室)	174223	174809	-586
六、村卫生室	647167	632770	14397
七、妇幼保健院(所、站)	3010	3020	-10
八、专科疾病防治院(所、站)	1278	1291	-13
九、其他医疗机构	436	494	-58
总计	922351	907249	15102

由表 1 可以看出，医院按等级可分为：三级医院 1273 个，二级医院 6460 个，一级医院 5147 个，未定级医院 7552 个。

全国共有三级医院 1273 个，平均每个医院配备手术室 20 间，每个手术室必须配备手术无影灯一套，全国三级医院所需的手术无影灯约有 25460 套 (1273×20)，若全部更换为 LED 手术无影灯，按 15 万元/套的价格计算，三级医院的 LED 手术无影灯市场需求总量约为 38 亿元。按照医疗设备更新制度，医用电子设备及光学仪器每 8 年需更新一次，LED 手术无影灯在三级医院每年的市场需求量约为 4.8 亿元。

同样，全国共有二级医院 6460 个，平均每个医院最低配备手术室 8 间，按照上述计算方法，全国二级医院所需的手术无影灯约有 51680 套 (6460×8)，LED 手术无影灯在二级医院每年的市场需求量约为 9.7 亿元。

由此可见，仅以我国二级以上的医院市场需求量计算，LED 手术无影灯每年的需求就高达 14.5 亿元左右，有巨大的市场需求量。

与传统医疗照明相比，LED 手术照明除了其直接的节能效果外，其所具有的改善手术室层流净化效果的突出优势，使其还能大幅度降低手术室净化系统的一次性投资、节约净化系统能耗的额外节能效果。按我国目前全国医疗机构数所用的约 10 万台手术无影灯及 7.3 万间手术室计算，10 万台手术无影灯(平均功耗超过 1000W)的年耗电量超过 1.8 亿 kWh(按每台 $1000W \times 6h \times 300d$ 计算)；目前医院手术室所使用的空气层流净化系统的平均功耗超过 3000W，7.3 万间手术室的

年耗电量达到 18.92 亿 kWh(按每间 3000W×24h×360d 计算), 仅前述三项的年耗电量合计就已达到了 25.9 亿 kWh, 超过三峡水力发电工程发电能力(840 亿 kWh) 的 3%, 且尚未计算我国医院照明所需的 LED 检查灯、LED 头灯等医疗专用照明的耗电量。

上所述机构若使用 LED 医疗照明技术及产品, 可节约近 60%的耗电量, 即减少电能消耗 16 亿 kWh, 相当于节约三峡水力发电工程发电能力(840 亿 kWh) 的 2%, 也相当于节约火电燃煤 64 万吨/年, 同时可以减少因火电燃烧产生的二氧化碳排放 167.68 万吨/年, 减少二氧化硫排放 544 万公斤/年, 氮氧化物 473.6 万公斤/年。

同时, 随着大手术、高难度手术的不断增多, 垂直层流的高洁净度手术室的建立, 各级医院都希望装备更高质量的新型医疗照明产品, 而 LED 医疗照明产品正好满足现代医院的要求, 除了它自身已有的节能、长寿等优点之外, 更有能调节光源色温提高医生对不同组织器官的分辨力、节省手术室净化系统的建设与运行成本等一系列突出优点, 成为了各个医院提高手术质量和行业竞争能力优先计划装备的重点设备。由此可以推断全球医疗照明产品市场对 LED 医疗照明产品的需求量将会更大, 因此, 以 LED 手术无影灯为代表的医疗照明产品作为附加值较高的高端产品将首先在医院得到关注和应用。显然, 使用 LED 医疗照明技术及产品, 除了在节能降耗方面效果明显外, 对于改善手术环境、提高医疗质量、提升医疗机构竞争力方面也优势明显, 使用 LED 医疗照明技术及产品必将成为各医疗卫生机构的必然选择。

随着我国经济水平的不断发展, 国内医疗卫生机构数量逐年增长, 对 LED 医疗照明产品的需求量也在不断增加, 有权威人士预测在未来 5 年内, 我国将会有约 1/3 的医疗机构会选用 LED 替代传统光源, LED 的医疗照明市场容量会以超过 20%的年递增率不断扩大。

2, LED 冷冻食品照明

LED 照明目前正大量应用于冷冻食品的照明, LED 灯具及其他一些半导体器件都够有较高的发光效率, 并且可长时间在较低温度下工作。而低效率的照明灯具, 除了用于发光而消耗的能量外, 其产生的大量散热也会需要冰箱系统来冷却, 这会造成电量的浪费。

爱尔兰的 Nualight 公司表示, 用合适的光源来照亮食物非常重要。目前零售食品照明市场的市值达到 10 亿美元。零售食品照明市场将会是一个很有前景的市场, Nualight 公司在过去几年的年增长率均在 100%以上。

Liam 指出, 到目前为止, 关注较多的是制冷柜和冰箱配置的照明系统。希望 LED 在制冷柜的照明应用中取代荧光灯。

近年来, 包括沃尔玛, 乐购, 克罗格和 SUPERVALU 在内的全球大型食品零售商, 都在其冷冻食品柜中用 LED 取代荧光灯照明, 节约能源高达 70%。

3, LED 光源在 KTV 房间中的应用

KTV 包房灯是属于舞台灯光的一类,随着国内经济水平增长,人们的娱乐生活也越来越丰富,去酒吧 KTV 包房 K 歌是一种最常见的娱乐休闲方式,一般的 KTV 包房的室内装修都有个性化的需求,所以有很多 KTV 包房经营者会为了跟上时代的潮流,经常要对 KTV 包房局部或重新装修,由此也就催生了属于 KTV 包房专用的一类设备, KTV 包房灯就属于 KTV 包房灯光音响一类。

TV 包房灯分类: KTV 包房灯按用途分可以分为一,演艺灯光类,这类是常见的舞台灯光,包含摇头灯,扫描灯,巫师灯,激光灯,图案花灯,扫描类的三爪鱼,八爪鱼,双月花灯,无极箭以及魔球灯,频闪灯,雨灯,led 帕灯,控制台,小型烟机等等。起制造气氛作用,二是环境照明类,有 LED 照明帕灯,节能灯管,壁灯,吊灯,台灯,防爆灯具,紫光灯等等,起环境照明作用。三是装饰类,有 LED 背景幕布,LED 窜灯,灯饰,LED 护栏管,LED 灯条,LED 地板砖,亚克力灯箱等等,起环境装饰作用。

KTV 包房灯具特点: KTV 包房灯具特点是由 KTV 包房本身的特点决定,一般的 KTV 包房每天都要连续营业 12 个小时左右,长时间的使用,对灯具的性能提出了很高的要求,所以 KTV 包房灯具必须要耐用。二是灯具图案和效果的个性化,很多 KTV 包房的设计都会在装修方面追求个性化,以此来引领潮流,吸引消费者。

4, 地铁隧道照明

由于地铁常年在地下运行,对照明灯有很高的要求。它不仅要求节电、高亮度、长寿命,还必须保证不间断照明。然而,常用的白炽灯、日光灯、高压钠灯等都存在一定的缺陷,会出现一些难以避免的照明故障。

相比之下,LED 拥有环保、节能、寿命长、光效高、无辐射等特点,延长使用寿命和大幅降低能耗。并且,LED 抗震性强的特点非常适合地铁运营环境,可以做到六七年内不用更换,LED 灯能效比普通荧光灯高出近 50%。

因此,LED 已经成为最佳的绿色照明灯具。地铁各车站采用 LED 灯,不仅可以节省大量电费,而且,还可以节省大量的维修费用。同时,也可确保照明质量。LED 针对目前地铁照明系统存在的问题,提供了一种结构新颖、成本低、使用寿命长、节电效果好、可靠性高的地铁照明方案。

根据专家测算,虽然 LED 灯价格昂贵,但相当于普通荧光灯的 50 倍。一列车改造总费用高达 5 万元,但节省的电费和维修成本差不多三年能收回成本,因此有望在北京地铁大规模推广。据了解,ED 又称半导体照明,是不同于普通节能灯的新一代照明技术。正在试验的 G432 列车,车厢内 168 支荧光灯将全部更换为 LED 灯。相对于荧光灯每支五六元的价格,新更换的 LED 照明灯市场单价高达 300 多元。目前的试验项目属国家“863”科技攻关内容,暂由厂商免费提供。

四, 照明用 LED 封装发展趋势

1, COB 封装

COB, 在电子制造业里并不是一项新鲜的技术, 是指直接将裸外延片黏贴在电路板上, 并将导线 / 焊线直接焊接在 PCB 的镀金线路上, 也是俗称中的打线(Wire bonding), 再透过封胶的技术, 有效的将 IC 制造过程中的封装步骤转移到电路板上直接组装。在 LED 产业中, 由于现代科技产品越来越讲究轻薄与高可携性, 此外, 为了节省多颗 LED 芯片设计的系统板空间问题, 在高功率 LED 系统需求中, 便开发出直接将芯片黏贴于系统板的 COB 技术。

COB 的优点在于: 高成本效益、线路设计简单、节省系统板空间等, 但亦存在着芯片整合亮度、色温调和与系统整合的技术门槛。以 25W 的 LED 为例, 传统高功率 25W 的 LED 光源, 须采用 25 颗 1W 的 LED 芯片封装成 25 颗 LED 元件, 而 COB 封装是将 25 颗 1W 的 LED 芯片封装在单一芯片中, 因此需要的二次光学透镜将从 25 片缩减为 1 片, 有助于缩小光源面积、缩减材料、系统成本, 进而可简化光源系二次光学设计并节省组装人力成本。此外, 高功率 COB 封装仅需单颗高功率 LED 即可取代多颗 1 瓦(含)以上 LED 封装, 促使产品体积更加轻薄短小。

2, 高压 LED

在同样输出功率下, 高压 LED 所需的驱动电流大大低于低压 LED。如以晶元光电的高压蓝光 1WLED 为例, 它的正向压降高达 50V, 也即它只需 20mA 驱动电流就可以输出 1W 功率, 而普通正向压降为 3V 的 1WLED, 需要 350mA 驱动电流才能输出 1W 功率, 因此同样输出功率的高压 LED 在工作时耗散的功率要远低于低压 LED, 这意味着散热铝外壳的成本可大大降低。

高压 LED 可以大幅降低 AC-DC 转换效率损失。以 10W 输出功率为例, 如果采用正向压降为 50V 的 1W 高压 LED, 输出端可以采取 2 并 4 串的配置, 4 个串联 LED 的正向压降为 200V, 也就是说只需从市电 220V 交流电(AC)利用桥式整流及降 20V 就可以了。但如果我们采用正向压降为 3V 的 1W 低压 LED, 即便 10 个串在一起正向压降也不过 30V, 也就是说需要从 220VAC 市电降压到 30VDC。我们知道, 输入和输出压差越低, AC 到 DC 的转换效率就越高, 可见如采用高压 LED, 变压器的效率就可以得到大大提高, 从而可大幅降低 AC-DC 转换时的功率损失, 这一热耗减少又可进一步降低散热外壳的成本。

因此, 如采用高压 LED 来开发 LED 通用照明灯具产品, 总体功耗可以大大降低, 从而大幅降低对散热外壳的设计要求, 如我们可用更薄更轻的铝外壳就可满足 LED 灯具的散热需求, 由于散热铝外壳的成本是 LED 照明灯具的主要成本组成部分之一, 铝外壳成本有效降低也意味着整体 LED 照明灯具成本的有效降低。由此可见, 高压 LED 可以带来 LED 照明灯具成本和重量的有效降低, 但其更重要的意义是大幅降低了对散热系统的设计要求, 从而有力扫清了 LED 照明灯具进入室

内照明市场的最大技术障碍。因此，高压 LED 将主导未来的 LED 通用照明灯具市场。

3， AC LED

以高效节能、绿色环保、长寿命为特点的新兴 LED 照明技术如今正在加速发展，应用中的新技术、新方案也不断涌现。LED 照明设计可结合光源特性，如光源指向性、冷光源及色彩变化等，必将将成为照明市场主流。近年来，随着 LED 在材料选取、晶粒制程、封装架构设计技术等方面的研究不断进步，一种新的交流发光二极管（AC LED）技术应运而生，通过一种新的思路，推动了 LED 照明技术的实用化。

传统的 LED 是典型的低压直流器件，无法直接在我们日常照明使用的电源是高压交流（AC 100~220V）下使用，必须经过变压器或开关电源降压，然后将交流（AC）变换成直流（DC），再变换成直流恒流源，才能供 LED 光源使用。

因此在 LED 灯具里必然要有一定的空间来安置这个变换器，不利于照明灯具的设计和小型化。而且系统经过的变换环节，能量必然有一定量的损耗，DC LED 在交流、直流之间转换时约 15%~30% 的电力被损耗，系统效率很难做到 90% 以上。如果能用交流（AC）直接驱动 LED 光源发光，系统应用方案将大大简化，系统效率将很轻松地达到 90% 以上。变换装置的存在造成了传统 LED 照明产品成本较高的重要因素，也成为制约 LED 光源产品寿命的瓶颈，无法体现 LED 长寿命的特点。

AC LED 是相对于传统的 DC LED 来说，无须经过 AC/DC 转换，可直接插电于 220V（或 110V）交流电使用的 LED 照明技术。AC LED 光源的技术关键是 LED 晶粒在封装时的特殊排列组合技术，同时利用 LED PN 结的二极管特性兼作整流，通过半导体制作工艺将多个晶粒集成在一个单芯片上，即高功率单晶粒（single power chip）LED 技术，并采用交错的矩阵式排列工艺组成桥式电路，使 AC 电流可双向导通，实现发光。晶粒的排列如图 1 所示，左图是 AC LED 晶粒采用交错的矩阵式排列示意图，右小图是实际 AC LED 晶粒排列照片，AC LED 晶粒在接上交流后通体发光，因此只需要二根引线导入交流源即能发光工作。

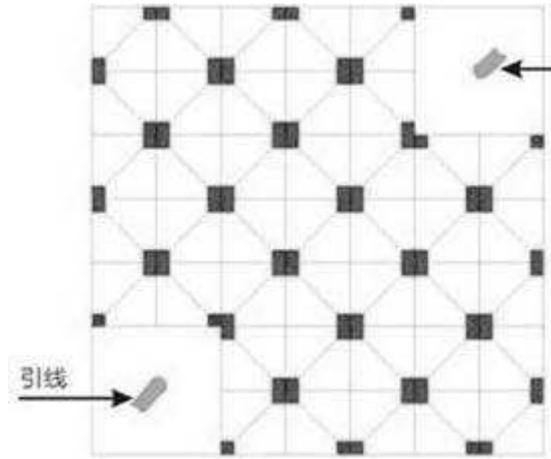


图1 AC LED 晶粒封装示意图

AC LED 光源的工作原理如图 2 所示，由 LED 微晶粒采用交错的矩阵式排列工艺组成 5 个桥臂，组成类似一个整流桥，整流桥的两端分别联接交流源，另两端联接一组 LED 晶粒，交流的正半周沿实线流动，3 个桥臂的 LED 晶粒发光，负半周沿虚线流动，又有 3 个桥臂的 LED 晶粒发光，四个桥臂上的 LED 晶粒轮番发光，相对桥臂上的 LED 晶粒同时发光，中间桥臂的 LED 晶粒因共用而一直在发光。

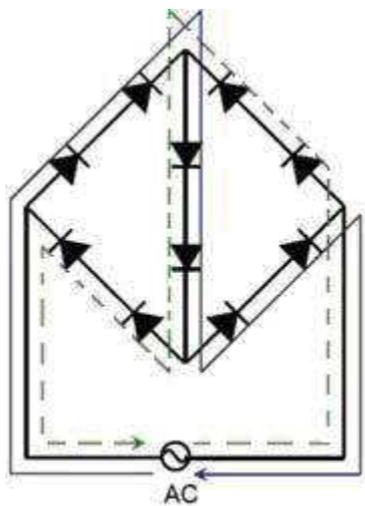


图2 AC LED 光源的工作原理

在 50Hz (60Hz) 的交流中会以每秒 50 (60) 次的频率轮替点亮。整流桥取得的直流是脉动直流，LED 的发光也是闪动的，LED 有断电余辉续光的特性，余辉可保持几十微秒，而人眼对流动光点记忆是有惰性的，所以感觉不到光的闪动。LED 有一半时间在工作，所以发热得以减少 40%~20%。其使用寿命较 DC LED 长。

AC LED 体积小，可应用于工业及民用小型指示灯；高压低电流导通优点克服了使用 DC LED 时，线路高损耗造成需依赖电源供应器接续的问题；而且双向导通，蓝绿光 LED 无静电击穿 ESD 问题；使用微晶粒技术大幅提高发光效率；由于功率因数提高与低电流控制，对于一般照明产业及 LCD 背光面板产业，更是一项实用化新技术。

AC LED 不仅可以用于各种场合的照明，还可以用于液晶显示屏的背光照明。其在照明上的一个典型应用原理图如图 5 所示，在 AC LED 两端分别串入正温度系数热敏电阻 PTC，和限流电阻 R1、R2、R3，接上 110V 或 220V 交流即可进入照明工作。相对传统的 DC LED，无须降压整流装置，大大简化了实际应用，提高了效率和可靠性。

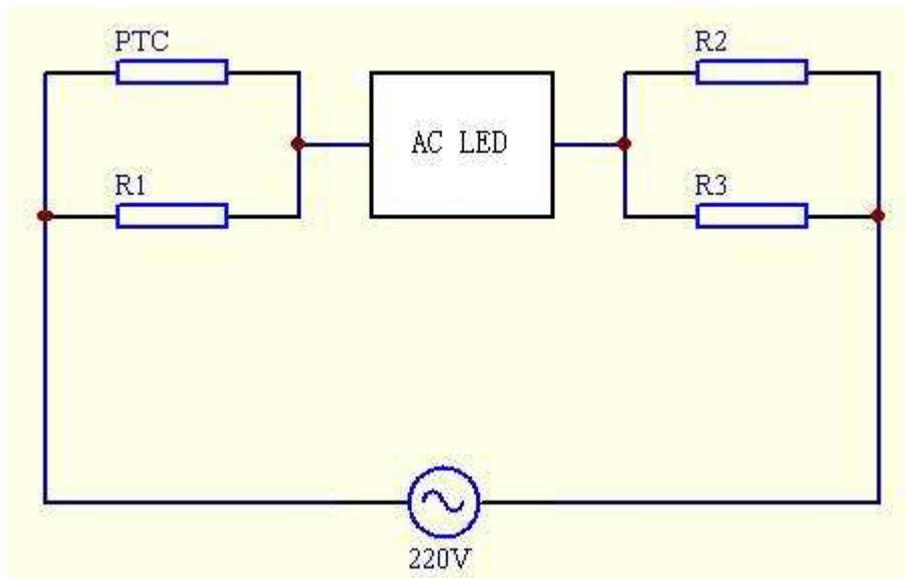


图 5 AC LED 的典型应用电原理图

AC LED 刚刚起步，现阶段仍有两个缺点，一是发光效率并没有 DC LED 高。二是 AC LED 有触电的风险。因为 AC LED 直接连接高压电网，如果采用金属鳍片散热，容易发生触电危险，需要研究新的间接散热方案，比如充液 LED 固态照明灯具等。

目前 AC LED 在发光亮度、功率等方面还不够理想，但 AC LED 的应用简便、无需变压转换器和恒流源，以及低成本、高效率已显现强大的生命力。AC LED 的技术在飞跃发展，可以设想在不久的将来，高亮度、大功率、低成本的产品将大量面世，更绿色、更环保为我们这个世界提供光明。

4，新型荧光粉的开发

YAG:Ce³⁺是最早被广泛应用于白光 LED 技术中的一种荧光粉，但是由于其发射光谱中红色成分较少，难以获得较高显色指数和低色温的白光 LED；另一方面，

半导体照明的持续发展推动人们开发出更高转化效率的荧光粉。早期, 通过在 YAG:Ce³⁺ 中加入 (Ca, Sr) S:Eu²⁺、(Ca, Sr) Ga₂S₄:Eu²⁺ 红绿色荧光粉来实现高显色指数、低色温的要求, 但是由于这类碱土金属硫化物物理化学性质不稳定、易潮解、挥发和具有腐蚀性等问题, 不能满足 LED 照明产业的需求。近来, 人们开发了一种热稳定性和化学稳定性优异的红色荧光粉, 能完全替代碱土金属硫化物实现高显色指数、低色温白光 LED, 因其具有硅氮(氧)四面体结构, 被称为氮氧化物, 具有更高的激发效率。

当前, 国外公司在 LED 用荧光粉方面技术成熟, 且持有大部分重要专利。他们通过对荧光粉专利的把持而占领 LED 市场, YAG:Ce³⁺ 荧光粉的专利主要由 Nichia 占有[U. S. 5998925], Osram 则占据了 Tb₃Al₅O₁₂: Ce³⁺ 的荧光粉专利[U. S. 6812500, 6060861, 65276930], TG、LWB 和 Tridonic 持有掺 Eu²⁺ (SrBaCa) ₂Si₄O₄Si:Al, B, P, Ge 的专利[U. S. 6809347], Intematix 持有掺 Eu²⁺ (SrBaMg) ₂Si₄O₄:F, Cl, N, S 的专利[U. S. 20060027781, 200627785, 200628122]。反观国内, LED 用荧光粉方面的研究大多集中在科研院所, 主要是对现有荧光粉材料的合成和发光等物性的研究上, 而在产业化技术的开发上做的不够。

5, 白光 LED 光学新模型的建立

荧光粉应用于白光 LED, 还需根据 LED 的具体需求而定, 诸如荧光粉的颗粒大小等等。对荧光粉的研究主要集中在荧光粉的光学性质对白光 led 封装性能的影响, 例如取光效率、颜色空间分布以及光色质量上面。在这些研究中, 采用蒙特卡洛光线追迹的方法利用光学软件模拟 LED 封装结构的光学性能, 将荧光粉层处理成 Mie 散射材料, 这样能够通过光学模拟获得白光 LED 的激发和发射特性, 但是模拟没有考虑到荧光粉具体的散射特性, 缺少实验验证。

6, 新型荧光粉涂覆方式

传统的荧光粉涂覆方式为点粉模式, 即荧光粉与胶体的混合物填充到芯片支架杯碗内, 然后加热固化。这种涂覆方式荧光粉量难以控制, 并且由于各处激发光不同, 使得白光 LED 容易出现黄斑或者蓝斑等光色不均匀现象。PhilipsLumileds 公司提出了保形涂覆的荧光粉涂覆方式, 它们在倒装 LED 芯片表面覆盖一层厚度一致的荧光粉膜层, 提高了白光 LED 的光色稳定性。也有公司采用在芯片表面沉积一层荧光粉的方法来实现激发。这些涂覆方式都是将芯片与荧光粉接触。H. Luo 等研究者的光学模拟结果表明, 这种荧光粉与芯片接触的近场激发方法, 增加了激发光的背散射损耗, 降低了器件的取光效率。澳大利亚的 Sommer 采用数值模拟的方法模拟 PhilipsLumileds 的荧光粉保形涂覆结构, 结果显示这种涂覆方法并不能提供更好的角度均匀性。随着对白光 LED 光学模拟的深入, 荧光粉远场激发的方案显示了更多的优越性。

7, 大电流注入及散热结构

为了满足通用照明高光通量的需求, 人们提高了单颗芯片的驱动功率, 以往 1W 的大功率芯片被注入到 3W、5W, 甚至更高。这使得白光 LED 的热问题越来越严

重，人们采用各种散热技术，如热管、微热管、水冷、风冷等方法对 LED 实施散热。