

大功率 LED 封装过程的关键技术与装备^①

胡跃明^② 郭琪伟 陈 安 李致富 吴忻生

(华南理工大学精密电子制造装备教育部工程研究中心/自动化科学与工程学院 广州 510641)

摘 要 阐述了大功率 LED 封装过程的关键技术——散热、光学设计、阵列封装与系统集成、荧光粉及涂敷等及相应的工艺和装备对 LED 的光学性能、使用寿命、节能等性能指标的直接影响。探讨了大功率 LED 蓝白光转换过程的关键封装技术及装备,分析了国内外大功率 LED 封装关键技术与装备的研究现状。指出了合适的荧光粉涂覆与压模成型工艺及合理的光学透镜设计,可有效地提高白光 LED 的出光效率和使用寿命,新的封装工艺及封装结构,是提高白光 LED 出光效率的主要研究方向;提出了大功率 LED 封装技术和装备若干亟待解决的建模与优化控制等核心技术与理论问题。

关键词 大功率 LED, 封装技术, 封装装备, 关键技术

0 引 言

LED(light-emitting diode)已成为国际新兴战略产业界的竞争热点。在 LED 产业链中,上游包括衬底材料、外延、芯片设计及制造生产,中游涵盖封装工艺、装备和测试技术,下游为 LED 显示、照明和灯具等应用产品。目前主要采用蓝光 LED + 黄色荧光粉工艺来实现白光大功率 LED,即通过 GaN 基蓝光 LED 一部分蓝光激发 YAG(yttrium aluminum garnet)黄色荧光粉发射出黄光,另外一部分蓝光透过荧光粉发射出来,由黄色荧光粉发射的黄光与透射的蓝光混合后得到白光。蓝光 LED 芯片发出的蓝光透过涂覆在其周围的黄色荧光粉,荧光粉被一部分蓝光激发后发出黄光,蓝光光谱与黄光光谱互相重叠后形成白光^[1-3]。

大功率 LED 封装作为产业链中承上启下的重要一环,是推进半导体照明和显示走向实用化的核心制造技术。只有通过开发低热阻、高光效和高可靠性的 LED 封装和制造技术,对 LED 芯片进行良好的机械和电气保护,减少机械、电、热、湿和其他外部因素对芯片性能的影响,保障 LED 芯片稳定可靠的工作,才能提供高效持续的高性能照明和显示效果,实现 LED 所特有的节能长寿优势,促进整个半

导体照明和显示产业链良性发展^[3]。鉴于国外相关公司出于市场利益的考虑,对相关核心技术和装备均采取封锁措施,因而发展自主的大功率 LED 封装技术特别是白光 LED 封装设备已迫在眉睫^[4,5]。本文将简要介绍大功率 LED 封装领域的研究与应用现状,分析和总结大功率 LED 封装过程中的关键技术问题,以期引起国内同行的注意,为实现大功率 LED 关键技术和装备的自主化而努力。

1 LED 封装关键技术

封装工艺技术对 LED 性能起着至关重要的作用。LED 封装方法、材料、结构和工艺的选择主要由芯片结构、光电/机械特性、具体应用和成本等因素决定。随着功率的增大,特别是固态照明技术发展的需求,对 LED 封装的光学、热学、电学和机械结构等提出了新的、更高的要求。为了有效地降低封装热阻,提高出光效率,必须采用全新的技术思路来进行封装设计。从工艺兼容性及降低生产成本的角度看,LED 封装设计应与芯片设计同时进行,即芯片设计时就应该考虑到封装结构和工艺。目前功率 LED 封装结构的主要发展趋势是:尺寸小型化、器件热阻最小化、平面贴片化、耐受结温最高化、单灯光通量最大化;目标是提高光通量、光效,减少光衰、失效

① 863 计划(2012AA041312)和 2010 年广东省新兴战略产业重大专项资助项目。

② 男,1960 年生,博士,教授,博士生导师;研究方向:精密电子制造技术及装备,计算机视觉应用,控制系统理论及应用;联系人, E-mail: auymhu@scut.edu.cn
(收稿日期:2013-10-11)

率,提高一致性和可靠性。具体而言,大功率 LED 封装的关键技术主要包括:热散技术、光学设计技术、结构设计技术、荧光粉涂覆技术、共晶焊技术等。

1.1 散热技术

一般的 LED 节点温度则不能超过 120°C ,即便是 LumiLEDs、Nichia、CREE 等推出的最新器件,其最高节点温度仍不能超过 150°C ^[6]。因此 LED 器件的热辐射效应基本可以忽略不计,热传导和对流是 LED 散热的主要方式。在散热设计时先从热传导方面考虑,因为热量首先从 LED 封装模块中传导到散热器。所以粘结材料、基板是 LED 散热技术的关键环节^[7]。

粘结材料主要包括导热胶、导电银浆和合金焊料三种主要方式。导热胶是在基体内部加入一些高导热系数的填料,如 SiC、AlN、 Al_2O_3 、 SiO_2 等,从而提高其导热;导电银浆是将银粉加入环氧树脂中形成的一种复合材料,粘贴的硬化温度一般低于 200°C ,具有良好的导热特性、粘结性可靠等优点,但银浆对光的吸收比较大,导致光效下降。

基板主要包括陶瓷基板、陶瓷基板和复合基板三种主要方式。陶瓷基板主要是 LTCC 基板和 AlN 基板^[8]。LTCC 基板具有易于成型、工艺简单、成本低而且容易制成多种形状等诸多优点;Al 和 Cu 都是 LED 封装基板的优良材料,由于金属材料的导电性,为使其表面绝缘,往往需通过阳极氧化处理,使其表面形成薄的绝缘层。金属基复合材料主要有 Cu 基复合材料、Al 基复合材料^[9]。Occhionero 等人^[10]探究了 AlSiC 在倒装芯片、光电器件、功率器件及大功率 LED 散热基板上的应用,在 AlSiC 中加入热解石墨还可以满足对散热要求更高的工况。未来的复合基板主要有 5 种:单片电路碳质材料、金属基复合材料、聚合物基复合材料、碳复合材料和高级金属合金^[11]。

另外,封装界面对热阻影响也很大,改善 LED 封

装的关键在于减少界面和界面接触热阻,增强散热。因此,芯片和散热基板间的热界面材料选择十分重要。采用低温或共晶焊料、焊膏或者内掺纳米颗粒的导电胶作为热界面材料,可大大降低界面热阻。

1.2 光学设计技术

LED 封装的光学设计包括内光学设计和外光学设计。

内光学设计的关键在于灌封胶的选择与应用。在灌封胶的选择上,要求其透光率高、折射率高、热稳定性好、流动性好、易于喷涂^[12]。为提高 LED 封装的可靠性,还要求灌封胶具有低吸湿性、低应力、耐温环保等特性。目前常用的灌封胶包括环氧树脂和硅胶。其中,硅胶由于具有透光率高(可见光范围内透光率大于 99%)^[13]、折射率高($1.4 \sim 1.5$)、热稳定性好(能耐受 200°C 高温)、应力低(杨氏模量低)、吸湿性低(小于 0.2%)等特点,明显优于环氧树脂,在大功率 LED 封装中得到广泛应用^[14]。但硅胶性能受环境温度影响较大,从而影响 LED 光效和光强分布,因此硅胶的制备工艺有待改善。

外光学设计是指对出射光束进行会聚、整形,以形成光强均匀分布的光场。如图 1 所示,主要包括反射聚光杯设计(一次光学)和整形透镜设计(二次光学),对阵列模块而言,还包括芯片阵列的分布等^[15]。透镜常用的形状有凸透镜、凹透镜、球镜、菲涅尔透镜、组合式透镜等,透镜与大功率 LED 的装配方法可采用气密性封装和半气密性封装。近年来,随着研究的深入,考虑到封装后的集成要求,用于光束整形的透镜采用了微透镜阵列,微透镜阵列在光路中可发挥二维并行的会聚、整形、准直等作用,具有排列精度高、制作方便可靠、易于与其他平面器件耦合等优点,研究表明,采用衍射微透镜阵列替代普通透镜或非涅尔微透镜,可大大改善光束质量,提高出射光强度,是大功率 LED 用于光束整形最有前途的新技术^[16]。

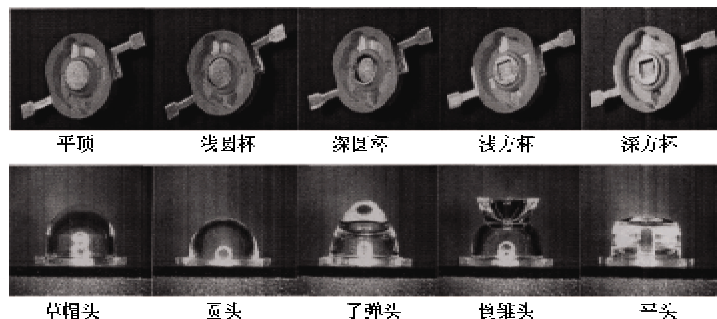


图 1 几种常见大功率 LED 透镜类型

1.3 LED 封装结构形式

LED 封装技术和结构先后拥有了引脚式、功率

型封装、贴片式(SMD)、板上芯片直装式(COB)四个阶段,如图 2 所示。

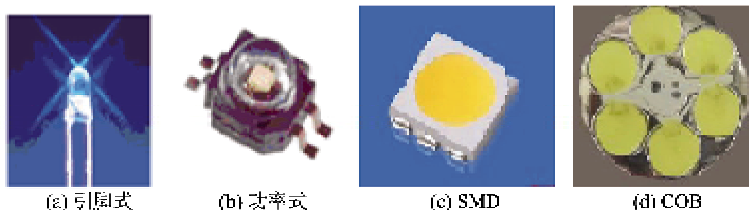


图 2 LED 封装发展阶段

(1) 引脚式(Lamp)LED 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。常用 3~5mm 封装结构,一般用于电流较小(20~30mA),功率较低(小于 0.1W)的 LED 封装。主要用于仪表显示或指示,大规模集成时也可作为显示屏。其缺点在于封装热阻较大(一般高于 100K/W),寿命较短。

(2) 功率型 LED 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 187lm,光效 44.31lm/W 绿光衰问题,开发出可承受 10W 功率的 LED,大面积管;尺寸为 $2.5\text{mm} \times 2.5\text{mm}$,可在 5A 电流下工作,光输出达 2001lm,作为固体照明光源有很大发展空间。

(3) 表面组装(贴片)式(SMD)LED 封装

早在 2002 年,表面贴装封装的 LED(SMD LED)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^[17],很多生产厂商推出此类产品。

SMD LED 是目前 LED 市场占有率最高的封装结构,这种 LED 封装结构利用注塑工艺将金属引线框架包裹在 PPA 塑料之中,并形成特定形状的反射杯,金属引线框架从反射杯底部延伸至器件侧面,通过向外平展或向内折弯形成器件管脚。改进型的 SMD LED 结构是伴随着白光 LED 照明技术出现的,为了增大单个 LED 器件的使用功率以提高器件的亮度,工程师开始寻找降低 SMD LED 热阻的办

法,并引入了热沉的概念^[18]。这种改进的结构降低了最初 SMD LED 结构的高度,金属引线框架直接置于 LED 器件底部,通过注入塑料围绕金属框架形成反射杯,芯片置于金属框架之上,金属框架通过锡膏,直接焊接于线路板上,形成垂直散热通道。由于材料技术的发展,SMD 封装技术已经克服了散热、使用寿命等早期存在的问题,可以用于封装 1~3W 的大功率白光 LED 芯片。

(4) COB-LED 封装

COB 封装可将多颗芯片直接封装在金属基印刷电路板 MCPCB,通过基板直接散热,不仅能减少支架的制造工艺及其成本,还具有减少热阻的散热优势^[19]。PCB 板可以是低成本的 FR-4 材料(玻璃纤维增强的环氧树脂),也可以是高热导的金属基或陶瓷基复合材料(如铝基板或覆铜陶瓷基板等)。而引线键合可采用高温下的热超声键合(金丝球焊)和常温下的超声波键合(铝劈刀焊接)。COB 技术主要用于大功率多芯片阵列的 LED 封装,同 SMD 相比,不仅大大提高了封装功率密度,而且降低了封装热阻(一般为 6~12W/m·K)。

从成本和应用角度来看,COB 将成为未来灯具化设计的主流方向^[20-22]。COB 封装的 LED 模块在底板上安装了多枚 LED 芯片,使用多枚芯片不仅能够提高亮度,还有助于实现 LED 芯片的合理配置,降低单个 LED 芯片的输入电流流量以确保高效率。而且这种面光源能在很大程度上扩大封装的散热面积,使热量更容易传导至外壳。传统的 LED 灯具做法是:LED 光源分立器件→MCPCB 光源模组→LED 灯具,主要是基于没有适用的核心光源组件而采取的做法,不但耗工费时,而且成本较高。实际上,如果走“COB 光源模块→LED 灯具”的路线,不但可以省工省时,而且可以节省器件封装的成本。

总之,无论是单器件封装还是模组化 COB 封装,从小功率到大功率,LED 封装结构的设计均围

绕着如何降低器件热阻,改善白光效果以及提高可靠性而展开的。

1.4 荧光粉涂覆技术

光转化结构,即荧光粉涂层结构,主要面向 LED 白光照明技术,目的是为将 LED 芯片发光的波长较短的光线转化为与之互补(颜色互补形成白光)的波长较长的光线。

目前采用荧光粉产生白光共有三种方式:蓝光 LED 配合黄色荧光粉;蓝光 LED 配合红色、绿色荧光粉;UV-LED 配合红、绿、蓝三色荧光粉。其中商品化的白光 LED 多属蓝光 LED 配合黄色荧光粉的单芯片型,蓝光 LED 配合红色、绿色荧光粉的白光产生方式只是在 Osram、Lumileds 等公司的专利上报道过,但仍未有商品化产品出现,而 UV-LED 配合三色荧光粉的方式目前也尚处于开发中^[23-25]。不同荧光粉产生白光 LED 的优缺点比较见表 1。

表 1 采用荧光粉产生白光 LED 各种方式的优缺点比较

白光产生方式	优点	缺点
蓝光 LED 配合黄色荧光粉	单一芯片即可发白光,成本低,制作简单	效率低,显色性有待提高,低色温难以实现,光色随电流变化,容易有月晕现象
蓝光 LED 配合红色、绿色荧光粉	光谱为三波长分布,显色性较高,光色及色温可调	光色随电流变化,有月晕现象但不明显
UV-LED 配合红、绿、蓝三色荧光粉	高显色性,光色,色温可调,使用高转换率荧光粉提高发光效率,光色均匀不随电流变化	粉体混合较为困难,高效率的荧光粉有待研制

现有涂覆方式,如图 3 所示,各有其优缺点^[26]。目前在广泛使用的荧光粉涂覆方式是将荧光粉与灌封胶混合,然后直接点涂在芯片上。由于难以对荧光粉的涂覆厚度和形状进行精确控制,导致出射光色彩不一致,出现偏蓝光或者偏黄光。GE 公司 Arik 等人的研究表明,将荧光粉直接覆盖于芯片之上,会导致荧光粉温度上升,进而降低荧光粉量子效率,严重影响封装的转换效率^[27,28]。

而基于喷涂工艺的保形涂层技术可实现荧光粉的均匀涂覆,从而保障了光色的均匀性。但此技术难度大,而且由 LED 出射的蓝光有很大一部分直接被荧光粉层反射回芯片上,从而被芯片直接吸收,严

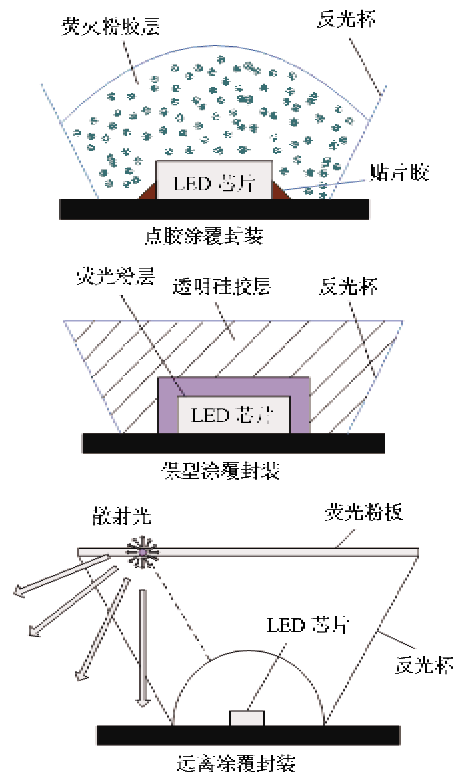


图 3 常见荧光粉涂覆封装方式

重地影响了出光效率。Yamada, Narendran 等发现荧光粉背散射特性会使 50% ~ 60% 的正向入射光向后散射。

此外还有一种涂覆方法是使荧光粉层远离 LED 芯片(例如使荧光粉层位于 LED 芯片外的反光杯或散光杯上),则可大幅减少被荧光粉层反射回芯片而被吸收的光量,从而提高了出光效率^[29]。另外,由于荧光粉层与芯片无直接接触,芯片产生的热量不会传递到荧光粉层,从而延长了荧光粉层的使用寿命。伦斯特理工学院的 Schubert 等人的研究发现,利用远离荧光粉涂覆工艺可以减少向后散热的光线被芯片吸收的概率,可将 LED 的发光效率提高 7% ~ 16%。中山大学王刚等人也展开了相关研究,结果表明采用远离荧光粉涂层可降低荧光粉涂层温度约 16.8℃,显著提高荧光粉的转换效率。但是远离涂覆法也有其缺点,因为出于对其使用荧光粉量较多,荧光粉版的制造与安装工艺也相对较复杂等成本问题上的考虑,目前也无法得到广泛推广及工业应用。

此外,You 等人在研究荧光粉涂层优化的基础上提出了采用多层荧光粉结构,将红色荧光粉层与黄色荧光粉层分离,黄色荧光粉置于红色荧光粉之上,实验结果显示,这样的荧光粉涂覆结构可以减少

荧光粉涂层间的相互吸收,封装成品流明效率可提高 18%。

1.5 共晶焊技术

共晶焊技术是大功率 LED 倒装芯片封装工艺中最为关键的核心技术之一^[30,31]。共晶焊技术在 LED 封装过程中最为核心的散热问题与固晶问题的优点,正在并将会成为未来 LED 封装发展的主流方向。共晶合金具有比纯组元熔点低,熔化工艺简单;共晶合金比纯金属有更好的流动性,在凝固中可防止阻碍液体流动的枝晶形成,从而改善了铸造性能;共晶合金还具有恒温转变特性(无凝固温度范围),可以减少铸造缺陷,如偏聚和缩孔;固化后的共晶合金韧性强(接近金属的韧性),不宜断裂;共晶凝固可获得多种形态的显微组织,尤其是规则排列的层状或杆状共晶组织,可成为优异性能的原位复合材料。正是由于共晶具有如此多的优势,所以使用共晶工艺制作出的 LED 封装会具有降低阻抗和提升热传导效率的优势。

2 LED 封装关键装备发展概况

封装制造主要流程包括固晶、焊线、荧光粉涂覆、透镜成型和测试分选,而其中共晶焊、焊线、涂敷和透镜成型是整个制造过程中的核心技术和装备,本文将对这四大工艺和设备的机理、技术及装备作一简要介绍,以找出我国在发展 LED 新兴战略产业中亟待攻克的一些技术难题。

2.1 共晶焊机

目前,鉴于 LED 共晶技术有广阔的工业应用背景,欧美等发达国家投入了很大精力在 LED 共晶核心技术攻关上。如图 4 所示,这些国家对共晶焊设备的研究主要集中在两个方向上^[32,33]:一是共晶热压,通过加热和施加压力来使带有共晶焊料层的芯片和支架(基板)结合在一起;二是共晶回流,通过

加热和使用助焊剂来使带有共晶焊料层的芯片和支架结合在一起。

国外相关核心研究和技术成果主要集中在 Cree、Lumileds、Osram 等国外 LED 知名企业^[33,34]。Cree 公司在大功率 LED 共晶焊设备研发方面处于领先地位,已经推出了共晶焊封装大功率 LED 系列产品 EZ9004。但是由于工艺复杂,而且需要使用回流焊加热工艺,所以还存在产量低、芯片氧化、浮焊现象、空洞率高等缺点,所以这种设备只能用于研究机构和小批量生产^[35]。首尔半导体也推出了共晶焊大功率产品。

近年来,随着我国半导体产业的迅速发展,相关企业和学者开始着手 LED 共晶焊工艺和设备的研究,一些企业和研究机构致力于介绍和研究共晶焊技术的发展趋势、设备选型等;另一部分通过模仿、改造已经实现了手工 LED 共晶焊机的国产化;还有一些企业根据贴片机的结构研发出半自动化的 LED 共晶焊机,但由于贴片机无法解决 LED 封装过程中芯片氧化、键合压力变化、接触面空洞率等核心问题,所以通过贴片机改造的 LED 固晶设备还无法商用。近年来在广东省粤港招标专项等支持下,45 所和国星光电合作已研制出样机和应用。

当前共晶焊机在以下方面仍是主要的技术难点:

- (1) 高精度焊接吸嘴的设计与制造;
- (2) LED 芯片与基板的高速高精度识别和定位;
- (3) 共晶过程中基于视觉的高精度位置/力控制;
- (4) 焊接过程中基于特定温度曲线的阶梯式脉冲温度控制。

2.2 焊线机

目前主要的焊线机提供商有 K&S(又称 KNS), ESEC(欧洲半导体设备), ASM, Kaijo 这四家,基本上垄断了主要的金线机市场。国内尚无成熟可靠的金线机产品。其中 K&S 为美国公司, ESEC 为瑞士公司, ASM 为中国香港公司, Kaijo 为日本公司。

引线键合技术作为焊线机核心技术是指利用热、力、超声能量耦合作用,将半导体芯片外接引线焊盘与基板布线焊盘或电子封装外壳引脚用金属丝相连接的工艺技术,其基本原理如图 5 所示。首先利用高压电火花(EFO)使穿过劈刀小孔的金属丝端部熔成球状,接着劈刀下行,在一定压力作用下使金属球与芯片焊盘表面接触,经换能器纵向超声振动、

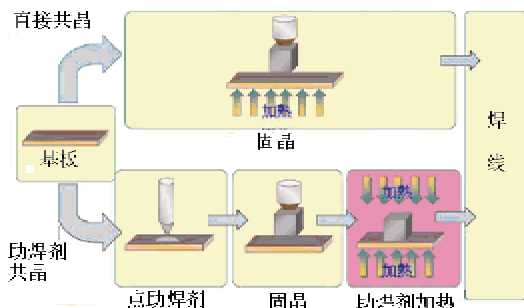


图 4 共晶焊工艺原理图

劈刀压力及加热能量的共同作用,金属烧球与焊盘接触面产生塑性变形,接触界面氧化膜被破坏,通过接触面金属原子的扩散及晶格位错形成均匀的原子键键合焊点;之后劈刀随键合头升起一段距离后引导引线移向引线框上的焊盘,最后在超声能量、加热能量的耦合作用下完成楔焊(新月形)焊点。

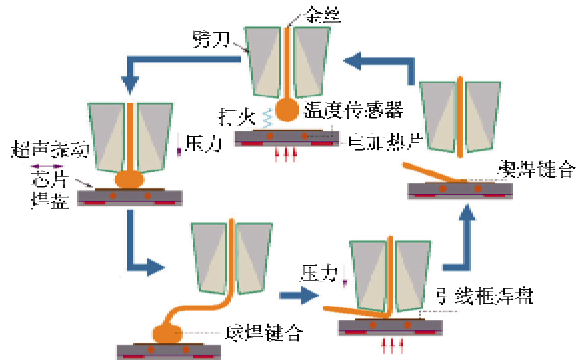


图5 热超声引线键合工艺过程示意图

最初采用旋转电机加滚珠丝杠驱动的串联机构形式,如日本 Kaijo 公司的 FB-128 引线键合机,键合速度仅为 5 线/秒。到 20 世纪 90 年代,直线电机凭借其卓越性能代替了旋转电机广泛的应用到引线键合设备上,如美国 K&S 公司的 8028 引线键合机,定位平台利用广义并联机构,平台由线性导轨支撑,x, y 方向之间运动通过滚动轴承解耦,键合速度达到 11 线/秒。Kaijo 公司通过对直线电机特殊设计,省掉了解耦机构省掉了解耦机构,并将其应用到 FB-700 引线键合机上,键合速度达到 16 线/秒。而瑞士 ESEC 公司利用该结构研制的 3200 引线键合机,最大键合速度为 21 线/秒,实验室内达到 28 线/秒,为目前世界最高水平。

当前高速焊线机的主要技术难点是:

- (1) 高精度位置/力控制平台技术;
- (2) 引线键合技术;
- (3) 键合轨迹规划。

2.3 荧光粉涂覆机

欧美等发达国家先后在荧光粉技术上投入了大量的研究精力,取得比较领先地位的公司有 Cree、Philips Luminleds、Osram、NORDSON、ASYMTEK 等,它们掌握了荧光粉喷涂技术、保形涂覆技术、远离涂覆等涂覆技术,但国外各大公司出于自身市场利益的考虑,对相关工艺、核心技术和装备一直实行封锁政策。国内厂商只能采用传统的点胶工艺和技术,常用的国外点胶机有日本武藏 MUSASHI、岩下 IEI、NAKA 公司、仲氏液控 NLC 公司、美国 NORDSON 等

公司生产的设备。当今以 Lumileds 公司提出的保形涂层概念已经成为现在功率型白光 LED 封装技术的一个重要发展方向。目前,国际上先进的白光 LED 生产厂家(Cree、Philips Luminleds、Osram)已有保形涂层结构的产品开始出售,说明国外先进生产厂家都已经完成了各自的保形涂层技术的开发并在部分产品上得到成功运用。

不同的 LED 封装工艺,对应着不同的荧光粉涂覆设备。例如,Philips Luminleds 最初提出的 1W 功率型 LED 封装工艺,目前市面上普遍的 SMD 封装工艺以及 COB 集成芯片封装工艺都对应着传统的点胶荧光粉涂覆工艺,需要使用荧光粉点胶设备。如图 6 所示,点胶的方式主要有:

(1) 时间/压力型

由于时间/压力型点胶技术只采用脉动的空气压力和针管就能实现点胶,因此超过 70% 的点胶系统采用了这种技术。它在胶体粘度中等大小时工作最好,能够点出各种形状图案如点、线等。

(2) 计量管型

计量点胶头是时间/压力型点胶技术的进一步发展,它采用新的设计来提高点胶性能。这种技术中有代表性的是阿基米德计量管点胶和活塞式点胶。

(3) 活塞型

采用类似活塞-气缸的机构来点胶。首先将胶体引入到一个开口的气缸中,然后由马达驱动的活塞会将气缸密闭并产生运动,直到将腔中的流体全部从点胶头挤出。由于这种方法实际上控制的是气缸内的流体体积而非流体压力,这样就避免了胶体特性变化的影响。不管胶体的粘度如何变化,采用这种技术点出的胶量能够始终保持不变。

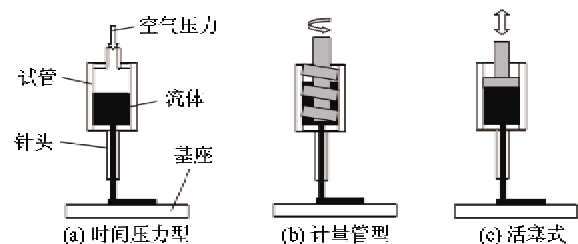


图6 荧光粉点胶头技术原理图

而陶瓷基板 LED 封装技术,或者 wafer 级荧光粉涂覆技术,则需要使用到高精度荧光粉雾化喷涂设备,目前世界上只有美国 NORDSON、ASYMTEK 等少数几家公司可以生产。其核心部件荧光粉雾化喷头结构原理图,如图 7 所示。

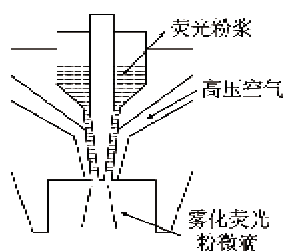


图7 荧光粉雾化喷头结构原理图

当前荧光粉涂覆机的主要技术难点是：

- (1) 雾化喷涂的机理建模、控制及工艺；
- (2) 荧光粉涂层的面均匀度控制和厚度控制；
- (3) 荧光粉浆点喷涂的分布式参数系统建模；
- (4) 均匀度和厚度的关键视觉检测原理和算法；
- (5) 高精密荧光粉浆雾化喷头的设计与制造。

2.4 压模封装机

与荧光粉涂覆设备一样,不同的 LED 封装结构形式,则需要不同形式的压模封装设备。例如:SMD 封装结构形式不需要压模封装设备,只需涂覆荧光粉后将其烘干即可;而陶瓷基板 LED 封装工艺则需要日本 TOWA 公司、香港(荷兰)的 ASM 公司所制造的 molding 设备;传统 1W 功率型 LED 则需要经过不同的几台设备进行扣透明透镜、热压、注胶等工序才能完成其压模封装工艺。

国外能够生产陶瓷基板 LED 模压封装设备(molding 机)的公司有日本 TOWA 公司、Apic Yamada 公司、香港(荷兰)的 ASM 公司、荷兰 FICO 公司、韩国 HANMI 公司等。比较先进的压模封装技术是 TOWA 公司的压缩成型,其工艺示意图如图 8 所示。国内常用的模压封装设备主要是 TOWA、Apic Yamada、ASM 等公司的设备。Towa 的设备是现在主流的机器,但价格非常昂贵,难于在我国推广应用。

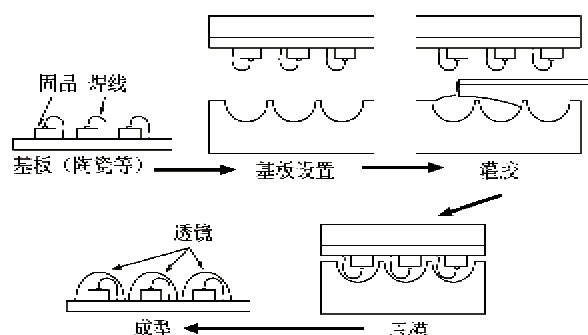


图8 molding 机工艺过程示意图

国内生产压模封装设备的公司有台湾的天贺公司、GPM 公司、单井工业公司等。大陆基本没有公司能够生产 LED 的压模封装设备。国内进行压模封装透镜成型中的压模封装,主要是采用人工进行操作。

图 9 所示为作者自主研发制造的 1W 功率型 LED 压模封装机。该设备将传统需要几台设备才能完成的扣透明透镜、热压、注胶等工序,连同自主研发设计的全自动上下料系统,集成到一台设备中。将原有生产效率从 2K 每小时,提高到 10K 每小时,而且该设备只需一人操作,从而大大提高了生产效率。

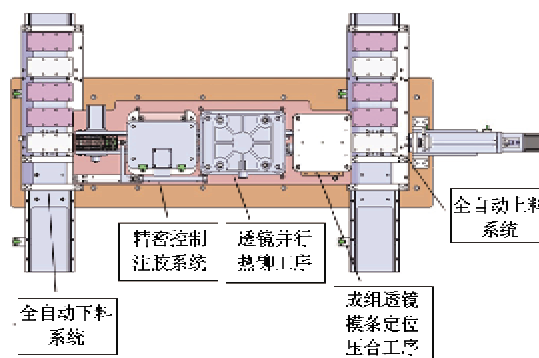


图9 1W 功率型 LED 压模封装机结构图

当前主要的技术难点是：

- (1) 专用脱模材料的研发与制造；
- (2) 高精度注胶系统的研发；
- (3) 全自动压模封装工艺和设备的研发。

3 结论

由于大功率 LED 在照明中的广泛应用,对大功率 LED 封装技术的各项性能指标要求越来越高。合适的荧光粉涂覆和压模成型方式,合理的透镜选择和形状变化可有效地提高白光 LED 的出光效率和使用寿命。新的封装材料、封装工艺、封装理念和透镜材料及结构必然是提高白光 LED 出光效率的主要研究方向。

目前我国 LED 封装产业尚存在以下问题：(1) 关键装备如荧光粉涂覆机、压模封装机、共晶焊机、贴片机等的国产化仍在起步阶段。(2) 关键工艺和技术几乎都被国外几大企业垄断,国内 LED 封装企业需突破专利封锁。(3) 亟待从芯片、材料、设备和应用整个产业链进行战略布局,集中有限资源进行工艺、材料和装备技术创新,以推进我国 LED 产业

的良性发展。

参考文献

- [1] Dupuis R D, Krames M R, History, development, and applications of high-brightness visible light-emitting diodes, *IEEE J. Light wave Technology*, 2008, 26(9): 1154-1171
- [2] 中金企信(北京)国际信息咨询公司, 2008-2012 年中国半导体照明(LED)产业研究及发展趋势预测报告.
- [3] 广东 LED 产业封装环节发展概况. 广东科技, 2011, 9:17-19
- [4] 戚其丰, 黄建荣, 胡跃明. 基于 Linux 的半导体生产设备通用平台的实现. 电子工艺技术, 2006, 27(6): 352-355
- [5] Ho W, Ji P. A Hybrid Genetic Algorithm for Sequencing PCB Component Placement. *Int. J. of Knowledge-based and Intelligent Engineering Systems, KES Journal*, 2005, 9:129-136
- [6] 于新刚, 梁新刚. 功率型发光二极管芯片的温度场与应力场. 清华大学学报(自然科学版). 2007, 8:1380-1383
- [7] 刘一兵, 黄新民, 刘国华. 基于大功率 LED 散热技术的研究. 照明工程学报, 2008, 1:69-73
- [8] Cheng C C, Chu C F, Liu W H, et al. Reliability of GaN-based vertical light-emitting diodes on metal alloy substrate for solid state lighting application. *SPIE Proceeding*, v 6337, 2006
- [9] 张强, 孙东立, 武高辉. 电子封装基片材料研究进展. 材料科学与工艺, 2000, 8(4):102-106
- [10] Occhionero M A, Adams R W. AlSiC and AlSiC hybrid composites for flip chips, optoelectronics, power, and high brightness LED thermal management solutions. In: *Proceedings of the 6th International Conference on Electronic Packaging Technology*, Shenzhen, China, 2005, 30: 576-580
- [11] Zweben C. Advances in materials for optical electronic, microelectronic and MOEMS/MEMS packaging. In: *Proceedings of the IEEE SSTMM*, CA, USA, 2002. 30-34
- [12] 黄健. 非成像光学系统设计方法及其在 LED 道路照明工程中的应用. [博士学位论文]浙江大学, 2008
- [13] Kim S, Kim S M. Conformally direct imprinted inorganic surface corrugation for light extraction enhancement of light emitting diodes. *Energy Express*. pp: A713-A721. Sep. 10, 2012
- [14] 姜晓红, 赵红丽, 李双明. LED 在线测试分选系统的研究与实现. 科技创新导报, 2010, 16: 123-125
- [15] Moreno I, Tzonchev R I. Effects on illumination uniformity due to dilution on arrays of LEDs. In: *Proceedings of SPIE the International Society for Optical Engineering*, 2004, 5529: 268-275
- [16] 丁毅. 自由曲面光学器件的设计及其在照明系统中的应用. 浙江大学, 2009
- [17] 何绪昊, 胡跃明, 戚其丰. 芯片检测中不变几何矩算法的研究, 电子工艺技术, 2008, 29(1): 8-11
- [18] Matsutani H. Compression molding solutions for various high end package and cost savings for standard package applications. In: *Proceedings of the Microelectronics and Packaging Conference*, Rimini, Italy, 2009. 1-4
- [19] 王忆, 李冠群, 刘大伟等. LED COB 封装产品光照性质的研究. 中国照明电器, 2013, 4:10-12
- [20] 祁姝琪, 丁申冬, 郑鹏等. COB 封装对 LED 光学性能影响的研究. 电子与封装, 2012, 3: 6-9
- [21] Yu H, Shang J T, Xu C, et al. Chip-on-board (COB) wafer level packaging of LEDs using silicon substrates and chemical foaming process (CFP)-made glass-bubble caps. In: *Proceedings of the International Conference on Electronic Packaging Technology & High Density Packaging*, Shanghai, China, 2011. 1-4
- [22] Tu K N, Tian T. Metallurgical challenges in microelectronic 3D IC packaging technology for future consumer electronic products. *Science China (Technological Sciences)*. 2013, 56(7): 1740-1748
- [23] 张珉健. 大功率白光 LED 荧光粉涂覆方法研究[博士学位论文]. 哈尔滨工业大学, 2010
- [24] Cree Optoelectronics' products. G' SiC Technology for Bright Power Chip LEDXB900-S0100-A. <http://www.cree.com>
- [25] Lumileds Lighting Company(LLC) Application Brief 17, Benefits of Lumileds Solid State Lighting Solutions vs. Conventional Lighting. <http://www.lumileds.com>
- [26] 印琰, 杨宝东, 朱月华等. 白光 LED 用荧光粉的发展现状. 中国照明电器, 2009, 3: 6-10
- [27] Liu Z Y, Liu S, Wang K, et al. Optical analysis of phosphor's location for high-power light-emitting diodes. *IEEE Trans Device Materials Rel*, 2009, 9(1): 65-73
- [28] Tran N T, Shi F G. Studies of phosphor concentration and thickness for phosphor-based white light-emitting diodes. *J Light wave Technol*, 2008, 26(21): 3556-3559
- [29] You J P, Tran N T, Lin Y C, et al. Phosphor-Concentration-Dependent Characteristics of White LEDs in Different Current Regulation Modes. *J of Electronic Materials*, 2009, 38(6): 761-766
- [30] 田芳, 乔海灵, 张爱玲. 共晶炉控制系统的开发及工艺研究. 电子工艺技术, 2007, 6:348-350
- [31] 谢飞, 刘美钊. 真空共晶技术的研究应用. 电子工艺技术, 2006, 6:344-347

- [32] 霍灼琴, 杨凯骏. 真空环境下的共晶焊接. 电子与封装, 2010, 11: 33-37
- [33] 高能武, 季兴桥, 徐榕青等. 无空洞真空共晶技术及应用. 电子工艺技术, 2009, 1: 16-18
- [34] Chang C C, Huang D S, Lin M T, et al. Novel heat dissipation design for light emitting diode applications. *Micro-system Technologies*, 2010, 16(4): 519-526
- [35] Wang Q, Choa S H, Kim W, et al. Application of Au-Sn eutectic bonding in hermetic radio-frequency micro-electromechanical system wafer level packaging. *Journal of Electronic Materials*, 2004, 9: 215-219

The key technologies and equipment in high power LED packaging

Hu Yueming, Guo Qiwei, Chen An, Li Zhifu, Wu Xinsheng

(Engineering Research Center for Precision Electronic Manufacturing Equipments of Ministry of Education, College of Automation Science and Engineering, South China University of Technology, Guangzhou 510641)

Abstract

The key technologies in a high-power LED packaging process such as heat dissipation, optical design, grid array and system integration, phosphor coating, etc. are described, and the direct effects of them and the corresponding technologies and equipment on the LED optical performance, using life, energy saving and other performance indicators are reviewed. The key packaging techniques and equipment for the blue light to white light conversion in a high power LED are investigated, a brief introduction to the research status of high power LED packaging process at home and abroad is made, the suitable phosphor coating and film forming process and reasonable optical lens design can effectively improve the luminous efficiency and using life of white LED, and the new packaging technology and packaging structured will become the main research direction to increase white LED the luminous efficiency are pointed out. And finally, a number of core technology and theory problems of the modeling and optimization control in high-power LED packaging technologies and equipments are put forward.

Key words: high power LED, packaging technology, packaging equipment, key technology