

LED 用导热塑料

金荣福 蔡琼英

夏玉洁

(合肥工业大学化工学院, 合肥 230009)

(安徽中鼎热导率橡塑制品有限公司, 宁国 242300)

摘要 综述了近年来国内外导热高分子材料在发光二极管(LED) 中的研究和应用。列举了 LED 用导热塑料主要公司和牌号。论述了导热塑料取代金属部件用作 LED 灯外壳和热沉以及降低 LED 模块热阻方面的现状。提出 LED 热管理应用中提高导热高分子材料综合性能是今后的发展趋势。

关键词 发光二极管 导热塑料 热导率 导热填料

随着温室气体排放引起全球气温变暖, 人们增强了节能环保意识。新型节能电致发光二极管(LED) 的使用备受国际社会的关注。由于 LED 具有体积小、发光效率高、能耗低、亮度高、环保等优点, 各国政府加大对 LED 研发的资金资助和相应政策支持。在过去十年中, LED 技术得到了快速发展^[1-2]。目前 LED 已在广告媒体视频屏幕、汽车车灯、背光源、标识与指示性照明、景观照明、室内照明(白色 LED) 领域得到了广泛应用^[3]。

通常, 高功率 LED(HPLED) 输入功率中有 15% ~20% 的能量转变成光, 余下 80% ~ 85% 的电能均转变成热。如果不能将集中在尺寸仅为 1 mm × 1 mm × 0.25 mm 芯片内的热量及时散逸出去, 则会导致芯片温度升高和应力分布不均匀。当 LED 的结点温度超过器件能承受的最高温度时, LED 的光输出特性将会永久性的衰减。研究表明, LED 的工作温度从 63℃ 升至 74℃, LED 的使用寿命少了 3/4^[4-5]。

一般 PN 结点温度不能超过 110℃, 随着 PN 结点温度上升, 发光材料的禁带宽度减小, 导致 LED 发光光波向红波长方向位移, 使白光色度变差^[5]。驱动 LED 工作的半导体器件允许工作温度低于 100℃^[6], 当 LED 器件温度上升到 120℃ 时, 亮度下降 35% 且引起高分子结构材料的降解^[7]。导热塑料是解决 LED 芯片散热的优选材料, 它可以把 LED 发光产生的热量及时导出, 有效地降低结点温度。因此, 导热塑料的研制和应用也是今后 LED 在市场获得发展的关键问题^[8-9]。

笔者主要讨论 HPLED 灯具所选用的导热塑料, 介绍国外导热塑料的主要生产厂商和国内导热塑料的最新研究进展, 以供实际应用参考。

1 导热塑料在 LED 中的应用

导热塑料可以制作 LED 部件如外壳、散热器、基板、反射器、插件和其它部件等。近几年来国际上许多塑料公司研发出了多种导热塑料^[10-11], 大多选用工程塑料和通用塑料为基材, 如 PA、LCP、PPS、PET、PBT、PEEK、ABS、PP 等。一般塑料的热导率只有 0.2 W/(m·K) 左右, 如果在塑料中填充导热填料, 其热导率可在 1 W/(m·K) ~20 W/(m·K) 左右, 是传统塑料热导率的 5 ~100 倍。导热填料可分为导热无机绝缘填料和导热非绝缘填料两大类。导热无机绝缘填

料有 Al₂O₃、BN、AlN、ZnO、MgO 等; 非绝缘导热塑料填料有导电率和热导率均较高的金属粉、石墨、炭黑、碳纤维等。前者与塑料基体相互混合可制成导热绝缘塑料, 后者为导热非绝缘塑料。

导热塑料可以取代传统的铝做成散热器^[12]。导热塑料的密度要比铝轻, 差不多为铝的一半, 所以塑料散热器的质量只有铝散热器的 1/2。塑料散热器可用注射成型加工, 其成型周期可以缩短 20% ~ 50%。而用导热绝缘塑料散热器就可以采用非隔离式电源而不必担心其安全问题。塑料散热器的唯一缺点是单价比较贵, 所以目前还不适用于 LED 路灯一类大型 LED 散热器中, 而只适合于室内小功率 LED 灯具。

1.1 LED 灯具外壳用导热塑料

塑料的热导率一般在 0.14 ~ 0.34, 属于介电绝缘材料, 美国 Cool Polymer 公司于 2000 年开发导热塑料并建立第一条工业化生产线, 在电器、医疗、航空航天、汽车、照明、笔记本电脑中广泛应用, 随后各国塑料公司都开展了导热塑料的生产。目前, 国外生产导热塑料的主要厂商和产品牌号, 见表 1。

表 1 国外生产导热塑料的主要厂商和产品牌号

公司	聚合物	牌号	热导率 / W · (m · K) ⁻¹	应用
Cool Polymers	LCP	D5506	10	板插件
	PPS	E5101	20	散热器
	PPS	D5108	10	基板
	PC	E4505	4	外壳, 反射器
Laticonther	PPS	Lati80/50	10	散热器
	PA6	Lati62GR/70	15	散热器
DMS	PA46	Stanyl-TC153	8	散热外壳
	PA46	Stanyl-TC551	14	散热外壳
	PA46	Stanyl-TC154		LED 塑料包装
	PA46	Stanyl-TC154		
Albis	PPSGF45	Tedur R 9519		灯支架, 插口
	PP66	AlcomTCE10	10	散热外壳, 部件
	PA6	AlcomTCE10	10	散热外壳, 部件
	PBT	AlcomTCE10	10	散热外壳, 部件
Ticona	PPS	Fortron PPS		散热外壳
	LCP	Zenite LCP		散热外壳
Sabic	PPS	OTF2A	2.2	散热器
	PPS	OTF2B	1.05	散热器

用塑料代替铝做 LED 灯具外壳,首先要注意选用的塑料要有较高的散热性能,即较高的热导率,同时具备高强度。LED 用工程塑料的性能见表 2。从表 2 可看出,这些工程塑料都有高熔点和优良的力学性能,这是因为灯具外壳并没有散热翅片,为减少壳体热阻,要求薄壁壳体,所选用的塑料必须具有高熔点、高模量和高强度,并能经受多次高低温循环试验。

表 2 LED 灯具用工程塑料主要性能

项目	Staynl TC153	Staynl TC551	80GR/ 50	D5506	D5108	E5101	Alcom 910 TCE 10	Alcom 900 TCE10
聚合物	PA46	PA46	PPS	LCP	PPS	PPS	PA66	PA6
生产厂商	DSM	DSM	Lati	CoolP	CoolP	CoolP	Albis	Albis
密度/ g·cm ⁻³	1.63	1.47	1.71	1.8	1.82	1.70	1.56	1.56
熔点/℃	295	295	275	280	280	280	260	220
热变形温度/ ℃			275	>300	276	279	230	196
热导率/ W·(m·K) ⁻¹	8.0	14.0	10	10	10	20	10	10
拉伸弹性模量/GPa	12.5	9.1	14.7	10.9	23.6	13	7.7	8
缺口冲击强度/ kJ·m ⁻²	2.0		2.0	3.2	1.10	2.0	2.5	2.5
体积电阻率/ ×10 ¹⁵ Ω·cm	1		16	2.50				

1.2 LED 灯具中的其它塑料部件

LED 灯具中的塑料部件还有反射器、手柄、紧固部件、接口、滑动部件、风扇叶片、操作部件、光孔道等。这些部件除了选用上述工程塑料外还可选用聚碳酸酯(PC)、PBT、聚甲酫(POM)、增强 PP 等^[13]注射成型。大功率 LED 封装结构中各种材料的热导率见表 3,传热示意图见图 1。

表 3 大功率 LED 灯具中各种材料的热导率

名称	材料	热导率/ W·(m·K) ⁻¹	密度/g·cm ⁻³
半导体芯片	GaN	30	5.32
衬底	兰宝石 SiC	28 126	3.95 3.97
塑料外壳	PA66, PC, PPS, PA46		
手柄, 插口	PA46, PPS, PBT, PA66		
封装材料	环氧树脂	0.15 ~0.25	1.1 ~1.2
界面材料	硅胶/PET	1 ~3/3.0	2.2
基板	Cu	384	8.90
基板	陶瓷	250 ~150	2.5 ~2.7
MCPCB	金属芯印刷电路板		
引线、引脚	Au	317	19.3
引线、引脚	Cu	384	8.9
热沉	Al, PPS, PA46, PA66		

图 1 中,芯片(GaN)封装在添加荧光粉的环氧树脂中,芯片衬底是蓝宝石(Al₂O₃),LED 模块用粘合剂粘贴在导热

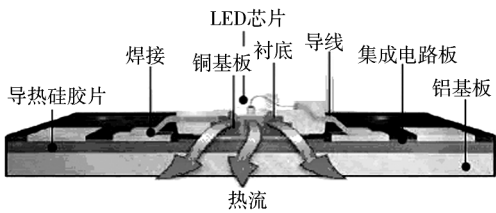


图 1 LED 封装和传热结构示意图

基板(Cu)上,芯片顶端引线将 LED 产生的热量直接导入导热基板。基板用导热粘合胶与系统电路板平整贴合,系统电路板与热沉(Al)之间是一层导热绝缘弹性体薄膜(热界面材料)。LED 发光产生的热通道向下传递到热沉,最后与导热塑料灯壳进行热交换将热量散逸到环境中^[14-15]。为提高热传导效率,必须选择高导热系数的塑料和减少层间空隙及通道层间热阻。

2 国内外导热塑料研究进展

国外生产导热塑料的跨国塑料集团公司:有 Cool Polymers, Albis, Laticonther, Ovation polymers, Ticona, DSM, LNP 等^[16]。

荷兰 DSM 公司推出了 PA46,它与 PA66 有相似的分子结构,但具有更高的结晶温度(295℃)。DSM 公司的 Staynl TC 是新型的导热材料,除用 PA46 外,还包括 PPS、PCL 等耐高温塑料,它们具有优异的热传导特性和力学、抗化学药品腐蚀、易加工成型、更大的设计自由度等性能,使其可以取代陶瓷、金属等材料。

Cool Polymers 公司的导热塑料据称是 LED 热管理的理想材料,它具有低的线性膨胀系数和优异的力学性能。Cool Polymers 公司的 D5506(LCD)、E5101(PPS)和 E3603(PA46)已用于 LED 的模板、外壳、热沉。Cool Polymers 公司已为笔记本电脑制造商提供了热导率高达 100 W/(m·k)的导热导电材料。

2007 年 Ovation Polymers 公司的导热塑料产品开始推向市场,热导率为(3~3.5) W/(m·K),主要应用于汽车、电子、医学、航空等领域。

由于聚烯烃价格较低,密度较小,许多研究工作者致力于聚烯烃改性,如以 PPGF35 取代 PA6GF30。研究结果表明,GF 增强 PP 复合材料可以具有好的热稳定性,但其力学和化学性能尚未达到 PAGF30 的性能指标^[16]。

随着大功率组装芯片发展和市场要求较高照明亮度,需要输入较大功率,LED 的热管理显得更为重要。许多作者对 LED 部件材料的选择、组装优化设计、冷却系统,以及降低组装内部热阻和提高发光效率作了论述^[17]。Chun Jenweng^[18]用有限元模型(FEM)分析,以不同热沉、PCB 和芯片尺寸模拟 LED 的组装结构,模拟结果将为 LED 新产品的开发提供设计依据。

国内对工程导热塑料的研究较晚,与国外大型塑料公司有较大差距。国内导热高分子复合材料没有报道高热导率[热导率大于 5 W/(m·k)]的导热绝缘塑料。林晓丹等^[19]

通过将 PPS 与大颗粒 MgO (45 ~ 355 μm) 混合经双螺杆挤出机挤出造粒制备了导热绝缘塑料, 研究了导热性能与氧化镁填充量的关系。实验发现, 在填充量达到 80% 时, 热导率可达 3.4 W/(m·K), 此样品仍然可注射成型, 且具有良好的力学性能。

刘运春等^[20]以微米级三氧化二铝 (Al_2O_3) 为导热填料, 制备了 PPS/ Al_2O_3 导热复合材料, 研究了硅烷偶联剂表面改性对 PPS/ Al_2O_3 复合材料力学性能和导热 MgO 性能的影响。研究表明, 当 Al_2O_3 的质量分数为 70% 时, 未改性和改性 Al_2O_3 填充 PPS 导热复合材料的热导率分别达到 2.279 W/(m·K) 和 2.392 W/(m·K)。

覃碧勋等^[21]对 PPS/MgO 导热绝缘塑料的性能进行了研究, 通过双螺杆挤出机将 PPS 与 MgO (45 ~ 630 μm) 混合挤出, 同时添加玻璃纤维挤出造粒制备了玻纤增强导热绝缘塑料, 分析了导热性能与 MgO 填充量的关系。结果表明, 玻璃纤维替代部分 MgO 后, 导热性能有所降低, 但拉伸强度和冲击强度等力学性能得到提升。偶联剂 KH-560 用量在 MgO 量的 0.5% 时可提高材料的热导率和拉伸强度。

热导率的正确预测对复合材料的设计、制备和性能至关重要。国内外研究工作者对导热高分子复合材料的热导机理、导热模型作了论述^[22~23], 用不同的理论导热模型和计算方法计算了高分子导热塑料的热导率, 并与实验结果相比较, 实验结果发现大多数理论模型预测的热导率与实测值有一定偏离。应结合具体复合体系和不同的影响因素来选择合理的热导模型和计算方法, 以达到适合于特定体系的预测目的。陈元武等^[24]利用有限元模型, 模拟了 Al_2O_3 填充 PPS 两相复合材料的逾渗结构以及 Al_2O_3 填充 PPS 合金三相复合材料双逾渗结构, 并将理论热导率与实际热导率结果进行对比验证。梁基照^[25]对 PPS/ CaCO_3 复合材料体系用 ANSYS 软件进行二维有限元模拟, 结果表明, 模拟值与理论模型计算值较为接近。林晓丹等^[26]通过 PA66 与大粒径 MgO 共混经双螺杆挤出机挤出制备了导热绝缘塑料。在 MgO 填充量为 70% 时, 热导率达到 1.9 W/(m·K), 同时仍保持较好的力学性能和一定的电绝缘性能。

3 结语

降低 LED 结构热阻、改进导热塑料的热管理能力、降低

系统价格和研发具有优良综合性能的高分子导热塑料以取代 LED 中的金属部件是今后研究方向之一。

参考文献

- [1] 文尚胜, 等. 海南大学学报: 自然科学版, 2010, 28(3): 229 - 232.
- [2] 刘毅. 科技管理研究, 2010(15): 162 - 170.
- [3] 甘美忠. 计算机工程应用技术, 2011(2): 153.
- [4] 苏达, 等. 电力电子技术, 2007, 41(10): 13 - 15.
- [5] 余河洁, 等. 中国照明, 2010(1-2): 76 - 80.
- [6] Armin V. 中国照明, 2009(9): 89.
- [7] 孙占英. 塑料工业, 2008, 36(6): 195 - 197.
- [8] Chun Jenweng. International Communications in Heat and Mass Transfer, 2009(36): 245 - 248.
- [9] Hu J, et al. Thermal and mechanical analysis of high power LEDs with ceramic packages[C] // ASME 2007 International Mechanical Engineering Congress and Exposition. Washington, 2007: 251 - 255.
- [10] 赵幸. 化工新型材料, 2002, 30(2): 27.
- [11] 明杰译. Materials & application, 2009(6): 46.
- [12] 宋金玲译. World Plastics, 2001, 19(3): 27 - 28.
- [13] Richrd Stewart. Plastic Engeering, 2004(1): 20 - 26.
- [14] 谢蕊摘编. 中国照明电器, 2008(8): 25 - 26.
- [15] Qian Cheng. Thermal Management of high-power White LED Package[C] // 2007 IEEE, 2007.
- [16] Zhou W Y, et al. Thermochemica Acta, 2007, 452: 36 - 42.
- [17] Wang Kai, et al. Novel application specific LED packing with compact freeform lens [C] // 2009 Electronic Components and Technology Conference, 2009: 2 126 - 2 130.
- [18] Chun Jenweng. International Communication in Heat and Mass Transfer, 2009(36): 245 - 248.
- [19] 林晓丹, 等. 塑料工业, 2006, 34(3): 65 - 67.
- [20] 刘运春, 等. 工程塑料应用, 2009, 37(2): 49 - 52.
- [21] 覃碧勋, 等. 广东化工, 2008, 35(9): 8 - 10.
- [22] 孔妖月, 等. 中国塑料, 2011, 25(3): 7 - 12.
- [23] 李丽, 等. 高分子通报, 2007(7): 25 - 31.
- [24] 陈元武, 等. 塑料工业, 2010, 38(2): 60 - 64.
- [25] 梁基照. 特种橡胶制品, 2006, 27(5): 35 - 38.
- [26] 林晓丹, 等. 工程塑料应用, 2006, 34(4): 7 - 9.

THERMALLY CONDUCTIVE PLASTICS USED IN LED

Jin Rongfu, Cai Qiongying

(Engineering School of Chemical Engineering, Hefei University of Technology, Hefei 230009, China)

Xia Yujie

(Anhui Zhongding Rubber-Plastic Products Co. Ltd., Ningguo 242300, China)

ABSTRACT The research and application of thermally conductive in LED were described at home and aboard in recent years. The Major companies and trade mark of thermally conductive plastics in LED have been collected and summarized. Thermally conductive thermoplastics used in LED lamp cover and slug in place of metal parts and reducing thermal resistance in LED package module were also discussed. To enhance overall performances of thermally conductive materials in the thermal management application as LED development trend in the future was put forward.

KEYWORDS light emitting diode, thermal conductive plastic, thermal conductivity, thermal conductive filler