

半导体照明**LED**封装技术与可靠性

Packaging Technique and Reliability of

High-Power LEDs for SSL

裴小明 技术总监
Simen pei CTO

深圳市量子光电子有限公司
Shenzhen Quantum Optoelectronic Co.,Ltd.

1.引言

1.1 LED——最有可能替代传统光源的新一代光源；

1.2 LED性能——芯片、封装

封装技术对LED性能的好坏、可靠性的高低，起着至关重要的作用。

1.3 照明用LED的封装有别于传统LED，必须采用更高更新的封装技术和可靠性控制手段。

1.4 本文提要

- ①LED封装技术分析；
- ②影响LED可靠性的因素；
- ③提高LED性能和可靠性的途径；
- ④一种新的功率型LED封装方案。

2.LED封装概述

2.1 LED封装的一般工艺流程

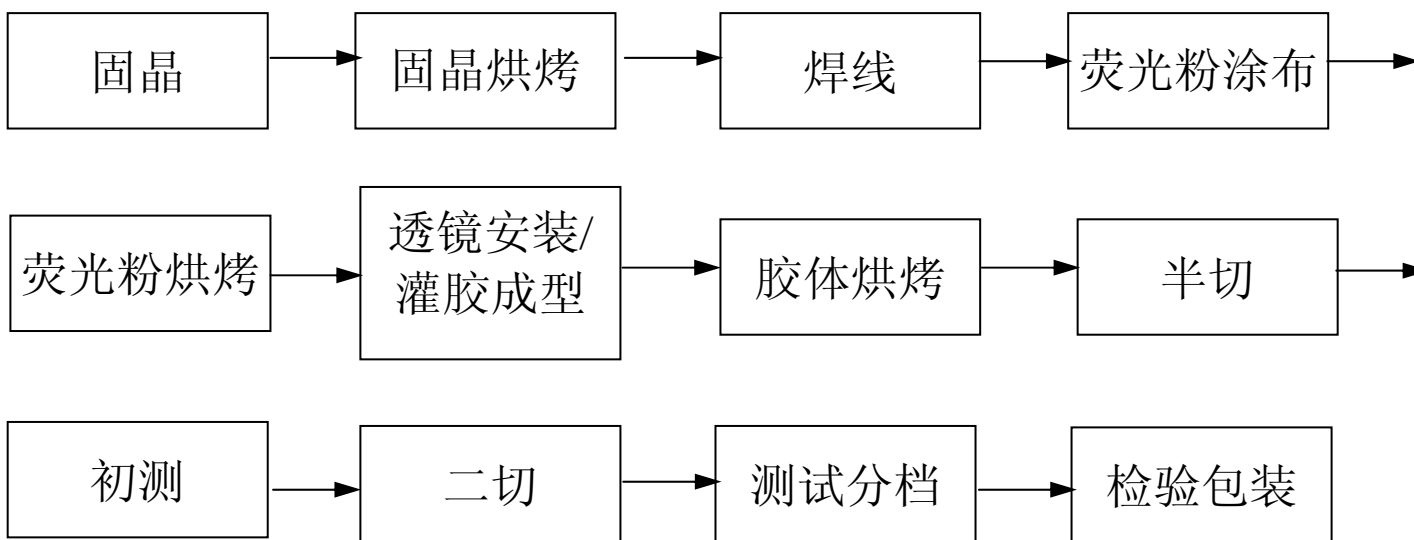


图 1.LED封装一般工艺流程（以白光LED为例）

2.LED封装概述

2.2 LED封装的发展过程

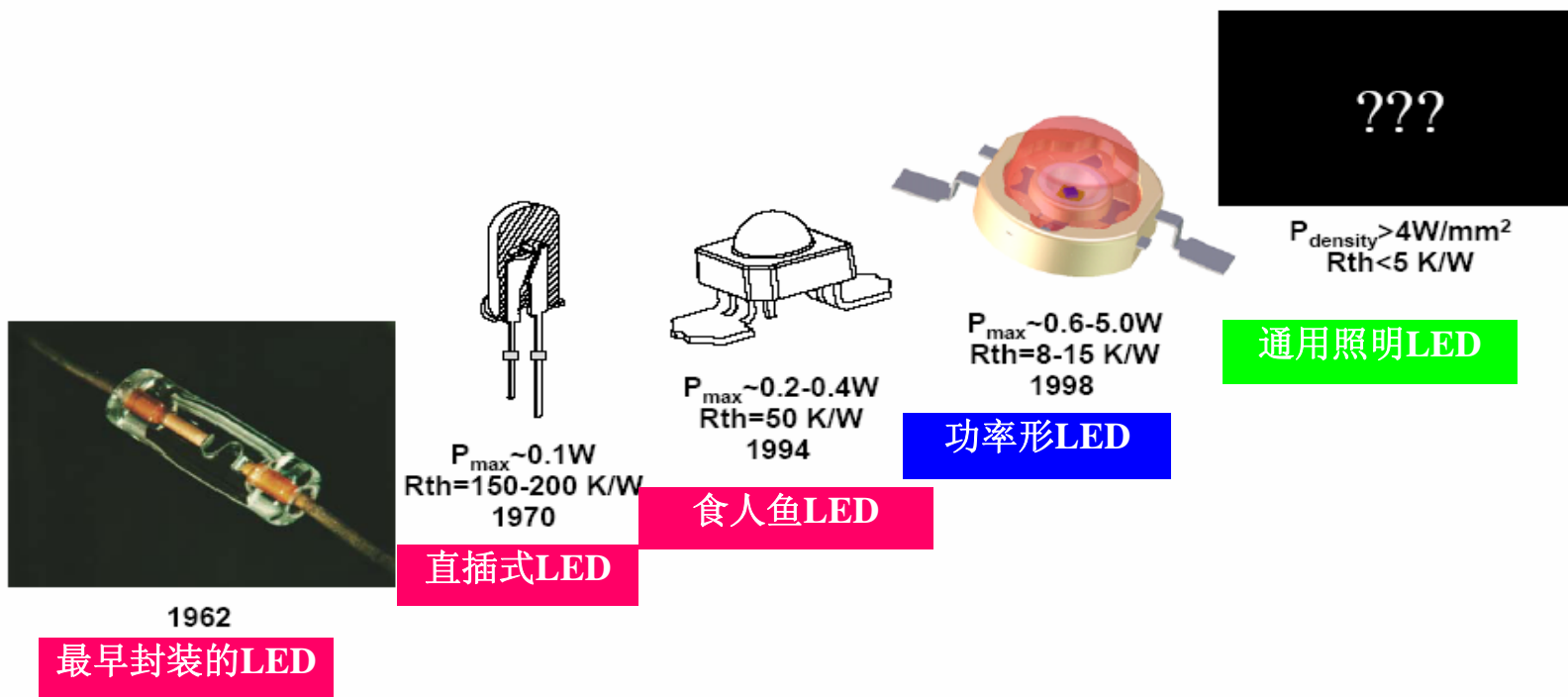


图 2. LED封装形式的演变和技术进步的过程

2.LED封装概述

2.3 LED的封装形式

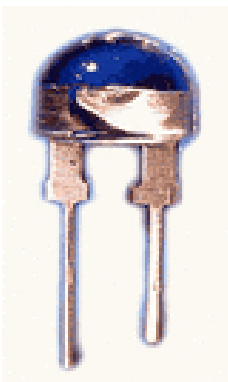


图3



图4



图5

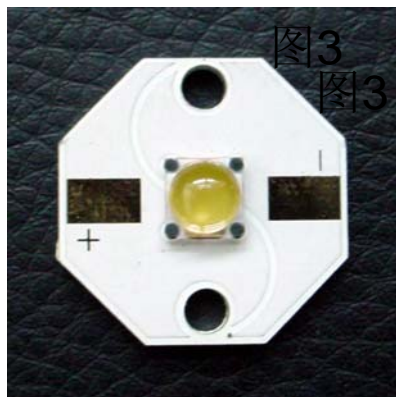


图7



图8



图9

2.LED封装概述



图10



图11



图12 E型



图13 S型

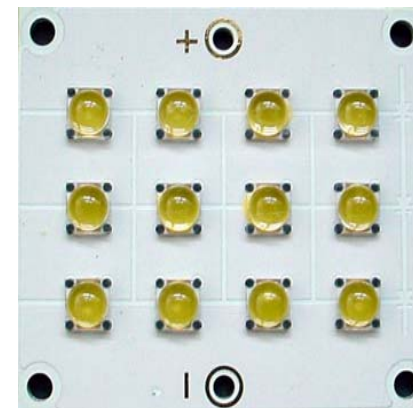


图14

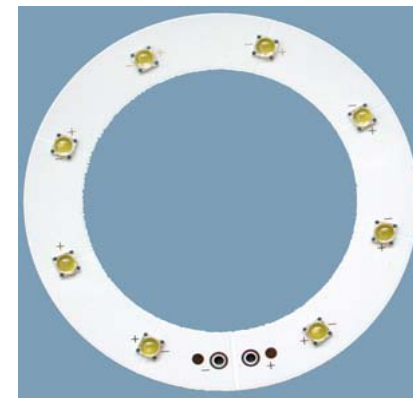


图15

3.功率型LED封装的关键技术

3.1 照明领域对半导体LED光源的要求

- ①更高的发光效率；
- ②更高的单灯光通量；
- ③更好的光学特性（光指向性、色温、显色性等）；
- ④更大的输入功率；
- ⑤更高的可靠性(更低的失效率、更长的寿命等)；
- ⑥更低的光通量成本。

3.功率型LED封装的关键技术

技术指标	照明用 LED2002	照明用 LED 2007	照明用 LED 2012	照明用 LED 2020	白炽灯	荧光灯
发光效率 (lm/W)	25	75	150	200	16	85
寿命 (khr)	20	>20	>100	>100	1	10
光通量 (lm/lamp)	25	200	1,000	1,500	1,200	3,400
输入功率 (W/lamp)	1	2.7	6.7	7.5	75	40
每千流明成本 (\$/klm)	200	20	<5	<2	0.4	1.5
单灯成本 (\$/lamp)	5	4	<5	<3	0.5	5
显色指数 (CRI)	75	80	>80	>80	95	75
可渗透的 照明市场	低光通量 要求领域	白炽灯 市场	荧光灯 市场	所有照 明领域		

表 1: 美国半导体照明发展蓝图 (OIDA 2002.11)

3.功率型LED封装的关键技术

3.2提高LED的发光效率

3.2.1 提高发光效率的途径

- ①提高芯片的发光效率；
- ②将芯片发出的光有效地萃取出来；
- ③将萃取出来的光高效地导出LED管体外；
- ④提高荧光粉的激发效率（对白光而言）；
- ⑤降低LED的热阻。

3.2.2 芯片的选择

TS类、XB类、WB（wafer bonding）类、ITO类、表面粗化类、倒装焊类

3.功率型LED封装的关键技术

3.2.3 出光通道的设计与材料选择

3.2.3.1 光的萃取 —— 折射率的匹配

GaN类倒装芯片封装的LED:

有源层 ($n=2.4$) → 蓝宝石 ($n=1.8$) → 环氧树脂 ($n=1.5$)
→ 空气 ($n=1$) ;

GaN类正装芯片封装的LED:

有源层 ($n=2.4$) → 环氧树脂
($n=1.5$) → 空气 ($n=1$) 。

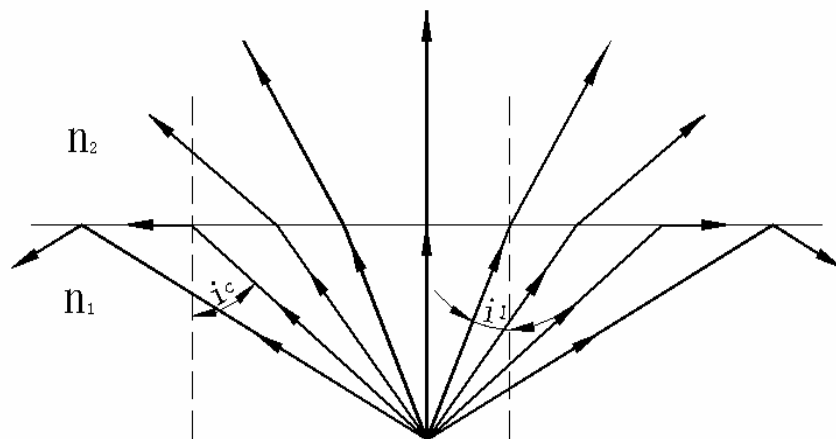


图16.光线在不同介质界面的折射和反射

3.功率型LED封装的关键技术

3.2.3.2光的导出

(1) 设计良好的出光通道，使光能够高效地导出到LED管体外：

①反射腔体的设计；

②透镜的设计；

③出光通道中各种不同材料的接合界面设计和折射率的匹配；

④尽可能减少出光通道中不必要的光吸收和泄漏现象。

3.功率型LED封装的关键技术

(2) 出光通道材料的选择:

- ①高的透光率;
- ②匹配良好的折射率;
- ③抗UV、防黄变特性;
- ④高的温度耐受能力和良好的应力特性。

3.功率型LED封装的关键技术

3.2.4 荧光粉的使用

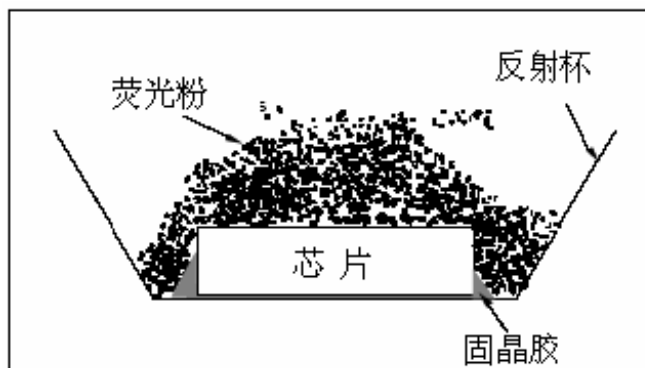


图17.荧光粉传统涂布方式

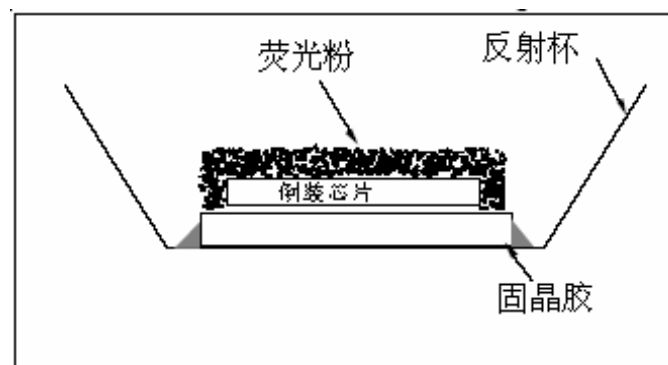


图18.荧光粉薄膜式涂布方式

3.2.5 热阻的降低

$$T_J = T_A + R_{thJA} P_D$$

热阻的高低是LED散热结构好坏的标志。

3.功率型LED封装的关键技术

3.3 改善LED的光学特性

3.3.1 光强的空间分布

①芯片发光的分布特点；

②出光通道：

- 反射腔体的设计；
- 透镜的设计；
- 光线在出光通道中折射和漫射的考虑；
- 出光通道各部分的几何尺寸的设计和配合。

③选择合适的出光通道材料和加工工艺。

3.功率型LED封装的关键技术

3.3.2 光色的均匀性

3.3.2.1 LED白光生成的技术路线

- ① 蓝色芯片+黄色荧光粉（YAG/TAG）⇒白光；
- ② RGB三基色芯片混色⇒白光，或BY双芯片互补混色⇒白光；
- ③ UV芯片+RGB荧光粉⇒白光。

3.功率型LED封装的关键技术

3.3.2.2改善光色均匀性的方法

- ① 出光通道的设计；
- ② 荧光粉粒度大小的合理选择；
- ③ 载体胶粘度特性的把握；
- ④ 改进荧光胶调配的工艺方法，防止操作过程中荧光粉在载体胶内产生沉降；
- ⑤ 采用高精度的荧光粉涂布设备，并改良荧光胶涂布的方法和形式（如图18所示）。

3.功率型LED封装的关键技术

3.3.3 色温与显色性

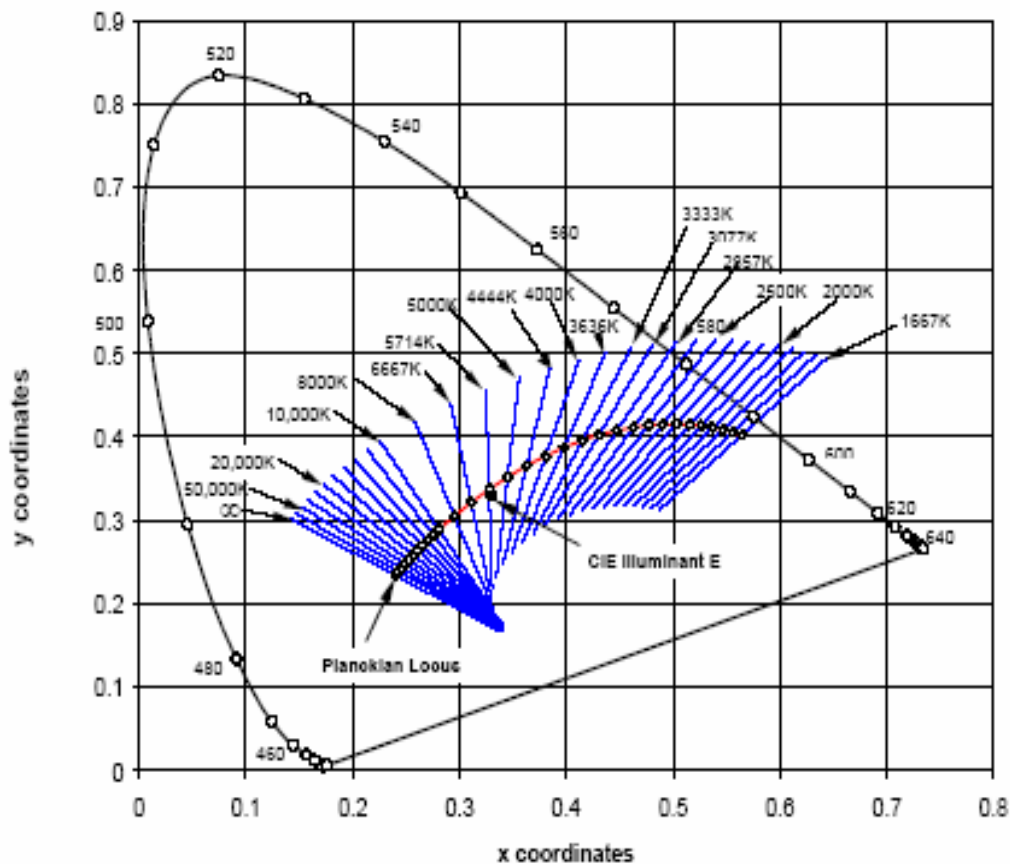


图19. 相关色温线图

3.功率型LED封装的关键技术

3.3.3 色温与显色性

1.白光LED色温的调控主要是通过蓝色芯片波长的选定、荧光粉受激波长的匹配和荧光粉涂布量、均匀性的控制来实现的。

2.改善白光LED在低色温区的显色性的主要方法有：

- ① 尽量选用短波长的蓝色芯片（ $\lambda_D < 460\text{nm}$ ）；
- ② 选用含有可以弥补白光LED发光谱线缺陷的物质的荧光粉；
- ③ 改善荧光粉的涂布技术，保证荧光粉得到充分而均匀的激发；
- ④ 采用其它具有显色性优势的白光生成技术路线。

3.功率型LED封装的关键技术

3.4 提高LED的单灯光通量和输入功率

- ①提高LED的发光效率；
- ②采用大面积芯片封装LED；
- ③采用多芯片高密度集成化封装功率型LED。

在以上途径中，散热技术是关键。

3.5 改善LED的可靠性

3.功率型LED封装的关键技术

3.6 降低LED的成本

- ①成熟可行的技术路线；
- ②简单可靠、易于产业化生产的工艺方法；
- ③通用化的产品设计；
- ④高的产品性能和可靠性；
- ⑤高的成品率。

4. LED的可靠性

4.1 LED的失效分析

4.1.1 基本概念

(1) 可靠性: 元器件在规定的条件和时间内, 完成规定功能的能力。

(2) 失效: 元器件执行规定的功能的能力的终止。

元器件可靠性的高低(可靠度)可以通过其失效现象出现的频次(失效率)来描述。

(3) LED的失效类别:

①严重失效

②参数失效

4. LED的可靠性

4.1.2 LED的主要失效现象

序号	失效现象	失效类别
1	开路式短路	严重失效
2	在正常测试条件下光输出中止	严重失效
3	闪烁	严重失效
4	不正常光衰（寿命变短）	参数失效
5	色移	参数失效
6	光指向性变坏	参数失效
7	电参数（ V_F 或 I_R ）变坏	参数失效
8	结构受损	严重/参数失效

表2

4. LED的可靠性

4.1.3 LED的失效模式

- (1) 芯片失效
- (2) 封装失效
- (3) 热过应力失效
- (4) 电过应力失效
- (5) 装配失效

4.1.4 影响LED可靠性的主要因素

芯片的可靠性、机械应力、热应力和电应力等。

4. LED的可靠性

4.2 改善LED可靠性的关键技术

4.2.1 散热技术

4.2.1.1 LED的散热路径

- ① 芯片→荧光粉胶层→灌封硅胶→透镜/管体→环境
- ② 芯片→金线→电极引脚/管体→环境
- ③ 芯片→固晶胶→热沉→粘合胶→铝板→环境

4. LED的可靠性

4.2.1.2 散热通道分析

(1) 好的散热通道:

- ① 通道尽可能短，环节尽可能少；
- ② 通道材料具有较高的热传导能力，即热传导系数较高；
- ③ 通道物质的热传导能力连续匹配，避免在通道中形成散热瓶颈；
- ④ 与环境接触的材料热消散速度快。

4. LED的可靠性

(2) 第1条散热路径：荧光粉胶层对散热的影响最大，尽可能将荧光粉胶层减薄；

(3) 第2条散热路径——电流通道：选用大线径的金线和高导热的引脚材料；

(4) 主散热通道：

名称	芯片有源层	倒装焊球	衬底	固晶胶	热沉	粘合胶	散热板
材料	InGaN	PbSn	Si	银胶	Cu	导热胶	Al
导热系数 (W/mK)	170	50	146	1.5~25	401	0.5~2.0	237

表 3. 主散热通道材料的导热能力分析

4. LED的可靠性

(4) 主散热通道:

① 倒装焊球 PbSn，导热率为 50 W/ mK ，熔点较低 ($<170^\circ\text{C}$)，容易因高温变形——短路或开路，存在环保问题 (含铅 Pb)。目前普遍改用金材料。

② Lxx封装采用的固晶胶是银胶， $1.5\sim 25 \text{ W/ mK}$ ，散热通道中的一大瓶颈。A. 尽量减薄银胶的厚度。B. AuSn或AgSn共晶， 58 W/ mK 和 50 W/ mK ，导热能力高于银胶，粘合力增加。

③ 热沉与散热铝片之间是用导热胶粘合的，只有 $0.5\sim 2.0 \text{ W/ mK}$ ，接合不良将大幅增加热阻。采用金属焊接方法。

4. LED的可靠性

4.2.2 静电防护技术

- ① 制造过程静电防护;
- ② 在芯片衬底上附带起静电保护作用的齐纳二极管;

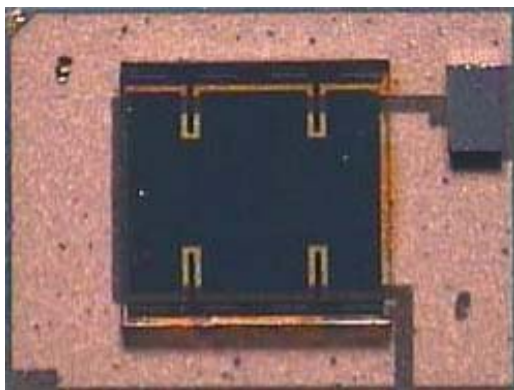


图20. 齐纳二极管外置式

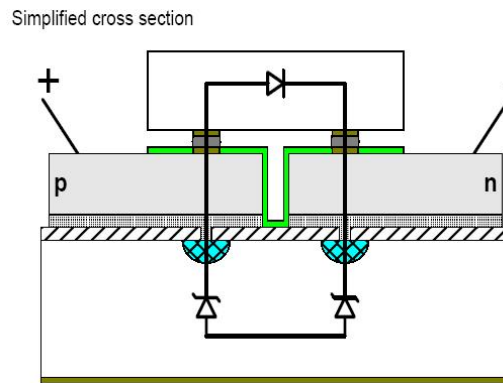


图21. 齐纳二极管内嵌式

- ③ 在芯片外、封装结构内部装配静电保护器件。

4. LED的可靠性

4.2.3 封装材料与机械应力的防范

T_g点位于热膨胀系数（CTE）剧烈变化区域的正中间。

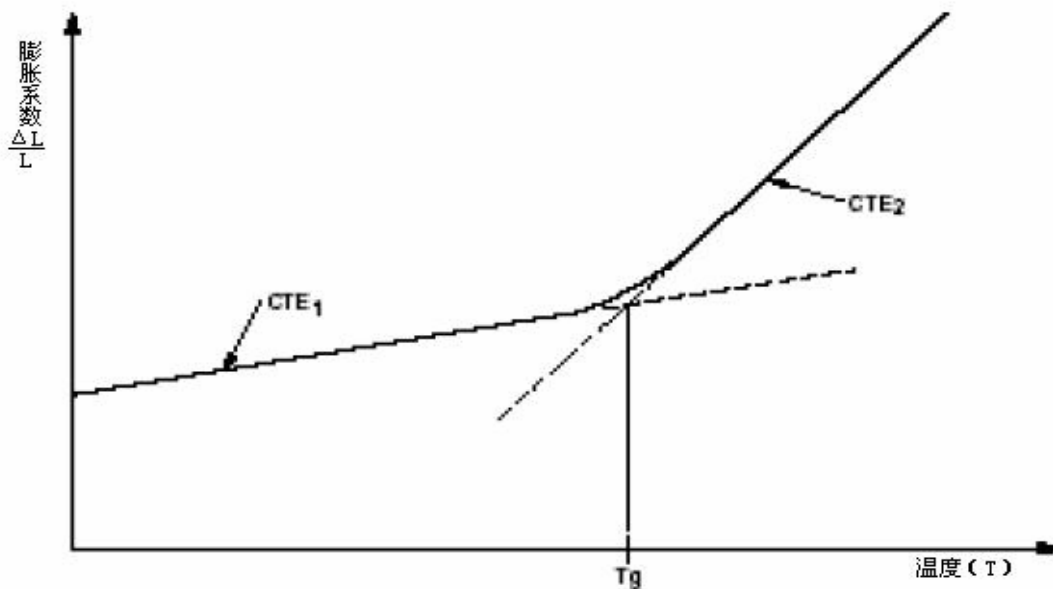


图 22. 环氧树脂热膨胀系数随温度变化曲线

在大功率LED封装结构内部填充透明度高的、低应力的柔性硅胶。

4. LED的可靠性

4.2.4 筛选技术——剔除早期失效品

热老化、负载老化、环境试验等

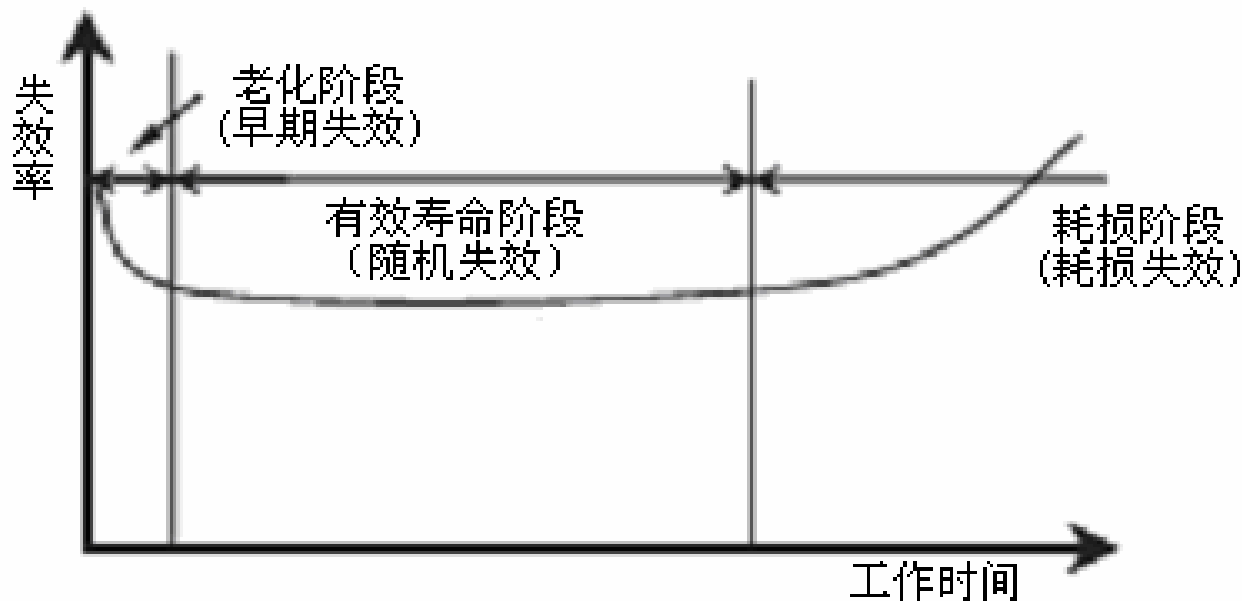


图 23. 典型失效率曲线

5. 功率型 LED封装技术方案的分析对比

5.1 现有功率型LED封装方案的分析对比

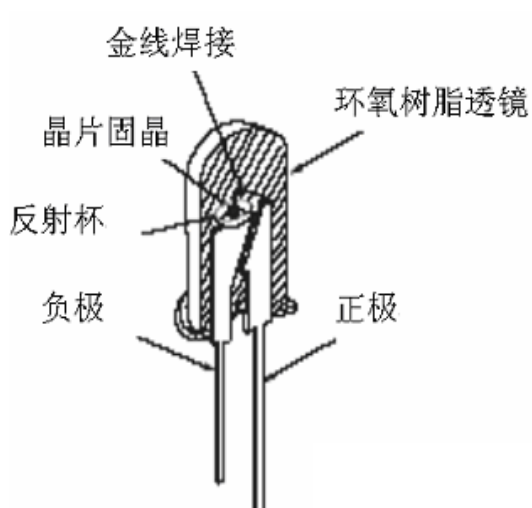


图24

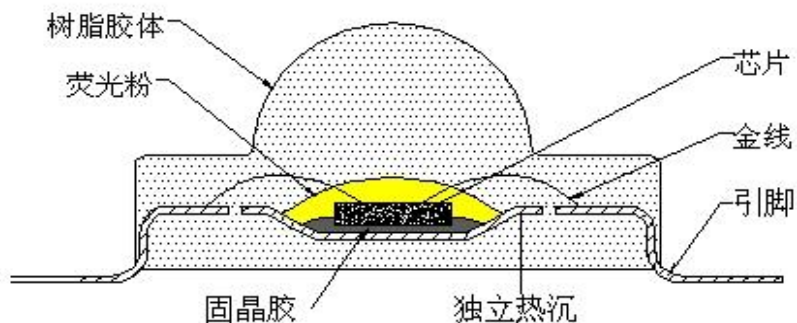


图25

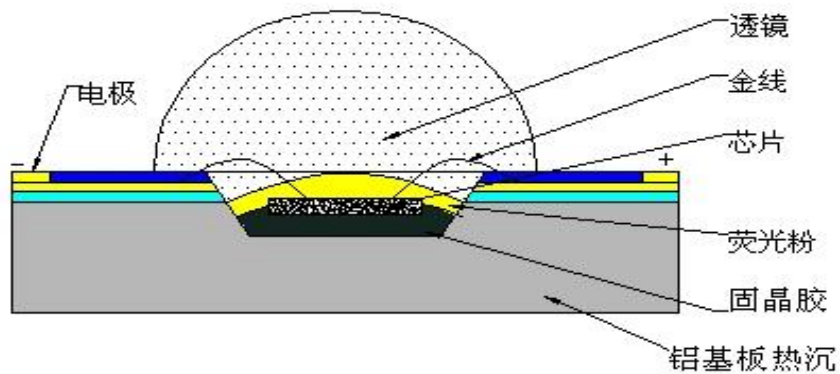


图26

5. 功率型 LED封装技术方案的分析对比

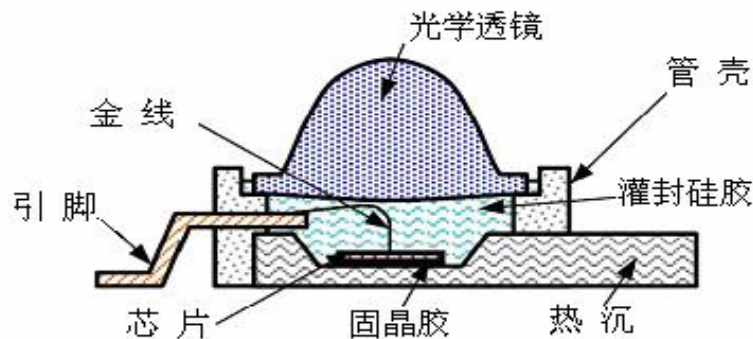


图27

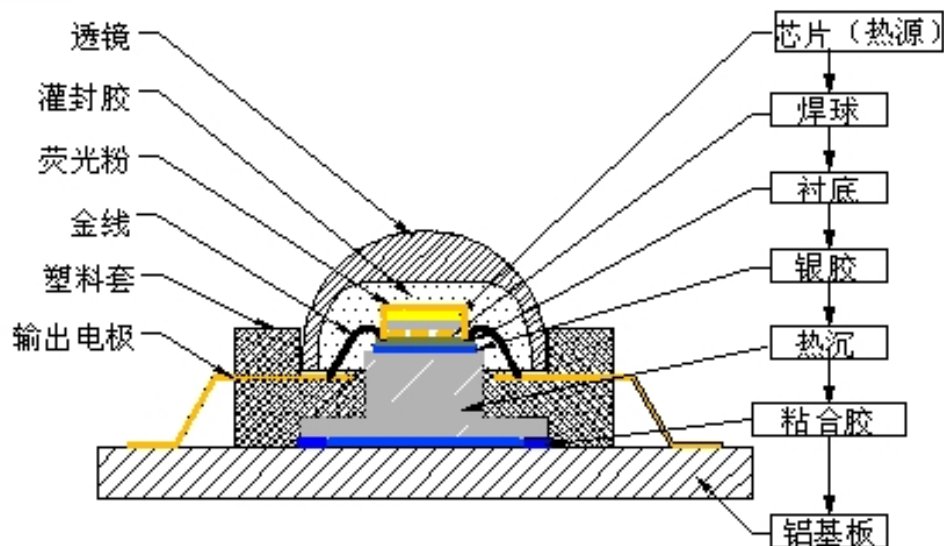


图28.Lxx封装 S型结构图

5. 功率型 LED封装技术方案的分析对比

5.2 一种新的功率型 LED 封装技术方案

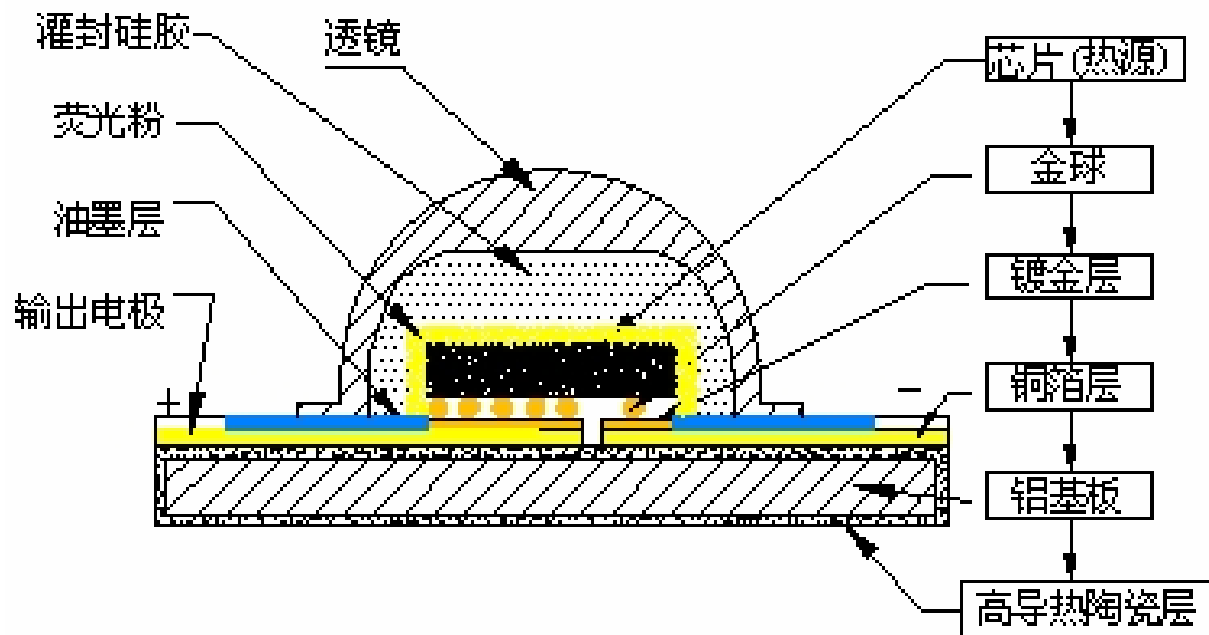


图29. MCPCB覆晶式功率型 LED

5. 功率型 LED封装技术方案的分析对比

5.2.1 方案优点

- (1) 散热性能优异，二次散热操作，可靠性提高。
- (2) 出光直接，发光效率提高。
- (3) 无焊线工序，流程缩短，容易形成大规模生产。
- (4) 操作灵活，适应性强。
- (5) 方便满足照明应用的光学设计的不同需求。
- (6) 封装成本下降。

5. 功率型 LED封装技术方案的分析对比

5.2.2 工艺可行性

5.2.3 存在问题

- (1) MCPCB 制备技术;
- (2) 倒装焊工序良品率;
- (3) 机械应力;
- (4) 设备价格较高, 投资成本较大。

六. 结语

上述是本人在LED封装领域从事技术工作多年的一些经验总结和心得体会，以及本人对半导体照明LED封装技术和可靠性的初步认知。本文观点仅代表个人意见，供有关人事参考，意在抛砖引玉，共同探索半导体照明LED封装之可行的技术路线。

不足之处，敬请指正！