



## 车载用 LED 的 锡裂

### 目录

1. 前言.....	2
2. 适用产品.....	2
3. 锡裂的发生原理.....	4
4. 减少锡裂的方法.....	5
5. 锡裂的评价.....	9
6. 最后.....	15

本应用指南中记载的型号 NCxW121x、NCxx131x、Nxxx170x、NJxW270x、NxSx123x、NxSx172x、NCxW093x、NxSx146x、NCxW193x、NxSx572x、NHSx046x、NSSx063x、NxSx064x、NSSx088x、NSSW129、NSSM313x、和 NSSM438x 是日亚产品的型号名，和有（或可能有）商标权的其他公司产品不同（不类似）、也没有任何关联。

日本日亚化学工业株式会社

<http://www.nichia.co.jp>

491 Oka, Kaminaka-Cho, Anan-Shi, TOKUSHIMA 774-8601, JAPAN

Phone: +81-884-22-2311 Fax: +81-884-21-0148

本文包括暂定内容，日亚公司有权不经公告对其进行修改。

## 1. 前言

LED 大多通过焊接安装在电路板上使用，如果安装有 LED 的电路板在温度变化较大的驱动条件或环境下被反复驱动，可能导致 LED 的焊接部在热应力的作用下发生锡裂（如图 1 所示）。锡裂通常在 LED 外封装和电路板的线膨胀系数差异较大时容易发生，如果裂纹程度加重，可能导致 LED 因焊接部接合不良而出现不亮。因此客户必须在焊接安装前针对锡裂进行充分验证。

在本应用指南中将对锡裂的发生原理进行解说，并在介绍减少锡裂的方法后结合冷热冲击（温度循环）试验结果对其进行了评价。

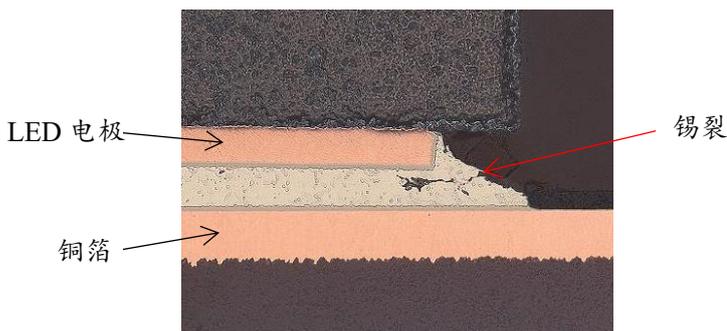


图 1. 锡裂发生例

## 2. 适用产品

本应用指南适用于表 1 中的日亚产品。

表 1. 适用产品

系列	日亚 121 系列				日亚 131 / 170 系列 <sup>**</sup>		
型号	NC2W121x	NC3W121x	NC4W121x	NC5W121x	NCSx131x NCSx170x	NC2x131x NC2x170x	NJSx170x
外观例							
尺寸(mm)	3.1×2.6×0.75	3.1×3.75×0.75	3.1×4.9×0.75	3.1×6.05×0.75	1.8×1.45×0.75	3.0×1.6×0.75	1.6×1.2×0.75

<sup>\*\*</sup>日亚 131 系列和日亚 170 系列的背面电极形状不同。

系列	日亚 270 系列		日亚 123 系列		日亚 172 系列	
型号	NJ2W270x		NFSx123x		NFSx172x	
	NJ3W270x		NJSx123x		NJSx172x	
外观例						
尺寸(mm)	3.5×3.5×0.75		2.0×3.0×0.7		3.0×3.0×0.8	

系列	日亚 093 系列				日亚 146 系列		
型号	NC2W093x	NC3W093x	NC4W093x	NC5W093x	NESx146x	NHSx146x	NSSx146x
外观例							
尺寸(mm)	8.5×8.0×1.5				1.4×2.2×0.7		

系列	日亚 193 系列					日亚 572 系列	
型号	NCSW193x	NC2W193x	NC3W193x	NC4W193x	NC5W193x	NJSx572x	NSSx572x
外观例							
尺寸(mm)	11.8×8.0×1.7					3.0×3.0×0.7	

系列	日亚 046 系列	日亚 063 系列	日亚 064 系列		
型号	NHSx046x	NSSx063x	NESx064x	NHSx064x	NSSx064x
外观例					
尺寸(mm)	1.4×2.2×1.3	2.8×3.5×2.0	2.8×3.5×2.0		

系列	日亚 088 系列	日亚 129 系列	日亚 313 系列	日亚 438 系列
型号	NSSx088x	NSSW129	NSSM313x	NSSM438x
外观例				
尺寸(mm)	1.4×3.5×1.2	3.6×4.0×4.0	3.3×3.3×1.8	1.6×4.7×1.8

表中的“x”是一个符号，代表同类型 LED。

(例：NCSx170x 代表 NCSW170D、NCSW170F、NCSY170F、NCSA170G、NCSW170G、NCSW170G-SA 等)

### 3. 锡裂的发生原理

本章将对锡裂发生的原理进行说明。

在铝基电路板上焊接安装有 LED 的状态如图 2 所示。

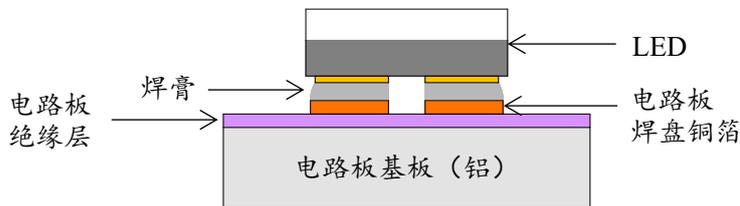


图 2. LED 安装状态

当安装电路板在温度变化较大的驱动条件或环境下使用时，可能会因为 LED 外封装和电路板的线膨胀系数不同导致各自的膨胀、收缩程度出现差异，由此使 LED 焊接部受到应力（如图 3 所示）。

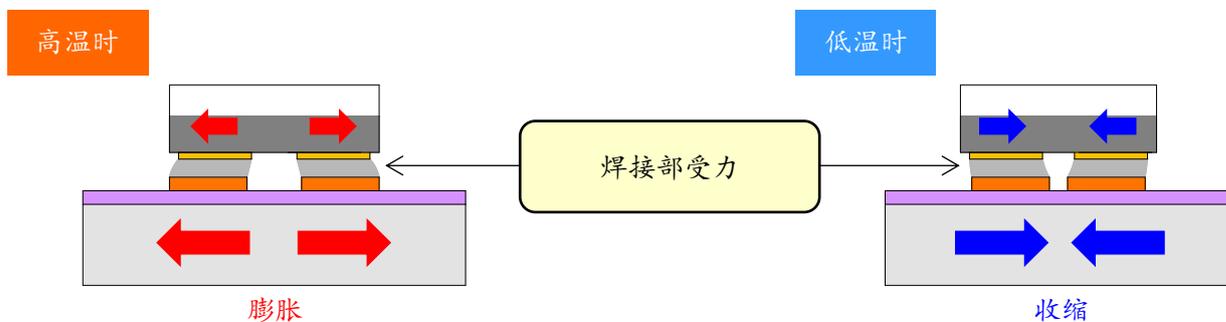


图 3. LED 焊接部受到的应力

焊接部如果持续受力会使焊接部的部分位置发生龟裂（锡裂）。如果锡裂程度加重并发展到整个焊接部，就会导致 LED 无法通电而出现不亮（如图 4 所示）。

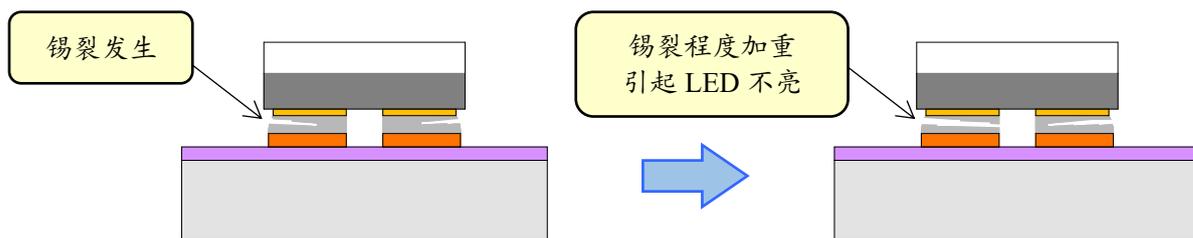


图 4. 锡裂发生

## 4. 减少锡裂的方法

### 4.1. 电路板的线膨胀系数

在 LED 外封装和电路板间的线膨胀系数差异较大时容易发生锡裂。线膨胀系数是指温度每升高 1°C 时的物体长度变化的比例。日亚各型号 LED 使用的外封装材料如表 2 所示，LED 外封装材料和电路板材料的线膨胀系数如表 3 所示。

表中的线膨胀系数值为常用的代表值。

表 2. 日亚各型号 LED 使用的外封装材料

LED 外封装材料	型号
氮化铝	日亚 121、131、170、270 系列
氧化铝	日亚 123、172 系列
树脂	日亚 046、063、064、088、093、129、146、193、313、438、572 系列

表 3. LED 外封装材料和电路板材料的线膨胀系数

LED 外封装		电路板	
材料	线膨胀系数 (1/°C)	材料	线膨胀系数 (1/°C)
氮化铝	$5 \times 10^{-6}$	陶瓷	$8 \times 10^{-6}$
氧化铝	$7 \times 10^{-6}$	铁	$12 \times 10^{-6}$
树脂	$16 \times 10^{-6}$	环氧玻璃板 (FR-4)	$14 \times 10^{-6}$
		铜	$17 \times 10^{-6}$
		铝	$21 \times 10^{-6}$

通过选择与 LED 外封装材料的线膨胀系数差值较小的电路板材料可以防止锡裂的发生。例如在使用铝基电路板时，日亚 121、131、170、270 系列 LED 外封装和铝基电路板间的线膨胀系数相差  $16 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ 。而使用铜基电路板时，两者的线膨胀系数相差  $12 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ 。由此可见，和使用铝基电路板相比使用铜基电路板更不容易发生锡裂（如图 5 所示）。

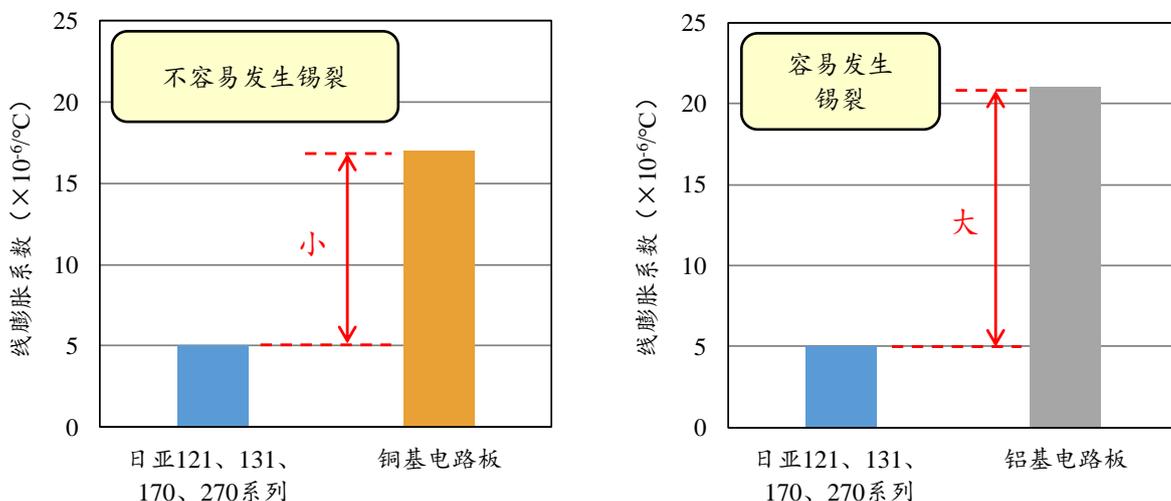


图 5. 日亚 121、131、170、270 系列 LED 外封装和不同电路板之间的线膨胀系数差

#### 4.2. 电路板绝缘层的弹性模量

一般情况下，在铝基电路板上使用低弹性模量材料的绝缘层可以有效减少锡裂的发生。因为低弹性模量绝缘层可以跟随由 LED 外封装和电路板材料间的线膨胀系数差产生的应力发生变形，从而缓解焊接部受到的应力（如图 6 所示）。

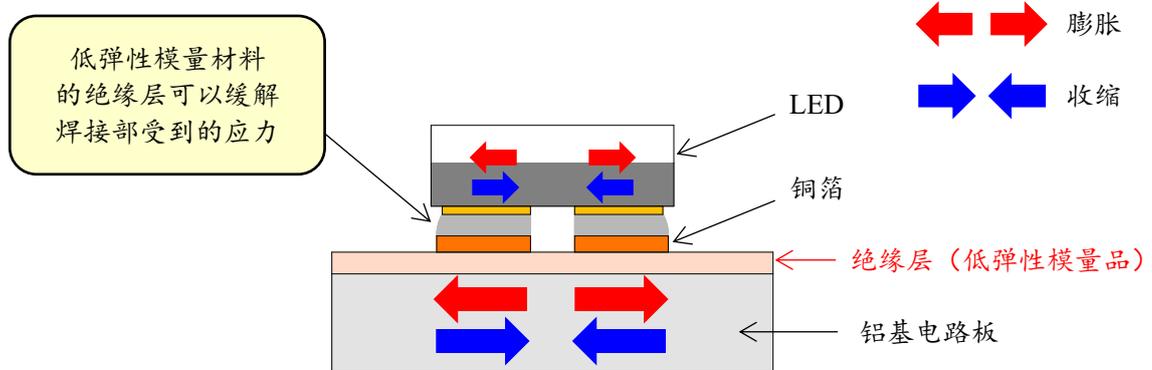


图 6. 使用了低弹性模量绝缘层的铝基电路板

另外在选择电路板时请注意：降低绝缘层的弹性模量可能使铝基电路板的导热率下降。

#### 4.3. 电路板焊盘构造

电路板的焊盘图案（安装图案）有两种构造：SMD（Solder Mask Defined）和 NSMD（Non-Solder Mask Defined）。SMD 构造是使用阻焊层开口形成焊盘，NSMD 构造是直接使用铜箔形状形成焊盘（铜箔未被阻焊层覆盖）。

如表 4 中安装有 LED 时的比较图所示，SMD 构造在安装时焊膏仅焊接在焊盘（铜箔）表面，而 NSMD 构造在安装时焊膏焊接在焊盘（铜箔）表面和侧面。由此可见 NSMD 构造的焊接强度比 SMD 构造更高，这种构造在抗裂性方面具有优势。

表 4. SMD 和 NSMD 焊盘构造的比较

焊盘构造		SMD	NSMD
电路板构造			
安装有 LED 时			
电路板焊盘外观 (例)			
特点	焊接强度	—	高
	可安装性	很难减少气泡、焊球	容易减少气泡、焊球
	焊盘图案精度	不佳 (阻焊层印刷)	良好 (铜箔蚀刻)
	散热性	良好 (铜箔面积较大)	—

在选择电路板时必须考虑到上述特点，不仅针对抗裂性，还要针对其他需求进行充分的验证。

#### 4.4. 气泡的影响

锡裂发生时，如果焊接部存在较多气泡可能会加速锡裂的发展。因此在安装 LED 时应该尽可能减少气泡。

减少气泡的方法例如下所示。

- 使用 NSMD 构造的电路板焊盘

NSMD 构造有利于回流焊时存在于焊接部的气体或焊膏内部产生的气体和助焊剂残渣向外释放（如 4.3 节表 4 所示）。

- 调整回流焊温度曲线

例如可以放慢预热前、或预热后~回流焊前的升温速度以抑制气体的产生，也可以提高回流焊峰值温度并延长峰值时间以保持焊膏充分融化，便于气体和助焊剂残渣的向外释放等（如图 7 所示）。

如果预热的温度过高或时间过长会导致助焊剂变质、焊膏润湿性降低，气泡也会因此增加。

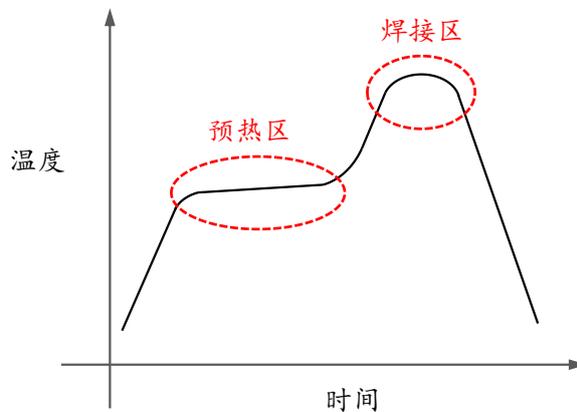


图 7. 回流焊温度曲线

另外，回流焊温度曲线的调整最好在日亚推荐的回流焊条件以及所使用焊膏的推荐回流焊条件范围内进行。关于日亚推荐的回流焊条件，请参照相关型号的规格书内容。

#### 4.5. 高可靠性无铅焊膏

焊膏中有一种高可靠性无铅焊膏，是专门为了防止锡裂发生和加重而开发的。通常使用高可靠性无铅焊膏可以提高焊接强度，比使用标准无铅焊膏的效果更佳。但是为了减少锡裂而使用这种高可靠性焊膏反而可能导致应力集中在 LED 上造成 LED 的破裂或损坏。因此在选择焊膏时，必须确保其在客户最终规格的电路板所使用的环境中能够保持良好的可靠性。

## 5. 锡裂的评价

本章将使用日亚 131/170 系列中工作温度在  $-40^{\circ}\text{C}\sim 135^{\circ}\text{C}$  的 NCSW170G 型号品对锡裂进行评价(如图 8 所示)。这些仅是基于敝公司试验条件得出的参考数据。

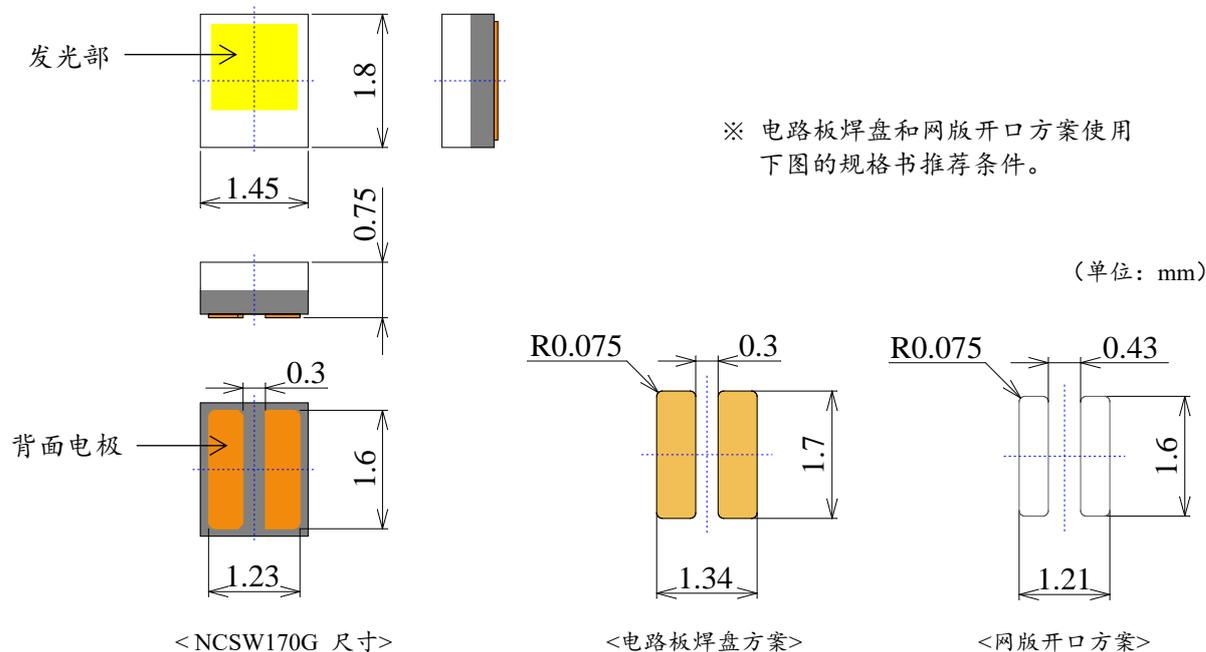


图 8. 规格书推荐设计

敝公司按照以下条件安装 LED 后对安装电路板实施了  $-40^{\circ}\text{C}\sim 135^{\circ}\text{C}$  温度范围内的冷热冲击试验, 并对试验样品的正向电压上升率 ( $\Delta V_F$ )<sup>\*1</sup> 以及不亮发生率进行了调查。试验样品使用了不同的电路板金属基板、电路板绝缘层、焊盘构造的各种组合(如表 5 所示)。

### 试验条件

- LED 型号: NCSW170G
- 电路板类型: 不同绝缘层的铝基电路板、标准绝缘层的铜基电路板(如表 6 所示)  
※厚度: 金属基板 1.5mm、绝缘层 100 $\mu\text{m}$ 、铜箔 70 $\mu\text{m}$
- 焊盘构造: SMD 或 NSMD(如表 7 所示)
- 焊膏种类: 标准成分的无铅焊膏 (Sn-3.0Ag-0.5Cu)
- 印刷网版厚度: 100 $\mu\text{m}$  (网版开口方案如图 8 所示)
- 气泡率: 低于 10% (气泡率是气泡面积所占焊接部面积的比例、通过 X 线检查确认)
- 温度循环条件:  $-40^{\circ}\text{C}$  (15 分钟)  $\leftrightarrow$   $135^{\circ}\text{C}$  (15 分钟)、3000 周期、非通电
- 试验样品数: 10pcs 或 20pcs

在第 5.1~5.3 节的试验结果中比较了样品在 3000 周期内各阶段的  $\Delta V_F \geq 10\%$ <sup>\*2</sup> 和不亮的发生数量, 并显示了不亮发生率的经时变化。另外作为锡裂发生时间点的参考计算了亮灯 LED 的  $\Delta V_F$  平均值, 对  $V_F$  的上升情况进行了比较。

\*1 因为锡裂发生时会导致焊接部的电阻增大、正向电压 ( $V_F$ ) 上升, 所以敝公司在确认是否发生锡裂时将其作为参考。正向电压上升率 ( $\Delta V_F$ ) 指的是  $V_F$  上升量相对于初始  $V_F$  的百分比。

\*2  $\Delta V_F \geq 10\%$  适用于敝公司可靠性试验的判定基准。

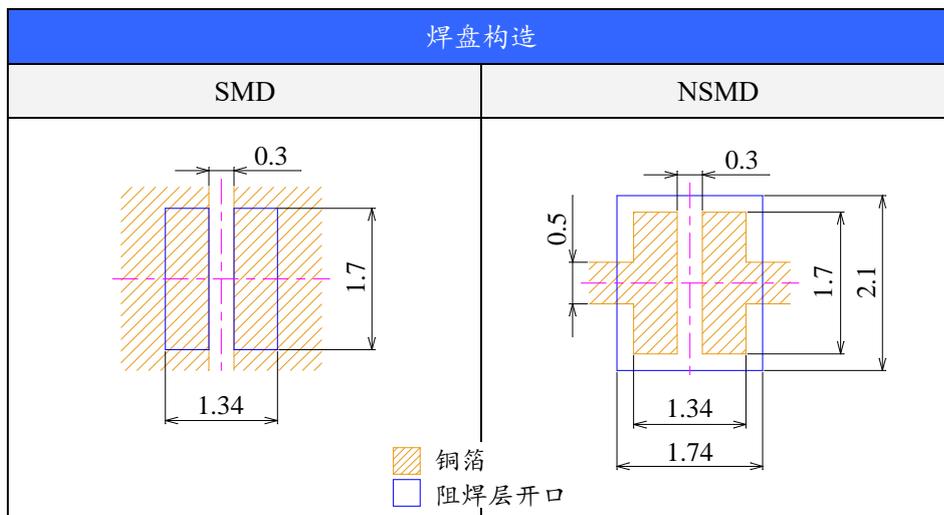
表 5. 各试验样品的电路板条件

试验样品	电路板		
	金属基板	绝缘层 (如表 6 所示)	焊盘构造 (如表 7 所示)
1	铝	标准品	SMD
2	铜	标准品	SMD
3	铝	低弹性模量品	SMD
4	铝	标准品	NSMD

表 6. 使用的绝缘层种类

绝缘层	弹性模量 (储能模量)
标准品	13 GPa
低弹性模量品	0.16 GPa

表 7. 焊盘构造



### 5.1. 使用不同的电路板金属基板的比较

除了使用铝或铜作为电路板的金属基板外，其他均在相同条件下进行了试验（如表 8 所示）。

结果显示，使用铝基电路板（铝基板）的样品 1 在 1500 周期时多数出现  $\Delta V_F \geq 10\%$  或不亮，而使用铜基电路板（铜基板）的样品 2 直到 3000 周期仍未出现  $\Delta V_F \geq 10\%$  或不亮（如表 9 所示）。另外如图 9 所示，样品 2 在 2500 周期以内基本未出现  $V_F$  上升。

由此可见，因为铜基板和 NCSW170G 型号品外封装材料（氮化铝）的线膨胀系数差值比铝基板小，所以和使用铝基板相比，使用铜基板在减少锡裂方面更加有效。

表 8. 试验样品的条件

试验样品	电路板		
	金属基板	绝缘层	焊盘构造
1	铝	标准品	SMD
2	铜	标准品	SMD

表 9.  $\Delta V_F \geq 10\%$  和不亮的发生数量

试验样品	评价项目	周期数							
		240	560	800	1000	1500	2000	2500	3000
1	$\Delta V_F \geq 10\%$	0/20	0/20	0/20	0/20	3/14	6/11	6/8	6/6
	不亮	0/20	0/20	0/20	0/20	6/20	9/20	12/20	14/20
2	$\Delta V_F \geq 10\%$	0/10	0/10	0/10	0/10	0/10	0/10	0/10	0/10
	不亮	0/10	0/10	0/10	0/10	0/10	0/10	0/10	0/10

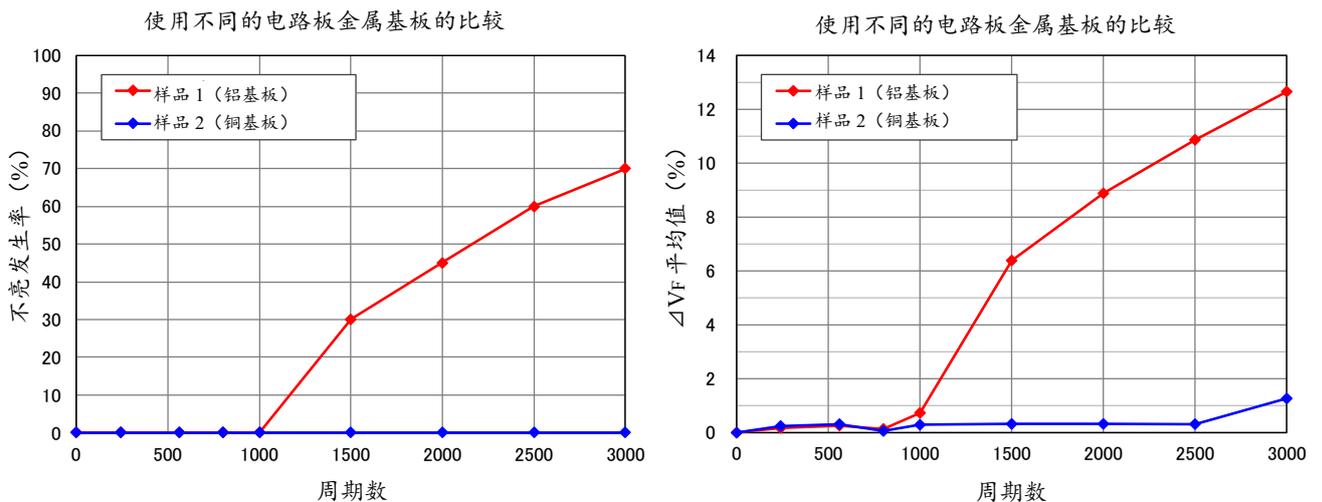


图 9. 不亮发生率和  $\Delta V_F$  平均值

## 5.2. 使用不同的电路板绝缘层的比较

除了铝基板的绝缘层材料使用低弹性模量品外，其他均在和样品 1 相同条件下进行了试验（如表 10 所示）。

结果显示，使用低弹性模量材料的样品 3 在 2500 周期以内未出现  $\Delta V_F \geq 10\%$ ，而且在 3000 周期时仍未发生不亮（如表 11 所示）。另外如图 10 所示，样品 3 在 2500 周期以内的  $V_F$  平均上升约 1%。由此可见，和使用标准绝缘层的铝基板相比，使用低弹性模量绝缘层的铝基板在减少锡裂方面更加有效。

表 10. 试验样品的条件

试验样品	电路板		
	金属基板	绝缘层	焊盘构造
1	铝	标准品	SMD
3	铝	低弹性模量品	SMD

表 11.  $\Delta V_F \geq 10\%$  和不亮的发生数量

试验样品	评价项目	周期数							
		240	560	800	1000	1500	2000	2500	3000
1	$\Delta V_F \geq 10\%$	0/20	0/20	0/20	0/20	3/14	6/11	6/8	6/6
	不亮	0/20	0/20	0/20	0/20	6/20	9/20	12/20	14/20
3	$\Delta V_F \geq 10\%$	0/10	0/10	0/10	0/10	0/10	0/10	0/10	1/10
	不亮	0/10	0/10	0/10	0/10	0/10	0/10	0/10	0/10

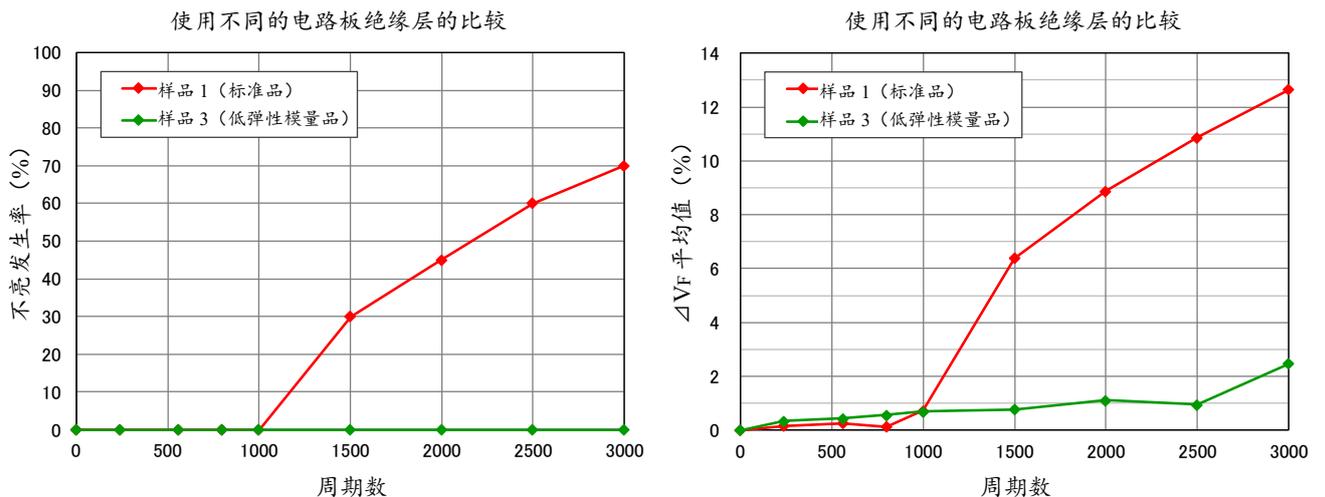


图 10. 不亮发生率和  $\Delta V_F$  平均值

### 5.3. 使用不同的电路板焊盘构造的比较

除了铝基板的焊盘构造使用 NSMD 外，其他均在和样品 1 相同条件下进行了试验（如表 12 所示）。结果显示，使用 NSMD 的样品 4 在 1500 周期以内未出现  $\Delta V_F \geq 10\%$ ，而且在 3000 周期时仍未发生不亮（如表 13 所示）。另外如图 11 所示，样品 4 在 1500 周期以内的  $V_F$  平均上升不足 1%。由此可见，和使用焊盘构造为 SMD 的铝基板相比，使用焊盘构造为 NSMD 的铝基板在减少锡裂方面更加有效。

表 12. 试验样品的条件

试验样品	电路板		
	金属基板	绝缘层	焊盘构造
1	铝	标准品	SMD
4	铝	标准品	NSMD

表 13.  $\Delta V_F \geq 10\%$  和不亮的发生数量

试验样品	评价项目	周期数							
		240	560	800	1000	1500	2000	2500	3000
1	$\Delta V_F \geq 10\%$	0/20	0/20	0/20	0/20	3/14	6/11	6/8	6/6
	不亮	0/20	0/20	0/20	0/20	6/20	9/20	12/20	14/20
4	$\Delta V_F \geq 10\%$	0/10	0/10	0/10	0/10	0/10	4/10	8/10	9/10
	不亮	0/10	0/10	0/10	0/10	0/10	0/10	0/10	0/10

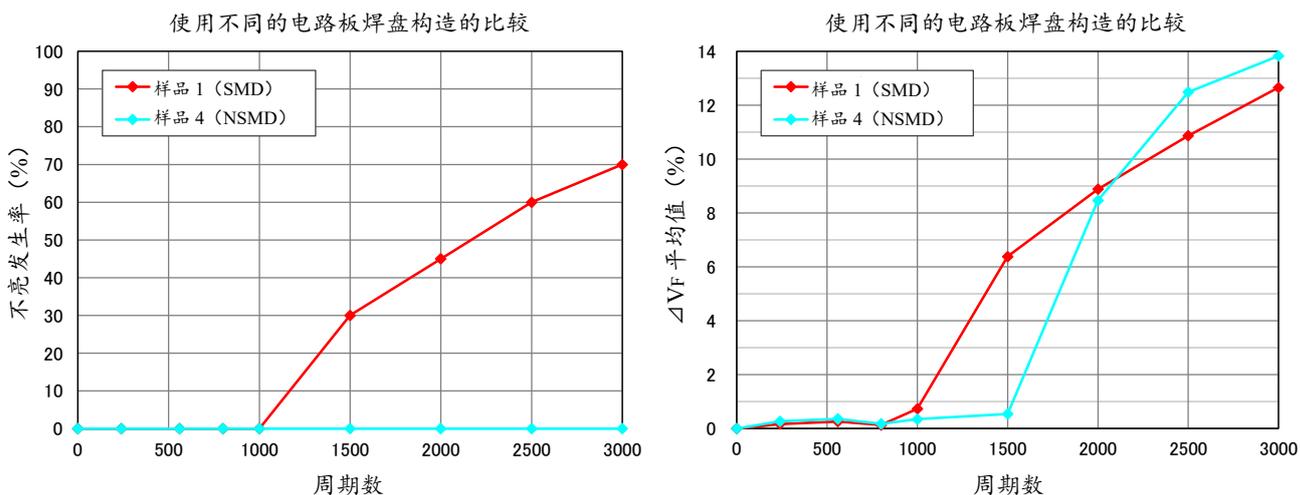


图 11. 不亮发生率和  $\Delta V_F$  平均值

### 5.4. 断面观察 (参考)

作为参考, 冷热冲击试验 3000 周期时部分试验品的断面观察结果如表 14 所示。断面研磨位置和观察方向如图 12 所示。

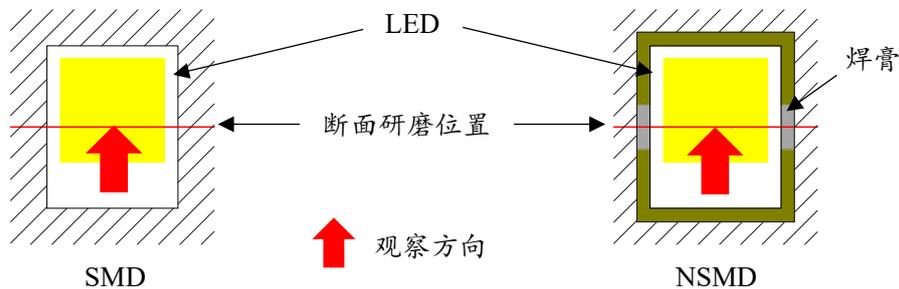
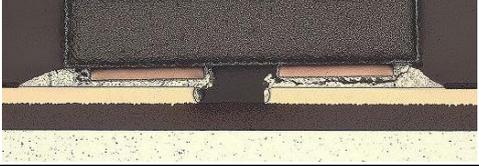


图 12. 断面研磨位置和观察方向

表 14. 断面分析结果示例 (试验 3000 周期时)

试验样品 1			断面照片
电路板			
金属基板	铝		
绝缘层	标准品		
焊盘构造	SMD		
锡裂扩展率*3		57%	
试验样品 2			断面照片
电路板			
金属基板	铜		
绝缘层	标准品		
焊盘构造	SMD		
锡裂扩展率*3		48%	
试验样品 3			断面照片
电路板			
金属基板	铝		
绝缘层	低弹性模量品		
焊盘构造	SMD		
锡裂扩展率*3		19%	

\*3 锡裂扩展率 (%) = 锡裂横向总长度 / LED 正负极焊接部的横向总长度 × 100

试验样品 4		断面照片
电路板		
金属基板	铝	
绝缘层	标准品	
焊盘构造	NSMD	
锡裂扩展率*3		55%

## 6. 最后

在将 LED 焊接安装在电路板上使用时，特别是当 LED 的封装材料是陶瓷（氮化铝、氧化铝）时必须注意：如果安装电路板在温度变化较大的驱动条件或环境下被反复驱动，可能导致 LED 焊接部锡裂的发生和发展。

本应用指南中介绍了几种减少锡裂的方法，如“使用考虑了线膨胀系数的电路板材料”、“使用低弹性模量绝缘层的铝基电路板”以及“使用 NSMD 的电路板焊盘构造”。而锡裂评价结果仅是基于敝公司试验条件得出的参考数据。客户应该事先使用最终规格产品的安装电路板和焊膏、考虑实际使用环境等对锡裂的发生情况进行充分的验证。通过焊接部的断面观察或结合强度的确认（剥离试验）等也可以有效地对锡裂进行评价。

以上这些减少锡裂的方法可能会影响散热性和可安装性，而且根据所用材料的不同可能对 LED 的特性和可靠性产生不良影响。为了确保产品在实际使用中保持预期的性能，必须事先在客户组装后的最终产品状态以及实际使用环境或条件下进行充分的亮灯检查和必要的验证。

※本应用指南中图 1、表 14 的断面照片均摘自 Qualtec 公司提供的图片素材。

## 免责声明

本应用指南由日亚提供，是日亚制作及管理的技术参考资料。

在使用本应用指南时，应注意以下几点。

- 本应用指南中的内容仅供参考，日亚并不对其做任何保证。
- 本应用指南中记载的信息只是例举了本产品的代表性能和应用例，并不代表日亚对日亚及第三者的知识产权及其他权利进行保证，也不代表同意对知识产权授权。
- 关于本应用指南内容，虽然日亚有注意保证其正确性，但是日亚仍然不能对其完整性，正确性和有用性进行保证。
- 因本应用指南的利用、使用及下载等所受的损失，日亚不负任何责任。
- 本应用指南的内容可能被日亚修改，并且可能在变更前、后都不予通告。
- 本应用指南的信息的著作权及其他权利归日亚或许可日亚使用的权利人所有。未经日亚事先书面同意，禁止擅自转载、复制本应用指南的部分或所有内容等（包括更改本应用指南内容后进行转载、复制等）。