发光二极管

照明用 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 8
6. 最后 13

本应用指南中记载的型号 NVSL119B-V1、NVSL219B-V1、NVSL119C、NVSL219C、NVSW219F-V1 和 NVSW219GL 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

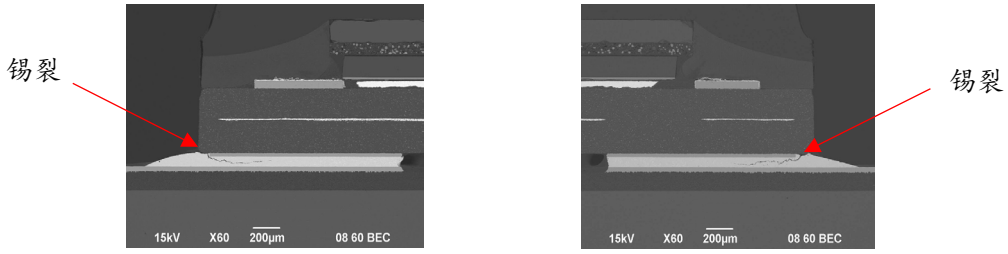
本文包括暂定内容，日亚公司有权不经公告对其进行修改。

SP-QR-C2-210926-4
May. 27, 2026

1. 前言

LED 在使用时大多通过焊接安装在电路板后组装为最终产品，而且 LED 的用途和使用环境也越来越多样化。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，根据 LED 和电路板的组合情况可能导致焊接部发生锡裂。（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值较大时容易发生，裂纹程度加重时还可能导致 LED 不亮。



电极部：负极　　电极部：正极

图 1. LED 焊接部的断面观察（热冲击试验后）

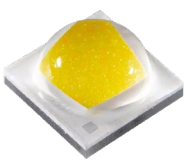
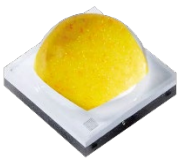
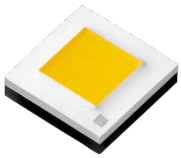
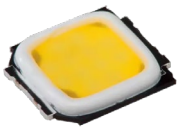
在本应用指南中将对锡裂的发生原理进行解说，并介绍几种有效减少锡裂的方法。
另外为了评价改善方法，敝公司使用具有代表性的 LED 和电路板的组合进行了温度循环试验。

2. 适用产品

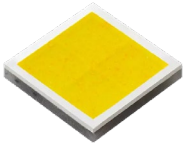
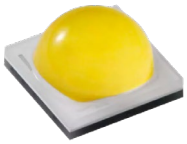
本应用指南适用于表 1 中的日亚产品。

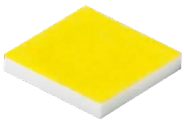
表 1. 适用产品

中功率产品				
系列	日亚 757 系列	日亚 385 系列	日亚 585 系列	日亚 T02 系列
型号	NFxx757x	NF2W385x	NFxW585x	NSSxT02x
外观				
尺寸	3.0mm×3.0mm	4.0mm×3.6mm	4.0mm×3.6mm	1.2mm×0.7mm

高功率产品				
系列	日亚 x19 系列	日亚 519 系列	日亚 719 系列	日亚 48 系列
型号	NxSx119x/NxSx219x	NVSW519x	NVSW719x	NFMW48xx
外观				
尺寸	3.5mm×3.5mm	3.5mm×3.5mm	3.5mm×3.5mm	6.5mm×5.8mm

本文包括暂定内容，日亚公司有权不经公告对其进行修改。

超高功率产品			
系列	日亚 B35 系列	日亚 144 系列	日亚 149 系列
型号	NV4WB35x	NV4x144x	NV9W149x
外观			
尺寸	3.5mm×3.5mm	5.0mm×5.0mm	7.0mm×7.0mm

直接安装芯片产品				
系列	日亚 E11 系列	日亚 E13 系列	日亚 E17 系列	日亚 E21 系列
型号	NFSWE11x	NCSWE13x	NCSxE17x	NVSxE21x
外观				
尺寸	1.1mm×1.1mm	1.25mm×1.25mm	1.7mm×1.7mm	2.1mm×2.1mm

直接安装芯片产品		
系列	日亚 L11 系列	日亚 T03 系列
型号	NFSWL11x	NFSWT03x
外观		
尺寸	1.1mm×1.1mm	1.2mm×0.7mm

本文包括暂定内容，日亚公司有权不经公告对其进行修改。

3. 锡裂的发生原理

3.1. 线膨胀系数

在 LED 外封装和电路板间的线膨胀系数差值较大时容易发生锡裂。
线膨胀系数是指物体长度随温度升高而发生变化的比例。LED 外封装材料和电路板材料的线膨胀系数如表 2 所示。表中的线膨胀系数值为常用的典型值

表 2. LED 外封装材料和电路板材料的线膨胀系数

LED 外封装材料		LED 型号
材料	线膨胀系数 (1/°C)	
陶瓷	5～7（$\times 10^{-6}$）	日亚 x19、519、719、B35、144、149 系列
树脂	14～20（$\times 10^{-6}$）	日亚 757、385、585、T02、48x 系列

电路板材料	线膨胀系数 (1/°C)
陶瓷	8×10^{-6}
铁（Fe）	12×10^{-6}
环氧玻璃板（FR-4）	14×10^{-6}
铜（Cu）	17×10^{-6}
铝（Al）	21×10^{-6}
玻璃复合材料（CEM-3）	25×10^{-6}

3.2. 锡裂的发生原理

在电路板上焊接安装有 LED 的状态如图 2 所示。
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，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，使 LED 焊接部受到应力。（如图 3 所示）

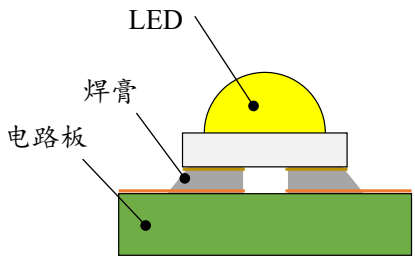


图 2. LED 安装状态

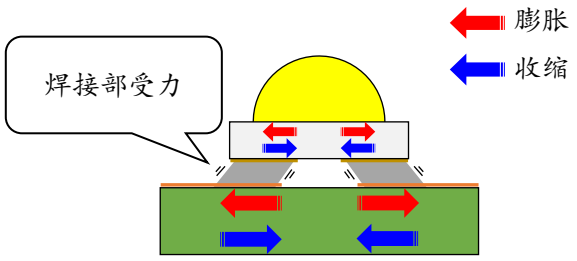


图 3. LED 焊接部受到的应力

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扩展到整个焊接部，就会导致 LED 无法通电而出现不亮。（如图 4 所示）

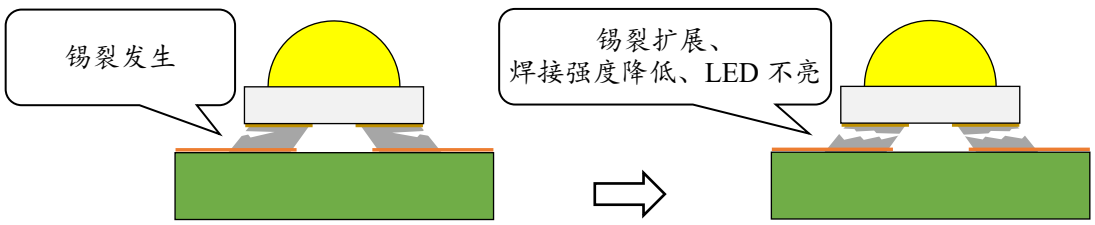


图 4. 锡裂发生的示意图

本文包括暂定内容，日亚公司有权不经公告对其进行修改。

4. 减少锡裂的方法

可以使用以下方法减少锡裂的发生。

4.1. 使用具有高抗锡裂性的 LED

- 尺寸较小的 LED
  会降低 LED 外封装与电路板材料间的线膨胀系数差异对温度上升的影响，所以可以减少锡裂。
- 正负电极间距离较短的 LED
  会降低 LED 外封装与电路板材料间的线膨胀系数差异对温度上升的影响，所以可以减少锡裂。
- 电极面积较大的 LED
  会增加焊接部的密接强度，所以可以减少锡裂。

4.2. 选择 LED 外封装和电路板间的线膨胀系数差值较小的组合

依据“3.2 锡裂的发生原理”所述，通过选择 LED 外封装和电路板间的线膨胀系数差值较小的组合可以防止锡裂的发生。

例如，树脂封装 LED 和玻璃环氧电路板间的线膨胀系数差仅为 2×10^{-6}，而陶瓷封装 LED 和铝制电路板间的线膨胀系数差为 16×10^{-6}。因此从防止锡裂的角度上，树脂封装 LED 和玻璃环氧电路板的组合更能减少锡裂的发生。（如图 5 所示）

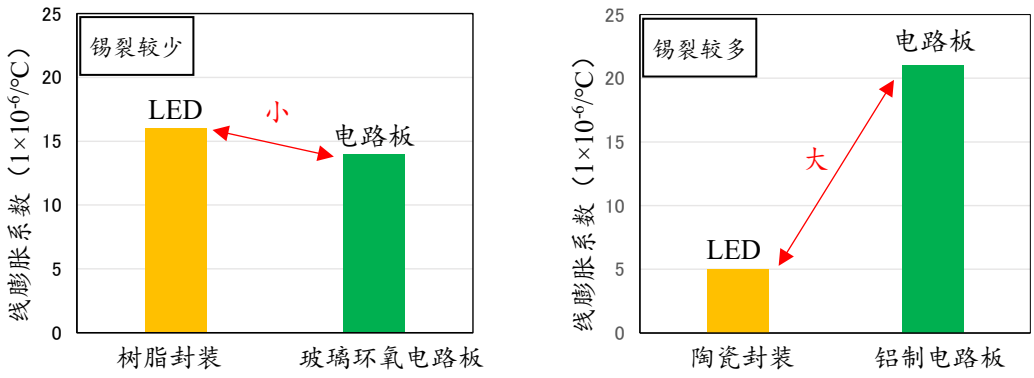


图 5. LED 外封装和电路板之间的线膨胀系数差

4.3. 使用铝基电路板时选择低弹性模量材料的绝缘层

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）

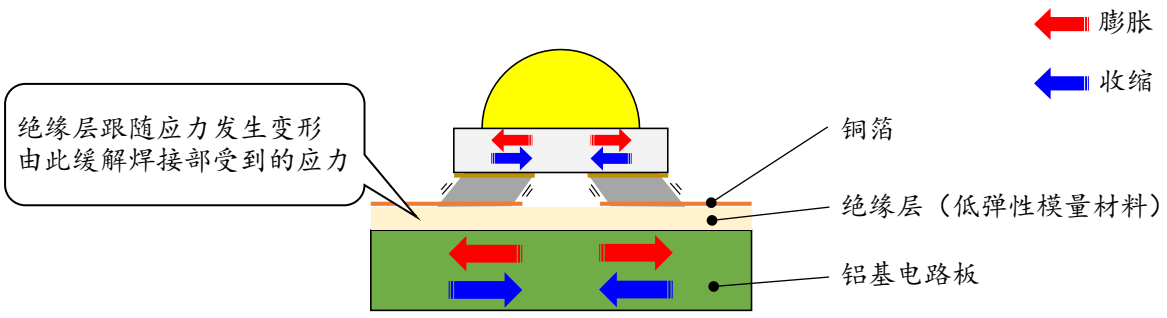


图 6. 使用低弹性模量绝缘层的铝基电路板例

本文包括暂定内容，日亚公司有权不经公告对其进行修改。

作为参考，铝基电路板绝缘层的变形容易程度如图 7 所示。
相同应力下，比起标准铝基电路板绝缘层，低弹性模量材料的铝基电路板绝缘层的变形量更大。

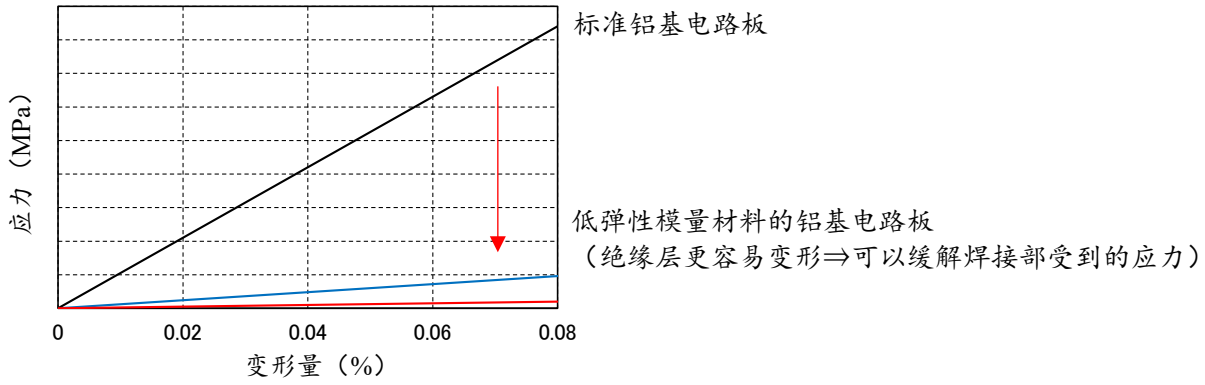


图 7. 铝基电路板绝缘层的变形容易程度

在选择铝基电路板材料时，必须事先确认绝缘层的储能模量的数值。（如表 3 所示）
铝基电路板材料的储能模量和温度有关，其数值也会随绝缘层的厚度发生变化。另外请注意：降低绝缘层的储能模量，可能导致对散热很重要的导热率也出现下降。
另外有些 LED(封装尺寸较大等)即使使用低弹性模量材料的铝基电路板也无法有效防止锡裂，因此必须对实际使用的电路板能否有效防止锡裂进行充分确认。

表 3. 铝基电路板材料的储能模量

铝基电路板材料※1	导热率	储能模量		
		低温（-40°C）	常温（25°C）	高温（125°C）
标准铝基电路板	2.1W/m・K	17GPa	12GPa	2.8GPa
低弹性模量电路板（A）	3.0W/m・K	12GPa	1.2GPa	0.7GPa
低弹性模量电路板（B）	2.5W/m・K	4.6GPa	0.51GPa	0.04GPa

※1：用于第 5 章锡裂的评价。

4.4. 使用高可靠性焊膏

通常和使用标准无铅焊膏（Sn-3.0Ag-0.5Cu）相比，使用能够抑制锡裂发生和扩展的高可靠性无铅焊膏可以延缓焊接强度的下降并推迟锡裂的发生。

一般来说，标准无铅焊膏在高温下使用或反复受到热冲击时，会由于焊膏组织的逐渐粗化以及合金层的生长导致焊接强度下降。（如图 8 所示）

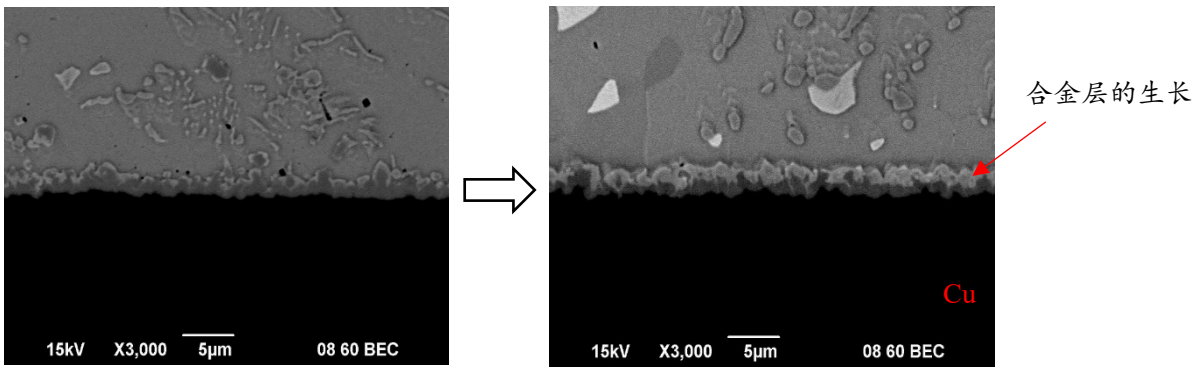


图 8. LED 焊接部的断面观察（温度循环试验后）

本文包括暂定内容，日亚公司有权不经公告对其进行修改。

近年来焊膏材料不断地被研究和开发，以便在高温下使用以及在严苛的驱动环境下也能够保持焊接部的可靠性。

但是为了减少锡裂而使用这种高可靠性无铅焊膏，反而可能使应力集中在 LED 上造成 LED 的破裂或损坏。因此在选择焊膏时必须对此加以注意。选择焊膏时的注意事项如表 4 所示。

表 4. 选择焊膏时的注意事项

焊膏※2	成分	注意事项
标准无铅焊膏	Sn-3.0Ag-0.5Cu	—
高可靠性无铅焊膏	Sn-3.4Ag-0.7Cu-3.2Bi-3.0Sb-Ni-X	请勿用于日亚 E11、E13、E17、E21、L11、T03 系列 LED。

※2：用于第 5 章锡裂的评价。

4.5. 减少焊接部的气泡量

LED 安装后，如果焊接部存在较多气泡，通常表明 LED 电极和电路板焊盘之间接合面积有所减少。因此，安装 LED 时应注意控制气泡量。否则，在严苛环境中使用气泡异常过多的安装品，可能导致焊接强度降低，并引起锡裂发生或进一步加剧。

温度循环试验后的抗推强度如图 9 所示，试验品的 X 线照片如图 10 和 11 所示。

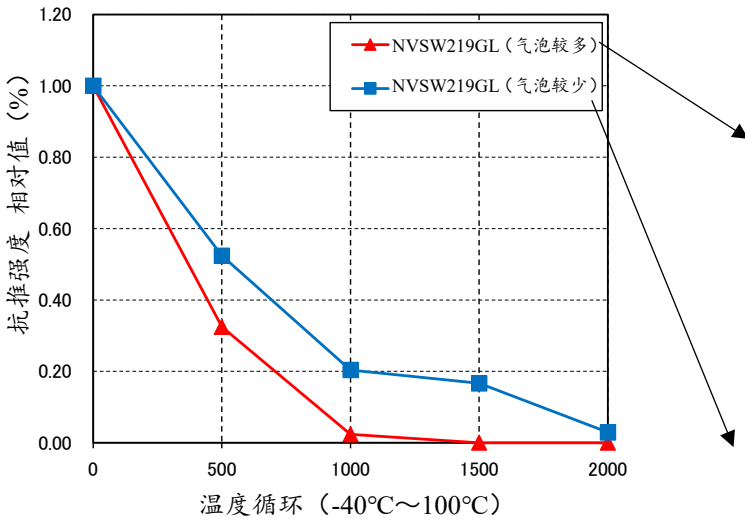


图 9. NVSW219GL 温度循环试验后的抗推强度（使用标准铝基电路板和标准无铅锡膏）

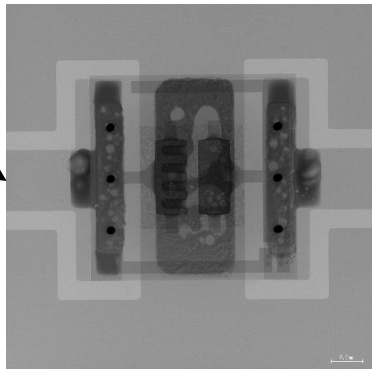


图 10. 气泡较多（1000 周期后）

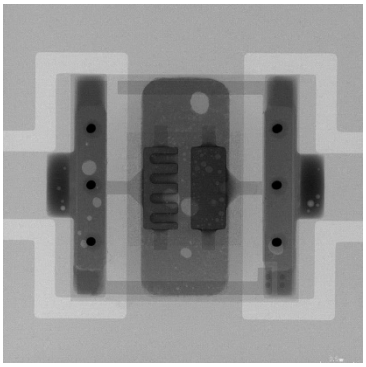


图 11. 气泡较少（1000 周期后）

综上所述，LED 完成安装后，应通过 X 线检查确认焊接状态。如果发现气泡异常过多，请重新对 LED 安装条件进行确认。通过调整回流焊温度曲线等安装条件，可能能够有效减少气泡的产生。

关于减少气泡的详细方法，请参照应用指南《LED 的安装》。

本文包括暂定内容，日亚公司有权不经公告对其进行修改。

5. 锡裂的评价

5.1. 温度循环试验（1）

针对第 4 章减少锡裂的方法中“选择 LED 外封装和电路板间的线膨胀系数差值较小的组合”进行的温度循环试验内容和结果如下所示。

5.1.1 试验条件和评价材料

- 温度循环条件：　-40℃（15 分钟）⇔100℃（15 分钟）、2000 周期（非通电）
- 评价用 LED、电路板：　如表 5、6 和图 12 所示。
- 焊膏和印刷网版：　焊膏成分 Sn-3.0Ag-0.5Cu、印刷网版厚度 100μm
- 确认方法：　亮灯检查、正向电压上升确认 [1]、断面分析

表 5. 评价用 LED

LED 型号	外封装材料	线膨胀系数（1/℃）	端子数	电极面积（mm^2）
NVSL119B-V1	陶瓷（Al_2O_3）	(7×10^{-6})	2	8.3
NVSL119C	陶瓷（AlN）	(5×10^{-6})	2	8.3
NVSL219B-V1	陶瓷（Al_2O_3）	(7×10^{-6})	3	6.2
NVSL219C	陶瓷（AlN）	(5×10^{-6})	3	6.2



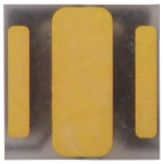
NVSL119B-V1/NVSL219B-V1
尺寸：3.5mm×3.5mm



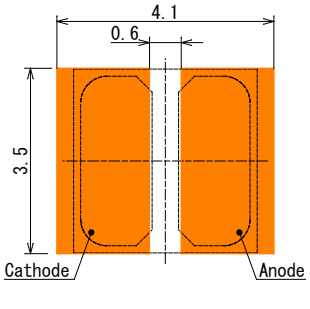
NVSL119C/NVSL219C
尺寸：3.5mm×3.5mm



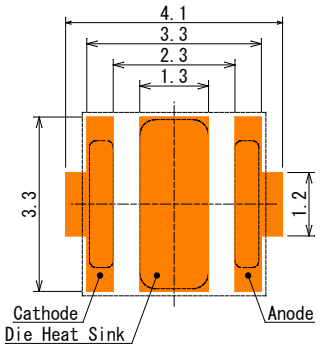
背面形状（2 端子）



背面形状（3 端子）



电路板焊盘尺寸（2 端子）



电路板焊盘尺寸（3 端子）

图 12. 评价用 LED 以及电路板焊盘尺寸

表 6. 使用电路板

电路板材料	线膨胀系数（1/℃）	电路板厚度（mm）	铜箔厚度（μm）	绝缘层厚度（μm）
铁（Fe）	12×10^{-6}	0.5	35	120
玻璃环氧树脂（FR-4）	14×10^{-6}	1.0	35	-
铝（Al）	21×10^{-6}	1.0	35	120

[1] 因为锡裂发生时会导致焊接部的电阻增大、正向电压上升，所以敝公司将正向电压上升作为锡裂发生的判断指标。正向电压上升率 10%参考了敝公司可靠性试验的判定标准值。

本文包括暂定内容，日亚公司有权不经公告对其进行修改。

5.1.2 试验结果

在 2000 周期的温度循环试验中所有电路板和 LED 的组合都没有发现不亮。但是和 LED 线膨胀系数差值较大的铝基电路板和电极面积较小 LED 的组合在 1000 周期后出现了正向电压上升。（如表 7、8 所示）

表 7. 温度循环试验结果（不亮的 LED 数量）

电路板材料	铁（Fe）				玻璃环氧树脂（FR-4）				铝（Al）			
周期	500	1000	1500	2000	500	1000	1500	2000	500	1000	1500	2000
NVSL119B-V1	0/10	0/10	0/10	0/10	0/10	0/10	0/10	0/10	0/10	0/10	0/10	0/10
NVSL119C	0/10	0/10	0/10	0/10	0/10	0/10	0/10	0/10	0/10	0/10	0/10	0/10
NVSL219B-V1	0/10	0/10	0/10	0/10	0/10	0/10	0/10	0/10	0/10	0/10	0/10	0/10
NVSL219C	0/10	0/10	0/10	0/10	0/10	0/10	0/10	0/10	0/10	0/10	0/10	0/10

表 8. 温度循环试验结果（正向电压上升 10%以上的 LED 数量）

电路板材料	铁（Fe）				玻璃环氧树脂（FR-4）				铝（Al）			
周期	500	1000	1500	2000	500	1000	1500	2000	500	1000	1500	2000
NVSL119B-V1	0/10	0/10	0/10	0/10	0/10	0/10	0/10	0/10	0/10	0/10	0/10	0/10
NVSL119C	0/10	0/10	0/10	0/10	0/10	0/10	0/10	0/10	0/10	0/10	0/10	0/10
NVSL219B-V1	0/10	0/10	0/10	0/10	0/10	0/10	0/10	0/10	0/10	1/10	7/10	7/10
NVSL219C	0/10	0/10	0/10	0/10	0/10	0/10	0/10	0/10	0/10	5/10	7/10	8/10

和 LED 线膨胀系数差值较小的铁基电路板、玻璃环氧电路板组合的 LED 没有发生正向电压上升 10%以上。另外比起电极面积较小 LED，电极面积较大 LED 更难发生锡裂。（如表 9 所示）

表 9. 各种电路板和 LED 的组合确认（红字为正向电压上升 10%以上的组合）

LED 型号	端子数	电极面积（mm^2）	LED 和电路板的线膨胀系数差（1/°C）		
			铁（Fe）	玻璃环氧树脂（FR-4）	铝（Al）
NVSL119B-V1	2	8.3	5×10^{-6}	7×10^{-6}	14×10^{-6}
NVSL119C	2	8.3	8×10^{-6}	10×10^{-6}	17×10^{-6}
NVSL219B-V1	3	6.2	5×10^{-6}	7×10^{-6}	**14×10^{-6}**
NVSL219C	3	6.2	8×10^{-6}	10×10^{-6}	**17×10^{-6}**

本文包括暂定内容，日亚公司有权不经公告对其进行修改。

5.2. 温度循环试验（2）

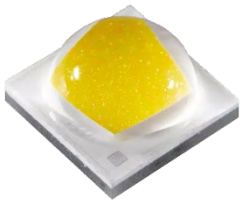
针对第 4 章减少锡裂的方法中“在铝基电路板上使用低弹性模量材料的绝缘层”、“使用高可靠性焊膏”进行的温度循环试验内容和结果如下所示。

5.2.1 试验条件和评价材料

- 温度循环条件：　　-40℃（15 分钟）⇔100℃（15 分钟）、2000 周期（非通电）
- 评价用 LED、电路板、焊膏：　　如表 10、11、12 和图 13 所示。
- 确认方法：　　亮灯检查、正向电压上升确认、断面分析

表 10. 评价用 LED

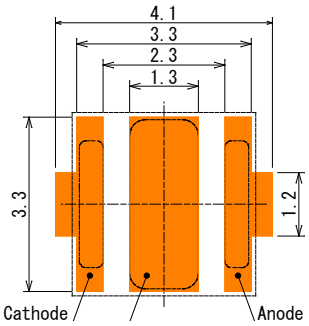
LED 型号	外封装材料	线膨胀系数（1/℃）	端子数	电极面积（mm^2）
NVSL219C-V1	陶瓷（AlN）	5×10^{-6}	3	6.2



NVSW219F-V1
尺寸：3.5mm×3.5mm



背面形状（3 端子）



电路板焊盘尺寸（3 端子）

图 13. 评价用 LED 以及电路板焊盘尺寸

表 11. 使用电路板

铝基电路板材料	弹性模量（25℃）	电路板厚度（mm）	铜箔厚度（μm）	绝缘层厚度（μm）
标准铝基电路板	12GPa	1.0	35	120
低弹性模量电路板（A）	1.2GPa	1.0	35	120
低弹性模量电路板（B）	0.51GPa	1.0	35	100

表 12. 使用焊膏

焊膏	成分	印刷网版厚度
标准无铅焊膏	Sn-3.0Ag-0.5Cu	100μm
高可靠性无铅焊膏	Sn-3.4Ag-0.7Cu-3.2Bi-3.0Sb-Ni-x	100μm

本文包括暂定内容，日亚公司有权不经公告对其进行修改。

5.2.2 试验结果

✧ 在铝基电路板上使用低弹性模量材料的绝缘层

使用标准铝基电路板的LED在1000周期时出现了正向电压上升，而使用低弹性模量电路板（A）的LED能够将正向电压的上升推迟到2000周期，使用低弹性模量电路板（B）的LED在2000周期以内没有出现正向电压上升。（如图14、表13所示）

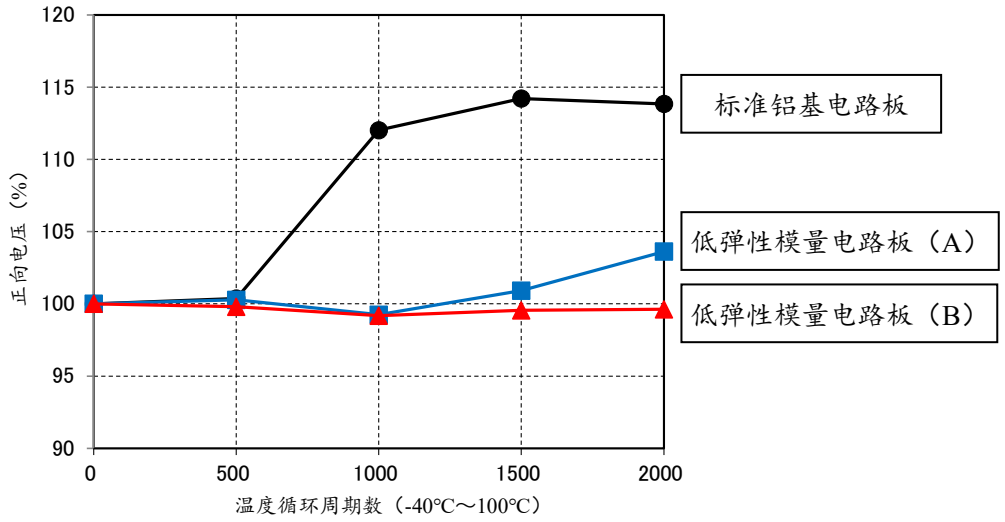


图 14. 温度循环试验结果（平均正向电压）

表 13. 温度循环试验结果（正向电压上升 10%以上的 LED 数量）

铝基电路板	焊膏	500cyc	1000cyc	1500cyc	2000cyc
标准铝基电路板	标准无铅焊膏	0/20	18/20	20/20	20/20
低弹性模量电路板（A）	标准无铅焊膏	0/20	0/20	0/20	2/20
低弹性模量电路板（B）	标准无铅焊膏	0/20	0/20	0/20	0/20

✧ 使用高可靠性无铅焊膏

使用标准无铅焊膏的 LED 在 1000 周期时出现了正向电压上升，而使用高可靠性无铅焊膏的LED能够将正向电压的上升推迟到1500周期。（如图15、表14所示）

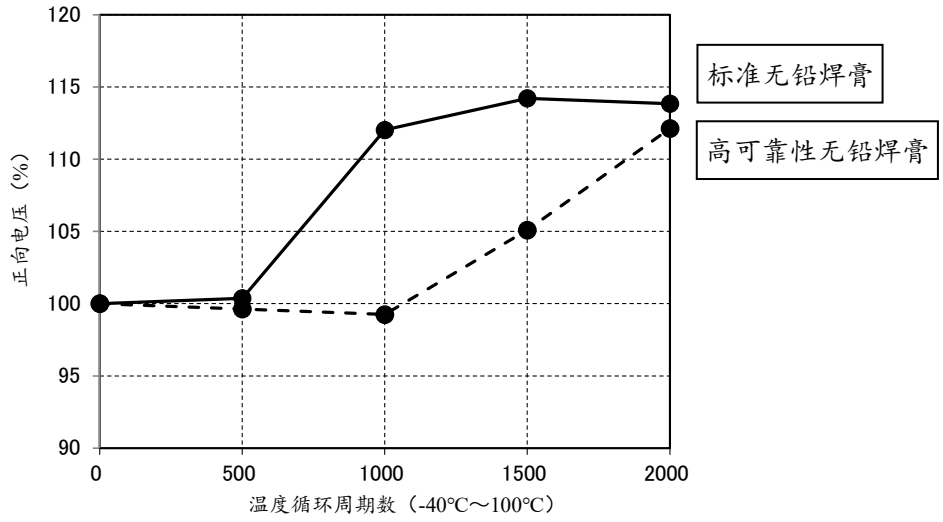


图 15. 温度循环试验结果（平均正向电压）

本文包括暂定内容，日亚公司有权不经公告对其进行修改。

表 14. 温度循环试验结果（正向电压上升 10%以上的 LED 数量）

铝基电路板	焊膏	500cyc	1000cyc	1500cyc	2000cyc
标准铝基电路板	标准无铅焊膏	0/20	18/20	20/20	20/20
标准铝基电路板	高可靠性无铅焊膏	0/20	0/20	2/20	14/20

✧ 铝基电路板上使用低弹性模量材料的绝缘层以及使用高可靠性无铅焊膏

使用低弹性模量电路板和高可靠性无铅焊膏的 LED 在 2000 周期以内没有出现正向电压上升。（如图 16、表 15 所示）

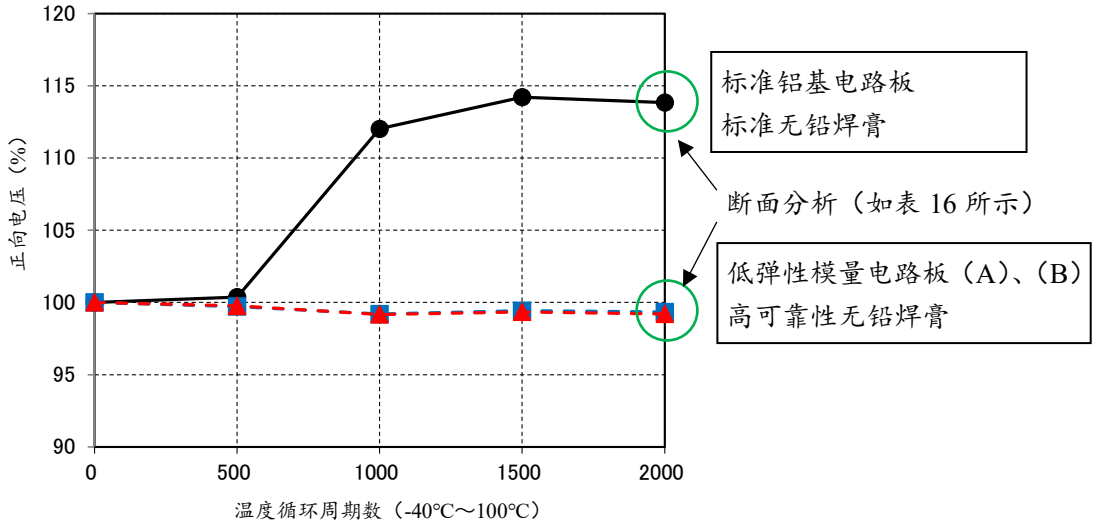


图 16. 温度循环试验结果（平均正向电压）

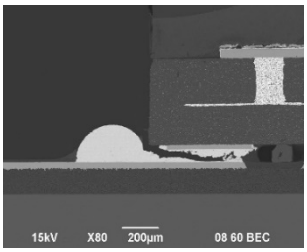
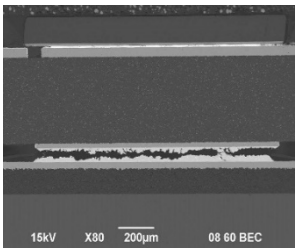
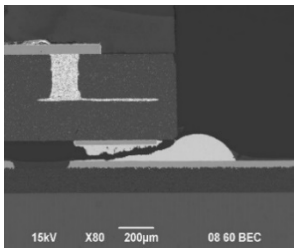
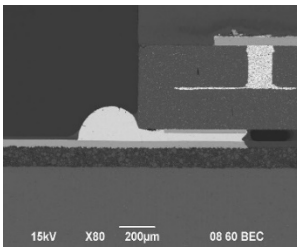
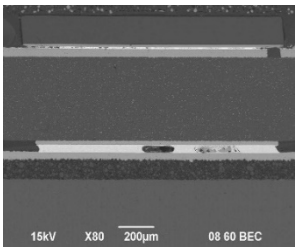
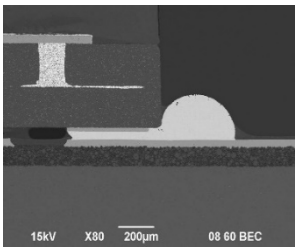
表 15. 温度循环试验结果（正向电压上升 10%以上的 LED 数量）

铝基电路板	焊膏	500cyc	1000cyc	1500cyc	2000cyc
标准铝基电路板	标准无铅焊膏	0/20	18/20	20/20	20/20
低弹性模量电路板（A）	高可靠性无铅焊膏	0/20	0/20	0/20	0/20
低弹性模量电路板（B）	高可靠性无铅焊膏	0/20	0/20	0/20	0/20

作为参考，2000 周期时部分试验品的断面分析结果如表 16 所示。

本文包括暂定内容，日亚公司有权不经公告对其进行修改。

表 16. 断面分析结果

电极	负极	芯片散热器	正极
标准铝基电路板 标准无铅焊膏			
锡裂扩展率	100%	100%	100%
低弹性模量电路板(B) 高可靠性无铅焊膏			
锡裂扩展率※3	0%	0%	0%

※3 锡裂扩展率（%）＝锡裂长度 / 焊接部的电极长度×100

6. 最后

如果安装有 LED 的电路板在高温或温差较大的严苛环境下使用，可能因发生锡裂导致 LED 不亮。

本应用指南中介绍了几种减少锡裂的方法，如“选择 LED 外封装和电路板间的线膨胀系数差值较小的组合”、“在铝基电路板上使用低弹性模量材料的绝缘层”、“使用高可靠性无铅焊膏”，以供客户进行参考。

在设计实际的照明灯具时，必须对焊接部的温度以及灯具的使用环境进行充分确认。如果焊接部会达到高温，一定要进行适当的散热设计，避免焊接部受到过大的应力。另外还应该根据照明灯具的寿命适当地选择减少锡裂的方法。

最后请客户一定要在事先对最终规格产品的电路板、焊膏以及使用环境等进行充分确认，以确保上述因素不会对焊接部造成不良影响，并且满足最终产品的预期寿命。

※本应用指南中图 1、图 8、表 16 的断面分析照片均摘自 Qualtec 公司提供的图片素材。

本文包括暂定内容，日亚公司有权不经公告对其进行修改。

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）。