



## 型号 NFSWE11A 的 散热设计

### 目录

1. 前言 .....	2
2. 关于 NFSWE11A .....	2
3. NFSWE11A 的散热设计 .....	3
4. 结点温度 $T_j$ .....	5
5. NFSWE11A 的散热评价 .....	6
6. 使用红外线热像仪的散热评价 .....	9
7. 最后 .....	11

本应用指南中记载的型号 NFSWE11A、型号 NFSW757H 是日亚产品的型号，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

## 1. 前言

如果 LED 驱动中的热量不能充分散发，LED 中的部材可能因 LED 自身的发热加速劣化，使 LED 的亮度等性能及可靠性（寿命）受到影响。因此为了确保 LED 的性能和可靠性，散热设计非常重要。日本日亚化学工业株式会社（以下简称为“日亚”）制造的照明用 LED 的 NFSWE11A 又小又轻又薄，可以使用在以前很难使用的小型灯具中。但是因为灯具越小越不容易进行散热设计、热评价等，所以在本应用指南中将对 NFSWE11A 的散热设计中的注意点和温度评价方法进行解说。

## 2. 关于 NFSWE11A

### 2.1. LED 的尺寸

NFSWE11A 的外形尺寸如图 1 所示。另外和日亚产品中相同输出功率的 NFSW757H<sup>※1</sup> 的外形尺寸的比较如图 2 所示。从图 2 中可以看出 NFSWE11A 比同等功率品小很多。由此之前很难实现的超小超薄的灯具设计，如果使用 NFSWE11A 可望得到实现。

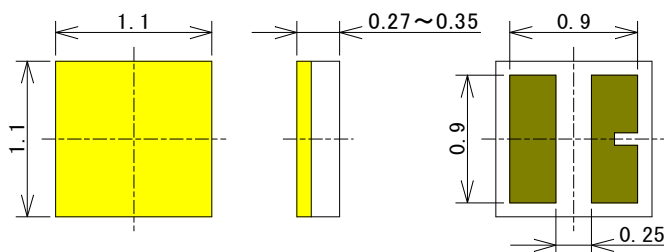


图 1. NFSWE11A 外形尺寸

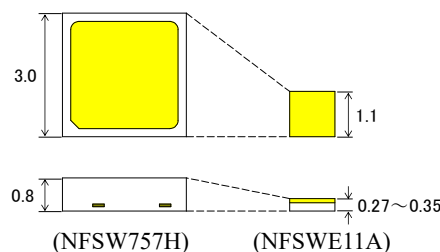


图 2. 和同等功率品的外形尺寸比较

### 2.2. LED 的构造

通常的 LED 构造是将发热源的芯片固定在支架（基板）上，所以芯片发出的热量是在先通过芯片固定材料、再通过支架（基板）散发到电路板上。而 NFSWE11A 是将发热源的芯片直接安装在电路板上，所以芯片发出的热量可以直接传递到电路板上，达到更有效的散热（如图 3 所示），因此在散热性能上和通常构造的 LED 的相比 NFSWE11A 更占优势。但是因为 NFSWE11A 的散热量和同等功率的 LED 相同，而外形尺寸很小，且散热路径的金属电极的尺寸也非常小，所以有效的散热设计对 NFSWE11A 非常重要。

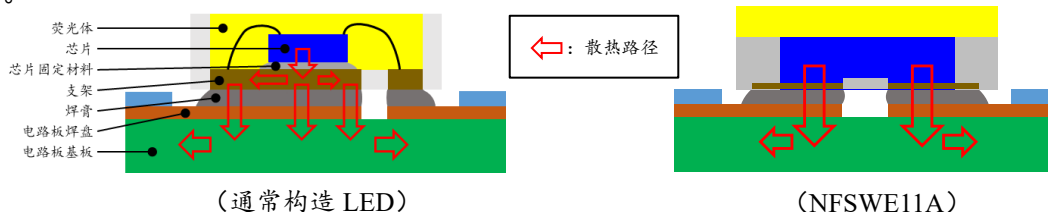


图 3. LED 散热路径示意图

### 2.3. LED 金属电极和焊膏（电路板）的接合

为了提高焊接性，日亚在设计时加大了 NFSWE11A 的金属电极尺寸（如图 4 所示），但是如果不能确保金属电极和焊膏（电路板）充分接合，会因为散热不足导致 LED 的可靠性下降（如图 5 所示）。因此为了充分发挥 NFSWE11A 的性能，客户应该在贴装后对金属电极有确实和焊膏（电路板）接合进行确认。

※1: 额定电流也和 NFSWE11A 同为 65mA。

日亚推荐让 NFSWE11A 的金属电极和焊膏（电路板）间的接合面积比率在 75% 以上。关于接合状态的确认方法，应该使用 X 射线进行。另外焊膏接合率的计算方法如方程式 1 所示。

$$\text{焊膏接合率 (\%)} = \frac{\text{焊膏接合面积}^*}{\text{LED 金属电极面积}} \times 100 \quad \dots \text{ (方程式 1)}$$

\*焊膏接合面积：不包括气泡等非接合部位



图 4. NFSWE11A 背面（金属电极外观）

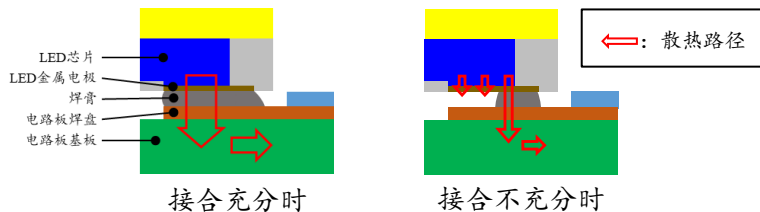


图 5. 不同接合状态下的散热

### 3. NFSWE11A 的散热设计

#### 3.1. 热阻模型示意图及术语说明

NFSWE11A 的热阻模型如图 6 和图 7 所示。本应用指南中相关散热设计的术语请参照表 1 中的说明。另外在灯具模组的散热评价中，日亚推荐使用 LED 附近的电路板温度的  $T_B$  对  $T_J$  进行计算。

发光二极管

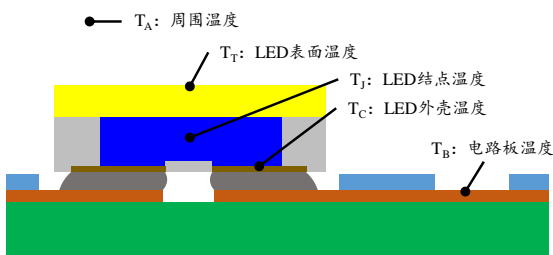


图 6. NFSWE11A 的断面示意图

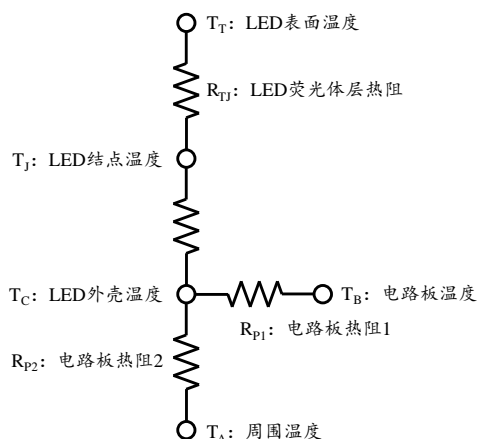


图 7. NFSWE11A 的热阻模型示意图

表 1. 散热设计的相关术语说明

术语	符号	说明
周围温度	$T_A$	代表 LED 周边环境的温度。如果 LED 模组周边热量不容易散发，可能导致周围温度 $T_A$ 上升。
LED 表面温度	$T_T$	代表 LED 发光面的温度。
LED 结点温度	$T_J$	代表 LED 芯片的温度。并且无论在任何情况下此温度都不能超过绝对最大额定值。NFSWE11A 的结点温度的绝对最大额定值为 135°C。另外结点温度越低，LED 的寿命越长。
LED 外壳温度	$T_C$	代表 LED 背面的金属电极的温度。NFSWE11A 在构造上很难在贴装状态下对此温度进行测量。
电路板温度	$T_B$	通常代表 LED 焊接部的温度，但是 NFSWE11A 在构造上很难在贴装状态下测量，所以是通过使用热电偶对 LED 附近电路板铜箔处测量的温度代替。
LED 荧光体层热阻	$R_{TJ}$	代表从 LED 芯片到 LED 发光面表面的热阻。
LED 单体热阻	$R_{\theta JC}$	代表从 LED 芯片到 LED 金属电极间的热阻。如 NFSWE11A 规格书中记载，此热阻值是依据规格 JESD51-1 测量所得的数值。
LED-电路板热阻	$R_{\theta JB}$	代表从 LED 芯片到电路板温度 $T_B$ 测量点间的热阻。 $LED\text{-}电路板热阻 (R_{\theta JB}) = LED\text{ 单体热阻 } (R_{\theta JC}) + 电路板热阻 (R_{P1})$
电路板热阻	$R_{P1}$	代表从 LED 外壳温度 $T_C$ 测量点到电路板温度 $T_B$ 测量点间的热阻。根据焊盘形状、电路板和焊膏性能、驱动条件等会发生变化。
	$R_{P2}$	代表电路板的热阻。由电路板的性能和散热材料决定。

### 3.2. 电路板的材质

为了确保 LED 的性能和可靠性，客户应该根据 LED 的功率（发热量）选择适当的电路板。关于常见的电路板种类及主要特征请参照表 2 中的内容。

NFSWE11A 的额定功率为 0.25W，和通常的 LED 相比用电量较小，所以即使电路板的散热性能较差，LED 的温度也可以被控制在一定范围内。因此在选用电路板时，客户可能多选用比金属电路板更便宜的树脂电路板（CEM-3、FR-4 等）。另外随着照明灯具的小型化、轻量化，也有可能选用柔性电路板（FPC），但是和硬性电路板相比，聚酰亚胺（PI）材料等的柔性电路板因为导热系数低，不容易进行散热设计。

表 2. 常见的电路板种类及主要特征

电路板种类		主要特征	散热性能 <sup>※2</sup>
硬性电路板	酚醛纸层压板 FR-1	价格便宜，但是耐久性、阻燃性等性能差。在对性能要求低，重视价格时多被选用。	△
	环氧玻璃布层压板 FR-4	是最常用的电路板板材，也用于电路复杂的多层电路板中。LED 多使用此板材的电路板。	○
	环氧玻璃复合板 CEM-3	虽然和 FR-4 相比加工精度有所下降，但是价格比 FR-4 更便宜。	○
	金属板	和树脂板相比，铝基、铜基等金属板的导热系数更高，所以相比之下可以使用更大电力驱动。因此对于使用树脂板时因为不容易散热而很难使用的高功率 LED，使用金属板可以得到解决。	◎
柔性电路板 FPC		柔性电路板不仅薄而且轻，并且可以弯曲，所以可以依照空间改变形状进行立体配线。因此被越来越多地使用在小型、轻量的电子产品中。	△

※2: 散热性能的评价结果仅供参考。因为可能根据实际产品发生变化。

### 3.3. 电路板焊盘的设计

日亚推荐的 NFSWE11A 的电路板焊盘外形尺寸如图 8 所示。相关焊接安装中的注意事项请参照日亚的技术资料《型号 NFSWE11A 的安装》。

电路板焊盘的设计如图 9 所示通常分为两种，SMD（阻焊层限定）和 NSMD（非阻焊层限定）。SMD 是使用阻焊膜开口形状形成焊盘，而 NSMD 是直接使用铜箔形成焊盘。NSMD 的焊盘铜箔的加工精度更高，但是因为焊盘铜箔面积比 SMD 更小，所以在散热性上不如 SMD。因此在优先考虑散热时，日亚推荐使用 SMD。另外电路板铜箔线的宽窄（面积）也会使热阻等发生变化，对散热性能造成影响（详见第 5 项）。因此在需要提高散热时，最好在使用 SMD 焊盘的同时也在电路板设计中加大 LED 周边的铜箔线宽度（面积）。

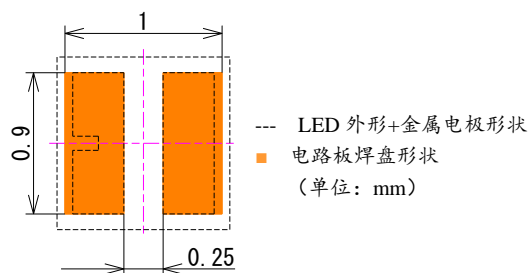


图 8. NFSWE11A 电路板焊盘（日亚推荐）

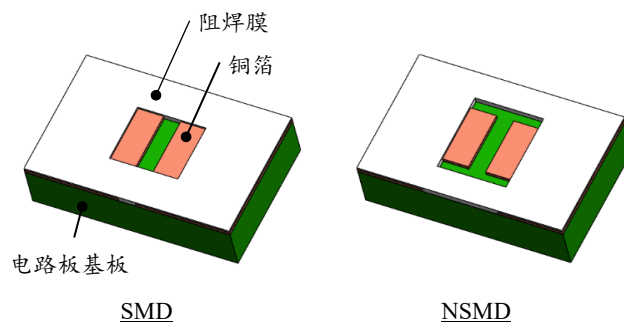


图 9. 电路板焊盘的形成方法示意图

## 4. 结点温度 $T_J$

### 4.1. 取得结点温度 $T_J$ 的方法

可以使用以下 2 种方法对 NFSWE11A 的结点温度  $T_J$  进行计算。

1. 根据电路板温度  $T_B$  和输入功率计算
2. 根据正向电压法（ $\Delta V_F$  法）计算

关于详细的计算方法，请参照日亚的应用指南《型号 NCSxE17A/型号 NVSxE21A 的散热设计》。请注意无论使用哪种方法都应该确保 NFSWE11A 的结点温度  $T_J$  不能超过绝对最大额定值  $135^\circ\text{C}$ 。

### 4.2. 电路板温度 $T_B$ 的测量

NFSWE11A 在构造上很难对背面的金属电极及焊接部的温度进行测量。另外因为尺寸非常小，如果将热电偶直接固定在 LED 上测量，热量会通过热电偶丝固定材料和热电偶散发，所以测量值可能不准确。因此日亚推荐将 LED 附近的电路板铜箔的温度作为  $T_B$ 。

如图 10 所示，日亚建议在距离 NFSWE11A 的中心点的 2.05mm 位置上进行测量（热电偶丝的焊接点尺寸： $\phi 1.0\text{mm}$ ）。热电偶丝的固定材料应该使用焊锡或高导热系数的粘合剂，并在固定时注意避免让助焊剂、粘合剂等附着在 LED 上。

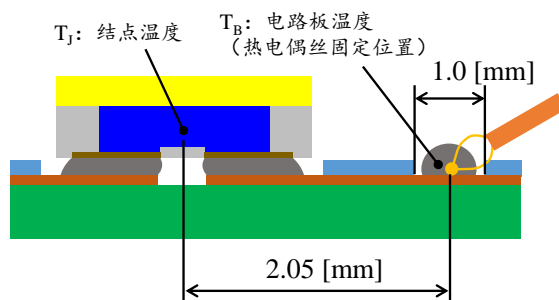


图 10.  $T_B$  测量位置

### 4.3. 热阻 $R_{\theta JB}$

热阻  $R_{\theta JB}$  代表从  $T_B$  测量点到 LED 芯片（结点）的热阻。热阻  $R_{\theta JB}$  受电路板条件的影响较大，作为参考第 5.2.2. 项的“热阻  $R_{\theta JB}$ ”中测量到的热阻值如表 3 所示。

表 3. 参考用热阻值  $R_{\theta JB}$  <sup>※3</sup>

LED 规格	电路板材质	铜箔线宽 (mm)	驱动电流值 (mA)	热阻值 $R_{\theta JB}$ (°C/W)
sm50/R8000	CEM-3	0.9	65	32
sm27/R9050	FPC	0.5	150	75

另外第 4.1 项中的结点温度  $T_J$  的计算方法 1 的方程式如下所示。

$$T_J = T_B + R_{\theta JB} \cdot W \quad \dots \text{(方程式 2)}$$

- ※  $T_J$  = 结点温度 (°C)、 $T_B$  = 电路板温度 (°C)
- $R_{\theta JB}$  = 从芯片到  $T_B$  测量点的热阻 (°C/W)
- $W$  = 输入功率

## 5. NFSWE11A 的散热评价

日亚在不同条件下对 NFSWE11A 的结点温度  $T_J$  及热阻  $R_{\theta JB}$  进行了测量。另外测量方法是依据规格 JESD51 进行的。

### 5.1. 评价条件

评价是对以下各影响因素的不同水平的样品进行的。

#### ○ 评价 LED

水平 1: NFSWE11A 色度分档 sm50 (相当于 5000K)、显色性分档 R8000

水平 2: NFSWE11A 色度分档 sm27 (相当于 2700K)、显色性分档 R9050

NFSWE11A 的结点温度  $T_J$  的绝对最大额定值为 135°C。另外水平 2 的 LED (低色温、高显色性) 因为荧光体量较多，所以结点温度  $T_J$  容易上升。

#### ○ 评价电路板材质

水平 1: CEM-3

水平 2: FPC (聚酰亚胺材料)

评价中使用的电路板的规格如表 4 所示。另外在本次评价中没有使用散热器等散热材料。

表 4. 评价电路板规格

种类	导热系数 (W/m·K)	铜箔厚度 (μm)	基板厚度 (mm)
CEM-3	1.0	35	1.2
FPC	0.4	35	0.2

#### ○ 电路板焊盘形状

焊盘形状: 日亚推荐形状 (如图 8 所示)、NSMD 焊盘

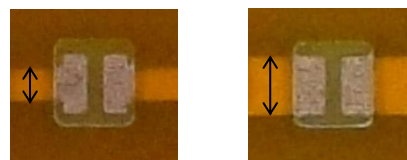
※3: 详见第 5 项的“NFSWE11A 的散热评价”。表中是摘选了避免结点温度  $T_J$  超过 135°C 的驱动电流值 150mA 以下的试验结果。

○ 电路板铜箔线宽度

水平 1: 0.5mm 宽

水平 2: 0.9mm 宽

日亚不推荐使用铜箔线宽小于 0.5mm 的电路板。因为 0.5mm 比电路板焊盘 (LED 金属电极) 更窄, 会不利于散热 (如图 11 所示)。



0.5mm 宽

0.9mm 宽

图 11. 电路板铜箔线宽度

○ 驱动电流值

水平 1: 65mA (额定值)

水平 2: 130mA

水平 3: 200mA

水平 4: 250mA (绝对最大额定值)

○  $T_s$  温度测量位置

请参照第 4.2 项的“电路板温度  $T_B$  的测量”中的内容。

5.2. 评价结果

5.2.1. 结点温度  $T_j$

LED 的结点温度  $T_j$  的测量结果如图 12~15 所示。

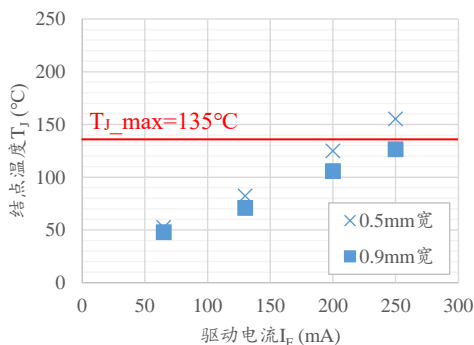


图 12. sm50/R8000、CEM-3

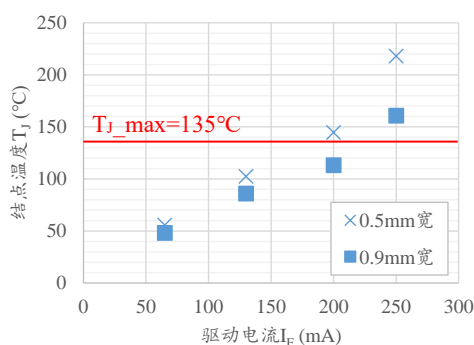


图 13. sm50/R8000、FPC

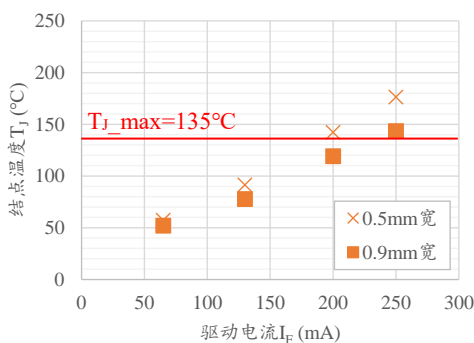


图 14. sm27/R9050、CEM-3

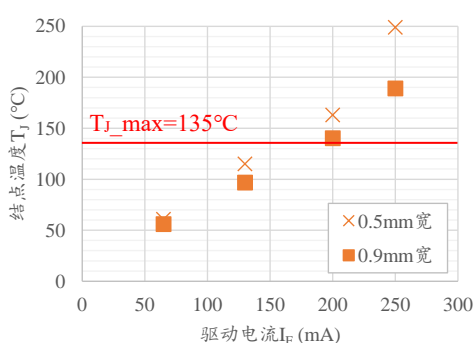


图 15. sm27/R9050、FPC

根据以上试验结果, 在 LED 规格上, sm27/R9050 和 sm50/R8000 相比荧光体量更多所以结点温度  $T_j$  更高。在电路板材质上, FPC 的散热性能不如 CEM-3 所以结点温度  $T_j$  更高。在 LED 附近的电路板铜箔线宽度上, 0.5mm 的散热性能不如 0.9mm 所以结点温度  $T_j$  更高。

另外结点温度  $T_j$  和驱动电流的关系呈正比, 但是散热条件差的 FPC/0.5mm 宽的样品在 250mA 施加下结点温度  $T_j$  发生了急剧上升。由此可以得知对于在大电流驱动下的 LED 发热量, 此条件的电路板不

能将其充分散发。

另外对于温度容易上升的样品,电流值高于 150mA 时结点温度  $T_J$  可能超过绝对最大额定值的  $135^{\circ}\text{C}$ 。因此如果选用树脂电路板,又不使用散热器等散热材料时最好将电流值控制在 150mA 以内。

### 5.2.2. 热阻 $R_{\theta JB}$

根据测量的 LED 结点温度  $T_J$  和电路板温度  $T_B$  计算出的  $R_{\theta JB}$  如图 16~19 所示。

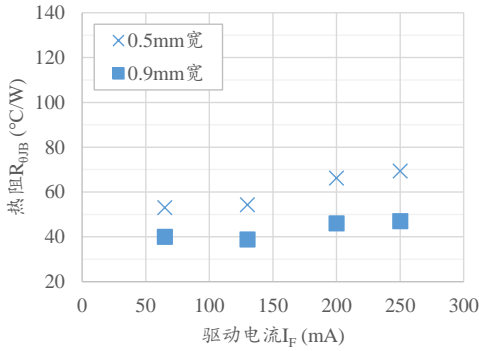


图 16. sm50/R8000、CEM-3

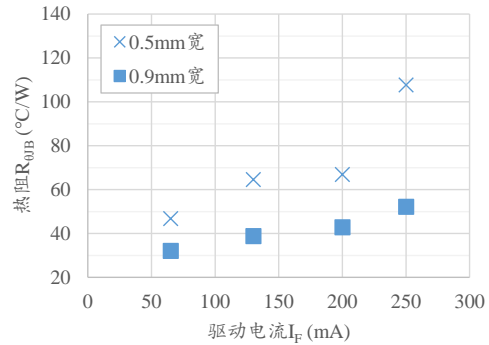


图 17. sm50/R8000、FPC

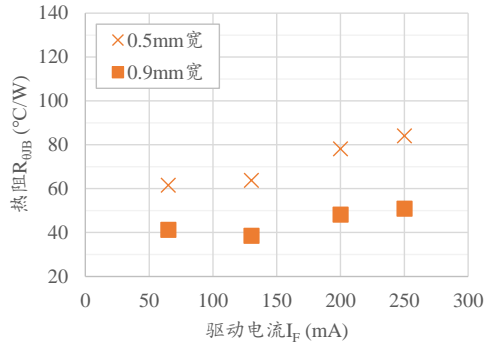


图 18. sm27/R9050、CEM-3

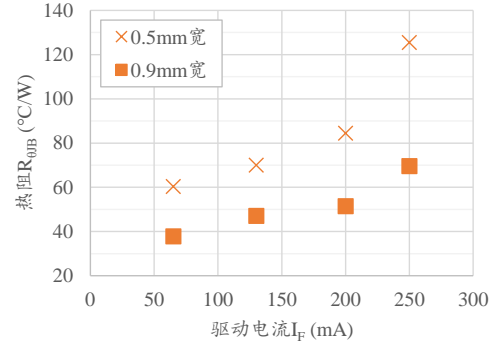


图 19. sm27/R9050、FPC

从以上试验结果可以看出,因为在对热阻  $R_{\theta JB}$  的计算中是将电路板的铜箔线温度作为  $T_B$ ,所以热阻  $R_{\theta JB}$  受铜箔线宽的影响较大。本试验是设想将 NFSWE11A 用于小型灯具中,所以使用了 NSMD 焊盘。如果客户的灯具对电路板尺寸没有限制,可以使用 SMD 焊盘,并加大铜箔线宽以降低热阻  $R_{\theta JB}$ 。

另外和 LED 结点温度  $T_J$  的试验结果相同,散热条件差的 FPC/0.5mm 宽的样品在大电流驱动下热阻  $R_{\theta JB}$  发生了急剧上升。由此可以看出相对大电流驱动时的 LED 发热量,此条件的电路板不能将其充分散发。

在按照第 4.1.项的计算方法 2 计算结点温度  $T_J$  时,如果热阻  $R_{\theta JB}$  一定,那么只要测量得到电路板温度  $T_B$  就可以得到结点温度  $T_J$ 。但是如以上试验结果所示,不同条件下的热阻  $R_{\theta JB}$  差异很大。例如为了避免结点温度  $T_J$  超过绝对最大额定值  $135^{\circ}\text{C}$  而将驱动电流值的上限设定为 150mA 时,热阻最大达到了  $75^{\circ}\text{C}/\text{W}$  (图 19/0.5mm 宽/150mA<sup>※4</sup>),而最小只有  $32^{\circ}\text{C}/\text{W}$  (图 17/宽 0.9mm/65mA)。

对此,客户可以读取图 16~19 中的热阻  $R_{\theta JB}$ ,但是请注意必须读取使用条件最接近时的数值。另外热阻值  $R_{\theta JB}$  也可能根据客户的使用条件、使用环境发生变化,所以图中的热阻值  $R_{\theta JB}$  仅供参考。

※4: 150mA 时的数值是根据 130mA 和 200mA 时的数值推算出的结果。



## 6. 使用红外线热像仪的散热评价

### 6.1. LED 的表面温度 $T_T$

大多数白色 LED 是通过蓝色芯片发出蓝光和经过荧光体转换的黄光的光谱比得到白光。这时在荧光体进行光色转换时发生的能量差会转换为热能发出，所以 LED 中除了芯片外荧光体也是发热源（如图 20）。而 LED 中的树脂部材如果受热过大会发生急速劣化，对 LED 的性能和可靠性造成不良影响，所以也必须将 LED 表面温度  $T_T$  控制在一定范围内。

根据 LED 中部材的耐热温度、及表面温度  $T_T$  和结点温度  $T_J$  的关系（详见第 6.3.2.项），日亚推荐将表面温度  $T_T$  控制在和结点温度  $T_J$  相同的 135°C 以内。

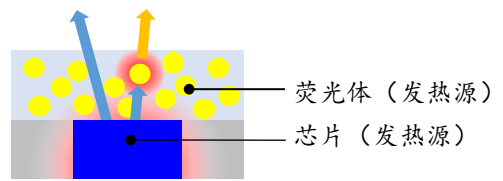


图 20. 白色 LED 发热示意图

### 6.2. 表面温度 $T_T$ 的测量方法

如果使用热电偶将其固定在 LED 表面测量表面温度  $T_T$ ，因为热电偶的固定材料会在 LED 的光照下发热，所以不能得到准确的温度。因此最好使用非接触式测温仪的红外线热像仪测量，图 21 是红外线热像仪的测量结果例。红外线热像仪可以对整个模组的温度分布进行确认，所以可以特定模组中温度最高的 LED，也可以通过确认异常发热的 LED 来发现模组不良。

在使用红外线热像仪测温时应该让灯具模组亮灯一段时间在温度达到安定后再进行测量。在测量中应该读取 LED 发光面中心点的温度（温度最高处）作为表面温度  $T_T$ 。除此之外在使用热像仪时还应该注意以下几点。

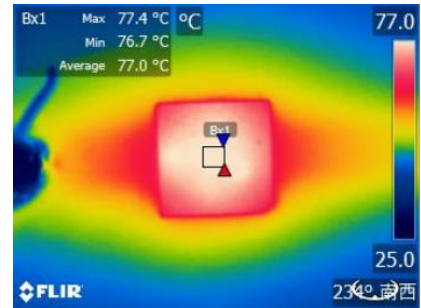


图 21. 红外线热像仪测量结果例

- 应该让散热设计留有充分余地。因为红外线热像仪的测温结果可能因测量条件、环境等不同出现误差。
- 应该使用有足够分辨率的红外线热像仪。因为 LED 表面的中心部（芯片正上方）和边缘部间可能存在温度差，边缘部位的温度较低（如图 21 所示），如果红外线热像仪的分辨率低，温度被平均化的面积就会增加，使测量的中心部温度比实际温度更低。
- 避免让 LED 表面附着助焊剂、污垢等异物，否则可能使测量结果不准确。
- 应该对整个灯具模组内的温度分布进行确认。因为特别在高密度安装时中心配置的 LED 容易受周边 LED 发热的影响温度升高较大。另外也可能因为使用的安装电路板的性能使热量不能在电路板上均匀分布。
- 如果灯具模组中使用的光学元件的耐热性较低，应该事先确认 LED 表面的发热不会对光学元件造成不良影响。

### 6.3. 红外线热像仪的散热评价结果

在和第 5 项相同的评价条件下，使用红外线热像仪测量 LED 表面温度  $T_T$ 。另外也使用热电偶测量电路板温度  $T_B$ ，并对 LED 表面温度  $T_T$  和结点温度  $T_J$  的差进行了确认。

#### 6.3.1 红外线热像仪测量的 LED 表面温度 $T_T$

使用红外线热像仪测量得到的 LED 的表面温度  $T_T$  如图 22~25 所示。

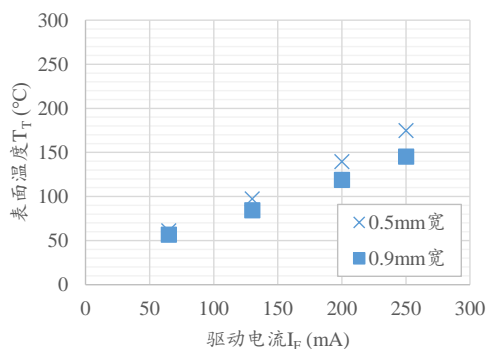


图 22. sm50/R8000、CEM-3

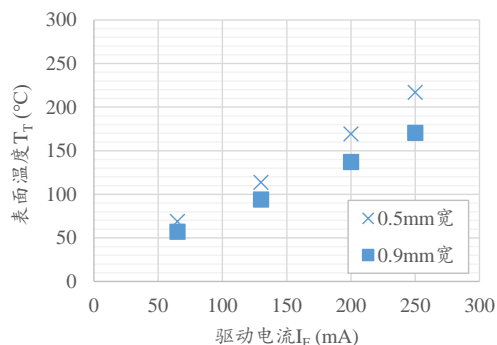


图 23. sm50/R8000、FPC

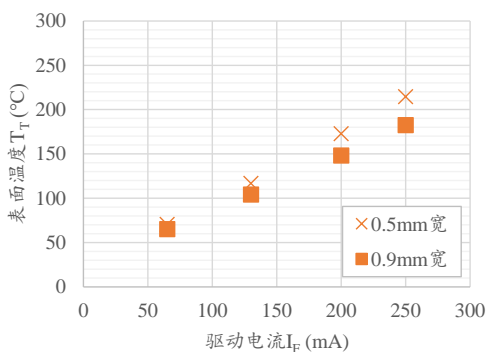


图 24. sm27/R9050、CEM-3

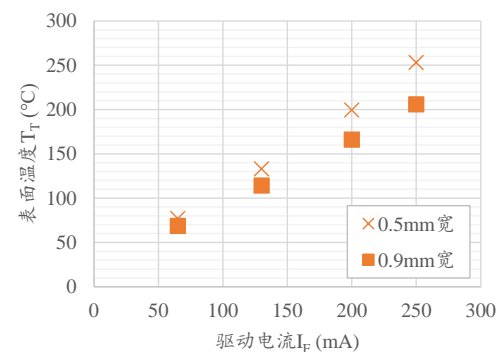


图 25. sm27/R9050、FPC

根据以上试验结果，可以看出 LED 表面温度  $T_T$  和驱动电流呈正比上升。另外特性分档 sm27/R9050 的 LED 因为荧光体量多发热大，所以表面温度  $T_T$  更高。

### 6.3.2. 表面温度 $T_T$ 和结点温度 $T_J$ 的关系

从红外线热像仪测量的表面温度  $T_T$  减去根据  $T_B$  测量值计算出的结点温度  $T_J$ ，得到的温度差如图 26~29 所示。

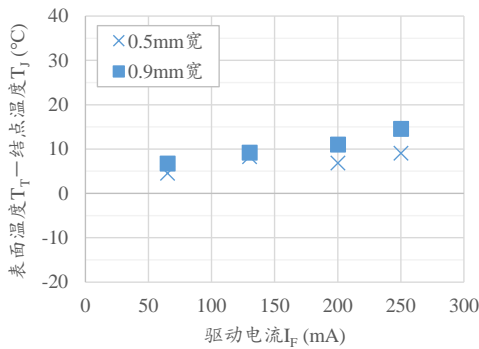


图 26. sm50/R8000、CEM-3

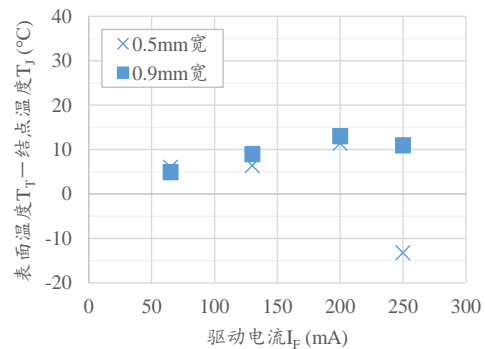


图 27. sm50/R8000、FPC

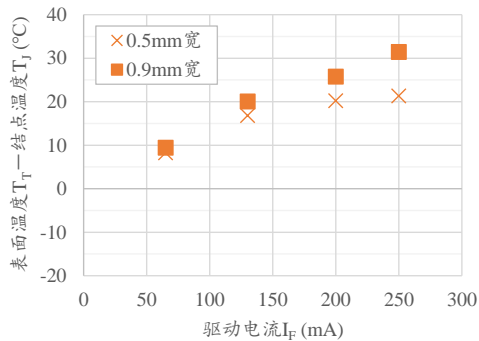


图 28. sm27/R9050、CEM-3

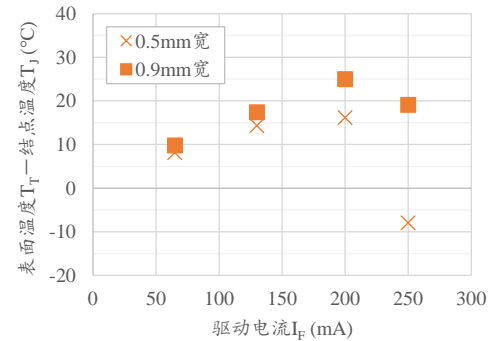


图 29. sm27/R9050、FPC

根据以上试验结果，NFSWE11A 的表面温度  $T_T$  比结点温度  $T_J$  更高。另外因为驱动电流越高荧光体的发热量就越多，所以表面温度  $T_T$  和结点温度  $T_J$  间的温度差也会随电流值的升高而增加。但是和第 5 项的评价结果相同，散热条件差的 FPC/0.5mm 宽的样品在大电流驱动时，因为电路板不能充分散发从 LED 发出的热量，导致结点温度  $T_J$  急剧上升，所以结点温度  $T_J$  比表面温度  $T_T$  更高。

在 NFSWE11A 的结点温度  $T_J$  的计算中，客户可以在使用外线热像仪测量得到 LED 表面温度  $T_T$  后，根据以上试验结果中的温度差计算出结点温度  $T_J$  的大概值。另外从试验结果中可以得知特性分档 sm50/R8000 的 LED 结点温度  $T_J$  和表面温度  $T_T$  的差异很小，特别在额定电流值 65mA 的驱动下，温度差不超过 10°C，所以在使用规格 sm50/R8000 的 NFSWE11A，额定电流驱动下时可视表面温度  $T_T$   $\approx$  结点温度  $T_J$ 。

## 7. 最后

日亚产品 NFSWE11A 的尺寸非常小，并且多用于小型灯具中，所以散热设计和温度测量都比较困难。但是如果散热设计适当，将 LED 的结点温度  $T_J$  和表面温度  $T_T$  控制在适当范围内，那么 NFSWE11A 的应用范围会非常广。

希望客户在 NFSWE11A 的散热设计及温度测量中参考本应用指南中的内容。但是请注意本应用指南中记载的热阻  $R_{\theta JB}$  是在日亚评价条件和测量环境中测量的数值，而在客户的使用条件、环境下热阻  $R_{\theta JB}$  不一定相同。因此希望客户在散热设计中留有充分余地。

## 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进行转载、复制等）。