



型番 NCSWE13x/NCSxE17x/NVSxE21x の熱設計について

目次

1. 概要.....	2
2. LED の構造について	2
3. 熱設計について	4
4. LED の熱抵抗について	7
5. ジャンクション温度について	9
6. 温度評価について	11
7. まとめ.....	12

本書内に記載する型番 NCSWE13x、NCSxE17x、および NVSxE21x は、弊社製品の型番であり、商標権を有する可能性のある他社製品といかなる関連性・類似性を有するものではありません。

1. 概要

LED の熱設計は、LED の光束および順電圧等の光学電気特性を決定し、更に寿命に大きく関係しているためとても重要です。また、LED の熱評価では、実際の使用環境において点灯させた時にどのようなジャンクション温度になるか十分に管理しておかなければなりません。

弊社の NCSWE13x/NCSxE17x/NVSxE21x は、従来の同出カクラス LED に比べパッケージサイズが非常に小さく、光束密度が高い製品です。しかし、単位パッケージ面積あたりの投入電力は、従来の LED よりも更に高くなっているため、熱設計では特に注意しておく必要があります。

本アプリケーションノートでは、NCSWE13x/NCSxE17x/NVSxE21x の性能を十分に発揮していただくため、熱設計での注意点および温度評価手法について解説します。

2. LED の構造について

NCSWE13x/NCSxE17x/NVSxE21x は、発光素子(以下チップという)で発生した熱を外部へ効率よく伝熱するため、チップを直接アルミ基板にはんだ付けする構造になっています。チップで発生した熱は、

チップ ⇒ 電極 ⇒ はんだ ⇒ 銅箔 ⇒ 絶縁層 ⇒ アルミ ⇒ ヒートシンク

と効率よく伝達し放熱することが可能です。(図 1 参照)

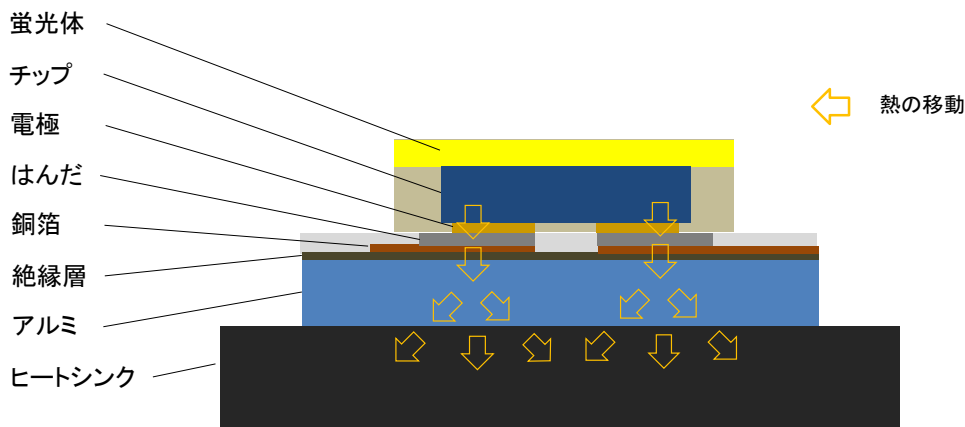


図 1. LED の構造と熱の移動

しかし、NCSWE13x/NCSxE17x/NVSxE21x の電極は、パッケージサイズに比例して小さくなっていますので、電極から筐体への放熱経路に使用する部材は、十分な放熱性能をもっているものを使用する必要があります。ガラスエポキシ樹脂基板等の放熱性の悪い基板を使用する場合には、熱伝達が阻害されジャンクション温度の異常上昇や光束低下等の懸念がありますのでご注意ください。

電極端子寸法については、図 2、図 3、図 4 の NCSWE13x/NCSxE17x/NVSxE21x の外形寸法を参照願います。

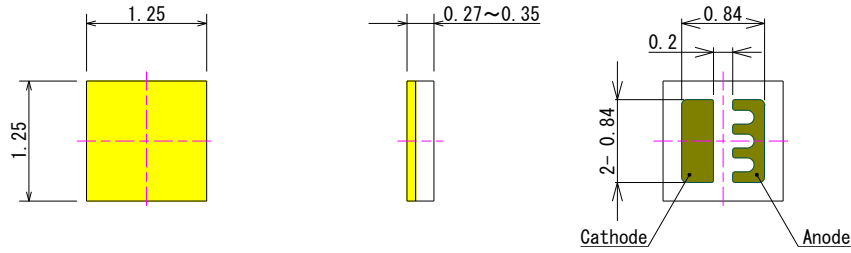


図 2. NCSWE13x 外形寸法

(単位: mm)

NCSWE13x は、NCSxE17x の外形をシュリンクした構造になっています。チップは、NCSxE17x と同一のものを使用しています。

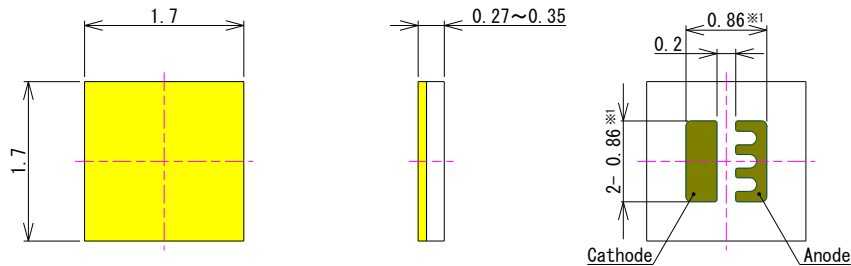


図 3. NCSxE17x 外形寸法

(単位: mm)

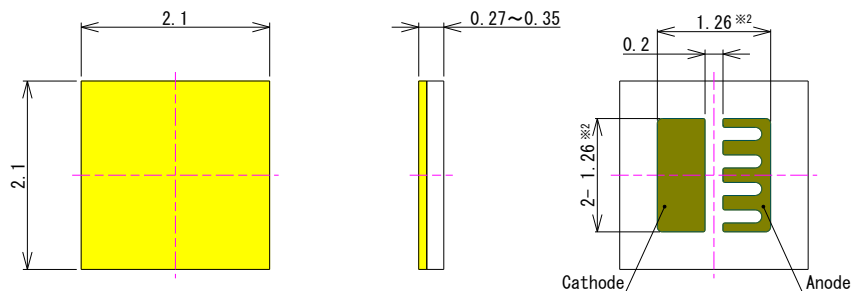


図 4. NVSxE21x 外形寸法

(単位: mm)

NCSxE17x/NVSxE21x の電極端子寸法は、製品のバージョンによって異なります。詳細は、弊社仕様書を参照ください。

※1 型番 NCSxE17A: 0.86mm、型番 NCSxE17A-V1: 0.84mm

※2 型番 NVSxE21A: 1.26mm、型番 NVSxE21A-V1: 1.24mm

3. 熱設計について

3.1 熱抵抗モデルと各パラメータについて

NCSWE13x/NCSxE17x/NVSxE21x をアルミ基板に実装し、ヒートシンクで放熱させたときの LED 断面図を図 5 に、熱抵抗簡易モデルを図 6 に示します。初めに、本アプリケーションノートで使用する用語の説明と主な注意点を表 1 に示します。

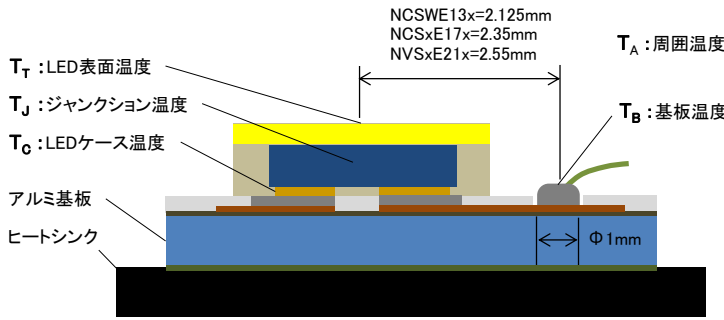


図 5. LED 断面図

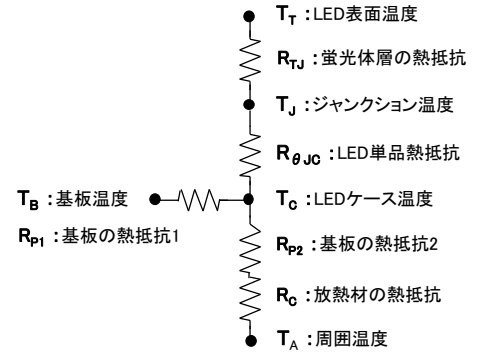


図 6. 熱抵抗簡易モデル

表 1. 用語の説明と主な注意点

用語	記号	用語の説明と主な注意点
LED 表面温度	T_T	LED 発光面の中心温度です。
ジャンクション温度	T_J	チップの温度です。NCSWE13x/NCSxE17x/NVSxE21x のジャンクション温度は、最大 135°C ですが、長期信頼性の観点から 100°C 以下でご使用ください。
LED 単品熱抵抗	$R_{\theta JC}$	チップから電極までの熱抵抗です。この値は、JESD51 に準拠して測定、算出された値です。NCSWE13x、NCSxE17x の熱抵抗値は、最大で 1°C/W、NVSxE21x の熱抵抗値は、最大で 0.6°C/W と大変小さい値になっています。
LED ケース温度	T_C	電極の温度です。この温度については、測定することが出来ませんが熱シミュレーションにて使用する場合があります。
基板温度	T_B	LED パッケージ側面付近の基板表面温度です。NCSWE13x/NCSxE17x/NVSxE21x は、電極にフィレット構造がなく、また LED のはんだ付け部を直接測定することが困難なため、図 5 に示した T_B ポイントにて温度測定をする必要があります。
基板の熱抵抗 1	R_{P1}	LED の電極から T_B ポイントまでの熱抵抗です。この値は、LED のランドパターン、銅箔面積、アルミ基板の放熱性能、ヒートシンク、動作温度等により変化します。
LED の熱抵抗	$R_{\theta JB}$	チップから基板表面温度(T_B ポイント)までの熱抵抗です。 この値については、以下の関係となります。 $LED \text{ の熱抵抗}(R_{\theta JB}) = LED \text{ 単品熱抵抗}(R_{\theta JC}) + \text{基板の熱抵抗 1}(R_{P1})$
基板の熱抵抗 2	R_{P2}	LED のはんだ付け面からヒートシンク方向(Z方向)までのアルミ基板の熱抵抗です。アルミ基板の熱抵抗は、絶縁層の仕様(熱伝導率、厚み)によって大きく変わります。アルミ基板の熱抵抗は、以下の関係となりますので部材選定においては十分注意してください。 $熱抵抗(°C/W) = \text{絶縁層の厚み}(m) / (\text{絶縁層の熱伝導率}(W/m \cdot K) \times \text{面積}(m^2))$
放熱材の熱抵抗	R_C	放熱シート、放熱グリス、ヒートシンク等の合成熱抵抗です。
周囲温度	T_A	LED 光源モジュールの周囲温度です。

次項では、熱シミュレーション結果を参照しながら実装基板の重要性について説明します。

3.2 基板の熱シミュレーションについて

NCSWE13x/NCSxE17x/NVSxE21x の電極はとても小さいため、実装する基板の放熱性能が重要になります。弊社では、LED への投入電力が大きい場合は、ガラスエポキシ樹脂基板 (FR4)、ガラスコンポジット基板 (CEM3)、低熱伝導のアルミ基板は避け、高熱伝導のアルミ基板の使用を推奨します。参考までに低熱伝導および高熱伝導のアルミ基板に実装した時の熱シミュレーション結果を図 7、図 8 に示します。

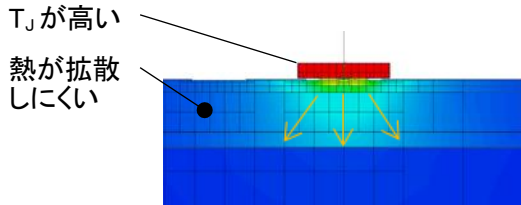


図 7. 低熱伝導アルミ基板

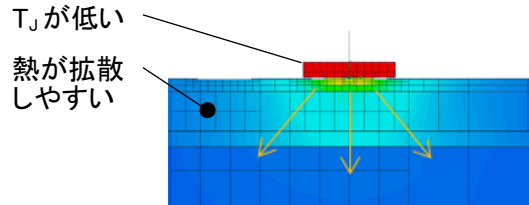


図 8. 高熱伝導アルミ基板

低熱伝導のアルミ基板に実装した場合は、熱の拡散が不十分となりジャンクション温度が高くなりますが、高熱伝導のアルミ基板に実装した場合は、LED で発生した熱が効率よくアルミ基板に拡散されていくのでジャンクション温度が低くなります。

3.3 ランドパターンの形成方法と放熱性について

ランドパターンの形成方法は、以下の 2 種類の方法があります。各々のメリット・デメリットを表 2 に示します。

- SMD(Solder Mask Defined) ...LED のランドの大きさ、位置を基板表面に塗布されるソルダーレジストの形状で決定する。
- NSMD(Non Solder Mask Defined) ...LED のランドの大きさ、位置をソルダーレジストではなく銅箔で決定する。

表 2. ランドパターンの形成方法比較

形成方法	SMD	NSMD
外観写真		
構成図	 <ul style="list-style-type: none"> ■ はんだペースト ■ ソルダーレジスト ■ 銅箔パターン ■ 絶縁層 ■ 実装基板母材 	 <ul style="list-style-type: none"> ■ はんだペースト ■ ソルダーレジスト ■ 銅箔パターン ■ 絶縁層 ■ 実装基板母材
実装性	[デメリット] ソルダーレジストの塗布精度により実装品質が決まる。 △	[メリット] ソルダーレジストの塗布精度に実装品質が大きく左右されない。 ○
放熱効果	[メリット] 銅箔パターン面積を広くとれるため放熱性が良い。 ○	[デメリット] 銅箔パターン面積が狭くなるため放熱性が良くない。 △

・LED の実装性について

NCSWE13x/NCSxE17x/NVSxE21x の電極サイズは非常に小さく、アノード端子およびカソード端子間クリアランスは、0.2mm になっていますのでそれに適した基板製作精度が要求されます。SMD 方式のランドは、ソルダーレジストでランドの大きさ、位置を決定しているため、ソルダーレジストの塗布状態が悪い場合には、設計データとの位置ズレやそれによるアノード、カソードランドの大きさに差異が生じます。これらは、LED 実装工程における実装不良（オープン、ショート、位置ズレ、浮き、はんだボール）に直接繋がりますので SMD 方式を採用する場合は、基板製作メーカーでの製作精度を確認した上で、十分な実装評価を行う必要があります。

一方、NSMD 方式のランドは、銅箔でランドの大きさや位置を決定しているため、ソルダーレジストの位置ズレについて大きく影響を受けませんので実装性については、優位になります。

なお、NCSWE13x/NCSxE17x/NVSxE21x については、実装後リペアは出来ませんので弊社発行のアプリケーションノート「Nichia E13 Series の実装について」「NCSxE17x/NVSxE21x の実装について」をご確認いただき、十分に評価を実施してください。

・LED の放熱性について

LED で発生した熱を効率よくアルミ基板へ伝達させるためには、電極に接する銅箔をできる限り大きくする必要があります。ランドパターンの形成方法の NSMD 方式では、最大で電極幅サイズまでですが、SMD 方式では、可能な範囲で大きくすることができますので放熱面で優位になります。なお、基板の銅箔の厚みについては、厚い程放熱性は優位になりますが、電極間クリアランスが 0.2mm のため基板製造時のエッチング不良を考慮して銅箔厚 35 μ m のものを使用することを推奨いたします。

3. 4 ランドパターンについて

NCSWE13x、NCSxE17x、NVSxE21x の NSMD 方式の推奨ランドパターンを図 9 に示します。

ランドパターン
 ソルダーレジスト開口部

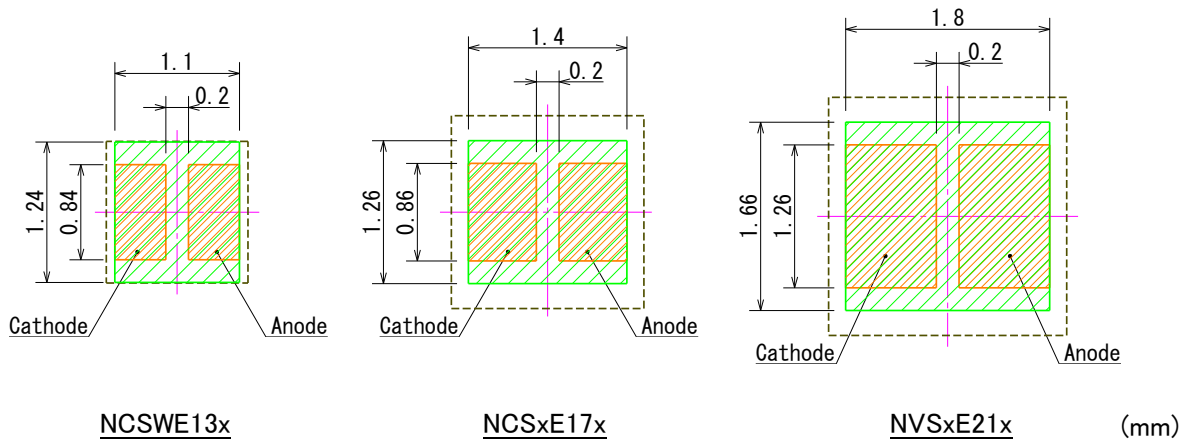


図 9. NSMD 方式の推奨ランドパターン

例えば NCSxE17x の推奨ランドパターンは、ランド幅 0.86mm に対してソルダーレジストを 1.26mm と大きくすることにより、0.2mm 未満のソルダーレジストズレを吸収できる仕様になっています。なお、ランドの形成方法については、各方式にメリット、デメリットがあるため 3. 3 項で紹介した事項を十分にご確認いただき、お客様で最適なものを選択してください。

4 章では、ランドパターンの形成方法と基板の放熱性能をパラメータとして条件を振った時の LED の熱抵抗 ($R_{\theta JB}$) が具体的にいかなる数値になるか実験結果を踏まえて紹介します。

4. LEDの熱抵抗について

NCSxE17x/NVSxE21xの熱抵抗($R_{\theta JB}$)を、実装するアルミ基板の放熱性能とランドパターンの形成方法をパラメータとして測定し、算出しました。なお、測定方法については、JESD51に準拠しています。

4.1 評価基板の仕様

アルミ基板の絶縁層の熱伝導率は、 $1.8\text{W/m}\cdot\text{K} \sim 11.1\text{W/m}\cdot\text{K}$ の6種類を使用します。評価基板の仕様を表3に示します。

表 3. 評価基板仕様

基材仕様※1	単位	NRA-ES1	NRA-8	NRA-E(3.0)	NRA-E(6.5)	NRA-H6	NRA-H10
絶縁層熱伝導率※2	W/m·K	1.8	2.1	2.7	4.5	5.7	11.1
絶縁層厚	μm	120	120	120	120	120	120
銅箔厚	μm	35	35	35	35	35	35
アルミ厚	mm	1	1	1	1	1	1

※1 アルミ基板材料:株式会社日本理化工業所製

※2 絶縁層の熱伝導率:基板メーカーのカatalog値で保証値ではありません。

4.2 ランドパターン形成方法と配線の引き回し方法

・NCSxE17x について

ランドパターンの形成方法は、NSMDとSMDの2種類とします。配線引き回しのパターン幅は、最小値(0.5mm)、電極幅寸法(0.86mm)、パッケージサイズ(1.7mm)、最大値(5mm)の4種類とします。

表 4. NCSxE17x

タイプ	A	B	C	D
ランドパターン	NSMD	NSMD	SMD	SMD
パターン幅	0.5mm	0.86mm	1.7mm	5mm
パターン図				
使用用途	非推奨例	高密度実装	高密度実装	単独実装他

・NVSxE21x について

ランドパターンの形成方法は、NSMDとSMDの2種類とします。配線引き回しのパターン幅は、最小値(0.8mm)、電極幅寸法(1.26mm)、パッケージサイズ(2.1mm)、最大値(5mm)の4種類とします。

表 5. NVSxE21x

タイプ	A	B	C	D
ランドパターン	NSMD	NSMD	SMD	SMD
パターン幅	0.8mm	1.26mm	2.1mm	5mm
パターン図				
使用用途	非推奨例	高密度実装	高密度実装	単独実装他

4.3 過渡熱抵抗測定結果

・NCSxE17x sm27 R8000、 $I_f=700\text{mA}$ 時の熱抵抗($R_{\theta_{JB}}$)を図10に示します。

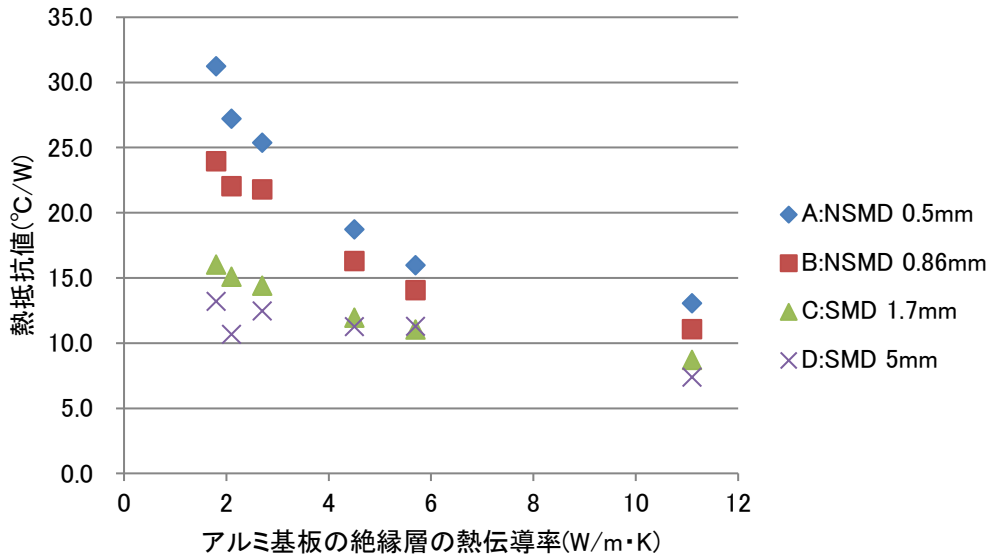


図 10. NCSxE17x 熱抵抗

・NVSxE21x sm27 R8000、 $I_f=1400\text{mA}$ 時の熱抵抗($R_{\theta_{JB}}$)を図11に示します。

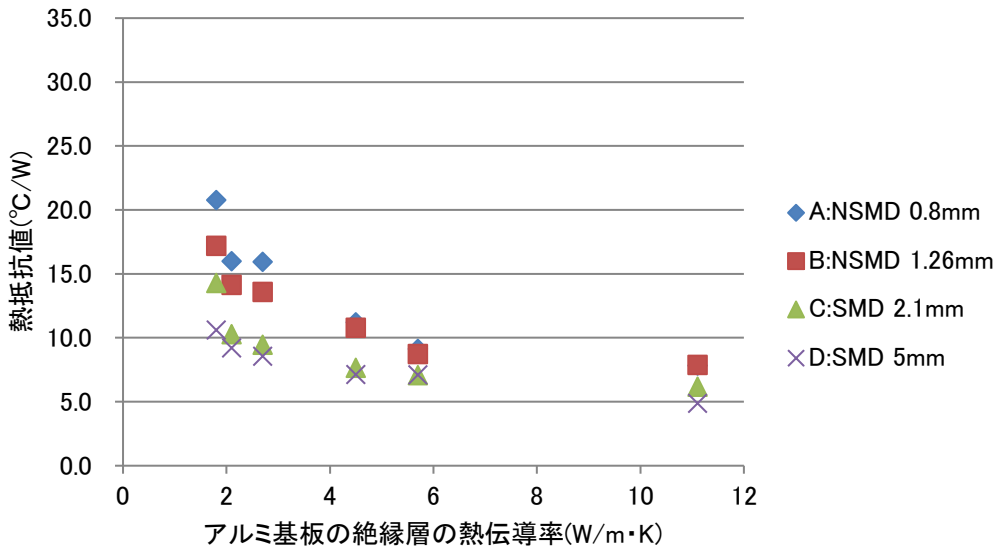


図 11. NVSxE21x 熱抵抗

NCSxE17x および NVSxE21x は、アルミ基板の絶縁層の熱伝導率が大きくなると熱抵抗が小さくなることを確認しました。また、ランドパターンの形成方法では、NSMD 方式よりも SMD 方式、また、配線の引き回しのパターン幅が大きい程、熱抵抗が小さくなることを確認しました。

4.4 推奨アルミ基板材料

LED の熱抵抗($R_{\theta_{JB}}$)は、アルミ基板の熱伝導率が大きいものを使用すると、ランドパターンの形成方法や配線の引き回し方法に左右されにくくなる傾向にあります。また、LED の熱抵抗も小さくなるため、NCSWE13x / NCSxE17x / NVSxE21x に使用するアルミ基板材料は、絶縁層の熱伝導率が 5.7W/m·K 以上のものを推奨いたします。

5. ジャンクション温度について

ジャンクション温度の算出には、次の 2 種類の方法があります。

- ・LED の T_B 温度と投入電力から算出
- ・LED の ΔV_F 法による算出

本章では、上記の温度評価方法について、説明します。

5. 1 LED の T_B 温度と投入電力から算出

ジャンクション温度については、次の式で表されます。

この式より、ジャンクション温度の概算値を算出可能です。

$$T_J = T_B + R_{\theta_{JB}} \cdot W$$

T_J =ジャンクション温度、 T_B =基板温度、
 $R_{\theta_{JB}}$ =チップから T_B 測定ポイントまでの熱抵抗、 W =投入電力 ($I_F \times V_F$)

なお、 $R_{\theta_{JB}}$ については、4 章で解説したとおり、LED の実装基板によって大きく異なります。

弊社では、前章の評価結果をもとに各基板における熱抵抗を表 6 に示します。本熱抵抗値は、配線パターンで一番厳しい条件 (NSMD 方式) における熱抵抗となっています。また、お客様の使用条件、使用環境によって値が異なる可能性がありますので、参考値としてお取り扱い願います。

表 6. 各製品の熱抵抗

LED ^{※5}	記号	単位	基板 ^{※3}	基板 ^{※4}
NCSxE17x (NCSWE13x)	$R_{\theta_{JB}}$	°C/W	16	31
NVSxE21x	$R_{\theta_{JB}}$	°C/W	9	21

※3: アルミ基板絶縁層熱伝導率 5.7W/m・K、厚み 120 μ m 使用時

※4: アルミ基板絶縁層熱伝導率 1.8W/m・K、厚み 120 μ m 使用時

※5: NCSWE13x は、NCSxE17x と同じチップを使用しているため、NCSxE17x の熱抵抗を使用してください。

・ T_B 温度の測定方法について

熱電対の取り付け位置は、熱電対の測温部をはんだ付けする時に LED に悪影響を与えないところで出来る限り LED に近いところが適切です。NCSWE13x は LED の中心から 2.125mm、NCSxE17x は LED の中心から 2.35mm、NVSxE21x は LED の中心から 2.55mm の位置に温度測定ポイント (大きさ ϕ 1.0mm) を設けることを推奨いたします。弊社で使用している熱電対を図 12 に、熱電対取り付け後の写真を図 13 に示します。



図 12. 熱電対 (K 熱電対)

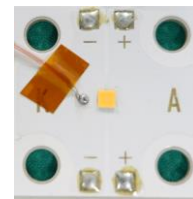


図 13. 熱電対取り付け後

5. 2 LED の ΔV_F 法による算出

LED の順電圧 V_F は、温度変化に伴い変動する特性をもっています。この特性を利用して、光源モジュール内のジャンクション温度を算出する方法です。

・実装した LED 単品の温度係数測定

恒温槽内に LED 光源モジュールを設置し、 T_A を 25°C から 135°C に変化させた時の V_F を測定します。測定結果より温度係数を次式より算出します。

$$\text{温度係数 } K = (V_{F@25^\circ\text{C}} - V_{F@135^\circ\text{C}}) / (135 - 25)$$

なお、測定電流は自己発熱の影響がなく、 V_F 測定において再現性のある微小電流($I_M=1\text{mA}$)としてください。測定回路を図 14 に、 T_A と V_F の関係を図 15 に示します。

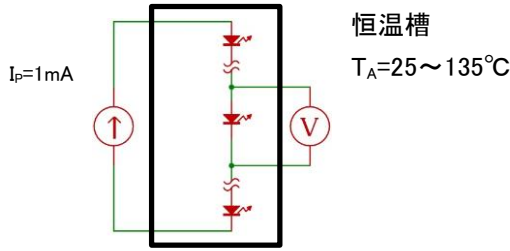


図 14. 測定回路

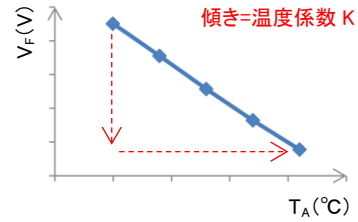


図 15. T_A と V_F の関係

・LED 点灯熱飽和状態におけるジャンクション温度の算出

LED 光源モジュールの点灯直後の V_{F1} と熱飽和までエージングした時の V_{F2} を測定し、 $\Delta V_F = V_{F1} - V_{F2}$ を求めます。 V_{F1} および V_{F2} は、自己発熱の影響がなく、再現性のある測定電流($I_M=1\text{mA}$)とし、熱飽和させる電流値(I_F)は、実際に使用する値としてください。ジャンクション温度と ΔV_F は、次式の関係となります。この式より、ジャンクション温度の概算値が算出可能です。

$$T_J = \Delta V_F / K + T_A$$

測定回路を図 16 に、印加電流、測定電圧の参考例を図 17、図 18 に示します。

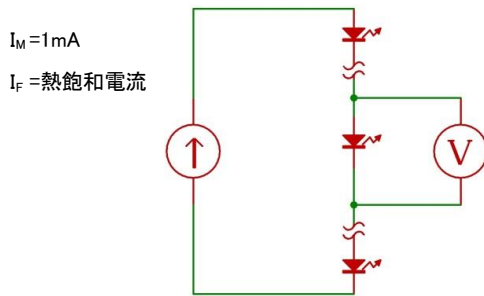


図 16. 測定回路

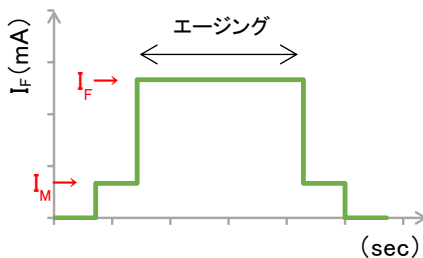


図 17. 印加電流

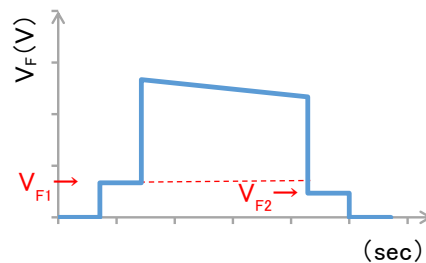


図 18. 測定電圧

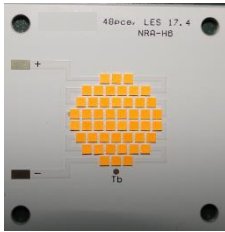
ΔV_F 法による算出については、5.1 項での算出方法と比べて測定精度が高いことが特徴です。しかし、お客様にて恒温槽、印加用電源、測定設備を準備していただく必要があります。測定方法としては、温度係数 K と ΔV_F を精度よく測定しなければならず、容易ではありませんので次章にて簡易な温度評価方法を紹介します。

6. 温度評価について

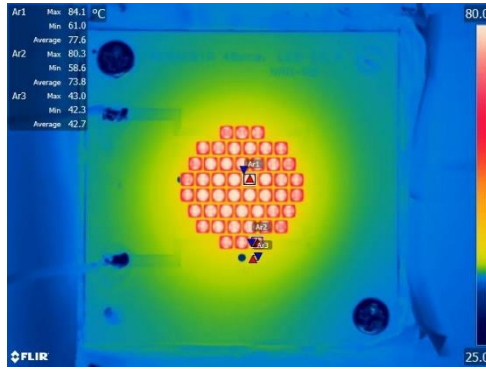
LED モジュールの温度評価には、赤外線サーモグラフィによる確認が有効です。この方法では、ジャンクション温度の測定はできませんが、LED の表面温度や LED 光源モジュールの温度分布を確認することが可能で実用的な手法です。以下に弊社での確認例を図 19 に示します。

6.1 LED 光源モジュール温度評価例について

[評価モジュール]



外形: □40mm、LES Φ17.4mm
 NCSxE17x: sm27 R8000 48 灯
 動作電流: 350mA
 投入電力: 48W
 アルミ基板絶縁層
 熱伝導率: 5.7W/m・K
 厚み: 120 μm
 ランドパターン: NSMD
 ヒートシンク: 0.5°C/W



測定		°C
Ar1 LED 表面温度(中央) Max	84.1	
Min	61.0	
Average	77.6	
Ar2 LED 表面温度(端部) Max	80.3	
Min	58.6	
Average	73.8	
Ar3 基板温度 Max	43.0	
Min	42.3	
Average	42.7	
パラメータ		
放射率	0.95	
反射温度	25 °C	

※フリーシステムズジャパン株式会社製
 Type.: T620<640×480pixel>にて測定

図 19. 赤外線サーモグラフィによる温度評価

6.2 LED 表面温度について

NCSWE13x/NCSxE17x/NVSxE21x の表面温度は、ジャンクション部より高くなる傾向にあります。LED の主な熱源は、「ジャンクション部」ですが、蛍光体層部分でも、波長変換によるストークスロスのため発熱します。NCSWE13x/NCSxE17x/NVSxE21x の蛍光体層は、非常に薄く、また、チップの放熱経路から遠い構造になっているため、熱が逃げ難くなっています。蛍光体層での発熱に関する模式図を図 20 に示します。

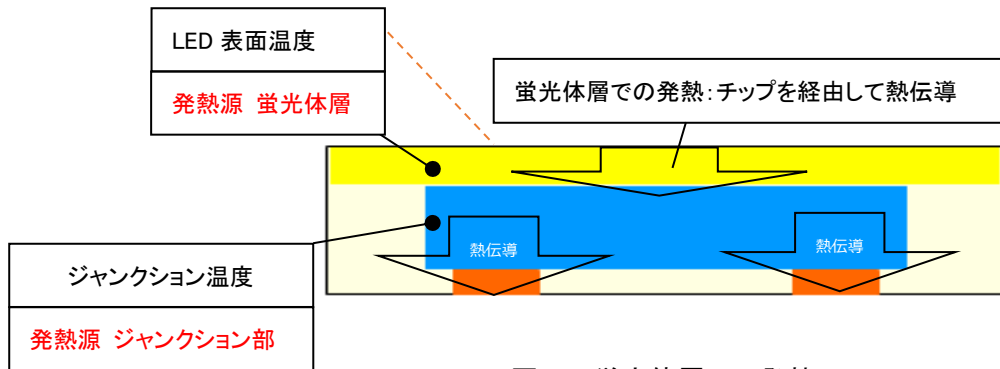


図 20. 蛍光体層での発熱

なお、蛍光体層での発熱は、色温度、演色性、光出力によって変化します。LED の動作電流におけるジャンクション温度とLED 表面温度間の関係の一例を図 21、22 に示します。

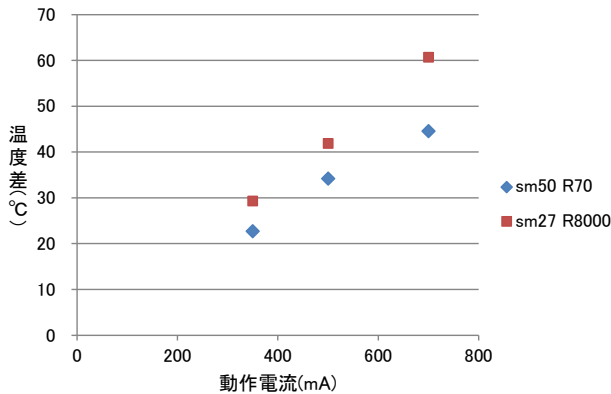


図 21. NCSxE17x の表面温度-ジャンクション温度差

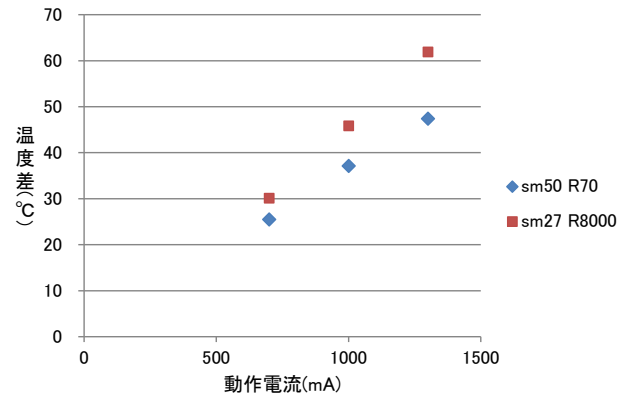


図 22. NVSxE21x の表面温度-ジャンクション温度差

図 21 より NCSxE17x R8000 sm27、 $I_f=350\text{mA}$ の表面温度は、ジャンクション温度より約 30°C 高いことが確認できますので、本結果を用いてジャンクション温度の概算値を算出することが可能です。以下に算出例を示します。

例: NCSxE17x R8000 sm27、 $I_f=350\text{mA}$ の場合

ジャンクション温度概算値・・・LED 表面温度測定値(赤外線サーモグラフィ) - 30°C (図 21 より)

6.3 温度評価における注意事項

- ・赤外線サーモグラフィでの測定値には、測定器、測定条件、測定環境によって測定誤差が生じます。本値を用いる場合の熱設計については、十分余裕をもった設計を行ってください。
- ・LED の表面温度は、ジャンクション温度よりさらに高温になります。耐熱温度の低い光学部品(レンズ、リフレクタ)との併用には十分注意してください。また、光学部品等との空間距離については、適切な距離を確保し、十分な事前検証を実施してください。
- ・LED の表面温度は、 150°C^1 以下を推奨いたします。LED の表面温度が高温となる場合は、LED が大変高い負荷の状態で使用されていると考えますので、再度、使用基板の選定、ランドパターン、放熱用のヒートシンク、動作電流に問題ないかご確認ください。

7. まとめ

本アプリケーションノートでご説明した内容は、いずれも NCSWE13x/NCSxE17x/NVSxE21x の熱設計を行う上で重要な項目となります。LED 照明器具の設計については、光源モジュールに適した基板材料、放熱材料を選定してください。

温度評価は、お客様の最終仕様製品にてご使用になる環境等を確認した上で十分に実施していただきますようお願いいたします。

以上

¹ LED の表面温度は、演色性ランク R70,R8000,R9050,R9080 時は 150°C 以下を推奨します。LED の表面温度は、演色性ランク R_s060 時は 135°C 以下を推奨します。

<免責事項>

本書は、弊社が管理し提供している参考技術文書です。
本書を利用される場合は、以下の注意点をお読みいただき、ご了承いただいたうえでご利用ください。

- ・本書は弊社が参考のために作成したものであり、弊社は、本書により何らの保証をも提供するものではありません。
- ・本書に記載されている情報は、製品の代表的動作および応用例を示したものであり、その使用に関して、弊社および第三者の知的財産権その他の権利の保証または実施権の許諾を行うものではありません。
- ・本書に記載されている情報については正確を期すべく注意を払っておりますが、弊社は当該情報の完全性、正確性および有用性を一切保証するものではありません。また、当該情報を利用、使用、ダウンロードする等の行為に関連して生じたいかなる損害についても、弊社は一切の責任を負いません。
- ・弊社は、本書の内容を事前あるいは事後の通知なく変更する場合がありますのでご了承ください。
- ・本書に記載されている情報等に関する著作権およびその他の権利は、弊社または弊社に利用を許諾した権利者に帰属します。弊社から事前の書面による承諾を得ることなく、本書の一部または全部をそのままあるいは改変して転載、複製等することはできません。

日亜化学工業株式会社

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

774-8601 徳島県阿南市上中町岡491番地

Phone: 0884-22-2311 Fax: 0884-21-0148