



Nichia E11A Series の 熱設計について

目次

1. 概要	.....	2
2. Nichia E11A Series について	.....	2
3. 熱設計について	.....	4
4. ジャンクション温度の測定方法	.....	6
5. Nichia E11A Series の熱評価	.....	7
6. 赤外線サーモグラフィによる熱評価	.....	12
7. まとめ	.....	16

本書内に記載する型番 NFSWE11A、NFSWE11A-V1、NFSGE11A-V1、NFSRE11A-V1、NFSBE11A-V1L1 および型番 NFSW757H 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 は放熱が不十分な場合自身の発熱により構成部材が劣化し明るさなどの性能低下や信頼性(寿命)の低下を引き起こします。よって LED 本来の性能を引き出すためには適切な熱設計が不可欠です。

弊社照明用 LED の Nichia E11A Series は小型、薄型、軽量が特徴の LED であり、従来では難しかった小型照明器具への搭載が可能です。しかし搭載される器具が小さくなるほど放熱設計や熱評価は難しくなるので注意が必要です。

本書では Nichia E11A Series の熱設計における注意点および温度評価方法について示します。

2. Nichia E11A Series について

2.1. Nichia E11A Series のカラーラインナップ

Nichia E11A Series の代表的な製品を表 1 に示します。詳細仕様については営業担当までお問合せください。

表 1. Nichia E11A Series の代表的なカラーラインナップ

型番	NFSWE11A(-V1)	NFSGE11A-V1	NFSRE11A-V1	NFSBE11A-V1L1
参考 外観				
発光色	白色・電球色	緑	赤	青

2.2. 製品寸法

図 1 に Nichia E11A Series の外形寸法を示します。また弊社における従来製品として同等出力品の NFSW757H¹との比較イメージを図 2 に示します。Nichia E11A Series は従来の同等出力品と比較してとても小さいことがわかります。よって従来の製品では設計が難しかった超小型、薄型アプリケーションでの使用が期待されます。

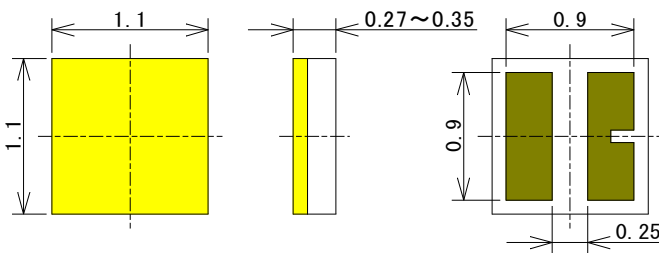


図 1. Nichia E11A Series 外形寸法

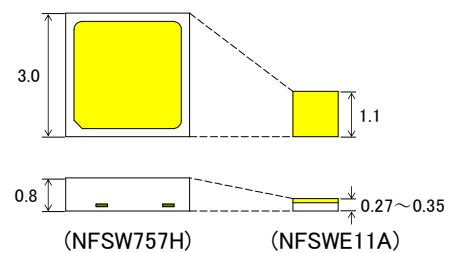


図 2. 同等出力品との比較

2.3. 構造

一般的な LED はリードフレームやサブマウント基板などの上にチップを搭載しています。このため発熱源であるチップで発生した熱はダイボンディング材などの接着部材、リードフレーム(またはサブマウント基板)を経由して実装基板へ放熱されることとなります。対して Nichia E11A Series は発熱源であるチップを直接実装基板にはんだ付けする構造になっており、効率よく実装基板へと熱を伝えることができます。(図 3) よって放熱性に優れていると言えますが発熱量に対して製品外形および放熱経路である電極端子が非常に小さいため適切な熱設計が必要です。

¹ Nichia E11A Series と同じ定格電流 65mA の製品です。

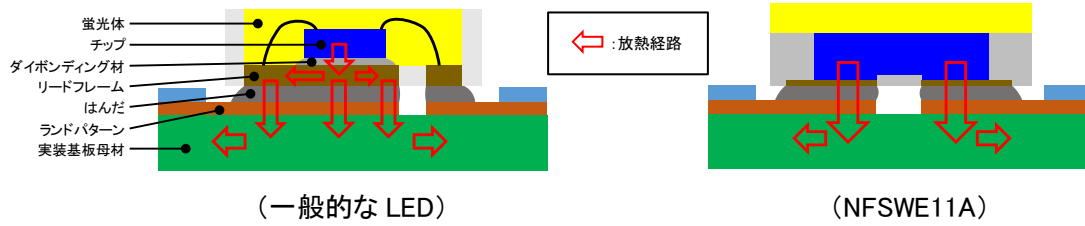


図 3. LED の放熱イメージ

2.4. 電極端子とはんだ接合

Nichia E11A Series は実装性能の向上を目的として電極形状を大きくしています。(図 4) ただしこの電極端子のはんだ接合が十分に確保できていない場合、製品の放熱性能や信頼性が低下する場合があります。(図 5) 製品本来の性能を引き出すためにこの電極端子が確実ににはんだで実装基板に接合されていることを確認してください。製品本来の性能を引き出すための目安として、電極端子面積に対して 75%以上のはんだ接合を推奨します。X 線測定などではんだの接合状態を確認してください。はんだ接合率は式 1 にて計算します。

$$\text{はんだ接合率[\%]} = \text{ポイドなど非接合部分を除いたはんだ接合部面積} / \text{電極端子面積} \times 100 \quad \dots(\text{式}1)$$

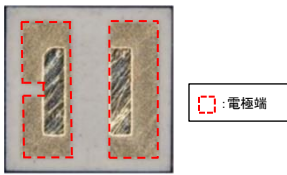


図 4. Nichia E11A Series 裏面外観

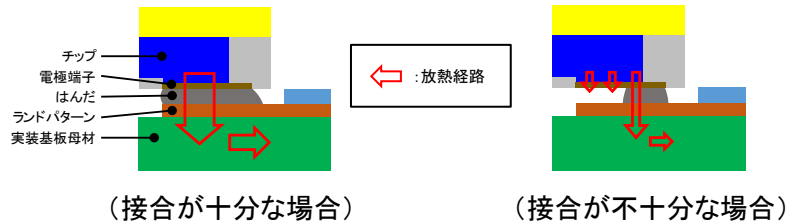


図 5. Nichia E11A Series の放熱イメージ

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

Nichia E11A Series における熱モデルを図 6 および図 7 に示します。また本書で使用する用語の説明を表 2 に示します。実機にて熱評価を行う際は、LED 近傍の実装基板温度 T_B を測定することになります。

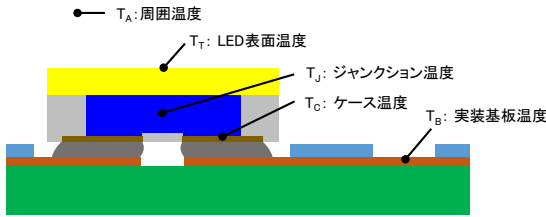


図 6. Nichia E11A Series 断面イメージ

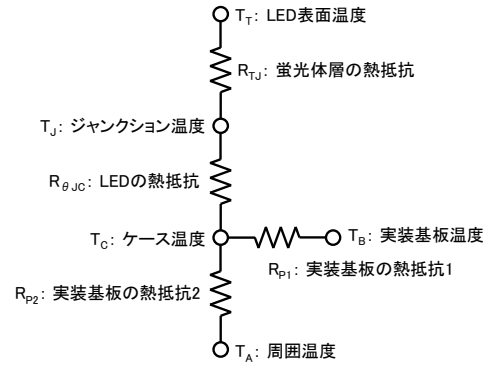


図 7. Nichia E11A Series 簡易熱モデル

表 2. 熱設計に関する用語

用語	記号	説明
周囲温度	T_A	LED の周囲温度です。LED モジュール周辺に熱がこもり易い構造の場合は温度上昇を考慮する必要があります。
表面温度	T_T	LED 発光面の表面温度です。
ジャンクション温度	T_J	LED チップの温度です。このジャンクション温度を最大定格以下に抑える必要があります。Nichia E11A Series の最大定格ジャンクション温度は 135°C です。また温度が低いほど LED の寿命は長くなります。
ケース温度	T_C	LED の電極端子温度です。製品仕様書に記載している通りシミュレーションで使用するためのものであり、実機での測定は難しいです。
実装基板温度	T_B	NFSWE11A は電極の温度を測定することができないため、代わりに実装基板の銅箔パターン温度を熱電対で測定します。
蛍光体層の熱抵抗	R_{TJ}	LED のチップから発光面の表面までの熱抵抗です。
LED の熱抵抗	$R_{\theta JC}$	LED のチップから電極端子までの熱抵抗です。製品仕様書に記載している通り JESD51-1 に準拠して測定された値です。
LED と実装基板の熱抵抗	$R_{\theta JB}$	LED のチップから実装基板の温度測定ポイントまでの熱抵抗です。 $R_{\theta JB} = R_{\theta JC} + R_{P1}$ となります。
実装基板の熱抵抗	R_{P1}	LED の T_C ポイントから実装基板温度 T_S 測定箇所までの熱抵抗です。ランドパターン形状や実装基板、はんだ性能および動作条件等により変わります。
	R_{P2}	実装基板の熱抵抗です。実装基板の性能や他の放熱部材によって変わります。

3.2. 実装基板の材質について

LED の性能や信頼性を確保するには、LED の消費電力(発熱量)によって適切な実装基板の種類を選定する必要があります。表 3 にて実装基板の種類と主な特徴について示します。

Nichia E11A Series の定格電力は 0.25W で、LED としては比較的低い電力での使用が想定されています。この程度の消費電力であれば放熱性能が低くともある程度 LED の温度をおさえることが可能なので、金属基板よりも安価な CEM-3 や FR-4 といった樹脂基板の使用が想定されます。また照明器具の小型軽量化に伴いフレキシブル基板の使用も想定されますが、ポリイミドなどを使用したフレキシブル基板は熱抵抗が高く、放熱設計が難しい傾向にあります。

表 3. 一般的な実装基板の種類

基板の種類		解説	放熱性 ²
リジット基板	紙フェノール FR-1	安価ですが耐久性や難燃性などの性能は低いため、性能を問わない安価な製品で使用されることが多いです。	△
	ガラスエポキシ基板 FR-4	最も一般的に使用されている基板で電子機器など複雑な多層基板にも利用されます。LED 実装基板でもよく使われます。	○
	ガラスコンポジット基板 CEM-3	ガラスエポキシ基板(FR-4)より寸法精度は多少落ちますがその分価格を抑えることができます。	○
	金属基板	熱伝導率の高いアルミや銅などの金属を使用することで樹脂基板よりも大きな電力を投入できます。樹脂基板では放熱が難しい高出力 LED で使用されます。	◎
フレキシブル基板 FPC		薄型、軽量で折り曲げることが可能なので電気回路の立体配置が可能です。近年、電子機器の小型軽量化に伴い様々な機器での採用が広がっています。	△

3.3. ランドパターン設計について

Nichia E11A Series の推奨ランドパターンを図 8 に示します。その他、実装時の注意点についてはアプリケーションノート「Nichia E11 Series 実装について」を参照してください。

なおランドパターンの設計方法には SMD(Solder Mask Defined)と NSMD(Non Solder Mask Defined)があります。SMD とは銅箔パターンを広くとりソルダーレジストの開口形状でランドパターンを形成する方法です。対して NSMD とは銅箔パターンでランドパターンを形成する方法です。(図 9) 一般的にソルダーレジストより銅箔の方が加工精度は高いため NSMD の方が精度の高いランドパターンを形成できますが、銅箔面積が小さくなる分放熱性は SMD に劣ります。このため放熱性を優先させる場合は SMD 方式によるランドパターン設計を推奨します。また配線パターン幅(面積)によっても熱抵抗などの放熱性能は変わります。(第 5 章参照) SMD 方式と合わせて LED 周辺の銅箔面積をできるだけ広くとることで放熱性を向上させることができます。

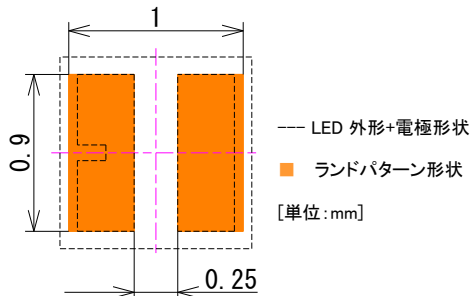


図 8. Nichia E11A Series 推奨ランドパターン

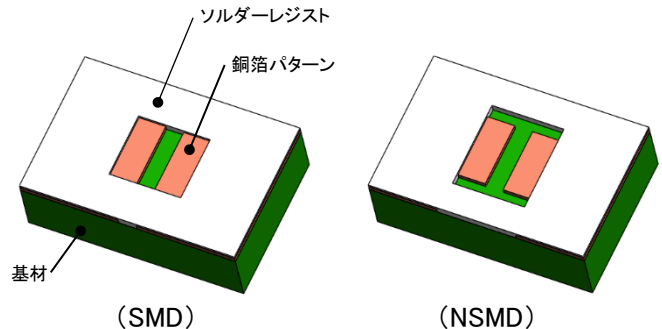


図 9. ランドパターンの形成方式イメージ図

² 参考です。製品によって異なります。

4. ジャンクション温度の測定方法

4.1. ジャンクション温度 T_J 測定方法

Nichia E11A Series のジャンクション温度 T_J を求めるには以下の 2 種類の方法があります。

- ①実装基板温度 T_B と投入電力、熱抵抗 $R_{\theta_{JB}}$ から算出
- ②LED の ΔV_F 法による算出

各々の測定方法の詳細についてはアプリケーションノート「型番 NCSxE17A/型番 NVSxE21A の熱設計について」を参照ください。いずれの測定方法においてもジャンクション温度 T_J が製品の最大定格値である 135°C を超えないことをご確認ください。

4.2. 実装基板温度 T_B の測定

Nichia E11A Series は構造上電極端子やはんだ付け部の温度を測定することができません。また製品が非常に小さいため、製品に直接熱電対を取り付けると接着部材や熱電対が放熱部材として働き正確な温度を測定することができません。よって実装基板上の温度を T_B 温度として測定することを推奨します。

図 10 のように製品中心から 2.05mm 離れたところに $\phi 1\text{mm}$ の熱電対取り付け用ランドパターンを設置してください。熱電対の固定にははんだや熱伝導率の高い接着剤を使用し、取り付けの際は製品にフラックスや接着剤が付着しないよう気を付けてください。

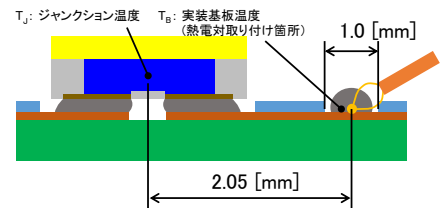


図 10. T_B 測定ポイント

4.3. 熱抵抗 $R_{\theta_{JB}}$

実装基板温度 T_B 測定箇所から製品のチップ（ジャンクション）までの熱抵抗 $R_{\theta_{JB}}$ は実装基板の条件により異なります。詳細は p.9「5.2.2. 熱抵抗 $R_{\theta_{JB}}$ 測定」を参考にしてください。なおジャンクション温度 T_J は熱抵抗値 $R_{\theta_{JB}}$ を使用して以下の式 2 にて計算することができます。

$$\text{ジャンクション温度 } T_J [^\circ\text{C}] = \text{実装基板温度 } T_B [^\circ\text{C}] + \text{消費電力 } P [\text{W}] \times \text{熱抵抗 } R_{\theta_{JB}} [^\circ\text{C/W}] \quad \dots (\text{式 } 2)$$

5. Nichia E11A Series の熱評価

様々な条件にて Nichia E11A Series のジャンクション温度 T_J および熱抵抗値 $R_{\theta_{JB}}$ を測定しました。なお測定方法は JESD51 に準拠しています。

5.1. 評価条件

以下に示す因子、水準にて評価を行いました。

○評価 LED

水準 1: NFSWE11A	色調ランク sm50(5000K 相当)、演色性ランク R8000
水準 2: NFSWE11A	色調ランク sm27(2700K 相当)、演色性ランク R9050
水準 3: NFSGE11A-V1	色調ランク G013(Green)
水準 4: NFSRE11A-V1	色調ランク Rp(Red)
水準 5: NFSBE11A-V1L1	色調ランク W014(Blue)

白色は蛍光体の量や種類によって発熱量が変わるため 2 水準評価しました。
Nichia E11A Series の最大定格ジャンクション温度 $T_{J,max}$ はいずれも 135°C です。

○実装基板材質

水準 1: CEM-3
水準 2: FPC(ポリイミド)

評価に使用した基板の仕様を表 4 に示します。なおヒートシンクなどの放熱部材は使用していません。

表 4. 評価基板仕様

種類	熱伝導率[W/m·K]	銅箔厚[μ m]	基材厚[mm]
CEM-3	1.0	35	1.2
FPC	0.4	35	0.2

○ランドパターン形状

ランドパターン形状: 弊社推奨条件 (図 8 参照)
ランドパターン形成方法: NSMD

○配線パターン幅

水準 1: 0.5mm 幅
水準 2: 0.9mm 幅

0.5mm 幅はランドパターン(電極端子)幅よりも狭く、熱が広がりにくいいため推奨できません。(図 11)

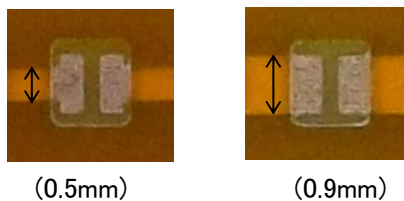


図 11. 配線パターン幅

○ 駆動電流値

- 水準 1: 65mA (定格電流)
- 水準 2: 130mA
- 水準 3: 200mA
- 水準 4: 250mA (最大定格電流)

○ T_B 温度測定箇所

「4.2. 実装基板温度 T_B の測定」参照

5.2. 評価結果

5.2.1. ジャンクション温度 T_J 測定

ジャンクション温度 T_J の測定結果を図 12~21 に示します。

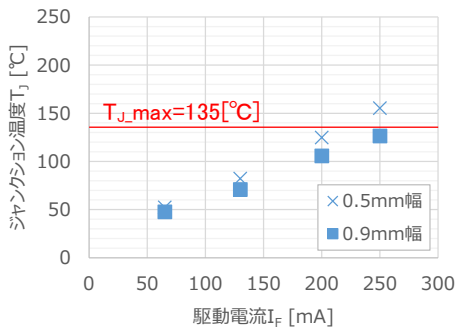


図 12. sm50/R8000、CEM-3

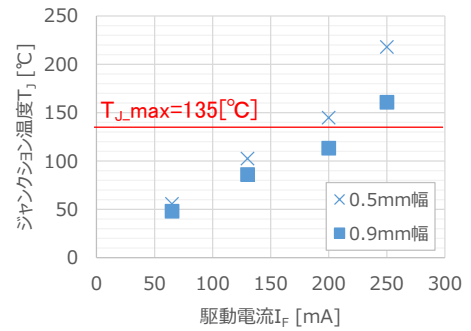


図 13. sm50/R8000、FPC

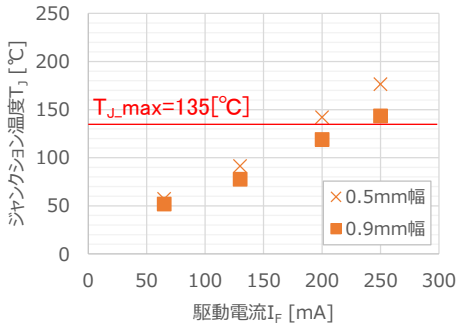


図 14. sm27/R9050、CEM-3

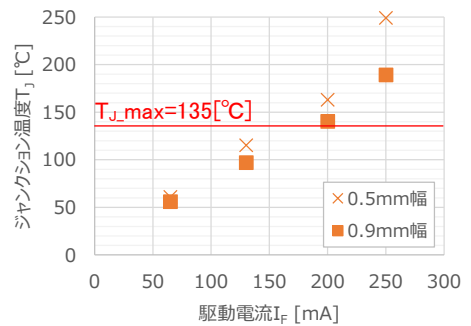


図 15. sm27/R9050、FPC

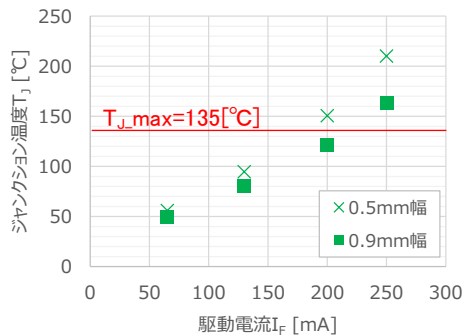


図 16. G013(Green)、CEM-3

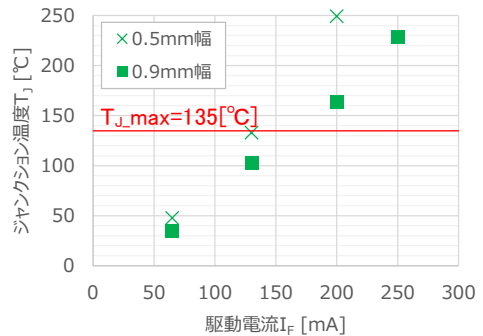


図 17. G013(Green)、FPC³

³ 最大定格温度を大幅に超える条件では評価を省略しています。

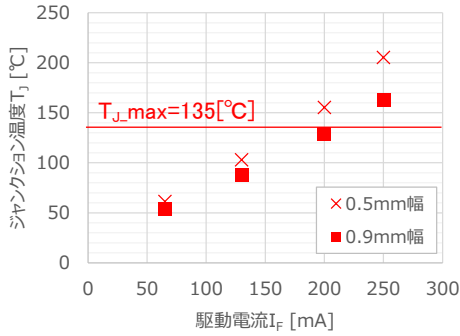


図 18. Rp(Red)、CEM-3

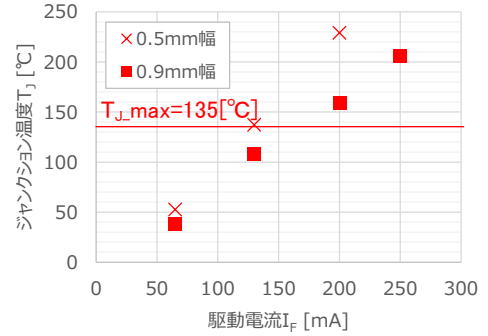


図 19. Rp(Red)、FPC³

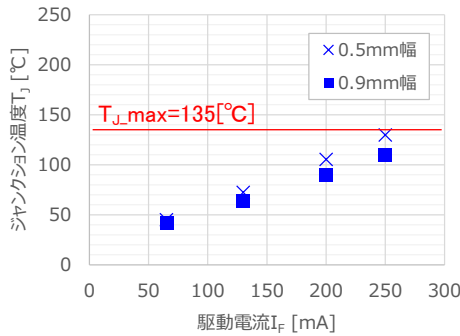


図 20. W014(Blue)、CEM-3

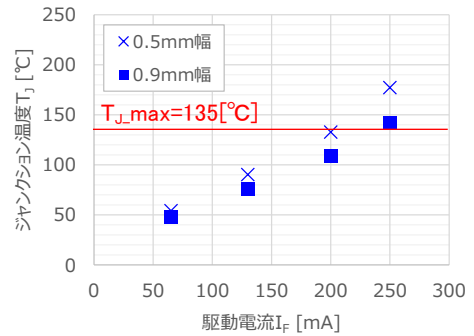


図 21. W014(Blue)、FPC

白色では蛍光体の発熱量が多い低色温度の方がジャンクション温度 T_j は高くなります。蛍光体を使用していない Blue は温度上昇が少ないです。また CEM-3 基板よりも FPC 基板、0.9mm 幅よりも 0.5mm 幅、と放熱性能が低いと考えられる条件でジャンクション温度 T_j は高くなります。駆動電流値とジャンクション温度 T_j は比例関係にあると言えますが、温度が急上昇している条件では発熱量に対する放熱性能が著しく不足していると考えられます。

いずれも定格電流 65mA 程度の使用では問題ありませんが、高い駆動電流値で 사용되는場合は放熱性能の高い基板やヒートシンクなどの放熱部材の使用を推奨します。

5.2.2. 熱抵抗 $R_{\theta JB}$ 測定

測定されたジャンクション温度 T_j と実装基板温度 T_B から熱抵抗 $R_{\theta JB}$ を算出しました。結果を図 22～31 に示します。

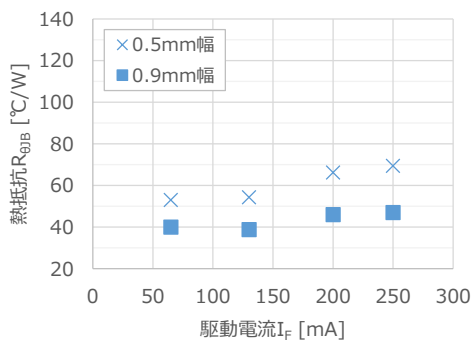


図 22. sm50/R8000、CEM-3

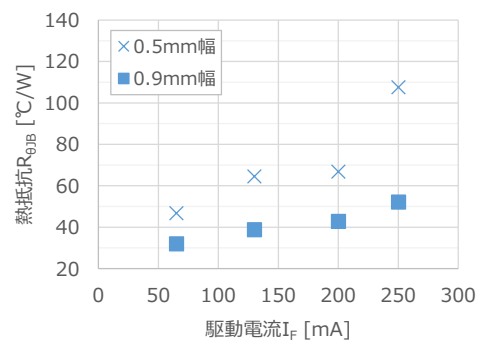


図 23. sm50/R8000、FPC

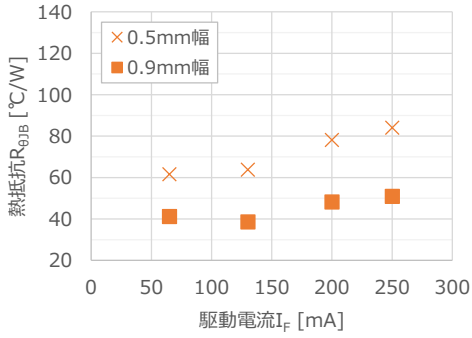


図 24. sm27/R9050、CEM-3

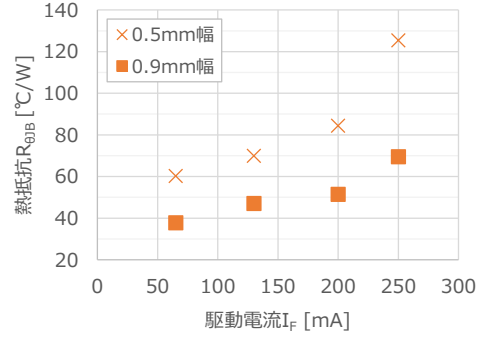


図 25. sm27/R9050、FPC

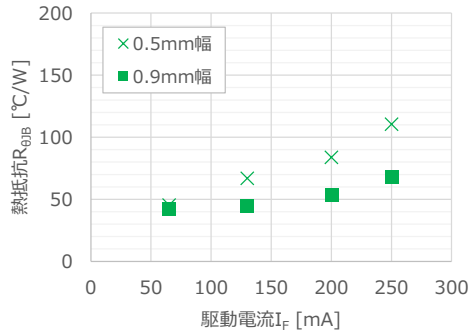


図 26. G013(Green)、CEM-3

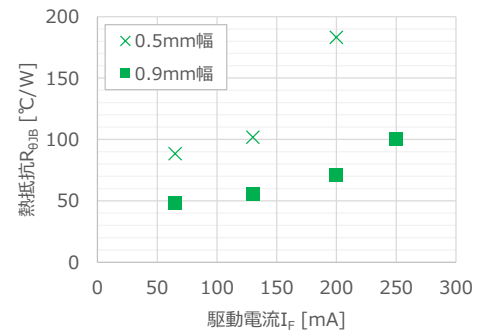


図 27. G013(Green)、FPC³

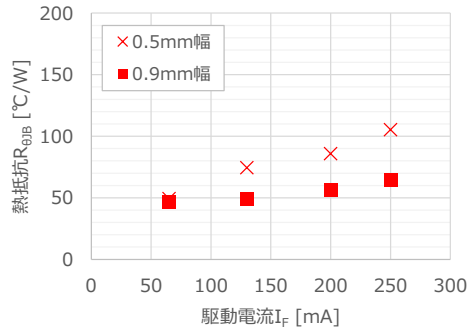


図 28. Rp(Red)、CEM-3

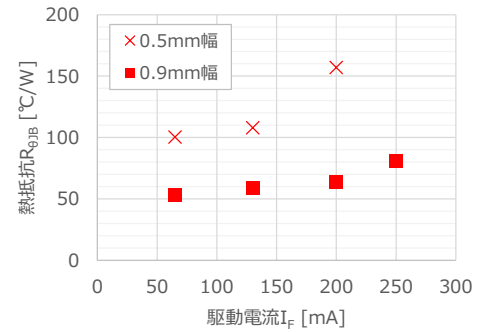


図 29. Rp(Red)、FPC³

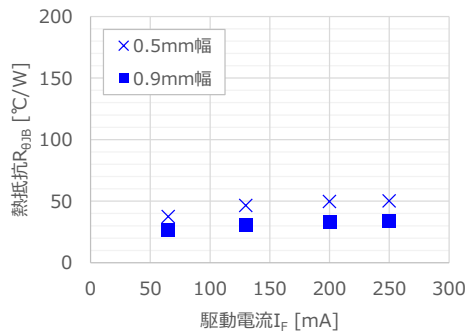


図 30. W014(Blue)、CEM-3

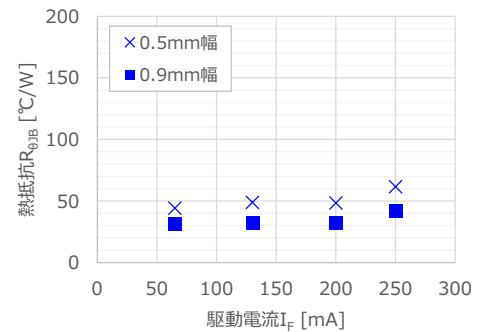


図 31. W014(Blue)、FPC

実装基板のパターン上の温度を T_B 温度として測定しているため、配線パターン幅による影響が大きいことがわかります。今回は小型アプリケーションを想定して NSMD ランドパターンで評価を行いました。実装基板設計に制約がなければ SMD ランドパターンでかつ配線パターン幅を大きくとることで熱抵抗値 $R_{\theta_{JB}}$ をより低くすることが可能と考えられます。

またジャンクション温度 T_J の測定結果と同様、放熱性能の低い FPC 基板/0.5mm 幅に高電流を流すと熱抵抗 $R_{\theta_{JB}}$ が急激に高くなることから、この条件では発熱量に対して実装基板の放熱性能が不十分であるということがわかります。

なお熱抵抗値 $R_{\theta_{JB}}$ が決まれば実装基板温度 T_B の測定値からジャンクション温度 T_J を算出することが可能となります。ただし上記結果の通り熱抵抗値 $R_{\theta_{JB}}$ は使用条件により大きく異なるので、熱抵抗 $R_{\theta_{JB}}$ を使用してジャンクション温度を計算する場合は図 22～31 に示す特性グラフから最も使用条件に近い熱抵抗値を読み取ってください。ただしこれらの値はお客様の使用条件、使用環境により異なる可能性があるため参考値としてお取り扱い願います。

6. 赤外線サーモグラフィによる熱評価

6.1. LED の表面温度 T_T について

多くの白色 LED は青色チップから発せられる青色光と蛍光体によって変換される黄色光の足し合わせで白色光を作り出しています。この蛍光体による色変換の際にエネルギーロス(熱)が発生するため、蛍光体は発熱源として作用します。(図 32) ただし製品に使用されている樹脂部材は高温に晒されると急速に劣化し製品の性能や信頼性に悪影響を及ぼす可能性があります。

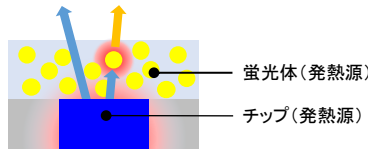


図 32. 白色 LED の発熱イメージ

6.2. 表面温度 T_T の測定方法

表面温度 T_T を熱電対で測定する場合、発光時に接着部材が発熱するため正確な温度を測定することができません。よって LED の表面温度 T_T を測定するには非接触測定の赤外線サーモグラフィの使用を推奨します。(図 33 参照) 赤外線サーモグラフィは温度分布の確認が可能なので、モジュール内で最も温度の高い LED の特定や異常発熱を起こしている LED の発見なども可能となります。

赤外線サーモグラフィで LED を測定する際は長時間点灯させて温度が安定した状態で発光表面の中心温度(最も温度が高い箇所)を測定してください。その他、赤外線サーモグラフィによる表面温度測定の注意点を以下に示します。

- ・赤外線サーモグラフィの測定では測定条件や環境により誤差が生じます。余裕を持った熱設計を行ってください。
- ・十分な解像度の測定器を使用してください。LED 表面ではチップ直上の中心部と端部で温度差が発生します。(図 33 参照) 解像度が低い場合、温度が平均化され実際の中心温度よりも低い値が出力される場合があります。
- ・LED 表面にフラックスやゴミなどの異物が付着している場合、正確な表面温度を測定できない場合があります。
- ・高密度実装の場合、中心に配置された LED は周囲の熱のあおりを受け温度が上がりがやすくなります。実装基板の仕様によっては熱分布が均一になっていない場合もあるためモジュール内の温度分布を確認してください。
- ・耐熱温度の低い光学部品と組み合わせる際は、LED 表面の発熱による影響がないことを事前に確認ください。

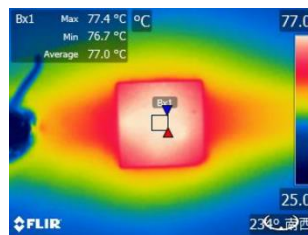


図 33. 赤外線サーモグラフィ測定例

6.3. 赤外線サーモグラフィによる熱評価

第 5 章の評価と同じ条件で、熱電対による実装基板温度 T_B の測定と赤外線サーモグラフィによる LED 表面温度 T_T の測定を行いました。またこの時の表面温度 T_T とジャンクション温度 T_J の差を確認しました。

6.3.1. 赤外線サーモグラフィによる表面温度 T_T 測定

赤外線サーモグラフィで測定した LED の表面温度 T_T を図 34～43 に示します。

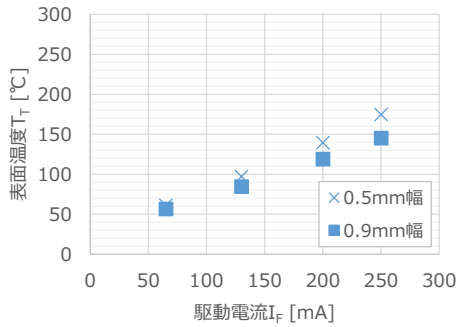


図 34. sm50/R8000、CEM-3

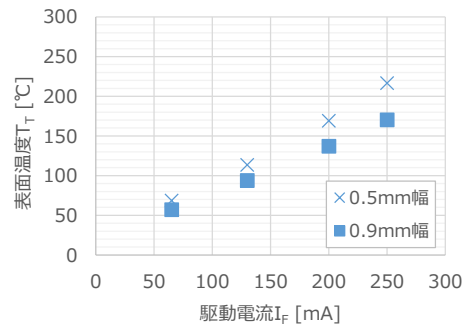


図 35. sm50/R8000、FPC

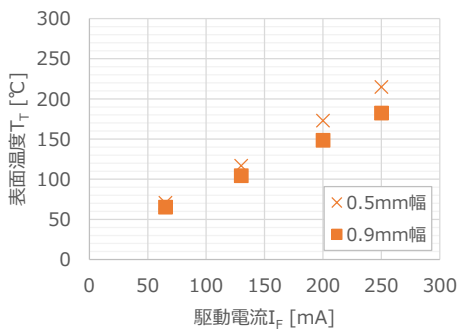


図 36. sm27/R9050、CEM-3

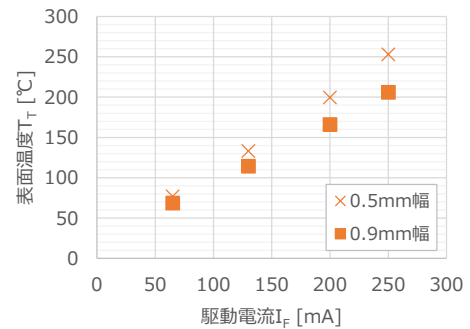


図 37. sm27/R9050、FPC

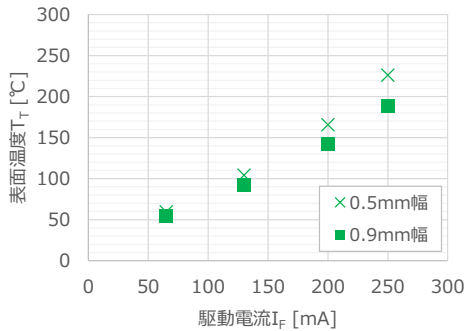


図 38. G013(Green)、CEM-3

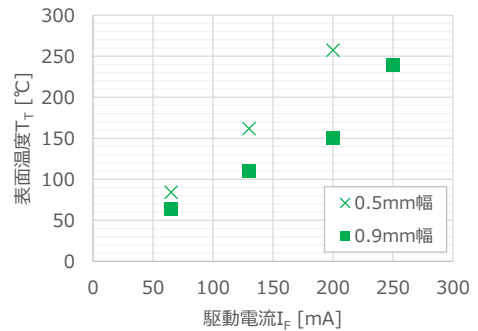


図 39. G013(Green)、FPC³

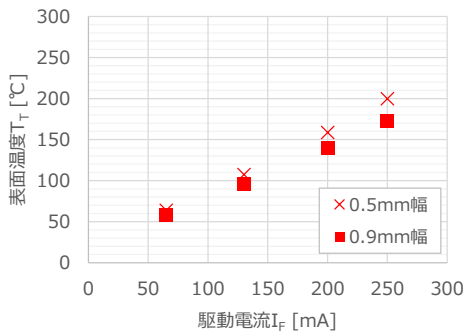


図 40. Rp(Red)、CEM-3

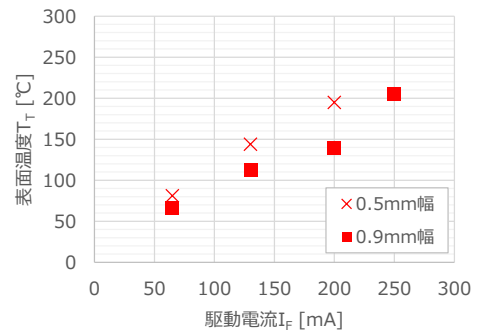


図 41. Rp(Red)、FPC³

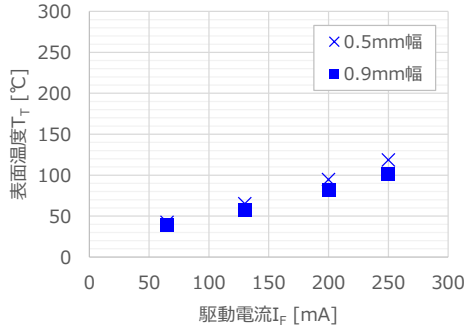


図 42. W014(Blue)、CEM-3

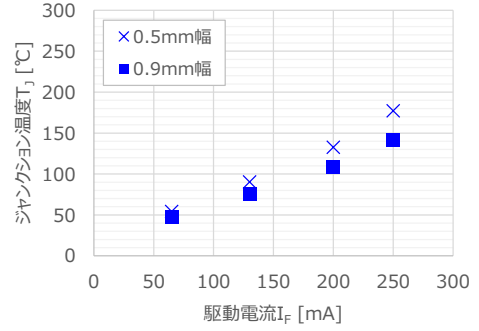


図 43. W014(Blue)、FPC

駆動電流に比例して表面温度 T_T は高くなります。表面温度 T_T は蛍光体の発熱による影響が大きいため、色調ランクによって大きく異なります。

6.3.2. 表面温度 T_T とジャンクション温度 T_J の関係

表面温度 T_T と実装基板温度 T_B 測定値から算出したジャンクション温度 T_J との温度差を計算しました。結果を図 44～53 に示します。

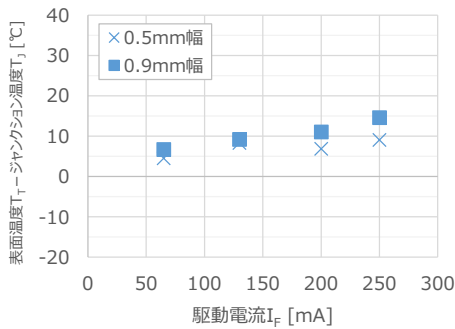


図 44. sm50/R8000、CEM-3

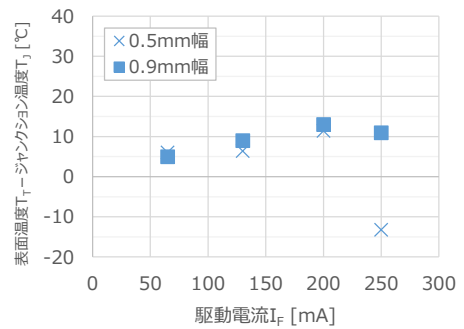


図 45. sm50/R8000、FPC

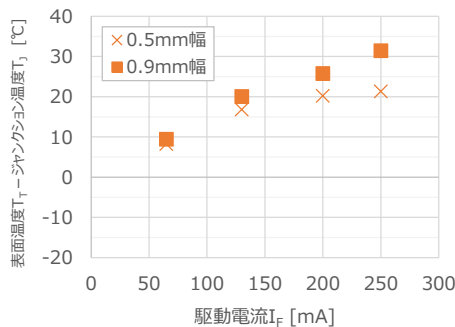


図 46. sm27/R9050、CEM-3

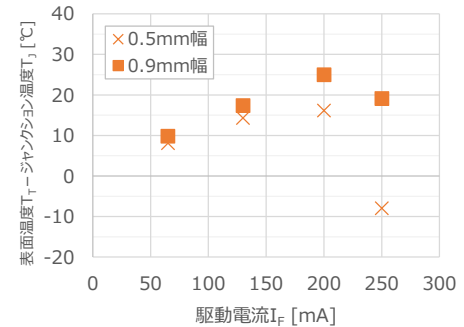


図 47. sm27/R9050、FPC

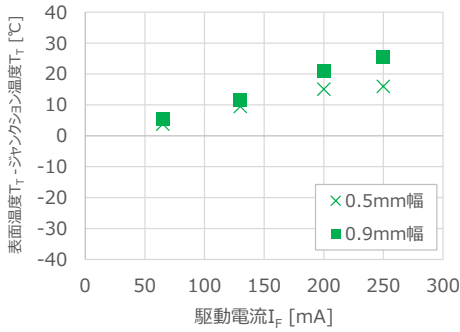


図 48. G013(Green)、CEM-3

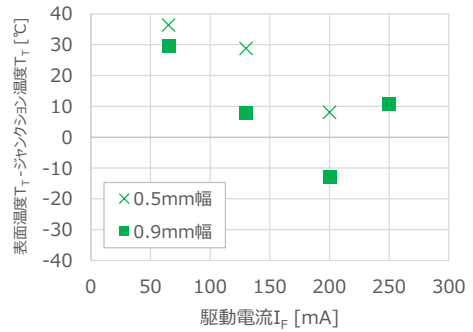


図 49. G013(Green)、FPC³

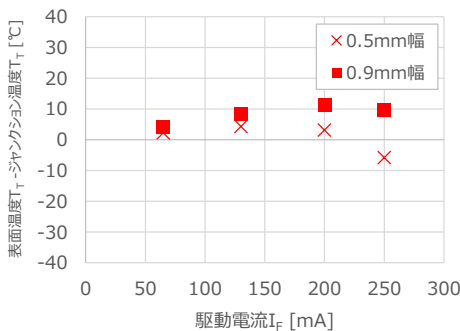


図 50. Rp(Red)、CEM-3

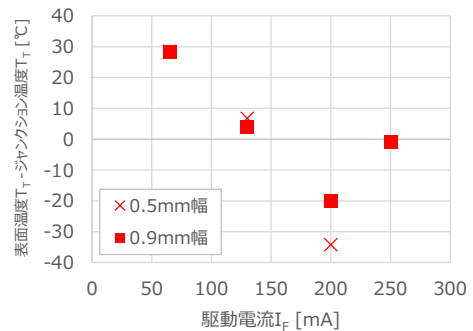


図 51. Rp(Red)、FPC³

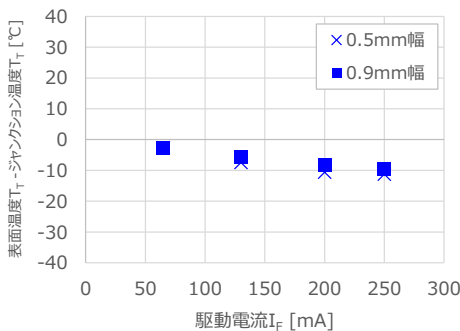


図 52. W014(Blue)、CEM-3

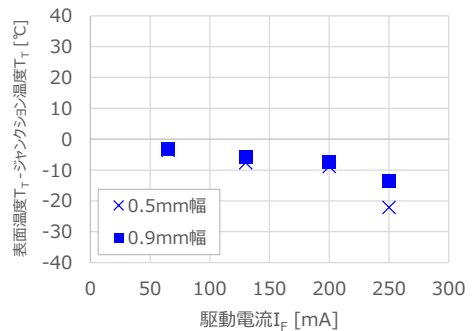


図 53. W014(Blue)、FPC³

基本的にジャンクション温度 T_J よりも表面温度 T_T の方が高くなりますが、FPC 基板のように放熱性能が低い場合はジャンクション温度 T_J の方が高くなる場合があります。また青色は蛍光体を使用していないため表面温度 T_T よりもジャンクション温度 T_J の方が高くなります。

本結果を用いることで赤外線サーモグラフィで測定した表面温度 T_T からおよそのジャンクション温度 T_J を推測することができます。ただし実装基板や放熱部材の放熱性能によっては上記の結果と異なる場合がありますので必ず表面温度 T_T とジャンクション温度 T_J の両方を測定し、いかなる条件においても最大定格温度を超えないことをご確認ください。

7. まとめ

Nichia E11A Series は非常に小さく、また搭載される器具においても小型のものが想定されるため熱設計および熱測定が難しい LED です。ただし適切な放熱設計を行い製品のジャンクション温度および表面温度を抑えることができれば、器具設計の可能性を広げる LED であるとも言えます。

放熱設計、温度測定の際は本書を参考にしてください。ただし本書における熱抵抗値は弊社評価条件、測定環境におけるものであり、お客様の使用条件、使用環境により異なる可能性があるため参考値としてお取り扱い願います。また十分余裕を持った熱設計をお勧めします。

<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