



車載用 LED の はんだクラックについて

目次

1. 概要.....	2
2. 適用品種.....	2
3. はんだクラックについて.....	4
4. はんだクラックの低減方法.....	5
5. はんだクラック評価.....	9
6. まとめ.....	15

本書内に記載する型番 NCxW121x、NCxx131x、Nxxx170x、NJxW270x、NxSx123x、NxSx172x、NCxW093x、NxSx146x、NCxW193x、NxSx572x、NHSx046x、NSSx063x、NxSx064x、NSSx088x、NSSW129、NSSM313x および NSSM438x 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 は基板にはんだ実装して使われることが多く、温度差の大きい環境下で繰り返し使用した場合、その熱ストレスによってはんだ接合部にクラックが発生する可能性があります。はんだクラックは、一般的に LED と基板の線膨張係数の差が大きい場合に生じやすく、進行するとはんだ接合不良により LED が不灯に至るおそれがあるため注意が必要です。はんだ実装する際は、はんだクラックについて十分に事前検証を行う必要があります。

本書では、はんだクラックの発生メカニズムを解説し、はんだクラックを低減する方法の一例を熱衝撃(温度サイクル)試験結果とともに紹介します。

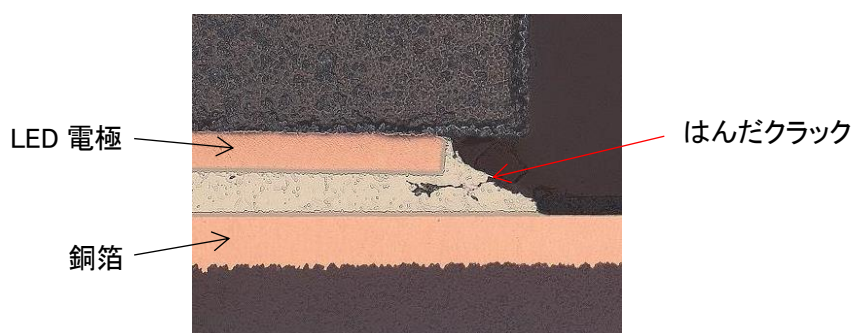


図1. はんだクラックの発生例

2. 適用品種

本書は、表 1 に示す LED を対象とした参考資料となります。

表 1. 適用品種

品種	Nichia 121 Series				Nichia 131 / 170 Series ※		
型番	NC2W121x	NC3W121x	NC4W121x	NC5W121x	NCSx131x NCSx170x	NC2x131x NC2x170x	NJSx170x
外観例							
寸法 (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

※Nichia 131 Series と Nichia 170 Series は裏面電極パターンが異なります。

品種	Nichia 270 Series		Nichia 123 Series		Nichia 172 Series	
型番	NJ2W270x	NJ3W270x	NFSx123x	NJSx123x	NFSx172x	NJSx172x
外観例						
寸法 (mm)	3.5 × 3.5 × 0.75		2.0 × 3.0 × 0.7		3.0 × 3.0 × 0.8	

品種	Nichia 093 Series				Nichia 146 Series		
型番	NC2W093x	NC3W093x	NC4W093x	NC5W093x	NESx146x	NHSx146x	NSSx146x
外観例							
寸法 (mm)	8.5 × 8.0 × 1.5				1.4 × 2.2 × 0.7		

品種	Nichia 193 Series					Nichia 572 Series	
型番	NCSW193x	NC2W193x	NC3W193x	NC4W193x	NC5W193x	NJSx572x	NSSx572x
外観例							
寸法 (mm)	11.8 × 8.0 × 1.7					3.0 × 3.0 × 0.7	

品種	Nichia 046 Series		Nichia 063 Series		Nichia 064 Series		
型番	NHSx046x		NSSx063x		NESx064x	NHSx064x	NSSx064x
外観例							
寸法 (mm)	1.4 × 2.2 × 1.3		2.8 × 3.5 × 2.0		2.8 × 3.5 × 2.0		

品種	Nichia 088 Series		Nichia 129 Series	Nichia 313 Series	Nichia 438 Series
型番	NSSx088x		NSSW129	NSSM313x	NSSM438x
外観例					
寸法 (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

x は同タイプの LED を代表する記号として用いています。

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

3. はんだクラックについて

はんだクラックの発生メカニズムについて解説します。

図 2 は、LED をアルミ基板上にはんだ実装した状態を示しています。

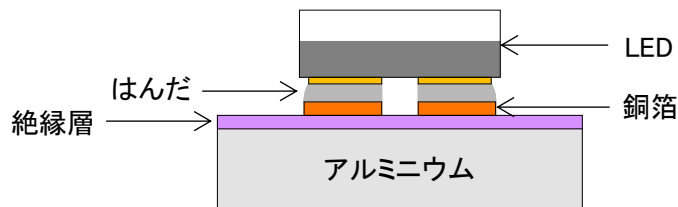


図 2. LED 実装状態

これを温度変化の大きい環境下で使用すると、LED と基板の線膨張係数が異なるため、それぞれの伸び縮みが異なり、はんだ接合部に応力が印加されます。(図 3 参照)

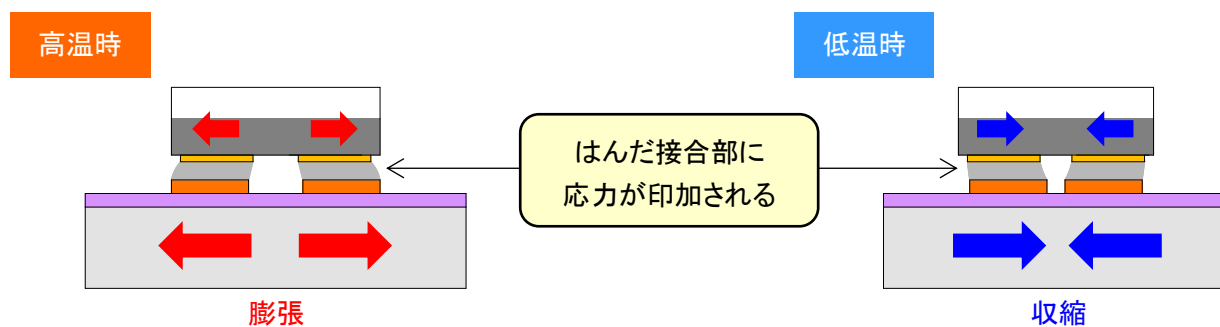


図 3. はんだ接合部に加わる応力

はんだ接合部に応力が印加され続けた結果、はんだ接合部の一部に亀裂(はんだクラック)が発生します。はんだクラックが進行し接合部全域に及ぶと、LEDに通電できなくなり不灯となります。(図 4 参照)

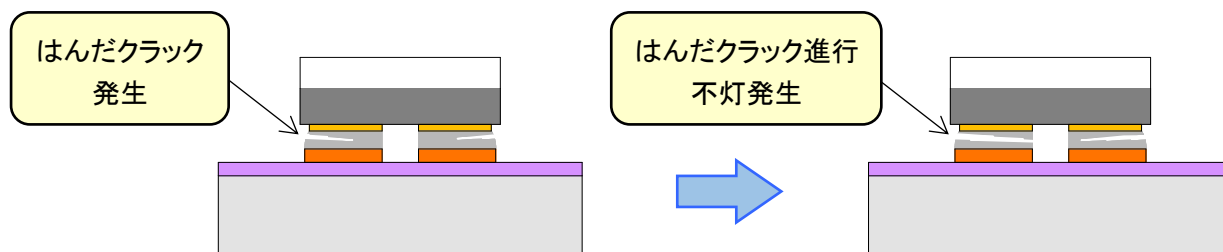


図 4. はんだクラック発生

4. はんだクラックの低減方法

4.1 基板の線膨張係数

はんだクラックは、LED と基板の線膨張係数の差が大きい場合に生じやすくなります。線膨張係数とは、温度上昇によって物体の長さが変化する割合を 1℃当たりで示したものです。表 2 に日亜 LED 各製品のパッケージ材料を示し、表 3 にこれらの LED パッケージ材料と一般的な基板材料の線膨張係数を示します。

なお、線膨張係数は、一般的な代表値を記載しています。

表 2. 各製品のパッケージ材料

LED パッケージ材料	品種
窒化アルミニウム	Nichia 121、131、170、270 Series
酸化アルミニウム	Nichia 123、172 Series
樹脂	Nichia 046、063、064、088、093、129、146、193、313、438、572 Series

表 3. LED と基板の線膨張係数

LED パッケージ		基板	
材料	線膨張係数 (1/℃)	材料	線膨張係数 (1/℃)
窒化アルミニウム	5×10^{-6}	セラミックス	8×10^{-6}
酸化アルミニウム	7×10^{-6}	鉄	12×10^{-6}
樹脂	16×10^{-6}	ガラスエポキシ (FR-4)	14×10^{-6}
		銅	17×10^{-6}
		アルミニウム	21×10^{-6}

LED パッケージ材料と線膨張係数の差が小さい基板材料を選定することで、はんだクラックの低減が可能です。たとえば、パッケージ材料に窒化アルミニウムを用いた Nichia 121、131、170、270 Series とアルミ基板の組み合わせでは線膨張係数の差が $16 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ であるのに対し、銅基板との組み合わせでは $12 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ になるため、銅基板を用いる方がはんだクラックは生じにくい条件になることが分かります。(図 5 参照)

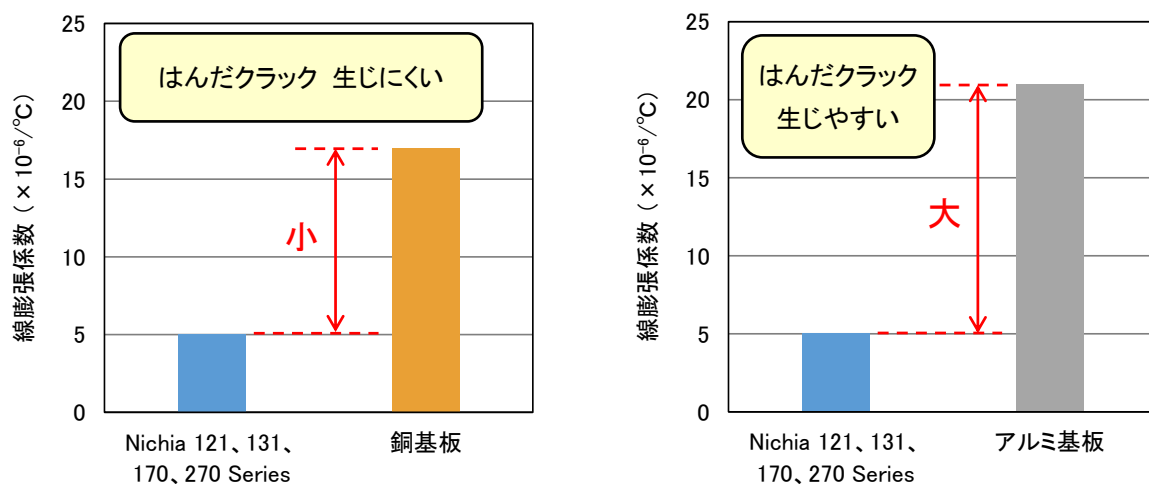


図 5. Nichia 121、131、170、270 Series と基板の線膨張係数の差

4.2 基板の絶縁層の弾性率

一般に、アルミ基板の絶縁層に低弾性品を使用することで、はんだクラックの低減に効果があります。低弾性の絶縁層は、LED と基板材料の線膨張係数の差で生じた応力を変形追従することができるため、はんだ接合部への応力を緩和することが可能です。(図 6 参照)

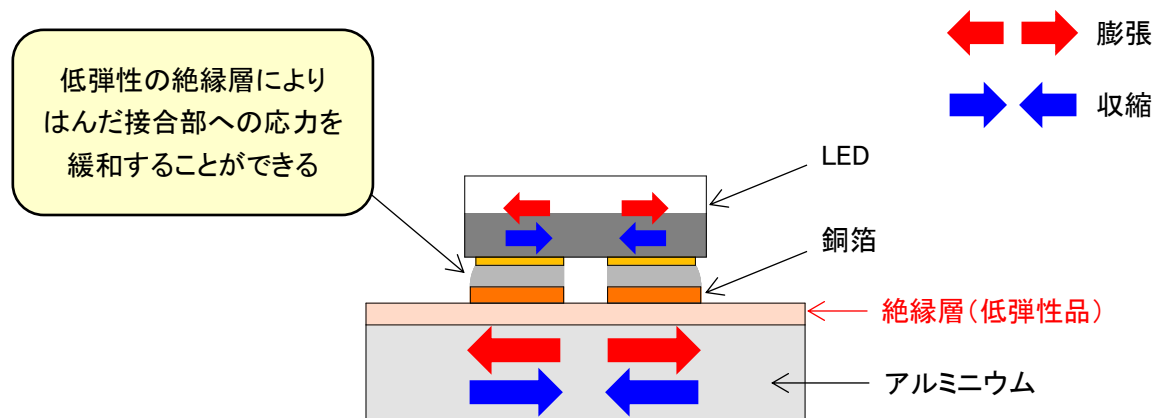


図 6. 低弾性の絶縁層を用いたアルミ基板

なお、絶縁層の弾性率を低くすることにより、アルミ基板の熱伝導率が小さくなる場合がありますのでご注意ください。

4.3 基板のランドパターン構造

基板のランドパターン(取り付けパターン)形成方法には SMD (Solder Mask Defined) と NSMD (Non-Solder Mask Defined) という 2 つの構造があります。SMD は実装基板のランドパターンをソルダーレジストの開口で形成する構造であり、NSMD はランドパターンを銅箔の形状で形成する(銅箔にソルダーレジストがかからない)構造です。

表 4 の LED 実装状態の図が示すように、SMD でははんだがランドパターン(銅箔)の上面部としか接合しないのに対し、NSMD でははんだがランドパターン(銅箔)の上面部および側面部とも接合します。このことから、NSMD は SMD よりもはんだ接合強度が高いと考えられ、はんだクラック耐性に関して有利な構造といえます。

表 4. 基板のランドパターン構造 (SMD と NSMD)

ランドパターン構造		SMD	NSMD
特徴	基板構造	ソルダーレジスト 銅箔 ベース金属 絶縁層	ソルダーレジスト 銅箔 ベース金属 絶縁層
	LED実装状態	LED はんだ	LED はんだ
	ランドパターン外観 (例)	銅箔 ソルダーレジスト	銅箔 ソルダーレジスト
	はんだ 接合強度	—	高い
特徴	実装性	ボイド、はんだボールを低減しにくい	ボイド、はんだボールを低減しやすい
	ランドパターン 精度	良くない (ソルダーレジスト印刷)	良い (銅箔エッチング)
	放熱性	良い (銅箔面積が大きい)	—

基板選定の際は、上記の特徴を考慮し、はんだクラック耐性だけでなく必要な検証を十分に行ってください。

4.4 ボイドの影響

はんだ接合部にボイドが多く存在すると、はんだクラックの進行が促進されるおそれがあります。LED を実装する際は、できるだけボイドを低減してください。

ボイド低減方法の例を以下に示します。

- ・ ランドパターン構造を NSMD にする。

NSMD は、リフロー時、はんだ接合部に存在したガスやはんだ内部で発生したガス・フラックス残渣が外部へ放出されやすい構造です。(4.3 節 表 4 参照)

- ・ リフロープロファイルを調整する。

具体的には、プリヒートまでの昇温スピードやプリヒート後リフローまでの昇温スピードを遅くすることでガスの発生を抑制する、リフローピーク温度を高くしピーク時間を長くすることではんだが十分に溶融した状態を持続させガス・フラックス残渣を外部へ放出しやすくする等が挙げられます。

プリヒートの温度が高すぎたり時間が長すぎたりすると、フラックスが劣化しはんだ濡れ性の低下につながるため、ボイドは増加する傾向となります。

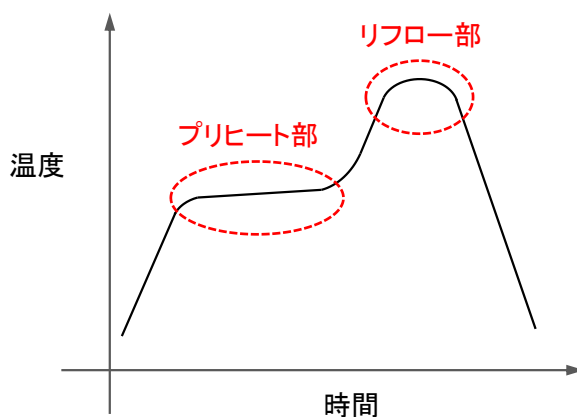


図 7. リフロープロファイル

なお、リフロープロファイルの調整は、弊社の推奨するリフロー条件および使用するはんだの推奨リフロー条件の範囲内で行ってください。弊社の推奨リフロー条件については、該当する製品型番の標準仕様書をご確認ください。

4.5 高信頼性鉛フリーはんだについて

はんだペーストには、特にはんだクラックの発生や進行を抑制することを目的として開発された高信頼性鉛フリーはんだがあります。一般に、高信頼性鉛フリーはんだを使用することで、標準の鉛フリーはんだと比較してはんだ接合強度が向上します。しかし、その影響で LED に応力が集中し、LED 素子のクラックや破壊につながる場合もあります。はんだペースト選定の際は、事前にお客様の最終仕様の基板でご使用になる環境等を想定した信頼性の検証を十分に行ってください。

5. はんだクラック評価

Nichia 131/170 Series で動作温度 $-40\sim 135^{\circ}\text{C}$ に対応した製品の内、NCSW170G を用いてはんだクラック評価を行いました(図 8 参照)。ただし、これらはあくまで弊社試験条件による参考データになります。

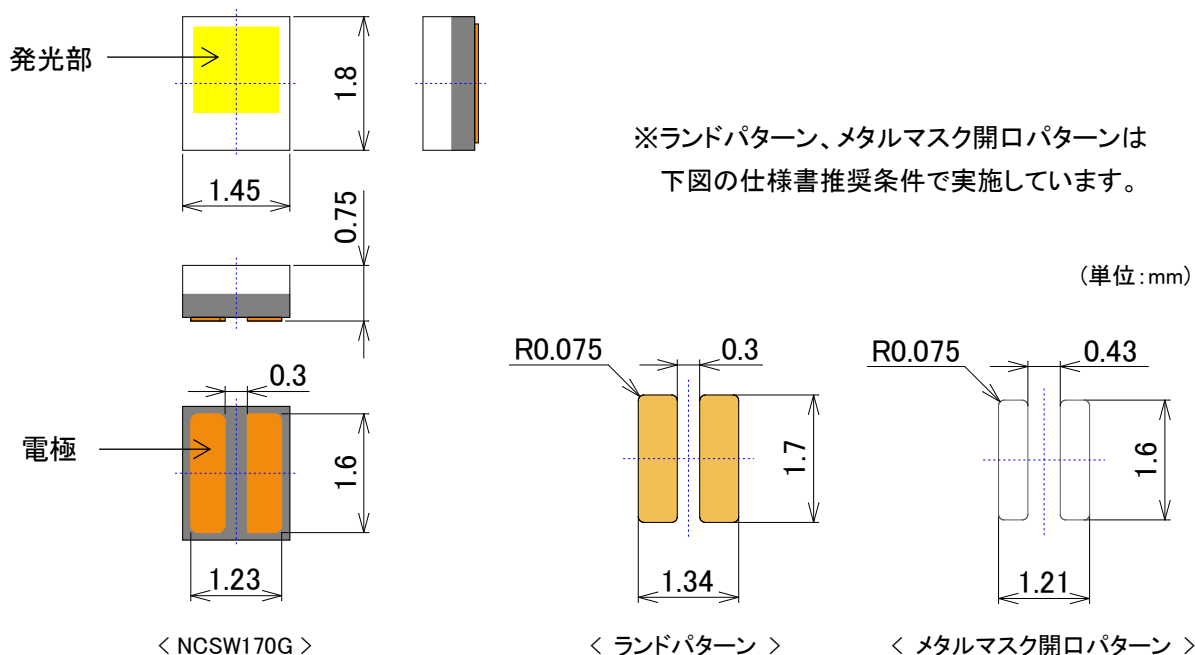


図 8. 各種図面

下記に示す条件で LED 実装後の基板を $-40^{\circ}\text{C}\sim 135^{\circ}\text{C}$ の熱衝撃試験に投入し、順電圧上昇率(ΔV_F)*¹ および不灯発生率の調査を行いました。サンプルは、基板のベース金属、絶縁層、およびランドパターン構造について各種組み合わせを変更しています。(表 5 参照)

[試験条件]

- ・ LED: NCSW170G
- ・ 基板: 絶縁層の異なるアルミ基板, 標準の絶縁層を有する銅基板 (表 6 参照)
※厚さ: ベース金属 1.5mm / 絶縁層 100 μm / 銅箔 70 μm
- ・ ランドパターン構造: SMD または NSMD (表 7 参照)
- ・ はんだペースト: 標準的な組成の鉛フリーはんだ (Sn-3.0Ag-0.5Cu)
- ・ メタルマスク厚さ: 100 μm (メタルマスク開口パターンは図 8 参照)
- ・ ボイド率: <10% (はんだ接合部面積に占めるボイド面積の割合, X 線検査にて確認)
- ・ 温度サイクル条件: -40°C (15 分) $\leftrightarrow$ 135°C (15 分), 3000 サイクルまで, 非通電
- ・ 試験数: 10pcs または 20pcs

5.1~5.3 節に試験結果を示します。3000 サイクルまでの各段階で $\Delta V_F \geq 10\%$ *² および不灯の発生数を比較し、不灯発生率の推移を示しました。また、はんだクラック発生時期の目安として不灯以外のサンプルから ΔV_F 平均値を求め、その推移についても比較しました。

*¹ はんだクラックが発生した場合、はんだ接合部の電気抵抗が大きくなり順電圧(V_F)が上昇する傾向があるため、参考として用いています。順電圧上昇率(ΔV_F)は、初期の V_F に対する V_F 上昇分の割合を%で示した値です。

*² $\Delta V_F \geq 10\%$ は、弊社信頼性試験の判定基準を適用しています。

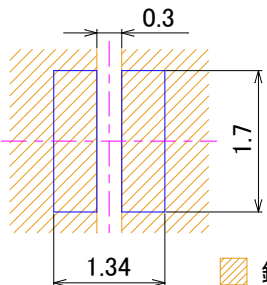
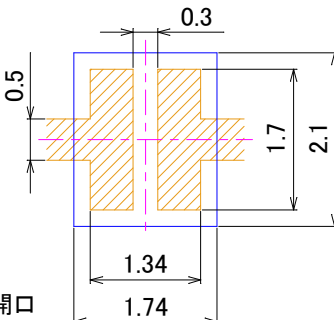
表 5. 各サンプルの基板条件

サンプル No.	基板		
	ベース金属	絶縁層(表 6 参照)	ランドパターン構造(表 7 参照)
1	アルミニウム	標準品	SMD
2	銅	標準品	SMD
3	アルミニウム	低弾性品	SMD
4	アルミニウム	標準品	NSMD

表 6. 絶縁層の種類

絶縁層種類	弾性率(貯蔵弾性率)(GPa)
標準品	13
低弾性品	0.16

表 7. ランドパターン構造

ランドパターン構造	
SMD	NSMD
 銅箔パターン ソルダーレジスト開口	

5.1 基板のベース金属の違いによる比較

基板のベース金属にアルミニウムを用いる、または銅を用いる以外は全て同条件で比較しました。(表 8 参照)

その結果、アルミニウムベースの基板(アルミ基板)を用いたサンプル 1 は 1500 サイクルで $\Delta V_F \geq 10\%$ や不灯が多数発生しているのに対し、銅ベースの基板(銅基板)を用いたサンプル 2 は 3000 サイクルでもそれらの発生はみられませんでした(表 9 参照)。また、図 9 の ΔV_F 平均値が示すように、サンプル 2 は 2500 サイクルまで V_F の上昇がほぼ生じていないことを確認しました。

これらのことから、NCSW170G のパッケージ材料(窒化アルミニウム)との線膨張係数の差において、アルミ基板よりもその差が小さくなる銅基板を用いる方が、はんだクラック低減に有効であることが分かります。

表 8. サンプル条件

サンプル No.	基板		
	ベース金属	絶縁層	ランドパターン構造
1	アルミニウム	標準品	SMD
2	銅	標準品	SMD

表 9. $\Delta V_F \geq 10\%$ および不灯の発生数

サンプル No.	評価項目	サイクル数							
		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
	不灯	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
	不灯	0/10	0/10	0/10	0/10	0/10	0/10	0/10	0/10

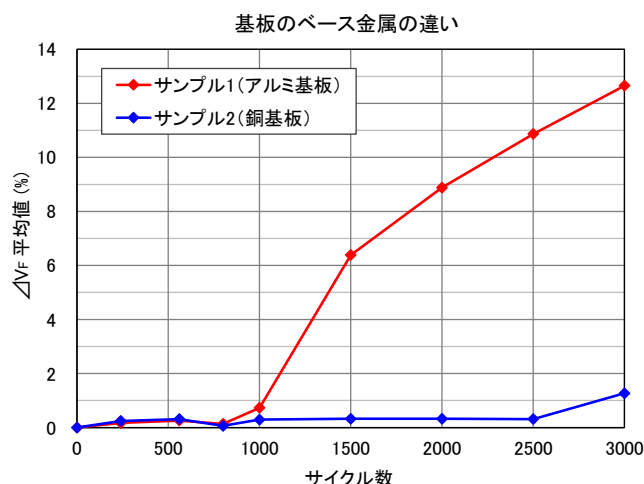
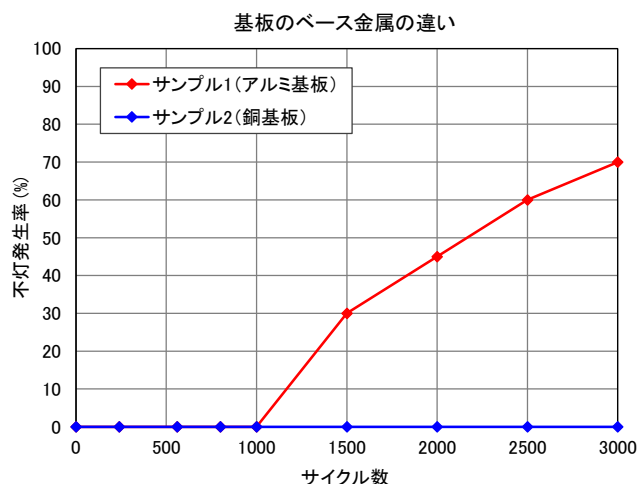


図 9. 不灯発生率および ΔV_F 平均値

5.2 基板の絶縁層の違いによる比較

アルミ基板の絶縁層に低弾性品を使用する以外は全てサンプル 1 と同条件で比較しました。(表 10 参照)

その結果、低弾性品を用いたサンプル 3 は 2500 サイクルまで $\Delta V_F \geq 10\%$ の発生はみられず、不灯については 3000 サイクルでも発生しませんでした(表 11 参照)。また、図 10 の ΔV_F 平均値が示すように、サンプル 3 は 2500 サイクルまで V_F 上昇の平均が約 1% 程度であることを確認しました。

これらのことから、標準の絶縁層を有するアルミ基板よりも低弾性の絶縁層を有するアルミ基板を用いる方が、はんだクラック低減に有効であることが分かります。

表 10. サンプル条件

サンプル No.	基板		
	ベース金属	絶縁層	ランドパターン構造
1	アルミニウム	標準品	SMD
3	アルミニウム	低弾性品	SMD

表 11. $\Delta V_F \geq 10\%$ および不灯の発生数

サンプル No.	評価項目	サイクル数							
		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
	不灯	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
	不灯	0/10	0/10	0/10	0/10	0/10	0/10	0/10	0/10

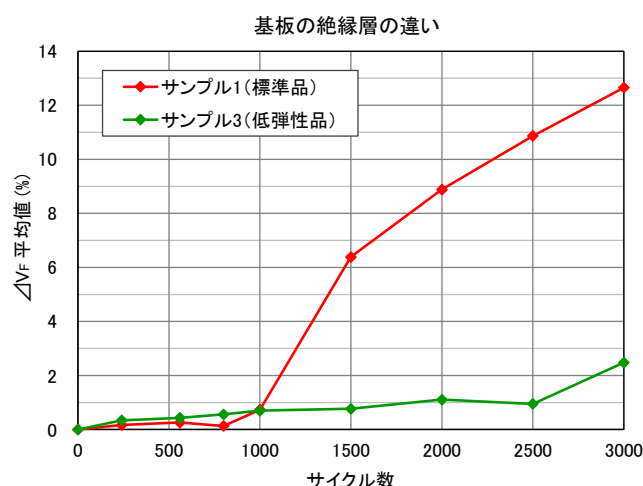
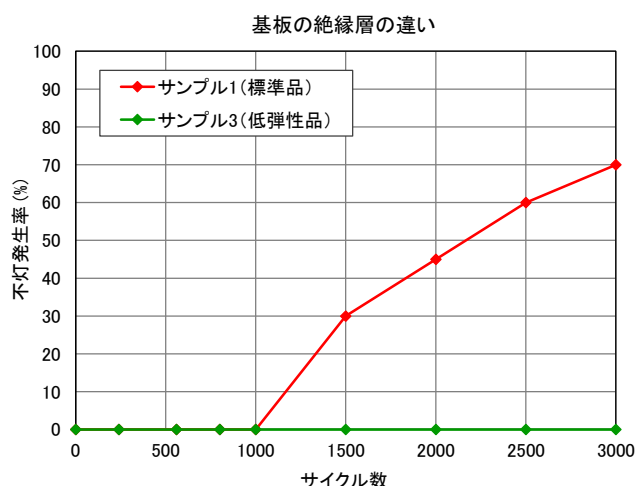


図 10. 不灯発生率および ΔV_F 平均値

5.3 基板のランドパターン構造の違いによる比較

アルミ基板のランドパターン構造を NSMD にする以外は全てサンプル 1 と同条件で比較しました。(表 12 参照)

その結果、NSMD を用いたサンプル 4 は 1500 サイクルまで $\Delta V_F \geq 10\%$ の発生はみられず、不灯については 3000 サイクルでも発生しませんでした(表 13 参照)。また、図 11 の ΔV_F 平均値が示すように、サンプル 4 は 1500 サイクルまで V_F 上昇の平均が 1%未満であることを確認しました。

これらのことから、ランドパターン構造が SMD のアルミ基板よりも NSMD のアルミ基板を用いる方が、はんだクラック低減に有効であることが分かります。

表 12. サンプル条件

サンプル No.	基板		
	ベース金属	絶縁層	ランドパターン構造
1	アルミニウム	標準品	SMD
4	アルミニウム	標準品	NSMD

表 13. $\Delta V_F \geq 10\%$ および不灯の発生数

サンプル No.	評価項目	サイクル数							
		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
	不灯	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
	不灯	0/10	0/10	0/10	0/10	0/10	0/10	0/10	0/10

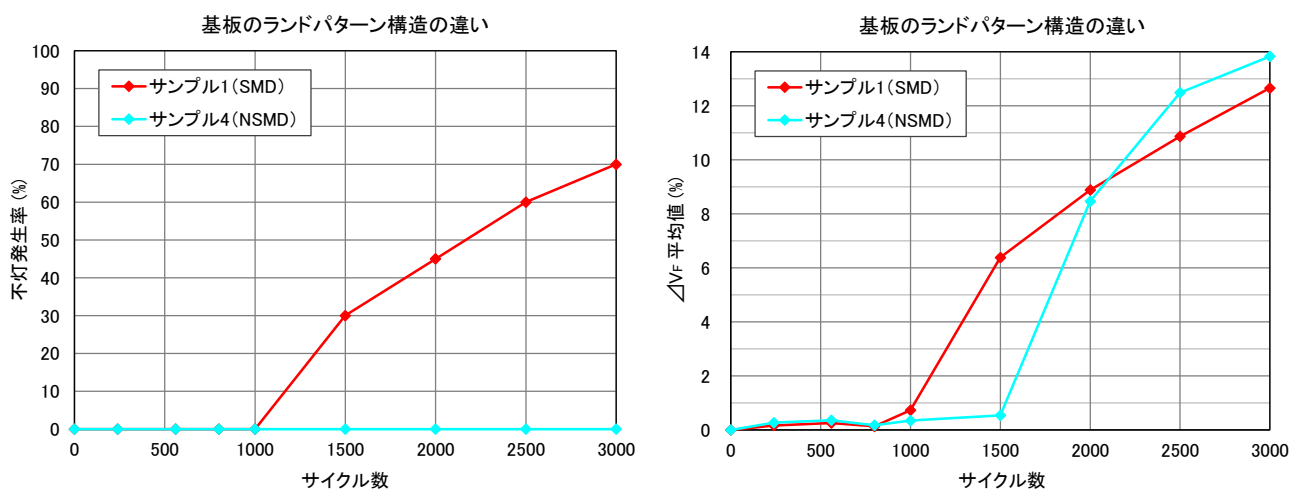


図 11. 不灯発生率および ΔV_F 平均値

5.4 断面観察(参考)

参考までに、熱衝撃試験 3000 サイクル後の断面観察結果の一例を表 14 に示します。なお、断面研磨位置および観察方向は、図 12 に示す通りです。

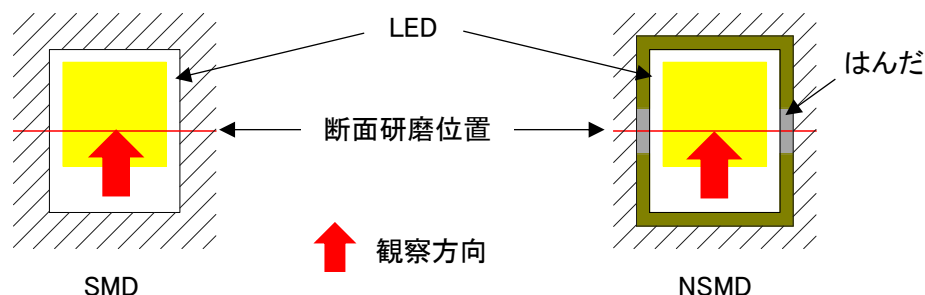
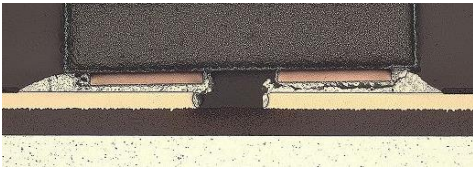


図 12. 断面研磨位置および観察方向

表 14. 断面解析結果一例(3000 サイクル後)

サンプル 1		
基板条件		断面写真
ベース金属	アルミニウム	
絶縁層	標準品	
ランドパターン構造	SMD	
クラック率*3		57%
サンプル 2		
基板条件		断面写真
ベース金属	銅	
絶縁層	標準品	
ランドパターン構造	SMD	
クラック率*3		48%
サンプル 3		
基板条件		断面写真
ベース金属	アルミニウム	
絶縁層	低弾性品	
ランドパターン構造	SMD	
クラック率*3		19%

*3 クラック率(%) = クラックの水平方向長さ合計 / 両電極はんだ接合部の水平方向長さ合計 × 100

サンプル 4		
基板条件		断面写真
ベース金属	アルミニウム	
絶縁層	標準品	
ランドパターン構造	NSMD	
クラック率*3		55%

6. まとめ

LED を基板にはんだ実装して使用する際、特に LED のパッケージ材料がセラミックス(窒化アルミニウム、酸化アルミニウム)の場合は、温度差の大きい環境下で繰り返し使用するとはんだクラックが発生・進行しやすくなるため注意が必要です。

本書では、はんだクラック低減対策の一例として、「線膨張係数を考慮した基板材料の選定」、「アルミ基板での低弾性絶縁層の使用」、「NSMD ランドパターン構造の採用」について紹介しました。ここに示したはんだクラック評価結果は、あくまでも弊社試験条件による参考データになります。事前にお客様の最終仕様製品の実装基板、はんだペーストにて、ご使用になる環境等を考慮したはんだクラックの検証を十分に行ってください。はんだクラックの評価は、はんだ接合部の断面観察や接合強度の確認(シェアテスト)等によっても有効です。

本書に示したはんだクラック低減対策は、放熱性や実装性に影響する場合があります、また選択する部材によっては LED の特性や信頼性に悪影響を及ぼす可能性もあります。事前にお客様の最終仕様製品にて、実際の使用環境等を想定し、点灯試験や必要な検証等を十分に行い、期待される性能が保たれていることをご確認ください。

※図 1、表 14 の断面写真「画像素材：株式会社クオルテック」

＜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