

LEDの放熱設計について

1. 概要

今日、さまざまな分野でのLEDの応用が進んでいます。日亜化学工業では、これらに対応できるよう小電力であるLED製品群と、大電力に対応可能なLED製品群を用意しています。小電力であるLEDは光度をそれほど必要としないアプリケーション、例えばバックライトシステムやインジケータなどです。大電力であるLEDは、非常に高い光度を必要とするアプリケーション、例えば自動車用のヘッドライトや室内照明灯などがあります。

小電力であるLEDを使用するアプリケーションでは比較的小さなスペースにLEDが実装される場合が多く、この場合放熱に関する設計がひとつの重要なファクターとなることがあります。また一方、大電力であるLEDの場合もLEDのパフォーマンスを十分に引き出すため放熱設計は必須です。それを行わない場合は、寿命の著しい低下や破壊モードになります。本書では基本的な放熱に対する考え方と、日亜化学工業の大電力対応LEDでの具体的な例を示します。

2. 放熱設計の手順

LEDの使用できる最大温度は、ジャンクション温度 (T_j) といわれるPN接合部の温度によって決められます。これ以上温度を上昇させることができない限界のジャンクション温度を最大ジャンクション温度 (T_{jMAX}) とよびます。従って、放熱設計では、最大ジャンクション温度を超えないために使用時のジャンクション温度の予測が必要です。

T_j を低く保つ工夫をすることにより、寿命を伸ばすことができます。

T_j を予測するための方法として、熱抵抗の概念を導入します。図1にNCCW022の構造図を示します。

周辺雰囲気とダイス(Dice)の間には、ダイ・ヒートシンク(Die heat sink)、ダイボンド樹脂(D/B resin)、封止樹脂(Encapsulating resin)、耐熱性パッケージ(Package)、光学レンズ(Optical lens)が存在します。また、基板に実装する場合には、基板と実装パッドが追加されることとなります。

熱的な回路図とは、 T_j から周辺温度 (T_a) までの温度勾配を熱抵抗 ($^{\circ}C/W$) というファクターを使って表現する手法であり、電気的な回路図と同じようなものとして扱うことができます。

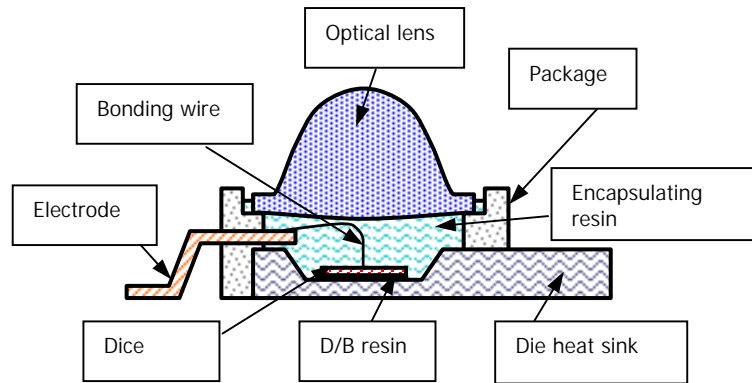


図1 NCCW022の構造図

2-1 熱モデルの考え方

T_j から T_a までの熱抵抗を $R_{ja}(^{\circ}C/W)$ とします(図2)。この時、 T_j は、(1)式で表せます。ここで、 W はLEDに投入された電力(W)を表します。

$$T_j = T_a + R_{ja} \cdot W \quad \dots (1)$$

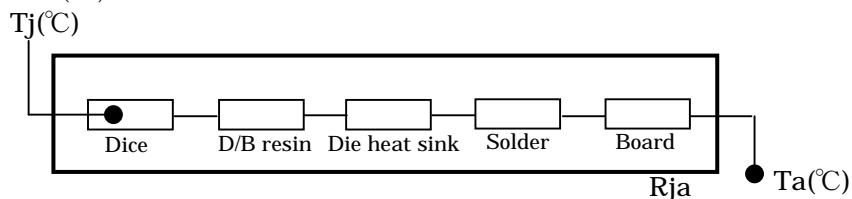


図2 周辺温度 T_a からダイスまでの熱抵抗を示す回路図

同様にダイ・ヒートシンク上面温度(T_c) (図4) を用いて T_j から T_c の熱抵抗を $R_{jc}(^{\circ}C/W)$ 、 T_c から T_a までの熱抵抗を $R_{ca}(^{\circ}C/W)$ と示すと (図3) 、 T_j は (2) 式で表せます。

$$T_j = T_c + R_{jc} \cdot W \quad \dots (2)$$

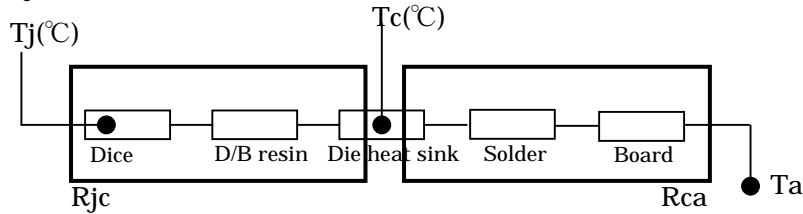


図3 T_j から T_c の熱抵抗、 T_c から T_a までの熱抵抗を示す回路図

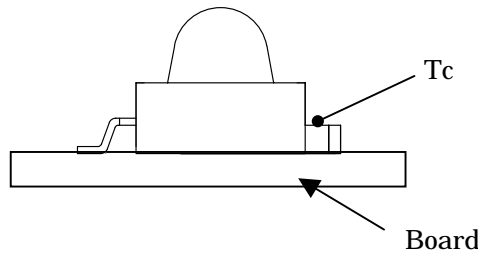


図4 T_c の測定箇所

2-2 T_j の算出方法

(a) Vf測定法による T_j の算出 (実験による R_{ja} の導出)

一般的にダイオードは温度に応じて順方向の電圧(V_f)が変化しています。(定電流投入時、温度が高くなると V_f が低くなります。 T_j を算出する場合は、電流投入時の発熱を極力抑えたパルスにて V_f の測定をします。すなわち $T_a = T_j$ とした時の V_f をモニターします。) 逆にその特性を利用してあらかじめ温度と V_f の関係を測定しておき、電流投入時の V_f を測定すれば T_j がわかります。この V_f 測定法を用いて、 T_a との熱飽和時点での T_j を測定し、同時にその時の投入した電力 (W) から

$$R_{ja} = (T_j - T_a) / W$$

を算出することができます。よって (1) 式を用いてどの周辺温度でも T_j がもとめられます。

(b) T_c 測定による T_j の算出

設計者は、設計したアプリケーションについて、 T_c を温度測定により知ることができます。また、電力 (W) は電気的な測定により知ることができます。NCCW022の場合、実装された基板により R_{ja} は変わりますが、 T_j と T_c にはある程度の幅は持つものの一定の関係が確認できます。このことから T_c を測定すると T_j が予想できることとなります。

(3-3 $T_c - T_j$ の関係性 参照)

3. 放熱設計のポイント

Tjを引き下げるためには下記の方法が有効です。

- ①投入電力Wを引き下げる。
- ②周辺温度Taを下げる。
- ③放熱設計によりRcaを下げる。

3-1 放熱性を高めるために

LED単体の熱抵抗は、製品固有のもので実装した基板によらず一定です。よって、設計者がLEDの接着ポイントからTaへの放熱経路をどのような設計にするかが、放熱設計の決め手となります。

設計にあたって以下の点によりRcaは決まります。

- ・どのような材質でLEDと基板とを接着するか（半田or熱伝導性接着剤）
- ・どのような材質の基板を選択するか
- ・どのように基板にパターンをほどこすか
- ・どのようなサイズの基板にするか
- ・冷却のためのヒートシンクフィンを使うかわらないか
- ・ヒートシンクフィンを使う場合はどのような形状・材質のものを使うか
- ・強制空冷等の冷却システムを導入するかどうか

3-2 放熱基板の使用例

ここでは、代表的な基板材質とVf測定法によりNCCW022を実装した時のRjaを紹介します。（表1）また、熱電対を用いて測定したRcaを紹介します。Rcaは、

$$Rca = (Tc - Ta) / W$$

で算出することができます。

Board	主な材質	LED実装数	サイズ	Rca	Rja
Board A 	アルミ	1	Size: 30×30, t=1.7mm Copper Area/1LED: Face 330mm ² t=0.105mm	26°C/W	46°C/W
Board B 	FR-4	5	Size: 127×26, t=1.7mm Copper Area/1LED: Face 164mm ² t=0.07mm, Back 253mm ² t=0.07mm	46°C/W	73°C/W
Board C 	FR-4	2	Size: 120×50, t=1.6mm Copper Area/1LED: Face 1180mm ² t=0.07mm, Back 1600mm ² t=0.07mm	23°C/W	39°C/W

表1 一般的な基板と、Vf測定法により算出したRja
熱電対を用いて測定したRca

3-3 Tc-Tjの関係性

前に述べた様に、TjとTcにはある程度の幅を持つものの一定の関係が確認できます。あらかじめVf測定法により求めたRjaを使い算出したTjと、実測により求めたTcの値から下の図5に表される関係性が導きだされます。

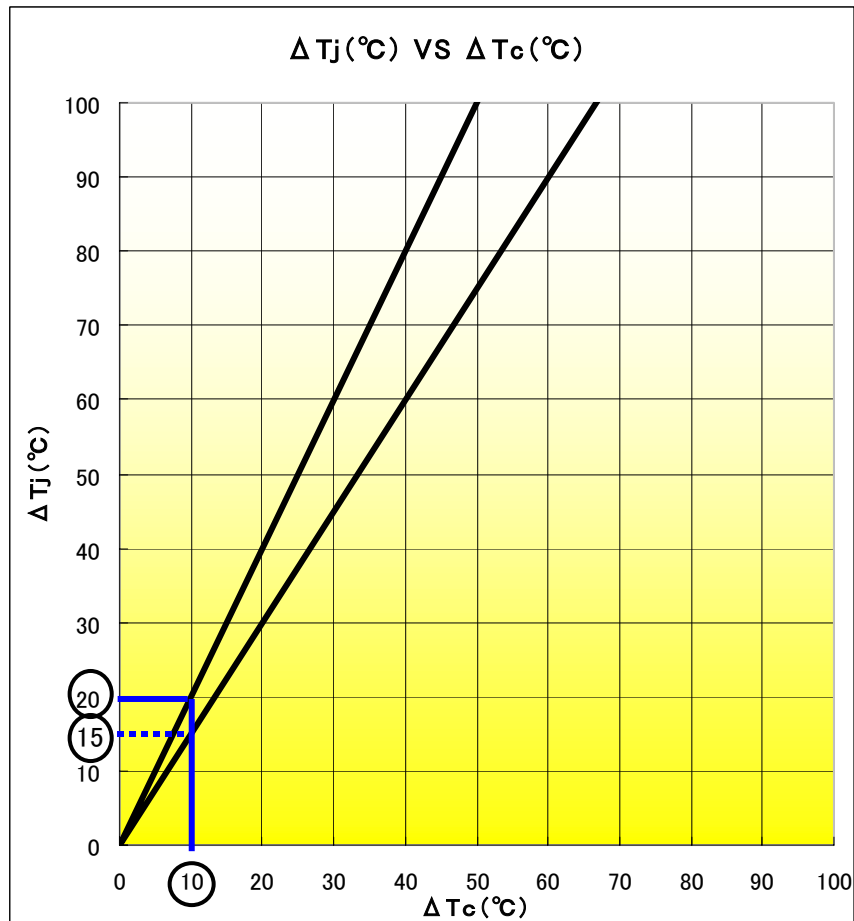


図5 TjとTcの関係性
 $\Delta T_j = T_j - T_a$ $\Delta T_c = T_c - T_a$

上のグラフからも読み取れるように、一般的な基板を用いた場合、直線の傾きが1.5~2の範囲内におさまります。

例えば、 $T_a = 25^\circ\text{C}$ 、100mA電流を流し、 $T_c = 35^\circ\text{C}$ になったとすると、 $\Delta T_c = 35^\circ\text{C} - 25^\circ\text{C} = 10^\circ\text{C}$ になり、この時上のグラフから、 $\Delta T_j = 15 \sim 20^\circ\text{C}$ 、よって $T_j = T_a + \Delta T_j = 40 \sim 45^\circ\text{C}$ になります。

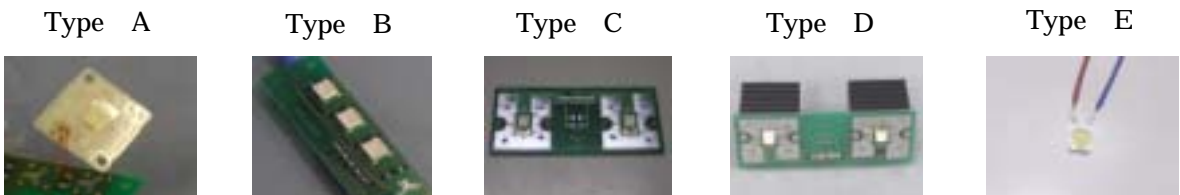
■ 試験例

【試験目的】

まずはじめにVf測定法によりRja(Tj)を算出します(式(1)参照)。その後同一サンプルにてTcを測定し、TcとTjの関係を表すグラフを最終的に図6に示します。TjとTcの関係がある程度の幅を持っていることが実験的にわかっているので、Tcの測定から、Tjを推定することが可能となります。

【試験条件】

- ・実装LED : NCCW022
- ・実装基板



TypeA・B・Cはそれぞれ表1のBoardA・B・Cに対応しています。また、TypeDはBoardCの裏に10°C/Wのヒートシンクフィンを取り付けたもの、そして、TypeEはLED単品を測定したものです。

- ・測定条件
LEDは半田で実装するものとし、Vf測定法は350mA、10μsec~8000secまでのパルス時間で行います。また、Tcの測定は周辺温度25°Cで行い、電流は100・350・500・700mA流します。しかし、TypeEに関してはLED単品の放熱性の問題から350mAまでとします。測定の際はLEDのダイ・ヒートシンク上面に熱電対(K熱電対.φ0.32)を半田で固定して行います。

【試験結果】

- ・Vf測定法によるRja(°C/W)

(SEC)	0.00001	0.0001	0.001	0.01	0.1	1	10	100	1000	8000
TypeA	1	2	5	17	17	18	19	29	45	46
TypeB	1	2	5	17	18	20	25	52	70	73
TypeC	1	2	5	17	18	19	20	29	38	39
TypeD	1	2	5	17	18	19	20	21	23	29
TypeE	1	2	5	17	24	30	63	138	150	150

(°C/W)

表2 Vf測定法による熱抵抗の測定 8000secの値をRjaとします。
素子毎に電流を流し測定を行いました。
太線枠内はLEDそのものが持つ熱抵抗(17°C/W)

・Tcの測定

Type A

Ta=25°C

If(mA)	Vf(V)	If × Vf(W)	Tc(°C)	Tj=Ta+R _{j-a} × W
100	3.30	0.33	36	40
350	3.71	1.30	61	85
500	3.84	1.92	74	113
700	4.03	2.82	102	155

R_{c-a}=26°C/W *R_{j-a}=46°C/W

Type B

If(mA)	Vf(V)	If × Vf(W)	Tc(°C)	Tj=Ta+R _{j-a} × W
100	3.29	0.33	43	49
350	3.52	1.23	85	115
500	3.59	1.80	110	156
700	3.85	2.70	148	222

R_{c-a}=46°C/W *R_{j-a}=73°C/W

Type C

If(mA)	Vf(V)	If × Vf(W)	Tc(°C)	Tj=Ta+R _{j-a} × W
100	3.35	0.34	35	38
350	3.81	1.33	57	77
500	3.97	1.99	71	103
700	4.15	2.91	92	138

R_{c-a}=23°C/W *R_{j-a}=39°C/W

Type D

If(mA)	Vf(V)	If × Vf(W)	Tc(°C)	Tj=Ta+R _{j-a} × W
100	3.32	0.33	31	35
350	3.68	1.28	43	62
500	3.79	1.90	52	80
700	3.93	2.75	63	105

R_{c-a}=14°C/W *R_{j-a}=29°C/W

Type E

If(mA)	Vf(V)	If × Vf(W)	Tc(°C)	Tj=Ta+R _{j-a} × W
100	3.08	0.31	63	72
150	3.14	0.47	78	96
250	3.23	0.81	112	147
350	3.30	1.16	141	199

R_{c-a}=104°C/W *R_{j-a}=150°C/W

*表2より求めたR_{ja}

表3 実測データに基づく投入電力とTj, Tcの関係

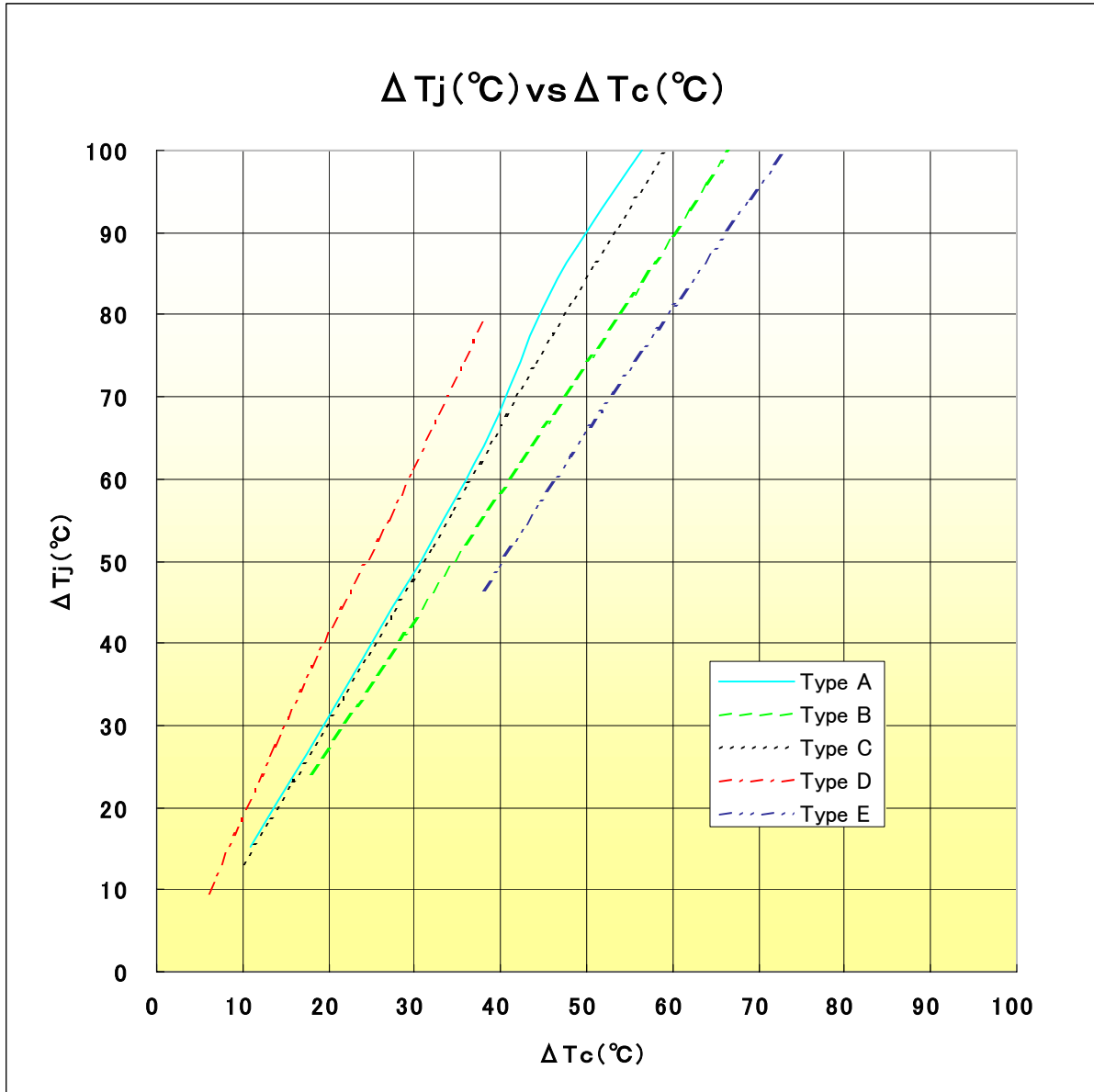


図6 Vf測定法により算出したTjと実測したTcの関係を表すグラフ

$$\Delta T_j = T_j - T_a \quad \Delta T_c = T_c - T_a$$

- ・ グラフの傾きが小さいほど、放熱の度合いが小さいことを示しています。
- ・ Type A, B, C, Dの実験結果から、図5に示したような範囲になることがわかります。
- ・ Tcを測定すればTjがある程度の幅で予想ができます。