

LED の熱抵抗測定

(株)テクノロジーグ
技術顧問 小熊良雄

1. 熱抵抗測定の重要性

LED のアプリケーションは最近照明用途への展開が急速に進み、明るさの追求が進んでいます。LED の明るさは、LED 自身の性能向上即ち印加電力 W に対する得られる光束 lm の比 lm/W の向上が進んでいますが、より明るさ即ちより大きな光束を得るために印加電力を増やしていくと LED の PN 接合（以下ジャンクション、略号 J と表記）の発熱が増し、ジャンクション温度 T_j の上昇が問題となります。ジャンクション温度上昇は以下のような影響を与えます。

- ・ 光出力低下
- ・ 波長シフト（色の变化）
- ・ 劣化の促進（寿命の低下）

これらのことから LED の使用に当たっては熱の管理（放熱設計や印加電力の管理など）を行ってジャンクション温度上昇を把握し規定値内に管理することはきわめて重要な課題となります。

2. 熱抵抗の定義と測定法

(1) 熱抵抗の定義は

供試 LED に与えられる全損失 ; $P(W) = VF(V) * I_H(A)$

接合（ジャンクション）温度 ; $T_j()$

基準点 x の温度 ; $T_x()$

としたとき発熱源であるジャンクションから基準点 x までの熱抵抗 $R_{th(j-x)}$ は以下の通り定義されます。

$$\text{熱抵抗 } R_{th(j-x)} = (T_j - T_x) / P \quad \dots (/W)$$

熱抵抗は以下のように区分されます。

- ・ 飽和熱抵抗 ; 熱飽和まで損失を与えたときの熱抵抗
- ・ 過渡熱抵抗 ; 短期間の電力を与えたときの熱抵抗。熱抵抗値は印加時間に応じて変化します。

(2) 熱抵抗測定のプロセス

加熱による VF 値の変化 VF を測定する。 VF の測定は測定電流 I_m により行う。

VF 法の詳細は(3)項に示します。

測定対象 LED の $I_F = I_m$ における VF と温度との関係、即ち VF 温度係数（ K ファクター） $mV/$ を測定する。

VF 測定値と VF 温度係数（ K ファクター）からジャンクション温度上昇 T_j を求める。

$$T_j() = VF(mV) / VF \text{ 温度係数 } (mV/)$$

基準点温度 T_x またはその上昇分 T_x を温度計で測定する。

熱抵抗の算出

ジャンクションと基準点間の熱抵抗 $R_{th(j-x)}$ は以下の通り求める。

$$R_{th(j-x)} = (T_j - T_x) / \text{印加電力 } P_H \quad (/W)$$

加熱前は $T_{j0} = T_{x0}$ とすれば

$$R_{th(j-x)} = (T_j - T_x) / \text{印加電力 } P_H \quad (/W)$$

ここで

$$P_H = I_H * VF$$

対フリーエアー（室温）の熱抵抗 $R_{th(j-a)}$ は以下の通りとなる。

$$R_{th(j-a)} = (T_j - T_a) / \text{印加電力 } P_H$$

加熱前は $T_{j0} = T_a$ とすれば

$$R_{th(j-a)} = T_j / \text{印加電力 } P_H \quad (/W)$$

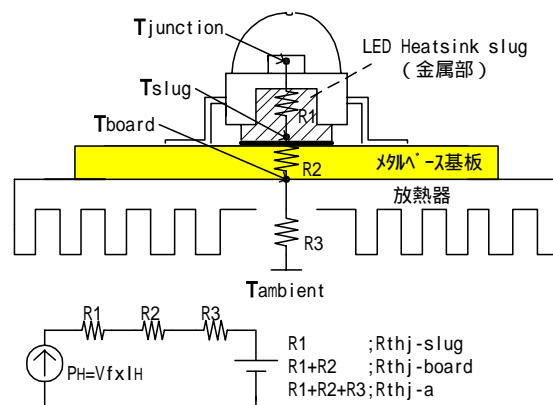


図 1 LED 熱抵抗

(3) VF 測定法

VF 測定を加熱用電流とは別の、ジャンクションの温度上昇に影響を及ぼさない微小な測定電流 I_m (通常 10mA 以下) で測定します。シーケンスは図 2 の通りで、「加熱前の VF1 測定(測定電流 I_m) 加熱 (I_H 印加) 加熱 OFF 直後の VF3 測定(測定電流 I_m)」の 3 ステップからなり、 $VF=VF3-VF1$ として測定されます。図 3 に測定基本回路を示します。

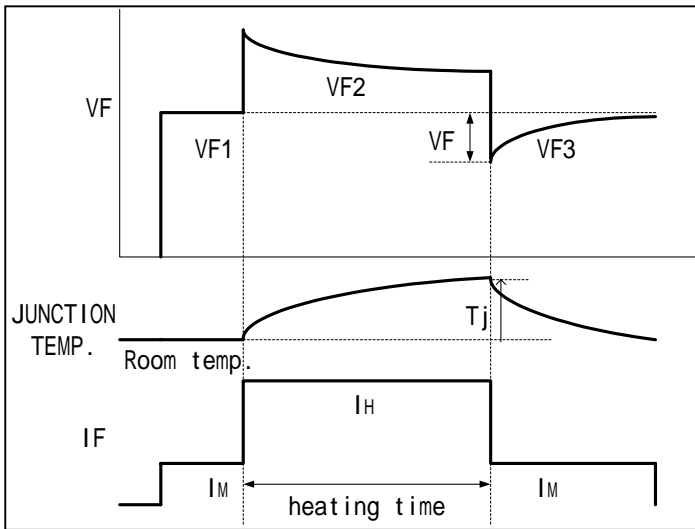
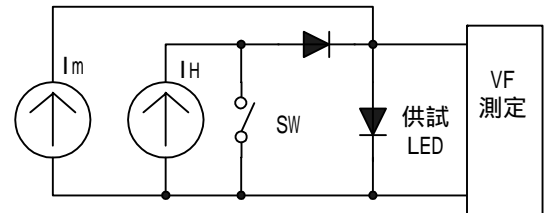


図 2 VF 法測定シーケンス



加熱電流 I_H 印加中は SW; OFF して I_H を印加
 VF1, VF3 測定時は SW; ON として 供試 LED には I_m のみを印加する

図 3 VF 測定基本回路

3. 熱抵抗測定結果の例

(1) 飽和熱抵抗

色々な種類の LED について熱抵抗測定データを積み上げています。図 4、図 5 は、3W 型 LED のジャンクションと LED 外壁金属部間の熱抵抗を、印加電力との関係、および周囲温度の依存性について測定した結果の例です。

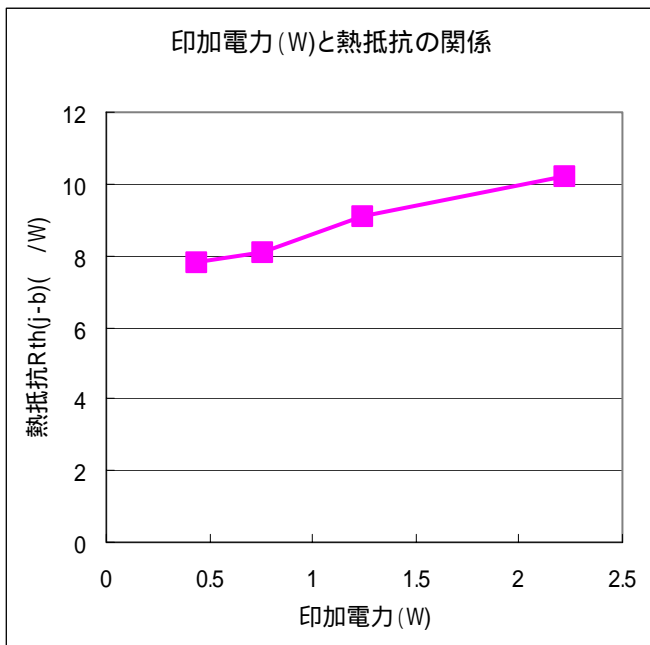


図 4 熱抵抗測定結果例(1)

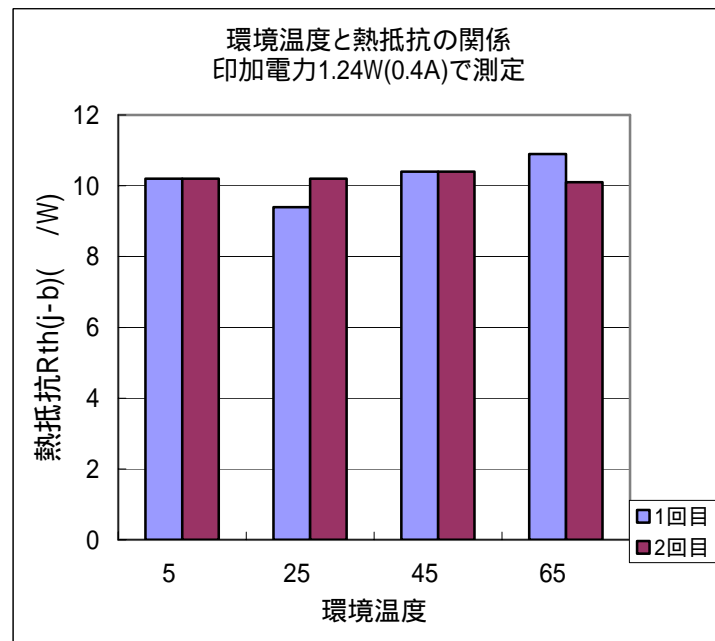


図 5 熱抵抗測定結果例(2)

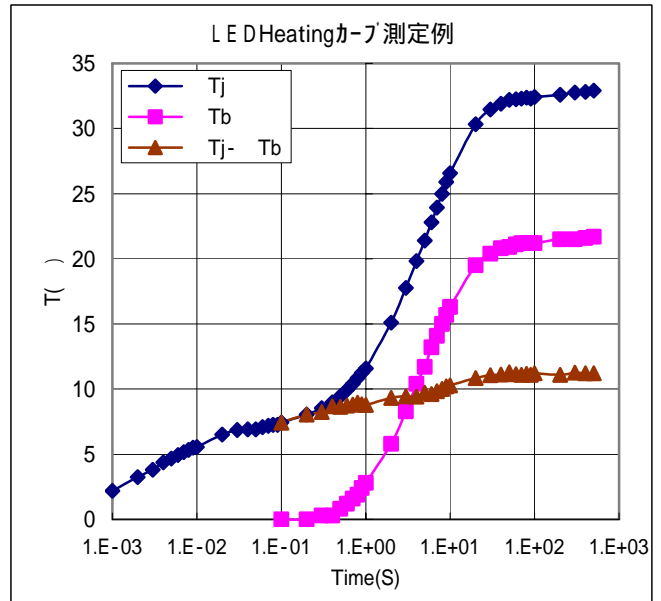
(2)熱的過渡応答（過渡熱抵抗）

図6に加熱中のジャンクション温度上昇 T_j 、基板温度上昇 T_b 、ジャンクションと基板間の温度上昇 $(T_j - T_b) = (T_j - T_b)$ の時間経緯の測定例を示す。加熱前は $T_j = T_b$ (室温)です。なお、基準点の温度 T_b の測定を正確に行うには、温度センサーの形状、取り付け方法などについて細心の注意が必要です。

「 $(T_j - T_b) /$ 印加電力 P 」の時間変化がジャンクション-ケース間の過渡熱抵抗に相当します。

「 $T_j /$ 印加電力 P 」の時間変化が対空気の過渡熱抵抗に相当します。

図6



4.応用測定

照明用器具として実装されたLEDアセンブリは複数個のLEDが直列あるいは並列またはそれらの組み合わせで構成される例が多い。この場合、アセンブリ全体を点灯して温度上昇を測定する必要があり、このような場合の測定法について色々検討しています。

そのいくつかの実例を紹介します。

(1)直列接続

1枚の放熱用基板に実装された複数個の直列接続アセンブリ全体を同時に点灯し、その中から特定の素子のジャンクション温度を測定することが出来ます。

この測定はLED Tester LX4681A HDVFユニットの差動(DIFF)機能を使用して行えます。

当然のことながら、直列接続全体を1個のLEDと見なして平均ジャンクション温度を測定することも出来ます。

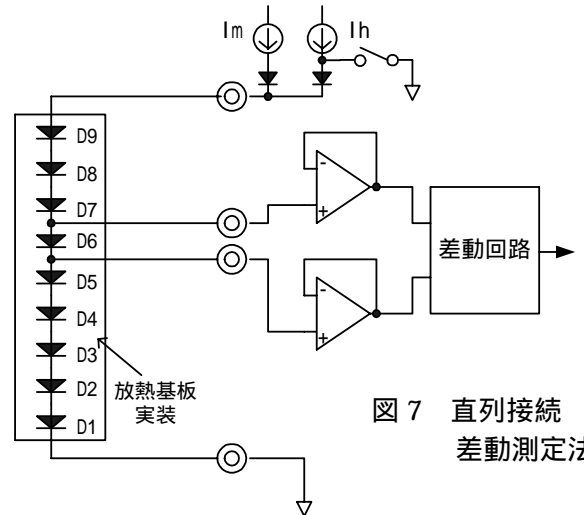


図7 直列接続 差動測定法

(2)並列接続一体測定

図8のように1枚の放熱用基板に複数個のLEDが並列接続され、夫々の列が切り離せない場合、アセンブリ全体を1個のLEDと見なしてジャンクション温度を測定する手法についても検討しています。

色々な実験データから、この場合、測定結果は個々のLED素子のジャンクション温度上昇の平均値とほぼ等しい結果が得られています。

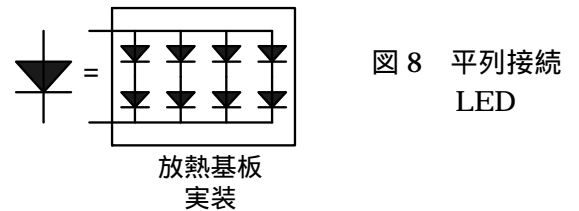
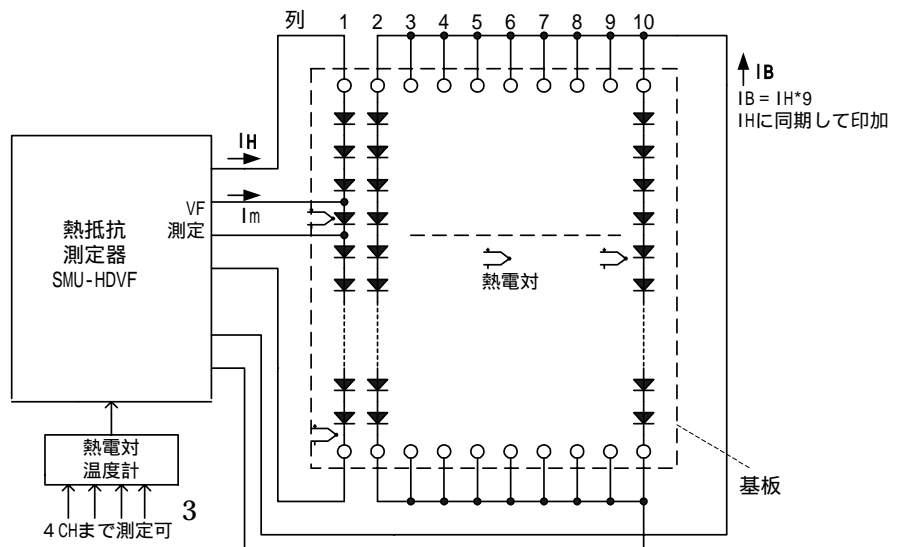


図8 並列接続 LED

(3)並列接続個別測定

図9のように、並列接続で各列が分離できる構造の場合、測定対象列のみVF法でジャンクション温度上昇を測定し、他の列には同期した点灯電流を同時に印加できるユニットを増設して全体を点灯した状態で個別の列の測定を行うことも出来ます。

図9 並列接続 個別素子測定



(4)パルス駆動時の熱応答

パルス駆動時の熱応答即ちジャンクション温度の状況についても実測値と熱応答等価回路のシミュレーションから評価しています。パルス点灯時は、パワー印加中はジャンクション温度が上昇し印加 OFF で温度が下がりますが、例えば 1W 型パワーLED で 0.4A、周期 20mS、Duty50%を印加した場合、この温度変化の幅の測定例は約 8 でした。この温度変化の幅は、印加の条件（電流、印加周期、Duty など）とその印加周期に対応した LED の熱応答特性で決まります。

5.熱抵抗測定器の概要紹介

LX4681A LED Tester にオプション HDVF ユニットを搭載して測定を行います。
HDVF ユニットの仕様概要は以下の通りです。

(1)測定機能

- ・ VF 測定機能・・・2(4)項の VF 法により VF を測定します。
- ・ VF 測定機能 ……定電流印加による VF 測定や光学測定用定電流源としても使用できます。
(100uA ~ 2A レンジ)

(2)印加・測定レンジ

印加電流	加熱電流レンジ	100mA/1A/2A
	測定電流レンジ	100uA/1mA/10mA

VF VF 測定	VF レンジ	ノーマル測定時		差動(DIFF)測定機能選択時	
		VF	VF	VF	VF
	10V	1.000 ~ 10.000V	0.0000 ~ 1.0000V		
	30V	3.000 ~ 30.000V	0.0000 ~ 3.0000V	1.000 ~ 10.000V	0.0000 ~ 1.0000V
	100V	10.00 ~ 100.00V	0.000 ~ 10.000V		

(記)最大 VF レンジ 150V 対応(加熱電流レンジ 1A まで)のモデルも指定できます。

(3)その他の機能

極性切替え

印加時間：100uS ~ 9999S

パルス印加：ON 時間 0.1mS ~ 9999mS

サイクル時間 0.3mS ~ 16S

差動 (DIFF) 検出機能：4(1)項参照

実温度測定：温度計測定データを VF 測定と同期して取込むことが出来ます (100mS 以降)。

VF および VF 変化の経過のグラフ表示：加熱状況及び熱飽和状況が印加しながら確認できます。

(4)VF/ VF 測定機能

機能	概要
DVFLOG	加熱中の VF 及び加熱後の VF 測定を、印加又は印加 OFF 直後には高速で測定し、時間の経過と共に徐々に測定間隔を 1 桁ずつ長くして (対数的に) 測定します。
DVFCONT	DVFLOG の機能に加えて、加熱中も VF 法による VF 値を測定できる機能です (ただし加熱中の VF 測定は 1mS 以降)。
DVFR	加熱中の VF および加熱 OFF 後の VF を一定時間間隔で測定します。
DVF3	加熱 OFF 後、設定時間後の VF を測定します。
DVFRP	パルス (加熱電流) を印加して VF を測定する機能です。

経過時間	測定 間隔
<100uS	20uS
0.1mS-1mS	0.1mS
1mS-10mS	1mS
10mS-100mS	10mS
0.1S-1S	0.1S
1S-10S	1S
10S-100S	10S
100S-1000S	100S