

# 失敗しない為の基礎知識、LED照明 の故障要因まるわかり

## ΔVF(Δブイエフ)で見る予知

2016年3月11日

特定非営利活動法人 LED照明推進協議会  
(Japan LED Association)

## ■設立目的

LED電球が2007年市販される以前の2004年に設立。白色LEDの効率向上をとらえ、LED照明の早期普及と健全な市場拡大を後押し。2014年6月で設立10周年を迎えた。

## ■活動例

- 1)「LED Next Stage (LED照明総合展)」の開催 (西暦偶数年3月)
- 2)「JLEDSシンポジウム」の開催 (10月)
- 3) データベース・技術ロードマップの構築
- 4)「JLEDSホームページ」による広報活動 <http://www.led.or.jp/>
- 5)「LED照明ハンドブック」「LED照明信頼性ハンドブック」発刊

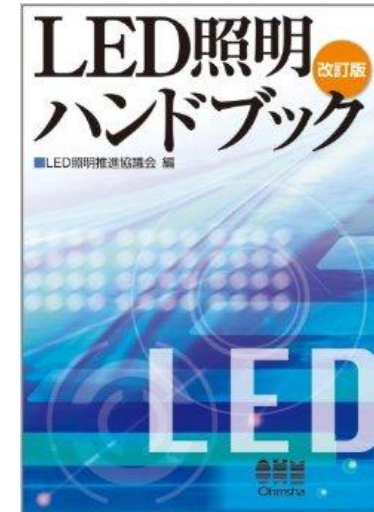
### LED照明ハンドブック

2006年7月 初版、2011年4月 改訂版発行

2013年12月 累計 10,000部刷

### LED照明信頼性ハンドブック → 2015年2月 改訂版発行

2008年2月 初版、2013年12月 累計 5,400部刷

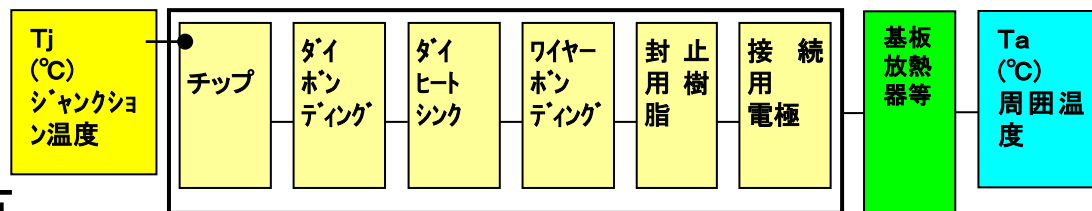


Copyright © JLEDS All Rights Reserved.

LED及びLEDモジュールに於いて温度(自己発熱含む)を管理しないと、LED照明器具が劣化や故障となってしまいます。LED照明器具の信頼性を確保する(劣化の予知)為の温度測定方法である熱抵抗測定(Δ VF法)について説明します。

1. 熱抵抗測定とは
2. 熱抵抗測定の概要
3. 飽和熱抵抗と過渡熱抵抗
4. 熱抵抗測定の基本
5. 熱抵抗測定の測定手順
6. 過渡熱抵抗測定的具体例
7. 熱抵抗測定のまとめ

$$T_j = T_a + R_{\theta JC} * W$$



この間は直接温度測定が出来ません。

パッケージ内熱抵抗

# 1. 熱抵抗測定とは

## (1) 歴史

1990年代に半導体の接合部温度( $T_j$ )測定方法が規格(JEDEC\_JESD51, 51-1)化されました。日本ではJEITAがEIAJ\_ED4511A(整流ダイオード定格・特性試験方法)として規格化されました。

## (2) 測定原理

半導体のP-Nジャンクション(LED含む)の温度特性を利用し外部の電極を使用し測定する方法を採用しました。トランジスタ、ダイオード等ではこの温度特性を利用した熱抵抗測定が実施されています。

## (3) LEDにおける熱抵抗測定の必要性

LEDがハイパワー化し、放熱器等による空冷が必要になり使用状況におけるジャンクション温度( $T_j$ )を管理しないと故障に繋がります。又、 $T_j$  温度管理は寿命、劣化対策用に必要です。

### (1) JEDEC規格とは

JEDECはEIAの半導体素子の標準規格を作成する為、1958年に設立されました。電子部品の部品番号やパッケージの命名で有名です。JEDECにて熱抵抗測定の規格としては1995年にEIA/JEDEC JESD51(Methodology\_for\_the\_Thermal\_Measurement\_of\_Component\_Packages): Single\_Semiconductor\_Device)として規格化されました。続いてEIA/JESD51-1: Electrical\_Method—Electrical\_Test\_Metodが規格されました。基本的な規格の誕生です。

### (2) 最近の規格

JEDEC JESD51-1からJESD51-53までが規格化されています。但し、すべてがLED関連でなく他の半導体用の規格もあります。

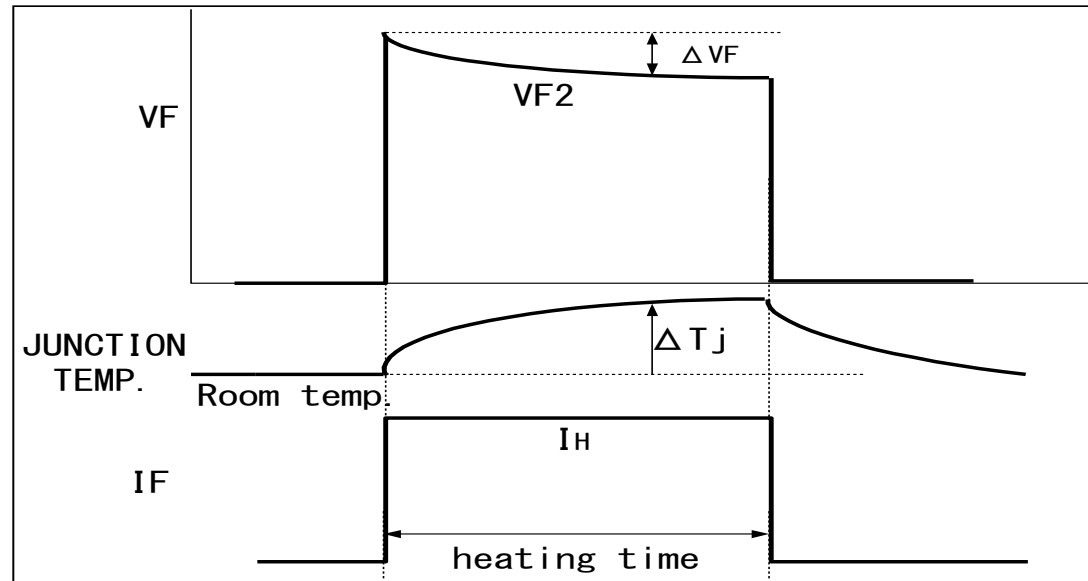
### 3. 熱抵抗測定方法

熱抵抗測定では加熱中のVF変化から温度上昇を求める方法と $\Delta VF$ の方法があります。

(1) 加熱中のVF変化から温度上昇を求める方法(Static\_Mode)

加熱用の大電流(例えば0.3A~1A)を印加中にそのときのVF値の変化からジャンクション温度上昇を求める方法があります。この場合、この加熱電流におけるVFと温度との関係(温度係数: TSP: Temperature-Sensitive\_Parameter、Kファクター)を測定しておく必要があります。その方法は、加熱電流による温度上昇が影響を受けない短い時間のパルス(例え100uS)を印加して温度との関係(温度係数)を測定します。尚、この場合は加熱中のVF測定値を使用しますので、温度係数は加熱電流毎の測定が必要となります。

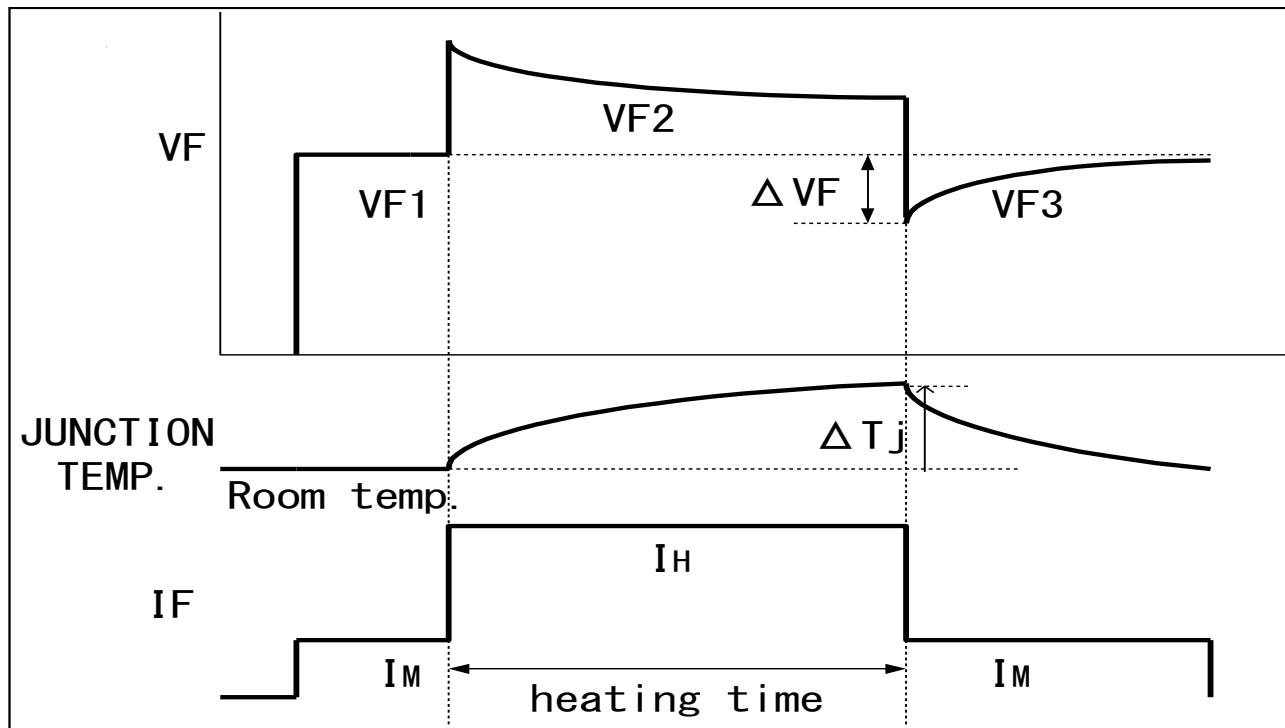
Static\_Mode



## (2) Dynamic\_Mode ( $\Delta VF$ 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 $100\mu A \sim 10mA$ 程度、但しシングルLEDの場合で発熱させない電流)で測定します。シーケンスは下図の通りで、「加熱前のVF1測定(測定電流 $I_m$ ) $\Rightarrow$ 加熱( $I_H$ 印加) $\Rightarrow$ 加熱OFF直後のVF3測定(測定電流 $I_m$ )」の3ステップからなります。この方法はSTEP3にて測定電流( $I_m$ )を使用しますので測定精度が高いです。現在はこの手法が主に用いられています。

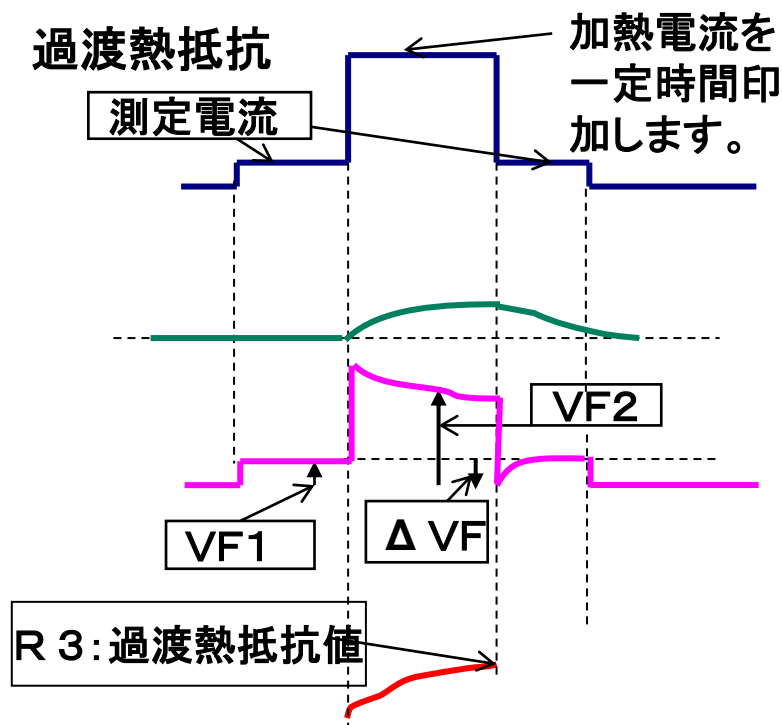
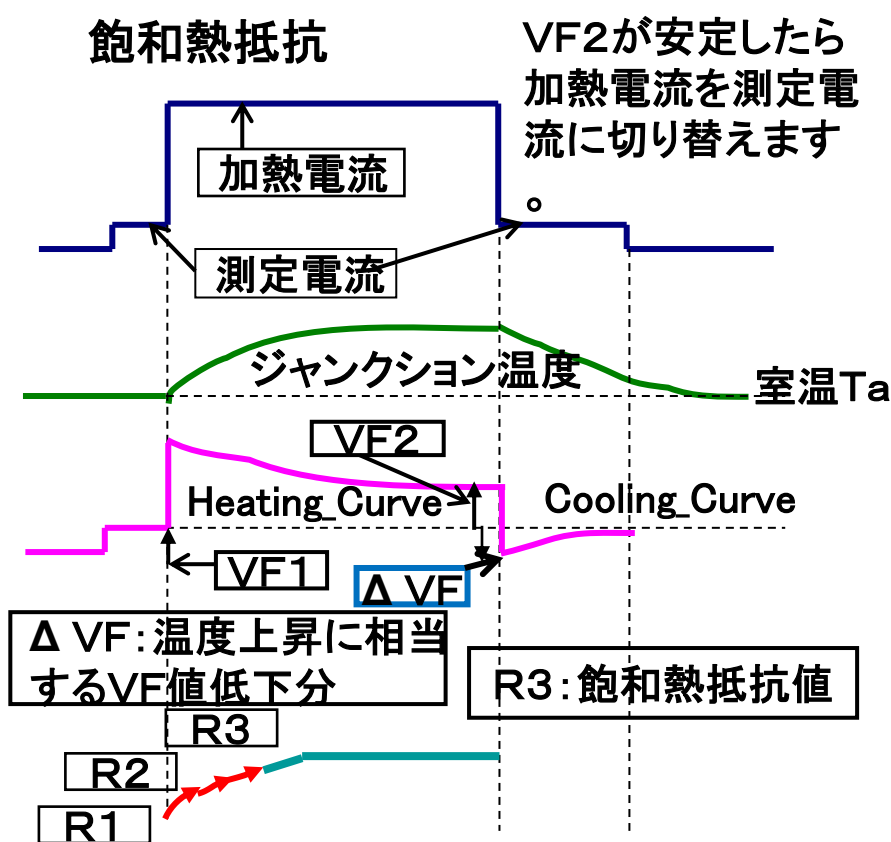
Dynamic\_Mode  
( $\Delta VF$ 法)





## (3)飽和熱抵抗と過渡熱抵抗

熱抵抗は飽和熱抵抗(LEDが温度的に一定となった時:VFが加熱と共に低下し安定した状態)と過渡熱抵抗(一定時間加熱電流を印加した時)があります。過渡熱抵抗値は熱の伝わり方がわかります)があります。





## 4. 熱抵抗測定の基本

熱抵抗測定 (Dynamic\_Mode) における考え方及び計算手順についてはJEDEC JESD51-1に沿って説明します。

### 4. 1 熱抵抗計算

#### (1) 熱抵抗計算式

$$R_{\theta JX} = \frac{T_j - T_x}{P_H} \quad [^{\circ}\text{C}/\text{W}]$$

$$T_{jc} = T_{j0} + \Delta T_J \quad [^{\circ}\text{C}]$$

$R_{\theta JX}$	； ジャンクションから測定環境温度までの熱抵抗値です。旧表記では $R_{thJX}$
$T_j$	； デバイスのジャンクション温度 [ $^{\circ}\text{C}$ ]
$T_x$	； 指定された環境の参照温度 (室温 $T_a$ 又はケース温度 $T_c, T_s$ )
$P_H$	； デバイスに投入した電力 [W]
$T_{jc}$	； ジャンクション温度
$T_{j0}$	； 印加前の温度 (一般的には温度センサー (熱電対等) にて測定した $T_c, T_s$ 等の温度)
$\Delta T_J$	； ジャンクションが加熱により変化した温度

#### (注) 熱抵抗値の表現

過去は“ $R_{thjx}$ ”の表現でしたが、現在は“ $R_{\theta thjx}$ ”としています。規格書を参照して下さい。

## 4. 熱抵抗測定の基本

### (2) 温度係数(TSP、K)

JEDECのETM(Electrical Test Method)では温度係数TSP(Temperature-Sensitive Parameter)及びKファクターを定義しています。

ジャンクション温度上昇分 $\Delta T_J$ は

$$\Delta T_J = K \times \Delta VF \quad [^{\circ}\text{C}]$$

$\Delta VF$ [mV] ; The change in temperature sensing voltage due to the applied heating power to the device  
 K(K-Factor) [ $^{\circ}\text{C}/\text{mV}$ ] ; Constant defining relationship between changes in  $T_J$  and TSP

### (3) 熱抵抗値 ( $R_{\theta Jc}$ )

$$R_{\theta Jc} = \frac{\Delta T_{Jc}}{P_H} \quad [^{\circ}\text{C}/\text{W}]$$

$R_{\theta Jc}$  ; 熱抵抗値 (Junction to Case)  
 $P_H$  ; 加熱電力【Heating Power】 $VF \times I_H$ [W]  
 $\Delta T_J$  ; ジャンクションが加熱により変化した温度 (Junction to Case)

(注) LEDは光が出ます。その分発熱量は減ります。下記の表記をする場合があります。

$$R_{\theta Jc\text{-real}} = \frac{\Delta T_{Jc}}{P_H - \Phi_e} \quad [^{\circ}\text{C}/\text{W}] ; \Phi_e \text{は光となったエネルギー}$$

## 4.2 温度係数(K-Factor)の測定の基本

半導体のP-Nジャンクションは温度係数を持っています。この方法をLEDに応用する方法を説明します。基本的な記述はJEDEC JESD51-1に準拠します。尚、以下の説明は“ $\Delta VF$ 法”に限定し説明します。

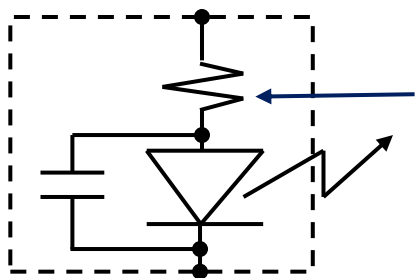
測定電流( $I_M$ )は

- ① 測定電流はLEDを発熱させない電流とします。
- ② LEDのもっている抵抗の影響を受けない電流とします。
- ③ 測定上高速性を保てる大き目の電流とします。

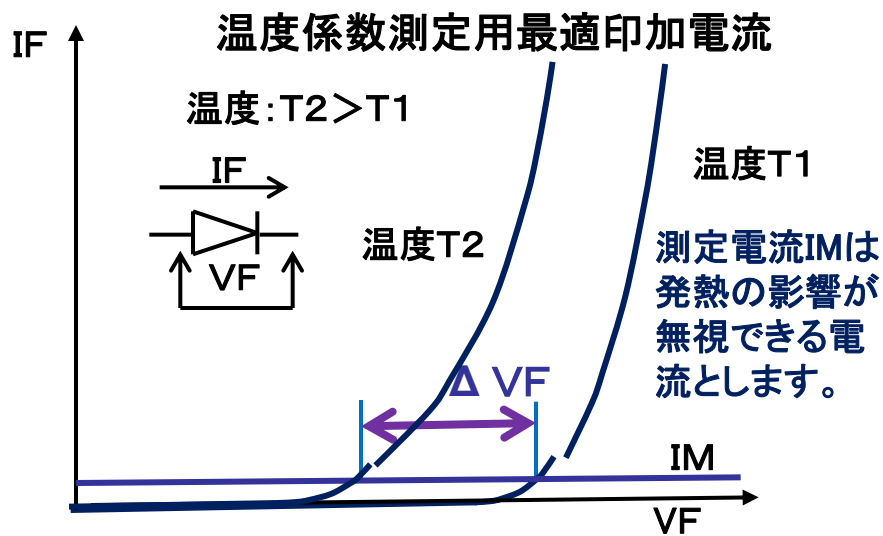
以上よりシングルLEDに於いては $100\mu A$ から $1mA$ 位です。

(注) COB等の場合(並列と直列のLEDモジュール等)に於いては大きな電流が必要です。

LEDの等価回路



印加電流が大きくなるとVFの測定時に、この抵抗による電圧差が大きくなりダイオード分のVFに加算された結果を測定する事となります。



### 4.3 温度係数(K-Factor)の計算方法

- (1) 温度特性測定の為、恒温槽を準備します(一般的には20°C~100°C位、必要より範囲を拡大可能です)。
- (2) 高精度な電流源を準備します(シングルLEDの場合は100μ Aから1mA程度、LEDの仕様により変更が必要です)。
- (3) 測定する被測定物(DUT:\_Device\_Under\_Test(例:\_LED))を同一品種で10ヶから12ヶ準備します。
- (4) 各温度毎のVF値を測定します。
- (5) 各温度毎のK(K-Factor)を求めます。

$$K = \left| \frac{THi - TL0}{VHi - VL0} \right| [^{\circ}\text{C}/\text{mV}]$$

K ; 温度係数TSPの逆数 [ $^{\circ}\text{C}/\text{mV}$ ]  
 THi , TL0 ; 高温、低温 [ $^{\circ}\text{C}$ ]  
 VHi , VL0 ; VF値(高温)、VF値(低温) [mV]

- (6) 測定結果から求めた“K”の標準偏差( $\sigma K$ )が3%以内であれば平均値が使用可能です。
- (7) “1/K”の温度対VF値(当社ではT-VF特性と表現しています)曲線のリニアリティがある事が必要です。

## 5. 1 温度係数(K-Factor)の手順

### 5. 1. 1 測定環境の準備

#### (1) 恒温槽

温度範囲:  $0^{\circ}\text{C} \sim 150^{\circ}\text{C}$  ; 熱抵抗測定時にも使用できるタイプとし、温度範囲はジャンクション温度)  $T_j$ ) 範囲を十分確保できるものとします。恒温槽内のファンによる直接による風が直接DUTにあたらないような工夫が必要です。

(2) 定電流印加源 :  $100\mu\text{A} \sim 10\text{mA}$

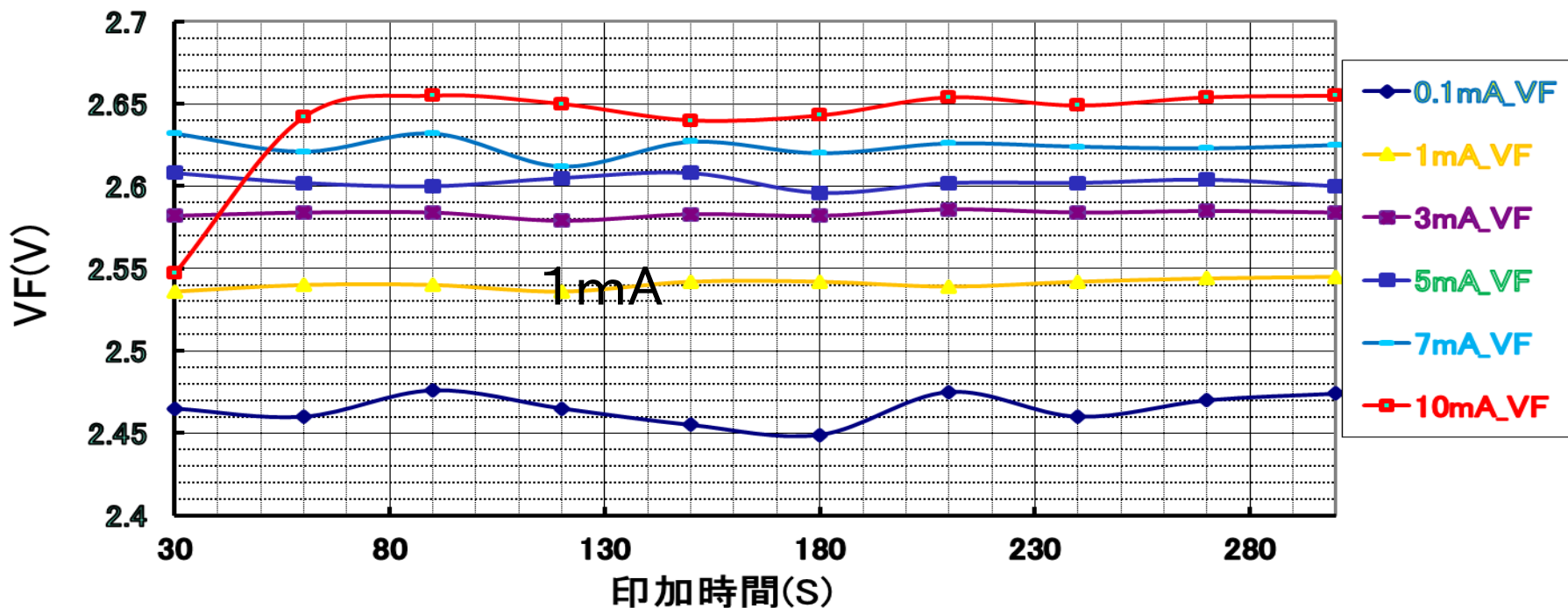
(3) デジタルボル : 一般的な計測用(4線式で高精度なタイプ)

(参考) 一般的なシングルLEDでは  $2\text{mV}/^{\circ}\text{C}$  から  $2.5\text{mV}/^{\circ}\text{C}$  でシリコンダイオードとほぼ同じくらいです。

## 5. 1. 2 測定電流の決め方

ハイパワーLED(SMD-PKG)の測定電流対発熱状況例を下図に示します。測定電流が大きくなるとVF値が不安定状態となります、又微小電流過ぎても不安定な状態となります。このように測定電流(IM)をふり最適な測定電流を求める事が必要です。下図ではIM=1mAが採用出来ました。

DC印加時のVF対測定電流の温度特性例



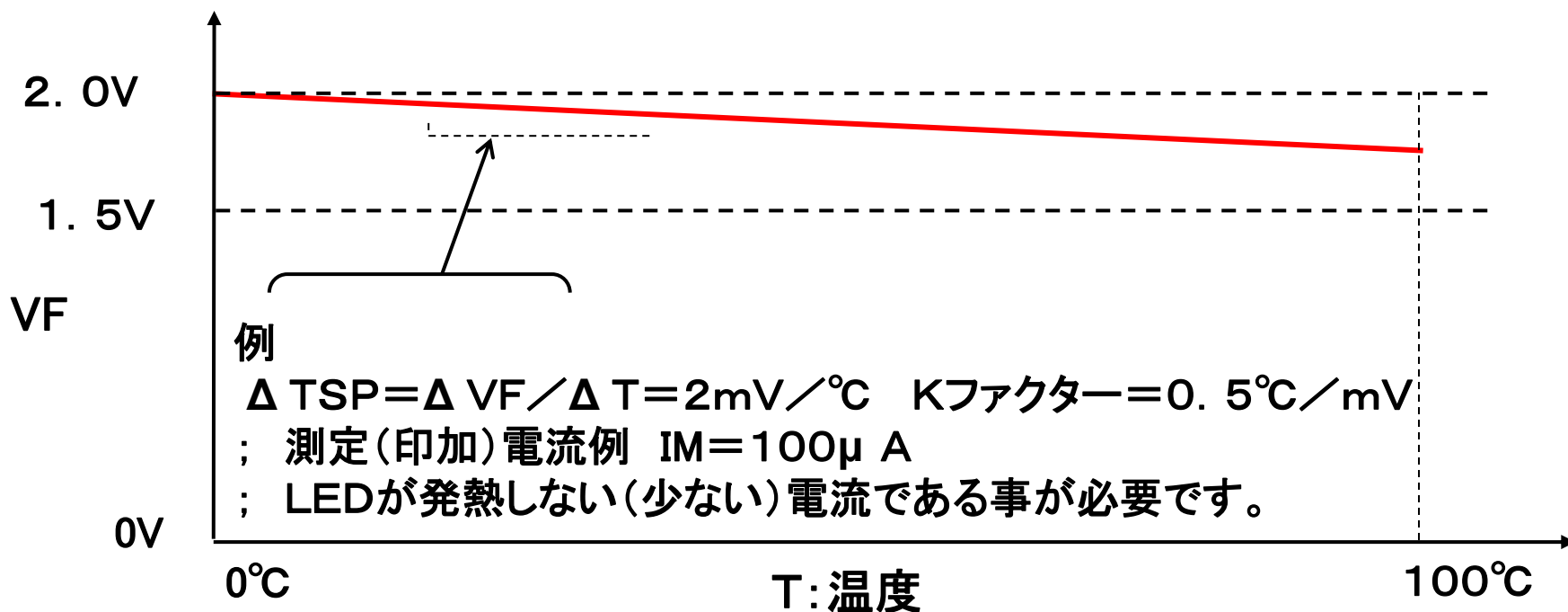
## 5. 1. 3 熱抵抗測定 of 準備

(1) 測定電流:  $I_M$  の決定

(2) 温度係数  $K = \text{Factor}$  の測定

[温度対VFの変化率 ( $\Delta TSP = \Delta VF / \Delta T$ ) の測定 (Kファクターの求め方) 例]

恒温槽を使用し測定電流 (LEDが発熱しない電流) を印加し順方向電圧VFを測定します。





## 5. 2 熱抵抗測定

(1) 加熱電流:  $I_H$ 

放熱器の有無等（放熱条件）により過熱電流の決定が必要です。一般的には定格電流、又は実使用条件等を考慮し決定が必要です。

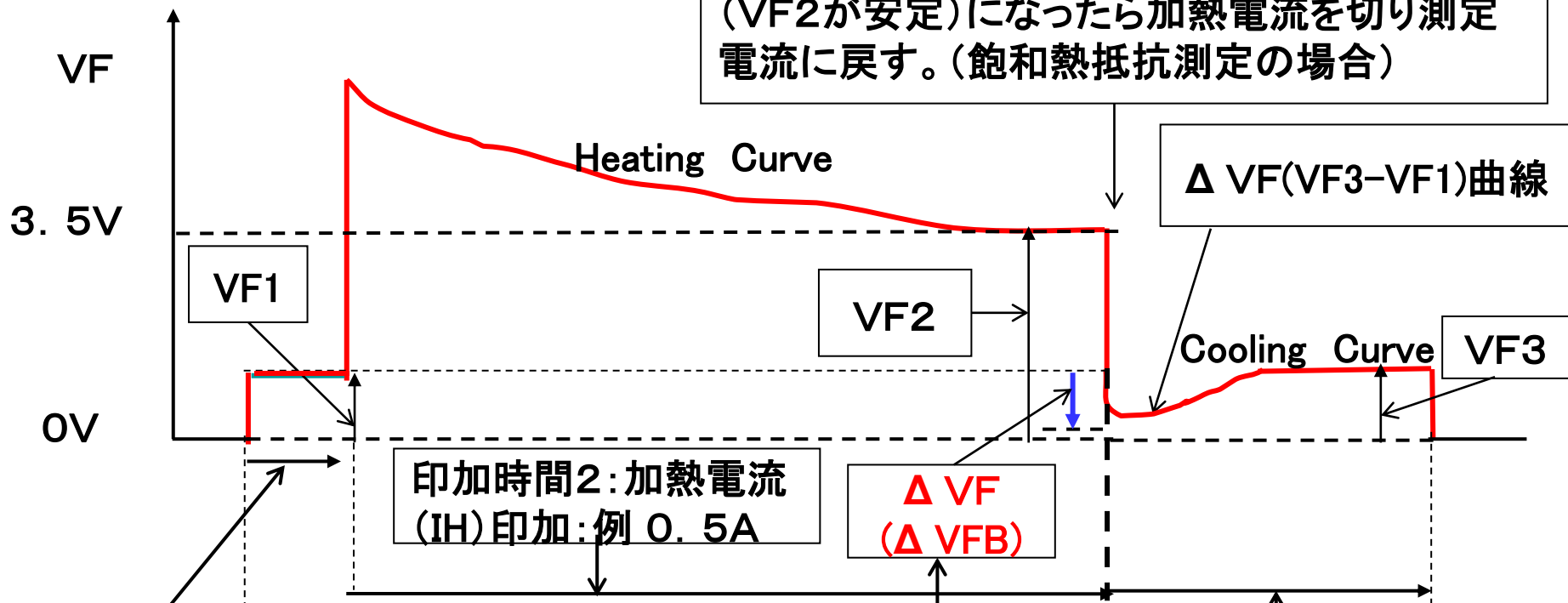
## (2) 熱抵抗測定を行います。

次ページにて飽和熱抵抗例を示します。

- ① DUTへ測定電流 ( $I_M$ ) を印加し、VFを (VFREFとします) 測定します。
- ② DUTへ加熱電流 ( $I_H$ ) を印加する。加熱される事によりVF値が低下します。
- ③ VF値が安定した (飽和) したら、元の測定電流 ( $I_M$ ) へ戻す。直ちにVF測定 (実際は  $\Delta VF_n = VF_n - VFREF$ ) を行います。
- ④ 一定時間VF ( $\Delta VF$ ) 測定を繰り返します。
- ⑤  $\Delta VF_n$  よりボトム値 ( $\Delta VF_B \Rightarrow$  計算上の  $\Delta VF$  値) を計算します。
- ⑥ 熱抵抗値 ( $R_{\theta Jc}$ ) を計算します。

## [熱飽和時の $\Delta VF$ 測定例]

VF2を一定時間毎に測定し前回のVF2と同じ(VF2が安定)になったら加熱電流を切り測定電流に戻す。(飽和熱抵抗測定の場合)



印加時間2: 加熱電流 (IH) 印加: 例 0.5A

$\Delta VF$  ( $\Delta VFB$ )

$\Delta VF(VF3-VF1)$  曲線

印加時間1: 測定電流 (IM) 印加 (Kファクター: T-VF) 特性測定時の電流)

$\Delta VF$  ( $\Delta VFB$ ):  $\Delta VF$  曲線の接線が加熱電流を切った時間軸との交点です。加熱電流により温度上昇した事によるVF変化分です。

印加時間3: 測定電流印加 (Kファクター: T-VF) 特性測定時の電流: IM

### (3) ジャンクション温度、熱抵抗値の計算例

#### ① ジャンクション温度の計算

Kファクター(T-VF)特性測定にて求めた( $\Delta VF / \Delta T$ )と、 $\Delta VF$ 法測定で測定した $\Delta VF_B$ (例:100mV)より、

$\Delta T_j = \Delta VF_B \times K$  (又は $\Delta VF_B / (\Delta VF / \Delta T)$ )が計算できます。

例: $\Delta T_j = 100\text{mV} \times (1^\circ\text{C} / 2\text{mV}) = 50^\circ\text{C}$

$\Delta T_j$ は加熱により変化したジャンクション温度上昇分( $50^\circ\text{C}$ )です。

従ってジャンクション温度は $T_j = \Delta T_j + T_a$ となります。

$$T_j = 50^\circ\text{C} + 25^\circ\text{C} = 75^\circ\text{C}$$

#### ② 熱抵抗 $R_{th}$ の計算

$$R_{\theta Jc} (R_{thJc}) = \Delta T_j / W$$

$$= (\text{加熱によるVF変化} \Delta VF_B) / (\Delta VF / \Delta T) / W$$

$$W = I_F * V_F$$

例(上記):  $I_F = 0.5\text{A}$ ,  $V_F = 3.5\text{V}$ とすると

$$R_{\theta Jc} (R_{thJc}) = \Delta T_j / W = 50^\circ\text{C} / (0.5\text{A} * 3.5\text{V})$$

$$\approx 28.6^\circ\text{C} / \text{W} \text{となります。}$$

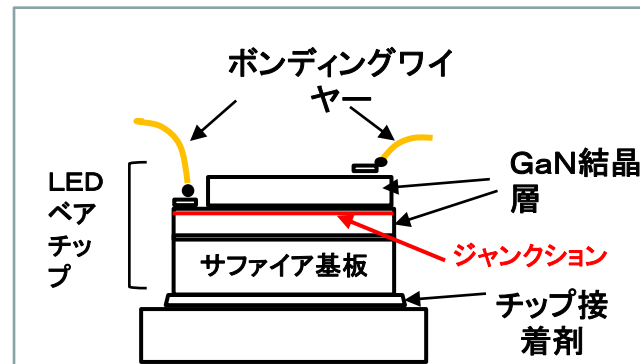
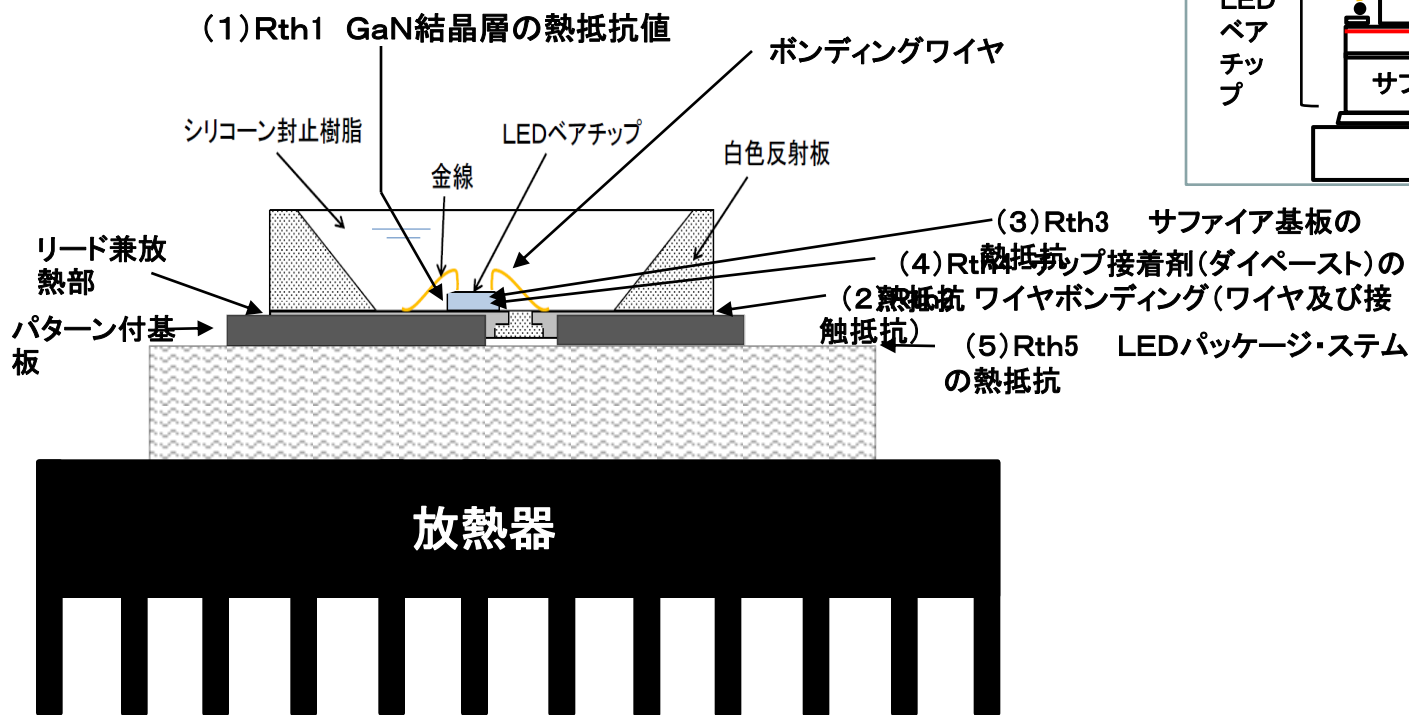
## 6. 過渡熱抵抗測定の実例

過渡熱抵抗を測定する事によりLEDのジャンクションから放熱器へ至る熱伝導の具合を知る事が出来ます。

### 6.1 過渡熱抵抗測定例

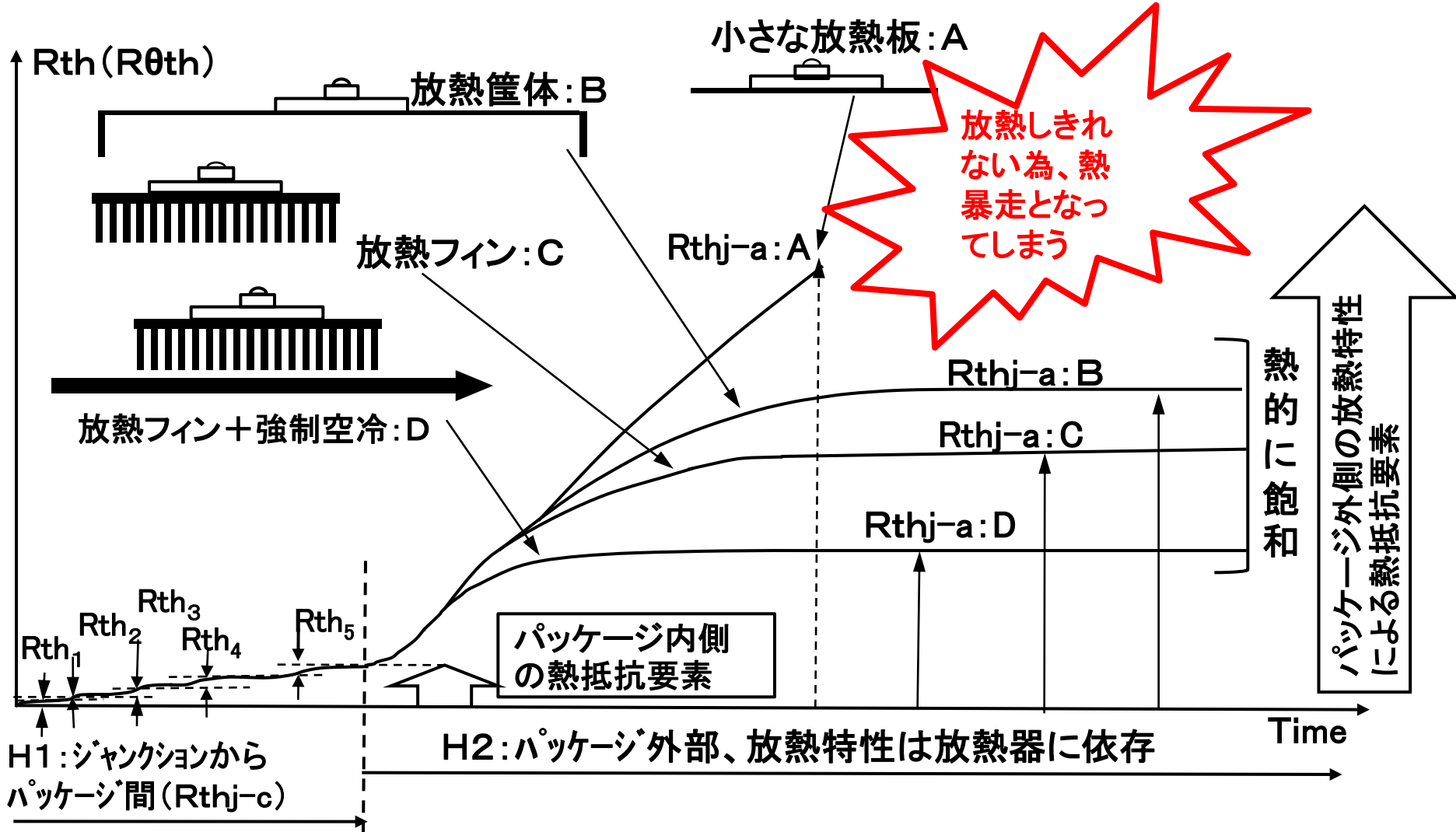
下図のようなLEDチップを使用し、放熱器を取り付けた場合(LEDモジュール)の過渡熱抵抗測定結果をグラフで説明します。

図及びグラフは一般例です。



# 6. 過渡熱抵抗測定の実例

## 6.2 過渡熱抵抗における熱の伝わり方



### 6.3 各Rthの説明(例)

#### (1) H1区間(ジャンクションからパッケージの外部:Rth1~Rth5)の説明

グラフのRth1からRth5はLEDチップ及びパッケージ化する為の材質、及び接続時の接触による熱抵抗を表します。熱抵抗が小さい程良い。各材料の接続が悪ければ熱抵抗値が大きくなり放熱性が悪くなります。過渡熱抵抗測定を行うと材質、各接続状況の評価が可能です。各Rthの例としては

- ① Rth1 GaN結晶層の熱抵抗値
- ② Rth2 ワイヤボンディング(ワイヤ及び接触抵抗)
- ③ Rth3 サファイア基板の熱抵抗
- ④ Rth4 チップ接着剤(ダイペースト)の熱抵抗
- ⑤ Rth5 LEDパッケージ・システムの熱抵抗
- ⑥ パッケージ内熱抵抗値:  $R_{thj-c}(\text{Junction\_to\_Case}) = R_{th1} + R_{th2} + R_{th3} + R_{th4} + R_{th5}$

#### (2) H2区間(放熱特性は放熱器に依存:Rthj-a:A、Rthj-a:B、Rthj-a:C、Rthj-a:D)

放熱器及び熱的接着材等つ部材の放熱特性が過渡熱抵抗及び飽和熱抵抗として測定出来ます。

## 6.4 過渡熱抵抗測定による不良解析

### (1) 材料の評価

過渡熱抵抗を測定する事によりジャンクションから放熱器に至るまでの材料及び作業の不良を発見する事が可能です。例えばワイヤボンディング不良は $R_{th2}$ が、チップ接着剤にボイドがある場合に $R_{th4}$ が大きくなります。

### (2) 生産工程内検査における

LEDパッケージ内部の熱容量は小さく熱は非常に短い時間で伝わるので、パッケージ内部の過渡熱抵抗を測定するには短時間(例えば20msec程度)の測定が可能なシステムが必要です。そのような装置をうまく活用すれば、生産の工程内検査に実施することができます。又短時間の印加にてEOS(Electic Over Stress)試験としても利用出来ます(オープン/ショート、特性劣化(VF値又は $\Delta$ VF値異常)の判断が出来ます。)



## (1) 総論

- ① LEDのハイパワー化にともない熱抵抗を把握する事はパッケージ及び照明器具を検討する上で大変重要な事です。
- ② ジャンクション温度を測定したいですが直接温度測定する事は出来ません。  
△ VF法を使用すればジャンクション温度を推測する事が出来ます。
- ③ 本来は飽和熱抵抗を知る事が重要ですが、過渡熱抵抗を把握する事も重要です(放熱器等部材の特性評価が出来ます)。

## (2) 検査ラインでの測定

検査ラインで測定する場合は高タクトタイムを要求されます。この場合は飽和熱抵抗まで測定しなくても、過渡熱抵抗測定(比較測定)で代用できます。

## (3) 規格: EIA/JEDEC及びLRCより

常に熱抵抗測定を行う事は大変です。簡便法としてLEDの接続点(放熱器とLEDの間等:  $T_s$ ポイント)に温度計(熱電対タイプセンサー使用)にて測る方法も提案されています。

ご静聴有難う御座いました。

(株)テクノローク 星野房雄

mail : [hoshino@teknologue.co.jp](mailto:hoshino@teknologue.co.jp)