



発光ダイオード (LED) (10 点)

この実験では LED の熱的，電気的な性質を調べる．PCB の温度測定に当たっては，問題 1 の B.1 で得られた係数を用いること．この実験で用いられる電気回路は図 2.1 に示されている．装置のガイドについては，問題 1 の説明を参照すること．

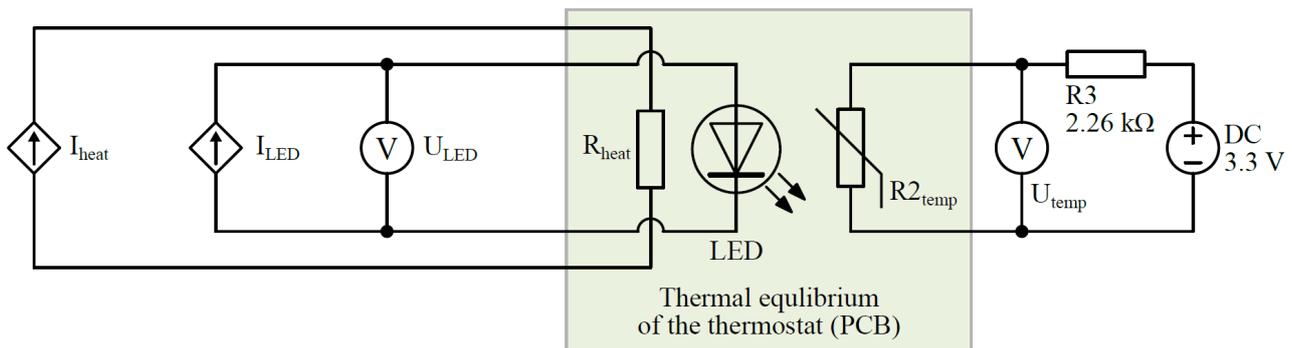


図 2.1. LED 実験のセットアップ．LED は定電流 (連続的もしくはパルスモード) で動作し，高インピーダンス電圧計で順方向の電圧を測定する．加熱や温度測定の部分は実験 1 と同様である．PCB(printed circuit board: プリント回路ボード) 上のすべての部品は熱平衡状態にある．

白熱電球では定電圧が用いられるのと対照的に，LED は定電流で駆動されるのが一般的である．測定される LED の電圧は，設定電流や半導体の温度に依存する．電圧-電流特性の数学的な表現は複雑であり，物理的，技術的な (多くの場合不明な) パラメータに依存する．そこで，この実験では電圧対 LED 電流，LED 温度 T_J の 2 次元的な関係 (以下の式) を調べる．

$$U_{LED} = \text{function}(I_{LED}, T_J).$$

LED 半導体と PCB との間の熱抵抗は，(いくつかの電流値 (I_{LED}) において) 以下のように電力 P と関係している：

$$\frac{\Delta T}{P} = \frac{(T_J - T_{PCB})}{P}.$$

注意： LED は連続的電流もしくは短いパルス電流で駆動できる．後者においては，LED の自己発熱を無視できるようにパルス幅が十分短いことが仮定され (例えば，1 ms のパルス幅で，最低でも 100 ms の間隔を開けて測定)，そのような駆動方法においては $T_J = T_{PCB}$ と考えられるものとする．連続的な操作においては $T_J > T_{PCB}$ であり，熱抵抗 $\frac{\Delta T}{P}$ が計算できる．

パート A. 異なる温度における電圧-電流特性 (5.0 点)

実験 1, 2 における加熱の物理的仕組みは同じである．そのため，実験 1 で得た結果を使ってサーミスタの電圧と温度とを関係付けることができる．もしくは，以下の近似的な関係を用いてもよい：

$$T(U) = \frac{3500}{9.9 - \ln(\frac{1}{U} - 0.3)},$$

ただしここで T はサーミスタの温度を単位をケルビンとして表記したものであり， U はサーミスタの電圧をボルトを単位として表記したものである．



LED において、温度を室温から 80 °C まで変化させたときの電流対電圧の関係をパルスモードで測定しグラフにする。

A.1 $I_{\text{LED_pulsed}}(U_{\text{LED_pulsed}}, T)$ を 3 mA から 50 mA までの範囲で、室温, 40, 60, 80 °C で測定せよ。全ての曲線を同じグラフに描くこと。 2.5pt

A.2 駆動電流 $I_{\text{LED_pulsed}}$ が 3, 10, 20, 40 mA, また温度が室温, 40, 60, 80 °C のとき, 対応する $U_{\text{LED_pulsed}}$ の値をアンサーシートの表に記せ。 1.0pt

A.3 $U_{\text{LED_pulsed}}(I_{\text{LED_pulsed}}, T)$ の主要な点 (問題 A.2 でリストにしたもの) をグラフにし, 3, 10, 20, 40 mA において電圧の温度への線形依存の係数 $(\Delta U(I)/\Delta T)$ を (グラフを用いて近似的に) 計算せよ。 1.5pt

パート B. 連続的駆動電流を用いたときの LED の電圧-電流特性の測定 (3.5 点)

B.1 連続的駆動を用い, ヒーターを切った状態で, 3 mA から 5 mA の範囲で $I_{\text{LED_continuous}}(U_{\text{LED_continuous}})$ を測定し, グラフにせよ。またその際, アンサーシートの表に 3, 10, 20, 40 mA における以下の値を記入せよ。 $U_{\text{LED_continuous}}$, PCB (サーモスタット) の温度 T_{PCB} , 電圧の差 $\Delta U = U_{\text{LED_pulsed}} - U_{\text{LED_continuous}}$ 。 1.5pt

B.2 LED の抵抗は定数ではない (電流に依存する) ことから, 動的抵抗という用語が用いられ, $\frac{dU}{dI}$ と表現される。B.1 のグラフを用いて, LED の動的抵抗の逆数 $1/(\frac{dU}{dI}) = \frac{dI}{dU}$ を推定せよ。アンサーシートに 3, 10, 20, 40 mA における $\frac{dI}{dU}$ の値を記せ。またグラフ上の各点 (3, 10, 20, 40 mA) において $\frac{dI}{dU}$ を傾きとする接線を描け。 0.5pt

B.3 連続的操作を行っている半導体の温度 (T_J) と PCB の温度 (T_{PCB}) との温度差 $\Delta T(P)$ を (3, 10, 20, 40 mA における) 電力の関数として計算し, グラフにせよ。LED の線形熱抵抗 $\frac{\Delta T}{P}$ を (グラフを用いて近似的に) 計算し, アンサーシートに記せ。補足: LED により消費される全ての電気的なエネルギーは熱に変換され, 光として放出されるエネルギーは無視できるものとする。 1.5pt

パート C. 温度による LED 電流の変化 (1.5 点)

イントロダクションでも述べられているように, LED は通常, 定電圧ではなく定電流で駆動される。ここでは, 名目上では 20 mA の電流で LED を駆動するとしつつ, 実際には定電圧, 具体的には実験 B.1 の 20 mA で測定した電圧を用いて LED を駆動した場合を考える。

C.1 パート B で計算した LED 特性を用いて, もし電圧が一定に保たれ (具体的には, B.1 で測定した $U(20\text{mA})$), PCB の温度が 0 °C, 40 °C だった場合に, LED を実際に流れる電流を推定せよ。 1.5pt