발광 다이오드(LED) (10점)

이 실험은 LED의 전기적·열적 성질을 조사하기 위한 것이다. PCB의 온도 측정에는 실험 1의 B.1 절에서 얻은 계수를 써야 한다. 이 실험에 쓰는 전기 회로가 그림 2.1에 나타나 있다. 장비 안내는 1번 문제의 설명을 보라.

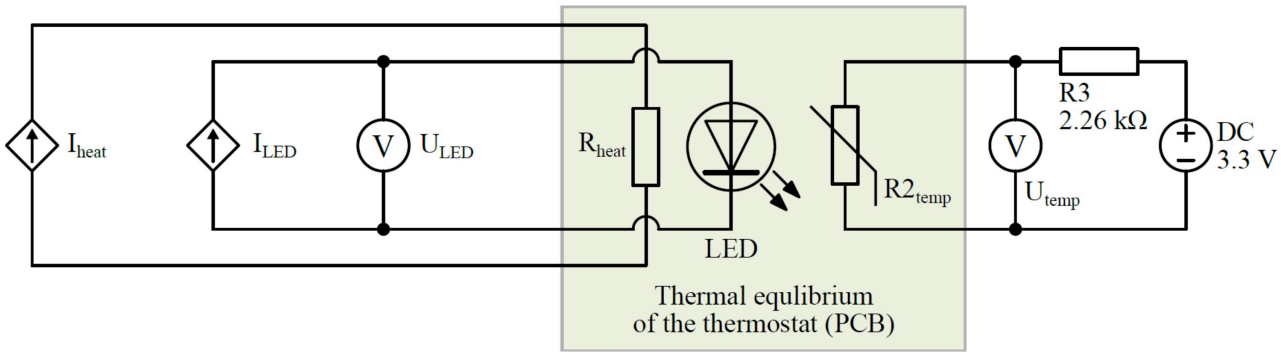


그림 2.1. LED 조사 실험의 장치. LED는 일정한 전류(연속 또는 펄스 모드)로 구동되며 순방향 전압은 높은 임피던스의 전압계로 측정한다. 가열과 온도 측정 부분은 실험 1과 같다. 인쇄 회로 기판(PCB) 위의 모든 부품 사이에는 열평형이 유지된다.

백열등이 일정한 전압으로 구동되는 것과 달리 LED는 보통 일정한 전류로 구동된다. 측정되는 LED의 전압은 설정한 전류와 반도체 다이의 온도에 의존한다. 전압-전류 특성의 수학적 표현은 복잡하고, 보통 알려져 있지 않은 물리적·기술적 변수들에 의존한다. 따라서 이 실험에서는 LED 전류와 LED 다이 온도 T_J 에 대한 전압의 이차원 의존성을 조사한다.

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

LED 반도체 다이와 PCB 사이의 열저항은 전력 P 와 (여러 전류 I_{LED} 값에서) 다음과 같이 관계된다.

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

주의: LED는 연속 전류나 짧은 전류 펄스로 구동할 수 있다. 후자의 경우 펄스의 지속 시간이 LED의 자체 발열을 피할 만큼 충분히 짧다고 가정하며(예: 1 ms 펄스 지속 시간에 측정 간격을 적어도 100 ms 띄운다), 그런 구동 방식에서는 $T_J = T_{\mathrm{PCB}}$ 라고 본다. 연속 동작 중에는 $T_J > T_{\mathrm{PCB}}$ 이고 열저항 $\dfrac{\Delta T}{P}$ 를 계산할 수 있다.

파트 A. 서로 다른 온도에서의 전압-전류 특성 (5.0점)

실험 1과 2에서 가열의 물리적 메커니즘은 같다. 따라서 앞서 실험 1에서 얻은 결과를 이용하여 서미스터 전압과 그 온도를 연결할 수 있다. 또는 다음의 명시적인 근사 관계를 써도 된다.

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

여기서 T 는 켈빈으로 나타낸 서미스터의 온도이고 U 는 볼트로 나타낸 서미스터의 전압이다.

펄스 모드에서 실온부터 80 °C까지의 온도에서 LED의 전류-전압을 측정하고 그래프로 그리라.

A.1	실온과 40, 60, 80 °C에서 3 mA부터 50 mA 범위의 $I_{\mathrm{LED_pulsed}}(U_{\mathrm{LED_pulsed}}, T)$ 관계를 측정하고 그래프로 그리라. 모든 곡선을 같은 그래프에 그리라.	2.5pt

A.2	답안지의 표에 실온과 40, 60, 80 °C에서 구동 전류 $I_{\mathrm{LED_pulsed}}$ 가 3, 10, 20, 40 mA일 때의 $U_{\mathrm{LED_pulsed}}$ 값을 채워 넣으라.	1.0pt

A.3	$U_{\mathrm{LED_pulsed}}(I_{\mathrm{LED_pulsed}}, T)$ 의 주요 점들(A.2에 나열한 것들)을 그래프로 그리고, 3, 10, 20, 40 mA에서 온도에 대한 선형 전압 의존 계수 $(\Delta U(I)/\Delta T)$ 를 (그래프로 근사하여) 계산하라.	1.5pt

파트 B. 연속 구동 전류에서 LED 전압-전류 특성의 측정 (3.5점)

B.1	연속 구동 방식에서 가열기를 끈 채 3 mA부터 50 mA 범위의 $I_{\mathrm{LED_continuous}}(U_{\mathrm{LED_continuous}})$ 관계를 측정하고 그래프로 그리라. 답안지에 3, 10, 20, 40 mA에서의 $U_{\mathrm{LED_continuous}}$ 값, PCB(항온조) 온도 T_{PCB}, 그리고 차이 $\Delta U = U_{\mathrm{LED_pulsed}} - U_{\mathrm{LED_continuous}}$ 도 쓰라.	1.5pt

B.2	LED의 저항은 일정하지 않으므로(전류에 의존한다) 동적 저항이라는 용어를 쓰며 $\frac{dU}{dI}$ 로 나타낸다. (B.1)의 그래프를 이용하여 LED 동적 저항의 역수 $1/\left(\frac{dU}{dI}\right) = \frac{dI}{dU}$ 를 어림하라. 답안지에 3, 10, 20, 40 mA에서의 $\frac{dI}{dU}$ 값을 쓰라. 그래프의 이 점들에서 접선 $\frac{dI}{dU}$ 를 그리라.	0.5pt

B.3	연속으로 동작하는 반도체 다이의 온도(T_J)와 PCB의 온도(T_{PCB})의 차 $\Delta T(P)$ 를 전력의 함수로 (3, 10, 20, 40 mA에서) 계산하고 그래프로 그리라. LED의 선형 열저항 $\frac{\Delta T}{P}$ 를 (그래프로 근사하여) 계산하고 답안지에 쓰라. 비고: LED가 소비하는 모든 전기 에너지가 열로 바뀌며 빛으로 방출되는 에너지는 무시할 수 있다고 가정한다.	1.5pt

파트 C. 온도에 의한 LED 전류 편차의 계산 (1.5점)

서론에서 LED는 보통 일정한 전압이 아니라 일정한 전류로 구동된다고 하였다. 누군가가 과제 B.1에서 20 mA 전류에 대해 측정한 전압값을 일정하게 걸어 LED를 정격 전류 20 mA로 구동하기로 했다고 하자.

C.1	파트 B에서 계산한 LED 특성을 이용하여, 전압을 일정하게 유지할 때(B.1에서 측정한 전압 $U(20\mathrm{mA})$) PCB 온도가 0 °C와 40 °C일 때 LED에 실제로 흐르는 전류를 어림하라.	1.5pt