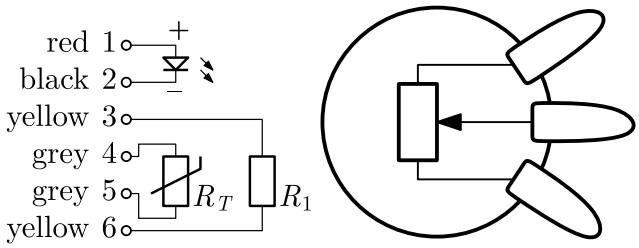
1 발광 다이오드

발광 다이오드(LED)는 가장 효율적인 광원이다. 최근 몇 년 사이에 값싸고 강력하며 신뢰성 높은 LED 전구가 시장에 등장했다. 가정과 사무실에서 다른 전기 조명 기구(예: 백열등, 할로겐등, 형광등)가 LED 조명으로 교체되면서 전 세계적으로 진정한 혁명이 일어나고 있다.

이 실험에서는 발광 다이오드의 열적, 전기적 특성을 분석한다.

불확도를 추정할 필요는 없으나, 방법과 결과의 정확도는 중요하며 채점에 반영된다. 사용하는 측정 장치 구성을 항상 그리시오! 적절한 경우, 필요한 양을 구하는 데 그래프를 사용하시오.

장비: *LED*, 저항, 온도 센서가 장착된 동일한 회로 기판 *2*개; 투명한 병 *2*개, 기밀 마개 *2*개, 튜브 *2*개, 물, 주사기, 멀티미터 *3*개(*"voltage-only"*라고 표시된 멀티미터는 전압 측정에만 사용할 것), 가변저항 *2*개, 전원 공급 장치, 케이블, 스탠드, 밀리미터 눈금 모눈종이 띠.



회로 기판(왼쪽)과 가변저항(오른쪽)의 회로도와 연결이 그림에 나와 있다. 저항 R_1은 LED 근처의 기판을 가열하는 데 쓸 수 있다. 온도 센서(서미스터) R_T는 저항값이 절대온도 T에 강하게 의존하는 또 다른 저항이다:

$$T = 2.254\,\mathrm{K}\left(\ln\frac{R_T}{1\,\mathrm{k\Omega}}\right)^2 - 32.46\,\mathrm{K}\ln\frac{R_T}{1\,\mathrm{k\Omega}} + 361.09\,\mathrm{K}.$$

경고! LED에는 표시된 극성으로만 전압을 가하시오! 전원 공급 장치의 빨간색 선이 "+"(LED의 빨간색 단자에 연결해야 함)이고 검은색 선이 "−"이다.

멀티미터에는 "mAVΩ"("+" 공급) 단자와 "COM"("−") 단자 사이에 다이오드를 연결하면 근사적으로 일정한 작은 전류원 역할을 하는 모드("⊣⊢"로 표시)가 있다. 이 모드에서 멀티미터는 약 0.33 mA를 공급하면서 다이오드 양단의 전압을 볼트 단위로 표시한다(전류는 일정하게 유지된다고 가정해도 좋다).

단순화된 이론에서, 다이오드 전류 I_d, 빛이 방출되는 LED 내부 접합에서의 전압 강하 V, 접합의 절대온도 T는 다음을 만족한다.

$$I_d = Ae^{-V_{G0}/(nV_T)}\left(e^{V/(nV_T)} - 1\right) \quad \text{여기서 } V_T = \frac{k}{q}T,$$

볼츠만 상수 $k = 1.381 \times 10^{-23}\,\mathrm{J/K}$, 기본 전하량 $q = 1.602 \times 10^{-19}\,\mathrm{C}$이다. 변수 V_T를 열전압이라고 한다. 매개변수 V_{G0}와 n은 LED의 재료에 의존하고, 매개변수 A는 LED의 구조에도 의존한다. 매개변수 n은 이상 계수(ideality factor)라고 하며 보통 $1 < n < 2$이다. 매개변수 V_{G0}는 반도체 물질의 공칭 띠틈 전압(nominal bandgap voltage)이라고 한다.

실제 다이오드 양단의 전압 $V' = V + I_d R_s$에는 크기가 1 Ω 정도인 기생 직렬 저항 R_s에 의한 기여도 포함된다. **힌트:** 위 식에서 각 항의 크기를 어림하여 계산을 적절히 단순화하시오!

1. 일정한 전류에서 LED의 전압–온도 그래프를 측정하여 그리시오(전류는 R_s에서의 전압 강하를 무시할 수 있을 만큼 작아야 한다).

   V_{G0}를 구하시오.

   추가 측정을 하고 적절한 그래프를 그려 매개변수 n과 A를 구하시오.

   더 큰 전류에서는 직렬 저항 R_s가 두드러진다. 이 R_s를 측정하시오.

2. LED의 효율을 빛으로 복사되는 전력과 소비되는 전기 전력의 비로 정의한다. 온도 센서를 사용하지 않고 LED의 효율 η 값을 측정하시오.

3. LED는 태양 전지(또는 광다이오드)처럼 동작하기도 한다. 빛에 의해 생기는 광전류 I_p는 전압에 의존하지 않고 빛의 세기에 비례하며, 다이오드 전류에서 빠진다($I = I_d - I_p$). 주변광에 의한 광전류는 앞의 측정에 영향을 주지 않을 만큼 작았다.

   두 LED를 $d = 3.0\,\mathrm{cm}$ 거리에서 서로 정면으로 마주보게 놓고, 그중 하나에 $I_1 = 0.50\,\mathrm{A}$를 공급하시오. 이 조명 배치에서 실온일 때 LED로부터 얻을 수 있는 최대 전기 전력 $P_{\max}$를 구하시오.

   이에 대응하는 광효율 η_p — LED의 활성 영역이 흡수한 빛의 전력에 대한 전기 출력의 비 — 를 구하시오. 이 영역의 넓이는 $S = 1.56\,\mathrm{mm}^2$이다. LED는 구의 $\alpha = 33\%$ 영역으로 균일하게 복사한다고 가정하시오.