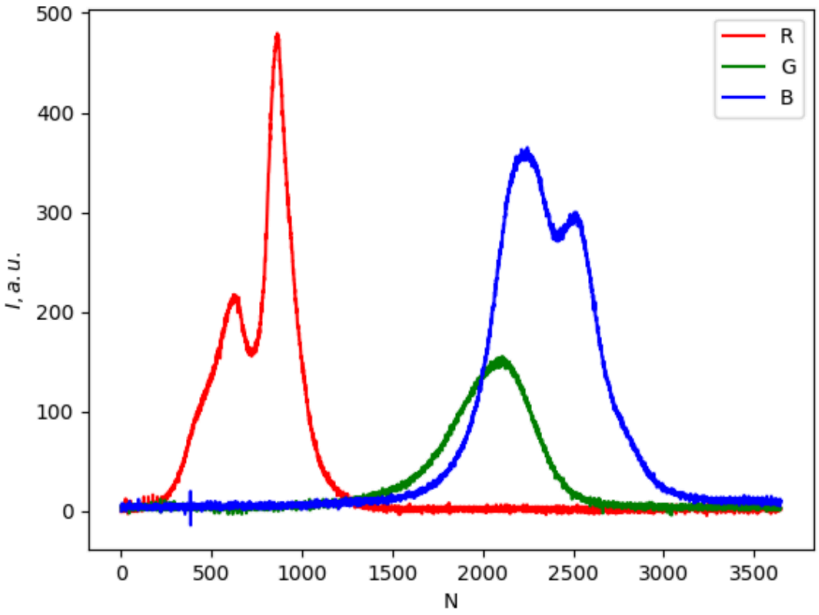
풀이

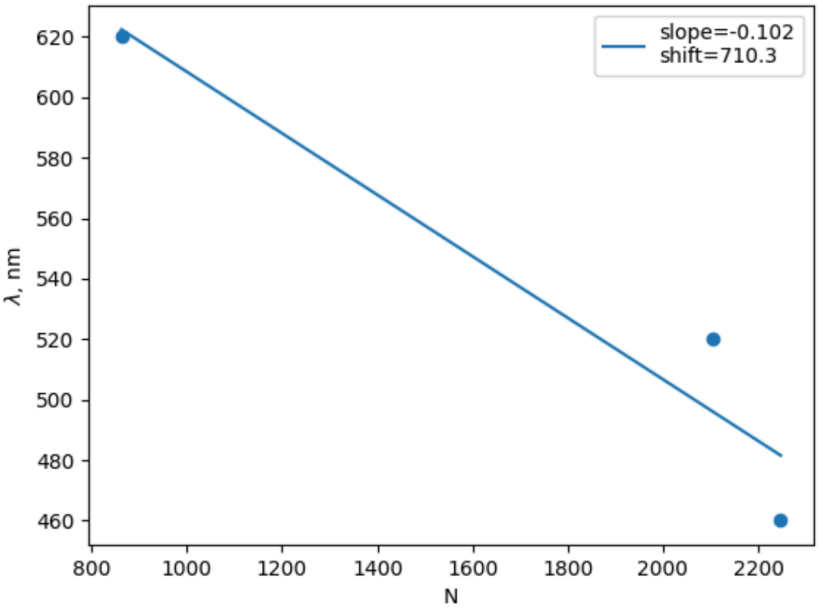
A1. CCD 배열의 이동과 서로 다른 감도의 사용 때문에, 원시 데이터에서 스펙트럼의 위치와 세기는 재현되지 않아야 한다. 그러나 최종 결과는 잘 재현된다.



A2.

색	N
빨강	863
초록	2105
파랑	2247

A3.



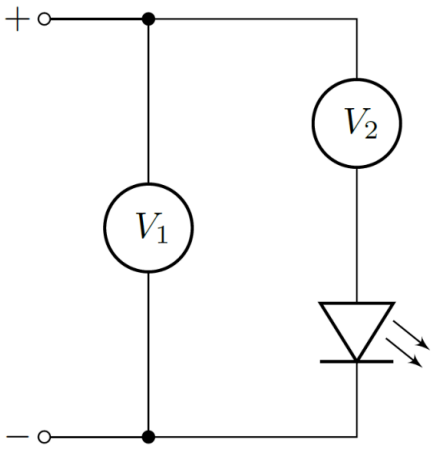
B1.

측정 범위, V	R_V, MΩ
600	0.994
200	0.994
20	0.994
2	0.994
200m	0.993

B2.

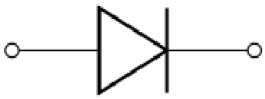
$$R_0 = 46.1\ \Omega, \qquad U_{100\ \mathrm{mA}} = 4.61\ \mathrm{V}$$

B3.

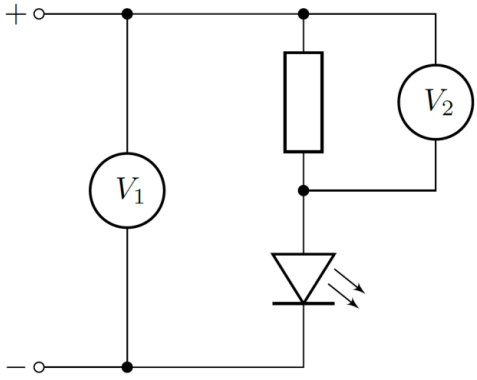


가능한 다른 회로 구성: 전압계 V_1을 다이오드에 병렬로 연결한다.

B5.



B6.



가능한 다른 회로 구성: 전압계 V_1을 다이오드에 병렬로 연결한다.

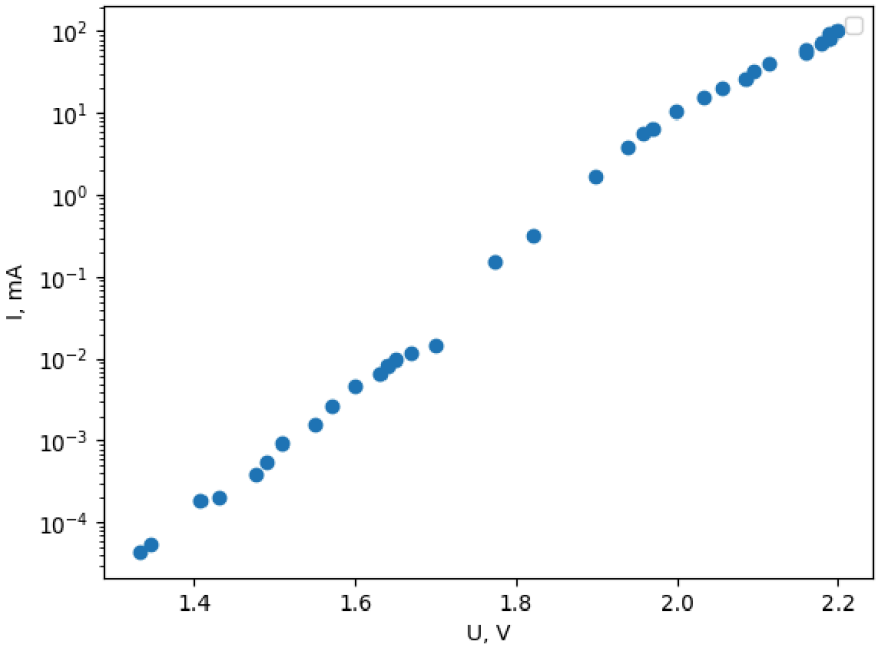
B8. B3에서 제안한 회로에 대한 식은 다음과 같다:

$$I = V_2/R_V, \qquad U = V_1 - V_2.$$

B6에서 제안한 회로에 대한 식은 다음과 같다:

$$I = V_2/R_0, \qquad U = V_1 - V_2$$

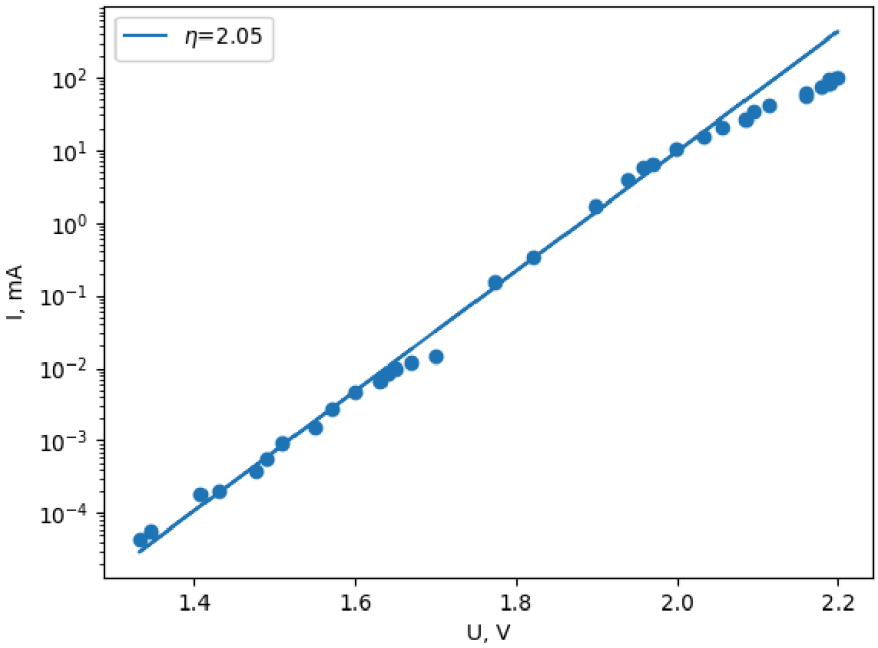
B9.



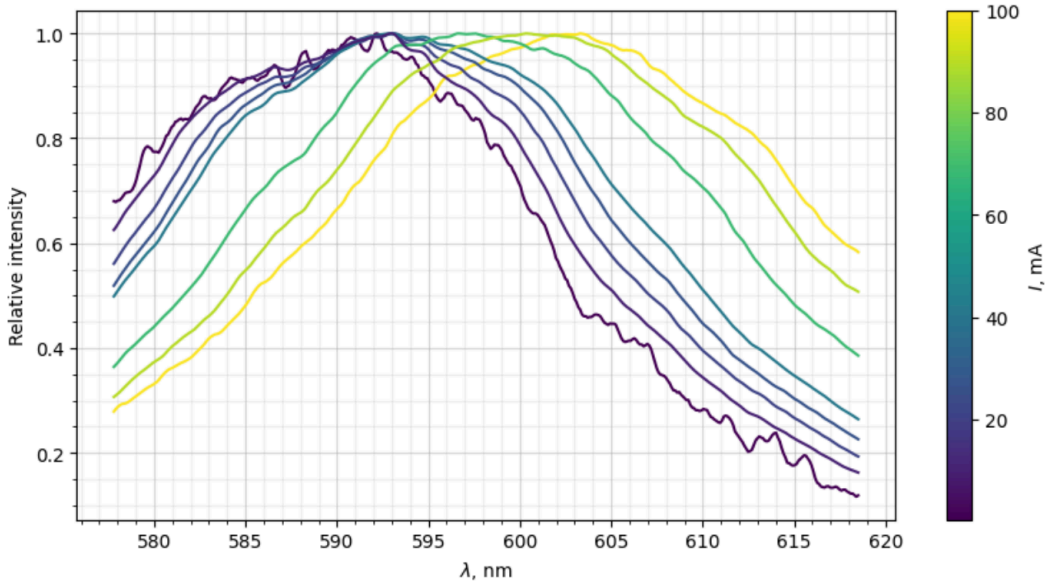
B10.

$$\boxed{\eta_0 k_B T_0/e = 51\ \text{mV}}$$

B11.



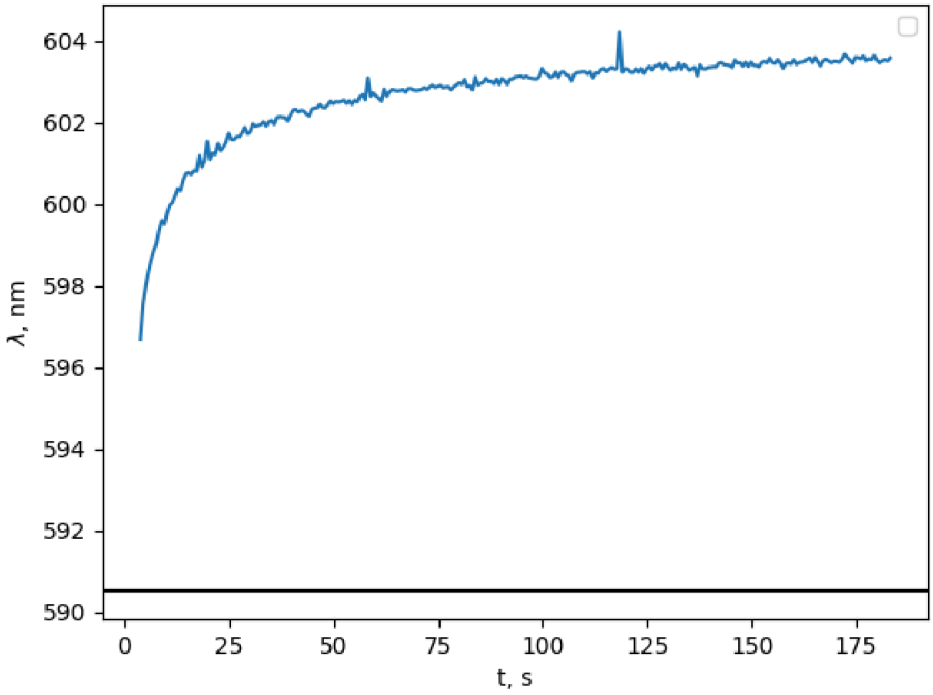
B12.



B14. N으로부터 파장은 다음 식에 따라 계산한다:

$$\lambda = N \cdot \text{slope} + \text{shift}.$$

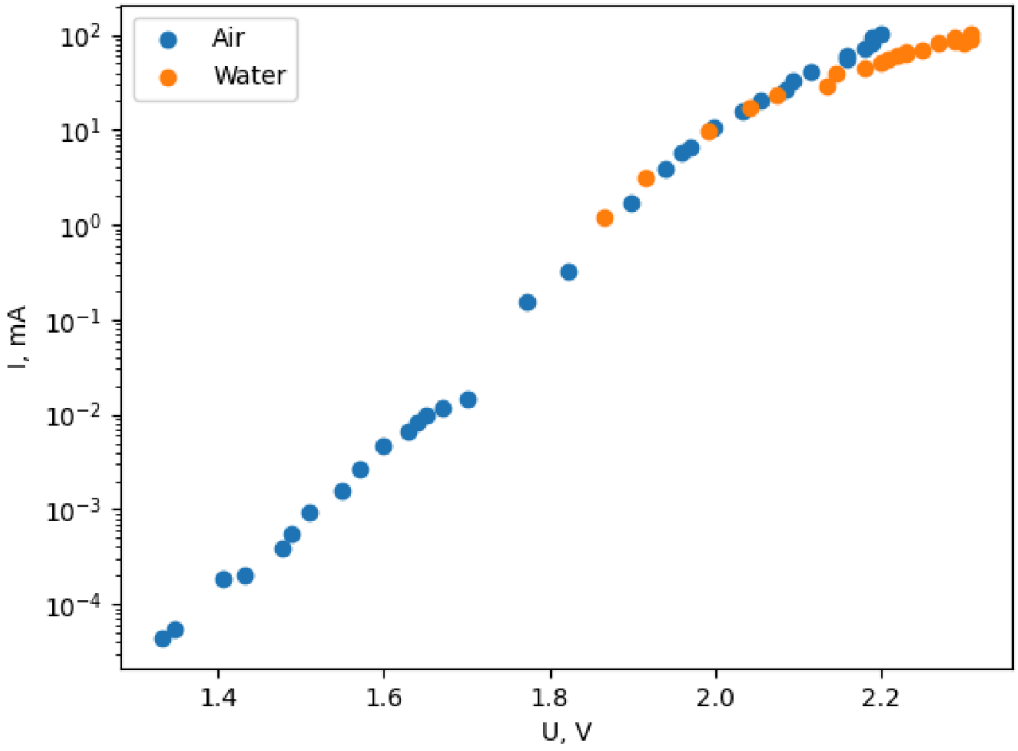
최댓값의 위치는 argmax로 찾을 수 있다. 봉우리의 미세 구조 때문에 최댓값의 실제 위치는 어긋날 수 있다. 이 미세 구조는 광원의 스펙트럼 특성이 아니라 광원의 상 때문에 생긴다. 봉우리에서 ± 5 nm 범위를 포물선으로 피팅할 것을 권한다. 이 포물선의 최댓값을 봉우리의 최댓값의 위치로 삼을 수 있다.



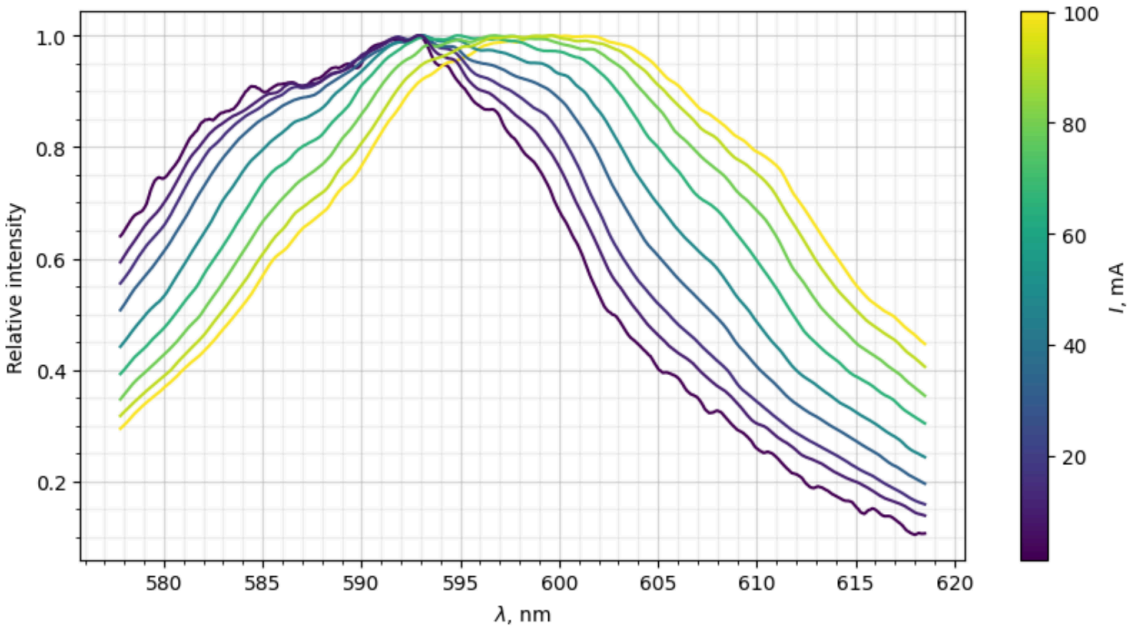
수평선은 낮은 전류에서의 스펙트럼에 해당한다

C1. 회로는 B6과 같다

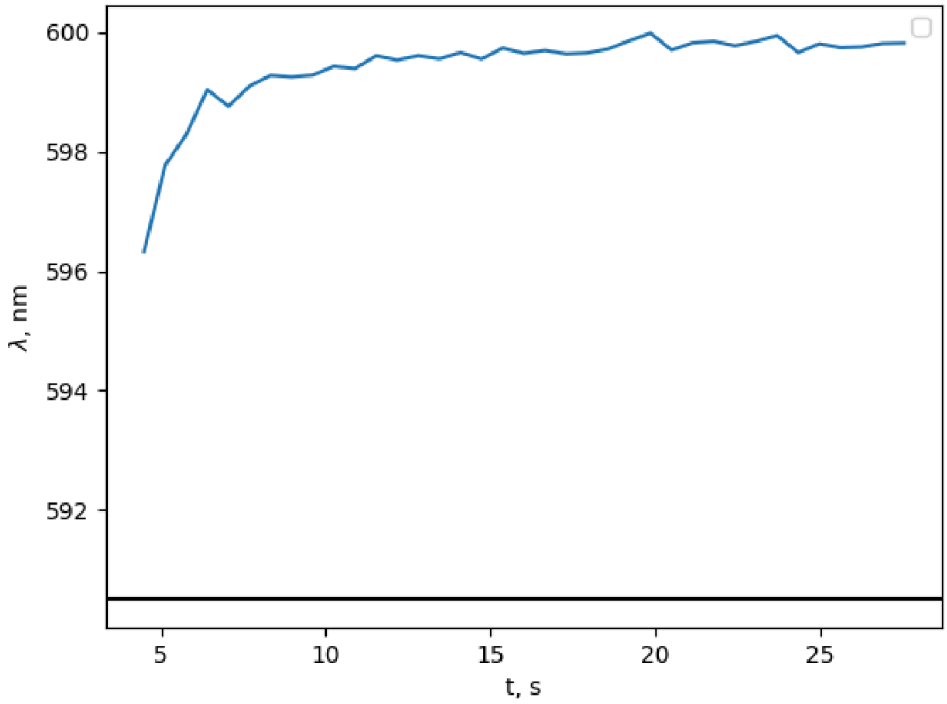
C3.


Air
Water
I, mA
U, V
10^{2}
10^{1}
10^{0}
10^{-1}
10^{-2}
10^{-3}
10^{-4}
1.4
1.6
1.8
2.0
2.2

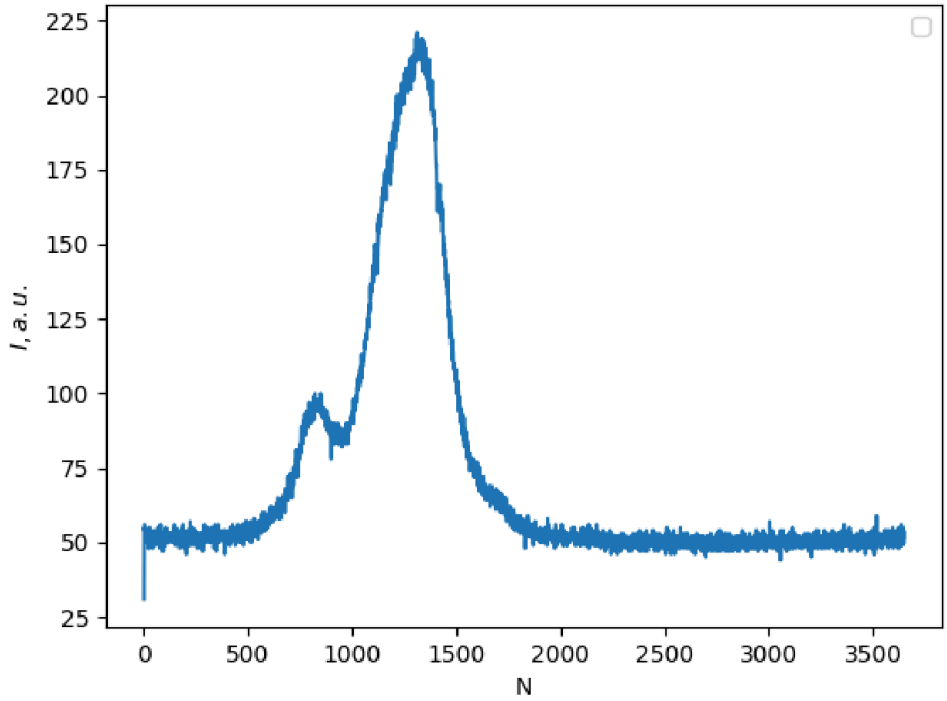
C4.


Relative intensity
λ, nm
I, mA
1.0
0.8
0.6
0.4
0.2
580
585
590
595
600
605
610
615
620
100
80
60
40
20

C6.



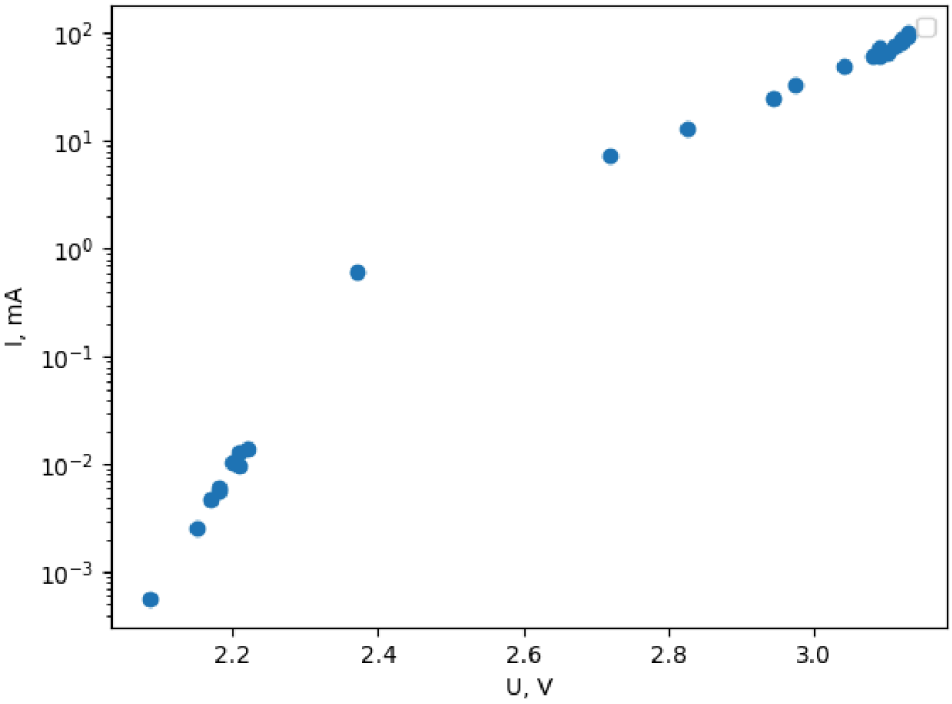
D1.



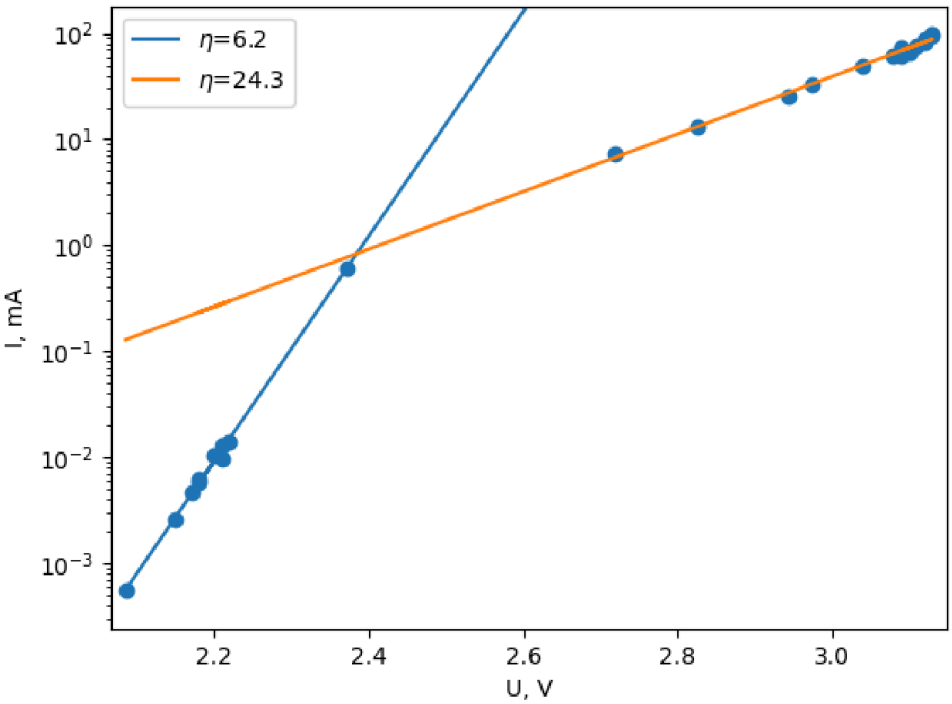
D2. 회로는 B3과 같다

D3. 회로는 B6과 같다

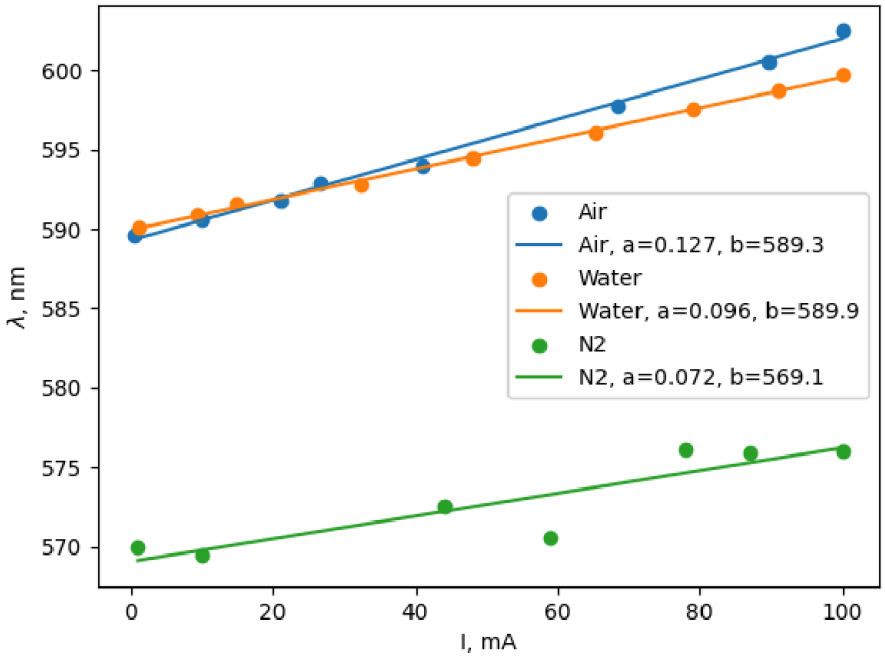
D5.


I, mA
U, V
10^{2}
10^{1}
10^{0}
10^{-1}
10^{-2}
10^{-3}
2.2
2.4
2.6
2.8
3.0

D6.


η=6.2
η=24.3
I, mA
U, V
10^{2}
10^{1}
10^{0}
10^{-1}
10^{-2}
10^{-3}
2.2
2.4
2.6
2.8
3.0

D9.



D10.

$$\boxed{\lambda_{\mathrm{N_2}} = 569\ \mathrm{nm}, \qquad \lambda_{\mathrm{room}} = 591\ \mathrm{nm}}$$

D11.

$$\boxed{\alpha = 3.8 \cdot 10^{-4}\ \mathrm{K}^{-1}}$$

E1. 식 (1)과 광자의 에너지 $E_g = 2\pi\hbar/\lambda$로부터 다음 식을 얻는다:

$$\lambda(T) = \frac{2\pi\hbar c}{E_0\left(1 - \frac{\alpha T^2}{\theta + T}\right)}.$$

χ의 값은 λ의 T에 대한 도함수를 T_0에서 계산한 값이다.

$$\boxed{\chi \simeq \frac{2\pi\hbar c}{E_0} \cdot \alpha T_0 \frac{2\theta + T_0}{(\theta + T_0)^2} = 0.13\ \mathrm{nm/K}}$$

E2. 파장의 이동은 온도 변화에 비례하므로, $\varkappa^{\mathrm{air}}/\varkappa^{\mathrm{water}}$는 물속과 공기 중의 LED에 대한 λ 대 I 그래프의 기울기의 비와 같다.

$$\boxed{\varkappa^{\mathrm{air}}/\varkappa^{\mathrm{water}} = 0.71}$$

E3. 미분 방정식의 변수를 분리하자:

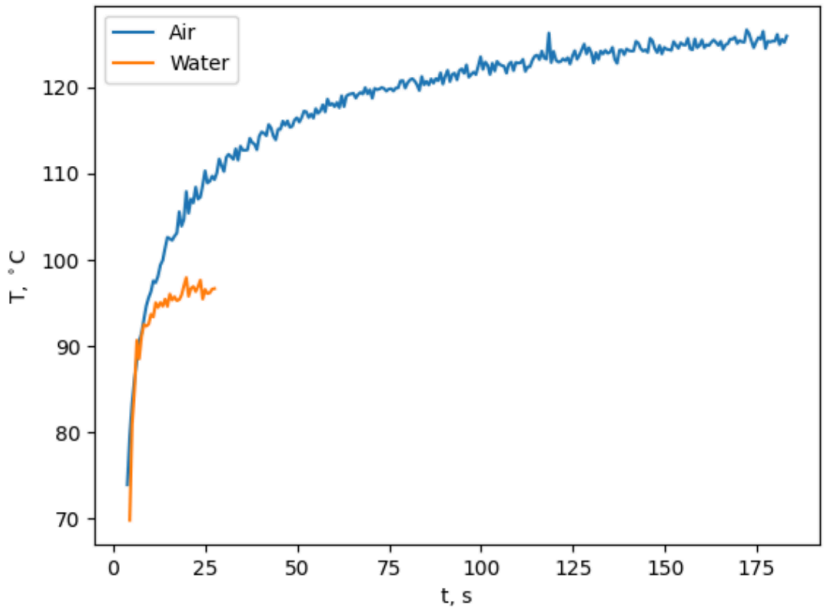
$$\frac{dT}{T_\infty - T} = \frac{\varkappa}{C} dt.$$

양변을 적분하고 초기 조건 $T(0) = T_0$을 적용하면 답을 얻는다.

$$\boxed{T(t) = T_\infty - (T_\infty - T_0)\exp\left(-\frac{\varkappa}{C}t\right)}$$

E4. 파장의 이동으로부터 온도를 계산하는 식은 다음과 같다:

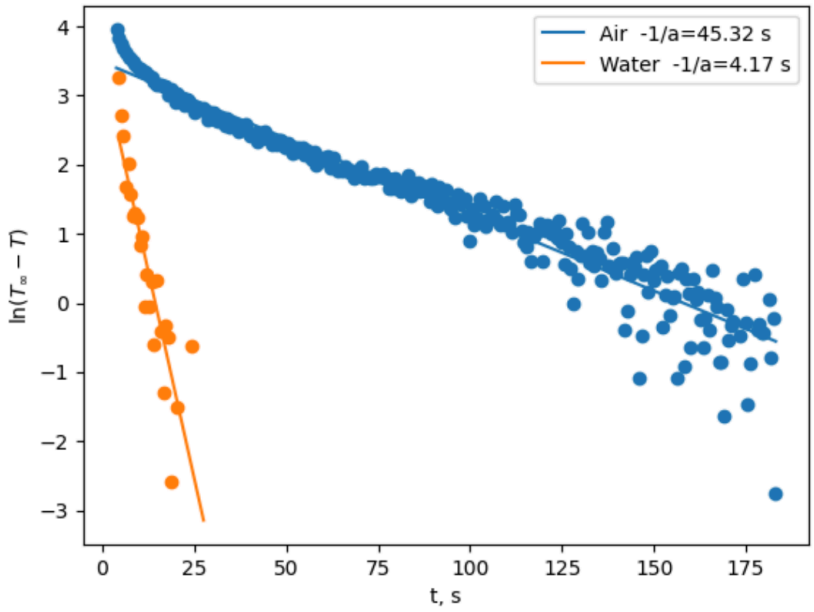
$$T = T_0 + \frac{\Delta\lambda}{\chi}$$



E5. $T(t)$의 식(문항 E3)으로부터, T_∞는 T 대 t 그래프로 구할 수 있음이 분명하다.
이 의존성은 다음과 같이 선형화할 수 있다.

$$\ln\left(T_\infty - T(t)\right) = \ln\left(T_\infty - T_0\right) - \frac{\varkappa}{C}t,$$

따라서 $\ln(T_\infty - T(t))$ 대 t 그래프의 기울기는 $-\frac{\varkappa}{C}$이다.
과정의 처음에는 현저하게 비정상적이므로 선형 의존성에서 벗어난다.



E6. 기울기 값들을 이용하면:

$$\frac{C^{\text{air}}}{\varkappa^{\text{air}}} = 45\ \text{s}, \qquad \frac{C^{\text{water}}}{\varkappa^{\text{water}}} = 4.2\ \text{s}$$

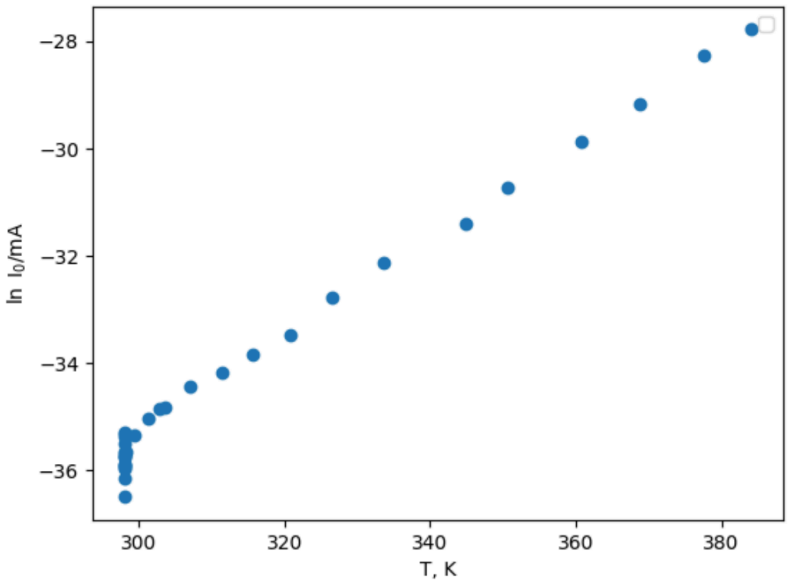
$$\boxed{C^{\text{air}}/C^{\text{water}} = 7.6}$$

F1. 파장과 전류 사이의 비례 관계 $\Delta\lambda = kI$를 이용하면, 전류의 값과 온도 사이에 선형 관계가 있다:

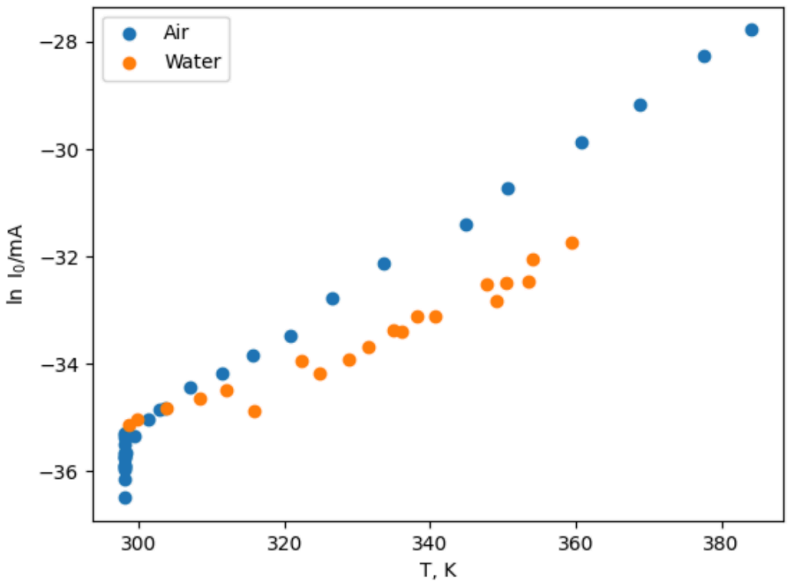
$$T = T_0 + \frac{kI}{\chi},$$

따라서 전류-전압 특성의 모든 점에서 온도를 계산할 수 있다. 쇼클리 방정식으로부터:

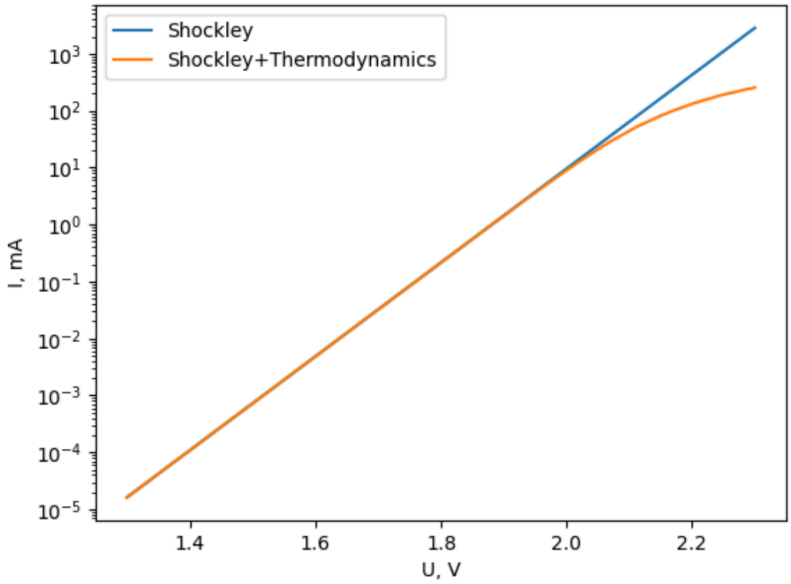
$$\ln I_0 = \ln I - \frac{eU}{\eta k_B T}$$



F2.



F3. I_0와 η의 온도 의존성을 무시하면, 열역학적 평형 조건에서 다이오드의 전류-전압 특성은 아래 그림과 같다.



이 곡선의 추가적인 벗어남은, 문제에서 제안한 대로 I_0 또는 η_0의 온도 의존성으로 해석할 수 있다.

$$\boxed{I_{+10\,\mathrm{K}}/I_0 = 6.7}$$