풀이

실험 II-A: 광전도체의 빛 응답

(1) 잰 PC 저항(R)과 θ_P를 데이터 표에 기록하시오. 잰 R 값을 컨덕턴스(C) 값으로 바꾸어 데이터 표에 기록하시오.

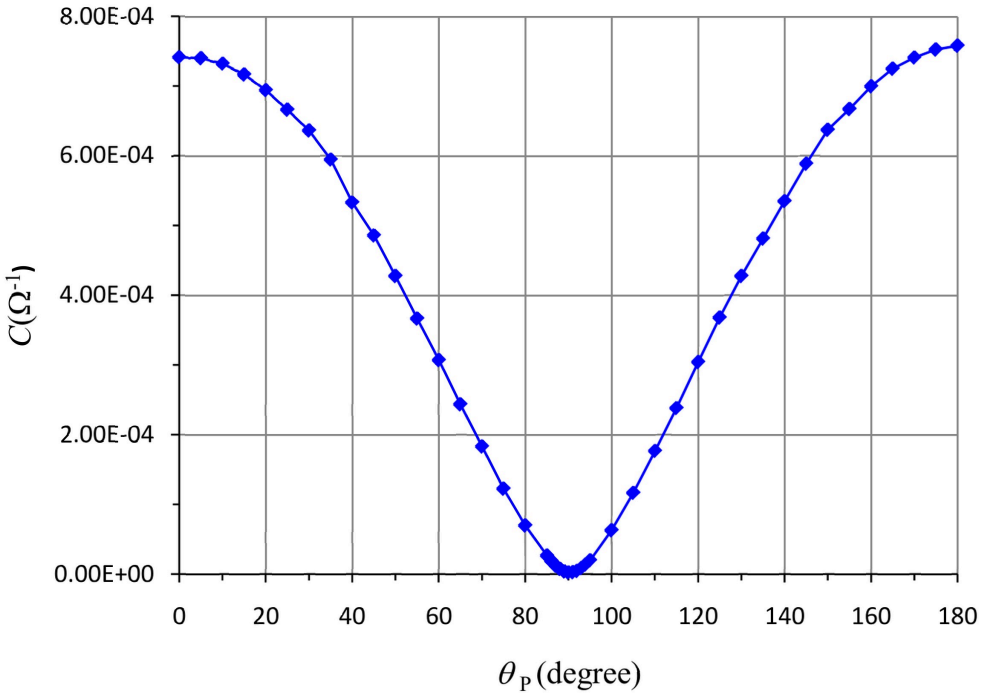
θ_P (degree)	$R\,(\Omega)$	$C\,(1/\Omega)$	$J=\cos^2\theta_P$	
0.0	1349	7.413E-04	1.00	
5.0	1352	7.396E-04	0.992	
10.0	1366	7.321E-04	0.970	
15.0	1396	7.163E-04	0.933	
20.0	1441	6.940E-04	0.883	
25.0	1502	6.658E-04	0.821	
30.0	1572	6.361E-04	0.750	
35.0	1682	5.945E-04	0.671	
40.0	1876	5.330E-04	0.587	
45.0	2060	4.854E-04	0.500	
50.0	2340	4.274E-04	0.413	
55.0	2730	3.663E-04	0.329	
60.0	3260	3.067E-04	0.250	
65.0	4110	2.433E-04	0.179	
70.0	5470	1.828E-04	0.117	
75.0	8180	1.222E-04	0.0670	
80.0	14410	6.944E-05	0.0302	
85.0	37900	2.639E-05	0.00760	
86.0	52200	1.916E-05	0.00487	
87.0	82000	1.220E-05	0.00274	
88.0	130300	7.674E-06	0.00122	
89.0	254000	3.937E-06	3.05E-04	
90.0	450000	2.222E-06	0	
91.0	393000	2.544E-06	3.05E-04	

풀이

92.0	219000	4.566E-06	0.00122	
93.0	118900	8.410E-06	0.00274	
94.0	73700	1.357E-05	0.00487	
95.0	51300	1.949E-05	0.00760	
100.0	15960	6.266E-05	0.0302	
105.0	8580	1.166E-04	0.0670	
110.0	5660	1.767E-04	0.117	
115.0	4200	2.381E-04	0.179	
120.0	3290	3.040E-04	0.250	
125.0	2720	3.676E-04	0.329	
130.0	2340	4.274E-04	0.413	
135.0	2080	4.808E-04	0.500	
140.0	1870	5.348E-04	0.587	
145.0	1700	5.882E-04	0.671	
150.0	1570	6.369E-04	0.750	
155.0	1500	6.667E-04	0.821	
160.0	1430	6.993E-04	0.883	
165.0	1380	7.246E-04	0.933	
170.0	1350	7.407E-04	0.970	
175.0	1330	7.519E-04	0.992	
180.0	1320	7.576E-04	1.00	

풀이

(2) 모눈종이에 θ_P의 함수로 PC 컨덕턴스 값을 그리시오.



풀이

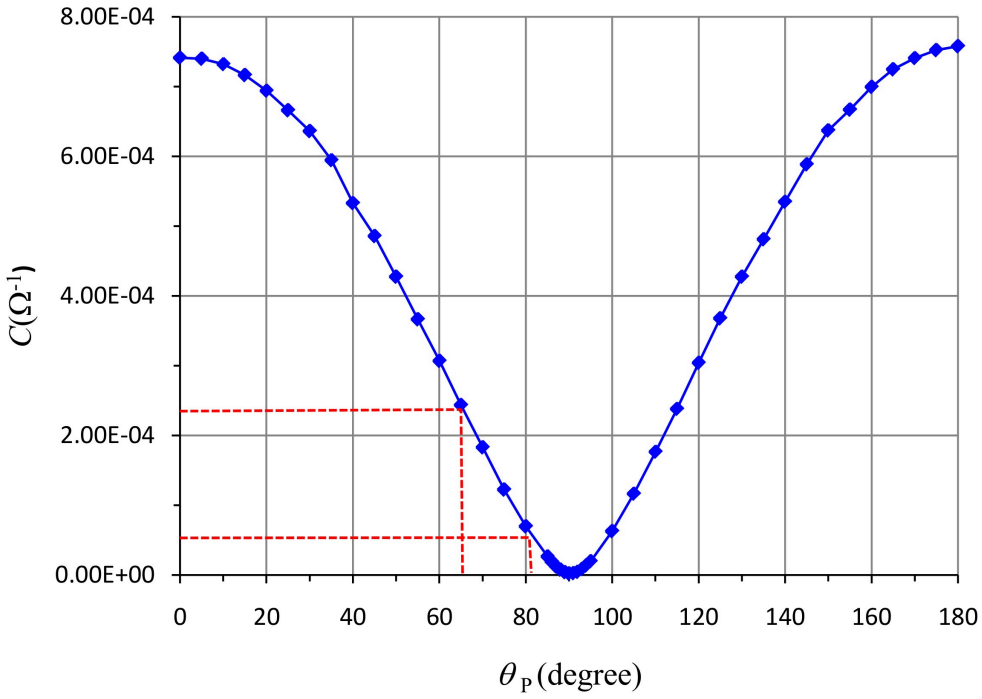
실험 II-B: 레이저 빛에서 선편광된 부분의 비율

(1) P1을 360° 돌리면서 PC 저항의 최댓값과 최솟값(R_{max}와 R_{min})을 찾으시오. R_{max}와 R_{min}을 PC 컨덕턴스의 최솟값과 최댓값 C_{min}과 C_{max}로 바꾸시오. 데이터를 데이터 표에 기록하시오.

$R_{\min}$ (kΩ)	$R_{\max}$ (kΩ)	$C_{\max}$ (1/kΩ)	$C_{\min}$ (1/kΩ)		
4.30	19.40	0.233	0.0515		
4.28	19.42	0.234	0.0515		
4.31	19.41	0.232	0.0515		
	평균	0.233	0.0515		

풀이

(2) 실험 II-A-(2)의 컨덕턴스-θ_P 그래프를 이용해 C_{max}와 C_{min}에 해당하는 상대 세기 J_{max}와 J_{min}을 구하시오. 결과를 적으시오.



$C_{\min} = 0.0515\ \Omega^{-1} \Rightarrow \theta_P = 81^\circ \Rightarrow J_{\min} = \cos^2 81^\circ = 0.025$

$C_{\max} = 0.233\ \Omega^{-1} \Rightarrow \theta_P = 65^\circ \Rightarrow J_{\min} = \cos^2 65^\circ = 0.18$

$J_{\min} = 0.025$	$J_{\max} = 0.18$

풀이

(3) β를 계산해 답안지에 적으시오.

$$\beta = \frac{J_{\max} - J_{\min}}{J_{\max} + J_{\min}} = \frac{0.18 - 0.025}{0.18 + 0.025} = 0.76$$

$\beta = 0.76$

풀이

실험 II-C: 평행광 레이저 다이오드의 미분 양자 효율

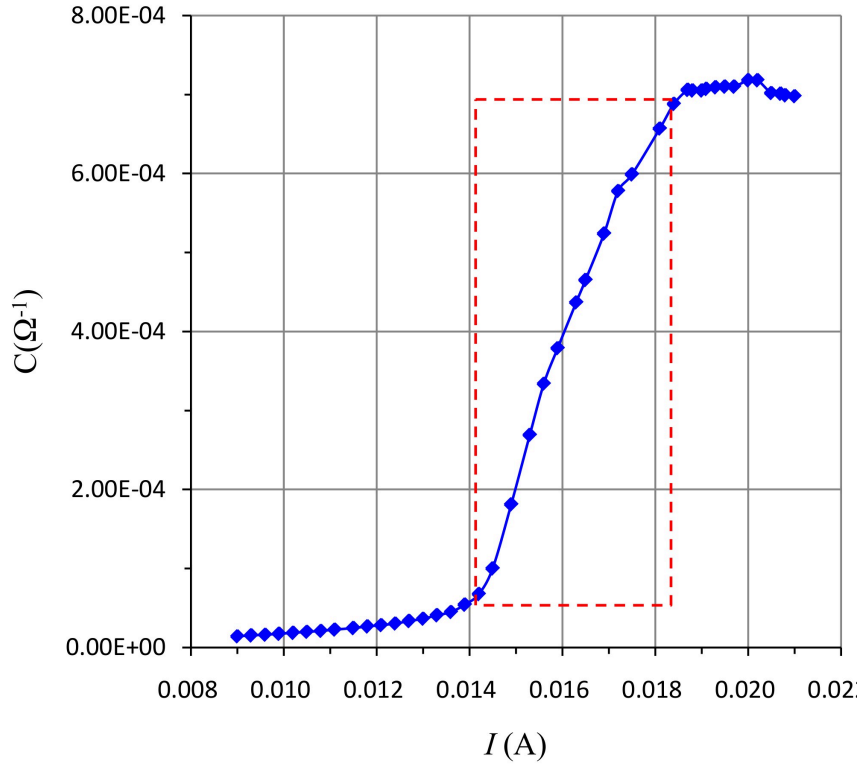
(1) CLD 전류(I)를 조절하며 그에 해당하는 PC 저항(R) 값을 재시오. 데이터를 데이터 표에 기록하시오. 데이터를 변환해 모눈종이에 CLD 전류에 따른 PC 컨덕턴스(C)를 그리시오.

I (A)	R (Ω)	C (1/Ω)	J	
0.0090	70600	1.42E-05	0.00335	
0.0093	66000	1.52E-05	0.00365	
0.0096	61600	1.62E-05	0.00396	
0.0099	58200	1.72E-05	0.00426	
0.0102	54200	1.85E-05	0.00466	
0.0105	50300	1.99E-05	0.00514	
0.0108	47400	2.11E-05	0.00559	
0.0111	44100	2.27E-05	0.00620	
0.0115	40600	2.46E-05	0.00692	
0.0118	37500	2.67E-05	0.00776	
0.0121	35200	2.84E-05	0.00865	
0.0124	32900	3.04E-05	0.00970	
0.0127	29900	3.34E-05	0.0112	
0.0130	27400	3.65E-05	0.0129	
0.0133	24600	4.07E-05	0.0151	
0.0136	22200	4.50E-05	0.0174	
0.0139	18500	5.41E-05	0.0221	
0.0142	14800	6.76E-05	0.0292	
0.0145	10000	1.00E-04	0.0516	
0.0149	5510	1.81E-04	0.115	
0.0153	3720	2.69E-04	0.208	
0.0156	2990	3.34E-04	0.286	
0.0159	2640	3.79E-04	0.351	
0.0163	2290	4.37E-04	0.428	
0.0165	2150	4.65E-04	0.470	

풀이

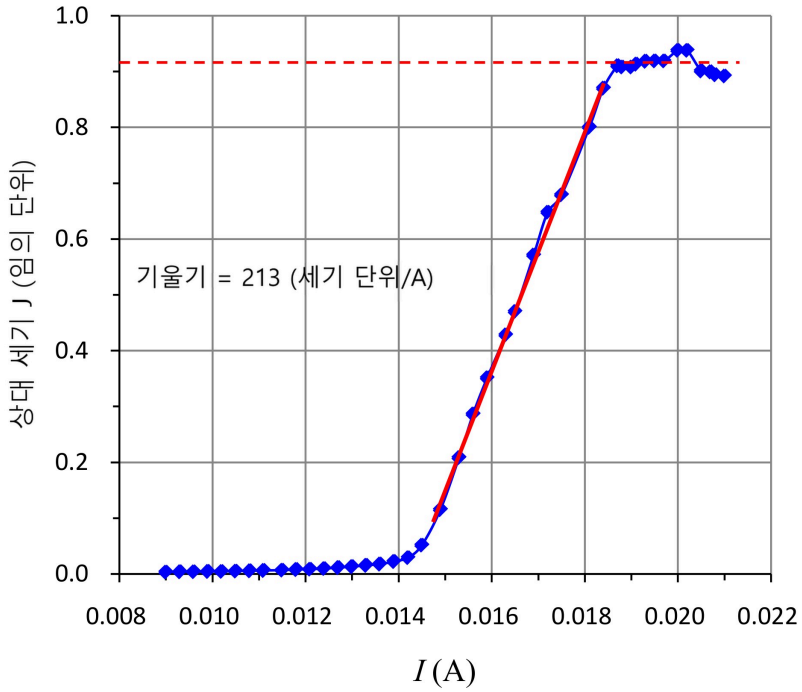
0.0169	1910	5.24E-04	0.571	
0.0172	1730	5.78E-04	0.648	
0.0175	1670	5.99E-04	0.679	
0.0181	1523	6.57E-04	0.800	
0.0184	1454	6.88E-04	0.870	
0.0187	1417	7.06E-04	0.910	
0.0188	1418	7.05E-04	0.908	
0.0190	1419	7.05E-04	0.908	
0.0191	1414	7.07E-04	0.913	
0.0193	1411	7.09E-04	0.918	
0.0195	1409	7.10E-04	0.919	
0.0197	1409	7.10E-04	0.919	
0.0200	1393	7.18E-04	0.938	
0.0202	1392	7.18E-04	0.938	
0.0205	1425	7.02E-04	0.901	
0.0207	1426	7.01E-04	0.899	
0.0208	1430	6.99E-04	0.894	
0.0210	1432	6.98E-04	0.892	

풀이


8.00E-04
6.00E-04
4.00E-04
2.00E-04
0.00E+00
C(Ω-1)
0.008
0.010
0.012
0.014
0.016
0.018
0.020
I (A)

풀이

(2) 단계 (1)의 그래프에서 기울기가 최대인 곳을 중심으로 한 구간($\Delta I \sim 3$ mA)을 고르시오. II-A-(2)의 컨덕턴스-θ_P 그래프를 써서, 단계 (1)의 표에 있는 이 구간의 데이터를 상대 빛 세기(J)로 바꾸어 기록하시오. 모눈종이에 CLD 전류(I)에 따른 상대 빛 세기(J)를 그리시오.



풀이

(3) CLD의 최대 복사 일률은 정확히 $P_{\max} = 3.0$ mW라고 가정한다. 단계 (3)의 그래프에서 최대 기울기를 뽑아 $G \equiv \left.\frac{\Delta P}{\Delta I}\right|_{Max}$ 의 값으로 바꾸시오. 이것은 입력 전류의 증가량에 대한 복사 일률의 증가량의 비의 최댓값이다. 분석 과정과 계산한 G의 값을 답안지에 적으시오. G의 오차를 어림하시오. P_{max}의 오차는 넣지 마시오. 분석 과정과 계산한 ΔG의 값을 답안지에 적으시오.

$$G = \left.\frac{\Delta P}{\Delta I}\right|_{Max} = 0.69 \text{ W/A} \qquad \Delta G = 0.02 \text{ W/A}$$

선형 회귀 분석으로,
기울기 $S = 213$ (세기 단위/A), 기울기의 불확도 $\Delta S = 3$ (세기 단위/A).
$P_{\max} = 3.0$ mW $\Rightarrow$ $J_{\max} = 0.92$ (세기 단위)

$$\because\ P \propto J \ \Rightarrow\ P = kJ$$

$$\therefore\ G = \left.\frac{\Delta P}{\Delta I}\right|_{\max} = \left.\frac{k\Delta J}{\Delta I}\right|_{\max} = \frac{P_{\max}}{J_{\max}} \cdot \left.\frac{\Delta J}{\Delta I}\right|_{\max} = \frac{3.0 \times 10^{-3}}{0.92} \times 213 = 0.69 \text{ W/A}$$

측정 데이터로부터, $J_{\max}$의 불확도: $\Delta J_{\max} = 0.02$ (세기 단위)

불확도 분석: 오차 전파 공식을 써서

$$G = G(S, J_{\max}) = \frac{P_{\max}}{J_{\max}} \cdot \left.\frac{\Delta J}{\Delta I}\right|_{\max} = (3.0 \times 10^{-3})\frac{S}{J_{\max}}$$

$$\Delta G = \sqrt{\left(\frac{\partial G}{\partial S}\right)^2 (\Delta S)^2 + \left(\frac{\partial G}{\partial J_{\max}}\right)^2 (\Delta J_{\max})^2} = \sqrt{\left(\frac{3.0 \times 10^{-3}}{J_{\max}}\right)^2 (\Delta S)^2 + \left(-\frac{3.0 \times 10^{-3} S}{J_{\max}^2}\right)^2 (\Delta J_{\max})^2}$$

$$= \sqrt{\left(\frac{3.0 \times 10^{-3}}{0.92}\right)^2 (3)^2 + \left(-\frac{3.0 \times 10^{-3} \times 213}{0.92^2}\right)^2 (0.02)^2}$$

$$= 0.02$$

다른 방법으로,

$$\frac{\Delta G}{G} = \sqrt{\left(\frac{\Delta S}{S}\right)^2 + \left(\frac{\Delta J_{\max}}{J_{\max}}\right)^2} \ \Rightarrow\ \Delta G = 0.69\sqrt{\left(\frac{3}{213}\right)^2 + \left(\frac{0.02}{0.92}\right)^2} = 0.02$$

문제 2

풀이

(4) **양자 효율**은 주입된 전자 하나당 광자 하나가 만들어질 확률과 같다. 레이저의 어떤 바이어스 전류에서 주입 전자가 조금 늘면 그에 해당하는 만큼 광자도 는다. **미분 양자 효율** η는 주입 전자 수의 증가량에 대한 광자 수의 증가량의 비로 정의한다. 단계 (4)에서 얻은 G의 값을 써서 여러분의 CLD의 η를 구하시오. 분석 과정과 계산한 η의 값을 답안지에 적으시오. η의 오차를 어림하시오. 분석 과정과 계산한 $\Delta\eta$의 값을 답안지에 적으시오. (레이저 파장 = 650 nm, 플랑크 상수 = $6.63 \times 10^{-34}\ J \cdot s$, 빛의 속력 = $3.0 \times 10^{8}\ m/s$)

$\eta = 0.36$	$\Delta\eta = 0.01$

$$\eta = \frac{\Delta N_{photon}}{\Delta N_{electron}} = \frac{\Delta P/E_{photon}}{\Delta I/e} = \frac{\Delta P}{\Delta I} \cdot \frac{e}{E_{photon}} = G \cdot \frac{e}{hc/\lambda} = \frac{Ge\lambda}{hc}$$
$$= \frac{0.69 \times 1.6 \times 10^{-19} \times 650 \times 10^{-9}}{6.63 \times 10^{-34} \times 3.0 \times 10^{8}} = 0.36$$

$$\Delta\eta = \Delta G \frac{e\lambda}{hc} \Rightarrow \frac{\Delta\eta}{\eta} = \frac{\Delta G}{G} \Rightarrow \Delta\eta = \eta\left(\frac{\Delta G}{G}\right) = 0.36 \times \left(\frac{0.02}{0.69}\right) = 0.01$$