실험 II　반도체 레이저 이해하기

이 실험의 목적은 반도체 레이저의 기본 특성을 알아보는 것이다. 한 쌍의 편광판과 광전도체를 써서 평행광 레이저 빛살에서 선편광된 부분의 비율을 재고 계산한다. 끝으로 평행광 레이저에서 전류 증가분당 일률 증가의 최댓값을 구한다.

안전 주의: 레이저 빛살을 직접 들여다보지 마시오. 눈을 다칠 수 있다!!

◎ 배경 설명

이 실험에서 빛을 감지하는 소자인 광전도체는 띠틈이 $E_G = (E_C - E_V)$인 반도체로 만들어져 있다(그림 II-1 참조). 입사하는 광자의 에너지가 띠틈보다 크면, 광자가 반도체에 흡수되어 자유 전자와 양공을 만들 수 있다. 그러면 전자와 양공을 포함한 전하 운반자의 밀도가 커지고, 따라서 물질의 전도도도 커진다. 이 실험에서는 멀티미터로 저항(컨덕턴스의 역수)을 잰다.

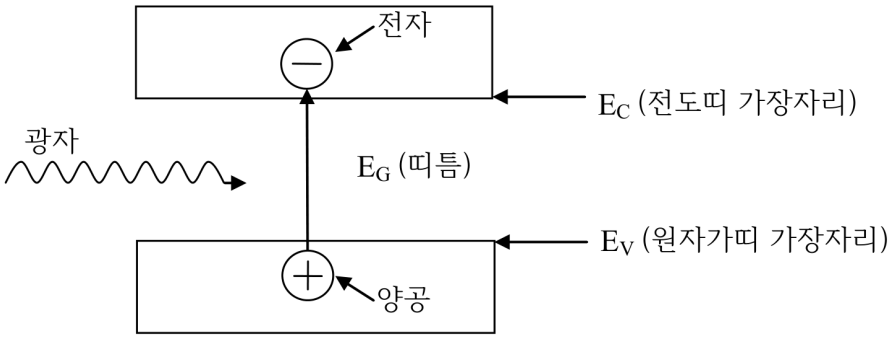


그림 II-1 반도체에서 광자 하나가 만드는 전자-양공 쌍의 개략도.

이 실험에서 빛을 내는 소자인 반도체 레이저에서는, 외부 전원이 소자에 전자와 양공을 주입하면 그림 II-2에 개략적으로 나타낸 것처럼 이들이 결합해 광자를 낼 수 있다. 이상적으로는 전자와 양공 한 쌍이 결합해 광자 하나를 만들 수 있다. 실제로는 전자-양공 쌍이 광자를 만들지 않고 재결합하는 비복사 과정도 있다. 따라서 만들어지는 광자의 수는 재결합한 전자-양공 쌍의 수와 같지 않다. 전자-양공 쌍 하나가 만드는 광자 수의 평균 비율을 양자 효율이라 한다.

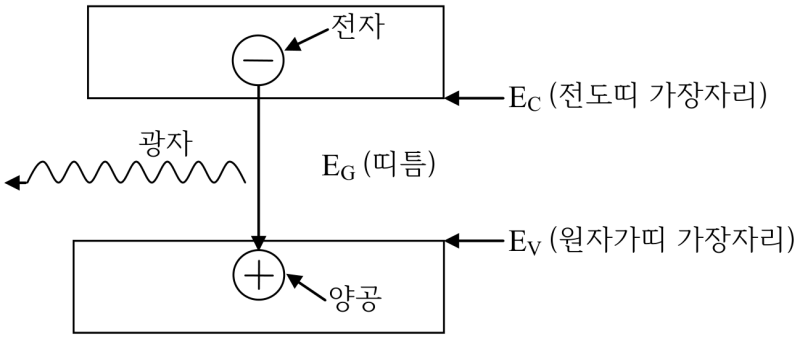


그림 II-2 반도체에서 전자-양공 쌍이 결합해 만드는 광자 하나의 개략도.

반도체 레이저는 단색이고 부분 편광되었으며 결맞는 빛살을 낼 수 있다. 부분 편광된 빛은 선편광된 부분과 편광되지 않은 부분의 두 부분으로 이루어진다. 앞의 부분에 의한 빛의 세기를 J_p, 다른 부분에 의한 세기를 J_u로 나타낸다. 부분 편광된 빛이 편광판에 입사하면, 선편광된 부분의 투과율은 그 편광 방향과 편광판 방향 사이의 각에 달려 있다. 그러나 편광되지 않은 부분은 일정한 몫이 편광판을 통과하며, 이는 각과 무관하다.

◎ 실험과 절차

실험 II-A: 광전도체의 빛 응답

이 부분에서 쓰는 광원은 평행광 레이저 다이오드(CLD)여야 한다. 그림 IIA-1의 회로도를 써서 CLD에 전류를 공급하시오. 그림 IIA-1에 쓰인 기호는 표 IIA-1에 있다.

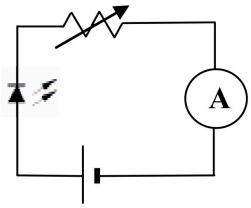
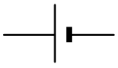
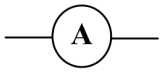


그림 IIA-1 CLD에 쓰는 회로도.

표 IIA-1 그림 IIA-1에 쓰인 기호

소자	평행광 레이저 다이오드	5V 직류 전원	가변 저항	전류계 (멀티미터)
기호				
표지	C-C-#	C-D-#	C-E-#	II-X, II-Y

CLD를 최대 전류로 작동시키시오. 레이저 세기는 광전도체(PC)로 검출한다. PC에 빛을 비추면 빛의 세기에 따라 컨덕턴스가 커진다. 주변광의 영향을 최소로 해야 한다. 이 실험에서는 실제로는 컨덕턴스의 역수인 저항을 잰다. PC에 이르는 레이저 빛의 세기는 주어진 편광판이나 필터로 바꿀 수 있다. 다른 광학 부품의 기호는 표 IIA-2에 있다. 레이저 빛의 부분 편광은 그림 IIA-2의 실험 장치로 관찰할 수 있다.

표 IIA-2 광학 부품의 기호.

소자	평행광 레이저 다이오드	편광판	광전도체	빛 필터
기호	L	P1 P2	PC	F 선택 사항
표지	C-C-#	II-P-# II-Q-#	II-W-#	II-U

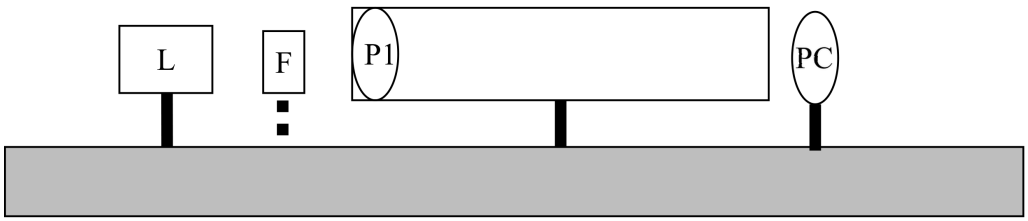


그림 IIA-2 준비 단계의 실험 장치

P1을 돌리면 PC의 저항이 바뀌는 것을 볼 수 있다. PC의 저항이 최소가 되도록 P1을 맞추시오. 관찰한 최소 저항이 P1 회전각의 어떤 범위, 예컨대 10° 이상에 걸쳐 나타나면 PC가 포화된 것이다. 이 경우에는 최대 빛 세기 근처에서 PC가 포화되지 않도록 빛 필터를 써야 한다.

앞 문단의 설명에 따라 P1의 위치를 고정하시오. 그림 IIA-3의 실험 장치에 따라 상대 빛 세기에 대한 PC의 컨덕턴스를 측정해 특성을 알아내시오.

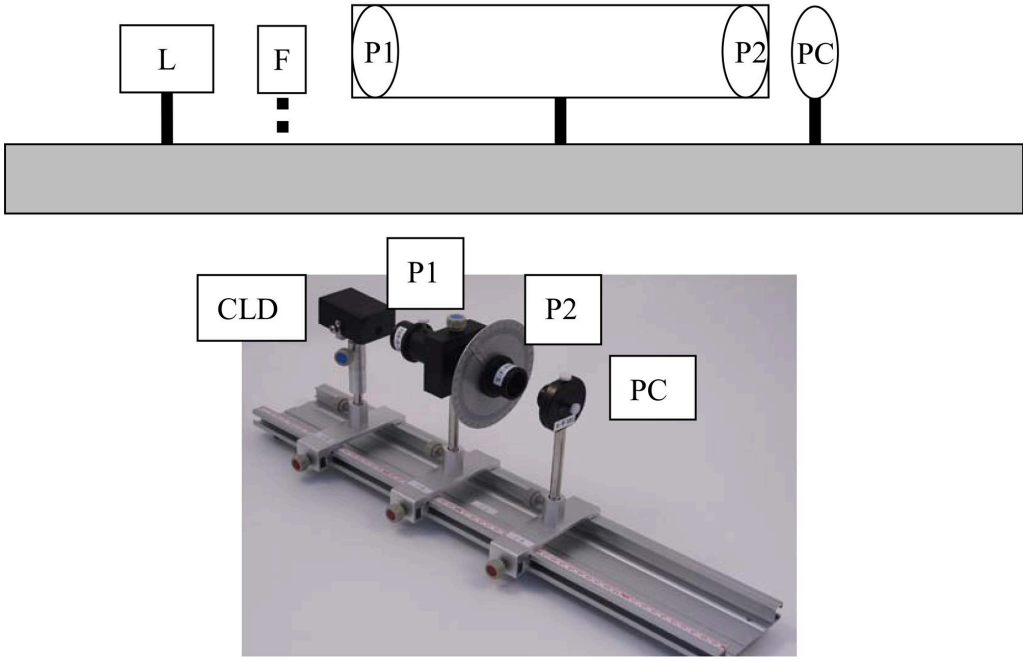


그림 IIA-3 PC 특성 측정용 실험 장치

(1) P1과 P2의 편광축 사이의 상대 각을 θ_P로 정의한다. 각 θ_P를 0°에서 180°까지 5°씩 바꾸시오. 잰 PC 저항과 θ_P를 데이터 표에 기록하시오. 잰 PC 저항값을 컨덕턴스 값으로 바꾸어 데이터 표에 기록하시오. 오차 분석은 요구하지 않는다. (1.2점)

(2) 모눈종이에 θ_P의 함수로 PC 컨덕턴스 값을 그리시오. 오차 분석은 요구하지 않는다. (1.2점)

실험 II-B: 레이저 빛에서 선편광된 부분의 비율

이 부분에서 쓰는 광원은 직류 전원에서 15 mA의 전류를 받는 평행광 레이저 다이오드(CLD)여야 한다. 이 부분의 과제는 앞 절과 같은 그림 IIA-2의 장치를 써서, 레이저 빛 가운데 선편광된 부분의 비율 β를 구하는 것이다. 이 부분에서는 오차 분석을 요구하지 않는다.

$$\beta = \frac{J(\text{선편광})}{J(\text{비편광}) + J(\text{선편광})} = \frac{J_{\max} - J_{\min}}{J_{\max} + J_{\min}}$$

$J_{\max}$와 $J_{\min}$은 P1을 돌리면서 PC가 검출한 최대와 최소 빛 세기이다.

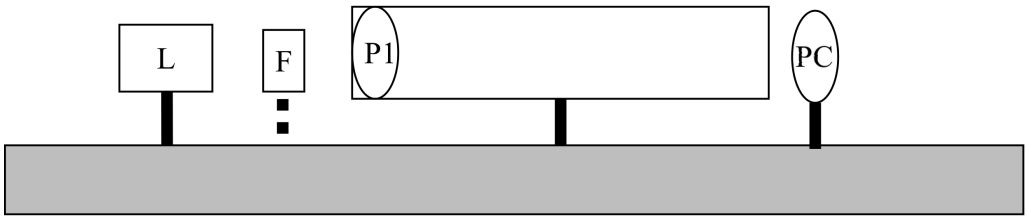


그림 IIA-2 준비 단계의 실험 장치

(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. (0.8점)

(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 답안지에 적으시오. (1.6점)

(3) β를 계산해 답안지에 적으시오. (0.2점)

실험 II-C: 평행광 레이저 다이오드의 미분 양자 효율

이 부분의 과제는 평행광 레이저 다이오드(CLD)에 흐르는 전류에 따른 상대 빛 세기의 특성을 알아내고, 아래에서 정의하는 미분 양자 효율 η를 구하는 것이다. CLD의 전류는 5 mA에서 20 mA 사이에서 조절하시오. 전류가 20 mA에 가까울 때 PC가 포화되지 않도록 하시오. 포화를 피하려면 필터나 편광판을 쓸 수 있다.

(1) CLD 전류를 조절하며 그에 해당하는 PC 저항값을 재시오. 데이터를 데이터 표에 기록하시오. 데이터를 변환해 모눈종이에 CLD 전류에 따른 PC 컨덕턴스를 그리시오. 오차 분석은 요구하지 않는다. (1.3점)

(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. 오차 분석은 요구하지 않는다. (0.8점)

(3) CLD의 최대 복사 일률은 정확히 $P_{\max} = 3.0$ mW라고 가정한다. 단계 (2)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. (2.0점)

(4) 양자 효율은 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 (3)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 = 6.63×10^{-34} J · s, 빛의 속력 = 3.0×10^{8} m/s) (0.9점)