제2회 아시아 물리 올림피아드

대만 타이베이

실험 경연

2001년 4월 26일 (목)

주어진 시간: 5시간

먼저 읽으시오:

1. 주어진 펜만 쓰시오.
2. 답안지와 종이는 앞면만 쓰시오.
3. 답에는 글을 될 수 있는 한 적게 쓰고, 주로 식, 수, 그림으로 나타내시오. 요구하는 결과가 수치이면 최종 결과 밑에 물결선을 그으시오.
4. 빈 종이에는 모든 측정 결과와, 문제 풀이에 필요하고 채점받고 싶은 것을 모두 적으시오.

5. 쓴 종이마다 맨 위 칸에 국가(Country)와 학생 번호(Student No.)를 반드시 적어야 한다. 또 각 문제에 쓴 빈 종이에는 문제 번호(Question No.), 절 이름(Section label), 각 종이의 일련번호(Page No.), 각 문제에 쓰고 채점받고 싶은 빈 종이의 전체 수(Total No. of pages)를 적으시오. 채점받고 싶지 않은 메모용 빈 종이는 종이 전체에 크게 ×표를 하고 번호에 넣지 마시오.

6. 시험이 끝나면 답안지와 그래프를 순서대로 정리하시오.

태양 전지의 기본 특성

I. 배경 설명

이 실험의 목적은 태양 전지의 기본 특성을 알아보는 것이다.
태양 전지는 전자기파를 흡수하여 흡수한 광자 에너지를 전기 에너지로 바꿀 수 있다. 태양 전지는 주로 다이오드로 이루어지며, 그 순방향 암전류-전압 관계(곧 빛을 비추지 않을 때의 I-V 곡선)는
다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$I = I_o(e^{\beta V} - 1),$$

여기서 I_0과 β는 상수이다.
다이오드는 띠틈이 $E_c - E_v$인 반도체로 만들어진다(그림 1 참고).
입사 광자의 에너지가 띠틈보다 크면, 광자는 반도체에 흡수되어 전자-양공 쌍을 만들 수 있다. 그러면 전자와 양공은 다이오드 속의 내부 전기장에 끌려 광전류(빛으로 생긴 전류)를 만든다. 태양 전지에는 빛으로 생긴 전류 말고도 중요한 매개변수가 몇 가지 있다.

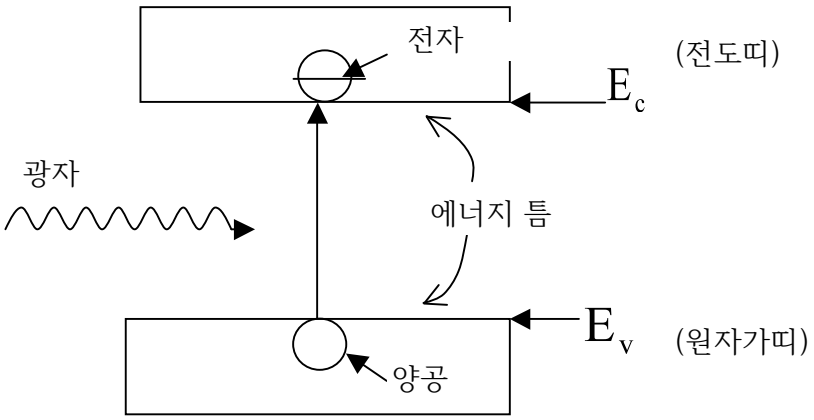


그림 1

용어와 기본 원리를 아래에 간단히 설명한다:

(1) 단락 전류(I_{sc})는 외부 회로를 단락했을 때, 곧 부하 저항이 0일 때 태양 전지의 출력 전류이다.

(2) 개방 전압(V_{oc})은 외부 회로를 열었을 때, 곧 부하 저항이 무한대일 때 태양 전지의 출력 전압이다. V_{oc}를 광전압이라고도 한다.

(3) P_m은 태양 전지의 최대 출력 일률, 곧 I×V의 최댓값 이다.

(4) 채움 인자(FF)는 $P_m/(I_{sc}V_oc)$로 정의하며, 태양 전지의 품질을 평가하는 데 쓰는 중요한 매개변수이다.

(5) 광전류는 반도체의 광자 흡수로 생기므로, 광전류의 분광 응답으로 반도체의 띠틈을 정할 수 있다. 띠틈 값으로부터 쓰인 반도체 물질이 무엇인지 짐작할 수 있다.

(6) 반도체의 띠틈보다 큰 에너지를 가진 입사 광자는 모두 태양 전지의 광전류(I_{ph})에 이바지할 수 있다. 따라서

$$I_{ph} \propto \int_{\lambda_C}^{\lambda_0} N(\lambda)d\lambda \ ,$$

여기서 N(λ)는 파장이 λ인 광자가 만드는, 단위 파장당 전자의 수이고, λ_c는 광학 필터의 차단 파장(그림 2, 그림 3, 그림 4 참고)이며, λ_0는 광전류를 만들 수 있는 가장 긴 파장이다. 여기서 N(λ)는 가시광 영역에서 거의 일정하며, 이 실험에 주어진 각 광학 필터는 어떤 차단 파장 λ_c보다 짧은 빛을 모두 막는다. 따라서 광학 필터를 썼을 때 I_{ph}의 분광 응답은 다음과 같이 간단히 할 수 있다.

$$I_{ph} \propto (\lambda_o - \lambda_c).$$

(7) 광자 에너지 E와 광자 파장의 관계는 E = 1240/λ이며, 이 식에서 λ의 단위는 nm(10^{-9} m), E의 단위는 eV(전자볼트)이다.

II. 장비와 재료

(1) 전기 연결이 미리 되어 있는 검은 상자 속 태양 전지
(2) 디지털 멀티미터 두 개
(3) 건전지 한 벌 (1.5 V × 2)
(4) 정밀 가변 저항 한 개 (0-5 kΩ)
(주의: 가변 저항의 가운데 연결선(빨간 선)을 건전지에 바로 연결하지 마시오. 저항이 망가질 수 있다.)
(5) 전원이 달린 백색 광원
(6) 편광판 두 개 (주: 이 편광판은 노란빛보다, 곧 노란 필터의 차단 파장보다 짧은 파장의 빛에는 효과가 떨어진다.)
(7) 빨강, 주황, 노랑 광학 필터 각 하나 (분광 규격은 그림 2, 그림 3, 그림 4와 같다)
(8) 광학 필터나 편광판을 끼우는 광학 받침 (주: 광학 필터와 편광판을 같은 받침에 함께 끼울 수 있다.)
(9) 광학 레일 하나
(10) 선 연결 기구: 작은 용수철 6개
(11) 45 cm 자 한 개

(12) 보통 그래프 용지 (10장), 반로그 그래프 용지 (5장)

(13) 차광판 두 개

(주: 열로 인한 손상을 막으려면 편광판과 필터를 광원에서 될 수 있는 한 멀리 두어야 한다.)

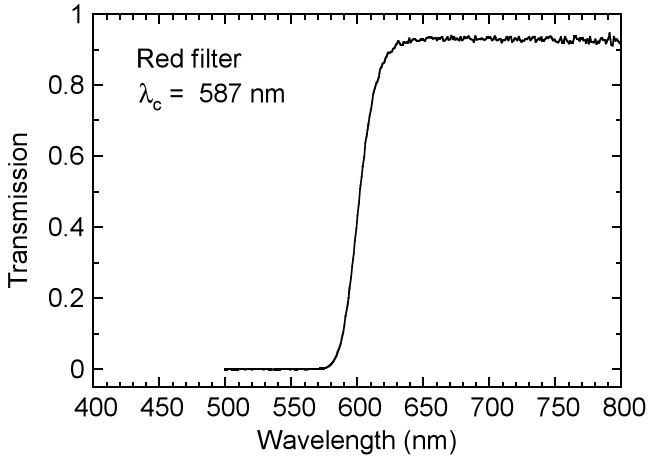


그림 2

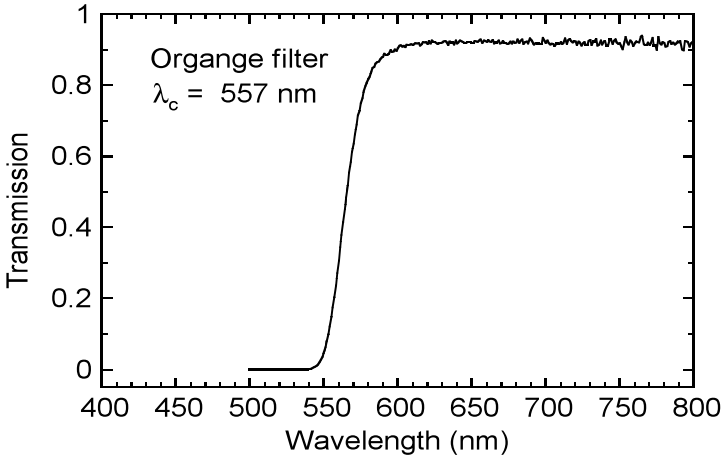


그림 3

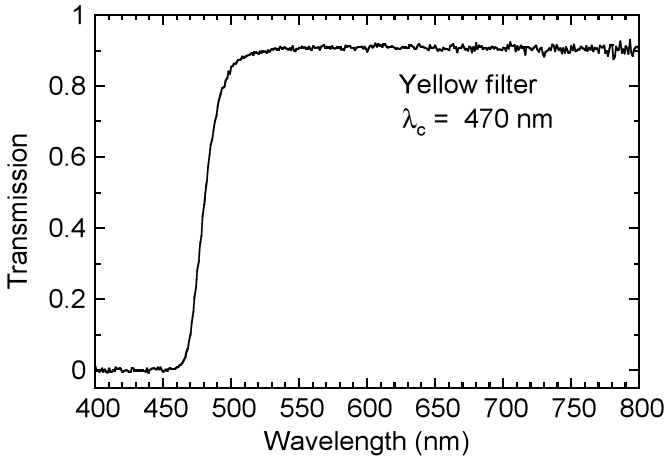


그림 4

III. 실험 단계

(1) (문제 (1): 3점)

순방향 바이어스를 건 태양 전지의 암 I-V 특성을 재시오.

a. 쓴 전기 회로의 그림을 그리시오.

b. I-V 곡선을 그리고, 얻은 I-V 데이터로 β와 I_0의 값을 정하시오.

(2) (문제 (2): 7점)

백색광을 비추고 전기 바이어스 없이 태양 전지의 특성을 재시오.

(주: 광원과 태양 전지 상자 사이의 거리는 그림 5처럼 30 cm로 유지해야 한다.)

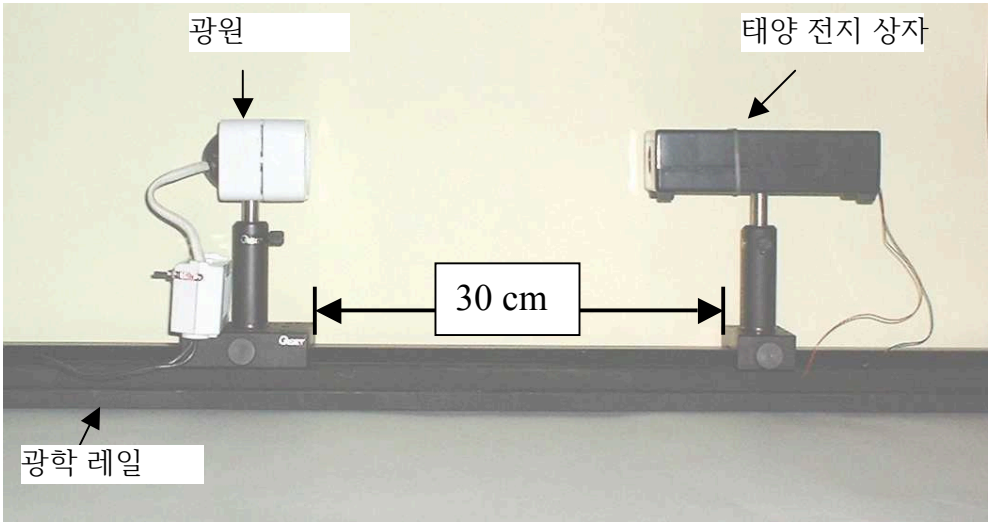


그림 5

a. 쓴 회로의 그림을 그리시오.

b. 단락 전류 I_{sc}를 재시오.

c. 개방 전압 V_{oc}를 재시오.

d. 부하 저항을 바꾸며 태양 전지의 I 대 V 관계를 재고 I-V 곡선을 그리시오.

e. 태양 전지의 최대 출력 일률을 정하시오.

f. 최대 출력 일률일 때의 부하 저항을 정하시오.

g. 채움 인자 $FF \equiv P_m/(I_{sc}V_oc)$를 계산하시오.

(3) (문제 (3): 3.0점)

태양 전지를 이상적인 전류원(빛으로 생긴 전류원), 이상적인 다이오드, 분로 저항 R_{sh}, 직렬 저항 R_s로 이루어진 소자로 나타낼 수 있다고 하자.

a. 빛을 비춘 태양 전지의 등가 회로 그림을 그리시오.

b. 등가 회로의 I-V 관계를 유도하시오. 결과를 R_{sh}, R_s, I_{ph}(빛으로 생긴 전류), I_d(다이오드를 지나는 전류)로 나타내시오.

c. R_{sh} = 무한대이고 R_s = 0이어서 무시할 수 있다고 가정하고, I-V 관계를 구하여 이것이 다음 꼴로 쓸 수 있음을 증명하시오:

$$V_{oc} = \beta^{-1}\ell n\left(\frac{I_{sc}}{I_0}+1\right)$$

여기서 V_{oc}는 개방 전압, I_{sc}는 단락 전류이고, I_0, β는 상수이다.

(4) (문제 (4): 4점)

조도의 효과를 구하시오.

a. 상대 빛 세기에 대한 I_{sc} 곡선을 재고 그리며, I_{sc}와 상대 빛 세기 사이의 대략적인 함수 관계를 정하시오.

b. 상대 빛 세기에 대한 V_{oc} 곡선을 재고 그리며, V_{oc}와 상대 빛 세기 사이의 대략적인 함수 관계를 정하시오.

(5) (문제 (5): 3.0점)

태양 전지의 파장 응답을 구하시오.

a. 세 광학 필터를 써서 여러 차단 파장에 대한 I_{sc}를 재고 그리시오.

b. 태양 전지가 제대로 작동할 수 있는 가장 긴 파장을 어림하시오.

c. 태양 전지가 어떤 반도체 물질로 만들어졌는지 짐작하시오. (도움말: 흔히 쓰는 반도체의 띠틈은 InAs: 0.36 eV, Ge: 0.67 eV, Si: 1.1 eV, 비정질 Si(a-Si : H): 1.7 eV, GaN: 3.5 eV이다)