

제2회 아시아 물리학 올림피아드

타이베이, 대만

2001년 4월 26일 목요일, 실험 대회 시

간: 5시간

먼저 이 내용을 읽어보세요:

1. 제공된 펜만 사용하세요.
2. 답안지와 용지의 앞면만 사용합니다.
3. 답안에는 가능한 한 적은 양의 텍스트를 사용하고 주로 수식, 숫자 및 그림으로 표현하세요. 필요한 결과가 숫자인 경우 최종 결과에 물결 선으로 밑줄을 긋습니다.
4. 빈 종이에 모든 측정 결과와 문제 해결에 필요하다고 생각되는 기타 사항 및 표시하고 싶은 내용을 적습니다.
5. 사용한 각 용지의 상단에 있는 상자에 **국가와** 학생 번호(**학생 번호**)를 반드시 입력해야 합니다. 또한 각 문제에 사용한 빈 용지에는 문제 번호(**문제 번호**), **섹션 레이블**, 각 용지의 진행 번호(**페이지 번호**) 및 각 문제에 사용한 빈 용지의 총 개수(**총 페이지 수**)를 입력해야 합니다. 표시하지 않으려는 노트에 빈 용지를 일부 사용한 경우에는 전체 용지에 큰 십자 표시를 하고 번호 매기기에 포함시키지 않습니다.
6. 시험이 끝나면 답안지와 그래프를 순서대로 정리해 주세요.

태양 전지의 기본 특성

I. 배경 설명

이 실험의 목적은 기본적인 특성을 탐구하는 것입니다. 태양전지는 전자기파를 흡수하고 흡수된 광자 에너지를 전기 에너지로 변환할 수 있습니다. 태양 전지는 주로 다이오드로 구성되며, 순방향 암전류-전압 관계(즉, 무조명 상태에서의 I-V 곡선)는 다음과 같이 표현할 수 있습니다.

$$I = I_0(e^{\beta V} - 1),$$

여기서 I_0 와 β 는 상수입니다.

다이오드는 밴드 갭이 $E_{(c)} - E_{(v)}$ 인 반도체로 구성됩니다(그림 1 참조). 입사 광자의 에너지가 밴드 갭보다 크면 광자가 반도체에 흡수되어 전자-정공 쌍을 생성할 수 있습니다. 그런 다음 전자와 정공은 다이오드의 내부 전기장에 의해 구동되어 광전류(빛으로 생성된 전류)를 생성합니다. 태양 전지에는 광발전 전류 외에도 몇 가지 중요한 매개 변수가 있습니다.

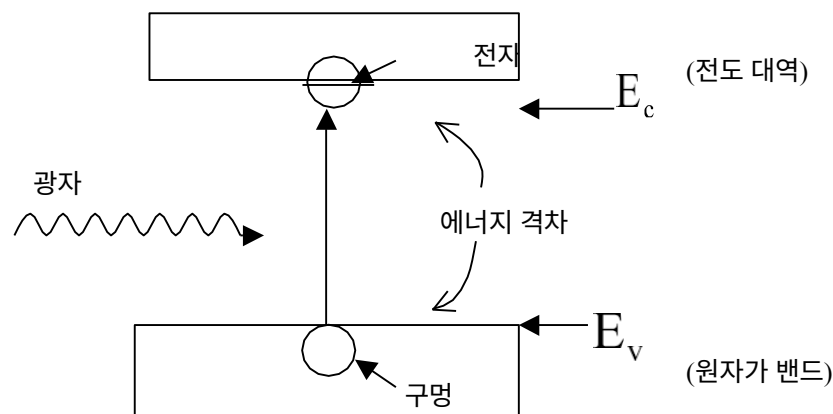


그림 1

용어와 기본 원칙에 대한 간략한 설명은 다음과 같습니다:

- (1) 단락 전류(I_{sc})는 외부 회로가 단락된 상태, 즉 부하 저항이 0일 때 태양전지의 출력 전류입니다.
- (2) 개방 회로 전압(V_{oc})은 외부 회로가 열려 있을 때의 태양 전지의 출력 전압, 즉 무한 부하 저항입니다. V_{oc} 은 광전지 전압이라고도 합니다.
- (3) $P_{(m)}$ 은 태양 전지의 최대 출력 전력, 즉 $I \times V$ 의 최대 값입니다.
- (4) 충전 계수(FF)는 태양전지의 품질을 평가하는 데 사용되는 중요한 파라미터인 $P_{(m)}$

$I_{(sc) Voc}$ 로 정의됩니다.

- (5) 광전류는 반도체에 의한 광자 흡수에 의해 생성되기 때문에 광전류의 스펙트럼 응답을 사용하여 반도체 밴드 갭을 결정할 수 있습니다. 밴드 갭 값으로부터 사용된 특정 반도체 소재를 유추할 수 있습니다.
- (6) 반도체 밴드 갭보다 큰 광자 에너지를 가진 입사 광자는 태양 전지의 광전류(I_{ph})에 기여할 수 있으므로 다음과 같습니다.

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

여기서 $N(\lambda)$ 은 파장 λ , λ_c 은 광학 필터의 차단 파장(그림 2, 그림 3, 그림 4 참조)이며 $\lambda_{(o)}$ 는 광전류를 생성할 수 있는 가장 긴 파장입니다. 여기서 $N(\lambda)$ 은 가시 스펙트럼 범위에서 거의 일정하며, 이 실험에 사용된 각 광학 필터는 특정 차단 파장 λ_c 보다 짧은 파장을 가진 모든 빛을 차단합니다. 따라서 광학 필터를 사용한 I_{ph} 의 스펙트럼 응답은 다음과 같이 단순화할 수 있습니다.

$$I_{ph} \propto_{(o)} \lambda_c .$$

- (7) 광자 에너지 E 는 광자 파장과 관련하여 $E = 1240/\lambda$ 로 표현되며, 이 방정식에서 λ 의 단위는 nm(10^{-9} m), E 의 단위는 eV(전자 볼트)입니다.

II. 장비 및 재료

- (1) 전기 연결이 미리 설치된 블랙박스의 태양 전지
 - (2) 디지털 전기 멀티미터 2개
 - (3) 건전지 세트(1.5V× 2)
 - (4) 정밀 가변 저항기 1개($0 \sim 500 \Omega$)
- (주의: 가변 저항기의 중앙 연결 리드(빨간색 선)를 배터리에 직접 연결하지 마십시오. 저항기가 손상될 수 있습니다.)**
- (5) 전원 공급 장치가 있는 백색 광원
 - (6) 두 개의 편광판(참고: 이 편광판은 노란색 필터의 차단 파장인 노란색 빛보다 파장이 짧은 빛에는 효과가 떨어집니다.)
 - (7) 빨간색, 주황색 및 노란색 광학 필터, 각각 하나씩(스펙트럼 사양은 그림 2, 그림 3 및 그림 4에 나와 있습니다).
 - (8) 광학 필터 또는 편광판용 광학 마운트(참고: 광학 필터와 편광판은 동일한 광학 마운트에 함께 장착할 수 있습니다.)
 - (9) 광학 벤치 1개

(10) 와이어 결합 장치: 소형 스프링 6개

(11) 45cm 자 1개

(12) 일반 그래프 용지(10매), 세미 로그 그래프 용지(5매)

(13) 두 개의 차광 보드

(참고: 열로 인한 성능 저하를 방지하려면 필터를 광원에서 최대한 멀리 떨어진 곳에 설치해야 합니다.)

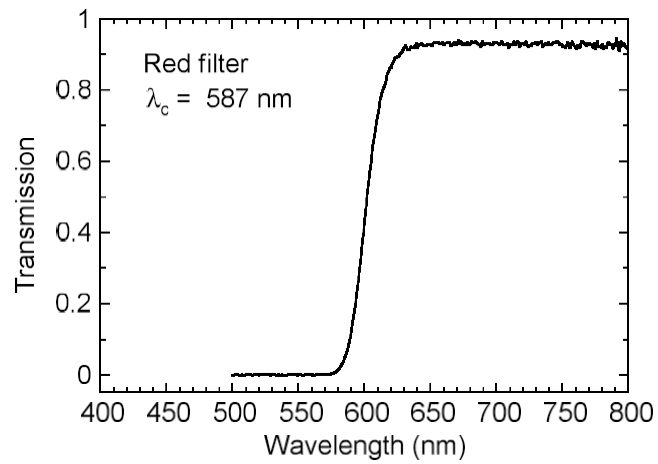


그림 2

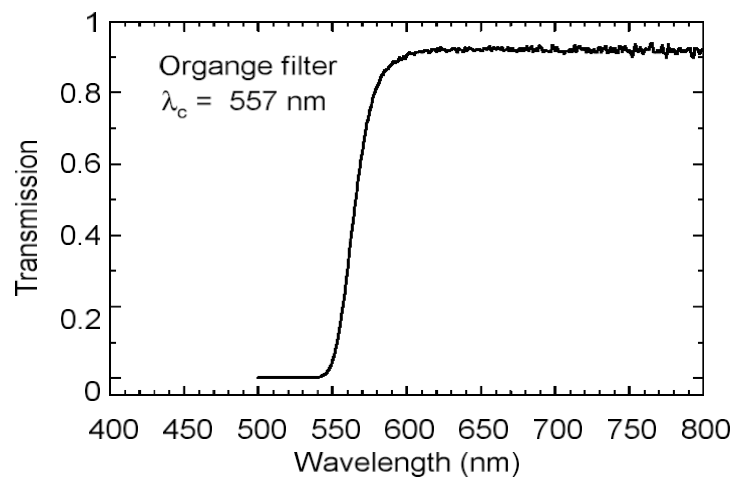


그림 3

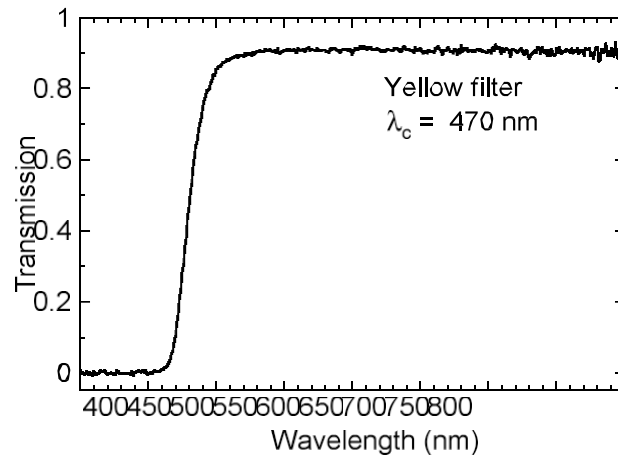


그림 4

III. 실험 단계

(1) (질문 (1) : 3점)

순방향 바이어스 태양 전지의 어두운 I-V 특성을 측정합니다.

a. 사용한 전기 회로의 그림니다.

b. 얻은 I-V 데이터를 사용하여 I-V 곡선을 플롯하고 β 와 I_0 의 값을 결정합니다.

(2) (질문 (2) : 7점)

백색광 조명 아래에서 전기적 편향 없이 태양전지의 특성을 측정합니다. (참고: 광원과 태양 전지 상자 사이의 거리는 그림 5와 같이 30cm를 유지해야 합니다.)

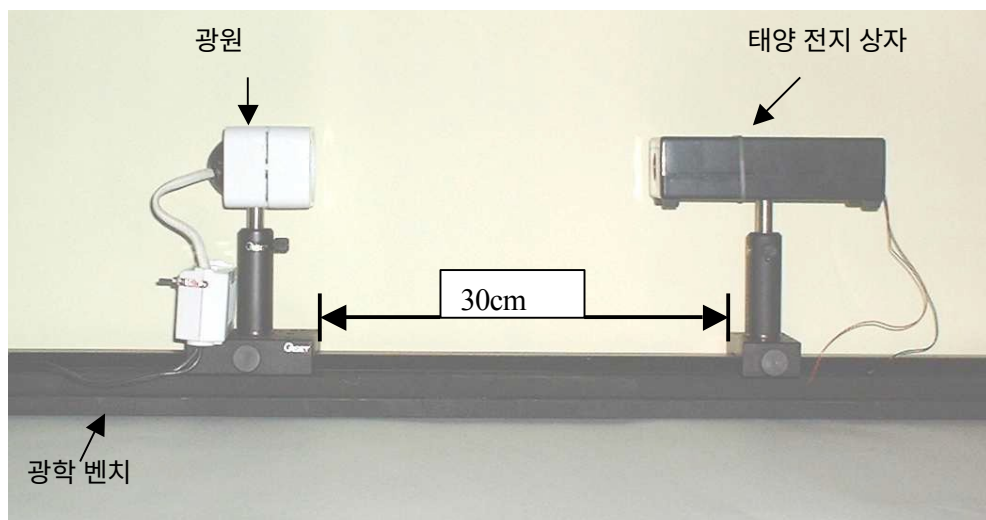


그림 5

a. 사용한 회로도를 그림니다.

- b. 단락 전류, I_{sc} 를.
- c. 개방 회로 전압 V_{oc} 측정합니다.
- d. 다양한 부하 저항으로 태양 전지의 I 대 V 관계를 측정하고 I-V 곡선을 플롯합니다.
- e. 태양 전지의 최대 출력 전력을 결정합니다.
- f. 최대 출력 전력에 대한 부하 저항을 결정합니다.
- g. 충전 계수 FF 계산 $= P(m) / (I_{sc} V_{oc})$

(3) (질문 (3) : 3.0점)

태양 전지를 이상적인 전류원(광 발생 전류원), 이상적인 다이오드, 셉트 저항 R_{sh} , 직렬 저항 R_s 로 구성된 장치로 모델링할 수 있다고 가정합니다,

- a. 조명 아래에서 태양 전지의 등가 회로도를 그립니다.
- b. 등가 회로의 I-V 관계를 도출합니다. 결과를 R_{sh}, R_s, I_{ph} (빛에 의해 생성된 전류) 및 I_d (다이오드를 통과하는 전류)로 표현합니다.
- c. $R_{sh} = \infty$ 이고 $R_s = 0$ 이고 무시할 수 있다고 가정하면 다음을 찾습니다.
의 I-V 관계를 구하고 아래와 같은 형식으로 작성할 수 있음을 증명합니다:

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

여기서 V_{oc} 는 개방 회로 전압, I_{sc} 는 단락 전류, I_0, β 은 상수입니다.

(4) (문제 (4) : 4점) 조도의 효과를

찾습니다.

- a. I_{sc} 대 상대 광도 곡선을 측정하여 플롯하고, I_{sc} 와 상대 광도 사이의 대략적인 함수 관계를 결정합니다.
- b. V_{oc} 대 상대 광도 곡선을 측정하여 플롯하고, V_{oc} 와 상대 광도 사이의 대략적인 함수 관계를 결정합니다.

(5) (질문 (5) : 3.0점)

태양 전지의 파장 응답을 구합니다.

- a. 세 가지 광학 필터를 사용하여 다양한 차단 파장에 대한 I_{sc} 를 측정하고 플롯합니다.
- b. 태양 전지가 제대로 작동할 수 있는 가장 긴 파장을 추정합니다.

- c. 태양 전지가 어떤 반도체 재료로 만들어졌는지 추론하세요. (힌트: 일반적으로 사용되는 반도체의 밴드 갭은 InAs입니다: 0.36 eV, Ge: 0.67 eV, Si: 1.1 eV, 비정질 Si(a-Si : H): 1.7 eV, GaN: 3.5 eV)