

Curvas características de una célula solar



Física → Energía → Energías renovables: el sol

Física → Electricidad y Magnetismo → La corriente eléctrica y su efecto

Física → Electricidad y Magnetismo → Circuitos Simples, Resistores, Capacitores

ciencia aplicada → Ingeniería → Energías renovables → Energía solar



Nivel de dificultad

difícil



Tamaño del grupo

2



Tiempo de preparación

45+ minutos



Tiempo de ejecución

45+ minutos

This content can also be found online at:



<http://localhost:1337/c/60663c8af1639a0003d1ab0e>

PHYWE



Información para el profesor

Aplicación

PHYWE



Fig. 1: Montaje experimental

Las celdas solares son una forma eficaz de utilizar la energía del sol. Como tal, son una forma de aprovechar la energía eléctrica sin utilizar combustibles fósiles. La comprensión de sus características de corriente-voltaje a diferentes intensidades de luz es importante para su uso eficiente.

Información adicional para el profesor (1/2)

PHYWE



Conocimiento previo



Principio

Los conocimientos previos para este experimento se encuentran en la sección de Principio.

Para medir las características de corriente-tensión de una célula solar a diferentes intensidades de luz, se varía la distancia entre la fuente de luz y la célula solar. Además, se determina la dependencia de la tensión en vacío con respecto a la temperatura.

Información adicional para el profesor (2/2)



Objetivo

El objetivo de este experimento es investigar las características de corriente-voltaje de una celda solar a diferentes intensidades de luz.

1. Medir la corriente de cortocircuito y la tensión en vacío a diferentes intensidades de luz y trazar la característica corriente-tensión a diferentes intensidades de luz.
2. Estimar la dependencia de la tensión en vacío y la corriente de cortocircuito con la temperatura.
3. Trazar la característica corriente-voltaje bajo diferentes condiciones de funcionamiento: enfriando el equipo con un soplador, sin enfriar, haciendo brillar la luz a través de una placa de vidrio.
4. Determinar la curva característica cuando se ilumina con luz solar.



Tareas

Principio (1/4)

PHYWE

El silicio puro se "impurifica" deliberadamente con átomos de impurezas tri y pentavalentes para obtener un semiconductor de tipo p o n. Si juntamos un cristal de tipo p y otro de tipo n, obtenemos una unión (unión pn, Fig. 2) cuyas propiedades eléctricas determinan el rendimiento de la célula solar.

En equilibrio (sin tensión externa) el nivel de energía característico de Fermi E_F será la misma en todo momento. Debido a la diferencia en las concentraciones de electrones y huecos en las regiones p y n, los electrones se difunden en la región p y los huecos en la región n. Los átomos de impureza inmóviles crean una región de corriente con carga limitada en el espacio; la corriente de difusión y la corriente de campo se compensan mutuamente en equilibrio.

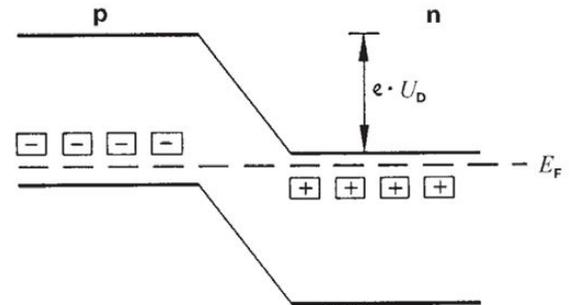


Fig. 2: Unión pn en el diagrama de bandas de energía - aceptores, + donantes, U_D es el potencial de difusión, E_F es el nivel de energía característico de Fermi, y e es la carga elemental.

Principio (2/4)

PHYWE

El potencial de difusión U_D en la unión pn depende de la cantidad de dopaje y corresponde a la diferencia original entre los niveles de energía de Fermi de las regiones p y n separadas. La distancia entre la banda de valencia y la banda de conducción en el silicio a temperatura ambiente es

$$E = 1.1 \text{ eV}$$

Para el silicio, el potencial de difusión es

$$U_D = 0.5 \text{ to } 0.7 \text{ V.}$$

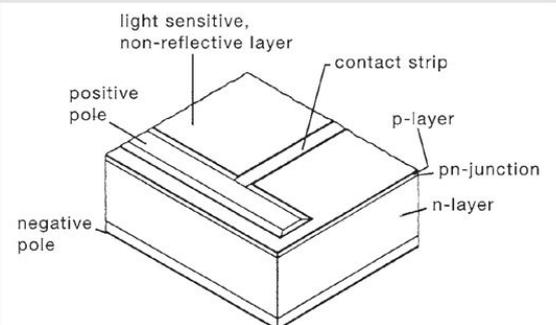


Fig. 3: Construcción de una célula solar de silicio.

Principio (3/4)

PHYWE

Si la luz incide en la unión pn, los fotones crean pares de electrones-huecos separados por la carga espacial. Los electrones son atraídos a la región n y los huecos a la región p. Los fotones se absorben no sólo en la unión pn, sino también en la capa p situada encima. Los electrones producidos son portadores minoritarios en esas zonas: su concentración se reduce considerablemente por la recombinación y con ello su eficacia. Por tanto, la capa p debe ser lo suficientemente fina para que los electrones de la longitud de difusión l_e para entrar en la capa n.

$$L_E \gg t$$

donde t = espesor de la capa p.

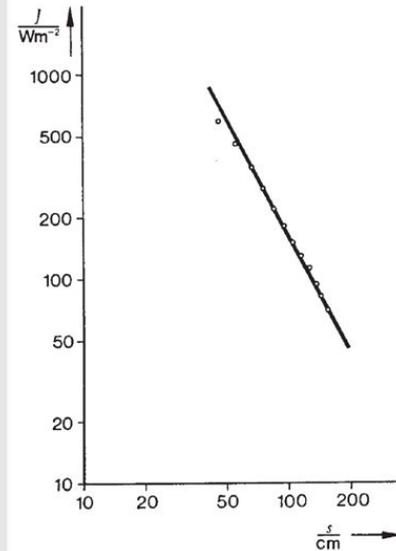


Fig. 4: Intensidad de la luz J en las distancias s normal a la fuente de luz.

Principio (4/4)

PHYWE

Si g es el número de pares electrón-hueco producidos por unidad de superficie y de una tensión U se aplica a través de la unión pn, una corriente de electrones y huecos de densidad

$$i = e \cdot (e^{eU/kT} - 1) \cdot \left(\frac{n_0 D_e t}{L^2 e} + \frac{p_0 D_h}{L_h} \right) - eg$$

se produce, donde e es la carga elemental, k es la constante de Boltzmann, T es la temperatura, L es la longitud de difusión de los electrones y los huecos, D_e la constante de difusión de los electrones y los huecos, n_0 y p_0 son las concentraciones de equilibrio de los portadores minoritarios. La densidad de corriente de cortocircuito ($U=0$) $i_s = -e \cdot g$ es proporcional a la intensidad de la luz incidente a temperatura fija. g se vuelve muy ligeramente mayor (menos de 0,01 %/K) a medida que aumenta la temperatura. La tensión U puede llegar a ser tan alto como el potencial de difusión UD pero no más. A medida que aumenta la temperatura, la tensión en vacío disminuye normalmente en $-2,3$ mV/K, ya que las concentraciones de equilibrio n_0 y p_0 aumentan con la temperatura:

$$n_0 \sim e^{-\frac{\Delta E}{2kT}}$$

Material

Posición	Material	Artículo No.	Cantidad
1	PILA SOLAR, 4 CELULAS	06752-22	1
2	PILA TERMOELECTRICA DE MOLL	08480-00	1
3	AMPLIFICAD.D.MEDICION UNIVERSAL	13626-93	1
4	REOSTATO, 330 OHMS, 1,0A	06116-02	1
5	Lámpara con socket E27 con reflector, interruptor y seguridad	06751-01	1
6	Lámpara incandescenteE con reflector, 220 V / 120 W	06759-93	1
7	Secador de pelo con aire frío y caliente, 1800 W	04030-93	1
8	Regla graduada, l = 1000mm	03001-00	1
9	Base trípode PHYWE	02002-55	2
10	Pie cónico expert	02004-00	2
11	Varilla de acero inoxidable, 18/8, 250 mm	02031-00	1
12	Varilla de acero inoxidable, 18/8, 150 mm	02030-15	1
13	Doble nuez	02054-00	2
14	Soporte para placas	02062-00	2
15	Pinza universal	37715-01	2
16	Pinza para mesa Expert	02011-00	2
17	PLACAS DE VIDRIO 150X100mm,2 PZS.	35010-10	1
18	Multímetro digital, 3 1/2-visualizado de caracteres	07122-00	2
19	Termómetro de laboratorio, -10...+110 °C	38056-00	1
20	Cable de conexión, 32 A, 500 mm, rojo	07361-01	3
21	Cable de conexión, 32 A, 500 mm, azul	07361-04	2

PHYWE



Montaje y ejecución

Montaje

PHYWE

- La termopila sólo mide la luz de la lámpara, pero la celda solar también detecta la luz difusa procedente de los reflejos en la superficie del banco. Por lo tanto, se recomienda cubrir el banco con un paño negro o un trozo de tarjeta negra para suprimir la luz difusa.
- El montaje experimental es el que se muestra en la Fig. 1. La placa de vidrio sólo es necesaria para la tarea 3.
- Realizar las conexiones eléctricas como en la Fig. 5.

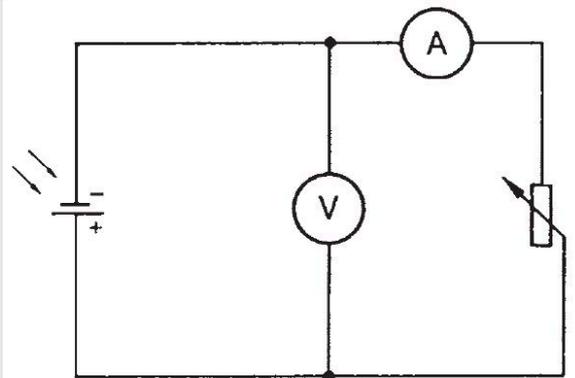


Fig. 5: Circuito de medición de la característica corriente-tensión.

Ejecución (1/2)

PHYWE

La intensidad de la luz se varía variando la distancia entre la fuente de luz y la celda solar. Primero medir la intensidad de la luz con la termopila y el amplificador con el equipo a diferentes distancias de la fuente de luz. (**Nota:** la tensión máxima de salida del amplificador es de 10 V). La abertura de entrada marca la posición de la termopila. La distancia entre la lámpara y la termopila debe ser de al menos 50 cm, ya que la apertura angular de la termopila es de sólo 20°. Para suprimir la influencia de la temperatura en las características de la célula solar, mantener a temperatura ambiente con la ayuda del soplador de aire frío durante el experimento.

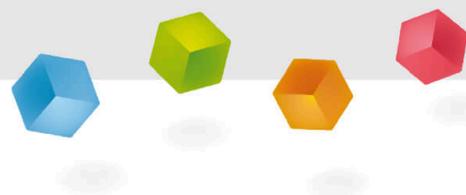
Para demostrar el efecto de la temperatura, soplar aire caliente sobre la célula solar y medir la temperatura directamente frente a ella con un termómetro. No tocar la celda, ya que su fina capa p puede dañarse fácilmente. Se recomienda separar la lámpara y la célula solar más de 50 cm, ya que en distancias más cortas el aumento de temperatura causado por la radiación podría falsear la medición. Medir la tensión de noload y la corriente de cortocircuito.

Ejecución (2/2)

PHYWE

Las características de la celda solar deben medirse también, si es posible, bajo la luz del sol; en este caso intervienen tanto la luz directa como la difusa. Para determinar la relación entre la corriente de cortocircuito y la intensidad de la luz se utiliza de nuevo el termopar, aunque éste sólo mide la luz directa debido a su pequeña apertura angular. Por lo tanto, a efectos comparativos, debemos apoyar un tubo de cartón negro de unos 20 cm de longitud delante de la célula solar para protegerla de la luz difusa. Es importante que la termopila y la célula solar estén orientadas directamente hacia el sol.

PHYWE



Resultados

Tarea 1 (1/2)

PHYWE

Para esta tarea, se supone que toda la luz que entra en la abertura (de 2,5 cm de diámetro) llega a la superficie de medición. La sensibilidad es de 0,16 mv/mW. Trazado de la intensidad de la luz J en la distancia s da una línea recta. Extrapolando la línea recta podemos determinar la intensidad a distancias $s \leq 50$ cm. La Fig. 6 muestra la relación entre la intensidad de la luz y la corriente de cortocircuito y la tensión en vacío (Fig. 6).

La batería solar, que consta de cuatro celdas conectadas en serie, tiene una tensión máxima en vacío de 2 V. La corriente de cortocircuito es proporcional a la intensidad de la luz.

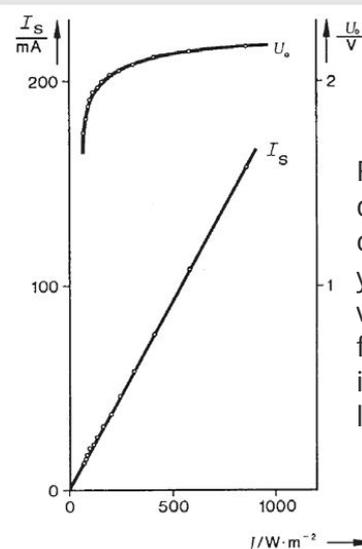


Fig. 6: Corriente de cortocircuito I_s y la tensión en vacío U_0 en función de la intensidad de la luz J .

Tarea 1 (2/2)

PHYWE

$$I_S = 1.84 \cdot 10^{-4} \text{ A/Wm}^{-2} \cdot J$$

La característica corriente-voltaje a diferentes intensidades de luz J se muestra en la Fig. 7. La potencia máxima se obtiene en los puntos de inflexión de las curvas (unidos por la línea discontinua; Fig. 7) en los que la resistencia de carga tiene el mismo valor que la resistencia interna R_i de la batería solar.

La resistencia interna disminuye al aumentar la intensidad de la luz. Si comparamos la potencia máxima de salida con la potencia incidente, obtenemos una eficiencia de aproximadamente el 6% (área de la batería solar 50 cm^2).

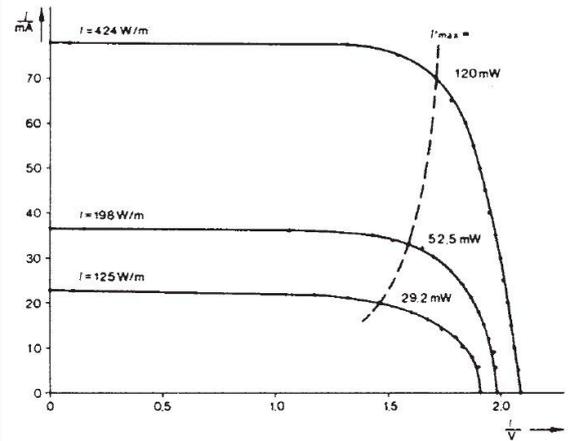


Fig. 7: Característica corriente-voltaje a diferentes intensidades de luz J .

Tarea 2

PHYWE

Medición del efecto de la temperatura en U_0 y I_s hay que tener en cuenta la distribución de la temperatura en la zona de aire caliente. Las mediciones sólo pueden proporcionar un orden de magnitud aproximado al respecto. La medición de la tensión en vacío con aire caliente y frío dio:

$$\frac{\Delta U_0}{\Delta T} = -8 \text{ mV/K}$$

Se obtiene así el valor -2 mV/K para una celda

No se puede medir la variación de la corriente de cortocircuito con la temperatura.

Tarea 3

PHYWE

Una placa de vidrio que absorbe la luz en la región infrarroja puede utilizarse para reducir el aumento de la temperatura de la batería solar. La Fig. 8 muestra el efecto de los distintos "modos de funcionamiento".

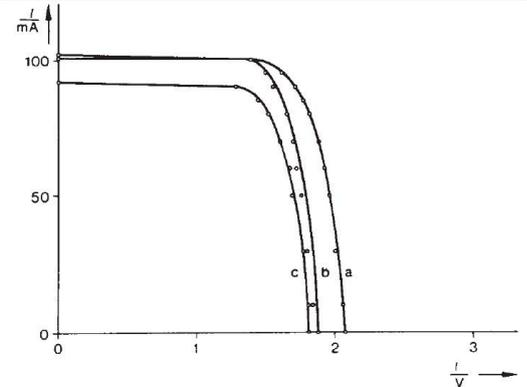


Fig. 8: Características corriente-voltaje de la batería solar a) con refrigeración por soplador b) sin refrigeración por soplador c) cuando se apantalla con una placa de vidrio.

Tarea 4

PHYWE

La luz solar que incide sobre las celdas solares produce curvas características diferentes a las de la luz incandescente. La razón radica en los diferentes espectros de las dos fuentes de luz (Fig. 9). A igualdad de intensidad luminosa, la luz solar produce una mayor corriente de cortocircuito

$$I_s = 3.04 \cdot 10^{-4} \text{ JA/Wm}^{-2}$$

Como la región infrarroja del espectro de la luz solar es más pequeña, la celda solar no se calienta tanto y las mediciones con y sin refrigeración proporcionan las mismas características de la luz solar.

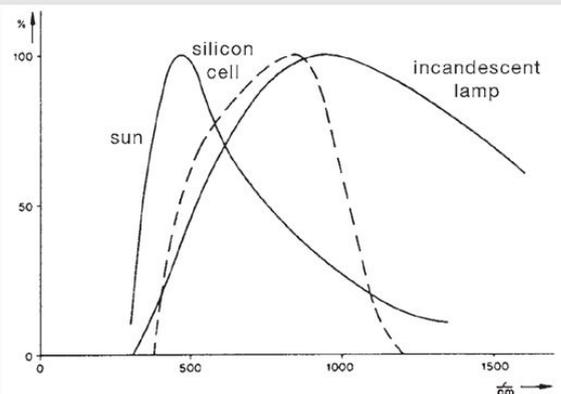


Fig. 9: Espectro del sol (T aprox. 5800 K) y de una lámpara incandescente (T aprox. 2000 K), y la sensibilidad espectral de la celda solar de silicio.