



Este proyecto fue financiado por
NSF-1004083

TN-SCORE Módulo para la enseñanza de la energía: Celdas solares sensibilizadas con colorantes

Colaboradores: Angela Cobb Gilley, Richard Simmerman y Dr. Barry Bruce

Departamento de Bioquímica, Biología Celular y Biología Molecular

Universidad de Tennessee, Knoxville

Para más información contactar: agilley@utk.edu, bbruce@utk.edu

Dirección en la Web: <http://www.bio.utk.edu/brucelab/home.html>

Demostración de la conversión solar usando sensibilizadores con colorantes naturales

Área(s) temáticas	Ciencia y Tecnología, Ciencias Físicas, Ciencias Ambientales, Física, Biología y Química
Unidad asociada	Energía Renovable
Título de la lección	Celda solar sensibilizada por colorantes (DSSC por sus siglas en inglés)
Nivel escolar	(11 ^o -12 ^o)
Tiempo requerido	3 horas / 3 días de laboratorio

Resumen

Los estudiantes analizarán el uso de la energía solar, explorarán tendencias futuras en la energía solar, y demostrarán la transferencia de electrones al construir una celda solar sensibilizada por colorantes con productos vegetales y frutales. Los estudiantes analizarán la forma en que se mide la energía y probarán la potencia de salida de sus celdas solares.

Conexión en Ingeniería y Carreras en Tennessee

Un aspecto importante de construir tecnología solar es el estudio del tipo de materiales conductores de electricidad y entender la razón por la cual conducen la electricidad. Ingenieros Químicos, Biólogos, Físicos y Químicos están trabajando en conjunto en el programa TN-SCORE a fin de ofrecer formas innovadoras de lograr mejoras sostenibles en tecnologías relacionadas con la energía solar. El laboratorio para esta lección está diseñado para que los estudiantes apliquen sus descubrimientos científicos en el diseño solar. Los estudiantes explorarán la forma en que el diseño de paneles solares y celdas de combustible eficientes y efectivas para su costo responderán a las necesidades sociales, políticas y económicas de la sociedad actual.

Los docentes podrán usar IProgramática de las Políticas Metropolitanas “Dimensionamiento de la Economía Limpia: con información sobre Crecimiento del Empleo en la Economía Limpia, Perfil de Economía Limpia de TN, y Empleadores de la Economía Limpia.

www.brookings.edu/metro/clean_economy.aspx

Palabras clave

Fotosíntesis, energía, electricidad, energía renovable, celdas solare, fotovoltaico (PV), clorofila, celdas solares sensibilizadas por colorantes (DSSC por sus siglas en inglés)

Normas científicas para la siguiente generación

HS.ESS-Cambio climático y sostenibilidad humana

HS.PS-Reacciones químicas, energía, fuerzas y procesos energéticos y nucleares

HS.ETS-Diseño de Ingeniería

HS.ETS-ETSS- Vínculos entre la Ingeniería, la Tecnología, las Ciencias y la Sociedad

Conocimientos previamente requeridos

Vocabulario:

- **Catalizador**- Una sustancia que aumenta la velocidad de una reacción sin ser consumida en la reacción.
- **Fórmula química** –Una colección de símbolos químicos y subíndices que muestran la composición de un compuesto o sustancia. Ejemplos: TiO_2 , H_2O , SnO_2
- **Clorofila**- El colorante orgánico usado por las plantas vivas durante la fotosíntesis para convertir la energía lumínica en productos como carbohidratos y azúcares. Es un compuesto que consiste de los elementos carbono, hidrógeno, oxígeno, nitrógeno y magnesio.
- **Cloroplasto**- La subunidad de las células de las plantas donde se lleva a cabo la fotosíntesis a través de la acción de la energía lumínica sobre la clorofila.
- **Energía**- La capacidad para realizar trabajo, puede ser química, eléctrica, térmica, lumínica, mecánica o nuclear. No se puede crear ni destruir aunque se puede almacenar de diversas formas. Una forma de almacenar la energía química es en una batería. Medida en julios (vatios-segundo)
- **Combustibles fósiles** - Petróleo, carbón, gas natural o sus derivados. Combustibles que se formaron en la tierra en épocas prehistóricas a partir de los restos de organismos celulares vivos.
- **Calentamiento global** – Aumento significativo en la temperatura de la Tierra durante un corto periodo causado por la actividad humana
- **Efecto invernadero**- la presencia de restos de gases atmosféricos que causan que la tierra se caliente más de lo que la calentaría la luz solar por sí sola. Estos gases (dióxido de carbono [CO_2], metano [CH_4], óxido nitroso [N_2O], ozono troposférico [O_3], y vapor de agua [H_2O]) permiten que la luz visible y ultravioleta (radiación de onda corta) pasen a través de la atmósfera y calienten la superficie terrestre. La tierra irradia este calor en la forma de energía infrarroja (radiación de onda larga). Los gases de invernadero absorben parte de esa energía antes que escape al espacio. Este proceso de atrapar la radiación de onda larga se conoce como efecto invernadero. Los científicos calculan que sin el efecto invernadero, la superficie terrestre sería aproximadamente 54 grados Fahrenheit más fría de lo que es actualmente; demasiado fría para sostener la vida como la conocemos. Mantiene la tierra caliente cuando la energía del Sol entra a la atmósfera, cerca del 70% de la energía permanece en el planeta, y el restante 30% se refleja hacia el espacio.

- **Oxidación-** Una reacción en la cual un átomo, un ion o una molécula pierde un electrón que algunas veces (aunque no siempre) involucra su combinación con el oxígeno. El metal titanio se oxida a TiO_2
- **Fotosíntesis-** El proceso en el cual las plantas usan la energía de la luz para sintetizar compuestos orgánicos para su crecimiento con dióxido de carbono y agua. Las plantas “fijan” el dióxido de carbono en azúcares y carbohidratos usando la fotosíntesis. Ocurre a través de una compleja cadena de reacciones que suceden dentro de la membrana en las células de las plantas.
- **Energía renovable -** Recursos que se renuevan constantemente o que se consideran prácticamente inextinguibles. Estos incluyen la energía solar, eólica, geotérmica, hídrica y la producida con madera. Aunque ciertas formaciones geotérmicas particulares se pueden agotar, el calor natural en la tierra es una reserva virtualmente inextinguible de energía potencial. Los recursos renovables también incluyen algunas fuentes experimentales o menos desarrolladas como la energía de las mareas, corrientes marinas y gradientes oceánicas térmicas.
- **Tilacoides-** La unidad básica de los cloroplastos en las plantas. Una estructura similar a un saco que consiste de capas de membranas que contienen clorofila y enzimas.
- **Voltaje-** Una medida de la diferencia en el potencial eléctrico entre dos electrodos o puntos (en V). El trabajo por unidad de carga.
- **Vatio-** La unidad eléctrica para la potencia que representa la cantidad de trabajo realizado por segundo. La tasa de uso o producción de energía.

Objetivos del aprendizaje

- Los estudiantes construirán una celda solar sensibilizada por colorantes utilizando frutas y demostrarán la transferencia de electrones
- Los estudiantes analizarán cómo se mide la energía
- Los estudiantes investigarán los avances tecnológicos en energía solar y harán una predicción de futuras tendencias solares.

Introducción

1. La **fotosíntesis** es un proceso biológico de **oxidación-reducción**.

CO_2 = Aceptor de electrones

H_2A = Donador de electrones



En la fotosíntesis oxigénica se oxida el agua y los electrones liberados se energizan y finalmente se transfieren al CO_2 , produciendo oxígeno y carbohidrato. Al descomponerse las moléculas orgánicas como los carbohidratos y ser oxidadas por las plantas y animales, la energía solar almacenada se libera y el dióxido de carbono originalmente tomado de la atmósfera es devuelto a esta. El ciclo de la fotosíntesis hoy:



En los eucariotas, la fotosíntesis ocurre en el **cloroplasto**

2. Los sistemas fotovoltaicos consisten en **celdas fotovoltaicas**, dispositivos que convierten la energía lumínica directamente en electricidad, e inversores que convierten la corriente continua fotovoltaica en corriente alterna en los hogares. Dado que la fuente de luz es usualmente el Sol, a menudo se les llama **celdas solares**. La palabra **fotovoltaica** se deriva de “foto,” que significa luz, y “voltaica,” que se refiere a la producción de electricidad. Por tanto, el proceso fotovoltaico es “producir electricidad directamente de la luz solar.” Fotovoltaico a menudo se llama PV. Las **celdas PV** están hechas de al menos dos capas de material semiconductor. El semiconductor en una celda solar típica consiste en un único cristal de silicio que realiza dos procesos simultáneamente: absorción de la luz, y la separación de las cargas eléctricas. Estas cargas, los electrones y los “huecos” cargados positivamente, se forman cuando la absorción de la luz excita los electrones en el cristal a niveles más altos de energía.

3. Las celdas solares nanocristalinas desarrolladas en el Instituto Federal Suizo de Tecnología funcionan separando el proceso de absorción de la luz y de separación de cargas haciéndolos independientes. La absorción de la luz se realiza mediante una sola capa de colorante unida a la capa de partículas de dióxido de titanio pintadas en el vidrio. Una vez excitado por la luz el colorante es capaz de transferir un electrón a la semiconducción.

La celda solar nanocristalina sensibilizada por colorantes es una celda fotoelectroquímica que se asemeja a la fotosíntesis natural en dos aspectos: 1. Usa un colorante natural como la clorofila para absorber la luz y producir un flujo de electrones, y 2. Usa múltiples capas para mejorar la eficiencia en la absorción de la luz y recolección de electrones. Al igual que la fotosíntesis, es una máquina molecular. (Smestad 1998).

4. Introducción a la electricidad y la ley de Ohm – Las leyes básicas para la electrónica y los circuitos elementales fueron desarrolladas a principios del Siglo XIX por el físico alemán, Georg Simon Ohm y se conocen como la Ley de Ohm.

Si un átomo tiene más protones que electrones, se considera que tiene una “carga positiva”, y un átomo que gana electrones tiene una “carga negativa”. Se puede hacer que los electrones se trasladen entre los átomos, lo que crearía una corriente eléctrica. **Conductores** (por ejemplo cobre, aluminio, y acero) son materiales que permiten que los electrones se trasladen fácilmente de sus órbitas. La **resistencia** se usa para medir qué tan bien se puede conducir la electricidad. Los **circuitos** ofrecen un ambiente para recolectar y trasladar electrones de un lugar a otro, y de un componente a otro. Cuando se enciende un circuito el interruptor actúa como un puente que permite que la electricidad se mueva a través del circuito.

La **Ley de Ohm** es una ecuación matemática que explica la relación entre el voltaje, la corriente, y la resistencia.

Se expresa mediante la siguiente ecuación: $V = I \times R$

V = Voltaje (Voltios)

I = Corriente (Amperios)

R = Resistencia (ohmios)

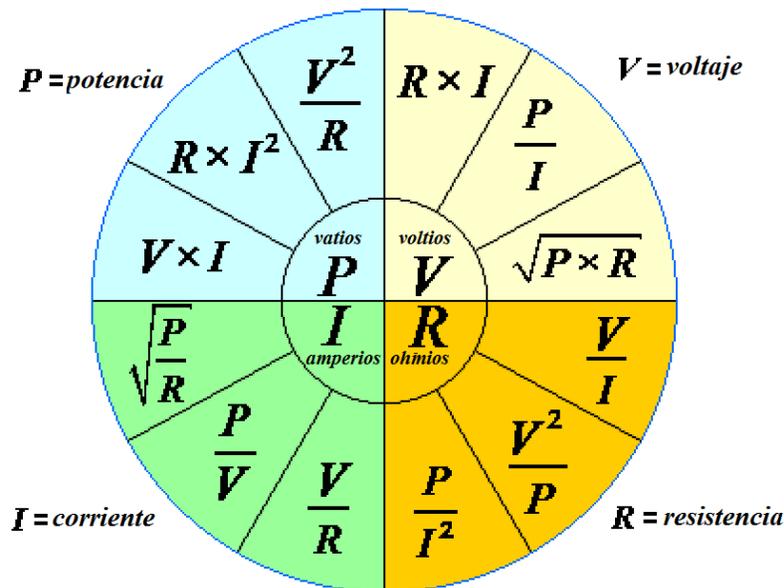
Otra medida de la actividad de los electrones en un circuito es la **potencia**, que es la medida de cuánto trabajo se puede realizar en una cantidad dada de tiempo. La potencia se mide en vatios. Se puede expresar en la siguiente ecuación: $P = I^2 \times R$

P = Potencia (vatios)

I = Corriente (Amperios)

R = Resistencia (ohmios)

Rueda de Potencia de la Ley de Ohm



<http://diyaudioprojects.com/Technical/Ohms-Law/>

Lista de suministros

Día 1:

2 portaobjetos de vidrio conductor y
Cinta adhesiva transparente
TiO₂ En polvo
Mortero
Vinagre
Surfactante (detergente lavaplatos)
1 portaobjetos de vidrio no conductor
Multímetro

Horno u hornillo de alta temperatura
Gafas protectoras
Guantes desechables
Pinzas
Pipeta desechable
Agua destilada
Jeringa

Día 2:

Mortero
Agua destilada
Moras, frambuesas, o arándanos
Ácido clorhídrico (opcional)
pH-metro (opcional)

Gafas protectoras
Guantes desechables
Pinzas
Pipeta desechable
Miracloth

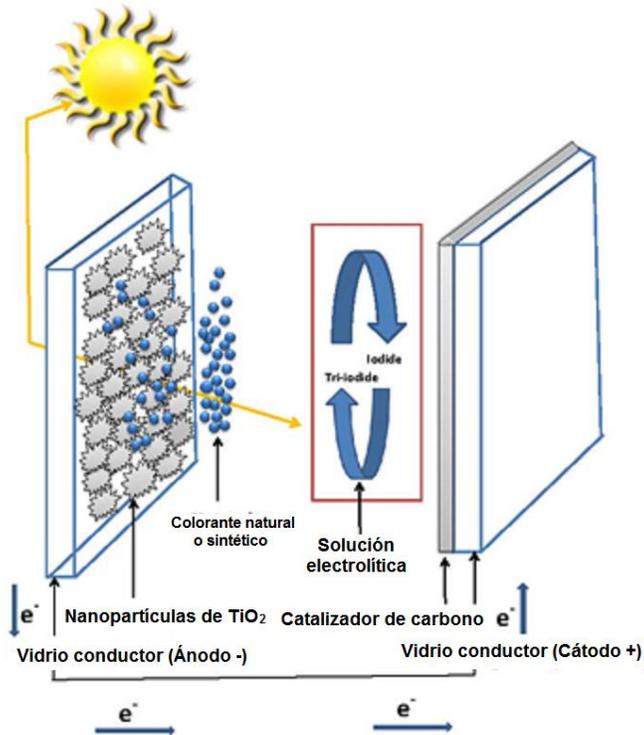
Día 3:

Agua destilada
Etanol
vela o lápiz de grafito
Solución electrolítica de triyoduro
Pipeta

Prensas sujetapapeles
Multímetro
Gafas protectoras
Guantes desechables
cinta de cobre (opcional)

Procedimientos de laboratorio para construir una Celda solar sensibilizada por colorantes

Diagrama de celda solar



Día 1: Preparación del TiO_2 en el portaobjetos

Portaobjetos conductor- Se construye un portaobjetos conductor con vidrio recubierto de ITO (Óxido de indio y estaño) por un lado de 25 X 25 X 1.0 mm, que se puede adquirir en Solaronix o el Instituto de Educación en Química o Institute for Chemical Education (ICE). La resistencia del

portaobjeto de vidrio debe estar entre 10 y 30 Ω . **No manipule el portaobjeto de vidrio** así que use pinzas o sostenga el portaobjetos por los bordes del vidrio. Use un voltímetro para verificar el lado conductor del vidrio. La lectura debe estar entre 10 y 30 Ω . Use el lado conductor para aplicar el TiO₂.

Preparación del TiO₂:

Suspensión de TiO₂ creada durante el taller para los docentes:

1.0g Anatasa (TiO₂ en polvo)

0.5 g Rutilo (TiO₂ en polvo)

2.5 mL Vinagre

Se agrega 1 gota de surfactante tal (detergente lavaplatos transparente).

Agregue el TiO₂ en polvo al mortero y mientras muele agregue el vinagre lentamente. Se desea que el producto tenga una consistencia uniforme libre de grumos como la pintura. El proceso de trituración debe durar al menos 15 minutos o más. Agregue el surfactante. Agite suavemente tratando de no producir burbujas. Deje que la suspensión repose por 15 minutos antes de aplicarla al portaobjetos.

Suspensión de TiO₂ creada en el laboratorio de investigación:

6.375 g Anatasa (TiO₂ en polvo)

1.125 g Rutilo (TiO₂ en polvo)

12 mL Ácido nítrico 0.1M

0.24g Polietilenglicol 8,000

0.6ml Triton X100

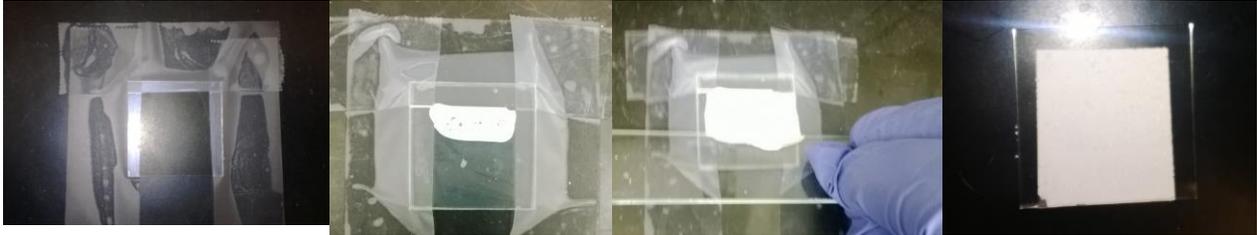
Agregue todos los ingredientes en un vaso de precipitados y colóquelo en una placa de agitación por 2 horas luego aplique sonicación por 5 horas (alterne la sonicación 1 minuto encendida; 2 minutos apagada).

Deposición de la película de TiO₂ en el portaobjetos de vidrio- La aplicación de la película de TiO₂ (Dióxido de titanio) tiene una estructura porosa similar a una esponja que mejora la absorción de la luz y la eficiencia de la recolección de electrones de manera similar a la membrana tilacoide que se encuentra en las plantas.

Asegure el portaobjetos de vidrio, con el lado conductor hacia arriba, sobre la mesa, usando cinta adhesiva transparente sobre el borde superior del portaobjetos y los dos lados. El uso de la cinta adhesiva doble podría ayudar a asegurar que la mezcla no se derrame por debajo de la cinta. Asegúrese que esté asegurada en los bordes del vidrio para que la mezcla de TiO₂ no se pase por debajo de la cinta adhesiva cuando se aplica. Una vez retirada la cinta no debe haber mezcla en los bordes. Aplique la mezcla de TiO₂ usando una pipeta en la parte superior del portaobjetos por debajo de la cinta adhesiva y utilice una barra agitadora de vidrio u otro portaobjetos que no use para este proyecto a fin de distribuir la mezcla uniformemente en el portaobjetos. Una vez que la mezcla sea uniforme y esté distribuida en el portaobjetos, déjela reposar y secar antes de quitar la cinta adhesiva. Una vez que pareciera estar seca, retire la cinta con cuidado y hornee el portaobjetos en un horno de alta temperatura a 450° por 45 minutos o en un bloque caliente por 30 minutos. Permita que repose y se enfríe por 30 minutos.

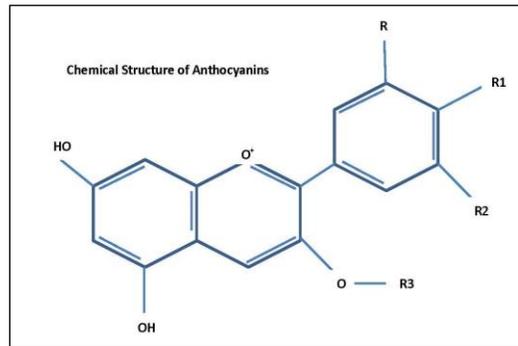


Al proceso de hornear el TiO_2 en el portaobjetos se le llama **Sinterización** (un proceso de alta temperatura para fundir polvos).



Día 2: Preparación de un colorante natural y tinción del TiO_2

El Colorante es uno de los componentes más importantes de la DSSC. Un sensibilizador eficiente deberá absorber la luz en un amplio rango desde la visible $h\nu$ Estructura química de la antocianina la energía de su estado de excitación electrónica debe encontrarse energéticamente por encima del borde del TiO_2 (Calegro, y colaboradores, 2012). Los colorantes sintéticos tales como los compuestos metálicos de coordinación de rutenio y osmio se usan como sensibilizadores efectivos en las DSSCs. La preparación del el colorante de complejo metálico es tediosa y costosa, lo que ha despertado el interés en los colorantes naturales. La **antocianina** es un pigmento encontrado en muchas plantas que pueden verse rojas, púrpuras o azules dependiendo del pH. Se han aislado más de 500 tipos diferentes de antocianinas de plantas y las principales fuentes de antocianina son algunas frutas y vegetales como las moras, frambuesas, arándanos, repollo morado y achicoria roja. Estos muestran una absorción de la luz en las regiones visibles y son compuestos antioxidantes presentando grupos funcionales (-OH), que les ayudan a enlazarse mejor con las nanopartículas de TiO_2 . El colorante absorbe la luz y transfiere los electrones excitados al TiO_2 .



Para preparar el colorante es posible usar bayas frescas o congeladas (descongeladas) como moras, frambuesas y arándanos. Se puede utilizar un mortero para triturar las bayas hasta obtener un jugo líquido. Se puede agregar una pequeña cantidad de agua destilada, aproximadamente 2.0 ml por cada 3-5 bayas.



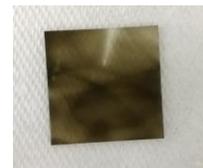
Como es el caso de muchos colorantes naturales, el tratamiento con ácido (pH=1) induce un desplazamiento hacia el rojo en la absorción de antocianinas del orden de decenas de nanómetros (Calogero 2012). Una vez que las bayas han sido aplastados en un líquido, añadir bayas trituradas a Miracloth y exprimir el jugo de la tela en una placa de vidrio, dejando las semillas en una pulpa detrás de la tela y el jugo sólo en la placa. Las variables opcionales pueden incluir el uso de diferentes bayas, la adición de ácido clorhídrico para jugo a un pH más bajo, y el uso de diferentes temperaturas de jugo.

Después de preparar el colorante natural, empape el lado del portaobjetos recubierto con TiO_2 en el jugo por al menos 15 minutos. Si la celda no se fuera a montar hasta el día siguiente, se puede dejar con el colorante toda la noche, tapada y protegida de la luz. Después de remover la película de tinte lave con agua destilada y luego con etanol. Asegúrese de que el portaobjetos de vidrio teñido permanezca siempre lejos de la luz y esté seco antes de proceder con el montaje de la celda solar.

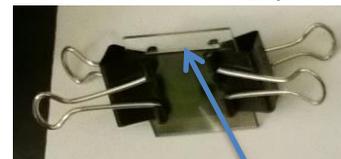


Día 3: Montaje de la celda solar y medición del voltaje

El **cátodo** de una celda solar usualmente se construye con platino, pero también se puede usar **carbono** para la **actividad catalítica**. Aunque el carbono es menos eficiente que el platino es más fácil de usar y es menos costoso. Existen 2 formas de hacer electrodos: uno usando un lápiz de grafito y el otro usando una vela. Con el segundo portaobjetos de vidrio conductor usted puede teñir el lado conductor del vidrio usando el lápiz de grafito o puede obtener un electrodo de carbono encendiendo una vela y sosteniendo el portaobjetos de vidrio, con el lado conductor sobre la llama, depositando el hollín de la candela encendida. El proceso es rápido y se tiene que evitar quemar el portaobjetos demasiado. Es suficiente con que aparezca una capa gris-negra por el lado conductor del vidrio.



Una vez que el electrodo de TiO_2 teñido esté seco y libre de agua, y el electrodo de carbono de la candela esté frío, se puede armar la celda solar. Se usan las prensas sujetapapeles para mantener los electrodos juntos por los lados. La parte superior del electrodo de TiO_2 que no tiene titanio deberá quedar libre para usarla para probar con el voltímetro. El cátodo de carbono se debe colocar encima del cátodo de TiO_2 dejando libres los bordes.



Una vez que la celda se haya armado, se puede agregar la **solución electrolítica de yoduro/yodo**. La solución de yoduro se puede comprar en Solaronix o ICE. El mediador yoduro/triyoduro forma un ciclo regenerativo que acepta los electrones cargados negativamente transferidos desde el colorante excitado hasta el dióxido de titanio y la carga. Esto se puede aplicar agregando un par de gotas entre los bordes de las placas (Smestad 1998). Limpíese la solución de bordes de los portaobjetos y aplique la cinta de cobre a los bordes expuestos de las paredes positiva y negativa de la celda. La cinta de cobre ayudará a facilitar el contacto eléctrico.



Añadir la solución de yoduro debe añadirse entre las diapositivas. El TiO_2 teñido debe estar completamente saturado

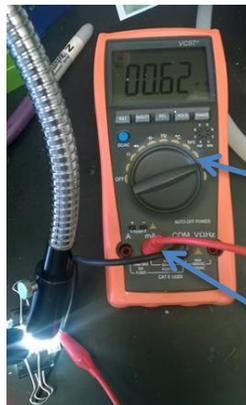
yoduro de los
bordes de los portaobjetos y aplique la cinta de cobre a los bordes expuestos de las paredes positiva y negativa de la celda. La cinta de cobre ayudará a facilitar el contacto eléctrico.

El **voltímetro para medir la celda solar** se utiliza colocando prensas de lagarto desde el voltímetro hasta cada extremo del vidrio o cinta de cobre expuestos. El electrodo negativo es el vidrio recubierto de TiO_2 , y el cable negro debe pegarse de este lado. El cable rojo se pega al portaobjetos de vidrio recubierto de carbón que es el electrodo positivo. La celda solar debe permanecer directamente bajo la luz solar o una lámpara para medir los voltios y amperios. Usted puede usar la rueda de potencia de la ley de Ohm para calcular la potencia.



Cambiar
marcar para V
para grabar

Cambie
electrodo rojo a
V voltios para



Cambiar marcar
para mA para
grabar actual

Cambie el
electrodo rojo a
mA para grabar
actual

Referencias

Calogero, G., Yum, J., Sinopoli, A., DiMarco, G., Gratzel, M., and Nazeeruddin, M. *Anthocyanins and betalains as light-harvesting pigments for dye-sensitized solar cells*. *SciVerse Science Direct: Solar Energy* **86**(2012) 1563-1575.

Calogero, G., DiMarco, G., Cazzanti, S., Caramori, S., Argazzi, R., DiCarlo, Al, and Bignozzi, C. *Efficient Dye-Sensitized Solar Cells Using Red Turnip and Purple Sicilian Prickly Pear Fruits*. *Int. J. Mol. Sci* 2010, **11**, 254-267.

Narayan, M.R., *Review: Dye sensitized solar cells based on natural photosynsitzers*. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* **16** (2012) 209-215.

Smestad, G.P., *Education and Solar Conversion: Demonstrating Electron Transfer*. *Solar Energy Materials and Solar Cells* **55** (1998) 157-178.

Zhou, H., Wu, L., Gao, Y., Ma, T., *Dye-sensitized solar cells using 20 natural dyes as sensitizers*. *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry* **219** (2011) 188-194.

Suministros de Compras

Diapositivas y solución de electrolitos se pueden pedir desde el Instituto de Educación Química (ICE) y el formulario de pedido se puede encontrar en línea en:

<http://ice.chem.wisc.edu/Forms/ICEOrderFormOnline.pdf>

Para el laboratorio creado TiO₂ puede ponerse en contacto Dr. Barry Bruce at (bbruce@utk.edu) or Angela Gilley at (agilley@utk.edu)

Limpieza y reutilización de diapositivas

1. PreClean portaobjetos de vidrio con acetona utilizando pureza limpia (paño suave y sin pelusa) .
2. Preparar una solución acuosa de NaOH al 10% .
3. Heat cantidad apropiada de solución a 55 ° C en un vaso de precipitados .
4. Colocar los portaobjetos en NaOH durante 3 minutos.
5. Enjuague en agua desionizada durante aproximadamente 1 minuto, y comprobar que las láminas de agua de diapositivas de inmediato .
6. Inmediatamente limpie en seco con una pureza limpia para evitar las manchas de agua