

Problem 1

Elegir tres aplicaciones y explicar con detalle, como funcionan, por qué funcionan de tal modo y dado el caso como intervienen en la remediación ambiental y/o en el ahorro o en la producción de energía.

Solution: Aplicaciones a investigar:

- La ventana Termocrómica.
- Diodo emisor de luz.
- Películas Fotovoltaicas

La ventana Termocrómica

1. Introducción

Para hablar sobre la tecnología termocrómica se debe hacer referencia a los materiales funcionales o mayormente conocidos como “*Inteligentes*”, los cuales están diseñados para tener una o más propiedades, (Color, Forma, Dimensiones, Temperatura, etc.), que cambian de manera reversible ante un estímulo externo como estrés, humedad, campos eléctricos o magnéticos, luz, temperatura, pH o compuestos químicos.

En el caso de los materiales que cambian sus propiedades ópticas, se les conoce como materiales cromóforos y dentro de esta familia yacen los materiales termocromicos, los cuales su color es conmutable cuando la superficie del material alcanza una temperatura por arriba de la temperatura de transición, T_s , dicho valor es propio de cada material. Los materiales que presentan un comportamiento termocromico son variados y pertenecientes a diferentes grupos como polímeros, semiconductores de estado solido o cristales líquidos[1]. El efecto termocromico puede ser brusco a cierta temperatura, o gradual (véase figura 1), dentro de un rango de temperatura (T_s), dependiendo del material involucrado, además se basa en el equilibrio químico entre dos formas diferentes de molécula o entre diferentes fases cristalinas.



Figura 1: Cristal termocromico.

1.a. Óxidos Metálicos de Transición

Para aplicaciones en ventanas, el termocromismo ha sido posible mediante el uso de recubrimientos de óxidos metálicos de transición como los óxidos de Vanadio (V_xO_y) o el trióxido de tungsteno (WO_3). En particular a temperatura ambiente los recubrimientos de dióxido de Vanadio (VO_2) se comporta de manera eléctrica, como un semiconductor y son altamente transparentes en la región infrarroja (IR). Cuando estos recubrimientos son sometidos a tratamientos térmicos por encima de la temperatura de transición ($T_s=68^\circ\text{C}$), el material experimenta una transición de fase. Junto con este cambio en la estructura cristalina, los recubrimientos de VO_2 presentan un comportamiento eléctrico conductor, es decir, como un

material metálico, y estos reflejan el rango cercano IR. Este efecto es útil para las aplicaciones de control solar adaptativo[2].

La transición es reversible, sin embargo muestran un comportamiento de histéresis; es decir un efecto “memoria” (véase figura 2). Por ejemplo, cuando se enfría (*perdida de energía térmica*), el recubrimiento de VO₂ estando en la fase metálica (*alta temperatura*), el material debe de alcanzar una temperatura por debajo de la temperatura de transición, T_s , para que este recupere la estructura cristalina de la fase semiconductora así como sus propiedades, todo de manera gradual.

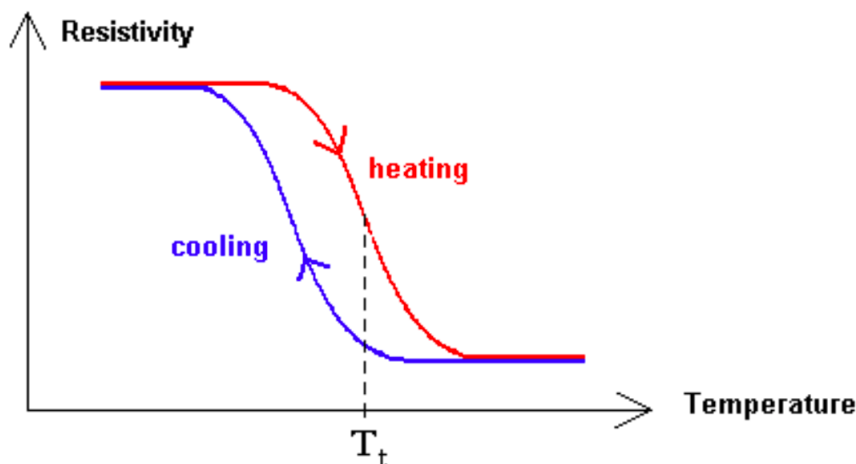


Figura 2: Representación grafica del cambio de resistividad que se da en la transición del VO₂, mostrando el comportamiento de la histéresis del material. En tales sistemas $T_s = T_t$. Gráfica tomada de:[3]

Es posible cambiar el perfil de histéresis del material y esto es dopando las películas o recubrimientos de VO₂. Dentro de los elementos que pueden actuar como dopantes están los de alta valencia, como Nb, Mo, W, en ellos se ha observado que al momento de incorporarse al VO₂ desestabilizan la fase semiconductora y por lo tanto reducen la temperatura de transición, por otro lado los de baja valencia, como Cu, Cr, Al y Fe, en general provocan que la temperatura de transición incremente.

El fenómeno de transición metal-semiconductor (por sus siglas en ingles MIT) fue descubierto y publicado por Miorin en 1959[4]. Desde entonces ocasiono un gran interés en el desarrollo tecnológico y científico para una amplia gama de aplicaciones tales como sistemas microelectrónicos, microbaterías, sensores de estado sólido y detectores de conmutación óptica, uno de los cuales podría ser, la llamada “ventana termocrómica”.

1.b. Remedición ambiental y/o en el ahorro o en la producción de energía.

Los recubrimientos termocromaticos basados en VO₂ ofrecen un rendimiento óptimo en cuanto al confort interior basado en una relación ideal entre la temperatura de transición y la temperatura ambiental.

Aplicadas en edificios, las ventanas termocromaticos permiten optimizar el consumo energético del edificio gracias al alto porcentaje de luz transmitida tanto en estado transparente como en opaco. Las ventanas termocromaticas modifican automáticamente su transmitancia y, por tanto, su absorción de luz en relación con la temperatura de la superficie exterior. Inicialmente transparente, por encima de una temperatura de transición, que puede variar de 10 °C a 90°C, se vuelven opacas. Cuando la temperatura desciende por debajo del valor critico, vuelven a ser transparentes.

2. Introducción

Dentro de los componentes electrónicos encontramos el diodo, un dispositivo comúnmente semiconductor que da respuesta al problema de la transformación de corriente alterna en corriente continua directa. Esta formado por dos electrodos o terminales (*véase la Figura 3*) y a través de él circula la corriente en un sentido, es decir, es un componente unidireccional que deja pasar la corriente en un sentido y la bloquea en el otro convirtiéndose en una especie de “válvula eléctrica”. Los diodos semiconductores están compuestos por dos zonas de material semiconductor (*comúnmente silicio, germanio, los hay también de arsénico de galio, selenio y óxido de cobre*), formando una unión p-n separadas por una barrera, frontera o unión que varía en su voltaje según el material de que esté hecho el diodo (*en el diodo de germanio, por ejemplo, esta barrera es aproximadamente 0.3 V, mientras que en el de silicio es aproximadamente 0.7 V*). Es decir, para que el diodo puede conducir la corriente debe superar este valor llamado tensión umbral. Para tal propósito, el material de la zona p está tratado químicamente y térmicamente.

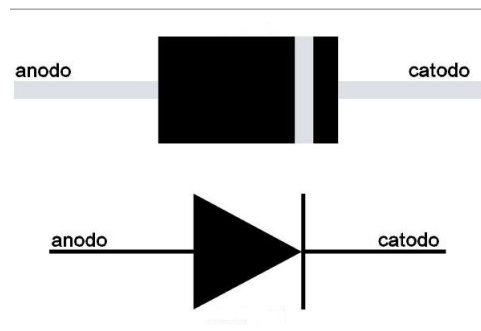


Figura 3: Símbolo electrónico de un Diodo rectificador y el mismo. *Imagen tomada de la pagina de internet:*[link](#)

El funcionamiento del diodo está basado en la unión p-n. Los electrones mayoritarios en n se difunden hacia los huecos en p dando como resultado la pérdida de huecos en el semiconductor tipo p y generando iones negativos que se cargaran, mientras que el semiconductor tipo n perderá electrones y se cargara a su vez positivamente. Así pues, a partir de la corriente y el voltaje podemos hacer una representación gráfica de la curva característica de un diodo que nos proporcionara información sobre la intensidad que circula por el diodo y dándonos el valor de la tensión umbral.

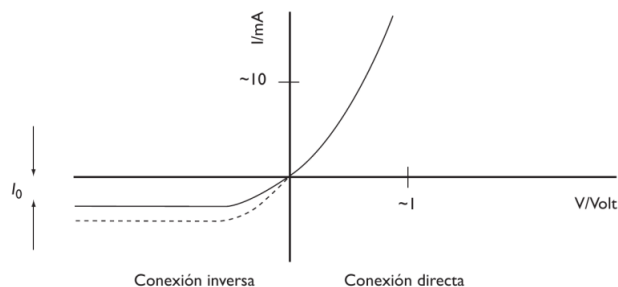


Figura 4: Curva característica I-V de una unión p-n sin iluminación. *Imagen tomada del libro:*[\[5\]](#)

La ecuación que permite aproximar el comportamiento del Diodo es la de Shockley, la cual es:

$$I = I_0 \left(e^{\frac{qV_D}{nkT}} - 1 \right) \quad (1)$$

Donde:

- I es la intensidad de corriente neta que fluye a través del diodo.
- I_0 “corriente de saturación oscura”, la densidad de corriente de fuga del diodo en ausencia de luz.
- V voltaje aplicado a través de los terminales del diodo.
- q valor absoluto del electrón.
- k constante de Boltzmann
- T temperatura absoluta (K)
- n factor de idealidad, un numero entre 1 y 2 que típicamente aumenta a medida que la corriente disminuye.

La “corriente de saturación oscura” (I_0) es un parámetro muy importante que diferencia a uno de otro diodo, es una medida de la recombinación en un dispositivo. Un diodo con una recombinación más grande tendrá una I_0 mayor.

Cosas a tomar en cuenta: I_0 aumenta a medida que aumenta la T , I_0 disminuye a medida que aumenta la calidad del material. A $300K$, $\frac{kT}{q} = 25,85mV$, la “tensión termica”.

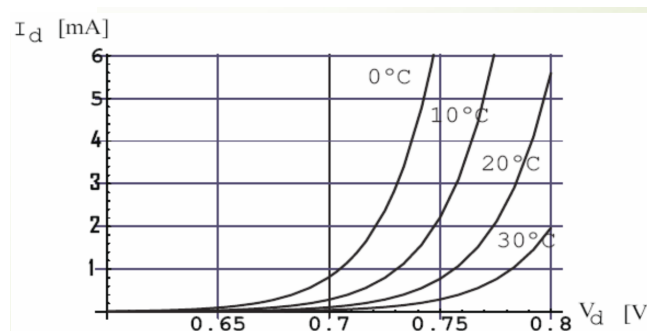


Figura 5: Comportamiento del diodo de silicio a diferentes temperaturas.

2.a. El LED (Light Emitting Diode)

El diodo emisor de luz es un componente opto-electrónico (véase la figura 6) que como su nombre lo indica, es un tipo especial de diodo. Su uso actualmente está difundido dentro de dispositivos electrónicos de audio, vídeo, comunicación y control y para sistemas de iluminación entre otros. Su funcionamiento esta basado en la polarización en sentido directo en una unión p-n donde hay gran cantidad de energía que causa radiación luminosa, es decir, la particularidad de este diodo es que al ser atravesado por corriente eléctrica emite luz. Esta luz variara de color dependiendo de los materiales con los que este hecho el LED (véase la sección del Anexo) y hay algunos que emiten en el infrarrojo y en el ultravioleta.

2.b. Remedición ambiental y/o en el ahorro o en la producción de energía.

Las ventajas que presenta la tecnología de los LED's sobre otros sistemas se deben a su alta eficiencia, bajo consumo de corriente, tamaño pequeño a comparación con otros, menor emisión de calor y un mayor tiempo de vida.

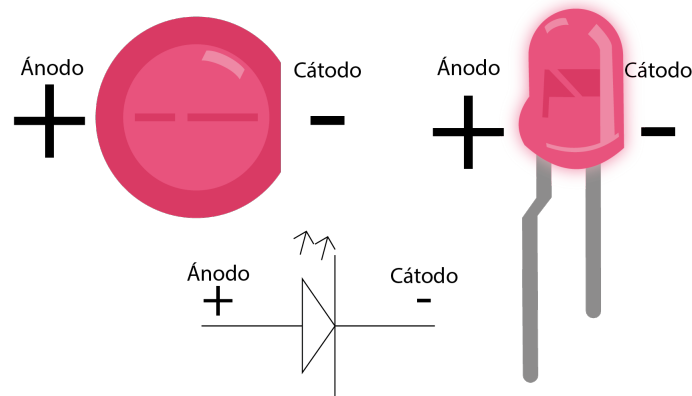


Figura 6: Diagrama de un LED. *Imagen tomada de la pagina de internet:*[link](#)

Teniendo presente las anteriores ventajas que poseen los LED's y tomando en cuenta que vivimos en un mundo donde las sociedades consumen cantidades ingentes de materias primas y de energía para su funcionamiento es imprescindible el adoptar el uso de tecnologías que consuman poca potencia, sean económicas y tengan una alta eficiencia. Recordemos que la cantidad de energía que una sociedad consume y la eficiencia con la que la transforma y utiliza constituyen hoy en día en criterios que permiten diagnosticar su grado de desarrollo. Lo que quiere decir que el gasto descomunal de energía por parte de una ciudad es condición necesaria para “considerarla” desarrollada, pero no es condición suficiente ya que una ciudad de alto grado de desarrolló es aquella que tenga un grado mayor de consumo energético, una mayor capacidad de uso y transformación de la energía de forma eficiente.

Películas fotovoltaicas que convierte la luz en electricidad

Las celdas solares, foto-celdas o células fotovoltaicas son otro tipo de dispositivo que transforman la luz lumínica en energía eléctrica. Para hacer esto posible se apoya del efecto fotoeléctrico (absorción de fotones de luz y emisión de electrones) mediante un material que pueda llevar acabo este efecto, generalmente semiconductores a base de silicio y germanio. El grado de pureza de éstos o el dopaje con otras sustancias le otorga diferentes características a las celdas. En el caso del silicio tenemos las celdas de silicio mono-cristalino, poli-cristalino y amorfo. Las ventajas de estas es que varían en costo, flexibilidad en el soporte, costos y rendimiento.

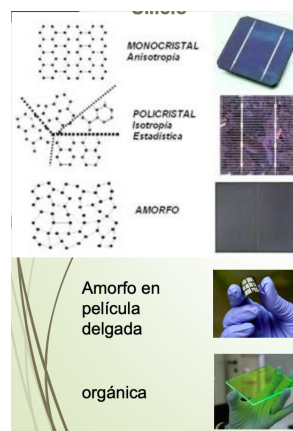


Figura 7: Tipos de celdas fotovoltaicas.

Celdas solar en Oscuro

Cuando la celda solar (unión p-n) no está iluminada ni sometida a cualquier diferencia de potencial externa, se produce un equilibrio dinámico en el que se cumple que la corriente proveniente del paso de huecos del material p al n y de electrones del n al p, a través de la unión, es decir, la corriente denominada de generación, I_g , está equilibrada con la corriente denominada de recombinación, I_r , proveniente del paso de portadores mayoritarios (electrones desde el material n al p y huecos desde el material p al n) a través de la unión.[5]

Celdas solar bajo iluminación

De manera contraria cuando la unión p-n está iluminada, los fotones que cumplen con la condición, $h\nu \geq E_g$, son absorbidos por el retículo cristalino. Y como sabemos que en el caso del Silicio (Si) se trata de un semiconductor de *band-gap* indirecto, pues en consecuencia, para que un electrón pase de la banda de valencia a la de conducción necesita un fotón de al menos 1.1eV más una energía adicional aportada por un fonón, que es un cuanto vibracional del retículo.

Remediación ambiental y/o en el ahorro o en la producción de energía.

Los sistemas fotovoltaicos ofrecen soluciones al suministro de energía eléctrica en viviendas y núcleos de población alejados de la red eléctrica general. En los países en desarrollo pueden resultar la forma más económica de acceder a la utilización de aparatos eléctricos y pueden contribuir a resolver el problema de la escasez de agua para beber y para el riego, si se usan para accionar sistemas de bombeo.

En los países más desarrollados, sobre todo en zonas urbanas los sistemas fotovoltaicos podrían ser de utilidad al estar conectado a la red, en vez de a baterías almacenadoras y así el kwh vendido a la red general sería más barato que el que el usuario tendría que comprar al tener que utilizar la electricidad en horas en que su sistema fotovoltaico es activo.

Debido a la versatilidad que posee la tecnología fotovoltaica es posible integrarla a casi cualquier ámbito, aunque a veces se cuestiona los costos ambientales y económicos que esto puede tener. Es cierto que en la fabricación de los módulos fotovoltaicos se hace uso de ácido clorhídrico (HCl) y que este a elevadas temperaturas que es como se trabaja puede constituir un riesgo para el medio ambiente en caso de escape o accidente, pero también es cierto que en la fabricación los métodos y protocolos a seguir son lo suficientemente rigurosos para evitar cualquier impacto ambiental ya que uno de los objetivos de la dicha tecnología es la remediación o mitigación ambiental.



Figura 8: Celdas fotovoltaicas en diferentes ámbitos.

ANEXOS

Compuestos empleados en la construcción de ledes		
Compuesto	Color	Long. de onda
arseniuro de galio (GaAs)	infrarrojo	940 nm
arseniuro de galio y aluminio (AlGaAs)	rojo e infrarrojo	890 nm
arseniuro fosfuro de galio (GaAsP)	rojo, anaranjado y amarillo	630 nm
fosfuro de galio (GaP)	verde	555 nm
nitruro de galio (GaN)	verde	525 nm
seleniuro de cinc (ZnSe)	azul	
nitruro de galio e indio (InGaN)	azul	450 nm
carburo de silicio (SiC)	azul	480 nm
diamante (C)	ultravioleta	
silicio (Si)	en desarrollo	

Figura 9: Celdas fotovoltaicas en diferentes ámbitos.

Color	Tensión umbral (V)	Tensión máxima (V)
Rojo	1.8	2.2V
Anaranjado	2.1 a 2.2	
Amarillo	2	3.5V
Verde	2	3.5
Azul	3.5	3.8
Blanco	3.6	

Figura 10: Celdas fotovoltaicas en diferentes ámbitos.

Referencias

- [1] Marinella Ferrara and Murat Bengisu. Materials that change color. In *Materials that Change Color*, pages 9–60. Springer, 2014.
- [2] Sapna Shrestha Kanu and Russell Binions. Thin films for solar control applications. *Proceedings of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 466(2113):19–44, 2010.
- [3] Carlos Alberto Florian Aguilar. Fabricación de películas delgadas de óxido de vanadio por el método sputtering como material termocrómico. 2015.
- [4] FJ Morin. Oxides which show a metal-to-insulator transition at the neel temperature. *Physical review letters*, 3(1):34, 1959.
- [5] Jaime González Velasco. *Energías renovables*. Reverte, 2009.